

地中構造物縦断方向の耐震設計における地盤変位算出手法とトンネル応答に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○吉村 茂

九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橋 義規

1. はじめに

共同溝等の線状地中構造物縦断方向の耐震設計法は、地中構造物の地震応答特性が考慮されていて、かつ適用も簡便な応答変位法により行われるのが一般的である。その際に、外力として必要な地盤変位分布は、便宜上、正弦波分布を仮定していることが多い。しかしながら、このような仮定の下での計算は、特に表層の地盤条件の変化が著しいような不整形地盤において、実際の応答との乖離が無視できない程度に大きくなる可能性がある。

そこで本研究では、地盤の動的解析モデルとしてFEMモデル及び質点モデルを取り上げ、両モデルによるトンネル応答を比較した。また、トンネルタイプによる応答特性の違いについての検討も行った。

2. 解析モデル及び解析条件

2.1 地盤の動的解析

対象とした地盤タイプは、図-1に示すような軟質層と硬質層が傾斜を持って接する不整形地盤で、モデル幅は200m、層厚は20mである。地盤の物性値を表-1に示す。

モデル化の手法として、FEMモデルは二次元平面ひずみ要素で地盤をモデル化し、メッシュ分割は、水平方向2m、鉛直方向1mを基本とした。境界条件は、側方粘性境界、底面固定境界とした。質点モデルは、対象地盤を適当な間隔でスライスし、各スライスを一質点系にモデル化し、これを地盤の弾性変形に基づいて求めたばねで結合した¹⁾。質点モデルの概念図を図-2に示す。

入力地震動は道路橋示方書V編²⁾、I種地盤タイプIIの標準波形を用いた。数値解析法はNewmarkの β 法($\beta=1/4$)による直接積分法により行い、線形解析とした。

2.2 トンネル解析

想定した構造物は図-3に示すような開削トンネル及びシールドトンネルであり、トンネルケースを表-2に示す。開削トンネルは、可撓継手のあるケースと無いケース、また継手のあるモデルの場合は、継手ばね定数をゼロとしたケース(開削トンネル1)と周囲の地盤の抵抗を考慮して地盤のせん断ばねと同程度と想定したケース(開削トンネル2)について検討した。

トンネル解析手法は応答変位法により行い、トンネルを弾性床上の梁でモデル化し、上記の地盤の動的解析によって得られる深度10m位置での時刻歴地盤変位を地盤ばねを介して入力した。図-4にトンネル解析モデルの概念図を示す。トンネルを支持する地盤ばねのばね定数は、参考文献3)で提案されている近似式より算定した。加振方向はトンネル軸方向であり、トンネルの自由度は、軸方向のみ自由とし、他は全て拘束とした。

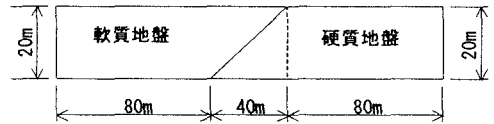


図-1 解析対象地盤

表-1 地盤物性値

	ポアソン比 ν	せん断波速度 V_s (m/sec)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	減衰定数 h
軟質地盤	0.45	100	17.6	0.15
硬質地盤	0.45	300	19.6	0.05

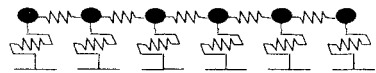
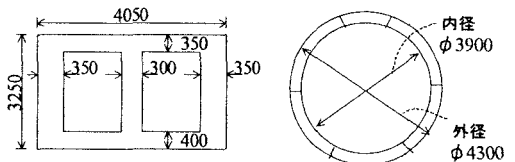


図-2 質点モデル概念図



(a)開削トンネル (b)シールドトンネル

図-3 解析対象構造物

表-2 トンネル応答解析のケース

	トンネル剛性 EA(kN)	可撓継手間隔 (m)	継手ばね定数 (kN/m)
開削トンネル1	1.30×10^8	30	0
開削トンネル2	1.30×10^8	30	29400
開削トンネル3	1.30×10^8	なし	-
シールドトンネル	6.13×10^8	なし	-

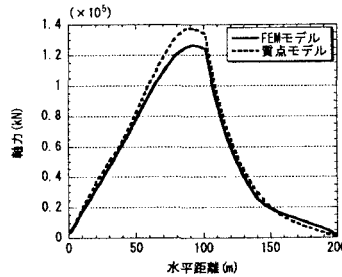


図-4 トンネル解析モデル概念図

3. 解析結果

3.1 FEMモデルと質点モデルの比較

筆者らの研究グループによる以前の研究⁴⁾では、各種の不整形地盤タイプにおいて、一層地盤の場合はFEMモデルと質点モデルの解析結果がよく一致したが、今回対象としている二層地盤の場合は、図-5に示すように地盤の最大軸ひずみの分布傾向が両モデルで大幅に異なることが示された。そこで、この乖離がトンネル応答にどの程度影響を及ぼすのかを把握するために行った今回のトンネル解析結果を図-6に示す。トンネルの最大軸力分布を比較した図-6から分かるように、地盤ひずみ分布における乖離に比べて、トンネル軸力の分布傾向はFEMモデルと質点モデルとである程度似通ったものになった。また、シールドトンネルに比べて剛性の大きい開削トンネル3の方が、モデルによる差は小さくなった。これは、トンネル剛性が大きい方が地盤ひずみの伝達率が小さくなるためであると考えられる。以上のように、地盤のFEMモデルと質点モデルの乖離は、トンネル剛性の影響により小さくなることが示された。



開削3 (10m)

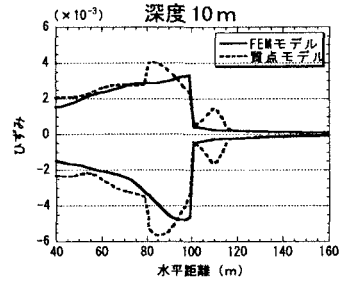
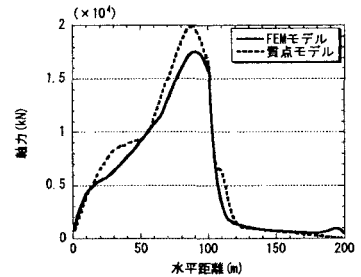


図-5 地盤の最大軸ひずみ分布



シールドトンネル (10m)

図-6 トンネル最大軸力分布

3.2 トンネルタイプによる応答の比較

次に、トンネルタイプによる応答の比較について示す。尚、ここでの対象は、FEMモデルによる地盤の動的解析結果を用いたときのトンネル応答解析結果のみである。

図-7に最大軸力分布の比較を示す。開削1、2（継手あり）のケースでは開削3（継手なし）に比べて軸力が1/10程度に低下しており、可撓継手とすることの効果が見られている。また、継手のばね定数を考慮していない開削1と、地盤のせん断抵抗と同程度と想定した開削2とを比較すると、継手部以外では分布傾向にほとんど差がなかった。

図-8に最大軸ひずみ分布の比較を示す。通常の設計概念では地盤ひずみが構造物に伝わると考えているため、トンネルひずみが地盤ひずみを上回ることはないが、硬質地盤中の開削3やシールドトンネルでは地盤ひずみより大きくなった。これは、トンネル剛性の影響により軟質地盤部に発生する大きな地盤ひずみの影響が硬質地盤中のトンネルにも及ぶためであると考えられる。

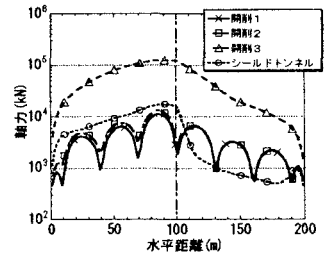


図-7 最大軸力分布

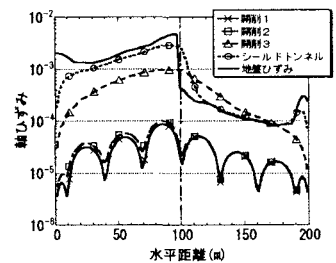


図-8 最大軸ひずみ分布

4. まとめ

動的解析により地盤変位分布を算定する際のモデル化手法について検討した結果、トンネル条件によっては今回対象としたような地盤条件が急変するような場合でも質点モデルで精度よくトンネルの応答が計算できることがわかった。その適用範囲については今後の検討課題としたい。

【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所：沈埋トンネルの軸線上の断面力および変位の地震応答解析法に関する研究，土木研究所資料第1193号，1977.3
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1996.12
- 3) 星隈，運上，村井：梁ばねモデルによる地下構造物縦断方向の耐震計算に用いる地盤ばね定数，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集1B
- 4) 大塚，橘，川野：FEM地震応答解析による不整形地盤の地盤ひずみ分布特性とばね質点モデルについての考察，構造工学論文集Vol.47A，2001
- 5) 大塚監修：最新 地中・基礎構造物の耐震設計，九州大学出版会