

## 維持管理情報活用による水路トンネルのLCC最適補修計画の策定 —地山リスク編—

(株)開発設計コンサルタント 正会員 ○高島 利紗, 正会員 野嶋潤一郎  
電源開発(株) 正会員 萬寶 徹郎, 有蘭 大樹, 正会員 平塚 俊祐

### 1. はじめに

2015年のパリ協定採択以降、電源の非化石化・低炭素化の推進を喫緊の課題として、国は再生可能エネルギーの主力電源化に向けて取り組んでいる。こうした中、再生可能エネルギーである水力発電は、未開発地の小規模化・奥地化により、既存設備の有効活用の重要性が高まっている。一方で、水力発電所の多くは高経年化が進んでおり、計画的な維持管理・更新によりトータルコストの削減を図る必要がある。

現在、発電所更新工事中である電源開発(株)熊追発電所<sup>1)</sup>では、長期放水が行われている。そこで、熊追導水路の地山リスクに着目し、2011年以降蓄積したRBM (Risk Based Maintenance) 評価<sup>2,3)</sup>のデータおよび過去の維持管理情報から、「ひび割れ」「漏水」「変形」について劣化予測を行い、LCCが最小となる最適補修計画を策定した。

### 2. 予測に用いるデータ

検討に使用するデータは、過去の維持管理情報から、データの抜けなどがないものを、概ね10年間隔になるように5年分選定した。熊追導水路(全長約3,227m)のRBM評価は10m毎のブロック単位で実施しており、評価に用いるデータ数は323ブロック/年である。なお、RBM導入以前については、過年度点検記録を基に土木技術者がRBM評価を行った結果を予測データとして用いた。RBM評価の一例として「ひび割れ」の評価基準を表-1に示す。

### 3. 劣化予測

劣化予測として、RBM評価の危険度レベルの推移をマルコフ連鎖モデルにて実施した。マルコフ連鎖モデルとは、「状態」と「推移」という2つの概念を用い、物事がある「状態」からある「推移確率」で次の「状態」へと移行する様子を確率論的に捉える統計手法である。

「ひび割れ」は点検者の主観による評価のばらつきが確認されたが、最も古いデータを基準とし、ひび割れの進行を不可逆的な推移と捉えた。また、地質条件が進行に影響することから、地質条件の良悪で区分した。「漏水」は多種の要因から評価にばらつきが含まれると想定されるが、その影響の除去は難しく、予測精度も低いことが判明した。「変形」は竣工以降現在まで確認されておらず、劣化予測の対象から除外した。

予測結果から、「ひび割れ」と「漏水」は進行性が認められた。予測結果の一例として、全区間の「ひび割れ」に対する予測結果を図-1に示す。

表-1 危険度レベル評価基準(ひび割れ)

危険度レベル	状態説明
A1	変状無し
A2	変状が表面に留まる程度の比較的細いひび割れ
A3	斜め方向に貫通ひび割れが生じている
A4	軸方向に貫通ひび割れが見られるが、線形方向のズレ・段差は生じていない
A5	軸方向、斜め方向に貫通ひび割れ(オープンクラック)が見られ、1mm程度の段差が生じている

### 4. 最適補修計画

最適補修計画の検討は、劣化予測にて有意な進行性が認められた、「ひび割れ」を対象とした。

LCCを比較するために、背面空洞充填(全面充填/部分充填※/充填なし)およびひび割れ補修対象(A5のみ/A4~A5/A3~A5/A2~A5)でそれぞれ補修ケースを設定した(全12ケース)。なお、ひび割れ補修は充

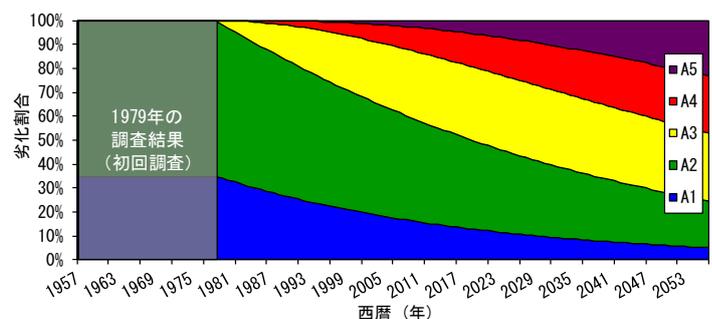


図-1 変状進行予測結果(ひび割れ,全区間)

キーワード：水路トンネル, 背面空洞, 維持管理情報, 劣化予測, LCC

連絡先：〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88 (株)開発設計コンサルタント 設備保全技術部 TEL 0467-85-0816

填工法での補修を基本とし、A2 ひび割れに対しては、進行性の確認を目的とした簡易なスプレー補修を採用することとした。リスクレベルの詳細を表-2に、補修後のリスクレベル割合（当該リスクレベルのブロック数/全ブロック数）の推移を図-2に、ケース毎の補修費用の比較を図-3に示す。なお、対象の水路トンネルは、補修のための排水が発電停止に直結することから、追加補修はLCCの面で不利となる。したがって、初期補修後は次回大規模補修時期（50年後と設定）まで補修不要、つまりリスクレベルⅡ以上が発生しないことが、採用案の必要条件となる。

（※未補修の状態での50年後までの変状進行予測結果がリスクレベルⅡ以上となる範囲に対して背面空洞充填を実施）

- ✓ 背面空洞を部分充填とした場合、全面充填と比較して補修費用を約56%に低減できる。さらに、部分充填の場合でも50年後までにリスクレベルⅡは発生しない。
- ✓ ひび割れ補修対象A3～A5とA2～A5で補修費用はほぼ同額である。一方で、背面空洞を部分充填とした場合の50年後のリスクレベルⅣの割合は、A2～A5で約90%、A3～A5で約50%と大きく異なる。

以上から、背面空洞を部分充填とし、ひび割れ補修対象はA2～A5（A2以上の全てのひび割れを補修、A2ひび割れはスプレー補修）とするケースを、LCCが最小となる最適補修計画とした。

## 5. おわりに

蓄積された過去の点検記録から水路トンネルの劣化予測を実施し、LCCが最小となる最適補修計画を策定した。今回対象とした熊追導水路では、初回調査以降約40年分の点検記録を含む維持管理情報が蓄積されており、劣化予測可能なデータ数を確保できた。劣化予測は過去の点検結果に基づいて行うため、今後も点検記録や補修履歴といった維持管理情報の管理を継続することが重要である。また、今回は水路トンネルの地山リスクに着目したが、過去の維持管理情報があれば、他の構造物やリスクについても、同様の考え方で最適補修計画を策定できる可能性がある。

## 参考文献

- 1) 有菌大樹, 高倉秀幸: 熊追発電所改造工事 計画と設計, 電力土木, No.396, 2018, p.50-53.
- 2) 坂田智己, 野嶋潤一郎: コンクリート構造物のリスクベースメンテナンス, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.
- 3) 野嶋潤一郎, 坂田智己, 佐藤哲哉: 水路トンネルのリスクベースメンテナンス, 土木学会第64回年次学術講演会, 2009.

表-2 リスクレベルとリスク対策

リスクレベル	RBMガイドラインによる基本的なリスク対策
I	個別に検討し、早期に対応（無圧水路では選択肢なし）
II	当該抜水期間中に詳細調査、または補修・補強の対策実施
III 1	（背面空洞、ひび割れ進行度の簡易把握を実施後） 次回抜水時期検討の上、次回抜水時の詳細調査 または補修・補強の対策計画・実施
III 2	背面空洞、ひび割れ進行度の簡易把握（点検強化）
IV	通常水路内部点検

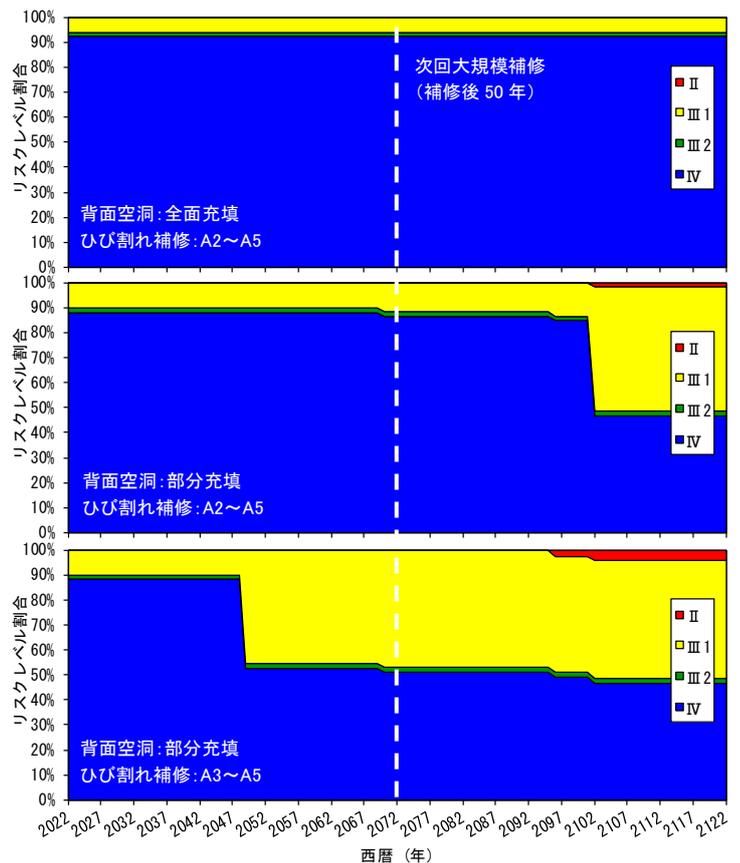


図-2 補修後のリスクレベル推移の一例

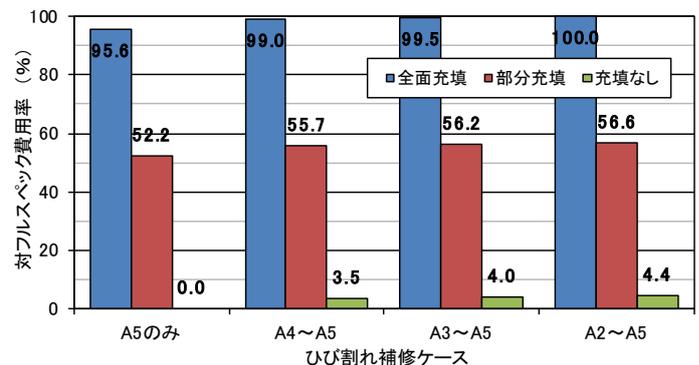


図-3 イニシャルコスト試算結果  
（全面充填、A2～A5のケースを基準とした費用率）