

液状化に伴う流動の簡易な解析手法に関する研究

東北学院大学工学部 学生会員 ○工藤 恭介
東北学院大学工学部 佐藤 基廣
東北学院大学工学部 正会員 吉田 望

1 はじめに

液状化に伴う流動が発生すると、杭などの地中構造物に被害が発生する¹⁾。杭基礎の被害では、液状化層の剛性は被害にはそれほど影響せず、液状化層上下の非液状化層で相対変位が発生したことにより被害が発生すると考えられる²⁾。従って、被害を解析するためには、表層の非液状化層の挙動を予測することが重要である。

ところで、従来流動の解析は二次元モデルを用いて行われることが多かった(例えば文献3))。しかし、非液状化層は亀裂などが入っている事があるとはいえ、液状化層に比べれば非常に大きい剛性を持っていることから、面として挙動すると考えられる。従って、構造物などがある地域で非液状化層の変位を予測するには三次元解析が必須となる。しかしながら、三次元解析は二次元解析と比べれば解析量も膨大である。

さらに、従来の解析では上部非液状化層は弾性としてモデル化されることが多いが、亀裂などが入っていることからわかるように、非線形化も考慮する必要があるかもしれない。非線形を考慮した三次元解析はまだとても実用的とはいえない。

そこで、本研究では、表層地盤の挙動をなるべく簡易に表現できる方法を検討する。具体的には、液状化層を単一のばねに置き換えることによって解析を簡略化するものである。この様にすれば三次元解析を行うにしても節点数などは非常に小さくできるし、表層の非液状化層が1層にモデル化できるのであれば二次元解析を使っても求めることができるようになるという長所がある。本報告では、そのために液状化層を簡易にモデル化できるかの検討を行った結果を紹介する。

2 解析手法

液状化層を単一のばねにモデル化する。この場合には上下の非液状化層の変位が簡易モデルと詳細な検討を行ったモデルで同じになればよい。液状化層の変形は主として水平方向のせん断変形であるので、液状化層の上下端の相対変位 δ は次のようにして求

めることができる。

$$\delta = \int \gamma dh = \int \tau / G dh \quad (1)$$

ここで、 G は液状化層の剛性であり、例えば文献3)より求めることができる。ここで、せん断応力 τ が深さ方向に一定であると仮定すると、単一のばねの、面積あたりの剛性 k は次のように求めることができる。

$$k = \int G dh \quad (2)$$

ちなみに、この方法では、例えば護岸の変位のようなものは自動的に計算されないので、別途指定する必要がある。

護岸からの距離	: 200m、400m
底面から地表面までの厚さ	: 15m
護岸の幅	: 5m
埋土の単位体積重量	: 19KN/m ³



図 1 解析モデル 断面図と地盤条件

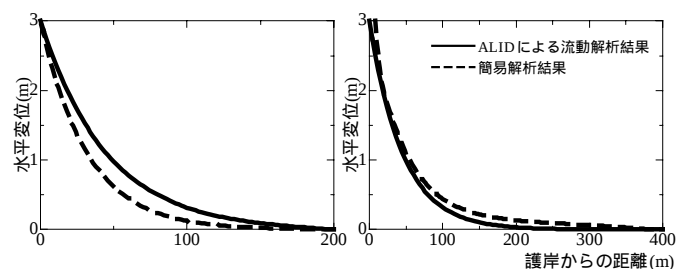


図 2 地表の変位の比較

3 計算例

解析法の妥当性を検証するために、有限要素法による方法と比較する。用いた手法はALID³⁾である。また、解析対象として1995年兵庫県南部地震で被害を受けたポートアイランドを簡略化したモデルとした。図1に解析モデルを示す。ここで、地盤は文献4)に従い設定し、護岸に剛なケーソンを設定したものである。

解析では、まず、ALIDによる有限要素解析を行い、得られた地表の変位を次節に示す簡易なモデルの変

位として与えて、背後地盤の変位を求める。有限要素解析は ALID/Win⁵⁾を用いた。この際、液状化層の F_L は道路橋示方書により求め、地表加速度としてポートアイランドの観測値をもしいている。解析結果を図 2 に示す。背後地盤の変位は両手法でほぼ同じであり、この様な手法で表層非液状化層の挙動が把握できることがわかる。

4 解析範囲に対する検討

兵庫県南部地震による背後地盤の流動には二つの矛盾する結果が示されている。一つは Ishihara ら⁶⁾によるもので、流動は護岸から 150m 程度まで及んでいる。もう一つは、Hamada ら⁷⁾によるもので、護岸から 300m 以上離れても 50cm 程度の変位がある。このことは流動の解析を行う場合の、地盤側の境界の位置に対して検討が必要なることを示唆している。

そこで、図 3 に示すようなモデルを作り、この点を検討する。このモデルでは表層の非液状化層は均質な弾性体としてモデル化し、これに液状化層に対応する分布ばねが取り付けられている。

この系の支配方程式は、非液状化層の軸剛性を EA 、変位を u とすれば次式で表される。

$$\frac{d}{dx} \left(EA \frac{du}{dx} \right) = ku \quad (3)$$

この微分方程式は護岸の変位と背後地盤側の変位を与えれば解くことができる。

前節で用いたのと同じ条件を用い、背後地盤の変位が 0 である位置までの距離をパラメータとして計算した結果を図 4 に示す。これより、背後地盤側の境界は 200m とする。

次の図 5 では化層の剛性をパラメータとした検討を行った。Ishihara ら⁸⁾と概ね一致した。

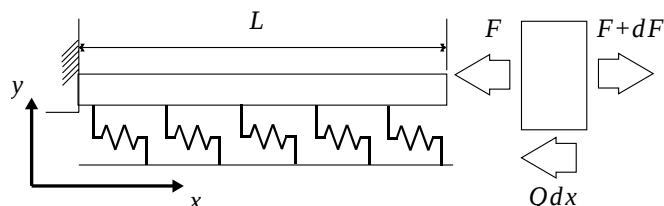


図 3 液状化層のバネ置換模式図

5 結論

液状化に伴う流動の際の上部非液状化層の変位を簡易に求めるため、液状化層を単一のばねに置き換える方法を提案、検討した。この方法でも精度よく求めることができることがわかった。

この研究は、科学研究費「液状化に伴う流動における表層非液状化の移動と構造物に与える影響」の一環として行ったものである。

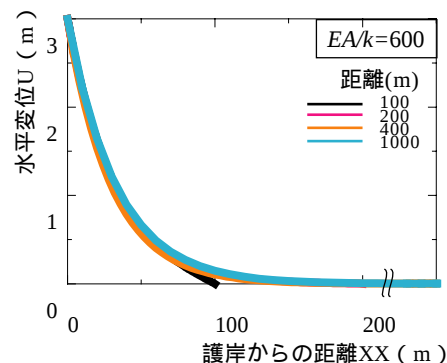


図 4 背後地盤の影響範囲に対する検討

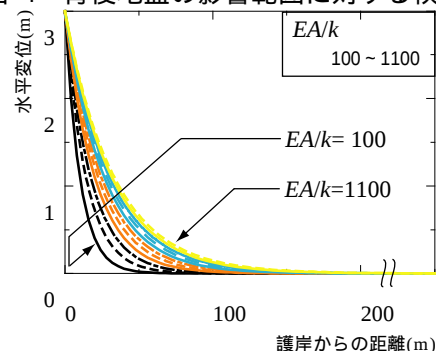


図 5 非液状化層の剛性の影響

参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告書編集委員会 (1998): 阪神・淡路大震災調査報告書, 建築 4 木造建築物, 建築基礎構造, 丸善, 548pp.
- 2) Yoshida, N. and Hamada, M. (1990): Damage to foundation piles and deformation pattern of ground due to liquefaction-induced permanent ground deformations, Proc., 3rd Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, San Francisco, CA, pp. 147-161
- 3) 安田進, 吉田望, 安達健司, 規矩大義, 五瀬伸吾, 増田民夫 (1999): 液状化に伴う流動の簡易評価法, 土木学会論文集, No. 638/III-49, pp. 71-89
- 4) 神戸市開発局 (1995): 兵庫県南部地震による埋立地地盤変状調査 (ポートアイランド, 六甲アイランド) 報告書
- 5) ALID 研究会 (2003): 二次元液状化流動解析プログラム ALID/Win
- 6) Ishihara, K., Yasuda, S. and Nagase, H. (1996): Soil Characteristics and Ground Damage, Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects on the January 17 1995 Hyogoken-nanbu Earthquake, pp. 109-118
- 7) Hamada, M. and Wakamatsu, K. (1998): Liquefaction-induced ground displacement triggered by quaywall movement, Special Issue of Soils and Foundations, pp. 85-95
- 8) Ishihara, K., Yasuda, S. and Nagase, H. (1996): Soil Characteristics and Ground Damage, Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects on the January 17 1995 Hyogoken-nanbu Earthquake, pp. 109-118