

鉄筋腐食抑制型ジェル状シラン系表面含浸材 アクアシール 1400AR

大同塗料株式会社 仲本 善彦

1. 開発経緯

土木学会では、コンクリート構造物の耐久性の向上、劣化の抑制または補修を目的として、コンクリート構造物の表面または表面近傍断面に適用する保護工法を表面保護工法と称している。シラン系表面含浸材はその表面保護工のうち、主に予防保全対策の表面処理工として使用されているコンクリート保護材である。コンクリート構造物の表面に塗布することで、表層部に吸水防止層（はっ水層）を形成する。（写真-1）形成された吸水防止層は、コンクリート表面にはっ水性を付与する（写真-2）とともに、外部からの吸水を抑制する。その結果、コンクリート中の鉄筋の腐食を抑制するほか、凍害によるコンクリートのスケーリングやポップアウトを抑制する。さらに、吸水防止層は被膜を形成することなく透湿性を有するため、コンクリート内部の水分を水蒸気として外部に放散することができ、アルカリ骨材反応の抑制にも効果を発揮する。これらの効果から、シラン系表面含浸材による表面処理工は、新設のコンクリート構造物の予防保全対策として採用されることが多い。一方、現状では、高度成長期から積み上げられた膨大な量の既設コンクリート構造物の長寿命化対策が求められている。既設構造物では、コンクリートの中性化やひび割れ、スケーリングなどの劣化損傷や塩化物イオンの浸透が進んでいるケースも多々あり、これらの構造物にシラン系表面含浸材を適用するためには、鉄筋に直接作用することにより鉄筋腐食抑制効果をさらに高めることが好ましいと考え、

浸透性防錆剤を配合したシラン系表面含浸材であるアクアシール 1400AR を開発した。

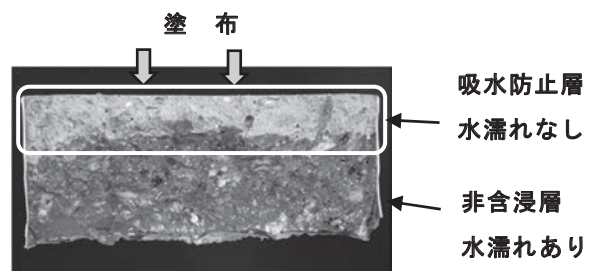


写真-1 吸水防止層

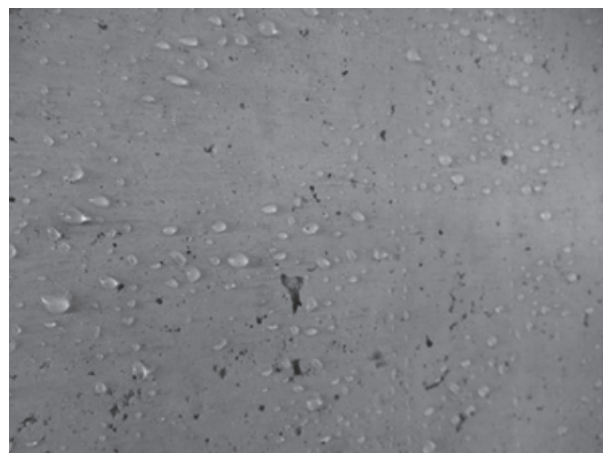


写真-2 塗布後の表面はっ水性

2. アクアシール 1400AR の特徴

アクアシール 1400AR は、シラン系表面含浸材の主成分であるシラン・シロキサンとの相溶性が高く、コンクリート内への浸透性に優れた防錆剤を配合した鉄筋腐食抑制型のシラン系表面含浸材である。コンクリート構造物の表面に塗布すると、シラン・シロキサンはコンクリート内部に浸透し、表層に4～6mmの吸水防止層を形成し、外部からの水や塩化物イオンの浸透

を阻止する。浸透性防錆剤はさらに深く浸透して鉄筋表面に吸着し、水を介した酸素と塩化物イオンとの反応を防ぎ、鉄筋の腐食を抑制する。また、特殊添加剤を配合することで粘性の高いジェル状にしており、垂直面でも垂れにくく1工程で規定塗布量を塗布することができ作業性に優れている。さらに、特殊添加剤は塗布後もコンクリート表面に残存して蓋のような役割を果たし、シラン・シロキサンの揮散を抑制し、これらのコンクリート内への浸透を助ける。図-1に本含浸材の鉄筋腐食抑制のメカニズムを、図-2に浸透のイメージを示す。コンクリート内部に浸透した防錆剤は、ドリルで削孔してその削孔粉を採取し分析することにより浸透深さを確認することが可能である。

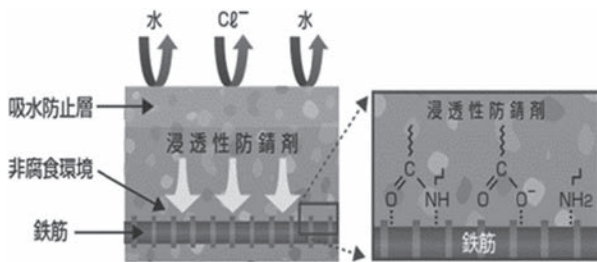


図-1 鉄筋腐食抑制のメカニズム

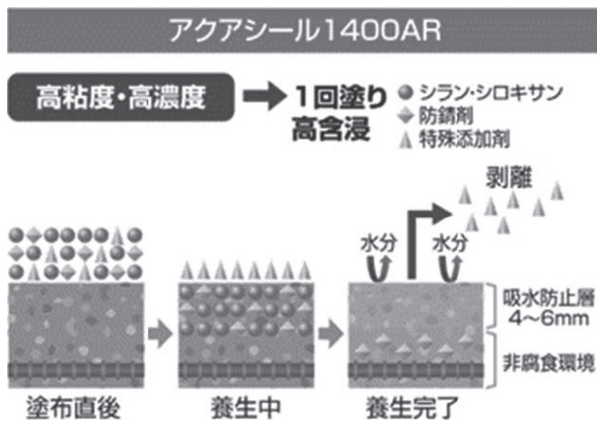


図-2 アクアシール1400AR 浸透イメージ

3. 鉄筋腐食抑制効果の確認

100 × 100 × 200mmでφ 16mmの鉄筋を埋設した水セメント比 55% のモルタル供試体を作製し、100 × 200mmの面を試験面とした。モルタル供試体は塩分を含まないものと、3.5kg/m³の塩分を含むものを作製し、かぶりは40mmとし

た。また、側面はエポキシ樹脂でシールした。試験面の周囲にシーリング材で土手を作製し、3%の塩水を20℃で4日間溜めて湿潤状態を保ち（写真-3）、その後、40℃で3日間乾燥させる工程（写真-4）を1サイクルとし、所定のサイクル数で自然電位と分極抵抗を測定した。測定した分極抵抗から、式（1）により腐食電流密度を算出した。自然電位の評価基準はASTM C 876（硫酸銅）を、腐食電流密度はCEB 腐食速度の判定基準（案）を用いた。



写真-3 塩水滞留工程



写真-4 試験体の乾燥工程

$$\text{腐食電流密度} = K \cdot 1 / \text{分極抵抗}$$

$$K: \text{換算定数 (0.026V)} \quad (1)$$

試験結果を図3~6に示す。アクアシール1400ARを塗布した内在塩分を含まない試験体では、自然電位は初期から-200mV以上を保ち、67サイクル後も鋼材腐食の可能性は90%

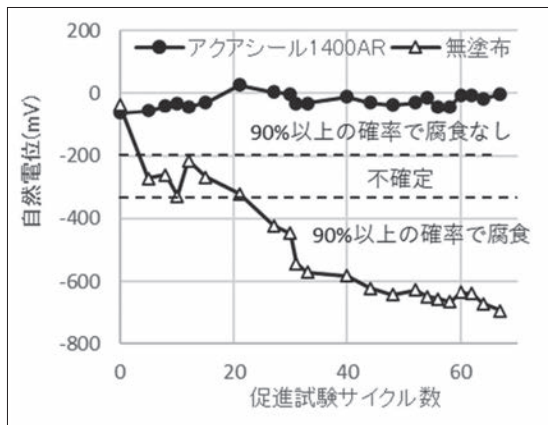


図-3 内在塩分を含まない試験体の自然電位

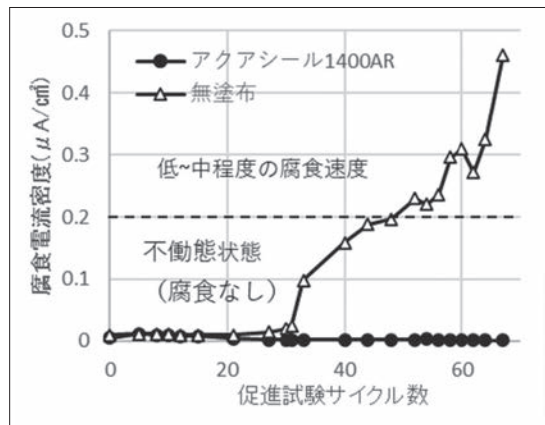


図-4 内在塩分を含まない試験体の腐食電流密度

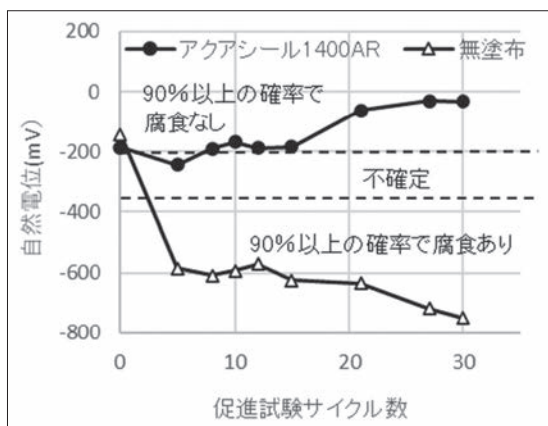


図-5 内在塩分を含む試験体の自然電位

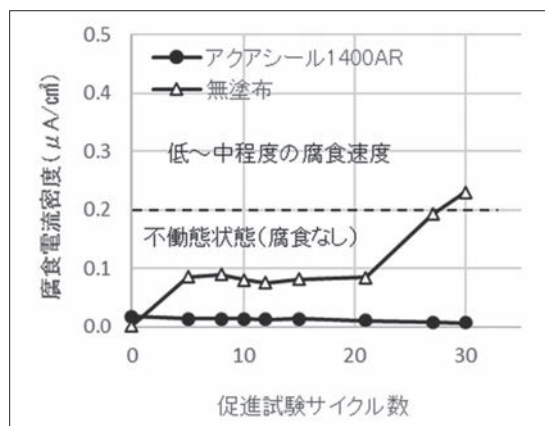


図-6 内在塩分を含む試験体の腐食電流密度

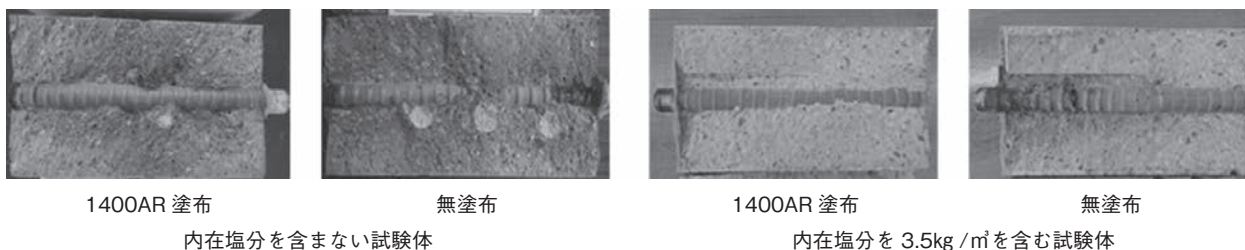


写真-5 鉄筋腐食促進試験後の鉄筋の発錆状況

以上の確率で腐食なしと判定された。腐食電流密度は67サイクルまで $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以下を維持し、腐食速度の判定では不動態状態（腐食なし）となった。一方、無塗布の試験体では、自然電位は5サイクル経過後には -200mV より卑へと移行し、27サイクル経過後には -350mV より卑となり、鋼材腐食の可能性は90%以上の確率で腐食ありとなった。また、腐食電流密度は48サイクル後に $0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ を越えて低～中程度の腐食速度の領域に達し、その後も上昇が続いた。内在塩分を $3.5\text{kg}/\text{m}^3$ 含む供試体にア

クアシール1400ARを塗布した試験体では、塩分の影響で初期の自然電位は -200mV 前後で推移していたが、15サイクル以降は上昇傾向を示し、21サイクル以降は90%以上の確率で腐食なしと判定される域に達した。腐食電流密度は試験期間中、低位で安定していた。無塗布試験体の自然電位は内在塩分の影響ですぐに -350mV より卑となり、90%以上の確率で腐食ありとなった。腐食電流密度は、21サイクル以降で急激に上昇し始め、30サイクルでは低～中程度の腐食速度の領域に達した。写真-5に

示す通り、試験終了後に試験体を割裂し、鉄筋の腐食状況を確認した結果、アクアシール1400ARを塗布した試験体では内在塩分の有無にかかわらず鉄筋に腐食は確認されず、無塗布の試験体では鉄筋腐食が確認された。この結果は、自然電位と腐食電流密度の測定結果と一致しており、アクアシール1400ARの鉄筋腐食抑制効果が確認された。

4. 浸透性防錆剤の浸透深さの確認

アクアシール1400ARに配合されている浸透性防錆剤は、コンクリート中から抽出して分析することが可能であり、浸透した防錆剤濃度を定量することで防錆剤の鉄筋腐食抑制効果が検証できる。そこで、水セメント比50%のコンクリートブロックにアクアシール1400ARを塗布し、14日、30日、90日、180日経過後に浸透性防錆剤の定量を行った。定量にはφ25mmのコンクリートハンマードリルで、深さ方向に10mm間隔で削孔して採取した削孔粉を用いた。採取した削孔粉を溶媒に浸漬して浸透性防錆剤を抽出し、ガスクロマトグラフで定量分析を行った。浸透性防錆剤は気化することでコンクリート中の空隙を利用して浸透する。分析結果はコンクリート1kg当たりの防錆剤量(mg)で表されるが、一般的にコンクリート1kg中の空隙は0.1Lとされていることから、定量分析により得られた浸透性防錆剤濃度をコンクリート中の空隙当たりの質量に換算した。分析結果を図-7に示す。表層から深さ8mmでは経時で浸透性防錆剤量が減少し、コンクリート中に浸透していることがうかがわれる。10mm以上の深さでは日数の経過と共に増加し、徐々に浸透が進んでいることが示唆され、180日後には深さ30~38mmの範囲で10mg/L、40~48mmの範囲で5mg/Lの浸透性防錆剤が検出された。なお、高速道路の橋台パラペット部で行った試験施工では、1年経過後に40~60mmの深さで、2~10mgの防錆剤が検出されており、実構造物でも防錆剤の浸透性が確認されている。

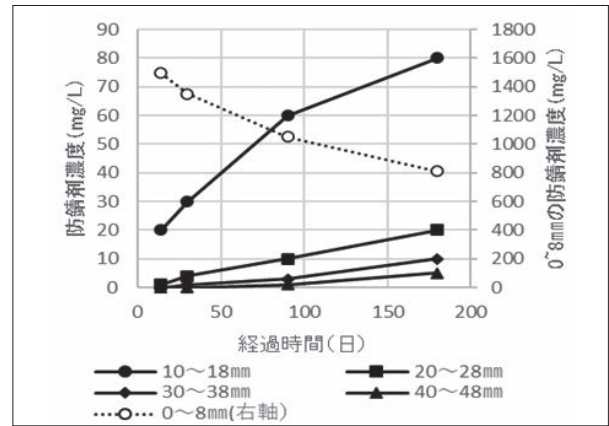


図-7 コンクリートに浸透した防錆剤定量結果

5. 浸透性防錆剤の防錆効果確認試験

試験体から検出された防錆剤濃度について、JIS K 2246 (防せい (錆) 油) 6.39 気化性防せい (錆) 性試験に準拠し、防せい性を確認した。JIS G 3108に規定するSGD 3で、直径16mm、長さ13mm、一端に直径、深さがそれぞれ9.5mmの穴を開けた鋼試験片を図-8に示す密閉容器中に取り付け、5mg及び10mgの浸透性防錆剤を入れた皿を鋼試験片との距離が10mmになるように台に載せて設置し、20℃で20時間静置した。容器内の相対湿度は、35wt%のグリセリン水溶液を入れて90%以上に保持した。防せい性試験後の試験片を写真-6に示す。容器

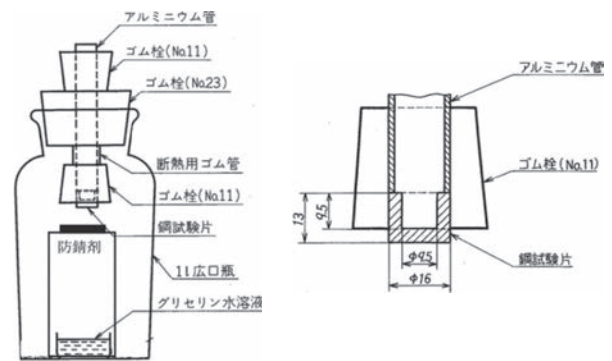


図-8 JIS K 2246 (防せい (錆) 油) 防せい性試験

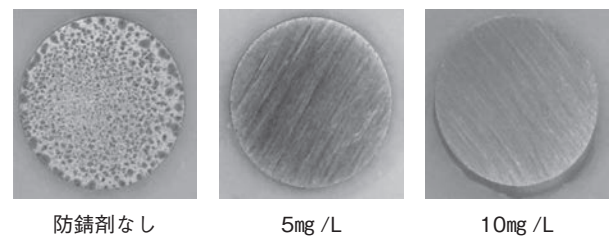


写真-6 防せい性試験後の試験片

中に浸透性防錆剤を入れない試験片では全面に点さびが発生しているのに対し、浸透性防錆剤を5mg/L、10mg/L入れた試験片では錆は認められなかった。これらの試験結果と前述の「3.鉄筋腐食抑制効果の確認」および「4.浸透性防錆剤の浸透深さの確認」の結果を考え合わせると、内在塩分を含む試験体の促進試験では浸透性防錆剤が徐々に試験体内部に浸透し、25サイクル（175日経過）時点では深さ40mmの鉄筋位置まで腐食抑制に必要な防錆剤濃度に達したことにより、鉄筋腐食が抑制されたことが示唆される。

6. 耐凍害性について

アクアシール1400ARの土木学会基準「表面含浸材の試験方法（案）（JSCE-K 571-2013）」による評価結果は表-1に示す通りで、外部からの水の浸透を抑制するとともに塩化物イオン浸透抑制効果が高い。さらに透湿比が高いことから、塗布した構造物が気中部に存在するとコンクリート内部の水を水蒸気として放出し、乾燥状態を維持することが可能である。このため、水の影響が大きい凍害やアルカリ骨材反応（ASR）に対しても抑制効果が期待できる。

表-1 性能評価結果

試験項目	試験結果
外 観	変化なし
含浸性	6.0 mm
透水抑制率	90%
吸水抑制率	92%
中性化抑制率	100%
塩化物イオン浸透抑制率	100%
透湿比	86%

7. まとめ

浸透性防錆剤を配合したシラン系表面含浸材としてアクアシール1400ARを開発した。本含浸材を用いて3.5kg/m³の内在塩分を含む供試体で鉄筋腐食促進試験を行った結果、自然電位は貴の方向に推移し、腐食電流密度も低位で安定しており、鉄筋腐食抑制効果が確認できた。これらの結果から、アクアシール1400ARは、既設の鉄筋コンクリート構造物の腐食抑制対策としても適用が可能であると考えられる。本含浸材による表面処理工は、構造物の外観を損なうことがなく、目視による日常管理や状態等の診断評価が容易である。また、工程数が少なく低コストなため、効率的に施設の長寿命化を図り、ライフサイクルコストを低減できる可能性があり、農業水利施設におけるストックマネジメントの取り組みに合致する工法と考えられる。