

I - B446 免震トンネルの照査解析を目的とした軸対称モデルの地震荷重設定法

熊谷組技術研究所 正会員 鈴木 猛康

1. はじめに

筆者等は、地下ライフラインの地震時安全性を飛躍的に向上させる方法として、地震時地盤ひずみの集中する箇所を対象として局所的に、トンネル外周に免震層を形成させて地盤との絶縁を図る地下構造物の免震化手法を具体的に検討してきた¹⁾²⁾。このような免震トンネルの挙動は、梁ばねモデルのようにマクロなモデルではなく、より詳細なモデルで評価すべきである。そこで筆者等は軸対称FEMによる解析手法を提案し、解析例を示してきた³⁾⁴⁾。本手法は簡便にトンネルとその外周の3次元の構造条件を満足する反面、基盤から地表面に至る構造条件が実際と大きく異なるため、実構造物周辺の地震時変形を導く地震荷重の設定方法の開発が不可欠であった。そこで本稿では、軸対称モデルで与えるべき地震荷重の設定法を導き、その妥当性を示したので報告する。

2. モデルの概要と荷重設定法

図-1右のように厚さHの表層地盤の基盤から h_c の位置に中心を有するトンネルを対象とする。軸対称モデルではトンネル覆工体の内周を内円、基盤面を外円とする円筒状の構造でモデル化し、トンネル中心軸を軸対称モデルの対称軸とし、セグメントから基盤までの軸対称要素で構成する。ここで基盤面を固定境界とすれば、トンネルの外周にすべて基盤境界があるようなモデルとなる。実構造物ではトンネル下方には基盤が、左右は無限に地盤が、上方には地表面があるので、構造条件が実構造物とは大きく異なる。したがって、実構造物に発生するような変形が軸対称モデルで生じるよう、荷重条件を設定する必要がある。

地震時に地表面で a_0 で図-2に示すように正弦波状の分布をした加速度による地震慣性力が、密度 ρ の均質地盤に地震荷重として作用する場合を考える。この際、集中せん断力 S^* は(1)式で与えられるが、軸対称モデルではトンネルより上方の地表面までが考慮されないため、トンネル外周位置のせん断力 S^* とそれより下方の地盤に作用する地震慣性力の2つを分離して、地震荷重として与える必要がある。図-3中央に示すように(1)式を軸対称モデルに置換えると、与えるせん断力 S は(2)式となり、図-3右端のように2次元地盤と同様な変位分布とするためには、トンネル外周にせん断力を集中するのではなく、(3)式のように荷重を分散させて作用させる必要がある。

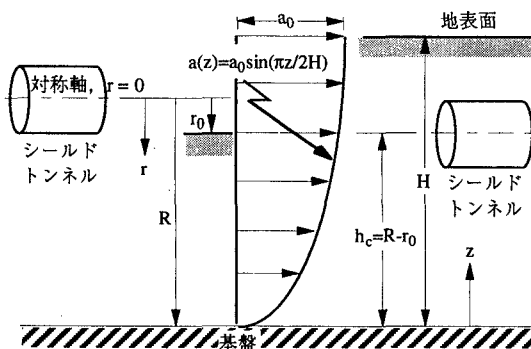


図-1 軸対称モデルの概念図

図-3中央に示すように(1)式を軸対称モデルに置換えると、与えるせん断力 S は(2)式となり、図-3右端のように2次元地盤と同様な変位分布とするためには、トンネル外周にせん断力を集中するのではなく、(3)式のように荷重を分散させて作用させる必要がある。

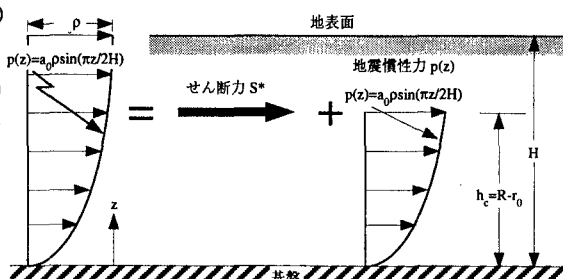


図-2 解析で考慮すべき集中せん断力と分布地震慣性力

$$S^* = \frac{2\rho a_0 H}{\pi} \cos\left(\frac{\pi h_c}{2H}\right) \quad S = \frac{2\pi(R-r_0)}{\log(R/r_0)} S^* \quad (1),(2)$$

$$s(r) = \frac{\log(R/r_0)}{R-r_0-r_0 \log(R/r_0)} S \quad (3)$$

キーワード：数値解析，免震，トンネル，地震荷重

〒300-22 茨城県つくば市鬼ヶ窪1043 熊谷組技術研究所 TEL: 0298-47-7508, FAX: 0298-47-7480

一方、トンネルより下方の地盤の地震荷重は、軸対称モデルと2次元地盤の力と変形の釣り合いより、節点の慣性力を S^* 、座標を r とし r_0 を r に置き換え(2)式を用いて変換できる。

3. 妥当性の検証

荷重条件の設定法の妥当性を検証するため、2次元FEMと軸対称FEMによる解析を行い、両者の結果を比較した。基本とするのは表層厚30m、単位体積重量1.6tf/m³、 $V_s=100$ m/sec、ポアソン比0.48の均質地盤であり、地震荷重設定法の妥当性の検証の目的から、軸対称モデルでは地盤要素のみの素掘りの状態とした。また地震荷重は正弦波分布とし、地表面加速度 $a_0=300$ galとした。

図-4は軸対称モデルの内径を $r_0=5$ mで一定とし、トンネル中心を基盤からそれぞれ10m、15m、20mおよび30mとした4ケースについて、軸対称モデルの内周位置での地盤の水平変位を求め、2次元FEM解析で得られた水平変位の鉛直分布と比較したものである。図のように、両者の解析結果はよく一致し

ていることがわかる。一方図-5は、上記の $R-r_0=20$ mとしたケースでの地盤水平変位の鉛直分布を、2次元FEM解析の結果と比較したものである。地盤とトンネルの相互作用解析を目的としているため、トンネルの外周部のみメッシュ分割が細かく、基盤に近づくとき非常に粗い分割であるが、軸対称モデルによる解析結果は2次元FEM解析とよく一致していることがわかる。さらに図-6は左右で地盤剛性が異なる場合の $R-r_0=20$ mにおける水平応答変位分布を示したものであるが、軸対称モデルの解析結果は同様な地盤条件での2次元FEM解析の近似を、十分な精度をもって与えていることが示されている。

4. まとめ：以上のように、軸対称モデルの地震荷重設定法の妥当性が検証された。本解析モデルは、免震トンネルの軸方向の設計において、簡便な照査用解析手法として適用できると考えている。ある程度複雑な地盤条件にも対応できるよう、さらにプログラムの開発を続け、照査用解析プログラムとして完成させたい。なお本研究は、(財)土木研究センターと民間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」の一環として行なわれたものである。

参考文献

1) 鈴木猛康, 柏田金一, 小林正宏, 福田健, 池野正行: 都市トンネルの免震構造のためのシリコン系材料に関する実験的検討, 土木学会論文集, No.534/VI-30, pp.69-76, 1996. 2) 鈴木猛康, 小林正宏, 福田健, 池野正行, 田中耕一: シールドトンネルの免震構造に対するシリコン系免震材の適用, 土木学会第1回免震制震コロキウム論文集, pp.141-148, 1996. 3) 鈴木猛康: 免震層と弾性ワッシャー併用によるシールドトンネルの地震時断面力低減効果, 土木学会第51回年次学術講演会, 1-B, pp.874-875, 1995. 4) 鈴木猛康, 金聲漢, 植村精美: シールドトンネルの免震構造の地震応答評価のための解析法の提案, 土木学会第1回免震制震コロキウム論文集, pp.125-132, 1996.

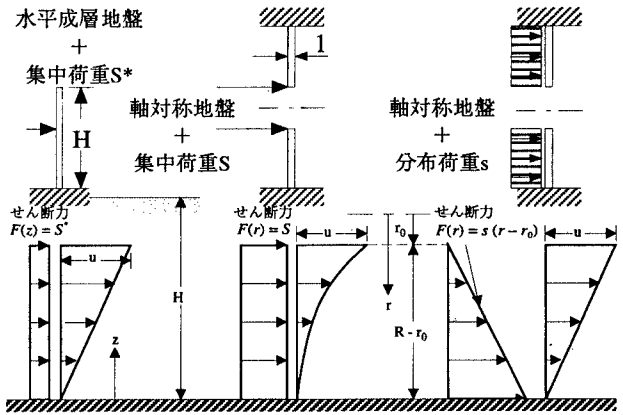


図-3 集中せん断力 S^* の変換

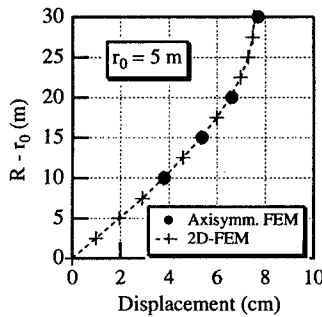


図-4 $R-r_0$ と地盤水平変位の関係

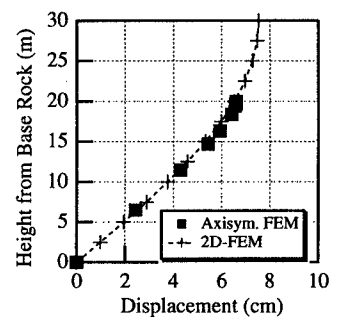


図-5 地盤変位の鉛直分布

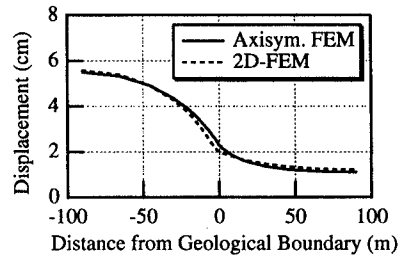


図-6 地盤変位分布の比較