

森林作業道作設ガイドライン(案)

基本方針

本調査の成果であるガイドラインは、森林作業作設指針の項目にしたがい、作設指針に対して参考的なものを与える形式でまとめていくものとし、本年度調査において得られた結果にもとづき、以下のとおり森林作業道作設指針にしたがって整理する。

ガイドラインの構成

第1 趣旨

1 指針の目的

元来、路網は、地域ごとの条件を踏まえきめ細やかな配慮の下に構築されるべきであり、森林作業道の作設に当たり重要な因子となる地形・地質、気象条件等は、地域ごとに異なるものである。

最適な森林作業道を作設していく上で、全国一律に適用する指針を策定することは、地域における創意工夫を促す面では、必ずしも望ましいことではないとも考えられる。

一方で、不適切な森林作業道の作設を未然に防止することも重要である。

このため、本指針は、森林作業道を作設する上で考慮すべき最低限の事項を目安として示したものである。

指針に示す各事項は、作設技術者が地域の条件に適合した森林作業道を作設していくための基礎となる情報としての性格を有するものである。

森林作業道の技術はそれぞれの地域の地形・地質、土質や気象条件等を十分踏まえ、この指針によるほか、近傍の施工事例を参考としたり、地域において作設作業に十分な経験を有する者から技術的な指導を受けることも必要である。

今後、地域における取組を通じて新たな技術的な知見の蓄積も期待されることから、新たな知見の普及を図るため、この指針についても必要な検討を重ねながら随時見直しされていくものである。

2 森林作業道

森林作業道は、間伐をはじめとする森林整備、木材の集材・搬出のため継続的に用いられる道であり、地形に沿うことで作設費用を抑えて経済性を確保しつつ、繰り返しの使用に耐えるよう丈夫で簡易なものであることが必要である。

これを踏まえ、路体は堅固な土構造によることを基本とし、構造物は地形・地質、土質などの条件からやむを得ない場合に限り設置するものとする。

【参考】

森林作業道は土構造によることを基本しているため、作設にあたっては「土」の基本的な性質を理解しておく必要がある。土とは、岩石や火山噴出物が破碎、風化したものと定義される。土は、砂と粘土に代表される。一方、表土と一般にいわれているものは、土が有機物の分解などを通じて土壌化作用で変質したものである。

森林作業道の作設で用いる土は、礫、砂、粘土の混合したものであり、その土の性質は、それぞれの構成している成分の割合、密度、含水比により大きく変化する。したがって、森林作業道を作設するにあたっては、現場で用いる土の状態を見極め、転圧や切土を行う際に土の状態をよく観察する必要がある。なお、土の性質はその土を構成する要素のほか、地形との組合せにより様々な性質を示すことに注意する必要がある。

岩石が多く現れる場合では、切土や盛土材は、その岩石が持つ基本的な性質を引き継ぐことから、施工地でみられる岩石の種類、特徴をしっかりと確認しておく必要がある。その性質は、岩石の成因に由来する場合が多い。岩石の区分は、成因別に次のように区分される。

火成岩 マグマが冷えて固まった岩石

堆積岩 既存の岩石が風化・侵食されてできた礫・砂・泥、また火山灰や生物遺骸などの粒子（堆積物）が、海底・湖底などの水底または地表に堆積し、続成作用を受けてできた岩石。

変成岩 既存の岩石が変成作用を受けた岩石のこと。変成岩の原岩は火成岩、堆積岩など種類は問わず、変成岩がさらに変成作用を受ける場合もある。

本ガイドライン(案)においては、森林作業道の路体を構築する上での留意点を明確にするため、土質の成り立ちがわかるように、次のように礫分を含む土質を区分した。なお、厳密に区分すると「礫質」と「礫混ざり」では異なるが、森林作業道の作設においては、石分(75mm以上)、礫分(2~75mm未満)、砂分以下のもの(2mm未満)が混ざり合い、単一の粒度で路体が構成されることはないことから、用語の簡略化を図るため「礫質」と「礫混ざり」については「礫質」で統一した。

ガイドライン(案)における礫質土の区分

区分	内容	日本統一土質分類法 における簡易分類名		
		簡易 分類名	土質名	
火成岩質礫質土	マグマが冷えて固まった岩石を主体とする土質	礫	礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫	
火山灰質礫質土	堆積岩のうち火山灰に由来する岩石を主体とする土質		混ざり	粗礫 中礫 細礫 砂礫
堆積岩質礫質土	堆積岩のうち礫、砂、泥、生物の遺骸に由来する岩石を主体とする土質			粗礫 中礫 細礫 砂礫
変性岩質礫質土	変性岩を主体とする土質	礫質土	粗礫 中礫 細礫 砂礫	

成因による土の分類

成因	種類	特徴
風化残積土	まさ土 その他の山土	まさ土は、花崗岩の風化した残積土。西日本に広く分布する。砂質で粘性に乏しく、保水性がなく緑化が困難。表層での崩壊が多い。
運搬土	崖錐など	急斜面上の風化岩屑が崖下に落下して形成された堆積地形。角礫その他の大小の粒径が共存する崩土からなる。
堆積土	洪積層 沖積層	洪積層は丘陵地帯に分布する。比較的安定している。 沖積層は、平野部で水中堆積からできた固結が不十分な地質。
火山性堆積土	関東ローム しらす	関東地方に広く分布する、火山降下堆積物。粒子の細かい火山灰の堆積物で、こね返すと泥濘化する。 鹿児島県を中心とした南九州に広く分布する、火砕流堆積物。粒径は細砂からシルトの範囲で、粘着性はない。侵食に弱い。
植積土	泥炭 黒ボク	主として北海道に分布。植物の分解途上のもので、繊維質を含み、圧縮性大。火山灰や軽石を母材とする土。腐植に富み黒色で、ローム層上位の表土、黒土。

掘削の難易による土の分類

名称	説明	適用	日本統一土質分類法による土の簡易分類との対比
礫まじり土	礫の混入があって掘削時の能率が低下するもの。	礫の多い砂 礫の多い砂質土 礫の多い粘性土	礫(G) 礫質土(GF)
砂	バケツに山盛り形状になりにくいもの。	海岸砂丘の砂、まさ土	砂(S)
普通土	掘削が容易で、バケツなどに山盛り形状にしやす空隙の少ないもの。	砂質土、まさ土 粒度分布の良い砂 条件の良いローム	砂(S) 砂質土(SF) シルト(M)
粘性土	バケツに付着しやすく空隙の多い状態になりやすいもの、トラフィカビリティが問題となりやすいもの。	ローム 粘性土	シルト(M) 粘性土(C)
高含水比粘性土	バケツなどに付着しやすく特にトラフィカビリティが悪いもの。	条件の悪いローム 条件の悪い粘性土 火山灰質粘性土	シルト(M) 粘性土(C) 火山灰質粘性土(V) 有機質土(O)
有機質土	多くの有機質を含み、バケツなどに付着しやすく特にトラフィカビリティが著しく悪いもの。	黒ボク 泥炭	高有機質土(Pt)

トラフィカビリティ:建設機械の走行性、作業性の良否を示す地表面の能力。コーン指数で示すことが多い。

出典:日本道路協会 道路土工要綱(平成21年度版)P85に一部追記

岩石の成因別の区分

大分類	成因	産状	種類	森林作業道用語	
岩石	火成岩	火山岩	流紋岩、安山岩、玄武岩、石英粗面岩	火成岩質礫質土	
		半深成岩	石英斑岩、ひん岩、輝緑岩、花こう斑岩、粗粒玄武岩		
		深成岩	花こう岩、せん緑岩、はんれい岩		
	堆積岩	火山砕せつ	未固結	火山灰 火山礫	火山灰質礫質土
			固結	凝灰岩 集塊岩	
		水成砕せつ	未固結	泥、砂、礫	堆積岩質礫質土
			中間	泥岩、砂岩、礫岩、角礫岩	
	変成岩	広域変成作用	粘板岩、千枚岩、結晶片岩、片麻岩、蛇紋岩	変成岩質礫質土	
		圧砕変成作用	圧砕岩		

土工上注意を要する岩石(上表中赤字の岩)

流紋岩	流紋岩や石英面岩は一般に比重が軽く、扁平に割れる傾向を示す。風化物は細片状又は長石の多いものは粘土状態となる。
安山岩	安山岩や玄武岩は柱状又は板状の節理が発達し、切土の場合のり面の安定を損なうことがあるので注意を要する。また、風化すると粘土化し、土工上問題となることが多い。安山岩が変質した変朽安山岩は地山の状態では硬いが、いったん土工によって乱され、土砂化すると著しく性質は悪化し、トラフィカビリティーや盛土の安定に支障をきたすことが多い。
玄武岩	
ひん岩	ひん岩は岩脈として存在することが多く、一般に風化して暗緑色を示すことが多い。切取によってひん岩脈が弱層になって崩壊を起こすことがある。
花こう岩	花こう岩類は、風化して砂状(まさ土)になっている場合があり、また風化は一般に深部にまで及んでいる。一般にまさ土は締め固めの効果がよく、盛土材として良好である場合が多いが、砂粒で雲母の多いまさ土は盛土材として不適な場合がある。切土の場合、まさ土は貧栄養であり、根が下方に張らない、ガリー侵食を起こしやすい。
火山灰	関東ロームやしらす等の火山灰は土工によって原岩組織を破壊すると著しく強度が低下する。切土のり面においても高さ10m程度までは直に切っても自立し、一見安定しているようにみえるが、乾裂による柱状の割れ目や流水による侵食等で安定を損なうことが多い。
凝灰岩	凝灰岩及び凝灰質岩石は固結が不十分な場合には表層剥離が起こりやすい。また、掘削時の新鮮な時は硬いが、土工による土地の悪化が著しく、また時には多量の膨潤粘性土を含んでおり切取によって地表に露出すると応力開放や含水によって粘土化し、大きな崩壊や地すべりを起こすことがある。凝灰質岩石を手軽に見分けるには、一般に凝灰質岩石は比重が軽いことから、手で持って軽いものは凝灰質とみてよい。
泥岩	泥岩は固結度も低く、強度も弱いことから、雨水と流水による侵食抵抗も弱く崩壊しやすい。また、切取によって表層剥離を起こしやすい。また、土工によって急速に細粒化しやすく、土性が悪化しトラフィカビリティーや盛土の安定性に支障をきたすことが多い。泥岩砂岩のように硬軟互層の場合は軟岩部の風化が進行し、軟岩部の崩壊が硬岩部を伴って大きく崩壊することがある。また、泥岩は泥岩砂岩互層地域は地すべり地が多いので、十分留意する必要がある。
礫岩	礫岩、特に第三紀以降の礫岩は礫とマトリックス(基質)との硬軟の差が著しく、食性(侵食の対する抵抗)が悪く、ガリー侵食や落石を起こしやすい。
粘板岩	粘板岩は層理や節理が発達し、特に断層や破砕帯の周辺では細片状に破碎され風化が進んで粘土状になっている場合が多い。このような箇所では割目や断層に沿ってすべりを起こしやすいので切り取りには注意が必要である。
片岩	片岩は異方性が高く、扁平に割れやすい性質を有し、特に黒色片岩や一部の緑色片岩は絹雲母や石墨、滑石等の滑材を含み、風化によって崩壊や岩盤地すべりを起こす傾向が強い。
蛇紋岩	蛇紋岩は吸水膨張する性質があり、切土による応力開放や浸水によって強度が低下したり、トンネルや擁壁においては高い土圧によって破壊することがある。蛇紋岩に限らず、黒緑色岩(特に輝緑凝灰岩)は蛇紋岩化作用によって一部蛇紋岩に変質している場合がある。

出典:日本道路協会 道路土工要綱(平成21年度版)P355 ~ P358

第2 路線計画

1 計画

森林作業道は、目標とする森林づくりのための基盤であり、森林施業の目的に従って継続的に利用していくものであるから、対象区域で行っていく森林施業を見据え、適切な路網計画の下、安全な箇所に効果的に作設していかなければならない。

路線は、伐木造材や集材等の作業に使用する機械の種類、性能、組合せに適合し、森林内での作業の効率性が最大となるよう配置する。

なお、地形・地質、気象条件はもとより、水系や地下構造を資料等により確認するとともに、道路、水路などの公共施設や人家、田畑などの有無、野生生物の生息・生育の状況なども考慮する。

このほか、次の点に留意し、路線計画を立案する。

(1) 路線選定に当たっては、地形・地質の安定している個所を通過するように選定する。また、線形は地形に沿った屈曲線形、排水を考慮した波形勾配とする。

(2) 林道や公道との接続地点、地形を考慮した接続方法、介在する人家、施設、水源地などの迂回方法を適切に決定する。

(3) やむを得ず破砕帯などを通過する必要がある場合は、通過する区間を極力短くするとともに、幅員、排水処理、切土及び簡易な工作物などを適切に計画する。

(4) 潰れ地の規模に影響する幅員やヘアピンカーブの設置を検討する場合は、森林施業の効率化の観点だけでなく小規模森林所有者への影響に配慮する。

(5) 造材、積み込みなどの作業や、待避、駐車のためのスペースなど、作業を安全かつ効率的に行うための空間を適切に配置する。

(6) 作設費用と得られる効果のバランスに留意する。

(7) 希少な野生生物の生息・生育が確認された場合は、路線計画や作設作業時期の変更等の対策を検討する。

このほか、間伐等の森林施業を行うに当たり、森林法に基づく伐採の届出や許可が必要となる場合や、森林作業道の作設に当たり、保安林内においては作業許可等が必要となる場合がある。森林作業道の作設を円滑に実施するため、事業実施者は、あらかじめ都道府県の林務担当部局等に問い合わせ、必要な手続きを確認する必要がある。

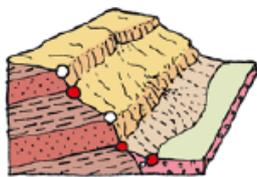
【参考】

地形の整理

予め地域の地形を把握しておくことは、耐久性のある森林作業道を作設していく上で不可欠である。地形を把握するためには、現地踏査、既存資料の収集、地形図の読図が必要である。わが国の地形は複雑であり、各地域でみられる地形・地質は、それぞれ特徴があることから、自分の施工地の地形・地質が何に区分されているのか、よく把握しておく必要がある。森林作業道を作

設する上で注意する地形について代表的なものを示したが、地形については、その「成り立ち」「生い立ち」を理解することが大切である。

【崖錐】



差別傾斜面と崖錐



【地すべり】



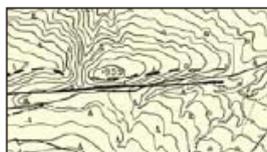
地すべり地形



【断層】
(縦ずれ)



縦ずれ断層



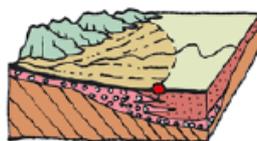
(横ずれ)



横ずれ断層



【扇状地】



扇状地・沖積扇



(建設系技術者のための地形図読図入門 第1巻より)

回避すべき地形

- ・^{がしやすい}崖錐：断崖絶壁のように切り立った急な山腹の下に、30° くらいの緩やかさで、上から落ちてきた岩の風化物などの堆積したところ。切土を行うと常に土砂が動くことから、土工事を行う場合、土砂の固定が困難な地形である。
- ・地すべり：地層界への地下水の影響、温泉などによる基盤岩層の変質、地質構造線が要因になることが多い。
- ・断層：地層や岩石の割れ目にそって、両側の地層や岩石がずれている部分をいう。断層運動により、地層あるいは岩石が粉々に砕かれた部分が一定の幅をもち、一定の方向に延びている場合、その部分を破碎帯という。幅数 cm の場合から数百 m の場合までである。大規模な断層には大規模な破碎帯を伴う場合が多く、このため、何々断層といわず何々破碎帯ということもある。破碎帯の岩石は強度が低いため、切土時にのり面の崩落が発生しやすい。
- ・^{せん}扇状地：沢が谷から急に広い平地のようなところに出た場合、沢が運んできた土砂が平地におおぎ状に吐き出されて堆積したところをいう。

情報の整理

地形・地質等の情報は、インターネットを利用して取得できる。これらの情報を現地踏査に入る前の、図上計画及び現地踏査時の基礎資料とする。

- ・地図情報 国土交通省国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html>
- ・地形・地質 国土交通省土地分類調査 <http://tochi.mlit.go.jp/tockok/index.htm>
- ・気象統計 国土交通省気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

なお、1/5000 の森林基本図は、都道府県の林務担当部局で複写サービスを受けることができる。予め、該当地の地番まで含む住所を用意しておく。また、森林 GIS をインターネットにより公開している自治体もある。

災害発生後の対応

震度 5 程度の地震を経験した地域では、地震発生時に山腹崩壊やのり面崩落が発生していなくても、そのときに発生した亀裂によって豪雨時に崩壊が発生しやすいことが事例として報告されている。(小山 敢、藤田 亮：鳥取県西部地震の影響が残る地域で発生した豪雨災害の特徴、林道 NO.443 号、2008)

平成 12 年 10 月 6 日に発生した鳥取県西部地震(マグニチュード 7.3)により琴浦町は震度 5 弱にみまわれた。崩壊は張り出した尾根部において発生が多く、崩壊に至らなかったものの亀裂が形成された箇所が多かった。このとき発生した亀裂は、平成 19 年 9 月 4 日の豪雨時に崩壊につながったことが報告されている。

地震直後に崩壊が発生していなくても、亀裂が発生している場合があることから、地震後には林内及び森林作業道のクラックの有無について確認しておく必要がある。

似通った事例として風倒被害が発生した場合でも、数年後の豪雨により崩壊が発生した事例もある。(竹下 敬司、金 錫権：風倒木根系による土層攪乱と斜面崩壊、日本林学会論文集 105、1994)

2 傾斜に応じた幅員と作業システム

森林作業道は、土工量の縮減を通じた作設費用の抑制を図る等の観点から、作業システムに対応する必要最小限の規格で計画する必要がある。

作業システムに最も影響を与えるのは林地の傾斜であることから、おおよその傾斜区分ごとに、主に想定される作業システムを現行の林業機械のベースマシンのクラス別に示し、これに対応する森林作業道の幅員の目安を示す。

幅員についても必要最小限とすることが肝要であるが、林業機械を用いた作業の安全性、作業性の確保の観点から、当該作業を行う区間に限って、必要最小限の余裕を付加することができる。付加する幅は 9 ~ 13 トンクラスの機械(バケット容量 0.45 m³クラス)にあっては、0.5 m 程度とする。

(1) 傾斜25°以下

比較的傾斜が緩やかであるため、切土、盛土の移動土量を抑え、土構造を基本として作設することが可能である。

6～8トンクラスの機械（バケット容量0.2m³～0.25m³クラス）及び9～13トンクラスの機械（バケット容量0.45m³クラス）をベースマシンとした作業システムの場合は、幅員3.0mとする。

【参考】

緩傾斜で施工する場合は、切土高が低くなりやすいため、腐植の発達する腐植層のほかに根系の発達するA₀層やA層が路面となりやすい。根系が発達しているような土層の部分は有機物の量が多く、十分な支持力が期待できない。また、火山灰質粘性土の箇所では路面が泥^{でない}浄化（どろどろになること）しやすい。

このため、やや深い層までの掘削を行い根系の発達していない層の土と入れ替えることにより有機物を含まない路体としたり、滞水するような場合は敷砂利の施工を検討する。

緩傾斜地の場合は、表土を浅く掘削するだけで、クローラ型の車両が走行可能となるものは作設できるが、このような形状のものでは、車両の走行により轍部が滞水しやすい。路面水が滞留する場合には、路面水を一旦貯溜して浸透・蒸発させるために路体脇にトレンチを設けることが有効な場合がある。



黒ボクが発達している箇所の路面の状況
(岩手県盛岡市)

緩傾斜地の場合は有機質を多く含む表土部分の施工となりやすいため十分な支持力が期待できない路面となりやすい。このため写真のように排水が困難な両カッタとなりやすく、1箇所へ雨水が集中しやすい。このような場合では、路面水を一旦貯溜して浸透・蒸発させるために路体脇にトレンチを設けることが有効な場合がある。



表土のみを除いた場合では、車両の走行により路盤が下がり、滞水しやすい。



有機物を多く含む場合は土の入れ替えをおこなう。状況によっては、敷き砂利も検討する。

路体脇にトレンチを設け、路面水を一旦貯溜して、浸透・蒸発させることが有効な場合もある。

緩傾斜地における横断面形の一例

(2) 傾斜 25 ~ 35 °

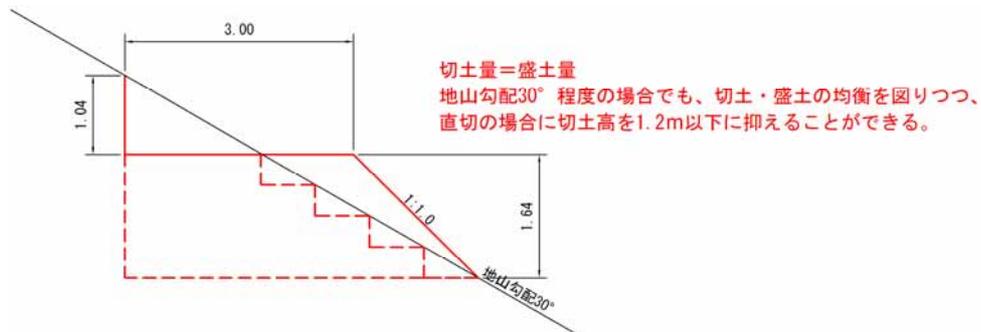
中～急傾斜地であるため、切土、盛土による移動土量がやや大きくなる。

6 ~ 8 トンクラスの機械 (バケット容量 0.2 m³ ~ 0.25 m³ クラス) をベースマシンとした作業システムの場合は、幅員 3.0 m とする。

3 ~ 4 トンクラスの機械 (バケット容量 0.2 m³ クラス以下) をベースマシンとした作業システム及び 2 トン積トラックが走行する場合は、幅員 2.5 m とする。

【参考】

中～急傾斜で施工する場合は、丸太組等の構造物を設けなくても、切土・盛土によって構築が可能である。ただし、透水性の悪い土質で盛土を行うと、盛土表面の侵食が発生しやすくなる。雨水の流下長を短くするために、やや山手側の切土断面を大きくしたり、丸太組工やふとんかご等の簡易構造物の設置を検討する。

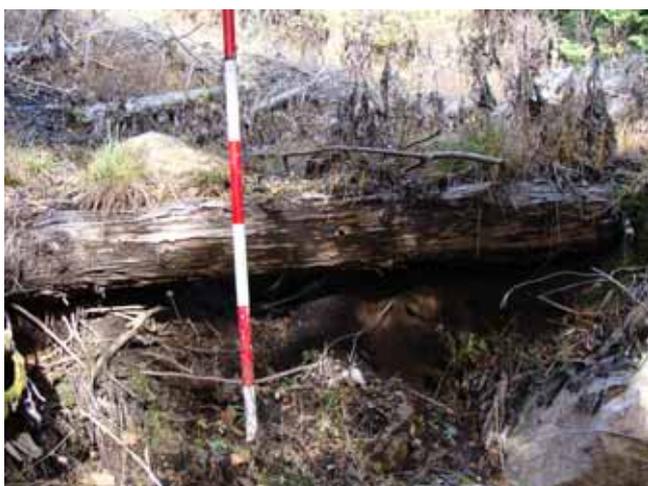


丸太組工の留意点

丸太組は時間の経過とともに腐朽・劣化によって部材の強度が低下するものである。このため、丸太組を施工する場合には、

- 1) 通行の安全確認ができるよう丸太の腐朽・劣化の状況が確認できる使用形態とすること
- 2) 丸太が腐朽・劣化し使用に耐えられない場合は、容易に付け替えや補強ができるよう積み上げ段数を低くすること

以上のことを踏まえた維持管理の方法を検討する。



丸太組工の壁面背部は、土砂の抜け落ちに注意して施工しなければならない。一旦、土砂が流亡をはじめると、路体にまで影響を及ぼし、路体流出につながる。

背面から土砂が流亡した一例(群馬県沼田市)



丸太の密着性、盛土材の粒度を考慮して、雨水等による土砂の流亡が生じないように、石礫を利用するなどして流亡防止に留意し、丁寧に施工する。

丸太組工前面に石礫を利用した一例(宮崎県木城町)

(3) 傾斜35°以上

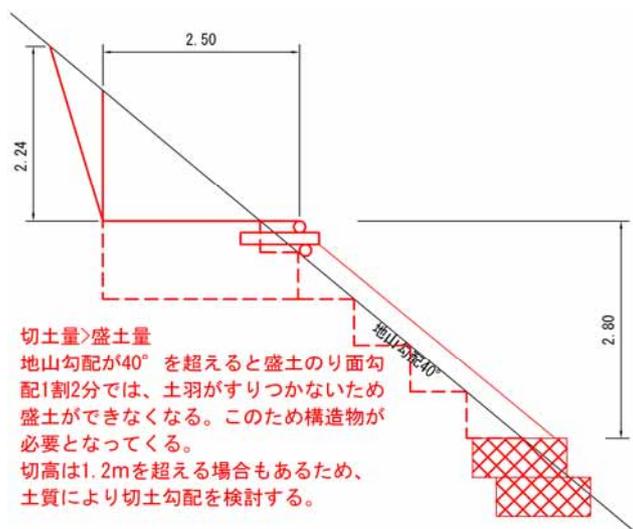
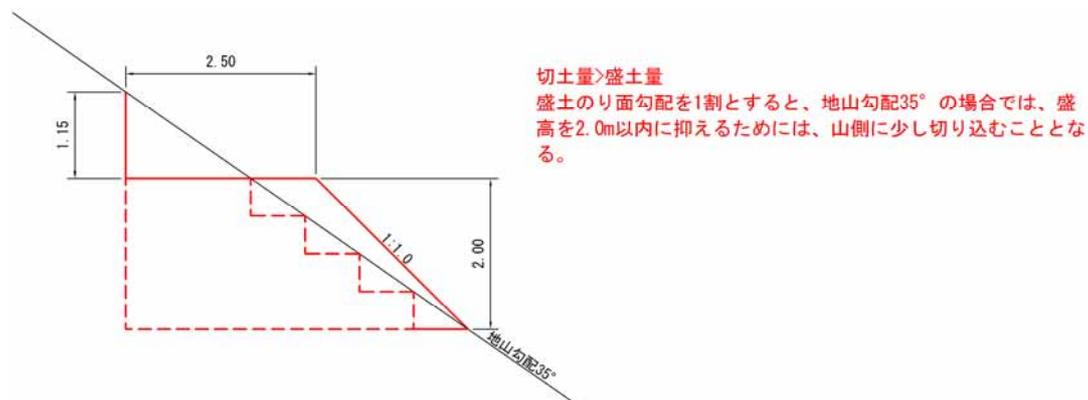
急傾斜地であるため、丸太組等の構造物を計画しないと作設が困難である。

経済性を失ったり、環境面、安全面での対応が困難となる恐れがある場合は、林道とタワーヤードなどの組合せによる架線集材を検討する。

なお、森林作業道の作設を選択する場合には、3～4トンクラス（バケット容量0.2m³クラス以下）をベースマシンとした作業システム及び2トン積みトラックの走行に限られるものと想定され、幅員2.5mとする。

【参考】

急傾斜地で盛土を施工する場合は、盛土厚が薄く、盛土高が高くなるため、丸太組工やふとんかご等の簡易構造物の設置を検討する。

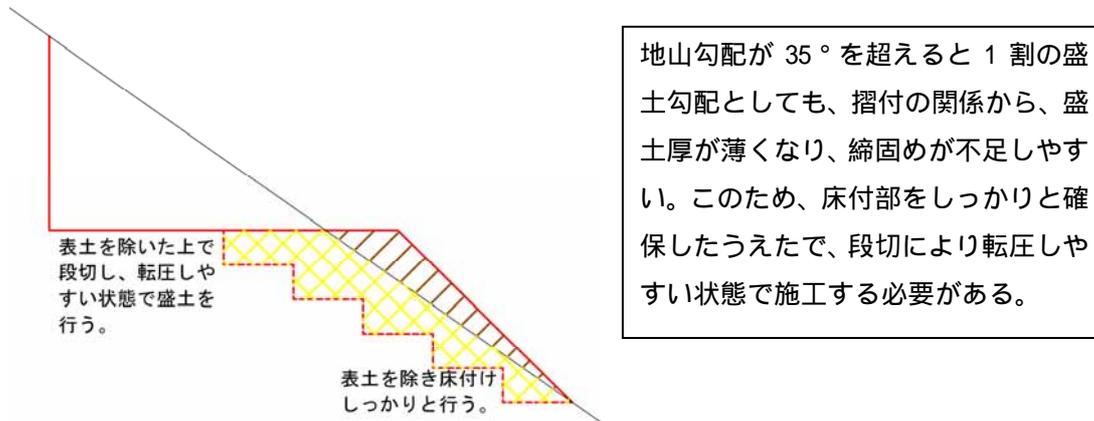


急傾斜地における作設作業の留意点

急勾配箇所では盛土を施工する場合は、盛土厚が薄くなるため盛土の締固めが不足しやすい。このような箇所では盛土を行う場合は、表土を除き段切を行い且つ盛土土羽尻部の床均しをしっかりと行う。



締固め不足による盛土の沈下



地山勾配が 35° を超えると 1 割の盛土勾配としても、摺付の関係から、盛土厚が薄くなり、締固めが不足しやすい。このため、床付部をしっかりと確保したうえで、段切により転圧しやすい状態で施工する必要がある。

3 縦断勾配

(1) 縦断勾配の基本

縦断勾配は、集材作業を行う車両が、木材を積載し安全に上り走行・下り走行ができることを基本として計画する。

適切な縦断勾配は、集材作業を行う車両の自重、木材積載時の荷重バランス、エンジン出力などのほか、路面の固さ、土質による滑りやすさ、勾配が急になるほど路面侵食が起きやすくなること等を考慮して計画する。

縦断勾配の目安を示せば次のとおりである。

基本的には概ね 10° (18%) 以下で検討する。やむを得ない場合は、短区間に限り概ね 14° (25%) 程度で計画する。 12° (21%) を超え危険が予想される場合はコンクリート路面工等を検討する。

なお、周辺の土壌が、水分を含むと滑りやすい粘土質の赤土などである場合や、コケなどの付着が予想される場合にあってはコンクリート路面工に箒掃きを行う等の滑り止めの工夫を施すことを検討する。

【参考】

注意する土質

粘土質の土質は、もともと水分が高いため、切土を行った際に触ってみると、手に水分が残る感じがする。礫質土は、粘性土と比較すると水分が低いが、クローラにより細かく破碎されるような泥岩や砂岩の場合は、雨天時に施工すると泥濘化したり路面の透水性が低くなったりする可能性があることから、施工中のクローラによる礫の破碎状況を観察することが重要である。このような性質の礫は、礫の表面に爪で傷をつけられる程度の軟らかさのものである。



砂岩や泥岩が破碎されると、細かな礫・砂となり、粒径の大きな礫と礫の間が埋められ、粒度分布がよくなることから支持力の高い路面となる。一方、細かな岩屑や粘性土で路面が緻密な状態となるため、透水性が低下し、侵食を受けやすくなるため、横断排水施設の設置間隔に注意する必要がある。

クローラにより破碎された砂岩が混ざった路面
(東京都多摩地区)

また、コケなどの付着が予想されるような箇所とは、日光の当たりづらい北斜面や日影となりやすい川手側の路肩である。特に透水性の悪い路肩では、コケが発生しやすい。

急勾配箇所の日常管理

森林作業道は事業地への到達を考えて、やむを得ず急な縦断勾配を採用する場合がある。急な縦断勾配では、路面水の流速が早くなることから、緩勾配の箇所と比較すると侵食を受けやすい条件下にある。したがって、路面水を短距離で排水するほか、継続的に施業を実施しない場合は、枝条材を利用して路面を被覆することで路面侵食の防止が図られる場合がある。ただし、枝条材で路面を覆った場合は、捕捉された土砂の影響により排水不良となりやすい場合もあるため、路面の状態をよく確認する必要がある。



急な縦断勾配の箇所では、路面水を短距離で排除することのほか、供用しない時期は左の写真のように路面を枝条材などで被覆することにより、土砂の移動を固定したり、雨滴衝撃が緩和される場合がある。

急勾配であるが侵食の発生していない路面(鳥取県日野町)

(2) 曲線部及び曲線部の前後の区間の縦断勾配

急勾配区間と曲線部の組合せは極力避ける。また、S字カーブは、木材積載車両の下り走行時の走行の安全を確保する観点から、連続して設けないようにし、カーブ間に直線部を設ける。ただし、地形条件からそのような組合せを確保できない場合は、当該箇所での減速を義務づける等運転者の注意を喚起する。

4 排水計画

森林作業道を継続的に使用するためには、適切な排水処理の計画が重要である。

土構造を基本とする森林作業道では、原則として路面の横断勾配を水平にした上で、縦断勾配を緩やかな波状にすることにより、こまめな分散排水を行うとともに、排水先を安定した尾根部や常水のある沢にするなどして、路面に集まる雨水を安全、適切に処理するよう路線計画を検討する。

このほか、次の点に留意する。

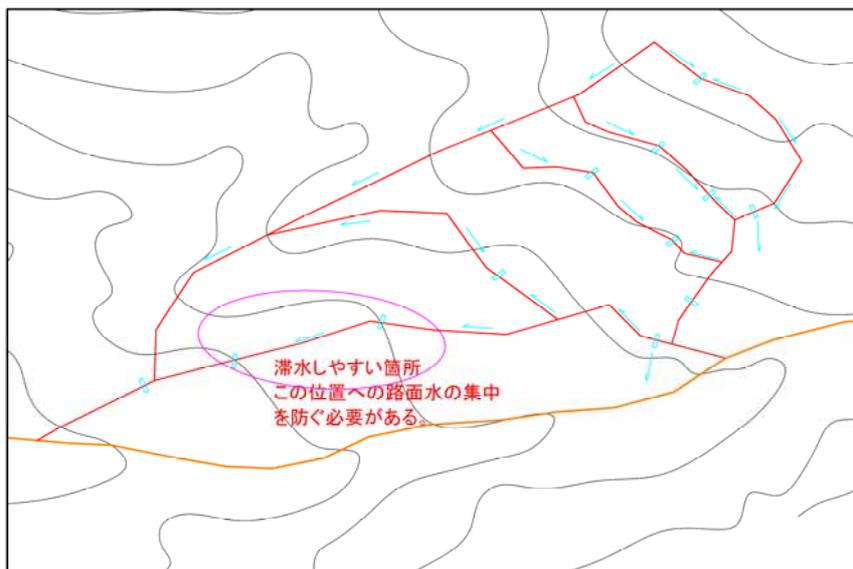
- (1) 横断排水施設やカーブを利用して分散排水する。排水が集中するような場合は、安全に排水できる箇所(沢、尾根)をあらかじめ決めておく。
排水先に適した箇所がない場所では、側溝等により導水する。
- (2) 排水はカーブ上部の入口部分で行い、曲線部への雨水の流入は極力避ける。
- (3) 木材積載時の下り走行におけるブレーキの故障や、雨天や凍結時のスリップによる転落事故を防止するため、カーブの谷側を低くすることは避ける。

【参考】

路網全体としての排水計画

森林作業道は事業地内を100m/haを超える路網密度で作設する場合は、斜面上部の路線で排水したものが、下方の路線に集中して流れ込む場合がある。常水のある沢に導水する場合は、下方の路線に流れ込むことはないが、細かく横断排水施設を設けた場合には、下方の路線に雨水が集

中し、路体が泥濘化する場合があるため、路網全体の排水の流れ把握し、分散排水ができるよう計画する必要がある。



路面水の1箇所集中の検討例

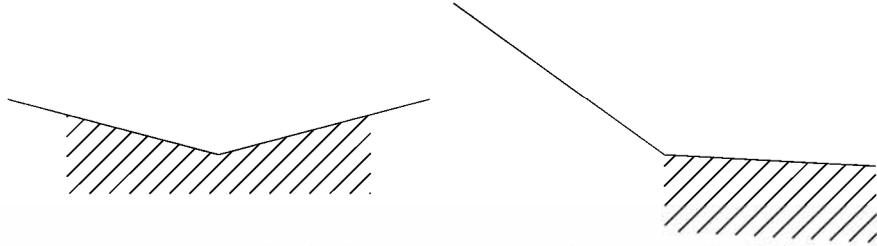
例では全体が集水地形であるため、細かく排水しなければ、1箇所に滞水しやすい。



路網の最下部に路面水が集中した状況である。地形がゆるい場合は、側溝を設けて、路面部に雨水が流入しないようにする必要がある。側溝を併設する場合には、その最終処理先を作設前に決定しておく必要がある。

滞水箇所の処理

沢部において縦断勾配をV型にした場合や、勾配変化点が透水性の悪い土質の場合は、盛土材の含水比が常に高い状態となりやすいことから、簡易な暗渠工を設けるなどして、盛土内部の滞水を防ぐ必要がある。



土砂の堆積や雨水の滞留が発生しやすいため、路盤の盛土内部の浸透水の積極的な排水が大切である。

箇所によるCBRの違い

種別	滞水箇所	非滞水箇所	備考
敷砂利	-	48.4	林道
締め後の路床	-	16.2	火山性堆積土
火山性堆積土	3.2	7.0	
火山性堆積土(黒ボク)	1.0	6.8	
火山性堆積土(関東ローム)	3.2	8.8	
火山性堆積土(関東ローム)+砂岩	2.6	20.1	
火山灰質礫質土	2.0	14.3	
火山灰質礫質土	3.7	9.9	
火成岩質礫質土	3.7	20.1	
火成岩質礫質土	2.8	13.1	
堆積岩質礫質土(砂岩)	6.8	34.7	
堆積岩質礫質土(砂岩)	4.1	29.4	
堆積岩質礫質土(砂岩)	12.8	24.7	
変成岩質礫質土(緑色片岩)	16.2	34.1	
変成岩質礫質土(緑色片岩)	3.6	16.5	
まさ土(硬質)	16.4	24.4	
まさ土(砂質)	10.6	20.0	
まさ土(粘性)	1.8	19.0	

滞水箇所と非滞水箇所では、同じ土質でも路面支持力に大きな違いが生じる(上表)。路面に足跡が残るような路面では、十分な支持力が期待できない。このように土砂が堆積しているような箇所では、締め固めは困難であることから、路面の入れ替えや石礫が入手できる場合は、路面への敷き並べを検討するべきである。



まさ土のように地表に露出すると風化が進みやすい土質では、左の写真のような土砂の流下・堆積が生じ、路体の強度が低下しやすい。切土のり面からの崩土は、速やかに敷き均して、土砂の堆積の集中を防ぐ必要がある。

外カーブの進入口

外カーブの道路の場合、道路横断勾配が水平であっても、縦断勾配の関係から、雨水の流下方向が変化することなく流れやすい。このため盛土箇所の場合では、外カーブの開始位置に簡易な横断排水施設を計画する。



左の写真のようにカーブ中に流れこまないでカーブの入り口部で流下しやすい。このため、当初から横断排水施設を設置し、流末部を保護する必要がある。
写真のように、やむを得ず盛土に路面水が流下する場合には、盛土のり面に土のう等を利用した侵食防止施設を設けて、のり面を保護する。

外カーブの流水の一例

外カーブにおける排水上の留意点

外カーブにおける排水は尾根部における排水となることから、川手側に勾配を付ける場合がある。冬期に路面が凍結するような地域においては、川手側の片勾配は車両の転落につながる恐れがあることから、導水は縦断勾配と横断排水施設により対応する。

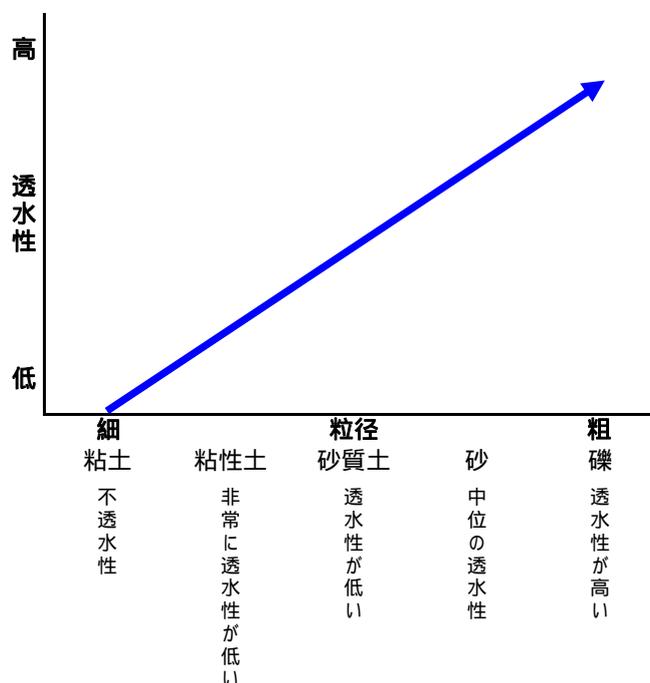
透水性

路盤及び盛土のり面における侵食の発生は、路盤材及び盛土材の透水性の大小により変化する。路盤材、盛土材ともに、均一の土質で造成されることは少ないが、土質別の透水性の概略は次のとおりである。



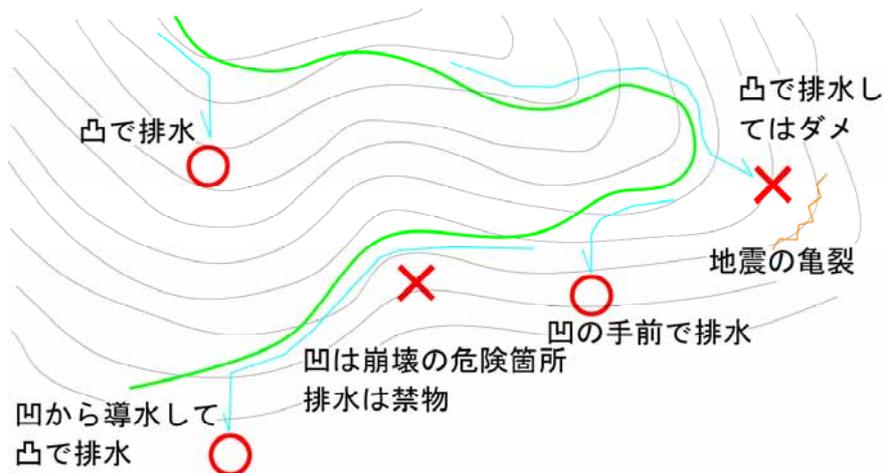
侵食を受けやすい土質の場合は、僅かな流路延長であっても、左の写真のように侵食が発生する。このような箇所では、短い間隔で路面水を処理し、しっかりと流末まで導水することが必要である。また、盛土部は、のり面の長さを短くしたり、路肩部を高盛土にすることを検討する。

容易に侵食される粘性土とまさ土の混合土の状態



地震後の排水計画

平成 12 年の鳥取県西部地震及びその後の平成 19 年の豪雨災害の事例からみて、震度 5 弱以上の地震が近年生じた地域では、森林作業道で推奨されている凸地形への排水について、現地確認により亀裂の有無をよく把握してから実施する。



(小山 敢、藤田 亮：鳥取県西部地震の影響が残る地域で発生した豪雨災害の特徴、林道 N0443、2008)

第 3 施工

森林作業道は、路体の締固めを適切に行い、堅固な土構造によることを基本とする。
 なお、構造物は地形・地質、土質等の条件からやむを得ない場合に限り設置するも

のとする。

締固めの効果は、

- ・ 荷重が載ったときの沈下を少なくすること
- ・ 雨水の浸透を防ぎ土の軟化や膨張を防ぐこと
- ・ 土粒子のかみ合わせを高め、土構造物に強さを与えること

などにあることを十分理解し、車両が安全に通行できる路体支持力が得られるよう施工する。

1 切土

切土工は、事業現場の地山の地形・地質、土質、気象条件や機械の作業に必要となる空間などを考慮しつつ、発生土量の抑制と切土のり面の安定が図られるよう適切に行う。

切土高は傾斜が急になるほど高くなるが、ヘアピンカーブの入口など局所的に1.5 mを超えざるを得ない場合を除き、切土のり面の安定や機械の旋回を考慮し1.5 m程度以内とすることが望ましく、なおかつ高い切土が連続しないよう注意する。

切土のり面勾配は土砂の場合は6分、岩石の場合は3分を標準とする。

ただし、土質が、岩石であるときや土砂であっても切土高が1.2 m程度以内であるときは、直切が可能な場合があり、土質を踏まえ検討する。

崖すい(急斜面から、剥がれ落ちた岩石・土砂が堆積して出来た地形)では切土高が1 mでも崩れる一方、シラスでは直切が安定するなどの例もあり、直切の可否は土質、近傍の現場の状況などをもとに判断する。

【参考】

切土勾配

火山灰質粘性土の場合であって、のり面が均一な材料で構成される場合には、その粘着力により垂直に近い勾配でも安定する。一方、不均質な材料で構成される場合には、のり面に露出する石礫の抜け落ちが発生しやすいことから、切土のり面を緩くしたほうが崩落土を抑制することができる。



火山性堆積物の切土のり面

火山性堆積物の切土のり面は、写真のように少しずつ風化し、のり尻に崩落土が堆積する。豪雪地の場合は、道路全体が雪によりカバーされることから凍上融解が発生しないため、南斜面でものり頭にオーバーハングは発生しない。

(北海道旭川市)



直切で施工したロームの切土のり面

ロームのように切土のり面の構成部材が一様である場合は、垂直に切り上げて安定している。ただし、表面の風化により徐々に勾配が緩くなり 70 ~ 80° 程度の勾配になる場合が多い。

(群馬県沼田市)



不均一さにより石礫が抜け落ちた切土のり面
(東京都多摩地区)

のり面の構成部材が一様でない場合は、写真のように切土高が低くても石礫が抜け落ちる場合がある。のり高が低い場合は、石礫の供給量は多くはないが、のり高が高くなると崩落土砂の量も増えるため、車両の通行に支障をきたすようになることから、このようなのり面で石礫が抜け落ちないようにのり勾配を緩やかにする。写真撮影位置は鞍部であり、隆起活動の結果、写真のような玉石が稜線部で見られた事例である。



火成岩質礫質土(流紋岩)の切土のり面
(岐阜県東白川村)

火成岩帯では写真のように一部火成岩が露出し、その周囲は火山降下物が堆積している場合が多い。褶曲活動により岩体が岩塊化している場合もあり、そのような場合は写真のように抜け落ちが発生する場合もある。特に切土高が高い場合は、施業時に危険であることから、施工の段階で岩塊を排除し、のり面勾配を緩くしておく必要がある。のり面上方にみえる礫は過去の土石流により移動してきたものであり、そのような沢の周辺では土砂の移動により礫が混在している場合が多い。



火山灰質礫質土(凝灰岩)を主体とした切土のり面(岡山県新見市)

堆積岩のうち、火山噴出物に由来する凝灰岩は圧力解放を受けて、写真のように細かな礫となつてのり面下方に堆積しやすい。森林作業道では大きな切土が発生しにくいことから、過去の降下堆積物が移動し、未固結の礫が出現しやすい。



砂岩を主体とする切土のり面である。垂直に近く切り上げても、切土面が緻密であることから、安定した状態が保たれている。礫質土であっても、礫の混入の程度、大きさ、礫周辺の土の状態によっては、礫が抜け落ち、そこから崩落土が発生し、のり面勾配が変化していく。

四万十累層の堆積岩質礫質土の切土のり面(宮崎県木城町)



変成岩は一度岩石として形成されたものが高い温度や高い圧力によって変成を受けたものである。写真の三波川帯変成岩は緑色片岩からなっており、扁平に割れやすい。層理方向と岩と岩の間に、粘性土等の滑材がある場合は、風化によって崩落しやすいため、層理方向、岩と岩の間の状態に注意して施工する。

変成岩質礫質土(三波川変成岩帯)の切土のり面(愛媛県久万高原町)



変成岩帯では、写真のように強く変成を受けた石礫の厚い堆積箇所が出現する。石礫の堆積勾配は45度程度で落ち着いているが、法尻に石礫を受け止める施設を設けなければ、幅員が少しずつ狭まることになる。なお、このような箇所は、地表部に石礫が露出しており、沢部であっても流水が伏流し確認できない場合が多い。路線の作設を避けるべき箇所である。

変成岩質礫質土の強度に変成を受けた切土のり面
(長野県伊那市)



風化したまさ土ののり尻の堆積物(鳥取県日野町)

まさ土は一般に粘着力が低いことから、粒子同士の結合力が弱い。このため、地表に露出すると風化が進みのり面下方に堆積しやすい。これらの堆積物は流下・堆積し、路面を軟弱化させるため、早期に除去する必要がある。



切土のり面に露出した沖積層の岩塊(長野県中信地方)

過去に堆積した沖積層の岩塊が、造山活動により押し上げられ、山腹中腹部でも火山噴出物であるロームとともに地表下すぐの箇所に現れる場合がある。このような石礫はすぐに抜け落ちるため、のり勾配を緩やかにする必要がある。

土質と切土勾配

調査事例から、土質別の切土の特徴を整理すると次のとおりとなる。

土質	特徴
粘性土	当初は90°で施工しても、法肩部の侵食により少しずつ勾配は緩やかになる。寒冷地の南側斜面ほど凍上の影響を強く受けるため、オーバーハングしやすい。この他、石礫が混在する場合も緩勾配化が進みやすい。調査事例では、施工後1年で90°付近ののり勾配を維持していたものは約2割程度であり、施工後5年では90°付近を維持している事例はなかった。
まさ土	固結の程度により切土部の表面が風化し、法尻に堆積する度合いが異なる。露出するまさ土が固結している場合は、90°に切り上げてものり面の侵食が進みにくいが、指で簡単に押し込めるような未固結の場合は、切土勾配に関係なく風化が進みやすい。風化が進んだ結果、3分(73°)程度で安定している事例が多い。
火成岩質礫質土	固結の程度が良い場合、施工当初ののり勾配が維持されており、風化による堆積土砂は少ない。森林作業道では、この上に堆積した火山降下物を主体とする切土部と火山岩質礫質土部が不連続で出現するケースが多く、時に火山岩の岩塊が混ざることもある。岩塊の抜け落ちが発生すると、そこから風化を受けやすい。硬く均一なものは90°に切り上げても安定しているが、細かく破碎されているものは3分(73°)程度で切土する。
火山灰質礫質土	火山噴出物由来の礫質土は切土による圧力解放を受けると、細かな抜け落ちが発生している事例がみられた。切土を行い、細かく破碎された状態になるような場合は、当初から3分(73°)よりも緩いのり勾配を検討する。
堆積岩質礫質土	出現する岩石の固結の程度と褶曲活動によるもまれ方によって、岩の硬さと破碎の程度が異なる。強く破碎されている場合は、90°で切り上げても、常に崩落土が供給されるため、3分(73°)程度までで切土する。
変成岩質礫質土	変成の程度によって切土勾配の変化の程度は異なり、弱い変成の場合は、施工後4～5年後では90°付近ののり勾配を維持しているケースが多い。一方、強い変成を受け、切土の段階から石礫がこぼれ落ちるような箇所では、90°付近ののり勾配を維持することは難しいため、当初から3分(73°)よりも緩いのり勾配を検討する。

凍上について

凍上は夜間から明け方にかけて地表面が冷やされると、温度勾配によって地中から水が地表面に向かって移動し、この移動した水が地表面で凍ることにより発生する。凍上を支配する3要素は土質、温度、水分といわれている¹。

このような凍上融解が発生しやすい標高の高い地域のうち、火山灰質粘性土に覆われた地域では、凍上融解によりり面が少しずつオーバーハングしていく。これを防ぐためには、り面全体を伏工によりカバーすることが効果的である。ただし、り面の露出面積が少ない場合は、凍上による土砂の崩落量も少ないことから、高い切土が連続しないことが望ましい。また、崩落してきた土砂については、速やかに路面にまき均し、路面に滞留水が発生しないようにする必要がある。

¹ 土質工学会、土の凍結 - その制御と応用 -、P24、土質工学会、1989



凍上融解によるオーバーハングの発生(ローム)

まさ土の凍上融解

写真左は群馬県沼田市、右は兵庫県朝来市

滞留水の抑制

水が滞留する場所は、路盤の支持力が低く、路面の轍ぼれになりやすい。周辺で石礫が採取できる場合は、石礫により路盤を補強し、現地発生材が取得困難な場合は、購入クラッシャーランを敷設する等して路盤を強化する。



軟弱路盤走行による路盤の痛み(群馬県沼田市)

2 盛土

(1) 盛土工は、事業現場の地山の地形・地質、土質、気象条件や幅員、機械の重量などを考慮し、路体が支持力を有し安定するよう適切に行う。

堅固な路体をつくるため、締固めは概ね30cm程度の層ごとに十分に行う。

この場合、地山の土質に応じて十分な強度が得られるよう必要な盛土工を行う。

(強度を有する土質の場合)

地山に段切りを行った上で、盛土部分を概ね30cm程度の層ごとに締固め、路体の強

度を得る。

(強度を有しない土質の場合)

盛土・地山を区分しないで、路体全体を概ね30cm程度の層ごとに締固め、路体全体としての強度を得る。

(2) 盛土のり面勾配は、盛土高や土質等にもよるが、概ね1割より緩い勾配とする。盛土高が2mを超える場合は、1割2分程度の勾配とする。

なお、急傾斜地では、堅固な地盤の上のにり止めとして丸太組工、ふとんかごや2次製品を設置したり、石積み工法等を採用するなどして、盛土高を抑えながら、堅固な路体を構築することも検討する。

(3) ヘアピンカーブにおいては、路面高と路線配置を精査し、盛土箇所を谷側に張り出す場合には、締固めを繰り返し行ったり、構造物を設けるなどして、路体に十分な強度をもたせるようにする。

(4) 盛土の土量が不足する場合は、安易に切土を高くして山側から谷側への横方向での土量調整を行って補うのではなく、当該盛土の前後の路床高の調整など縦方向での土量調整を検討することも必要である。

【参考】

盛土材の強度

盛土材の強度を示す値については、判定する要素により次のようなものがある。

土の物性値	内容	備考
内部摩擦角 (度)	土のせん断強さのうち、鉛直応力に比例する摩擦抵抗分を表す角度のこと。	粘性土は低く(30度以下)、礫質土(30度以上)になると高くなる。
粘着力 c(kN/m ²)	土のせん断強さのうち、鉛直方向に関係の無い成分定数のこと。	この値は排水条件により異なる。含水比の高い粘性土では、こね返しによって盛土内の間隙水圧が上昇し、盛土の安定性が問題となる場合がある。
支持力係数 K値(Mpa/m ³)	路床面、または路盤面における支持力の大小を表わす指標として用いられるものである。	
コーン指数 qu(kN/m ²)	土工機械の走行に耐えうる地面の能力。コーン指数で示す。	200kN/m ² 以下だと泥水状態であり、1,200kN/m ² 以上だとダンプトラックが走行可能である。
N値	土の硬さや締まり具合を表す単位のこと。	粘性土であると4以下、砂質土であると10以下がやわらかいとされる。
CBR (%)	地盤試験の一つで路床土支持力比を求めるものである。基準材料は、代表的なクラッシャーラン(割放し碎石)であり、その平均値をCBR=100%と定めた。	

盛土材の密度、含水比、土粒子径により同じような土質でも均一の値となることはない。粘性が高く含水比が高い場合は、礫質でない土ほど強度が低く、礫質であるほど強度は高くなる。ただし、火山灰質粘性土の盛土では、こね返してしまっても強度を低下させてしまっても、乾燥させることである程度強度が回復する場合がある。

締固め

締固めは十分に行う必要がある。盛土材が最も締まり安定する状態は最適含水比のときであることから、雨天時の施工や冬期の施工は、避けなければならない。雨天後に施工する場合は、盛土材の状態を考えながら締固めを行い、泥濘化するような場合は、施工を中止するべきである。特に自然含水比と最適含水比の差が大きい粘性土では、水分管理が重要である。

土の自然含水比は、土のおかれている諸条件によって異なるが、一般に砂分・礫分の混入が多いほど含水比は低く、細粒分の混入が多いほど含水比は高くなる。

土質別の最適な含水比の目安

土質	最適な状態の特徴	自然含水比 (%)	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)
火山灰質粘性土 (ローム)	親指で軽くへこむような場合は水分多い。やや乾燥してくると手につきにくくなる。	89.0 ~ 95.6	51.8 ~ 54.3	1.0
黒ボク土	通常は水分が多いため、黒土の細かな粒子は指に残る。この粒子が指に残っても、すぐに払える状態がよい。	41.2 ~ 109.4	26.0 ~ 58.2	0.9 ~ 1.2
まさ土	砂分の多いものは、指で露出面を押し込んでも、水気は残らず、土粒子も簡単に落ちる。 粘性分を含むものは、指でつまむと、白っぽい粒子が残る。	12.7 ~ 14.5 (砂質) 19.4 ~ 22.8 (粘性)	13.5 ~ 14.8 (砂質) 17.8 ~ 18.7 (粘性)	1.8 ~ 1.9 (砂質) 1.6 ~ 1.7 (粘性)
粘性土質砂質土	通常是水っぽさを感じ、土粒子は指紋の隙間に残る。この水っぽさが残らない状態がよい。見た目でも乾燥した感じを受ける状態がよい。	12.0 ~ 20.2	8.7 ~ 22.1	1.5 ~ 2.0
火成岩質礫質土	岩周辺部からは水っぽさはあまり伝わらない。崩土を握りしめると砂分が感じられる。礫質周辺の粘性土は水分が高く、手に白っぽさが残る。粘性土の水分を調節するように、砂分を含む礫質のものを混入させることが必要である。	28.3 ~ 80.3	19.1 ~ 57.0	1.0 ~ 1.6
火山灰質礫質土 (北日本)	非常に軽く、地表に露出したものは乾燥しているが、地山内部のものは自然含水比が高く、握り締めると手に細かい粒子が付着し、なかなか落ちない。粘性を感じさせない程度のものがよい。	46.1 ~ 87.5	31.4 ~ 45.5	1.0 ~ 1.2
火山灰質礫質土 (西日本)	自然含水比は高いようであり、指で触ると水っぽさが伝わる。土の部分は、握り締めるとよく固まる。表面がやや白っぽく乾燥した状態がよい。	27.5 ~ 37.8	20.7 ~ 26.5	1.5 ~ 1.6
堆積岩質礫質土	手に水っぽさが伝わらない状態がよい。地山中の含水比は最適含水比に近い場合が多い。	15.2 ~ 19.3	13.5 ~ 18.3	1.7 ~ 1.8
変成岩質礫質土	手に水っぽさが伝わらない状態がよい。地山中の含水比は最適含水比に近い場合が多い。	12.6 ~ 23.0	9.9 ~ 14.2	1.8 ~ 2.1
シラス	硬質しらす、普通しらす、風化しらすの順に自然含水比が高い。	15 ~ 33	-	-

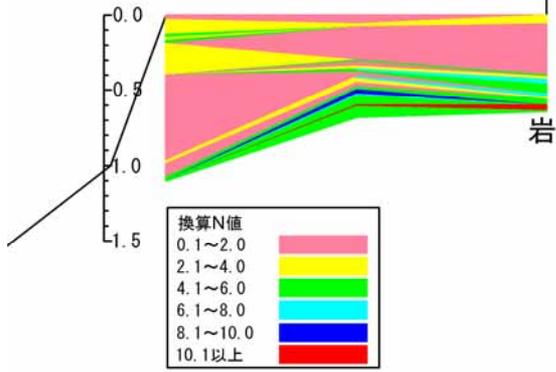
自然含水比、最適含水比は室内土質試験による測定値である。

シラスの含水比は「土木基礎力学2 P156:実教出版」による。

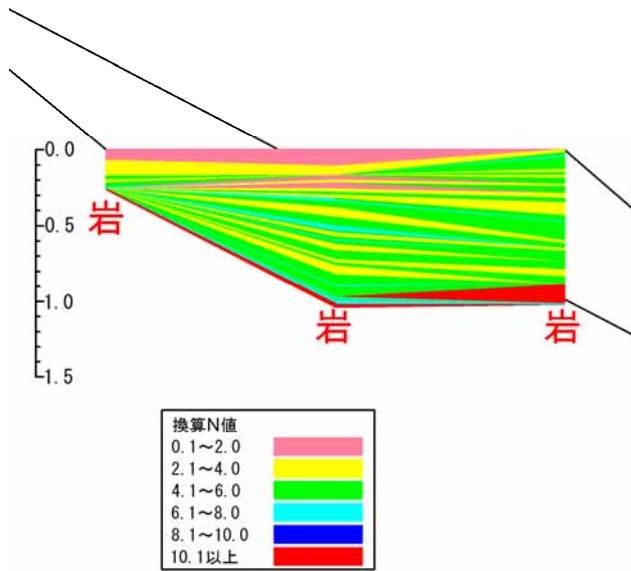
路盤の表層は、一般に車両の走行により山手側と川手側のわだち部分は締まっている。ただし、盛土内部は締固めが不足している場合がみられる。次の図は簡易貫入試験による換算N値の分布を示したものである。図のように換算N値でやわらかいとされる層が広く分布しているのは転圧不足によるものである。このような転圧不足を避けるためには、概ね30cm程度の層ごとに締め固めを行うことに留意するとともに、尾根部等で発生する石礫を盛土材に混入させることが必要である。

一方、比較的良好に締め固められた盛土では、換算N値4.1~6.0の締まった層が主体となっている。この程度に締め固められている盛土の上を歩行してみると、軟らかさが感じられない程度の路体となっている。

換算N値の分布図（礫質土）



内部の締固めが不足する場合の盛土断面
(宮崎県木城町)



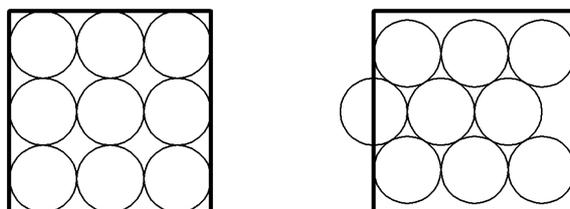
比較的締固められた盛土断面
(長野県伊那市)

礫質土は締固め後のせん断強度が高く、圧縮性が小さいなど、適切な締固めが容易な土である。自然含水比が最適含水比より高い場合(特に両者の差が大きい場合)は、施工時の水分調整が困難となり、盛土の適切な締固めが難しい。含水比が高い場合は、同程度の転圧回数であっても、締固め度が低くなりやすい。西都試験地 H23 年 2 月と伊那試験地 H23 年 9 月では、伊那試験地の方が自然含水比と最適含水比の差が大きいため、締固め度も低い傾向にある。

火山灰質粘性土と礫質土の極限支持力に注目すると、同じような転圧回数でも極限支持力に大きな差が生じている。これは、土質の違いにより、粘土分の含有割合や液性限界の違いから支持力に違いが生じるためである。

粒度分布

盛土の締固めには、含水比のほかに盛土材の粒度分布が影響を与える。



1つ1つの粒子がずれることにより、粒子同士の結合力が高まる。また、粒子間の間隙がさらに細かい粒子で満たされることにより、強い結合力となる。実際には、図と異なり礫は異型であることから、これらの礫の相互のかみ合わせが多く発生するように、粒度分布を広くとることが大切である。粒子と粒子の間隙が埋まることにより、強い土構造物をつくることができる。

内部摩擦角と粘着力

盛土の安定は含水比のほかに粘着力と内部摩擦角が関係する。一般に粘着力は、粘性土は高く、礫質土は低い。一方、内部摩擦角は礫質土は高く、粘性土は低い。粘着力と内部摩擦角は含水比によって変化する。礫が得られる場合は、礫質の土を採取しておき、粘性土や火山灰質粘性土に混入して路体を構築することにより、安定した路体となる。一方、礫質土が入手できない場合は、含水比に注意して、大きな盛土を作らないことが重要である。



粘着力と内部摩擦角の測定例

土質	内部摩擦角(度)	粘着力(kN/m ²)
火山灰質粘性土+軽石	34.8	59.7
火山灰質粘性土	29.8	63.9
黒ボク土	22.8 ~ 28.8	48.6 ~ 54.3
まさ土	34.2 ~ 40.5	26.9 ~ 71.9
粘性土質砂質土	27.6 ~ 41.4	45.1 ~ 66.5
火成岩質礫質土	27.5 ~ 39.6	11.8 ~ 41.6
火山灰質礫質土(北日本)	31.5 ~ 34.8	24.6 ~ 37.8
火山灰質礫質土(西日本)	30.9 ~ 35.5	65.3 ~ 77.5
堆積岩質礫質土	29.9 ~ 33.9	32.9 ~ 94.1
変成岩質礫質土	29.0 ~ 36.8	20.4 ~ 27.9
シラス	25 ~ 43	自然地盤10 ~ 20 乱された地盤 0

シラスは土質試験の方法と解説 P788:地盤工学会による

高さ2.0m程度の急勾配盛土の連続区間

ロームに砂岩が混ざり、高い粘着力と内部摩擦角を示す(東京都多摩地区)

トラフィカビリティー

トラフィカビリティーとは、地表面の強度(やわらかさ)が車両走行に耐えられるか否かの能力をいうものであり、コーン指数により示される。建設機械の走行に必要なコーン指数は、同一わだちを数回走行が可能な場合の数値である。

これまでの調査で最も軟弱な黒ボク土の場合の測定値は、25(路面中央部)~414kN/m²(路面わだち部)であり、一般的なフォワーダの接地圧が22~27kN/m²(湿地ブルドーザと同程度)と比較すると、フォワーダが走行するのに問題はない。

なお、ヒトが両足で立つ場合の接地圧は19~29kN/m²であり、人が歩いて沈下しない程度の路盤であるならば、フォワーダの走行に問題はない。

建設機械の走行に必要なコーン指数

建設機械の種類	建設機械の接地圧(kN/m ²)	コーン指数qc(kN/m ²)
超湿地ブルドーザ	15 ~ 23	200以上
湿地ブルドーザ	22 ~ 43	300以上
普通ブルドーザ(15t級程度)	55 ~ 60	500以上
普通ブルドーザ(21t級程度)	60 ~ 100	700以上
スクレーパー	41 ~ 56(27)	600以上(超湿地型は400以上)
被けん引式スクレーパー(小型)	130 ~ 140	700以上
自走式スクレーパー(小型)	400 ~ 450	1,000以上
フォワーダ(2~6t)	22 ~ 27	
トラック(2t~4t)	235 ~ 304	
ダンプトラック	350 ~ 550	1,200以上

道路土工要綱(平成21年度版) P287に加筆

コーン指数及びCBRの測定例

土質	コーン指数(kN/m ²)			CBR(%)		
	山側	中央	川手	山側	中央	川手
火山灰質粘性土(ローム)	506	439	561	6.2	5.3	6.9
黒ボク土	396	25	414	4.8	-	5.0
まさ土	1223	1210	1228	15.5	15.3	15.6
火成岩質礫質土	799	695	843	9.9	8.6	10.6
火山灰質礫質土(北日本)	471	254	396	5.7	3.0	4.8
火山灰質礫質土(西日本)	527	821	736	6.5	10.3	9.2
堆積岩質礫質土	1544	1001	1507	19.7	12.6	19.2
変成岩質礫質土	1021	685	1218	12.9	8.5	15.5

測定は簡易支持力測定器による



自然含水比の高い土質では、施工時のこね返しにより路体が泥濘化しやすいため、車両の走行性が悪い。安全で円滑な走行を確保するため、写真のように丸太を等間隔で敷設することで、走行性が確保できる場合がある。

走行性確保のために布設された丸太(福井県大野市)

CBR

CBRは、路床や路盤の強さを評価するための相対的な強度を表している。CBRは供試体表面に直径5cmの貫入ピストンを2.5mmまたは5.0mm貫入させたときの荷重強さ(または荷重)を、標準荷重強さ(または標準荷重)に対する百分率で表したものである。この比は、クラッシャーランを100%としたときのものである。

測定したCBRの試験結果を示したが、このうち注意を要する土質として次のものがあげられる。この土質は、礫質土であり、粒度分布もよく、内部摩擦角が高い値となっているにもかかわらず、CBR値が低い値となっている。

1) 粘土鉱物が混ざる場合

粘土鉱物が盛土材に混ざる場合は、粘土鉱物は吸水することにより体積が増し、その後破壊に至り、軟質化しやすい。したがって、粘土鉱物が混ざるような土質の場合は、その膨潤化により著しく支持力が低下することが考えられるため、亀裂の多い岩質の場合は、礫を剥離させて、礫と礫の間の粘土鉱物の有無などを確認する必要がある。このような場合は、亀裂の間の粘土鉱物の膨潤化を防ぐため、盛土材料が小粒径となるように破碎転圧し、他の盛土材と均一にまぜるよ

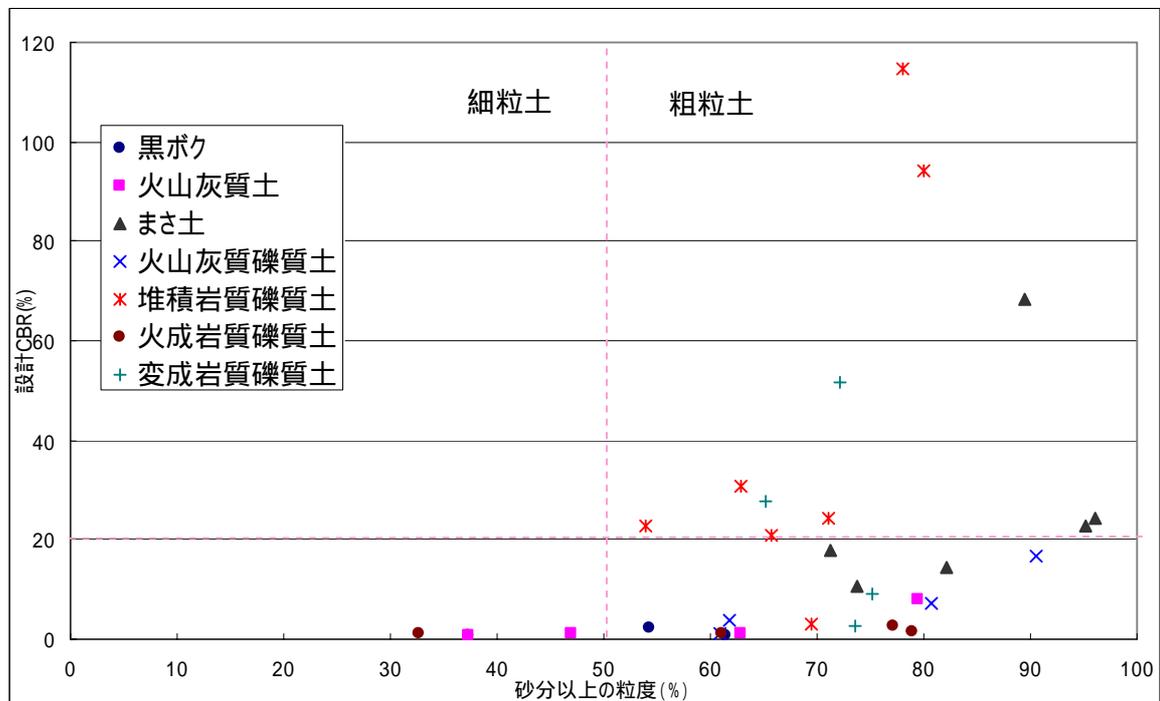
うにする。

2)凝灰岩などの火山灰質の礫質土

細かく破碎された凝灰岩も膨潤化の影響のため低い CBR 値となりやすい。このような場合では、簡単に破碎されるものと堅硬なものを混合して盛土材とする。

3)流紋岩などの火成岩質の礫質土

手で容易に破碎できるようなものは低い CBR となりやすい。硬く固結した礫が出現する場合は、これらの堅硬なものを混合して盛土材とする。



土質別の CBR 測定の一例

土質別の盛土の注意点

土質	特徴
火山灰質粘性土	1割(45度)を超える盛土は行わない。1割の盛土を行う場合は、丸太などの補強材の使用を検討する。 粘性土の箇所では、腐植層が厚い場合が多いため、盛土の床付部は必ず腐植層をはがし、盛土の荷重をしっかりと受ける床付面とする。特に地山勾配が急になるほど薄い盛土となりやすいため、段切を行うなど、均一に締固めるようにする。
まさ土	まさ土は侵食が発生しやすいため、植生の自然侵入が困難な土質であることから、のり面に路面水が流入しないようにする。 路面水が流入しないならば、のり面の長さを短くするため、盛土勾配を1割で施工し、侵食を受ける面積を減らす。
火成岩質礫質土	比較的締固めやすい土質であることから、1割よりも急な盛土が行われていても安定している場合が多い。地山勾配が34°を超える場合は、盛土厚が薄くならないように地山を段切し、均一に締固める。盛土高が高くならないように、盛土勾配の急勾配化を検討する。 手で破碎されるような硬さのものは、膨潤化する可能性があるため、堅硬なものと混合して、締固めを十分に行う。
火山灰質礫質土	地山勾配が34°を超える場合は、盛土厚が薄くならないように地山を段切し、均一に締固める。 盛土高が高くならないように、盛土勾配の急勾配化を検討する。 岩と岩の間に粘土層がある場合は、膨潤化する可能性があるため、細かく破碎して、締固めを十分に行う。
堆積岩質礫質土	堆積岩質礫質土は締固めやすい土質であることから、1割よりも急な盛土勾配が行われている事例が多い。地山傾斜の急な箇所であると盛土の摺付の関係から、急勾配盛土により土工事だけで路体が構築できるが、盛土厚が薄く締固めが不足するような場合は、丸太組工等を併用するなどして盛土を安定させる対策をとる。
変成岩質礫質土	変成岩質礫質土は締固めやすい土質であることから、1割よりも急な盛土勾配が行われている事例が多い。地山傾斜の急な箇所であると盛土の摺付の関係から、急勾配盛土により土工事だけで路体が構築できるが、盛土厚が薄く締固めが不足するような場合は、丸太組工等を併用するなどして盛土を安定させる対策をとる。 変成の程度により固結の具合が異なる場合があるため、硬い礫質のものである場合は問題ないが、軟らかなものが出現したときには、堅硬なものを混合して、締固めを十分に行う。

路肩の強化

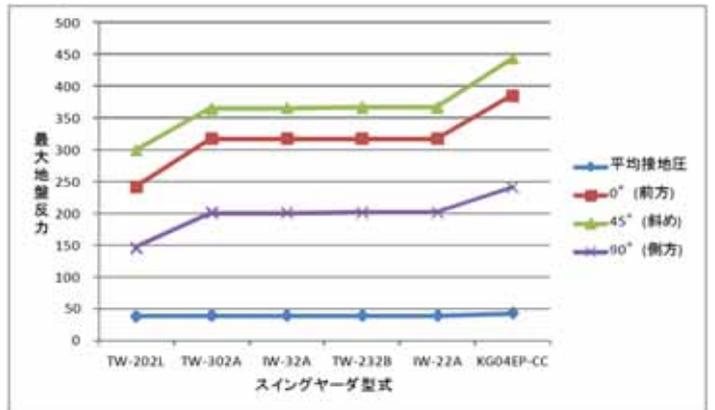
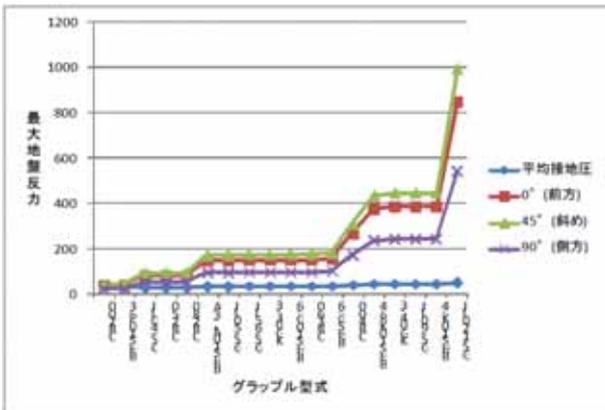
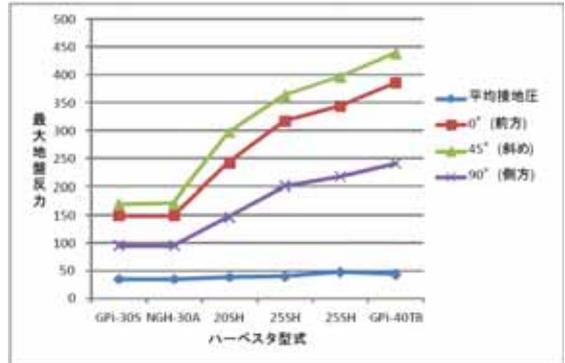
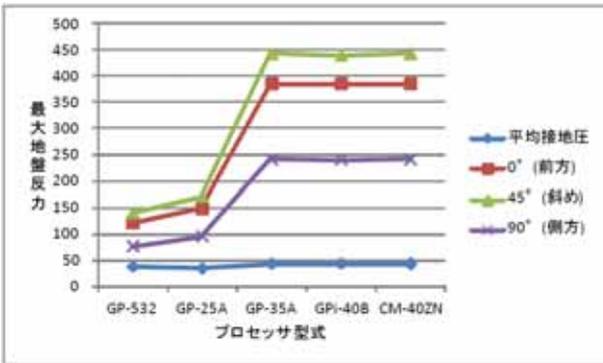
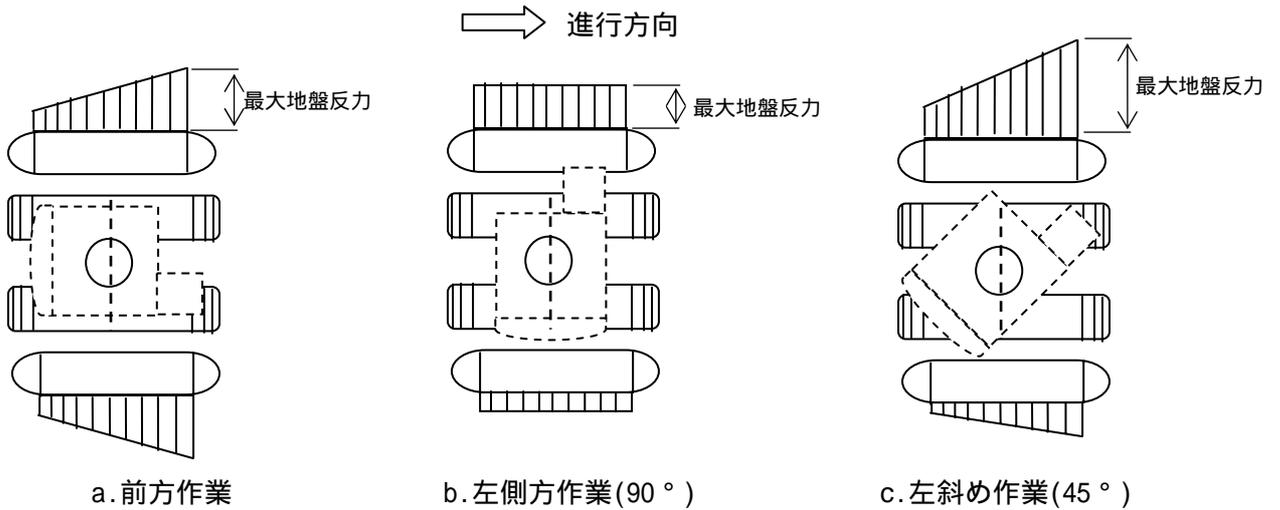
物体は、物体の重さと土(地盤)の支える力とがつり合ってはじめて安全に立つことができる。この物体の重さに対して地盤が反発する力を地盤反力という。支持力は地盤が持っている土のせん断強さのことであり、地盤反力<支持力であれば安全である。

作業状態別に最大地盤反力を整理すると、林業機械種別に関わらずベースマシンの大きさに左右される。特に作業状態を前方、側方(90°)、斜め(45°)の3パターンに分類して地盤反力を計算したところ、実際の集材作業等で最も多く行われる斜め方向での作業時に地盤反力が最大となることが分かった。大型のベースマシンを使用した場合の最大地盤反力は400kN/m²を超えており、粘性土の路体の極限支持力を上回っていることから、礫が混入しない粘性土地帯で大型の機械を使用する場合は、路肩はしっかりと締固め、丸太等で補強する必要がある。

森林作業道における極限支持力と許容支持力の測定の一例

土質	極限支持力(kN/m ²)	許容支持力(kN/m ²)	備考
粘性土	29.7	9.9	凍上のため施工条件不良
粘性土	155.7	51.9	施工条件良
堆積岩質礫質土	877.1	292.4	四万十帯
変成岩質礫質土	503.7	167.9	三波川変成岩帯

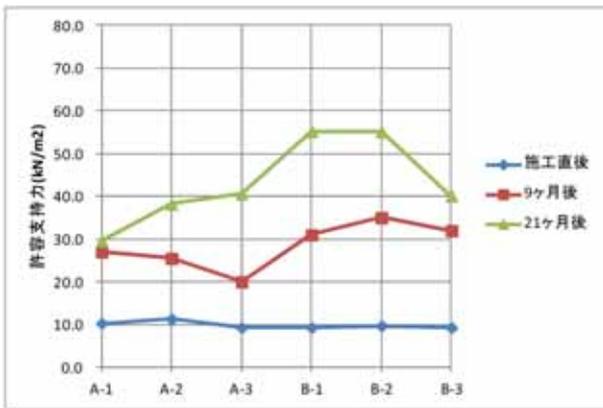
許容支持力とは極限支持力を安全率(3.0)で除した長期支持力



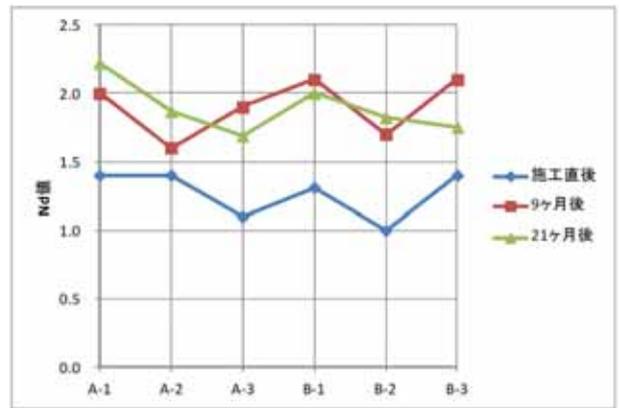
転倒安全率(1.15)における最大地盤反力の概算値：単位(kN/m²)

経年変化

群馬県沼田市(土質：ローム)において施工直後からの許容支持力等の経年変化を測定した結果、施工直後の状況が悪く含水率が高い状態で施工した場合でも、締固めを丁寧に行なえば、施工直後の自然含水比が最適含水比に近づき許容支持力等が向上する場合がみられた。この施工地における現場密度試験の結果からは、最適値の80%程度の値となっており、締固めは適切に行われていた。このことから、現場条件が悪くても、施工時に最大乾燥密度付近で丁寧に締固めすることで、経年変化による許容支持力等が向上することがわかる。なお、次に示すグラフの施工地は、施工してから車両の走向はなかった路線である。



許容支持力の変化



Nd値の変化



A-1 横断

2010.11 施工直後



A-1 横断

2011.9(9ヶ月後)



2012.9(21 ヶ月後)

3 曲線部

林業機械が安全に走行できるよう、内輪差や下り旋回時のふくらみを考慮して曲線部の拡幅を確保する。

4 簡易構造物等

森林作業道は、土構造を基本とする。ただし、安全確保の観点や地形・地質、土質、幅員などの制約から構造物を設置する場合は、丸太組工、ふとんかご等の簡易構造物、コンクリート構造物、鋼製構造物などの中から、利用の頻度やコスト、耐用年数を考慮して選定する。

(1) やむを得ず軟弱地盤の箇所を通過する場合は、水抜き処理、側溝の設置等の実施について検討する。

(2) やむを得ず森林作業道の作設に不向きな黒ぼくや粘土質のロームなどの箇所を通過する場合は、必要な路面支持力を得るため、砕石を施すなどの対策をとることを検討する。

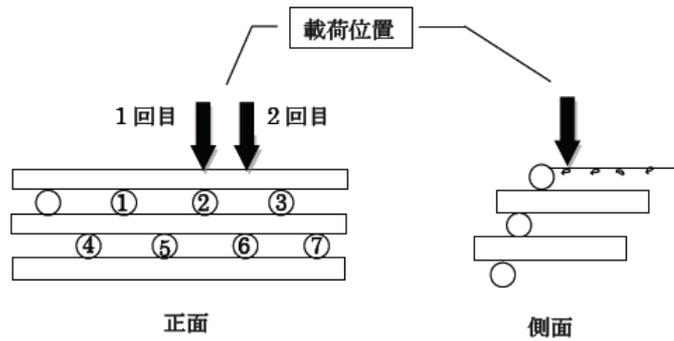
火山灰土など、一度掘り起こすと締固めが効かない土質の箇所で掘削を行う場合は、火山灰土などの深さに応じて、剥ぎ取ったり深層と混ぜ合わせる等の工夫を施すことを検討する。

(3) 2トン積トラックなど接地圧の高い車両が走行する場合には、荷重を分散させるため丸太組による路肩補強工の実施について検討する。

【参考】

丸太組工に対する荷重の影響の一例

丸太組工に対する荷重の影響を調べるため、火山灰質粘性土の森林作業道において静的載荷試験を実施した結果は次のとおりである。



車輪のめり込みと丸太間からの土砂押出状況
(①横木や杭丸太の間から押出された土砂)



- ・火山灰質粘性土による盛土での自動車の走行は、路盤と路肩の補強が必要。
- ・丸太組だけでは、土砂の沈下や押し出し等があり、補強にならない。
(横木が押し出される危険性もある)
- ・丸太組の間に石礫等を入れることが必要。

5 排水施設

森林作業道は、路面の横断勾配を水平とし、波形勾配を利用した分散排水を行うことを基本とし、必要に応じて簡易な排水施設を設置する。

このほか、次の点に留意する。

- (1) 排水施設は、路面の縦断勾配、当該区間の延長及び区間に係る集水区域の広がり等を考慮して、適切な間隔で設置する。
- (2) 排水溝を設置する場合は、維持管理を考慮し、原則として開きよとする。
- (3) 丸太を利用した開きよやゴム板などを利用した横断排水施設を設置する場合は、走行車両の重量や足回りを考慮する。
- (4) 横断排水施設の排水先には、路体の決壊を防止するため、岩や石で水たたきを設置したり、植生マットで覆うなどの処理を行う。
- (5) 水平区間など危険のない場所で、横断勾配の谷側をわずかに低くする排水方法を採用する場合は、必要に応じて丸太などによる路肩侵食保護工や植生マット等で盛土のり面の保護措置をとる。
- (6) 湧水がある場合は、側溝などでその場で処理することを原則とする。
- (7) 小渓流の横断には、原則として暗きよではなく洗い越しを施工する。
洗い越しを施工する場合は、丸太や岩石を活用し、必要に応じてコンクリートを用いる。
洗い越しは、路面に比べ低い通水面を設けることで、流水の路面への流出を避けるようにする。
通水面は、水が薄く流れるように設計し、一か所に流水が集中し流速が高まらないようにすることにより洗い越しの侵食を防止する。
- (8) 洗い越しの上流部・下流部に流速を抑えるための水溜を設けるダム工は、渦や落差による侵食を引き起こすおそれがないように留意しながら、現場の状況、施工地の降雨量や降雨特性を勘案の上、設置する。

【参考】

片勾配

縦断勾配が急な場合では、路面の侵食が発生しやすく、一度路面の侵食が発生すると、雨水が1箇所に集中し、路肩欠損につながりやすい。このため、直線区間では、川手側に勾配をつけて、路面全体で雨水を排水し、1箇所に路面水が集中しないようにする場合がある。

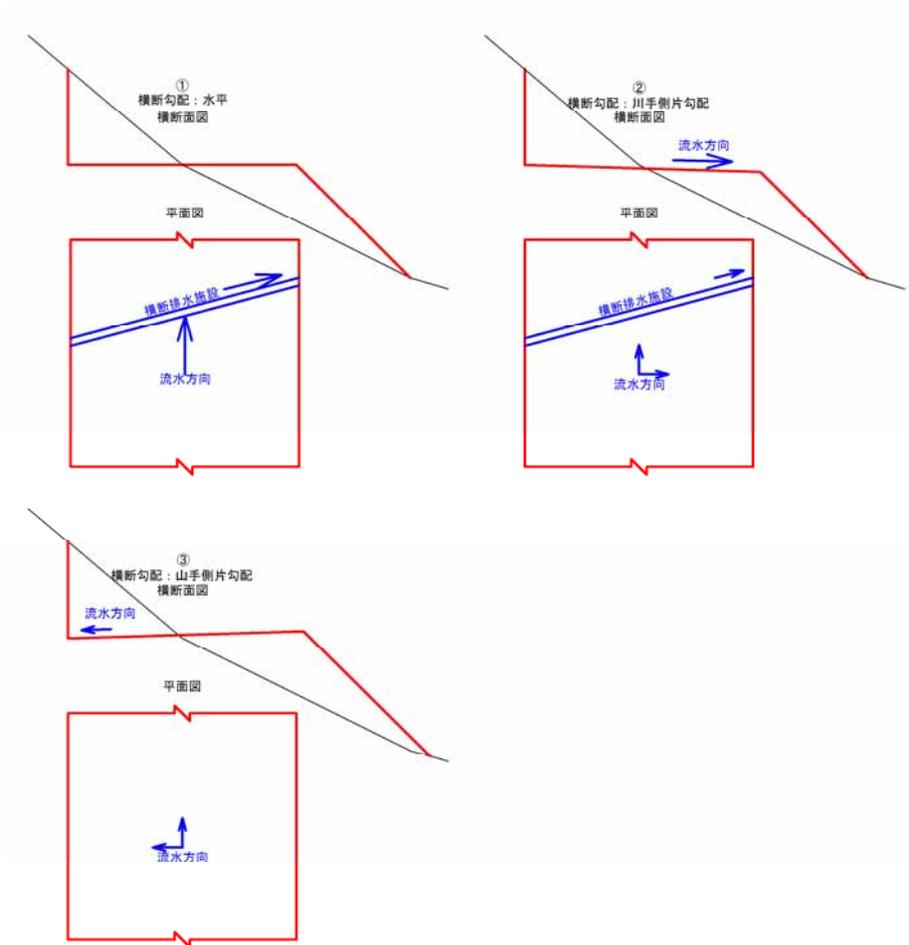


川手側に勾配をつけた例(群馬県沼田市)

横断勾配は排水のために設けるものであることから、平面線形、縦断勾配、集水面積、地域の雨量を考えて決定する必要がある。また、冬期に路面が凍結するような地域では、川手側の片勾配や洗越工は、凍結によるスリップの可能性が高く、車両の安全な走行が確保できないことから、冬期の施業の有無も考慮して排水計画を立てる必要がある。

横断勾配の種別による利点と欠点

横断勾配の種別	利点	欠点	備考
水平	施工が容易である。 車両の安全な走行に問題ない。	横断排水施設へ路面水が集中する。 縦断勾配が緩い場合、路面に滞水しやすい。	
川手側片勾配	流水方向は川手側が主体となり、縦断勾配によっては、一部路面上を流下するため、1箇所への路面水の集中を抑制できる。 沢部における排水が容易である。	曲線では逆勾配となるため、材の積載時に車両が転倒しやすいことから、直線区間のみに採用できる。 冬期に路面が凍結する地域では、スリップしやすい。	接地圧の低いクローラタイプよりも、接地圧の高いホイールタイプを利用する場合に適している。
山手側片勾配	流水方向は山手側が主体となり、縦断勾配によっては、一部路面上を流下するため、1箇所への路面水の集中を抑制できる。	長い区間を設けると山手側が侵食を受けやすい。 過度に片勾配をつけると、材の積載時に車両が転倒しやすい。 冬期に路面が凍結する地域では、スリップしやすい。	接地圧の低いクローラタイプよりも、接地圧の高いホイールタイプを利用する場合に適している。



横断勾配の種別

設置間隔

横断溝の設置間隔を短くしても、路面水を横断溝の溝部に流れ込ませ流末まで誘導しなければ排水施設以外の箇所を路面水が流れるため、盛土のり面や路肩に侵食が発生しやすくなる。導水を的確に行うためには、路肩部に丸太や土のうを設置して盛土のり面に路面水が直接流れ込まないように横断溝に導水したり、路面の横断勾配をつけないように施工して、路面に平均に水が流れるようにする必要がある。土質によっては侵食が一度発生すると、加速度的に進む場合があることから、侵食防止策を早期に行う必要がある。



設置間隔 10m 程度であるが、盛土のり面に侵食が発生した事例

侵食を受けやすい土質

まさ土、山砂、しらす等の砂又は砂質系の材料は、一般に粘着性に乏しいため侵食が発生しやすい。また、透水性が低い粘性土、粘土の場合は、路面の雨水浸透が少ないため、侵食が発生しやすい。まさ土の場合は、まさ土単体であると透水性は高いが、粘性土が混ざると透水性が低下し、侵食を受けやすい。



山側が深く侵食を受けた事例(まさ土) 兵庫県朝来市

維持管理

間伐等が完了し、しばらく森林作業道を使用しない場合は、流水による路面侵食を防止するために、素掘りの横断溝を設けて、短距離で路面水を排除しておく例がみられる。



素掘りによる横断溝 長野県伊那市

流末の保護

横断排水施設の吐け口側は、流末を処理する必要がある。流末処理を誤ると盛土部や林地の侵食が発生する。また、やむなく盛土箇所に横断排水施設を設ける場合は、盛土部には必ず導水するための施設を設ける必要がある。流末処理には、現地で発生した石礫のほかに、土のう、根株、丸太の利用例がある。



写真のように盛土部に導水施設を設けない場合、盛土のり面が侵食を受けていく。土のうを利用するなどして、盛土部分の侵食防止施設を設けなければ、侵食が拡大し路体が欠損する可能性がある。



丸太利用の洗越工の流末部であるが、流末部の水叩き工が設置されていないため、内部の土砂流出が始まっている。土砂の抜け落ちが内容に現地発生材の石礫を利用したり、入手できない場合は丸太を利用するなどして土砂の抜け落ちの防止及び洗掘を防止する必要がある。

6 伐開

立木の伐開は、施業地の地形・地質、位置、土質等を考慮し、幅員に応じた必要最小限の幅とし、次の点に留意する。

- (1) 伐開の幅を広くすると、路面の乾燥を促すものの、雑草の繁茂を招き除草作業を行う必要が生じ、林分全体の材積も減ることになる。また、風害や乾燥害を招くおそれがある。一方、狭くすると、路面の乾燥が遅くなるが、樹冠が短期間にうっ閉し、雑草の繁茂と除草作業の頻度を抑止できることから、森林作業道を作設するに当たっては、上記の点を考慮するとともに、施業地の斜面の方向や地域の気象条件を考慮して必要最小限の幅とする。
- (2) 伐開の幅は、施業地の土質を考慮して決定する。
粘着性の高い土質の箇所は、切土高が低い場合は狭くすることができる。崖すい等粘着性の低い土質の箇所では、切り取りのり面が崩れやすく、特に崖すいでは、のり頭に立木があると風で揺れて崩れる原因となるため、その分伐開幅を広くする必要がある。
- (3) 路線沿いの立木は路肩部分の保護、車両の転落に対する走行上の安心感を与える効果もあるため積極的に残す。
- (4) 林縁木の下枝から滴下する雨滴により路面やのり面の侵食が起きることを考慮する。
- (5) 支障木の販売収益を得るため、伐開の幅を必要以上に広くとる例が見受けられるが、上記(1)(3)の理由により行わない。

【参考】

実生による植生回復への期待

森林作業道周辺の林分は針葉樹人工林が殆どであるため、周辺林分からの種子の飛来によるのり面の植生回復は期待できないが、母樹となる立木がある場合は、それを残すことで、作設後数

第4 周辺環境への配慮

森林作業道の作設工事中及び森林施業の実施中は、公道や溪流に土砂が流出したり、土石が周辺に転落しないよう、必要な対策を講じなければならない。

また、事業実施中に希少な野生生物の生息・生育情報を知ったときは、必要な対策を検討する。

【参考】

公道への土砂流出防止対策

1)縦断勾配の検討による対応

地形が緩やかな場合は、一旦下げ勾配により公道から分岐し、10～20m程度はなれたら上げ勾配として、公道へ土砂流下しないようにする。ただし、縦断勾配の変化点は必ず水が溜まるため、横断排水施設を設けるとともに枝条材などを利用した水叩き工を付帯させる必要がある。なお、枝条材を利用する場合は、移動しないように丸太柵で囲うなどの措置を講ずる。

2)排水施設による対応

事業地や地形の関係から下り勾配をとることができない場合は、横断排水施設で流出を防止する。

土石の転落防止

森林作業道作設時に強固な落石防護柵を設けることは困難であることから、浮石がみられる箇所ではルートの見直しを行う。事業地や地形の関係から、ルートの大幅な変更が困難な場合は、縦断勾配及び路線計画位置を検討し、速やかに人家や公道から離れるようにする。

第5 管理

森林作業道は特定の林業者等が森林施業専用利用する施設であるため、施設管理者はゲートの設置・施錠等により、必要に応じて一般の車両の進入を禁止するなど適正に管理をするよう努める。

(参考)

丸太組工

丸太組工は、丸太組により路体支持力を維持するものであり、現地資材を有効に活用できるほか、施工から数十年経過した事例もある。

この工法を採択する場合には、作設時の強固な締め固めが必要なことに加え、路体支持力を維持していくため、丸太が腐朽した場合には、丸太を補強したり砂利を補給するなど、丸太の腐朽を補う維持管理が重要である。

なお、林地の傾斜や、通行する車両の重量や交通量に応じて、丸太組工に代わるものとしてふとんかごなどの設置も検討する必要がある。

表土、根株を用いる盛土のり面保護工

根株やはぎ取り表土を盛土のり面保護を目的として利用する場合には、土質、根株の大きさや支持根の伸び、萌芽更新の容易性などを吟味して判断する必要がある。

この工法を採択する場合は、集材方法を考慮し、路肩上部の根株が集材・運材作業の支障とならないように留意することが求められる。

なお、根株やはぎ取り表土は、路体構造として車両の荷重を支えるものではなく、あくまで土羽工の一部と位置づけられものである。これについて工法本来の趣旨を誤解、逸脱した施工事例が多く見られることから注意が必要である。

また、根株や枝条残材などの有機物を盛土路体に完全に埋設して路体を構築することは、盛土崩壊を引き起こしたり路体支持力を損なうおそれがあるため行わない。