

各種孔内測定による岩盤の工学的性質の判定

—風化花コウ岩の場合—

はやし 林 のぶ 宣 ひろ 熙* いし 石 かわ 川 こう 浩 じ次**

お 越 ち 智 ひろ 啓 と 登*

1. ま え が き

風化岩盤、たとえば花コウ岩岩盤の分布する地域での地盤を構造物基礎の対象地盤として調べることは従来の土質調査、試験法ではかなりむずかしい。このことは風化岩の乱さない試料連続採取と室内力学試験実施のむずかしさと、局所的な原位置試験結果の代表値で不連続面、異方性、不均質性をもった地盤全体を評価することのむずかしさの、二つによるものと考えられる。

本州四国連絡橋計画のうち、児島～坂出ルート（通称Dルート）、尾道～今治ルート（通称Eルート）は、これら風化花コウ岩が全域にわたり広く分布している。さらに海峡連絡橋のように、比較的巨大な構造物で、海底地盤を対象とする場合、前述の問題を含めて、新しい調査および解

析体系の確立が必要であった。地盤を直接視認することの不可能な場合が多く、また原位置における岩盤試験による直接測定がむずかしいため、ボーリングによる各種孔内測定を主とする間接的方法がとられた。

風化花コウ岩の工学的性質についてはすでに吉中^{4),5)}、高橋^{1),2),6)}らによって報告されてきたところであるが、本論ではそれをさらに進めてその基礎的なことについて考察のうへ、風化花コウ岩類の工学的性質（特に変形および強度特性）判定と、そのための調査および解析系列の体系化を試みた。つぎに測定インデックスの分類特性の組合せによる工学判定結果より、境界区分判定と工学区分総合判定を行ない、工学表示として地盤構成モデル図と、設計に必要な地盤定数、たとえば変形係数、強度定数の推定を行なった。

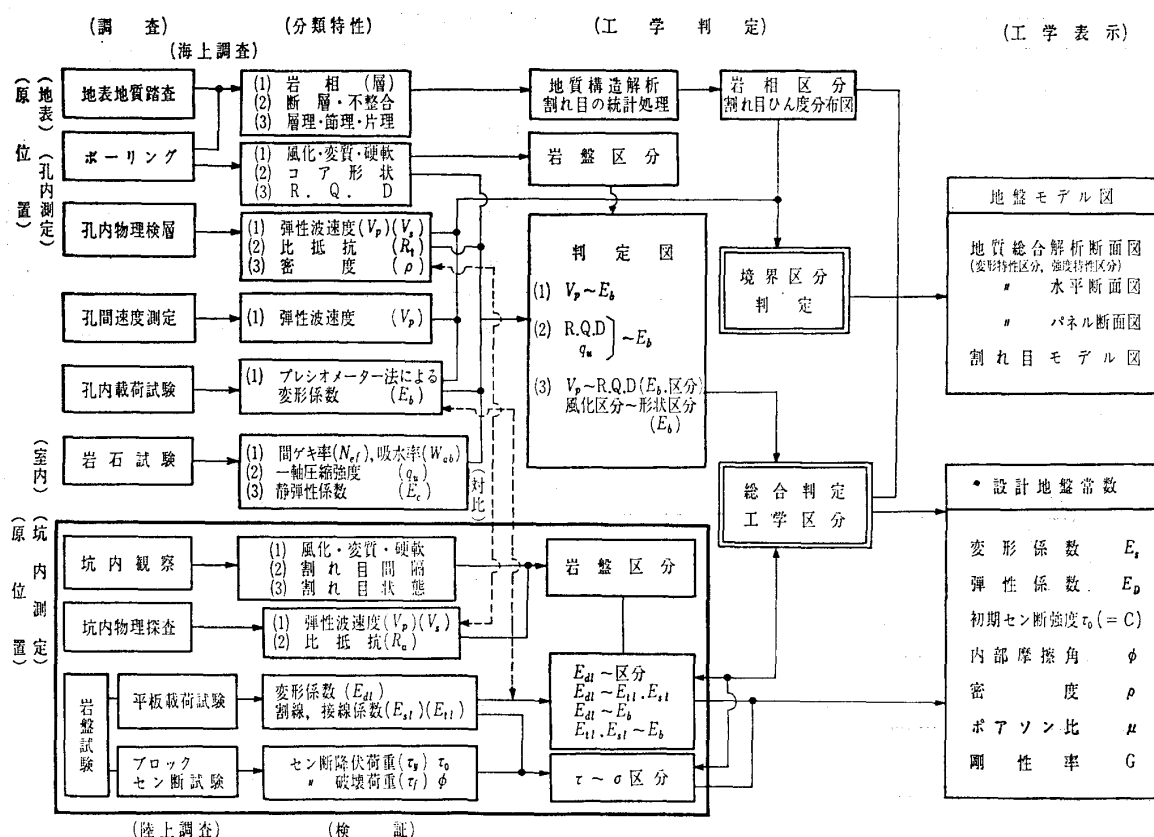


図-1 調査項目と解析系列

* 本州四国連絡橋公団

** 中央開発(株)大阪支店

これらは、本四連絡橋のうちDルートおよびEルートに分布する花コウ岩地域において行なわれた140箇所25,000m以上に及ぶ、ボーリング調査と岩盤試験結果を整理のうえ行なった。また本稿は土質工学会本州四国連絡橋基礎地盤の総合的検討委員会第2分科会での検討内容をもとに、資料の追加整理を行なったものである。

2. 解析系列とそのための調査項目

本四の基礎地盤の調査は前述のように孔内測定を中心に行なっているが、その解析系列は図-1に示すとおりである。この中での工学判定は測定インデックスの分類特性をふまえたうえで行なわれるが、花コウ岩のように新鮮岩から風化土まで広い範囲にわたって性質が異なる場合、土質の場合のN値のように種々の性質を示すインデックスはなかなか見あたらない。したがってこのような岩盤の場合はいろいろなインデックスを組み合わせることで総合的に性質を判定する必要がある。この場合の有効な測定インデックスの

標準 V_p (km/sec)	1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0									
	インデックス q_n (kg/cm ²)									
風化・固結の程度	岩盤の性状									
	岩盤区分									
	不連続面影響程度									
	時 代									
主要インデックスとその適用範囲	現 在 値									
	コア判定 R.Q.D. (%)									
	孔内変形係数 E_p									
	物理試験									
	岩石試験									
	対 称 的 分 野									
	一般構造物基礎									
	風化花コウ岩地域橋りょう基礎									
	ダム、トンネル									

図-2 風化、固結の程度による主要インデックスの適用範囲

選定の条件として、風化の程度に応じた広範囲な測定が可能で、すなわち測定分解能と対応幅があり、すぐれたものということになり図-2に示す主要なインデックスが選ばれた。特に図ではインデックスの適用範囲を示している。以下本文では解析系列図に従って進み第3章では分類特性、第4章では工学判定、第5章では工学表示法について述べることにする。

3. 測定結果と分類特性の考察

3.1 岩盤の性状と測定インデックスの関係

風化した花コウ岩の岩盤の性状は種々の不連続面を含み、風化の程度に応じてひび割れを持った硬質岩の性質から、軟質岩の性質および土に近い性質まで複雑に変化している。そこで風化花コウ岩の工学的性質が、その風化過程に応じた硬軟、固結の程度と不連続面の二つの要素に大きく支配されるが、これをさらに風化岩盤を岩石の集合体とみなし、その工学的性質が、母岩としての岩石の性質、すなわち硬軟、固結度（ぜい性度）と集合状態すなわち割れ目間隔、方向の状態の二つの要素に大きく支配されると考えることにする。したがって測定インデックスもこの岩盤の基本的性質の二つの要素の程度（硬軟と割れ目）によって変わるとして考察を進めた。

いま硬軟の程度を縦軸、割れ目の程度を横軸とし、両者間に相関性はないものとして各々の測定インデックスを表示すると、図-3のとおりになると思われる。図に示すように測定値は平面全体に分散するが、それぞれの表示のパラメーターは縦軸、横軸のいずれかに平行に示される。逆に岩盤が風化の程度に応じて変質軟化し割れ目もふえる場合は、硬軟、割れ目の程度に相関のあるものとして各々の測定インデックスを表示すると図-4のとおりになると思われる。この場合割れ目度と硬軟は相対応する関係の分布を示し、その分布傾向に応じて、硬軟度のパラメーター、割れ目度のパラメーター、総合度のパラメーターとなる測

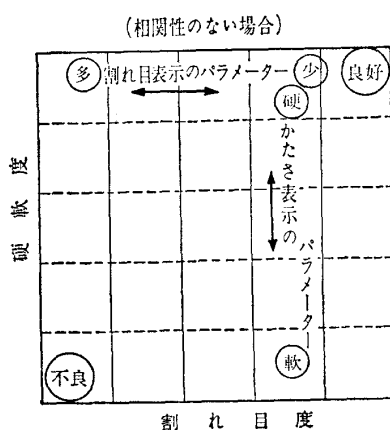


図-3 硬軟度と割れ目度の関係

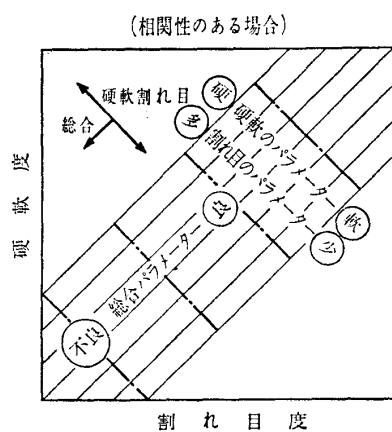


図-4 硬軟度と割れ目度の関係

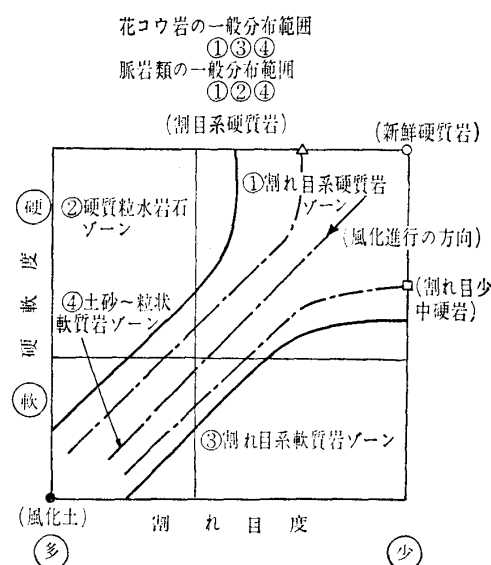
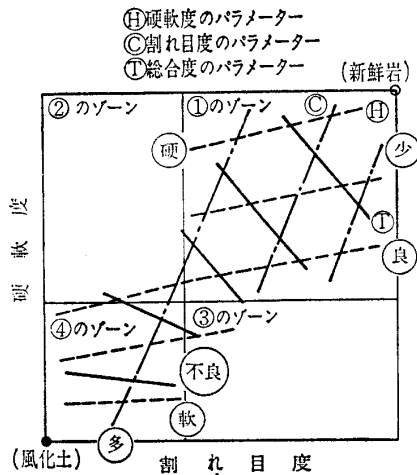


図-5 風化タイプによる区分と分布概念図



図—6 岩盤性状によるパラメーターの関係概念

定インデックスが表示されるはずである。

実際の測定結果を模式的に示すと図—5のとおりであった。これより新鮮岩に近い場合は本来より存在する割れ目（たとえば収縮節理など）のため割れ目と硬軟度とは必ずしも相対せず、分散の傾向を示し、風化岩の場合は正の相関性のみられる分布傾向を示した。この傾向から本来の岩の性質に応じて、その風化経路が異なってくることが考えられた。したがって花コウ岩は、新鮮堅硬で割れ目のない岩 (Intact Rock) より風化進行に伴い割れ目増大または軟質化し、さらに風化土に至ると考えると、その過程に応じてつぎの四つのタイプのゾーンのいずれかに位置するものとして表現される。すなわち①割れ目系硬質岩ゾーン②硬質粒状岩ゾーン③割れ目系軟質岩ゾーン④土砂状軟質岩ゾーンの四つである。これらは風化岩盤の性状を模式的に示すものである。一般に広島型花コウ岩の場合硬質粒状岩といったものは少なく、また領家型花コウ岩、花コウハン岩などの脈岩類の場合割れ目系軟質岩の少ない傾向がみられ、一般には①④のタイプが多い。そこで硬軟の要素または割れ目の要素のいずれか、または両者の影響を受けやすい分類特性をもった測定値をプロットすると図—6のとおりで、④硬軟③割れ目度または①総合度のようなパラメーターが表現される。この図の中でパラメーターの傾きの程度または向きが風化のタイプにより両者間の影響の受け方の程度を示すことになる。

表—1は各測定インデックスおよび岩盤の強度または変形特性がその風化のタイプによりいかなる影響を受けるか、その程度についてこれまでの検討の結果をまとめたものである。これによると風化のタイプにより同一インデックスでもその影響要素が異なったり、硬軟割れ目のいずれかの影響の受け方により複雑な関係を示した。このうち特に強度および変形特性についてその風化の程度に応じて共通の影響を受けもつ孔内測定値が主要インデックスとして選択された。

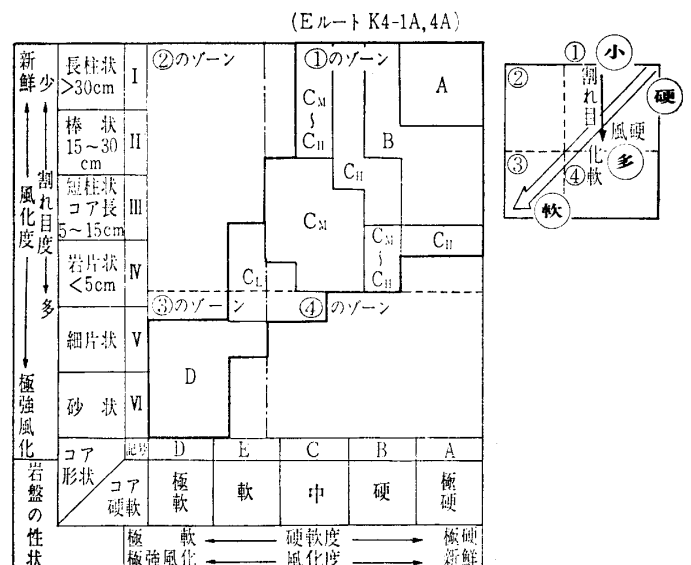
3.2 各測定値間の分類特性について

表—1 測定インデックス、工学特性の岩盤性状の影響要素と程度

性状 工学特性	割目系			土砂～粒状			岩種	水	測定範囲
	③軟質岩Gr	①硬質岩	④軟質岩	②硬質岩dk	③軟質岩Gr	①硬質岩			
E_b	◎	○	◎	○	◎	○	×	△	20~40cm
R.Q.D	○	○	△	◎	△	◎	△	×	100cm
コア形状	○	△	◎	◎	◎	△	◎	×	100cm
硬軟	◎	△	◎	◎	◎	△	×	×	100cm
岩区分	○	◎	◎	◎	◎	◎	×	×	100cm
V_p	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	◎	*90~100cm
V_t	○	◎	△	◎	△	◎	×	×	*90~100cm
R_t	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	25~100cm
ρ	○	◎	△	◎	◎	◎	△	△	40~60cm
E_b/q_u	×	◎	×	×	×	×	×	×	—
E_b/E_c	×	◎	×	×	×	×	×	×	—
q_u	○	△	◎	△	—	—	—	△	5~20cm
Sk	○	△	◎	△	○	◎	×	△	5~10cm
N_d	◎	△	◎	△	◎	◎	◎	△	5~10cm
強度特性	◎	△	△	◎	◎	△	◎	◎	60~80cm
変形特性	○	△	◎	◎	◎	△	◎	△	40~100cm

(※ソニック法の場合 ◎顕著 ○普通 △少 ×無 —不明または不可)

(1) コアの硬軟、形状と岩区分の関係および E_b の分布
コアの硬軟、形状と岩区分の関係は図—7のとおりであった。これによると割れ目系硬質岩ゾーンは分散して分布し、割れ目の多少によって区分判定が行なわれる。また風化岩は形状硬軟に対応した分布区分を示した。つぎに別の地域でのコアの形状と硬軟区分による E_b の分布は図—8のとおりであった。これによると区分分布と同様硬軟と形状に対応して分布し、①割れ目系硬質岩のゾーンでは分散して分布しているが、 E_b は硬軟か形状かいずれか一方の影響を受けて分布する傾向を示した。また④土砂状軟質岩のゾーンでは形状または硬軟にほぼ一義的に対応して分布する傾向を示した。



図—7 岩盤性状、コア硬軟、形状と岩盤区分の関係

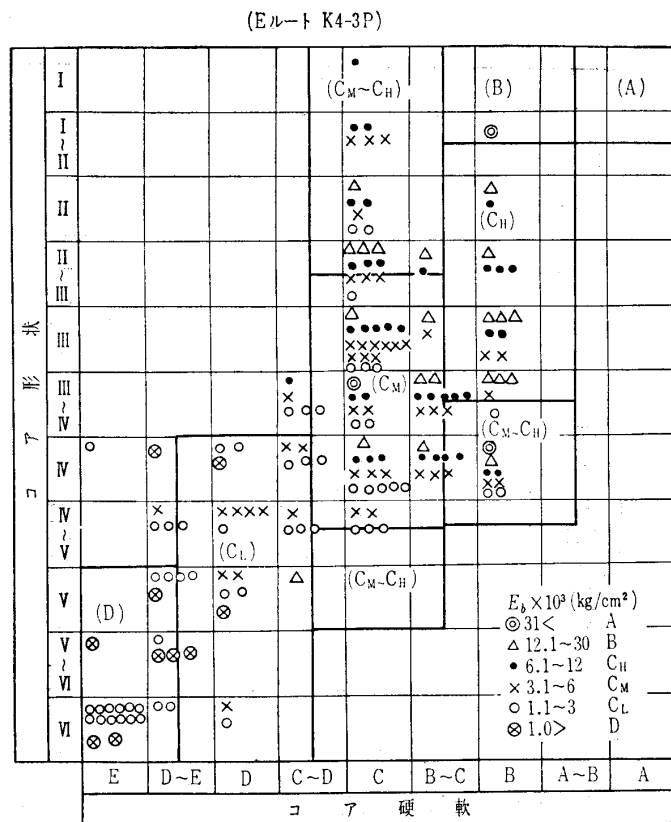


図-8 コア硬軟, 形状による E_b 分布

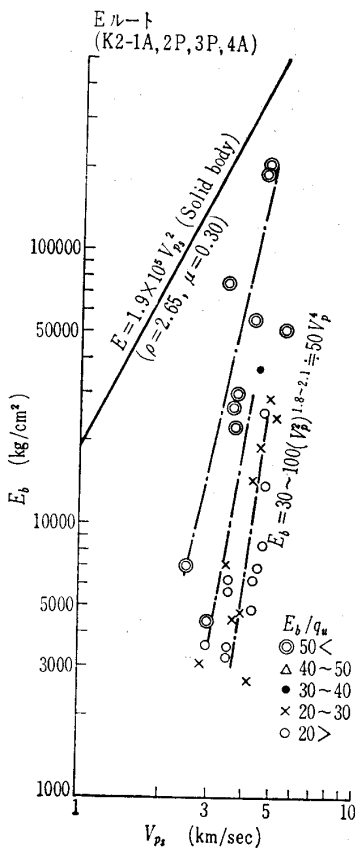


図-9 $E_b \sim V_P$ (E_b/q_u) の関係
パラメーターとして表わされ, おおのこの関係の有意性が認められた。また E_b と V_P^2 の比も割れ目の程度を表わすものと思われる。完全弾性体の場合 $E = 1.90 \times 10^4 V_P^2 (\rho$

(2) E_b と V_P , E_b/q_u の関係
孔内変形係数 E_b と孔内物理速度検層 (ソニック法) による V_P の関係を E_b/q_u をパラメーターとして求めると図-9のとおりであった。これによると E_b は岩盤の弾性的性質, すなわち硬軟度のほかに, 岩盤のゆるみや割れ目の程度を反映した二つの要素の分類特性を示すのに対し, V_P は岩盤の硬軟度の程度を比較的強く反映することがわかった。したがって両者の関係より E_b/q_u は割れ目のパ

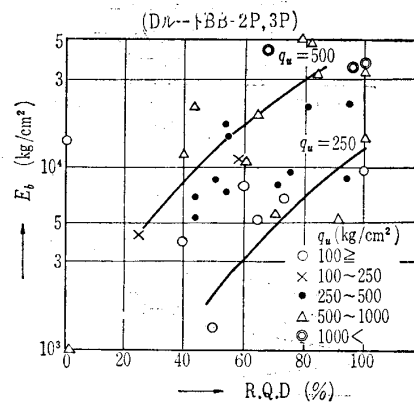


図-10 $E_b \sim R.Q.D. (q_u)$ の関係

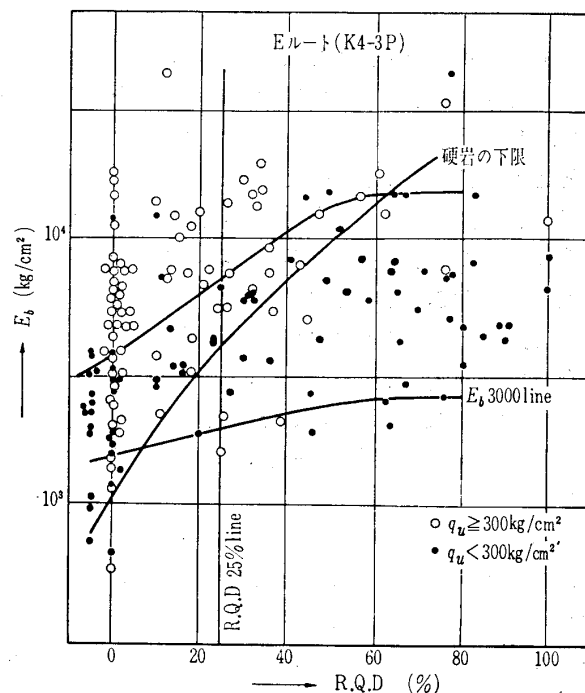


図-11 $E_b \sim R.Q.D.$ 関係

$= 2.65 \mu = 0.25 V_P = 6.5 \text{ km/sec}$) であるが, 実測では $E_b = 30 \sim 100 (V_P^2)^2$ で表わされ割れ目が増加すると係数が小, 指数が大になる傾向がみられた。

(3) E_b と岩盤良好度 R.Q.D. (q_u) の関係

E_b と R.Q.D. の関係を q_u をパラメーターとして求めると図-10のとおりであった。これによると両者にはかなりのバラツキがあり, 相関性は認められない。これは直接関係がないというよりも, 両者の岩盤性状の割れ目, 硬軟の要素に対する影響程度の異なることを示すもので, したがってかくされたパラメーターをみつけることができると両者の関係は判然としてくる。これまでの考察より一応 E_b は総合, R.Q.D. は割れ目, q_u はかたさのパラメーターであることがわかった。

そこでつぎに $q_u \geq 300 \text{ kg/cm}^2$ 以上を割れ目系硬質岩 (脈岩類) として $q_u < 300 \text{ kg/cm}^2$ の粒状~割れ目系軟質岩 (花

コウ岩)として花コウ岩類を $q_u \leq 300 \text{ kg/cm}^2$ でプロットすると図-11のとおりであった。これによると軟質岩 ($q_u < 300 \text{ kg/cm}^2$) には RQD 40%までは上限があり、硬質岩 ($q_u \geq 300 \text{ kg/cm}^2$) は顕著な下限が認められた。このことより軟質岩ゾーンでは RQD は岩盤のもろさ、砕けやすさ、すなわち硬軟風化の程度を示すインデックスとなり、風化の進んだ区分と E_b が一義的に対応するものである。また硬質岩のゾーンでは、RQD すなわち割れ目度によって E_b が低下することを示す。すなわち割れ目系硬質岩では RQD は割れ目度、 q_u は硬軟度、 E_b は割れ目、硬軟の両者の影響を示すことになった。

(4) RQD とき裂数の関係

RQD とき裂は一見同義的にみえるが、前者は粒径百分率ともいえる一方、後者は粒径に関係のない単なるひん度値であり、したがって両者間に一義的な関係はない。

ただし $q_u > 300 \text{ kg/cm}^2$ 以上の硬質岩について RQD とき裂数の関係を求めると、図-12のとおりであった。これによる本来の割れ目ひん度を示す数が RQD と有意な相関関係を示しており、したがって硬質岩の場合は RQD は割れ目の程度を示すインデックスとなり得ることがわかった。

(5) その他の関係

その他の関係は周知のものもあるが、要素別の関係について明りょうなものを示すとつぎのとおりであった(表-1参照)。

一義的に対応するもの	①割れ目度～割れ目度 RQD～コア形状
	②硬軟度～硬軟度 $V_P \sim q_u$, $V_P \sim \rho$
	③総合～総合 $E_b \sim R_t$ (区分)
分散しているがパラメーターを導入して区分できるもの	④硬軟度～割れ目度(総合) $V_P \sim \text{RQD}$ (区分, E_b) $q_u \sim \text{RQD}$ (区分, E_b) $V_P \sim V_P/V_s$ (区分)
	⑤総合～割れ目度(総合, 硬軟) $E_b \sim E_b/q_u$ (区分, q_u) $E_b \sim \text{コア形状}$ (区分)
	⑥総合～硬軟度(総合) $R_t \sim V_P$ (区分, E_b)

3.3 岩盤試験と孔内測定結果の関係

3.3.1 変形係数 E_{ai} と E_b の関係

ボーリング孔内測定値 E_b と岩盤試験による変形係数 E_{ai} (剛体載荷板 40 cm, 60 cm 径) の関係は、図-13のとおりであった。両者は、載荷方法、載荷幅、載荷方向、載荷速度、応力範囲などが異なるため、測定変係数は、1:1 に対応しない。一般に E_{ai} のほうが大きく、 E_{ai} (30cm) $= n E_b$ が提案され、 n は通常 2~3 である、風化花コウ岩の場合、両ルート資料は、概括的に $E_{ai} \geq E_b$ となってい

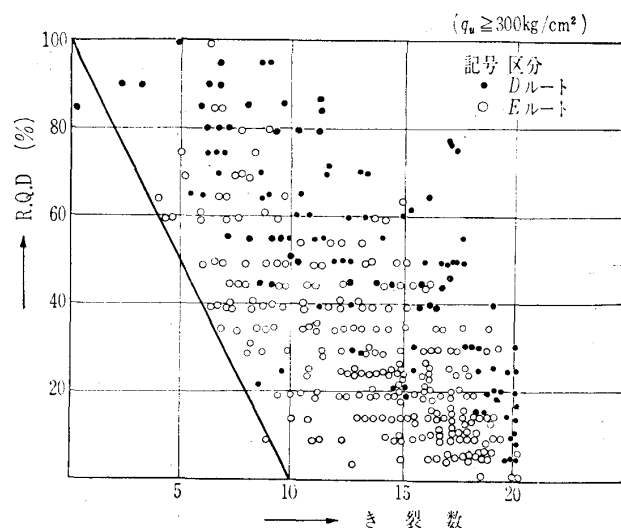


図-12 RQD-き裂数の関係

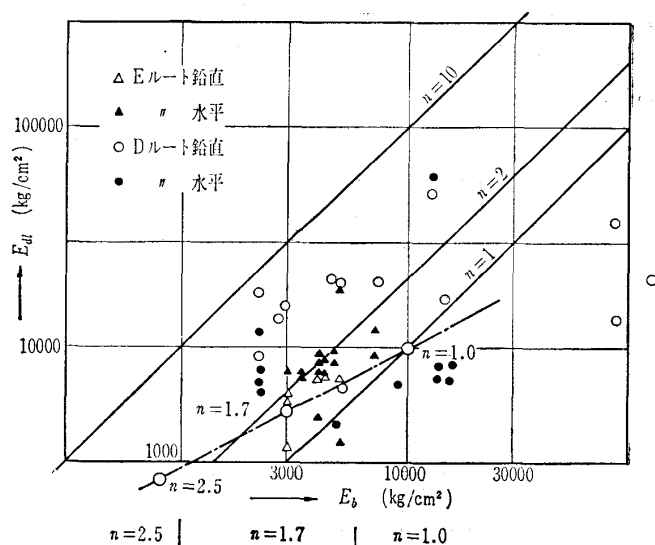


図-13 $E_{ai} \sim E_b$ の関係

るが、その比率は若干異なりDルートは $E_{ai} = 0.4 \sim 2.3 E_b$ 、Eルートは $E_{ai} = 1.0 \sim 2.0 E_b$ の関係となっている。これらの違いは、岩種、岩質、岩盤の不連続面(割れ目)の状態などの局所性によると思われるので、その係数を一義的には決めにくい。ただし平均的な傾向を総体でみると、図-3に一点鎖線で示すように $E_b < 1000 \text{ kg/cm}^2$ で 2.5, $1000 \leq E_b < 6000 \text{ kg/cm}^2$ で 1.7, $E_b \geq 6000 \text{ kg/cm}^2$ で 1.0 の比率とみなされた。

3.3.2 岩盤のセン断強度特性と S_n , E_b , RQD の関係

横坑内の直接ブロックセン断試験による破壊点 (τ , σ) と同一地点のショア硬度 S_n , 変形係数 E_b , RQD の関係は図-14, 15のとおりであった。試験対象地盤はB~D級にわたる岩盤で、図によると $c = 0 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$, $\phi = 30^\circ \sim 65^\circ$ の分布範囲を示した。図-14は土砂状から割れ目系硬質岩 ($q_u > 300 \text{ kg/cm}^2$) を対象としてショア硬度、RQD 区分をパラメーターとしてプロットしたものである。これによると硬質岩の場合硬軟の差にはあまりかわりはなく、RQD の大小すなわち割れ目の多少によって c , ϕ とも変

わる傾向がみられた。

図-15は割れ目系軟質岩 ($q_u < 300 \text{ kg/cm}^2$, $\text{RQD} > 25\%$) と土砂状粒状岩 ($\text{RQD} < 25\%$) の二つのタイプについて E_b 区分をパラメータにしてプロットしたものである。これによると割れ目系軟質岩の場合、風化の程度、すなわち総合度としての E_b 値の多少により c はあまり変わらないが、 ϕ が変わる傾向がみられた。一方土砂ないし、粒状岩の場合にも、割れ目系、軟質岩と同様 E_b の多少により c はあまり変わらないが、 ϕ の変わる傾向がみ

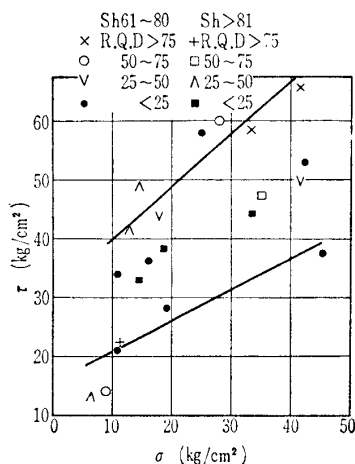


図-14 S_b と RQD 区分別せん断強度の関係

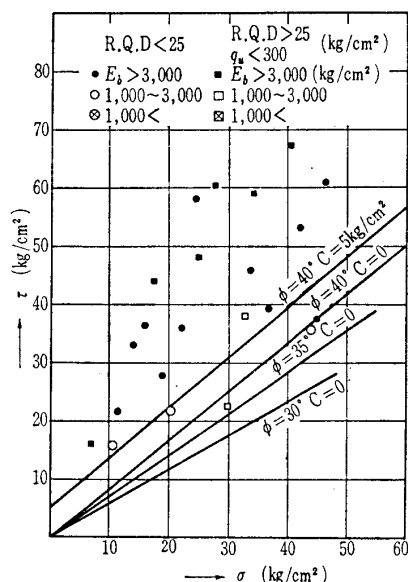


図-15 RQD と E_b 区分別せん断強度の関係

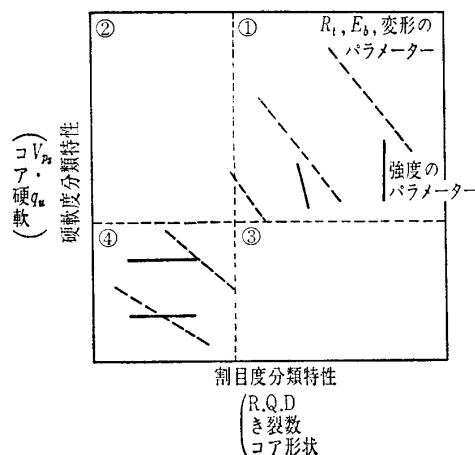


図-16 硬軟度～割れ目度による測定分類特性

られた。また c の値は割れ目系軟質岩のものより若干小さい傾向がみられた。

以上要約すると、あるかたさ一風化変質土一以下のもののせん断強度はそこでの硬軟変質の程度の差に支配され、 c はあまり変わらないが ϕ の変わる傾向を示すものと推定された。また同一変質程度の場合は割れ目の多少によって若干 c の変わる傾向を示すものと推定された。さらにこの強度特性は風化変質が進むと変形特性とも密接な関係を持ち、両者とも岩質のもろさに共通して関係している傾向が推察された。

4. 工学的性質の判定と表示

孔内測定分類特性の考察結果を要約すると、変形強度特性などに関する硬軟度と割れ目度の測定インデックスの関係は図-16に示すとおりであった。これらは、風化のタイプによりまた測定インデックスの組み合わせ方によりその影響の受け方が変わるので、その分散の傾向も異なったり、またパラメータの傾きなども変わってくるのが考えられる。一方、工学的性質のうちの、強度特性は、

①割れ目系硬質岩は割れ目度、軟質岩は硬軟度の影響大。

②土砂～粒状軟質岩、硬質岩は硬軟度の影響大。

変形特性は、

①割れ目系硬質岩、軟質岩は硬軟度と割れ目度の影響大。

②土砂～粒状軟質岩は硬軟度の影響大

の傾向がみられた。

以上の検討結果を図示すると、図-17

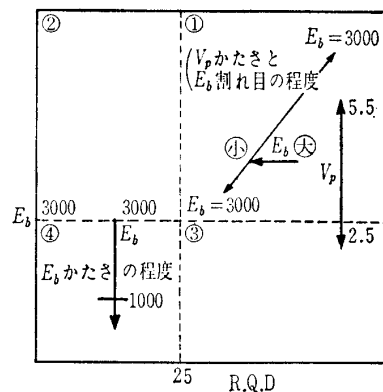


図-17 風化タイプ別変形分類特性

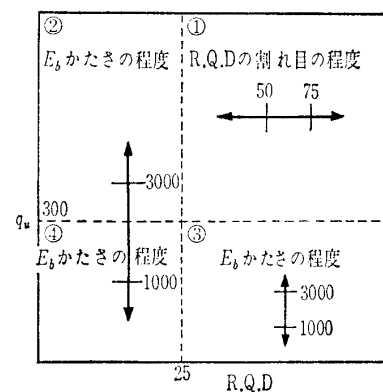


図-18 風化タイプ別強度分類特性

と図-18のとおりであった。すなわち、工学的性質を反映した測定分類性は、つぎのように整理された。

強度特性は

①RQD により、土砂～粒状岩か割れ目系岩か

③土砂～粒状岩は E_b によりかたさ変質一強度の程度。

④割れ目系岩は q_u によりかたさの程度。

⑤割れ目系硬質岩は RQD により割れ目の程度。

⑥割れ目系硬質岩は E_b によりかたさ一強度の程度。

変形特性は、

⑦ E_b により、割れ目系硬質岩か土砂状軟質岩か。

⑧割れ目系硬質岩は V_P によりかたさの程度。

⑨割れ目系硬質岩のかたさの程度により E_b により割れ目の程度。

⑩土砂～粒状軟質岩は E_b によりかたさ変質の程度。

の手順で判定区分表示された。

判定区分のための測定インデックスの境界は、これまでの測定対比の結果決められ、測定インデックスによる。変形特性区分表示と強度特性区分表示がなされた。表一2と表一3にその表示法を示した。

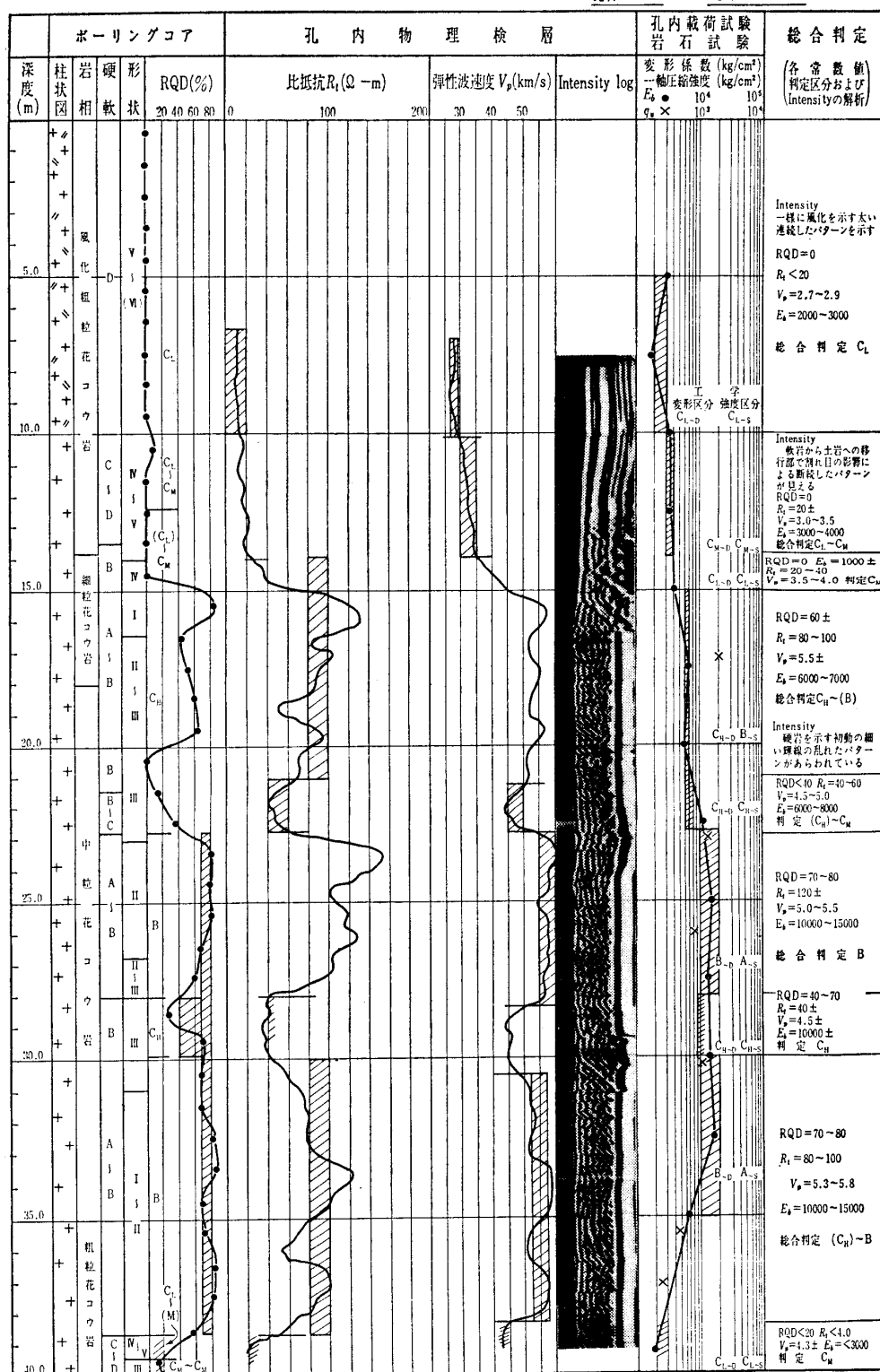
特に強度特性区分の設計強度定数については概略設計の場合にはそれぞれ最低値を使うことが望ましい。

5. 地盤モデル図の工学表示

地盤モデルの工学表示は図一1の解析系列図のうち、工学表示の欄をさしている。ここでは海底地盤のモデル図の作成手法を述べる。地盤モデル図の作成手法は、

①まず4章で述べた工学判定手法を用いてボーリング結果を連続的測定値 (V_P , R_i , RQD, コア肉眼判定) を

位置 K4-4A 標高 -3.048
孔名 No.20 孔内水位 ±0



図一19 総合判定柱状図

位置 KA-4A, 標高 -3.048, 孔名 No. 20, 孔内水位 ±0

もとに1m単位長の細分判定(強度特性と変形特性)を行なう。

②コアの肉眼判定, E_b の変化, 検層値から岩盤区分の境界を見つけ幅5~10m深さで、平均的な区分を行なう。

③多数の線的な区分に孔間速度値や陸上部からの地質構造的情報を入れて面的な断面区分に拡大する。

表-2 岩盤の変形特性区分

区分法	区分表示	設計変形係数(Eb)
$E_b \geq 3,000 \text{ kg/cm}^2$	$V_p \geq 5.5 \text{ km/sec}$	$E_b \geq 30,000$ — A~D 30,000以上
		$< 30,000$ — B~D 10,000~30,000
	$5.5 > V_p \geq 4.5$	$E_b \geq 10,000$ — CH~D 6,000~10,000
		$E_b < 10,000$ — CM~D 3,000~6,000
	$4.5 > V_p \geq 3.5$	$E_b \geq 6,000$ — CL~D 1,000~3,000
		$< 6,000$ — D~D 600~1,000
$E_b < 3,000$	$V_p < 2.5$	$E_b \geq 1,000$ — CL~D 1,000~3,000
		$E_b < 1,000$ — D~D 600~1,000

表-3 岩盤の強度特性区分

区分法	区分表示	設計強度定数
$RQD \geq 25\%$	$q_u \geq 300 \text{ kg/cm}^2$	$RQD > 75$ — A~s 50 20~30
		$75 > RQD \geq 50$ — B~s 45 15~25
		$RQD < 50$ — CH~s 40 10~20
	$q_u < 300$	$E_b \geq 3,000$ — CM~s 40 5~15
		$3,000 > E_b \geq 1,000$ — CL~s 35 5~15
		$E_b < 1,000$ — D~s 30 5~15
$RQD < 25$	-	$E_b \geq 3,000$ — CM~s 40 0~10
		$3,000 > E_b \geq 1,000$ — CL~s 35 0~10
		$E_b < 1,000$ — D~s 30 0~10

④これらの断面区分図に設計用の工学定数を表示する。

図-19はボーリング結果を総合判定柱状図に書き表わしたものである。図-20、図-21は同一地点の強度区分と変形区分断面図作成例である。

6. あとがき

孔内測定値の分類特性を検討のうえ、地盤モデル図の作成と、変形、強度特性などの工学的性質を判定表示する方法が試みられたが、岩の力学の立場からは種々異論のあることと思われる。また実用面では、変形特性の推定法には、局部的であるが実測値も使われているので、地盤モデル図を含めて、大略利用可能と思われる。一方セン断強度特性の推定法には、孔内測定による直接法がなく、数少ない岩盤試験結果の対比による間接法によっているので、その定量的数値の評価、またモデル図自体の精度も比較的不満足なものである。今後のデータの蓄積とその詳細検討が必要である。ただし、二つの工学特性は、定性的であるが、風化の程度と風化のタイプに応じて、岩盤の基本的性質と密接な関係があることがわかったのは、今後の進め方の指針を示す意味で有効と思われた。今後さらに適切なモデル化か、また工学的性質の定量的評価が望まれる。

末筆ですが、本稿の執筆に際し、本州四国連絡橋基礎地盤の総合的検討委員会第二分科会の検討資料を多数引用し、また主査吉中龍之進氏をはじめ委員諸氏のご教示またご協力をいただいたことを明記し、深く感謝の意を表します。

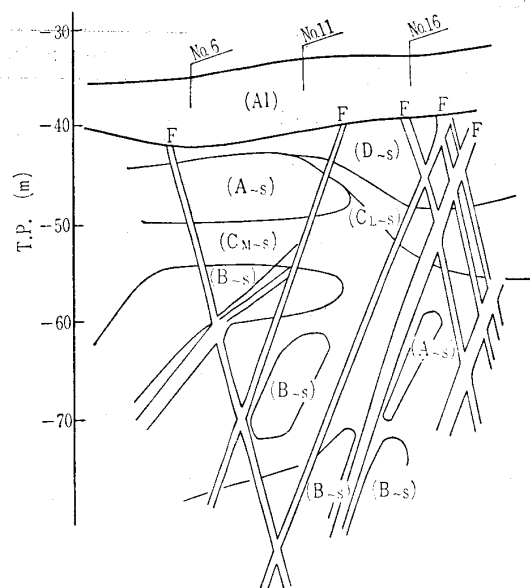


図-20 強度区分断面図

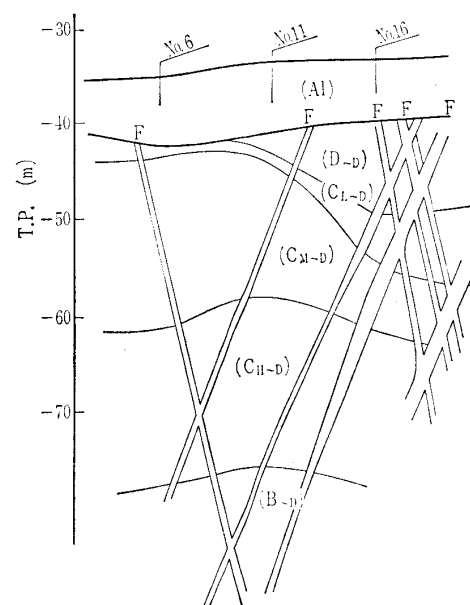


図-21 変形区分断面図

参考文献

- 1) 高橋・高田・石川・羽竜: 孔内測定を利用した岩盤調査 (風化花こう岩の場合), 土と基礎, Vol. 21, No. 3, 1973
- 2) 高橋・高田・石川・羽竜: 孔内測定を利用した花崗岩類の工学的性質の判定について, 第4回岩の力学国内シンポジウム, 昭和48年
- 3) 高橋幸蔵: 海底地質調査法, 橋梁と基礎, Vol. 6, No. 10, 1972
- 4) 吉中龍之進: 花こう岩地盤の工学的性質, 橋梁と基礎, Vol. 7, No. 10, 1973
- 5) R. Yoshinaka, K. Takahashi, H. Ochi, K. Ishikawa: Indication of Mechanical Properties of Granite Rock Mechanics In Japan, Vol. II, J.C.R.M. 1974.
- 6) K. Takahashi, K. Ishikawa: Geological Investigation and Judgment of Engineering Nature, Utilizing Borehole Measurements, Rock Mechanics In Japan, Vol II, J.C.R.M., 1974. (原稿受理 1975. 12. 25)