

マリーナ高速道路 485 工区工事

海底トンネル，鋼管矢板による 二重締め切りボックスカルバートトンネル施工

内田 桂司・和泉 敏幸

シンガポール マリーナ高速道路（MCE）工事は6工区に分かれ、当工区が施工している485工区は海上部に位置しており、大型2連RCボックスカルバート式の海底トンネルを海底下に構築するものである。海底トンネルの構築は、鋼管矢板にて仮締め切りを行い、その締め切り内を切梁支保にて土留めしながらトンネル下端まで掘削する開削工法により行った。

本報では、大型の鋼管矢板を引き抜き、転用するという世界的にも殆ど事例がない施工方法について報告する。

キーワード：海底トンネル，ステージ1・2，鋼管矢板，世界最大のパイプロハンマー

1. はじめに

マリーナ高速道路（MCE）は、当工事の発注者である Land Transport Authority（LTA）が計画するシンガポールで10番目の高速道路であり、将来予測される交通量増大および陸上ネットワークの改善を目的として建設されている。MCEは片側5車線、全長約5.5kmあり、うち地下トンネル部が約3.6kmの自動車専用道路となっている。当社が担当する485工区は、全長700m、幅約55mとなっており、上下線合わせて10車線の大型2連RCボックスカルバートで、このうち約420mは海底下に構築されるシンガポールで初の海底トンネルとなっている。

2. 施工条件

当工区の近傍にはマリーナバラージ（河口堰）が設置されている。現在、資源の乏しいシンガポールでは飲料用の水を隣国マレーシアからの輸入に頼っている。自国の資源を活用するため、シンガポール政府はマリーナバラージ内へ河川から流入した水を飲料水として利用する事業に取り組んでいる。更にマリーナバラージは内陸部で度々発生する洪水の治水対策の目的も兼ねた極めて重要な施設であるため、施工中は施設の機能の妨げにならないように細心の注意が必要とされている。大雨等でマリーナバラージ内側の水位が上昇した際は、水門を開き堰内の水を放流することで水位が調整される。工事中はこの放流を妨げないために、



写真-1 ステージ1、2の施工状況

最低150mの河口幅を確保しながらの施工が要求されている。このため、施工時はステージ1とステージ2の二段階に分けて施工している（写真-1）。

3. 鋼管矢板の仕様

二重締め切りで使用する鋼管矢板の諸元を以下に述べる。

(a) 寸法・材質

- 直径 1,400 mm
- 厚さ 19 mm
- 長さ 42 m (平均), 60 m (最長)
- 材質 S355 (SKY490 と同等)

(b) 数量

- ステージ 1 1,025 本
- ステージ 2 631 本 (ステージ 1 より転用)

鋼管矢板は隣国マレーシアのパナン島にて製作した。当工事は沿岸部に位置していたため、曳船と台船で工場から現場に直接搬入する海上運搬を採用した。これにより、鋼管矢板の打設長 (平均約 42 m/本) を継手なしで製作・搬入する事が可能となり、打設時の溶接による継杭作業を軽減する事が出来た。海上での継杭作業は、杭打ちの進捗に大きく影響するため、これを軽減出来た事は工期遅延を防止する上で効果があった。

仮締め切りの構造は、掘削する両側に直径 1,400 mm の鋼管矢板を幅 20 m で二列に打設した二重締め切り構造とした (図-1)。この鋼管杭は、施工後に全てを引き抜くことになっている。

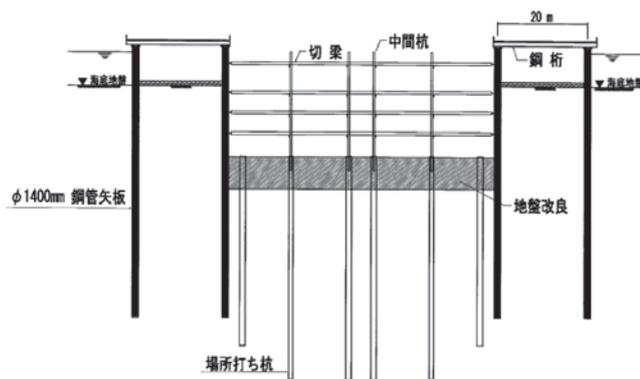


図-1 標準断面図 (海上部)

前述の施工条件で記したように、当工事ではステージ 1, ステージ 2 と二期に分けた施工となる。ステージ 1 で使用した鋼管矢板は引き抜き後、ステージ 2 で再利用する計画とした。ステージ 1 で引き抜いた鋼管矢板をステージ 2 で確実に再利用するには、打設および引き抜き時の損傷を出来る限り抑える必要があった。そのため、鋼管矢板の肉厚を設計上の必要厚よりも厚くし、また、海上部で使用するのは、飛沫部分を重防食するなどの処置を行った (写真-2)。

また、海上部の締め切りにおいてはトンネルを構築するため、海底面下 16 m まで掘削する必要がある。よって、締め切り壁には徹底した止水対策が要求され、鋼管継手部からの海水の浸入を防ぐ必要がある。しかし、



写真-2 海上部の鋼管矢板重防食

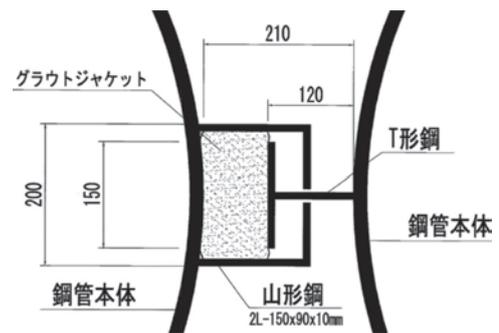


図-2 鋼管矢板 L-T 継手

継手部を堅固な材料で止水すると継手部の摩擦が増大し、後に行う引き抜き作業が困難となる恐れがあった。そのため、鋼管継手は L-T 継手とし、標準よりも大きなサイズを採用し、継手同士の接触を最小化した (図-2)。

継手サイズを大きくする事によって継手同士の摩擦を抑えられる半面、間隔が増える事で海水が浸入するリスクが増大してしまう。継手部の隙間には布製のグラウトジャケットを挿入し、その中にセメント、ベントナイト、海底より採取した粘性の強い海成粘土をミックスしたものを充填し止水を行った。上記の漏水リスクに対応するため、大きなサイズの継手にも適合し、かつ掘削中の鋼管矢板の変位にも追随出来る可とう性のある充填剤の選定が重要となった。そこで様々な配合の充填剤を用意し、現場でモデル実験を実施した。実験結果より、上記の要求事項を満足出来るであろう最適な充填剤の配合を採用した (表-1)。

写真-3 は、止水後の鋼管矢板内の状況である。鋼管矢板の外の水位は、写真の地盤より面より 5 m 程度上にあり、矢板壁の止水が良く機能している事が分

表-1 充填剤の配合

セメント (kg)	ベントナイト (kg)	海成粘土 (kg)	水 (kg)	強度 (N/mm ²)
100	200	200	750	0.5 ~ 5



写真-3 止水状況

かる。仮締め切り内の掘削中の鋼管変位により、海水が浸入するケースが数回発生したが、あらかじめ設置した水中ポンプで排水できる程度の水量に留まっており、大きな問題とはならなかった。

鋼管矢板の継ぎ手部からの海水の浸入を抑えるためには、鋼管上端から下端まで継手を設けるのが理想であるが、打設および引き抜きの際に継手部の摩擦により作業に障害が出来る事は避けた。そこで、L-T継手の長さは下図のように決定した(図-3)。

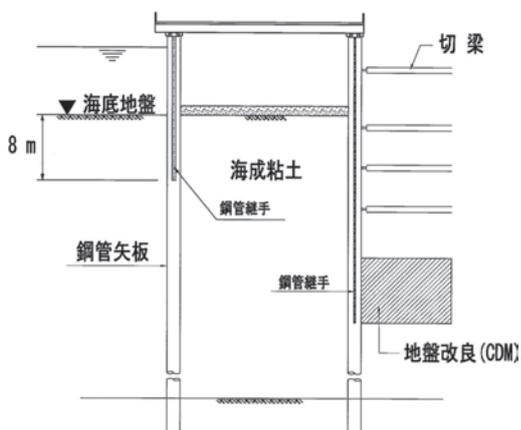


図-3 継手の長さ

現場周辺の土質は非常に粘性の強い海成粘土に覆われており、透水性は 10^{-7} cm/sec と非常に低いため、外側の鋼管矢板の継手長さは海底地盤から8m下までとした。また、内側の鋼管矢板については、掘削面下にある地盤改良(CDM工法にて6m程度の厚さで全面改良)の下端まで取り付ける事とした。

4. 鋼管矢板の打設

(1) 鋼管矢板の打設条件

鋼管矢板の先端はN値50の層に陸上部においては最低2.5m、海上部においては最低1.0mの貫入が要求されている。

(2) 鋼管矢板の打設方法

当初、鋼管矢板は油圧ハンマーにて打設することを検討したが、油圧ハンマーを使用した場合、後の引き抜き作業が困難になる可能性があるため、バイプロハンマー(オランダPVE社製200M, 110M)にて打設する事とした。このPVE 200Mは打設当時、世界最大級のバイプロハンマーと言われていた。しかし、このバイプロハンマーを用いても陸上部の約10%の鋼管矢板は要求されたN値50の層への貫入(陸上部2.5m)が出来ず、高止まりした。そのため、貫入出来なかった鋼管においては、鋼管内部をアースオーガーにて中掘した後に油圧ハンマーにて打設を行った。バイプロハンマーは下表に示す2種類を併用し、N値50の上層までは110M、最終打設は200Mを使用し所定の深度まで打設した。バイプロハンマーの諸元を表-2に、また施工状況を写真-4, 5にそれぞれ示す。

表-2 バイプロハンマー

メーカー	オランダ PVE 社		
型式	110M	200M	
モーター出力 (kW)	558	980	
偏心モーメント	(N/m)	1,078	1,960
	(kg/cm)	11,000	20,000
本体重量 (kg)	12,000	25,000	
起振力 (kN)	2,250	4,400	



写真-4 鋼管矢板打設 (バイプロハンマー)



写真-5 中掘りおよび油圧ハンマー

5. 鋼管矢板の引き抜き

鋼管矢板の引き抜きは当工事において最も懸念されていた工種のひとつである。このサイズの鋼管矢板の引き抜きは世界的にも殆ど事例が無く、更に内側の鋼管矢板においては地盤改良部と接しており、この地盤改良部との付着が引き抜きにどの程度影響するかを事前に正確に評価する事は困難であった。そこで引き抜き抵抗のばらつきに対応するため、オランダのPVE社が新しく開発した世界最大（起震力6,150 kN）のバイプロハンマー300Mを使用する事とした（写真—6）。

海上部においては鋼管矢板の土中部の長さが陸上部に比べて短いため、比較的少ない負荷で引き抜く事が出来た。しかし、陸上部においては、油圧ハンマーで打設した一部の鋼管矢板の引き抜き抵抗が大きく、バイプロハンマーで引き抜き不可能となった。対策として、現場にて油圧ジャッキ装置を製作し引き抜きを試



写真—6 鋼管矢板引き抜き状況



写真—7 油圧ジャッキ

みた（写真—7）。この装置は400トンの油圧ジャッキが8基装着され、最大3,200トンの油圧を掛ける事が出来る。鋼管矢板を1～2m程度ジャッキアップする事で土の摩擦を切り、引き抜き抵抗を低減する目的で使用された。実際にはジャッキ装置で約2,000トンの油圧を掛ける事で摩擦を切る事が出来、その後、上記のバイプロハンマーでの引き抜きが可能となった。これらの装置・機械を駆使した結果、ステージ1で使用した全ての鋼管矢板を引き抜く事が出来た。

前述したように、引き抜いた鋼管矢板はステージ2で再利用する計画であった。当初鋼管矢板の引き抜きによる鋼管および継手の損傷が懸念されたが、鋼管先端部は打設前の円形を保ち、継手部の損傷も最小限であったため、大きな補修作業を必要とせず、ステージ2で再利用する事が出来た。

6. おわりに

当工事は直径1,400 mmの鋼管矢板を締切り、土留め工で使用し、引き抜いた後に同工事にて再利用するという施工事例がほとんどない工種が含まれ、更にシンガポールで初の海底道路トンネル工事であるため国内外から注目されている工事である。設計・施工ともに当初は諸問題が多く発生したが、工事も終盤に差し掛かり完成に向けて急ピッチで進めているところである。御尽力頂いた関係者各位に感謝するとともに、無事故で工事を完了する所存である。

JCMA

【筆者紹介】

内田 桂司（うちだ けいじ）
五洋建設㈱
シンガポール営業所
マリーナ高速道路 485 工区
工事所長



和泉 敏幸（いずみ としゆき）
五洋建設㈱
シンガポール営業所
マリーナ高速道路 485 工区
工事課長

