

I-588

シールドトンネルの免震構造に関する研究(その2)

地震応答解析への適用

(株)熊谷組技術研究所 正員 鈴木 猛康
 (株)熊谷組技術研究所 正員 宇波 邦宣

1. まえがき

地盤～トンネル間に免震層を介在させることによるシールドトンネルの免震構造に関し、模型振動実験により原理を確認し¹⁾、3次元FEM解析によって効果の定量的な把握が可能となった²⁾。そこで、免震層を有するシールドトンネルの地震応答解析への適用例を示し、適用法および免震効果を具体的に説明する。

2. 解析条件および地震応答解析法

解析対象地盤は、図-1に示すように基盤の突起部を有し、その右側で地盤ひずみが集中するような土質構成の表層地盤とした。トンネルは外径 $\phi=5100\text{mm}$ のRCセグメント製のシールドトンネルとし、土被り約5mの深さで延長500mにわたって連続しているものとする。セグメントと継手のバネ定数の比 $K_{\text{seg}}/K_{\text{jt}}$ は34.3である。地盤は20mの等間隔で26質点に分割し、多質点バネマス系でモデル化した。また地盤質点に対応させて、トンネルは26質点、25要素の梁にモデル化した。

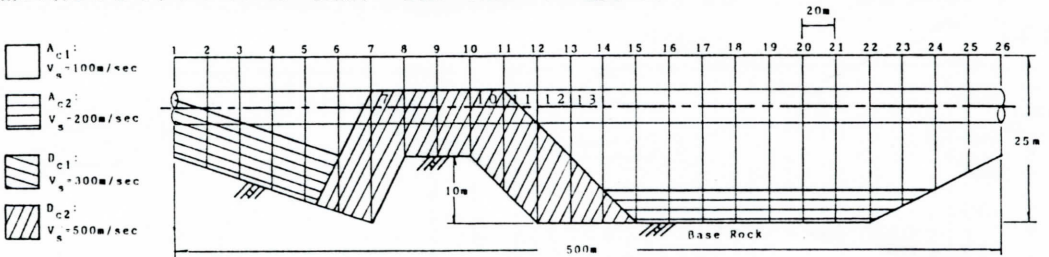


図-1 解析の対象とする地盤およびトンネルモデル

地盤～トンネル間の相互作用バネについては、FEMによって周辺地盤～トンネル系をモデル化し、3次元軸対称問題²⁾として地盤の重力によるトンネル軸方向の変形を与えたときの、図-2に示すトンネルおよび地盤の変形量から、次式により1リング当りの相互作用バネ定数 K_{gt} を決定し、解析に使用した。

$$K_{\text{gt}} = (\Delta_1 / \Delta_2) \cdot K_{\text{eq}}, \quad K_{\text{eq}} = (EA)_{\text{eq}} / L \quad \dots (1)$$

ここで K_{eq} は、トンネルの等価軸剛性 $(EA)_{\text{eq}}$ をトンネル1リング長 L で除したものであり、地盤のせん断波速度によって変化するトンネル1リングの等価バネ定数である。免震層を有する場合でも、(1)式を用いることにより、相互作用バネ定数を算定することが可能となる。

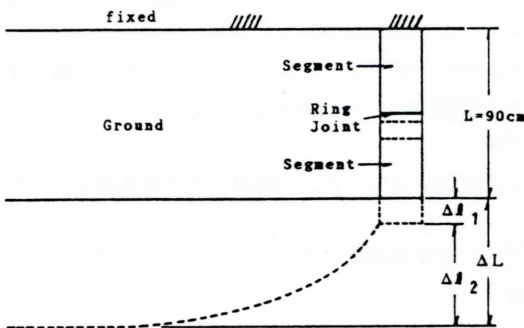


図-2 K_{gt} の算定法

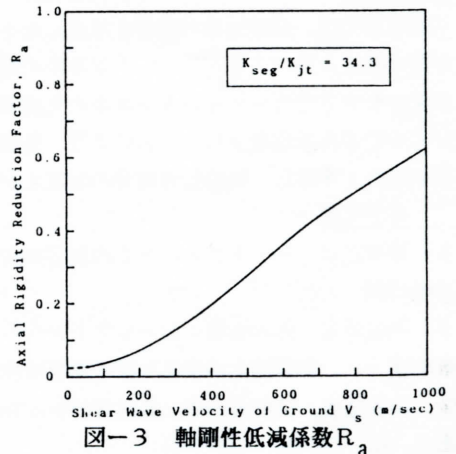


図-3 軸剛性低減係数 R_a

シールドトンネルの等価軸剛性 (EA)_{eq} は、地盤のせん断波速度 V_s に対応する軸剛性低減係数 R_a (図-3) より、次式を用いて決定することができる³⁾。

$$(EA)_{eq} = R_a (EA)_{seg} \dots (2)$$

解析ケースは2ケースとし、CASE-1は免震層のない場合、CASE-2はひずみの集中するトンネル要素7、10、11、12、13にせん断弾性係数 $G_g = 5 \text{ kgf/cm}^2$ の免震層を、5 cmの厚みで介在させた場合である。表-1に、それぞれの解析に採用したトンネルの等価軸剛性をまとめた。

表-1 解析に用いる等価軸剛性(kgf)

| 地盤 V_s (m/sec) | CASE-1 | CASE-2 |
|------------------|---------------------|---------------------|
| 100 | 5.700×10^8 | 4.250×10^8 |
| 300 | 1.920×10^9 | |
| 500 | 4.180×10^9 | 4.250×10^8 |

3. 解析結果

図-4は時刻歴応答解析の結果得られたトンネル要素の等価ひずみの最大値分布を、図-5はセグメントひずみの最大値分布を、CASE-1とCASE-2で比較したものである。図中細い実線はCASE-1の解析結果を、太い実線はCASE-2の解析結果を示している。CASE-1の解析結果でひずみが集中した要素については、免震層により大幅にひずみの低減が生じているが、免震層を介在させることにより、必ずしもすべての要素でひずみが低減するのではなく、ひずみの集中する要素、セグメントに関して低減効果を発揮し、集中したひずみを分散させているのが特徴である。したがって、免震層の適切な配置により、免震効果を効率的に得ることが可能となる。

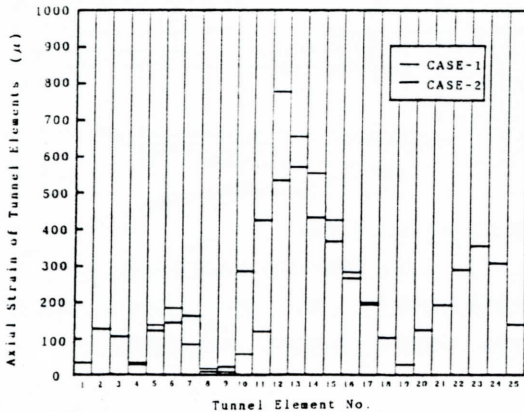


図-4 等価軸ひずみ最大値分布図

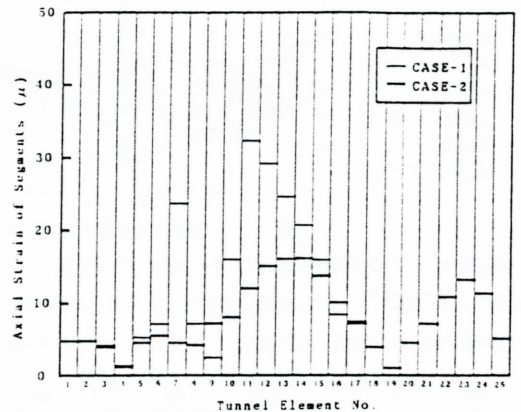


図-5 セグメント軸ひずみ最大値分布図

4. まとめ

本解析では、周辺地盤の剛性を考慮したトンネル等価軸剛性と、FEM解析結果から求めた地盤～トンネル間の相互作用バネを用いて、トンネルの地震応答解析を実施したのが特徴である。地盤～トンネル間に免震層を介在させるシールドトンネルの免震構造について、時刻歴応答解析を実施し、免震層の有無によるトンネルひずみの比較を行うことにより、免震効果を具体的に実証することができた。地震時の地盤ひずみの集中箇所を考慮し、適切な免震層の配置を行えば、本免震構造は十分適用可能と考えられる。

5. 参考文献

- 1) 鈴木猛康：シールドトンネルの免震構造に関する模型振動実験，第20回地震工学研究発表会，1989，pp.565-568
- 2) 宇波邦宣，鈴木猛康：シールドトンネルの免震構造に関する研究（その2）— FEM解析による効果の確認 —，第45回土木学会年次学術講演会，第一部，1990
- 3) 鈴木猛康，田村重四郎：周辺地盤を考慮したシールドトンネルの等価剛性，第43回土木学会年次学術講演会，第一部，pp.1160-1161