

長寿命化計画における砂防設備の劣化予測に関する検討事例

株式会社 建設技術研究所 ○古山 剛, 金野 崇史, 川俣 英之, 川崎 巧, 小林 優太

1. はじめに

長寿命化計画において、対象施設の劣化が予測できると修繕等対策の計画立案や説明性の向上に役立つ。しかし、立地条件の異なる土木構造物の劣化を一概に予測することは難しく、とくに防災のための砂防設備は、出水等の不測の外力の影響が大きく、経年的な予測は困難である。ここでは、三重県の砂防設備を対象に点検データを用いた統計的な手法によって劣化予測を行った事例を紹介する。

三重県の砂防事業は明治 32 年から着手され、平成 29 年度時点で約 1,500 基の砂防設備(堰堤・床固工)があるが、このうち約 38%が完成後 50 年以上経過しており、損傷した施設もみられる。平成以降、建設基数は減少傾向にあるものの、今後も老朽化施設の増加が見込まれる中、計画的な修繕等対策が求められている。

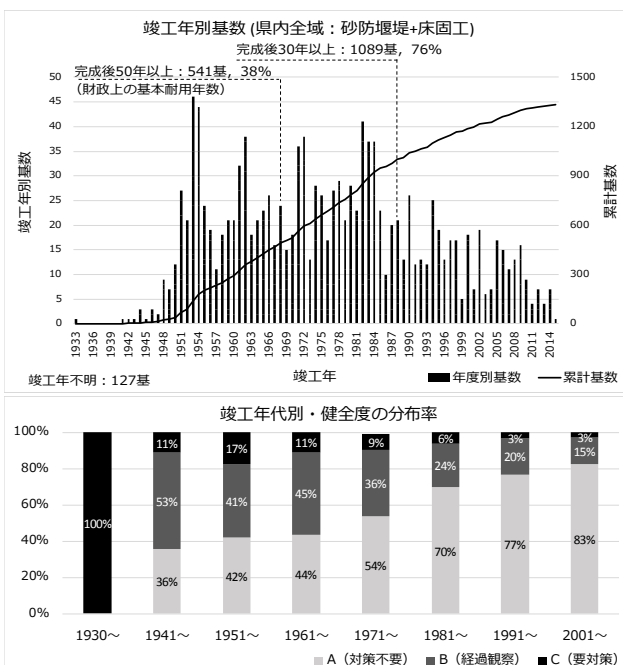


図 1 三重県の砂防設備の竣工年別基数と健全度

2. 劣化予測手法

土木構造物の劣化予測の手法として主なものは下表のように分類できる。塗装劣化や鋼材腐食等には理論的手法、天端摩耗のように経年的に進行し、計測値が得られる個別の損傷には回帰分析手法が適用できるが、「健全度」のようにある施設の状態区分の低下の予測には確率論的手法が適している。

表 1 劣化予測手法の分類

予測手法	概要
理論的手法	与条件により理論式に基づいて行う予測手法で、劣化の進行メカニズムが解明されている現象に適用できる。
回帰分析手法	蓄積されたデータから回帰分析により近似曲線を設定する予測手法で、経年的に劣化する材料等に適用できる。
確率論的手法	実績データから確率論的に将来の劣化状態を予測する方法で、精緻さを求めないマクロ的な視点に適用できる。

確率論的手法は既往研究¹⁾で道路や橋梁等の分野の劣化予測に多く用いられており、その代表的な予測モデルにマルコフ連鎖モデルがある。本検討ではこのマルコフ連鎖モデルを用いた。

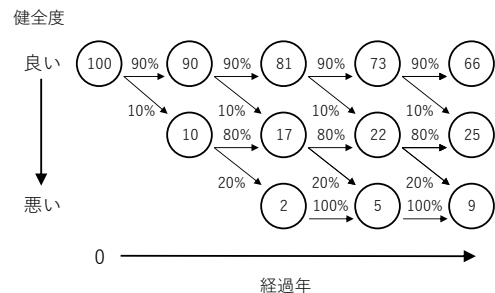


図 2 マルコフ連鎖モデルの概念図

本モデルの特性として、未来の状態遷移の確率は過去の状態によらず現在の値のみによって決定される(マルコフ性)とし、遷移確率は経過年数によらず同一と仮定している(実際には高年次ほど低下の遷移確率が高いと考えられる)。

3. 確率論的手法による劣化予測モデルの作成

3.1 経年的な実測データがある場合

直轄砂防事務所等で長期間の点検データの蓄積がある場合は、各施設の健全度を個別に追跡することで遷移確率を算定できる。ある管内において 20 年間の点検データが揃う 62 基の堰堤の健全度を追跡して算定した遷移確率と、これを用いた劣化予測モデルの事例を以下に示す。

縦軸の状態区分は既往点検による 5 段階の健全度を使用し、横軸の経過年数は 10 年単位とした。少なくとも二時期の点検データがあれば、同様の方法で遷移確率を算定できる。

表 2 個別施設の追跡で算定した遷移確率

①S63→H10における状態遷移				②H10→H20における状態遷移				①と②の平均値			
健全度	遷移	施設数	百分率	健全度	遷移	施設数	百分率	健全度	遷移	施設数	百分率
A	維持	48	94%	A	維持	21	44%	A	維持	69	70%
	低下	3	6%		低下	27	56%		低下	30	30%
B	維持	2	40%	B	維持	11	38%	B	維持	13	38%
	低下	3	60%		低下	18	62%		低下	21	62%
C	維持	3	38%	C	維持	16	76%	C	維持	19	66%
	低下	5	63%		低下	5	24%		低下	10	34%
D	維持	5	63%	D	維持	4	40%	D	維持	9	50%
	低下	3	38%		低下	6	60%		低下	9	50%
E	維持	4	100%	E	維持	10	100%	E	維持	14	100%
	低下	0	0%		低下	0	0%		低下	0	0%

A 異常なし、B 軽微な変状有り、C 変状有り、D 状況変化の把握が必要、E 早急な対策が必要

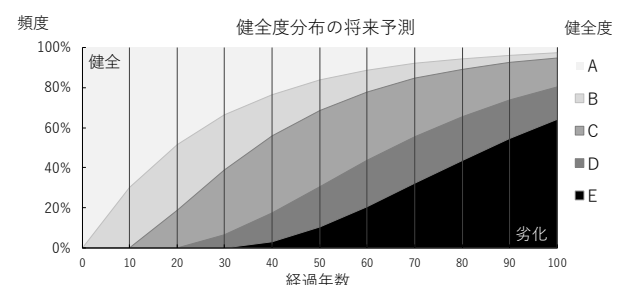


図 3 個別施設の追跡により作成した予測モデル

3.2 経年的な実測データがない場合

都道府県等では複数年の点検データを保有していない場合が多い。三重県ではこれまで巡視は実施しているが、健全度の評価は平成 27～28 年度に実施した一斉点検の一時期しかないため、個別施設について健全度の経年変化を追跡することはできない。そこで、本検討では竣工からの経過年ごとの健全度分布（表 3）を用いて疑似的に状態遷移の過程を作成した（図 4）。ここで、縦軸の状態区分は既往点検による 3 段階の健全度をそのまま使用した。横軸の経過年は健全度の分布状況から 10 箇年の幅を持ったグループを 1 単位とした。また、県内の砂防設備の健全度分布は施工地域や流域面積、渓床勾配等の影響が僅かであったため、全て一律に取り扱った。なお、補修履歴が有るものは分析対象から除外した。

表 3 竣工後の経過年別の健全度分布

健全度	経過年別の健全度分布（単位：基数）							
	1～10年	11～20	21～30	31～40	41～50	51～60	61～70	71～80
A	75	105	133	178	141	102	70	7
B	8	14	43	75	85	106	99	6
C	0	5	6	27	44	50	70	2

健全度	経過年別の健全度分布（単位：百分率）									
	0年	10年	20年	30年	40年	50年	60年	70年	80年	
A	100	90	85	73	63	52	40	29	47	
B	0	10	11	24	27	32	41	42	40	
C	0	0	4	3	10	16	19	29	13	

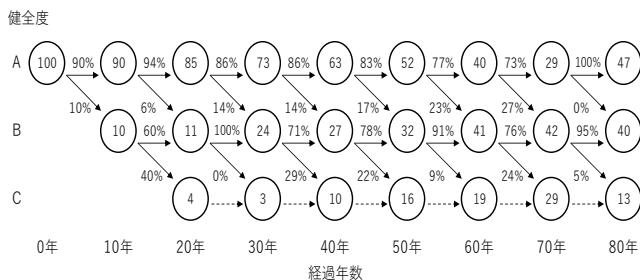


図 4 健全度分布から推定した遷移過程の模式図

上記から健全度 A と B の階層に着目して算定した状態遷移（維持・低下）の確率を以下に示す。

表 4 一時期の健全度分布から推定した遷移確率

健全度	遷移	状態の遷移確率								
		10年	20年	30年	40年	50年	60年	70年	80年	平均
A	維持	90%	94%	86%	86%	83%	77%	73%	100%	86%
	低下	10%	6%	14%	14%	17%	23%	27%	0%	14%
B	維持	-	60%	100%	71%	78%	91%	76%	95%	82%
	低下	-	40%	0%	29%	22%	9%	24%	5%	18%

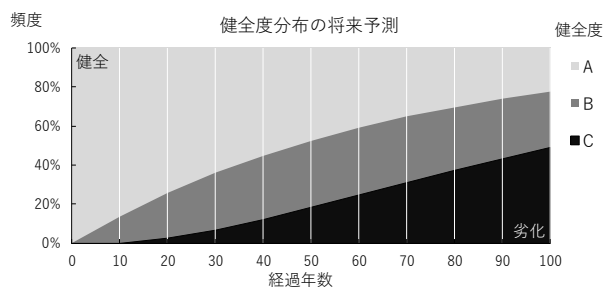


図 5 一時期の健全度分布から作成した予測モデル

本検討で用いた三重県の健全度分布は経過年数との相関が高く、経過年とともに順次下方の比率が増

加する傾向にあったため、疑似的な状態遷移過程を作成することができた。同じような傾向を持つ点検データであれば、同様の方法で遷移確率を推定できるものと考えられる。

4. 修繕等計画への活用

前述の予測モデルを使って修繕等対策工事基数の将来予測を行った。近年の施工実績から 4 基/年の新設工事を想定し、健全度 C の施設を 10 年間で全て対策して健全度 A に回復するものとした場合、最初の 10 年間に約 200 基、以降 10 年ごとに約 100 基の膨大な対策工事が必要になると予想される。

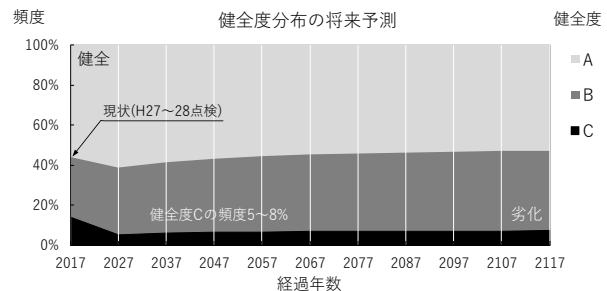


図 6 県内の砂防設備の健全度分布の予測

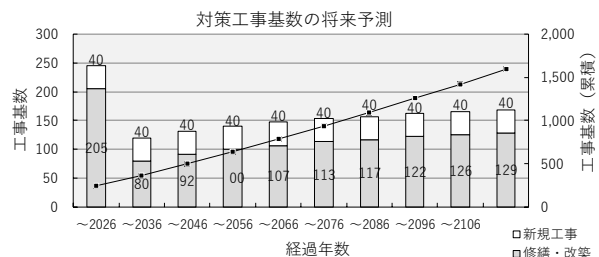


図 7 対策工事基数のシミュレーション

上記のシミュレーションは、将来の対策基数やコストを平準化、最小化するための修繕等計画の検討に活用することができる。

5. おわりに

本モデルは、ある健全度の施設数が経過年とともにどのように遷移していくかを予測し、対策が必要な施設が何年後にどの程度の頻度で出現するかを推定するものであり、中・長期的な全体予測に適用性が高いとされる。しかし、実績データから遷移確率を算定するためには二時期以上の点検データが必要であり、今後、定期的な点検データの蓄積が待たれる。また、本検討は県内の砂防設備を一律に取り扱っているが、50 年前に施工した施設と比べて近年では設計基準が整い、材料品質も向上し、耐久性が大幅に向上していると考えられる。今後、データ蓄積に合わせて施工年代による区分を行うなど予測精度の向上を図っていく必要がある。

本検討の実施にあたりご協力頂いた三重県防災砂防課の諸氏に謝意を表します。

【参考文献】1) 竹田ら(2005)；橋梁点検実測データに基づく橋梁資産劣化予測評価の検討，土木学会構造工学論文集 Vol. 51A，2) 星野ら(2010)；点検データに基づく急傾斜地崩壊防止施設「吹付工」の劣化予測手法の検討，平成 22 年度砂防学会研究発表会概要集，p. 296-297