

地すべり対策施設の長寿命化計画 ～劣化予測式の検討とライフサイクルコストの算定～

四国山地砂防事務所 調査課 三好 正晃
四国山地砂防事務所 調査課長 奥山 悠木
四国山地砂防事務所 調査課専門官 藤澤 芳信

地すべり対策施設の機能や性能を長期に亘り維持、確保するためには、施設の健全度や重要度を踏まえ長寿命化計画を策定する必要がある。今後、計画的な長寿命化対策を実施していくためには、ライフサイクルコストの縮減、修繕等に要する費用の平準化を踏まえた予防保全型の維持管理に向けて検討が必要である。そこで、地すべり対策施設における長寿命化計画について検討するために、これまで実施している施設点検成果をとりまとめ、劣化予測式の検討とライフサイクルコストの算定を行った。

キーワード 予防保全, 老朽化, 長寿命化, 劣化予測, ライフサイクルコスト

1. はじめに

近年、平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月豪雨など国内各地で多発する集中豪雨や台風、地震等の影響から、土砂災害による被害が多発しており、砂防施設や地すべり防止施設による土砂災害の被害防止と軽減の重要性がより一層高まっている。

四国山地砂防事務所管内の砂防関係施設は、今後、老朽化する施設の数が増大となっていくことが予測される。近年、土砂災害が多発している状況等を踏まえ、既存施設の機能及び性能（表-1）を長期にわたり維持・確保し、且つライフサイクルコストの縮減につながる対策が重要となっている。

平成26年6月に「砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン（案）」において、長寿命化策定・運用するための基本的な考え方や手順が示されており、四国山地砂防事務所では、平成27、29年度に砂防関係施設（地すべり対策施設を含む）について長寿命化計画の素案を検討している。しかしながら、今後、砂防関係施設の長寿命化対策にあたってライフサイクルコストの縮減、修繕等に要する費用の平準化を踏まえた予防保全型維持管理の早期導入に向けて、さらなる検討が必要である。

本報では、長寿命化計画の特に地すべり対策施設の修繕について検討した以下の項目について報告する。

① 劣化予測式の検討

② ライフサイクルコストの算定

なお、本報告は限られた事例から試行的に検討したものであることに留意が必要である。

2. 劣化予測式の検討

修繕が可能な地すべり対策施設（表-2）に対して劣化因子や既存の点検結果から劣化予測式を検討し、劣化速度の整理を行う。なお、修繕時期については劣化予測式を踏まえて検討した。

(1) 耐用年数の検討

a) 集水井工（井筒）

経年劣化によるライナープレートの耐用年数は、ライナープレートの防食に使用される亜鉛めっきの耐用年数お

表-1 長寿命化計画で用いる用語の定義

用語	定義
機能	地すべり対策施設が土砂災害防止のために、有すべき施設の働きのこと。 ・抑制工：地すべりを抑制する機能 ・抑止工：地すべりを抑止する機能
性能	地すべり対策施設が機能を発揮するために必要となる、構造上保持すべき強度、安定性等のこと。 ・地すべり防止施設の安定性、強度など構造上の性能
健全度	有すべき機能及び性能に対して、地すべり対策施設が有している程度のこと。
維持	地すべり対策施設の機能や性能を確保するために行う軽微な作業のこと。 ・孔内洗浄、水路工堆積土砂の撤去等
修繕	既存の地すべり対策施設の機能や性能を確保、回復するために、損傷または劣化以前の状況に補修すること。 ・水路の亀裂への間詰め、集水井貯水槽の亀裂への間詰め等 ・腐食した集水井ライナープレートにRCセグメントを巻立てる等
改築	地すべり対策施設の機能や性能を確保、回復すると共に、さらにその向上を図ること。 ・腐食した集水管を腐食しにくい材質への変更等
更新	地すべり対策施設を用途廃止し、既存施設と同等の機能及び性能を有する施設を、既存施設の代替として新たに整備すること。 ・集水管・排水管の再設置等

表-2 地すべり対策施設の各部位別対応表

施設の種類	部位	対応
横ボーリング工	孔口保護工、 集水柵	事後保全対応
	集水管	更新対応
集水井工	本体内	補修対応可能
	集水管	更新対応
	配水管	更新対応
	安全施設	点検用階段、 天蓋は補修対応可能
排水トンネル工	トンネル本体、 排水路	補修対応可能
	安全施設	更新対応
水路工		補修対応可能
杭工 シャフト工		更新対応
アンカー工	アンカー工本体	更新対応
	頭部コンクリート	事後保全対応
	アンカー受圧板	補修対応可能

よびその後のライナープレートの減肉の年数より検討し、ライナープレートの亜鉛めっきが寿命となる年数を40.5年とした。しかし、亜鉛めっきが寿命を迎えても、ライナープレートの肉厚に若干の余裕があるため、亜鉛めっきの寿命がそのまま供用年数となるわけではない。通常、四国山地砂防事務所管内の集水井工は肉厚2.7mmの規格品のライナープレートと補強リングを組み合わせて使用しており、設計上約20%程度の減肉があっても設計土圧に対抗することが可能である。すなわち約0.54mm程度腐食が進むまでは供用することが可能である。すなわち、集水井内の湧水箇所が最も腐食を生じると仮定すると年間0.1mmの鋼材の減肉を生じることとなる。よって $0.54\text{mm} \div 0.1\text{mm/年} = 5.4$ 年 となり、経年劣化から判断する集水井井筒の耐用年数は約40年+約5年=約45年と判断される。

集水井工の簡易変形量調査結果より得られた変形量と近傍に位置する孔内傾斜計の変動量から劣化曲線を求め、耐用年数を設定した。集水井工が位置する地すべりの変動量を5mm以上/年、5~3mm/年、3mm/年以下の3つに区分し、集水井工の経過年数、変形量をグラフにした(図-1)。

上記を踏まえて、変形および劣化の観点から変動量区分ごとの耐用年数を検討した。

【変動量5mm/年以上の地すべりに位置する集水井工】

変動量5mm以上/年の地すべり内の集水井工は経過年数の増加に伴い、変形量も増加する。劣化曲線は近似式より求めた。劣化曲線は

$$y = 0.2724x^2 - 5.4506 + 40969x \quad R^2 = 0.9053$$

である。相関係数 R^2 が9割を超えていることから、ある程度妥当と推測される。簡易変形量調査結果より、部材が破損している集水井工は1基(善徳地区)認められ、

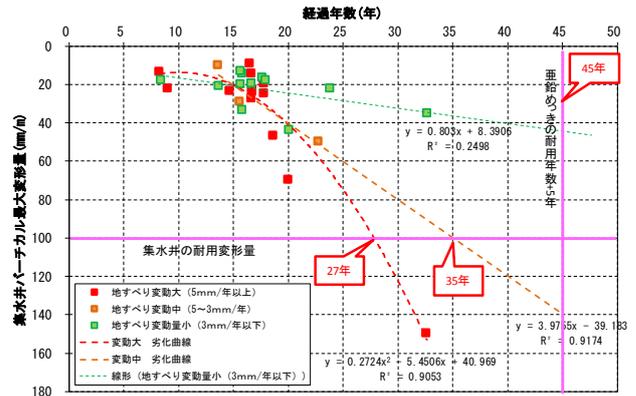


図-1 集水井工の劣化曲線

変形量は150mm/mであった。一方、それ以外の集水井には破損が認められず、破損していない集水井工の変形量は最大で70mm/mであったため、集水井工の耐用変形量を100mm/mを目安とした。耐用変形量(100mm/m)と劣化曲線より耐用年数を27年と仮定した。

【変動量5~3mm/年の地すべりに位置する集水井工】

変動量5~3mm/年の地すべり内の集水井工の劣化曲線は

$$y = 3.9755x - 39.133 \quad R^2 = 0.9174$$

である。相関係数 R^2 が9割を超えていることから、ある程度妥当と推測される。耐用変形量(100mm/m)と劣化曲線より耐用年数を35年と仮定した。

【変動量3mm/年以下の地すべりに位置する集水井工】

変動量3mm/年以下の地すべり内の集水井工の劣化曲線は

$$y = 0.803x - 8.3906 \quad R^2 = 0.2438$$

である。相関係数 R^2 が2割と低い。耐用変形量(100mm/m)になるより先に、経年劣化によるライナープレートの耐用年数を迎えることとなる。このため耐用年数を45年と仮定した。

b)集水井工(貯水槽)

貯水槽の変形についても点検結果と経過年数との関係を分析した。ただし点検の結果、評価C(著しく機能低下し交換・補修・改善が必要とされる施設の健全度評価)となる変形は認められず、集水井本体の耐用年数は井筒の耐用年数に支配されるものと判断した。

c)集水井工(天蓋)

天蓋については、変形あるいは劣化によって耐用年数が決定されるものと考えられる。変形については20~30年経過した施設に評価Cが見られるものの、経過年数との関係は現在の所有意とはいえない。これは突発的な倒木などにより変形が発生することを示しているものと考えられ、変形については事後保全対応となるものと考えられる。20~30年経過した施設および30年経過した施設にC判定が見られる。このため、前述した集水井井筒で検討

した垂鉛めっきの耐用年数ではなく、実際のC判定の出現頻度から劣化曲線を算出し、集水井天蓋の耐用年数を36年とした。

d) 集水井工 (点検路)

点検路についても変形あるいは劣化によって耐用年数が決定されるものと考えられる。直接地下水との接触が少ないため、劣化速度については井筒よりも遅いようであるが、本検討では点検路の耐用年数についても集水井井筒と同様45年と設定した。

e) 排水トンネル工

排水トンネルについては管内における十分な事例の蓄積がないため、耐用年数を一般的な土木構造物として50年と設定した。

f) 表面排水路工

C判定の出現頻度と経過年数との関係を示した上で近似曲線を用いた劣化曲線を作成したグラフを示す(図-2)。本劣化曲線は、本来は路線全線に対して更新が必要であるという判断、あるいは耐用年数を示しているものではない。ただしC判定の出現頻度が100%に達した場合、全部位が機能低下した結果に近似すると考え、耐用年数を46年とした。

g) アンカー工

アンカー受圧板の多くは、有筋のコンクリート構造であり、鉄筋コンクリート特有の劣化が発生する可能性が考えられる。劣化要因としてあげられるのが、コンクリートの中酸化、塩害、アルカリ骨材反応であるが、当地域では、塩害・アルカリ骨材反応が問題となっている地域ではない。よって検討するにあたり課題となるのがコンクリートの中酸化が問題であると考えられる。鉄筋破りは100mmを確保する設計にしておき、コンクリート標準示方書維持管理編では鉄筋の腐食が開始されるのは中酸化残り10mmの時点とされている。中酸化がコンクリート表面から90mmの地点に到達するまでに100年以上の経過が必要となるため耐用年数を100年とした。

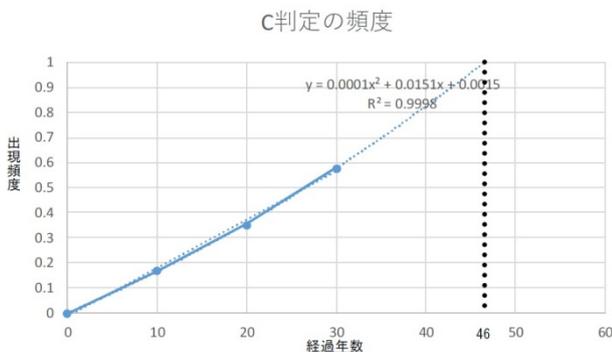


図-2 表面排水路工の劣化曲線

3. ライフサイクルコストの算定

(1) 補修方法の検討

それぞれ事前の修繕による予防保全が可能と想定された施設について、修繕に焦点を当てた補修方法を検討した。

a) 集水井工 (井筒)

以下、5つの工法を選定した。井筒内部のバーチカルスティフナーに設置して水平方向にH型鋼を設置するラテラルストラットの補強工法。ライナープレートにケレンしたうえで改良型エポキシ系樹脂塗料を塗装する防錆剤塗り替え。井筒内部により小径なライナープレートを造成する内周補強。井筒外周により大径のライナープレートを造成する外周補強。既存のライナープレートを取り外しながら、現位置に新設のライナープレートを設置する現位置新設。

b) 集水井工 (天蓋、点検路)

ケレンしたうえで常温亜鉛めっきを塗装することで、施設の長寿命化を図る塗り替えを選定した。

c) 排水トンネル工

以下、2つの工法を選定した。はつり落とし、断面修復、あて板工などを併用するはく落防止工。水路や床面に発生したひび割れからの漏水防止を図るひび割れ補修工。

d) 表面排水路工

以下、3つの工法について選定した。水路に発生したひび割れをふせぐひびわれ補修工。コンクリート水路の摩耗などによってコンクリートが欠損していた場合、断面修復によってコンクリートの断面を修繕する断面修復。変状範囲に対して1スパン(約20m)単位でやり換えする部分補修。

e) アンカー工 (受圧板)

劣化因子である二酸化炭素の侵入を抑制する表面被覆工法について選定した。

(2) 修繕時期の検討

劣化予測式を踏まえて検討対象施設の適切な修繕時期の検討を行った。

a) 集水井工 (井筒)

井筒の修繕については、損傷要因が劣化・変形、いずれの場合であってもライナープレート自体には更新を伴う。このため、修繕時期については井筒内で作業不能となる前であれば良い。ただし、集水井工の変形が大きくなった場合、内巻きではなく外巻きとせざるを得ない可能性があり、耐用変形量100mm/mに至る変動量5mm以上で27年、変動量3~5mmで35年経過より以前に修繕を行うのが効果的である。変動量3mm以下についても供用不能となる45年経過より前に修繕を行うことが望ましい。

b) 集水井工（天蓋、点検路）

天蓋の耐用年数は36年（C判定の発生する最短期間が26年）、点検路の耐用年数は45年（鉄の減肉が始まる年数は40年）と設定している。双方とも一旦解体し吊り上げて井筒の外で防錆加工することを考慮すると、天蓋・点検路ともに同一のタイミングとすることが望ましい。すなわち、C判定が最初に確認され減肉が始まる施設が出現した26年経過より前に防錆加工を行うことが効果的である。

c) 排水トンネル工

損傷の遷移について検討することが難しく、供用期間として設定した50年経過より前に修繕を行う方針とした。

d) 表面排水路工

表面排水路工のグラフ（図-2）は比較的直線に近いが、20年経過前後で損傷の発生頻度が比較的上昇することがわかる。よって供用20年前後で修繕を行う方針とすることが望ましい。

e) アンカー受圧板工

受圧板コンクリートの耐用年数は100年と比較的長期にわたる。四国山地砂防事務所管内のアンカー受圧板は、今後50年にわたって補修・更新の必要がないと想定されるため、本検討の対象外とした。

(3) ライフサイクルコストの算出

前章までに示した補修工法、補修時期を踏まえてライフサイクルコスト削減の検討を行った。アンカー工と排水トンネル工については、今後50年にわたって補修・更新の必要がないと想定されるため、本検討の対象外とした。

a) 集水井工

井筒および天蓋、点検路を一体と考え、以下の3つのシナリオについて維持コスト比較を行った（図-3）。

- ① 変動量5mm以上で27年、変動量3～5mmで35年、変動量3mm以下で45年として耐用年数を経過した時点で施設を新設する更新型シナリオ。
- ② 変動量5mm以上で27年、変動量3～5mmで35年、変動量3mm以下で45年として耐用年数を経過する1年前に原則として補修する場合の維持管理型シナリオ。
- ③ C判定集水井のうち、別位置更新となるものについては反対に更新を急がなくて済むことから、更新時期をある程度ずらすことが可能であり、コストを一定程度平準化する場合の維持管理型シナリオ（初期分散型）。

この結果、今後50年間の累計コストは①約157億円、②約110億円、③約93億円となり、③は①に比較して64億円コストを抑えられる結果となった。

b) 表面排水路工

表面排水路において、以下の3つのシナリオについて検討し、維持コスト比較を行った（図-4）。

- ① 46年耐用年数を経過した時点で施設を新設する更新型シナリオ。
- ② 46年の耐用年数を経過する1年前に原則として補修する場合の維持管理型シナリオ。
- ③ 施設の補修時期が一定期間に集中することから、補修期間をずらして補修費用を平準化する場合の維持管理型シナリオ（初期分散型）。

この結果、今後50年間の累計コストは①約97億円、②約19億円、③約19億円となり、②と③は①に比較して約78億円コストを抑えられる結果となった。

4. まとめ

今回、四国山地砂防事務所管内における地すべり防止施設の劣化予測とライフサイクルコストについて検討した。その結果、集水井工、表面排水路工では、機能低下の度合いが軽微な段階で予防保全として修繕等を実施する方がライフサイクルコストを削減できることが分かった。今後、「予防保全型維持管理」を目指し、今回の検討を活用し、ライフサイクルコストを考慮した長寿命化計画の策定を進める予定である。

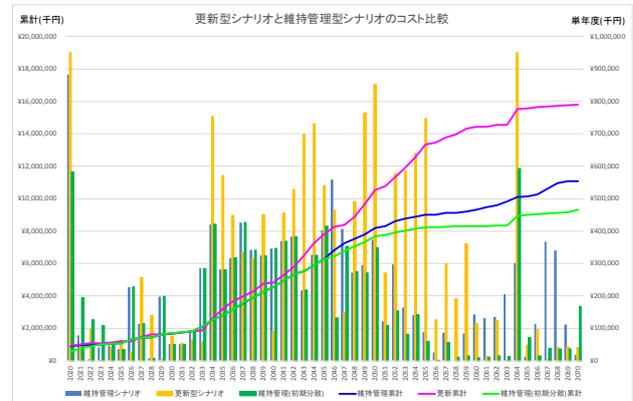


図-3 集水井工の維持コスト比較

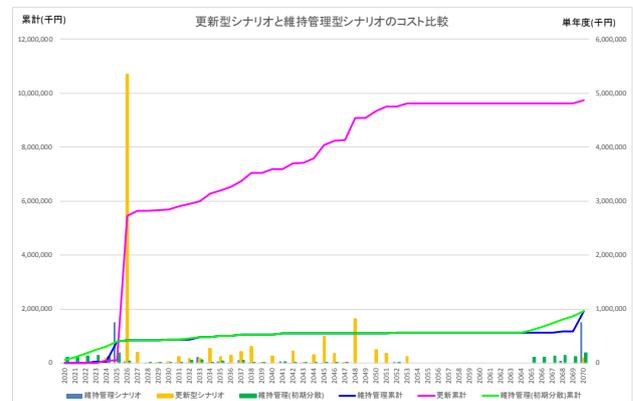


図-4 表面排水路工の維持コストの比較