

礫質土の力学特性に及ぼす細粒分の物理特性の影響

防衛大学校 学生会員 ○渡辺康祐

防衛大学校 正会員 平川大貴 宮田喜壽

1. はじめに：土構造物の安定計算に用いる設計用値(内部摩擦角 ϕ)や施工時の締固め管理値は、粒度区分で区分して規定される場合が多い。一方、同じ粒度区分の土であっても、締固め特性や強度変形特性には差があることが経験的に知られている。本研究では礫質土を対象として、締固め特性や強度変形特性に及ぼす細粒分の特性の影響について実験的に検討した。

2. 研究概要と使用材料：図-1に示す砂岩(以下、Gravel1と表記)と安山岩(以下、Gravel2)を母岩とする2種類の礫質土(碎石)に対して、著者らの研究グループでは締固め特性(突固めによる土の締固め試験：JIS A 1210, 剛なローラーによる転圧締固め試験)や強度変形特性(三軸圧縮試験, CD試験)を検討している¹⁾。この結果、粒度が一致していても転圧締固め特性や締固め土の強度変形特性は大きく異なることが確認されている。このような力学的性質の違いの要因の一つに、細粒分 F_c の塑性指数 I_p の値の差がある。Gravel1, 2ともに F_c の含有量は微量であるが(図-1), その I_p 値はそれぞれ24.3($w_L=48.5\%$, $w_p=24.2\%$), 10.0(31.0%, 21.0%)と大きく異なる。 I_p の大きな細粒分を有する砂岩(Gravel1)は、転圧締固めに際して撒きだし時での ρ_d 値が小さく、転圧ローラーの走行性を確保するためには撒きだし層厚を小さく設定する必要がある。また、 ρ_d 値が同等であっても、締固め土の強度は I_p の大きなGravel1よりも I_p の小さなGravel2(安山岩)の方が大きい。すなわち、 F_c の I_p は締固めによる土骨格の構築に対して大きな影響がある。現に、Gravel1(砂岩)の F_c を非塑性($I_p=NP$)の石英粒子に置換したところ、転圧締固め特性は改善され、締固め土の強度も増加した²⁾。本研究では粒度を変化させずにGravel2の F_c を石英粒子に置換した人工材料(Gravel4)を作成し、礫質土の力学的性質(締固め特性, 強度変形特性)に与える細粒分の塑性指数の影響について検討した。このような基礎研究を蓄積することによって、設計・施工への材料物性の反映するための基礎データを得る。

3. 実験結果および考察：図-2に突固めによる土の締固め試験(以下、突固め試験)結果を示す。図-2中には、参考のためGravel1, 2¹⁾およびGravel1の F_c を石英粒子に置換したGravel3²⁾の締固め曲線もあわせて示した。Gravel1(砂岩), Gravel2(安山岩)ともに、 F_c を石英粒子に置換しても最適含水比 w_{opt} には大差がないものの、 I_p 値を低下させると最大乾燥密度($\rho_{d,max}$)は低下する。この挙動の詳細なメカニズムは更に検討を行う必要があるが、この結果は I_p 値の調整によって土の締固めの効率化が実現できる可能性を示唆しているものと考えられる。

現場でのローラー転圧を想定して、本研究では剛なローラーによる転圧締固め試験(以下、転圧試験)を実施した。転圧試験の概要を図-3に示す。長さ120×高さ40×奥行き30.2 cmの土槽の中に、所定の含水比 w となるように加水調整した礫質土を投入し、初期高さ約35 cmの模型地盤を構築した。模型地盤の初期状態は、現場での撒きだし状態を模擬している。模型地盤の表面に剛なローラーを用いて鉛直荷重29.4 kN/m(線荷重換算値,

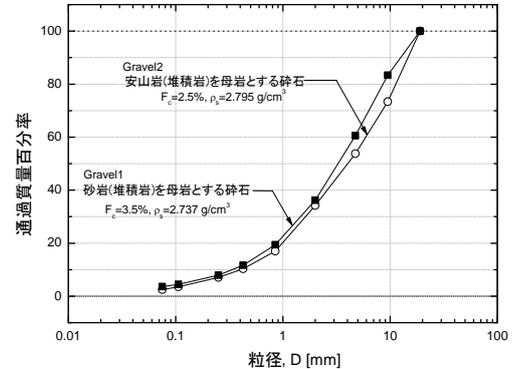


図-1 2種類の礫質土(碎石)

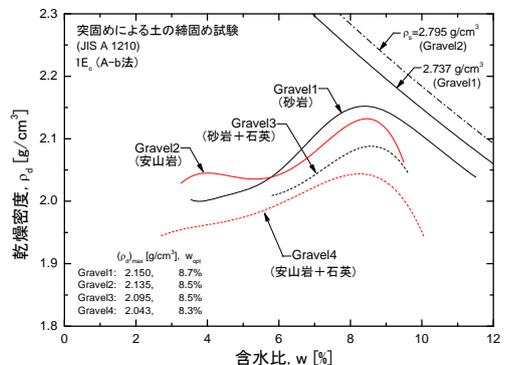


図-2 突固めによる土の締固め試験結果 (A-b法)

キーワード 礫質土, 粒度区分, 締固め特性, 強度変形特性

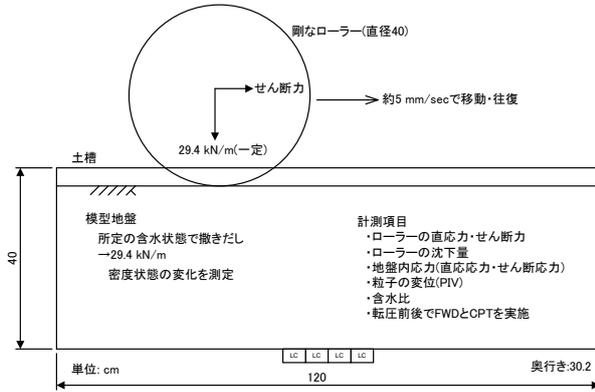


図-3 室内転圧試験の概要

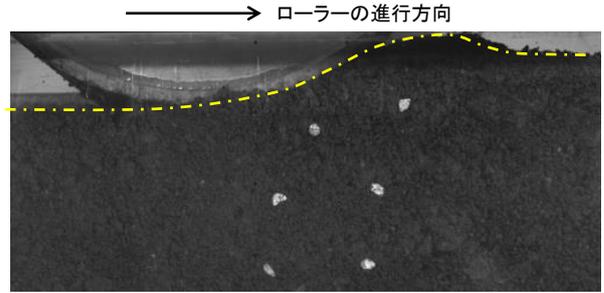


図-4 ローラーの貫入状況の例

中型ローラーの車軸相当)を与え、荷重値を保持したまま水平方向に移動させることによって模型地盤の転圧を行った。転圧回数は計8回(4往復)とした。図-4に $w \approx 8.5\%$ (≒突固め試験での w_{opt} : 図-2)に加水調整した実験ケースでの転圧回数1回目でのローラーの状況を示す。また、突固め試験と転圧試験での締固め曲線の比較を図-5に示す。 F_c の低 I_p 化は $(\rho_d)_{max}$ の低下だけでなく、撒きだし時での ρ_d 値の減少にもつながる。このため、転圧締固めの初期でローラーが地盤に深く貫入することによってローラーの走行性が損なわれることが懸念されたが、本研究で検討した全ての含水状態においてローラーの過大な貫入は生じず、安定的に転圧ができた。

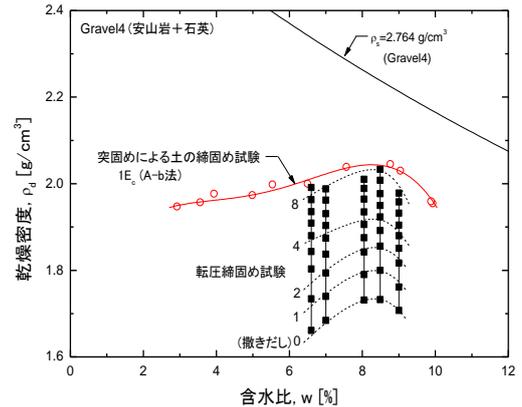


図-5 突固め試験と転圧試験での締固め曲線の比較

図-6に三軸試験結果をまとめる。転圧試験(図-3)の応力状態を考慮して $K(=\sigma_3/\sigma_1)=0.5$ の異方圧密条件とし、土の骨格構造の強さに着目するために飽和・排水条件とした。図-6aは本研究で検討した Gravel4の強度変形特性の例として $D_c \approx 99\%$ における主応力比 $R(=\sigma_1/\sigma_3, \sigma_3=40 \text{ kPa}) \sim$ 軸ひずみ $\epsilon_a \sim$ 体積ひずみ ϵ_{vol} 関係、図-6bは最大主応力比 $R_{max} \sim D_c$ 関係である。また、図-6bには Gravel1 \sim 3¹⁾²⁾の結果もあわせて示した。図-6aより、細粒分を非塑性の粒子に置換しても、 $(\rho_d)_{max}$ 近くまで締め固めると強い正のダイラタンシー挙動が現れるという Gravel2(安山岩)の特徴¹⁾が確認できる。また、粒度が等しくても締め固めた礫質土の強度特性は一致しない(図-6b)。Gravel2と4(主たる岩石:安山岩), Gravel1と3(主たる岩石:砂岩)ともに細粒分を非塑性のものに置換することによって締め固めによって実現できる $(\rho_d)_{max}$ は低下するものの、同一の ρ_d 値で比較すれば R_{max} は逆に増加する。

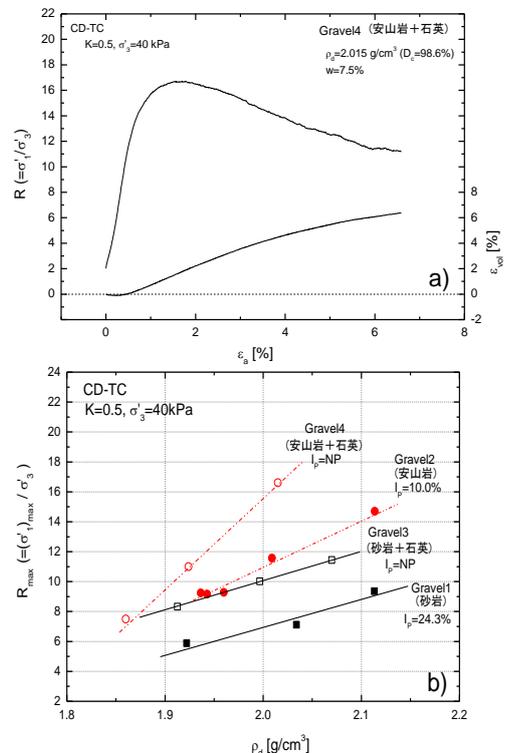


図-6 三軸圧縮試験結果: a) $R \sim \epsilon_a \sim \epsilon_{vol}$ 関係の例, b) $R_{max} \sim \rho_d$ 関係のまとめ

4. まとめ: 質量比で3%程度の微量の含有量であっても、礫質土の締め固め特性と強度変形特性は細粒分の I_p 値の影響を強く受けることを確認した。

参考文献: 1)南ら, 締め固めが礫質土の強度変形特性に及ぼす影響,

第40回土木学会関東支部技術研究発表会概要集(DVD-Rom), III-14, 2013. 2)後藤ら, 礫質土の力学特性に及ぼす細粒分の影響, 第41回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集概要集(DVD-ROM), III-22, 2014.