

Ⅲ-B363

FEM 解析による補強砂の平面ひずみ圧縮試験における局所的応力経路

東京大学大学院 学生会員 ○彭 芳楽

東洋建設（株） 正会員 小竹 望

東京大学工学部 正会員 龍岡 文夫 内村 太郎

はじめに：引張り補強材による補強の原理は、補強材の拘束効果により土の局所部的な拘束圧 σ_3 が増加し、その結果補強土の剛性とせん断強度 ($q = \sigma_1 - \sigma_3$) が増加することである。本研究では、ジオグリッド（6層、11層）で補強された豊浦砂供試体の平面ひずみ圧縮試験を対象とした FEM 解析で局所的応力経路を求め、補強効果と補強メカニズムを考察した。

解析概要：平面ひずみ供試体（図 1）は、幅 $D21.4\text{cm} \times$ 高さ $H57.0\text{cm} \times$ 奥行き $L24.5\text{cm}$ の直方体であり、その中に 2 次元異方性を有するジオグリッドを水平に敷設した（6 層：敷設鉛直間隔 $\Delta H=9.5\text{cm}$ ；11 層： $\Delta H=5.2\text{cm}$ ）。数値解析は、動的緩和法によるひずみの局所化を考慮した非線形弾塑性平面ひずみ FEM で行った。砂は、等方ひずみ硬化・軟化を取り入れた非関連流れ則による非線形弾塑性でモデル化した。ジオグリッドは曲げ剛性が小さい引張り補強材であるから、トラス要素でモデル化した。トラス要素の断面積 A は、実験に用いたジオグリッドの断面積を奥行き 1cm 当たりで換算して $A=0.021625\text{cm}^2$ とした。ヤング率 E は、ジオグリッドの実測の材料特性に基づいて、平均的な弾性係数を持つ線形弾性 ($E=3.97 \times 10^4 \text{kN/m}^2$) とした。平面ひずみ供試体^{*)1)}（6 層補強、11 層補強）の解析モデルは、要素サイズ $1.0\text{cm} \times 1.0\text{cm}$ 程度の 4 節点平面要素で鉛直、水平方向にそれぞれ等分割した（図 2）。

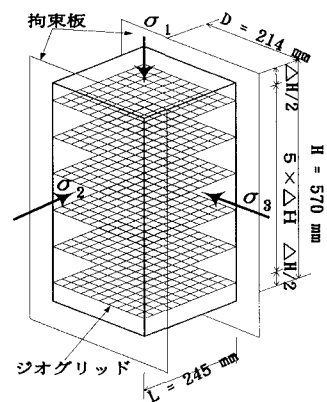


図 1.平面ひずみ供試体

解析結果：「二次元 FEM 解析での面状補強材の表面摩擦角 δ 」面率 CR 」定量的関係^{2),3)}によると、補強材境界表面摩擦角度 $\delta = 20^\circ$ とした FEM 解析が合理的である。6 層、11 層で補強された供試体の 2 種に関して、FEM 解析と実験で得られた供試体の「平均軸応力 σ_1 と拘束圧 σ_3 ($=20\text{kpa}$) の比と平均軸ひずみ ε_a の関係」を図 3 に示す。载荷初期段階からピークまで、実験結果と解析結果は良く一致している。

FEM 解析で得られた供試体内部の局所的要素 (No.602,604, 606,608,610) の局所的応力経路を、図 4,5,6 に示す。補強材効果が十分ではない側面境界に沿った要素 No.602,604 では、供試体全体のピーク強度が発揮される前から局所的に破壊が進行している。しかし、6 層、11 層の供試体のいずれの中央付近（要素 No.608,610）での応力経路を見ると、供試体中央部で局所的応力比 σ_1/σ_3 がピークになった後でも、供試体は水平方向に伸びようとして補強材内部の引張り応力が増加して、その結果局所的 σ_3 が大きく増加しており、これに伴って最大主応力 σ_1 も増加しているため、供試体全体の圧縮強度も増加している。また、供試体内部の局所要素では、最大主応力 σ_1 と最小主応力 σ_3 がほぼ一定のまま主応力比 R が増加するという異方圧密の応力経路に近づいている。

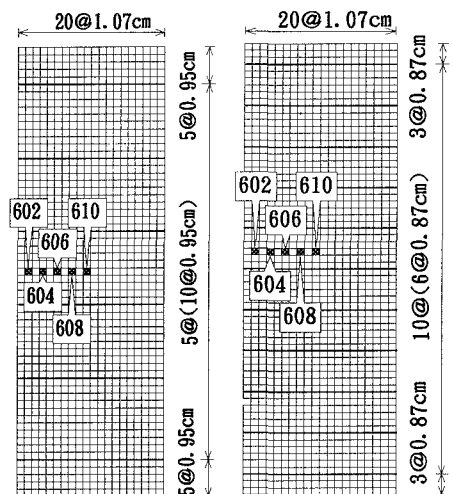


図 2.FEM 解析モデル

キーワード：補強砂、平面ひずみ圧縮、応力経路、有限要素法

連絡先：〒113 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院社会基盤工学専攻、TEL03-3812-2111(内線 6122)、FAX03-5689-7268

補強材間隔の影響を考察すると、6層補強よりも11層補強は補強効果大きい。これは、 σ_1 の増加は σ_3 の増加によるものであり、より一次元圧密(K_0 圧密)に近い変形をしている。11層供試体の方がこの増加が大きい。すなわち、補強効果が $D/\Delta H$ (供試体幅/補強材鉛直間隔)の増加に伴って増加することを示している。

一方、豊浦砂の平面ひずみ要素試験^{*4)}では、塑性せん断ひずみ γ^p は応力履歴と応力経路に強く依存し、破壊状態に近い応力経路をとるほど γ^p とそれに伴う体積ひずみ(膨脹)が大きくなる。一方、補強盛土内の応力経路は、破壊に近い状態で応力比が漸増する異方圧縮応力経路に近い。このことは、本解析で用いた等方圧密試験と側圧一定ひずみ圧縮試験から得られた変形特性に基づいて「 γ^p を状態量の硬化パラメータしたモデル」は、合理的ではないことを示している。今後より高精度の解析をするために、ひずみの応力経路依存性を適切に考慮すべきである。

結論：FEM解析によると、補強された砂の平面ひずみ圧縮試験において補強効果が大きい部分での砂の局部的応力経路は、主応力比が破壊応力比に近くて一定であるような異方圧密応力経路と類似である。

従って、今後このような応力経路で得られた砂の変形物性を適切に表現できる砂のモデルに基づいた解析を行う必要である。

参考文献:1)小竹望、彭芳榮、田中忠治、樋口貴也、志田芳樹、柳沢秀樹、龍岡文夫；「ジオグリッドで補強された砂の大型平面ひずみ圧縮試験の数値解析」、第12回ジオソフィックスシンポジウム発表論文集、1997.12;2)平川大貴、岡嶋修一、石原研而、龍岡文夫；「砂の補強におけるジオテキスタイルの最適補強材形状・剛性の考察」、第33回地盤工学研究発表会、1998.7;3)彭芳榮、小竹望、平川大貴、岡嶋修一、龍岡文夫、内村太郎；「補強砂の平面ひずみ圧縮におけるジオグリッド補強材の剛性と形状の効果」、第33回地盤工学研究発表会、1998.7;4)龍岡文夫、S.J.M.Yasin、松下政史、古関潤一；「平面ひずみ変形での砂のせん断・体積ひずみの応力履歴依存性」、第33回地盤工学研究発表会、1998.7

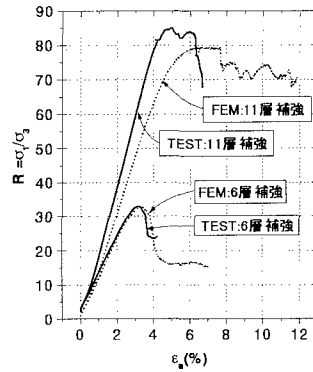


図 3. $R \sim \varepsilon$ 関係図

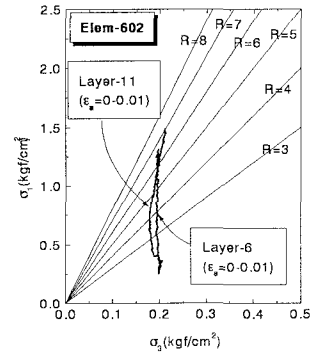


図 4.要素 No.602 の応力経路

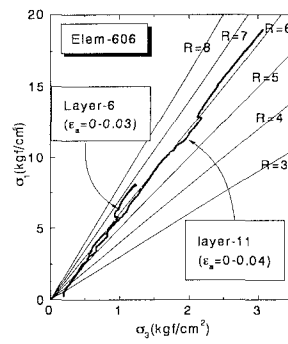
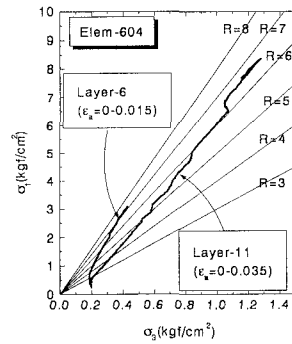


図 5.要素 No.604, No.606 の応力経路

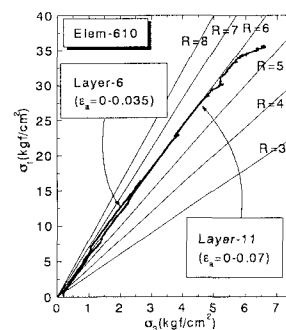
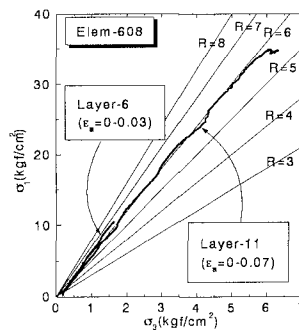


図 6.要素 No.608, No.610 の応力経路