

軟弱地盤上の橋台の側方移動に関する遠心模型実験と再現解析

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○阿部広明、谷本俊輔、桐山孝晴

1. 目的 これまでの道路橋の設計実務においては、橋台の側方移動に対して I 値を指標とした経験的手法を用いて、側方移動の可能性の有無を判定し安全性を担保してきた。今後、新しい技術開発による側方移動対策工法の導入や基礎構造のさらなる合理化を図るうえでは、側方移動に対する影響を定量的に評価する手法やより高度な設計法の構築が求められる。そこで、著者らは、道路橋の技術基準のさらなる性能規定化を目指すため、側方流動に対する橋台および地盤の挙動メカニズムを明らかにしたうえで、設計計算に反映させる方法について検討している。本稿では、その第一ステップとして、軟弱地盤上の橋台の側方移動に関する遠心模型実験とその再現解析を行った結果について報告する。

2. 遠心模型実験の概要 実験対象は、杭基礎に支持される固定支承側の逆 T 型式橋台の 1/80 縮尺模型である。なお、以降に示す数値は全て模型スケールの値である。実験模型の概要を図-1 に示す。橋台のたて壁、フーチングおよび桁はアルミニウム製とし、杭はアルミニウムパイプにより模擬した。模型地盤は、相対密度 $Dr=90\%$ の宇部珪砂 6 号による支持層、スミクレー粘土による粘性土層、相対密度 $Dr=80\%$ の宇部珪砂 6 号による背面盛土層から構成されている。本実験条件で I 値を算出すると 1.2 (側方移動が生じる可能性の有無の閾値) 程度となる。遠心加速度は 1G/分で 80G まで上昇させ、粘性土の圧密が完了するまで 80G を維持した。

3. 解析手法 解析には 2 次元 FEM を用いた。使用した解析プログラムは土・水連成場を u-p 形式 (Christian 流) の有限要素法として定式化したものであり、重力加速度の増減を考慮した圧密解析等を行うことができる。地盤は平面ひずみ要素、たて壁およびフーチングは平面要素とはり要素の組合せでモデル化し、地盤との接触境界にジョイント要素を配置した。杭ははり要素としてモデル化し、杭先端に鉛直方向ばね要素を、それ以外の箇所に杭・地盤間相互作用ばね要素¹⁾を配置した上で、これらを地盤要素に接続した。相互作用ばね要素の杭軸直角方向の地盤反力度は、地盤要素の時々刻々の平均有効応力から算出し、圧密過程での側方流動における杭間の土のすり抜けを表現することができる。地盤要素には多重せん断ばねモデル²⁾に拘束圧依存性を考慮した双曲線モデルを適用し、せん断強度 τ_f は式 (1) の Mohr-Coulomb の破壊基準に従うものとし、初期せん断弾性係数 G は式 (2) で与えた。また、圧縮特性は式 (3) で与えた。

$$\tau_f = c \cos \varphi + \sigma_m \sin \varphi = (\sigma_{ml} + \sigma_m) \sin \varphi \dots \text{式(1)} \quad G = G_r \frac{\sigma_m + \sigma_{ml}}{\sigma_{mr} + \sigma_{ml}} \dots \text{式(2)} \quad \varepsilon_v = \frac{\sigma_{mr} + \sigma_{ml}}{K_r} \ln \frac{\sigma_m + \sigma_{ml}}{\sigma_{m0} + \sigma_{ml}} \dots \text{式(3)}$$

ここに、 c は粘着力、 φ は内部摩擦角、 σ_m は平均有効応力、 σ_{ml} は平均有効応力の下限値、 G_r は基準せん断弾性係数、 σ_{mr} は基準拘束圧、 ε_v は体積ひずみ、 K_r は体積弾性係数、 σ_{m0} は平均有効応力の初期値である。なお、 c 、 φ は三軸試験結果から、 G_r および σ_{mr} はインパルス加振データと三軸圧縮試験から、 K_r は粘性土では圧密試験から、砂質土ではポアソン比 0.33

相当の値を基本として設定した。

解析は、STEP1: 1G 場で支持層と粘性土に有効上載圧および静水圧を導入した上で盛土および基礎に自重を与える初期応力解析、STEP2: 遠心加速度の载荷に伴う圧密解析、の順序で行った。

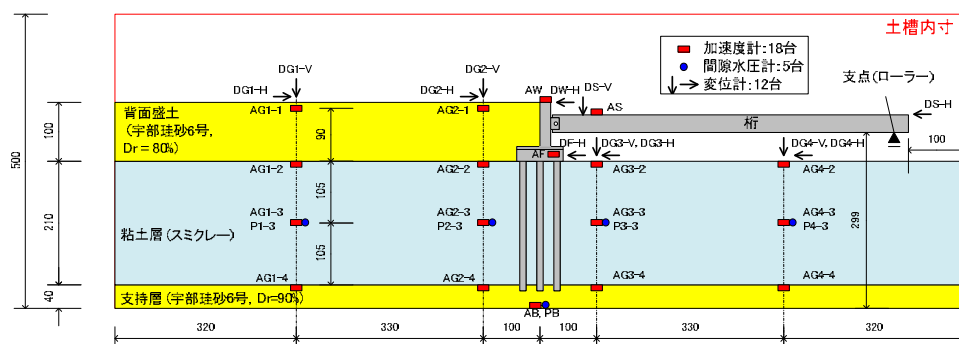


図-1 実験模型の概要

キーワード 側方移動、軟弱地盤、橋台、遠心模型実験、二次元 FEM、杭・地盤間相互作用ばね

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

国立研究開発法人 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL029-879-6773

4. 実験および解析結果 地盤および橋台の変位の経時変化を図-2、圧密完了後の55000s時点における地盤の有効水平応力分布、最大せん断ひずみ分布、杭の曲げモーメント分布および地盤反力度分布をそれぞれ図-3～図-5に示す。

地盤の鉛直変位について、DG1-Vは盛土荷重が作用するためDG4-Vに比べて圧密沈下量が大きく、解析も同様の傾向を示している。基礎の水平変位は、後列杭にかかる粘性土層の側方流動圧および前列杭が前面地盤からの水平抵抗による力の釣合いで概ね決まるが、DF-HおよびDW-Hの圧密完了後の変位量は実験と解析でほぼ一致している。

圧密完了時点における地盤の有効水平応力は、図-3のように、前面側に対して背面側で高まったままとなっている。これらの差分が橋台基礎への水平力（側方流動圧）として作用することとなるが、実橋台において施工後の地盤がこの応力状態で平衡した場合、側方流動圧は長期的にも永続的に作用し続けるものと考えられる。また、図-4より、大きな最大せん断ひずみが生じる帯状の領域が杭先端～粘性土層～背面土と、たて壁上端～フーチング後趾～粘性土層の2箇所に形成されており、背面地盤は主働破壊のような状態となっている。

図-5に示す杭の地盤反力度分布より、後列杭に側方流動圧が作用しているのに対し、前列杭は前面地盤からの水平抵抗を得ることで力が釣り合っている。その結果として、曲げモーメント分布は前・中・後列杭でそれぞれ異なる分布形状を示している。解析では、このように決定づけられている各杭の曲げモーメント分布を良好に再現することができている。なお、前・中列杭の浅部では前面地盤からの地盤反力度を過大に評価している傾向が見受けられる。その原因としては、式(2)による地盤のせん断弾性係数の定式化において、低拘束圧時の粘性土の剛性を過大評価したことが考えられ、さらなる再現精度の向上を図る上での課題として挙げられる。

5. まとめ 本研究では、二次元FEM解析により側方流動を生じる基礎および地盤の挙動を定量的に評価できる可能性を確認した。なお、解析に入力した地盤物性値は、各種室内土質試験結果を精査し設定しており、入力値の設定には十分留意する必要がある。今後はモデル化方法のさら

なる改善を図るとともに、地盤条件や基礎の寸法等の違いや実際の施工過程を考慮した解析的検討を進める。

参考文献 1)小堤治：液状化地盤上の地盤・構造物系の地震被害推定に関する数値解析法の研究，京都大学博士論文，2003.12. 2)Towhata, I. & Ishihara, K.: Modelling soil behavior under principal stress axes rotation, Proc. of 5th Int. Conf. on Numerical Methods in Geomechanics, Nagoya, Vol.1, pp.523-530, 1985

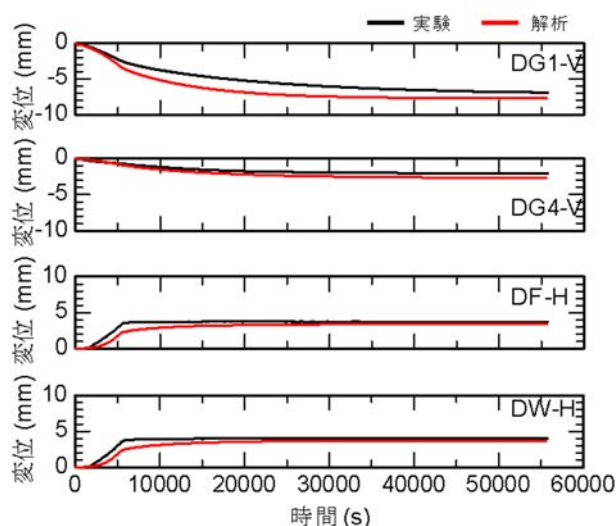


図-2 地盤および橋台の変位

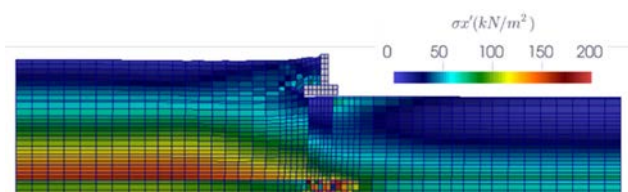


図-3 地盤の水平有効応力 (55000s 時点)

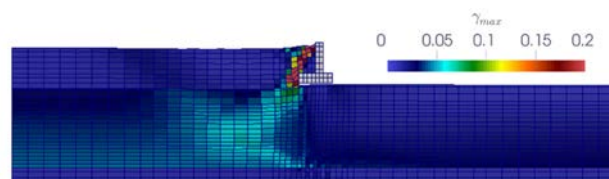


図-4 地盤の最大せん断ひずみ (55000s 時点)

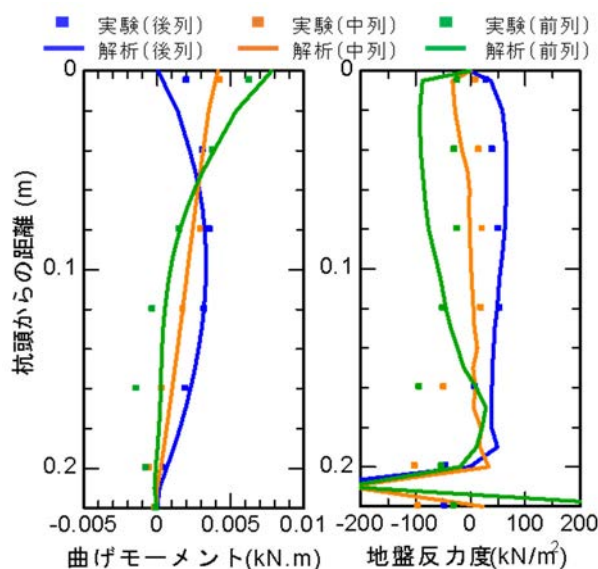


図-5 杭の曲げモーメントと地盤反力度