

神戸大学工学部

学生員 ○岸 雅之

神戸大学工学部

正 員 森川英典

1.はじめに 近年、コンクリート構造物に対する維持管理の重要性が高まってきている。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 部材の耐荷性能低下を Znidaric による考え方をベースとした評点化手法によって比較的簡便に評価できる手法を構築した。本手法では点検時の耐荷性能のみならず、それ以降の性能低下を時刻歴で予測するとともに、構造物の耐荷性能に関する耐久性能についても評価する。また、この手法を実構造物 RC 部材に対し適用し、点検結果に対する適合性の検証を行いつつ点検後の性能低下を評価した。

2.評点化手法による RC 部材の耐荷性能およびその耐久性能評価の概要

本研究においては RC 構造物の経年劣化による耐荷性能の低下を評価するが、劣化要因として塩害および中性化といった鉄筋腐食に大きな影響を与える要因を考慮し、曲げ耐力を対象として評価を行うものとした。またこれらの評価は劣化進行の状態区分である潜伏期、進展期および加速期以降についてそれぞれの劣化予測を基に行うこととした。式(1)に耐荷性能の評点評価式を示す。この手法は鉄筋腐食以前については、例えば中性化であれば中性化深さの時間的な変化を、鉄筋腐食以降であれば鉄筋断面減少率の経時変化を追い、それぞれを K_{2bc} あるいは K_{2ac} に限界値に対する割合として反映させることによって評価を行う。

$$R_{loa} = 100 - K_1 \{ K_{2bc} W_{ini} + K_{2ac} (W_{pro} + W_{act}) \} \quad (1)$$

ここに、 R_{loa} : 耐荷性能評価値 (100 ポイントを健全状態とする)、

K_1 : 劣化機構による影響の度合いを表す係数 (ここでは中性化、塩害ともに $K_1=1.0$)、

K_{2bc} , K_{2ac} : それぞれ鉄筋腐食以前およびそれ以降の劣化進行状態を表す係数 (ただし K_{2bc} の最大値は 1.0 とする)、

W_{ini} , W_{pro} , W_{act} : それぞれ潜伏期、進展期および加速期以降の進行区分重みづけ係数。

この手法では最も健全な状態を 100 ポイントとし、性能低下が進行するにつれて出力される評価値の値も減少していく。その値の減少速度は各劣化進行区分ごとの重みづけ係数 W によって調節することができるが、例えば RC 桁の鉄筋腐食による曲げ耐力低下に関する既往の解析結果²⁾における鉄筋断面減少率と耐力減少率の係数に適合させた場合、 $W_{ini}=W_{pro}=0.79$, $W_{act}=34.4$ とすることができる。

本研究においては耐久性能の評価は鉄筋腐食発生以前については鉄筋腐食の発生時点を限界とし、発生以降についてはその構造物に要求されるレベル、あるいはコンクリートの剥離・剥落が発生する加速期終点を限界状態とする。その評価はそれらの状態に達するまでの期間の、供用終了時あるいは設計耐用期間の終点までの残存期間に対する割合で表す。式(2)に鉄筋腐食以前についての耐久性能評価式を示す。鉄筋腐食以後についても評価手法のコンセプトは同様である。ただし限界状態が異なり、その評価値は R'_{dur} と表現する。耐久性能についても健全な場合を 100 ポイントとし、その余裕が小さいほど評価値も小さくなる。

$$R_{dur} = \frac{T_{corr} - t}{T_{res}} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 R_{dur} : 耐久性能評価値。100 ポイントを健全状態とする、

T_{corr} : 供用開始から鉄筋腐食が発生するまでの期間 (year)、

t : 供用開始から点検時までの期間 (year)、

T_{res} : 供用終了時あるいは設計耐用期間の終点までの残存期間 (year)。

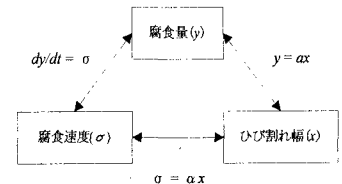


図-1 加速期以降における劣化予測の要因

3.劣化予測

以上の評価手法は、適切な劣化予測を行うことを前提に成り立っており、潜伏期から加速期以降までについてそれぞれ異なった手法で行うが、それらは時刻歴として表現可能

Hidenori MORIKAWA, Tadayuki KISHI

な予測手法である必要がある。例えば加速期以降の劣化予測は鉄筋の断面減少率を指標とするが、それらは図-1に示すような三者の関係³⁾を用いることで時刻歴として表現できる。劣化予測結果は K_{2bc} あるいは K_{2ac} に反映される、これらは限界値に対する点検時の値の割合で表現される。例えば K_{2ac} は鉄筋腐食発生以降の劣化進行状態を表す係数であるが、その値は式(3)のように表現する。

$$K_{2ac} = \frac{V_{red}}{V_{r,max}} \tag{3}$$

ここに、 V_{red} ：鉄筋の断面減少率、 $V_{r,max}$ ：加速期の終点に対応する鉄筋の断面減少率。

また、進展期の劣化予測を行うことは現時点では非常に困難であり、本研究においてはひび割れ発生前の進展期についても現実には存在しない微小なひび割れを仮定することで図-1の関係が成立するとした。

4. 評点化手法による実RC部材の耐荷性能およびその耐久性能評価

以上の手法を実RC部材に対して適用する。本稿で対象とする部材はトンネル内付属天井板RC部材であり、上部から局所的な水の供給、下部からは車両のCO₂排出による中性化が進行している。構造条件は表-1の通りである。また排ガスによる目詰まりのためひび割れを確認することができず、点検は中性化深さ、分極抵抗(腐食速度)およびはつり出しによる鉄筋重量減少率について行った。これらの点検より表-2のような結果が得られた。また、はつり出しを行った箇所は腐食速度の最も大きい箇所であったため、部材全体の平均腐食速度は0.2376mg/mm²/yearと計算される。ここから図-1に示すような関係を用いて断面減少率などを時間の関数として求めることができる。

ただし問題点として、本研究による評価モデルでは腐食速度がひび割れ幅の拡大とともに際限なく増加するということが挙げられる。したがって、腐食速度の上限を定めない場合(Case1)、鉄筋を海水中に浸漬させた場合の腐食速度である1.02 mg/mm²/year²⁾を上限とした場合(Case2)、Case2の上限値を1.5倍した場合(Case3)、2.0倍した場合(Case4)の4種類の評価を行った。ここでは一例として特にCase2について、その評価およびひび割れ幅、腐食速度、腐食量の時刻歴を図-2に示す。ただしここでは進行区分重み付け係数はそれぞれ $W_{int}=W_{pro}=0.79$ 、 $W_{act}=34.4$ とした。また、鉄筋腐食以降についての耐久性能の限界を加速期終点とし、断面減少率20%に設定した。

表-3の評価結果に示されるように、断面減少率20%程度までの評価であれば腐食速度の上限値は大きく影響しないということがいえる。しかし断面減少率40%時点までの評価を行うのであれば大きなばらつきが生じ、腐食速度の上限設定が大きな意味を持つことになる。

5. まとめ 本稿では、評点化することによって耐荷性能およびそれに関する耐久性能の評価を比較的簡便に行うための基本的な手法を構築した。この手法を用いることで簡易的に点検時の耐荷性能とそれに関する耐久性能を同時に評価し、また点検時以降の性能低下の時刻歴を予測することが出来る。

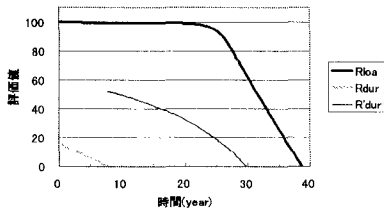
【参考文献】1)CEB Bulletin 243：Strategies For Testing and Assessment of Concrete Structures Guidance Report, 1998.5
2)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の構造・耐久設計境界問題研究委員会報告書, 1998.7
3)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書, 1998.10

表-1 構造条件

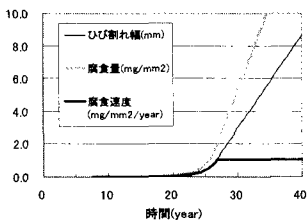
全般	
点検年次	供用開始後24年
設計耐用期間	50年間
コンクリート	
かぶり	30mm
W/C	0.8
圧縮強度	13.5N/mm ²
鉄筋(D13)	
鉄筋径	12.7mm
公称断面積	1.267cm ²
単位体積重量	7.86mg/mm ³

表-2 点検結果

中性化深さ (mm)	分極抵抗最小 値(kΩcm ²)	鉄筋断面減少 率
53.0	32.0	0.0367
鉄筋腐食量 (mg/mm ³)	ひび割れ幅 (mm)	腐食速度 (mg/mm ² /year)
0.9150	0.5097	0.4863



(a) 耐荷性能および耐久性能の経時変化



(b) ひび割れ幅などの時刻歴

図-2 case2の耐荷性能評価

表-3 評価結果

	点検時		最大腐食速度到達時点 (year)	加速期終点 (year)	断面減少率 40%時点 (year)
	R_{loa}	R'_{dur}			
case1	96.1	17.5	なし	28.5	29.9
case2		22.1	26.7	29.8	34.7
case3		18.8	27.5	28.9	32.2
case4		17.7	28.1	28.6	31.1