

【参考資料】

治山施設の劣化予測と予防保全型維持管理による
経済性効果の検討手法について

平成 30 年 3 月

林野庁

目次

1. 劣化予測および経済性効果の目的	1
2. 劣化予測の検討	2
2.1 劣化予測の手法	2
2.1.1 劣化予測手法について	2
2.1.2 確率論的手法を用いた劣化予測（マルコフ連鎖モデル）について	3
2.2 点検データの整理	5
2.2.1 A 県のデータ整理結果	5
2.2.2 B 県のデータ整理結果	12
2.3 劣化予測の例	22
2.3.1 劣化予測の方法	22
2.3.2 劣化予測の結果	26
2.3.3 工種毎の遷移確率（ P_x ）の目安	28
3. ライフサイクルコストと経済比較	30
3.1 予防保全型管理による経済性効果の概念	30
3.2 ライフサイクルコストと機能保全コスト	31
3.3 検討の対象期間	32
3.4 機能保全コストの対象となる経費	33
3.5 シナリオ設定と経済性効果の検討例	34
（参考）治山ダム工の劣化速度に関する一考察	43

1. 劣化予測および経済性効果の目的

既存治山施設の長寿命化対策を推進する上で、施設の将来状態の劣化進行予測を行い、適時の補修、機能強化、および更新にかかる費用（ライフサイクルコスト）の算定と必要に応じた対策時期の調整を行うことは重要な工程である。

本資料のねらいは、治山施設の時系列的な状態の把握、想定する複数の対策シナリオについて劣化等の進行予測を通じて、適切な補修等により構造物の延命化を図るとともに、補修、機能強化、および更新にかかる費用の最小化・平準化を図る、いわゆる「ストックマネジメント」を推進することであり、そのために必要となる施設点検データの集計方法、劣化予測の方法、経済性予測の実施方法等の一例を示すものである。

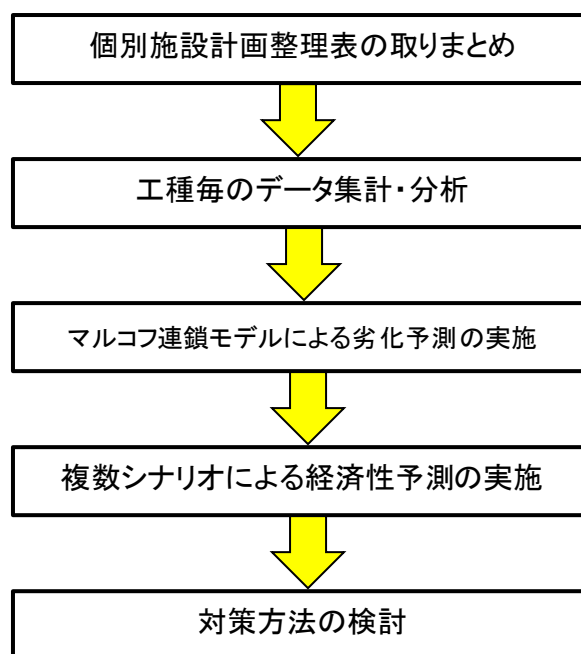


図 1.1 劣化予測および経済性効果の検討の流れ

2. 劣化予測の検討

2.1 劣化予測の手法

2.1.1 劣化予測手法について

劣化の将来予測は、劣化の要因が明らかであり、その予測手法が確立されている場合は経験式に従って行う。経験式などの手法が確立されていない場合や複合的な要因で特定の劣化要因が不明である場合は、標準的な劣化曲線を設定し、これを今後実施する定期点検等による実測値で補正することにより精度向上を図るものとする。

【解説】

鉄筋コンクリートの中性化、塩害については経験的な予測式が確立されており、これを用いて劣化予測を行う（2007 制定 コンクリート）。しかしながら、治山施設は溪流対策、斜面および落石対策、地すべり対策、海岸防災及びなだれ対策等を目的とした施設であり、工種並びに使用材料が多岐にわたり、特に無筋コンクリートを使用した構造物が多い状態にある。

そのため、劣化要因を特定できても予測手法が確立されていない場合、複合的な要因による場合及び施設に使用されている材料の劣化予測が確立されていないものについては、標準的な劣化曲線を設定し、これを今後実施する定期点検等による実測値により補正することにより、劣化予測の精度向上を図っていく必要がある。

また、地域の環境条件や構造物の種類・重要度等を踏まえ、当該施設の劣化状況に関するこれまでの情報や、新たにフィールドデータを継続的に収集・蓄積し、物理的劣化メカニズムを考慮することにより劣化予測を行う方法等も検討する必要がある。

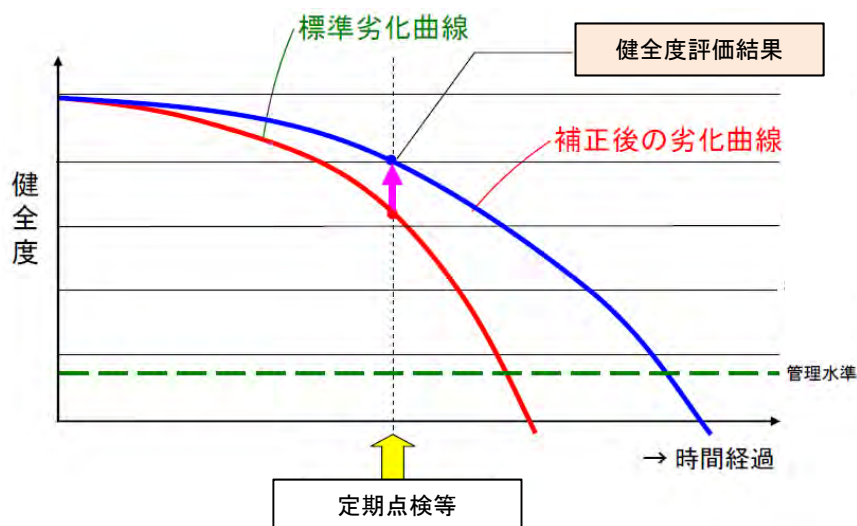


図 2.1 劣化予測式の補正概念（農業水利施設の機能保全の手引き H19.3 一部修正）

ただし、現状ではデータが不足している場合が多いため、劣化曲線の設定ができない状態にある。よって、今後のデータの蓄積により、対象工種毎の劣化曲線の設定を目指すものとする。

本資料では、「港湾の施設の維持管理技術マニュアル H19.10 (財) 沿岸技術研究センター」等で示されているマルコフ連鎖モデルによる変状の進行予測を紹介する。本予測モデルは、構造物の劣化速度を遷移確率で表現し、実際の保有構造物の対策区分の割合より設定するため、保有する対象構造物の実状にあった劣化予測が可能になる。

2.1.2 確率論的手法を用いた劣化予測（マルコフ連鎖モデル）について

マルコフ連鎖モデルは、「状態」と「遷移」という2つの概念を用い、物事がある「状態」からある「遷移確率」で、次の「状態」へと移行する様子を確率論的に捉える統計手法である。ここで、健全度の判定結果（I、II、III、IV）を用いて、各ランクの遷移確率を P_x とすることで、全体を1としたときの変状ランクの割合の遷移を図2.2のように表すことができる。

なお、一般には各ランクでの遷移確率 P_x は異なるが、簡便的に P_x を全て同じ値と仮定すると健全度と P_x の関係は図2.3の行列式で表すことができる。

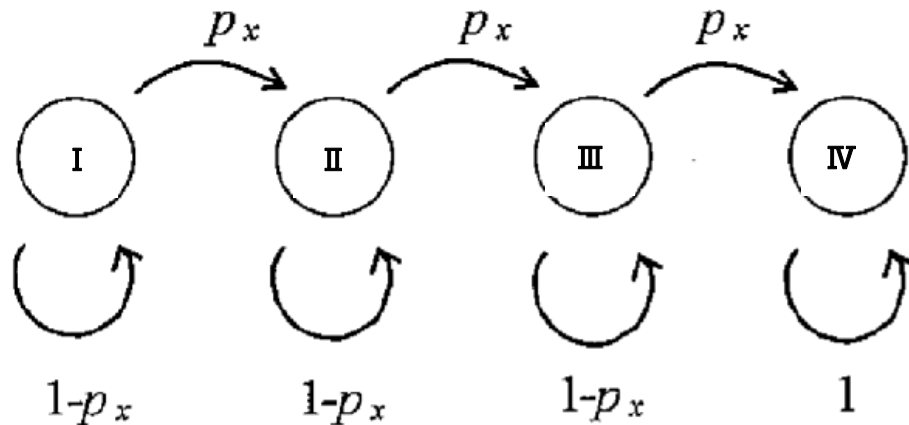


図 2.2 健全度評価のマルコフ連鎖遷移

$$\begin{pmatrix} \text{I} \\ \text{II} \\ \text{III} \\ \text{IV} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-p_x & 0 & 0 & 0 \\ p_x & 1-p_x & 0 & 0 \\ 0 & p_x & 1-p_x & 0 \\ 0 & 0 & p_x & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

I, II, III, IV ; 健全度の割合 (0~1)
 p_x ; 遷移確率 (0~1)
 t ; 経過年数 (建設or補修時~調査時)

図 2.3 マルコフ連鎖モデルの式（遷移確率一定）

図 2.4 に、遷移確率 P_x を 0.01 から 0.03 まで変化させた場合の劣化速度の変化の仕方を示す。 P_x が小さいと劣化の進行速度は遅く、大きいと劣化の進行速度は速くなることが分かり、 P_x は劣化速度の違いを表す指標であると言える。

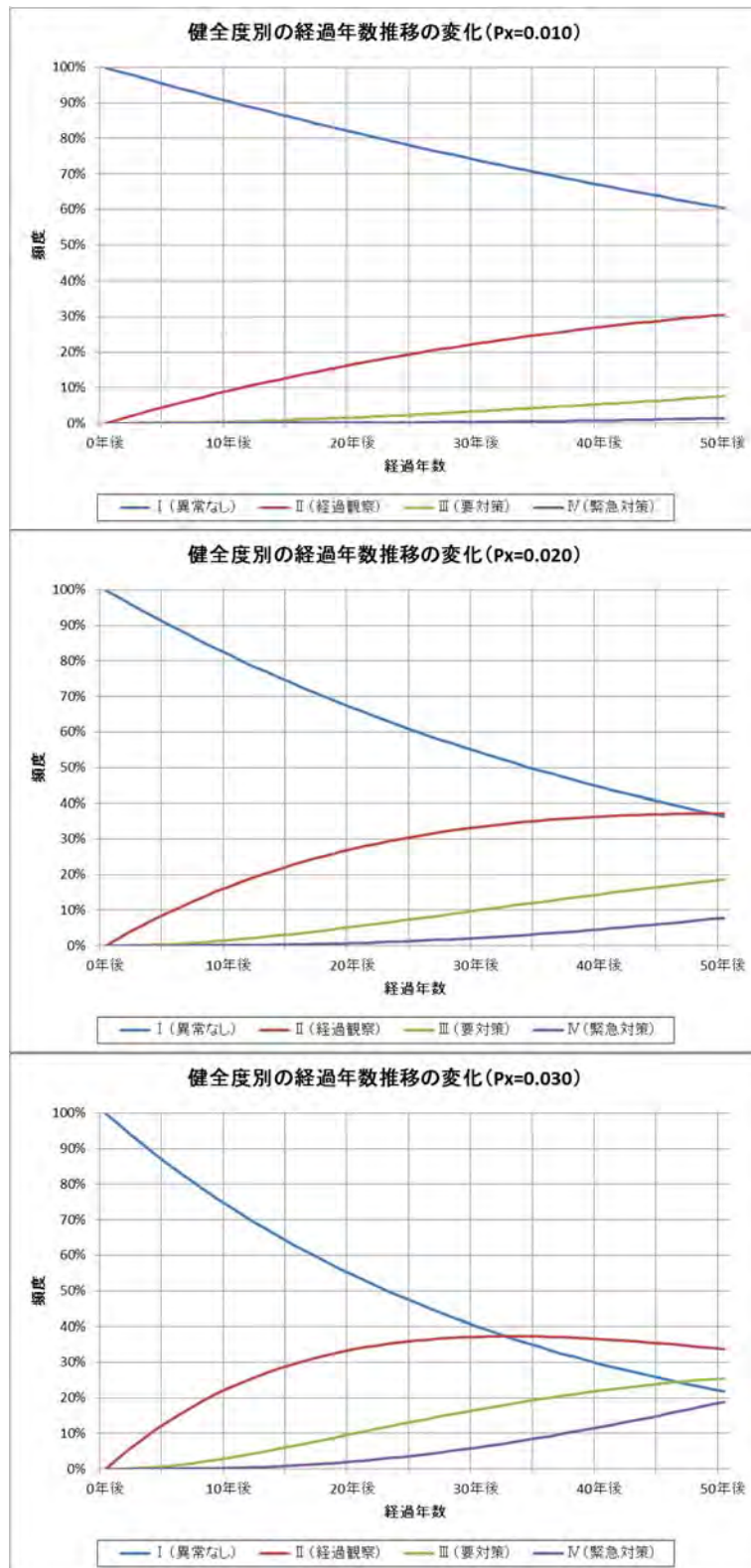


図 2.4 遷移確率 P_x の違いによる劣化速度の変化

2.2 点検データの整理

各自治体で作成された治山施設個別施設計画に基づき実施される治山施設の点検データについて、各自治体で作成した治山施設個別施設計画整理表を元に、工種毎、年度毎に集計を行う。また、まとまったデータ数(目安として200件程度以上)が得られている工種については、健全度、経過年数毎の関係が分かる表・グラフを作成し、工種毎の経年劣化の傾向(劣化に至るまでの年数の違い等)について概略的な考察を行う。

参考として、A県、およびB県の治山施設点検データの整理結果を示す。

2.2.1 A県のデータ整理結果

表 2.1 A県データの内訳(工種別)

種別	工種	データ件数	種別	工種	データ件数
溪間工		3,716	地すべり 防止工		268
	谷止工	1,161		ボーリング暗渠工	16
	床固工	271		集水井工	4
	帯工	216		杭工	1
	堰堤工	22		アンカー工	191
	護岸工	209		水路工	5
	流路工	378		排水ボーリング	3
	水路工	118		その他	48
	土留工	542		その他	
	柵工	149	その他		14
	筋工	167	総計		9,044
	伏工	120			
	積工	30			
	暗渠工	59			
	その他	274			
	山腹工		5,046		
土留工		3,094			
水路工		224			
暗渠工		220			
法枠工		50			
モルタル吹付工		39			
落石予防工		11			
落石防護工		13			
柵工		391			
筋工		359			
伏工		325			
積工		29			
実播工		68			
法切工		48			
谷止工		12			
床固工		7			
帯工		10			
その他		146			

表 2.2 A 県データの内訳（健全度毎）

種別	施設全体の健全度					データ数計
	I	II	III	IV	その他	
溪間工	2,636	287	106	58	629	3,716
	71%	8%	3%	2%		
山腹工	2,951	434	116	73	1,472	5,046
	58%	9%	2%	1%		
地すべり防止工	222	6	6	4	30	268
	83%	2%	2%	1%		
その他(空白)	4	0	0	1	9	14
総計	5,815	727	228	136	2,140	9,044

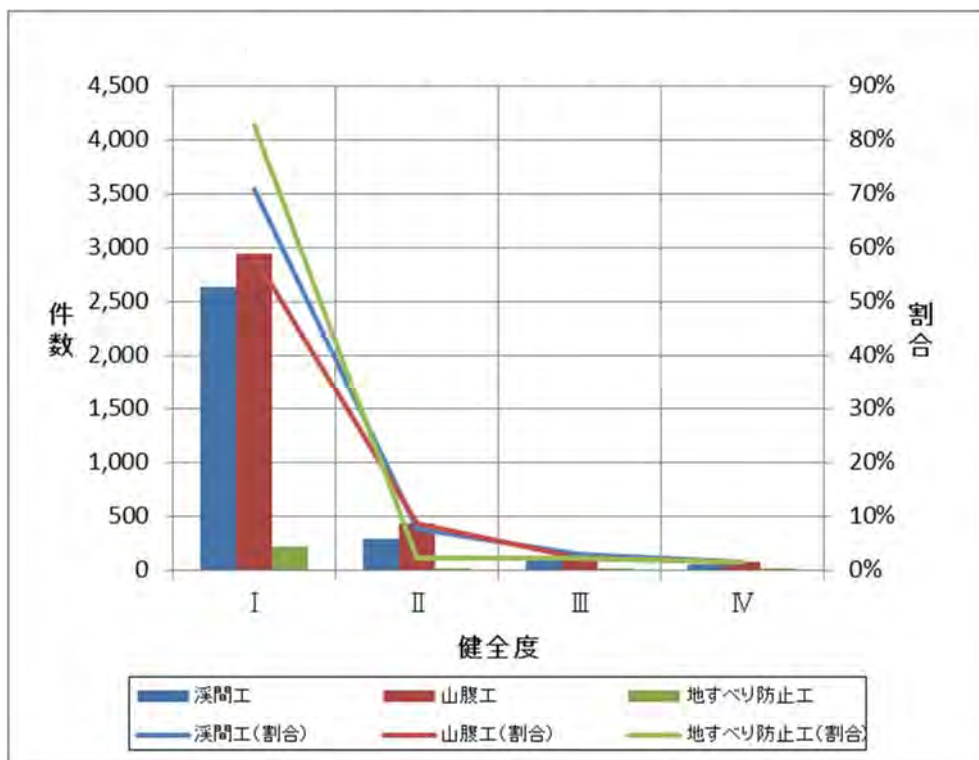
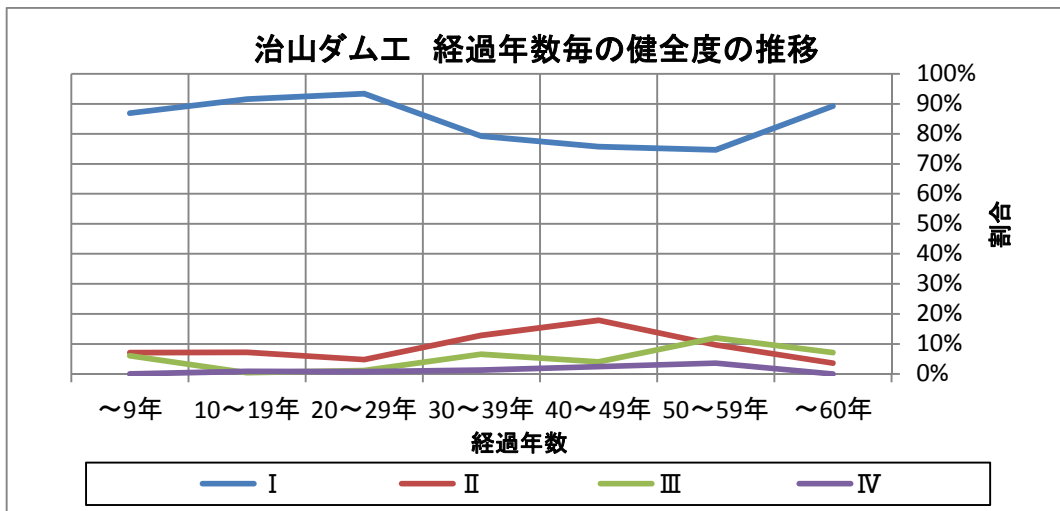


表 2.3 A 県の健全度、経過年数毎の関係（治山ダム工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	25	1	2	0	28
2 50~59年	62	8	10	3	83
3 40~49年	224	53	12	7	296
4 30~39年	252	41	21	4	318
5 20~29年	496	25	6	4	531
6 10~19年	230	18	1	2	251
7 ~9年	86	7	6	0	99
総計	1375	153	58	20	1606

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	89.3%	3.6%	7.1%	0.0%	100%
2 50~59年	74.7%	9.6%	12.0%	3.6%	100%
3 40~49年	75.7%	17.9%	4.1%	2.4%	100%
4 30~39年	79.2%	12.9%	6.6%	1.3%	100%
5 20~29年	93.4%	4.7%	1.1%	0.8%	100%
6 10~19年	91.6%	7.2%	0.4%	0.8%	100%
7 ~9年	86.9%	7.1%	6.1%	0.0%	100%



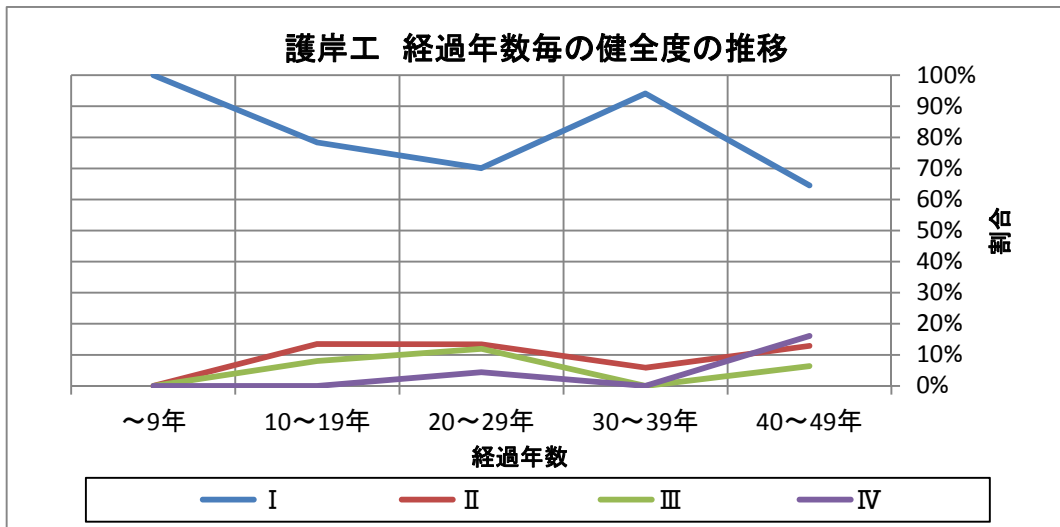
【考察】

- ・ 施工後 30~39 年で、健全度 I が 80% を下回り、健全度 II が 10% を上回る。
- ・ データ件数が 100 件以下となる施工後 50 年以降で、健全度 I の割合が上がる。

表 2.4 A 県の健全度、経過年数毎の関係（護岸工）

	経過年数	I	II	III	IV	計
1	～60年	3	0	0	0	3
2	50～59年	1	0	0	0	1
3	40～49年	20	4	2	5	31
4	30～39年	48	3	0	0	51
5	20～29年	47	9	8	3	67
6	10～19年	29	5	3	0	37
7	～9年	13	0	0	0	13
総計		161	21	13	8	203

	経過年数	I	II	III	IV	計
1	～60年	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
2	50～59年	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
3	40～49年	64.5%	12.9%	6.5%	16.1%	100%
4	30～39年	94.1%	5.9%	0.0%	0.0%	100%
5	20～29年	70.1%	13.4%	11.9%	4.5%	100%
6	10～19年	78.4%	13.5%	8.1%	0.0%	100%
7	～9年	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%



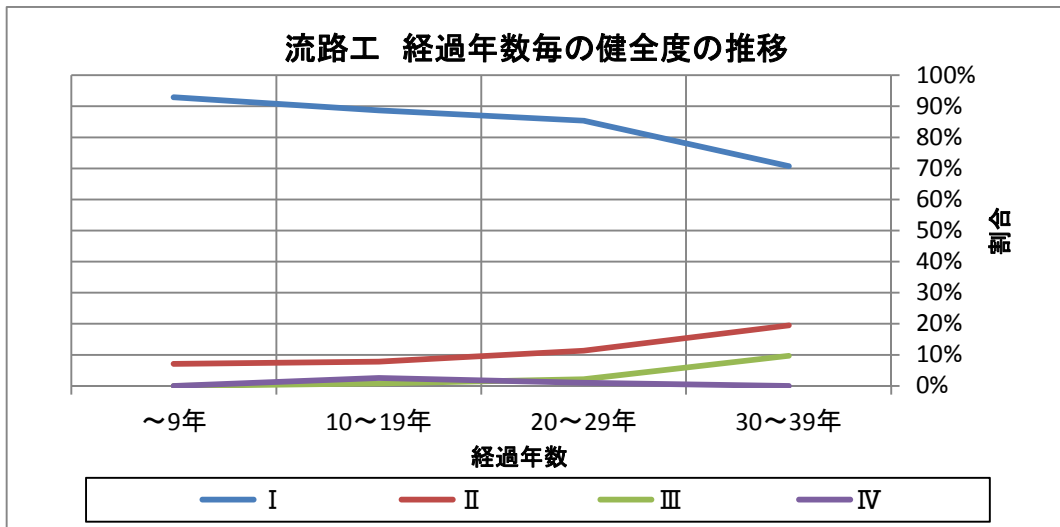
【考察】

- ・ まとまりのある有意なデータは施工後 49 年までである。
- ・ データ件数が約 200 件と少ないため、ばらつきが見られる。
- ・ 施工後 20～29 年で、健全度 I が 70%程となり、健全度 III が 10%を上回る。

表 2.5 A 県の健全度、経過年数毎の関係（流路工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	1	0	0	0	1
2 50~59年	0	0	0	0	0
3 40~49年	1	0	0	0	1
4 30~39年	29	8	4	0	41
5 20~29年	157	21	4	2	184
6 10~19年	102	9	1	3	115
7 ~9年	26	2	0	0	28
総計	316	40	9	5	370

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
2 50~59年	0%	0%	0%	0%	0%
3 40~49年	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
4 30~39年	70.7%	19.5%	9.8%	0.0%	100%
5 20~29年	85.3%	11.4%	2.2%	1.1%	100%
6 10~19年	88.7%	7.8%	0.9%	2.6%	100%
7 ~9年	92.9%	7.1%	0.0%	0.0%	100%



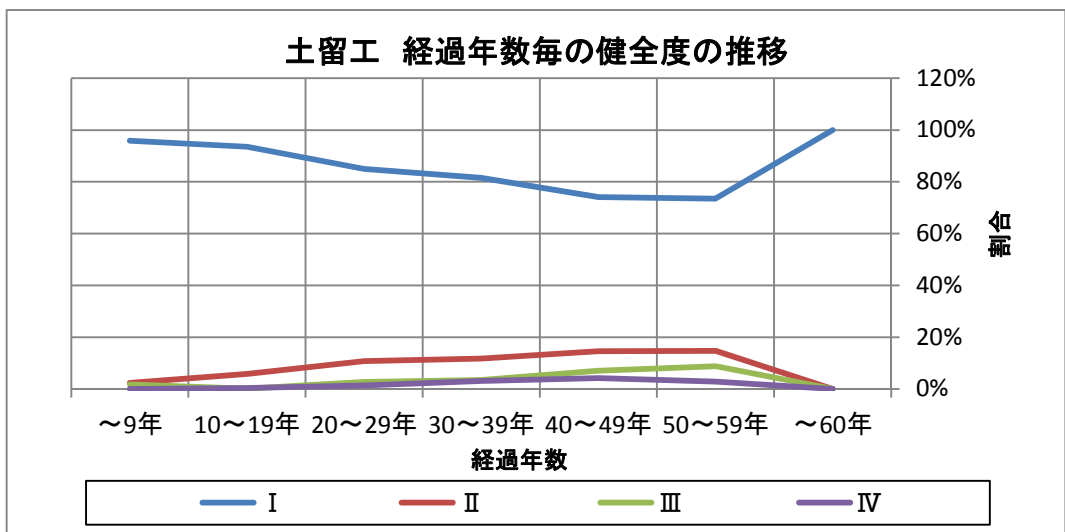
【考察】

- ・ まとまりのある有意なデータは施工後 39 年までである。
- ・ 施工後 30~39 年で、健全度 I が 70%程となり、健全度 II が 20%近くになる。

表 2.6 A 県の健全度、経過年数毎の関係（土留工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	45	0	0	0	45
2 50~59年	25	5	3	1	34
3 40~49年	527	104	50	30	711
4 30~39年	999	145	43	39	1226
5 20~29年	667	85	22	11	785
6 10~19年	464	29	1	2	496
7 ~9年	163	4	3	0	170
総計	2890	372	122	83	3467

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
2 50~59年	73.5%	14.7%	8.8%	2.9%	100%
3 40~49年	74.1%	14.6%	7.0%	4.2%	100%
4 30~39年	81.5%	11.8%	3.5%	3.2%	100%
5 20~29年	85.0%	10.8%	2.8%	1.4%	100%
6 10~19年	93.5%	5.8%	0.2%	0.4%	100%
7 ~9年	95.9%	2.4%	1.8%	0.0%	100%



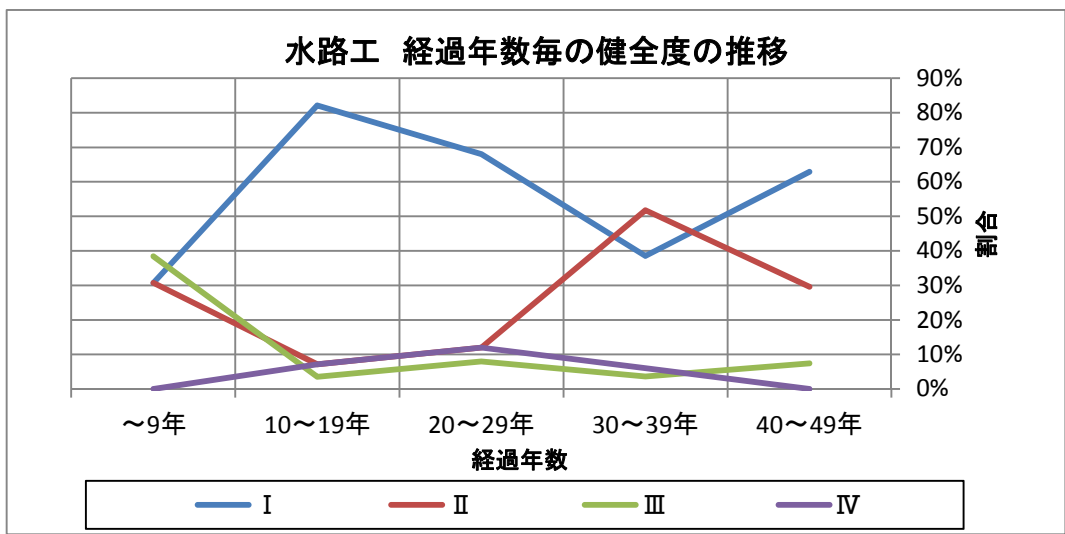
【考察】

- ・ 施工後 40~49 年で、健全度 I が 80% を下回り、健全度 II が 15% 程となる。
- ・ データ件数が少ない施工後 50 年以降の健全度の推移が治山ダム工と類似している。

表 2.7 A 県の健全度、経過年数毎の関係（水路工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	5	0	0	0	5
2 50~59年	4	0	0	0	4
3 40~49年	17	8	2	0	27
4 30~39年	32	43	3	5	83
5 20~29年	17	3	2	3	25
6 10~19年	23	2	1	2	28
7 ~9年	4	4	5	0	13
総計	102	60	13	10	185

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
2 50~59年	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
3 40~49年	63.0%	29.6%	7.4%	0.0%	100%
4 30~39年	38.6%	51.8%	3.6%	6.0%	100%
5 20~29年	68.0%	12.0%	8.0%	12.0%	100%
6 10~19年	82.1%	7.1%	3.6%	7.1%	100%
7 ~9年	30.8%	30.8%	38.5%	0.0%	100%



【考察】

- ・ データ数が200件未満と少なく、まとまりのある有意なデータは施工後49年までである。
- ・ データ件数が約180件と少なく、ばらつきが見られる。
- ・ 施工後30~39年で、健全度IとIIが逆転している。
- ・ 施工後10年未満で、健全度IとIIが逆転している。その理由としては、水路工では通常規模程度の降雨により、早期に不具合が明らかになり易いことが挙げられる。

2.2.2 B 県のデータ整理結果

表 2.8 B 県データの内訳（工種別）

種別	工種	データ件数
溪間工		10,406
	谷止工	5,883
	床固工	3,005
	帯工	261
	護岸工	481
	流路工	776
山腹工		2,910
	土留工	1,942
	水路工	359
	法枠工	242
	モルタル吹付工	8
	アンカー工	58
	ロープネット・ロックホルト	63
	土留工・水路工	169
	土留工・水路工・法枠工	16
	土留工・法枠工	12
	土留工・法枠工・アンカー工	7
	アンカー工・法枠工	6
	その他併用工法	20
	その他(植生工等)	8
地すべり 防止工		488
	ボーリング暗渠工	182
	集水井工	255
	杭打工	45
	その他	6
なだれ 防止林		34
	土留工	34
その他		33
	床固工(木製)	28
	土留工	1
	落石防止壁	4
総計		13,871

表 2.9 B 県データの内訳（健全度毎）

種別	I	II	III	IV	データ件数
溪間工	7,286	2,784	282	54	10,406
	70%	27%	3%	1%	
山腹工	2,012	674	199	25	2,910
	69%	23%	7%	1%	
地すべり防止工	335	87	48	18	488
	69%	18%	10%	4%	
なだれ防止林	33	1	0	0	34
	97%	3%	0%	0%	
その他	0	9	24	0	33
総計	9,669	3,556	553	97	13,871

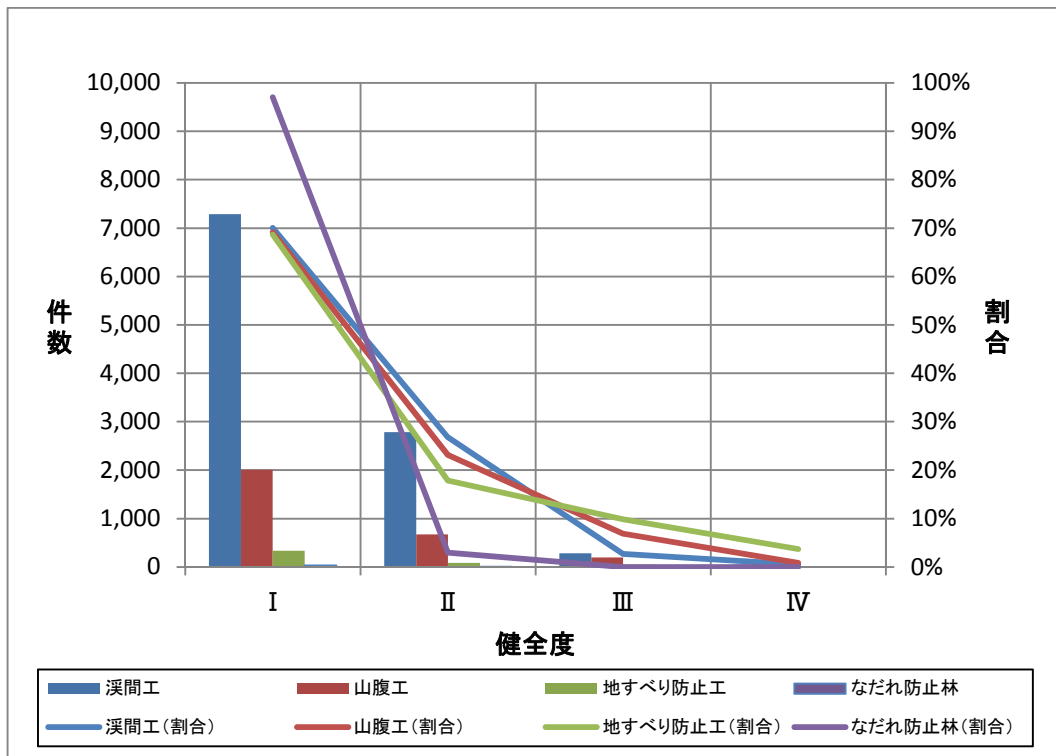
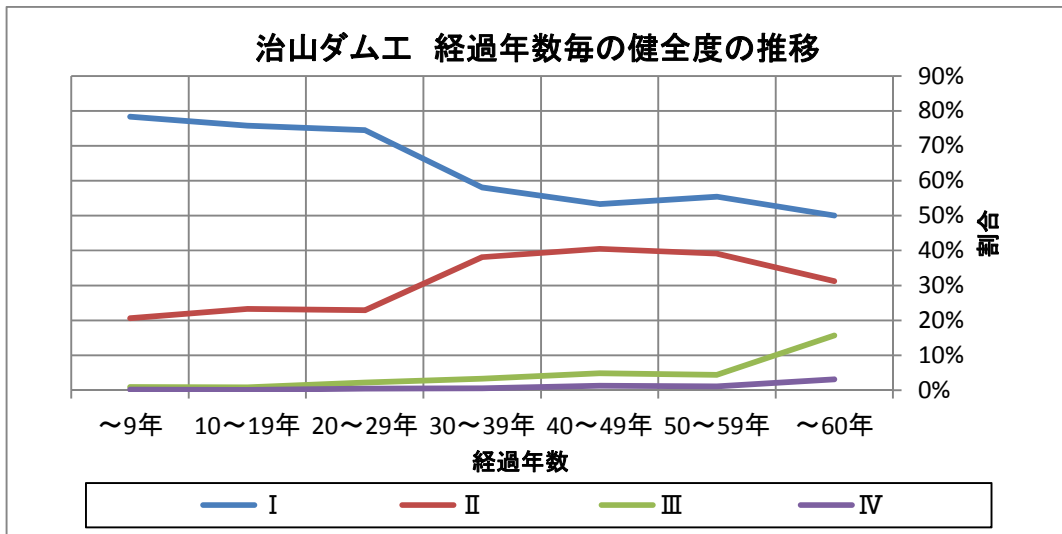


表 2.10 B 県の健全度、経過年数毎の関係（治山ダム工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	16	10	5	1	32
2 50~59年	51	36	4	1	92
3 40~49年	528	401	48	13	990
4 30~39年	1005	659	57	10	1731
5 20~29年	1793	552	52	10	2407
6 10~19年	1275	391	14	2	1682
7 ~9年	1054	277	12	2	1345
総計	5722	2326	192	39	8279

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	50.0%	31.3%	15.6%	3.1%	100%
2 50~59年	55.4%	39.1%	4.3%	1.1%	100%
3 40~49年	53.3%	40.5%	4.8%	1.3%	100%
4 30~39年	58.1%	38.1%	3.3%	0.6%	100%
5 20~29年	74.5%	22.9%	2.2%	0.4%	100%
6 10~19年	75.8%	23.2%	0.8%	0.1%	100%
7 ~9年	78.4%	20.6%	0.9%	0.1%	100%



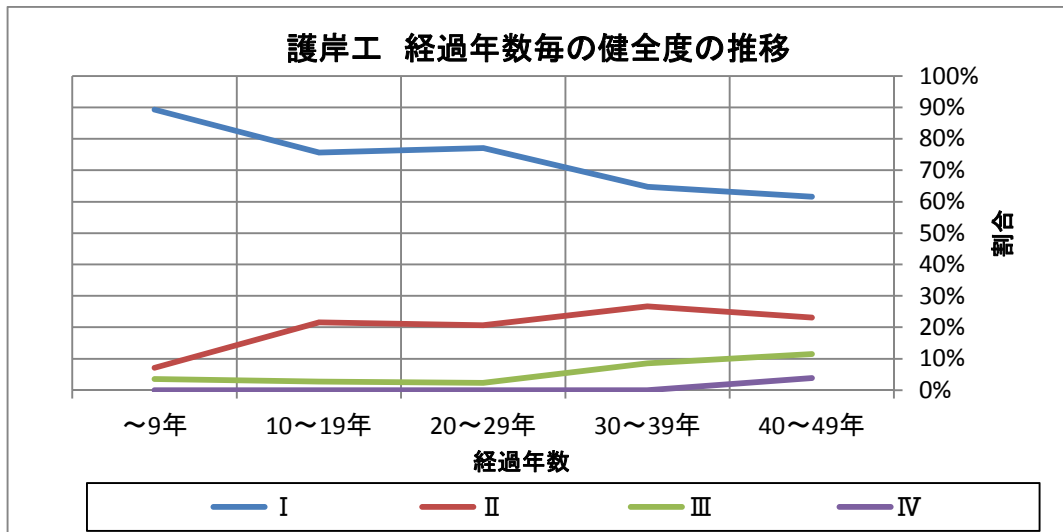
【考察】

- ・ 施工後 30~39 年で、健全度 I が 60%を下回り、健全度 II が 40%に達する。
- ・ 全体として、A 県の治山ダム工の点検データよりも劣化速度が速い。

表 2.11 B 県の健全度、経過年数毎の関係（護岸工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0	0	0	0	0
2 50~59年	0	1	0	0	1
3 40~49年	16	6	3	1	26
4 30~39年	68	28	9	0	105
5 20~29年	101	27	3	0	131
6 10~19年	84	24	3	0	111
7 ~9年	50	4	2	0	56
総計	319	90	20	1	430

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
2 50~59年	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100%
3 40~49年	61.5%	23.1%	11.5%	3.8%	100%
4 30~39年	64.8%	26.7%	8.6%	0.0%	100%
5 20~29年	77.1%	20.6%	2.3%	0.0%	100%
6 10~19年	75.7%	21.6%	2.7%	0.0%	100%
7 ~9年	89.3%	7.1%	3.6%	0.0%	100%



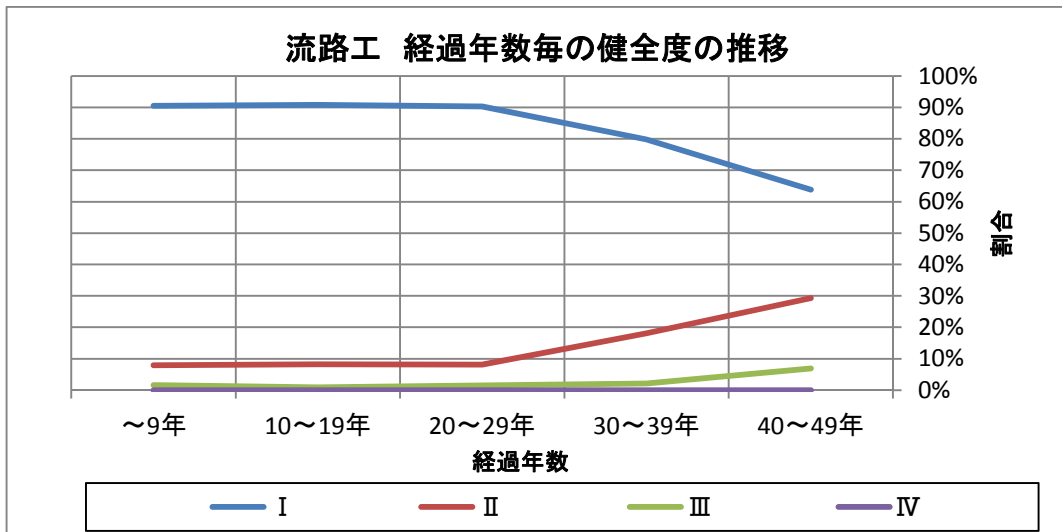
【考察】

- ・ まとまりのある有意なデータは施工後 49 年までである。
- ・ 施工後 40~49 年で、健全度 I が 60%程度となり、健全度 III が 10%を上回る。

表 2.12 B 県の健全度、経過年数毎の関係（流路工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0	0	1	0	1
2 50~59年	1	0	1	0	2
3 40~49年	37	17	4	0	58
4 30~39年	75	17	2	0	94
5 20~29年	177	16	3	0	196
6 10~19年	99	9	1	0	109
7 ~9年	114	10	2	0	126
総計	503	69	14	0	586

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	100%
2 50~59年	50.0%	0.0%	50.0%	0.0%	100%
3 40~49年	63.8%	29.3%	6.9%	0.0%	100%
4 30~39年	79.8%	18.1%	2.1%	0.0%	100%
5 20~29年	90.3%	8.2%	1.5%	0.0%	100%
6 10~19年	90.8%	8.3%	0.9%	0.0%	100%
7 ~9年	90.5%	7.9%	1.6%	0.0%	100%



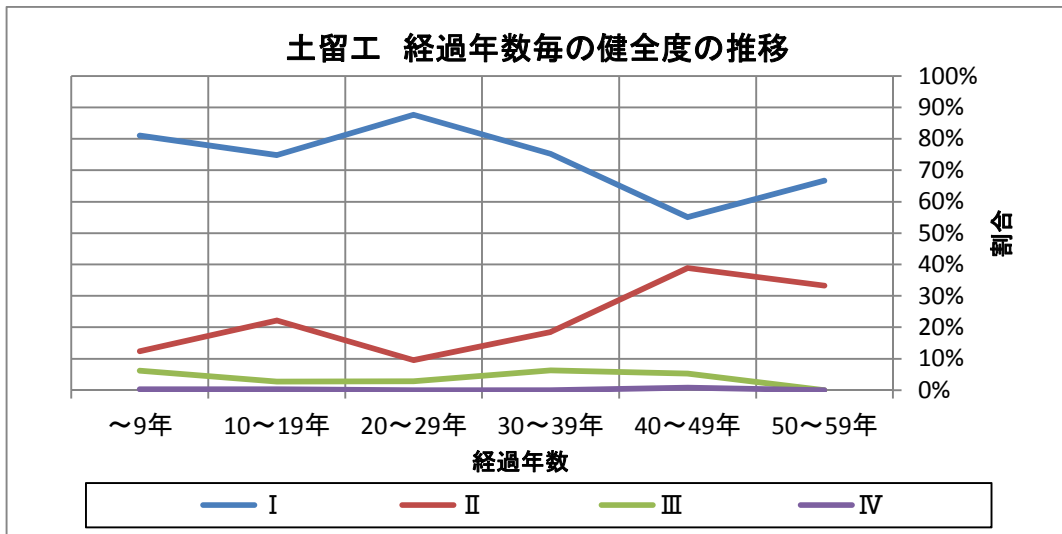
【考察】

- ・ まとまりのある有意なデータは施工後 49 年までである。
- ・ 施工後 29 年までは、健全度 I が 90%以上を占める。
- ・ 施工後 40~49 年では、健全度 I が 70%を下回り、健全度 II が 30%程となる。

表 2.13 B 県の健全度、経過年数毎の関係（土留工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0	1	0	0	1
2 50~59年	8	4	0	0	12
3 40~49年	136	96	13	2	247
4 30~39年	285	70	24	0	379
5 20~29年	312	34	10	0	356
6 10~19年	246	73	9	1	329
7 ~9年	260	40	20	1	321
総計	1247	318	76	4	1645

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100%
2 50~59年	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%	100%
3 40~49年	55.1%	38.9%	5.3%	0.8%	100%
4 30~39年	75.2%	18.5%	6.3%	0.0%	100%
5 20~29年	87.6%	9.6%	2.8%	0.0%	100%
6 10~19年	74.8%	22.2%	2.7%	0.3%	100%
7 ~9年	81.0%	12.5%	6.2%	0.3%	100%



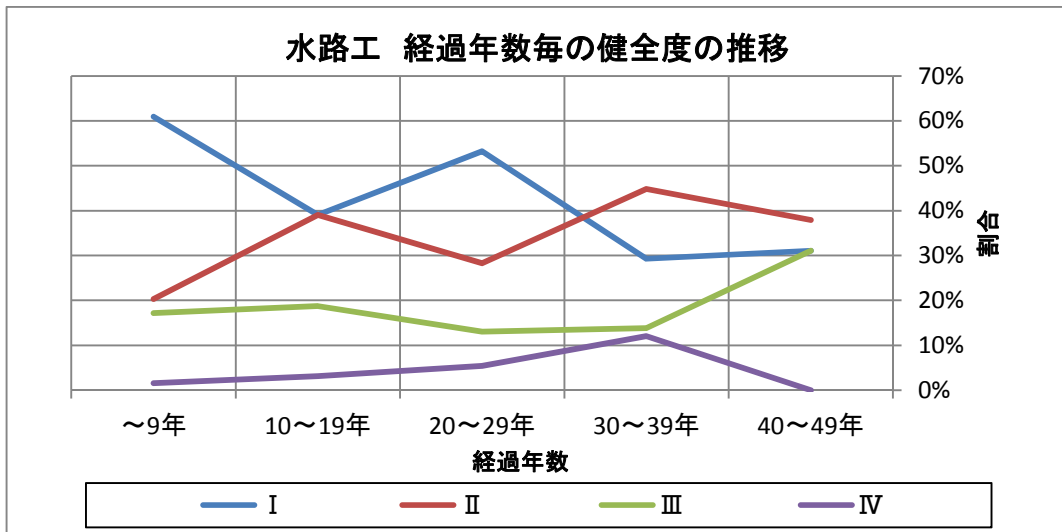
【考察】

- ・ まとまりのある有意なデータは施工後 59 年までである。
- ・ 施工後 40~49 年では、健全度 I が 60%を下回り、健全度 II が 30%を上回る。
- ・ 施工後 30~49 年では、健全度 III が 5%を上回る。
- ・ 施工後 50 年以降の健全度の推移が A 県と類似している。

表 2.14 B 県の健全度、経過年数毎の関係（水路工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0	0	0	0	0
2 50~59年	0	0	0	0	0
3 40~49年	9	11	9	0	29
4 30~39年	17	26	8	7	58
5 20~29年	49	26	12	5	92
6 10~19年	25	25	12	2	64
7 ~9年	39	13	11	1	64
総計	139	101	52	15	307

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年					
2 50~59年					
3 40~49年	31.0%	37.9%	31.0%	0.0%	100%
4 30~39年	29.3%	44.8%	13.8%	12.1%	100%
5 20~29年	53.3%	28.3%	13.0%	5.4%	100%
6 10~19年	39.1%	39.1%	18.8%	3.1%	100%
7 ~9年	60.9%	20.3%	17.2%	1.6%	100%



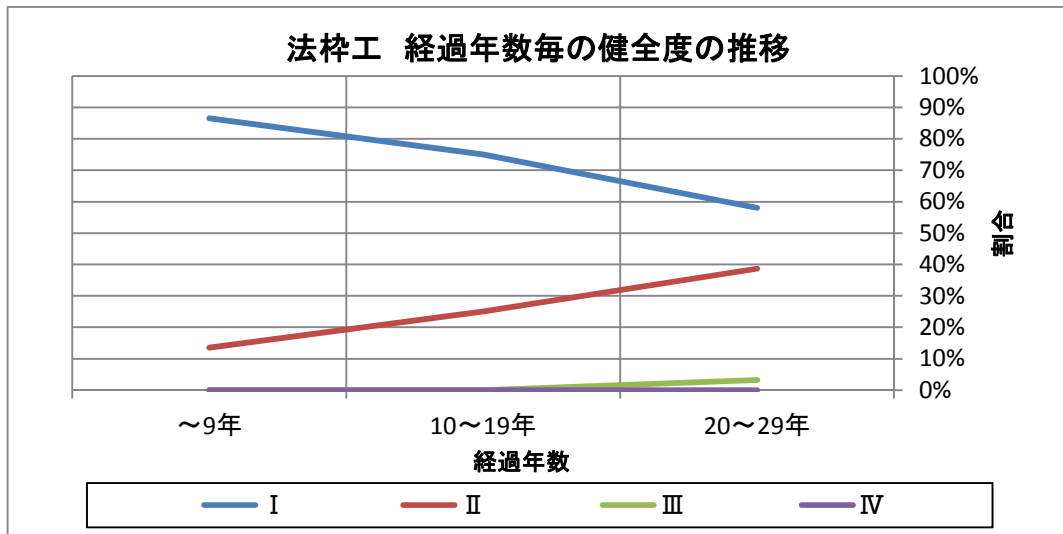
【考察】

- ・ データ数が 300 件程度と少なく、ばらつきが見られる。
- ・ まとまりのある有意なデータは施工後 49 年までである。
- ・ 施工後 30~39 年で、健全度の推移が A 県と類似している。
- ・ 他工種と比較して、全体的に健全度Ⅲの割合が 13~31%と高く、施工後 30~39 年では健全度Ⅳの割合が 10%以上を占めている。

表 2.15 B 県の健全度、経過年数毎の関係（法粋工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0	0	0	0	0
2 50~59年	0	0	0	0	0
3 40~49年	2	1	0	0	3
4 30~39年	3	1	0	0	4
5 20~29年	18	12	1	0	31
6 10~19年	63	21	0	0	84
7 ~9年	64	10	0	0	74
総計	150	45	1	0	196

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年					
2 50~59年					
3 40~49年	66.7%	33.3%	0.0%	0.0%	100%
4 30~39年	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%	100%
5 20~29年	58.1%	38.7%	3.2%	0.0%	100%
6 10~19年	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%	100%
7 ~9年	86.5%	13.5%	0.0%	0.0%	100%



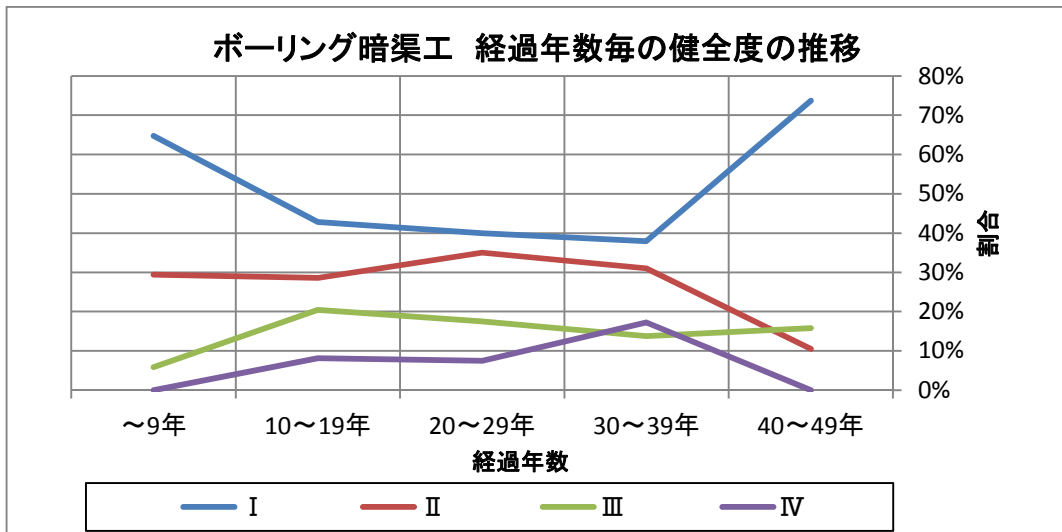
【考察】

- ・ データ数が200件程度と少なく、まとまりのある有意なデータは施工後29年までである。
- ・ 施工後20~29年で、健全度Iが60%を下回り、健全度IIが40%程度となり、他工種と比較して劣化速度が速いことが推察される。

表 2.16 B 県の健全度、経過年数毎の関係（ボーリング暗渠工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0	0	0	0	0
2 50~59年	0	0	0	0	0
3 40~49年	14	2	3	0	19
4 30~39年	11	9	4	5	29
5 20~29年	16	14	7	3	40
6 10~19年	21	14	10	4	49
7 ~9年	11	5	1	0	17
総計	73	44	25	12	154

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年					
2 50~59年					
3 40~49年	73.7%	10.5%	15.8%	0.0%	100%
4 30~39年	37.9%	31.0%	13.8%	17.2%	100%
5 20~29年	40.0%	35.0%	17.5%	7.5%	100%
6 10~19年	42.9%	28.6%	20.4%	8.2%	100%
7 ~9年	64.7%	29.4%	5.9%	0.0%	100%



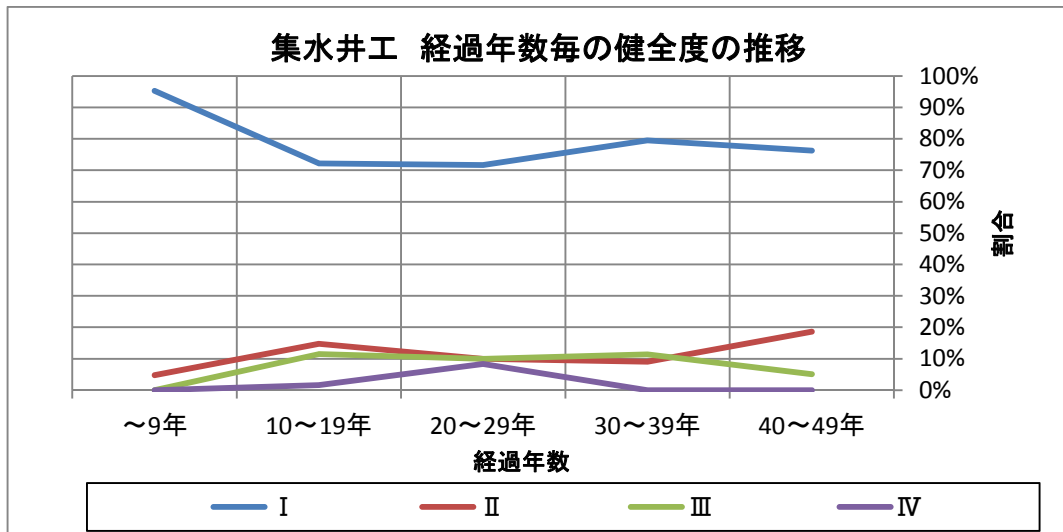
【考察】

- ・ データ数が 150 件程度と少なく、ばらつきが見られる。
- ・ まとまりのある有意なデータは施工後 49 年までである。
- ・ 施工後 10~19 年で健全度 I が 40%程度となり、健全度 III が 20%を上回る。
- ・ 施工後 30~39 年で健全度 IV が 20%近くなる。
- ・ 全工種の中で最も劣化速度が速い。

表 2.17 B 県の健全度、経過年数毎の関係（集水井工）

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年	0	0	0	0	0
2 50~59年	6	2	0	0	8
3 40~49年	45	11	3	0	59
4 30~39年	35	4	5	0	44
5 20~29年	43	6	6	5	60
6 10~19年	44	9	7	1	61
7 ~9年	20	1	0	0	21
総計	193	33	21	6	253

経過年数	I	II	III	IV	計
1 ~60年					
2 50~59年	75.0%	25.0%	0.0%	0.0%	100%
3 40~49年	76.3%	18.6%	5.1%	0.0%	100%
4 30~39年	79.5%	9.1%	11.4%	0.0%	100%
5 20~29年	71.7%	10.0%	10.0%	8.3%	100%
6 10~19年	72.1%	14.8%	11.5%	1.6%	100%
7 ~9年	95.2%	4.8%	0.0%	0.0%	100%



【考察】

- ・ データ数が250件程度と少なく、まとまりのある有意なデータは施工後49年までである。
- ・ 施工後10~19年で健全度Iが70%近くなり、健全度IIや健全度IIIの割合が10%を上回る。
- ・ それ以降は、ほぼ横ばいの傾向を示す。

2.3 劣化予測の例

2.2 で整理した工種毎の健全度および経過年数の関係から、マルコフ連鎖モデルを適用することで、工種毎に最も適合性の良い（誤差の少ない）線形およびその時の遷移確率（ P_x ）について検討し、将来的な劣化の予測を実施する。

2.3.1 劣化予測の方法

劣化予測の流れを図 2.5 に示し、表計算ソフトを用いた具体的な劣化予測方法の一例を次頁以降の①～⑤に示す。

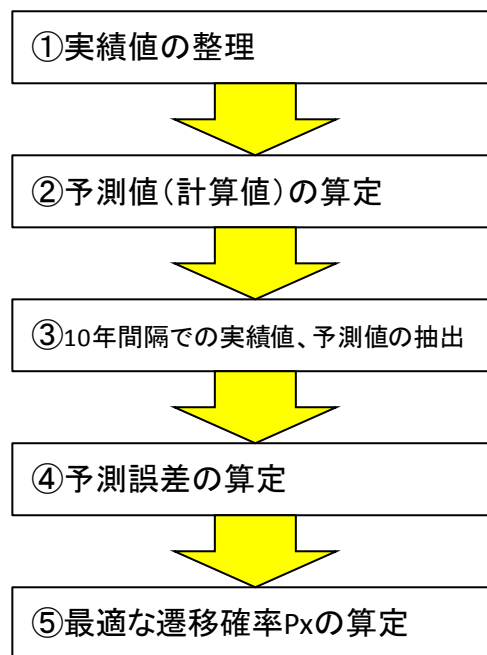


図 2.5 劣化予測の流れ

① 実績値の整理

健全度毎、経過年数1年毎に実績値（件数、および全件数に対する割合）を並べた表を作成する。なお、経過年数は「点検実施年度から施工年度を引いた年数」となる。

表 2.18 実績値の整理

劣化度		0年経	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10年経	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20年経	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30年経
実績値 (A県)	I(異常なし)	100%	88%	88%	79%	80%	73%	77%	75%	71%	77%	81%	72%	81%	76%	76%	75%	78%	73%	78%	73%	76%	80%	74%	77%	81%	83%	85%	78%	73%	82%	67%
	II(経過観察)	0%	12%	11%	21%	20%	24%	22%	25%	29%	20%	19%	27%	19%	23%	24%	25%	22%	24%	21%	26%	23%	18%	19%	20%	17%	15%	15%	21%	24%	17%	31%
	III(要対策)	0%	0%	1%	1%	0%	2%	1%	1%	1%	2%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	0%	2%	1%	1%	0%	1%	6%	2%	2%	2%	1%	1%	2%	1%	2%
	IV(要緊急対策)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	1%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
実績値 (A県) 件数	I(異常なし)	1	91	107	156	117	69	84	82	106	209	80	118	157	115	126	147	100	124	158	114	159	164	154	190	214	222	289	213	169	194	162
	II(経過観察)	0	12	14	41	30	23	24	27	43	54	19	45	37	34	39	49	29	40	42	41	49	36	39	48	46	41	50	58	56	40	75
	III(要対策)	0	0	1	1	0	2	1	1	1	5	0	1	1	2	0	1	0	4	3	1	1	2	13	4	4	6	2	3	4	3	4
	IV(要緊急対策)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	2	4	0	0	1	0	1	0	0
	件数計	1	103	122	198	147	94	109	110	150	270	99	164	195	151	165	197	129	169	203	157	209	204	208	246	264	269	342	274	230	237	241

② 予測値（計算値）の算定

次頁を参考に、マルコフ連鎖モデルによる方法（遷移確率 Px を変数とした行列演算）により、予測値を算出する。結果は①と同様、健全度毎、経過年数1年毎に結果を①と並列させた形で整理する。

表 2.19 予測値の算定

劣化度		0年経	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10年経	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20年経	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30年経
計算値	I(異常なし)	100%	99%	97%	96%	95%	93%	92%	91%	89%	88%	87%	86%	84%	83%	82%	81%	80%	79%	78%	76%	75%	74%	73%	72%	71%	70%	69%	68%	67%	66%	66%
	II(経過観察)	0%	1%	3%	4%	5%	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%	21%	21%	22%	23%	24%	24%	25%	26%	26%	27%	27%	28%
	III(要対策)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	3%	4%	4%	4%	5%	5%	5%	5%	6%
	IV(要緊急対策)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
実績値 (A県) 割合	I(異常なし)	100%	88%	88%	79%	80%	73%	77%	75%	71%	77%	81%	72%	81%	76%	76%	75%	78%	73%	78%	73%	76%	80%	74%	77%	81%	83%	85%	78%	73%	82%	67%
	II(経過観察)	0%	12%	11%	21%	20%	24%	22%	25%	29%	20%	19%	27%	19%	23%	24%	25%	22%	24%	21%	26%	23%	18%	19%	20%	17%	15%	15%	21%	24%	17%	31%
	III(要対策)	0%	0%	1%	1%	0%	2%	1%	1%	1%	2%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	0%	2%	1%	1%	0%	1%	6%	2%	2%	2%	1%	1%	2%	1%	2%
	IV(要緊急対策)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	1%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
実績値 (A県) 件数	I(異常なし)	1	91	107	156	117	69	84	82	106	209	80	118	157	115	126	147	100	124	158	114	159	164	154	190	214	222	289	213	169	194	162
	II(経過観察)	0	12	14	41	30	23	24	27	43	54	19	45	37	34	39	49	29	40	42	41	49	36	39	48	46	41	50	58	56	40	75
	III(要対策)	0	0	1	1	0	2	1	1	1	5	0	1	1	2	0	1	0	4	3	1	1	2	13	4	4	6	2	3	4	3	4
	IV(要緊急対策)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	2	4	0	0	1	0	1	0	0
	件数計	1	103	122	198	147	94	109	110	150	270	99	164	195	151	165	197	129	169	203	157	209	204	208	246	264	269	342	274	230	237	241

◇表計算ソフトを用いたマルコフ連鎖モデルの予測値算定方法

遷移確率を一定とした場合のマルコフ連鎖モデルの式は、図 2.6 の行列式で表される。

$$\begin{pmatrix} I \\ II \\ III \\ IV \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-p_x & 0 & 0 & 0 \\ p_x & 1-p_x & 0 & 0 \\ 0 & p_x & 1-p_x & 0 \\ 0 & 0 & p_x & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

I, II, III, IV ; 健全度の割合 (0~1)
 p_x ; 遷移確率 (0~1)
 t ; 経過年数 (建設or補修時~調査時)

図 2.6 マルコフ連鎖モデルの式 (遷移確率一定)

前頁の①、②の結果を元に、表計算ソフトの関数を用いて上記の行列演算を行う手順は、以下に示す通りである。

1) 指定した二つの配列の行列積を求める関数 (MMULT) を使用する。
 同一年度の健全度 I から IV (以下の例では D3 から D6 まで) を選択状態とする。

2) 行列を絶対参照とする。

3) 直前の年度を参照する。

D3		fx {=MMULT(\$E\$37:\$H\$40,C3:C6)}							
	A	B	C	D	E	F	G	H	
2		劣化度	0年経	1	2	3	4	5	
3	計算値	I (異常なし)	100%	99%	97%	96%	95%	93%	
4		II (経過観察)	0%	1%	3%	4%	5%	7%	
5		III (要対策)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
6		IV (要緊急対策)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

遷移確率 (Px) は、算定当初は任意の値を与える。

パラメータ		
遷移確率	p _x	0.014
滞留率	1-p _x	0.986

滞留率 (1-Px)	0.986	0.000	0.000	0.000
遷移確率 (Px)	0.014	0.986	0.000	0.000

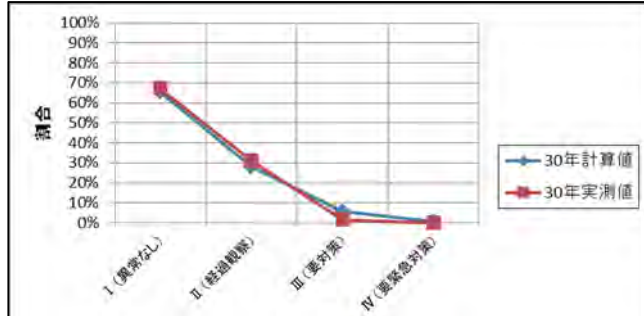
行列	0.986	0.000	0.000	0.000
	0.014	0.986	0.000	0.000
	0.000	0.014	0.986	0.000
	0.000	0.000	0.014	1.000

4) 最後に、Ctrl+Shift+Enter キーを押すと、D3 から D6 まで行列演算の結果が算定される (式が鍵カッコ { } 付きで表示される)。

③ 10年ピッチでの実績値、予測値の抽出

経過年数10年、20年、30年、40年、及び50年（10年ピッチ）で①、②のデータを抽出し、両者を対比した表、グラフを作成する。

	30年計算値	30年実績値
I (異常なし)	66%	67%
II (経過観察)	28%	31%
III (要対策)	6%	2%
IV (要緊急対策)	1%	0%



④ 予測誤差の算定

健全度毎に実績値と計算値との差の二乗を算定し、合計する。

	30年計算値	30年実績値	差の2乗
I (異常なし)	66%	67%	0.000
II (経過観察)	28%	31%	0.001
III (要対策)	6%	2%	0.002
IV (要緊急対策)	1%	0%	0.000
N=	241	基	$\Sigma = 0.003$
			Σ 最小時、 $px = 0.014$

差の二乗の合計値

⑤ 最小二乗法による最適な遷移確率 P_x の算定

表計算ソフトの「ソルバー」を使用し、各年度の④の合計値が最小となる（＝最適な）遷移確率 P_x を求める。

	30年計算値	30年実績値	差の2乗
I (異常なし)	66%	67%	0.000
II (経過観察)	28%	31%	0.001
III (要対策)	6%	2%	0.002
IV (要緊急対策)	1%	0%	0.000
N=	241	基	$\Sigma = 0.003$
			Σ 最小時、 $px = 0.014$

パラメータ		
遷移確率	px	0.014
滞留率	$1-px$	0.986
経過年数(年)	t	1

2.3.2 劣化予測の結果

2.3.1の方法を用いて、B県の治山ダム工で劣化予測を行った結果を以下に示す。図2.7は最小二乗法による最適値である $P_x=0.013$ の結果、図2.8は仮に $P_x=0.030$ とした結果であるが、図2.7の方が各年度において予測値の線形が実測値に近似していることが分かる。

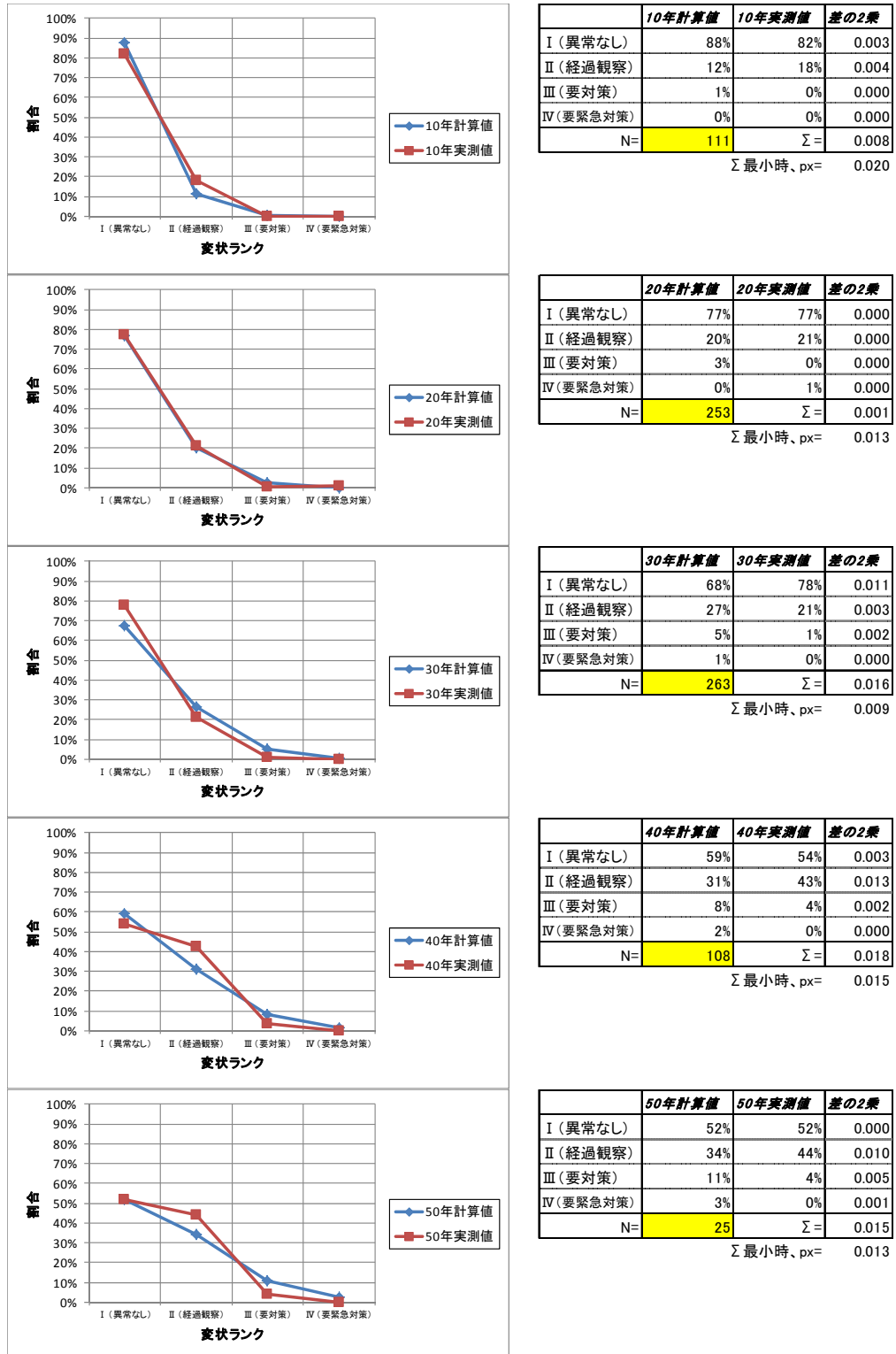
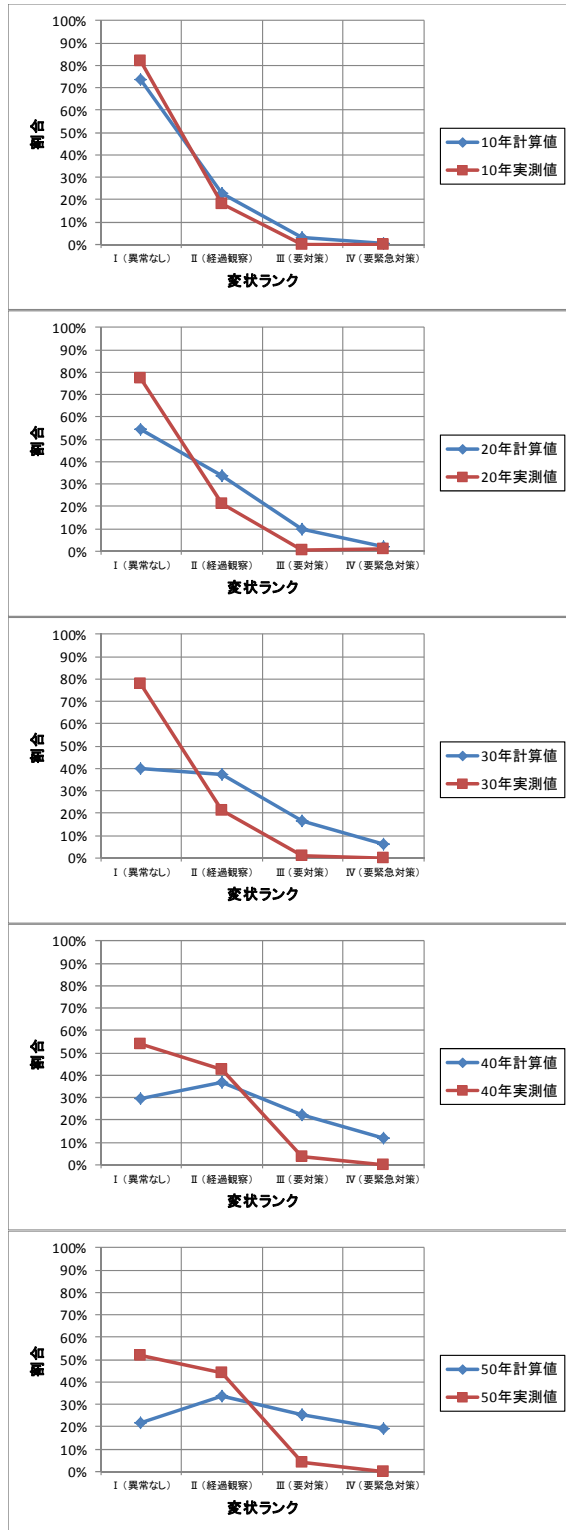


図 2.7 B 県の治山ダム工の劣化予測結果 ($P_x=0.013$)



	10年計算値	10年実測値	差の2乗
I (異常なし)	74%	82%	0.007
II (経過観察)	23%	18%	0.002
III (要対策)	3%	0%	0.001
IV (要緊急対策)	0%	0%	0.000
N=	111	Σ =	0.010

Σ 最小時、px= 0.020

	20年計算値	20年実測値	差の2乗
I (異常なし)	54%	77%	0.053
II (経過観察)	34%	21%	0.015
III (要対策)	10%	0%	0.009
IV (要緊急対策)	2%	1%	0.000
N=	253	Σ =	0.078

Σ 最小時、px= 0.013

	30年計算値	30年実測値	差の2乗
I (異常なし)	40%	78%	0.143
II (経過観察)	37%	21%	0.025
III (要対策)	17%	1%	0.025
IV (要緊急対策)	6%	0%	0.004
N=	263	Σ =	0.198

Σ 最小時、px= 0.009

	40年計算値	40年実測値	差の2乗
I (異常なし)	30%	54%	0.058
II (経過観察)	37%	43%	0.004
III (要対策)	22%	4%	0.034
IV (要緊急対策)	12%	0%	0.014
N=	108	Σ =	0.109

Σ 最小時、px= 0.015

	50年計算値	50年実測値	差の2乗
I (異常なし)	22%	52%	0.091
II (経過観察)	34%	44%	0.011
III (要対策)	26%	4%	0.046
IV (要緊急対策)	19%	0%	0.036
N=	25	Σ =	0.184

Σ 最小時、px= 0.013

図 2.8 B 県の治山ダム工の劣化予測結果 (Px=0.030)

2.3.3 工種毎の遷移確率 (Px) の目安

A 県、B 県の劣化予測結果から、工種毎の遷移確率 (Px) を以下に整理した。

なお、点検結果の蓄積がまだ少ない現段階においては、表 2.20 に示す両県の合算データから求めた Px 値を用いて経済性予測を行うことも可能である。ただし、Px の値は工種や材料の違い、あるいは治山施設が置かれている自然条件（地形、地質、降雨特性等）などで異なることが想定されるため、各自治体で点検結果のデータ数が蓄積されてきた段階で、工種別、材料別のみならず、地域別（地質分布毎）など、自然条件等が明らかに異なるグループに分けて Px 値を算出することが望ましい。

また、Px 値については点検実施年度毎（5 年毎など）に見直しを行い、予測精度の向上を図ることが望ましい。

表 2.20 工種毎の遷移確率 (Px)

ID	種別	工種	データ数 [※]			遷移確率 (Px)		
			A 県	B 県	A 県+B 県 (合算)	A 県	B 県	A 県+B 県 (合算)
1	溪間工	治山ダム (谷止工、床固工、帯工、堰 堤工)	1,606	8,279	9,885	0.003	0.013	0.011
2		護岸工	203	430	633	0.007	0.011	0.012
3		流路工	370	586	956	0.003	0.015	0.013
4	山腹工	土留工	3,467	1,645	5,112	0.012	0.008	0.012
5		水路工	185	307	492	0.020	0.023	0.024

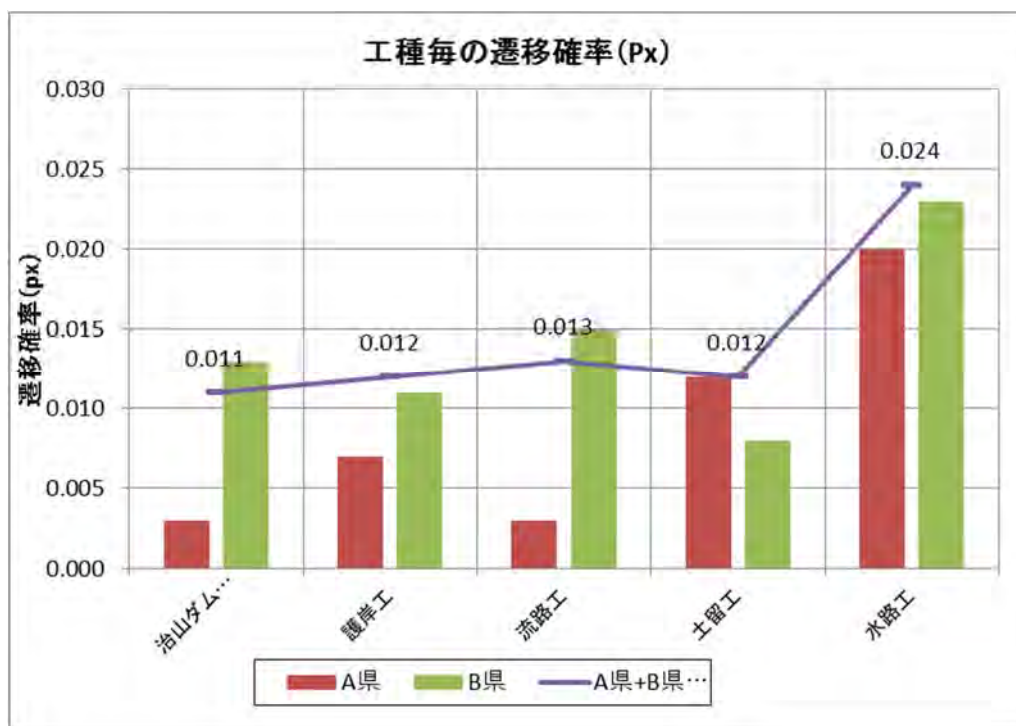


図 2.9 工種毎の遷移確率 (Px)

A 県、B 県の合算データから求めた工種毎の Px 値の傾向としては、以下のことが言える。

- 治山ダム工、護岸工、流路工の Px は 0.011~0.013 程度と低い。これは比較的構造物の規模が大きく、断面積が大きな施設が多いため劣化速度が遅いためと考えられる。
- 水路工の Px は 0.024 と高い。これは比較的軽易な材料、小規模、小断面の施設である場合が多く、劣化速度が速いためと考えられる。また、A 県、B 県の健全度の推移傾向 (Px 値) が比較的近似している。
- 土留工は、小規模、軽易な材料の施設も多くあるが、Px は 0.012 と低い。

3. ライフサイクルコストと経済比較

3.1 予防保全型管理による経済性効果の概念

治山ダム工（施工基数を1万基と仮定）を対象として、健全度Ⅲで対策する場合（予防保全的維持管理）と、健全度Ⅳで対策する場合（事後的な措置）経済性効果について概略的に試算した結果を以下に示す。

本試算ではまず、補修等の対策が必要な健全度ⅢおよびⅣの状態の施設について、マルコフ連鎖モデル（ $P_x=0.013$ ）により100年後までの劣化予測を行っている（図3.1上）。

次に10年間での増分量に対し、過去の補修等対策の実績から算出した健全度ⅢとⅣそれぞれの対策工事費の平均額※（表3.1）を掛け合わせることで、工事費（直接工事費）の累計額を予測した（図3.1下）。なお、試算において健全度Ⅲの対策は補修、機能強化クラック補修、根継工、増厚等、健全度Ⅳの対策は更新、増厚（嵩上）等を想定しており、対策を行った施設は健全度Ⅰに戻ると仮定している。

表 3.1 過去の実績による直接工事費単価※

Ⅲ対策単価(千円)	3,300
Ⅳ対策単価(千円)	17,000

※平成28年度実施のアンケート調査により収集した長寿命化対策実績を基に算出した単価（直接工事費）

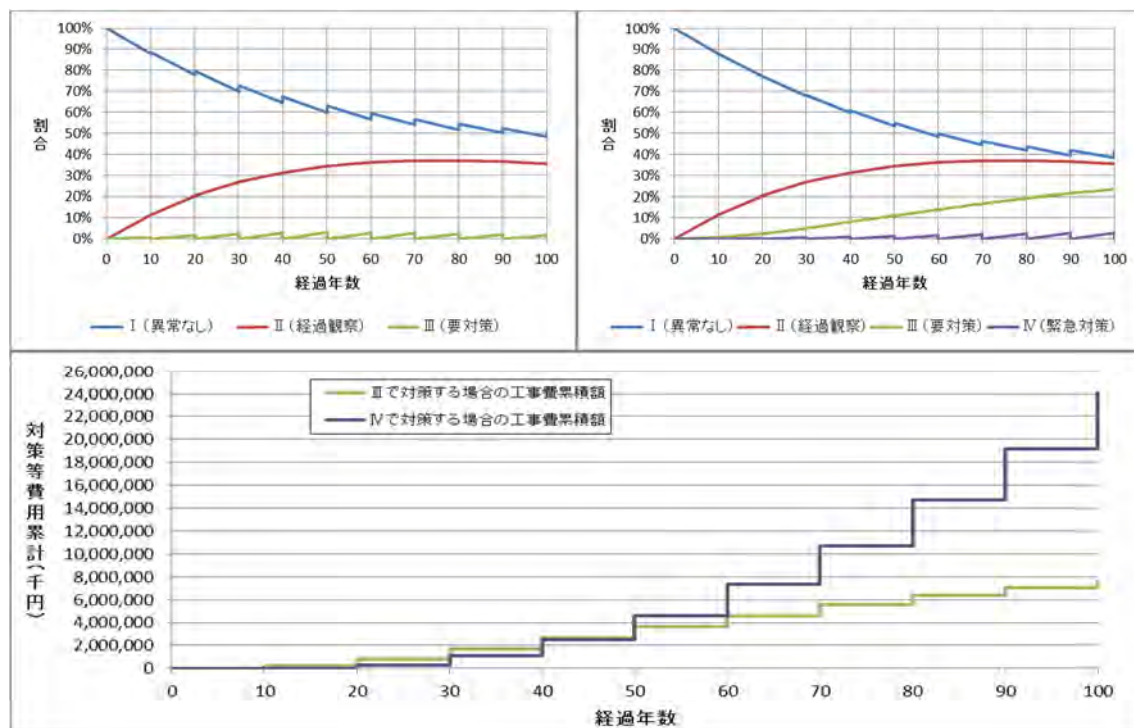


図 3.1 予防保全的維持管理と事後的な措置との比較イメージ（上：健全度の推移、下：経済性試算）

上記の結果より、健全度Ⅲで対策する場合（予防保全的維持管理）と、健全度Ⅳで対策する場合（事後的な措置）では、40年を経過する時点までは事後的な措置の方が安価であるが、40年以降では予防保全的維持管理を行う方がトータルコストが安価になる結果となる。

3.2 ライフサイクルコストと機能保全コスト

ストックマネジメントは、施設の建設に要する経費のみならず、供用期間中の維持保全コストや、廃棄にかかる経費に至るまでのすべての経費の総額（ライフサイクルコスト）を低減することを目指している。本資料においては、既存の施設があることを念頭に置いているため、施設の保全対策等の事業の着手時から一定期間において、施設機能を保全するために要するすべての経費（以下「機能保全コスト」という。）について、比較検討を行う。

【解説】

- ・ 治山施設は森林及び溪流等の安定と良好な森林環境の再生を前提としていることから、ライフサイクルをいつからいつまでとするべきか判断が難しい。また、本資料で対象とするのは、現存する施設であることから、当該施設の建設等に要した過年度のコストは、今後の対策工法の検討について大きな意味を持たない。
- ・ このため、建設から廃棄までのコストという厳密な意味でのLCCを算定し比較することは必ずしも合理的ではないことから、一定の期間を定めて、その間に施設機能を一定の範囲に管理するためのコストである「機能保全コスト」を比較検討することとする。
- ・ 換言すれば、LCCのうち、検討対象期間以前に発生している建設コストや補修・補強対策コスト、検討対象期間終了後に発生するコストなどを控除したものが、検討対象期間に係る「機能保全コスト」となる。
- ・ 機能保全コストは、対策工法の検討により作成されたシナリオについて算定し、経済比較を行う。具体的には、以下の通りである。
 - (ア) シナリオ毎に、支出年度毎のそれぞれの対策工法に要する経費を算定する。
 - (イ) 通常必要となる維持管理経費（オペレーションのための人件費や管理の範疇の軽微な補修経費、電気料金、油脂料金等）について、当該費用を整理する。なお、すべてのシナリオにおいて維持管理経費に大きな差が生じない場合には、これを省略しても差し支えない。

3.3 検討の対象期間

機能保全コストの検討対象期間は、対象施設が治山事業で整備されたものであることから、着工予定年から50年を標準的な検討の対象期間とする。

【解説】

- 機能保全コストがより小さくなる対策工法の組合せを検討するための期間については、長期とすると不確定の要素による影響が支配的となる。このため、公共事業の多くで40～60年の期間を用いていることが多いが、治山施設の管理の特質を踏まえ、標準的な検討の対象期間を50年と設定する。
- また、適切な補修・補強等の実施により既存施設の有効活用を図りつつ、機能の継続的な確保を図ろうとするものであるため、「新設～廃棄」までの概念が必ずしも明確でなくなることから、評価の対象とする期間を一定に決めることが必要となる。

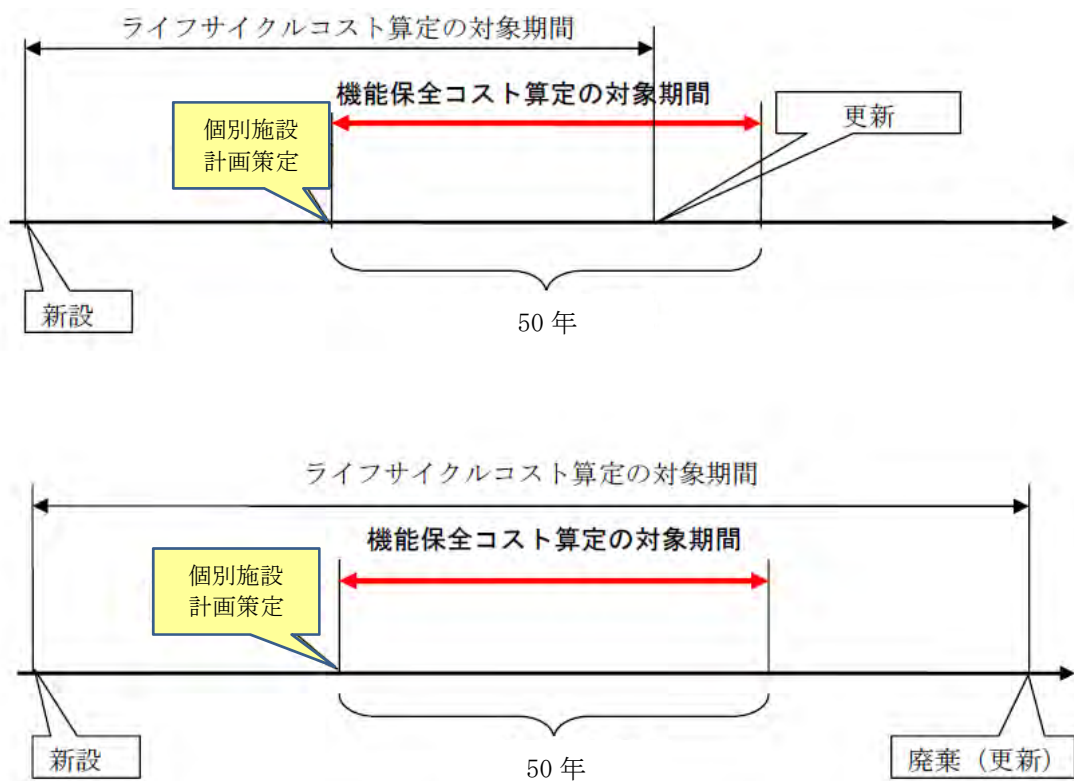


図 3.2 機能保全コスト算定の対象期間（農業水利施設の機能保全の手引き H19.3 を一部修正）

3.4 機能保全コストの対象となる経費

機能保全コストは、策定対象期間に発生するコストの総額を算定する。

【解説】

- 機能保全コストは、個別施設計画策定以降に発生する以下の経費について計上する。
(算定対象期間に発生する経費)
 - ① 調査、計画、設計に要する費用（調査費等）
 - ② 維持管理費（運転経費、管理の範疇の補修経費等）
 - ③ 更新整備や予防保全対策に要する経費（工事費等）
- 比較対象となるそれぞれのシナリオにおいて、調査・設計及び維持管理に要する経費に大きな差が見込まれない場合には、機能保全コストにこれらを含めないで検討することは差し支えない。

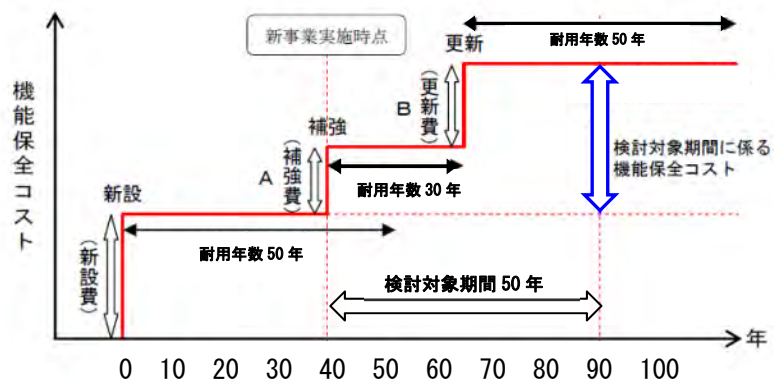


図 3.3 検査対象期間に係る機能保全コスト(農業水利施設の機能保全の手引き H19.3を一部修正)

3.5 シナリオ設定と経済性効果の検討例

ここでは、複数基の治山ダム工を対象として下記の4つのシナリオを想定し、マルコフ連鎖モデルによる劣化予測結果（ $P_x=0.011$ ）を用いて、シナリオ1と2、3と4の組み合わせによる経済性比較を行った。なお、シナリオ1と3は「予防保全型維持管理」、シナリオ2と4は「事後的な措置」を想定している。

- ✓ シナリオ1：10,000基のうち、10年に一度、健全度Ⅲの施設をⅠに戻す
- ✓ シナリオ2：10,000基のうち、10年に一度、健全度Ⅳの施設をⅠに戻す
- ✓ シナリオ3：A県とB県の合算データ（計9,885件）を用いて、10年に一度、健全度Ⅲの施設をⅠに戻す
- ✓ シナリオ4：A県とB県の合算データ（計9,885件）を用いて、10年に一度、健全度Ⅳの施設をⅠに戻す

以上4つのシナリオに対して、スタートから100年後までの対策施設数と対策費を検討した。なお、シナリオ3、シナリオ4で用いた施設の施工経過年数は、表3.2のとおりとした。また、対策費の試算で用いる工事費単価を表3.3に示す。

表 3.2 シナリオ3・4初年度の施工経過年数と健全度毎の施設数

施工経過年数 (年)	シナリオ用 の経過年数	施設数			
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
0～9	0	1,140	284	18	2
10～19	10	1,505	409	15	4
20～29	20	2,289	577	58	14
30～39	30	1,257	700	78	14
40～49	40	752	454	60	20
50～59	50	113	44	14	4
60～69	60	37	5	5	0
70～79	70	2	6	2	1
80～89	80	2	0	0	0
90～99	90	0	0	0	0

表 3.3 健全度対応する工事費単価*

健全度	工事費(千円)
Ⅲ	3,300
Ⅳ	17,000

※平成28年度実施のアンケート調査により収集した長寿命化対策実績を基に算出した単価（直接工事費）

○シナリオ 1、2 の比較

(1) シナリオ 1

表 3.4 シナリオ 1 健全度と施設数の遷移

0 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	10,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000
	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	10,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000
10 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	8,952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,952
	II	0	996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	996
	III	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
	IV	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
計	0	10,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000
20 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	47	8,016	0	0	0	0	0	0	0	0	8,063
	II	0	5	1,783	0	0	0	0	0	0	0	0	1,788
	III	0	0	149	0	0	0	0	0	0	0	0	149
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	52	9,948	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000
30 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	134	42	7,177	0	0	0	0	0	0	0	7,353
	II	0	15	9	2,394	0	0	0	0	0	0	0	2,418
	III	0	0	1	228	0	0	0	0	0	0	0	229
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	149	52	9,799	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000
40 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	206	120	38	6,425	0	0	0	0	0	0	6,789
	II	0	23	27	12	2,858	0	0	0	0	0	0	2,920
	III	0	0	2	1	288	0	0	0	0	0	0	291
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	229	149	51	9,571	0	0	0	0	0	0	0	10,000
50 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	262	184	107	34	5,751	0	0	0	0	0	6,338
	II	0	29	42	37	15	3,199	0	0	0	0	0	3,322
	III	0	0	3	3	1	333	0	0	0	0	0	340
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	291	229	147	50	9,283	0	0	0	0	0	0	10,000
60 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	306	235	165	96	30	5,149	0	0	0	0	5,981
	II	0	34	52	56	44	17	3,437	0	0	0	0	3,640
	III	0	0	4	5	4	2	364	0	0	0	0	379
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	340	291	226	144	49	8,950	0	0	0	0	0	10,000
70 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	341	274	210	148	86	27	4,610	0	0	0	5,696
	II	0	38	62	71	66	49	18	3,590	0	0	0	3,894
	III	0	0	4	6	7	5	2	386	0	0	0	410
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	379	340	287	221	140	47	8,586	0	0	0	0	10,000
80 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	369	305	245	188	132	77	24	4,127	0	0	5,467
	II	0	41	69	84	85	74	52	19	3,673	0	0	4,097
	III	0	0	5	7	8	8	6	2	400	0	0	436
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	410	379	336	281	214	135	45	8,200	0	0	0	10,000
90 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	393	330	273	219	168	118	69	21	3,696	0	5,287
	II	0	43	75	93	100	95	80	54	20	3,699	0	4,259
	III	0	0	5	8	10	10	8	6	2	405	0	454
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	436	410	374	329	273	206	129	43	7,800	0	10,000	
100 年 後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	409	352	295	244	196	150	106	62	19	3,308	5,141
	II	0	45	79	101	111	112	102	83	55	20	3,680	4,388
	III	0	0	5	9	11	11	11	9	6	2	407	471
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
計	0	454	436	405	366	319	263	198	123	41	7,395	10,000	

【表の見方】

- ・ 表は10年毎に遷移する施設の施工経過年数と健全度の分布を表している。
- ・ 横軸は施設の施工経過年数となっており、0年目の施設が10年後の下の表に移ると、10年目の位置に移動する。
- ・ シナリオ1は健全度Ⅲ以下になった施設をⅠに戻すので、例えば10年後の表でⅢが50基、Ⅳが2基*の計52基は、20年後の表では10年目に移動する。
- ・ 対策した施設もⅠからⅡ、ⅡからⅢへ移り変わるため、この処理をしたセルを青の網掛けで表示している。

シナリオ1の100年後までの対策施設数と対策費を表3.5に示す。

表 3.5 シナリオ1の対策工事費

経過年数	対策施設数	工事費計(千円)	累積工事費計(千円)
0年	0	0	0
10年	52 (2) *	199,000	199,000
20年	149	491,700	690,700
30年	229	755,700	1,446,400
40年	291	960,300	2,406,700
50年	340	1,122,000	3,528,700
60年	379	1,250,700	4,779,400
70年	410	1,353,000	6,132,400
80年	436	1,438,800	7,571,200
90年	454	1,498,200	9,069,400
100年	471	1,554,300	10,623,700

*()内は健全度Ⅳの数

※シナリオ1では健全度Ⅲの状態に対策を行うため、健全度Ⅳの施設は本来生じないが、遷移確率 $P_x=0.011$ で計算すると、10年後の健全度Ⅳの割合が0.015%となり、1万基を想定した場合、計算上2基生じてしまう。

(2) シナリオ 2

表 3.6 シナリオ 2 健全度と施設数の遷移

0年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	10,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000
	II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	10,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000

10年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	8,952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,952
	II	0	996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	996
	III	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
	IV	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	計	0	10,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000

20年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	2	8,016	0	0	0	0	0	0	0	0	8,018
	II	0	0	1,783	0	0	0	0	0	0	0	0	1,783
	III	0	0	188	0	0	0	0	0	0	0	0	188
	IV	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11
	計	0	2	9,998	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000

30年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	10	2	7,177	0	0	0	0	0	0	0	7,189
	II	0	1	0	2,394	0	0	0	0	0	0	0	2,395
	III	0	0	0	386	0	0	0	0	0	0	0	386
	IV	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	30
	計	0	11	2	9,987	0	0	0	0	0	0	0	10,000

40年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	27	9	2	6,425	0	0	0	0	0	0	6,463
	II	0	3	2	0	2,858	0	0	0	0	0	0	2,863
	III	0	0	0	0	620	0	0	0	0	0	0	620
	IV	0	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0	54
	計	0	30	11	2	9,957	0	0	0	0	0	0	10,000

50年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	49	24	8	2	5,751	0	0	0	0	0	5,834
	II	0	5	6	3	0	3,199	0	0	0	0	0	3,213
	III	0	0	0	0	0	872	0	0	0	0	0	872
	IV	0	0	0	0	0	81	0	0	0	0	0	81
	計	0	54	30	11	2	9,903	0	0	0	0	0	10,000

60年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	73	44	21	7	2	5,149	0	0	0	0	5,296
	II	0	8	9	8	4	0	3,437	0	0	0	0	3,466
	III	0	0	1	1	0	0	1,128	0	0	0	0	1,130
	IV	0	0	0	0	0	0	108	0	0	0	0	108
	計	0	81	54	30	11	2	9,822	0	0	0	0	10,000

70年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	97	65	39	19	6	2	4,610	0	0	0	4,838
	II	0	11	15	13	9	5	0	3,590	0	0	0	3,643
	III	0	0	1	2	2	0	0	1,377	0	0	0	1,382
	IV	0	0	0	0	0	0	0	137	0	0	0	137
	計	0	108	81	54	30	11	2	9,714	0	0	0	10,000

80年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	123	87	58	35	17	5	2	4,127	0	0	4,454
	II	0	14	20	20	15	10	5	0	3,673	0	0	3,757
	III	0	0	1	3	4	3	1	0	1,614	0	0	1,626
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	163	0	0	163
	計	0	137	108	81	54	30	11	2	9,577	0	0	10,000

90年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	147	110	78	52	31	15	4	2	3,696	0	4,135
	II	0	16	25	27	24	17	11	5	0	3,699	0	3,824
	III	0	0	2	3	5	6	4	2	0	1,831	0	1,853
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188	0	188
	計	0	163	137	108	81	54	30	11	2	9,414	0	10,000

100年後	施工経過年数	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	計
	I	0	169	132	98	70	47	28	13	4	2	3,308	3,871
	II	0	19	29	34	32	26	18	12	4	0	3,680	3,854
	III	0	0	2	5	6	7	7	5	3	0	2,026	2,061
	IV	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	212	214
	計	0	188	163	137	108	81	54	30	11	2	9,226	10,000

シナリオ 2 の 100 年後までの対策施設数と対策費を表 3.7 に示す。

表 3.7 シナリオ 2 の対策工事費

経過年数	対策施設数	工事費計(千円)	累積工事費計(千円)
0 年	0	0	0
10 年	2	34,000	34,000
20 年	11	187,000	221,000
30 年	30	510,000	731,000
40 年	54	918,000	1,649,000
50 年	81	1,377,000	3,026,000
60 年	108	1,836,000	4,862,000
70 年	137	2,329,000	7,191,000
80 年	163	2,771,000	9,962,000
90 年	188	3,196,000	13,158,000
100 年	214	3,638,000	16,796,000

(3) シナリオ 1、2 の経済性比較

施工から 100 年後までにかかる累計対策費をシナリオ 1 とシナリオ 2 の場合で比較した(図 3.4)。

50 年後までは対策施設数の多いシナリオ 1 の累積対策費がシナリオ 2 を上回っているが、60 年後以降は単価の高いシナリオ 2 の累積対策費がシナリオ 1 を逆転している。100 年後には約 62 億円の差が生じる結果となった。

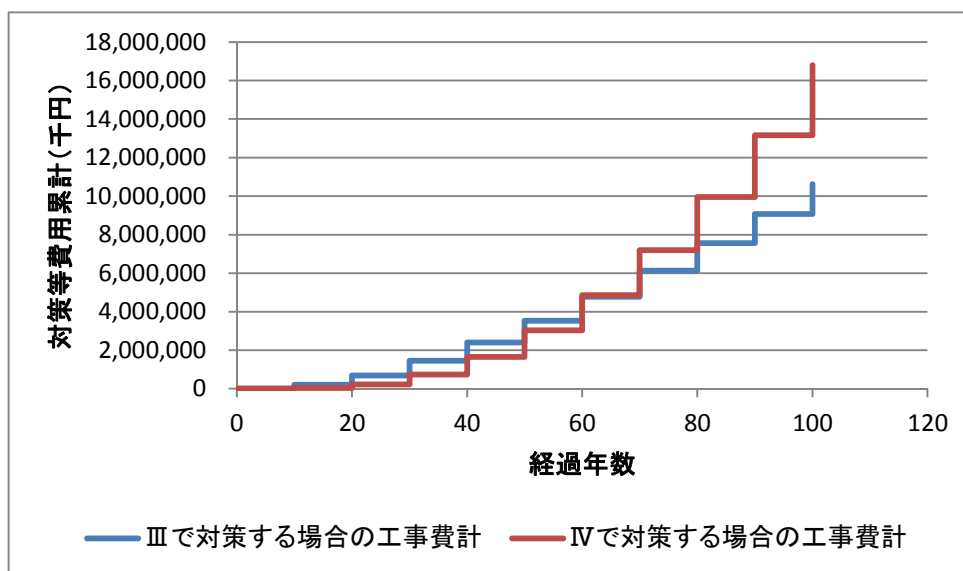


図 3.4 累積対策工事費比較

○シナリオ 3、4 の比較

(1) シナリオ 3

表 3.8 シナリオ 3 健全度と施設数の遷移

	施工経過年数	年目																		計	
		0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	110年目	120年目	130年目	140年目	150年目	160年目	170年目		180年目
0年後	I	1,140	1,505	2,289	1,257	752	113	37	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,097
	II	284	409	577	700	454	44	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,479
	III	18	15	58	78	60	14	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
	IV	2	4	14	14	20	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
	計	1,444	1,933	2,938	2,049	1,286	175	47	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,885
10年後	I	0	1,305	1,348	2,049	1,125	673	101	33	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,638
	II	0	392	514	748	750	481	51	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,949
	III	0	36	52	69	82	52	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	298
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	1,733	1,914	2,866	1,957	1,206	157	42	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,885
20年後	I	0	268	1,169	1,207	1,834	1,007	603	90	30	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6,212
	II	0	30	478	593	876	783	497	56	10	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3,327
	III	0	0	50	62	87	85	54	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	346
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	298	1,697	1,862	2,797	1,875	1,154	152	41	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9,885
30年後	I	0	312	240	1,047	1,081	1,642	902	540	81	27	2	2	0	0	0	0	0	0	0	5,876
	II	0	34	54	542	650	968	800	505	59	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3,628
	III	0	0	4	58	69	100	88	55	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	381
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	346	298	1,647	1,800	2,710	1,790	1,100	146	40	6	2	0	0	0	0	0	0	0	9,885
40年後	I	0	343	279	215	937	968	1,470	808	483	73	24	2	2	0	0	0	0	0	0	5,604
	II	0	38	63	73	589	689	1,031	805	506	61	14	4	0	0	0	0	0	0	0	3,873
	III	0	0	4	6	63	74	109	89	56	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	408
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	381	346	294	1,589	1,731	2,610	1,702	1,045	140	39	6	2	0	0	0	0	0	0	9,885
50年後	I	0	367	307	250	192	839	867	1,316	723	433	65	21	2	2	0	0	0	0	0	5,384
	II	0	41	69	84	87	620	713	1,070	801	500	62	15	4	0	0	0	0	0	0	4,066
	III	0	0	5	8	9	67	77	115	89	56	7	2	0	0	0	0	0	0	0	435
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	408	381	342	288	1,526	1,657	2,501	1,613	989	134	38	6	2	0	0	0	0	0	9,885
60年後	I	0	392	329	275	224	172	751	776	1,178	648	388	58	19	2	2	0	0	0	0	5,214
	II	0	43	74	93	100	97	638	725	1,090	788	490	62	15	4	0	0	0	0	0	4,219
	III	0	0	5	8	10	10	70	79	118	88	55	7	2	0	0	0	0	0	0	452
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	435	408	376	334	279	1,459	1,580	2,386	1,524	933	127	36	6	2	0	0	0	0	9,885
70年後	I	0	407	351	295	246	201	154	672	695	1,055	580	347	52	17	2	2	0	0	0	5,076
	II	0	45	79	99	111	112	104	646	726	1,093	770	478	61	15	4	0	0	0	0	4,343
	III	0	0	5	9	11	11	71	80	120	86	53	7	2	0	0	0	0	0	0	466
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	452	435	403	368	324	269	1,389	1,501	2,268	1,436	878	120	34	6	2	0	0	0	9,885
80年後	I	0	420	364	314	264	220	180	138	602	622	944	519	311	47	15	2	2	0	0	4,964
	II	0	46	82	106	118	124	120	108	645	719	1,085	747	462	59	15	4	0	0	0	4,440
	III	0	0	6	10	12	13	13	12	71	80	119	84	52	7	2	0	0	0	0	481
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	466	452	430	394	357	313	258	1,318	1,421	2,148	1,350	825	113	32	6	2	0	0	9,885
90年後	I	0	433	376	326	281	236	197	161	124	539	557	845	465	278	42	13	2	2	0	4,877
	II	0	48	84	110	127	133	133	126	110	637	705	1,066	720	445	58	15	4	0	0	4,521
	III	0	0	6	10	12	13	14	13	12	71	79	118	81	50	6	2	0	0	0	487
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	481	466	446	420	382	344	300	246	1,247	1,341	2,029	1,266	773	106	30	6	2	0	9,885
100年後	I	0	438	388	337	292	252	211	176	144	111	482	499	757	416	249	38	12	2	2	4,806
	II	0	49	87	113	131	142	143	139	129	111	624	686	1,038	691	426	56	14	4	0	4,583
	III	0	0	6	10	13	14	15	15	14	12	70	77	116	78	48	6	2	0	0	496
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	0	487	481	460	436	408	369	330	287	234	1,176	1,262	1,911	1,185	723	100	28	6	2	9,885

シナリオ 3 の 100 年後までの対策施設数と対策費を表 3.9 に示す。

表 3.9 シナリオ 3 の対策工事費

経過年数	対策施設数	工事費計(千円)	累積工事費計(千円)
0 年	309 (59) *	1,828,000	1,828,000
10 年	298	983,400	2,811,400
20 年	346	1,141,800	3,953,200
30 年	381	1,257,300	5,210,500
40 年	408	1,346,400	6,556,900
50 年	435	1,435,500	7,992,400
60 年	452	1,491,600	9,484,000
70 年	466	1,537,800	11,021,800
80 年	481	1,587,300	12,609,100
90 年	487	1,607,100	14,216,200
100 年	496	1,636,800	15,853,000

*()内は健全度Ⅳの数

(2) シナリオ 4

表 3.10 シナリオ 4 健全度と施設数の遷移

	施工経過年数	0年後																		計	
		0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	60年目	70年目	80年目	90年目	100年目	110年目	120年目	130年目	140年目	150年目	160年目	170年目		180年目
0年後	I	1,140	1,505	2,289	1,257	752	113	37	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,097
	II	284	409	577	700	454	44	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,479
	III	18	15	58	78	60	14	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
	IV	2	4	14	14	20	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59
	計	1,444	1,933	2,938	2,049	1,286	175	47	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,885
10年後	I	0	1,080	1,348	2,049	1,125	673	101	33	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,413
	II	0	367	514	748	750	481	51	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,924
	III	0	51	65	119	150	105	17	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	515
	IV	0	3	2	8	10	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
	計	0	1,501	1,929	2,924	2,035	1,266	171	47	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,885
20年後	I	0	30	967	1,207	1,834	1,007	603	90	30	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5,772
	II	0	3	433	593	876	783	497	56	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,255
	III	0	0	90	118	190	216	146	21	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	790
	IV	0	0	8	9	16	19	13	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68
	計	0	33	1,498	1,927	2,916	2,025	1,259	169	46	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9,885
30年後	I	0	61	27	866	1,081	1,642	902	540	81	27	2	2	0	0	0	0	0	0	0	5,231
	II	0	7	6	482	650	968	800	505	59	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3,493
	III	0	0	0	129	172	266	278	184	25	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1,063
	IV	0	0	0	13	15	24	26	17	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98
	計	0	68	33	1,490	1,918	2,900	2,006	1,246	167	45	10	2	0	0	0	0	0	0	0	9,885
40年後	I	0	88	55	24	775	968	1,470	808	483	73	24	2	2	0	0	0	0	0	0	4,772
	II	0	10	12	8	517	689	1,031	805	506	61	14	4	0	0	0	0	0	0	0	3,657
	III	0	0	1	1	168	225	343	334	219	28	5	4	0	0	0	0	0	0	0	1,328
	IV	0	0	0	0	17	21	32	33	21	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	128
	計	0	98	68	33	1,477	1,903	2,876	1,980	1,229	165	44	10	2	0	0	0	0	0	0	9,885
50年後	I	0	115	79	49	21	694	867	1,316	723	433	65	21	2	2	0	0	0	0	0	4,387
	II	0	13	18	17	10	539	713	1,070	801	500	62	15	4	0	0	0	0	0	0	3,762
	III	0	0	1	2	2	206	275	417	384	250	32	6	4	0	0	0	0	0	0	1,579
	IV	0	0	0	0	0	21	27	41	39	25	3	1	0	0	0	0	0	0	0	157
	計	0	128	98	68	33	1,460	1,882	2,844	1,947	1,208	162	43	10	2	0	0	0	0	0	9,885
60年後	I	0	141	103	71	44	19	621	776	1,178	648	388	58	19	2	2	0	0	0	0	4,070
	II	0	16	23	24	20	11	551	725	1,090	788	490	62	15	4	0	0	0	0	0	3,819
	III	0	0	2	3	4	3	242	321	486	428	276	35	7	4	0	0	0	0	0	1,811
	IV	0	0	0	0	0	0	25	33	49	44	29	4	1	0	0	0	0	0	0	185
	計	0	157	128	98	68	33	1,439	1,855	2,803	1,908	1,183	159	42	10	2	0	0	0	0	9,885
70年後	I	0	167	126	92	64	39	17	556	695	1,055	580	347	52	17	2	2	0	0	0	3,811
	II	0	18	29	31	28	23	12	555	726	1,093	770	478	61	15	4	0	0	0	0	3,843
	III	0	0	2	5	6	6	4	274	364	550	465	298	38	8	4	0	0	0	0	2,024
	IV	0	0	0	0	0	0	0	29	37	56	49	31	4	1	0	0	0	0	0	207
	計	0	185	157	128	98	68	33	1,414	1,822	2,754	1,864	1,154	155	41	10	2	0	0	0	9,885
80年後	I	0	186	150	113	82	57	35	15	498	622	944	519	311	47	15	2	2	0	0	3,598
	II	0	21	33	39	37	32	24	13	552	719	1,085	747	462	59	15	4	0	0	0	3,842
	III	0	0	2	5	8	8	8	5	303	402	606	496	316	41	9	4	0	0	0	2,213
	IV	0	0	0	0	1	1	1	0	32	42	63	53	34	4	1	0	0	0	0	232
	計	0	207	185	157	128	98	68	33	1,385	1,785	2,698	1,815	1,123	151	40	10	2	0	0	9,885
90年後	I	0	209	167	134	101	73	51	31	13	446	557	845	465	278	42	13	2	2	0	3,429
	II	0	23	37	45	46	42	34	25	14	543	705	1,066	720	445	58	15	4	0	0	3,822
	III	0	0	3	6	9	11	11	10	5	329	435	655	521	331	42	10	4	0	0	2,382
	IV	0	0	0	0	1	1	1	1	1	35	46	69	56	35	5	1	0	0	0	252
	計	0	232	207	185	157	127	97	67	33	1,353	1,743	2,635	1,762	1,089	147	39	10	2	0	9,885
100年後	I	0	227	187	150	120	90	65	46	28	12	399	499	757	416	249	38	12	2	2	3,299
	II	0	25	42	50	54	52	45	35	25	13	531	686	1,038	691	426	56	14	4	0	3,787
	III	0	0	3	7	10	13	15	14	12	6	350	463	697	541	342	43	11	4	0	2,531
	IV	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	38	49	74	58	37	5	1	0	0	268
	計	0	252	232	207	185	156	126	96	66	32	1,318	1,697	2,566	1,706	1,054	142	38	10	2	9,885

シナリオ4の100年後までの対策施設数と対策費を表3.11に示す。

表 3.11 シナリオ4の対策工事費

経過年数	対策施設数	工事費計(千円)	累積工事費計(千円)
0年	59	1,003,000	1,003,000
10年	33	561,000	1,564,000
20年	68	1,156,000	2,720,000
30年	98	1,666,000	4,386,000
40年	128	2,176,000	6,562,000
50年	157	2,669,000	9,231,000
60年	185	3,145,000	12,376,000
70年	207	3,519,000	15,895,000
80年	232	3,944,000	19,839,000
90年	252	4,284,000	24,123,000
100年	268	4,556,000	28,679,000

(3) シナリオ3、4の経済性比較

施工から100年後までにかかる累計対策費をシナリオ3とシナリオ4の場合で比較した(図3.5)。

シナリオ3は初年度の健全度Ⅳの対策費分が増えるためシナリオ4より高額になるが、40年後に逆転し、100年後には約128億円の差が生じる結果となった。

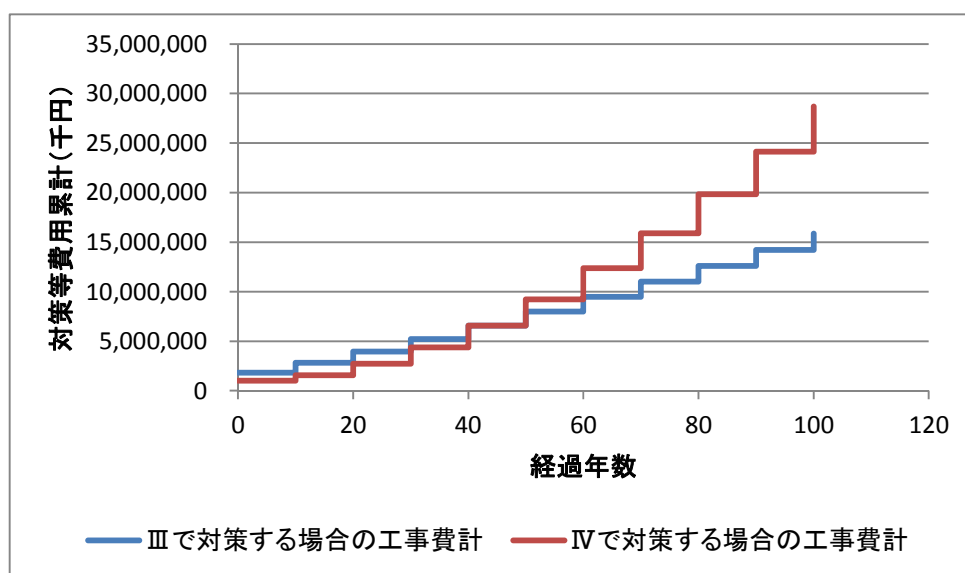


図 3.5 累積対策工事費比較

(参考) 治山ダム工の劣化速度に関する一考察

各健全度の経年による推移を、実測値と予測値 (Px=0.011) とで比較した結果を表 3.12 と図 3.6 に示す。なお、実測値は A 県と B 県の合算データ (計 9,885 件) のうち、まとまったデータ数が得られている期間のデータ (施工経過年数 0~50 年、計 9,681 基) を示している。

表 3.12 実測値と予測値との推移の比較

施工後 経過年数	健全度 I		健全度 II		健全度 III		健全度 IV		合計 実測値 (件数)
	I 実測値 (件数)	I 予測値 (%)	II 実測値 (件数)	II 予測値 (%)	III 実測値 (件数)	III 予測値 (%)	IV 実測値 (件数)	IV 予測値 (%)	
0-10	1,140	78.9%	284	19.7%	18	1.2%	2	0.1%	1,444
10-20	1,505	77.9%	409	21.2%	15	0.8%	4	0.2%	1,933
20-30	2,289	77.9%	577	19.6%	58	2.0%	14	0.5%	2,938
30-40	1,257	61.3%	700	34.2%	78	3.8%	14	0.7%	2,049
40-50	771	58.5%	465	35.3%	61	4.6%	20	1.5%	1,317
50-60		54.4%		33.3%		10.0%		2.3%	
60-70		48.7%		35.2%		12.5%		3.5%	
70-80		43.6%		36.4%		15.0%		5.0%	
80-90		39.1%		36.9%		17.2%		6.8%	
90-100		35.0%		36.9%		19.3%		8.8%	
合計	6,962		2,435		230		54		9,681

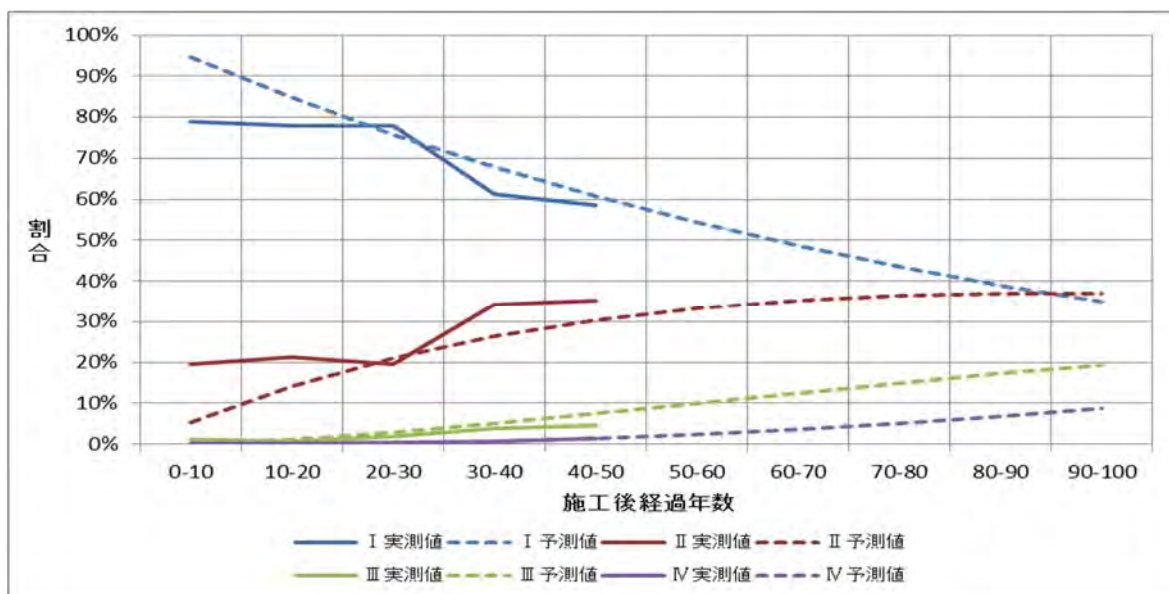


図 3.6 各健全度の実測値と予測値の推移傾向

全体として見ると、両者の推移傾向は概ね近似している。このことから、予測値を使えば、将来の健全度の推移をある程度予測出来ることが分かる。今回の予測によると、今後補修等の対策は実施せずそのままの推移傾向を保つと仮定した場合、要対策施設 (III、IVの合計) が約 60 年後には約 12%、約 100 年後には 30%程度まで増加すると予測される。

一方で、治山ダム工の場合は施設自体の劣化のみならず、周辺部の地山等に損傷が生じることで施設に影響を及ぼす場合がある。中でも基礎部の洗掘は治山ダム工の主要な損傷形態であり、豪雨等により施工後早い段階で生じる事例が多く、進行すると堤体の安定性に関わること

から要対策（健全度ⅢまたはⅣ）と判断される場合も多い。表 3.12 と図 3.6 の予測値はあくまである地域の 1 万基程度の治山ダム工の実績であり、かつ経年劣化による劣化・損傷と豪雨等の外力による損傷の双方を対象にした実績に基づいた予測将来像を示していることから、各県において将来像を予測する際には、それぞれの実績データに基づいて精査していくことが望ましい。