

3次元的地盤不整形性を有する甲府市の地下ライフラインの地震時ひずみ発生メカニズム

山梨大学大学院 学生会員 ○木下 顕吾
山梨大学大学院 フェロー 鈴木 猛康

1. はじめに

周辺地盤の変位に追従して変形するという地下構造物の地震時挙動の特性に基づいて、地下構造物の耐震検討では地盤の変位に着目した応答変位法を用いた解析が行われている。応答変位法を用いるには、地下構造物周辺の応答変位を正確に求める必要がある。そのため、地震応答解析では構造物の周囲の地盤の振動を正確にシミュレートできることが重要である。ところが、表層地盤の構造は複雑であり、基盤と表層の境界は平面的にも断面的にも入組んでいることが多い。そのため、トンネル縦断方向の地震時の応答を求めるため、表層地盤の層状構造と境界の両方をモデル化する必要がある。そこで田村らは、沈埋トンネルの地震応答解析のために、多質点系の地盤モデル(田村モデル)を考案した¹⁾。田村モデルによりトンネル軸直交方向の地盤構造が一様と見なせるような地盤の地震応答解析が非常に簡便に行える。田村モデルを基に鈴木はバネーマス系とFEMを配合した擬似3次元地盤モデルを開発した²⁾。このモデルによりトンネル軸直交方向の表層が変化する3次元的地盤構造の解析が簡便に行える。

本研究は、河川氾濫の歴史を反映させ、複雑な表層地盤構造を有する甲府市の広域な領域を対象として、擬似3次元地盤モデルを用いて地下ライフラインの地震時ひずみ発生メカニズムについて検討することを目的とする。

2. 甲府盆地の不整形表層地盤

甲府盆地は四方を山地で囲まれた逆三角形の内陸盆地である。釜無川等の河川の流路変遷と河川氾濫によって、地震動の影響を受けやすい粘性土や砂質土は場所ごとに変化に富んでいる。このような地盤構造を有した場所では、3次元的地盤不整形表層地盤構造によって、ローカルサイトエフェクト³⁾と呼ばれる地震動やひずみの局所的な集中が生じる。そのため、甲府盆地の地震応答解析を行うためには、3次元的地盤不整形表層地盤構造を地盤モデルに反映させることが必要である。

山梨県東海地震被害想定⁴⁾では、甲府盆地を250mメッシュごとに1次元表層地盤構造としてモデル化し、等価線形化法に基づいた1次元地震応答解析によって地震動を求め、そこから算定した震度を用いて被害想定を行っている。そのため、甲府盆地の3次元的地盤不整形表層地盤構造を反映できず甲府盆地に埋設された地下ライフラインの適切な地震被害推定を行うことは難しい。

3. 擬似3次元地盤モデルのための表層地盤モデルの構築

解析対象は図1に示す中心市街地を含む甲府市の7.5km×7.25kmの広域な領域である。入原らによって作成された3次元不整形表層地盤モデル⁵⁾を基に、本研究では地盤ひずみの発生メカニズムを検討するために深さ方向の寸法は現寸法で、水平方向のみ1/5スケールとしたスケールモデルを構築した。図2に粘土層厚と砂層厚の分布を示す。水平方向は25m×25mでメッシュ分割を行い、鉛直方向はVsに伴い質点間の距離を変えたバネーマスモデルを配置した。

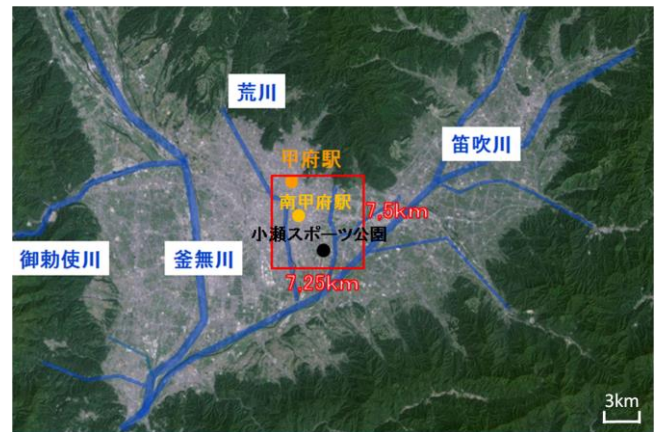


図1 解析領域

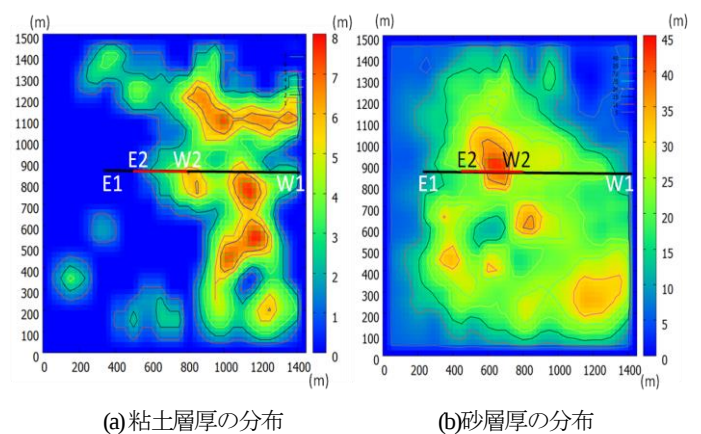


図2

4. 地盤構造及び地盤特性が振動モードに与える影響

甲府市中心市街地の3次元表層地盤構造を反映させた振動モードを確認するために解析コード“exq3d”を用いた固有値解析を行った。図3は有効質量比が最も高い10次振動モードである。図2、図3を対比すると、砂層が厚い箇所で振幅が大きくなる振動モードであることがわかる。

キーワード：3次元的地盤不整形、3次元地震応答解析、擬似3次元地盤モデル、甲府盆地

連絡先：山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部土木環境工学科 防災研究室 TEL：055-220-8531

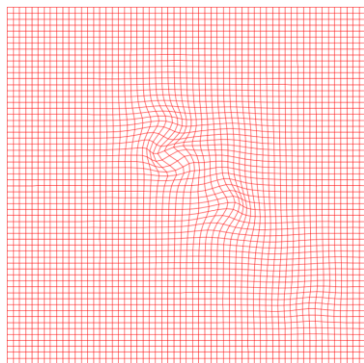


図3 10次振動モード(1.05Hz)

4. 地震時地盤ひずみ発生メカニズム

入力地震動として内閣府中央防災会議で算定された想定東海地震基盤波の加速度波形を入力し、地盤の非線形化を考慮するために等価線形化

法を用いexq3dにより地震応答解析を行った。固有値解析の結果から砂層が厚く堆積している解析領域の中心部を含む図2に示した断面であるE1-W1断面の地震時地盤ひずみの時刻歴応答波形を図4に、E2-W2断面における地表面、層厚3m、6m地点の軸ひずみ分布を図5に示す。

図4より、ローカルサイトエフェクトにより砂層が厚く堆積している箇所では軸ひずみが大きく発生することが確認できる。図5から軸ひずみ最大値のピークは砂層が厚く堆積している箇所の傾斜部であることが分かる。また粘土層が堆積している箇所の地表面と層厚6mの最大ひずみの差異が大きいことから、粘土層の不整形性にも起因してひずみが発生していることが分かる。図6に解析領域全体のNS方向の最大軸ひずみ分布を示す。図3、図6から、軸ひずみが大きい地域と10次振動モードで振幅が大きくなる箇所がほぼ一致することが分かる。水道耐震工法指針では、ダクトイル鋳鉄管の安全性の照査を行う際、地震動レベル2の場合には常時荷重も考慮した管体ひずみが0.3~0.4%以下であることで耐震性の照査を行っている。地震動の波動伝播によっても、軟弱地盤では地震時地盤ひずみが0.5%を超えることも想定されるため、これに表層地盤の不整形性に起因する軸ひずみが加わると、縮小モデルにおいては、南甲府駅周辺や小瀬スポーツ公園東部において地下ライフラインの被害が集中する可能性があることがわかった。

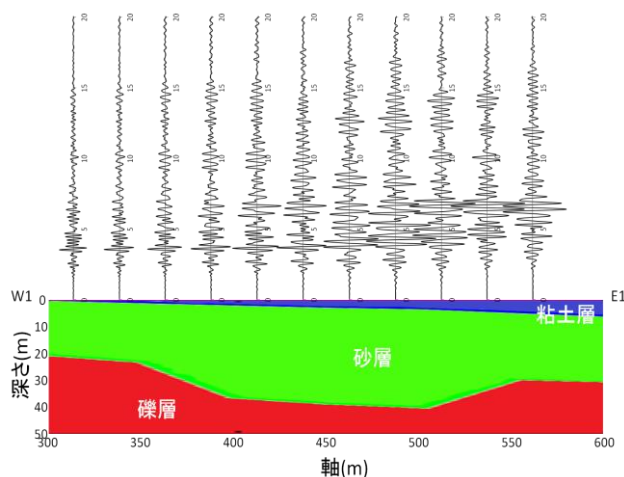


図4 E1-W1断面の地震地盤ひずみの時刻歴応答波形

5. まとめ

擬似3次元地盤モデルを用いたスケールモデルを作成し、固有地解析、地震応答解析を基に3次元的基盤不整形性を有する甲府市の地下ライフラインの地震時ひずみ発生メカニズムを検討した。その結果、振動モードが卓越する箇所では砂層の傾斜部で軸ひずみが大きく発生することや、粘性土に起因してひずみが発生することがわかった。今後は実地盤において地震応答解析を行うことで甲府盆地の地下ライフラインの地震被害推定を行いたい。

参考文献

- 1) Suzuki, T. and Unami, K.: The Extended Quasi-three-dimensional Ground Model for Irregularly Bounded Surface Ground, 土木学会論文集, No. 446/I-19, pp. 45-55, 1992. 4.
- 2) 鈴木猛康: シールドトンネルの耐震性評価と免震化手法に関する研究, 東京大学工学部博士論文, pp103-107, 1990.
- 3) 土木学会: 地震動のローカルサイトエフェクト—実例・理論そして応用—, pp213-220, 2005.
- 4) 山梨県: 山梨県東海地震被害想定調査業務報告書, 2005.
- 5) 入原渉: 不整形表層地盤を対象とした3次元非線形地震応答解析に基づく地震被害推定, 山梨大学工学部修士論文, pp30-40, 2016.

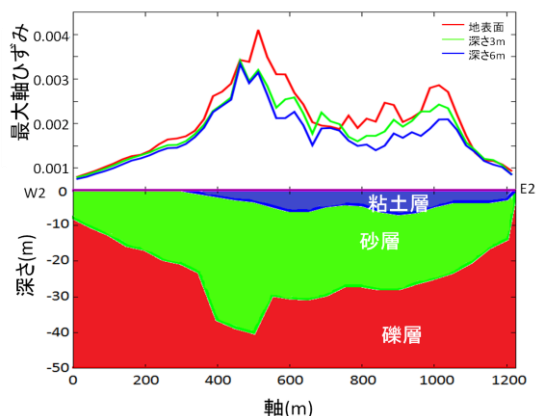


図5 E2-W2断面の最大軸ひずみ分布

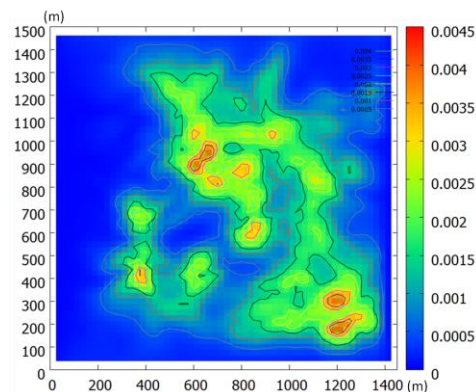


図6 NS方向の最大軸ひずみ分布