

プレキャストを利用した 老朽化栈橋のリニューアル技術

栈橋工事の生産性向上を目指して

池 野 勝 哉・伊 野 同

老朽化した栈橋上部工の全面改修として、プレキャスト上部工を利用した急速施工を行った。既設鋼管杭の上方で切断し、継鋼管杭を挿入して無収縮モルタルによる一体化を図ったのち、あらかじめ陸上で製作したプレキャスト上部工を大型起重機船で一括架設する方法である。これにより、海上工事が短縮されると同時に、上部工を陸上製作するため安全性および品質向上を図ることができ、指定された栈橋施設の供用停止期間内に工事を完了することができた。

キーワード：上部工，プレキャスト，海上工事，工期短縮，全面改修

1. はじめに

高度経済成長期に建設された膨大なコンクリート構造物が維持管理の時代を迎えている。とりわけ港湾構造物は、厳しい自然条件下に置かれることから、材料の劣化、部材の損傷、沈下等の変形により、供用期間中に性能低下する場合が多い。図-1に栈橋の標準断面図を示す。栈橋は、鋼管杭とRC上部工により構成されるラーメン構造であり、上部工下側に位置する飛沫帯では、塩化物イオンによる鋼管杭の腐食およびRC上部工の劣化が生じ易い。一般に、鋼管杭では犠牲陽極による電気防食や防食被覆塗装による対策がなされおり、問題となるのは上部工の塩害によるひび割れがほとんどである。栈橋上部工の補修対策は表-1に示すように、外観上の劣化度ごとに表面被覆やひび割れ修復、断面修復、部分的な改修、全面改修などの方法¹⁾がとられているが、陸上構造物とは異なり波浪や潮位等の影響を受けて作業時間が制約されること、作業環境が狭隘であることを考慮しなければならない。したがって、劣化した上部工の補修対策では多くの労力と期間を要し、特に全面改修では栈橋施設の供用停止が長期間にわたる場合が多い。この様な工事において、栈橋上部工のプレキャスト施工は有効な手段として期待される。上部工をプレキャスト化することで、海上工事における足場・型枠支保・鉄筋・コンクリート打設といった一連の作業が省力化できるため、コンクリート構造物の品質向上や安全性の確保の他、急速施工により施設の供用停止期間を短縮することが可能である。

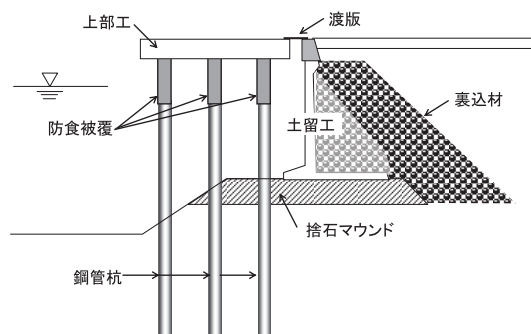


図-1 栈橋の標準断面 (文献¹⁾に加筆)

表-1 栈橋上部工の劣化度別の補修・補強工法 (文献¹⁾)

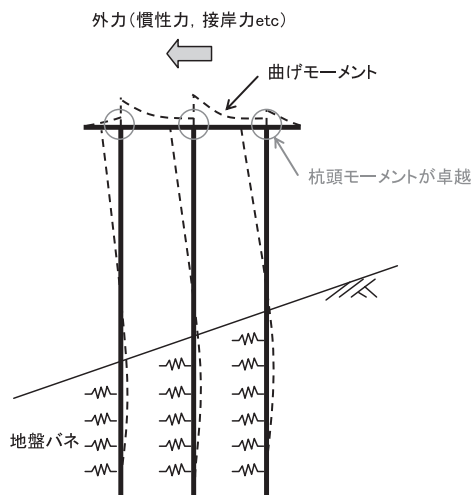
劣化度	工法例
d	表面被覆, 電気防食
c	表面被覆, 電気防食, 断面修復
d	表面被覆, 電気防食, 断面修復, 部分的な改修
a	補強, 全面改修

本稿では、栈橋上部工をプレキャスト化する上で技術的課題となる杭頭接合部について概説し、鞘管方式による接合方法を示す。また、老朽化した接岸ドルフィン上部工の全面改修として、プレキャストを利用した急速リニューアル施工例を紹介する。

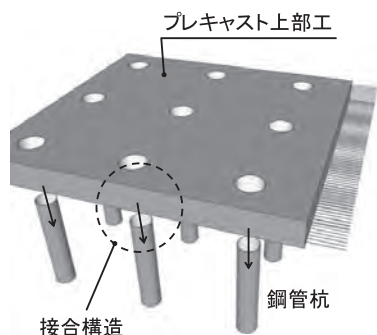
2. 栈橋上部工のプレキャスト化

(1) プレキャスト化による技術的課題

栈橋は海中に突出した鋼管杭と上部工のラーメン構造であり、水平方向の外力に対して杭頭モーメントが最も卓越する(図-2)。現行の港湾基準²⁾では、こ



図ー2 栈橋の杭頭モーメント

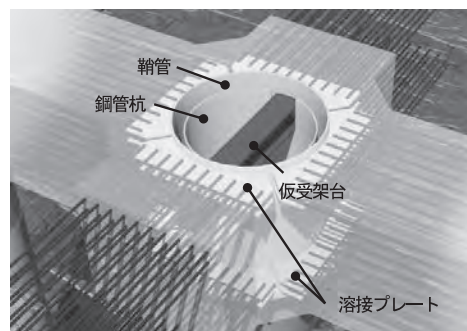


図ー3 プレキャスト上部工の架設

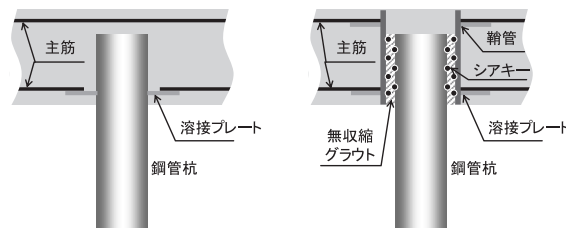
の杭頭部を剛結とした条件で設計がなされるため、プレキャスト上部工と鋼管杭との杭頭接合構造は技術的課題と言える（図ー3）。

(2) 鞘管方式による杭頭接合

ここでは、新設工事を想定した鞘管方式の杭頭接合方法を紹介する。鞘管方式は、栈橋上部工のプレキャスト製作時に予め鋼管杭よりも径の大きな鞘管を埋設し、鞘管に溶接されたプレートを介してRC梁の主筋と接続している（図ー4）。鞘管径は鋼管杭の平面的な打設精度 $\pm 100\text{ mm}$ を考慮して、鋼管杭よりも200～300 mm程度大きいものを選定し、鋼管杭との間隙



図ー4 鞘管方式の概要図



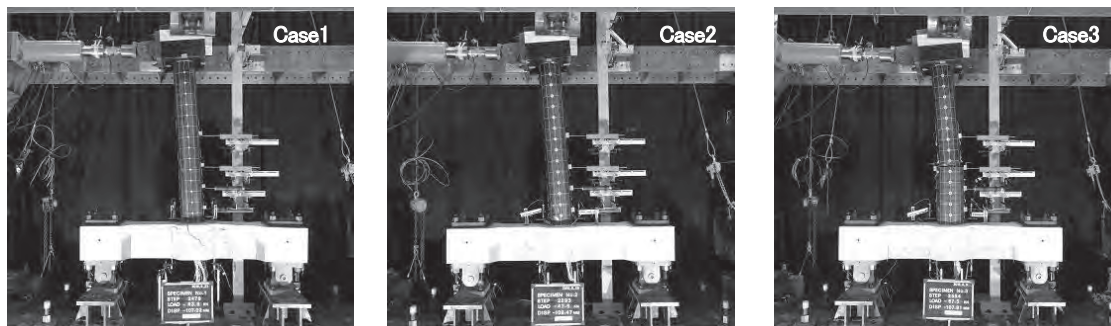
(a) 従来方式（現場打ち） (b) 鞘管方式（プレキャスト）

図ー5 杭頭接合の模式図

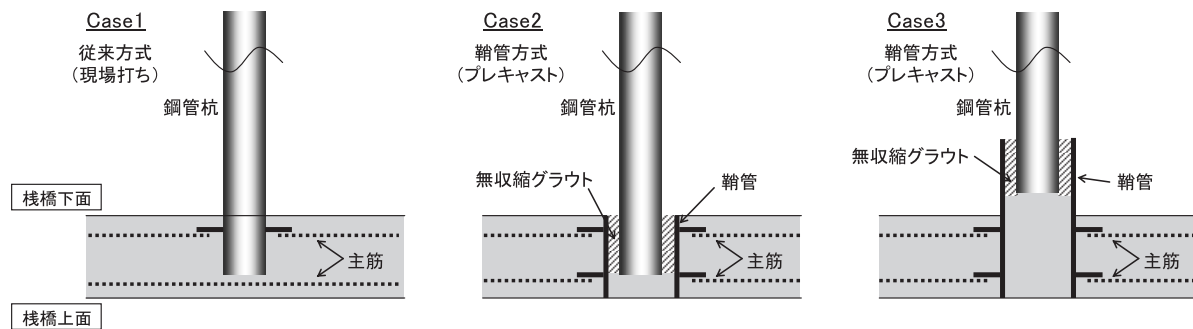
に無収縮グラウトを充填して杭頭部の一体化を図る。図ー5に（a）従来方式（現場打ち）と（b）鞘管方式（プレキャスト）による杭頭接合について模式図を示す。鞘管方式では、鋼管杭に作用する曲げモーメントが偶力として鞘管およびRC梁に伝達する。

3. 杭頭接合部の構造性能

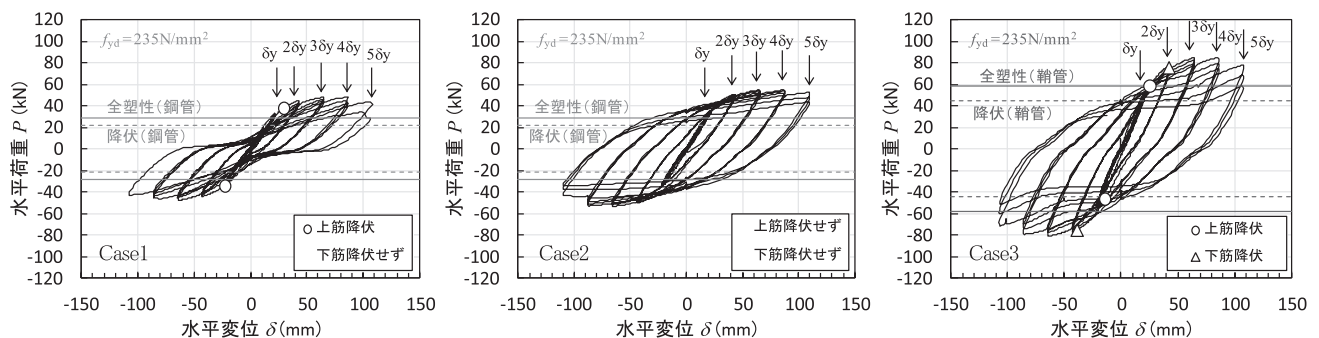
杭頭接合の構造性能を把握するため、実栈橋の鋼管杭 ($D=1.4\text{ m}$) を含むRC梁 ($B=1.4\text{ m}$, $H=1.8\text{ m}$) の1スパン ($a=5.0\text{ m}$) を概ね縮尺比1/6としてモデル化し、天地を反転した逆T形試験体の正負水平交番載荷実験を実施した（図ー6）。実験ケースは、現場打ちの従来方式（Case1）、プレキャストの鞘管方式（Case2, 3）である（図ー7）。ここで、Case3は模型下面から鞘管が突出したケースであり、既設鋼管杭を再利用した栈橋上部工の全面改修を想定してい



図ー6 実験の状況



図ー7 実験ケース

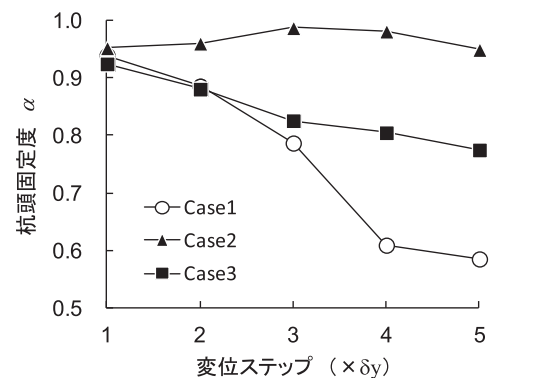


図ー8 荷重—変位関係

る。実験の詳細は文献³⁾を参照されたい。

実験結果の一例として、載荷点における荷重 P -変位 δ 関係を図ー8に示す。なお、図中には、実験で使用了 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 (Case1) は明確な逆 S 形状を示すのに対し、鞘管方式 (Case2, 3) は紡錘形の履歴ループを示すなどエネルギー吸収性能の違いが確認できる。いずれのケースも設計荷重を満足し、 $3\delta y \sim 4\delta y$ 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た。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力を示しており、優れたエネルギー吸収性能を有している。全面改修を想定した Case3 は、鋼管杭よりも径の大きな鞘管が杭頭部から突出するため、本実験では他ケースと比べて 1.5 ～ 1.8 倍の耐荷力を有している。

先述したように現行の港湾基準²⁾では、鋼管杭と上部工は剛結条件として設計される。そこで、実験で計測した杭頭回転角から式 (1) で定義される杭頭部の固定度 α を評価した³⁾。図ー9にはその結果を示すが、従来方式 (Case1) は変位ステップの増加に伴い、 $3\delta y$ から $5\delta y$ にかけて顕著に低下するが、鞘管方式 (Case2, 3) は、 $5\delta y$ まで $\alpha = 0.8 \sim 0.95$ の高い杭頭固定度を保持しており、プレキャスト化した鞘管方式によって杭頭固定度を従来よりも向上させていること



図ー9 杭頭固定度の変化

が分かる。

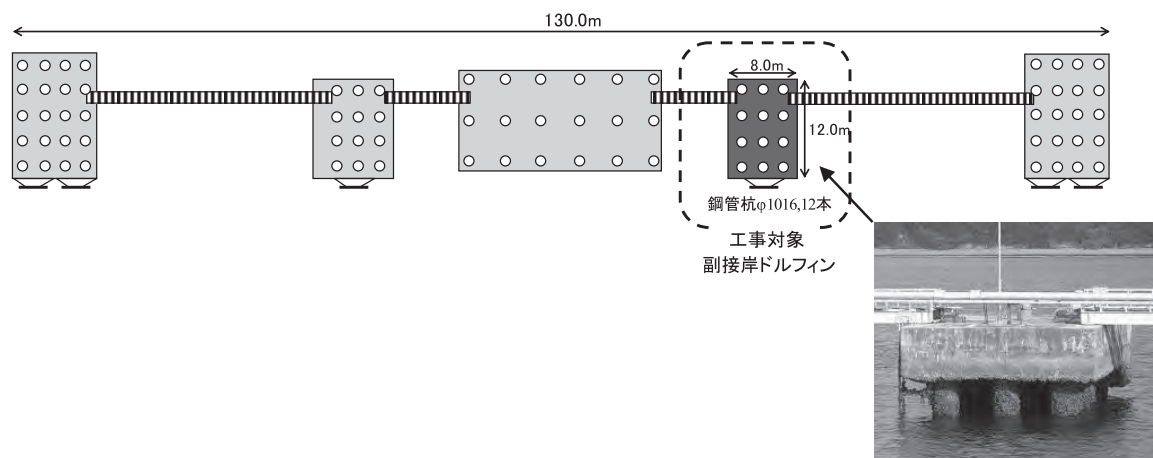
$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{EI\beta}{(1 + \beta h)K_{\theta}'}} = \frac{1}{1 + \frac{EI\theta'}{2Ph^2}} \quad (1)$$

ここで、 P : 水平荷重, h : アーム長, β : 杭の特性値,
 K_{θ}' : 実験における杭頭回転ばね
 θ' : 実験における杭頭回転角,
 EI : 杭体の曲げ剛性

4. プレキャスト施工による老朽化ドルフィンのリニューアル工事

(1) 工事概要

本工事は、エム・シー・ターミナル(株)鹿川事業所内の第3棧橋施設のうち、老朽化に伴う副接岸ドルフィ



図—10 栈橋施設の平面図

ン（上部工 8 m×12 m）をリニューアルするものである（図—10）。工事対象は、12本の鋼管杭（ $\phi 1016$ t = 12.7 ~ 19, L = 36.5 m）で支持された直杭式の接岸ドルフィンである。当施設は建設後 30 年が経過しており、劣化調査の結果、塩害や ASR の進行から多数のひび割れおよび強度低下が確認され、早期の全面改修が必要であった。当施設の工事に当っては、供用停止期間内（37 日間）に既設上部工の撤去および全面改修に係る海上工事を完了させる必要があり、上部工をプレキャスト化した急速施工を行った。

(2) 施工手順

本工事の施工手順を図—11に示す。潜水士による既設ドルフィンの現況調査を実施後、既設鋼管杭の中詰コンクリート下端付近でアーク溶断する（写真—1）。この際、鋼材で既設鋼管杭の連結を確実にを行い、切断時に予想される鋼管杭の変動を抑制する。これと平行して、陸上ヤードでは既設鋼管杭の出来形（杭径、ピッチ）を考慮した鞘管を設置し、鉄筋、型枠、コンクリート打設によるプレキャスト（PCa）上部工を製作する。700 t 吊起重機船により劣化した既設上部工を撤去したあと（写真—2）、継鋼管杭を 35 t 吊クレーン付き台船で既設鋼管杭に挿入し（写真—3）、その

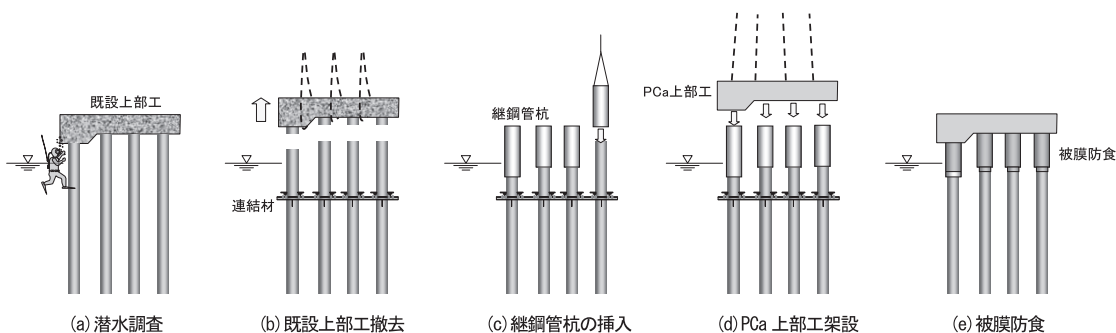
間隙に無収縮モルタル充填および鋼管杭内部に中詰コンクリートを打設する（写真—4）。次に、陸上ヤードで製作されたプレキャスト（PCa）上部工を 700 t



写真—1 アーク溶断



写真—2 既設上部工の撤去



図—11 本工事の施工手順



写真一 3 継鋼管杭の挿入



写真一 7 ペトロラタムテープ



写真一 4 中詰コンクリート打設



写真一 8 保護カバー



写真一 5 PCa 上部工架設

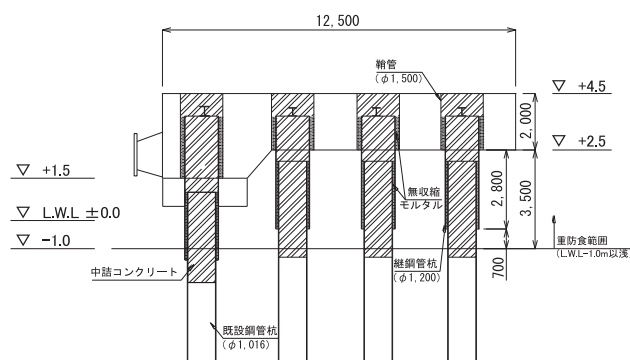


写真一 6 蓋コンクリート打設

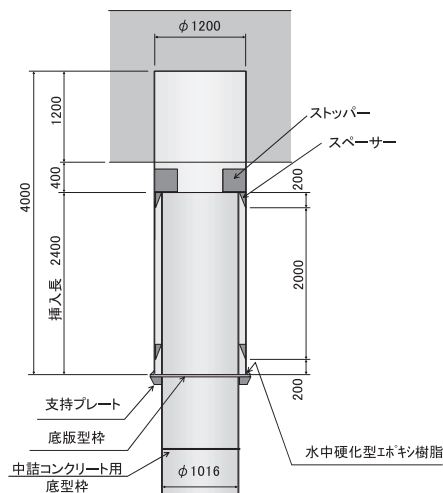
吊起重機船で継鋼管杭に架設し（写真一 5）、鞘管と継鋼管杭との間に無収縮モルタル充填および鞘管上部に蓋コンクリートを打設して一体化を図る（写真一 6）。最後に重防食範囲では、ペトロラタムライニング工法で被覆防食を施し、端部処理として水中硬化型エポキシ樹脂でシールした（写真一 7～8）。

（3）プレキャスト上部工および継鋼管杭

プレキャスト上部工の架設後断面を図一 12、継鋼管杭の内部構造を図一 13 に示す。既設鋼管杭 $\phi 1016$ に対して挿入する継鋼管杭を $\phi 1200$ 、継鋼管杭に挿入する鞘管を $\phi 1500$ とし、それぞれ挿入する径が $200 \sim 300 \text{ mm}$ 大きな材料を選定した。継鋼管杭の内側には、あらかじめストッパー・スペーサーおよび中詰コンクリート用の底型枠を取り付けておき、既設鋼管杭に挿入後、潜土工により継鋼管杭の下端に鋼製の底版型枠（PL-12 mm、半割型）を取り付ける構造とした。ここで、無収縮モルタル漏洩防止のため隙間には水中硬化型エポキシ樹脂を塗布した。継鋼管杭の既設鋼管杭への挿入長は、API 基準に従って無収縮モルタルによる許容軸方向力を算定し、フレーム解析による最大軸方向力の比較から $l = 2400 \text{ mm}$ とした。なお、継



図一 12 プレキャスト上部工の架設断面



図一 13 継鋼管杭の内部構造

鋼管杭の挿入部は既設鋼管杭との二重管構造となるため、既設鋼管杭の2倍程度の耐荷力を有した杭構造となる。

5. おわりに

本稿では老朽化した接岸ドルフィンの全面改修について急速プレキャスト施工を紹介した。プレキャスト施工により、指定された施設の供用停止期間内に無事工事を完了させ、また陸上作業で上部工を製作したことで、従来の現場打ち施工よりも安全性および品質向上を図ることができたと考えている。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。



写真一 9 着工前



写真一 10 着工後

J C M A

《参考文献》

- 1) 朝倉書店：コンクリート補修・補強 ハンドブック，pp.165-174，2011.
- 2) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2018.
- 3) 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.
- 4) 池野勝哉，岩波光保，川端雄一郎：非線形有限要素解析による鞘管方式の栈橋杭頭接合部に関する構造的な性能評価，土木学会論文集 B3（海洋開発）Vol.74，No.2，2018.

【筆者紹介】



池野 勝哉（いけの かつや）
五洋建設㈱
技術研究所 土木技術開発部
担当部長



伊野 同（いの ひとし）
五洋建設㈱
中国支店 土木営業部
担当部長