

地盤の流動による地盤変形に関する解析的検討

国土交通省土木研究所 正員 田村敬一
 " " 東 拓生

1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震を契機として、道路橋示方書を始めとする各種設計基準類において地盤の流動に対する耐震設計法が導入されたが、地盤の流動については、そのメカニズムの複雑さもあり、未解明の部分が残されているのが現状である。このような背景を踏まえ、本文は、兵庫県南部地震により残留変位が生じた橋脚基礎周辺の地盤を対象として、地盤の流動による地盤変形について解析的に検討した結果を報告するものである。

2. 解析フロー

本研究における解析フローは次のとおりである。

- 1) 解析対象地盤における代表地点について液状化の判定を行い、液状化の程度を算出する。
- 2) 解析対象地盤の二次元有限要素解析モデルを作成し、自重による地盤の変形を静的有限要素解析により算出する。ここで、1)の結果に基づき、地盤の剛性を液状化の程度に応じて低減する。

3. 液状化の判定

解析対象地点は、神戸市東灘区魚崎浜の南岸に位置する阪神高速道路5号湾岸線の橋脚周辺地盤である。

図-1 に解析モデルの概要を示す。解析対象橋脚は、護岸の先端（水際線）から内陸側に30.9mの場所に位置し、当該橋脚では兵庫県南部地震により橋軸方向に約60cmの残留水平変位が生じた。液状化の判定では、まず、図-1中の3箇所（背後地盤1箇所及び置換部2箇所）について一次元の地盤モデルを作成した上で、ポートアイランドの工学的な基盤で観測された地中強震記録を入力として、重複反射理論に基づく地震応答解析（SHAKE）により地震時せん断応力比を算出した。次に、これを用いて累積損傷度法に基づく計算により地盤の液状化強度比 R_L を算出し、 R_L を地震応答解析による地震時最大せん断応力比 L_{max} で除すことにより液状化に対する抵抗率 $F_L (=R_L/L_{max})$ を算出した¹⁾。なお、液状化の判定では、ポートアイランドの水平方向2成分の地中強震記録をそれぞれ入力して、 F_L が小さい値となる方の結果を採用した。

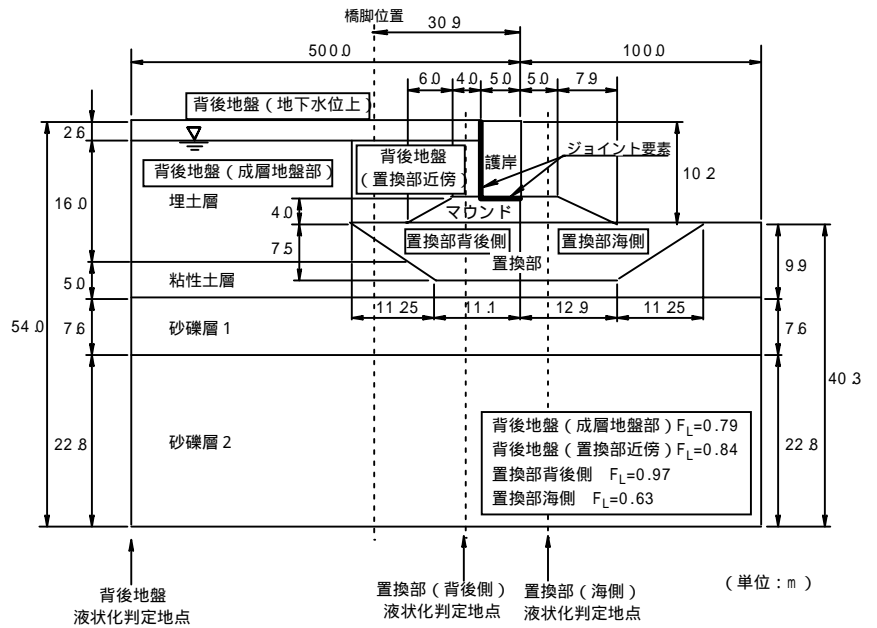


図-1 地盤変形解析のモデルの概要

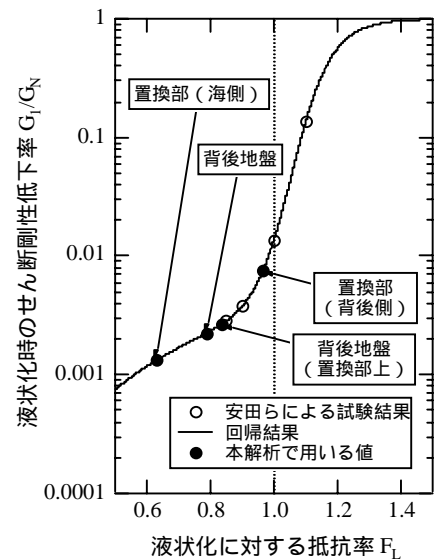


図-2 せん断剛性の低下率と液状化に対する抵抗率との関係

キーワード：液状化、流動化、橋梁基礎、耐震設計

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市旭1 電話：0298-64-4963 FAX：0298-64-0598

4. 地盤の変形解析

地盤の流動による地盤変形を算定するに当たっては、まず、液状化すると判定された土層について3.で算出した F_L に応じてせん断剛性を低下させることとした。ここで、液状化前後のせん断剛性を G_N 及び G_I として、せん断剛性の低下率 G_I/G_N と F_L の関係を、図-2 に示すまさ土の供試体を用いた中空ねじりせん断試験の結果²⁾ をもとに、式(1)のように回帰した。図-2 は供試体が所定の液状化状態になるよう繰返しせん断力を与えた後、供試体に一定方向の静的せん断力を作用させ、液状化後のせん断剛性を推定するという試験結果に基づくものである。

$$G_I/G_N = \exp\{-5.6/(F_L^{0.35} + 0.31F_L^{18})\} \tag{1}$$

なお、 G_N は道路橋示方書による地盤の変形係数 E_0 ($=28N[\text{kgf/cm}^2]$) とポアソン比の関係から算出した。

地盤の変形解析に用いたモデルは、節点数 2,255 点、要素数 2,142 個 (平面ひずみ要素 2,131 個、ジョイント要素 11 個) の二次元モデルであり、境界条件は、側方境界は鉛直自由、水平固定とし、底面境界は、鉛直及び水平とも固定とした。表層の非液状化層のせん断剛性については、液状化層である背後地盤 (成層地盤部) の剛性を基準としてパラメトリックに変化させることとした。このようにして算出した地表面における水平変位及び沈下量と水際線からの距離の関係を図-3 に示す。図中には、実測の地盤変位をあわせて示している。なお、凡例中の非液状化層の剛性「低減なし」とは、非液状化層のせん断剛性をそのまま使用した結果である。図-3 より、表層の非液状化層のせん断剛性を液状化層の 50 倍とした場合の地盤変位は、水際線近傍では実測変位とよく一致するが、水際線から離れると実測変位を下回ることがわかる。一方、非液状化層のせん断剛性を高めに設定すると、水際線近傍では実測変位を下回る。これらの結果を総合的に勘案して、本研究では非液状化層のせん断剛性を液状化層のせん断剛性の 150 倍程度とすることを提案する。

図-4 に、地盤の変形状況を示す。ここで、表層の非液状化層のせん断剛性は液状化層の 150 倍とした。図-4 より、護岸はほぼ直立した状態を保ったまま海側へ移動している。護岸背面のジョイント要素には滑り及び剥離が見られるが、護岸底面のジョイント要素には滑り及び剥離のいずれも生じていない。地盤の変形は、背後地盤が陥没し、護岸前面の海底面が隆起している。また、せん断ひずみが護岸直下の置換部に集中して状況が認められる。

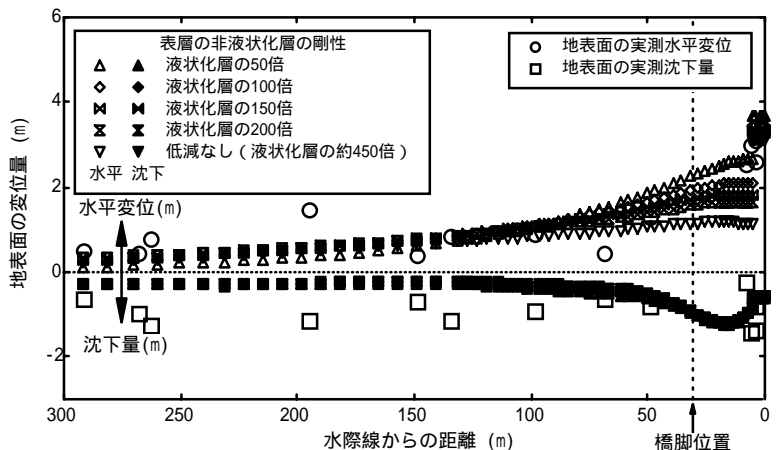


図-3 地盤の変位と水際線からの距離の関係

5. まとめ

本研究では液状化の程度により地盤の剛性を低下させた上で、地盤の流動による地盤変形を自重解析により算定する手法を提案した。また、提案手法による地盤変形の算定結果を実測された地盤の流動変位と比較し、その妥当性を検証した。

【参考文献】

- 1) 東、田村：地盤の流動が橋梁基礎に及ぼす影響の解析的検討、土木技術資料、第 43 巻、第 2 号、2001
- 2) 安田ほか：液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文集、第 638 号、1999

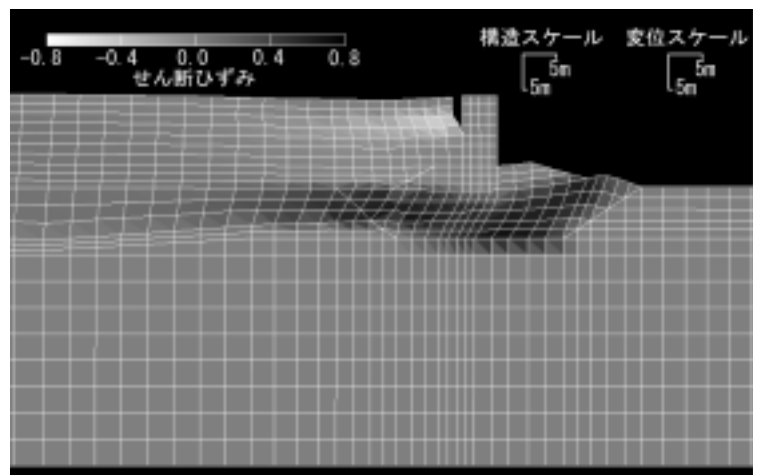


図-4 地盤の変形状況