

締固めが礫質土の強度変形特性に及ぼす影響

防衛大学校 学生会員 ○南 弘毅  
 防衛大学校 正会員 平川 大貴, 宮田 喜壽

**1. はじめに:** 安定計算に用いる設計用値は, 現状では粒度区分で画一的に規定される場合が多い<sup>1)</sup>. また, 土構造物の構築には, 要求性能を満足できるような土の締固めが必要となる. 情報化施工の技術革新が進む一方, 施工の容易さや締め固めた土の安定性といった材料に起因する状態・力学的物性への理解の促進が求められる. 本研究では粒度がほぼ等しい 2 種類の礫質土を用いて様々な室内試験を実施し, 締固め特性と強度変形特性の相違を調べた.

**2. 使用材料と基本な状態パラメータ:** 本研究では 2 種類の礫質土を用いた. 共に碎石で原粒度は粒径 19.0 mm 以上の礫分を含んでいるが, 以降に示す突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210: モールド内径 100 mm) や供試体寸法  $\phi 100 \times$  高さ 200 mm の三軸圧縮試験を実施するにあたって, 最大粒径  $D_{max}=19.0$  mm のせん頭粒度として用いた. 原粒度では異なる粒度であるが, せん頭粒度調整後ではほぼ等しい粒度となった (図-1). 図-1 中には細粒分含有率  $F_c$  および土粒子密度  $\rho_s$  もあわせて示した. 両者は  $F_c$  と  $\rho_s$  にも大差はない. また, 突固めによる土の締固め試験 (A-a 法, 図-2) を実施したところ,  $(\rho_d)_{max}$  および  $w_{opt}$  もほぼ一致していた. 以下, それぞれの礫質土を識別するために Gravel1, Gravel 2 と呼称する.

一般的に, 土工において施工時に把握されている材料物性は, 土粒子の密度, 粒度および室内突固め試験 (JIS A 1210) から得られた  $(\rho_d)_{max}$  と  $w_{opt}$  であると考えられる. Gravel1, 2 では上記の材料物性に大差がないため, 実務では同一の特性を持つ材料と見なされるものと推測される. しかし, 上記の室内土質試験を実施する際には, 下記に示す特徴の差異が確認された;

- a) Gravel1 よりも Gravel2 の方が土粒子は鋭利で角張っている.
- b) 加水・混合に対しては Gravel1 よりも Gravel2 の方が良好であったが, 保水性は Gravel1 の方が高かった. 細粒分を取り出して塑性指数  $IP$  を調べたところ, Gravel1 は  $IP=24.3\%$  ( $w_L=48.5\%$ ,  $w_p=24.2\%$ ) であったのに対し, Gravel2 では  $IP=10.0\%$  ( $w_L=31.0\%$ ,  $w_p=21.0\%$ ) と大きく異なっていた. Gravel1 は加水すると塑性体の挙動が強く, 含水状態を均一にするために入念な攪拌が必要であった. 一方, Gravel2 は細粒分の塑性が弱いために攪拌・混合は容易であるが, 含水比  $w$  の増加に伴って間隙水が下方に流れ出してしまっ含水状態が均一にならない傾向が強かった.

上記 a)~b) の特徴は転圧締固め, さらに締固め後の土の強度変形特性に大きく影響を与えるものと考えられる. 本報では剛なローラーによる室内転圧試験と三軸圧縮試験を実施した結果を踏まえ, これら礫質土の転圧締固め特性と強度変形特性について考察する.

**3. 転圧締固め特性と強度変形特性:** 現場での転圧締固めを想定して, 剛なローラーによる室内転圧試験 (図-3) を実施した. 転圧試験は所定の含水状態に試料調整して土槽内に投入後, ローラー鉛直荷重 29.4 kN/m (線荷重換算) を与えた. 初期地盤高さは約 35 cm である. 転圧前の密度状態は礫質土および含水状態によって異

キーワード 礫質土, 締固め特性, 強度変形特性

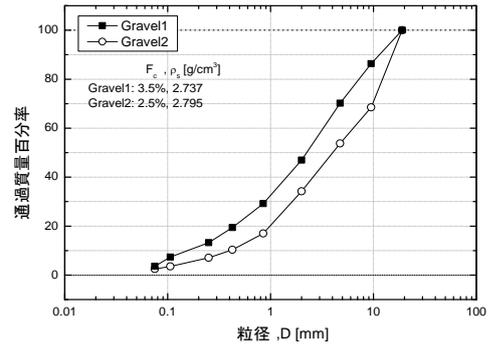


図-1 使用した礫質土の粒度 (19.0mm でのせん頭粒度に調整後)

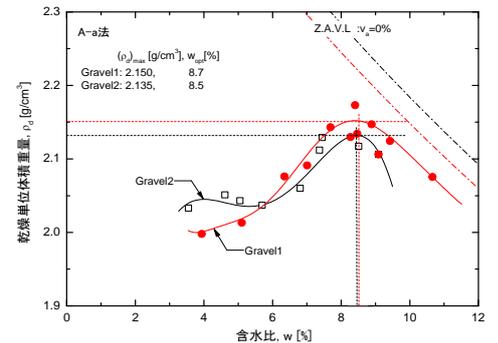


図-2 突固めによる土の締固め試験結果

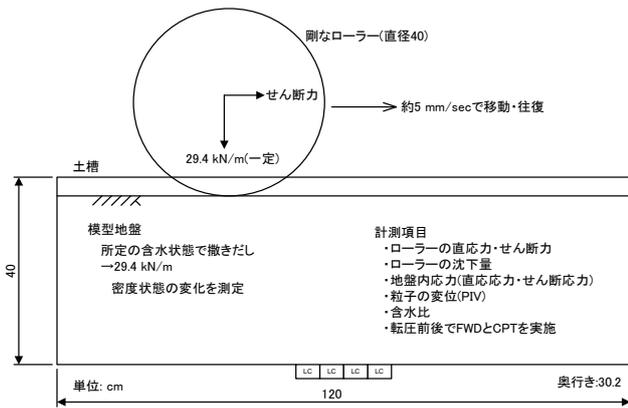


図-3 室内転圧試験の概要

表-1 室内転圧試験の条件と結果

Gravel1		Gravel2	
29.4kN/mx1回		29.4kN/mx8回	
$w=6.8\% (<w_{opt})$	$\rho_d=1.539 \rightarrow 2.014 \text{ g/cm}^3$ ( $D_c=71.6\%$ ) (93.7%)	$w=6.5\% (<w_{opt})$	$\rho_d=1.829 \rightarrow 2.093 \text{ g/cm}^3$ ( $D_c=85.7\%$ ) (98.0%)
$w=8.6\% (=w_{opt})$	$\rho_d=1.668 \rightarrow 2.157 \text{ g/cm}^3$ ( $D_c=77.6\%$ ) (100.3%)	$w=8.0\% (=w_{opt})$	$\rho_d=1.907 \rightarrow 2.086 \text{ g/cm}^3$ ( $D_c=89.3\%$ ) (97.7%)
$w=10.4\% (>w_{opt})$	$\rho_d=1.778 \rightarrow 2.074 \text{ g/cm}^3$ ( $D_c=82.7\%$ ) (96.5%)	$w=14.0\% (>w_{opt})$	$\rho_d=1.952 \rightarrow 2.164 \text{ g/cm}^3$ ( $D_c=91.4\%$ ) (101.4%)

なる。転圧試験の実験条件と結果を表-1 にまとめる。両礫質土ともに、初期含水比  $w$  の増加に伴って撒きだし状態での  $\rho_d$  が増加するという傾向は共通していた。しかし、保水性の低い Gravel2 は撒きだし時で  $D_c=90\%$ 程度と締固め管理基準値に近い密度状態になるのに対し、保水性の高い Gravel1 では非常にゆるい密度状態であった。これは前述 b) に示した材料の塑性特性が強く反映された結果であると考えられる。29.4 kN/m の転圧荷重を加えると、Gravel1 では撒きだし時での密度状態が低いため、ローラーが地盤に貫入してしまって転圧は 1 回しかできなかった。一方、Gravel2 では含水状態に関係なく、転圧時に地盤へのローラーの貫入は顕著に生じなかった。Gravel2 では、突固め試験によって得られた  $w_{opt}$  を大きく超える含水比を与えても保水性能を超える間隙水は下方に流れ出し、8 回転圧を加えても安定的に転圧できた。粒度がほぼ等しい礫質土でも、転圧締固め特性は大きく異なった。

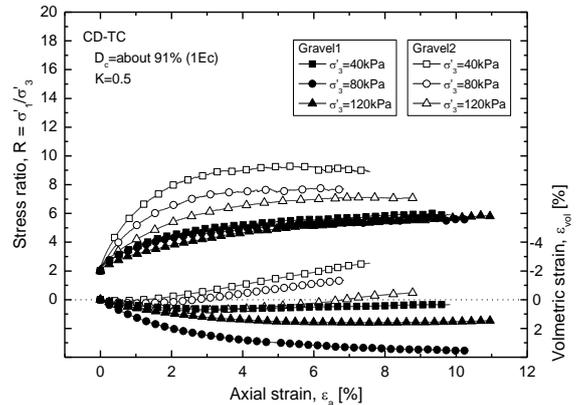


図-4 三軸圧縮試験結果、主応力比～軸ひずみ～体積ひずみ関係

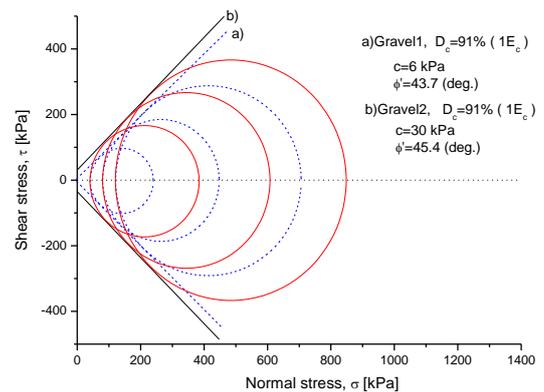


図-5 強度パラメータの算出結果

三軸圧縮試験は、転圧試験(図-3)の応力状態を考慮して  $K=0.5$  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・排水条件を採用した。代表的な締固め管理基準<sup>1)</sup>である  $1E_c-D_c=90\%$  を考慮し、 $w$ =約 7% ( $<w_{opt}$ )、 $D_c$ =約 91% の密度状態で突き固めて作成した供試体を用いた。有効拘束圧  $\sigma_3$  は 40, 80, 120 kPa (一定) での強度変形特性と強度パラメータ ( $c, \phi$ ) を算出した。図-4 に主応力比  $R (= \sigma_1 / \sigma_3) \sim$  軸ひずみ  $\epsilon_a \sim$  体積ひずみ  $\epsilon_{vol}$  関係を、図-5 に応力の Mohr 円を示す。図-5～6 より、粒度がほぼ等しく、密度状態が同様の礫質土であっても強度変形特性は大きく異なることが分かる。Gravel2 の方がせん断に伴う体積膨張性が大きく、ひずみ硬化時での剛性も高い。強度パラメータ ( $c, \phi$ ) は Gravel1=(6 kPa, 43.7°) に対して Gravel2=(30 kPa, 45.4°) であった。このような差異は、前述の a) の影響が強いと考えられる。

**4. まとめ：** 粒度と突固めによって得られた  $(\rho_d)_{max}$  および  $w_{opt}$  がほぼ等しい礫質土に対して、転圧締固め特性と変形強度特性の差異を調べた。この結果、粒子形状や細粒分の塑性指数によって転圧締固め特性や強度変形特性は大きく異なった。設計や施工の高度化に向けて、粒度だけでなく使用盛土材の特性を考慮することが重要であると考えられる。

謝辞：渡辺健治氏(鉄道総合技術研究所)に一部の礫質土をご提供頂いた。ここに明記し、謝意を表す。

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。