西湘バイパス RC 橋脚耐震補強事業における塩害対策の合理化および環境負荷軽減

中日本高速道路株式会社　正会員　○真田　修　　鹿島建設株式会社　正会員　柳澤　博
株式会社高速道路総合技術研究所　正会員　竈本　武弘

1. はじめに

供用後 37 年経過する西湘バイパス(二宮IC～箱根口IC)には、耐震補強事業対象橋梁・橋脚が 12 橋 194 基, そのうち海からの飛来塩分や海水を直接被ることによる塩害環境下なのが二宮IC～早川IC間(以下,「本エリア」)8 橋 160 基存在する。橋脚形式は**図 1** に示す RC ラーメンで, 耐震補強工事(以下、「本工事」)にて RC 巻立て等を施工するが, その前段に塩害対策を施す必要がある。従来から一般的には RC 構造物の鋼材腐食発生限界濃度として「1.2kg/m^3」[1]という基準があるが, 実構造物での外観調査及び塩分浸透量調査ではこの基準以上の塩化物量が浸透している場合でも構造上の問題を有するまでの鋼材腐食が生じていない場合が多い。そこで, 経済性, 工期, 再劣化リスクの減少, 環境負荷軽減等の全体最適化を図ることを目的に, 設計要領 [2]等に基づき既設最外縁鉄筋(以下、「既設鉄筋」)位置での塩分浸透量及び腐食グレードの判定等による既設鉄筋の腐食発生限界濃度設定手法を検討し最適な塩害対策工法による合理化施工を図った。

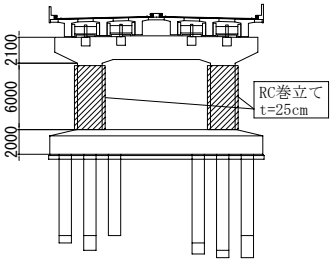

図1 標準断面図

表 1 詳細調査項目・目的・内容

調査項目	調査目的	調査内容
外観, 変状範囲	補修範囲の決定	漏水範囲の目視観察, 変状(ひび割れ, 浮き)範囲の打音点検での把握
塩分浸透量	対策工法の判定	ドリル法(未変状部:深さ方向 6,7 試料, 変状部:鉄筋背面深さ方向 4 試料)
鉄筋かぶり・鉄筋腐食状況※	補修範囲, 深さ(鉄筋腐食範囲)の決定	1m 間隔メッシュ程度, 自然電位測定: -200mv より卑な範囲を把握 ※代表橋脚・柱でのみ実施
はつり	鉄筋の腐食のグレード判定, 自然電位測定結果の検証	鉄筋腐食度観察, 塩化物量測定

2. 詳細調査

2.1 全補強対象橋脚に対する調査数量の絞込み

本エリアでは補強対象橋脚(基)・柱(柱)が膨大(二宮 IC～国府津 IC 間(以下、「東部」)137 基・290 柱, 国府津IC～早川 IC 間(以下、「西部」)23 基・46 柱)であり, 調査箇所・数量の絞込みが課題となった。そこで, 塩害の状況 [3]から汀線からの離隔が平均的で東部・西部を代表できる橋脚を選定し, 各柱の 4 面及び高さ方向 3 点で**表1**に示す詳細調査を実施し, 塩分浸透量調査結果を分析し統計処理及び考察 [4]を加え, **表 2** に示す海側面下部塩分量を基準とした安全性を担保し得る [4]適正な補正係数を設定し, 調査実施箇所を 1 箇所／1 柱と絞込んだ。

表 2 4 面各面の補正係数

		海側面	山側面	東京側面	静岡側面
東部	海側柱	1.32	1.25	1.08	1.05
	山側柱	1.67	1.16	1.07	1.26
西部	海側柱	2.58	3.45	5.94	3.96
	山側柱	1.58	0.56	1.02	1.02

写真 1 腐食度観察事例(ｸﾞﾚｰﾄﾞⅢ)

2.2 塩分浸透状況と既設鉄筋の腐食グレードの把握

はつり調査では既設鉄筋位置が凹凸になるため, 塩分浸透量調査用試料採取が不正確になることが課題となった。そこで, 設計要領 [2]を参考に既設鉄筋位置での塩分浸透量は, 既設鉄筋かぶりの実測値とドリル法による塩分浸透量測定結果から算出した見かけの拡散係数および表面塩分量を用いたフィックの拡散方程式 [2]による二次曲線上の既設鉄筋位置塩化物イオン量が適切であると考えた。なお, 平成21年5月までには**写真 1** に示す既設鉄筋の腐食度観察による**表 3** に示す腐食グレード判定を含めた詳細調査を完了し**図 2** に示す結果を得た。

表 3 既設鉄筋の腐食グレード

腐食ｸﾞﾚｰﾄﾞ	鉄筋の状態
Ⅰ	黒皮の状態, またはさびは生じているが全体に薄い緻密なさびであり, コンクリート面にさびが付着していることはない。
Ⅱ	部分的に浮きさびがあるが, 小面積の斑点状である。
Ⅲ	断面欠損は目視観察では認められないが, 鉄筋の全周または全長にわたって浮きさびが生じている。
Ⅳ	断面欠損を生じている。

3. 既設鉄筋の腐食進行過程

次に, 本エリアでの既設鉄筋の腐食発生限界濃度を設定するためには, 既設鉄筋腐食進行過程上の腐食グレードⅠ⇒Ⅱ⇒Ⅲ⇒Ⅳという変化の適切な時系列的把握が課題となった。そこで, 複数の設定手法を考え立案し比較検討した上で, 既往の研究 [5]から既設鉄筋の腐食進行過程を仮定し, **表 4** に示す過程上の境界時期を定め, **図 3** に示す腐食進行過程

キーワード:塩害, RC 橋脚補強, 既設鉄筋の腐食進行過程, 既設鉄筋の腐食グレード, 腐食発生限界塩化物イオン濃度
連絡先　〒250-0863　神奈川県小田原市飯泉 352　中日本高速道路(株)　TEL:0465-49-2817　FAX:0465-48-6070

および劣化過程を設定する手法を採用した。

4. 新たな既設鉄筋の腐食発生限界濃度の設定手法の確立

4.1 腐食グレードの変化への時間経過付与

本エリアでは供用時以降の既設鉄筋の腐食グレード判定データはない。そこで，既設鉄筋が各腐食グレードに達し始めた時期を推定するため，示方書[5]を参考に各腐食グレードは**図 3** に示すとおり各時期の中間とし，腐食グレードに経時変化を付与することとした。

4.2 新たな既設鉄筋腐食発生限界濃度の設定

図 4 の関係から，本工事時点での既設鉄筋の腐食グレードの判定によって分類された既設鉄筋位置の塩化物イオン濃度を**図 4** の縦軸にとり，各腐食グレード群毎の平均塩化物イオン濃度の曲線近似を試みた。更に，示方書[6]及び設計要領[2]からこの曲線近似式と腐食グレードⅡ群との交点にあたる塩化物イオン濃度値を「新たな既設鉄筋の腐食発生限界濃度」と定義（以下，「本設定手法」）し，**図 4** に示すように東部では「2.3kg/m^3」，西部では「1.8kg/m^3」と設定し，本エリアの補強対象橋脚の塩害対策工(表面除去工及び防錆雰囲気形成[2]) 上の閾値とした。

5. 考察

図 5 に示すとおり，本設定手法によりコスト面，環境負荷軽減面（施工機械等から発生する二酸化炭素(温室効果ガス)Co_2 の発生量抑制）で効果が図られ，本設定手法の有効性を検証できた（一般的な RC 構造物の鋼材腐食発生限界濃度を閾値とした場合との比較）。

6. おわりに

本検討により明らかになったことと，今後の課題は次のとおりである。代表橋脚での詳細調査データの統計処理により，本エリア全域の調査実施箇所・数量の集約化・合理化が可能であり，また既設鉄筋の腐食グレードの経時変化を把握することにより，新たな既設鉄筋の腐食発生限界濃度の設定が可能である。さらに，本設定手法は塩害環境下の RC 構造物全般に適用でき，塩害対策工の規模適正化，コスト削減，環境負荷軽減にとって有効な手段である。今後の課題は，既設鉄筋位置での塩化物イオン濃度の追跡調査（モニタリング）である。

参考文献

1)土木学会:コンクリート標準示方書【設計編】,pp.119-122,2007

2)中日本高速道路株式会社:設計要領第二集橋梁保全編,pp.3-44-3-51,2008.8

3)真田ら:西湘バイパス RC 橋脚耐震補強における塩害対策の合理化，コンクリート工学，Vol48，№2，2010.2

4)真田ら:塩害環境下の道路橋 RC 橋脚補強における既設鉄筋の腐食塩分量算定手法の確立と塩害対策工の合理化施工,コンクリート工学年次論文集，Vol31,No.1,pp.1021-1026,2009

5)荒木ら:鉄筋の腐食膨張によるかぶりコンクリートの剥離現象とその予測,土木学会論文集,№802/V-69,pp.209-222

6)土木学会:コンクリート標準示方書【維持管理編】,pp.97-112,2007

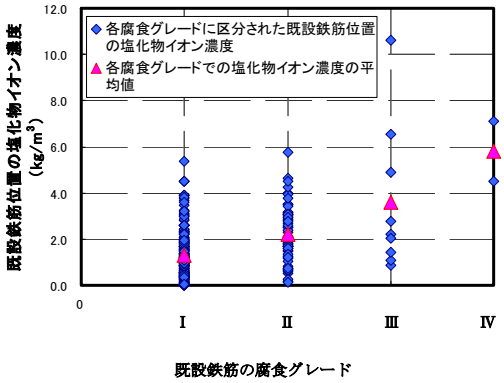

図 2 詳細調査結果（一例）

表 4 時期の概要と劣化区分

時期	補強対象橋脚で想定している時期	劣化区分
A	最外縁鉄筋の外側で腐食が開始する時期	進展期(1)
B	内側鉄筋外縁側で腐食が開始する時期	進展期(2)
C	ひび割れが発生する腐食量に達する時期	加速期
D	浮き・はく離が発生する腐食量に達する時期	劣化期
E	最外縁鉄筋内側がひび割れ発生腐食量に達する時期	

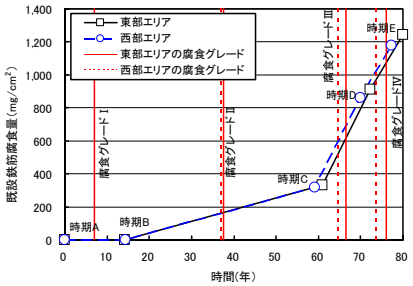

図 3 既設鉄筋の腐食進行過程と腐食グレード

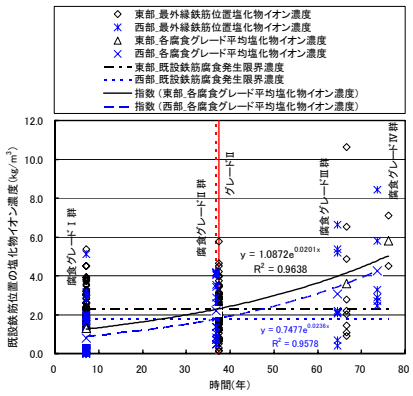

図 4 各腐食グレード群毎の平均塩化物イオン濃度と既設鉄筋の腐食発生限界濃度

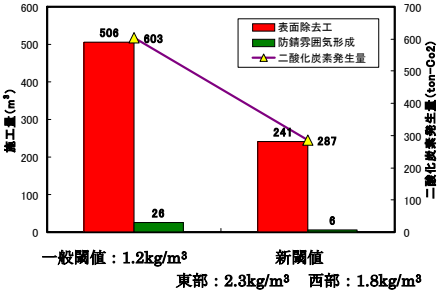

図 5 本設定手法による効果