

鉄筋により補強された砂地盤の支持力特性VI

一三軸試験による補強メカニズムの研究II—

Bearing Capacity Performance of Sand Ground Reinforced with Steel Bars (VI)

Study on Reinforcing Mechanism by Triaxial Test (II)

龍岡 文夫*・三木 五三郎**・児玉 秀文***・松尾 恵****

Fumio TATSUOKA, Gosaburo MIKI, Hidefumi KODAMA and Keiichi MATSUO

6.2 補強材を鉛直に配置した場合の実験結果

まず針金を図 50 のように三軸供試体内に配置して三軸圧縮試験を行った。この場合の針金の分量は図 42¹⁾に示す水平伸張補強材の場合と同じにしてある。なお、補強材の上下端は針金のリングに対してハンダ付けしてある。これは、位置をきちんと確定して三軸供試体を作製するためである。図 51(a), (b) に拘束圧が 1.0 kgf/cm² で密づめの場合の実験結果が示してある。これから次のことがわかる。

(1) 補強材の周辺に豊浦砂粒子を塗付した場合とし

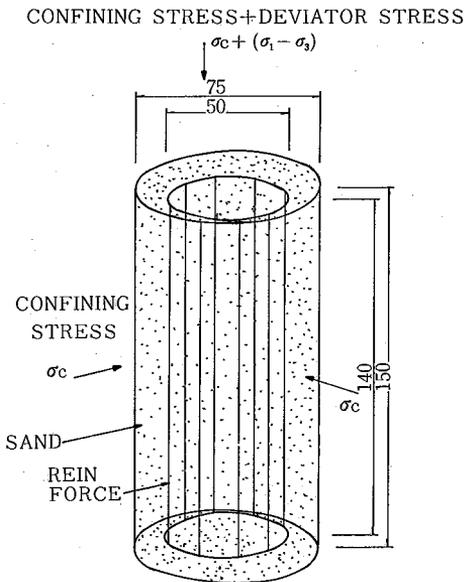


図 50 三軸供試体内の鉛直圧縮補強材の配置法

ない場合とで結果に大差はない。図 44 (b)¹⁾に最大偏差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ について、図 46 (b)¹⁾に E_{50} についてまとめているが、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ については表面処理の有無による差はなく、また E_{50} も表面処理していない場合の方が若干小さいだけであるようである。これは補強材周辺の摩擦係数の大小が鉛直圧縮補強材としての針金の座屈強度にそれほど影響しないからであろう。これ以降のデータは

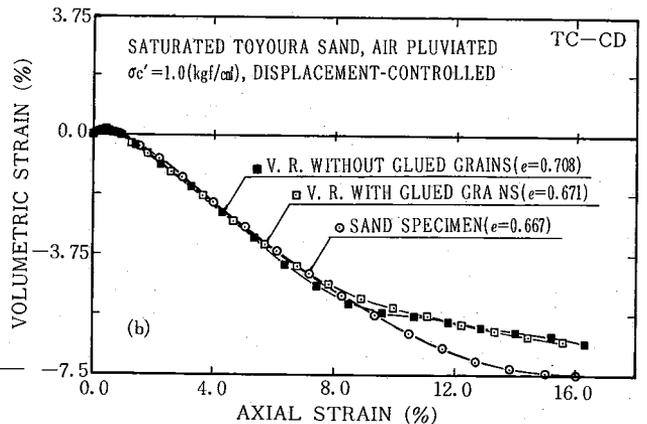
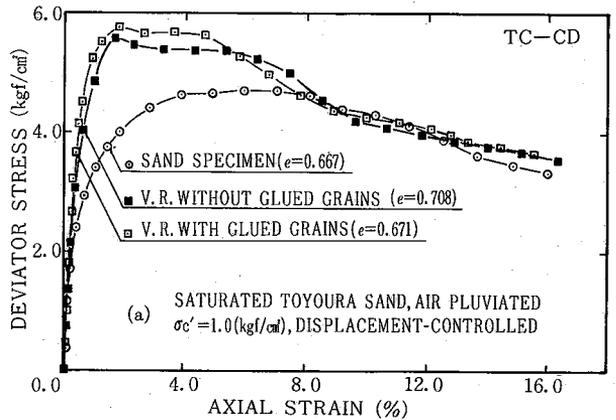


図 51 圧縮補強材の補強効果をあらわした実験結果例 (V. R. = Vertically Reinforced)

* 東京大学生産技術研究所 第5部
 ** 横浜国立大学
 *** 広瀬鋼材産業 KK
 **** 大洋技術開発 KK

研究速報

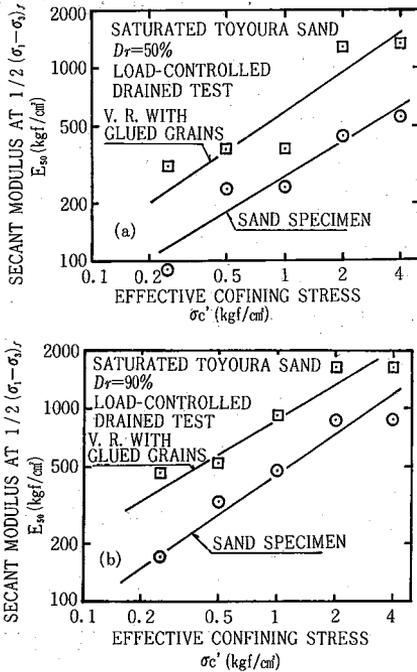


図 52 圧縮補強材により補強された供試体と砂の供試体の E_{50} の比較
 ((a) $D_r=50\%$, (b) $D_r=90\%$)

すべて表面処理した補強材についてである。

(2) 水平伸張補強材の場合とは異なり鉛直圧縮補強材の場合は剛性 (E_{50}) の増加が著しい。図 52 に砂の供試体と補強された供試体の E_{50} が比較してある。この試験は荷重制御 (荷重を増加させてゆく方法) で行っている。どの拘束圧に対しても E_{50} は大幅に増加していることがわかる。図 48 (a), (b) に鉛直圧縮補強材を用いたときの応力比, ひずみ増分比関係を示すが, 補強効果をあらわしている Y は, 水平補強材の効果を示す X よりも, $D = -dv/de_a$ が小さいとき, すなわち e_a が小さいときに大きい。同一の D の値に対して砂だけの供試体の応力比 (図中の Z) と Y の比が D の値にかかわらずほぼ一定であることを考えると, 針金が座屈するまでは補強材と砂の部分に作用している荷重比がほぼ一定であるような異弾性体の複合体のような挙動をしているのであろう。

(3) 鉛直補強材により破壊応力は増加する。図 53 には荷重制御試験で求めた結果を示す。一方, 補強材は, 図 54 中に模式的に示したように座屈しない部分は鉛直に保たれたまま座屈する。この座屈した部分の長さ (座屈長) の 1 つの供試体についての平均と拘束圧の関係をとってみると図 54 のようになり, 拘束圧が大きい方が座屈長は小さくなる。一般に座屈長が小さくなる程座屈強

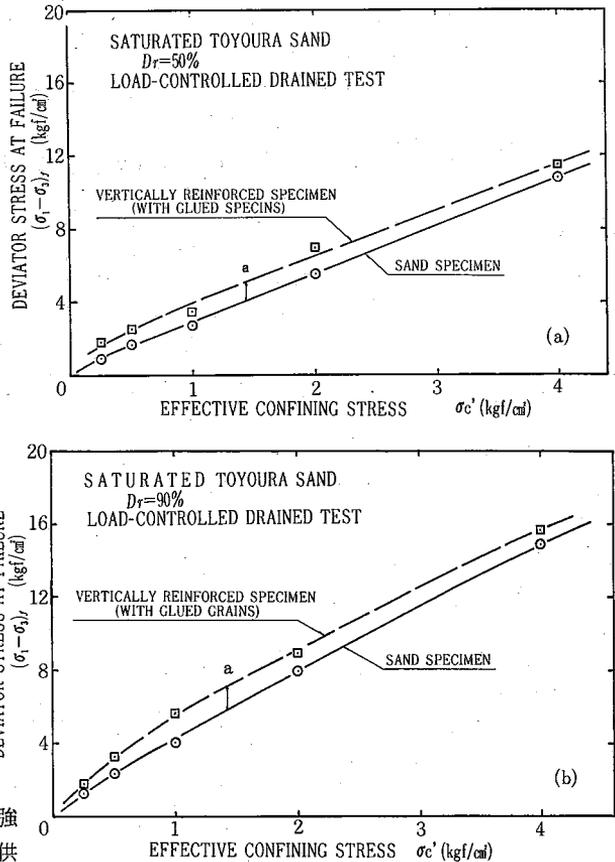


図 53 鉛直圧縮補強材により補強された供試体と砂のピーク強度の比較 ((a) $D_r=50\%$, (b) $D_r=90\%$)

度は大きくなる。一方, 鉛直圧縮補強材の座屈強度が大きい程図 53 に示す強度差 (図中で a で示されている) は大きくなるはずであるが, 拘束圧が大きい程この強度差が大きくなっているとは限らない。すなわち, 座屈長と最大せん断応力についての破壊応力の補強による増加分にはよい相関はない。これは図 51 (a) を見てわかるように砂の供試体が最大強度を示すときよりも小さい軸ひずみのとき (大体 $e_a=2\%$ のとき) に座屈が生じ補強された供試体が最大強度を発揮しているからであろう。すなわち, 拘束圧が大きい程, 砂の破壊ひずみが大きくなるので, 上述の相関がなくなるのであろう。そこで, $e_a=2\%$ のときの補強された供試体の $(\sigma_1 - \sigma_3)_R$ と砂の供試体の $(\sigma_1 - \sigma_3)_S$ の同一の砂の密度に対する差をとり座屈長との相関をとってみた (図 55)。すると両者には非常によい相関があることがわかった。

以上のことから, (3) 式¹⁾を, 補強材が座屈する時点に適用すると $\Delta\sigma_1$ は補強材の座屈強度により決まり, $\Delta\sigma_1$ は σ_3 が大きい程大きい (σ_3 に比例はしないが) と言え

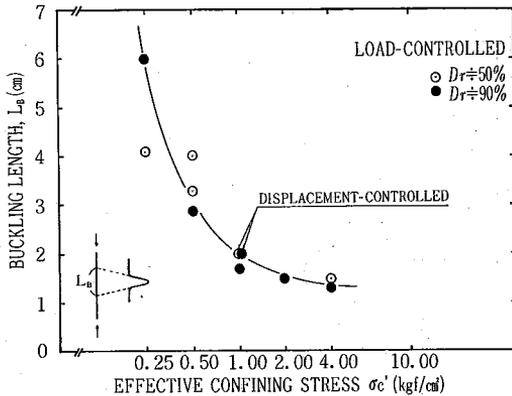


図 54 座屈長と拘束圧との関係

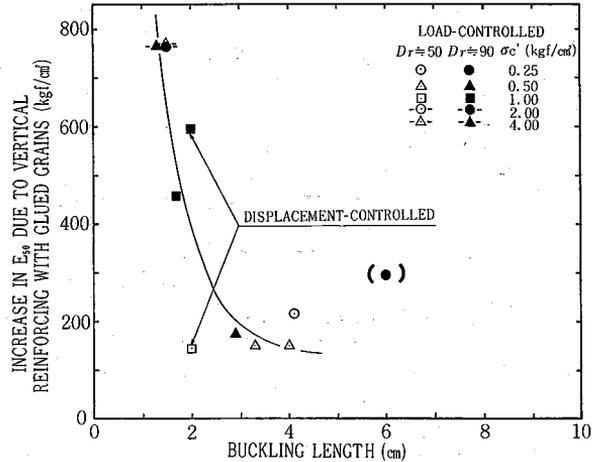


図 56 鉛直圧縮補強材の存在による E_{50} の増加分と座屈長の関係

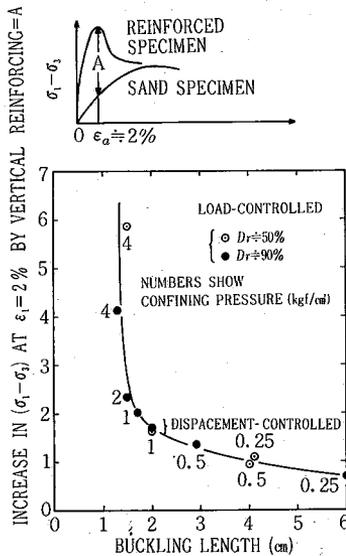


図 55 軸ひずみ2%のときの鉛直圧縮補強材による補強効果と座屈長との関係

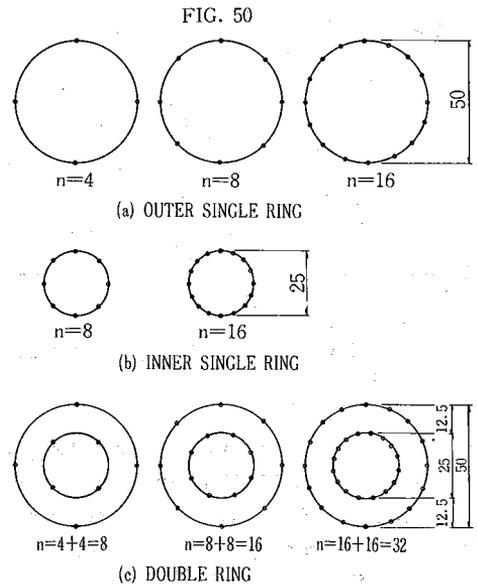


図 57 各種の鉛直圧縮補強材の配置法

るが、(3)式を砂の供試体が最大せん断強度を發揮する時点に対して適用すると $\Delta\sigma_1$ は補強材の座屈強度から決まる値より小さいことになる。特に拘束圧が高いときにこのことが言える。すなわち、鉛直圧縮補強材によって補強された三軸供試体の強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{f,R}$ は、次式であらわせるであろう。

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_{f,R} = (\sigma_1 - \sigma_3)_s \text{ at } \epsilon_{1f,R} + \Delta\sigma_1 \leq (\sigma_1 - \sigma_3)_{f,S} + \Delta\sigma_1 \quad (8)$$

ここで、 $\Delta\sigma_1$ は補強材の座屈強度の関数であり、 $\epsilon_{1f,R}$ は補強材が座屈するときの軸ひずみであり、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_s$ at $\epsilon_{1f,R}$ は、軸ひずみが $\epsilon_{1f,R}$ のときの砂の供試体に作用している偏差応力であり $(\sigma_1 - \sigma_3)_{f,S}$ はピーク強度であ

る。したがって、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{f,R}$ の値は $\epsilon_{1f,R}$ の関数であり、この値を予測するには座屈に対する厳密な解析が必要とされるようである。図 56 には、同一の砂の密度に対する補強材の存在による E_{50} の増加と座屈長との関係を示す。この場合は、両者にややよい相関があることがわかる。すなわち、座屈強度が大きいときは、剛性も増加することがわかる。

次に、鉛直補強材の砂の中での座屈の仕方を考察するために、拘束圧 1 kgf/cm^2 の場合に限定し、図 57 に示すような各種の配置に対して変位制御三軸圧縮試験を行っ

研究速報

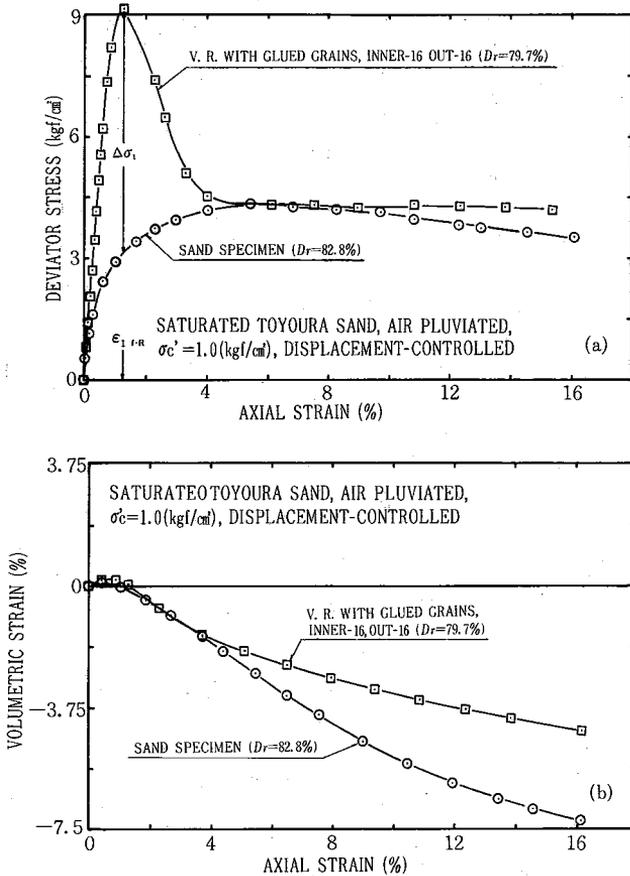


図 58 ケース(c) (2重配置)での補強効果をあらわした実験結果例

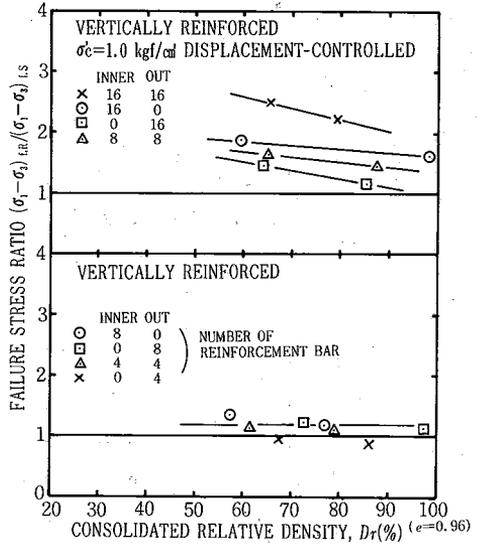


図 59 補強された供試体と砂の供試体のピーク強度の比

た。すなわち、鉛直補強材を(a)直径50mmの所に4,8,14,16本配置した場合、(b)直径25mmの所に8,16本配置した場合、(c)直径50mmおよび25mmの所に4本ずつ、8本ずつ、16本ずつ配置した場合、および(d)直径50mmの所に16本、直径25mmの所に8本配置した場合である。なお、図57には、このすべての配置を図示していない。図58に、(c)の場合で外側16本、内側16本計32本の補強材を配置した場合の結果を砂の供試体の場合の結果と比較して示す。この場合も、座屈が生じた後は砂の供試体の応力・ひずみ関係とほとんど一致している。補強された供試体のピーク強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{R}$ と同一の砂の密度を持つ砂の供試体のピーク強度 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{S}$ の比を図59に示す。なお、図59には単純化の

ため1部のデータを載せていない。当然のことながら、補強材本数(n)が大きいほど補強効果は大きい。しかし、図をよくみると同一の補強材本数に対しても補強材1本あたりの補強効果すなわち座屈強度は補強材の配置法(補強材の本数、三軸供試体の外周面に対する相対的位置(半径位置)、図57に示すような一重、二重などの配置等々)によって異なっているのがわかる。(つづく)

(1981年11月19日受理)

参考文献

1) 龍岡文夫・三木五三郎、児玉秀文・松尾恵一(1982)、“鉄筋により補強された砂地盤の支持力特性V—三軸試験による補強メカニズムの研究I—,”生産研究, 34巻2号, pp.60-63.