

原位置岩盤試験 DB に基づく岩盤せん断試験から得られる粘着力とせん断抵抗角の分析

富樫 陽太^{1*}・谷 和夫²

¹横浜国立大学大学院 工学府 社会空間システム学専攻 (〒240-8051横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

²横浜国立大学大学院 工学研究院 (〒240-8051横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

*E-mail: d09gc109@ynu.ac.jp

2009年に地盤工学会から発行された原位置岩盤試験データベースの岩盤せん断試験のデータを用いて、各試験地点の粘着力 c とせん断抵抗角 ϕ をロックせん断試験とブロックせん断試験を区別して求め、岩盤分類区分ごとに統計量を求めた。その結果、次のことがわかった。硬岩において、ロックせん断試験もブロックせん断試験も、岩石の強さと不連続面の間隔による岩盤分類がより高位の区分にあるほど c 、 ϕ は大きな値を示すことがわかった。また軟岩において、ロックせん断試験もブロックせん断試験も、岩石の強さとマトリックスの強さによる岩盤分類がより高位の区分にあるほど、 c 、 ϕ は大きな値を示すが、礫の含有率には依存しないようである。

Key Words : rock, shear strength, friction angle, cohesion, rock shear test

1. はじめに

(1) 背景

原位置岩盤試験データベース（以後、DBとする）（地盤工学会，2009）は、平板載荷試験・プレッシャーメータ試験・岩盤せん断試験の結果の解釈や適用の参考となる情報を示すことを目的として、過去に行われた試験結果を集め、整理したものである。しかし、DBの岩盤せん断試験の結果の整理方法（以後、整理方法とする）には以下のような問題がある。それは、データを試験地点毎に区別せず、岩盤の工学的分類（JGS3811-2004）の各区分毎に、粘着力 c とせん断抵抗角 ϕ の統計量（平均値と標準偏差）を求めていることである。

図-1に岩盤せん断試験のデータ整理方法の概念を示す。これは、1つの岩盤分類の区分に属するデータについて、この研究で行った整理方法（以後、整理方法とする）と整理方法で得た強度定数（ c 、 ϕ ）の定義を表している。整理方法では、試験地点（site i 、 $i=1\sim 3$ ）毎に回帰直線（実線）を引いて得た c_i 、 ϕ_i の平均値を岩盤分類の各区分の代表値（ c 、 ϕ ）としている。一方、整理方法では、全データに対し回帰直線（一点破線）を引き代表値（ c 、 ϕ ）としている。岩盤せん断試験においては、想定せん断面と傾斜荷重のなす角 15° として行うため、図に示すように、直線 $\tau_f = \sigma_f \tan 75^\circ$ で示す「適用限界」より左上側の応力領域には荷重の応力経路（破線）が含まれない。そのため、整理方法では、岩盤分類の各区分に属する全データを区別せずに扱うために、破壊時の応力が荷重の応力経路に依存した分布となる特性が反映されてしまい、岩盤の力学特性だけを示すことにはならない。これは統計処理上の問題である。そこで、この問題を解決するために整理方法で分析することにした。図-1に示すように、整理方法では、試験地点毎にデータを区分するため、荷重の応力経路の影響を受けない。その結果、整理方法と比較すると、 $c > c$ 、 $\phi < \phi$ となる傾向がある。

また、DBせん断試験のデータを確認したところ、ロックせん断試験（以後、RSTとする）とブロックせん断

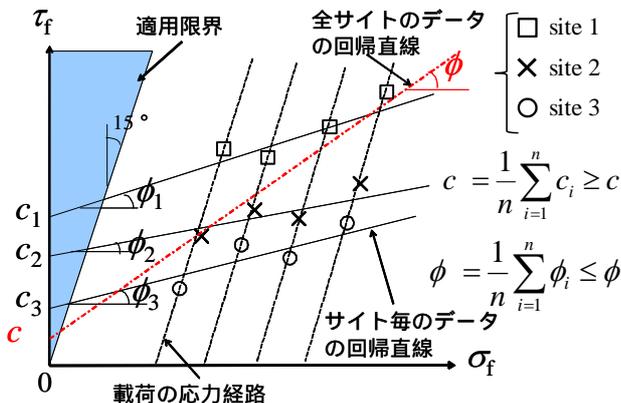


図-1 岩盤せん断試験のデータ整理法の概念図

表-1 岩盤分類毎の地点数とデータ数

ロックせん断試験(RST)							ブロックせん断試験(BST)						
大分類	中分類	地点数		試験個数			大分類	中分類	地点数		試験個数		
		小計	合計	小計	合計				小計	合計			
硬岩[H]	塊状{M}	50	54	61	238	260	硬岩[H]	塊状{M}	160	199	218	618	776
	葉状{F}	4			22			158					
軟岩[S]	塊状{M}	1	7	61	8	41	軟岩[S]	塊状{M}	9	19	218	38	86
	礫質{R}	6			33			48					
	互層{B}	0			0			0					

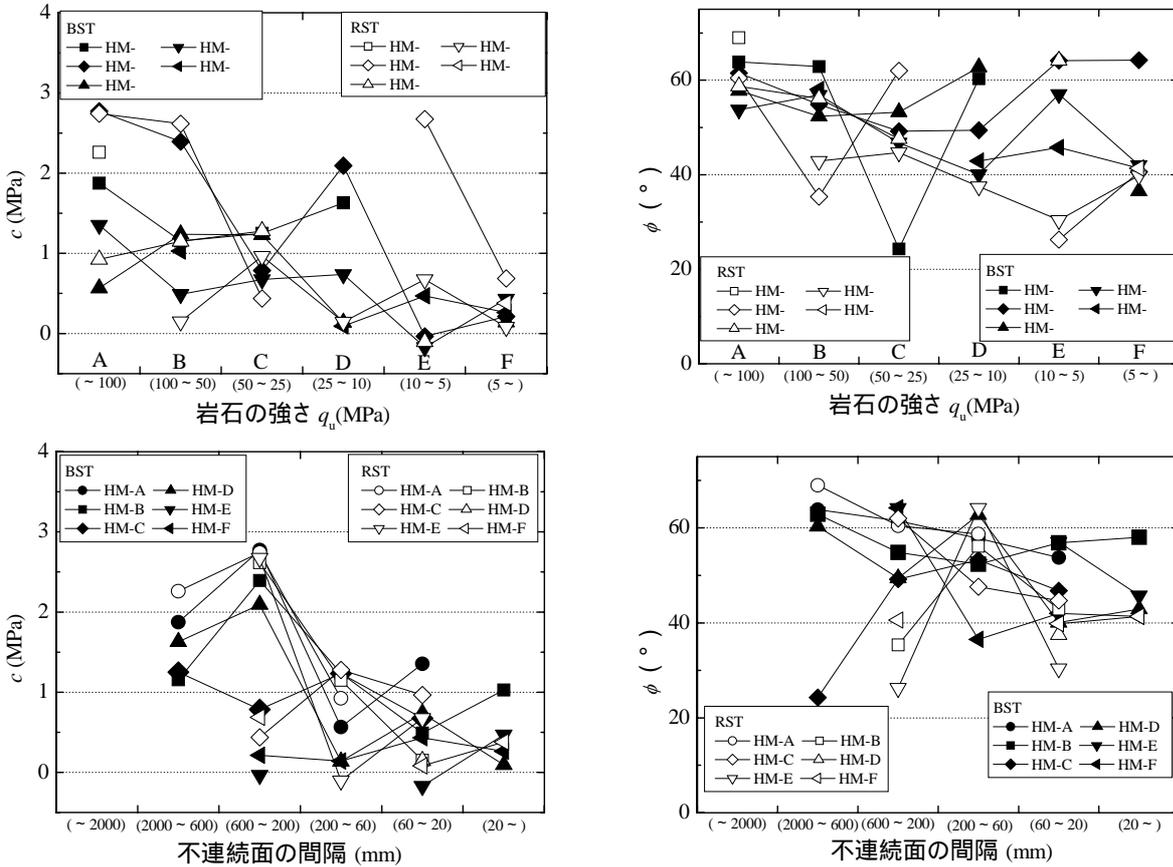


図-2 硬岩系塊状岩盤HMについての強度定数(c, ϕ)と岩盤分類(岩石の強さ, 不連続面の間隔)の関係

試験(以後, BSTとする)の二種類のデータがあった。RSTは岩盤を直接せん断する試験で, BSTはコンクリートブロックを岩盤表面に設置し, その境界面をせん断する試験である(土木学会, 2000)。両試験によって得られる結果は本質的に異なるため, 区別して整理する必要がある。

(2) 研究の目的

以下に示す2点を目的として, 原位置岩盤試験DBのデータを再整理して, 岩盤分類の各区分と試験地点毎に得られた強度定数(c, ϕ)の平均値を求めて分析した。

- ・RSTとBSTの強度定数(c, ϕ)相違を明らかにする。
- ・DBの整理(整理方法)結果と新たに行なった整理(整理方法)結果の関係を明らかにする。

2. 整理手法

(1) 再整理に用いたデータ

表-1に再整理に用いた岩盤分類の区分毎の地点数と試験個数を示す。岩盤試験方法の地盤工学会基準(JGS 3511-2004)²⁾では, 試験個数として1地点4個を標準としている。しかし, 試験個数が1つであるものや, 試験個数が2~4個でクーロンの破壊規準線の傾斜角であるせん断抵抗角 ϕ がマイナスになるものは, 以下の分析から除いた。

(2) 強度定数の求め方

RSTとBSTを区別し, 試験地点毎に破壊時にせん断面に作用するせん断応力 τ と直応力 σ_r の関係から最小二乗法でクーロンの破壊規準線を引いて, c, ϕ を求めた。そして, 対応する岩盤の工学的分類方法(JIS 3811-

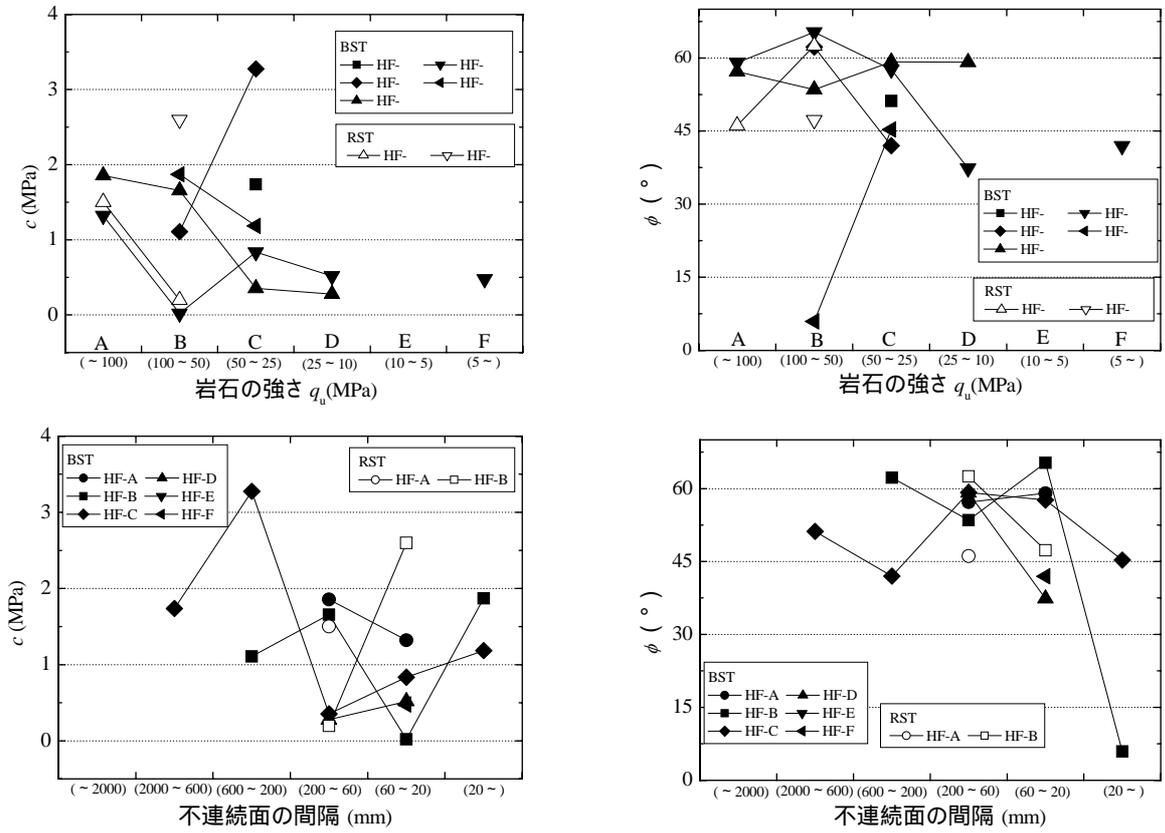


図-3 硬岩系葉状岩盤 HF についての強度定数 (c, ϕ) と岩盤分類 (岩石の強さ, 不連続面の間隔) の関係

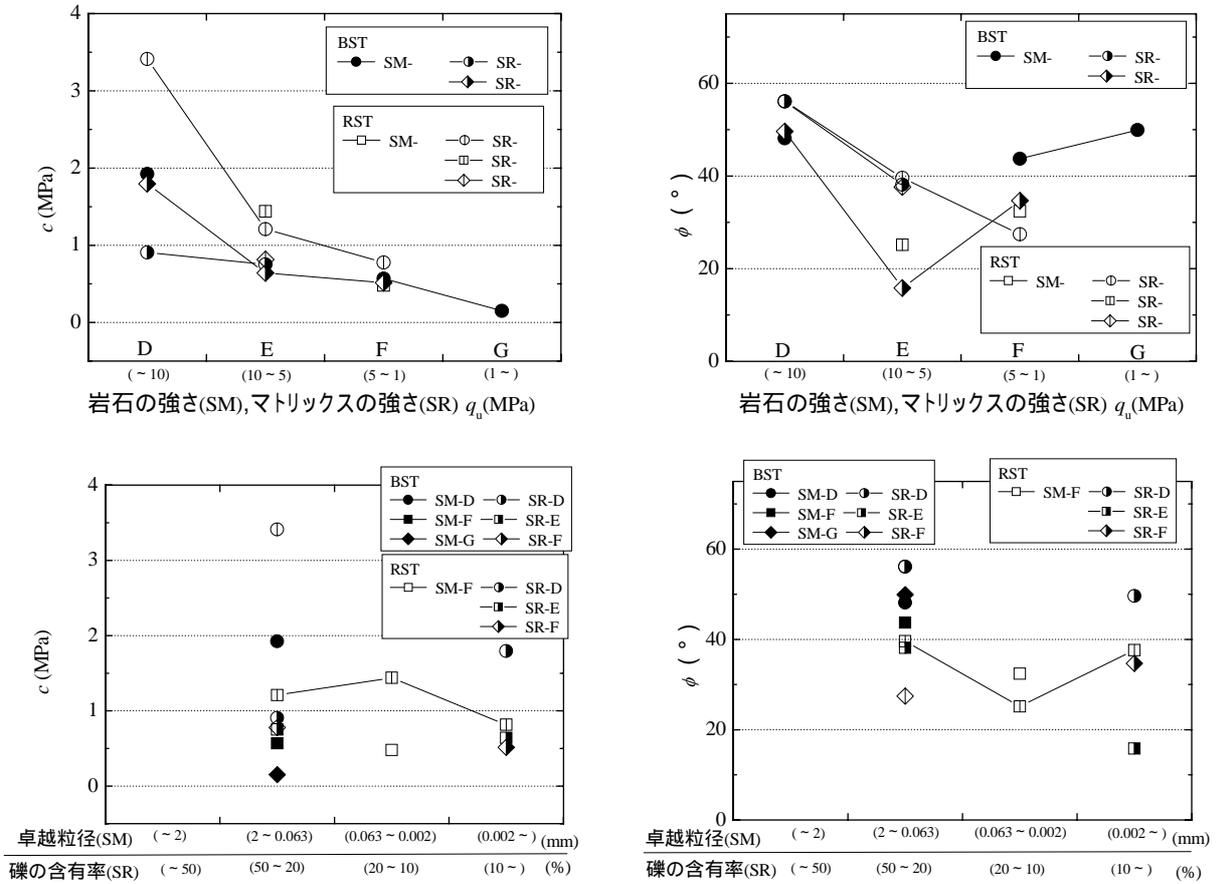


図-4 軟岩系塊状岩盤 SM, 礫質岩盤 SR についての強度定数 (c, ϕ) と岩盤分類 (岩石の強さ, マトリックスの強さ, 卓越粒径, 礫の含有率) の関係

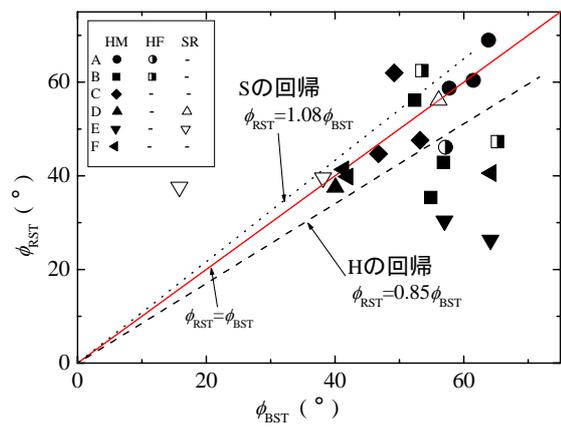
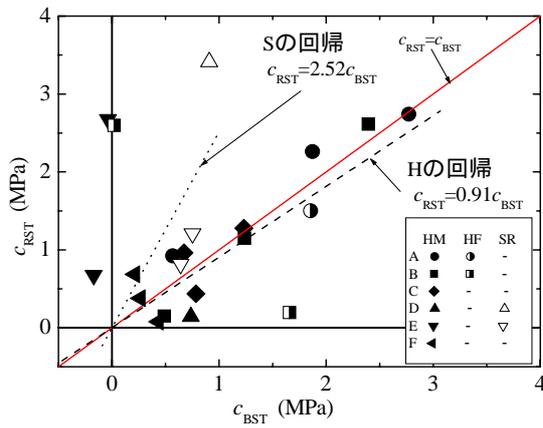


図-5 岩盤分類の小分類（岩石の強さ，マトリックスの強さ）毎のRSTとBSTの強度定数の平均値の関係

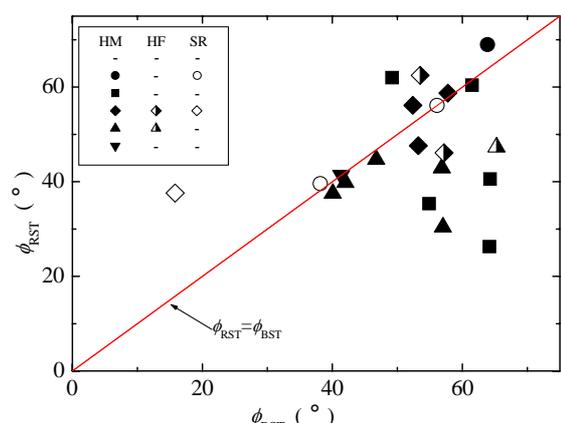
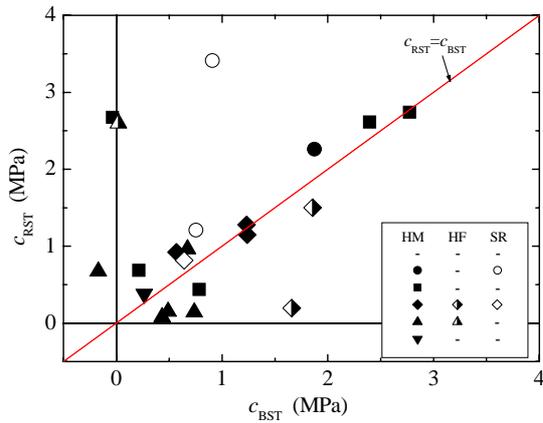


図-6 岩盤分類の小分類（不連続面の間隔，礫の含有率）毎のRSTとBSTの強度定数の平均値の関係

2004)の各区分毎に統計量(平均値)を算出した。

3. 再整理の結果

(1) 硬岩H

(a) 硬岩系塊状岩盤 HM

図-2に硬岩系塊状岩盤HMについての強度定数(c , ϕ)と岩盤分類の小分類(岩石の強さA~F, 不連続面の間隔 ~)の関係を示す。RSTでは $c = -0.1 \sim 2.7\text{MPa}$, $\phi = 26 \sim 69^\circ$, BSTでは $c = -0.2 \sim 2.8\text{MPa}$, $\phi = 24 \sim 64^\circ$ である。RSTもBSTも, 岩石の強さと不連続面の間隔による岩盤分類がより高位の区分にあるほど c , ϕ は大きな値を示している。

(b) 硬岩系葉状岩盤HF

図-3に硬岩系葉状岩盤HFについての強度定数(c , ϕ)と岩盤分類の小分類(岩石の強さA~F, 不連続面の間隔 ~)の関係を示す。RSTでは $c = 0.0 \sim 3.3\text{MPa}$, $\phi = 6 \sim 65^\circ$, BSTでは, $c = 0.2 \sim 2.6\text{MPa}$, $\phi = 46 \sim 63^\circ$ である。HFについても, RSTもBSTも, 岩石の強さと不連続面の間隔による岩盤分類がより高位の区分にあるほど c , ϕ

は大きな値を示している。

(c) 硬岩(HMとHF)の全体

硬岩Hについて, 小分類(岩石の強さ, 不連続面の間隔)がより高位であるほど強度定数(c , ϕ)が大きくなるという傾向は, c の方が ϕ よりも強い。また, この傾向は塊状Mの方が葉状Fよりも強い。

(2) 軟岩S

(a) 軟岩系塊状岩盤SM

図-4に軟岩系塊状岩盤SMについての強度定数(c , ϕ)と岩盤分類(岩石の強さD~G, 卓越粒径 ~)の関係を示す。 $c = 0.2 \sim 1.9\text{MPa}$, $\phi = 32 \sim 50^\circ$ である。なお, RSTのデータは1地点だけであるため検討はできなかった。BSTでは, 岩石の強さによる岩盤分類がより高位にあるほど c は大きな値を示している。しかし, 卓越粒径の影響はデータが少なくて分析できなかった。

(b) 軟岩系礫質岩盤SR

図-4に軟岩系礫質岩盤SRについての強度定数(c , ϕ)と岩盤分類(マトリックスの強さD~G, 礫の含有率 ~)の関係を示す。RSTでは, $c = 0.8 \sim 3.4\text{MPa}$, $\phi = 25.1$

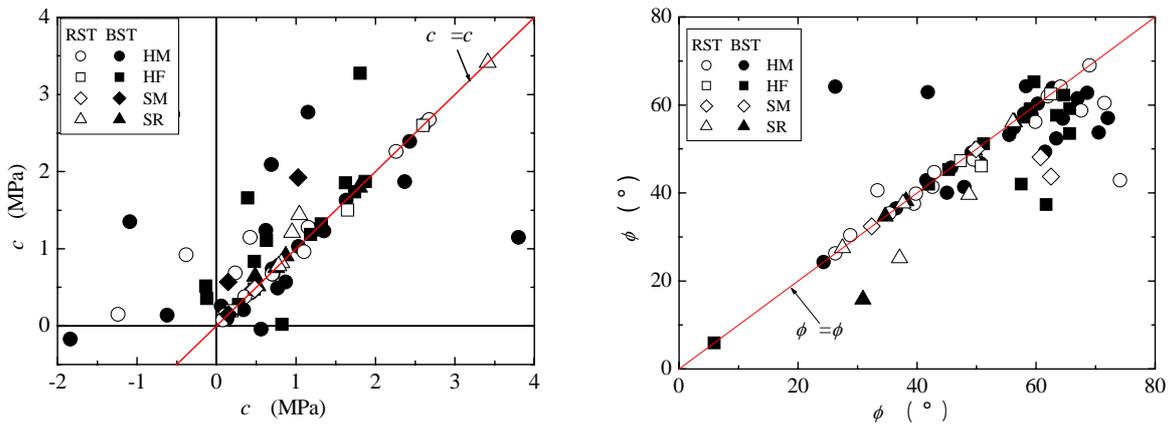


図-7 整理方法 で得た強度定数 (c, ϕ) と方法 で得た強度定数 (c, ϕ) の関係

~56.1°, BSTでは $c = 0.5 \sim 1.8 \text{MPa}$, $\phi = 16 \sim 56^\circ$ である。RSTもBSTも、マトリックスの強さによる岩盤分類がより高位の区分にあるほど c, ϕ は大きな値を示している。しかし、礫の含有率による分類は差異がないようである。

(c) 軟岩 (SMとSR) の全体

軟岩Sについて、小分類 (岩石の強さ, マトリックスの強さ) がより高位であるほど, 強度定数 (c, ϕ) が大きくなるという傾向は, c の方が ϕ よりも大きく見られた。

(3) RSTとBSTの強度定数の比較

図-5 に岩盤分類の小分類 (岩石の強さ, マトリックスの強さ) 毎のRSTとBSTの強度定数 (c, ϕ) の平均値を比較した。また図-6 に岩盤分類の小分類 (不連続面の間隔, 礫の含有率) 毎のRSTとBSTの強度定数 (c, ϕ) の平均値を比較した。図に示す値は, 同一の小分類内での全試験地点のRSTの平均値 (c_{RST}, ϕ_{RST}) に対するBSTの平均値 (c_{BST}, ϕ_{BST}) を表している。なお, SMは同一小分類区分で比較できるデータがなかった。硬岩Hに属する全データの回帰直線が $c_{RST}=0.91c_{BST}$ と $\phi_{RST}=0.85\phi_{BST}$ で, BSTによる強度定数 (c, ϕ) がRSTよりも約一割大きい。一方, 軟岩Sに属する全データの回帰曲線が $c_{RST}=2.52c_{BST}$ と $\phi_{RST}=1.08\phi_{BST}$ で逆の傾向を示す。ただし硬岩Hも軟岩Sも, RSTとBSTの c と ϕ の差は最大で2.5MPa, 30°もあり, ばらつきも大きいので, これらのデータは個々のデータを精査して分析する必要があるだろう。

(4) 整理方法 と の比較

図-7 に新たに分析した整理方法 で求めた c, ϕ と, JGSのDBに示された整理方法 で求めた c, ϕ の関係を示す。なお, 図に示す c, ϕ はRSTとBSTを区別した上で, 整理方法 で再算出した値である。 c については, c が c よりも大きな値を示すデータが多い。また

ϕ については, ϕ が ϕ より小さい値を示すデータが多い。整理方法 と整理方法 の c と ϕ の差は最大で1.5MPa, 25°である。想定していた, $c > c, \phi < \phi$ となる程度を把握することができた。

4. 結論

(社)地盤工学会の原位置岩盤試験DB (2008年度版) に基づいて, 岩盤せん断試験のデータを再整理した結果, 以下のことがわかった。

(1) c, ϕ の分布について

- ・硬岩Hにおいて, ロックせん断試験もブロックせん断試験も, 岩石の強さと不連続面の間隔による岩盤分類がより高位の区分にあるほど c, ϕ は大きな値を示す。その傾向は, 小分類の不連続面の間隔よりも岩石の強さ, 葉状よりも塊状, ϕ よりも c の方がやや強いことがわかった。
- ・軟岩Sにおいて, ロックせん断試験もブロックせん断試験も, 岩石の強さとマトリックスの強さによる岩盤分類がより高位の区分にあるほど c, ϕ は大きな値を示す。その傾向は ϕ よりも c の方がやや大きい, 礫の含有率には依存しないようである。

(2) ロックせん断試験とブロックせん断試験による強度定数の違い

- ・硬岩においては, ブロックせん断試験による強度定数がロックせん断試験による値よりも1割程度大きい。
- ・軟岩においては, 逆にブロックせん断試験よりもロックせん断試験の強度定数がやや大きい。
- ・両者による強度定数には, c については最大2.5MPa程度, ϕ については最大30°程度の差があり, ばらつきも大きいので, データの更なる分析が必要である。

(3) 試験地点毎に整理結果とDBの整理結果の比較

・ c については，再整理して得た c が，DBの整理方法で得られる c よりも大きな値を示すデータが多い．

・一方， ϕ については，再整理して得た ϕ がDBの整理方法で得られる ϕ よりも小さい値を示すデータが多い．

今後の課題としては，再整理して求めた強度定数でも，ばらつきがかなり大きい．各試験データについて，試験

体及び周辺岩盤の状況や試験体のせん断時の挙動について詳細に検討する必要がある．

参考文献

- 1) 地盤工学会：原位置岩盤試験データベース（2008年度版），地盤工学会，2009．
- 2) 土木学会：原位置岩盤試験法の指針，2000．

ANLYSIS OF COHESION AND FRICTION ANGLE OBTAINED BY ROCK SHEAR TEST BASED ON “IN-SITU ROCK TEST DATA BASE”

Yota TOGASHI and Kazuo TANI

The relationship between strength parameters obtained by rock shear tests and the rock mass classification was analysed based on “In-situ rock test data base” published by JGS. The result demonstrated that higher values of cohesions and friction angles were obtained for the higher-rated subgroups of the JGS’s rock mass classification system with respect to the rock strength and of discontinuity intervals for hard rock masses. Where as, a similar tendency is obtained with respect to the rock strengths and the matrix strengths for soft rock masses. But, strength parameter of soft rock masses do not seem to be dependent on the gravel content.