実測腐食減量による鉄筋腐食速度評価手法の精度検討

（株）四国総合研究所　土木技術部　　正会員　○中川　裕之
香川大学　工学部　　フェロー会員　　松島　　学

１．はじめに

鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化進行予測は，対象構造物が受ける気象条件，飛来塩分や海水位との関係，融雪剤使用の有無など周辺環境条件に合った予測手法が望ましい．本研究は，筆者らが提案する鉄筋腐食速度評価式[1)]（以下，総研式）といくつかの既往研究の腐食速度評価式を実構造物の調査結果を対象に比較検討した．

２．鉄筋腐食速度評価式

2.1 総研式

上面に10%NaCl溶液を貯留したコンクリート供試体を四国総研敷地内（香川県高松市）の屋外に4～6年間暴露して分極抵抗値の変化を測定した．実験結果から求めたコンクリート温度，塩化物イオン濃度，塩化物イオンの見掛けの拡散係数の3要因と腐食速度の関係から鉄筋腐食速度評価式を構築したものである．見掛けの拡散係数は，コンクリート品質の経年変化を考慮して，構造物調査時の値を基に施工後から現在まで変化させて塩化物イオン濃度を算定し，鉄筋腐食速度に反映している．腐食ひび割れ発生時の鉄筋腐食量は，鉄筋径とかぶりから求める式を提案している．総研式の詳細は，参考文献1）を参照されたい．

2.2 既往研究式

土木学会原子力土木委員会の耐震性能照査指針[2)]（以下，技術資料）に示されている4評価式（以下，森永式，桝田式，鳥取式，松村式）を比較する既往研究式とした．

2.3 腐食速度と塩化物イオン濃度

技術資料にある予測腐食速度に与える塩化物イオン濃度の影響図に総研式による腐食速度を加えた結果を**図-1**に示す．塩化物イオン濃度以外の条件は，水セメント比55%，かぶり6cm，鉄筋径19mm，温度20℃，湿度70%である．

総研式による腐食速度は，塩化物イオン濃度5kg/m^{3}において松村式と同程度となり，腐食速度に対する塩化物イオン濃度の感度は，森永式，桝田式，鳥取式の感度勾配と同程度であった．

３．実構造物を対象とした腐食進行予測の比較

3.1 構造物A

施工後42年程度経過後に撤去された通路橋で香川県坂出市の瀬戸内海沿岸に位置する．通路下面側の主筋D22を検討対象とした．調査結果から，鉄筋位置での塩化物イオン濃度は3.2～3.3kg/m^{3}程度，塩化物イオン濃度分布から求めた見掛けの拡散係数は1.567×10^{-8}cm^2/s，かぶりは5.8cm（平均値）であった．月間単位で計算し，月平均気温と湿度は，気象庁データから供用期間の香川県高松市データを参照した．

各式より算定した鉄筋腐食減量（以下，腐食量）の推移を**図-2**，**図-3**に示す．図中の白丸○は実測腐食減量，黒丸●は平均値を示す．腐食発生限界塩化物イオン濃度（Ccr）は，Ccr=1.0kg/m^3（**図-2**），Ccr=2.0kg/m^3（**図-3**）とした．総研式以外の腐食ひび割れ発生時の腐食量は，技術資料を参照した．腐食ひび割れ発生後の塩害劣化進行加速期における腐食速度は，総研式と同様に，各式での進展期腐食速度の3.9倍とした．

総研式は，Ccr=1.0および2.0 kg/m^{3}とした算定腐食量が実測腐食量ばらつきの上下限程度となった．既往研究式においては，松村式が実測腐食量の平均値程度，桝田式が最大値程度，鳥取式が最小値程度となった．

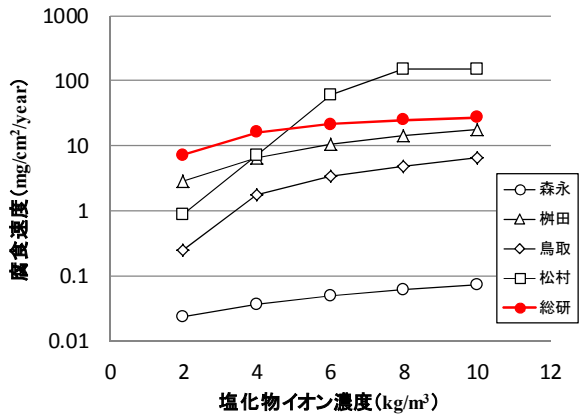

図-1　塩化物イオン濃度と腐食速度の関係

キーワード　塩害，鉄筋腐食速度，腐食発生限界塩化物イオン濃度
連絡先　　〒761-0192　香川県高松市屋島西町2109-8　ＴＥＬ050-8802-4790

3.2 構造物B

施工後41年程度経過，現在使用されていない通路橋で愛媛県松山市の瀬戸内沿岸に位置する．通路橋床版部の下面側主筋φ16を検討対象とした．調査結果から，鉄筋位置での塩化物イオン濃度は5.8 kg/m^{3}程度，塩化物イオン濃度分布から求めた見掛けの拡散係数は1.677×10^{-8}cm^2/s，かぶりは5.7cm（平均値）であった．月間単位で計算し，月平均気温と湿度は，気象庁データから供用期間の愛媛県松山市データを参照した．

腐食発生限界塩化物イオン濃度（Ccr）は，Ccr=1.0 kg/m^3（**図-4**），Ccr=3.0 kg/m^3（**図-5**）とした．総研式は，Ccr=1.0 および3.0 kg/m^{3}とした算定腐食量が実測腐食量ばらつきの上下限程度となった．既往研究式においては，桝田式が最大値程度，鳥取式が最小値程度であったが，松村式は実測最大値よりも大きな値となったが，塩化物イオン濃度が構造物Aよりも2.5 kg/m^{3}程度高いことが影響したものと考えられる．

3.3 総研式の適用性

以上の検討から，総研式は，Ccr=1.0～3.0 kg/m^{3}で概ね瀬戸内海沿岸四国側の実測腐食量上下限を算定できる可能性が高いことがわかった．既往研究式との相対差は，**図-1**に示した塩化物イオン濃度による腐食速度の感度差や，各式の根拠となっている暴露試験における環境条件の違いによるものと考えられる．本検討では，各既往研究式についても加速期の腐食速度を進展期の3.9倍としたが，各式に対して適切では無い可能性も高い．

4．まとめ

筆者らが提案する鉄筋腐食速度評価式を使って実構造物調査結果を対象に腐食量算定し，既往研究式と比較した．瀬戸内海沿岸四国側の構造物に対して，Ccr=1.0～3.0 kg/m^{3}で実測腐食量ばらつきの上下限程度になった．

参考文献：1）松田耕作，横田優，中川裕之，松島学：曝露試験結果に基づいた外部塩害を受けるコンクリート構造物の鉄筋腐食進行予測法の提案，土木学会論文集E2, Vol.70, No.3, pp.289-300, 2014. 2）土木学会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針〈技術資料〉，土木学会原子力土木委員会，pp.347-362, 2005.6

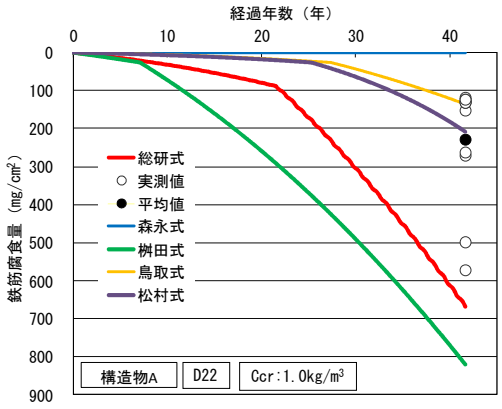

図-2 鉄筋腐食量の比較（構造物A，Ccr=1.0）

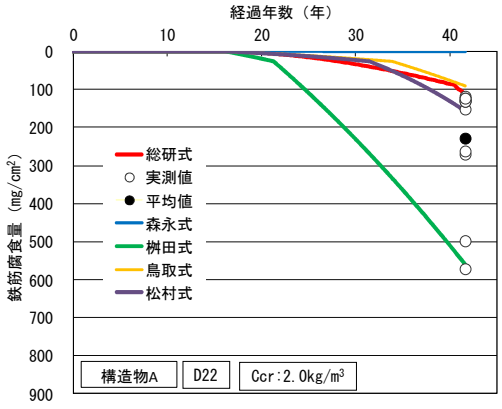

図-3 鉄筋腐食量の比較（構造物A，Ccr=2.0）

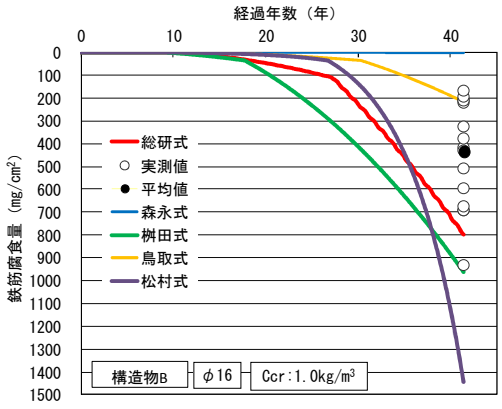

図-4 鉄筋腐食量の比較（構造物B，Ccr=1.0）

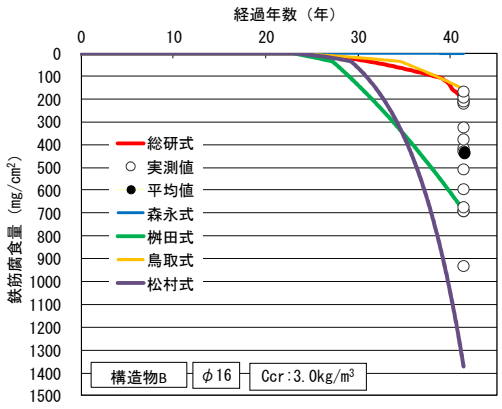

図-5 鉄筋腐食量の比較（構造物B，Ccr=3.0）