

土 木 研 究 所 資 料

第 576 号

ボーリングコアの工学的表示法

昭和 45 年 3 月

建設省土木研究所

ボーリングコアの工学的表示法

地質研究室長 岡 本 隆 一
同 研 究 員 菅 原 捷

目 次

1. ま え が き	1
2. 従来の表示法	2
2.1 一般的な表示法	2
2.1.1 コアの観察および試験	2
2.1.2 掘進の状況解析	3
2.1.3 ボーリング孔内試験	3
2.2 矢作ダムサイトの例	4
3. 新しい表示法	7
3.1 不連続面（割れ目）の表示法	7
3.1.1 不連続面の種類	7
3.1.2 不連続面の間隔	7
3.1.3 不連続面の状態	7
3.2 R Q D	9
4. ま と め	14

1. ま え が き

ダムの地質調査などにおいて地質踏査や弾性波探査などにより、概略の地質がわかつた後にさらに詳しい調査をおこなうには、ボーリングや調査横坑、調査立坑が掘削される。調査横坑や立坑は直接肉眼観察が出来て坑内での現位置試験も容易であるから、精度の高い地質調査が出来るという長所があるが、一般に掘削費がかさみ、工事に時間がかかり、水底下など場所によつては施工が不可能であると云う難点があり、又掘削によつて山をゆるめ、埋戻しも困難であるなどの短所もある。これに対してボーリングは全く逆である。地質調査用のボーリングでは、普通、コアをとるオールコアボーリングが行なわれ、ビットとして超合金メタルやダイヤモンドを使つたクラウンを用い、ロータリー方式でダブルコアチューブを使用するなどコア採取率をあげる努力が払われている。

ボーリングで得られるコアを注意深く調べればコアのものと位置での状態がよく分かるはずである。さらにコアが得られないところでも掘進状況を解析したり、孔中で物理検層などを行なえば地質状況がかなりよく分かる。このうち、ここでは主としてボーリングによる地質調査のありかたに反省を持ちながら、基礎岩盤や地山の状態を示し評価する場合の コアの取扱い方、考え方について検討を加える。

岩盤の評価すなわち岩盤区分基準の要素としては ①岩塊そのものの硬さ、②不連続面（割れ目など）の多寡や方向性 ③不連続面の状態がある。これらの要素を分かり易く、かつ誰が行なつてもほぼ同じ結論に達するような区分基準ができれば、望ましいことである。

ボーリングコアによる岩盤区分だけで岩盤全体の評価を行なうことは困難であり、危険でさえある。しかし、従来はボーリング結果が十分生かされていないといううらみがあつたが、ボーリングコアの適当な工学的評価と他の調査法や、試験法を組み合わせる岩盤評価を行い、よく比較検討すれば良い結果が得られるものとする。

ここではダムの基礎岩盤、原石山あるいはトンネルなどを対象とした主として硬岩の調査ボーリングについて上記の立場から工学的表示方法の試案を示そうとするものである。

2. 従 来 の 表 示 法

2.1 一般的な表示法

調査用ボーリングは下記のような方法手段によつて地下の地質状態を判断し表示する。

- ① コアの観察および試験
- ② 掘進の状況解析
- ③ ボーリング孔内試験

2.1.1 コアの観察および試験

ボーリングによつて採取されるコアを肉眼観察するもので、岩石名、岩相、硬さ、破碎・風化・変質の程度、割れ目の多少などを記載する。またボーリングコアの試験によつて求められる項目には、一軸圧縮強度、三軸圧縮強度、引張強度、じん性、ショア硬度、すりへり度、比重、密度、間隙率、飽和度、含水比、吸水率、粒度組成、弾性波（超音波）伝はん速度などがあるが試験を行なう場合には調査の目的および対象に合った項目手段を取捨選択し、試験結果が有効に使えるようにしなければならない（表-1）。

表-1 調査の対象・目的別試験項目の例

調 査 の 対 象	調 査 目 的	岩 石 の 試 験 項 目											
		(1) 供試体の記載	(2) 密度・吸水率試験	(3) 一軸圧縮試験	(4) 弾性係数試験	(5) 三軸圧縮試験	(6) 直接せん断試験	(7) 引張り試験	(8) じん性試験	(9) ショア硬度試験	(10) 磨耗試験	(11) 凍結融解試験	(12) 注水乾燥試験
土木構造物を対象とし て岩を取り扱うとき	地質調査のための一般的な岩の性質のは握	◎	○	◎	◎								
	岩盤の強度、変形に対する基礎資料を得る	○	◎	◎	◎	△	△	△	△	△		△	△
	岩盤（軟岩または一様な風化岩）の工学的性質のは握	○	◎	◎	◎	○	○	○	△	△		○	○
	風化（熱、湿潤、乾燥）に対する性質のは握	○	○	○	○					○		◎	◎
	掘削機械の選定、掘削能率に対する基礎資料を得る	○	○	◎	◎		△		○	○	○		△
土木材料として岩を取り扱うとき	骨材としての性質のは握	◎	◎	◎				△		○	◎	◎	△
	試験の必要度 ◎：ぜひ必要 ○：必要 △：あれば望ましい												

2.1.2 掘進の状況解析

掘進の状況解析を行なう場合の調査項目としては、掘進速度、コア採取率、トルク、採取されたコアの長さなどがある。

掘進速度には作業時間当りのものと実掘進時間当りのものがあり、普通は後者すなわち実掘進速度（あるいは純掘進速度）を用いる。基本的な考え方は掘削条件すなわち機械、ビット、給圧、回転などが同一であれば掘進速度は岩質によつて決まるとするものである。一般に岩質が硬く、碎け易くてコアが細碎状になる場合にはコアづまりをおこし極端に掘進速度が低下する。しかし地質に対してもふくめて掘進作業の馴れが掘進能率に大きく影響する。当初は能率が悪く、ある程度掘削した後に順調な掘進速度になる場合が一般的である。コアの採取率をあげようとして経済ペースの掘進速度と変る場合も多い。

コア採取率は、岩種や岩質によつてコアの採取率が変わつてくることを指標に使おうとするもので、採取されたコアの全長と、掘削長との比で示す。コアの採取率が小さかつたり、急に变化する場合には地質的な原因を知る必要がある。しかし、コア採取率は地質条件の他、機械器具選択の良否（ビット、クラウン、孔径など）、作業員の能力、掘進速度などによつても変わつてくる。また平均して少ない場合には、地質が悪い場合は勿論だが、作業員の能力不足、給圧、コアチューブ、ビット、ロッド、送水量、回転速度、掘削速度などの他、機械の固定が不十分など初歩的な事項も多い。また極端な場合にはコアの採取を第2義としてロッドの昇降を少なくしたり異常な給圧や送水量で掘進工程を上げるなどの悪例もみられる。

ボーリング時にビット又は機械にかかるトルクから岩質とくに硬さを知ろうとする試みも行なわれている。これも回転速度や給圧など掘削条件によつて変わつてくるが、掘削進度が深くなると、ロッドの荷重が増大し、ロッドが孔壁を擦るようになるのでトルクが非常に増大するという点から一様な条件が得難いという欠点がある。

コアの長さは岩石そのもののもろさを示す他、潜圧的、顕在的割れ目やその多寡の傍証となる。それらの表示方法には最大コア長、中間（平均）コア長などがある。

機械的な状況解析の他に湧水、漏水、地下水位、掘削水の色調観察などがある。掘削水の色調は地層の変化の検出に役立つ重要な事項である。³⁾

2.1.3 ボーリング孔内試験

岩における掘削後のボーリング孔を使つて行なう調査試験には、変形性試験（プレッショメーター）、孔壁の観察（ボアホールテレビ）、物理検層、湧水量試験、透水試験、グラウト試験などがある。これらの調査試験を適宜組み合わせて行なつた岩盤の地質状態を把握する。

2.2 矢作ダムサイトの例

前述のいろいろな表示法が実際にどのように使われているかを矢作ダムの例で示す。²⁾

矢作ダムは矢作川上流、岐阜県と愛知県との県境に建造されている。ダムサイト付近の地質は中粒の両雲母花崗岩からなり、岩質は比較的堅硬である。調査は地表地質踏査、物理探査（弾性波探査）、試掘横坑、ボーリングなどが行なわれ、それらの結果は相互によく比較検討された。ボーリングの結果は特にコア採取率、コアの形状、岩の硬さを区分要素にして区分し、図-1に示すようにまとめて岩盤区分に役立てた。

矢作ダムサイトにおいては、調査横坑内の岩盤区分と、ボーリングによる岩盤区分との対比が行なわれ（表-2、3）それぞれの区分数が異なるが、ほぼ対応している。

表-2 岩盤の区分基準例（矢作ダム）

（岡本・安江）

横 坑 内 観 察			ボーリングコア観察		
区分要素	細区分	内 容	区分要素	細区分	内 容
硬さ・風化	A	新鮮、堅硬	硬さ・風化	A	新鮮、堅硬
	B	やや風化、やや軟質		B	やや風化、やや軟質
	C	一見して風化岩、手またはハンマーで容易にくずせる		C	非常に軟質
割れ目の間隔	I	50 cm以上	コアの形状	I	棒 状
	II	50 cm～15 cm		II	半棒状および岩片状
	III	15 cm以下		III	礫状ないし小石状
割れ目の状態	a	密着、割れ目に沿って風化の跡が見られない		IV	砂状ないし粘土状
	b	密着、割れ目に沿って多少風化変質し、その面に薄い粘土物質が付着する			
	c	小さな（2mm程度）空隙を有する割れ目が発達しているか、あるいは割れ目に沿ってかなりの幅をもつて風化変質し、割れ目には粘土物質を介在する			
	d	開 口			

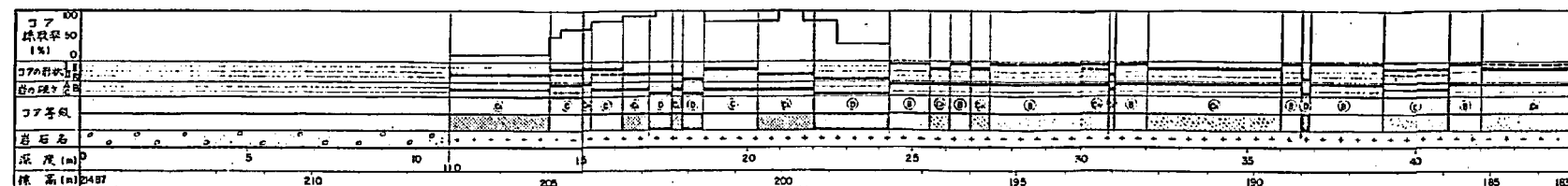
表-3 総合判定による岩盤区分例（矢作ダム）

（岡本・安江）

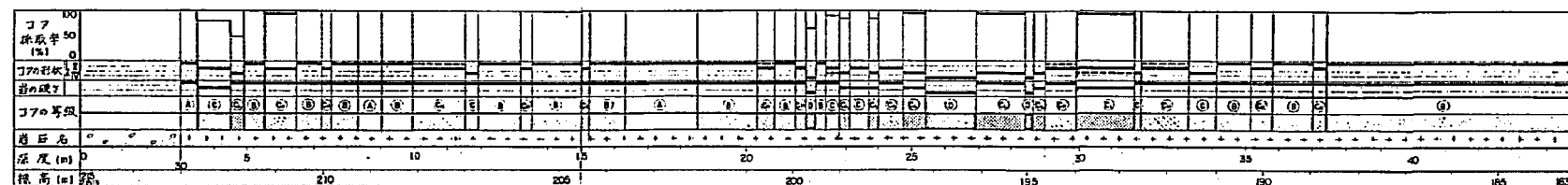
(a) 横 坑 観 察		(b) ボーリングコア観察	
総合判定区分	内 容 （一般概念）	総合判定区分	内 容 （一般概念）
[A]	割れ目の間隔大きく密着している。堅岩。ダム岩盤として十分な条件を備えている。	[A]	堅硬な良岩、コアを棒状で完全な形態を保つ。コアが長い（おおむね1m当りのコア数5～6個以下）。
[B]	割れ目の間隔[A]よりやや小さい。割れ目の状態も[A]より多少劣るが堅岩、ダム基盤として十分。	[B]	同上、コアが短い（おおむね1m当りのコア数5～6個以上）。
[C ₁]	割れ目の間隔は[B]よりやや小さい。割れ目沿いの風化・変質も[B]よりやや進むが岩質は堅硬。ダム基盤として一般に使用可能。	[C _h]	[B]より割れ目が多く、コアが完全な棒状を保てないので比較的大きな岩片状となっている。組合せればおおむね原形に復元しうる。
[C]	割れ目の間隔は[B]および[C ₁]に近いが、割れ目に沿う風化・変質は[C ₁]より進む。岩質は一般にやや風化・ダム取付部付近と一様に分布している場合はダム基盤として望ましくない。	[C]	同上、もとのコアの形に復元できないほど細かく割れた状態。
		[C _g]	同上、さらに細かく、コアが細片状のもの。
[D]	破碎を受けたり、風化・変質が非常に進んだもの。ダム取付部付近に一様に分布している場合はダム基盤としてその対象とはしがたい。	[D]	断層などで、砂状ないし粘土状となつた部分、採取率0の場合は[D]とみなす。

注 1) 岩質が風化あるいは変質作用のため軟弱化したものについてはコアの形状にかかわらず、その程度に応じて総合判断する。

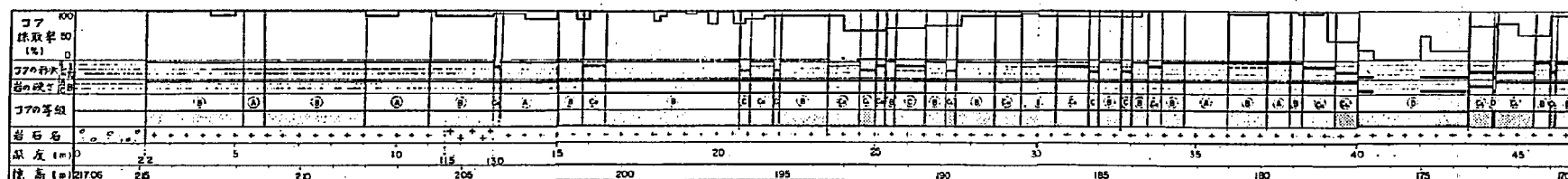
B 3
標高 21487m
深度 4500m
角度 45°
方向 N50°30'W
孔径 55mm



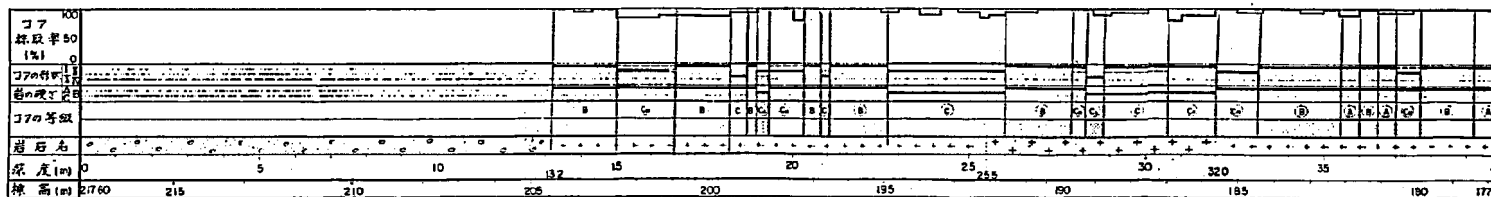
B 4
標高 21513m
深度 4500m
角度 45°
方向 S42°30'E
孔径 55mm



B 12
標高 21705m
深度 4700m
角度 90°
方向 Ver
孔径 65mm



B 13
標高 21760m
深度 4000m
角度 90°
方向 Ver
孔径 65mm



- 凡 例
- ① 良質岩盤
 - ② 不良岩盤
 - ③ 砂れきまたは表土
 - ④ 花崗岩
 - ⑤ 緑色花崗岩 (内緑岩質花崗岩) (Green zone)
 - ⑥ アブライト質花崗岩 (緑色)
- 岩盤の結合等級
- I 棒 状
II 半棒状または岩片状
III れきまたは小石状
IV 砂または粘土状
- コアの形状
- 岩盤の細分類
- A 新鮮、堅硬
B やや軟質
C 非常に軟質
- 岩の硬さ

図-1 ボーリング柱状図 (例) (建設省中部地方建設局 矢作ダム)

3. 新しい表示法

3.1 不連続面（割れ目）の表示法

一般に硬岩と称されているものは、岩盤全体を考えた場合、素材としての岩片そのものの強度とともに、節理、片理、層理、キレツなどいわゆる不連続面の要素がきいてくる。これら不連続面の状態、頻度、方向性などは岩盤の剪断強度、変形性、透水性などに大きく影響する。岩盤を評価する場合にはこの不連続面の要素を適確に評価しなければならない。

不連続面を区分基準とする表示方法としては次のような事項がある。¹⁾

- ① 定性的なもの — 不連続面の種類、密着度、平滑性、充てん物
- ② 定量的なもの — 主として節理、キレツなどの頻度、方向性（最大コア長、平均コア長、R Q D、方向、頻度図など）

3.1.1 不連続面の種類

不連続面の種類としては割れ目が最も多く、ほとんどあらゆる種類の岩石に存在する。この他堆積岩では層理、変成岩や火成岩には片理や流理、葉理が存在する。また地盤の運動によつて生ずる断層やそれにもなる破碎帯や破碎部も存在する。さらにこれらの語ではいい表わせえないような方向性のないものの集中する部分もあり、これについてはハサイ（fracture）という語を使う。

3.1.2 不連続面の間隔

不連続面の間隔は方向性とともに岩盤強度に大きく影響する。ボーリングコアの場合には一般に方向がつかめないことが多いし掘削方向に平行なものは、その存在さえわからないことがある。そのためボーリング計画は地層や不連続面の方向性を考えてよく検討しておこなわなければならない。

ボーリングコアによつて岩盤の不連続面をすべて正しくつかむことは殆んど不可能なことであるが細心の注意を払つて観察すれば、かなりいい結果が得られる。従来から最大コア長、中間コア長などを代用しているものがあるが本来これは正しい間隔を意味しないので区別して使うべきである。

不連続面を間隔で区分する場合幅をいくにするかは調査目的、岩質などによつて判断しなければならない。表 2, 4, 5 はその例である。

3.1.3 不連続面の状態

不連続面の状態を示す要素としては不連続面の密着性、平滑性（凹凸）、連続性、方向、充てん物、湧水などがある。

不連続面の平滑性や充てん物は岩盤の強度の他、

表-4 断層、割れ目の区分基準（川俣ダム）

（岡本）

区分要素	細区分	内 容
幅	A	幅 3 m 以上
	B	// 3 m ~ 1 m
	C	// 1 m ~ 0.2 m
	D	// 0.2 m 以下
変 質 度 *	I	温泉変質状
	II	風 化
	III	角礫状

*複合したものは、そのおのおのの幅を下に示す。

表 - 5 岩盤の区分基準例

(岡 本)

(a) 下 釜 ダ ム (花崗岩・安山岩の例)			(b) 裾 花 ダ ム (凝灰角礫岩の例)		
区分要素	細区分	内 容	区分要素	細区分	内 容
岩塊の硬さ	A	堅 硬 (1)	硬 さ	A	堅 硬
	B	一部堅硬, 一部軟質, 全体にやや軟質(2)		B	中程度あるいは硬軟が入り混じる
	C	軟 質(3)		C	軟 質
割れ目の間隔	I	5 0 cm以上	割れ目の間隔(4)	I	5 0 cm以上
	II	5 0 cm ~ 1 5 cm		II	5 0 cm ~ 1 5 cm
	III	1 5 cm以下		III	1 5 cm以下
割れ目の状態	a	密 着	角礫の比重 (5)	a	5 0 %以上
	b	開 口 状		b	5 0 ~ 2 0 %
	c	粘土をはさむ		c	2 0 %以下
(1) ハンマで火花が出る程度 (2) ハンマで強打して1回で割れる程度 (3) ハンマでくずれる程度 (4) ここでの数値は1例であり, 現場条件で異なる (5) 概算1 m ² 中の面積比					

特に滑りに対して, また密着性や充てん物は変形性に対して大きな影響がある。また不連続面の種類では節理が最も大きな影響をもっている。

密着性——岩盤が密着しているか開口しているかはコアとして採取されたとき不連続面がくつき, 空気などの入る空隙があるかどうかで判断がつく。この場合不連続面にそって風化していたり, 変質している場合でも密着していれば密着という表現をする。開口している場合には面に凹凸がある場合の他は判断し難いがその幅を示すとよい。

密 着 性 (tightness)

{ 密 着 (tight)
 { 開 口 (open)

平滑性——不連続面の滑りはその面の平滑性に関係するところが大きい。面が少しでも凹凸していると滑りに対する抵抗力は非常に大きくなる。一般にボーリングコアでこれを判断することはむずかしいが細心の観察を行つて次のような表示をする。

平 滑 性 (irregularity)

平面度 { 平 面 (plane)
 { わん曲 (curved)
 { 凹 凸 (irregular)

平滑度	非常に滑らか	(slick)
	滑らか	(smooth)
	ざらざら	(rough)

充てん物 → 不連続面に二次的に付着または沈でんしたもので強度や変形性に大きく影響する。充てん物によつては地下水の滲入で強度が極端に低下し滑り易くなるものも多い。掘削じゆんかん水で洗われることが多いのでコアで見わけるとはかなり困難であるが、面に残存して付着しているものがないかどうかを綿密に観察し表示は種類、色、厚さ、硬さによつておこなう。

3.2 R Q D

R Q D は Rock Quality Designation の略で岩石の砕け易さと岩盤中に存在する潜在的、顕在的不連続面を数値表現し一種の指数で表わそうとしたものである。⁴⁾ R Q D を求めるにはコアを 1 m 毎に区切り棒状または岩片状コア (1 片 1 cm 以下のものは無視する) の長さの総和に対する 1 片 10 cm 以上のコアの長さの総和を 100 分比で示す。

$$R Q D = \frac{(\text{1 片 10 cm 以上のコアの和})}{(\text{棒状および礫状コアの和})} \times 100$$

R Q D は不連続面の多少を定性的に説明することにより、よりよく岩質を表わすことが出来る場合もある。とくに R Q D とコア採取率を比較できるように表示しておけば岩種からコアや柱状図の記事をみなくともコアの内容を推測することができる。

〔例 - 1〕 (図 - 3)

地質は第 3 紀中新世のだいたい均質な礫層である。礫は安山岩の円～垂円礫で礫径は 20～30 cm, 新鮮で節理も殆んど発達していない。コアの採取率は 100% であるが, R Q D は 0～100 である。例えば深度 168～191 m 間はマトリックスがやや脆弱化し礫と分離し易いため, コアとしては礫状か, あるいは細片化し砂状にしかならない。深度 233～237 m 間の凝灰角礫岩は変質して土状になつていたので, とともに R Q D は 0 または小さい値を示すが, コア採取率では 100%

	コア片の長さ※	
	1 片 10 cm 以上のもの	
	12	12
	—	
	6	
	0	
	2	
	0	
	18	18
	—	
	10	10
	0	
	8	
	2	
	2	

掘進長 100 cm 60 cm 40 cm

$$R Q D = \frac{40}{60} \times 100 = 66.7$$

※ コアの形状をしていないものや一片 1 cm 以下のものは無視する。

図 - 2 R Q D のもとめ方

と記録される。このように質的に問題の多い地質を認定し難いが、R Q Dによるとその箇所を指摘できる。

〔例-2〕（図-4）

例-1と同一地域であるが砂岩が存在する例である。砂岩は均質でよく固まっているが、炭質物を含んでいるところや凝灰質などところがあり、そういうところではコアは洗い流されてコア採取率は低い。採取されたコアは長さ10 cm以上の棒状コアであることを意味する（深度80~124 m間）。深度120 m以深では礫岩になるため棒状コアとならず、礫状コアが多いが、コア採取率はよい。

火山礫凝灰岩は変質して軟質な砂~粘土状コアしか採取できないのでコア採取率は高いがR Q Dは0である。また安山岩も凝灰岩との境界付近は変質していることを意味する。

ここでも、コア採取率よりもR Q Dのほうが問題のある岩質とよく一致する。

〔例-3〕（図-5）

これも前二者と同一地域のものであるが、礫岩および安山岩中を掘削しているボーリングである。安山岩の岩片そのものは新鮮で緻密堅硬であるがキレツが発達しており細片状のコアしか採取できない。こういう場合にはコア採取率は低く、R Q Dもほとんど0になる。非常に悪い岩質であることがよく示される。なおこの区間の孔壁は崩壊し易く、セメンテーションをし、さらにケーシングパイプで追い切りしながら掘進した。

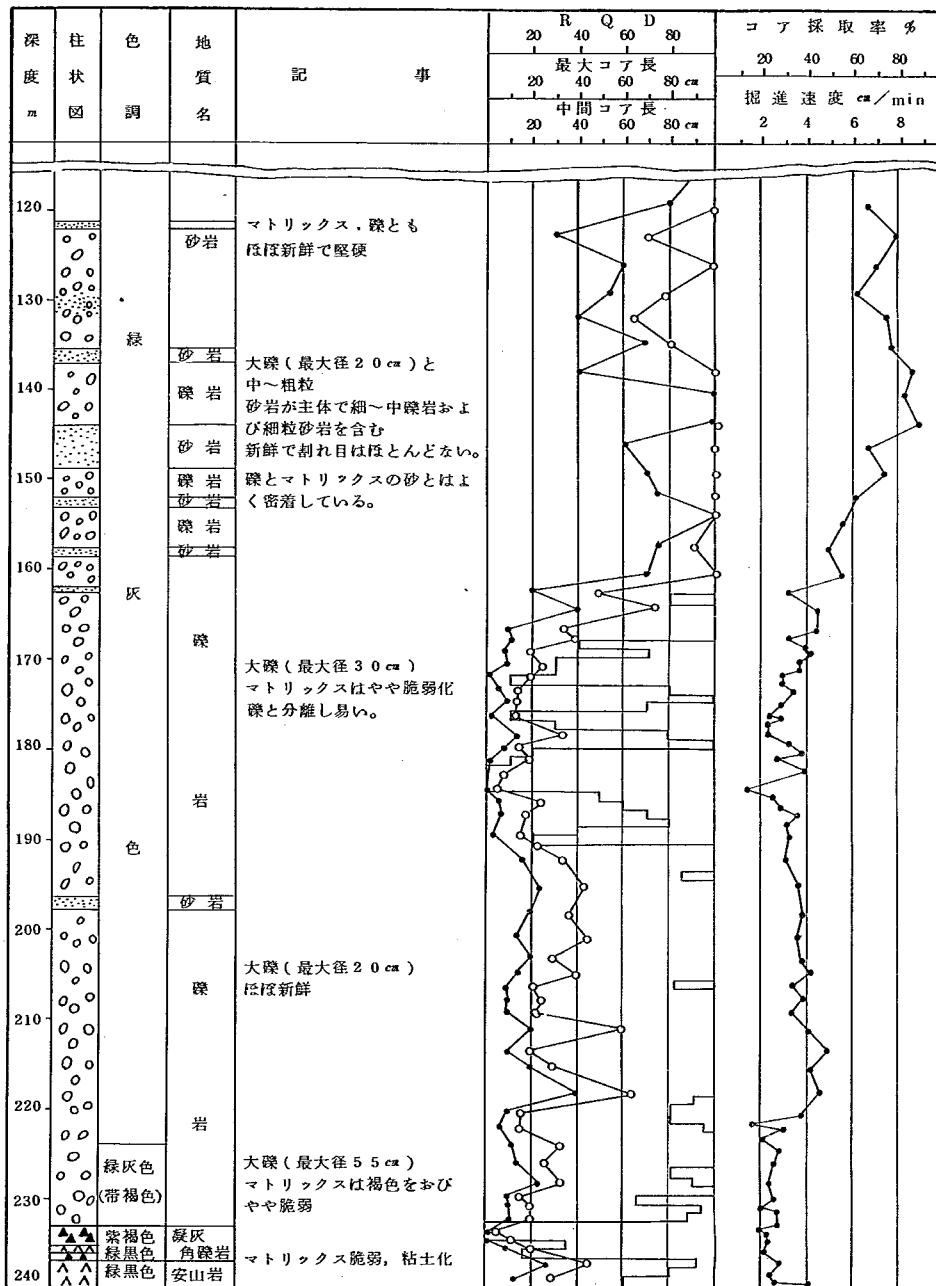


図-3 (例-1) ボーリング柱状図

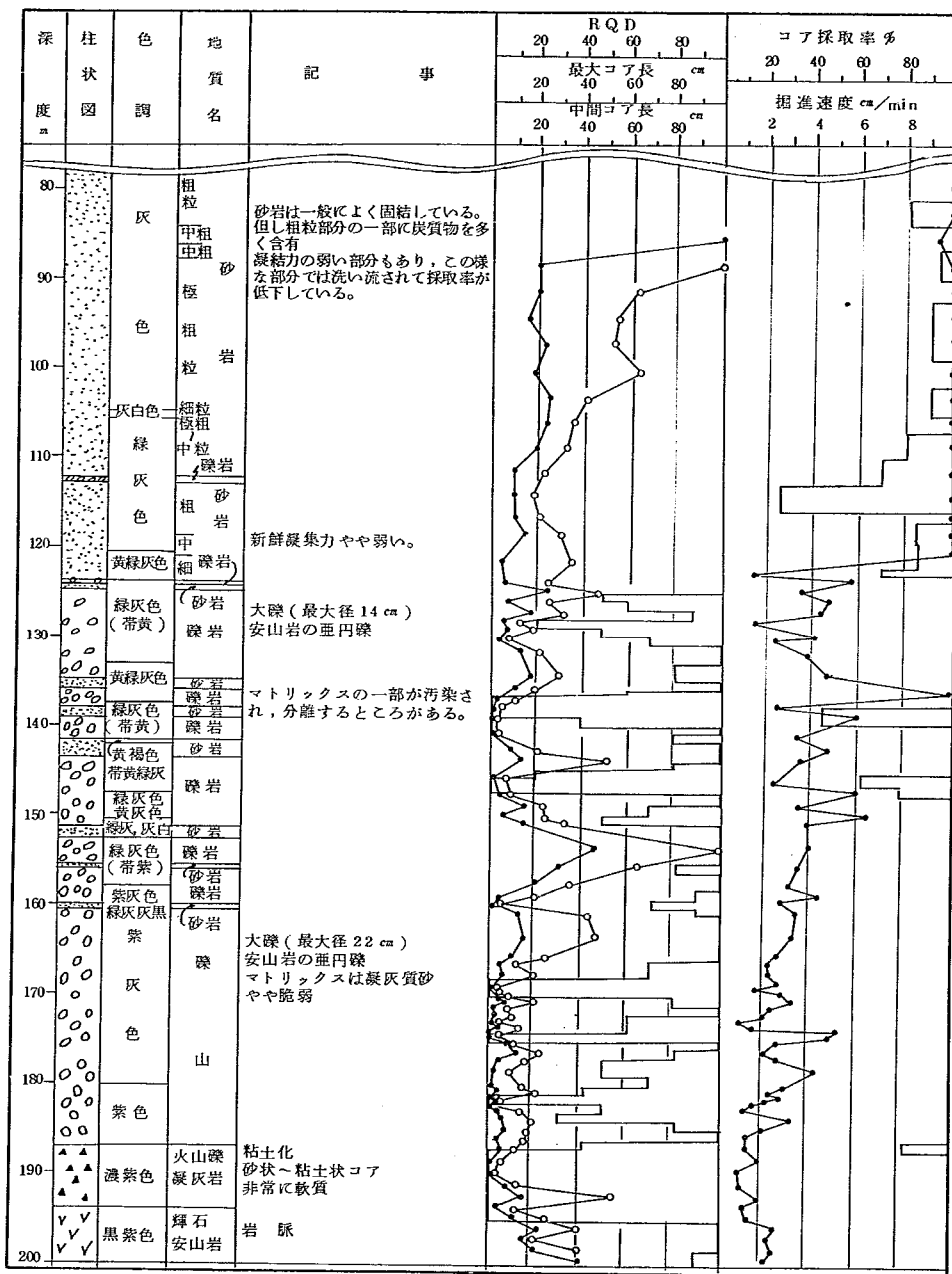


図-4 (例-2) ボーリング柱状図

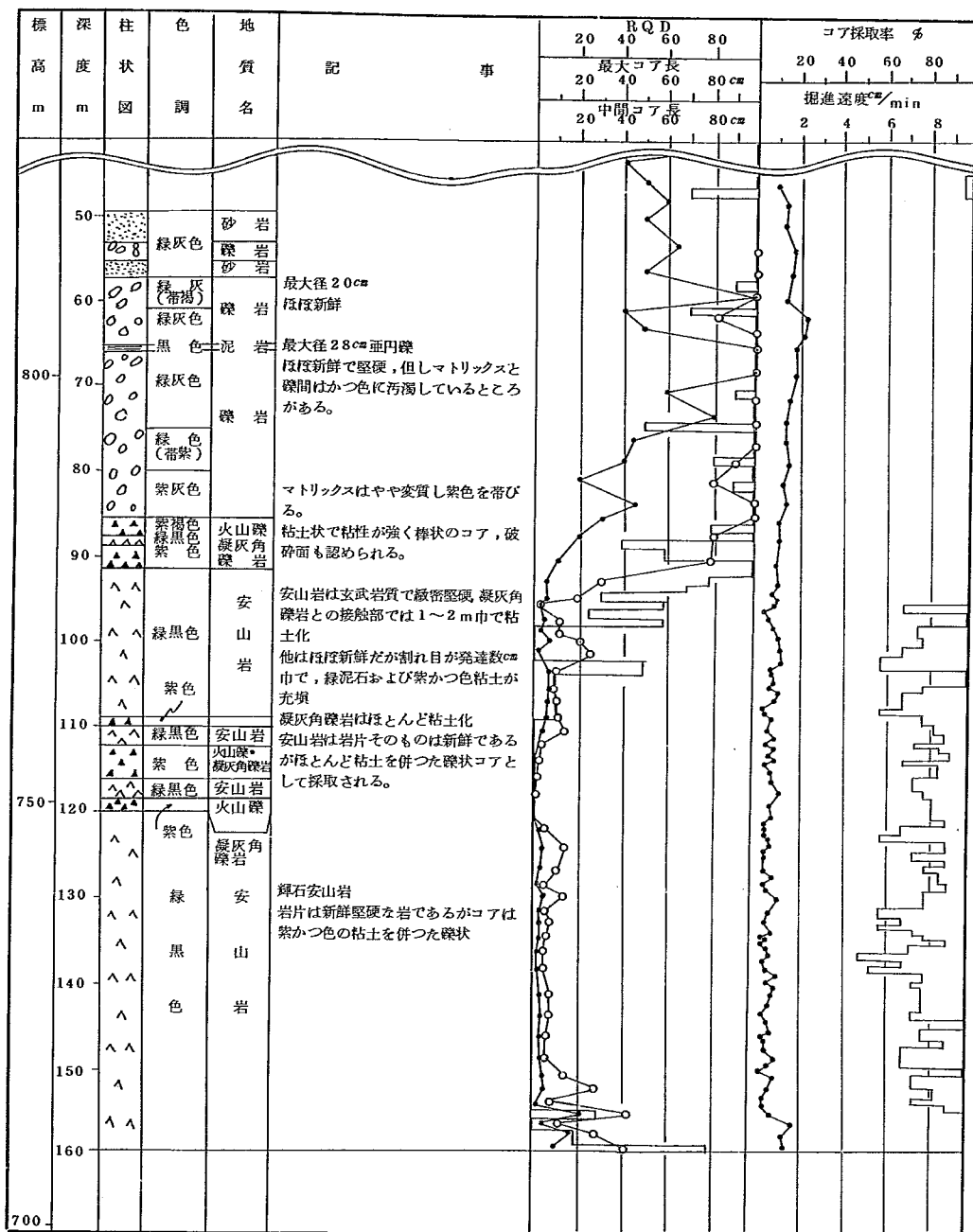


図-5 (例-3) ボーリング柱状図

4. ま と め

本資料では、ダムなどの地質調査におけるボーリング調査の結果をいかにまとめるかということ述べた。従来ボーリング調査結果は調査目的とはあまり関係づけず、かつてなまとめ方をしがちであったが、ダムなどの地質調査が岩盤区分というかたちでまとめられる必要性から、ボーリングコアもこの線に沿ってまとめる必要がある。すなわち岩盤を区分する要素として重要な不連続面の質と量を定量的に表示することでありこの方法として、不連続面の種類、間隔、状態の表示法および、R Q Dによる定量的な表示法を検討した。これによつて他の調査法や試験法によつて得られた調査結果との関連性を定量的に比較検討できるようになるであろう。

なお、この資料を作成するにあたり諸先輩の文献や公表、未公表の資料を多く参考にさせていただいた。また、地質研究室の諸氏には有益なアドバイスを得た。記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) D.U.Deere Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes
Rock Mechanics and Engineering Geology 1 - 1 1963
- 2) 岡本・安江 ダムサイトにおける岩盤区分の試み 土木技術資料8-9 1966
- 3) 地質研究室 軟岩ボーリングのまとめ方試案 土木研究所資料413 1968
- 4) D.U.Deere Rock Quality Disignation 1968

その他の文献（単行本）

- | | | | |
|---------|----------------|-------|------|
| 田 中 治 雄 | 土木技術者のための地質学入門 | 山 海 堂 | 1964 |
| 小 貫 義 男 | 新編土木地質 | 森北出版 | 1968 |