

ジオテキスタイルで補強された水平砂地盤の変形特性における載荷速度効果

東京理科大学 正会員 ○平川 大貴
 東京理科大学 正会員 Kongkitkul, W
 東京理科大学 正会員 龍岡 文夫

土構造物と基礎構造物の供用時の変形・変位によって構造物の機能を判断する性能設計法が合理的な場合が多い。土構造物の即時・残留変形を精度良く予測するためには、土構造物の変形特性に与える地盤材料の弾・塑・粘性等の物性¹⁾と境界条件の影響を把握する必要がある。本論文では、ジオテキスタイルで補強された水平砂地盤の変形特性における載荷速度効果（いわゆる粘性）を実験的に検討した結果を報告する。

1. 実験概要：実験概要を図1に示す。平面ひずみ土槽(長さ180 cm×奥行き40 cm)内に、気乾豊浦砂を用いて初期相対密度 D_r 約90%、深さ65 cmの水平砂地盤を構築した。地表面から5 cm間隔でグリッド状のポリエステル補強材(製品基準強度4 tonf、長さ・奥行きともに40 cm)を水平に敷設した。この補強材は、現場で実際に用いられている高分子補強材である。この補強材を本模型実験に適用する際、模型地盤と補強材の剛性比を考慮して縦横ストランドを1本ずつ間引いた(縦横目あい:1.8 cm)。土槽側壁には摩擦軽減層を施した。載荷には底面が粗で剛な帯基礎を用いた。帯基礎と載荷軸の間に楔を設置し、模型地盤の降伏によって偏心荷重が生じても基礎に回転モーメントが生じないようにした。一定の沈下速度で各模型に鉛直荷重を加え、載荷の途中で微小な繰返し載荷、荷重保持載荷、やや大きな荷重振幅での繰返し載荷、応力緩和や載荷速度急変を繰り返した。

2. 実験結果および考察：図2に基礎の平均鉛直応力 q ~ 平均沈下量 s 関係を示す。図2中には、比較のため無補強砂地盤の実験結果²⁾も示す。補強材敷設により極限支持力値が大幅に増加している。

無補強地盤では、基礎の沈下に伴って基礎直下の地盤は降伏して側方に広がる。補強材敷設により、この地盤の側方変位が拘束され地盤内の拘束圧が更に上昇するため支持力が上昇する。一方、「基礎沈下速度が急変すると q が急変し荷重保持載荷時ではクリープ変形が生じる」と言う載荷速度効果が明確にある。この効果の特長は、材料試験での豊浦砂および補強材の粘性挙動³⁾の特長と一致している。豊浦砂と補強材の変形強度特性の弾・塑・粘性特性は三要素モデル¹⁾(図3)によって表現でき、粘性は載荷速度感応係数 β (詳細は後述)で表現できる。従って、補強地盤でのこの載荷速度効果も、この β で表現できると思われる。また、補強地盤でのこれらの載荷速度効果の傾向は無補強地盤での傾向と共通であることから、補強地盤でのこれらの載荷速度効果は、主に豊浦砂の粘性を強く反映しているものと思われる。

まず、基礎の沈下に含まれる非可逆(非弾性)成分を求めるため、地盤の剛性を求めた。微小荷重振幅の繰返し載荷から等価線形剛性 k_{eq} (バネ値換算)を算出した(図4)。補強/無補強水平地盤ともに、基礎圧力レベルの増加に対して剛性値はべき乗則に従って増加している。補強効果のため地盤内の応力状態が変化することにより、補強地盤の k_{eq} の方が無補強地盤での値よりも大きい。また、基礎沈下速度の非弾性成分の急変により生じた基礎圧力の増分量 Δq から速度感応係数 β を算出した。即ち、図5は基礎の非可逆沈下速度 ds^{ir}/dt の急変

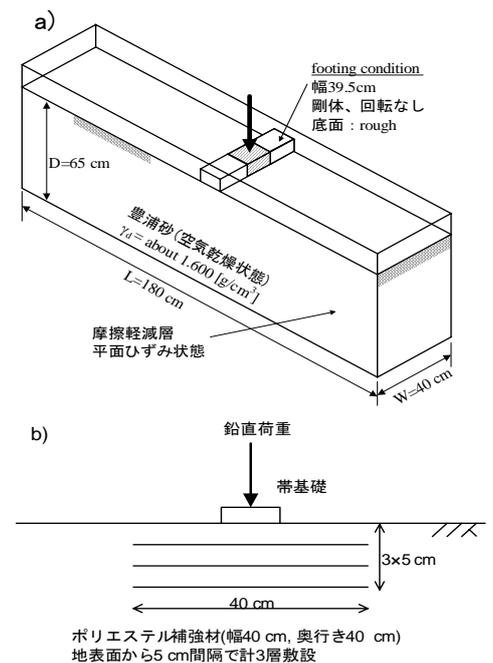


図1. 実験概要, a) 模型地盤 & b) 補強材敷設概要

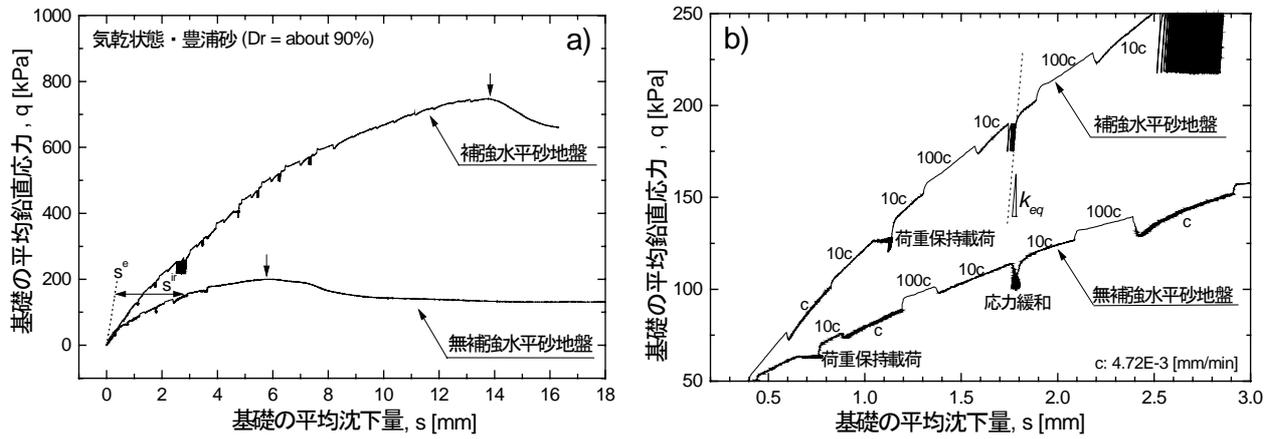


図 2. 基礎の平均鉛直応力～沈下量関係(拡大図)

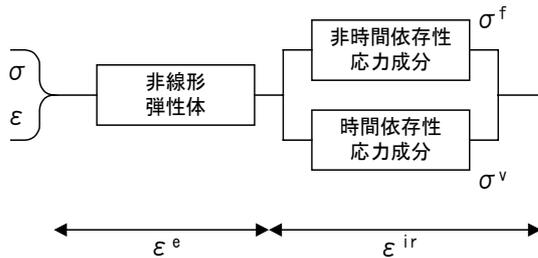


図 3. 一般三要素モデル¹⁾

に伴う基礎底面圧力急変率=「 $\Delta q/(q+q_c)$ 」の比、ただし q_c は定数= 87.7 kPa(補強地盤), 61.6 kPa(無補強)」の「急変前後の沈下速度非可逆成分の比」の対数に対するプロットであり、両者には高い線形関係がある。また、図 5 には無補強地盤での測定結果を示すが、 β 値の補強の有無による差はほとんどない。すなわち、模型地盤の β 値に与える補強材の粘性の影響はほとんどない。また、模型支持力実験での $\Delta q/(q+q_c)$ と ds^{ir}/dt に対応して、要素試験(排水平面ひずみ圧縮試験)での $\Delta R/R$ ($R=\sigma'_1/\sigma'_3$) と非可逆せん断ひずみ速度 $d\gamma^{ir}/dt$ ($\gamma=\varepsilon_1-\varepsilon_3$) を用いて図 5 と同様な解析によって求めた豊浦砂の β は 0.0219 である¹⁾。この値は、上記の模型支持力実験での値(図 5) と極めて近い値である。従って、模型支持力実験における β は、豊浦砂の粘性を強く反映したものであるといえる。

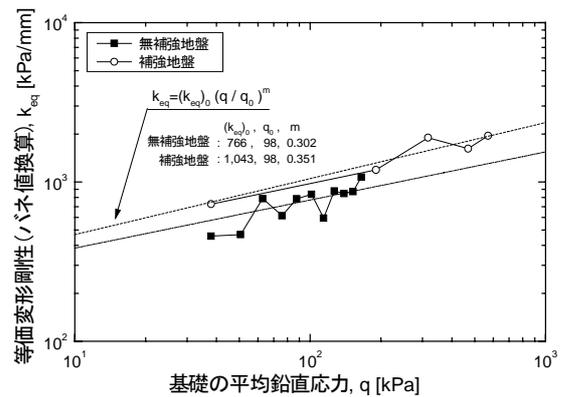


図 4. 等価線形剛性～圧力レベル関係

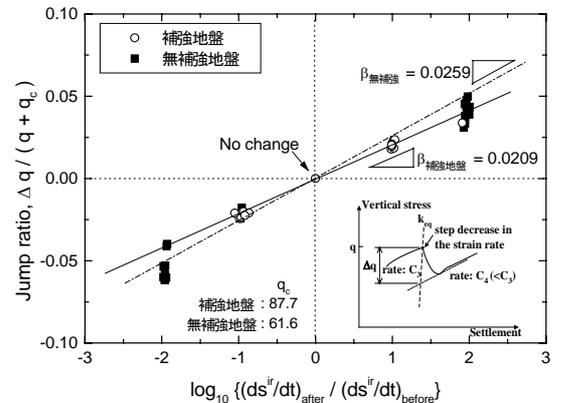


図 5. 速度感応係数 β (粘性パラメータ)

3. まとめ: 補強/無補強水平地盤上の浅い基礎の変形特性における载荷速度効果を検討した。この結果、補強材の有無に関わらず、砂の変形強度特性を三要素モデルでモデル化した数値解析によって、死荷重による基礎の残留変形や载荷に伴う即時変形を予測することが可能であると考えられる。なお、弾・塑・粘性を持つ補強材の変形強度特性も三要素モデルで表現でき、そのモデルを用いなければ補強砂地盤における载荷速度効果を適切に数値解析できない。

謝辞: 本研究は、科学研究費基盤研究 S「既設構造物の高耐震補強と高耐震環境適合土構造物建設への補強土工法の高度化利用」による成果である。関係各位に謝意を表す。

参考文献: (1) Tatsuoka, F. et al. Time-dependant deformation characteristics of geomaterials and their simulation, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.2, pp.106-132, 2000. (2) 平川ら, 砂地盤上の浅い基礎の支持力特性における粘性効果, 第 37 回地盤工学研究発表会, pp.1571-1572, 2003. (3) Tatsuoka, F. et al. Characterising the pre-failure deformation properties of geomaterials, Theme Lecture for the Plenary Session No.1, Proc. of XIV IC on SMFE, Hamburg, Sep. 1997, Vol.4, pp.2129-2164, 1999.