

大深度・大口徑雨水貯留管 (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、急激な都市化により不浸透区域の増大、保水・貯留地域の減少等により、集中豪雨が発生すると雨水が一举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、浸水案全度を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・大口徑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・大口徑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7年度における研究項目

平成7年度の研究は、平成6年度の研究成果としてまとめた下水道における大深度・大口徑雨水貯留

管にかかわる「解決すべき課題」で抽出された項目の中から以下の事柄について検討を行った。

1. 一次覆工・二次覆工の設計のあり方
2. 二次覆工の構造
3. シールド工場の自動化
4. 多方向流入型施設の構造と施工方法
5. 雨水貯留管の勾配
6. 雨水貯留管への接続方法

特に4. 多方向流入型施設の構造については、水理模型実験を行い構造計画との水理的な検証を行った。

4. 研究結果

4. 1 一次覆工・二次覆工の設計のあり方

(1) 覆工体の機能

下水道施設として用いられる雨水貯留管の覆工体の役割には、①構造体（荷重）、②腐食対策、③維持管理、④止水の目的があげられる。

これらの目的を満足するために覆工体にその機能を持たせることとなるが、従来、下水道のシールドでは目的別に一次覆工体と二次覆工体の各々の機能分担が整理されている。従来の考え方に雨水貯留管における特性を考慮し、役割と一次、二次覆工体の対応のしかたを表-1のように整理した。対応のしかたによって、種々の留意事項があり個々の事例毎に検討を行う必要があるが、本研究事例では種々の検討要素から一次覆工体に内

表-1 覆工体の必要な役割と対応策

覆工体の役割		貯留目的に対する覆工体への影響	分類	必要な覆土材の厚さの決定	対応分類	覆工体での対応の仕方	対応策	
荷重	鉛直土圧への対応 水平土圧への対応 地下水圧への対応 その他荷重への対応	内水圧への対応	A		A B C D E F	一次覆工のみで対応	A	一次覆工のみで内圧、外圧を処理
			B	セグメント余裕代での対応				
腐食	コンクリートの中 性化及び酸類（硫化 水素等）による腐食 の防止	貯留管内は空気 の流れがないために嫌 気化しやすく、特に 硫化水素による腐食 への対応が必要	B	A B C D E F	一次、二次 覆工による 対応	E	継ぎ手ボックス等の凹部をモルタル等 で穴埋めし、貯留管内面の平滑化を図る	
			F			シール材により対応		
維持管理	・構造体の防護 ・継手ボックスや中 子部に沈砂、し渣 が堆積することの 防止	内水排除時に粗度係 数の確保が必要	C	A B C D E F	二次覆工に おいて対応	①	一次覆工のみで内圧、外圧を処理	
			D			清掃時において清掃 機器等による覆工の 損傷への対応が必要	②	一次、二次覆工を一体構造として考える
			E			継手ボックスや中子 部に沈砂、し渣が堆 積することの防止	③	外圧は一次覆工のみ、内圧は一次、二次 覆工合成で考える
止水	地下水侵入の防止	貯留管であるため 断続的に内圧が覆工 に生じ、覆工に作用 する応力とその都度 変わるため、目開き 等の漏水への対応が 必要	F	A B C D E F	二次覆工に おいて対応	④	外圧は一次覆工、内圧は二次覆工でそれ ぞれ考える	
			B			二次覆工に腐食代としての役割を持た せ、一次覆工の保護層とする		
			C			二次覆工において貯留管内面の平衡化 を図る		
							D	二次覆工に補修代としての役割を持た せ一次覆工の保護層とする
							E	二次覆工により継手ボックス等の凹部 部を覆ってしまう
							F	二次覆工により一次覆工から漏水した 地下水の侵入を防止する

圧、外圧の荷重を受け持たせ、維持管理性にかかわる役割は二次覆工体で対応することとした。

(2) 一次覆工の解析方法（セグメントの解析手法）

大深度・大口径雨水貯留管の一次覆工の解析を行う場合の留意事項としては、以下のような事があげられる。

- 1) 大断面になることから、1リングのピースの数が多くなり継ぎ手数も増える。したがって、継ぎ手剛性を考慮した現実の現象に近い解析方法が要求される。
- 2) 貯留水圧として、覆工内全面に作用する条件下での解析手法が必要である。

以上の条件を考慮した解析手法としては、解析方法が単純な「地盤反力を全周バネとして考える修正慣用方法」と解析方法が複雑ではあるが現象に即した「回転バネ、せん断バネを考慮した梁～バネモデルによる解析方法」の2方法がある。

4. 2 二次覆工構造

(1) 二次覆工の腐食状況想定

浸水対策および合流改善を目的とする雨水貯留管は、合流式管きよ内に堆積している汚濁物質を含んだ初期雨水も貯留対象となることから、貯留水の水质（腐敗による硫化水素の発生）に起因す

る二次覆工の腐食が懸念される。そこで、水质環境が比較的似ていると考えられる既設の合流式のシールド管きよの調査を行い、雨水貯留管の内部環境を推定した。

1) 下水道管渠腐食状況調査結果

経過年数6年から19年の既設合流管きよから4箇所を抽出し、劣化状況（表面状態、中性化の進行、圧縮強度）と化学的腐食状況（腐食環境、腐食の進行）について調査した。

調査結果では、劣化状況として問題となる事項は見当たらなかったが、化学的腐食状況でとらえると、管内の気中環境や下水環境の面で腐食に起因する要素が検出されており、将来的には腐食による劣化等の最悪の状況も予想される。

2) 雨水貯留管の管内環境

雨水貯留管の内部環境は、貯留する雨水の水质の影響を大きく受ける可能性が高い。このようなことから、硫化水素等の腐食性物質の発生等の環境条件も考慮し、二次覆工の構造を計画する必要がある。

(2) 二次覆工構造の検討

大口径雨水貯留管の二次覆工の厚さを設定するために考慮すべき検討要素としては、以下の事項があげられる。

- ① 蛇行余裕量の必要厚
(腐食性及び浸食の影響を含む)
 - ② 覆工自重に対する必要厚
 - ③ 大口径シールド工事の実績(参考値として)
- これらの要素から、図-2に示す覆工断面が考えられる。この中で、特に腐食および浸食については、これらの進行が一次覆工の耐久性に多大な影響を及ぼすことから、二次覆工は長期的にその機能が保持される構造とする必要がある。

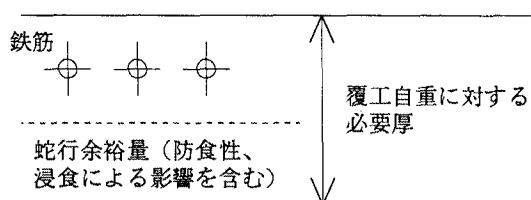


図-1 覆工断面模式図

4. 3 シールド工法の自動化

シールド工法の自動化は、将来の土木施工を考える上で重要な課題である。自動化の検討にあたっては、大口径・大深度および長距離施工などの条件下での自動化のあり方を明確にし、その効果を予測する。

(1) 自動化の方向

自動化する上で必要な基本的条件を整理すると、以下の通りである。

- 1) 作業の繰り返し性が高く、パターン化が容易である。
- 2) 断面形状が一樣で自動制御が容易である。
- 3) 作業場所、作業範囲が限定されている。

これらの要件を現在の「大口径・大深度シールド」工事に照らし合わせると、いくつかの自動化への移行段階に分別することができる。

ここでは、その中の自動化への効果の高いものを整理した。

(2) セグメントの自動組立

大口径シールドにおけるセグメントの人力組み立ては、高所作業での危険性の増加、人力による限界作業の発生やセグメントの組立精度の低下等の課題点があげられる。

これらの課題点を解決し、品質の高い均一な構造物を築造するためには、セグメントの自動組立の導入が望ましい。

(3) 立坑搬入設備の自動化

大深度における地上からの立坑下への資材の吊り降ろしは、資材の落下等の危険性を含んだ作業工程である。これらから、安全性確保に主眼を

おいたエレベータ施設による自動搬入の導入が望ましい。

また、他の効果として省力化(操作員削減)、単純作業の機械代替え、ヒューマンエラーの回避等が期待できる。

(4) セグメント坑内搬送の自動化

セグメントの坑内搬送の自動化は労働環境の改善安全性向上、非常時の対応性、搬送の時短性などシステムとして、今後とらえていく課題である。

4. 4 多方向流入型取水施設の提案

(1) 取水落差構造の標準化に向けた検討

1) 既往の取水・落差構造の研究・調査

既往の取水構造は「突入流式」と「渦流式」に大きく分けられるが、その構造について既往資料に整理し、特徴をまとめた。

2) 既往の落差構造

既往の落差構造は、以下の5つの方式に分類された。

- ① 多段自由落下式
- ② 突入流式
- ③ 渦流式
- ④ 螺旋案内路式
- ⑤ 螺旋案内路式(中抜き)

検討の結果、構造は、③の渦流式と⑤螺旋案内路式(中抜き)が有効となった。

3) 標準化に向けての検討

多方向、多深度の流入に対する取水構造として次の構造について整理した。

- ① 流入合流部構造
- ② 落差部構造
- ③ 減勢部構造

(2) 渋川雨水貯留管取水・落差施設を対象とした取水・落差構造の検討

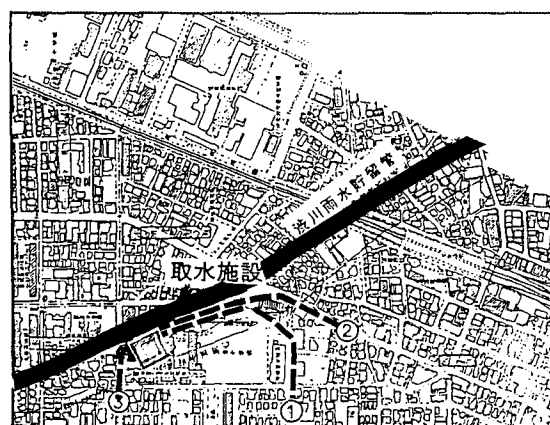


図-2 取水施設建設位置概要

1) 検討条件

渋川雨水貯留管取水・落差施設の建設位置の概要を図-2に示す。

2) 渋川雨水貯留管を対象とした取水・落差構造多方向・異深度で流入する管渠を合流させる方法を図-3のように整理した。

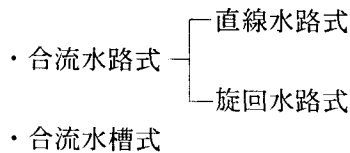


図-3 合流方式

本検討では、渋川雨水貯留管の条件に合致した旋回水路式を選定した。

3) 取水・落差構造の概要

- ① 合流方式は旋回水路式とした。
- ② 落差処理方式は渦流式（ドロップシャフト式）とした。
- ③ 減勢部方式は減勢水槽方式（流出オリフィス式）とした。
- ④ 施設形状は円形とした。
- ⑤ 浸水対策用の落差構造は渦流式とし、合流改善用の落差方式は、良好な減勢効果と流入部の省スペース性を具備した中抜き螺旋案内路方式とする。これによって、ドロップシャフトは2本となった。

4. 5 雨水貯留管の勾配

(1) 特性と勾配

貯留管の勾配を決定する上で、以下のように整理された。

1) 維持管理性

① 換気特性

貯留による管内水位の上昇が管頂に達した時点では、換気は不可能となるため、換気の継続に配慮した場合、勾配は小さい方が望ましい。

② 洗浄特性

管内の洗浄は、極力少ない洗浄水量により効果的に行う必要があるため、勾配は大きい方が望ましい。

③ 維持管理性

維持管理作業は、作業性の上でも極力平坦な方が望ましい。

2) 施工性

シールド工法における勾配は、施工精度の確

保の観点から緩やかな方が望ましい。

3) 経済性

取水・落差施設の施工も含めて検討した場合、掘削深度が浅くなる急勾配が有利である。

以上より、維持管理性、施工性および経済性を考慮して次年度に総合的に判断することとした。

(2) 貯留管の勾配

雨水貯留管の勾配は、貯留管内に設置される設備の規模や維持管理性の難易を総合的に検討して決定することが必要である。

4. 6 雨水貯留管への接続方法

(1) 雨水貯留管への接続方法の決定に必要な条件

雨水貯留管への接続方法の決定に必要な条件は、供用条件と施工条件の2つである。条件は以下に示す項目から成り立っている。

1) 供用条件

- ① 早期供用開始の必要性の有無
- ② 暫定的供用の可能性の有無

2) 施工条件

- ① 建設位置の制約
 - ・施工空間
 - ・環境
- ② 施工規模による制約
 - ・形状・寸法
 - ・土質
 - ・経済性

(2) 接続方法の選定にあたって

接続方法の選定にあたっては、(1)雨水貯留管への接続方法に必要な条件を整理した。今後、具体化に向けて検討する予定である。

4. 7 水理模型実験による実証実験

渋川雨水貯留管取水・落差施設で提案した多方向流入型取水・落差構造について、水理機能を検証し、合理的かつ安全施設に要求される諸元を検討した。

水理模型は「フルードの相似率」に従い、縮尺1/10.5の幾何学的な縮尺模型を使用した。(図-4)

(1) 取水部分の検討

1) 取水の安全性の検討

実験結果から湾曲合流水路、湾曲漸縮水路ともに流況は安定しており、流入管～落差部の設計案については、水理的に良好であると判断された。

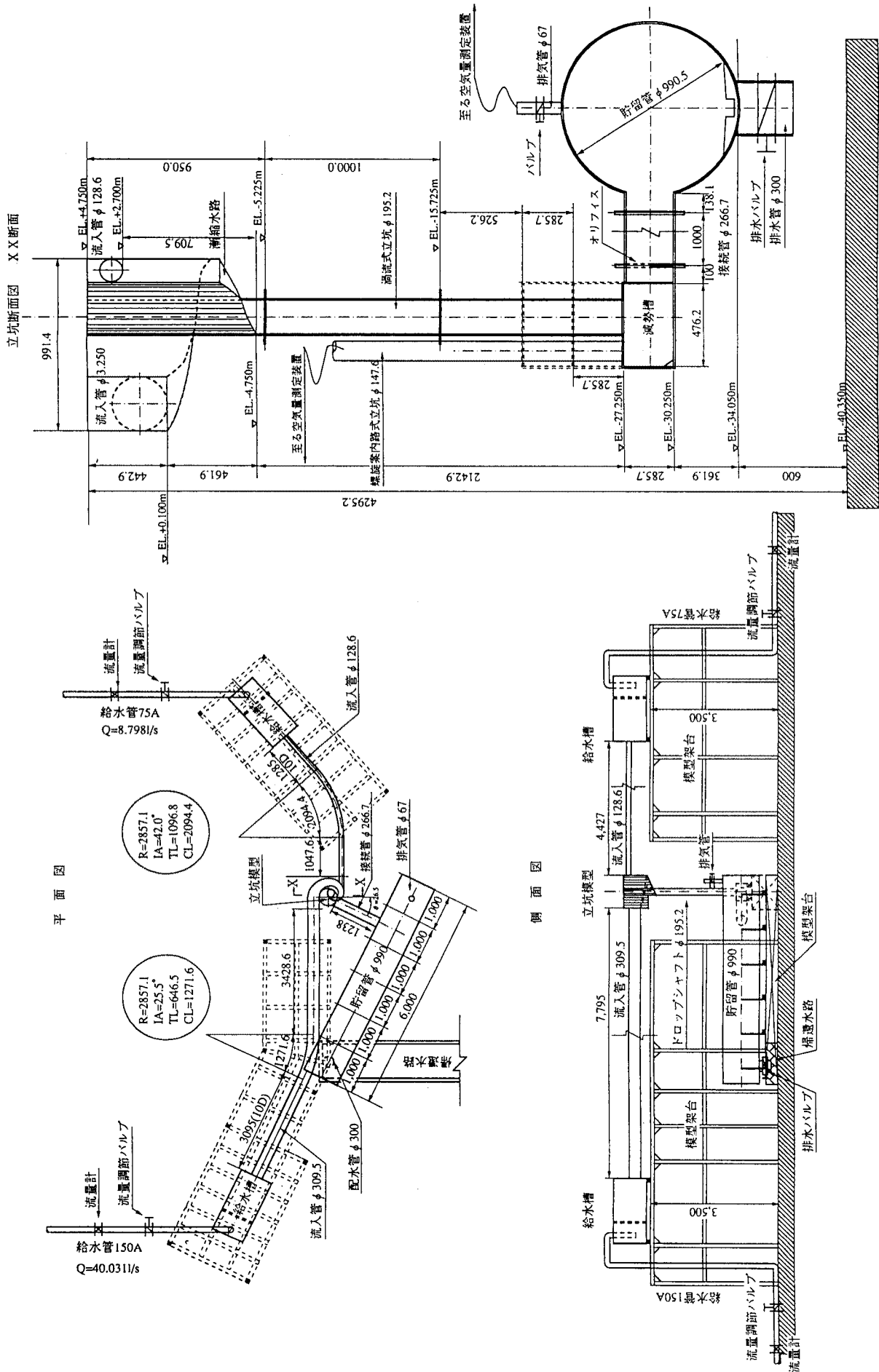


図-4 実験模型の概要

2) 設計諸元の検討

流入管の背水の影響を与えないための合流水路の諸元は、流入管の設計条件と関連するが、以下のような条件を変えることにより諸元を決定した。

- ① 合流水路及び漸縮水路の実験結果を用いて縦断標高を上下させた。
- ② 流入管の設置高を変える。

上記より、漸縮水路において設計流量が流下するとき、空気コア面積は設計条件を満足した。

表-2 取水・落差施設の概要

概略図				
	系 統	①	②	③
流入管概要	管 径	⊙ 3250	⊙ 1350	⊙ 1350
	管底高	KSP+0.100	KSP-3.950	KSP+2.700
	土 被	約12.5m	約18.5m	約11.9m
	種 別	浸水対策	合流改善	浸水対策
	流 量	14.301 m ³ /s	(2.323 m ³ /s)	3.143 m ³ /s
	最大流量	17.444 → 17.5 m ³ /s (合流改善を除く)		
立坑概要	内 径	φ 8 m		
	深 さ	46.5m		
	形 状	①、③浸水対策用流入管の下部に②の合流改善用流入管が位置するうえスクリーンを設置するため、構造がやや複雑となる。		

取水・落差施設の概要を表-2に示す。

(2) 減勢槽の検討

1) 減勢槽の安全性の検討

原設計案では、減勢工底面と接続管底面の一致による流況の悪化を防ぐために減勢槽内にクッション水深を得るためのオリフィスを接続管に設置した。

原設計案の実験結果は以下のとおりである。

- ① 減勢池内が空気泡により白濁を起こした。
- ② オリフィス壁下流側で剥離を起こした。

以上よりオリフィスのみでは減勢槽、接続管及び貯留管の流況の悪化を妨げないことが判明したため、減勢槽の諸元を違った比較実験を行った。

2) 減勢工の基本的設計方針

1 減勢槽の安全性の検討の結果より以下の改良が考えられる。

- ① 減勢槽の容量を大きくする。
- ② 接続管上流端にオリフィス壁を設け、安定した流況を得る。

5. 今後の予定

平成8年度は、平成6, 7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) 一次・二次覆工の設計方針のあり方
- (2) 流入施設の水力模型実験
- (3) 流入施設の水力特性
- (4) 流入施設の構造
- (5) 維持管理の方法

● この調査に関する問い合わせは

研究第二部長	藤田 昌一
技術部次長	鈴木 茂
技術部技術課主任研究員	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