

大深度・大口径雨水貯留管 (渋川雨水貯留管等)の 設計・施工に関する共同研究

1. はじめに

近年、急速な都市化に伴う不浸透区域の増大、保水・遊水地域の減少等により、集中豪雨が発生すると雨水が一挙に河川や下水道に流入し、いわゆる「都市型水害」を発生させている。

川崎市においても、同様の浸水被害が都市部を中心に生じていることから、浸水安全度を1/5年の確立から1/10年の確立へグレードアップすることと、合流式下水道の改善を目的として在来水路の地下に大深度・大口径の雨水貯留施設を築造する計画が、江川雨水貯留管および渋川雨水貯留管建設計画である。

本研究は、下水道における大深度・大口径の雨水貯留管の設計手法が確立されていないことから、川崎市の江川・渋川雨水貯留管の計画・設計を事例とし、雨水貯留管の設計に必要な考え方や検討手法等について整理を行い、今後の下水道事業に役立てようとするものである。

2. 研究体制

本研究は川崎市と本機構の共同研究体制で実施した。

3. 平成8年度の研究項目

平成8年度の研究は、平成6,7年度の研究をさらに押し進め、下水道における大深度・大口径の雨水貯留管の設計にかかわる以下の事柄について検討を行った。

- ① 一次覆工の設計
- ② 二次覆工の材料
- ③ 多方向流入型取水立坑の構造
- ④ 縦断勾配設定のあり方
- ⑤ 雨水貯留管の維持管理の考え方

特に③多方向流入型取水立坑の構造については平成7年度の水力実験等の検討結果をもとに取水立坑の当初構造を変更するとともに、再度、水力模型実験を行い、最適多方向流入型取水立坑の構造を決定した。

4. 研究結果

4.1 一次覆工の設計

一次覆工の設計に必要な土圧の設定については以下に述べる検討結果を評価して行った。

- ① 江川雨水貯留管並びに他の施工計測事例の評価
- ② 江川雨水貯留管を対象としたFEM解析結果の検討
- ③ 渋川雨水貯留管を対象とした内水圧条件下での試設計

(1) 土丹層における有効土圧

有効土圧の設定は、一次覆工の設計において極めて大きな要素であり、計測結果並びにFEMの解析結果をもとに土丹層における有効土圧の考え方を整理した。

1) 土丹層における土圧計測

江川雨水貯留管を対象とした計測結果と周辺地盤が土丹層などの洪積層の計測事例を収集し、有効土圧の計測結果を表-1に示した。

数少ない事例の中で、土丹層をはじめとした自立性の高い地盤では、トンネル覆工には設計で考慮すべき有効土圧は作用していない計測結果となっている。

表-1 洪積層における有効土圧

件名	計測対象土層	計測時期	有効土圧
江川雨水貯留管	土丹層 (上総層群固結シルト)	セグメント設置直後から開始	0 kg/cm ²
N市における計測事例(1)	第3期粘性土層	250日後	0 kg/cm ²
N市における計測事例(2)	第3期粘性土層	120日後	0 kg/cm ²
T市における計測事例	*上総層群砂層	30日後	0 kg/cm ²

2) FEM解析における江川計測結果の評価

土丹層内に構築されたトンネルには有効土圧が作用していないことを理論的に確かめることを目的として、江川雨水貯留管の計測断面をモデルにしたFEM (有限要素法) 解析を行った。

図-1と図-2に固結した均一な粘土層での変位図と砂分を介在した土丹層での変位置を示す。FEM解析の結果から「固結した均一な粘土層」及び「砂分を介在した土丹層」の2断面において、城山とセグメント外縁のクリアランス (d=100mm) 以上の変位は生じておらず、土圧計測結果を裏付ける結果となった。

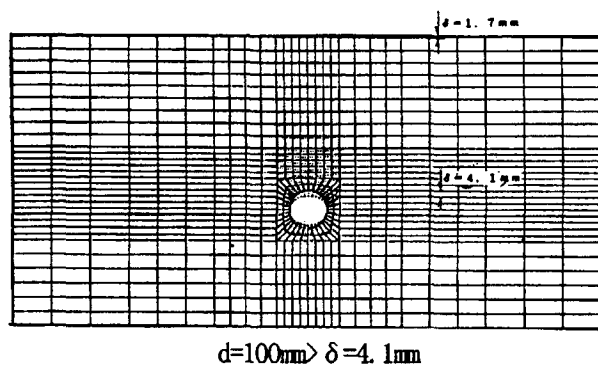
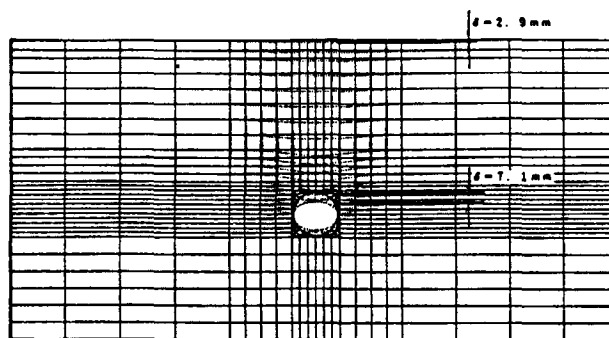


図-1 固結した均一な粘性土



$d=100\text{mm} > \delta=7.1\text{mm}$

図-2 砂を介在した土丹

3) 土丹層における有効土圧の設定

土丹層下での構造解析に用いる標準的な「有効土圧」の設定を既存の計測事例並びにFEM解析で推定することを試みたが課題点として、①サンプル数が少ないことと、②土圧の計測方法で、裏込注入材を介して計測することから真の土圧を測定していない可能性があるなどの不明確な面がある。このため、現状では江川、渋川雨水貯留管のような良質の土丹層に範囲を限定した中で1.5Dをゆるみによる有効土圧の設定値とした。しかし、有効土圧の設定は、今後の計測事例等の収集、検討において更に見直していく必要がある。

(2) 内水圧作用時の土圧

(1)土丹層における有効土圧の検討の結果より、土丹層に構築されたトンネルでは大きな有効土圧が作用しないという結果が導き出された。雨水貯留管のように内水圧が作用するトンネルでは、地下水位、内水位等の条件より必ずしも作用土圧の増大に比例して覆工応力が増加することにはならない。

そこで、渋川雨水貯留管を対象として、考えられる有効土圧の範囲内において作用土圧を変化させて試算を行い、内水圧が一次覆工の設計に及ぼす影響を検討した。

1) 計算結果

内水圧作用状態で有効土圧を変化させた計算結果から以下の結果が導き出される。

- ① 外圧 (静水圧+土圧) 作用時
圧縮側が支配的となり、外圧最大時 (土圧1.5D) が最も応力的に厳しくなる。
- ② 内圧 (内水圧) 作用時
引張側が支配的となり、再検証時 (土圧0tf/m²) が最も応力的に厳しくなる。

2) 内水圧作用時の土圧

計算結果より、良質地盤においては、作用土圧が限りなく0tf/m²に近くなるほど、下限外圧設定値の状態より危険側になる場合が想定されることが導きだされた。このため、一次覆工材の設計にあたっては考えられる土圧の範囲内の作用土圧をパラメータとした一次覆工材の解析を行う必要がある。

4.2 二次覆工の材料

下水道用シールド・トンネルの二次覆工材の役割は、①セグメントの保護、②内面の粗度確保、③地下水の侵入防止、④蛇行修正等である。これらの役割にかなう機能を長期的に維持することが二次覆工材に要求される条件である。そこで、これらの性能を満足させる二次覆工材の提案を行う。

(1) 雨水貯留管の内部環境

雨水貯留管の内部環境は、既設合流管渠の劣化調査（川崎市における経過年数6年から19年の既設合流管渠4ヶ所）を行うことで推定した。表-2に調査結果を示す。

表-2 調査結果

項目	調査結果
中性化	水素イオン濃度 (pH) が12以上と中性化の影響が認められない
エトリンガイ	硫化水素濃度は検出限界以下であるが、X線回折によりエトリンガイが検出され、硫化水素による劣化の進行が予想された
圧縮強度	圧縮強度の低下は認められない

(2) 材料提案

二次覆工の機能的材料の選定は、コンクリートを使用する場合と他の材料を使用する場合の2通りがある。しかし、経済性、信頼性の観点から現

表-3 問題点と対応策

問題	問題
ひび割れ発現 (水和熱、乾燥収縮によるひび割れの発生)	1. W/Cの低減 2. 特殊コンクリート材料の適用
耐腐食性	1. 水密性の向上 2. ライニングの実施 3. 塗装の実施 4. 維持管理による内部環境の改善
施工性	1. 高流動化 2. 初期強度発現の促進

状では、コンクリートの採用が望ましいと考えられる。

コンクリートを二次覆工材料として採用する場合、表-3に示す問題に対応する必要がある。

4.3 多方向流入型取水立坑の構造

(1) 多方向流入型取水立坑の構造

平成8年度では平成7年度に行った水理模型実験の結果をもとに形状を修正し、再度実験を行い、多方向流入型取水立坑（渋川雨水貯留管）の構造を決定した。水理模型実験で決定された構造を図-3に示す。

(2) 多方向流入型取水立坑に求められる材料性能

水理模型実験の結果より、取水時、落差工部、減勢水槽部及び接続管部には、高速流による摩耗などの問題が生じることが明らかになった。表-4に各部位毎の取水時の問題点を示す。

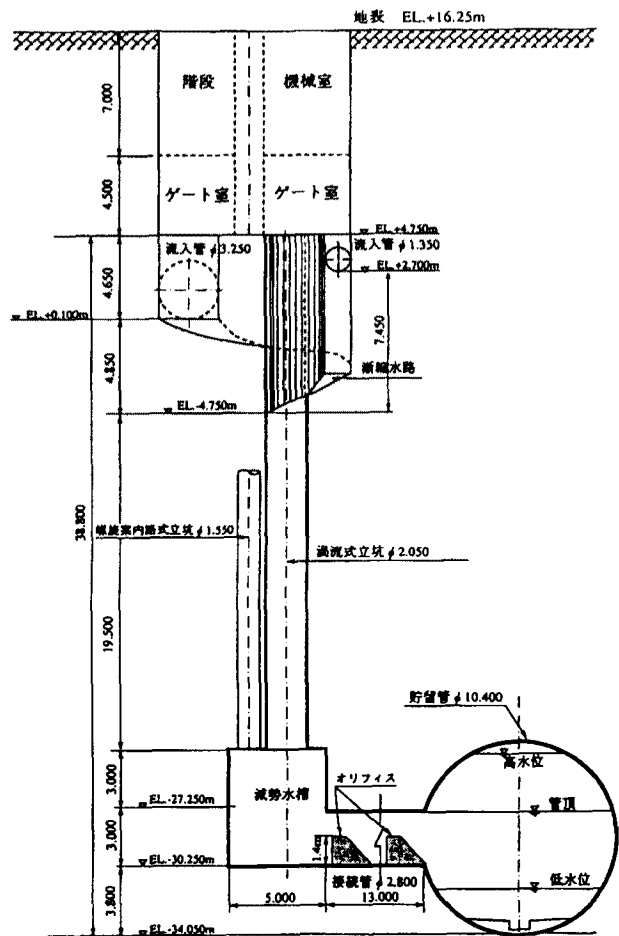


図-3 最終案取水立坑形状図

表-4 部位毎の問題

部 位	問 題	求められる材料性能
落差工部	最大流下速度 20m/secで生じる摩耗	耐摩耗性
減勢水槽部	取水時の衝撃力（動水圧力）で生じる摩耗	耐衝撃性 耐摩耗性
接続管（オリフイス）	雨水の通過流速に伴う衝撃力	耐衝撃性

4.4 縦断勾配設定のあり方

大深度・大口径雨水貯留管の縦断勾配は、安全かつ効率的な施工性、地上関連構造物を含めた経済性、および円滑な維持管理性等に関わる要素を持っており、雨水貯留管勾配のあり方の検討は設計に必要な不可欠な課題である。

(1) 検討要因の抽出

縦断勾配のあり方を考える上で考慮すべき要因は以下の通りである。

1) 施工性、安全性の確保

縦断勾配が施工法、安全性に及ぼす影響は大きく、一般に急勾配であるほど作業効率や安全性は低下する。このため、勾配決定の重要な要因である。

2) 関連施設構造との整合

勾配は図-4と図-5に示すように良質な土丹層内をシールド施工する条件で計画しているが、中間部に砂礫層と近接する部分があり、その関係で関連施設構造の深さが異なる。

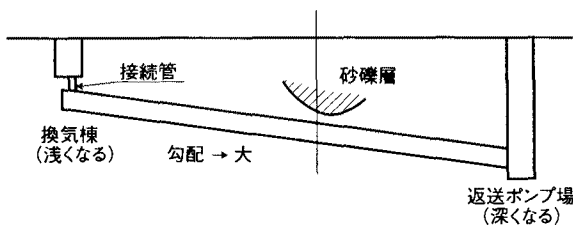


図-4 単一勾配と関連施設構造の関係（勾配 大）

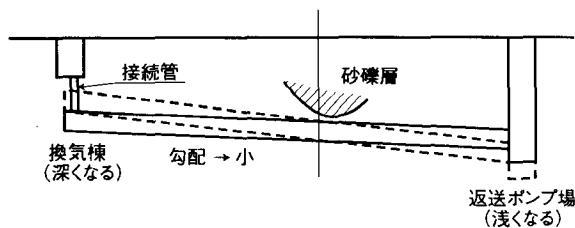


図-5 単一勾配と関連施設構造の関係（勾配 小）

3) 維持管理性

勾配が維持管理性に及ぼす影響は、大きく、勾配が急になるほど換気特性、排水特性、堆積物の抑制効果は向上する。しかし、逆に作業の安全性は低下する。

(2) 縦断勾配設定のあり方

大深度・大口径雨水貯留管は、シールド施工性の良い地層に単一勾配で布設するのが一般的であるが、種々の検討要因を整理し可能な組合せ事項をまとめると、図-6に示すように途中で勾配を変化させる複合勾配の考え方が導かれる。

なお、検討は渋川雨水貯留管を事例として行った。

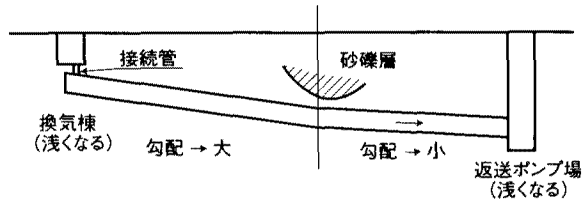


図-6 複合勾配と関連施設構造の関係
(目安として3.0%~14.0%程度)

渋川雨水貯留管において、複合勾配を採用した場合、換気棟と貯留管とを接近させることによる利点は、以下のとおりであると考えられる。

- ① 取水の落差減勢が容易になる。
- ② 貯留管との接続管が最上部の換気棟で不要となり躯体がシンプルとなる。
- ③ 浅くなるため仮設費が低減できる。
- ④ 点検作業が容易となる。
- ⑤ 流入水の掃流力が向上する。

以上のように、渋川雨水貯留管の複合勾配化には、多くの利点が予想でき、経済性、維持管理性の向上が期待できた。

4.5 維持管理の考え方

(1) 事例調査

大深度・大口径雨水貯留管の設置が周辺環境へ及ぼす影響（臭気、換気、騒音・振動）および清掃等の管理状況を把握するため、渋川雨水貯留管を事例とし、当該施設規模に類似した既存貯留管の維持管理等の実態調査を実施した。

(2) 調査結果

実態調査は、現地調査10件とアンケート調査4

件の計14件について実施した。調査結果は次の通りである。

1) 実態調査項目

実態調査の主な項目は以下のとおりとした。

- ① 排除方式（合流式，分流式）
- ② 設置目的（浸水対策，合流改善，併用）
- ③ 規模（管径，距離，貯留量，深度，勾配）
- ④ 排水時間
- ⑤ 貯留水処理方式（河川へ放流，処理場へ送水）
- ⑥ 堆積土砂対策
- ⑦ 来雑物対策
- ⑧ 臭気対策
- ⑨ 排気対策
- ⑩ 騒音対策
- ⑪ その他，問題点など

2) 維持管理の方向性

実態調査の結果より，維持管理上必要とされる項目は以下の通りである。

- ① 堆積土砂対策
9カ所の施設では人力・機械で清掃，またはフラッシュ洗浄等の対策を行っており，設計上考慮する必要がある。
- ② 来雑物対策
ポンプ排水設備が設置された施設では，ポンプ手前にスクリーンを設置し，一括除塵することによる省力化とポンプの閉塞の保護を行っている事例が多い。

③ 臭気対策

脱臭設備はほとんど設置されていない。また，臭気による問題の発生例は報告されていない。

④ 排気対策

大規模な貯留管については，管内空気の排気口が設けられているが，小規模なものについては人孔の自然通気によるものが多く，特別な排気対策を考慮していないケースが多い。排気口がない場合の問題として流入時にマンホールの蓋が飛んだ例が報告されている。

⑤ 騒音・振動対策

流入時の騒音対策を考慮しているケースは調査対象施設ではなかった。

5. 今後の予定

平成9年度は，平成6，7，8年度に抽出した課題のうち，まだ解決されていない以下の項目について，研究を行っていく予定である。

- (1) 縦断勾配の設定の最終提案
(目安としている複合勾配の範囲の中から最適な設置範囲を決定する)
- (2) 維持管理のあり方
- (3) 流入施設の材質および構造
(1)，(2)の課題の検討にあたっては，水理模型実験における排砂能力の実験結果をもとに評価を行う。

●この研究に関する問い合わせは	研究第二部長	前田	正博
	技術次長	鈴木	茂
	技術第二部主任研究員	堀尾	芳弘
	研究第二部主任研究員	城	崇夫
	研究第二部主任研究員	伊藤	紀夫
	研究第二部主任研究員	千葉	恭人