

I - B 446

免震トンネルにおける3次元応答震度法の適用に関する一考察

日本工営（株）中央研究所 正会員○佐藤誠一

正会員 大角恒雄

1. 検討概要 免震トンネルを縦断方向に対して耐震設計するにあたり、その簡易法の一つとして、3次元FEM簡易モデルを用いた3次元応答震度法による解析法の検討を行なった。本報告で提案する3次元FEM簡易モデルを用いた3次元応答震度法による解析法は、トンネルと地盤をソリッド要素でモデル化した厳密解としての3次元動的FEM解析に対し、トンネルと地盤を梁ばねモデルでモデル化した解析との中間的な位置づけにおけるモデルを用いた解析法である。本解析法の特徴としては、トンネルと地盤をFEMソリッド要素でモデル化した厳密解モデルと比較して、トンネルをはりでモデル化することによる簡略化が図られ、また、トンネルと地盤を梁ばねモデルでモデル化した一般的な解析モデルと比較すると、地層分布の影響を考慮することが可能である等の長所を有することである。本報告では、提案する3次元簡易モデルを用い、免震層設置区間長による免震効果の比較を行い考察を行った。

2. 解析条件 図-1に本検討で用いた3次元FEM簡易モデルを示す。3次元FEM簡易モデルはトンネルを梁要素、免震層をばね要素、地盤をソリッド要素でモデル化したものであり、梁要素（トンネル）はソリッド要素（地盤）と水平・鉛直ばね要素（免震層）により支持される解析モデルである。2次元モデルにおける応答震度法¹⁾と同様、3次元モデルの要素に対して震度、つまり慣性力を地盤に作用させ、3次元動的FEM解析を模擬する手法を検討する。

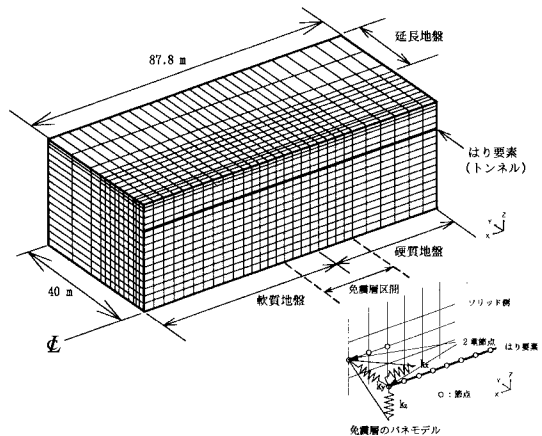


図-1 解析に用いた3次元FEM簡易モデル

3. 解析物性 解析対象はトンネル外径5mのシールドトンネルとし、覆工の断面性能を表-1に示す。免震層を設置しない場合（免震無）、地層境界付近のみ免震層を設置する場合（部分免震）およびトンネル設置区間全面に免震層を設置する場合（全面免震）について解析を行った。免震層の等価ばね定数は免震層のみで有限要素法解析を行い算出した。地盤は硬質地盤から軟質地盤との地盤急変部を想定し、免震材としてはアスファルト系材料²⁾とした。表-2,3に地盤物性および免震層の等価ばね値を示す。また、荷重としてはレベル2相当を考慮し、軟質・硬質地盤に慣性力として水平震度0.3をトンネル軸方向と軸直角方向に作用させた。

表-1 トンネル覆工の断面性能

セグメント厚 (m)	断面積 (m ² /m)	断面二次モーメント (m ⁴ /m)
0.225	0.225	0.0007594

表-2 地盤物性値

	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断弾性係数 (MPa)	ポアソン比	減衰定数 (%)
硬質地盤	17.64	29.4	0.45	5
軟質地盤	15.68	14.7	0.49	5

表-3 免震層の等価バネ値

	トンネル軸 方向(N/m)	トンネル軸直角 方向(N/m)
等価バネ値	1.813	4.645

キーワード：免震トンネル、3次元応答震度法、3次元FEM簡易モデル、免震層
〒300-1259 茨城県稲敷郡基崎町稲荷原 2304 TEL.0298-71-2037 FAX.0298-71-2022

4. 解析結果 図-2 にトンネル軸方向荷重の場合（以下、軸方向荷重）の解析結果として軸ひずみのトンネル軸方向分布図を、図-3、4 にトンネル軸直角方向荷重の場合（以下、軸直角方向荷重）の解析結果をとしてせん断力、曲げモーメントのトンネル軸方向分布図を示す。また表-4 にトンネル断面に発生する断面力の最大値および免震層無の場合と部分免震、全面免震の場合との断面力最大値の比（断面力比）を示した。解析結果より以下のことがわかる。

軸方向荷重の場合、免震層無では軸ひずみ分布は山型のピークを持ち、部分免震では免震層設置区間において軸ひずみが平滑化される。また、全面免震の場合には免震層設置区間において大幅に軸ひずみが低減される。軸直角方向荷重の場合においても、免震層設置区間において断面力は平滑化される傾向にあり、特に全面免震の場合の曲げモーメント最大値は5割程度低減される。

5. まとめ

以下に検討結果をまとめる。

- ① 荷重方向によらず、免震層設置区間において断面力は平滑化される。特に全面免震の場合、その効果は顕著である。
- ② 免震層を地層境界付近にのみ設置した場合（部分免震）、免震効果は軸直角方向荷重において顕著に現れる。

今後は別途実施した検証実験の成果²⁾を踏まえた検討を実施する予定である。

なお、本検討は、建設省土木研究所・土木研究センター・民間 17 社による官民共同研究「地下構造物の免震設計に適用する免震材の開発」の1つのテーマの延長として実施したものであり、関係各位に謝意を表する。

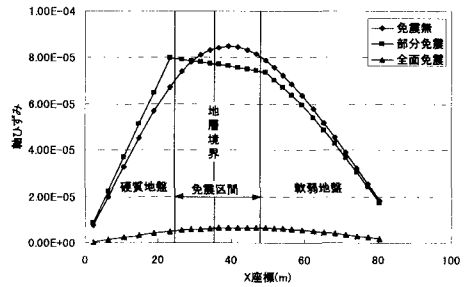


図-2 軸方向荷重時 軸ひずみ分布

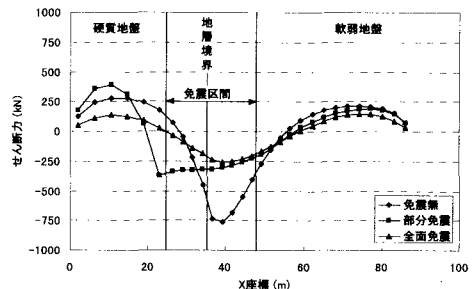


図-3 軸直角方向荷重時 せん断力分布

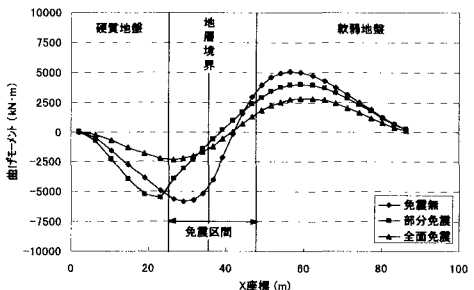


図-4 軸直角方向荷重時 曲げモーメント分布

表-4 断面力の最大値および低減比

	軸ひずみ			せん断力(kN)			曲げモーメント(kN・m)		
	免震無	部分免震	全面免震	免震無	部分免震	全面免震	免震無	部分免震	全面免震
最大値	8.49×10^{-5}	7.98×10^{-5}	6.62×10^{-6}	764	371	255	5850	5500	2810
低減比(%)	—	93.9	7.8	—	48.6	33.4	—	94.0	48.0

[参考文献]

- 1) 片山幾夫・足立正信・嶋田穠・都築富雄：地中埋設構造物耐震設計のための実用的な解析手法について，第 19 回土質工学研究発表会，pp.1445～1448, 1984.
- 2) 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 1）（その 2）（その 3）、平成 8 年 11 月、平成 9 年 12 月、平成 10 年 9 月