

地下構造物への地震時ひずみ伝達率に与える構造物の寸法ならびに剛性の影響 （その2：構造物の剛性の影響）

中央復建コンサルタンツ 東京本社総合設計室 フェロー 鈴木 猛康
中央復建コンサルタンツ 東京本社総合設計室 正会員 勝川 藤太
中央復建コンサルタンツ 東京本社総合設計室 正会員 鈴木 和重

1. はじめに

地下構造物の縦断方向の耐震設計では、地盤～構造物を弾性床上の梁（梁ばねモデル）理論に基づいた応答変位法が採用されてきた。本手法は簡便かつ実用性に優れているものの、構造物の剛性効果は考慮できても寸法効果は考慮できないという欠点を有する。したがって、構造物の大型化が著しい現状で、弾性床上の梁へのモデル化の妥当性が懸念される。また、地盤条件急変部や構造条件急変部のように、ひずみの波長が極めて短い場合には、梁ばねモデルの適用性が良くないことが指摘されている。

そこで、比較的大型の線状地下構造物を対象とした縦断方向の耐震設計に対する弾性床上の梁理論に基づいた応答変位法の適用性について検討することを目的として、軸対称 FEM モデル（解析コード EASIT^{1),2)}を用いた耐震解析を実施し、弾性床上の梁の解析解との比較を行った。本稿では、共同溝クラスのシールドトンネルを対象とし、構造物への地震時軸ひずみ伝達率に与える構造物の軸剛性の影響について報告する。

2. 解析の概要

図 - 1 に示す外径 5.05m の共同溝クラスの RC セグメント製シールドトンネルを検討対象とした。耐震解析に軸対称 FEM モデルを用いたトンネルの耐震解析コード EASIT を使い、トンネル長手方向に 2 波長分の地盤慣性力を静的に作用させ、セグメントの軸ひずみを算定した。

解析ケースを表 - 1 に示す。ここでは、トンネル剛性が軸ひずみ伝達率に与える影響を検討するため、セグメントのヤング率をコンクリートのヤング率の 1 倍～1/100 倍まで変化させ、10 種類の軸剛性に变化させた。得られたセグメント軸ひずみ ε_{seg} に対して、地盤モデルのみに同様な地盤慣性力を与えて得られるトンネル深さの地盤軸ひずみ ε_{gr} を求め、(1)式のようにこれらの比を EASIT による数値解析によるひずみ伝達率 r_{num} と定義することとした。一方、弾性床上の梁による地盤からトンネルへの軸ひずみ伝達率 r_{bef} は、(2)式で与えられる。ここで L は波長であり、 K_x を軸方向剛性係数、 EA をトンネルの軸剛性として (3)式で与えられる。

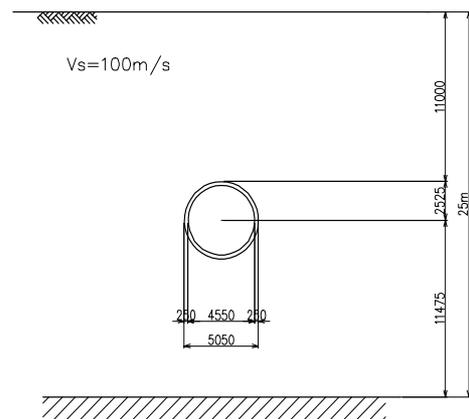


図 - 1 地盤条件とトンネル条件

表 - 1 解析ケース

項目	種類	内容
地盤のヤング率	1	600 (kN/m ²)
シールドトンネル	1	外径 5.05m の RC 製セグメント
トンネル剛性	10	圧縮剛性に対して 1/1 ~ 1/100 の 10 種類
地盤変位の波長	2	50, 500m

$$r_{num} = \varepsilon_{seg} / \varepsilon_{gr} \cdots \cdots (1), \quad r_{bef} = \frac{1}{1 + \left(2\pi / \lambda L\right)^2} \cdots \cdots (2), \quad \lambda = \sqrt{\frac{K_x}{EA}} \cdots \cdots (3)$$

キーワード 地下構造物，耐震設計，軸ひずみ伝達率，梁ばねモデル，軸対称 FEM

連絡先 〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町 2-11 中央復建コンサルタンツ東京本社 TEL:03-3669-1630

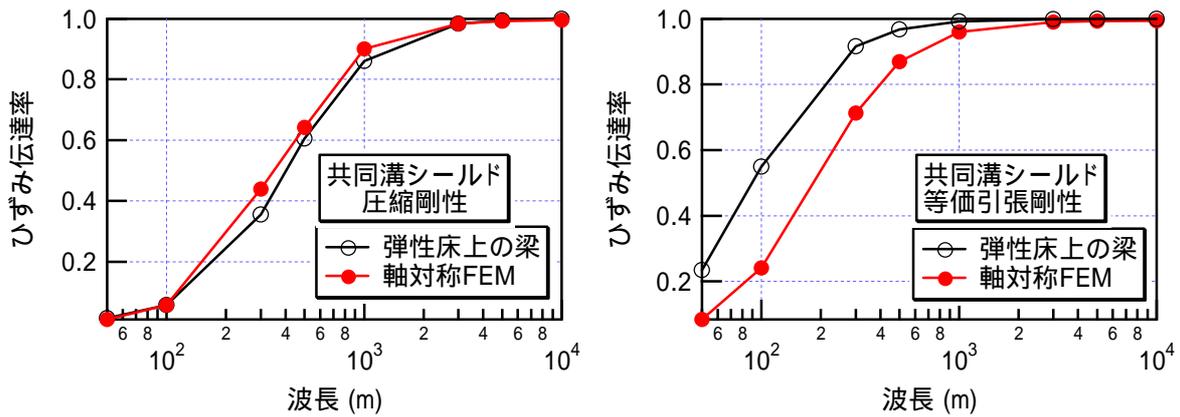


図 - 2 軸ひずみ伝達率と波長の関係

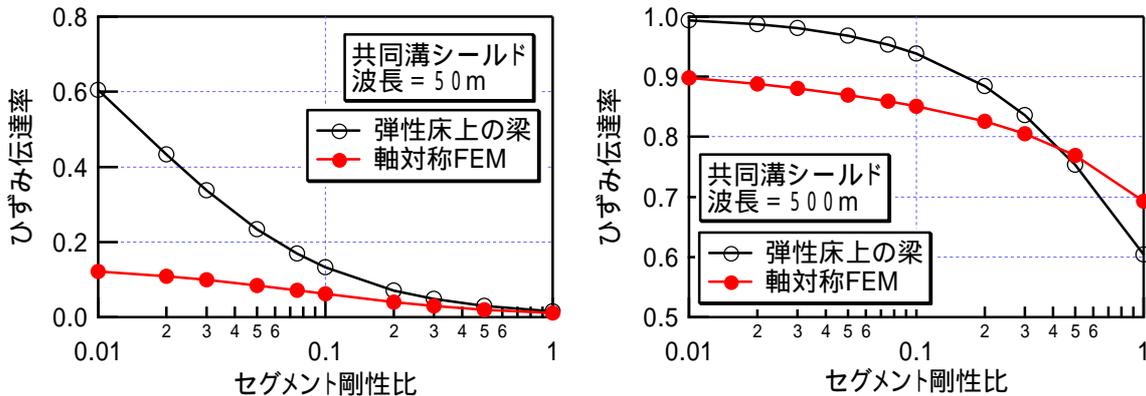


図 - 3 軸ひずみ伝達率とセグメント剛性の関係

3. 解析結果と考察

図 - 2 は圧縮剛性としてセグメントにコンクリートのヤング率を与えたケースと、等価引張剛性を想定してセグメントのヤング率をコンクリートの $1/20$ としたケースについて、トンネル軸ひずみ伝達率と波長の関係を示したものである。図中では、弾性床上の梁に基づいた(2)式の解析解と EASIT による数値解析に基づいた(1)式の数値解を重ね描きしている。図より明らかなように、圧縮剛性のケースでは両者が比較的一致しているのに対して、等価引張剛性のケースでは波長 1000m 以下の範囲で数値解が解析解より小さい。

図 - 3 は地盤変位の波長を、それぞれ 50m 、 500m に固定した上で、トンネルの軸剛性を圧縮剛性の 1 倍～ $1/100$ 倍まで変化させて、ひずみの伝達率に関する解析解と数値解とを比較したものである。地盤変位の波長が 50m と短い地盤条件急変部や立坑接合部付近を想定したケースでは、セグメント剛性が小さくなればなるほど、ひずみの解析解と数値解の差が顕著である。また、地盤変位の波長が 500m のケースでは、セグメント剛性比 0.5 を境として、ひずみ伝達率に関する解析解と数値解の大小関係が逆転している。以上のように、共同溝クラスのシールドトンネルでは、弾性床上の梁に基づいて(2)式によって軸ひずみ伝達率を設計に適用したり、梁ばねモデルを用いた縦断方向の耐震解析に基づいてトンネルの耐震設計を行うと、トンネルの設計軸ひずみを過大に評価することになることがわかった。

4. まとめ

地盤ひずみの波長が短い地盤条件急変部や構造条件急変部におけるトンネル縦断方向の耐震設計では、構造物の寸法効果を評価できる軸対称 FEM、3次元 FEM 等、FEM によるモデル化を行うことが望ましい。

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. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000. 2) 鈴木猛康, 勝川藤太: 地下構造物の滑り型免震構造の提案と検証実験, 土木学会論文集, No.689/I-57, pp.137-151, 2001.10.