

# 沿岸部の農業用コンクリート排水路 における表面含浸工法の有効性について

網走開発建設部 土地改良情報対策官

○遠藤 英樹  
須藤 勇二

積雪寒冷地の沿岸部における農業用コンクリート排水路では、凍害と塩害による複合劣化が問題となっている。このような複合劣化への予防保全対策の 1 つとされる表面含浸工法について、網走開発建設部では、有効性を検証する目的で平成 24 年度に 3 種の表面含浸材（ケイ酸塩系、シラン系、無機系）を用いた鉄筋コンクリート試験体を作成し暴露試験を開始している。本報告では、暴露試験 2 年目の調査結果を報告する。

キーワード：予防保全、塩害・凍害、表面含浸工法

## 1. はじめに

積雪寒冷地の沿岸部における農業用コンクリート排水路では、凍害と塩害による複合劣化が問題となる。

本報告では、このような複合劣化環境にある施設の補修、補強などを実施する際に効果的である劣化因子（水分や塩分）の侵入抑制および防止について、立地条件に応じた適切な予防保全対策を選定するため、平成 24 年度に施工した試験体の 2 年目のモニタリング調査結果について報告する。

## 2. 目的

農業水利施設のコンクリート構造物 調査・評価・対策工法選定マニュアル<sup>1)</sup>では、凍害および塩害に対し、劣化機構ごとに補修工法が示されている。

マニュアルでは、潜伏期の凍害には、表面被覆工法または表面含浸工法を適用すべきとされ、潜伏期の塩害には、表面被覆工法等を適用すべきとされている。

一般的に、凍害と塩害による複合劣化が生じている施設の劣化因子抑制工法は、表面被覆工法とされているものの、比較的高価なことから、本試験により経済性および施工性において優れる表面含浸工法の暴露試験を行い、他工法との比較から適用性を検証する。

## 3. 試験施工箇所

暴露試験は、オホーツク総合振興局管内斜里郡斜里町西部のオホーツク海沿岸部に位置するトーツル沼切替排水路（延長約 200m、敷幅 10m、壁高 4m の RC フルーム水路）にて実施する。（図- 1）

当該施設の右岸側壁は、西向きに面するため、冬期においても長時間に渡り強い日射を受ける。そのため、昼夜の壁面温度変化は非常に大きく、凍結融解の繰り返し



図- 1 試験位置

返し作用を受け、凍害の影響を受けやすい環境となっている。

また、試験箇所は河口から約 200m 離れており、常時は直接波浪に接しないが、潮位上昇や時化の際には波が遡上する塩害環境にある。また、試験箇所は網走国定公園に指定されており、自然環境の保全が必要な地域である。

## 4. 試験施工の概要

暴露試験は、表面処理を施したコンクリートブロックを試験体として製作し、凍害および塩害の複合劣化を受けている農業用排水路法面部に設置して行った。

表面含浸工法として通気性や透湿性などの特性が異なるケイ酸塩系、シラン系、無機系の 3 工法すべてを選定した。また、表面含浸工法と併せて、表面被覆工法（有機系・無機系）および無対策を比較工法として設定し、計 6 工法の暴露試験により適用性の比較検証を行う。（表- 1）

## 5. 調査方法

本試験では、凍害と塩害による複合劣化を引き起こす因子である水および塩化物イオンについて、試験体

からコアを1工法につき3本（水中部、喫水部、気中部）採取して観察、測定を行い、劣化の進行程度を調査するとともに、試験体内に設置した照合電極を用いて自然電位を測定し、鉄筋の腐食状況を推定する。

（図-2）

自然電位の計測にあたっては、暴露試験前に初期値を計測する。また、計測値の評価については、コンクリート内部の水分量や塩化物イオン濃度などの腐食環境の差異による電位変化についても着目する。

なお、モニタリング期間が短いことから、微量の塩

化物イオンの浸透によっても電位変化が生じるように、あらかじめ試験体製作時に1.20kg/m<sup>3</sup>の塩化ナトリウムを混入している。

さらに、凍害と塩害の複合劣化の対策の検討では、凍害に対して一般に耐凍害性が高いとされる「通気性を有する工法」であるか、塩害に対して一般に耐塩害性が高いとされている「塩化物イオンの侵入を抑制する工法」であるか、の2つの視点から工法の適用性を検証する。

表-1 工法の特徴と期待される効果

	工法名	概要	通気性 (耐凍害性)	遮水性 (遮塩性)	施工性	経済性
表面含浸工法	ケイ酸塩系 (ケイ酸塩類混合型)	コンクリート内部に含浸して未水和カルシウムと反応し、生成されたゲル状またはガラス状の結晶が空隙内部を充填する。	△ 空隙充填による通気性低下	○ 空隙充填による透水抑制	○ (1回塗)	○ (15千円/m <sup>2</sup> )
	シラン系 (溶剤系シラン)	コンクリート表面および空隙表面に撥水層を形成する。	○ 空隙は充填されない	○ 撥水層による吸水防止	○ (1回塗)	◎ (9千円/m <sup>2</sup> )
	無機系 (ガラス繊維系)	コンクリート内部に含浸してガラス状の結晶が空隙内部を充填する。	△ 空隙充填による通気性低下	○ 空隙充填による透水抑制	○ (1回塗)	○ (11千円/m <sup>2</sup> )
その他の比較工法	表面被覆工法(有機系) (アクリル系樹脂塗料)	コンクリート表面に緻密な有機被覆層を形成する。	× 緻密な被覆層による通気遮断	◎ 緻密な被覆層による遮水	△ (3回塗)	△ (23千円/m <sup>2</sup> )
	表面被覆工法(無機系) (ポリセメント系)	コンクリート表面に無機被覆を形成する。	△ 通気性をある程度有する	○ 被覆層による透水抑制	○ (1回塗)	△ (26千円/m <sup>2</sup> )
	無対策	—	○	×	—	—

◎：優れる、○：あり、△：やや劣る、×：劣る

※経済性の欄に、試験体製作時のm<sup>2</sup>当たり単価（直接工事費）を示した

表-2 モニタリング項目の概要と目的

項目	概要	目的	備考
①コア採取	試験体から、コンクリート用コアドリルを用いて、φ100mmのコアを1工法につき3本（水中部、喫水部、気中部）採取する。	項目②～⑤の実施	
②外観目視	目視によりコアおよび採取跡を観察し、含浸材の浸透状況、凍害深さを記録する。	施工状況の確認 耐凍害性の評価	
③凍害深さ測定 <sup>2)</sup>	採取コアを用いて超音波伝播速度測定により、凍害深さを計測する。	耐凍害性の評価	
④含水率測定	採取コアをスライスし、スライス片の自然状態の重量を測定する。スライスを粉碎後、絶乾後の重量を測定し、自然状態重量と絶乾重量差から含水率を算定する。各スライス片の含水率からコンクリート内部の水分分布を求め、蒸発や浸透による水分の出入りの有無や程度を把握する。	遮水性・通気性 (耐凍害性)の評価	
⑤塩化物イオン濃度測定	含水率測定に供したコンクリート粉末を用いて、塩化物イオン濃度を定量する。各スライス片の塩化物イオン濃度からコンクリート内部の塩分分布を求め、塩分浸透の有無や程度を把握する。	遮塩性の評価	JIS A1154 <sup>3)</sup>
⑥自然電位測定	試験体打設時に埋設した照合電極により、鉄筋が腐食するときに生じる電位を測定する。測定箇所は、1工法につき3箇所（水中部、喫水部、気中部）とし、同時に試験体の表面温度を計測し温度補正を行う。	遮塩性の評価	

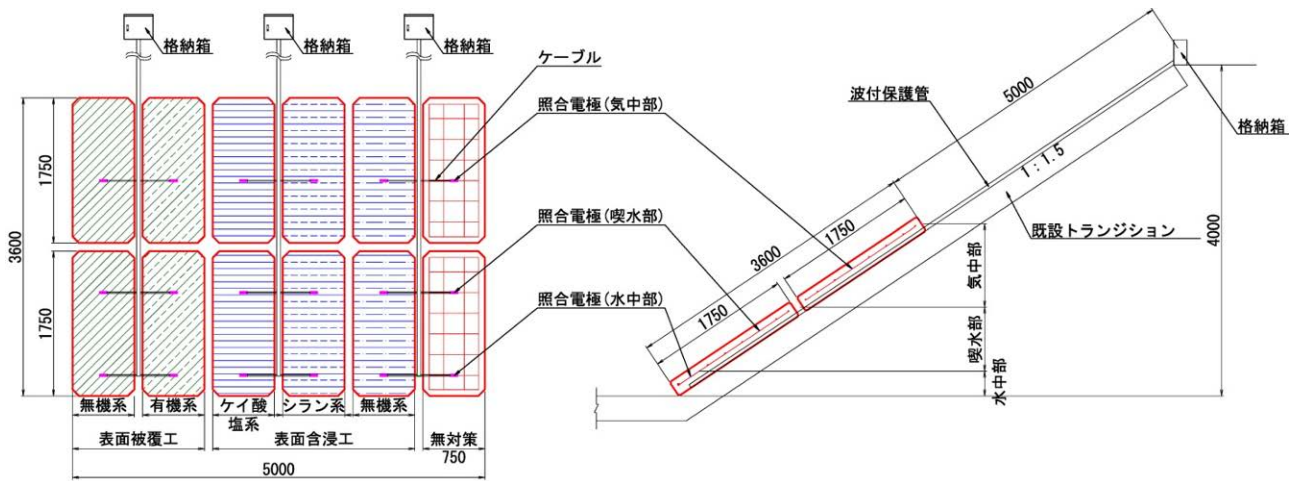


図-2 試験体および照合電極の設置方法

## 6. モニタリング調査結果

### (1) コア採取

調査にあたり、試験体から1工法あたり3本（気中部、喫水部、水中部）のφ100mmコアを採取（写真-1）し、（表-2）の項目②～⑤の調査を行った。



写真-1 コア採取状況

### (2) 外観目視

表面含浸工法を施工した試験体コアの側面において、表面含浸処理による外観上の違いは確認できなかった。

表面被覆工法を施工した試験体コアの側面からは、試験体表面に被覆材の層が確認できた。

外観目視による凍害深さは、設置から2年経過しているが、1年目と同様に外観上の差異は確認できなかった。

### (3) 凍害深さ測定

超音波伝播速度測定による凍害深さ測定では、超音波伝播速度より算出した動弾性係数に、工法ごと、もしくは昨年度の調査結果からの顕著な差異は認められない。超音波伝播速度測定による動弾性係数の算出結果を以下に示す。（図-3、図-4、図-5）

このとき超音波伝播速度から動弾性係数を、次式<sup>4)</sup>により求めた。

$$E_d = 4.0387V_p^2 - 14.438V_p + 20.708$$

ここに、 $E_d$ ：動弾性係数 (GPa)

$V_p$ ：超音波伝播速度 (km/s)

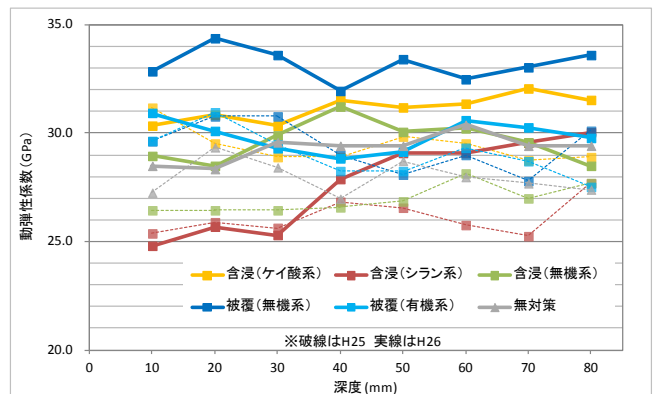


図-3 動弾性係数算出結果（気中部）

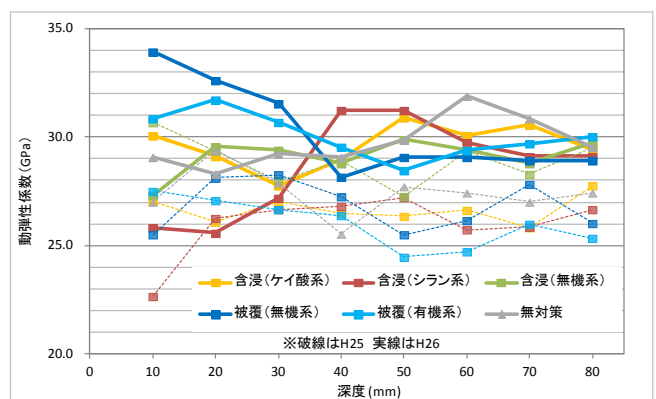


図-4 動弾性係数算出結果（喫水部）

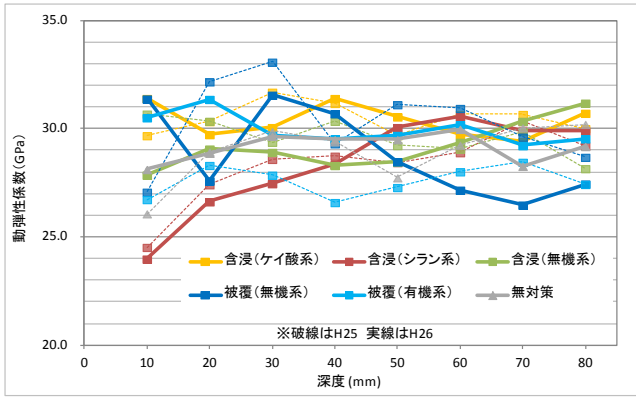


図- 5 動弾性係数算出結果（水中部）

#### (4) 含水率測定

2年目について現在実施中であるが、1年目の結果については試験体の設置期間が短いことから、顕著な差異は見られていない。

#### (5) 塩化物イオン濃度測定

2年目について現在実施中であるが、1年目の結果については試験体の設置期間が短いことから、顕著な差異は見られていない。

#### (6) 自然電位測定

試験体内の鉄筋の腐食状況を推定するために、試験体製造時（平成 24 年 12 月 10 日）、試験体設置時（平成 24 年 12 月 20 日）およびモニタリング 1 年目に 2 回（平成 25 年 8 月 8 日、12 月 2 日）、2 年目に 7 回（平成 26 年 7 月～12 月）、試験体内に設置した照合電極を用い、自然電位を測定した。（写真- 2）



写真- 2 自然電位測定状況

照合電極の設置箇所についても、工法ごとに気中部、喫水部、水中部の 3 箇所であり、箇所ごとの自然電位の変化をグラフに表すと(図- 6)、(図- 7)、(図- 8)のとおりである。

図中の赤線は、硫酸銅電極換算値で $-0.35V$ を示し、ASTM（米国試験材料協会）規格によると、この値以下では90%以上の確率で鉄筋の腐食ありとされる。<sup>5)</sup>(表- 3)

気中部では、いずれの試験体でも自然電位は $-0.35V$ を下回らなかった。喫水部では、モニタリング 1 年目の無対策を除き、 $-0.35V$ を下回っていないが、無対策、表面含浸工法（無機系）、および表面被覆工法（有機系）で $-0.25\sim-0.35V$ と、他工法に比べ比較的低い（上表より「不確定」と判定）値を示した。

水中部では、無対策および表面含浸工法（ケイ酸系、無機系）で自然電位が $-0.35V$ 以下となる傾向を示した（11月計測時を除く）。

表- 3 ASTM C 876 による鉄筋腐食性評価

自然電位 ( $E$ ) (V vs CSE)	鉄筋腐食の可能性
$-0.20 < E$	90%以上の確率で腐食なし
$-0.35 < E \leq -0.20$	不確定
$E \leq -0.35$	90%以上の確率で腐食あり

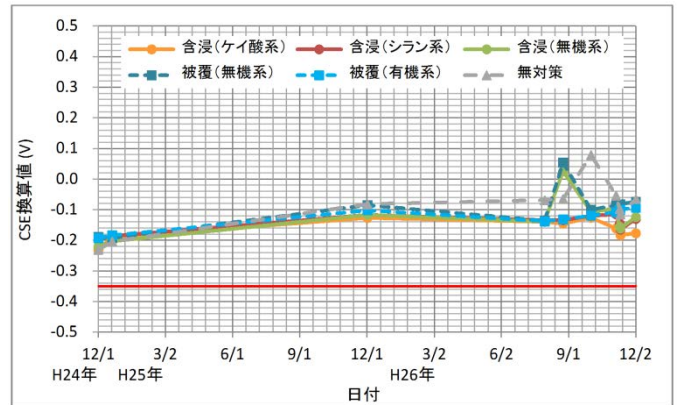


図- 6 気中部の自然電位の変化

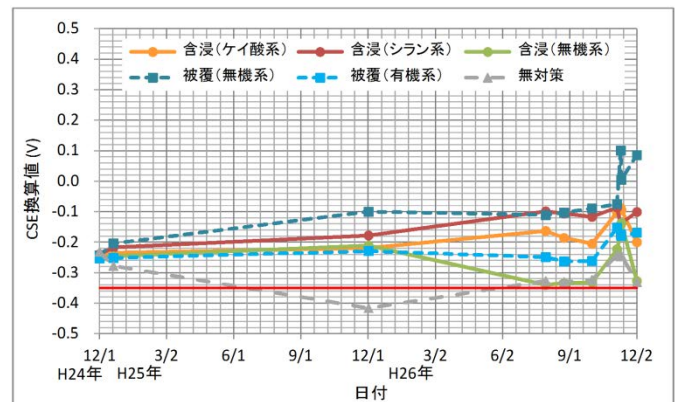


図- 7 喫水部の自然電位の変化

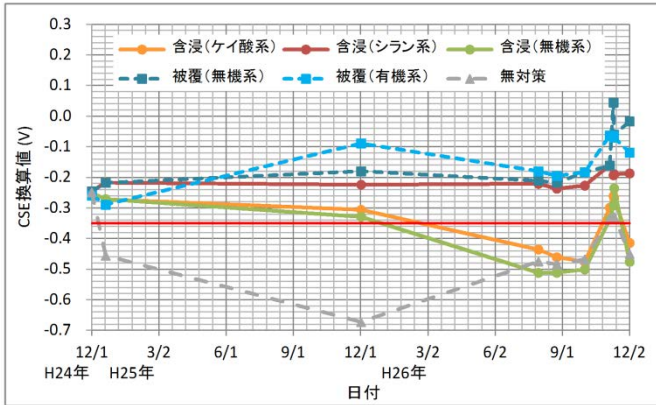


図-8 水中部の自然電位の変化

### (7) 評価

耐凍害性については、2年目の外観目視および凍害深さ測定の結果では顕著な差異が見られないため、各工法の評価に至っていない

耐塩害性については、気中部では、計測した自然電位に、経年による変化、工法による違いは認められないが、水中部では無対策、および含浸工法（ケイ酸系、無機系）で、自然電位が $-0.35V$ を下回る値を示し、更に後者については、経年的な低下傾向も認められる。ただし、計測値には計測時期によるブレが認められること、通年（月1回程度）の電位計測は今年度より実施していることから、各工法を評価するにはモニタリングを継続し、更に傾向を捉える必要がある。

## 7. 今後について

本報告は、モニタリング調査2年目の結果であり、今後もモニタリング調査を継続し、調査結果をとりまとめ、各工法の耐凍害性および遮塩性について評価を行い、複合劣化に対する表面含浸工法の適用性を検証する予定である。

### 参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室：農業水利施設のコンクリート構造物調査・評価・対策工法選定マニュアル，pp.152，2007
- 2) (独)土木研究所 寒地土木研究所：凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)，pp.20，2011
- 3) JIS A1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法，2012
- 4) 緒方英彦，服部九二雄，高田龍一，野中資博：超音波法によるコンクリートの耐凍結融解特性の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，pp.1563-1568
- 5) (社)日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術 13，pp.162，2013