

## 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

## ー洗堀摩耗編ー

電源開発(株) 正会員 萬寶 徹郎, 有蘭 大樹, 正会員 平塚 俊祐  
 (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

## 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、発電所更新工事に伴う長期抜水中の電源開発(株)熊追発電所<sup>1)</sup>では、設備の補修が計画されている。熊追発電所導水路は、洗堀摩耗が進行しインバート部のコンクリート粗骨材が露出しており、粗骨材が流出し導水路下流の発電設備に損傷を与えることが懸念されている。こうした背景から、本稿ではインバート部の洗堀摩耗に焦点を当て、3次元計測結果から得た劣化予測式で劣化の将来予測をし、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取得および劣化予測式設定

現在の劣化状況を把握するための基礎資料として、過去の維持管理情報を参照した。しかし、評価の定量性や客観性が疑わしく、劣化の正確な評価が困難であったためこれを不採用とし、新たな基礎資料取得のため導水路内で3次元計測を行った。計測は表-1に示す機器により、導水路トンネル内の洗堀状況や補修経歴を鑑みて選定した5地点で行った。

3次元計測結果を図-1に示す。各地点の計測結果から任意の5断面を切り出し、頂部を基準に各断面の洗堀深さを定量化した(図-2)。その結果、全25断面の洗堀深さは、普通コンクリート(以下「普通コン」)部で約2cm～約11cm、導水路内に一部存在するポリマーセメントモルタル(以下「PCM」)補修部で約0.1cmであった。得られた25断面の最大洗堀深さと、当該断面の竣工または最終補修時からの経過年数(過去の維持管理情報から判断)をグラフにプロットし(図-3)、このグラフより求めた近似式を劣化予測式として用いることとした。

劣化予測式は材料別に設定することとして、普通コンは、劣化がある程度進んだ段階から加速度的に進行する(参考資料<sup>2)</sup>)という劣化過程を模擬できるよう指数関数( $y=Ae^{Bt}$ )とし、PCMは高強度ゆえ洗堀の進行速度に加速性は無いと想定し、一次式( $y=At$ )とした。ここで、 $y$ は洗堀深さ(cm)、 $A, B$ は定数、 $t$ は竣工または最終補修時からの経過年数(年)である。

## 3. 最適補修計画の策定

最適補修計画の策定の前に、図-4に示す5ケースの補修計画を定めた。各ケースの名称は次のとおり設定した。

表-1 3次元計測機器の仕様

レーザ照射方式	位相差方式
取得点数	5,000万点/1回スキャン当り
精度	±2mm(平面標定点精度)
計測可能距離	120m



図-1 3次元計測結果一例

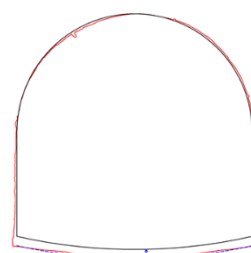


図-2 断面一例

(黒:竣工図, 赤:計測断面)

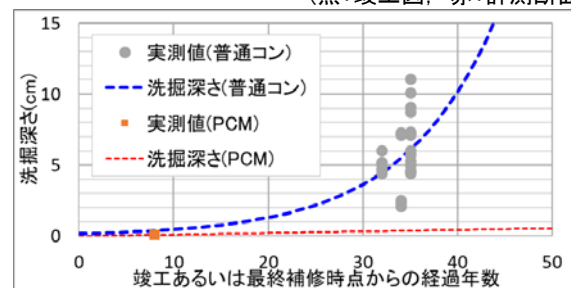


図-3 劣化予測式の設定

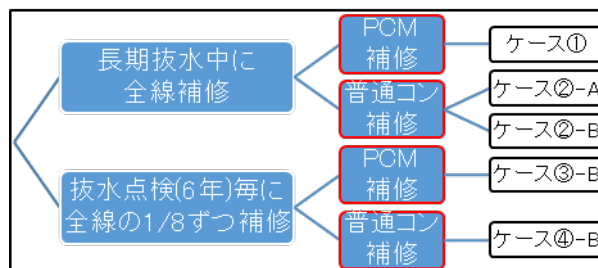


図-4 補修計画 検討ケース模式図

キーワード：水路トンネル, 洗堀摩耗, 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

①から④は補修方法による区分を、Aは健全度(後述)が5となる前に予防補修する方針を、Bは洗堀深さがインバートの最小厚さの15cmを超える前に予防補修する方針を示す。

劣化予測は、予測期間を運転開始の2022年から50年間とし、前項で設定した材料別の劣化予測式を用いて実施した。

まず、構造性能の推移予測結果を図-5に示す。当初、ケース③-B、④-Bは、補修を6年間隔(導水路排水周期)で8回に等分して実施する計画としていた。しかし、予測において2031年度内に洗堀深さがインバート最小厚さの15cmを超え、岩盤が露出する可能性が示唆されたため、2028年度の導水路排水時に未補修箇所を一括して予防補修するよう計画を見直した。その結果、各ケースの補修回数は、②-A・B、③-Bで1回、④-Bで2回となり、①のみ予測期間内の補修が不要であった。

次に、導水路が経年により、使用性能を満たさない状態(インバートの洗堀の進行により粗骨材が流出状態)まで劣化するかどうかを評価するため、表-2に示す5段階の健全度を設定し、健全度の推移を予測した。推移予測は、全長約3,227mの導水路を10m毎に区切った1区間を「1ブロック」と表現し、全323ブロックを対象として、ケース毎に経年劣化で最も状態の悪い健全度5に到達するブロック数の推移を予測し評価した。結果は図-6のとおりで、ケース①、②-Aは予測期間中に劣化が健全度5まで到達しない結果となった。

最後に、補修計画に則りLCCを算定した結果、図-7のとおりケース①がLCC最小の補修計画となった。この理由として、PCMは普通コンよりも補修費用が高額な一方で耐久力に優れており補修回数を削減できること、および、50年間補修が不要で、補修期間中の発電停止に伴う減益が無いことがLCC面で有利に影響したことが挙げられる。

以上を総合して、各ケースの使用性能およびLCCを比較・評価した結果を表-3に示す。5ケースの補修計画の中で、使用性能が低下したブロック数とLCCがいずれも最小となったケース①を最適補修計画とした。

#### 4. おわりに

今回、3次元計測の結果および、過去の維持管理記録から確認した補修経歴を用いて水路トンネルの洗堀摩耗に対する劣化予測を実施し、LCCが最小となる最適補修計画を策定した。劣化予測は過去の点検結果に基づいて行うため、点検結果には定量性や客観性が求められる。今後の点検においては点検者の主観に頼る手法ではなく3次元計測等の新たな技術を取り入れ、劣化状況を定量化し、その結果を蓄積していくことが重要である。

#### 【参考文献】

- 1) 有菌大樹, 高倉秀幸: 熊迫発電所改造工事 計画と設計. 電力土木, No.396, 2018, p.50-53.
- 2) 北村浩二, 本間新哉, 今泉眞之, 加藤敬: 農業用水路の壁面の摩耗劣化と継目劣化の予測. 農業農村工学会論文集, 2008.

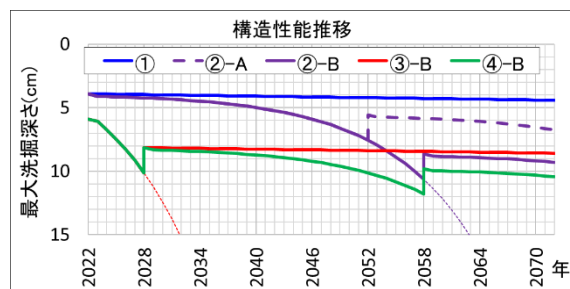
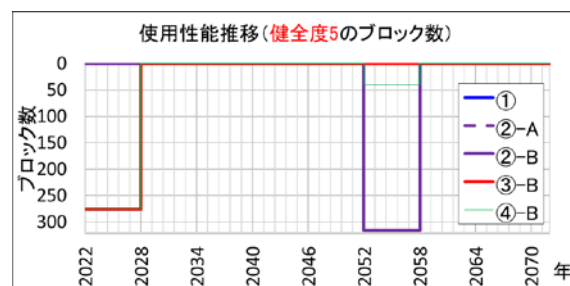


図-5 構造性能推移

表-2 健全度設定

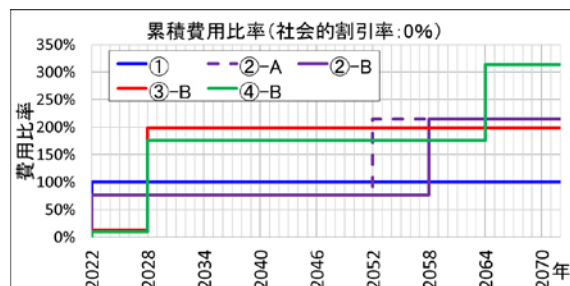
健全度	洗堀深さ	健全度の定義
1	0cm	コンクリート表面に変状のない状態
2	0.5cm	セメントペーストが流出する期間
3	1cm	細骨材の流出が始まった期間
4	2cm	細骨材の流出が進んだ期間
5	4cm	粗骨材が流出する期間

参考資料<sup>2)</sup>に基づき設定



※①、②-Aは当該期間中、常に0であった

図-6 使用性能推移



※①を基準とした比率にて表示

図-7 LCC

表-3 総括表

ケース	累積費用	健全度5のブロック数 (50年間平均)
①	100%	0
②-A	215%	0
②-B	215%	43
③-B	199%	38
④-B	314%	43