

1409 複合劣化した鉄道 RC 高架橋柱の劣化予測

正[土]○松本 光矢 正[土]曾我部 正道 正[土]轟 俊太郎 正[土]谷村 幸裕((財)鉄道総合技術研究所)

正[土]松橋 宏治 (パシフィックコンサルタンツ)

Deterioration Prediction about Combined Deterioration of Railway Viaduct Columns

Teruya MATSUMOTO, Masamichi SOGABE, Shuntaro TODOROKI, Ykihiro TANIMURA
 Railway Technical Research Institute 2-8-38,Hikari-cho,Kokkubunji City
 Kouji MATSUHASHI Pacific Consultants Co.

There are a lot of deteriorated RC railway viaduct due to combined deterioration of carbonation and salt damage caused by cover concrete lack and initially-induced chloride ion that exceeds corrosion limit. In this study, we collected the statistical data concerning differences of cover of reinforcement bar, carbonation and initially-induced chloride ion of the RC viaduct used for 32 years or more, as well as quantifying deterioration rate with mesh division methods of visual inspection. We performed deterioration prediction simulation using the Maintenance Standards for Railway Structures and Commentary and showed the incensement of deterioration rate.

Key Words : railway viaduct, salt damage, carbonation, deterioration rate, deterioration prediction simulation

1. はじめに

海砂の除塩不足に起因する内的塩害は、鉄筋コンクリート（以下RCという）構造物の代表的な変状の原因となっている。また、内的塩害は中性化と複合して構造物に影響を与えることが多い。

著者らは既に鉄道構造物に関する鉄筋のかぶりの統計的な分析¹⁾、中性化²⁾や外的塩害（飛来塩分による塩害）³⁾に関する統計的な分析を実施し、そのばらつきを定量的に明らかにしてきたが、内的塩害の実態については必ずしも十分な定量的なデータが収集されていない。

また、近年ではライフサイクルコストや予防保全の観点から、定量的な劣化予測への要望が強まっているが、外的塩害に関する例が多く、内的塩害に着目した劣化予測に関する研究事例は筆者等の知る限り少ないようである。

このような背景から、本研究では以下を研究の目的とした。

- (1)既設鉄道RC高架橋柱を対象とし、かぶり、塩化物イオン濃度、中性化深さに関するばらつきを定量的に明らかにする。
- (2)対象構造物の表面を格子状に分割したメッシュ分割法により、その劣化予測を試みる。

2. 調査概要

2.1 調査対象構造物

表1に調査対象構造物の諸元を示す。図1に調査対象構造物であるRCラーメン高架橋とRC門型橋脚の概略図を示す。1976年にしゅん工したRCラーメン高架橋5基とRC門型ラーメン橋脚2基を調査対象とした。調査

表1 調査対象構造物の諸元

構造物名	1R1	1P2	1R2	2R1	2R2	2P2	2R3	
	(高架橋)	(橋脚)	(高架橋)	(高架橋)	(高架橋)	(橋脚)	(高架橋)	
接続形式	両張	-	片張	片張	両張	-	両張	
層・柱・径間数	1・2・3	1・2・-	1・2・3	2・2・3	2・2・3	2・2・-	2・2・3	
高架橋延長L(m)	40.0	-	32.0	32.0	40.0	-	40.0	
高架橋幅B(m)	8.0	-	8.0	8.0	8.0	-	8.0	
高さ(m)	10.5	9.2	10.5	12.0	12.0	11.0	12.0	
柱寸法(mm)	線路方向	750	1200	750	750	750	1300	750
	線路直角方向	750	800	750	750	750	900	750
鉄筋径(mm)	軸方向筋	22						
	帯鉄筋	10						
設計純かぶり厚(mm)	54							
設計基準強度(N/mm ²)	24							
水セメント比(%)	55							
最大粗骨材寸法(mm)	25							

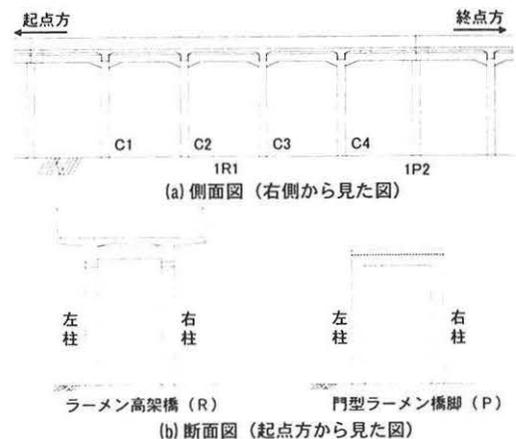


図1 調査対象構造物の概略図

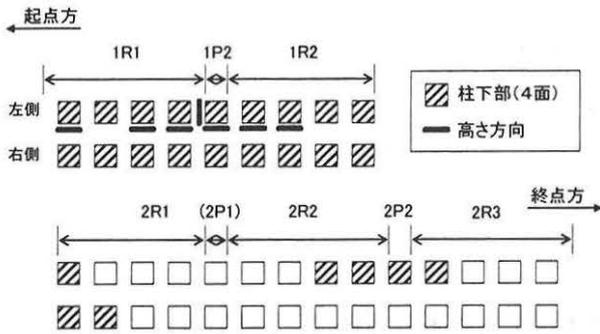


図2 測定箇所概略平面図

時点の経過年数は32年であった。調査対象構造物は、海岸からの距離が10km以上、温暖な気候な土地であり、田畑に囲まれた日当たりのよい山間部に位置する。

2.2 調査方法

図2に調査箇所概略平面図を示す。図中の斜線で示した柱については、柱下部の4面(柱幅×高さ1500mmの範囲)でかぶり、地上から高さ1.5m位置の4面で中性化、地上から高さ1.5m位置の1面で塩化物イオン濃度の測定を行った。また、図中の下線で示した面については、詳細調査として高さ方向にかぶり、中性化、塩化物イオン濃度の測定を行った。かぶりは柱の全帯鉄筋を対象とし、塩化物イオン濃度と中性化深さは、地上から1.5m、3.0m、4.5m、6.0、7.5mの位置で測定した。

かぶりは、電磁誘導法を用いて計測した。中性化深さは、φ20mmの集塵装置付きドリルで削孔し、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧して、コンクリート表面から着色位置までの距離を上下左右の4面で測定し、その平均により求めた。塩化物イオン濃度は、建設時に混入したと考えられる塩化物イオン濃度(以下、初期塩化物イオン濃度)を測定するため、集塵装置付きドリルを用いて、中性化による濃縮の影響を受けないコンクリート表面から80~100mmの試料採取し、電位差滴定法(JIS A1154)により分析した。

3. 調査結果

3.1 かぶり

図3にかぶりの測定結果を示す。縦方向の破線は構造物の境界を示している。横方向の点線は設計かぶりを示している。かぶりの最大値と最小値の差が大きい箇所では、最大で140mm程度の差がある。これは、川村ら¹⁾の研究に示されているように、柱鉄筋の偏心や回転が生じているためと考えられる。各測定結果の平均値に着目すると、1P2の以外では全て設計かぶりを上回っているが、全体的に施工誤差が大きく、設計かぶりを下回っている箇所が散見された。

3.2 中性化深さ

図4に中性化深さの測定結果を示す。各面の平均値は内側、終点側、外側、起点側がそれぞれ32.7mm、27.9mm、24.4mm、27.0mmで、外側の面が、中性化深さの値が最も小さく、内側の面が最も大きい結果となっている。これは、外側の面が乾湿を繰り返すため、最も中性化が進行しないためと考えられる。構造物毎のばらつきについては、若干見受けられるが、面毎の相違ほど明確な

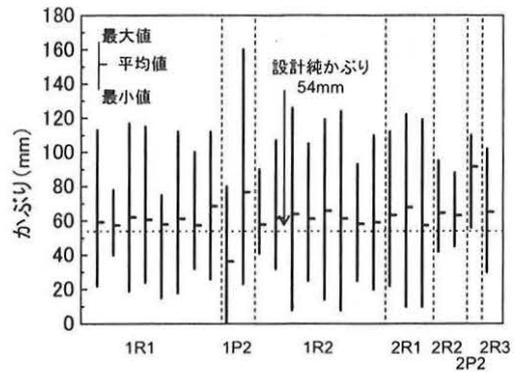


図3 かぶりの測定結果

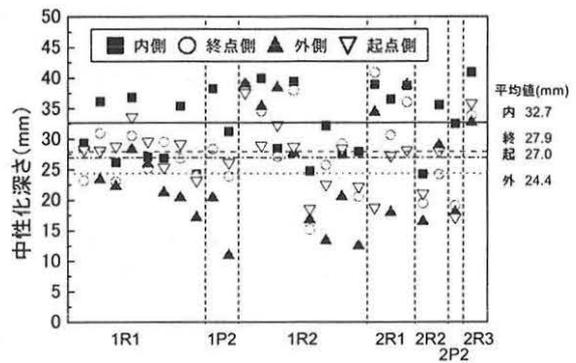


図4 中性化深さの測定結果

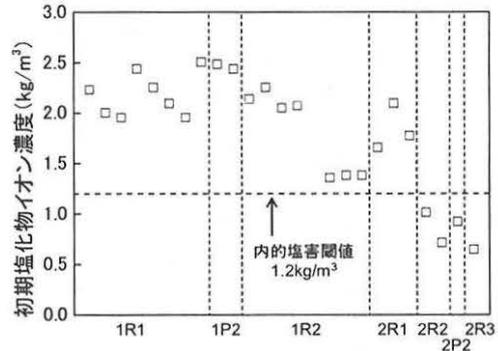


図5 初期塩化物イオン濃度の測定結果

のではなかった。

3.3 塩化物イオン濃度

図5に初期塩化物イオン濃度の測定結果を示す。同一構造物でも柱毎にばらついていることがわかる。また、2R2、2P2、2R3の3つの構造物については、他構造物と比べ塩化物イオン濃度が小さくなっており、構造物毎でも塩化物イオン濃度に大きなばらつきがあることがわかる。このように柱毎、構造物毎で塩化物イオン濃度がばらつく主たる要因は、使用材料の違いによるものと考えられる。2R2、2P2、2R3以外の箇所では、内的塩害発生の閾値として設定されている1.2kg/m³を超過していた。

3.4 中性化残り

図6に面毎の中性化残りを示す。ここで言う中性化残りとは、面毎のかぶりの平均値から中性化深さを引いた

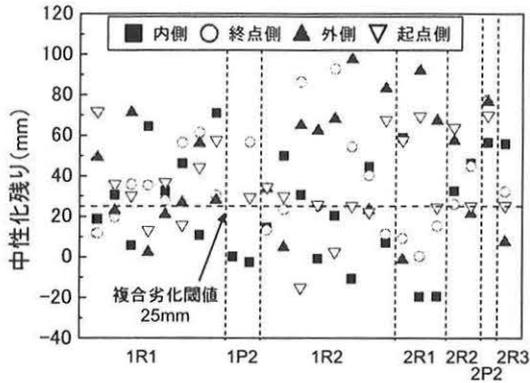


図6 中酸化残り

値である。塩害と中性化による複合劣化では、腐食開始時の中性化残りの閾値が25mmと設定されているが、中性化残りが25mmを下回っている箇所が散見される。本論の対象構造物では、初期塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 以上、中性化残りが25mm以下の内的塩害と中性化による複合劣化が進行していると推測される。

4. 劣化予測

4.1 予測方法

図7に劣化予測に用いるメッシュを示す。本論では、コンクリート表面を軸方向鉄筋と帯鉄筋を含むメッシュに分割し、メッシュ毎にひびわれや剥離・剥落を判定する手法を用いた。また、変状メッシュの全メッシュ数に対する割合を変状発生率と定義した。ただし本稿では、劣化予測、目視とも剥離・剥落の変状発生率に着目した。従って本稿で言う変状発生率は、剥離・剥落発生率と同義である。

表2に劣化予測対象箇所と目視による変状発生率を示す。剥離・剥落が発生していた箇所を対象としており、変状発生率は5%から80%となっていた。

表3に劣化予測モデルを示す。メッシュ毎に、2006年制定の鉄道構造物等維持管理標準・同解説⁴⁾に基づく変状予測を帯鉄筋と軸方向鉄筋それぞれに対して実施した。かぶりについてはメッシュ毎に値を用いた。中性化深さと塩化物イオン濃度については、対象面毎に測定結果を用いた。

4.2 予測結果

図8に剥離・剥落に関する変状発生率の予測結果を示す。なお、メッシュ毎に軸方向鉄筋と帯鉄筋があるため、劣化予測の結果、変状の進展しているほうの結果を採用している。劣化予測については、表3に示される鉄筋の腐食速度を、そのまま用いた場合と、表3に示す①、②式の全ての項に補正係数0.5、0.3、0.1を乗じた場合を示した。

目視の結果は、1R1C1以外の箇所において補正無の予測値以下となっていた。維持管理標準による劣化予測結果は、実態に比べて概ね安全側に評価していることが分かる。

ところで、維持管理標準の劣化予測式は、適切な修正を前提に構築されているが、ここでその修正を試みる。目視における変状発生率と同程度となるように腐食速度

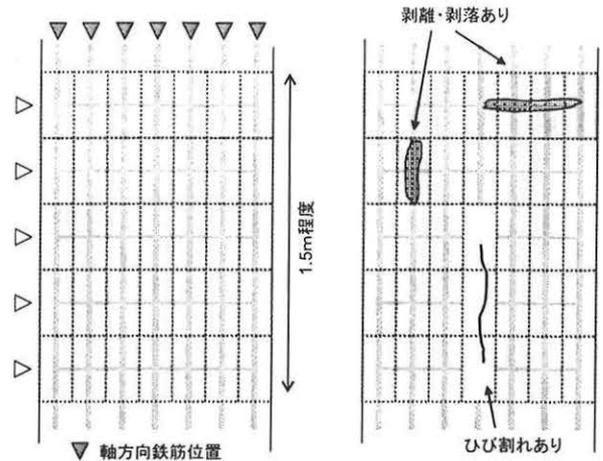


図7 分割メッシュと変状評価

表2 変状予測対象箇所

No.	構造物名	断面	柱位置	側面	横梁からの位置(m)	変状発生率(%)
1	1R1	C1	左	終点側	1.5	46.7
2	1P2	-	左	内側	4.5	5.0
3	1P2	-	左	内側	3.0	30.0
4	1P2	-	左	内側	1.5	57.5
5	1P2	-	左	起点側	4.5	20.0
6	1P2	-	左	起点側	3.0	74.3
7	1P2	-	左	起点側	1.5	80.0
8	1P2	-	右	内側	1.5	40.0
9	1R2	C2	左	内側	1.5	5.7
10	1R2	C2	右	内側	1.5	11.4
11	1R2	C3	左	内側	1.5	5.7
12	2R1	C1	左	外側	1.5	35.0

表3 変状の予測モデル
(中性化と初期塩化物イオンによる複合劣化)

各期終了時の鉄筋腐食深さ Δr (mm)	鉄筋の腐食速度 dr/dt (mm/年)
進展期 ひび割れ発生 $\Delta r_{cr} = 13(c/\phi) \times 10^{-3}$	【中性化残り > 25mm かつ $CI^- \geq 1.2\text{kg/m}^3$ 】 $dr/dt = 10^3 / \sqrt{c} (7.70CI^- + 0.503W/C - 40.6)$ $1.0 \times 10^{-3} \leq dr/dt \leq 8.0 \times 10^{-3}$
加速期前期 はく離、 はく落発生 $\Delta r_{sp} = 56(c/\phi) \times 10^{-3}$	【中性化残り $\leq 25\text{mm}$ かつ $CI^- \geq 0.6\text{kg/m}^3$ 】 $dr/dt = 10^3 / \sqrt{c} (19.34CI^- + 0.748W/C - 49.4)$ $3.0 \times 10^{-3} \leq dr/dt \leq 8.0 \times 10^{-3}$

c:かぶり、 ϕ :鉄筋径、 CI^- :塩化物イオン濃度、 W/C :水セメント比

の補正を行った。その結果、補正係数は、0.21~1.35、平均0.5程度となった。また、80%を超える割合で補正係数が0.2~0.6の範囲内に入る結果となった。

図9に補正係数と変状発生率の関係を示す。同図から変状発生率と補正係数の間には明確な傾向は読み取れない。特に2箇所補正係数が1.0以上と大きくなったが、これについては現段階では原因を明らかにするには至つ

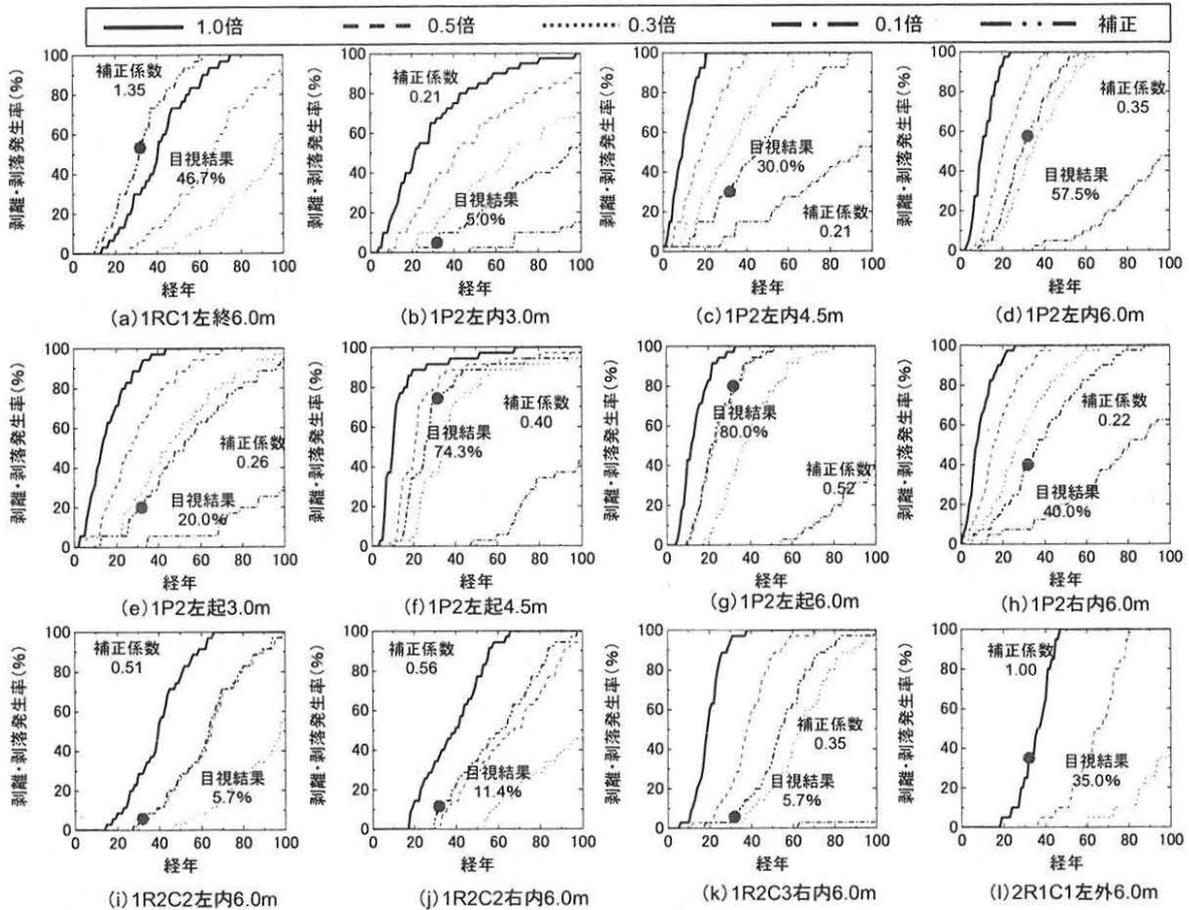


図8 剝離・剝落発生予測結果

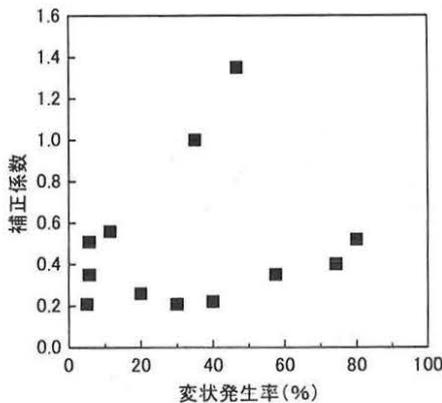


図9 補正係数と変状発生率

ていない。

5. まとめ

鉄道高架橋柱を対象とし、内的塩害と中性化による複合劣化 かぶりと初期塩化物イオン濃度、中性化深さを調査した結果を示すと共に、対象構造物の表面を格子状に分割し、メッシュ毎の変状予測を実施し、調査結果との比較検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) かぶりは施工誤差が大きく、設計かぶりを下回るものも散見された。
- (2) 中性化深さは、乾湿を繰り返す外側の面が最も小さい値となった。

- (3) 初期塩化物イオン濃度は、24箇所中20箇所での内的塩害発生の閾値である 1.2kg/m^3 以上であり、建設当初から混入していたと推測される。
- (4) 目視結果と変状予測結果を比較した結果、鉄筋の腐食速度の補正係数が $0.21\sim 1.35$ 、平均 0.5 程度で、補正係数が $0.2\sim 0.6$ の範囲に入る割合が 80% を超える結果となった。

参考文献

- 1) 川村, 谷村, 曾我部, 佐藤, 長谷川: 実態調査に基づく鉄道高架橋におけるかぶりの施工誤差に関する研究, 土木学会論文集, No.767/V-64, pp.253-266, 2004
- 2) 谷村, 長谷川, 曾我部, 佐藤: 鉄道RCラーメン高架橋の中性化に関する耐久性照査法の適用に関する研究, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.147-157, 2004
- 3) 川村, 谷村, 曾我部, 鳥取, 長谷川, 東川: 鉄道構造物の調査に基づくコンクリート中への塩化物イオン浸透に関する研究, 土木学会論文集, No.781/V-66, pp.193-204, 2005
- 4) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)コンクリート構造, 丸善, 2007