



2016年制定 トンネル標準示方書
[シールド工法編] ・ 同解説

第2編 覆 工

第2（覆 工）分科会

第1章 総 則

1.1 適用の範囲

- 従来どおり円形トンネルを基本.
- 許容応力度設計法による旨を追記.
- 円形断面以外の適用性について適当と認められる事項, 留意事項について例示.

1.2 名 称

- 記載内容の充実を図った.
 - 合成セグメントの定義を明確化
 - ダクティルセグメントの記述を削除
 - 取付覆工の定義を明確化

1.3 記 号

- 記載内容の充実を図った。
 - 掲載順序の整理, 大幅加筆
 - はりばねモデルによる計算法に関する記号を追記
 - セグメント種別に応じた記号を追記

1.4 覆工構造の選定

【解説】

- 国内での使用実績を踏まえ、ダクスタイルセグメント、中子型セグメントの記述を資料編に移行し、合成セグメントの記述を追記。
- セグメント継手の選定にあたり、適用地盤にあった継手構造の選定、施工過程でセグメントの安定性が問題となる場合、継手構造に注意が必要である旨を追記。
- 将来的な維持管理に必要な空間を、トンネルの内空断面に確保するなど追記。

1.5 設計の基本

- 許容応力度設計法を基本とし，第5編 限界状態設計法との留意点を記述。
 - 許容応力度設計法を基本とする。
 - レベル2地震動に対する検討では，部材の非線形領域まで取り扱うことから，限界状態設計法によることとした。
 - 施工時にセグメントの受ける荷重は，その状況により複雑に作用することから，挙動を十分に把握して設計に反映することが重要！
 - とくに，大深度や大断面のトンネルでは，想定外の施工時荷重に対して，安全に余裕を持たせた形状寸法の採用が望ましい。

1.4 覆工構造の選定

【正誤表】

- P46下から9行目

(誤) ……平面ひずみの保持が成立し、鉄筋コンクリート…

(正) ……平面保持の仮定が成立し、鉄筋コンクリート…

- P47上から5行目

(誤) ……シールドにセグメントに締結力を有する継手構造を選定するなどの対策とともに、形状保持装置を装備するなど…

(正) ……セグメントに締結力を有する継手構造を選定するなどの対策とともに、シールドに形状保持装置を装備するなど…

1.6 設計計算書

【解説】

- シールドトンネル施工技術安全向上協議会「中間報告」を踏まえ、以下について追記。
 - 設計者の意図を施工者や維持管理者に十分伝達。
 - 設計書に計算過程や設計結果のみならず覆工の安全性、耐久性照査において設定した条件や考え方、仮定等明記。
 - 設計と施工の間に条件の差異がないことが容易に確認できるように、設計条件は設計書のはじめに明記しておく

1.7 設計図

- 施工中および維持管理上必要な事項等を追記。

第2章 作用

2.1 作用の種類

- 従来の「荷重」から「作用」へ変更。覆工に対して応力および変形の増減，材料特性に経時変化をもたらすすべての働きを含むもの

1) 鉛直土圧および水平土圧

2) 水圧

3) 覆工の自重

4) 上載荷重の影響

5) 地盤反力

6) 施工時荷重の影響

↑ 常に考慮する基本的な作用

↓ 目的や条件に応じ考慮する作用

7) 環境の影響

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

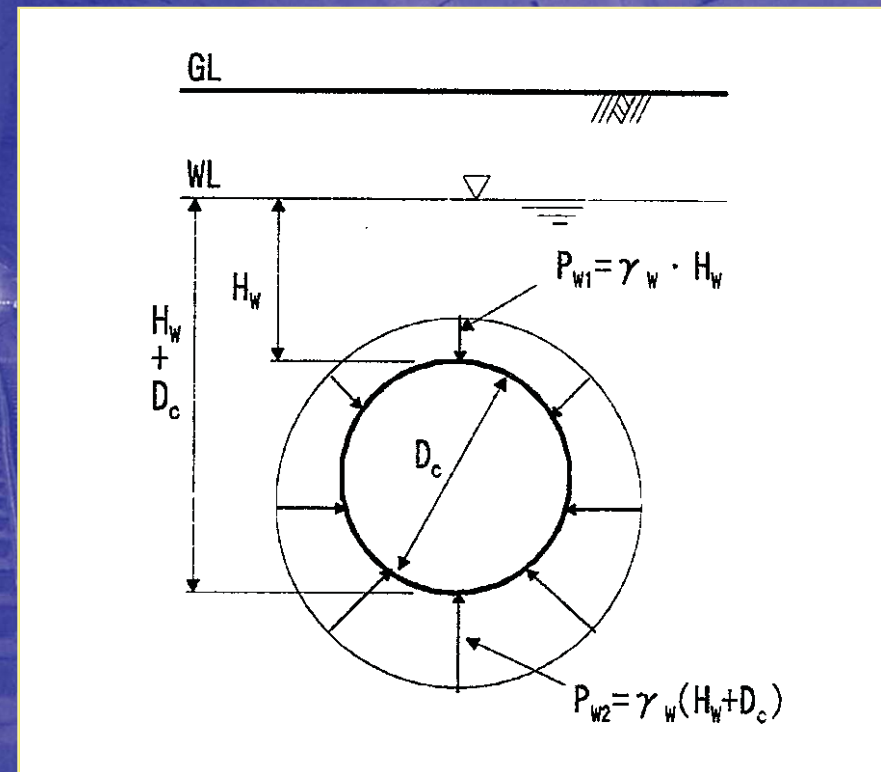
15) その他の作用

2.2 鉛直土圧および水平土圧

- 鉛直土圧は、覆工外周の頂部に作用する等分布荷重を基本とするが、基準によっては設計上の便宜から覆工の図心軸を頂部とする場合もあることから、算定位置が変わる旨の注意を記述。
- 水平土圧は、地盤条件が乏しい海底下や河床下の場舎、側方土圧係数や地盤反力係数を過大に見積もると、覆工厚や継手の剛性を過小評価することになるため、過大に評価しすぎない旨の注意を記述。
- 大深度トンネルの場合、土圧は掘削による応力解放にともない相当小さくなり、ほぼ自立する状態を呈すると推測、一方、地盤反力は相当に大きく期待できるなど、地盤反力を適切に評価するなどの注意を記述。

2.3 水 圧

- 静水圧を基本、分布形状は構造モデルにより選定する
- 設計水圧の分布形として、覆工の圆心位置における地下水圧をトンネル半径方向に作用させる方法を解説に例示



2.4 覆工の自重

- ダクタイルは参考資料へ移行、他指針類と整合
- 合成セグメントの実績を調査し自重の例を明記
- 浮き上がりの検討に対する解説表の適用について注意を記述

2.5 上載荷重の影響

- 建物下の掘進を想定し、建物荷重の評価方法の例、建物荷重の目安 (20kN/m^2) を明記
- 大深度トンネルの場合、「大深度地下使用技術指針・同解説」を参考に適切に設定

2.6 地盤反力

- はりばねモデルによる計算法の適用を念頭に、シールドテール内での地盤反力の評価方法について解説
- 一定の施工条件を前提に、セグメントの自重による変形に対する地盤反力を考慮できる場合がある

2.7 施工時荷重

- 「地山の条件や施工条件を考慮したうえで、シールド施工時の各段階毎の施工時荷重に対して、セグメント安定性、部材の安定性の検討を行う」との条文へ。
- 各施工段階における施工時荷重を例示
- Kセグメントの安定（抜け出し、落ち込み）について、大幅に解説文を追記
- 急曲線施工時の安定に関する検討事項および対策事例を充実
- 海底横断，河川横断時の検討事項を追記

2.8 環境の影響

- **新設条文**．覆工の耐久性を確保するための基本事項を明記
- 特に、二次覆工を施工しない場合、環境作用を適切に考慮し、劣化に対する対策が重要

2.9 浮力

- **新設条文**．施工中および完成後の浮き上がりに対する検討を条文化
- 海底横断、河川横断部等土被りが小さく、地下水位が高い場所等での留意点を記述
- 裏込め注入時期の遅延に対する浮き上がりに関する注意を記述(2.7 再掲)

2.10 地震の影響

- 新潟県中越地震，東日本大震災の被災状況等を解説。
- 大規模地震動(レベル2)，耐震検討の手法等詳細については「第5編 限界状態設計法」へ

2.12 併設トンネルの影響

- 長期的な作用(土圧の偏り，地盤の緩み)と短期的な作用(切羽圧，裏込め注入圧等)に区分
- 近年の施工実績(鉄道30cm程度，道路50cm程度)を記載

2.14 内水圧の影響

- 内部荷重から分離して条文化
- 内水圧の作用により、覆工に作用する軸力が変動に対する覆工設計上の留意点を解説

2.15 内部荷重

- 天井板、ジェットファン等の重量施設物を追記
- 引張力を主体として期待する場合、あと施工アンカーではなく、インサート金物等を基本

2.16 その他の作用

- 貯蔵、運搬時の一時的な荷重に加え、シーリング材の反発力、地中切掘げに伴う荷重、火災の影響等の具体例を明示

第3章 材料

3.1 材料

- 使用材料規格(プラグ, Oリング, 塗料……)の見直し
(表2.3.1)

(実績のある材料については実情にあわせて表記,
使用実績が少なくなってきた材料は削除)

3.2 材料の試験

- 海外製材料(JIS規格採用品を除く)については, 必要に応じて物性に関する試験等を類似の試験方法に準じて実施, JISと同等以上であることを確認

3.3 材料のヤング係数およびポアソン比

- ヤング係数を他編, 他規準等と整合

第4章 許容応力度

4.1 許容応力度

- SM520Y, SM570材, FCAD900-8, 4.8の追記
(表2.4.5,表2.4.6 表2.4.8,表2.4.10)
(実績のある材料については実情にあわせて表記)

4.2 許容応力度の割り増し

- 内水圧の影響について追記
- 荷重(一時的, 恒久的)の分類について追記

第5章 セグメントの形状

5.1 セグメントの形状寸法

- 形状寸法決定にあたっては、構造計算のほか、類似工事の実績も勘案し、十分検討する。
- セグメント幅、セグメント高さの実績について、セグメント種別に応じて明示。
- あわせて幅/高さ比の実績も明示。
- セグメントの分割数の実績を明示。分割数による留意点を記述。

5.2 継手角度および挿入角度

- 継手角度や挿入角度が大きくなる場合の留意点を記述.
- Kセグメントの安定性, 施工時および完成時における留意事項を記述.

5.3 テーパーリング

- 実績を示した. テーパー量の算定方法の例は, トンネルライブラリー第23号を参照.
- 急曲線部にける組み合わせの例を追加

第6章 セグメントの構造計算

6.1 構造計算の基本

- 設計用断面力は鉛直方向荷重と水平報告荷重のバランスに大きく影響される旨の注意
- 不静定力または弾性変形の計算
 - ① 鋼製セグメント → 解説を付記
 - ② レベル2地震動に対する検討 → 第5編

6.2 横断方向の構造計算

- 横断方向の断面力の計算法解説をはりばねモデルによる計算法主体へ変更。
(慣用法, 修正慣用法の理論解, 解説は参考資料に)
- 各計算法の概要, 特徴を整理(表 2.6.1).
- シールドテール内での覆工自重に対する地盤反力の取り扱い, 近接施工やシールド切上げを念頭にFEM解析の取り扱い, 既設トンネルも含め環境の作用に対する留意点等を大幅加筆.
- 断面力算定にあたっては, 構造モデル, 作用, 地盤反力, 周辺地盤との相互作用, 施工条件等を適切に評価しバランスのとれたものとする.

6.3 縦断方向の構造計算

- 縦断方向の構造計算を行う場合を明示.
- 縦断方向の構造解析モデル2種類を提示
- 構造解析モデルを例示
 - ① 動的解析モデル (解説 図 2.6.4)を追加
 - ② 急曲線施工時 (解説 図 2.6.5)
 - ③ 地震時 (解説 図 2.6.6)
 - ④ 地盤急変部を通過するトンネル(解説図 2.6.7)

6.4 スキンプレートの有効幅

- 合成セグメントのスキンプレートの有効幅について解説
- 中子形セグメントについては削除

6.5 主断面の応力度

- はりばねモデルによる計算法における、応力度照査位置の例を解説
- 鋼製セグメントの腐食代の取り扱いを解説
- 合成セグメントにおける取り扱いを追加解説

6.6 継手の計算

- 断面力の算定法についてセグメント種別、計算方法に応じて解説
- 各計算方法に対する留意事項について大幅加筆
- 継手板の構造モデル、断面力算定方法について記載

6.7 スキンプレートの計算

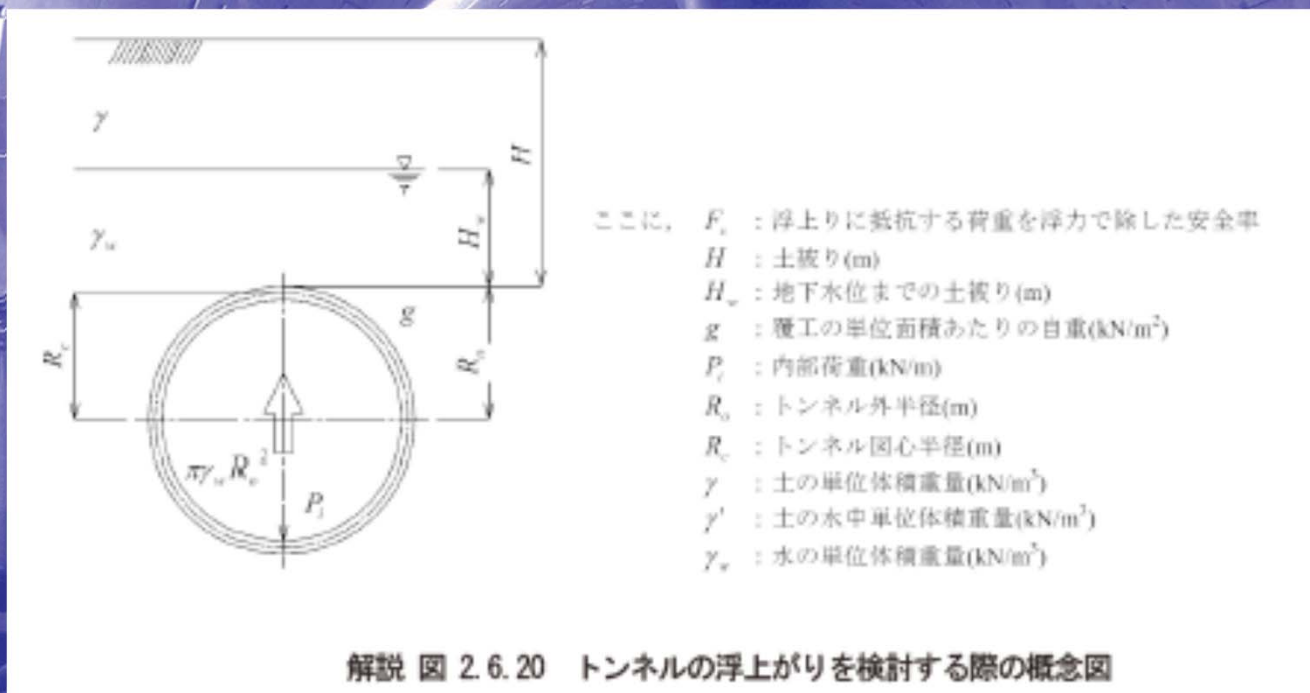
- 中子形セグメントの削除, 背板の削除
- スキンプレートの飛び移り座屈について記載

6.8 縦リブの計算

- 中子形セグメントの削除
- 急曲線部や偏心量が大きくなる場合の偏心量の設定等, 留意事項を記載

6.9 トンネルの安定

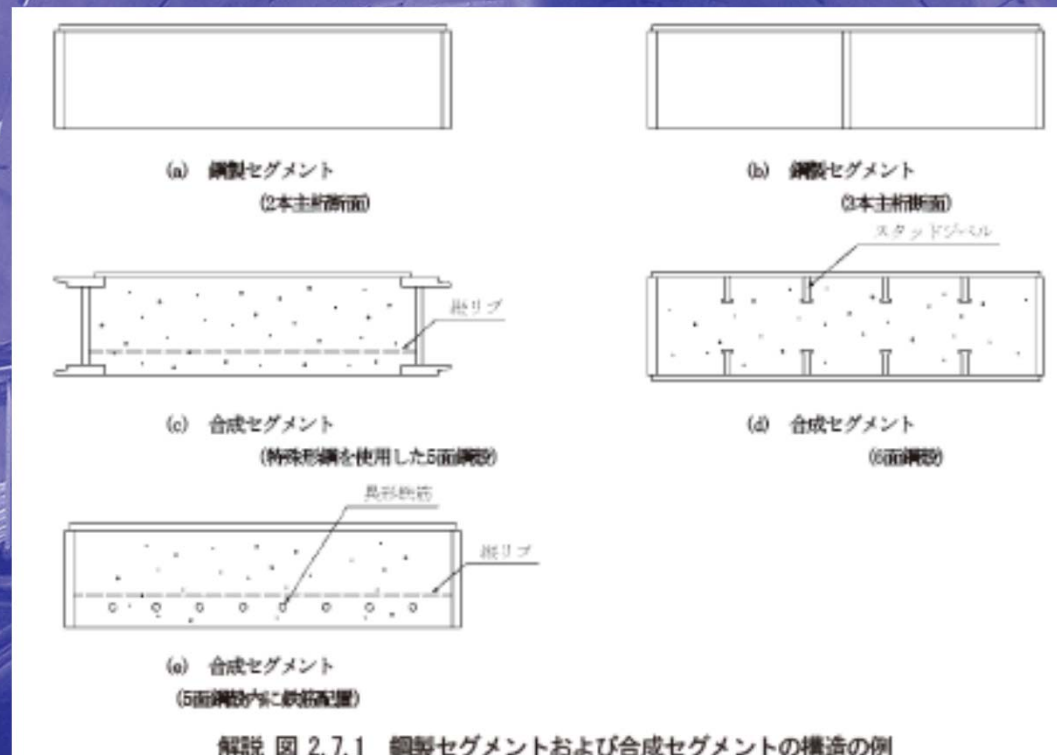
- 新設条文、浮力に対する照査を行い、安全性の確認、必要に応じて対策工を実施
- トンネルの重量化など対策工の例を解説



第7章セグメントの設計細目

7.1 主断面および主桁構造

- 合成セグメントに関する解説を大幅追記、主断面構造の例を示す。ダクティルは削除

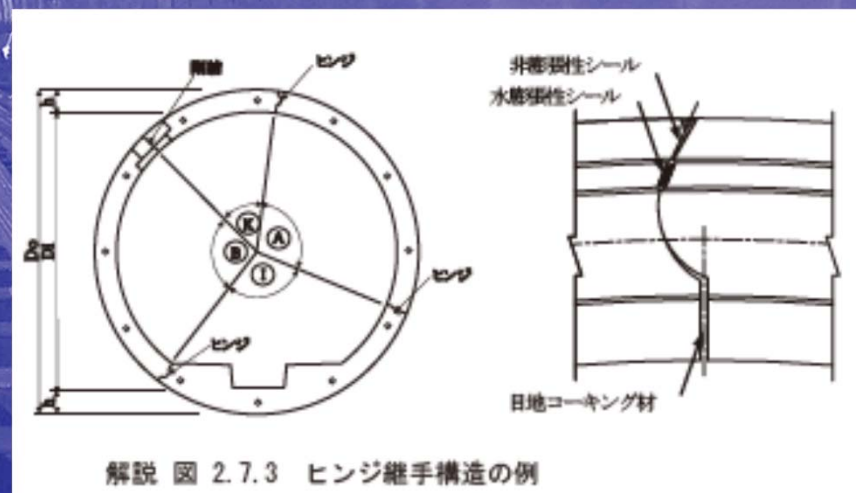
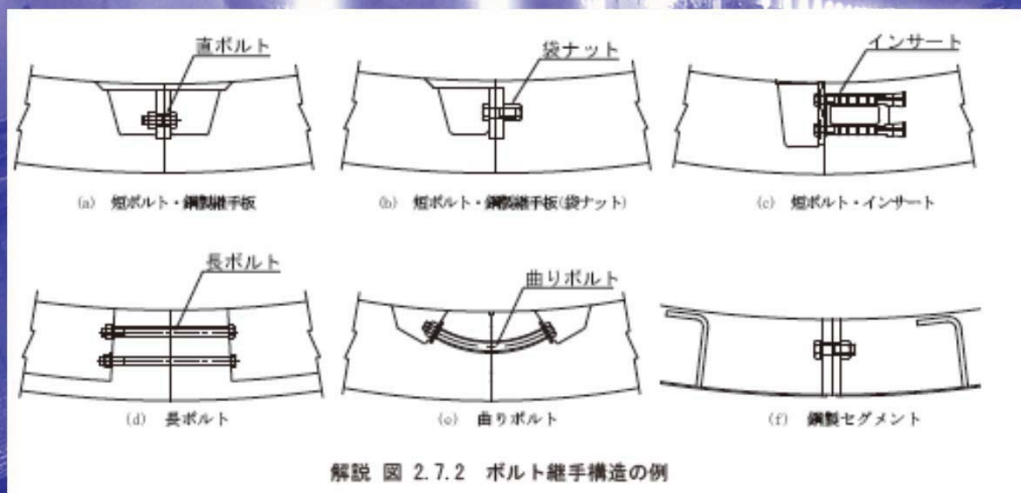


7.2 鉄筋

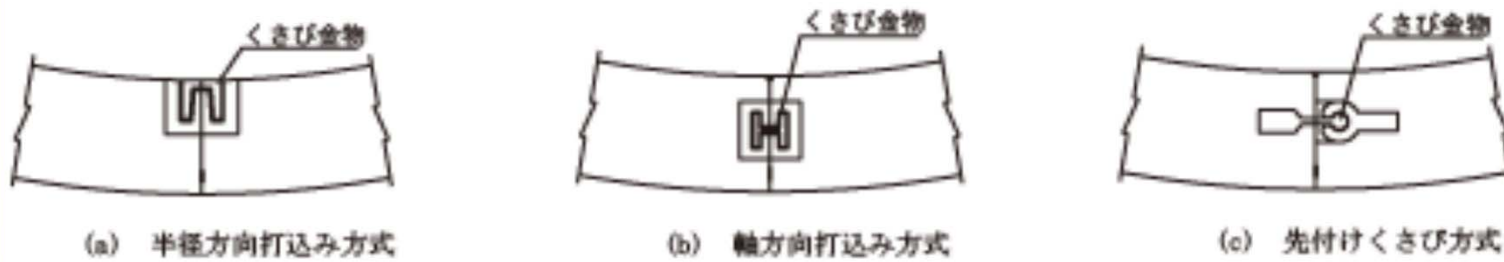
- 引張鉄筋比について最近の実績を記載

7.3 継手構造

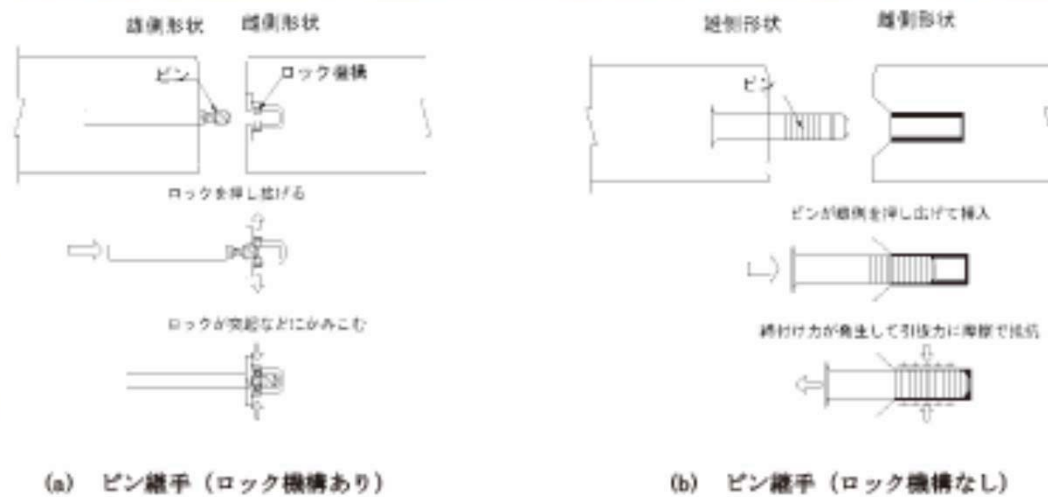
- 多様な継手構造を，ボルト継手構造，ヒンジ継手構造，くさび継手構造，ピン挿入型継手構造，ほぞ継手構造にグループ分けし，それぞれの継手構造の概要と特徴，構造事例を解説



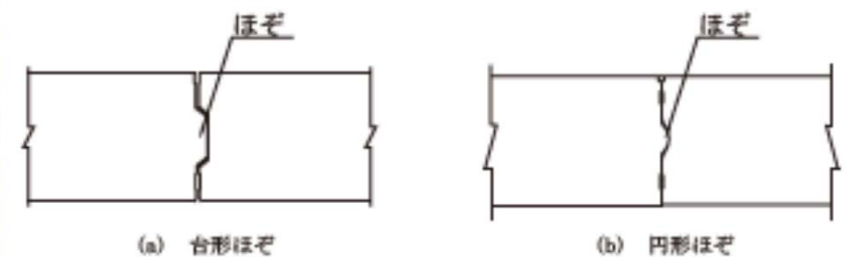
7.3 継手構造



解説 図 2.7.4 くさび継手構造の例



解説 図 2.7.5 ピン挿入型継手構造の例



解説 図 2.7.6 ほぞ継手構造の例

7.4 継手の配置

- 急曲線部の施工時荷重に対する留意事項，特にコンクリート中詰め鋼製セグメントを使用する場合の注意を記載

7.5 縦リブ構造

- 中子形，ダクティルセグメントの削除
- 解説の内容を実態に合うように見直し，修正

7.6 注入孔

- 注入孔や注入孔栓は腐食により漏水を引き起こすこともあり耐久性を考慮した材質とする，注意を記載

7.7 吊手

- 中子形, ダクスタイルセグメントの削除
- 近年の大断面の鉄筋コンクリート製セグメント, 合成セグメントの事例を解説に記載

7.8 その他の設計細目

- シール溝, コーキング溝の条文, 解説を記載
- 水膨張性シール材を採用する際の注意を記載

7.8 その他の設計細目

【正誤表】

- P120上から7行目

(誤) ……薄い方の板厚以下脚長 $=\sqrt{(2t)}$ または、溶接する板厚以下とする。

(正) ……薄い方の板厚以下とする。

第8章 セグメントの製作

- 鉄筋コンクリート製セグメント，鋼製セグメントに加えて，合成セグメントを追加し，内容を充実させた。

8.1 一般事項

8.2 製作要領書

- ダクタイルセグメントは参考資料へ
- 耐火，剥落防止など特殊な機能を有するセグメントに対する注意を追加

8.3 寸法精度

- 合成セグメントについて例示

8.4 検査

- 各セグメントについて検査の流れを例示
- ダクタイルセグメントは削除
- 検査結果の保管について明記
- 道路トンネルの場合，耐火性能等の確認が必要となる場合を追加

8.5 マーキング

- 貯蔵期間が長くなる場合，マーキングの消失の注意を追加

第9章 セグメントの貯蔵，運搬 および取扱い

9.1 一般事項

9.2 貯蔵

- セグメント本体，継手等項目別に整理
- 自然災害や形状による転倒について追加
- 合成セグメントの鋼材腐食について注意を追加

9.3 運搬および取扱い

第10章 二次覆工

10.1 一般事項

- 二次覆工の形式を整理し，内容の充実を図った
- 二次覆工が必要となる箇所をより具体的に解説
- 到達立坑部，地中接合部について取付覆工として整理し，具体的に解説

10.2 断面力および応力度

- 一次覆工との接合状態を考慮して、二次覆工の構造計算を行う場合の留意点を以下の観点よりまとめた。
 - 1) 一次覆工をトンネルの主体構造とする場合
 - 2) 二次覆工を一次覆工と合わせてトンネルの主体構造とする場合(2層リングモデルの概要を例示)
 - 3) 二次覆工を単独でトンネルの主体構造とする場合

10.3 設計細目

- コンクリート特性、二次覆工の厚さ、配筋などの構造細目の設定に関する留意点を記した。
- 海底トンネル、大深度トンネル等に対する防水層の設置について追記した。

10.3 設計細目

【正誤表】

- P.35上から6行目

(誤) ……なお、鉄筋コンクリート製系セグメント等で、…

(正) ……なお、鉄筋コンクリート製セグメント等で、…

第11章 覆工の耐久性

→第8章 セグメントの耐久性から，覆工の耐久性に変更し，記述内容を全体的に充実した。

11.1 耐久性の基本

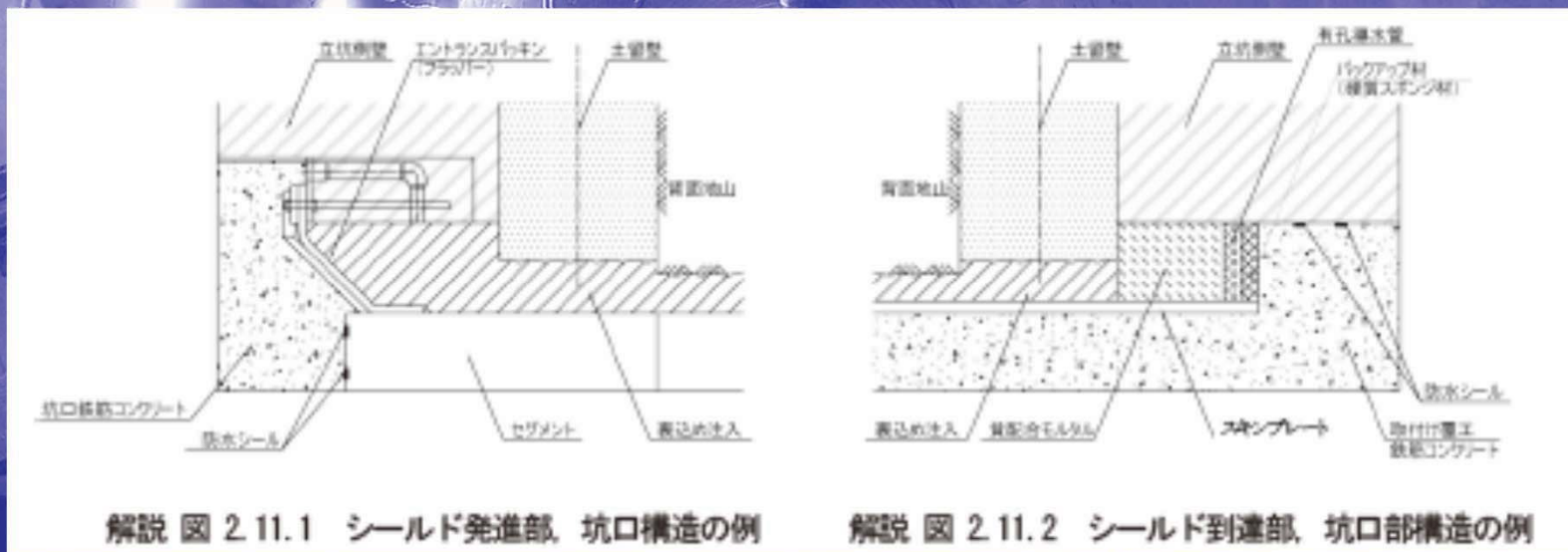
- 覆工種別，セグメント種別ごとに耐久性検討上の注意点を記した。
- 耐火性，耐熱性などについても検討の必要性を追記。
- セグメントの耐久性を向上させるうえで，二次覆工が重要となることを明示

11.2 止水

- 覆工の耐久性確保において、とくに漏水防止が重要であるとの考えのもと、記述内容を大幅に加筆、変更した。
- セグメント本体、セグメント継手面、立坑との取付部において、注意点を解説した。
- 大深度（高水圧）、内水圧などが作用する特殊条件下での継手面の留意点を追加した。

11.2 止水

- 立坑部では，発進部，到達部において構造について解説した。
- 立坑との取付部の構造の例を明示した。
- 近年のシールド適用範囲拡大にともない，枝管接続部の施工，分岐合流部の切拡げ施工など特殊条件下での検討事項を追加した。





ご静聴ありがとうございました。

11.3 ひび割れ幅の検討

- 許容ひび割れ幅，水密性に関するひび割れ幅の設計限界値の目安を例示した（解説表 2.11.3）。
- ひび割れ幅の算定方法は，第5編を参照

11.4 防食および防せい

- 使用材料について最近の実績を踏まえて解説。
- 腐食代を考慮する場合，1mm程度
- セグメント，継手以外に対する解説を追加した。