

# 論文 組立式仮設水路を活用した鋼矢板へのコンクリート被覆施工

小林 秀一\*1・鈴木 哲也\*2・佐藤 弘輝\*3・長崎 文博\*4

**要旨：**低平排水不良地域に広く普及している鋼矢板を用いた農業水利施設は、長期供用による腐食問題が維持管理において重要な技術的課題となっている。このため、深刻な機能低下が生じる前に、長寿命化によりLCC (Life Cycle Cost) を低減するストックマネジメントを踏まえた腐食対策が不可欠である。本報では、コンクリート被覆による鋼矢板水路の腐食対策事例を取り上げ、流水環境での施工性について、実構造物を対象として実証的に検討した結果を報告する。結果、組立式仮設水路を活用することで流水環境での安全かつ効率的な施工が可能となることが確認された。

**キーワード：**鋼矢板, 腐食, ライフサイクルコスト, コンクリート被覆, 組立式仮設水路

## 1. はじめに

食料生産基盤の基幹を成す農業水利施設は、昭和 24 年の土地改良法の制定以降、本格的な整備が進められた。これにより、受益面積が 100ha 以上の基幹的な施設は、農業用の用排水路が延長約 4 万 9 千 km, ダム・頭首工・用排水機場等の施設が約 7 千箇所のにぼり、再建設費ベースで約 18 兆円にも及ぶ社会資本ストックとして形成されている。これらの施設は、農業生産の基盤を成すだけでなく、水資源のかん養や洪水防止などの多面的機能を有し、国民の生活基盤としての役割を担う重要な社会資本となっている。

新潟平野などに代表される低平排水不良地域では、これまで農業用の用排水路として鋼矢板水路が整備されてきたが、長期供用に伴い鋼矢板の腐食が進行し、断面欠損が顕在化している。このため、鋼矢板の耐久性と腐食との関係が維持管理において重要な技術的課題となっている。鋼矢板水路の腐食対策として、耐用年数を迎えた施設を新しく改築する方法があるが、都市化の進展による施工スペースの制約や、軟弱地盤での施工条件の制約を受け高コストとなることから、少子高齢化・人口減少社会による財政難の現状を踏まえると現実的な解決策ではない。一方、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、倒壊等により水路としての機能を果たさなくなることから、適切な時期に腐食対策を施して突発事故を防ぐ必要がある。腐食対策を効率的、効果的に進める上で、既存施設の腐食特性を考慮し、深刻な機能低下が生じる前に腐食対策を施すことが不可欠である。またコスト面を考慮した場合には、長寿命化により LCC を低減するストックマネジメントを踏まえた腐食対策の検討が不可欠である。既存施設における施

工では、厳しい制約条件下で行われることが多く、適用性や信頼性などの確認が必要になる。流水環境下で施工される鋼矢板の補修工では、一般的に施工対象をドライにする必要がある。本論の研究対象である鋼矢板水路は、前述の通り、湿潤環境にあり、施工環境が良好とはいえない。そのため、新たに提案した技術を確実かつ円滑に導入するには、実構造物を対象とした実証的検討や技術改良を行うことが重要である。

本報では、鋼矢板水路の腐食特性を概説するとともに、筆者らが提案しているコンクリート被覆による鋼矢板水路の腐食対策事例を取り上げ、流水環境での施工性について、実構造物を対象として実証的に検討した結果を報告する。

## 2. 検討対象施設とコンクリート工における仮設排水対策

### 2.1 施設概要と腐食実態

農業水利施設の構造部材として用いられている鋼矢板は、鋼材の腐食反応により断面を減少させる。鋼矢板の腐食は、灌漑期と非灌漑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干満帯において局所的に発生する。新潟県亀田郷地区における 15 路線 74 ケ所の鋼矢板水路の腐食実態を調査した鈴木らの研究<sup>1)</sup>でも、干満帯付近において腐食が局所的に発生し、経過年数 20 年を超えた段階で、いずれの施設も腐食が顕在化することが報告されている。

**写真-1** は、本研究における検討対象施設を示しており、**Case 1** は、新潟県白根郷地区に位置する新村排水路である。自立式護岸形式の農業用水路で、水路幅 5.5m, 水路高 1.7m である。**Case 2** は、新潟県西蒲原地区に位置

\*1 (株) 水倉組 営業本部技術営業課長 (正会員)

\*2 新潟大学 自然科学系 (農学部) 准教授 博士 (工学) (正会員)

\*3 藤村ヒューム管 (株) 技術営業部係長 (正会員)

\*4 藤村ヒューム管 (株) 技術営業部課長 修士 (工学) (非会員)

する深通排水路である。切梁式護岸形式の農業用水路で、水路幅 4.6m、水路高 3.0m である。供用後 15 年が経過した Case 1 の既設鋼矢板について、鋼矢板 1 枚につき 15 点の板厚を超音波厚さ計により測定した結果、設計板厚 10.3mm に対して、平均板厚は 9.6mm、板厚減少率は 6.8% であった。また、同様にして供用後 17 年が経過した Case 2 の板厚を測定した結果、設計板厚 8.0mm に対して、平均板厚は 7.4 mm、板厚減少率は 7.5% であった。腐食に伴う板厚減少は、いずれのケースにおいても干満帯において局所的に顕在化しており、Case 1 が最低板厚 9.3mm、Case 2 が最低板厚 3.0mm であることが確認された。干満帯付近で局所的に進行する鋼矢板水路の腐食特性を踏まえ、耐用年数を迎える前に腐食対策を施す必要がある。

## 2.2 コンクリート被覆による腐食対策

一般的に採用されてきた有機系被覆材による鋼矢板水路の腐食対策は、鋼矢板表面を有機系材料で被覆することで腐食因子を遮断するものであるが、写真-2 に示すように、堆積土砂の撤去作業等の維持管理時に油圧ショベルにより被覆層を損傷させる事例や、紫外線により再劣化した事例<sup>2)</sup>が確認されている。農業水利施設の補修工は非灌漑期の秋季から冬季に集中して施工されることが多く、低温時の流水環境における施工性を確保する必要がある。有機系被覆材による補修工は、湿潤面での塗布作業が困難であるため、防錆材塗布や有機系被覆材塗布などの主要な作業工程を、気温 5℃以上、湿度 85% 以下で施工する必要がある。このため、冬季においては写真-3 に示すように、大規模な仮囲いによる養生で施工対象をドライにする必要がある。

筆者らは、こうした技術的課題を踏まえて、湿潤環境においても施工可能であり、耐候性に優れ LCC の観点から優位にあると考えられるコンクリート被覆による腐食対策を検討している。表-1 はコンクリート被覆と有機系被覆材による腐食対策の LCC 比較を示している。なお、有機系被覆材による腐食対策の施工費は、鋼矢板継手部の止水処理を含んでいる。コンクリート被覆による腐食対策の施工は、高圧洗浄機による表面洗浄（洗浄圧 14.7MPa）とケレン処理を併用して、鋼矢板表面の錆や付着物を除去し、基礎砕石および均しコンクリートからなる基礎材を設置した後、鋼矢板に接続金具を溶接してプレキャストコンクリートパネル（以下 PCa パネル）を設置し、内部に表-2 に示す配合のコンクリートを充填するという手順でおこなわれる。写真-4 に施工事例、図-1 に施工概念図を示す。コンクリートの充填やパイプレータの挿入は、PCa パネル最上段に配置する開口部より行い、標準的なコンクリートの施工方法に準じて行う。PCa パネルは、品質・強度が安定しており、構造的にも鋼矢板との複合部材となることから、既往の研究に

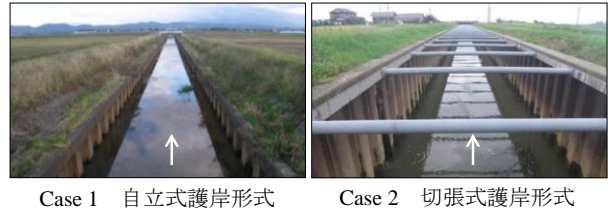
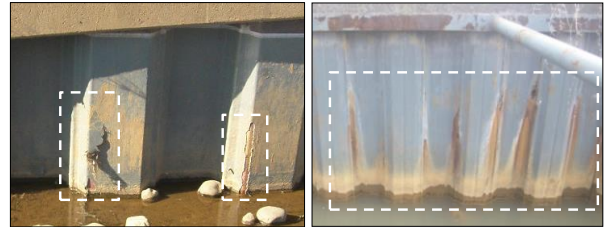


写真-1 検討対象の鋼矢板水路



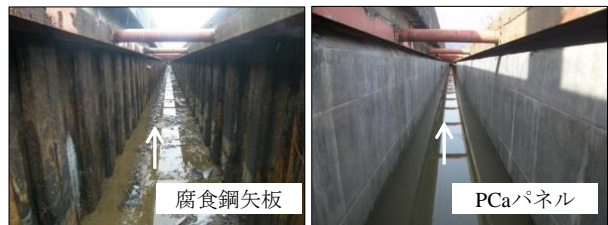
(A) 維持管理時の損傷 (B) 紫外線による再劣化

写真-2 有機系被覆材の再劣化事例



(A) 仮囲いによる養生 (B) 仮囲い内での施工状況

写真-3 仮囲いによる施工環境の確保



(A) 施工前 (B) 施工後

写真-4 コンクリート被覆による鋼矢板水路の腐食対策

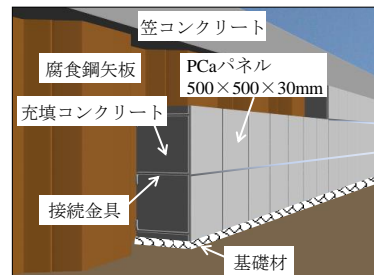


図-1 施工概念図

表-1 LCCの比較

	コンクリート被覆による腐食対策	有機系被覆材による腐食対策
施工費	20,485円/m <sup>2</sup>	20,979円/m <sup>2</sup>
耐用年数	40年 <sup>3)</sup>	20年 <sup>4)</sup>
LCC	513円/m <sup>2</sup> /年	1,049円/m <sup>2</sup> /年

より載荷過程における曲げ変形量の抑制効果が確認されている<sup>5)</sup>。表面被覆材としてコンクリートを用いることの利点は、LCCの低減のみならず、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。また、特に腐食の進行が著しい干満帯付近への酸素の供給を遮断することで再劣化しにくい構造となる。

### 2.3 コンクリート工における仮設排水対策

コンクリート被覆による腐食対策では、PCaパネルと鋼矢板を接続し、両構造間にコンクリートを充填することから、水路内の両岸において鋼矢板から1m以上の作業スペースを確保する必要がある。このため施工範囲を絞り、安全かつ効率的に流水の切廻しを行う仮設計画が技術的課題である。写真-5は、Case 1の鋼矢板水路において設置した仮設排水対策であり、大型土のうによる流水処理を示している。写真-6は、Case 2の鋼矢板水路において設置した仮設排水対策であり、組立式仮設水路を用いた流水処理を示している。筆者らは、これら仮設排水対策を実構造物への適用した際のコンクリート工における技術的検討を行っており、以下に検討結果を詳述する。

## 3. 実構造物を対象とした施工性の検討

### 3.1 組立式仮設水路を用いた流水環境での施工実態

近年では、排水計画設定当初と異なる水文条件、土地利用区分および立地環境等の変化に伴い、計画確率を上回る排水流出が短時間で発生する事例が頻発し、施工時

$$\left. \begin{aligned} Q_p &= \frac{1}{3.6} \cdot r_e \cdot A \\ r_e &= f_p \cdot r \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{の流水に対する安全確保} \\ \text{が難しくなっている。図} \\ \text{-2は、Case 2の鋼矢板} \end{array}$$

水路において、実際に計画流出量を上回る流量が発生した事例を示している。洪水ピーク流出量は、(1)式、(2)式及び(3)式により求めることができる<sup>6)</sup>。

$$i_t = \frac{R_{24}}{24} \left[ \frac{24}{t} \right]^n \quad (1)$$

ここで、 $Q_p$ ：洪水ピーク流出量 (m<sup>3</sup>/s)、 $r_e$ ：洪水到達時間内の平均有効降雨強度 (mm/h)、 $A$ ：流域面積 (km<sup>2</sup>)、 $f_p$ ：ピーク流出係数、 $r$ ：平均降雨強度 (mm/h) である。

(2)

ここで、 $i_t$ ： $t$ 時間内の平均降雨強度 (mm/h)、 $R_{24}$ ：24時間最大雨量 (mm)、 $n$ ：1/2～1/3の範囲の定数である。

$$t_p = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35} \quad (3)$$

ここで、 $t_p$ ：洪水到達時間 (min)、 $C$ ：土地利用係数、 $A$ ：流域面積 (km<sup>2</sup>)、 $r_e$ ：平均有効降雨強度 (mm/h) である。

検討の結果、施工期間内の洪水ピーク流出量 2.1m<sup>3</sup>/s

表-2 コンクリートの示方配合

設計基準強度 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	粗骨材の最大寸法 $G_{max}$ (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
18	25	12.0	4.5	58.0	156	269	671	1181



写真-5 Case 1 大型土のうによる流水処理

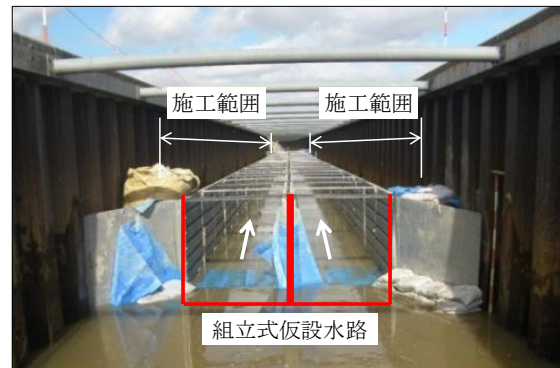


写真-6 Case 2 組立式仮設水路による流水処理



平常時の実測流量0.3m<sup>3</sup>/s 降雨時の実測流量3.1m<sup>3</sup>/s (日雨量20mm)

#### 【設計条件】

- ・ピーク流出係数：0.4
  - ・施工期間内の日雨量：30mm
  - ・土地利用係数：200
  - ・流域面積：331.3ha
- ⇒洪水ピーク流出量：2.1m<sup>3</sup>/s

図-2 計画排出量を超える流量の発生事例

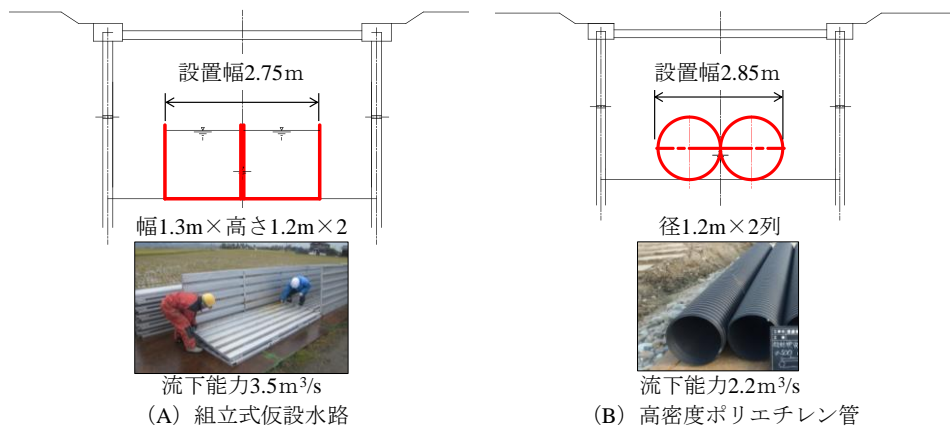


図-3 仮設の高度化による流水の対処

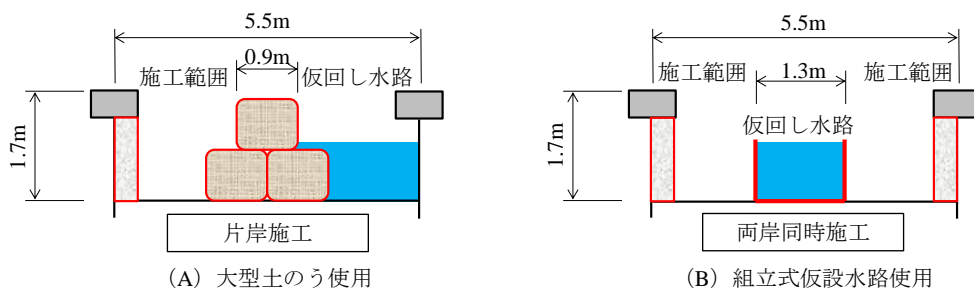


図-4 大型土のうと組立式仮設水路の施工範囲の比較

に対して、日雨量 20mm 時の実測流量は、計画を上回る  $3.1\text{m}^3/\text{s}$  となることが確認された。

本研究では、この対策として、図-3 (A) に示す組立式仮設水路を活用した流水処理を提案している。一般的に用いられる大型土のうによる流水の切廻しでは、図-4 に示すように、片岸ずつ交互に施工することとなり、作業工程への負担が大きい。施工時期が非灌漑期に制限される中で、施工の迅速化が必須であることから効率的ではない。また、図-3 (B) に示す高密度ポリエチレン管による流水の切廻しは、検討対象の水路における計算上の流下能力が  $2.2\text{m}^3/\text{s}$  であることから、実測流量  $3.1\text{m}^3/\text{s}$  に対処できない。組立式仮設水路は、工期短縮、他現場への転用および切梁式水路への適用が可能であり、安全かつ効率的な施工が可能となる。また、写真-7 に示すように、水路上を安全に移動できる作業用足場を設置できるというメリットもある。水路内では、写真-8 に示すように、狭隘な施工スペースの中でコンクリートの充填性を確保する必要があり、高周波パイプレータを用いてコンクリートの締固めを行う上で、施工性と安全性を確保できる。

表-3 は、大型土のうと組立式仮設水路を図-4 に示す断面で 100m 施工した場合の標準的な工期や積算上<sup>7)</sup>の金額を比較したものである。検討の結果、組立式仮設水路は、両岸同時施工を行うことができるため、工期短

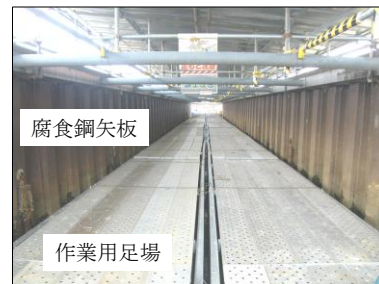


写真-7 水路上に設置した作業用足場



写真-8 水路内でのコンクリート打設作業

表-3 比較表 (施工延長 100m 当り)

項目	大型土のう	組立式仮設水路	効果
工期	77日	38日	工期短縮率 51%
廃材処分費	約77万円	約2万円	廃材低減率 98%
仮設費	約430万円	約470万円	費用低減率 -9%

縮率は51%となる。また、他現場への転用が可能であることから、廃材低減率は98%となる。大型土のう袋は、撤去後に産業廃棄物として処理する必要がある、環境負荷が大きいという課題もある。施工仮設の設置・撤去に係る費用は、現状では組立式仮設水路の普及率が低いため、9%のコスト高となる。

### 3.2 コンクリート部材のPCa化と接続方法の改善

コンクリート被覆による腐食対策は、軟弱地盤上に埋設された鋼矢板にコンクリート部材を付加するため、コンクリートの自重による施設沈下の影響が懸念される。このため、施工性を損なわない範囲でコンクリートの最小部材厚を薄くして軽量化を図る必要がある。本技術は、被覆コンクリートのアルカリ性による鋼矢板の腐食抑制を期待しているが、気中部や干満帯を被覆しているコンクリートは、中性化の進行により徐々に防錆効果が失われることが懸念される。一般的に中性化の進行を抑制する手段として、コンクリートの部材厚を厚くしてかぶりを大きく設定したり、高強度のコンクリートを使用して表面の密実性を確保したりする方法が用いられる。PCaパネルを使用せずに木製型枠を用いて高強度のコンクリートを現場打ちする場合には、単位セメント量の多いコンクリートが必要となり、自己収縮ひび割れ、温度ひび割れ、乾燥収縮ひび割れの発生確率が高まり、中性化の進行を早めてしまう懸念がある。PCaパネルは、極めて高強度（圧縮強度75N/mm<sup>2</sup>）であり流水環境での耐久性が高いため、中性化の抑制効果が期待できる。技術的課題は、PCaパネルと鋼矢板の接続に一定の作業スペースが必要な点であり、これによりコンクリートの最小部材厚が左右される。既往の研究<sup>8)</sup>で検討したPCaパネルの接続方法は、**図-5**に示すように、固定プレートを用いてM10ボルトによって相互に固定するものであった。鋼矢板とPCaパネルは、φ16mm丸鋼を接合材として鋼矢板に溶接接合している。固定プレートの配置は、PCaパネル1枚（500mm×500mm）当たり4箇所としている。ボルト締め付け時は、最低70mmの作業スペースが必要となり、鋼矢板凸部に70mm分を足した厚さをコンクリートの最少厚さとしている。このため、**写真-9**に示すように、PCaパネル裏側の狭いスペースでボルト締め付け作業を行う必要があり、施工上の課題であった。本研究では、この対策として、**写真-10**に示すスライド式の接続金具による接続方法を提案している。これにより、PCaパネル裏側でのボルト締め付け作業の工程が省略できるため、コンクリートの最小部材厚を薄くすることが可能で、施工費も低減できる。また、ヒューマンエラーによるM10ボルト閉め忘れの可能性が無くなり、**写真-11**に示すコンクリート打設時のPCaパネルのはらみ出し

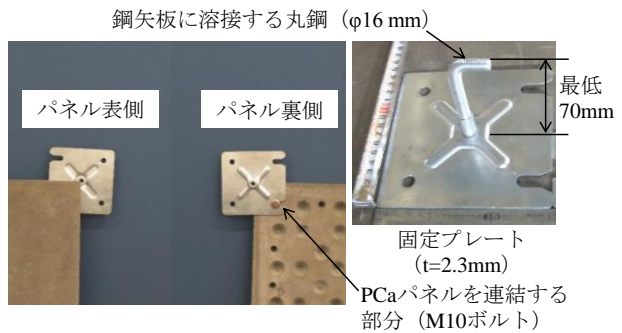


図-5 PCaパネルの接続金具詳細  
(ボルト締め付け式)



写真-9 PCaパネルの接続状況  
(ボルト締め付け式)

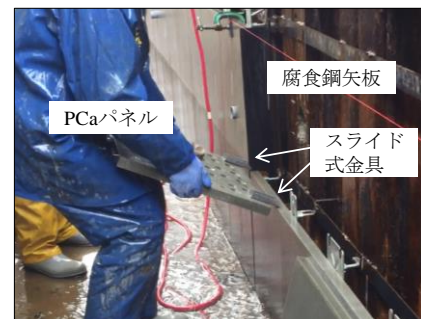


写真-10 PCaパネルの接続状況  
(スライド式)

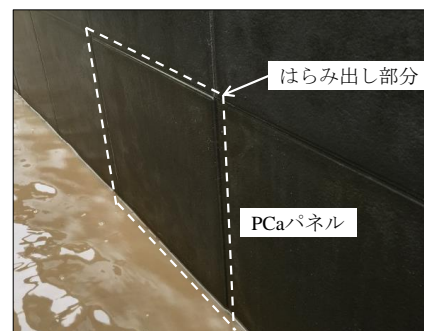


写真-11 PCaパネルのはらみ出し事例

しによる不具合も防止できる。図-6 は、ボルト締め付け式とスライド式の接続金具の作業時間の比較を示している。スライド式の接続金具による接続方法により、PCa パネル接続にかかる作業時間が30%程度短縮されることが確認され、工期短縮や施工の安全性が期待できる。

#### 4. まとめ

本報では、鋼矢板水路の腐食特性を概説するとともに、筆者らが提案しているコンクリート被覆による鋼矢板水路の腐食対策事例を取り上げ、流水環境での施工性について、実構造物を対象として実証的に検討した結果を報告した。以下に、本研究から得られた結果を列挙する。

- (1) 鋼矢板の腐食は、灌漑期と非灌漑期における水位変動を伴う流水環境の影響を受けて、干満帯付近において局所的に進行し、経過年数 20 年を超えた段階で顕在化する。干満帯付近で局所的に進行する鋼矢板水路の腐食特性を踏まえると、耐用年数を迎える前に腐食対策を施す必要がある。
- (2) コンクリート被覆による腐食対策は、鋼矢板表面を汎用資材のコンクリートで被覆するため LCC の低減のみならず、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。また、特に腐食の進行が著しい干満帯付近への酸素の供給を遮断することで再劣化しにくい構造となる。
- (3) 農業水利施設の腐食対策は、非灌漑期の秋季から冬季に集中して施工されることが多く、施工範囲を締切り、流水の切廻しを行うための安全かつ効率的な仮設計画が技術的課題である。組立式仮設水路は、計画確率を上回る排水流出が短時間で発生する事例にも対応することができ、安全かつ効率的な施工が可能となる。また、水路上を安全に移動できる作業用足場を設置でき、コンクリートの締固めを行う上で、施工性と安全性を確保できる。また、兩岸同時施工を行うことができ他現場にも転用できるため、工期短縮率、廃材低減率が大きい。
- (4) コンクリート被覆による腐食対策は、軟弱地盤上に埋設された鋼矢板にコンクリート部材を付加するため、施工性を損なわない範囲でコンクリートの最小部材厚を薄くして軽量化を図る必要がある。PCa パネルの接続方式をボルト締め付け式からスライド式とすることで、PCa パネル裏側でのボルト締め付け作業の工程が省略され、コンクリートの最小部材厚を薄くすることが可能となり、施工費も低減できる。また PCa パネル接続の作業時間が短縮され、工期短縮や施工の安全性が期待できる。

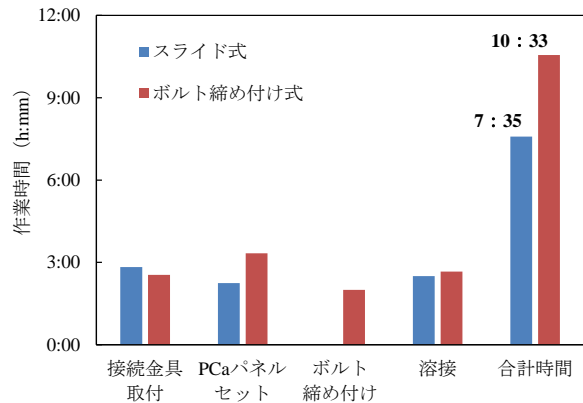


図-6 PCa パネルの接続方式による作業時間比較

#### 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, Vol.80, No.10, pp.21-24, 2012.10
- 2) 奥野倫太郎, 森充広, 渡嘉敷勝, 森丈久: コンクリート開水路に施工された有機系表面被覆材の劣化特性, 農業農村工学会論文集, Vol.79, No.4, pp.257-264, 2011.8
- 3) 農林水産省農村振興局整備部土地改良企画課: 土地改良事業の費用対効果分析に必要な諸係数, p.1, 2009.3
- 4) 農林水産省農村振興局整備部設計課: 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】, pp.71-75, 2013.10
- 5) 小林秀一, 鈴木哲也, 長崎文博, 佐藤弘輝: 腐食が進行した鋼矢板構造物のコンクリート被覆による保護工に関する実証的研究, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.69, No.4, pp.I 55-I 62, 2013.11
- 6) 農林水産省農村振興局整備部設計課: 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「排水」技術書, 農業農村工学会, pp.157-211, 2006
- 7) 農林水産省農村振興局整備部設計課: 農林水産省土地改良工事積算基準 (土木工事), 農業農村整備情報総合センター, 2014
- 8) 小林秀一, 鈴木哲也, 長崎文博, 佐藤弘輝, 山岸俊太朗: 鋼矢板排水路の腐食実態を踏まえた保全対策工法の開発, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol.69, No.4, pp.I 129-I 136, 2013.12