三ツ子島埠頭第三桟橋新設工事における３次元構造解析

－PCa 桟橋工法の適用と構造全体の合理化による工期短縮・建設コスト削減－

五洋建設株式会社 中国支店

概要

三ツ子島埠頭第三桟橋新設工事では、延長 240m、幅 30m、計画水深 C.D.L.-18.0m の桟橋を約 2 年間で建設する必要があった。大水深域の桟橋ではジャケット工法が採用されることが多いが、同工法は急速施工に適する一方、建設コストが高く、本工事では経済性の観点から採用が困難であった。

そこで、建設コストの低減、工期短縮および隣接桟橋の影響低減を目的として、RC 構造による PCa(プレキャスト)桟橋工法を採用した。本工法の実現に向け、上部工の軽量化を図る「中空床版構造」、プレキャスト部材と鋼管杭を接合する「鞘管工法」、ならびにプレキャスト部材間を接合する「ダブルスクエア継手」を開発した。

これらの新たな構造・接合技術の適用にあたり、桟橋全体を対象とした３次元解析を実施した。解析では、構造全体の荷重伝達特性および各部材に生じる断面力を評価し、構造安全性を検討した。

PCa(プレキャスト)桟橋工法

以下の新技術により、大水深域における RC 構造の桟橋の急速施工と建設コストの低減を実現した。

- 中空床版構造

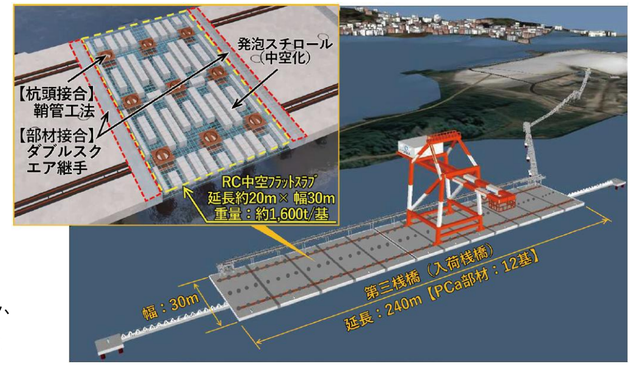
  部材の製作・接合を容易にするため、一般的な梁－スラブ構造に代えてフラットスラブ構造を採用した。一方、重量増加によるトップヘビー化により構造成立性の確保が課題となるため、内部に埋設型枠（発泡スチロール）を配置して中空化し、上部工の軽量化を図る。(RC 中空床版構造の適用は全国初)

- 鞘管工法

  PCa 部材にあらかじめ埋設した鞘管内に鋼管杭を挿入し、無収縮グラウトを充填して杭頭部を一体化する。鞘管と鋼管杭の間に余裕を設けることで、杭の施工誤差を吸収する。

- ダブルスクエア継手

  部材端面から突出したコ字形鉄筋同士の間隔を確保し、架設時の接触損傷を防ぐ。架設後にスクエア形状の鉄筋およびせん断補強筋を配置し、現場打ちコンクリートで部材間を一体化する。



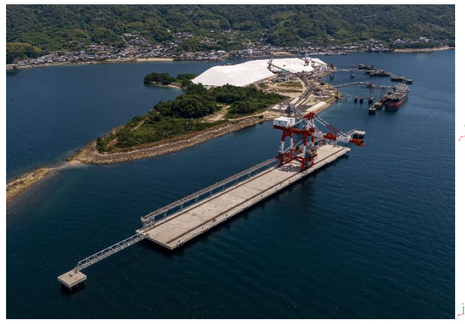
▲大型 PCa 部材を用いた RC 桟橋構造イメージ(※1)

※1：https://www.youtube.com/watch?v=gLO9UKXOc90

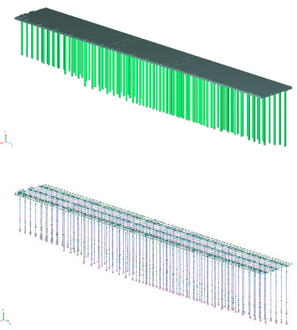
解析条件・解析モデル

桟橋延長：240m
桟橋幅　：30m
構造形式：直杭式横桟橋
計画水深：C.D.L.-18.0m
対象船舶：20.8 万 D.W.T.級貨物船
荷役機械：ｱﾝﾛｰﾀﾞ x1 基(橋型,2000t/h)
　　重量 1,420t
解析手法：３次元構造解析

Engineer’s Studio®を用いて、上部工・杭を梁要素でモデル化し、地盤は地盤ばねでモデル化した。



▲第三桟橋完成全景



▲解析モデル

解析結果

新たな構造・接合技術を、以下のように解析モデルへ反映した。

- 梁要素のモデル化

上部工は、コンクリート充実部と埋設型枠（発泡スチロール）の配置を反映した仮想梁断面としてモデル化した。埋設型枠を配置した部分は中空断面として扱い、各仮想梁を以下のように設定した。

・法平主梁：鋼管杭通りの上部工コンクリート充実幅
・法直主梁：鋼管杭通りの上部工コンクリート充実幅＋両側の埋設型枠幅
・法直小梁：法直主梁間の埋設型枠部

一般的な梁－スラブ構造では、法平クレーン梁に荷重が集中し、中間梁の荷重負担が小さいため、両梁の断面・配筋仕様に差が生じやすい。そこで、法平クレーン梁と中間梁を法直小梁で連結し、中間梁への荷重伝達を表現した。

また、埋設型枠の配置方向が荷重伝達に及ぼす影響に着目し、法直方向に配置することが、中間梁への荷重分担に有効かを検討した。

解析で得られた断面力に対して RC 断面計算で照査を行い、構造安全性を満足することを確認した。

また、法直小梁を介した荷重伝達をモデル化し、中間梁にもアンローダ荷重が分担されることを確認した。これにより、上部工の軽量化と併せて、クレーン梁と中間梁の断面・配筋仕様を合理的に決定できた。

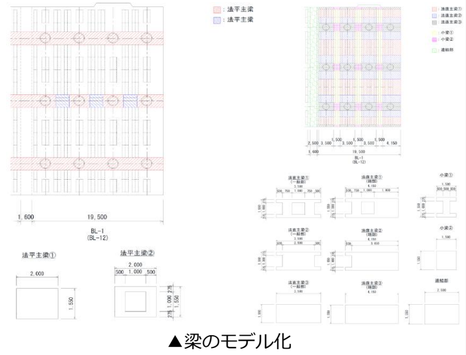
- ダブルスクエア継手のモデル化

一般的な場所打ちコンクリート桟橋では、概ね 20～25m の 1 スパンを対象に構造解析を行う。一方、本桟橋では、ダブルスクエア継手による部材間の剛結合を反映し、桟橋全長 240m を一体化した解析モデルを構築した。

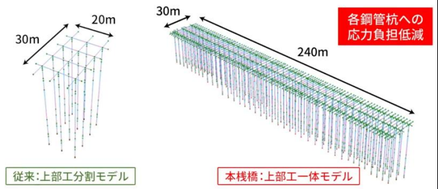
1 ブロックのみを対象とした解析では、アンローダ荷重を当該ブロックの杭で負担するため、必要な杭断面が大きくなる。

これに対し、ダブルスクエア継手による部材間の剛結合を反映した全長一体解析では、隣接ブロックの杭にも荷重が分散されることを確認した。

この荷重分散を考慮して杭断面を合理化することで、1 ブロックを対象に設計した場合と比較して、鋼管杭の鋼材量を約 35%削減できた。

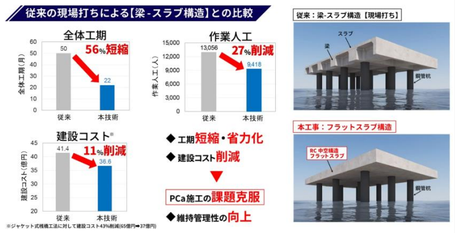


▲梁のモデル化



鋼管杭鋼材量：3,605t ▶ 2,320t 約35%削減

▲鋼材量の削減効果



▲従来の現場打ち(梁-スラブ)との比較

まとめ

本検討では、全国初となる RC 中空床版構造の桟橋への採用にあたり、中空化による軽量化を図り、杭頭接合に鞘管工法、部材間接合にダブルスクエア継手を用いた。これらの新たな構造・接合技術の特徴を３次元解析モデルに適切に反映し、得られた断面力に対して断面照査を行った結果、構造安全性を確認できた。

また、法直小梁を介した中間梁へのアンローダ荷重の分担を確認し、上部工の軽量化と併せて、クレーン梁と中間梁の断面・配筋仕様を合理的に決定できた。全長一体解析では、隣接ブロックの杭にも荷重が分散されることを確認し、1 ブロックを対象に設計した場合に比べ、鋼管杭の鋼材量を約 35%削減できた。

構造の合理化に加え、PCa 部材の製作・架設方法の工夫によって現場作業を省力化し、従来の現場打ち工法に比べて全体工期を約 55%短縮するとともに、建設コストを 11%削減した。これにより、約 2 年間での桟橋建設を実現した。