

Ⅲ-672

内圧トンネルの設計法について

株式会社 フジタ ○秋場忠彦 旭電化工業株式会社 上野時夫
 日本シールドエンジニアリング(株) 斎藤正幸 日立造船株式会社 関 弘行
 石川島建材工業株式会社 大関宗孝 株式会社 クボタ 相場 勉

1. はじめに

最近、地下調節池や地下河川の利用を目的とした大深度・大断面シールドトンネルが計画されている。これらに用いるセグメントは、内水圧に抵抗でき、急速施工・自動化にも対応できるものが期待されている。

開発グループ6社（上記）は、これらの要求性能を満足する「インターロッキングセグメント」の開発を行っており、内圧トンネルの設計法についても検討を行ったので、ここに報告する。

2. インターロッキングセグメントの特徴

図-1に本体構造、図-2に継手構造を示す。

本体はRCまたはSRC構造とし、リング継手面に半径方向と接線方向の2つのほぞを有する。千鳥組の添接効果により、前者は土圧・水圧などの外力に抵抗し、後者は内水圧に抵抗する。

継手の内外縁は接触しない構造となっており、組立時の損傷を防止できる。また、緩衝材によってセグメント製作誤差・組立誤差を吸収できる。内水圧による軸引張力が大きい場合には、接線方向のほぞに金具を取り付けることで対応する。

内水圧作用時・除荷時における継手部の開口・閉口に追従できるように、止水材としてガスケットを使用するものとする。内面に金具類が露出しないため、防食上有利である。

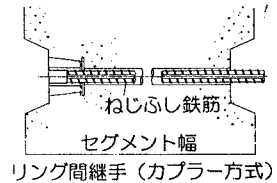
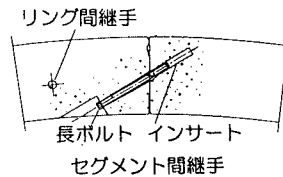
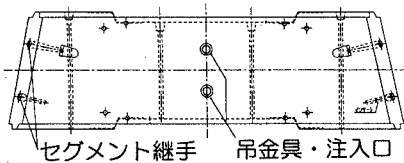


図-1 本体構造

図-2 継手構造

3. 設計法の要点

- ① 土圧の大きさは内水圧に対して有利に作用する場合もあるので、土圧の値の不確実性を表-1のように考慮する。

表-1 最大土圧・最小土圧

最大土圧 ($h_{\max}$)	最小土圧 ($h_{\min}$)
$D \geq 6.0\text{m} : h_{\max} = 1.5D$ $D \geq 6.0\text{m} : h_{\max} = 1.5D$ D : シールド外径	沖積粘性土: $0.5 h_o$ ($0.6 \sim 0.7$) 洪積粘性土: $0.3 h_o$ (0.5) 砂質土: $0.3 h_o$ ($0.3 \sim 0.4$) h_o : 土の緩み高さ (テルツァーギ) (): 実測による緩み高さ / h_o

- ② 側方土圧係数 λ 、地盤反力係数 k は土木学会トンネル標準示方書（シールド編）・同解説による。
 ③ 土質と土圧の大きさによる土水の扱いを、表-2のようにする。

表-2 土質と土圧の大きさによる土水の扱い

	緩み土圧・最大土圧	最小土圧
粘性土	土水一体	土水分離*
砂質土・土丹 (砂分20%以上)	土水分離	

*: 沖積粘性土でも長期的には土水分離状態になること及び土水一体とすると軸圧縮力が小さくなり危険側の設計になることを考慮した。

④ 荷重の組合せは、表-3の通りとする。

表-3 荷重の組合わせ

荷重 ケース	管内の状態	土 圧		地下水圧		内 水 圧					自 重	地盤反力	
		最大土圧	最小土圧	自然水位		間隙水圧	調 節 池		地 下 河 川				
				最高水位	最低水位		0	常 時	異常時	自然流下	動水勾配		サージング
1	空 水 時	○		○			○					○	○
2	空 水 時	○			○		○					○	○
3	空 水 時	○				○	○					○	○
4	最大内水圧	○			○			○				○	○
5	最大内水圧	○			○				○			○	○
6	最大内水圧	○				○		○				○	○
7	最大内水圧	○				○			○			○	○
8	最大内水圧		○		○			○				○	○
9	最大内水圧		○		○				○			○	○
10	最大内水圧		○			○		○				○	○
11	最大内水圧		○			○			○			○	○
12	自然流下	○			○					○		○	○
13	自然流下	○				○				○		○	○
14	動水勾配	○			○						○	○	○
15	動水勾配	○				○					○	○	○
16	動水勾配		○		○						○	○	○
17	動水勾配		○			○					○	○	○
18	サージング	○			○						○	○	○
19	サージング	○				○					○	○	○
20	サージング		○		○						○	○	○
21	サージング		○			○					○	○	○

⑤ 安全性の照査は、表-4の通りとする。

表-4 安全性の照査

荷 重 ケース	照査方法	許容応力の 割増し	内水圧の作用確率	備 考
1 2 3	許容応力度	1.0		・曲げひびわれの照査は、土木学会コンクリート標準示方書 7.3 による。鋼材の腐食環境区分は一般の環境とするが、地下水・流入水に塩分を含んでいる場合や換気等による乾湿繰り返し作用を受ける場合には腐食性環境とする。
4 6 8 10	許容応力度	1.0 1.5	回/2～3ヶ月 (貯留計画の 水位以下) 回/2～3ヶ月 (50mm/h)	・一般に都市河川では、50mm/h以上の降雨強度に対して調節池を計画しているが、取水機能上50mm/h以下の降雨強度でも流入し内水圧が作用する場合もある。降雨強度50mm/hの発生確率は回/2～3ヶ月であるから、これを短期荷重とみなして許容値の割増し1.5を設定した。 ・一次覆工のみの場合で、全断面引張の場合の本体の許容ひび割れ幅は、以下の通りとする。 常時：0.10 mm 異常時：0.15 mm ・継手部の許容目開き量は、以下の通りとする。 常時：2 mm 異常時：3 mm
5 7 9 11	終局強度			・調節池の貯留量は不確実性を有しており、立坑などの取水施設にも貯留されることがある。この場合には、補修が可能であることを条件として、トンネルが崩壊しないことを確認するものとする。
12 13	許容応力度	1.0		
14 15 16 17	許容応力度	1.0 1.5	回/1～3ヶ月 (河川計画の 水位以下) 回/3年、15年 (50mm/h, 75mm/h)	・地下河川における内水圧の大きさは降雨強度によって変化するため、内水圧の作用確率を左記のように設定した。
18 19 20 21	許容応力度	1.0 1.5		・サージングが常時作用する場合には、許容応力の割増しを1.0とし、サージングを異常時として取り扱える場合は割増しを1.5とする。

⑥ 構造解析モデル

- (1) はり-ばねモデルを適用する。
- (2) 回転ばね定数 $K\theta$ は、レオンハルトのベトンゲレンケにより算定する。
- (3) 半径方向せん断ばね定数 K_{sr} は、シェアストリップの圧縮特性から算定する。
- (4) 接線方向せん断ばね定数 K_{st} は、注入材の圧縮特性から算定する。
- (5) 地盤ばねをお考慮する範囲は、セグメントが地山側に変位する部分とするが、土被りが2D以下の場合には上方90°の範囲は無視し、3D以上の場合は考慮する。また、接線方向の地盤ばねは内水圧に対して裏込注入材の効果が期待できることから考慮するものとする。

謝辞：インターロッキングセグメントの開発全般にわたり、御指導賜っている山本 稔東京都立大学名誉教授に厚く御礼申し上げます。