

コンディションレーティング(評点法)を用いたRC構造物の簡易劣化評価に関する一考察

(株) 鴻池組 正会員 狩野 裕之
神戸大学 正会員 森川 英典

1. はじめに

RC 構造物の維持管理において、日常点検レベルで得られる外観変状から安全性を簡易にかつ、できるだけ定量的に得ることは日常点検の結果から詳細点検実施の要否を判断し、維持管理費用の適正化を図る上で重要であると考えられる。簡易に RC 構造物の安全性を評価する手法として、グレーディングの一手法である CEB コンディションレーティング(評点法)¹⁾がある。そこで、RC 橋梁上部工の塩害劣化について、日常点検を想定した構造物の外観変状をもとに評点を試算した結果と、同種構造物で材料劣化のばらつきを考慮して試算された詳細劣化予測結果^{2),3)}とを比較し、考察した。

2. 評点の計算方法^{1),2)}

評点の一般式は式 1 のように定義される。

$$V_D = B_i \times K_{1i} \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad (式 1)$$

- V_D : 劣化や損傷の種類別の評点
- B_i : 劣化や損傷の種類*i*に関する基本値で構造要素への安全性・耐久性の潜在的な影響度を表す(1~4の範囲)
- K_{1i} : 構造構成要素内における構造部材に関する因子で構成要素全体への安全性・耐久性にその部材が及ぼす影響度を表す(構造右構成要素全体で1程度になるように各部材に割り振る)
- K_{2i} : 程度や尺度に関する因子。0.5~2.0の4段階で表される。
- K_{3i} : 発生範囲に関する因子。0.5~2.0の4段階で表される
- K_{4i} : 構造物あるいは第三者に対する安全性に関して、その処置の緊急性を強調する因子。1~5の範囲で程度に応じ任意値に与えられる。

調査された構造物の評点 R_C は式 2 で定義される。

$$R_C = \frac{\sum V_D}{\sum V_{D.ref}} \times 100 = \frac{\sum_1^k K_{1m} \times M_m}{\sum_1^k K_{1m} \times M_{m.ref}} \times 100 \quad (式 2)$$

$$M_m = \sum_1^n B_i \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad (式 3)$$

$$M_{m.ref} = \sum_1^l B_i \times K_{2i} \times K_{3i} \times K_{4i} \quad (式 4)$$

- V_D : 対象部材や構造要素の劣化や損傷の種類別の評点を合計。
- $V_{D.ref}$: 劣化や損傷の有無にかかわらず、対象部材あるいは構造要素に発生しうる最高の劣化や損傷状態での値(参照値)。
- k : 対象となっている構造物の部材*m*の総数
- n : 部材*m*において発見された劣化や損傷のタイプ*i*の総数
- l : 部材*m*に発生しうる劣化や損傷のタイプの総数

調査結果から算定された評点に基づき、構造要素や部材の劣化等級が判定される。また、コンクリートや鋼材に深刻な劣化や損傷が見られない場合、式 5 により耐力低減係数 を算定し、式 6 により安全率 RF を評価

する手法が示されている。

$$\Phi = B_R \times e^{-a_R \times b_c \times V_R} \quad (式 5)$$

$$RF = \frac{\Phi * R_d - g_G * G_n}{g_Q * Q_n (1 + I)} \quad (式 6)$$

- Φ : 着目部材の耐力低減係数 (0.5(劣)~1.0以上(良))
- B_R : 着目部材の実際と設計の耐力の比率 ($B_R = R_a / R_d$)
- R_a : 構造物の実際の耐力, R_d : 着目部材の設計耐力
- R : 評点により判定された劣化等級に応じて与えられる値
- V_R : 試験調査結果の信頼性により与える変動係数
- c : 目標安全性指標, RF : 安全率, I : 衝撃係数
- G_n, Q_n, g_G, g_Q : 照査断面の死荷重, 活荷重およびその部分安全係数

3. 評点の試算

コンクリート標準示方書 [維持管理編] 制定資料に掲載されている加速期後期および劣化期の塩害劣化事例写真をもとに、以下の仮定に基づき日常点検を想定し、評点法を適用し R_C および R を試算した。

- ・ 事例写真は RC 梁部の劣化状況とした。
- ・ 写真では一部分の劣化状態しか確認できないが、梁全長の半分、半面の劣化状況とみなし、写真に見られる劣化状態が梁全体的に及んでいるとした。
- ・ 式 2 の参照値 $M_{m.ref}$ の定義は発生しうるすべての劣化や損傷の合計¹⁾であるが、構造物の立地環境等は不明のため、表 1 に示すもののみ考慮した。

写真 1, 図 1, 表 2, および写真 2, 図 2, 表 3 より算定された評点, R , 劣化等級を表 4 に示す。ただし、部材の重要度に関する因子 K_{1i} は梁部のみに着目しているため $K_{1i} = 1$ とした。

表 1 考慮した劣化、損傷項目^{1),2)}

劣化、損傷、初期欠陥の種類	
コン ク リ ー ト	仕上がり不良：剥離、成層、ジャンカ、空隙
	表面の微細なひび割れ、収縮、沈下、打継ぎに起因するひび割れ
	必要強度不足
	周辺状況から必要とされるかぶり深さの不足
	鉄筋位置に対する中性化深さ(pH<10)
	鉄筋位置に対する塩化物浸透深さ
	荷重による変形や拘束を強いられたことに起因するひび割れ
	物理的な損傷、浸食、衝突
	浸出物、ポップアウト
	コンクリートを通じての漏水
	ひび割れ、ジョイント、埋設物からの漏水
	表面の濡れ
	鉄筋腐食による被覆不良
	鉄筋、PC 鋼材、シースの腐食によるはく離・はく落
鉄 筋	スターラップの腐食
	主鉄筋の腐食、その断面での鋼材部分の減少 (もし照査断面の場合: $K_4 > 2$)



写真1 加速期後期の塩害劣化例

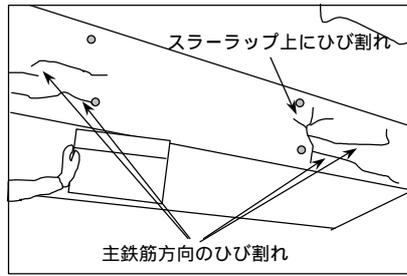


図1 加速期後期の塩害劣化例

表2 加速期後期の M_m の計算結果

劣化、損傷の種類	B_i	K_{2i}	K_{3i}	K_{4i}	V_D/K_{1i}	M_m
鉄筋腐食による被覆不良	2	1.5	1.0	1.0	3.0	
鉄筋の腐食による離・はく落	3	0.5	1.5	1.0	2.25	5.25



写真2 劣化期の塩害劣化例

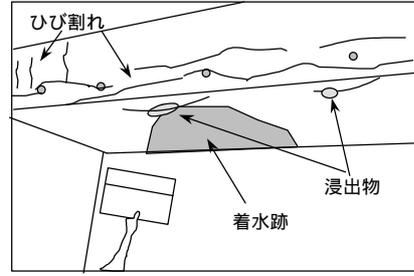


図2 劣化期の塩害劣化例

表3 劣化期の M_m の計算結果

劣化、損傷の種類	B_i	K_{2i}	K_{3i}	K_{4i}	V_D/K_{1i}	M_m
浸出物、ポップアウト	1	0.5	0.5	1.0	0.25	
鉄筋腐食による被覆不良	2	1.5	1.5	1.0	4.5	
鉄筋の腐食による離・はく落	3	0.5	2.0	1.0	3.0	7.75

表4 評点法試算結果^{1),2)} および耐力低下率^{2),3)}

劣化過程	評点法評価 ^{1),2)}		詳細予測結果 ^{2),3)} から推定	
	評点 R_C (%)	R (括弧内は劣化等級)	経過年数	耐力低下率 (平均値 ~ +1)
加速期後期	7.72	0.4 () 又は 0.5 ()	15年	10 ~ 30%
劣化期	11.40	0.5 ()	19年	20 ~ 45%

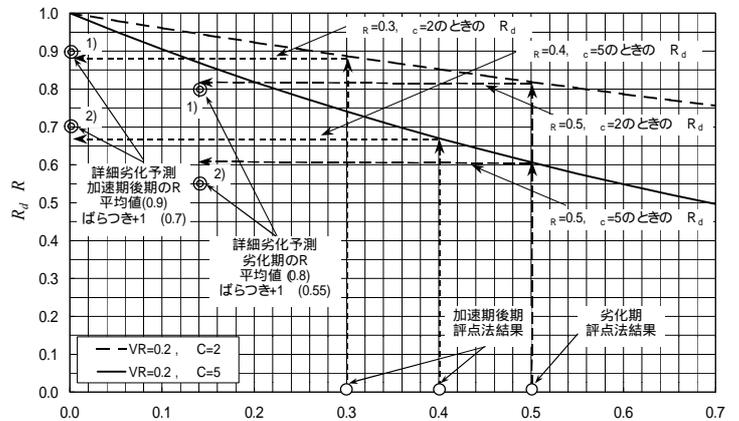


図3 比較結果

4. 評点法での評価と詳細劣化予測結果の比較と考察

式6の R_F 算定式で部分安全係数、衝撃係数を考慮しないものは、詳細劣化予測結果^{2),3)}で材料特性を考慮して求めた耐力 R を用いた安全率 F の算定式(式7)と同義となるため、両式中の R_d と R の比較を試みた。比較は梁部材の曲げモーメントについて行った。外観上の劣化状態と詳細劣化予測および実際の耐力低下率の関係は明確とはいえないが、同構造物で劣化評価したものとして表4のように条件を仮定した。 R は材料特性の平均値およびばらつきを安全側に+1考慮した。ただし、 V_R は詳細劣化予測の条件^{2),3)}と同様に20%、また、 c はISO/CD13822 構造物設計規準 - 既存構造物の評価における終局限界状態に対する目標安全指標の範囲(2.3 ~ 4.3)より2 ~ 5とした。

$$F = \frac{R - D}{L} \quad (式7)$$

F :安全率, R :劣化による性能低下を考慮した耐力, D :死荷重, L :活荷重

図3の比較結果の考察として次のことがあげられる。

1) 評点法による R_d と詳細劣化予測結果での R の平

均値(図3中の1))とを比較すると、両者はほぼ同じが R_d が安全側の評価となっているが、劣化期において c が大きい(=2;危険側)場合、 R_d は R よりやや大きく、危険側の評価となっている。

2) R_d と R においてばらつきを+1考慮した場合(図3中の2))とを比較した場合、加速期後期で R 、 c とともに安全側の値($R_s=0.4, c=5$)とした場合以外、 R_d は R より危険側の評価となっている。

以上より、多くの仮定のもとではあるが、評点法による安全性評価手法の概要が把握できた。本手法は実構造物での材料劣化のばらつきを考慮した耐力低減係数算定パラメータの適正化や外観劣化と耐荷力低下に関する知見を適用することにより、簡易に構造物の安全性を推定する一手法として有用であると考えられる。

参考文献

- 1)CEB Bulletin 243:Strategies For Testing and Assessment of Concrete Structures Guidance Report,1998.5.
- 2)(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部:「コンクリート構造物の高性能化研究委員会」報告書,2001.4
- 3)澤田,狩野,森川:鉄筋コンクリート橋の塩害劣化を考慮した性能評価に関する一考察,コンクリート工学年次論文集,2002.6.