

大深度雨水貯留管構築のための シールド工法



研究第2部 研究員
松尾 正喜

1 研究の背景と目的

近年、下水道の整備水準や計画を超える集中豪雨（超過降雨）が頻発し、人命や都市機能に甚大な影響を及ぼす被害が顕在化している。これらの浸水による被害を最小化する対策を緊急に講じる必要性が高まっている背景の中で、雨水対策事業の浸水対策の一つとして、大深度の雨水貯留管を構築することが大都市を中心に実施されている。

本研究では、現状技術の調査・分析から大深度雨水貯留管をシールドで施工する場合の問題点や課題を明確にするとともに、ケーススタディより得られた技術的知見を、「大深度シールドの設計と施工および維持管理に係わる技術的事項」として示すことを目的とした。

2 研究体制

本研究は、(株)大林組、(株)奥村組、(株)熊谷組、佐藤工業(株)、清水建設(株)、飛鳥建設(株)、西松建設(株)、(株)間組、

(株)フジタ、(株)竹中土木、戸田建設(株)、石川島建材工業(株)、ジオスター(株)、JFE建材(株)、(株)建設技術研究所、日本工営(株)、以上の民間企業と下水道機構の計17者が共同で実施した。

3 研究内容

3.1 研究フロー

図-1に本研究の研究フローを示す。

はじめに、過去の工事実績を整理して現状技術の調査・分析としてとりまとめ、続いて図-2に示す大深度雨水貯留管の想定図から大深度特有の検討ポイントを抽出、図-3に示す想定モデルを立案した。なお、想定モデルは類似工事の実績調査を考慮し、現状に即した技術的検討が可能であるようにした。

(1) シールドの基本技術

①シールド施工全般、②覆工、③立坑、発進、到達

(2) シールドの特殊技術

④急曲線部、⑤地中接続

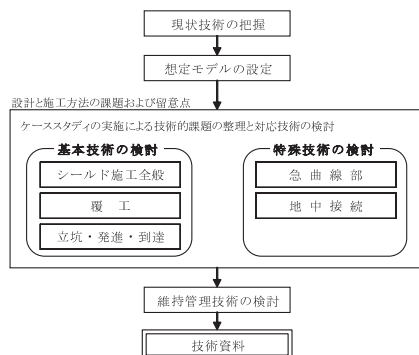
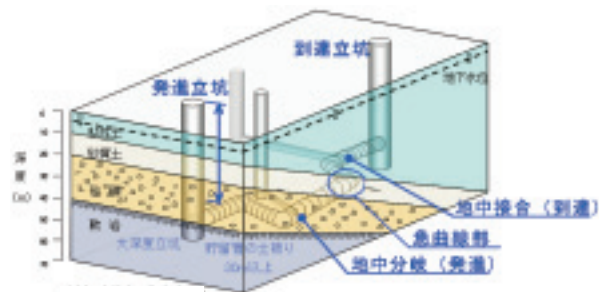


図-1 研究フロー



【大深度特有の検討ポイント】
●シールド・・・特殊地盤、高水圧、ビットの摩耗、急曲線部の施工、地中接合の施工
●覆工・・・二次覆工省略型、合成セグメント、施工時荷重、耐久性、止水性
●立坑、発進、到達・・・ニューマチックケーソン、坑口設備、施工性、コスト、仮壁撤去、直接切削工法

図-2 大深度貯留管の想定図

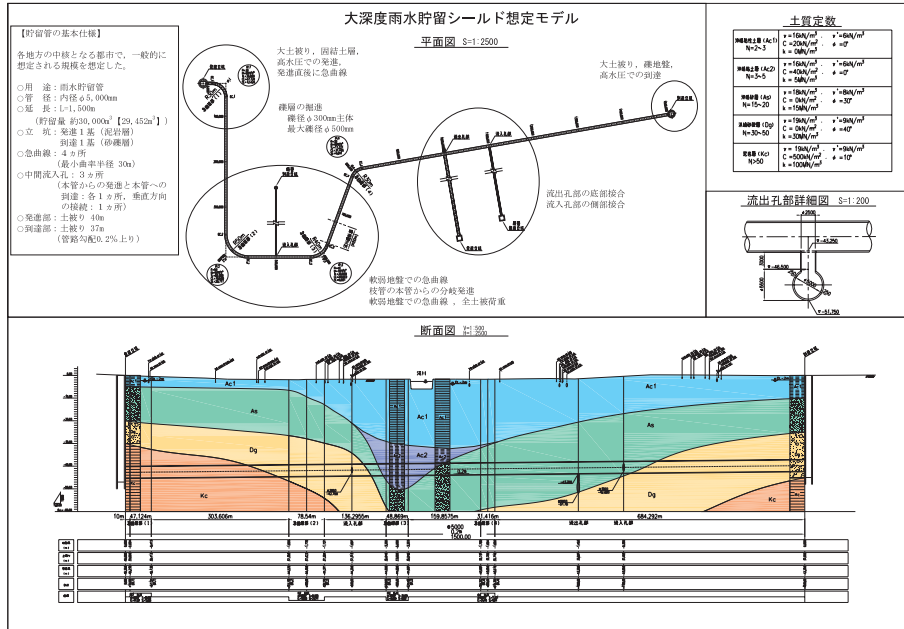


図-3 想定モデル

(3) 維持管理技術の検討

⑥維持管理施設

上記に示す①～⑤の項目については、想定モデルに対しケーススタディを実施，その結果から得られた大深度特有の技術的課題の整理とその対応技術の検討をとりまとめた。

維持管理技術の検討については、大深度雨水貯留管の設計および維持管理上の基本的な考え方を整理している。

3.2 シールドの基本技術

(1) シールド施工全般

従来、大深度におけるシールド工法は基本的に浅深度のシールド工法の延長上で考えられてきたが、事前

の配慮が不十分であったため生じたトラブルも少なからずある。

ここでは、シールドの仕様選定にあたっての検討項目とその対策，シールドの施工方法に関する留意点について、これまでの知見を基にした検討結果をとりまとめた。

(2) 覆工

大深度かつ高水圧の条件下に構築されるシールドトンネルでは、これまで以上の施工時荷重やシールド材反発力等によりセグメントに損傷を与えることが予想される。

ここでは、大深度雨水貯留管の覆工を設計するにあたっての留意点についてとりまとめた。

二次覆工省略型セグメントを採用する際の留意点の一例を図-4に示す。

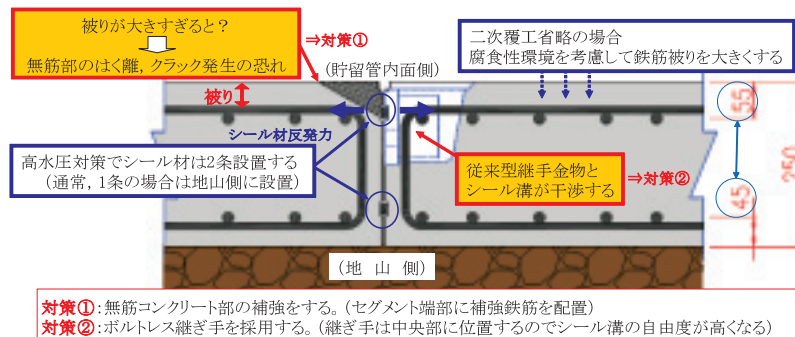
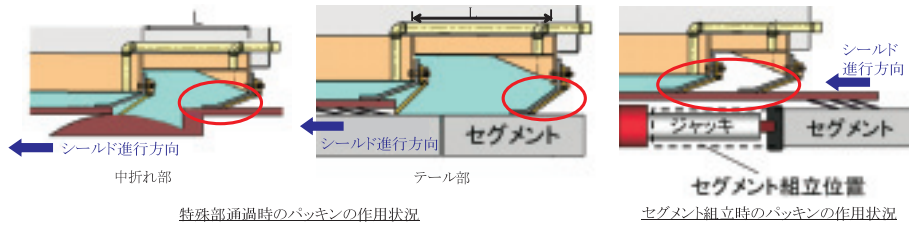


図-4 二次覆工省略型採用時の留意点



特殊部通過時のパッキンの作用状況

セグメント組立時のパッキンの作用状況

*** 坑口エントランスによる地下水流入防止**

- ・2段パッキンの離隔設定(L)
→シールド特殊部(中折れ部、テール部)通過時では、最低限パッキン1段による有効な密着止水が図れるよう、双方の離隔Lを確保する。
- ・シールドおよびセグメントの相互位置の確認
→セグメント組立中(掘進停止中)では、必ずパッキン2段による有効な密着止水が図れるよう、シールドの掘進停止位置を設定する。(推進ジャッキ押切り時のシールドとセグメントの相互の位置関係を検討)

図-5 2段エントランスパッキンの機能

(3) 立坑、発進、到達

大深度における立坑について、高水圧に対して構造的に有利である円形断面立坑を対象に、合理的な設計を行うための偏側圧や設計モデルの設定について留意点および施工上の留意点を整理した。

また、シールド発進および到達を安全、かつ確実に施工する上での、発進時および到達時に開口部周辺地山の崩壊や坑内への出水を防止するため、土留め壁開口方法の留意点と補助工法の範囲の考え方および発進坑口部エントランスパッキンの段数設定で考慮すべき事項をとりまとめ、その一例を図-5に示す。

3.3 シールドの特殊技術

(1) 急曲線部

大深度雨水貯留管は道路下に構築されることが多いこと、今後も地下構造物の輻輳が避けられないことから、急曲線部の構築に関する設計上、施工上の要点をまとめた。

図-6に示すように急曲線セグメントの検討手順にStepB(急曲線部のテールシールの圧力・裏込注入圧等の施工時荷重を考慮したセグメントの検討)を追加提案した。

また、特別な対策が必要になる曲線半径の程度を示し、補助工法が必要な場合の検討方法、急曲線掘進時の推力・ジャッキパターンに伴う片押しによるモーメントに対するセグメントの検討手法や留意点をとりまとめている。

(2) 地中接続

雨水貯留管と枝管の接続部は、一般に立坑を設置するが、大深度の場合には土被りが大きくなるにつれて立坑設置が割高となることから、側面地中接合や側面地中分岐が適用される。大深度という観点から高い地下水圧とそれに伴う開口部の変形対策、接続部の止水構造と高水圧下における適切な施工法の選定と安全性の確保に関することをまとめた。

大深度雨水貯留管における地中接続では、施工時から完成時の止水確保が重要であり、構造ならびに施工的に有利な本管と直角の接合形態を基本とする。地中接続の施工法の分類を図-7に示す。

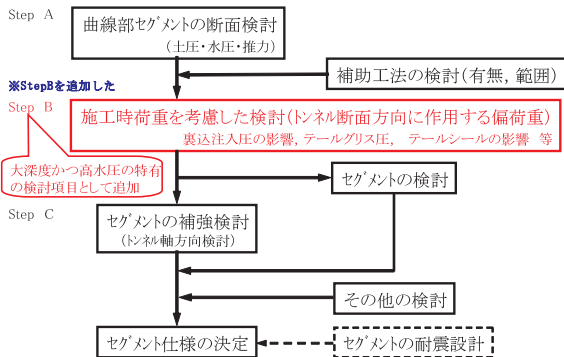


図-6 急曲線部セグメントの検討手順

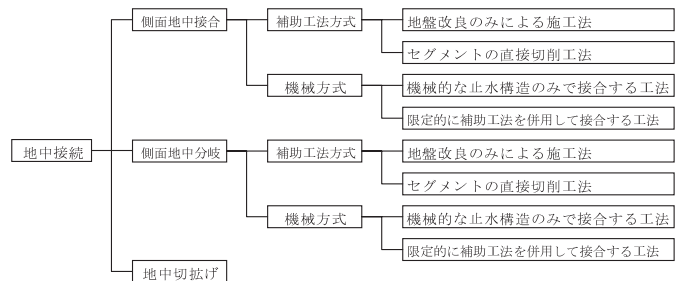

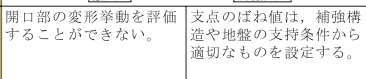
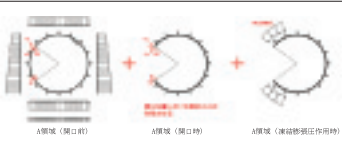
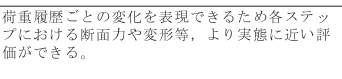
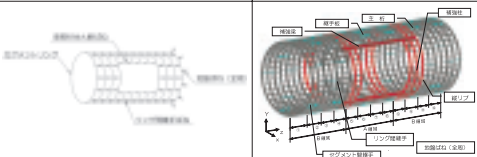


図-7 地中接続の施工法の分類

表一 1 開口補強構造の構造解析モデル

解析モデル	従来モデル	ばね支点モデル	逐次的な二次元骨組解析モデル	多リングモデル	3次元骨組モデル
特徴	開口端部をピン支点 開口端部の変位量の算出不可。	開口端部をばね支点とし変形を考慮できるようにした。 ばね値は両端固定梁のたわみ量より算出する。	荷重履歴ごとに断面力および変形量を算出し、重ね合わせを行う。 発生する断面力を開口部のリングに作用させて変形量を算出する。	開口リングと近接リングをリング間継手ばねで接続する。 ※3次元モデルに近い 算出した変位量は添接効果を考慮できる。	部材を梁要素、リング間継手をせん断ばねおよび直ばねとして取り扱う（鋼製セグメントを対象とする）。 算出した変位量は添接効果、補強効果を考慮できる。
概要図					
摘要	開口部の変形挙動を評価することができない。	支点のばね値は、補強構造や地盤の支持条件から適切なものを設定する。	荷重履歴ごとの変化を表現できるため各ステップにおける断面力や変形等、より実態に近い評価ができる。	梁部材を軸方向の梁要素でモデル化できない場合は、梁部材の剛性を考慮したリング間のせん断ばねとして表現する。	二次元モデルを対象とした荷重条件や地盤ばねの支持条件に基づくため、三次元モデルに適した条件を考慮する必要がある。

開口補強構造の構造解析手法として、二次元骨組解析（以降「従来モデル」と称す。）を用いることが多く、荷重分布については「既設下水道リング構造物等の枝管直接取付けに関する実験的研究」が基本とされている。しかしながら、従来モデルはこれまでに最も実績がある設計手法であるが、開口部の変形挙動を評価することができないことに留意する必要がある。

そこで、変形量が必要な開口補強構造の設計の場合は、表一 1 に示す解析モデルの特徴を理解し、設計条件、開口部の規模、補強構造、凍土膨張圧や支保構造の有無等の施工条件を考慮した上で、適切な手法を用いて行うのが望ましい。

3.4 維持管理技術の検討

土木構造物の建設にあたって、あらかじめ組み込んでおくべき施設項目を洗い出し、その基本的な維持管理の考え方を整理している。

先進都市における既存施設についてヒアリング・アンケート調査を行った結果、大深度貯留管施設の維持管理の実態が浮き彫りとなった。維持管理上の課題を以下に示す項目にまとめた。

- ①管きょ内に堆積する土砂や流入するきょう雑物の対策
- ②人力による点検および清掃に必要な設備
- ③管きょ内作業車輛の搬出入設備
- ④環境に配慮した排気位置の選定
- ⑤地上の排気口用地の確保、等

4 技術資料の構成

研究成果の『大深度雨水貯留管構築に適用するシールド工法に関する技術資料』は、第1編、第2編、資料編で構成している。

第1編は、前述のシールドの基本技術3項目および特殊技術2項目について、ケーススタディから得られた技術的知見より、大深度特有の検討事項を抽出して解説をしている。

第2編は、想定モデルに対しケーススタディを実施、その結果から得られた大深度特有の技術的課題の整理とその対応技術の検討をまとめている。

資料編は、先進都市の既存雨水貯留管について実施したヒアリングおよび現地調査結果を記述するとともに、貯留管の実態や問題点を挙げている。また、類似した工事の参考となり得る大深度におけるシールド工法の文献一覧を掲載した。

5 まとめ

本研究は、大深度雨水貯留管をシールドで施工する場合の設計および施工全般に関する技術的知見や検討手法のとりまとめを行ったもので、その成果である技術資料が、全国の自治体に公開・普及することにより、大深度雨水貯留管の構築に係わる計画・設計・施工および維持管理等の検討業務に役立つ基礎資料となることを期待する。