

1. はじめに

補強土工法は高含水比の低品質土を活用する方法として期待されている。しかし、過度な変形が構造物の供用の支障となる可能性があるため、変形に関する検討が設計上重要になる。高含水比粘性土を用いた補強土構造物の変形を精度良く行うためには、土骨格と水の連成効果のみならず補強土効果も考慮する必要がある。本研究は、連成効果と補強土効果を考慮できる有限要素解析法を開発した。本文ではその解析手法の概要ならびに、補強材の材料特性の影響が補強土の挙動に及ぼす影響に関する計算結果について論じる。

2. 解析法の概要

ここでは計算で用いた仮定および計算で解いた式の誘導過程を簡単に説明する。まず問題を簡単にするため、土と補強材の構成関係を線形弾性体とし、土を完全飽和と仮定した。そして汎関数をポテンシャルエネルギー最小の定理に基づき定式化し、つりあい式を誘導した。汎関数の定式化においては、連成効果を表現するために「土の体積変化が周辺の間隙水圧分布で決まる」という制約を土の変位場に課し、補強土効果を表現するために「補強材と土の接触面における両者の変位場は等しくなる」という制約を課した。今回用いた汎関数は以下のとおりである。

$$\Pi_b = \int_{V_s} \sigma_s^T \epsilon_s dV + \lambda_b^T \int_{V_s} (\epsilon_v - h) dV + \int_{V_g} \sigma_g^T \epsilon_g dV - \xi_b^T \int_{S'} (M_s u'_s - M_g u'_g) dS$$

ここで、 σ_s, σ'_s ：土に作用する偏差応力と有効応力、 σ_g ：補強材に作用する軸応力、 ϵ_s, ϵ_g ：土および補強材に生じるひずみ、 ϵ_v ：土に生じる体積ひずみ、 h ：体積ひずみの拘束を表す関数、 u'_s, u'_g ：接触面における土および補強材の変位、 M_s, M_g ：接触面上の土および補強材の変位を規定するマトリクス、 λ_a, λ_b ：間隙水圧を表すラグランジュ乗数、 ξ_a, ξ_b ：接触面における接触力を表すラグランジュ乗数である。

以上の汎関数から導出した制約条件つきのつりあい式を解くために、それらを有限要素離散化近似した。その結果として、土と補強材の変位、土-補強材間の接触力そして土に発生する間隙水圧を未知数とする連立方程式を得た。その方程式を用いた計算は、初期応力を上式中の第2項中の h を0として計算した後、随時時間ステップを更新していくものである。補強材と土の節点を別々にすると、非排水の拘束を土要素に課す場合でも、補強材の剛性の影響を計算に反映させることが可能で、かつ補強材周辺の応力状態を詳細に検討することができる。

3. 解析結果と考察

計算法の妥当性ならび補強材の剛性の影響が補強土の変形挙動に及ぼす影響について検討することを目的に、図-1に示すモデルを用いて2種類の計算を行った。

はじめに初期応力の計算精度について検討するために、非排水条件を課した条件で、土の弾性係数 E_s に対する補強材の剛性 $E_g A$ の比 R が非排水条件下における補強土の挙動に及ぼす影響を調べる計算を行った。具体的には、図-1のモデルの上端に0.1mの強制変位を与える計算を、補強材の剛性を11種類変化させて行った。

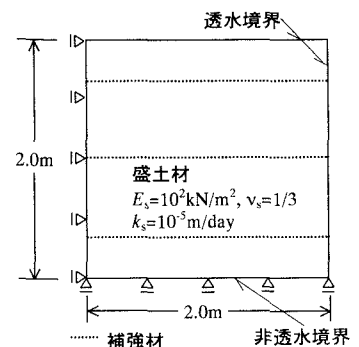


図-1 解析対象断面

キーワード 補強土、粘性土、変形、有限要素法、非圧縮
連絡先（住所：横須賀市走水 1-10-20, tel : 0468-41-3810, fax : 0468-44-5913）

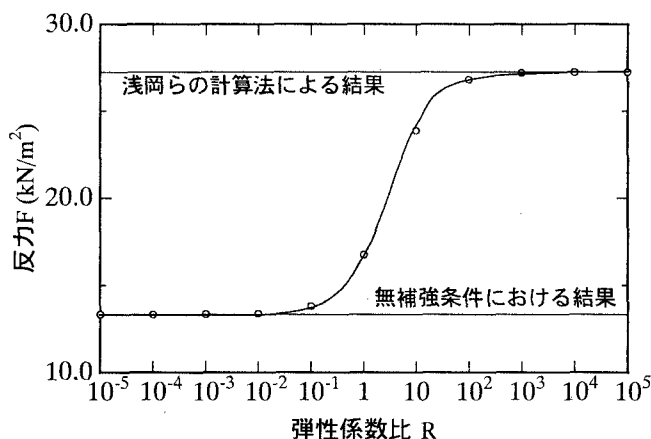


図-2 補強材の剛性が非排水挙動に及ぼす影響

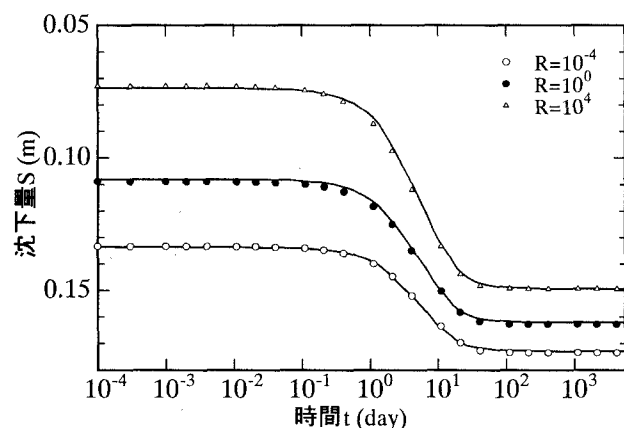


図-3 補強材の剛性が圧密挙動に及ぼす影響

R と載荷面での反力の平均値 F の関係を図-2に示す。 R が 10^{-1} よりも大きくなると F の増加が顕著になり、 R が 10^4 より大きくなると F は増加せず一定値に収束する。そして、その収束値は、浅岡らが示した「補強材に沿う土要素の辺の長さは一定」と仮定する計算結果に一致した¹⁾。ちなみに補強材と土の節点を共有させて、非排水条件を課した計算を行うと、補強材の剛性の影響は計算結果に全く反映されない。土の弾性係数に対する補強材の剛性の比が 10^4 以下では、補強材の剛性を適切に評価して変形予測を行う必要があり、その場合は本文に示した解析法が役に立つと思われる。

つぎに、 R が補強土の圧密挙動に及ぼす影響を調べるために、図-1のモデルの上端に 1kN/m^2 の等分布荷重を瞬時に作用させる圧密解析を行った。3種類の R に対するモデル上端の垂直沈下量 S の時間変化を図-3に示す。 R による補強土効果の上限となる $R=10^4$ の結果と、下限（すなわち補強土効果ゼロの場合）となる $R=10^{-4}$ の結果を比較すると、 $R=10^4$ のときの載荷直後での沈下量は $R=10^{-4}$ のときの約 $1/3$ である。また、 $R=10^4$ のときの載荷直後から沈下が収束するまでの沈下量の増分は、 $R=10^{-4}$ のときの約2倍で

ある。すなわち R が大きい補強材を用いると、載荷直後での変形量を小さくできるが、その後の沈下量の増分が大きくなるという結果が得られた。

4. まとめ

本文では、高含水比粘性土を用いた補強土構造物の変形予測のための解析法として、土と補強材の構成関係を線形弾性体とし、土を完全飽和と仮定する有限要素解析法を示した。そして補強材の剛性が飽和土の挙動に及ぼす影響について解析的に検討し、土の弾性係数に対する補強材の剛性の比が 10^4 以下では、補強材の剛性を適切に評価して変形予測を行わなければならないことを示した。本文で説明した解析法は、土の非線性を考慮した解析にも拡張可能である。今後、模型実験の結果との比較を行うなどして、高含水比の低品質土を用いた補強土構造物の変形予測手法の精度向上に寄与したい。

参考文献

- 1) Asaoka et al : Stability Analysis of Reinforced Soil Structures using RPFEM, Soils and Foundations, Vol.34(1), pp.107-118, 1994.