

# 第 1 章 河川構造物の設計

## 第 10 節 トンネル構造による河川

### 目 次

第 10 節	トンネル構造による河川	1
10. 1	総説	1
10. 1. 1	適用範囲	1
10. 1. 2	用語の定義	1
10. 2	機能	1
10. 3	設計の基本	1
10. 4	基本的な構造	2
10. 4. 1	工法の選定	2
10. 4. 2	材質と構造	2
10. 5	安全性能の照査	3
10. 5. 1	山岳工法	3
10. 5. 2	シールド工法	4
10. 5. 3	開削工法	5
10. 6	各部位の設計等	6
10. 6. 1	トンネル本体	6
10. 6. 2	呑口部・流入施設	9
10. 6. 3	吐口部・排水施設	9
10. 6. 4	立坑	10
10. 6. 5	維持管理のために必要となる主たる施設	10
10. 7	構造に関するその他事項	10

## 第10節 トンネル構造による河川

### 10.1 総説

#### 10.1.1 適用範囲

##### <標準>

本節は、トンネル構造による河川を新設する場合の設計に適用する。

#### 10.1.2 用語の定義

##### <標準>

本節に関わる用語の定義は、以下のとおりとする。

- 1) 計画流量：トンネル構造による河川へ配分する計画高水流量をいう。
- 2) トンネル本体：計画流量を流下させるための地下の通水部の構造本体をいう。
- 3) 開水路形式：自由水面を維持したままエネルギー勾配により流下させる構造形式をいう。
- 4) 圧力管形式：管を満管状態にしてエネルギー勾配により流下させる構造形式をいう。
- 5) 呑口部：開水路形式における、流水を河道からトンネル本体に流入させる施設をいう。
- 6) 吐口部：開水路形式における、トンネル本体に流入した流水を排水する施設をいう。
- 7) 流入施設：圧力管形式における、流水を河道からトンネル本体に流入させる施設をいう。
- 8) 排水施設：圧力管形式における、トンネル本体に流入した流水を排水する施設をいう。
- 9) 立坑：トンネル本体の施工や維持管理並びに、本川からの流水の流入及び排水に必要な、鉛直方向の中空の施設をいう。
- 10) 水門：トンネル構造による河川における流水の流入又は排水を制御するゲート型の施設をいう。
- 11) 山岳工法：トンネル本体の施工法で、掘削から支保工の構築完了までの間、切羽付近の地山が自立することを前提として、発破、機械又は人力により掘削し、支保工を構築することにより内部空間を保ちながら、トンネルを構築する工法をいう。
- 12) シールド工法：トンネル本体の施工法で、シールド（掘削機）により泥水等を用いて切羽（掘削面）の安定を図りながら掘削を行い、覆工（セグメント）を組み立てて地山を保持し、トンネルを構築する工法をいう。
- 13) 開削工法：土留め工を施工しながら地表面から所定の位置まで掘削し、トンネルを構築する工法をいう。

#### 10.2 機能

##### <必須>

トンネル構造による河川は、河川流量の一部又は全部を河川の途中から流入させ、地下空間内を流下させた後に、海、湖沼、ほかの河川又は元の本川等に放流する機能、もしくは河川流量を一時貯留する機能を有するように設計するものとする。

#### 10.3 設計の基本

##### <標準>

トンネル構造による河川の設計に当たっては、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) トンネル構造による河川に求められる機能を満足するように、基本的な構造諸元であるルート、構造形式、縦断勾配、断面等を設定し、計画流量を水理的に安定した状態で流下させうる構造となるよう、設計の対象とする状況と作用に対する構造的な安全性能について、照査を行う。
- 2) 設計に当たっては、地形・地質条件、地上及び地下の利用状況、接続する河川の状況、周辺環境への影響等を考慮するとともに、水理的な安定性、維持管理の容易性、経済性等を

総合的に勘案し検討することを基本とする。

- 3) 開水路形式においては、高速流によるトンネル内の空気圧の低下、水面上に流木やゴミ等が積み重なることによる空断面の減少により水面が不安定となるため、空気流の流下ができるよう、必要な空断面を確保することを基本とする。
- 4) 開水路形式において、トンネル内の流れが射流になると跳水を引き起こし水位が急上昇するため、水理状態の安定性が確保されるよう設計することを基本とする。
- 5) 維持管理の容易性については、覆工の摩耗や土砂の堆積等がしにくい構造となるよう設計するとともに、補修や堆積土砂等の撤去等の維持管理作業がしやすい構造とすることを基本とする。

## 10. 4 基本的な構造

### 10. 4. 1 工法の選定

#### <標準>

トンネル構造による河川の工法選定に当たっては、調査で得られた基礎資料を基に、地質・地形条件、ルート及び周辺の地上及び地下の利用状況、周辺環境への影響、近接工事の影響、維持管理等の条件を十分に考慮した上で適切に選定することを基本とする。

### 10. 4. 2 材質と構造

#### (1) 使用材料

#### <標準>

トンネル構造による河川の使用材料は、設置目的に応じて要求される強度や耐久性を満足するための品質を有し、その性状が明らかにされているものを使用することを基本とする。

#### (2) 主な構造

#### <標準>

トンネル構造による河川に求められる機能を満足するために、トンネル本体、立坑、呑口部、流入施設、吐口部、排水施設を構成する各構造について、設計の対象とする状況と作用に応じた安全性能を設定し、照査によりこれを満足することを確認することを基本とする。

また、トンネル本体と立坑、呑口部・流入施設、吐口部・排水施設を構成する各構造との接続部が弱点とならないよう、全体として必要な水密性等を有するよう設計することを基本とする。

#### (3) 設計用定数

#### <標準>

トンネル構造による河川の設計に用いる材料の各種定数は、所要の安全性が確保できるよう、構成する各構造やトンネル本体の工法の違いによる力学特性を考慮し、必要に応じて調査・試験を実施した上で、設定することを基本とする。

## 10. 5 安全性能の照査

### 10. 5. 1 山岳工法

#### (1) 設計の対象とする状況と作用

##### <標準>

覆工及びインバートの設計に当たって、特殊な地山や完成後の外力を見込む必要がある場合等に、必要に応じ考慮する作用は、次のとおりとする。

トンネル 本体の状況	作 用
常時	1) 土圧
洪水時	2) 水圧（地下水による外水圧、内水圧）
地震時	3) 地震の影響
	4) その他の影響（近接施工の影響、上載荷重、内部荷重、地山の凍上圧等）

#### (2) 安全性能

##### ① 常時・洪水時の安全性能

##### <標準>

山岳工法により施工されるトンネル構造による河川の覆工及びインバートは、特殊な地山や完成後の外力を見込む必要がある等の特殊な設計条件の場合に、「10. 5. 1 (1) 設計の対象とする状況と作用」に対し、安全性能について照査することを基本とする。

照査に当たっては、これまでの経験及び実績から妥当とみなせる方法又は論理的に妥当性を有する方法等、適切な知見に基づく手法を用いることを基本とする。

##### ② 地震時の安全性能

##### <標準>

トンネルの完成後、地震の被害を受ける可能性がある場合は、条件に応じて構造設計に配慮することを基本とする。

#### (3) 許容応力度

##### <標準>

山岳工法により施工されるトンネル構造による河川において、特殊な設計条件で許容応力度法により設計を行う場合、許容応力度等は、使用する材料の基準強度や力学特性を考慮して、所要の安全性が確保できるように設定することを基本とする。

## 10. 5. 2 シールド工法

### (1) 設計の対象とする状況と作用

#### <標準>

覆工の設計に当たって考慮する作用は、次のとおりとする。

トンネル 本体の状況	作 用
常時 洪水時 地震時	1) 鉛直及び水平土圧 2) 水圧 3) 覆工の自重 4) 上載荷重の影響 5) 地盤反力 6) 環境の影響 7) 施工時荷重 8) 浮力 9) 地震の影響 10) 近接施工の影響 11) 併設トンネルの影響 12) 地盤沈下の影響 13) 内水圧の影響 14) 内部荷重 15) その他の作用

※トンネル本体の状況及び現場条件等を踏まえ、必要な作用を組み合わせで設計する。

### (2) 安全性能

#### ① 常時・洪水時の安全性能

##### <標準>

シールド工法により施工されるトンネル構造による河川の覆工は、「10. 5. 2 (1) 設計の対象とする状況と作用」に対し、安全性能について照査することを基本とする。

照査に当たっては、これまでの経験及び実績から妥当とみなせる方法又は論理的に妥当性を有する方法等、適切な知見に基づく手法を用いることを基本とする。

#### ② 地震時の安全性能

##### <標準>

地震の影響が考えられる場合は、トンネルの使用目的やその重要度に応じて、立地条件、地山の条件、地震動の規模、トンネルの構造と形状及びその他の必要な条件を考慮し検討を行うことを基本とする。

### (3) 許容応力度

##### <標準>

許容応力度等は、使用する材料の基準強度や力学特性を考慮して、所要の安全性が確保できるように設定することを基本とする。

### 10. 5. 3 開削工法

#### (1) 設計の対象とする状況と作用

##### <標準>

開削工法によるトンネル本体構造の設計では、照査は限界状態設計法により行い、構造物の使用目的に適合するための要求性能を設定し、設計耐用期間を通じて要求性能が満足されていることを照査することを基本とする。

作用は、構造物又は部材に応力、変形の増加、材料特性に経時変化をもたらす全ての働きであり、性能照査に当たっては、一般に以下に示す作用を考慮することを基本とする。なお、作用はその性状に応じて、永続作用、変動作用、偶発作用に分類する。

トンネル 本体の状況	作 用
常時 洪水時 地震時	1) 自重 2) 地表面上の荷重 3) 土被り荷重 4) 土圧及び水圧（土圧と水圧を分離して扱うことが困難な場合には土圧と水圧を分離せずに側圧として考慮する） 5) 揚圧力 6) トンネル内部の荷重（内水圧を含む） 7) 施工時荷重 8) 温度変化及び乾燥収縮の影響 9) 地盤変位の影響 10) 地震の影響 11) その他の作用

#### (2) 安全性能

##### ① 常時・洪水時の安全性能

##### <標準>

開削工法によるトンネルの性能照査は、以下によることを基本とする。

- 1) 要求性能に応じた限界状態を施工中及び設計耐用期間中のトンネル又はその構成部材ごとに設定し、設計で仮定した形状、寸法、配筋等の構造詳細を有する構造物あるいは構造部材が限界状態に至らないことを確認する。限界状態は、一般に安全性、復旧性及び耐久性に対して設定する。なお、復旧性については、地震時の検討にて照査を行う。
- 2) 限界状態に対する照査は、適切な照査指標を定め、その限界値と応答値との比較により行う。

##### ② 地震時の安全性能

##### <標準>

耐震性に関する安全性の確保は、以下によることを基本とする。

- 1) 要求性能は、地震作用に対する安全性並びに復旧性の観点から総合的に考慮する。
- 2) 照査は、地震時及び地震後の構造物の安全性を確保するとともに、人命や財産の損失を生じさせるような壊滅的な損傷の発生を防ぐこと、及び地域住民の生活活動に支障を与えるような機能の低下を極力抑制することを目標とする。

### (3) 作用の特性値と安全係数

#### <標準>

作用の特性値と安全係数は、以下によることを基本とする。

- 1) 作用の特性値は、検討すべき要求性能に対する限界状態についてそれぞれ定め、構造物の性能照査に使用する設計作用は、作用の特性値に作用係数を乗じた値とする。
- 2) 構造物の設計における不確実性及び重要性を考慮して、構造物が各要求性能の限界状態に対して所要の安全性を有していることを保証するために、安全係数を使用する。

## 10.6 各部位の設計等

### 10.6.1 トンネル本体

#### (1) 山岳工法

##### ① 設計の基本

#### <標準>

トンネルの設計では、使用目的、使用形態、その他必要となる条件を満たした上で、経済性、安全性、周辺への影響の程度、施工性のみならず供用後の経済性、保守性等の保全業務に求められる条件を総合的に勘案し、調査結果を十分吟味し、地山の支保機能が最大限発揮されるよう、支保工、覆工、インバートに必要な性能を満足した設計とすることを基本とする。

##### ② 支保工の設計

#### <標準>

支保工の設計に当たっては、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) 支保工は、トンネルの掘削後、周辺地山と一体になり、早期に安定化を図るよう設計する。また、地山の挙動が地表面や周辺構造物に有害な影響を及ぼすおそれがある等、設計上制約を設ける必要がある場合には、必要な性能を満足する構造とする。
- 2) 支保工は、作業が安全かつ能率的に行えるよう設計する。

##### ③ 覆工の設計

#### <標準>

覆工の設計に当たっては、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) 覆工は、トンネルの使用目的に適合し、安全で長く使用に耐えるものとする。
- 2) トンネル構造による河川の覆工等、水密性が重要で、かつマスコンクリートでありセメントの水和に起因するひび割れが懸念される等の場合は、解析によって算定されたコンクリートの応力に基づいて照査を行う。

##### ④ インバートの設計

#### <標準>

インバートは、覆工や支保工と一体となってトンネルの使用目的に適合し、必要な性能を満足するように設計する。

##### ⑤ 防水工及び排水工の設計

#### <標準>

トンネルの機能を維持し、覆工等の劣化を防ぐため、トンネルの用途に応じて適切な防水工、排水工等を設計することを基本とする。

## ⑥ 坑口部及び坑門の設計

### <標準>

坑口部及び坑門は地山条件、断面の大きさ、立地条件、周辺の環境に与える影響、景観及び施工方法等を十分考慮して設計することを基本とする。

## ⑦ 特殊条件に対する設計

### <標準>

特殊な地山、特殊な位置、近接施工、特殊な形状と寸法、完成後の外力等、特殊条件を有するトンネルにおいては、各条件に応じて適切に設計することを基本とする。

## ⑧ 完成後の外力

### <標準>

トンネル完成後に、土圧、水圧、地震の影響、その他の外力を受ける場合においては、解析的手法や類似事例に基づいて覆工やインバートの設計することを基本とする。

## (2) シールド工法

### ① 設計の基本

#### <標準>

シールド工法によるトンネルの設計に当たっては、調査によって得られた条件をもとに安全性、経済性、工期、維持管理性等を考慮し、事業計画に応じたトンネルの内空断面、線形、土被り、立坑、覆工、工事の計画、環境保全計画等を決定することを基本とする。

### ② 覆工の役割

#### <標準>

覆工は、周辺地山の土圧、水圧及び施工時等の作用に耐え、所定のトンネル内空を確保するとともに、トンネルの使用目的、維持管理及び施工条件に適合した機能を有する安全かつ堅固な構造物とすることを基本とする。

### ③ 覆工構造の選定

#### <標準>

覆工は、トンネル構造による河川の使用目的に応じた機能を満足するとともに、地山の条件及び施工法等に適合し、かつ防水、防食等の耐久性を考慮して、その構造、材質、形式等を選定することを基本とする。

### ④ 覆工の設計

#### <標準>

本節における覆工の設計は、許容応力度設計法によることを基本とする。また、覆工の設計は、良質な材料を用い、適切な施工が行われることを前提として、トンネルの使用目的に対して構造の安全性が確認できることを基本とする。

### ⑤ セグメントの構造計算

#### <標準>

セグメントの構造計算は、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) トンネルの構造計算は、横断方向と縦断方向に分けて行う。
- 2) トンネルの構造計算は、施工途中の各段階及び完成後の状態に応じた作用に対して、安全側となるように行う。
- 3) トンネル横断面の構造計算で考慮する作用は、設計の対象となるトンネルの区間内の最も不利な条件をもとに定める。
- 4) 不静定力又は弾性変形の計算におけるセグメントの曲げ剛性や軸剛性は、セグメントの種類に応じて適切に計算する。

## ⑥ セグメントの設計細目

### <標準>

セグメントの主断面及び主桁構造は、必要な強度を有するとともに、製作性、施工性及び止水性を考慮して定めることを基本とする。

## ⑦ 二次覆工

### <標準>

二次覆工は、以下に示す項目について検討を行い、対象となるトンネルの用途や施工箇所等に応じた機能等を満足することを基本とする。

- 1) 二次覆工の機能
- 2) 二次覆工の形式
- 3) 二次覆工が必要となる箇所

## ⑧ 覆工の耐久性

### <標準>

一次覆工(セグメント)及び二次覆工は、トンネルの用途、トンネル内の環境、周辺地盤の環境を考慮して、耐久性を確保することを基本とする。

## (3) 開削工法

### ① 設計の基本

#### <標準>

開削工法によるトンネルの設計では、構造物の使用目的に適合するための要求性能を設定し、設計耐用期間を通じて要求性能を満足するか照査することを基本とする。

### ② 部材の設計

#### <標準>

開削工法によるトンネルを構成する各部材は、各部材ごとに単体及び部材が構成する構造全体として、所要の性能と安全性等を確保でき、かつ経済的となるよう、適切な構造解析手法、構造理論、経験から定められた設計手法により設計することを基本とする。

### ③ 構造細目

#### <標準>

開削工法によるトンネルの構造は、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) トンネル躯体は、その水密性に対して十分に留意する。
- 2) トンネル躯体には、必要に応じてトンネルの構造や形状、施工方法や施工環境に応じた防水工及び排水工を考慮する。

- 3) トンネル躯体のコンクリート打継ぎ目地、ひびわれ誘発目地は、防水上の弱点とならないようにする。
- 4) 開削工法によるトンネルの隅角部及び部材接合部にはハンチを設ける。
- 5) すりへり、劣化、衝撃等の激しい作用を受ける部分では、耐久性能を確保するために、適切な材料でコンクリートの表面を防護する。

#### ④ 地下連続壁を本体利用する場合の設計

##### <標準>

地下連続壁を本体構造物の壁体全部あるいは一部として利用する場合は、施工条件、作用条件、及び構造形式等を考慮して設計することを基本とする。

#### ⑤ 仮設構造物の設計

##### <標準>

仮設構造物は、作用荷重、地形及び地質、土留め工の種類、掘削深さ、近接する構造物、周辺環境等を考慮して、安全かつ経済的となるように設計することを基本とする。

### 10. 6. 2 呑口部・流入施設

#### (1) 呑口部

##### <標準>

呑口部の設計に当たっては、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) 呑口部は、計画流量をトンネル本体へ確実に分流し、流水を安定した状態で導入できる形状とし、トンネル構造による河川全体として水理的な安定性が確保できるよう設計することを基本とする。
- 2) 呑口部には、河道特性に応じて、ゴミ・土砂等に対して防除対策の必要性を検討することを基本とする。
- 3) 呑口部が接続する河川においては、流入による洗掘や河床変動を防止し、接続する河川の安定性を確保するため、必要な範囲に護岸及び護床工を設けることを基本とする。

#### (2) 流入施設

##### <標準>

流入施設の設計に当たっては、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) 流入施設は、計画流量をトンネル本体へ確実に分流し、流水が安定した状態で導入できる形状とし、トンネル構造による河川全体として水理的な安定性が確保できるよう設計することを基本とする。
- 2) 流入施設には、河道特性に応じて、ゴミ・土砂等に対して防除対策の必要性を検討することを基本とする。

### 10. 6. 3 吐口部・排水施設

#### (1) 吐口部

##### <標準>

吐口部の設計に当たっては、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) 吐口部は、流水が接続する河川へ安定した状態で排水できる形状とし、トンネル構造による河川全体として水理的な安定性が確保できるよう設計することを基本とする。
- 2) 吐口部が接続する河川においては、排水による洗掘や河床変動を防止し、接続する河川の

安定性を確保するため、必要な範囲に護岸及び護床工を設けることを基本とする。

## (2) 排水施設

### <標準>

排水施設の設計に当たっては、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) 排水施設は、排水機場のポンプ規模、ウォーターハンマー現象が各構造に与える影響等を十分検討し、トンネル構造による河川全体として水理的な安定性が確保できるよう設計することを基本とする。
- 2) 排水施設が接続する河川においては、排水による洗掘や河床変動を防止し、接続する河川の安定性を確保するため、必要な範囲に護岸及び護床工を設けることを基本とする。

## 10. 6. 4 立坑

### <標準>

立坑の設計に当たっては、完成後の洪水の流入、排水、換気等の機能、施工時の機能を考慮し、適切な位置や形状寸法を設計することを基本とする。

## 10. 6. 5 維持管理のために必要となる主たる施設

### <標準>

維持管理のために必要となる施設の設計に当たっては、以下の事項を反映することを基本とする。

- 1) 平常時に、容易かつ安全に巡視等が可能な構造とする。
- 2) 平常時に、容易に上下流からトンネル内への河川水の流入をしゃ断できる構造とする。
- 3) 維持修繕等の工事のための資材搬入路等が、確保可能な構造とする。

## 10. 7 構造に関するその他事項