

令和 5 年 4 月 14 日
港湾局技術企画課技術監理室
国土技術政策総合研究所

港湾技術パイロット事業検証 2 技術の評価結果の公表
～港湾事業における新技術の更なる導入促進に向けて～

国土交通省港湾局では、港湾事業への新技術の導入促進等を目的に、平成 28 年度に「港湾技術パイロット事業」を創設し、維持管理の省力化、点検作業の効率性・安全性の向上等に資すると提案のあった 2 つの技術（①PC ホロー桁への炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の導入、②リプレイサブル栈橋）を選定の上、現場適用性、生産性、経済性、安全性等の検証を進めてきたところです。

今般、第 3 回「港湾技術パイロット事業委員会」での審議結果をもとに評価結果を取りまとめ、検証 2 技術について、活用が見込まれることを確認しました。

今後も引き続き、港湾事業における新技術の導入を促進してまいります。

○検証技術の評価結果 【別紙参照】

① PC ホロー桁への炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の導入【適用現場：小名浜港】

- ・長期耐久性を求める施設、代替施設がなく閉鎖による経済的損失が大きい施設や部位、維持補修工事が困難な施設や部位などに CFRP を利用したコンクリート部材を適用した場合、工法比較やライフサイクルコスト（LCC）比較で優位になることが期待される。
- ・CFRP を利用したコンクリート部材を上部構造へ適用することにより軽量化を図ると、基礎や下部構造の断面縮小を通じた、構造全体としての合理化に繋がることが期待される。

② リプレイサブル栈橋【適用現場：伏木富山港】

- ・船舶が栈橋を利用している状況下であっても、必要な箇所の床版を取り外し、上部工下面や基礎杭の点検や補修等が実施できることから、利用者にとっては、供用制限をする期間や場所が限定されることにより、できるだけ供用を止めずに、経済活動を維持することができる。
- ・また、リプレイサブルの発想は、点検作業や大規模補修の効率化等の観点から柔軟に取り入れうる概念であるので、栈橋以外の施設においても、前広に検討していくことが期待される。



PC ホロー桁の施工状況（右上：CFRP）



リプレイサブル栈橋の施工状況

<問合せ先>

国土交通省港湾局技術企画課技術監理室 港湾技術政策分析官 井村、課長補佐 野上、安原
代表：03-5253-8111（内線 46635、46612）、直通：03-5253-8681

「港湾技術パイロット事業」を活用した新技術の導入促進

- 平成28年度、有用な技術の現場適用性、効率性、生産性、経済性、安全性等の設計段階からの検証を通じた新技術の導入促進等を目的に、「港湾技術パイロット事業」制度を創設し、港湾技術パイロット事業委員会を通じ、「PCホロー桁への炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の導入(実施フィールド:小名浜港)」、「リプレイサブル栈橋(実施フィールド:伏木富山港)」の2技術を選定。
- 今般、「港湾技術パイロット事業委員会」における上記2技術に対する審議結果も踏まえ、今後活用が見込まれることを確認。

検証2技術の概要

【①】PCホロー桁への炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の導入

【適用現場】

小名浜港(東港地区)岸壁18m(耐震)

【技術概要】

- 錆等の腐食が無く、塩害に対する補修作業が不要な炭素繊維強化プラスチック(CFRP)をPCホロー桁に適用、施工性・耐久性等を確認。
- LCCを考慮した設計・施工方法の確立を目指す。



炭素繊維強化プラスチック(CFRP)



渡橋の架設状況

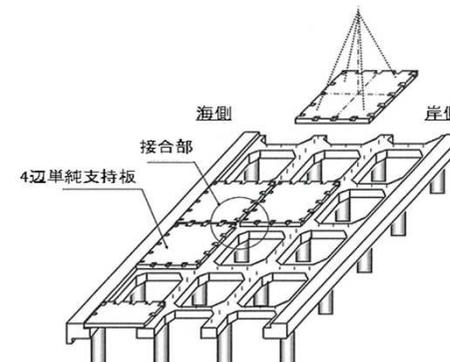
【②】リプレイサブル栈橋

【適用現場】

伏木富山港(新湊地区)岸壁12m

【技術概要】

床版の取り外しが可能で栈橋下面の陸上からの点検が可能なリプレイサブル栈橋を設置、点検効率・耐久性等を確認、設計・施工方法の確立を目指す。



リプレイサブル栈橋のイメージ



施工性確認試験実施状況(床版撤去)

(参考)過去の港湾技術パイロット事業委員会の開催状況

第1回港湾技術パイロット事業委員会

開催:平成28年9月26日

概要:上記検証2技術の選定等

第2回港湾技術パイロット事業委員会

開催:平成29年3月24日

概要:モニタリング計画の進捗状況等

第3回港湾技術パイロット事業委員会

開催:令和5年2月24日

概要:事後評価結果の審議等

【委員会の構成員】

東京理科大学工学部土木工学科 菊池喜昭教授

東京工業大学環境・社会理工学院土木・環境工学系 岩波光保教授

東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 有働恵子教授

上記学識者に加え、国土技術政策総合研究所・港湾空港技術研究所等が参画

【①】「PCホロー桁への炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の導入」に関する現地検証

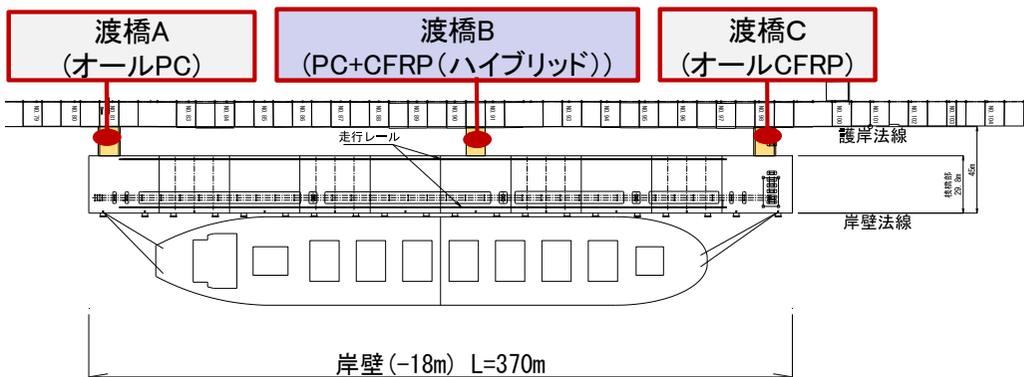
現地検証の概要

- 東日本地域の石炭輸入拠点である国際バルク戦略港湾・小名浜港で整備中の耐震強化岸壁18m渡橋部(ホロー桁)において、従来の補強材(鉄筋・PC鋼より線)に替えて、錆等の腐食が発生しない炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を全部又は一部採用。
- PC鋼材等と比較して高価なCFRPの特徴を踏まえ、PCホロー桁下側のPC鋼より線と配力筋(普通鉄筋)をCFRPに置き換えた「PC+CFRPハイブリッドホロー桁」を日本で初めて適用し、施工性や耐久性等の確認を通じ、ライフサイクルコストを考慮した設計・施工方法の確立に向けた現地検証を実施。

現地検証の経緯

平成29年9月: 渡橋A(オールPCホロー桁)設置
 平成30年1月: 渡橋B(PC+CFRPハイブリッドホロー桁)設置
 平成30年5月: 渡橋C(オールCFRPホロー桁)設置
 渡橋設置後~令和4年
 モニタリングの実施(ひずみ計測および温度計測(内部温度)等)

現地平面図



小名浜港(東港地区)岸壁18m(耐震)

渡橋の架設状況(部材の工場製作含む)



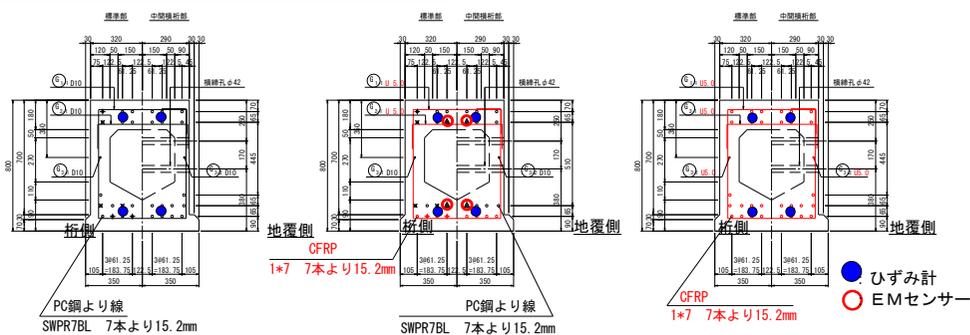
CFRP材の緊張作業

型枠脱枠

部材の架設

架橋完了

ホロー桁断面図(渡橋A~C)



部位		渡橋A(オールPC)	渡橋B(PC+CFRP)	渡橋C(オールCFRP)
主材料位置	上段上	PC鋼より線	PC鋼より線	CFRP
	上段下	PC鋼より線	PC鋼より線	CFRP
	下段上	PC鋼より線	PC鋼より線	CFRP
	下段下	PC鋼より線	CFRP	CFRP
配力筋		普通鉄筋	CFRP	CFRP

【用語の解説等】ホロー桁: 部材断面が中空になっている1本桁、PC: プレストレストコンクリート、CFRP: 炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plasticsの略)

【①】「PCホロー桁への炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の導入」に関する評価結果

【個別事業の検証結果】

- PCホロー桁に、従来の補強材(鉄筋、PC鋼より線)に替えてCFRP(全部又は一部)を利用した場合、CFRP部分に錆等の腐食の恐れが無い場合、塩害に対する補修作業が不要となり、維持管理の省力化やCO2削減が期待できる。
- 構造の安全性については現時点では特段の問題はなく、施工性についてもCFRPは従来材料より軽量であるため、作業の効率化や安全性の向上、生産性の向上が基本的に期待できる。品質・出来形についても、工場製作時及び現場施工時のいずれも従来工法と同様に問題はない。
- 経済性については、今回の条件下では、CFRPに全部代替した場合、CFRPの材料単価が高いため、従来工法に比して建設費の初期コストが高くなり、一般的な港湾構造物の設計供用期間に対するLCC(ライフサイクルコスト)比較では優位にはならなかった。ただし、100年を超えるような長期の設計供用期間に対しては、維持管理・補修工事費の低減により、LCCが従来型と同等以下になり、経済性が優位となった。また、CFRPを緊張材として部分採用した場合には、施工性が悪くなるものの(プレストレス導入作業が2工程となるため)、初期コストの差は小さく、今後の材料単価差の動向や設計供用期間の設定期間等の諸条件によっては、経済性は優位となる可能性もある。

【本技術の今後の展望】

- 港湾周辺に設置されるコンクリート部材は、海水等による厳しい腐食環境条件下に長期間置かれるため、鋼材の腐食を要因とする劣化や耐力低下が早期に発生する可能性があるが、CFRPを採用することによりそれらのリスクを基本的に取り除くことができる。一方で、現時点ではCFRPの材料単価が高いため、上述したメリットを最大限発揮できる構造物や部位への導入が期待される。具体的には、長期耐久性を求める施設、代替施設がなく閉鎖による経済的損失が大きい施設や部位、維持補修工事が困難な施設や部位などにCFRPを利用したコンクリート部材を適用した場合には、工法比較やLCC比較で優位になることが期待される。例示ではあるが、臨海部の大規模橋梁、固定式の荷役機械の支持構造、浮体式ポンツーンなどへの適用が該当する。
- 次に、CFRPの大きな特徴として軽量であることがあげられる。この特徴を最大限発揮できる構造物や部位への導入も期待される。具体的には、上部構造への適用により軽量化を図ると、基礎や下部構造の断面縮小を通じた、構造全体としての合理化に繋がる場合が該当する。例示ではあるが、栈橋や橋梁などの床版部材等への適用が該当し、釧路港で石炭を取扱うバルク岸壁で、CFRPが採用されており、今後も更なる活用が期待される。
- 上述したCFRPの特徴を有効に活用していくためには、導入メリットが最大限発揮されるように、CFRPをどの部位に採用するのが合理的であるかについて設計段階で検討を行う必要がある。
- 今後に向けては、CFRPの材料単価の低減及びCFRP材料の製造段階におけるCO2排出量の更なる低減も望まれる。

【②】「リプレイサブル棧橋」に関する現地検証

現地検証の概要

- リプレイサブル棧橋(棧橋上部工の床版を取り外し可能な棧橋構造)に関し、実験室レベルでは導入可能性に関する確認がされている一方、現地実績が無かった状況を踏まえ、伏木富山港(新湊地区)岸壁12mの75m延伸事業において、リプレイサブル構造の床版2枚を試験的に導入、設計・施工方法の確立を目指し、耐久性・施工性・経済性等の検証を実施。

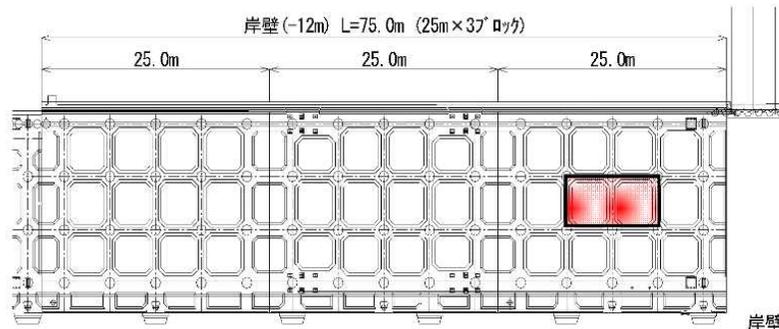
現地検証の経緯

平成31年1月～ 現地検証試験実施
 令和元年9月:(静的載荷試験、動的載荷試験等)
 令和元年5月:リプレイサブル棧橋設置完了
 棧橋設置後～令和4年
 モニタリングの実施(上部工の塩害による腐食状況計測)

現地平面図

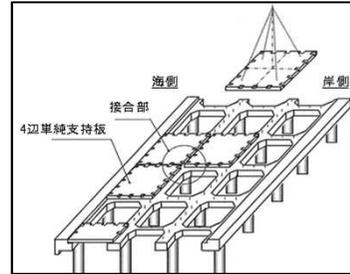


伏木富山港(新湊地区)岸壁12m



岸壁平面図(延伸区間)
 (赤色ハッチング部分がリプレイサブル床版設置箇所)

棧橋上部工の設置、試験状況等



リプレイサブル棧橋のイメージ



リプレイサブル床版製作状況



床版の設置状況



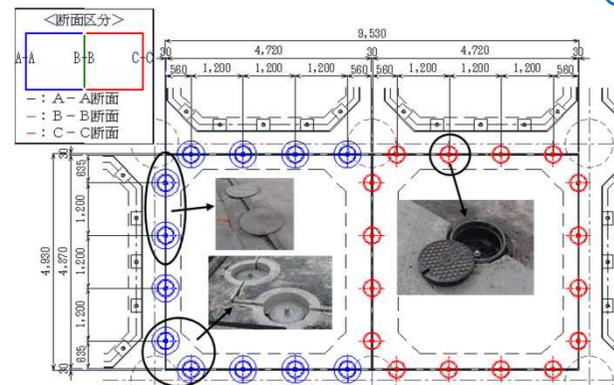
施工性確認試験実施状況(左:床版撤去、右:床版再設置(据付))



動的載荷試験実施状況

リプレイサブル床版設置個所の接合部

○: 舗装埋設型、○: 箱型座金



【②】「リプレイサブル棧橋」に関する評価結果

【個別事業の検証結果】

- リプレイサブル構造の床版の実棧橋上部工への導入については、床版をアンカーボルトで固定する方法が確立され、また施設供用後の取り外し・再設置も可能であったことから、大きな問題はない。構造の安全性に関しては、本構造による固定方法は床版と梁を剛結しない方法であるが、従来技術と同様に四辺単純支持版としての挙動を示し、安定した構造体として成立することが確認された。
- また、現時点では著しい腐食環境は確認されていない。ナットの緩みも確認されていない。施工性については、従来工法(現場でコンクリートを打設する工法)に比すると、床版をプレキャスト構造とすることにより、陸上製作が可能となり、海象による影響が軽減し、工期短縮が図られるとともに、底型枠が不要となり、開口部を利用して梁施工後の支保工取り外しが容易に行え、建設工事の安全性も向上する。
- 一方で、経済性や施工時の効率性・生産性については、今回の条件下では、従来工法(「港湾積算基準」に示されている「PC床版工PC桁据付」)に比して、通常のプレキャスト床版の設置作業に座金の取付け等の作業が加わるため、作業能力が想定より低下した。
- また、同様に維持管理時について評価すると、床版を取り外し開口部を設けることで、点検作業の照度が向上し、一部の作業を陸上から行うことが可能となるとともに、潜水士の移動時間短縮が図られ、点検効率が向上するものの、床版の取り外しのために重機が必要となり、床版の取り外し・再設置に相当程度の施工時間がかかるため、単なる点検作業では必ずしもコスト低減には寄与しない結果となった。

【本技術の今後の展望】

- 棧橋上部工の施工については、プレキャスト部材の活用、鉄筋の溶接や結束など床版の連結作業の省力化など、海上・現場での作業を極力減らし、海象条件による作業中止を発生させずに工期短縮等を図ることが求められている。リプレイサブル構造の床版の梁への固定方法は、プレキャスト床版の設置作業の効率化を図る一方法となり得るため、固定箇所数を減ずるなどの床版固定作業の更なる効率化・省力化に繋がる技術進展が期待される。リプレイサブル構造の床版の最大の特徴は、船舶が棧橋を利用している状況下であっても、必要な箇所の床版を取り外し、上部工下面や基礎杭の点検や補修等が実施できる点にある。このため、利用者にとっては、供用制限をする期間や場所が限定されることにより、できるだけ供用を止めずに、経済活動を維持することができる。また、特に、棧橋上部工が海面から近い場合には有効である。
- 上述したリプレイサブル棧橋の特徴を有効に活用していくためには、設計段階において、海上・現場作業の効率化・生産性の向上を図るための施工方法、および将来的な維持管理や大規模補修時の具体的な方法を検討し、導入メリットが最大限発揮されるように、リプレイサブル構造の床版の設置箇所や諸元を決定する必要がある。また、リプレイサブルの発想は、点検作業や大規模補修の効率化等の観点から柔軟に取り入れうる概念であるので、棧橋以外の施設においても、前広に検討していくことが期待される。

(参考) 検証2技術の技術関連情報

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に関する技術関連情報

- 繊維強化ポリマー(FRP)のコンクリート構造物への適用に関する設計・施工指針、(公社)プレストレスコンクリート工学会、令和2年9月
- 古瀬徳明, 横田弘, 加藤絵万, 岡崎慎一郎: CFRP材を適用したプレストレストコンクリート桁の載荷試験、(公社)プレストレストコンクリート工学会第24回シンポジウム論文集、平成27年10月
- 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物 設計・施工マニュアル(案)、建設用先端複合技術協会、平成27年6月
- コンクリートライブラリー88号 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)、(公社)土木学会、平成8年9月

リプレイサブル栈橋に関する技術関連情報

- (独)港湾空港技術研究所, (社)日本埋立浚渫協会: 高性能栈橋上部工の構築に関する共同研究報告書、平成20年3月
- 岩波光保, 加藤絵万, 横田弘: リプレイサブル栈橋上部工の構造性能評価手法に関する研究、港湾空港技術研究所報告, 第48巻, 第1号, 平成21年3月
- 平池 智広, 中野 則夫, 清貞 将平, 加藤 治仁: リプレイサブル栈橋上部工 実証試験計画の立案、(一財)沿岸技術研究センター論文集No.17(2017)
- 加辺 圭太郎, 田所 篤博, 後藤 洋之, 鈴木 雄太, 高橋 享, 泉田 裕, 大井 栄二郎: リプレイサブル栈橋の現地実証試験結果の技術的評価、(一財)沿岸技術研究センター論文集No.20(2020)