

目視調査に基づく塩害劣化 RC 橋の簡易健全性評価法の比較検証

神戸大学大学院 学生員 ○上山 暁一 神戸大学大学院 正会員 森川 英典

神戸大学大学院 学生員 内海 卓也 (株) 鴻池組 正会員 狩野 裕之

1. はじめに

近年、塩害劣化した RC 橋梁が多数報告され問題となっており、維持管理の重要性が高まっている。しかし、橋梁の健全性評価は技術者の主観によるものが多く、評価基準の不確定さが問題となっている。よって、橋梁の健全性を客観的・合理的に評価するプロセスおよび手法の確立が求められている。そこで本研究では、目視調査に基づく手法 2 種類（以下、簡易評価法 A および簡易評価法 C と称す）を用いて橋梁の健全性評価を行い、これらの評価手法の有効性について検討した。

2. 各種簡易評価法および評価の概要

(1) 対象橋梁概要

目視調査は兵庫県内にある塩害劣化 RC 橋梁に対して、管理者によって行われた。対象橋梁の概要について表-1 に示す。簡易評価法 A のサンプルは 2006 年度では 18 人、2007 年度では 17 人、2008 年度では 17 人、また簡易評価法 C のサンプルは 2008 年度では 7 人（B 橋のみ 17 人）である。

(2) 簡易評価法 A 概要

図-1 に簡易評価法 A の調査フローを示す。簡易評価法 A では塩害で劣化した橋梁に特化した簡易評価を行うことを目的としており、塩害に起因する鉄筋腐食などの変状や橋梁の劣化状態、各種性能、総合的健全性を評価する。RCT 桁橋の場合は主桁のみ、RC 床版橋の場合は床版のみを対象としており、最も劣化が顕著に確認できる一部材に対して 1～5 の 5 段階で評価を行うものとなっている。

(3) 簡易評価法 C¹⁾ 概要

簡易評価法 C は塩害に限らず、汎用的な簡易評価に用いることを目的としており、鉄筋腐食のような変状だけではなく、初期欠陥や劣化を助長する因子についても評価を行う手法となっている。対象はすべての部材（主桁および床版）であり、各評価項目に関する劣化の程度と発生範囲を 4 段階で評価したものをを用いて式 (1)、式 (2) により各部材の評点 R_c を算定する。今回用いた評価項目を表-2 に示す。

$$R_c = \frac{\sum V_D}{\sum V_{D,MAX}} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

$$V_D = \sum B_i \times K_{2i} \times K_{3i} \quad (2)$$

ここで、 R_c ：評点、 V_D ：質問項目別の評価値の加算合計、 B_i ：表-2 に示した各評価項目の重み、 K_{2i} ：変状の程度（0.5～2.0）、 K_{3i} ：変状の発生範囲（0.5～2.0）、 $V_{D,MAX}$ ：想定される最大の劣化状態（全ての評価項目の K_{2i} 、 K_{3i} を 2.0 とした場合）

3. 簡易評価法 A についての検討

(1) 重回帰分析を用いた検討

2006 年度から 2008 年度までのサンプルを用いて R_1, R_2, R_3 を説明変数とした劣化状態 R_5

表-1 対象橋梁概要

橋梁名	橋梁概要			目視調査A			目視調査C
	橋梁形式	スパン長(m)	経過年数(年)	2006	2007	2008	2008
A橋	RCT橋	11	49	○	○	○	○
B橋	RCT橋	11	46	○	○	○	○
C橋	RCT橋	14	39	○	○	○	○
D橋	RCT橋	7	48	○	○	○	○
E橋	RC床版橋	8	48	○	○	○	○
F橋	RC床版橋	8	45	○	○	○	○
G橋	RC床版橋	8	48	○	○	○	○
H橋	RCT橋	8	52	○	○	○	○
I橋	RC床版橋	6	75	○	○	○	○
J橋	RC床版橋	8	42	○	○	○	○

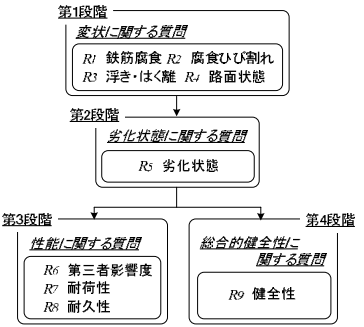


図-1 簡易評価法 A 調査フロー

表-2 簡易評価法 C 評価項目

評価項目	劣化、損傷、初期欠陥の種類	B_i
1	仕上がり不良：剥離、コールドジョイント、ジャンカ、空隙	1
2	施工不良に起因する初期ひび割れ：乾燥収縮ひび割れ等	1
3	供用荷重による過度の変形あるいは拘束に起因するひび割れ	3
4	流水などによる浸食、車両や船舶等の衝突による損傷	1
5	遊離石灰、浸出物、ポップアウト	1
6	ひび割れや打ち継ぎ目からの漏水	2
7	凍結箇所での凍結防止剤によるスケーリング	2
8	スターラップ、配筋筋の腐食による被覆不良	2
9	主鉄筋、PC鋼材、シースの腐食およびはく離・はく落	3

表-3 重回帰分析結果

全年							**:1%有意 *:5%有意	
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	偏相関	単相関	T 値	判定		
R_1 鉄筋腐食	0.20	0.24	0.25	0.75	4.92	**		
R_2 腐食ひび割れ	0.30	0.33	0.30	0.79	6.12	**		
R_3 浮き、はく落	0.29	0.34	0.33	0.79	6.70	**		
定数項	0.60				6.23	**		
決定係数	0.71	修正済決定係数	0.70					
$R_5 = 0.20 * R_1 + 0.30 * R_2 + 0.29 * R_3 + 0.60$								

キーワード 健全性評価、目視調査、塩害劣化、RC 橋実橋試験

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL078-881-1212

に関する重回帰分析を行った。その結果、図-1における第1段階から第2段階への評価に関する管理者の判断プロセスについて表-3に示す重回帰式が得られた。

(2) 回帰分析を用いた検討

2006年度から2008年度までのサンプルを用い、図-1における第2段階から第3段階および第2段階から第4段階への評価に関する管理者の判断プロセスについて重回帰分析を行ったところ、図-2に示すように高い相関性を示す結果が得られた。

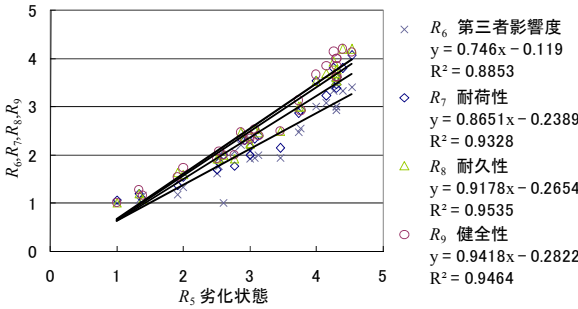


図-2 回帰分析結果

4. 簡易評価法Cについての検討

簡易評価法Cについてはサンプル数が少なく、平均値・標準偏差といった統計的データ処理を用いた検討は有用ではないため、各項目の最頻値を採用して各部材のRcを評価した。また、Rcの評価値に応じて図-3のように劣化等級が評価される。評価結果について表-4に示す。

5. 両者の比較検討

(1) 簡易評価法Aの比較指標について

表-3に示す重回帰式を用いて、R1~R3の評価値を入力値として算出されたR5の平均値（以下、区別のためにR5'と示す）を各橋梁の比較指標とした。重回帰式により算定されたR5'、およびR5'をR5の質問における劣化状態（劣化過程：潜伏期～劣化期後期の5段階評価）に相当するよう補正した結果を表-5に示す。

(2) 比較検討結果

表-4の劣化等級、および表-5の劣化過程の評価結果について図-4に示すように比較を行ったところ、両者は概ね同等の評価となり妥当な結果となっている。また、図-5に示すように簡易評価法Cにおける評点Rcの値を簡易評価法Aにおける1~5の評価に相当するよう調整し、R5'と比較した。ほとんどの橋梁において、塩害に起因する鉄筋腐食などの変状のみに着目し、最も劣化が顕著に確認できる一部材に対して評価を行う簡易評価法Aの方がより安全側の評価を与えている。しかし、初期欠陥が確認できる橋梁（D橋、E橋）については、塩害に起因する変状に加え、初期欠陥を評価対象としている簡易評価法Cの方が安全側の評価となっており、各評価手法の難易度および評価項目を反映した妥当な結果が得られた。

表-4 簡易評価法C評価結果

		Rc	劣化等級
A橋	主桁A	27%	V
	主桁B	27%	V
	主桁C	22%	IV
B橋	主桁A	21%	IV
	主桁B	16%	IV
	主桁C	5%	II
	主桁D	13%	III
C橋	主桁A	0%	I
	主桁B	0%	I
	主桁C	0%	I
D橋	床版A	33%	VI
	床版B	27%	V
	床版C	21%	IV
	床版D	30%	V
E橋	床版A	22%	IV
	床版B	31%	V
F橋	床版A	7%	II
	床版B	13%	III

表-5 簡易評価法A評価結果

	R5'	劣化過程
A橋	4.58	V
B橋	3.85	IV
C橋	1.32	I
D橋	4.45	IV
E橋	4.60	V
F橋	3.56	IV

簡易評価法A (劣化過程)	C橋			B橋 F橋 D橋	A橋 E橋
	I	II	III		
簡易評価法C (劣化等級)	I	II	III	VI	V or VI
	C橋			B橋 F橋	A橋 D橋 E橋

図-4 劣化過程および劣化等級の比較

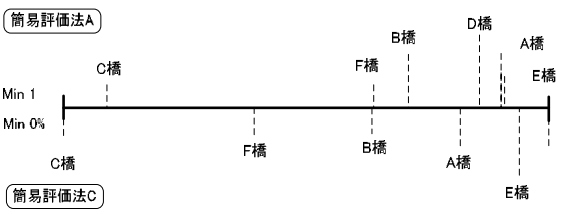


図-5 R5' および Rcによる比較

6. まとめ

本研究では塩害劣化 RC 橋を対象に実施した2種類の目視調査に基づく簡易健全性評価手法について検討を行った。その結果、塩害劣化に特化した手法である簡易評価法Aにおいて、変状の発生状況に応じた管理者の判断プロセスを表現する回帰式が得られた。また、汎用的な簡易評価手法である簡易評価法Cとの比較検証を行い、各々の評価手法の用途や評価項目に相応した妥当な評価結果が得られていることがわかった。

参考文献 1) 狩野裕之、森川英典：コンディショニングレーティング（評点法）に基づく劣化 RC 橋の簡易性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol25，No1，pp.1805-1810，2003.6.