

日本工営(株) 中央研究所 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。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。本解析法の適用の妥当性を検証するために、3次元動的FEM解析結果と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。

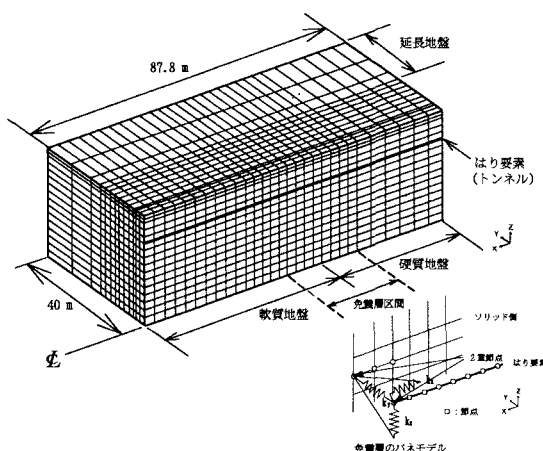


図-1 解析モデル

3. 荷重

3次元FEM簡易モデルを用いた3次元応答震度法では、荷重の設定および入力方法により応答値が左右されるため、これらの設定法は設計では重要となる。荷重の設定法としては、設計スペクトルから算出した慣性力を一様荷重とするか、あるいは重複反射理論を用いた一次元波動解析(SHAKE)を実施し、その最大加速度応答値を入力荷重として用いることが考えられるが、本検討は、あくまで3次元動的FEM解析に対する簡易法としての検証を行うことを目的としていることから、荷重の設定は3次元動的FEM解析結果に基づいて行うものとする。すなわち、3次元動的FEM解析結果の最大加速度応答値を軟質・硬質地盤に慣性力として作用させた。

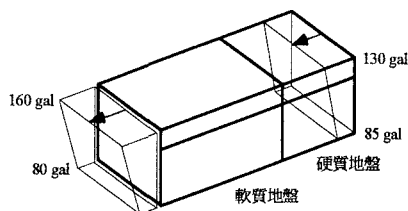


図-2 x加速度分布(軸方向)

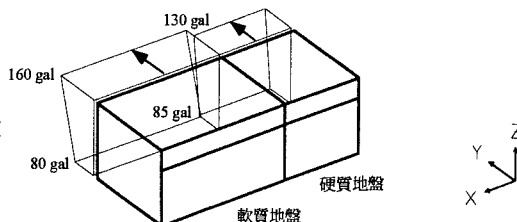


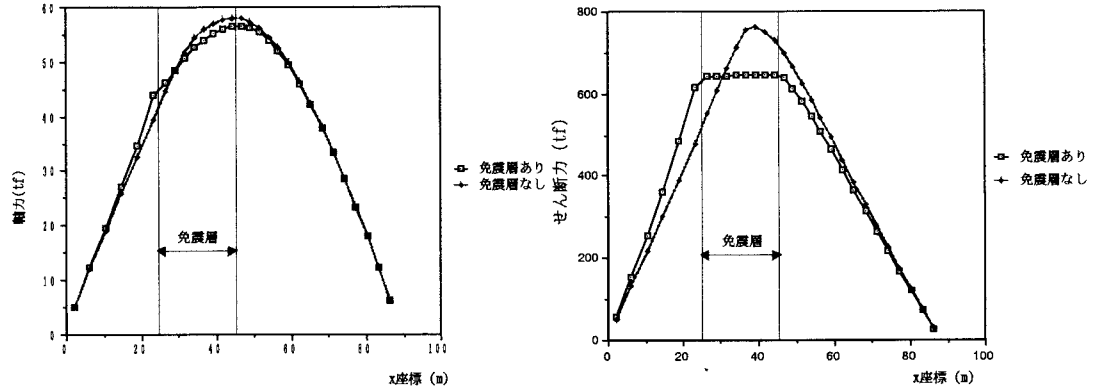
図-3 y加速度分布(軸直角方向)

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

〒300-1245 茨城県稲敷郡基崎町高崎 2304 TEL.0298-71-2037 FAX.0298-71-2022 a3850@n-koei.co.jp

4. 解析結果

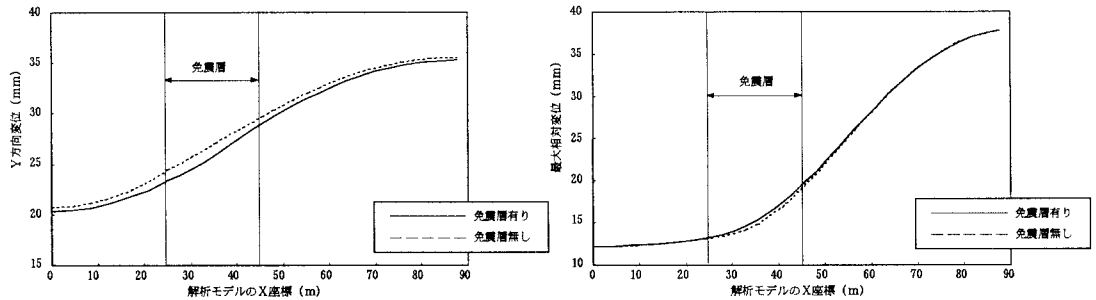
軸方向荷重（x 荷重）のトンネルに生じた軸力分布図を図－4 に示す。軸方向荷重の場合、軸力分布は山型のピークをもつ。免震層がある場合、免震層領域の手前で応答値がやや大きくなるが、最大値は免震層がない場合を下回る結果となる。軸直角方向荷重（y 荷重）のせん断力を図－5 に示す。軸直角荷重では免震層の影響が大きく現れる。せん断力は、免震層がない場合、軸方向荷重同様山型のピークをもち最大値は 762 t となるが、免震層がある場合、最大値は低減して 645 t となり 15% 程度の減少となる。



図－4 トンネルの軸力分布比較(軸方向:x荷重) 図－5 トンネルのせん断力分布比較(軸直角方向:y荷重)

5. 3次元動的解析との比較

3次元動的 FEM 解析の解析結果と比較すると、軸方向荷重、軸直角方向荷重の検討ケースともに全体の分布傾向は一致する。免震層端部間の相対変位に着目する（図－6～7）。応答値の傾向の一致から、3次元 FEM 簡易モデルを用いた 3次元応答震度法が、3次元動的解析を再現することが可能であるといえる。応答値に差が現れたのは、トンネルのモデル化の違いに原因があると考えられる。3次元動的 FEM 解析モデルはトンネルをソリッド要素でモデル化しており、3次元 FEM 簡易モデルはトンネルをはりでモデル化しているため、3次元動的 FEM 解析モデルにおけるトンネル中空部分の中心位置にトンネルが存在することになる。したがって、着目している変位の出力位置が異なるため応答値に差が現れたと考えられる。しかし、免震層端部間の相対変位の差は 1 cm 以下であることから比較的現象を再現しているのではないかと考えられる。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 つのテーマとして実施したものであり、関係各位に謝意を表する。



図－6 3次元応答震度法解析の軸直角方向変位 図－7 3次元動的解析の軸直角方向変位

[参考文献]

- 1) 片山幾夫・足立正信・嶋田穰・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）、平成 8 年 11 月