

六甲山系における砂防堰堤 長寿命化計画について

百瀬 広淳¹

¹近畿地方整備局 六甲砂防事務所 調査課 (〒658-0052 兵庫県神戸市東灘区住吉東町3-13-15)

六甲砂防事務所管内には、昭和30年以前に建設された施設も多数あり、老朽化が進行して機能・性能への影響が顕在化し始めている施設も見られる。このため、新規施設整備と併せて、既存施設の機能や性能を適切に維持していくことが課題であった。そこで、砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）（以下、「ガイドライン」）や砂防関係施設点検要領（案）（以下、「点検要領」）に準じ、管内の砂防設備の機能等を持続的に維持することを目的に、設備の健全度（健全性・安定性）を評価し、その結果を基に長寿命化計画を策定した。本論は、長寿命化計画策定において実施した検討概要及び持続可能な計画とするために実施した劣化予測と予測に基づく管理水準、コスト縮減等について報告する。

キーワード 長寿命化, 劣化予測, コスト縮減

1. 対象地の概要

六甲山系における直轄砂防事業は昭和13年7月の阪神大水害を契機に災害対策砂防工事として着手し、これまで六甲山系24水系（仁川流域を含む、図-1）において砂防堰堤538基、溪流保全工49箇所（2015年3月末時点）が整備されてきている。

管内では毎年管轄する全砂防施設を対象に施設点検を実施しているが施設の構造や損傷の程度に地域、水系ごとの大きな違いはみられない。このため、管内全域を単一の計画対象区域（六甲山系直轄砂防区域）として扱い、砂防施設の長寿命化計画を検討した。

2. 管内の砂防施設の概要



図-1 検討対象流域

長寿命化計画を策定するにあたり、管内の砂防施設の状況について、整備状況や補修の実施状況、施設の種類や構成材料等の観点から把握・分析した。

主な分析結果は下記のとおりである。

- 竣工後50年以上経過している施設が30%（180基）、30年以上が70%（395基）（図-2）
- 堰堤の35%（188基）、溪流保全工の90%（45箇所）が市街地内もしくは都市近郊といった生活圏に近い地域に立地
- 内部材料が粗石Coや粗石混合積の堰堤が20%（116基）を占める
- 施設点検結果における要対策（C判定）施設は9基（1.5%）、経過観察（B判定）施設は27基（4.6%）
- 修繕改築実績は災害復旧を含め125件
- 機能付加向上を伴わない修繕改築64%、伴う改築25%、災害復旧11%
- 修繕改築実績のある堰堤は80基でこのうち約半数（55%）の44基が粗石Coおよび粗石混合積

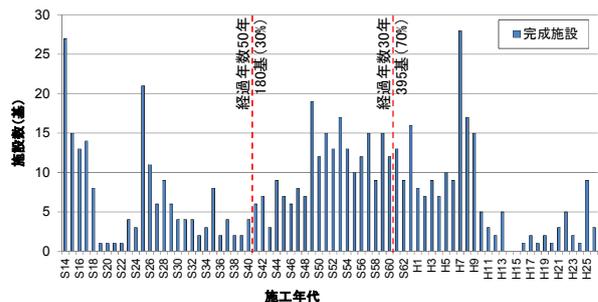


図-2 施工年代別の施設整備基数



図3 修繕改築実績の内訳

3. 日常的な維持管理の方針設定

砂防施設の長寿命化計画では、日常的な維持の方針を定め、日常的な維持に必要な費用を年度当初に確保することが望ましい。そこで、管内における日常的な維持行為の現状を把握し、必要となる維持管理行為についてその項目と規模、費用を設定した。

平成22年度～26年度の5カ年で実施された管内における日常的な維持管理行為は主に下記の4項目であった。

- 親水性を考慮した施設の除草作業
- 溪流保全工の機能維持を目的とした伐木・塵芥処理等の清掃作業
- 安全確保のための維持作業
- その他応急処理作業

各項目の実績をもとに年間で実施する維持管理行為の規模および年間で必要となる費用を設定した(表-1)。

表-1 日常的な維持管理の項目、規模、費用

項目	頻度	規模	直接工費(万円)
親水性を考慮した施設の除草作業	1回/年	9,900m ² /年	471
溪流保全工の機能維持を目的とした清掃作業	不定期(必要時)	2箇所/年	217
安全確保のための維持作業	不定期(必要時)	8箇所/年	278
その他応急処理作業	不定期(必要時)	11箇所/年	706
合計			1,672

4. 健全度評価

(1) 健全度評価の基準

施設の健全度は、定期点検時にガイドラインおよび点検要領に準拠して評価を実施している。健全度は、施設の機能の低下、性能の劣化状況と施設周辺の状況から図-4に示す考え方を基本として、表-2に示す基準に基づき評価する。施設の機能の低下および性能の劣化状況は、施設の部位ごとの変状レベルに基づき表-3の判定基準に基づき評価する。

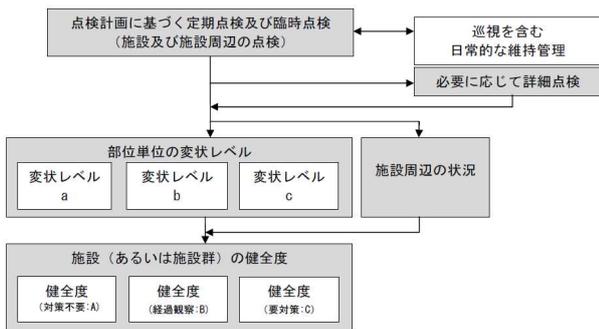


図4 健全度評価の基本フロー(「点検要領」より)

表-2 健全度の評価基準(「点検要領」より)

健全度	損傷等の程度	表記
対策不要	当該施設に損傷等は発生していないか、軽微な損傷が発生しているもの、損傷等に伴う当該施設の機能の低下及び性能の劣化が認められず、対策の必要がない状態	A
経過観察	当該施設に損傷等が発生しているが、問題となる機能の低下及び性能の劣化が生じていない。現状では対策を講じる必要はないが、将来対策を必要とするおそれがあるため、定期点検や臨時点検等により、経過を観察する必要がある状態	B
要対策	当該施設に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該施設の機能低下が生じている、あるいは当該施設の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態	C

表-3 変状レベルの判定基準(「点検要領」より)

変状レベル	損傷等の程度	備考
a	当該部位に損傷等は発生していないもしくは軽微な損傷が発生しているもの、損傷等に伴う当該部位の性能の劣化が認められず、対策の必要がない状態	
b	当該部位に損傷等が発生しているが、問題となる性能の劣化が生じていない。現状では対策を講じる必要はないが、今後の損傷等の進行を確認するため、定期巡視点検や臨時点検等により、経過を観察する必要がある状態	
c	当該部位に損傷等が発生しており、損傷等に伴い、当該部位の性能上の安定性や強度の低下が懸念される状態	

(2) 点検結果を踏まえた健全度の整理

a) 機能の低下、性能の劣化状況の把握

平成27年度の定期点検結果から、要対策施設(健全度C)は堰堤8基および溪流保全工1箇所、経過観察施設(健全度B)は堰堤27基であった。

図-5は竣工後の経過年数区分別にみた健全度評価の結果である。これより、施設に何らかの損傷が発生しており、機能の低下や性能の劣化が生じるおそれのある健全度Bおよび健全度C評価は竣工後30年以上経過した施設において多くみられる傾向が確認された。

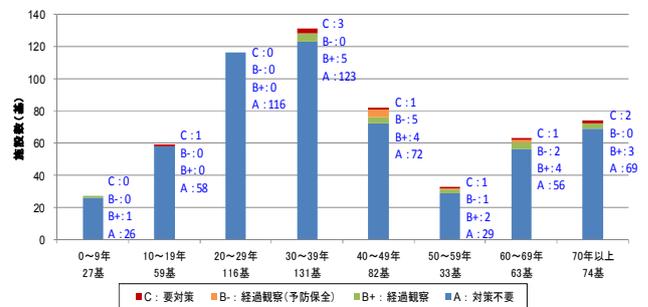
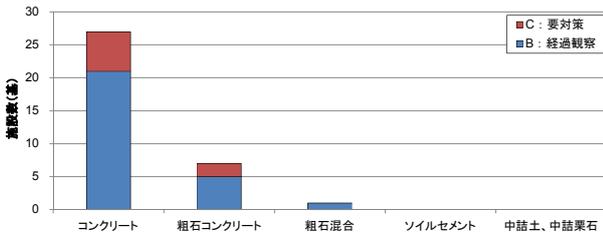


図5 竣工後の経過年数ごとの健全度評価結果

図-6は健全度Bおよび健全度Cの堰堤35基に関する堤体の内部材料の内訳である。これより、堰堤35基中の27基がコンクリートであり、全体の75%を占めていた。残りの8基中7基が粗石コンクリート、1基が粗石混合積であった。一般に粗石コンクリートや粗石混合積は純コンクリートに比べ材料強度が劣り、変状が生じやすいと考えられるが、平成27年度の点検結果からはこの傾向はみられなかった。これは、過去に実施されてきた修繕・改築工事が粗石コンクリートや粗石混合積の堰堤を対象としたものが多く、粗石コンクリート116基のうち42基、粗石混交積4基のうち2基が既に何らかの修繕・改築が行われており、現状で大きな変状が生じていないためと考えられる。



	点検結果		合計 (基)	割合 (%)
	B 経過観察	C 要対策		
コンクリート	21	6	27	77.1
粗石コンクリート	5	2	7	20.0
粗石混合	1	0	1	2.9
ソイルセメント	0	0	0	0.0
中詰土、中詰栗石	0	0	0	0.0
	27	8	35	

図6 内部材料別の健全度評価結果の内訳

b) 健全度の整理

図-7, 8は点検結果から健全度の評価結果と変状レベルの関係を整理した結果である。これより、健全度C（要対策）の施設における変状レベルは、9基中8基がcレベルであり、安定性や強度の低下が懸念されるレベルの損傷が生じている部位がみられる施設が大半であった。一方、健全度B（経過観察）の施設における変状レベルは、27基中の8基がcレベル、16基がbレベル、残りの3基は周辺状況から判定されたもので変状レベルは未設定となっており、施設部位の損傷程度に幅があることが確認された。

このようにガイドラインに準じた健全度評価を行った場合、健全度B（経過観察）の評価区分は同一評価内での変状の幅が広がる傾向にあると考えられる。

本計画では、予防保全的な対策や施設の変状に応じた

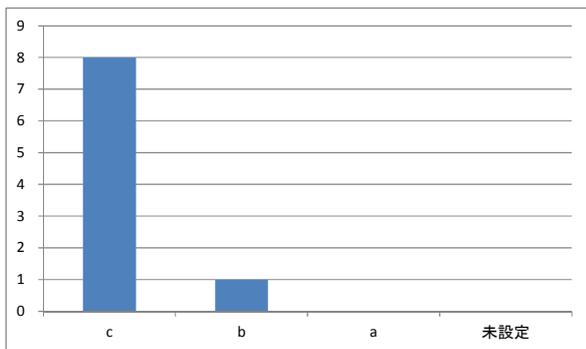


図7 健全度C施設の変状レベル内訳

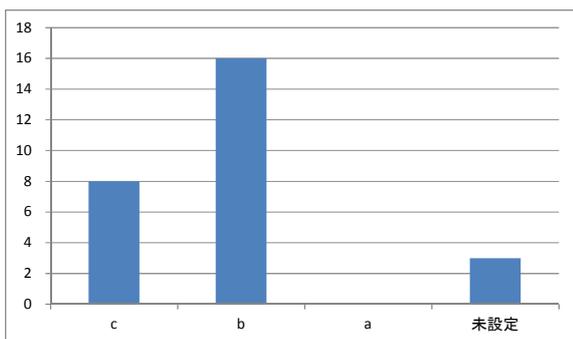


図8 健全度B施設の変状レベル内訳

重点的な経過観察といった対応を可能とするため、健全度Bの評価区分を図-9に示す手順により「B+」、「B-」に細分化し、健全度を4区分で評価することとした。

これにより、健全度Bの堰堤27基を健全度B+19基、健全度B-8基に細分化し、健全度B-の8基を予防保全的な対策および重点的な経過観察対象として位置付けた。

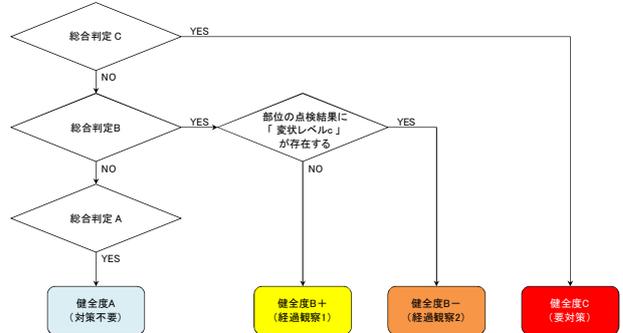


図9 健全度評価手順

5. 修繕、改築、更新の優先順位

(1) 対象施設

管内ではこれまでも新規施設の整備と併せて施設の改築工事が進められている。近年は、施設の安定性と保全資産への影響に着目した改築優先度を設定し、事業を進めてきている。このため、新たに長寿命化対策としての優先順位を設定するにあたり、当面の改築等に関する優先度を明確とするため、点検結果を踏まえた健全度から選定する施設に加え、既往の改築優先度上位に位置する施設を含めた検討を行うものとし、下記の基準で対象施設を選定した。

- ①健全度C（要対策）および健全度B-（予防保全的な対策および重点的な経過観察対象）の施設
- ②保全資産直上流に位置する施設
- ③安定性の評価結果が極限状態を超えて転倒、滑動、沈下が生じるおそれのある施設（NG2）

ここで、安定性の評価がNG2の施設とは、現行基準による安定性照査の結果、所定の安定条件を満足しない状態（NG1）を超え、以下のような状態にある施設とした。

- 滑動の安全率が1未満となり滑動する状態
- 合力の作用線が底版から外れて転倒する状態
- 最大地盤反力が地盤の極限支持力を上回って沈下する状態

管内では図-10に示すように13基の堰堤がNG2の状態に該当するという結果となった。



図10 砂防堰堤の安定性照査結果

(2) 評価手法

優先順位はAHP法による重み付けを考慮した点数評価方式により評価した。評価指標は長寿命化対策の観点からの健全度、施設の安定性、保全資産への影響、土砂災害防止の観点からの施設の重要度に着目して設定した。また、各指標の評価点は、健全度や安定性、保全対象への影響といった対策の緊急性に関する評価を重視した配点とした(表-4)。

表-4 優先順位の評価指標および評価点

評価指標	評価項目	評価方法	評価点		
			配点	最大値	
施設の健全度	施設点検による健全度評価	施設健全度 A	0	6	
		施設健全度 B+	1		
		施設健全度 B-	3		
		施設健全度 C	6		
施設の安定性	安定計算結果	OK 所定の基準を満足する状態	0	6	
		NG1 計算上、転倒しない状態	3		
		NG2 計算上、転倒する状態	6		
保全資産への影響	施設位置	施設下流に保全資産なしまたは流路内	0	6	
		土石流危険渓流下流堰堤	3		
		保全資産の直上流	6		
		土石流危険渓流に指定されている渓流に位置する堰堤	1		
施設の重要度	土石流危険渓流	土石流危険渓流以外の渓流に位置する堰堤	0	3	
		土石流危険渓流に指定されている渓流に位置する堰堤	1		
		水系被害に対する被害軽減効果	被害軽減額 10億円未満		0
		被害軽減額 10億円以上	1		
荒廃状況	施設直上流に1,000㎡以上の崩壊地は存在しない。	施設直上流に1,000㎡以上の崩壊地が存在する	0	1	
		施設直上流に1,000㎡以上の崩壊地が存在する	1		

※施設位置…下流に砂防堰堤が存在する場合は、施設間における保全資産を対象とした。

(3) 優先順位

AHP法による重み付け係数を変えた優先順位を5ケース設定したうえで、長寿命化対策の観点、保全資産への影響などの観点から最適案を選定し、当面の修繕、改築、更新に関する優先順位を設定した(表-5)。

優先順位は事業の取り組み易さに応じて事業対象を柔軟に変更できるように評価点が同等の施設をグループ化した優先度として設定した。

表-5 優先順位の設定結果(抜粋)

No.	施設情報		評価配点				評価点				評価点合計	優先順位	
	健全度	安定性	施設位置	I 施設の健全度	II 施設の安定性	III 保全資産への影響	IV 施設の重要度	I 施設の健全度	II 施設の安定性	III 保全資産への影響			IV 施設の重要度
1	C	NG1	○	6	3	3	2	3.36	0.30	0.75	0.20	4.61	1
2	C	NG2	-	6	6	0	1	3.36	0.60	0.00	0.10	4.06	2
3	C	NG1	-	6	3	0	3	3.36	0.30	0.00	0.30	3.96	3
4	C	NG1	-	6	3	0	1	3.36	0.30	0.00	0.10	3.76	4
5	C	NG1	-	6	3	0	0	3.36	0.30	0.00	0.00	3.66	5
6	B+	NG1	◎	3	3	6	1	1.68	0.30	1.50	0.10	3.58	6
7	B+	NG1	◎	1	3	6	2	0.56	0.30	1.50	0.20	2.56	7
8	B+	NG1	◎	1	3	6	0	0.56	0.30	1.50	0.00	2.36	8
9	A	NG2	◎	0	6	6	1	0.00	0.60	1.50	0.10	2.20	9
10	B-	NG1	-	3	3	0	2	1.68	0.30	0.00	0.20	2.18	10
11	B-	NG1	-	3	3	0	2	1.68	0.30	0.00	0.20	2.18	10
12	B-	NG1	-	3	3	0	2	1.68	0.30	0.00	0.20	2.18	10
13	A	NG2	◎	0	6	6	0	0.00	0.60	1.50	0.00	2.10	13
14	B-	NG1	-	3	3	0	1	1.68	0.30	0.00	0.10	2.08	14
15	B-	NG1	-	3	3	0	1	1.68	0.30	0.00	0.10	2.08	14
16	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16
17	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16
18	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16
19	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16
20	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16
21	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16
22	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16
23	A	NG1	◎	0	3	6	2	0.00	0.30	1.50	0.20	2.00	16
24	B-	NG1	-	3	3	0	0	1.68	0.30	0.00	0.00	1.98	24
25	B-	NG1	-	3	3	0	0	1.68	0.30	0.00	0.00	1.98	24
26	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
27	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
28	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
29	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
30	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
31	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
32	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
33	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
34	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
35	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
36	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
37	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
38	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
39	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
40	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
41	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
42	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26
43	A	NG1	◎	0	3	6	1	0.00	0.30	1.50	0.10	1.90	26

※施設位置…◎保全資産直上流、○土石流危険渓流下流

6. 長寿命化対策による効果

(1) コスト削減効果

長寿命化対策による効果を施設の健全度と経過年数から推定される耐用年数、劣化速度と修繕、改築の実績から推定する平均的な対策コストから算定したコスト削減効果により評価した。

a) 耐用年数

一般にコンクリート構造物の寿命は50年や100年と言われるが、砂防施設の耐用年数について明確に示されたものはない。ここでは、点検結果に基づく健全度と竣工後の経過年数から劣化速度を設定し、耐用年数を推定した。図-11に示すように管内の健全度評価結果から、平均的な耐用年数は55年程度と推定された。図中case-1~3に示す他の直轄事務所における事例と比べると若干劣化速度が大きくなっている。

推定した耐用年数をもとに表-6のとおり長寿命化対策(予防保全)によるコスト削減効果を760千円/年、延命効果を1.91倍と試算した。

また、推定した劣化速度を用い、事後保全による対策と予防保全による対策(長寿命化対策)の効果と比較した(図-12)。比較結果からも事後保全(更新、改築)に対する予防保全のコスト削減効果が確認された。

表-6 長寿命化対策によるコスト削減効果の試算

項目	長寿命化対策なし(事後保全)	長寿命化対策あり(予防保全)	削減効果
使用見込み期間(年)	55年	105年	1.91倍の延命
修繕・改築費(千円)		120,000	
初期費(千円)	220,000	220,000	
LCC(千円)	220,000	340,000	
単年度LCC(千円/年)	4,000	3,238	762

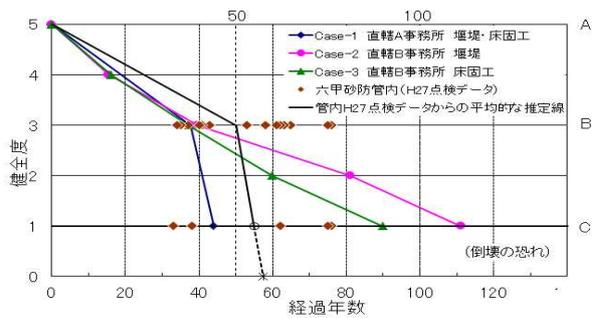


図-11 平均的な劣化速度と耐用年数の推定結果

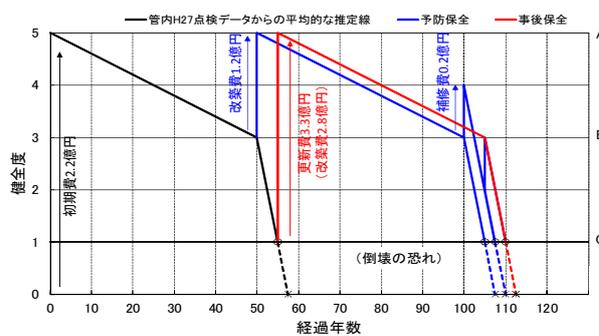


図-12 事後保全と予防保全(長寿命化対策)の比較

(2) 劣化予測

a) 劣化予測モデル

劣化予測は、点検結果をもとに健全度低下の速度や傾向を分析し、確率論的手法により行った。健全度と竣工後の経過年数から求めた健全度の遷移確率を表-7のとおり設定し、これに基づく劣化予測モデルを作成した。

モデルの検証として新設堰堤100基の100年後までの劣化予測結果と管内の改築実績を比較した結果、健全度Cの遷移と改築実績割合がほぼ同様の推移となり、モデルの妥当性が確認できた（図-13）。

表-7 健全度の遷移確率

現状	遷移状態(10年経過)			
	A	B+	B-	C
A	現状維持 97.1%	低下1ランク 2.0%	低下2ランク 0.6%	低下3ランク 0.3%
B+	-	現状維持 56.4%	低下1ランク 43.6%	低下2ランク 0.0%
B-	-	-	現状維持 92.7%	低下1ランク 7.3%
C	-	-	-	現状維持 100.0%

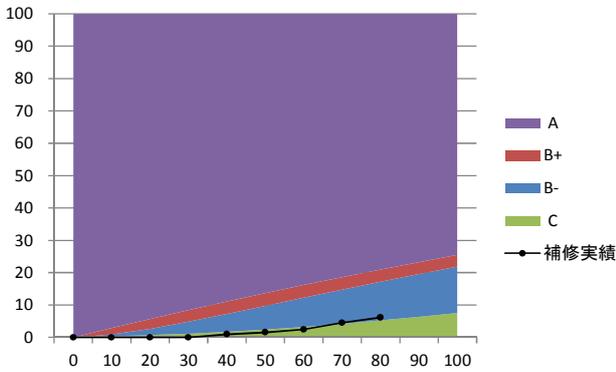


図-13 劣化予測モデルの検証結果

b) 管理水準

劣化予測モデルを用い、将来的な劣化予測とコストシミュレーションを行うことで、管理水準および予算規模の推移を予測した。

劣化予測の初期条件としては、表-8に示す現状での健全度分布を与え、さらに管内の実績から10年間に28基の新規施設の設置を考慮した。

コストシミュレーションの対策コストは既往工事実績から設定した新築、改築、修繕等に係る平均工事単価を用いた（表-9）。

劣化予測、コストシミュレーションは、対策を実施しない無管理の劣化予測ケースをリファレンスとして、予防保全と事後保全、応急処置といった対策の組合せにより表-10に示す予測ケースにより実施し、対策に応じた管理水準と維持管理費用を算出した。

劣化予測の結果、予防保全を主体とした対策（表-10のcase-3）を行うことで健全度C、B-施設の保有割合を低位に抑えられ、かつ経年的な変動も小さくなることが確認された（図-14）。

表-8 劣化予測の初期値

	施設数			割合
	砂防堰堤	溪流保全工	合計	
A：対策不要	501	48	549	93.8%
B+：経過観察	19	0	19	3.2%
B-：経過観察	8	0	8	1.4%
C：要対策	8	1	9	1.6%
	536	49	585	-

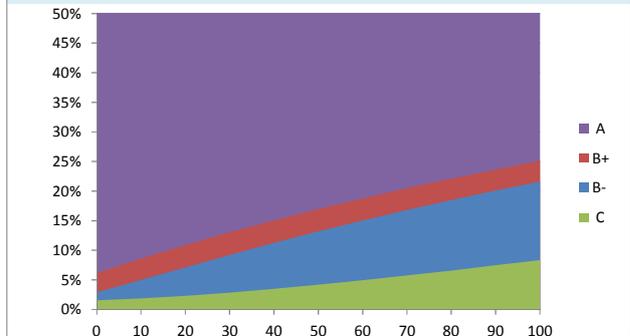
表-9 対策コストの標準単価

項目	内容	概算工事費 (万円/件)	実施タイミング (健全度)	実施後健全度
新設コスト	新設工事	22,000	-	A
更新コスト	更新工事	33,000	C	A
改築コスト（事後保全）	改築工事	28,000	C	A
改築コスト（予防保全）	改築工事	12,000	B-	A
修繕コスト（予防保全）	修繕工事 (応急処置)	2,000	B~C	B+~B-

表-10 劣化予測実施ケース

No.	種別	内容
CASE-0	無管理	・修繕、改築等の対策を行わず、新規施設の設置のみを実施
CASE-1	事後保全（改築）のみ	・健全度レベルCが生じた時点で改築工事（事後保全）を実施
CASE-2	予防保全（改築） + 事後保全（改築）	・健全度レベルB-の改築工事（予防保全）を毎年1基ずつ実施 ・健全度レベルCの改築工事（事後保全）を実施
CASE-3	予防保全（改築）主体 + 事後保全（改築）	・健全度レベルB-が生じた時点で改築工事（予防保全）を実施 ・健全度レベルCの改築（事後保全）を実施
CASE-4	応急処置（修繕）のみ	・健全度レベルCの修繕工事（応急処置）を実施
CASE-5	予防保全（改築） + 応急処置（修繕）	・健全度レベルB-の改築工事（予防保全）を毎年1基ずつ実施 ・健全度レベルCの修繕工事（応急処置）を実施
CASE-6	予防保全（改築）主体 + 応急処置（修繕）	・健全度レベルB-が生じた時点で改築工事（予防保全）実施 ・健全度レベルCの修繕工事（応急処置）を実施

対策未実施の場合の予測結果



長寿命化対策を実施した場合の予測結果

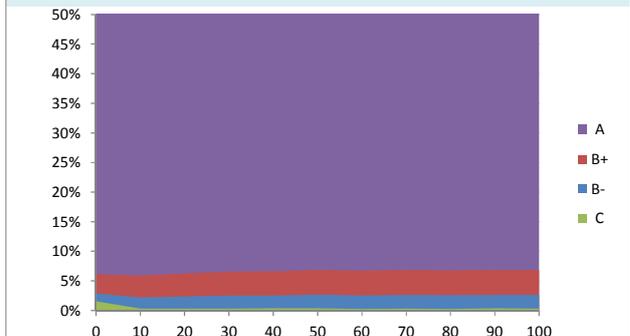


図-14 劣化予測結果（case-3）

7.まとめ

六甲砂防事務所管内の砂防施設は阪神大水害を契機に施工されてきており、完成から長期間を経て、既に補修・改築を受けているものも多数あるという状況にあった。

計画区域内の土砂災害に対する安全性を低下させることなく、個々の施設の適切な維持管理の両面を考慮し、対策優先度の高い施設から修繕、改築するため計画を作成した。

砂防関係施設は、現役の防災施設であることから施設状況が常に変化する可能性があるため、管内の砂防施設の防災機能が適切に発揮し続けられるよう定期的に見直しを図っていくことにより、施設の管理水準の維持に努めていく。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設点検要領（案）