

自然電位法を活用した塩害環境下における橋梁下部工の補修について

(株)ネクスコ・エンジニアリング北海道 正会員 ○ 藤井 直己
 東日本高速道路(株) 正会員 村山 陽
 (株)ネクスコ・エンジニアリング北海道 非会員 中川 公太

1. はじめに

塩害環境下にあるコンクリート橋梁下部工を合理的に維持管理していくためには、鉄筋腐食によってコンクリート表面の劣化損傷が顕著化する前に、コンクリート内部の塩化物イオンを適切に除去することが重要である。コンクリート構造物の劣化範囲を推定する方法は、自然電位法による鉄筋腐食診断手法等があるが、鉄筋腐食の評価を行う上で不明確な範囲が存在することで、合理的な補修設計を行うことが困難である。本報文では、塩害劣化を受けたコンクリート橋梁下部工を対象に自然電位法による「推定劣化範囲」と「実劣化範囲」の比較を行った上で、塩化物イオン量調査を併せて活用した橋梁下部工の補修方法について報告するものである。

2. 自然電位による推定劣化範囲と実劣化範囲の測定

凍結防止剤散布の影響により塩害劣化した橋梁下部工を対象に、硫酸銅を照合電極とした自然電位測定を実施した。測定結果は図-1に示す。橋梁下部工の表面を300 mm×300 mmのメッシュ毎に分割し、自然電位の測定を行った。

実劣化範囲は、橋梁下部工補修のコンクリートはつり作業後に鉄筋腐食度の調査を行った。鉄筋腐食度の調査は、コンクリート標準示方書(維持管理編)¹⁾による腐食グレードと鋼材の状態に準拠し、図-1の破線内、約38㎡を対象に自然電位測定の測定範囲と同様にメッシュ毎に鉄筋の腐食グレードを評価し実劣化範囲図(図-2)を作成した。

推定劣化範囲(図-1)と実劣化範囲(図-2)を比較すると自然電位の階級と鉄筋腐食グレードには、相関が確認できる。

3. 自然電位法による推定劣化範囲と実劣化範囲の割合

図-3は、自然電位の階級50mV毎に、鉄筋腐食グレードの割合を整理したものである。電位-350mV以下の範囲では、鉄筋の腐食グレードIVが90%以上を占めている。また電位-200mV以上の範囲では、鉄筋腐食グレードIが90%を占める結果となり、電位-350mV以下、-200mV以上であれば鉄筋腐食の実劣化範囲を推定することが可能と思われる。しかし、-200mV以下-350mV以上の範囲においては、自然電位が貴(+)側の場合は腐食グレードIの割合が増え、自然電位が卑(-)側の場合では腐食グレードIVの割合が増加する傾向にあり、鉄筋腐食の実劣化範囲を推定する上では、不確定な範囲結果となった。

4. 自然電位法による補修範囲の区分

自然電位の測定により、表面の補修範囲をE(電位)>-200mVを健全部、-200mV ≥ E(電位) > -350mVを不確定部、-350mV ≥ E(電位)を劣化部と区分することで、構造物

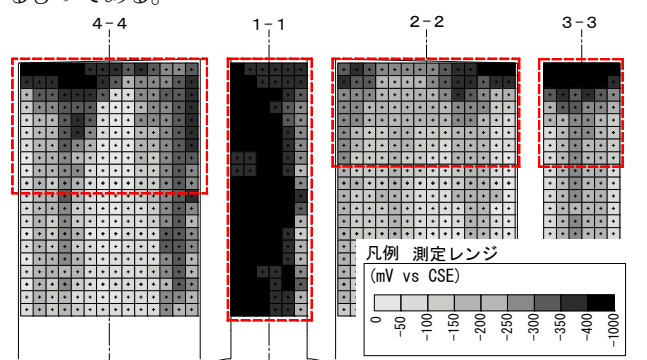


図-1 自然電位法による推定劣化範囲図

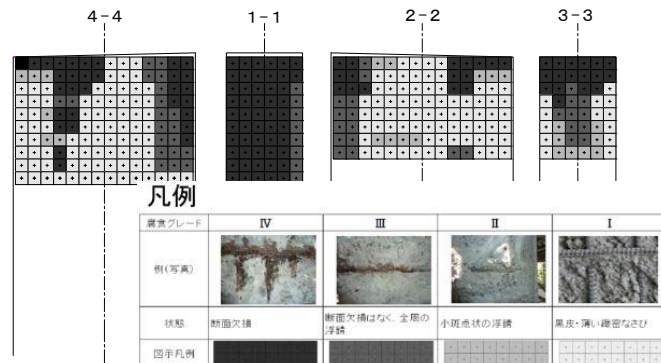


図-2 実劣化範囲図

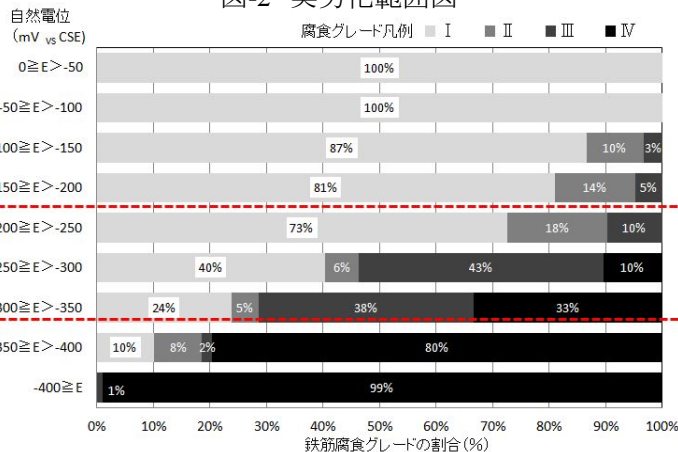


図-3 推定劣化範囲に対する実劣化範囲の割合

キーワード 塩害、自然電位、硬化コンクリート中の塩化物イオン、塩分移動予測

連絡先 〒003-0005 北海道札幌市白石区東札幌5条4-3-20 TEL011-842-3200

表面にコンクリートの劣化損傷が顕著化する前に、補修範囲を分類することが可能と考えられる。しかし、不確定部においては、塩化物イオン量により補修範囲を明確にすることが必要である。

5. 塩分移動量予測(補修深さの検討)

実構造物の補修においては、自然電位の測定結果より区分した範囲毎に、塩分移動予測を用いて補修深さの検討を行った。塩分移動予測は、既設構造物より試料採取(ドリル法)を行い、(1)式のフィックの拡散方程式を用いて、表面塩分量と見かけの拡散係数を推定する。次に、推定した結果から表面塩分量と見かけの拡散係数を用いて(2)式による差分法により、対策後の塩化物イオン濃度の移動予測を行った。また、上記の計算には膨大な計算が必要であるため、Excelを用いて差分法を実施した。その結果を図-4、図-5、図-6に示す。

$$C(x, t) = C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\} \quad \dots (1)$$

ここに、 $C(x, t)$:深さ x , 時間 t における塩化物イオン濃度 (kg/m^3), C_0 :コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3), x :コンクリート表面からの距離(cm), D :塩化物イオンに対する見かけの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$), t :供用年から調査年までの期間(年), erf :誤差関数

$$C(x_i, t_{j+1}) = C(x_i, t_j) + D \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (C(x_{i+1}, t_j) - 2C(x_i, t_j) + C(x_{i-1}, t_j)) \quad \dots (2)$$

ここに、 $C(x_i, t_{j+1})$:位置 x_i , 時間 t_{j+1} における塩化物イオン濃度(kg/m^3), $C(x_i, t_j)$:位置 x_i , 時間 t_j における塩化物イオン濃度(kg/m^3), D :塩化物イオンに対する見かけの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$), Δt :時間 t の刻み幅(年), Δx :深さ x の刻み幅(cm)

図-4、図-5、図-6は、それぞれ無対策の場合、外的劣化要因の侵入を防ぐため表面保護した場合、劣化要因を取り除くためのコンクリートはつり後の断面修復を行うとともに表面保護を施した場合について、コンクリート構造物表面からの深さに対する経過年ごとの塩化物イオン濃度の拡散予測を参考例として表したものである。

6. まとめ

塩害環境下にある橋梁下部工の補修に対して、自然電位測定、塩化物イオン量測定の非破壊調査を行い、補修検討を行った。結果として「自然電位法により断面修復するために補修範囲の区分(健全部、不確定部、劣化部)」、「塩分移動予測により補修深さ」を適切に設定できたことで、補修後の再劣化防止が可能となり、橋梁構造物の長寿命化に貢献できたものとする。今後は、補修後の橋梁下部工に対して、自然電位の変化や塩化物イオン量の拡散状況を追跡調査することで、塩害劣化したコンクリート構造物に対する補修の精度向上に努めたい。

参考文献

- 1) 土木学会:「コンクリート標準示方書(維持管理編)」, 2013年、2) 東日本高速道路会社:「設計要領第二集橋梁保全編」

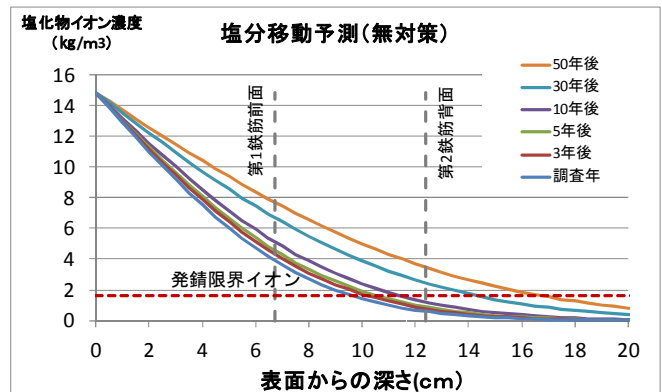


図-4 塩分移動予測(無対策)

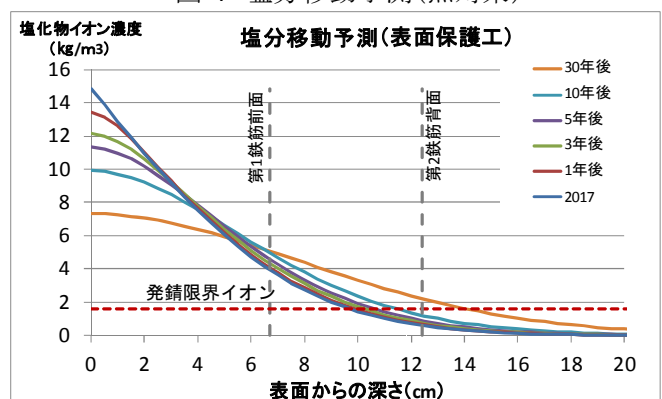


図-5 塩分移動予測(表面保護工)

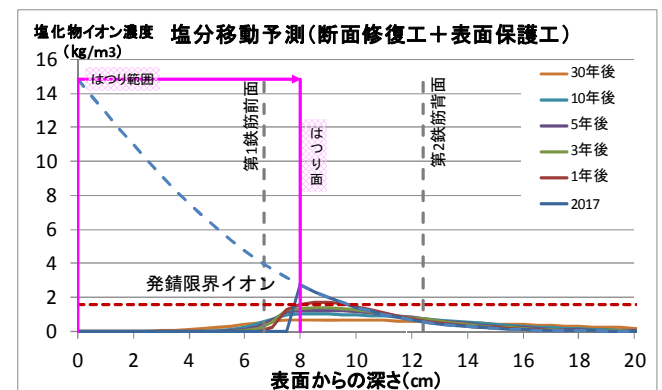


図-6 塩分移動予測(断面修復工+表面保護工)