

# プレキャスト棧橋の技術開発と現場適用例

池野 勝哉<sup>1</sup>・伊野 同<sup>2</sup>・岩波 光保<sup>3</sup>・川端 雄一郎<sup>4</sup>・加藤 絵万<sup>4</sup>

<sup>1</sup>五洋建設株式会社 技術研究所 土木技術開発部

<sup>2</sup>五洋建設株式会社 中国支店 土木営業部

<sup>3</sup>東京工業大学 環境・社会理工学院

<sup>4</sup>海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所

港湾の棧橋工事における生産性を向上するため、プレキャスト施工が有効な手段として期待されている。棧橋上部工のプレキャスト化には、鋼管杭との接合部において現行基準を踏襲した剛結条件を満足しつつ、架設時の施工性を損なわない接合方法が望ましい。その一つの方法として、プレキャスト化する上部工に鋼管杭よりも径の大きな鞘管を埋設し、架設時に鞘管内へ鋼管杭を所定の長さ挿入するとともに、その間隙をグラウト等で充填する「鞘管方式」を提案している。本稿では、鞘管方式の優れた接合性能について交番載荷実験を示し、本方式を適用したプレキャスト化による棧橋急速施工例を紹介する。

キーワード：プレキャスト、杭頭接合、鞘管方式、生産性向上

## 1. はじめに

近年、建設現場の生産性を向上するため、プレキャスト施工が有効な手段として期待されている。港湾の棧橋上部工は、潮位や波浪等の海象条件の影響を受けながら、足場・型枠支保・鉄筋・コンクリート打設といった一連の作業を繰り返し構築される。このため、上部工をプレキャスト化することで、海上作業の大幅な省力化が図れ、品質向上や安全性確保の他、急速施工が可能になるなど多くのメリットが期待できる（図-1参照）。一方、棧橋上部工のプレキャスト化に関しては、鋼管杭と上部工の接合方法が技術的課題として挙げられる。これは、現行の港湾基準<sup>1)</sup>において、鋼管杭と上部工は剛結条件として設計されるためであり、プレキャスト施工のメリットを損なわずに剛結条件を満足し得る接合構造が望ましいと言える。

そこで、著者らは鋼管杭とプレキャスト化した上部工を鞘管方式で接合する構造を提案している。鞘管方式による杭頭接合は、プレキャスト化する上部工に鋼管杭よりも径の大きな鞘管を埋設し、鞘管内に鋼管杭を所定の長さ差し込み、その間隙をモルタル等で充填して一体化する方法である。本稿では、鞘管方式が高い杭頭固定度を維持すること、優れたエネルギー吸収性能を有していることを示し<sup>2)</sup>、鞘管方式を採用した棧橋のプレキャスト施工例<sup>3)</sup>を紹介する。

## 2. 鞘管方式による杭頭接合方法

鞘管方式は、棧橋上部工の梁ブロック製作時に予め鋼管杭よりも径の大きな鞘管を埋設し、溶接プレートを介して梁主筋と接続されている。鞘管は鋼管杭の打設精度 $\pm 100\text{mm}$ を考慮して、鋼管杭の直径よりも $200\sim 300\text{mm}$ 程度大きいものを選定し、鋼管杭との間隙に無収縮グラウトを充填して杭頭部の一体化を図るものである。図-2に鞘管方式による杭頭接合の概要図を示す。

図-3に現場打ちの(a)従来方式とプレキャストの(b)鞘管方式による杭頭接合の違いについて示す。両者の構造上の相違点は、特にRC梁への力の伝達機構である。前者では主に鋼管杭と接続された下主筋に力が伝達するのに対して、後者では鋼管杭から偶力として支圧力が鞘管に作用し、鞘管と接続された上下の主筋に力が伝達する。

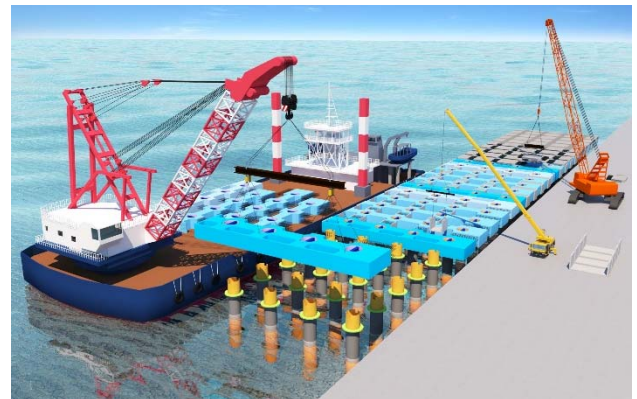


図-1 棧橋プレキャスト施工のイメージ

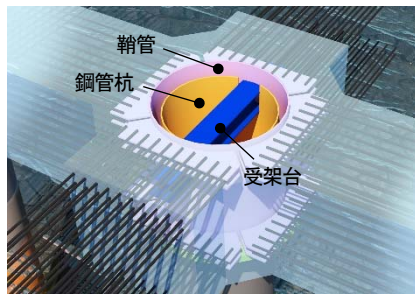
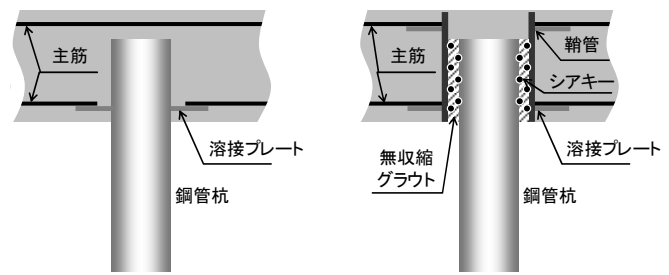


図-2 鞘管方式の杭頭接合



(a) 従来方式

(b) 鞘管方式

図-3 鞘管方式の杭頭接合

### 3. 交番载荷実験

鞘管方式による杭頭接合部の構造性能を確認するため、実栈橋の鋼管杭 ( $D=1.4\text{m}$ ) を含むRC梁 ( $B=1.4\text{m}$ ,  $H=1.8\text{m}$ ) の1スパン ( $a=5.0\text{m}$ ) を概ね縮尺比1/6としてモデル化し、天地を反転した逆T形試験体の正負水平交番载荷を行った(写真-1)。各試験体の諸元を表-1、各側面図を図-4に示す。ここで、本論文では試験体の逆T形を正置として、模型上あるいは模型下として呼称する。

#### (1) 実験ケース

試験体は、鋼管杭(外径 $D=216.3\text{mm}$ , 肉厚 $t=4.5\text{mm}$ , STK400)と、RC梁(断面幅 $230\text{mm}$ , 高さ $300\text{mm}$ , 長さ $2000\text{mm}$ , 引張鉄筋比 $0.7\%$ )が接合された逆T形構造である。Case1は鋼管杭の溶接プレートに模型上主筋を溶接し、コンクリートを打設した。Case2は鞘管の溶接プレートに模型上主筋および下主筋を溶接してコンクリートを打設し、後から鞘管内に鋼管杭を $1.0D$  ( $L=220\text{mm}$ ) 挿入して、無収縮グラウトの充填により一体化を行った。

Case1, 2の鋼管杭はRC梁に対して $1.0D$  ( $L=220\text{mm}$ ) 挿入しているが、これは港湾において一般的に用いられる挿入長である。

#### (2) 载荷方法と計測項目

本実験では、杭頭接合部における終局耐力および固定度を比較検討するため、通常、構造部材の変形性能やエネルギー吸収能力を評価するために実施される交番载荷試験に倣った。载荷方法は、载荷ジャッキ(1000kN)を模型梁上面から高さ $H=1662\text{mm}$ に設置し、基準降伏変位 $\delta_y$ の整数倍として $\pm 1\delta_y$ ,  $\pm 2\delta_y$ ,  $\dots$ ,  $\pm 5\delta_y$ をそれぞれ3サイクル繰り返し载荷した。ここで、基準降伏変位 $\delta_y$ は、鋼管杭基部の外縁に貼り付けた任意のひずみゲージが降伏ひずみ( $\epsilon_y=2,006\mu$ )に達した時の変位として定義した。

計測項目は、鉄筋、鋼管杭・鞘管のひずみ、水平荷重、任意高における水平変位およびRC梁のひび割れ性状である。また、杭頭接合部における固定度を評価するため、鋼管杭の模型梁上面より $50\text{mm}$ の高さにプレートを取付け、鉛直変位を計測することで杭頭回転角を評価した。

表-1 試験体の諸元

試験体名	鋼管杭						鞘管		シアキー	上部工 終局M $M_u$ (kNm)	せん断 スパン比 $l/D$	杭頭接合	摘要
	外径 $D$ (mm)	厚さ $t$ (mm)	突出長 $l$ (mm)	挿入長 $L$ (mm)	挿入比 $L/D$	全塑性M $M_p$ (kNm)	外径 $D^*$ (mm)	厚さ $t^*$ (mm)					
Case1	216.3	4.5	1662	—	1.0	80.1	—	—	—	42.6	7.7	従来方式	現場打ち
Case2	216.3	4.5	1662	220	1.0	80.1	267.4	6.0	D6@60	42.7	7.7	鞘管方式	プレキャスト

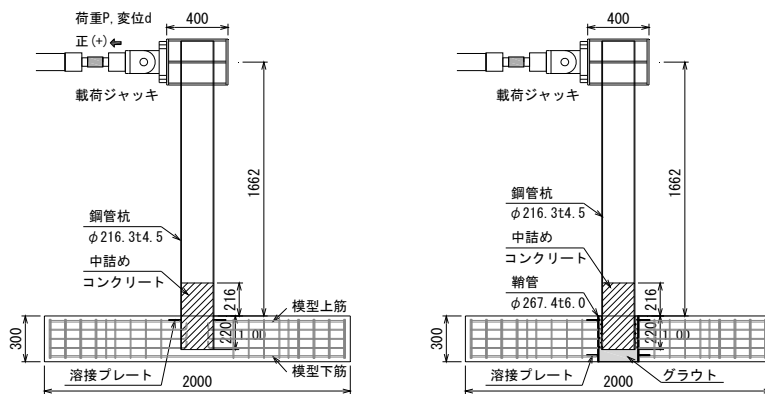


図-4 試験体の側面図 (左: Case1, 右: Case2)

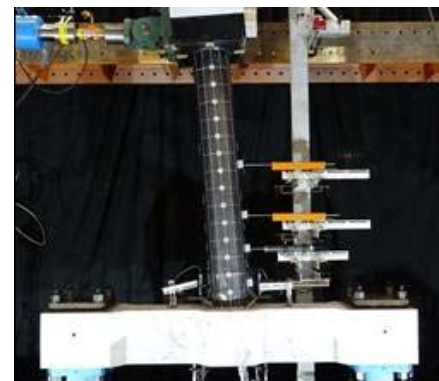


写真-1 交番载荷実験の状況

### (3) 実験結果および考察

載荷点における荷重 $P$ -変位 $\delta$ 関係を図-5に示す。なお、図中には、実験で使用したSTK400材の設計引張降伏応力度を $f_{yd}=235\text{N/mm}^2$ とした時の設計降伏荷重および全塑性荷重を併記している。

図中より、従来方式は明確な逆S字形状を示すのに対し、鞘管方式は紡錘形の履歴ループを示しており、エネルギー吸収性能の違いが確認できる。両ケースともに設計荷重を満足し、 $3\delta y \sim 4\delta y$ の変位ステップで最大荷重を迎えたあと、 $5\delta y$ にかけて徐々に剛性が低下している。

実験で計測した杭頭回転角から変位ステップ毎の杭頭固定度 $\alpha$ を図-6に示す。ここで、縦軸の杭頭固定度 $\alpha$ は式(1)で定義され、横軸は交番載荷実験における降伏変位 $\delta y$ の整数倍であり、塑性率と捉えても差し支えない。従来方式は、変位ステップが進むに伴い $3\delta y$ から $5\delta y$ にかけて顕著に杭頭固定度 $\alpha$ が低下しているのに対して、鞘管方式では $\alpha = 0.95$ 以上の高い杭頭固定度を維持しており、剛結条件に近い挙動を示している。図-7に $1\delta y$ および $2\delta y$ の各3回の繰り返し後におけるひび割れ図を示すが、Case1は初期の変位ステップでひび割れが杭基部付近に発生し、杭頭周りに放射状に進展しており、杭頭固定度が低下している様子が伺える。

このように、鞘管方式による杭頭接合は、従来方式と比較しても同等以上の耐荷力を発揮しており、優れたエネルギー吸収性能と高い杭頭固定度を有していることが分かる。

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{EI\beta}{(1 + \beta h)K_0'}} = \frac{1}{1 + \frac{EI\theta'}{2Ph^2}} \quad (1)$$

ここで、 $P$ : 水平荷重、 $h$ : アーム長、 $\beta$ : 杭の特性値、 $K_0'$ : 実験における杭頭回転ばね、 $\theta'$ : 実験における杭頭回転角、 $EI$ : 杭体の曲げ剛性

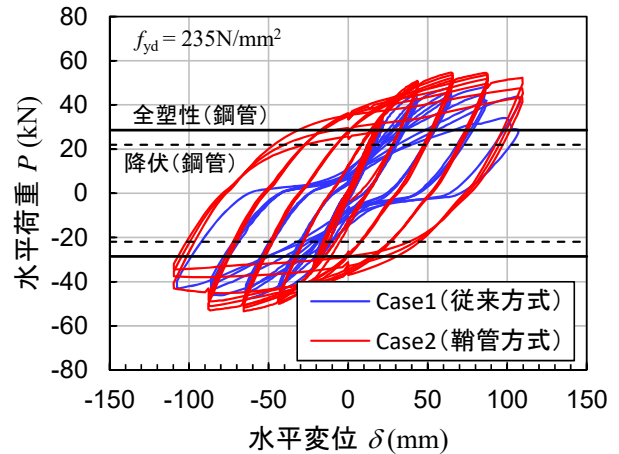


図-5 載荷点における荷重-変位関係

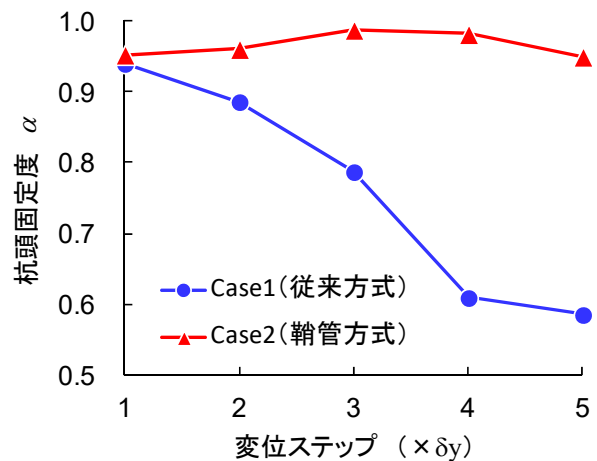


図-6 杭頭固定度の推移

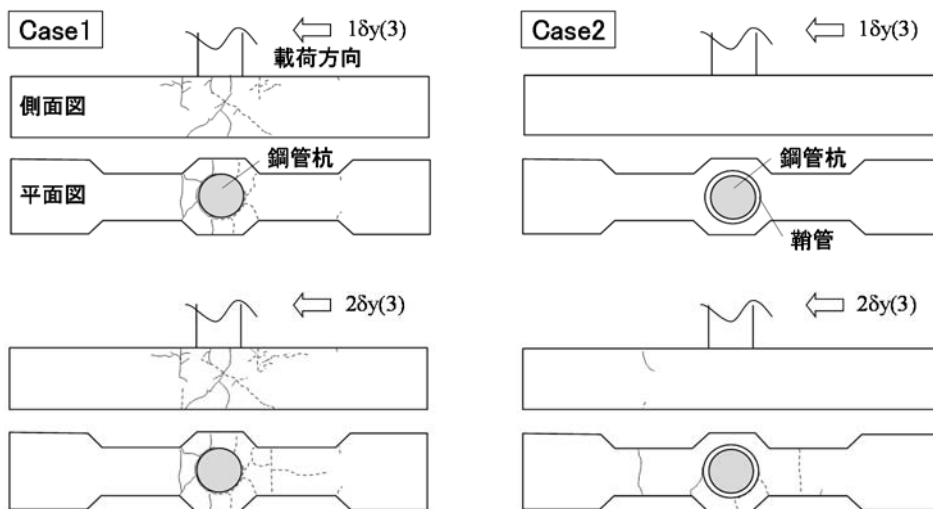


図-7 RC梁に生じたひび割れスケッチ ( $1\delta y$ ,  $2\delta y$ )



#### 4. プレキャスト化による棧橋急速施工

##### (1) 工事概要

本工事は、写真-2に示すように既設ドックの両渠壁に設置している300t吊りクレーン基礎（西軌道・東軌道）を直杭式棧橋で沖側に50m延伸するものである。

図-8にクレーン基礎延伸部の平面図を示す。延伸工事により、台船運搬した大型船体ブロックをゲート前面からドック内に搬入でき、新造船の建造能力を飛躍的に向上させることができる。本工事は、高稼働率のドックを供用しながらの延伸であり、ドック内への資機材搬入など建造船作業との輻輳を回避するため海上作業の短縮が求められた。そこで、棧橋の上部工を200~300程度の大型プレキャスト部材に分割した一方方向スラブ形式を採用し、700t吊り起重機船で架設を行う急速施工を行った。プレキャスト施工によって、部材製作や架設に高い施工精度が必要となるが、従来の現場打ちコンクリート施工と比較して海上作業の日数を約半分に短縮することができる。

##### (2) クレーン基礎延伸部の棧橋構造

クレーン基礎延伸部（西軌道）の直杭式棧橋構造を図-9に示す。鋼管杭（φ1100, SKK490）を3本×8列とした幅21m×延長50mの一方方向スラブ形式の棧橋である。前章で示した靴管方式による杭頭部接合を採用し（図-10）、プレキャスト受梁（約200t/基）と鋼管杭を連結する。靴管と鋼管杭との間隙には無収縮モルタルを充填して杭頭部を固定したのち、受梁上に一方方向スラブ（約300t/基）を架設し、現場打ちコンクリートで上部工の一体化を図った。

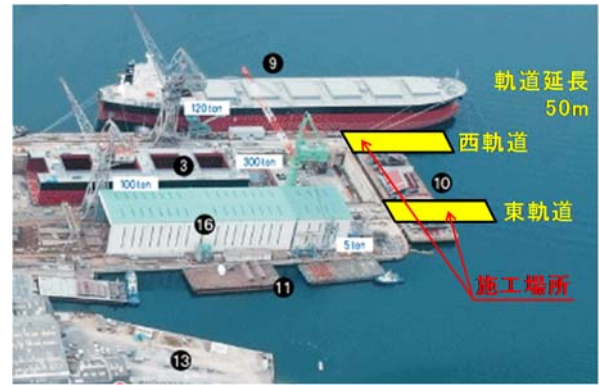


写真-2 工事概要

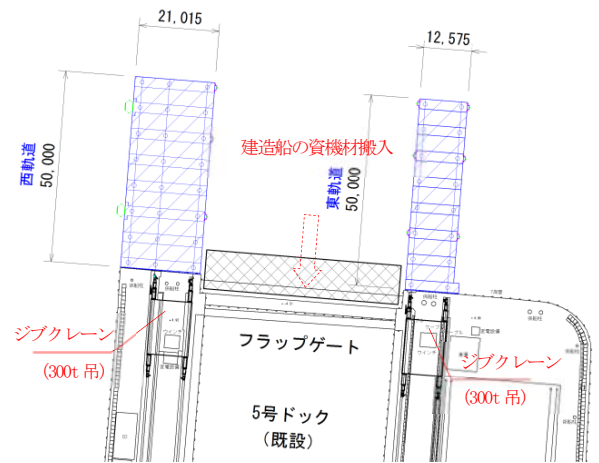


図-8 クレーン基礎延伸平面図

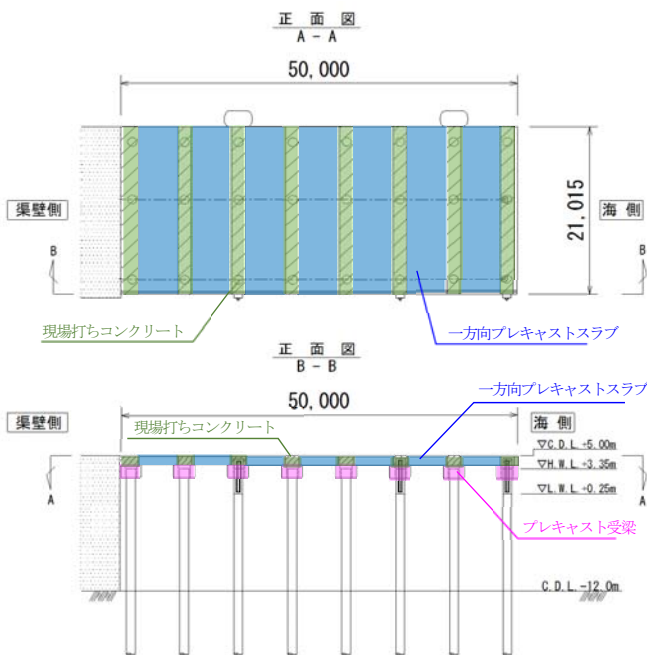


図-9 クレーン基礎延伸部の棧橋構造

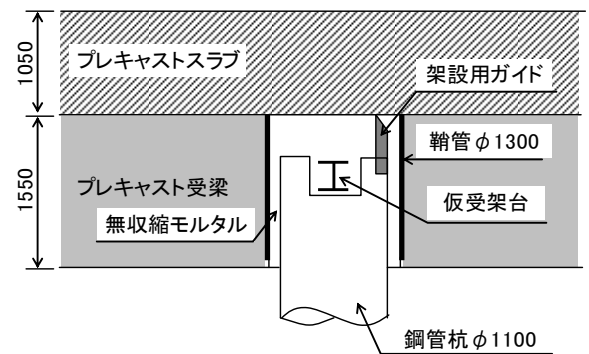


図-10 杭頭部の構造

### (3) プレキャスト施工フロー

施工フローを図-11に示す。フロー図で示す通り、海上作業の鋼管杭打設工～中詰めコンクリート工と陸上作業のプレキャスト部材製作工は同時並行で作業を行うことができる。

#### a) 鋼管杭の打設精度と鞘管径

鋼管杭の平面的な管理基準±100mmより、プレキャスト受梁の架設に支障がないよう鞘管と鋼管杭のクリアランスを片側150mmずつ確保し、鞘管径をφ1400mmとした。一方、杭天端高の管理基準は±50mmであるが、プレキャスト施工の場合、打設精度が直接的に上部工天端高に影響してしまうため、スラブ上に設置するクレーンレールの鉛直精度が確保できない可能性があった。そこで、余長をとった鋼管杭を打設し、杭頭を切断することでmm単位の杭天端高を管理した。

#### b) 鋼管杭の打設精度と鞘管径

プレキャスト部材の製作ヤードは、施工現場から海上運搬距離で約15km離れた護岸背後地を選定した。受梁に埋設する鞘管は、仮受架台と溶接プレートをあらかじめ工場で加工してからヤードに搬入した(写真-3)。鋼材の溶接加工は屋内工場で行うため、雨風等の天候の影響を受けずに作業できるメリットがある。陸上ヤードで鉄筋、型枠組立後にコンクリート打設し、一連のプレキャスト部材(受梁、スラブ)を製作した(写真-4)。栈橋上部工を海象条件の影響がない陸上作業で製作できるため、コンクリート構造物の品質を向上させるとともに、海上作業特有の稼働率低下および足場の悪い箇所での墜落・転落等の危険リスクを回避することができる。

#### c) プレキャスト部材の架設と一体化

陸上ヤードで製作したプレキャスト部材は、700t吊り起重機船で3000t台船に積み込み、施工場所に運搬した。プレキャスト受梁を鋼管杭に架設したのち、鞘管と鋼管杭との間に無収縮モルタルを充填して杭頭部を固定し、続けて受梁上にプレキャストスラブを架設した(写真-5)。プレキャストスラブの架設後、連結部の鉄筋組立を行い、現場打ちコンクリートを打設した(写真-6)。なお、本工事で採用した一方向スラブ形式は、プレキャスト受梁がスラブ架設時の足場および現場打ちコンクリート打設時の底型枠代わりになるため、海上作業での型枠支保工を省力化できるなど施工性および安全性に優れた構造形式と言える。

### (4) プレキャスト施工による工期短縮効果

本工事におけるプレキャスト施工と現場打ち施工の工期比較を図-12に示す。従来の現場打ち施工では、全て海上作業で約8ヶ月の期間を必要とするのに対して、プレキャスト施工では、陸上作業と海上作業を同時並行で行うことができ、プレキャスト部材の架設により上部工を構築できるため、海上作業が開始してからわずか4ヶ月で施設を完成させた(写真-7)。

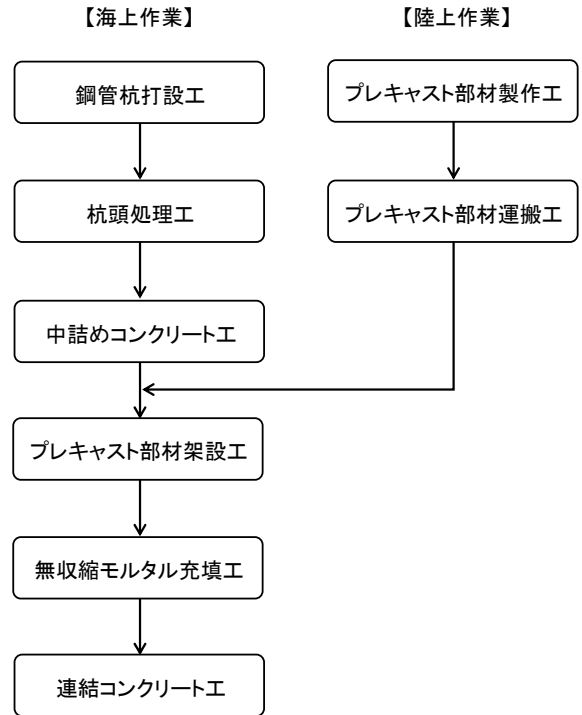


図-11 プレキャスト施工のフロー

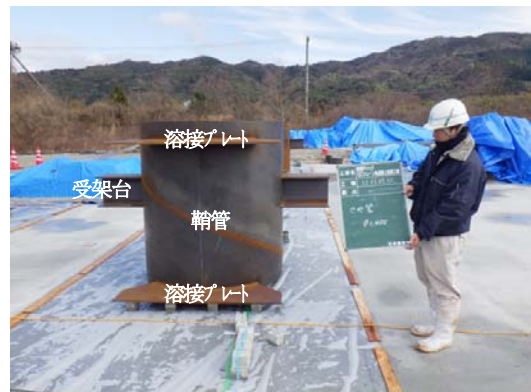


写真-3 鞘管の搬入



写真-4 プレキャスト部材の全景



写真-5 プレキャスト部材の架設

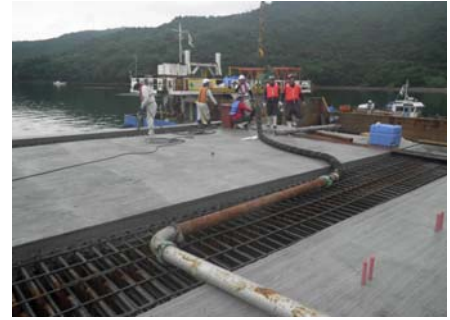


写真-6 現場打ちコンクリート

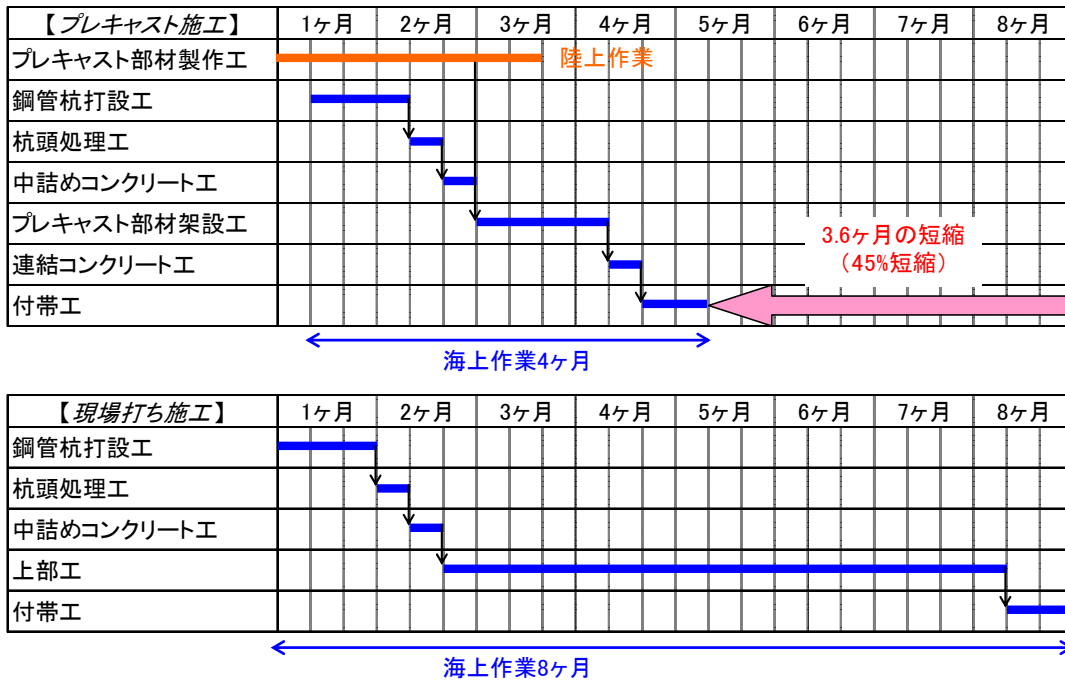


図-12 工程短縮の効果

## 5. おわりに

本稿では、栈橋上部工のプレキャスト施工に最適な杭頭接合として鞘管方式を提案し、逆T形模型による交番載荷実験から従来方式と比べて、同等以上の耐荷力を有していること、また優れたエネルギー吸収性能と杭頭固定度を有していることを示した。また、鞘管方式を適用した現場適用例を紹介し、施工性を確認するとともに工期短縮効果（45%短縮）について示した。

プレキャスト施工は、海上作業の短縮と同時に、熟練工を要する海上作業（特に足場工・型枠支保工）を省略できるため施工性と安全性が向上し、高品質のコンクリート構造物を提供することができる。本稿を通じて、栈橋のプレキャスト施工が普及し、港湾工事の生産性向上の一助になれば幸いである。



写真-7 完成（西軌道）

### 参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2018.
- 2) 池野勝哉，岩波光保，川端雄一郎：鞘管方式による栈橋鋼管杭の杭頭接合部に関する交番載荷実験，構造工学論文集，Vol.64A，pp.724-733，2018.
- 3) 池野勝哉，伊野同，岩波光保，川端雄一郎，加藤絵万：プレキャスト化による栈橋施工の生産性向上，土木建設技術発表会 2018 概要集.