

治山技術基準（総則・山地治山編）目次

第1編 総 則

第1章 目的	1
第2章 内容	1
第3章 適用及び運用	1

第2編 山地治山事業

第1章 事業の定義及び目的	2
第2章 調査	2
第1節 総説	2
1-1 調査項目等	2
1-2 調査の手順	3
第2節 地形調査	3
2-1 総説	3
2-2 予備調査	3
2-3 地形計測	5
2-3-1 総説	5
2-3-2 高度の計測	7
2-3-3 起伏量の計測	8
2-3-4 谷密度の計測	8
2-3-5 傾斜の計測	10
2-3-6 断面形の計測	10
2-3-7 方位の計測	11
2-4 空中写真判読等による地形等判読	12
2-5 現地踏査	12
2-6 取りまとめ	13
第3節 土質・地質調査	13
3-1 総説	13
3-2 予備調査	14
3-3 現地踏査	15
3-4 物理探査	15
3-5 ボーリング調査	15
3-6 サウンディング調査	16
3-7 地下水調査	18
3-8 土質試験	18

3-9	取りまとめ	19
第4節	土壌調査	19
4-1	総説	19
4-2	予備調査	22
4-3	現地調査	27
4-4	土壌断面調査	28
4-5	取りまとめ	30
第5節	林況・植生調査	30
5-1	総説	30
5-2	予備調査	30
5-3	林相調査	31
5-4	森林調査	31
5-5	植物社会学的な植生調査	32
5-6	成長量調査	33
第6節	気象調査	33
6-1	総説	33
6-2	降水量の調査	33
6-3	気温の調査	34
6-4	風の調査	36
6-5	気象調査資料の補正	36
6-6	現地における気象調査	38
6-7	取りまとめ	38
第7節	水文調査	38
7-1	総説	38
7-2	水文資料の選定及び収集整理	39
7-3	水文量の生起確率の解析	39
7-3-1	再現期間及び確率水文量	40
7-3-2	確率水文量計算	40
7-4	流出解析	43
7-4-1	資料調査	43
7-4-2	洪水流出解析	44
7-4-3	長期流出解析	44
7-5	洪水流出量の計算	44
7-6	流量調査	51
7-7	取りまとめ	55
第8節	荒廃現況調査	55
8-1	総説	55
8-2	予備調査	55
8-3	侵食量調査	55
8-4	崩壊地調査	57
8-4-1	崩壊地分布調査	57
8-4-2	要因調査	58

8-4-3	動態調査	59
8-4-4	形態調査	59
8-4-5	植生調査	60
8-4-6	土砂量調査	60
8-5	荒廃溪流調査	61
8-5-1	荒廃溪流分布調査	61
8-5-2	要因調査	61
8-5-3	動態調査	61
8-5-4	土砂量調査	62
8-6	落石荒廃地調査	62
8-6-1	落石荒廃地分布・範囲調査	62
8-6-2	要因調査	63
8-6-3	形態調査	64
8-6-4	動態調査	65
8-6-5	植生調査	69
8-7	取りまとめ	69
第9節	荒廃危険地調査	69
9-1	総説	69
9-2	崩壊発生の推定	70
9-2-1	崩壊発生要因の調査	70
9-2-2	山腹荒廃危険地の推定	71
9-2-3	崩壊面積及び崩壊土砂量の推定	72
9-2-4	崩落等の影響範囲の推定	72
9-3	土石流発生の推定	73
9-3-1	土石流発生要因の調査	73
9-3-2	土石流の危険性の推定	74
9-3-3	流出土砂量等の推定	75
9-3-4	土石流の影響範囲の推定	75
9-4	流木発生の推定	75
9-5	取りまとめ	76
第10節	環境調査	76
10-1	総説	76
10-2	調査の種類	76
10-3	自然環境調査	76
10-3-1	植物調査	76
10-3-2	動物調査	77
10-3-3	水質環境調査	78
10-4	自然景観調査	78
10-5	取りまとめ	79
10-6	総合解析	79
第11節	社会的特性調査	79
11-1	社会環境調査	79

1 1 - 2	法令・規制等調査	79
1 1 - 3	防災施設等調査	81
第3章	山地治山計画の基本方針	83
第1節	計画の基本理念	83
第2節	計画規模	83
第3節	山地治山計画の策定	83
3 - 1	基本的考え方	83
3 - 2	山地治山計画の具体的方針	84
3 - 2 - 1	山地治山計画において計画すべき内容	85
3 - 2 - 2	荒廃地の復旧等の計画	86
3 - 2 - 3	山腹荒廃危険地対策	89
3 - 2 - 4	土石流・流木対策	89
3 - 2 - 5	ソフト対策との連携	90
3 - 2 - 6	環境の保全・形成への寄与	90
第4章	溪間工の設計	91
第1節	測量	91
1 - 1	測量の範囲	91
1 - 2	測量の種類	91
1 - 2 - 1	平面測量	91
1 - 2 - 2	縦断測量	92
1 - 2 - 3	横断測量	93
第2節	設計	93
2 - 1	溪間工設計の基本的考え方	93
2 - 2	溪間工の工種	94
第3節	治山ダム	94
3 - 1	治山ダムの目的	94
3 - 2	治山ダムの型式及び種別の選定	94
3 - 3	治山ダムの位置	96
3 - 3 - 1	治山ダムの位置の条件	97
3 - 3 - 2	合流点付近の治山ダムの位置	97
3 - 3 - 3	階段状治山ダムの位置	97
3 - 4	治山ダムの方向	98
3 - 5	治山ダムの計画勾配	100
3 - 6	治山ダムの高さ	100
3 - 7	治山ダムの放水路	103
3 - 7 - 1	治山ダムの放水路の位置	103
3 - 7 - 2	治山ダムの放水路の形状	104
3 - 7 - 3	治山ダムの放水路断面	105
3 - 7 - 4	治山ダム設置位置の計画高水流量	105
3 - 7 - 5	治山ダムの放水路の下長	106

3-7-6	治山ダムの放水路の高さ	106
3-7-7	治山ダムの放水路の保護	109
3-8	治山ダムの袖	109
3-8-1	治山ダムの袖	109
3-8-2	治山ダムの袖天端	110
3-8-3	屈曲部の治山ダムの袖高	111
3-9	治山ダムの断面	111
3-9-1	重力式治山ダムの断面決定	111
3-9-1-1	重力式治山ダムの下流のり	112
3-9-1-2	重力式治山ダムの天端厚	112
3-9-1-3	重力式治山ダムの安定計算に用いる荷重	112
3-9-1-4	重力式治山ダムの安定条件	118
3-9-2	アーチ式治山ダムの断面決定	121
3-9-3	枠式治山ダムの断面決定	122
3-9-4	バットレス式治山ダムの断面決定	123
3-9-5	スリット式治山ダムの断面決定	123
3-9-6	その他の型式の治山ダムの断面決定	124
3-10	治山ダムの基礎	124
3-10-1	治山ダムの基礎地盤	124
3-10-2	治山ダム基礎の根入れ	125
3-10-3	治山ダムの間詰等	125
3-10-4	治山ダムの基礎の処理	126
3-10-4-1	治山ダムの杭基礎	126
3-10-4-2	治山ダム基礎のパイピング等の防止	127
3-11	治山ダムの水抜き	130
3-12	治山ダムの洗掘防止	130
3-12-1	副ダムによる洗掘防止	131
3-12-1-1	副ダムの構造	131
3-12-1-2	本ダムと副ダムの重複高	131
3-12-1-3	本ダムと副ダムの間隔	132
3-12-2	水叩きによる洗掘防止	134
3-12-2-1	水叩きの長さ	134
3-12-2-2	水叩きの厚さ	134
3-12-2-3	水叩きの勾配	135
3-12-2-4	水叩きの垂直壁	136
3-12-3	治山ダムの側壁	136
3-12-3-1	側壁の高さ	137
3-12-3-2	側壁の基礎と天端	137
3-13	治山ダムの伸縮継目	138
3-14	水平打継目	139
第4節	護岸工	139
4-1	護岸工の目的	139

4-2	護岸工の種別	140
4-3	護岸工の位置等	140
4-4	護岸工の天端高	141
4-5	護岸工の構造	141
4-6	護岸工の取り付け	143
4-7	護岸工の基礎	143
4-7-1	護岸工の基礎の根入れ探	143
4-7-2	護岸工の基礎の洗掘防止	143
4-7-3	護岸工の基礎の処理	144
第5節	水制工	144
5-1	水制工の目的	144
5-2	水制工の種別	144
5-3	水制工の位置	144
5-4	水制工の方向	145
5-5	水制工の形状	146
5-6	水制工の長さ及び間隔	146
5-7	水制工の高さ	147
第6節	流路工	147
6-1	流路工の目的	147
6-2	流路工の法線	148
6-3	流路工の縦断形	148
6-4	流路工の溪床	148
6-5	流路工における計画勾配の変化点及び落差	149
6-6	流路工の横断形	150
6-6-1	流路工の計画断面	151
6-6-2	流路工の計画高水流量	151
6-6-3	流路工における護岸工の天端高	151
6-6-4	流路工の曲流部の構造	152
6-7	流路工における構造物相互の関連等	154
6-7-1	流路工の護岸工と治山ダムの取り付け	154
6-7-2	流路工における床固工及び帯工の構造等の選定	154
6-7-3	流路工における護岸工の構造等の選定	155
6-7-4	流路工における護岸工と床固工、帯工との取り付け	156
6-7-5	流路工における底張り等の厚さ	157
第5章	山腹工の設計	158
第1節	測量	158
1-1	測量の範囲	158
1-2	測量の種類	158
1-2-1	平面測量	158
1-2-2	縦断測量	159
1-2-3	横断測量	159

第2節 設計	160
2-1 山腹工設計の基本的考え方	160
2-2 山腹工の工種	161
第3節 山腹基礎工	162
3-1 山腹基礎工の目的	162
3-2 のり切工	162
3-2-1 のり切工の目的	162
3-2-2 のり切の勾配	162
3-2-3 のり切土砂の安定	163
3-3 土留工	163
3-3-1 土留工の目的	163
3-3-2 土留工の種別	163
3-3-3 土留工の位置及び高さ	163
3-3-4 土留工の方向	164
3-3-5 土留工の断面	164
3-3-5-1 土留工の安定計算に用いる荷重	164
3-3-5-2 土留工の安定性の検討	168
3-3-6 土留工の水抜き	172
3-3-7 土留工の裏込め	172
3-3-8 土留工の伸縮継目	173
3-3-9 コンクリート土留工	173
3-3-10 鉄筋コンクリート土留工	173
3-3-11 練積土留工及び空積土留工	174
3-3-12 枠土留工	175
3-3-13 鉄線かご土留工	175
3-3-14 丸太積土留工	176
3-4 埋設工	177
3-4-1 埋設工の目的	177
3-4-2 埋設工の種別及び構造	177
3-5 水路工	178
3-5-1 水路工の目的	178
3-5-2 水路工の種別	179
3-5-3 水路工の配置	180
3-5-4 水路工の平面線形	180
3-5-5 水路工の縦断線形	180
3-5-6 水路工の通水断面	181
3-5-7 水路工の1スパンの長さ	181
3-5-8 水路工の水路受け	181
3-6 暗きよ工	182
3-6-1 暗きよ工の目的	182
3-6-2 暗きよ工の配置	183
3-6-3 暗きよ工の勾配	183

3-6-4	暗きょ工の構造等	183
3-6-5	暗きょ工の目詰まりの防止	184
3-6-6	暗きょ工の1スパンの長さ	185
3-6-7	集水後の処理	185
3-7	のり砕工	185
3-7-1	のり砕工の目的	185
3-7-2	のり砕工の種別	186
3-7-3	のり砕工の構造	186
3-7-3-1	のり砕工の構造の決定	186
3-7-3-2	のり砕工の安定性の検討	187
3-7-4	プレキャストのり砕工	188
3-7-5	現場打ちコンクリートのり砕工	189
3-7-6	吹付のり砕工	190
3-8	グラウンドアンカー工	190
3-8-1	グラウンドアンカー工の目的	190
3-8-2	グラウンドアンカー工の構造	190
3-8-3	グラウンドアンカー工の配置、打設角度	192
3-8-4	グラウンドアンカー工の安定性の検討	192
3-9	補強土工	193
3-10	張工	194
3-10-1	張工の目的	194
3-10-2	張工の種別	194
3-11	モルタル(コンクリート)吹付工	195
3-11-1	モルタル(コンクリート)吹付工の目的	195
3-11-2	モルタル(コンクリート)吹付工の構造	196
第4節	山腹緑化工	197
4-1	山腹緑化工の目的	197
4-2	緑化基礎工	197
4-2-1	緑化基礎工の目的	197
4-2-2	柵工	198
4-2-2-1	柵工の目的	198
4-2-2-2	柵工の種別	199
4-2-3	筋工	200
4-2-3-1	筋工の目的	200
4-2-3-2	筋工の種別	200
4-2-4	伏工	201
4-2-4-1	伏工の目的	201
4-2-4-2	伏工の種別	202
4-2-5	軽量のり砕工	202
4-2-5-1	軽量のり砕工の目的	202
4-2-5-2	軽量のり砕工の種別	203
4-3	植生工	203

4-3-1	植生工の目的	203
4-3-2	実播工	203
4-3-2-1	実播工の目的	203
4-3-2-2	実播工の種別	204
4-3-2-3	斜面実播工	204
4-3-2-4	航空実播工	205
4-3-2-5	機械吹付工	205
4-3-2-6	種子の種類及び組み合わせ	206
4-3-2-7	播種量	208
4-3-2-8	播種の時期	212
4-3-3	植栽工	212
4-3-3-1	植栽工の目的	212
4-3-3-2	植栽計画	212
4-3-3-3	植栽時期及び方法	213
4-3-3-4	植栽樹種	213
4-3-3-5	植栽本数	214
4-3-3-6	施肥	214
4-3-4	保育・管理	215
第5節	落石防止工	215
5-1	落石予防工	215
5-1-1	落石予防工の目的	215
5-1-2	切取工	215
5-1-3	除去工	216
5-1-4	被覆工	216
5-1-5	固定工	216
5-1-6	根固工	217
5-2	落石防護工	217
5-2-1	落石防護工の目的	217
5-2-2	落石防護工の種別	218
5-2-3	落石防護工の位置	218
5-2-4	落石防護工の高さ	219
5-2-5	落石防護工の断面	220
5-2-5-1	落石防護工の安定計算に用いる荷重	220
5-2-5-2	落石防護工の安定性の検討	222
5-3	森林造成	225
5-3-1	森林造成の目的	225
5-3-2	植栽工	226
5-3-3	保育・管理	226

第1編 総 則

第1章 目 的

この基準は、治山事業の調査、計画及び設計を実施するために必要な技術上の基本的諸事項を示し、治山事業に係る技術水準の維持及び向上を図るとともに、事業の合理化に資することを目的とする。

第2章 内 容

- 1 この基準は、「総則」、「山地治山」、「防災林造成」、「地すべり防止」及び「保安林整備」の5編とし、技術的事項についての標準的な基準を内容とする。
- 2 この基準の内容は、技術水準の向上、関係法令の改廃等に応じて改訂を行うものとする。

〔解説〕

- 1 各編は、章、節、項により構成する。
- 2 解説は、本文の理解を深め、その適用に当たって判断を誤ることのないよう基準として定めた内容の説明、その背景、事例等を掲げるものとする。
- 3 参考は、必ずしも定説となっていない等の事由により基準として定め難いもの、又は基準とすることが適当でないが参考として掲げることにより技術基準の目的達成上有意義と考えられるものを掲げることとする。
- 4 この基準は、今後の治山技術の発達、関係法令の改廃等に応じて速やかに改訂し、策定の趣旨を全うするものとする。

第3章 適用及び運用

- 1 この基準は、林野庁所管の治山事業及びこれに関連する事業に適用する。
ただし、関係諸法令に別途定めがある場合においては、これらの諸法令によるものとする。
- 2 この基準によることが適当でない場合においては、この基準で示される技術的水準を損なわない範囲において、この基準によらないことができるものとする。

〔解説〕

- 1 この基準は、治山事業及びこれに関連した災害復旧事業並びに災害関連事業等について適用する。治山事業は、森林法に定める保安施設事業及び地すべり等防止法に基づいて行う地すべり防止工事に関する事業である。
- 2 事業の緊急性、上下流の施設計画や既設構造物との整合性を図る等の事由から、その適用が困難又は不適當な場合で、かつ、この技術基準に定める水準が確保される場合には、この基準によらないことができる。
- 3 この基準においては、技術的な裏付けの程度に応じて、次のような表現を用いる。
 - (1) 技術的に確立していて厳守すべき事項：「……しなければならない」
 - (2) 技術的に確立していないがおおむね通例化している事項：「……ものとする」
 - (3) 理論的には確立していないが経験的にはほぼ正しいと判断できる事項：「原則として……とする」
 - (4) 例外的に基準により難いものがある事項：「……を標準とする」

第2編 山地治山事業

第1章 事業の定義及び目的

山地治山事業は、荒廃山地を復旧、整備する復旧治山、山地の荒廃を未然に防止するための予防治山等の総称である。

山地治山事業は、治山施設の適切な配置と森林の整備により、災害の防止と軽減を図るとともに水源のかん養に資することを目的とする。

〔解説〕

山地治山事業は、荒廃山地又は荒廃のおそれのある山地に対して、溪間工、山腹工を実施することにより森林の整備・保全を図り、崩壊土砂の流出、洪水、土石流等による災害の防止、軽減を図るとともに水資源のかん養に資することを目的とする。

第2章 調査

第1節 総説

山地治山事業の計画、設計に当たっては、事業の目的、内容等に適応した調査を計画的に実施しなければならない。

〔解説〕

事業を合理的かつ効率的に行うためには計画、設計に先立って、事業の目的、内容に適応した調査を計画的に実施する必要がある。

特に大規模な事業の実施予定箇所にあつては、計画全体が整合性をもつものでなければならない。

1-1 調査項目等

山地治山事業の計画、設計に必要な調査項目及び調査方法は、事業の目的に応じて選択するものとする。

〔解説〕

- 1 調査は、事業の内容及び求められる調査精度によって調査項目、調査方法が異なる。
このことから、調査に当たっては、事業の目的、内容等を踏まえて調査項目を選定するとともに、最も適切な調査方法により、計画的かつ効率的に実施する必要がある。
- 2 標準的な調査項目は、次のとおりとする。
 - (1) 地形調査
 - (2) 土質、地質調査
 - (3) 土壌調査
 - (4) 気象調査
 - (5) 林況、植生調査
 - (6) 水文調査
 - (7) 荒廃現況調査
 - (8) 荒廃危険地調査
 - (9) 環境調査
 - (10) 社会的特性調査

1-2 調査の手順

調査は、予備調査により概括的な把握を行い、予備調査の結果に基づき、詳細な現地調査を行うものとする。

また、調査結果を総合的に検討して、計画及び設計に必要な基礎資料を取りまとめるものとする。

[解説]

1 予備調査は、現地調査に先立って、既存の資料、文献等により調査対象地域の状況を概括的に把握するために実施するものである。

なお、必要に応じて空中写真判読等を行う。

2 現地調査は、予備調査の結果に基づいて、必要に応じて現地を踏査し、計画及び設計に必要な資料を収集するとともに、所要の測定等を行うものである。

現地調査の精度については、それぞれの調査方法及び試験方法の基準によるべきであるが、調査の目的を考慮して決定するものとする。

3 調査資料の取りまとめに当たっては、各種調査の結果を総合的に検討して、計画及び設計に必要な基礎資料を作成するものとする。

[参考] 資料の活用

調査により作成された基礎資料は、データベース化して保存し、その後の調査等に活用することが望ましい。

第2節 地形調査

2-1 総説

地形調査は、事業対象地の地形特性を把握して、計画及び設計に当たっての基礎資料を得ることを目的とする。

[解説]

1 地形調査は、調査目的に応じて、地形特性を把握するものとする。

2 地形調査の主な種類は、次のとおりである。

- (1) 予備調査
- (2) 地形計測
- (3) 現地踏査

2-2 予備調査

予備調査は、既存資料等により地形特性を概括的に把握するために行うものとする。

[解説]

1 予備調査は、地形計測等に先立って行う概括的な調査であるが、調査目的によっては予備調査のみで事業計画等を策定することもある。

使用する地形図、空中写真等は調査目的に応じた精度のものを使用する。

2 予備調査に当たっては、地表の形態を地形学的な観点から分類して、地形特性を把握するものとする。また、必要に応じて、地形区分を図示した地形分類図を作成するものとする。

[参考] 地形区分

類似の地形が占める広がりにより、次のような地形区分に分類することがある。

1 大地形区分

一般に高度分布、水系模様、地質構造等の輪郭から区分できる地形区で、地形発達史上の特徴で総括できる（例：北上山地、赤石山地、甲府盆地等）。

2 中地形区分

上記を主体にして構成物質、基盤地質の相異によって細分して得られる地形区である（例：花崗岩山地、古生界山地、第三系砂岩頁岩丘陵地、ローム質更新統台地等）。

3 小地形区分

1や2を構成する単位地形で、地形の細部形態、成因、表層物質、土壌等によって区分できる地形区である（例：火山灰被覆凸形緩斜面、崖錐、火山性台地、扇状地、谷底低地、砂丘等）。

4 微地形区分

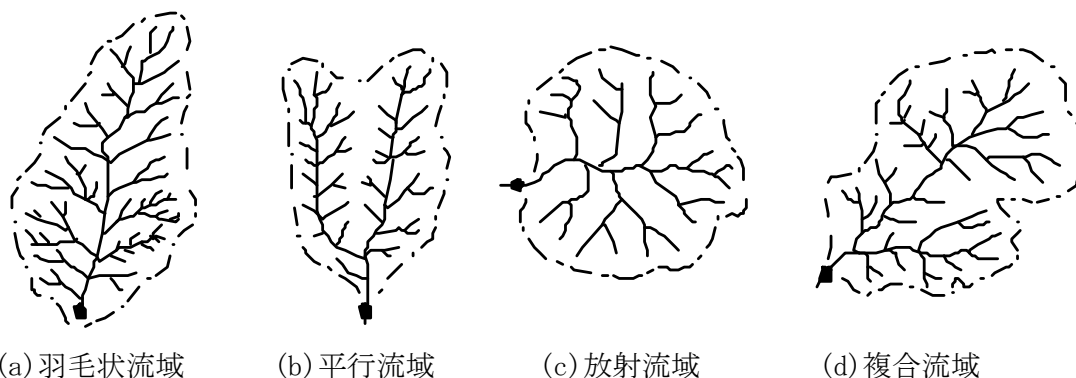
1～3をさらに斜面方位、傾斜などの微地形に着目して区分した地形区である。

[参考] 等高線の把握

地形図を使用して調査する場合には等高線の凹凸状態をまず調査する。その状態がある区域を境にして明らかに変化している箇所、特異な形状を呈する箇所は、地質の変動あるいは地勢形成上の物理的変化のあったものであり、特に留意して調査すべき箇所といえる。

[参考] 水系模様

水系の形を羽毛状流域、放射流域、平行流域、複合流域等に分類することがある。



図－1 流域の形

[参考] 地形分類図の事例

国土地理院の土地条件図の地形分類では、 20° 以下を緩斜、 $20\sim 35^\circ$ を急斜、 35° 以上を極急斜面に区分し、等高線の形状により谷型、尾根型、直線型、その他に区分し、これらを組み合わせて9分類に区分している。

また、国土調査による地形分類では、山地の斜面を表－1のように分類している。

表－１ 国土調査による地形分類

地形の分類		定 義
大分類	小分類	
山地丘陵地	山頂緩斜面	急斜面により囲まれた山頂部の小起伏面又は緩斜面
	山腹緩斜面	山腹に付着する階状の緩斜面
	山麓緩斜面	侵食作用によって生じた山麓部の緩斜面及び火山における溶岩又は火山岩屑の堆積による山麓部の緩斜面
	急斜面	山地丘陵地における前三分類以外の斜面
地すべり地形		基盤の傾斜が比較的緩やかであって、地表面の原形を極端に変えることなく山腹斜面が徐々に滑動して生ずる地形
崩壊地形		山腹斜面又は崖の一部が急激に崩落して生じた跡の地形で、かん木が生育している程度になっているものまでとする
麓斜面及び崖錐		傾斜地の下方に生じた岩屑からなる堆積地形
泥石流地形		泥石流によって生じた不整形の地形
土石流地形		岩塊、泥土等が水を含んで移動し、かつ堆積して生じた地形
遷移点		河床の傾斜度が急に変化する地点
傾斜変換線		山稜の傾斜がやや急にかわるおおむね等高の点を結ぶ線
火山地界		原地形が火山噴出により生じ、かつ火山噴出岩又は火山碎屑物により地形が特徴づけられている地域の境界線
崖		長くのびる一連の急傾斜
谷密度界		谷密度80以上の地域とその他の地域の境界線

出典：地形調査作業規程準則（昭和29年7月2日総理府令第50号）一部修正

2－3 地形計測

2－3－1 総説

地形計測は、地形図、衛星写真等から地形に関する情報を抽出・解析し、その成果を治山計画等の基礎資料とするものとする。

〔解説〕

- 1 地形計測は、地形区分、地形の成因、侵食過程等の考察を行い、地形と災害現象、災害予測、治山計画等との関連を計量的に把握することを目的として、地形図や数値標高モデルから高度、斜面傾斜、斜面方位、水系等の特徴的な地形情報を抽出して解析する

ことをいう。

- 2 地形計測は、次の調査項目について行うものとする。なお、調査項目は、調査の目的、調査地域の状況及び期間に応じて選択する必要がある。
 - (1) 大地形区分……高度（切峰面）、起伏量等
 - (2) 中地形区分……高度（切峰面）、谷密度、起伏量等
 - (3) 小地形区分……谷密度、傾斜、方位等
- 3 地形図には微地形が表現されていない場合があるので、現地調査、空中写真判読等により修正、補完等を行う必要がある。

[参考] 地形測量

- 1 地形情報を収集する地形測量には、主に次の種類がある。
 - (1) 地上測量
測量機械により手動で地形等を計測して、地形情報を得る方法である。
 - (2) G N S S 測量
汎地球測位航法衛星システム (global navigation satellite system) は、衛星を用いた測位システムの総称である。地上間での見通し確保は不要で、山越えの基線測定も短時間で計測でき、測量作業の省力化が図られて精度も高い。
 - (3) 航空写真測量
航空機等から撮影した空中写真を用いて、地形情報の取得や地形図の作成を行う方法である。比較的古くから写真撮影されているので、時系列的な空中写真の利用が可能である。
 - (4) U A V 測量
U A V (Unmanned aerial vehicle: 無人航空機) にカメラを搭載して空中から撮影し、画像を解析して地形の三次元モデル化を行う測量方法。現場作業は、標定点設置と空撮だけであることから、現場作業時間が非常に短い。
 - (5) L P 測量
L P (レーザプロファイラー) 測量は、レーザ測距機を用いて、機械の位置、高さを G P S により計測すると同時に、レーザを地表面に走査させて詳細な図形を作成する方法である。レーザ測距機を U A V 等に搭載し、空中から計測する方法や地上に設置して計測する方法がある。一定の時間的間隔ごとに測定し、特徴のある地物又は標識を基に、移動量、移動方向等を同時に把握する。特に、地形の変化を把握するのに有効である。
 - (6) 人工衛星合成開口レーダー (S A R)
人工衛星合成開口レーダー (synthetic aperture radar) とは、人工衛星等に搭載されたセンサーにより観測されたデータを解析して利用する方法である。人工衛星は高度が高いので広域な範囲を短時間で計測できる。
 - (7) 数値地図の活用
他者が作成した地形情報を利用する方法である。
 - (8) 地形図計測
既存の地形図から、手動又は自動により地形情報を読み取り、デジタルデータを作成する方法である。
- 2 数値標高モデル (D E M)
数値標高モデル (Digital Elevation Model) は標高に関する地形情報であり、デジタルデータであるために、コンピューターを利用して、容易に大量のデータを処理することができる。

表－2 DEMの取得が可能な測量

測量方法	長所	短所
UAV測量	<ul style="list-style-type: none"> ・手軽に撮影できる ・局所的な範囲の計測に適している ・低空飛行が可能で、高解像度の写真を撮影可能 	植生が茂った箇所での地形データの計測が困難
航空レーザ測量	<ul style="list-style-type: none"> ・現地で測量が困難な箇所において、高密度のデータが取得できる ・広範囲を短時間でデータの取得が可能 	航空機等を使用するため、手軽に撮影できない
地上レーザ測量	<ul style="list-style-type: none"> ・人が立ち入る事が出来ない箇所のデータの取得が可能 ・短時間でデータの取得が可能 	複雑に入り組んだ箇所では機械の移動が必要
衛星SAR	<ul style="list-style-type: none"> ・非常に広い範囲を一度にかつ一定の周期で観測できる ・雨天、曇天時や夜間の観測もできる 	光学画像と比較すると直感的な地被状況の判別が困難

3 地理情報システム (GIS)

地理情報システム (Geographic Information System) は位置に関する情報を持ったデータを総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である。

地形計測においては、GISを利用することにより効率的に調査を実施できるとともに、森林GIS等のデータを活用することができる。

- 4 地形測量は、作業規程の準則（平成20年3月31日国土交通省告示第413号）を参考に、地上測量（地上レーザ測量、地上レーザ点群測量）、GNSS測量、航空写真測量、UAV測量（UAV写真測量、UAV写真点群測量）、航空レーザ測量、人工衛星合成開口レーダ（SAR）等を行うことができる。

2-3-2 高度の計測

高度の計測は、切峰面図等を作成して斜面形態をより明確に表現し、現地形の侵食過程、構造線の判定、崩壊や侵食の予測等のために行うものとする。

〔解説〕

- 1 切峰面図、切谷面図を作成して、斜面の侵食過程、侵食程度等を把握する。

(1) 切峰面図

切峰面図は、方眼法と埋積法を用いて地形図を適当な大きさのメッシュに区分し、各メッシュ内の最高点の位置から、内挿法によって等値線を描いて、山頂に接する仮想曲線により侵食前の斜面形を復元する。

(2) 切谷面図

切谷面図は、切峰面図の方眼法と同様の作業により作成する。

- 2 面積の異なる地域の特性を調べるために、高度頻度曲線、ヒソグラフを作成する。

(1) 高度頻度曲線

高度頻度曲線は、侵食面の高さを推定する方法である。メッシュ内の最高点の高さを100mごとの頻度で記録し、頻度を縦軸に、高さを横軸にして曲線を描いて作成する。

(2) ヒブソグラフ

ヒブソグラフは、その地域の急傾斜部や平坦部を発見したり、山地の概観を推定することに用いる。各等高線より高い地域の面積を計測し、横軸に面積、縦軸に標高をとって曲線を描いて作成する。

[参考]

- 1 方眼法は、ある地域の地形図を適当な単位面積の方眼に区分し、各方眼内の最高点の位置と高度の数字を記入し、隣接する方眼内の最高点との位置との相互間を曲線で結び、内挿法によって 100m、50mの高さを求め、等値線を描けば、侵食前の時期における斜面形が復元できる。
- 2 埋積法は、分割器を基準谷幅の長さに関して、測定しようとする地形図の各等高線ごとに谷に当てて、谷口のところの同一等高線の位置を線で結び谷を埋める。こうして表現される等高線は、斜面形態をより詳しく表現でき、台地や段丘面又は侵食面の復元に有効である。
- 3 切谷面図は、切峰面図とは逆に谷底に接する仮想曲面で、谷頭や山腹の平坦面、遷移点の発見のために利用するものであり、切峰面図とは逆にメッシュ内の最低点の位置から内挿法により等値線を描いて作成する。

2-3-3 起伏量の計測

起伏量の計測は、単位面積内の最高点と最低点との高度差を計測し、調査対象区域の山地の開析の程度を推定するために行うものとする。

[解説]

- 1 起伏量とは、地形の特徴をある一定面積内における相対的高度差すなわち起伏の度合いを量的に表現したものである。この数値が大きいことは、相対的に河川による地形の侵食や谷の形成が進行していることを示し、傾斜の度合いと併せて流出土砂量と密接な関連を有する。
- 2 起伏量の計測は、その地域の最高点と最低点の高度差を用いて、次の3つの方法により計測される。なお、(1)の方法が用いられることが多い。
 - (1) 単位面積内の最高点と最低点との高度差
 - (2) 隣接する2つの地形要素間（例：山頂と谷底、段丘面と河床面等）の高度差
 - (3) 切峰面と切谷面との高度差
- 3 起伏量比は、起伏量（ディメンションのある量）を流域の長さ又は流路延長で除して無次元である勾配としたもので、一般に次の式で表す。

$$R = \frac{H}{L}$$

R：起伏量比

H：流域内の最高点と最低点の高度差（m）

L：最高点までの流域の長さ又は流路延長（m）

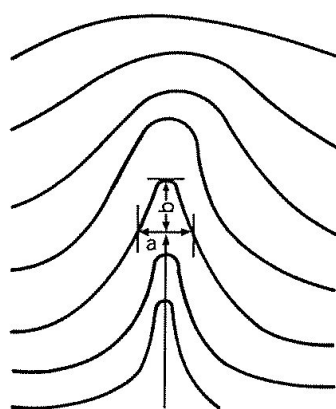
2-3-4 谷密度の計測

谷密度の計測は、単位面積における谷の数を計測し、調査地域における地質、地形の特性を調査するものとする。

[解説]

- 1 谷密度は、河川水の侵食による地形の開析の程度を示す指標で、「単位面積の河川、谷の数(N)を面積(A)で除した値」である。
- 2 谷密度の計測は、谷に実線を入れて水系図を作成し、単位面積のメッシュで区画して1メッシュ内に含まれる谷の数を算出する。
なお、谷の幅が谷のわん入の長さよりも大となる地点までを谷と定義する。
図-2において、 $a \geq b$ となった地点を1次谷の上流端(谷頭)としている。
- 3 谷密度は、地形をつくる基盤地質と密接な関係があり、地形の開析状況、起伏量、傾斜によっても異なる。

谷密度が大であれば地形面の広がり、連続性を制約するので、森林等の立地に影響を及ぼすばかりでなく、山腹崩壊、流出土砂量が多くなり流水も急激になって、災害の発生とも関係する一つの指標である。



$a \geq b$ となった地点を1次谷の上流端とする。

図-2 谷の定義

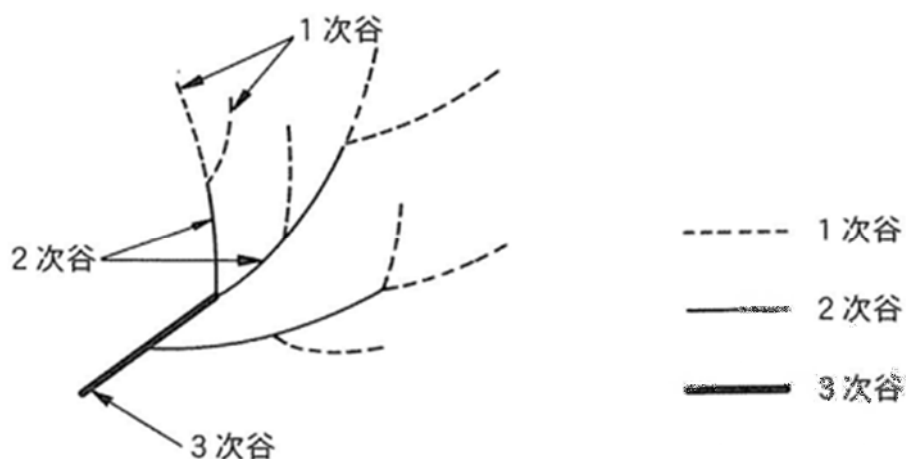


図-3 谷の次数の定義

[参考]

谷の次数については、谷形地形をしているところを1次谷といい、1次谷と1次谷が合流したあとを2次谷といい、同次の谷が合流すると、その谷の次数+1の谷次数という。また、1次谷より上部の山腹に発達する山ひだを0次谷という。

2-3-5 傾斜の計測

傾斜の計測は、地形図を小区画に区分して傾斜を測定し、傾斜と地形的特性や荒廃特性との関係を検討するために行うものとする。

[解説]

傾斜の計測に当たっては、図-4のように最大傾斜線方向に沿う単位斜面に区分するか、メッシュに区分して測定するものとする。

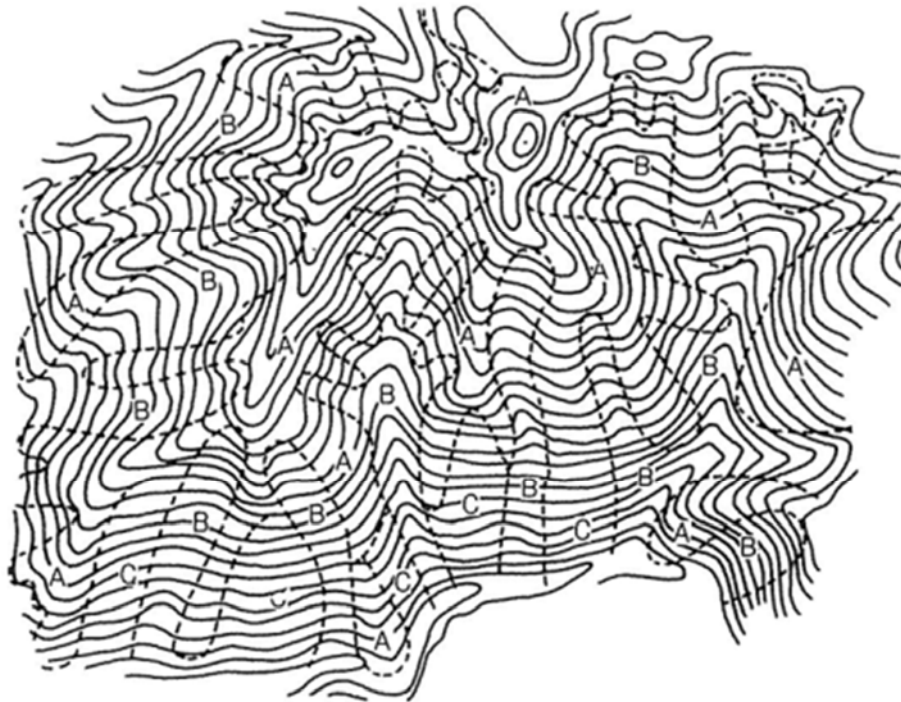


図-4 斜面の区分(A : 凸形斜面、B : 凹形斜面、C : 平衡斜面)

2-3-6 断面形の計測

断面形の計測は、小区画における断面形を測定し、断面形と地形特性や荒廃特性との関連を検討するために行うものとする。

[解説]

1 斜面の水平方向の断面形の計測は、メッシュに内接する円の中心を通る等高線を推定し、その線が円周と交わる2点と円の中心線とを結び、この角度が斜面下より見て $0\sim 165^\circ$ を凹型、 $166\sim 195^\circ$ を直線型、 $196\sim 360^\circ$ を凸型に区分する。

一般に凹部では、表土、風化土が厚く、また、地表水も集中することから、崩壊が発生しやすい。

2 斜面の縦断方向の断面形の計測は、表-3に示す区分によるものとする。

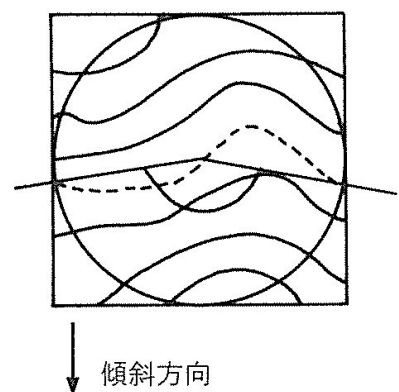


図-5 水平断面の計測

表-3 斜面の分類

区 分	斜面形	斜面発達の経過
上昇斜面（凸型斜面）		岩石の風化速度よりも河水の縦侵食が大きい場合
平衡斜面（直斜面）		岩石の風化速度と河水の侵食が平衡を保っている場合
下降斜面（凹型斜面）		河水の侵食よりも岩石の風化が早い場合
複合斜面		風化と侵食の歴史が複雑な場合

[参考] 傾斜変換線と崩壊発生

斜面の傾斜が変わる部分を傾斜変換点といい、これらを連ねた線を傾斜変換線という。このうち、斜面が上部緩斜面から下部急斜面に変わる部分を遷急点といい、これらを連ねた線を遷急線という。

一般に、この遷急線付近を頭部として下方の急斜面が崩壊することが多い。

また、上部急斜面から下部緩斜面に変わる部分を遷緩点といい、ここは斜面の浸透水、表流水が集中する部分で、遷急線下方の急斜面での崩壊に次いで、遷緩線より上方での崩壊を招きやすい。

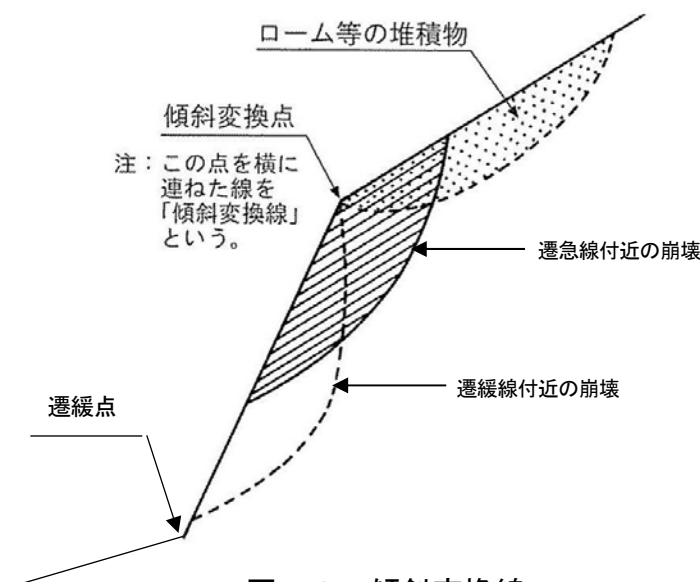


図-6 傾斜変換線

2-3-7 方位の計測

方位の計測は、8方位に区分して傾斜の主方向を把握し、斜面の環境条件を推定するために行うものとする。

[解説]

- 1 斜面の方位は、土壌、植生、日照、積雪、風衝、気温との関係が深い。
- 2 方位の計測に当たっては、メッシュ内の最大傾斜方向の方位を8方位で測定する。

2-4 空中写真判読等による地形等判読

空中写真等により地形等を判読して、計画、設計の基礎資料とする。

[解説]

- 1 空中写真判読は、航空機等から撮影した空中写真を立体視して、植生分布、リニアメント、崩壊地形、崖錐、堆積物等を判読して、基礎資料を作成する。
- 2 必要に応じて、時系列的に空中写真を判読して、崩壊地、地すべり、荒廃溪流の変遷を把握することがある。

[参考]

詳細な地形を立体的に表現する図法（赤色立体地図※1、CS立体図※2）等を活用することにより微地形の判読が容易になる。

※1「赤色立体地図」はアジア航測株式会社の特許（第3670274等）

※2「CS立体図」は長野県林業総合センターが考案した図法

2-5 現地踏査

現地踏査は、現地を踏査して予備調査で得た資料等を現地で確認するとともに、予備調査では確認できない微地形の調査を行うものとする。

[解説]

現地踏査は、予備調査、地形計測、空中写真判読で得た基礎資料等を現地について照合してその実証をするとともに、必要に応じて測量等を行い、予備調査等では得ることが出来難い微地形の調査を行うものとする。

[参考] 現地踏査の留意点

現地踏査は、広域的な調査と局地的な調査とに区分されるが、次の事項について留意する必要がある。

1 広域的調査の場合

- (1) 斜面、尾根、滝、懸谷、湧水等の位置、配列
- (2) 溪流、谷の蛇行の状況、流水幅、狭さく部の位置、勾配急変位置、溪床砂礫の堆積構成とその状況
- (3) 各地形と地質、地質構造、構成土質との関係及び崩壊地の規模、分布状況
- (4) 土石流堆積物、溶岩流の末端部、急崖、段丘、平坦面、扇状地等の位置とその状況

2 局地的調査の場合

- (1) 予備調査では確認できない湿地、雪窪、凹陷地、沼、小丘地、ガリー等の微地形的特徴
- (2) 斜面の傾斜、斜面長、方位
- (3) 山脚部、溪床の侵食状況及び山腹斜面との関係
- (4) 崩壊地の形態、規模と地質、不自然な植生の変遷点の有無

2-6 取りまとめ

地形調査の成果は、調査目的に応じて、事業対象地の地形が把握できるように取りまとめるものとする。

〔解説〕

地形調査の結果は、調査目的に応じて図表等に整理するとともに、計画、設計の基礎資料となるように取りまとめるものとする。

第3節 土質・地質調査

3-1 総説

土質・地質調査は、事業対象地内の土質・地質の特性を把握して、計画、設計の基礎資料を得ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 土質・地質は、山地荒廃の素因として地形とともに重要な要素をなすものである。一般に土質・地質は極めて複雑でありかつ変化に富んでいる。したがって、調査の内容も、その要求される精度に応じて各種の方法が採用されているが、調査の目的、対象範囲、重要度等を勘案して調査方法を選択する必要がある。
- 2 土質・地質調査の主な種類は次のとおりである。
 - (1) 予備調査
 - (2) 現地踏査
 - (3) 物理探査
 - (4) ボーリング調査
 - (5) サウンディング調査
 - (6) 地下水調査
 - (7) 土質試験

〔参考〕地質と崩壊等

- 1 一般に土質・地質特性からくる荒廃形態には特色があつて、概して新しい地質は古い地質より崩壊が発生し易い傾向がある。
- 2 中古生層が分布する地帯における崩壊の頻度は一般に低いとされているが、構造運動によって破碎されている部分では、しばしば大崩壊が発生したり、侵食、堆積作用により、崩積土、崖錐が厚く堆積した地帯では、崩壊の頻度が高まる傾向が見られる。
- 3 花崗岩類が分布する地帯は、山腹崩壊を発生し易いが崩壊深は一般に浅い。また、深層風化を受けたいわゆるマサが分布する地帯では表層侵食を極めて受け易い特性がある。
- 4 火山噴出物が分布する地帯は、山腹の中腹以上でかつ土層の比較的浅いところや溪岸侵食に伴う小面積の崩壊が多発する。特に、成層火山では、互層となっている火山灰堆積層の流亡、安山岩等の崩落後退の繰り返しによって崩壊が縦方向及び横方向に拡大し、大規模な崩壊地となることが多い。
- 5 第三紀層が分布する地帯は、一般に表土の浅いところに小崩壊が多発する傾向にある。
- 6 地すべりあるいは地すべり性崩壊等は、地質に原因するところが極めて大きく、第三紀層地すべり、破碎帯地すべり等に区分されるほど関連が深いものである。
- 7 土質、地質調査は、目的別に次の例による。

- (1) 崩壊の位置、規模や表層部の弱層（滑落面）、土砂量の推定
 現地踏査、物理探査、ボーリング調査、サウンディング調査（特に斜面部の表層構造調査用の土研式簡易貫入試験）等
- (2) 土層構成及び土層の強度・透水性、対策工法の設計・施工に必要な斜面の地盤条件・土質特性
 現地踏査、物理探査、ボーリング調査、サウンディング調査（特に斜面部の表層構造調査用の土研式簡易貫入試験）、土質試験（透水試験等）等
- (3) 地下水の挙動
 地下水調査（地下水位観測、地下水追跡試験、地下水検層試験、間隙水圧の測定）、透水試験等
- (4) 土質・岩石の性質
 物理探査、サウンディング調査、土質試験（物理試験、力学試験）、岩石試験等

[参考] 7 出典：河川砂防技術基準（調査編） 国土交通省 H26. 4

第 19 章 急傾斜地調査 4.2 地盤調査の種類<例示>

(https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijun/chousa/) を加工して作成

3-2 予備調査

予備調査は、既存資料の調査等により、土質・地質の概況を把握するものとする。

[解説]

- 1 予備調査は、既存の土質・地質図、地形図、空中写真、既往の災害記録等の資料に基づいて、調査対象地域の土質及び地質の特性を把握するために行うものとし、その結果を図面等に整理するものとする。
- 2 予備調査においては、流域の岩石、土質、地質構造あるいは崖錐、崩積土、扇状地堆積物等を把握することが主体となる。

[参考]

地質に関して、地形図及び空中写真で得られるものは、(1)地質分布、(2)岩質、地質構造、(3)異常地形等の情報で、写真上の大きさ、形、階調、色調等から地質特性を把握して予察図に記入し、これを現地調査に活用してより高い精度の調査を行う場合ものとする。

1 予察図

予察図は、国土地理院の地形図(1/50,000~1/25,000)又は、1/5,000の計画図等に地質図を転写し、空中写真、地形分類図、水系図、谷密度図などによって、あらかじめ地形区分し、調査目的と関連する事項についてはすべて記入しておき、現地調査の際の参考にするとともに、現地について新たに発見した事項等を記録する。

2 路線図

路線図は、地形図にあらかじめ踏査する路線を記入したもので、路線の選定に当たっては次の各項に留意する。

- (1) 予察図を十分に検討する。
- (2) 露頭の多いと考えられる路線を選定する。
- (3) 堆積岩の分布地域では地層の走向に直交する路線を選定する。
- (4) 火成岩と堆積岩の接触部、断層、崖錐堆積物、崩壊地等を踏査できるよう路線を選定する。

3-3 現地踏査

現地踏査は、予備調査で整理した資料を基に踏査を行い、地質、土質等を詳細に調査するものとする。

[解説]

現地踏査は、予備調査の資料を基に現地を踏査し、露頭、地形的特徴等から計画、設計に当たって必要な表層地盤の土質、岩質、地質構造、湧水等の状況について確認するとともに、岩石、地層の風化や変質、湧水等の新しい現象、事実を把握して、土質、地質に係る基礎資料を整備するために行うものとする。

また、現地踏査で得た事項、問題点は必ず地質図、地形図等に記入し、崩壊の範囲や形態、原因、対策工法検討のための土質・地質調査の方法、調査範囲等の検討を行う。

3-4 物理探査

物理探査は、地質構造、地下水の状況等を調査するために行うものとする。

[解説]

- 1 物理探査は、弾性波速度、比抵抗などの物理量を計測して、地下の岩石、地層の厚さ、不連続面の位置・形状、地質構造、地下水の状況等を間接的に調査するものであり、弾性波探査、電気探査が一般的に用いられる。
- 2 岩石や地層の物理量と地層区分とは必ずしも1対1の対応関係ではないことから、調査結果はボーリング調査等を併用して確認する。
- 3 物理探査の内容、方法等は、第4編地すべり防止事業第2章第5節5-2「物理探査」に準ずるものとし、必要に応じ選択する。

3-5 ボーリング調査

ボーリング調査は、土質、岩質、地質構造等を直接把握するとともに、ボーリング孔を利用した各種調査や試料採取のために行うものとする。

[解説]

- 1 ボーリング調査は、ボーリングマシン等により地盤を掘削してコアを採取することにより、岩種、硬さ、風化、変質の程度、断層、破碎帯、き裂の多少を調査し、現地踏査や物理探査などを組み合わせて岩石や地層の空間的広がり把握することを目的とする。また、必要に応じて、ボーリング孔を利用して次の試験等を実施する。
 - (1) 標準貫入試験、現場透水試験、地下水検層、P S検層等の各種試験
 - (2) 地下水位、地中移動量等の観測
 - (3) 試料採取
- 2 ボーリング調査の配置等については、第4編地すべり防止事業第2章第5節5-3「ボーリング調査」に準ずるものとし、必要に応じ選択する。

[参考] 試料採取の方法

一般的な試料採取の方法は次のとおりである。

表-4 試料採取の方法

目 的	方 法	備 考
すべての場合	ロータリーボーリング ($\phi = 46 \sim 116\text{mm}$)	
浅層 (5~10m) 及び地下水位以上の ボーリング	オーガーボーリング ($\phi = 46 \sim 116\text{mm}$)	崩壊性土壌、岩、砂礫、地下水以下の砂層、固結した粘土に不向き
詳細調査で大量の試料を 必要とする場合	試 掘 孔	崩壊性土壌や地下水位以下の土壌の場合は処理工が必要

[参考] 山腹崩壊に関するボーリング調査

山腹崩壊に関するボーリング調査は、山腹斜面の土質、地層構成の把握、岩盤の風化状況・亀裂等の把握、土質試験用の試料採取、ボーリング孔を利用した標準貫入試験・透水試験・PS検層等の原位置試験、地下水位測定等のために行う。

3-6 サウンディング調査

サウンディング調査は、土層の貫入、回転、引き抜き等の抵抗を基に、土の強度、密度等を把握するために行うものとする。

[解説]

- 1 サウンディング調査は、地盤の深さ方向における抵抗の値から、地盤の強さ、密度等の詳細なデータが得られ、崩壊のおそれのある土層深の推定や構造物の設計に必要な地盤条件等、地盤の状態を詳細に把握することができる。
- 2 サウンディング調査の方法は、調査目的、調査箇所の地質、土質条件に応じて、適切なものを選定する。

表-5 サウンディング方法

方法	名 称	連続性	測定値	測定値からの 推 定 量	適用地盤	可能深さ (m)	特 徴
静 的	スクリー ウエイト貫 入試験 JIS A1221 1)2)	連続	載荷荷重 (W_{sw})、貫入 深さ(D)、貫 入1m当たり の半回転数 (N_{sw})	標準貫入試験のN値 や一軸圧縮強さ q_u 値に換算(数多くの 提案式がある)	玉石、礫を除くあらゆる土。ただし、締まった砂(N値30程度まで)や砂礫は貫入困難。	15m程度	標準貫入試験に比べて作業が簡単である。玉石あるいは礫を含む土質を除く山腹斜面に対応可能で、表層土や崩壊土層の境界、崩壊土中の不連続面等を調査するのに有効である。
	ポータブル コーン貫入 試験 JGS 1431 1)2)	連続	コーン貫入抵抗(q_c)	粘土の一軸圧縮強さ、粘着力、トラフィカビリティの判定	粘性土や腐植土地盤	5m程度	簡易試験で極めて迅速。

静	電気式コーン貫入試験 JGS 1435 1)2)3)	連続	先端抵抗 (qc)、周面摩擦 (fs)、間隙水圧u	土質分類、土質定数 (換算N値、単位体積重量、非排水せん断強さ等)	あらゆる地盤	貫入装置や固定装置の容量による	データの信頼度が高い。硬質な盛土や中間層は、貫入機のパーカッション装置で模擬コーンを動的圧入することで硬質層を穿孔可能。
	原位置ベーンせん断試験 JGS 1411 1)	不連続	測定最大トルク (kN・m)、試験機の摩擦トルク (kN・m)	乱さない土のベーンせん断強さおよび乱した土のベーンせん断強さ、鋭敏比	軟弱な粘性土地盤	15m程度	軟弱な粘性土地盤を対象としたベーンせん断強さを求める。無機質の軟弱な粘性土地盤を対象とし、繊維質を多く含む泥炭などには適用できない。
動的	標準貫入試験 JIS A1219 1)2)	不連続 最小測定間隔は50cm	N値 (所定の打撃回数)	N値若しくは打撃回数に対する貫入量	玉石や転石を除くあらゆる地盤	基本的には制限なし	普及度が高く、ほとんどの地盤調査で行われ、特に、広範囲な深度の調査が可能である。N値及び試料による土質柱状図、土質断面図の作成が可能である。
	簡易動的コーン貫入試験 JGS 1433 1)2)	連続	Nd (所定の打撃回数)	Nd値とN値との関係式 $Nd = (1 \sim 2) N$	地盤 (例えば、自然斜面、盛土・切土のり面) 表層部の調査	15m程度 (深くなるとロッド摩擦が大きくなる)	標準貫入試験に比べて作業が簡単。貫入抵抗の大きい硬質粘性土や砂礫地盤などには適用できない。
	土研式簡易貫入試験 4)	連続	Nc (所定の打撃回数)	Nc値 例: Nc=0~5 (表層土)、Nc=5~20 (強風化土)	土層の深度を比較的精度よく把握できる	5m程度	斜面の土層の厚さの調査に有効である。
	SH型貫入試験 4)	連続	S=Nd/drop (所定の打撃回数)	土壌の硬さ (軟らかさ)、地盤表層部の土層状況・崩壊深の推定。 N値10以下でNd=N	比較的軟らかい土壌	5m程度	作業が簡易である。軟弱層を検出し潜在すべり面を推定可能。

参考文献: 1) 「JIS」は日本工業規格、「JGS」は地盤工学会基準をいう。

2) 地質調査要領 【編集】 社団法人全国地質調査業協会連合会 第Ⅱ部参考資料

3) 電気式コーン貫入試験 (CPTU) - 活用上の留意事項と対策について - 令和3年6月 CPT 技術協会

4) 表土層調査技術研究会 - SH型貫入試験機を用いた調査と研究 -

3-7 地下水調査

地下水調査は、山地における地下水の供給経路、分布、性質、流動傾向、圧力関係等を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 地下水調査は、崩壊の主要な要因の一つである地下水の挙動を把握するものとする。
- 2 地下水調査の内容、方法等は、第4編地すべり防止事業第2章第6節「地下水調査」に準ずるものとし、必要に応じて選択するものとする。

3-8 土質試験

土質試験は、調査区域内の土の物理的特性、力学的性質を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 土質試験は、土の分類や諸性質を知るために採取したサンプルにより各種の試験を行うことの総称である。一般的には、基礎構造物の設計、施工時に必要な基礎的データを収集するために行う。
- 2 土質試験は、日本産業規格及び地盤工学会基準に定める試験法によって実施するものとする。
- 3 岩石の性質が崩壊の要因となるような場合には、岩石の諸性質の試験を行う。

表-6 土質試験、岩石試験の例

項目	検討する内容	土質試験及び岩石試験から求められる値
斜面(土砂)の安定	斜面の安定計算	土の一面せん断試験【 ϕ :内部摩擦角、 c :粘着力】、土の一軸圧縮試験(JIS A 1216)【 C_u :粘性土の粘着力、 St :鋭敏比】、土の三軸圧縮試験【 ϕ :内部摩擦角、 c :粘着力】
構造物の基礎、擁壁等の安定	基礎の設計(土圧、側圧、支持力等)、背面土の安定(すべり破壊)	土の一面せん断試験【 ϕ :内部摩擦角、 c :粘着力】、土の一軸圧縮試験(JIS A 1216)【 C_u :粘性土の粘着力、 St :鋭敏比】、土の三軸圧縮試験【 ϕ :内部摩擦角、 c :粘着力】、地盤の平板載荷試験(JGS 1521)【 q_u :極限支持力度、 E :変形係数】
	透水性、ボーリング、ヒービング	土の透水試験(JIS A 1218)【 k :透水係数】
	沈下量、圧縮性	土の圧密試験(JIS A 1217)【 e - $\log p$ 曲線、 C_c :圧縮指数、 mv :体積圧縮係数、 C_v :圧密係数】
地山の土の状態、分類	土の状態(含水比、密度)	土の含水比試験(JIS A 1203)【 w :含水比】、土粒子の密度試験(JIS A 1202)【 ρ_s :土粒子の密度】、土の湿潤密度試験(JIS A 1225)【 ρ_t :湿潤密度、 ρ_d :乾燥密度】
	土の工学的分類(粒度、コンシステンシー限界)	土の粒度試験(JIS A 1204)【粒度加積曲線、 D_{10} :有効径、 U_c :均等係数、 U_c' :曲率係数】、土の液性限界・塑性限界試験(JIS A 1205)【 WL :液性限界、 Wp :塑性限界、 I_p :塑性指数】
斜面(岩盤)の安定	岩石の物理性、力学的性質	岩の超音波速度試験(JGS 2564)【 E_d :動弾性係数、 G_d :動せん断弾性係数、 V_d :動ポアソン比、弾性波探査と組み合わせて岩盤の亀裂係数】、岩の一軸圧縮試験(JGS 2521)【 q_u :一軸圧縮強さ】、岩の三軸圧縮試験(JGS 2531, 2532, 2533, 2534)【 ϕ :内部摩擦角、 c :粘着力】

斜面（岩盤）の安定	岩石の乾燥・水浸によって生じる形状の変化、固結力の低下	岩石のスレーキング試験（JGS 2124）【スレーキング区分と時間の関係）、スレーキング指数】、岩石の促進スレーキング試験（JGS 2125）【スレーキング区分と時間の関係、スレーキング指数】
-----------	-----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

参考文献：土質試験のてびき（土木学会）（平成 19 年 1 月 31 日改訂版）

「JIS」は日本工業規格、「JGS」は地盤工学会基準をいう。

3-9 取りまとめ

土質・地質調査の成果は、調査目的に応じて、事業対象地域の土質、地質が把握できるように取りまとめるものとする。

〔解説〕

- 1 土質・地質調査の結果は、調査目的に応じて図表等に整理するとともに、計画、設計の基礎資料となるように取りまとめるものとする。
- 2 必要に応じて、各種調査の結果を総合的に解析して、地質図、地質断面図などの資料に取りまとめる。

〔参考〕

1 表層地質図

地質図は、地形図を基調とし、その上に地殻表部を構成する各種岩石、地層の分布、それらの相互関係、地質構造、その他必要な調査結果等を記載した地図である。

なお、試掘、試錐及び物理的地下探査を行った場合には位置を明記しておくものとする。

2 地質断面図（土層断面図）

地質図の中の重要な部分の地質断面図、柱状図をつくり、地質図の表現の補助とする。断面図の位置を選定するには、

- (1) 地域内の地質系統をなるべく多く含み、それらの相互関係が判断できるような位置を選定する。
- (2) 地域内の一般地質構造がよく表現し得るように褶曲構造・断層構造・地層の一般走向などになるべく多く直交する方向に断面をつくる。
なお、一断面で重要な構造をすべて表すことは困難であるから、数本の断面図を作成するか又は断面を一直線にせず重要な地点を通した折線とする。
- (3) 地質断面図は、土質・地質の連続性と分布状態を大局的な見地から表し、計画、設計、施工の判断を下す資料とするものである。

このため、工事目的又は工事の種類に応じて利用しやすいような形式にまとめることが必要である。

第4節 土壌調査

4-1 総説

土壌調査は、土壌の成因、形態及び物理的、化学的性質を調査し、治山植生の導入方法等を検討するための基礎資料を得ることを目的とする。

〔解説〕

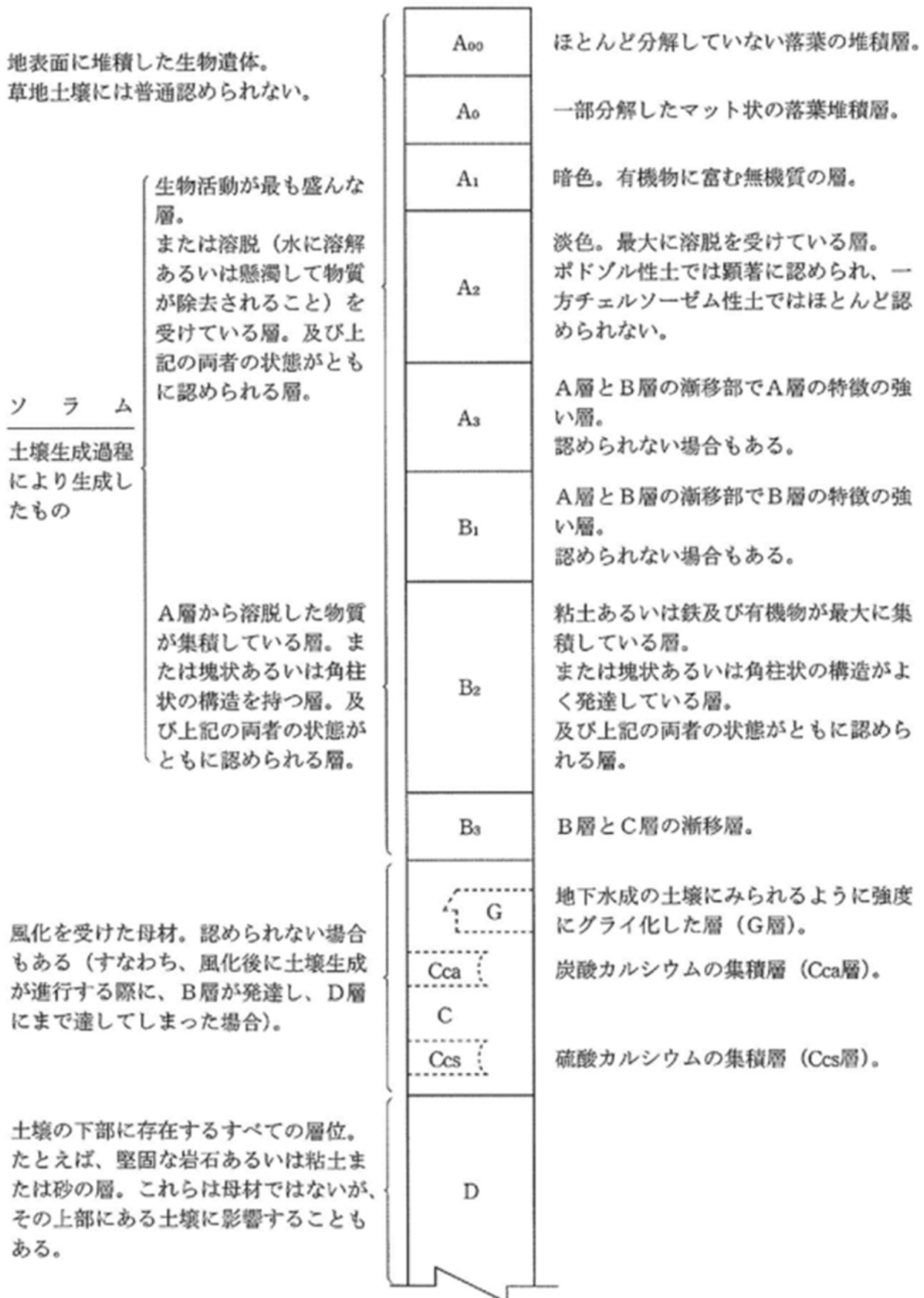
- 1 土壌は、風化した岩石が母材となり、地質構造、地形、気象、生物等の条件が関与して長い年月をかけて生成される独自の地表構成物質である。土壌はそれ自体一定の構造と機能を持ち、母岩から独立して独自の過程で生成発展する。わが国のように中緯度湿潤帯が

国土の大部分を占める地域では、例外的に裸岩の露出する場所を除いて土壤に覆われていない地域はほとんどない。

- 2 治山事業は、森林の造成、維持を目的としているので、その地域の土壤条件をよく理解して森林造成を図らなければならない。土壤を調査することによってその地域の自然的な特徴を知ることができる。また、逆に植生は土壤を基盤して生育しているので、植生を見ることによって土壤の性質が判断できる場合が多い。
- 3 土壤の生成過程は土壤断面に反映されることから、土壤型は土壤断面により決定される。土壤断面上部は生物の影響下にあり、有機物が集積する。この層をA層と呼ぶ。A層の下部では有機物の集積は衰え、他の作用が卓越する。この層は、A層と母岩との漸移層と考えられB層と呼び、土壤生成過程で僅かに変化した母岩はC層と呼ばれB層の下位に位置する。さらにその下の変化していない基盤岩石はD層と呼ばれる。これらは表-7のようにさらに細分される。
- 4 土壤調査の主な種類は次のとおりである。
 - (1) 予備調査
 - (2) 現地調査
 - (3) 土壤断面調査

表-7 層位の配列を示している仮想的土壌断面の模式図

(土壌調査便覧、合衆国農務省、1951)

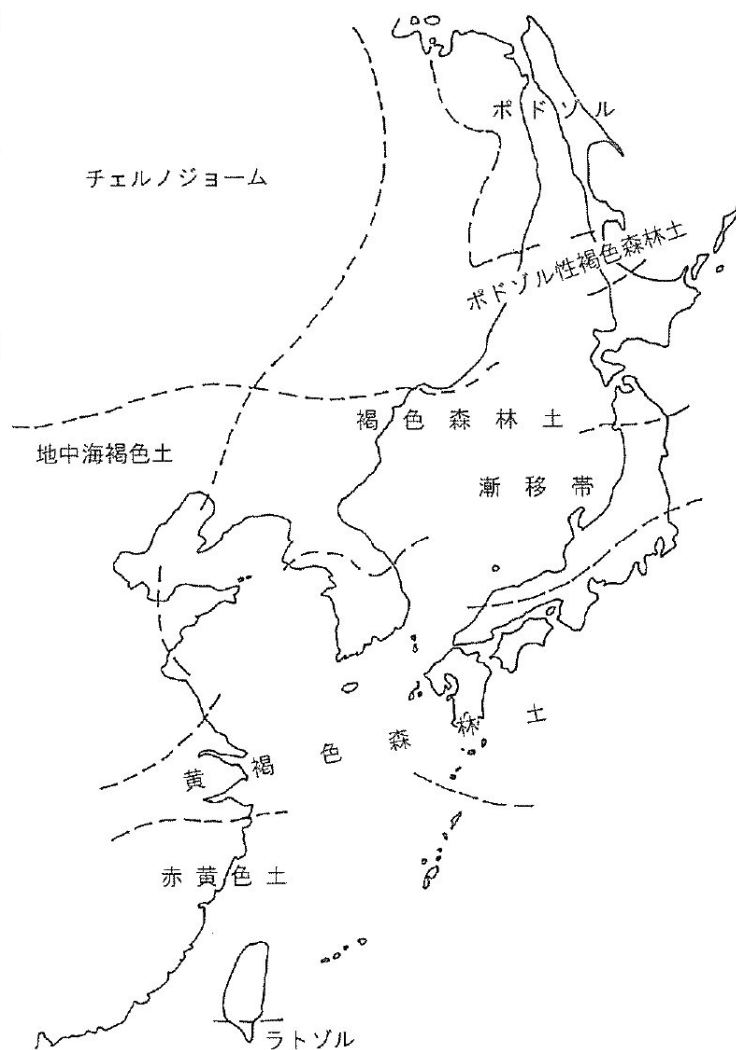


[参考]

日本における成帯性土壌の分布

気候帯、植生帯とほぼ平行して分布し、生物—気候因子の影響下に生成されたと考えられる土壌を成帯性土壌と呼ぶ。これに対し、母岩の性質を強く反映した土壌や、地下水の影響等を受けた土壌は非成帯性土壌と呼ばれる。これには、火山灰性黒ボク土、水田土壌等がある。

日本における成帯性土壌の分布図は図—7のとおりである。



図—7 日本列島とその周辺の成帯性土壌の分布
[出典] 日本列島とその周辺の土壌区分図 (松井 健 1990)

4-2 予備調査

予備調査は、既存資料により、土壌の分布、土壌型等を調査するものとする。

[解説]

- 1 予備調査は、現地調査に先立って、事業対象地域及び外縁地域における土壌図、土壌資料、空中写真、文献等の既存資料を収集して整理するとともに、植生及び土壌の分布を検討するものとする。
- 2 森林土壌は、林野土壌の分類 (旧・農林水産省林業試験場土じょう部 1975) によって、土壌群—土壌亜型—土壌型・亜型の階層により分類する。

表-8 林野土壌の分類

土 壌 群	亜 群	土 壌 型 ・ 亜 型
P ポドゾル	P _D 乾性ポドゾル	P _D I 乾性ポドゾル
		P _D II 乾性ポドゾル化土壌
		P _D III 乾性弱ポドゾル化土壌
	P _w (i) 湿性鉄型ポドゾル	P _w (i) I 湿性鉄型ポドゾル
		P _w (i) II 湿性鉄型ポドゾル化土壌
		P _w (i) III 湿性鉄型弱ポドゾル化土壌
	P _w (h) 湿性腐食型ポドゾル	P _w (h) I 湿性腐食型ポドゾル
		P _w (h) II 湿性腐食型ポドゾル化土壌
		P _w (h) III 湿性腐食型弱ポドゾル化土壌
B 褐色森林土	B 褐色森林土	B _A 乾性褐色森林土 (細粒状構造型)
		B _B 乾性褐色森林土 (粒状・堅果状構造型)
		B _C 弱乾性褐色森林土
		B _D 適潤性褐色森林土
		B _E 弱湿性褐色森林土
		B _F 湿性褐色森林土
		B _D (d) 適潤性褐色森林土 (偏乾亜型)
	d _B 暗色系褐色森林土	d _B D 適潤性暗色系褐色森林土
		d _B E 弱湿性暗色系褐色森林土
		d _B D(d) 適潤性暗色系褐色森林土 (偏乾亜型)
	r _B 赤色系褐色森林土	r _B A 乾性赤色系褐色森林土 (細粒状構造型)
		r _B B 乾性赤色系褐色森林土 (粒状・堅果状構造型)
		r _B C 弱乾性赤色系褐色森林土
		r _B D 適潤性赤色系褐色森林土
		r _B D(d) 適潤性赤色系褐色森林土 (偏乾亜型)
y _B 黄色系褐色森林土	y _B A 乾性黄色系褐色森林土 (細粒状構造型)	
	y _B B 乾性黄色系褐色森林土 (粒状・堅果状構造型)	
	y _B C 弱乾性黄色系褐色森林土	
	y _B D 適潤性黄色系褐色森林土	
	y _B E 弱湿性黄色系褐色森林土	
	y _B D(d) 適潤性黄色系褐色森林土 (偏乾亜型)	
g _B 表層グライ化褐色森林土	g _B B 乾性表層グライ化褐色森林土 (粒状・堅果状構造型)	
	g _B C 弱乾性表層グライ化褐色森林土	
	g _B D 適潤性表層グライ化褐色森林土	
	g _B E 弱湿性表層グライ化褐色森林土	
	g _B D(d) 適潤性表層グライ化褐色森林土 (偏乾亜型)	
RY 赤・黄色土	R 赤色土	R _A 乾性赤色土 (細粒状構造型)
		R _B 乾性赤色土 (粒状・堅果状構造型)
		R _C 弱乾性赤色土
		R _D 適潤性赤色土
		R _D (d) 適潤性赤色土 (偏乾亜型)

土 壤 群	亜 群	土 壤 型 ・ 亜 型		
Bl 黒 色 土	Y 黄色土	Y _A 乾性黄色土 (細粒状構造型) Y _B 乾性黄色土 (粒状・堅果状構造型) Y _C 弱乾性黄色土 Y _D 適潤性黄色土 Y _E 弱湿性黄色土 Y _D (d) 適潤性黄色土 (偏乾亜型)		
	gRY 表層グライ系赤・黄色土	gRY I 表層グライ化赤・黄色土 gRY II 弱表層グライ化赤・黄色土 gRYb I 表層グライ灰白化赤・黄色土 gRYb II 弱表層グライ灰白化赤・黄色土		
	Bl 黒色土	Bl _B 乾性黒色土 (粒状・堅果状構造型) Bl _C 弱乾性黒色土 Bl _D 適潤性黒色土 Bl _E 弱湿性黒色土 Bl _F 湿性黒色土 Bl _D (d) 適潤性黒色土 (偏乾亜型)		
	lBl 淡黒色土	lBl _B 乾性淡黒色土 (粒状・堅果状構造型) lBl _C 弱乾性淡黒色土 lBl _D 適潤性淡黒色土 lBl _E 弱湿性淡黒色土 lBl _F 湿性淡黒色土 lBl _D (d) 適潤性淡黒色土 (偏乾亜型)		
	DR 暗 赤 色 土	eDR 塩基系暗赤色土	eDR _A 乾性塩基系暗赤色土 (細粒状構造型) eDR _B 乾性塩基系暗赤色土 (粒状・堅果状構造型) eDR _C 弱乾性塩基系暗赤色土 eDR _D 適潤性塩基系暗赤色土 eDR _E 弱湿性塩基系暗赤色土 eDR _D (d) 適潤性塩基系暗赤色土 (偏乾亜型)	
		dDR 非塩基系暗赤色土	dDR _A 乾性非塩基系暗赤色土 (細粒状構造型) dDR _B 乾性非塩基系暗赤色土 (粒状・堅果状構造型) dDR _C 弱乾性非塩基系暗赤色土 dDR _D 適潤性非塩基系暗赤色土 dDR _E 弱湿性非塩基系暗赤色土 dDR _D (d) 適潤性非塩基系暗赤色土 (偏乾亜型)	
		vDR 火山系暗赤色土	vDR _A 乾性火山系暗赤色土 (細粒状構造型) vDR _B 乾性火山系暗赤色土 (粒状・堅果状構造型) vDR _C 弱乾性火山系暗赤色土 vDR _D 適潤性火山系暗赤色土 vDR _E 弱湿性火山系暗赤色土 vDR _D (d) 適潤性火山系暗赤色土 (偏乾亜型)	
		G グ ラ イ	G グ ラ イ	G グ ラ イ
			PsG 偽似グライ	PsG 偽似グライ
	PG グライポドゾル		PG グライポドゾル	
Pt 泥 炭 土	Pt 泥 炭 土	Pt 泥 炭 土		
	Mc 黒 泥 土	Mc 黒 泥 土		
	Pp 泥炭ポドゾル	Pp 泥炭ポドゾル		
Im 未 熟 土	Im 未 熟 土	Im 未 熟 土		
	Er 受 蝕 土	Er 受 蝕 土		

[参考] 土壌に関する資料

土壌に関する資料として、国有林の林野土壌調査及び民有林の適地適木調査等各種の土壌に関する調査報告書がある。

[参考] 主要な土壌型の特性

表－9 主要な土壌型の特性

土壌型	酸性	肥沃度	菌根菌糸の有無	透水性	浸透	出現場所	造林	治山上
B _A	強	せき悪	菌糸網層(M層)が見られることがある	不良または不透水	ほとんど流出	山の尾根部南西面の突出した斜面	不適當	はげ山化
B _B	強	せき悪	時々見られる	不良	吸収しにくい	急斜面上部のなだらかな山頂及びその付近	状態によりアカマツ、ヒノキあまりよくない	
B _C		あまり高くない		やや不良	やや不良	突出した小尾根、台地	アカマツ、ヒノキ	
B _D d		乏しい		やや良		斜面の中腹上部、台地	ヒノキ 状態によりスギ	せき悪化のおそれ
B _D 弱		肥沃		良好	良好	斜面の中腹広い平地	スギ、ヒノキ	
B _E		肥沃		良好	良好	斜面下部広い台地の内部	スギ良好	
B _F		肥沃		やや不良	やや不良	山脚部の平坦地 台地の中央部	スギ	
P _D	強	せき悪		不良		尾根、凸形地形、乾燥地	酸性の弱いものはヒノキ、カラマツが可能	
P _W	強	せき悪		不良		亜高山帯		
B _l		せき悪	B _{lA} に見られる	不良			崩積土は肥沃でヒノキ、カラマツ可能	
R				不良			マツはよいが、成長不良	侵食を受けやすい
G				不良		過湿地、排水不良地	不可	排水工が必要

4-3 現地調査

現地調査は、予備調査で整理した資料を基に、土壌型、分布等を現地で調査するものとする。

〔解説〕

現地調査は、山腹工、森林整備における土壌条件を明らかにするために、現地踏査、試掘及び試錐により、地形、植生との対応を調べて、土壌図を補足、修正するとともに、必要に応じて、検土杖により土壌の厚さを調査するものとする。

〔参考〕 植生導入等に必要な土壌の条件

植生導入、成長のために必要な土壌の条件は、

- 1 土壌が軟らかく、根が十分に伸長すること
- 2 十分な水分を根に供給すること
- 3 十分な空気を根に供給すること
- 4 十分な養分を根に供給すること

であり、水分と養分の供給に関しては以下の土壌型によってほぼ判定できる。

〔参考〕 堆積様式による区分

土壌は、基岩の風化や崩壊等によって生成され、これがその位置にとどまって堆積するもの〔定積土(残積土、有機土)〕と重力、流水等によって生成された場所から移動するもの〔転積土(崩積土、扇状堆土、水堆土、火山性土、風積土)〕とがあり、その区分は表-10 のようになる。

表-10 表土の堆積区分

定積土	残積土	表層は比較的細かで柔軟な土、下層は礫の多い土、その下に風化した、又は新鮮な基岩がでる。
	有機土	有機質に富む定積土（泥炭土など）
転積土	崩積土	岩屑、角礫が重力によって山麓等に半円錐形に堆積したもの
	扇状堆土	渓谷から平地に扇状に押出した岩屑、円礫等を主体とするもの
	水堆土	風化物が水によって運搬とうたされ沈積したもの
	火山性土	火山放出物、火山灰礫、火山泥流等
	風積土	砂丘等風によって堆積したもの

〔参考〕 土性による区分

土性は、主として手指による触感及び観察によって推定するが、砂及び粘土の含有量に基づいて各層ごとの土性を判定する。

土性の三角図表（国際土壌学会）により区分すると次のようになる。

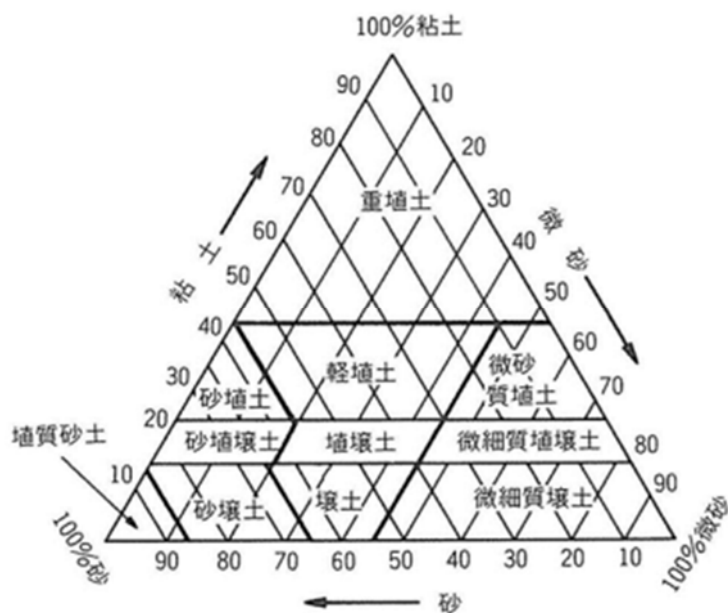


図-9 土性の三角図表

4-4 土壌断面調査

土壌断面調査は、詳細な資料を必要とする場合に、土壌断面、土壌の物理的、化学的特性を調査するものとする。

[解説]

- 1 土壌断面調査は、詳細な資料を必要とする場合に、代表的な箇所に調査孔を掘り、層位区分、土色、土壌構造、硬密度、水湿状態、土性などの形態的特徴を調べ、土壌型を判定する。
また、必要に応じて、土層の深さ 20cm ごとの各深度における土壌硬度を山中式土壌硬度計にて測定する。山中式土壌硬度計はバネの反発力を利用したもので、27mm 以上の堅い地盤には根系の侵入が妨げられる。
- 2 土壌断面調査では、必要に応じて、各層位から採土円筒で自然状態の土壌を採取して、室内試験により土壌の物理的特性を調べるものとする。採土円筒の試料を試験することにより、三相組成（自然状態における土壌の固相、液相、気相の容積割合）などが判る。
- 3 土壌断面調査では、必要に応じて、採取した土壌試料を分析することにより、土壌の化学的特性を調べるものとする。一般には、炭素及び窒素含有量、C-N率、pH及び置換酸度を調べるものとする。

[参考] 土壌の化学的特性

1 炭素及び窒素含有量

土壌中に腐植がどの程度含まれているかは土壌の炭素含有量で示され、土壌中の腐植含有量は近似的に炭素含有量を 1.724 倍した値で示される。

森林土壌では腐植含有量の相異は大きい、一般に表-11 のような値を示す場合が多い。

また、窒素含有量は炭素含有量と同様に土壌によって変化の幅が大きい、一般に表-11 のような値を示す場合が多い。

なお、普通の土壌では、C層やB層の下部の炭素及び窒素含有量を分析することは一般的ではない。

表-11 森林土壌の炭素、腐植、窒素含有量

層位	炭素含有量(%)	腐植含有量(%)	窒素含有量(%)
F	35~45	60~85	1.0~1.5
H	25~40	40~70	1.0~1.5
A	4~15 (多くは6~10)	7~25 (多くは10~18)	0.3~1.0
B	1~8 (多くは2~5)	2~13 (多くは3~9)	0.1~0.5

2 C-N率

腐植及び窒素は、植物の養分として重要であり、樹木の利用できる窒素の供給は落葉及び腐植の分解による供給が主要な部分を占めており、土壌中の窒素含有量は肥沃度を判断するために重要である。森林土壌において肥沃度を判断する場合には、落葉及び腐植の分解がよいか悪いかにかかっており有機物中の炭素と窒素の比率（「C-N率」という。）がどのような値を示すか重要な意味をもっている。

C-N率は、次式により算定される。

$$\frac{\text{炭素含有量 (\%)}}{\text{窒素含有量 (\%)}} = \text{C-N率}$$

なお、森林土壌におけるC-N率はA層の値が重要で、今までに調査された結果では表-12のとおりである。

表-12 森林土壌のC-N率

層位	C-N率
F	30~40
H	20~30
A	12~25

3 pH及び置換酸度

土壌中の植物の根は、すべて水に溶けている養分を利用しており、水を通じて重要な生理作用が行われている。したがって、これらの植物の生活の場としての土壌が、酸性、中性、アルカリ性の区分及びその強さの程度によって、生理作用に重大な影響をおよぼす。

また、土壌の酸性が強くなるにしたがって、土壌コロイドに吸着されている植物の養分である塩基イオンが水素イオンで置換されて流亡していく。

土壌の酸性は、活酸性（真酸性）と置換酸性（潜酸性）に分類され、前者は土壌溶液の酸性を示し、後者は土壌コロイド粒子に吸着されている水素イオンの酸性を示す。

土壌の活酸性を知るためには、土壌のpHの測定が行われる。

置換酸性を知るためには、溶液中に放出された水素イオンを定量して置換酸度を測定する。

4-5 取りまとめ

土壤調査の成果は、調査目的に応じて、事業対象地域の土壤が把握できるように取りまとめるものとする。

〔解説〕

土壤調査の結果は、調査目的に応じて図表等に整理するとともに、計画、設計の基礎資料となるように取りまとめるものとする。

第5節 林況・植生調査

5-1 総説

林況・植生調査は、事業対象地及びその周辺の林況、植生等の状況について把握し、計画、設計の基礎資料を得ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 山地の荒廃及び水、土砂の流出は、林況・植生と相関が大きく、この関係を明らかにすることは、事業の計画、設計に当たって重要である。
したがって、事業の目的に応じて、山腹斜面のみならず溪畔や溪流の中に進入している植生等の調査を必要な地域について実施する。
- 2 森林の賦存状況は、その地域の保全上に大きな関係があり、優良な森林は土壤条件も良く、水源かん養機能の高い地区である。一方、林相の悪いところは土壤条件も劣悪で保全上も注目すべきところである。
- 3 崩壊地周辺の森林、植生が果たしている役割等を調査し、その結果に基づき植生導入計画に当たっての樹種の選定、育成方法等を検討して、将来の合理的な流域管理を進めていくものである。
- 4 土石流に伴い発生する流木の対策・計画を検討するためには、流木の発生量や長さ、直径等を調査する必要がある。したがって、源頭部や溪流沿いの林況について調査を行う。
- 5 林況・植生調査の主な種類は次のとおりである。
 - (1) 予備調査
 - (2) 林相調査
 - (3) 森林調査
 - (4) 植物社会学的な植生調査
 - (5) 成長量調査

5-2 予備調査

予備調査は、資料調査等により、森林等の概況を調査するとともに、必要な調査を計画するものとする。

〔解説〕

森林関係の調査は、森林計画で十分な調査がなされているので、森林簿等の既存資料を基に行う。

調査事項は、調査の目的に応じて選択し実施する。

- 1 森林面積率
- 2 蓄積（単位面積当たりの材積）、樹高、胸高直径
- 3 林種、樹種、齢級

森林は、その取扱いによって人工林、天然林に分けられるが、樹種により針葉樹林、広葉樹林又はこの混交林及び竹林に区分される。

一般に、若齢級よりも壮齢級の森林の方が保全効果も高い傾向にある。

混交林の場合の混交歩合は、立木材積の100分比で表す。

4 樹冠疎密度

樹冠疎密度は、樹冠投影面積の占める比率で表し、5/10以下を疎、6/10～8/10を中、9/10以上を密として表す。

5 植生相、群落の種類

植生相、群落の種類は、植生図から現存植生等を調べるものとする。

5-3 林相調査

林相調査は、空中写真判読、現地踏査により、林相図を作成するために行うものとする。

[解説]

- 1 林相図は、森林の樹種、林齢、樹高、樹冠疎密度、樹冠の高さなど、適切な指標を基に、林相を区分したものである。
- 2 林相図は、調査地に対して、空中写真判読、現地踏査による確認を行い作成する。また、必要に応じて、既存資料を活用するものとする。

5-4 森林調査

森林調査は、森林整備等のために、立木の大きさ、成立本数等を定量的な尺度で調査するものとする。

[解説]

- 1 森林調査は、①対象地のすべての立木等を調査する毎木調査、②代表箇所に標準地を設けてその立木等を調査する標準地調査などの標本抽出調査に大別され、一般には標準地調査が多い。
- 2 森林調査は、森林を形成する立木の樹種、樹高、胸高直径（または根本径）、密度等を定量的に調査する。また、標準地調査では、必要に応じて、立木の位置、樹冠の大きさ等を記録して、立木断面図、樹冠投影図を作成し、樹冠疎密度等を求める。なお、山腹工施工地の効果調査など、草本群落に用いられる場合もある。
- 3 標準地調査の調査方法としては、面的な区画とする場合と、線的な区画とする場合がある。

(1) 面的調査法

一定面積の標準地を設けるコドラート法が広く活用されている。標準地の形は、区画や面積を求めるのに便利なため、正方形や長方形とする。

標準地の大きさの標準は次のとおりである。

草本 1.0m×1.0m～2.0m×2.0m

低木林 5.0m×5.0m～10.0m×10.0m

高木林 10.0m×10.0m～20.0m×20.0m

また、重ね枠法は、森林の階層別に、高木用（100 m²程度）、低木用（25 m²程度）、草本（1 m²程度）の3つを重ねて用いる方法である。

(2) 線的調査法

一本の線状または帯状の標準地を設けるライントランセクト法、ベルトトランセクト法が用いられる。地形等の変化による植生群落の違いを把握したい場合等に用いる。

- 4 森林調査では、必要に応じて、光環境を調べるために、相対照度、日射量を計測することがある。

[参考]

植生工実施後の成果を確認する場合の調査におけるコドラートの大きさは、実播工施工後、初期には10cm×10cm～1.0m×1.0m、施工後2～3年の草本類、低木林、高木林については解説3(1)のコドラートの大きさを参考とする。

5-5 植物社会学的な植生調査

植生調査は、植生の分類等のために、植物社会学的な観点から階層構造、植物種を定性的な尺度で記録するものとする。

[解説]

- 1 植物社会学的な観点からの植生調査は、植物相を代表していると考えられる箇所を調査地として設定して実施する。
- 2 調査地は、周辺に生育している植物の大半が出現する大きさをとる必要がある。
なお、調査対象箇所の面積を増やしながら出現種を記録していき、新しい種がほとんど記録されなくなった大きさの区画を調査地としてよい。
- 3 植生調査に当たっては、対象地の階層区分を行い、出現する植物種を記録する。一般的に階層は、①高木層、②亜高木層、③低木層、④草本層に区分する。
- 4 植生調査に当たっては、調査区における各階層の植被率を記録するとともに、ブロンーブランケ (Braun-Blanquet) による方法で、出現する植物の種の優占度、被度、群度等を記録する。
 - (1) 植被率：各階層における植物が地上を覆っている割合の尺度 (%)
 - (2) 被 度：ある植物が地表を覆う割合の尺度 (%)
 - (3) 優占度：ある植物の優占の程度
 - (4) 群 度：調査区内のある植物の群がりの度合いを示す尺度

表-13 優占度の判定基準

優占度 (記号)	判 定 基 準
r	孤立して生育
+	わずかな被度を持ち少数
1	個体数は多いが被度は低いか、または割合少数であるが被度は高い
2	非常に多数または被度10～25%
3	被度25～50%、個体数は任意
4	被度50～75%、個体数は任意
5	被度75～100%、個体数は任意

表-14 群度の判定基準

群 度	判 定 基 準
1	茎葉または幹が孤立し、はなればなれに生ずる
2	団状または束状に生育する
3	群をなして生育する (小斑状またはクッション状)
4	群生する。広い斑状または芝生状
5	大群生する

5-6 成長量調査

成長量調査は、樹木の成長量を、年輪の測定等により調査するものとする。

[解説]

成長量調査は、次のように年輪の測定を行なうことにより実施するものとする。

- 1 樹幹解析：樹木を伐採して、1～3mおきに円盤を採取し年輪幅を測定することにより、幹全体の成長量を把握できる。
- 2 成長錐による方法：成長錐を用いて幹から材片を抜き取り、年輪幅を測定することにより、幹の部分的な成長量を把握できる。

第6節 気象調査

6-1 総説

気象調査は、事業対象地及びその周辺における気象について把握し、計画、設計の基礎資料を得ることを目的とする。

[解説]

- 1 山地治山計画等に必要な気象調査は、事業対象地域全般の気象と、局地的な特定の気象条件に関する資料が必要である。
- 2 計画の基本的な考え方を決定するための検討資料として、事業対象地域の降水量の多少、雨雪の区分、異常気象の実態、雨量強度、最大積雪深、風速、風向、気温の極値等が必要である。
- 3 小区域における局地的な積雪、風、気温、地温、土壌凍結等は工事の施工と直接的に関わりを持つものである。
- 4 気象調査の主な種類は次のとおりである。
 - (1) 降水量の調査
 - (2) 気温の調査
 - (3) 風の調査
 - (4) 気象調査資料の補正
 - (5) 現地における気象調査

6-2 降水量の調査

降水量は、事業対象地内又は最寄り地上気象観測所等に設けられた観測施設の記録により調査を行うものとする。

[解説]

降水量は、調査時点以前のなるべく長期間の観測資料から年降水量、最大日雨量、最大24時間雨量、最大時雨量、連続降雨量、解析雨量、実効雨量、スネークライン図、土壌雨量指数、降雨時期及び降雪量等について調査するものとする。

- 1 年降水量
年降水量は、観測期間の最大、最小、平均値及び月別の平均降水量等について調査する。
- 2 最大日雨量・最大時雨量
最大日雨量（24時間雨量）・最大時雨量（1時間雨量）は、観測期間の最大、平均、標準偏差、歪係数及び超過確率について調査する。
- 3 連続降雨量

連続降雨量は、各年の過大な降雨（最大日雨量を含む連続降雨等）の降雨形態、降雨時期について調査する。

なお、降雨による斜面崩壊、土石流の発生等があった場合には、これに関わる降雨量を調査する。

4 解析雨量

気象レーダー、アメダス等の地上の雨量計を組み合わせて、1時間の降水量分布を1km四方の細かさで解析した降水量分布のこと。

5 実効雨量

これまでに降った雨が、時間の経過とともに浸透・流出することで変化する土中の水分に相当する量。土砂災害発生の指標として用いられている。

6 スネークライン図

縦軸を短期の降雨を表す指標の「60分間雨量」、横軸を長期の降雨を表す指標の「累加雨量指数」として、一定時間ごとにつないだ線のこと。この線は、その変化の様子が蛇の動きに似ていることから「スネークライン」と呼ばれている。

7 土壌雨量指数

土壌雨量指数は、降った雨が土壌中に水分量としてどれだけ溜まっているかを、タンクモデルを用いて数値化したもので、降った雨による土砂災害危険度の高まりを把握するための指標。各地の気象台が発表する大雨警報（土砂災害）や土砂災害警戒情報等の判断基準に用いられている。

8 積雪深等

積雪深等は、年最大積雪深、降雪の初・終日、根雪期間等について調査する。

6-3 気温の調査

気温は、事業対象地内又は最寄り地上気象観測所等に設けられた観測施設の記録によって調査を行うものとする。

[解説]

気温は、調査時点以前のなるべく長期間の観測資料によって、気温は最高、最低及び平均を土壌凍結は凍結深、凍結期間及び凍上深について調査する。

[参考] 温量指数

植物の生活作用が温度によって左右されることから、吉良は、積算温度を植物分布の制限要因として日本の森林帯を分類し、月平均気温5℃以上の各月の平均気温から5℃を引いた数字を加算したものを温量指数（暖かさの指数）とし、ついで月平均気温5℃以下の各月について平均気温と5℃との開きを合計したものを寒冷指数（寒さの指数）としている。

これによって、温量指数と気候帯、植物帯の関係を表-15のように区分している。

表-15 温量指数と気候帯、植物帯

温量指数	気候帯	森林帯	草地帯	
			採草地	放牧地
0	極帯	(氷雪)		
0~5	寒帯	ツンドラ帯		
15~(45~55)	亜寒帯	常緑針葉樹林帯	ササ型	ナガハグサ型
(45~55)~85	冷温帯	落葉広葉樹林帯	イワノガリヤス型	ウシノケクサ型
85~180	暖温帯	照葉樹林帯	ススキ型	シバ型
180~240	亜熱帯	亜熱帯降雨林帯	ススキネザサ型	ネザサ型
240以上	熱帯	熱帯降雨林		

注：植物帯は湿潤気候帯における配列を示す。

(吉田竜夫 1948)

[参考] 乾湿指数

通常、平地における気温は緯度に関連する。しかし、気温条件が同様であっても標高の差異による気圧、降雨、風、日照量、日照時間などの条件の相違によって植物の種類、分布状況が異なる。このような標高的な観点から気候帯、植物帯を気候の乾湿指数 (K) によって算出し、区分することも行われる。この指数は次式で表される。

温量指数が 100 以下のとき $K = \frac{P}{W+20} \dots\dots\dots (6.3.1)$

温量指数が 101 以上のとき $K = \frac{2P}{W+10} \dots\dots\dots (6.3.2)$

- W：温量指数
- K：乾湿指数
- P：年平均降水量

表-16 Kの値

0~3	過乾燥
3~5	乾燥
5~7	準乾燥
7~10	準湿潤
10~	湿潤

[参考] 凍結指数

凍結深を現地で調査できないときは、月別の0℃以下の平均気温とその継続期間の積の和 (凍結指数) を求め、次式により推定することができる。

$Z = C \sqrt{F} \dots\dots\dots (6.3.3)$

- Z：最大凍結深 (cm)
- C：常数 3~5 (日陰で風当たりの強い箇所は5)
- F：凍結指数 (0℃以下の気温とその継続期間の積の和)

[参考] 温雨図

気候区分を判定するためには温雨図を作成する。

温雨図は、方眼の横軸に月降水量、縦軸に月平均気温をとって月ごとに図示し、1月と8月を結ぶ線が横軸と交わる角度によって次のように区分する。

- <90° ……太平洋型
- >90° ……日本海型

6-4 風の調査

風向・風速は、事業対象地内又は最寄り地上気象観測所等に設けられた観測施設等の記録により、調査を行うものとする。

[解説]

風向・風速は、降水、気温とともに、植生の成立環境を支配するので、風向、最大風速等について気象資料によって把握し、植生導入における計画、設計に用いるものとする。

6-5 気象調査資料の補正

気象調査資料を補完、修正する必要がある場合には、統計的処理が可能な範囲において最も適切な方法により補正するものとする。

[解説]

計画、設計に必要な確率雨量等の算出に使用する流域平均降雨量は、算術平均法、ティーセン法、等雨量線法及び代表係数法等があり、一般には算術平均法又はティーセン法が用いられる。

1 算術平均法

この方法は、各雨量観測所の観測値を単純平均する方法である。

流域内に雨量観測所が一様で密に分布していて、各観測値と平均値との差が余り大きくなければ精度も比較的高い。

しかし、降雨に対する地形の影響が大きい山地等で、観測所数が少ない場合にはこの方法による値は大きな誤差を生ずるおそれがある。

算定式は次のとおりである。

$$r = \frac{r_1 + r_2 + \dots + r_N}{N} \dots\dots\dots (6.5.1)$$

r : 平均雨量

$r_1 + r_2 + \dots + r_N$: 各雨量観測所における降雨量

N : 雨量観測所数

2 ティーセン法

ティーセン法は、各観測所の支配面積に相当する重みを降雨量につけて平均雨量を計算する方法である。この場合でも、地形による降雨の影響の強い流域では、それを考慮して観測所が配置されているのでなければ誤差を生ずることがある。算定式は次のとおりである。

$$r = \frac{\alpha_1 r_1 + \alpha_2 r_2 + \dots + \alpha_N r_N}{A} \dots\dots\dots (6.5.2)$$

g_r : 平均雨量

$\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_N$: 地図内各雨量観測所を記入し、これらを結ぶ直線の垂直二等分線によって各観測所の周りに作られた多角形の面積

A : 全流域面積

N : 雨量観測所数

$r_1, r_2 \dots r_N$: 各雨量観測所の降雨量

[参考] 欠測等の補足

現在の気候統計値を取り扱う場合、観測所ごとに観測期間が異なっていることがある。このような場合の補足方法の例を示すと以下のとおりである。

1 統計期間が不足している場合

A地点では対象期間 30 年（例えば 1969～1998 年）の全観測値がそろっているが、近接した B 地点ではそのうち 15 年間だけの観測値があったとする。このようなとき B 地点の 15 年間の観測値からその地点の 30 年間の平均値を推定するには次の方法による。

A地点の 30 年間平均値を t_A 、B地点の 15 年間平均値 t'_B とする。

B地点で観測が行われていた 15 年間の A地点における平均値を算出し、これを t'_A とすれば、B地点における 30 年間の推定平均値 t_B は次式で求められるが、気温と降水量では式が異なる。

気温の場合 : $t_{Br} = t_{Ar} + (t'_{Br} - t'_{Ar}) \dots\dots\dots (6.5.3)$

降水量の場合 : $t_{BR} = t_{AR} \times \frac{t'_{BR}}{t'_{AR}} \dots\dots\dots (6.5.4)$

両式を変形すると、 $t_{BR} - t_{AR} = t'_{BR} - t'_{AR}$ 並びに $t_{Br} \cdot t'_{Ar} = t_{Ar} \cdot t'_{Br}$ が得られる。

このことは、「近接した地点間の平均気温の差は、統計期間が違っても等しい」及び「近接した 2 地点間の降水量の比は統計期間が異なっても等しい」ことを意味している。

2 観測期間が異なる場合

例えば、C地点はA地点の近傍にあり、1931～1960 年の観測値があったとする。この場合 C地点の 1951～1980 年間の平均値を推定するには、上記 1 と同様次のようにする。

A地点の 1951～1980 年間及び 1931～1960 年間の平均値を m_A 及び m'_A とする。

また、C地点の 1931～1960 年間の平均値を m'_C 、1951～1980 年間の推定平均値を m_C とすれば、

気温の場合 : $m_{Cr} = m_{Ar} + (m'_{Cr} - m'_{Ar}) \dots\dots\dots (6.5.5)$

降水量の場合 : $m_{CR} = m_{AR} \times \frac{m'_{CR}}{m'_{AR}} \dots\dots\dots (6.5.6)$

となる。

このように、統計期間が異なっても、近接したところに完全にしかもある期間同時に観測が行われていたような地点があれば、それら不完全地点の統計値を補正することが可能である。基準となる地点と補正を受ける地点との間の観測期間のかさなりは、統計期間の 2 分の 1、すなわち統計期間が 30 年であれば 15 年は必要である。やむを得ない場合

でも3分の1が最低であり、それ以下なら参考資料にとどめるべきである。

[参考] 山地における降雨量、気温の補正

- 1 降雨量は、一般に山地の方が平地より多い。特に、流域内における山地地域の比率が高ければ、平地の観測記録だけでは相当大きな誤差を生じるおそれがある。そのために、山地に降雨量観測所がない場合には、必要に応じて平地の観測値の補正を行って山地における降雨量とすることができる。
- 2 気温は、一般に標高が高くなるにつれて下がることから、 $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度の補正を行うことが望ましい。

6-6 現地における気象調査

既往の観測資料が得られない場合、既存資料では現地への適合性が著しく低い場合又は特定の気象要素を把握する必要がある場合等には、必要に応じて新たに現地で気象調査を実施するものとする。

[解説]

広域的な調査にあつては既存資料の検討で十分であるが、計画地と観測所が著しく離れている場合又は極く狭い地域の資料が必要な場合等にあつては現地で気象観測を行う必要がある。特に山地上流域は、地形の影響により平野部とは気象条件が異なる場合があるため、可能な範囲で現地観測を行うことが望ましい。

調査する気象要素としては、降雨量、気温、積雪深、積雪密度、風向・風速等があり、観測方法、期間等はそれぞれの目的によって、適切なものを選択する。

6-7 取りまとめ

気象調査の成果は、調査目的に応じて、事業対象地の気象が把握できるように取りまとめるものとする。

[解説]

気象調査の結果は、調査目的に応じて図表等に整理するとともに、計画、設計の基礎資料となるように取りまとめるものとする。

第7節 水文調査

7-1 総説

水文調査は、事業対象流域の水文量を把握し、事業の計画、設計に必要な基礎資料を得るものとする。

[解説]

- 1 水文事象は、自然の物理法則にしたがって生起するものであるが、その特性を明らかにするためには、物理法則のほかに統計的法則を利用して分析を行い、水文量の時間的・空間的分布とその変化について解析する必要がある。
- 2 水文量は、地域において統一的数値を定めている場合にはそれによることができる。
- 3 水文調査の標準的な種類は次のとおりである。
 - (1) 水文資料の選定及び収集整理
 - (2) 水文量の生起確率の解析
 - (3) 流出解析

- (4) 洪水流出量の計算
- (5) 流量調査

7-2 水文資料の選定及び収集整理

- 1 水文学解析の基となる水文資料は、その目的、方法等を考慮して選定するものとする。
- 2 収集した水文資料については、観測及び記録上の誤りの存否を調査し、欠測値の補充等、資料の補正を行うものとする。

〔解説〕

- 1 水文資料は、長年にわたる過去の実績が重要である。しかし、事業対象流域の水文資料については、十分でないことが多いので、その際は、他の機関で管理している記録資料によって補わなければならない。
- 2 水文資料の選定に当たっては、観測地点、観測時期等が利用目的を満たしていること、記録資料が偏ったものでなく必要な精度をもっていること等を検討し、必要に応じ観測方法、地点周辺の環境状態とその変遷について調査しておく必要がある。
- 3 欠測値の補充は、対象としている資料と相関性のある他の水文要素の記録や、近傍地点の同種の記録資料を用いて、欠測部分に対応する関連要素から求めるものとする。
一般に、対象流域及び近傍流域の観測記録を調べ、解析対象観測所間のすべての組合せについて単相関解析を行い、相関の最もよい観測所間で欠測値を推定する。なお、資料の数の少ないものから得られたものである場合、その採用にあたっては十分な検討が必要である。

7-3 水文学量の生起確率の解析

水文学量の生起確率に関する解析は、適切な方法で検討を行うものとする。

〔解説〕

- 1 水文学量の生起確率に関する解析は、一般に次の項目について検討を行うものとする。
 - (1) 解析試料の抽出
 - (2) 適用分布形の選定
 - (3) 欠測値及び異常値の棄却に関する検討
 - (4) 再現期間の推定
- 2 水文学量の生起確率の推定に関する解析を行うに当たっては、次の諸点に留意する必要がある。
 - (1) 生起確率に関する解析計算に用いる試料は、解析の前提条件として独立性、不偏性等質性を満足するものでなければならない。
また、この試料は、同一の環境条件のもとで生起したと見なせる水文学量の集団から無作為に取り出されたと見なせるものでなければならない。この試料抽出に当たって注意しなければならない点は以下のとおりである。
 - ① 周期性、持続性を持たないような試料抽出を行うこと。
 - ② 傾向変化のない試料抽出を行うこと。
 - ③ 年最大値試料を抽出する場合、解析の目的に応じ対象の季節を限定して、例えば、洪水期に限定して取り扱うことが望ましい場合がある。
 - (2) 水文要素の確率解析では、同じ資料から採られたものでも、期間の取り方、期間の長さによって解析結果がかなり大きく変動することがある。解析結果の値の信頼度を高めるためには、できるだけ長期間の資料をそろえる必要がある。
- 3 確率解析におけるデータの棄却検定法としては、棄却限界法を応用した角屋の方法、

Beardの方法（アメリカ）、Nashの方法（イギリス）がある。

なお、これらの検定法は十分考慮のうえ適用する必要があり、資料年数が少ない場合（例えば30年以下）については、実際面で適用しないことが望ましい。

7-3-1 再現期間及び確率水文量

事業計画の規模を決定するために必要とする水文量の特定値に対応する再現期間は、その水文量の生起度数を基にして決定するものとする。

〔解説〕

1 確率年の算定は次の算式により求めるものとする。

$$T=1/m \cdot P(X_u) \quad \text{又は} \quad T=1/m \cdot F(X_\alpha)$$

T：水文量の特定値 X_u 、 X_α にそれぞれ対応する再現期間

$P(X_u)$ ：水文量が X_u に等しいか、それを超える値が生起する確率

$F(X_\alpha)$ ：水文量が X_α に等しいか、それを超えない値が生起する確率

m：算定に用いた試料の年間平均生起回数

確率年を指定したとき、それぞれに対応する水文量の値（ X_u 又は X_α ）をT年確率水文量という。

2 t年間の資料の中から抽出した資料の大きさをN（個）とする水文量の年間生起度数は、年平均抽出資料数に相当し、 $m=N/t$ である。

3 この式は、水文量が X_u と等しいか、それを超える値が生起することが平均的にT年に1回（ $m=1$ の場合にはT年に1回）の割合で起きること又は X_α と等しいかそれを超えない値が生起することがT年に1回の割合で起きることが期待されることを意味している。

ここで、水文量のある大きさxの値に対応する $P(x)$ 又は $F(x)$ の値が推定できれば、この式によってxの値に対する確率年（ T =リターンピリオド又は再現期間ともいう）が算出され、また、逆に確率年 T を指定すれば、本文の式によって $P(x)$ 又は $F(x)$ の値が求まり、これに対応する水文量（ $x=T$ 年確率水文量）を算出することができる。

7-3-2 確率水文量計算

水文量の生起確率に関する推定は、適切な分布関数式を用いて行うものとする。

〔解説〕

1 水文量の生起確率に関する推定を解析的に行う場合には、次の手順にしたがって行うものとする。

(1) 分布関数式を選定する。

(2) 試料を基に関数式の諸係数を求める。

(3) 再現期間に対応する確率水文量を求める。

2 水文量の確率計算において用いられる代表的なものとして、対数正規分布、対数ピアソンⅢ型分布、対数極値分布（最大値分布及び最小値分布）及び指数分布等がある。分布関数形の選定に当たっては、理論的又は経験的に適合するものであることを確かめたうえで適用する。

3 治山事業に使用されている計算法は、直接解法と近似解法が多用されている。

4 確率水文量の算出に当たっては、治山施設の重要性、目的等に応じて生起確率の計算を行うものとする。

[参考] 確率水文学量の計算方法

日雨量を例にとって、計算方法を示すと次のとおりである。

1 直接解法 (ピアソンⅢ型分布)

$$(1) \bar{P} = \frac{\sum P_i}{N}$$

\bar{P} : 観測期間内最大日雨量の平均値 (mm)

P_i : 各年の最大日雨量 (mm)

N : 観測期間

$$(2) C_V = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \bar{P})^2}{N-1}}$$

C_V : 標準偏差

$$(3) C_s = \frac{\sum (P_i - \bar{P})^3}{(N-1)(C_V)^3}$$

C_s : 歪係数

$$(4) \hat{C}_s = C_s \left(1 + \frac{8.5}{N}\right)$$

\hat{C}_s : 母集団の歪係数

(5) \hat{C}_s に対応する規準確率変量(K_T)を表-17から求め、 C_V を乗じ \bar{P} を加えれば、それぞれの超過確率日雨量(P_T)が求められる。

$$P_T = K_T \times C_V + \bar{P}$$

この場合モード日雨量 P_M は、 $P_M = \bar{P} - \frac{\hat{C}_s \cdot C_V}{2}$ で求められる。

表-17 ピアソンⅢ型より求められた規準確率変量 (K_T)

歪係数	確 率 年 (T)							
	2	5	10	20	30	50	100	200
	超 過 確 率 (1/T%)							
	50	20	10	5	3.33	2	1	0.5
3.0	-0.40	0.42	1.18	2.02	2.55	3.15	4.02	4.97
2.8	-0.38	0.47	1.20	2.02	2.54	3.11	3.95	4.85
2.6	-0.37	0.51	1.23	2.01	2.52	3.07	3.87	4.72
2.4	-0.35	0.54	1.25	2.01	2.50	3.02	3.78	4.58
2.2	-0.33	0.58	1.28	2.01	2.47	2.97	3.70	4.44
2.0	-0.31	0.61	1.30	2.00	2.44	2.91	3.60	4.30
1.8	-0.28	0.64	1.32	1.98	2.40	2.85	3.50	4.15
1.6	-0.25	0.68	1.33	1.96	2.36	2.78	3.40	3.99
1.4	-0.22	0.71	1.34	1.93	2.32	2.71	3.28	3.83
1.2	-0.19	0.74	1.35	1.90	2.27	2.63	3.15	3.66
1.0	-0.16	0.76	1.34	1.87	2.21	2.54	3.03	3.49
0.8	-0.13	0.78	1.34	1.83	2.15	2.45	2.90	3.31
0.6	-0.09	0.80	1.33	1.79	2.08	2.36	2.77	3.13
0.4	-0.06	0.82	1.32	1.74	2.01	2.26	2.62	2.95
0.2	-0.03	0.83	1.30	1.69	1.94	2.16	2.48	2.76
0.0	0.00	0.84	1.28	1.64	1.83	2.05	2.33	2.58
-0.2	0.03	0.85	1.25	1.58	1.78	1.95	2.18	2.39
-0.4	0.06	0.85	1.22	1.51	1.69	1.83	2.03	2.20
-0.8	0.13	0.86	1.16	1.38	1.51	1.61	1.74	1.84
-1.0	0.16	0.86	1.12	1.31	1.42	1.49	1.59	1.66
-1.2	0.19	0.85	1.08	1.25	1.32	1.38	1.45	1.50
-1.4	0.22	0.84	1.05	1.18	1.23	1.27	1.32	1.35
-1.6	0.25	0.82	0.99	1.10	1.14	1.17	1.20	1.22
-1.8	0.28	0.80	0.95	1.03	1.05	1.07	1.09	1.10

2 近似解法 (対数正規分布)

密度曲線の変量を対数に置換したとすると、一応正規分布に近似すると考えられるので、各超過確率の逆数つまり再現期間 (リターンピリオド) に対応する規準確率変量を求めて、資料からの標準偏差 C_v を乗じ、平均値 \bar{P} を加えて超過確率日雨量が求められる。

(1) $\bar{P} = \frac{\sum P_i}{N-1}$ 1 の (1) と同じ

(2) $C_v = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \bar{P})^2}{N-1}}$ 1 の (2) と同じ

(3) ガンベル・チョー式

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \log_e \left(\log_e \frac{T}{T-1} \right) \right\}$$

K_T : 規準確率変量 (表-18による)

π : 円周率

e : 自然対数の底

T : 再現期間 (年)

表-18 規準確率変量の近似値 (K_T)

確率年 (T)	2	5	10	20	30	50	100	200
超過確率 ($1/T$)	50	20	10	5	3.33	2	1	0.5
規準確率変量	-0.164	0.720	1.304	1.867	2.189	2.592	3.137	3.683

[注] ガンベル・チョーの方法は、ピアソンⅢ型の歪係数 1.14 の場合の計算値が求められる。

したがって、日本の場合は種々の歪係数の地帯があるので、この方法を採用する場合は注意を要する。

$$(4) P_T = \bar{P} + K_T C_V$$

P_T : T 年の確率最大日雨量 (mm)

7-4 流出解析

流出解析は、調査目的に見合った適切な方法で実施するものとする。

[解説]

- 1 流出解析は、通常、高水時と低水時の流出メカニズムが異なることから、①時間単位以下の流量を洪水時に限定して取り扱う洪水流出解析、②日単位以上の流量を長期間に亘って取り扱う長期流出解析とに大別される。
- 2 流出解析を実施するに当たっては、適切な観測資料を利用するとともに、流域特性について調査を行うものとする。

7-4-1 資料調査

資料調査は、事業対象流域内の観測所の雨量、水位、流量等の記録及び流域特性を調査するものとする。

[解説]

- 1 雨量は、当該流域及びその近傍流域において得られるすべての雨量資料を、降雨原因を含めて調査する。
- 2 流量は、流量の測定場所、方法を明示し、現地で計測を行なった場合は、その方法を具体的に記入しておく必要がある。
- 3 洪水流出解析を行う場合は、必要に応じて、洪水痕跡から対象とする洪水の最大洪水流量を求めるものとする。
- 4 流域の形状及び土地利用状況等について調査し、流出計算に必要な特性を把握するものとする。

7-4-2 洪水流出解析

洪水流出解析は、資料を調査対象洪水ごとに整理して解析するものとする。

〔解説〕

- 1 洪水流出解析は、洪水時の流出量の計算を適切な方法で行う等の目的で、雨量、融雪量と流出量の関係を把握し、流出計算モデル、パラメータの適合性を検討する。
- 2 計算モデルにより過去の洪水を再現し、洪水痕跡との差異から、計算モデルの適合性を検討するとともに、洪水時の土砂等の混入率等を推定することがある。

7-4-3 長期流出解析

長期流出解析は、資料を一定期間ごとに整理して、解析するものとする。

〔解説〕

- 1 長期流出解析は、降水量と蒸発散量の関係、低水流量など、流域の流況、水収支を把握するために、一定期間の降水量と流出量の関係等を解析する。
- 2 解析にあたっては、一般に、流量(m³/s)から算出した1時間または1日に流出した流出量を流域面積で除して流量高(mm/hr、mm/day)に変換して整理する。
- 3 水収支を把握するには、季節変動を考慮して低水位期を区切りとする1年間(1水文年)を単位として解析することが望ましい。

7-5 洪水流出量の計算

洪水時の流出量は、適切な計算モデルによって推定するものとする。

〔解説〕

- 1 洪水時に降水量から流出量を計算する流出計算モデルには、合理式、単位図法、貯留関数法など、多くのタイプが提案されている。
- 2 合理式法(ラショナル法)は、最大洪水流量(流出量のピーク値)を推算する簡便法であり、比較的小さい流域を対象とする場合に適合性がよい。治山事業において最大洪水流量を求める場合は、原則として、合理式によるものとする。なお、流域面積が大きい場合または流出量の時間変化(ハイドログラフ)も必要な場合には流域の状況によって単位図法、貯留関数法等を用いることが適当である。
- 3 合理式法は、貯留現象を考慮する必要のない流域の最大洪水流量を算定する場合に適用し、次式で算出する。なお、雨量強度は、原則として、100年確率の値を用いるものとするが、100年確率の雨量強度を超える現象が認められた場合は、当該現象における雨量強度等を用いることができる。

$$Q=1/360 \cdot f \cdot r \cdot A \cdots \cdots (7.5.1)$$

Q: 最大洪水流量 (m³/s)

f: 流出係数

r: 洪水到達時間内の雨量強度 (mm/h)

A: 集水面積 (ha)

- 4 合理式は、次の仮定の上に作成されたものであるため、適用に当たっては、これらの仮定に留意しなければならない。
 - (1) ある降雨強度の降雨による流出量は、その強度の降雨が、到達時間かそれ以上の時間継続するとき最大となる。

- (2) 降雨の継続時間が到達時間に等しいか、それ以上長いある強度の降雨による最大流出量は、その降雨強度と直線関係がある。
- (3) 最大流出量の生起確率は、与えられた到達時間に対する降雨強度の生起確率に等しい。
- (4) 流出係数は、与えられた流域に降るすべての降雨及びどの確率の降雨に対しても同じである。
- (5) 一般に流域面積が大きくなると貯留効果が大きくなり、合理式の線型仮定が成立しなくなるので注意しなければならない。

[参考] 流出係数 (f)

合理式の流出係数 (f) は、一定期間の降雨に対するピーク流出時の流出の率を示したもので、流域の地質、植生、地形、土地利用状況等を勘案して決定する必要がある。

流出係数は、合理式を用いるに当たって最も決定が困難な要素であり、いろいろな値が提案されている。

荒廃が進んだ流域に溪間工を設置する場合は、ピーク流量が大きいことから 0.7 以上をとることが望ましい。

表-19 自然状態での流出係数 f_1

地質及び地形		浸透能不良母材			浸透能普通母材			浸透能良好母材		
		急峻	斜面	平地	急峻	斜面	平地	急峻	斜面	平地
f_1	森 林	0.65	0.55	0.45	0.55	0.45	0.35	0.45	0.35	0.25
	疎 林 耕 地	0.75	0.65	0.55	0.65	0.55	0.45	0.55	0.45	0.35
	草 地	0.85	0.75	0.65	0.75	0.65	0.55	0.65	0.55	0.45
	不 毛 岩 石 地	0.90	0.80	0.70	0.80	0.70	0.60	0.70	0.60	0.50

[注] 1 大面積に対して、それぞれの占有面積に対する割合を求め、それぞれ

表-19の値を乗じて集計してそれを100で除し代表的流出係数とする。

2 表-19における地質の区分は、概ね次のとおりとする。

- (1) 浸透能不良母材とは、流域全体を考慮して、例えば、基岩が現れているものや、粘性土で浸透能が不良と思われるもの。
- (2) 浸透能良好母材とは、砂質土、火山性堆積物など、空隙の多い土壌をいう。

(出典) 山口伊佐夫：治山設計、農林出版、p53、昭和54年

森林土木ハンドブック 第7版、p744、平成17年

表-20 開発地域の流出係数 f_2

開発地域	都市地区	住宅地区	舗装道路	砂利道路	庭園芝生	樹 林	運動場公園
f_2	0.90~	0.70~	0.85~	0.60~0.75	0.45~0.55	0.35~0.40	0.55~
	0.95	0.80	0.98				0.65

[参考] 洪水到達時間 (t)

合理式に用いられる洪水到達時間 (t) は、流域の最遠点に降った雨がその流域の出口に達するまでに要する時間として定義される。

この時間は、通常、降雨が流路に入るまでの時間 (流入時間) と流路の中を下流端に達す

るまでに要する時間（流下時間）の和として求められる。

洪水到達時間(t) = 流入時間(t₁) + 流下時間(t₂)

1 流入時間(t₁)

流入時間は、流路に達するまでの斜面の形状や面積の大小、地表面、勾配、地被状態、流下距離、降雨強度など多くの要素に支配される。治山事業の計画、設計には、経験的な値か次のカーベイ式で求めた値を用いる。

$$t_1 = (2/3 \times 3.28 \times (L_1 \times nd) / \sqrt{S})^{0.467} \dots\dots\dots (7.5.2)$$

t₁ : 山腹流下時間 (min)

3.28 : メートルをフィートに換算する係数

L₁ : 流域内最遠点から流路に到達するまでの距離 (m)

S : 平均勾配 (S = H/L₁)

H : 標高差 (m)

nd : 遅滞係数 (表-21 参照)

表-21 遅滞係数 (nd)

地 被 状 態	n d
不透水面	0.02
よく締まった裸地 (なめらか)	0.10
裸地 (普通の粗さ)	0.20
粗草地及び耕地	0.20
牧草地または普通の草地	0.40
森林 (落葉林)	0.60
森林 (落葉林、落葉等堆積地)	0.80
森林 (針葉樹林)	0.80
密 草 地	0.80

2 流下時間 (t₂)

雨水が流路上流端に流入し、流量算出地点まで達するに要する時間が流下時間である。

流下時間を求めるには次の式がある。

(1) マニング式

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots (7.5.3)$$

Manning式により求められた平均流速を用いることで、流下時間を算出することができる。

$$t_2 = L_2 / (V \times 60)$$

V : 流速 (m/s)

t₂ : 流下時間 (min)

R : 径深 (m)

I : 水面勾配

n : マニングの粗度係数

L₂ : 流路延長 (m)

(2) ルチハ式

$$t_2 = \frac{L_2}{72 \left(\frac{H}{L_2} \right)^{0.6}} \text{ (hr)}$$

L_2 : 流路延長 (km)

H : 流路の標高差 (km)

(3) クラーヘン式 (自然流域において用いられる)

$$t_2 = \frac{L_2}{W}$$

L_2 : 流路延長 (m)

W : 洪水流出速度 (表-22 参照)

I : 流路勾配

表-22 洪水流出速度 (W)

I	1/100以上	1/100~1/200	1/200以下
W (m/s)	3.5	3.0	2.5

[参考] 雨量強度 (r)

合理式法の雨量強度 (r) の算定に用いる降雨強度は、各地での降雨量の実測値を統計処理して作成された確率降雨強度式により求める。なお、汎用的に用いられている雨量強度の算出法として特性係数法がある。

[参考] 特性係数法による雨量強度の算出

1 降雨強度式

岩井・石黒によると、降雨継続時間に対する雨量強度を求める降雨強度式のタイプは、地域特性に応じて、次のように整理される (図-10)。

タルボット型 : $r = \frac{a}{t+b}$ (7.5.4)

シャーマン型 : $r = \frac{a}{t^n}$ (7.5.5)

久野・石黒型 : $r = \frac{a}{\sqrt{t+b}}$ (7.5.6)

君島型 : $r = \frac{a}{t^n + b}$ (7.5.7)

r : 降雨強度 (mm/h)

t : 降雨継続時間 (min)

a、b、n : 地域ごとの降雨分布の特性を示す常数

2 特性係数法

岩井・石黒は、N年確率の降雨強度を次式で表し、特性係数とN年確率の1時間雨量から、降雨強度 (r) が求められるとした (特性係数法)。

$$r_N = \beta_N \cdot R_N \text{ (7.5.8)}$$

r : 降雨強度 (mm/h)
 β : 特性係数
 R : 1時間雨量 (mm)
 N : 確率 N 年を表す添字

たとえば、 r_N は N 年確率降雨強度を表す

また、 $t=60\text{min}$ のとき、 $\beta_N=1.0$ であることから、各タイプの降雨強度式は、下記のとおり表される。

$$\text{タルボット型} : r_N^t = \frac{a'}{t+b} \cdot R_N \cdots \cdots (7.5.9)$$

$$\text{シャーマン型} : r_N^t = \frac{a'}{t^n} \cdot R_N \cdots \cdots (7.5.10)$$

$$\text{久野・石黒型} : r_N^t = \frac{a'}{\sqrt{t} \pm b} \cdot R_N \cdots \cdots (7.5.11)$$

$$\text{君島型} : r_N^t = \frac{a'}{t^n + b} \cdot R_N \cdots \cdots (7.5.12)$$

t : 洪水到達時間 (min)

さらに、上式の a 、 b 、 n は、 $t=60\text{min}$ のとき $\beta_N=1.0$ という条件から、次式により算出される。

$$\text{タルボット型} : a' = b + 60, \quad b = \frac{60 - \beta_{Nt} \cdot t}{\beta_{Nt} - 1} \cdots \cdots (7.5.13)$$

$$\text{シャーマン型} : \log a' = \frac{\log \beta_{Nt} \cdot \log 60}{\log 60 - \log t}, \quad n = \frac{\log a'}{\log 60} \cdots \cdots (7.5.14)$$

$$\text{久野・石黒型} : a' = \sqrt{60} \pm b, \quad b = \frac{\sqrt{60} - \beta_{Nt} \cdot \sqrt{t}}{\beta_{Nt} - 1} \cdots \cdots (7.5.15)$$

β_{Nt} : t 分間特性係数值

なお、 t 分間特性係数值は、同一確率年における 1 時間 (60 分) 降雨強度に対する t 分降雨強度の比である。

$$\beta_{Nt} = \frac{r_N^t}{r_N^{60}}$$

以上の関係式を用いることにより、次のとおり降雨強度が求められる。

- (1) 特性係数值の算出 : 1 時間降雨強度と任意の t 分間降雨強度 (例えば 10 分間) から t 分間特性係数值を算出する。
- (2) a 、 b 、 n の算出 : t 分間特性係数值を代入して算出する。
- (3) 降雨強度の算出 : (7.5.9式) から (7.5.12式) において、洪水到達時間に対応する特性係数を算出し、特性係数に 1 時間雨量を乗じて、降雨強度を求める。その際、今後の気象変動の影響を考慮してもよい。

3 特性係数法の簡便化

岩井・石黒は、全国 148 点の観測資料を収集、解析して、1 時間降雨強度と 10 分間特性係数値の分布図を求めており、これらにより簡便に、任意地点の降雨強度が求まる。

(出典) 岩井重久・石黒政儀：応用水文統計学、森北出版、昭和 45 年

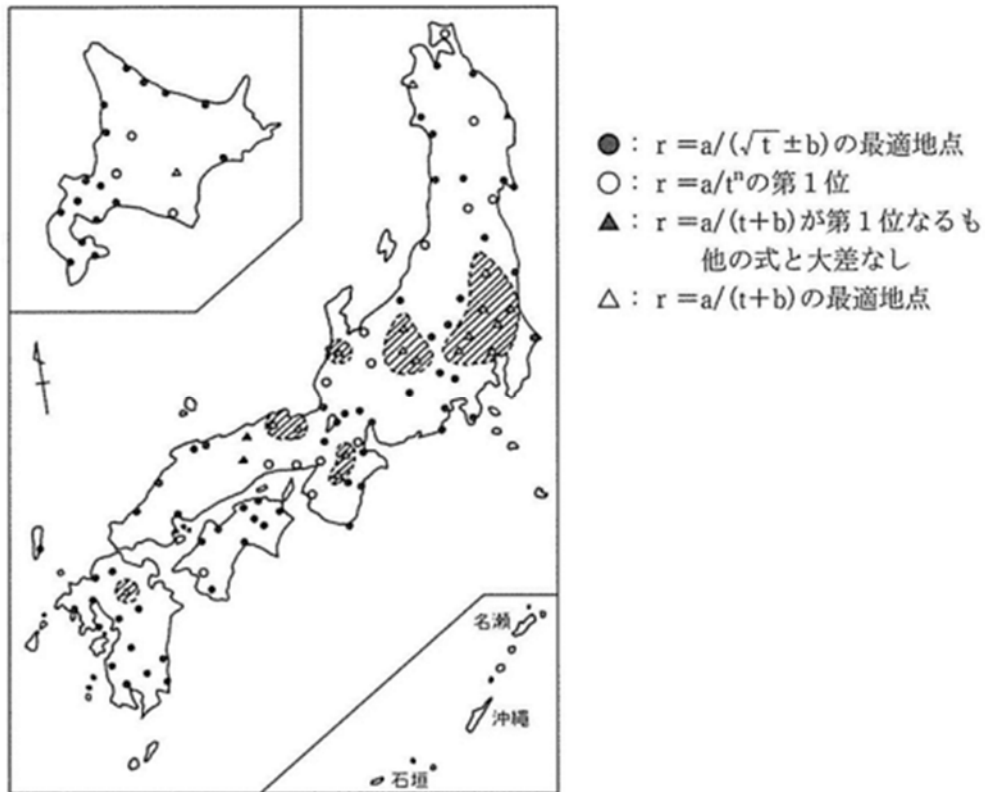


図-10 降雨強度式の適合度検定分布図

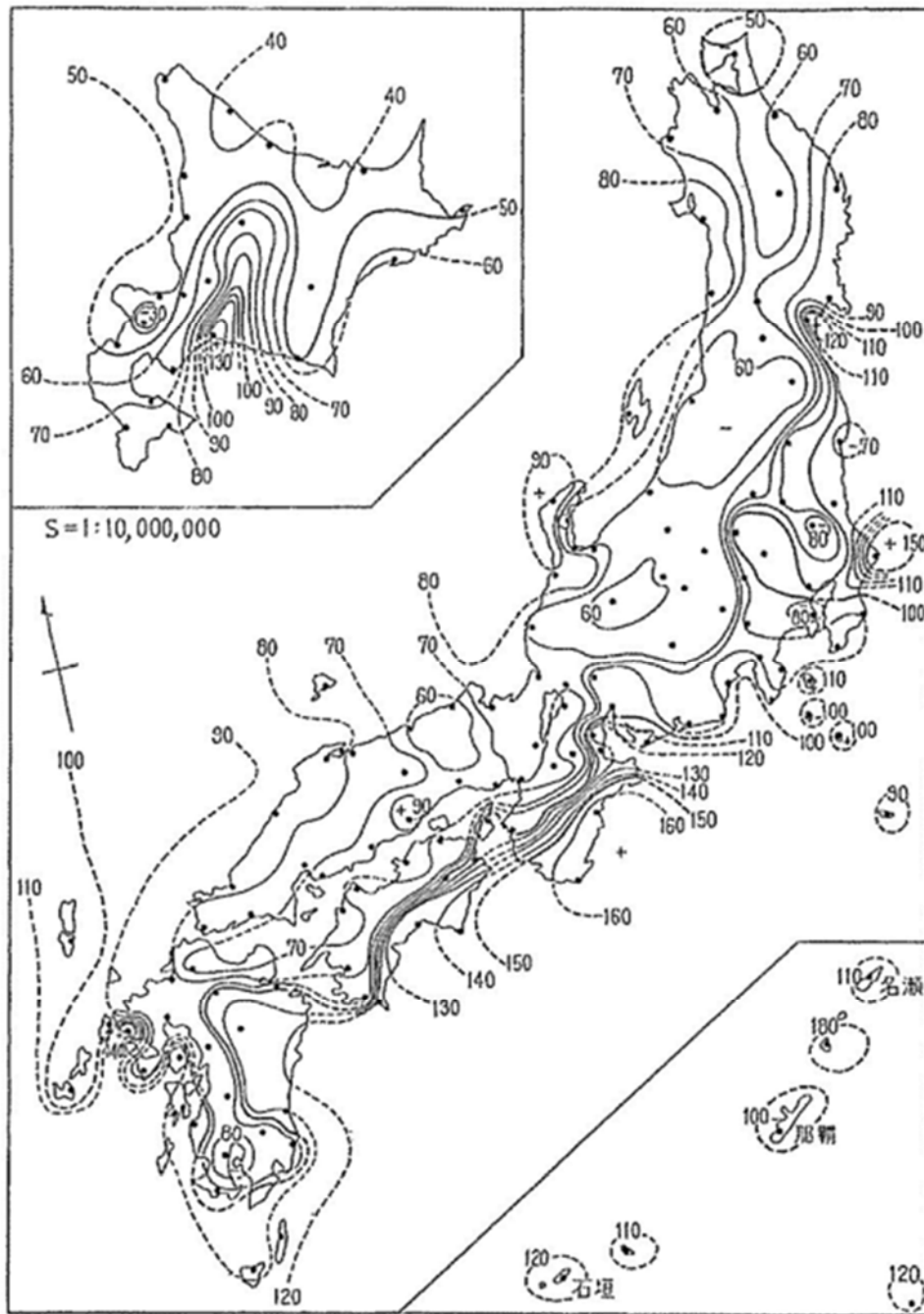


図-11 100年確率時間雨量R100の分布図（単位：mm）

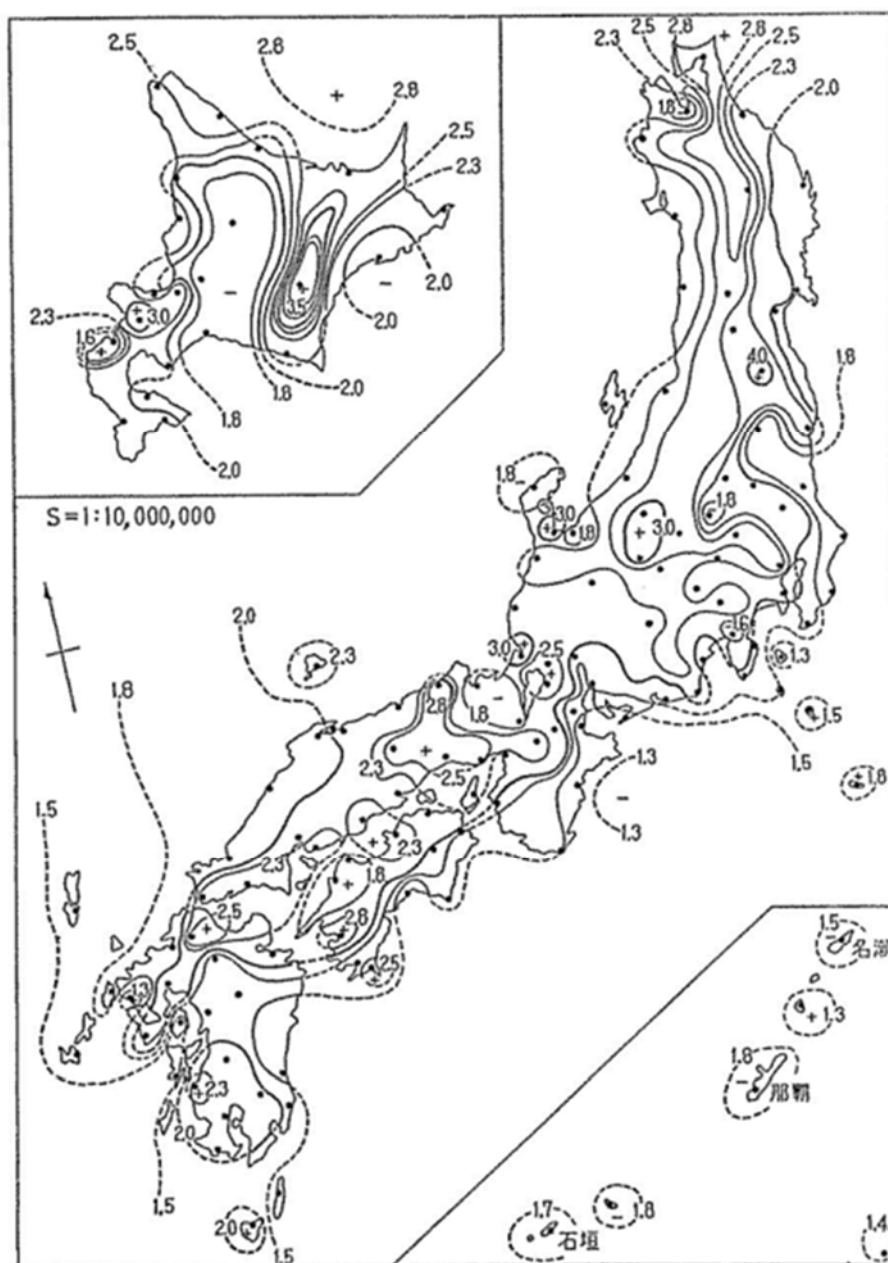


図-12 100年確率特性係数 β_{10100} の分布図

7-6 流量調査

流量調査は、現地で流量を計測する必要がある場合に行うものとする。

〔解説〕

- 1 この調査は、目的、現地の状況等により適切な測定法を選定するものとする。
 なお、治山計画の対象となる荒廢溪流等は、流路及び流れの状態が極めて複雑なため、正確な測定は困難を伴うことが多い。
- 2 流量は、単位時間内に溪流の流路断面を通過する水量をいい、流積と流速の積によって表わされる。流積の測定は、流路の横断面積と水位から求め、流速は直接測定、流れの水面等から推定する。
- 3 流量の測定方法は、直接流水の水深・流速を計測する堰測法、流速法と洪水後の流積・流速を間接的に計測する洪水痕跡法がある。

(1) 堰測法

この方法は、集水面積の小さな溪流を対象に使用され、長方形、逆三角形等のノッチをもった堰を越流する水位を測定し、水位流量曲線式を求めて流量の計算を行う。水位計を設置して長期間の計測を行なう場合がある。なお、地下水の中間流出を小さくするため、岩着した堰を用いることが望ましい。

堰は、完全越流する縮流鋭縁堰を標準とし、流量が小さい場合は三角ノッチを、比較的多い場合は長方形ノッチを使用する。同じ流量の場合は、三角ノッチの方が大きなノッチが必要であるが、越流水深が深くなることから測定精度が高い。流量の算定方法は、次式によるものとする。また、必要に応じて、流速法等で水深に対する流量を調査して、算定方法の検証を行なうものとする。

① 三角堰

$$Q = K \cdot \{2(H+h)^{5/2} - (5H+2h)h^{3/2}\} \dots\dots\dots (7.6.1)$$

$$K = \frac{4}{15} C \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2}$$

なお、堰の上流に十分な大きさの湛水池があるなどして接近流速が無視できるときは、次式による。

$$Q = 2 \cdot K \cdot H^{5/2} \dots\dots\dots (7.6.2)$$

Q : 流量

H : 測定水位

C : 堰における水脈の収縮等により決まる流量係数

Cの値は水深によって異なる。浅い場合はC=0.60

g : 重力の加速度

θ : 三角ノッチの頂角

h : 接近流速Vのときの流速水頭 (h=V²/2g)

② 長方形堰

$$Q = K \cdot \{(H+h)^{3/2} - h^{3/2}\} \dots\dots\dots (7.6.3)$$

$$K = \frac{2}{3} C \cdot B \cdot \sqrt{2g}$$

B : ノッチの幅

なお、接近流速が無視できるときは次式による。

$$Q = K \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

$$K = \frac{2}{3} C \cdot B \sqrt{2g} \cdot H^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (7.6.4)$$

③ 台形堰 (広頂堰)

$$Q = \frac{2}{15} C \cdot \sqrt{2g} (2B_2 + 3B_1) \cdot H^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (7.6.5)$$

B₂ : 堰上幅

B₁ : 堰下幅

(2) 流速法

この方法は、流域面積が大きく堰を設けない場合等に使用され、自然断面の溪流においても断面が一定していれば適用できる。流量は、流路断面を流れる流水の平均流速と流積を測定して次式から算出する。同じ場所で長期間に亘って流量を計測する場合は、水位計を設置し、流速法により計測した流量と水位との関係を解析して水位—流量曲線を作成して、水位から流量を推算する。また、精度を高く長期間計測を行な

うために、量水施設として流路を造ることがある。

$$Q = A \cdot V \dots \dots \dots (7.6.6)$$

Q : 流量 (m³/s)

A : 流積 (m²)

V : 平均流速 (m/s)

平均流速の測定には、次の方法がある。

- ① 浮子法 : 簡単に流速を測定する方法で、浮子を投入し、あらかじめ距離を測定しておいた区間を流れる時間を測定し流速を計測する。
これは表面流速を測定するもので、平均流速の近似値は測定値の70%~90%をとる。
なお、こうした表面浮子だけでなく、水中を流す浮子(水中浮子)もあり、これを組み合わせたもの(複浮子)もある。
- ② 流速計法 : 溪流の横断面形を測定し変化点ごとに横断断面を分割して流積をもとめるとともに、分割した断面ごとに流速計で平均流速を計測して流量を求めるものとする。流速計の計測は、水深の2割と8割の位置で計測して平均する二点観測とするが、水深が浅い場合は、水深の6割の位置で計測して平均流速とする一点観測とする。
- ③ その他 : 継続的に流量を観測するために、超音波を利用した流速計を水位計とともに設置する方法などがある。

(3) 洪水痕跡法

洪水痕跡法は、洪水後の浸水痕跡、植被のはがれ等両岸の洪水痕跡から洪水位を測定して流積を求めて、上下流の洪水痕跡の高低差から洪水流の水面勾配を想定して、平均流速公式により流速を推算して、対象とした洪水の最大洪水流量を求める。

測定に当たっては、なるべく治山ダム又は流路断面が一定な箇所を選定する必要がある。

また、洪水流は、砂礫や流木などを含み、その水面は一定にならないので、水面変動を考慮して平均的な断面を考えて流積を算出する。

[参考] 平均流速公式

溪流の平均流速は、一般に、次の Manning 式により求める。

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots \dots \dots (7.6.7)$$

V : 流速 (m/s)

R : 径深 (m)

I : 水面勾配

n : Manning 式の粗度係数

R = A/P A = 断面積 (m²) P = 潤辺 (m)

表-23 マニング式の粗度係数 (n)

区 分		渓 床 の 状 況	粗 度 係 数	
			範 囲	平均
自然流路	大 流 路	粘土、砂質床	0.018~0.035	
		礫河床	0.025~0.040	
	山 地 流 路	底面に砂利、玉石	0.030~0.050	
		玉石、大玉石交じり	0.040~0.070	
	山 岳 地 渓 流	流水土砂で損摩された凹凸の甚だしい母岩の露出渓床		0.05
		河床が割合整備された状況の渓床		0.06
		径0.3m~0.5mの石礫が点在		0.07
	径0.5m以上の石礫が点在		0.08	
人工水路等		コンクリート管		0.013
		コンクリート人工水路	0.014~0.020	
		両岸石張小水路 (泥土床)		0.025
		コルゲートパイプ (1形)		0.024
		コルゲートパイプ (2形)		0.033
		コルゲートパイプ (ペービングあり)		0.012

[出典]

山地保全学：山口伊佐夫 昭和45年、水理学公式集：土木学会 昭和46年、建設省河川砂防技術基準（案）同解説・調査編：日本河川協会 平成9年、道路土工要綱：日本道路協会 平成21年、林道必携技術編：日本林道協会 平成23年

[参考] 土石流時における粗度係数

土石流時の溪流における粗度係数は、0.07~0.10程度とされる。土石流の洪水痕跡から、マニング式を利用して土石流の流量を概算することができる。

[参考] 土石流流量（ピーク流量）

豪雨時に溪流に発生する表面流によって、水で飽和した堆積土砂が不安定化し土石流が発生すると仮定すると、供給された清水の流量 Q_R と土石流発生後の水と石礫を含む土石流流量 Q_d の関係は次式で表される。この式を用いて、土石流の流量の予測ができる。

$$Q_d = \frac{C}{C_* - C_d} Q_R$$

Q_d ：土石流流量 (m³/s)

Q_R ：供給された清水の流量 (m³/s)

C_* ：堆積土砂における石礫の体積濃度 (0.6程度)

C_d ：土石流における石礫の体積濃度

なお、土石流における石礫の体積濃度は、次式で表される。

$$C_d = \frac{\tan \theta}{(\sigma / \rho - 1)(\tan \phi_s - \tan \theta)}$$

- θ : 溪床の傾斜角
 ϕ_s : 溪床の堆積土砂（石礫）の内部摩擦角
 ρ : 水の密度(t/m³)
 σ : 堆積土砂の石礫の密度(t/m³)

7-7 取りまとめ

水文調査の成果は、調査目的に応じて、事業対象流域の水文量が把握できるように取りまとめるものとする。

〔解説〕

水文調査の結果は、調査目的に応じて図表等に整理するとともに、計画・設計の基礎資料となるように取りまとめるものとする。

第8節 荒廃現況調査

8-1 総説

荒廃現況調査は、事業対象地域内の荒廃状況及び荒廃特性を把握して、治山計画・設計の基礎資料を得ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 治山計画を策定するに当たっては、荒廃状況及び荒廃特性を把握して、対象とする荒廃現象を特定することが重要である。
また、荒廃状況及び荒廃特性は、気象、地質、地形等の諸条件によって著しく異なるので、治山設計等においても、これらを十分把握する必要がある。
- 2 荒廃現況調査にあたっては、調査目的により、調査の精度、内容を十分検討して調査しなければならない。
- 3 荒廃現況調査の標準的な種類は次のとおりである。
 - (1) 予備調査
 - (2) 侵食量調査
 - (3) 崩壊地調査
 - (4) 荒廃溪流調査
 - (5) 落石荒廃地調査

8-2 予備調査

予備調査は、空中写真等により、荒廃特性を概括的に把握するために行うものとする。

〔解説〕

予備調査は、荒廃現況を空中写真等により概括的に把握するものとする。
調査から得られた結果は地形図等に整理し、現地調査の円滑な実施に資するものとする。

8-3 侵食量調査

侵食量調査は、表面侵食による侵食量を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 表面侵食は、降雨による雨滴及び表面流により地表面が侵食される現象で、侵食が進むと斜面に雨裂（リル）・侵食溝（ガリー）が発達する。なお、積雪の移動等によっても表

面侵食（雪食）が起こることがある。

2 侵食量調査は、一般に次の3つの方法があり、目的、現地状況等によって選定する。

- (1) ピンによる方法：斜面にピンを複数設置して、ピンを基準として表面の高さを計測し、侵食・堆積の状況を把握する。
- (2) 箱による方法：斜面の下端に流下土砂を受ける箱を設置して、土砂量を計測して、流出土砂量を把握する。USLE法では、斜面長22.1m、幅1.8mの斜面に対して侵食量を測定する。
- (3) ダムによる方法：溪流に設けられたダムの堆砂量を測定して、流域の侵食量を推定する。

[参考] 森林の表面侵食防止機能

森林土壌は浸透能が高くて表面流が発生しにくく、落葉落枝、林床植生が土壌表面を保護することから、森林内で表面侵食はほとんど発生しない。

表-24 地表の状況別の表面侵食量 (mm/年)

区分	荒地	裸地	農耕地	草地・林地
年侵食量	$10^2 \sim 10^1$	$10^1 \sim 10^0$	$10^0 \sim 10^{-1}$	$10^{-1} \sim 10^{-2}$

[出典]

川口武雄：流域管理における森林（上）、水利科学 Vol. 3、No. 4、1960

[参考] 崩壊地の表面侵食量

林野庁が昭和26年から28年にかけて調査した結果によると、通常の気象状況で、侵食によって移動する土砂量は、20～40mm/年といわれる。一般的な崩壊地では、次表を参考に侵食量を想定してもよい。

表-25 崩壊地の侵食量の目安

区分	崩壊面の侵食状況	年間侵食量
多	全面的にリルが発達またはガリーが存在するもの	60 mm/年
中	多と少の間のももの	40 mm/年
少	特に目立った表面侵食が見られないもの	20 mm/年

[参考] USLE法

米国農務省による測定方法で、次の侵食量予測式(Universal Soil Loss Equation)を適用する。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

A：年平均侵食土砂量(t/ha)

R：降水係数（年降水量より概算）

K：土壌係数（実測）

L：斜面長係数（斜面長より算出）

S：傾斜係数（傾斜より算出）

C：作物係数（崩壊地の場合は1）

P：保全係数（崩壊地の場合は1）

8-4 崩壊地調査

崩壊地調査は、崩壊地等の分布、特性等を把握するために行うものとし、必要な調査項目について実施するものとする。

[解説]

- 1 崩壊地等の復旧、予防計画を策定するに当たっては、荒廃の特性等に応じた最も効果的、効果的な治山施設の選定、配置とする必要がある。
このため、崩壊地調査は、予備調査の結果を踏まえて、調査の項目、内容、精度を十分検討して実施する。
- 2 崩壊地調査の標準的な調査項目は次のとおりである。
 - (1) 崩壊地の分布・規模
 - (2) 要因
 - (3) 動態
 - (4) 形態
 - (5) 植生
 - (6) 土砂量

8-4-1 崩壊地分布調査

崩壊地分布調査は、事業対象地における崩壊地の分布状況、崩壊の規模を把握するために行うものとする。

[解説]

- 1 崩壊地の荒廃状況を把握するために、崩壊地の分布、崩壊の規模を調査するとともに、必要に応じて、単位面積当たりの崩壊地面積の比率（崩壊面積率）及び崩壊地箇所数（崩壊密度）を求めるものとする。
- 2 崩壊地の分布は、地質、傾斜、微地形、林相などの要因や災害履歴などと深く関わっており、要因調査や崩壊発生 の推定の基礎資料とする。
- 3 崩壊の規模は、崩壊地の長さ、幅、崩壊深、傾斜等を調査する。

[参考] 森林の表層崩壊防止機能

森林は、樹木の根系が土の力学的強度を補強していることから、表層崩壊に対する安定性を向上させている。過去の調査によると、森林においても崩壊地は発生しているが、崩壊地の数・面積ともに無林地の1/2程度である（難波1959）。

また、根系の腐朽により崩壊を起こしやすくなることが知られており、根系の緊縛力との関係からは、伐採後、10年程度を経過した時点で、表層崩壊に対する安定性が最も低下する。

[参考] 崩壊現象の分類

崩壊は、斜面上の土層または岩盤の一部が重力の作用により崩落する現象であり、森林の機能との関連から、次の2つに大別される。

1 表層崩壊

樹木の根系の影響を受けている表土が崩落する現象である。表層崩壊の崩壊深は、一般に1～2m程度までであるが、谷部に表土が集積した場合はこれよりも深くなることもある。降雨を誘因として発生する表層崩壊は、主として浸透水、浅層地下水に起因して発生することが多い。

2 深層崩壊

深層崩壊は、表土層の下層に存在する風化岩等から崩壊する現象で、樹木の根系の影響は直接的には受けない。降雨を誘因として発生する深層崩壊は、比較的深い地下水に起因して発生することが多い。

なお、地すべりも広い意味では深層崩壊の一部といえるが、地すべりは、斜面を構成する物質が塊状となってすべる（滑動）運動であり、地質との関連が深く緩斜地でゆっくり動く特徴を持っていることから、対策上、地すべり防止工事が必要である。

表-26 「地すべり」と「崩壊（崖崩れ）」の見方の例

項目	地すべり	崩壊
地質	特定の地質又は地質構造の所に多く発生する	地質との関係は少ない
土質	主として粘性土をすべり面として滑動する	砂質土（マサ、ヨナ、シラスなど）の中でも多く起こる
地形	5°～20°の緩傾斜地に発生し、特に上部に台地状の地形を持つ場合が多い 地すべり地形顕著	20°以上の急傾斜地の0次谷、谷頭部に多く発生する
滑動状況	継続性、再発性、時間依存性大	突発性があり、時間依存性小
移動速度	0.01mm/day～10mm/dayのものが多く、一般に速度は小さい	10mm/day以上で、速度は極めて大きい
土塊	土塊の乱れは少なく、原形を保ちつつ動く場合が多い	土塊はかく乱される
誘因	地下水による影響が大きい	降雨、特に降雨強度に影響される
規模	1～100haで規模が大きい	面積的規模が小さい
兆候	発生前に亀裂の発生、陥没、隆起、地下水の変動などが生ずる	発生前の兆候が少なく、突発的に滑落してしまう

（渡ら 1971 の表を駒村が改変 1992）（一部修正）

8-4-2 要因調査

要因調査は、崩壊地発生 of 素因、誘因を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 崩壊地発生 of 要因は、素因と誘因に分けることができる。素因としては、地形、地質等があり、誘因としては、降水、地震等が考えられる。この両者は相互に関連し、崩壊発生 of 要因となることから、素因と誘因 of それぞれについて調査を行うことが必要である。
- 素因 of 調査を行うに当たって、地形、地質、土壌等は、第2節「地形調査」、第3節「土質・地質調査」第4節「土壌調査」にそれぞれ準ずるものとし、必要に応じて選択する。また、その他の素因 of 調査に当たっては、必要に応じて調査を実施する。
- 誘因 of 調査を行うに当たって、気象は、第6節「気象調査」に準ずるものとし、必要に応じて選択する。また、その他の誘因 of 調査に当たっては、必要に応じて調査を実施する。

8-4-3 動態調査

動態調査は、崩壊地の時系列的な変動と崩壊土砂の移動を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 動態調査は、時系列的な空中写真判読等により、崩壊地の変遷を調査して、動態特場合、斜面上に亀裂が発生したり構造物に変状があるため土層が再活動するおそれのある場合に、土層の移動状況を把握するために行なうものとする。
- 2 動態調査は、計画、設計のみならず警戒避難対策にも資するものである。
- 3 活動中の崩壊地等の調査方法は、第4編地すべり防止事業第2章「地すべり調査解析」に準ずるものとする。また、必要に応じて、土石流センサー、監視カメラ等を設置することがある。

8-4-4 形態調査

形態調査は、崩壊地の形態等を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 形態調査は、現状の崩壊地の形態、規模を把握するとともに、新生崩壊地、再崩壊のおそれのある崩壊地の形態、規模の想定を行う基礎資料とするものとする。
- 2 本調査は、計画、設計のみならず警戒避難対策にも資するものである。
- 3 崩壊地の形態、規模を把握するに当たっては、崩壊地を崩壊部、流送部、堆積部に区分して、それぞれ長さ、幅、崩壊深または堆積深（鉛直方向の長さ）、傾斜、特徴を記録する。
 - (1) 崩壊部
山腹斜面が崩落し、又は亀裂が生じて、土塊の活動が認められる部分であり、原地形との境に明瞭な破断面を有している。狭義の崩壊地といえる。
 - (2) 流送部
崩壊土砂が下方に移動する部分であり、次の2つの場合がある。
 - ① 草本は下方に倒され、土砂が付着し、明らかに土砂が下方に移動した痕跡を示す場合。
 - ② 崩壊土砂が下方に流下する際、斜面・谷底部を侵食する場合。
 - (3) 堆積部
下方に移動した崩壊土砂が堆積停止する部分である。
- 4 崩壊土砂の末端から崩壊地頭部を見通した見通し角度（ θ ）または等価摩擦係数（ $\tan \theta$ ）により崩壊土砂の流動性を表す。

$$\text{等価摩擦係数} = \frac{H}{L} = \tan \theta$$

H：崩壊地頭部から崩壊土砂末端までの垂直距離

L：崩壊地頭部から崩壊土砂末端までの水平距離

θ ：見通し角

- 5 斜面の亀裂や構造物の変状等の動きがみられる場合や、背後斜面や隣接する斜面に変状（クラック、段差地形の発生など）等が予想される場合、現地踏査やリモートセンシング技術等により変動範囲を把握する。

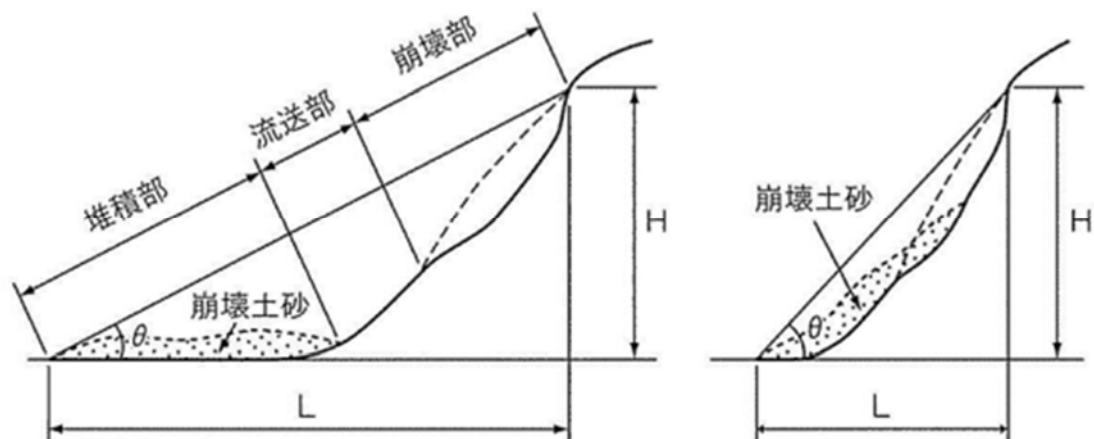


図-13 崩壊地の形態

[参考] パイピング現象

しばしば崩壊跡地にパイプ状の空洞がみられることがあり、崩壊を引き起こしたパイピング現象の証拠として取り扱われることがあるが、崩壊による物質の除去が中間流の封圧を低め、逆にパイプ状侵食を引き起こしたとも考えられるので注意が必要である。

8-4-5 植生調査

植生調査は、崩壊地及び崩壊地周辺部の林相、植生の状況を把握するために行うものとする。

[解説]

- 1 この調査は、自然復旧の可能性を検討するとともに崩壊地に適応する導入植生の選定に関する基礎資料を得るために行うものとする。
- 2 崩壊地内に侵入している植生の有無及びその周辺部の植生を草本及び木本に区分して種類、生育状況等について調査する。
また、崩壊地内については、侵入植生の占める面積率を求める。

8-4-6 土砂量調査

土砂量調査は、崩壊土砂量及び不安定土砂量を把握するために行うものとする。

[解説]

- 1 土砂量調査は、崩壊の規模を把握するとともに、崩壊地から流出するおそれのある不安定土砂を把握するために行うものとする。
- 2 崩壊土砂量は、崩壊の規模を把握するために調査するものとし、崩壊面積に平均崩壊深を乗じる等により算出する。
- 3 不安定土砂量は、崩壊地から流出するおそれのある土砂量を把握するために、次の土砂量を調査して集計する。
 - (1) 残留土砂量
崩壊地内に残留している土砂量を調査する。
 - (2) 拡大見込量
拡大見込量は、周辺部のカブリ、亀裂等により拡大崩壊する可能性のある土砂を調査する。

(3) 侵食土砂量

崩壊面が表面侵食をうけて、生産される土砂量を調査する。

8-5 荒廃溪流調査

荒廃溪流調査は、荒廃溪流の分布、特性等を把握するために行うものとし、必要な調査項目を実施するものとする。

〔解説〕

- 1 荒廃溪流とは、縦横侵食を受けている溪流、不安定土砂が堆積している溪流など、容易に現在の溪床面が変化すると考えられる溪流区間のことをいう。
- 2 荒廃溪流の復旧計画を策定するに当たっては、荒廃の特性等に応じた最も効率的、効果的な治山施設の選定、配置とする必要がある。
このため、荒廃溪流調査は、予備調査の結果を踏まえて、調査の項目、内容、精度を十分検討して実施する。
- 3 荒廃溪流調査の標準的な調査項目は、次のとおりである。
 - (1) 荒廃溪流の分布・規模
 - (2) 要因
 - (3) 動態
 - (4) 土砂量等

8-5-1 荒廃溪流分布調査

荒廃溪流分布調査は、事業対象地域における荒廃溪流の分布状況・規模を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 荒廃溪流の荒廃状況を把握するために、荒廃溪流の分布、規模を調査する。荒廃溪流の規模は、長さ、幅、侵食又は堆積土砂の深さ及び溪床勾配を調査するものとする。
- 2 調査に当たっては、原則として荒廃の延長が30m以上であって溪床勾配が 20° (36.4%) までのものを荒廃溪流として取り扱うものとする。

8-5-2 要因調査

要因調査は、荒廃溪流の要因を把握するために行うものとする。

〔解説〕

荒廃溪流となる主たる要因は、次のように区分される。

- 1 崩壊、地すべり、土石流、又は上流の荒廃溪流区間から供給された土砂堆積によるもの
- 2 洪水流、土砂流、土石流の侵食によるもの
- 3 混合型：1と2が混合しているもの

8-5-3 動態調査

動態調査は、溪流の時系列的な変動を把握するとともに、不安定土砂の移動を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 動態調査は、次のような方法によって荒廃溪流の変動状況を調査して、土砂移動の動

態特性を把握するものとする。

- (1) 時系列的な空中写真判読
 - (2) 溪流測量、礫径調査による経年的な河床変動量調査
 - (3) 溪流測量による経年的なダム堆砂量調査
 - (4) 渓床に侵入した木本の調査
- 2 動態調査では、不安定土砂等の移動を把握するために、必要に応じて、土石流センサー、監視カメラ等を設置することがある。
 - 3 動態調査は、計画、設計のみならず警戒避難対策にも資するものである。

8-5-4 土砂量調査

土砂量調査は、溪流から流出するおそれのある不安定土砂量を把握するために行うものとする。

[解説]

- 1 土砂量調査は、土石流や洪水により流出するおそれのある不安定土砂を把握するために行なうものとする。
- 2 不安定土砂量は、荒廃溪流の延長及び幅に平均堆積深ないし予想される平均侵食深を乗じて算出することが一般的である。

8-6 落石荒廃地調査

落石荒廃地調査は、落石が発生し、又は発生するおそれのある箇所の分布、特性等を把握するために行うものとし、必要な調査項目を実施するものとする。

[解説]

- 1 落石とは、亀裂、節理の発達した岩盤から浮石が剥離したり、山腹斜面に浮きでた転石が斜面より落下する現象をいう。
また、落石荒廃地は、落石が発生し、又は発生するおそれがあり、人家や公共施設に被害を与える、又は人家や公共施設に被害を与えるおそれがある危険性のある箇所をいう。
- 2 落石荒廃地の調査は、事業対象区域が保全対象に近接している場合が多いので、より精密な調査が要求される。
- 3 調査は、落石防止対策の目的、内容を踏まえて項目を選定するとともに、最も適切な手法により、計画的かつ効率的に実施する必要がある。
- 4 落石荒廃地調査の標準的な調査項目は次のとおりである。
 - (1) 落石荒廃地の分布・範囲
 - (2) 要因
 - (3) 形態
 - (4) 動態
 - (5) 植生

8-6-1 落石荒廃地分布・範囲調査

落石荒廃地分布調査は、事業対象地における落石荒廃地の分布状況等を把握するために行うものとする。

[解説]

- 1 落石荒廃地の荒廃状況を把握するために、落石荒廃地の分布、範囲を調査する。

- 2 落石のおそれのある岩盤及び斜面を特定し、落石となる岩塊、転石、岩片等の位置を平面図に記載するとともに、落石の形状、大きさ、風化の状況等を調査する。
また、落石による災害の発生が想定される範囲の保全対象を確認する。

8-6-2 要因調査

要因調査は、落石発生の素因、誘因を把握するために行うものとする。

〔解説〕

落石の発生原因には素因と誘因がある。

1 素因

落石発生の素因としては、斜面の地形と地質がある。

(1) 落石は、斜面の勾配が概ね30度以上で発生することが多い。

(2) 落石が生じやすい地質は、次のとおりである。

- ① 崖錐、段丘礫層、火山性堆積物、風化花崗岩等で、マトリックス（岩塊、玉石、礫などの周りを充填する土砂などの軟質な物質）の風化・侵食に対する抵抗性が弱い場合（転石型）。
- ② 岩目が発達した岩盤で、岩目に囲まれた岩塊、岩片が浮いた状態になっている場合（剥離型）。

2 誘因

落石の誘因としては、降雨、積雪、凍結融解、風、地震などがあげられる（表-27 参照）。

これらは、単一の場合も複合の場合もあり、落石となる岩石自体が微妙な力の安定の上に立っていることから、実際にはわずかな力が加わっただけで落石が発生することが多く、発生原因を複雑にしている。

なお、樹木については、樹根の生育あるいは風による揺れは岩目を拡大、剥離させる誘因となり得る。

表-27 落石の誘因

誘 因		内 容
水		表流水、湧水、浸透水による地山の脆弱化と侵食の促進 流水による水圧
気 象 現 象	降雨	水の作用の促進。風化の促進
	積雪	グライド等による侵食 なだれの衝突、グライドによる転石の移動
	気温	水の凍結融解による岩目の拡大、剥離 寒暖の差が大きく年間の凍結融解の回数が多いほど早く節理等が大きくなる 気温変化に伴う岩石の膨張収縮による風化の促進 気温変化に伴う土中水の移動による地山表層の脆弱化
	風	樹木を介して揺動（揺さぶり）による岩目の剥離、転石の不安定化 風圧による移動
そ の 他	植生	樹根の生育による岩目の拡大、剥離
	地震	節理や層理の発生、拡大 浮石及び斜面の不安定化 他の原因に比べ規模が大きい

人 為	踏み荒らしによる転石の不安定化 工作物の設置による斜面の不安定化 用水路の溢水・漏水と配水設備の流末処理不備による水の作用の促進 自動車の走行、工事等の震動
-----	-----------------------------------------------------------------------------------------

[参考] 落石と地形条件

落石の発生、運動等は、斜面の傾斜、斜面形状、微地形、斜面長、斜面方位等の地形的条件によって支配される。

1 斜面の傾斜

斜面の傾斜が大きくなるほど、落石の運動エネルギーが大きくなり、斜面傾斜が一定以下になると減速又は停止する。

2 斜面形状

(1) 平面形状

落石は最大傾斜方向に沿って移動落下するが多い。凹型斜面の場合は谷筋に集中し、直線型斜面の場合は不特定であり、凸型斜面の場合は発散する傾向がある。ただし、これは概略的な傾向であり、詳細にみると、石の大きさ、形状、微地形、植生の状態によって様々な場合がある。

(2) 縦断形状

等高線に直角方向の縦断形状は、次のように分類される。

- ① 上昇斜面（凸型斜面）は基岩の露出をみる事が多く、浮石型落石の発生が多い。斜面内に複雑な凹凸がみられ、落石が発生した場合、反発して異常な跳躍高さとなることがある。
- ② 下降斜面（凹型斜面）は基岩の露出をみる事が少なく、一般に転石型落石の発生が多い。斜面上部で発生した落石は下部にいくほど減速し跳躍高さも低くなる。
- ③ 平衡斜面（直斜面）は凸型と凹型の中間的性質を持つが、傾斜が急なほど凸型の性状に近く、傾斜が緩いほど凹型の性状に近いとみられる。
- ④ 複合斜面は上部から下部へ凸型、直、凹型の順に並び、各種斜面に応じた性状がみられる。

3 微地形（平坦性）

斜面に凹凸、小尾根、小沢などの平坦でない地形があると、落石は跳躍運動を起こしやすく、平面的な移動も変化が激しくなる。

4 斜面長

斜面長は、同一勾配であれば長くなると速度が増し、エネルギーが増大する。

このことから、落石の危険性のある転石等から保全対象までの斜面長を把握し、その変化についても調査する必要がある。

5 斜面方位

積雪寒冷地では、斜面方位によって凍結融解に差が生じる。凍結融解が激しいほど早期に基岩が風化するので、落石の頻度も大きくなる。

6 崩壊地等

調査の対象となる斜面内に崩壊地、崖錐があるとこれらが落石の発生源となりやすい。

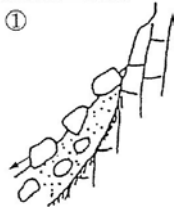
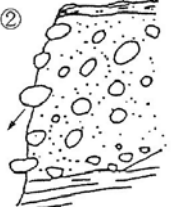
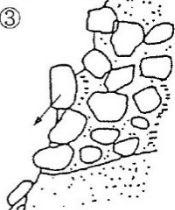
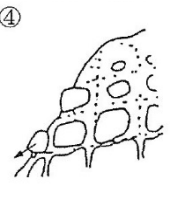
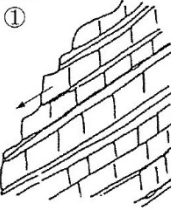
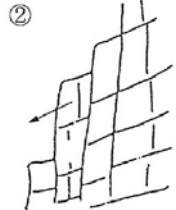
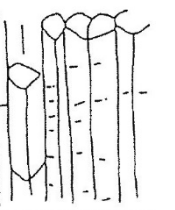
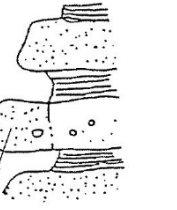
8-6-3 形態調査

形態調査は、落石の発生形態を把握するために行うものとする。

〔解説〕 落石の種類

落石は、発生形態から転石型落石と剥離型落石に分類される。

表-28 地形・地質と落石の形態

転石型落石	急傾斜をなす崖錐斜面、崖錐の切取り面を構成する崖錐堆積物中の礫の浮き出し、転落	河岸及び海岸段丘崖、段丘の切取り面を構成する段丘層中の礫の浮き出し、転落	脆弱な礫岩、火砕流、火山泥流堆積物からなる地山の急斜面、切取り面の礫の浮き出し、転落	花崗石のマサ土等硬岩の現地風化、地山中の未風化、岩塊の浮き出し、転落
	亜角礫～角礫	円礫～亜円礫	円礫～角礫	円礫～亜円礫
				
剥離型落石	流れ盤をなす層理、片理の発達した岩盤の層理面、片理面に沿う岩塊の滑落	三方向に発達した岩盤の岩目からの剥落及び破砕面からの剥落	急崖をなしている柱状節理の発達した岩盤の節理面からの剥落	選択侵食により突出した硬質の破断落下
	塊状～偏平	塊状～偏平	塊状	塊状
	粘板岩、頁岩、片岩及び上記と他の岩石の互層	花崗岩等の深成岩、砂石、輝緑凝灰岩、石灰岩等の堆積岩、断層破碎帯	節理の発達している玄武岩、安山岩等の溶岩、溶結凝灰岩	層状をなす硬軟著しい差のある岩石の互層
				

8-6-4 動態調査

動態調査は、落石の運動形態、特性等を把握するために行うものとする。

〔解説〕

- 1 落石の動態は、斜面の状態（傾斜、地盤、植生）と石の形質、大きさ（丸、角、偏平、割れやすさ、大小）との組合せによって、すべり運動、回転運動、跳躍運動及びこれらを組み合わせた極めて複雑な動態を示す。
- 2 落石の動態を推定するには、一般的に実験等により裏付けられた実験式等が用いられる。また、必要に応じてシミュレーション手法により推定し、それにより対策工の工種、位置、範囲、高さ、構造を検討する。

- 3 調査地内またはその近傍に既往の落石の事例がある場合は、それを調査して、落石の大きさ、経路、到達距離、跳躍量などを明らかにする必要がある。

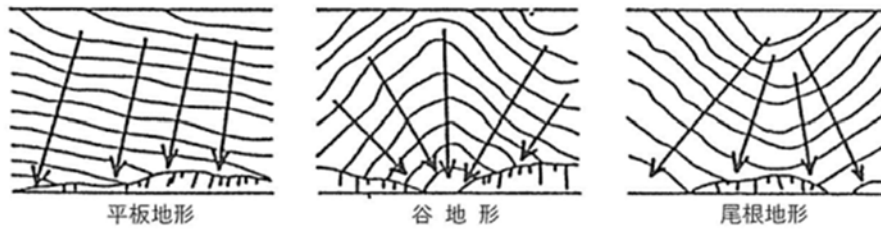


図-14 落石の落下方向と地形

[参考] 落石の跳躍量

傾斜が一定で平坦な斜面での落石の縦断的軌跡は図-15 のように模式的に示される。各地の落石実験の結果から、落石の跳躍量は、多く(80%~85%程度)が地上(斜面に直角の高さ)2.0m以下になるとされている。しかし、斜面に突起やジャンプ台状の地形があれば2.0mを越えることもある。(図-16)

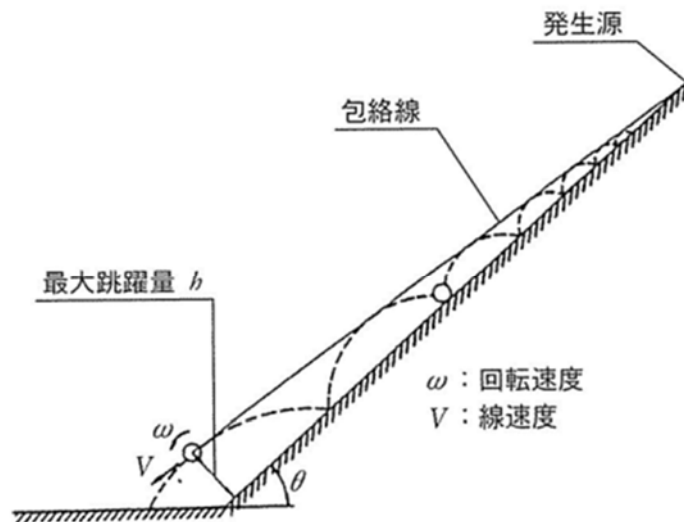
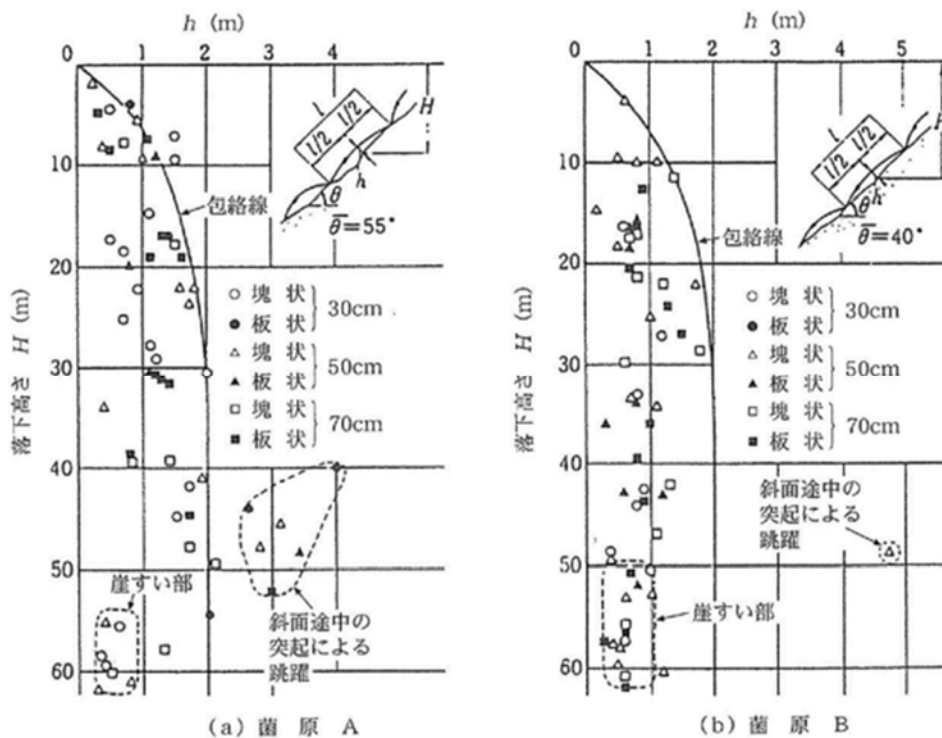


図-15 落石の軌跡の模式図



[出典] 落石対策便覧：日本道路協会 平成 29 年
 図-16 落石の跳躍量と落下高さ

[参考] 落石の速度

落石の速度 (V) は、落石途中の斜面の性状に左右され、不明な部分が多く確立された算出式はないが、既往の実験により裏付けられた落石速度と自由落下速度との間の関係から次式により落石速度を推定することが行われている。

$$V = \alpha \sqrt{2gH} \quad \dots\dots\dots (8.6.1)$$

V : 斜面上の落石の速度 (m/s)

$\sqrt{2gH}$: 自由落下する落石の速度 (m/s)

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

H : 鉛直方向の落下高さ (m)

α : 残存係数

また、残存係数 α は次式により表される。

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{\mu}{\tan \theta}} \quad \dots\dots\dots (8.6.2)$$

θ : 斜面勾配 (度)

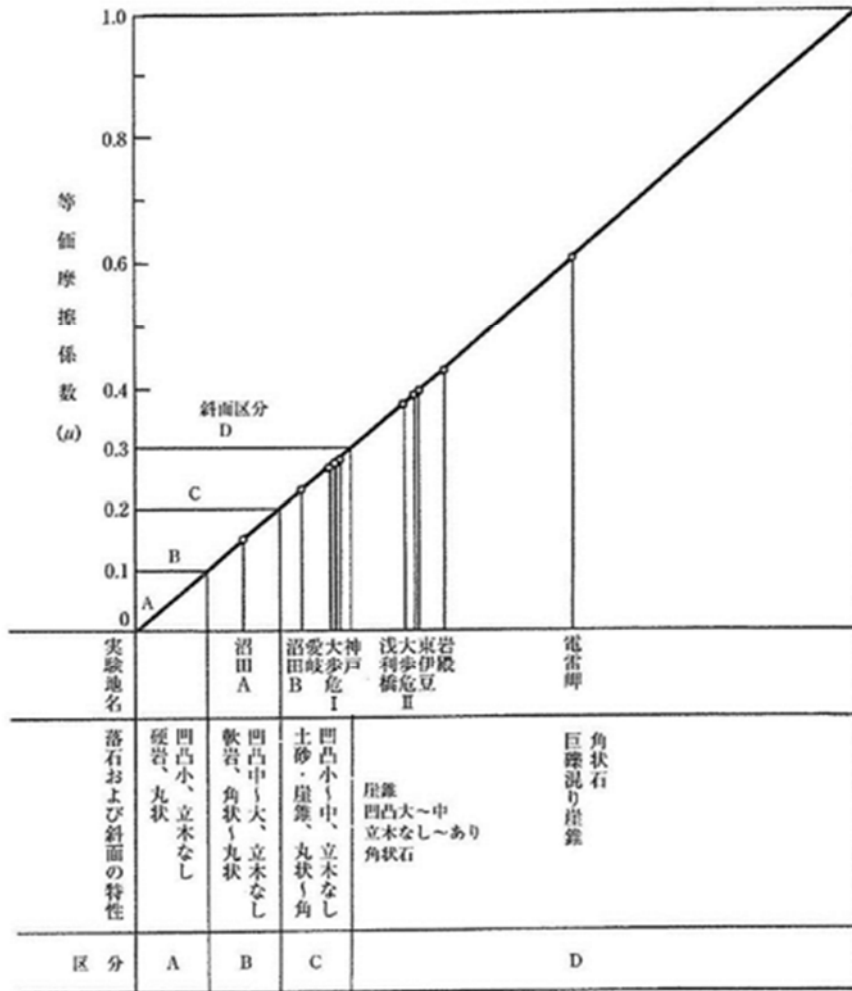
μ : 斜面の等価摩擦係数 (第 5 章第 5 節 5-2-5 表-15 参照)

したがって、上記2式により、落石の速度は次式で表される。

$$V = \sqrt{2g \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta}\right) H} \dots\dots\dots (8.6.3)$$

ここで、等価摩擦係数は、落石実験の結果から、斜面の状態により図-17 に示される値をとる。

ただし、一般に落石高さが40mを超えると落下速度は一定になるといわれている。



[出典] 落石対策便覧：日本道路協会 平成 29 年

図-17 斜面の種類別の等価摩擦係数

[参考] 落石の運動エネルギー

落石の運動エネルギーは、落石防護工を設計する場合の基礎的な資料となるものである。落石の運動エネルギーは、落下途中の斜面の性状に左右され、不明な部分が多く確立した算出式はないが、既往の実験によって裏付けられた落石速度の推定式から運動エネルギーを推定することが行われている。

(第5章第5節5-2-5-1「落石防護工の安定計算に用いる荷重」を参照)

8-6-5 植生調査

植生調査は、調査区域及びその周辺の林況、植生の特性を把握するために行うものとする。

〔解説〕

樹木は、根の緊縛力等による不安定な浮き石の発生の抑制や樹幹による落石の捕捉・緩衝等の機能が期待されるものである。

植生調査は、森林を造成する際に、導入樹種決定のために必要となる周辺の林況、植生を調査するものとする。また、現在の森林の落石に対する防災効果を調査する。

1 植生導入調査

調査区域及びその周辺に存在する草本及び木本の種類、生育状況等を把握し、荒廃防止及び落石防止に適する草本種、木本種を選定するための基礎資料とする。

2 森林の効果調査

森林の効果調査は、現在の森林がどの程度落石に対して抑制効果を持っているかを調査するもので、樹種、樹高、胸高直径、本数、配置状況、過去の落石による擦過痕・衝突痕等を調査し、今後の施設計画及び森林配置の基礎資料とする。

8-7 取りまとめ

荒廃現況調査の成果は、荒廃状況が把握できるように取りまとめるものとする。

〔解説〕

荒廃現況調査の結果は、個々の荒廃地ごとに、分布、規模等がわかるように図表に整理するとともに、荒廃地全体の状況を分析して、計画・設計の基礎資料となるように取りまとめるものとする。

第9節 荒廃危険地調査

9-1 総説

荒廃危険地調査は、山地災害の予防を行うための基礎資料を得ることを目的として、崩壊等発生の危険性及び発生時の状況を推定するために行うものとする。

〔解説〕

1 荒廃現況調査（第8節）は、現に荒廃している山地災害を対象としたものであるが、荒廃危険地調査（本節）は、山地災害の予防を行うための基礎資料を得るための調査をいう。

2 荒廃危険地調査は、崩壊、土石流・流木等について、発生の危険性、規模等を推定するものとする。

(1) 崩壊等の発生

山腹斜面において、崩壊発生の危険性等の推定を行うものとする。

また、必要に応じて、第4編地すべり防止事業を参考として、地すべりの危険性等の推定を行うものとする。なお、山腹荒廃危険地は、表層崩壊・深層崩壊・地すべり性崩壊が発生するおそれのある箇所とする。

(2) 土石流・流木の発生

溪流において、土石流・流木発生の危険性等の推定を行うものとする。一般に、流木の発生は土石流と同時に発生することが多い。

3 荒廃危険地調査に当たっては、山地災害危険地区調査の結果を十分活用するものとする。

る。

- 4 荒廃危険地調査によって危険地と推定された箇所は、過去の災害の履歴や当該災害発生時の気象等を調査することにより、警戒・避難等人的被害の未然防止に寄与する資料としても用いるものとする。
- 5 荒廃危険地調査の主な種類は次のとおりである。
 - (1) 崩壊発生（山腹荒廃危険地）の推定
 - (2) 土石流・流木発生の推定

[参考] 対策箇所の選定について

近年、豪雨形態の変化による降水量・洪水流量の増加に伴い、尾根部付近からの崩壊による土砂流出量の増大、線状降水帯の形成に伴う山地災害の同時多発的発生、長時間豪雨による深層崩壊の発生、土砂流出に伴い大径化した人工林等からなる流木災害の激甚化が頻発している。今後も山地災害が激甚化することが懸念され、対策を優先・重点化すべき箇所を効率的に抽出していくことが不可欠である。

特に、山地災害危険地区等の森林について以下に該当する箇所に留意し、事業箇所の選定や優先順位を策定することが重要である。

- ・ 0次谷等の凹地形及び溪床・溪岸が荒廃している又は荒廃の兆候がみられる溪流
- ・ 荒廃又は荒廃の兆候がある箇所が広く見られ、かつ、マサ土や火山堆積物の脆弱な地質地帯の箇所
- ・ 巨石等が存在している、あるいは不安定土砂や流木等が異常堆積している溪流及びその周辺林地
- ・ 山腹斜面内で亀裂や遷急線が確認される箇所で、地下水が湧出しているなど崩壊につながる兆候が確認される箇所

対策箇所の選定にあたっては、山地災害危険地区情報に加え、リモートセンシング技術の活用により、山地斜面における亀裂の発生状況、ガリーの発達状況、溪流の不安定土砂の堆積状況等に関する情報を組み合わせることで、現地実態に合った箇所の抽出が可能となる。リモートセンシング技術を活用したデータは、空中写真、衛星画像データ、航空機、UAVを活用したレーザデータがあげられる。

参考文献

林野庁：「平成30年7月豪雨を踏まえた治山対策検討チーム」中間取りまとめ、平成30年11月

林野庁：豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会：「豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会（とりまとめ）令和3年3月」

[参考] 数値シミュレーションの利用

崩壊、土石流・流木の発生、影響範囲の推定に当たっては、必要に応じて、数値シミュレーションを実施する場合がある。

9-2 崩壊発生の推定

9-2-1 崩壊発生要因の調査

崩壊に対する荒廃危険地調査においては、調査地の特性から、崩壊発生と密接なかわりを持つ地質、地況、林況等の因子を選択して行うものとする。

[解説]

- 1 崩壊発生要因の調査は、調査地の個々の山腹斜面、溪岸部に対する資料調査、現地調

査、地形計測を実施するために、崩壊発生要因を調査項目として設定するものとする。

2 崩壊発生要因は、調査地の特性を考慮して、崩壊発生に関わる地質、微地形・湧水等の地況、林況等から選定するものとする。また、選定に当っては、調査地または類似箇所
の崩壊地の実態を参考とするものとする。

3 崩壊発生要因は、主として危険側の状況を表わす次の項目等の中から選択することが望ましい。

(1) 山腹斜面の状況

- ① 既存の崩壊地又は既施工地の有無
- ② 皆伐跡地、幼齢林地、草地等の斜面
- ③ 傾斜が急峻な斜面
- ④ 著しい傾斜変換点をもつ斜面
- ⑤ 地表流水等が集中する斜面
- ⑥ 山脚侵食が著しい斜面
- ⑦ 破砕帯又は断層線上にある斜面
- ⑧ 基岩が流れ盤となっている斜面
- ⑨ 基岩の節理又は片理が著しく発達している斜面
- ⑩ 基岩の風化が著しく進んでいる斜面
- ⑪ 亀裂、陥没、異常な地下水の湧出がみられる斜面
- ⑫ 大きな浮石、転石がある斜面
- ⑬ 風倒木が多数存在している斜面

(2) 溪岸部の状況

- ① 脆弱な土層で高い崖を形成している溪岸
- ② 立木が不安定な状態で成立している急な溪岸
- ③ 異常な地下水の湧出がみられる崖状溪岸
- ④ 溪流屈曲部の外側が土層で形成される溪岸

(3) 近接地における既存崩壊地の状況

- ① 山腹斜面の状況
- ② 溪岸の状況
- ③ 崩壊発生形態
- ④ 崩壊規模
- ⑤ 崩壊土砂到達距離
- ⑥ 既存施設の概要

9-2-2 山腹荒廃危険地の推定

山腹荒廃危険地は、山腹斜面、溪岸等について、崩壊発生要因等を総合的に検討して推定するものとする。

[解説]

1 山腹荒廃危険地の推定は、個々の山腹斜面、溪岸について、9-2-1「崩壊発生要因の調査」によって設定された要因等を基にして、資料調査、現地調査、地形計測（第2節「地形計測」参照）等により現地の状況を把握し、崩壊の危険性について判定を行うものとする。

2 必要に応じて、第4編地すべり防止事業を参考として、地すべり性崩壊の発生の危険性についても判定を行うものとする。

[参考] 崩壊に対する広域な危険地判定手法

崩壊に対する広域な危険地判定手法は、一般的には2つに大別される。

1 統計的な手法

崩壊地に対して地形、地質、植生等の要因との関連を調査して、統計的に分析して、危険地を判定しようとする方法である。代表的なものは、治山事業において採用されている山地災害危険地区調査要領の中の山腹崩壊危険地区調査が挙げられる。この方法は、100mのメッシュデータを基に関連の深い因子に重みをつけた点数を設定して、多変量解析を行い判定する方法である。

2 力学的な手法

メッシュ等を単位として、斜面の安定度を土質力学的に把握して、仮定した降雨等に対して安定度を求めて、危険地を判定するものである。崩壊に関係する土質定数が的確に求められれば、理想的な手法ではあるが、現在のところ、土質定数を高い精度で簡易に調査する手法は実用化されていない。

なお、統計的な手法や力学的な手法の他に、新しい方法として AHP 法 (Analytic Hierarchy Process : 階層構造分析法) もある。

9-2-3 崩壊面積及び崩壊土砂量の推定

計画・設計のために、山腹荒廃危険地における崩壊面積、崩壊土砂量等を把握するものとする。

[解説]

- 1 計画・設計に必要な崩壊の発生規模を推定するために、崩壊の種類、崩壊面積、崩壊土砂量の概数を把握するために行うものとする。
- 2 調査にあたっては、崩壊発生要因が類似する山腹斜面、近接した山腹斜面等に現存する崩壊地の規模等を参考にして推定するものとする。
- 3 必要に応じて、第4編地すべり防止事業を参考として、地すべりによる流出土砂量等についても把握する。

[参考] 崩壊面積及び崩壊土砂量の推定

$$\bar{A} = \frac{A \cdot N}{f} \quad (\text{ha})$$

$$\bar{V} = \bar{A} \cdot h \times 10^4 \quad (\text{m}^3)$$

\bar{A} : 推定崩壊面積 (ha)

A : 斜面状況の類似する地区等に現存する崩壊地の平均面積 (ha/個)

N : 推定される危険斜面 (調査の最小単位) の箇所数

f : 現存する崩壊地の発生時面積に対する補正係数 (1.0~1.2)

\bar{V} : 推定土砂量 (m³)

h : 斜面状況の類似する地区等に現存する崩壊地の平均崩壊深 (m)

9-2-4 崩壊等の影響範囲の推定

山腹荒廃危険地における崩壊土砂の到達距離及び広がり等を推定するものとする。

[解説]

崩壊等による崩壊土砂の到達距離、広がりを類似箇所の状況を参考に崩壊の発生位置、直

下の地形（傾斜、斜面長等）、崩壊土砂の含水状態、崩壊土砂量等から、推定するものとする。

[参考] 崩壊土砂の到達距離

一般的に、崩壊地の等価摩擦係数（崩壊頭部から崩壊土砂末端までの高さを水平距離で除した値）は、土石流化した場合を除いて、0.20程度までである。
（第8節8-4-4「形態調査」解説4を参照）

9-3 土石流発生の推定

9-3-1 土石流発生要因の調査

土石流発生要因の調査は、崩壊等の発生形態、流下の形態と密接なかわりをもつ因子を選択して調査を行うものとする。

[解説]

- 1 土石流は、豪雨・融雪・地震・火山噴火等の誘因により発生し、土砂と水が一体となって流下する現象（集合運搬）であり、流木を伴う場合がある。
- 2 土石流は、山腹斜面の崩壊等に起因して発生するか、表面侵食・崩壊等により溪流に流出・堆積した土砂の再移動に起因して発生し、土石流の発生形態は次のとおりである。
 - (1) 崩壊又は地すべりの崩壊土砂がそのまま流動化して土石流となる場合
 - (2) 崩壊等により溪流が一時せき止められて天然ダムが形成され、それが破堤して土石流となる場合
 - (3) 急勾配な溪流部に堆積している不安定土砂が異常な洗掘等によって土石流となる場合
- 3 土石流は、流送過程で、溪流に堆積する不安定土砂を巻き込んで、規模を拡大させる場合がある。
- 4 土石流の運動は、溪床勾配に強く影響をうける。
- 5 土石流発生要因の調査は、調査地の特性を考慮して、崩壊等の発生要因、溪床の勾配・流路幅・堆積土砂量・堆積物の特性、流域面積等から、選定するものとする。また、選定に当たっては、類似箇所の土石流等の実態を参考とするものとする。
- 6 土石流の規模は、発生源の形態・位置・崩壊土砂量等、流下する溪流の地形・堆積状況等によって異なる。

[参考] 土石流の分類

溪流における土砂移動現象は、表-29のとおりで、土石流（広義）は、土石流（狭義）、泥流、土砂流に分類される。

表-29 溪流の土砂移動現象

区 分		内 容	運搬形態
広義の土石流	土石流（狭義） 砂礫型土石流	巨石が先端に集中したフロントと後続流（泥流・土砂流など）に分けられ、直進性があり、その破壊力は大きい。 また、緩勾配になると停止し、その場合でも土石は比較的分散しない。速度は5～10m/sである。	集合運搬
	泥流 泥流型土石流	火山地帯、第三紀層地帯において発生し、火山灰や火山砕屑物を含む。 先端部には段波をもち、衝撃力・摩擦力も大きい。土石流に比べて導流しやすく、より緩斜地まで流下する。速度は、10～20m/sである。	
	土砂流	段波をともなう高濃度の土砂の流れで、一般に言われる土砂災害地で最も多い形態でもある。 流速は、 Manning式などの流速公式で予測できる範囲である。 流速の速いものは巨石を転動させ、多量の土砂流出現象をもたらす。	
掃 流		個々の粒子が水の力によって移動するものである。洪水時に発生し、堆積物は層状構造をなす。	各個運搬

9-3-2 土石流の危険性の推定

土石流の危険性は、土石流となり得る崩壊発生又は溪流土砂移動と土石流の流下にかかわる溪流等の要因を総合的に検討のうえ推定するものとする。

[解説]

- 1 土石流の危険性の推定は、個々の流域について、9-3-1「土石流発生要因の調査」によって設定された要因等に基づいて、資料調査、現地調査、地形計測等により、現地の状況を把握し土石流の危険性について判定を行うものとする。
- 2 主として溪床勾配により、土石流の発生区間、流下区間、堆積区間を区分して、その特性から危険性の判定を行なうものとする。

[参考] 土石流と溪床勾配との関係

土石流の運動と溪床勾配との関係は、表-30のような関係が知られているため、空中写真、地形図から勾配を計測し、また、現地踏査時に測量器械等を利用して勾配変化点、工作物の前後、谷が開ける箇所等について測定を行い地形図等に区分して整理する。

表-30 溪床勾配の区分 (θ：溪床勾配)

溪床勾配	区 分
$0^{\circ} \leq \theta < 2^{\circ}$	掃流区間
$2^{\circ} \leq \theta < 15^{\circ}$	堆積区間
$10^{\circ} \leq \theta < 20^{\circ}$	流下区間
$15^{\circ} \leq \theta$	発生区間

9-3-3 流出土砂量等の推定

計画・設計のために、土石流発生の危険性が高い溪流における流出土砂量等を把握するものとする。

〔解説〕

- 1 土石流による流出土砂量は、山腹荒廃危険地の崩壊土砂量、荒廃溪流の不安定土砂量を基にして推定する。
なお、土石流発生の危険性が高い溪流については、荒廃溪流の不安定土砂量として、流送地帯で土石流により侵食、流送されるおそれのある土砂量をとるものとする。
- 2 治山ダム等の設計時に土石流を考慮する場合は、治山ダムの天端厚の検討、透過型治山ダムの袖部や透過部部材に作用する礫の衝突による衝撃力の検討、治山ダムの透過部（スリット）の間隔の検討を行うため、現地調査等によって、土石流時に流出すると想定される石礫の最大径を把握するとともに、土石流速度・水深等を推定する。
- 3 土石流時に流出すると想定される石礫の最大径は、治山ダム計画地点の上流 100m および下流 100m 程度の区間において、土石流によって堆積したと思われる、溪床に集まって存在する石礫の径を測定し、測定結果の上位から 10 番目とする。なお、石礫の調査範囲は、溪床の状況に応じて決めるものとする。
- 4 石礫の最大径は、現地調査により個々の石礫について測定する機会が多いが、飛行機・UAV等を用いて、レーザプロファイラーや空中写真により測定してもよい。

9-3-4 土石流の影響範囲の推定

土石流発生の危険性の高い溪流における土石流の停止位置と広がりを推定するものとする。

〔解説〕

- 1 土石流の停止位置と広がりを推定することは、これに対する適切な対策工等保全対象への被害の未然防止を検討するうえで重要である。
- 2 土石流は、流送地帯では溪流の流路巾を越えたり、堆積地帯においては大きく広がることもある。

9-4 流木発生の推定

流木は、崩壊、土石流等に伴って流下する可能性のある立木等を対象に、流木量等を把握するものとする。

〔解説〕

- 1 流木は、崩壊、地すべりの発生にともなって土砂と共に崩落した流木や溪流内の立木等が洪水や土石流に巻き込まれて生じるものである。
従って、流木発生の推定は、崩壊及び土石流発生の推定を行った後、その範囲に存在する立木等を調査して流木の発生及びその流出を推定するものとする。
- 2 山腹斜面に風倒木等が多量に発生している箇所、溪流に流木が多量に堆積している箇所等は、その位置・流木となるおそれのある量を調査する必要がある。
- 3 治山ダム等の設計時に現地調査等によって、土石流時又は洪水流時に流出すると想定される流木量（材積）・最大径・最大長さを推定するものとする。

参考文献

林野庁：土石流・流木対策指針、平成 30 年 3 月

9-5 取りまとめ

荒廃危険地調査の成果は、崩壊等の発生が把握できるように取りまとめるものとする。

〔解説〕

荒廃危険地調査の結果は、崩壊等の発生、土石流・流木の発生について規模等がわかるように図表に整理する。なお、崩壊等の発生要因が降雨によるものであり、水文資料によりその生起確率（7-3参照）の解析が可能な場合、荒廃地調査の結果とも合わせて、計画・設計の基礎資料となるように取りまとめるものとする。

第10節 環境調査

10-1 総説

環境調査は、事業対象地及びその周辺の環境を把握して、事業の計画、設計及び効果の検証に必要な基礎資料を得ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 環境調査は、治山事業と環境との調和を図る観点から、計画・設計及び施工中・施工後の評価に関して、必要に応じて行うものとする。
- 2 環境調査は、事業対象地及びその周辺の生態系、景観などを対象として、事業の実施に伴う環境負荷等の影響が予想される十分な範囲を調査する。

〔参考〕 環境負荷の評価手法

環境負荷の評価は、ライフサイクルアセスメント（LCA、ISO14040、JIS Q14040）を踏まえ実施することが望ましい。

10-2 調査の種類

調査の種類は、適切なものを選択するものとする。

〔解説〕

- 1 環境調査の標準的な種類は、次のとおりである。
 - (1) 自然環境調査
 - (2) 自然景観調査

10-3 自然環境調査

10-3-1 植物調査

植物調査は、植物相、植物分布、貴重種等について調査するものとする。

〔解説〕

- 1 植物調査は、次のとおり実施する。
 - (1) 文献及び聞き取り調査
文献調査、学識経験者等への聞き取り調査により、植物相、植生分布、貴重種、貴重群落等を把握するものとする。
 - (2) 現地調査
現地調査は、文献及び聞き取り調査の成果を踏まえ、必要に応じて植物種に対して適切な方法で実施するものとする。
- 2 植物調査の対象は、陸上植物及び水生植物である。

3 現地調査の留意点は次のとおりである。

(1) 現地調査の時期

調査の時期は、植物種及び分布状況を把握できる時期とし、一般的には植物の活動時期に行うとよいが、種の同定の困難なものについては、対象の特徴が顕著となる開花時期等が望ましい。

(2) 現地調査の手法

現地調査の手法として、コドラート法が最も多く用いられている。

10-3-2 動物調査

動物調査は、動物の生息種とその分布状況、貴重種の生息状況等について調査するものとする。

〔解説〕

1 動物調査は次のとおり実施する。

(1) 文献及び聞き取り調査

文献調査、学識経験者等への聞き取り調査により、動物の生息種、その分布状況、貴重種の生息状況等を把握するものとする。

(2) 現地調査

現地調査は、文献及び聞き取り調査の成果を踏まえ、必要に応じて動物種に対して適切な方法で実施するものとする。

2 動物調査の対象は、ほ乳類、鳥類、は虫類、両生類、魚類、昆虫類等である。

3 現地調査の留意点は次のとおりである。

(1) 現地調査の時期

対象とする動物の特性に応じた時期を選定することが望ましい。例えば鳥類の場合、つがい活動の時期や渡りの時期がよく、ほ乳類の足跡調査の場合は、積雪期がよい。

(2) 現地調査の方法

次表の方法から適切なものを選択するものとする。

表一31 主な動物調査の手法

動物の種類		調査法	概要
ほ乳類	中大型ほ乳類	痕跡法 (フィールドサイン)	生息地に残された足跡、糞、食痕、つめ跡、営巣の跡等により、生息種、生息範囲の把握ができる。 直接個体を確認する機会の少ない中、大型動物の調査に適している。
	小型ほ乳類	捕獲法 (トラッピング)	生け捕りを目的とした場合は、かごわな(ライブトラップ)、その他の場合は、はじきわな(スナップトラップ)を夕刻に設置し、翌朝回収する方法を2~3日くり返して行う。 ネズミ、モグラ等痕跡が残りにくい小動物に適しており、わなの配置の方法により、個体数や行動域が推定できる。
鳥類		ラインセンサス (ロードサイドセンサス)	一般的には、既存道(登山道、林道、畔道、その他静かな道)を調査ルートとし、鳥類の活動が最も活発な時期に調査する。 ルートをゆっくり歩き、その間出現する全ての個体数、種類を記録する方法で、行動圏の広い種を除く鳥類全般の調査に適している。

	定点法 (ポイントセンサス)	視認可能な範囲を調査区とし、一定の時刻にそこにいる全ての種類、個体数を記録する方法で猛禽類の飛翔状況の調査等に適している。
両生類 は虫類	直接観察法	踏査によって各種の成体、卵、幼生を確認する。調査時期は、春期から秋期、特に両生類は各種の繁殖期が観察に適している。
魚貝類	採集法	投網、定置網、釣り、潜水等を対象とする魚貝類及び水底地形に応じた方法で採集するものである。当該水域で実際に使用している漁具を優先して使用したほうがよい。
昆虫類	任意採集法	捕虫網により、樹木の葉や草をすくったり、飛行中の昆虫を採取するスーピング採集や白布を樹木の枝葉の下に広げ、枝葉を叩いて落下する昆虫を採集するビーティング法がある。特に、草原等で一定回数同規格の捕虫網を振って集計すると他地点との個体数の比較ができる。
	わな(トラップ)による採集法	餌(ベイト)を入れた採集瓶を土中に埋め、餌を求めて集まる歩行性の昆虫を落下させ採集するベイトラップ法や、白布を背にして、各種の光源を置き夜間光に集まる昆虫を採集するライトトラップ法等がある。

10-3-3 水質環境調査

水質環境調査は、溪流等の水質が治山工事の施工によって変化する可能性のある場合に実施するものとする。

[解説]

水質調査は、溪流、地下水等に関して、治山工事の施工に伴う濁水など水質の変化が、下流域の水利利用等に影響を及ぼすことが推定される場合に、現地計測、採水による定量分析により実施するものとする。

[参考] 調査項目

主要な調査項目は次のとおりであり、現地の状況から適切なものを選択する。

現地計測：水温、PH、導電率、濁度、DO等

定量分析：主要イオン濃度、BOD、重金属などの有害物質

10-4 自然景観調査

自然景観調査は、施設等の設置予定箇所周辺の主要景観地の分布状況、主要眺望点からの眺望の状況及び自然環境保全上特に留意するものを調査するものとする。

[解説]

- 1 主要景観地とは、主として国立公園、国定公園及び都道府県立公園等自然公園法に基づいた地域、文化財保護法により、天然記念物に指定された地域、その他特徴的風景を有する地域である。
- 2 主要眺望点とは、不特定多数の人々によって景観を鑑賞する展望地点として位置付けられている公共の場所であって、一般には道路、公園等における展望台や展望地、峠、観光道路等である。
- 3 眺望の状況に含まれる内容は、次のものである。

- (1) 景観を構成する要素（山岳、溪流、森林、構造物等）の形態及び組合せのまとまりと変化
- (2) 色彩の多様性の程度（空の青、山の緑、水の青、ダムの白、集落の色の混在等）
- (3) 主要な眺めの視野において占める程度及び可視の程度
- (4) 景観を取り巻く雰囲気（静的、動的、穏やか等）
- (5) 利用状況
- (6) 価値（全国的価値、都道府県的価値、市町村的価値）
- (7) その他の天候（明るさ）、対象の大小等

10-5 取りまとめ

調査の結果は、調査目的に応じて整理し、事業の計画、設計及び効果の検証に資するよう取りまとめを行うものとする。

〔解説〕

環境調査の結果は、環境の実態がわかるように図表に整理するとともに、計画設計時における影響の予測、保全対策の検討、施工後の効果の検証が的確に実施できるように取りまとめるものとする。

10-6 総合解析

調査の結果に基づいて、環境への影響について予測を行うとともに必要な保全対策を検討する。なお、予防・保全対策に不確実性がある場合は、効果の検証を行うものとする。

〔解説〕

- 1 環境調査の結果に基づいて、治山施設の設置等が環境へ与える影響を予測するとともに、必要に応じて影響の回避・軽減又は環境の復元・創出を目指した保全対策を計画・設計に盛り込むものとする。
- 2 予測・保全対策に不確実性がある場合は、効果の検証のために継続的に環境調査を実施し、効果の評価を行うものとする。また、必要に応じて、その結果をフィードバックして、計画・設計の変更・修正を行うものとする。

第11節 社会的特性調査

11-1 社会環境調査

社会環境調査は、既往災害、保全対象等について、調査するものとする。

〔解説〕

- 1 既往災害の調査は、主として事業対象地域及びその周辺の既往災害記録、山地災害危険地区調査結果等の資料により調査する。
- 2 保全対象等の調査は、事業対象地域の崩壊地、荒廃溪流、落石荒廃地及び荒廃危険地が被害を与えるおそれのある区域における、土地利用状況、田畑、漁業施設、公共施設（公共建物、道路、鉄道、公益的施設等）、集落、人口等について主として資料等により調査する。

11-2 法令・規制等調査

法令・規制等調査は、各種の法令等の指定状況等について把握するものとする。

[解説]

- 1 事業の計画、設計に当たっては、事業対象地域及びその周辺における各種法令等の指定状況及び規制内容を把握し、必要に応じて、関係機関と調整を図る必要がある。
- 2 法令・規制等調査では、事業対象地域にある森林の公益的機能について調査する必要がある。

[参考] 調査する法令等

関係する法令等には主として次のようなものが考えられる。

表-32 関係法令等と調査項目

関係法令等	主な調査項目
森林法	保安林、保安施設地区（山地災害危険地区）
地すべり等防止法	地すべり防止区域（地すべり危険地区）等
漁業法	内水面における漁業権
水産資源保護法	保護水面
文化財保護法	史跡、名勝、天然記念物
河川法	河川区域
砂防法	砂防指定地（土石流危険溪流）
土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律	土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域
急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律	急傾斜地崩壊危険地区（急傾斜地崩壊危険箇所）
海岸法	海岸保全区域、一般公共海岸区域
自然公園法	国立公園、国定公園、都道府県立自然公園
自然環境保全法	原生自然環境保全地域、自然環境保全地域、都道府県自然環境保全地域
絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律	生息地等保護区
鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律	鳥獣保護区
宅地造成及び特定盛土等規制法（令和5年5月26日施行）	宅地造成等工事規制区域、特定盛土等規制区域
都市計画法	地域地区等の決定状況等
古都における歴史的風土の保存に関する特別措置法	歴史的風土保全地区等指定状況
都市緑地法	緑地保全地域等の指定状況
景観法	景観地区の指定状況
その他	関連自治体の条例、国有林の機能類型、保護林

1 1 - 3 防災施設等調査

防災施設の調査は、既存の防災施設等の整備状況及び今後の計画について調査するものとする。

〔解説〕

- 1 事業の計画・設計に当たっては、既存の治山施設、既存の他所管防災施設の位置・規模（砂防施設、地すべり防止施設、河川施設、多目的ダム等及び今後の計画について調査するものとする。
- 2 既存の治山施設は、位置・規模のほか、機能の発揮状況、被災状況等についても調査し、機能強化、補修等の計画の必要性を判断する資料とする。なお、主な機能強化の種類は、以下のとおりである。
 - (1) 嵩上げ
既存の治山ダムの堤高を上げることで、治山ダムの持つ機能を強化させる。
 - (2) 増厚
既存施設の設計時に想定した荷重に加え、新たに土石流による荷重等がかかることが判明した場合等に計画する。
 - (3) 洗掘防止施設
下流の河床変動や局所洗掘が生じている箇所、嵩上げによる有効落差の増加等により、洗掘のおそれのある箇所に計画する。
 - (4) 土石流・流木防止対策
土石流や流木の流出するおそれのある場合は、既存施設を改良し流出防止施設を計画する。
- 3 治山施設の被災状況は、下流側前庭部の洗掘状況、袖の突っ込み状況、放水路天端の摩耗状況、堤体の亀裂の有無等について調査する。

〔参考〕 既存施設の維持管理・更新について

既存施設の維持管理・更新等を推進するための方向性を示す基本的な計画として、「インフラ長寿命化計画（行動計画）：林野庁 令和3年3月31日改定」が取りまとめられている。

森林の有する多面的な機能の発揮が将来にわたり確保されるためには、森林の整備及び保全を適切に進めていくことが肝要である。そのための基礎として必要となる施設について、新たな整備を推進することに加え、これまでに整備された既存ストックについて、森林や山村などを取り巻く状況を勘案し、適切な維持管理・更新などを進め有効活用を図っていくことが重要である。

施設の点検・診断、長寿命化対策（維持作業、補修、機能強化、更新）を統一的かつ効率的・効果的に行うに当たり、「治山施設個別施設計画策定マニュアル：林野庁 平成30年3月」、「治山施設に係る個別施設計画策定のためのガイドライン：林野庁 平成28年3月28日策定」が参考となる。

表-33 既存施設の対策例（補修、機能強化、更新）

工種	変状	考えられる対策
溪間工、土留工、水路工 (コンクリート構造)	劣化・剥離	・表面被覆、断面修復、前面増厚 ・補修（被害箇所との交換）
	堤体損傷	・破損箇所の修復 ・前面増厚
	ひび割れ・漏水	・表面被覆 ・前面増厚 ・部材交換
	湧水	・水処理
	変位・変形	・工種変更（更新） ・アンカー工による補強
溪間工、土留工、水路工 (鋼製・木製構造)	腐食・腐朽	・部材の交換、補強 ・コンクリート工による補強
	変位・変形	・変位変形が大の場合、更新
	中詰材の流出	・破断部材交換後、中詰材の再投入
	部材の破断	・部材交換
	ボルト欠損	・ボルト交換
のり面保護工	劣化・剥離	・増厚吹付 ・表面被覆
	ひび割れ	・増厚吹付 ・表面被覆
	湧水	・水処理
	変位・変形	・打換え ・対策工の検討
落石対策工	腐食	・錆止め塗装 ・部材交換
	変形、緩み等	・金網の交換
	落石の異常堆積	・落石の除去

参考文献

- 森林立地調査法編集委員会：森林立地調査法、博友社、平成 11 年
 日本林業土木連合協会：治山全体調査の考え方進め方、林土連研究社、昭和 43 年
 日本学術会議：地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について、平成 13 年
 塚本良則：森林・水・土の保全、朝倉書店、1998
 新谷融、黒木幹男ほか：流域動態の認識とその方法、北海道大学図書刊行会、2001
 日本道路協会：落石対策便覧、平成 29 年
 森林土壌研究会：森林土壌の調べ方とその性質（改訂版）、林野弘済会、平成 5 年
 地盤工学会：土質試験の方法と解説、平成 16 年
 地盤工学会：地盤調査法、平成 15 年
 河川砂防技術基準（案）
 治山技術基準解説

第3章 山地治山計画の基本方針

第1節 計画の基本理念

山地治山計画は、山地治山事業の目的を達成するため、環境の保全・創出を考慮しつつ、治山施設の適正な配置と森林の復旧・整備により、安全水準の向上、確保ができるように策定しなければならない。

〔解説〕

山地治山計画は、第1章「事業の定義及び目的」に掲げる目的を達成するために策定する治山事業全体計画、実施計画等の総称である。

第2節 計画規模

山地治山計画における計画規模は、対象とする流域の重要度、保全対象との関連、荒廃地や荒廃危険地の規模及びその特性等を考慮して決定するものとする。

〔解説〕

計画規模の決定に当たっては、荒廃地や荒廃危険地の規模及びその特性等から想定される災害の特性、規模、範囲とそれに応じた保全対象等を把握し、事業の実施によってもたらされる森林の公益的機能発揮の効果を総合的に勘案するものとする。

第3節 山地治山計画の策定

3-1 基本的考え方

山地治山計画は、それぞれの流域における調査の結果に基づいて、自然的、社会的な特性に立脚した最も経済的かつ効率的な計画でなければならない。

〔解説〕

- 1 山地治山計画の策定は、それぞれの流域について必要な調査を行い、自然的及び社会的な流域固有の特性を把握して行うものとする。
- 2 山地治山計画は、原則として、次のような段階を経て作成するものとする。
 - (1) 基本的な検討：広域な地域に対する基本構想を明らかにして、概括的な計画を検討する。
 - (2) 計画策定のための検討：一定区域の流域や山腹斜面等において、整備目標、整備水準、整備方針等を明らかにして、一定期間に行う具体的な計画を検討する。
 - (3) 山地治山計画の策定：上記(1)、(2)を踏まえ、治山事業全体計画、実施計画等各々の目的、整備目標等に合致した計画を策定する。
- 3 山地治山計画策定後においては、計画の推進状況を検証するとともに、状況に変化が生じた場合には、適切に計画の変更等を行うものとする。

また、一定期間を経過した場合あるいは、計画の変更等を行った場合には、山地治山事業の効果の評価を行い、以後の計画に反映させるものとする。

〔参考〕 治山事業全体計画（事業実施のための計画）の作成

治山事業全体計画の標準的な作成手順は、「国有林治山事業全体計画作成等要領」等にお

いて次のとおりとされている。

- 1 対象区域等の現況把握
- 2 期待される森林の公益的機能の把握
- 3 荒廃現況の把握
- 4 整備目標等の設定

事業の目的、対象区域等の現況、発揮が期待される森林の公益的機能、荒廃現況等を踏まえ、整備目標（事業における整備に係る現象を明確にし、その現象ごとに、これを抑止、抑制又は改善しようとする内容）、整備水準（対象区域又は近傍の降雨、降雪、風、波浪、地震等の天然現象の規模又は頻度を踏まえた抑止又は抑制の水準、地すべり防止対策における目標安全率、森林整備において目標とする林型、その他の整備目標を具体的に示すために必要な事項）及び整備計画量（全体計画において整備対象地の復旧・整備を計画する量及びその量の設定の考え方）を設定する。

- 5 整備方針の設定

整備目標を達成するために必要な治山施設及び森林の整備の主な種類、施工方法、配置及び施工上の優先順位とその考え方、その他復旧・整備に当たっての具体的な方針について定める。

- 6 他事業との関連

他事業との調整状況や連携状況等について把握する。

- 7 事業量

計画する治山施設及び森林の整備の工種別の数量及び金額を決定する。

- 8 全体計画図

全体計画の対象区域、荒廃地等の現況、整備計画量、治山施設及び森林の整備箇所の配置、施行効果区域等について一体的に明示した図面を作成する。

[参考] 整備対象とする現象

治山事業全体計画の対象とする現象は、次のものがある。

- 1 山腹荒廃地における崩壊の拡大、侵食等
- 2 山腹荒廃危険地における崩壊等
- 3 荒廃溪流における溪床・溪岸侵食等
- 4 地すべり
- 5 落石
- 6 飛砂、潮風、高潮、強風、霧、なだれ
- 7 森林立木の被災
- 8 森林の公益的機能の低下
- 9 自然環境・生活環境の悪化
- 10 その他

山地治山事業では、主に1、2、3及び5を取り扱うが、山地治山計画においては、これらを総合的に勘案して策定するものとする。

3-2 山地治山計画の具体的方針

山地治山計画は、治山施設の適切な配置及び森林の復旧・整備により、広く流域全体の災害の防止、水源のかん養、その他の森林の公益的機能の維持増進が一体的かつ総合的に図られるよう策定するものとする。

[解説]

- 1 山地治山計画は、山腹荒廃、荒廃溪流、落石等に関する現象を明確にして、事業目

的を達成するよう策定するものとする。

- 2 山地治山計画は、森林の有する公益的機能を維持・向上させる観点から、治山施設の設置と森林の造成等による復旧・整備を一体的かつ総合的に実施できるよう策定するものとする。
- 3 山地治山計画の策定に当たっては、治山施設の適切な配置及び森林の復旧・整備と地域の防災体制の整備に資する対策も含めた総合的かつ効果的な防災対策による減災及び環境への配慮に留意するものとする。

3-2-1 山地治山計画において計画すべき内容

山地治山計画は、溪間工、山腹工、森林整備等を適切に組み合わせて、荒廃地の復旧及び荒廃の未然防止を行うよう策定するものとする。

[解説]

- 1 山地治山計画においては、山腹荒廃地の復旧、山腹荒廃危険地の荒廃防止、荒廃溪流における縦横侵食防止等を行い、森林の生育基盤の維持形成を図るとともに、山地災害を発生させるおそれのある荒廃地等を直接復旧・整備する発生源対策を検討するものとする。
- 2 荒廃地の復旧及び荒廃の未然防止に当たっては、荒廃の程度、下流への影響度合いを考慮して発生源対策の内容等を定めるとともに、荒廃特性に適合した工種・工法を検討するものとする。
- 3 荒廃地の拡大、土石流の発生等により、下流に大きな影響を及ぼすおそれがある場合は、予防対策を含めた総合的な対策を検討するものとする。
- 4 治山施設の配置、工種・工法の選定等に当たっては、治山施設の新設費用のみでなく、耐久性、将来の補修等も含めた総合的なコスト縮減対策の推進を考慮した計画となるよう努めるものとする。
また、長期にわたり治山施設の機能の維持が図られるように、既存の治山施設の適切な補修や機能強化を考慮した計画となるよう努めるものとする。
- 5 地すべり又は森林整備に関する計画及び設計に当たっては、第4編「地すべり防止事業」、第5編「保安林整備事業」に準じて行うものとする。

[参考] 近年の災害状況を踏まえた対策

近年発生している山地災害の特徴は、①表層よりもやや深い層からの崩壊発生の増加、②流量増による溪流の縦横侵食の激化、③線状降水帯の形成等による山地災害の同時多発化があげられる。これらの特徴は、土砂や流木の流出量の増加を助長し、保全対象へ被害を拡大させることとなり、治山対策により取組を強化していくことが必要となる。

① 表層よりもやや深い層からの崩壊発生が増加していることへの対応

- ・近年の豪雨形態の変化により、崩壊土砂が溪流を侵食しながら大量の土砂・流木を伴い流下し、保全対象に影響を及ぼすケースがあることから、発生源対策や監視にも取り組むことが必要である。
- ・発生源対策や監視の対象とする箇所は、リモートセンシング技術による微地形判読を活用することで、過去の災害履歴、断層帯や湧水の有無等、効率的に抽出することが可能である。
- ・対策については、現地へのアクセス条件等施工性や経済性を踏まえつつ、雨水の分散や排水を図るなど崩壊発生自体の抑制を図る対策（例えば簡易な筋工、柵工、カゴ工、斜面補強土工等の設置）を検討する。

② 流量増による溪流の縦横侵食が激化していることへの対応

- ・集落等保全対象が近接している場合は、土石流の衝撃にも対応できる治山ダムの構

造とするとともに、上流における不安定土砂の流出・生産が多く、かつ繰り返しのメンテナンスが可能な場合にあつてはダム上流側に貯砂容量を持たせるタイプの治山ダムの設置を検討する。

- ・保全対象から一定程度距離がある流下区間は、施工性やコストの観点も考慮し、比較的規模の小さい治山ダムを階段状に設置することを検討する。
 - ・溪流沿いの立木のうち侵食を受け根が浮くなどして根系機能の発揮が期待できない状態となっているものを、帯状又は単木で伐採するとともに、将来、再度流木被害を招く危険性を低減するため、当該地を伐採後の植栽箇所から除外し周辺樹種の自然導入へ誘導する等林相転換を図っていく。
- ③ 線状降水帯の形成等により山地災害が同時多発化していることへの対応
- ・危険度が高くかつ施設が未整備となっている地域を優先し、着手率の向上を主眼に対策を講じていくことが必要である。
 - ・施設が一定程度配置されている地区については、施設の追加設置のみならず、既存施設の嵩上げ・増厚等の既存施設の有効活用も検討する。

参考文献

林野庁：豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会：「豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会（とりまとめ）令和3年3月」

3-2-2 荒廃地の復旧等の計画

荒廃地の復旧等に当たっては、荒廃地等の地質、荒廃成因等によって類型化し復旧工法等を検討の上、計画するものとする。

[解説]

山地治山計画の内容は、荒廃地、荒廃危険地等の形態や、荒廃の原因、荒廃過程、気象条件、土質・地質等により異なるため、多様なものとなる。

特に、山腹荒廃地等の形態を類型化することは、それぞれの基礎的な対応策等を把握することができ、具体的な山地治山計画の策定に当たって有益である。

- 1 溪岸侵食型
- 2 浸透水型（表層崩壊、深層崩壊、地すべり性崩壊）
- 3 表面侵食型
- 4 変質風化型
- 5 はげ山
- 6 シラス荒廃地
- 7 火山性荒廃地
- 8 煙害等による荒廃地
- 9 落石荒廃地

[参考]

上記区分のうち主な荒廃形態及び対策について特記すれば、次のとおりである。

1 溪岸侵食型

溪岸侵食型荒廃地は、地質的条件に関係なく見られるタイプである。その素因として溪流の蛇行、溪床勾配等があり、洪水流や土石流の水衝部に当たる溪流沿いの斜面の山脚部が侵食を受け崩壊するものが多い。

対策としては、溪岸斜面の山脚を固定するため溪間工を計画する。具体的には、溪岸の侵食を防止するため、治山ダムで縦横侵食を防止して流路の固定を図り、護岸工

等によって水衝部を保護して山脚の侵食を防止する等の方法がある。
さらに、必要に応じて山腹工を計画し、総合的な荒廃地復旧対策を行う。

2 浸透水型

浸透水型の崩壊は、斜面表土層の下層に比較的硬い岩盤や粘土層が存在して不透水層を形成し、豪雨等による浸透水によって表土層内の間隙水圧が増大して、不透水層を境に崩落するものが多い。

浸透水型崩壊には、土層の厚さが比較的浅い崩壊の場合の表層崩壊と、深い深層崩壊及び地すべり性崩壊があり、豪雨によって浸透した中間水が、不透水層を境に滞留して飽和状態となり、間隙水圧の上昇により土粒子相互の粘着力が失われ急激に崩壊して流動化し土石流となることがある。

対策としては、崩壊土砂による土石流の発生を防止するため、崩土が溪床に堆積している場合には、治山ダムによって不安定な土砂を固定（溪床固定）して、溪床に堆積している土砂の土石流化を防止することを計画する。

(1) 表層崩壊

この崩壊の形態としては、表土層が比較的薄いとき、短時間に集中的な豪雨があった場合等に多く発生し、崩壊地の形状は板状や複数の小崩壊が繋がって樹枝状を呈するものが多い。火山堆積物地帯、第三紀層地帯及び深成岩地帯の山腹上部から中部の表層土の浅い遷急線付近に多く、表層滑落型の崩壊となる場合が多い。

対策としては、土留工、客土効果の大きい緑化工、特殊吹付工、のり砕工等によって復旧を図る。なお、完全に表層土が崩落して岩盤や硬い地層が露出した平滑な崩壊地については、自然復旧に期待することも止むを得ない場合がある。

(2) 深層崩壊

この崩壊の形態としては、堆積層が厚く、かつ長期間にわたる多量の降雨や融雪水の供給によって深部の間隙水圧が上昇して崩壊を起こすものである。崩壊地の形状は馬蹄形や貝殻状崩壊が多い。

対策としては、崩壊の規模及び深度が大きい崩壊地が多いので、のり切工を十分に行うとともに、土留工によって不安定土砂を固定し、暗きょ工や水路工を併設して崩壊原因である浸透水を早く排除することにより復旧を図る。

また、比較的硬い岩盤等の露出地については、条件に応じてのり砕工、緑化工等を計画する。特に、硬い地層と軟らかい堆積土等との接点付近は、地表流が直接流下して崩壊を拡大しないよう水路工等を計画する。

(3) 地すべり性崩壊

地すべり性崩壊は、前記の深層崩壊とは発生形態がやや異なり、堆積地や泥岩、凝灰岩の厚い風化層、あるいは破碎帯等で地下水に起因して発生する場合が多く、比較的深い貝殻状の崩壊となる。地すべりに似るが、風化泥岩、粘土層等のすべり面を境にしてすべり面上の構造を保ちつつ緩慢に移動する現象とは異なる。

崩壊地においては、崩壊の原因となり易い湧水点からの排水と、地下水を早く表面水にして斜面の安定化を図るために、暗きょ工や水路工を適切に配置する。併せて土留工や緑化工等によって表層土の固定を図る。

地すべり性崩壊の中には、滑落した土塊があまり変形しないまま斜面下部に堆積している場合がある。この場合は、治山ダムによって溪床を上げて、堆積土砂の移動防止を図り、押え盛土の抑制効果で滑動を防止する。それでも滑動するおそれがある場合には、土塊の移動を直接抑止する杭打等の工法がある。また、滑落崖等には、周囲からの地表流等が流入しないよう水路工等を特に計画する。

崩落土塊が著しく大きく、下方へ更に崩落するおそれがある場合等は、崩壊の原因となった地下水の排除のため、集水井、ボーリング暗きょ等の地すべり防止工事に準

じた工法を計画する。

3 表面侵食型等

表面侵食型荒廃地は、花崗岩地帯のはげ山が代表するように、地表流により地表が侵食され鋸歯状の崩壊形態を呈する。一般には土性が不良であることに加え、気象条件、山火事等が原因ではげ山となっていることが多い。

火山性堆積物地帯やシラス地帯では、脆弱な火山灰土、軽石等の堆積地がV字型に侵食されてガリーを形成し、それぞれのガリーが繋がって樹枝状を呈した荒廃地となる。

豪雨等による地面流が主な原因となるはげ山やシラス荒廃地は、土質の特殊性に起因するものがある。

対策としては、初期の段階では筋工、柵工、水路工等によって侵食を防止し、崩壊地を緑化工により被覆する。特に侵食の進んだ地帯では溪流に治山ダムを計画し、渓床勾配を修正し、流路工によって縦横侵食の防止を図り、これを基礎に山腹斜面の復旧を計画する。

はげ山地帯やシラス地帯で特に留意すべきこととして、侵食された斜面は、のり切整地等によって安定勾配へ導くとともに、のり切によって発生する土砂が堆積する深い凹部には埋設工や暗きょ工を計画し、土砂の流動化を防止する。

また、斜面には柵工等を設け、積苗工、客土吹付工等を計画し、表層土の侵食を防止すること、斜面長が長い場合にはのり砕工により緑化すること等がある。

その他の火山性堆積物地帯においては、崩壊の形態は類似しているが堆積している土砂の土質、堆積土砂の厚さ等は様々である。一般には深く侵食された山腹斜面については、埋設工や土留工を併用しながら、のり切によって斜面を整形し、必要な水路工や緑化工を計画する。侵食された溪流については、治山ダムにより縦横侵食の防止を図る。

火山性堆積物は、火山活動の時期や期間等によって噴出物の性質に差があるので、溪間工を計画する場合には基礎地盤等について慎重に検討する必要がある。

4 変質風化型

変質風化型荒廃地は、火山や熱水活動により変質したり、風化、粘土化した地層で、表層崩壊や地すべり性崩壊となる場合が多い。

対策としては、表層崩壊は土留工や緑化工を主とする山腹工の計画となるが、深い地すべり性崩壊は地すべりと同様の対策が必要である。

温泉変質作用を受けた地帯では、土壌の酸性が強く、緑化工等に特殊な技術を必要とするばかりでなく、コンクリート等の使用する資材も耐酸性を考慮して工種・工法を選定する必要がある。

5 落石荒廃地

落石荒廃地は、節理、亀裂の発達した岩体、硬さの異なる岩の互層、固結度の低い礫岩、深層風化した岩体等の地層で、急傾斜地に多い。落石の発生形態としては、節理、亀裂の発達した岩がはがれて取れる剥離型と、段丘堆積物や凝灰角礫岩等の基質が雨水等で風化侵食されて不安定化する転石型がある。

対策としては、崩落が予想される浮石・転石を取り除くか、不安定な岩塊等を被覆、固定する等の発生源対策が効果的である。しかし、発生源が広範囲なとき、地形が急峻で発生源対策が困難なとき等は、落下しても被害が生じないように発生源から保全対象に至る山腹に防護壁等を設けて、落石を抑止するよう計画する。

また、発生源と落下区間に、比較的成長が早くかつ深根性の樹種を植栽して、これらの森林（樹木）によって将来的には落石や転石を抑止できるよう計画する。

以上のとおり、荒廃形態を主な原因により区分し、その基本的な対策工の概要をあげ

たが、これらは目安であり、計画に当たっての留意点にすぎない。

それぞれの荒廃地を詳細に見れば、その原因となるものは複合的に作用して現実の荒廃形態を呈しているため、画一的、一面的な検討による計画では不適切となる危険性が高い。降雨のあり方一つをとらえて見ても、一連続雨量が多かったからといって荒廃地が異常に発生するものとは限らず、同じ一連続雨量でも降雨強度の大きい降雨を含む場合には荒廃地の発生率は高い。

また、年降雨量の多い多雨地帯と雨量の少ない寡雨地帯では、降雨による荒廃地化に対する抵抗力に差異があり、いわゆる台風常襲地域では降雨に対して耐性が強い。

このように単純な仕分けで対策工法が決定されるものではなく、その置かれている条件を、いろいろな視点から検討して計画する必要がある。

3-2-3 山腹荒廃危険地対策

山腹荒廃危険地においては、対象とする山腹斜面の自然的条件及び社会的条件を踏まえ、発生源対策、落石及び崩壊土砂の流出防止対策並びに森林の土砂崩壊及び流出防止機能を高めるための森林整備を適切に組み合わせて計画するものとする。

〔解説〕

- 1 山腹荒廃危険地対策は、山地災害危険地区及び、その他の山腹荒廃危険地であって 保全対象との関係から対策を実施する必要性の高い箇所を重点的な対象として計画するものとする。
- 2 工種・工法の選定に当たっては、地質、地形、林相等の自然的条件及び山腹斜面の上下部にある保全対象等の社会的条件を踏まえて、総合的に判断するものとする。

3-2-4 土石流・流木対策

土石流・流木の発生のおそれのある溪流においては、土石流及び流木に起因する山地災害を防止・軽減するため、流域の特性に応じて、荒廃地等の復旧・整備を含めた発生源対策や、溪床の縦横侵食の防止対策等を総合的に計画するものとする。

〔解説〕

- 1 土石流・流木対策は、山地災害危険地区や、その他の土石流（泥流、土砂流を含む）・流木の発生が危惧される溪流等と保全対象との関係から、対策を実施する必要性の高い箇所を重点的な対象として計画するものとする。
- 2 土石流・流木に起因する山地災害対策においては、いわゆる流動化のおそれのある山腹崩壊地等の復旧・整備を含めた発生源対策に重点を置きつつ、土石流・流木の流出区間を発生、流送、堆積等の区間に適宜区分の上、他事業との連携・調整も踏まえ、それぞれの土砂移動の特性に応じた工種・工法を選定するものとする。
- 3 流木対策は、流木の発生形態が土石流に伴う場合と洪水流に伴う場合があることから、形態に応じて土石流を中心とする計画ないし流木対策を中心とする計画を選択するものとする。なお、流木が堆積し流出のおそれがある場合は、必要に応じて、流木等の除去を行うよう計画するものとする。
- 4 治山施設の設置を計画する場合は、地域における治山施設の整備状況等を踏まえ、既存施設の嵩上げ、増厚、スリット化等の機能強化を行うことも検討して計画するものとする。
- 5 火山地帯では、侵食谷の発達や火山噴出物が広範囲に堆積することによる浸透能の低下により、泥流が比較的頻繁に発生することが多いことから、泥流対策を考慮して計画するものとする。

参考文献

林野庁：土石流・流木対策指針、平成30年3月

3-2-5 ソフト対策との連携

山地治山計画は、山地災害による被害の軽減を図るため、地域住民への山地災害危険地区等の情報提供によるソフト対策を含めた総合的かつ効果的な防災対策となるよう計画するものとする。

[解説]

山地治山計画の策定に当たっては、必要に応じて、治山施設の整備等のハード対策に加え、山地災害情報システムによる地域住民への情報提供等（山地災害危険地区や崩壊地の土塊の移動状況等）のソフト対策により、地域において山地災害の発生に対応する避難体制の整備等と連携した総合的かつ効果的な減災が図られるものとなるよう留意するものとする。

3-2-6 環境の保全・形成への寄与

山地治山計画の策定に当たっては、周辺的环境に与える影響の低減を図るとともに地域の自然環境等の保全・形成に寄与するよう努めるものとする。

[解説]

- 1 山地治山計画の策定に当たっては、山地治山事業を実施する地域の自然的特性等を踏まえ、地域の生態系や自然景観など自然環境等の保全・形成を図るよう努めるものとする。具体的には、第2章第10節に定める環境調査を行い、必要な環境保全・形成対策を計画するものとする。
- 2 工種・工法の選定に当たっては、資源の循環利用、環境に与える影響の低減、地球温暖化の防止等の観点から、間伐材等の木材・木製品を部材とした構造物の導入や、建設残土の活用等に努めるものとする。

[参考]

ミティゲーションとは、開発に伴う環境への悪影響を極力減少させるとともに、開発によって損なわれる環境を可能な限りゼロに近づけようとする考え方をいう。

山地治山事業は開発とは異なるが、治山施設の設置等に当たっては当該箇所及び周辺的环境に影響を及ぼす可能性を否定できないことから、山地治山計画の策定に当たっては、事前に環境に関する調査を実施すること等により柔軟に計画を検討する必要がある。

なお、「環境に関する調査」とは、山地治山事業を計画する箇所及び周辺の地域について、文献等により環境について把握することを含めた広義な調査をいう。

ミティゲーションは以下のような概念である。

ミティゲーション5原則の概念

1 回避 (avoidance)

特定の行為あるいはその一部を行わないことにより、影響全体を回避すること。

2 最小化 (minimization)

行為とその実施において、程度と規模を制限することにより、影響を最小化すること。

3 修正 (rectifying)

影響を受けた環境を修復、回復、または改善することにより、影響を矯正すること。

4 軽減 (reduction/elimination)

保護・保全活動を行うことにより、事業期間中の影響を軽減・除去すること。

5 代償 (compensation)

代替の資源や環境で置換、あるいはこれらを提供することにより、影響を代償すること。

第4章 溪間工の設計

第1節 測量

1-1 測量の範囲

溪間工に関する測量の範囲は、上下流及び両岸について、溪間工の配置、規模及び数量等の総合的判断が可能な範囲までとする。

〔解説〕

溪間工の測量は、次により行う。

- 1 工作物設置箇所の上流は、工作物の種類により、砂礫の堆積状況、侵食の可能性、山脚固定の効果が及ぶ範囲及び工作物完成後の影響を勘案の上、十分な範囲まで測量する。
- 2 工作物設置箇所の下流は、工作物の種類により、工作物完成後の影響、特に洪水流による両岸への影響及び溪床の低下を勘案の上、十分な範囲まで測量する。
- 3 工作物設置箇所の上流は、工作物の種類により、計画する工作物の規模、崩壊地等を含む範囲を勘案の上、十分な範囲まで測量する。

1-2 測量の種類

測量は、平面測量、縦断測量及び横断測量とする。

1-2-1 平面測量

平面測量は、溪間工に係る荒廃溪流、崩壊地等の形状、面積、地況及び周辺の地形条件等を把握し、溪間工の配置、規模及び数量等を決定するために行うものとし、測量の結果に基づいて平面図を作成するものとする。

〔解説〕

- 1 平面測量の測点は、工作物設置位置、崩壊地の周囲測量及び縦断測量等の測点を考慮して設けなければならない。
- 2 平面測量は、目的に応じた適切な機器を使用し、次の現況を把握できるよう正確かつ詳細に行う。
 - (1) 両岸山腹の状況（崩壊地、露出岩盤）、山脚線（溪床と両岸の境界）、流水の汀線、大転石、溪床砂礫の堆積状況等
 - (2) 土地の利用区分（国有林と民有林の別、耕地、宅地等の区画）、各種の建物、既設工作物（道路、橋梁、堤防、護岸、ダム、頭首工、用水路等）、林相区分等
- 3 平面測量に当たっては、基準点を地図上の位置が明瞭な地点等に設けることとするが、必要に応じて、水準点、三角点又は公共測量座標が明確な地点とすることができる。
- 4 平面図は、工作物の設計に必要な溪流延長について、溪流沿いに幅 100m（片側 50

m) の範囲で作成することを標準とする。

- 5 平面図には、測点番号、基準点、水準基標（BM：ベンチマーク）、引照点、方位、縮尺、標高、等高線、既設工作物の設置年度等の主要な諸元、主な保全対象、その他設計に必要な事項を記入する。なお、溪間工の計画・設計を行った場合は、その位置及び諸元を平面図に記入する。
- 6 平面図の縮尺は、その目的又は記載範囲に応じて、適切に選択する。なお、通常は1/1,000が用いられており、広範囲にわたる場合は1/2,000程度、特に重要な工種の場合、工種が複雑な場合、工種の規模・方向を平面投影で図示する場合等は1/200～1/500を用いることが一般的である。

[参考] 三次元測量

測量技術の変化により、三次元測量が普及しつつある。三次元測量とは、地形や構造物等の計測対象物の寸法情報を、三次元的に計測する測量である。UAV等を用いた空中写真測量やレーザ測距装置を利用したレーザ測量に大別される。

1-2-2 縦断測量

縦断測量は、溪流の縦断面の地形を測定し、縦断方向における溪間工の配置、規模及び数量等を決定するために行うものとし、測量の結果に基づいて縦断面図を作成するものとする。

[解説]

縦断測量の測点は、原則として平面測量において設けた測点を基準とする。

- 1 縦断測量は、目的に応じた適切な機器を使用し、次の現況を把握できるよう正確かつ詳細に行う。
 - (1) 溪床勾配とその変移点、露出溪床岩盤、大転石、溪床砂礫の堆積状況、溪床最低線
 - (2) 基準点及びBMの標高、既設工作物の堆砂・洗掘状況等
- 2 縦断測量に当たっては、BMを測量の起点（基準点）又は工作物の設置箇所付近の不動点に設けるものとする。
- 3 縦断面図の延長は、平面図における溪流延長と同一とする。
- 4 縦断面図には、測点番号、水平距離、水平てい加（水平追加）距離、垂直距離、垂直てい加（垂直追加）距離、溪床勾配、BM、既設工作物の設置年度等の主要な諸元、その他設計に必要な事項を記入する。なお、溪間工の計画・設計を行った場合は溪間工の全体計画において工作物の設置計画が明らかである場合及び既設計の工作物がある場合は、その位置及び諸元を縦断面図に記入する。
- 5 溪床勾配は、勾配の変移点（露岩及び砂礫の堆積状況、流量、崩壊地の有無、支流の合流地点等の勾配形成に影響する因子の変移点）の区間ごとに算出して記入する。
- 6 縦断面図の水平方向の縮尺は、平面図と同一とする。垂直方向の縮尺は、溪床勾配が1/10未満の場合は水平縮尺の5倍、1/10以上の場合は2倍とすることが一般的である。

縦断形をわかりやすくするため、溪床勾配が特に急な場合は垂直方向の縮尺を水平方向の縮尺と同一とし、溪床勾配が特に緩やかな場合は水平方向の縮尺の10倍とすることもある。

なお、流路工又は護岸工の設計のための縦断面図は、水平方向と垂直方向の縮尺を同一にすることが一般的である。

1-2-3 横断測量

横断測量は、溪流の横断面の地形を測定し、横断方向における溪間工の規模等を決定するために行うものとし、測量の結果に基づいて横断面図を作成するものとする。

[解説]

横断測量の基点とする測点は、原則として平面測量において設けた測点を基準とする。なお、基点とする測点の流亡等が想定される場合には、安全な位置に補助測点を設けることとする。

1 横断測量は、目的に応じた適切な機器を使用し、次の現況を把握できるよう正確かつ詳細に行う。

(1) 工作物設置箇所の横断方向の地盤変移点、露出岩盤、土石区分点、推定岩盤、既設工作物等

(2) 工作物完成後の堆砂、山脚固定等の検討に資する横断方向の地盤の変移点等

2 護岸工等の横断測量に当たっては、補助測点を多く設ける。

3 横断面図の縮尺は、その目的又は記載範囲に応じて、適切に選択する。

なお、通常は1/100が用いられており、必要に応じて1/10～1/50又は1/200を用いることが一般的である。

第2節 設計

2-1 溪間工設計の基本的考え方

1 溪間工は、荒廃溪流の復旧、荒廃のおそれのある溪流等の災害予防を目的とする。

2 溪間工の設計に当たっては、溪流及び森林の荒廃状況、地形・地質条件等を踏まえて、保全対象との関連を十分検討し、現地に最も適した工種、工法を選定しなければならない。

3 溪間工の設計に当たっては、自然環境の保全に配慮するものとする。

[解説]

1 溪間工の設計は、第3章「山地治山計画の基本方針」に基づき、治山施設等の整備方針を踏まえ、必要な調査を実施のうえ、要求される性能を満たすように工種・工法等を定めなければならない。

2 治山施設の設計に当たっては、山地治山計画に基づく治山施設の設置目的（要求性能等）を明確にしておくとともに、設計された治山施設が設置目的を満たすことを検証又は照査するものとする。また、設置目的を設計説明書に明記する。

[参考] 性能の明示

1 設置目的、要求される性能等の設定と検証

本技術基準等に基づき、構造物の設置目的、安全性（標準的な機能、安定性、耐久性を含む。）、施工性、経済性、環境調和性等の要求される性能を検討し明らかにする。

また、設計の成果が要求される性能を満たすことについて、複数の工種・工法の比較等により検証することが望ましい。

2 性能の照査

要求される性能を定量的に示すことのできる安定性等の項目については、要求される性能を満たすことを定量的に照査する。基本的な断面・構造に係る安定性の照査に当たっては、適切な荷重の組合せ、安定条件等による安定計算や実験の結果に基づき行う。

なお、治山施設の設計に当たっては、必要に応じて、従来の実績から要求される性を

満たすと見なすことができる仕様等を用いることができる（適合みなし規定）。

2-2 溪間工の工種

溪間工は、流域や溪流の状態、特性等に応じて、適切な工種を選択し、その機能を効果的に発揮するような規模・配置としなければならない。

〔解説〕

- 1 溪間工の標準的な工種は次のとおりとする。
 - (1) 谷止工、床固工（「治山ダム」と総称する。）
 - (2) 護岸工
 - (3) 流路工
 - (4) 水制工
- 2 地域の警戒避難体制への寄与等を図るため、必要に応じて、山地災害の監視・観測施設の設置を併せて行うものとする。

第3節 治山ダム

3-1 治山ダムの目的

治山ダムは、溪流の縦侵食及び横侵食の防止により溪床の安定、山脚の固定及び土砂の流出の抑止・調節を図ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 治山ダムは、次の一つ又は複数の目的をもつ。
 - (1) 溪床勾配を緩和して安定した勾配に導き、縦侵食及び横侵食を防止すること
 - (2) 山腹斜面の山脚を固定して、崩壊の発生等を防止すること
 - (3) 溪床に堆積した不安定土砂の移動を防止すること
 - (4) 土石流による溪流の荒廃を防止して、下流への土砂流出を抑止すること
 - (5) 常時の流出土砂は流水とともに流下させ、土石流又は流木の発生時には土砂又は流木の流下を抑止すること
- 2 治山ダムは、次のとおり区分する。
 - (1) 床固工：上流側の溪床が固定され、治山ダム設置後において上流側の縦断線に大きな変化のないもの
 - (2) 谷止工：上流側に貯砂機能があり、治山ダム設置後において上流側の縦断線に変化があるもの

3-2 治山ダムの型式及び種別の選定

治山ダムの型式及び種別は、設置の目的、現地の状況等に応じて、適切なものを選定しなければならない。

〔解説〕

- 1 治山ダムの型式・種別の選定に当たっては、設置の目的に最適となるように、設置箇所の地形、地質、気象、荒廃状況等の自然条件、保全対象との関係、施工条件等から、安定性、施工性、経済性等を十分検討しなければならない。
- 2 治山ダムは、機能、構造及び構築材料によって型式及び種別が区分される。型式は、機能・構造により区分し、主として構造上の型式で表現する。種別は、主として構造上の型式と重要度によって選択される構築材料の種類で表現する。

3 治山ダムの型式は、機能から遮水型、透水型、透過型に大別される。また、構造上の安定方式から重力式、アーチ式、バットレス式等に分けられるが、治山ダムの型式の選定においては、重力式を標準とする。

4 治山ダムの種別は、コンクリート、鉄筋コンクリート、鋼材、コンクリートブロック、鉄線かご、木材等があり、現地の状況に応じて選定するものとする。

なお、渓流水が酸性を帯びた水質であって、メッキ等による防食対策が十分に講じられない場合には、鋼材、鉄線かご等、鋼製品の使用は避けなければならない。

5 治山ダムの主な型式・種別は、次のとおりである。

(1) 遮水型治山ダム

流水・土砂等を遮断する構造であり、洪水時や土石流時の土砂移動の抑止、縦横侵食の防止、山脚の固定等の機能がある。

① 重力式治山ダム

堤体の自重によって、治山ダムに働く水圧、土圧等の外力に抵抗し、安定を保つ型式の治山ダムである。局所的な破壊、劣化の進行が治山ダム全体の安定性に影響を及ぼすことが少なく、設置後の諸条件に幅広く対応できる。

一般的に、堤体を無筋コンクリートで構築する重力式コンクリート治山ダムとして用いられる。コンクリートは、耐久性が高く、取扱いが容易で、造形性の高い材料であり、重さを必要とする重力式構造との相性も良い。

② アーチ式治山ダム

治山ダムに作用する外力を基礎と両岸の地盤に伝える水平アーチのダムで、治山ダム設置箇所に堅固な岩盤が露出し、かつ堤高に対して溪間幅の狭いところに適する。通常、コンクリートが用いられる。

③その他

鋼製セルに土砂等の中詰を行ったセル式治山ダム、鉄筋コンクリートによる片持ち梁式治山ダム等がある。

(2) 透水型治山ダム

堤体内を流水が通過できる構造であり、洪水時の土砂移動の抑止、縦横侵食の防止、山脚の固定等の機能のほか、流木等浮遊物の捕捉、水質等の改善効果も期待できる。一般に、土石流等の衝突を考慮しなければならない場合は用いられない。

① 枠式治山ダム

鋼材、鉄筋コンクリート二次製品、木材等で枠を組み立て、粗石等を中詰とした治山ダムである。重力式構造のもの、水平力に対して中詰材のせん断抵抗力で対抗するセル式構造のものがある。基礎地盤が悪い場合、礫、転石等の中詰材料が施工箇所で容易に得られる場合、短期間に施工する必要がある場合等において、鋼製枠治山ダムが多く用いられる。

② バットレス式治山ダム

主壁とそれを支える扶壁及び基礎版で構成された治山ダムである。構造形態から、大きな外力を受けるおそれのある溪流等には適さない。スクリーン構造の主壁を持つ鋼製バットレス式治山ダムが多い。

③ ブロック式治山ダム

大型コンクリートブロック、巨石等をダム状に積み上げる重力式治山ダムである。コンクリートブロック治山ダムは、基礎地盤が悪い場合、短期間に施工する必要のある場合等に用いられる。

④ その他

鉄線の柔軟性を利用してかごを組み立て、粗石等を中詰とした鉄線かご治山ダム、簡易な木製治山ダム等がある。鉄線かごダムは、小渓流で基礎地盤が軟弱な

箇所用いられる。また、木製治山ダムは土石流の発生する可能性のない小溪流において用いられている。

(3) 透過型治山ダム

流出土砂等を流下させる透過部をもつ構造であり、土石流時等における土砂・流木等を捕捉する機能、洪水時等に急激な土砂流出を防止し、常時には流出土砂を流下させる調節機能をもつ。土砂及び流木が堆積した場合には、これを除去して土砂・流木を捕捉する機能を維持する。

① スリット式治山ダム

鋼材、コンクリート柱によって、くし型、格子型の透過部が構築された治山ダムである。治山事業では、基礎及び兩岸の取付け部をコンクリート構造とした鋼製スリット治山ダムが多く用いられている。鋼製スリット治山ダムは、流木対策としても有効である。

② その他

遮水型の鋼製セル式治山ダムを独立させて一定間隔に設置した透過型鋼製セル治山ダム、ワイヤー治山ダム等がある。

[参考] 遮水型・透水型治山ダムの土砂調節機能等

- 1 遮水型・透水型治山ダムの堆砂敷は、旧溪床に比べて溪床勾配が緩和され川幅も広くなることから、流速が減少して、洪水時や土石流時に土砂が堆積しやすく、中小洪水時にはその堆積土砂が侵食され流出するが多い。こうした効果を土砂の調節機能という。一般に、土砂の調節機能は、堆砂敷が広いほど効果的である。
- 2 遮水型治山ダムは、背面に不安定土砂等を堆積させる空間を確保することにより、土石流を抑止する貯砂機能を有する。満砂した場合でも、緩い勾配の堆砂敷により土石流を停止・堆積させることが可能である。
- 3 土石流等の拡散堆積を促進し流出土砂量の調節を目的とする場合は、複数の遮水型治山ダムを連続的に設置して、広い堆砂空間を確保する。
- 4 流木捕捉を考慮した透過型治山ダム（土石流対策を中心とした部分透過も含む）を流木捕捉式治山ダムと呼ぶ。

3-3 治山ダムの位置

治山ダムの位置は、その目的に応じて、適切な箇所を選定しなければならない。

[解説]

- 1 治山ダムの位置は、ダム設置の目的に応じて最も効率的かつ経済的となるような箇所を選定しなければならない。
- 2 山脚の固定、縦横侵食の防止、不安定土砂の直接的な移動防止を目的とする治山ダムは、対象となる溪流区間の直下流に位置を選定する。また、対象となる溪流区間が長い場合又はその箇所の溪床勾配が急な場合には、階段状に複数の治山ダムを配置する。
- 3 土石流が発生するおそれ等のある溪流においては、土石流等の発生、流送、堆積等の各区間の土砂移動の特性に応じて適切な箇所を選定する。
- 4 既設の治山ダムが配置されている溪流区間において、治山ダムの設置目的や既設の状況等を踏まえ、効果的かつ効率的と判断される場合には、嵩上げ等による既設治山ダムの機能強化を検討する。

参考文献

林野庁：治山施設長寿命化対策事例集、平成30年3月

3-3-1 治山ダムの位置の条件

治山ダムの位置は、治山ダムの安定性が保たれるよう適切な箇所を選定しなければならない。

〔解説〕

- 1 治山ダムの位置は、地盤支持力の不足による治山ダムの沈下、越流水による下流のり先の洗掘及び溪岸侵食による治山ダムの破壊等から治山ダム自体の安定が保たれ、施工性が確保される箇所を選定することが必要である。
- 2 治山ダムの位置は、原則として溪床及び両岸に堅固な地盤が存在する箇所を選定しなければならない。
- 3 治山ダムの目的を達成するために、やむを得ず地盤支持力の小さな砂礫層等に設置する場合は、基礎地盤の処理や下流のり先の洗掘防止等必要な措置を講じなければならない。
- 4 治山ダムの位置は、溪流の曲流部をなるべく避けるものとするが、やむを得ず曲流部に設置する場合は、治山ダムの方向等を十分検討しなければならない。

3-3-2 合流点付近の治山ダムの位置

主、支溪の合流点付近に計画する治山ダムの位置は、両溪床の安定が図られるように決定するものとする。

〔解説〕

合流点付近に計画する治山ダムは、主溪及び支溪の集水面積、溪床勾配、流量及び不安定土砂の堆積状況等を考慮し、両溪床の安定を図れるように、原則として合流点の下流部に位置を選定する。

一般に支溪は、溪床勾配が急で荒廃度が高く、支溪からの流出状況が主溪に対して影響を与える因子が多いので、合流点に著しく近づけないことが必要である。

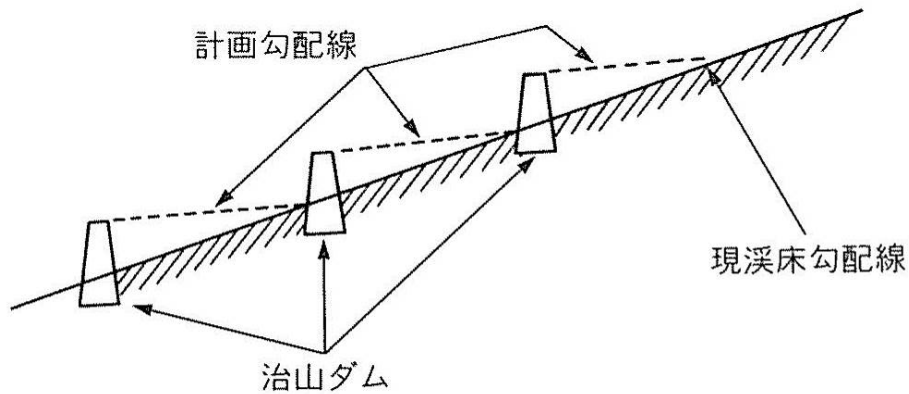
3-3-3 階段状治山ダムの位置

治山ダムを階段状に計画する場合、最下流の治山ダムの位置から計画勾配等を基に、治山ダムの位置を決定するものとする。

なお、最下流の治山ダムの位置は、治山ダムの安定性が保たれるような適切な箇所を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 荒廃溪流において、縦横侵食が著しい区域又は荒廃溪流の区域が長い場合は、階段状に治山ダムを計画する。
この場合、最下流の基礎となる治山ダムは、原則として堅固な基礎地盤に設けなければならない。また、必要に応じて、基礎地盤の処理、下流のり先の洗掘防止等の措置を講じなければならない。
- 2 階段状に複数の治山ダムを計画する場合は、最下流の基礎となる治山ダムの位置から、計画勾配（3-5「治山ダムの計画勾配」参照）を基に、順次、治山ダムの位置を決定する。なお、治山ダムの位置の決定に当たっては、治山ダム両岸の状況、各治山ダムの局所洗掘の危険性等を考慮する必要がある。



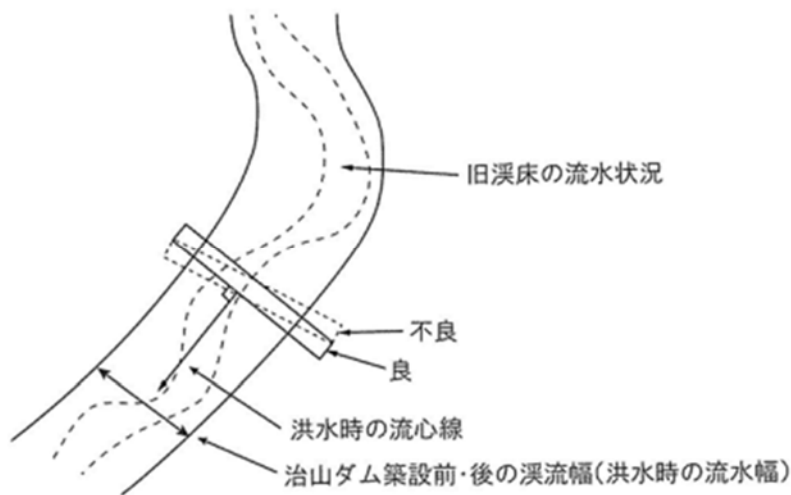
図－1 階段状治山ダムの配置

3-4 治山ダムの方向

治山ダムの方向は、上下流の溪岸、治山ダム自体の安定に影響を及ぼさないように決定するものとする。

〔解説〕

- 1 治山ダムの方向は、放水路の越流水が治山ダムの直角方向に流れることから、下流部の溪岸侵食等を引き起こさないために、原則として、放水路の中心点において下流の流心線に直角となるよう決定するものとする。
- 2 治山ダムの方向を決定する際には、治山ダム設置前の溪床の流水状況にまどわされず、治山ダム設置前の溪流幅及び治山ダム設置後における洪水時の流水幅、流心線を予想して方向を決定しなければならない。



図－2 予想流心線と治山ダム方向

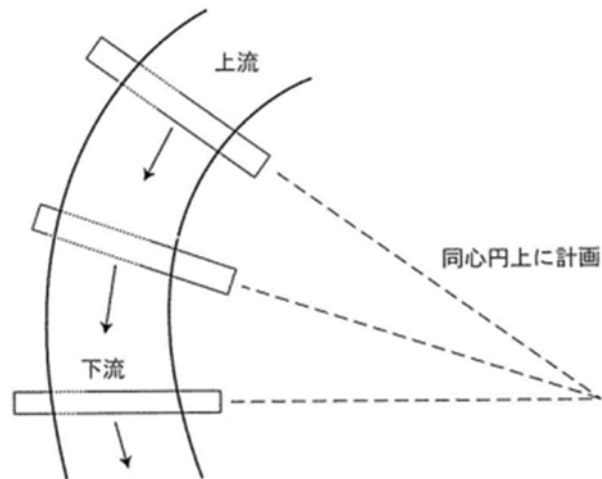


図-3 曲流部の状況が極端でない場合の予想流心線と治山ダム方向

- 3 治山ダム計画箇所の上流又は下流の溪岸が、治山ダム設置による流心線の変化により侵食されるおそれがある場合は、設置位置の変更、治山ダムの方向の変更、放水路の位置の変更、護岸工等の設置、複数の治山ダムの配置等により、侵食被害を防止しなければならない。

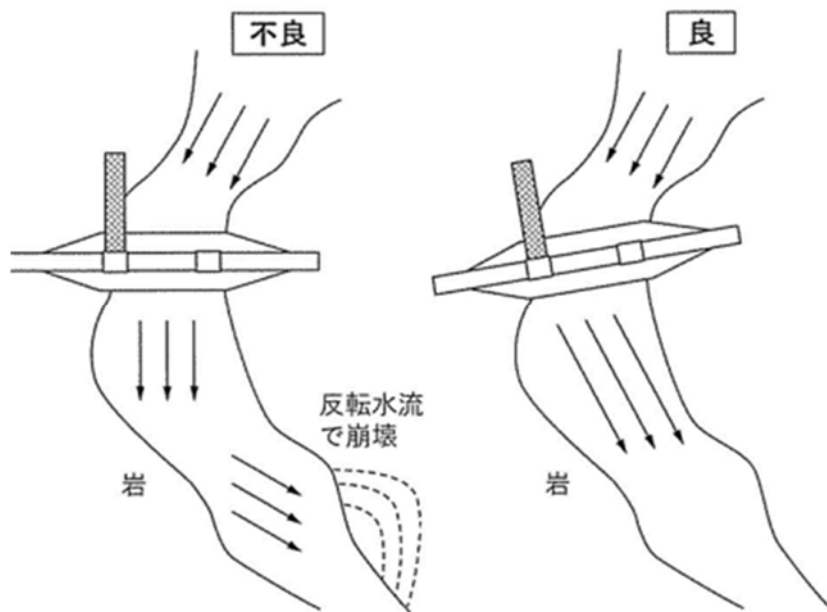


図-4 予想流心線と治山ダム方向

- 4 曲流部に治山ダムを設置する場合は、保護工、インクライン、袖の嵩上げ等により、袖の取付部の保護に十分留意する必要がある。
- 5 土石流の流下を考慮した治山ダムにおいては、土石流が大きく偏心して衝突されないように、また、想定される流下方向に著しい影響を与えないように、治山ダムの方向を決定するものとする。

3-5 治山ダムの計画勾配

治山ダムの計画勾配は、溪床を構成する砂礫の状況、流量等を考慮し、現溪床で安定とみられる区間の勾配を参考にして決定するものとする。

〔解説〕

- 1 治山ダムの堆砂勾配は、一般に流送砂礫が多い場合又は石礫の径が大きい場合に急な勾配となる。
- 2 治山ダムの堆砂敷は、通常、大洪水後に砂礫が堆積して急な堆砂勾配（洪水時の勾配）が形成されるが、その後の中小洪水によって漸次緩やかとなり、溪床を構成する砂礫の形状・粒径、流量等に見合った平衡勾配（平常時の勾配）へ移行し、下流への流出土砂の調節が行われる。
- 3 治山ダムの計画勾配は、計画する治山ダム等の配置、規模の決定に用いられる予想堆砂勾配であり、一定期間が経過した既設治山ダム堆砂敷の堆砂勾配（平常時の勾配）など、現溪床で安定とみられる区間の勾配を参考にして決定するものとする。
- 4 荒廃溪流等で土石の移動が激しい場合又は付近に参考とする既設治山ダム等がない場合は、比較的溪床変動の小さい区間を参考にして、現溪床勾配の1/2程度で計画勾配を決定することができる。
- 5 火山灰砂、花崗岩のマサ土、第三紀層の泥岩・頁岩の分布地等の比重の小さい砂礫及び細粒で構成されている溪流の計画勾配は、原則として水平又は水平に近い勾配とするものとする。
- 6 崩壊地の発生状況又は溪床の堆積土砂の状況等から、土石流の発生が予想される溪流等では、土石流によって溪床の侵食が生じないように計画勾配を検討する必要がある。また、直接保全対象が近接している溪流にあっては、特に土石流により流下する土砂の抑止や流木を捕捉できるような計画勾配を検討する必要がある。

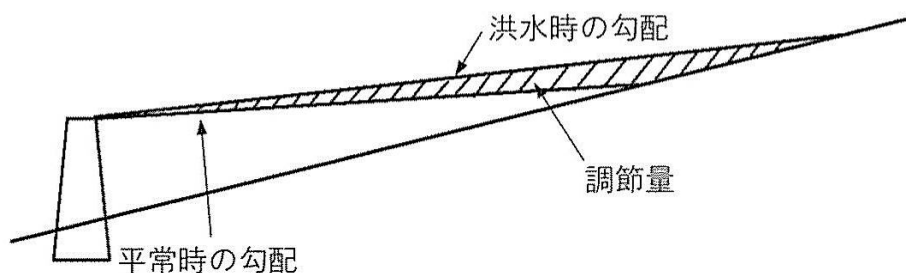


図-5 洪水時の勾配と平常時の勾配

3-6 治山ダムの高さ

治山ダムの高さは、治山ダム設置の目的、計画勾配、施工箇所状況等に応じて決定するものとする。

〔解説〕

- 1 治山ダムの高さは、治山ダムの底面から放水路天端までの垂直方向の長さとする。
- 2 治山ダムの高さは、地形、基礎地盤等の状況から治山ダムの目的を十分達成できるように、設定した計画勾配を考慮しながら決定する。
- 3 山脚固定、縦横侵食防止、不安定土砂の直接的な移動防止を目的とする治山ダムの高さは、堆砂によって効果が発揮される高さとする。なお、治山ダムに貯砂機能を期待する場合は、推定される不安定土砂の抑止に有効な高さとする。

- 4 土石流等の直接的な抑止を目的とする治山ダムは、土石流の抑止及び流木の捕捉ができる高さを持つ治山ダムを設けるものとする。なお、土石流の拡散堆積を促進し流出土砂の調節を目的とする治山ダムは、異常洗掘等を防止するために、高さを抑える必要がある。
- 5 透過型ダムは、土石流等の流出土砂の抑止及び流木の捕捉に有効な高さをとるものとする。
- 6 床固工の高さは、原則として5 m程度以下とする。

[参考]

治山ダムの高さの決定の一例を示せば次のようになる。

(1) 不安定土砂の直接的移動防止を目的とする場合

直接的に不安定な堆積土砂の移動防止を目的とする場合は、計画勾配を基に、不安定土砂により形成されている現溪床高を目標として高さを決定する。(図-6及び図-7参照)

不安定土砂の堆積区間が長い場合は、計画勾配を基に、高さの低い治山ダムを階段状に計画する。(図-8参照)

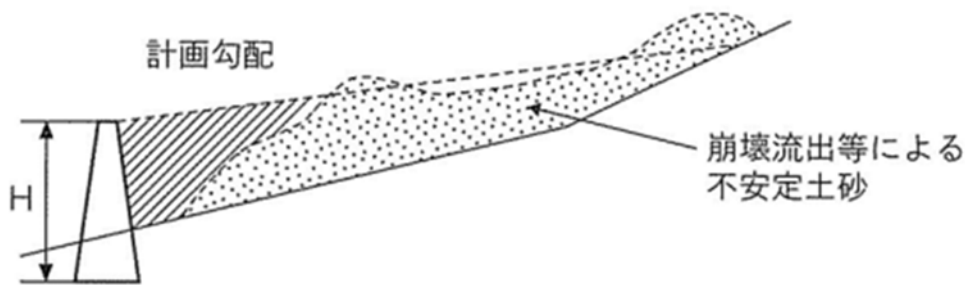


図-6 不安土砂の移動防止を図る治山ダムの高さ

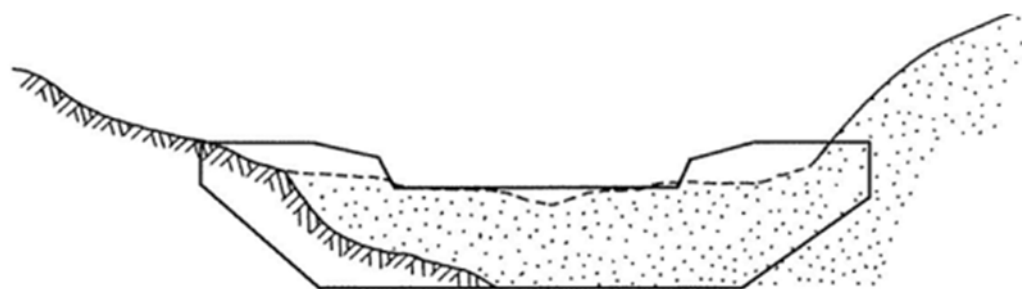


図-7 治山ダムの高さ

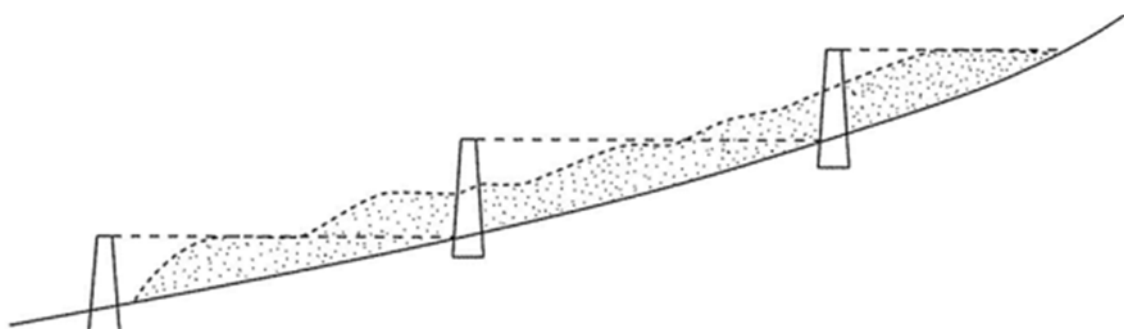


図-8 不安定土砂の移動防止を図る階段状治山ダムの高さと配置

(2) 縦横侵食の防止を目的とする場合

治山ダムの高さは、溪床の計画勾配と山腹斜面の勾配を考慮して決定する(図-9 参照)。縦・横侵食を受けた溪流区間では、放水路天端の高さを侵食前の溪床程度とすることが望ましい(高さ $H = h + h'$ 程度)。

また、縦横侵食の溪流区間が長い場合は、計画勾配を基に、高さの低い治山ダムを階段状に計画する。(図-10 参照)

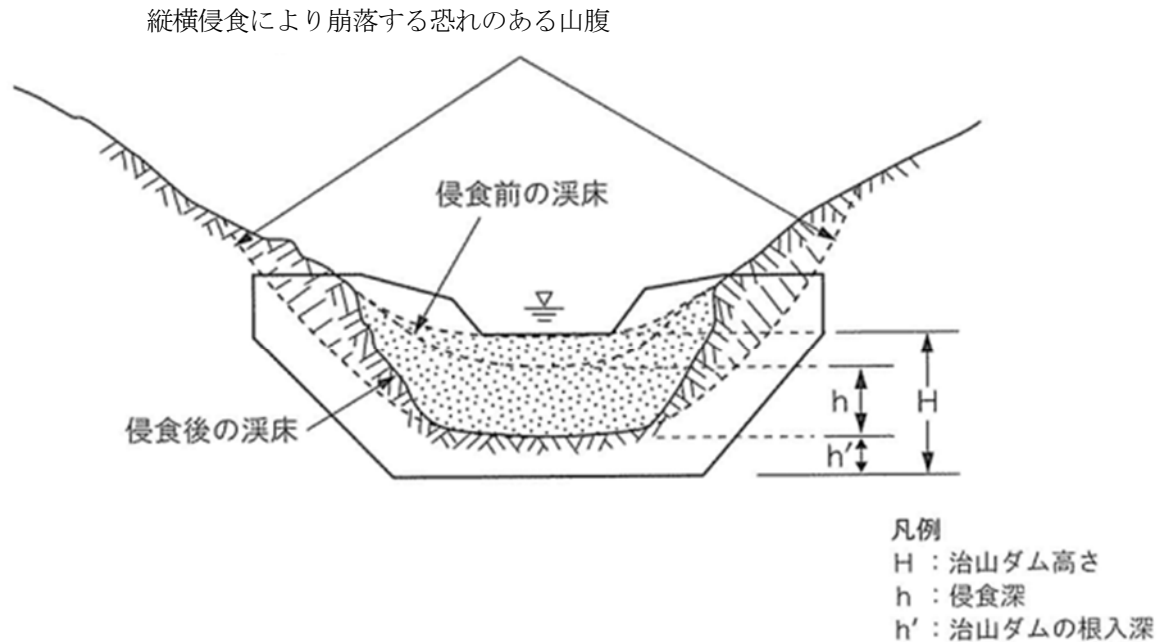


図-9 縦横侵食防止を目的とした治山ダムの高さ

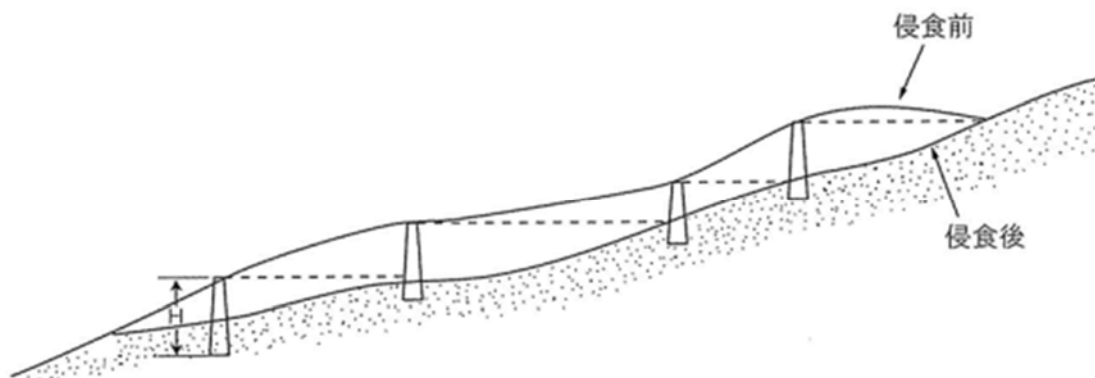


図-10 縦横侵食防止を目的とした階段状治山ダムの高さと配置

(3) 山腹工の基礎とする場合

山腹工の基礎として設置する治山ダムは、護岸工(土留工)の位置と、治山ダムの計画勾配を勘案し、護岸工の基礎が洗掘されることのない高さとする。

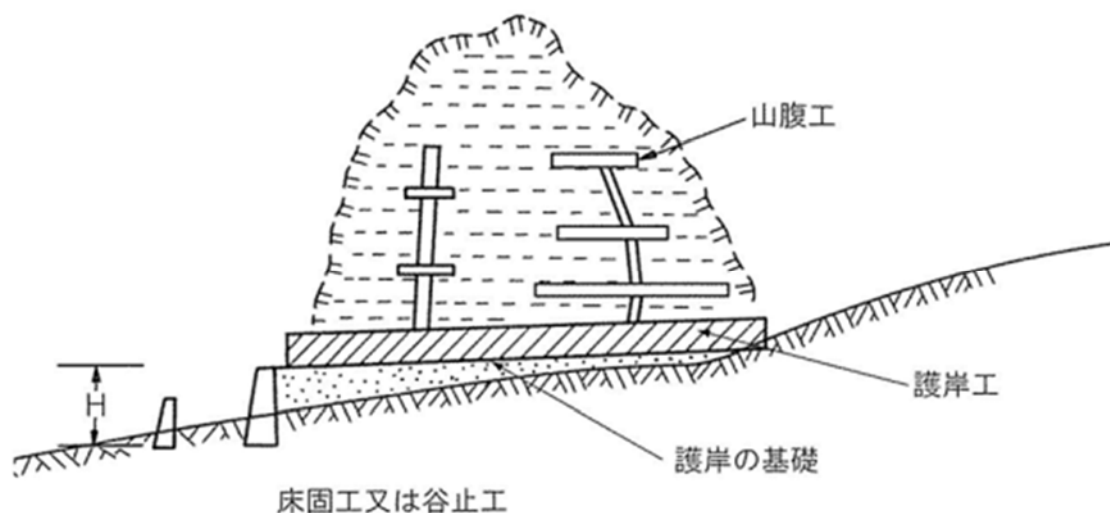


図-11 山腹工の基礎とする治山ダムの高さ

3-7 治山ダムの放水路

3-7-1 治山ダムの放水路の位置

治山ダムの放水路の位置は、治山ダム設置箇所の上流の渓流の状態、流水の方向等を考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 治山ダム放水路の位置は、完成後の治山ダム下流のり先の洗掘、上下流溪岸の侵食等に影響を及ぼさないよう、上下流の地形、地質、溪岸の状態、流水の方向等を考慮して決定するものとする。
- 2 治山ダム設置箇所が砂礫層の地盤の場合は、流心部に放水路の位置を定める（図-12(1)参照）。
- 3 治山ダム設置箇所が片岸が堅固な地盤である一方、対岸が砂礫層の地盤であって流心線が直線の場合には、堅固な地盤側に寄せて放水路の位置を定める（図-12(2)参照）。
- 4 治山ダム設置箇所の上流部に崩壊地がある場合は、できるだけ崩壊地に流水の影響を与えないように放水路の位置を定める（図-12(3)参照）。
- 5 治山ダム設置箇所の上流部渓流沿いに、宅地等の重要な保全対象がある場合は、流心及び治山ダムの方向を考慮して、保全対象に影響を与えないように放水路の位置を定める（図-12(4)参照）。

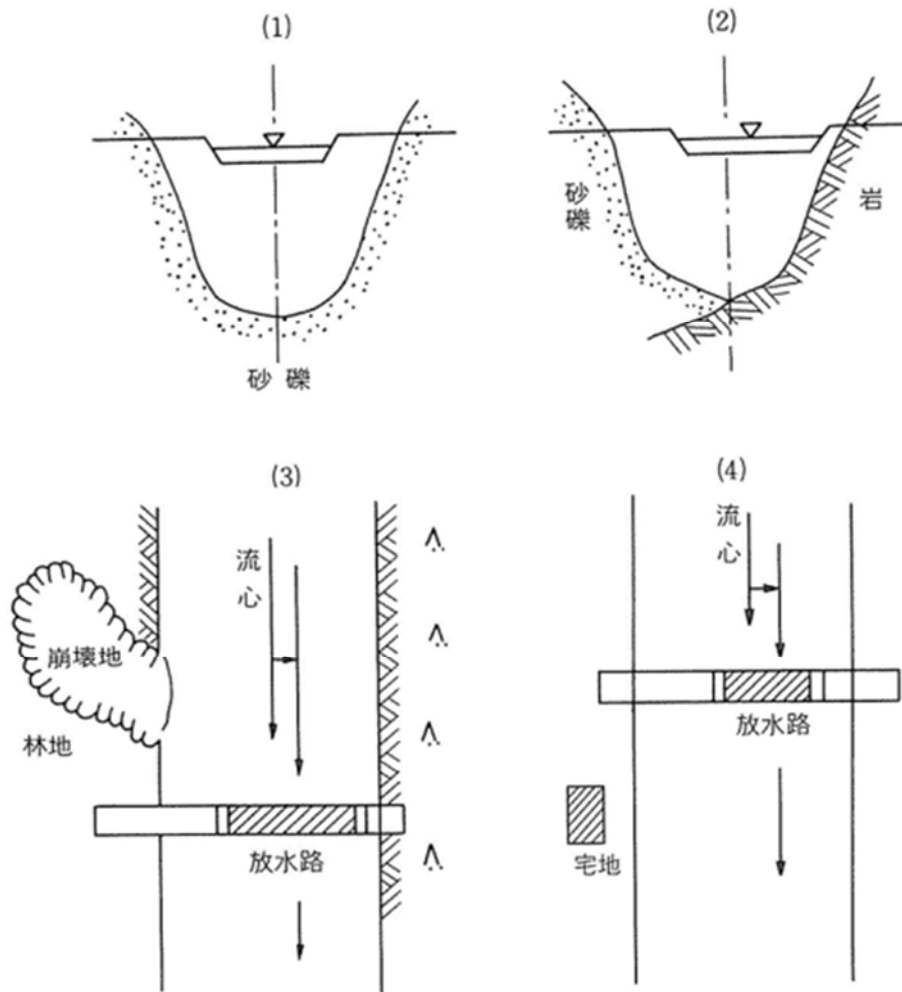


図-12 放水路の位置

3-7-2 治山ダムの放水路の形状

治山ダムの放水路の形状は、溪流の状況を考慮して決定するものとする。

[解説]

- 1 治山ダムの放水路の形状は、上下流兩岸の地形・地質及び下流のり先の洗掘の軽減を考慮して定める。
- 2 放水路の形状は、底部が水平な台形を標準とする。
- 3 流出土砂量が多いために中小洪水時に砂礫が堆積し、治山ダム上流部の溪流が偏流する場合等には、放水路を深くして流路を固定する方法がある。
- 4 溪流幅が広く洪水時と通常時の流量に大きな差があり、治山ダム上流部に乱流が生じる場合等には、放水路を複断面とすることが有効である。また、溪流生態系に配慮する目的で、放水路を複断面とする場合もある。
- 5 曲流部に治山ダムを設置する場合には、袖部の嵩上げを行う方法がある。
(3-8-3「屈曲部の治山ダムの袖高」参照)

[参考] 放水路の側のり勾配

放水路の側のり勾配は、1割又は5分であることが多い。

3-7-3 治山ダムの放水路断面

治山ダムの放水路断面は、洪水時に流水とともに流下する砂礫、流木、土石流等を考慮して、余裕を見込んで決定しなければならない。

[解説]

治山ダムの放水路断面は、集水面積、降雨量、降雨特性、降雨の継続時間、山腹傾斜、森林の状況、荒廃状況等で異なり、降雨量から算出された流量を十分流すとともに、流下する砂礫、流木、土石流等を考慮し、余裕を見込んで決定しなければならない。

砂礫、枝条等の堆積により放水路が縮小・閉塞し、袖の越流が生じないように、放水路断面を確保しなければならない。

[参考] 放水路の最小断面

放水路断面は、砂礫等による閉塞の防止等を考慮して、経験的に、高さ1 m以上、下長2～3 m以上とすることが多い。

3-7-4 治山ダム設置位置の計画高水流量

治山ダム設置位置の計画高水流量は、放水路断面を求めるために用いるものとし、安全性を考慮して算定する。

[解説]

- 1 治山ダムの放水路断面決定に用いる流量は、最大洪水流量に洪水痕跡等から推測される流量等を考慮した流量とし、この流量を計画高水流量という。
- 2 治山ダム設置位置の計画高水流量は、原則として次式により求めるものとする。

$$Q_{\max} = Q \cdot f_q \cdots \cdots (3.7.1)$$

Q_{\max} : 計画高水流量

Q : 最大洪水流量

f_q : 補正係数

- 3 最大洪水流量は、原則として次の合理式により算出するものとする。
計算方法は、第2章第7節「水文調査」を参照する。

$$Q = 1/360 \cdot f \cdot r \cdot A \cdots \cdots (3.7.2)$$

Q : 最大洪水流量 (m^3/s)

f : 流出係数

r : 洪水到達時間内の雨量強度 (mm/h)

A : 集水面積 (ha)

- 4 最大洪水流量の算出に用いる雨量強度は、100年確率雨量を原則とする。
- 5 最大洪水流量の算出において、貯留現象を考慮する必要がある場合は、単位図法貯留関数法等によるものとする。
- 6 土石流の流下を考慮する場合は、土石流ピーク流量を計画高水流量とすることを標準とする。
- 7 補正係数 (f_q) は、原則として「最大洪水流量 (Q)」と「洪水痕跡等に基づく流量」とを比較して求める。

洪水痕跡等に基づく流量は、第2章「調査」第7節「水文調査」7-6「流量調査」解説3の(3)「洪水痕跡法」を参照する。

[参考] 補正係数 (f_q) の算出

$$\text{補正係数 } (f_q) = \frac{\text{洪水痕跡等に基づく流量 } (\text{m}^3/\text{s})}{\text{最大洪水流量 } (Q) \text{ } (\text{m}^3/\text{s})}$$

[参考]

最終的に決定される放水路断面は、計画高水流量 Q_{\max} を流し得る断面が必要であることから、 $Q_{\max} \leq Q_s$ 又は Q_k となるが、この時 Q_s 又は Q_k は Q_{\max} に近似させることとする。

Q_s : 縮流ぜきの流量 (m^3/s)

Q_k : 開水路の流量 (m^3/s)

3-7-5 治山ダムの放水路の下長

治山ダムの放水路の下長は、溪流の状況等を考慮して決定するものとする。

[解説]

- 1 治山ダムの放水路の下長は、溪流の状況、放水路の位置等を考慮して、治山ダムの安定性が保たれるように決定するものとする。
- 2 治山ダムの放水路の下長は、洪水時の流水等の減勢を図り、治山ダム下流の洗掘を軽減させるため、溪岸侵食に影響を及ぼさない範囲において、可能な限り長くするものとする。

3-7-6 治山ダムの放水路の高さ

治山ダムの放水路の高さは、計画高水流量を基準として決定するものとする。

[解説]

- 1 治山ダムの放水路の高さは、計画高水流量を基準として求めた計画水深に、水面変動を考慮した余裕高を加えて決定するものとする。

$$h \geq h_c + \Delta h$$

h : 放水路の高さ

h_c : 計画高水流量を基に算出した計画水深

Δh : 余裕高 (水面変動を考慮)

B_1 : 放水路の下長 (現地の状況等から設定)

m : 放水路の側法 (現地の状況等から設定)

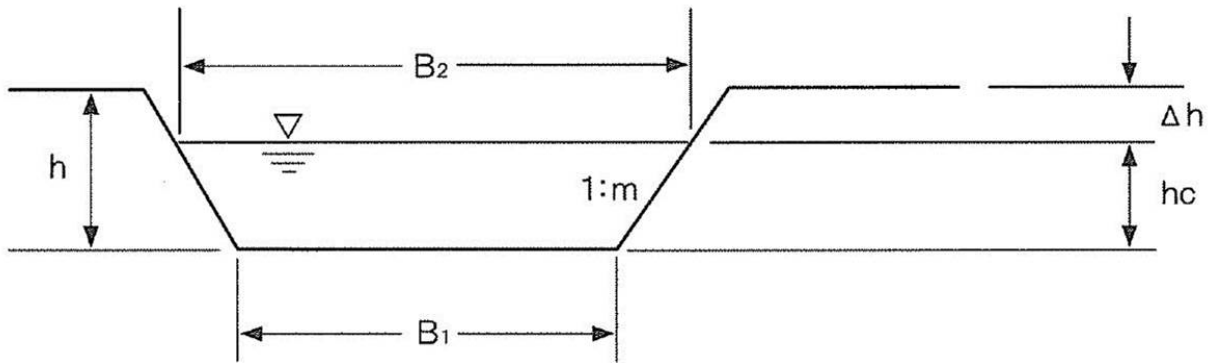


図-13 放水路断面

- 2 計画水深は、原則として、計画高水流量を基に縮流ぜきとして算出する（縮流ぜきによる方法）。また、治山ダム完成後の溪流の状況によっては、開水路として算出することができるものとする（開水路による方法）。なお、計画水深の決定に当たっては、放水路下長（ B_1 ）、側法（ m ）を現地の状況等から設定しておく必要がある。
- 3 放水路の高さの決定方法は、次のとおりとする。
 - (1) 治山ダム完成時に、治山ダム上流側の溪床が放水路天端より低い位置となる計画である場合は、縮流ぜきによる方法により計画水深を算出し、放水路の高さを決定する。
 - (2) 治山ダム完成時に、放水路天端が上流側の溪床へ直接続く計画である場合は、開水路による方法で計画水深を算定し、放水路の高さを決定する。
 - (3) 土石流の流下を考慮する場合は、土石流水深を計画水深として、放水路の高さを決定する。なお、放水路の高さは、土石流として流下が想定される最大礫径以上の高さとするを標準とする。
- 4 計画水深の算定

計画水深の算定は、次の2つの方法による。

 - (1) 縮流ぜきによる方法

縮流ぜきによる流量算定式は、次のとおりである。

$$Q_s = \frac{2}{15} \cdot C \cdot \sqrt{2g} (3B_1 + 2B_2) h_c^{3/2} \dots\dots\dots (3.7.3)$$

- Q_s : 縮流ぜきの流量 (m^3/s)
- C : 流量係数 (通常 0.6)
- g : 重力加速度 ($9.8m/s^2$)
- B_1 : 放水路下長 (m)
- B_2 : 越流路上長 (m)
- h_c : 計画水深 (m)

また、流量 Q_s は、放水路の側のり勾配(1 : m)により次式のとおりである。

① 側のり勾配を1割とした場合($m=1.0$)

$$Q_s = (1.77B_1 + 1.42h_c) h_c^{3/2} \dots\dots\dots (3.7.4)$$

② 側のり勾配を5分とした場合($m=0.5$)

$$Q_s = (1.77B_1 + 0.71h_c) h_c^{3/2} \dots\dots\dots (3.7.5)$$

③ 放水路断面を長方形とした場合 (m=0)

$$Q_s = 1.77 B_1 \cdot h_c^{3/2} \dots \dots \dots (3.7.6)$$

計画高水流量 Q_{max} を基に、下記の条件を満たす水深を求めて、計画水深とする。

$$Q_s \geq Q_{max}$$

Q_s : 縮流ぜきの流量 (m³/s)

Q_{max} : 計画高水流量 (m³/s)

(2) 開水路による方法

開水路による流量算定式は、 Manning式 を利用し次式のとおりである。

なお、水面勾配は、原則として計画勾配とする。

$$Q_k = F \cdot V = F \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots \dots \dots (3.7.7)$$

Q_k : 開水路の流量 (m³/s)

F : 流積 (m²)

V : 放水路天端における平均速度 (m/s、 Manning式 で置き換える)

n : Manningの粗度係数

R : 径深 (m)

I : 水面勾配

なお、流積 (F)、径深 (R) は次式のとおりである (表-1 参照)。

$$F = \frac{1}{2} h_c (B_1 + B_2) = h_c (B_1 + m \cdot h_c)$$

$$F = \frac{F}{P}$$

$$P = B_1 + 2h_c \sqrt{1 + m^2}$$

F : 流積 (m²)

h_c : 計画水深 (m)

B_1 : 放水路下長 (m)

B_2 : 越流路上長 (m)

ただし、 $B_2 = B_1 + 2m \cdot h_c$

m : 側のり勾配 (1 : m)

R : 径深 (m)

P : 潤辺 (m)

計画高水流量 Q_{max} を基に、下記の条件を満たす水深を求めて、計画水深とする。

$$Q_k \geq Q_{max}$$

Q_k : 開水路の流量 (m³/s)

Q_{max} : 計画高水流量 (m³/s)

表－1 F、Pの算出式

区分	放水路の側法勾配5分 ($m=0.5$)	放水路の側法勾配1割 ($m=1.0$)
F	$(B_1+0.5h_c)h_c$	$(B_1+h_c)h_c$
P	$B_1+2.24 \cdot h_c$	$B_1+2.83 \cdot h_c$
B_1	$(F-0.5h_c^2)/h_c$	$(F-h_c^2)/h_c$
h_c	$\frac{P \pm \sqrt{P^2 - 6.94F}}{3.47}$	$\frac{P \pm \sqrt{P^2 - 7.31F}}{3.66}$

5 余裕高は、表－2の値を標準とする。

表－2 計画高水流量と余裕高

計画高水流量 Q_{max}	余裕高 Δh
50 m^3/s 未満	0.4m
50 m^3/s 以上 200 m^3/s 未満	0.6m
200 m^3/s 以上 500 m^3/s 未満	0.8m
500 m^3/s 以上	1.0m

- 6 放水路断面の決定に当たっては、近接する既設治山ダム等との整合性にも留意する。
7 安定計算に用いる水深は、計画水深(h_c)を参考として定めるものとする。

3-7-7 治山ダムの放水路の保護

土石等の流出によって治山ダムの放水路が著しく摩耗するおそれがある場合は、保護工を計画するものとする。

〔解説〕

- 1 治山ダム放水路の天端は、流送砂礫等によって摩耗又は破損することがあるので、必要に応じて保護工を計画するものとする。
- 2 放水路の保護が必要な場合は、富配合のコンクリート、張石等を使用する。

3-8 治山ダムの袖

3-8-1 治山ダムの袖

治山ダムの袖は、洪水時における越流を考慮して、十分強固にしなければならない。

〔解説〕

- 1 治山ダムの袖は、洪水時の越流によって被災しないように、計画高水位以上の高さとし、地山に十分取り付けて構造的に強固なものにしなければならない。
- 2 袖の突込みの深さは、地盤の不均質性、風化の速度等を考慮して、安全な深さとなるように決定しなければならない。
- 3 袖の両岸取付部は、風化作用及び洪水流の侵食によって決壊し、治山ダム破壊の原因となりやすいので、間詰等で十分保護しなければならない。
- 4 土石流等の流下を考慮する場合は、袖に土石流の衝撃力が加わることを想定して、

袖の補強、保護工の設置等を検討するものとする。

[参考] 袖の突込み深さ

治山ダムの袖の突込み深さは、現地の諸条件により異なるが、次の値が用いられることが多い。

- | | |
|---------------------------|--------|
| 1 岩の場合 | 1.0m程度 |
| 2 軟岩（風化が進行した岩又は亀裂の多い岩）の場合 | 1.5m程度 |
| 3 締った地山の場合 | 2.0m程度 |
| 4 軟弱な地山又は堆積土砂の場合 | 3.0m程度 |

[参考] 袖の補強等

袖は、保全対象の重要性や距離、近隣の治山ダム等の被災履歴等、必要に応じて破壊に対する安全性の検討を行い、鉄筋を追加して補強することができる。

また、既存の施設を活用する場合などは、必ずしも流体力もしくは衝撃力に対応したものとなっていないことが想定される。こういった場合には、以下に示す対応策を現地に応じて講じ、袖の保護に努めることが望ましい。新設の構造物であっても、以下の対応策を講じることで、損傷しやすい袖の保護を図ることが可能である。

- ・想定される外力に応じた増厚を行う。
- ・袖背面に緩衝材を配置する。
- ・袖背面に盛土を行い、土石流及び石礫の直撃を防止する。

参考文献

林野庁：土石流・流木対策指針、平成30年3月

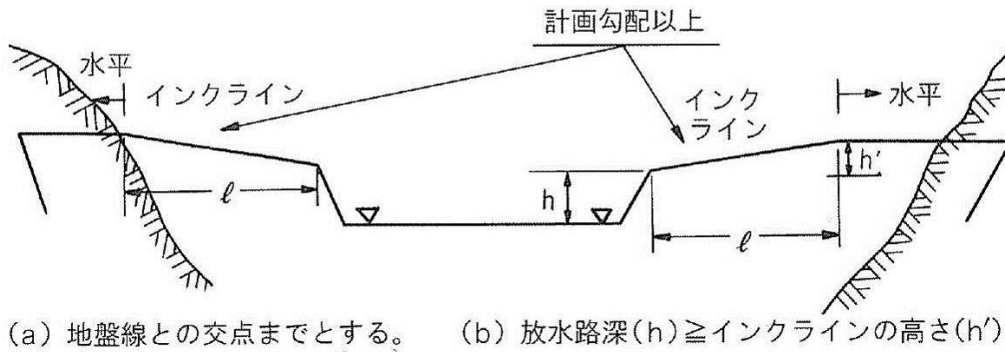
3-8-2 治山ダムの袖天端

治山ダムの袖天端は、容易に越流を起こさないようにしなければならない。

[解説]

- 1 治山ダムの袖天端は、容易に越流を起こさないように、原則として、兩岸に向かって勾配（インクライン）をつけるものとする。特に、次の場合は、越流による袖抜け等を防ぐために、袖天端の勾配が必要である。
 - (1) 土石流が流下するおそれのあるとき
 - (2) 袖の上流部に崩壊地があるとき
 - (3) 流木等が流出するおそれのあるとき
 - (4) 治山ダムの位置が溪流の屈曲部にあるとき
- 2 袖天端の勾配は、計画勾配以上とする。特に、上流側に崖錐斜面がある場合や土石流の流下を想定している場合等は、急勾配とすることが望ましい。

[参考] 袖天端の勾配の例



一般にインクラインの高さは、放水路深以下とする。

図-14 袖天端の勾配及びインクラインの高さ

3-8-3 屈曲部の治山ダムの袖高

溪流の屈曲部及びその直下流に設ける治山ダムの袖高は、兩岸の水位差を考慮して決定するものとする。

[解説]

- 1 洪水、土石流等は、直進性があり、屈曲の凹岸は凸岸より水位が高まるので、溪流の屈曲部及びその直下流に設置する治山ダムは、通常凹岸側の袖高を凸岸側より高くする必要がある。
- 2 袖の越流の防止対策は、インクライン、流心外側の袖の嵩上げ等により措置するものとする。
- 3 凹岸側の袖高の程度は、第4節4-4「護岸工の天端高」解説7(2)に準じて決定する。

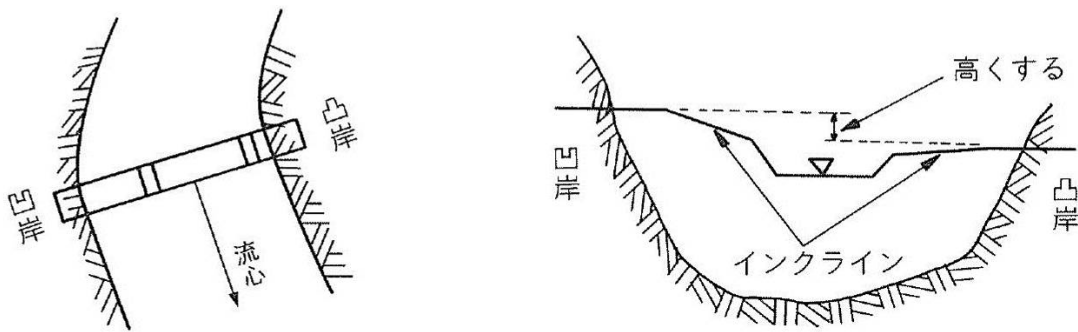


図-15 屈曲部の袖高

3-9 治山ダムの断面

3-9-1 重力式治山ダムの断面決定

重力式治山ダムの断面は、下流のり及び天端厚を決定し、次いで安定条件を満たす断面となるように上流のりを決定するものとする。

[解説]

重力式治山ダムの断面決定に当たっては、当該治山ダムの設置目的、設置箇所の状況、集水面積、上流部の荒廃状況、洪水痕跡等による出水状況、通常時の流水、土砂及び石礫

の流送状況、基礎地盤に応じた床掘深及び埋戻し方法等を第2章「調査」及び第1節「測量」に基づき十分検討する。

3-9-1-1 重力式治山ダムの下流のり

重力式治山ダムの下流のりは、放水路を越流して落下する石礫等により、損傷を受けないようにしなければならない。

〔解説〕

- 1 下流のりを緩やかにし、上流のりを急にすることが経済的な断面となるが、越流して落下する石礫、流木等によって越流部の下流のり面が損傷するおそれがあるため、重力式治山ダムの下流のりは、堤高6m以上は2分、堤高6m未満は3分を標準とする。
- 2 堤高6m未満の重力式治山ダムにあつては、上流のりを直とし、下流のりを3分より急としても安定する場合があるので、経済性も考慮して決定する。
- 3 シラス、マサ土等で流出土砂の粒径が小さく、その量が少ない場合は、必要に応じて下流のりを緩くすることができる。

3-9-1-2 重力式治山ダムの天端厚

重力式治山ダムの天端厚は、流送砂礫の大きさ、越流水深、上流側の勾配等を考慮して決定しなければならない。

土石流等による衝撃を考慮する必要がある場合の天端厚は、石礫、流木等の衝突によって破壊されないよう考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 治山ダムの天端は、流水と流下砂礫によって摩耗することや、転石等の衝撃により破損することがある。したがって、天端厚は、流送砂礫の大きさ、越流水深、上流側の勾配等を考慮して決定しなければならない。重力式治山ダムの天端厚は、通常、次の厚さを目安として決定する。

(1) 一般荒廃溪流	1.5m
(2) 洪水により大転石の流下のおそれのある場合	2.0m
(3) 大規模な土石流発生のおそれのある場合及び 地すべり等により側圧を受けるおそれのある場合	2.0~4.0m
(4) シラス等流送砂礫の粒径が小さい小溪流	0.8~1.0m
- 2 転石、土石流の衝撃を考慮した場合に天端厚が4mを越えることとなる場合は、緩衝材を併用する等によりできる限り4m以内とする。

〔参考〕土石流に対応した治山ダムの天端厚の設定

最大礫径が2mを下回る際には2mとし、上回る場合には、緩衝材を併用する等により4mを限度として最大礫径の大きさを0.5m単位で切り上げた厚さとする。

参考文献

林野庁：土石流・流木対策指針、平成30年3月

3-9-1-3 重力式治山ダムの安定計算に用いる荷重

重力式治山ダムの安定計算に用いる荷重は、治山ダムの目的、構造特性等を考慮して、適切に設定しなければならない。

[解説]

- 1 重力式治山ダム（重力式として仮定して計算する場合を含む。）の安定計算に用いる荷重は、洪水時を想定して、堤体の自重、静水圧及び堆砂圧を標準とする。また、堤高が15m以上の重力式治山ダムは、揚圧力を安定計算に用いる荷重に加えるものとする。
- 2 堤高が15m以上の重力式治山ダムは、地震動を考慮した安定計算により安定性を確認しなければならない。なお、堤高が15m未満の重力式治山ダムであっても、保全対象に甚大な影響を及ぼすおそれがある場合など、必要に応じて地震動を考慮した安定計算により安定性を確認する。
- 3 地震動を考慮する場合にあっては、地震荷重（地震時慣性力、地震時動水圧等）を安定計算に用いる荷重に加えるものとする。
- 4 土石流が発生するおそれが高く、堤体に土石流が衝突する可能性がある場合は、土石流を考慮した安定計算により安定性を確認することを標準とする。

表一 3 洪水時、土石流時の安定計算に用いる荷重

区分	荷重
洪水時	自重、静水圧、堆砂圧
土石流時	自重、静水圧、堆砂圧（水中土圧）、土石流流体力

※治山ダムの高さが15m未満の場合

- 5 土石流を考慮する場合にあっては、土石流の流体力を安定計算に用いる荷重に加えるものとする。なお、必要に応じて、土石流に含まれる石礫の衝突を想定して、石礫の衝撃力等を考慮する。
- 6 治山ダムの安定計算に用いる単位体積重量等は、次の数値を標準とする。
 - (1) コンクリート製の堤体（試験等を行わない時）：23kN/m³
 - (2) 玉石等を中詰した枠製の堤体（試験等を行わない時）：18kN/m³
 - (3) 静水：9.8～11.8kN/m³（密度 1.0～1.2 t/m³）
 - (4) 越流水：9.8～11.8kN/m³（密度 1.0～1.2 t/m³）
 - (5) 堆砂礫：18kN/m³
 - (6) 重力加速度（g）：9.8m/s²

[参考] コンクリート製の堤体の単位体積重量

コンクリート製の堤体の単位体積重量は、治山ダムを設置する地域において標準的に用いられるコンクリートの配合設計、実測値等を参考にして決定することが望ましい。

なお、解説6で示した「コンクリートの堤体（試験等を行わない時）」の標準値（23kN/m³）は、品質管理に用いられるコアの実測値に関する全国調査結果（平成18年度）の算術平均を基に定められたものである。

[参考] 玉石等を中詰した枠製の堤体の単位体積重量

玉石等を中詰した枠製の堤体の単位体積重量は、中詰材の土質試験結果等を参考にして決定することが望ましい。

また、現地発生砂礫等を中詰材として利用する場合は、使用する砂礫等に対して土質試験を行い、その結果を参考にして決定する。

[参考] 自重

治山ダム堤体の自重は、堤体の体積に堤体築堤に用いる材料の単位体積重量 (kN/m³) を乗じて求める。

$$W = W_c \cdot A$$

W : 自重 (kN/m)

W_c : 堤体築堤に用いる材料の単位体積重量 (kN/m³)

A : 治山ダム堤体単位幅当たりの体積 (m³/m)

[参考] 静水圧

静水圧は、次の式により求める。

ただし、静水圧を算定する際の水面は、平常時は放水路天端高とし、洪水時は放水路に越流水深を加算する。土石流時の静水圧については、土石流流体力が堆砂面上で作用しているため、堆砂面下の部分だけ作用することになる。

$$P = W_0 \cdot H_w$$

P : 静水圧 (kN/m²)

W₀ : 水の単位体積重量 (kN/m³)

H_w : 任意の点の水深 (m)

[参考] 堆砂圧

一般に、堆砂圧 (土圧) は、次のランキン式により求められる。

なお、水面下の堆砂圧は、予想される堆砂状況に応じて、堆砂中の水圧を考慮する必要がある。

1 ルーズな堆砂の場合

堆砂層が締まっておらず、礫同士の間隙を満たす水が連続しており自由に動くことができ、堤体に水圧が働くと見なせる状態では、水圧及び土圧 (水中土圧) を考慮する。なお、土石流による堆積物はルーズな堆砂と見なしてよい。

2 良く締まった堆砂の場合

堆砂が良く締まっていて、礫間が詰まり、堤体に水圧が働かないと見なせる状態では、土圧のみを考慮する。

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2 \quad \dots\dots\dots (3.9.1)$$

$$K_A = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (3.9.2)$$

$$h = \frac{1}{3} \cdot H$$

P_A : 土圧 (kN/m)

K_A : 主働土圧係数

γ : 堆砂の単位体積重量 (kN/m³)

H : 土圧が作用する高さ (m)

φ : 堆砂の内部摩擦角 (度)

h : 土圧の作用位置のダム底面からの高さ (m)

注) 水中土圧の場合は、水の単位体積重量を差し引いて、水中における堆砂の単位体積重量とする。

[参考] 地震荷重

地震動を考慮する場合は、地震荷重として地震時慣性力、地震時動水圧を用いる（震度法）。なお、地震荷重は短期荷重とする。

(1) 地震時慣性力

地震時慣性力は、堤体の自重と設計震度の積で得られる力で、堤体に水平方向に作用するものである。

$$D_h = D_v \cdot K \dots\dots\dots (3.9.3)$$

D_h : 地震時慣性力 (kN/m)

D_v : 自重 (kN/m)

K : 設計震度 (0.10~0.15 とし、表-4による)

表-4 設計震度

基礎岩盤の状況	強震帯及び中震帯地域	弱震帯地域
通常の岩盤	0.12	0.10
風化、破碎の著しい岩盤 第三紀以降の未固結岩盤	0.15	0.12

ただし、強震帯及び中震帯地域とは、下記の弱震帯地域を除く地域とする。

(弱震帯地域)

北海道のうち旭川市、留萌市、稚内市、紋別市、士別市、名寄市、上川郡（上川総合振興局）のうち鷹栖町、当麻町、比布町、愛別町、和寒町、剣淵町、及び下川町、中川郡（上川総合振興局）、増毛郡、留萌郡、苫前郡、天塩郡、宗谷郡、枝幸郡、礼文郡、利尻郡、紋別郡

山口県の全域

福岡県の全域

佐賀県の全域

長崎県の全域

熊本県のうち八代市（千丁町、鏡町、坂本町、東陽町及び泉町）、荒尾市、水俣市、玉名市、天草市、山鹿市、宇土市、宇城市（松橋町、小川町及び豊野町を除く。）、上天草市、玉名郡、鹿本郡、葦北郡、天草郡

大分県のうち中津市、日田市（前津江町、中津江村、上津江町、大山町及び天瀬町を除く。）、豊後高田市、杵築市、宇佐市、国東市、東国東郡、速見郡

鹿児島県のうち名瀬市及び大島郡を除く地域

沖縄県の全域

注) 弱震帯地域は、建築基準法施行令（昭和25年政令第338号）に基づき定められた国土交通省告示第597号（平成19年5月18日）に示された表（第1）のうち

(3)(4)の地方である。

(2) 地震時動水圧

地震時動水圧は、堤体の貯留水が堤体と水との接触面に対して直角に作用する力で、次式によって求める。

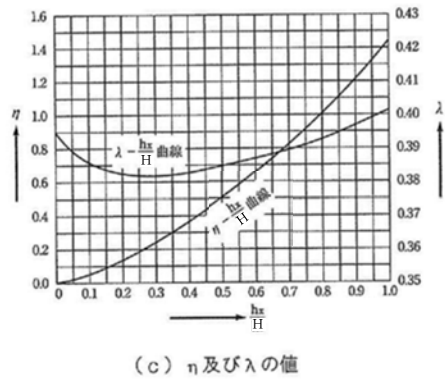
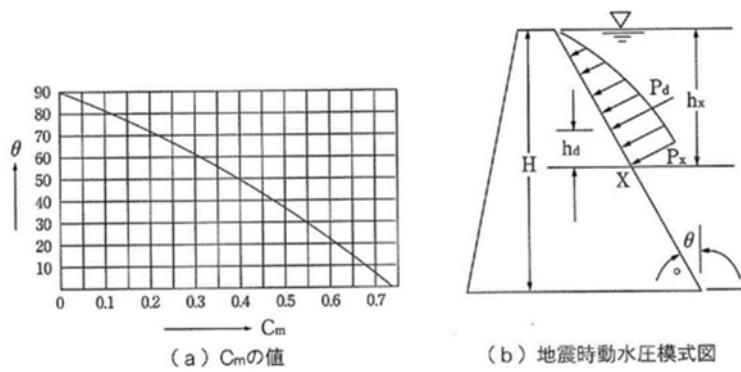


図-16 地震時動水圧の係数

① 上流面が傾斜している場合 (Zanger の式)

$$P_{Ax} = C \cdot \gamma \cdot H \cdot K$$

$$C = \frac{C_m}{2} \cdot \left[\frac{h_x}{H} \cdot \left(2 - \frac{h_x}{H} \right) + \sqrt{\frac{h_x}{H} \cdot \left(2 - \frac{h_x}{H} \right)} \right] \dots (3.9.4)$$

$$P_d = \eta \cdot \frac{C_m}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \sec \theta \cdot K \dots (3.9.5)$$

$$h_d = \lambda \cdot h_x \dots (3.9.6)$$

P_x : 任意位置の動水圧 (kN/m²)

P_d : 水面から任意位置までの全地震時動水圧 (kN/m²)

h_d : 任意位置から P_d までの高さ (m)

C : 圧力係数

C_m : C が最大となるとき (P_x が最大) の C の値

[図-16(a)参照]

γ : 水の単位体積重量 (kN/m³)

K : 設計震度

H : 水面から基礎地盤までの水深 (m)

h_x : 水面から任意位置までの水深 (m)

θ : 上流面の鉛直線とのなす角 (度)

η : 図-16(c) から求められる係数

λ : 図-16(c) から求められる係数

② 上流面が鉛直の場合 (Westergaard の近似式)

$$P_{Ax} = \frac{7}{8} \cdot \gamma \cdot K \sqrt{H \cdot h_x}$$

$$P_d = \frac{7}{12} \cdot \gamma \cdot K \sqrt{H \cdot h_x^3} \dots\dots\dots (3.9.7)$$

$$h_d = \frac{2}{5} \cdot h_x \dots\dots\dots (3.9.8)$$

[参考] 揚圧力 (治山ダムの高さが 15m 以上の場合)

揚圧力は、堤底全面に鉛直上向きに作用するものとする。

① 基礎地盤が砂礫層の場合

$$\text{上流端} : U_1 = h_1 \cdot \gamma \quad \text{下流端} : U_2 = h_2 \cdot \gamma \dots\dots\dots (3.9.9)$$

② 基礎地盤が岩盤の場合

$$\text{上流端} : U_1 = \{h_2 + \mu \cdot (h_1 - h_2)\} \cdot \gamma \quad \text{下流端} : U_2 = h_2 \cdot \gamma$$

$$\dots\dots (3.9.10)$$

③ 任意の点 (X) における揚圧力

$$U_x = \{h_2 + \mu (h_1 - h_2) \cdot (1 - X/\ell)\} \cdot \gamma \dots\dots\dots (3.9.11)$$

μ : 揚圧力係数

良好な岩盤の場合、 $\mu = 1/3$ を標準とする。

不良な岩盤の場合又は砂礫基礎の場合、 $\mu = 1/3 \sim 1$ として検討する。

H_1 : 上流側水深 (m)

h_2 : 下流側水深 (m)

U_1 : 上流端揚圧力 (kN/m^2)

U_2 : 下流端揚圧力 (kN/m^2)

U_x : 任意の点 (X) における揚圧力 (kN/m^2)

γ : 水の単位体積重量 (kN/m^3)

ℓ : 全浸透経路長 (m)

止水壁を設けない場合 $\ell = b_2$

止水壁を設ける場合 $\ell = b_2 + 2d$

b_2 : 堤底幅 (m)

d : 止水壁の長さ (m)

[参考] 土石流の流体力

土石流の流体力は、次式のとおりである。なお、土石流に関する荷重は、短期荷重とする。

土石流流体力は、堆砂地が土石流の水深分だけ残して堆砂した状態で、 $h/2$ に作用させる。

$$F = \alpha \cdot \frac{\gamma_d}{g} \cdot h \cdot U^2 \dots\dots\dots (3.9.12)$$

F : 単位幅当たりの土石流の流体力 (kN/m)

α : 補正係数 (\approx 通常 1.0)

g : 重力加速度 (9.8m/s^2)

h : 土石流の水深 (m)

U : 土石流の平均流速 (m/s)

γ_d : 土石流の単位体積重量 (kN/m^3)

注) 土石流の水深、流速及び単位体積重量は、砂防工学等に関する文献を参照して求める。

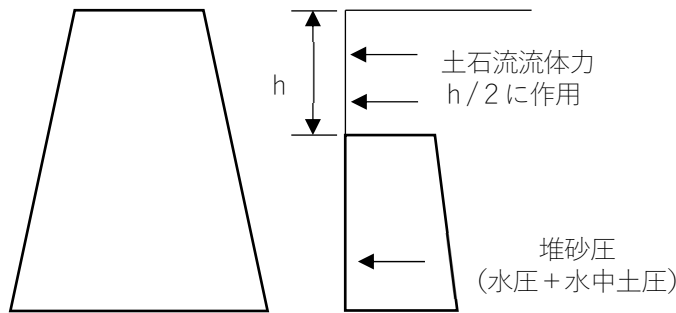


図-17 土石流の流体力を考慮した荷重の例

3-9-1-4 重力式治山ダムの安定条件

重力式治山ダムの断面は、次の条件のすべてを満たすものでなければならない。

- 1 転倒に対する安定
堤体が転倒を引き起こさないこと。
- 2 滑動に対する安定
堤体が滑動を引き起こさないこと。
- 3 堤体の破壊に対する安定
堤体の最大応力に対して破壊を引き起こさないこと。
- 4 基礎地盤に対する安定
堤体の最大応力に対して基礎地盤の地耐力が十分であること。

〔解説〕

重力式治山ダムは、自重によって水圧、土圧等の外力に抵抗するものであり、その安定を保つために、4条件を満たさなければならない。なお、安定計算は、原則として、標準的な二次元断面を仮定して実施する。

1 転倒に対する安定

荷重による応力又は反力が、堤体及び基礎地盤の許容値を超えない範囲では、堤体の自重及び諸外力の合力作用線が堤底内にあれば、転倒に対して安全である。

図-18において、

$$0 < d < B \quad d = M/V \dots \dots \dots (3.9.13)$$

d : 荷重の合力の作用線と堤底との交点から堤底の下流端までの距離 (m)

B : 堤底厚 (m)

M : 堤底下流端を支点として、単位幅当たり断面に作用する荷重モーメントの合計 (kN・m/m)

V : 単位幅当たり断面に作用する垂直分力の合計 (kN/m)

H : 単位幅当たり断面に作用する水平分力の合計 (kN/m)

e : 荷重の合力の作用線と堤底との交点から、堤底の中央までの距離 (m)

$$e = B/2 - d$$

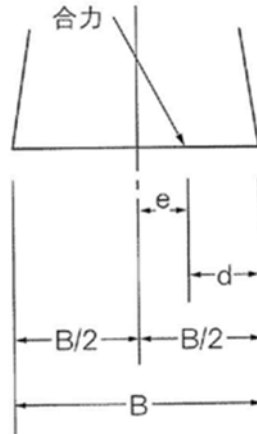


図-18 合力の作用位置

2 滑動に対する安定

堤体が滑動に対して安定であるためには、次の条件が必要である。

$$V \cdot f > H \dots \dots \dots (3.9.14)$$

f : 基礎地盤の摩擦係数

3 堤体の破壊に対する安定

堤体の断面内に生ずる最大応力が、堤体の許容応力度を超えなければ破壊に対して安定である。ただし、重力式コンクリートダムの場合は、引張応力を生じさせないことを原則とする。

図-19において、鉛直分力Vが堤底ABの中心からeの距離に作用している場合、堤底における応力分布は $P_2 \sim P_1$ のようになる。

堤底の上・下流端応力 P_1 、 P_2 は次式のとおりである。

$$P_1 = \frac{V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \dots \dots \dots (3.9.15)$$

$$P_2 = \frac{V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \dots \dots \dots (3.9.16)$$

$e = B/6$ であれば、 $P_1 = 2V/B$ $P_2 = 0$

$e < B/6$ では、図-19(a)のような応力分布

$e = B/6$ では、図-19(b)のような応力分布

$e > B/6$ では、図-19(c)のような応力分布

図-19(c)における堤底上流端は引張応力となる。

堤体に負応力を生じさせないためには、原則として $e \leq B/6$ とする。すなわち、合力の作用線と堤底との交点が、堤底 (AB) の中央1/3 (middle third) 内にあれば、重力式コンクリートダムの堤体は引張応力を生じないので破壊に対して安定である。

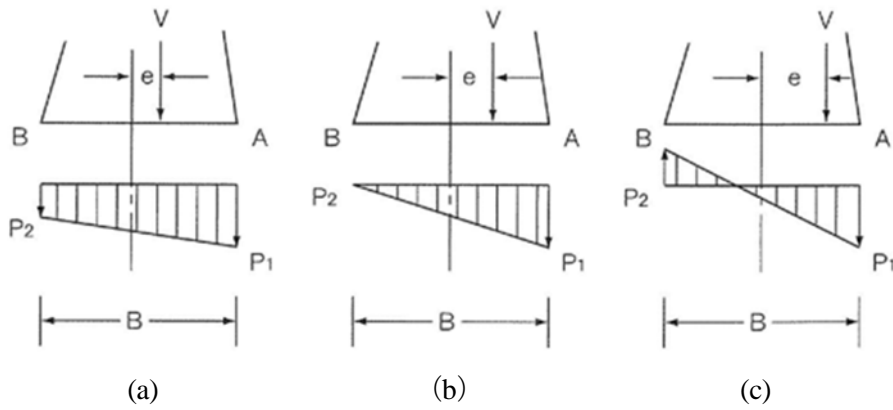


図-19 合力作用位置と応力

4 基礎地盤に対する安定

堤底における応力 (P) は基礎地盤の反力でもあり、最大反力 (P₁) が基礎地盤の許容支持力より小であれば地盤は安定である。

ただし、この応力分布 (P₁~P₂) のうち、負数となる部分 (-P) があれば、その部分は地盤反力が無いので、地盤反力の最大は次式で求める。

$$P_1 = \frac{2V}{3d} \quad \text{ただし、} \quad d = \frac{B}{2} - e \quad \dots\dots\dots (3.9.17)$$

また、基礎地盤の支持力が不足する場合は、3-10-4 「治山ダムの基礎の処理」により適切な基礎処理が必要である。

なお、基礎地盤は、沈下に対しても安定でなければならない。

[参考] 基礎地盤の摩擦係数

基礎地盤の摩擦係数の標準値は、表-5のとおりである。

表-5 基礎地盤の摩擦係数

基礎の状態	摩擦係数
岩盤・締った砂礫層	0.7
締った普通土	0.6

[参考] コンクリートの許容応力度

コンクリートの許容応力度は、設計基準強度 18N/mm² の場合について表-6のとおりである。

表-6 コンクリートの許容応力度

区分	許容応力度 (N/mm ²)
許容圧縮応力度	4.5
許容曲げ引張応力度	0.22
許容支圧応力度	5.4

[参考] 鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度は、表－7のとおりである。なお、荷重条件によって、割増数を乗じた値とすることができる。

表－7 構造用鋼材の許容応力度 (kN/mm²)

区 分	SS400	SM490	SM490Y	SM570 SMA570W
	SM400 SMA400W		SM520 SMA490W	
基準降伏点	0.235	0.315	0.355	0.450
許容軸方向 引張応力度	0.140	0.185	0.210	0.255
許容曲げ 引張応力度				
許容せん断 応力度	0.080	0.105	0.120	0.145

[参考] 基礎の許容支持力

基礎の許容支持力は、地盤が構造物の基礎を支持できる限界の支持力（極限支持力）に対して、設計上必要な安全度を見込んだものである。

$$Q = q / S$$

Q：許容支持力

q：極限支持力

S：安全率

短期荷重の場合 2倍（地震時、土石流時など）

長期荷重の場合 3倍（常時）

重力式治山ダムの場合、経験的に次のような値とすることが多い（長期荷重の場合）。

岩盤 700 kN/m²

礫層 300～600 kN/m²

砂質地盤 200～300 kN/m²

3-9-2 アーチ式治山ダムの断面決定

アーチ式治山ダムの断面は、ダムの中心角、アーチ半径及び厚さを適切に選定し、安定を検討して決定するものとする。

[解説]

- 1 アーチ式治山ダムは、堤体に作用する荷重を、水平方向のアーチ型はりとし鉛直方向の片持ちばりにより支えて、側方と下方の岩盤に対して有効に伝達する構造である。このため、アーチ式治山ダムは、重力式治山ダムに比べて堤体の断面を小さくできるが、堤体が最大応力に耐えるととともに、支持岩盤が十分堅固でなくてはならない。
- 2 アーチ式治山ダムの断面等は、地質調査等を十分行うとともに、安定計算により決定するものとする。
- 3 アーチ式治山ダムの安定計算に用いる荷重は、3-9-1-3「重力式治山ダムの安

定計算に用いる荷重」に準じて決定するものとする。

- 4 アーチ式治山ダムは、狭さく部に高いダムを設置するが多いので、断面決定に際して、廻排水等を含めた施工性を十分検討しておく必要がある。

[参考] 三次元式治山ダム

三次元式治山ダムは、アーチ式治山ダムの水平方向のほりをアーチではなく直線としたもので、堅固な岩盤がある狭さく部に設置することにより、アーチ式治山ダムほど施工性に支障を生ずることなく、重力式ダムに比べて堤体の断面積を小さくすることができる。

3-9-3 枠式治山ダムの断面決定

枠式治山ダムの断面は、構造特性を考慮して安定する断面を決定するものとする。

[解説]

- 1 枠式治山ダムは、枠内に粗石等を中詰とした構造を持つ透水型ダムであり、強固な枠構造をもち剛体と見なせる重力式構造のタイプと、水平荷重に対して主として中詰材のせん断抵抗力で対抗するセル式構造のタイプがある。
- 2 中詰材として現地発生土を使用する場合は、原則として、礫質土、砂質土を中詰とするものとし、流出しないように遮水型ダムとしなければならない。
- 3 枠式治山ダムの断面等は、原則として、次の安定計算により決定するものとする。
 - (1) 重力式構造としての安定性（重力式治山ダムに準じる）
 - (2) セル式構造としての安定性（セル式構造のタイプのみ検討）
 - (3) 構造部材の安定性（枠の部材、接合部等）
- 4 枠式治山ダムの安定計算に用いる荷重は、3-9-1-3「重力式治山ダムの安定計算に用いる荷重」に準じて決定する。
- 5 セル式構造のタイプの安定性は、荷重によって生じる変形モーメントに対して、中詰材の抵抗モーメントが1.2倍以上あることを確認する。

$$M_r/M_d \geq 1.2$$

M_r ：中詰材による抵抗モーメント（kN・m/m）

M_d ：荷重による変形モーメント（kN・m/m）

- 6 堤体の断面が階段状となる枠式治山ダムは、断面幅が極端に変化しないように留意して、全体的に一定の勾配を持つように断面形状を決めなければならない。また、堤体の背面に幅の広い階段をつけて上部の荷重を自重に加える枠式治山ダムについては、完成直後に十分に締まった状態で満砂する箇所を用いることが望ましく、断面の変化点等で堤体が破壊しないように安定性を検討しなければならない。
- 7 枠式治山ダムは、重力式治山ダムと比べて、部分的な破壊が堤体全体の破壊に及び易いことから、土石流等が衝突する危険性が大きい高いダムは避けるものとする。

[参考] 鋼製枠治山ダムの高さ

鋼製枠治山ダムは、土石流の衝突による破壊を避けるために、一般に、ダムの高さを8m未満としていることが多い。

[参考] 木製枠治山ダムの高さ与设计荷重

木製枠治山ダムは、耐久性、経済性の観点から、一般にダムの高さを4m以下としていることが多い。なお、木材保存剤（防腐剤）を用いることにより耐久性を向上させることができる。一般的に中詰材に割石等の透過性のある材料を用いる場合は土圧のみを考慮

し、水圧は考慮しない。

[参考] セル式構造の抵抗モーメント

セル式構造における中詰材の抵抗モーメントの算定式には、次のものがある（北島の式）。

$$M_r = \frac{1}{6} \cdot \gamma \cdot R_0 \cdot H_0^3 \cdots \cdots \cdots (3.9.18)$$

$$R_0 = v_0^2 \cdot (3 - v_0 \cdot \cos \phi) \cdot \sin \phi \cdots \cdots \cdots (3.9.19)$$

(変形を認める場合)

M_r : 中詰材による抵抗モーメント (kN・m/m)

γ : 中詰材の単位体積重量 (kN/m³)

H_0 : 換算壁高 (m) (中詰めの換算単位体積重量を用いた場合の中詰めによる抵抗モーメントを計算するための仮想壁高)

R_0 : 抵抗係数 (セル体のせん断変形を 1～2%程度許した中詰めが塑性化した程度に相当する)

v_0 : 幅高比 B/H_0

B : 換算壁幅 (m)

ϕ : 中詰材のせん断抵抗角 (度)

3-9-4 バットレス式治山ダム断面決定

バットレス式治山ダムは、主壁、扶壁、基礎版から構成される構造物全体を一体化した構造として安定するように断面を決定するものとする。

[解説]

- 1 バットレス式治山ダムは、上部の主壁、扶壁及び下部の基礎版で構成され、上部は主壁を扶壁で支える構造である。上部の構成部材は、主として鋼材又は鉄筋コンクリートが用いられ、上部を鋼製スクリーンの主壁と人型の鋼材である扶壁の組み合わせとし、下部（基礎版）を無筋コンクリートとすることが多い。
- 2 バットレス式治山ダムの断面等は、原則として、次の安定計算により決定するものとする。上部と下部が一体化した重力式構造として堤体全体の安定性を検討する。
 - (1) 堤体全体の安定性（重力式治山ダムに準じる）
 - (2) 構造部材の安定性（部材、接合部等）
- 3 バットレス式治山ダムの安定計算に用いる荷重は、3-9-1-3「重力式治山ダムの安定計算に用いる荷重」に準じて決定する。
- 4 バットレス式治山ダムは、扶壁及び基礎版が主壁の天端より流下する砂礫によって磨耗、破壊されないような構造とする。

3-9-5 スリット式治山ダム断面決定

スリット式治山ダムは、堤体に透過部を含めた一体構造として安定する断面を決定するものとする。

[解説]

- 1 スリット式治山ダムは、鋼材、コンクリート柱で構成されたくし型、格子型の透過部を持つ透過型ダムである。スリット式治山ダムの高さは、基礎部の底面から透過部の頂

部（放水路天端）までの垂直方向の長さとする。

- 2 スリット式治山ダムの断面等は、次の安定計算により決定するものとする。
なお、透過部と基礎部の構造や材料が異なる場合でも、一体化した重力式構造として堤体全体の安定性を検討する。
 - (1) 堤体全体の安定性（重力式治山ダムに準じる）
 - (2) 構造部材の安定性（部材、接合部等）
- 3 スリット式治山ダムの安定計算に用いる荷重は、3-9-1-3「重力式治山ダムの安定計算に用いる荷重」に準じて決定する。
- 4 重力式構造（堤底からスリット底部までの断面）としての安定計算では、洪水時と土石流時について安定性の検討を行うものとする。なお、洪水時は、透過部が流木等により閉塞したことを想定して、透過部全体に水圧が作用すると見なすものとする。
- 5 構造部材の安定計算では、洪水時と土石流時における各部材等の安定性を検討するとともに、土石流時における石礫や流木の衝突に対する安定性の検討も併せて行うものとする。
- 6 スリット式鋼製治山ダムについては、鋼材の腐食や摩耗に対して、腐食しろを設ける等により耐久性を向上させることが望ましい。

参考文献

林野庁：土石流・流木対策指針、平成30年3月

3-9-6 その他の型式の治山ダムの断面決定

その他の型式の治山ダムの断面は、堤体に作用する外力に対して安定を保つものでなければならない。

[解説]

その他の型式の治山ダムは、それぞれの機能、特性に応じた安定計算を行い、安全な断面を決定するものとする。

3-10 治山ダムの基礎

3-10-1 治山ダムの基礎地盤

治山ダムの基礎地盤は、十分な支持力、摩擦抵抗力を有するとともに、治山ダム下流のり先の洗掘、パイピング等による破壊に対しても安全でなければならない。

[解説]

- 1 基礎地盤の許容支持力は、治山ダムの堤底に生ずる最大反力より大きくなければならない。
- 2 基礎地盤は、その摩擦抵抗力が外力による治山ダムの滑動に対して十分なものかどうか検討しなければならない。
- 3 治山ダムの下流のり先の地盤は、流水の洗掘により破壊されるおそれがあるので、基礎地盤の洗掘について検討しなければならない。
- 4 基礎地盤の浸透水による破壊（クイックサンド及びパイピング）に対する安全性についても検討する必要がある。

[参考]

治山ダムの基礎地盤は、必要とされる支持力が得られる場合が多いため、施工時に確認することが一般的である。しかし、大規模な洪水・土石流等による新規の堆積層が著

しく厚い場合や基礎地盤の風化が著しく進行していると推測される場合には、地質調査により、基礎地盤の支持力、パイピングに対する安全性について検討する。

3-10-2 治山ダム基礎の根入れ

治山ダムの基礎の根入れの深さは、地盤の不均質性や風化の速度等を考慮して、安全な深さとなるように決定しなければならない。

〔解説〕

- 1 治山ダムの基礎部は、地盤の不均質性（特に砂礫層等）や長年の風化作用によって不安定化しやすいことから、十分な地耐力が得られるように、基礎の根入れの深さを決定しなければならない。
- 2 洪水時には下流のり先が洗掘されて治山ダム破壊の原因となりやすいので、十分な根入れを確保する必要がある。なお、洗掘の危険性が高い場合は、3-12「治山ダムの洗掘防止」により洗掘防止対策を行うものとする。

〔参考〕 治山ダム基礎の根入れ深さ

治山ダム基礎の根入れ深さは、基礎地盤の状況、治山ダムの高さ等の条件により異なるが、一般に、単独の治山ダムの場合は、下記の値とすることが多い。

なお、根入れの深さは、治山ダムの下流のり先で確保することとする。

- | | |
|-------------------------------|------------|
| (1) 盤状硬岩で風化していない場合 | 0.5m程度 |
| (2) 岩の場合 | 1.0m程度 |
| (3) 軟岩（風化が進行した岩盤又は亀裂の多い岩盤）の場合 | 1.5m程度 |
| (4) 砂礫層等の場合 | 2.0～3.0m程度 |

3-10-3 治山ダムの間詰等

治山ダムの間詰等は、堤体の地山への取付のため掘削し、堤体取付部とならなかった残余の地山掘削面の風化等を防止するように設置しなければならない。

〔解説〕

- 1 治山ダム施工時に設ける余掘部は、コンクリート等で間詰を行い、掘削面の風化や崩落を防止しなければならない。また、袖取付部から上部の掘削面には、必要に応じて天端間詰等を設け、その崩落を防止するものとする。
- 2 基礎地盤が岩盤である場合の余掘部は、掘削面の風化を防止するため、当該余掘部の掘削面をコンクリートによって充填する必要がある（コンクリート間詰）。
- 3 基礎地盤が土砂である場合の余掘部は、掘削面の風化を防止するために、十分埋戻しを行うものとする。ただし、土砂のみでは十分な埋戻しを行うことが困難な場合は、コンクリート又はコンクリートブロック練積擁壁による間詰（擁壁型間詰）、木製構造物等によって補強しなければならない。
また、のり面については植生等によって保護する必要がある。

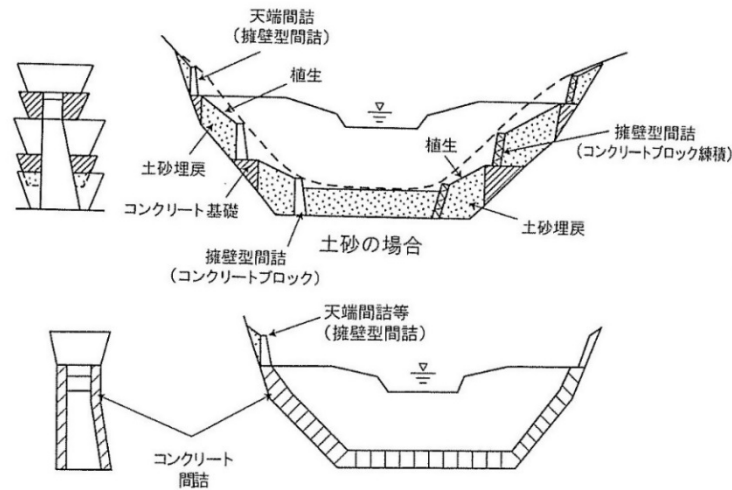


図-20 間詰等の例

[参考] 擁壁型間詰

擁壁型間詰は、一般に、経験的に擁壁の断面を決定するが、高いものは、必要に応じて安定計算を行うものとする。

また、基礎地盤が軽石層等でコンクリート間詰や擁壁型間詰では不適当な場合には、富配合のモルタルを吹付ける等の方法がある。

3-10-4 治山ダムの基礎の処理

治山ダムの基礎地盤が十分な強度を得られない場合は、その状況に応じて基礎処理をしなければならない。

[解説]

- 1 治山ダムの基礎は、地盤の支持力、摩擦抵抗、遮水性等に問題がある場合、その状況に応じて経済性、施工性等も考慮して適切に処理しなければならない。
- 2 軟弱地盤では、必要に応じて、地盤の支持力等を確認しなければならない。
- 3 基礎地盤の支持力が足りない場合は、①治山ダムの堤底幅を広くして応力を分散させる方法、②杭基礎（木杭、鋼杭、コンクリート杭等）、③置き換えによる地盤改良等の方法がある。
- 4 治山ダムの安定上、基礎地盤のクイックサンド、パイピング等遮水性に問題がある場合は、止水壁、注入工、水叩き等やこれらの組合せ工法により処理する。

3-10-4-1 治山ダムの杭基礎

治山ダムの基礎地盤が軟弱で、杭により基礎処理をする場合は、基礎地盤の土質及び深さに応じて、適切な杭を決定するものとする。

[解説]

- 1 杭基礎の採用、杭の選定に当たっては、基礎地盤の状況を十分調査する必要がある。
- 2 杭には、荷重を支持地盤へ伝達する方法により、支持杭、摩擦杭又はその両方の作用をもつものがある。
- 3 杭は、製法、材料又は工法によって次のように分類される。

表－８ 杭の分類

種 類		製法及び工法		摘 要
木 杭		丸太利用		防虫、防腐処理をする場合もある。
コン クリ ート 杭	既製杭	R C 杭	バイブレータ使用による 普通打ち込み成形方式	
			遠心力利用による成形方式	
	P C 杭	プレテンション方式		
		ポストテンション方式		
鋼 杭		H形鋼杭		
		鋼管杭		

- 4 杭の選定に当たっては、それぞれの特性を考慮して決定する。
- 5 杭の断面は通常、載荷重による軸方向圧力に対する強度によって決定される。
- 6 打ち込み杭の場合、杭の間隔が小さくなると打ち込みにより土の隆起が過大となりやすく、新しい杭の打ち込みが隣接杭を移動させたり、押し上げたりするため、杭の最小中心間隔は、原則として杭径の2.5倍とする。

3-10-4-2 治山ダム基礎のパイピング等の防止

治山ダムの基礎地盤が、クイックサンド又はパイピングを生じさせるおそれのある場合には、適切な処置を講ずるものとする。

[解説]

- 1 圧力を持った浸透流が限界動水勾配以上の動水勾配になると、土砂は水とともにかき乱されて支持力を失う現象が生じる（クイックサンド）。クイックサンドが激しくなり、小さな土粒子が押し動かされていくと、水みちができてパイプ状の穴があき（パイピング）、基礎地盤が破壊される現象が生じる。
- 2 治山ダムの基礎地盤が火山灰、砂礫層等で、クイックサンド又はパイピングが生ずるおそれのある場合には、その防止を図るための措置を講ずるものとする。

[参考] クイックサンド、パイピング、クリープ線長

- 1 クイックサンド
砂質土が水で満たされ、間隙水圧が上昇すると内部摩擦抵抗が急激に低下して、砂の粒子を動かしやすくする。このように砂質土が水に浮いた状態をいう。
- 2 パイピング
地中に水の流れ（浸透流）が生じると、地中の弱い所に水の流れが集まり、やがて付近の地盤を洗掘したような状態になる。このように水のみちを作り、そこから内部の土が洗掘されてパイプ状の穴があいていくと、その穴に沿って流れが激しくなり、ますます穴を大きくしてゆく。これをパイピング作用とよぶ。
- 3 クリープ線長
治山ダムの基礎地盤中の浸透流の流路長をいう。

透水性地盤上に設置される 治山ダム の安全性を判定する基準値は、クリープ比 (C=L/Δh) で与えられる。

[参考] パイピングに対する検討

一般に、次式によって得た地盤中を流れる浸透流の流速が、砂粒子の限界流速 (表-9 参照) よりも小さければ、パイピングは発生しないと考えられる。

$$V_s = \frac{Q}{A_s} = k \cdot i \cdot \frac{A}{A_s} = \frac{k \cdot i}{n} \dots\dots\dots (3.10.1)$$

- Q : 断面積Aの中を流下する流量 (cm³/s)
- A : 断面積 (cm²)
- k : 透水係数 (cm/s)
- i : 動水勾配 (H/L)
- V_s : 実際の流速 (cm/s)
- A_s : A断面中の間隙の断面積 (cm²)
- n : 間隙率

表-9 粒子の径と限界流速

粒子の直径(mm)	限界流速(cm/s)
5.00	22.86
3.00	17.71
1.00	10.22
0.80	9.14
0.50	7.23
0.30	5.60
0.10	3.23
0.08	2.89
0.05	2.29
0.03	1.77
0.01	1.02

(Justin の式による)

[参考] クリープ比によるパイピングの検討

治山ダムにおいてパイピングを考慮する場合は、浸透流によるパイピングが基礎面沿いに発生しやすいことから、次式で求めたクリープ比により安定性を検討する。

(1) ブライの式

$$C_c \leq \frac{\ell + 2d}{\Delta h} \dots\dots\dots (3.10.2)$$

C_c : ブライ式のクリープ比
 ϱ : 水叩き長を含めた堤底幅 (m)
 $2d$: 止水矢板等による浸透経路長 (m)
 Δh : 治山ダム上下流の水位差 (m) $= h_1 - h_2$
 h_1 : 治山ダム上流の水位 (m)
 h_2 : 治山ダム下流の水位 (m)

上式より、
 $L_c \geq C_c \cdot \Delta h \dots\dots\dots (3.10.3)$
 L_c : クリープ総線長 (m) $= \varrho + 2d$

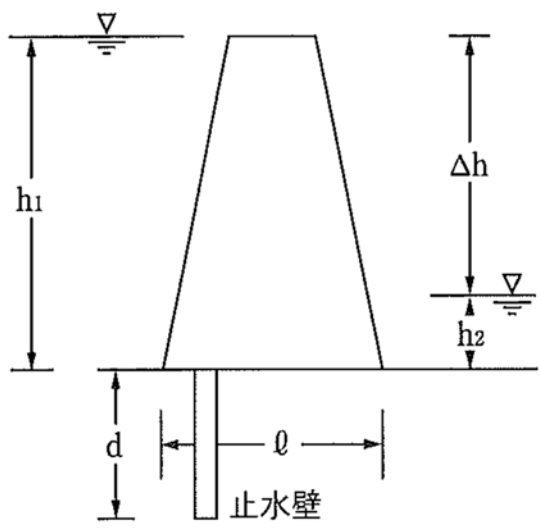


図-21 クリープ線長

(2) レーンの式
 $C_w \leq \frac{\varrho/3 + 2d}{\Delta h} \dots\dots\dots (3.10.4)$
 C_w : レーン式の加重クリープ比

上式より、
 $L_w \geq C_w \cdot \Delta h \dots\dots\dots (3.10.5)$
 L_w : クリープ総線長 (m) $= \varrho/3 + 2d$

クリープ比が、表-10 の値より大きくなるようにクリープ線長を採用すれば、治山ダムはパイピングに対して安定となる。なお、クリープ線長が不足する場合は、次のような処置が必要である。

- 1 鋼矢板を設ける方法
- 2 水叩き又は止水壁を設ける方法
- 3 グラウト等により基礎を処理する方法

表-10 クリープ比

区分	C _c	C _w	区分	C _c	C _w
極めて細かい砂 又はシルト	18	8.5	砂礫		
細砂	15	7.0	中粒の礫	9	3.5
中粒砂		6.0	割石を含む砂礫		3.5
粗砂	12	5.5	割石と礫を含む砂礫	4~6	2.5
細かい砂礫		4.0			

3-11 治山ダムの水抜き

治山ダムの水抜きは、施工中の排水及び堆砂後の浸透水圧の軽減が可能となるように設置する。また、堤体の弱点とならないようにその位置、大きさに配慮しなければならない。

〔解説〕

- 1 治山ダムの水抜きは、主として施工中の排水を目的とするものであるが、堆砂後の浸透水圧を軽減する効果も期待し得るように、数、大きさ及び設置箇所を定めるものとする。
- 2 治山ダムの水抜きは、その上流側溪床線の高さに設けることを標準とし、その大きさは、中洪水の流量が通水できる程度のものとする。
- 3 階段状に治山ダムを計画する場合、下流のダムの水抜きは上流のダムの堤底より低い位置に設けるものとする。
- 4 治山ダムの水抜きには、水資源利用の観点から、必要に応じて、開閉構造を付加することができるものとする。

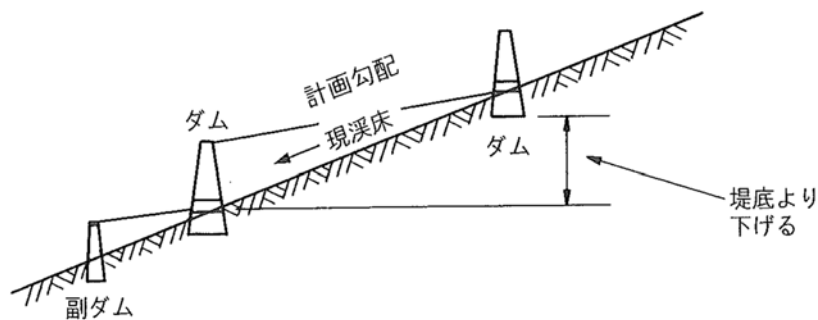


図-22 階段ダムの水抜きの位置

- 5 治山ダムに複数の水抜きを設ける場合には、堤体の弱点とならないように、配列を千鳥状とし、上下の水抜きが垂直に並ばないようにする。
- 6 最上部の水抜きは、土石流等の衝撃によって、治山ダム天端部の破壊の原因となりやすいため、放水路天端から2 m以上離して設けるものとする。

3-12 治山ダムの洗掘防止

治山ダムの基礎地盤が洗掘されるおそれがある場合は、洗掘防止を図るものとする。

[解説]

- 1 治山ダムの下流のり先が洗掘されるおそれがある場合は、副ダム、水叩き又はその両者を設けて、基礎地盤の洗掘防止を図るものとする。
- 2 副ダムは、流送砂礫の径が大きくかつ流量も多い場合、又は本ダムの堤高が高い場合で水叩きでは破壊されるおそれがある場合に用いる。
なお、本ダムの堤高が高い場合には、副ダムとともにウォータークッションを設ける。
- 3 水叩きは、流送砂礫の径が小さい場合、又は堤高が低く、落水等により水叩きが破壊されるおそれのない場合に用いる。
- 4 治山ダム下流の両岸の侵食防止及び流路規制のため、必要に応じて側壁を設けることができる。

3-12-1 副ダムによる洗掘防止

3-12-1-1 副ダムの構造

副ダムの構造は、本ダムの構造を参考に決定する。

[解説]

- 1 副ダムの天端厚は、渓床の石礫径が大きく、かつ流出が激しい溪流の場合は、本ダムの天端厚と同程度とする。渓床勾配が緩く、渓床の石礫径が小さく、かつ移動が少ない溪流の場合は、本ダムの天端厚に0.8を乗じた値をとることができる。
- 2 副ダムの袖天端には、原則として勾配を付けないものとする。
- 3 副ダムには、原則として水抜きを設けないものとする。

3-12-1-2 本ダムと副ダムの重複高

本ダムと副ダムとの重複高は、本ダムの基礎地盤の洗掘防止を図ることのできる高さとする。

[解説]

本ダムと副ダムとの重複高は、本ダムの堤高に越流水深を加えた高さの1/3～1/4程度を標準とする。また、経験上から次式によるものとする。

$$(H + h_c) \leq 6\text{mの場合} \quad t \cong \frac{1}{3}(H + h_c) \cdots \cdots (3.12.1)$$

$$(H + h_c) > 6\text{mの場合} \quad t \cong \frac{1}{4}(H + h_c) \cdots \cdots (3.12.2)$$

H : 本ダムの堤高 (m)

h_c : 計画水深 (m)

t : 重複高 (m)

ただし、 $6\text{m} \leq H + h_c \leq 8\text{m}$ の場合は $t \cong 2\text{m}$ とする。

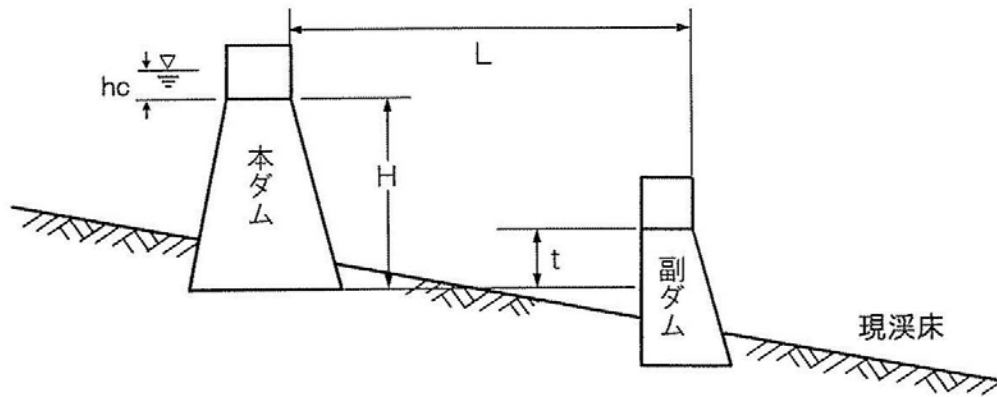


図-23 本ダムと副ダムの重複高及び間隔

3-12-1-3 本ダムと副ダムの間隔

本ダムと副ダムの間隔は、治山ダムの基礎地盤の洗掘、下流側の溪床低下の防止、落水等の衝突に配慮して、必要な距離を確保するものとする。

〔解説〕

本ダムと副ダムの間隔は、本ダムの有効落差 ($H' = H - t$) に計画水深 (h_c) を加えた高さの 1.5~2.0 倍の長さを標準とし、経験上から次式によるものとする。

$$(H - t + h_c) \geq 6\text{m の場合} \quad L \doteq 1.5(H - t + h_c) \dots\dots\dots (3.12.3)$$

$$(H - t + h_c) < 6\text{m の場合} \quad L \doteq 2.0(H - t + h_c) \dots\dots\dots (3.12.4)$$

H : 本ダムの高さ (m)

h_c : 計画水深 (m)

t : 重複高 (m)

L : 本ダムと副ダムの間隔(本ダム天端下流端から副ダム天端下流端までの距離、m)
ただし、 $6\text{m} \leq (H - t + h_c) \leq 8\text{m}$ の場合は $L \doteq 12\text{m}$ とする。

〔参考〕 本ダムと副ダムの間隔を求める半理論式

本ダムと副ダムの間隔 (L) を求める半理論式として、次のものがある (林、1983)。本ダムの堤高が高く、経験式が当てはまらなると考えられる場合に用いる。

$$L \geq \ell_w + X + b$$

$$\ell_w = V \cdot \left\{ \frac{2(H' + \frac{1}{2} \cdot h_c)^{\frac{1}{2}}}{g} \right\} \dots\dots\dots (3.12.5)$$

$$V = \frac{q}{h_c}$$

ℓ_w : 水脈飛距離 (m)

X : 跳水の距離 (m)

$$X = \beta \cdot h_j$$

b : 副ダムの天端幅 (m)

V : 本ダム越流部流速 (m/s)

H' : 水叩き天端又は基礎岩盤面からの本ダムの高さ (m)

- h_c : 本ダムの計画水深 (m)
- g : 重力の加速度 (9.8m/s^2)
- q : 本ダム越流部単位幅当たり流量 (m^3/s)
- β : 係数 (4.5~5.0)
- h_j : 水叩き天端又は基礎岩盤面からの副ダム越流水面までの高さ (m)

$$h_j = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right)$$

h_1 : 水脈落下地点の跳水前の射流水深 (m)

$$h_1 = q_1 / V_1$$

F : 水脈落下地点の跳水面の射流フルード数

$$F = V_1 / \sqrt{g \cdot h_1}$$

q_1 : 水脈落下地点の単位幅当たり流量 (m^3/s)

V_1 : 水脈落下地点流速 (m/s)

$$V_1 = \sqrt{2g(H + h_c)}$$

[参考] 越流水が落下する地点までの距離

越流水が落下する地点までの距離を求める式として次のものがある。

$$\ell = V \sqrt{\frac{2(H' + h_c)}{9.8}} \cong 0.452 V \sqrt{H' + h_c} \dots\dots\dots (3.12.6)$$

ℓ : 本ダム (天端下流端) から越流水が落下するまでの距離 (m)

V : 本ダムの越流部流速 (m/s)

H' : 本ダムの有効落差 (m)

h_c : 本ダムの計画水深 (m)

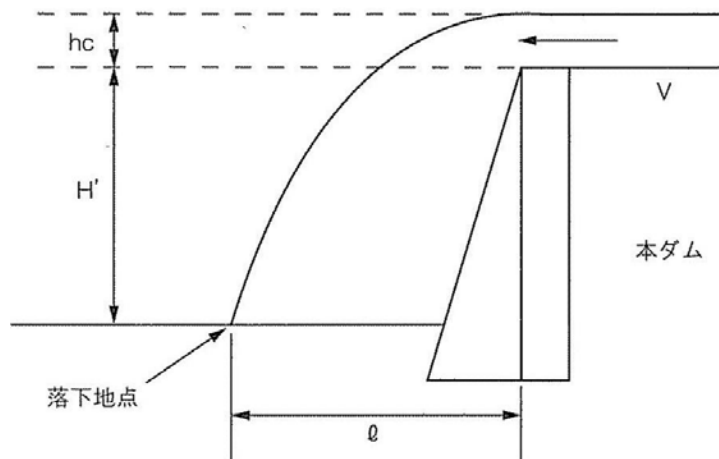


図-24 越流水が落下するまでの距離

3-12-2 水叩きによる洗掘防止

3-12-2-1 水叩きの長さ

水叩きの長さは、流水の水理条件、パイピングに対する安全性を考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 水叩きの長さは、落下後の流水が現溪流の水理条件に戻るまでの長さとする。
一般には、3-12-1-3「本ダムと副ダムの間隔」に準じて決定する。
- 2 パイピングが生ずるおそれのある場合は、パイピング発生の防止に必要な水叩きの長さを検討し、その長さが落下後の流水が現溪流の水理条件に戻るまでの長さを著しく超える場合は、止水壁を設ける等の対策を行う。

〔参考〕クリープ比によるパイピングの検討

3-10-4-2「治山ダム基礎のパイピング等の防止」の〔参考〕を参照。

3-12-2-2 水叩きの厚さ

水叩きの厚さは、安定性等を考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 水叩きの厚さは、次の経験式により求めることとするが、従来の経験から0.5~1.5mとする場合が多い。なお、水叩きの厚さが1.2m以上になる場合は、水叩き保護のためのウォータークッションを設ける。

(1) ウォータークッションのない場合 (図-25(1)参照)

$$d=0.2(0.6H_1+3h_c-1.0) \dots\dots\dots (3.12.7)$$

(2) ウォータークッションのある場合 (図-25(2)参照)

$$d=0.1(0.6H_2+3h_c-1.0) \dots\dots\dots (3.12.8)$$

$$d_w=0.2(0.6H_2+3h_c-1.0) \dots\dots\dots (3.12.9)$$

d : 水叩きの厚さ (m)

d_w : ウォータークッションの水深 (m)

H_1 : 有効落差 (水叩き天端から本ダム放水路天端までの高さ、m)

H_2 : 有効落差 (ウォータークッション水面から本ダム放水路天端までの高さ、m)

h_c : 本ダムの計画水深 (m)

- 2 ウォータークッションの水深は、0.3~1.0mの範囲を標準とし、堤高が高い場合は2m程度とする。

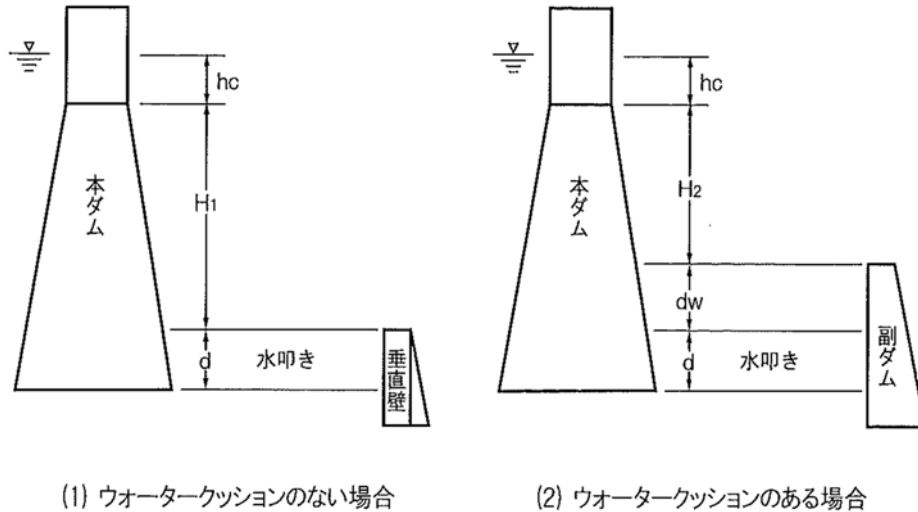


図-25 水叩きの構造

[参考] 本ダムの高さ及び計画水深からの算定式

本ダムの高さ(H)及び計画水深(h_c)から、有効落差(H_1 、 H_2)を求める算定式は下記のとおりである。

(1) ウォータークッションのない場合

$$H_1 = \frac{H - 0.6h_c + 0.2}{1.12}$$

(2) ウォータークッションのある場合

$$H_2 = \frac{H - 0.9h_c + 0.3}{1.18}$$

3-12-2-3 水叩きの勾配

水叩きの勾配は、現地の状況を考慮して決定するものとする。

[解説]

- 1 水叩きの勾配は、原則として水平とする。
- 2 溪床勾配が急な場合には、治山ダム基礎の掘削が相当深くなり埋戻したとしても下流のり先が洗掘されるおそれがあるので、おおむね計画勾配に応じて水叩きに勾配を設けるものとする。

なお、水叩きに勾配を付けた場合の有効落差は、越流水の落水地点付近を基準として設定する。

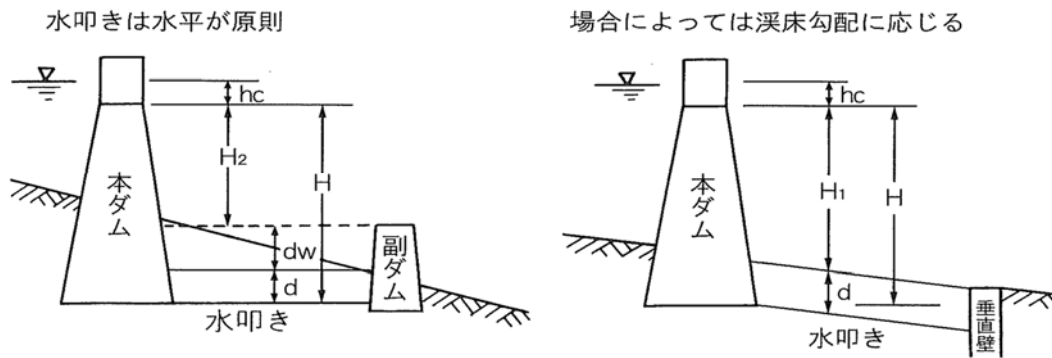


図-26 水叩きの勾配

3-12-2-4 水叩きの垂直壁

水叩きの垂直壁は、現地の状況を考慮して、適切な構造を決定するものとする。

〔解説〕

- 1 砂礫層等では、水叩きの下流先端面が洗掘されて破壊の原因となるので、水叩きの下流端に垂直壁を設けるものとする。
- 2 垂直壁の天端厚は、0.5~1.0mを標準とする。
- 3 垂直壁の基礎の根入れ及び両岸への突っ込みは、渓床の土質状況等を考慮して、十分に安定性が保たれるように決定するものとする。根入れは、一般に、二面張りの場合は水叩き敷より1m以上、また三面張りの場合は水叩き敷より1m未満とすることが多い。
- 4 垂直壁の下流側には、必要に応じて、洗掘防止措置を行う場合がある。

3-12-3 治山ダムの側壁

治山ダムの側壁は、両岸の侵食防止又は流路の規制を目的として設置するものとする。

〔解説〕

- 1 側壁は、治山ダム放水路より落下する越流水により、本ダムと副ダムの間又は水叩きの両岸が横侵食を起こすおそれがある場合に、渓岸保護を目的として設置する。また、治山ダム下流の両岸の地形・地質状況等から、水叩きにおいて流路を規制する必要がある場合に設置する。
- 2 側壁は、治山ダムと水叩きと一体となって目的を達成するものであり、現地の状況に応じて、重力式構造又はもたれ式構造とする。また、表のり勾配は2~3分を標準とする。
- 3 側壁の方向は、原則として本ダム軸に対し直角とする。ただし、流量が少なく跳水のおそれがないところでは、下流端を副ダム等の放水路に合わせて、しぼることができる。

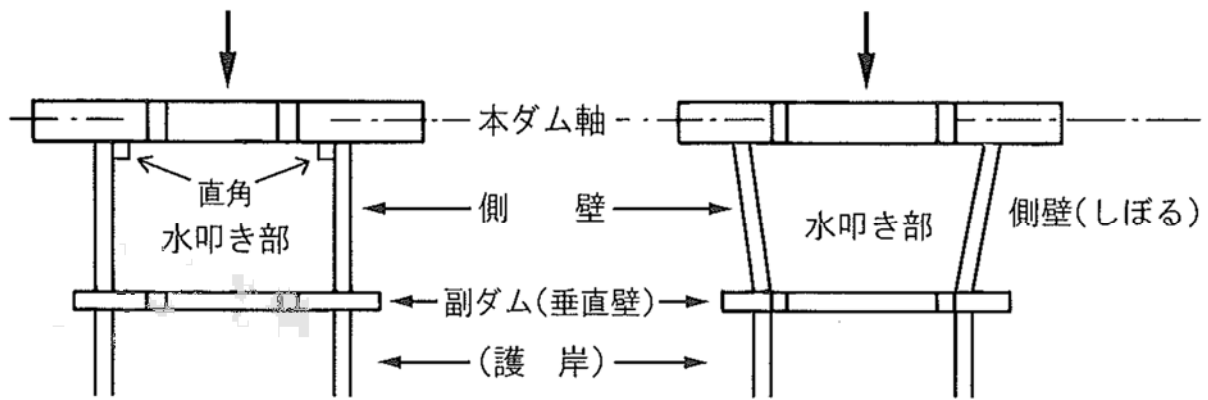


図-27 側壁の構造

3-12-3-1 側壁の高さ

側壁の高さは、計画高水流量が安全に流下する断面が得られるように決定しなければならない。

〔解説〕

- 1 側壁の高さは、治山ダム放水路の位置、高さ、流心の方角等を考慮し、計画高水流量が安全に流下する断面が得られるように決定しなければならない。
- 2 側壁の天端は、上流に向かって上り勾配を設けるものとする。ただし、断面が十分に確保されている場合には、この限りではない。

3-12-3-2 側壁の基礎と天端

側壁の基礎は、治山ダムの放水路から落下する越流水に対して安全であることを考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 治山ダム放水路を越流して落下する水流は、風、流木、流心の変化等の影響を受けて側方に広がり、兩岸を侵食するおそれがある。このため、側壁の治山ダムへの取付部基礎の平面位置は、治山ダムの放水路肩の直下より1 m程度以上外側に設けることを標準とする。
- 2 水叩きを設ける場合は、側壁の基礎底面と水叩きの基礎底面を同じ高さとする。水叩きを設けない場合は、側壁の基礎底面の上流端は本ダムの基礎底面と同じ高さとすることを標準とする。また、側壁の基礎底面の下流端は、副ダムの放水路天端の高さより1 m程度低くすることを標準とする（図-28 参照）。
- 3 側壁の下流端の天端高は、原則として副ダム又は垂直壁の袖高と同じ高さとする。
- 4 側壁の天端の厚さは0.3~0.5mを標準とする。

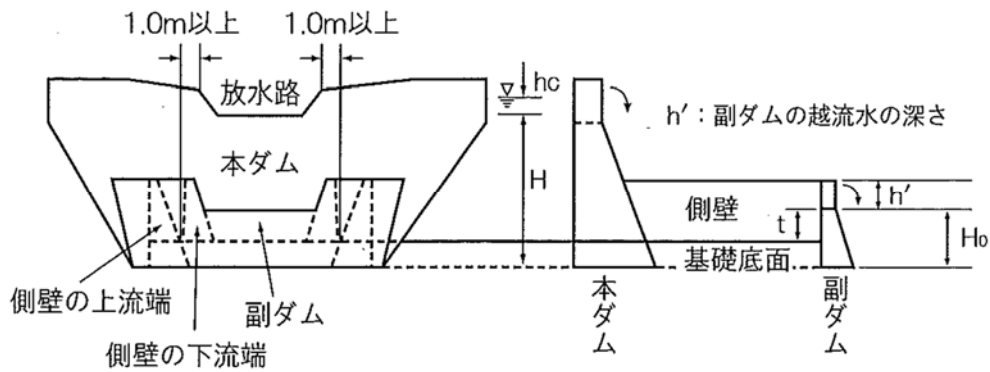


図-28 側壁の基礎と天端

3-13 治山ダムの伸縮継目

伸縮継目は、コンクリートのひび割れ軽減を目的として設けるものとする。

[解説]

- 1 コンクリート治山ダムは、硬化の際の温度差によるひび割れが生じやすいマスコンクリートである。このため、堤長の長いコンクリート治山ダムの打設に当たっては、伸縮継目を設置してブロックに区分することにより、硬化の際に生ずる収縮を少なくして、ひびわれの発生を抑えるものとする。
- 2 重力式コンクリート治山ダムの伸縮継目は、コンクリート打設の条件、断面の大きさ等を考慮して、原則として、各ブロックがほぼ等分となるように配置するものとする。
- 3 伸縮継目の位置は、堤体の弱点とならないように、水抜き的位置を避けるとともに、基礎地盤の土質等変化点を考慮して設けるものとする。
- 4 伸縮継目は、堤体の弱点とならないように、継手を設けるものとする。
- 5 伸縮継目の間隙に土砂等が入り込むおそれがある場合は、目地材を設けるものとする。
- 6 伸縮継目は、断面内に止水板を挿入する。

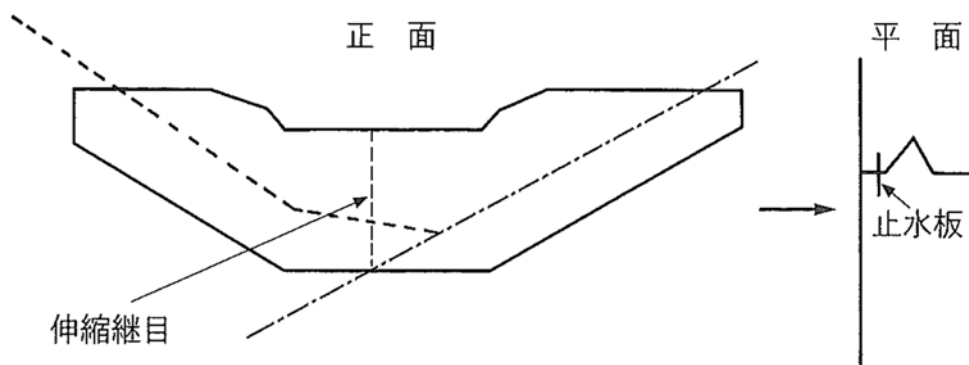


図-29 伸縮継目の位置、形状

[参考] 伸縮継目の間隔

堤長が25mを超えるコンクリート治山ダムについては、堤長方向の各ブロックの長さが10~15m程度となるように配置することが望ましい。

[参考] 継手の仕様

伸縮継目の継手は、堤体幅方向の中央付近に三角形等の欠き込みを設けるものとし、欠き込みの幅は放水路天端幅の1/3程度、凸部の高さは欠き込み幅の1/2程度を標準とする。

[参考] 止水板の位置

伸縮継目には、上流面から0.3m程度の位置に止水板を挿入する。

3-14 水平打継目

重力式コンクリート治山ダムの水平打継目は、異常な荷重等に対して弱点とならないように補強を行うものとする。

[解説]

- 1 コンクリート打設は、堤体を水平又は垂直にいくつかのブロックに区画して施工するが、区画ごとの水平打継目は、次の打設に当たって十分清掃等を行っても上下のコンクリートを完全に一体化することは困難である。
このため、水平打継目が異常な荷重等の発生時に弱点となり易いことから、補強を行うことを標準とする。特に、土石流発生頻度の高い溪流等においては必ず補強を行うものとする。
- 2 水平打継目の補強は、原則として、相欠き、凸形、凹形等の継手を設けること、又は打継面に挿筋を行うことにより行うものとする。

[参考] 継手の仕様

相欠きの継手は、仕切りを中央に設けるものとする。凸形、凹形の継手は、放水路天端幅の1/3程度を継手幅とし、高さ又は深さは20~30cm程度とするのが一般的である。

[参考] 挿筋の仕様

挿筋では、コンクリートのせん断強度の30%程度を、鉄筋のせん断強度により補強すると考えて必要鉄筋量を求める。

第4節 護岸工

4-1 護岸工の目的

護岸工は、流水による溪岸の横侵食の防止及び山腹崩壊の防止又は山腹工の基礎とすることを目的とする。

[解説]

- 1 護岸工は、次の一つ又は複数の目的をもつ。
 - (1) 流水による溪岸の横侵食を防止すること
 - (2) 流水の侵食による山腹の崩壊を防止すること
 - (3) 山腹工を実施する場合の基礎とすること
- 2 護岸工は、流水が直接溪岸に衝突し、溪岸を侵食する場合又は侵食によって山腹崩壊のおそれがある場合に山脚部の基礎として設けるが、護岸工だけでは溪流の安定が保てないので、治山ダムを併用するが多い。
- 3 溪流の方向を変えて縦横侵食の防止を図る場合や土石流等を誘導する場合に、導流護岸（堤）を計画することがある。

4-2 護岸工の種別

護岸工の種別は、現地の状況に応じて適切なものを選定するものとする。

〔解説〕

- 1 護岸工の種別は、コンクリート、コンクリートブロック、コンクリート枠、鋼製枠、鉄線かご、木材等とし、現地の状況に応じて適切なものを選定するものとする。
- 2 流水及び流送土砂の多い溪流では、簡易な工作物では破壊されるおそれがあることから、コンクリート又はコンクリートブロックを採用するものとする。
なお、コンクリートブロックを練積とする場合には胴込コンクリートのほか、必要に応じて裏込コンクリートを用いるものとする。
- 3 コンクリート枠又は鋼製枠は、流水や送流土砂等の衝撃が小さい溪流の場合、基礎地盤が不同沈下のおそれがある場合、背面の堆積土砂や盛土等の排水効果を期待する場合、他の種別では技術的に不適當な場合に採用するものとする。
- 4 鉄線かご又は木材は、流量及び石礫の流出の少ない、勾配の緩い溪流において採用するものとする。

4-3 護岸工の位置等

護岸工の位置及び法線は、その目的及び現地の状況に応じて、最も効果的となるように決定するものとする。

〔解説〕

- 1 護岸工の位置は、施工箇所の地形・地質、流水の衝突状態、計画高水位、治山施設の計画高、荒廃斜面の勾配、既施工箇所における護岸の実態等を調査し、目的に合致した最も効果的な箇所を選定する。
- 2 護岸工は、溪流における水衝部、山腹崩壊の拡大又は崩壊のおそれのある箇所、山腹工の基礎の保全等が必要な箇所等に設置する。
- 3 溪岸崩壊地等に対する護岸工の配置には、次のようなタイプがある。
 - (1) 溪流の横侵食を防止して、崩壊しやすい溪岸斜面の維持及び根固めのため、直接護岸を設けるもの。(図-30(1)参照)
 - (2) 治山ダムを設けて縦侵食を防止しても横侵食が起こる場合に、治山ダム上流部の崩壊地の脚部に護岸工を設け、決壊又は崩壊を防止するもの。(図-30(2)参照)
 - (3) 大岩塊等障害物によって流心が変化湾曲して溪岸崩壊地等が生じた場合に、障害物を取り除いて溪岸崩壊地等の脚部に護岸工を設けるもの。(図-30(3)参照)
- 4 護岸工の法線は、流水の偏流等を引起さないようにできるだけ滑らかに設置する必要がある。

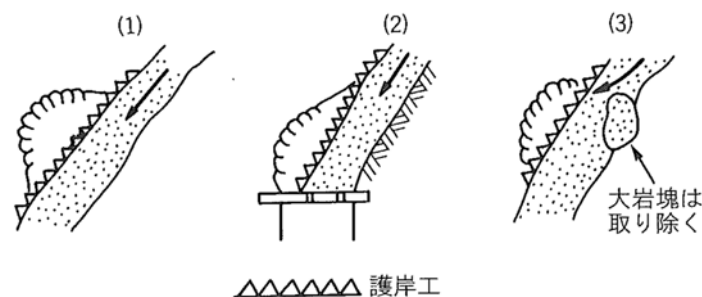


図-30 護岸工の配置

4-4 護岸工の天端高

護岸工の天端の高さは、洪水時に流水とともに流下する砂礫、流木等を考慮して、十分に余裕を見込んだ高さとしなければならない。

〔解説〕

- 1 護岸工の天端高は、砂礫、流木等を含んだ洪水流に対して、越流しないように安全な高さとしなければならない。具体的には、代表的な溪流断面において、計画高水流量を基準として決定する。
- 2 山腹崩壊の防止又は山腹工の基礎を目的として護岸工を設ける場合にあつては、洪水流に対して安全かつ山腹基礎工の目的を達成できる天端高とする必要がある。
- 3 治山ダムの上流部に計画する護岸工の天端の高さは、治山ダムの袖天端と同等の高さとし、おおむね計画勾配に沿って勾配を設け、越流しない高さとする。
- 4 護岸工の計画高水流量は、原則として最大洪水流量に洪水痕跡等から推測される流量等を考慮して、第3節3-7-4「治山ダム設置位置の計画高水流量」の解説に準ずるものとする。
- 5 護岸工の天端高は、計画高水流量から求められた計画水深(h_c)に余裕高(Δh)を加えた高さとする。
- 6 護岸工の有効高は、原則として、計画高水流量を基準として求めた計画水深(h_c)に、水面変動を考慮した余裕高(Δh)を加算して求めるものとする。また、必要に応じて、嵩上げ高(h_f)を加算するものとする。

$$h \geq h_c + \Delta h (+ h_f)$$

h : 護岸工の有効高 (m)

h_c : 計画高水流量を基に算出した計画水深 (m)

Δh : 余裕高 (水面変動を考慮) (m)

h_f : 嵩上げ高 (必要に応じて設定) (m)

計画水深及び余裕高は、第6節6-6-3「流路工における護岸工の天端高」の解説に準じて求める。なお、流路幅等は、溪流の状況を考慮して設定する。

- 7 嵩上げ高(h_f)は、次のように設定する。

- (1) 流路が整理されていない溪流に護岸工を計画する場合は、必要に応じて、異常な水位上昇を考慮したかさ上高を設定する。
- (2) 溪流の曲線部の凹岸に護岸工を計画する場合は、必要に応じて、第6節6-6-4「流路工の曲流部の構造」の解説に準じて、洪水時の水位上昇を考慮した嵩上げ高を設定する。

〔参考〕護岸工の嵩上げ高 (h_f)

流路工の護岸工でない場合の護岸工の嵩上げ高は0.5m程度を標準とするが、上流から流下して異常に堆積した土砂等により、一時的に溪流や流路の断面が小さくなり、異常な水位上昇となることが考えられる場合にあつては、洪水痕跡等を考慮して嵩上げ高 (h_f) を決定する。

4-5 護岸工の構造

護岸工の構造は、背後の地形・地質等を考慮して適切なものを選定するものとする。

[解説]

- 1 護岸工の型式は、一般に、重力式又はもたれ式とし、表のり勾配を急勾配とする。ただし、比較的溪床勾配が緩く、護岸の破壊等のおそれが少ない区間では、のり勾配の緩い傾斜式とすることができる。
- 2 重力式又はもたれ式の護岸工は、コンクリート、コンクリートブロック練積及び練石積が多く、背後の土質、山腹傾斜等を考慮して、背面土圧に対して安定なものとする。
- 3 重力式又はもたれ式の護岸工に土圧が作用する場合は、第5章第3節3-3-5-1「土留工の安定計算に用いる荷重」及び第5章第3節3-3-5-2「土留工の安定性の検討」に準じて、安定計算を行い断面を決定する。
- 4 傾斜式の護岸工は、練石張、鉄線かご（蛇かご）等が多く、経験的に断面を決めることが多い。

[参考] コンクリート又はコンクリートブロック練積護岸工の仕様

コンクリート護岸工又はコンクリートブロック練積護岸工の標準的な仕様は次のとおりである。

- 1 天端厚は、0.3~0.5mとする。
- 2 表のり勾配は、3分を標準とする。
- 3 裏込礫、水抜き等を設けて、背後の土圧・水圧を緩和する構造とする。
- 4 裏込礫を充填する場合は、厚さ0.3m程度とする。
- 5 水抜きは、低水位以上のより高い位置に、径50~100mm程度のものを2~3㎡に1箇所程度設ける。
- 6 延長が20mを超える場合は、原則として伸縮継目を10~15mに1箇所設けるものとするが、基礎地盤の支持力に著しい差のある場所にも設置することを考慮する。

[参考] 鉄線かご護岸工の仕様

鉄線かご護岸工には、ふとんかご又は丸蛇かごを用いる場合がある。鉄線かご護岸工の標準的な仕様は、次のとおりである。

- 1 ふとんかごの場合は、溪床に沿って縦に並べて止杭で固定する（図-31参照）。
- 2 蛇かごの場合は、溪岸ののり面に沿って縦に並べ、溪床部分に敷き込んで止杭で固定する（図-31参照）。
- 3 中詰石は、風化し難い堅硬なものでなければならない。
- 4 コンクリート枠、鋼製枠、鉄線かご護岸工は、背面土砂等の吸出しを防止するため、背面、下面、側面に吸出し防止材を設置するものとする。

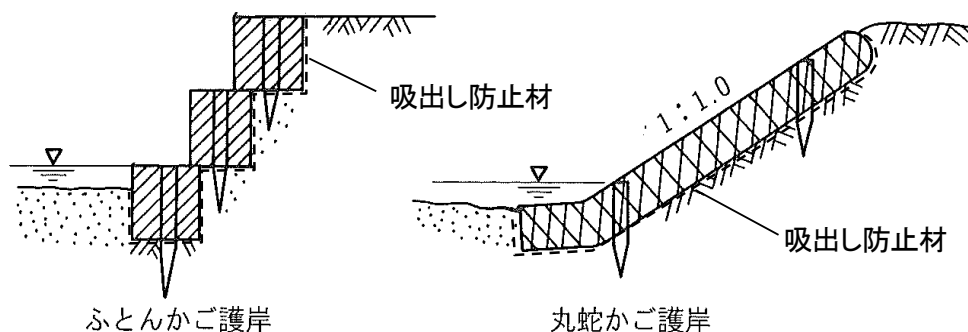


図-31 鉄線かご護岸工の例

4-6 護岸工の取り付け

護岸工の上下流部は、流水により洗掘、破壊されないように溪岸に取り付けるものとする。

〔解説〕

- 1 護岸工の上下流端の取付部は、流水によって洗掘又は破壊されやすいので溪岸に十分巻き込むものとする。
- 2 護岸工を治山ダム上流に接続する場合は、4-4「護岸工の天端高」の解説に留意する。

4-7 護岸工の基礎

4-7-1 護岸工の基礎の根入れ深

護岸工の基礎の根入れ深は、計画溪床勾配、溪床の状況等を考慮して、洗掘されることのない安全な深さとしなければならない。

〔解説〕

- 1 護岸工は、その脚部に沿って洗掘されやすいので、砂礫層等の場合の基礎は、計画勾配線より少なくとも1m以上根入れを設けるものとする。
- 2 治山ダム上流部に取り付ける護岸工の基礎は、治山ダム放水路天端から1m程度深く根入れを設けることを標準とする。
- 3 治山ダム下流部に取り付ける護岸工の基礎の根入れ深は、通常治山ダムの基礎の根入れ深と同程度とし、放水路肩の直下から1m以上山側に後退して取り付けることを標準とする。
- 4 溪流が曲流する箇所に護岸工を設ける場合には、洗掘を受け易いことから、基礎の根入れ深の決定に当たって留意する必要がある。

4-7-2 護岸工の基礎の洗掘防止

護岸工の基礎が流水によって洗掘されるおそれがある場合は、洗掘防止の措置を講ずるものとする。

〔解説〕

- 1 曲流部の凹岸、水衝部、護岸工の下流部等水流によって洗掘のおそれがある場合には、必要に応じて、根固工、水制工等を設ける。
特に、曲流部の凹岸及び水衝部では注意する必要がある。
- 2 根固工は、自重と粗度により、水流に対応して基礎洗掘を防止するもので、その構造は、柔軟性のあるものでなければならない。根固工の天端高は、計画勾配に合わせた一定の高さとし、根固工の底部は、護岸基礎とおおむね同じ深さとする。
- 3 根固工は、現地の状況に応じて、捨石、コンクリートブロック、沈床等、最も適切なものを採用するものとする。
- 4 護岸工の基礎部の流速を減少させ洗掘を防止するために、水制工を用いる場合がある。

4-7-3 護岸工の基礎の処理

護岸工の基礎地盤が軟弱な場合は、その状況に応じて適切な基礎の処理を行わなければならない。

〔解説〕

護岸工の基礎の処理は、基礎地盤の支持力、透水性等その状況に応じて経済性、施工性等も考慮して適切に行わなければならない。

一般的な基礎の処理方法としては、杭打ち、フーチング等がある

第5節 水制工

5-1 水制工の目的

水制工は、流心を溪岸から遠ざけ、流路を規制し、溪岸の侵食防止又は護岸の洗掘防止を図ることを目的とする。

〔解説〕

水制工は、溪流幅の狭い箇所では必ずしも適切な工法ではなく、水制工によって規制された流水が対岸を侵食するおそれがあるので留意しなければならない。

一般に、相当の溪流幅がある曲流部等に計画する。

5-2 水制工の種別

水制工の種別は、その目的及び現地の状況に応じて最も適切なものを選定するものとする。

〔解説〕

- 1 水制工の種別は、コンクリート、コンクリートブロック、コンクリート枠、鋼枠、鉄線かご等がある。
- 2 水制工は、コンクリート、コンクリートブロック等が用いられることが多いが、流量の少ない溪流等においては、鉄線かごを採用する場合がある。

5-3 水制工の位置

水制工の位置は、その目的及び現地の状況に応じて、最も効果的となるように決定するものとする。

〔解説〕

- 1 溪流が直線又は直線に近い区間で、両側に水制工を設ける場合には、水制工の先端部を対立させ、その延長が流路の中央で交わるように位置を定める。(図-32(1)参照)
- 2 溪流の短区間に接した崩壊地に対しては、崩壊地の上流端に水制工を設け、水流を崩壊地の脚部から遠ざけて崩壊の拡大を防止することがある。この場合、一般に、崩壊地側の片岸のみ水制工を設けるが、対岸の侵食に注意しなければならない。(図-32(2)参照)

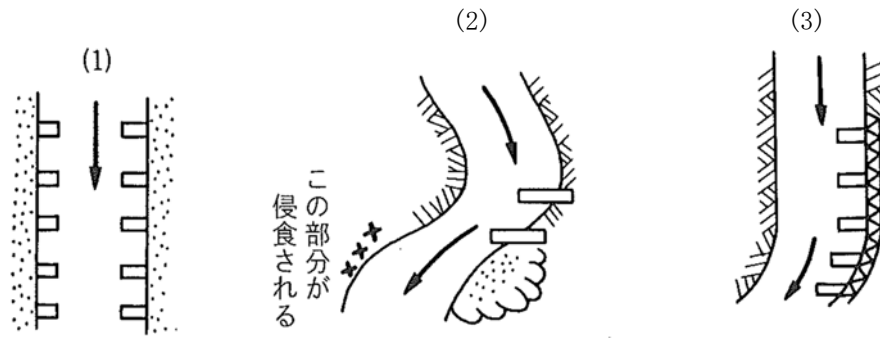


図-32 水制工の位置

5-4 水制工の方向

水制工の方向は、その目的及び現地の状況に応じて、最も効果的となるように決定するものとする。

[解説]

1 水制工の方向は、流水による溪岸等の侵食防止を図ることができるように、流心線又はその切線に対して、上向きに $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ の角度を標準とする。

2 水制工は、その突出角度によって、上向水制工、直角水制工及び下向水制工に分けられる。

それらの特徴は次のとおりで、その目的から、一般に上向水制工又は直角水制工が採用される。

- (1) 上向水制工：水制工間の砂礫の堆積は、下向水制工よりも多いが、先端部の洗掘は最も強い。水流は、溪流の中心に向かって偏流する。
- (2) 直角水制工：水制工間の中央に砂礫の堆積を生じ、先端部における溪床の洗掘は比較的弱い。水流は、偏流を生ずることがない。
- (3) 下向水制工：水制工間の砂礫の堆積が直角水制工より少なく、先端部の洗掘は最も弱い。水流は、溪岸に向かって偏流する。

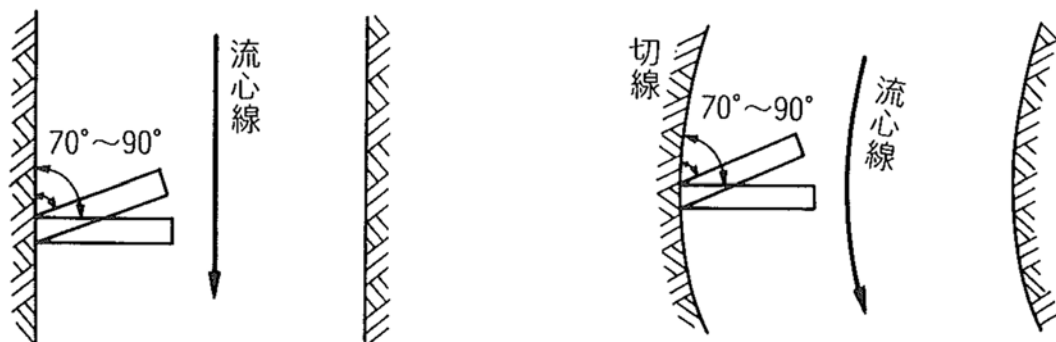


図-33 水制工の方向

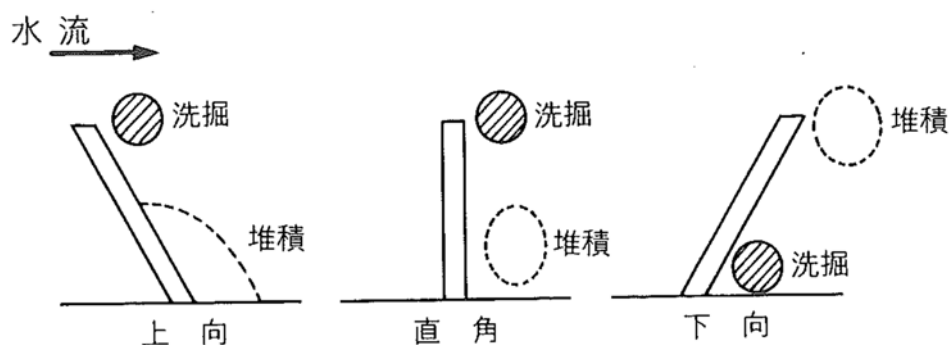


図-34 水制工の突出角度と溪床の洗掘、堆積の状況

5-5 水制工の形状

水制工の形状は、現地の状況等から決定するものとする。

[解説]

- 1 水制工の形状には、かね出し、ちょう出し、かま出し、かぎ出し等がある。
- 2 荒廃溪流においては、一般に、かね出しが採用される。砂礫堆積地帯において溪流幅を限定する必要がある場合には、ちょう出しを採用することがある。

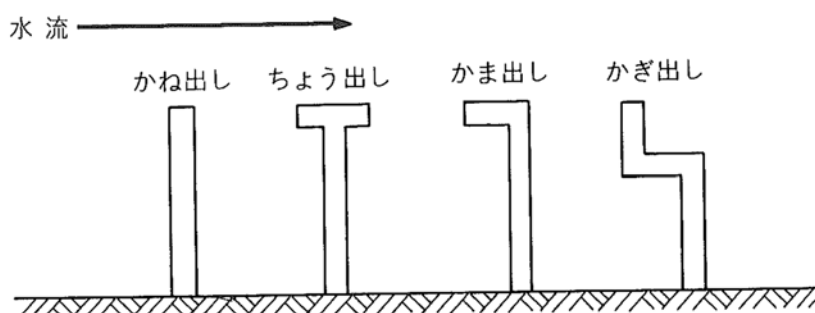


図-35 水制工の形状

5-6 水制工の長さ及び間隔

水制工の長さ及び間隔は、現地の状況等から決定するものとする。

[解説]

- 1 一般に、溪流は一般河川と比べて川幅が狭くて流れが速い。このため、溪流に設置する水制工は、流水の状況地形等を十分検討して、必要最小限の長さとする。
- 2 水制工の間隔は、水制工の長さ・方向・種別、流水の方向・強弱、溪床勾配、溪床の状況等によって決定される。水制工の間隔が広すぎると横流が生じて、溪岸又は護岸が破壊されることがあるので、注意しなければならない。

[参考] 水制工の長さ

水制工は、一般的に、長さを短くして護岸工と併設する方が、工事施工、維持の面で経済的となることから、溪流幅の10%以下の長さとしていることが多い。

[参考] 水制工の間隔

水制工の間隔は、一般に、凹岸部で水制工の長さの2倍、直線部で2.5～3.0倍、凸岸部で3倍以上とされている。

5-7 水制工の高さ

水制工の高さは、その目的及び現地の状況に応じて決定するものとする。

[解説]

- 1 水制工は、洪水の際に天端を越流するか否かによって、越流水制工と非越流水制工に区分する。
- 2 水制工は、急流部では非越流水制工が多く用いられ、水制工先端部の洗掘を防ぐため、先端部の基礎の根入れを深くする。
- 3 水制工は、流心を溪岸より遠ざけるために、一般に、溪岸から流心に向かって $1/10 \sim 1/15$ の勾配で前下がりに傾斜を付ける。

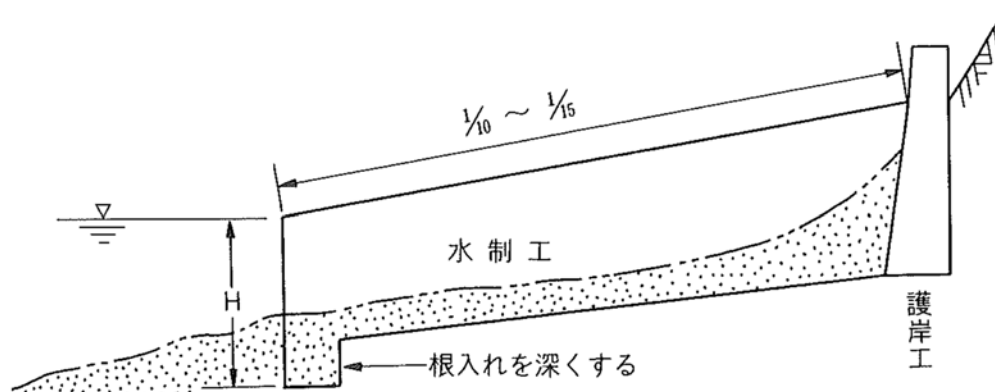


図-36 水制工（非越流）の高さ

第6節 流路工

6-1 流路工の目的

流路工は、流路を固定して乱流を防止するとともに縦断勾配を規制して、縦横侵食の防止を図ることを目的とする。

[解説]

- 1 流路工は、床固工、帯工及び護岸工によって、流路を固定し乱流を防止するとともに縦断勾配を規制して、縦横侵食防止を図ることを目的としている。
- 2 流路工は、その目的を十分理解し、安全性、経済性についても検討を行って流水を安全に流下させるとともに、維持管理、周辺の水利用、地下水位、自然環境等についても十分配慮しなければならない。
- 3 流路工は、土砂の調節機能がなく、土砂が多量に流下した場合に流路が閉塞する危険性があるために、上流部の治山ダム等の主要施設等の整備が進み、異常な土砂流出が溜まった段階に着手することを原則とする。
- 4 流路工の上流端は、原則として治山ダムに取り付けるものとする。
- 5 流路工は、十分な流積を確保するとともに、局所洗掘又は異常堆積が生じないように縦断勾配を決定しなければならない。

- 6 流路工は、火山地帯などで、泥流等を安全な場所に誘導する目的で用いられることがある。
- 7 流路工の種別は、治山ダム及び護岸工に準ずるものとする。

6-2 流路工の法線

流路工の法線は、洪水流を安全に流下させることができるように、配慮しなければならない。

〔解説〕

- 1 流路工の法線は、局所洗掘、異常堆積、又は流水の越流が生じないように、できる限りなめらかな平面線形とする。
- 2 何らかの理由で流路工を上流域の整備より先行せざるを得ない場合にあっては、できるだけ法線を直線とするとともに、流路の計画勾配、断面形状を十分に検討するものとする。
- 3 土地利用度の高い溪流においては、法線の規制が困難な場合が多いが、可能な限り曲率半径を大きくするように配慮するものとする。また、下流の他事業による水路等との接続について、十分検討しなければならない。
- 4 主溪と支溪が合流する場合には、両者の法線ができるだけ鋭角に合流するように設定する。

6-3 流路工の縦断形

流路工の縦断形は、その目的及び現地の状況を考慮して、決定しなければならない。

〔解説〕

- 1 流路工の縦断形は、その目的、現地の状況を考慮しながら、上下流端の床固工の配置、計画溪床勾配、計画溪床高、底張りの有無等を総合的に検討して、決定しなければならない。
- 2 流路工における計画勾配は、施工前の溪流幅、水深、溪床勾配、溪床を構成する石礫の径等を調査して、溪床の安定を考慮して決定する。なお、流路工内の流水の速度が速くなると、流路工の区間及びその上下流で、異常な侵食・堆積や水面変動を引起すおそれがあるため、計画溪床勾配はできるだけ緩和するよう設定することが望ましい。
- 3 流路工における計画溪床高は、現溪床より低く設定する掘り込み方式を原則とする。
- 4 流路工における計画溪床勾配の維持は、床固工、帯工の設置又は流路工の底張により溪床の侵食を防止して行う。
なお、床固工を設置する場合は、落差をできる限り小さくして階段状に配置する。
- 5 流路工の計画溪床勾配を変化させる場合には、上流の溪床勾配による流れの物理的影響をできる限り下流に及ぼさないために、溪床勾配の変化点に床固工を設置することを原則とする。
- 6 主溪に支溪が流入することによる洗掘、堆積を防ぐため、支溪の縦断勾配は原則として主溪に合わせた勾配とする。このため合流点直上流部の支溪に床固工等を設け、支溪の縦断勾配を修正して合流させる等、合流点付近においては縦断勾配、平面形状等を十分検討する必要がある。

6-4 流路工の溪床

流路工は、溪床の安定を保つように構造を決定しなければならない。

[解説]

- 1 流路工は、底を張らない構造を原則とする（二面張り流路工）。ただし、流路工を計画する区間において、その溪床を構成する材料では、計画溪床勾配の維持が困難な場合等には、底張りをすることができる（三面張り流路工）。
- 2 一般に底張り（三面張り流路工）を行うのは、次のような場合である。
 - (1) 計画溪床勾配を急にせざるをえず、掃流力が、その溪床を構成する石礫の平均径に対する限界掃流力よりも大きい場合
 - (2) 流路工の溪床の底幅が狭く急流で、施工時に溪床全面が掘削によって乱され、計画溪床高の維持が困難な場合
 - (3) シラス、火山灰堆積地等の比重の小さい砂礫及び細粒で溪床が構成されており、直接的に流水による侵食を防止する必要がある場合
 - (4) 床固工の設置により溪床勾配を補正する方法、流路幅を広げて水深を低くする方法等と比べて、底張りする方法が経済的に有利である場合
- 3 一般に、掃流力及び限界掃流力は、速度の次元を有する摩擦速度及び限界摩擦速度として求められる。限界摩擦速度が摩擦速度よりも小さい場合は、計画溪床勾配と水深の検討又は底張りをする。

[参考] 摩擦速度・限界摩擦速度

摩擦速度及び限界摩擦速度は、次式によって求められる。

(1) 摩擦速度式

$$U_* = \sqrt{\tau_0 / \rho} \dots\dots\dots (6.4.1)$$

- U_* : 摩擦速度 (cm/s)
- τ_0 : 溪床面に作用するせん断力
 $\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R \cdot I_e$
- ρ : 水の密度 (g/cm³)
- g : 重力の加速度 (980cm/s²)
- R : 径深 (cm)
- I_e : エネルギー勾配 (計画溪床勾配)

(2) 限界摩擦速度式(岩垣公式)

$$U_{*c}^2 = 0.05 (\sigma / \rho - 1) g \cdot d \dots\dots\dots (6.4.2)$$

- U_{*c} : 限界摩擦速度 (cm/s)
- σ : 砂礫の密度 (g/cm³)
- ρ : 水の密度 (g/cm³)
 $\sigma / \rho = 2.65$ (砂礫の比重)
- g : 重力の加速度 (980cm/s²)
- d : 石礫の径 (cm)

6-5 流路工における計画勾配の変化点及び落差

流路工の計画溪床勾配の変化点及び落差は、流路工の設置目的、現地の状況及び床固工等の効果的な配置を総合的に検討して決定するものとする。

[解説]

- 1 床固工は、溪床を固定することによって、流路工の縦断形と法線形を維持するために、必要な位置に設けるものとする。また、流路工の計画溪床勾配を緩くするために落

差を設ける場合は、原則として床固工を設ける。

- 2 床固工の間隔が長くなる場合には、必要に応じて、帯工を床固工の間に設ける。
- 3 帯工は、流路工の縦断形と法線形を維持し、渓床の侵食、護岸の洗掘を防止することを目的とするもので、原則として落差を設けない。

三面張り流路工にあつては、地下水流の発達防止及び流路の保全のため、必要に応じて床固工の中間に帯工を設ける。

- 4 床固工は、一般に次のような地点に設ける。また、帯工は、主として(1)、(3)及び(5)の地点に設ける。

- (1) 流路工の計画区域の上下流端
- (2) 計画渓床勾配を維持するため必要とする地点（計画渓床勾配の変化点等）
- (3) 法線形を維持するため必要とする地点
- (4) 支渓合流点の下流部地点
- (5) 護岸工等の工作物の基礎を保護する場合は、下流部地点

[参考] 帯工の間隔

帯工の間隔は、次表の値を標準とする。

表-11 帯工の間隔と勾配

勾配	1/5	1/10	1/15	1/20	1/25	1/30	1/35	1/40	1/45	1/50	適要
間隔(m)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	二面張
間隔(m)	20				50						三面張

6-6 流路工の横断形

流路工の横断形は、その目的及び現地の状況を考慮して、決定しなければならない。

[解説]

- 1 流路工の横断形は、縦断形、地形・地質、洪水時等の流水の状況、土砂の堆積状況や渓床を構成する岩石等の渓流の状況、周辺の土地利用状況等を考慮して決定するものとする。
- 2 流路工の横断形は、単断面を標準とする。
- 3 流路工の計画幅（流路底幅）は、洪水等の安全な流下及び渓床の安定性に主眼をおき、流出土砂量、渓床構成材料等の渓流の状況、周辺の土地利用状況等も考慮し決定するものとする。
- 4 流路工の計画幅は、現渓流幅より狭めると、計画高水流量に対する水深が大きくなって流速が速くなり、床固、護岸等の基礎部の洗掘が生じやすくなるので、可能な限り計画幅を広くとり、計画断面を大きくする必要がある。

[参考] 渓流幅と流量の関係

渓流幅と流量の関係は、次式（レジーム式）で表される。

$$B = \alpha \cdot Q^{1/2} \dots\dots\dots (6.6.1)$$

- B : 渓流幅 (m)
- α : 係数 (表-12 による)
- Q : 流量 (m³/s)

表-12 係数 α の値

流域面積(A)の大きさ (ha)	α の値
$A \leq 100$	2~3
$100 < A \leq 1,000$	2~4
$1,000 < A \leq 10,000$	3~5

6-6-1 流路工の計画断面

流路工の計画断面は、計画高水流量を安全に流下できる断面としなければならない。

〔解説〕

流路工については、砂礫等の堆積により流路が閉塞しないように、計画断面を設定する必要がある。

6-6-2 流路工の計画高水流量

流路工の計画高水流量は、流路工の計画断面を求めるために用いるものとし、洪水痕跡等から推測される流量等を考慮して設定する。

〔解説〕

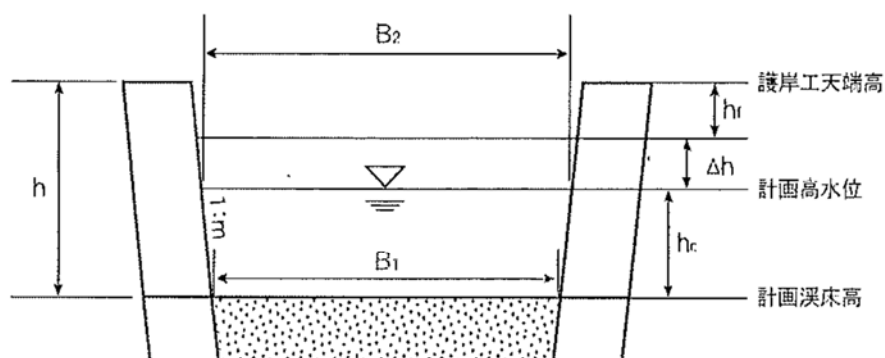
流路工の計画高水流量は、最大洪水流量に洪水痕跡等から推測される流量等を考慮して、第4章第3節3-7-4「治山ダム設置位置の計画高水流量」の解説に準ずるものとする。

6-6-3 流路工における護岸工の天端高

流路工における護岸工の天端の高さは、計画高水流量を基準として決定する。

〔解説〕

1 流路工における護岸工の天端高は、計画溪床高に有効高(h)を加えたものとする。また、計画高水位は、計画溪床高に計画水深(h_c)を加えたものとする。



B_1 : 流路底幅

B_2 : 水面幅

m : 護岸工の表のり勾配

Δh : 余裕高

h_f : 嵩上げ高

図-37 流路工の計画断面

2 流路工における護岸工の天端の有効高(h)は、原則として、放水路底面を基準に求めた計画高水流量を流下させる断面による計画水深 (h_c)に、水面変動を考慮した余裕高 (Δh)を加算して求めるものとする。また、必要に応じて、嵩上げ高(h_f)を加算するものとする。

$$h \geq h_c + \Delta h (+ h_f) \dots\dots\dots (6.6.2)$$

- h : 流路工における護岸工天端の有効高 (m)
- h_c : 計画高水流量を基に算出した計画水深 (m)
- Δh : 余裕高 (水面変動を考慮) (m)
- h_f : 嵩上げ高 (必要に応じて設定) (m)

3 流路工の計画水深は、開水路として、 Manning式により求めるものとする。
 具体的な計算方法は、第3節3-7-6「治山ダムの放水路の高さ」解説4(2)「開水路による方法」による。

4 流路工における護岸工の余裕高は、表-13の値を標準とする。ただし、計画渓床勾配によって、計画水深 (h_c)と余裕高(Δh)の比 ($\Delta h/h_c$)が表-14に示す下限値を下まわらないように、計画断面の下幅の再検討又は余裕高の補正を行うものとする。

表-13 流路工における護岸工の余裕高

計画高水流量 (Q_{max})	余裕高 Δh
50 m^3/s 未満	0.4m
50 m^3/s 以上 200 m^3/s 未満	0.6m
200 m^3/s 以上 500 m^3/s 未満	0.8m
500 m^3/s 以上	1.0m

表-14 計画渓床勾配と余裕高の比

計画渓床勾配	1/10以上 10%~	1/10未満 1/30以上 (3.3~10%)	1/30未満 1/50以上 (2~3.3%)	1/50未満 1/70以上 (1.4~2%)	1/70未満 1/100以上 (1~1.4%)
$\Delta h/h_c$ の下限値	0.50	0.40	0.30	0.25	0.20

[参考] 橋梁等横断構造物区間における流路工の護岸工嵩上げ高 (h_f)

橋梁等横断構造物設置箇所等は、流木等による閉塞のおそれがあるため、余裕高に加えて、流路工の上方に空間を確保できるように、嵩上げ高を設定することがある。一般に、橋梁等横断構造物がある場合は、桁下に0.5m程度の空間をとることが多い。

6-6-4 流路工の曲流部の構造

流路工の曲流部においては、洪水時の水位上昇等に対応した構造とする。

[解説]

1 流路工の曲流部では洪水の際に凹岸の水位が上昇しやすいため、急勾配で流速が速い

箇所、曲線半径が小さく曲線部が長い箇所等は、曲流部の護岸工の嵩上げ等を行う必要がある。

- 2 曲流部の護岸工の嵩上げは、凹岸の天端高を、カーブの始点から終点まで嵩上げ高 (h_f) だけ高くし、上下流にすりつける。
- 3 曲流部の凹岸は、洗掘を受けやすいことから、堅固な構造とする必要がある。特に二面張りの場合は、護岸工の基礎の十分な根入れ、根固工の設置等を検討する必要がある。

[参考] 曲流部における護岸工の嵩上げ高 (h_f)

曲線部の護岸工の嵩上げ高を設定するために利用される式は次のとおりである。

(1) グラシヨウ (Grashof) 式

余裕高 (Δh) に対して水位上昇が顕著な場合には、次式の計算値 (h_g) をもとに設定することが多い。

$$h_g = 2.3 \frac{V^2}{g} (\log R_2 - \log R_1) \dots\dots\dots (6.6.3)$$

- h_g : 所要嵩上げ高の計算値 (m)
- V : 流路曲流部の平均流速 (m/s)
- g : 重力加速度 (m/s^2)
- R_1 : 凸岸の半径 (m)
- R_2 : 凹岸の半径 (m)

(2) ナップ (Knapp) 式

曲流部の護岸工の嵩上げ高 (h_f) は、曲流部が長い場合に、次式で求めた水面差 (h_k) を参考として決定することができる。ただし、極端な S 字形の曲線部や流れが水路外側に偏ってしまうような急な曲線部の場合は適用できない。

$$h_k = \frac{B \cdot V^2}{R \cdot g} \dots\dots\dots (6.6.4)$$

- h_k : 曲流部における静水面と外側壁または内側壁の水面差 (m)
- B : 流路幅 (m)
- V : 流路曲流部の平均流速 (m/s)
- R : 流路中心線の曲率半径 (m)
- g : 重力加速度 (m/s^2)

[参考] 曲流部の横断勾配

三面張りの流路工の場合は、曲流による水位差を消去し、流水が曲線水路に沿って安定して流れるようにするため、流路工の溪床に横断勾配 (カント) を設けることがある。ただし、流路曲線の始点から急に設けると、かえって流れが不安定になるので、適当な緩和区間を必要とする。

横断勾配 (カント) は、次式で求められる。

$$\tan \phi = \frac{V^2}{R \cdot g} \dots\dots\dots (6.6.5)$$

- ϕ : 流路工の溪床の横断傾斜角 (度)
- V : 流路曲流部の平均速度 (m/s)
- R : 流路中心線の曲率半径 (m)
- g : 重力加速度 (m/s^2)

6-7 流路工における構造物相互の関連等

6-7-1 流路工の護岸工と治山ダムの取り付け

流路工の護岸工を治山ダムに取り付ける場合は、洪水流を安全に流下させることができるように、なじみよく取り付けるものとする。

〔解説〕

治山ダムに流路工の護岸工を取り付ける場合は、溪流の状況に応じ、治山ダムの放水路と流路工の断面等の整合性をもたせ、なじみよく取り付けるものとする。

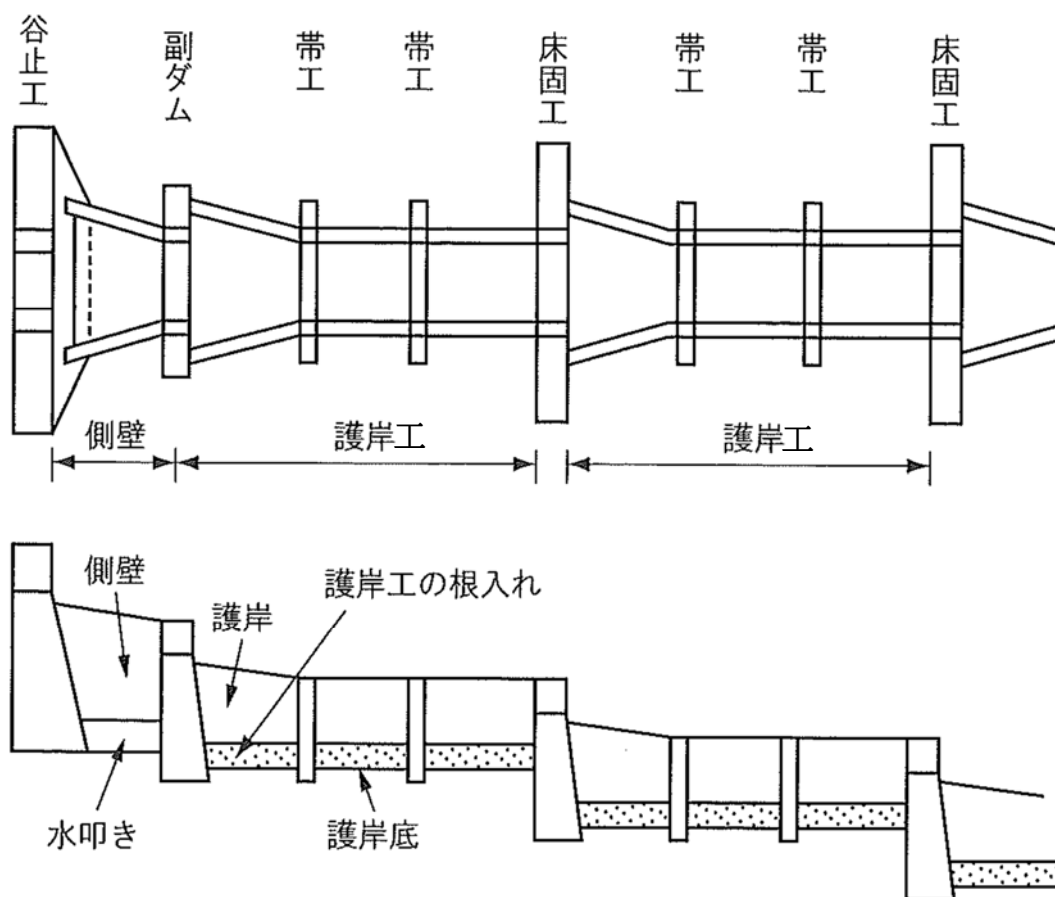


図-38 治山ダムと流路工（二面張り）の関連

6-7-2 流路工における床固工及び帯工の構造等の選定

流路工における床固工及び帯工は、渓床の縦侵食を防止できるように構造等を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 流路工における床固工の構造は、第3節3-9「治山ダムの断面」に準じて決定する。
- 2 流路工における帯工の構造は、第3節3-12-2-4「水叩きの垂直壁」に準じて決定する。
- 3 流路工における床固工の落差が大きい場合、流路工における床固工の下流側のり先が局部的に洗掘されるおそれがある場合等は、水叩き又は副ダムによって十分に保護しなければならない。

- 4 流路工において床固工を階段状に設置する場合は、渓床洗掘の防止、計画渓床高の維持等のために、必要に応じて重複高をもたせるものとする。

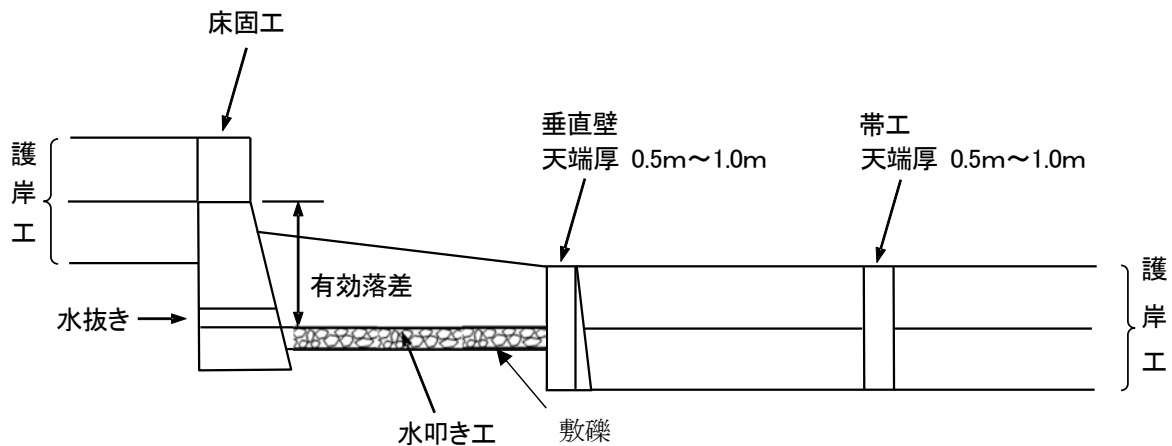


図-39 二面張り流路工の場合

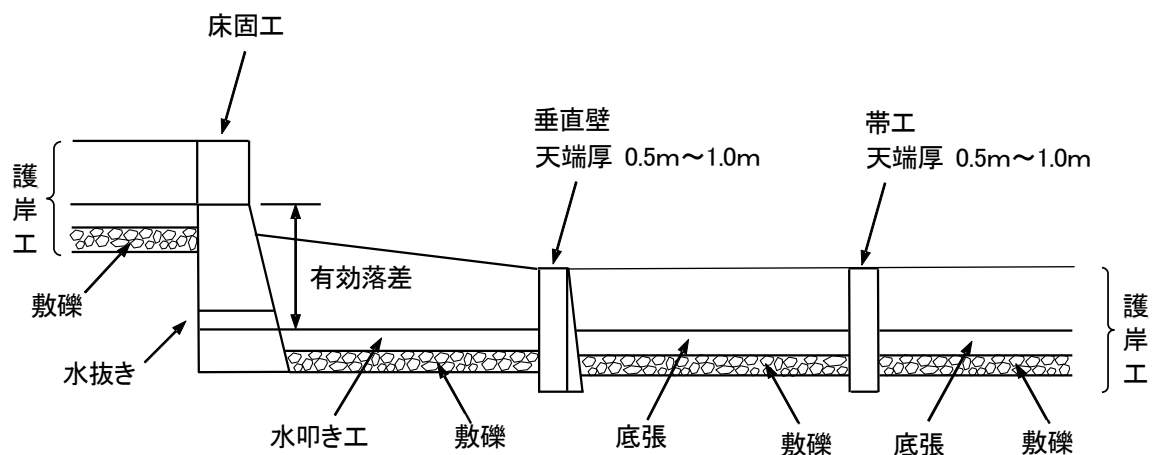


図-40 三面張り流路工の場合

6-7-3 流路工における護岸工の構造等の選定

流路工における護岸工は、渓岸の侵食を防止するとともに、床固工及び帯工の袖部の保護を図ることができるように、構造等を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 流路工における護岸工は、流路工を設ける区間の渓岸の横侵食と崩壊を防止するとともに、床固工及び帯工の袖部を保護することを目的として設ける。
- 2 流路工における護岸工の構造等については、第4節「護岸工」、第3節3-1 2-3「治山ダムの側壁」に準じて設計するものとする。
- 3 流路工における護岸工の断面は、流水の衝撃や背面の土圧を考慮して定める。

6-7-4 流路工における護岸工と床固工、帯工との取り付け

流路工における護岸工と床固工等との取り付けに当たっては、安全に流水を流下させるとともに、護岸工及び床固工、帯工が破壊しないように、留意しなければならない。

〔解説〕

- 1 流路工における護岸工と床固工等との取り付けは、安全性を考慮して、次の方法よることを標準とする（図-41 参照）。
 - (1) 床固工の上流側では、流路工内の流水をスムーズに流下させ、流水の溪岸への衝突や溪床の局所洗掘を生じさせないため、原則として床固工の放水路の側のり面と護岸工の表のり面を一致させる。
 - (2) 床固工の下流側では、放水路から落下する流水は広がるので、護岸工の基礎は、床固工の放水路肩の垂線より外側に設け、越流水が護岸工の背面に落下しないようにしなければならない。
 - (3) 床固工によって落差が生ずる場合には、必要に応じ流水の受口を設ける。受口の規模は、有効落差の大小、流水の状態に応じて決定する。
なお、受口の延長は、一般には、第3節3-12-1-3「本ダムと副ダムの間隔」に準じて決定する。
- 2 床固工の袖は、安全性を考慮して、原則として地山に取り付けるものとする。
- 3 帯工の袖は、護岸工等によって保護されているので、護岸工の裏のり面より0.5m程度山側へ入れることを標準とする。
- 4 護岸工の根入れ深は、床固工の上流側にあつては、洗掘を考慮して床固工の放水路天端及び流路工の計画溪床高から1m程度の深さとすることを標準とする。
- 5 三面張り流路工の底張りの天端は、取り付けの床固工の放水路天端及び流路工の計画溪床の高さと同一とする。

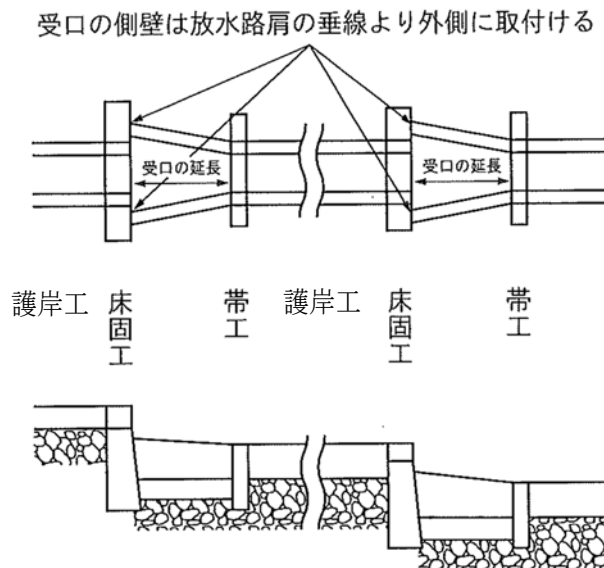


図-41 床固工と護岸工の取り付け

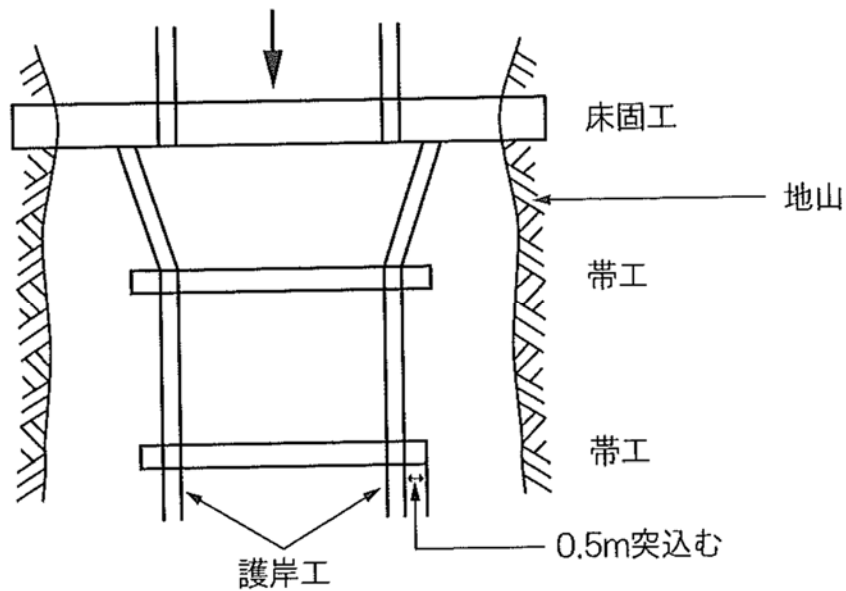


図-42 床固工と護岸工の袖の取り付け

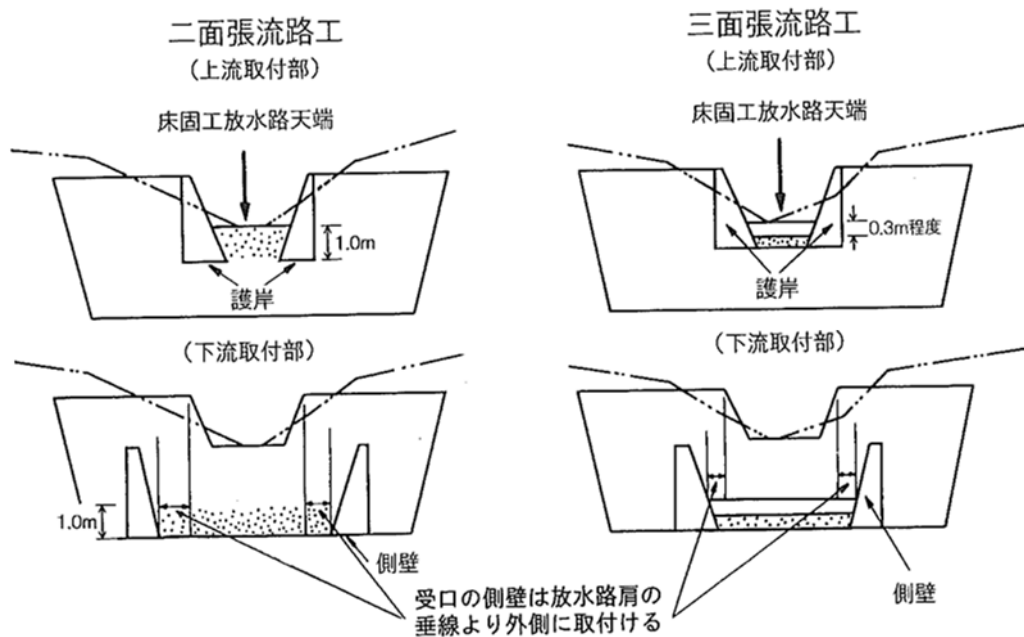


図-43 床固工と護岸工の根入れ深

6-7-5 流路工における底張り等の厚さ

流路工における底張り及び水叩きの厚さは、流水による侵食と摩耗に耐えられるように基礎地盤の状態、流下する砂礫の状況等を考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 三面張り流路工の底張り及び水叩きの厚さは、流水による侵食と摩耗に耐えるものとなるように決定しなければならない。
- 2 三面張り流路工では、一般に、コンクリートにより底張りが採用されており、底張り

の厚さは、0.3m程度を標準とする。

- 3 流路工の区間に設ける水叩きの厚さは、第3節3-12-2-2「水叩きの厚さ」を参考として定める。
- 4 転石等を底張りに用いることによって、流速を減じる方式もある。

[参考] 流路工の区間に設ける水叩きの厚さ

流路工における床固工は落差が小さく、上流が整備された後に計画されるのが普通であるため、水叩きの厚さは0.5~1.0m程度で十分な場合が多い。

第5章 山腹工の設計

第1節 測量

1-1 測量の範囲

測量の範囲は、設計の対象となる崩壊地等及びその周辺を含め、施工の範囲、地形の状況等が把握できる範囲について行うものとする。

1-2 測量の種類

測量は、平面測量、縦断測量及び横断測量とする。

1-2-1 平面測量

平面測量は、崩壊地等の形状、面積、地況及び周辺の地形条件等を把握し、工種の配置及び各工種の数量等を決定するために行うものとし、測量の結果に基づいて平面図、工種配置図を作成するものとする。

[解説]

- 1 平面測量は、目的に応じた適切な機器、測量方法を採用するものとする。
- 2 測点は、溪間工における平面測量、縦断測量及び横断測量の測点との関係を考慮して、崩壊地等の形状、面積、地況及び周辺の地形条件等を把握できるよう選定するとともに、山腹工における他の測量の基点とする場合があるので、なるべく不動点に設けることが望ましい。
- 3 基準点は、国土地理院発行の地形図等上の位置が明瞭な地点等に設けるが、必要に応じて、水準点、三角点又は公共測量座標が明瞭な地点を基準点とする。
- 4 平面図には、方位、縮尺、標高、等高線、山腹工計画地及び既施工地等設計に必要なものを記入する。
- 5 工種配置図には、測点、BM、方位、縮尺、計画工作物及び既設工作物の諸元等設計に必要なものを記入する。なお、山腹工の計画・設計を実施した場合は、その配置及び諸元を記入する。ただし、平面図に詳細な事項が記入できる場合にあっては、工種配置図は平面図と兼ねることができるものとする。
- 6 平面図及び工種配置図の縮尺は、その目的、範囲に応じて適切な縮尺を選択するものとする。通常は、平面図1/500~1/2,000、工種配置図1/200~1/500が多く用いられている。

[参考] 三次元測量

近年、測量技術の変化により、三次元測量が普及しつつある。三次元測量とは、地形や構造物等の計測対象物の寸法情報を、三次元的に計測する測量である。UAV等を用いた空中写真測量やレーザ測距装置を利用したレーザ測量に大別される。

1-2-2 縦断測量

縦断測量は、崩壊地等の主要な縦断面の地形を測定し、縦断方向における工種配置、規模等を決定するために行うものとし、測量の結果に基づいて縦断面図を作成するものとする。

[解説]

- 1 縦断測量は、山腹工各工種の配置、規模の算定及び溪間工における工作物との関係を検討する因子となるので、測線はこれらを考慮して決定し、測点は地形の変化点、工種の配置、土地区分の変化等を考慮して選定する必要がある。
- 2 縦断測量に当たっては、測量の起点（基準点）付近等の不動点にBMを設けるものとする。
- 3 縦断面図には、測点、水平距離、水平てい加（水平追加）距離、垂直距離、垂直てい加（垂直追加）距離、山腹勾配、BM、縮尺、計画工作物及び既設工作物の諸元等設計に必要なものを記入する。なお、山腹工の計画・設計を実施した場合は、その配置及び諸元を記入する。
- 4 縦断面図の縮尺は、水平、垂直とも工種配置図の縮尺と同一とする。ただし、のり切土量算定のための縦断面図は、横断面図の縮尺と同一にする。

1-2-3 横断測量

横断測量は、崩壊地等の横断方向の地形を測定し、工作物の形状、規模等を決定するために行うものとし、測量の結果に基づいて横断面図を作成するものとする。

[解説]

- 1 横断測量は、平面測量及び縦断測量によって工作物の位置、高さが決定された地点において、横断方向の高低差及び距離を測定する。
- 2 横断測量は、土留工等の構造及びのり切等の数量積算の基礎となるものである。
特に土留工等の構造及び床掘深を決定する根拠となり、構造物の安定度に影響するので、測線の方角を誤ることのないよう注意しなければならない。また、崩壊地上部のいわゆる、かぶりののり切土量算出のための測量も同様である。
- 3 測点は、縦断測量に準じて設定し、正確な数量の算出ができるように測量するものとする。
- 4 横断面図の縮尺は、その目的、範囲に応じた適切な縮尺を選択するものとする。
通常は、1/100 が多く用いられ、必要に応じて1/10～1/50 又は1/200 が用いられている。

第2節 設 計

2-1 山腹工設計の基本的考え方

- 1 山腹工は、崩壊地等の復旧及び崩壊等の予防を目的とする。
- 2 山腹工の設計は、全体計画等に基づいて、実施しなければならない。
- 3 山腹工の設計に当たっては、崩壊地等の地形、地質、土壌、気象、植生等の調査結果を参考とし、かつ、溪間工や保全対象等との関連について検討し、現地に最も適した工種・工法を選定しなければならない。

〔解説〕

- 1 崩壊地等の復旧のための山腹工は、崩壊地、ガリー等の侵食及びはげ山等により、既に裸地が存在している箇所を対象に、今後の拡大崩壊及び表面侵食等を防止するために、原則として、斜面の安定と早急な植生導入を行い、最終的には安定した森林に移行させるものである。
- 2 崩壊等の予防のための山腹工は、崩壊又は裸地化していないが、放置しておくとも崩壊や裸地化するおそれのある箇所を対象に、予防対策を実施するものである。
放置しておくとも崩壊や裸地化するおそれのある箇所は、山地災害危険地区調査に基づく山地災害危険地区等から把握し、箇所ごとの状況と保全対象との関係を踏まえて崩壊予防山腹工の計画を行うものとする。
- 3 崩壊地は、地形・地質等の諸条件によって様々な形態をなしており、設計に当たっては、これら諸条件や特性をよく調査・検討し、崩壊の原因分析を十分行った上で、対策の基本的な考え方及び具体的な工種・工法を選定しなければならない。この場合、特に次に示す事項に留意することとする。
 - ・地下水に起因する崩壊地については、地下水の排除を十分行う工種を採用する。
 - ・豪雨や地震によって発生した崩壊地のうち、脚部の侵食やガリー侵食が見られる区域においては、斜面を安定させるための基礎工に重点をおいたものとする。
 - ・火山噴出物が厚く堆積している地帯等のように地質が脆弱な地域においては、一度崩壊すると拡大して自然復旧が困難となるので、拡大崩壊を防ぐのに有効な工法を計画する。
- 4 溪流の側面や谷頭に発生した崩壊地での山腹工は、溪間工と一体的に安定を図るよう計画をする。
- 5 人家や公共施設等の保全対象に近接した山腹工においては、構造物の安全性、耐久性等について、特に十分な検討を行わなければならない。
- 6 自然度の高い森林地帯における山腹工の計画に当たっては、自然環境の保全に十分留意する必要がある。
- 7 山腹の緑化、すなわち植生の導入及び森林の造成は、植物の生育条件によって成果が大きく左右される。このため、現地に最も適した緑化基礎工や植生工を選定する必要がある。
- 8 落石防止工は、山腹斜面にある浮石・転石、亀裂の多い岩盤等が降雨、地震等の原因によって転動、滑動、落下し、下部の人家、公共施設等の保全対象に被害を及ぼすおそれのある箇所に対して、落石発生の未然防止、落石の抑止のための対策を実施するものである。
落石の発生、落下は、地形・地質等の諸条件によって様々な形態をなしており、設計に当たっては、これら諸条件や特性をよく調査・検討して工種・工法を選定しなければならない。

[参考] 性能の明示

第4章第2節2-1「溪間工設計の基本的考え方」の[参考]「性能の明示」を参照のこと。

2-2 山腹工の工種

山腹工は、崩壊地等の状態や特性等に応じて、山腹基礎工、山腹緑化工及び落石防止工の各工種が、それぞれの機能を効果的に発揮し、かつ、相互に有機的・補完的に機能するような規模・配置としなければならない。

[解説]

1 山腹工の標準的な工種及び種別は次のとおりとする。

(1) 山腹基礎工

- ①のり切工 ②土留工 ③埋設工 ④水路工 ⑤暗きょ工 ⑥のり砕工
⑦グラウンドアンカー工 ⑧補強土工 ⑨張工 ⑩吹付工

(2) 山腹緑化工

ア 緑化基礎工

- ①柵工 ②筋工 ③伏工 ④軽量のり砕工

イ 植生工

- ①実播工 ②植栽工

(3) 落石防止工

ア 落石予防工

- ①切取工 ②除去工 ③被覆工 ④固定工 ⑤根固工

イ 落石防護工

ウ 森林造成

[参考] 山腹工の分類

- 山腹工は、その機能により、山腹斜面の安定を図る土木的工法の山腹基礎工、山腹斜面の植生を回復するための山腹緑化工及び落石の防止・軽減を図る落石防止工に分類される。さらに、山腹緑化工は、植生の生育基盤を造成・改善する緑化基礎工及び植生を導入する植生工に分類される。また、落石防止工は、落石の発生の未然防止を図る落石予防工と、落石の抑止・軽減を図る落石防護工及び森林造成に分類される。
- 工種の配置・規模等は、崩壊地等内の地質、地形、土壌条件等に応じて、有機的に機能し、互いに補完するように計画しなければならない。
- 山地災害による被害の軽減のために、必要に応じて、山腹工の整備とともに山地災害予知施設の設置等を計画し、地域の避難体制の整備に寄与するものとする。

[参考] 山腹工の工種配置

山腹工の工種配置は、崩壊地等の地形を精密に把握し、のり切による切取り面・土留工設置後における土留工上部の地形の想定、構造物にかかる土圧の有無、地下水の湧出箇所（特に降雨後等）の把握、落石の発生・落下形態の分析等を行い、それぞれの箇所に適切な工種を配置するように計画する。

- 山腹斜面に不安定な土層が多い場合には、土留工等の山腹基礎工によって安定化を図ったうえで、山腹緑化工によって植生の回復を計画する。
- 山腹斜面が集水地形であるときは、水路工によって降雨時の地表流下水を安全な位置に排水し、湧水や浸透水による山腹斜面の不安定化が考えられる場合には暗きょ工の配置を計画する。

- ・山腹斜面の堆積土等が降雨によって侵食されるおそれがある場合には、柵工や筋工等によって地表流下水の分散を図り表面侵食の防止を計画する。
- ・崩壊するおそれのある山腹斜面では、のり切工、のり砕工、グラウンドアンカー工、補強土工等で斜面の安定を図り、山腹緑化工により表層の侵食を防止するよう計画する。
- ・落石のおそれのある山腹斜面では、落石予防工、落石防護工、森林造成等によって落石の発生のおそれの未然防止、発生した落石のエネルギーの抑止・軽減を図るよう計画する。

第3節 山腹基礎工

3-1 山腹基礎工の目的

山腹基礎工は、山腹斜面の安定を図ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 山腹基礎工は、崩壊又は拡大崩壊のおそれのある山腹斜面に対して、複数の工種を組み合わせて山腹斜面の安定を図るとともに、山腹緑化工による植生の導入を行うための環境を整備するものである。
- 2 地形、地質、崩壊地の特性、崩壊の原因等に最も適した工法を選定し、山腹斜面の安定を図るよう計画しなければならない。

3-2 のり切工

3-2-1 のり切工の目的

のり切工は、崩壊地の外縁及び内部の不安定な部分を整形し、崩壊及び崩壊の拡大を防止することを目的とする。

〔解説〕

- 1 のり切工は、崩壊地外縁及び内部の崩壊のおそれのある部分に対して、より安定した勾配に切り均し整形することである。
- 2 崩壊地の外縁及び内部に不安定な状態で残存している土塊部分は、崩落あるいは拡大崩壊するおそれの大きいことから、これを取り除いて安定性の高い斜面とするよう計画する必要がある。特に、崩壊地源頭部に不規則な状態で残存している部分や深層崩壊等により高い滑落崖が形成されている部分は、安定性に欠けることが多く、十分なり切を計画することが必要である。

3-2-2 のり切の勾配

のり切の勾配は、対象地の傾斜、土質、周辺の地形及び工種の組み合わせ等を考慮して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 のり切の勾配は、原則として、対象とする山腹斜面を形成する土質の安定勾配や土質等の類似する周辺の地形等を参考に、十分検討し、安定勾配を推定するものとする。
- 2 急峻な地形や長大な山腹斜面等では、安定する勾配に修正すると、大量のり切土砂が発生することなどから、必要に応じて、のり砕工、グラウンドアンカー工、補強土工等の山腹基礎工を組み合わせ山腹斜面の安定を図られるように計画するものとする。
- 3 山腹斜面の勾配は山腹緑化工の成果に大きく影響することから、植生が安定して成立するようにのり切勾配を検討しなければならない。

3-2-3 のり切土砂の安定

のり切によって生ずる土砂は、土留工等によって移動を防止してその安定を図るものとする。

〔解説〕

- 1 のり切により発生した土砂は、山腹崩壊地内の土留工等によって移動防止を図るものとする。また、のり切により発生する土砂の堆積が厚くなる場合は、必要に応じて、埋設工、暗きょ工等の併設や、さらにのり切土砂が溪流へ影響を及ぼすおそれがある場合には、必要に応じて、治山ダムによつてのり切土砂の移動を防止する。
- 2 のり切により発生する土砂が少量で崩壊のおそれがない場合には、侵食による土砂の移動を防止するため、山腹緑化工等を計画する。

3-3 土留工

3-3-1 土留工の目的

土留工は、不安定な土砂の移動の防止、山腹斜面勾配の修正、表面水の分散を図るほか、水路工、暗きょ工等の基礎とすることを目的とする。

〔解説〕

- 1 土留工は、山腹工の基礎をなすもので、その配置や構造の適否は山腹工の成否を大きく左右する。したがって、その設置目的に適するよう、その位置、高さ、延長、種別等を決定する必要がある。
特に、施工箇所と保全対象との位置的關係等については十分調査し、必要な強度、耐久性等その安全性について十分に検討しなければならない。
- 2 土留工は次の複数の目的をもつ。
 - (1) 山腹斜面に堆積した崩土、のり切により発生する土砂等の移動防止を図ること。
 - (2) 背面の山腹斜面を緩勾配に修正すること。
 - (3) 山腹斜面を流下する表面水の分散を図ること（土留工の天端が等高線と平行な場合）。
 - (4) 山腹斜面に設置する他の工作物（水路工、暗きょ工等）の基礎とすること。

3-3-2 土留工の種別

土留工は、設置の目的のほか、施工地の自然的・社会的条件を考慮し、安全性、耐久性、施工性、周囲の環境との調和等を検討して、最も適切な種別を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 土留工は、その種別によって機能と特性が異なるので、崩壊地等の状況と保全対象との関係を踏まえ、土留工の設置目的に応じた種別ごとの強度や施工性等のほか、施工地の社会的・自然的条件から施工による周辺環境への影響、景観との調和等を十分に検討し、最も適切な種別を選定しなければならない。
- 2 土留工の標準的な種別は、次のとおりである。
 - (1) 遮水型：コンクリート土留工、鉄筋コンクリート土留工、練積土留工等
 - (2) 透水型：杵土留工、鉄線かご土留工、丸太積土留工等

3-3-3 土留工の位置及び高さ

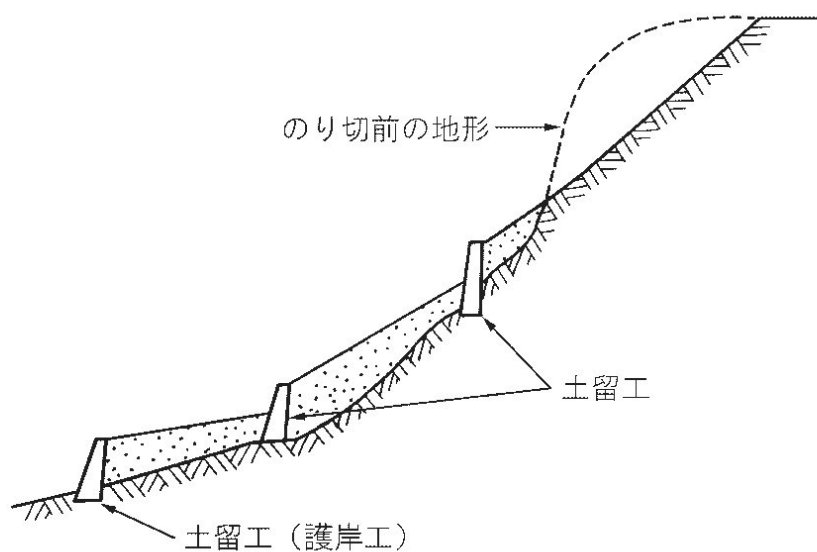
土留工の位置及び高さは、その目的及び現地の条件等を検討して決定するものとする。

〔解説〕

- 1 土留工は、その目的から山腹斜面の安定が保たれ、山腹斜面の崩落や崩土の移動が起こらないように配置、高さを決める必要がある。
- 2 原則として、崩壊地等の脚部から頂部までの縦断面形が、全体的に自然で無理のない線形となるように、土留工の配置及び高さを決定する。
崩壊地では、一般に下部を緩傾斜に上部は急傾斜として全体が下降斜面になるようにすることが望ましい（図－1 参照）。
- 3 土留工は不安定な山腹斜面上に設置されることが多いので、原則として階段状に配置するものとし、高さの高い土留工は避けることが望ましい。

〔参考〕 土留工の高さ

土留工は、不安定な山腹斜面上に設置されることが多いので、一般に、高さは4 m以下とする場合が多い。



図－1 土留工の位置及び高さ

3－3－4 土留工の方向

土留工の方向は、完成後の山腹斜面に対して直角となるように計画するものとする。

〔解説〕

土留工の方向は、のり切により発生する土砂、崩土を効果的に抑止するとともに、土圧に対する安定度を高めるため、原則として完成後の山腹斜面に対して直角とする。

3－3－5 土留工の断面

3－3－5－1 土留工の安定計算に用いる荷重

土留工の安定計算に用いる荷重は、土留工の目的、構造特性等を考慮して、適切に設定しなければならない。

〔解説〕

- 1 土留工の安定計算に用いる荷重は、原則として自重及び土圧とする。
- 2 土留工の安定計算においては、次のような場合に、地震動を考慮するものとする。
なお、地震動を考慮する場合にあっては、地震荷重（地震時慣性力、地震時動水圧等）

を安定計算に用いる荷重に加えるものとする。

- (1) 高さ8mを超える土留工
- (2) 倒壊が付近に重大な影響を与えるおそれ大きい土留工
- (3) 倒壊等の施設被害が生じた場合には、復旧が極めて困難な土留工
- (4) その他、現地の状況から地震動を考慮する必要があると認められる土留工

3 土圧は、土留工背面の土質と地表面の傾斜を考慮して、一般的に、次の2つのタイプに区分して求める(図-2参照)。

- (1) 土留工の背面が崩土等である場合(図-2①参照)
土留工背面の大半が崩土やのり切により発生する土砂等で地山が離れているとき。
- (2) 土留工の位置が安定した地山に接近している場合(図-2②参照)
土留工の背面に安定した地山が近接しているとき。

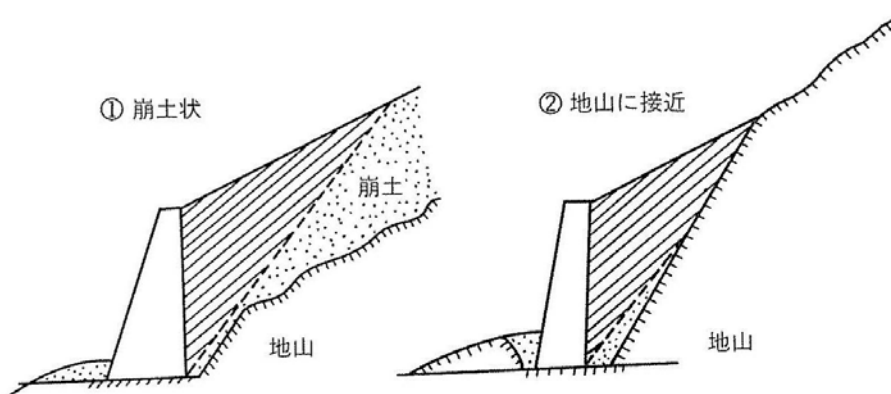


図-2 土留工の土圧計算のタイプ

4 土留工の安定計算に用いる単位体積重量は、次の値を標準とする。

- (1) コンクリートの躯体(試験等を行わない時) : 23kN/m^3
- (2) 鉄筋コンクリートの躯体 : 24.5kN/m^3
- (3) 玉石等を中詰した枠の躯体(試験等を行わない時) : 18kN/m^3
- (4) 背面土 : 18kN/m^3

[参考] 土圧

土留工の土圧計算では、一般にクーロン式又は試行くさび法が用いられる。

- 1 クーロン式は、土留工背面が崩土等の場合に用いられる。(図-2①参照)
- 2 試行くさび法は、土留工の位置が地山に接近しているため、掘削後に埋め戻した土砂の土圧のみを考慮すればよい場合に用いられる。(図-2②参照)

[参考]

ランキン式は、塑性理論に基づいて得られた理論式で、治山ダム等の土圧計算に用いられるが、土留工や擁壁の土圧計算には用いない。

- (1) クーロン式
クーロン式は、背面土中に土くさびを考え、土くさびに作用する力のつり合い条件から土圧を求める理論式である。

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta) \left\{ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cdot \cos(\alpha - \beta)} \right\}^2}$$

P_A : 土圧 (kN/m)

K_A : 土圧係数

γ : 背面土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 土留工の高さ (作用高m)

ϕ : 背面土の内部摩擦角(度)

(背面が逆のりの場合はマイナス)

α : 土留工背面の勾配角(度)

β : 地表面傾斜角(度)

δ : 土留工背面と背面土の壁面摩擦角(度)

h : 土圧の作用点の土留工底面からの高さ (m)

$$h = \frac{1}{3} \cdot H$$

$$P_V = P_A \cdot \sin(\delta + \alpha)$$

$$P_H = P_A \cdot \cos(\delta + \alpha)$$

P_V : 土圧の鉛直分力 (kN/m)

P_H : 土圧の水平分力 (kN/m)

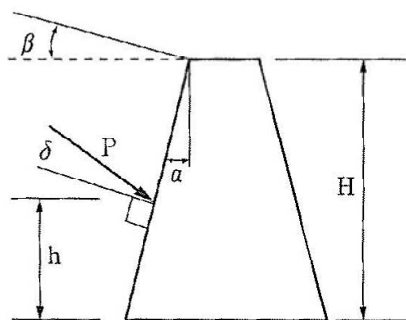


図-3 クーロン式の説明図

(2) 地震時の土圧

地震時の土圧は、土くさびに慣性力を作用させた力の多角形のつり合いから求める。

$$P_{EA} = \frac{1}{2} \cdot K_{EA} \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$K_{EA} = \frac{\cos^2(\phi - \alpha - \theta_0)}{\cos \theta_0 \cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta_E + \theta_0) \left\{ 1 + \frac{\sin(\phi + \delta_E) \sin(\phi - \beta - \theta_0)}{\cos(\alpha + \delta_E + \theta_0) \cos(\alpha - \beta)} \right\}^2}$$

P_{EA} : 地震時土圧

K_{EA} : 地震時の土圧係数

γ : 背面土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 土留工の高さ (作用高m)

ϕ : 背面土の内部摩擦角(度)
(背面が逆のりの場合はマイナス)

α : 土留工背面の勾配角(度)

β : 地表面傾斜角(度)

δ : 土留工背面と背面土の壁面摩擦角(度)

θ_0 : 地震時合成角(度)

$$\theta_0 = \tan^{-1} K_H$$

K_H : 設計水平震度

(3) 試行くさび法

試行くさび法は、クーロン式と原理は同じであるが、想定すべり面の勾配を種々変化させて繰り返し計算を行い、試行的に最大の土圧を求める方法である。

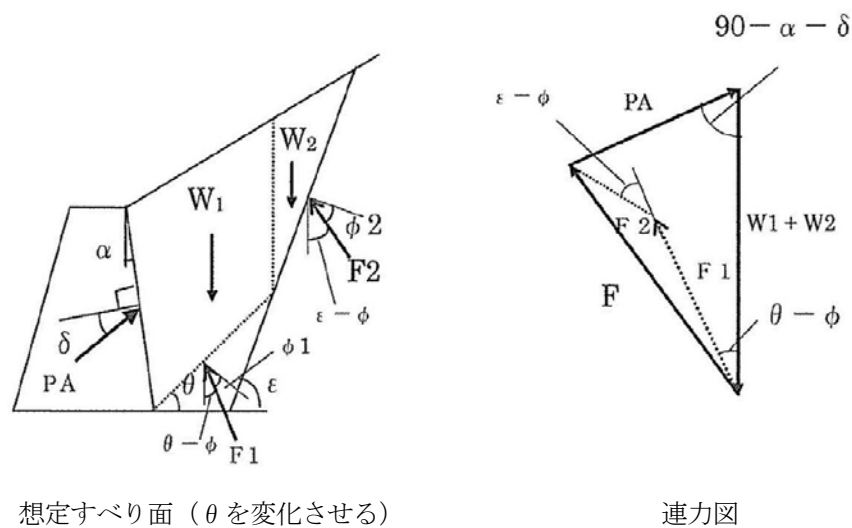


図-4 試行くさび法の説明図

[参考] 背面土の内部摩擦角

土留工の安定計算に用いる背面土の内部摩擦角の概略値は、次のとおりである。

粘性土 : 25 度

普通土 : 30 度

礫質土 : 35 度

岩 碎 : 40 度

[参考] 壁面摩擦角

土留工の壁面摩擦角は、土留工の背面がコンクリートのように平滑な材料の場合（土とコンクリート）は、背面土の内部摩擦角の2/3とする（ $\delta = 2/3 \times \phi$ ）。

なお、鉄筋コンクリート土留工のように仮想背面を想定する場合等（土と土）は、壁面摩擦角を内部摩擦角と同等とする（ $\delta = \phi$ ）。

[参考] 現地で発生した玉石等を中詰材に用いる場合の単位体積重量

枠と中詰材で構成される土留工の中詰材に現地発生材等を用いる場合は、中詰材の単位体積重量が石礫の種類や粒径等の混合割合によって変化することから、必要に応じて単位体積重量を現地で測定し確認する。

[参考] コンクリート製の躯体の単位体積重量

コンクリート製の躯体の単位体積重量は、地域において標準的に用いられるコンクリートの配合設計、実測値等を参考にして決定することが望ましい。

なお、解説4で示した「コンクリートの躯体（試験等を行わない時）」の標準値（23kN/m³）は、品質管理に用いられるコアの実測値に関する全国調査結果（平成18年度）の算術平均を基に定められたものである。

3-3-5-2 土留工の安定性の検討

山腹工の骨格となる重要な土留工については、次のすべての条件について安定性を検討しなければならない。

- 1 転倒に対する安定
躯体が転倒を引き起こさないこと。
- 2 滑動に対する安定
躯体が滑動を引き起こさないこと。
- 3 躯体の破壊に対する安定
躯体の最大応力に対して破壊を引き起こさないこと。
- 4 基礎地盤に対する安定
躯体の最大応力に対して基礎地盤の地耐力が十分であること。

[解説]

1 土留工は、コンクリート等のように材料自体が強度や耐久性に対する信頼性の高い材料を使用するものと、鉄線かご・丸太等の軽易な材料を使用するものがある。

前者は、保全対象に近接した場所、あるいはのり切により発生する大量の土砂等の固定や他の工作物の基礎とする場合等に用いられ、このため、その安定性については、十分に検討する必要がある。

後者は、土留工背面に大量の土砂を溜めない場所や土留工の構成材料の劣化が著しくなる時点では、土留工背面の土砂が地山化又は植生によって、安定すると判断される場所に設ける土留工である。このため、高さ、構造等は経験的に決定し、安定計算を省略するのが一般的である。

2 保全対象に近接した場所、のり切により発生する大量の土砂等の固定や他の工作物の基礎とする土留工は、原則として、安定計算によって安定性の検討を行うものとする。

(1) 転倒に対する安定性の検討

土留工には、水平土圧等による転倒モーメントと、土留工の自重、垂直土圧等による抵抗モーメントが作用する。

転倒に対する安全率（ F_s ）は次式による。転倒に対する安全率は1.5以上とす

る。ただし、地震動を考慮した場合は 1.2 以上とする。

$$F_s = \frac{\text{(抵抗モーメント)}}{\text{(転倒モーメント)}} = \frac{W \cdot a + P_v \cdot b}{P_H \cdot h} \dots\dots\dots (3.3.1)$$

- W : 自重及び載荷重 (kN/m)
- a : 土留工前趾から W の作用点までの水平距離 (m)
- P_v : 土圧合力の垂直分力 (kN/m)
- b : 土留工前趾から P_v の作用点までの水平距離 (m)
- P_H : 土圧合力の水平分力 (kN/m)
- h : 土留工の底面から P_H の作用点までの垂直距離 (m)

(2) 滑動に対する安定性の検討

土留工を土留工の底面に沿って滑動させようとする力は水平土圧であり、これに抵抗する力は、土留工の底面と地盤の間に生ずるせん断抵抗力である。

なお、土留工の前面の受働土圧は、長期にわたる確実性が期待できないことが多いので考慮しない。

滑動に対する安全率 (F_s) は次式による。滑動に対する安全率は 1.5 以上とする。ただし、地震動を考慮した場合は 1.2 以上とする。

$$F_s = \frac{\text{(滑動に対する抵抗力)}}{\text{(滑動力)}} = \frac{(W + P_v) \cdot f + c \cdot B}{P_H} \dots\dots\dots (3.3.2)$$

- W : 自重及び載荷重 (kN/m)
- P_v : 土圧合力の垂直分力 (kN/m)
- P_H : 土圧合力の水平分力 (kN/m)
- h : 土留工の底面から P_H の作用点までの垂直距離 (m)
- f : 土留工の底面壁底と基礎地盤の摩擦係数
- c : 土留工の底面壁底と基礎地盤の付着力 (土の粘着力とみなす) (kN/m²)
- B : 土留工の底幅 (m)

(3) 躯体の破壊に対する安定性の検討

土留工本体の断面内に生ずる圧縮応力・引張応力が、土留工材料の許容応力度を超えなければ破壊に対して安定である。ただし、地震動を考慮した場合は、許容応力度の 1.5 倍以内ならば安定とする。

重力式コンクリート構造の場合は、(4) の条件を満足すれば、躯体の破壊に対しても安定と見なしてよい。

セル式構造の場合は、(6) の条件も満足する必要がある。

(4) 合力の作用位置に対する検討

土留工底面には土留工の自重、土圧等の荷重が作用する。土留工底面に発生する地盤反力は、これら荷重の合力の土留工底面における作用点の偏心距離によって異なることから、荷重の合力の作用位置が大きく偏心していないことが安定の条件である。

通常の地盤においては、次式で求められる荷重の合力の作用位置が、土留工底幅中央において土留工底幅 1/3 の範囲 (ミドルサード) 内になければならない (|e| ≤ B/6)。ただし、地震動を考慮する場合は、土留工底幅中央において土留工底幅 2/3 の範囲になければならない (|e| ≤ B/3)。

重力式コンクリート構造の場合は、荷重の合力の作用位置が上記の条件 (ミドルサード内) を満たしていれば、躯体内に引張応力が働かないので、躯体の破壊に対して

安定といえる。

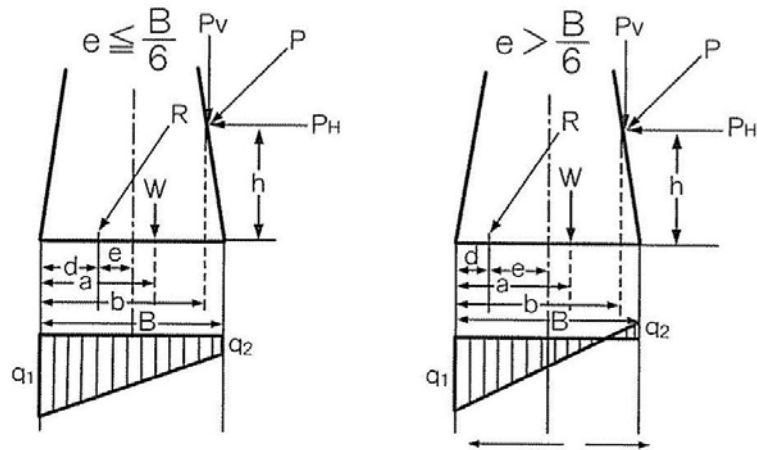


図-5 土留工の外力の作用線と大きさ

$$d = \frac{W \cdot a + P_v \cdot b - P_H \cdot h}{W + P_v}$$

$$e = \frac{B}{2} - d \dots \dots \dots (3.3.3)$$

- d : 土留工前趾から、合力Rの作用点までの距離 (m)
- e : 合力の作用点の壁底中央からの偏心距離 (m)
- W : 自重及び載荷重 (kN/m)
- P_v : 土圧合力の垂直分力 (kN/m)
- P_H : 土圧合力の水平分力 (kN/m)
- a : 土留工前趾からWの作用点までの水平距離 (m)
- b : 土留工前趾からP_vの作用点までの水平距離 (m)
- h : 土留工の底面からP_Hの作用点までの鉛直距離 (m)
- B : 土留工の底幅 (m)

(5) 基礎地盤に対する安定性の検討

土留工に作用する荷重は、基礎地盤によって支持されているが、基礎地盤の支持力が不足すると、基礎地盤の破壊が起こり土留工に変状が生じるおそれがある。

基礎地盤に発生する最大地盤反力(q₁)は、次式で求められるが、地盤の許容支持力(q_a)を超えてはならない(q₁ ≤ q_a)。ただし、地震動を考慮した場合は許容支持力の1.5倍以内ならば安定とする(q₁ ≤ 1.5q_a)。

① 荷重の合力の作用位置が土留工底幅の中央において、土留工底幅1/3(ミドルサード)の範囲内にある場合

(| e | ≤ B/6)

$$q_1 = \frac{P_v + W}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \dots \dots \dots (3.3.4)$$

$$q_2 = \frac{P_v + W}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \dots \dots \dots (3.3.5)$$

- ② 荷重の合力の作用位置が土留工底幅の中央において、土留工底幅 1/3 (ミドルサード)の範囲をはずれた場合
 $(|e| > B/6)$

$$q_1(q_2) = \frac{2P_v + W}{3d} \dots\dots\dots (3.3.6)$$

q_1 : 土留工前趾に発生する地盤反力 (kN/m²)

q_2 : 土留工後趾に発生する地盤反力 (kN/m²)

e : 荷重の合力の作用点の壁底中央からの偏心距離 (m)

W : 自重及び載荷重 (kN/m)

P_v : 土圧合力の垂直分力 (kN/m)

B : 土留工の底幅 (m)

- (6) セル式構造における安定性の検討

セル式構造の場合は、荷重によって生じる変形モーメントに対して、中詰材の抵抗モーメントが 1.2 倍以上あることを確認する。

$$M_r / M_d \geq 1.2$$

M_r : 中詰材の抵抗モーメント (kN・m/m)

M_d : 荷重による変形モーメント (kN・m/m)

[参考] 基礎地盤の土質定数

基礎地盤の土質定数の標準値は、次のとおりである。

表-1 基礎地盤の種類と土質定数

基礎地盤の種類		許容支持力度 kN/m ² (q_a)	土留工底面の 滑動に対する 安定計算に用 いる摩擦係数 (ϕ) (※)	備 考	
				軸圧縮強度 kN/m ²	N値
岩 盤	亀裂の少ない均一な硬岩	1,000	0.7	10,000以上	—
	亀裂の多い硬岩	600		10,000以上	—
	軟岩・土丹	300		1,000以上	—
礫 層	密なもの	600	0.6	—	—
	密でないもの	300		—	—
砂 質 地 盤	密なもの	300	0.6	—	30~50
	中位のもの	200		—	15~30
粘性土 地 盤	非常に堅いもの	200	0.5	200~400	15~30
	堅いもの	100		100~200	10~15

※ 1 現場打ちコンクリートによる場合 $\delta = \phi$ (基礎地盤の内部摩擦角)

2 現場打ちでない場合は $\delta = 2/3 \phi$ とする

3 表中の摩擦係数を用いる場合は、 C (基礎地盤の付着力) = 0 とする

[出典] 道路土工擁壁工指針：日本道路協会 平成 24 年 7 月

3-3-6 土留工の水抜き

遮水型土留工の水抜きは、背面の浸透水等を排除するために設けるものとする。

〔解説〕

- 1 コンクリート土留工、練積土留工等の遮水型の土留工は、背面に浸透水や地下水が滞水すると土留工背面に水圧が作用することから、原則として水抜きを設けて土留工背面の滞水を防止する。
- 2 水抜きは、土留工の背面から前面に向けて若干の下り勾配を付して設置するものとし、その内径は、原則として50～100mm程度のものを使用し、おおむね3㎡に1箇所以上設ける。
なお、土留工設置箇所での現地条件から水抜きを設けることにより、渓流水等が逆流し、土留工背面の土砂を流出させるおそれがある場合には、水抜きに逆流防止対策を設けるものとする。
- 3 水抜きの効率的な排水と土砂等による目詰りを防止するため、一般に、背面に裏込めを設ける。

3-3-7 土留工の裏込め

遮水型土留工の裏込めは、土圧の均等化を図るとともに、背面の浸透水等を排水するために設けるものとする。

〔解説〕

- 1 裏込めは、遮水型土留工の背面の土圧を分散させ安定性を高めるとともに、水抜きによる浸透水や地下水の効率的な排水と土砂等による目詰りを防止することを目的として設ける。
- 2 裏込めは、土留工の構造、背面の土質、湧水の状況等を考慮して、栗石、碎石、風化しにくい岩砕等の均質で透水性の良い材料をよく締め固めて用いることを標準とする。
ただし、土留工の背面が良質土で埋戻され、土圧が土留工背面に均等に作用し、排水性も良いと判断される場合は設けなくてもよい。

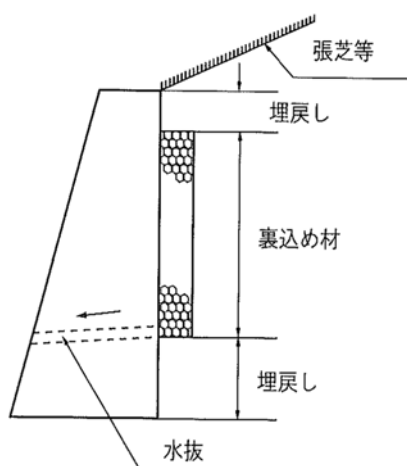


図-6 裏込めを用いる場合の模式図

〔参考〕 裏込めの設置方法

裏込めは、土留工背面に作用する土圧の分散、浸透水等の排水、経済性、施工性を考慮して、骨材を用いる場合には、厚さ30cmで等厚に設けることを標準とし、土留工の背面

が、土圧の分散は図れるものの透水性が良好でない土砂により埋戻される場合は二次製品を用いることがある。

裏込めは、天端付近から最下段の水抜きの高さまでに設け、天端付近及び最下段の水抜きより下部を透水性の低い良質土で埋め戻すことを標準とする。

3-3-8 土留工の伸縮継目

土留工の伸縮継目は、コンクリート等のひび割れの軽減及び縁切りを目的として設けるものとする。

〔解説〕

- 1 長大なコンクリート製の土留工（コンクリート、鉄筋コンクリート、練積等）にあつては、コンクリートの温度変化等によるひびわれ等を防ぐために伸縮継目を設けるものとする。
また、延長の長い土留工に作用する背面土圧や基礎地盤は必ずしも一様でなく、不同沈下が発生したり、局部的に異常な土圧が作用し、土留工が変状することがある。このため、剛性の高い土留工の全体に変状を波及させないように、伸縮継目により縁切りを行うものとする。
- 2 伸縮継目は、原則として10m程度ごとに設けるものとするが、構造が極端に変化する場所や基礎地盤の支持力に著しい差がある場所にはそれらの境界にも設置することを考慮する。

3-3-9 コンクリート土留工

コンクリート土留工は、背面土圧、保全対象等を考慮して用いるものとする。

〔解説〕

- 1 コンクリート土留工は、土留工の中でも最も耐久性の高い構造物であり、地盤支持力さえあればかなり自由な形状にすることができ、大きな土圧への対応も容易である。
- 2 コンクリート土留工は、主に次の場合に用いる。
 - (1) 大量の不安定土砂等を直接的に抑止することにより土留工背面の土圧が大きい場合
 - (2) 他の種別の土留工では、落石等により土留工を構成する部材が破壊されるおそれがある場合
 - (3) 保全対象に近接していて長期にわたり強度を保持する必要がある場合
- 3 コンクリート土留工の構造は、原則として重力式とする。

3-3-10 鉄筋コンクリート土留工

鉄筋コンクリート土留工は、経済性を考慮して用いるものとする。

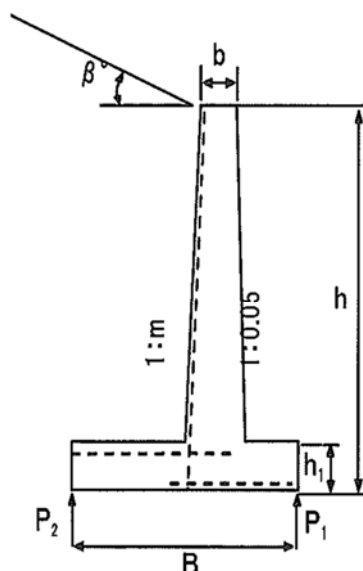
〔解説〕

- 1 土留工は、その高さが高くなれば、壁面に作用する土圧も大きくなる。重力式コンクリート土留工の場合では断面が著しく大きくなることから、経済性を考慮して、鉄筋コンクリート土留工とすることがある。
なお、設計に当たっては、コンクリート土留工と経済性について比較検討して決定しなければならない。
- 2 鉄筋コンクリート土留工は、原則として逆T式構造とする。逆T式構造の土留工は、縦壁と底版からなり、自重及びその土留工底版後趾上の埋戻土の重量と部材のせん断抵抗力によって外力に対して抵抗する構造である。

- 3 鉄筋コンクリート土留工は、壁体が総じて薄いため、落石等によって壁体が破損されやすいので、必要に応じて補強対策を計画する。

[参考] 鉄筋コンクリート土留工（逆T式構造）の安定計算

- 1 土留工底版後趾の後端部の鉛直線を仮想背面として設定して、土留工底版後趾上の埋戻土を躯体の一部と考えて、安定計算を実施する。
- 2 躯体の破壊に対する安定性の検討においては、次の項目について安定計算を実施する。
 - (1) 土留工縦壁は、土留工底版との接合部を固定端とする片持ばりとして、土圧の水平分力による等変分布加重を受けるものとして計算する。
 - (2) 土留工底版前趾は、土留工縦壁との接合部を固定端とする片持ばりとみなして計算する。
また、土留工底版前趾に作用する外力は、上向きの地盤反力と下向きの土留工底版前趾の自重を考慮する。
 - (3) 土留工底版後趾は、土留工縦壁との接合部を固定端とする片持ばりとして計算する。



- h : 高さ(m)
- m : 裏のり……最小を0とし安定計算によって決める。
- b : 天端厚(m)
- h₁ : 底版厚(m)……0.1h~0.12h
- B : 底版幅(m)……安定計算によって決める。

図ー7 鉄筋コンクリート土留工（逆T式構造）の断面

3-3-11 練積土留工及び空積土留工

練積土留工及び空積土留工は、背面土圧、基礎地盤の支持力を考慮して用いるものとする。

[解説]

- 1 練積土留工は、地山に近接し、土留工背面に溜める土砂量が少ない 場合や地山に近接していないが重力式又は逆T式の土留工に比較して土留工背面に溜める土砂量が少ない場合等に用いるものとする。
- 2 空積土留工は、土留工の背面土圧が著しく小さい場合に用いるものとする。
- 3 練積土留工等に使用する材料には、石材、コンクリートブロックがあり、近年は材料の入手が容易であることや経済的であることから、練積用コンクリートブロックが多く用い

られている。

また、現地において堅硬で、風化しにくい良質な石材が容易に採取できる場合には、経済性の観点から、現地で発生する転石等を有効活用する場合がある。

4 練積土留工は、地盤支持力、土留工背面の土質等を踏まえて安定計算を行う。

空積土留工は、土圧が殆ど作用しない箇所に用いることが多いため、一般的、経験的に断面を決定しているものが多い。

5 地山に近接せず、土留工背面に一定の土砂を溜める必要がある場合の練積土留工は、裏込コンクリートの設置を含めて、重力式構造として安定性を検討するとともに、経済性についてコンクリート又は鉄筋コンクリートの土留工との比較検討を行う。

[参考]

地盤支持力が小さい箇所、地すべり地等で土留工全体が変形するおそれがある箇所には、異形ブロックの空積土留工を用いる場合がある。

この場合には、重力式土留工と同様の安定計算により安定性を確認する必要がある。

3-3-12 杵土留工

杵土留工は、基礎地盤の支持力、湧水等を考慮して用いるものとする。

[解説]

- 1 杵土留工は、杵内を粗石等で中詰した構造を持つ透水型土留工であり、強固な杵構造を持ち剛体と見なせる重力式構造のタイプと、水平荷重に対して主として中詰材のせん断抵抗力で対抗するセル式構造のタイプがある。
- 2 基礎地盤の変動に追従性のある杵土留工は、不同沈下等の変状が生じた場合、構造上許容する範囲において変形するので、基礎地盤が軟弱な場合や不規則な圧力を受けるような箇所に適している。また、透水性があるために、土留工背面の浸透水・地下水の排除が容易である。
- 3 中詰材料を現地で採取できる場合は、経済的利点があるほか、施工が容易であるため工期の短縮、省力化が図られる。
- 4 杵土留工は、鋼材、木材、コンクリート角材、鉄筋コンクリート角材等の材料を用いる種類があるが、それぞれの種別によって工法に特徴があり、その組み方も一様ではない。種別の選定に当たっては、土質、地形等の現地状況に最も適したものを選ぶことが必要である。
- 5 杵土留工の高さは、杵材料が鋼材である場合は5 m以下、杵材料が木材である場合は3 m以下を目安とする。
- 6 杵土留工は、基礎の不安定な場所に設置されることが多いことから、種別により杵材の強度や耐久性、土留工断面の規模や形状並びに単位体積重量について、安定計算により安定性を確認しなければならない。
- 7 杵土留工は、落石等によって杵材が破壊又は損傷した場合には、中詰材料の流亡により、土留工としての安定性を損なうおそれがあることから、必要に応じて落石等に対する対策を検討する。

3-3-13 鉄線かご土留工

鉄線かご土留工は、背面土圧、基礎地盤の支持力等を考慮して用いるものとする。

[解説]

- 1 鉄線かご土留工は、土留工背面に溜まる土砂量が少ない場合、土留工背面に多量の湧

水等のある場合、基礎地盤の支持力が低い場合、災害等の緊急的応急工事として施工する必要がある場合等に用いる。

- 2 鉄線かご土留工のかご部材は、鉄線であることから、コンクリート土留工等の部材に比べて耐久性及び強度が低いので、土留工背面の土砂の状況等を十分に考慮する必要がある。一般に、鉄線かご土留工の高さは、2m以下を目安とする。
- 3 鉄線かご土留工は、土留工背面に大きな土圧がかからない場合等に用いることとしているが、基礎地盤の状況や中詰材料によっては、安定性について確認する必要がある。
- 4 土留工に使用する鉄線かごは、蛇かご、ふとんかご、異形かご等があるが、設置目的及び現地の状況に応じて、最も適切なものを選択するものとする。
一般的な鉄線かご土留工の構造は、図-8に示すとおりである。

[参考] 鉄線かご土留工の詳細構造

- 1 鉄線かご土留工の鉄線の材質及び太さは、かご自体に加わる荷重、落石等の衝撃、腐食及び摩擦等を考慮して決定する。
- 2 鉄線かご土留工の止め杭及び心杭は、鉄線かごの各段を一体化し、地盤に固定させてその滑動を防止するものである。腐朽しにくい材料を使用するものとし、杭間隔及び杭長は、鉄線かごの規格に応じて、最も効果的になるよう決定する。
- 3 中詰材料は、原則として使用する鉄線かごの網目以上の径を有し、風化しにくく亀裂の少ないものを使用する。一般には径15~30cmのものが使用される。中詰材料の詰め方は、その空隙を極力小さくして、地盤の沈下、移動等に対する鉄線かごの抵抗力を増大させる必要がある。
- 4 岩屑やクラッシャーラン等を中詰材料として用いる必要がある場合には、鉄線かごの内側にさらに目の小さい網を張る二重鉄線かご等とすることとする。
- 5 枠式土留工及び鉄線かご土留工は、背面土砂等の吸出しを防止するため、背面、下面、側面に吸出し防止材を設置するものとする。

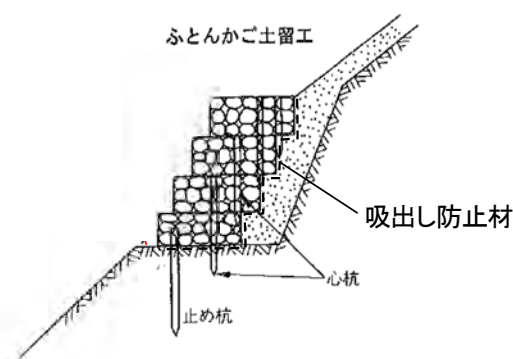


図-8 鉄線かご土留工の標準図

3-3-14 丸太積土留工

丸太積土留工は、背面土圧、耐久性等を考慮して用いるものとする。

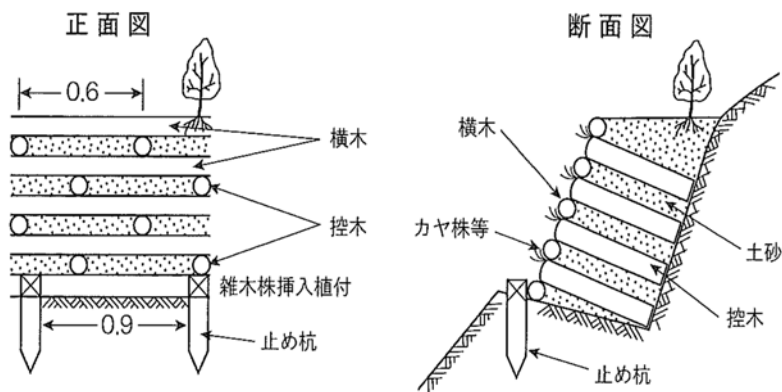
[解説]

- 1 丸太積土留工は、背面土圧が小さい箇所で、高度な耐久性を要求しない場合等に用いるものとする。
- 2 丸太積土留工は、一般に間伐材等の丸太を骨格となる部材として使用し、丸太を組ん

だ中に、現地発生土砂等を埋戻す土留工である。

埋戻材料や土留工背面の土質条件等が良好で、丸太が腐朽するまでに土留工背面の土砂が植生等により安定することが期待できる場合に用いる。流出を抑えるため、カヤ株、ヤナギ挿し穂等により早期緑化を図ることが有効である。

- 3 丸太積土留工は、有機資材である間伐材等の丸太を骨格となる部材として使用することから、景観的な要素を含めて環境との適合性が高い。また、現地において土留工の骨格となる丸太資材や埋戻材料を得ることが可能な場合がある。
- 4 丸太積土留工は、丸太が腐朽した後も土留工背面の土砂の安定が保たれるように、高さをできるだけ低くする必要がある。一般に、丸太積土留工の高さは、1.5m以下を目安とする。



図－9 丸太積土留工の事例

3-4 埋設工

3-4-1 埋設工の目的

埋設工は、土中に設ける構造物により、不安定土砂の安定化を目的とする。

〔解説〕

崩土やのり切により発生する土砂が著しく多く堆積深が深い場合には、雨水や融雪水等により堆積土砂が水分を多く含んで流動化し、堅固な地盤との境界面で滑動や崩落を引き起こす危険がある。

埋設工は、土中に構造物を設けることによって、堆積土砂のせん断抵抗、摩擦抵抗を高めて、不安定土砂の安定化を図るために用いる。

3-4-2 埋設工の種別及び構造

埋設工は、堆積土砂の深さと基礎地盤の状況を考慮して種別を選定するとともに、適切な配置、高さを決定するものとする。

〔解説〕

埋設工の種別は、土留工又は柵工に準ずるが、その標準的な適用は次のとおりである。なお、盛土と基礎地盤との境界面の排水のために、必要に応じて暗渠工を設置する。

1 編柵、丸太柵等の柵工タイプ

堆積土砂が比較的浅い場合に計画するもので、階段を切り付けて、階段ごとに柵工を設ける。階段は基礎地盤の全面に設け、踏面には3～5%の下り勾配を付けて排水を

良くする。また、柵工の構造は、できるだけ堅固なものとする。

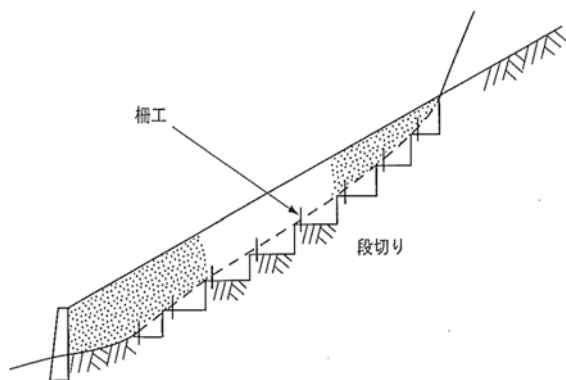


図-10 階段の切付け

2 蛇かご等の土留工タイプ

堆積土砂が比較的深い場合や、基礎地盤が軟弱で浸透水が多い場所に計画する。なお、蛇かごは、杭等で固定して滑動防止を図る。

3 コンクリート等の土留工タイプ

堆積土砂が深く、かつ堅固な基礎地盤が得られる場合に計画するもので、その構造は土留工に準ずる。

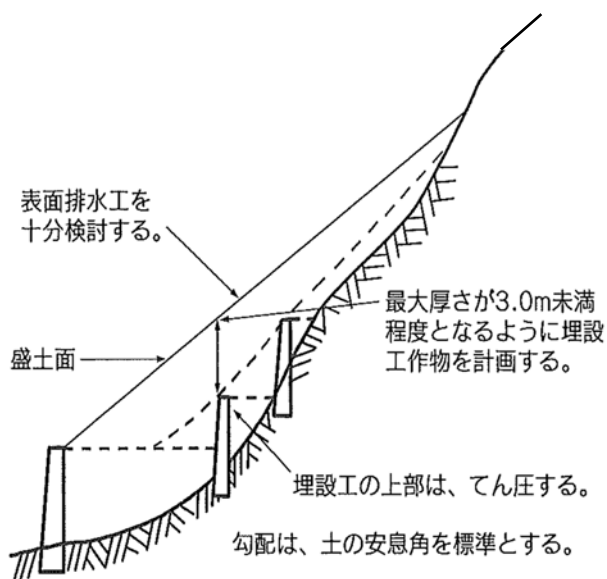


図-11 埋設工の模式図

3-5 水路工

3-5-1 水路工の目的

水路工は、雨水、湧水等を集水・排水して、山腹斜面の表面侵食の防止及び浸透による土の粘着力の低下、間隙水圧の増大防止を目的とする。

[解説]

1 裸地斜面においては、地表の浸透能が低く、雨水の多くは地表流となって流下して、表面侵食が発生し、リル・ガリーが発達する。また、浸透水は、土の粘着力を低下させ間隙水圧を増大させ、山腹斜面の崩壊を引き起こしやすい。

このため、水路工により、雨水、湧水等を集水・排水し、山腹斜面の表面侵食、土の粘着力の低下、間隙水圧の増大を防止する。また、必要に応じて、水路工に暗きょ工を併設し、雨水、湧水、浸透水を集水・排水して、山腹斜面における土砂の間隙水圧の増大を効果的に防止する。

2 水路工は、次のような場合等に設置する。

- (1) 山腹斜面に湧水がある場合
- (2) 山腹斜面周縁部から地表流が集中して山腹斜面に流入して流下する場合
- (3) 山腹斜面が凹地形をなし、地表流が集中して流下する場合
- (4) 山腹斜面の地質が地表流の侵食に弱い場合
- (5) 暗きょ工で地下水を地表へ導水し、流下させる場合

3-5-2 水路工の種別

水路工の種別は、地形、土質条件、配置位置、集水量、使用材料の耐久性、施工性及び周囲の環境との調和等を考慮して、最も適切なものを選定するものとする。

[解説]

1 水路工の種別は、現地の状況を十分調査し、かつ、諸条件を総合的に検討したうえで、決定しなければならない。

水路工の種別の選定に当たって留意すべき事項は、次のとおりである。

- (1) 必要な通水断面が確保できること
- (2) 必要な強度や耐久性が得られること
- (3) 基礎地盤となじみが良いこと
- (4) 施工性が優れていること
- (5) 経済的であること

2 水路工の種別と適用箇所は、表-2のとおりである。種別の選定に当たっては、各種別の特性を考慮する必要がある。

- (1) 張芝、土のうによる水路工は、水量が多く傾斜が急な箇所では破壊されやすいので不適當である。
- (2) コルゲートは、部材が軽量であるため搬入等が容易であるが、土質によっては基礎地盤と馴染み難く、設置後浮き上がりやすいことから、基礎地盤に確実に取付けるよう留意する必要がある。
- (3) コンクリートは、土圧などに対して最も安全であるが、急斜面での施工が困難であり、断面としても大きくなることから不経済になりやすい。小規模な崩壊地の水路工としては、一般に適切でない。
- (4) 鉄筋コンクリート管類は、種々の断面があり、構造的にも堅牢で施工性もよく、山腹工には適するが、重量があるので急勾配の場合は、滑動に対する対策を十分検討する必要がある。

表－２ 水路工の種別

種 別	適 用 箇 所
コ ン ク リ ー ト	流量の多い常水のある箇所 流量の多い幹線水路
練 張	流量の多い幹線水路 自然水路を固定する箇所
コ ル ゲ ー ト 管	地すべり地等フレキシブル性が求められる箇所
張 芝	緩勾配で常水はなく、流量は少なく、土砂の流送のない箇所で、芝の生育に適する土壌の箇所
土 の う	常水はなく、流量は少なく、土砂の流送のない箇所で、芝の生育に適する土壌の箇所

3－5－3 水路工の配置

水路工は、崩壊地内及びその周辺から崩壊地内に流入する地表流、湧水等を速やかに排水できるように配置しなければならない。

〔解説〕

- 1 水路工は、崩壊地内及びその周辺から崩壊地内に流入し、崩壊地の拡大や侵食の原因となるおそれのある地表水等を効果的に集水できる位置に設ける。また、集水した地表水等を安全に排水できるように、法線と縦断勾配を検討して、水路網を整備する。
- 2 排水により下流に被害を及ぼすおそれがある場合には、流末処理を計画する。
なお、必要に応じて他所管事業等との調整を図る。

3－5－4 水路工の平面線形

水路工の平面線形は、凹部を結ぶ線形とし、上部から下部に向けて無理のない法線を設定するものとする。

〔解説〕

- 1 水路工は、雨水等が斜面の最大傾斜方向へ流下して凹部に集まることから、凹部に設けることが原則である。
- 2 凹部を結ぶ水路工の平面線形は、直線とならないことが多いため、流下水の屈曲部での跳水やいっ水が生じないように、崩壊地の上部から下部にかけてできる限り、滑らかな線形となるように設定する。
- 3 水路工の合流点では、交角が鋭角になるように設定し、土留工、帯工、集水ます等によって支保する。
- 4 水路工の方向を変換するときには、流速を減勢させる必要があることから、集水ます等を設置する。
- 5 面積の大きな崩壊地等においては、横方向に設ける支線水路によって地表流を遮断し、表面侵食を防止する場合があるが、この場合でも原則的には上記1～4に準ずるものとする。

3－5－5 水路工の縦断線形

水路工の縦断線形は、極端な屈曲を避け、全体として無理のない線形を設定しなければならない。

〔解説〕

- 1 水路工は、原則的には一定の勾配を保つようにする必要があるが、崩壊地形は、一般に上部から下部に向けて徐々に緩勾配になる場合が多く、その縦断形に沿った無理のない線形を設定しなければならない。
- 2 水路の勾配は極端に変化させると、その部分において土砂が堆積したり、跳水や、いっ水が生じて水路の破壊の原因になりやすいので留意しなければならない。
- 3 縦断勾配を変換するときは、土留工、帯工、集水ます等によって支保する。

3-5-6 水路工の通水断面

水路工の通水断面は、集水される最大流量を十分な余裕をもって、安全に排水できる断面としなければならない。

〔解説〕

- 1 水路工の通水断面は、崩壊地周辺から崩壊地内に流入する地表流流入水も含めて、集水される最大流量を安全に排水できる断面としなければならない。また、崩壊地周縁部からの落葉、土砂等の堆積を考慮して、十分余裕のある断面としなければならない。
- 2 水路工の通水断面は、合理式から求めた最大流量から必要断面を求めることも可能であるが、集水した地表水の到達時間が極めて短いこと、急勾配水路の流速を求めることが困難であること等から、必ずしも適切な方法とはいえない。
一般には、類似箇所的事例を参考に、現地の状況等から、経験的に通水断面を決める場合が多い。

3-5-7 水路工の1スパンの長さ

水路工の1スパンの長さは、地形条件等を考慮して決定するものとする。
また、水路工の延長を長くする必要がある場合は、帯工等を設けて、水路の滑動、沈下等を防止するものとする。

〔解説〕

崩壊地は、一般に急傾斜で、基礎地盤の状態も良好でない場合が多い。したがって、水路の1スパンを長大にすると、水路自体の重量によって不同沈下や滑動が生じたりする。
このため、帯工等によって、1スパンの長さを規制する必要がある。一般には斜長で20m程度が標準とされている。

3-5-8 水路工の水路受け

水路工の水路受けは、土留工等により落差が生じる場合において、いっ水、跳水等による水路の破壊を防止するために設けるものとする。

〔解説〕

- 1 崩壊地の復旧は、一般に土留工により山腹斜面の安定を図るとともに、水路工によって崩壊地内等の地表面流を排水して表土等の侵食を防止するなどにより行う。その際、土留工は水路工の支保となるが、水路工には土留工による段差が生じる。
また、水路工に勾配変換点、屈曲部、合流箇所を設ける場合には土留工を、それらの変化点としたり、必要に応じて帯工によって支保を行う。
土留工や帯工と水路工が交わる箇所では、水路の流下水の跳水や、いっ水等が生じて水路が破壊されやすい。
このような被害を防止するため、土留工等の下部に水路受けとして、水路受け口、水路

受け槽、水路覆いを設ける。

2 水路工の水路受けの規模、構造は、水路の規模や構造、水路の勾配、水量に対応した適切なものでなければならない。

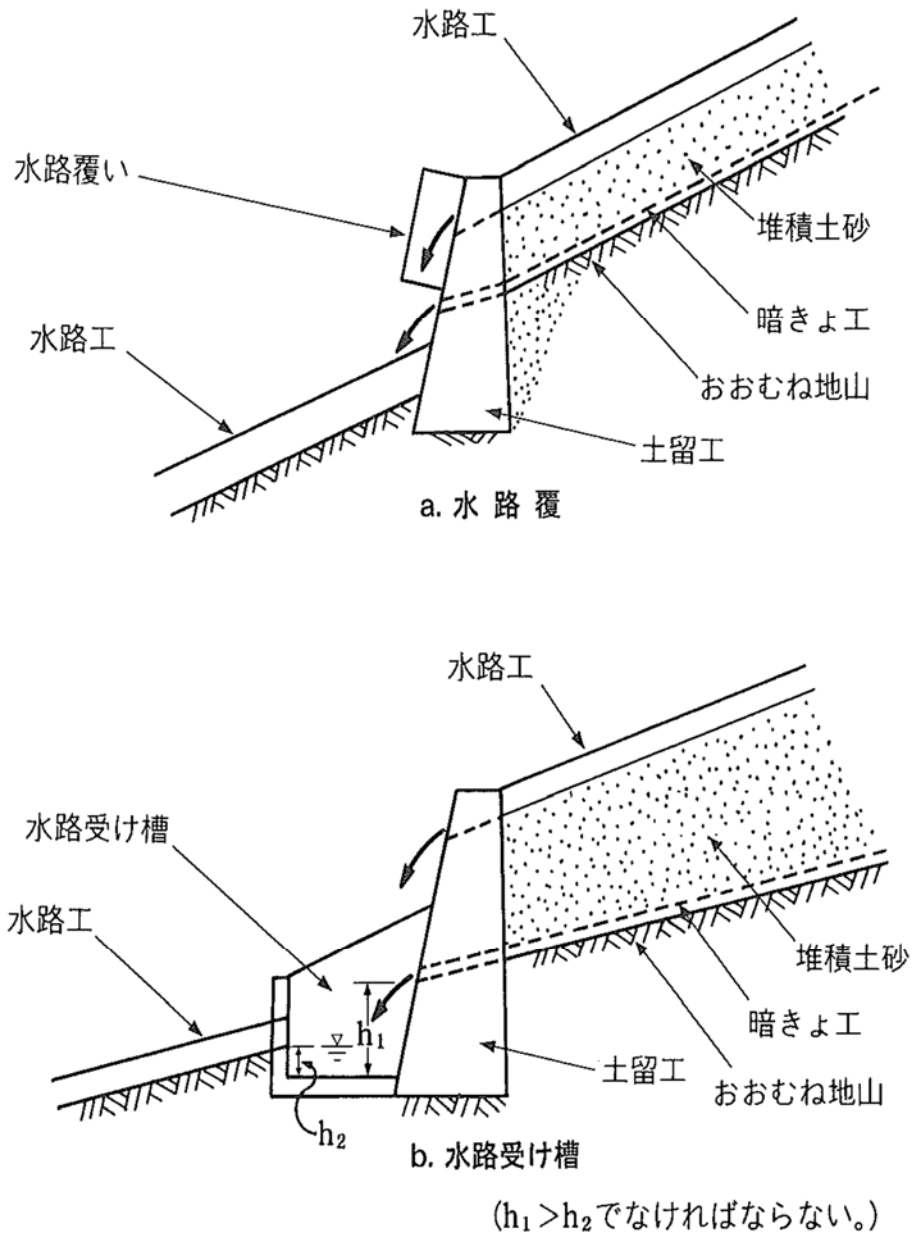


図-12 水路工の水路受けの例

3-6 暗きょ工

3-6-1 暗きょ工の目的

暗きょ工は、地下水や浸透水を速やかに排除して、斜面の安定を図ることを目的とする。

[解説]

1 地下水や浸透水は、土の粘着力を低下させるとともに、間隙水圧を増加させることから、山腹斜面を不安定化させる。暗きょ工は、地下水、浸透水を速やかに排除して、斜

面の崩壊、流動化を防止することにより、山腹斜面の安定を図るために設ける。

2 暗きょ工は、一般に、堆積土砂が厚く、地下水や浸透水が多い箇所に設けられる。

3-6-2 暗きょ工の配置

暗きょ工は、地下水や浸透水を速やかに集水し、水路工に導くように配置しなければならない。

〔解説〕

- 1 暗きょ工は、地下水や浸透水が集まりやすい箇所を選定して、効率的に集水し水路工へ導くことができるように配置しなければならない。なお、暗きょ工は、単独で用いる場合と水路工の下部に併設する場合があるが、いずれも末端は水路工等に接続する。
- 2 斜面整地により崩壊地内の凹部を埋め戻す場合は、水みちとなりやすい凹部の低い位置に暗きょ工を設ける。

3-6-3 暗きょ工の勾配

暗きょ工の勾配は、効果的に集水・排水できる勾配としなければならない。

〔解説〕

暗きょ工の縦断形は、効果的に集水・排水を行うために、原則として地山の縦断勾配に合致させて、同一スパン内を一樣な勾配とする。なお、水路工の下部に併設する場合は、水路工の勾配に合わせることを標準とする。

3-6-4 暗きょ工の構造等

暗きょ工の構造等は、十分な集水・排水能力、耐久性、施工性を有し、土圧等に対して安定を保つものとする。

〔解説〕

- 1 暗きょ工の構造及び使用材料は、排水すべき地下水や浸透水の量、斜面の土質、土の浸透能等を十分検討のうえ、求められる機能を発揮できるように、安定性、耐久性、施工性等を考慮して決定する。
- 2 暗きょ工は、集水した水が地中に再浸透しないように、底部を地山との境付近（不透水層となり易い位置）に設けるとともに、底面を漏水防止構造とすることが原則である。
- 3 暗きょ工の種別は、主要な使用材料により、礫、そだ、有孔管、鉄線かご等がある。
- 4 暗きょ工の標準的な種別・構造は、次のとおりである。
 - (1) 通常の土質で水の多い場合、比較的深い部分まで存在する水を排除する場合、礫暗きょ工など（図-13 参照）
 - (2) 比較的浅い部分の水を排除する場合、有孔管暗きょ工など（図-14 参照）
 - (3) 地すべり性崩壊地等、深い部分まで存在する水を排除する場合、鉄線かご暗きょ工など（図-15 参照）

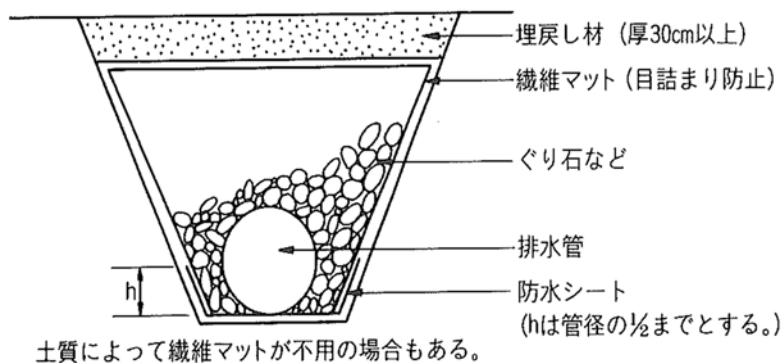


図-13 暗きょ工模式図(1)

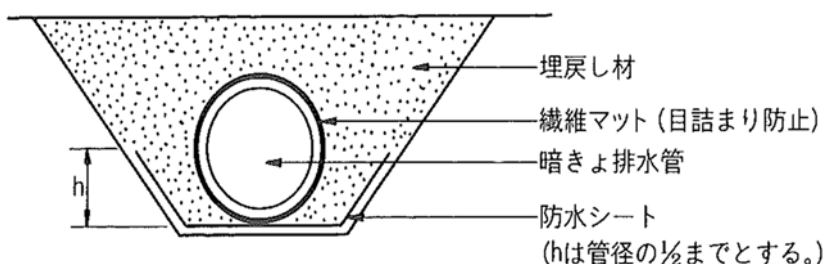


図-14 暗きょ工模式図(2)

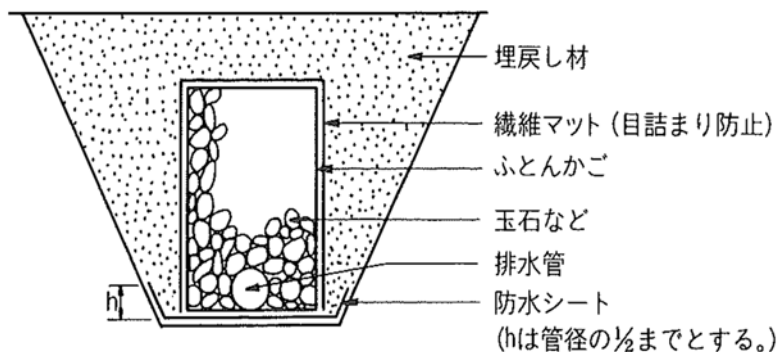


図-15 暗きょ工模式図(3)

[参考] ボーリング暗きょ工

地中に埋め込んだ暗きょ工では堆積土砂内の地下水を十分に排除できない場合は、地表からのボーリングによって地下水を排除するボーリング暗きょ工を設置することがある。

ボーリング暗きょ工の詳細については、第4編「地すべり防止事業」第4章第3節3-6「ボーリング暗きょ工」に準ずる。

3-6-5 暗きょ工の目詰まりの防止

暗きょ工が目詰まりするおそれのある場合は、目詰まり防止対策を行うものとする。

[解説]

- 1 暗きょ工の排水能力及び耐久性を阻害する因子として、排水管の集水孔等に土砂が詰まる目詰まりがある。また、暗きょ工周辺の堆積土砂と暗きょ工内の透水係数の差の大きい場合は、水の流速が速くなるため、周囲の細粒土が水と一緒に暗きょ工内に流入し目詰まりが助長される。
- 2 暗きょ工の目詰まりを防止するために、排水管の回りに目詰まり防止材を設置する。目詰まり防止材としては、適当な透水性をもった砂、砂利や二次製品であるマット類を利用する。
- 3 目詰まりを防ぐ方法として、流入土砂を排水口まで流し出すために、暗きょ工の勾配を急にしたり、管径を大きくする等の方法がある。
しかし、勾配を急にすると流速が速くなり、管径を大きくすることは地形、経済性などの制約があることから、一般的には目詰まり防止材を使用する。

3-6-6 暗きょ工の1スパンの長さ

暗きょ工の1スパンの長さは、地形条件等を考慮して決定するものとする。

[解説]

- 1 暗きょ工の1スパンの長さは、第3節3-5-7「水路工の1スパンの長さ」に準ずるものとし、斜長で20m程度を標準とする。
- 2 暗きょ工は、一本で長大区間を集水するよりも、適当に区間を区切って最短距離で表面に導くとともに、複数の暗きょ工をW型やY型に配置して効率的な集水が可能になるように計画する。

3-6-7 集水後の処理

暗きょ工で集水した水は、速やかに地表面へ導くものとする。

[解説]

- 1 暗きょ工によって集めた地下水・浸透水は、再浸透のおそれがないようにできるだけ短い距離で水路工等へ導き、地表流として処理する必要がある。
- 2 地下水の水路工等への導水は、一般に土留工等の落差を利用し、そこに開口部を設けることによって行う（図-12参照）。

3-7 のり砕工

3-7-1 のり砕工の目的

のり砕工は、斜面に砕状の構造物を設置することにより、斜面の風化、侵食及び崩壊の防止を図ることを目的とする。

[解説]

- 1 のり砕工は、斜面が著しく急な箇所、土質条件が著しく悪い箇所等に対して、格子砕状の構造物を設置するもので、斜面の風化、侵食及び崩壊の防止を図ることを目的としている。また、格子砕状の構造物により、植生の生育基盤となる客土等を保持して、緑化を容易とする。
- 2 のり砕工は、設置する目的によって大きく3つに分かれる。
 - (1) 斜面の保護を目的とするのり砕工
砕で斜面を覆うことにより、斜面の風化、表面侵食を防止し、植生の生育基盤を保持するために設置するのり砕工で、斜面の安定が保たれている場合に用いる。砕

は、安定性、施工性から必要最小限の断面として、杵が斜面からずり落ちないように、すべり止めのアンカーを用いる。

(2) 小崩壊等の防止を目的とするのり杵工

杵で斜面を抑えて、のり肩の崩壊、抜け落ちなどの小崩壊、落石を防止するために設置するのり杵工で、斜面全体の安定は保たれているものの小崩壊等の危険性がある場合に用いる。杵は、小崩壊等に対して安定性を保つことができる構造・断面とし、必要に応じてロックボルト（補強土工）を併用することにより、斜面との一体性を確保する。

(3) 斜面の崩壊防止を目的とするのり杵工

抑止力を持つグラウンドアンカー工と組み合わせて、斜面の崩壊を防止するために設置するのり杵工で、斜面に比較的深い崩壊が発生する危険性のある場合に用いる。

杵は、アンカー力に対して安定した断面とする。

3 のり杵工は、斜面の全面を被覆する工法であるため、杵内に水が滞留し斜面に浸透すると、杵内の客土が崩落・流出したり、斜面の一部が崩落することがある。

必要に応じて、杵内に水抜き等を設けるとともに、湧水箇所や地表流が流下しやすい箇所には、あらかじめ暗きょ工、水路工等を設置する。

4 のり杵工は、原則として、植生工と組み合わせて、草本類を主体とした植生を導入するものとする。杵内は、実播工等で緑化するものとするが、著しく急斜面で客土等を保持できない箇所など緑化が不可能な場合には、吹付モルタル等によって杵内を被覆して斜面を保護する。

3-7-2 のり杵工の種別

のり杵工の種別は、その使用条件と目的によって適切なものを選定するものとする。

[解説]

のり杵工の標準的な種別（主要な材料）は、次のとおりである。

- 1 プレキャストのり杵工（コンクリート二次製品）
- 2 現場打ちコンクリートのり杵工
- 3 吹付のり杵工（モルタル・コンクリート）

なお、軽量のり杵工については、簡易なものであるので第4節4-2-5「軽量のり杵工」において定める。

3-7-3 のり杵工の構造

3-7-3-1 のり杵工の構造の決定

のり杵工の構造は、目的、現地の条件から、安定性、施工性等を考慮して決定するものとする。

[解説]

のり杵の杵断面の大きさ、杵の間隔、基礎の有無は、目的、現地の条件によって安定性が異なるために、地質、法長、将来の風化等を勘案して決定する必要がある。

[参考] のり杵工の構造

のり杵工の構造は、一般的に、表-3の値が目安とされている。なお、崩壊防止を目的とするのり杵工は、鉄筋構造によつてのり杵に作用する荷重に抵抗する。

表-3 枠の大きさ

目的		枠断面の大きさ	枠の間隔
斜面の保護	風化・表面侵食の防止	100mm～200mm	1,000mm～1,200mm
	植生の緑化基盤保持		
崩壊の防止	小崩壊等の防止	300mm以上 (安定計算による)	2,000mm程度
	斜面崩壊の防止	500～600mm程度 (安定計算による)	2,000mm以上

※斜面崩壊の防止を目的とする場合には、のり枠自体が土圧に抵抗しない構造であることから、補強土工やアンカー工の併用を図るなどの配慮が必要である。

3-7-3-2 のり枠工の安定性の検討

のり枠工は、想定される荷重に対して安定性を検討しなければならない。

【解説】

斜面の崩壊の防止を目的とするのり枠工は、想定される斜面の移動土塊、自重、枠内の中詰材の重量等の荷重に対して安定でなければならない。

【参考】 のり枠工の安定計算

安定計算の方法には次のものがある。

1 のり肩からの小崩壊

- (1) のり肩からの崩壊で想定される土塊、縦枠と横枠の自重及び中詰材の重量を計算に用いる荷重とする。
- (2) 縦枠に作用する荷重は、上記荷重のすべり面方向の分力に現況安全率と計画安全率との差を乗じたものである。
- (3) 作用荷重は、すべり面方向に集中荷重として作用するものとし、作用位置は、土塊の長さの下から3分の1とする。
- (4) 枠断面の検討は次による。
 - ① 縦枠に垂直に作用する分力に対し、枠応力の検討を行う。
 - ② 縦枠とすべり面との交点を固定点とする片持ばりとして検討を行う。

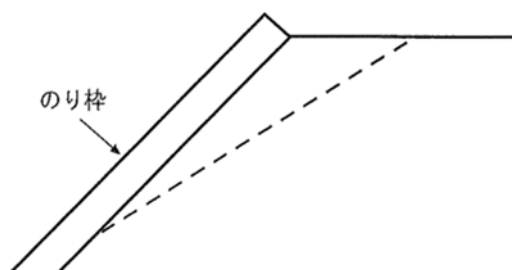


図-16 小崩壊（のり肩からの小崩壊）の場合

2 斜面中間の円弧状の小崩壊

- (1) のり面中間からの円弧地すべりで想定される土塊、縦枠と横枠の自重及び中詰材の重量を計算に用いる荷重とする。
- (2) 縦枠に作用する荷重は、上記荷重のすべり面方向の分力に現況安全率と計画安全率との差を乗じたものである。
- (3) 作用荷重は、縦枠とすべり面との交点ですべり面方向に作用する。
- (4) 枠断面の検討は次による。
 - ① 縦枠に垂直に作用する分力に対し、枠応力の検討を行う。
 - ② 枠の一部を単純ばりとし、作用分力をスパン中央で最大、交点で0となる三角形分布荷重に置き換えて検討する。

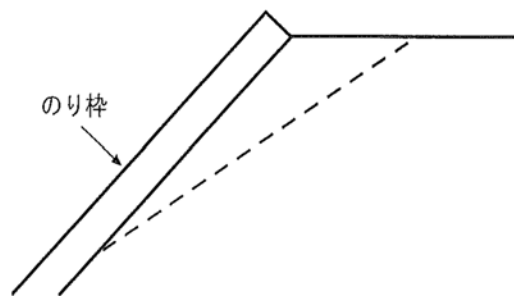


図-17 小崩壊（斜面中間の円弧状の小崩壊）の場合

3 斜面崩壊等

- (1) 円弧すべり、複合すべり、直線すべり等に対して、グラウンドアンカー工等と組み合わせて斜面安定を図る。
- (2) 想定すべりに対する斜面安定解析から、抑止力を求めて、安定性を検討する。
- (3) グラウンドアンカー工等は別途安定計算を行う。
- (4) 縦、横枠は、グラウンドアンカー等を中心とした片持ばり又は連続ばりとして計算する。

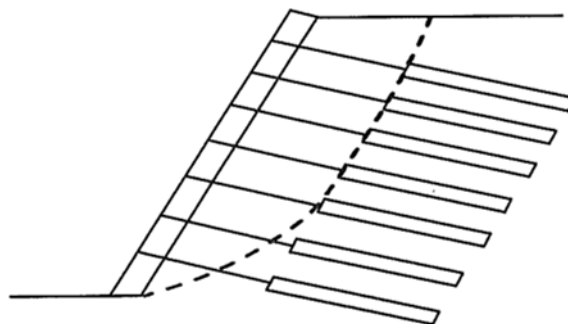


図-18 斜面崩壊の場合

3-7-4 プレキャストのり枠工

プレキャストのり枠工は、斜面が平滑で比較的緩傾斜であり、斜面の侵食防止、風化防止又は緑化の基礎とする場合に設けるものとする。

〔解説〕

- 1 プレキャストのり枠工は、二次製品のコンクリート等の部材を斜面に張りつけ、その内部に客土して緑化を図るものである。
- 2 プレキャストのり枠工は、枠材料の品質が安定しているが、部材同士の一体性が乏しいことから緩傾斜であること（1：1.0 より緩いこと）、斜面が平滑であることが条件である。また、部材重量が大きい場合には、クレーン車類を利用できる場所があることが必要である。
- 3 プレキャストのり枠工は、使用箇所や目的によって、種々開発されているので、目的にあった適切な製品を選定する必要がある。

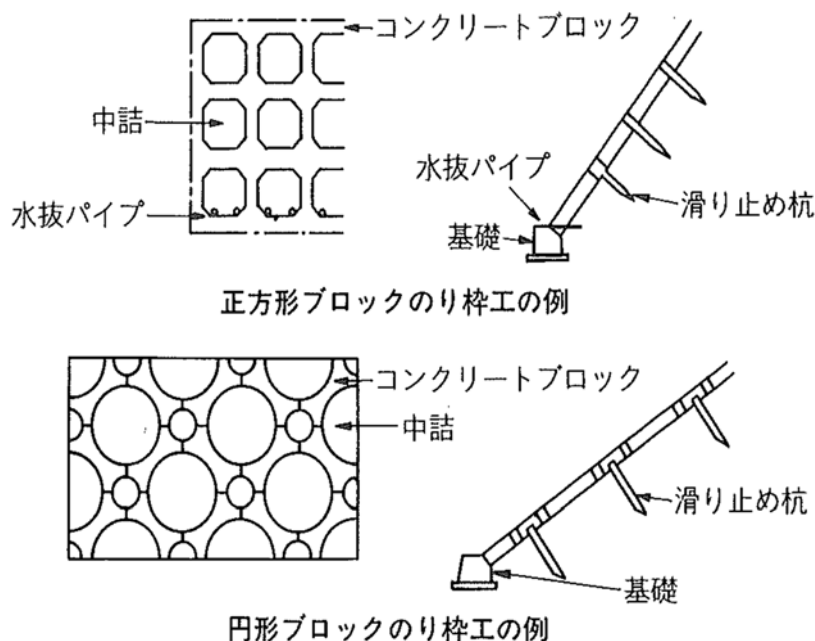


図-19 プレキャストのり枠工構造の例

3-7-5 現場打ちコンクリートのり枠工

現場打ちコンクリートのり枠工は、斜面の崩壊を防止する場合に設けるものとする。

〔解説〕

- 1 現場打ちコンクリートのり枠工は、現地で格子状に型枠を組み立てて鉄筋を配置しコンクリートを打設してのり枠を造成するものである。かなり急な斜面にも施工が可能で、崩壊に対してある程度の抑止力が期待できるため、崩壊のおそれのある箇所に適している。必要に応じて、グラウンドアンカー工等を併用する。
- 2 枠断面は、安定計算によって求めるが、一般に、幅、高さとも0.3～0.6m、枠の間隔は1～5mである。格子の交点には、アンカーピンの打ち込み等を行い、枠を固定する。
- 3 現場打ちコンクリートのり枠工は、大断面の枠を現場打ちコンクリートにより造成して強度の大きいり枠を形成することができるが、一般に部材が大きく作業が複雑であることから、施工性、経済性に難点がある。

3-7-6 吹付のり枠工

吹付のり枠工は、斜面の崩壊防止、風化防止、侵食防止又は、緑化の基礎とする場合に設けるものとする。

〔解説〕

- 1 吹付コンクリートのり枠工は、斜面に組み立てた格子状の型枠に、吹付機械を利用して、コンクリート又はモルタルを圧送し吹き付け、のり枠を造成するものである。プレキャストのり枠工と異なり、斜面に起伏がある場合でも施工が可能であり、斜面への密着性も高い。
- 2 簡易吹付のり枠工は、型枠の使用に代えて簡易な組立枠を使用した配筋やクリップ金網等を設置し、地山にモルタル等を直接吹き付けてのり枠を形成するものである。

3-8 グラウンドアンカー工

3-8-1 グラウンドアンカー工の目的

グラウンドアンカー工は、アンカーにより、地すべり性崩壊、斜面の崩壊防止及び構造物の安定の確保を目的とする。

〔解説〕

- 1 グラウンドアンカー工は、山腹斜面が急で崩壊のおそれのある場合や、構造物の転倒等を防止する必要がある場合に崩壊等が想定される崩落土塊又は構造物に対してアンカーによって大きな引張力を与えることにより、斜面又は構造物の安定を保つ工法である。
- 2 斜面崩壊防止を目的とするグラウンドアンカー工にあっては、想定すべり面等の深さにより、のり枠工又は土留工等の断面を大きくして抵抗させるよりも、経済性、施工性がよい場合に用いる。

3-8-2 グラウンドアンカー工の構造

グラウンドアンカー工は、地盤に引張力を伝達させるアンカーと構造物によって構成される。

〔解説〕

- 1 グラウンドアンカー工は、作用する引張力を想定される地盤に伝達させるもので、グラウト注入によって作られるアンカー体、引張部、アンカー頭部から構成される。
 - (1) アンカー体：引張部からの引張力を地盤との摩擦抵抗又は支圧抵抗によって地盤へ伝達する抵抗部分
 - (2) 引張部：アンカー頭部からの引張力をアンカー体に伝達する部分
 - (3) アンカー頭部：構造物からの力を引張力として引張部に伝達させるための部分

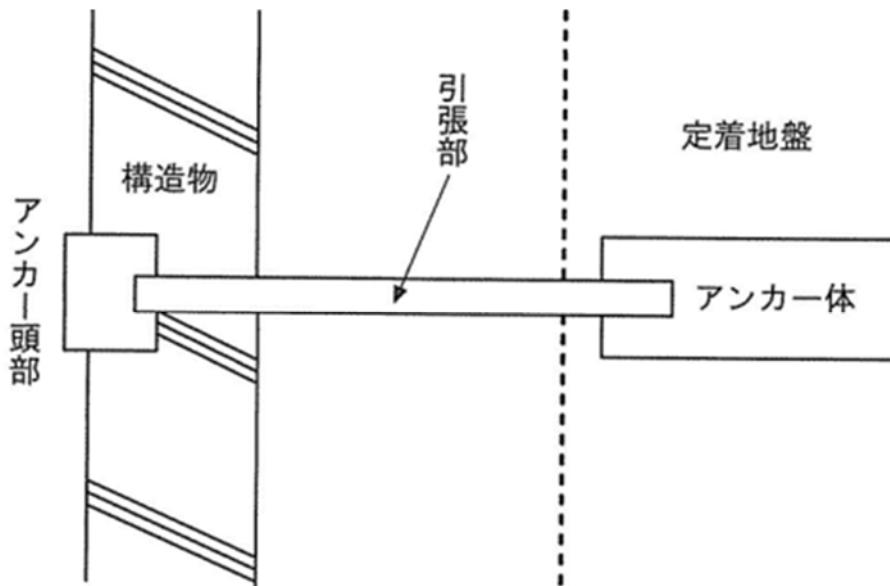
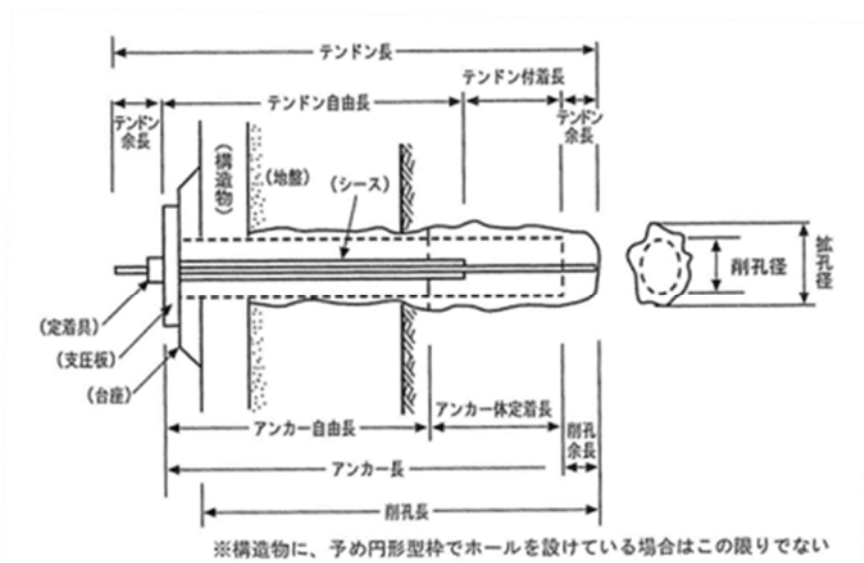


図-20 グラウンドアンカーの基本構造

- 2 グラウンドアンカー工は、引張力に抵抗できる受圧板、のり砕工、土留工等の構造物とアンカーを組み合わせる。傾斜が急な山腹斜面の崩壊防止を目的とする場合は、面的な抑止が可能なのり砕工と組み合わせる用いることが多い。
- 3 グラウンドアンカー工は、ボーリング機械等を使用して安定した定着地盤まで削孔した後、鋼棒、鋼線からなる引張材（テンドン）と定着体を挿入し、セメントペーストなどの注入材（グラウト）を注入してアンカー体を構築する。
 また、アンカー頭部において、定着具を用いて引張材を構造物に固定する。
 なお、アンカー体を構築した後、防食及びゆるみ防止のために引張部にも注入材を充填注入するが、引張材が地山に定着しない構造とする。
- 4 グラウンドアンカー工は、恒久的に斜面及び構造物の安定を図るものであり（永久アンカー）、原則として、引張材等が劣化しないように、防食及び防錆処理を行うとともに、維持管理を考慮して再緊張可能な構造とする。



※構造物に、予め円形型枠でホールを設けている場合はこの限りでない

図-21 グラウンドアンカー工の基本構造

[参考] グラウンドアンカーの基準

グラウンドアンカー工の種類や材料等に関する詳細については地盤工学会「グラウンドアンカー設計・施工基準」及び「同解説」に準ずるものとする。

3-8-3 グラウンドアンカー工の配置、打設角度

グラウンドアンカー工は、目的に応じて、最も効果的な配置、打設角度を選定するものとする。

[解説]

- 1 斜面崩壊防止を目的とする場合は、原則としてグラウンドアンカーの打設角度を想定すべり面に対しておおむね垂直とし、等間隔となるように配列する。また、グラウンドアンカーの緊張力は、原則として設計アンカー力と同等とする。
- 2 グラウンドアンカーの効果には、次の2つがある。崩壊の危険性の高い斜面においては、一般に急勾配であることから、締め付け効果を期待することが多い。
また、地すべりに対しては、引き止め効果を期待することが多い。
 - (1) 締め付け効果：グラウンドアンカーの締め付けにより、すべり面における垂直応力を増加させて、せん断抵抗力を増大させる効果
 - (2) 引き止め効果：グラウンドアンカーの引張力により、崩落する土塊の滑動力に対抗する効果

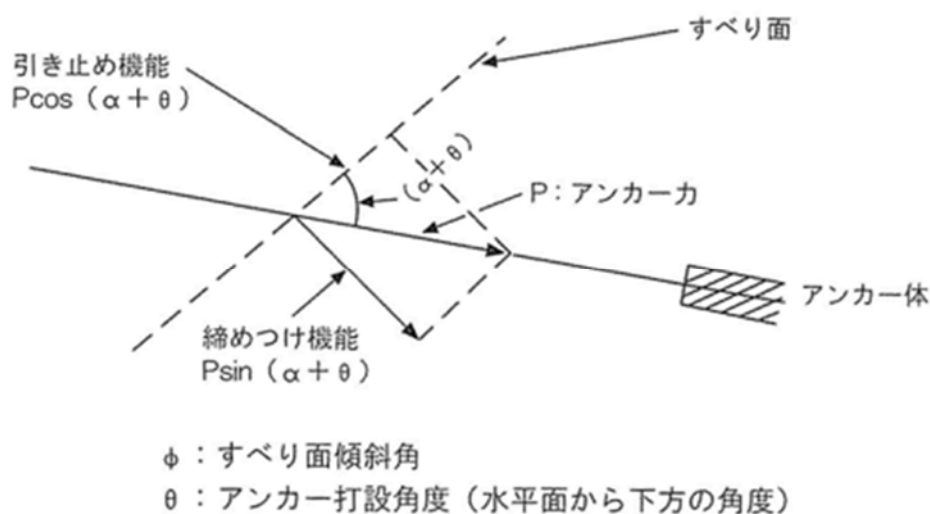


図-22 締め付け効果と引き止め効果

- 3 グラウンドアンカーを密に設置するとアンカーの効果が低下することがある（グループ効果）ので、アンカー体の設置間隔は、アンカー体の直径の4倍以上とすることが望ましい。
- 4 グラウンドアンカーに引き止め効果を期待する場合は、第4編第4章第4節「アンカー工」を参照する。

3-8-4 グラウンドアンカー工の安定性の検討

グラウンドアンカー工の計画に当たっては、想定される荷重に対する各部材、構造物の安定性を検討しなければならない。

[解説]

- 1 グラウンドアンカー工の計画に当たっては、斜面安定解析から求めた抑止力によって、アンカー体、引張材、構造物等の安定性を検討しなければならない。
- 2 グラウンドアンカー工の安定性については、アンカー体の定着する地盤の良否が重要なことから、地質調査、試験等を実施して十分に検討する。また、施工時においても、設計条件に合致するかどうかを引抜き試験等によって確認する。
- 3 グラウンドアンカーの長さは、経験的に、アンカー自由長が4 m以上、アンカー体定着長が3～10mを標準とする。

3-9 補強土工

補強土工は、土中に補強材を挿入して、地山斜面の安定性を向上させることを目的とする。

[解説]

- 1 補強土工は、自然斜面等にロックボルト等の補強材を挿入して、斜面の安定性を向上させる工法（鉄筋挿入工法）である。
- 2 補強土工（鉄筋挿入工法）は、補強材（頭部を含む）が、斜面の変形に伴って受動的に引張り、せん断、曲げ等の抵抗力を発揮し、地盤の変形を拘束することにより、地山斜面の安定性を向上させる工法である。そのため、非常に小さな変形しか許容されない場合には適用が難しいことから、現地の状況、保全対象との関連を十分検討する必要がある。

[参考] 補強土工の種類

補強土工には、補強材の頭部をワイヤロープ等で連結し、固定工と組み合わせて樹木の伐採を最小限に押さえつつ、落石も含めた斜面安定図る種類やのり砕工等と組み合わせて用いる種類がある。

さらに、のり面全体を高強度の金網で覆い、土塊・転石の抜け落ちを防止するタイプのももある。

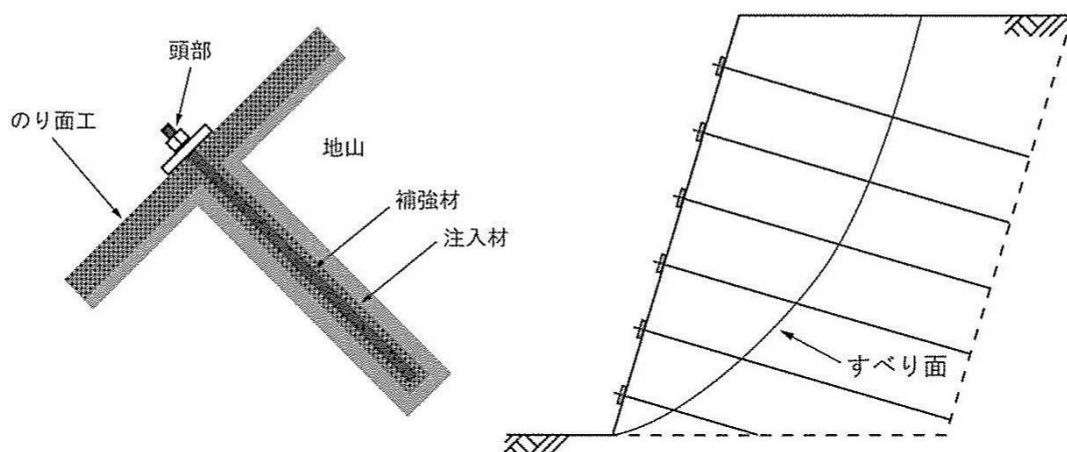


図-23 補強土工の例

[参考] 補強土工の設計

比較的すべり面が浅い斜面に対する補強土工の効果は、経験的にその効果が確認されており、複数の工法が提案されているが、統一的な設計方法は確立されていない。

主として引張抵抗力を期待する補強材（ロックボルト）を用いる補強土工は、補強材の

長さが一般的に2 m～5 m程度であるものが多く、安定計算はグラウンドアンカー工に準じて行われることが多いが、グラウンドアンカー工とは異なり、設計上において緊張力を考慮しない。

[参考] 地震対策としての補強土工

極めて大きな地震動を受けた際に、多少の斜面の変形は許すものの、表層崩壊に至らないことを目標とした補強土工も開発されている。

[参考] ロックボルト

ロックボルトとは、トンネル掘削や岩盤切取に際して、岩盤の崩落を防ぐための支保に用いられる鋼製ロッドである。ロックボルトを用いた補強土工は、地山斜面に掘削した孔内にロックボルトを挿入し、グラウト注入、ナット締付けにより地山とロックボルトを一体化させて地山の変形を拘束することにより地山斜面の崩壊を防止する。大きな抑止力を期待してアンカー体に緊張力をかけることを前提としたグラウンドアンカーとは異なって、一般には緊張力をかけない構造となっており、グラウト注入は、挿入されたロックボルトの全面が定着するように行われる。

なお、軟弱な地盤にも対応できるように、削孔機械のロッドを兼ねた自穿孔型のロックボルトも開発されるなど、近年は、土砂斜面の補強を行う鉄筋挿入工法として用いられるようになってきた。

3-10 張工

3-10-1 張工の目的

張工は、コンクリート等により斜面を被覆し、斜面の風化及び侵食、小規模な崩壊等を防止することを目的とする。

[解説]

- 1 張工は、亀裂の多い岩盤や著しく脆弱な地層等が露出した斜面において安定した植生の成立が困難な場合に、斜面の岩盤や地層等の風化、侵食及び軽微な剥離、小規模な崩壊等を防止することを目的として、コンクリート、石材等によって斜面の岩盤や地層等を被覆する工法である。
- 2 張工は、植生の導入を行わない工法であるため、施工範囲をなるべく限定的な区域に止める必要がある。

3-10-2 張工の種別

張工の種別は、目的、現地の状況等を考慮して、最も適切な種別を選定するものとする。

[解説]

張工の標準的な種別は、空張工、練張工、コンクリートブロック張工、コンクリート張工、鉄筋コンクリート張工で、その内容は以下のとおりである。

1 空張工

湧水等により斜面の表土が侵食されるおそれがある場合等で、斜面勾配が緩く、かつ、斜面長も短く高さも低い場合に計画する。

直高は、原則として3 m以下とする。

2 練張工、コンクリートブロック張工

崩壊が発生するおそれのある斜面勾配が1 : 1.0 より緩い斜面に計画する。

直高は、原則として5 m以内とする。

3 コンクリート張工、鉄筋コンクリート張工

急斜面で亀裂や節理の多い岩盤において、崩落等を防止する必要がある場合に岩盤に直接コンクリートを打設するものである。

斜面勾配が1：1.0程度であればコンクリート張工、1：0.5程度であれば鉄筋コンクリート張工を計画する。

直高は、原則として20m程度とする。また、多段の場合は1段の高さを15m以下とし、1m程度の幅の小段を設けて次の段を張ることとする。

なお、直高が5m以上の場合には適切な基礎工を設けることとする。

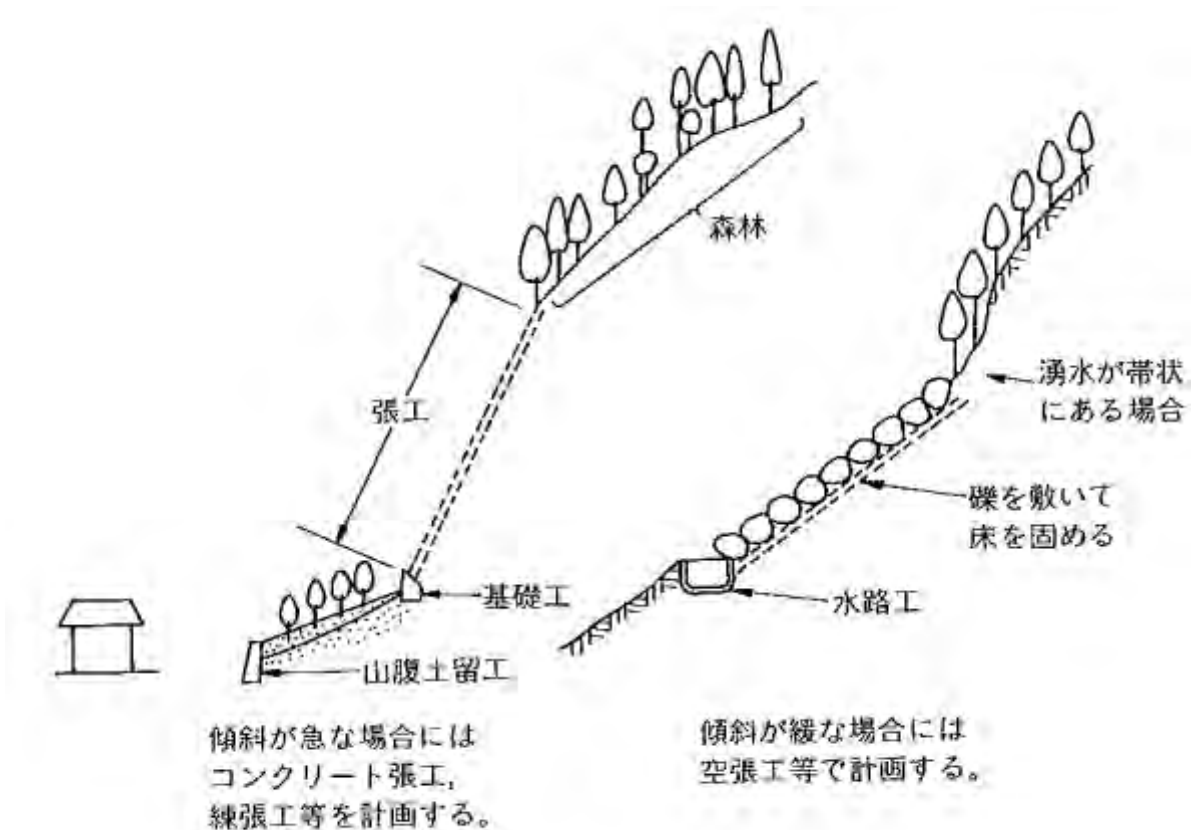


図-24 張石の例

3-11 モルタル（コンクリート）吹付工

3-11-1 モルタル（コンクリート）吹付工の目的

モルタル（コンクリート）吹付工は、吹付モルタル又は吹付コンクリートで斜面を被覆して、斜面の風化及び侵食の防止を図ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 モルタル（コンクリート）吹付工は、亀裂の多い岩盤や転石層等が露出した斜面において安定した植生の成立が困難な場合に、岩盤の風化及び転石層等の侵食の防止を図ることを目的とする。
- 2 モルタル（コンクリート）吹付工は、吹付機械を利用して、斜面に一定の厚さにモルタル又はコンクリートを吹付けるものである。
- 3 モルタル（コンクリート）吹付工は、植生の導入を行わない工法であるため、施工範囲をなるべく限定的な区域に止める必要がある。

[参考] 特殊配合モルタル吹付工

特殊配合モルタル吹付工は、急傾斜の破碎岩地帯や、風化・亀裂の発達した脆弱な露岩斜面に、金網や植物繊維を張り特殊配合モルタルを吹き付け、斜面保護と併せて緑化を期待する吹き付け工法である。

3-11-2 モルタル（コンクリート）吹付工の構造

- 1 モルタル（コンクリート）吹付工は、金網等を伏せて吹付モルタル又は吹付コンクリートの固定を図るものとする。
- 2 モルタル（コンクリート）吹付工の吹付厚は、岩質や転石層等の状態及び気候条件を考慮して決定するものとする。
- 3 モルタル（コンクリート）吹付工は、背面の滞水等により崩落しないように適切な処理を行う。

[解説]

- 1 モルタル（コンクリート）吹付工の対象となる斜面の状態は、一般に全体が均一ではなく、風化の著しい部分や土砂の部分等が介在しているので、気温の変化によって膨張・収縮等を生ずることが多い。このため、吹付層の中間付近にワイヤーラス、ワイヤーメッシュ等の補強金網の張付けを行うものとする。特に急斜面の場合は、斜面上部等にアンカーを設置してその滑落を防止する。
また、補強金網は、地山の凸凹に沿うよう、アンカーピン等により所定の位置に固定する。
- 2 モルタル（コンクリート）吹付工の吹付厚は、岩質及び気候条件、特に寒暖の差及び凍上の程度に主眼をおいて決定する必要がある。モルタル吹付の厚さは、5～10cmを標準とし、凍結融解を繰り返さぬ箇所では10cm以上とする。
また、コンクリートの吹付の厚さは、5～20cmを標準とし、凍結融解を繰り返さぬ箇所では20cm以上とする。
- 3 モルタル（コンクリート）吹付工は、斜面全体を一定の厚さに被覆するため、その背面には滞水が生じて、吹付工が崩落等を引き起こす危険性がある。このため、滞水を速やかに排水するように口径50～100mmの水抜きを吹付面積2㎡ごとに1箇所以上設けることを標準とする。
- 4 施工地内又はその上部に湧水等がある場合は、浸透水によって崩落等を引き起こさないように、水路工、暗きょ工等によって、湧水等を安全な方向に誘導しなければならない。

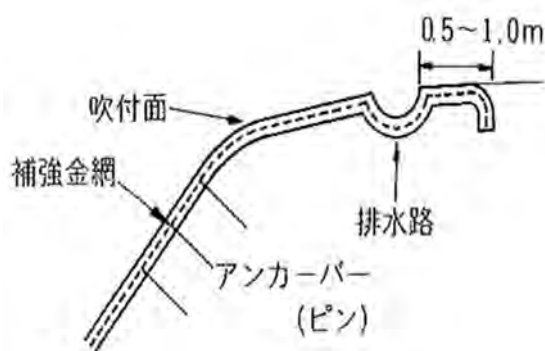


図-25 のり肩の処理

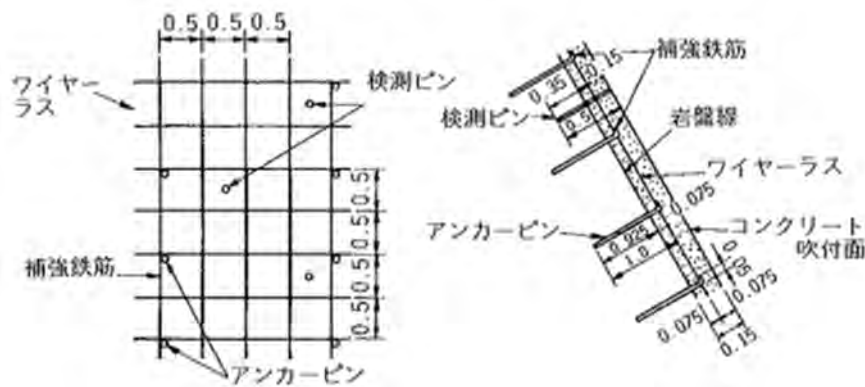


図-26 コンクリート吹付工の例

第4節 山腹緑化工

4-1 山腹緑化工の目的

山腹緑化工は、斜面の植生を回復させ、植生による被覆効果及び根系の緊縛効果により斜面の安定を図ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 山腹緑化工は、植生の生育基盤を造成又は改善する緑化基礎工と、植生を導入する植生工（実播工・植栽工）に分けられる。
- 2 山腹緑化工は、原則として、安定した森林の復元を目標とすることから、のり切工、土留工、埋設工、水路工、暗きょ工等の山腹基礎工を効果的に配置して斜面の安定を確保した後、柵工、筋工、伏工等の緑化基礎工によって環境を整備するとともに、草本類の導入により表面侵食を防止し、植栽工により木本類を導入して、木本類で被覆された森林を造成する。
- 3 保全対象に近接しており、斜面の安定確保を優先しなければならない箇所等においては、のり切工、土留工、のり砕工、グラウンドアンカー工等の山腹基礎工を主体として配置するが、できるだけ山腹緑化工を組み合わせることで草本類、木本類の導入を図ることを検討する。
- 4 山腹緑化工を行う場合は、在来緑化植物材料を使用するなど当該地域における生物多様性保全に十分配慮することが望ましい。また、外来緑化植物を使用する場合は、周辺の生態系保全等に配慮して、自然植生の回復が図られるよう植生遷移を踏まえた適切な利用・管理を行うことが望ましい。
- 5 自然公園特別地域等の生物多様性保全上重要な地域において山腹緑化工を行う場合は、特に保全すべき希少種等の生育環境の保全に配慮した緑化植物の選定を図るとともに、適切な管理を実施することが望ましい。また、当該地域において災害時等の緊急的な措置として外来緑化植物を使用する場合は、使用後等において生物多様性保全に十分配慮した対策を行うことが望ましい。

4-2 緑化基礎工

4-2-1 緑化基礎工の目的

山緑化基礎工は、植生の生育環境を整えることを目的とする。

[解説]

- 1 緑化基礎工は、植生の生存基盤の造成又は改善を目的とする、柵工、筋工、伏工、軽量のり枠工等の工種からなる。
- 2 緑化基礎工には、①柵工、筋工等のように等高線状に配して流下水を分散させる線的な配置のものと、②伏工等のように面的に被覆して表面侵食の防止を図る面的な配置のものがある。
- 3 緑化基礎工は、表面侵食を防止するだけでなく、植生の導入を前提とした工種・工法で、次のような特徴がある。
 - (1) 柵工は、斜面に堆積した崩土の固定等を行い、苗木植栽の場を確保する。
 - (2) 筋工は、地表侵食を防止するとともに、植生の早期導入のため生育環境の改善を期待する。
 - (3) 伏工は、実播工と組み合わせて草本を導入し、植生遷移により木本類による被覆を期待する。
- 4 緑化基礎工は、特殊な条件の箇所を除き、木本類の導入を図るため、植生工と組み合わせるものとする。

4-2-2 柵工

4-2-2-1 柵工の目的

柵工は、斜面表土の流亡等を防止するとともに、植栽木に良好な生育条件を造成することを目的とする。

[解説]

- 1 柵工は、堆積土砂や侵食を受けやすい地山等において、土砂の流出やガリーの発達を防止する等、簡易な土留工的な手法や整地した斜面に植栽の場を設ける手段として用いる。後者の場合は、斜面に階段を切り付けてその前面に柵工を設置するものと、階段を切らずに柵工を設置するものがある。いずれも柵の背面に埋め土をすることが必要であり、それによって植栽木の定着・生育に良好な環境の場所を階段状・ベルト状に造成する。
- 2 柵工に使用する抗や壁材に木質材料を使用した場合は、腐朽が早いので、植生の生立によって背面の埋め土を固定する必要がある。すなわち、階段や壁材の間にヤナギのさし穂、カヤ株等を植え付けるか、早期に発芽・生育する種類の種子を実播することが必要である。

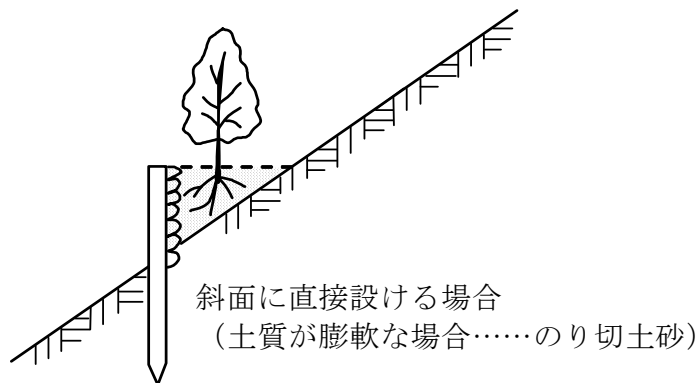
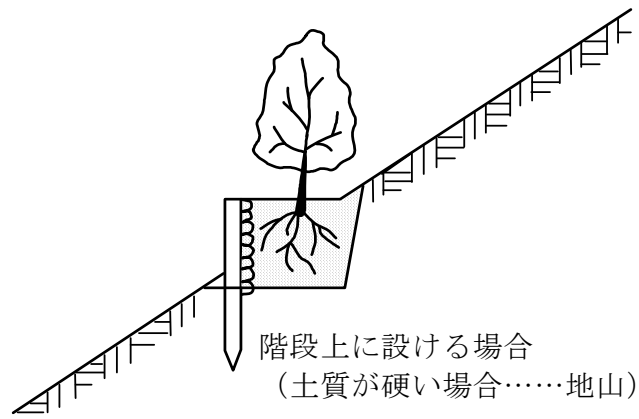


図-27 柵工構造図

4-2-2-2 柵工の種別

柵工の種別は、現地の条件、期待する機能等を考慮して、最も適切な種別を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 柵工は、現地の地形、土壌、気象等の諸条件、期待する機能、周囲の環境との調和等を十分検討して、最も適切な種別を選定しなければならない。
- 2 柵工は、壁材に使用する資材によって、木柵工、編柵工、コンクリート板又は鋼材等の二次製品を利用した柵工に区分する。

表－４ 柵工の種別

細 別	材 料	適用の範囲	特徴等	
木 柵 工	板、丸太、木杭	斜面勾配が緩で、すみやかに植生で土壌が固定できる場合	杭材、壁材は、腐朽して地山に還る	
編 柵 工	帯梢、木杭	斜面勾配が緩で、すみやかに植生で土壌が固定できる場合	杭材、壁材は、腐朽して地山に還る	
2 次 製 品 を 用 い た 柵 工	コンクリート板柵工	コンクリート板、H形鋼	植生の生立による背面土の固定に比較的長期を要する場合	
	合成樹脂柵工	合成樹脂網、木杭、角材、鋼材	すみやかに植生で、土壌が固定できる場合、埋設編柵が必要な場合	
	金 網 柵 工	鉄線ネット、木杭、特殊鋼線フレーム	植生の生立による背面土の固定に比較的長期を要する場合	強度は低く、衝撃に弱い
	鋼 板 柵 工	鋼板、鋼管	すみやかに植生で、土壌が固定できる場合	透水性に欠け、衝撃に弱い
	エキスパンドメタル柵工	エキスパンドメタル、H形鋼	植生の生立による背面土の固定に比較的長期を要する場合	強度及び耐久性に優れる
鋼 製 枠 柵 工	平鋼材フレーム、合成網	植生の生立による背面土の固定に比較的長期を要する場合	杭を使用しない	

編柵工は、現地材料を利用するもので、治山工事において従来から用いられている。しかし、近年においては、労務不足、省力化、帯梢等の材料の入手難等から、木柵工、二次製品を用いた柵工が多用されるようになってきている。

二次製品を用いた柵工は、強度、耐久性、客土効果、それ自体で縁化が可能なものなど、その種別によって様々な特徴を持ち、施工性、経済性にも幅がある。

4－2－3 筋工

4－2－3－1 筋工の目的

筋工は、斜面の雨水の分散を図り、地表侵食を防止するとともに、植生の早期導入のため生育環境の改善を図ることを目的とする。

〔解説〕

筋工は、水平方向の階段を設けることによって、斜面に降る雨水の分散を図るとともに、植栽木等の生育に好適な環境を整備することを目的として設ける。

4－2－3－2 筋工の種別

筋工の種別は、現地の条件、期待する機能等を考慮して、最も適切な種別を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 筋工を用いる場合には、現地の地形、土壌、気象等の諸条件、期待する機能、施工性、周囲の環境との調和等を十分検討して、最も適切な種別を選定しなければならない

い。

2 筋工の種別は、石筋工、そだ筋工、積苗工、丸太筋工、萱筋工、芝筋工、二次製品を用いた筋工等とし、以下のように整理される。

(1) そだ束や石材等を積んだ施設の背後に埋め土して苗木植栽の場(鉢)をつくる形状のもの。

・石筋工、そだ筋工、積苗工

(2) 階段又は溝を切り付けた部分に、カヤ株、切芝等の自然材料を植え付けるもの。

・萱筋工、芝筋工

(3) 階段又は溝を切り付けた部分に、種子等を含む緑化資材を装着するもの。

・二次製品を用いた筋工

3 二次製品を用いた筋工は、①客土効果を主眼としたもの、②播種の省力化に主眼をおいたものがある。特に、土壌条件の不良な個所に対しては、植生袋、土のう等の客土効果が期待されるものを選定する。

4 筋工として種子等を利用する場合には、4-3-2「実播工」に準じて、種子の種類、配合等について十分検討して選定するものとする。また、冬期における斜面の凍上や、風衝地帯における風食等の気象害に対しては、原則として、施工後の生育期間が十分となるように適期に施工するものとするが、必要に応じて、伏工の併用など保護対策を検討する。

表-5 筋工の種別

細 別	材 料	適 用 範 囲
石 筋 工	石	石礫、湧水があり、他の工種では不適當な箇所、石礫の整理が必要な箇所
そ だ 筋 工	そだ	そだ筋背面の埋め土や挟み土に良好な土壌が使用でき、そだの採取が容易な箇所
積 苗 工	切芝	寡雨地帯、はげ山地帯、シラス地帯
丸 太 筋 工	丸太	地盤が軟弱な箇所、丸太及び埋め土等に適した土壌が容易に人手でできる場合
萱 筋 工	カヤ	斜面の傾斜が急で、広い階段の切り付けが困難な場合
芝 筋 工	切芝	周辺部から降雨水が流入し易く、他の筋工では、斜面のガリーの発生を防止できない場合
二 次 製 品	植生袋 ほか	土壌条件の悪い箇所、基盤層が露出したり土壌の理化学性が悪い堆積土層等、他の筋工等では緑化が困難又は不適切な箇所など

4-2-4 伏工

4-2-4-1 伏工の目的

伏工は、降雨、凍上等による表土の侵食を防止し、植生の早期導入のため種子の発芽・生育環境の改善を図ることを目的とする。

[解説]

伏工は、粗しょうな土質の斜面又は急傾斜地を自然・人工資材により覆うことによって、降雨、凍上等による表面侵食の防止を図るとともに、種子や肥料等の流亡防止、保湿・保温効果により種子等の発芽・生育環境を整えるために設けるものである。

4-2-4-2 伏工の種別

伏工は、現地の条件、期待する機能等を考慮して、最も適切な種別を選定するものとする。

[解説]

- 1 伏工は、現地の地形、土壌、気象等の諸条件、期待する機能、施工性、周囲の環境との調和等を十分検討して、最も適切な種別を選定しなければならない。
- 2 伏工の種別は、そだ、むしろ、わら、二次製品等とする。二次製品を利用した伏工は、種類が多く次のように大別できる。
 - (1) 植生シート伏工：種子、肥料が付着した植生シート（不織布、化繊ネット等）を、地表に密着させながら伏せていく工法である。むしろ伏工又はわら伏工に類似して比較的條件の良いところに用いる。
 - (2) 植生マット伏工：種子、肥料、保水材及び有機質資材を装着した植生マットを、アンカーピン等で地表に留めつつ伏せていく工法である。植生シートより厚く強度も強いので、保湿効果や侵食防止効果が大きいため、比較的條件の悪いところに用いる。
 - (3) 自然侵入促進型
植生マット工：生態系保全の観点から、施工地近傍に自生している植物の種子を捕捉する工法である。植生の成立に長期間を要する等の短所もあり、その使用には現地の状況（崩壊規模、緊急性等）を考慮する必要がある。
- 3 伏工として種子が付着した資材を使用する場合には、4-3-2「実播工」に準じて、種子の種類、配合等について十分検討して選択するものとする。
- 4 種子が付着した資材を使用する際には、確実に種子を接地させることが必要である。特に、不規則な地形や石礫が多い箇所では配慮が必要である。

表-6 伏工の種別

細別	材料	適用箇所
そだ伏工	そだ	凍上等による階段間斜面の侵食や崩落を防止する必要がある場合で、使用資材の入手が容易で、かつ、止め抗等が打ち込みやすい箇所
むしろ伏工	むしろ	凍上等が著しい斜面、寡雨乾燥地帯、表土が軽くて荒地地帯
わら伏工	わら	斜面が比較的緩やかな寡雨地帯、表土が軽くて荒地地帯
二次製品	むしろ、化学繊維類等のシート、マット	材料の特性に合わせて適用する。

[参考]

表-6の二次製品について、材料によっては現地の地形や土壌になじみ難いもの、保温・保湿効果がほとんどないもの等があるので注意を要する。

4-2-5 軽量のり砕工

4-2-5-1 軽量のり砕工の目的

軽量のり砕工は、雨水の分散を図り、表土の侵食を防止し、植生の早期導入のため生育環境の改善を図ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 軽量のり砕工は、切取斜面又は盛土斜面など整形された斜面に対して、表面侵食、風化を防止し、緑化を容易にするために設置するもので、土圧のかからない場合に用いる。
なお、砕が斜面を滑落しないように、必要に応じて異形鉄筋のアンカーピンを用いる。
- 2 軽量のり砕工は、簡易な砕工によって雨水の集中流下を防止して、砕内の客土等を保持して緑化を図ることを目的としている。
- 3 軽量のり砕工は、植生工を兼ねて張芝等を砕内に設置することにより、早期の緑化を図ることができる。また、実播工と併用して用いられることがある。

4-2-5-2 軽量のり砕工の種別

軽量のり砕工は、現地の条件、期待する機能等を考慮して、最も適切な種別を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 軽量のり砕工は、現地の地形、土壌、気象等の諸条件、併用工種、施工性、耐久性等、周囲の環境との調和等を十分検討して、最も適切な種別を選定しなければならない。
- 2 木製軽量のり砕工は、横方向の丸太が地面に接して、丸太筋工の効果を発揮しており、縦丸太は横丸太の支保材となる。間伐材の利用促進のために使用されることが多くなった工法の一つである。
- 3 プレキャスト軽量のり砕工は、二次製品の軽量のり砕を現地で敷設し組み立てるものであり、勾配が1:1.0より緩く、比較的平滑な斜面に施工される。
なお、二次製品には、金属、木材、合成樹脂材等を用い様々な形状をしたものがあるので、現地条件に応じて適切なものを選定する。

4-3 植生工

4-3-1 植生工の目的

植生工は、山腹基礎工及び緑化基礎工によって安定した斜面に植生を導入することを目的とする。

〔解説〕

植生工は、山腹基礎工及び緑化基礎工の実施後に植生を導入し、植生の被覆による侵食防止効果及び根系の緊縛効果により斜面の安定を図るものとする。

4-3-2 実播工

4-3-2-1 実播工の目的

実播工は、播種によって早期に緑化を図ることを目的とする。

〔解説〕

- 1 実播工は、草本類、木本類の種子を斜面に直接播種して緑化を図る工法である。
一般には、早期の緑化による表面侵食防止効果等を期待して、主として、草本類の導入に用いられる。
- 2 実播工は、緑化材料の運搬・設置の手間が省ける等、施工が容易で大面積を短時間に施工できる。しかし、実生による植物は、発芽期や幼苗期において環境条件に対する適応力が弱いものがあるため、施工地の環境条件を十分に把握する必要がある。

3 実播工として導入した木本類は、一般的に、成長したときに苗木植栽（植栽工）に比べて根張りが広く土壌の緊縛効果が高いとされるが、草本類に比べて発芽初期の成長が遅いために、早期の表面侵食防止効果は期待できない。

このため、実播工による木本類の導入に当たっては、草本類の種子との混合により草本類による表面侵食防止効果の発揮と併せて行うことが望ましいが、草本類と木本類の成長速度には差があることから、草本類の成長が木本類の成長の支障とならないよう種子の混合割合を検討する必要がある。

なお、草本類と木本類の種子の適度な混合割合が定められない場合及び木本類の植栽後において草本類の成長に対する適切な管理が行える場合は、草本類の導入による表面侵食防止が図られた後に、苗木植栽（植生工）として木本類の導入を行う。

4 実播工の設計に当たっては、その目的に応じて、下記の事項について十分検討する必要がある。

- (1) 播種する種子の種類及び組み合わせ
- (2) 播種の比率
- (3) 播種量
- (4) 播種時期
- (5) 獣害防除

4-3-2-2 実播工の種別

実播工は、地形、土質条件、施工規模、施工条件及び緑化基礎工との関係などを考慮して、最も適切な種別を選定するものとする。

〔解説〕

実播工は、播種形態及び施工形態によって、次のように分類できる。

- 1 斜面実播工……①人力によって、種子と肥土等の緑化資材を面状に播くもの。
②溝を切った部分に土と肥料を入れ、その上に種子を播くもの。
③種子と肥土を混合したものを溝を切って播くもの。
- 2 航空実播工……ヘリコプター等の航空機によって、種子と肥土等の緑化資材を面状に播くもの。
- 3 機械吹付工……吹付機械によって、種子、肥料、接着材等を吹き付けるもの。

4-3-2-3 斜面実播工

斜面実播工は、傾斜が緩やかで、湿潤な土砂の堆積地等土壌条件が良好な箇所に計画するものとする。

〔解説〕

- 1 斜面実播工は、種子、肥料、土を混合して散布するものと、これに水を加えて液状にして播くものとする。したがって、急傾斜地や土層の堅い箇所では斜面に定着し難く、種子の発芽、成長にも多くを期待できない。一般には、緩傾斜で土壌の良好な箇所に計画するが、傾斜が急な場合等、種子の流亡・飛散のおそれがある箇所では、水の他に展着材等を加え、種子等の確実な定着を図る必要がある。
- 2 斜面実播工は、溝を掘って基肥を置き覆土して、その上に種子を播き付ける工法である。種子の発芽、生育するための土壌条件等が良好であり、降雨による流亡・飛散のおそれのない箇所でなければならぬので、一般に比較的傾斜の緩い堆積土砂の斜面に計画するものとする。
- 3 階段間斜面に筋実播工を計画する場合には、十分に深い溝を切り付けて播種床をつくっ

て播種し、種子が流亡しないように被覆工等を併用しなければならない。(図-28 参照)

- 4 草本類と木本類を混合して播く場合には、木本類が草本類に被圧されないよう適度な混合率とする必要があるが、適度な混合率が定められない場合には、それぞれ別途の筋実播工とするか、草本類が繁茂しても被圧されない程度の距離において木本類の種子を播く等、使用する種子の種類を考慮して決定しなければならない。



図-28 筋実播工

4-3-2-4 航空実播工

航空実播工は、大面積又は散在的に発生した崩壊地を応急又は緊急に緑化する必要がある場合、資材運搬手段が困難な場合等に航空機を使用することが最も合理的な場合に計画するものとする。

[解説]

- 1 航空実播工は、ヘリコプター等の航空機で種子と肥土等の緑化資材を面状に播く工法である。
- 2 植生の定着を促すために、可能な限り山腹基礎工、溝切り等の緑化基礎工を併用するものとする。

4-3-2-5 機械吹付工

機械吹付工は、土壌条件の悪い急傾斜地の場合、大面積に早期全面緑化を図る必要がある場合等に計画するものとする。

[解説]

- 1 機械吹付工は、ポンプ式吹付機又はモルタル吹付機を用いて、必要に応じて金網等を張った斜面に、種子、肥料、基材、侵食防止材等を混合して吹き付ける工法である。
- 2 機械吹付工は、機械化により省力化が図られること、急斜面でも施工性が高く大面積の急速施工が可能なこと、土壌条件の悪い箇所にも生育基盤の造成・改良が可能であること等の特徴がある。このため、機械吹付工は、土壌条件、地形条件等から他の工法では緑化が困難である場合、大面積を経済的に緑化する場合等に用いられる。高木となる木本類は、生育基盤が薄いこと、金網等により根系の生育に影響を受けるおそれがあることから、一般的には用いない。
- 3 機械吹付工の細別は、次のとおりである。目的とする緑化が十分に達成できる必要最小限度のものを選択する。

(1) 種子吹付工

比較的条件の良い斜面に、ポンプ式吹付機を用いて、種子、肥料、養生材等を吹き付ける工法である。土、有機質資材等の基材を用いない。

(2) 客土吹付工（吹付厚 1～3 cm 程度）

土を主体とした基材に、ポンプ式吹付機を用いて、種子、肥料等を混合して吹き付ける工法である。比較的良好な生育基盤を造成できる。土壌のない箇所に用いる。

(3) 植生基材吹付工（吹付厚 3～10cm 程度）

急斜面における生育基盤の造成を主目的として開発された工法である。モルタル吹付機を用いて、土及び有機質資材を基材として使用し、種子、肥料等を混合して吹き付ける工法である。侵食防止材として、セメント、高分子系樹脂等を利用する。硬質な土砂斜面や破砕の進んだ岩盤斜面に用いる。

4 客土吹付工及び植生基材吹付工においては、生育基盤を移動させないため、補助的な基礎工として、金網・ネットを地山に張る。

5 湧水が多いところについては、水抜パイプ又は集水マットを設け、湧水処理を確実にを行う必要がある。

[参考] 養生材

吹付工を計画する場合には、現地の条件、施工時期等により、必要に応じて養生材の吹付を併せて計画し、乾燥害等を防止するものとする。

また、厚層基材吹付工にあつては、ラス等によって客土材の固定を図るものとする。

吹付工の養生材は、降雨や強風等による種子・肥料の流亡や種子の乾燥等を防止するために使用する。その効果は種子が発芽し、生育するまでの期間持続する必要がある。また、植生の種類によって発芽・生育の速度は異なる。このため、使用する種子に応じて、必要な効果を持続する養生材を選定しなければならない。

養生材には、地表面に難透水性の被膜を形成するもの、地中に浸透して土粒子を連結して侵食に抵抗するもの、地表面の土の粒子の間隙に充填して固結するものなど、吹付方式によって各種のタイプがあり、それぞれの特質があるので、吹付斜面の土壌条件、施工時期等を考慮して吹付方式を選択するものとする。

一般に養生材は、降雨による表面侵食や風食等に対して効果的であるが、霜柱のように毛細管現象による水の凍結、融解等の防止効果は期待できない。

厚層基材吹付工の対象地が急斜面の場合、生育基盤層が原地盤に沿って滑落するおそれがある。したがって、通常は鉄線や化学繊維等のラスを吹付層のコアーとして斜面に張って固定し、これに客土材を吹き付ける。

また、養生材の効果にも限界があるので、多量の降雨や凍上等の発生が予測される施工地においては、吹き付けた土層面にファイバー類やシート類を伏せ込むことが必要な場合もある。

4-3-2-6 種子の種類及び組み合わせ

実播工に使用する種子の選択及び組み合わせに当たっては、それぞれの植物の特徴を十分把握し、周辺環境を考慮の上、最も適切な組み合わせとなるように決定するものとする。

[解説]

1 種子の組み合わせには、次のものがある。一般に、早期の緑化による表面侵食防止効果を期待することから、草本類を主体とした方式（(1)又は(2)）が用いられる。

(1) 草本類の種子のみを播く方式

(2) 草本類と木本類の種子を混播する方式

(3) 木本類の種子のみを播く方式

2 草本類の種子のみの播種は、早期の面的な緑化によって斜面の侵食を防止することが主な目的であることが多い。木本類の種子のみの播種は、苗木の植栽を行うことが不適当又は困難な場合に、これに代わる手段として用いられる。

ただし、木本類は発芽後の初期成長が遅いため、表面侵食の激しい箇所では流亡するおそれがある。

草本類の種子と木本類の種子の混播は、草本緑化後の植栽が困難な場合に有効な手段である。

しかし、導入種類や混播比率が適切でないと、草本類が繁茂しすぎて木本類が被圧されて発芽・生育しなかったり、草本類が繁茂せずに表面侵食を起こしたりするので、これらの組み合わせを十分考慮しなければならない。

3 実播工に使用する植生は、次の特性を持つものが望ましい。

(1) 草本類

- ① せき悪地や環境条件に対する適応性や抵抗性が大きいもの
- ② 生育初期及び生育後の地表被覆効果が大きいもの
- ③ 成長が早く、よく繁茂し、葉量の多いもの
- ④ 根張りがよく、土壌の緊縛効果のあるもの
- ⑤ 多年生で繁殖力が盛んであり生育の永続性のあるもの
- ⑥ 土壌の改良効果、肥沃化が期待できるもの

(2) 木本類

- ① せき悪地や環境条件に対する適応性や抵抗性が大きいもの
- ② 成長が早く、よく繁茂し、また繁殖力、ぼう芽力などが盛んなもの
- ③ 根張りがよく、土壌の緊縛効果のあるもの
- ④ 葉量が多く、葉に肥料分があるなど、土壌改良効果、肥沃化が期待できるもの

4 山腹工においては、早期の緑化による表面侵食を防止するため、草本類の導入を図るが、一般に、牧草に代表される外来草本類とヨモギ、イタドリ、ススキ等の在来草本類を組み合わせ用いられている。これまでの実績によると、初期には牧草が優先して緑化の成果が高く、5～10年程度で在来草本類が優先するとともに周辺植生の自然侵入も増えて安定した植生に遷移している。

(1) 牧草（主として外来草本類）

立地環境に対する適応性が高く、発芽、初期成長が良いので早期緑化により、表面侵食を防止する機能がある。肥料の要求度が高く、肥料切れにより衰退する。

(2) 在来草本類

安定した群落を形成することが可能であるが、立地環境に対する適応性に偏りが強く、早期緑化が困難な場合がある。

5 山腹工においては、森林を造成して樹木の根系による山腹斜面の安定等を図るため木本類の導入を図る。

木本類の導入は、一般的には植栽工により行われるが、植栽工の実施が困難な箇所や山腹緑化の目的から植栽工によることが非効率である場合には、播種によって行うものとする。

(1) 外来木本類

立地環境に対する適応性が高く、発芽、初期成長が良いが、他の木本類や草本類を被圧して優占する傾向の強い種類がある。

(2) 在来木本類

発芽率や初期成長は外来木本類よりも低位であるが、草木本類や他の木本類と適度

な密度で生育する傾向がある。

在来木本類については、周辺植生からの自然侵入に期待する方法もある。

[参考] 地域固有の植生を重視した緑化工法

- 1 地域固有の植生を重視した緑化工法としては次のものがあるが、実施例が少なく、経済性も考慮しなければならないことから、採用に当たっては十分検討する必要がある。
 - (1) 地域産の種子を利用する方法
採取する母樹等を選定して、種子を採取して用いる方法であるが、大量の種子短期に得ることは困難であり、事前に計画的な準備が必要である。
 - (2) 施工地近隣の森林内の埋土種子を採取して利用する方法
表土の一部を採取することにより、採取地の環境を変化させる場合があるため、十分な配慮が必要である。また、採取地周辺の植生が地域固有の植生であることを確認しておく必要がある。
 - (3) 周辺植生の自然侵入を期待する方法
周辺からの植生の自然侵入が容易に行われる立地条件の箇所に採用する工法で、周辺から自然侵入した植生により山腹斜面の安定が図られるまでの間、山腹斜面の表面侵食を生じさせないように留意する必要があるため、山腹緑化基礎工の適切な設置等と組み合わせて計画する。
- 2 緑化材料としてイネ科植物を使用する場合は、周辺からの侵入植生の定着を図るため緑化目的を達し得る範囲内において、可能な限り、草丈の低い種・品種、種子による繁殖力の小さい種・品種を使用することが望ましい。

4-3-2-7 播種量

実播工の播種量は、発生期待本数によって決定するものとする。
発生期待本数は、施工条件及び立地条件に応じたものでなければならない。

[解説]

- 1 発生期待本数
 - (1) 発生期待本数は、目標とする植物群落を成立させるために必要な発生本数で、播種後1年間程度で発芽する個体の総数である。なお、被圧等によって枯損するおそれのある個体も含む本数である。
 - (2) 発生期待本数は、目標とする植物群落の導入形態、航空実播等の施工形態及び施工地の気候、土壌等の環境条件に加えて、近傍類似の施工実績等を勘案して決定するものとする。
 - (3) 草本類主体の場合は、施工初期における被覆による侵食防止効果を重視し、発芽と初期成長が早い種を主体として高密度な発生期待本数とする場合が多い。
また、木本類を混播した場合は、木本類の成長を促すため、草本類の発生期待本数を少なくする必要がある。
- 2 混播
 - (1) 木本類と草本類の種子を混播する場合は、一般に木本類の初期成長が草本類に比べて遅いことから、木本類が草本類に被圧されるおそれ大きい。このため、草本類の種子の量を減少させることが必要であるが、発芽期の地表被覆量（発芽本数）を極度に低下させることは避けなければならない。経験的に、木本類と草本類の粒数比は1：1～1：2程度が良いとされている。

- (2) 1種類当たりの播種量が全播種量の10%未満であると、その生立・生育が期待できない場合が多いので、10%以上の播種量を確保すべきである。
- (3) 木本類の種子の中には粒径が大きいものがあり、機械による播種の場合に支障が生ずることもある。したがって、植物種の選定に際しては、施工性や経済性についても、併せて検討する必要がある。

3 播種量

- (1) 播種量は、使用種子ごとに、発生期待本数を基にして、施工条件、立地条件、種子の純度や発芽率を考慮して決定する。
- (2) 播種量は、発生期待本数を基に次式により算出し、種子の質量によって表示する。また、必要に応じて、施工条件、立地条件による補正を行う。

$$W = \frac{G}{S \cdot P \cdot B}$$

W：使用種子ごとの播種量（g/m²）

G：発生期待本数（本/m²）

S：使用種子の単位粒数（粒/g）

P：使用種子の純度（%）

B：使用種子の発芽率（%）

(注) 1 発生期待本数は、植物種ごとに設定する。

2 本式の値は補正を行っていないので、区別する場合は「標準播種量」と称する。

[参考] 播種量の補正

播種量は、施工条件、立地条件によって、次の算定式により標準播種量を補正して定めることがある。

$$\text{播種量} = \text{標準播種量} \times (1 \text{ 次補正}) \times (1 \pm 2 \text{ 次補正}) \times (1 \pm 3 \text{ 次補正})$$

1 1次補正

面状、線状、点状等の導入形態の違い（施工対象面積と播種部分面積との比率）によって補正する。

$$1 \text{ 次補正} = \frac{\text{播種部分面積}(\text{m}^2)}{\text{施工対象面積}(\text{m}^2)}$$

2 2次補正

施工形態によって補正する。補正值は表-7を標準とする。

3 3次補正

特殊環境条件によって補正する。補正值は表-8を標準とする。

4 その他施工時期による発芽率の低下、施工時のロス等は別途補正する。

植生基材吹付工においては、一定の厚さの植生基盤を造成するが、この厚さに応じて発芽率が低下するので、補正することが必要である。

なお、補正率の決定に当たっては、周辺から植生が侵入する可能性の有無や2次補正と3次補正が重複しないよう考慮するなどの留意が必要である。

表－7 2次補正の標準値（単位：％）

施工形態	補正值	備 考
発芽率の低下があらかじめ見込まれる工法	+20～50	植生袋など
播種のムラがあらかじめ見込まれる工法	+10～30	航空実播工など
播種部分の面積比が極度に小さく、かつ、種子の散失や流亡が見込まれる工法	+20～50	点播工など
木本類の種子のみを播種する場合	-30～70	実播工など

表－8 3次補正の標準値（単位：％）

特別環境条件	補正值	特別環境条件	補正值
特に礫、岩塊が多い箇所	+20	特に礫、岩塊が少ない箇所	-10
特に土壌硬度の高い箇所	+10		
特にやせ地	+20	特に肥沃地	-30
乾燥地		湿潤地	-20
特に乾燥地	+20		
特に湿潤地	+10		
特に強酸性地	+20		
特に急傾斜地	+20	特に緩傾斜地	-10
不適期施工	+30		

[参考] 使用種子の単位粒数・純度・発芽率

植物の種類ごとに種子の単位粒数・純度・発芽率は異なる。種子の単位粒数・純度・発芽率は、発芽試験、資料等により設定するが、標準値は表－9、10、11のとおりである。

表－9 在来草本類

種 名	発芽率（％）	単位粒数（万粒/kg）
ヨ モ ギ	50～80	高 350～400 治 410
ヤマヨモギ（オオヨモギ）	50～80	高 150～200
オ ト コ ヨ モ ギ	40～70	高 140～180 治 130
イ タ ド リ	20～60	高 50～60 治 54
オ オ イ タ ド リ		高 50～60
カ ヤ（ススキ）	20～70	高 850～870 治 870
イワノガリヤス	40～80	高 350
ノ シ バ	30～80	本田ひとし 1,610～1,850
メ ド ハ ギ	60～80	高 60～70

（注）高は高速道路調査会（1972）、治は治山調査会（林野庁監修 1970）による。

表-10 外来草本類

種名	純度(%)	発芽率(%)	単位粒数 (粒/g)
バ ミ ュ ー ダ グ ラ ス	97	85	3.530
ケンタッキーブルーグラス	85	80	3.850
クリーピングレッドフェスク	96	80	1.130
チューイングフェスク	96	80	1.130
トールフェスク	97	85	440
オーチャードグラス	85	80	1.180
イタリアンライグラス	98	90	490
ペレニアルライグラス	98	90	500
レッドトップ	90	80	11.000
サンドラブグラス	70	65	3.500
チモシー	99	85	2.710
リードキャナリーグラス	96	60	1.200
マウンテンブローム			300 三原進
サブタレニアクローバ	99	90	150
ホワイトクローバ	96	90	1.500
ラジノクローバ			1.800 林業試験場
レッドクローバ			720 林業試験場

(新田伸三、小橋澄治 1968)

表-11 木本植物

種名	発芽率(%)	単位粒数 (万粒/kg)	備考
エニシダ	40~70	9~10	外来
イタチハギ (クロバナエンジュ)	50~90	3~4	〃
マルバハギ	40~80	14~15	在来
ヤマハギ	50~80	15~16	〃
アキグミ	40~60	5~6	〃
オオバヤシャブシ	20~60	70~80	〃
ヤシャブシ (ミネバリ)	30~60	75~80	〃
ヒメヤシャブシ (ハゲシバリ)	20~50	100~110	〃
ヤマハンノキ	40~60	130	〃
ミヤマハンノキ	30~50	70~75	〃
シモツケ	10~20	800~850	〃
ウツギ	10~15	1,500~1,600	〃
タニウツギ	40~70	400~450	〃
オオシマザクラ		森0.79	〃
アカマツ	30~60	10~12	〃
クロマツ	20~50	8~10	〃

(注) 北村文雄、堀江保夫 (1975)、森は森林家必携 (1965) による。

4-3-2-8 播種の時期

実播工は、植生の生育が確保されるように、適切な時期に実施するものとする。

〔解説〕

- 1 実播工の施工時期は、主体となる導入植生の発芽に必要な温度、水分が得られる春期又は秋期が適している。また、夏期や冬期の気象害に耐えられるように生育期間を確保するため、可能な限り早い時期に施工するものとする。
やむを得ず適期より遅い時期に施工する場合は、植生の発芽、生育を確保するため、凍上、乾燥等の気象害に対する保護対策を講じなければならない。
- 2 種子の発芽には、温度、水分が最も重要な要素であるが、種子が発芽して、生育するために必要な温度は植物の種類によって異なる。冬の低温期には、水分を吸収した種子が凍結して発芽障害が起きる。
また、夏の乾燥期には、発芽したばかりの幼苗が枯死する例が多い。春期は、これらの危険の少ない時期であり、発芽後の生育期間が十分あるので、斜面の被覆が確保されやすい。

4-3-3 植栽工

4-3-3-1 植栽工の目的

植栽工は、樹木を植栽して、森林を造成することを目的とするものとする。

〔解説〕

- 1 植栽工は、森林の造成又は復元を図るために、苗木により木本類を導入するものである。荒廃地等は土壌条件が不良であることから、当初は荒地に育つ先駆植物を植栽工によって導入することが多い。このため、森林（二次林）が成立した後にも適切な管理を行い、安定で多様性のある森林へ誘導する必要がある。
- 2 植栽工の計画・実施に当たっては、次の事項について検討する必要がある。
 - (1) 植栽地の土質・土壌の差異等による地区区分
 - (2) 植栽樹種
 - (3) 植栽本数
 - (4) 植栽時期・方法
 - (5) 施肥その他
 - (6) 獣害防除

4-3-3-2 植栽計画

植栽計画は、気象条件、土質・土壌条件等の立地条件に応じて、最も適したものとなるよう作成するものとする。この場合、植栽工の施工によって将来的に造成しようとする森林の姿をあらかじめ目標林型として設定し、当該林型に到達するために必要な樹種、植栽密度、植栽方法等を計画するものとする。

〔解説〕

- 1 植物は気象条件、土質・土壌条件等に強く影響を受けるので、植栽地の立地条件を調査して、植栽計画を作成する。
- 2 崩壊地の場合は、緑化基礎工によって改善される環境は限定的であり、例えば崩壊地の上部と下部、崩壊の深浅、基層の露出程度等によって、土質・土壌条件に大きな差異があるため、画一的な植栽をすると、これらの条件によって植栽の成果に差異が生ずる。
よって、植栽地の気象条件等とともに、土質・土壌条件とその差異を調べて、必要に応

じて植栽地を区分の上、立地条件に適した樹種、植栽本数、植栽方法等を決定する。

- 3 植栽樹種は、主林木と肥料木に区分する。主林木は、将来、高木を形成するものを期待するものとし、肥料木は窒素の固定等により、地力の向上を期待するものをいう。

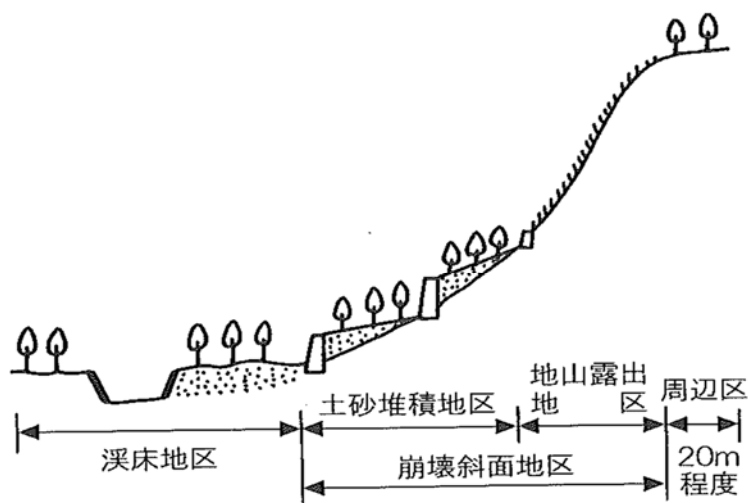


図-29 立地区分模式図

4-3-3-3 植栽時期及び方法

植栽時期は、適期を選択するものとする。

植栽方法は、植栽木が効果的に生育できるように決定するものとする。

〔解説〕

- 1 植栽時期は、苗木の活着及び成長に必要な温度と水分が得られる適切な時期を選択する。
- 2 植栽の対象地は、土質・土壌条件の悪い箇所が多いので、植穴は深く耕耘して土をほぐし、丁寧に植栽する必要がある。植穴の大きさは、苗木が十分に根張り空間を得られる程度とする。
- 3 アカマツ、カラマツ等の主林木とハンノキ、ヤシヤブシ等の肥料木を混植する場合の樹種の配列及び間隔は、原則として主林木を重点に決定する。
これは、長期的な生存を期待しない肥料木等が衰退したときの状態を想定し、保残した主林木が全体的に均整のとれた間隔となるようにするためである。
- 4 ポット苗又はコンテナ苗は、地山露出等の土壌条件がきわめて悪い場合、又は植栽工の不適期にまで植栽時期を拡大する必要がある場合に使用する。
- 5 客土は、植栽穴に良質な土壌を充填して植栽木の活着を確保する方法であり、地山露出等の土壌条件が極めて悪い場合であって、植栽工の適期に植栽しても十分な活着が期待できない箇所において用いる。

4-3-3-4 植栽樹種

植栽樹種は、環境条件に適合し、かつ、防災機能の高い種類を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 植栽樹種は、植栽地の環境条件に適合することが最も重要であり、加えて次の条件を

満たす防災機能に優れている樹種が望ましい。

- (1) 成長力が盛んで、よく繁茂するもの
 - (2) 根張りがよく、土壌の緊縛効果の大きいもの
 - (3) せき悪地、乾燥、寒害、虫害等に対して適応性、抵抗性が大きいもの
 - (4) 土壌改良効果の期待できるもの
- 2 上記条件を満たす治山用樹種として、一般に、次のものが用いられる。
主 林 木…アカマツ、クロマツ、カラマツ、エゾマツ、トドマツ、スギ、ヒノキ、クヌギ、ケヤキ等
肥料木等…ハンノキ、ヤマハンノキ、ヤシャブシ、ヒメヤシャブシ、ヤマモモ、ヤナギ類、イタチハギ (外来種)、グミ類、ウツギ類
- 3 立地条件が良好で確実な生育が見込まれる場合を除き、原則として、複数の樹種を植栽する。
- 4 基層の露出地等では、土壌がほとんどないか、あっても堅硬な未熟土層で、主林木の生育には適していないことから、せき悪地に育つ先駆植物のマツ類、肥料木等を植栽して、土壌条件の改善を期待する。
- 5 植栽樹種の選定に当たっては、4-1「山腹緑化工の目的」の解説4及び5並びに4-3-2-6「種子の種類及び組み合わせ」の参考1を参考の上、生物多様性の保全に配慮する。

[参考] 混植の方法

一般に、乾燥、寒害、虫害等に対応するため、次のように性質の異なった樹種を混植すると効果的である。

- ・ 浅根性のものと深根性のもの
- ・ 肥料木と他の樹種
- ・ 針葉樹と広葉樹
- ・ 高木性のものと低木性のもの

4-3-3-5 植栽本数

植栽本数は、早期に森林の造成が図られるよう、土壌条件、植栽樹種等に応じて決定するものとする。

[解説]

山腹工施工地は、周辺林地よりも土壌条件が悪いことから、土壌条件、植栽樹種等を検討して、早期に気象害等に強い森林となるように、植栽本数を決定するものとする。

4-3-3-6 施肥

施肥は、立地条件、植栽樹種等に応じて、肥料の種類及び量を決定するものとする。

[解説]

- 1 崩壊地等は、一般に樹木の生育に必要な養分が乏しいので、施肥によってこれを補う必要がある。
- 2 肥料の種類及び量は、立地条件、植栽樹種等を考慮して決定する。
- 3 肥料の種類は、原則として遅効性のものを選択し、肥効が持続するような位置に施肥する。治山用樹種の肥料は、次の条件を具備したものが望ましい。
 - (1) 肥効が長期間持続すること
 - (2) 流亡しにくいこと

- (3) 他の成分と結合しにくいこと
- (4) 使用に便利なこと
- 4 植栽後、直に施肥の効果を期待しなければならない場合は、速効性の肥料と遅効性の肥料を適度に混合して用いる。

4-3-4 保育・管理

植生工の施工後は、適切な保育・管理を行うものとする。

〔解説〕

- 1 植生工の実施後は、施工地が早期に安定した森林となるように、植栽木等の適切な保育・管理を行う必要がある。保育の方法等は、第5編「保安林整備」第5章「保育の設計」による。
- 2 植生工により造成された森林は、導入された先駆植物により構成されていることが多い。このため、必要に応じて、自然遷移が進んでいるかどうかについて長期的なモニタリングを行うとともに、適正な保育を行って目標とする林型へ誘導する必要がある。

第5節 落石防止工

5-1 落石予防工

5-1-1 落石予防工の目的

落石予防工は、落下のおそれのある浮石・転石又は亀裂の多い露岩を除去又は固定して、落石の発生を防止することを目的とする。

〔解説〕

- 1 落石予防工は、落石の発生源における対策であり、落下するおそれのある岩石を除去又は固定するものである。落石の原因となる岩石を静止状態で直接抑止するため、効率的かつ信頼性の高い対策である。
- 2 落石予防工は、落下するおそれのある岩石の大きさ、落石の形態、落石の頻度、保全対象等を考慮して、最も適切な工法を選定するものとし、必要に応じて複数の工法を併用する。
- 3 落石予防工は、落石の発生源が広域に及ぶ場合等、落石の完全な抑止が困難な場合もあり、落石の頻度を極力低減させる対策と位置づけて、落石防護工を併用して計画する場合が多い。
- 4 落石の発生源は、一般に、急傾斜で足場が悪く施工時に危険を伴うとともに、施工中においても落石のおそれが大きいため、斜面下部の人家、道路等へ被害を与えないように、仮設網や仮設防護柵等の設置を十分に検討し、工事の実施に伴う災害の発生を防止しなければならない。
- 5 落石のおそれのある斜面は、崩壊のおそれも大きい場合があることから、崩壊の可能性についても検討する必要がある。

5-1-2 切取工

切取工は、落石が発生するおそれのある斜面を浮石・転石を含めて切り取り、斜面を安定化させることによって、落石の発生を予防する場合に計画するものとする。

〔解説〕

- 1 切取工は、斜面を切取ることによって、落下するおそれのある浮石や転石（斜面に埋

まっている転石も含む)を土砂とともに取り除き、浮石や転石が落下石となることを防止するものである。

- 2 斜面の切取勾配や切取土石の安定は、第3節3-2「のり切工」に準ずるが、特に切取による上部地山のゆるみ等を生じさせない計画とするよう留意しなければならない。

5-1-3 除去工

除去工は、斜面にある不安定な浮石・転石を除去又は整理して安定化させることによって、落石の発生を予防する場合に計画するものとする。

〔解説〕

- 1 除去工は、斜面に散在する浮石・転石を小割りにして、斜面から除去又は斜面内の安全な場所にまとめて整理する工法であり、落下するおそれのある浮石・転石が特定できる場合等では効率的な工法である。
- 2 小割り方法としては、低速火薬、膨張剤、棒状油圧ジャッキ等が用いられる。また、斜面内に整理する場合は、石積、ふとんかごの中詰材等として利用する。なお、石積に当たっては、石積等の脚部が洗掘を受けないよう留意する必要がある。
- 3 急斜面で不安定な浮石・転石を対象とする場合は、作業の安全確保、破碎した岩片の落下防止施設の設置の難易等を考慮して、工法を選定する必要がある。

5-1-4 被覆工

被覆工は、落石が発生するおそれのある斜面をのり砕工、モルタル吹付工等により被覆し、斜面の表面侵食、風化及び崩落を防止することによって、落石の発生を予防する場合に計画するものとする。

〔解説〕

- 1 被覆工は、斜面の表面侵食又は風化により、岩塊や転石が不安定化するおそれのある場合に、斜面を直接被覆し、外気や雨水の遮断等によって浮石・転石が落下することを防止する工法である。落石予防工に用いられる被覆工は、主にのり砕工、モルタル吹付工である。
- 2 落石予防工として用いられるのり砕工は、湧水を伴う風化岩や長大斜面など長期にわたり斜面の安定性が必要とされる場合、落石とともに発生する斜面の崩落を防止する必要がある場合等に用いられ、現場打ちコンクリートのり砕工又は吹付のり砕工が一般的である。砕の構造等は、第3節3-7「のり砕工」に準ずる。
- 3 落石予防工として用いられる吹付工は、斜面の湧水が少なく、当面崩壊の危険性は少ないが、亀裂が多く風化しやすい岩、風化により剥離するおそれのある岩等の風化を防止する場合に用いられる。モルタル又はコンクリート吹付工が一般的である。吹付け厚等は、第3節3-11「コンクリート(モルタル)吹付工」に準ずる。なお、緑化が可能な斜面にあつては植生基材吹付工による場合もある。

5-1-5 固定工

固定工は、落下するおそれのある岩石をワイヤ等を用いて固定することによって、落石の発生を予防する場合に計画するものとする。

〔解説〕

- 1 固定工は、落石のおそれのある亀裂の発達した岩盤や、浮石・転石を、ワイヤロープ、ロックボルト、特殊配合モルタル等により固定し、浮石・転石等が落下することを

防止するものである。

2 固定工には、表-12のような種別がある。

表-12 固定工の種別と特徴

種 別	特 徴
ワイヤロープ掛工	ワイヤロープを用いて斜面上の浮石・転石を固定する工法で、一般に応急的に用いられることが多い。 浮石・転石を既製品のワイヤ製もっこを用いて固定する場合もある。
ロープ伏工	ワイヤロープを格子状に編んでクロスクリップ等で留めたもので、斜面を被覆する工法。ワイヤロープの間から転石が抜け出すことのないよう、必要な強度を有する補助的なワイヤや網との併用を行う場合もある。斜面の樹木等を残存させたまま施工でき、表面の凸凹が著しい斜面にも合わせやすい。
覆式落石防護網工	落石の発生する恐れのある斜面を、ワイヤロープと金網で構成された網で覆い、落石の発生を防止するとともに、落石を跳躍させずに安全に落下させる工法。保全対象が近接した箇所、比較的小規模な落石が想定される場合に適している。
ロックボルト工	斜面上の大きな浮石・転石を、ロックボルトを用いて基岩に固定する工法。
接 着	亀裂の多い岩盤等において、亀裂に特殊配合モルタル等の接着剤を注入して剥離型の落石を防止する工法である。景勝地等の景観の保存等が求められる箇所の施工に適している。

5-1-6 根固工

根固工は、落下するおそれのある岩石の基部をコンクリート等で固定することによって、岩石の移動を予防するもので、岩石の基部に構造物を設けることができる場合に計画するものとする。

〔解説〕

- 1 根固工は、基部の土壌が流出して不安定化している浮石・転石が転落又は滑動しないように、浮石・転石の基部をコンクリート等で充填して斜面上に固定するものである。
- 2 斜面上の浮石・転石は除去することが望ましいが、除去が困難な大きさの浮石・転石の場合に、根固工が用いられる。一般に浮石・転石の基部にある空洞等にコンクリート等を充填した上、その前面に土留工を設けて支保し、浮石・転石の転落又は滑動を防止する。周辺の小転石の整理を兼ねて石積工とする場合もある。
- 3 根固工の基礎は堅固な地盤に置くとともに、施工途中に浮石・転石が落下しないように作業の安全確保に留意した計画とする必要がある。

5-2 落石防護工

5-2-1 落石防護工の目的

落石防護工は、落石の発生源から保全対象に至る山腹斜面において、落下する岩石を抑止又は減殺することを目的とする。

〔解説〕

- 1 落石防護工は、保全対象を防護するために、落下する岩石を抑止又は減殺することを目的として施設を設置する工法である。
- 2 落石発生源が広範囲である斜面では、落石防護工のみで落石による被害を防止すること

は困難であり、落石予防工と組み合わせて用いる場合が多い。

5-2-2 落石防護工の種別

落石防護工は、落石の形態、地形、保全対象との関連、施工性等を十分考慮して、計画箇所の設置条件、使用条件に応じた適切な種別を選定するものとする。

〔解説〕

- 1 落石防護工は、その種別によって機能、特性等が異なることから、想定される落石の形態、地形条件、保全対象の状況、施工性等に加えて、落石予防工及び森林造成との関連を総合的に勘案して種別を選定する。
- 2 落石防護工の主な種別は表-13のとおりである。

表-13 落石防護工の種別及び特徴

種 別	特 徴
落石防護柵工	H鋼、鋼管等を組み合わせた柵をコンクリート基礎で支えた剛構造で落石を阻止する工法である。柵の前面に、土砂、木材、古タイヤ等の緩衝材を用いて衝突する落石の衝撃エネルギーを緩衝させる。比較的規模の大きな落石が想定される場合に適している。柵（上部構造）の形状により、λ型、I型、逆Y型がある。
落石防護擁壁工	緩衝材を設けたコンクリート製擁壁、鉄筋コンクリート製擁壁及び土堤により落下してくる岩石を阻止する工法である。落下してくる岩石を擁壁等から斜面上方に堆積させたり、バウンドさせてエネルギーを減勢させるために、一定の広さの緩傾斜地又は平坦地が必要になる。比較的規模の大きな落石が想定される場合、落石に崩壊が伴う場合等に適している。
落石緩衝柵工	<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p style="text-align: center;">ワイヤロープ金網式</p> </div> <div style="flex: 2;"> <p>H鋼の支柱に、伸び性能が高いワイヤロープ、金網を取り付けた柵により落石の衝突エネルギーを吸収させる工法である。土留工の天端に設置されることもある。比較的小規模な落石に対して有効である。</p> </div> </div> <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p style="text-align: center;">高エネルギー吸収柵式</p> </div> <div style="flex: 2;"> <p>エネルギー吸収特性の優れたワイヤ部材とエネルギー吸収装置を備えた柱で構成された構造物である。大規模な落石に対応できるが、落下してきた岩石を受け止めたときの変形量は大きく、維持管理に留意する必要がある。</p> </div> </div>
ポケット式落石防護網工	落石の発生するおそれのある急斜面の勾配変化点付近に、開口部のある網を設置し、捕捉した岩石を安全に落下させる構造となっている。比較的小規模な落石が想定される場合に適している。

5-2-3 落石防護工の位置

落石防護工は、落石の形態、地形、保全対象の位置等を検討して、最も有効な位置に決定するものとする。

〔解説〕

落石防護工は、落石発生源から保全対象に至る山腹中・下部において、落石を捕捉し、落石のエネルギーを減殺することを目的としている。

したがって、落石防護工は、想定された落石の形態を把握し、落石の捕捉が最も効果的な位置に設置することを原則とし、想定される落石のエネルギーの規模落石の跳躍高を総合的に勘案して、位置を検討する必要がある。

5-2-4 落石防護工の高さ

落石防護工は、予想される落石の跳躍高を想定して、対象とする落石が捕捉可能な高さに決定するものとする。

[解説]

- 1 斜面を落下する落石の跳躍高（斜面に直角方向の高さ）は、落石の動態に不明な部分が多く確立された算出式はない。落石の跳躍高は、過去の経験から、多くの斜面で2 mを超えないとされていることから、落石防護工の高さ（垂直方向の高さ）は、2 m程度を標準とする。
- 2 斜面上の極端な凸部や傾斜の変化点（岩盤の露出）における飛び出し等が想定される場合は、落石の跳躍高が2 mを超えるおそれがあるので、近傍類似箇所での既往の落石現象、数値シミュレーション手法等により現地に即した跳躍高に対応する落石防護工の高さと位置を検討する必要がある。

[参考] 落石防護工の高さ

1 落石防護工の必要高

(1) 落石防護工背面に平場（ポケット）がない場合

$$h_2 = h_1 \sec \theta \dots\dots\dots (5.2.1)$$

(2) 幅 l の平場がある場合

i) $0 < l < (h_1 \sec \theta - h_1) \cot \theta$ のとき

$$h_2 = h_1 + \{(h_1 \sec \theta - h_1) \cot \theta - l\} \tan \theta$$

$$h_2 = h_1 + (h_1 \sec \theta - h_1) - l \tan \theta$$

$$\therefore h_2 = h_1 \sec \theta - l \tan \theta \dots\dots\dots (5.2.2)$$

ii) $l > (h_1 \sec \theta - h_1) \cot \theta$ のとき

$$h_2 = h_1 \dots\dots\dots (5.2.3)$$

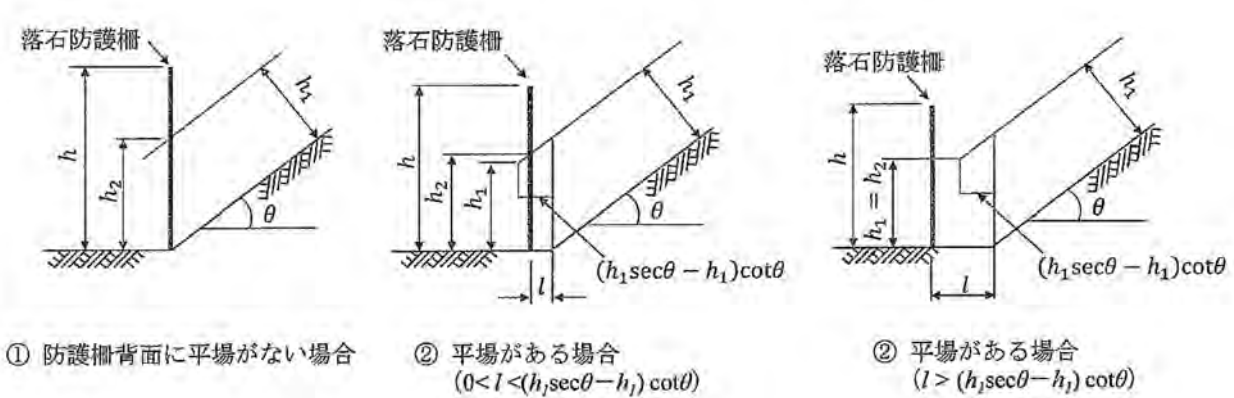
h : 落石防護工の必要高(m)

h_1 : 跳躍高(m)

h_2 : 落石衝突高(m)

θ : 山腹斜面傾斜(度)

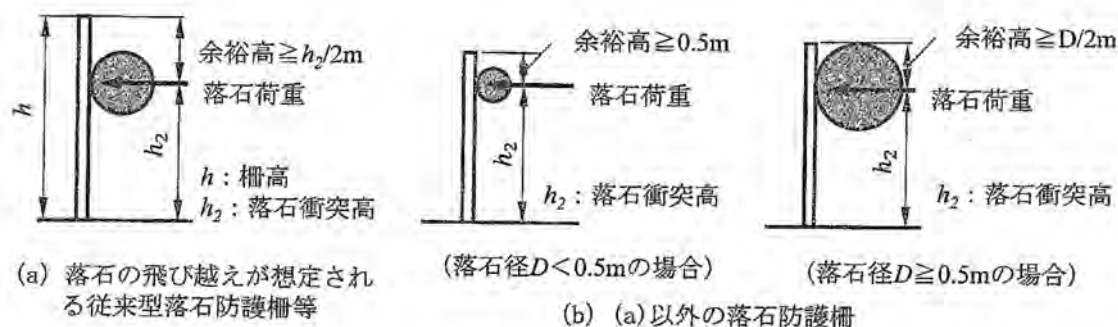
l : 平地の幅(m)



[出典] 落石対策便覧：日本道路協会 平成 29 年
図-30 落石防護工の必要高と落石の跳躍高

2 余裕高等

一般に、落石防護工については、落石の跳躍高に、対象とする最大落石半径を加えた高さとするなど、落石防護工の種別に応じた適切な余裕高を設ける。



[出典] 落石対策便覧：日本道路協会 平成 29 年
図-31 落石防護工の余裕高

5-2-5 落石防護工の断面

5-2-5-1 落石防護工の安定計算に用いる荷重

落石防護工の安定計算に用いる荷重は、落石防護工の種類により考慮すべき荷重を抽出して適切に設定しなければならない。

[解説]

- 1 落石防護工の安定計算に用いる荷重は、落石防護工の種別によって異なるが、原則として、自重(緩衝材の重量を含む)、土圧(設置後の堆積土を含む)、落石荷重とする。
なお、積雪地方では、積雪荷重、なだれ荷重等を考慮することがある。
- 2 落石防護工の安定計算においては、考慮すべき荷重を抽出して、考えられる荷重の組合せのうち、原則として、落石防護工の安定上最も不利になる組合せにより行う。
基本的な荷重の組合せ例は表-14のとおりである。

表-14 荷重の組合せ例

種 別		考慮すべき荷重
落石防護柵工		自重、土圧、落石荷重
落石防護擁壁工		自重、土圧、落石荷重
落石緩衝柵工		落石荷重
落石防護網工	覆 式	自重、落石荷重
	ポケット式	自重、落石荷重

- 3 落石荷重は、落石が落石防護工本体又は緩衝材に衝突するときの荷重で、短期荷重と考える。落石荷重の算出に当たっては、跳躍高と同様に確立された算出式がなく、近傍類似の既往の落石現象等を考慮して、適切な計算式を用いることとする。
- 4 落石防護工の安定計算に用いる単位体積重量は、次の値を標準とする。
 - (1) コンクリートの躯体(試験等を行わない時)：23kN/m³
 - (2) その他の躯体：構築材の種類によって決定する。
 - (3) 背面土：18kN/m³

[参考] 落石荷重等

1 落石の運動エネルギー

$$E = 1.1 \times \left(1 - \frac{\mu}{\tan\theta}\right) \cdot W \cdot H \dots\dots\dots (5.2.4)$$

$$\left(1 - \frac{\mu}{\tan\theta}\right) \leq 1.0 \dots\dots\dots (5.2.5)$$

E : 回転エネルギーの割り増しを加味した落下地点における
運動エネルギー (kN・m)

μ : 等価摩擦係数 (表-15による。)

θ : 斜面勾配 (度)

W : 落石重量 (kN)

H : 落下高さ (m)

(一般に落石高さが40mを超えると落下速度は一定になるといわれている。)

表-15 斜面の種類と等価摩擦係数 (μ)

区分	落石及び斜面の特性	設計に 用いる μ	実験から得ら れる μ の範囲
A	硬岩、丸状、凹凸小、立木なし	0.05	0.00~0.10
B	軟岩、角状~丸状、凹凸中~大、立木なし	0.15	0.11~0.20
C	土砂、崖すい、丸状~角状、凹凸中~大、立木なし	0.25	0.21~0.30
D	崖すい、巨礫交じり崖すい、角状、凹凸中~大、 立木なし	0.35	0.31~(0.6)

なお、斜面に立木がある場合は、土壌層の発達に応じて μ の値に 0.45~0.6 を用いることができる。

2 落石の衝撃力

(1) 鋼材倶楽部の推定式

$$P = \frac{\alpha}{g} \cdot W \dots\dots\dots (5.2.6)$$

P : 落石荷重 (落石の衝撃力) (kN)

W : 落石の重量 (kN)

g : 重力の加速度 (9.8m/s²)

α : 衝撃加速度 (m/s²)

梁に作用するとした場合 $\alpha = (4H_0 + 10) \cdot g$
(鋼製落石覆工に対する実験結果から)

$$H_0 = 1.1H \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\tan\theta}\right) \dots\dots\dots (5.2.7)$$

H₀ : 換算した自由落下高 (m)

H : 落石斜面の高さ (m)

(一般に落石高さが40mを超えると落下速度は一定になるといわれている。)

μ : 等価摩擦係数(表-15による)

θ : 斜面勾配(度)

(2) 振動便覧の推定式

$$P_{\max} = 2.108W^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H_0^{3/5} \dots\dots\dots (5.2.8)$$

P_{\max} : 最大衝撃力 (kN)

W : 落石の重量 (kN)

H_0 : 自由落下高 (m) (5.2.7による)

λ : ラーメの定数 (kN/m²)

一般に λ は1,000程度が用いられている。

なお、ラーメの定数を求める式として次の式がある。

$$\lambda = \left(\frac{W \cdot (4H_0 + 10)}{2.108W^{2/3} \cdot H_0^{3/5}} \right)^{5/2} \dots\dots\dots (5.2.9)$$

5-2-5-2 落石防護工の安定性の検討

落石防護工は、想定される荷重に対する各部材、基礎工の安定性を検討しなければならない。

〔解説〕

落石防護工は、種別に応じて安定性の検討を行うものとする。

また、種別ごとの設計の考え方は次のとおりである。

1 落石防護柵工

落石防護柵工の安定性の検討は、鋼材等の上部構造と基礎工について行うものとする。

(1) 上部構造

落石の衝突荷重は、緩衝材を介して壁面に等分布荷重として作用するものとし、これに緩衝材等の死荷重を加えて最も厳しい条件において検討する。

検討項目は、構造部材、部材接合部材、基礎コンクリートに及ぼす荷重について行い、それぞれの許容応力度以内とする。

なお、鋼材の許容応力度は短期荷重に対応するものとする。

(2) 基礎コンクリート

常時作用する土圧と落石の衝突荷重は、転倒、滑動、内部応力及び基礎地盤の安定について検討する。地震力については、原則として見込まないものとする。

① 転倒に対する安定

基礎下端よりの合力の作用点の距離 d は、基礎幅（壁軸直角方向） B との関係において、

$$d \geq \frac{B}{6} \quad \text{とする。}$$

$$d = \frac{M_r - M_0}{\Sigma_v} \dots\dots\dots (5.2.10)$$

B : 基礎幅（壁軸直角方向）(m)

M_r : 抵抗モーメント (kN・m)

M_0 : 転倒モーメント (kN・m)

Σ_v : 鉛直力合計 (kN)

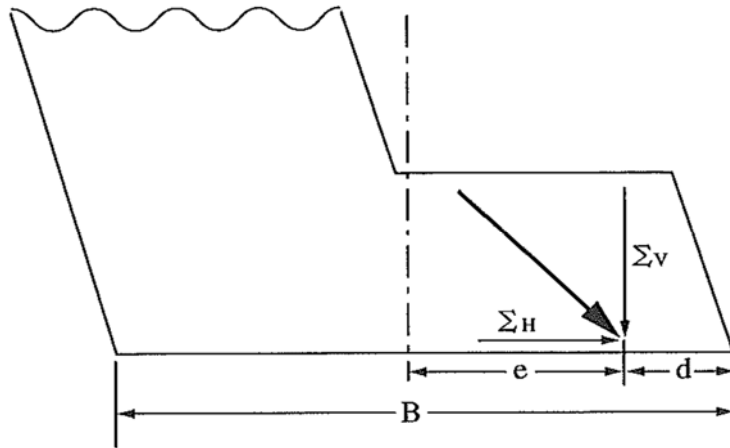


図-32 合力の作用位置

② 滑動に対する安定

滑動に対する安全率 F_s は、 $F_s \geq 1.2$ とする。

$$F_s = \frac{f \cdot \Sigma_v}{\Sigma_H} \dots\dots\dots (5.2.11)$$

f : 摩擦係数
 Σ_v : 鉛直力合計 (kN)
 Σ_H : 水平力合計 (kN)

③ 基礎コンクリートの破壊に対する安定

基礎コンクリートに生じる最大応力 σ_f は、コンクリートの短期許容圧縮応力 σ_{ca} に対して次の条件を満たすものとする。

$$\begin{aligned} \sigma_f \geq 0 \text{ の場合} & \quad \sigma_f \leq 1.5 \sigma_{ca}, \\ \sigma_f < 0 \text{ の場合} & \quad \sigma_f \geq 1.5 \sigma_{ta} \end{aligned}$$

$$\sigma_f = \frac{\Sigma_v}{LB} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \dots\dots\dots (5.2.12)$$

Σ_v : 有効抵抗延長に対する鉛直力合計 (kN)
 B : 基礎幅 (壁軸直角方向) (m)
 L : 基礎の有効抵抗延長 (m)
 e : 偏心距離 (m)
 σ_{ca} : コンクリートの許容圧縮応力 (kN/m^2)
 σ_{ta} : コンクリートの許容引張応力 (kN/m^2)

④ 基礎地盤の支持力に対する安定

基礎地盤の最大地盤反力 q_{\max} は、基礎地盤の長期許容支持力 q_a に対して、次の条件を満たすものとする。

$$q_{\max} \leq 1.5 q_a$$

最大地盤反力 q_{\max} は、次式により求める地盤反力 q のうち、大きい方の値とする。

$$q = \frac{\Sigma_v}{LB} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \dots\dots\dots (5.2.13)$$

なお、 $q < 0$ の場合、最大地盤反力 q_{\max} は次式により求める。

$$q_{\max} = \frac{2\Sigma v}{3Ld} \dots\dots\dots (5.2.14)$$

- q : 地盤反力 (kN/m²)
- q_{max} : 最大地盤反力 (kN/m²)
- q_a : 基礎地盤の長期許容応力度 (kN/m²)
- Σ_v : 有効抵抗延長に対する鉛直力合計 (kN)
- B : 基礎幅 (壁軸直角方向) (m)
- L : 基礎の有効抵抗延長 (m)
- e : 偏心距離 (m)
- d : 基礎下端よりの合力作用点までの距離 (m)

2 落石防護擁壁工

落石防護擁壁工の常時、堆積時、地震時の安定に対する検討は、第3節3-3-5-2「土留工の安定性の検討」に準ずるものとする。

落石衝突時の安定に対する検討は未だ確立したものはないが、次の仮定条件下で落石の衝突荷重を考え計算することが一般的に行われている。

- (1) 落石防護擁壁工を弾性地盤に支持された剛体と仮定し、落石衝突時の落石の持つ運動エネルギーが、地盤のバネの変形エネルギーと等しくなるまで水平変位及び回転を生ずるものとする。変位及び回転により計算される水平力及びモーメントを安定計算に用いる。
- (2) 想定される大きさの落石が1個衝突することとする。
- (3) 落石の衝突高さは、想定される擁壁工背面の土砂の堆積状況、落石の跳躍高、大きさを考慮して決める。
- (4) 落石の衝突角度は水平とする。

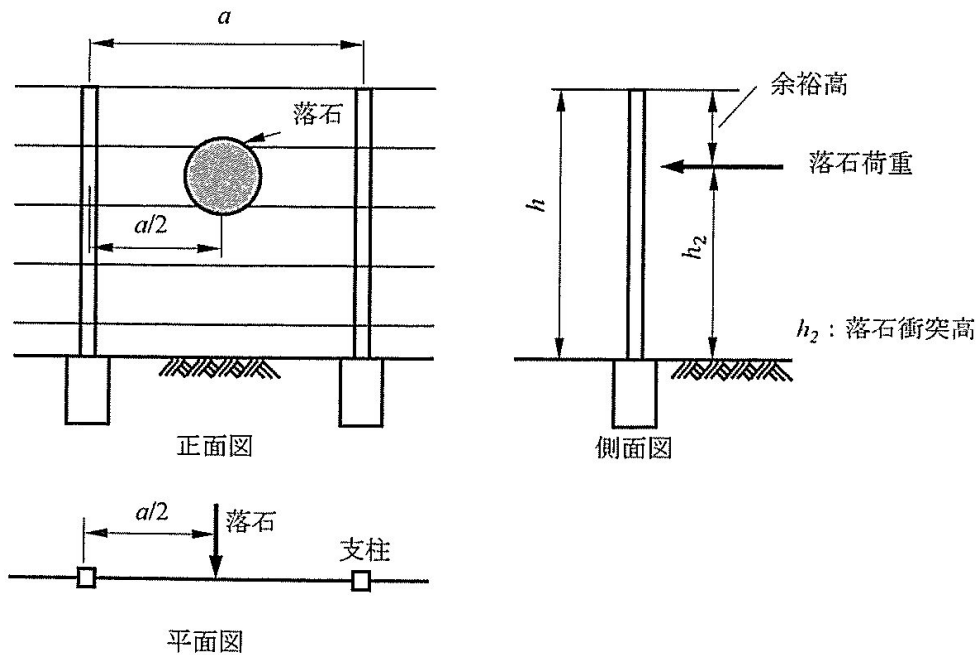
3 落石緩衝柵工 (ワイヤロープ・金網式)

落石緩衝柵工の設計に用いる荷重としては、落石衝突時の荷重のみを考慮することとし、柵の可能吸収エネルギー (支柱、ワイヤロープ、金網の変形で吸収できるエネルギー E_r) が落石の衝突エネルギー (E_i) を上回るよう、支柱断面、ワイヤロープ径・本数を決定する。

落石の衝突は、図-33 で示すように支柱間の中央で最大跳躍高の位置とし、落石の衝突方向は柵に直角に衝突するものとする。

また、落石緩衝柵工の基礎は、柵及び基礎の自重、柵を通じて基礎に作用する落石荷重に対して安定になるよう設計する。

なお、擁壁工の天端に落石に対する補完的な施設として落石防護柵工を設置する場合には、落石荷重に関する設計荷重を省略する場合がある。



[出典] 落石対策便覧：日本道路協会 平成 29 年

図-33 落石緩衝柵工の落石荷重の作用位置

4 落石防護網工

(1) 覆式

覆式は、地山との結合力を失った落石を金網と地山の摩擦で抑止するものであるから、その場合に生じる張力と自重に耐え得るように、金網を支える縦横のロープの径・本数を決定する。ロープの安全率は 2.0 以上を標準とする。

(2) ポケット式

ポケット式は、落石の衝突エネルギーを、ネットの変形による吸収可能エネルギーが上回るようにする。金網以外の諸部材の強度は、金網より先に破壊しないようにすることを原則とする。

また、落石防護網工の機能を発揮するうえで重要なワイヤロープのアンカーは、ワイヤロープの機能を十分発揮できる強度を有することが重要である。

[参考] コンクリート構造物の有効延長

1 個の落石が落石防護工に衝突したことを想定した場合に、落石防護擁壁工・落石防護柵工の基礎など、コンクリート構造物が一体的に抵抗する有効延長（軸方向の長さ）は、有効壁高の 4 倍程度としてよい。ただし、伸縮継目がそれより短い場合は、その数値とする。

5-3 森林造成

5-3-1 森林造成の目的

森林造成は、落石のおそれのある山腹斜面に森林を造成し、樹木の根系による緊縛効果、樹幹・土壌による落石エネルギー減勢効果により、落石発生の防止又は軽減を図ることを目的とする。

[解説]

森林造成は、落石の予防又は抑止の効果があり、環境保全等の面からも好ましく、可能な

限り計画するものとする。

なお、成林するまでに長期間を要すること、樹木が幼齢で樹幹が未熟な期間は規模の大きい落石には対応できないこと等から、他の落石防止施設等と合わせて、効果的な落石防止対策となるようにしなければならない。

5-3-2 植栽工

植栽工は、根系の発達が良好で、樹幹が強く現地に適した樹種を植栽し、森林を造成することを目的とする。

〔解説〕

- 1 林木は単独としては大きな力を発揮しないが、まとまることにより落石を抑止する効果が大きくなることから、植栽可能な箇所では面的に森林造成を行うことが必要である。
- 2 植栽樹種は、次の条件を持つことが望ましい。
 - (1) 成長が早いこと
 - (2) 樹根が強大でかつ深根性であること
 - (3) 材質が強靱であること
 - (4) ある程度の密植でも樹幹の肥大成長ができるものであること
 - (5) 気象害に強いこと
- 3 植栽本数は、第5章4-3-3-5「植栽本数」に準ずるものとする。

5-3-3 保育・管理

落石防止のために森林造成を行った箇所は、適切な保育・管理を行うものとする。

〔解説〕

落石防止のために森林造成を行う箇所は、林木の生育条件が劣悪な場合が多いので、十分な保育・管理が必要となる。