

(22) 風化軟質岩の強度と変形特性

長崎県土木部道路建設課 大塚 茂 俊
基礎地盤コンサルタンツ協 能 戸 仟
同 上 ○ 斉 藤 芳 徳

1. はじめに

風化や破碎によって著しく軟化した岩盤の強度・変形特性を、適確に評価したりモデル化することは、現状では未だ多くの問題があると言える。これは破碎軟化した部分のコアの採取や、室内試験のための乱さない試料の採取が困難なことにも起因している。また一般に、亀裂や破碎軟質部の介在は不規則で一様でないため、平板載荷試験のような原位置試験で直接的に支持力を求めても、バラつきが大きいのが普通であり、支持力の決定や他の地点への適用が困難な場合も多い。

筆者等は、長大橋梁基礎の調査において、鏡肌を伴う割れ目を含む著しく破碎軟化した泥質岩を主対象に、一連の室内試験ならびに原位置試験を行ってきた。本報告はこれ等の軟質岩の分類と強度や変形特性について述べたものである。

2. 地質状況と調査手法

当該地域は、長崎県北松浦郡の平戸島・生月島間の海峡部に相当し、平戸層と呼ばれる新第三系の堆積岩と、これを不整合に覆う第四系の平戸火山岩類の分布域である。海峡周辺の陸上部ではこの火山岩類が分布するが、海峡部では平戸層が直接分布している。

今回対象となった破碎軟化部は、生月島側の平戸層に分布し、海底面から深さ40m付近まで鏡肌の発達した割れ目を多く含み、岩片も著しく軟質化している。このような深部に及ぶ破碎軟質化の成因の詳細については不明であるが、おそらくは、過去の造構造運動による破碎帯の一部と考えられる。

海上部の調査ボーリングは、当初無水掘りによってコア採取したが、試料の痛みが激しく、試験用供試体としてはもとより、岩質の判定さえでき難い状態であった。このため図-2に示したトリプルチューブサンプラーの使用に切り替え、ほとんど乱さない原形に近い状態の良好なコアが採取された。

これによって、乱さない状態で詳細なコア観察が可能となったと同時に、割れ目や鏡肌を含んだ状態（採取径83mm）で大型セルにセットし、室内三軸試験に供することができた。

またボーリング孔を利用して孔内水平載荷試験を実施したが、トリプルチューブ採取孔径（ $\phi 116\text{mm}$ ）にあわせて $\phi 110\text{mm}$ 大型プレシオメーターを採用し、測定された変形係数 E_p とコア観察結果が直接対比できるようにした。

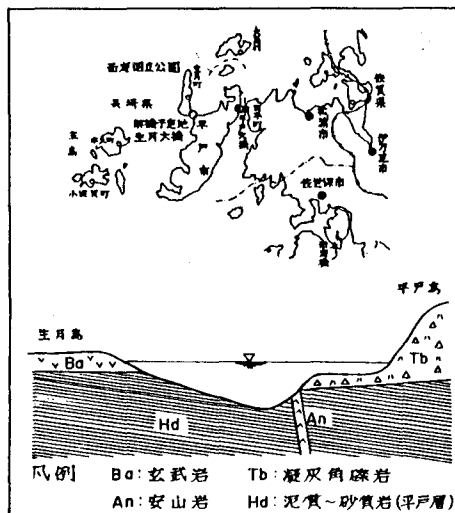


図-1 調査位置・地質状況模式図

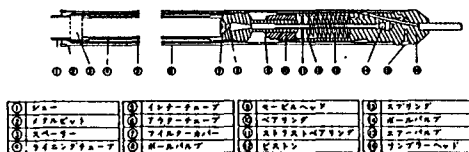


図-2 トリプルチューブサンプラー構造図

3. 軟質部の岩盤分類

調査地全域の岩盤分類は、通常良く用いられる岩片の硬さ・コアの形状・亀裂の性状を基本判定要素として、これにRQDを加味した評点法によってA～Dまでの6ランクに分類した。この分類による評点と孔内水平載荷試験による変形係数Epとの関係を図-3に示した。

図-3によれば、CLランク以上では岩盤区分Ep値はかなり良い相関を示しているが、破砕軟質部のDランク相当部では、 $E_p = 60 \sim 1,000 \text{ kgf/cm}^2$ とバラツキが非常に大きく、Ep値の設定にかなり問題が残る。既に述べたように、平戸層Dランク相当部は海底面より深度凡そ40m付近まで分布し、本層が支持層の対象となるかどうかは、基礎工検討上非常に大きなポイントとなることを考えると、この部分に関するより詳細な検討が必要となる。

そこで、平戸層Dランク相当部には表-1に示す新たな分類規程を採用し細区分を行った。

「岩の硬さ」については、従来の定性的な判断から針入度試験による針入勾配 $N_p \text{ (kgf/mm}^2)$ を指標とする定量的なものとしている。また「分離面の間隔」は、従来の判定要素である亀裂の間隔ないしコアの形状に対応するものであるが、トリプルチューブサンプラーで採取された試料は、機械的攪乱をほとんど受けておらず、潜在的な亀裂はもとより層理面や葉理面などもかなり確実に把握していることより、これ等地質的な分離面も含めて、その分布頻度を要素として取り上げている。

一方この分離面は、相対的な変位を物語る「鏡肌」をなしているものが多い。定性的な推定であるが、一般の分離面に比べ、このような鏡肌をなす分離面が強度や変形特性に与える影響がより大きいと考え、第3の要素として一定区間にこの鏡肌の出現頻度を取り入れているのが、この新しい分類規程の特徴と言える。

各要素は各々4ランクに区分され、各ランク毎に0～6点の評点を与えている。採取されたコアの一定長さ(50～100cm)毎に要素別の評点を与え、個々の評点を加算した総合評点で当該区間を評価する。例えば、針入勾配が $N_p = 0.55 \text{ kgf/mm}^2$ 以上で分離面の間隔が50cm以上、かつ鏡肌がほとんどないものは、総

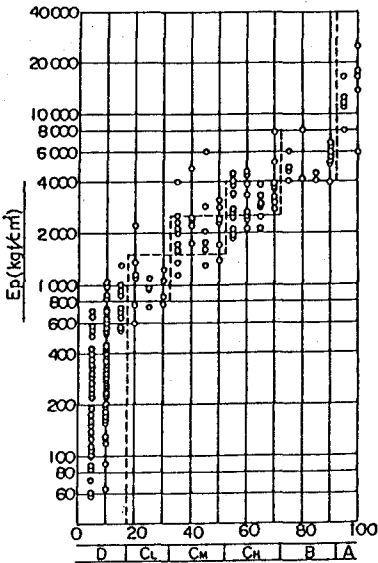


図-3 岩盤区分(評点)～Ep相関図

(1) 岩の硬さ

- H1 ($N_p = 0.55$ 以上)
- H2 ($N_p = 0.35 \sim 0.55$)
- H3 ($N_p = 0.15 \sim 0.35$)
- H4 ($N_p = 0.15$ 以下)

(2) 分離面の間隔

- J1 (間隔50cm以上)
- J2 (間隔50～15cm)
- J3 (間隔15～5cm)
- J4 (間隔5cm以下)

(3) 鏡肌

- C1 (ほとんどなし)
- C2 (少ない)
- C3 (多い)
- C4 (非常に多い)

項目	記号	評点
岩の硬さ	H1	6
	H2	4
	H3	2
	H4	0
分離面の間隔	J1	6
	J2	4
	J3	2
	J4	0
鏡肌	C1	6
	C2	4
	C3	2
	C4	0

表-1 平戸層Dクラス岩盤詳細区分表
(乱さない試料による)

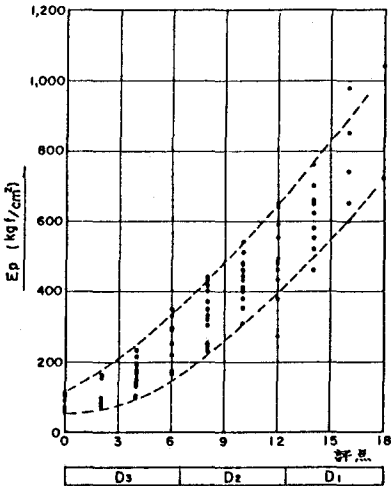


図-4 平戸層Dクラス評点～Ep相関図

合評点18点の最高点が与えられる。

この分類による評点とEp値の関係を図-4に示したが、明らかに評点との相関性が認められ、Dランク軟質部の詳細分類として適用できるようである。ここでは、この総合評点により平戸層Dランク軟質部を右記の3段階に分類している。

総合評点 レンジ	ランク	平均Ep (kg/cm ²)
13 ~ 18	D ₁	700
7 ~ 12	D ₂	350
0 ~ 6	D ₃	150

4. 室内試験

室内試験は、トリプルチューブサンプラーで採取した試料をインナーチューブに納まった状態で試験室に運搬し、物理試験と三軸圧縮試験を主体に行った。

平戸層Dランク軟質部の代表物性値を示すと下記のようになる。

	泥質系	砂質系
F.C (%)	40 ~ 90	10 ~ 40
W _n (%)	20 ~ 40	16 ~ 20
L _w (%)	50 ~ 70	NP
γ _t (t/m ²)	1.9 ~ 2.0	2.1

三軸試験用の供試体のサイズは、採取試料の径にあわせてφ83mmとし、チューブに納まったまま切断して両端面のみ成形し(高さ16cmを標準)、そのままの状態です静かに押出しセルにセットした。

試験は、有効上載圧近傍の圧力で圧密した後、非排水条件でせん断した。供試体は、ほとんど分離面を含まないものから、鏡肌を著しく含むものなど様々であり、バラつきが大きく一義的に強度を決定できない。

図-5は試験後の供試体を表-1の規準で分類し、評点の近似した同一ランクに属するものの軸差応力とひずみ関係の代表例を示したもので、各々のランク毎に特徴的な曲線傾向を表わしている。D₃ランクの大部分は、多くの鏡肌を含むと同時に岩片も著しく軟化しているため明瞭な破壊面を示さず、ひずみ曲線も明瞭なピークが表われない。これに対しD₂ランクはほとんどが密着した不連続面を有し、破壊ひずみのピークが比較的明瞭に表われている。D₁ランクは不連続面を含まないものが多く、一般的な軟質岩のひずみ曲線を示している。E₅₀はσ₃の増加と共に大きくなり、σ₃=2.4kgf/cm²におけるE₅₀が前述したEp値のレンジと対応している。

図-6は、各ランクの近似した評点のモールの円を集積して示したもので、このように分類すると比較的スムーズな破壊抱絡線を描くことが可能であり、各ランクの平均的なせん断強度が設定できる。

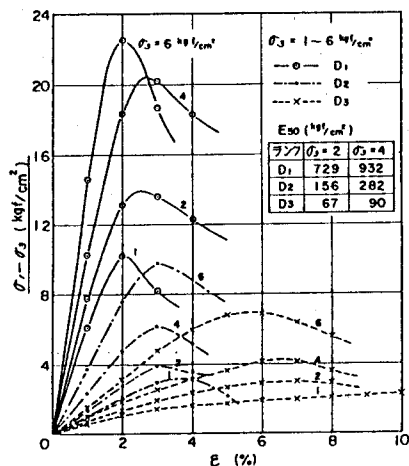


図-5 Dランク軸差応力-ひずみ曲線

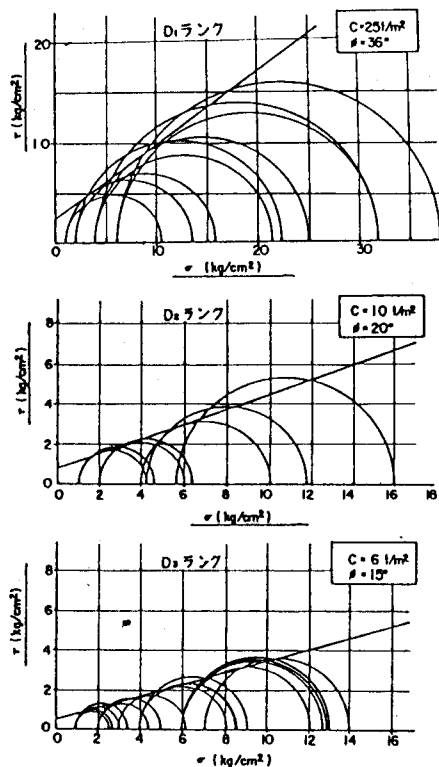


図-6 Dランクモールの円集積図

以上の点から、このDランク分類規準は E_p 値のみならず強度の変化を表わしていると言える。

5. 平板載荷試験

平戸層Dランク軟質部の支持力と変形性を検照する意味で、生月島陸上部の平戸層を対象に平板載荷試験を行った。試験地点の平戸層は、海上部と同様の調査試験を行ってチェックしているが、泥質岩が主体で破碎軟化の状況、物性値はほぼ海上部と類似している。

試験は7.5m×2.5m、深さ6.5mのテストピット内で、 $\phi 30$ cm鋼製剛板を使用し鉛直・水平方向あわせて14回、多サイクル緩速載荷方式を実施した。表-2に試験結果を示したが、極限荷重で $P_L \approx 30 \sim 300 \text{ t f/m}^2$ と大巾にバラつく結果となった。この試験では、載荷面下の岩盤状況を把握する目的で簡便なコーン貫入試験（コーン径 $\phi 7 \text{ mm}$ 、先端角度 30° ）を、載荷板下およびその周辺で実施した。表-2に示す載荷面下地盤構成比とは、深さ30cm、巾60cmの範囲に分布するDランク岩盤を、貫入抵抗値の変化から区分して各ランクの分布量を平均的に求めたものである。極限支持力や変形係数のバラつきは、この載荷面下の岩盤の分布状況、特に D_3 の分布量に左右されていることが判る。

載荷面下の岩盤の大部分（構成比60%以上）が D_3 ないし D_2 に相当すると判断される地点の結果と、室内試験および孔内載荷試験による支持力と変形係数を対比したのが表-3である。表中 E_2 は、2サイクル目の沈下曲線から求めた変形係数であり、 P_L' は室内試験で得られたC、 ϕ からテルツァギ式（ $\phi 30 \text{ cm}$ ， $Df = 0$ ）で算出した極限支持力である。

支持力についてはほぼ同程度の結果となっており、変形係数 E_2 は平均 E_p 値のほぼ2倍の値を示し、従来のデータと比べても一応満足し得る結果と言える。

6. 結 語

- 風化や破碎によって劣化した軟質岩の強度・変形の評価法に対する一つの試みを示した。検討の結果
 - 従来一律に扱われていたDクラス軟質岩も、適切な判定要素を定めれば分類が可能である。このためには原形に近い状態でコアを採取することが必要である。
 - Dクラス軟質岩の細分類は、 E_p ，C， ϕ のような工学的定数とも相関性を有している。
 - 得られた変形係数や強度定数は、平板載荷試験の結果と比較的良好な対応をなしている。

各試験結果自体バラつきが大きく、今後データを集積して検討すべき事項も多いが、特にこのような軟質岩ではクリープ特性の把握が重要な課題となろう。また室内試験で求められた諸定数と原位置平板載荷試験との対比に当っては、載荷面下の岩盤評価が重要であり、これ等の点に関する検討を今後とも継続したいと考えている。

（参考文献）

- 1) 高橋・能戸・横川：明石海峡部の神戸層（軟岩）の強度特性その1，第10回土質工学研究発表会講演集，1975. 6
- 2) 神・森田・治田：原位置載荷試験におけるゆるみの評価（一考察），第14回岩盤力学シンポジウム講演論文集，1982. 2
- 3) 土質工学会：本四連絡橋基礎の地盤と支持力に関する調査研究報告書，1977. 5

地点No	極限荷重 $P_L (\text{t f/m}^2)$	変形係数 $E_2 (\text{mm/m})$	載荷面下地盤構成比 (%)		
			D_3	D_2	D_1
V-1	60	380	58	33	9
V-2	150	808	30	48	22
V-3	65	249	76	15	9
V-4	71	359	70	22	8
V-5	95	415	68	17	15
V-6	141	810	45	43	12
V-7	46	172	80	18	2
V-8	82	287	65	25	10
H-1	28	144	87	9	4
H-2	228	715	10	62	28
H-3	260	1,119	5	66	29
H-4	140	613	45	33	22
H-5	40	179	72	21	7
H-6	306	953	5	75	20

表-2 平板載荷試験結果一覧表

載荷面下 構成比	平板載荷試験		平均C, ϕ $P_L' (\text{t f/m}^2)$	平均 E_p (mm/m)
	$P_L (\text{t f/m}^2)$	$E_2 (\text{mm/m})$		
D_3 60%以上	28 - 95 平均 61	144 - 415 273	85	150
D_2 60%以上	228 - 306 平均 265	715 - 1,119 929	235	350

表-3 試験結果の対比

(22) VARIATIONS IN ENGINEERING PROPERTIES OF CLASS D ROCK

Nagasaki Pref.	S. Ohtuka
Kiso-Jiban Consultants Co., Ltd.	T. Noto
	Y. Saito

Large variations were found in the strength and deformation characteristics of Class D rock. Although the strength and deformation of Class D (weak) rock is presently treated as uniform, the variations encountered by the authors are large enough that the distribution of strength is of engineering significance.

The variations were noticed in the course of both laboratory tests and in-situ pressuremeter tests. Specimens for the laboratory tests were taken from cores obtained with triple tube samplers. Variations in both types of test results are not a result of scatter in the test data. In fact the two types of tests show very similar results, and are generally in good agreement.