

第 部門

経時的な点検に基づいた塩害劣化 RC 橋の劣化予測および安全性評価

神戸大学工学部 学生員 ○内海 卓也

神戸大学大学院 正会員 森川 英典

1.はじめに：各種ある劣化の中でも塩害は加速期，劣化期において劣化速度の増大による著しい性能低下が起ることが確認されている．また，すでに加速期に入っている橋に対して，劣化の進行を一時点での点検により把握することは困難であり，劣化予測も危険側の予測になりかねない．本研究では加速期に入っている塩害劣化 RC 橋に対し経時的な点検により，それらの劣化の進行を捉え，反映し，現状に即した劣化予測を行った．

2.現場試験概要：本研究では，2006 年，2007 年において，兵庫県内にある塩害劣化 RC 橋の A 橋において，現場試験を行った．対象橋梁断面図を図-1 に，対象橋梁概要を表-1 に，現場試験内容を表-2 に示す．経年での現場試験より，A 桁においては劣化の進行が速く，はく落，浮き，腐食ひび割れが確認できた．また，B，C，D 桁に関しては，はく落，浮き，腐食ひび割れが端部において若干確認できるものの，比較的健全であることが考えられる．この結果より B，C，D 桁に関しては経年での劣化の進行があまり確認できないため，本研究においては A 桁のみを対象として行った．経年で行った現場試験としては，ひび割れ，浮き調査，鉄筋腐食モニタリングがあり，これらの経年での変化について考察を行った．ひび割れ，浮き調査より得られた，A 桁における浮き，はく落分布図を図-2 に示す．この図のように，単年での浮きの増加が顕著に現れており，下流側，上流側において劣化の進行の度合いが異なっていることが確認できる．また，浮きの進行により，上流側でカソード領域に，下流側でアノード領域になっていることが考えられる．このことより，今後の浮きの進展として，下流側において中央方向に進展していくことが予測され，劣化の進行において浮きが支配的になってくることが考えられる．

表-1 対象橋梁概要

所在地	兵庫県洲本市
架設年次(年)	1962
2007年調査時の橋齢(年)	45
設計荷重	TL-20
上部構造形式	RC単純T桁橋
径間割	単径間
支間長(m)	10.6
主桁数	4主桁
海岸線からの距離(m)	約15

表-2 現場試験内容

現場試験項目	2006年	2007年
ひび割れ・浮き調査	○	○
鉄筋腐食モニタリング	○	○
超音波試験	○	
コア採取	○	
部材寸法測定	○	
RCレーダー測定	○	

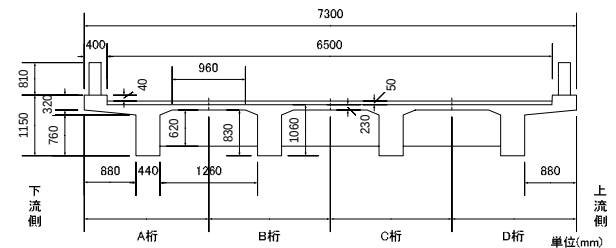


図-1 対象橋梁断面図

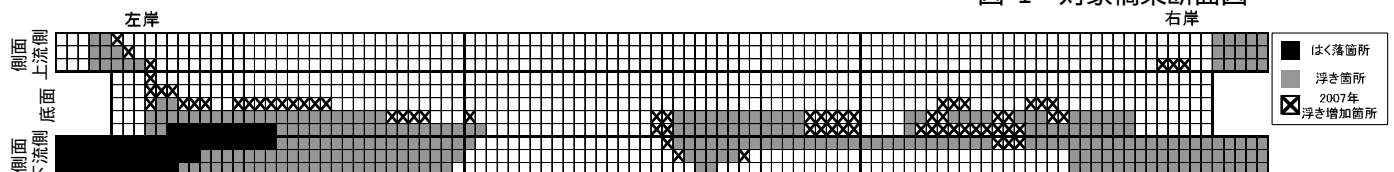


図-2 浮き，はく落分布図

3.劣化予測：本研究では劣化区分を潜伏期，進展期，加速期，劣化期の4つに分け，劣化区分ごとに劣化予測手法を構築し，劣化評価に関わるパラメータの不確定性を考慮して，供用開始時からの経時的な劣化予測を，モンテカルロシミュレーションにより行った．またその際に，各劣化区分は連続であると考え，連続性を考慮した劣化予測を行った．劣化曲線概要を図-3 に，劣化予測において用いる劣化因子の初期設定を表-3 に示す．潜伏期においては Fick の拡散方程式を用いてコンクリート中の塩分量が鋼材位置における塩化物イオンの鉄筋腐食発生限界濃度 $C_{lim}=1.2(\text{kg}/\text{m}^3)$ に至る時点として評価を行い，進展期では潜伏期が終了してから加速期の初期腐食速度に達するまでの期間とし，加速期以降では図-4 の関係¹⁾を用い劣化予測を行った．また，これらよ

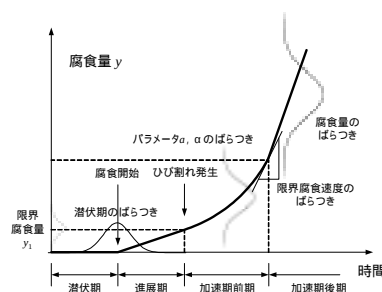


図-3 劣化曲線の概略

表-3 劣化因子の初期設定

		A桁	B桁	C桁	D桁
かぶり(mm)	平均値	89.9			
	標準偏差	7.9			
表面塩化物量(kg/m ³)	平均値	10.04	3.14	3.95	3.93
	標準偏差	1.14	1.14	1.14	1.14
初期含有塩化物量(kg/m ³)	平均値	0.0181			
	標準偏差	-			
拡散係数(cm ² /year)	平均値	5.13	2.2	2.81	3.03
	標準偏差	1.1	1.1	1.1	1.1
算出式		$y_1=25 \times 10^{-4} \cdot d^2$			
		d: かぶり			
限界腐食量(mg/mm ²)	平均値	0.646			
	標準偏差	0.216			
限界腐食速度(mg/mm ² /year)	平均値	0.646			
	標準偏差	0.216			

劣化曲線概要を図-3 に，劣化予測において用いる劣化因子の初期設定を表-3 に示す．潜伏期においては Fick の拡散方程式を用いてコンクリート中の塩分量が鋼材位置における塩化物イオンの鉄筋腐食発生限界濃度 $C_{lim}=1.2(\text{kg}/\text{m}^3)$ に至る時点として評価を行い，進展期では潜伏期が終了してから加速期の初期腐食速度に達するまでの期間とし，加速期以降では図-4 の関係¹⁾を用い劣化予測を行った．また，これらよ

り得られた劣化曲線を，点検結果をフィードバックすることにより，現状に即した劣化曲線へと補正を行った．補正の流れを図-5 に示す．補正を行う際，点検結果より上流側，下流側での劣化の進行度合いが異なることにより，腐食量を推定する際に，底面，側面(上流側，下流側)での分割を行い，合計 9 つの領域において劣化予測を行った．またこの結果を用い，点検結果より今後予想される，浮きの進行およびはく落を考慮した劣化予測を行った．浮き，はく落を考慮した劣化予測の流れを図-6 に示す．これらの設定は，経年で点検結果に基づいて行った．

浮き，はく落を考慮した劣化予測結果を先ほどの劣化予測結果とあわせて，点検時点において劣化の進行が特徴的だった左岸下流，中央上流でのシミュレーション結果(1000 パターン中 10 パターン)を図-7 に示す．このように，点検時点において，浮き，はく落の情報が多く存在した左岸下流側においては，同じような形をとる結果となった．また，浮き，はく落の情報がなかった中央上流に関しては，浮き，はく落を考慮することにより，腐食量が大幅に増加する結果となった．しかし，浮き，はく落を考慮した劣化予測では，全領域において浮き，はく落が必ず発生するという仮定の下で行った劣化予測であるので，安全側の予測となることが考えられる．また，点検結果のように上流側において，現時点でカソード領域が形成されている可能性があり，今後も点検を重ねることにより，アノード，カソード領域の推移を把握し，劣化予測に考慮する必要がある．

4.安全性評価：図-8 に示すように，劣化予測結果に基づき耐力力，断面力を算出し，それらの相関を考慮し，安全性指標 β の経年変化による安全性評価を行った．結果を図-9 に示す．このように浮き，はく落考慮の有無にかかわらず A 桁においての β の低下が著しく，浮き，はく落を考慮すると，低下の傾きが大きくなることが確認できる．これは，はく落による著しい腐食量増加による安全性の低下を表現できていると考えられる．

5.まとめ：本研究では，経年で点検結果に基づき，劣化の進行の特徴を捉えた劣化予測を行った．その結果，現状に即した劣化予測結果を得ることができた．また，今後も対象橋梁において継続的に点検を行い，アノード，カソード領域の状況変化をとり入れた劣化予測を行う必要があると考えられる．

参考文献：1) 森川英典・森田祐介・小島大祐：不確定性を考慮した塩害劣化 RC 橋における劣化および安全性の評価，土木学会論文集 E, Vol.62, No.1, 2006.2.

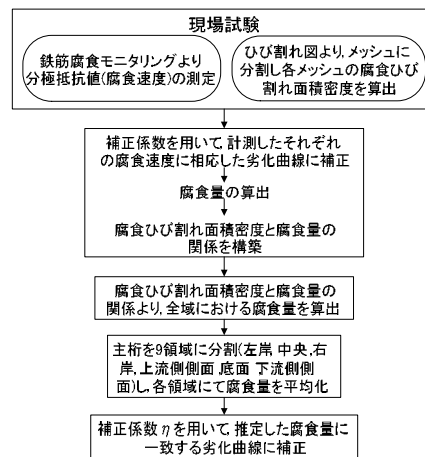


図-5 劣化曲線補正の流れ

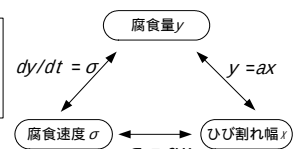


図-6 浮き，はく落を考慮した劣化予測

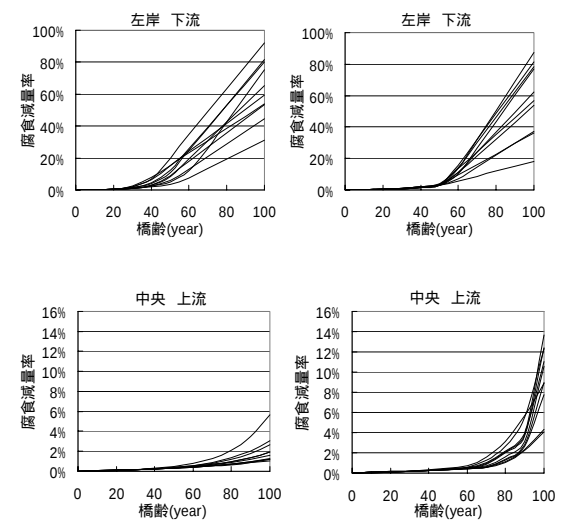


図-7 劣化予測結果(左：浮き，はく落考慮なし 右：浮き，はく落考慮)

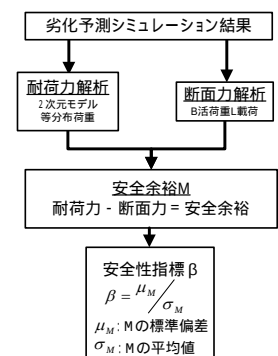


図-8 安全性評価の流れ

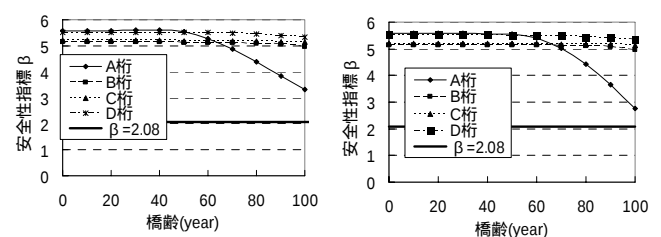


図-9 安全性評価結果