

裏込材を利用したシールドトンネルの免震構造の基礎的研究（ポアソン比の影響）

銚奥村組 正会員 竹内幹雄

銚奥村組 三澤孝史

1. はじめに

近年、東京湾横断道路等の大断面のシールドトンネルが建設されるようになってきた。地震時の場合、大断面のトンネルではトンネル上下端の変位差が大きくなるため、トンネル断面力に及ぼす地震の影響は小さいことが指摘されている。

筆者らは裏込材を利用したシールドトンネルの免震構造について報告し、その基本原理を明らかにするとともに、実験的にそれを証明した¹⁾。

本文は、この研究に立脚し、裏込材に付与すべき特性を把握するために基礎的な解析を行った結果を報告するものである。

2. 実験結果の概要

均質地盤に地震が来襲すると、地盤の1次モードの振動が卓越する。そして、トンネル上下端の相対変位（ひずみ）によりトンネルに地震時外力が導入され、応力が発生する。この相対変位を考え応答変位法を適用し、この間が単純せん断変形と仮定した場合は、FEM解析結果より約1割減の応力を与える等のが報告されている²⁾。つまり、図1に示す加力実験による一様なせん断ひずみ場におけるシールドトンネルと地盤の相互作用で大半の地震時挙動を模擬できる。実験は、トンネルと地盤間に地盤より軟らかい裏込材が無い場合と有る場合の2ケースを行った。模型地盤は粉末粘土とセメントにより作製した。裏込材³⁾は、早強セメントおよびアスファルト乳材に高吸水性のカチオン・メタアクリレート・ポリマーを混合し作製した。模型トンネルは市販鋼製円筒を用いた。

実験結果より、裏込材が有る場合と無い場合の比較により、法線方向外力が反転した分布をすることと、裏込材の有る場合、接線方向外力が著しく低減されることがわかった。

以上の実験結果は、FEMを用いた数値解析により良好にシミュレーションすることができた。そこで、数値解析の妥当性が確認できたので、FEMを用いて以下の検討を行った。

3. 数値解析によるパラメトリック・シミュレーション

地震時に均質地盤中のトンネルに生じる曲げモーメントに対し、裏込材のポアソン比の変化がどのような影響を与えるのかについて基本的な特性を得る目的で解析を行った。また、トンネル剛性及び裏込材の剛性も変化させた。

計算は、裏込材のポアソン比を0.0～0.49まで変化させた。トンネル剛性は、トンネルの変形係数 E_T を E_{T0} ($=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$) に対して1倍、10倍とした。裏込材の剛性は、裏込材の変形係数 E_b を周辺地盤の変形係数 E_g ($=1000 \text{ kgf/cm}^2$) に対して1/10、1/100倍と変化させた。

解析モデルを図2に示す。地盤の物性を表1に示す。地盤の物

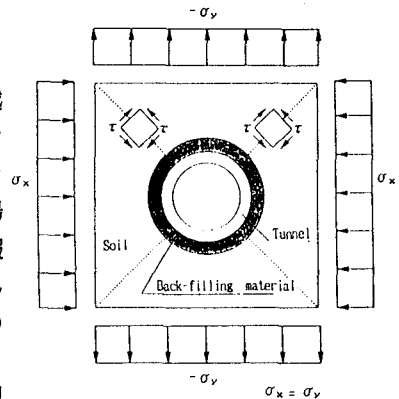


Fig.1 Illustration of loading test model

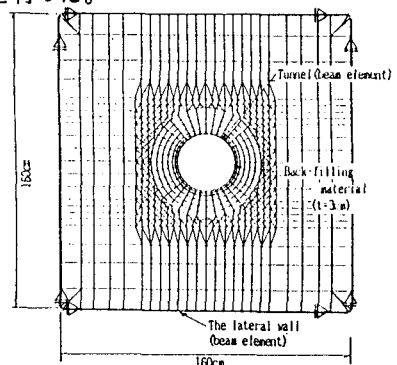


Fig.2 Model of FEM

性は実験の模型地盤と同じである。トンネルの断面性能を表2に示す。外力として、 $\sigma_x = -\sigma_y = 1 \text{ kgf/cm}^2$ を与えたときに算出される変位 $\delta = \pm 0.88 \text{ mm}$ を側壁に入力し、一様なせん断力を作用させた。

図3に裏込材のポアソン比とトンネルの最大曲げモーメントの関係を示す。

図より以下のことがわかる。

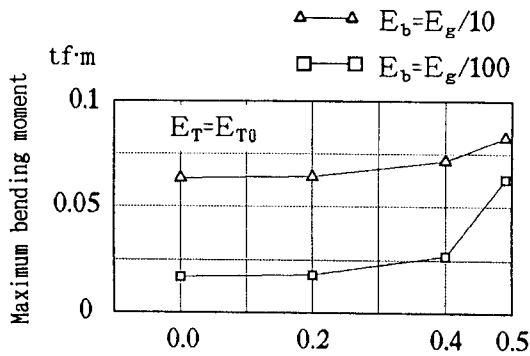
- ポアソン比が小さくなるほど、曲げモーメントは減少する。特に、ポアソン比が0.49と0.4の間で急激に減少する。
- 裏込材の剛性が小さいほど、ポアソン比が小さくなることに伴う曲げモーメントの減少率は大きい。
- ポアソン比が同じであれば、裏込材の剛性が小さいほど、曲げモーメントは減少する。

Table 1 Material properties of ground

	Young's modulus E_g (kgf/cm ²)	Poisson's ratio ν
Ground	1000	0.1

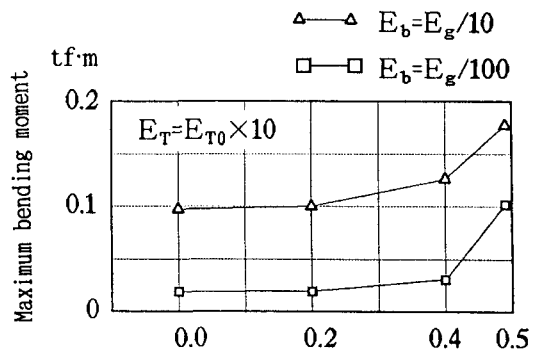
Table 2 Material properties of tunnel

Outside clearance D (cm)	Thickness t (cm)	Area modulus Z (cm ³ /m)	Area A (cm ² /m)	Young's modulus E_{T0} (kgf/cm ²)
31.85	1.057	18.62	105.70	2.1×10^6



Poisson' ratio of back-filling material

Fig. 3(a) Relation between Poisson' ratio of back-filling material and Maximum bending moment



Poisson' ratio of back-filling material

Fig. 3(b) Relation between Poisson' ratio of back-filling material and Maximum bending moment

4. おわりに

以上、均質地盤中に建設されたシールドトンネルを対象として、裏込材を利用した免震構造に関する基本特性を明らかにするためにポアソン比に着目してパラメーター解析を行った。

今回の解析により、裏込材に付与すべき特性として、低ポアソン比であること、及び裏込材の剛性が小さいことが有効であることが明らかになった。

【参考文献】

- 1) 竹内幹雄・井戸田芳昭・高橋忠・三澤孝史：シールドトンネルの断面内地震時応力低減に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第483号/I-26, pp. 107~116, 1994年1月
- 2) 志波由紀夫・岡本晋：シールドトンネルの横断方向の地震時断面力の計算法, 土木学会論文集, 第437/I-17, pp. 193~202, 1991年9月
- 3) 森吉昭博・深井一郎・竹内幹雄・井戸田芳昭：常温水中硬化型瀝青系新複合材料の開発と特性—地中構造物の防水用材料として—, 土木学会論文集, 第433号/V-15, pp. 157~166, 1991年8月