機能劣化過程を考慮した地すべり対策工の予防保全に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 6
担当チーム：地すべりチーム
雪崩・地すべり研究センター
研究担当者：杉本宏之、鷲尾洋一、奥山悠木、
山田啄也、飯田健嗣
判田乾一、吉柳岳志、榊直人

【要旨】
全国的にインフラ施設等の老朽化が進行している中、予防保全型維持管理によりライフサイクルコストの削減を図りながら施設の長寿命化を推進することが重要である。本研究では、地すべり対策工において蓄積されてきた点検データや修繕事例の分析を実施し、劣化予測手法の検討や年次計画策定手法について検討を行った。その結果、全国の地すべり防止施設の劣化状況を明らかにするとともに、劣化予測手法、年次計画策定手法、データ活用可能な設備台帳及び施設点検結果フォーマット（案）を提案した。
キーワード：施設点検、機能劣化、劣化予測、予防保全型維持管理、ライフサイクルコスト

1. はじめに

土砂災害が多発している近年の状況や厳しい財政状況を踏まえると、地すべり対策工については予防保全型維持管理を実施し、施設の長寿命化を推進するとともに、維持・修繕・改築・更新等に係るライフサイクルコスト（以下「LCC」と記す）の縮減及び各年の修繕等に要する費用の平準化を図り、地すべり対策工の機能を確実に確保していく必要がある。地すべり対策工の予防保全型維持管理の実施においては、各施設・部位の健全度評価や劣化予測の結果を考慮し、修繕等の実施時期・実施方法等を計画することが重要であるが、対策工の種別や部位によっては十分なデータに基づく劣化予測が難しいという課題があった。一方で、平成 26 年の「砂防関係施設点検要領（案）」[1]（以下「点検要領（案）」と記す）の策定以来、全国一律の評価基準で地すべり対策施設の点検が行われ、施設・部位の損傷等の状況や対策工種別、部位ごとの健全度評価等のデータを多数収集できるようになり、機能劣化過程や劣化予測手法について詳細に検討できる環境が整ってくるとともに、様々な修繕事例も収集・共有できるようになってきた。そこで、本研究ではこれらの蓄積されてきた点検データや修繕事例等の分析を実施し、地すべり対策工における予防保全型維持管理の計画手法に関する検討を行った。

なお、研究の実施にあたっては、ほぼ同時期に研究活動を行った LCC 削減検討のための研究会[2]（構成機関：国土交通省、土木研究所、北陸地方整備局、新潟県（全国地すべりがけ崩れ対策協議会事務局）、斜面防災対策技術協会）に参画し、関係機関と連携して実施した。

2. 老朽化実態調査

2.1 施設単位の健全度の調査

2.1.1 調査方法

全国的な施設健全度の実態を把握するために各都道府県の所管する地すべり防止施設について、横ボーリング工、集水井工、水路工、杭工、アンカー工の 5 工種を対象とし健全度評価、施工完了年度、点検年度の 3 項目のデータ収集を行った（表-1）。これらの収集したデータのうち、健全度評価、施工完了年度、点検結果の 3 項目全てが揃った施設について施工完了年度と点検年度の差を経過年数として、経過年数に対する健全度の変化傾向の分析を行った。なお、同じ施設で 2 回の点検が実施されている場合、2 件分の点検データとして使用し、また健全度評価が施設単位ではなく、地すべり防止区域単位や地すべりブロック単位で健全度評価が行われているものについても各施設のデータとして使用した[2]。

2.1.2 調査結果

施設の経過年数に対する健全度の関係を図-1 に示す。地すべり防止工事の主要な工法である横ボーリング工、集水井工、水路工等の抑制工では経過年数とともに健

全度がAからB、Cへと低下していく傾向が確認された。一方で杭工、アンカー工では経過年数に対する健全度の低下が明瞭でない傾向が確認された。これは、点検要領（案）[1]における点検対象の違いが影響している可能性がある。杭工、アンカー工については、地表面の目視で確認できる変状を点検対象としていることから大きな変化が生じない限り健全度Cになりにくいという事情がある。また、経過年数に対する健全度の変化は都道府県ごとに大きく異なる傾向がみられ（図-2）地質や気候特性等の自然的要因、施設構造の違い等が健全度に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

表-1 収集データの概要（施設健全度評価データ）

施設単位	データ数（健全度内訳）	回答県数
横ボーリング工	10,760（A:4,188, B:3,707, C:2,865） →採用データ数：8,600（A:3,210, B:3,057, C:2,333）	22県
集水井工	3,021（A:896, B:1,028, C:1,097） →採用データ数：2,220（A:598, B:759, C:863）	
水路工	19,018（A:10,031, B:5,697, C:3,290） →採用データ数：13,225（A:6,636, B:4,194, C:2,395）	29県
杭工	860（A:679, B:139, C:42） →採用データ数：588（A:478, B:92, C:18）	
アンカー工	910（A:628, B:195, C:87） →採用データ数：679（A:465, B:150, C:64）	

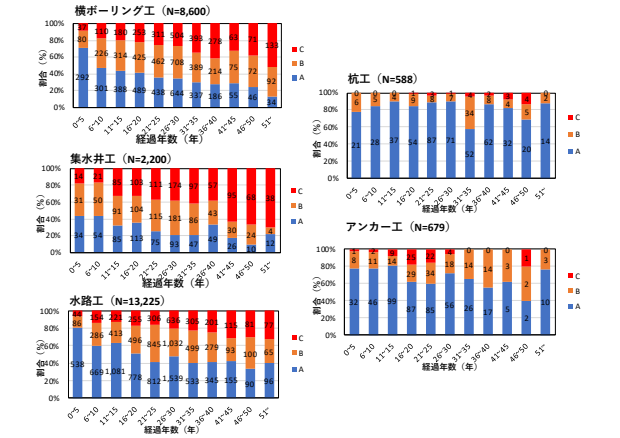

図-1 施設の経過年数に対する健全度の関係

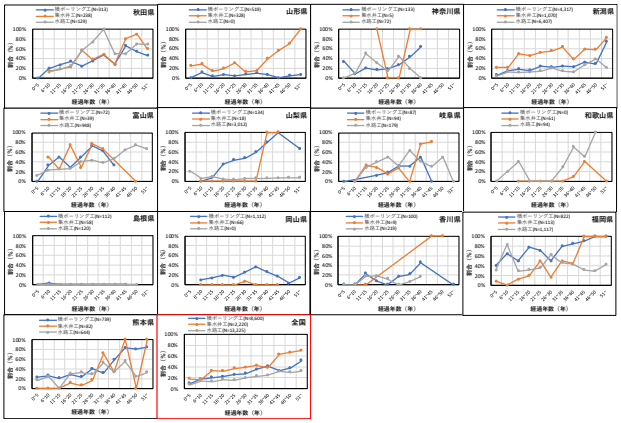

図-2 地下水排除工（横ボーリング工、集水井工、水路工）の経過年数に対する健全度Cの割合（県ごと）

3. 劣化予測手法の検討

3.1 検討方法

予防保全型維持管理の実践にあたっては、LCCの縮減及び各年の修繕等の費用の平準化を考慮した年次計画の策定が必要である。この年次計画の策定にあたっては予防保全としての修繕等を実施する時期を検討するため、施設の劣化予測を行う必要がある。そこで本検討では、全国の地すべり防止施設の点検データをもとに、統計的手法及び確率論的手法を適用した場合の劣化予測について検討を行った。本検討で対象とした劣化予測手法の概要や特徴を表-2に示す。統計的手法は、経過年数に対する健全度の推移をもとに、近似式によって将来の健全度を予測する手法である。例えば、健全度評価（対策不要 A=2、経過観察 B=1、要対策 C=0）と経過年数の関係をプロットし、近似式によって劣化曲線を作成して劣化予測を行う手法である。ただし、この手法は土木構造物においても適用事例が多く実用的であるが各健全度の間がいずれも同様の変化幅であるとみなしていることに留意する必要がある。一方で、確率論的手法は確率モデルを用いて将来の各健全度を予測する手法である。土木構造物においては、「マルコフ連鎖モデル」による手法が検討されている。この「マルコフ過程」とは、未来の状態が過去の状態とは関係なく現在の状態のみに依存して決まるという性質をもつ確率過程である[4]。劣化予測においては、離散的な健全度の状態が年数経過とともに低い健全度へと遷移していく様子を「マルコフ連鎖モデル」で表し、パラメータとして健全度の遷移確率を求める手法を用いた。また本検討では、経過年数に対する健全度低下が確認された横ボーリング工、集水井工、水路工の3工種を検討対象とした。なお、各工種で年次ごとの集計データ数が5件未満の場合は、健全度割合を適切に表現できないと考え集計外とした[2]。

表-2 本検討で対象とした劣化予測手法の概要

手法	本検討で使用した式・モデル	概要
統計的手法	線形近似 $y = a\,t + b$ 累乗近似 $y = a\,t^{b}$	経過年数に対する健全度の推移をもとに健全度（またはその割合）を近似式によって予測する手法 ・yは各年次における健全度の構成割合（%） ・tは経過年数（年） ・a,bはMicrosoft Excel2019のソルバー機能を使用し二乗平均平方誤差（RMSE）が最小となるように設定
確率論的手法	マルコフ連鎖モデル $\begin{pmatrix} A_t \\ B_t \\ C_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-p_{A\to B} & 0 & 0 \\ p_{A\to B} & 1-p_{B\to C} & 0 \\ 0 & p_{B\to C} & 1 \end{pmatrix}^{t} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	経過年数に対する健全度の推移をもとに各健全度の割合をマルコフ連鎖モデルによって予測する手法 ・tは建設時から点検時までの経過年数、 ・A_t,B_t,C_tはそれぞれ経過年数tにおける健全度A,B,Cの割合（%） ・$p_{A\to B}$及び$p_{B\to C}$はそれぞれ健全度がAからB,BからCに遷移する確率 ・遷移確率$p_{A\to B}$及び$p_{B\to C}$はMicrosoft Excel2019のソルバー機能を使用し二乗平均平方根誤差の和（$RMSE_{ABC}$）が最小となるように設定

3.2　適用結果

劣化予測結果を図-3 に示す。施設が健全度 C となる平均的な年数を施設の半数が健全度 C となる年数と考えると、横ボーリング工では 52~65 年、集水井工では 33~39 年、水路工では 61~89 年となった。線形近似、累乗近似による予測ではマルコフ連鎖モデルによる予測に対して、施設の半数が健全度 C となる年数の予測結果が長く見積もられた。

4.　年次計画策定手法の検討

4.1　適切な対策サイクルの設定による LCC 削減

4.1.1　検討方法

劣化予測手法等を踏まえ、本検討では機能喪失前の対策によりコスト削減が可能な対策方法として、集水井工の排水管閉塞による湛水発生対策を対象として適切な対策サイクルの設定による LCC 削減に関する検討を行った。詳細な検討条件等を表-3 に示す。なお本検討では、最適な対策サイクルを決定するため、対策サイクル 10 年から 5 年刻みで 40 年までのケースについて、計画期間 50 年間の対策費用の累計額を試算し、比較検討を行った。また初年度は、経過年数が対策サイクルを超えている施設全てを対策することとした [2)]。

4.1.2　検討結果

図-4 に対策サイクルによる LCC（50 年の累計額）の比較を示す。対策サイクルを 10 年とした場合は修繕等の対策の回数が多くなり、累計額が増加する結果となった。一方で、対策サイクルを 40 年とした場合、修繕等の対策の回数は減少するが、経過年数 40 年で健全度が C に低下して事後保全となり、修繕等の単価が高くなって累計額が増加する結果となった。今回の試算条件においては、対策サイクル 35 年の累計額が最小となった。このように、事後保全とならないように、予防保全の回数を必要最小限とする対策サイクルが設定できれば、累計額の最小化を図ることができる可能性がある。

5.　点検データの活用

施設の点検記録については、施設の劣化プロセスの把握や将来の劣化予測、予防保全対策手法の検討、長寿命化を実現する施設構造の検討などに活用可能な情報であることから、継続的に記録・保存する必要があり、データベースとして管理していくことが望ましい。そのため、データ活用可能な設備台帳及び施設点検結果フォーマット（案）を作成し、LCC 削減検討のための研究会報告書 [2)] に掲載、公表した。

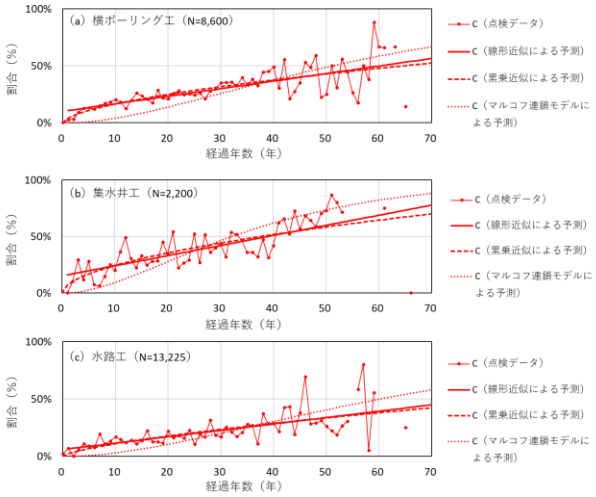

図-3 経過年数に対する健全度 C の予測結果
（a）横ボーリング工　（b）集水井工　（C）水路工

表-3 適切な対策サイクルの設定による LCC 削減の試算例の検討条件整理表

■検討条件
- 計画対象期間は50年とする（R6～R55とし、R5は計画0年目）
- 健全度は経過年数5年でA→B, 経過年数40年でB→Cに低下する（劣化予測の結果を参考に試算をするための年数を設定した）
- 対策した施設は健全度Aに回復し, 再び経過年数5年でA→B, 経過年数40年でB→Cに低下する
- 対策費用は健全度Bの場合は予防保全費用として集排水管の孔内洗浄工の費用（1,000千円／基）健全度Cになった場合は事後保全費用として集排水管の孔内洗浄工に湛水解消対策を加えた費用（3,000千円／基）の費用とする（試算をするための費用として設定した）
- 点検費用は考慮しない
- 新設される施設は無いものとした
- 計画0年目（R5）における施設数分布は, 経過年数0～34年まで各年2基ずつ施工された集水井工計70基とする
- 既に健全度Cとなっている施設は存在しないものとした

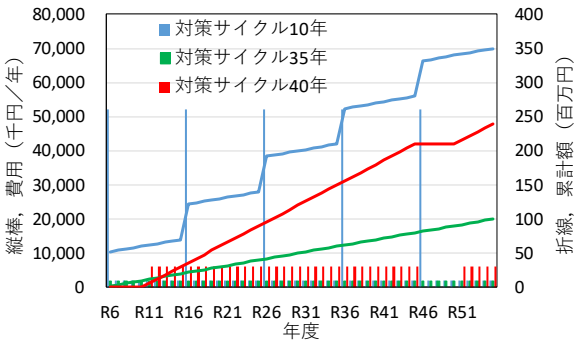

図-4 対策サイクルごとの各年費用及び累計額

6. 機能劣化過程を考慮した施設構造に関する検討

6.1 集水ボーリング孔閉塞対策

6.1.1 調査方法

平成 19 年に特許登録されている地すべり排水孔の鉄スライム等による目詰まり防止を目的とした閉塞防止器[6]のフォローアップ調査を実施した。この装置は、地下水中に含まれる鉄細菌の活動により発生するスライム状の物質により、地すべり排水ボーリング孔が閉塞され、排水機能が低下するのを抑制するものである。その原理は、シシオドシの動きを使うことで、排水ボーリング孔からの水の排水について貯留・排水を繰り返すもので、少量の排水量で排水の流れが弱く、スライム状物質の滞留・定着固化が進むような排水孔坑口部に、断続的に一定の水流を発生させて流下させることによりボーリング孔の孔口のスライム状物質による閉塞を抑制・防止するものである。今回の調査では、実際の地すべりボーリング孔での効果や現地設置した際の装置の稼働状況を確認するため、平成 28 年に 6 地区 9 箇所に試験的設置を行った閉塞防止器について、その後の稼働状況や問題点等の調査を行った。

6.1.2 調査結果

閉塞防止器の機能が発揮されスライム状物質等の付着物が殆ど確認されなかった地区もあったが、複数の地区で閉塞防止器本体の機能停止が確認された。この機能停止は、設置時及びその後の水量変化、導水管部等においてスライム状物質等の滞留固化、また跳水や首振り管滴による本体へスライム等が付着したことによって生じた可能性がある。今後、導水管を水平設置から勾配をつけるように改良を加え試験設置した閉塞防止器（図-5）について稼働状況や問題点等の調査を引き続き行っていく。

7. まとめ

本研究では、地すべり対策工において蓄積されてきた点検データや修繕事例の分析を実施し、全国の地すべり防止施設の劣化状況を明らかにするとともに、劣化予測手法、年次計画策定手法、データ活用可能な設備台帳及び施設点検結果フォーマット（案）を提案した。また、機能劣化過程を考慮した施設構造に関する検討を行った。今後は、蓄積されていくデータを基に、引き続き維持管理の高度化を図ることが重要と考えられる。

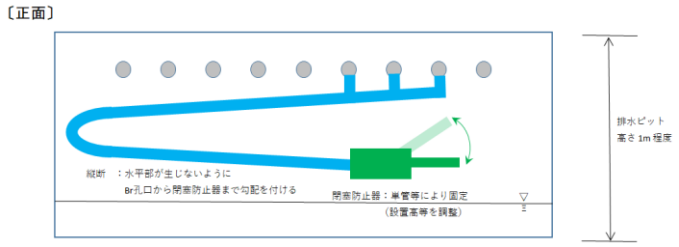

図-5 閉塞防止器（改良）の概要図

参考文献

1) 国土交通省水管理･国土保全局砂防部保全課：砂防関係施設点検要領（案）、2022 年 3 月
2) ライフサイクルコスト削減検討のための研究会：地すべり防止施設におけるライフサイクルコスト削減に関する研究報告書、2024 年 3 月
3) 一般社団法人斜面防災対策技術協会：斜面対策工維持管理実施要領、2016 年
4) 森村英典・高橋幸雄：マルコフ解析、日科技連出版社、1979 年
5) 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）、2022 年 3 月
6) 丸山清輝・石田孝司：地すべり防止施設集水管の閉塞防止器の開発、土木技術資料、57 巻 5 号、2015 年

Research on Preventive Maintenance of Landslide Control Works Considering the Functional Deterioration Process, PWRI”

Research Period: FY2022-2024
Research Team: Sediment Management Research Group, Landslide Team
Author: SUGIMOTO Hiroyuki
WASHIO Yoichi
OKUYAMA Yuki
YAMADA Takuya
IIDA Kenji
HANDA Kenichi
KIRYU Takeshi
SAKAKI Naoto

Abstract: As infrastructure facilities are deteriorating nationwide, it is important to promote facility life extension while reducing life cycle costs through preventive maintenance management. In this study, we analyzed inspection data and repair cases that have been accumulated for landslide countermeasure works, and examined deterioration prediction methods and annual planning methods. As a result, it was clarified that half of the facilities require preventive measures for a certain number of years, and it was suggested that setting up an appropriate preventive maintenance cycle may lead to life-cycle cost reductions.

Keywords: Facility inspection, functional deterioration, deterioration prediction, preventive maintenance, life cycle cost