

鉄道構造物の維持管理へのリスクマネジメントの適用（４）鉄道橋脚基礎

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 澤田 亮 桐生 郷史
大成建設（株）正会員 ○田口 洋輔 亀村 勝美 畠中 千野

1. はじめに

近年，公共性の高い土木構造物に関する維持費用とその効果に対して説明を求める声が高くなってきており，構造物を客観的で定量的に維持管理する計画手法が求められている．これには，実務者が実際に行っている点検や補修等の維持管理情報を用いて，効果のわかる指標を作成することが必要となってきた．

本稿では，鉄道橋脚基礎を対象として，点検データを用いた構造物劣化モデルの作成及び点検・補修戦略の検討を試みた．

2. 基礎構造物の健全度をはかる性能評価指標について

基礎構造物は，一般にその大部分が地中に存在するため，目視によりその健全性を確認することは困難である．近年，非破壊検査技術が進歩を遂げており，基礎構造物の健全性を非破壊検査により評価する手法がいくつか提案されている．本検討では，鉄道総研で開発され各鉄道事業者において活用されている「衝撃振動試験」による健全度評価結果を点検データとして用いる．¹⁾

衝撃振動試験による健全度評価は，「衝撃振動試験により測定した実測固有振動数」と「健全であればこれくらいの固有振動数を有しているべきである」という「固有振動数の標準値」を算定して，次式で示す健全度指標 κ をもとに行う．

表 1 衝撃振動試験結果に基づく健全度判定表

$$\kappa = \frac{\text{「実測固有振動数」}}{\text{「固有振動数の標準値」}} \quad (1)$$

健全度指標	判定 ランク	処 置
$\kappa \leq 0.70$	A1	異常時外力に対して危険な変状がある．他の調査結果を参照し，必要に応じて補修・補強を考慮する．
$0.70 < \kappa \leq 0.85$	A2	固有振動数の低下など，進行性を把握する．
$0.85 < \kappa \leq 1.00$	B	現状では問題は少ない．
$1.00 < \kappa$	S	現状では問題ない．

表 1 はこれまでの実績をもとに，衝撃振動試験結果に基づく健全度指標 κ の判定ランクを定めたものである．健全度指標 κ は，衝撃振動試験を行うことにより比較的容易に得られる情報であり，また通常の点検データと異なり物理的意味が明確な連続値として与えられるため，劣化モデルの指標として適していると考えられる．ただし（１）式の「固有振動数の標準値」は，数多くの実測データを統計処理して定められたものであるため，ばらつきの影響による評価を行うことが重要である．

3. 劣化モデルの仮定

本検討では，上記健全度指標 κ の経時変化による低下をモデル化することで劣化モデルを仮定することを試みた．現時点でモデル化するに際しては様々な状態遷移が考えられるが，以下のような仮定のもと作成を行った．

- ・1920 年に建設されたある橋脚群（P1 橋脚～P4 橋脚）における 2000 年の実測データおよび，他の類似橋脚の 2002 年の実測データ（サンプル数 10）を利用し，劣化モデルを推定する．
- ・健全度指標 κ は等速度（直線的）に低下するものとし，またデータのばらつきを正規分布と仮定する．
- ・建設当初（1920 年）は κ の値が得られていないため補修直後（2001 年）と同等であったと仮定する．（ $\kappa_0 = 1.18$ ）

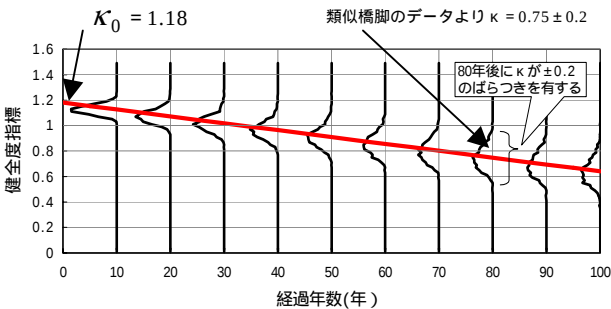


図 1. 100 年間にわたる健全度指標 κ の推移と 10 年毎のデータのばらつきの状況

キーワード：維持管理計画，リスクマネジメント，鉄道構造物，橋脚基礎

連絡先 ：〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 Tel：03-5381-5296

・建設時から補修が行われた実績はないものとし、衝撃振動試験を実施した 2000 年までの 80 年間に κ が等速で低下したと仮定する．従ってこの場合の年間当りの劣化速度は、
$$(\kappa_0 - \kappa) / (2000 - 1920) = (1.18 - 0.75) / 80 = 0.0054$$

(/ 年) となる．

一方、2002 年に実施した類似橋脚による健全度指標 κ は 0.75 を中心に概ね ± 0.2 程度に分布しており、これより劣化のばらつきが 80 年後に ± 0.2 となるように年間のばらつきを規定するものとした．これは年間のばらつきに換算すると正規分布で $\sigma = 0.01$ となる．図 1 に 100 年間にわたる健全度指標 κ の推移と 10 年毎のデータのばらつきの状況を示す．

4. 補修計画の立案

本検討では、定期点検を何年間隔で実施し、どのような状態になったときどのような補修を行うことが最適か、すなわち「最適点検・補修戦略」の試算を実施した．本検討において必要なパラメータと数値情報は表 1 に示す 劣化モデルのパラメータ，定期点検間隔<パラメータ> 定期点検結果の補修戦略，定期点検実施時の入力情報，補修工実施時の入力情報，危険な状態の補修遅れによる損失リスク入力情報，である．これらのパラメータ及び入力情報をもとに経年で累積するコストを算定した．さらにコスト比較を実施し、費用最小化を実現する点検・補修戦略を最適案として策定することとした．

5. 検討結果

劣化モデルを用いて、定期点検間隔をパラメータとした経年の累積コスト（定期点検費用＋補修費用＋リスク損失）の比較検討を実施した．検討に用いた値を表 1 に示す．損失リスクの入力値については、健全度判定ランク毎にイベントツリーを用いて算出した．劣化推移状態の算定及びコスト算定は、モンテカルロ法を用いた数値シミュレーションにより実施した．ここで、

モンテカルロ法を用いた理由は、劣化モデルの改良，ばらつきの評価方法の改良などに柔軟に対応が可能であるためである．試算結果を図 2 に示す．本事例はあくまで試算であり一般的な傾向を示すものである保証はないが、定期点検間隔をパラメータとしたときの 100 年後までの 10 年毎のトータルコストの比較である．これより、70 年程度の供用年数を考えると 15 年以上の長いスパンの点検間隔がコスト的に有利であるが、80 年、100 年の供用年数を想定した場合には、10 年程度の点検間隔が適切という結果になっている．

6. まとめ

本検討では、橋脚基礎構造物に対する健全性の経時変化を評価し、点検・補修戦略の最適案を求めるためのプロセスを具体例を挙げて示した．実際の適用に際しては、上述したように、劣化モデルの精度の向上など課題が残されている．しかし、「衝撃振動試験」の結果を用いた本提案手法の精度の向上，データの蓄積をはかることにより、実用に供する意思決定ツールに発展するものと考えている．

参考文献 1)西村昭彦、棚村史郎：既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究，鉄道総研報告 Vol. 3、 No. 8、 1989.

表 1. 検討に用いた値

劣化モデルのパラメータ	
現状の基礎構造物の健全度指標 κ_0	1.18
劣化速度 (/ 年)	0.0054
劣化速度のばらつき (/ 年)	0.01
定期点検間隔<パラメータ>	5年、10年、15年
定期点検結果の補修戦略 <本来パラメータであるが本検討ではFix>	
定期点検結果がA1のもの	大規模補修
定期点検結果がA2のもの	小規模補修
定期点検結果がBのもの	補修しない
定期点検実施時の入力情報	
定期点検実施時に要する一連の費用	300千円 / 回
補修工実施時の入力情報 <本来補修内容により異なるが本検討ではFix>	
(a) 小規模補修工事	
工事の概要	薬液注入による地盤補強
工事に要する一連の費用	6,000千円 / 回
補修工事による κ の向上値	0.05
(b) 大規模補修工事	
工事の概要	地盤補強のための薬液注入と鋼管杭受替
工事に要する一連の費用	30,000千円 / 回
補修工事による κ の向上値	0.30
危険な状態の補修遅れによる損失リスク入力情報	
健全度指標 κ の判定ランクがA1の状態の	
(a) 構造物が、1年間放置されているうちに機能損傷が発生したときの期待損失額	2.3億円
健全度指標 κ の判定ランクがA2の状態の	
(b) 構造物が、1年間放置されているうちに機能損傷が発生したときの期待損失額	0.4億円
健全度指標 κ の判定ランクがBの状態の	
(c) 構造物が、1年間放置されているうちに機能損傷が発生したときの期待損失額	0.04億円

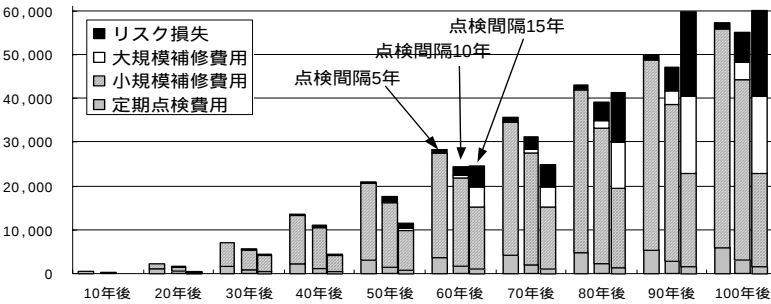


図 2.定期点検間隔毎のトータルコスト比較