

I - B 405

シールドトンネル立坑接合部の梁バネモデルを用いた免震設計方法

オリエンタルコンサルタンツ 正 会 員 大竹 省吾

同 上 正 会 員 内山 光晴

同 上 フェロー 田中 努

1. はじめに

シールドトンネルの立坑接合部には、地震時に断面力が集中するため、従来は可撓性継手等の採用による構造的な対策が採られてきた。本研究では、立坑近傍のトンネル地盤間および立坑躯体とセグメント間に剛性の小さい免震材を設けることにより、トンネルに生じるひずみを低減させる免震構造に着目し、簡易な梁バネモデルを用いた設計法の適用性を検討した。地盤変位の算定には立坑を含めたFEMモデルを用いるものとし、2次元モデルと3次元モデルの両モデルの適用性を検討した。具体的には、両モデルにより求めた地盤変位をもとに梁バネモデルによりトンネルのひずみを算定し、この値をトンネルをシェル要素で、地盤をソリッド要素でモデル化した詳細な3次元FEMモデルによる応答と比較した。

2. モデル化と解析条件

地中連続壁本体利用構造の立坑との接合部（図-1）を検討対象とした。表層地盤は上部軟質地盤（ $G=1600\text{tf/m}^2$ 、 $\gamma=1.7\text{tf/m}^3$ 、 $\nu=0.49$ ）と下部硬質地盤（ $G=6220\text{tf/m}^2$ 、 $\gamma=1.8\text{tf/m}^3$ 、 $\nu=0.49$ ）より成り、免震層（ $G=30\text{tf/m}^2$ 、 $\gamma=1.3\text{tf/m}^3$ 、 $\nu=0.48$ ）は立坑内および躯体外面から10m区間に配置した。地盤と立坑の3次元FEMモデルを図-2に示す。立坑は、深さ方向の同一構造区間毎に均一な等価せん断剛性と等価質量を設定した。また、2次元FEMモデルでは、立坑は奥行き方向に連続したものとして扱い、3次元FEMと同一の値を用いた。梁バネモデルを図-3に示す。トンネル剛性は、シールドトンネルの等価剛性を用いた。免震層とトンネルの相互作用バネは、免震層の外周面を固定し、トンネル外周面を強制変形させたときの変位と反力から導かれる理論式（式（1））より算定した。地盤とトンネルの相互作用バネ

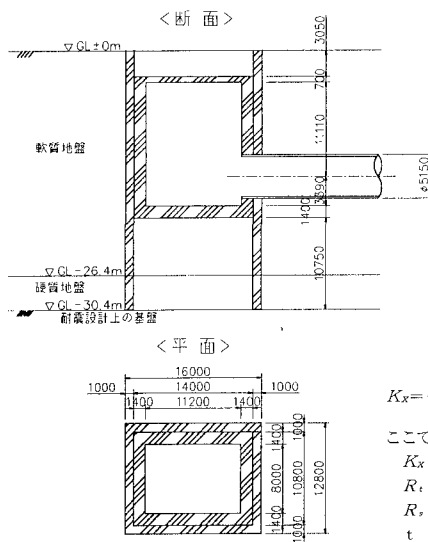


図-1 検討対象

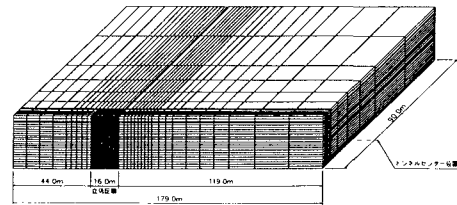


図-2 地盤と立坑の3次元FEMモデル

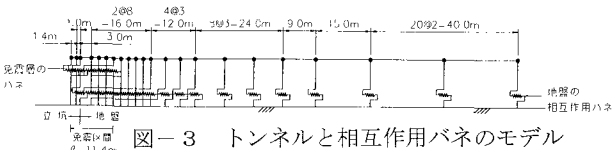


図-3 トンネルと相互作用バネのモデル

$$K_x = \frac{2\pi \cdot G_m}{\ln(R_s/R_t)} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、

 K_x : トンネル軸方向の相互作用バネ定数 (tf/m) R_t : トンネル外径の1/2 (m) R_s : 免震層の外径の1/2で、 $R_m = R_t + t$ (m) t : 免震層厚 (m) G_m : 免震層のせん断弾性係数 (tf/m²)

$$G = \gamma / g \times V_s^2 \quad \dots \dots (2)$$

ここで、

 $V_s = 4H/T$ G : 表層地盤のせん断弾性係数 (tf/m²) γ : 表層地盤の平均単位体積重量 (tf/m³) g : 重力加速度 (m/s²) V_s : 表層地盤のせん断波速度 (m/s) H : 表層地盤の層厚 (m) T : 表層地盤の固有周期 (s)

キーワード：シールドトンネル、立坑接合部、免震構造、梁バネモデル、免震設計

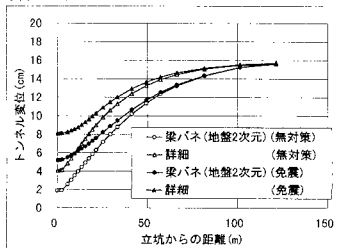
〒213-0011 川崎市高津区久本3-5-7ニッセイ新溝のロビール TEL:044-812-8815、FAX:044-812-8825

は、 $K=1G$ を用いた。その際 G は、表層地盤を固有周期が等しい一層地盤に換算した値（式（2））とした。一般に応答が大きいトンネル軸方向地震時に着目し、一樣震度 $0.6G$ を地盤・立坑モデルに作用させた。

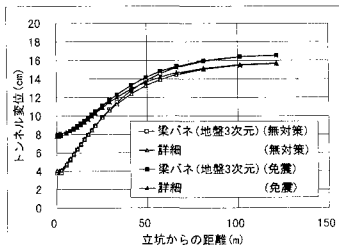
3. 検討結果

地盤・立坑のモデルに2次元モデルを用いた梁バネモデルによるトンネル変位・ひずみと、3次元モデルを用いた梁バネモデルによるトンネル変位・ひずみを、それぞれ詳細モデルによる結果と比較して図-4～7に示す。表-1には、トンネルひずみの詳細モデルに対する比率を示す。図-4、6のトンネル変位図より、梁バネモデルは、免震層を設けることで立坑からトンネルが抜け出す挙動が表現できている。また、図5、7のトンネルひずみ図より、梁バネモデルは立坑付近に生じる大きなひずみが免震層の効果で立坑側を中心に低下される状況を表現できている。ただし、表-1のとおり、地盤のFEMモデルに2次元モデルを用いた梁バネモデルによる結果は詳細解析結果と最大15%程度の差がある。これは、地盤モデルが3次元的な地盤変位を考慮できていないので、算定される地盤変位に相違があるためである。

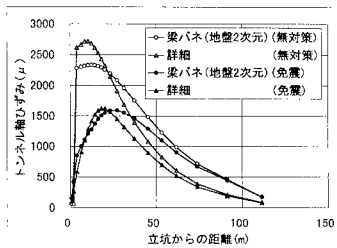
なお、参考までに、トンネルと免震層の相互作用バネを地盤の3次元FEMモデルに組み込み一度に解析する3次元FEM簡易モデル¹⁾を用いて解析したトンネルひずみを詳細モデルによる結果と比較して図-8および表-1に示す。これより、3次元FEM簡易モデルからは、地盤・立坑モデルに3次元モデルを用いた梁バネモデルと同様に詳細モデルと非常に近い値が得られることがわかる。



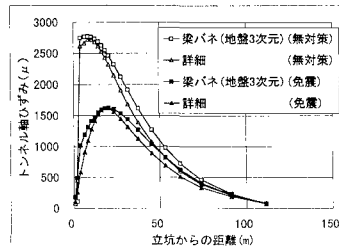
梁バネモデル（地盤2次元）
図-4 トンネル変位の比較



梁バネモデル（地盤3次元）
図-6 トンネル変位の比較



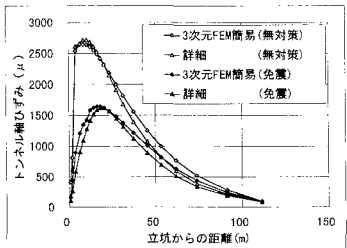
梁バネモデル（地盤2次元）
図-5 トンネルひずみの比較



梁バネモデル（地盤3次元）
図-7 トンネルひずみの比較

表-1 詳細モデルに対する
最大ひずみの比率

解析モデル	無対策	免震
梁バネモデル (地盤: 2次元FEM)	0.86	0.98
梁バネモデル (地盤: 3次元FEM)	1.02	1.00
3次元FEM簡易モデル	0.97	1.02



3次元FEM簡易モデル
図-8 トンネルひずみの比較

4. まとめ

本研究より、地盤モデルに3次元モデルを用いた梁バネモデルと、これを一度に解く3次元FEM簡易モデルによる結果は、詳細モデルによる結果とほぼ一致することと、地盤モデルに2次元モデルを用いた梁バネモデルによる結果は、詳細モデルによる結果と若干応答が異なるものの、免震効果の概略は把握可能であることがわかった。

本研究は、建設省土木研究所、(財)土木研究センター、民間17社による共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の一環として実施したものである。ご指導ご討議頂いた関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所耐震研究室, (財)土木研究センター, 他民間17社: 地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発に関する共同研究報告書(その2), pp. 311-320, 平成9年12月