

大深度・大口径雨水貯留管 (洪川雨水貯留管等) の 設計・施工に関する研究

1. 研究目的

近年都市化に伴う不浸透区域の拡大から「都市型水害」が増加している。この対策としては、河川の流下能力や下水の排水能力を増大させることが重要である。しかし、都市化の進展で河川改修や下水管の布設や増強が困難であったり、また、ピーク時の雨水量に合わせて施設を整備することが不経済な場合など、都市部において雨水貯留管を整備するケースが増えてきている。

雨水貯留管の設置目的は、都市部における雨水整備水準を越える降雨に対して、ピークカットすることで浸水を防ぐ、いわゆる量対策の他に、有効利用を考えて降雨初期の雨水を取水、貯留し、公共用水域への汚濁負荷の流出量を削減する、いわゆる質対策がある。

川崎市で建設されている江川雨水貯留管、洪川雨水貯留管も量対策・質対策併用の大深度・大口径雨水貯留管である。

本研究は下水道における大深度・大口径雨水貯留管の計画・設計・施工・維持管理について、江川、洪川両貯留管を事例に、その考え方や検討手法について整理し、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、川崎市と共同研究体制で、平成7年から実施している。

3. 平成10年度の研究項目

(1) No.2 中間取水施設の構造検討

No.2 中間取水施設は、建設位置が密集した住宅地にあることから、設置位置を洪川雨水貯留管の直上とする必要があった。このため落差で生じる衝撃力を緩和させる減勢工を落差工の下に独立させて設けることが困難であることなど課題が多い、そこで取水・落差工の構造を提案し、水理模型実験を行うこととした。なお、実験は平成11年度に行うものである。

(2) 一次覆工の設計に必要な有効土圧の考え方の評価

江川・洪川雨水貯留管で得られた土圧計測結果を解析し、土丹層のような安定した地盤に建設されるシールドトンネルの一次覆工に作用する緩み土圧の考え方を提案した。

(3) シールド工事の自動化施工の再評価

建設時に提案したセグメント自動組立およびセグメントの自動搬送において、施工実績をヒヤリング調査し、計画時における事前評価に対する再評価を行った。

4. 研究内容

4.1 No.2 中間取水施設の構造検討

(1) 検討の条件

No.2 中間取水施設の構成は、取水施設、流入施設と落差部（ドロップシャフト）からなっている。

1) 流入管の条件

洪川4号幹線：

ϕ 1,350

ksp+3.275

取水量 $Q = 1.316\text{m}^3/\text{sec}$

洪川5号幹線：

ϕ 1,500

ksp+8.118

取水量 $Q = 4.099\text{m}^3/\text{sec}$

木月幹線：

□ 3,000×3,000

ksp+3.275

取水量 $Q = 14.116\text{m}^3/\text{sec}$

(横越流)

各流入管の流入状況に関する模式図を図-1に示す。

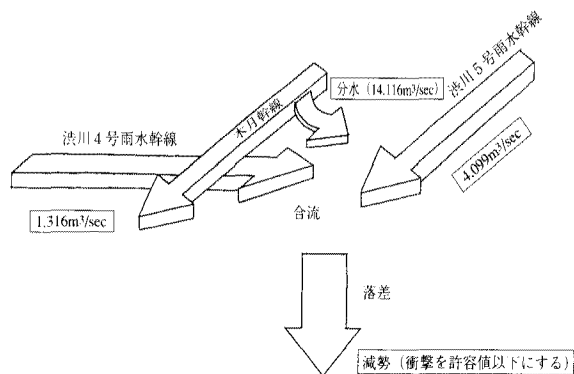


図-1 No.2 中間取水施設の模式図

2) 落差方式

落差方式としては、渦流式 (ϕ 2.2m) と中抜きらせん案内路式 (ϕ 3.65m) が考えられる。

3) 取水・流入施設配置構成

取水施設と流入施設が上部にあり、それらと貯留管が落差部にて連結されていることから、耐震性や構造を考えた場合、取水施設と流入施設は、コンパクトであることが望ましい。その場合、取水施設と流入施設の関係として一体型と分離型が考えられる。

4) ゲート室位置

地下構造物を小さくしかつ底版高を浅くすることにより、浮力に対する効果と木月雨水幹線からの落差の低減が図れるが、河川部局との調整が必要となる。

したがって、ゲート室位置としては、地上案と地下案が考えられる。

以上の案を組み合わせると、検討項目をマトリクス的に組み合わせると8通りの案が考えられる。

(2) 検討結果

8通りの案について、総合比較を行い、各項目での判断としてつぎの結論を得た。

1) 落差方式

落差方式として渦流式を考えると、貯留管内に減勢効果を考えた対策施設が必要となる。貯留管への影響を考えると、ドロップシャフト内で減勢効果が期待できる中抜きらせん案内路式が優位と考えられる。

2) 取水・流入施設配置構成

耐震性や構造を考えた場合、取水施設と流入施設は、コンパクトであることが望ましいが、一体案と分離案とも耐震に対する考慮は必要であり、分離案が一体案より耐震上有利であるとは言いきれない。建設費は、分離案の場合仮設費が高いため、一体案の方が優位である。

3) ゲート室位置

地下構造物を小さくしかつ底版高を浅くすることにより、浮力に対する効果と木月雨水幹線からの落差の低減が図れることから、地上案の方が優位である。

(3) 結論

前項の比較内容、経済的な視点および耐震性や浮力に対する影響を考慮すると、

中抜きらせん案内路式+一体型+地上化

が優位であると判断できる。

その構造概要を図-2に示し、水理模型実験用の1/10.5の縮尺とした模型を作成するものとした。

4.2 一次覆工の設計に必要な有効土圧の

考え方の評価

土丹層に構築された洪川雨水貯留管の土水圧の計測結果を基に今までに得られた結論の検証を行い、大深度で硬質な地盤（土丹層）に構築されたシール

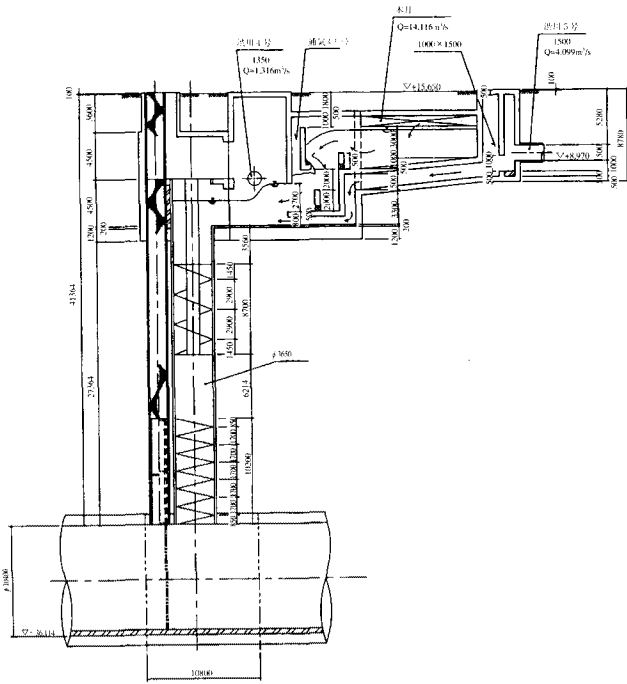


図-2 No.2 中間取水施設の構造案

ドトンネルに作用する有効土圧の傾向を把握し、再評価する。

(1) パッド式土圧計と押し出し式土圧計の計測結果比較

1) 裏込め注入圧の影響

理論的にパッド式土圧計は裏込め注入圧を含んだ土圧を計測する土圧計であり、押し出し式土圧計は直接掘削地山の土圧を計測する土圧計である。つまりパッド式土圧計計測結果より押し出し式土圧計計測結果を差し引いたものが裏込め注入圧による影響と仮定することが出来る。この仮定を基に洪川の測定結果から判断すると、安定時のパッド式土圧計と押し出し式土圧計の計測結果の差は部分的に約2.0kgf/cm²生じており、この差が裏込め注入圧の影響と考えられる。

2) 掘削地山の有効土圧

裏込め注入圧の影響を受けない押し出し式土圧計による安定時の計測結果は4ヶ所全ての計測位置において0.1 kgf/cm²~0.9 kgf/cm²の有効土圧であった。計測箇所毎にばらつきはあるものの全ての計測点で1.0 kgf/cm²以内と傾向的には有効土圧の作用は小さいと考えられる。

(2) 設計外圧の整理

今回の洪川雨水貯留管における計測結果からも貯

留管に対して大きな有効土圧は作用しておらず、「大深度で硬質な地盤（土丹層）に構築されたシールドトンネルには有効土圧が作用しない」という傾向は確認できたといえる。

1) 裏込め注入圧

一般的にテールボイド内の裏込め圧は、周囲の土水圧とバランスするために下式に示す状態になっている。

$$\text{裏込め注入圧} - \text{地山への浸透等による減圧(裏込め圧)} = \text{水圧} + \text{土圧(地山反力)}$$

この式の“地山への浸透等による減圧（応力緩和）”が経時的に増加することにより、テールボイド内の裏込め圧は減少する。これに伴い土圧（地山反力）がその分小さくなることでバランスを保っている。つまり、“地山への浸透等による減圧”が止まった時点で裏込め圧と土・水圧はバランスすることになる。

2) 硬質地盤における設計外圧

江川、洪川雨水貯留管の設計荷重に対する考え方は「シールド工用標準セグメント H2.4」（日本下水道協会）に準拠して設定しており、鉛直土圧の考え方は以下に示すフローの通りであった。

ただし、この考え方は硬質な地盤を対象としているものではないため、今までに実施した江川、洪川雨水貯留管の計測結果を基に、今後実施される硬質地盤（江川、洪川雨水貯留管が構築された土丹層などを対象）でのシールドトンネル工事のコスト縮減を目的として、設計最小土圧の提案を行う。

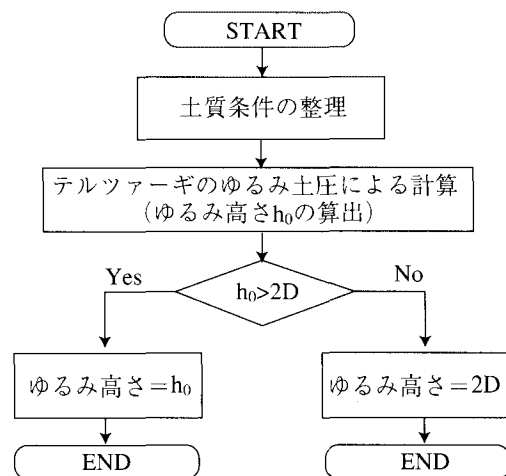


図-3 鉛直土圧の考え方

(3) 設計最小土圧の算出

1) 算出条件

江川、渋川雨水貯留管の計測結果を基礎資料としているため、提案を行う設計最小土圧の適用範囲は江川、渋川雨水貯留管が構築された土丹層のような硬質地盤に限定するものとする。

水圧はトンネル構築位置での静水圧とする。ただし、予め間隙水圧がわかっている場合は、間隙水圧を用いる。

土圧は土の不確定要素などを考慮し、土質定数(C, ϕ)を低減し、テルツァーギのゆるみ土圧式により設計最小土圧を算出する。以下に土質定数の低減方法を示す。

—土質定数の低減方法—

- ・粘性土地盤の場合
 ϕ を考慮せず、Cを1/2程度に低減する。
- ・砂質地盤の場合
Cを考慮せず、 ϕ を2/3程度に低減する。

—土圧値決定方法—

低減を行った土質定数を用い、設計最小土圧を計算した結果、江川、渋川においてはゆるみ土圧は負値となった。しかし、土質条件や施工精度などの不確定要素を考慮すると、土圧を無視するのはやや危険側過ぎる可能性が高い。

したがって、江川、渋川のような大深度における硬質地盤に対しては、各指針・示方書などにおける考え方に準拠し、最小土圧を1Dとすることを提案する。図-4～5に考え方のフローと荷重モデル図を示す。

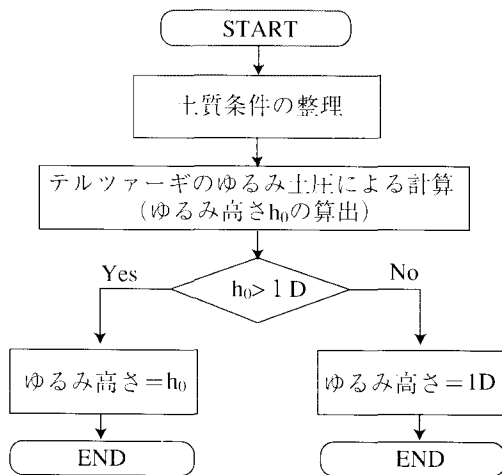


図-4 鉛直土圧の考え方の提案

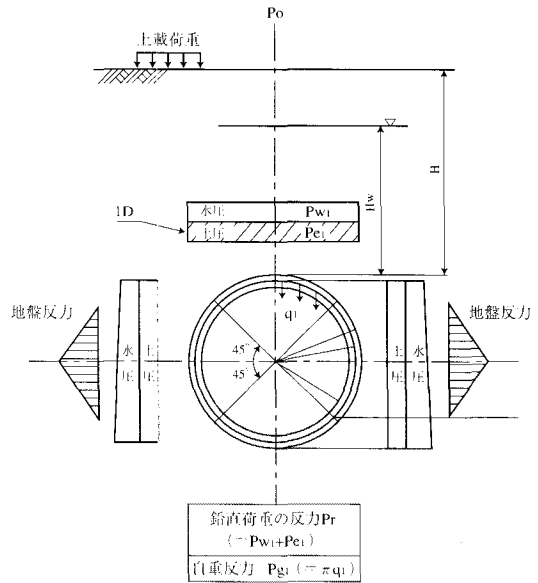


図-5 荷重モデル図

4.3 シールド工の自動化施工の再評価

渋川雨水貯留管シールド工事への自動化導入によるメリットに対して、実際に自動化を導入して施工を行った施工者に自動化導入の効果についてヒヤリング調査を行った。

(1) ヒヤリング調査結果

ヒヤリング調査結果を以下に述べる。

1) セグメント組立の自動化の評価

- ① 大口径工事の危険作業回避
高所でのボルト締め作業が無くなり、転落事故の危険性が回避できた。また、エレクタと作業員との接触事故の危険性が回避できた。
- ② 高水圧に対する止水性確保(真円度)
真円度に関しては、セグメント組立精度よりもセグメントの自重による影響の方が支配的となる。止水性確保については定量的な判断は難しい。
- ③ 高品質構造物の築造
隣のセグメントとの接触から起こる端部のかげは無くなったが、運搬段階でかけていることもあり、一概に品質が向上したとは言えない。

2) 立坑搬送の自動化の評価

- ① 省力化
クレーンによるセグメント投入の場合は10人の作業員が必要であるが、セグメントリフタのボタン操作する1人の作業員で済み、省力化が図られている。
- ② 単純作業の機械代替
立坑搬送の自動化は単に作業員が行っていた

作業を機械に代替した以上に、作業員の違いによる操作技術の違いを回避できるメリットがあった。

③ 安全性の向上(重量物)

セグメントリフタは一度に2ピース(約 16t)のセグメントを安全、確実に同じ所要時間で搬送可能であった。また、クレーンによるセグメント投入を行う場合は、安全上、セグメント吊り下ろし中は立坑内の作業員は、トンネル坑内へ避難することとなり、立坑内での作業にも支障をきたす。

④ 人的エラーの回避

人的要因によるエラーの排除が可能となった。

⑤ その他

本立坑搬送システムは、台車毎の搬送としており、セグメント搬送距離が長い現場では効果的であった。立坑搬送と坑内搬送を連動させたシステムとしているため、セグメント搬送計画が明確となり、効率的なセグメント搬送を行えた。

3) 坑内搬送の自動化の評価

① 労働環境(安全性)

労働環境(安全性)という面ではメリットとなっているとは言えない。

② 非常時の対応性

坑内搬送を自動化するしないにかかわらず、バッテリーロコの緊急停止装置は完備するものであり、坑内搬送の自動化によって非常時の対応が改良されたとは言えない。

③ 搬送時短性

本坑内搬送システムは、大断面(一次覆工内径11.0m)という特徴を生かし、複線での搬送システムとした。このため、掘進延長が長くなると、掘進機の掘進速度よりもセグメント搬送に要する時間によって日進量が決定してしまうという問題点をクリアすることが可能となる。したがって、掘進延長に日進量が左右されることが無くなるとともに、坑内の軌道をセグメントストックヤードとして用いられ、ストックヤードを縮小できるというメリットを有している。

(2) 自動化施工の再評価

セグメント組立、立坑搬送、坑内搬送を対象にヒヤリング調査を行ったが、セグメント組立とセグメント搬送に分けて再評価する。

1) セグメント組立

当初計画段階で予測していたセグメント組立

の自動化のメリットは、安全性の向上、品質の向上を考えていた。

セグメント組立の自動化は、今後セグメント組立を行う熟練工が減っていくという現実の中で、特に大口径の場合には品質を維持していくためには、基本的に導入すべきである。また、安全性という見地においても、現状の大断面シールドトンネルの作業中に起きる事故は、ボルト締結中の転落事故が最も多い。次いで切り羽でのエレクタとの接触事故となっている。

この状況下において、セグメント組立の自動化導入は事故の原因を無くすこととなり、導入による効果は非常に大きく、今後の大断面のシールドトンネル工事には導入すべきであると判断する。

2) セグメント搬送

セグメント搬送を計画する上で、条件が大深度、長距離となるとシールドマシンの掘進速度に対応したセグメントの供給が可能であるかということが問題となってくる。

坑内搬送に関して長距離で大断面という現場条件のもとでは、渋川雨水貯留管で用いた様な複線による坑内搬送が最も効果的である。単線式では1編成のみのセグメント搬送となり、往復に要する時間が長距離掘進の場合には、日進量に対してクリティカルとなることがあるが、複線式とすることで、編成数を掘進距離に合わせて増やせるため、より効率的なセグメント搬送が行える。また、坑内をセグメントストックヤードとして利用できるという付加価値も有り、ヤードの確保が難しい都市土木においてのメリットは非常に高い。

立坑搬送への自動化導入(セグメントリフタ)は、現時点で殆どの現場で採用されている。特に大深度の場合には、安全面、搬送サイクルタイムの面から必要不可欠である。

立坑搬送から坑内搬送への移行は、今回渋川で用いられた台車ごとによる連続した立坑搬送から坑内搬送への移行システムにより、搬送効率、安全性の面から障害となる要因(立坑下でのクレーンによるセグメント積み替え)を的確に排除しており、非常に効率的なシステムとなっている。またこのシステムは立坑搬送、立坑搬送から坑内搬送への移行、坑内搬送の制御をその都度作業員がスタートボタンによって運転させており、作業員の目視による安全管理が出来ることと、コンピュータ制御による管理では

ないため、プログラムの開発費用、制御装置等の費用がかからない等のメリットがある。

以上より、大深度、大断面、長距離掘進という条件におけるセグメント搬送は、搬送効率、安全性、経済性を的確に考慮した洪川タイプの搬送方式（複線方式）が最も効率的であると判断する。

5. 今後の予定

平成11年度は、No2取水施設における取水、高落差工について水理模型実験を行い、取水立抗の構造に関する最終提案と取水立抗の施工に伴う雨水貯留管への影響評価のあり方について研究する予定である。

●この研究に関する問い合わせは

事務局次長	鈴木 茂
研究第二部主任研究員	長谷川隆之
研究第二部研究員	小林 卓矢
研究第二部研究員	中西 康博