

概要

<土木工事>

工事名称：平成28年度・29年度13号地新客船ふ頭岸壁（-11.5m）駐車場等用地建設工事
 工期：2017年3月9日～2018年9月13日
 発注者：東京都港湾局
 施工者：五洋・あおみ・みらい建設共同企業体
 施工場所：東京都江東区青海二丁目地先
 主な工事内容：鋼管杭打設、ジャケット製作・運搬・据付

<建築工事>

工事名称：13号地新客船ふ頭ターミナル施設（30）新築工事
 工期：2018年6月27日～2020年6月30日
 発注者：東京都港湾局
 設計者：安井建築設計事務所
 施工者：五洋・東亜建設共同企業体
 施工場所：東京都江東区青海二丁目地先
 主な工事内容：CIQを含むターミナル施設、多目的スペースの建築



東京国際クルーズターミナル

ジャケット式栈橋の上に鉄骨造のターミナル

土木・建築で一体となり短工期を克服

Tokyo International
Cruise Terminal
東京国際クルーズターミナル

東京国際クルーズターミナルは国際クルーズ路線に対応した東京港の新しい玄関口だ。基礎はジャケット式栈橋、建物は地上4階建ての鉄骨造の一体構造。2020年7月までの完成が求められる中、五洋建設は、土木・建築の両工事を受注し、精度の高い施工で手戻りなく、予定通りの完成を実現した。

海底に打ち込んだ鋼管杭が、栈橋もターミナルビルも支える一。そんな上下一体の構造物を高い精度で施工するには、土木・建築の部門間連携が不可欠だった。

先行したのは、土木工事だ。鋼管杭16本を先打ちし、その上にジャケット2基を据付け、栈橋を構築していく。着工は、2017年3月だ。

当時の気持ちを、東京土木支店の勝部歳男はこう振り返る。「ジャケット側で杭を受け止めるレグと杭の間にほとんど余裕がなく、これまでの感覚では

すんなり入らない。杭をかなり高い精度で打ち込まなければ、と身が引き締まった」。

続く建築工事は、同じ鋼管杭に鉄骨柱を建て込み、栈橋上に地上4階建てのターミナルビルを建設する。着工は、2018年6月だ。

それに対し建築営業本部の矢野進は、「建築の基礎にあたる栈橋を当社の土木部門で受注したからには、その上に建てるターミナルビルも当社で受注しなければ、という使命感で入札に臨んだ。受注でき



ターミナルビルを中心とする一帯の模型。基礎になるジャケット式栈橋を海上に築き、その上にビルを建設する

たときは感慨深かった」と振り返る。

部門間連携の好事例となった土木工事と建築工事は、こうして始まった。

◎鋼管杭打設で許された誤差は通常の半分

それまで晴海ふ頭で行われていた客船の受け入れが徐々に困難となっていた。クルーズ船の大型化に伴い、レインボーブリッジの桁下を通過できない事例が増加したためだ。新しいクルーズターミナルの整備が課題となる中、設定された供用開始予定は2020年7月。工程は厳しく、作業効率の向上が欠かせない。

土木工事における効率化に向けた工夫の一つは、ジャケット製作工程でのクリティカルパスになるブレース格点部の構造合理化にある。

原設計では多数の板リブで補剛する板リブ構造を想定していた。しかし、板リブ構造は溶接量が多い

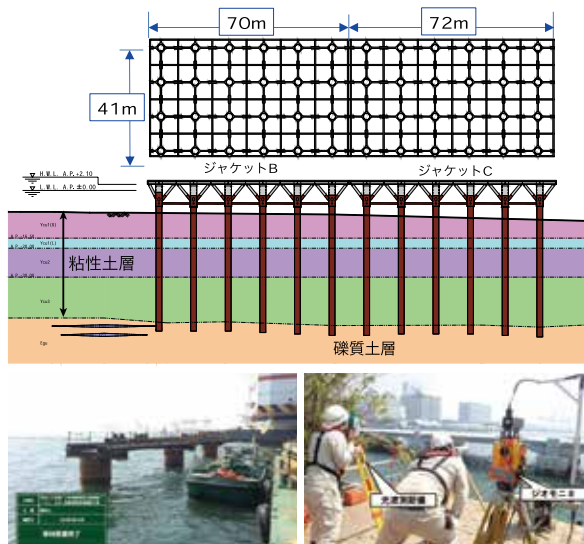
ため、溶接および塗装の品質や工程に課題を抱えていた。そこで採用されたのが、円筒リブ構造である。多数の板リブを1枚の半円筒形のリブに置き換え、所定の強度を確保する一方で、溶接量を大幅に減らし作業効率の向上を図った。「屋外製作のジャケットは製作工程が天候に左右されやすいだけに、リブ構造を見直し、工程を切り詰めた本対応は非常に有効だった」と東京土木支店技術部の宮崎敏弘は振り返った。

工期を厳守するためには、手戻りを生じさせることはできない。そこでカギを握るのは、先打ちの鋼管杭16本へのジャケット据付工程。ここで狂いが生じると、杭の打ち直しという手戻りが生じかねない。

ジャケット1基の大きさは約70m×41mで、重さは1340t。格子状の造りの交点には、レグ24本が取り付けられている。ジャケット据付時は、このレグの中に鋼管杭の杭頭を収める。互いの径の差は、132mmとほとんど余裕がない。

TEC 01 鋼管杭を精度高く打設

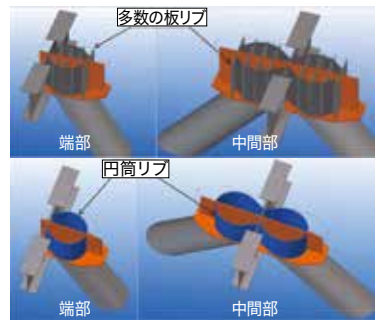
解析を基に基準を定め、独自技術で出来形管理



左図で示したように、鋼管杭の上にジャケットの脚部にあたるレグをかぶせ、ジャケットを据付ける。杭の打設には、通常の出来形管理基準より高い精度が求められた。現場では、3次元解析によって杭の許容誤差を±50mmと割り出し、その範囲内で打設するように2つの工夫を施した。一つは、下左の写真で示した導材の選定である。直径2m、長さ50m以上、重さ80tという巨大な杭を、起振力40tクラスのパイプロハンマーで打ち込むため、導杭には同じ径のものを用いて剛性を確保。打設時の振動による導材のズレを防いだ。もう一つは、下右の写真で示した構造物誘導・出来形管理システム「AR Navi ジオモニII」の活用だ。設計値とのズレを定量的に把握・管理することで、±50mm内という打設精度を確保した。



写真は製作を終えたジャケット。柱のように見える部分がレグ。そこに鋼管杭を収める。図はブレース格点部の造り。原設計では右上の図のように多数の板リブで補剛する板リブ構造を採用していたが、構造合理化によって、それを下のような円筒リブ構造に改めた。所定の強度は保ちながら、製作作業の効率化を図る狙いだ



国内で類を見ない、栈橋上での大規模構造物に挑む

しかもジャケット据付時に、クレーンで吊り上げると、ジャケット全体のたわみでレグには扁平・変形が生じる。この扁平・変形を3次元構造解析で事前に確認したところ、最大偏心量は60mm。鋼管杭の出来形管理基準を通常通り $\pm 100\text{mm}$ にすると、杭がレグの中に収まらない恐れがある。

事前解析から得られた出来形管理基準は $\pm 50\text{mm}$ 。この範囲内に杭を精度高く打ち込めれば、ジャケットは確実に据付可能だ。ジャケットの製作と並行して、現場では鋼管杭の打設を始める。土木工事の最大の山場である。 $\pm 50\text{mm}$ 内という精度を確保できるか――。

鋼管杭を打設する場合、海上にはその位置を示す目印が必要になる。それが、導材だ。まず導杭を海底に打ち込み、それを支柱としてH形鋼で井桁を組む。その中に杭を打設する。

ただ鋼管杭は、直径2m、長さ50m以上、重さ80t。それを打込むパイプロハンマーも起振力40tクラスだ。導材には、これだけの打設工事に耐えられるだけの剛性が欠かせない。「そこで導材の剛性を確保するために、導杭には本杭と同じ直径2mのものを用了」。東京土木支店の吉田慶太は説明する。

鋼管杭の打設時には、2方向から光波測距儀で測量するほか、構造物誘導・出来形管理システム「AR Navi ジオモニII」を活用することで、 $\pm 50\text{mm}$ 内という精度を確保した。このシステムは、AR（拡張現実）の技術を用いて設計ラインをモニター上に表示するもの。設計ラインとのズレを定量的に把握し管理できるのが特徴だ。

勝部は「通常通りに打設するのではなく、 $\pm 50\text{mm}$ 内という精度を確保しなければならないという意識を現場で共有することができた」と指摘する。

先打ちした鋼管杭16本にジャケットを据付けたいうえで、残る鋼管杭32本を打設し、上部工として床版の据付を終えると、土木工事は完了。続いて、それを基礎にターミナルビルを建設する建築工事に移る。

◎ 接合部はモックアップとBIMで施工検討

国内で類を見ない栈橋上での大規模構造物。その要は、柱と杭の接合部にある。通称「ソケット型接合部」。栈橋を支える鋼管杭内にセットプレートを設置し、その穴の中に鉄骨柱を建て込み、コンクリートを充てんする造りだ。

このセットプレートは、鉄骨柱を挿入する開口部を持つ鋼材製のプレート。開口部の位置によって鋼管杭の施工誤差を吸収すると同時に、鉄骨柱と一体になって建物荷重を杭に伝える。施工後の杭48本を実測し、その結果を基に杭1本1本に対応した48種類のプレートを製作した。

施工上の課題は、この接合部に想定通りに密実なコンクリートを充てんできるかという点だ。現場では木材とアクリル板でモックアップを作り、事前チェックにあたった。東京建築支店の富田和明は「鋼管杭内へのコンクリート打設工事の手順を事前に確認したほか、コンクリート内に気泡を残さないように空気穴の位置を検討した」と説明する。

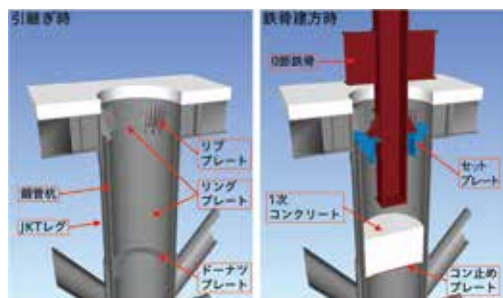
ソケット型接合部は過去にない造り。どのように施工すればいいのか、職員間で情報を共有する必要に迫られた。現場ではBIM（Building Information Modeling）モデルを活用した。

富田はこう振り返る。「BIMモデルは、本社建築本部技術部のBIMチームに設計図や構造図を基に構築してもらった。それを現場で活用することで、3Dの動画のように作業手順を確認することができた」。

実は土木工事の段階では、鋼管杭の出来形管理が非常に重要だったことから、CIM[※]（Construction Information Modeling）モデルを活用していた。「鋼管杭の出来形やジャケットをCIMモデルとして構築し、杭とレグとの干渉を3次元上で確認した」と勝部も振り返る。建築工事ではこのCIMモデルを3次元モデルとして受け継ぎ、BIMモデルとの統合を図った。

建築本部技術部の吉田真は「データの受け渡しは、

※ CIM：BIMの土木版、現在では土木分野でもBIM/CIMと呼ばれる



土木・建築一体構造の要である鉄骨柱と鋼管杭の接合部。土木工事では左の図まで仕上げ、建築工事に引き渡す。建築工事では右の図のように、鉄骨柱を固定するセットプレートやコンクリートを受け止めるプレートや杭の内部に取り付けたいうで、鉄骨柱を建て込み、杭の中をコンクリートで充てんする

異なる会社間であれば大変だったが、社内のためスムーズに済んだ。モデルを統合することで、土木工事で生まれた施工誤差を建築工事でどう吸収するか、検討できた」と、部門間連携の意義を説く。

「相互理解が部門間連携のポイント」と言うのは、宮崎だ。土木と建築では許容誤差に隔たりがある。「土木は通常よりも高い精度で引き渡しを完了したが、建築ではさらに高い精度が求められる。当社の建築部門はそこを理解したうえで、あらかじめ施工誤差への対処を工夫するような余裕を見せてくれた」。

◎施工シミュレーションにBIMを活用

建築工事では、BIMモデルを施工計画の検討にも利用している。

この工事は通常の建築工事と違って、周囲は海。足場がない。隣接地に岸壁を整備するが、その工事は当面、同時並行で進む。そうした特殊な条件下で鉄骨建て方や外壁・屋根工事をどう進めていけば

いいか、BIMモデルを基にシミュレーションを重ねたのである。

鉄骨建て方は、奥から手前にかけて順に進めた。躯体3スパンのうち真ん中の1スパンは後施工に回し、そこをコンクリートポンプ車の走路として確保することで、並行して床コンクリートの打設を進めていった。

鉄骨工事会社に作業フローを説明するときには、BIMモデルを基にした3次元のカラー図面を活用した。富田は「こういう流れで『建て逃げ』を施工すると説明すれば、一目で理解してもらえると、そのメリットを強調する。

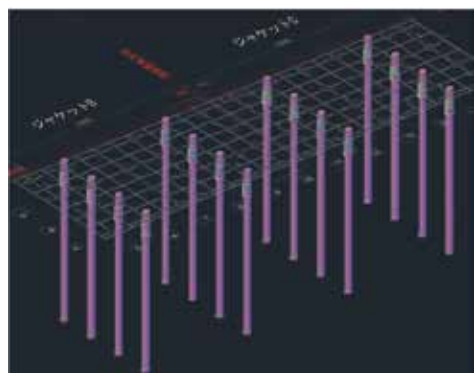
屋根工事は、ただでさえ海上で風が強いうえに台風シーズンと重なっていたため、施工や養生を綿密に計画した。「海上への飛散物防止対策の重要性について土木部門からアドバイスを受けていた。そのため、野地板を留めるビスのピッチを通常の半分にした。工事終了後は毎日、屋根面をネットで覆ったりするなどの対策を準備できたことも、工事の円滑な進捗に効果があった」と富田は話す。

建築工事の完成は2020年6月。当初の予定通り、2020年7月までの完成を実現させた。

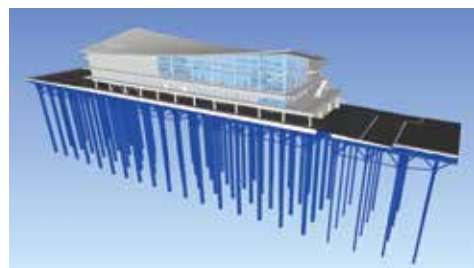
外航クルーズ船の運航に対応したターミナルは今後も計画される見通しだ。矢野は「品質の高い構造物を工期限内に完成させられたことへの評価は高い。今後のプロジェクト受注に向け、大きな一歩を踏み出せた」と、将来を見据える。

TEC 02 土木と建築の連携

土木の CIM モデルを受け継ぎ、建築側で BIM モデルと統合



先打ち鋼管杭出来形のモデル化



BIMモデル+ CIMモデル

土木工事の段階においては、CIM (Construction Information Modeling) モデルを活用。先打ち鋼管杭の出来形測量を実施し位置を把握し、その記録を随時 CIMモデルに反映させながら施工を実施。杭とその上にかぶせるジャケットのレグが干渉し、施工上の不具合が生じないか、CIMモデルを基に確認している。建築工事の段階では、CIMモデルのデータを受け継ぎ、下図で示したようにBIM (Building Information Modeling) モデルと統合。各種検討や情報共有に活用した。

こうした連携のメリットは、①建築工事着手時の状況をCIMモデルの利用で視覚化できるため、施工上の課題抽出が容易になる、②施工環境条件を考慮した施工手順の検討が可能になるため、円滑な施工や品質・生産性の向上につながる、③下部構造と上部構造を一体で扱えるため、維持管理業務の効率化を図れるという3つが挙げられる。