

# 都市河川計画 の手引き

— 立体河川施設計画編 —

(財)国土開発技術研究センター 編集

# 都市河川計画 の手引き

—立体河川施設計画編—

(財)国土開発技術研究センター 編集

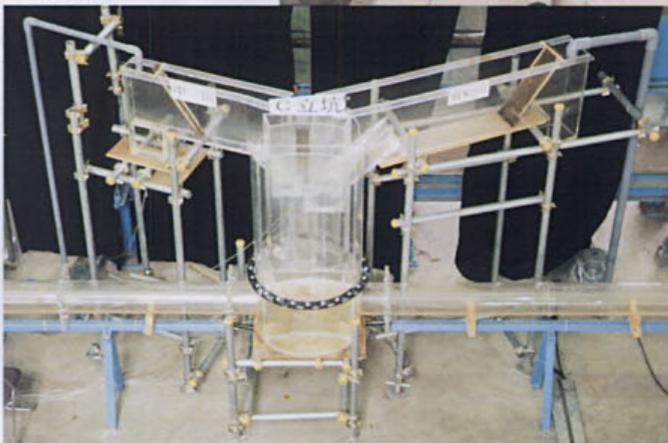
山海堂

# 水理模型実験(地下河川)

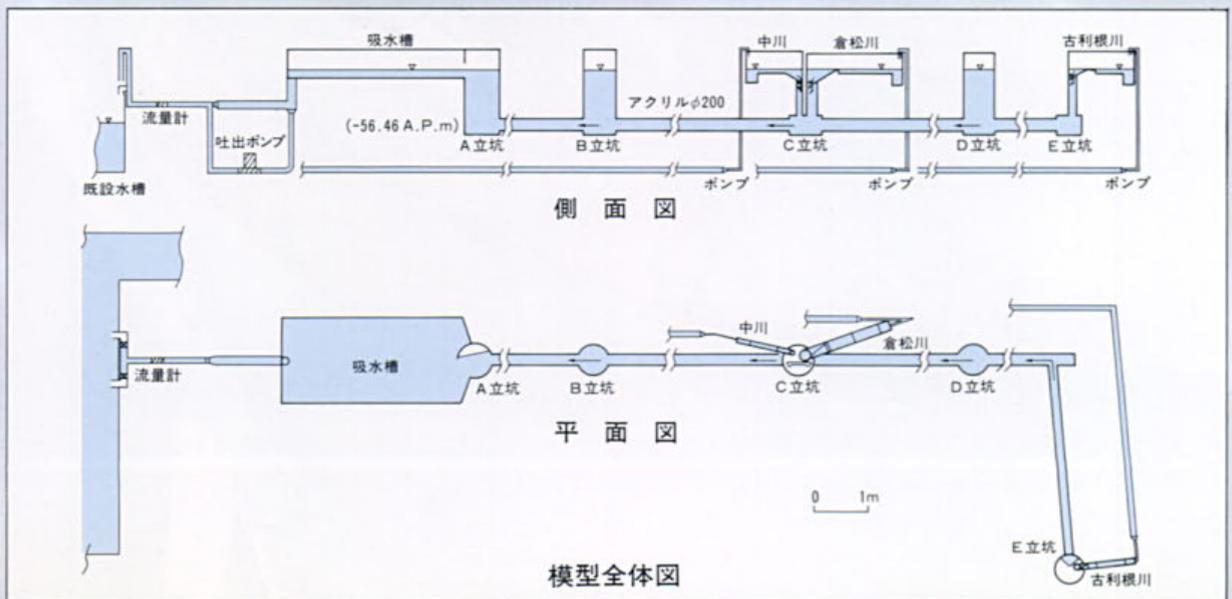
## 全体施設実験



流入部

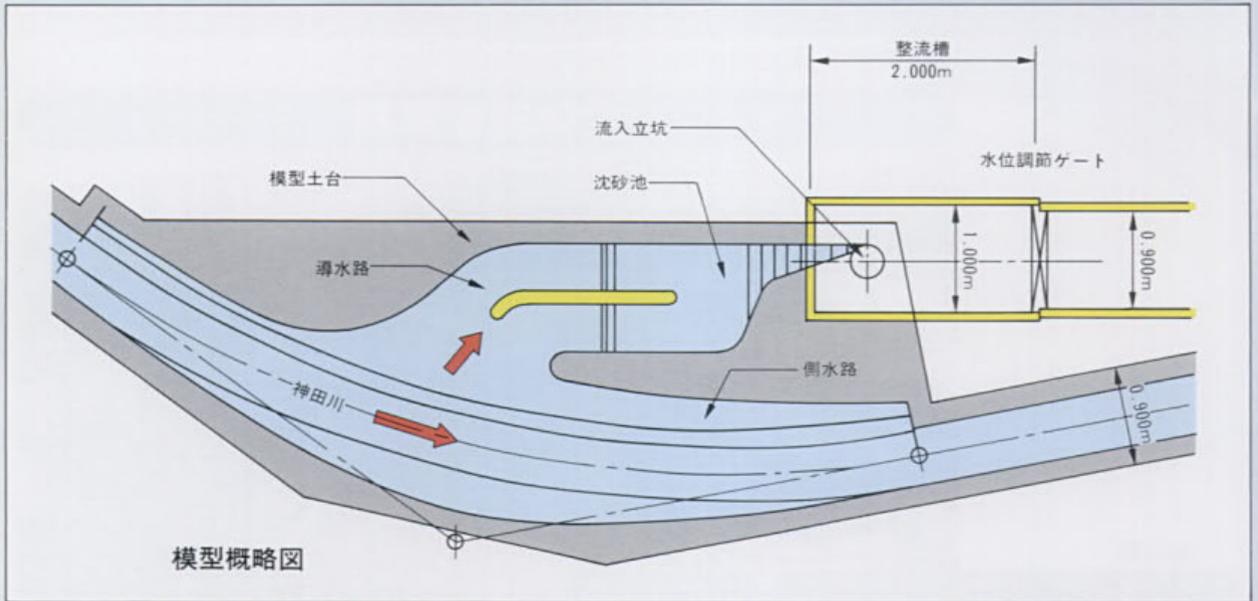


首都圏外郭放水路(建設省)



# 分流部・導水路実験

神田川・環状7号線地下河川分流施設(東京都)

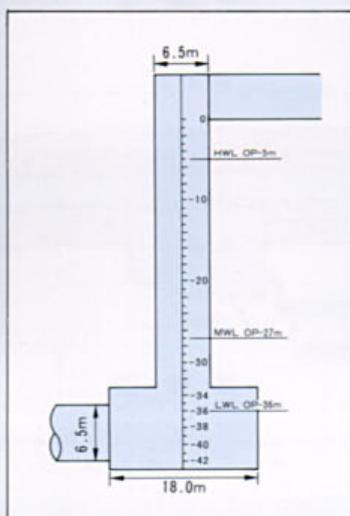
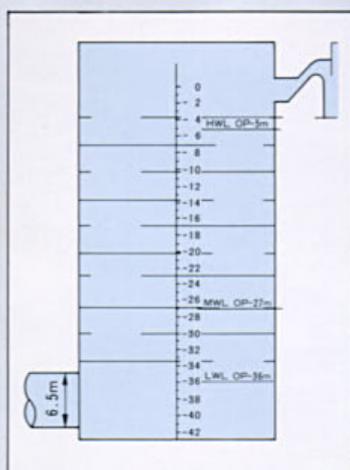


模型実験状況



# 減勢部実験

寝屋川北部地下河川(大阪府)



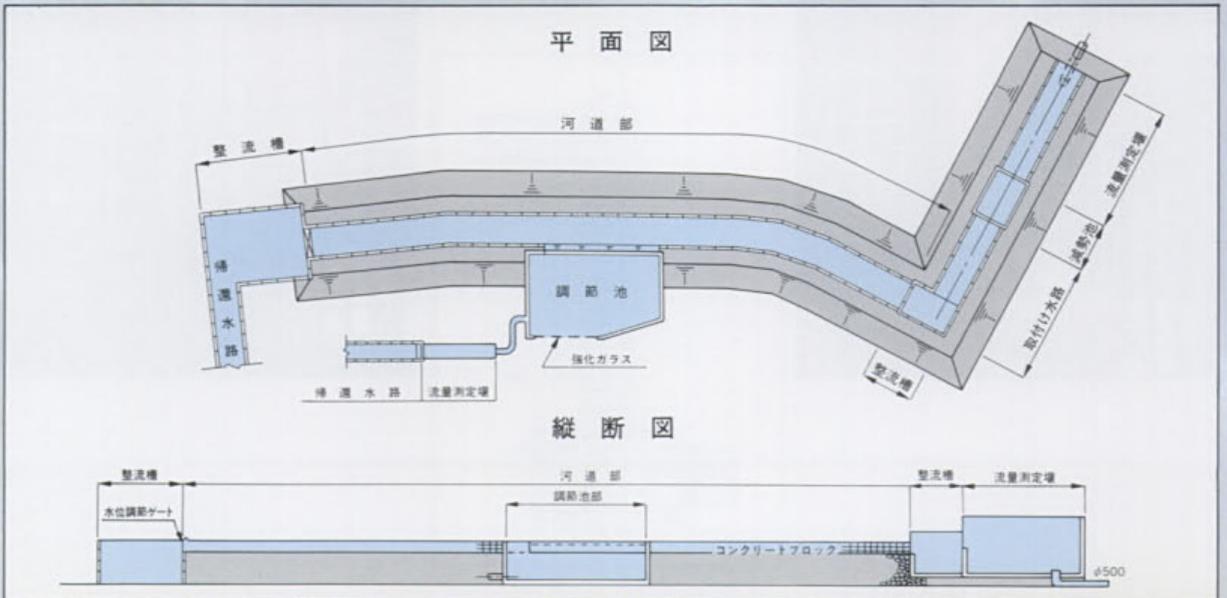
# 水理模型実験(地下調節池)

目黒川荏原地下地下調節池(東京都)



白子川比丘尼橋地下調節池(東京都)

模型製作図(目黒川荏原)



## 推 薦 の 言 葉

河川の洪水防御計画を策定する際の基準としては、『改訂建設省河川砂防技術基準(案)計画編』があり、今日まで多くの河川技術者の間で業務における技術のよりどころとして、また、総合的な河川技術を学ぶための資料として広く活用されてきた。

しかし、近年の都市河川をとりまく環境の変化の中で、その記述だけでは必ずしも適切に対処できない点が多くみられるようになってきた。特に都市部における河川改修では、市街地の開発や土地利用の高度化に伴う事業進捗率の低下や用地取得の困難性などの要因を背景に、新たに地下河川施設を盛り込んだ治水計画が事業化されている。このため実際に計画を立案する河川技術者の間で都市河川を対象とした地下河川施設の手引きの策定が、望まれていたところである。

このような背景のもと、先進的な地下河川等の計画事例を参考にして本手引きがとりまとめられた。『改訂建設省河川砂防技術基準(案)計画編』並びに『都市河川計画の手引き—洪水防御計画編—』と合わせて本手引きを参照すれば地下河川等の計画実務に役立つものと思われる。

技術は、それぞれの時代の社会からの要請に応じて進歩発展するものである。したがって、本手引きもその策定当時の技術水準を示し、その時代の社会の要請を反映したものである。今後もさらなる研究と技術の積み重ねによって、できる限り頻繁に、この手引きの見直しが行われることが望まれる。

おわりに、本書が単に実務担当者のみにとどまらず広く関係者の方々にも活用されることを、期待するものである。

平成7年3月

建設省河川局都市河川室長

石 川 忠 男

## 発刊にあたって

わが国の都市の多くは、河川の下流部の低平地に展開しているという流域の形成に係る歴史的課程から、極めて災害を受けやすいという自然特性を有しており、また近年の都市化に伴う流出量の増大、流出時間の短縮、被害ポテンシャルの増大などにより治水条件が悪化しております。

さらに、市街地の開発や土地利用の高度化に伴う事業進捗率の低下や用地取得の困難性などの要因を背景に、新たに地下河川施設を盛り込んだ治水計画が事業化されています。

また、技術的には、ゲート・ポンプ制御技術、トンネル施工技術、水埋解析や模型実験技術の信頼性の向上などにより、地下河川の形態は開水路方式のみならず圧力管方式も採用されつつあります。

一方、地下調節池は、より深くなる傾向にあり、複合利用も多く取り込まれた実施例も多くなっています。

このため、関係者から地下河川計画に関する手引きの出版を要望する声が多くありました。

そこで、(財)国土開発技術研究センターでは、このたび建設省のご指導のもとに『都市河川計画の手引き—洪水防御計画編—』に引き続き、本手引きを出版することにいたしました。

本書が、今後の都市部における地下河川計画の推進のため、広く実務関係者の参考文献として活用していただければ幸いです。

おわりに、本手引きの策定にあたって多大なご尽力を賜った『立体河川施設計画に関する検討委員会』の東京大学教授 玉井信行委員長をはじめとする建設省、各地方公共団体の委員各位に深く感謝の意を表します。

平成7年3月

財団法人国土開発技術研究センター  
理事長 広瀬利雄

## 立体河川施設計画に関する検討委員会の構成

(平成6年3月現在) (順不同)

---

(委員長)	玉井 信行	東京大学工学部土木工学科教授
(委員)	江藤 剛治	近畿大学理工学部土木工学科教授
	渡部 義信	建設省河川局治水課流域治水調整官
	清治 真人	建設省河川局都市河川室建設専門官 (前)
	佐藤 直良	建設省河川局都市河川室建設専門官
	金尾 健司	建設省河川局都市河川室課長補佐
	栗城 稔	建設省土木研究所河川部都市河川室長
	猪熊 明	建設省土木研究所道路部トンネル研究室長
	浅野 和広	建設省関東地方建設局河川部河川計画課長
	金子 義明	東京都建設局河川部改修課長
	小畷 清伍	大阪府土木部河川課主幹 (前)
	福田 保	大阪府土木部河川課主幹
	糠沢 宏二	(財)先端建設技術センター研究第2部長 (前)
	小川 敏治	(財)先端建設技術センター研究第2部長
(事務局)	小林 正典	(財)国土開発技術研究センター調査第一部部長
	木下 誠也	(財)国土開発技術研究センター調査第一部次長
	岡安 徹也	(財)国土開発技術研究センター調査第一部研究員

---

# 目 次

推薦の言葉

発刊にあたって

<b>第1章 総 則</b> .....	1
1.1 本手引きの位置づけ .....	1
1.2 立体河川施設の定義 .....	2
1.3 地下河川・地下調節池の定義 .....	3
(1) 地下河川の定義 .....	3
参考-1 地下河川の分類 .....	4
参考-2 水理状態による地下河川の分類 .....	6
参考-3 地下河川に関する基準などについて .....	7
(2) 地下調節池の定義 .....	8
参考-1 地下調節池に関する基準などについて .....	9
1.4 適用対象範囲 .....	10
1.5 全体フローチャート .....	11
1.6 用語の定義 .....	12
1.6.1 計画に関する用語の定義 .....	12
1.6.2 施設に関する用語の定義 .....	13
1.6.3 トンネル構造に関する用語の定義 .....	17
1.6.4 地下調節池の複合利用などに関する用語の定義 .....	17
1.6.5 維持管理に関する用語の定義 .....	17
<b>第2章 地下河川</b> .....	19
2.1 地下河川計画 .....	19
2.1.1 地下河川の位置づけ .....	19

## 目 次

2.1.2	地下河川の計画フロー	20
2.1.3	基礎調査	22
2.1.4	設計流量	23
2.1.5	地下河川ルートの検討	24
2.1.6	地下河川本体計画	25
(1)	地下河川方式の検討	25
(2)	縦断計画	26
	参考-1 地下河川における縦断勾配の基本的な考え方	27
(3)	断面計画	28
	参考-1 空面積の意義について	29
	参考-2 馬場洋二：都市河川の施設計画上の留意点 ートンネル河川について	31
(4)	平面計画	34
	参考-1 シールド工法の曲率半径の例	34
(5)	粗度係数	36
	参考-1 各基準などによる粗度係数の事例	37
(6)	流速	39
(7)	開水路方式地下河川の計画高水位	40
(8)	圧力管方式地下河川の計画動水勾配線	40
	参考-1 地下河川へ流入可能な流入施設における最高水位設定の 検討例	41
(9)	水理検討	43
(ア)	地下河川方式および計画諸元の検討と水理検討との係わり	43
(イ)	水理検討結果を評価する項目	44
(ウ)	圧力管方式の場合の定常計算	46
(エ)	圧力管方式の場合の非定常計算	51
(オ)	サージング	53
(カ)	排水条件	54
2.1.7	段階整備計画	56
2.2	施設計画	56
2.2.1	流入施設	56
	参考-1 スクリーンの設置について	60

## 目 次

参考-2 減勢形式の特徴 .....	64
2.2.2 排水施設 .....	68
2.2.3 立坑配置計画 .....	75
2.3 水理模型実験 .....	76
2.3.1 実験目的 .....	76
2.3.2 実験項目 .....	77
参考-1 既往の実験例 .....	79
参考-2 模型縮尺 .....	79
参考-3 相似則 .....	80
参考-4 管径縮尺と粗度縮尺に着目した相似則 .....	82
2.3.3 全体施設実験 .....	84
2.3.4 分流部・導水部実験 .....	86
2.3.5 減勢部実験 .....	88
2.3.6 合流部実験 .....	89
2.3.7 排水施設実験 .....	89
<b>第3章 地下調節池 .....</b>	<b>91</b>
3.1 地下調節池計画 .....	91
3.1.1 地下調節池の位置づけ .....	91
(1) 地下調節池の導入 .....	91
(2) 地下調節池の導入にあたっての配慮 .....	92
3.1.2 地下調節池計画フロー .....	92
3.1.3 基礎調査 .....	94
3.1.4 地下調節池の位置の選定 .....	95
3.1.5 地下調節池計画 .....	96
(1) 洪水調節計画 .....	96
(2) 排水計画 .....	97
3.1.6 複合・多目的利用 .....	98
(1) 施設の複合・多目的利用 .....	98
(2) 複合・多目的利用上の配慮 .....	99
参考-1 立体・複合型の河川管理施設の一つとしての地下調節池 .....	99
3.1.7 段階整備計画 .....	100

## 目 次

参考-1 逆巻工法により検討した例 .....	101
3.2 施設計画 .....	102
3.2.1 調節池本体 .....	102
3.2.2 流入施設 .....	104
3.2.3 排水施設 .....	106
3.3 水理模型実験（地下調節池） .....	107
3.3.1 実験目的 .....	107
3.3.2 実験項目 .....	107
参考-1 既往の実験例 .....	108
3.3.3 分流部・導水部実験 .....	109
3.3.4 減勢部実験 .....	109
3.3.5 全体施設実験 .....	110
<b>第4章 維持管理</b> .....	<b>111</b>
4.1 維持管理の方針 .....	111
4.2 維持管理計画 .....	111
(1) 立体河川施設の維持管理方式 .....	111
(2) 維持管理計画 .....	112
参考-1 神田川調節池（環七地下河川）における排水処理の検討例 .....	113
4.3 計測管理 .....	119
参考-1 シールドトンネルにおける計測計画例 .....	122

# 第 1 章 総 則

## 1.1 本手引きの位置づけ

本手引きは、立体河川施設のうち地下河川施設に関する情報を集約し、その調査・計画・実験・維持管理に関する技術書としてとりまとめたものである。

### 【解 説】

#### (ア) 背 景

近年、都市部における河川改修は、市街地の開発や土地利用の高度化に伴う①事業進捗率の低下や②用地取得の困難性などの要因を背景に、新たに地下河川施設を盛り込んだ治水計画が種々立案されつつあり、かつ実施例も急増しつつある。

また、技術的には、水理解析や模型実験技術、ゲート・ポンプ制御技術、施工等のトンネル技術の信頼性の向上などにより、地下河川の形態は開水路方式のみならず圧力管方式も採用されつつある。

一方、地下調節池は、より深くなる傾向にあり、複合利用が取り込まれた実施例も多くなっている。

#### (イ) 地下河川施設の技術基準に関する現状

##### (地下河川)

わが国における地下河川に関する基準類は、発電用の水路や下水道、ダム建設に伴う仮排水路などを除き、「河川砂防技術基準(案)；建設省河川局」「トンネル河川設計の手引き(案)；建設省土木研究所」によるものしか現在はない。

それらの基準において想定している地下河川とは、山地部などの地形上の制約条件によりやむをえずトンネル構造とならなければならない河川の水路であり、開水路による流下を前提としている。

一方、地下河川については種々のタイプがあり、その分類により計画時の考え方や技術的課題も異なると考えられるが、現在十分に整理された資料に乏しく、特に圧力管方式による地下河川については計画論も含め技術開発の途上にある。

(地下調節池)

調節池に関する技術基準には、「防災調節池等技術基準(案)；(社)日本河川協会」「流域貯留施設等技術指針(案)；(社)日本河川協会」などがあるが、いずれも地下空間への設置を主体に想定したものではなく、また立体的な複合利用も想定したものではない。

(ウ) 本手引きの位置づけ

上述のような現状を踏まえ、本手引きは主に地下河川施設の技術に関する情報ならびに、個別の先進的事例における検討成果を集約し、その調査・計画・実験・維持管理を行うための技術書(都市河川計画の手引き—立体河川施設計画編—)としてとりまとめたものである。

なお、本技術書では、地下河川施設の建設に伴う周辺環境に与える影響評価については、特に記述していないが、実際の計画にあたっては、工事中および完成時における周辺環境に及ぼす影響を十分に配慮して検討を行うものとする。

## 1.2 立体河川施設の定義

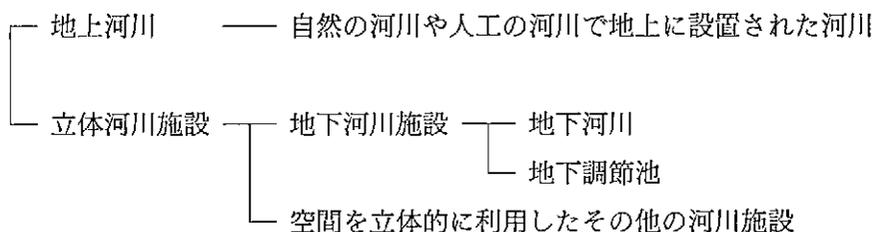
立体河川施設とは、従来の地上河川に対し、現在計画が実施されつつある地下河川施設などの空間を立体的に利用した河川施設を総称したものをいう。

### 【解説】

本手引きで定義する『立体河川施設』とは、それが設置される空間別に、地下に設置される地下河川施設および空間を立体的に利用したその他の河川施設を総称したものをいう。

なお、本手引きでは、主に地下河川施設(地下河川および地下調節池)について取り扱うものとする。

## 第1章 総 則



### 1.3 地下河川・地下調節池の定義

#### (1) 地下河川の定義

本手引きでは、地下空間を利用した人工の河川を『地下河川』と定義する。

#### 【解 説】

本手引きで定義する『地下河川』とは、山地部の下をトンネル構造で抜けるトンネル河川や都市部において公共施設の地下などに設置される放水路など、地下空間を利用した人工の河川をいう。

洪水処理の機能を有する地下河川は、以下のように分類することができる。

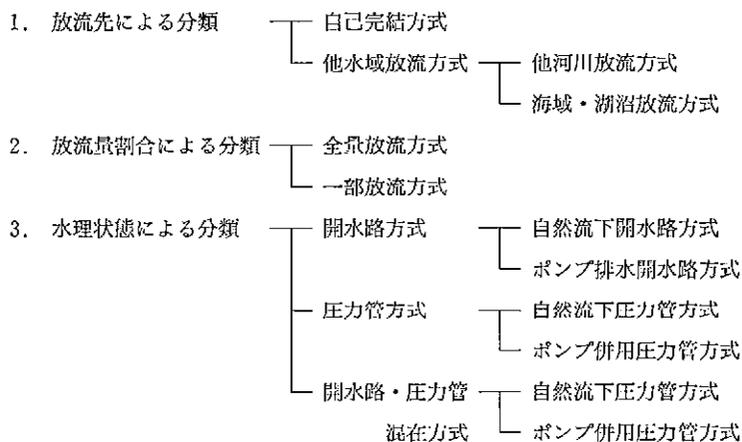


図 1-1 地下河川の分類

## 参考-1 地下河川の分類

### 1. 放流先による分類

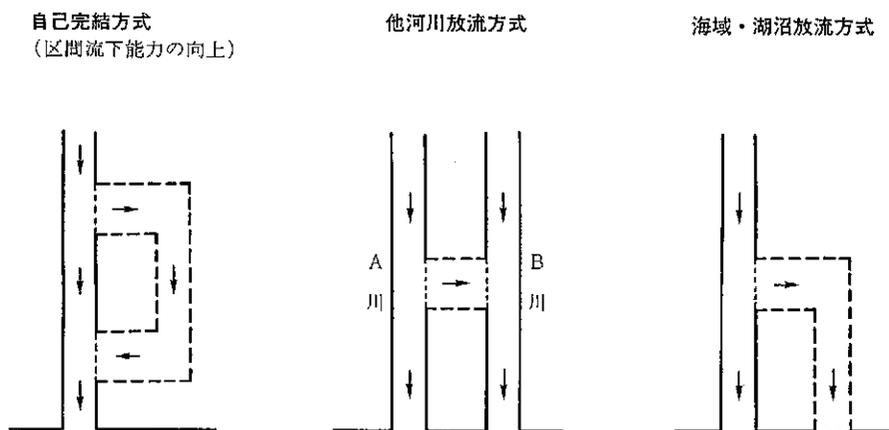


図 1-2 放流量による地下河川の分類

### 2. 放流量割合による分類

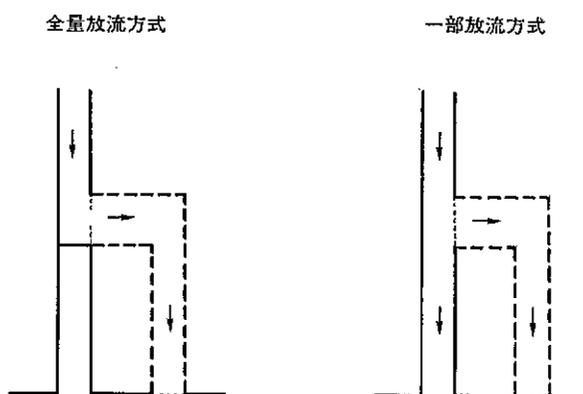


図 1-3 放流量割合による地下河川の分類

3. 水理状態による分類

	自 然 流 下	ポ ン プ 使 用
開水路方式	<p>自然流下開水路方式</p>	<p>ポンプ排水開水路方式</p>
圧力管方式	<p>自然流下圧力管方式</p>	<p>ポンプ併用圧力管方式</p> <p>(吸上げ型)</p> <p>(押込み型)</p>
開水路・圧力管混在方式	<p>自然流下圧力管方式</p> <p>圧力管方式</p> <p>ポンプ併用圧力管方式</p>	<p>ポンプ併用圧力管方式</p>

図 I-4 水理状態による地下河川の分類

## 参考-2 水理状態による地下河川の分類

### 1. 開水路方式

開水路方式は、洪水を地下に落下させ、自由水面を維持したまま重力により洪水を流下させる方法で、ポンプ施設の有無によって、さらに次の2方式に分類される。

- a. 自然流下開水路方式……本川河道から分派放流河川への水面形が接続して（一部落差のあるものも含む）おり、重力によりスムーズに放流されるもの。
- b. ポンプ排水開水路方式…下流端に排水ポンプ施設を有し、計画放流量まではポンプ排水能力により自由水面が維持される方式である。この場合でも、超過流入に対しては圧力管となるため、施設設計上の配慮は他の圧力管方式のものと同様である。

### 2. 圧力管方式

圧力管方式は、洪水を地下へ落下させ、管を満管にし、上下流間の動水勾配差によって洪水を流下させる方式である。この方式はポンプ施設の有無によって次の2方式に分類される。

- a. 自然流下圧力管方式……動水勾配により放流するもので、管渠のエネルギー損失に対して十分な落差（動水圧）がとれる場合には、自由落下サイフォン方式が可能となる。この場合でも、維持管理用のポンプとして小規模なものが必要となる。
- b. ポンプ併用圧力管方式…下流端に排水ポンプ施設を有し、動水勾配を確保することにより人工排水する方式で、管渠のエネルギー損失とポンプ能力の適性な組合せ規模を検討する必要がある。さらに、ポンプ設置位置により吸上げ型と押し込み型の2タイプに分類される。

### 3. 開水路・圧力管混在方式

地形や地下空間などの制約により、地下水路の一部分が開水路、一部分が圧力管にならざるを得ない場合の方式で、ポンプ施設の有無によって次の2方式に分類される。

なお、水理挙動が不安定となりやすいため、やむを得ない場合を除き、極力避けるものとする。

- a. 自然流下圧力管方式……動水勾配により放流するもので、管渠のエネルギー損失に対して十分な落差（動水圧）がとれる場合に可能とな

表 1-1 地下河川に関する基準などについて

基準など	地下河川に関する基本的な考え方	主な記述内容
河川砂防技術基準(案) [計画編] ……昭和52年8月…… (建設省河川局)	○トンネル河川は開水路に比して下記のような点から極力避けるべきとの考えに立ち、やむをえず設ける場合にその安全確保の面から特に留意すべき点が述べられている。 ・洪水時の流下物に対し不利 ・流下能力増大への対応が困難 ・河道維持が困難	○設計流量は、計画流量の130%以上とし、また、空面積は設計流量流下断面の15%を下回らないものとする。 ・閉塞が最も危険であり流出土砂、流木等に対して、沈砂池、除却スクリーン等の適切な除除対策を行う。 ○呑口部での対応 ・呑口部形状は、流水が平滑に流入できる形状とし、トンネル内での跳水、負圧現象が起らないよう配慮する。 ○吐口部での対応：下流河道の計画高水位に対し、計画流量に対応する水位が下回らないものとする。(敷高は圧力トンネルとならぬよう十分な高さとする) ○維持管理施設：非高水時に安全な巡視、流入水の遮断、資材搬入の確保がでできる構造とする。
河川管理施設等構造令 ……昭和51年7月…… (政令199号)	○河川法第13条2項の規定に基づき、主要な河川管理施設等の構造基準を定めたものである。 ○トンネル河川は対象外となっている。	○構造令に定めるべき事項は、河川管理施設等のうち主要なものについての基準であり、治水上影響の少ないもの、設置事例の少ないものは対象外としており、トンネル河川は構造令規定段階では特殊な構造物と考え除外されている。 ○構造令の対象外となった河川管理施設等の構造基準については、これまで同様「河川砂防技術基準(案)」等を参考とすべきとしている。
河川砂防技術基準(案) [設計編] ……昭和60年10月…… (建設省河川局)	○トンネル河川は原則として自由水面を有するものとし、やむをえず圧力トンネルとする際は閉塞、振動等に関する対策について検討するよう解説されている。 ○トンネル河川は本基準(案)に特記するものを除き、土木学会の「トンネル標準示方書」に「開削トンネル指針」等を参考とすることが示されている。	○トンネル断面決定における流速：跳水現象が生じないよう模型実験での検証の必要性、粗度係数等 ○呑口部での対策： ・閉塞への対策(流出土砂→沈砂池、流木等→防除スクリーン、除塵機、防除パイプ等) ・円滑な流入のための形状の考慮および接続河道部での護岸等 ○吐口部での対策：円滑な流出のための形状の考慮および護岸・護床工の設置
トンネル河川設計の手引き (土木研究所都市河川研究室) ……昭和60年3月…… (建設省土木研究所)	○トンネル河川の設計手法がいまだ確立されていない現状から、これまでのデータ、知見等をまとめ、その基本方針を明確にしようとしたものである。 ○設計の各段階での留意事項、対応策等を解説し、今後のトンネル河川設計の参考に供しようとしたものである。また、実施例についてアンケート調査を行いとりまとめている。	○河川砂防技術基準(案)の記述に沿ってトンネル河川に対する基本的考え方の考察(一般的な基準、構造細目、設計細目、維持管理) ○アンケート調査の実施と付帯施設としての沈砂池、スクリーンの設置事例のまとめ ○設計に関する主要検討項目と検討事例の紹介(分流構造物、沈砂池、スクリーンおよび維持管理施設について)

る方式である。

- b. ポンプ併用圧力管方式…下流端に排水ポンプ施設を有し、動水勾配を確保することにより排水する方式である。

## (2) 地下調節池の定義

本手引きでは、地下空間に設けられる調節池を『地下調節池』と定義する。

### 【解 説】

地下調節池は、用地の取得難などの理由により河川の河道の早期整備が非常に困難な箇所の上流側において、計画洪水のピーク流量と下流側の流下量の差に相当する流量を一時的に貯留し治水安全度を早期に高めることを目的とした治水施設で、地下空間に設置されるものである。貯留水は、下流河道の流下能力を見計らい排水されるものである。

なお、上述の地下調節池は以下のように分類することができる。

- 1. 構造形態による分類
  - 梁・柱・スラブ構造による形式
  - 地下トンネル形式（シールドトンネル等）
- 2. 機能による分類
  - 地下調節池単独利用
  - 地上部あるいは地下の一部を他の施設と複合利用するもの
  - 地下河川の整備段階において調節池として利用されるもの（最終的には地下河川として運用されるもの）

図 1-5 地下調節池の分類

第1章 総 則

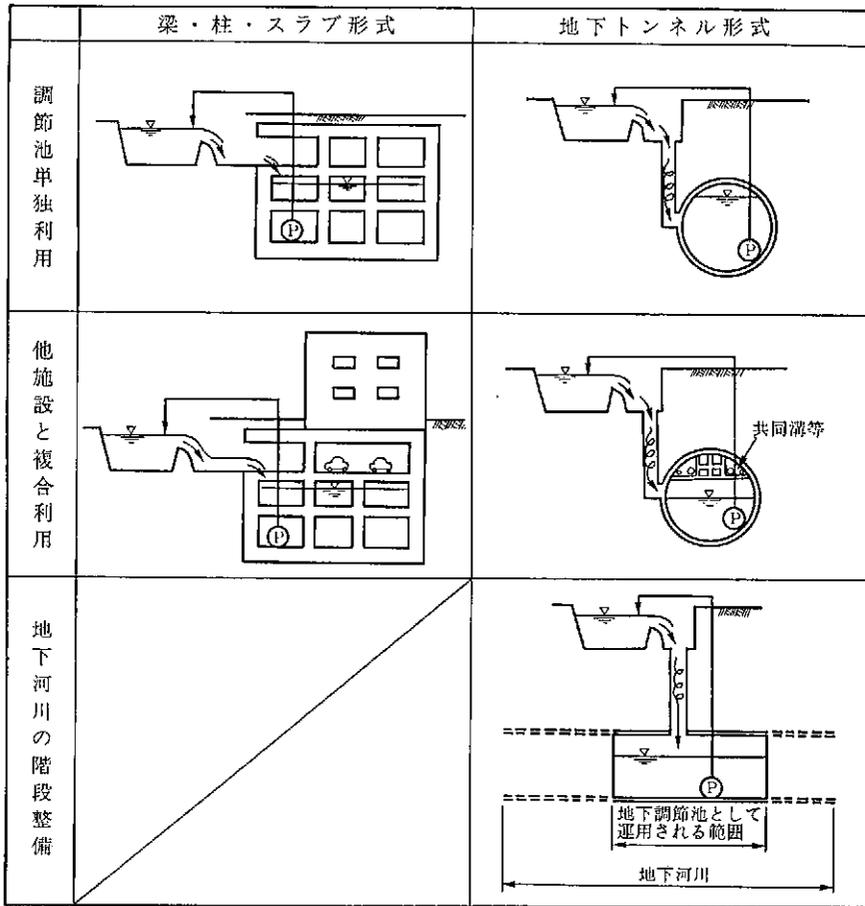


図1-6 地下調節池の分類

参考-1

表1-2 地下調節池に関する基準などについて

基準名など	概要および地下調節池に関する事項
増補改訂防災調節池等技術基準(案) 昭和62年 財団法人日本河川協会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・宅地開発などに伴い設置される防災調節池の計画、設計施工について規定している。</li> <li>・根高15m未滿のダム型式の調節池について記述されており、地下貯留に関しては記述がない。</li> </ul>
増補流域貯留施設等技術指針(案) 平成5年3月 建設省河川局都市河川室 監修 財団法人日本河川協会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・都市域からの流出抑制を目的として設置する流域貯留施設の計画設計に係わる技術的事項の一般原則について記述されている。</li> <li>・貯留施設の一つとして地下貯留槽について述べられている。</li> </ul>
洪水調節(整)池の多目的利用指針 昭和62年 建設省建設経済局 民間宅地指導室 監修	<ul style="list-style-type: none"> <li>・宅地開発に伴い設置される調節(整)池に、公園グラウンド等の施設を導入するための設計管理等についてとりまとめている。</li> <li>・地下式構造の調節(整)池については、適用範囲外としている。</li> </ul>

## 1.4 適用対象範囲

本手引きは、地下河川施設のうち治水計画上位置づけられる地下分水路や地下放水路などの地下河川、および地下調節池に適用する。

なお、本手引きは、地下河川については、前項の分類のうち水理状態による分類に基づいた、開水路方式と圧力管方式の地下河川について記述したものである。また、地下調節池については、前項の分類のうち主に梁・柱・スラブ構造について記述したものである。

### 【解説】

本手引きは、地下河川施設のうち治水計画上位置づけられる地下分水路や地下放水路などの地下河川、および地下調節池に適用する。

なお、地下トンネル形式の調節池については、構造面では地下河川に準じ、運用面では地下調節池に準ずるものとする。また、地下河川の整備段階において地下調節池として運用されるものについては、地下河川の段階整備計画を参照するものとする。

1.5 全体フローチャート

地下河川および地下調節池の計画、設計、施工に係わる全体フローチャートを以下に示す。

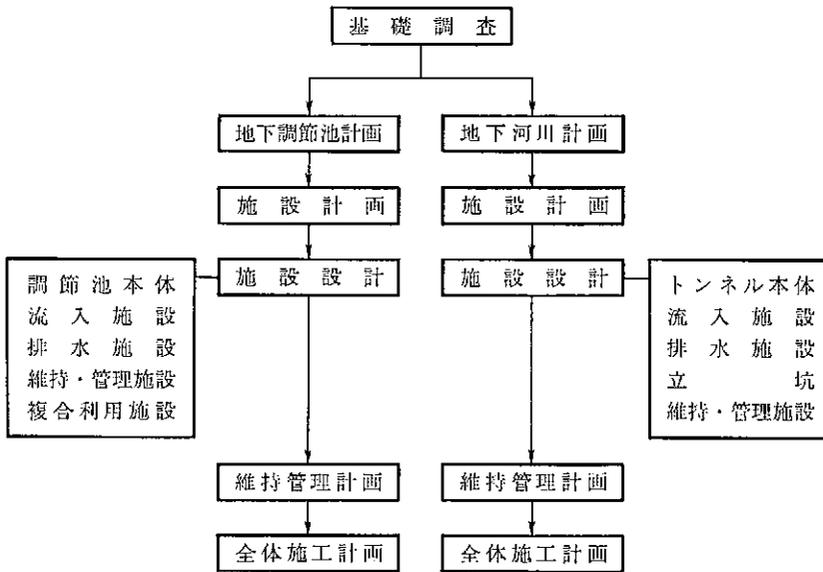


図 1-7 地下河川・地下調節池の計画、設計，施工に係わる全体フローチャート

## 1.6 用語の定義

以下に、本手引きで取り扱う用語の定義を列挙する。

### 1.6.1 計画に関する用語の定義

**立体河川施設** 立体河川施設とは、従来の地上河川に対し、地下河川施設などの空間を立体的に利用した河川施設を総称したものをいう。

**地下河川施設** 地下河川施設とは、地下河川および地下調節池をいう。

**地下河川** 地下河川とは、地下空間を利用した人工の河川をいう。

**地下調節池** 地下調節池とは、地下空間に設けられる調節池をいう。

**計画流量** 計画流量とは、立体河川施設に配分される計画高水流量をいう。

**計画洪水波形** 計画洪水波形とは、計画対象降雨より適切な洪水流出モデルを用いて求めたハイドログラフで、計画流量、計画貯留量などの決定に用いる。

**設計流量** 設計流量とは、地下河川を設計するための流量をいう。設計流量は、計画で配分された計画流量に対して、トンネル内の水理状態などに応じて適切に設定される。

**動水勾配線** 動水勾配線とは、地下河川の管路の中心における位置水頭と圧力水頭を加えたものを縦断的に連ねた線をいう。

**サージング** サージングとは、ポンプの急稼動または急停止等が発生した場合、地下河川によって連絡された調圧水槽や立坑間に生じる急激な水位変動のことをいう。この水位変動に伴い、地下河川内にU字管振動が発生する。

**ウォーターハンマー(水撃作用)** ウォーターハンマーとは、ポンプの急稼動、急停止に

## 第1章 総 則

伴い管内圧力波が閉塞域で発生し、一定の伝播速度で管路中を往復し、管路に圧力を加える現象をいう。

**エアハンマー** エアハンマーとは、水中に混入した空気（泡）や、水路内に閉じ込められた空気が加圧状態でトンネル天端などに集積して空気塊となり、これが移動して自由表面に脱気する際に、水圧から急激に開放された空気塊の膨張エネルギーが脱気点付近の構造物面に集中して衝撃的な圧力を加える現象をいう。

**キャピテーション** キャピテーションとは、管水路などの凹凸部に流水が激しく流れることによって生じる、または、空気の混入などによって生じる低圧や負圧の発生する現象をいう。

**空 運 用** 空運用とは、洪水初期における貯留効果を期待して地下河川のトンネル本体または地下調節池内を通常時に空の状態にしておく運用方式である。

**満 管 運 用** 満管運用とは、計画流量の流入・排水に支障のない場合に、地下河川のトンネル本体内を洪水の流入開始前に満管の状態にしておく運用方式である。

### 1.6.2 施設に関する用語の定義

一般に地下河川は、トンネル本体、流入施設、排水施設の各部からなり、地下調節池は、調節池本体、流入施設、排水施設の各部からなる。

**トンネル本体** トンネル本体とは、計画流量を流下させるための地下河川の管路部の構造本体をいう。

**調節池本体** 調節池本体とは、計画洪水を調節するために必要な容量を確保するための地下調節池の構造本体をいう。

**流 入 施 設** 流入施設とは、河道からトンネル本体内または調節池本体内に流入および導水させる施設をいい、一般的に次に示す各部からなる。

- ・分流部

分流部とは、河道から所定の計画流量を分流させる施設である。

- ・導水部

導水部とは、分流部から減勢部までに流水を導水する施設で、必要に応じてスクリーン、沈砂池などが含まれる。

- ・減勢部

減勢部とは、流水を落下、減勢させる施設であり、一般的には落台式減勢施設（例えば渦流式）、階段式減勢施設、斜路式減勢施設（例えば螺旋シュート式）や減勢池などが含まれる。また、減勢部は施工立坑内に設置される場合が多いため、運用面から流入立坑と呼ばれる場合もある。

- ・連絡管路

連絡管路とは、減勢部内で減勢した流水をトンネル本体へ導く管路をいい、減勢部が直接トンネル本体に接続する場合には設けない。

- ・通気管（エアベント）

通気管（エアベント）とは、減勢部付近の管路内に空気が混入し、キャピテーションが発生する場合やエアハンマー現象が生じる場合に、その対策のために設ける通気施設のことをいう。

**立 坑** 立坑は、施工時の機能面から施工立坑として発進立坑、到達立坑に分類され、運用面から地下河川の施設としての完成後、流入立坑、排水立坑および中間立坑に分類される。

中間立坑は、トンネルの延長が長い場合に計画する立坑で、トンネル掘削のための発進立坑、到達立坑、急曲線部での方向転換のための立坑を兼ねる場合があり、トンネル完成後の維持管理用排水施設や調圧水槽・換気施設などのための立坑として利用される。

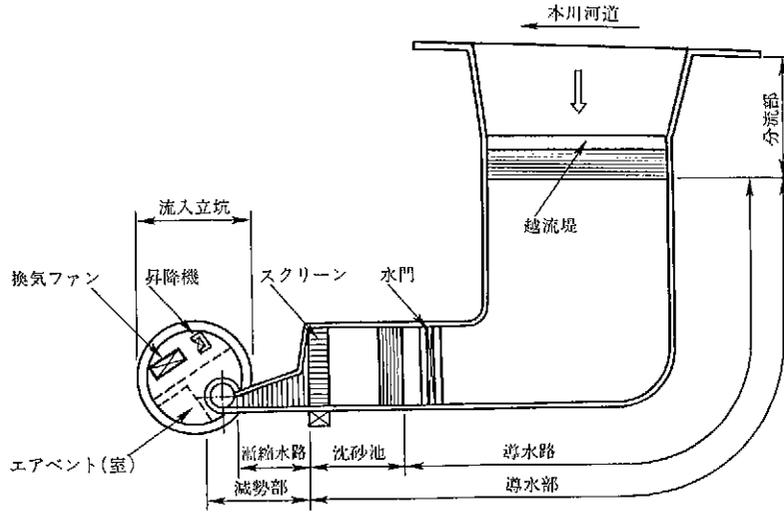
**排 水 施 設** 排水施設とは、トンネル内に流入・貯留した流水を排除する施設であり、一般的に次に示す各部からなる。

- ・排水部

排水部とは、排水立坑（ウエットエリア、ドライエリア）および調圧水槽からなり、トンネル内の流水を機場部へ導水する施設である。

第1章 総 則

平面図



断面図

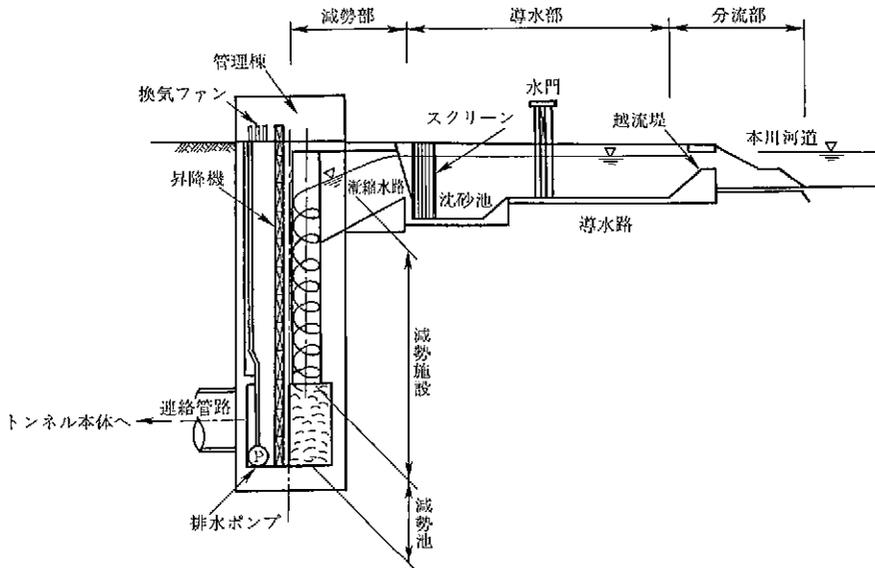


図 1-8 流入施設の名称 (渦流式)

- ・調圧水槽

調圧水槽とは、ウォーターハンマー（水撃作用）を緩和するための自由水面を持った水槽をいう。

- ・機場部

機場部とは、吸水槽およびポンプ設備からなり、排水部から導水された流水を排水する施設である。

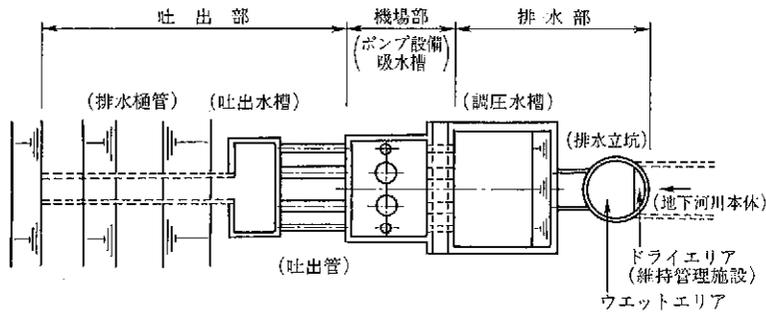
- ・吸水槽

吸水槽とは、調圧水槽からの流水をポンプに導くための施設をいう。

- ・吐出部

吐出部とは、吐出水槽および排水樋門などからなり、機場部から排水された流水を河道または海域に排水する施設である。

平面図



断面図

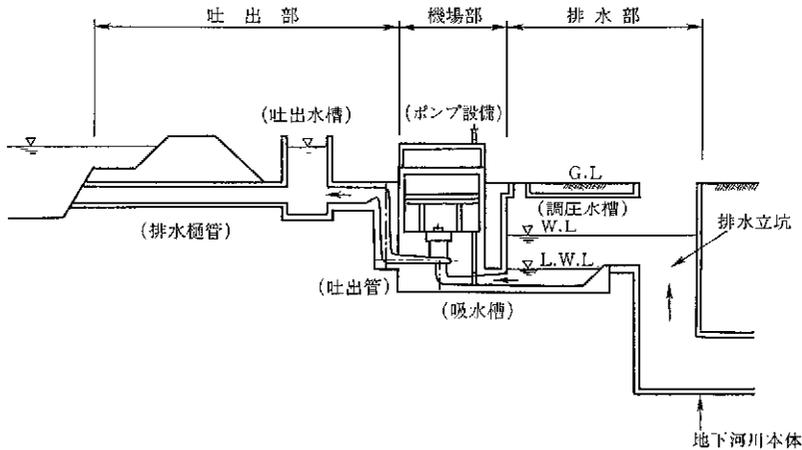


図 1-9 排水施設の名称

・吐出水槽

吐出水槽とは、ポンプと排水先との間に設ける調圧機能を兼ね備えた水槽で、排水の勢いを減じ、河岸または堤防に支障を及ぼさないために設けるものである。

1.6.3 トンネル構造に関する用語の定義

**一次覆工** 一次覆工とは、地山を直接支持して所定のトンネル内径を保持するとともに、施工上および構造上必要な機能を有する永久構造物である。シールドトンネル工法の一次覆工は、シールドテール内で直ちに施工され、そのセグメントには一般的に鉄筋コンクリート、ダクタイル鋳鉄などが使われている。山岳トンネル工法などにおいては吹付けコンクリート方式などによる例もある。

**二次覆工** 二次覆工とは、一次覆工の内側に無筋または鉄筋コンクリートの場所打ち工法などにより施工され、セグメントの補強、粗度係数の調整、トンネルの防水、防錆、蛇行修正への対応などを目的とする構造物である。

1.6.4 地下調節池の複合利用などに関する用語の定義

**複合利用** 複合利用とは、一体施設の中で異なる空間を異なる目的で施設を利用することをいう。

**多目的利用** 多目的利用とは、一体施設の中で同じ空間を異なる目的で施設を利用することをいう。

1.6.5 維持管理に関する用語の定義

**ドライ管理** ドライ管理とは、洪水後にトンネル本体および調節池本体内の排水を行い、常時は空の状態維持管理を行うものである。ドライ管理は、一般に空運用の場合に適用される管理方法である。

**ウエット管理** ウエット管理とは、洪水後にトンネル本体内に水を貯留した状態で維持管理を行うものである。ウエット管理は、一般に圧力管方式地下河川の満管運用の場合に適用される管理方法である。

## 第2章 地下河川

### 2.1 地下河川計画

#### 2.1.1 地下河川の位置づけ

地下河川は、地形の状況、土地利用の状況、その他特にやむを得ない理由がある場合に限り、設けるものとする。

#### 【解説】

地下河川は、「都市河川計画の手引き—洪水防御計画編—」によると、下記のように位置づけられている。

- ① 地下河川は、洪水時における流下物などによる断面の閉塞など、河道維持のうえでは通常の地上河川に較べて困難な問題が多い。また、流下能力増大の対応が困難な場合が多い。さらには、人為操作が加わる場合もあるなど管理面での課題もあげられる。このため、河道計画において放水路や分水路を計画する場合には、できるだけ地上放（分）水路を採用することが望まれる。
- ② 地下河川は限られた都市空間のなかでの有効な洪水防御対策の一つではあるが、上記の理由から安易に導入すべきものではなく、河道拡幅等にもなう都市機能等への影響の大きさ、治水事業の緊急性、河川環境の向上、施工性、経済性等に充分配慮したうえで代替案との比較のなかで検討しなければならない。
- ③ 地下河川を導入したことによって、何らかの事態で地下河川が使用不能になった場合においても、現状より不利になることがないように、現状の河道はできるだけ最低水準の安全度を付加した上で確保しておくことが望ましい。（例えば、『国土建設の長期構想』（昭和61年）では、中小河川の当面の目標を時間雨量50mmの降雨を対

象とした整備を図ることとしており、やむをえず導入する場合でもこの程度までは河道及びその他地上の治水施設で対処することが基本であると考えられる。)

- ④ 現状の河道を確保することの意義は、都市域における貴重な水辺空間を保持する観点からも重要である。都市域における河道は、他の都市的土地利用と比較すると、その規模と連続性においてきわめてすぐれ、かつ多様な環境機能に富んだ空間を形成している。したがって、地下河川の導入により、土地の高度利用の名目から現状の河道を安易に廃止、縮小するようなことは決して好ましいものではない。
- ⑤ 地下河川の導入にあたっては、河川管理者が土地を所有し全面的な使用権原を有するのではなく、区分地上権などの範囲の限定された権原に基づき、他の施設と立体的あるいは複合的に設置されるよう検討するものとする。

なお、本手引きでは治水計画上位置づけられる地下河川施設について取り扱うが、下水道計画等との関連計画については、十分に調整を図る必要がある。

### 2.1.2 地下河川の計画フロー

地下河川計画は次の手順によって進める。

1. 基礎調査
  2. 地下河川ルート、地下河川本体等の地下河川計画
  3. 施設計画
  4. 維持管理計画
- 2 および 3 の各段階では必要に応じ、水理模型実験による検証を行うものとする。

#### 【解 説】

図 2-1 には、地下河川の調査、計画、実験、設計、施工、維持管理に係わる一連の流れと本手引きとの係わりを示す。

まず、地下河川計画として、設定された基本条件のもとに、地下河川方式、地下河川ルート、地下河川本体計画（縦横断、平面計画等）の順に検討を行い、地下河川方式および諸元を決定する。その際、機能性、経済性等の比較、水理検討、水理模型実験による検証などを行い、必要に応じフィードバックを行う。

また、地下河川の完成までに長期間を要する場合には、必要に応じ、段階的に治水効果を発揮させるための段階整備計画の検討を行うものとする。

## 第2章 地下河川

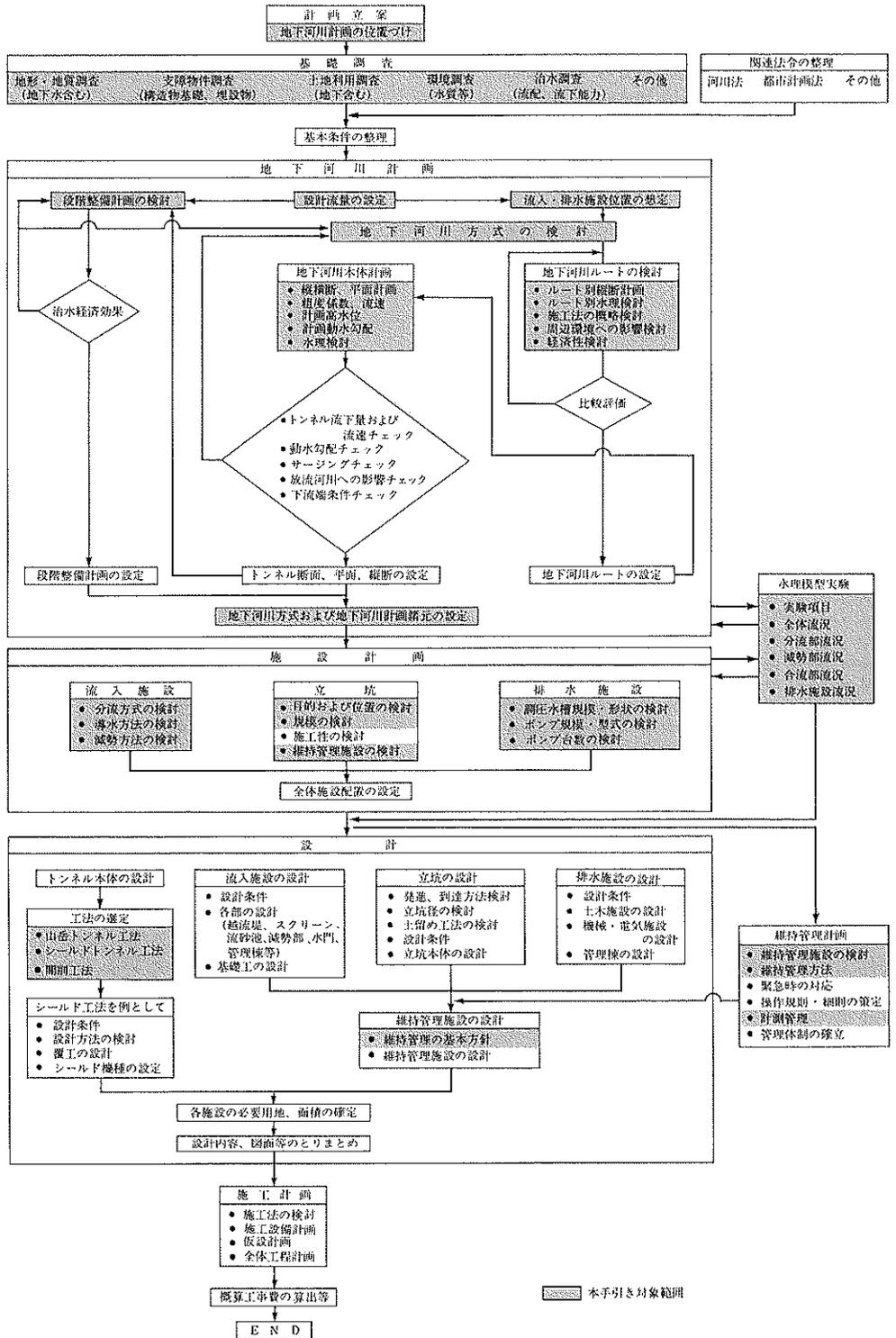


図2-1 地下河川計画のフロー

次いで、地下河川の主要施設である流入施設、排水施設、立坑等の施設計画を行う。

この場合も必要に応じ、施設の形状などについて水理模型実験による検証を行う。

最後に、トンネル本体を含めた各施設および維持管理施設などの設計を実施し、維持管理計画を立案して施工に臨む。

本手引きでは、これらの一連の流れのうち、地下河川計画、施設計画、水理模型実験、維持管理計画を取り扱うものである。

### 2.1.3 基礎調査

基礎調査は、地下河川のルート選定、流入施設、排水施設および立坑などの位置選定を行うため、必要な項目について総合的に行うものとする。

#### 【解説】

地下河川計画に必要となる基礎調査の項目例を以下に示す。

地下河川ルートの比較検討および選定にあたっては、地下河川ルート別の各調査、法的規制に係わる調査を行い、治水上最も効果的で、施工上の問題が少なく、経済的なル

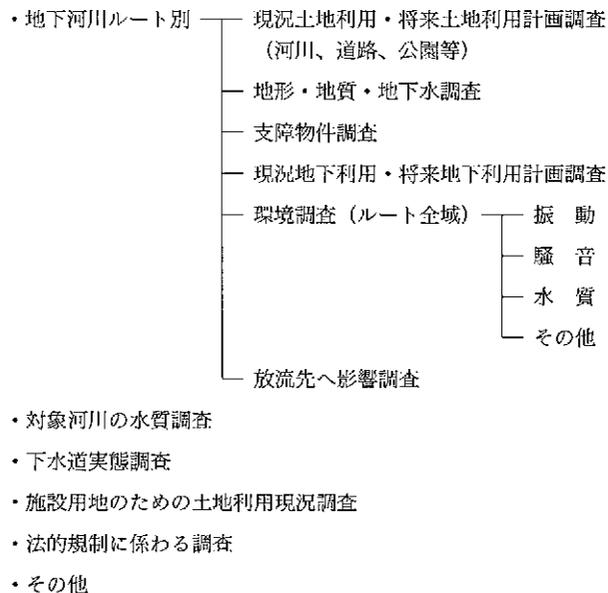


図 2-2 基礎調査の項目例

ートを選定するための基礎とする。

施設位置の選定および各施設計画時には、上記調査に加えて環境への影響やその対策を検討するための対象河川の水質調査、下水道の雨水管渠の配置、管内残留水の処理への対応を検討するための下水道処理能力調査、施設用地のための土地利用現況調査を行い、適切な施設の位置機能および規模などを決定する基礎とする。

#### 2.1.4 設 計 流 量

地下河川の設計流量は、計画流量に対して、トンネル内での水理状態などに応じて適切な流量を設定するものとする。

##### 【解 説】

地下河川の設計流量設定においては、地上河川に比較して流下能力増大の対応が困難であることや、流下物による閉塞の可能性が高いなどの不利な点が考えられるが、地先の河道特性や流域の特性の違い、および開水路方式・圧力管方式、さらにポンプを併用する方式などの方式の違いがあり、一律の割増率を設定できない。

よって、断面に影響を与えるゴミ、土砂等疎通障害の原因となる課題について個別に地先で検討し、適切な割増率を実態論から設定する必要がある。

##### (ア) 開水路方式の場合

開水路方式の設計流量については、計画変更や超過洪水への対応、ゴミ、土砂等による疎通障害などを考慮して計画流量に必要な割増量を与えるのが一般的である。例えば、これまでに実施された事例では計画流量の130%流量としている例が多い。

なお、ポンプ排水方式の場合の流下能力は、ポンプ規模に制約を受けるため、設計変更や超過洪水への対応などに対しては計画流量の割増しによる対応だけでなく、将来におけるポンプ規模の増大への対応の可能性、流入制御方策の検討、超過洪水による圧力状態発生の有無とその対応、サージ現象に対する対応などを総合的に判断して、個々に適切な設計流量ならびに諸対策を設定する必要がある。

##### (イ) 圧力管方式の場合

圧力管方式の流下量は、断面積よりも動水勾配に大きく規定されるものであるから設計流量は計画流量と同一としてよい。圧力管方式の場合のゴミ、土砂等による断面の障害は、別途断面の割増しにより対応するのが妥当と考えられる。

なお、地下河川の段階整備において調節池として運用される場合の貯留容量は、地下河川として設定された断面に対して、段階整備において求められる治水効果を考慮して、適切な貯留容量を設定するものとする。

#### 2.1.5 地下河川ルート of 検討

地下河川ルートの検討は、地形・地質的条件や水理特性のほか、今後の地域整備のあり方などに大きく係わるため、その選定にあたっては現在および将来の展望を十分に把握して比較・検討を設定するものとする。

#### 【解説】

##### (ア) ルート別縦断計画

各ルート別の縦断計画は、地形・地質条件、地下埋設物(特に重要構造物の基礎など)、呑口・吐口の状況、土地利用の現況と計画および地下利用の現況と計画などを十分に考慮して、総合的な観点で立案するものとする。

##### (イ) ルート別水理検討

地下河川ルートの検討においては、ルート別に断面、縦断を仮定し、概略の水理検討を行い、計画流量が水理的に流下可能であることを確認しておく必要がある。

##### (ウ) ルート別施工法の概略検討

ルート別に流入施設、排水施設の概略規模を設定し、地質縦断よりトンネルの施工方法について検討する。さらに、ルート別に中間立坑の位置についても設定し、施工性、施工規模について検討する。

##### (エ) 地下河川ルートの評価と設定

地下河川ルートの検討は、今後の地域整備、取排水先の水域を中心とした周辺環境に与える影響が大きく、将来の展望を見極めたうえで事業実施の諸問題を比較・検討して決定すべきである。

そこで、ルートの評価と設定にあたっては、次のような基本方針に基づいて検討する。

- ① 放水路のルートが治水目標に適合していること。
- ② 将来の他事業と調整が図れること。
- ③ 施工が可能なこと。
- ④ 放流先が確保できること。また放流による影響対策が可能なこと。
- ⑤ 構造上の安全性が確保されること。

- ⑥ 維持管理が容易なこと。
- ⑦ 水理的に問題がないこと。
- ⑧ 事業の効果を早期に発揮できること。
- ⑨ 事業完了までの期間が長い場合には、段階的に施工が可能であると同時に、治水効果が段階的に発揮できること。
- ⑩ 経済効果が明確であること。

なお、ルートの設定によっては開水路方式または圧力管方式となるため、水理検討にあたっては必要に応じフィードバック、検討を行うものとする。

(オ) ルート検討における水理検討の流れ

地下河川ルートの選定、地下河川方式の設定および地下河川計画諸元の設定と水理検討の係わりは、以下に示すとおりである。

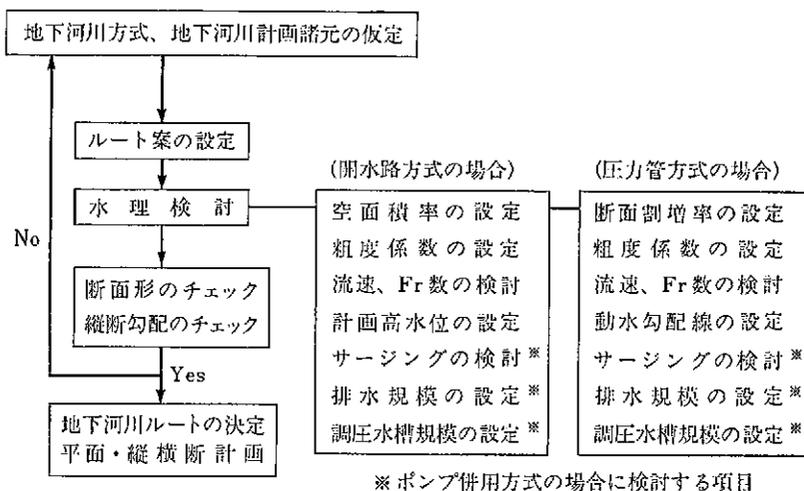


図 2-3 地下河川ルートの選定と水理検討等との係わり

### 2.1.6 地下河川本体計画

#### (1) 地下河川方式の検討

地下河川方式は、流入河川の水位、設計流量、排水先の水位、地下河川ルート上の地盤高を考慮すると同時に、洪水に対する安全性、経済性、維持管理や操作方式、施工性等を検討して設定するものとする。

【解説】

地下河川方式は、地下空間における制約条件がない場合には、施設運用の安全性や経済性を重視し自然流下開水路方式を極力採用すべきである。

地下空間における制約条件から、やむを得ず自然流下開水路方式を採用できない場合には、ポンプ排水開水路方式、自然流下圧力管方式、ポンプ併用圧力管方式の3方式の中から採用することを検討し、水理挙動が不安定となりやすい開水路・圧力管混在方式は、やむを得ない場合を除き、極力避けるべきである。

上記方式の中の優位性については、計画流量、水理条件、地形並びに地下空間の制約条件、ポンプ規模等の諸条件によって変わるが、一般に、圧力管運用をするための動水勾配が確保されれば、施設運用の容易性や安全性、経済性の面から自然流下圧力管方式が有利である。

開水路方式の場合には、計画流量を安全かつ確実に流下できる縦断、断面を計画すると同時に、管内流速や空面積率にも注意を払う必要がある。地下河川が長い場合には、中間立坑部での水理的な検討も考慮する必要がある。

圧力管方式を検討する場合には、地下河川の計画流量が流下できるように水理検討を行い、動水勾配線や流入水位などを設定すると同時に、これらの内水圧に対する安全なトンネル構造について検討する必要がある。また、地下河川の延長が長く満管運用する場合には、管内貯留水の慣性力が大きいため圧力流の発生に時間を要することも懸念されるので、流入初期における管内貯留水の水位変動を確認し、安全かつ確実に計画流量が流下できる施設とする必要がある。

ポンプ併用方式は、地下河川が深い場合には開水路方式を採用すると揚程が大きくなり、ポンプ動力も大きくなるため、圧力管方式のほうが経済的に有利である。

ポンプ併用方式を検討するためには、まず排水先の水位を設定し、機場の規模、トンネル径、流入部での水位、サージ現象やその対策としての調圧水槽の規模などの比較案を数ケース検討して、経済性・施工性・維持管理・暫定運用の有無・用地の確保等を考慮する必要がある。

## (2) 縦断計画

地下河川の縦断勾配は、洪水処理機能や水理的な安定性の確保、維持管理等の観点から適切な勾配を決めるものとする。

### 【解説】

## 第2章 地下河川

地下河川の縦断勾配が適当でない場合には緩勾配の区間で堆積の生じるおそれがある。したがって、全区間にわたり掃流力のバランスを考慮して縦断勾配を設定する必要がある。

圧力管方式の地下河川の流速は、水路勾配に無関係で、動水勾配に関係するため、縦断勾配は維持管理面から決定される要素が強い。

圧力管方式の地下河川の運用において、洪水後の管内残留水の排水を下流端ポンプ場より行う場合は、下流側ほど低くした片勾配とする。

### 参考-1 地下河川における縦断勾配の基本的な考え方

#### 1. 開水路方式のトンネル河川

現行の基準では「縦断勾配は、原則として一様または上流から下流へ勾配を緩から急に変化させるものとする」とされているが、都市域に建設されるトンネル河川の場合には、既設の地下構造物を避けるため、必ずしも一様勾配とすることができない。場合によっては急勾配から緩勾配へと変化する部分が生じている事例もある。こうしたトンネル河川の場合には、土砂などの流入防止装置ならびに非出水期の維持管理（土砂排除）対策等を総合的に勘案して縦断線形を決定する必要がある。

#### 2. 圧力管方式の地下河川

圧力管方式の地下河川の流速は、開水路方式のように水路勾配に支配されるわけではなく、動水勾配に関係する。すなわち、動水勾配を急にして管内流速を大きくすれば管径は小さくてすむが、過大である場合には流れが不安定となり、ライニングの損耗も激しくなることが考えられ、流水のエネルギーが大きいので安全性の点でも不利である。また、動水勾配を緩くすると土砂の堆積が生じやすくなり維持管理上問題が生じる。これらのことを考慮したうえで、適切な設計流速および縦断勾配を設定する。

圧力管方式の地下河川の運用において、洪水後の管内残留水の排水を下流端ポンプ場より行う場合は、下流側ほど低くした片勾配とする。

#### 3. 縦断および平面形状に関するアンケート調査結果

- ・「トンネル河川設計の手引き（案）、建設省土木研究所都市河川研究室、昭和60年3月」より

平均縦断勾配は、ほとんどのトンネル河川が1/1,000以上となっている。これは、もともと急勾配の小規模河川を対象にトンネル河川が多く計画されていることと、トンネル河川の法線が自然河道に比べて直線的であることによるものである。

表を見ると、69%のトンネルが平面的屈曲を有しているが、勾配変化のあるものは少

表 2-1 平均縦断勾配

縦断勾配	トンネル数
1/100以上	22
1/100～1/300	39
1/300～1/500	24
1/500～1/1,000	14
1/1,000以下	11

表 2-2 屈曲の有無

縦断 平面	屈曲の有無		計
	有	無	
有	16	59	75
無	5	29	34
計	21	88	109

ない。勾配変化に関しては、一部に急勾配から緩勾配へ変化する例（縦断的屈曲は地中条件の制約によるものがあり、例えば、既設の地下構造物を避けるために勾配を変化させて対応した例がある）があり、土砂堆積などへの対応が必要と思われる。

### （3）断面計画

地下河川の計画断面は、設計流量を流下させるための十分な断面積を確保しなければならない。

#### 【解説】

地下河川は、水理状態によって開水路方式、圧力管方式および両者混在方式に分類されるが、混在方式の場合には遷移点でトンネル内に負圧が生じてトンネルの安全には悪影響となるおそれがあるため、水理模型実験等により十分検討する必要がある。

#### （ア）開水路方式の場合

開水路方式の場合、浮遊ゴミなどの流下による疎通障害や高速水流による空気圧の低下が生ずる。このため、十分空気が補給でき空気流の流下ができるように、設計流量の流下に必要な断面積の15%を下回らない値を標準として空面積を確保する必要がある。

#### （イ）圧力管方式の場合

圧力管方式の場合には、満流となるため混入空気の状態を模型実験などにより十分把握し、土砂、浮遊ゴミなど地先の特性を考慮した適切な割増しを行うものとする。この場合の断面割増率として10%程度を採用している事例が多い。さらに、空気混入を極力減ずるための呑口形状、管内からの空気抜きなどの対策工を施すものとする。また、流量は断面積よりも動水勾配に大きく規定されることから、設計流量の流下に必要な断面積の決定にあたっては、動水勾配線の設定より検討する必要がある。

## 第2章 地下河川

なお、インバート部分は有効河積に含めないものとする。

また、地下河川の計画断面は、設計流量を流下させる断面から決まるが地下河川の施工の限界からも制約を受ける。参考に現時点におけるシールド工法の最大断面は、東京湾横断道路の152.6m<sup>2</sup>(外径13.94m)、NATM工法では、横浜市地下鉄の145m<sup>2</sup>がある。しかし、これらはいずれも技術の進歩によって変わるものであり、計画年次の状況を考慮して検討する必要がある。

### 参考-1 空面積の意義について

#### 1. 開水路方式の地下河川

トンネル全区間にわたり十分な空断面を確保する意味は以下のようなものである。

- a. 流下能力最大の水深を用いる。
- b. 空気の補給が遮断されると、水位が上昇し、あるいは水面の上下運動が激しくなる。また、騒音発生の原因となりやすい。
- c. 十分な空面積が確保されないと浮遊物が付着し、閉塞のおそれが強くなる。
- d. 空気の補給が遮断されると巨大な負圧を生じるおそれがある。

などがあり、この対策として十分空気が補給できるように、設計流量の流下に必要な断面積の15%を確保することを標準としている。

#### 2. 圧力管方式の地下河川

圧力管方式の地下河川の断面阻害の要因は、

- a. エア
- b. 土砂、浮遊ゴミ
- c. 計算および水理実験では再現できない流れの不安定性

などが考えられる。これらの各要因の定量的裏付けは困難である。

圧力状態である場合どのような流量が流れても（多少のヘッド差があれば相応の流下が可）、空断面は原則として存在しないものの、次の問題発生に対して空断面なしの場合の対処が必要となる。

洪水初期の段階あるいは圧力管となったり開水路となったりする構造では、トンネル内に負圧が生じてトンネル管体の安全上問題となるおそれがある。また、圧力管状態で流下する場合には、トンネル呑口部からの混入空気量が管内の流水のスムーズな流下の障害となることが生じる。

したがって、圧力管方式の設計時には、空断面なしの代替として次のような対策工を施す必要がある。

トンネル内での空気の状況を十分把握し、混入空気量を極力減少させるための呑口の形状およびバースティング現象に対し管内空気抜き対策工（立坑などの利用）を施すが、模型実験を行って種々の現象を確認しておく。

また、開水路状態から圧力トンネルとなる間のトンネル内の圧力変動などに対してトンネル本体の強度の確保にも留意しておく。

なお、空気連行現象については、流速の絶対値がかなり大きな支配力を持っていると考えられるので相似率の適用が難しく、模型実験で現象を再現することは困難な状況にあり、不明な点もあり「設計流量」での対応と併せて、新たに「断面割増率」の概念を導入して圧力トンネルの機能確保を行うものとする。

特に、「断面割増率」の設定は、地先ごとに流入する阻害物質の特性と、その施設での対応策をリンクさせた検討を行って定めるべきでもあり、このための指標となるデータおよび施設整備の検討事項は次のとおりである。

- ア) 本川の流出土砂、流下するゴミなどの観測データによる分析
- イ) 呑口部での除去の方法と施設条件
- ウ) トンネル本体内での流入物質の除去対策

なお、断面阻害のほかにも、維持管理などに必要となる断面積を考慮する必要がある。

### 3. 空面積に関するアンケート調査結果

・「トンネル河川設計の手引き（案）、建設省土木研究所都市河川研究室、昭和60年3月」より

この表は流量割増係数と空断面積率との関係を示したものであり、現行の基準（流量

表 2-3 空断面積率と割増係数

空断面積率 (%) \ 割増係数	0	~10	~20	~30	~50	50~	計
0 ~ 1.0	3	10	8	4	3	1	29
~ 1.2		4	3	3	2	1	13
~ 1.4	2	1	28	9	7	2	49
~ 1.6			3	2			5
~ 2.0		1	2				3
2.0 ~			3				3
計	5	16	47	18	12	4	102

割増係数1.3、空断面積率15%)の記述に従っているものが最も多いことがわかる。しかし、流量割増係数が1.2以下のトンネル河川も42本あり、全回答中の41%を占めている。

これらの多くは現行の基準が発表される前に計画、施工されたもので、計画中のものの中には、その後流量割増係数の見直しを行っている例もある。また、「流出率を大きく見込んである」「放流先に余裕がない」などの理由で流量割増係数を設定していないものもある。空断面積率0（圧力管方式のトンネル）も5例あるが、いずれも地上の構造物（道路など）の制約のためやむを得ないものばかりである。

参考-2 馬場洋二：都市河川の施設画上的留意点—トンネル河川について—、  
日本河川協会、「河川」昭和59年7月号

空面積率15%の意味を明らかにするための実験例を以下に紹介している。

○空面積率の意味

設計流量の流下時において、15%の空面積率が必要とされている。図2-4(b)、(d)の空面積率は、空気の円滑な流下の点からみて望ましくない。ここでは、浮遊ゴミの流下の観点から、空面積率15%の意味を明らかにした実験結果の一例を紹介する。

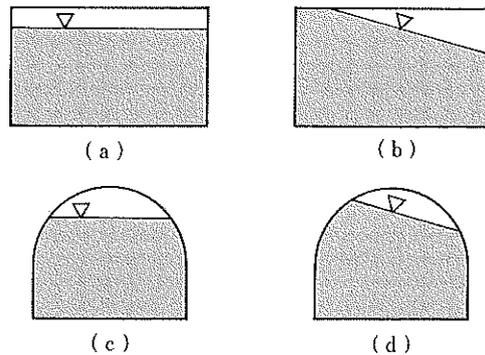


図2-4 空面積率概念図

実験は標準馬蹄形断面 ( $r=6.4\text{cm}$ ) の直線トンネルに、表2-4のような浮遊ゴミを1個ずつ投下し、その沈下速度や引っかかり状況を試験したものである。トンネルは勾配を1/500、1/300、および1/100の3種類とし、流量を変えて種々の相対水深  $H/R$  ( $H$ : 水深、 $R=12.8\text{cm}$ ) の下で実施している。

表 2-4 実験に用いた流木

( $R=2$   $r=12.8\text{cm}$ )

材 質	記号	形状	サ イ ズ
発泡スチロール系	A	棒	$l=R$
	B	棒	$l=R/2$
	C	箱	$R/2 \times R/3 \times R/4$
	D	板	$R/2 \times R/4$
木 材 系	E	棒	$l=R$
	F	棒	$l=R/2$
	G	箱	$R/2 \times R/3 \times R/4$
	H	板	$R/2 \times R/4$

ここに、 $l$ ：流木の長さ

$r$ ：標準馬蹄形断面の半径

表 2-5 引っかかり率 (%)

トンネル 勾配	ゴミの 種類 $H/R$	発泡スチロール系				木 材 系				実験の断面 平均流速 $V_0$ : m/s
		A	B	C	D	E	F	G	H	
1/500	0.5(0.502)	65	10	0	10	0	0	0	0	0.494
	0.6	25	10	0	15	0	0	0	0	0.592
	0.7(0.708)	65	80	0	70	5		0	0	0.636
	0.8(0.807)	75	30	0	10	10	0	0	0	0.596
	0.9(0.888)	100	100	40	70	15	5	0	5	0.568
1.0	100	0	60	100	5	0	5	90	0.596	
1/300	0.5(0.509)	35	5	0	0	0	0	0	0	0.679
	0.6(0.616)	16	2	0	0	0	0	0	0	0.730
	0.7	15	10	0	0	0	0	0	0	0.801
	0.8(0.81)	85	55	0	15	0	0	0	0	0.792
	0.9(0.89)	80	15	0	40	0	0	0	0	0.767
1.0	80	0	0	100	0	0	0	100	0.740	
1/100	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0	1.263
	0.69	5	0	0	0	0	0	0	0	1.453
	0.757	10	0	0	0	0	0	0	0	1.419
	1.0	0	0	0	2	0	0	0	55	1.335

引っかかり状況は表 2-5 に示すようであるが、浮遊ゴミの比重の大きさによって大きな差が生ずる（一般に比重の大きいものには、水中の液体抗力作用面積が大きいので、引っかかりにくいようである）。また、勾配が小さいほど、さらに相対水深が大きくなるほど、引っかかり率が大きくなるようである。

個々の浮遊ゴミの平均沈下速度と相対水深の関係は図 2-5、2-6 に示すようである。図

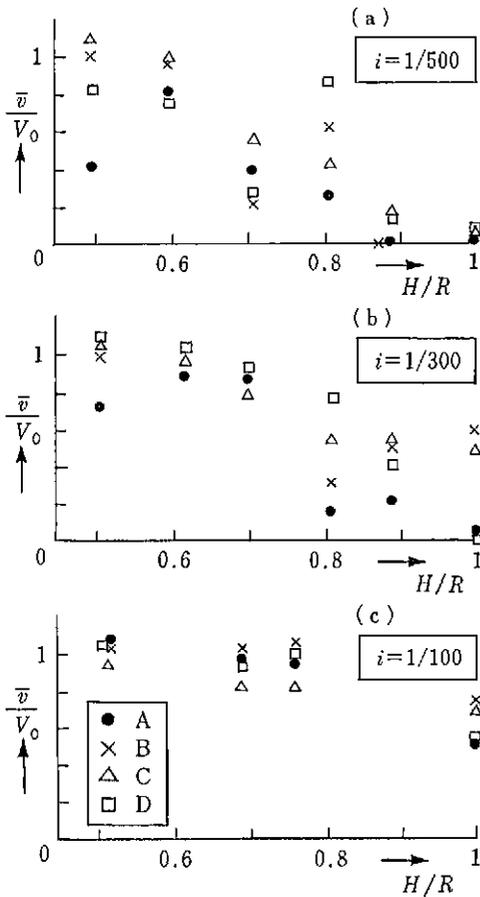


図 2-5  $\frac{\bar{v}}{V_0} \sim \frac{H}{R}$  (発泡スチロール系)

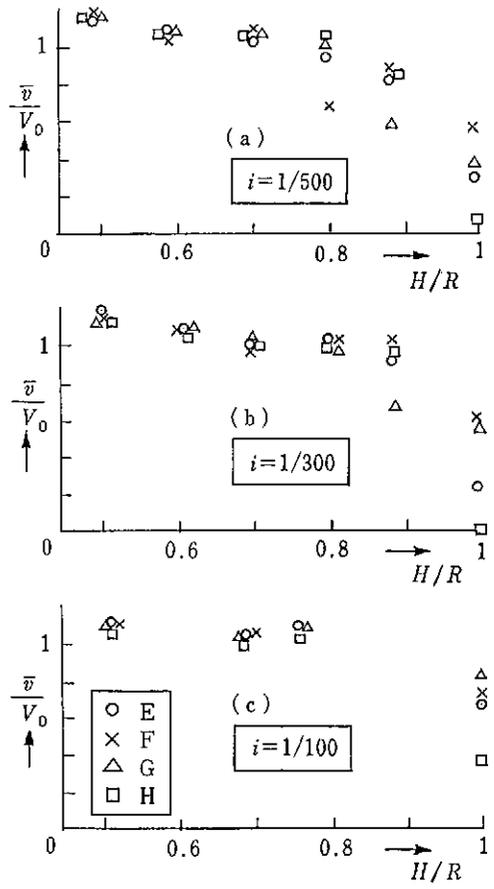


図 2-6  $\frac{\bar{v}}{V_0} \sim \frac{H}{R}$  (木材系)

では、 $V_0$ ：流れの平均流下速度、 $V$ ：浮遊ゴミの平均沈下速度である。詳細な説明は省略するが、いずれの場合においても、 $H/R=0.8$ 付近から  $V$  が大きく減少するようである。標準馬蹄形の場合、空面積率15%は  $H/R=0.79$ であるから、単一の浮遊ゴミの沈下速度の観点からも、空面積率15%程度の必要性が検証できるようである。

なお、種々の浮遊ゴミの混合したもの、特に沈下速度の異なるもの同士は、単一ゴミ以上に極めて引っかかりやすい性格を有していることがわかっている。

#### (4) 平面計画

地下河川の平面線形は、土地利用条件、支障物件（地下埋設物・重要構造物等）、地形・地質条件等の調査を行って決定するものとする。

なお、線形は著しい屈曲を避けるよう留意するものとする。

#### 【解説】

地下河川のルートは地質上十分安全である区間に極力設定しなければならない。ルートは、事前に土地利用条件、支障物件(地下埋設物、重要構造物等)、地形・地質条件等の調査を行って決定するものとする。

平面線形は直線が望ましい。著しい屈曲では断面内に偏流が生じたり、屈曲による抵抗が生じたりするので、特に開水路方式の場合には局部的に流下能力の落ちる区間が生じて好ましくない。

地上部の土地利用条件、地質条件等のために著しい屈曲を避け得ない場合には、水理模型実験などにより流況を検証し、安全を確認する必要がある。

なお、シールド工法で決まる最小曲率半径は、一般的には20×シールド外径といわれているが、中折れ装置などを用いるともっと小さくとれる。

#### 参考-1 シールド工法の曲率半径の例

表 2-6(1) カッター偏心方式の急曲線施工の代表例

No	シールド外径 (mm)	機 種	セグメント仕様		土 質	最小曲率 半径(m)
			外径(mm)	幅(mm)		
1	2,890	土圧式	2,750	750	砂礫 砂	10
			2,690	300		
2	3,480	泥水式	3,350	750	粘土	13
			3,310	300		
3	4,180	泥水式	4,050	900	泥岩	20
			4,000	300		
4	5,250	土圧式	5,100	900	砂質シルト 細砂	15
			5,030	300		
5	6,140	泥水式	6,000	900	泥岩 細砂	20
			5,930	300		
6	7,250	土圧式	7,100	900	粘土 シルト	80
			7,100	450		
7	10,000	泥水式	9,800	1,000	泥岩 細砂	120
			9,800	1,300		

注) セグメント仕様は、上段一般部、下段急曲線部

第2章 地下河川

表2-6(2) カッター屈曲方式の急曲線施工の代表例

No.	シールド外径 (mm)	機 種	セグメント仕様		土 質	最小曲率 半径(m)
			外径(mm)	幅(mm)		
1	3,290	土圧式	3,150 3,100	900 300	シルト細砂 砂 礫 固結シルト	13
2	3,650	土圧式	3,500 3,460	900 300	砂質土 粘性土	20
3	3,700	土圧式	3,550 3,510	900 300	シルト	15
4	3,700	泥水式	3,550 3,490	750 250	砂質泥岩 沖積粘性土	11
5	4,450	土圧式	4,300 4,300	900 300	細 砂 砂質シルト	20
6	5,860	土圧式	5,700 5,680	900 300	細砂、粘土 沖積シルト	25
7	6,150	土圧式	6,000 5,900	900 300	砂質シルト	10

注) セグメント仕様は、上段一般部、下段急曲線部

表2-6(3) 三折中折れ方式の急曲線施工の代表例

No.	シールド外径 (mm)	機 種	セグメント仕様		土 質	最小曲率 半径(m)
			外径(mm)	幅(mm)		
1	1,940	泥水式	1,800 1,800	750 300	砂質シルト 砂	28.5
2	2,170	泥水式	2,000 2,100	750 300	細 砂	15.0
3	2,300	泥水式	2,150 2,150	750 300	シルト混じり砂	15.0
4	3,280	土圧式	2,750 2,750	900 300	砂・シルト 粘 土	25.0
5	3,280	土圧式	3,150 3,150	750 300	砂 礫 礫混じり砂	30.0
6	3,500	土圧式	3,350 3,330	900 375	シルト	15.0
7	3,930	土圧式	3,800 3,800	900 500	砂質土 粘性土	30.0

注) セグメント仕様は、上段一般部、下段急曲線部

- ・「最新のシールドトンネル技術：山本 稔：最新のシールドトンネル技術委員会編：1990年11月：技術書院」より

## (5) 粗度係数

地下河川の粗度係数については、①当該河川の使用頻度、②流入土砂およびゴミの特性、③管内流速等に起因する磨耗の程度、④壁面の維持管理方法等を総合的に配慮し、従来計画実績と粗度の観測資料も参考にして、適切な値を採用するものとする。

### 【解説】

開水路トンネルの断面形状の設計ならびに設計流速の検討において、現行の「河川砂防技術基準(案)」では、断面形状の検討にあたっては粗度係数  $n=0.023$ 、流速の検討の際には  $n=0.015$  を用いることとしている。

設計にあたって2種類の粗度係数を用いるのは断面形状検討の際には供用に伴い壁面が磨耗し、骨材などの露出した状態 ( $n=0.023$ ) を想定し、また、流速検討時には施工直後 ( $n=0.015$ ) の状態を想定して検討するのが安全側となるためと考えられる。

開水路トンネルで行った粗度係数に対する安全側の考え方は、洪水の自然流下を基本とした考え方であり、圧力流となった場合には流れの現象が満管状態となり、流速は動水勾配により決定される。

しかし、その動水勾配の設定を左右する要因の一つには、粗度係数の設定があり、圧力流れの水理検討においても、粗度係数の設定が大きな課題である。

そこで、各基準などで用いられている粗度係数の値を紹介しておく。なお、コンクリートのコテ仕上げと維持管理が良好にできる場合については、 $n=0.015$  を採用している事例が多い。

コンクリートのマンシングの粗度係数は、各基準などでは以下のように評価している。

- |                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| ① 建設省河川砂防技術基準(案)調査編               |                     |
| コンクリート人工水路                        | $n=0.014\sim 0.020$ |
| ② 水理公式集(土木学会)                     |                     |
| コンクリート(コテ押し仕上げ)水路                 | $n=0.011\sim 0.015$ |
| ③ 下水道施設設計指針と解説(下水道協会)             |                     |
| 場所打ち鉄筋コンクリート暗渠                    | $n=0.013$           |
| ④ 通水量計算のための $n$ の標準値(発電水力演習、千秋信一) |                     |
|                                   | $n=0.013\sim 0.015$ |

⑤ わが国の水力発電所導水路粗度係数実測結果の一例（発電水力演習、千秋信一）

40例の実測結果

$n = 0.011 \sim 0.018$

参考-1 各基準などによる粗度係数の事例

表 2-7 建設省河川砂防技術基準(案)調査編における粗度係数

河川や水路の状況		マンニングの $n$ の範囲
人工水路・ 改修河川	コンクリート人工水路	0.014~0.020
	スパイラル半管水路	0.021~0.030
	両岸石張小水路	0.025 (平均値)
	岩盤掘り放し	0.035~0.05
	岩盤整正	0.025~0.04
	粘土性河床、洗掘のない程度の流速	0.016~0.022
	砂質ローム、粘土質ローム	0.020 (平均値)
	ドラグライン掘浚溝、雑草少	0.025~0.033

表 2-8 水理公式集(土木学会)における粗度係数

水理の形式	材料および潤辺の性質	$n$ の範囲	$n$ の標準値
暗 渠	真ちゅう	0.009~0.013	0.010
	溶接鋼管	0.010~0.014	0.012
	リベット鋼管	0.013~0.017	0.016
	塗装	0.010~0.014	0.013
	鑄鉄		
	塗装なし	0.011~0.016	0.014
	コルゲート鋼管 (大型)	0.021~0.031	0.024
	合成樹脂	0.008~0.010	0.009
	ガラス	0.009~0.013	0.010
	モルタル	0.011~0.015	0.013
	コンクリート	0.010~0.020	0.014
	素焼き土管	0.011~0.017	0.013
	上ぐすりした土管	0.011~0.017	0.014
	れんが積み、モルタル仕上げ	0.012~0.017	0.015
ライニング した水路	底を仕上げた下水渠	0.016~0.020	0.019
	鋼、塗装なし、平滑	0.011~0.014	0.012
	モルタル	0.011~0.015	0.013
	水、かんな仕上げ	0.012~0.018	0.015
	コンクリート、コテ仕上げ	0.011~0.015	0.015
	コンクリート、底面砂利	0.015~0.020	0.017
	石積み、モルタル目地	0.017~0.030	0.025
	空石積み	0.023~0.035	0.032
	アスファルト、平滑	0.013	0.013
	ライニング なし水路	土、直線、勾配面水路	0.016~0.025
土、直線水路、雑草あり		0.022~0.033	0.027
砂利、直線水路		0.022~0.030	0.025
岩盤直線水路		0.025~0.040	0.035
自然水路	整正断面水路	0.025~0.033	0.030
	非常に不整正な断面、雑草、立木多し	0.075~0.150	0.100

(Chow, V. T.: Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill/吉川: 水理学、技報堂)

表 2-9 下水道施設設計指針と解説(下水道協会)における粗度係数

粗度係数は、Manning 式および Kutter 式とも、陶管、鉄筋コンクリート管渠などの工場製品および現場打ち鉄筋コンクリート管渠の場合は0.013、硬質塩化ビニール管および強化プラスチック複合管の場合は0.010を基準とする。

表 2-10 通水量計算のための  $n$  の標準値 (発電水力演習、千秋信一)

水路の性状	$n$ の標準値
鋼製型枠を使用して施工した良好なコンクリート巻立水路	0.013
普通のコンクリート巻立水路	0.014
敷だけコンクリートを打った無巻トンネル	0.025~0.030

注) 沈砂池上流側の水路のように流下砂礫のために磨耗される可能性のある水路では  $n=0.015$  とする。

表 2-11 わが国の水力発電所導水路粗度係数の実測結果の一例

(発電水力演習、千秋信一)

発電所名	経過年数	$n$ の値	水路形式	施工状態	発電所名	経過年数	$n$ の値	水路形式	施工状態
芹沢第一 (大分県営)	0	0.011	圧力	鋼製型 わく使用	小 関 (九州)	1 年	0.013	圧力	木製型 わく使用
川治第一 (栃木県営)	0	0.0112	圧力	〃	西 山 (鳥取県営)	1 年	0.013	圧力	〃
大 森 川 (四国)	0	0.0115	圧力	木製型 わく使用	東 和 (電発)	1 年 6 ヶ月	0.0139	圧力	〃
秋葉第一 (電発)	0	0.012	圧力	鋼製型 わく使用	角 川 (関西)	3 年	0.0138	圧力	〃
殿 関 山 (関西)	0	0.012	圧力	〃	層 雲 峽 (北海道)	3 年 6 ヶ月	0.0135	無圧	〃
潮 (中国)	0	0.012	圧力	〃	明 塚 (中国)	4 年	0.014	圧力	〃
中 崎 (北陸)	0	0.0125	無圧	木製型 わく使用	新 鳴 子 (東北)	3 年 6 ヶ月	0.014	圧力	〃
足 寄 (電発)	0	0.013	圧力	〃	波 川 (宮崎県営)	5 年	0.014	圧力	〃
木 檜 日本軽金属	0	0.013	圧力	〃	奥 泉 (中部)	6 年	0.014	圧力	〃
宮川第一 (三重県営)	0	0.0133	無圧	〃	大 牧 (関西)	7 年	0.0139	圧力	〃
小鹿第一 (鳥取県営)	0	0.0135	圧力	〃	椿 原 (関西)	7 年	0.015	圧力	〃
山 口 (関西)	1 年	0.0128	圧力	〃	真 動 別 (北海道)	16 年	0.014	無圧	〃
玖 波 (中国)	1 年	0.013	圧力	〃	虻 田 (北海道)	19 年	0.0125	圧力	〃

第2章 地下河川

発電所名	経過年数	nの値	水路形式	施工状態	発電所名	経過年数	nの値	水路形式	施工状態
藻岩 (北海道)	22年	0.0132	無圧	木製型わく使用	湯山 (九州)	35年	0.021	無圧	一部無巻 または全 断面石積
山須原 (九州)	24年	0.0135	圧力	〃	小鹿野 (九州)	46年	0.0188	無圧	〃
杖立 (九州)	28年	0.015	無圧	〃	同上 (九州)	46年	0.0207	無圧	〃
上飽別 (北海道)	29年	0.0134	無圧	〃	石井 (九州)	49年	0.0178	無圧	〃
中津川第一 (東京)	32年	0.013	無圧	〃	太田 (九州)	49年	0.0197	無圧	〃
金井 (東京)	36年	0.0137	無圧	〃	水天淵 (九州)	50年	0.0188	無圧	〃
女子畑 (九州)	46年	0.0145	無圧	〃	下滝 (九州)	51年	0.018	圧力	〃
飽別 (北海道)	38年	0.0158	無圧	補修のため 断面劣 化著しい					

(6) 流 速

地下河川の設計流速はトンネルの維持管理上安全な流速とするものとする。

【解 説】

開水路方式および圧力管方式の地下河川の断面決定においては、流速についても十分検討する必要がある。流速の決定においては、次の事項について考慮するものとする。

- 1) 常時流下させる水路内の流速は、2～5 m/s程度が適当である。

一時的に大量に流下させる放水路においては、流速を4～7 m/sとすることもあ  
る。

これは、過大な流速は磨耗による水路底の損傷をきたし、ひいてはトンネル構造  
物における大きな力学的弱点となること、また過小な流速はトンネル内への土砂堆  
積をきたすなど不利な点が多いことを念頭においたものである。

#### (7) 開水路方式地下河川の計画高水位

開水路方式の場合の計画高水位は、下流端の排水条件を考慮し、設計流量が流下する場合の不等流水位、または等流水位のいずれか高いほうを基準として定める。

#### 【解説】

開水路方式の場合の計画高水位は、通常河道の計画高水位と同じであるが、下流端にポンプを設ける場合があり、その運転条件および性能を十分配慮しなければならない。また、トンネル内径が異なる場合、その接合方法によっても水位の連続性が異なるため、下流端条件を考慮した不等流水位または等流水位のいずれか高いほうを基準とし、これらを包括する水位を計画高水位とする。

#### (8) 圧力管方式地下河川の計画動水勾配線

圧力管方式による地下河川の計画動水勾配線は、下記のことを考慮して設定する。

- ① 本川河道からの洪水流入の可否
- ② ポンプ揚程の大小
- ③ サージング現象
- ④ 周辺の地盤高さ

#### 【解説】

圧力管方式の場合には、満管流となるため開水路方式における計画高水位の概念は適用されない。

圧力管方式の場合、計画高水位に準ずるものとして、動水勾配線があり、その設定は下記のことを考慮して設定する。

- ① 本川河道からの洪水流入の可否

動水勾配は、洪水流が本川河道よりトンネル本体内部へ流入可能となるように設定するものとする。

- ② ポンプ揚程の大小

ポンプ揚程は小さく設定するほど経済的となるが、その大小が動水勾配に大きく連動するため動水勾配を決定する他の要因と合わせて十分に検討する必要がある。

③ サージング現象

下流端にポンプ施設がある場合は、ポンプの急稼動、急停止時にサージング現象が発生する。サージング現象が発生した場合には、各立坑から洪水が吹き上げるおそれがあり、サージングによる上昇水位を検討し、その上昇分を見込んでおく必要がある。

④ 周辺の地盤高さ

動水勾配線は、可能な限り地表から浅い位置に設定するほうが経済的となるが、サージング現象を考慮しても周辺地盤より高くなならないように配慮する必要がある。

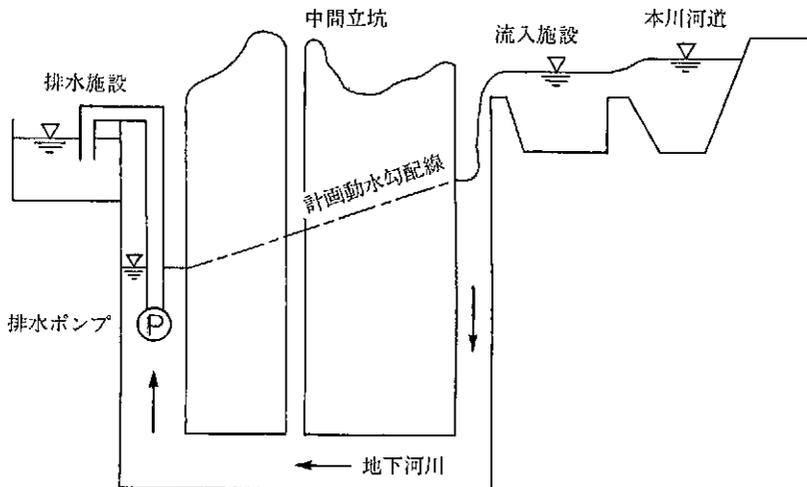


図 2-7 動水勾配線のイメージ図

参考-1 地下河川へ流入可能な流入施設における最高水位設定の検討例

流入施設における地下河川への流入可能最高水位は、地上河川からの流入に影響を与えないような水位として設定する。具体的には、

- ・ 地上河川から流入施設への分流堰
- ・ 流入施設（沈砂池）下流端の堰

において、計画流量が堰を越える際に、完全越流状態を保てるような水位とする。

さらに、連絡管路を持つ立坑については、連絡管路内の流れの損失水頭を見込んだ

水位とする。

【解 説】

地上河川からの流入に影響を与えないという観点からは、流入施設（沈砂池）下流端の堰の下流の水位はできるだけ低く設定するほうが水理的に安定する。しかし、経済性の観点からは、この水位をできるだけ高く設定し、計画動水勾配線を高くするほうが良い。

以上より、本検討例では、通常設けられる上記の2つの越流堰（下流端堰、分流堰）に対して、「本間の越流公式」を適用して満足すべき関係を設定した。

「本間の越流公式」によれば、堰下流部の水深（ $h_2'$ ）が、正面越流の際に発生する堰上流部の水深（ $h_1'$ ）の2/3以下であれば完全越流現象となり、上流側の流入に影響を与えないといえるので、地上河川から流入施設への分流堰の下流側および流入施設（沈砂池）下流端の堰の下流側（流入立坑部）水位を、この条件を満足するように設定することとする。したがって、計画流量に対して地上河川からの流入に影響を与えないような流入施設内（特に流入立坑）の最高水位（流入可能最高水位）は、「本間の越流公式」による条件を満たす水位であり、連絡管路のない場合は流入立坑の最高水位を、連絡管路のある場合は流入立坑の最高水位に連絡管路の損失水頭を見込んだ水位とする。

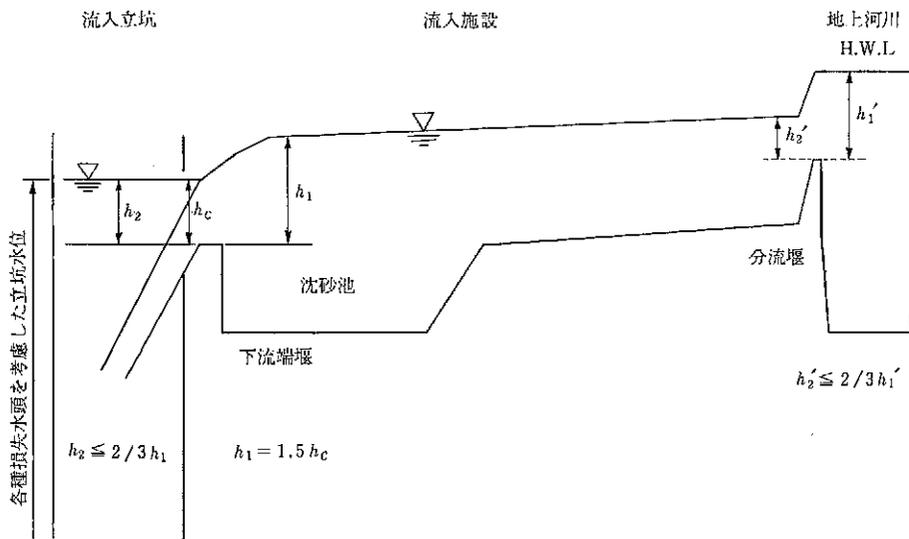


図 2-8 完全越流のモデル図

(9) 水理検討

トンネル断面計画、縦断計画およびポンプ規模の決定などに大きく係わる地下河川の水理検討は、地下河川方式に応じて行うものとし、定常計算のみならず、必要に応じて非定常計算やサージ現象などについても行うものとする。

【解説】

(ア) 地下河川方式および計画諸元の検討と水理検討との係わり

地下河川方式ならびに地下河川計画諸元においては、諸条件が密接に関係するため、

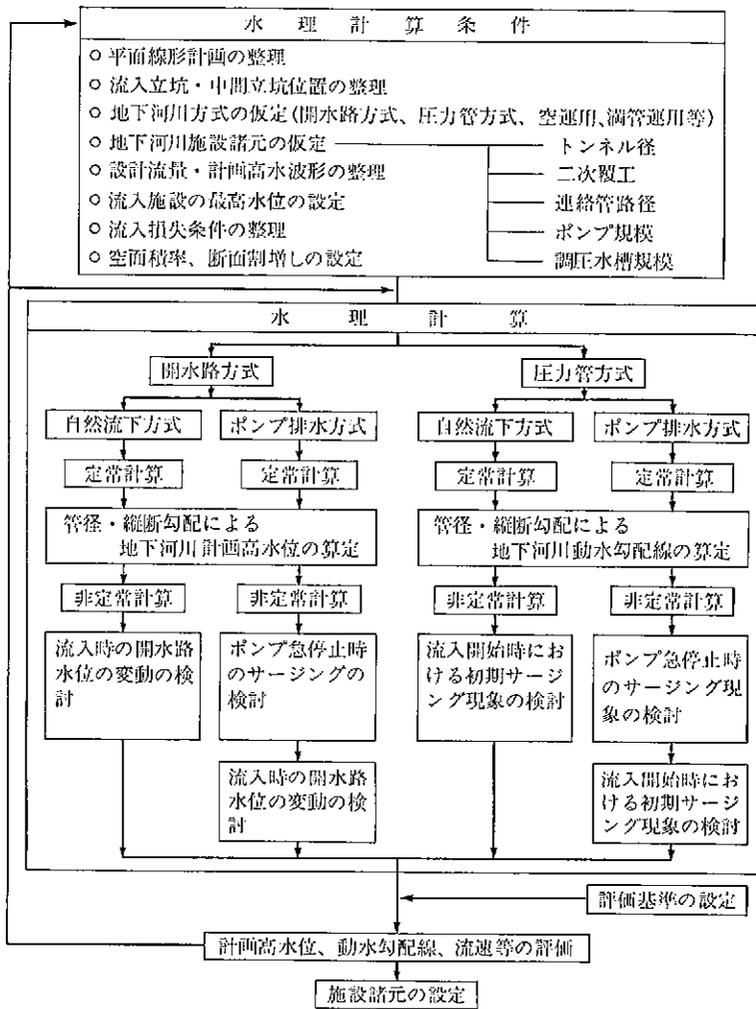


図 2-9 水理計算のフローチャート

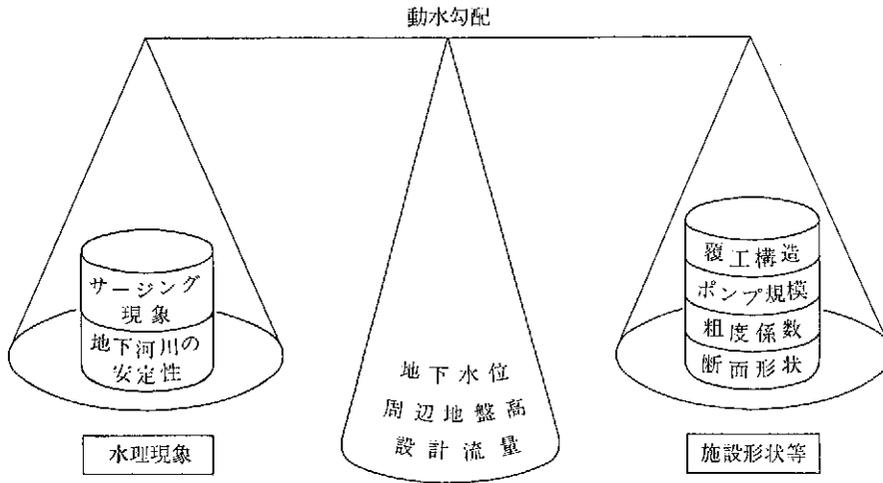


図 2-10 動水勾配に関連する種々の要素

各々の条件を設定するためにはフィードバック検討が必要である。

圧力管方式地下河川では、図 2-10 に示すように、地下水位、周辺地盤高等を条件として、施設形状などと水理現象が動水勾配を介して微妙につり合っていると見ることができる。例えば、断面形状を小さくすると動水勾配線が高くなり地下河川の安定が損なわれ、サージ現象発生時などに洪水の流入が不能となる可能性がある。このような場合、地下河川の安定を図るためにポンプ運転水位を低下させ、動水勾配線を低下させることも考えられる。しかし、このような場合、断面形状縮小とポンプ敷高低下（ポンプ揚程上昇）については、水理的安定性・全体工事費との兼ね合いでどちらが有利であるかを判断する必要があり、最適な動水勾配の設定については、他の要素を含めてフィードバックによる検討が必要である。

(イ) 水理検討結果を評価する項目

(a) 開水路方式の場合

① 自然流下方式

トンネル断面、縦断勾配の判定は、設計流量時の流速、空面積率を指標として、経済性を配慮して行う必要がある。

水理解析では、定常計算による設計流速、空面積の算定のほか、非定常計算による水位変動状況についても把握し、トンネル断面、縦断勾配を判定する。

② ポンプ排水方式

## 第2章 地下河川

開水路方式で下流端に排水機場を設けて排水する場合には、排水機場の揚程（原動機の規模）、調圧水槽の大きさ、トンネル断面および縦断勾配とが密接に関連するため、これらの要素の組合せによる経済比較と維持管理の容易性から適切な諸元の設定を行う必要がある。

水理解析では、定常計算による設計流速、空面積の算定のほか、非定常計算によりトンネル断面と排水機場のポンプ規模が地下河川水位の変動状況に及ぼす影響を把握し、トンネル断面、縦断勾配と排水機場ポンプ規模を判定する。

また、ポンプ急停止・急稼動時においてトンネル本体が圧力状態となる場合が生じるので、非定常時のトンネルの内水圧と排水機場のポンプ規模について検討を行い、適切な施設規模を設定する。

### (b) 圧力管方式の場合

#### ① 自然流下方式

トンネル断面、動水勾配の判定は、トンネル本体、連絡水路、減勢施設（流入立坑）、導を・維持管理の容易さなどを考慮して設定する必要がある。

水理解析は、定常計算における地下河川の動水勾配線の算定のほか、非定常計算による洪水流入時に貯留され静止していた水が流動し始めるのに必要な水頭の算定（初期流入サージ現象の把握）、ゲートなどによる流入急停止時に生じるサージ水位の算定などを行い、トンネル断面、動水勾配を判定する。

#### ② ポンプ併用方式

圧力管方式で下流端に排水機場を設けて排水する場合には、排水機場ポンプ規模、トンネル断面、動水勾配、減勢施設等とが密接に関連する。そこでポンプ規模の決定には、本川河道からの流入への影響やトンネルの維持管理上安全な管内流速であるかどうかを判定しながら、これらの要素の組合せによる経済比較と維持管理の容易性等から適切な諸元の設定を行う必要がある。

水理解析は、定常計算によるトンネル断面、動水勾配等の検討と非定常計算によるポンプ規模などの検討を組み合わせ行う必要がある。

非定常計算においては、流入初期に生じるサージ現象と排水機の急停止・急稼動によるサージ現象について検討を行い、地下河川施設の諸元と排水機場ポンプ規模について判定する。排水機場の調圧水槽の必要面積・容量は、ポンプの始動に要する時間ならびに再稼動時に必要となる容量などを考慮して設定し、ポンプが急停止または急稼動したときに発生するサージ水位から調圧水槽の規模を確認する必要がある。ここで算定されたサージ現象によって、各流入部から洪水

が逆流する場合には、本川河道に水害が発生するおそれがあるため、調圧水槽の規模を大きくするなどの対策を講じる必要がある。なお、調圧水槽だけでは対応が難しい場合には、定常運転水位を下げるなどの配慮が必要となる。

ポンプ併用圧力管方式において通常時にトンネル内を空として運用する場合には、トンネル本体は洪水初期において貯留池としての利用も可能なため、貯留効果について検討を行い適切なポンプ場規模を判定する。

#### (c) 水理検討における留意点と水理模型実験の必要性

水理計算に用いる損失係数などの定数については、次項に示すものがよく用いられるが、流入部や合流部の形式・形状によっては不明確な点もあり、特にそれが地下河川の計画や規模などに大きな影響を与える場合には、水理模型実験によって定数を求めることが望ましい。

また、サージングの予測のように非定常な現象を扱う場合には、検討条件や計算手法によって解が振動する場合がある。特にポンプ併用圧力管方式の地下河川については、サージング現象への対応が地下河川計画の重要な課題ともなるため、このような場合には、全体模型実験によって現象の確認および対策の検討を行うことが望ましい。

#### (ウ) 圧力管方式の場合の定常計算

##### (a) 検討条件

##### 1) 水理計算式

定常状態であって、摩擦その他の原因によって少しも損失が生じないものと考えられるときには、一流線上どの点をとっても、その位置水頭と圧力水頭と速度水頭の和は一定である。

このベルヌーイの定理を式で表わすと、次のようになる。

$$Z + \frac{P}{W} + \frac{v^2}{2g} = \text{一定}$$

$Z$ ：位置水頭（基準面より管水路軸までの高さ）

$P/W$ ：圧力水頭

$v^2/2g$ ：速度水頭

図 2-11 において、 $(Z + \frac{P}{W})$  の高さ、すなわち位置水頭と圧力水頭との和を表わす水位を結んだ線を動水勾配線という。動水勾配線が、水平となす傾きを動水勾配といい、これを  $I$  で表わす。水はこの勾配に従って流れる。

圧力管内の任意の点 A から B まで水が流れる間に、摩擦その他の原因によりエネルギー

第2章 地下河川

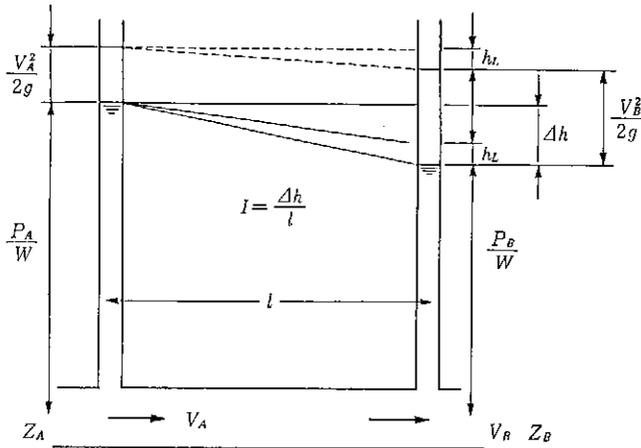


図 2-11 エネルギー線図

一が消失する。この失われたエネルギーに相当する水頭を損失水頭といい、これを  $h_L$  とするとベルヌーイの式は、次のように表わせる。

$$Z_A + \frac{P_A}{W} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{W} + \frac{V_B^2}{2g} + h_L$$

$h_L$  : 摩擦損失水頭と局所損失水頭の和

摩擦損失とは、管路内を流れる水が、管内面の摩擦などによって運動を妨げられることにより生ずる水頭の損失である。

局所損失には、入口、曲がり、急拡、急縮、バルブ、出口等の損失がある。

2) 摩擦損失

(1) 粗度係数

抵抗を表わす尺度として、粗度係数が用いられているが、この係数には管路内面の表面摩擦抵抗、管路内の不規則性による形状抵抗、その他水路断面形状の影響等を考慮し、適切な値を採用するものとする。なお、粗度係数の値は「2.1.6(5)」を参照する。

(2) 管路における摩擦損失水頭

$$h_f = I \cdot L$$

ここで、 $h_f$  : 直管部摩擦損失水頭

$I$  : 動水勾配

$L$  : 管路長

マンニングの式により、管路の平均流速と動水勾配の関係は、

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$V$  : 平均流速

$n$  : マニングの粗度係数

(一般的なコンクリート管)  $n=0.015$

$R$  : 径深 円管の場合  $\frac{d}{4}$

$$R = \frac{A}{p} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{1}{\pi d} = \frac{d}{4}$$

$A$  : 管の断面積

$p$  : 潤辺

$d$  : 管の直径

ここで、マニングの式を両辺2乗して、動水勾配  $I$  について書き直すと以下の式となる。

$$I = \frac{n^2 \cdot V^2}{R^{4/3}}$$

よって、管水路の摩擦損失水頭は、以下のとおりとなる。

$$h_f = \frac{n^2 \cdot V^2}{R^{4/3}} \cdot L$$

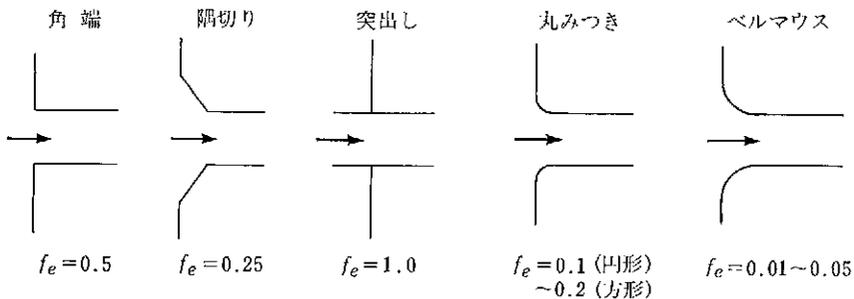
### 3) 局所損失

#### (1) 流入による損失水頭

$$h_e = f_e \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$f_e$  : 流入損失係数

$V_2$  : 流入後の平均流速

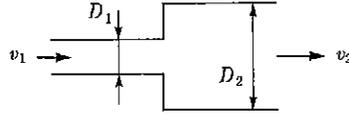


(2) 急拡による損失水頭

$$h_{se} = \frac{V_1^2}{2g} \left\{ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \right\}^2 = f_{se} \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

$f_{se}$  : 急拡損失係数

$V_1$  : 急拡前の平均流速



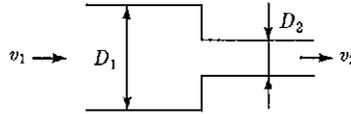
$D_1/D_2$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	(1.0)
$f_{se}$	1.00	0.98	0.92	0.82	0.70	0.56	0.41	0.26	0.13	0.04	(0)

(3) 急縮による損失水頭

$$h_{sc} = f_{sc} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$f_{sc}$  : 急縮損失係数

$V_2$  : 急縮後の平均流速



$D_2/D_1$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	(1.0)
$f_{sc}$	0.55	0.50	0.49	0.49	0.46	0.43	0.38	0.29	0.18	0.07	(0)

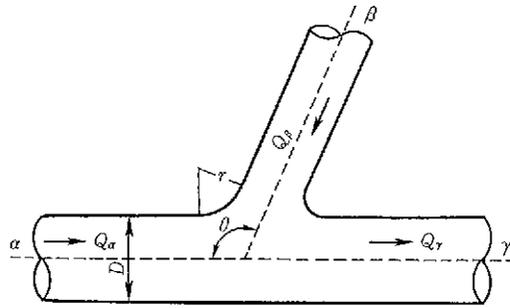
(4) 合流の場合の損失水頭

$$H_\beta - H_\alpha = f_\beta \cdot \frac{V_\gamma^2}{2g}$$

$$H_\gamma - H_\alpha = f_\gamma \cdot \frac{V_\gamma^2}{2g}$$

$$H_\gamma - H_\beta = f_{\gamma\beta} \cdot \frac{V_\gamma^2}{2g} = (f_\gamma - f_\beta) \cdot \frac{V_\gamma^2}{2g}$$

$$f_\beta = -0.95(1 + q\beta)^2 + q\beta^2 \left\{ 1 + 0.42 \left( \frac{\cos\theta}{\psi} - 1 \right) - 0.8 \left( 1 - \frac{1}{\psi_2} \right) + (1 - \psi) \left( \frac{\cos\theta}{\psi} - 0.38 \right) \right\}$$



$$f_{\gamma} = q_{\beta}^2 \{ 2.59 + (1.62 - \sqrt{\rho}) \left( \frac{\cos \theta}{\psi} - 1 \right) - 0.62 \psi \} + q_{\beta} (1.94 - \psi) - 0.03$$

$$f_{\gamma\beta} = (1 + q_{\beta}) \{ 0.92 + q_{\beta} (2.92 - \psi) \} + q_{\beta}^2 \left\{ (1.2 - \sqrt{\rho}) \left( \frac{\cos \theta}{\psi} - 1 \right) + 0.8 \left( 1 - \frac{1}{\psi^2} \right) - (1 - \psi) \frac{\cos \theta}{\psi} \right\}$$

$H_{\alpha}$ 、 $H_{\beta}$ 、 $H_{\gamma}$ ：管  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  の全水頭

$f_{\beta}$ 、 $f_{\gamma}$ 、 $f_{\gamma\beta}$ ：損失係数

$V_{\gamma}$ ：管  $\gamma$  の平均流速（合流後の流速）

$\theta$ ：本管と支管の交角

$\psi$ ：支管と本管の断面積比 ( $A_{\beta}/A_{\gamma}$ )

$\rho$ ：支管と本管との接続部の面取り半径  $r$  と本管直径  $D$  との比

$q_{\beta}$ ：支管流量  $Q_{\beta}$  と合流後の流量  $Q_{\gamma}$  の比 ( $Q_{\beta}/Q_{\gamma}$ )

ただし、 $q_{\beta} < 0$  とする。

(5) 流出による損失水頭

$$h_0 = f_0 \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

$f_0$ ：流出損失係数（管水路の出口が、水面下にあるときは、流出した水は、その貯水と突き当たり速度水頭の大部分を消失し、一部は圧力水頭に戻る。しかし、圧力水頭に戻る率は非常に小さいので、速度水頭の全部が消失するものとする。）

$$f_0 = 1.0$$

$V_1$ ：流出前の平均流速

(6) 曲がりによる損失水頭

$$h_b = f_{b1} \cdot f_{b2} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

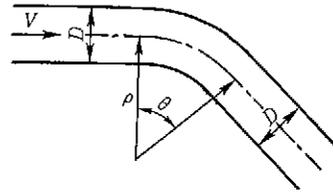
第2章 地下河川

$f_{b1}$  : 曲がりの曲率半径  $\rho$  と管径  $D$  との比によって決まる損失係数  
(曲がりの中心角  $90^\circ$  の場合)

$f_{b2}$  : 任意の曲がり中心角  $\theta$  の場合の損失と中心角  $90^\circ$  の場合の比

$$f_{b1} = 0.131 + 0.1632 \left( \frac{D}{\rho} \right)^{7/2}$$

$$f_{b2} = \left( \frac{\theta^\circ}{90^\circ} \right)^{1/2}$$



4) 参考文献

水理公式集 昭和46年版、昭和60年版 土木学会編

(エ) 圧力管方式の場合の非定常計算

開水路と圧力流が混存する現象を表現できる非定常計算としてスリットモデルがある。以下に圧力管モデルとの比較を示す。

表 2-12 (1) 圧力管方式における水理モデルの比較

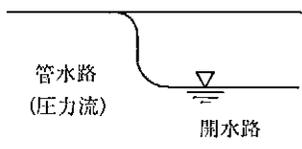
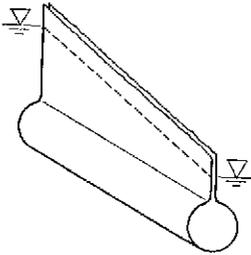
圧力管モデル*1	スリットモデル	備 考
 <p>開水路と管水路の出会う界面を考え、開水路と管水路を切り換えて計算する。 開水路と管水路の判別 水位 ≤ 管頂……開水路の基礎式 水位 &gt; 管頂……管水路の基礎式</p>	<p>開水路流と圧力流の混在する流れの解析をする場合、開水路から圧力流への遷移状態を含めて、開水路・圧力流間の連続的な移行を可能とするモデルとして、開水路不定流スリットモデルがある。</p> <p>スリットモデルは、計算上、管頂部に連続的に極狭いスリットがあるものと考え、水面が管頂に達してから以降は、このスリットモデルの中の水位で解析を行うものである。このモデルでは流れの基本式は開水路の運動方程式であり、スリット内に発生する水面は開水路の自由水面を示す。この水面は、圧力流れにおけるピエゾ水頭に相当しこれにより、圧力流れを開水路の方程式により擬似的に解析することとなる。</p>	<p>圧力管モデルでは、開水路と圧力流の式を区別して扱っている。</p> <p>また、圧力波の伝播速度を考慮している。</p>

表 2-12(2) 圧力管方式における水理モデルの比較

圧力管モデル	スリットモデル	備 考
	 <p>ピエゾ水頭……            管路流水のある断面において、管頂から圧力水頭 (<math>P/\rho g</math>) 相当分だけ上昇させた水位のこと。従って、管路流状態で発生する内圧を評価する場合は(ピエゾ水頭)-(管頂高)とする。管路系の各断面のピエゾ水頭を結んだ線が動水勾配線である。なお、ピエゾ水頭に速度水頭 (<math>v^2/2g</math>) を加えたものが当該断面におけるエネルギー水頭を表わす。</p>	
<p>開水路流            運動方程式  <math display="block">g \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g(S_1 - S_0) = 0</math>           連続式  <math display="block">\frac{\partial y}{\partial t} + v \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{C^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = 0</math> <math display="block">C = \frac{\sqrt{gA}}{T}</math>           ここに、<math>y</math> : 水深、<math>v</math> : 平均流速、<math>A</math> : 流路断面  <math>C</math> : 波の伝播速度、<math>S_0</math> : 水路底勾配  <math>S_1</math> : 摩擦勾配 (マンニングの式)  <math>g</math> : 重力加速度</p> <p>圧力流            運動方程式  <math display="block">g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g(S_1 - S_0) = 0</math>           連続の式  <math display="block">\frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{C^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = 0</math></p>	<p>運動方程式  <math display="block">\eta \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha}{g} v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v}{gA} q - i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2  v  v}{R^{4/3}} = 0</math>           連続の式  <math display="block">\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(Av)}{\partial x} = q</math>           ここに、<math>i</math> : 水路の底勾配、<math>v</math> : 平均流速  <math>h</math> : 水路底に直角に測った水深  <math>n</math> : マニングの粗度係数、<math>A</math> : 断面積  <math>q</math> : 横流入量、<math>x</math> : 流下方向距離  <math>\eta\alpha</math> : 補正係数 (流速分布で決まる)  <math>g</math> : 重力加速度、<math>t</math> : 時間、<math>R</math> : 径深            スリットモデルは開水路の現象として解くため、圧力流式は用いない。</p>	<p>(1) 両モデルとも横流入量は基礎式に含めていない。            (2) スリットモデルの補正係数を <math>\alpha = 1</math>、<math>\eta = 1</math> として考えている。</p>

\* 1 「開水路と管水路の共存する水路の非定常解析：真鍋 明、宮代 裕：日本機械学会・精密工学会日立地方講演論文集：1992」より抜粋

(オ) サージング

地下河川の設計にあたっては、サージングの検討を行う必要がある。地下河川の下流端に、排水用のポンプがある場合、ポンプが急停止すると、慣性力を持って進行していた管内の水がポンプ地点で急に止められるため、この地点の圧力が急激に上昇し、その圧力が管内を上流に向かって進行する。

このような現象をウォーターハンマー（水撃作用）と呼び、ポンプが急稼動する場合にも生じる。

また、ポンプ停止に伴い、この圧力上昇以外にも洪水流入による水位上昇が発生する。

これらの水位変動をサージング現象と呼び、対策工としてサージタンクや立坑のサージタンクとしての活用を検討する必要がある。

ウォーターハンマーが生じると圧力トンネル内に異常な圧力変化を生じ、トンネル本体の異常変形、立坑内の水位の急激な上昇がある。このため、一般的には自由水面を持ったサージタンクを設け、ポンプ急停止の場合にはウォーターハンマーによる圧力波はサージタンク水面で吸収し、これより上流のトンネル内の圧力変化を緩和し、またポンプ急稼動の場合にはサージタンク内の水量が一時的に補給されてトンネル内の異常な圧力変化が発生するのを防止する。

表 2-13 にサージングに関する基本的な整理を示し、また図 2-12 にサージング現象の解析フローチャートを示す。

表 2-13 サージングに関する基本的事項の整理

項 目	ウォーターハンマー (水撃圧)	サーging
定 義	ウォーターハンマーとは、ポンプの急稼動急停止に伴い管内圧力波が閉塞域で発生し、一定の伝播速度で管路中を往復し、管路に圧力を加える現象をいう。	サーgingとは、ポンプの急稼動または急停止等が発生した場合、地下河川によって連絡された調圧水槽や立坑間に生じる急激な水位差のことをいう。
伝播速度	$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{W_0}{g} \left( \frac{1}{K} + \frac{1}{E} \cdot \frac{D}{t} \right)}}$ <p>ここに、<math>a</math>：圧力波の伝播速度 (m/s)  <math>D</math>：管内径 (m)、<math>t</math>：管厚 (m)  <math>W_0</math>：水の単位重量 (=1t/m<sup>3</sup>)  <math>g</math>：重力の加速度 (=9.8m/s<sup>2</sup>)  <math>K</math>：水の単位弾性係数  (=2×10<sup>5</sup>l/m<sup>2</sup>)  <math>E</math>：管材(鋼材)の弾性係数  (=2.1×10<sup>7</sup>t/m<sup>2</sup>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>閉塞に要する時間 <math>T</math> が  <math>T &lt; 2L/a</math> のとき……急閉塞  <math>T &gt; 2L/a</math> のとき……緩閉塞  <math>L</math>：管路長、<math>a</math>：伝播速度</li> <li><math>D=12.5\text{m}</math>、<math>t=0.6\text{m}</math> とすると、  <math>a \approx 1270\text{m/s}</math> となる。</li> </ul>	
水の挙動について	<p>ウォーターハンマーは圧力の疎密波として、非常に大きな速度で管内を伝播する。</p> <p>ウォーターハンマーを取り扱う場合は、水は従来のように非圧縮性流体とはみなされなくなり圧縮性をとり入れる必要がある。</p>	<p>ウォーターハンマーの影響を吸水槽内に制約するとともに、流量補給の遅れを調節するために地下河川本体と吸水槽との間に設けられるものがサージタンクである。このサージタンクを設置した場合、その水面は、流入量に応じた水面振動を起こす。この振動はタンクと上流側立坑群との間に生ずる一種のU字管振動であり、その振動周期はウォーターハンマーの周期に比べて著しく大きい。したがって、サージタンクを設けた場合、圧力水路においてウォーターハンマーによる局所的な流量振動を考慮する必要はなく、平均的取扱いで十分である。この種の現象では、水は非圧縮性として扱われる。</p>

(カ) 排水条件

地下河川の洪水排水は地下河川の縦断勾配や地形勾配を利用して、できるだけ経済的に有利な方法で行う必要がある。

その場合、以下の点について考慮する必要がある。

- ① 排水先の河川流や潮流に対する水理学的影響や周辺環境に与える影響について考慮したうえで、排水方式や施設規模を決定する。
- ② 圧力管方式によってポンプ排水を行う場合には、ポンプ揚程の大小によって動水

第2章 地下河川

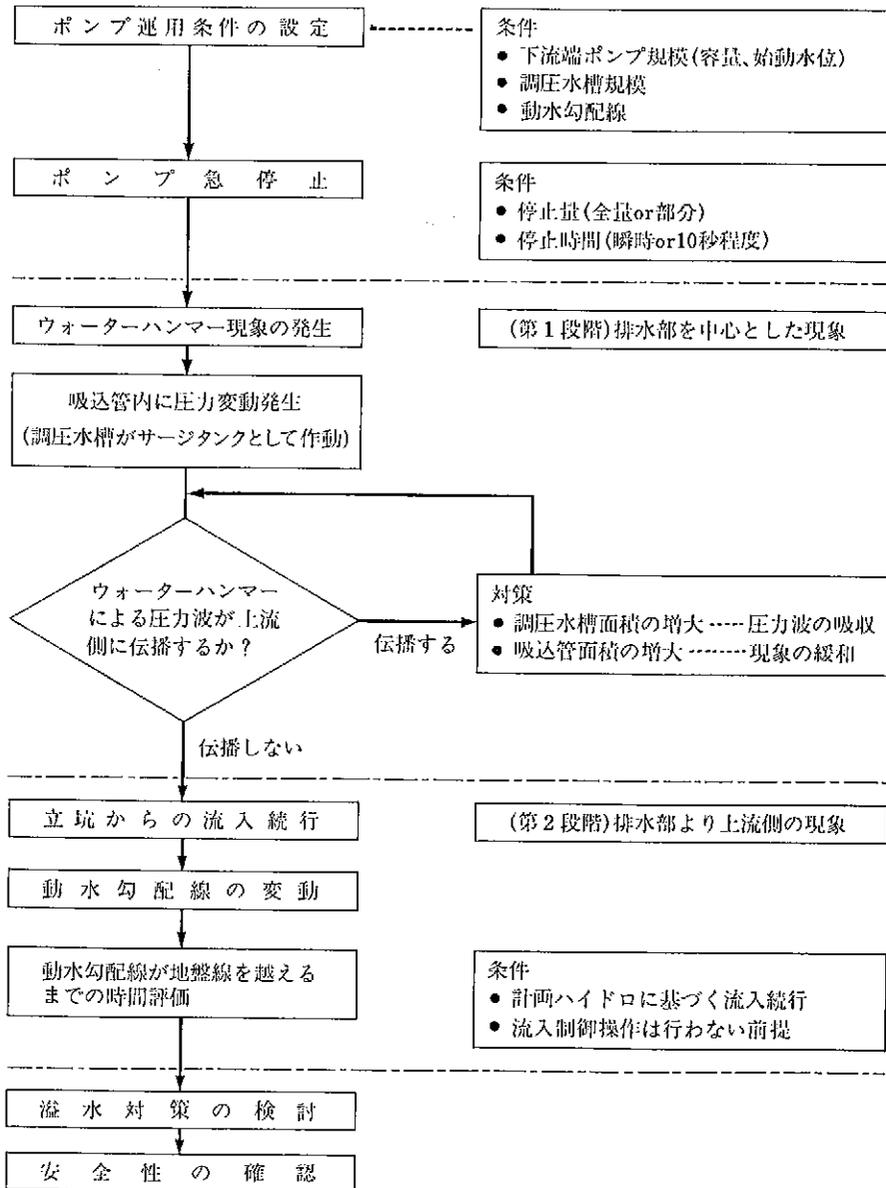


図2-12 サージング現象の解析フローチャート

勾配線が変化することから、地下河川の計画断面はポンプ規模（揚程）と合わせて検討しなければならない。

なお、用地の制約などの理由により排水施設の配置が変則となり、調圧水槽と排水立坑の接続部の流れが偏流すると考えられる場合には、排水施設実験を行って排水条件を検討することが望まれる。

### 2.1.7 段階整備計画

地下河川の延長が長い場合には、事業の効果を早期に発揮させるため、施工の分割と施工性、工程、他の治水対策の整備状況との関連、段階的に達成される治水効果などを十分に検討し、最も効果的な段階整備計画を立案するものとする。

#### 【解説】

地下河川の完成には、通常長期間の年月を必要とし、施工分割ごとの暫定的な運用を行い、事業の効果を早期に発揮させる場合が多い。

実際に行い得る施工の分割とその施工性、全体工程と分割工程との調整、現在の水害実態ならびに河川改修や流域対策といった他の治水対策の進捗状況との係わり、段階的に達成される治水安全度の向上などを総合的に検討、評価し、最も効果的な段階整備計画を立案することが重要である。

この場合、暫定時と最終時には放流先が異なる場合があるため、暫定放流先の状況を十分に把握し、排水施設の規模および排水条件について検討する必要がある。

特に、開水路方式の地下河川を暫定的に調節池として利用し満管となる場合には、内圧を考慮したトンネル構造とするなどの配慮が必要である。また、圧力管方式の地下河川を暫定的に調節池として空運用する場合には、排水施設の規模および排水条件に関して、段階整備と将来計画との整合性について配慮する必要がある。

## 2.2 施設計画

### 2.2.1 流入施設

流入施設は、洪水を安全かつ平滑に流入させる方式を選定するものとする。

#### 【解説】

流入施設は、本川河道の洪水を分流し、地下河川に落とし込む施設で、一般に分流部、導水部、減勢部（流入立坑という場合もある）からなる。

#### （ア）分流部の検討

## 第2章 地下河川

本川から地下河川への分流方式としては、底部取水方式と横越流方式とがあるが、底部取水方式については、ほとんど実績がないため、ここでは取り扱わない。

横越流方式には、

- A 案 固定堰横越流方式
- A' 案 固定堰横越流両岸取水方式
- B 案 転倒ゲート取水方式
- B' 案 転倒ゲート両岸取水方式
- C 案 引上げ式ゲート取水方式
- D 案 本川ゲート+転倒ゲート取水方式

などがあるが、分流の確実性、用地の制約、維持管理の容易性、操作の安全性等を十分に配慮して決定しなければならない。

分流部については横越流方式が多く採用されるため、本川河道の流況によって分流量が異なる場合がある。そのため、水理模型実験によって、所定の流量が分流されていることを確認することが望ましい。

### (イ) 導水部の検討

一般に、河道から減勢部の構造物への導水にあたっては、維持管理上、流木やゴミの流入を防ぐスクリーン、土砂などの流入を防ぐために沈砂池が設けられる。また、導水部の水位が河道本川からの分流に影響を与えないよう水位の設定について配慮することが重要である。

導入部の計画には、これらを含め、一般的に次のような配慮が必要である。

- ・分流部から減勢部間の流速は、揚排水機場で一般に用いられる最大流速0.5～1 m 程度を目安とする。
- ・河川からの流入後には、流木などを阻止するスクリーンを設ける。
- ・河道からの直接の土砂流入を防ぐために、越流堤の敷高を河床より0.5～1 m 程度高くする。
- ・平面的には平滑な形状とし、死水域や局所流が生じないようにする。
- ・地下河川が圧力管形式となる場合には、空気混入量を極力減ずる形状とする。

導水部において沈砂池やスクリーンの効果が問題となる場合については、水理模型実験によってその効果を確認することが望ましい。なお、分流部と導水部の実験は一連で行われることが多い。

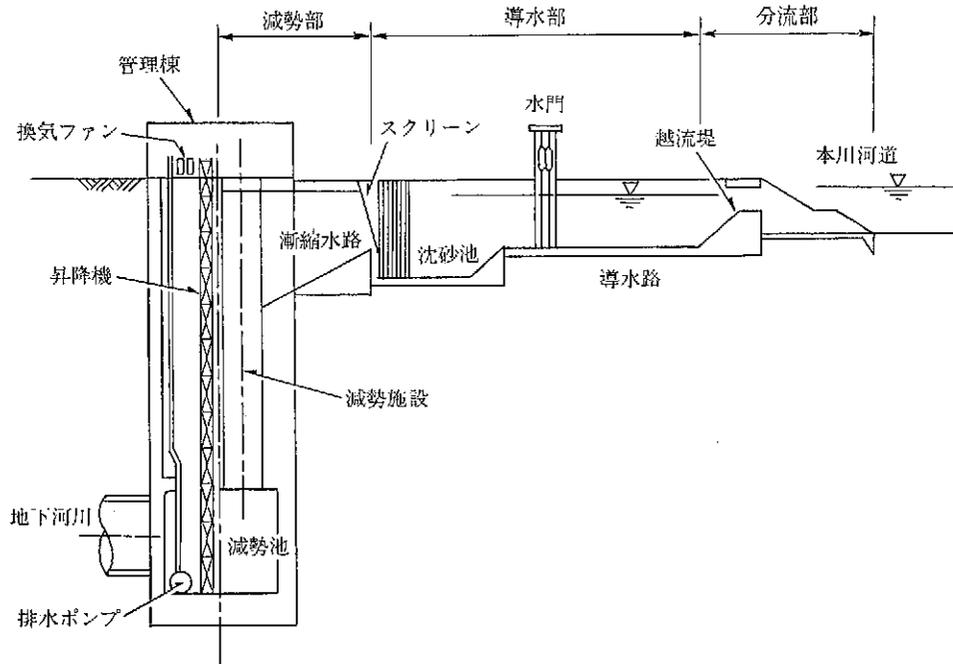


図 2-13 流入施設の例 (渦流式立坑)

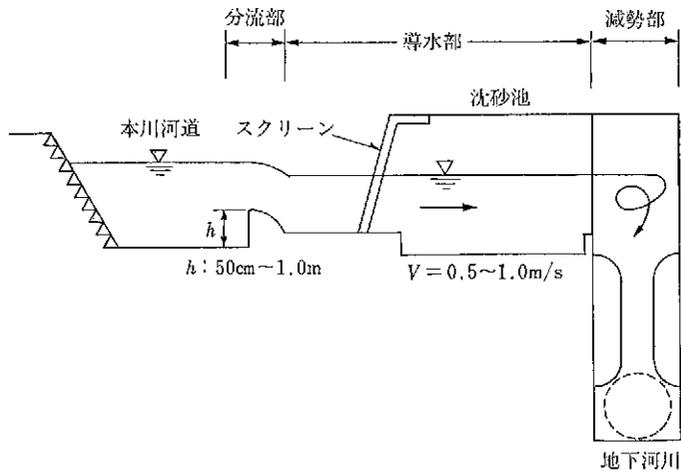


図 2-14 導水路の概要

表 2-14 取水方式別の比較表

	A 案	A' 案	B 案	B' 案	C 案	D 案
模 式 図						
特 徴	自然に越流させる方式である。流入流量は越流水深によって決まる。事例は多い。	A案の改良型で越流距離短くできる。流入流量は、越流水深によって決まる。	一定の越流水深になれば自動倒伏する。起立は人為操作。取水版での事例は多い。	B案と同じであるが倒伏に對する機能をB案より新加させたもの。	人為操作でゲートを引き上げ流量カットする。	B案に加えて下流への渣下量をも本川ゲートでさらに制御したものの。
利 点	人為操作がないので操作ミスがなく、かつ維持管理が容易である。	人為操作がないので操作ミスがなく、かつ維持管理が容易である。越流距離を短くすることができる。	比較的小さいスパンで計画流量をカットできる。用地の節約が可能。	通常の場合、B案の半分のスパンとなり、用地は各案中最も小さくなる。	人為操作のためカット間柱が必要。	越流洪水時でも地下河川に流量があれば下流の洪水被害の軽減が可能。
欠 点	越流問題流量にもよるが、越流堤の長さが長くなり、用流種係が十分でない箇所では設置不可能。	A案より越流堤の底さには短くできるが河床下のボックスカルバート部については流木、土砂等で閉塞される可能性がある。	ゲートに對する維持管理が必要。	B案と同じであるが河床下のボックスカルバート部については流木、土砂等で閉塞される可能性がある。	ゲートに對する維持管理が必要。	C案と同じである。操作が複雑になる。
評 価	人為操作がなく、局所的な集中豪雨による洪水に對しても種案に対応できる。ただし、越流堤を越えたとわずかな洪水もカットすることもあり、維持管理が増える。	サイフォン流入側の水理現象に問題がなく、かつ流木、土砂対応が可能であれば、A案より用地の節約を受けない。維持管理が重要。	越流方式に比べ、洪水のカットが水平カットに近い。効率的なゲートの種案性が検証できれば、用地の節約ができる。	サイフォン流入側の水理現象に問題がなく、かつ流木、土砂対応が可能であれば、B案より用地の節約を受けない。	ゲート操作により最も効率的な洪水カットが可能。ただし人為操作で常態的な管理が要求され、かつゲート操作が難しい。	C案と同じであるが、本川ゲートがあるため操作が更に難しくなる。

## 参考-1 スクリーンの設置について

スクリーンは、流木や浮遊物などの流入により、トンネル断面が閉塞することを防いだり、あるいはポンプ運転に支障を与えないために、導水路に設けるものである。なお、その必要性については、流域の状況、地下河川方式、目的、断面、ポンプの有無および流下物の大きさなどによって検討するものとする。

スクリーンを設置する場合には、以下の考え方に基づいて検討を行うものとする。

スクリーンの設置目的やその形式については、地下河川に分流する本川の流域の特性によって異なる。

例えば、丘陵地を流れる河川を対象とする場合には、流木や流出家屋などが流入する可能性があるため、比較的大規模なスクリーンが設置される場合があり、「河川砂防技術基準（案）計画編 第14節 トンネル河川」では、流水の有効面積の20倍以上確保している例を示している。また、スクリーンの配置や間隔は、対象とすべき流下物およびスクリーン閉塞の可能性より決定される。このようなスクリーンを設置する場合には、水理模型実験を行い、効果や閉塞に対する検討を行うことが望ましい。

一方、都市河川のように都市部を流れる河川を対象とする場合には、し渣などの浮遊物が流入してポンプ運転に支障を与えるので、ポンプ保護などの安全対策として、導水路にスクリーンを設ける。この場合、スクリーンの面積も導水路断面面積程度であり、ス

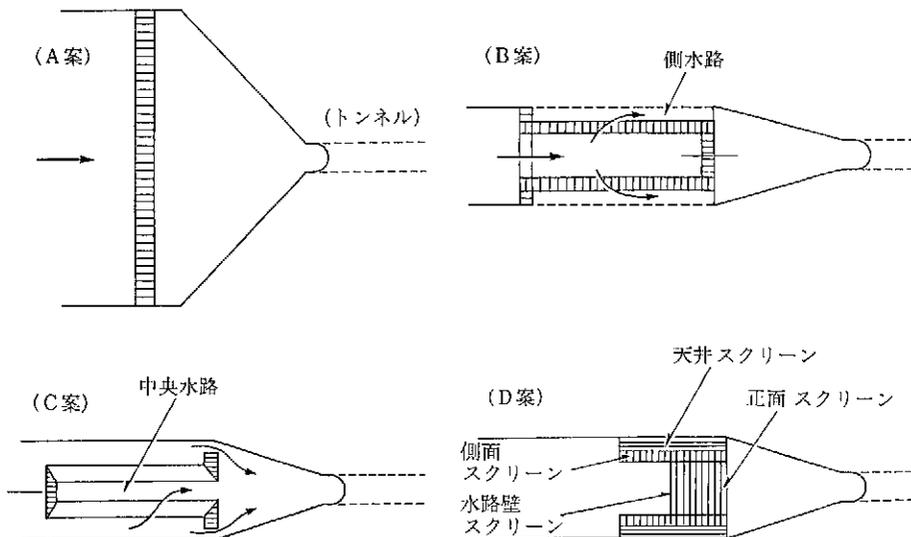


図 2-15 流木を対象としたスクリーンの配置検討例

クリーン間隔も対象とするし渣によって決定されるが、下水道の雨水用スクリーンと同様に25~50mmとする場合が多い。

なお、いずれの場合においても、スクリーン設置に伴う損失水頭を考慮する必要がある。

スクリーン損失水頭による水位上昇は、次式により求める。

Kirschmer (キルシュメール) の式

$$\begin{aligned} \Delta h_r &= h_r + \left( \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) = f_r \frac{V_2^2}{2g} + \left( \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) \\ &\approx f_r \cdot \frac{V_1^2}{2g} \\ f_r &= \beta \sin \theta \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3} \end{aligned}$$

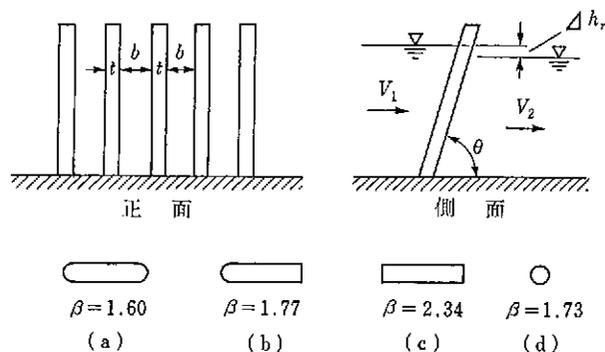


図 2-16 バーの形状と係数

ただし、 $\Delta h_r$  : スクリーンによる水位変化量 (m)

$h_r$  : スクリーンによる損失水頭 (m)

$f_r$  : スクリーン損失係数

$\beta$  : スクリーンのバーの断面形状による係数

$\theta$  : スクリーンの傾斜角 (度)

$t$  : スクリーンのバーの厚さ (m)

$b$  : スクリーンのバーの目の大きさ (純間隙) (m)

$V_1$  : スクリーン上流側 (沈砂池内) での平均流速 (m/s)

$V_2$  : スクリーン下流側での平均流速 (m/s)

(ウ) 減勢形式の検討

減勢施設は立坑と一体となったもので、その基本形式として、

① 落下式

② 斜路式

③ 階段式

などがあり、用地の制約、流れの状況、空気の混入、減勢効果、トンネルに与える影響などを総合的に判断して採用しなければならない。また、減勢施設の形式は地下河川本体への流入流況に大きな影響を及ぼすため、減勢施設の形式は地下河川の流下形態（開水路方式、圧力管方式等）に適した形式を選定する必要がある。例えば、開水路方式の地下河川では地下河川の流況の安定のため減勢効果の高い減勢施設の形式が有利であるが、圧力管方式の地下河川においては地下河川の動水勾配線の低下防止のため減勢施設での損失が少ない形式が有利である。

各減勢形式については、その形状などにより図 2-17 に示す形式に分類できる。次ページ以降に減勢施設の形式の比較表を示す。

形状の決定にあたっては、水理模型実験を行ってその効果を確認することが望ましい。

(エ) 減勢部（流入立坑）の計画

減勢部（流入立坑）は、シールド施工時の発進立坑または到達立坑としても使われることがあるため、

① 立坑に必要施設を組み込んだときの内径

② シールドの施工に必要な内径

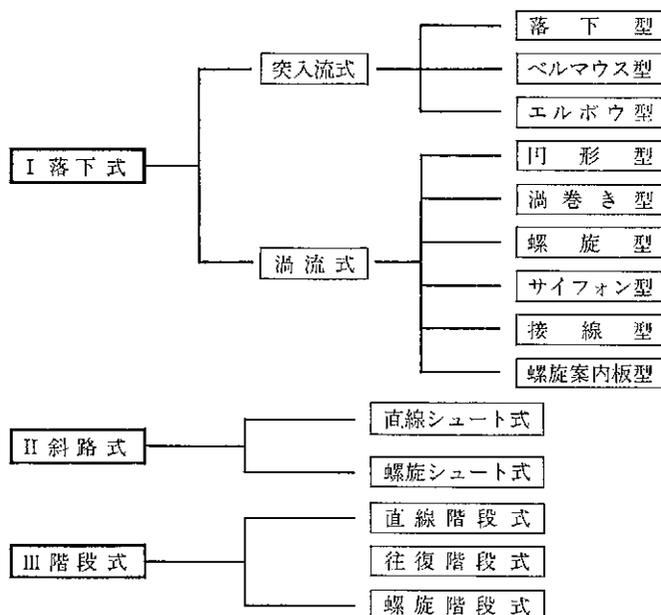
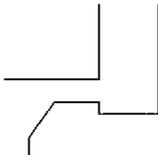
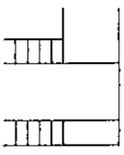
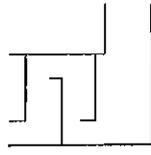


図 2-17 減勢形式の分類

表 2-15 減勢施設形式の比較

基本形式	施設形状と特徴	具体形状	立坑内のエネルギー減勢	空気混入状況	採用状況と事例
落下式	突入流式の各口形状には落下型、ベルマウス型、エルボウ型がある。		落下水が分散しないため減勢効果の水深は渦流式に比べて大きくなると考えられる。 振動・騒音が渦流式に比べて大きくなると考えられる。	渦流式に比べて空気混入は多いとされている。	わが国では発電所貯水池の余水吐きとして採用されている例が多い。 欧米では、ベルマウス型はダムの余水吐きに、エルボウ型は下水道の雨水渠の落差処理に使用される例が多い。 ● 米国シカゴ市 トンネル調節施設 (TARP) $Q = 127\text{m}^3/\text{s}$ $H = 65.5\text{m}$ ● 群馬県 小平発電所 $Q = 24\text{m}^3/\text{s}$ $H = 172\text{m}$ ● 黒部川電力 北小谷発電所 $Q = 35\text{m}^3/\text{s}$ $H = 112\text{m}$ ● 関西電力 発電所 $Q = 46\text{m}^3/\text{s}$ $H = 112\text{m}$
渦流式	渦流を形成させる流入方式には円形型、渦巻き型、螺旋型、捲線型などがあ る。 立坑施設の平面形が階段式やシュート式に比べて小さくなる。		落下水が立坑壁面に沿って流下するため、①摩擦損失が大きいこと、②立坑内で跳水を起こしやす いことから突入流式に比 べてエネルギー減勢は大 きいとされている。	落下水が立坑壁面に沿って流下するため、①流水の乱れが少なく、②立坑内で跳水が起きる場合 には空気がエアコアを 通って上方に抜けること から、突入流式に比べて 空気混入は少ないとされ ている。	わが国では採用の実施事例は少ないが、欧米諸国で実施例が多い。 ● 米国ミルウォォーキー市 下水道施設 $Q = 94\text{m}^3/\text{s}$ ( $Q$ : ピーク流入量、 $H$ : 落下高さ )
斜路式	直線シュート式は立坑の平面規模が螺旋シュート式に比べて大きくなる。 螺旋シュート式は、平面規模が最も小さい形状となり、地下構造物として 適している。		落下エネルギーを下流岩の減勢池に集中させる。 減勢池の規模が大きくなる。	渦流式と同様に、空気混入は少ないと考えられる。 階段式のように、落差途中での跳水による空気浮上はない。	「直線シュート式」 ● 若松大通調節池 (愛知県) $Q = 35\text{m}^3/\text{s}$ $H = 8.5\text{m}$
階段式	直線階段式、螺旋階段式は立坑の平面規模が往復階段式に比べて大きくなる。		落下エネルギーが各階段で分散され、1箇所集中しない。 エネルギーの減勢は各階段ごとに 行えるので、総落差に関係なく 落差を決定できる。	落差を小さく分割するため 空気混入を比較的小さく できる。 空気混入量は総落差に 対して大きく変化しない。	「往復階段式」 ● 東京都 三沢川放水路 $Q = 9.5\text{m}^3/\text{s}$ $H = 30\text{m}$ ● 大阪府 平野川調節池 $Q = 30\text{m}^3/\text{s}$ $H = 30\text{m}$ 「螺旋階段式」 ● 東京都 香川幹線特設入孔 $Q = 6\text{m}^3/\text{s}$ $H = 12.6\text{m}$

参考-2 減勢形式の特徴

表 2-16 (1) 減勢形式の特徴

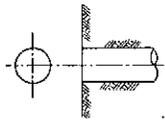
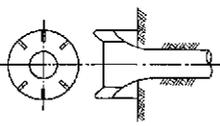
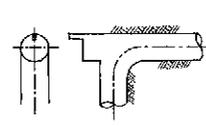
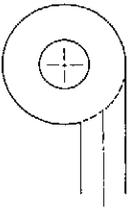
立坑の基本形式	施設形状	水理的特徴	構造的特徴	実施事例・適用箇所等
突入流式 落 下 式	落 下 型 	<ul style="list-style-type: none"> <li>流れの損失が大きくまた安定した流況とならない場合も多く見られる</li> <li>小流量に対応</li> <li>間断的なエアブロー、吸込みが生じる</li> <li>水理的に安定が必要な箇所では利用は困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造的に最も単純な形式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>農業用非水路</li> <li>水運用の呑口</li> <li>水理的な安定性が重要でない箇所</li> </ul>
	ペルマウス型 	<ul style="list-style-type: none"> <li>ペルマウス型では流れは呑口周囲より放射状に立坑に流れ込む</li> <li>計面以上の流入に対しては落下型と同様な流況となり水理的には不安定となる</li> <li>流れが生じている中に設置した場合流入に偏りが生じる</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>貯水池における余水吐としての利用が多い</li> <li>流入水面を有し周囲から流入させる場合に適用</li> </ul>
	エルボウ型 	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気混入が多いと考えられ、空気分離、排気施設を別途考慮しないと流入の安定は困難</li> <li>流入管からの空気の排気などにより、エアブローが生じる場合がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気分離施設、排気施設など地下に大規模な構造物が必要となる</li> <li>地上部の施設規模は小さい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シカゴ市 (TARP) の合流式下水道施設</li> <li>下水道における落差処理に多く用いられている</li> <li>近年、アメリカの大規模施設では渦流方式が多く用いられる</li> </ul>
渦流式 円 形 型 	<ul style="list-style-type: none"> <li>安定した渦流により、高落下状態から高圧力状態までの幅広い水理状態に適用が可能</li> <li>他の渦流式に較べ立坑内部の渦流は速い</li> <li>流入水深を低減する方法として呑口に蓋をして加圧する方法もある</li> <li>流量変動に対し流入が不安定となる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑上部に大きな流入水路施設が必要となる</li> <li>流入施設構造はシンプルな形状</li> <li>菱形型として水路上に流入用ガイドを設けた形式もある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚水管、合流式下水道の設計などにおいて広く用いられている</li> </ul>	

表 2-16 (2) 減勢形式の特徴

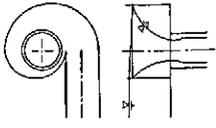
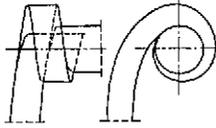
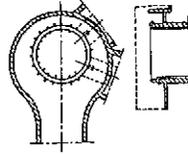
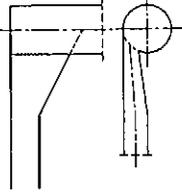
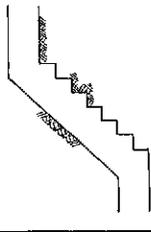
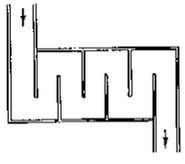
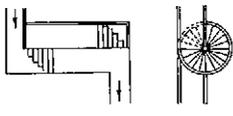
立坑の基本形式	施設形状	水理的特徴	構造的特徴	実施事例等・適用箇所
渦流式 落下式	渦巻き型 	<ul style="list-style-type: none"> <li>円形呑口に較べ流入水深は低い</li> <li>安定した渦流により、高落下状態から高圧力状態までの幅広い水理状態に適用が可能</li> <li>流入水深を深くするために、加圧型渦巻き水路を用いる場合もある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑上部に大きな流入水路施設が必要となる</li> <li>流入施設構造はシンブルな形式である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>渦流式の中では最も広く用いられている</li> <li>流量変動が大きい場合や圧力状態の流入に適している</li> <li>安定した流入となるため適用範囲は広い</li> </ul>
	螺旋型 	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑流入部の流れを射流にできる場合に用いられることがある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造的に複雑なためあまり用いられない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流量変動、圧力状態の変化に対応しやすい</li> </ul>
	サイフォン型 	<ul style="list-style-type: none"> <li>各サイフォンからの放流により渦流を生じさせる方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造的に最も複雑な形式である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小流量を安定して落下させる場合に適用</li> <li>一般的には構造が複雑で他の形式が有利</li> </ul>
	接線型 	<ul style="list-style-type: none"> <li>流入部の急縮部において高速流を生じさせる方式である</li> <li>立坑中心部にエアコアが形成され侵入空気を排気できる</li> <li>流入部において限界流を形成するため流入水路の乱れは立坑内部に影響しない</li> <li>小流量から大流量まで安定して流入できる</li> <li>立坑内部に高速な渦流が生じるため地下河川との合流においては合流損失が大きい</li> <li>接線部の開口幅を調節することで渦流強度を変更できる</li> <li>圧力流状態での立坑における損失水頭が大きい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造的にも単純な形式である</li> <li>立坑径を最も小さくできる</li> <li>流入水路幅、立坑上部の構造物を小さくでき、流入施設径は最も小さい規模である</li> <li>流入施設として最も経済的である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ミルウォーキー市 下水道排水システム</li> <li>高落差、大流量の立坑に適している</li> <li>流入口形状の変更ににより圧力式にも適用可能</li> </ul>

表 2-16 (3) 減勢形式の特徴

立坑の基本形式	施設形状	水理的特徴	構造的特徴	実施事例等・適用箇所
落下式	複断面型	<ul style="list-style-type: none"> <li>立坑水位(地下河川水位)により横線型から突入流式に流入形態が変化する形式</li> <li>水位が低い状態では横線型であるが、水位が高くなり流入入口が水没状態となると突入流式へと変化する</li> <li>横線型の高落差での高い減勢機能と突入流式の高圧力流状態での少ない立坑損失を満足する形式である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造的には複雑な形式</li> <li>呑口形状については横線型や管路直結型などのタイプが接続可能である</li> <li>立坑下部において特別な施設を設ける必要がない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高都圏外郭排水路(建設省)</li> <li>高落差の圧力管方式の地下河川(空運用)の流入方坑に適している</li> </ul>
	螺旋案内板型	<ul style="list-style-type: none"> <li>渦流式において側壁に張り付く流れを案内板を設け水深を確保して流下させる方式</li> <li>案内板に沿って流下するため流れの減勢、空気の排気が効果的に行われるため空気の流入が少なく、安定した流入となる</li> <li>圧力式地下河川においては螺旋案内板が流入に封じし圍害物となり損失を増大させる可能性がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>落差部で流れを壁面から薄削離させないように傾斜をつけるため地下に建設する場合は規模が大きくなる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダム(米国)</li> <li>10箇所、落差15m程度</li> <li>落下高が高く、立坑下部において複雑な場況において適目</li> <li>高い減勢効果が必要な立坑において適用</li> </ul>
斜跨式	直線シユート式	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダムの余水吐けなどでの実績が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>落差部で流れを壁面から薄削離させないように傾斜をつけるため地下に建設する場合は規模が大きくなる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダムの余水吐け</li> <li>地下に建設する地下河川には不適</li> </ul>
	螺旋シユート式	<ul style="list-style-type: none"> <li>渦流式の螺旋案内板形式に較べ渦流より斜跨上の流れが卓越する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>直線シユート式の平面規模を縮小するために考案された形式</li> <li>水流を立坑壁に貼けるため立坑構造が複雑となる</li> <li>渦流式螺旋案内板形式に較べ施設規模は大規模となる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低落差の立坑に利用</li> </ul>

表 2-16(4) 減勢形式の特徴

立坑の基本形式	施設形状	水理的特徴	構造的特徴	実施事例等・適用箇所
階段式	 <p>直線階段式</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落差を段階で処理するため小落差となり減勢は総落差に関係なく各段階での減勢効果により決定される</li> <li>・各段階で落下エネルギーが分散され1箇所に集中しない</li> <li>・流量変動に対し減勢が影響される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各階段の底盤距離が必要なため平面規模は大きなものとなる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多段式落差工 (鳩川分水路、神奈川県)</li> <li>・河川の落差処理に適している</li> </ul>
	 <p>往復階段式</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落差を段階で処理するため小落差となり減勢は総落差に関係なく各段階での減勢効果により決定される</li> <li>・各段階で落下エネルギーが分散され1箇所に集中しない</li> <li>・折り返しの壁において減勢されるため流量変動に対し安定している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落差を階段で処理し、折り返すことにより直線型に較べ立坑規模を縮小できる</li> <li>・各落差で踏水による減勢を行うため踏水のための空間が必要となる</li> <li>・広いスペースが必要となる</li> <li>・立坑内部に階段のステージを設けるため施工は複雑となる</li> <li>・大流量に対しては施設規模が大きくなる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平野川調節池（大阪府）</li> <li>・大流量には適さない、小流量、高落差に適している</li> </ul>
	 <p>螺旋階段</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落差を階段で処理するため減勢は総落差に関係なく各段階で減勢される</li> <li>・流量変動に対し減勢効果が影響される</li> <li>・各段階で落下エネルギーが分散され1箇所に集中しない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直線水筒式の施設規模を縮小</li> <li>・螺旋階段を設ける必要があり施工は複雑</li> <li>・各落差に減勢工を設置し、各ステージでの減勢を図る</li> </ul>	

のどちらか大きいほうの内径を採用するものとする。

立坑に組み込む必要のある施設としては、

- ・減勢施設（立坑上の呑口部と減勢部）
- ・通気管（エアベント）
- ・搬入・搬出用施設
- ・非常用階段
- ・維持管理用施設（排水施設、換気施設、その他）

などがある。

施工に必要な内径は、

- ・シールドマシン
- ・バックアンカー（セグメント、杭鋼、パイプ等の搬入空間）
- ・支圧壁
- ・仮壁はつりおよび搬出
- ・排水ポンプなどの仮設設備

などによって決まる。

## 2.2.2 排水施設

排水施設の計画にあたっては、調圧水槽規模、ポンプ規模により地下河川計画全体に与える影響はもちろんのこと、排水域に与える影響を十分に考慮しなければならない。

### 【解説】

排水施設は、地下河川の洪水を速やかに排水する施設であり、一般に排水部、機場部、吐出部からなる。

#### （ア）排水域への影響

排水域としては、河川または海域となることが多いが、排水域へ与える影響として次の事項に十分留意して排水施設の計画を行う必要がある。

##### （a）排水域が河川の場合

- ・排水先河川の洪水に対する影響（ピークが重ならないか）
- ・低水時に排水する場合の河川水質に与える影響
- ・近接する他施設（排水機場など）との競合

第2章 地下河川

- ・排水先河川の流況や河床に与える影響
- ・生態系などの環境に与える影響
- ・船舶の航行に与える影響
- ・その他

(b) 排水域が海域である場合

- ・高潮と洪水同時発生の可能性と対応
- ・将来の埋立て計画に与える影響
- ・船舶の航行に与える影響
- ・海域の水質に与える影響
- ・生態系などの環境に与える影響
- ・その他

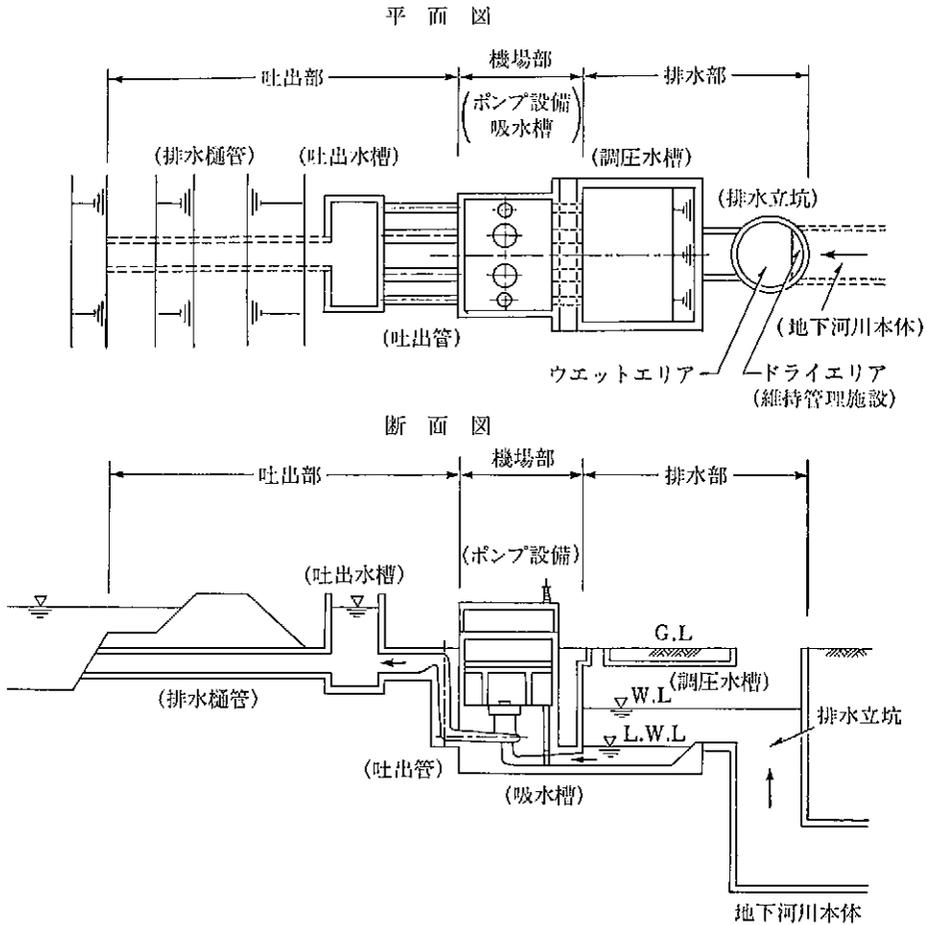


図 2-18 排水施設の例

(イ) 吸水槽の規模

① 吸水槽の幅

吸水槽の幅は、排水機場の幅であり、

- ① ポンプ台数設置に必要なスペース
- ② 維持修繕のためのスペース
- ③ エレベーターなどの搬入出のスペース

から構成される。

①のスペースについては「揚排水ポンプ設備技術基準（案）解説：（社）河川ポンプ施設技術協会：平成2年1月」に準じて求め、②、③のスペースについてはポンプの規模に応じ、必要なスペースを確保するものとする。

② 吸水槽の長さ

吸水槽の長さは、洪水の流速を落とすとともに、流入量と排水量との差を緩衝するのに十分な長さをとる必要がある。「地下河川に関する計画：設計論的比較研究：建設省土木研究所：平成4年3月」によると、実績および計画実例から、下記の値が示されている。

なお、吸水槽の形状には、

長方形形状

円形形状

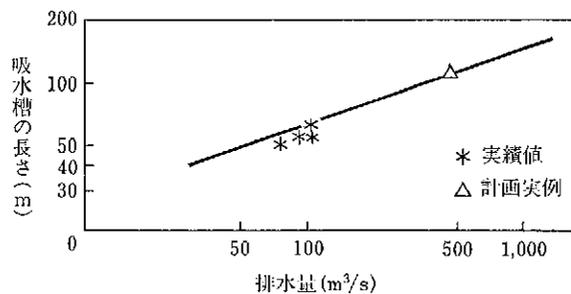


図 2-19 排水量と吸水槽の長さ

表 2-17 排水量と吸水槽の長さ

排水量(m <sup>3</sup> /s)	長さ $L_s$ (m)
50	50
100	65
200	80
300	95
400	100

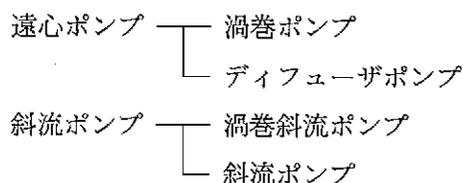
排水量(m <sup>3</sup> /s)	長さ $L_s$ (m)
500	110
600	120
800	130
1,000	140
1,200	150

とがあり、図 2-20、2-21 (p. 72) にその例を示す。

(ウ) ポンプ規模

ポンプの形式は、機種形式と軸形式とに分けると、下記のとおり分類される。

① 機種形式



② 軸形式

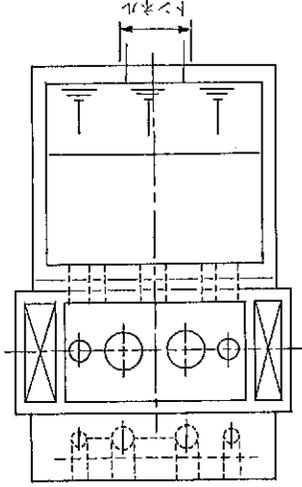
立軸ポンプ

横軸ポンプ

地下河川の計画としては、吐出口100m<sup>3</sup>/s未滿、揚程20~50m程度が多いと考えられ、ポンプおよびポンプ水車に関するメーカー実績より、渦巻ポンプ、ディフューザポンプが適用される場合が多いと考えられる。

なお、軸型式は排水施設の立地条件、水位条件から選定されるが、地下河川に用いるポンプが大規模容量の排水用であることが多く、機場スペースの縮減を図ることができ、ポンプ始動が容易であり、かつ信頼性の向上を図るなどにおいて優れている立軸ポンプが採用されるケースが多いと考えられる。

平面図



断面図

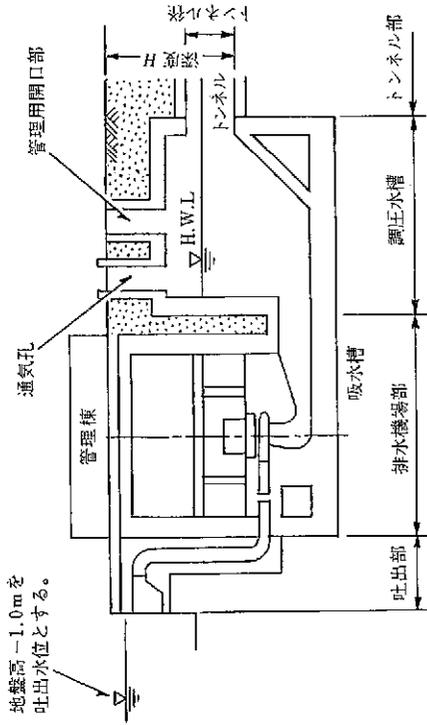


図 2-20 長方形形状の例

断面図

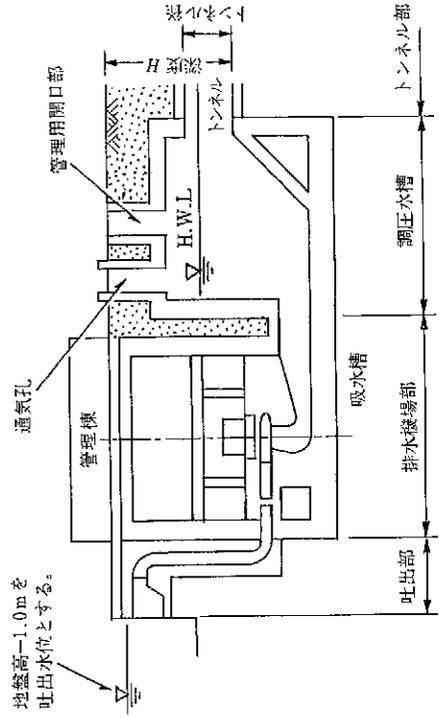
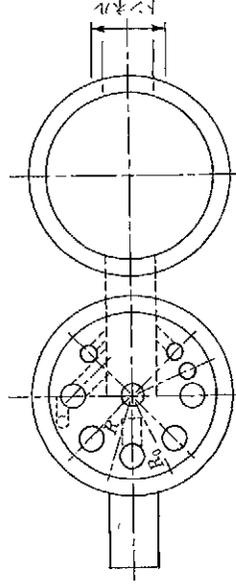


図 2-21 円形形状の例

平面図



## 第2章 地下河川

表 2-18 吐出量、全揚程と適用機種

吐出量	全揚程	適用機種形式
~1,000m <sup>3</sup> /m	30~250m	渦巻ポンプ (ディフューザ含む)
~1,000m <sup>3</sup> /m ~3,000m <sup>3</sup> /m	~ 25m ~ 7m	渦巻斜流ポンプ
~8,000m <sup>3</sup> /m ~7,000m <sup>3</sup> /m	~110m 110~250m	ポンプ水車

次に、台数割については、各施設の運転・操作の方法によって決まるが、「地下河川に関する計画・設計論的比較研究：前出」では、標準的な組合せとして、次の例を示している。

表 2-19 排水量とポンプの組合せ

排水量	台数計	10m <sup>3</sup> /s	20m <sup>3</sup> /s	50m <sup>3</sup> /s	100m <sup>3</sup> /s
50m <sup>3</sup> /s	3	1台	2台	—	—
100m <sup>3</sup> /s	4	1台	2台	1台	—
200m <sup>3</sup> /s	5	1台	2台	1台	1台
300m <sup>3</sup> /s	6	1台	2台	1台	2台
400m <sup>3</sup> /s	7	1台	2台	1台	3台
500m <sup>3</sup> /s	8	1台	2台	1台	4台
600m <sup>3</sup> /s	9	1台	2台	1台	5台
800m <sup>3</sup> /s	11	1台	2台	1台	7台
1,000m <sup>3</sup> /s	13	1台	2台	1台	9台
1,200m <sup>3</sup> /s	15	1台	2台	1台	11台

### (エ) ポンプ揚程の考え方

ポンプ揚程は、排水機場の規模を決定するうえで、重要な項目の一つである。以下に、揚程設定の考え方を整理する。

- ・実揚程……外水位一定常運転水位
- ・全揚程……実揚程+損失水頭
- ・外水位……海の場合——河道計画で用いられている設計出発水位

河川の場合——対象河川の計画流量に排水量が見込まれている場合には H.W.L、見込まれていない場合には対象河川の水位について検討が必要

外水位	内水位（ポンプ側水位）	
▽ 外水位		
	▽ サージング水位	サージング現象が発生したときの水位
	▽ 定常運転水位	通常の洪水時にポンプ運転をした場合の水位
	▽ 始 動 水 位	ポンプを稼動する水位
	▽ 非常停止水位	ポンプ運転を維持できる最低水位
	▽ 調圧水槽敷高	ポンプ停止直前の洪水の流速が 1m/s 以下となる敷高

図 2-22 ポンプに関する水位

(オ) 本体形状

本体の形状は、ポンプおよび原動機の規模・形式とその配置、吸水槽の形状と大きさのほかに、吐出部の規模・形状、電気室、機器室等の大きさ、管理所などの必要スペースから決定される。

ここで、「地下河川に関する計画・設計論的比較研究：前出」に示された、長方形形状の場合の排水施設規模（表 2-20 参照）を例として示す。

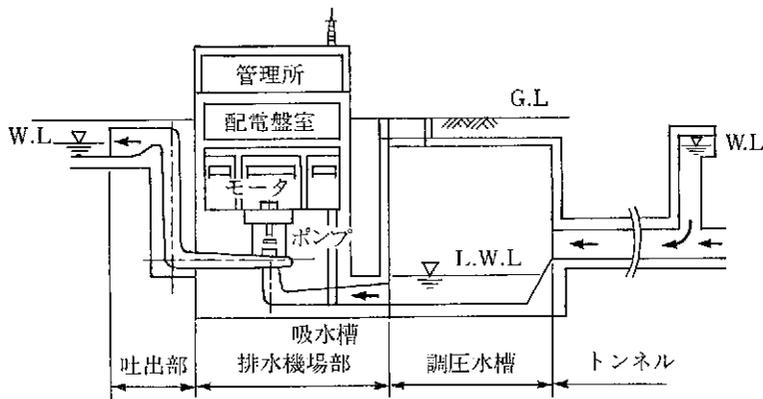


図 2-23 排水施設の全体概要

## 第2章 地下河川

表 2-20 計画排水量と排水施設規模

計画排水量 (m <sup>3</sup> /s)	排水施設幅 $B_s$ (m)	排水施設長 $L_s$ (m)	排水施設面積 $A$ (m <sup>2</sup> )
50	79.0	107.0	8,450
100	98.0	130.7	12,810
200	123.0	154.7	19,030
300	148.0	169.7	25,120
400	173.0	174.7	30,220
500	198.0	184.7	36,570
600	223.0	194.7	43,420
800	273.0	204.7	55,880
1,000	323.0	214.7	69,350
1,200	373.0	224.7	83,810

### 2.2.3 立坑配置計画

施工のための立坑の配置にあたっては、地下河川のルート、流入施設や排水施設などの位置などを十分に考慮し、できる限り地下河川の施設として使用できるよう配慮するものとする。

#### 【解説】

シールド工事においては、一般にシールドの発進部と到達部に立坑を設置する。これらの立坑は、多くの場合トンネル完成後に流入施設、排水施設および排水、換気等の維持管理施設などに使用されるので、工事のための配慮のほかに、地下河川のルート、流入施設や排水施設の位置と規模、地下河川内の空気の排出ならびに維持管理などを十分に考慮し、永久施設として利用できるよう配慮することが必要である。

発進立坑は、シールド機の搬入組立、発進、セグメントや裏込め注入材などの資材や諸機械の搬入、掘削土砂の搬出、給排水、給電、換気、作業員の入出、仮設備の設置等多くの役割を果たす。したがって、計画にあたっては、地上基地も含めてこれらの作業に支障をきたさないよう必要なスペースを確保しなければならない。近年、シールド工事の深層化に伴い、立坑の工期の全体工期に占める割合が高くなってきており、立坑は、シールド機の規模および施工性など十分に検討のうえ、必要最小限の規模とすることが

望ましい。

到達立坑は、シールド機の解体撤去が行われる。また、場合によっては U ターン用立坑として用いられることもある。この場合は、シールド機の回転空間と U ターン設備の設置空間について、あらかじめ検討しておかなければならない。

なお、用地の制約上、到達立坑を設けられない場合には、凍結工法によるピット交換や地中接合する場合もある。

## 2.3 水理模型実験

### 2.3.1 実験目的

地下河川の水理的挙動については、その水理現象が多岐にわたり、例えば空気混入流の水理現象などのように不明な点も多く、数値解析による水理検討のみでは最適な施設設計が困難な場合が多い。水理模型実験は、地下河川で生じる水理現象について把握し、数値解析による水理検討を補完することで適切な施設設計の資料を得ることを目的に実施されるものである。

#### 【解説】

地下河川においては、河川からの分流施設、高落差の減勢施設、大口径の地下河川など、各部において非常状態の種々の水理現象が生じ、それらの水理現象が重なり合っ  
て地下河川での水理挙動を形成する。地下河川計画・施設計画においては、これらの水理現象を把握・解析し、適切な水理施設を計画する必要がある。しかし、数値解析による水理検討では、局所的な流れ・空気混入流などの流れの解析が困難である。また管内に貯留されている初期管内空気の挙動など不明な現象も多い。

そこで、水理模型実験を実施することで、数値解析による地下河川の水理検討で不明な水理現象の把握・解析を行い、適切な地下河川計画・施設計画を策定するものである。

水理模型実験は大きく以下の2つに分類することができる。一つは施設形状などを決定するときに行われる模型実験であり、施設の形状を種々変更し最適な施設形状について検討するものである。もう一つは、数値解析による水理解析において不明な現象、局所的な流れ、数値計算の各定数などについて把握・解析し、数値解析による水理検討に反映する目的で実施されるものである。

## 第2章 地下河川

水理模型実験において把握・解析する主な事項は下記のとおりである。

- ① 地下河川全体系において生じる現象の把握  
(空気混入状態、初期管内空気の排気状況、サージング現象など)
- ② 数値計算などによる解析が困難な局所的な流れの解析、施設形状の決定  
(減勢部での落下流、分流部の横越流の流れなど)
- ③ 水理計算に用いた各水理定数のチェック  
(管路の合流損失、渦流による流れの損失など)

### 2.3.2 実験項目

地下河川の水理模型実験は、地下河川の形式、運用状況、水理状況等により必要に応じて実施するものとする。

#### 【解説】

地下河川においては流入施設から排水施設まで種々の水理施設が計画されるため、各施設の水理機能と地下河川全体の水理特性を把握し、適切な施設を決定する必要がある。

水理模型実験の実験項目には以下の項目があり、地下河川の形式・運用状況・水理状況により必要に応じて実施するものとする。

- ① 全体施設実験  
流入施設から排水施設までの一連の地下河川において、定常時・非定常時の地下河川全体の水理挙動について把握し、各施設が安定してその機能を発揮しているかどうかについて確認を行う。
- ② 分流部・導水路実験  
本川河道から所定の分流量を分流する分流施設や導水路・沈砂池・スクリーン等の地下河川計画で検討されている導水路施設について、分流部の分流特性、導水路の整流効果、沈砂池の沈砂効果、スクリーンによるゴミの捕捉と流れへの影響などについて、計画された機能を発揮しているかどうかの確認を行う。
- ③ 減勢部実験  
導水路から減勢部への流入、減勢部内の流れの落下、減勢部下部での減勢などにおいて、高落差での流れが安定した流れとなっており、地下河川の流況に影響を与えないように十分減勢されているかどうかについて確認を行う。
- ④ 合流部実験

減勢部からの連絡管路と地下河川本体との合流部、地下河川本体どうしの合流部などにおいて安定した流況となっているかについて確認を行う。

⑤ 排水施設実験

排水施設などにおける流れが排水機の非常運転時にも安定しているかどうか、排水機の緊急停止時、急稼動時におけるサージング現象に対して十分な施設規模を有しているかどうかについて確認を行う。

表 2-21 実験目的と実験項目

実験項目 \ 実験目的	地下河川全体系において生じる水理現象の把握	数値計算などによる解析が困難な局所的な流れの解析・施設形状の決定	水理計算に用いた各水理定数のチェック
全体施設実験	○	○	○
分流部・導水部実験		○	○
減勢部実験		○	○
合流部実験		○	○
排水施設実験	○*1	○	○

\*1：サージング現象などの現象は地下河川全体に影響するため、全体模型を用いて検討を行う。

上記の各実験項目ごとに実験模型を製作する場合もあるが、全体模型を用いて合流部、排水施設実験を行うことも可能である。

分流部模型に減勢部も一体化して分流部・導水部実験と減勢部実験を同一模型で実験を行う場合もあるが、一般的には一体化模型とした場合、模型規模が大きくなるため、分離して模型実験を実施する場合が多い。

実験模型の分類

- ・全体模型
- ・分流部模型
- ・減勢部模型

実験項目

- 全体施設実験、合流部実験、排水施設実験
- 分流部・導水部実験
- 減勢部実験

参考-1 既往の実験例（巻頭カラー参照）

① 全体施設実験

- 1) 首都圏外郭放水路（建設省）

② 分流部・導水部実験

- 1) 神田川・環状7号線地下河川分流施設（東京都）

③ 減勢部実験

- 1) 寝屋川北部地下河川（大阪府）

参考-2 模型縮尺

模型実験においては、相似則に従い各水理量や施設規模を縮尺し実験を実施する。模型縮尺は、実験目的に対する実験精度、相似性からなるべく大きな縮尺を用いることが望ましいが、施設規模や経済性等から制約を受けることとなる。施設規模については、敷地のほか給排水設備能力を考慮する必要がある。

実験精度、相似性に関しては以下のような条件を満足する必要がある。

1) 水深

主要区間における水深は3 cm以上を確保することとし、水の粘性の影響を無視でき、乱流域となる条件を設定する。

2) 測定精度

計測上の精度としては、流速が5 cm/s以上、水位計測0.5mm程度である。

3) 流れの相似性

流れの相似性については、模型の粗度係数と相似則により評価した現地の粗度係数とが一致しないと流れの相似性は満足されなくなる。

そこで、分流施設実験では、河道の粗度調整を行い、相似性を一致させる必要がある。

地下河川模型のトンネル円管部は模型の材質により定まる粗度係数に支配され、粗度付けなどを行うことが困難なため、実験計画においては縮尺を選定する際に、このことを考慮する必要がある。

## 【既往の実験の模型縮尺例】

### ① 分流部・導水路実験

模型実験名	模型縮尺	河川規模
寝屋川	1/20	河川幅27m、流量89m <sup>3</sup> /s
神田川	1/15	河川幅9 m、流量100m <sup>3</sup> /s
五反田川	1/30	河川幅10.2~12.0m、流量190m <sup>3</sup> /s
今井川	1/20	河川幅8 m、流量135m <sup>3</sup> /s

### ② 減勢部実験

模型実験名	模型縮尺	流入規模
寝屋川	1/20	流量89m <sup>3</sup> /s、落下高42.4m
神田川	1/20	流量110m <sup>3</sup> /s、落下高50m
五反田川	1/30	流量190m <sup>3</sup> /s、落下高50m
首都圏外郭放水路	1/20	流量100m <sup>3</sup> /s、落下高50m

### ③ 全体模型実験

模型実験名	模型縮尺		施設規模
	管径	管長	
寝屋川	1/50	1/100	管径10m、管路延長13.25km
五反田川	1/100	1/100	管径9 m、管路延長2.0km
首都圏外郭放水路	1/50	1/80	管径10m、管路延長6.2km

## 参考-3 相似則

水理模型実験においては一般的に下記の相似則を用いて実験を行っている。

- ① フルード則：重力と慣性力が卓越している場合に用いられる相似則。開水路流れはフルード則に従い模型水理量を定める。
- ② レイノルズ則：水の粘性が慣性力に較べ卓越するような場合に用いられる相似則。管径が小さい場合などの管路流れなどに適用される。

地下河川の各施設における流れは重力と慣性力が卓越する流れであり、一般的にはフルードの相似則に従い実験を行うものとする。

しかし、減勢部実験や全体模型実験のように空気連行を伴う流れにおいては、空気連行状況が現地と模型で相似しないため、連行空気量を過小評価する傾向がある。模型において過小な空気連行の状態で行われると、現地での地下河川での流れに対し危険側となるため、連行空気については別途検討する必要がある。

なお、全体模型実験においては、地下河川本体模型への粗度付けが困難なため、管径

縮尺と粗度縮尺に着目し、模型縮尺を選定するものとする。

「フルードの相似則」

流れを支配している現象を一次元的であるとし、粘性項を無視した開水路非定常の流れの基礎式を示すと以下のようなものである。

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X} \left( \frac{\alpha V^2}{2g} \right) + \frac{\partial h}{\partial X} + \frac{\partial y_0}{\partial X} + \frac{n^2 \cdot V \cdot |V|}{R^{4/3}} = 0 \quad \dots\dots(1)$$

$V$  : 流速     $t$  : 時間     $X$  : 距離     $h$  : 水深     $y_0$  : 位置水頭  
 $g$  : 重力加速度     $R$  : 径深     $n$  : マニングの粗度係数  
 $\alpha$  : エネルギー補正係数

ここでフルードの法則が満足されるためには運動方程式の各項の比が一定になる必要がある。そこで現地に添字  $p$ 、模型に添字  $m$  を付け運動方程式の各項の比を整理すると

$$\frac{V_p \cdot t_m \cdot g_m}{V_m \cdot t_p \cdot g_p} = \frac{X_m \cdot V_p^2 \cdot g_m}{X_p \cdot V_m^2 \cdot g_p} = \frac{h_p \cdot X_m}{h_m \cdot X_p} = \frac{X_m \cdot y_{0p}}{X_p \cdot y_{0m}} = \frac{n_p^2 \cdot V_p^2 \cdot R_m^{4/3}}{n_m^2 \cdot V_m^2 \cdot R_p^{4/3}} \quad \dots\dots(2)$$

となり

$$V_r = \frac{V_p}{V_m}, \quad T_r = \frac{t_p}{t_m}, \quad X_r = \frac{X_p}{X_m}, \quad H_r = \frac{h_p}{h_m} = \frac{y_{0p}}{y_{0m}} = \frac{R_p}{R_m}$$

$$N_r = \frac{n_p}{n_m}, \quad \frac{g_p}{g_m} = 1 \quad \dots\dots(3)$$

とすると

$$\frac{V_r}{T_r} = \frac{V_r^2}{X_r} = \frac{V_r}{X_r} = \frac{N_r^2 \cdot V_r^2}{H_r^{4/3}} \quad \dots\dots(4)$$

となり、上式より各物理量を示すと下記のとおりとなる。

$$V_r = h_r^{1/2} \quad \dots\dots(5)$$

$$T_r = \frac{X_r}{h_r^{1/2}} \quad \dots\dots(6)$$

$$N_r = \frac{h_r^{2/3}}{X_r^{1/2}} \quad \dots\dots(7)$$

$$Q_r = X_r \cdot h_r^{3/2} \quad \dots\dots(8)$$

上記の式に対し、水平鉛直の縮尺を同じ縮尺とした場合は  $X_r/h_r=1$  となりひずみのない模型となる。また、この値を1より大きくした場合をひずみ模型と呼んでいる。ひずみがない場合の各物理量の縮尺の次元を表 2-22 に示す。

表 2-22 フルード則による各物理量の縮尺

諸元	次元	縮尺	縮尺 s=20の場合
距離	L	1 : s	1/20
面積	L <sup>2</sup>	1 : s <sup>2</sup>	1/400
体積	L <sup>3</sup>	1 : s <sup>3</sup>	1/8,000
時間	T	1 : s <sup>1/3</sup>	1/4.472
流速	L/T	1 : s <sup>1/2</sup>	1/4.472
流量	L <sup>3</sup> /T	1 : s <sup>5/3</sup>	1/1,788.9
粗度係数	T/L <sup>1/3</sup>	1 : s <sup>1/3</sup>	1/1.647
圧力強度	F/L <sup>2</sup>	1 : s	1/20
運動量	F · T	1 : s <sup>7/2</sup>	1/35,777

ただし s : 模型スケール

#### 参考-4 管径縮尺と粗度縮尺に着目した相似則

管径  $D$  を用いて管路の通水面積、径深、圧力水頭を表わし、現地量と模型量の比を  $r$  の添字を用いて表現すると、

$$A_r = D_r^2, R_r = D_r, P_r = h_r \quad \text{……(9)}$$

であるから、(2)式は次のようになる。

$$\frac{Q_r}{g_r t_r D_r^2} = \frac{Q_r^2}{g_r X_r D_r^4} = \frac{y_{0r}}{X_r} = \frac{P_r}{X_r} = \frac{n_r^2 Q_r^2}{D_r^{16/3}} \quad \text{……(10)}$$

①
②
③
④
⑤

$g_r = p_r = 1$  とすれば、(10)式より、 $t_r, X_r, y_{0r}, D_r, n_r, P_r, Q_r$  という 7 個の変量間に 4 個の関係式が成立していることから、独立な 3 個の変量によって残りの 4 個の変量を表わすことができる。

いま、独立な変量として、鉛直方向縮尺  $y_{0r}$ 、管径縮尺  $D_r$ 、粗度縮尺  $n_r$  を選ぶと圧力縮尺  $P_r$ 、流量縮尺  $Q_r$ 、流下方向縮尺  $X_r$  および時間縮尺  $t_r$  は、(10)式より、次のような関係式で表わされる。

$$\text{③、④より} \quad P_r = y_{0r} \quad \text{……(11)}$$

$$\text{②、③より} \quad Q_r = D_r^2 y_{0r}^{1/2} \quad \text{……(12)}$$

$$\text{②、⑤より} \quad X_r = n_r^{-2} D_r^{4/3} \quad \text{……(13)}$$

$$\text{①、②より} \quad t_r = y_{0r}^{-1/2} D_r^{4/3} n_r^{-2} \quad \text{……(14)}$$

第2章 地下河川

従来の取扱いにより、ひずみなしの模型を用いて実験を行う場合には、

$$X_r = y_r = D_r \quad \dots\dots(15)$$

として、幾何的縮尺を定める。この場合、粗度縮尺との関係は上式と(11)式により、

$$X_r = y_r = D_r = n_r^6 \quad \dots\dots(16)$$

となり、実物および模型の粗度係数として、

$$n_p = 0.015, n_m = 0.010$$

を用いると、

$$X_r = y_r = D_r = \left[ \frac{0.010}{0.015} \right]^6 = \frac{1}{11.4} \quad \dots\dots(17)$$

となる。地下河川全体模型実験では、延長の長い地下河川を対象としており、この縮尺を用いるのは不可能に近い。このため、全体模型においては独立な変量として、 $y_{or}$ 、 $D_r$ 、 $n_r$ を選び、(12)~(14)式を用いて残りの変量を決定する。

実験結果の取扱いの便宜上、 $y_{or} = D_r$ とし、実物と模型の粗度係数に前述の値を用いると、 $n_r = 1/1.5$ となる。

全体模型に用いる模型縮尺として  $y_{or} = D_r = 1/50$ とし、(13)式を用いて水平方向縮尺を算定すると

$$X_r = 1/81.9 \approx 1/80 \quad \dots\dots(18)$$

となる。

よって、全体模型実験においては管路の粗度係数を考慮してひずみ模型を用いることとなる。

表 2-23 管径縮尺と粗度縮尺による各物理量の縮尺

模型量次元		縮 尺	
長 さ	$L$	$s_x$	1/80
水 深	$L$	$s_y$	1/50
深 さ	$L$	$s_z$	1/50
管 径	$L$	$s_d$	1/50
流 速	$LT^{-1}$	$s_d^{1/2}$	1/7.07
流 量	$L^3 T^{-1}$	$s_d^{5/2}$	1/17,678
粗度係数		$s_d^{2/3} \cdot s_x^{-1/2}$	1/1.517
時 間	$T$	$s_d^{-1/2} \cdot s_x$	1/11.3

流下方向模型縮尺  $s_x = 1/80$   
鉛直模型縮尺  $s_y = 1/50$   
管径模型縮尺  $s_d = 1/50$

### 2.3.3 全体施設実験

全体施設実験では、流入施設から排水施設までの一連の地下河川において、定常時・非定常時の地下河川全体の水理挙動について把握し、各施設が安定してその機能を発揮しているかどうかについて確認を行う。

#### 【解説】

##### (ア) 定常実験

全体施設実験においては地下河川全体に生じる現象について把握し、各水理施設がその中で安定して機能しているかどうかについて確認を行う。

定常実験においては地下河川計画において算定している合流損失、減勢部下部での流れの渦による損失、減勢による乱れの損失などの算定が妥当であるかどうか、それにより計算されている地下河川の計画高水位や動水勾配線が妥当かどうかについて、各定数の検討を行うことにより確認する。

開水路式地下河川において合流部、減勢部での損失が大きい場合は、上流区間に圧力混在区間が生じる場合もあり、地下河川全体の水理的安定に影響を及ぼす。

また、圧力式地下河川においては、合流部・減勢部での損失が地下河川本体の動水勾配線を上昇させ流入に影響を及ぼす場合もある。

このような減勢部からの流れによる乱れや渦などによる損失は減勢部形式や地下河川本体の流況などにより異なるため、合流部や減勢部の形状によってどのような損失が生じるかについて把握することが必要である。

#### 【実験例】(巻頭カラー参照)

(イ) 非定常実験

地下河川では、初期空の状態から洪水流の流入に従い湛水が生じ、流入量の増加や時間の経過に伴い地下河川水位が上昇し、地下河川からの排水が始まり、圧力管方式の場合には地下河川は圧力状態へ移行し、高圧力状態となる。その後、分流量の減少から流入停止へと水理状態が変化する。

このように開水路状態から圧力状態への移行など水理状態の変化は地下河川全体の水理的安定に大きく影響を与えることとなる。水理実験においてはこのような非定常現象下における地下河川全体の水理挙動について把握し、各施設での水理現象が地下河川の非定常状態下においても安定して機能しているかについて検討を行う必要がある。

全体施設実験において地下河川に不安定な状況が確認された場合には、その不安定さの原因について検討を行い、必要な場合は水理施設の形式や形状の変更について検討することとなる。

また、ピーク流量流入時におけるポンプの緊急停止や分流部における流入の緊急停止など緊急時の急激な現象に対しても地下河川全体の流況を把握し、急激な現象などにおいても地下河川全体が安定していることを確認する必要がある。急激な非定常状態において問題が生じる場合には、不安定な状態を緩和するための対応策について検討を行うものとする。

**【実験例】** (巻頭カラー参照)

#### 2.3.4 分流部・導水路実験

分流部・導水路実験では、本川河道から所定の分流量を分流する分流施設や導水路、沈砂池、スクリーン等の導水路施設について、分流部の分流特性、導水路の整流効果、沈砂池の沈砂効果、スクリーンによるゴミの捕捉と流れへの影響などについて、計画された機能を発揮しているかどうかの確認を行う。

##### 【解説】

###### (ア) 分流部施設

本川河道からの分流方式は、河川の水利状況（流速、水深、河床勾配、分流比など）と分流形式（自然越流型、ゲート操作による流入制御型など）により定められるが、河床勾配が急な場合や分流比が大きい場合においては、数値解析による検討のみでは所定の分流量を分流する分流施設を適切に設定することが困難な場合が多い。

分流部実験においては、地下河川計画などで検討している分流方式により安定して分流することが可能かどうか、また計画している分流施設規模により計画分流量を分流することが可能かどうかについて確認を行うものとする。実験において安定して所定の分流量を分流できない状態を確認した場合は、分流方式の変更についても検討を行うものとする。

ゲートや水門を用いて分流を行う場合には、ゲート操作などによる急激な流入、本川水位の急激な低下などの状況についても実験を行い、安定した分流流況となっているかについて確認を行うものとする。

なお、貯留型の地下河川形式の場合は分流開始流量、分流総量についても計画値を満足しているかどうかについて検討を行うものとする。

###### (イ) 導水路

導水路実験においては、分流部からの流れを安定して減勢部に導水しているかについて確認を行うものとする。

導水路の流れの均一性や安定性は、導水路下流の沈砂池の沈砂効果、スクリーンでのゴミの捕捉、減勢部への流入流況に影響を及ぼすため、なるべく安定した均一な流れとなる導水路形状を選定することが望ましい。

(ウ) 沈砂池

地下河川に流入、堆積した土砂は、断面積の減少、維持管理の増大などを招くため、流入対象粒径の土砂に対し沈砂池が十分な沈砂効果を有しているかどうかについて確認を行う。

実験では対象粒径を模型縮尺で縮小した粒調砂を用い土砂捕捉率を実験で求めるか、沈砂池内流速分布を把握し、所定の沈砂効果が得られているかどうかについて確認するものとする。

(エ) スクリーン

スクリーンは流木やゴミなどの流入により地下河川が閉塞したり損傷を受けることを防止するために設置される施設である。

丘陵地などを河川上流域とする河川においては、流木・ゴミなどの流下物を捕捉することによりスクリーンが閉塞する可能性もあり、スクリーン形状によっては計画分流量を分流できない状態が生じる可能性がある。このような状況においては、スクリーンの閉塞時を考慮した実験を行いスクリーン形状を検討するものとする。

また、都市域を流下する河川を対象とする場合は、除塵機を併設するスクリーンを設置したケースが多い。その場合、スクリーンの目幅は狭いため、スクリーンによる水位のせき上げが生じるおそれがあるため、分流流況に影響が及ばないか確認を行うものとする。

**【実験例】** (巻頭カラー参照)

### 2.3.5 減勢部実験

減勢部実験では、導水部から減勢部への流入、減勢部内の流れの落下、減勢部下部での減勢などにおいて、高落差での流れが安定した流れとなっており、地下河川流況に影響を与えないように十分減勢されているかどうかについて確認を行う。

#### 【解説】

##### (ア) 減勢施設実験

減勢施設実験においては高落差の流入に対する実験となるため、流れは空気混入流となり一般的な相似則であるフルード則による現地水理状態の完全な再現は困難である。よって、空気混入状況が地下河川流況に影響を与える圧力式地下河川などでは、相似則の適用による現地水理状態の再現には限界があり、このことを考慮して実験結果の評価を行う必要がある。

また、減勢施設内の流れは、地下河川本体の水理状況により大きく影響を受けるため、実験においては地下河川本体下流の水理状況を再現し実験を行うことが重要である。

表 2-24 減勢施設実験の実施例

模型実験名	模型縮尺	流 量	立坑形式
寝屋川	1/20	89m <sup>3</sup> /s	往復階段式
神田川	1/15	110m <sup>3</sup> /s	接線型渦流式
首都圏外郭放水路	1/20	100m <sup>3</sup> /s	複断面型渦流式

##### (イ) 減勢池実験

一般的に地下河川の減勢部は、高落差の流入となるため効果的な減勢池を減勢部下部に設置することが必要である。実験においては、この減勢池が効果的に機能しているかどうかについて確認を行い、地下河川流況を不安定化させるような波動・振動が生じていないかを確認する。

減勢池においては空気混入が卓越するような流れとなっており、圧力管方式の地下河川では、減勢池から地下河川本体への空気連行が多いと地下河川流況が不安定となる。実験においては、減勢池から地下河川本体に連行される空気を適切に排気できる通気施設についても検討を行う。

### 2.3.6 合流部実験

合流部実験では、地下河川本体の合流部において、流れに乱れや剥離などが生じていないかについて確認を行うとともに、合流部での損失係数について把握する。

#### 【解説】

地下河川本体の合流部はその構造から立坑部で合流する場合が多く、その合流形状は種々である。また、減勢部からの連絡管路による流れが合流部の流れを大きく乱す場合もあり、合流部においては合流による流れの乱れ、形状損失などが生じ、合流形状によっては机上での合流損失などの設定が困難である。そこで、実験においては合流部に生じる損失について把握し、計画高水位または計画動水勾配が適切であるかどうかについて確認するものとする。

### 2.3.7 排水施設実験

排水施設実験では、排水施設における流れが排水機の非常運転時にも安定しているかどうか、排水機の緊急停止時・急稼動時におけるサージング現象に十分な施設規模を有しているかどうかについて確認を行う。

#### 【解説】

##### (ア) 排水施設の実験

排水施設の実験は、定常時および非常時において地下河川本体からの流れが排水立坑・調圧水槽の中を安定して流下するかどうかについて検討を行う。

排水施設の実験は、用地上の制約などにより排水施設の配置が変則的となり排水機場と排水立坑の接続部の流れが偏流するおそれがある場合などに行うものとする。

##### (イ) サージング実験

排水機場における運転停止時・急稼動時のサージング現象は、地下河川全体に影響する水理現象であるため、水理実験は地下河川全体模型を用いて行うことが多い。

実験においては、地下河川において生じるサージング現象に対し、排水施設がその現象を緩和する施設規模を有しているかどうかについて検討を行い、サージング現象に対し不安定な場合は、調圧水槽の規模・形状について検討を行う。

## 第3章 地下調節池

### 3.1 地下調節池計画

#### 3.1.1 地下調節池の位置づけ

##### (1) 地下調節池の導入

地下調節池は、限られた都市空間の中での有効な洪水防御対策の一つであり、地上において適地が得られない場合や、土地の高度利用の観点から地下空間利用を図ることが可能な場合において、その導入を検討するものとする。

地下調節池は、「都市河川計画—洪水防御編—」によると下記のように位置づけられている。

#### 【解説】

都市域においては空間的な制約のなかで、広大な用地を必要とする調節池の適地が得られなかったり、用地取得にきわめて長期間を要する場合が多くある。したがって、治水事業の緊急性や都市空間の高度な活用をはかる意味からも、地下もしくは半地下方式の調節池を導入し、必要に応じて地上部分などの複合・多目的な利用計画をはかることは有効な方策となりえる。

地下調節池の設置にあたっては、河川管理者が土地を所有し全面的な使用権原を有するのではなく、区分地上権などの範囲の限定された権原に基づき、他の施設などと立体的あるいは複合的に設置されるよう検討するものとする。

また、地下調節池については、地下河川事業の推進過程の早期において限定的な効果を発揮する目的からその設置が計画される場合もあり、地下河川計画との整合のなかで、その導入について検討するものとする。

地下調節池の維持・管理については、地表の施設とは異なった問題も生じるため、こうした点にも配慮して導入を検討するものとする。

## (2) 地下調節池の導入にあたっての配慮

地下調節池の計画策定、施工および管理にあたっては、周辺環境や既存の地下施設をはじめとする都市機能への影響や都市の将来像に十分配慮しなければならない。

「都市河川計画—洪水防御編—」によると下記のように記されている。

### 【解説】

地下調節池の導入にあたっては、都市の地下空間を利用した治水施設の計画として、地下水脈の分断、地盤沈下、地下水あるいは排水先河川の水質への影響など環境面や他の都市施設への影響、あるいは将来的な都市の地下空間利用の計画等に対する総合的な検討など、十分な配慮が望まれる。

特に地下調節池の場合には、複合・多目的利用を伴うことが多いものと考えられることから、複合・多目的施設を計画するにあたっての配慮事項にも十分に留意するものとする。

また、下水道計画などの関連計画については十分に調整を図る必要がある。

### 3.1.2 地下調節池計画フロー

地下調節池の計画は、次の手順によって進める。

1. 基礎調査
2. 地下調節池計画
3. 施設計画
4. 維持管理計画

2および3の段階では必要に応じ、水理模型実験による検証を行うものとする。

### 【解説】

図3-1には、地下調節池の調査、計画、実験、施工、維持管理に係わる一連の流れと本手引きとの係わりを示す。

### 第3章 地下調節池

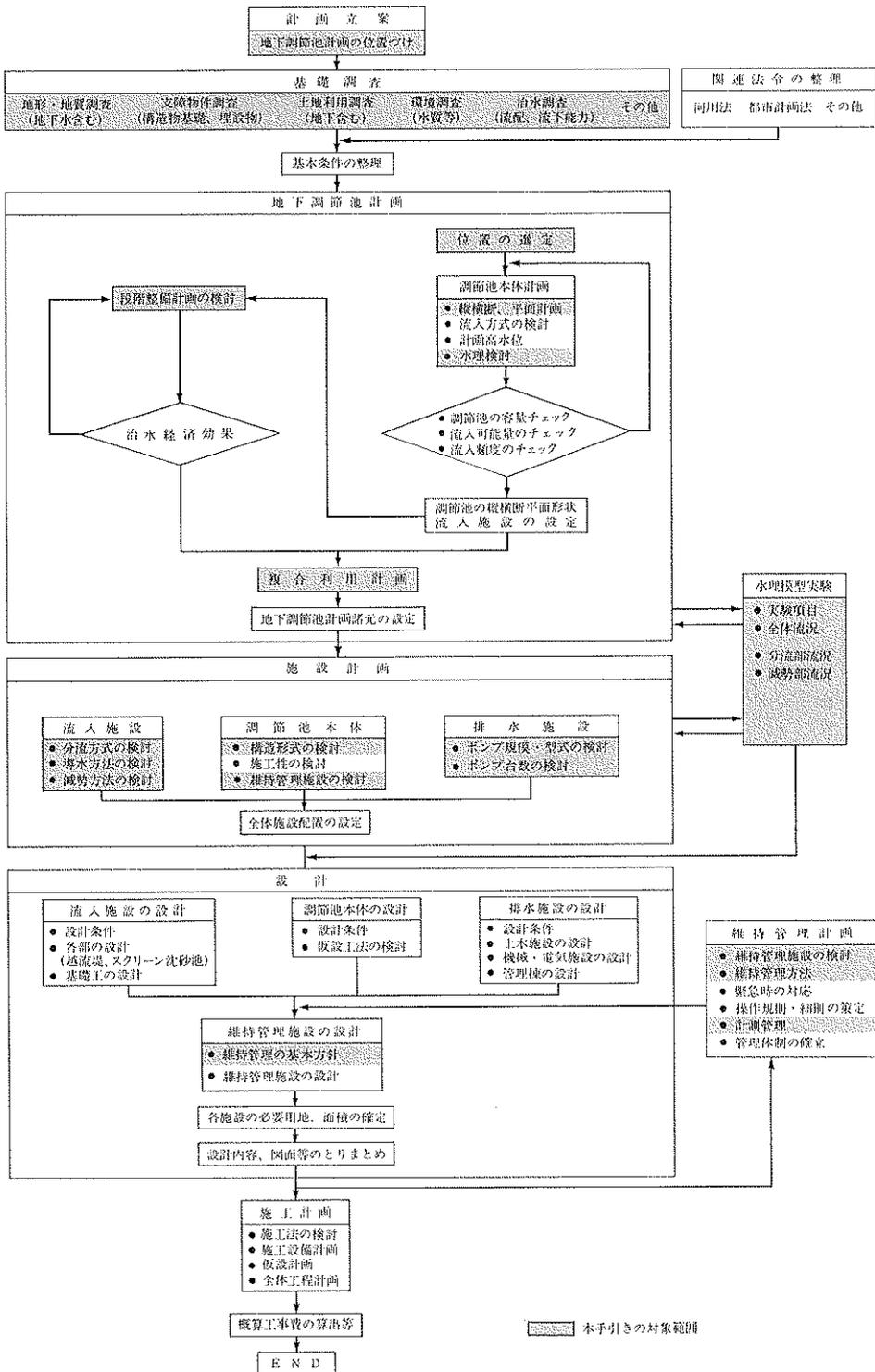


図 3-1 地下調節池の全体フローチャート

まず、地下調節池計画として設定された基本条件のもとで、位置の選定、流入施設、調節池容量等の調節池本体計画、複合利用計画の順に検討を行い、地下調節池の諸元を設定する。その際、機能性、経済性等の比較検討、水理検討、水理模型実験による検証などを行い、必要に応じフィードバックを行う。

次いで、地下調節池の主要施設である調節池本体、流入施設、減勢施設等の施設計画の検討を行う。この場合も必要に応じ、施設の形状などについて水理模型実験による検証を行う。

最後に、調節池本体を含めた各施設および維持管理施設の設計を実施し維持管理計画を立案して施工に臨む。

本手引きでは、これら一連の流れのうち、地下調節池計画、施設計画、水理模型実験、維持管理計画を取り扱うものである。

### 3.1.3 基礎調査

基礎調査は、地下調節池の位置、構造形式、深さ、施工方法等の選定を行うため、必要な項目について総合的に行うものとする。

#### 【解説】

地下調節池の計画に必要な基礎調査の項目例を図3-2に示す。

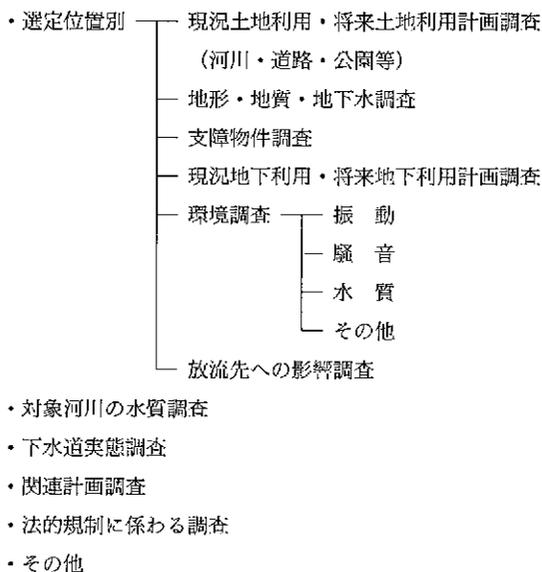


図3-2 基礎調査の項目例

### 第3章 地下調節池

調節池の位置は一般に治水上の効果が発揮でき河道沿いに用地の確保できる場所として選定される場合が多い。位置の選定にあたっては、その地点および周囲の土地利用、法的規制に係わる調査が必要となる。特に複合・多目的利用を行う場合には重要となる。

次に、調節池の規模の決定および施設計画にあたっては、構造および施工の条件となる地質調査などを行う必要がある。さらに、実施設計、施工計画にあたっては支障物関係および環境関係の調査が必要となる。

#### 3.1.4 地下調節池の位置の選定

地下調節池は、計画の目的とする洪水防御の効果が確実に発揮でき、容量の確保において有利な地点を選定する必要がある。

この場合、都市空間の有効利用および事業の早期推進の観点から、複合・多目的な利用の可能性についても考慮するものとする。

「都市河川計画の手引き—洪水防御編—」によると下記のように記されている。

#### 【解 説】

地下調節池の洪水調節効果を考えると、治水計画上考えられている主要な洪水防御地域にできるだけ近いことが望ましい。しかし、下流側になるほど対象洪水のハイドログラフが偏平になるため、カット量に比較して大きな容量を必要とし、なおかつ山間部の貯水池のように大きな水深がとれないことから一般に広大な面積を必要とする。したがって、これらを総合的に勘案して位置を決定する必要がある。

特に、都市河川においては、土地利用上の制約から調節池の位置はかなり限定されるが、それだけに、河川の特長や都市の将来像、さらには段階的な治水安全度の向上効果をもとに適切な選定が必要とされる。

地下調節池は、周辺の都市機能との調和に配慮しながら、有効な土地利用がはかれるよう複合・多目的施設として計画することも考えられ、こうした観点からの事業の推進についても考慮した地点選定を行う場合もあり得る。

### 3.1.5 地下調節池計画

#### (1) 洪水調節計画

地下調節池は計画洪水に対して確実に洪水調節が行えるよう計画するものとする。

#### 【解説】

地下調節池は洪水の一部を分流、貯留して、下流ピーク流量を低減させるものであるが、その施設形状（容量、流入・導水・減勢施設）は、一般に計画洪水を対象に決定される。そこで、計画規模に満たない中小洪水や波形の異なる洪水に対してもその機能がどの程度発揮されるかを明らかにしておく必要がある。

調節池の流入施設には固定堰と可動堰があるが、都市域の中小河川においては一般に横越流式の固定堰が用いられていることが多い。横越流式の固定堰の形状（堰高と堰長）は、洪水のピークにおいて所定の調節が行えるように決定されなければならない。しかし堰高が低い場合は調節池への流入頻度が高くなり、調節池容量が多く必要となる。また、堰高が高い場合はそれだけ堰長が長くなり施設規模が大きくなる。よって越流堰の形状は、これらを十分勘案して決定する必要がある。

計画洪水を調節するための必要量（実貯留量）は、河道特性や流入施設形状などによって変わるためこれらを考慮して決定する必要がある。数値計算などによって河道特性および横越流の水理現象を把握することが困難な場合は、水理模型実験を併用して決定することが好ましい。地下調節池の場合、施工後の容量および構造変更が極めて困難な

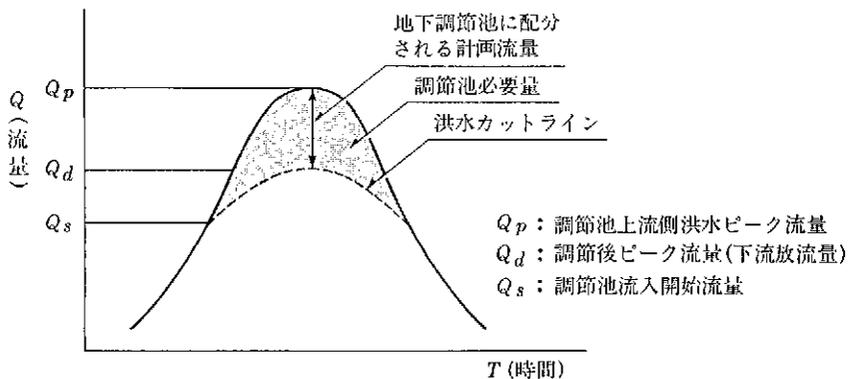


図 3-3 ハイドログラフと調節量

### 第3章 地下調節池

ため、必要量の算定および水理現象の把握には、十分な検討が必要である。

地下調節池の施設容量には、次の点を考慮し必要量に1～2割程度余裕を見込んで計画することが好ましい。

- ① 対象洪水波型の違いによる必要量の変動に対し、カバー率を高く確保できること。
- ② 数値計算および水理模型実験によっても完全に実際の河道特性などを再現することが困難であること。
- ③ 調節池に流入した雨水・土砂等の排出が遅れた場合でも、ある程度次期降雨に対応できること。
- ④ 将来管理施設などの増設・変更等により池容量の減少があった場合でも、必要量を確保できること。

流入施設は、都市河川の場合、管理が容易で、調節効果が確実に発揮できる自然取水方式（固定堰）とする場合が多い。しかし地下調節池では、流入頻度の低減、池容量の有効利用等を目的に可動堰による流入制御が検討される場合もある。

#### （2）排水計画

地下調節池は、洪水調節後、速やかに排水できるよう計画するものとする。

#### 【解説】

通常、調節池は1洪水を対象として計画されるため洪水後、速やかに次期降雨に待機する必要がある。したがって、貯留量を極力短時間で排水することが好ましい。しかし、短時間で排水するためにはポンプ容量などの施設規模を大きくする必要があるため、排水時間は、調節池計画地点の洪水特性（二山型洪水の発生頻度など）、および下流の流下能力などを考慮して適切な時間を決定する。排水時間は一般に12～24時間程度で設定されている例が多い。

早期の排水は調節池の汚濁物質やSSの沈降分の増加による悪臭発生の防止にも効果がある。

## 参考-1

表 3-1 地下調節池排水時間

調節池名	河川名	所在地	施設容量(m <sup>3</sup> )	排水時間
船入場調節池	日黒川	東京都	55,000	12
荏原調節池	〃	〃	200,000	24
妙正寺第1調節池	妙正寺川	〃	85,000	12
上高田調節池	〃	〃	186,000	24
白子川調節池	白子川	〃	212,000	24
香里西調節池	—	大阪府	8,000	24
大正川調節池	—	〃	14,000	24
三ツ島調節池	—	〃	24,000	24
布施駅前調節池	流域調節池	〃	12,000	24

### 3.1.6 複合・多目的利用

#### (1) 施設の複合・多目的利用

都市河川における地下調節池計画では、都市域の空間的制約の中での土地の高度利用や治水事業の緊急性に伴う事業の早期実施を図るため、他の都市施設などの導入による複合・多目的利用を積極的に検討するものとする。

「都市河川計画の手引き—洪水防御編—」によると下記のように記されている。

#### 【解説】

地下調節池の複合・多目的利用にあたって導入可能な施設としては、住宅、学校、公園、緑地、運動施設、駐車場等の公共公益施設および交通関連施設が考えられるが、都市の特性に応じて早期に共同事業が成立することが可能な施設を選定する。

複合・多目的の施設の導入にあたっては調節池の規模と形状、利用上の安全性および事業の計画的促進等に考慮して、適切な施設を選定する必要がある。

複合・多目的利用計画の策定にあたっては、将来的な治水安全度の向上にも十分配慮する必要がある。

共同事業者との調整のなかで、事業の計画的促進を行うため、用地の所有関係、土地の高度利用、費用負担、実施後の維持・管理等について十分検討を行う必要がある。

(2) 複合・多目的利用上の配慮

地下調節池の複合・多目的利用を行うにあたっては、治水効果の維持や利用上の安全性に十分配慮した施設計画ならびに管理方法を検討するものとする。

「都市河川計画の手引き—洪水防御編—」によると下記のように記されている。

【解説】

日常的な維持・管理体制の確立により、治水効果の保持に努める必要がある。

複合・多目的による日常的な利用および、利用者の安全性に十分配慮した施設計画を検討する必要がある。

参考-1 立体・複合型の河川管理施設の一つとしての地下調節池

立体・複合型の河川管理施設の一つとして位置づけられる地下調節池には、例えば、図3-4に示すように、公園などの公共的な施設の地下を利用したものや、建物の地下に設置され、調節池の支柱等が建物の基礎を兼ねるように一体的な構造のものがあげられる。こうした施設の設置にあたっては、用地については、占用許可による場合や区分地上権を設定し、公園や建物などの管理者との間で用地費のアロケーションを行う場合などが考えられる。また、特に建物と一体化した調節池の場合には、建物に要する費用の一部についてもアロケーションを行う必要が生じる。

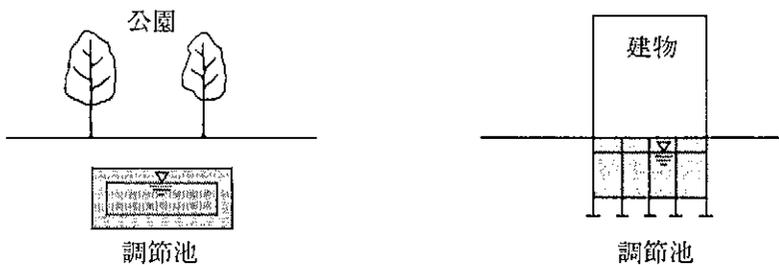


図3-4 立体・複合型河川管理施設としての地下調節池

### 3.1.7 段階整備計画

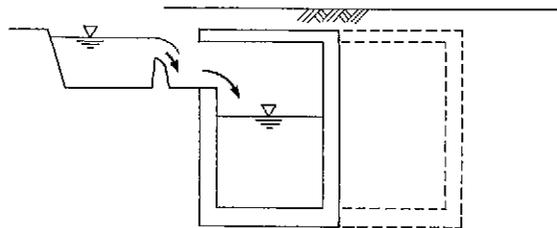
地下調節池の段階整備にあたっては、施工、維持管理、治水効果等を勘案して決定するものとする。

#### 【解説】

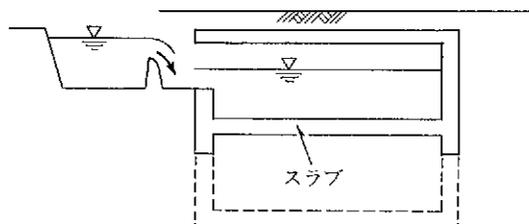
地下調節池は、河道の整備が遅れている地点の上流側に治水効果の早期発揮を目的に設置されている場合が多く、その意味ではなるべく早く調節池を完成させることが重要である。

しかし大型の地下調節池となると完成までに相当期間を要する場合もあり、この間にも段階的に治水効果を上げることを検討すべきである。

地下調節池の単体としての段階整備は、施工、施設構造の面で難しいと考えられるが、地下調節池の連結、工事期間における一部供用などによる方法を検討する場合は、安全性・経済性を十分考慮する必要がある。



① 調節池を部分的に構築し後から連結する場合



② 調節池の上層部を供用する場合

図 3-5 段階整備のイメージ

参考-1

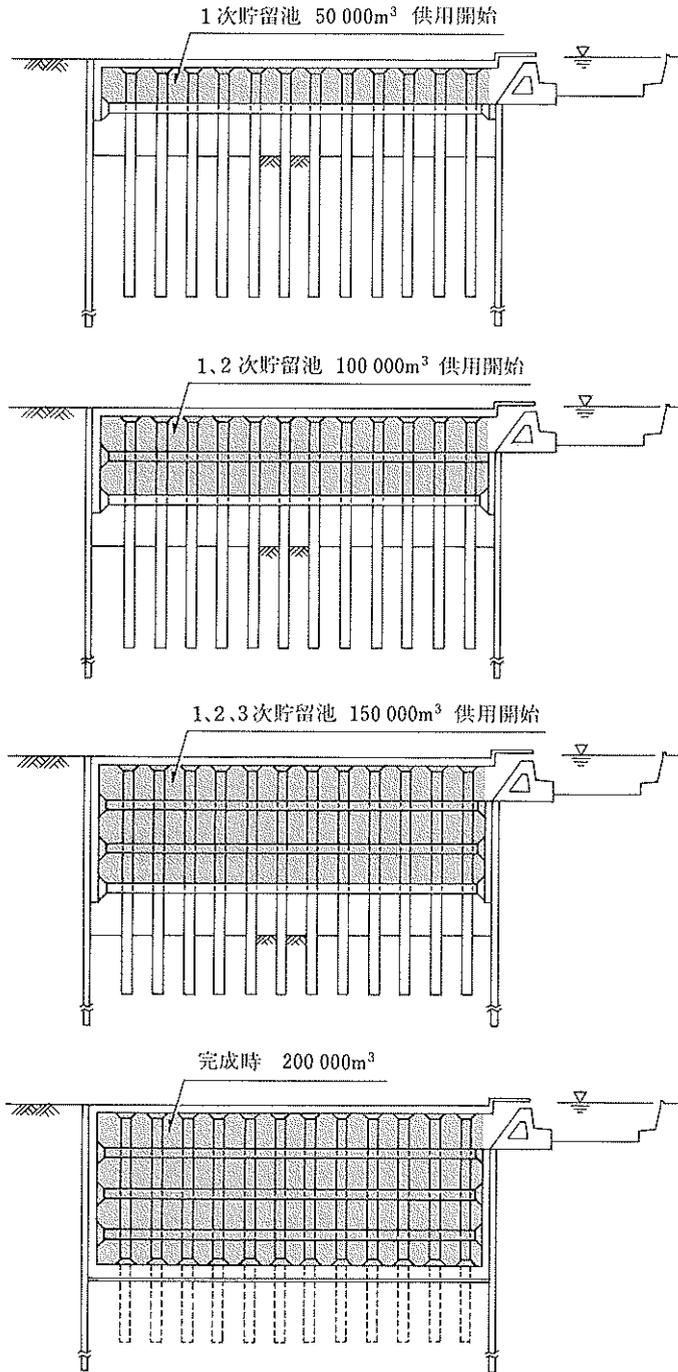


図3-6 逆巻工法により検討した例

## 3.2 施 設 計 画

### 3.2.1 調 節 池 本 体

調節池本体は、安全性、施工性、経済性および維持管理などを考慮し、確実に洪水調節が行える構造とする。

#### 【解 説】

##### (ア) 本体構造

地下調節池は、貯留水が漏れたり、地下水が浸透したりすることのないよう水密な構造とする。一体構造とならない他施設との境界は弱点となりやすいため、特に十分な対策が必要である。

計画以上の洪水が流入したときのように、調節池水位が計画以上に上昇したときでも、調節池より堤内地へ漏水することのないようにする。

構造形式は、梁・柱・スラブ構造を基本とするが、道路の地下などを縦断的に利用する場合は、地下トンネル形式（シールドトンネル、ボックスカルバート等）についても

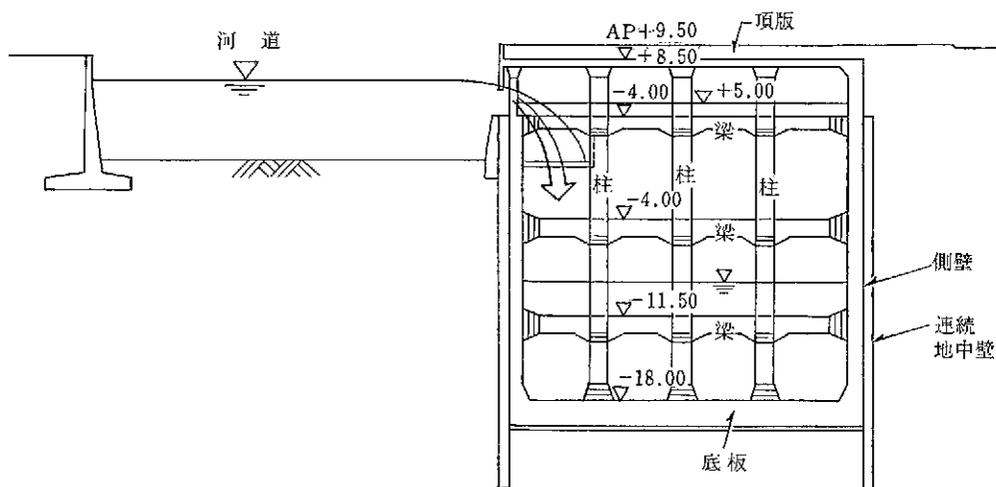


図 3-7 調節池標準断面図

検討する必要がある。

(イ) 分割貯留

大規模な調節池においては、分割貯留を行ったほうが、維持管理の面から有利な場合がある。ただし、調節池を壁やスラブにより区切ることにより、逆に換気面、清掃回数の点で不利になることもあるため注意を要する。

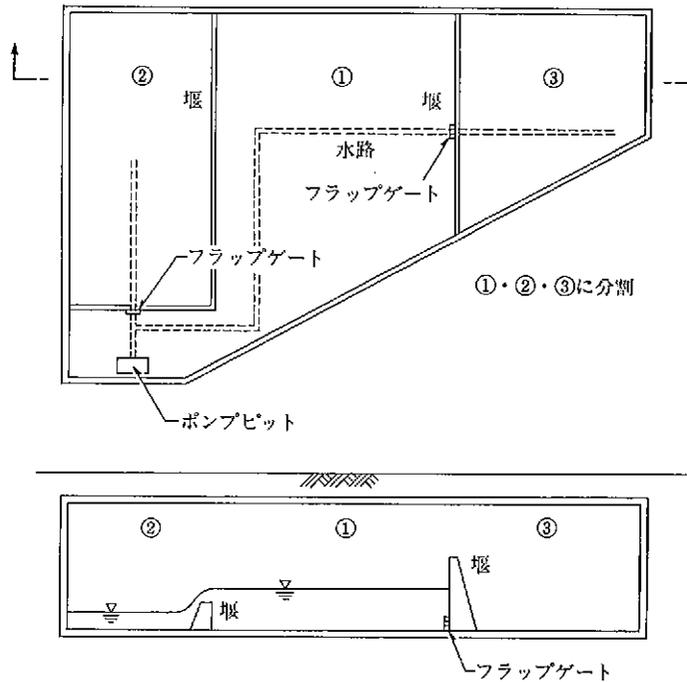


図 3-8 分割貯留の例

(ウ) 有効貯留量（施設容量）の算定

梁・柱・ハンチ等の突起物、およびポンプピット部分は、有効貯留量に含まない。

地下調節池の計画の段階では、排水、換気、搬入出施設等の施設規模、配置等が決定されていない場合が多いので、これらの施設により将来、有効貯留量が減少することのないよう注意する。

(エ) 底版の排水勾配など

地下調節池の底版には、排水後の土砂、ヘドロの清掃を考慮して、排水溝および、1～2%程度の排水勾配を設けることが好ましい。

(オ) 洗浄用水量の確保

排水後の土砂、ヘドロを洗浄するための水量を確保するため、必要に応じ調節池の一

部に貯留槽を設けるなど考慮するものとする。

### 3.2.2 流入施設

流入施設は、洪水を安全かつ平滑に流入させる方式を選定するものとする。

#### 【解説】

流入施設は、本川河道の洪水を分流し、地下調節池本体に流し込む施設で、一般に分流部、導水部、減勢部からなる。地下調節池は、一般に河道に隣接して設けられるため、流入施設としては、導水部を設けずに分流部と減勢部が一体となっている場合もある。

#### (ア) 分流方式の検討

本川から地下調節池への分流方式としては、横越流方式が一般的である。

横越流方式には、

A 案 固定堰横越流方式

A' 案 固定堰横越流兩岸取水方式

B 案 可動堰

などがあるが、分流の確実性、用地の制約、維持管理の容易さ、操作の安全性を十分に考慮して決定しなければならない。施設形状については地下河川を参照する。

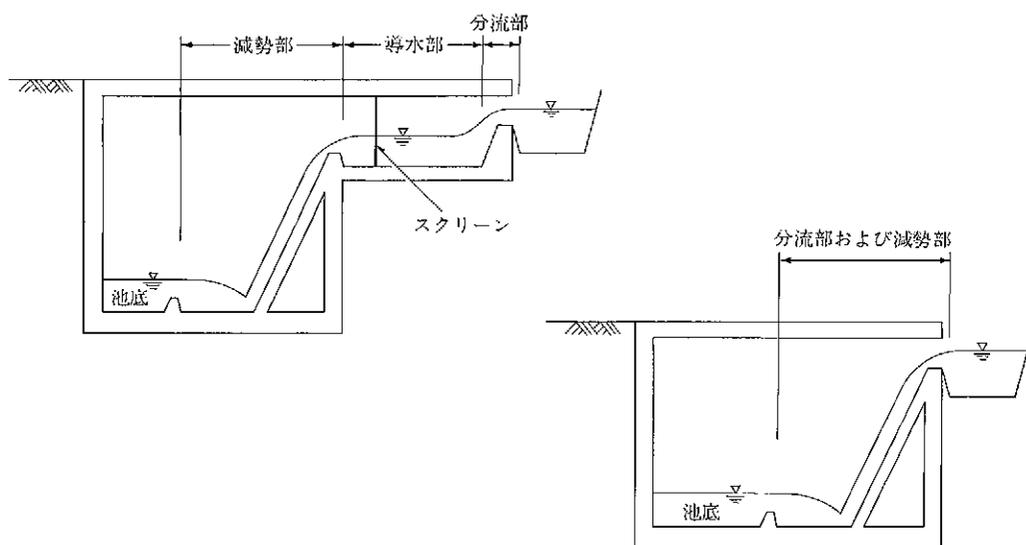


図 3-9 流入施設の例

### 第3章 地下調節池

都市域の中小河川では、管理の容易さ、操作の安全性等から一般に固定堰が用いられている。

#### (イ) 導水方法の検討

地下調節池の場合、導水部は河道からの流入水を速やかに減勢部やスクリーン・沈砂池および減勢部に導くために設けられる。

調節池の形状によっては、一次貯留池が導水部の役目を果たしたり、また、分流部から直接減勢部へ接続されて、導水部が設けられない場合もある。

導水路を設ける場合には、導水路内水位が本川からの分流に影響を与えないように留意しなければならない。

スクリーンおよび沈砂池は、主に洪水後の維持管理を容易にする目的で設置されている場合が多い。また、地下調節池が河道に隣接して設けられる場合には、沈砂池・スクリーンは設置されない場合が多い。

#### (ウ) 減勢方法の検討

減勢部は、河道と池底との落差を処理する施設で、基本形式として、

- ① 落下式
- ② 階段式
- ③ 斜路式

などがあり、用地の制約、落差高、流水の状況、減勢効果、維持管理等を総合的に判断して採用しなければならない。

また、一般に、調節池の水位上昇につれ、ウォータークッションが形成され減勢効果が増えるため、施設形状は池内空虚時で検討する必要がある。

地下調節池の場合、地下河川と異なる条件として、

- ・河道に沿って平面的スペースが確保される場合が多い。
- ・一般に地下河川より落差が小さい。
- ・時間とともに調節池内の水位が上昇し、最終的に減勢施設が水没する。
- ・調節池本体内に設けられる。

などがある。これらを考慮して一般に斜路形式が多く採用されている。

斜路式（直線シュート式）は、ダムの洪水吐などに多く用いられている減勢方式であり、斜路の下流にシルなどを設けることにより跳水を発生させ落下してくる高速流を減勢させるものである。

ただし、用地が狭い場合や複合利用する施設による空間的制約がある場合、または高落差の場合は、①落下式 ②階段式についても検討する必要がある。

### 3.2.3 排水施設

排水施設の計画にあたっては、排水時間、施設規模、維持管理等を考慮しなければならない。

#### 【解説】

排水施設は、地下調節池の貯留水を洪水後速やかに排水する施設である。

#### (ア) ポンプ容量

地下調節池の排水ポンプは、地下河川の排水ポンプと異なり、洪水後に稼動するものであり、洪水時に排水機能を分担するものではない。したがって、ポンプ容量は、貯留水の排水時間によって決まり、この点で地下河川と考え方の異なるものである。

#### (イ) ポンプの種類と台数

ポンプの機種形式には、

- ・遠心ポンプ
- ・斜流ポンプ
- ・軸流ポンプ
- ・スクリーポンプ
- ・水中ポンプ

などがあるが、一般に地下調節池では、

- ・設置スペースが小さい
- ・吸水槽などの補助施設が不要

などの理由により、水中ポンプを採用している場合が多い。

設置台数は、故障時の危険分散を考慮し、複数台数とする。

#### (ウ) ポンプの位置

河川へ排水、およびポンプの維持管理、搬出入に有利な位置とする。

### 3.3 水理模型実験（地下調節池）

#### 3.3.1 実験目的

水理模型実験は、地下調節池で生じる水理現象について把握し、数値解析の水理検討を補完することで適切な施設設計の資料を得ることを目的に実施されるものである。

#### 【解説】

地下調節池においては、河川からの分流施設、高落差の減勢施設など、各部において非定常状態の種々の水理現象が生じ、それらの水理現象が重なり合って地下調節池での水理挙動を形成する。地下調節池計画や施設設計においては、これらの水理現象を把握、解析し、適切な水理施設を計画する必要がある。

しかし、数値解析による水理検討では、局所的な流れなどの解析が困難である。そこで、水理模型実験を行い、地下調節池において生じる水理現象の把握、解析を行うことにより、適切な地下調節池計画や施設計画を策定する必要がある。

#### 3.3.2 実験項目

地下調節池の水理模型実験は、地下調節池の形式、水理状況などにより必要に応じて実施するものとする。

#### 【解説】

地下調節池の水理実験には以下の項目がある。実験において水理的に問題が確認された場合は、基本形式の選定、施設形状の改良などについて検討を行うものとする。

##### （ア） 分流部・導水路実験

本川河道から所定の分流量を分流する分流施設や、導水路・沈砂池・スクリーン等の地下調節池計画などで検討されている施設について、分流部の分流特性、流入量と調節池容量との関係、導水路の整流効果、沈砂池の沈砂効果、スクリーンによるゴミの捕捉と流れへの影響などについて、計画された機能を発揮しているかどうかの確認を行う。

#### (イ) 減勢部実験

導水部から減勢部への流入、減勢部内の流れの落下、減勢部下部での減勢などにおいて安定した流況となっているかについて確認を行う。

#### (ウ) 全体施設実験

分流部から減勢部、地下調節池全体における定常時・非定常時の水理挙動について把握し、各施設が安定してその機能を発揮しているかどうか、調節池内での流況が安定しているかどうかについて確認を行う。

地下調節池は河道に沿って計画される場合が多い。そのため、模型実験においても分流部、減勢部、調節池本体部を一体化模型として製作する場合が多く、実験は一連の実験として行われる場合が多い。

#### 参考-1 既往の実験例（巻頭カラー参照）

- 1) 目黒川荏原地下調節池（東京都）
- 2) 白子川比丘尼橋地下調節池（東京都）

### 3.3.3 分流部・導水路実験

分流部・導水路実験では、本川河道から所定の分流量を分流する分流施設や導水路、沈砂池、スクリーン等の施設について、分流部の分流特性、流入量と調節池容量との関係、導水路の整流効果、沈砂池の沈砂効果、スクリーンによるゴミの捕捉と流れへの影響などについて、計画された機能を発揮しているかどうかの確認を行う。

#### 【解説】

(ア) 分流部

2.3.4の地下河川の分流部の水理実験に準じる。

(イ) 導水路

2.3.4の地下河川の導水路の水理実験に準じる。

(ウ) 沈砂池

2.3.4の地下河川の沈砂池の水理実験に準じる。

(エ) スクリーン

2.3.4の地下河川のスクリーンの水理実験に準じる。

### 3.3.4 減勢部実験

減勢部実験では、導水路から減勢部への流入、減勢部内の流れの落下、減勢部下部での減勢などにおいて安定した流況となっているかの確認を行う。

#### 【解説】

(ア) 減勢施設実験

2.3.5の地下河川の減勢施設実験に準じる。

(イ) 減勢池実験

2.2.5の地下河川の減勢池実験に準じる。

地下調節池においては、池内水位の上昇に伴い調節池内にウォータークッションが形成されるため、調節池内水位を考慮して減勢池実験を行う。

### 3.3.5 全体施設実験

全体施設実験では、流入開始から流入停止に至るまで、ハイドログラフに従い分流量を流入させ、地下調節池全体において生じる現象について把握し、非定常状態において地下調節池の各施設が安定して機能することを確認する。

#### 【解説】

全体施設実験においては、初期の空の状態から分流量の増加による湛水位の増加、初期減勢からウォータークッション形成による減勢状況の変化、調節池の貯留効果等について確認する。

## 第4章 維持管理

### 4.1 維持管理の方針

立体河川施設の維持管理は、立体河川施設の機能が十分に発揮されるよう必要な維持管理を行うものとする。

#### 【解説】

立体河川施設の維持管理には、

- ・設備機器の保守、点検
- ・残留水の排水と処理に係わる管理
- ・洗浄、清掃
- ・換気
- ・脱臭
- ・搬入、搬出管理
- ・計測管理

などがあり、効率的で安全な管理設備を整備する必要がある。

### 4.2 維持管理計画

#### (1) 立体河川施設の維持管理方式

立体河川施設の維持管理方式は、立体河川施設の目的、運用方式および管理施設の内容等を十分に考慮して決定するものとする。

**【解 説】**

立体河川施設の維持管理にあたって、特に留意すべき事項として平常時に立体河川施設内をドライで管理するか、ウエットで管理するかがあり、これらによって管理の方法が異なる。例えば、地下河川の維持管理方式については、地下河川の目的（複合・多目的利用も含む）、地下河川の方式（自然流下またはポンプ排水）、管理施設の内容（水質の悪化に伴う浄化施設および脱臭施設の必要性等）等を十分に考慮して決定する必要があり、それによって維持管理施設の内容、規模が異なる。

以下に、一般的に見た圧力管方式地下河川のドライ管理およびウエット管理の得失を参考として示す。なお、地下調節池については、洪水時に所定の機能を発揮するためにはドライ管理が基本となる。

表 4-1 地下河川（圧力管方式）の維持管理方式の比較例

○：利点    ×：欠点

ウエット管理の場合	ドライ管理の場合
<ul style="list-style-type: none"> <li>× 堆積砂による断面縮小</li> <li>× 水質悪化に伴う周辺への影響 (悪臭、放流先水質汚染)</li> <li>× 緊急時に即人間が入れない</li> <li>○ 流入初期の混入空気、振動、騒音の減少</li> <li>○ 環境用水としての利用可</li> <li>× 多目的利用として不可</li> <li>○ 維持管理用ポンプ施設の規模 小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 水質悪化の問題少</li> <li>○ 維持管理の容易性 (常時、地震時の点検可)</li> <li>× 初期の空気混入量、振動、騒音の増大</li> <li>○ 多目的利用が可</li> <li>× 維持管理用ポンプ施設の規模 大 (ランニングコスト大)</li> </ul>

**(2) 維持管理計画**

立体河川施設の機能が確実に発揮されるよう、周辺環境に十分配慮しつつ、必要な維持管理施設計画を行うものとする。

**【解 説】**

(ア) 洪水後の維持管理方法

洪水後の維持管理は、以下の手順で行い、立体河川施設内の作業の安全性を確保するとともに、立体河川施設の安全性を確保するものとする。

## 第4章 維持管理



### (イ) 残留水の排水と処理システム

立体河川施設へ流入した水は、洪水中または減水期間中に速やかに放流先へ排水する場合がほとんどで、水質的に特に問題となることは少ないと予想される。

しかし、洪水後にトンネル本体、立坑および調節池本体内に残留水が残る場合があり、これらの残留水は維持管理用ポンプを設けて排水することが必要となる。

この残留水は、一般的にはSSが高い懸濁水であるので、場合によっては、沈殿などの処理を行う必要がある。

この残留水を排水する方法として、以下の方法がある。

- A 残留水を貯留槽にポンプアップし、河川に自然排水させる。
- B 残留水を貯留槽にポンプアップし、バキューム車で処理場に搬出する。
- C 残留水を貯留槽にポンプアップし、下水道にポンプで排水する。
- D 残留水を分離施設にポンプアップして残留水を浄化し処理水は河川に、汚泥はバキューム車で処理場に搬出する。

これらは、流入水の水質、排水時間、周辺環境に与える影響等を考慮し、さらには下水道計画との整合を十分に図り、決定する必要がある。

### 参考-1 神田川調節池（環七地下河川）における排水処理の検討例

#### 1. 排水施設の検討

##### (1) 排水計画の基本方針

##### 1) 排水日数

調節池の満管時に水処理を考慮せずに、排水ポンプで全量排水した場合の最短排水日数は2日間とする。

調節池に流入して貯水する規模の降雨（30mm/h以上）記録（昭和29年～60年）では、再起日数中2日が2回、中6日が3回というデータが得られており、この点から最短排水日数は2日間とする。

##### 2) 排水処理

既往水質調査結果によれば、雨天時の流入水中の浮遊物質は約12時間後で80%、約42時間後で90%以上が沈殿し、上層は澄んだ水（上澄水）、下層は濁った水（懸濁水）とな

る。経済性も勘案し排水処理は次のとおり行う。

- (i) 上澄水 (約95%) 直接排水 約2日間
- (ii) 懸濁水 (約5%) 処理排水 約4日間

全量排水所要日数 6日間

東京都公害防止条例による排水指標 (表 4-2) と沈降実験結果 (図 4-1) から、流入水の SS 濃度は3時間程度で60mg/l 以下になるものと考えられるので、洪水の再来が見込まれない場合の排水は、分流完了後1日程度から行えば良いと考えられる。

通常運用時は6日間排水とするが、洪水が連続して発生した場合などの緊急時は水処理をせず2日間で直接排水するものとする。

### 3) 排水水質管理目標

排水水質に係わる基準には「水質汚濁防止法」に定める環境基準 (河川) と「東京都公害防止条例」に定める排水基準がある。

表 4-2 排水水質管理目標値

項目	環境基準*	排水指標**	管理目標値
pH (mg/l)	6.0~8.5	5.8~8.6	6.0~8.5
BOD (mg/l)	8以下	25以下	25以下
SS (mg/l)	100以下	60以下	60以下
DO (mg/l)	2以上	—	2以上
大腸菌群数(MPN/ml)	—	3,000以下	3,000以下

\* ) 水質汚濁防止法のD類型

\*\* ) 東京都公害防止条例の指定作業場より設定

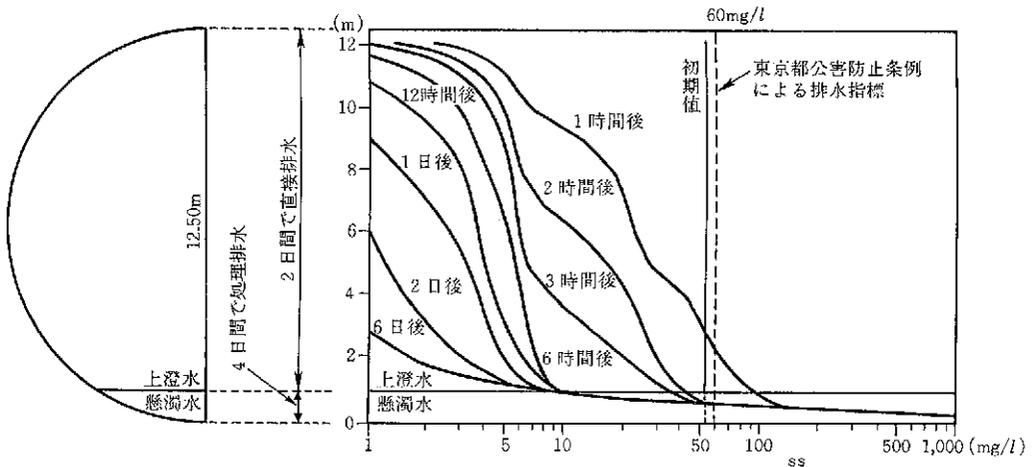


図 4-1 懸濁物質の経時的沈降

#### 第4章 維持管理

「東京都公害防止条例 別表 6.3(2) その他の指定作業場に係わる基準」では、排水水質は BOD で25mg/l 以下、大腸菌群数で3,000・MPN/ml を維持する必要がある。

調節池からの排水水質目標値は、BOD、SS については都条例の基準値、その他の項目については環境基準D類型に準拠することとして、表 4-2 に示すように設定している。

流入、排水水質の予測結果によれば、上澄水は排水水質管理目標値を満足しており、直接放流可能である。

調節池底部の懸濁水は SS、DO、大腸菌群数等について管理目標値以下まで処理して河川へ排水する。

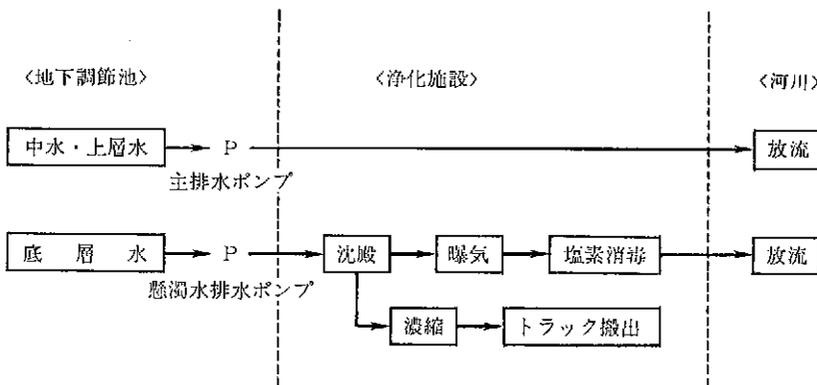


図 4-2 浄化方法

#### (ウ) 洗浄、清掃設備

立体河川施設の貯留水の排水に伴い、立坑などの壁面および柱、梁等には、浮遊物が付着する。これら壁面などへの付着物は、長時間放置した場合には固形化、固着化するおそれがある。また、乾燥しない部分では、腐敗の温床ともなり悪臭の源となるおそれがある。これら为了避免するためには、排水後に汚れを洗い落とすことが望ましい。自動洗浄とした場合、作業員は監視のみで作業の負担は軽くなるが、相当数のノズルを必要とし、配管、バルブ等が複雑となり、制御の面でも複雑となる。人力による散水洗浄を行う場合は、ポンプ容量などを決定する必要がある。

なお、受水源としては、水道水、河川水、中水道等が考えられる。

#### (エ) 換気設備

換気設備は洪水排水後の立体河川施設内（トンネル本体や立坑、調節池本体等）の沈殿汚濁物質排出、清掃作業等に従事する作業員の良好な労働環境の維持を図るため、設ける必要がある。

また、沈殿物から発生する臭気による近隣環境などへの公害発生の防止のため、脱臭

設備の検討も必要である。

換気方式には次の方式がある。

強制給気強制排気（第1種機械換気）

強制給気自然排気（第2種機械換気）

自然給気強制排気（第3種機械換気）

自然給気方式（第3種）はトンネル本体の断面が大きいことからトンネル本体底部の十分な換気が行われないので立体河川施設の換気方式として採用できない場合もある。

強制給気自然排気（第2種）を採用した場合、排気口が複数あると、目的とするトンネル本体内の風量が確保できなくなるおそれがある。

強制給気強制排気（第1種）とした場合、給気ファンと排気ファンの組合せによりほぼ計画風量で換気できる。

立体河川施設内の換気に関しては、特に定められた基準がないため、類似の基準である日本道路協会「共同溝設計指針」（昭和61年3月）の換気所要時間30分以内を適用すると、立体河川施設の維持管理作業における必要換気量を次式により求めることができる。

$$Q = V / T$$

ここに、 $Q$ ：換気風量（ $\text{m}^3/\text{min}$ ）

$V$ ：トンネル本体、立坑、調節池本体内などの容量（ $\text{m}^3$ ）

$T$ ：換気時間 30min

なお、地下調節池の場合は、地下河川と比較して内部構造が複雑であるため、よりきめ細かな換気対策を検討する必要がある。

#### （オ） 脱臭設備

立体河川施設は、地下構造物であることから自然排水が不可能な場合が多いため、残留汚濁水などによる臭気などが発生するおそれがあるので、施設内の作業環境および周辺住民の環境を守るための効果的な対策をとる必要がある。

臭気対策は、次の各項を考慮して有効に行う必要がある。

- ① 悪臭防止法などの関係法令を遵守する。
- ② 悪臭物質の種類や量、発生場所および周辺環境を把握し、必要に応じて臭気の発生防止の目的にあった経済的な設備を設ける。
- ③ 脱臭にあたっては、可能な限り少風量で高濃度の臭気を捕集する。

脱臭方法には、表4-4に示すようなものがある。

沈殿物から発生のおそれのある低濃度ガスの処理、および洪水後の一時的な運転などを考慮すれば、活性炭吸着法が最も適当と思われるが、実際の採用にあたっては、さま

第4章 維持管理

表4-4 脱臭方法の特徴と主な用途

区分	処理方法	特徴	用途	
乾式法	燃焼法	直燃法	高濃度のガス処理 設備費・維持費が高い 二次公害 (NO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> 、ばいじん) 廃熱回収利用	し尿・ゴミ処理 畜産、石油産業 有機系臭 その他
		触媒燃焼法		
	活性炭吸着法	低濃度のガス処理 単独で用いられることは少なく、前処理を要する	し尿・下水処理場 有機系臭 その他	
湿式法	オゾン酸化法		し尿・下水処理	
	マスキング法	極低濃度の不快臭除去		
生物処理法	薬液洗浄法	中和法	中・低濃度のガス処理 伴用処理が多い 薬液の取扱い・維持管理等多少複雑となるが現在はコスト節減から最も繁用されている	化学製造産業 石油産業 飼料・肥料食品 製造業 無機系ガス主体 その他
		酸化法		
	イオン交換法	単独で用いられることはあまりなく、活性炭塔・前処理塔の併用使用		
生物処理法	土壌法	低濃度・大容量ガス処理評価が分かれており実績をつくる段階、小域利用としては将来性あり	下水処理主体 その他	
	活性汚泥脱臭法	铸件工場等実績あり	有機系臭 下水処理臭気 その他	

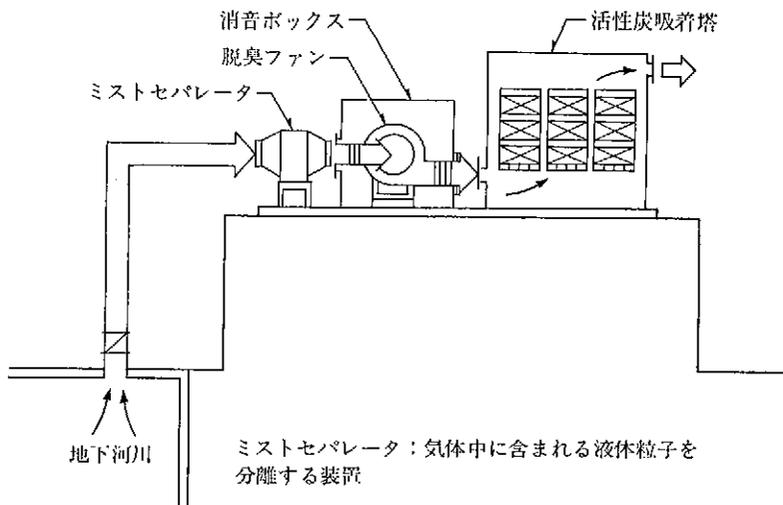


図4-3 脱臭設備の例

ざまな状況を総合的に判断して行わなければならない。

(オ) 搬入、搬出、昇降設備

点検管理員の昇降、維持管理用の機器や車両の搬入、搬出に必要な設備を立坑内あるいは調節池本体内に設ける必要がある。

施設としては、一般に次のようなものがあり、立体河川施設の規模、維持管理の目的に応じて設けるものとする。

車両用リフト…………… トンネル本体内部および調節池本体内部での残留堆積土砂の運搬用車両および清掃用などの機器を搬出入するのに十分な容量と安全性を有する必要がある。

維持管理用ホイス…………… 立坑ドライエリア内に設置された機器の部品交換などのために重量物を所定の位置まで搬出入するのに十分な容量を有する必要がある。

乗用エレベーター…………… 点検器材を所持した数名の管理員が使用できる容量を有する必要がある。

地下連絡扉…………… 立坑ドライエリアと地下河川とを連絡するために扉は高い水密性を有したものでなければならない。また管理員の出入りが容易であるのと同時に開閉作業が人力で可能なものとする。

(カ) 騒音、振動対策設備

排水施設のポンプ室や各立坑の換気室から騒音や振動が発生し、近隣住環境へ悪影響を及ぼすおそれがある場合、消音チャンバー室、サイレンサー、その他の騒音、振動防止対策を検討する必要がある。

騒音、振動の規制値については、公害対策基本法、騒音規制法、振動規制法によるほか、各自治体の条例などの関係法令に基づくものとする。

### 4.3 計測管理

供用後の計測管理は、立体河川施設を維持管理し、その機能を十分に発揮させるために、随時および定期的に実施するものとする。

また、今後の大深度空間を利用した地下河川計画の資料とすることを目的として、特に圧力管運用を前提としたトンネル本体の設計条件の検証および将来の設計・施工方法の改良に係わるデータの収集についても検討することが望ましい。

#### 【解説】

本節では供用後の計測管理について述べることにし、施工中の計測管理については他の基準によるものとする。(土木学会「トンネル標準示方書」、日本道路協会「道路トンネル観察計測指針」等)

(ア) 計測管理の目的

(a) 施設の保全

都市域における土地利用の高度化を考えると地下空間が立体・複合的に利用され、既設の地下河川に近接して上下左右に新たな土留め工事、大規模な地下工作物の工事あるいはシールド工事が実施される可能性があり、それらの工事によって地下河川が影響を受ける場合もある。

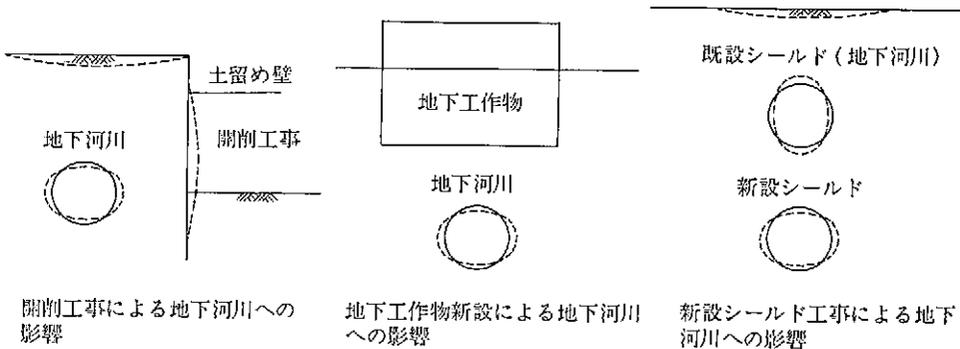


図4-4 近接工事によって地下河川が受ける影響の例

これらによる地下河川各施設の故障や事故を未然に防ぐため、またその対策を講じるために随時および定期的に各種の計測を実施し、地下河川、特にトンネル本体に発生する変状などを監視することを目的とする。

(b) 水理解析・設計方法等の改良

① 水理解析の改良

本手引きの作成時においては、大規模・大深度な地下河川の実施例は少なく、地下河川の計画・設計にあたっては水理模型実験、数値解析等により管内の水理挙動を解析している。このため、完成後の地下河川における実際の水理挙動の実測データに基づき、水理解析手法の妥当性の検証を行うことが望ましい。

計測・管理においては、実際の地下河川で洪水時に生じる各データを収集し、計画時に行った解析結果に対する検証、および今後計画する地下河川についての基礎資料の提供を目的にデータの収集を行う。

② 設計・施工方法の改良

地下河川に作用する荷重およびそれに伴う応力の発生に関しては、特に圧力管運用を行う場合などで内水圧の取扱いを含めさまざまな考え方があり、現在種々の検討、開発がなされているところである。

そこで、今後予定される地下河川について、トンネル本体に作用する土圧、地下水圧、内水圧およびそれに伴って一次覆工、二次覆工に発生する応力、変位、沈下、さらには継手に発生する変位などを測定し、設計条件、設計方法の検証を行うと同時に、将来における設計・施工方法の改良に供する資料とすることを目的としてデータの収集を行う。

(イ) 計測項目

(a) 施設の保全

トンネル本体の安全性を確認するための計測項目として以下のものがあげられる。

表4-5 計測項目

計測項目	計測によって求められる主な事項
坑内観察調査	コンクリートのひび割れ 漏水の状況
内空変位測定	トンネルの変形 地盤の安定性 近接工事による影響

第4章 維持管理

(b) 水理解析・設計方法等の改良

水理解析・設計方法の改良のための計測項目として以下の項目があげられる。

表4-6 計測項目

計測項目	計測によって求められる主な事項
本川水位 導流部水位	本川流量、地下河川への分流量
立坑内水位 トンネル内水圧	地下河川動水勾配、管内貯留量
排水機場内外水位 排水機運転記録	排水機場排水量

① 水理解析の改良

なお、これらのデータ収集は洪水時の維持管理の監視・制御システムの計測機器を用いて行われることが多い。

② 設計・施工方法の改良

また、設計・施工方法の改良のための計測項目として(a)項に示した項目のほか以下のもものがあげられる。

表4-7 計測項目

計測項目	計測によって求められる主な事項
土圧、水圧等の測定	構造物に働く荷重の値
内水圧の測定	サージング等による内水圧の変動
応力度等の測定	一次覆工、二次覆工のコンクリートおよび鉄筋に働く応力度
変位の測定	トンネルの内空変位およびセグメント継手部の変位
沈下量の測定	トンネル本体の沈下または浮上り
加速度等の測定	地震等の構造物の動的特性

なお、これらの計測機器は、施工時に測定箇所埋設し、集中して監視できるシステムとすることが望ましい。

参考-1

表 4-8 シールドトンネルにおける計測計画例

1. 目的および必要性	本計測計画は、内水圧の発生を前提としたシールドトンネルの設計条件の吟味および将来の設計施工方法の改善に供することを目的とする。		
2. 計測項目	計測項目	調査検討内容	内容
	1) トンネル周辺地盤の変状測定		
	①地表面沈下の測定	地表面沈下と地中沈下の関係を調べ、土圧発生メカニズム検討のためのトンネル周辺地盤鉛直変位の分布形状や影響範囲を把握する。	トンネル周辺地盤鉛直変位
	②地中沈下の測定	シールド掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるトンネル周辺地盤鉛直変位とトンネルに作用する土圧の関係（大きさ、分布等）を調べ、土圧発生メカニズムを検討する。	トンネル周辺地盤鉛直変位
	③地中傾斜の測定	シールド掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるトンネル周辺地盤水平変位とトンネルに作用する土圧の関係（大きさ、分布等）を調べ、土圧発生メカニズムを検討する。	トンネル周辺地盤水平変位
	④間隙水圧の測定	シールド掘進時の間隙水圧の変化特性を把握するとともに、掘進時の初期状態やトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたる水圧変化を調べ、セグメント設計用の作用水圧の検討を行う。また、裏込め注入による周辺地盤への影響についても評価を行う。	トンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント設計用の作用水圧の検討を行う。
	2) シールドトンネルの変状測定		
	①セグメント（覆工）作用土圧の測定	シールド掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント周辺の全土圧の変化を把握し、裏込め注入圧の影響評価やセグメント設計用の作用土圧の検討を行う。	トンネル掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント周辺の全土圧の変化を把握し、裏込め注入圧の影響評価やセグメント設計用の作用土圧の検討を行う。
	②セグメント（覆工）作用水圧の測定	シールド掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント周辺の水圧の変化を把握し、裏込め注入圧の影響評価やセグメント設計用の作用土圧の検討を行う。	トンネル掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント周辺の水圧の変化を把握し、裏込め注入圧の影響評価やセグメント設計用の作用土圧の検討を行う。
	③セグメント（覆工）内部応力の測定	シールド掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント内部の鉄筋ひずみを測定し、セグメントリングの断面力を調べ、継手部剛性との関係から構造体としての応力解析を行う。	シールド掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント内部の鉄筋ひずみを測定し、セグメントリングの断面力を調べ、継手部剛性との関係から構造体としての応力解析を行う。
	④セグメント継手部応力の測定	シールド掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント継手のボルト軸力を測定し、継手によるセグメント断面力の伝達特性について検討する。また、ボルトの締付け状況等の影響も把握する。	シールド掘進時およびトンネル完成後（空水時および内水圧作用時）の長期にわたるセグメント継手のボルト軸力を測定し、継手によるセグメント断面力の伝達特性について検討する。また、ボルトの締付け状況等の影響も把握する。
	⑤セグメント継手部変位の測定	セグメント継手目地の開閉量およびズレ量を測定して、内空変位と継手部軸力との関係を調べ、継手部の剛性を評価する。	セグメント継手目地の開閉量およびズレ量を測定して、内空変位と継手部軸力との関係を調べ、継手部の剛性を評価する。
	⑥セグメントリング内空変位測定	セグメントリングの内空変位と継手目地の関係を調べる。	セグメントリングの内空変位と継手目地の関係を調べる。
	⑦セグメントリングの沈下の測定	セグメントリングの沈下と内空変位とを連結して得られるセグメントリングの変形と土圧の関係を調べるとともに、掘進に伴う沈下や浮上り現象を把握する。	セグメントリングの沈下と内空変位とを連結して得られるセグメントリングの変形と土圧の関係を調べるとともに、掘進に伴う沈下や浮上り現象を把握する。
	⑧トンネル内水圧の測定	トンネル完成後、トンネル内を流れる洪水の水圧を測定する。	トンネル完成後、トンネル内を流れる洪水の水圧を測定する。
3. 計測結果の活用	上記計測データは、シールドトンネルの掘進管理、内水圧作用時のシールドトンネルの安定性の確認、大深度シールドの地中における挙動およびその周辺地盤の挙動を把握するための基礎データとなり、今後の大深度・大口径シールドトンネルの設計施工に活用することができると期待される。		

都市河川計画の手引き —— 立体河川施設計画編 ——

---

平成7年4月26日 発行

(定価はカバーに  
表示してあります)

編集 (財)国土開発技術研究センター

---

発行 株式会社 山海堂  
発行者 石川 悌二

〒113 東京都文京区本郷5-5-18

電話 03-3816-1617

振替 00140-3-194982

検印  
省略

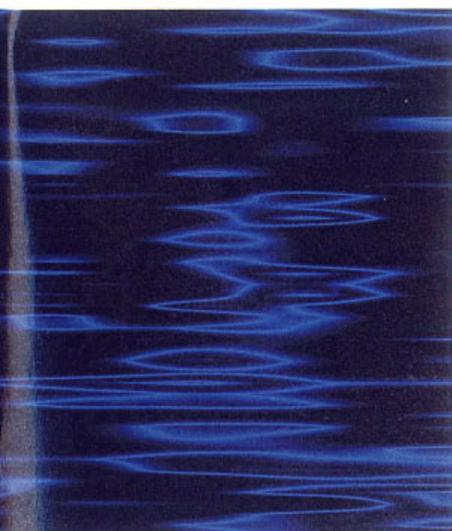
乱丁本・落丁本は小社生産部宛にお送り下さい。  
送料小社負担きとお取り替えいたします。

Printed in Japan  
© 1995

ISBN 4-381-00644-5 C 3051

ISBN4-381-00644-5 C3051 P4800E

都市河川計画の手引き  
立体河川施設計画編



定価4,800円（本体価格4,660円）