

シールド工事用セグメントを応用した 三次元空伏せ管渠の構築について

橋本 諭¹・佐々木 育夫²

¹大成建設(株)関西支店土木部 西部処理場高段ポンプ棟他築造工事（〒653-0044神戸市長田区南駒栄町1）

²神戸市建設局 下水道部 管路課（〒650-8570神戸市中央区加納町6-5-1）

従来は部分的にしか採用されていなかったシールドセグメントの気中組立を全面的に採用し、複雑な線形の管渠を、外ボルト締結型とした数種類のコンクリート中詰め鋼製セグメント（以下、SSPCとする。）の組合せにより構築可能とした。これにより、工期短縮による生産性の向上、そして限られた人員による施工を実現している。

都市部では用地の関係や既存地下埋設物の存在により狭隘な空間で新設構造物を計画せざるを得ず、急勾配・急曲線を有する管渠・函渠を構築する場面が今後も増えるものと考えられるが、本工法はその解決策の一つになりうると考える。

キーワード 気中組立、急勾配・急曲線管路、外ボルト締結型SSPC

1. はじめに

神戸の街は、背後に山が接近した狭い平野部に市街地が集中するなどの地形的特徴から、昔からたびたび浸水被害が発生している。

これに対し、10年に1回程度の降雨と高潮に対して浸水が起こらないよう、防潮堤整備事業等の高潮対策事業と並行して、雨水管渠及びポンプ施設の整備・増強等の内水排除対策事業が進められてきた。

本工事は、三宮南地区浸水対策事業の一環として、中突堤ポンプ場から大阪湾へ雨水を排水するための大口径雨水管渠（放流渠）を、神戸有数の観光スポットであるメリケンパークの地下に、シールド工法を主体として建設するものである。（写真-1 図-1）

シールドトンネルは、埋立地内に残存する旧護岸等の地中障害物を避ける為、旧海底面の下、土被り約13mの深さに計画された。立坑スペースの制約と流入・流出部の位置関係から、発進到達立坑部では平面・縦断線形が複合する急曲線・急勾配の管渠構築が必要となった。

2. 工事概要

工事件名：中突堤ポンプ場放流渠築造工事
工事場所：神戸市中央区波止場町
工 期：2012年11月7日～2015年6月10日
発 注 者：神戸市
施 工 者：大成・北浦特定建設工事共同企業体

表-1 工事数量一覧（抜粋）

特殊マンホール工	（発進）	セグメント仕上がり内径φ3500mm、路線延長L=23m 場所打ち人孔1箇所
	（到達）	セグメント仕上がり内径φ3500mm、路線延長L=30m 場所打ち人孔2箇所



写真-1 現場状況

3. 新工法開発の経緯

原設計は、内部に函路と中床スラブを有する構造物であり、場所打ちコンクリートにて躯体を構築する計画であった。

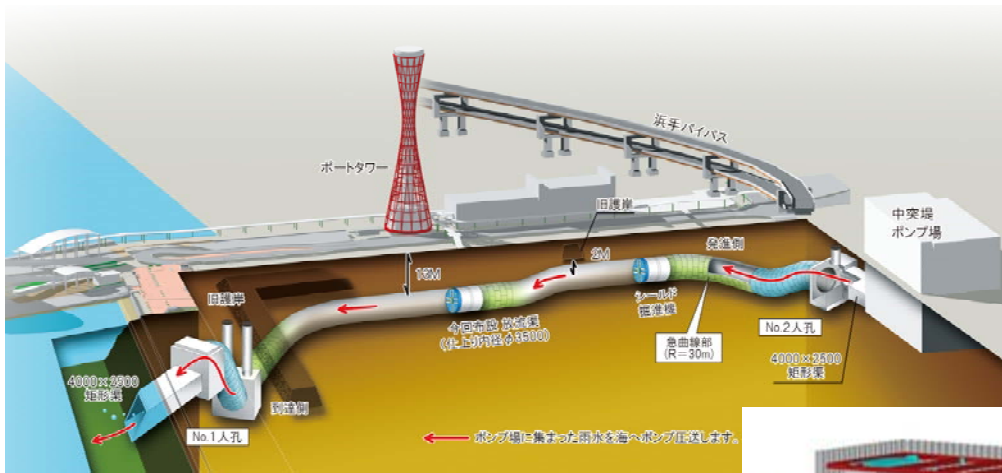


図-1 完成イメージ図

原設計には以下に示す施工上の課題があった。

①急勾配・急曲率函路の構築

函路は急勾配（約30°）かつ急曲線（ $R=18m$ ）となっており、その型枠支保工は支柱とつなぎ材が狭い空間に輻輳する構造にならざるを得なかった。特に函路の上スラブ構築の際は、傾斜した下スラブ上に支保工を設置しなければならず、支保工の滑動防止対策が必要であった。

また、傾斜面での作業は墜落・転落の危険性が高く、資材が傾斜面を転がり落ちて下にいる作業員が被災するというリスクもあった。

②土留め支保工（盛替え梁）と型枠支保工の干渉

下から躯体を構築していくに伴い、仮設時土圧によって躯体に想定外の負荷がかからないよう、躯体内部に盛替え梁を設置するが、前述の通り、型枠支保工が複雑な構造となるため、盛替え梁が支保工材と干渉して設置できない事態が予想された。

③技能労働者の確保

発進・到達の2箇所でも場所打ちコンクリート施工を行うには多くの熟練技能労働者が必要となるが、昨今の建設業界での技能労働者不足を鑑みると、必要な技能労働者が確保できない恐れがあった。

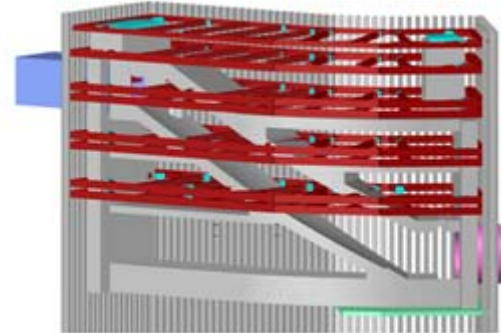
これら①～③の課題を解決するため、放流渠として必要な管渠とメンテナンス用的人孔のみを構築する形で、躯体構造の大幅な見直しを行った。（図-2）

管渠部は外ボルト締結型のSSPCを用いた構造とし、プレキャスト部材であるSSPCを気中にて組み立てる新工法を開発した。

4. 新工法開発時における技術的課題

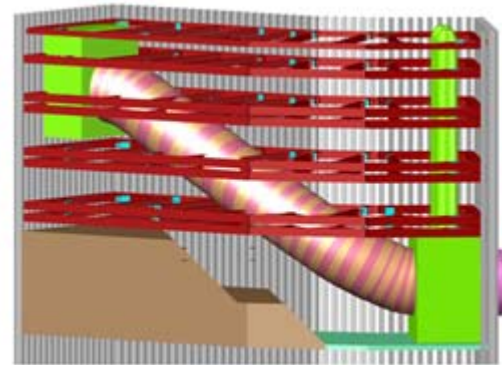
(1) SSPCと土留め支保工との干渉回避

躯体構造の見直しの時点では既に掘削が進んでおり、土留め支保工が組まれた状態であった。管渠の線形を既存の切梁を避けた形にはできなかったため、以下の手順で施工を行い、切梁との干渉を回避した。（図-3）



場所打ちコンクリート案（原設計）

変更



SSPC 管渠案

図-2 躯体構造の見直し

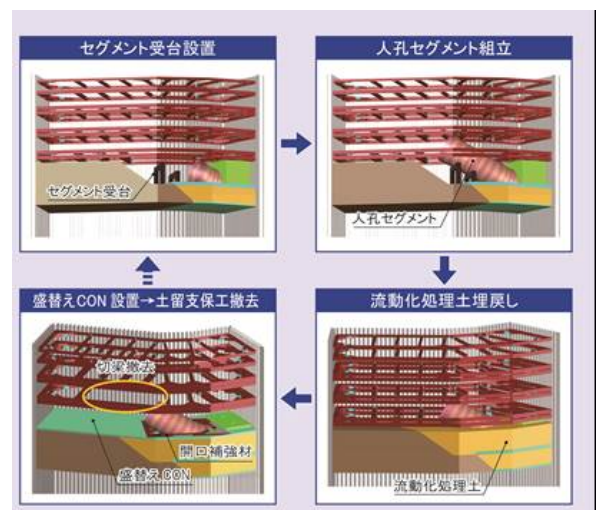


図-3 切梁撤去手順図

- ① 切梁の真下までSSPCを組み立てる。
- ② SSPC周囲を埋戻しを行い、盛替えコンクリートを設置する。
- ③ 盛替えコンクリート設置後に、支障となる切梁を撤去する。

(2) 仮設時におけるSSPCへの土留め反力の伝達回避

盛替えコンクリートを打設してSSPCと干渉する切梁を撤去するが、盛替えコンクリートを介して土留めからの反力がSSPCに作用する恐れがあった。そのため、以下に示す対策を講じた。(図-4, 写真-2)

- ① 盛替えコンクリートを介して土留めからの反力がSSPCに作用しないよう、縁切り（開口補強）を行った。
- ② 開口部長手方向（9.3m）の縁切りは鋼・コンクリート合成構造の連続梁とした。

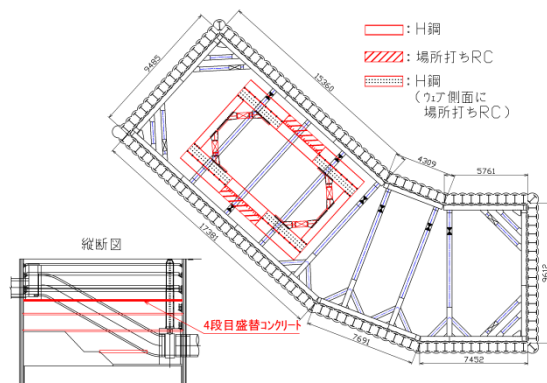


圖-4 到達立坑開口補強圖



写真-2 開口補強材 (SRC構造)

(3) 流動化処理土打設時の浮力対策

SSPCの埋戻しに流動化処理土を用いたため、流動化処理土打設時にSSPCに作用する浮力への対策が必要となった。盛替えコンクリートに設置したアンカーから反力を取って、ワイヤー等の帯材でSSPCを押えることも考えられたが、その場合、SSPCには帯材から集中荷重が作用するため、SSPCへの負荷が大きくなる。よって、以下に示す対策を講じた。

- ① 管渠端部にバルクヘッドで蓋をし、管渠内に貯水して浮力に対するカウンターウェイトとした。
- ② バルクヘッドは、予めSSPCに仕込んでおいた

セラミックインサートにボルト固定した。
(写真-3)

- ③ 浮力とのバランスを考慮しつつ、管渠内貯水による荷重がSSPCに過負荷を与えないよう、貯水面は連続注水により流動化処理土打設面+1mとして管理した。(写真-4)

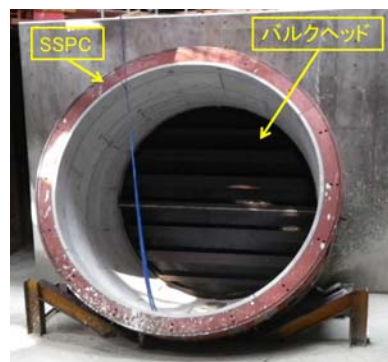


写真-3 バルクヘッド

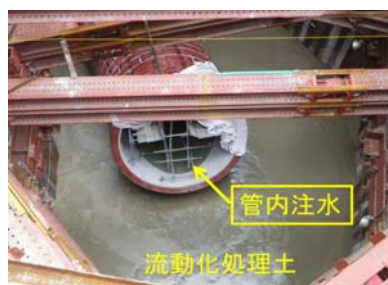


写真-4 流動化処理土打設状況

(4) SSPC組立精度の確保

今回のような急曲線の管渠をプレキャストセグメント（SSPC）組立により構築する場合、わずかなセグメントの目違いが後々に大きな誤差を生むことが予測された。よって、以下に示す対策を講じた。

- ① セグメント分割数を少なくする（４分割、一般的には６分割）ことで、セグメント継手部の目違いによる施工誤差を小さくした。
- ② 継手ボルト本数を増やし、セグメント継手の剛性を上げてリングの変形を抑制した。抑制効果は実際にセグメントを組み立てて作ったリングの変形量を計測し確認した。（図-5）

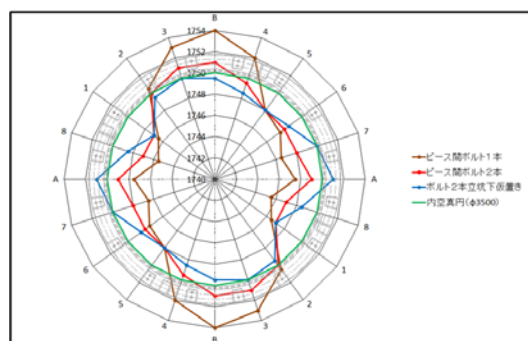


図-5 SSPC変形量計測結果

(5) 急勾配管渠施工時の安全性確保

急勾配の管渠を組み立てる場合、管渠内の作業は手がかり・足がかりのない傾斜面上での作業となるため、墜落・転落の危険性が高い。管渠内での作業を無くすため、ボルトボックスを管渠外側に配置した外ボルト方式のSSPC継手を採用し、管渠外側から安全にボルト締結・ボックス充填を行った。（写真-5, 6, 7）



写真-5 SSPC外ボルト締結状況



写真-6 SSPC工場検査（2リング組立検査）



写真-7 外ボルト締結型継手

(6) 3次元曲線に対応した組立計画・出来形管理

本管渠は短い区間内に平面・縦断に曲線が入った複雑な線形（表-2）となっており、2次元曲線を基本とする通常のシールド工事の計画手法は適用困難であった。そのため、本工事では、3次元CAD上で継手を含めたセグメント形状を忠実に再現し、計画したテーパ量とSSPCの割付けの妥当性を3次元CADを用いて確認した。（図-6）

出来形管理（測量）は下記の要領にて行った。

- ① リング間ボルト孔を測点とし、対角線上の2点を1測線として、2～4測線の3次元座標を1日2回計測した。
- ② 計測結果を3次元CAD上にプロットし、計画線形とのズレや面差をCAD上で確認する。
- ③ 計測結果に基づき、蛇行修正を施した次リング以降のSSPC組立計画を作成する。

上記の出来形管理の結果、水平・鉛直蛇行量は±25mm以内、SSPC内空変位は±10mm以内で管渠の構築を完了した。

表-2 空伏せ管渠線形要素

	縦断線形	平面線形	区間長
No.1 到達 立坑	∞	∞	0.50
	上 R=4.5	∞	2.32
	∞	∞	0.51
	∞	右 R=9.0	7.58
	∞	∞	12.23
	下 R=4.5	∞	2.32
	∞	∞	0.50
	合計		25.96
No.2 発進 立坑	∞	右 R=18.0	1.00
	上 R=15.0	右 R=18.0	8.43
	∞	右 R=18.0	4.56
	下 R=15.0	右 R=18.0	2.99
	下 R=15.0	∞	5.44
	∞	∞	4.27
	合計		26.69

∞：直線

単位：m

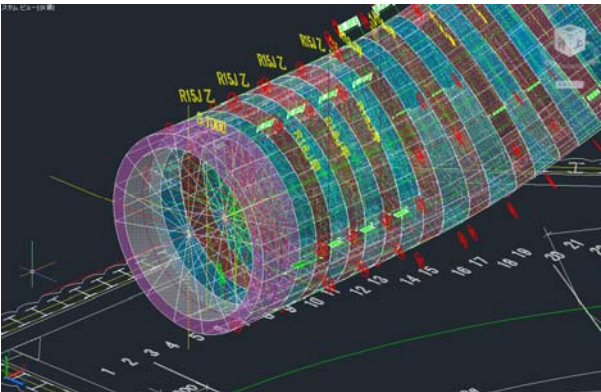


図-6 3次元CADによる出来形管理モデル

5. 施工報告

使用したSSPCの諸元を以下に示す。（表-3）

- ・外径4,070mm、内径3,500mm
- ・外ボルト方式

表-3 SSPC形状一覧

外径 (mm)	内径 (mm)	幅 (mm)	種別	テーパ量 (mm)	備考
4,070	3,500	500	ストレート	—	
		506		—	
		927		—	
		940		—	
		1,000		—	
		330	両テーパ	301	R=4.5m用
		506		231	R=9.0m用
		500		259	R=15.0m用
		500		228	R=18.0m用
		500		—	

(1) セグメント組立

セグメントは、幅広タイプは単リング，幅狭タイプは2リング甲乙組を基本として地上でリング組立を行い、真円度を確認した後、立坑内に投入した。

(写真-8)



写真-8 SSPC地上組立状況 (R=4.5m用)

(2) セグメントリング立坑投入

立坑内へのセグメントリング投入は、セグメントタイプと作業半径に応じ、50 t～120 t 吊の移動式クレーンを使用した。吊り治具は、電動チェーンブロックと滑車を利用し、地組したセグメントの建て起し、位置合わせ時の傾斜・回転調整を自在に行えるものとした。(写真-9)



写真-9 SSPC投入状況

(3) セグメントリング接合

立坑内では狭所作業に適した屈折ブーム式の小型高所作業車を使用し、玉外しとリング間ボルトの締結作業を行った。(写真-10)



写真-10 組立状況

(4) 埋戻し(流動処理土)

流動化処理土による埋戻しは、コンクリートポンプ車を使用し、打設高さ約2～3mを打設量150～300m³/日にて分割施工した。なお、表層部分は高強度タイプを使用して養生期間の短縮を図った。

(5) 特殊部の施工

組立てエリアの最下段切梁が撤去済でも、より上方の切梁が干渉して垂直にセグメントが降ろせない場所もあった。その場合は、偏芯吊り具と仮組ピースによる角度調整で対応した。(写真-11)

連続地中壁(SMW)横断部では、上空の構造物の支障範囲が広く、前述の方法でも施工が困難であったため、簡易門型クレーンによる横引き組立を行った。(写真-12)



写真-11 SSPC組立(偏芯吊り)



写真-12 立坑下横引き組立

(6) 測量管理

管底高は一般的なレベル測量により管理した。

面方位（上下左右の向き）は、管渠端面の継手ボルト孔4～8点の3次元座標をトータルステーションで計測し、3次元CAD上での計画座標と対比して管理した。この際、レーザー墨出し器による簡易計測も行い、ダブルチェックした。

(7) 管渠組立状況

管渠組立状況を以下に示す。



写真-13 管路全体



写真-14 R=4.5m



写真-15 管路内部

6. 新工法の特徴

以下に新工法を取りまとめる。

① 急曲線への対応

セグメントは気中組立のため、シールドマシン内では組立困難な急曲線管路も構築可能。

（実績：セグメント外径φ4.1mにてR=4.5m）

② 3次元曲線への対応

3次元CADによる組立計画と3次元座標による出来形管理により、平面・縦断に曲率をもった3次元曲線も施工可能。

（実績：縦断R=15mと横断R=18mの複合）

③ 高い躯体品質

プレキャスト製品であるため、鉄筋工や型枠工の熟練技能労働者を確保できなくても、高い躯体品質が確保できる。

④ 工期短縮

現場打ちコンクリート構造に比べ、30～40%の工期短縮が可能。

（実績：場所打ち19ヶ月に対し、実施12ヶ月）

⑤ 外ボルト方式による安全性向上

トンネル内部での組立作業が不要となり、急勾配管路施工での安全性が飛躍的に向上した。

⑥ 経済性

新工法は従来工法と比較して、直接工事費で1.1倍と若干割高になるが、工期短縮により諸経費等の間接費が削減され、従来工法と比較して工事価格はほぼ同等となった。

7. 今後の展望

都市部でのシールド工事では、十分な用地の確保が困難なことが多く、既設構造物や地下埋設物、道路使用の制約等より、立坑部分の管路（函路）を複雑な線形（急曲線、急勾配）にせざるを得ない場合がある。立坑構造物は、矩形断面の現場打ちコンクリート構造とするのが一般的であり、複雑な線形ほど場所打ちコンクリート構造が採用されている。この場合、施工難易度が高いため、構造物の品質確保は非常に難しいものとなる。

しかし、本工法によれば、複雑な線形であっても高品質の管路を短期間のうちに構築することが可能となる。

また、プレキャストボックスカルバートによる函渠構築では施工的・経済的に不可能であった線形を自由に設計・施工することも可能となる。

8. おわりに

セグメントの気中組立は、通常のシールド工事でも仮発進工や立坑内での空伏せ工で行われているが、セグメント気中組立により立坑全域にわたる急曲線・急勾配の管路を構築したのは、おそらく本工事が初めてだと思われる。

前例のない急曲線・急勾配のセグメント気中組立管渠工では、計画段階で数多くの技術的課題に遭遇した。

しかし、多大なるご指導・ご協力を賜った結果、労働災害や品質トラブルもなく、求められた工期を順守し、高精度・高品質の管渠を完成することができた。

ここにあらためて関係各位に深く感謝します。