

(25) 砂質マトリックスを有する礫混じり軟岩の強度特性

埼玉大学	正会員	吉中龍之進
東電設計	正会員	○ 小林 隆志
埼玉大学	正会員	長田 昌彦
埼玉大学		榊原 正文

Strength Properties of Gravelly Soft Rocks Supported by Sand Matrix

Ryunoshin YOSHINAKA,	Saitama University
Takashi KOBAYASHI,	Tokyo Electric Power Service Co., Ltd.
Masahiko OSADA,	Saitama University
Masabumi SAKAKIBARA,	Saitama University

Abstract

This paper describes the effect of gravel contents on strength properties of gravelly rocks. Specimens are prepared artificially using marble for hard gravel and sand for matrix. From uniaxial/triaxial compression tests, the following results are obtained; 1) strength relation shows the nonlinearity, which can be well expressed by power function, 2) residual strength is little effect of gravel, 3) strength of gravelly rocks is smaller than matrix strength in low stress induced strain softening. Hence, strength properties can be inferred by relation between peak strength criterion line of matrix and residual strength criterion line and gravel contents.

1. まえがき

礫を含む地盤／岩盤は、凝灰角礫岩を代表とする火山砕屑岩類の主要な構成岩であり各地に分布している。我国ではこれらを対象とする土木構造物が数多く建設され、今後の建設においてもしばしば基礎地盤として利用が予想される。

礫の大きさは数 mm の細礫から数 m の巨礫に及んでいる。これら礫混じり軟岩の力学的性質を求める場合、礫径が数 cm 以下であれば、原位置試験、あるいは室内試験により均質岩盤と同様の取扱いが可能であるが、礫径が数 m 以上となると力学試験を実施することはほとんど不可能である。また、礫とマトリックスの硬さに大きな違いのある礫混じり軟岩は、礫径が小さい場合でも不攪乱試料の採取が難しい場合が多いことから、礫を含むことによる岩盤物性への影響は未だ知られていない。

筆者らは、マトリックスがシルト質、礫には大理石と凝灰岩による人工供試体から室内実験を行ない、礫混じり軟岩の力学的性質について検討している¹⁾。その結果、シルト質礫混じり軟岩は、べき関数強度基準でよく表わすことができ、マトリックスと礫の強度比の違い及び含礫率によって基準式に含まれる各係数が変化することを示した。そこで筆者らは、シルトと同様に礫混じり軟岩の代表的なマトリックスである砂の場合についても人工礫混じり軟岩を用いて、マトリックスが異なった場合の力学的性質をつきとめるため実験的研究を行なった。本論文は、特に強度特性について述べたものである。

2. 実験の概要

(1) 人工供試体の作成

供試体は、弱いセメンテーションをもつマトリックスに礫を混入させた人工の礫混じり軟岩である。マトリックスは、利根川産の砂にカオリンを混ぜて、図-1に示す粒度組成とし、結合材として少量の普通ポルトランドセメントを加えて作成した。マトリックスの配合表を表-1に示す。礫は亜円礫の形状を示す径20mm以下の大理石を用いた。

供試体は、これら材料を混ぜ合わせた後、後述する圧縮特性試験と同様な方法により圧縮応力20 kgf/cm²まで締め固めて作成した。供試体の大きさは、直径10cm、高さ20cmである。礫の混入割合は、体積比で0%、20%、40%、60%を用意した。マトリックス及び礫の基本的物性を、表-2に示す。なお、マトリックスの性質は、圧縮特性試験に述べるとおり礫の混入によりマトリックスの乾燥密度が異なるためマトリックスのみの供試体の性質を示した。

(2) 試験項目及び試験条件

主な試験項目及び試験条件は表-3に示すとおりである。静的三軸圧縮試験は、圧密排水条件(CD)で行ない、供試体の体積変化は二重管式セルにより内管の液体変化量で測定した。

表-1 マトリックスの配合 (重量比)

水(W)	セメント(C)	砂	カオリン	W/C
2.00	1.00	16.00	1.00	2.00

表-2 材料の基本的性質

	マトリックス	礫
乾燥密度 (gf/cm ³)	1.624	2.730
間隙比	0.638	0.001
含水比 (%)	9.88	0.054
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	16	577
静的弾性係数 (kgf/cm ²)	4700	200000

表-3 試験項目および条件

項目	試験条件
圧縮特性試験	マトリックス 3種類 (粗粒砂, 細粒砂, シルト) 含礫率 (0,10,20,30,40,50,60 %) 圧縮応力 0 ~ 250 kgf/cm ²
静的三軸圧縮試験	圧密排水, ひずみ制御 ひずみ速度 0.05%/min 拘束圧 1,5,10,20,35kgf/cm ² 最大軸ひずみ 8% を目標
一軸圧縮試験	ひずみ速度 0.03 %/min
圧裂試験	ひずみ速度 0.03 %/min
超音波速度試験	P波速度, S波速度

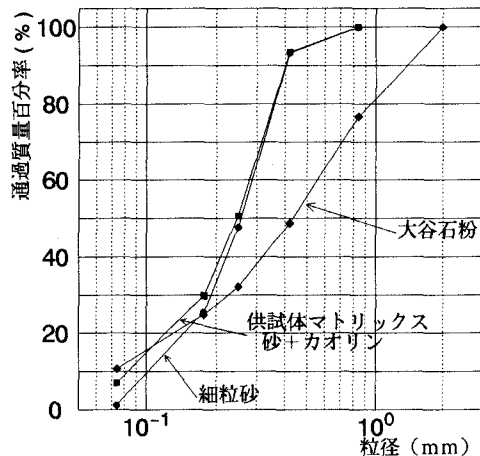


図-1 粒度分布

3. 試験結果および考察

(1) 圧縮特性

圧縮特性試験は、金属性モールドの中で礫、マトリックスを混合した試料を、上方より载荷する側方完全拘束一軸圧縮試験である。マトリックスは図-1に示すとおり、大谷石粉（以下、シルト）と、砂質の2種類の粒度分布を示すものについて実施した。マトリックスの乾燥密度は、試験終了後の観察より、含まれる礫が破碎していなかったことから、圧縮応力の増加に伴う供試体の体積変化は、マトリックスの体積変化に等しいものとしてピストンの貫入量から算出した。

圧縮応力とマトリックスの乾燥密度の関係は図-2に示すとおりである。

図よりシルト、砂とも、圧縮応力の増加とともに、全体の乾燥密度及びマトリックス部の乾燥密度が増加する傾向を示している。しかし、同一圧縮応力状態で礫の混入による影響を見ると、供試体のマトリックス部の乾燥密度は、礫を含まない場合が最大であり、バラツキはあるものの含礫率の増大とともに小さくなる傾向を示している。これは、マトリックスの乾燥密度を同一とするためには、含礫率が増大するほど、大きな圧縮応力が必要となることを示している。また、マトリックスの粒度分布による差は、粒度分布の偏りが小さいシルト（均等係数7.3）の方が大きい砂（均等係数2.8）より、圧縮応力の増加による、マトリックスの乾燥密度の増大が大きく、圧縮特性に粒度分布が大きな影響を与えていることがわかる。

(2) 強度特性

図-3は、含礫率40%の礫混じり供試体とマトリックスのみの供試体の三軸圧縮試験結果を、平均有効応力（ $\sigma'_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ ）と最大せん断応力（ $\tau_m = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ ）で示した強度関係である。なお、ひずみ硬化を示す高い拘束圧領域での最大強度は、軸ひずみ8%の応力とした。これより、破壊包絡線の非線形性、及び含礫率による勾配の変化が認められる。また、礫を含む供試体のマトリックス部の乾燥密度は、含礫率の増加とともに低下し、礫を含まない場合よりマトリックス部の強度は低下しているにもかかわらず、高い応力状態では礫を含むことによって、最大せん断応力はマトリックスのみの供試体より高くなっているのが特徴である。

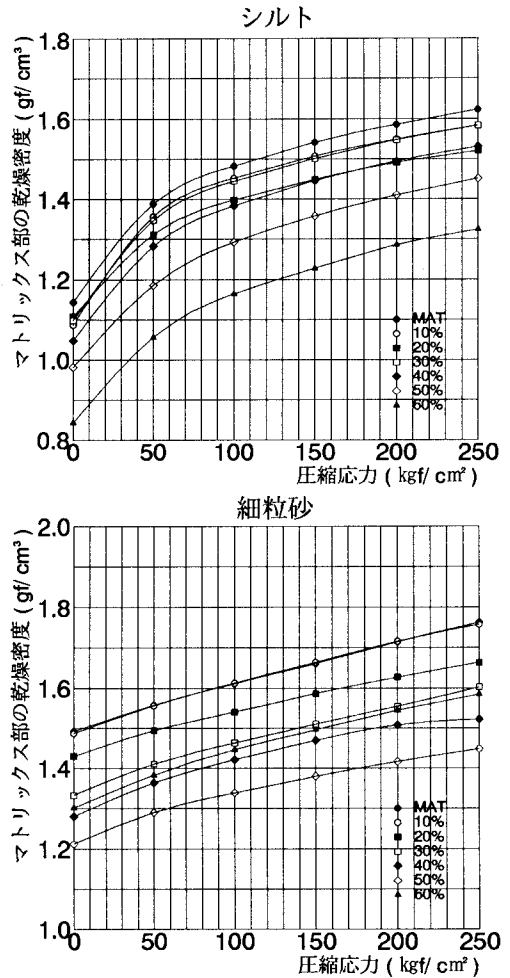


図-2 マトリックス部の乾燥密度と圧縮応力の関係

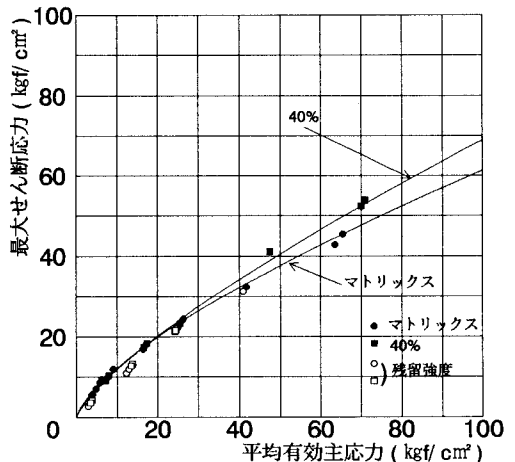


図-3 平均有効主応力と最大せん断応力の関係

図-4 (a) は、非線形性の強度関係を表現するため実験により得られた各含礫率の平均有効主応力と最大せん断応力を、両対数表示したものである。図-5 は、礫を含まない供試体の乾燥密度と最大強度の関係を拘束圧ごとに整理したものである。礫を含む供試体のマトリックスの乾燥密度は、含礫率によって異なることから、図-4 (a) は図-5 の太線に示す乾燥密度と一軸圧縮強度の関係から無次元化を行なったものであり、図-4 (b) は、同様にして残留強度の関係を示したものである。また、表-4 はべき関数型破壊基準による係数を示したものである。これらより、最大強度、残留強度ともに両対数表示でよく直線近似されており、べき関数型破壊基準²⁾が適用できることがわかる。また、含礫率の増加とともに α は小さく、 β は大きくなるなど含礫率により最大強度関係が変化すること、残留強度には礫の影響が少ないこと等が指摘される。マトリックスの性質による傾向として、強度線の勾配を表わす β は、砂の方がシルトに比べ含礫率の影響が小さい等が指摘される。これは、砂質のマトリックスの方がシルト質に比べ最大強度と残留強度の差が小さいことに起因しているものと考えられる。

表-4 べき関数強度破壊基準

含礫率	砂質		シルト質	
	α	β	α	β
0	1.018	0.695	1.004	0.273
20	1.007	0.726	0.849	0.528
40	1.007	0.774	0.821	0.647
60	0.881	0.859		

$$(\tau_m/\tau_o) = \alpha(\sigma_m/\sigma_o)^\beta$$

$$\tau_m = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$$

$$\sigma_m = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$$

$$\tau_o = q_u/2$$

$$\sigma_o = q_u/3$$

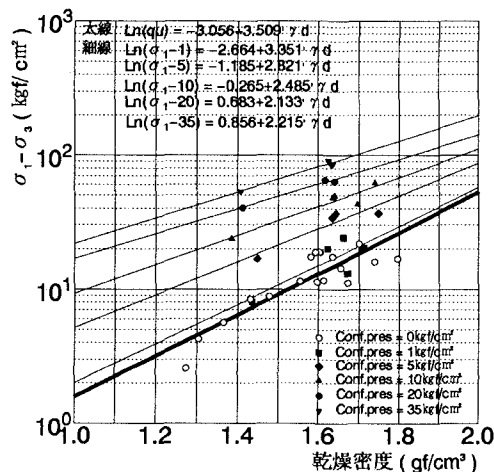
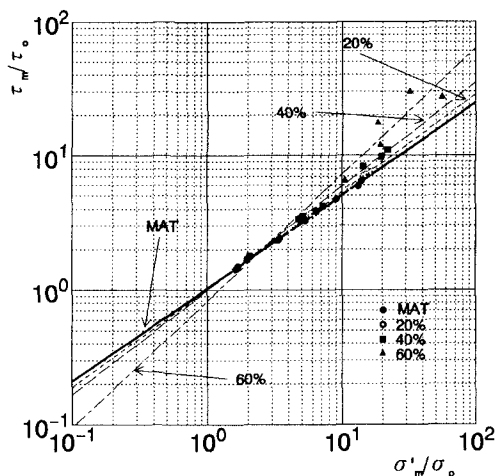
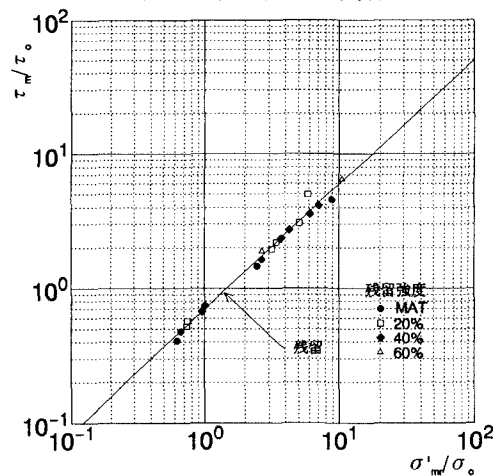


図-5 礫を含まない供試体の乾燥密度と拘束圧別最大強度の関係



(a)



(b)

図-4 べき関数強度関係 (砂)

図-6のシルト質マトリックスの結果から、ひずみ軟化を示す低い応力域の任意の含礫率の強度線は、マトリックスの最大強度線と残留強度線の間にあり、最大強度線と残留強度線との交点を通して、傾き β が変化するものと考えられる。図-7は、図-4(a)から得られる含礫率40%の最大強度線と残留強度線、および図-5から得られる40%供試体のマトリックスの乾燥密度に対応する各拘束圧ごとの推定最大強度から求めた β の値から推定したものである。これは、図-4から得られる40%の最大強度線と残留強度線、及び図-5から得られる β の値より求めた。

これより、低応力領域において、礫混じり軟岩の強度の方が、マトリックスのそれよりも小さくなる場合があり、シルト質と同様な傾向があることが指摘される。

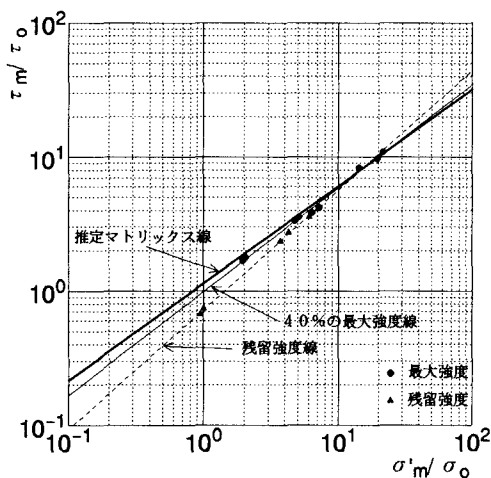


図-6 べき関数強度関係 (シルト)

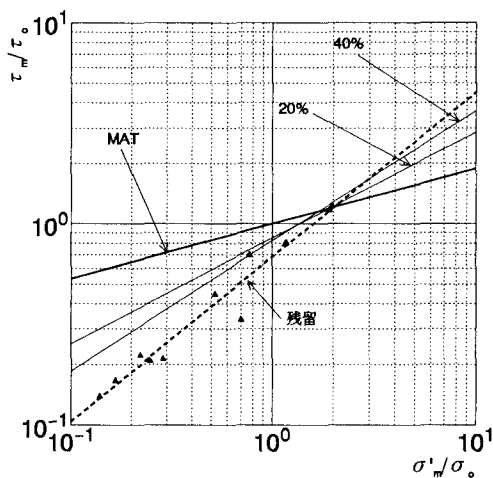


図-7 含礫率40%の供試体の最大強度線と残留強度線

4. 結論

本研究に用いた砂質マトリックスを有する礫混じり軟岩について次の結論を得た。

- (1) 最大強度の破壊包絡線は非線形を示し、べき関数型破壊基準が良く適合する。
- (2) 破壊基準式に含まれる各係数 α 、 β は、含礫率とともに変化する。
- (3) 残留強度には礫の影響は少ない。
- (4) ひずみ軟化傾向を示す低拘束圧領域では、礫混じり軟岩の強度がマトリックスの強度より低下する場合がある。
- (5) マトリックスの最大強度と残留強度のべき関数型破壊基準の係数 β に大きな差がない砂質マトリックスのほうが、シルト質マトリックスより礫を含むことによる強度への影響が小さい。

よって、砂質礫混じり軟岩においても、マトリックスの最大強度、残留強度と含礫率との関係から、強度特性を推定することが可能であると考えている。

参考文献

- 1) 吉中・小林・瀬戸：礫混じり軟岩の強度・変形特性，土木学会 第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，1992
- 2) R.Yoshinaka,T.Yamabe：Strength criterion of rocks, Soils and Foundation, Vol.20, NO.4, pp.114-126, 1980