

常時微動観測と1次元等価線形解析に基づいた地下ライフラインの地震被害推定

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
山梨大学大学院 正会員 宮本 崇

1. はじめに

都市において大規模地震による上水道の供給停止は、停電とともに都市システムの復旧、都市生活の復旧にとって致命的な障害となる。とくに上下水道は老朽化が進んでおり、経済的な制約の中、耐震性に富んだ構造へと計画的な施設更新を図ることが課題となっている。しかしながら、現在の地下ライフラインの地震被害想定では、市町村における被害総数は算定されるが、被害の集中度が不明であるため、被害想定に基づいた計画的な更新計画が策定できない現状である。

地下構造物の耐震検討では、応答変位法が多く用いられている。応答変位法を用いるには、構造物周辺の地盤の振動を正確に求める必要がある。

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¹⁾によって、地震動の増幅が著しい粘性土層や砂質土層は場所ごとに変化に富んでいる、三次元表層地盤構造を呈している。このような地盤構造を有した場所ではローカルサイト効果により、地震動の増幅や干渉に起因してひずみの局所的な集中が生じる。

「山梨県東海地震被害想定業務調査報告書」では、甲府盆地の3次元表層地盤構造の推定が行われている²⁾。表層地盤構造の推定は、過去の土質データに基づいて行われている。しかし、土質データ数が市街地でも少ない。

そこで本研究では、甲府盆地の複雑な表層地盤中のライフラインの地震時被害推定を行うために、表層地盤構造を正しく設定し、地盤構造に応じた地震応答解析手法を用いた地震被害推定法を具体的に示すことにより、施設更新

計画を容易にすることを目的とする。

2. せん断波速度の算定と表層地盤厚の推定

図1の青印の観測点において約150m間隔で常時微動観測を行い、表層地盤構造の推定を行う。図2に常時微動観測の周期分布図を示す。また、入原らによって甲府盆地の地盤構造モデルのデータベース³⁾が作成されている。図3に、データベースを基に、観測領域における、推定土質柱状図がある地点の周期分布図を示す。図2、図3より、図3の周期0.8秒付近や北西部付近の周期は、常時微動観測の周期と推定地盤構造の周期がほぼ等しいが、それ以外の地域、特に南部では2倍以上の周期差が生じている。過去に、年縄らによる表層地盤厚の推定⁴⁾が行われているが、観測地域では、南部に向かうにつれて表層地盤厚が厚くなっていることが分かっている。

図4に地盤工学会が公開している図1の地点1の土質柱状図を示す。道路橋示方書に示されている式を用いて図4の土質柱状図の周期を算出⁵⁾すると0.45秒程度であるのに対し、常時微動観測の周期では0.9秒程度と大きな差が生じることや、土質柱状図の最下層は軟弱層であることから、深くまで軟弱層が堆積していることが予想される。これらのことから、山梨県の推定土質柱状図は疎であるだけでなく、深度も工学的基盤まで達していないこと懸念される。

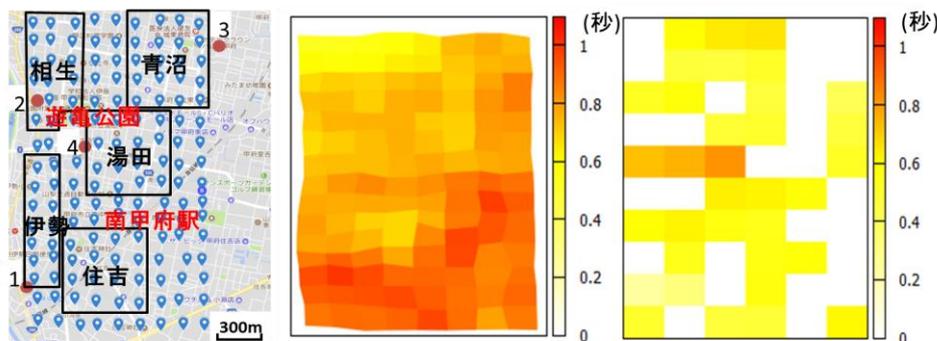


図1 常時微動観測地点 図2 周期分布図(常時微動観測) 図3 周期分布図(推定土質柱状図)

キーワード：3次元的地盤不整形、常時微動観測、1次元等価線形解析、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

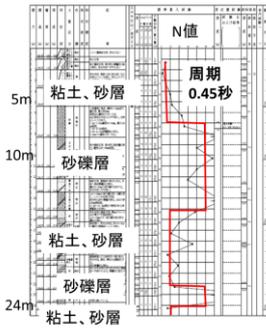


図4 土質柱状図

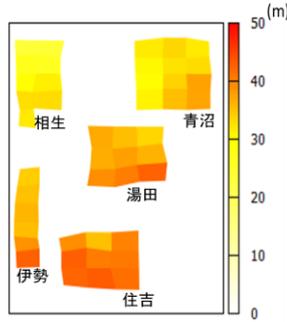
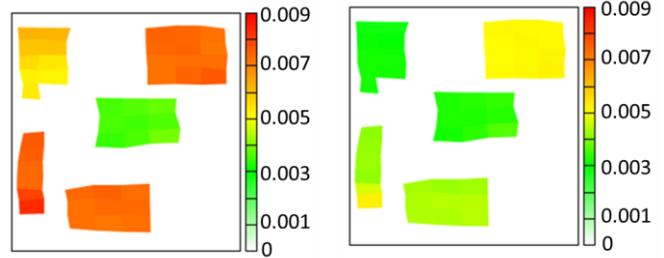


図5 表層厚分布図



(a) 調和平均法

(b) 松原の提案式

図6 管の引張ひずみ分布図

図1の地点1~3は地盤工学会が公開している土質柱状図地点、地点4は図2、図3においてほぼ等しい周期であった推定土質柱状図地点を示している。本研究では、これらの土質柱状図を用いて表層地盤構造を推定する。図4より、軟弱層と硬質層が交互に堆積しており、このような地盤構造を反映するため、道路橋示方書に示されている式を用いて土質柱状図より周期を算出⁵し、赤線のようにせん断波速度を作成した。また、最下層に軟弱層が堆積していることや、地点1の周期より常時微動観測の周期の方が長いことから、深層に軟弱層がさらに深くまで堆積していると仮定し、式(1)より表層地盤厚を推定した。地震対策は地区ごとの単位で検討されるので、土質柱状図地点付近の図1の黒枠に示す5地区を選定した。地点1を用いて伊勢、住吉地区、地点2から相生地区、地点3から青沼地区、地点4から湯田地区の表層地盤厚を推定した。図5に5地区の表層地盤厚を示す。

$$H = \frac{T \times V_s}{4} + H_1 \quad (1)$$

H:表層厚(m)

T:土質柱状図と常時微動観測の周期差(s)

V_s:最下層のせん断波速度(m/s)、H₁:土質柱状図深度(m)

3. 青沼、相生、湯田、伊勢、住吉における地下ライフラインの地震被害推定

5地区における上水道管の軸ひずみを算出する。この地域は、表層厚が厚いため、水平方向の地震の伝播による地盤ひずみの影響が大きくなる。そのため、1次元等価線形解析プログラムSHAKEによって地盤変位を算出し、応答変位法を用いて管の軸ひずみを算出する⁶。入力地震動は道路橋示方書Level2 Type2地震動、ひずみ依存特性曲線は土木研究所のデータ⁷を基に作成した。本稿では、水道施設耐震工法指針で用いられ

ている調和平均法と松原⁸)によって算定された式を用いて波長を算出した2パターンにおいて1100径の上水道管(鋼管)の軸ひずみを算出した。図6に管の引張ひずみのコンター図を示す。水道施設耐震工法指針は、0.3%のひずみで安全性の照査、また、0.5%以上で鋼管の降伏ひずみが生じる。図6のひずみ値が異なる理由として、調和平均法で算出した波長よりも松原の式で算出した波長の方が長くなったためである。図6より、被害の集中箇所を把握することができる。

5. まとめ

甲府盆地の限られた表層地盤データを用いて、甲府市の市街地を対象として、比較的浅層に埋設される上水道の配水管の地震時の損傷を検討する具体的な手法を示した。本研究地域では、常時微動と近隣の土質データを用いて基盤層までの表層地盤厚を推定する方法を提案した。その結果、地区毎に上水道の損傷度が異なることが示し、耐震性に富んだポリエチレン管等へと更新する優先順位を示す施設更新計画策定が可能となることを示した。

¹川崎剛：武田氏研究大13号 釜無川の流路変遷について，pp. 41-59, 1994.
²山梨県：山梨県東海地震被害想定調査業務報告書，2005.
³入原ら：甲府盆地の3次元地盤構造モデルの構築と地盤震動解析，土木学会第70回年次学術講演会，2015.
⁴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-，pp93-95.
⁵遠藤大輔ら：N値から推定されたS波速度を地盤の初期の速度構造とした場合の地震応答解析精度，土木学会第57回年次学術講演会，2002.
⁶土木学会：動的解析と耐震設計第4巻ライフライン施設，pp. 169-172.
⁷日本建築学会：地震応答解析に用いる地盤物性をどう評価するか，pp. 29-45, 1998.
⁸松原勝己：線状地下構造物の縦断方向耐震設計における地盤変位と地盤バネ定数の設定法に関する研究，2001.