

短繊維混合による礫質土の力学的性質の改善

防衛大学校 学生会員 ○緒方 玲治

防衛大学校 正 会 員 平川 大貴, 宮田 喜壽

1. はじめに： 礫質土の強度変形特性の改善にはセメント改良工法が用いられる事が多い。礫質土をセメント改良すると強度変形特性は大幅に改善されるが、セメント配合量の増加に伴って破壊時のひずみレベルが減少するという特性が強くなる。また、セメント改良するとその補修は困難である。強度変形特性を改善し、補修の容易さを両立する地盤改良技術として、セメント固化しない短繊維混合補強土技術がある。しかし、短繊維混合土の基本的な力学的性質(締固め特性、強度変形特性)は未解明であるため、本研究では短繊維混合礫の基本的な転圧締固め特性と強度変形特性を実験的に調べた。

2. 材料および実験概要： 本研究では、礫質土に上層用路盤材として用いられている砕石(M-30)を用いた。原粒径での最大粒径は 30 mm であるため、突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210, モールド内径 10 cm)および後述する三軸圧縮試験(供試体直径 10×高さ 20 cm)を実施するために、粒径 19 mm のせん頭粒度に調整した。この結果、実験で用いた礫質土の粒度は、 $D_{max}=19.0$ mm, $D_{50}=3.9$ mm, $F_c=2.5\%$ となった。この礫質土は人為的に破碎・粒度調整したもので、保水性は高くない。細粒分のみを取り出して塑性指数 IP を調べると、 $IP=10.0\%$ ($w_L=31.0\%$, $w_p=21.0\%$)と低い値であった。この礫質土に、ビニロン製で直線状の短繊維(長さ 20 mm, 直径 0.4 mm)を礫質土の乾燥重量に対して 0.5%の配合比で混合させた。短繊維混合土に求められる工学的性質として、本研究では繊維の攪拌性、混合土の締め固め特性と強度変形特性に注目した。

礫質土約 80 kg に対して人力攪拌したところ、短時間で均質に混合することが出来た。含水比を数%変化させても極めて良好な攪拌性であったことから、現場でのバックホウによる攪拌混合も可能であると考えられる。締固め特性に関しては、

本研究では突固めによる土の締固め試験と、室内転圧試験により検討する。突固めによる土の締固め試験(A-a 法)結果を図-1 に示す。図-1 より、突固めに対して短繊維を混合させても締固め特性に大きな影響を与えないことが分かる。既往の研究によれば、短繊維を混合させても w_{opt} は変わらないものの、 $(p_d)_{max}$ は若干低下する傾向にある事が報告されている¹⁾。本研究においても同様な傾向が確認できる。短繊維混合の有無に関わらず $(p_d)_{max}$ は変わらないことから、以降に示す転圧試験および三軸試験結果は $(p_d)_{max}=2.135$ g/cm³ として結果を整理する。締固め特性は、現場での締固め条件を考慮して室内転圧試験(図-2)により評価する。室内転圧試験では、所定の含水状態に調整した礫質土/短繊維混合礫を土槽内に投入し、ローラー荷重 29.4 kN/m で 8 回転圧させた。転圧前後での p_d および単管式 CPT での先端抵抗で締固め特性を考察する。強度変形特性は、二つ割りモールドで突き固めた供試体を用い、 $K (= \sigma'_3/\sigma'_1)=0.5$ の異方圧密、飽和排水条件での三軸圧縮試験により考察する。

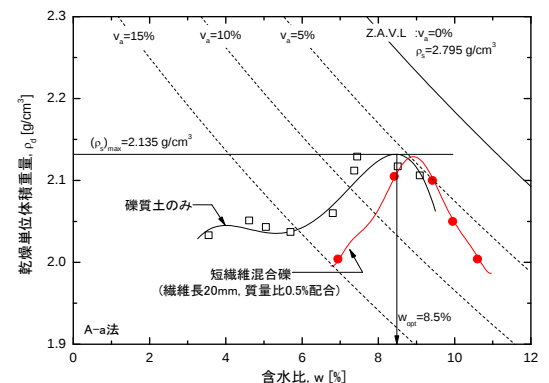


図-1 突固めによる土の締固め試験結果

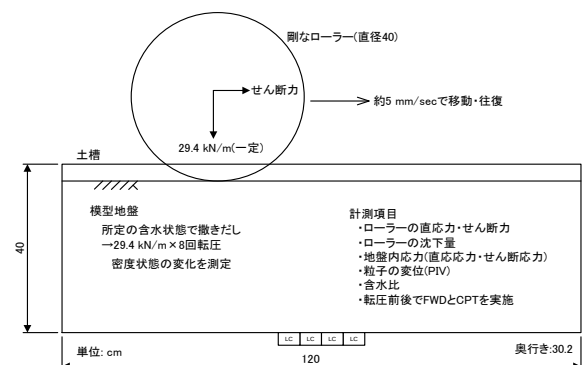


図-2 室内転圧試験の概要

キーワード 礫質土, 短繊維混合, 強度変形特性, 締固め特性

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810 (3529)

3. 実験結果および考察： 表-1 に礫質土/短繊維混合礫質土の転圧締固め試験条件および結果の一覧を、図-2 に転圧前後での p_d ～単管式 CPT の先端抵抗の関係を示す。実際の土工では土を撒きだしてから重機を用いて整地する。この過程は予備転圧を行っているのに等しいと考えられるが、用いる重機が現場によって異なること、整地の程度も撒きだし状態に強く依存することから、本研究では転圧前の初期値は現場での撒きだし状態を想定して試料投入状態とした。CPT の先端抵抗は、模型地盤の深さ方向に対する先端抵抗の増加率(単位:N/cm)として算出した。表-1 および図-2 より、短繊維を混合していない礫質土では初期含水状態で転圧後の物理状態(p_d)および安定状態(CPT の先端抵抗)が大きく異なることが分かる。短繊維を質量比で 0.5%程度でも混合させると撒きだし時での p_d は若干低下するものの、同様な転圧締固めを行うと良好に密度増加が実現でき、かつ地盤の硬さも大幅に増加する。すなわち、短繊維を混合しても、転圧締固めに対して特別の配慮を行う必要がなく、無配合の礫質土と同様な施工管理によって効果的に転圧締固めを行うことができると考えられる。

次に、礫質土/短繊維混合礫の飽和排水条件における三軸圧縮試験結果を図-4～5 に示す。三軸圧縮試験では転圧試験を想定して $K=0.5$ の異方圧密条件を採用し、土の骨格構造の強さを把握するために飽和排水条件と設定した。有効拘束圧 $\sigma_3=40$ kPa(一定)とし、 $1E_c$ で定義した場合での締固め度 D_c を 86～100%まで変化させて締固めの程度の影響を検討した。図-4 はそれぞれの密度状態における主応力比 $R(=\sigma_1/\sigma_3)$ ～軸ひずみ ϵ_a ～体積ひずみ ϵ_{vol} 関係、図-5 は最大主応力比 R_{max} を D_c に対して整理した結果である。図-4～5 より、短繊維を混合させることによって現場で採用される密度域において安定的に強度増加が見込まれることが分かる。強度変形特性(図-4)を詳細に見ると、短繊維を混合させると体積膨張傾向が若干緩やかになる。これは、ひずみの増加に伴う土骨格の変化に対して短繊維が土粒子の変位を抑制し、土粒子のかみ合わせを向上させていることを示している。すなわち、短繊維混合による礫質土の強度変形特性の改善は、短繊維による土粒子のかみ合わせの向上に起因している。

4. まとめ： 細粒分の塑性が低い碎石に対して、質量比 0.5%で短繊維を混合した短繊維混合礫の転圧特性および強度変形特性を調べた。この結果、短繊維の攪拌性および転圧特性は良好であり、強度変形特性も大幅に改善できることを確認した。

謝辞：本研究を実施するうえで小川敦久氏(クラレ)のご支援を受けた。ここに明記し、謝意を表す。

参考文献： 1) A.Diambra et al., 2010, Fiber reinforced sands: Experiments and modeling, *Geotextiles and Geomembranes*, IGS, **28**, 3, 238-250.

表-1 転圧締固め試験結果の一覧

礫質土	短繊維混合礫
$w=6.5\%(<w_{opt})$ $\rho_d=1.829 \rightarrow 2.093$ g/cm ³ ($D_c=85.7\%$) ($D_c=98.0\%$)	
$w=8.0\%(=w_{opt})$ $\rho_d=1.907 \rightarrow 2.086$ g/cm ³ ($D_c=89.3\%$) ($D_c=97.7\%$)	$w=8.1\%$ $\rho_d=1.749 \rightarrow 2.083$ g/cm ³ ($D_c=81.9\%$) ($D_c=97.6\%$)
$w=14\%(>w_{opt})$ $\rho_d=1.952 \rightarrow 2.164$ g/cm ³ ($D_c=91.4\%$) ($D_c=101.4\%$)	$w=10\%$ $\rho_d=1.819 \rightarrow 2.057$ g/cm ³ ($D_c=85.2\%$) ($D_c=96.4\%$)

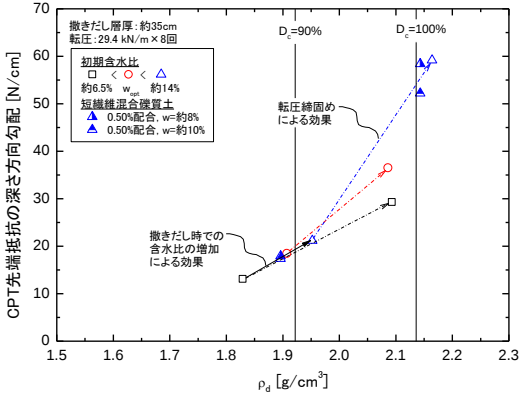


図-3 転圧による締固め効果

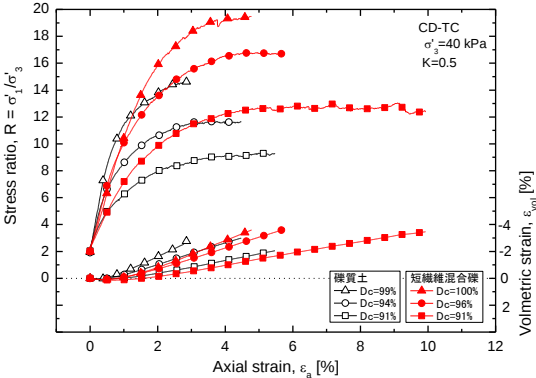


図-4 礫質土/短繊維混合礫の三軸圧縮試験結果、主応力比～軸ひずみ～体積ひずみ関係

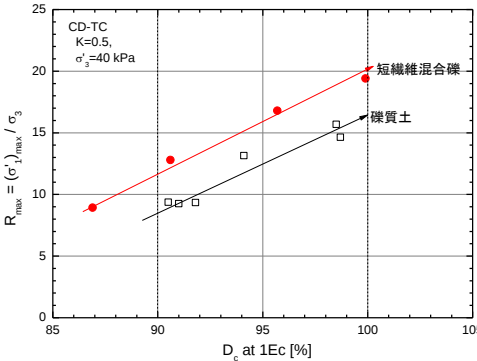


図-5 締固め度～最大主応力比の関係