

## 地盤急変部のトンネル耐震解析に関する軸対称FEMモデルと3次元FEMの比較

地震応答 シールドトンネル 数値解析

中央復建コンサルタンツ 正会員 太田 弘次  
中央復建コンサルタンツ 正会員 鈴木 猛康

## 1. はじめに

トンネルのような地中線状構造物は、その延長距離が長い場合には複雑な地層構造にわたって建設されることが多い。特に、硬軟地盤境界のように地盤条件が急変する箇所では、地震時にトンネルに局部的に大きな断面力が集中することが知られている。地盤急変部では、地盤の地震時応答とともに地盤とトンネルの相互作用を解析できる解析モデルが必要であり、そのようなモデルとして、軸対称FEMを用いた簡便モデル“EASIT”<sup>1)</sup>が開発されている。本研究では、EASITの地盤条件急変部への適用性を検証する目的で、EASITを傾斜境界面を有する硬軟地盤境界部のシールドトンネルへ適用するとともに、3次元FEMによる解析結果との比較を行った。

## 2. EASIT概要

解析コードEASITは、3次元構造を軸対称有限要素を用いて近似し、さらに地盤応答震度法等を取り入れて動的現象を静的解析に置き換えることによって、複雑な地震時のトンネルの挙動を簡便に解析するものであり、地下構造物の免震設計に実用化されている。以下に、EASITの中で実施されている軸対称FEMモデルの概要を簡単にまとめる。

図-1(a)に軸対称FEMモデルの概念図を示す。図のように、軸対称FEMモデルでは3次元地盤中の円形トンネルを、トンネル中心を対称軸とし、トンネル内周面をモデルの内周面、基盤を外周面とする軸対称中空円筒体にモデル化している。したがって、トンネル上方の表層地盤の影響や構造条件の相違は、すべて荷重(地盤慣性力)の変換によって、近似的にモデル化を可能としている。また、図-1(b)に示すように、トンネルのスプリングライン位置の現象を解析することに主眼を置くため、実トンネルのトンネル中心位置が、解析モデルのセグメント外周面と一致するように、座標軸を設定している。

## 3. 解析条件

図-2に3次元FEM解析に用いたモデルの概念図を示す。トンネルスプリングラインの深さを10m、硬軟境界の傾斜角を45°とし、横断面の幾何学的対称性を利用したハーフモデルとした。表層地盤の物性値は、硬質地盤が $V_s=750\text{m/s}$ 、 $\gamma_t=18.6\text{kN/m}^3$ 、軟質地盤が $V_s=50\text{m/s}$ 、 $\gamma_t=15.7\text{kN/m}^3$ とした。

また、トンネルは、共同溝の規模を有するシールドトンネルとし、外径5,050mm、桁高250mmの平板形RCセグメント製と設定した。なお、2次覆工は省略するものとした。表-1にセグメントの諸元を示す。ここでは、リング継手の構造を長尺ボルト型とし、継手のばね定数からセグメントの軸剛性を算出し、引張変形時の解析に際してセグメントの要素に与える等価なヤング率を求めると $E_{eq}=1.189 \times 10^6\text{kN/m}^2$ となった。

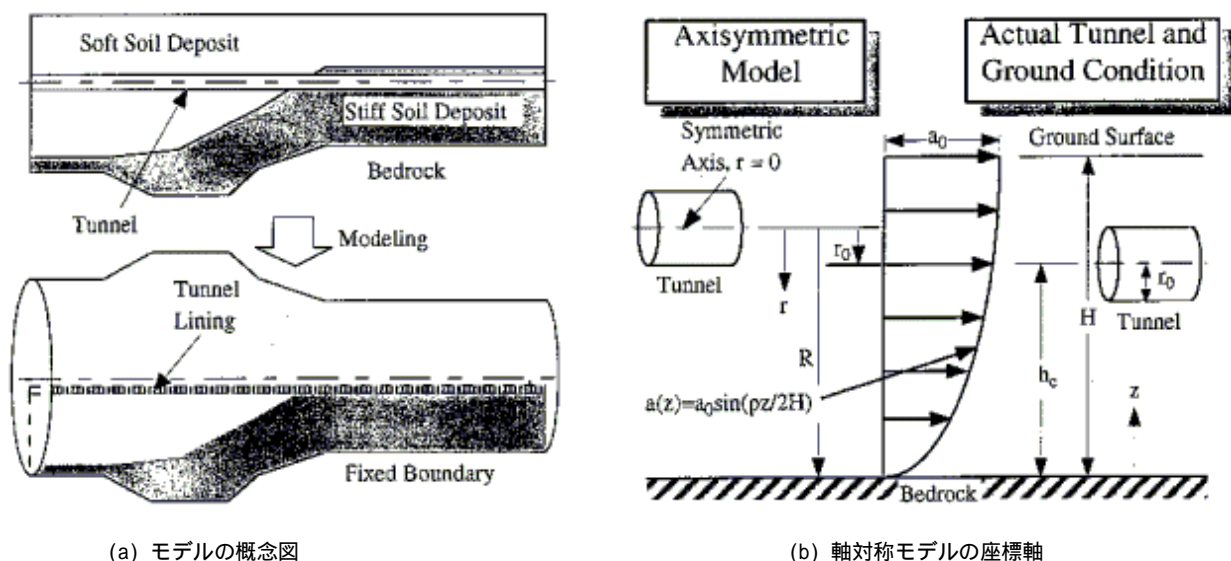


図-1 軸対称モデルの基本概念および座標軸の設定

Comparison of analyses on dynamic behavior of a tunnel constructed crossing geological boundary between the axisymmetric FE model and 3-D FE model

Koji OTA (Chuo Fukken Consultants Co. Ltd) and Takeyasu SUZUKI (Chuo Fukken Consultants Co. Ltd)

図 - 3 に 3 次元 FEM モデルのメッシュ分割図を示す。硬軟境界面を階段状に傾斜させてモデル化している。また、EASIT のメッシュ分割図を図 - 4 に示す。これらのモデルを用いて、トンネル軸方向に 0.2G の一様水平震度を静的に作用させ、トンネルスプリングライン位置の水平変位と発生する軸ひずみを算定した。

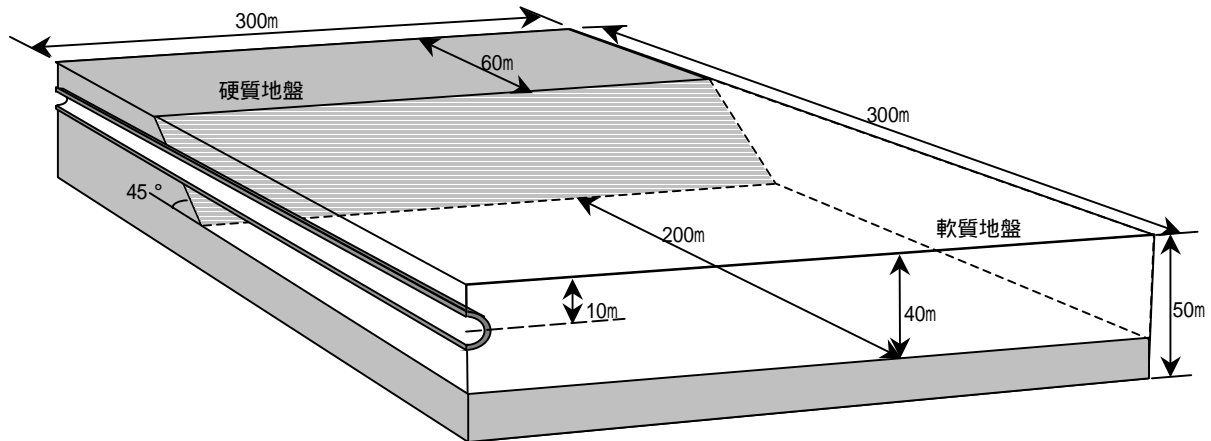


図 - 2 3次元モデルの概念図

#### 4. 解析結果

図 - 5, 6 に 3 次元 FEM と EASIT でのトンネルスプリングライン位置の水平変位と軸ひずみの解析結果を比較して示す。これらの結果をまとめると、以下の通りである。

- ・トンネル変位に関しては、両者の解析結果はほぼ一致する。
- ・軸ひずみに関しては、境界付近で EASIT による解析結果の方が分布形状が多少シャープになっているが、最大ひずみ発生位置ならびに最大ひずみ値はほとんど一致する。

#### 5. まとめ

軸対称 FEM モデル EASIT は、地盤条件急変部を通過するトンネル縦断方向の耐震解析において、トンネルスプリングライン位置のトンネル変位、軸ひずみを 3 次元 FEM 解析と同等の精度で算出することが検証され、その適用性が確認された。

<参考文献>

- 1) Suzuki, T : The axisymmetric finite element model developed as a measure to evaluate earthquake responses of seismically isolated tunnels, Proc. 12WCEE, Auckland, New Zealand, 2000.

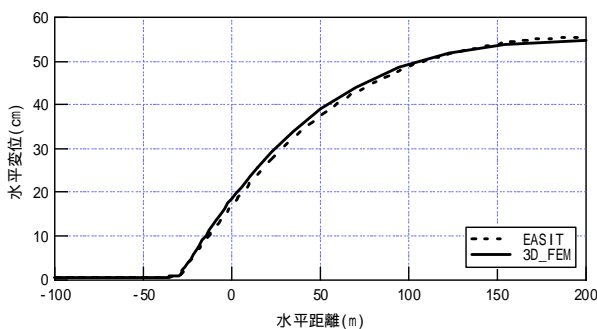


図 - 5 水平変位比較図

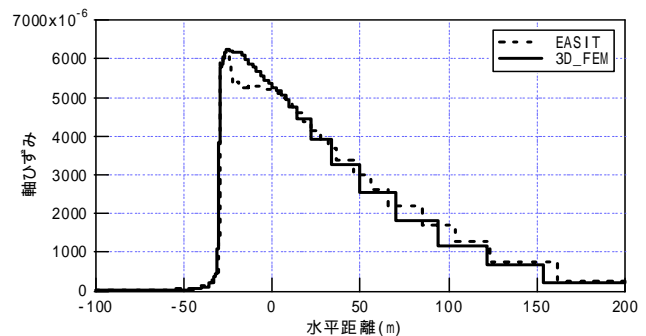
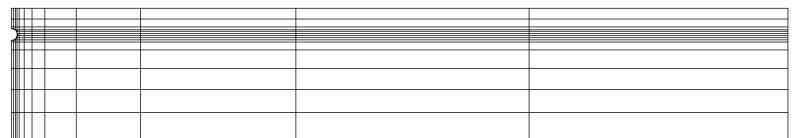


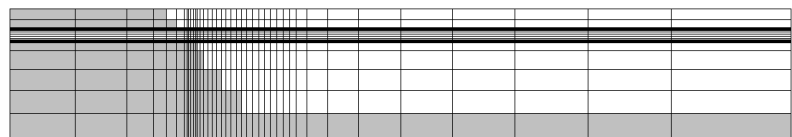
図 - 6 軸ひずみ比較図

表 - 1 セグメントの構造諸元

セグメント		リング継ぎボルト	
外径(m)	5.05	本数	20
内径(m)	4.55	ねじの呼び	M27
幅 /s(m)	1.20	有効断面積(mm <sup>2</sup> )	459
断面積 As(m <sup>2</sup> )	3.77	強度区分	10.9
ヤング率 Es(kN/m <sup>2</sup> )	3.2 × 10 <sup>7</sup>	ヤング率 E <sub>g</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	2.1 × 10 <sup>8</sup>



(a) 横断面メッシュ



(b) 縦断面メッシュ

図 - 3 3次元 FEM メッシュ分割



図 - 4 EASIT によるメッシュ分割