# 補強砂地盤の支持力破壊における補強材の層数と長さの効果について

（株）白石（元東京大学）　正　会員　○彭　芳楽
東京大学工学部　正　会員　龍岡　文夫　M.S.A.Siddiquee
東洋建設（株）　正　会員　小竹　望

**はじめに**：筆者ら [1]は、基本ケースとして無補強および補強された砂地盤の支持力の模型実験の結果を、修正エネルギー硬化弾塑性 FEM により数値解析した。本研究では、FEM 解析法を改良した上で補強された砂地盤の支持力における補強層数（補強深さ）と補強材長が補強効果に与える影響を検討し、補強メカニズムを考察した。

**解析概要**：フーチング直下の密な豊浦砂（Dr=80-86%）に線状の引張補強材を水平に配置したの模型水平地盤の平面ひずみ支持力実験 [2]を解析した（図１）。底面が粗で剛なフーチングに鉛直荷重を作用させ、荷重～沈下量関係に加えて拘束面（$\varepsilon_2$面）での地盤変位を計測した。解析対象の実験ケース（図１）は、次の二つ Group の補強地盤である。Group-a:補強材長さ(L/B=1)と補強材上下間隔(d/B=0.3)を一定にして補強材層数を n=1~5（補強深さを $D_R$/B=0.3~1.5）と変化。Group-b:補強材層数(n=3)と補強材上下間隔(d/B=0.3)を一定にして補強材長さを L/B=1~6 と変化。解析モデルは、フーチング付近を要素サイズ 1.0x1.0cm の平面要素でメッシュ分割し（節点数：893）、底面・側面境界をそれぞれ水平・鉛直ローラーとする対称モデルである（図２）。りん青銅の補強材（幅 0.3cm,厚 0.05cm）は、りん青銅のヤング率は $E=1.22\times10^{-8}kN/m^2$ を用いて横断面で等価な剛性をもつ２次元線形弾性梁要素でモデル化し、断面積、断面２次元モーメントは単位奥行き当たりに換算してそれぞれ $A=9.0\times10^{-3}cm^2$、$I=1.875\times10^{-6}cm^4$ とした。砂の構成モデルでは、修正ひずみエネルギー硬化―軟化弾塑性モデルを用いて、砂の応力経路の依存性、せん断強度の異方性・拘束圧の依存性、せん断帯発生・発達を考慮した [3]。特に新しい点としては、砂の粘性効果を表現している TESRA モデル [4] を構成式として用いて、実際の模型試験でのフーチング沈下平均速度(0.15mm/分)で解析したことである。この沈下速度は非常に小さいので、各要素内での実質的な粘性応力は全体の応力に対して無視できる程小さかった。しかし、この粘性効果のために数値計算として解が非常に安定して、すべり層が発生してからもフーティング荷重が不安定に変化することがなくなった。FEM モデルについての詳細は関連文献を参考されたい [1), 3), 4)]。

**解析結果と考察：**FEM 解析と実験で得られた正規化した荷重―沈下量関係を Group-a,b についてそれぞれを図３、４に示す。FEM 解析結果の方が実験結果よりピーク荷重が少し大きい傾向がすべてのケースで見られる。この原因として、実験ではフーチング底面と砂地盤表面のベディングエラーが多少あること、FEM 解析では線状補強材の３次元効果や補強材と砂との境界面におけるすべり（相対変位の発生）考慮していないことの影響などが考えられる。しかし、補強層数 n と補強材長 L が補強効果に与える影響については、FEM 解析結果は実験結果とほぼ同様な傾向を示している。すなわち、Group-a の FEM 解析では、補強層数 n を多くするに従って、初期剛性、$N_\gamma$、$S_f$/B が大きくなる傾向が実験と同様に明瞭に認められる（図５）。Group-b では、補強材長 L の増加によってNが増加するが、Lが大きくなるほど Group-a に比べて初期剛性と $N_\gamma$の増加の割合が小さくなり、FEM 解析と実験の両方で L/B>3.5 では補強効果に変化がない（図６）。

**まとめ**：補強砂地盤の支持力破壊における補強材の長さ、層数の影響を調べた実験結果を、砂の修正ひずみエネルギー硬化―軟化弾塑性モデルを用いた FEM によりシミュレートした。FEM 解析結果は実験結果とよく一致した。また、粘性効果を導入することにより数値解析は非常に安定した。

**参考文献**：**1)** 彭・龍岡・Siddiquee・小竹・黄(2001)：修正エネルギー硬化弾塑性モデルを用いた無補強および補強砂地盤の支持力破壊の数値解析、地盤工学会（徳島）;**2)** Huang and Tatsuoka (1990): Bearing capacity of reinforced horizontal sandy ground, Geotextiles and Geomembranes, Vol.. 9, pp. 51-82; **3)** Peng, Tatsuoka, Siddiquee and Yasin (2001): A new constitutive model for granular materials, Proc. 10th Inter. Conf. on Computer Methods and Advance in Geomechanics, Vol. 1, pp.383-388; **4)** 龍岡・西・桑野(2001)：地盤材料の変形強度特性に及ぼす粘性効果を表現する三要素モデルについて、地盤工学会（徳島）

キーワード：補強砂、支持力、補強材長さ、補強深さ、エネルギー硬化、弾塑性モデル、FEM
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、TEL: 03-5841-6123、FAX: 03-5841-8504

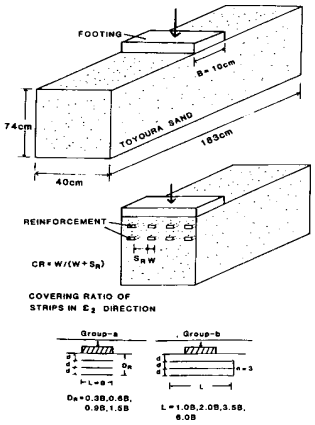


図１　支持力実験概要図

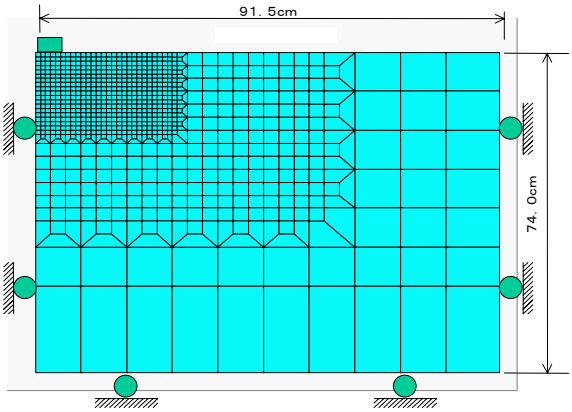


図２　FEM 解析モデル図

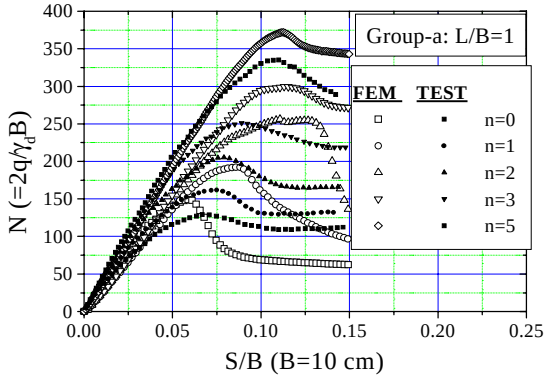


図３　Group-a（実験と FEM）

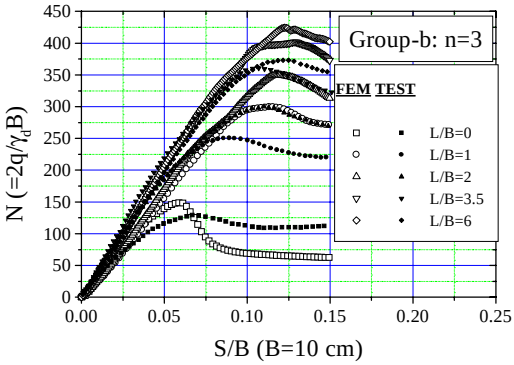


図４　Group-b（実験と FEM）

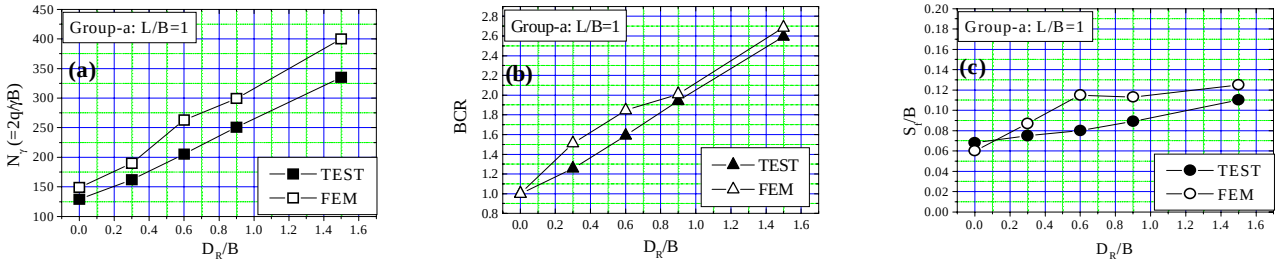


図５　補強材の補強深さ（層数）による補強効果

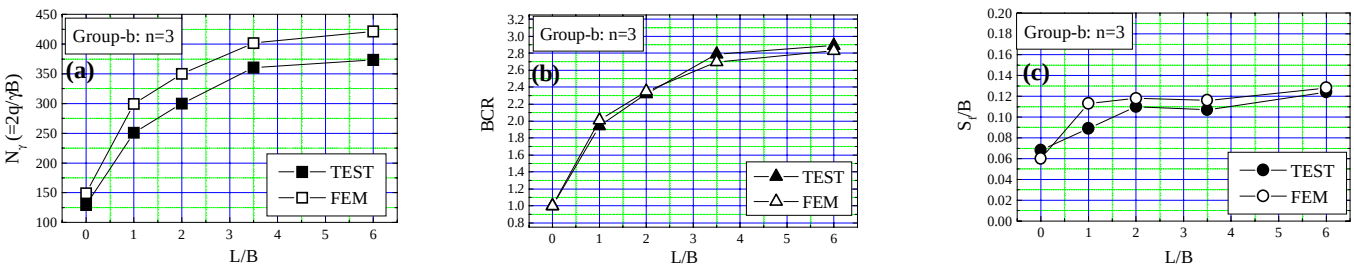


図６　補強材の長さによる補強効果