



マリーナ高速道路485工区

鋼管矢板を引き抜き・再利用する離れ業

シンガポール初の海底道路トンネルを完工

制約の多い難工事ほど、施工者の実力が現れる。「Marina Coastal Expressway (MCE)」と名付けられた高速道路485工区の現場が、まさにそうだった。工期とコストを抑え、海上土木工事を得意とする五洋建設の強みが生きた前代未聞の工事。その象徴が、鋼管矢板の引き抜き・再利用に向けた挑戦の数々である。

シンガポール初の海底道路トンネルであり、海面から約20mの深さに上り・下り合わせて10車線の巨大なトンネルを構築する工事だった。

カジノ、ホテル、植物園などのリゾート開発が進むマリーナベイエリアの南側に位置し、上流にはマリーナ貯水池の水量を調節するマリーナ・バラージ（河口堰）がある。降雨時には貯水池の水を放流するため、下部部への水の流れは止められない。

そのため発注者のシンガポール陸上交通省（LTA）は、施工順序を義務付け、全体の工区を「ス

テージ1」と「ステージ2」に分けたうえで、河口の開口幅を常に最低150mは確保するように求めた。

しかも河口堰本体構造物への影響を避ける必要から、海底トンネルは開削工法で造ることが求められた。河口堰からの水の流れを止めずに開削工法を用いるには、どうするか――。

開削工法である以上、大量の鋼管矢板で海水を堰き止めトンネル構築を行うが、折しもリーマン・ショック前で鋼材価格は高騰していた。ステージ1で用いた鋼管矢板をステージ2で再利用できれば大



Marina Coastal Expressway MCE485工区



Marina Coastal Expressway(MCE)はシンガポールで10番目の高速道路。工区は6つに分かれ、五洋建設が受注したのは海底トンネルの区間を持つ485工区

概要

工事名称：Marina Coastal Expressway 485
 工期：2008年10月14日～2013年6月28日
 発注者：Land Transport Authority of Singapore
 (シンガポール陸上交通省)
 施工者：Penta-Ocean Construction
 施工場所：シンガポール、マリーナ地区
 主な工事内容：海底トンネルの構築

受賞：BCA Construction Excellence Award 2017
 Institutional Buildings Category、第1回JAPANコンストラクション国際賞 建設プロジェクト部門(2018年)

Stage2の施工状況

幅なコスト削減が可能だ。そのためには一度打設したものをきれいに引き抜く必要がある。再利用するからには、断面は円形を保ち、損傷は最小限に抑えなければならない。止水性と再利用。鋼管矢板にこの2つの両立を求めるとなると、工事の難度は格段に上がる。当社はそこに、あえて挑んだ。

●継手の構造で摩擦に配慮しつつ止水性を確保

MCEは片側5車線の自動車専用道路で全長約5.3km。そのうち地下トンネル部は約3.6kmとなっ

ている。工区は6つに分かれ、当社が担当した「485工区」は、全長約700m、幅約55m、上下線合わせて10車線の大型2連ボックスカルバートだ。その半分以上を占める約450mが、シンガポール初の海底トンネルになる。

当社では競争入札の段階から単独受注を勝ち取るうと、工期の短縮やコストの削減を図る提案を発注者に投げ掛けていた。止水壁の構造の見直しである。入札の段階では鋼管矢板による止水壁の想定は「3重」。それを「2重」でできると提案した。止水壁の間隔は20m。上部には覆工板で仮設構台を築く。国際土木本部土木技術部の芝野太一は「2重でも、土留めかつ止水壁として十分機能を果たす」と自信を見せる。

ただしこの鋼管矢板は再利用を図る想定だ。鋼管同士の継手の構造には工夫が求められる。現場で検討し、3種類ある中から「L-T継手」を採用した。

国際土木本部の内田桂司は、「P-P継手とP-T継手は、鋼管を引き抜こうとしたとき、鋼材同士で摩擦が生じ、引き抜けない可能性が高い。それに対してL-T継手は、そうした恐れが小さい」と、採用理由を明かす。

ただ、鋼材同士の摩擦が生じにくいということは、それだけ隙間が発生しやすい。L-T継手をそのまま採用すると、止水性確保の観点で不安が残る。

そこで、「グラウトジャケット」という止水工法を取り入れた。継手部分の隙間に繊維質の袋状資材を入れてグラウト材を注入することで、継手部分の隙間をふさぎ、止水性を高める役割を果たす。

これらの提案が認められ、当社は単独受注を勝ち取る。国際部門の平井文彦は「L-T継手もグラウトジャケット工法も日本で実績の多い技術。そこで競合との差異化を図ることができた」と胸を張る。

海上土木における優位性を最大限に発揮

◎引き抜き・再利用に適したグラウト材を選定

着工は2008年10月。まずトンネルの線形に沿って鋼管矢板で止水壁を2重に築く。

鋼管は直径1400mm。厚さは設計上16mmで十分だったが、サビの影響を考慮し19mmまで余裕を持たせた。たとえサビが生じて強度面で支障を来さないようにする狙いからだ。

これだけの断面を持つ鋼管を、工場では長さ12mで製作する。しかし、現場で用いる長さは平均で42m、最長は60m。現場溶接では工期に響くうえ、精度の確保が課題となる。

幸い、この工区では海上輸送を利用できたため、マレーシアの工場で溶接を終えた鋼管を台船で現場に搬入。工期遅延を回避した。

現場では、グラウト材に何をを用いるべきか、検討を重ねていた。通常は止水性の観点からモルタルを用いる。しかし鋼管の引き抜き・再利用を考えると、その硬さが裏目に出る。

セメント、ベントナイト、現場で採取した粘土質の土砂が、検討対象に上った。内田は「調合割合を変えたサンプルを何種類も作り、水槽で実験を重ねた」と明かす。

鋼管矢板は、標準貫入試験値（N値）50以上の地盤に、海上部で1m以上、陸上部で2.5m以上の深さまで打設する設計だった。油圧ハンマーで

打設を行うと引き抜き・再利用に不安が残るため、当時世界最大級の起振力を誇っていたバイプロハンマーの利用に切り替えた。

だが、陸上部では、このバイプロハンマーを利用しても、約1割の鋼管は想定以上の硬い地盤に阻まれ、要求される深さまで打設できなかった。そのため、これら一部の鋼管には油圧ハンマーを併用している。

鋼管矢板の打設を終えると、閉め切られた部分に土砂を投入し、陸化した地盤から将来のトンネル下の地盤を改良し、基礎になる杭を打設する。それにより、掘削時の鋼管矢板を安定させる。

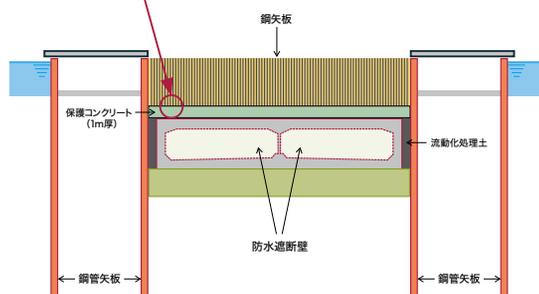
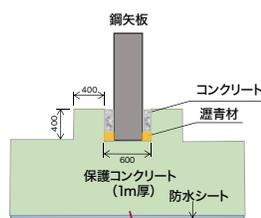
掘削部分の土質は軟弱粘土のため、大型の掘削機械では沈下の恐れがある。20台ほどの小型の掘削機械を投入し、掘削しては切梁を設置する作業を繰り返した。底盤まで掘削を終えれば、トンネル函体を構築し、海底地盤の高さまで土砂を埋め戻す。次はいよいよ、鋼管矢板の引き抜きである。



道路の線形に沿って鋼管矢板を2重に打設し、その上に構台を築く。鋼管矢板の内側には土砂を投入し、陸化していく

TEC 01 鋼管矢板 2つの工区を2重の鋼管矢板で順次開削

この現場では道路の線形に沿って打設する鋼管矢板に止水と土留めの2つの機能が求められた。その機能は20mの間隔を置いて2列に打設した鋼管矢板で果たしている。上部には覆工板で仮設の構台を築き、陸上機械での施工を可能にした。ステージ1で鋼管矢板の内側を掘削し、トンネル函体を構築し終えたら、次にステージ2で同じ工事を繰り返す。そのときに問題になるのは、その切り替え時にどこでどう止水するか。右図に示したように、トンネル函体の上部、道路の横断面方向にも、鋼管矢板を2重に立て、それによってステージ1からステージ2への海水流入を食い止めた。





①陸化を終え、トンネル函体を支える底盤を地盤改良し、その基礎になる杭を打設する ②陸化を終えた部分は、軟弱地盤のため沈下の恐れが小さい小型の掘削機械を用いて、切梁を設置しながら掘り進めていく ③掘削を終え、トンネル函体を構築し終えたところ。天端には厚さ1mほどの保護コンクリートを打設したうえで土砂を埋め戻す

◎手ごわい鋼管対策に油圧ジャッキ架台を製作

当初、バイプロハンマーで振動を与え、摩擦を和らげれば、鋼管は引き抜ける。そう見込んでいた。しかし内田は「世界中を見渡しても類例がまずない作業。鋼管矢板を全てきれいに引き抜けるのかは、明確な見通しを持ってない」と慎重だった。

最初の1本。それが引き抜ければ、抵抗が弱まり、ほかの鋼管は抜けやすくなるはず。工事開始から3年、不安を抱えていた内田は、期待を込めて引き抜き作業を見守った。バイプロハンマーで打設した最初の1本は想定通り断面を円形に保ったまま抜けた。「この工事、無事に終わらせる」。内田は確信した。

ところが、難敵が現れた。打設時に油圧ハンマーを併用した陸上部の鋼管だ。硬い地盤に最低2.5mは貫入しているため摩擦が大きく、バイプロハンマーでは引き抜けない。「切断するしかない。しかし切断してしまうと、再利用できない……」。葛藤の中、内田は地元企業に油圧ジャッキ架台の製作を依頼する。

この装置は、最大合計3200tもの油圧によって鋼管をジャッキアップするもの。1~2m程度引き上げながら、摩擦を和らげる作戦だ。

油圧ジャッキの助けを借りて格闘すること1時間。抵抗を見せていた鋼管が、ついに抜けた。

1052本もの鋼管が全て引き抜かれた。断面は円形を保ち、損傷は最小限に抑えられた。平井は「コ

ストをかけてでも、鋼管の厚さを増したのが良かった」と振り返る。

ステージ1では施工後にトンネル函体内への漏水による補修が必要になった。その反省を生かし、ステージ2では鉄筋の数量を増やし、シリカフェームコンクリートを採用した。これが発注者からの高い評価につながり、その後のLTA工事では、シリカフェームコンクリートが漏水対策の標準仕様になった。底盤コンクリートの平坦性をしっかり確保していたことから、その施工精度はなんと1m当たり1mm以内。国際自動車連盟の基準が3mm以内、それよりも厳しいLTAの仕様2.0mm以内を上回る、高水準を満たしている。

竣工は2013年6月。同年12月、MCEは国内10番目の高速道路として開通した。「走っていると、ここ（当社の施工区間）でタイヤの音が変わる」。滑らかな走行性は、利用者の中で評判になった。

この高速道路6工区の競争入札には、とりわけ韓国勢が積極的に応じ、うち4工区を単独または共同企業体（JV）で受注していた。受注に向けたコスト競争は次第に厳しさを増すばかりだ。

内田は「どの会社でも施工できる案件はコスト競争になるだけに、難工事に挑戦する意義は大きい。この現場では海上土木工事が得意という当社の強みを発揮できた」と総括する。難工事にあえて挑む。当社にとってそれは、競争優位の戦略でもある。

TEC 02 鋼管継手

再利用可能になるようグラウト材を選定

海上部では、振動を与えながら鋼管を打ち込んでいくバイプロハンマーを用いた。継手部分にはT形鋼を左右から2つの山形鋼で挟み込む「L-T継手」を採用し、隙間にグラウト材を充てんした繊維質の袋状資材を詰める「グラウトジャケット工法」を用いた。ポイントは、グラウト材の選定。ここでは止水性を高める一方で、再利用に支障を来さないよう引き抜き時に大きな摩擦力が生じるのを抑える狙いで実験と検討を重ねた結果、セメントやベントナイトなどを一定の割合で調合したものに行き着いた。

