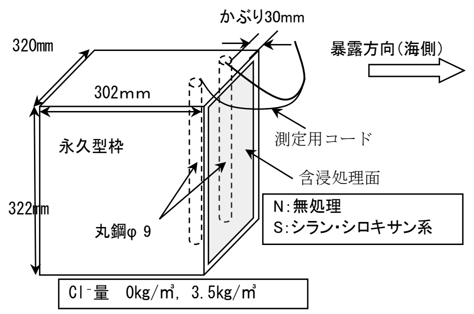
本州沿岸地域における塩害暴露試験による含浸処理の腐食抑制効果の検討

金沢大学理工学域　学生会員○小笠原　啓人　正会員　久保　善司
東日本高速道路(株)　正会員　松田　豊
（財）日本塗料検査協会　正会員　山田　卓司

1. はじめに

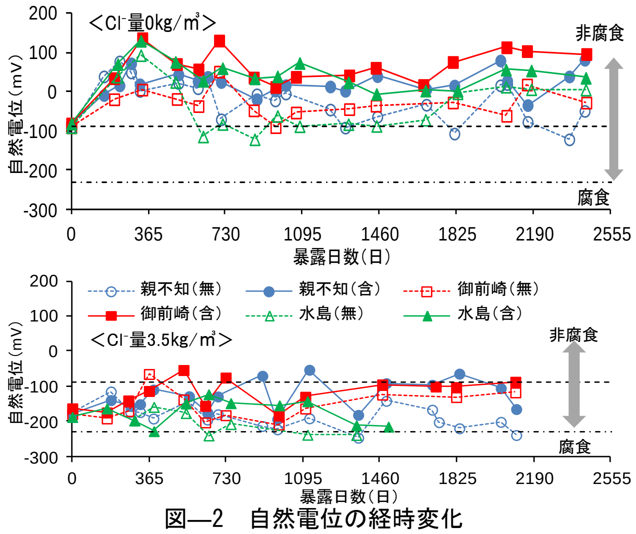
従来，表面処理による塩害対策は主に塗膜系材料が用いられてきたものの，暫定的な補修あるいは延命化対策などにおいてシラン・シロキサン系表面処理が注目されている．塩害においては，外部からの塩化物イオンおよび水，さらには温度などの外的要因によってその発生までの期間やその後の進行速度が異なるものと予想される[1)]．また，含浸材の効果についても同様の影響を受けるとされる[2)]．本研究では，気候区分の異なる塩害暴露実験を行い，環境外力（気象条件，飛来塩分）が鉄筋腐食の発生・進行および含浸処理による腐食抑制効果に与える影響について検討を行うこととした．



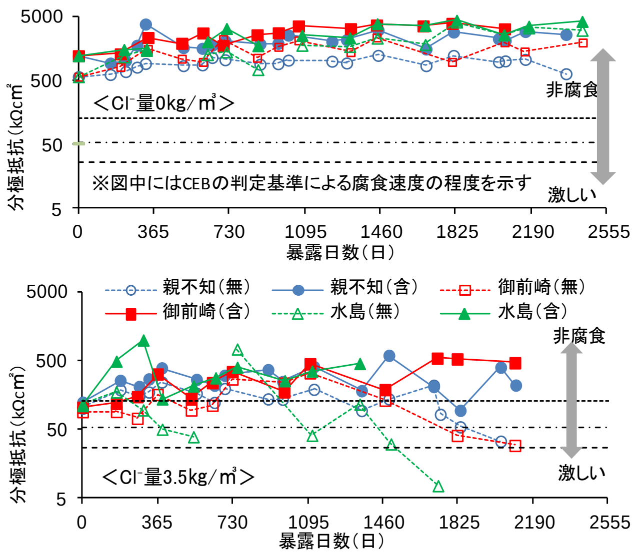
図―1　供試体の概要および要因

2. 実験概要

供試体は検討面以外の 5 面に永久型枠を用い，検討面のみ環境作用を受けるようにした．内部にはかぶり 3cm 位置に鉄筋を埋設し，腐食測定用コードを接続した．表面処理にはシラン・シロキサン系含浸処理を行うものと比較のための無処理を用意し，内在塩化物イオン（Cl^-）を含まないもの， 腐食限界塩化物イオン量程度とそれ以上の 2.2kg/m³および 3.5kg/m³の 3 水準を用意した．供試体概要を**図–1** に示す．なお，3.5kg/m³のものは約 1 年程度遅れて暴露した．暴露環境として，冬季の季節風の影響による影響を大きく受ける日本海岸気候（新潟県親不知地区），比較的降水量が多く，湿度の高い温暖な太平洋気候（静岡県御前崎地区），年間を通じて乾燥した気象条件にある瀬戸内海気候（岡山県水島地区）の地区を選定し，波浪の影響を直接受けないものの，飛来塩分の影響を受ける沿岸部に暴露した。海岸からの距離は親不知地区では 40m, 御前崎地区では 100m, 水島地区では 30m とした．なお，親不知地区は高架下に暴露されているため，直接の降雨の影響を受けにくい環境にある．腐食モニタリング（自然電位，分極抵抗）は，携帯型腐食診断器（Ag/AgCl 電極）を用いて，年数回定期的に実施した．腐食判定基準には，ASTM C 876 および CEB の基準を用いた．



図―2　自然電位の経時変化



図―3　分極抵抗の自然電位

3. 結果および考察

3.1 自然電位

自然電位の経時変化を**図―2** に示す．水島地区の Cl^- を含むものは暴露 4 年目以降の測定が困難となり，そ

れ以降のデータは示されていない．

Cl^-の有無および暴露地区にかかわらず，含浸処理のものでは無処理のものより貴な電位を示し，含浸処理による効果が認められた．他方，Cl^-を含まない無処理のものでは暴露地区の影響が認められ，親不知地区においては暴露の経過に伴い，徐々に不確定領域に推移し，暴露長期においては他の地区より卑な自然電位を示した．Cl^-を含む場合には，含浸処理されたものであっても不確定領域の電位を示し，含浸処理による乾燥のみでは非腐食領域までの回復は困難であった．

3.2　分極抵抗

分極抵抗の経時変化を**図—3**に示す．Cl^-の有無および暴露地区にかかわらず，含浸処理のものでは無処理のものより大きな分極抵抗を示し，含浸処理による効果が認められた．他方，Cl^-を含まないものでは含浸処理の有無および暴露地区にかかわらず腐食は発生していないものと考えられる．ただし，親不知地区の無処理のものでは自然電位と同様の減少傾向を示し，腐食しやすい状態に推移しているものと考えられる．Cl^-を含む無処理のものでは，水島地区のもので親不知地区および御前崎地区のものより早期に，激しい腐食をしめす分極抵抗へと推移した．親不知地区では初期から徐々に分極抵抗が減少し，御前崎地区では暴露3年目以後減少傾向を示し，暴露6年目にはいずれも激しい腐食を示す分極抵抗に推移した．Cl^-を含む無処理のものには環境条件の影響が顕著に現れたものと考えられる．含浸処理のものでは，いずれの地区でも長期にわたり非腐食領域の分極抵抗が維持されており，腐食の発生・進行が抑制されているものと考えられる．

3.3 暴露長期における比較

環境条件の影響を検討するため，気候区分および暴露条件から推定される環境条件と上記の腐食モニタリングにおける無処理のものの腐食傾向の比較を**表—1**に示す．Cl^-を含まない場合には，いずれも腐食は発生していないものの，親不知地区のものは腐食しやすい状態に推移しているものと考えられる．温度や水分供給は比較的緩和された環境にあるものの，飛来塩分による影響が現れているものと考えられ，最も早期に腐食が発生するものと予想される．他方，Cl^-を含むものでは，水島地区において腐食が早期に発生し，その進行速度も大きい．また，御前崎地区は親不知地区よりも若干腐食の発生が早かった．水島地区においては他の地区よりも乾燥が進行しているにもかかわらず，腐食進行が大きいことから，温度が与える影響は大きいものと考えられる．なお，親不知地区のものは暴露条件が高架下であったことで本来の環境条件よりも緩和されている可能性が高い．

図—1　地区別の環境条件と腐食傾向の比較

地区	飛来塩分	日射・降雨	平均気温(℃)	腐食傾向(無処理)
親不知	大	日射の影響　小 降雨の影響　小	14.3	Cl^-無：腐食しやすい状態に推移 Cl^-有：徐々に腐食へと推移
御前崎	中	日射の影響　大 降雨の影響　有	16.4	Cl^-無：腐食しにくい状態を維持 Cl^-有：3年目以降腐食発生
水島	小	日射の影響　大 年間降水量　少	15.6	Cl^-無：腐食しにくい状態を維持 Cl^-有：早期に腐食発生，腐食進行大

※平均気温は2011年の値を用いた

4. まとめ

含浸処理による腐食抑制効果はいずれの地区においても確認され，暴露開始から6年経過した現在ではCl^-量による程度の違いはあるものの，概ね腐食の発生・進行が抑制されているものと考えられる．一方，無処理のものでは，環境条件によって腐食発生までの期間や腐食速度，程度，Cl^-からの影響の受け方などに違いが生じてくることが確認されている．今後も暴露を継続しデータの蓄積を図るとともに，これらの結果を暴露条件や環境条件と結び付け，より詳細に検討する必要があると考えられる．

謝辞　本研究にあたり，旭化成ジオテック株式会社の笠谷秀雄氏には，現地測定において多大な尽力および助言を賜わり，ここに記し深く謝意を表する．

参考文献　1）濱田秀則：RC港湾構造物の塩害に係わる環境要因の定量的評価に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.38,No2,1999

2）横田直倫ら：温暖な海洋環境下における含浸材の腐食抑制効果，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.31,No.1,2009