

ファイバーで補強された粒状体のミクロ・マクロの変形破壊解析

名古屋工業大学 学生会員 ○山口智世、 正 会 員 前田健一
 ブリストル大学 E. Ibraim
 名古屋工業大学 学生会員 松本 崇、前河亮太

1. はじめに

短いファイバー(短繊維材)による地盤の補強工法が多く用いられ、その特性を明らかにしようとする多くの研究が行われている¹⁾⁻⁵⁾。一般的に、補強効果はテンションによる粘着力増加によるものとされているが、一方で補強効果はある程度変形することで初めて発揮されるねばり効果にあるとも考えられている。本研究は、ファイバーの補強効果メカニズムについてマクロとミクロの立場から検討し、その設計方法について検討することを目指としている^{3),4)}。本論文では2次元個別要素法(DEM)解析を実施し、内部構造の変化を観察した結果を報告する。

2. 解析手法

DEM を用いてファイバー混合土の二軸圧縮試験を行った。ファイバーはヒンジとして働くボンドを用いて小さい円形粒子をつなぐことで表現し(図-1)、破断しないものとした。解析に用いたパラメータは表-1 の通りであり、力学パラメータは既報⁴⁾に詳しい。

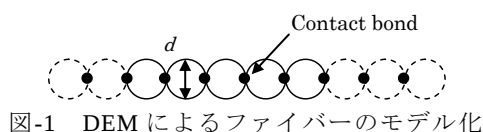


図-1 DEMによるファイバーのモデル化

表-1 解析に用いたパラメータ

Parameter	unit	value
ρ_t	(Mg/m ³)	9.1
d	(mm)	1 ($d / D_{max} = 0.1$)
$\lambda = l/d$	(mm)	150
ρ_s	(Mg/m ³)	2.65
Shape of grain	--	circle
D_{max}	(mm)	10
D_{min}	(mm)	5
D_{50}	(mm)	7.1
C_u	--	1.3
C_g	--	1.1

* d = diameter, l = length, λ = aspect ratio ($\lambda = l/d$).

* D_{max} = maximum grain size, D_{min} = minimum grain size, D_{50} = mean grain size, C_u = coefficient of uniformity (D_{60}/D_{10}), C_g = coefficient of gradation ($D_{30}/D_{60} * D_{10}$), ρ_s = density.

作成した供試体の様子を図-2 に示す。ファイバー部分が、通常の粒子集合体部分である母材部分(マトリックス)にランダムに分布した混合体となっており、後者部分の間隙比を 0.24 に調整した。最大主応力方向を y 方向とし、直ひずみ ε_{xx} と ε_{yy} 、体積ひずみ ε_v 、平均主応力 σ_m と最大せん断応力 τ_m を用いて整理した。

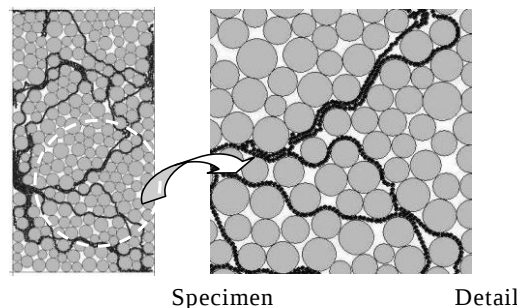


図-2 DEMによるファイバー補強土のモデル

3. 解析結果および考察

図-3、4 は、ファイバー混合率(マトリックスに対する質量比)が異なる場合における、等方圧縮下における間隙比および平均張力の変化を表している。ファイバーの混合比が高いものほど圧縮性が低くなっており(図-3)、ファイバーの平均張力は若干ではあるが混合率が高い方が大きい(図-4)。

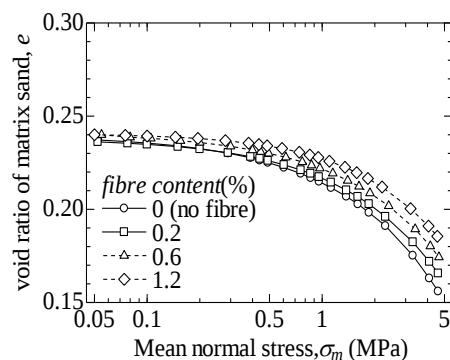


図-3 等方圧縮試験におけるマトリックス部の挙動

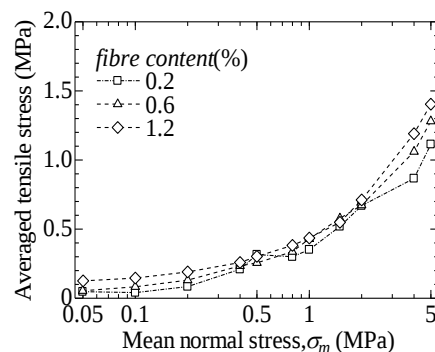


図-4 等方圧縮時のファイバー内の平均張力の挙動

供試体内部をみると、ファイバーの曲率変化が大きい箇所であり、密に混入されているほどその傾向が強いようである。図-5 は側圧一定の

場合のマクロなせん断挙動を示しており、混合率が高くなると破壊近くの中ひずみ位から補強効果が現れ、強度と正のダイレイタンス挙動が高くなっている。また、ファイバーの平均張力も鉛直ひずみが 0.2%程度までは変化せず、その後、破壊付近で顕著な増加を示す(図-6)。

一般的には、最小主応力または主ひずみ方向に配向するファイバー内に高い張力が発生すると考えられているが、図-7 のファイバーの張力の空間分布をみると強い指向性は見られない。実際にはファイバーは破断されることが観察されているが(著者らもアルミ棒積層体実験でも確認している)⁶⁾、張力分布には破断も考慮する必要があると考えている。

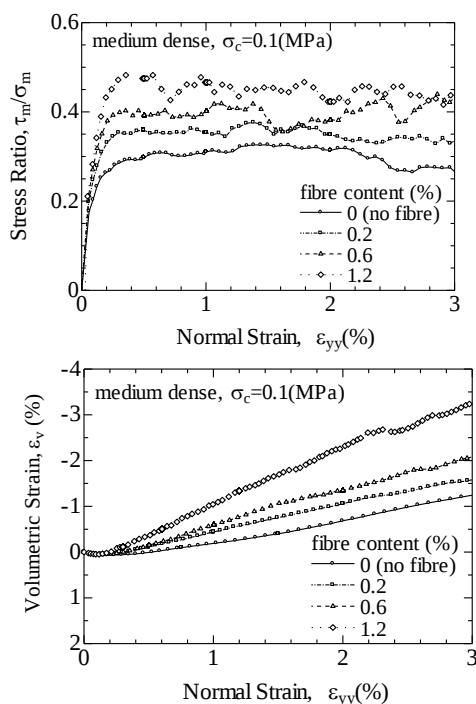


図-5 ファイバー補強土のせん断挙動

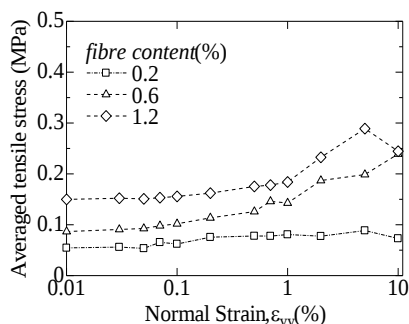


図-6 せん断時のファイバー内の平均張力の挙動

図-8 は最大・最小主応力方向の構造の強さの変化を示しており、この値が大きいほどその方向のミクロ構造は強く高いマクロの耐力を有することになる⁷⁾。無補強の場合、最大主応力方向の強さはほとんど変化していないが、最小主応力方向に構造強さが失われている。一方、補

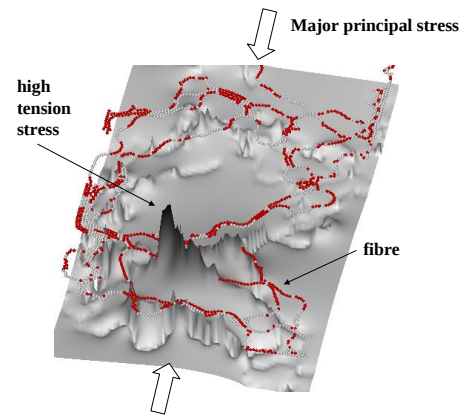


図-7 ファイバー張力の空間分布: ファイバー混合率 0.6%、鉛直ひずみ 0.2%程度

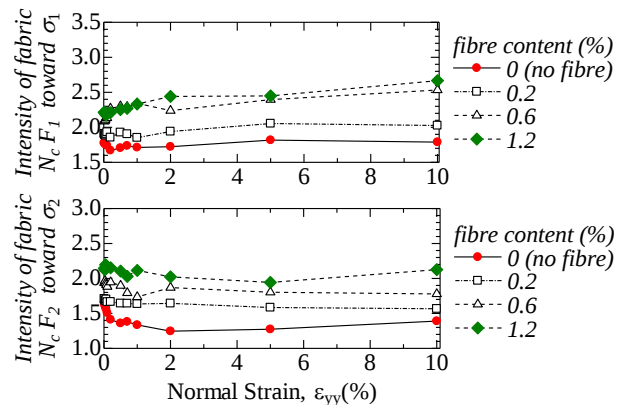


図-8 マトリックスの粒子構造強さのせん断による変化

強によって、構造の強さが失われにくくなっており、これが強度増加をもたらしているといえる。

4. おわりに

本論文では、粘り効果はファイバーに囲まれたミクロゾーンにおける拘束力増加による座屈の抑制であると考えた。今後はファイバーの長さ、剛性、配向が、母材-ファイバー間の拘束効果に及ぼす影響について議論する。特に、粒子回転について詳細に検討し、さらに、実験による内部挙動の観察、三次元 DEM 解析を進める。これらの結果からマイクロメカニクスに着目した物理モデルの構築が可能であると考えられる。

参考文献: 1) 第 21 回ジオシンセティックシンポジウム論文集, 2) Gray, D.H. & Ohashi, H. (1983), J. of Geotech. Eng. 109 (3): 335-353., 3) Ibraim, E. et al. (2006). Int. Symp. on Geotechnics of Particulate Media, 4) 山口等(2008): 実務利用を目指すマイクロジオメカニクスに関するシンポジウム発表論文集, pp.17-22., 5) Diambra A. et al. (2007), Geotechnique., 6) Heineck, K.S., et al. (2005): J. of Geotech. and Geoenv. Eng. 131 (8): 1024-1033., 7) Maeda, K. & Hirabayashi, H. 2006. Journal of Appl. Mech., JSCE: 623-630.