

プレキャスト上部工の鉄骨差込み接合法 ～SFIジョイント工法～

網野 貴彦¹

¹東亜建設工業株式会社 技術研究開発センター

港湾工事では、海上作業の省力化等を目的に、ケーソン等のプレキャストコンクリート工法が標準的に採用されている。しかし、栈橋等の杭式構造物の場合、杭の海上打込みに高い精度を要求できないため、杭と上部工ブロックの相対的な位置のずれに対し柔軟な設計や施工を可能とする技術が必要であった。そこで、上部工の一部またはすべてをプレキャスト化し海上作業の省力化を図るとともに、杭の施工誤差によらず所定の杭頭接合部の耐力を満足する設計が可能で、かつ上部ブロックの製作工程等に影響を及ぼさない、港湾構造物で類のない新しい杭頭接合法「SFIジョイント工法」を開発した。本稿では、工法の概要と適用事例を紹介する。

キーワード：プレキャスト上部工，海上杭式構造物，鉄骨差込み接合，杭頭接合，施工誤差

1. はじめに

近年、国土交通省を中心に i-Construction が推進されており、その取組みの一環としてコンクリート工の生産性向上に向けた検討が盛んに行われている。そのうち、現場作業の効率化や施工時期の平準化を目的とした部材のプレキャスト化が注目されている。港湾分野では、防波堤ケーソンなどの大きなものから消波ブロック等の比較的小さいものまで、プレキャストコンクリートを用いた施工は標準的に採用されているが、これらはプレキャストコンクリート間の接合など、設計上の配慮がほとんど必要のないものである。杭と上部工間、およびプレキャストコンクリート部材間の接合が重要となる栈橋等の杭式構造物では、大規模な栈橋築造における急速施工が強く求められるケース以外は、これまで積極的に採用されてこなかった。

海上におけるコンクリート施工は、特殊技能を有する作業員が必要で多大な労力を要するだけでなく、工事進捗も海象条件等に左右されるため、海上作業の省力化に資する技術開発と普及が喫緊の課題となっている。海上杭式構造物にプレキャストコンクリート工法を適用する場合、図-1に示すような鞘管を備えた上部ブロックを据え付けた後に、杭との隙間に無収縮モルタル等を充填して杭と上部工を接合させる鞘管方式が採用されることが多い。ただし、この方式では、設計上許容される鞘管内面と杭外面の離隔の確保が重要となるため、杭天端の測量結果に応じて、上部ブロックの製作途中で鞘管や鉄筋等の配置を微調整するなどの対応を強いられた事例も報

告されている¹。これは、陸上で製作される上部ブロックは陸上はほぼ設計図どおりの寸法で製作されるのに対し、杭は海上から打込みによることが多く、杭の打込みに高い精度を要求することが難しいことによる（港湾工事における鋼杭の出来形管理基準：杭頭中心位置10cm以下、杭天端高±5cm、杭の傾斜2度以下）。しかしながら、近年の担い手不足への対応や働き方改革の推進、潜水士等の特殊作業員の確保や潮間作業による工程の長期化、および安全性の確保などの課題から、海上杭式構造物に対してもプレキャストコンクリート工法を適用するニーズは非常に高まっている。

そこで、従来の場所打ちコンクリート施工における型枠および支保工の設置・撤去作業を省略して、海上作業

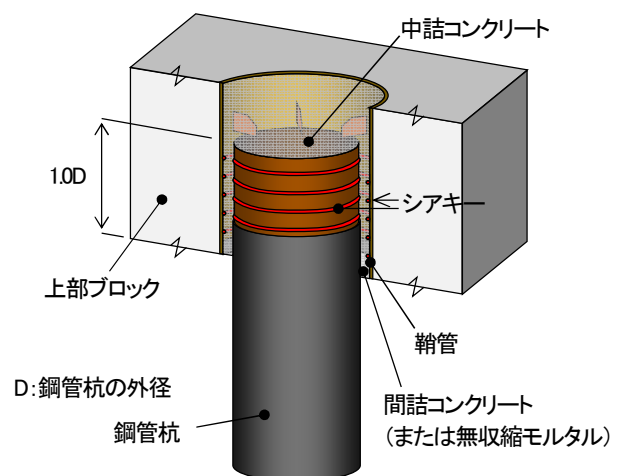


図-1 既存のプレキャスト工法（鞘管方式）

の工程短縮ならびに省人化・省力化を実現するとともに、杭の施工誤差によらず、所定の杭頭接合部の耐力を満足する設計が可能で、かつ上部ブロックを設計位置に据え付けることができ（出来形確保の確実性の向上）、また杭の施工誤差によって上部工ブロックの製作工程に影響を及ぼさない、港湾構造物では類のない新しい杭頭接合工法「SFIジョイント工法」を開発した。

2. 工法の概要

本工法は、図-2に示すように、杭の内部に差込み鋼材を設置した後に、中詰コンクリートを打ち込むことで、杭と上部工を一体化させる接合技術である。この接合構造は、鉄道構造物等設計標準・同解説²⁾に記載されている「鉄骨鉄筋差込み方式」を参考にしたもので、差込み鋼材と中詰コンクリートからなる差込み部材（鉄骨コンクリート）を介して、杭と上部工の荷重伝達が行なわれる。

図-3に、杭頭中心位置の施工誤差を吸収する概念図を示す。本工法では、設計段階から差込み鋼材と杭内面、および鞘管内側と杭外面の離隔を考慮しておくことで、上部ブロックの据付け時における杭の施工誤差を吸収する（上部工を設計位置に構築できる）。これにより、杭の打込みと並行して、上部ブロックの製作を手戻りなく進めることができ、確実に全体工程の短縮を図ることができる。なお、本工法の採用により、杭頭中心位置の施工誤差が最大10cm生じた場合でも、設計上必要な杭頭接合部の耐力を確保できることを、実大スケールの模擬試験体を用いた載荷試験により確認している^{3) 4)}。また、本工法では、図-4に示すように、一般には0.4D以上かつ400mm程度以上（Dは鋼管杭の外径）の杭頭部が上部ブロックに埋め込まれる構造となるため、図-1に示す既存の鞘管方式（埋込み長の標準は1.0D）に比べ、鋼管杭の長さの低減を図ることもできる。

本工法の適用先としては、図-5および図-6に示すような、直杭式のPC栈橋の受梁、ドルフィン、栈橋等が挙げられる。なお、直杭に限定している理由は、直杭を模擬した試験体を用いた載荷実験によって設計の妥当性を検証できているためであるが、設計の妥当性や施工の確

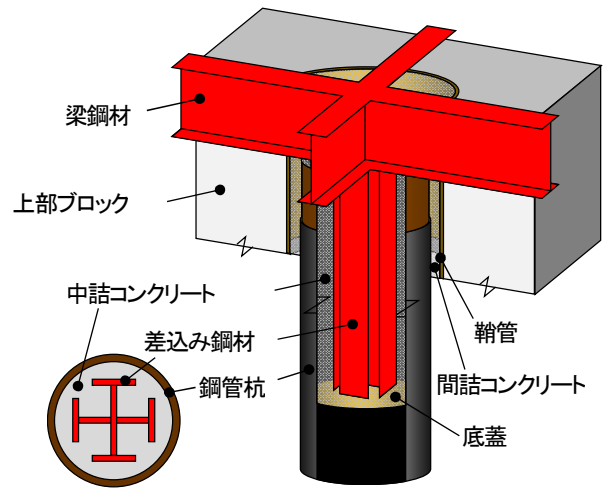


図-2 SFIジョイント工法

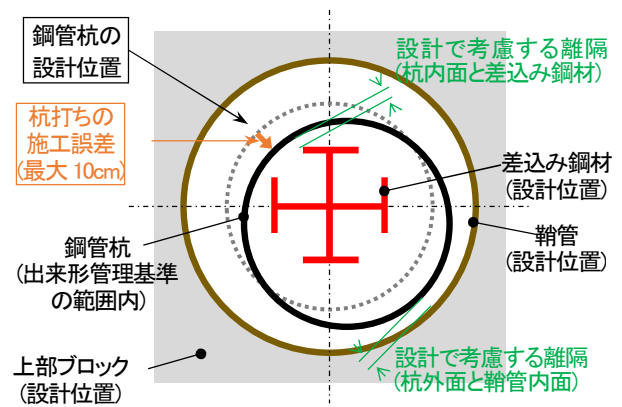


図-3 杭頭中心位置の施工誤差を吸収する概念図

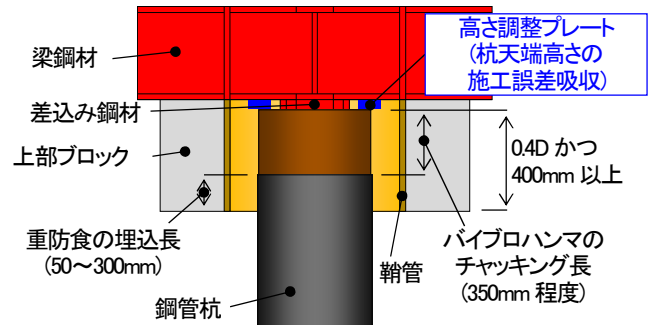


図-4 杭天端高さの施工誤差を吸収する概念図

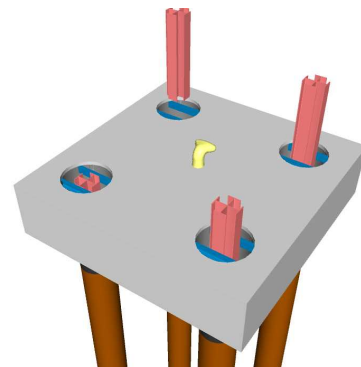
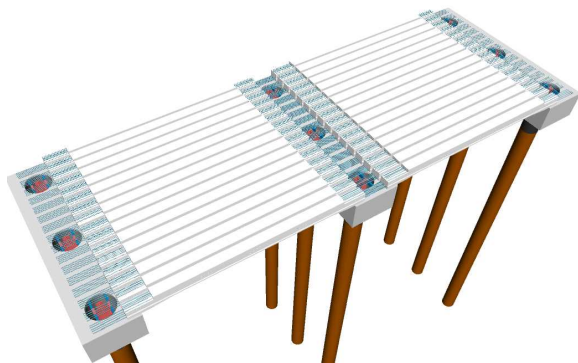


図-5 SFIジョイント工法を用いたPC栈橋受梁（左）とドルフィン上部工（右）の施工状況の例

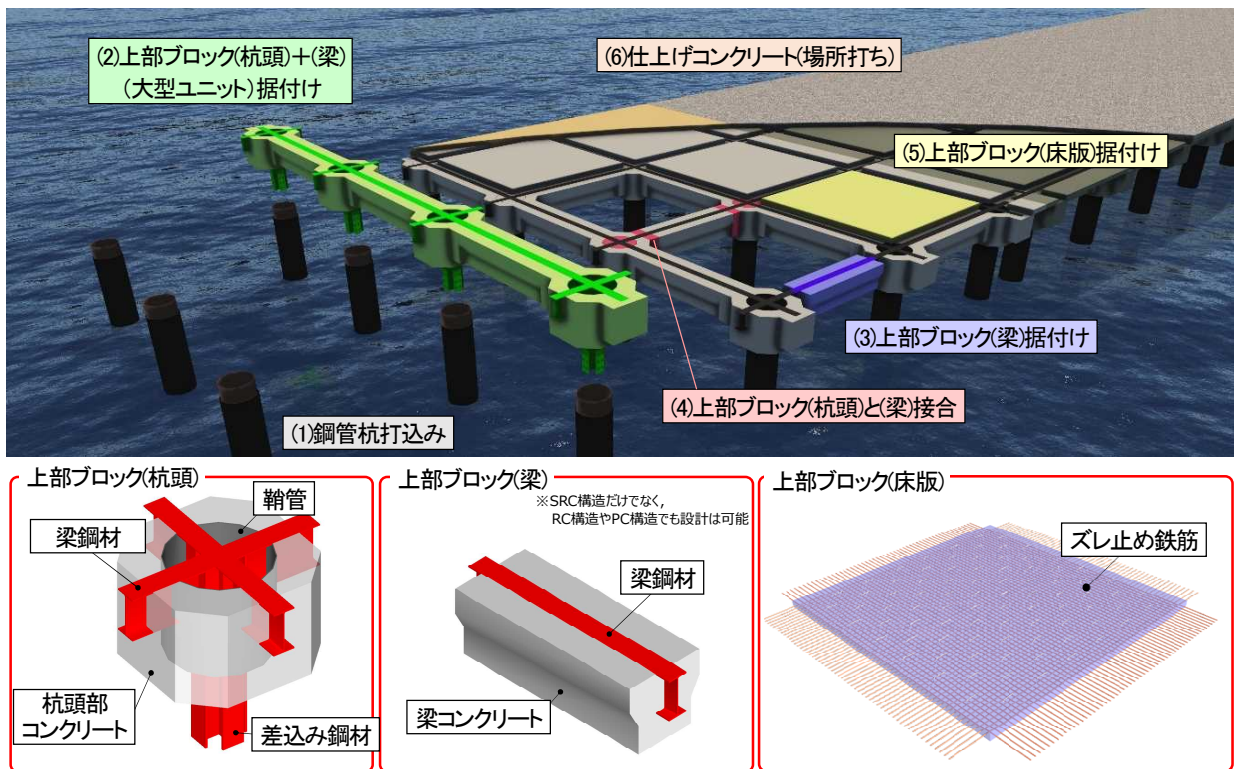


図-6 SFIジョイント工法を用いた梁スラブ構造栈橋の施工状況の例

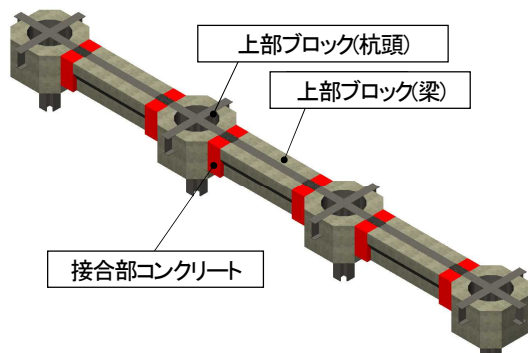


図-7 大組ユニットの例

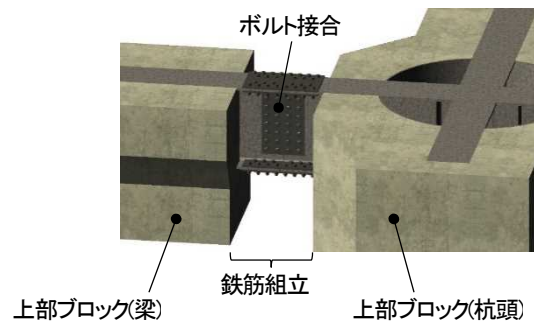


図-8 上部ブロック(杭頭)と(梁)の接合

実性等を確認できれば、斜杭式等への展開も可能と考えている。

3. 施工の手順

ここでは、本工法の採用によるメリットの最大化が期待できる、図-6に示す梁スラブ構造の栈橋上部工の梁部材をSRC構造にした場合を例に、施工の手順を述べる。

- ① 杭の打込み後、杭の出来形が管理基準の範囲内であることを確認する。
- ② 杭天端の高さ測定の結果に基づき、図-4に示すように上部ブロック(杭頭)内の梁鋼材の下面に、高さ調整プレートを陸上にて溶接する。これにより、杭天端高の施工誤差を吸収する。
- ③ 杭の内側に中詰コンクリートを打ち込むための底蓋を設置し、杭天端上の設計の位置に上部ブロック(杭頭)を据え付ける。なお、図-7に示すように、陸上にて上部ブロック(杭頭)と上部ブロック(梁)の一部を接合し、大組ユニット化としておくことで、据付け回数の低減を図ることができる。
- ④ 上部ブロック(梁)を据え付け、図-8に示すように上部ブロック(杭頭)とボルト接合し、その間の鉄筋を組み立てる。なお、梁をSRC構造とすることで、上部ブロック(杭頭)と上部ブロック(梁)の接合作業を簡素化できるとともに、杭間距離を大きくすることができるため、副次的に杭本数の低減も期待できる。
- ⑤ ④の上部ブロック(杭頭)と上部ブロック(梁)間、および杭外面と靴管の隙間にコンクリートを打ち込むための型枠を設置し、杭内部とともにコ



図-9 本工法の適用事例（施工状況と完成状況）

ンクリートを打ち込む。

- ⑥ 上部ブロック（床版）を据え付け、床版の鉄筋を組み立てた後に、最後に仕上げコンクリートを打ち込む。

なお、本工法で用いる差込み鋼材は、現場条件等に応じて、杭の打込み後に挿入し、その後に上部ブロックを据え付けることができたり、上部ブロックと同じタイミングで設置することもできる。さらに、本工法は、従来の場所打ちコンクリート施工による場合や、揚重機の調達が困難で上部工をハーフプレキャスト構造にしたい場合等にも適用できる。このように、本工法を採用することで、自由度の高い施工方法を検討できることも、大きな特長として挙げられる。

4. 本工法の適用事例

ここでは、係留ドルフィンに本工法を適用した事例⁹⁾を紹介する。施工状況と完成状況を図-9に、従来の場所打ちコンクリート施工の場合（従来工法と称する）と比較したときの本工法の適用効果を表-1に示す。

上部工を構築する際に要する海上作業日数は、従来工法では11日（当初計画）に対し、本工法により3日まで短縮した。また、海上作業人員数は、従来工法の102人・日（当初計画）に対し、本工法では85人・日まで削減でき、17%の省人化を実現できた。これら効果は、上部ブロックの製作を鋼管杭の打込みと並行して進められたこと、海上における支保工の設置・撤去作業を省略できたことによるものである。

なお、本事例では、図-9の左写真に示すように、差込み鋼材の設置を上部工ブロックの据付けと同時にを行う方法とし、さらに杭頭部視点のカメラを上部工ブロックに設置したことで、差込み鋼材および上部工ブロックの据付け時間の短縮を図った。これにより、上部工ブロックの位置調整等を容易に行うことができ、短時間で設計位

表-1 本工法の適用による海上作業日数および労務の低減効果

	海上作業日数	海上作業員数
従来工法	11日	102人・日
本工法	3日	85人・日

置に上部工ブロックを据え付けることができた。

5. おわりに

本稿では、筆者らが開発したSFIジョイント工法の概要と、本工法を採用した係留ドルフィンの施工事例を紹介した。本工法は、近年の社会ニーズである海上作業の「工程短縮」や「安全性および品質向上」に大きく貢献できる技術である。今後も本工法の適用実績を増やしていくとともに、ICT導入等による機械化・自動化技術の開発にも発展させていきたいと考えている。

なお、本工法は、2024年に（一財）沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術の確認審査・評価証（第23003号）を取得したことを付記しておく。

参考文献

- 川俣奨：棧橋上部工受梁のプレキャスト化施工について、*Marine Voice*21, Vol.302, pp.12-15, 2018.8
- 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説—鋼とコンクリートの複合構造物, 2017
- 小林雄一ら：鉄骨差込み接合方式による棧橋杭頭接合部の耐力評価実験,（公社）コンクリート工学会, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.43, No.2, pp.985-990, 2021
- 濱田洋志ら：プレキャスト上部工の鉄骨差込み接合における鋼管杭と差込み鋼材の相対的位置のずれが杭頭接合部の耐力に及ぼす影響, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.46, No.2, pp.535-540, 2024
- 桑原拓馬ら：鉄骨差込み接合方式を採用した海上係留ドルフィンのプレキャスト施工, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会講演概要集, VI-1048, 2023