

早稲田大学 理工学部 〇 学生員 鈴木 昭彦
東洋大学 工学部 正 員 小泉 淳
日本電信電話公社 正 員 藤橋 一彦

1. はじめに

シールドトンネル長手方向の挙動を把握するには、リング継手のもつ力学的性質をいかに評価するかが重要な問題である。本研究は、シールドトンネルを弾性ばねで連結された棒構造にモデル化する方法を提案し、その妥当性を電力中央研究所で行なわれた実験結果を用いて検討し、併せて、このモデルを用いてシールドトンネルが地震や不況下などから受ける影響を数値解析し検討したものである。

2. 実験概要

電力中央研究所で行なわれた実験は以下のとおりである。なお、(I)、(II)および(III)では実物セグメントと模型セグメントの対応を調べ、(III)と(IV)では引張・圧縮試験と曲げ試験の対応を調べる目的で行なったものである。

- (I) 実物スチールセグメント (K型) 2ピース連結の引張・圧縮試験 ($D_0=4.85\text{ m}$, $B=0.90\text{ m}$)
- (II) 実物RC平板型セグメント (K型) 2ピース連結の引張・圧縮試験 ($D_0=5.65\text{ m}$, $B=0.90\text{ m}$)
- (III) 模型スチールセグメント2リング連結の引張・圧縮試験 ($D_0=1.00\text{ m}$, $B=0.50\text{ m}$)
- (IV) 模型スチールセグメント15リング連結の曲げ試験 (III)で用いたものと同型のもの)

3. 解析モデル

実験結果を説明する解析モデルとして以下に示すものを用いた。

(1) スチールセグメントの場合：セグメントのモデル化にあたり、主桁を曲がり梁要素に、継手板と縦リブを直線梁要素に、スキンプレーートを円筒シェル要素に、リング継手部をバネ要素に置き換えた立体モデルとした。その際、リング継手1ヶ所あたりの引張に対するバネ定数(K_j)および曲げに対するバネ定数(K_θ)は次のように示される。(Fig. 1参照)

$$K_j = \frac{6DK}{12D + KL^3\mu} \quad K_\theta = \frac{K_j \cdot d^2}{2} \quad \text{eq.(1)}$$

(2) RC平板型セグメントの場合：セグメントのモデル化にあたり、セグメントを円筒シェル要素、リング継手部をバネ要素とする立体モデルに置き換えると、(Fig. 2参照)バネ定数は(I)と同様に次式で示される。

$$K_j = \frac{12DK}{24D + KL^3} \quad K_\theta = \frac{K_j \cdot d^2}{2} \quad \text{eq.(2)}$$

(3) シールドトンネルの解析モデル：セグメント1リングを直線梁要素、リング継手全体を1つのバネ要素とする平面モデルとした。このバネ定数は上述のリング継手1ヶ所あたりのバネ定数を用いて次のように定めた。

$$K_j = K_{jX} \text{ (リング継ぎボルトの本数)} \quad \text{eq.(3)}$$

$$k_\theta = \frac{p l^2}{4(\delta' - \delta)}$$

回転バネ定数は、上述の解析モデルを用いて、継手のない場合の撓み δ と継手のある場合の撓み δ' を求めて、その差から算出した。(Fig. 3参照) その詳細

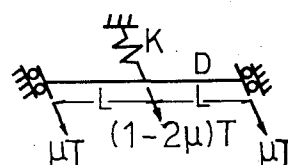


Fig.1 継手のモデル(STEEL)

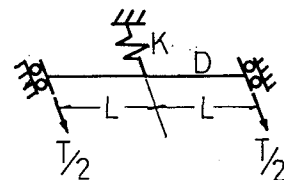
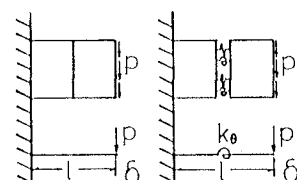


Fig.2 継手のモデル(RC)



(a) 継手を無視 (b) 継手を考慮

Fig.3 バネ定数算出モデル

については文献⁽¹⁾を参照されたい。

4. 解析結果及び考察

Fig. 4は実験(I)の実験値と(1)で示した解析モデルによる解析値との比較を、Fig. 5は実験(II)と解析モデル(2)、更にFig. 6は実験(IV)と解析モデル(3)を比較したものである。

Fig. 4～Fig. 6からも明らかなように、実験値と解析値はよく一致しており、提案したモデルが妥当であったといえることができる。

5. 各種ケーススタディ

提案した平面モデルを用いて、シールドトンネルが地震、不等沈下、上載荷重の急変によって受ける影響を数値解析して検討した。

地震応答解析は、Fig. 7に示すようなモデルを想定し、地盤反力などの諸定数は文献⁽²⁾を参照して求めた。なお、パラメータとしてトンネルの構築材料(スチール、RC)、地盤の状況(軟弱、普通、良好)、継手の有無、波の種類(縦波、横波)を考えた。また、今回は地盤は線形として解析した。

トンネル本体の最大応力度 σ と最大継手開き量 δ でまとめた解析結果をTab. 1に示した。結果として、継手を考慮した場合には、シールドトンネルは強度的には安全であるが、継手部に変形が集中するために、継手部の変形性能及び強度が問題となってくるのがわかった。

又、不等沈下や上載荷重の急変のケースでも同様なことが言えた。

6. あとがき

本研究の結果から、次の結論を得た。

- 1) 本研究で提案したシールドトンネルのモデル化の方法は妥当であることが確認された。
- 2) シールドトンネルは可撓性に富む構造物であり、剛性一様な管体とは明らかに異なった挙動を示す。
- 3) トンネル長手方向に大きな変形が予測される場合、その変形がリング継手部に集中するので、リング継手部の変形性能や強度についての慎重な検討が必要である。

また、今後は地盤の非線形性の考慮などについて検討していきたい。

[参考文献]

- (1) 小柳隆司他：シールドトンネル長手方向の変形挙動について
第34回年次学術講演会 Ⅲ-264
- (2) 国土開発技術研究センター：トンネル耐震継手技術基準(案)

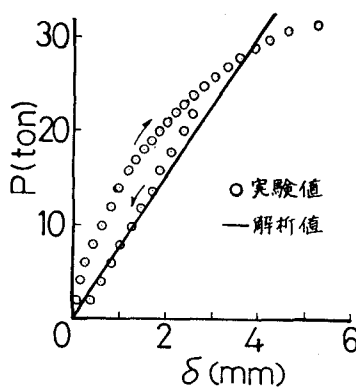


Fig. 4 P-δ図(STEEL)

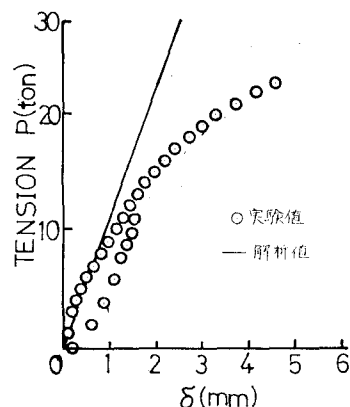


Fig. 5 P-δ図(RC)

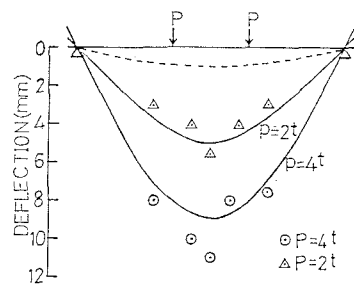


Fig. 6 たわみ曲線

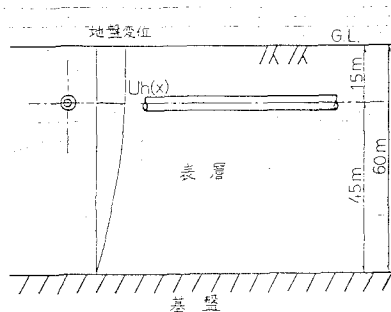


Fig. 7 地震応答解析モデル

Tab. 1 地震応答解析結果

case	a(kg/cm ²)		δ (mm)
	σ _t	σ _b	
S-1	72	5	24
S-2	26	3	1.2
S-3	11	0.8	0.4
S-4	3370	400	—
C-1	21	4	2.2
C-2	9	2	1.2
C-3	4	0.7	0.4
C-4	420	56	—