短繊維混合補強土の配合設計のための混合率と補強効果の検討

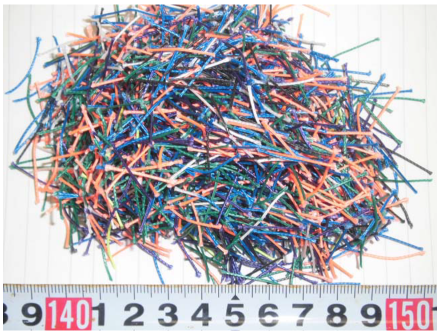
八戸工業大学　学生会員　○木村　孝一
八戸工業大学大学院　学生会員　野添　重晃
八戸工業大学　正会員　橋詰　豊・金子　賢治

1.　はじめに

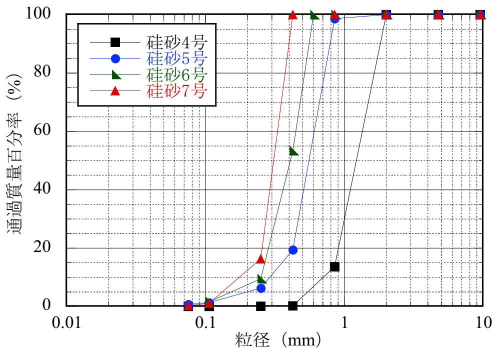
地盤材料に長さ数 cm の引張抵抗を有する PP や PE などの短繊維を混合することで，強度特性・洗掘特性・靭性等を改善する短繊維混合補強土工法が提案されている[1]．本工法における短繊維の配合設計においては，固化処理土等と同様に混合率を変化させた 3 ケース程度の配合試験結果を直線で近似し，所定のせん断強さになる混合率を決定している．しかしながら，これまでの実験的研究からは粘性土に対して短繊維を混合させ過ぎると一軸圧縮強さが低下するいう報告があり[2]，線形で近似できない可能性もあると考えられる．また，混合率を細かく変化させて混合率とせん断強さの関係を検討した研究はほとんど無い．以上の背景の下，古川らは，せん断強さに対する混合率の最適値が存在する事を実験的に示した[3]．しかしながら，さらに混合率を増加させた場合のせん断強さとの関係については不明である．本研究では，配合設計を効果的に実施するために，混合率を大きく変化させたケースの三軸圧縮試験を行い，混合率と補強効果の関係について検討する．

2.　実験概要

本研究では，短繊維補強材には，太さ約 0.52mm のポリエチレン製の釣糸 PE ラインを長さ 20mm に切って使用した．使用した短繊維を**写真–1** に示す．地盤材料には粒径の異なる 4 種類の硅砂を使用した．使用した硅砂の粒径加積曲線を**図–1** に示す．硅砂の平均粒径 D_{50} はそれぞれ硅砂 4 号が 1.1mm，硅砂 5 号が 0.53mm，硅砂 6 号が 0.4mm，硅砂 7 号が 0.3mm である．本研究で行った実験ケースを**表–1** に示す．短繊維を混合させたケースでは，各 3 回ずつ実験を行い，短繊維混合率は土粒子の質量に対する混合した短繊維の質量比で表している．**表–1** で示したケース A～D の場合の供試体の全固体密度は，硅砂のみの締固め試験によって得られた最大乾燥密度を用いて，締固め度 90%を目安として作成した．したがって，短繊維の増加に伴って硅砂の乾燥重量は減少させている．さらに，ケース E では硅砂 5 号を用いて間隙比を一定（0.8%）として，最適混合率発現後も混合率を増加し続けた場合のせん断強さについて検討した．供試体の作成の際には，最適含水比に調整した



写真–1　実験に用いた短繊維モデル



図–1　実験に用いた硅砂の粒径加積曲線

硅砂と短繊維をバット上でスプーンを用い良く混合し，直径 50mm，高さ 100mm の二つ割りモールドに 3 層に分けて投入して，各ケースが所定の密度になるように突き棒で突き固めて作成した．その後，モールドごと-20 度で凍結して作成した．三軸圧縮試験は JGS 0520 および JGS 0524 に準じて行い，側圧は全てのケースで 200kN/m^2 とした．

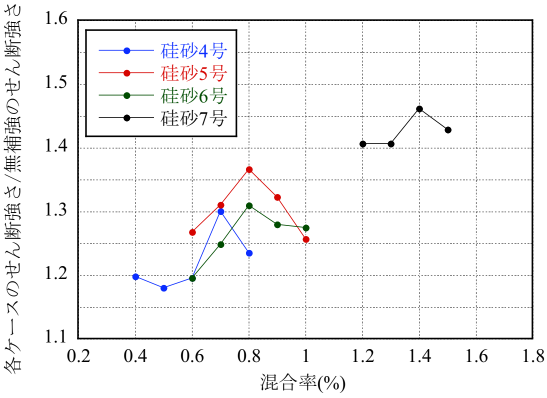
3.　実験結果

図–2 にケース A～D で得られたせん断強さと短繊維の混合率の関係を示す． 同図の縦軸は，短繊維を混合させたケースの 3 回の実験の結果を平均した最大主応力差を無補強ケースの最大主応力差で正規化して表している．同図より，全てのケースで短繊維を混合させることによりせん断強さは増加する傾向にあることがわかる．しかし，一定の短繊維混合量を越えて混合することでせん断強さが低下する．このことより，せん断強さに対する短繊維混合率の最適値が存在することが今回の実験においても確認された．短繊維の最適混合率は粒径に関わらず全ての硅砂で存在するということもわかる．**図–3** に最適混合率と平均粒径の関係を示す．同図より，短繊維の最適混合率は平均粒径が細か

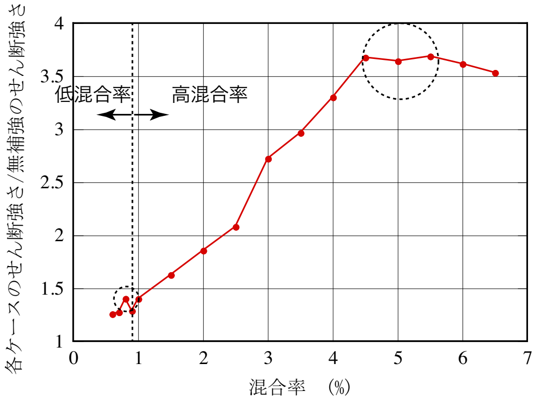
Key Words: 短繊維混合補強土，粒径，混合率，最適混合率
(〒 031-8501 八戸市大字妙字大開 88-1)

表–1 実験ケース

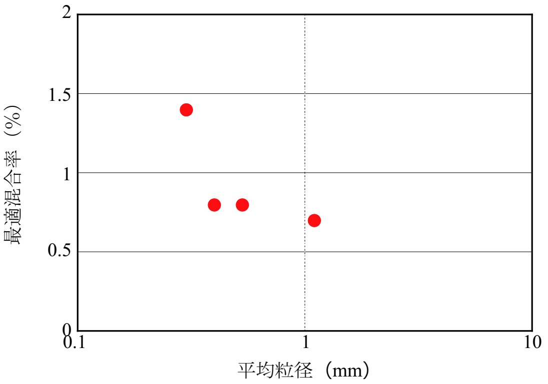
ケース	硅砂	混合率 (%)	ケース	硅砂	混合率 (%)	ケース	混合率 (%)	ケース	混合率 (%)
A-0	硅砂 4 号	0	C-0	硅砂 6 号	0	E-0	0	E-45	4.5
A-4	硅砂 4 号	0.4	C-6	硅砂 6 号	0.6	E-6	0.6	E-50	5.0
A-5	硅砂 4 号	0.5	C-7	硅砂 6 号	0.7	E-7	0.7	E-55	5.5
A-6	硅砂 4 号	0.6	C-8	硅砂 6 号	0.8	E-8	0.8	E-60	6.0
A-7	硅砂 4 号	0.7	C-9	硅砂 6 号	0.9	E-9	0.9	E-65	6.5
A-8	硅砂 4 号	0.8	C-10	硅砂 6 号	1.0	E-10	1.0		
B-0	硅砂 5 号	0	D-0	硅砂 7 号	0	E-15	1.5		
B-6	硅砂 5 号	0.6	D-12	硅砂 7 号	1.2	E-20	2.0		
B-7	硅砂 5 号	0.7	D-13	硅砂 7 号	1.3	E-25	2.5		
B-8	硅砂 5 号	0.8	D-14	硅砂 7 号	1.4	E-30	3.0		
B-9	硅砂 5 号	0.9	D-15	硅砂 7 号	1.5	E-35	3.5		
B-10	硅砂 5 号	1.0				E-40	4.0		



図–2 せん断強さと混合率の関係



図–4 せん断強さと混合率の関係（ケース E）



図–3 最適混合率と平均粒径の関係　（ケース A〜D）

い硅砂ほど大きくなると言える．このことは，粒径が細かい硅砂ほど，最大のせん断補強効果を発揮するために必要な短繊維の量が多くなることを示している．

次に間隙比を一定としたケース E におけるせん断強さと短繊維混合率の関係を**図–4** に示す．**図–4** より，短繊維混合率 0.8%で一旦せん断強さの最大値が発生した後，さらに混合率を増加させると，再度せん断強さが大幅に増加することがわかる．せん断強さは非常に大きく増加していくが，混合率が 5%付近で再度最適値が現れることが確認される．なお，一旦せん断強さが減少した後の供試体においては，短繊維同士が絡まり合うような傾向が見られ，それ以前の供試体とは明らかに異なる様子であった．現在用いられている短繊維補強土における配合設計のための試験においては最大で 2%程度の混合率が一般的であり，それ以降のせん断強さは非常に大きい事から特に問題にならない可能性もあるが，低混合率では混合率を増加させるとせん断強さが低下する部分があり，線形的に近似して混合率を決定することで危険側に大きく誤差が発生する可能性がある．

4.　おわりに

本研究では，短繊維混合補強土の混合率と補強効果の関係について三軸圧縮試験を行って検討した．その結果，4 種類の硅砂すべてにおいて短繊維を混合するとせん断強さが増加すること，最適混合率は平均粒径が小さいものほど、大きくなることが分かった．また，低混合率における最適混合率を超えてからさらに，短繊維の混合率を増やし続けるとせん断強さは大幅に増加し，再び短繊維の最適値が現れることがわかった．今後の課題として，最適混合率発現メカニズムの解明や高混合率におけるせん断強度定数 c, ϕ の検討などが挙げられる．

参考文献

1) (財) 土木研究センター：発生土利用促進のための改良工法マニュアル，1997.
2) 奥山，峯岸，巻内：短繊維混合補強土における補強材混合量の影響，ジオセンティックス論文集，Vol.26, pp. 89-94, 2011.
3) 古川ほか：短繊維混合補強土の補強効果と混合率の関係, 平成 24 年度土木学会東北支部技術研究発表会，Vol. 26, 2013.