

III-B 305

補強砂の平面ひずみ圧縮破壊の数値解析（その2）

東洋建設土木本部 正会員 ○ 小竹 望
 明治大学農学部 正会員 田中 忠次
 東京大学工学部 正会員 龍岡 文夫

1. 概要

補強した密な砂供試体の平面ひずみ圧縮破壊をひずみの局所化を考慮した非線形弾塑性FEM¹⁾により解析した。前報では、軸剛性の大きく異なる2種類の補強材で補強された実験の結果とFEM解析結果を応力～ひずみ関係とせん断帯の発生状況について比較し、解析により圧縮破壊に至るまでの伸張補強のメカニズムを概ね良く再現できることを示した²⁾。本報告では、さらに土の局所的な応力～ひずみ関係と補強材の相対剛性や発生ひずみに着目し、解析結果の妥当性を吟味した。

2. 解析結果と考察

各種の面状補強材を水平に配置した密な豊浦砂供試体($e_o=0.66$ 程度)の平面ひずみ圧縮試験³⁾のうち、軸剛性の大きい表面粗処理のBrass(剛性=ヤング率×断面積=EA=5.05E+4kN)と小さいUrethane(EA=45.1kN)による補強および無補強の3ケースを解析した。解析方法や解析結果の詳細は、前報²⁾を参照されたい。

1) 供試体全体および土の局所的な応力～ひずみ関係：解析で得られた供試体全体の最大せん断ひずみ γ_{max} ($=\varepsilon_1 - \varepsilon_3$)とみかけの主応力比 $R^*(=\sigma_1/\sigma_3, \sigma_3=\sigma_c'=49\text{kN/m}^2)$ の関係を図-1に示す。また、同図のB→C間における最大せん断ひずみ増分 γ_{max} を平均値で正規化したコンターを図-2に示す。中央の破線は補強材の位置を示している。コンター図にマークした点①～③は、せん断帯や補強材との代表的な相対位置を選定したものである。各位置におけるFEM要素の $\gamma_{max} \sim R^*(=\sigma_1/\sigma_3) \sim \sigma_3/\sigma_c'$ の関係を図-3に示す(σ_3 はローカル値)。図中の各点は、図-1の供試体全体の $\gamma_{max} \sim R^*$ における点A:ピーク前、点B:ピーク付近、点C:ピーク後、点P:ピークの各段階に対応している(添字1～3はそれぞれ①～③に対応)。

Urethaneによる補強の場合、供試体全体のピーク時に①のせん断帯ではすでに軟化しており、 γ_{max} が著しく大きい。②の補強材の近くや③のせん断帯から離れた位置では、全体のピーク付近から除荷されている。各要素の応力比のピーク値 R_{max} は、無補強の場合に発揮される豊浦砂の $R_{max} \approx 7$ ($\sigma_c'=49\text{kN/m}^2$)とほぼ等しい。Brassによる補強の場合、①のせん断帯では全体とほぼ同時にピークとなり、その後徐々に除荷され、 γ_{max} が極端に大きく増加している。②、③では、全体のピークとほぼ同時に急激な除荷が始まる。各要素の R_{max} は、 σ_3 の上昇により無補強の豊浦砂の R_{max} より小さい。また、各ケースとも除荷過程における γ_{max} の弾性的減少は非常に小さい。

以上より、ピーク後のせん断帯へのひずみの集中に伴い、周辺部が除荷されて弾性除荷挙動を示すことが、補強・無補強の両者について認められる。また、補強材剛性が大きければ、補強材の拘束効果と応力分担により土要素の σ_3 が大きくなり、供試体の圧縮強度は増加し、 R_{max} は小さくなる。

2) 補強材剛性と発生ひずみ：補強材軸ひずみの平均 $\varepsilon_t(\text{mean})$ および最大 $\varepsilon_t(\text{max})$ と供試体全体の γ_{max} の関係を図-1に示す。無補強のケースでは、補強材と同等な位置にある土の要素列について側方ひずみの平均 $\varepsilon_x(\text{mean})$ と最大 $\varepsilon_x(\text{max})$ を示す。同図から、供試体全体の R^* のピーク時(点P)における補強材の $\varepsilon_t(\text{mean})$ と $\varepsilon_t(\text{max})$ が、それぞれUrethaneでは6%, 12%、Brassでは0.03%, 0.04%であるのに対して、無補強では $\varepsilon_x(\text{mean}) \approx \varepsilon_x(\text{max})=1.5\%$ である。これは、McGownら⁴⁾の相対剛性の定義によるとUrethane、Brassがそれぞれextensible、inextensibleな補強材として挙動していることを示している。

Urethaneによる補強の場合、供試体の降伏後(点A付近) ε_t が比例的に増加するが、ピーク後の補強材の除荷により ε_t の増加率が低下している。Brassによる補強の場合、供試体の土部分の破壊による R の急減に伴って、補強材が急激に除荷されているため、 $\gamma_{max} \sim \varepsilon_t$ 関係が供試体全体の $\gamma_{max} \sim R^*$ 関係とほぼ相似である。

参考文献：1) Siddiquee, MSA: "FEM Simulation of deformation and failure of stiff geomaterials based on element test results", Doctoral Thesis, University of Tokyo, 1994

2) 小竹、田中、龍岡：「補強砂の平面ひずみ圧縮破壊の数値解析」，第31回地盤工学研究発表会（投稿中）

3) 山内裕元：「粘性土盛土の不織布による補強」，東京大学博士論文

4) McGown et al.: "Effect of inclusion properties on the behaviour of sand", Geotechnique, Vol.28, No.3

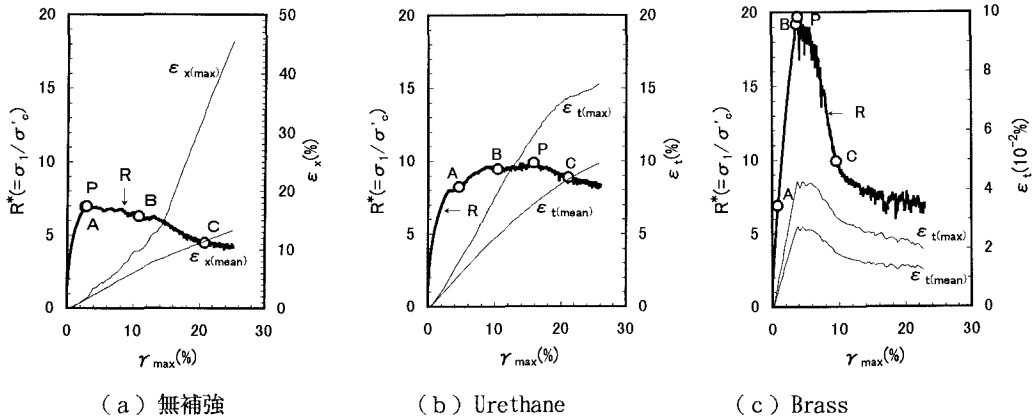


図-1 供試体全体の最大せん断ひずみ γ_{max} と主応力比 R^* および補強材軸ひずみ ε_t の関係

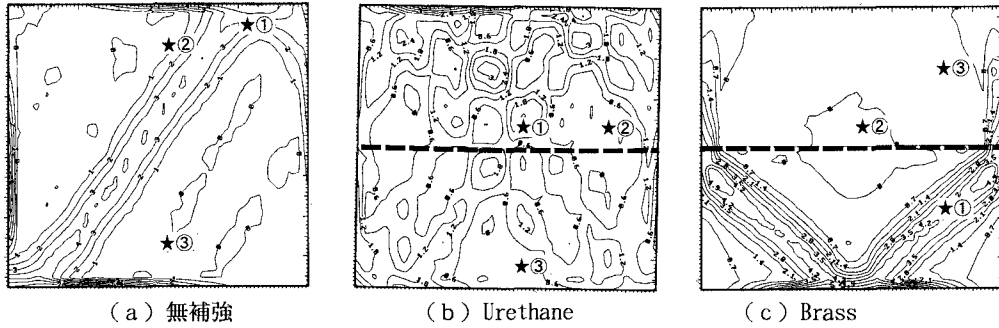


図-2 最大せん断ひずみ γ_{max} コンター図

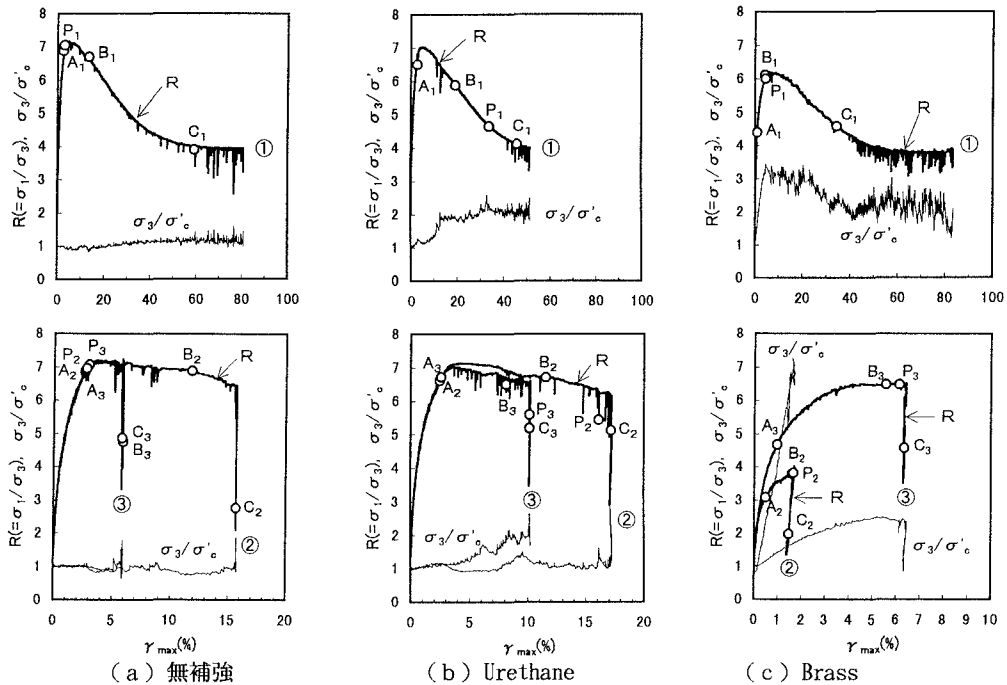


図-3 FEM要素の最大せん断ひずみ γ_{max} ～主応力比 R および最小主応力の $\sigma_3/\sigma'₀$ の関係