



Pasir Panjang Terminal Phases 3 and 4
パシルパンジャン第3・4期

パシルパンジャン第3・4期 埋立工事からサンゴを守る仮築堤と専用船建造 特殊な地盤と奮闘しコンテナターミナル建設

シンガポールを代表するコンテナターミナルがあるパシルパンジャン地区。その1期工事を担当した五洋建設は2期工事を担当した韓国企業らと組み、3・4期工事を受注し、工事に着手した。発注者であるシンガポール港湾局からは、東側に広がる自然保護区内のサンゴを守りながらの工事が要求された。

下の写真を見てほしい。真っ黒な鯨の背を思わせる、長さ25mにも及ぶチューブ状の物がいくつも連なり、延長1900mの仮築堤を覆う。



これは「ジオテキスタイルチューブ」と呼ばれ、内部にはセメント固化処理土が充てんされている。

その役割は、汚濁防止と、部分的な引き渡しを可能にするための施工エリアの仕切り、そして埋立区域の東に広がる自然保護区内のサンゴを埋立工事の影響から守ることだ。

仮築堤の底面の幅は約100m。最高部は約30mに達する。「これだけ巨大なジオテキスタイルチューブを扱うのは初めてだ」。担当した国際土木本部土木事業部の鎌田裕一は語る。

発注者側の設計では、浚渫土を詰めたチューブ

概要

工事名称：Reclamation for Pasir Panjang Terminal Phases 3 and 4
工期：2007年10月1日～2015年2月24日
発注者：Maritime & Port Authority of Singapore (シンガポール港湾局)
施工者：Penta-Ocean、Hyundai、Van Oord、Koon JV
施工場所：シンガポール、パシルパンジャン地区沖
主な工事内容：埋立、仮築堤、ケーソン製作・据付



パシルパンジャン地区でのコンテナターミナル建設は4期にわたって進められ、3・4期の完成によって、年間5000万TEUのコンテナ取扱量が可能となる

◎専用作業船で「原位置据付」を実現

海面を埋立てて、そこにコンテナターミナルを建設し、物流拠点としての国際的なビジネス・ハブとしての地位を高めていく。それが、海運の要衝に位置するシンガポールの戦略だ。コンテナ取扱個数は港湾別に見ると、世界トップクラスに位置する。

発注者はシンガポール港湾局。この地区では1990年代以降、コンテナターミナルの建設を4期にわたって進めてきた。ここで紹介するパシルパンジャンコンテナターミナル第3・4期工事は、埋立区域200ha。外周部には巨大なケーソンを据付け、岸壁を造る。

当社は競争力を高める狙いから、共同企業体(JV)を組成し、競争入札に臨んだ。JVを構成するのは、韓国の現代建設(Hyundai Engineering & Construction)、オランダのVan Oord Dredging & Marine Constructors、地元シンガポールのKoon Construction & Transportの3社。競合する現代建設とあえて組んだのは、大量のケーソンを短期間で製作した実績を持っていたからだ。

この布陣で落札・受注し、着工に至ったのは、2007年10月。そこで待ち受けていた課題の一つが、冒頭の仮築堤工である。チューブの破損を防ぎ、一定の勾配にどう積み上げるか――。

この課題を、当社は「原位置据付」と名付けた施工法で乗り切る。まず、専用作業船の閉閉式ステージ上でチューブ内にセメント固化処理土を充てん。チューブをステージごと海底に降ろし、据付地点でステージを開く。

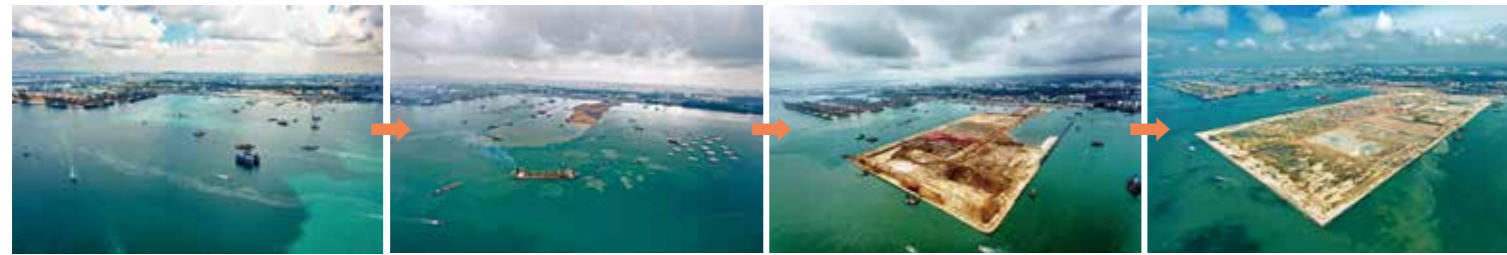
こうすれば、チューブの位置を制御できる。船上から自由落下させるのと違い、安全で確実な据付が可能になる。当社では施工を前に、専用作業船「NEREIS (ネレイス)」を開発・建造した。

を作業船から自由落下させ、一定の勾配で積み上げて施工するという想定だった。

「しかし、それは現実的ではない」。そう断じるのは、国際土木本部土木技術部の鶴見文孝だ。現場にはエンジニアリングマネージャーとして当初3年間常駐し、その後も技術支援にあたってきた。

鶴見は続ける。「潮流の影響も考えれば、整った形でチューブを積み上げるのは無理。チューブの破損もあり得る」。世界に例のない巨大な仮築堤の施工は現実的で確実な方法を考案することから始まったのである。

■埋立工事の様子



①2009年4月
仮築堤を施工している段階

②2010年4月
仮築堤の西側から埋立開始。硬質粘土層の軟弱化で工事に手戻りが発生し、ケーソンを仮置きする光景も見られる

③2011年12月
中央の仮築堤で仕切られた先行引き渡しエリア(左手奥)の埋立が完了

④2013年4月
埋立区域の形が整った

多様な技術課題に対応するためにJVを組成

設計段階で想定していた浚渫土では、最終的に軟弱地盤対策工が欠かせない。ところがドレーン材を打ち込もうにも、ジオテキスタイル製のチューブは貫通できない恐れがある。

そこで、浚渫土をセメント固化処理土に改めた。「チューブの中だけでなく、ジオチューブに囲まれた内部にセメント固化処理土を入れることで、全体の強度を保ち、地盤改良を行うことなく、工期も短縮できた。セメント固化処理土なら沈下量が少ないため、仮築堤部分にはドレーン材を打ち込む必要がない。しかもチューブが破損したとしても、チューブの形は保たれる」。鶴見は理由を説明する。

据付けたチューブは約1000袋。当初設計ではチューブだけで仮築堤を構成する予定で約3000袋の製作を行う計画だったが、築堤内部をセメント固化処理土で構成する構造に見直したため、チューブの数量を3分の1に抑えることができた。

●温度管理でケーソンのひび割れを制御

埋立には、発注者側から指定された領海内の海砂

3000万m³を使用。不足分は、浚渫土、建設残土、セメント固化処理土で賄う計画だった。ただ、ケーソンの裏込材だけはセメント固化処理土が認められず、1000km以上も離れたカンボジアから海砂約360万m³を輸入することになった。

「追従性が問題視された。専門家を交え検討を重ねたが、発注者側のこだわりが強く、最後まで理解を得られなかった」。執行役員、国際土木本部長の日高修は残念がる。

現場近くでは埋立工事と並行し、ケーソン製作が進められた。ケーソン1函は幅20m×延長29.9～39.9m×高さ21.6～32.6mの規模。重さは、7000～1万2000tに達する。これを、巨大な昇降式鋼製型枠を用いた「ガントリースリップフォームシステム」と呼ばれる工法で計150函製作する。

発注者設計でのケーソン延長は29.9mだったが、当社は39.9mにケーソンを長大化することを提案し、製作函数を当初想定187函から37函減らした。それによって製作期間が4カ月短くなったうえ、ケーソン据付回数やジョイント箇所数の削減によってコスト

■ケーソン製作の効率を上げるスリップアップフォーム



左の写真はケーソン製作ヤードの全景。正面の「ガントリースリップフォーム」でケーソン2函を同時に製作する。コンクリートの打設完了までは約1週間。打設後はケーソンを作業船まで移動させ、現場まで曳航する。右の写真がガントリースリップフォームシステム。コンクリートを打設する作業エリアを上昇させながら、下からケーソン函体を立ち上げていく

削減にもつながった。

半面、サイズを大きくしたことで底版コンクリートの量が増え、温度応力によるひび割れが心配された。「その対策として温度応力解析を実施したうえで、骨材温度管理を徹底。ひび割れを制御することができた」。鶴見は振り返る。

このケーソンを据付ける段階で、現場は再び大きな課題を突き付けられる。いわゆる「ジュロンフォーメーション」との闘いだ。

ジュロンフォーメーションとは、シンガポール南西部に存在する地層構成のこと。地殻変動の影響で地層が傾斜し、亀裂や断層が見られる。また、地層の種類によって風化の程度が異なる。

●硬質粘土層の軟弱化が初めて発覚する

ケーソンには、安定性に対する非常に高い性能が求められた。許容変位は水平方向40mm、垂直方向20mmだった。特有の地層構成の中で、この水準を満たさなければならない。

当面の問題は、石灰岩の層に空洞が生じていること。その存在は近くの建築工事現場や発注者側の調査で明らかになっていた。空洞がケーソンの安定性

に支障を来すほどのものであれば、対策工が欠かせない。詳細調査が求められた。

そこで、「トモグラフィ（断層撮影法）」という物理探査技術とボーリング孔内を観察する「ボアホールカメラ」による撮影を実施。さらに3次元FEM解析を駆使し、空洞がケーソンの安定性に与える影響度合いを検証した。

「その結果、空洞には土砂が流入し、巨大な空隙が生じているわけではないことが分かった。またケーソンの安定性に支障はなく、対策工は不要と結論付けられた」。1年以上にわたる調査の結果を、鶴見はこう報告する。ケーソン基礎は、N値50以上の硬質粘土層まで床掘し、床掘後あるいはその後に砂で埋戻し砂を締め固め、コーン貫入試験（CPT）により砂の締め固め具合を確認することになっていた。

だが、締め固め具合を確認する段階に達しコーンを圧入したところ、貫入が止まらない。「これは、まずい」。日高は息をのんだ。硬質粘土が軟弱化している――。

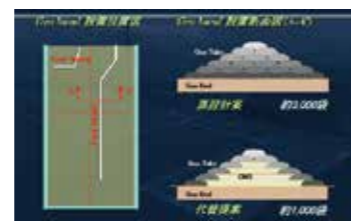
原因は、床掘りによって荷重がなくなったことから吸水膨張が生じ、土粒子構造が変化したため、と考えられた。専門家に確認しても、未然に防止する策はないという見解だった。

ケーソン基礎工は振り出しに戻った。対策は2つ。硬質粘土の層に重さ37tの重錘を自由落下させることにより石材を打込み、地盤全体の強度を上げる方法と、軟弱化する層を根こそぎ取り除いてしまう方法の併用。「床掘を進めると次第に軟弱化する層が薄くなったことから、それ以降は取り除く方法で対処していった」。鶴見は当時を思い起こす。

工事は2014年8月に完成を迎えた。多様な技術課題に対応するためにJVを組成するという施工体制のあり方は、今なお受け継がれている。

TEC 01 ジオバンド / ジオテキスタイルチューブを用いた仮築堤

ジオバンドは、スラリー化したセメント固化処理土を充てんした長さ25mの「ジオテキスタイルチューブ」で構成される。当初設計では、上の図のようにチューブを積み重ねる予定だったが、製作数が多く工期が延びるため、チューブとチューブに囲まれたエリアにもセメント固化処理土を入れることで強度を保ち、沈下リスクに対応した。これにより地盤改良の手間を省き、工期を短くすることもできた。下の図は、チューブを据付ける作業用に開発・建造した専用船。海底に向けて降ろすステージの底が開閉する造りで、ステージ底を開けてチューブを据付ける。ステージの四隅には船上まで貫通する柱が取り付けられている。この柱が、チューブを正確な位置に据付けるガイドの役割を果たす。



TEC 02 地盤対応 / 石灰岩層と硬質粘土層の難題を乗り切る

図のような地層構成、ジュロンフォーメーションが現場に難題をもたらした。一つは石灰岩層にもともと見られていた空洞。その存在がケーソンの安定性を脅かさないことを、物理探査やボーリング孔内の写真観察、3次元解析によって検証した。もう一つは、硬質粘土層の軟弱化。ケーソン据付後、コーン貫入試験（CPT）を実施した段階で初めて明らかになったこの問題には、軟弱化する層を根こそぎ削り取る方法のほか、重さ37tの重錘で層内に石材を打ち込むことで地盤全体の強度を上げる「ダイナミックコンパクション」と呼ばれる方法で対処した。

