

防災対策施設の施設点検及び維持管理計画策定の効率化に関する提案

京都大学大学院農学研究科 正会員 ○原田 紹臣
政策研究大学院大学 水山 高久

1. はじめに

橋梁やトンネルを中心とした道路関係施設の維持管理に関して、これまで多くの点検技術やアセット・マネジメント・システムが提案されている^{1)~5)}。しかしながら、実際に運用されているこれらのシステムにおける考え方等の妥当性について定量的に評価されている事例は殆ど存在せず、説明責任の観点より更なる検討が望まれる。また、より確実な施設点検の実施を目的に、点検結果の適切な保存が求められており、施設点検者は現地点検後に発生する点検調書の作成に多大な労力を費やしており、これらの効率化が課題となっている。さらに、複数の点検者間における評価結果の整合も課題となっている。

このような背景の中、近年、土砂災害を防止する防災対策施設の一つである砂防関係施設（例えば、砂防堰堤、地すべりアンカー工）についても、砂防関係施設における維持管理計画（長寿命化計画）の中で日常的な維持管理が求められるようになった^{6),7)}。砂防関係施設における維持管理計画策定の流れ（図-1）に示すとおり、施設管理者は定期的な施設点検を通じて、点検要領⁶⁾で規定された各施設の部位における変状レベル（a, b, c：表-1）を把握し、それらの健全度（A, B, C：表-2）や対策優先度について総合的に検討していく。その際、砂防関係施設は他分野の施設と異なり、施設の老朽化や変状が直接的に土砂災害の発生原因等に影響を与えるため、それらの部位単位における変状の重要度について留意する必要がある。

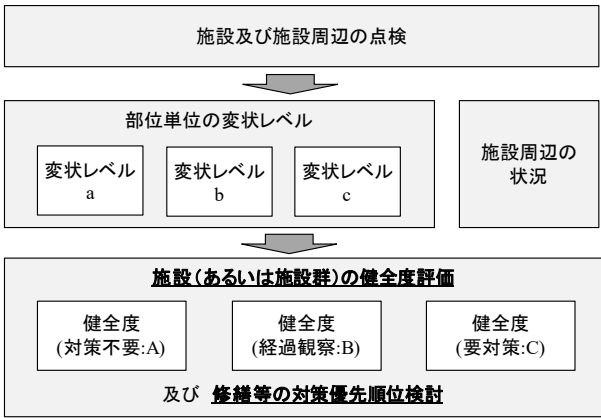


図-1 砂防関係施設の維持管理（長寿命化）計画の流れ⁷⁾

表-1 部位あるいは部位グループの変状レベル評価⁶⁾

変状レベル	損傷等の程度
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

キーワード 砂防関係施設、AHP、長寿命化計画、施設点検、コスト削減

連絡先 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 TEL 075-753-6012

表-2 砂防関係施設の健全度評価と表記⁶⁾

健全度	損傷等の程度
対策不要 (A)	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
経過観察 (B)	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ので、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
要対策(C)	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

しかしながら、砂防関係施設の工種は多岐に亘るため、多数の施設毎における個別の議論や比較検討は一般的に困難であると考えられる。また、砂防関係施設の対策優先度についても道路関係施設等とは異なり、施設に求められる機能が異なるため、個人や立場によって考え方に差異が生じることも多く、維持補修の事業に際して、関係者における合意形成が課題になることがある。

そこで、筆者⁸⁾はこれらの課題に対応するため、海外における維持管理手法⁹⁾を参考に、多工種の施設を一元的に評価可能な定量的な施設の健全度に関する評価指標および対策優先度に関する評価指標を提案しており、これまで多くの国内における砂防関係施設を対象に検討し、これらの評価指標の妥当性について議論してきた。本稿では、これらの定量化された評価指標⁸⁾を基本とし、近年、一般的に普及している高機能な携帯情報端末機（タブレット型パソコン）を点検時に活用した砂防関係施設を対象に維持管理の合理化について提案する。

2. 定量的な施設健全度及び対策優先度評価手法

筆者らが提案する定量的な砂防関係施設の評価指標について、以降にそれぞれ概説する⁸⁾。

(1) 施設の健全度に関する評価手法

土石流対策や地すべり防止施設等の様々な対策工種が対象となる砂防関係施設の健全度を一元的に評価するために必要な評価指標が望まれる。そこで、図-2 に示すとおり、学識経験者、施設管理者およびエンジニアら複数の熟年技術者により回答されたアンケート調査結果を対象に分析し、部位毎のそれぞれにおける変状レベル（b, c：表-1）の評価値（重み係数の一例：表-3）を得た。なお、これらの評価値については、別途に検討された表-4 に示す指標を参考に評価するものとしている⁸⁾。

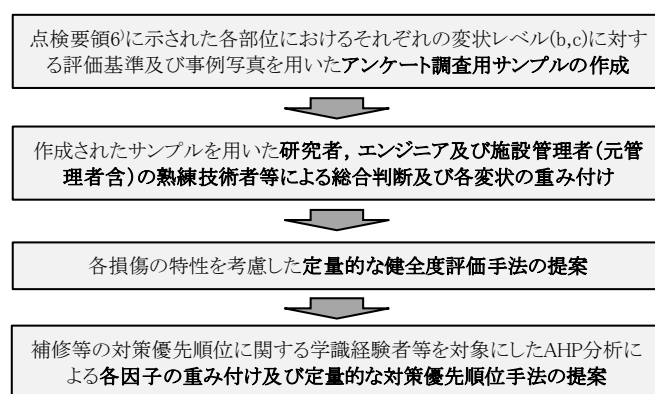


図-2 先行研究⁸⁾における評価手法の概要とその流れ

表-3 砂防関係施設における分析結果の一例⁸⁾

部 位 ¹⁾		変状レベル(概要) ¹⁾	評価値 V_d
本 堤 副 堤 床固工 垂直壁	天端 摩耗	鉛直方向の摩耗(深さ:1リフト程度未 満): b	32
		鉛直方向の摩耗(深さ:1リフト程度以 上): c	49
	ひび 割れ	水平方向のひび割れ(ブロックの 1/2 未 満): b	50
		水平方向のひび割れ(ブロックの 1/2 以 上): c	83
	洗掘	基礎部の洗掘(堰堤基礎面に未到 達): b	54
		基礎部の洗掘(堰堤基礎面に到達): c	89
	漏水	部分的な漏水: b	50
		本体の広範囲にわたる漏水等: c	84

表-4 提案する変状レベルと施設の健全度との関係

施設の健全度 (表記)	変状レベルの評価値 V_d
対策不要 (A)	$V_d = 0$
経過観察 (B)	$0 < V_d \leq 61$
要 対 策 (C)	$61 < V_d$

(2) 対策優先度に関する評価手法

前述の表-3 や表-4 に示す評価指標を用いて要対策として評価された施設を対象に、総合的な外的基準⁷⁾ (例えば、施設の重要度) の重要度を考慮した定量的な評価指標が望まれる。そこで、同様に学識経験者らによって回答されたアンケート調査結果を対象に、AHP (階層化意思決定法¹⁰⁾) 分析手法を用いて分析された評価指標を図-3 に示す。なお、AHP (Analytic Hierarchy Process) は意思決定支援法の一つであり、複数の代替案の中から最良のものを選ぶために評価する人間の勘や直感といった人の感覚を数量化した上で合理的な決定を促す手法である。図-3 に示すとおり、砂防関係施設の健全度(変状程度)は、対策優先度の意思決定における重要度が低く(約 1 割程度)、一方、保全対象と施設との位置関係や施設の重要度(例えば、保全対象の数)の重要度は顕著に高く、一般的な他分野における施設(例えば、橋梁やトンネル)の傾向と異なると考えられる。また、対策優先度に際しては、図-3 に示す各重要度(補正係数 k_{vd} , k_{lh} , k_c) の数値を、別途に定義している各評価値 (V_d , V_l 等で最大値を 100 とする) にそれぞれ乗じて補正するものとしている。なお、紙面の関係より、以上までの詳細な内容については、筆者らの先行研究⁸⁾ を参照されたい。

これらの定量的な評価指標を用いることにより、点検者は点検要領⁹⁾ に準じて部位単位の変状レベル (a, b, c: 表-1) を評価するだけで、施設の健全度 (A, B, C: 表-2) が自動的に評価されるとともに、これまで課題であった点検者間の健全度評価における整合を図ることが可能となる。また、施設台帳やデータベース等の各施設における基本的な情報を用いて、要対策箇所(健全度: C) と評価された施設の対策優先度に関する評価が合理的に決定される。さらに、これらの得られた結果の妥当性はこれまで議論されてきているため、関係者の円滑な合意形成が図られた維持管理計画の策定が期待できる。

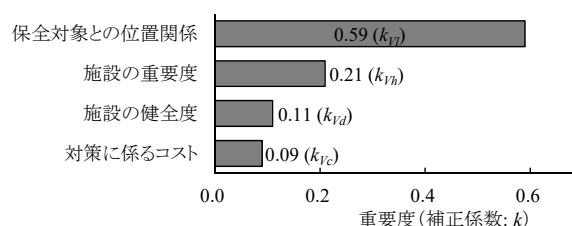


図-3 対策優先順位決定における各因子の重要度(AHP 分析結果)⁸⁾

3. 合理的な施設点検および維持管理計画策定支援システムの提案

近年，従来のノート型パソコンの次世代型として，高機能（例えば，電子図書閲覧，写真撮影）化された携帯情報端末機（タブレット）が非常に安価な製品として提案され，汎用的に用いられるようになった．そこで，これらを活用した維持管理の一連に関する施設点検および維持管理計画（長寿命化計画）策定を支援するシステムを提案する（図-4）．図-4に示すとおり，システムは点検時に必要なタブレット（点検入力システム）と，砂防関係施設の台帳作成や健全度評価に必要な自動計算機（パソコン；データベース，施設台帳および健全度評価支援システムの統合システム）により構成されている．

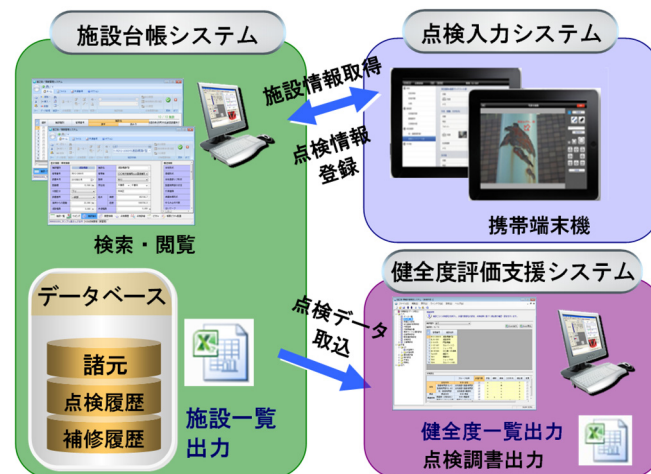


図-4 提案する砂防関係施設の維持管理に関するシステムの概要

システムの運用に関して，まず，点検者はデータベースに保存された点検対象である各砂防関係施設の基本情報や既往点検結果をタブレットに移行させる．そして，移行された点検入力システムにより，現地に於て点検結果（現地状況写真，部位における変状レベル等）を記録する．なお，点検入力システムに入力された点検結果を施設台帳システムへ反映して，データベースを更新させる．さらに，それらの結果を用いて，健全度評価支援システムにより健全度および対策優先度を自動的に評価する．最終的に，一般的な表計算ソフト（MS-Excel）型式の点検調書，施設台帳および対策優先順位一覧表を一括的に出力させる．これらの各システムの機能や特徴を表-5 および表-6 にそれぞれ示す．

また，参考として，点検入力システムの画面構成の一例を図-5 に，健全度評価支援システムに出力された点検調書の一例を図-6 に示す．最後に，将来に亘って定期的（例えば，5 年毎）に実施される施設点検における本システム導入の経済効果に関して，従来の一般的な点検結果の記録方法（一般的なカメラによる写真撮影，野帳への記載・清書，データ整理・保全，汎用表計算ソフトによる個別の点検調書作成等）と比較するため，点検費用（ただし，点検委託費およびシステム導入費）の時間的な変化（ただし，砂防関係施設 1,000 施設）

表-5 提案する点検入力システムの機能（現地点検時）

機 能	説 明
既存資料の閲覧機能	点検要領や既往点検結果等を情報端末機に保存しておくことにより，現地に於て簡易に情報の確認が可能
位置情報機能	情報端末機の搭載機能である位置情報（GPS）機能により，容易な現地までのアクセスや点検路の記録も可能
写真撮影機能	情報端末機に表示される前回の点検写真を確認しながら撮影及び登録していくため，撮影不備や忘却の防止が可能 さらに，GPS により，自動写真位置図の作成が可能（図-5）
情報入力機能	表記(a,b,c)や記事については，定型文の事前登録により選択式を採用，特記加筆は文字入力や音声入力が可能（図-5）

表-6 提案する施設台帳及び健全度評価支援システムの機能

機 能	説 明
データ移行機能	携帯端末機器とシステムとの情報交換(移行)は有線にて一括更新が可能、さらに自動でのファイル仕分け保存が可能
点検調書作成機能	現地で撮影された写真や変状に関する情報等を用いて、施設毎の点検調書が自動的に作成可能(図-6)
健全度評価機能	現地で点検結果(部位単位の評価結果:a,b,c)と評価指標(表-3)により、施設の健全度(A,B,C)を自動的に評価が可能
対策優先度評価機能	健全度評価で対策を要す施設を対象に、基礎情報と評価指標(表-4)により、対策優先度を自動的に評価が可能
その他	その他の付加機能として、施設台帳作成機能、写真データ自動圧縮保存機能、対策工法および概算事業費算出機能、事業計画および緊急改築事業計画の策定支援機能

点検箇所	前週		今週		変状登録
	状況写真	判定	状況写真	判定	
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		-		-	追加
【変状】		a		b	登録
		a		a	登録
		b		b	登録

前週点検(左), 今回点検(右)での比較

指押し(ワンタッチ)での入力

部位毎の評価: 選択方式 (a, b or c; 定型文)

図-5 点検入力システムの画面構成の一例

点検調書(様式 1)

点検日時: 2023.05.10 10:00

点検場所: 橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)

点検者: 〇〇〇

点検結果:

部位	写真	評価
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		a
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		b
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		c
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		d
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		e
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		f
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		g
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		h
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		i
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		j
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		k
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		l
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		m
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		n
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		o
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		p
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		q
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		r
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		s
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		t
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		u
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		v
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		w
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		x
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		y
橋脚・リング工(孔口保護工、集水槽)		z

図-6 健全度評価支援システムにより作成される点検調書例

を図-7 にそれぞれ示す。なお、社会的割引率は一般的な年 4%としている。図-7 に示すとおり、既に 1 回目(5 年度)の点検において、従来の点検費用がシステム導入費を上回っており、シナリオ 2 (システム導入)が従来の方法に比べて顕著に優位となっている。この要因として、一般的な施設点検費に関して内業(室内におけるデータ整理、点検調書の作成)に要する費用は、外業(現地での点検)に要する費用に比べて高いため(約 2 倍以上)、システム導入によりこれらの内業に要する費用が大幅に削減できることによるものである。

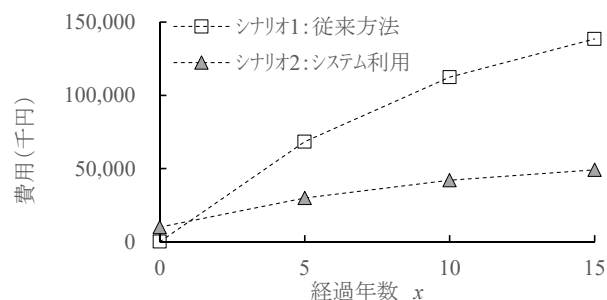


図-7 提案するシステム導入による経済効果例 (1,000 施設数対象；初年度システム構築及び点検委託費含)

謝辞：本評価指標の提案に際して、これまで適切な助言やアンケート調査等の協力を頂いた立命館大学 里深好文教授、京都大学大学院 小杉賢一朗教授、宮城県 防災砂防課、奈良県 砂防・災害対策課、鹿児島県 砂防課、埼玉県砂防課、滋賀県砂防課ならびにその他の砂防施設管理者等の関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) 内村俊二・澤村修司・宮本文穂：VR を活用した橋梁目視点検支援システムの開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, pp. 1399-1404, 2010.
- 2) 椎名貴快・松井健一・高橋秀樹・湊康裕・内藤欣男：コンクリート構造物の維持管理支援システムの構築，土木学会年次学術講演会講演概要集，第 6 部，Vol.58, pp. 403-404, 2003.
- 3) 佐野 信夫・馬場 弘二・山田 隆昭・吉武 勇・中川 浩二・西村 和夫：高速道路トンネルの合理的な点検システムの提案，土木学会論文集D，Vol.63(3), pp.391-400, 2007.
- 4) 中村一樹・伊藤哲男・馬場弘二・太田裕之：トンネルマネジメントシステムの構築，土木学会年次学術講演会講演概要集，第 6 部，Vol.59, pp. 335-336, 2004.
- 5) 緒方正剛，小林一郎，福地良彦：建設プロジェクトにおける合意形成のためのバーチャルモデルの利用，土木情報システム論文集，Vol. 7, pp.81-88, 1998.
- 6) 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部：砂防関係施設点検要領（案），2014.
- 7) 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部：砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案），2014.
- 8) 原田紹臣・小杉賢一朗・里深好文・水山高久：老朽化した砂防関係施設の健全度及び対策優先度に関する定量的な評価手法の提案，河川技術論文集，Vol.21, pp.183-188, 2015.
- 9) Brime: <http://www.trl.co.uk/brime/index>, 入手 2017.6.27.
- 10) Thomas L Saaty: A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology* (Impact Factor: 1.62), 15, pp.234-281, 1977.