

浄水施設整備へのアセットマネジメントの適用

大阪市水道局 正会員 北野陽一郎・山崎弘太郎・江口勝彦・宮崎博明
(株)ニュージェック 正会員 赤木信雄・安野 貴人・白濱 輝幸

1. はじめに

安定給水を使命とする水道事業者にとって、耐震化をはじめとする施設整備の推進が重要である一方、人口減少時代を迎え厳しい経営環境が続く中では経営効率化も課題となっている。平成20年7月に改訂された水道ビジョンにおいても示されるなど、アセットマネジメントに基づく効果的な施設保全方法の導入が求められてきている。

大阪市水道局では、水道事業においてアセットマネジメントに求める成果が、主に施設の保全更新や経営資源の配分戦略立案にあることを勘案し、実用性の確保を重視した保全戦略策定フローを構築した(図-1)。本稿では、その骨格である浄水施設コンクリート構造物の劣化傾向と実質的な耐用年数の設定について検討した内容について報告する。

2. 浄水施設コンクリート構造物の劣化指標の抽出

(1) 基礎データ

分析にあたっては、昭和60年度～平成19年度に、建設から21～72年を経過した大阪市水道局の浄水施設に対して実施してきた構造調査の結果を基礎データとして使用した。

(2) 劣化指標の抽出

劣化指標の抽出に向けた一次分析として、昭和35(1960)年前後に建設された構造物に対して建設時から30年経過した時点と50年を経過した時点での構造調査をもとに、双方の時点で共に実施された圧縮強度、シュミットハンマー試験強度、中性化深さ、配筋腐食レベルの各試験項目の結果について比較を行った(図-2)。その結果、強度関連の項目である圧縮強度やシュミットハンマー強度については目立った経年変化は認められなかった一方、中性化深さや配筋腐食レベルについては全体的に経年変化していることが確認された。そのため、浄水施設コンクリート構造物の劣化指標として、中性化とひび割れ深さ(配筋腐食と関わりの深い、ひび割れの進行を示す測定結果)を設定した。

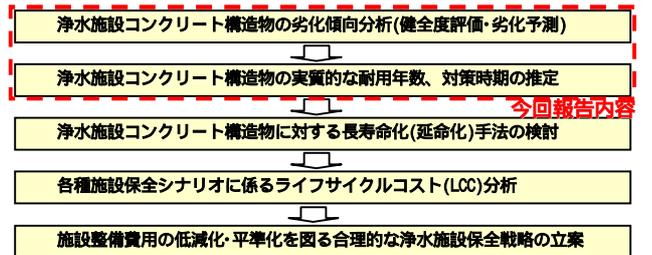


図-1 浄水施設保全戦略策定フロー

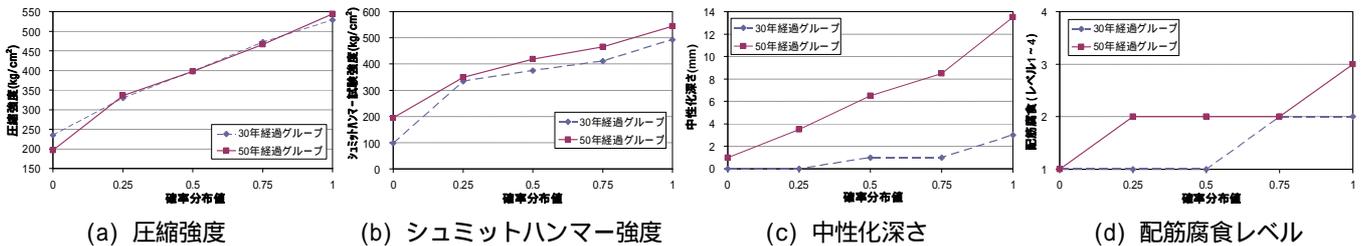


図-2 異なる経過年次に実施した構造調査結果の比較

3. 浄水施設の実質的な耐用年数の検討

(1) 適用手法

浄水施設的意思決定などにおいて構造物の余寿命の把握が重要となる。そこで、今回検討ではデータの蓄積状況も勘案して、ハザードモデルの中でも50～100程度の限られたデータから頑健性の高い回帰式の推定が可能な特徴を有する「加速ハザード回帰モデル」を用いて劣化予測を行うこととした。加速ハザード回帰モデルでは、一定の水準(ある性能低下状態)に到達する経過年数の対数値が、劣化の共変量と誤差項の線形和により(式1)で表現される^{1,2)}。

$$\log T_i = a_0 + \sum_{k=1}^p a_k x_{ki} + \sigma \varepsilon_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad \dots (式1)$$

T_i : 各施設の測定点の経過年数 a_0 : 対象施設群に特有の定数パラメータ a_k : 劣化要因に関する加速パラメータ
 x_{ki} : 劣化要因 k に対する対象 i の属性 σ : ハザードの偏差パラメータ ε_i : 誤差項の確率変数

ここで、 T_i がワイブル分布にしたがうとき、寿命関数 $S(t)$ は(式2)(式3)で表される。

$$S(t) = \exp(-\lambda t^\gamma) \quad \dots (式2) \quad \lambda = \exp\left(-\frac{a_0 + \sum a_k x_{ki}}{\sigma}\right) \quad \gamma = \frac{1}{\sigma} \quad \dots (式3)$$

(2) 実質的な耐用年数の目安となる閾値の設定

鉄筋コンクリートにおいて、コンクリートのかぶり厚は腐食のリスク要因の鉄筋への波及を防ぐ保護層と捉えることができる。そのため今回検討では、既往の構造調査結果でのかぶり厚さの平均値65.5mmを実質的な耐用年数の目安となる閾値として設定し、中性化やひび割れのかぶり厚さに到達年次を予測した。

(3) 中性化深さに関する検討

これまでに延べ20か所の浄水施設において測定された中性化深さのデータ(延べ208データ)をもとに作成した中性

化深さが各段階に到達する寿命関数を図-3に示す。なお、比較的厳しい供用条件にさらされているろ過池とそれ以外の施設(非ろ過池;沈澱池,浄・配水池)に区分して中性化深さの推移を予測することとした。非ろ過池と比較してろ過池の寿命関数の曲線は左側にシフトしており、早期に余寿命が縮小している傾向が読み取れる。

実際に性能低下の事象が発生する年次は使用環境などで異なっているが、寿命関数からは確率的な要約情報として、75%分位値から施設群全体の4分の1が閾値の深さに到達する経過年数(早期劣化の余寿命)を、中央値から施設群全体の半数が閾値の深さに到達する経過年数(平均的な余寿命)を、25%分位値からは施設群全体の4分の3が閾値の深さに到達する経過年数(延命的な余寿命)をそれぞれ読みとることが可能である。寿命関数において、各分位値を読みとり、プロットしたものを図-4に示す。

今回検討では、予防保全的観点から、75%分位値に対応する早期劣化の余寿命統計値を用いて実質的な耐用年数(供用目標)を設定することとした。それらにフィットする劣化曲線を推定した結果を図-4に示す。その結果、中性化が平均かぶり厚さに到達する年次は、ろ過池、非ろ過池でそれぞれ89.2年、127.7年と予測された。

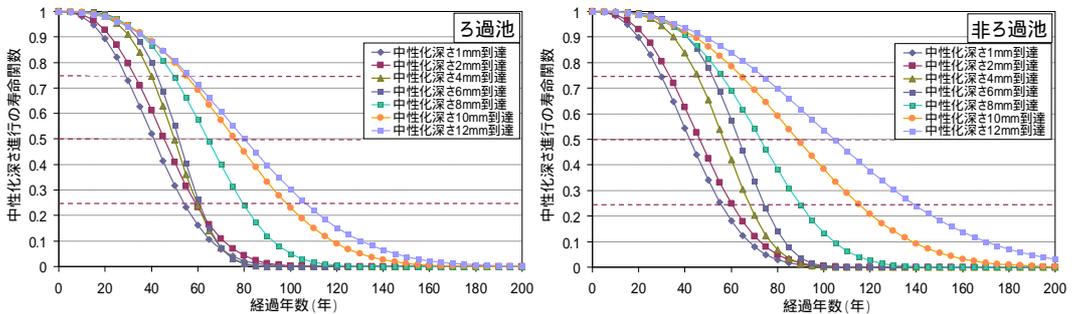


図-3 中性化深さにかかる寿命関数

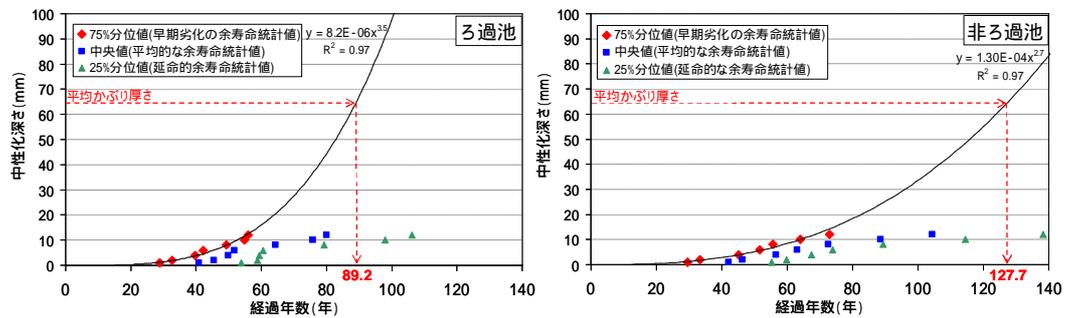


図-4 早期劣化曲線を用いた中性化深さ進行予測

(4) ひび割れ深さに関する検討

これまでに延べ8か所の浄水施設において測定されたひび割れ深さのデータ(延べ87データ)をもとに作成したひび割れ深さが各段階に到達する寿命関数を図-5に、早期劣化曲線を用いてひび割れ深さ進行を推定した結果を図-6に示す。その結果、ひび割れが平均かぶり厚さに到達する年次は、41.9年と予測された。

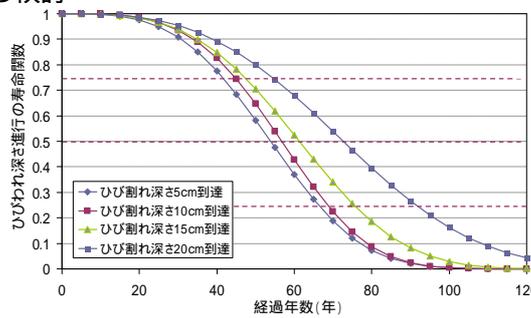


図-5 ひび割れ深さにかかる寿命関数

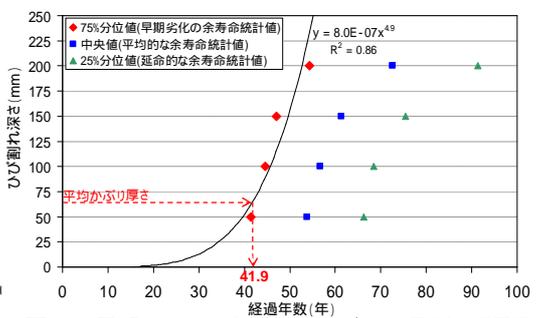


図-6 早期劣化曲線を用いたひび割れ深さ進行予測

(5) 浄水施設コンクリート構造物の実質的な耐用年数

既存の調査データに基づく劣化予測から、ひび割れの進行が中性化など他の劣化要因と比較してその進行が早いことがわかった。このことは、比較的容易に補修による対応が可能でひび割れ対策を定期的に行うことが、浄水施設コンクリート構造物の劣化の抑制、施設の延命化において有効であることを示している。従って、経過年数40年程度を目安としてひび割れ補修を行うなど計画的補修の実施により、中性化深さから予測される実質的な耐用年数である90年から120年程度を供用目標として設定できるものと考えられる(図-7)。

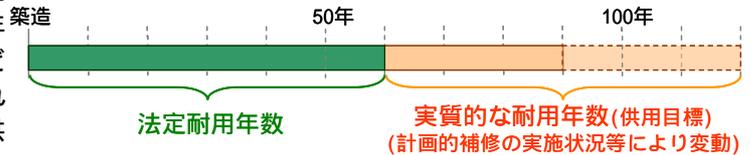


図-7 浄水施設コンクリート構造物の実質的な耐用年数の設定イメージ

4. おわりに

浄水施設の実質的な耐用年数(供用目標)の把握により、ライフサイクルコスト分析やアセットマネジメントに基づく戦略的な保全更新戦略の立案が可能となる。大阪市水道局では、アセットマネジメントに基づく施設整備の考え方について水道利用者(市民)とのコミュニケーションを積極的に行いながら、事業の持続性確保の観点から適正水準の浄水施設整備を推進し、健全な浄水システムを次世代に確実に継承を図っていくこととしている。なお、アセットマネジメントの導入では京都大学経営管理大学院小林潔司教授に多大なご助言・ご指導を頂いた。ここに厚く謝意を表す。

参考文献

- 1) Lee, E.T. and Wang, J.W. : Statistical Methods for Survival Data Analysis, John Wiley & Sons, 2003.
2) 土木学会コンクリート委員会(328委員会): コンクリート構造物のヘルスマニタリング技術, 4章, SHMによる劣化予測, 2007.