塩害による鉄筋の腐食グレードと塩化物イオン濃度の関係について

東日本高速道路㈱　正会員　東田　典雅
㈱ネクスコ東日本エンジニアリング　正会員　細矢　淳
㈱ネクスコ東日本エンジニアリング　正会員　〇川口　皓太朗

１．はじめに

高速道路の橋梁における塩害の原因は、材料等のコンクリートそのものに含まれる内在塩分、飛来塩分、凍結防止剤の散布等による外部塩分がある。塩害による鉄筋の腐食は、コンクリート中の鉄筋位置に塩化物イオンが浸透し、pH12～13 の高アルカリによって生成された不動態皮膜が破壊され、酸素と水の供給により鉄筋の腐食が発生･進行するものである。今回、凍結防止剤による塩害調査の一環として行った橋梁下部工のはつり調査から得られた鉄筋の腐食グレードと塩化物イオン濃度の関係について報告する。

２．調査検討の背景

鋼材の発錆限界塩化物イオン濃度は、一般的にはコンクリート標準示方書に示されている 1.2kg/㎥が多く用いられているが、補修対策工法選定においては、鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度の設定により工法選定が左右される。また、コンクリート標準示方書[維持管理編]においては、鋼材の腐食状態と鋼材位置における塩化物イオン濃度から鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度が求まる場合には、その値を用いることを原則とすると記載されており[2]、現実に即した鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度の設定は、過大な対策の回避、コスト低減の観点から必要性は高いと考えられる。

３．調査検討方法について

調査対象構造物は、凍結防止剤による塩害が見られるものとした(表-1 参照:全て設計基準強度 24N/mm²)。また、本調査検討を行うにあたり、塩分含有量･鉄筋腐食状況を把握するため、構造物のはつり調査を行った。また、塩化物イオン濃度分析を行い、塩化物イオン濃度を把握した。はつり箇所と塩分濃度分析のための試料採取箇所の関係を表-2、はつり調査方法を図-1、図-2 に示す。なお、調査個所は、躯体表面に変状（ひび割れ、はく離）のない箇所を選定した。

４.鉄筋腐食と塩化物イオン濃度の関係

鉄筋腐食状態の調査は｢コンクリートのひびわれ調査、補修・補強指針-2003：(社)日本コンクリート工学協会｣に基づいて鉄筋の腐食グレードにより判定した。[3]鉄筋腐食グレードの判定基準を表-3 及び図-3 に示す。

表-1　調査数量

下部工		高欄	合計
橋台	橋脚		
30 箇所	241 箇所	2 箇所	273 箇所

表-2　はつり箇所と試料採取箇所の関係

年度	はつり箇所と試料採取箇所の関係	試験要領
18	試料採取を行った上下ではつり	JIS1154｢硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法｣(電位差滴定法)
19	試料採取を行った上下ではつり	JIS1154｢硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法｣(電位差滴定法)
20	①50×50cmのはつり箇所の下ではつり ②採取試料ははつり時のコンクリート粉末	JIS1154｢硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法｣(電位差滴定法)
21	採取試料ははつり時のコンクリート粉末	高感度ポータブル蛍光X線分析装置による塩化物イオン濃度分析方法(蛍光X線分析)

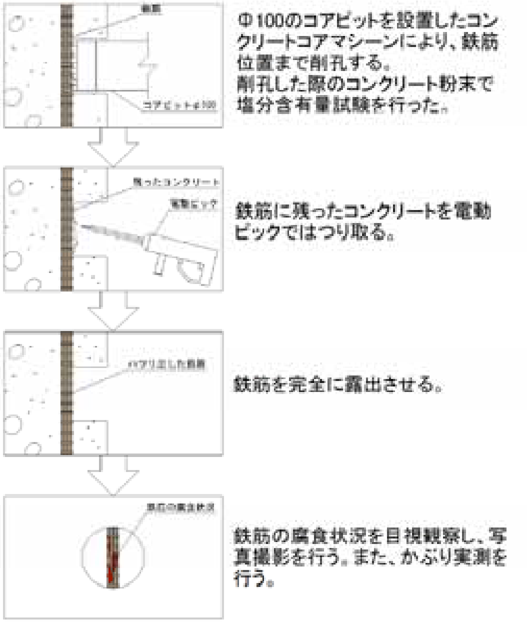

図-1　はつり調査方法　その１

図-2　はつり調査方法　その２

キーワード　塩害、鉄筋腐食グレード、鉄筋腐食発錆限界塩化物イオン濃度

連絡先　〒370-0015　群馬県高崎市島野町 831　東日本高速道路㈱関東支社　高崎管理事務所内
㈱ネクスコ東日本エンジニアリング　高崎保全計画センター　TEL：027-352-2898

表-3　鉄筋腐食グレード

腐食グレード	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。

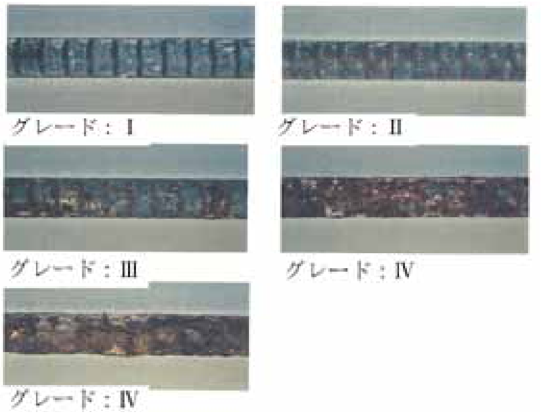

図-3　鉄筋腐食度判定基準

コア内の鉄筋腐食状況と、鉄筋腐食グレードの判定結果の例を表-4 に示す。

表-4　はつり調査結果(例)

橋梁名	部位	選定箇所	鉄筋位置の塩化物濃度 (kg/m³)	中性化深さ (mm)	鉄筋腐食度	写真	周辺変状
A橋	A1	前面上部 (AS1側) 汚れあり	5.14	9	II		【ハツリ箇所】 うき：なし ひび割れ：なし 【ハツリ箇所周辺】 ・幅0.5mmの垂直方向のひびわれあり
B橋	P3	前面下部 (A1側) 汚れあり (大)	5.40	19	IV		【ハツリ箇所】 うき：コア孔により確認 (打音では確認できず) ひび割れ：なし 【ハツリ箇所周辺】 ・幅0.1mmの垂直方向のひびわれあり ・ハツリ箇所上部の補修部全体的にうきあり
C橋	P3	前面下部 (A1側) 汚れあり (中)	7.31	20	III		【ハツリ箇所】 うき：なし ひび割れ：なし 【ハツリ箇所周辺】 ・幅0.1mm～0.15mm程度の亀甲状のひびわれが多数あり ・うきあり (0.25m2程度)
D橋	P5	前面下部 (A2側) 汚れあり	7.13	6	IV		【ハツリ箇所】 うき：打音により確認 (コア孔にても確認) ひび割れ：なし 【ハツリ箇所周辺】 ・ハツリ箇所を含めうきあり
E橋	P1	下り橋脚側面下部 (下り側) 汚れあり	1.98	8	I		【ハツリ箇所】 うき：なし ひび割れ：なし 【ハツリ箇所周辺】 ・変状なし

鉄筋腐食グレードと塩化物イオン濃度の分布図を図-4、鉄筋腐食グレードと塩分量の累積度数率を図-5 に示す。これによると、鉄筋位置における塩化物イオン濃度が大きいほど腐食程度が著しくなる傾向が見られ、塩化物イオン濃度が 2.4kg/m³未満の場合には、軽微な腐食(腐食グレードⅠ及びⅡ)にとどまり、腐食グレードⅢ及びⅣが発生するのが 2.4kg/m³以上で発生することが見られる。累積度数率からも塩化物イオン濃度 2.4kg/m³での腐食グレードⅢあるいはⅣの箇所がないことから今回調査した構造物と類似の既設構造物の塩害対策検討では鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度を 2.4 kg/m³程度に設定することが可能であると考えられる。

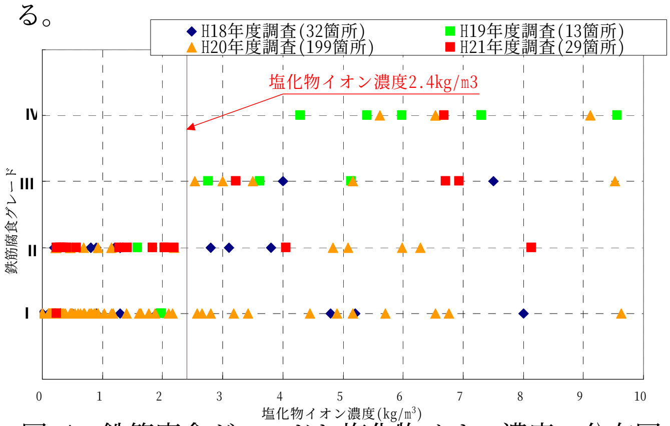

図-4　鉄筋腐食グレードと塩化物イオン濃度の分布図

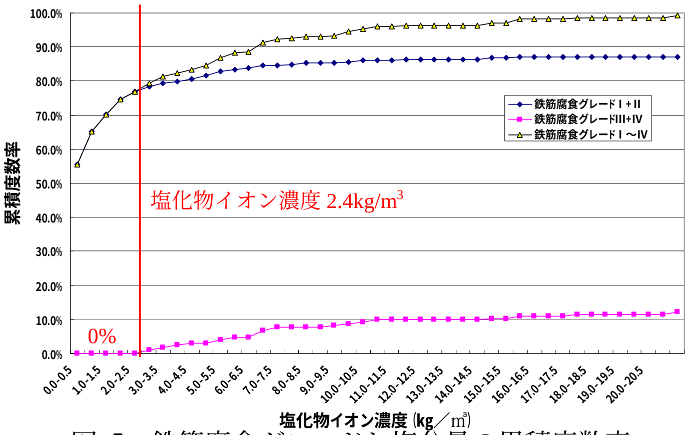

図-5　鉄筋腐食グレードと塩分量の累積度数率

5．おわりに

これまでの検討から、塩化物イオン濃度と鉄筋腐食の関係については、概ね「2.4kg/m³未満の場合には断面欠損や全周にわたる浮きさびが生じるなどの著しい腐食は発生しないが、2.4kg/m³を超えた場合は鉄筋腐食グレードⅢ以上著しい腐食が発生する」傾向が見受けられた。以上のことから、今回調査を行った構造物や類似構造物では、鉄筋腐食発生限界塩化物イオン濃度を 2.4kg/m³として対策工法の検討を行うことが可能である。これにより、経済的・合理的な対策工法の選定が可能になると思われる。

今回の調査は橋梁下部工について調査を行ったが、橋梁上部工等･コンクリートの配合･強度等異なる構造物についても今度調査・検討を行っていく予定である。

参考文献
1)　設計要領　第二集　橋梁保全編：東日本高速道路株式会社,2009.7
2)　(社)土木学会:2007 年制定コンクリート標準示方書[設計編][施工編]2008.3
3)　コンクリートのひびわれ調査,補修・補強指針-2003：コンクリート工学協会