

コンクリート構造物の点検結果を用いた劣化予測手法の検討

(財) 阪神高速道路管理技術センター調査研究部 ○川上 順子
 阪神高速道路(株) 技術管理室技術開発グループ 久利 良夫

1. はじめに

阪神高速道路は昭和39年(1964年)に阪神高速道路公団として2.3kmを供用開始して以来、平成18年で当初供用区間の供用年数が40年を超え、供用延長233.8kmに達している。今後、構造物の高齢化の進行による維持修繕費の増大が予想されたため、より合理的・効率的かつ将来を見通した長期的な観点から適切な構造物の維持修繕を行っていく必要がある。このことから、阪神高速道路では橋梁マネジメントシステム¹⁾の検討を行っている。本稿ではコンクリート構造物、特にコンクリート上部工の今後予想される劣化について、ストックされている点検結果の推移を確率論的手法を用いて分析を行うことにより予測する手法について検討を行った。

2. コンクリート構造物の劣化予測

2.1 対象構造物の資産状況

阪神高速道路の管理する上部工約10,000径間のうち、PC構造は20%、RC構造は9%となっている。多くは1970年以前あるいは、1980年前後に建設されており、供用後20年以上経過している径間が全体の7割程度を占める。

2.2 対象構造物の劣化指標

阪神高速では構造物の状態を「道路構造物の点検要領(H17.10)」(以降、「点検要領」と述す)を基準に、目視による定期点検によって把握している。点検要領では、損傷項目ごとに劣化度に応じてOK、C、B、A、Sのランク付けを行っている。点検要領に示されるPC桁およびRC桁の点検項目のうち、「ひび割れ」「はく離(欠落、鉄筋露出、鉄筋腐食を含む)」「漏水・遊離石灰」をそれぞれ一つのグループと考えて集計を行った。また、PC鋼材、シーズおよび定着部の露出、空洞、豆板、跡埋めコンクリートの損傷については劣化よりも当初の施工不良による場合が多く、前述の3つのグループとは劣化機構が異なると考え、一つのグループ「その他」として扱った。

2.3 劣化予測

(1) 機能水準

機能水準は、点検要領における判定区分(OK、C、B、A、S)をもとに、表-1に示すように設定

する。阪神高速ではこれまで劣化の程度や補修の要否を点検によって判断してきたことから、点検での判定区分を基に機能水準を設定した。

表-1 機能水準

判定区分	OK	C	B	A	S
機能水準	10~8.1	8.0~6.1	6.0~4.1	4.0~2.1	2.0~0.0

(2) 劣化曲線

劣化曲線は、点検結果から確率遷移行列(マルコフ行列)を算出し、その行列から平均劣化曲線(期待値パス)を算出することによって求める。劣化指標(点検要領における判定区分)は離散的なもので、劣化は「マルコフ過程」に従うものと仮定する。マルコフ過程に用いる確率遷移行列(マルコフ行列)は過去の点検結果から式(1)により算出する。劣化曲線として用いる平均劣化曲線(期待値パス)は、確率遷移行列から式(2)によって求める。

3. 劣化予測結果

3.1 劣化曲線の試算例

阪神高速道路の1つの路線(路線A)における点検データを基に算出した確率遷移行列から、供用後100年間の各損傷ランクの損傷確率の推移を求めた(図-1)。確率遷移行列は、1979年の供用開始時にすべての径間がOKランクであったと仮定し、1988年(供用後9年経過)点検時のそれぞれの損傷ランクに対する割合に達する確率として求めた。また、これらの結果から求められた平均劣化曲線(期待値パス)を図-2に示す。

3.2 劣化予測と点検結果の比較

前述の確率遷移行列は供用後9年までの点検結果で求めたことから、PC桁における次回点検(供用後13年)での期待値の予測値と実際の点検結果との比較を行った。予測値と点検結果の各損傷ランクの発生確率を比較すると、BランクとCランクにおいて割合が異なる結果となったが(表-2)、発生確率と機能水準の配点の中央値の積から求めた期待値で比較すると、ほぼ同等となった(表-3)。

3.3 路線による平均劣化曲線の比較

前述と同様の手法を用いて他の2路線(路線B、路線C)での平均劣化曲線を求め路線Aと

キーワード：コンクリート構造物、劣化予測、マルコフ過程

連絡先：〒541-0054 大阪市中央区南本町4-5-7(財)阪神高速道路管理技術センターTEL06-6244-6043 FAX 06-6244-9612

$$\begin{pmatrix} L_{n(OK)} \\ L_{n(C)} \\ L_{n(B)} \\ L_{n(A)} \\ L_{n(@)} \end{pmatrix} = (D)^n \begin{pmatrix} L_{0(OK)} \\ L_{0(C)} \\ L_{0(B)} \\ L_{0(A)} \\ L_{0(@)} \end{pmatrix} \quad (1)$$

n 年間にある部材の損傷レベル i の確率が $L_{0(i)}$ から $L_{n(i)}$ に変化したとすると、これを満たす D を算出する。

ここに、 $L_{j(i)}$: j 時点における損傷レベル i の確率
 D: 確率推移行列
 n: 年数

$$\text{確率 } P = \begin{bmatrix} p_{11}^{d(1)} & \dots & p_{1N}^{d(1)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{M1}^{d(M)} & \dots & p_{MN}^{d(M)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q & R \\ S & T \end{bmatrix} \quad \text{各ランクで} \quad L = \begin{pmatrix} L(1) \\ \vdots \\ L(N) \end{pmatrix} \quad (2)$$

推移確率の一期年 l 年 余寿命 $L = l \sum_{k=1}^{\infty} k Q^{k-1} R$

Q は最低ランク以外への推移確率 (N-1×N-1 行列)
 R は最低ランクへの推移確率 (N-1 次の列ベクトル)

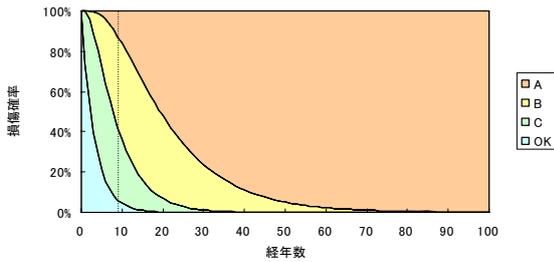


図-1 路線Aにおける確率推移グラフ

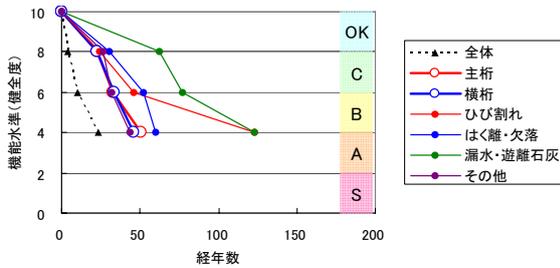


図-2 路線Aにおける平均劣化曲線 (期待値パス)

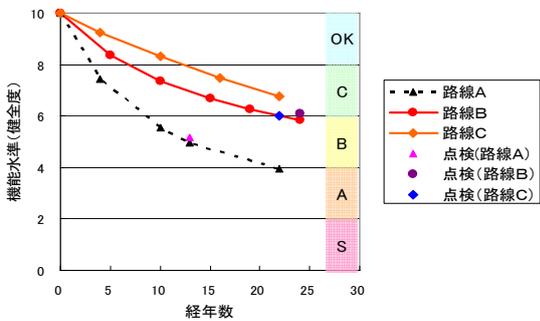


図-3 3路線における平均劣化曲線 (期待値パス)

表-2 供用後 13 年における発生確率の比較

ランク	マルコフ予測	点検結果	
	%	箇所数	%
S	0	0	0
A	27.22	72	36.73
B	50.47	56	28.57
C	20.55	55	28.06
OK	1.77	13	6.63

表-3 期待値 (発生確率×配点) の比較

ランク	配点	マルコフ予測	点検結果
S	1	0.000	0.000
A	3	0.817	1.102
B	5	2.524	1.429
C	7	1.439	1.964
OK	10	0.177	0.663
期待値		4.956	5.158

の比較を行ったところ (図-3), 路線により劣化曲線に相違が見られた. また期待値の予測値と点検結果比較を行ったところ, 誤差は 1 割前後 (路線 A: 4%, 路線 B: 5%, 路線 C: 11%) となった. これより, この手法により劣化の概ねの傾向を把握することは可能と考えられるが, 路線 C の例では実際の劣化が加速されたことに予測値が追従できていないことが考えられるため, 今後更なる精度向上を検討する.

4. まとめと今後の予定

本検討では, 代表路線を例にとり, コンクリート桁の劣化予測を行った. この予測は構造物の劣化を, 路線全体を一つの群としてマクロ的に評価したものである. 各路線の劣化曲線を用いて, 設定耐用期間内の路線ごとの補修計画 (補修の実施回数, 実施時期) を設定し, 将来的に必要な補修予算の推定が可能と考えられる. 個別箇所の劣化予測や補修時期の決定は点検を重ね, 各箇所の劣化度合いを判断の上実施する必要があるが, 今後はより補修時期の判断に合理性をもたせるため, 損傷項目, 損傷数やランクの組み合わせと実際の外観等の関係の分析により, 桁全体の損傷度の総合的な指標について検討, また, 建設時の工区, 補修時期や補修工種などの劣化予測のための必要となる群の検討を進めたいと考えている.

参考文献

閑上, 西林, 片山: 阪神高速道路における橋梁マネジメントシステムの検討について, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, VI-196, 2005.