

セグメントの設計【改訂版】

～許容応力度設計法から限界状態設計法まで～

目 次

第 I 編 許容応力度設計法

| | |
|------------------------------|----|
| 1. 序 論 | 1 |
| 1.1 はじめに | 1 |
| 1.2 設計の基本と適用の範囲 | 2 |
| 1.3 関連基準類 | 4 |
| 1.4 覆工構造の選定 | 5 |
| 1.4.1 一次覆工の機能と種類 | 5 |
| 1.4.2 二次覆工の機能と種類 | 7 |
| 1.4.3 セグメントの選定 | 11 |
| 1.5 構造計算の基本 | 11 |
| 1.6 名称および記号 | 12 |
| 1.6.1 名 称 | 12 |
| 1.6.2 記 号 | 16 |
| 1.7 設計図書 | 17 |
| 1.7.1 設計計算書 | 17 |
| 1.7.2 設 計 図 | 17 |
| 2. 荷 重 | 18 |
| 2.1 土圧および水圧の考え方 | 18 |
| 2.1.1 土 圧 | 18 |
| 2.1.2 水 圧 | 23 |
| 2.1.3 トンネルの安定 | 24 |
| 2.2 覆工の自重 | 24 |
| 2.3 上載荷重の影響 | 25 |
| 2.3.1 上載荷重の影響の評価の例 | 25 |
| 2.3.2 弾性理論にもとづく地中応力の算定法 | 26 |
| 2.4 地盤反力 | 26 |
| 2.4.1 慣用計算法における考え方 | 26 |
| 2.4.2 地盤ばねモデルによる計算法における考え方 | 27 |
| 2.5 施工時荷重 | 28 |
| 2.5.1 ジャッキ推力 | 28 |
| 2.5.2 裏込め注入圧 | 29 |
| 2.5.3 その他の施工時荷重 | 29 |
| 2.6 地震の影響 | 30 |
| 2.6.1 トンネルおよびトンネル周辺地盤の安定性の検討 | 31 |
| 2.6.2 地震の影響の検討手順とモデル | 31 |
| 2.7 その他の配慮すべき荷重 | 33 |
| 2.7.1 近接施工の影響 | 33 |

| | | |
|-------|-----------------------|----|
| 2.7.2 | 地盤沈下の影響 | 34 |
| 2.7.3 | 併設トンネルの影響 | 34 |
| 2.7.4 | 内部荷重 | 36 |
| 2.7.5 | その他の荷重 | 37 |
| 3. | 材料および許容応力度 | 38 |
| 3.1 | 材料の種類と規格 | 38 |
| 3.2 | 材料の機械的性質と形状寸法 | 38 |
| 3.3 | 材料のヤング係数およびポアソン比 | 41 |
| 3.4 | 許容応力度 | 42 |
| 3.5 | 許容応力度の割増し | 46 |
| 4. | セグメントの形状と継手構造 | 47 |
| 4.1 | セグメント外径とトンネル内径 | 47 |
| 4.2 | セグメント高さ(厚さ) | 51 |
| 4.3 | セグメント幅 | 51 |
| 4.4 | セグメントリングの分割およびKセグメント | 52 |
| 4.4.1 | セグメントリングの分割 | 52 |
| 4.4.2 | Kセグメントの種類 | 52 |
| 4.5 | 継手構造 | 53 |
| 5. | 横断方向の構造計算 | 57 |
| 5.1 | 概説 | 57 |
| 5.2 | 断面諸量の算定 | 59 |
| 5.2.1 | スキンプレートの有効幅 | 59 |
| 5.2.2 | 主断面部材の断面性能 | 60 |
| 5.2.3 | 設計軸線 | 63 |
| 5.3 | 慣用計算法および修正慣用計算法 | 63 |
| 5.3.1 | 計算方法の基本的な考え方 | 64 |
| 5.3.2 | 設計用断面力 | 66 |
| 5.4 | はりばねモデルによる計算法 | 69 |
| 5.4.1 | 計算方法の基本 | 69 |
| 5.4.2 | 設計用断面力 | 72 |
| 5.4.3 | 各基準類におけるはりばねモデルによる計算法 | 73 |
| 6. | 縦断方向の構造計算 | 75 |
| 6.1 | 概説 | 75 |
| 6.2 | 構造解析モデル | 75 |
| 6.2.1 | 縦断方向はりばねモデル | 76 |
| 6.2.2 | 縦断方向の等価剛性はりモデル | 77 |
| 6.2.3 | 地盤などのモデル化 | 80 |
| 6.2.4 | 縦断方向の解析モデルの例 | 81 |
| 7. | 部材の設計 | 83 |
| 7.1 | 基本的事項 | 83 |
| 7.2 | 鉄鋼製セグメント | 83 |
| 7.2.1 | 主断面の設計 | 83 |
| 7.2.2 | セグメント継手の設計 | 85 |

| | | |
|-------|----------------|-----|
| 7.2.3 | リング継手の設計 | 88 |
| 7.2.4 | ジャッキ推力に対する設計 | 89 |
| 7.2.5 | スキンプレートの設計 | 90 |
| 7.3 | コンクリート系セグメント | 93 |
| 7.3.1 | 主断面の設計 | 93 |
| 7.3.2 | セグメント継手の設計 | 96 |
| 7.3.3 | リング継手の設計 | 99 |
| 7.3.4 | ジャッキ推力に対する検討 | 100 |
| 8. | セグメントの耐久性 | 101 |
| 8.1 | 耐久性に関する基本的な考え方 | 101 |
| 8.2 | 止水性 | 102 |
| 8.2.1 | 漏水とその影響 | 102 |
| 8.2.2 | 止水対策の概要 | 102 |
| 8.2.3 | 継手部の止水 | 104 |
| 8.3 | ひび割れの検討 | 106 |
| 8.4 | 防食および防せい | 108 |
| 8.4.1 | 鉄鋼製および合成セグメント | 108 |
| 8.4.2 | コンクリート系セグメント | 108 |

第Ⅱ編 限界状態設計法

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 1. | 序 論 | 111 |
| 1.1 | はじめに | 111 |
| 1.2 | 設計にあたって設定する限界状態 | 113 |
| 1.3 | 設計耐用期間 | 114 |
| 1.4 | 応答値および限界値の算定 | 114 |
| 1.5 | 安全係数および修正係数 | 115 |
| 1.6 | 記 号 | 116 |
| 2. | 安全係数 | 117 |
| 2.1 | 材料係数 | 117 |
| 2.2 | 部材係数 | 118 |
| 2.3 | 荷重係数 | 120 |
| 2.4 | 構造解析係数 | 121 |
| 2.5 | 構造物係数 | 121 |
| 2.6 | 耐震設計における安全係数の取り扱い | 121 |
| 2.7 | 修正係数 | 122 |
| 3. | 荷 重 | 123 |
| 3.1 | 設計荷重の種類と特性値の算定 | 123 |
| 3.2 | 設計荷重の組合せ | 124 |
| 4. | 材料の設計値 | 126 |
| 4.1 | 材料の強度 | 126 |
| 4.2 | 応力-ひずみ曲線 | 130 |
| 4.3 | ヤング係数 | 130 |

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 4.4 | その他の材料の設計値 | 131 |
| 5. | 応答値の算定 | 132 |
| 5.1 | 算定の基本 | 132 |
| 5.2 | 応答値の算定方法 | 132 |
| 6. | 限界値の算定と照査 | 143 |
| 6.1 | 終局限界状態に関する検討 | 143 |
| 6.1.1 | 終局限界状態の検討の一般事項 | 143 |
| 6.1.2 | コンクリート系セグメントの照査 | 146 |
| 6.1.3 | 鉄鋼製セグメントの照査 | 152 |
| 6.2 | 使用限界状態に関する検討 | 162 |
| 6.2.1 | 使用限界状態の検討の一般事項 | 162 |
| 6.2.2 | コンクリート系セグメントの照査 | 164 |
| 6.2.3 | 鉄鋼製セグメントの照査 | 166 |
| 6.2.4 | ひび割れ幅の照査 | 170 |
| 6.2.5 | セグメントリングの変形の検討 | 172 |
| 6.2.6 | 継手部の変形の検討 | 172 |

第Ⅲ編 設計細目

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 1. | 主断面および継手の配置 | 175 |
| 1.1 | 鉄鋼製セグメント | 175 |
| 1.2 | コンクリート系セグメント | 176 |
| 2. | 縦リブ | 178 |
| 3. | シール溝およびコーキング溝 | 179 |
| 3.1 | シール溝 | 179 |
| 3.2 | コーキング溝 | 179 |
| 4. | 注入孔および吊手 | 181 |
| 4.1 | 注入孔 | 181 |
| 4.2 | 吊手 | 182 |
| 5. | 継手角度および挿入角度 | 183 |
| 6. | テーパリング | 185 |
| 6.1 | テーパリングの種類 | 185 |
| 6.2 | テーパリングの使用量 | 185 |
| 6.3 | テーパリングのテーパ量 | 185 |
| 7. | 鉄筋一般 | 187 |
| 7.1 | 鉄筋のかぶりとあき | 187 |
| 7.2 | 鉄筋の加工, 継手と定着 | 187 |
| 7.3 | 主鉄筋 | 188 |
| 7.4 | 配力筋, 組立筋およびその他の鉄筋 | 189 |

| | |
|----------|-----|
| 8. その他 | 190 |
| 8.1 溶接 | 190 |
| 8.2 空気抜き | 191 |

第Ⅳ編 設計計算例

| | |
|---------------------|-----|
| 1. 序論 | 193 |
| 1.1 設計計算例について | 193 |
| 1.2 設計計算例に関する注意事項など | 193 |
| 2. 許容応力度設計法による設計計算例 | 197 |
| 2.1 鋼製セグメントの例 | 197 |
| 2.2 ダクタイルセグメントの例 | 209 |
| 2.3 コンクリート系セグメントの例 | 217 |
| 3. 限界状態設計法による設計計算例 | 224 |
| 3.1 鋼製セグメントの例 | 224 |
| 3.1.1 設計条件 | 224 |
| 3.1.2 使用限界状態の照査 | 227 |
| 3.1.3 終局限界状態の照査 | 235 |
| 3.1.4 設計結果のまとめ | 244 |
| 3.1.5 設計図の作成 | 245 |
| 3.2 ダクタイルセグメントの例 | 246 |
| 3.2.1 設計条件 | 246 |
| 3.2.2 使用限界状態の照査 | 249 |
| 3.2.3 終局限界状態の照査 | 257 |
| 3.2.4 設計結果のまとめ | 267 |
| 3.2.5 設計図の作成 | 267 |
| 3.3 コンクリート系セグメントの例 | 273 |
| 3.3.1 設計条件 | 273 |
| 3.3.2 使用限界状態の照査 | 276 |
| 3.3.3 終局限界状態の照査 | 288 |
| 3.3.4 設計結果のまとめ | 297 |
| 3.3.5 設計図の作成 | 297 |

第Ⅴ編 参考資料

| | |
|--------------------|-----|
| 1. 特殊なセグメント | 303 |
| 1.1 特殊な形状 | 303 |
| 1.2 特殊な機能を有したセグメント | 308 |
| 1.3 各種施工条件への対応 | 313 |
| 2. 継手の種類と分類 | 317 |
| 3. 土圧・水圧の設定例 | 320 |
| 3.1 土圧・水圧設定フロー | 320 |

| | |
|---|-----|
| 3.2 土圧・水圧の設定方法例 | 321 |
| 4. テルツァーギの緩み土圧の応用式 | 322 |
| 5. 路面交通荷重による上載荷重の設定例 | 323 |
| 6. 大深度地下トンネルにおける上載荷重の設定例 | 325 |
| 7. 鉄道構造物における地盤反力係数の設定例 | 327 |
| 8. セグメントの自重による変形に対する地盤反力係数の設定例 | 328 |
| 9. 施工時荷重に対する検討方法の例 | 331 |
| 9.1 施工時荷重に対する検討の現状 | 331 |
| 9.2 トンネル縦断方向の曲線施工時の検討に用いるジャッキ推力とジャッキパターンによる影響の例 | 331 |
| 9.3 幅広化等に伴うセグメントのラップ組に関する検討方法の例 | 332 |
| 9.4 裏込め注入圧に対する検討方法の例 | 333 |
| 9.5 エレクターの操作荷重の例 | 335 |
| 9.6 コンクリート系セグメントのシール材の圧縮反力に対する検討方法の例 | 336 |
| 10. 『下水道仮設設計マニュアル』の開口部の設計法の概要 | 337 |
| 10.1 開口部の影響 | 337 |
| 10.2 開口部の設計に考慮する荷重 | 338 |
| 11. 高強度鋼材の許容応力度(案) | 340 |
| 11.1 『トンネル標準示方書』に示される局部座屈に対する許容応力度の解説 | 340 |
| 11.2 高強度鋼材の許容応力度(案) | 342 |
| 12. セグメント継手の回転ばね定数 | 343 |
| 12.1 概要 | 343 |
| 12.2 実験により算出する方法 | 343 |
| 12.3 理論的、解析的に算出する方法 | 345 |
| 12.3.1 村上-小泉の方法 | 346 |
| 12.3.2 『鉄道設計標準』の方法 | 353 |
| 12.3.3 レオンハルト (Leonhardt) の式 | 355 |
| 13. リング継手のせん断ばね定数 | 356 |
| 13.1 概要 | 356 |
| 13.2 『鉄道設計標準』の方法 | 356 |
| 14. 継手のばね定数の設定例 | 357 |
| 14.1 『内水圧の手引き』の参考例 | 357 |
| 14.2 『首都高設計要領』の参考例 | 358 |
| 15. シールドトンネル縦断方向の回転ばね定数 | 361 |
| 15.1 志波らの提案をもとにした方法 | 361 |
| 15.2 西野の提案による方法 | 362 |
| 15.3 理論的な算定方法の留意点 | 363 |

| | | |
|------|--------------------------------------|-----|
| 16. | シールドトンネル縦断方向の等価曲げ剛性の誘導 | 364 |
| 16.1 | 縦断方向の等価曲げ剛性誘導 | 364 |
| 16.2 | シールドトンネル縦断方向の応力度および継手の引張力算定式の誘導 | 369 |
| 17. | テーパリングのテーパ量の算定方法 | 370 |
| 18. | 限界状態設計法に関する参考資料 | 372 |
| 18.1 | ダクタイルセグメントの材料特性および局部座屈について | 372 |
| 18.2 | 鉄鋼製セグメントの終局限界状態の照査 | 377 |
| 18.3 | 使用限界状態の照査 | 381 |
| 19. | シール材 | 385 |
| 19.1 | シール材の歴史 | 385 |
| 19.2 | シール材の種類 | 386 |
| 19.3 | 止水のメカニズム | 387 |
| 19.4 | シール材、シール溝と止水性能について | 388 |
| 19.5 | シール材の設計法 | 388 |
| 19.6 | シール材の耐久性の検討例 | 392 |
| 19.7 | シール材の設計例 | 394 |
| 20. | 防食および防せい、ボルトボックス充填工、コーキング工およびボルトパッキン | 398 |
| 20.1 | 鋼製セグメントの塗装仕様の例 | 398 |
| 20.2 | 継手部材の防食処理の例 | 398 |
| 20.3 | 注入孔・吊手金具の防食対策の事例 | 400 |
| 20.4 | ボルトボックス充填工の例 | 401 |
| 20.5 | コーキング工 | 402 |
| 20.6 | ボルトパッキン | 403 |
| | 参考文献 | 404 |