

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

川崎市では、江川雨水貯留管をはじめとして、数カ所の大深度、大口径雨水貯留管計画を進めている。

これら大規模下水幹線の設計にあたっては、下水道に大深度、大口径の設計手法が確立されていないため、東京湾横断道路におけるシールド工事の設計マニュアルや霞ヶ浦導水路工事の設計例等を参考に、合流式下水道における初期雨水対策との併用利用、硫化水素による腐食対策としての二次覆工の必要性など、下水道独自の条件を考慮して、設計を進めてきた。

本研究は、渋川雨水貯留管工事及び江川雨水貯留管工事を事例として、下水道における大深度・大口径雨水貯留管の設計の考え方の整理を行うとともに、これらの施工実績（計測結果等）をもとにその考え方を評価し、今後の下水道事業に役立てようとするものである。

平成6年度はその第一段階として、渋川・江川雨水貯留管の概要を整理するとともに、これらを事例として、下水道における大深度・大口径雨水貯留管として解決すべき課題の抽出とその検討方針について研究した。

2. 研究体制

本研究は川崎市と本機構の共同で行った。現在の計画では、平成6年度より始め平成8年度まで継続

する予定である。

3. 研究成果

3.1 渋川・江川雨水貯留管の概要

(1) 鶴見川流域総合治水対策との関連と計画

渋川・江川雨水貯留管は、下水道事業及び鶴見川流域総合治水対策における基本計画に基づき、計画されたものであり、その基本的考え方は、次のとおりである。

- ① 流域対策の実施にあたって河川・下水道の役割分担を定める。
- ② 保水地域、遊水地域、低地地域の設定。
- ③ 流出量の増大に対処するため、河川・下水道の流量分担を定める。

この考え方にに基づき、鶴見川流域では治水安全度毎に表-1のように、河川と下水道の役割分担が決められている。

表-1 治水安全度と役割分担

治水安全度	役割分担
1/5～1/10年	下水道対応（貯留）
1/10～1/30年	河川対応（貯留、放水路）
1/30～1/40年	流域対応と下水道対応

特に、渋川・江川両貯留管の対象流域は低地地域に位置するため対象面積の約5割に浸水被害が発生する状況であり、1/40の治水安全度の整備を行うこととなっている。

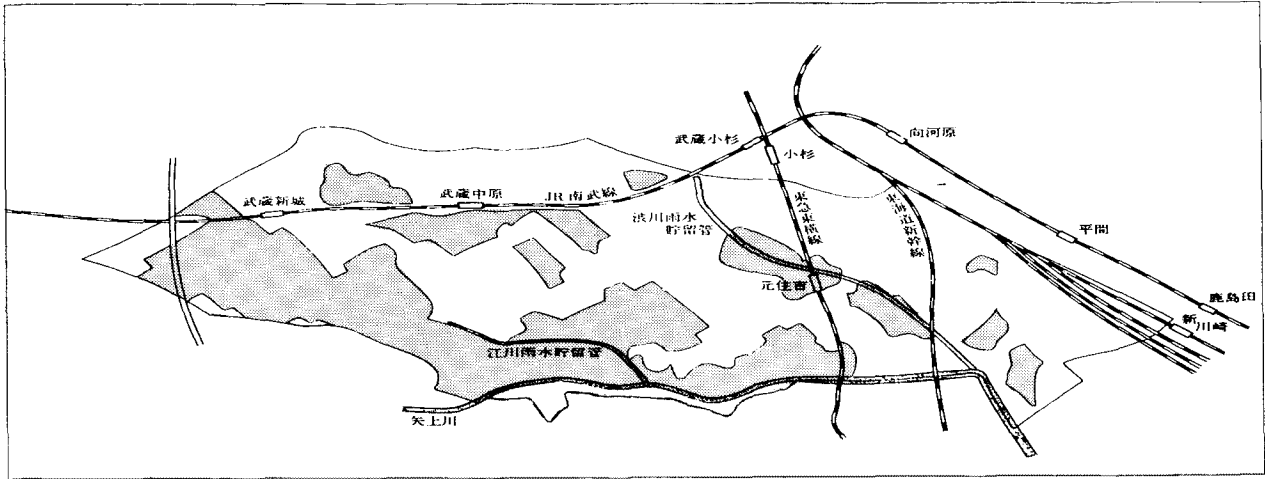


図-1 浸水実績と渋川・江川雨水貯留管位置

このような総合治水対策計画にしたがい、渋川・江川雨水貯留管の貯留容量は表-2のように計画されている。

表-2 渋川・江川貯留管全貯留容量

渋川雨水貯留管	210,000m ³
江川雨水貯留管	81,000m ³
流入管	62,470m ³
合計	353,470m ³

(2) 下水道としての雨水整備計画

川崎市では、従来、1/5年確率降雨（降雨強度52mm/hr, 流出係数50%）に対応できる下水道を整備してきたが、近年の急激な都市化による浸透域の減少並びにゲリラ的な集中豪雨により流出量が増大してきている。このため、下水道の流下能力を1/10年確率降雨（降雨強度58mm/hr, 流出係数75%）に対応させ、それを超える雨水を一時貯留するよう計画している。

表-3 雨水貯留管主要設備

施設と機能	渋川雨水貯留管	江川雨水貯留管
1. 雨水貯留管（本体） ・ピークカット ・初期雨水貯留	貯留量	210,000m ³
	管径	10,400mm
	延長	2,560m
	勾配	3%
2. 換気棟 ・取水時貯留管内空気の排出、貯留時の換気・脱臭 ・貯留管内堆積物の洗浄	下流端	43.2m
	上流端	37.3m
3. 送水ポンプ場施設 ・貯留水の送水ポンプ施設 ・取水時貯留管内空気の換気、脱臭 ・沈砂、し渣の搬出	下流端	39.7m
	上流端	33.0m
	1)フロップシフト	4)計装監視設備
	2)し渣除去装置	5)非常動力設備
4. 流入施設 ピークカット雨水、初期雨水取水	3)換気、脱臭設備	
	1)フロップシフト	5)管内点検設備
	2)し渣除去装置	6)計装監視設備
	3)換気、脱臭設備	7)非常動力設備
	4)ポンプ設備	
	1)スクリーン	
	2)フロップシフト	

(3) 合流式下水道の改善計画

合流式区域から排出される年間BOD放流負荷量を、仮りに分流式下水道に置き換えた場合に排出される年間BOD放流負荷量と同程度以下とすることを旨とし、合流式下水道の改善を図るものである。ただし、台風等事前に大雨が予想される場合は、合流式下水道の改善に必要な貯留量の一部を浸水対策量（1/30~1/40）に使い分ける必要がある。

(4) 施設の構成とシステム

渋川・江川雨水貯留管の主要な設備を表-3に示す。これらの雨水貯留管は、貯留管本体、最上流端に建設される換気棟、最下流端に建設される送水ポンプ場及び流入施設（貯留管中間部に設けられる施設を含む）からなっている。ピークカットした雨水や初期雨水（合流改善を目的として貯留する雨水）は、換気棟、送水ポンプ場施設及び流入施設から取水する。

貯留した雨水は、降雨終了後ポンプで揚水され、処理場へ送水・処理された後、河川に放流される。

また、貯留水の水質が放流基準値以下となる場合（例えば、上澄み水）は、処理場へは送水せず河川への直接送水することも考えられている。

なお、渋川雨水貯留管については、次のような課題への対処のため、過大な取水が行われないように取水口にゲートを設置する計画となっている。

① 浸水域の移動防止

渋川雨水貯留管が布設される付近の地盤高さに注目すると、取水部上流端と貯留管流入施設の地盤高との間には2m程度の高低差がある。このため、上流で取水した雨水が、貯留管を通じて、地盤の低い下流に浸水被害をもたらす恐れがある。

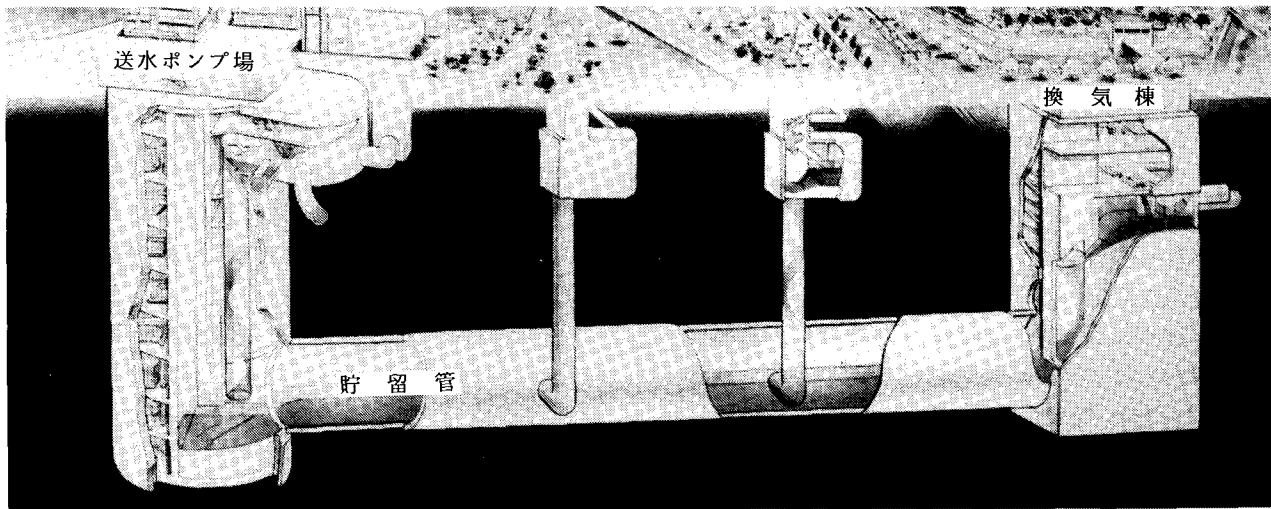


図-2 雨水貯留管概要図

② 合流改善と併用利用

合流式下水道の改善に必要な貯留量の一部を浸水対策量(1/30~1/40)に使い分ける。

③ ポンプ運転調整のための貯留量の確保

鶴見川総合治水対策においてポンプ運転規制がかけられている期間は、ポンプ運転調整に必要な貯留量(77,200 m³)を確保する。

(5) 布設深度

渋川・江川雨水貯留管は、必要貯留容量を確保するため、大口径でかつ延長が長い貯留管となるが、シールド掘進時に周辺の家屋や構造物に地盤沈下による悪影響を与えない、切羽の安定を図る、工期の短縮と経済性等の理由から、表-3の土破りに示すような大深度に布設する計画としている。

特に渋川雨水貯留管は、布設にあたっては次の①~③に示す問題を解決するため、布設位置は第四紀更新世の下部固結シルト層内としている。

このため土破りが約43mという大深度に布設せざるを得ないものとなっている。

- ① 上部沖積層及び砂礫玉石層(旧多摩川河床)部に貯留管を布設した場合、新幹線横断部で新幹線に悪影響(FEM解析結果)を及ぼす恐れがある。
- ② 全延長の40%程度に及ぶ砂礫玉石層(旧多摩川河床)部は極めてルーズであるため、切羽部の泥水が逸散し切羽の安定が保たれず地山が崩壊する恐れがある。
- ③ ルーズな砂礫玉石層(旧多摩川河床)部の掘削は、カッタービットの磨耗が激しく、カッタービットの交換のために工期の延長および経済的な負担を生じる。

(6) 工事工程

江川雨水貯留管建設工事は平成元年に着手し、現在は一次覆工施工中である。今後は、中間立坑、二次覆工等の築造を経て、平成9年度に完成の予定である。

渋川雨水貯留管建設工事は平成4年度に着手し、現在は発進立坑の掘削が終了したところである。今後、到達立坑、一次覆工、二次覆工、送水ポンプ場の築造を経て、平成13年度に完成の予定である。

3.2 課題の抽出と検討方式

3.2.1 課題の抽出

渋川・江川雨水貯留管は、下水道貯留施設としては、我が国では他に類をみない大規模なものである。したがって、その設計・施工にあたっては解説しなければならぬ種々の課題があり、その対応策を見いだして行かなければならない。

そのため、ここでは雨水貯留管の機能別(取水、貯留、送水、維持管理)にその課題を整理した。

(1) 施設の機能と特徴

1) 取水施設

- ① 大深度、大口径雨水貯留管では大落差の取水が必要となる。また、取水時に大量のし渣が流入するので、これを取り除く必要がある。

流入量: 10~36 m³/s

落差: 49~56m

- ② 目的に応じて次のような取水方法が要求されるので、その対応が必要となる。

- ・浸水対策[ピークカット]

- ・合流改善[ベースカット]

2) 貯留施設

- ① 土圧や雨水貯留によって生じる水圧（内圧）に対応できる構造とするとともに、維持管理の容易な構造とする必要がある。

口径：φ10.400m

深度：49～56m

- ② 貯留に伴って生じる施設の劣化に応じた、より耐久性の高い構造とする必要がある。

3) 送水施設

- ① 送水ポンプは高揚程となると共に、揚程変動が大きいいため、これに対応可能なポンプが要求される。

揚程：54～56m

揚程変動：5～56m

- ② ポンプは立坑底部に設置されるため、発進立坑寸法内にポンプ室及び貯留管管理スペース等を配置する必要がある。

- ③ 貯留管側（ウェット）とポンプ室側（ドライ）の仕切り壁は約50mの水位変動に対応できる構造とする必要がある。

（建設スペースに制約がある）

4) 維持管理

- ① 貯留管が長大である。
L=2,560m
- ② 機能維持のために定期的点検を必要とする。
- ③ 維持管理作業が大深度であるため、劣悪作業に対する対策として、省力化、無人化に配慮する必要がある。

(2) 施設の機能と設計上の留意点

(1)に記した施設の機能別の特徴を、設計の観点から見直すと表-4のように整理できる。

表-4 要求される機能と設計上の留意点

機能	設計上の留意点
取水	① 減勢工 ・大落差取水による騒音の発生 ・振動の発生 ・底部構造の摩耗
	② 夾雑物流入防止 ・詰まり等によるポンプの故障 ・大型夾雑物による構造物の損傷
	③ 貯留量の制御 ・過大な取水による浸水地域の移動
	④ 貯留管内空気の排気 ・大風量排気及び臭気の放出
貯留	① 貯留管に作用する土圧及び内水圧の影響 （流入制御ゲートの有無）
	② 堆積沈砂の除去 ・堆積物による貯留管容量の低下 ・悪臭及び有毒ガスの発生
	③ 貯留水の腐敗対策 ・貯留管等の腐食 ・悪臭および有毒ガスの発生
送水	① ポンプ送水流量制御
	② 発進立坑寸法とポンプ形式、寸法及び配置等の調整
維持管理	① 無人化による日常の維持管理
	② 有人による点検補修時の環境対策

(3) 課題の集約

これらを統一的に眺望すると、次のような検討課題に集約される。

a) 一次覆工，二次覆工の設計のあり方

大深度，大口径の雨水貯留管が外水圧に加え内水圧を受ける場合には，次のような理由から，一次覆工，二次覆工の設計には，現状，様々な考えがある。

- ① 過去の実績が少なく，設計事例が少ない。
- ② 内圧作用時の一次覆工，二次覆工の目的及び機能分担に種々の考え方がある。

- ③ 解析モデルの手法も複数ある。

そのため，覆工体の機能分担，セグメントの解析方法を明らかにする必要がある。

b) 二次覆工の構造

渋川・江川雨水貯留管は，二次覆工を行う計画である。大深度・大口径雨水貯留管のように社会的重要性が高く，さらに補修困難な深さに建設される構造物は，永久構造物としなければならない。したがって，可能な限りメンテナンスフリーの材料を使用する必要がある。

ここでは，上記の「一次覆工，二次覆工の設計のあり方」の検討結果をもとに二次覆工の使用目的を明確にして，メンテナンスフリーとなる材料とそれをを用いた場合の構造の検討を行う必要がある。

c) シールド工法の自動化

大深度・大口径雨水貯留管の施工にあたっては，次のような項目に配慮する必要がある。

- ① 浸水対策施設であるため，迅速な整備が要求される。

- ② 大深度における施工の安全性に配慮する必要がある。

- ③ 熟練労働者及び若年労働者不足に対応する必要がある。（労働事情の悪化を考慮）

すなわち，次のような具体的な事項のために，シールド工法の自動化を目的とした検討を行う必要がある。

- ① 作業環境と能率の向上
- ② 安全性の確保
- ③ 精度，品質の向上
- ④ 省力化
- ⑤ 経済性の向上

d) 流入施設の構造と施工方法

本雨水貯留管のような大深度の貯留管は，貯留水を取水する流入施設が必要となる。この流入施設を設置するには次のような問題点がある。

- ① 既設下水道管から貯留管へ取水・減勢処理
 - ② 流入施設で採用している渦流式（ドロップシャフト）の設計手法の確立
 - ③ 高土圧・高水圧下での貯留管本体への接続
 - ④ 設置箇所の交通，地下埋設物及び騒音・振動等を考慮した施工方法及び周辺環境対策
- このため，既存の施工技術を見直すとともに新たな施工方法の可能性を検討することが必要である。

3.2.2 課題別検討方針

以上に抽出した種々の課題を検討・解決するための方針を以下に記す。

(1) 一次覆工，二次覆工の設計のあり方

(a) 覆工体の機能分担

- ① 既往の覆工体の機能調査と整理
- ② 内圧が作用するトンネルの覆工体の機能分担の考え方の整理と検討
- ③ 外圧が作用する二次覆工体の設計の考え方

(b) セグメントの解析方法

- ① シールドトンネルに作用する荷重の整理
- ② 内水圧が作用するトンネルの荷重の考え方の整理
- ③ 既往の解析法によるセグメントの解析と結果の整理（内圧考慮）
- ④ 通常時内圧及び非常時内圧での応力算出に必要な許容応力度の割り増しの考え方の検討
- ⑤ 覆工内応力，作用荷重（推力，水圧，土圧）等の計測結果のフィードバック

(2) 二次覆工の構造

a) 二次覆工体の最適な材料の選定

- ① 二次覆工体の目的，役割の調査と結果の整理
- ② 既設のトンネルにおける二次覆工体の状況観察と結果の評価
- ③ 二次覆工体として考えられる材料の調査と

検討

④ 材料の性能及び耐久性試験

- b) 最適材料の構造細目
 - ・雨水貯留管に用いられる二次覆工体の機能検討
- (3) シールド工法の自動化
 - a) 自動化の方向
 - ・シールド工法の自動化の現状の整理と今後の方向性の検討
 - b) セグメントの自動組立の検討
 - ① セグメントの自動組立の現況整理
 - ② 大口径セグメントにおける自動組立の必要性と自動組立導入に関する問題の確認
 - c) 自動組立に対応したセグメントの仕様の検討
 - ① セグメントの継ぎ手構造の選定（現状の技術と構造の範囲から選定）
 - ② 構造上の特徴に対応した自動組立方法の提案
 - (イ) セグメントの分割数
 - (ロ) セグメントの形状（寸法，重量）
 - (ハ) その他
- (4) 流入施設の構造と施工方法
 - a) 取水・落差構造の標準化
 - ① 既往の取水・落差構造の研究・事例調査
 - ② 設置箇所の条件整理
 - ③ 最適構造の検討
 - ④ 水理模型実験
 - (イ) ドロップシャフトへの呑口の実証実験
 - (ロ) 流入施設の適用実験
 - b) 貯留管への接続方法
 - ① 大深度，高水圧の条件下での施工方法の整理
 - ② 直角シールド工法の適用性の検討
 - ③ 実用化へ向けた試験（試験施工等）

●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長	藤田 昌一
研究第二部主任研究員	田中 一朗
技術部研究員	財前 光良
研究第二部研究員	宮田 篤