

縦断耐震検討による大和川線開削トンネル部における構造継手について

阪神高速道路株式会社 正会員 ○ハツ元 仁
 阪神高速道路株式会社 正会員 志村 敦
 株式会社建設技術研究所 正会員 李 圭太
 株式会社建設技術研究所 正会員 岡嶋 義行

1.はじめに トンネルなど地中内の線状構造物の耐震性能を評価するにあたり、地震により発生するトンネル軸線上の相対変位を縦断方向の耐震性能照査の外力として取り扱う必要がある。この相対変位は地盤の不均質性による応答の違いや、入力地震動の伝搬の差により生じる位相差などに起因して発生する。このような相対変位が問題となるような構造物の耐震設計においては、設計対象地盤の特性を考慮した地盤の変位(振幅)と位相速度(波長)を設定し、正弦波により変位分布を与える手法を用いることが多い。本検討対象とした阪神高速道路大和川線においては上町断層と交差しており、地震動の伝搬、地盤の不均質性による相対変位をより詳細に把握することを目的として、地震動の位相差入力を考慮した大和川線全体の FEM 動的解析を実施した。縦断方向の耐震性能は構造継手間隔を縮めることで向上するが、止水上の弱点となる。経済性も考慮すると継手間隔を可能な限り伸ばすのが望ましいことから FEM 解析により算出した変位を外力として、開削トンネル部の最適な構造継手間隔の検討を行った。

2. 解析手法

2.1 入力地震波 検討対象とした強震波形において、長周期帯域では断層震源を導入した 3 次元差分法¹⁾²⁾を用い、断層破壊シナリオを設定した大阪堆積盆地の 3 次元的不整形地盤構造による影響を考慮した地震波と、短周期帯域では、理論震源特性を満たす岩盤スペクトル³⁾に周波数依存型の放射特性を導入し、地盤モデルに基づくサイト増幅特性を考慮した人工小地震波を断層面を分割した小断層毎に作成し⁴⁾それらをグリーン関数として断層面の破壊伝播に従って重ね合わせる統計的グリーン関数法⁵⁾より得られた地震波を合成したものを適用した。その際、長周期地震波は大和川線(9.5km)に沿う 200m ピッチ(47 点)で計算された結果を用い、短周期地震波は大和川線中央部における計算された結果を用いた。縦断方向に対する耐震検討においては位相差による地盤応答変位が構造物に作用する応力に大きく作用することから、対象とする強震波形の周期特性と適用した計算機の物理特性を考慮して、FEM モデル下面での要素幅を 20m とした。そこで、3 次元差分法計算点以外の節点における長周期地震波は、この差分法計算点の隣り合う 2 点の強震波形をフーリエ変換し各周波数で振幅、位相角を各節点での 2 点間距離を考慮した線形補間を行い、この各節点で補間した振幅、位相角による逆フーリエ変換を行い時間軸に変換した。さらに、この各入力節点で長周期地震波と統計的グリーン関数法により得られた短周期地震波をクロスコリレーションが最大となる時間だけ位相を調整して各波形を合成して作成した。

2.2 地盤応答解析 地震応答解析は、図 1 に示す鉛直 2 次元断面メッシュに単位奥行き幅の要素を考慮した 3 次元モデルにおいて工学的基盤より上層は Drucker-Prager の降伏基準による弾塑性体として取り扱い他は弾性体とした FEM 応答解析を用いた。なお、位相差を考慮した入力地震波は、モデル下面節点に作用させるがモデル奥行き方向は位相を考慮せず同一の地震波を入力地震波とした。側面・下面境界は地盤の半無限性を考慮した境界とするため波動の伝播をダッシュポットによる粘性減衰で近似的に表現する粘性境界とした。

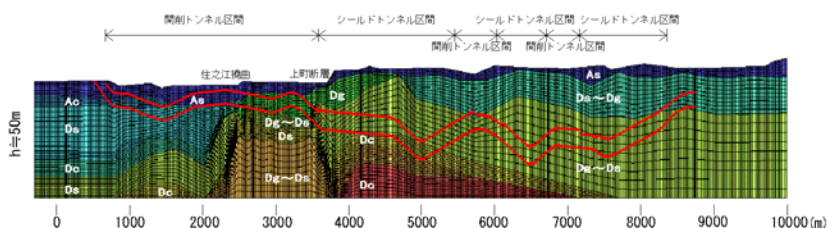


図 1 FEM 解析メッシュ(表層部)

Key word: 開削トンネル、構造継手、地盤応答変位、フレームモデル

〒590-0075 堺市堺区南花田口町 2-3-20 住友生命堺東ビル 5F 阪神高速道路株式会社 堺建設部 TEL 072-226-4713

2.3 フレームモデル 構造物に対する耐震性照査は、3次元FEM地震応答解析により得られた構造物上・下位置における応答変位を外力として、構造物を弾性部材としジョイントを考慮したフレームモデルに非線形性を加味した地盤バネを介してこの外力を逐次作用させ、断面力、構造継手の目開き量、施工継手部の鉄筋ひずみに着目した照査を行った。なお、フレームモデルは、大和川線下流部に位置する開削トンネル区間を対象とした。図2にフレームモデルの概要図を示す。

3. 解析結果 図3にFEM解析より得た、トンネル位置での水平変位によるひずみ分布の最大値を示す。4500m付近を境界にひずみの大きさが変化しており、特に1000m～3000mでのひずみが大きいことがわかる。この付近は、大和川下流域で比較的沖積層が厚く堆積している区間であり、住之江撓曲や上町断層があるため、地質構造の変化部であることがその要因であると考えられる。ひずみの最大値が発生する時刻($t=9.3\text{sec}$, 1150m付近)での地盤変位を外力とした、フレームモデル(構造継手40m:現設計)による軸力と目開きの分布を図4に示す。地盤変位の波長は1000m程度、振幅は100mm程度であり、地盤変位の正負境界付近で圧縮、または引張(目開き)が発生する状況が確認できる。構造継手間隔を変化させた場合の施工継手の鉄筋ひずみを図5に示す。構造継手間隔を伸ばすと鉄筋ひずみが増し、継手間隔が80mの場合、1700m付近で許容値を超える結果となった。

4. まとめ 下流部の地盤の比較的地盤の比較の軟らかい箇所や、撓曲などの地盤構造の変化点でひずみが大きく発生することが解析により表現できた。構造継手間隔については、現設計の40mから60mまで伸ばすことが可能である。これは、これまでの阪神高速での実績と同等であり、断層付近の厳しい地盤条件でも60m程度の構造継手間隔で対応可能であることがわかった。本研究で実地盤をモデル化した地震応答解析を行い、その応答変位をダイレクトに構造物に作用させ照査する方法が得られた。断層破壊シナリオを想定したローカルな地震挙動を対象とする場合、200mメッシュ程度のモデルによる入力地震波形の設定が必要であることも解った。

参考文献

- 1)Graves, R. W. : Simulating Seismic Wave Propagation in 3D Elastic Media Using Staggered-Grid Finite Differences, Bull. Seism. Soc. Am., 86, 1091-1106, 1996.
- 2)Pitarka, A. : 3D elastic finite-difference modeling of seismic motion using staggered-grid with non-uniform spacing, Bull. Seism. Soc. Ame., 89, 54-68, 1999.
- 3)Boore, D. M. : Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiation spectra, Bull. Seism. Soc. Ame., 73, 1865-1894, 1983
- 4)香川敬生 : ハイブリッド合成法に用いる統計的グリーン関数法の長周期帯域への拡張, 日本地震工学会論文集, 4, 21-32, 2004.
- 5)入倉孝次郎, 香川敬生, 関口春子 : 経験的グリーン関数法を用いた強振動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, 1997年度秋季大会, B25, 1997.

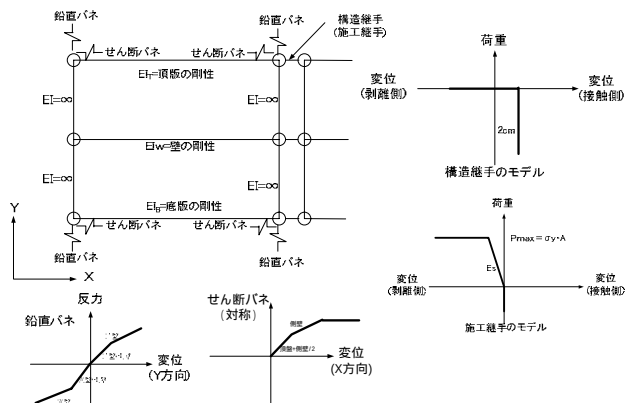


図2 フレームモデルの概要図

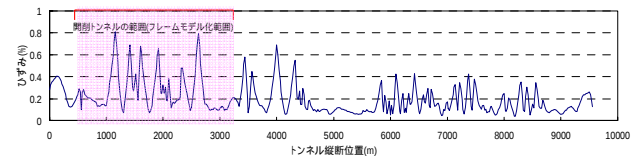


図3 水平変位のひずみの最大値分布

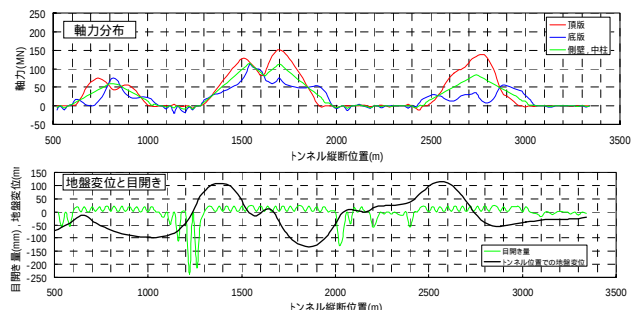


図4 最大ひずみ発生時刻の軸力と目開き

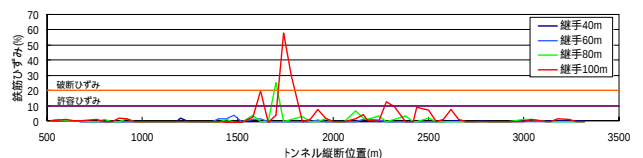


図5 構造継手間隔と鉄筋ひずみ