既設コンクリート部材への表面含浸工法の適用性・適用限界に関する研究

研究予算:運営費交付金 研究期間:平31~令3 担当チーム:耐寒材料チーム 研究担当者:安中新太郎、島多昭典、 菊田悦二、遠藤裕丈

【要旨】

コンクリート構造物の維持管理において、予防保全の重要性が広く認識されている。水や塩化物イオンの侵入 に起因する鉄筋腐食に対しては、外見上の変状がみられない段階であれば、シラン系表面含浸材を適用し、性能 低下をくい止めて供用を続ける考え方もある。本研究では、塩化物イオン濃度勾配が形成されているコンクリー トヘシラン系表面含浸材を塗布し、その後に作用する塩化物イオンの供給や乾湿繰り返しが塩化物イオン濃度勾 配の変化に及ぼす影響を調べた。また、塩化物イオンを含む鉄筋コンクリートへのシラン系表面含浸材の適用性 と適用限界を把握するため、塩化物イオン含有量と腐食抑制効果との関係を検討した。その結果、劣化が軽微で あれば、塩化物イオン濃度勾配の変化に与える影響は小さいことがわかった。また、かぶりが 3cm の場合、塩化 物イオン含有量の上限は4kg/m³であったこと、さらに、深部が高い含水状態にあるコンクリートへのシラン系表 面含浸材の適用は、塩化物イオン量が少ない段階で検討することが大切である知見を得た。

キーワード:既設コンクリート、シラン系表面含浸材、塩化物イオン量、鉄筋腐食、自然電位

1. はじめに

近年、コンクリート構造物に対する維持管理におい て、予防保全の重要性が広く認識されている。性能低 下が進行しているコンクリート構造物では、要求性能 に対する限界付近に達した段階で劣化程度に応じたコ ストをかけて対策工を実施し、補修や補強頻度を下げ ている。

一方、外部からの水分や塩化物イオンの侵入に起因 する鋼材腐食などの劣化に対しては、変状が軽微な段 階であれば、作業性ならびに経済性に優れるシラン系 表面含浸材(以下、シランと記す)をコンクリート表 面に塗布し、水分など劣化因子の侵入を抑えることに よって性能低下をくい止め、現在の性能状態が極力、 保持された形で供用を続ける考え方もある。しかし、 既設コンクリートにおける塩化物イオン濃度分布や含 水状態およびひび割れの形態は多様であり、適用性や 適用限界に関して詳しく整理する必要がある。

そこで、本研究では既設コンクリート部材への表面 含浸工法の適用性・適用限界の明確化を目的に、主に シランを対象に、次の(1)~(3)に関して、実験的な評価 を行った。

- (1) 塩化物イオン濃度分布に及ぼす表面含浸工法の影響の評価
- (2) 鋼材腐食抑制効果の評価
- (3) 適用性・適用限界の評価



図-1 表面被覆後の塩化物イオン再拡散の概念

塩化物イオン濃度分布に及ぼす表面含浸工法の影響の評価

2.1 乾湿繰り返しの影響

塩化物イオンの供給を受けた既設コンクリートへ 表面被覆を施すと、塩化物イオンの侵入は抑えられる ものの、図-1に示す概念のように、先に浸透した塩化 物イオンが濃度の低い内部へ再拡散する事例が報告さ れている^{1),2)}。塩化物イオン濃度勾配が形成されたコ ンクリートへシランを塗布した場合、コンクリートは その後も塩化物イオンの作用や乾湿繰り返しを受ける が、これらが塗布後の塩化物イオン濃度勾配の変化に 及ぼす影響が検討された事例は少ない。

そこで、塩化物イオン濃度勾配が形成されたコンク リートへシランを塗布し、その後に作用する塩化物イ オンの供給や乾湿繰り返しが塩化物イオン濃度勾配の 変化に及ぼす影響を実験的に調べた。

- 2.1.1 実験概要
- (1) 供試体作製

水セメ	使用セ		単位量	(kg/m ³)			
ント比 (%)	メント の種類	水	セメント	細骨材	粗骨材		
55	普通	155	282	848	1046		
スランプの実測値・127cm 空気量の実測値・54%							

表-1 コンクリートの配合

表-2 シラン系表面含浸材

名称	成分	外観	有効 成分量(%)	塗布量 (kg/m ³)
Α	シラン・シロキサン	ジェル状	90 以上	0.35
В	アルコキシシラン	液状	90以上	0.28

いずれも無溶剤系

表-1 に供試体作製に使用するコンクリートの配合 を示す。水セメント比は55%とし、セメントは普通ポ ルトランドセメント、細骨材は苫小牧市錦岡産の海砂

(表乾密度 2.65g/cm³、吸水率 1.41%、除塩処理済)、 粗骨材は小樽市見晴産の砕石(表乾密度 2.68g/cm³、吸 水率 1.76%、最大寸法 20mm)を使用した。スランプ は AE 減水剤(リグニンスルホン酸化合物とポリオー ルの複合体)、空気量は AE 助剤(変性ロジン酸化合物 系陰イオン界面活性剤)で調整した。供試体は 100mm ×100mm×100mm とした。打設後は湿潤養生を 7 日間 行い、その後は材齢 28 日まで温度 20℃、湿度 60%の 恒温恒湿室に静置した。

(2) シラン系表面含浸材

表-2 は実験で使用するシランを示している。ここで は北海道開発局道路設計要領の基準 ³⁾を満たす A、B の2種類を使用することとした。

(3) 実験工程

図-2に実験工程を示す。実験は材齢28日から開始した

はじめに、塩水浸漬と乾燥の繰り返しを受ける乾湿 環境下でのシランの遮塩性能について把握した(実験 記号:N、A、B)。乾湿を与える面は打設面とし、打 設面以外の5面は保護のためにエポキシ樹脂でコー ティングした。打設面にシランを塗布し、常温下で濃 度3%塩化ナトリウム水溶液(塩水)に4日間浸漬し、 次いで40℃の環境で3日間乾燥させる7日1サイクル の乾湿繰り返しを8サイクル与えた。

次に、シランを塗布せずに乾湿繰り返しを8サイクル 与えて塩化物イオン濃度勾配を形成させた実験記号N の供試体にシランを塗布し、再び乾湿繰り返しを8サ イクル与え、塩化物イオン濃度勾配の変化を調べた(実 験記号:N-N、N-A、N-B)。

実験	実験工程							
記号	•				->			
Ν		乾湿8サイクル	測定					
А	A塗布	乾湿8サイクル	測定					
В	B 塗布	乾湿8サイクル	測定					
N-N		乾湿8サイクル	—	乾湿8サイクル	測定			
N-A	_	乾湿8サイクル	A塗布	乾湿8サイクル	測定			
N-B		乾湿8サイクル	B 塗布	乾湿8サイクル	測定			

-: 作業なし

乾湿:常温下での塩水浸漬4日、40℃乾燥3日の7日を1サ イクル

測定:深さ 0~100mm における塩化物イオン量濃度勾配を、 JIS A1154 に準じて測定

図-2 実験工程

表−3 シラン系表面含浸材の含浸深さ

実験記号	Α	В	N-A	N-B
含浸深さ(mm)	10.3	6.8	5.1	6.5



図-3 乾湿8サイクル目の塩化物イオン濃度勾配

塩化物イオン量は、コンクリートカッターで深さ0 ~15、20~35、40~55、60~75、80~95mm(以降、 中間値をとって、それぞれ7.5、27.5、47.5、67.5、87.5mm と記す)から試料を切り出し、JISA1154に準じて測 定した。

表-3 は供試体を割裂し、水を噴霧した際の撥水状況 をもとにシランの含浸深さを調べた結果である。シラ ンは主に深さ 0~10mm に含浸していた。

2. 1. 2 実験結果·考察

図-3 は、シランの遮塩性能を把握するために行った 実験記号 N、A、B の乾湿 8 サイクル目の塩化物イオ ン濃度分布の測定結果である。無塗布の N は深さ 7.5mm に 7kg/m³ の塩化物イオン量が蓄積し、深さ 80mm の範囲にかけて濃度勾配が形成されていた。一





方、A、B を塗布した供試体は塩化物イオンがほとん ど侵入していなかった。一般にシランの遮塩性能は塩 水浸漬試験のみで評価される⁴が、塩水浸漬と40℃の 乾燥の繰り返しを受ける環境でも遮塩性能を発揮する ことを確認した。

図-4は、乾湿繰り返しを8サイクル与えて塩化物イ オン濃度勾配を形成させた実験記号Nの供試体にシラ ンを塗布し、再び乾湿繰り返しを8サイクル与えたと きの塩化物イオン濃度勾配を示している。実験記号 N-N をみると、塩化物イオン量は深さ 7.5mm より深さ 47.5mmの方が多く、Nに比べると深さ7.5mmは2kg/m³ の増加に対し、深さ 47.5mm は 6kg/m³ 増加していた。 これは、深さ 0~50mm では濃度拡散に加えて、乾燥 工程から塩水浸漬工程に転じた際、塩水が供給される 打設面から乾燥した内部組織へ向けて大きな吸水作用 5)が発生したことで、多くの塩水が内部へ移動する現 象が生じたためと考えられる。これに対して、シラン を塗布した実験記号 N-A、N-B の濃度勾配は、再び乾 湿繰り返しを与える前のNの濃度勾配とほぼ同程度で あった。表面被覆材を施工した既設コンクリートにお いて経年後に見受けられる内部への塩化物イオンの再 拡散の要因の一つに、乾湿時に発生する内部に閉じ込 められた滞留水分の移動 2)があげられるが、シランは 水蒸気透過性を有している 3ことから、塗布後の乾燥 工程で蒸発した内部の水分の多くが外部へ移動したた め、再拡散が殆ど進行しなかったと考えられる。

塩化物イオン濃度勾配が形成されているコンク リートへシランを塗布し、再び、乾湿繰り返しを与え たところ、本実験の範囲では再拡散は確認されず、塩 化物イオン濃度勾配の変化に与える影響は小さい知見

56F	56日間 凍結融解+乾湿	→ ^{塩分} 分析		
56F-56	56日間 凍結融解+乾湿		56日間 凍結融解+乾湿	➔ ^{塩分} 分析
56F-56S	56日間 凍結融解+乾湿	シラン 塗布	56日間 凍結融解+乾湿	➔ ^{塩分} 分析
168F	168日間 凍結融解+乾湿	◆ ^{塩分} 分析		
168F-56	168日間 凍結融解+乾湿		56日間 凍結融解+乾湿	→ ^{塩分} 分析
168F-56S	168日間 凍結融解+乾湿	シラン 塗布	56日間 凍結融解+乾湿	➔ ^{塩分} 分析
280F	280日間 凍結融解+乾湿	◆ 塩分 分析		
280F-56	280日間 凍結融解+乾湿		56日間 凍結融解+乾湿	→ ^{塩分} 分析
280F-56S	280日間 凍結融解+乾湿	<u>シラン</u> 塗布	56日間 凍結融解+乾湿	➡ 塩分 分析
	図-5	実験工	程	

を得た。

2.2 乾湿繰り返しと凍結融解の複合作用の影響

2.1 では、主に乾湿繰り返しの影響に着目して検討 を行った。本節では乾湿繰り返しと凍結融解の複合作 用に着目し、塩化物イオン濃度分布の変化に及ぼす影 響について評価を行った。

2. 2. 1 実験概要

(1) 供試体作製

供試体の配合、使用材料、寸法、養生方法について は、2.1.1の(1)に同じである。

(2) シラン系表面含浸材

シランは、表-2のAを使用した。

(3) 実験工程

実験は材齢 28 日から開始した。図-5 に実験工程を 示す。ここでは、濃度 3%の塩水を厚さ 6mm で張って -18℃で 16 時間、23℃で 8 時間の 1 日 1 サイクルの凍 結融解を 7 日間 (7 サイクル)、そして、2.1 と同じ方 法である、常温下で濃度 3%の塩水に 4 日間浸漬し、 次いで 40℃の環境で 3 日間乾燥させる 7 日 1 サイクル の乾湿繰り返しを 7 日間 (1 サイクル)、交互に与える 作業を所定の期間行った。例えば、図-5 に示す 56 日 間「凍結融解+乾湿」であれば、供試体は、凍結融解 7 日→乾湿 7 日→凍結融解 7 日→乾湿 7 日→凍結融解 7 日→乾湿 7 日→凍結融解 7 日→乾湿 7 日 (計 56 日間) の工程を受けていることを意味する。

写真-1 に一例として、168F、280F の塩分分析実施 時のコンクリートの表面状況を示す。それぞれの写真 の下に、平均スケーリング深さもあわせて示す。スケー リング深さは、**写真-2** に示すように、先端の尖った *φ*





-リング深さ:0.3mm

平均スケ-

平均スケーリング深さ:0.2mm

写真-1 168F、280F の塩分分析実施時のコンクリート 表面の状況



写真-2 スケーリング深さの測定状況

4mm のステンレスの棒をあて、棒の先端がスケーリン グで凹んだ部分に入り込んだときの下方への棒の移動 量から求めた。棒7本の測定値の平均を、平均スケー リング深さとしている。平均スケーリング深さは 0.2 ~0.3mm で、280F は 168F に比べると凹凸がやや大き い状況にある。

この実験では図-5 に示すように、このような表面に シランを塗布し、さらに凍結融解+乾湿を与えて、塩 化物イオン濃度分布の変化を調べた。塩化物イオン量 の測定は、コンクリートカッターで深さ 0~2、2~4、 4~6、6~8、8~10cm(以降、中間値をとって、それ ぞれ 2、4、6、8、10cm と記す)から試料を切り出し、 JIS A 1154 に準じて測定した。

2. 2. 2 実験結果·考察

図-6 は塩化物イオン濃度分布の測定結果である。上 段の図をみると、凍結融解+乾湿を 56 日間与えた 56F の濃度分布と、これに塗布してさらに 56 日間、凍結融 解+乾湿を与えた 56F-56S の濃度分布がほぼ同程度で あることがわかる。これは、シランの塗布により、塩 化物イオンの侵入が抑制されていることを示している。 次に、中段の図をみると、凍結融解+乾湿を 168 日間 与えた 168F の濃度分布に対し、これに塗布してさら に 56 日間、凍結融解+乾湿を与えた 168F-56S は塩化 物イオン量が大きい方へ濃度分布がシフトしている。 しかし、凍結融解+乾湿を 168 日間与えた後、さらに 引き続き 56 日間、凍結融解+乾湿を与えた 168F-56



の濃度分布に比べると、塩化物イオン量は小さかった。 シランの塗布による塩化物イオンの侵入抑制効果の低 減が見受けられたものの、無塗布の場合(168F-56)に 比べると効果は発揮されている傾向にあった。最後に、 下段の図をみると、凍結融解+乾湿を 280 日間与えた 後、塗布してさらに 56 日間、凍結融解+乾湿を与えた 280F-56S の濃度分布と、凍結融解+乾湿を 280 日間与 えた後、さらに引き続き 56 日間、凍結融解+乾湿を与 えた 280F-56 の濃度分布が、ほぼ同程度であることが わかる。これは、凍結融解+乾湿を 280 日間与えた 280F の表面は、**写真-1**でも示したようにスケーリングが進行し、さらにコンクリート組織に微細ひび割れが進展しているため、シランによる吸水抑制効果が十分発揮されなかったものと考えられる。

2.1 の実験では、乾湿繰り返しのみでは塩化物イオ ン濃度勾配に及ぼす影響は小さい結果であったが、本 節の実験では、塗布前のコンクリートが受けている凍 結融解履歴が長く、表面の凍害が進んでいる場合、シ ランによる吸水抑制効果は十分発揮されにくく、塩化 物イオン濃度分布の変化に及ぼす影響が大きくなる結 果が示された。適用限界は、写真-1 で示した168Fの 表面状態と 280F の表面状態の中間程度の表面状態と 思われる。今後、適用限界の定量判定に向け、写真-1 で示した表面状態のコンクリートの密実性を適切に評 価できる方法の開発・普及が課題と考える。

3. 鋼材腐食抑制効果の評価

3.1 塩化物イオン量・かぶり・使用セメントの影響

既設の鉄筋コンクリートは、塩化物イオン量、かぶ り厚さ、セメントの種類が一様ではない。そのため、 外部からの水や塩化物イオンの侵入に起因する鉄筋腐 食の進行を抑えるためのシランの適用性や適用限界の 検討に向け、これらコンクリートの品質状態の影響に ついて詳しく整理する必要がある。そこで、塩化物イ オンを含む鉄筋コンクリートへのシランの適用性と適 用限界を把握するため、塩化物イオン含有量とシラン の適用効果の関係について検討した。

3.1.1 実験概要

(1) コンクリート配合・材料

コンクリート配合を表-4 に示す。水セメント比は 55%とした。セメントは普通ポルトランドセメント(以 下、普通ポルトと記す)もしくは高炉セメントB種(以 下、高炉 B と記す)を使用した。細骨材は表乾密度 2.65g/cm³、吸水率 1.41%、除塩処理済の苫小牧市錦岡 産の海砂、粗骨材は表乾密度2.68g/cm³、吸水率1.77%、 最大寸法 20mm の小樽市見晴産の砕石を使用した。ス ランプは12±2.5cm、空気量は4.5±1.5%を目標とし、 AE 減水剤(リグニンスルホン酸化合物とポリオール の複合体)と AE 助剤(変性ロジン酸化合物系陰イオ ン界面活性剤)で調整した。塩化物イオン含有量は、 シランによる腐食速度の低減が 4kg/m³ まで示された 例があること³⁾に鑑みて、1、2、3、4、5kg/m³に設定 し、設定した塩化物イオン量の 58/35 倍の塩化ナトリ ウム (Na の原子量を 23、Cl の原子量を 35 とする) を 練混ぜ水に溶かし込んだ上で練混ぜを行った。各配合

表-4 コンクリート配合

	使用		単位	达量(kg	g/m ³)			スラ	空気
記号	セメ	W	C	S	G	C1-		ンプ	量
	ント	**	C	5	U	CI	NaCl	(cm)	(%)
N1						1	1.66	13.4	5.0
N2	並活					2	3.31	13.3	5.1
N3	音通	155	202	848	1046	3	4.97	13.5	5.5
N4	11/12 F	155	202			4	6.63	14.5	5.4
N5	-			5	° 20	14.0	5.5		
B5	高炉 B			844	1042	5	0.29	14.3	5.1





にはセメントの種類と塩化物イオン量を組み合わせた 記号を付けた。

(2) 供試体

図-7に供試体を示す。寸法は 10cm×10cm×19cm と した。打設面からのかぶりが 3cm もしくは 5cm となる ように公称直径 12.7mmの SD345の未腐食の異形棒鋼 D13(以降、鉄筋と記す)を埋設し、経年して塩化物 イオンが侵入したものの、鉄筋腐食には至っていない 既設コンクリートの状態を再現した。供試体は打設後、 材齢7日まで湿潤養生を行い、その後、材齢28日まで 温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室に静置した。この間、 材齢21日目に、後述する乾湿繰返し試験で乾湿を与え る打設面にシランを刷毛で塗布するとともに、打設面 以外の5面をエポキシ樹脂でコーティングした。なお、 後述する自然電位測定では打設面を濡らす必要がある 理由から、照合電極をあてる部分にはシランを塗布し



写真-3 乾湿繰返し試験装置

ていない。

シランは、表-2 で示した A, B を使用した。

(3) 乾湿繰返し試験

乾湿繰返し試験は JCI-SC3⁰を参考に、温度 70℃で相 対湿度 90%以上の高温高湿作用を 3 日間、常温で相対 湿度 70%以下の乾燥作用を 4 日間、計 7 日間 1 サイク ルの乾湿繰返しを 20 サイクル行った。写真-3 に乾湿 繰返し試験装置を示す。装置は、厚さ 25mm のポリス チレンフォームを使用して作製した幅 105cm、奥行 60cm、高さ 120cmの試験槽に、水蒸気発生装置(200V、 3.8kW)と、常温~350℃の範囲で温度を 1℃単位で設 定できる熱風発生装置(200V、5kW)を取り付けた構 造となっている。シラン塗布供試体について、自然電 位測定用の照合電極をあてる打設面の一部にはシラン を塗布していないが、この部分は試験中、防水のため 養生テープで保護した。

(4) 自然電位測定

鉄筋の状態変化を把握する参考とするため、1 サイ クルおきに ASTM C 876⁷に準じた自然電位測定を 行った。試験面は打設面とし、打設面にあてる照合電 極として飽和硫酸銅電極を用いた。測定は乾燥作用か ら高温高湿作用に切り替える際に行った。測定は2回 行い、その平均を測定値とした。なお、電位差計のプ ラス端子を鉄筋に接続させるため鉄筋の先端1cmを供 試体から露出させているが(図-7)、乾湿繰返し試験中 は露出している鉄筋の腐食を防止するため、保護 キャップを取り付けている。

(5) 乾湿繰返し試験後の鉄筋の腐食状況の観察

乾湿繰返し 20 サイクル後に供試体を切断して鉄筋 を取り出し、鉄筋の腐食状態を調べた。取り出し後、 鉄筋に付着するモルタル片を精密グラインダーで入念 に除去し、鉄筋表面の腐食範囲をトレースし、鉄筋の



	表5	ASTM	С	876	におけ	3	評価基準	7
--	----	------	---	-----	-----	---	------	---

自然電位 E (mV)	鉄筋腐食の可能性
-200 <e< th=""><th>90%以上の確率で腐食なし</th></e<>	90%以上の確率で腐食なし
-350 <e≦-200< th=""><td>不確定</td></e≦-200<>	不確定
E≦-350	90%以上の確率で腐食あり

表面積に占める腐食面積の割合(以下、鉄筋腐食面積 率と記す)を測定した。

3. 1. 2 実験結果·考察

(1) 塩化物イオン量の影響(普通、かぶり3cm)

図-8 に普通ポルトを用いたかぶり 3cm の無途布供 試体に乾湿繰返しを与えたときの自然電位の測定結果 を示す。また、ASTM C 8767の評価基準も表-5 にあわ せて示す。供試体には未腐食の鉄筋を埋設したが、試 験開始直後の自然電位はすべての供試体で-200mV 以 上とはならず、塩化物イオン量が多い供試体ほど低い 自然電位を示した。当初からコンクリートに塩化物イ オンが多量に混入している場合、自然電位による評価 では鉄筋腐食が進行していなくても進行の可能性を示 唆することがある⁸とされており、本研究でも試験開 始直後はこれと同じ傾向が示された。なお、その後は 塩化物イオン量が多い供試体に関しても自然電位が 徐々に上昇し、3 サイクル到達時には、すべての供試 体の自然電位が-200mV以上に達した。これは、一定 の乾湿繰返しを与えたことで供試体の水分状態等が安 定して自然電位の変化が小さくなりの、自然電位は未 だ腐食が始まっていない3サイクル目の鉄筋の状態を 適切にチェックしたと考えられる。さらに乾湿繰返し を与えたところ、3 サイクル経過後に N5、6 サイクル 経過後にN4とN3、11 サイクル経過後にN2の自然電 位が低下し、-350mVを大きく下回った。N1の自然電 位は、20 サイクル終了時まで-200mV 以上が概ね保持 された。

図-9 はシラン A、図-10 はシラン B を打設面に塗布



写真-4 20 サイクル終了後の供試体打設面の外観(かぶり 3cm、普通ポルト)

した、かぶり 3cm の普通ポルトを用いた供試体に乾湿 繰返しを与えたときの自然電位の測定結果である。N5 はシラン A、B のいずれもばらつきはあるが暫くは高 い電位で推移し、乾湿繰返し試験の途中で自然電位が 低下に転じ、20 サイクル終了時には約-500mV まで低 下した。一方、N2、N3、N4 については、無塗布(図 -9) とは対照的に、自然電位は20サイクル終了時まで 概ね-200mV以上が保持された。N1の自然電位につい ては、無塗布と同様に-200mV以上であったが、無塗 布に比べると増減の変動は小さい上、5サイクル以降 も約0mVの状態が安定的に続いた。

写真-4 および写真-5 は、20 サイクル終了後の供試



(かぶり 3cm、普通ポルト)

体の打設面および鉄筋の外観を示している。鉄筋の写 真は、打設面側の鉄筋表面を撮影したものである(後 述の写真-6、8も同じ)。なお、試料に書かれている黒 色の数字は、実験データ整理用に書いたもので、表-4 の記号とは無関係である(後述の写真-6、7、8も同じ)。 無塗布の打設面はN2~N5 でひび割れが発生し、また、 N1~N5 のいずれの鉄筋にも腐食が確認された。一方、 シラン A、Bを塗布した場合、N1~N4 に埋設した鉄 筋は部分的に軽度の錆は見られるものの、全体的に腐 食は少ない。N5 については、N1~N4 に比べると腐食 が目立ち、打設面にはひび割れが発生していた。

図-11は、コンクリート内の塩化物イオン量と20サ イクル終了時の鉄筋腐食面積率の関係である。無塗布 の腐食面積率は塩化物イオン量1kg/m³から2kg/m³に かけて大きく増加し、2kg/m³以降も塩化物イオン量に 比例して増加した。一方、シランを塗布した場合は、 A、Bのいずれも4kg/m³までは腐食面積率が10%以下 で、打設面にひび割れは確認されなかった(写真-4)。 しかし、腐食面積率は4kg/m³から5kg/m³にかけて大 きく増加した。

シラン塗布供試体で 4kg/m³ でも腐食が小さかった のは、高湿過程時に噴霧されて表面に付着した水分の 浸透がシランによって抑制された効果と考えられる。

しかし、今回の実験では水分浸透は抑制されている ものの、5kg/m³で腐食が進行した。図-11 に示す無塗





図-12 自然電位測定結果(かぶり5cm、普通ポルト、 塩化物イオン量 5kg/m³)

布のデータから、塩化物イオン量が多いほど腐食は促進されやすいと言える。シランを塗布したコンクリートの表面は水を通さないが、細孔が充てんされないため、水蒸気は透過させる¹⁰⁾。5kg/m³の塩化物イオンが 混入されたコンクリート内の鉄筋は、不動態被膜が大きく破壊され、乾燥過程後の高温高湿作用時に侵入する僅かな水蒸気の作用でも腐食が進みやすい状況にあったことが一因と推察される。なお、5kg/m³のひび割れ幅は無塗布が1.2mmに対し、シラン塗布は0.3~ 0.4mmであった。水分浸透を抑えるシランは腐食鉄筋の腐食の進行を抑える作用を有していると思われ、有効性の高さが伺える。

このことから、塩化物イオンが含まれており、未だ 腐食に至っていない既設の鉄筋コンクリートへシラン を適用する場合、本実験の範囲では含有する塩化物イ オン量の上限は 4kg/m³と言える。

(2) かぶりの影響(普通、塩化物イオン量 5kg/m³)

図-12 に普通ポルトを使用し、かぶりを 5cm、塩化 物イオン量を本項(1)で前述した上限 4kg/m³を上回る 5kg/m³とした供試体に乾湿繰返しを与えたときの自然





写真-7 20 サイクル終了時の供試体側面の外観 (無塗布、かぶり 5cm、普通ポルト、 塩化物イオン量 5kg/m³、上が打設面)



図-13 自然電位測定結果(かぶり 3cm、普通ポルトも しくは高炉 B、塩化物イオン量 5kg/m³)

電位の測定結果を示す。無塗布供試体をみると、かぶ り3cmの実験では3サイクル目に自然電位が低下に転 じたが(図-8)、かぶり5cmでは14サイクルまで自然 電位が高い値で推移し、14サイクル目に減少へ転じ、 -350mV以下まで低下した。一方、シランを塗布した 供試体の自然電位は、試験途中で減少に転じたかぶり 3cmの実験(図-9、10)とは対照的に、20サイクル終 了時まで約0mVの状態が続いた。

写真-6 は、20 サイクル終了時における鉄筋の外観 および鉄筋腐食面積率を示している。無塗布の鉄筋は 広範に腐食が発生している。自然電位は、かぶり 3cm の実験(図-8)よりも11 サイクル遅れて減少に転じた



16





写真-9 20 サイクル終了時の供試体打設面の外観 (無塗布、かぶり 3cm、高炉 B、塩化物イ オン量 5kg/m³)

ものの、腐食面積率は92.9%で、かぶり3cmの実験(図 -11) と概ね同程度であった。写真-7 は 20 サイクル終 了時の無塗布供試体の側面の外観を示している。外見 上、打設面にはひび割れが見受けられなかったが、側 面をみると、鉄筋周囲には腐食膨張によるひび割れが 発生していた。塩化物イオン量が5kg/m³と多いことも あり、14 サイクルから20 サイクルまでの6 サイクル の間に腐食が急速に進んだことが伺える。一方、シラ ン塗布供試体の鉄筋は、写真-6に示すように全体的に 腐食が少なく、腐食面積率も17.8%もしくは25.6%で、 約70%であったかぶり3cmの実験(図-11)に比べる と 1/3~1/4 程度であった。これはシランによる水分浸 透抑制効果に加え、かぶりが大きいこともあって、乾 燥過程後、高温高湿作用時に打設面から侵入する水蒸 気が鉄筋位置まで行き渡りにくかったためと考えられ る。

このことから、塩化物イオンが含まれ、腐食に至っ ていない既設の鉄筋コンクリートへ塗布したシランの 効果は、かぶりにも依存すると言える。

(3) 使用セメントの影響(かぶり3cm、塩化物イオン 量 5kg/m³)

図-13 に普通ポルトもしくは高炉 B を使用し、かぶ りを 3cm、塩化物イオン量を 5kg/m³ とした供試体に乾 湿繰返しを与えたときの自然電位の測定結果を示す。 無塗布の 3 サイクル目の自然電位をみると、普通ポル トは減少に転じているのに対し、高炉 B は概ね-200mV が保持されている。これは、コンクリートの水密性向

表-6 実験水準

項目	実験水準			
塩化物イオン量	2kg/m ³ , 5 kg/m ³			
かぶり厚さ(乾湿作用面側)	3cm, 5cm, 7cm			
シラン	無塗布(比較のため),塗布			

表-7 コンクリート配合

W/C	は田お			単位量	(kg/m^3))		スラ	空気
W/C	使用で	W	C	c	C	C1-	_	ンプ	量
(%)	ハ ンド	w	U	3	U	CI	NaCl	(cm)	(%)
55	普通	155	າຈາ	010	1049	2	3.3	13.9	4.7
55	ポルト	155	202	040	1048	5	8.3	12.0	4.4

【備考】W/C:水セメント比,W:水,C:セメント,S:細骨材, G:粗骨材,CI:塩化物イオン(表中の NaCl は塩化物 イオン混入のために使用した塩化ナトリウムの量),ス ランプと空気量は実測値

上¹¹や塩化物イオンの固定化など高炉Bの特性による ものと考えられる。しかしその後、表層へ緩やかに侵 入する水分の影響により、9 サイクル目で自然電位が 減少に転じ、20 サイクル終了時には**写真-8、9**に示す ように、腐食面積率は 91.0%に達し、打設面には幅 0.5mmのひび割れも発生した。一方、シランを塗布し た高炉Bの供試体は、普通ポルトとは対照的に5kg/m³ でも自然電位は低下せず、20 サイクル終了時の腐食面 積率も 10%程度にとどまった。これは、高炉Bとシラ ンの相乗効果によって水分および水蒸気の侵入が大き く抑えられたことによると考えられる。

このことから高炉Bが使用された既設部材において も、かぶりが薄く、表層で塩化物イオン量の増加が懸 念される場合、シランの適用が有効と思われる。

3.2 コンクリート深部の水分状態の影響

既設構造物は供用開始以降、長きに亘り、降雨等の 水分供給を受け続けている。また、外気に接しない背 面側から水分が供給されている場合もある。そのため、 コンクリート深部が既に高い含水状態にあることも考 えられるが、このようなコンクリートへのシランの適 用性は十分明らかになっていない。そこで、本節では、 塩化物イオンを含む高含水状態の鉄筋コンクリートに シランを塗布して乾湿作用を与え、鉄筋腐食抑制効果 およびシランの適用性を考察した。

3. 2. 1 実験概要

(1) 実験水準

表-6 に実験水準を示す。既設構造物に見立てるための塩化物イオン混入量は 2kg/m³ と 5kg/m³の 2 水準とした。これは、塩化物イオンを混入した四角柱の鉄筋コンクリート供試体の一面以外をエポキシ樹脂で被覆して乾湿繰返しを与えた 3.1 の実験で、シラン無塗布は 1kg/m³から 2kg/m³にかけて、シラン塗布は 4kg/m³



図-14 乾湿繰返しの与え方

から 5kg/m³ にかけて鉄筋腐食面積率が急増した結果 に鑑み、無塗布に対して厳しい条件として 2kg/m³、無 塗布とシラン塗布の双方に厳しい条件として 5kg/m³ を設けたことが理由である。かぶり厚さの 3 水準は、 道路橋示方書¹²⁾に示された腐食を生じさせないための 最小かぶり値を参考にした。

(2) コンクリート配合・材料

表-7 にコンクリート配合を示す。水セメント比は 55%とした。セメントは普通ポルトを使用した。細骨 材は表乾密度 2.65g/cm³、吸水率 1.19%の苫小牧市錦岡 産の除塩処理済の海砂、粗骨材は表乾密度 2.68g/cm³、 吸水率 1.49%、最大寸法 20mm の小樽市見晴産の砕石 を使用した。スランプは 12±2.5cm、空気量は 4.5± 1.5%を目標とし、AE 減水剤(リグニンスルホン酸化 合物とポリオールの複合体)と AE 助剤(変性ロジン



図-15 自然電位の測定結果

酸化合物系陰イオン界面活性剤)を使用して調整した。練混ぜは、塩化ナトリウムを練混ぜ水に溶かし 込んだ上で行った。

(3) 供試体

乾湿作用面側のかぶり厚さが 3cm、5cm、7cm と なるよう、供試体は 10cm×10cm×5cm、10cm×10cm ×7cm、10cm×10cm×9cm の 3 種類とした。鉄筋は、 公称直径 12.7mm の SD345 の未腐食の異形棒鋼 D13 を用いた。供試体は材齢 7 日まで湿潤養生し、その 後は材齢 28 日まで温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿 室に静置した。この間、材齢 21 日に、乾湿作用面と 水分供給を与える背面以外の4 面をエポキシ樹脂で コーティングし、シランを塗布する条件の供試体の 乾湿作用面にはシランを塗布した。

シランは、表-2で示したAを使用した。今回の実験における各供試体のシランの含浸深さは平均 3.1mmであった。なお、後述の自然電位測定において照合電極をあてる部分にはシランを塗布していない。

(4) 乾湿繰返し試験

乾湿繰返し試験のサイクルは 3.1 に同じである。

本研究では図-14 に示すように、先ず、背面からの 水分供給に見立て、背面を水に浸けた状態で乾湿繰 返しを 31 サイクル与えた。続いて、部材背面の補修 を施し、背面側からの水分供給を停止した状態に見 立て、背面に接する水を除去し、背面をエポキシ樹 脂で被覆してから乾湿繰返しを 25 サイクル与えた。 乾湿繰返し試験装置は3.1.1の写真-3 に同じである。

(5) 自然電位測定・鉄筋の腐食状況の観察

自然電位の測定手順および鉄筋の腐食状況の観 察手順は3.1.1の(4)および(5)に同じである。乾湿 繰返しを計56サイクル与えた後、供試体から鉄筋を 取り出し、鉄筋の腐食状態を観察した。

3. 2. 2 実験結果·考察

(1) 自然電位

図-15 に自然電位の推移を示す。

背面から水分供給を与え続けた 31 サイクル目ま での自然電位は、無塗布、塗布のいずれにおいても、 塩化物イオン量 2kg/m³に比べて 5kg/m³の方が小さ かった。塩化物イオン量 5kg/m³の供試体の自然電位 は、90%以上の確率で腐食が疑われる-350mV を大き く下回る値で推移した。塩化物イオン量 2kg/m³の

	背面から水分	供給	fi	共給を	停山	=		
シラン 塩化物 ろ、パンル 参布有無 イオン量			130	3140	48	49	53	56
		3cm	×	×	×	×	×	×
無塗布一	2kg/m ³	5cm	×	×	•	•	•	•
		7cm	×	×	×	×	×	×
	5kg/m ³	3cm	×	×	•	•	•	•
		5cm	×	×	•		•	
		7cm	×	×	×	×	•	•
	2kg/m ³	3cm	×	×	×	×	×	×
塗布		5cm	×	×	×	×	×	×
		7cm	×	×	×	×	×	×
		3cm	×	×			•	
	5kg/m ³	5cm	×	×	•		•	•
		7cm	×	×	•		•	
	5kg/m ³	5cm 7cm	××	× ×	•	•	•	

表-8 供試体のひび割れ発生記録

×・・・ひび割れ未確認、●・・・ひび割れ確認

供試体の自然電位は、全体的にシランを塗布した方 が大きかった。

背面からの水分供給を停止した 32 サイクル目以 降後の自然電位は、いずれの供試体も 40 サイクル目 にかけて、一旦大きく上昇した。その後、41 サイク ル目から 48 サイクル目にかけて、かぶり 3cm の供 試体および塩化物イオン量 5kg/m³の無塗布のかぶ り 5cm の供試体において減少に転じた。しかし、そ の後、一部の供試体で再び増加する等、不安定な推 移を呈した。

(2) 供試体のひび割れ発生記録

表-8 は供試体のひび割れ発生記録である。ここで は供試体の部位を問わず、ひび割れが観察された際 にひび割れ確認を意味する●印を付けている。背面 から水分供給を与え続けた 31 サイクル目までは、い ずれの供試体にもひび割れは確認されなかった。背 面からの水分供給を停止したところ、48 サイクル目 以降、塩化物イオン量 5kg/m³の供試体において、シ ラン塗布有無、かぶり深さを問わず、ひび割れが確 認された。塩化物イオン量 2kg/m³の供試体は、無塗 布のかぶり 5cm でひび割れが確認された。

(3) 鉄筋腐食面積率

図-16は56サイクル終了時の鉄筋腐食面積率を示 している。塩化物イオン量5kg/m³の供試体は、シラ ン塗布有無を問わず、鉄筋表面の約40~60%が腐食 に至った。また、無塗布の供試体では、塩化物イオ ン量2kg/m³、5kg/m³のいずれにおいても、かぶり3cm、 7cmに対し、かぶり5cmの供試体の鉄筋腐食面積率 が突出する特徴的な結果が示された。一方、シラン 塗布の供試体は、無塗布とは対照的に、特定のかぶ



りで鉄筋腐食面積率が突出する傾向は見受けられず、 塩化物イオン量 2kg/m³ はかぶりが深い鉄筋ほど鉄 筋腐食面積率が小さく、かぶり深さとほぼ対応して いた。

図-17は自然電位と56サイクル終了時の鉄筋腐食 面積率の関係である。同じ56サイクル目の自然電位 で関係を整理すると、鉄筋腐食面積率が0~50%と 値が幅広になっているにも関わらず、自然電位は約 0mVと高い値を示す供試体が多く存在する関係が 示された。一方、ひび割れが確認されてから間もな い48サイクル目(表-8)の自然電位と比較したとこ ろ、鉄筋腐食面積率の測定サイクルが異なるためば らつきはあるが、腐食が進みやすい供試体ほど自然 電位が小さい関係が概ね示された。

鈴木ら¹³は、コンクリートの含水率が小さいほど 自然電位は小さくなることを述べている。**3.2**では、 供試体に常温の風を4時間あて、ある程度冷まして から自然電位の測定を行っている。48 サイクル目以 降の一部の供試体は、腐食が大きく進む一方、ひび 割れも大きく進展しており、冷ますためにあてた風 によって供試体内部の水分がひび割れを介して気中 へより多く逸出し、より乾燥しやすい状態にあり、 このことが 56 サイクル目の自然電位と鉄筋腐食面



写真-10 56 サイクル終了時の鉄筋の腐食状態

積率の関係に影響を及ぼしていると考えられる.

(4) 鉄筋表面の腐食状態

写真-10に56サイクル終了時の鉄筋表面の腐食状 態を示す。腐食状態は、乾湿作用面側の鉄筋表面と、 その反対の背面側の鉄筋表面では傾向が異なること が確認された。全体的にみると、塩化物イオン量に よらず、乾湿作用面側の鉄筋表面には腐食の痕が広 くみられるものの、背面側の鉄筋表面は乾湿作用面 側に比べると腐食の痕が少ない、もしくはほとんど みられなかった。

(5) 供試体内部で発生した現象の考察

今回の試験で得た結果の範囲で、供試体内部で発 生した現象について考察する。

1) 背面から水分供給を与え続けた期間

(0~31 サイクル)

試験開始から 31 サイクル目までの間、供試体は 乾湿繰返し作用に加えて、背面からは水分供給を受 け続けたものの、シランの塗布有無、塩化物イオン 量の大小によらず、ひび割れは観察されなかった(表 -5)。このことから、鉄筋の顕著な腐食膨張は発生し ていないように思われる。

本研究で使用した供試体の発錆限界塩化物イオン量は、土木学会コンクリート標準示方書に示されている式(1)¹⁴より求めると、1.75kg/m³となる。

$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4 \tag{1}$$

ここに、*Clim* は発錆限界塩化物イオン量(kg/m³)、 *W/C* は水セメント比である。

発錆限界を大きく上回る塩化物イオン量 5kg/m³

の供試体においては、自然電位が-350mV 以下の小 さい値で推移しており(図-15)、既に腐食が発生し ている可能性はあるものの、図-18の上段に示すよ うに、乾湿作用面側からの乾燥作用の影響よりも、 背面から継続的に水分が供給されたことで鉄筋周囲 が常に飽水状態となり、腐食に必要な酸素が行き渡 らなかった影響の方が卓越したために、この段階で は鉄筋の顕著な腐食膨張にまで至らなかったと考え られる。

2)背面からの水分供給停止以降の期間 (32~56 サイクル)

背面からの水分供給の停止により、乾燥作用の影響が卓越し始め、図-18の中段に示すように、これ まで鉄筋周囲に蓄積されていた水分は徐々に減少し、 鉄筋に酸素が行き渡るようになる。やがて、48サイ クル目に、シランの塗布有無によらず、塩化物イオ ン量 5kg/m³の供試体に、鉄筋の腐食膨張によるひび 割れが観察された(表-8)。高温高湿作用時において 乾湿作用面側から水分が供給されることを抑えるた め、シランを塗布した供試体にもひび割れが確認さ れたことから、0~31サイクルの段階で不動態被膜 の大きな破壊が疑われることと、これまでに背面か ら供給されて鉄筋周囲に蓄積した水分は乾燥作用時 に減少には向かうものの一部が残存したことと、酸 素の供給が複合的に影響したことで、顕著な腐食膨 張に至ったと思われる。

塩化物イオン量 2kg/m³の供試体は、5kg/m³に比べると鉄筋腐食面積率は少なかったが、高温高湿作用時に乾湿作用面側から水分が供給される無塗布の供 試体では、かぶり 5cm の鉄筋腐食面積率が 3cm、7cm



図-18 実験結果をもとに考察した乾燥作用時に供試体の内部で発生している現象の概念

より突出する特徴的な傾向が示された(図-16)。これ と同じ傾向は、無塗布の塩化物イオン量 5kg/m³でも確 認された(図-16)。これは図-7の下段に示すように、 高温高湿作用時に乾湿作用面側から供給された水分は、 乾燥作用時に蒸発するものの、かぶり 5cm 以降の範囲 の水分が残存しやすい状態にあったことと、かぶり 5cm より浅い範囲は酸素の供給が特に多かったことが 考えられる。シラン塗布供試体は、高温高湿作用時に 乾湿作用面側からの水分供給がないため、すべてのか ぶり深さにおいて鉄筋腐食面積率が少ない結果になっ た(図-16)と思われる。

3) 鉄筋腐食の発生形態

今回の実験では、乾燥作用面側の鉄筋表面の方が腐 食の痕は多い結果となった(写真-10)。これは、乾燥 作用面側から供給される酸素のあたりやすさが影響し ていると考えられる。

4. 適用性・適用限界の評価

本研究で得た成果の範囲で、既設コンクリート部材 への表面含浸工法の適用性・適用限界について整理す ると以下のようになる。

塩化物イオン濃度勾配が形成されているコンク リートへシラン系表面含浸材を塗布すると、表面にス ケーリングが発生していない場合、乾湿繰り返しおよ び塩水の作用を与えても再拡散など塩化物イオン濃度 勾配の大きな変化は確認されなかった。一方、**写真-1** で示したようなスケーリングが表面に発生している場合、280Fの状態にシランを塗布しても塩水の侵入を抑えることが困難となり、塩化物イオン量が増加する方向へ塩化物イオン濃度勾配がシフトする結果となった。 すなわち、写真-1で示した 168F と 280F の中間程度の 表面状態が適用限界と言える。

鉄筋腐食に対しては、ひび割れが発生しない段階で はシランの塗布による腐食の進行を未然に防止、また は遅らせることができる可能性がある。その適用限界 については、普通ポルトが使用され、かぶりが 3cm で 未だ腐食に至っていない場合、4kg/m³程度と考えられ る。このことから、今後、鉄筋付近の塩化物イオンが 4kg/m³に達しない見込みがあれば、鉄筋腐食を抑制で きる可能性があるように思われる。高炉 B が使用され ている既設部材でも、かぶりが薄く、表層からの塩化 物イオン量侵入が懸念される場合は、シランの適用が 有効である。

背面からの水分が供給されている場合、凍害やASR などコンクリートの耐久性低下に繋がるため、先ず、 背面の補修を行う必要がある。しかし、その間も外気 からの塩化物イオンの供給が続いている場合、コンク リートの塩化物イオン量はさらに増加することとなり、 腐食の進行が懸念される。高い含水状態にあり、塩化 物イオンが多く蓄積されたコンクリートへシランを塗 布しても、効果は期待できないと言える(図-16)。一 方、高い含水状態にあるものの、塩化物イオン量が少 なく、劣化の進行が軽微な段階であれば、シランの塗 布により、塩化物イオン量の増加を抑えることができ、 腐食の抑制が期待できる(図-16)。このことから、深 部が高い含水状態にあるコンクリートへのシランの適 用は、塩化物イオン量が少ない段階で検討することが 大切と言える。

5. まとめ

本研究では、既設コンクリート部材への表面含浸工 法の適用性・適用限界の明確化を目的に、主にシラン を対象に、はじめに、塩化物イオン濃度勾配が形成さ れているコンクリートへシラン系表面含浸材を塗布し、 その後に作用する塩化物イオンの供給や乾湿繰り返し が塩化物イオン濃度勾配の変化に及ぼす影響を調べた。 次に、塩化物イオンを含む鉄筋コンクリートへのシラ ン系表面含浸材の適用性と適用限界を把握するため、 塩化物イオン含有量と腐食抑制効果との関係を検討し た。得た知見をまとめる、以下のようになる。

- コンクリート表面に顕著なスケーリングがなく、 劣化が軽微であれば、塩化物イオン濃度勾配の変 化に与える影響は小さい。
- (2) 鉄筋の腐食によるひび割れが発生しない段階で はシランの塗布による腐食の進行を未然に防止、 または遅らせることができる可能性がある。
- (3) 普通ポルトが使用され、かぶりが 3cm で未だ腐食 に至っていない場合、今後、鉄筋付近の塩化物イ オンが 4kg/m³に達しない見込みがあれば、鉄筋腐 食を抑制できる可能性がある。
- (4) 高炉Bが使用されている既設部材でも、かぶりが 薄く、表層からの塩化物イオン量侵入が懸念され る場合は、シランの適用が有効である。
- (5) 背面からの水分供給を停止しても、乾湿作用面か ら水分供給を許容し続けた場合、塩化物イオン量 や、水分と酸素の供給形態によっては、鉄筋の腐 食膨張が大きく進行することがある。
- (6) 深部が高い含水状態にあるコンクリートへのシ ランの適用は、塩化物イオン量が少ない段階で検 討することが大切である。

6. 今後の課題

本研究では主に実験的な検討を進めてきたが、今後 は、シランが適用された既設コンクリート構造物にお いてデータを集め、実験的に得た知見との整合性を検 討していきたいと考えている。また、コンクリート表 面状態の適用限界として**写真-1**を示したが、現場でこ の状態を定量的に判定できる簡易な手法の開発にも取 り組みたいと考えている。

参考文献

- 1) 土木学会:表面保護工法設計施工指針(案), コンクリートライブラリー119, pp.119-122, 2005.4
- 守分敦郎,長滝重義,大即信明,三浦成夫:既設コンク リート構造物の塩化物イオンの拡散過程より評価され る表面処理工法の適用性,土木学会論文集, No.520, V-28, pp.111-122, 1995.8
- 3) 国土交通省北海道開発局:北海道開発局道路設計要領, 第3集橋梁,第2編コンクリート,参考資料B「道路橋 での表面含浸材の適用にあたっての留意事項」
- 4) JSCE K 571「表面含浸材の試験方法(案)」
- 5) 小池賢太郎: コンクリート中の水分移動が塩化物イオン の浸透に及ぼす影響に関する基礎的研究, 鹿児島大学博 士学位論文, 2016.3
- JCI-SC3:塩分を含んだコンクリート中における補強用 棒鋼の促進腐食試験方法 -乾湿繰返し法-
- ASTM C 876 : Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- 8) 鷲見高典,伊藤拓也,梅原秀哲:塩化物イオン濃度と自然電位による鉄筋の腐食状態の評価,セメントコンクリート論文集, No.63, Vol.1, pp.584-591, 2009.
- 9) 酒井正樹,神代泰道,小林利充:中性化後における鉄筋 コンクリート試験体の含水状態と鉄筋腐食速度の関係, 大林組技術研究所報, No.82, 2018.
- 10) 文献 1), p.148
- 11) 日本コンクリート工学協会, コンクリート技術の要 点'99, p.186, 1999.
- 日本道路協会:道路橋示方書・同解説,Ⅲコンクリート 橋・コンクリート部材編, p.183, 2017.11
- 鈴木僚,西村次男,加藤佳孝,岩波光保:測定環境条件 が鉄筋コンクリートの電気化学的測定結果に及ぼす影響,コンクリート工学年次論文集,Vol.29,No.2, pp.751-756,2007.7
- 14) 土木学会:2018 年制定コンクリート標準示方書【維持 管理編】, p.145, 2018.10

CLARIFICATION OF APPLICABILITY AND LIMITATION OF INTERVENTION METHOD USING SURFACE PENETRANTS TO EXISTING CONCRETE MEMBERS

Research Period: FY2019-2021 Research Team: Material Research Team, Cold Maintenance Engineering Research Group Author: YASUNAKA Shintaro SHIMATA Akinori KIKUTA Etsuji ENDOH Hirotake

Abstract: It's widely recognized importance to maintenance of concrete members for deterioration prevention. For the corrosion due to water and chloride-ion, if concrete have no apparent deterioration, there is concept of applying the silane-type surface penetrants to prevent the performance degradation, and continue to use the concrete members. In this study, the silane-type surface penetrant was applied to concrete with a chloride ion concentration gradient, and the effects of the supply of chloride-ion and repeated drying-wetting on changes in the chloride-ion concentration gradient were conducted. In addition, in order to clarification the applicability and limitation of the silane-type surface penetrants to reinforced concrete containing chloride-ion, the relationship between the chloride-ion content and the corrosion inhibition effect was examined. As a result, if the degree of deterioration is slight, the influence on change in the chloride-ion concentration gradient the upper limit of the chloride-ion content is 4kg/m³ when the concrete cover thickness is 3cm. Furthermore, it was shown that if the deep part of concrete is in a high water content, it is important to consider the application of a silane-type surface penetrants when the chloride-ion content is low.

Keywords: Existing Concrete, Silane-type Surface Penetrants, Chloride-ion, Corrosion, Half-cell Potentials