

礫質土の力学特性に及ぼす細粒分の影響

防衛大学校 学生会員 ○後藤裕太

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 は、粒度区分で画一的に規定されている¹⁾。今日では情報化施工の技術革新が進んでおり、施工の容易さや締め固めた土の安定性等の材料に起因する状態・力学的物性への理解の促進、さらにはこれらの設計・施工への反映が求められる。本研究では礫質土を対象とし、建設材料としての工学的性質(加水時の混合性、締め固め特性、強度変形特性)に及ぼす諸要因について検討した。

2. 使用材料と検討項目：本研究では構成鉱物は異なるが、粒度のほぼ等しい3種類の礫質土(以下、Gravel1, 2, 3と呼称)を用いた(図-1)。Gravel1は硬質砂岩(堆積岩)の粒度調整砕石であり、擁壁の裏込材等で使用されている。Gravel2は安山岩(火成岩)を母岩とする粒度調整砕石であり、道路路盤にも用いられている。現状ではこれらは粒度が等しいために同様な工学的性質を有していると思われ、 ϕ も同一の値が設定される¹⁾。しかし、既往の研究結果²⁾によれば、Gravel1と2は同様な密度状態であっても強度変形特性は一致せず、さらには施工過程での土の混合性や転圧締め固め特性も大きく異なることが明らかとなっている。Gravel1および2は細粒分含有率 F_c および礫分粒子のマクロ的な形状に大差がないため、このような礫質土の工学的性質の不一致は細粒分の塑性指数 I_p ²⁾と土粒子表面の粗度の差異に起因していると推察される。そこで、本研究ではGravel1の細粒分を非塑性の石英(I_p はNP)に置換したGravel3を作成して以降に示す種々の室内実験を行い、得られた結果とGravel1および2の特性²⁾と比較することによって礫質土の工学的性質に及ぼす要因について検討した。土の様々な工学的性質のうち、本研究ではa)加水時の混合性、b)締め固め特性、c)締め固めた状態での強度変形特性に注目した。a)およびb)は施工性に、c)は構築した土構造物の安定性に強く関係する。

3. 実験結果および考察：a)加水時の混合性に関して、 I_p はGravel1で24.3($w_L=48.5\%$, $w_p=24.2\%$)であるのに対し、Gravel2では10.0(31.0%, 21.0%)と大きく異なる。 I_p の大きなGravel1は加水時での土の塑性挙動が強く、材料全体の含水状態を均一に混合するには手間を有した。一方、 I_p の小さなGravel2では加水混合は容易であったが、礫質土全体の保水性が低いために時間経過に伴って間隙水は流出しやすかった。Gravel1の細粒分を非塑性の石英に置換したGravel3では、質量比で96.5%の土粒子がGravel1と同じであるにも関わらず、加水時の混合性は大きく変化してGravel2の傾向に近づいた。すなわち、含水比調整に伴う土の混合性は、その細粒分の I_p と強い相関があることが確認された。

b)締め固め特性に関して、盛土等の土構造物の構築に際しては所定の含水状態を保持するとともに、締め固め度 D_c が規定値以上であることを確認する施工管理方法が採用されている。 D_c は「現場で実現した ρ_d 」を「基準エネルギー E_c での最大乾燥密度($\rho_{d,max}$)」で正規化した値の百分率値で表され、現状では $D_c \geq 90\%$ とする施工条件が多い。 $(\rho_{d,max})$ は「突き固めによる土の締め固め試験(JIS A 1210)」、(以下、突き固め試験)により求められる。そこで、本研究では「突き固め試験」と、現場での重機による締め固めを模擬した「剛なローラーによる転圧締め固め試験」の2種類を実施した。図-2に突き固め試験結果を示す。

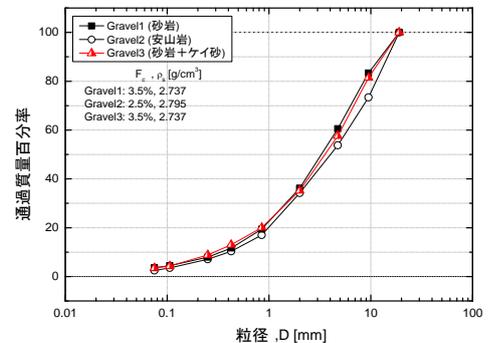


図-1 使用材料の粒度分布

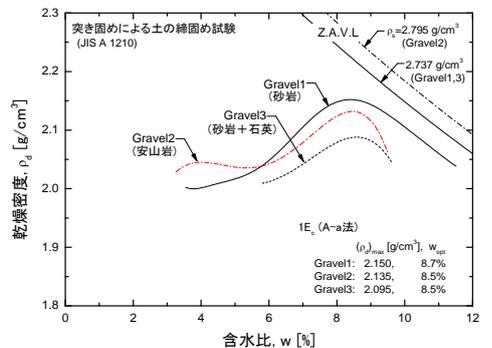


図-2 突き固めによる土の締め固め試験結果

キーワード 礫質土、締め固め特性、強度変形特性、塑性指数

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

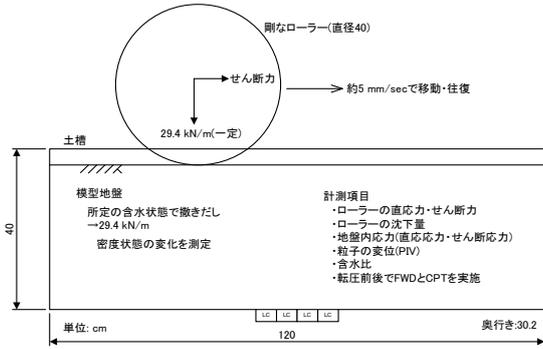


図-3 室内転圧試験の概要

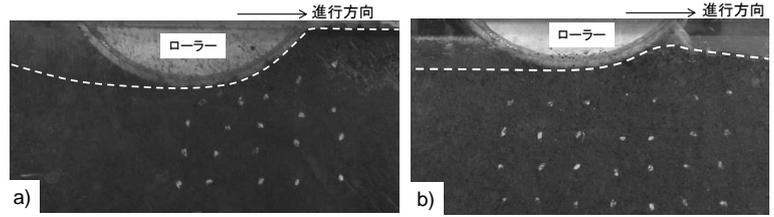


図-4 転圧時でのローラーの貫入状況 (w_{opt} 付近); a)Gravel1, b)Gravel3

図-2 より、粒度が等しい砕石であっても締固め曲線や(ρ_d)_{max} 値は大きく異なる事が分かる。また、転圧試験(図-3)結果の一例として、Gravel1 と Gravel3 でのローラーの貫入状況を図-4 に示す。転圧試験は所定の含水状態に加水混合した後に土槽内に撒きだし、剛なローラーによって鉛直荷重29.4 kN/mの輪荷重を最大8回与えた。Gravel1 は撒きだし時での ρ_d 値は低く、転圧時ではローラーが地盤に大きく貫入したために1回しか輪荷重を与えられなかった(図-4a)。過度なローラー貫入が生じる場合、薄層撒きだし～転圧締固めを行う必要がある。一方、Gravel3 では撒きだし時での ρ_d 値は増加し、転圧時でも過度なローラー貫入も生じずに良好に締固めができた(図-4b)。転圧に伴う ρ_d ～地盤の硬さの関係の変化をまとめた結果を図-5 に示す。地盤の硬さは単管式CPTの先端抵抗 q_c の深さ方向勾配 dq_c/dz として求めた。Gravel3の転圧締固め特性はGravel1から大きく改善されている。図-2, 4～5より、礫質土の締固め特性は、混合性と同様に、細粒分の I_p に強く依存することが確認された。すなわち、良好な混合性および締め固め特性は施工のしやすさに直結するため、使用する土のこのような特性は施工前に予め把握しておくことが望ましいと言える。

c)締め固めた礫質土の強度変形特性は、三軸圧縮試験により検討した。三軸試験は転圧試験(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。各礫質土の強度変形特性の例として $D_c \cong 95\%$ における主応力比 $R (= \sigma_1 / \sigma_3, \sigma_3 = 40 \text{ kPa})$ ～軸ひずみ ϵ_a ～体積ひずみ ϵ_{vol} 関係を図-6 に示す。また、最大主応力比 $R_{max} \sim D_c$ 関係を図-7 に示す。粒度がほぼ等しくても締め固めた礫質土の強度変形特性は大きく異なる。砂礫粒子が同じGravel1 と3を比較すると、細粒分の I_p の減少は強度と体積膨張挙動の増加につながる。その一方、礫分の粒子形状や加水時混合性に大差がなかったGravel2 と3の差は、母岩の違いによる粒子の表面粗度の差異に起因しているものと考えられる。これに対しては更なる検討が必要である。

4. まとめ: 礫質土の工学的性質に与える要因に関して、粒度の等しい3種類の礫質土に対して実験的に検討した。その結果、加水混合性、締固め特性、強度変形特性は粒度だけでは定まらないことを確認した。良好な施工性と土構造物の安定性を保持するためには、細粒分の I_p 等の特性を把握しておくことが望ましいと考えられる。

参考文献: 1)例えば、道路土工—盛土工指針(平成22年度版), 丸善, 2011. 2)南弘毅ら, 締固めが礫質土の強度変形特性に及ぼす影響, 土木学会関東支部技術研究発表会, 2013.

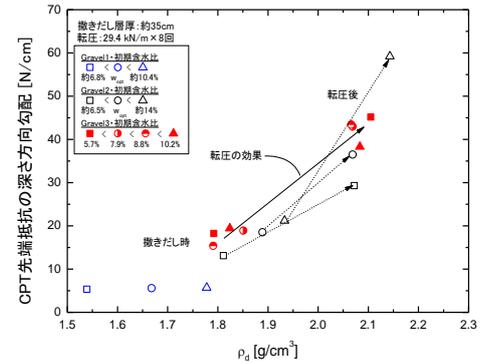


図-5 転圧前後での ρ_d ～地盤の硬さの関係

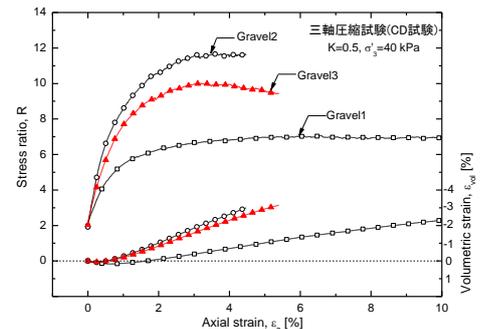


図-6 $R \sim \epsilon_a \sim \epsilon_{vol}$ 関係 ($D_c \cong 95\%$)

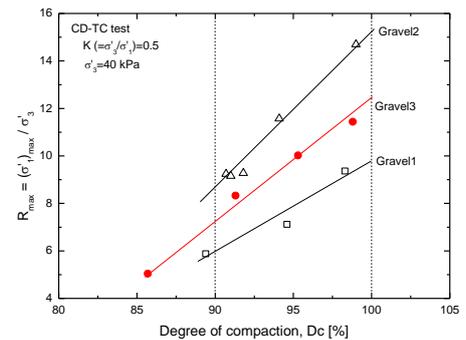


図-7 最大主応力比～ D_c 関係