

鉄筋腐食による劣化予測を基にした評点化による RC 橋の性能評価

神戸大学大学院 学生員 ○尾崎 健

神戸大学工学部 正会員 森川 英典

1. 目的

本研究では、性能照査型の維持管理を合理的に行うことを目的とし、鉄筋腐食を主要因とする RC 橋上部工の性能低下を評点化手法により比較的簡便に評価できる方法を試みた。また実際に、厳しい塩害環境下にある既設橋梁の現時点での評価と今後の予測を行い、別途行った信頼性解析およびアンケート調査による評価と比較した。

2. 劣化予測

潜伏期は塩害の場合、塩化物イオンの拡散はFickの第2法則に従う拡散方程式により劣化予測を行うものとした。また、中性化の場合、中性化の進行は $\sqrt{t}$ 則により予測するものとした。

進展期の期間を決定する要因である鋼材の腐食速度は、既往の研究より一般的な環境（温度 20℃程度、相対湿度 60～70%程度）では、 $2 \times 10^{-3} \text{mm/year}$ 程度¹⁾とされており、これを用いた。

加速期および劣化期の鋼材腐食の進行予測は、ここでは腐食量とひび割れ幅と腐食速度の間に図-1に示すような関係²⁾があるとして、鉄筋の断面減少率に着目した劣化進行予測を行った。ここで示す係数 a や α は既往の研究より近似的に求めた式を用いた。

腐食速度は、ある一定値以上にはならないと考えられるので、著者らが行った鉄筋を塩水に浸漬する促進腐食実験（一般的な環境で 5%塩水の1日おき乾湿サイクルを約1年間行った）の結果より得られた平均腐食速度 $2.81 \text{mg/mm}^2/\text{year}$ を上限とした。

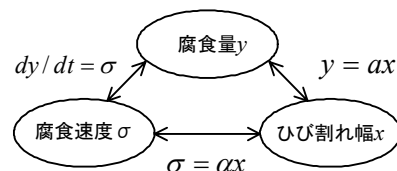


図-1 鉄筋腐食とひび割れ幅の関係

3. 性能評価式

ここでは耐荷性能、使用性能の2性能を対象に評価を行った。各性能の限界状態について表-1のように設定した。評価は健全な状態を100ポイントとし、性能低下が進むにつれてポイントが低下するように設定した。評価式は以下の式となる。

$$R_1 = K_5 [100 - K_1 \{ W_{ini} K_{2bc} + (W_{pro} + W_{act}) K_{2ac} \}] \quad (1)$$

ここで、 R_1 ：耐荷性能評価値、 K_1 ：劣化機構による影響の大きさを表す係数、最大値は1.0、 K_{2bc} ：鉄筋腐食発生前の劣化進行状態を表す係数、最大値は1.0、 K_{2ac} ：鉄筋腐食発生後の劣化進行状態を表す係数、 K_5 ：断面力の再配分を考慮する係数、 W_{ini} ・ W_{pro} ・ W_{act} ：それぞれ潜伏期、進展期、加速期以降における評価値の重み付け係数である。

4. 点検による予測の修正と安全係数

点検結果より得られた劣化状況が、事前の予測と異なっている場合には、原因を検討して劣化予測の修正を行う必要がある。コンクリート構造物の維持管理において重要な点検について、その難易度から表-2のようにレベル分けした。レベルの難易度

は技術的な面（特殊な測定器具など）と経済的な面（点検のための交通規制による影響など）を考慮した。個々の構造物が有するそれぞれの状況により、行うことのできる点検により段階的に劣化予測を修正できるようにする必要がある。点検による情報量が多いほうが信頼性の高い劣化予測になるが、一方、点検データが少ない場合には、危険側の評価にならないよう、適切な安全係数を設定しておく必要がある¹⁾。

表-2 点検レベル

難易度	点検レベル	点検項目
低	I	簡易目視
↓	II	ひび割れ幅測定・打音検査・アンケート
↓	III	超音波試験・赤外線カメラ
↓	IV	自然電位・分極抵抗測定
↓	V	コア試験
高	VI	載荷試験・鉄筋採取

キーワード RC 橋、鉄筋腐食、劣化予測、評点法、性能評価

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学部 TEL：078-803-6027

5. 実橋梁における評価

本研究では、厳しい塩害環境（海岸から約 50m）で 44 年間供用されている実橋梁（1 径間の RC 単純 T 桁橋）を対象に点検を行った。この橋梁は 3 主桁で、下流より A・B・C 桁とする。外観から A 桁・B 桁は加速期後期、C 桁は加速期前期の劣化状態¹⁾であるといえる。

対象橋梁について、現場での点検が全く行われなかった場合と、実際に点検を行い、得られた情報が少ない場合と、より多い場合の 3 ケースに分け、C 桁の使用性能を例に、それぞれの評点化による劣化予測を行った。3 つの想定ケースはそれぞれ、Case1 は点検前、Case2 は点検によりひび割れ幅データが得られた場合、Case3 はひび割れ幅と塩化物イオンの濃度の深さ方向の分布より拡散係数と表面塩化物量が得られた場合である。

点検時に、かぶりのはく落によりひび割れ幅が測定できない箇所があった。しかし、はく落箇所が部材の中で最も劣化の顕著な部分であるので、はく落に相当するひび割れ幅（以下、換算ひび割れ幅）を設定することとし、露出している鉄筋 1 本をひび割れ幅 20mm で換算した。

評価の結果を図-2 に示す。Case2 でひび割れ幅の修正を行うことにより、限界到達年次の精度は急激に向上している。ただし、ひび割れ幅による劣化予測の修正は進展期以前の劣化予測とは関与しないため、Case3 よりも Case2 の方が限界到達までの期間が長い結果となっている。

表-3 に示すように安全性指標 β による詳細法³⁾と Case2 について比較すると、A・B・C 桁で、寿命に達する順序が異なっている。これは、A 桁・B 桁での換算ひび割れ幅の設定が小さすぎたことが原因である可能性がある。

そこで、逆に A・B 桁と C 桁の寿命の順序が詳細法と合致するように、はく落の換算ひび割れ幅を調整すると 33mm 程度となった。この評価結果は表-3 の括弧内に示す。その結果、全桁の平均値で比較した場合にはほぼ対応がとれている。

表-4 に本手法で得られた点検時の評価値（換算ひび割れ幅は 33mm）と、表-5 に橋梁管理者 6 名に対しアンケートを行った結果（耐荷性や使用性の点数）を示す。耐荷性については、橋梁管理者の平均値でみると、本手法による評価よりもかなり安全側の評価をしていることが分かる。最も高い点が本手法での結果と最も近い結果となった。寿命については、全桁の平均値でほぼ対応がとれる結果となった。

6. まとめ

ひび割れが進行した RC 橋を評価するにあたっては、点検時にひび割れ幅のデータを得ることにより、劣化予測の精度を格段に向上させることができた。また、はく落が起きている箇所ではひび割れ幅 33mm 以上で換算することが妥当であった。橋梁管理者に対するアンケートの結果と比較し、管理者は、本手法において設定した性能限界よりかなり安全側の評価基準で判断しているといえた。

謝辞 現場試験でご協力をいただきました兵庫県県土整備部に感謝いたします。

参考文献

1) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]に準拠した維持管理マニュアル(その 1)および関連資料，2003.11.

2) 岸雅之・森川英典・大山慎一：鉄筋腐食劣化を考慮した RC 部材の性能評価の評点化手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.1，pp.1171-1176，2001.7.

3) 小島大祐，森川英典，森田祐介：実橋における変状を考慮した塩害劣化 RC 橋の劣化予測と安全性評価，土木学会関西支部年次学術講演概要，V-24，2004.5.

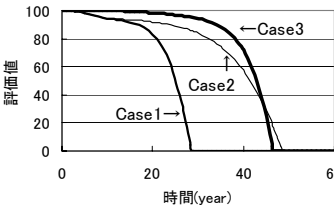


図-2 評価結果の比較

表-3 詳細法⁷⁾との寿命比較

	耐荷性能(年)	使用性能(年)	詳細法(年)
	Case2	Case2	
A桁	57.5 (44.3)	48.7 (44.7)	46.6
B桁	59.9 (46.3)	50.5 (46.8)	47.9
C桁	57.9	49.2	64.3
平均値	58.4 (49.6)	49.5 (47.0)	52.9

※()内の数値は換算ひび割れ幅補正による

表-4 点検時の点数と寿命 (Case3)

	耐荷性能(点)	使用性能(点)	耐荷性能寿命(年)	使用性能寿命(年)
A桁	68.7	10.1	49.5	44.4
B桁	70.5	30.5	49.6	45.4
C桁	70.9	41.5	52.0	46.8
平均値	70.0	27.4	50.3	45.6

表-5 アンケートの結果

	耐荷性(点)			使用性(点)			寿命(年)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
A桁	29.2	60.0	15.0	27.5	50.0	10.0	49.7	55.0	46.0
B桁	29.2	65.0	15.0	26.7	50.0	10.0			
C桁	43.3	70.0	30.0	40.0	60.0	20.0			