

離散体解析による二軸圧縮条件下における補強土の拘束効果

九州大学大学院 学 金重 正浩
 九州大学大学院 F 落合 英俊 正 安福 規之
 九州大学大学院 正 大嶺 聖 正 小林 泰三

1.はじめに 近年、補強土構造物における補強効果のうち補強材の引張力に起因する引張補強効果以外の効果として拘束効果の存在が知られている。この効果を考慮したより合理的な設計法を確立することが強く望まれている。これまでの一連の研究では、補強土を対象にした二軸圧縮試験を用いて、補強効果を引張補強効果とそれ以外の効果としての拘束効果との和と表現している。これは補強材を段階的に分割することで引張補強効果を減少させ、結果的に残った効果を拘束効果と考えるものである¹⁾。本研究では、これまでに行った実験による補強効果の考察方法の検証や、補強土における強度増加メカニズムの解明を目的として離散体解析 (DEM 解析) を行う²⁾。今回は、実験と解析の両者を用いて二軸圧縮条件下での補強効果について言及する。

2.補強土を対象にした二軸圧縮試験による補強効果¹⁾ これまでに著者らは、補強土を対象にした二軸圧縮試験を行っている¹⁾。これは、補強材を敷設することで発揮される補強効果を考察するために行ったものである。実験では、粒径 1.6mm、3.0mm のアルミ棒を重量比 3:2 で混合して使用しており、**図-1** に示すような無補強供試体と補強材を 3 枚平行に一定間隔で敷設した補強供試体を用いている。また、補強効果として引張補強効果以外の効果が発揮されていればそれは拘束効果と言えと考え、拘束効果を考察するために補強材を裁断して分割したものをを用いる。このような供試体を、拘束圧一定の状態軸方向圧縮する。その軸差応力-軸ひずみ関係を求めたものが**図-2**である。これによると、補強材を敷設することで軸差応力の増加として補強効果が発揮されていることが分かる。また**図-2**を模式的に表したものが**図-3**である。明確なピークが見られないので**図-3**の様に軸ひずみ 15 (%) を基準として考え、無補強のピーク強度を q_n 、補強材を敷設した場合の強度増加分を Δq_R とする。ここで、補強効果を表す一つの指標として無補強供試体の強度に対してどの程度補強効果が発揮されているかを表す指標 $\Delta q_R / q_n$ を定義する。これを用いて補強材の分割数ごとに補強効果がどの程度発揮されているかを表したものが**図-4**である。これによると補強材分割数が増加するに従い補強効果が減少していることが分かる。原因の一つに補強材を分割することによる引張補強効果の減少が考えられる。

次に、この減少傾向がどの程度まで継続するのかを明らかにし、その上で、補強効果の強度増加メカニズムを検討するために離散体解析 (DEM 解析) を行った。

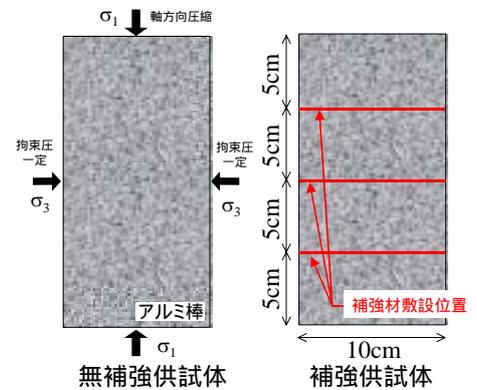


図-1 補強土を対象にした二軸圧縮試験

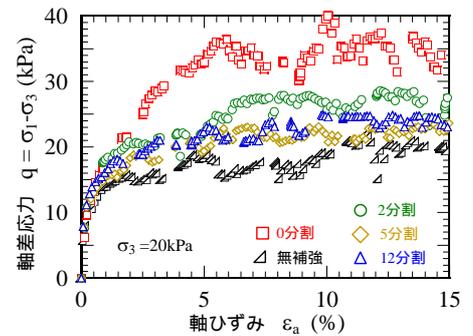


図-2 軸差応力-軸ひずみ関係 (実験)

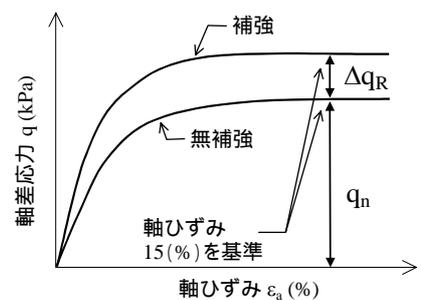


図-3 図-2の模式図

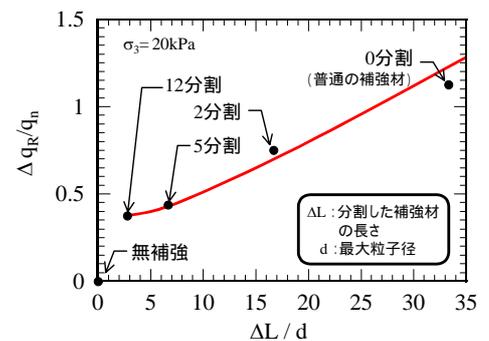


図-4 補強材を分割することによる補強効果 (実験)

3. 離散体解析による二軸圧縮条件下での補強効果 解析には PFC2D (Itasca 社汎用プログラム) を用いている²⁾。解析で用いたパラメータや解析条件は表-1 と表-2 に示す通りで、これは二軸圧縮試験と概ね同値に設定している。なお、補強材は粒子径 0.2mm の円要素を 500 個連結させて模擬した。また、引張補強効果の減少傾向を詳細に考察するため、実験での再現が難しいと思われる細分化した補強材を用いている。解析から得られた軸差応力-軸ひずみ関係を図-5 に示す。実験結果と同様に補強材を敷設することで軸差応力の増加として補強効果が発揮されていることが分かる。また、補強材を分割することによる引張補強効果の減少も表現できている。ここで、実験と同様に図-3 で示すように軸ひずみ 15 (%) を基準にして補強効果を考える。また、供試体に用いた最大粒子径を d 、分割した補強材の長さを ΔL とし、 $\Delta L/d$ という指標を定義する。これは、 $\Delta L/d > 1$ になると最大粒子径より分割した補強材が長くなっていることを意味する。これを用いて、補強効果 $\Delta q_R/q_n$ を整理すると図-6 のようになる。これによると補強材を分割することによる補強材引張力の低下による補強効果の減少は、 $\Delta L/d = 1$ 付近で収束傾向にあることがわかる。しかし、それ以上細かく分割すると補強効果は極端に減少する傾向が見られる。このことは、最大粒子径より補強材が長ければ残留する補強効果が期待できることを示している。この残留した効果は引張補強効果以外の効果である拘束効果の一つと考える。

ここで言う拘束効果による強度増加は、補強材を敷設することでその周辺の応力状態を変化させることにより発揮されるものと考えられる。この主な要因には、補強土の変形過程で生じるダイレタンスを補強材が抑制するために周辺の応力が見かけ上増加することが挙げられる。今後、地盤内の応力状態を考察することで拘束効果の発現メカニズムを解明していく予定である。

4. まとめ 二軸圧縮条件下における補強土の補強効果を実験と解析によって検証した。得られた知見を以下に示す。

補強土を対象にした二軸圧縮試験及び DEM による離散体解析結果より、供試体に補強材を敷設することで補強効果が発揮されることを示した。

この補強効果は、補強材を段階的に分割することで減少することから、一つは補強材引張力に起因する引張補強効果と考える。また、解析結果から補強効果が顕著に残留するための限界の補強材長さが存在し、その長さは最大粒子径程度であることが明らかになった。この残留する補強効果は無補強土の軸差応力に対して概ね 2 割程度発揮されており、これは引張補強効果以外の補強効果である拘束効果の一つであると考えられる。

【参考文献】1) 金重ら、二軸圧縮条件下におけるジオグリッド補強土の拘束効果の発現特性、ジオシンセティックス論文集第 18 巻, pp.161-pp.166, 2003 2) P.A.CUNDALL and O.D.L.STRACK:A discrete numerical model for granular assemblies Geotechnique 29, No.1, pp.47~pp.65, 1979

表-1 解析で用いたパラメータ

供試体		
領域サイズ (cm)	10 × 20	
粒径 (mm)	1.6 3.0	
粒子数	約4000	
ばね定数 (N/m)	k_n	1×10^8
	k_s	1×10^8
粒子間摩擦係数	0.26	
粒子密度 (kg/m ³)	2710	
補強材		
粒径 (mm)	0.2	
粒子数(一枚あたり)	500	
ばね定数 (N/m)	k_n	1×10^7
	k_s	1×10^7
粒子-補強材摩擦係数	0.6	
粒子密度 (kg/m ³)	2000	
Contact bond (N/m)	n_bond	1×10^{20}
	s_bond	1×10^{20}

表-2 解析条件

	補強材分割数	拘束圧 σ_3 (kPa)
無補強土		20
補強土	0, 2, 12, 17, 34, 42, 250, 500	20

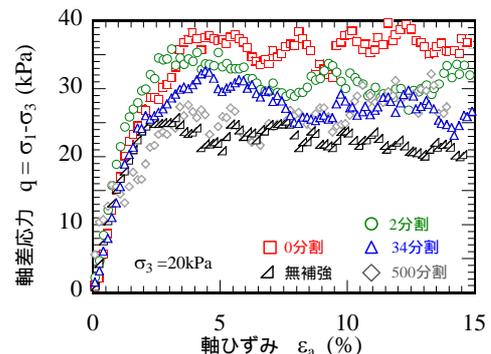


図-5 軸差応力-軸ひずみ関係 (解析)

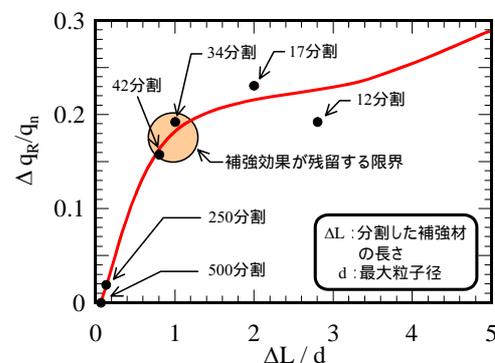


図-6 補強材を分割することによる補強効果 (解析)