

# 論文 既設鋼矢板水路のコンクリート被覆による再生に関する実証的研究

小林 秀一\*1・佐藤 弘輝\*2・長崎 文博\*3・鈴木 哲也\*4

**要旨：**主に農業用排水路として普及してきた鋼矢板水路は、長期供用に伴う鋼矢板の腐食対策が維持管理において急務な技術的課題となっている。本論では、腐食の進行した鋼矢板水路の腐食特性を概観するとともに、鋼矢板表面のコンクリート被覆による鋼矢板 - コンクリート複合材による鋼矢板の補強効果と、力学的観点からの提案手法の特性を実証的に検討した。その結果、複合材の力学的特性は被覆コンクリートの挙動に依存し、載荷過程において曲げ変形量を抑制する効果が明らかになった。このことから、腐食鋼矢板水路に関する保護工法の一つとして提案手法の有効性が示唆された。

**キーワード：**腐食鋼矢板, コンクリート, 鋼矢板 - コンクリート複合材, 実地実証試験

## 1. はじめに

鋼矢板を用いた農業水利施設では、鋼材腐食に伴い構造断面の減少により長期耐久性の低下が懸念されている<sup>1)</sup>。既存の腐食対策工法には、ウレタン樹脂などを鋼矢板表面に塗布する保護工法が多用されているが、筆者らはLCC (Life Cycle Cost) の低減と施工性・普及性を踏まえて鋼矢板 - コンクリート複合材による補強工法の検討を行っている。検討手法は、腐食代を有する既設材を対象とし、コンクリート被覆による既設材の保護を目的としている。開発の背景として、新潟県内では農業用排水路に鋼矢板水路型式が多用されていることにある。これらの施設は長期供用にとまなう老朽化により、平成30年度末には約6割が標準耐用年数を迎える<sup>2)</sup>。このため、既存施設の長寿命化による戦略的な維持管理が急務となっている。

本報では、主に農業用排水路として普及してきた鋼矢板水路の老朽化に対処するため、腐食の進行した鋼矢板水路の腐食特性を概観するとともに、鋼矢板の腐食対策を目的としたコンクリート被覆による鋼矢板 - コンクリート複合材による鋼矢板の補強効果と、力学的観点からの提案手法の特性を実証的に検討した結果を報告する。

## 2. 鋼矢板水路の腐食機構と保護工法

### 2.1 鋼矢板水路の腐食実態

鋼矢板水路は、その経済性と施工性の良さから、多くの農業用排水路の整備に使用されてきたが、現在これらの鋼矢板水路の多くが老朽化による更新時期を迎えている。老朽化の原因の一つとして、鋼矢板の腐食が挙げられるが(写真-1)、鋼矢板の腐食特性については1980年代を中心に港湾構造物において多くの報告がなされて



写真-1 鋼矢板腐食が極度に進行した水路施設概観

いる<sup>3),4)</sup>。また、鋼矢板水路の平均腐食速度は0.01~0.1 mm/yであり、最大腐食速度は0.03~0.18 mm/yであるとの報告もなされている<sup>5)</sup>。農業水利施設の場合、腐食代は、一般環境において表裏あわせて2 mmとして設計されるが<sup>6)</sup>、特に水面付近(かんがい期と非かんがい期とで水面の高さが変動して、水面上に露出されたり水面下に沈降したりすることが繰り返される部分)では、竣工後約20年で腐食の進行が顕在化すると報告されており<sup>7)</sup>、このような水面付近での急激な腐食の進行を踏まえた腐食対策が維持管理において急務な技術的課題となっている。

### 2.2 腐食対策の種類

鋼矢板の腐食に伴う断面欠損を放置すると、鋼矢板の強度が低下して排水路としての機能を果たさなくなることから、適切な腐食対策を施す必要がある。

\*1 (株)水倉組 建設本部課長 (正会員)

\*2 藤村ヒューム管(株) 技術営業部主任 (正会員)

\*3 藤村ヒューム管(株) 技術営業部課長 工修 (非会員)

\*4 新潟大学 自然科学系(農学部)准教授 工博 (正会員)

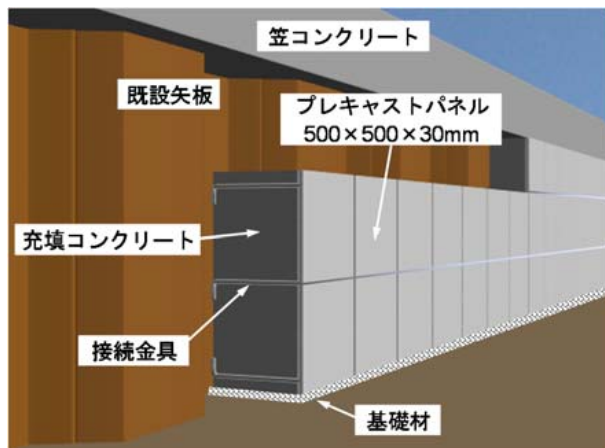


図-1 構造概念図



図-2 現地実証試験位置図

表-1 コンクリート配合

配合強度 $f_{cr}$ ( $N/mm^2$ )	粗骨材の 最大寸法 $G_{max}$ (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量( $kg/m^3$ )				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤
23	25	12.0	4.5	58.0	36.8	156	269	671	1181	2.86

腐食対策には、防食法と腐食代がある。腐食代は供用期間の腐食量に相当する鋼材の板厚を設計時に見込んでおく方法である。防食法は大きく分けて、被覆防食法、電気防食法の2つの方法がある<sup>8)</sup>。被覆防食法には塗装、ペトロラタム被覆、金属被覆、有機被覆、無機被覆があり、鋼矢板表面を各種材料で被覆することで腐食因子を遮断する。

### 2.3 コンクリート被覆による保護工法

本研究で筆者らが提案する工法は、老朽化により腐食した既設鋼矢板をプレキャストパネルとコンクリートにより被覆し(図-1)、鋼矢板水路を保護する工法である。農業用排水路の腐食対策工法には、腐食した鋼矢板表面の錆や付着物をブラスト除去した後、防錆剤を塗布し、ウレタン樹脂などで被覆する有機被覆工法が多用されてきた。しかし、既設鋼矢板継手部の止水処理が困難なため、被覆層の剥離や紫外線による劣化問題があった。提案工法は、下地処理が容易かつ耐候性に優れたコンクリートで被覆するため、再劣化を防止できる。さらに、コンクリートを被覆する型枠には軽量のプレキャストパネルを使用するため施工性を確保できるものと考えられる。表面被覆材としてコンクリートを用いる利点は、コスト低減のみならず、コンクリートのアルカリ性が鋼矢板の腐食を抑制する効果も期待できることにある。なお、本工法の適用する前提条件は腐食代が残存していることにあり、孔食や断面欠損が発生している既設鋼矢板は検討対象から除外した。

本研究では既存の鋼矢板水路において提案工法を適

用するとともに、実構造物での実証的検討を試みている。

本報では、既設鋼矢板のみのケースとコンクリート被覆を施した鋼矢板-コンクリート複合材の2ケースについて曲げ載荷試験における荷重-変位挙動を検討した結果を報告する。

## 3. 現地実証試験方法

### 3.1 計測施設

試験対象は、新潟県内に立地する農業用排水路であり、長期供用(1982年供用開始)による鋼矢板の腐食が進行した施設である(図-2)。試験施設は水路幅2.65m、水路高1.5mで、軽量鋼矢板(3D型L=6m設計板厚6mm)により水路断面が確保されている。かんがい期の設計水深は65cm、水路勾配1:3000、設計流量は2.831 $m^3/S$ である。

### 3.2 既設鋼矢板の断面減少と被覆コンクリート配合

現地は、鋼矢板水路の背面が土中に埋設されており、既設鋼矢板厚は直接計測が困難なため、超音波厚さ計により計測(鋼矢板1枚につき30点:合計120点)を行った。測定原理は、探触子より送信された超音波パルスが既設鋼矢板の背面側で反射し、超音波パルス(Bエコー)となって受信されるまでの時間間隔から、探触子の遅延材による遅延時間を差し引き、測定値に換算するというものである。

計測の結果、河床から60cmの高さ(全鋼矢板高さ120cm)に位置する部位で最少板厚は3.5mmであり、断面減少率は41.7%であった。平均板厚は5.2mmであり、

断面減少率は13.3%であった。このことから、鋼矢板の鉛直方向の腐食厚は常時水位の水面付近で腐食の進行が他の部位と比較して卓越していることが確認された。

被覆コンクリートの配合を表-1に示す。設計基準強度の目標値は18 N/mm<sup>2</sup>、コンクリートの種類は普通コンクリート、セメントの種類は高炉セメントB種とした。

### 3.3 現地実証試験の流れ

現地実証試験の流れを図-3に示す。本研究では、既設鋼矢板水路においてコンクリート被覆の前後で鋼矢板側壁の曲げ載荷時における荷重-変位挙動の変化に着目した。実証的検討は2ケースの曲げ載荷試験により実施した。各ケースの条件を表-2に示す。Case 1: 既設鋼矢板(軽量鋼矢板, t=3.5~6.1 mm), Case 2: コンクリート被覆(t=125~275 mm)を施した既設鋼矢板(軽量鋼矢板, t=4.0~6.5 mm)である。

現地実証試験1回目は既設鋼矢板のみを実験対象とした(Case 1)。Case 1実施後、未試験鋼矢板においてコンクリート被覆を行い約4週間後にCase 2を実施した。試験用の鋼矢板は凹凸2枚で1組として、既設鋼矢板(Case 1)及びコンクリート被覆鋼矢板(Case 2)の2箇所で行うことから、試験箇所以外の隣接する笠コンクリートを取り壊し、既設鋼矢板(軽量鋼矢板3D型L=6 m)は引き抜いた。引き抜いた既設鋼矢板の代わりに土留用の鋼矢板(IA型L=7 m)を打設した。ロードセル背面には、載荷用のセンターホールジャッキ(80 MPa級)を設置するための反力用鋼材を設置した。腐食した鋼矢板表面の錆や付着物は、高圧洗浄機(14.7 MPa)を使用して試験前に洗浄した。洗浄後、腐食鋼矢板の板厚を超音波厚さ計により計測した。以上の作業が終了した後に現地実証試験1回目(Case 1)を実施した。変位変換機1(鋼矢板上端部の計測)、変位変換機2(鋼矢板下端部の計測)、変位変換機3(反力用鋼材の計測)及びロードセルを配置し、曲げ載荷を実施した(図-4)。

次に既設鋼矢板に接続金具を溶接して、プレキャストパネル(縦50 cm×横50 cm×厚3 cm)を所定寸法(高さ120 cm×幅70 cm)に合わせて切断加工し、配置した。既設鋼矢板との間にコンクリートを充填し、28日間コンクリート養生を行って所定の圧縮強度(設計基準強度 $\sigma_{ck}=18 \text{ N/mm}^2$ )が発現したことを確認した。現地実証試験2回目(Case 2)として、変位変換機1(鋼矢板上端部の計測)、変位変換機2(鋼矢板下端部の計測)、変位変換機3(反力用鋼材の計測)及びロードセルを配置し、曲げ載荷試験を実施した。

### 3.4 試験方法

曲げ載荷試験の載荷条件は、設計モーメントを試験断面における軽量鋼矢板の耐力から試験時に作用する土圧モーメントを差し引いたモーメントで算出した。設計モ

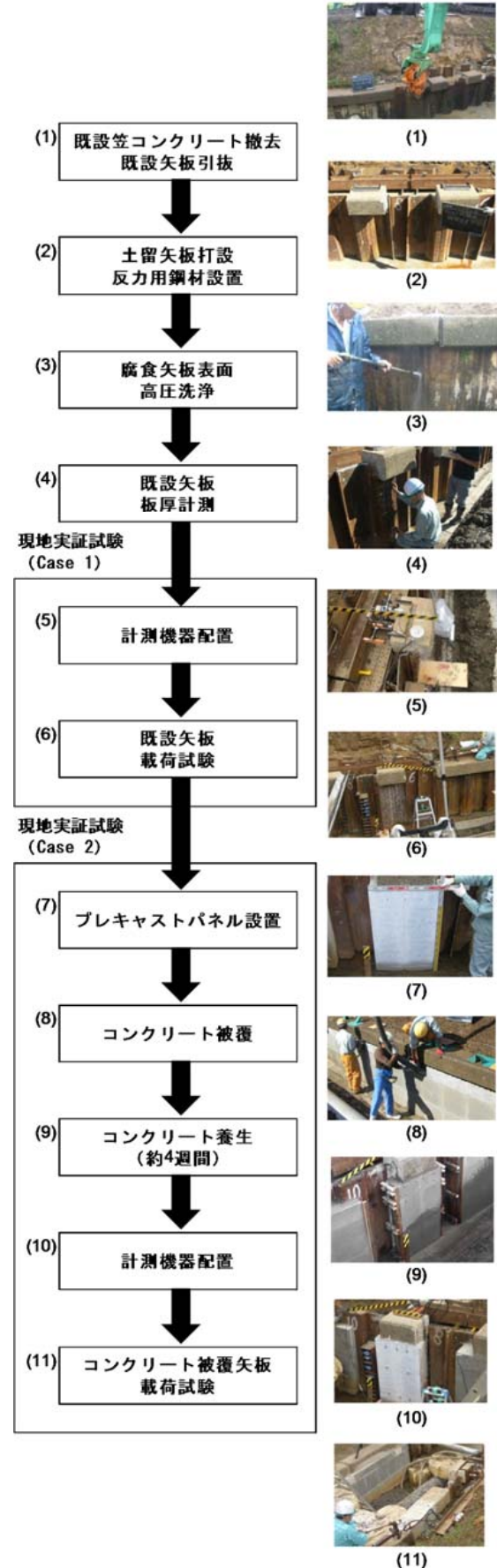


図-3 現地実証試験の流れ

表-2 検討ケース

実証ケース	種別	鋼矢板の構成	上段：作用モーメント (kN・m) 下段：試験荷重 (kN)
Case 1	既設鋼矢板	軽量鋼矢板, t=3.5~6.1 mm	14・18・22・27・31・35・39 (2・5・8・12・15・18・21)
Case 2	コンクリート被覆 鋼矢板	軽量鋼矢板, t=4.0~6.5 mm +被覆コンクリート, t=125~275 mm	

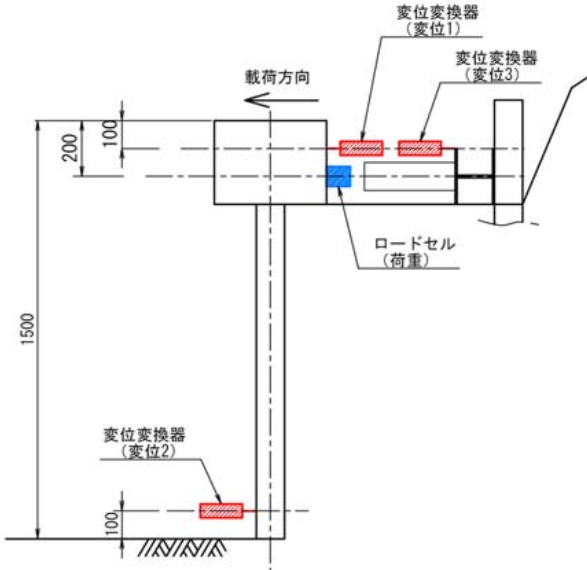


図-4 計測機器配置図 (Case 1 の場合)

ーメントの算出には Chang の式<sup>9)</sup>を用いて、笠コンクリート天端から 1.5 m 下方の位置におけるモーメントとした。試験荷重は、設計モーメントの 1.5 倍 (=27 kN・m) に設定し、作用モーメントを基準値とした。载荷方法は繰り返し载荷とし、同一試験荷重を 3 回繰り返した。変形挙動は、ロードセルによる荷重計測に加えて、変位変換機 (最大変位量 100 mm) により変形挙動を評価した。計測機器の構成は、変位変換機 3 台、ロードセル 1 台 (最大 100 kN 対応)、動ひずみ測定器 1 台である。

#### 4 結果および考察

##### 4.1 被覆コンクリート物性

被覆コンクリート打設時の性状試験 (平成 24 年 10 月 5 日) では、スランプ値 11 cm, 空気量 4.9%, コンクリート温度 22 °C であった。現地 で採取した供試体は, JIS A 1108 (2006) により圧縮強度試験を実施した結果, 平均圧縮強度 26.6 N/mm<sup>2</sup> (最大値 27.5 N/mm<sup>2</sup>, 最小値 25.3 N/mm<sup>2</sup>) であった。

##### 4.2 現地実証試験結果

曲げ载荷試験を実施した結果, 最大試験荷重 21 kN (=39 kN・m) において被覆コンクリートの破壊は無く, 既設鋼矢板 (Case 1) とコンクリート被覆鋼矢板 (Case 2)

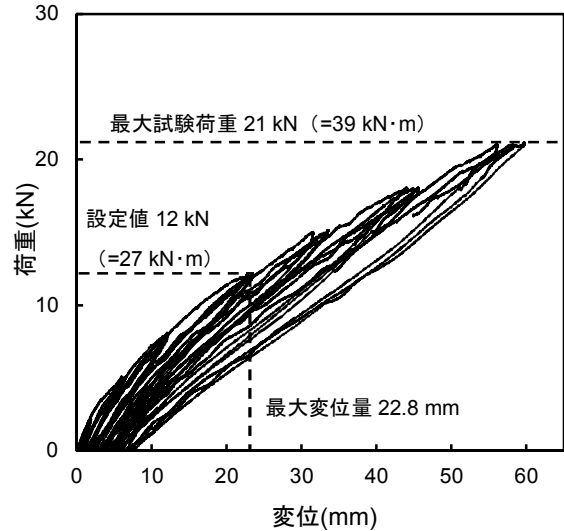


図-5 荷重 - 変位曲線  
(Case 1 既設鋼矢板)

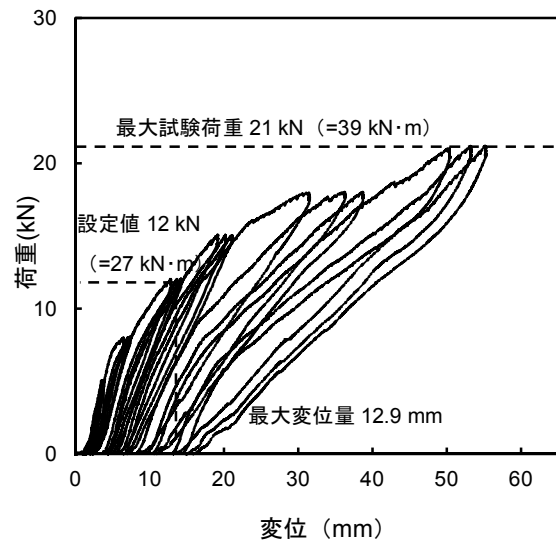


図-6 荷重 - 変位曲線  
(Case 2 コンクリート被覆鋼矢板)

では荷重 - 変位挙動が異なることが明らかになった。既設鋼矢板に曲げ载荷試験を行った Case 1 では, 12 kN (=27 kN・m) の試験荷重において最大変位量 22.8 mm, 残留変位量 2.2 mm が確認された (図-5, 図-7)。コンクリート被覆を施した既設鋼矢板に曲げ载荷試験を行った Case 2 では, 最大変位量 12.9 mm, 残留変位量 3.4 mm が

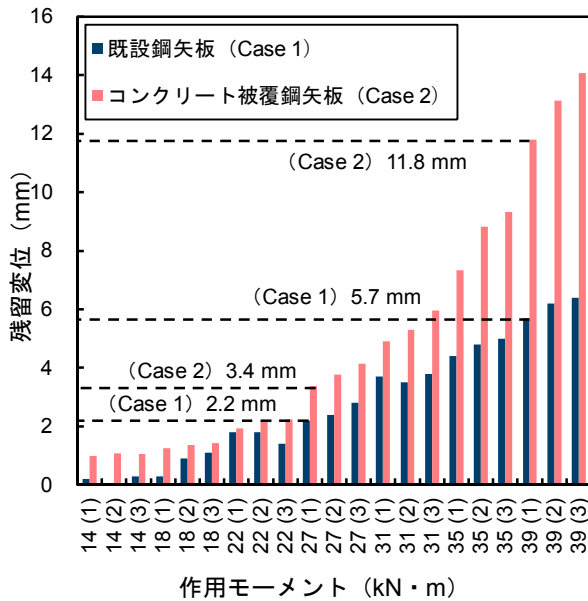


図-7 残留変位量と荷重レベルの関係

確認された (図-6, 図-7)。両ケースの差は, Case 2 が Case 1 に対して最大変位量 57%, 残留変位量 155% であった。また Case 1 と Case 2 の残留変位の差は, 12 kN (=27 kN・m) の試験荷重を超えると拡大する傾向があり, 最大試験荷重 21 kN (=39 kN・m) において Case 1 が 5.7 mm, Case 2 が 11.8 mm であった。両ケースの差は, Case 2 が Case 1 に対して残留変位量 207% であった (図-7)。このことから, 鋼矢板にコンクリート被覆を施すことにより, 載荷時の複合材の変形挙動はコンクリートにより強く影響を受けているものと推察される。同様の結果は, 先行研究である Sebastian, W. M. *et al.*<sup>9)</sup> や El-Shihy, A. M. *et al.*<sup>10)</sup> においても, 実験室内の載荷試験

により報告されている。

#### 4.3 コンクリート被覆による腐食鋼矢板の曲げ挙動の改善効果

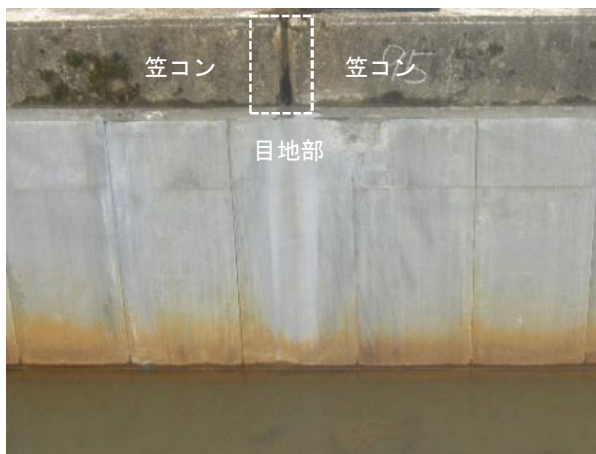
自立式鋼矢板の許容変位量は, 土地改良事業計画設計基準・設計「水路工」<sup>6)</sup> において H=4.0 m 以下では護岸高さの 1/40 と設定されている。本検討断面の H=1.5 m の場合, 許容値は 37.5 mm となる。本試験結果は, 12 kN (=27 kN・m) の試験荷重において, Case 1 の最大変位量が 22.8 mm, Case 2 の最大変位量が 12.9 mm であり, いずれも許容値を下回っていた。しかし Case 1 に対して Case 2 は最大変位量が 9.9 mm 減少しており, 鋼矢板-コンクリート複合材では載荷過程において曲げ変形量を抑制する効果が働いたものと考えられる。

残留変位量については全ての試験荷重において, Case 2 が Case 1 に対して大きくなる傾向が確認され, 被覆コンクリートによる重量増加が残留変位に影響を与えていると推察された。しかし, 12 kN (=27 kN・m) の試験荷重の場合では, 両ケースの差が 1.2 mm とほぼ類似な値を確認した。通常, 実工事では出来形管理基準値が定められており<sup>11)</sup>, 鋼矢板施工時の許容変位量は 1/100 以下となっている。本検討断面の H=1.5 m の場合, 許容値は 15 mm となる。本試験結果は, 12 kN (=27 kN・m) の試験荷重において, Case 2 の残留変位量は 3.4 mm であり, 許容値を下回っているため, 実工事への適用の観点からは問題ないと考えられる。

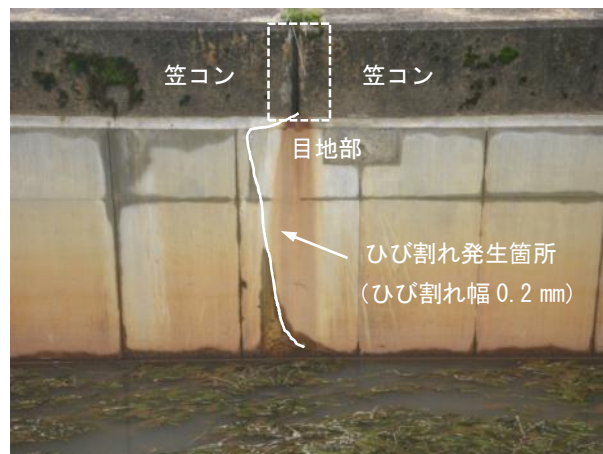
#### 4.4 試験施工施設の経年変化と今後の課題

本研究において検討した補強工法について, 試験施工を新潟県内で実施した。モニタリング調査結果を以下に示す。

施工期間は平成 23 年 11 月~平成 24 年 1 月である。施工延長は L=322 m である。試験施工施設の経年変化を, 図-8 に示す。供用期間約 11 ヶ月 (平成 24 年 1 月~平



[施設供用開始直後]



[供用開始 11 ヶ月後]

図-8 試験施工施設の経年変化

成 24 年 11 月) の間, 1 月~3 月, 10 月~11 月の約 5 ケ月は非かんがい期, 4 月~9 月の約 6 ケ月はかんがい期であり, かんがい期には水深 75 cm を確認した。供用開始 11 ケ月後にプレキャストパネル表面にひび割れによる変状が一部発生した。全長 L=322 m 内の 16.4 m (全長に対する 5.1 %) である。鋼材とコンクリートの温度変化による熱膨張率はほぼ等しい ( $12 \times 10^{-6}$  /K 前後) ことから, ひび割れの原因は熱応力により生じた歪みとは考えにくい。自立式矢板の設計では, 土圧は根入れ地盤の横方向支持力と鋼矢板の曲げ剛性のみによってささえる構造であることから, かんがい期の水圧による応力と非かんがい期の背面土圧による応力が交互に作用したことにより, 笠コンクリートの目地部において, 水路外側及び内側への曲げ応力が集中し, コンクリートの引張強度を超えたことによりひび割れが発生したと考えられる。この課題を解決するためには, プレキャストパネルの継目部と既設の笠コンクリートの目地部を一致させるように配置し, プレキャストパネルの継目部に伸縮目地材を設置する対策が必要となる。

## 5. まとめ

本報では, 主に農業用排水路として普及してきた鋼矢板水路の老朽化に対処するため, 腐食の進行した鋼矢板水路の腐食特性を概観するとともに, 鋼矢板の腐食対策を目的としたコンクリート被覆による鋼矢板 - コンクリート複合材による鋼矢板の補強効果と, 力学的観点からの提案手法の特性を実証的に検討した。曲げ挙動を荷重 - 変位曲線の観点から評価した結果, 鋼矢板にコンクリート被覆を施すことにより荷重 - 変位挙動が変化し, 12kN (=27kN・m) の試験荷重において Case 2 が Case 1 に対して最大変位量 57%, 残留変位量 155%が確認された。鋼矢板 - コンクリート複合材の力学的特性は被覆コンクリートの挙動に依存し, 載荷過程において曲げ変形量を抑制する効果が明らかになった。このことから, 腐食鋼矢板水路に関する保護工法の一つとして鋼矢板 - コ

ンクリート複合材の有効性が示唆された。

## 参考文献

- 1) 鈴木哲也, 森井俊広, 原斉, 羽田卓也: 地域資産の有効活用に資する鋼矢板リサイクル工法の開発, 農業農村工学会誌, 80 (10), pp.21 - 24, 2012.10
- 2) 新潟県監修: 平成 23 年度新潟県の農林水産業, pp.88-89, 2012.3
- 3) 溝口茂, 山本一雄, 杉野和男, 沢井章: 半世紀経過した護岸用鋼矢板の腐食挙動, 防食技術, 36, pp.148-156, 1987.3
- 4) 横井聰之, 阿部正美: 港湾構造物の腐食の実態について, 土木学会論文集, 第 403 号, VI-10, pp.85-92, 1989.3
- 5) 守屋進: 河川護岸用鋼矢板の全国腐食調査, 第 22 回鉄鋼塗装技術検討会発表予稿集, (社) 日本鉄鋼造協会, pp.89-94, 1999.
- 6) 農林水産省農村振興局監修: 土地改良事業計画設計基準・設計「水路工」技術書, pp.357-374, 2001.
- 7) 峰村雅臣ほか: 新潟県における鋼矢板水路のリサイクルの取り組み, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会要旨集, 2012.3
- 8) 財団法人沿岸技術研究センター: 港湾鋼構造物防食・補修マニュアル, p.36, 2009.
- 9) Sebastian, W. M. and McConnell, R.: Non-linear FE analysis of steel - concrete composite structures, ASCE Journal of Structural Engineering, 126 (6), pp. 662-647, 2000.
- 10) El-Shihy, A. M. , Moy, S. S. J. , El-Din, H. S. , Shaaban, H. F. and Mustafa, S. A. A.: Torsional effect on steel-concrete composite sections subjected to negative moment, Materials and Structure, 45, pp. 393-410, 2012.
- 11) 国土交通省港湾局監修: 港湾工事共通仕様書, pp.17-18, 2012.