

日本大学 大学院
日本大学 理工学部

学生員 ○古川 和弘
正員 徳江 俊秀

1. はじめに

先に報告した^①二軸・三軸試験およびモデル斜面破壊実験から、補強材の最も有効な挿入方向は、地盤内2点間の最大伸び変位方向(補強材の最大引張り方向)にあるという基本原則を示した。そこで、今回は、密な砂および起緩詰めめの砂について行な、三軸圧縮試験の結果から、以前示した補強効果説明用2次元剛体モデルを用いて、補強材方向の土の伸びひずみを求め、補強機構について検討したので報告する。

2. 試料、装置および実験手法

試料(豊浦砂)、装置等は前報と全く同じなので省略する。補強材は図-1に示すような軸対称の形としている。密な砂の場合、水平面とすべり面とのなす角度 α が 65.1° である。補強材角度 θ を $0^\circ, 12.5^\circ, 25^\circ, 37.5^\circ, 50^\circ, 62.5^\circ$ とし、起緩詰めめの砂の場合は、すべり面の角度が(図-1)補強材寸法($\theta=25^\circ$ の場合) 59.2° であったので、 θ を $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ とした。これらの補強材を図-2に示すように供試体のほぼ中央に設置した。ただし、 $\theta=0^\circ$ の時には、既報の結果に基づいて、他の角度と同じ“補強面数(2枚)”になるように2枚の補強材を水平($\theta=0^\circ$)に設置し、補強材間隔を 1cm とした。

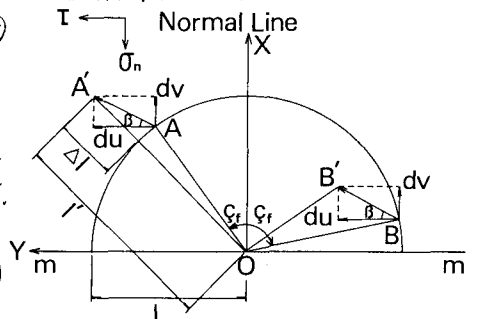
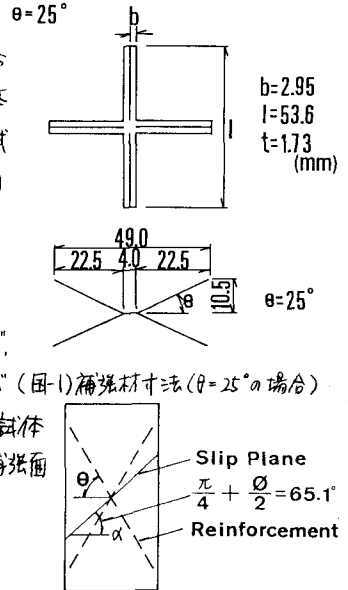
3. 実験結果と考察

3.1 補強材の“真の働き”

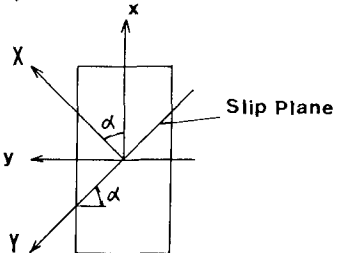
図-3は、前回示した補強効果説明モデルである。すべり線 $m-m$ を Y 軸、その法線方向を X 軸 (図-2) 補強材設置状況(密な砂) にとり、土中の $m-m$ を境に上半分が一律な伸び変位 (du, dv) を生じている。まず、 O 点からなる距離にある任意の点の中2点 A に注目し、 OA 方向に補強材が入っているものとして、 A 点は、微小変位を生じ A' 点に移ると仮定する。このとき、 $OA' > OA$ となるので補強材 OA の周囲の土粒子は膨張しようとし、土粒子は ΔL だけ変位することになる。この時、補強材には引張り力が働き、補強材の引張抵抗が、せん断応力に対して直接的に抵抗すると同時に、土と補強材間の摩擦により OA 間の土の膨張を妨げる結果、土は圧縮が加わり拘束圧が増るので強度も増加することになる(補強効果)。 B 点の場合、これとは逆に、補強材が OB 間の土の圧縮を妨げて拘束圧を弱めたため強度も減ることになる(補弱効果)。すなわち、補強効果は補強材方向の土の伸びひずみ ϵ_1 と、補弱効果は土の圧縮ひずみ ϵ_2 とそれと関連するものとが示唆される。

3.2 補強材方向の土の伸びひずみ

三軸圧縮試験において、破壊時の軸ひずみを ϵ_{1f} 、破壊時の σ_3 方向のひずみを ϵ_{3f} とすると、図-4においてすべり面上の垂直ひずみ ϵ_{1f} 、せん断ひずみ δ_f およびすべり面と直交する面上の垂直ひずみ ϵ_{2f} は、ひずみのモデルの円より、 $\epsilon_{1f} = \epsilon_{1f} \cos^2 \alpha + \epsilon_{2f} \sin^2 \alpha$ 、 $\epsilon_{2f} = \epsilon_{1f} \sin^2 \alpha + \epsilon_{2f} \cos^2 \alpha$ 、 $\delta_f = (\epsilon_{1f} - \epsilon_{2f}) \sin 2\alpha$ となる。したがって、図-3の補強効果説明モデルにおける補強材方向の土の変位 du, dv は、破壊時のすべり面の法線と補強材のなす角度を ζ_f (反時計回りを正、図-3参照) とすると、 $du = -\epsilon_{1f} \sin \alpha \sin \zeta_f + 1/2 \delta_f \cos \zeta_f$ 、 $dv = -1/2 \delta_f \cos \alpha \sin \zeta_f + \epsilon_{2f} \cos \alpha \sin \zeta_f$ となる。ここで、 $\tan \beta = dv/du$ であるから、 $\beta = \tan^{-1} \{ (-1/2 \delta_f \sin \alpha \sin \zeta_f + \epsilon_{2f} \cos \alpha \sin \zeta_f) / (-\epsilon_{1f} \sin \alpha \sin \zeta_f + 1/2 \delta_f \cos \alpha \sin \zeta_f) \}$ となる。したがって、 $du > 0$ のとき、 $(L')^2 = L^2 + (du)^2 + (dv)^2 + 2L \sqrt{(du)^2 + (dv)^2} \sin(\zeta_f - \beta)$ 、 $du < 0$ のとき、 $(L')^2 = L^2 + (du)^2 + (dv)^2 - 2L \sqrt{(du)^2 + (dv)^2} \sin(\zeta_f - \beta)$



(図-3) 補強効果説明モデル



(図-4) 供試体における座標軸

となる。ゆえに、補強材方向の土の伸びひずみは、 $\Delta L/L = 1 - \sqrt{1 + (-\varepsilon_{11} \sin \theta + 1/2 \varepsilon_{33} + (-1/2 \varepsilon_{11} \sin \theta + \varepsilon_{33})^2 \pm 2 \sqrt{(-\varepsilon_{11} \sin \theta + 1/2 \varepsilon_{33})^2 + (-1/2 \varepsilon_{11} \sin \theta + \varepsilon_{33})^2}} \sin(\theta - \theta_0)$ となる。

3.3 補強効果と補強材方向の土の伸びひずみ

図5は、補強材有り供試体と補強材無し供試体の破壊時の強度比 $(\sigma_1 - \sigma_3)_t / (\sigma_1 - \sigma_3)_0$ と破壊時の補強材方向の土の伸びひずみ $\Delta L/L$ を併せて縦軸に、補強材角度 θ を横軸にとったものである。(a)は、密詰め砂の場合、(b)は、起撚詰め砂の場合である。前回起撚詰め砂において補強材角度が45°、60°の場合、破壊時の伸びひずみが大きいので、補強材角度もせん断開始前の値から無視し得ない変化をすることを指摘した。図5では、この点を考慮して破壊時の補強材角度を補正し、破壊時の実際の補強材方向における土の伸びひずみを求めた。これらの図より強度比に注目すると、密詰め砂の場合、補強材が“流れ目 ($\theta \leq 25^\circ$)”の時に補強効果が見られ、“差目 ($\theta \geq 37.5^\circ$)”になるとつれて補強効果が見られる。

に、起撚詰め砂では、密詰め砂の傾向と大きく異なり、このような補強効果が顕著に見られない。しかし、強度比と破壊時の補強材方向の土の伸びひずみの関係は、密詰め・起撚詰めとも同様傾向を示す。すなわち、補強効果が見られる場合には、土のひずみは伸びを示しており、補強材は引き裂きを受け、補強効果が見られる時には、補強材は圧縮を受けていることがわかる。これは、3.1.2で指摘した補強(弱)効果と補強材方向の土の伸び(圧縮)ひずみの関係に一致しており、したがって、前半の説明モデルによる補強機構に関する考察の妥当性を示している。

4. 終わりに

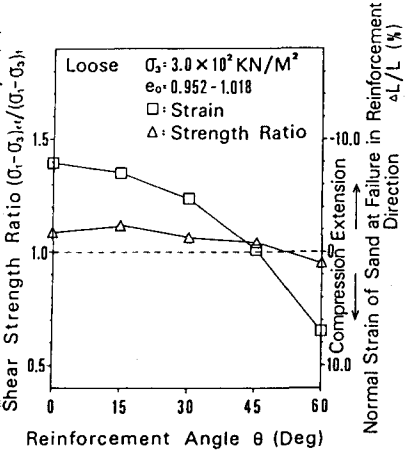
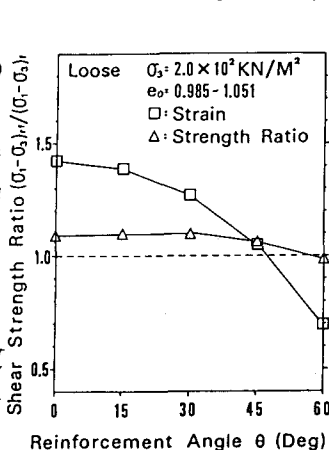
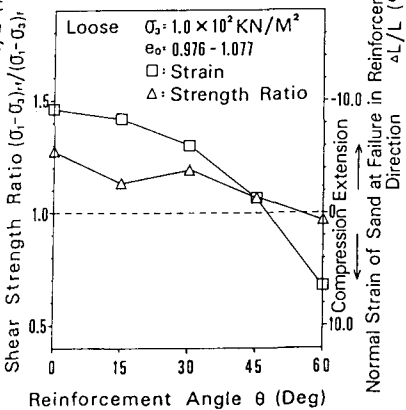
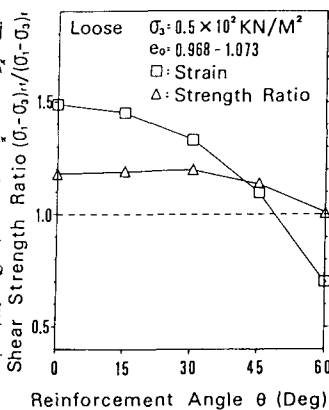
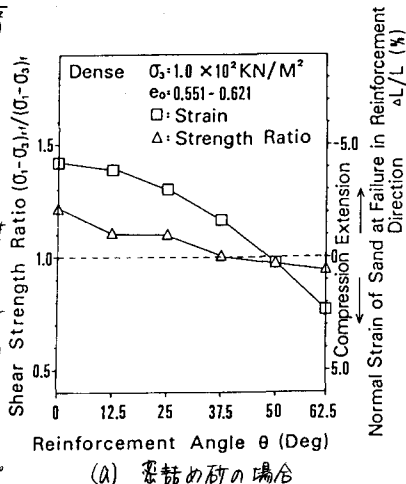
三軸圧縮試験により、ダイレイタンシー特性の全く異なる密詰め砂、起撚詰め砂の場合の補強機構について検討した。その結果、このダイレイタンシー特性の影響も含め

めて、補強(弱)効果は、根本的に

(図-5) 強度比、補強材方向の土の伸びひずみと補強材角度

には、補強材方向の土の伸び(圧縮)ひずみにより統一的に説明し得ることが確認された。最後に、有益な助言を戴いた本学の最上教授、実験に協力した卒業生、栗津誠、長谷川浩久、吉森孝彦等にも深く感謝致します。

- ①徳江 博洋:「補強土の強度・変形特性と補強機構」S56 第26回土不大会 ②徳江 古川:「起撚詰め砂の補強特性」S58 第18回土質工学会
③徳江 博洋:「補強土の強度・変形特性と補強材挿入角度」S56 第16回土質工学会 ④徳江 博洋:「斜面安定と及ぼす補強材挿入方向の影響」S57 第17回土質工学会
⑤徳江 古川:「補強土における補強材の有効挿入方向」S57 第37回土不大会 ⑥徳江 古川:「斜面内の補強材の考慮と補強機構」S58 第18回土質工学会



(b) 起撚詰め砂の場合