

地下構造物への地震時軸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1：構造物の外径ならびに材質の影響）

中央復建コンサルタンツ(株) 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(株) 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(株) 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、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している。したがって、構造物の大型化が著しい現状では、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、構造物の外径の異なる3種類のトンネルを対象とした解析により、構造物の外径ならびに材質が、構造物への地震時軸ひずみ伝達率に及ぼす影響について検討したので報告する。

2. 解析の概要

表-1に示すように、材質、外径の異なる3種類のシールドトンネルを対象構造物として選定するとともに、それぞれのトンネルで圧縮剛性、等価引張剛性の2ケースの剛性を設定した。トンネルの土被りは1.5~2D（D：外径）程度とし、地盤のヤング率は表-1に示す3ケースとした。

耐震解析は、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、図-2に示すように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するものである。ここで、波長は表-1に示す8ケースとし、波長に依存するひずみ伝達特性を検討することとした。

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

トンネル深さ位置の地盤軸ひずみ ε_{gr} を求め、(1)式で与えるこれらの比を EASIT を用いた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、弾性床上の梁に基づく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。

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

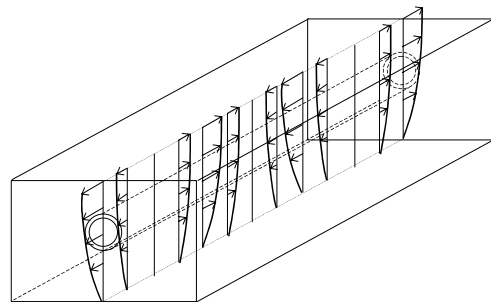


図-1 地盤慣性力の載荷方法

表-1 解析ケース

項目	種類	内容
地盤のヤング率	3	200(軟弱), 600,3000(硬質) (kN/m ²)
シールドトンネル	3	外径2.75mの鋼製, 5.05, 13.9mのRC製セグメント
トンネル剛性	2	圧縮剛性, 等価引張剛性
地盤変位の波長	8	50, 100, 300, 500, 1000, 3000, 5000, 10000m

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 F E M

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

3. 解析結果と考察

軸ひずみ伝達率に関する弾性床上的梁の解析解と軸対称 FEM による数値解の比較を、図 - 2，図 - 3 にまとめた。共同溝を対象とし、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 に設定した図 - 2 上段のケースでは、すべての地盤ケースで数値解は解析解を下回っており、その差は地盤が硬質となるほど、波長が短いほど顕著であることがわかる。大口径トンネルでは両者の差はさほど顕著ではないが、傾向は共同溝と同様である。圧縮剛性を用いたケースでは共同溝、大口径トンネルともに地盤の相違による差は顕著ではない（図 - 3）。また、上水道トンネル（鋼製）では解析解と数値解の相違が極めて顕著である。以上のように、地盤変位の波長の比較的短い範囲では、トンネル外径、トンネル剛性、ならびに地盤剛性によっては、弾性床上的梁に基づいた応答変位法の適用が適切でないケースがあることがわかった。

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. 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.

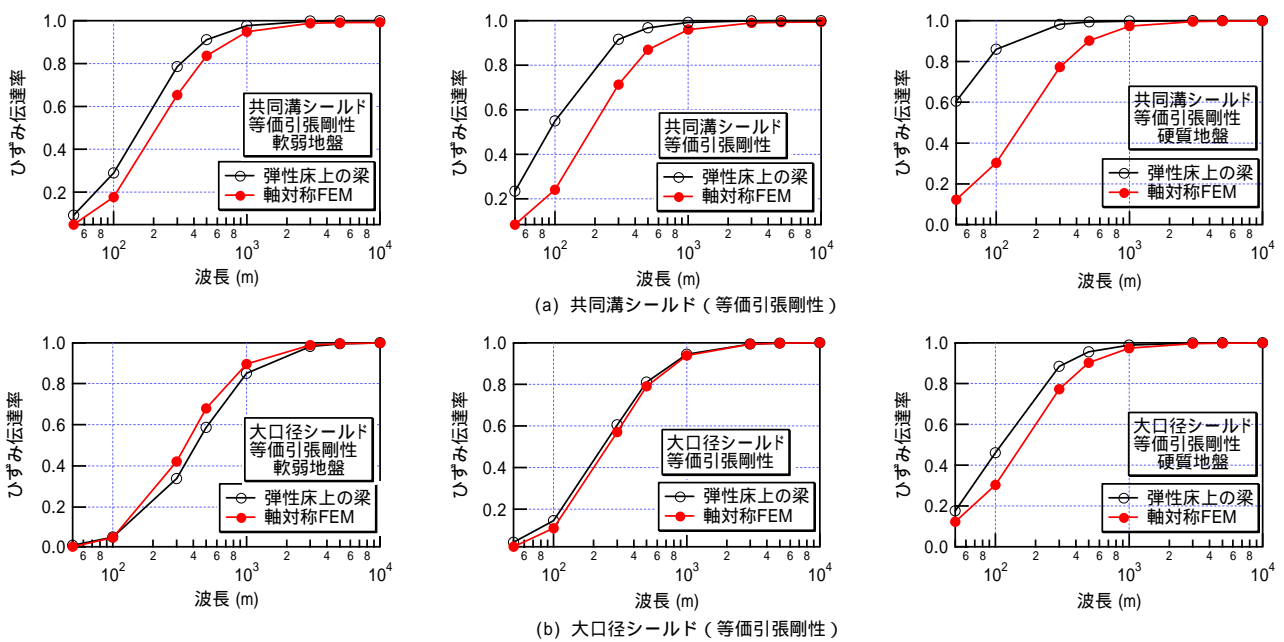


図 - 2 波長とひずみ伝達率の関係に関する解析解と数値解析 (EASIT) の比較 (その 1 : 等価引張剛性のケース)

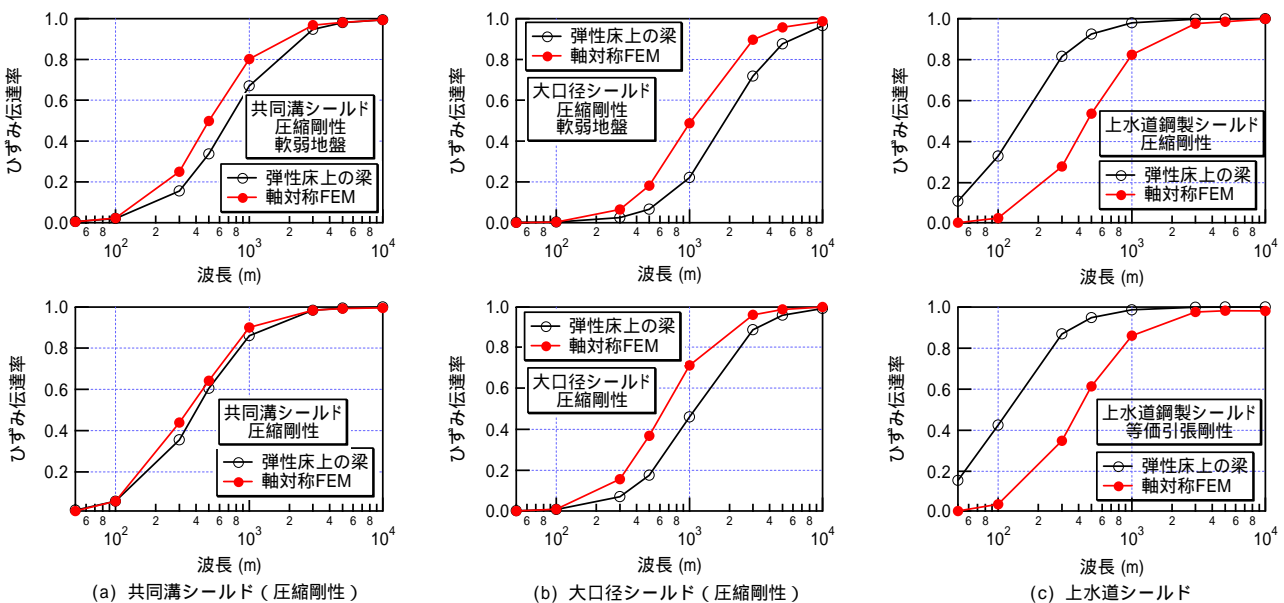


図 - 3 波長とひずみ伝達率の関係に関する解析解と数値解析 (EASIT) の比較 (その 2)