

岩盤の現地調査方法－(1)

(特にたい積岩におけるジョイントと岩石強度分布)

埼玉大学岩石工学研究室*

1 まえがき

従来ダムサイドでは岩盤強度の評価のために現地岩盤試験がおこなわれて来たが、その測点数は経費、時間的制約のため1地山に数点にとどまる場合が多い。地山全体の力学的性状を評価するためには、他の量的表現手段を開発する必要がある。本文はこのような見地からたい積岩盤のキレツと岩石強度分布の測定。表現方法を取りあげ若干の検討をおこなった。

なお現地調査は栃木県土木部河川課の御厚意により栃木県等川下流地点の岩盤についておこなうことができた。岩盤は第三紀中新世のたい積岩で一般走向はNS～N10°E、傾斜は80°～90°E Sである。

2 ジョイント分布調査

岩盤に発達する各種の不連続面にはジョイント、不規則な形の割れ目、大小の断層などがある。ここではこのうち、その発生が岩盤の形成過程に関連し、かつ分布も規則性に従うジョイント(節理)を検討する。

2-1 測定方法

岩盤露出面に任意の測線を設定し、その測線上に測点を出来るだけ多数点ランダムに配置する。各測定上でジョイントの測定を行う。測定は測点を中心とした直径1mの球体を想定し、その内部を切るジョイントを、ジョイント面の法線方向に間隔・分布・方向性(走向・傾斜)を測る。数方向のジョイント面があるときはそれぞれについてこれを行う。本文の適用例では測線長約150m(右岸、左岸各1本)、測点約150点、従つて測点の平均は2m間隔になるようなランダム分布させた。

2-2 結果の処理

ジョイントの測定結果を統計的に処理することを考える。従来構造地質学などにおいてウルフ網、シュミット網によるステレオ投影が行われて来たが、一般には定性的な識別に利用する領域を出なかつたようである。本地盤のような場合は各測定を岩相(砂岩、凝灰岩など)ごとに無理なくグループ分けできる。グループ分けした測定値をステレオネット上にプロットする。これによつてジョイント面の方向性が数グループ(ジョイントグループ)に分けられる。

2-2-1 ジョイント密度

ジョイントグループについて同一岩相毎の平均ジョイント間隔が計算され、ジョイント密度表わす。

$$\text{平均ジョイント間隔 } d_m = \left(\frac{\text{測点数} \times 100}{\text{ジョイント数}} \right) \text{ cm} \quad \text{適用例を表-1に示す。}$$

2-2-2 ジョイントの方向性およびバラツキの表示

a) ジョイントの方向性は各ジョイントグループがステレオネット上でどのような分布を示すかによつてその取扱いが異なる。①ウルフ網上である点を中心にほぼ等しい範囲に分布する場合は、ある確率分布(正規分布)のジョイントとして処理することによつて任意の信頼限界の平均方向、標準偏差などの係数が求まる。方法は図-1の網上に表現された各ジョイントを基本座標軸A, B, 0からの方向余弦

表 1 ジョイント密度表

左 岸							右 岸						
岩石名	ジョイントグループ	測点数	間 隔	方向のバラツキ			岩石名	ジョイントグループ	測点数	間 隔	方向のバラツキ		
			ジョイント数	d _m (cm)	面積D (%)	傾斜D (%)				ジョイント数	d _m (cm)	面積D (%)	傾斜D (%)
T ₆ (L3~L24)	G ₁	22	106	21	23.9	37.3	T ₅ (R2~R9)	G ₁	8	48	17	11.2	19.0
	G ₂	22	32	69	13.4			G ₂	8	38	21	7.8	
gT ₆ (L25~L41)	G ₁	17	18	94	12.8	31.4	SS (R10~R25)	G ₁	16	195	8	13.9	22.2
	G ₂	17	29	59	15.9			G ₂	16	50	32	8.3	
	G ₃	17	14	121	2.7		wT _f (R26~R41)	G ₁	16	269	6	12.5	26.1
SS (L42~L62)	G ₁	21	96	22	14.5	37.9	T ₆ (R42~R50)	G ₁	16	59	27	13.6	
	G ₂	21	120	18	17.1			G ₂	16	27	33	9.7	9.7
	G ₃	21	32	67	6.3		gT _f (R51~R61)	G ₁	11	51	22	12.0	
wT _f (L63~L67)	G ₁	5	62	8	5.1	18.2	T ₆ (R62~R67)	G ₁	11	36	31	10.0	22.0
	G ₂	5	15	33	5.4			G ₂	6	11	55	8.8	
	G ₃	5	7	71	7.7		gT _c (R68~R75)	G ₁	6	16	38	7.6	16.4
gT _f (L68~L81)	G ₁	14	151	9	11.0	33.1	T ₆ (R68~R75)	G ₁	8	28	39	12.2	
	G ₂	14	46	30	11.7			G ₂	8	26	31	10.9	
	G ₃	14	33	42	10.4			G ₃	8	19	42	2.7	

注 d_m: 平均ジョイント間隔

L: 左岸測点番号

D: 面積比 (%)

R: 右岸測点番号

SS: 砂岩

T_f: 白色細粒凝灰岩

TS: 凝灰質砂岩

wT_f: 白色細粒凝灰岩

gT_f: 緑色細粒凝灰岩

T₆: 角礫凝灰岩

gT_c: 緑色粗粒凝灰岩

* 埼玉大学理工学部建設基礎工学科

小野寺 渡, 吉中 庸之 進, 小田 匡 寛

* 埼玉大学理工学部建設基礎工科学科生

○ 納見 誠一, 森野 幸男, 森田 哲士, 鈴木 正

$\cos \alpha_i, \cos \beta_i, \cos \gamma_i$ で示す。 α, β, γ は普通 $0 \leq (\alpha, \beta) \leq \pi, 0 \leq \gamma \leq \frac{\pi}{2}$ にあるが例えば図-1のJのようにJと同一グループのものが投影の関係上反対の位置にあるときは、 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ にそれぞれ 180° 移行することによりJ側と同様に計算できる。このようにして求める標準平均ジョイント方向 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma}$ は

$$\bar{\alpha} = \cos^{-1} \left(\frac{\sum \cos \alpha_i}{\sqrt{\left\{ \sum \cos \alpha_i \right\}^2 + \left\{ \sum \cos \beta_i \right\}^2 + \left\{ \sum \cos \gamma_i \right\}^2}} \right)$$

以下 $\bar{\beta}, \bar{\gamma}$ について同様に計算。またバラツキを A, B, C 各軸からの標準偏差 S_a, S_b, S_r で示すと

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n}}$$

以下 S_b, S_r について同様。つぎに平均方向の任意の信頼限界 Δ は、各基本軸について t 分布を利用することにより次式から求まる。例えば A 軸についての Δ_a は

$$\bar{\alpha} - t(\phi, s) \frac{S_a}{\sqrt{n-1}} \leq \Delta_a \leq \bar{\alpha} + t(\phi, s) \frac{S_a}{\sqrt{n-1}}$$

ここに $\phi = n-1$ (自由度), $s =$ 自由度 ϕ のときの両側確率 s の t 分布の値。

②ジョイント分布がネット上の形にならずある方向をもつて分布する場合について考える。このような場合山口(1955~1957)の研究によると奇理等の分界面はステレオ網上で大円を(まれに小円)に回帰することが明らかにされている。この原理にたつと同帰円を求めることによって①と同様に処理することができる。すなわちまず①と同様に $\bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma}$ を求め、 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\gamma}$ を通る大円を求める。つぎに例えば図-1の J_2 分布の場合、その回帰大円と基円との交点 A', A' から大円上で 90° の B' 、大円の極 O' を断らたに直交座標軸とすることにより①と同様にバラツキが計算できる。

このようにして求めた適用例を図-2、表-2に示した。調査地域には断層があるが、その分布を図-2-1に併記した。これによってジョイントと断層の関係が明らかである。その他の整理方法として、ジョイントをシュミット網に投影して、この広がり度を定量的に把握する方法がある。すなわち広がり度(D)は

$$\text{広がり度}(D) = \frac{A}{\pi r^2} \times 100(\%)$$

r : シュミット網の半径

A : 0% コンター内の面積

面積の方法は B. K. McMahon (1969) にみられる。

3 岩石強度分布

岩盤を構成する個々の岩石の強度が岩盤全体の強度に影響を与えるであろうことは想像できる。岩盤全体についての岩石強度を明らかにするためには、簡単な試験方法が必要である。平松・岡・木山(1965)によつて開発された非整形試験片による点載荷試験法は上の目的にとつて利点が多い。ここでは本法の野外調査への適用性、および本法で測定される値(引張り強度 S_t)と整形試料による他の力学量との関係を検討する。試料は2-1で述べた各測点から最低2~3個の岩石片をハンマーでとつた。このようにして現地では約500個の試験を短期間に行うことができた。本地点岩盤の岩石強度値を採取地点ごとに地層直角方向に投影して図-4に示した。非整形試験片から求める引張り強度(S_t)と整形試料による力学量との相関を図-5、図-6に示す。図-5、図-6によつて非整形(S_t)と一軸圧縮強度 σ_c および軸載荷圧裂強度(S_t) σ_d との相関性が高いことがわかる。図-5とほぼ同様な関係は D' Andrea (1965) によつても求められている。 σ_c は従来から岩石の代表的強度としてとりあつかわれ、その力学常数との関係も数多く見出されている。またこの意味もあつて岩石分類のみならず岩盤分類のための基本的なインデックスとして利用されてきた。これらの目的のためにも本法は充分活用しうるものと考えられる。

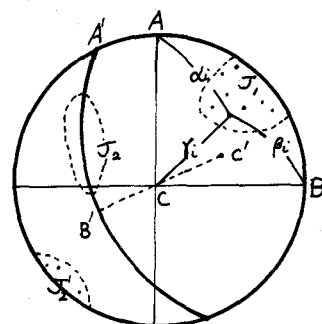


図1 ステレオ網

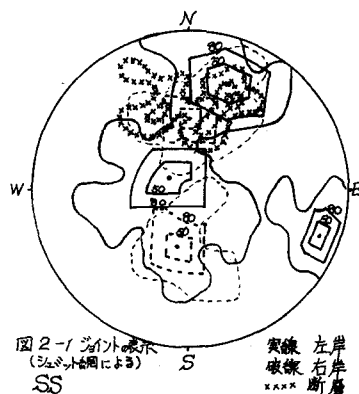


図2-1 ジョイント表示
(シュミット網による)

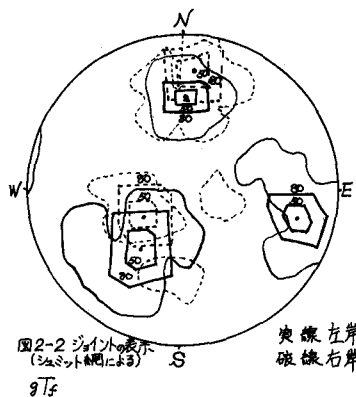
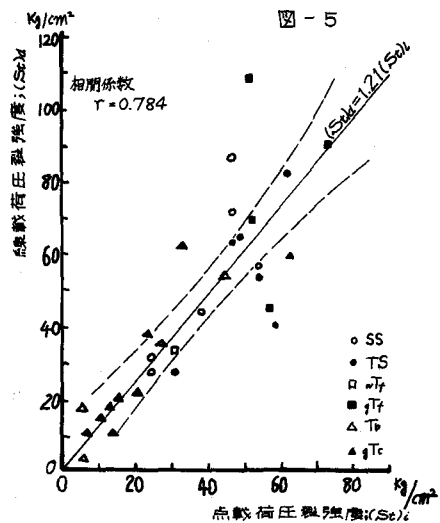
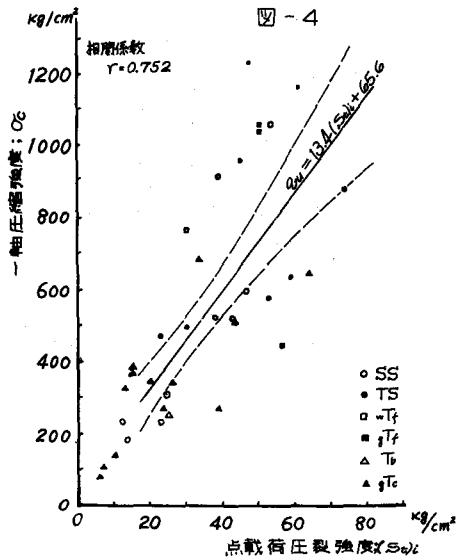
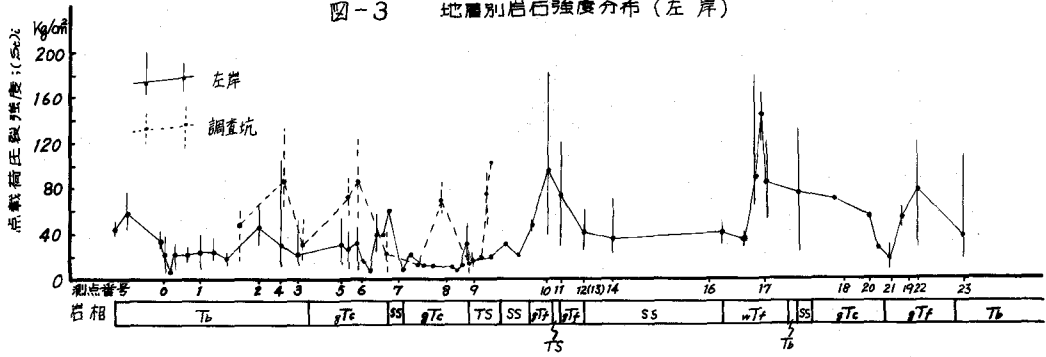


図2-2 ジョイント表示
(シュミット網による)

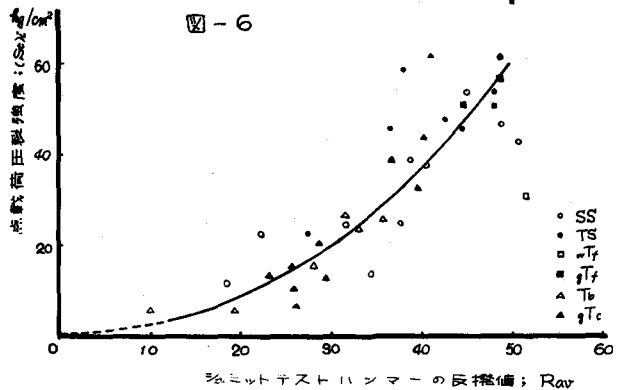
表-2 ジョイントの方位

ジョイント グループ	左岸	右岸	断層	左岸	右岸	断層
	$\bar{\alpha}$	$\bar{\beta}$	$\bar{\gamma}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{\beta}$	$\bar{\gamma}$
SS	G ₁	34	73	61	53	92
	G ₂	84	106	17	115	94
	G ₃	109	20	84		27
gTf	G ₁	45	87	45	33	84
	G ₂	117	111	35	102	110
	G ₃	105	27	68		24

図-3 地層別岩石強度分布 (左岸)



4 シュミットハンマー (N-14型) による岩盤測定
シュミットハンマーの反ばつ値が岩石の一軸圧縮強度の推定に有効であることが井上, 大見, (1967)⁽⁶⁾等の研究によつて明らかにされた。図-6に今回求めた引張強度と反ばつ度との関係を示した。シュミットハンマーの反ばつ値を割れ目を持つ岩盤の良否の判定に利用しようとする試みは、Kidybinski, (1968)⁽⁷⁾の研究を除いてほとんどその例を見ない。反ばつ値に強い影響を与える岩盤条件は、岩質、風化度、割れ目の面間隙及びその方向等が考えられるが、これらの岩盤条件が均質な岩盤を選定し、その中から20~40の測点を無作為に抽出し、反ばつ値を測定する。反ばつ値は打点を岩石用ハンマーで円滑にし、シュミットハンマーで同一点を連打する。3回の連打で反ばつ値は一定値に収束する傾向が認められたので、3回目の反ばつ値をもつてその点の反ばつ値とした。



反ばつ値の度数分布の形、その平均値、その分散などと岩盤条件との関係を把握する目的で、角レキ、凝灰岩、砂岩、凝灰岩などの測定を行ない、その結果の一例を図-7に示した。反ばつ値が凝灰岩の風化度によつて左右される程度は小さく、節理及び割れ目の頻度が大きくなると、反ばつ度の平均は3.5から8.8へと低下し、その分散はある割れ目間隔までその頻度が大きくなるに応じて増加傾向を示すが、さらに割れ目間隔が小さくなると逆に分散は低下する。以上のように凝灰岩の岩盤の反ばつ度特性を把握した上で、任意の場所の反ばつ値の度数分布と図-7とを比較し、任意の場所の岩盤状態を定量的に推定できる。

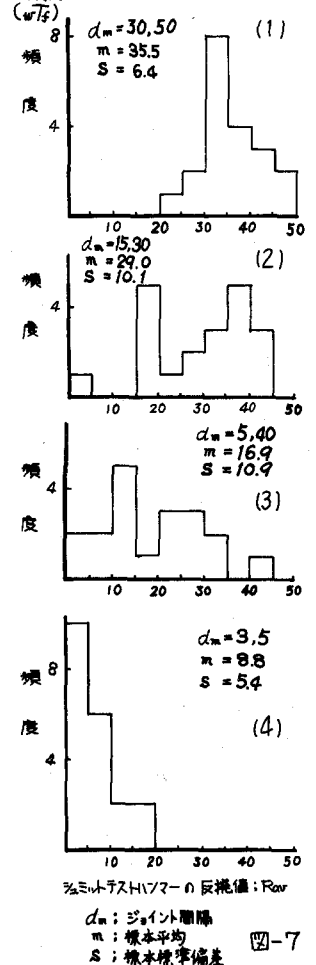
5 あとがき

岩盤のジョイント分布と岩石強度分布を定量的に評価するため、前者には簡単な計測法と統計的整理方法を利用できることをのべ、後者については非整形載荷試験方法を現地に持ち込んだことによつて岩盤を構成する岩石分布に関する資料を多数えられること等をのべた。また後者については本試験法から求まる引張り強度と、整形試料による一軸圧縮強度との間に高い相関性があることを明らかにした。その他シュミットハンマーによる岩盤性状の把握に利用しうる可能性があることを示唆した。

6 参考文献

- (1) 阿久津 純 (1962), The Geology Paleontology of Shiobara and its vicinity, Tochigi Prefecture. 東北大学 理科報告 (地質学)
- (2) 山口 貴雄 (1957), 節理の統計的処理とこれによる構造解析, 地質学雑誌, vol. 63, 514~519
- (3) 平松・岡・木山 (1965), 非整形試験片による岩石の引張強さの迅速試験, 日本鉱学会誌, vol. 81, 16992, 2-8
- (4) Deere, D. U., (1968), Geological considerations. Stegg. & Zinkiewicz (editor); Rock Mechanics in Engineering Practice. p. 4 - 11, John Wiley & Sons.
- (5) 土質工学会 岩の力学委員会 (1969), 統一岩盤分類法 (案) の適用方法, 委員会資料
- (6) 井上, 大見; (1967), シュミットテストハンマーによる岩塊の反撓度測定 第2回岩の力学シンポジウム講演集

凝灰岩と反撓値の関係



- (7) Kidybinski (1967); Rebound number and the quality of mine roof strata. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. p. 283 - 292, Volume 5, No. 4, July 1968.

Field survey methods for estimating engineering properties of rock-mass.----(1) Case for distribution of joint and strength in sedimentary rock field.

Rock Engineering Laboratory,
Saitama University.

Measuring and representing methods for distribution of joint and strength in a field of Miocene sedimentary rock are taken up for the present among the characteristics of rock-mass to be expressed quantitatively for engineering practice.

Distribution of joint:- Distance, strike and dip of joint planes contained in a imaginary sphere with diameter 100 cm were measured normal to their average directions (more than two if any) on as many random points as possible distributed on a arbitrary straight line. The measured data were plotted on stereographic projection net and the plots are naturally swarm into groups according 1) to the characteristics of jointing and 2) to the rock facies (sandstone, tuff and tuff-breccia in this case). Then the thickness of any group of joint is expressed in terms of average distance d_m of joint planes in each rock facies as $d_m = (\text{number of measuring point} \times 100) \text{ cm} / \text{number of joint}$ as shown in Table 1.

Then a) in case where variations of joint direction in each group show normal distribution, directions of normals to mean joint directions are expressed as $\bar{\alpha} = \cos\{\frac{(\sum \cos \alpha_i)}{\sqrt{(\sum \cos \alpha_i)^2 + (\sum \cos \beta_i)^2 + (\sum \cos \gamma_i)^2}}\}$, similarly to β and γ , where $\cos \alpha$; $\cos \beta$; and $\cos \gamma$; are the direction cosines of normals of joints referring to basal axes A,B and C. Standare deviation of α is expressed as $S_\alpha = \sqrt{\frac{\sum (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n}}$, similarly to S_β and S_γ . Examples of case a) are shown in Fig. 1. b) In case where variations of joint direction do not show normal distribution, mean directions and their standard deviations are obtained in the same way as in case a) by obtaining regression circles, because normals to those groups of joints regress along great circles (or rarely small circles). Examples of case b) are shown in Fig. 2.

Variance D of joint directions in each joint group is expressed as $D = (A / r^2) \times 100$, where r is the radius of Schmidt net and A is the area wherein the normals to the joint planes of the group plot.

Distribution of rock strength:- Point loading method by simple device on irregular specimen was applied to measure strength about 500 pieces of rock over the test field. Distribution of strength thus measured is shown on the sequence of beds as shown in Fig. 3. The strength (tensile) thus obtained shows good correlation with uniaxial compressive strength and with tensile strength obtained by Brazilian test as shown in Figs. 4 and 5.

Applicability test for Schmidt concrete test hammer:- Schmidt concrete test hammer was applied to evaluate mechanical properties on jointed rock-mass. Rock facies, degree of weathering, distance and direction of joint planes etc. are considered to be the conditions to affect the rebound value of schmidt test hammer, and the rock-mass with uniform conditions was selected to test the rebounds and the correlation between the figure of frequency distribution, mean value and variance of the rebounds to the rock-mass conditions are followed. Examples of the correlation are shown in Figs. 6 and 7.