

7. 岩盤分類

7.1 岩盤分類の考え方

土木構造物の建設では、適切な設計・施工を行うために基礎岩盤の耐荷性や遮水性など、岩盤の工学的性質を三次元的に把握しなければなりません。そのためにはまず、対象となる地層や岩体の空間分布を把握し、さらにそれぞれの地質の工学的性に着目して分類します。ここでは地質学と地質工学との協働が必要です。岩盤分類では岩盤を区分（岩盤区分）し、ランク付け（岩盤等級、地山等級）し、それぞれの岩盤等級の物性値を設定します。その流れを図 7.1 に示します。

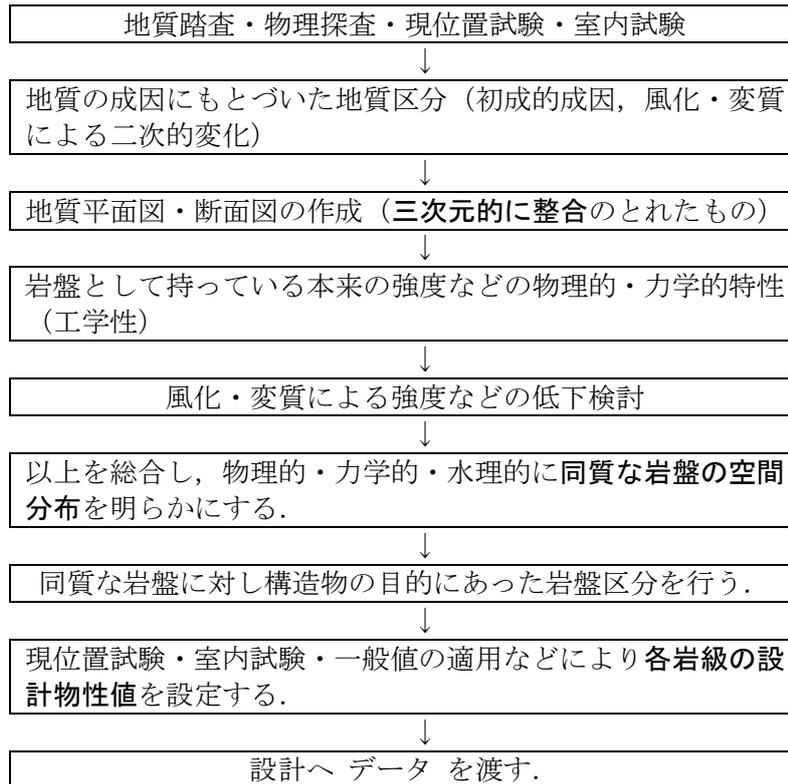


図 7.1 岩盤分類の手順

岩質の低下度 \ 割れ目の状態	割れ目の間隔			
	a.広い	b.中程度	c.狭い	d.破碎
I 新鮮である	[Grid]			
II 少し風化している	[Grid]			
III 風化し強度が低下している	[Grid]			
IV 強度が全く低下している	[Grid]			

【図 7.2 岩盤分類の概念図 (L.Muller, 1963 の考え方)】

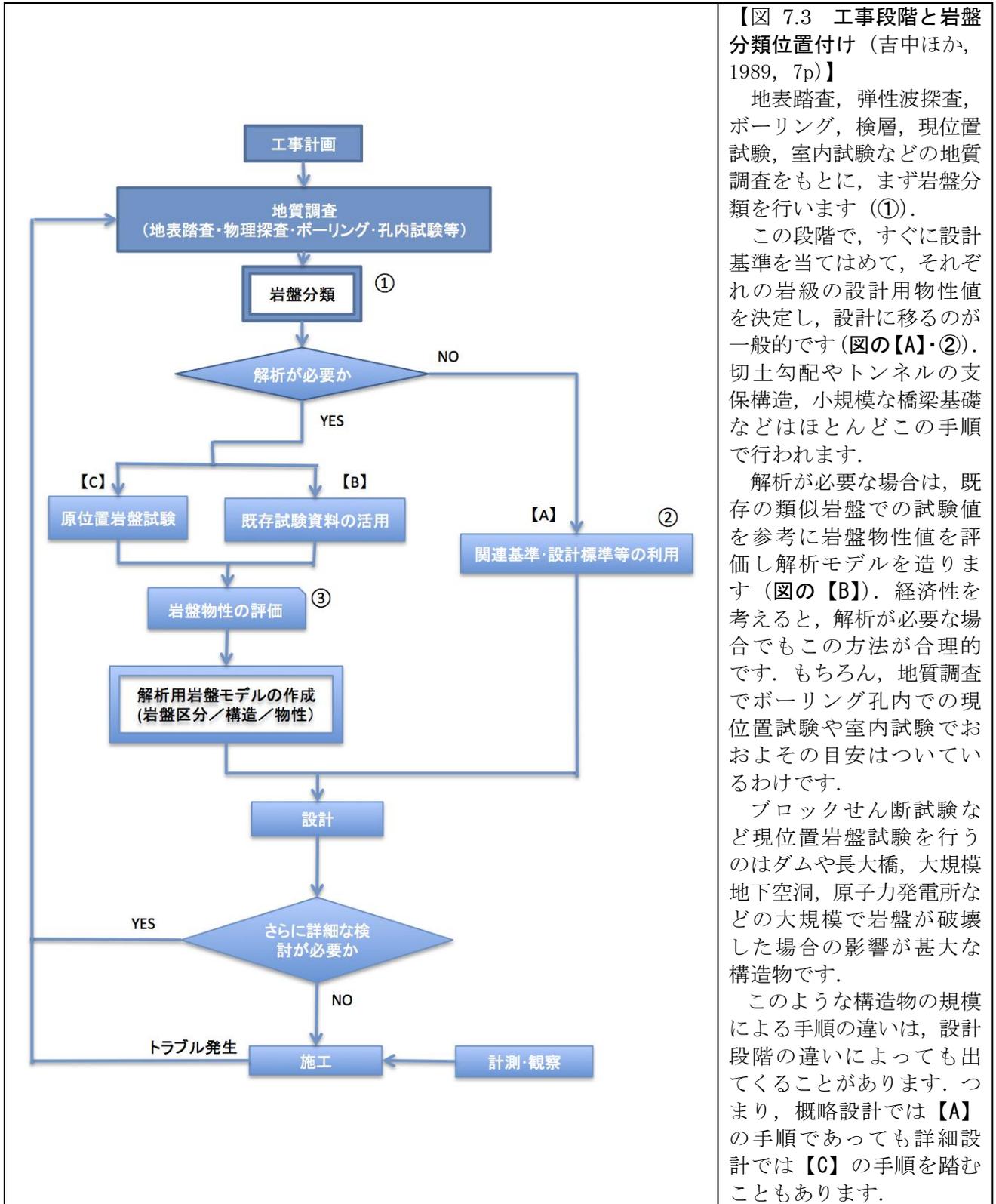
縦軸に岩石の強度，横軸に割れ目の間隔を取ると，左上から右下に向かって岩盤は劣化します。

縦軸は風化や熱水変質による強度の低下で，横軸は岩盤中の割れ目の間隔です。

現在の分類では，割れ目の状態には割れ目の間隔だけでなく粘土が挟在しているか，開口しているか，面が平滑か，なども要素に組み入れられています。

7.2 工事の段階と岩盤分類

岩盤分類の位置付けは工事の段階によって異なってきます。



【図 7.3 工事段階と岩盤分類位置付け（吉中ほか，1989，7p）】

地表踏査，弾性波探査，ボーリング，検層，現位置試験，室内試験などの地質調査をもとに，まず岩盤分類を行います（①）。

この段階で，すぐに設計基準を当てはめて，それぞれの岩級の設計用物性値を決定し，設計に移るのが一般的です（図の【A】・②）。切土勾配やトンネルの支保構造，小規模な橋梁基礎などはほとんどこの手順で行われます。

解析が必要な場合は，既存の類似岩盤での試験値を参考に岩盤物性値を評価し解析モデルを造ります（図の【B】）。経済性を考えると，解析が必要な場合でもこの方法が合理的です。もちろん，地質調査でボーリング孔内での現位置試験や室内試験でおおよそその目安はついているわけです。

ブロックせん断試験など現位置岩盤試験を行うのはダムや長大橋，大規模地下空洞，原子力発電所などの大規模で岩盤が破壊した場合の影響が甚大な構造物です。

このような構造物の規模による手順の違いは，設計段階の違いによっても出てくる場合があります。つまり，概略設計では【A】の手順であっても詳細設計では【C】の手順を踏むこともあります。

7.3 岩盤分類の歴史と種類

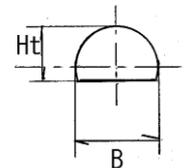
テルツァギの分類（トンネル）

岩盤を工学的見地から記載することの重要性を初めて説いたのはテルツァギ（Karl Terzaghi, 1883-1963）です。テルツァギは1946年に出した“Rock defects and loads on tunnel supports”で表7.1に示すようなトンネルの岩盤分類荷重表を提案しました。

【表7.1 テルツァギの作用荷重による岩盤の分類（小島・中尾，1995，287pによる）】

岩盤の状態	土荷重の高さ (m)	摘要
1. 堅硬で侵されていないもの	0	肌落ちや山はねのある場合は、軽易な支保工を用いる。
2. 堅硬で層状または片岩状のもの	0~0.50B	軽易な支保工を用いる。荷重馬場所ごとに不規則に変化する。
3. 大塊状で普通程度の節理のあるもの	0~0.25B	
4. 普通程度に塊状で割れ目の多いもの	0.25B~0.35(B+Ht)	側圧は無い。
5. はなはだしく小塊で割れ目の多いもの	0.35(B+Ht)~1.10(B+Ht)	側圧は小さいか又は無い。
6. 完全に破碎されているが、化学的には侵されていないもの	1.10(B+Ht)	相当の側圧。湧水によりトンネル下部が軟弱となるときは、支保工下部に通し土台をするか、円形支保工とする必要がある。
7. 徐々に押し出してくるもの	1.10(B+Ht)~2.10(B+Ht)	大きな側圧。インバート・ストラットが必要で、円形支保工が推奨される。
8. 徐々に押し出してくるもの（中程度の被り）	2.10(B+Ht)~4.50(B+Ht)	
9. 膨張性の地質	(B+Ht)の値にかかわらず80以上	円形支保工を要する。激しい場合は可縮支保工を用いる。

注1) B：トンネル掘削断面の幅 (m) Ht：トンネル掘削断面の高さ (m)
 注2) この表は、土被り 1.5(B+Ht)以上のトンネルで鋼アーチ支保工の天端に作用する土荷重の高さの算定に用いる。
 注3) トンネル天端は地下水位以下にあるものとする。ただし、永久的に地下水位以上にある場合は、4. ないし6. の土荷重の高さは50%減じてよい。
 注4) 現在の日本のトンネルでは、B=10m, Ht=8m程度が一般的です。したがって、<ランク6.>では土荷重の高さは20m近くになり相当の荷重が作用します。<ランク4.>でも、悪い方の地山では土荷重の高さは6mとなりトンネル天端付近の緩みとしては、かなり大きくなります。一般に掘削幅10m程度のトンネルでは、トンネル周辺の緩みは2~3m程度に抑える必要があります。



海外および日本の代表的な岩盤分類と分類要素をまとめて示しました（表7.2）。

ダムの場合は、岩石強度と割れ目の間隔が主要な要素となっています。トンネルの岩盤分類の大きな特徴は、弾性波速度および地山強度比が重要視されています。線状構造物であるトンネルでは、ルート沿いに弾性波探査を行えば、基本的に全区間の地山を評価できるので弾性波速度は便利な指標です。地山強度比は塑性地圧が作用するかどうかの判断基準として重要です。

海外の岩盤分類は、評点法式となっているのが一つの特徴です。この評点を用いて岩盤の物性値を推定できるようになっているものもあります（例えば、RMR）。

表 7.2 岩盤分類と分類要素 (菊池, 1990, 101 p を修正)

対象	事業者 (提案者, 制定年)	分類名	分類要素 (○: 定性的 ◎: 定量的)								記事	
			岩石の種類	岩石強度	風化・変質の程度	ハンマー打撃	割れ目の間隔	割れ目の状態	ボーリング・コア	弾性波速度		地山強度比・地圧
ダム	電力中央研究所(田中, 1964)	電研式岩盤分類 (記述方式)	-	○	○	○	-	○	-	-	-	記述により定性的に分類
	建設省土研 (岡本・安江, 1966)	土研式岩盤区分 (要素組み合わせ方式)	-	○	-	○	◎	○	-	-	-	岩種により異なる要素で区分
	電力中央研究所 (菊地・斉藤, 1976)	電研改良式岩盤等級 (併用方式)	○	◎	○	○	◎	○	◎	-	-	岩盤とボーリング・コアの区分基準 区分要素を 4 段階に分け総合化
	水資源開発公団 (1981)	水資源式岩盤分類	-	○	○	○	-	○	-	-	-	電研式を一部修正
	電源開発 (1987)	電発式岩盤分類	-	○	○	○	◎					3 要素の組み合わせ
トンネル	JR (1983)	トンネル地山分類	○	-	-	-	-	-	-	◎	◎	地山強度比は中硬岩・軟岩・土砂で使用
	日本道路協会 NEXCO (1997)	トンネル地山分類	○	○	○	-	◎	○	◎	◎	◎	水による劣化・掘削時の変位挙動についても考慮
	農林水産省 (1975)	トンネルタイプ判定基準	○	◎	○	-	○	○	-	◎	◎	無圧トンネル, 圧力トンネルの別あり
	水資源機構 (1981)	トンネルタイプ判定基準	○	◎	○	○	◎	○	-	◎	-	水路トンネルのための分類
切取り面	JR	土構造物の岩盤分類	○	○	○	-	◎	-	-	-	-	解説例を参考に分類
	国土交通省近畿地方整備局 (2012)	岩の分類 (切土のり面)	○	○	○	-	◎	-	-	◎	-	道路構造物の設計・施工のための分類
橋梁	本州四国連絡橋公団 (1980)	コア・調査坑内の肉眼観察による岩盤区分	-	○	○	○	◎	○	◎	◎	-	橋梁基礎 (風化花崗岩)
共通	地盤工学会 (2004)	岩盤の工学的分類体系	○	◎	○	-	◎	◎	-	-	-	全ての岩盤を対象 硬岩系 (塊状・葉状) 軟岩系 (塊状・礫質・互層)

田中の分類 (ダム)

日本では田中治雄が「土木技術者のための地質学入門」(1964)で明らかにした田中式岩盤分類(電中研式=電力中央研究所方式)として広く用いられました。これは、1954年に完成した上椎葉(かみしいば)アーチダム(堤高 110m)の調査時に、技術指導に当たったアメリカの Johnson が骨材を一

定基準のもとに分類したことが発端とされています。この工事に携わっていた田中が、ダム基礎岩盤の評価を目的とした岩盤分類法を考案し、東北電力の八久和ダムの調査で適用しました。この辺りの経緯については、「日本応用地質学会編（1984）岩盤分類 応用地質特別号」の1-2ページに載っている田中治雄氏の記事が参考になります。

この分類の基準は、(1) 風化を受けているか (2) 節理間隔がどの程度か (3) ハンマーで叩いたときの硬さはどうか と言ったものになっているため、地質屋にとっては分かりやすく、使いやすい分類です。極端なことを言えば、ハンマーで叩いたときの音で決めていいということです。つまり、岩芯まで風化していればハンマーで叩いたときに金属音は出ませんし、亀裂が多ければハンマーで叩くと亀裂から割れてしまい濁った音になります。

もう一つこの分類の優れているところは、C級岩盤を3つに分けていることです。つまり、実際に岩盤分類をやってみると、それほど悪くないけどどっちかなと迷うことが多いのです。まあまあ岩盤（C級岩盤）を3つに分けることによって分類しやすくなっています。しかし、人間の感覚というのは面白いもので、この分類を使っても、迷ってC_M~C_Lとか、C_L~Dとかやりたくなります。案外このような感覚は正しいのかもしれませんが、岩盤等級と物性値との対応を付けるためには割り切りが必要になります。

表 7.3 ダム基礎岩盤分類基準（田中，1964，35 p による）

名称	特 徴
A	きわめて新鮮なもので造岩鉱物および粒子は風化，変質を受けていない。亀裂，節理はよく密着し，それらの面に沿って風化の跡はみられないもの。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	岩質堅硬で開口した（たとえ 1mm でも）亀裂あるいは節理はなく，よく密着している。ただし造岩鉱物および粒子は部分的に多少風化，変質がみられる。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
C _H	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄鉱などに汚染せられ，節理あるいは亀裂の間の粘着力はわずかに減少しており，ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し，剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば少し濁った音を出す。
C _M	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており，岩質も多少軟らかくなっている。 節理あるいは亀裂の間の粘着力は多少減少しておりハンマーの普通程度の打撃によって，割れ目に沿って岩塊が剥脱し，剥脱面には粘土質物質の層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。
C _L	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質の軟らかくなっている。 節理あるいは亀裂の間の粘着力は減少しており，ハンマーの軽打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し，剥脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も著しく軟らかい。 節理あるいは亀裂の間の粘着力はほとんどなく，ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。剥脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

注 1) 田中（1964）土木技術者のための地質学入門（山海堂）に基づいています。明らかに間違いと思われる表記は訂正しました。

注 2) この分類は文章のみ示されていて定性的ですが，経験的には適用しやすいものです。要素としては風化程度，岩の硬さ，割れ目の状態を主としています。割れ目間隔は具体的に書かれていませんが割れやすさの中で考慮していると考えられます。

八久和ダムは、山形県東田川郡朝日村八久和山の八久和川に建設された重力式コンクリートダムで、堤高 97.5m、堤頂長 269m の規模で、当時としてはかなり大型のダムです。

<<http://damnet.or.jp/cgi-bin/binranA/All.cgi?db4=0425>>

7.4 様々な岩盤分類

田中の岩盤分類に始まった日本の地山分類は、当初はダム基礎岩盤に対してのものが主でした。その後、国鉄のトンネル地山分類などが現れました。

ここでは、日本の岩盤分類の幾つかを紹介します。

土研式分類（ダム）

岩盤分類の基準を系統立て作成したものに土研式岩盤等級区分（岡本・安江，1966，?p）があります。

- (1) 区分要素は強度，不均質性，異方性の3つです。
- (2) 強度は，その現場に合わせて区分します。大体3区分くらいで行います。割れ目の間隔も15cm以下，15～50cm，50cm以上の3区分くらいとします。割れ目の状態は密着，開口状，粘土を挟む，といった記述で区分しています。
- (3) これらの区分要素で区分したあと総合判断を行います。総合評価はA～Dの4区分を用いています。
- (4) この分類は，要素を分かりやすく細分することで，個人差がでにくいものとなっているのが特徴です。一方で，各要素の組み合わせで総合評価を行うため，総合評価の段階で経験や個人差が入り込む余地があります。

表 7.4 土研式分類の分類基準

強度	硬さ	固結度
		風化・変質の程度
不均質性	異質岩盤の組み合わせ	互層（硬質岩）
		礫質岩
		凝灰質岩
	割れ目の間隔	
	割れ目の状態	充填物
		面の凹凸
面の延長（連続性）		
異方性	割れ目の方向性	
	層理面の方向性	（堆積岩）
	片理面の方向性	（変成岩）
	流理面の方向性	（火山岩）

土研式岩盤等級区分の実施例は，菊地（1990）の102pに下釜ダムの例が載っています。この例では，表 7.4 の分類基準のうち真ん中の列の，硬さ，割れ目の間隔，割れ目の状態・角礫の量比を区分要素としています。

菊池の分類（ダム）

この分類は田中分類方式と土研式分類を併用したもので，硬質岩・中硬質岩・軟質岩にわたるすべての岩盤に適用できるものです（表 7.6）。

ここでは，まず岩盤を供試体の一軸圧縮強度で，800kgf/cm²，200kgf/cm² を境にして3つに分けています。

それぞれの岩級の記述は田中の分類を踏襲して、風化程度、硬さ、亀裂間隔が主な要素となっています。該当する岩石を示しているのは参考になります。

表 7.5 土研式岩盤等級区分の実施例

(菊池, 1990, 102 p. 原典は, 岡本隆一・安江朝光, 1966, ダムサイトにおける岩盤区分の試み-矢作ダムサイトの例-. 土木技術資料, Vol. 8, No. 9.)

(a) 岩盤の区分基準

(a) 下釜ダム (花崗岩・安山岩の例)			(b) 榑花ダム (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 ¹⁾
	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 ²⁾
	C	軟 質 ³⁾		C	軟 質 ³⁾
割れ目の間隔	I	50cm以上	割れ目の間隔 ⁴⁾	I	50cm以上
	II	50~15cm		II	50cm~15cm
	III	15cm以下		III	15cm以下
割れ目の状態	a	密 着	角礫の量比 ⁵⁾	a	50%以上
	b	開 口 状		b	50~20%
	c	粘土をはさむ		c	20%以下

[注] 1) ハンマーで火花が出る程度。2) ハンマーで強打して1回で割れる程度。3) ハンマーでくずせる程度。
4) ここでの数値は一例であり、現場条件で異なる。5) 概算1m²中の面積比

(b) 岩盤の評価 (下釜ダムの例)

評価区分	評 価	細区分の組み合わせ
[A]	良 好	A I a, A I b, B I a, B I b
[B]	やや良好	A I c, A II a, A II b, B I c, B II a, B II b, C I a
[C]	やや不良	A II c, C I b, C I c, C II a, C II b
[D]	不 良	残りの組み合わせ

表 7.6 菊池の岩盤等級区分基準 (塊状岩盤) (菊池, 1990, 106-107)

	硬 質 岩	中 硬 質 岩	軟 質 岩
岩 盤 等 級	一定の目安としては、新鮮な岩石のポアズビースの飽和一軸圧縮強度が800~200kgf/cm ² の範囲にあるものである。岩石ハンマーによる打撃ではかなり硬い音を生ずるが一般には金属音を呈しない。この範囲にあるものうち、軟質のものには岩石ハンマーの先端部による打撃で岩石の表面にわずかにほみが生ずる場合もある。	一定の目安としては新鮮な岩石のポアズビースの飽和一軸圧縮強度が200kgf/cm ² 以下のものである。岩石ハンマーによる打撃ではかなり硬い音を生ずるが一般には金属音を呈しない。この範囲にあるものうち、軟質のものには岩石ハンマーの先端部による打撃で岩石の表面にわずかにほみが生ずる場合もある。	一定の目安としては新鮮な岩石のポアズビースの飽和一軸圧縮強度が200kgf/cm ² 以下のものである。岩石ハンマーによる打撃ではかなり硬い音を生ずるが一般には金属音を呈しない。この範囲にあるものうち、軟質のものには岩石ハンマーの先端部による打撃で岩石の表面にわずかにほみが生ずる。
A	岩質は極めて新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は全く風化変質しておらず、また節理はほとんど分布していない。岩盤としては極めて堅硬、密着である。		
B	岩質は新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子はほとんど風化変質していない。また節理の分布はまばらであり、密着している。岩盤としては堅硬、密着である。	岩質は新鮮であり、構成粒子は二次的な風化変質を全く受けていない。また節理などの割れ目はほとんど分布していない。岩盤としては堅固である。この場合、軟質に近いものについては、上記のような性状であっても、すでにこのクラスに属するものがある。	
C	岩質はおおむね新鮮、堅硬であるが、火成岩では造岩鉱物中、鉄石、輝石、角閃石などの有色鉱物がわずかに風化変質している場合があり、また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する粘土質および有色鉱物がわずかに風化変質している場合もある。節理は分布しており、また節理面は風化変質を受けて変色している場合が多い。また風化変質が著しく散見していることもあるが、一般にはおおむね密着している。岩盤としては堅固である。	岩質は新鮮であり、構成粒子は二次的な風化変質をうけていない。また節理の分布はまばらで密着している。岩盤としてはおおむね堅固である。ただしこの場合、軟質に近いものについては、このもう一級でB級に属するものがある。	このクラスの対象となる岩石は、中硬質に近いもの(新鮮な岩石の飽和一軸圧縮強度が150kgf/cm ² 程度以上)である。岩質は新鮮で、構成粒子は風化変質を全く受けておらず、また節理はほとんど分布していない。
C ₁	岩質は一般にやや風化変質している。このうち火成岩では石英を結ぶ、鉄石および有色鉱物は風化を受け、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する粘土質および有色鉱物が風化変質し、火成岩の場合と同様、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。節理は開口し、しばしば粘土あるいは風化物質を挟んでいる。このクラスの岩石中には節理面を毛髪状割れ目が多数にみられることが多いため岩石ハンマーで強打すれば、この毛髪状割れ目を分離して観察することがしばしばある。その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が密しく、クラック、ケーナ状態を示すものこのクラスに含まれている。	構成粒子として二次的に存在する鉄石および有色鉱物やや風化変質しているものが多い。風化程度としてはあまり進んでいないが、硬質が中硬質の岩石であるので、絶対的な硬さとしてはやや軟質な感じをうける。節理は開口しており、やや開口していることが多く、節理面は風化変質を受けて変色肉染されており、しばしば粘土の堆積、風化物質を挟んでいる。このクラスの岩盤は毛髪状割れ目がある程度存在するもので、岩石ハンマーによる打撃では毛髪状割れ目を分離して、しばしば観察する。	岩質は新鮮であり、構成粒子も二次的な風化変質を受けていない。また、節理はほとんど分布していないか、あるいは分布しているが、まばらであり、しかも密着している。岩盤としては軟質であるので、絶対的な硬さとしては、軟質な感じをうける。岩石ハンマーの先端部による打撃で岩盤の表面に節理面に沿って打撃による打撃で岩石の表面に普通にくぼみが生ずる。
C ₂	岩質は一般にやや風化変質している。このうち火成岩では石英を結ぶ、鉄石および有色鉱物は風化を受け、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する粘土質および有色鉱物が風化変質し、火成岩の場合と同様、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。節理は開口し、しばしば粘土あるいは風化物質を挟んでいる。このクラスの岩石中には節理面を毛髪状割れ目が多数にみられることが多いため岩石ハンマーで強打すれば、この毛髪状割れ目を分離して観察することがしばしばある。その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が密しく、クラック、ケーナ状態を示すものこのクラスに含まれている。	構成粒子は風化変質し、節理程度は著しく低下し、しばしば砂状および粘土状を呈している。このクラスのものは、節理の分布はむしろ不明確である。	構成粒子は中硬質をうけ、節理程度は著しく低下している。岩盤としての絶対的な硬さとしては、極めて軟質な感じをうける。岩石ハンマーの先端部で打撃すると、しばしば先端部は岩盤に突きさる。
C ₃	大成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受けているために、岩石全体として一様に褐色あるいは赤褐色を呈する。節理は開口し、粘土および風化物質の挟み込みが著しい。このクラスの岩石は細かな毛髪状割れ目の分布が著しく、さらにこの割れ目によって風化が進んでいるので、岩石ハンマーによる強打によって容易に剥離する傾向がある。その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が密しく、クラック、ケーナ状態を示すものこのクラスに含まれている。	構成粒子は風化変質が著しくすすみ、節理程度は著しく低下し、しばしば砂状および粘土状を呈している。このクラスのものは、節理の分布はむしろ不明確である。	構成粒子の節理程度は極めて低くなり、大部分は砂状あるいは泥土状を呈している。
D	大成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受け、しばしば砂状および粘土状を呈する部分が見られる。このクラスの岩盤では節理の分布はむしろ不明確である。	新第三紀中新世以前の第三紀の堆積岩(泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩)および火山砕屑岩(凝灰岩、凝灰角礫岩、火山角礫岩および溶結凝灰岩)の大部分がこれに該当する。ただし、第四紀の溶結凝灰岩にはこれに該当するものもある。	新第三紀鮮新世以降の堆積岩(泥岩、シルト岩、砂岩および礫岩)および火山砕屑岩(凝灰岩、凝灰角礫岩および火山角礫岩)の大部分がこれに該当する。ただし、第四紀の火山砕屑岩には、これに該当するものもある。
該 当 岩 石	(1) 深成岩、中成岩および火山岩などの火成岩類がこれに該当する。 (2) 中生代以前の砂岩、礫岩、チャート、石灰岩および輝緑凝灰岩などの堆積岩および火山砕屑岩がこれに該当する。ただし、粘板岩、頁岩は原則的に除外する。 (3) 変成岩のうち、比較的に緻密な片麻岩はこれに該当する。ただし、結晶片麻岩類は除外する。その他、新第三紀の堆積岩および火山砕屑岩もこれに該当するものもある。		

地盤工学会の分類（すべての岩盤）

この岩盤分類は、2004年3月に地盤工学会が「学会基準」として制定したものです。分類項目を表に示しました（表7.7）。

*地盤工学会編（2004）新規制定地盤工学会基準・同解説 岩盤の工学的分類方法。（JGS3811-2004）。

この岩盤分類を適用した事例は少なく、物性値との対応は付けられていないようですが、これまでと違った全く新しい考えにもとづいている部分があります。

まず、大分類は、一軸圧縮強度で硬岩系岩盤と軟岩系岩盤に分けます。境界値は25MN/m²です。中分類は不連続面の状態に基づいていて、塊状と葉状・礫質・互層で分けます。小分類では、岩石の強さと不連続面の間隔（硬岩）・岩石の強さと卓越粒径（軟岩塊状）・マトリックスの強さと礫の含有率（軟岩礫質）・層の強さの違いと弱層の割合（軟岩互層）で分類します。

この分類で特徴的なのは軟岩系岩盤（一軸圧縮強度25MN/m²未満）についての分類です。

- (1) 軟岩系岩盤をまず、塊状、礫質、互層に分けています。
- (2) 塊状岩盤では卓越粒径（体積含有率が卓越する粒径）という考え方を導入し、礫、砂、シルト、粘土で分類します。
- (3) 礫質岩盤では、マトリックスの強さと礫の含有率を指標として小分類を行い、礫・マトリックスの卓越粒径、巨礫の含有率、礫の強さも分類要素としています。
- (4) 互層岩盤では、硬い層と弱い層との強さの差、弱い層の構成比率の二つで小分類を行い、弱い層の平均厚さを考慮しています。



表 7.7 岩盤分類のための調査および試験一覧 (地盤工学会, 2004, 2-3 をまとめた)

調査および試験項目	記 事
岩石の強さに関する試験	<ul style="list-style-type: none"> ・岩石の強さは一軸圧縮強さで表す。試験値を求めるのが困難な場合は、岩石の引張強度との相関、岩石の超音波速度値との相関、シュミットハンマーの反発度との相関、針貫入試験値との相関、ハンマーによる打診、岩石名からの推定、などを用いてもよい。 ・硬岩は一軸圧縮強度が 25MN/m^2 以上のものである。
葉状構造に関する調査	<ul style="list-style-type: none"> ・葉状構造は、岩石を構成する鉱物粒子などが面上に配列することによって形成される一群の層状あるいは面状の構造である。 ・葉状構造は、岩に力学的異方性を与えるので、面の剥離性・面の間隔・岩石の組織などを調査して判断する。
不連続面に関する調査	<ul style="list-style-type: none"> ・不連続面の性質としては、間隔・平行な群をなす不連続面の系列の数・開口幅、粗さ・充填物を調査する。 ・不連続面の方向は岩盤に力学的異方性を与えるが、構造物の方向性によって変わってくるので岩盤分類の要素とはしない。 ・この他の要素として、不連続面の連続性(長さ)・浸透水の量・不連続面に囲まれたブロックの形・大きさ・面の風化状態がある。
岩石の構成材料の粒度に関する調査	<ul style="list-style-type: none"> ・軟岩系塊状岩盤では、体積含有率が最も卓越する卓越粒径が分類要素となる。 ・岩石を構成要素まで分解して粒度試験が出来る場合は、粒度試験結果を用いるが、目視などによる砂質・シルト質・粘土質などで判断して良い。
礫の含有率に関する調査	<ul style="list-style-type: none"> ・軟岩系礫質岩盤では、体積含有率で表される礫の含有率が分類要素となる。 ・岩盤露頭の二次元断面をステレオロジーを利用して岩の内部に三次元で分布する礫の体積含有率を求める。この時、想定される最大粒径の 5 倍以上の長さを一辺とする正方形で測定する。
層の厚さに関する調査	<ul style="list-style-type: none"> ・軟岩系互層岩盤の層理面間の垂直距離を測定する。 ・その他は、不連続面に関する調査に準じる。
風化/変質に関する調査	<ul style="list-style-type: none"> ・風化と熱水などによる変質とは区別する。 ・岩石および不連続面の色調の変化、岩石の粒子構造・組織の変化、これらが生じた割合を指標とする。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤の構造、岩の地質的成因、岩石名などを記載する。

分類要素	区 分					
岩石の硬さ (MN/m^2)	A	B	C	D	E	F
	100 以上	100~50	50~25	25~10	10~5	5 以下
不連続面の 間隔(mm)	I	II	III	IV	V	VI
	2,000 以上	2,000~600	600~200	200~60	60~20	20 以下
風化度	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
	表-3 岩盤の風化どの区分参照 (解説, 4p)					
不連続面の 系列の数	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	
	1 系列	2 系列	3 系列	4 系列	ランダム	
不連続面の 開口幅(mm)	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
	0.1 以下	0.1~0.25	0.25~0.5	0.5~2.5	2.5~10	10 以上
不連続面の 粗さ	r_{sr}	r_{sm}	r_{ss}	r_{wr}	r_{wm}	r_{ws}
	図-3 不連続面の粗さ区分参照 (解説, 4p)					
充填物の有 無	f_1		f_2		f_3	
	無し		部分的に充填		完全に充填	

【図 7.5 硬岩系岩盤の分類要素と区分 (地盤工学会, 2004, 4-6)】

分類要素	区 分					
	岩石の強さ (MN/m ²)	D 25~10	E 10~5	F 5~1	G 1以下	
マトリックスの強さ (MN/m ²)	D 25~10	E 10~5	F 5~1	G 1以下		
層の強さ区分の差	DD/EE/FF/GG 同等	DE/EF/FG 1段階	DF/EG 2段階	DG 3段階		
卓越粒径 (mm)	I 2以上	II 2~0.063	III 0.063~0.002	IV 0.002以下		
礫の含有率 (%)	I 50以上	II 50~20	III 20~10	IV 10以下		
弱層の構成比率 (%)	I 10以下	II 10~30	III 30~50	IV 50~80	V 80以上	
風化度	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆
表-3						
不連続面の間隔 (mm)	s ₁ 2000以上	s ₂ 2000~600	s ₃ 600~200	s ₄ 200~60	s ₅ 60~20	s ₆ 20以下
マトリックスの卓越粒径 (mm)	p ₁ 2以上	p ₂ 2~0.063	p ₃ 0.063~0.002	p ₄ 0.002以下		
巨礫の含有率 (%)	b ₁ 10以上			b ₂ 10未満		
卓越礫径 (mm)	g ₁ 630以上	g ₂ 630~200	g ₃ 200~63	g ₄ 63以下		
礫の強さ (MN/m ²)	h ₁ 100以上	h ₂ 100~50	h ₃ 50~25	h ₄ 25~10	h ₅ 10~5	h ₆ 5~1
弱層の平均厚さ (mm)	t ₁ 600以上	t ₂ 600~200	t ₃ 200~60	t ₄ 60~20	t ₅ 20以下	

表 層の強さ区分

		軟らかい層の強さ区分			
		D	E	F	G
硬い 層の 強さ 区分	D	DD	DE	DF	DG
	E		EE	EF	EG
	F			FF	FG
	G				GG

【図 7.5 軟岩系岩盤の分類要素と区分 (地盤工学会, 2004, 4-6)】

塊状岩盤では、岩石の強さ、卓越粒径、風化度、不連続面の間隔で分類を行います。

礫質岩盤では、マトリックスの強さ、礫の含有率、風化度、マトリックスの卓越粒径、巨礫の含有率、卓越礫径、礫の強さで分類を行います。

互層岩盤では、層の強さの差、弱層の構成比率、風化度、弱層の平均厚さで分類します。層の強さの差は表に示した組み合わせで記載します。ここでの層の強さは、岩石の強さ(MN/m²)に従って区分します。

この岩盤分類にもとづいて原位置岩盤試験のデータを整理したものが、2009年に地盤工学会から発行されている。これによって岩盤分類と原位置試験物性値との対応が可能である。その概要は次のとおりである。

* 地盤工学会 (2009) 原位置岩盤試験データベース (2008年度版)

(1) 平板載荷試験

約 1,400 件のデータが収集された。分析対象の物性値は変形係数 (E_D)、割線弾性係数 (E_S) である。分析で考慮した岩盤分類の小分類を表に示す (図 7.4 および図 7.5 を参照)。ヒストグラムは対数正規分布を示している。

表 7.8 試験データの分析で考慮した小分類の要素

分 類		考慮する小分類の要素と区分	
硬岩系岩盤 H	塊状 HM	岩石の硬さ (A)~(F)	不連続面の間隔 (I)~(VI)
	葉状 HF		
軟岩系岩盤 S	塊状 SM	岩石の強さ (D)~(G)	卓越粒径 (I)~(IV)
	礫質 SR	マトリックスの強さ (D)~(G)	礫の含有率 (I)~(IV)
	互層 SB	層の強さの区分の差 (同等)~(3 段階)	弱層の構成比率 (I)~(V)

(2) プレッシュャーメーター試験

収集されたデータ数は約 900 件である。ここで扱っているデータは初期ヤング率 (E_0) である。硬岩・軟岩合わせたデータの平均値は、888MPa、硬岩全体の平均値は 938MPa、軟岩全体の平均値は 430MPa という値が得られている。

(3) 岩盤のせん断試験

収集されたデータ数は約 1,500 件である。ここでは、軟岩系互層岩盤 SB のデータが無く、硬岩系、軟岩系それぞれ 2 つの岩盤について整理している (表 7.8 の最下段のデータが 0)。小分類ではデータの無いものがあるが、目安を得ることはできる。

貴重なデータであり、合理的な設計・施工に役立てることが望まれる。

その他の岩盤分類

このほかの岩盤分類としては、旧国鉄のトンネル地山分類や農水省の水路トンネルの地山分類があります。

旧国鉄は 1969 年に「トンネル岩盤強度分類」(池田の分類) を提案しました。この分類は弾性波速度を主要な要素とし、岩種区分をもう一つの軸としたものです。この地山分類(岩盤分類)はトンネル支保パターンと連結しているという点で実用的なものでした。この考え方は、その後のトンネル岩盤分類に引き継がれています。

この地山分類では硬岩から軟岩までを含めて分類しています。地山等級にサフィックス N が付いているのは一般的な地山等級です。サフィックス S は塑性地山、同じく L は未固結地山です。特 S と特 L は標準支保パターンでは不十分な地山です。

このトンネル地山分類は、基本的には土被りが 2D 以上、500m 以下の場合を想定しています。その他にも細かい注意点がありますので実際に使用する場合は、文献に当たって下さい。

表 7.9 鉄道トンネルの地山分類 (トンネル標準示方書,1996,38-39)

地山種類 地山等級*	硬 岩			中硬岩	軟 岩**	土 砂	
	A 岩種	B 岩種	C 岩種	D 岩種	E 岩種	F・G 岩種	
						粘性土	砂質土
V _N	$V_p \geq 5.2$		$V_p \geq 5.0$	$V_p \geq 4.2$			
IV _N	$5.2 > V_p \geq 4.6$		$5.0 > V_p \geq 4.4$	$4.2 > V_p \geq 3.4$			
III _N	$4.6 > V_p \geq 3.8$	$V_p \geq 4.4$	$4.4 > V_p \geq 3.6$	$3.4 > V_p \geq 2.6$ かつ $G_n \geq 5$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $G_n \geq 6$		
II _N	$3.8 > V_p \geq 3.2$	$4.4 > V_p \geq 3.8$	$3.6 > V_p \geq 3.0$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $5 > G_n \geq 4$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $6 > G_n \geq 4$		
I _N	$3.2 > V_p \geq 2.5$	$3.8 > V_p \geq 2.9$	$3.0 > V_p \geq 2.5$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $4 > G_n \geq 2$ あるいは $2.0 > V_p \geq 1.5$ かつ $G_n \geq 2$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $4 > G_n \geq 2$	$G_n \geq 2$	$D_r \geq 80$ かつ $F_c \geq 10$
I _S				$1.5 > V_p$ あるいは $2 > G_n \geq 1.5$	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > G_n \geq 1.5$	$2 > G_n \geq 1.5$	—
I _L	$2.5 > V_p$	$2.9 > V_p$	$2.5 > V_p$			—	$D_r \geq 80$ かつ $10 \leq F_c$
特 S				$1.5 > G_n$	$1.5 > G_n$	$1.5 > G_n$	—
特 L						—	$80 > D_r$

注 1) V_p : 地山弾性波速度(km/sec) G_n : 地山強度比(一軸圧縮強度/(土被り高さ×単体))

D_r : 相対密度(%) F_c : 細粒分含有量(%)

注 2) 相対密度の算出式は, $D_r = 280 * \sqrt{N / (\sigma'v + 69)}$ (Meyerhof の式)

表 7.10 鉄道トンネルの地山分類(岩種分類) (トンネル標準示方書,1996,38-39)

岩種	地 層 名・岩 石 名
A	①古生層, 中生層(粘板岩, 砂岩, 礫岩, チャート, 輝緑凝灰岩, 石灰岩等), ②深成岩(花崗岩, 閃緑岩等), ③半深成岩(ひん岩, 花崗はん岩, 輝緑岩等), ④火山岩(粗粒玄武岩, 玄武岩等), ⑤変成岩(片岩類, 片麻岩, 千枚岩, ホルンフェルス等)
B	①剝離性の著しい変成岩(片岩類, 片麻岩), ②剝離性の著しいまたは細層理の古生層, 中生層(千枚岩, 粘板岩, 頁岩等)
C	①中生層(頁岩), ②火山岩(流紋岩, 石英粗面岩, 安山岩等), ③古第三紀層の一部(珪質頁岩, 珪質砂岩等)
D	古第三紀層~新第三紀層(頁岩, 砂岩, 礫岩, 凝灰岩, 凝灰角礫岩等)
E	新第三紀層(泥岩, シルト岩, 砂岩, 凝灰岩等)
F	洪積層, 新第三紀層の一部(低固結層, 未固結層, 土丹, 砂等)
G	表土, 崩積土等

表 7.11 国内の地山分類の評価要素（その1）

機 関	評 価 要 素
各高速道路株式会社 (旧日本道路公団)	岩石グループ (塊状, 層状, 硬岩, 中硬岩, 軟岩) 弾性波速度(5km/sec 以上から 1km/sec 以下) 地山の状態 (岩質・水による影響, 不連続面の間隔, 不連続面の状態) コアの状態, R Q D 地山強度比 (4 以上, 4~2, 2~1) トンネル掘削の状況と変位の目安 (緩み, 切羽の自立性, 内空変位)
国交省 (建設省)	岩種 弾性波速度 地山強度比 (4 以上, 4~2, 2~1, 1 以下) ボーリングコア (コアの状態, R Q D) 地山状態 (硬さ, 亀裂間隔) 観察 (ハンマーによる割れ方, 亀裂間隔) 掘削後の状態 (切羽の自立性, 内空変位量)
鉄道建設・運輸施設整備支援機構 (旧鉄道建設公団)	岩種 (硬岩, 中硬岩, 軟岩, 土砂) 弾性波速度 (5.2 以上から 1.5km/sec 以下) 地山強度比 (6,5,4,2,1.5) 相対密度, 細粒分含有率
農林水産省	亀裂状態, 破碎状況, 軟質状況 岩石試料圧縮強度(1200;000;800;600;400;500;200;50kg/cm ²) 地山ポアソン比 地圧 弾性波速度(4.5 以上から 0.8km/sec 以下) 見かけ地山強度比(10,6,2)

表 7.12 国内の地山分類の評価要素（その2）

北海道開発局	岩種 弾性波速度 (4.8 以上から 2.5km/sec) R Q D(80, 70, 50, 40, 30) 亀裂係数 (25, 50, 70, 80) 地質状況 (風化・変質程度, 肌落ち) 地山定数 (準岩盤圧縮強度, 粘着力, 内部摩擦角, 変形係数, ポアソン比) 地山強度比 (4, 2, 1)
地盤工学会	硬岩系岩盤(25MN/m ² 以上), 軟岩系岩盤 (25MN/m ² 以下) 岩石の強さ (一軸圧縮強さ: 100, 50, 25, 10, 5MN/m ²) 不連続面の間隔(200, 60, 20, 6, 2cm) 構成材料の粒度 (軟岩系岩盤: 2, 0.063, 0.002mm) 礫の含有率 (軟岩系岩盤: 50, 20, 10%) 層の厚さ (軟岩系岩盤: 弱層の構成比率; 10, 30, 50, 80% 弱層の平均厚さ; 60, 20, 6,2mm) 礫の強さ (軟岩系岩盤: 100, 50, 25, 10, 5 MN/m ²) 風化度/変質 (6 段階) 破碎帯は硬岩系岩盤および軟岩系岩盤の基準を破碎帯の性状に応じて準用する.

7.5 海外の地山分類

海外の岩盤分類としてはビニアウスキー (Z.T.Bieniawski) の RMR 法 (Rock Mass Rating), バートン (N.Barton) の Q システムが有名で, 定量的・半定量的評価を取り入れています.

これら岩盤分類については, 吉中ほか (1989) に詳しく述べられています. ただし, Q システムはその後発展していますので, 例えば, 「バートン, N., 伊藤 淳訳, ノルウェートンネル工法(NMT)の概要(1), (2), (3)」(トンネルと地下, Vol.26, No.12, 39-46, Vol.26, No.11, 35-48, Vol.26, No.12, 37-52)などを参照する必要があります.

(1) Q 値法

Q 値法 1974 年にバートンにより考案された評価法で, それ以来, 基本的な変化はありませんが, “S R F” (応力の減少に対する指標) に関しては土被りが大きい地山に見られる山はねや軟岩地山に見られるスクィーミングなどを考慮できるように範囲を拡大してきました. 岩盤評価は 0.001~1,000 の範囲の Q 値で表現し数値が大きいほど良好な地山で, 広範囲の地山条件に対応しています. トンネルの大きさと安全性に関する係数から等価寸法を求め, グラフから支保工を決定します. また, 支保工に作用する内圧を求めることができ, 変形係数を算出することもできます.

(2) RMR法(Rock Mass Rating)

この方法は, 1973 年に Bieniawski によって南アフリカの硬岩を対象として提案された方法です. 地山等級を 5 段階に分け支保構造を決定します. 支保荷重, 変形係数を算出することもでき, Q 値法との関連付けもなされています.

(3) R S R 法(Rock Structure Rating)

1972 年に Wickham, Tiedemann, Skinner らによってアメリカで提案された方法です. 事例分析の 90% が矢板工法によるものです.

表 7.13 外国の地山評価法と評価要素

評価法	評価要素
Q 値法	RQD(=Rock Quality Designation 25,50,75,90) 不連続面系の数 (J _n =Joint Set Number) 不連続面の粗さ (J _r =Joint Roughness Number) 不連続面の変質程度 (J _a =Joint Alteration Number) 不連続面における水の状態 (J _w =Joint Water Reduction Factor) 応力の減少に対する指標 (S R F=Stress Reduction Factor)
RMR法	インタクトロックの強度 RQD 不連続面の間隔 不連続面の状態 地下水 節理の方向, 走向・傾斜
R S R 法	パラメーターA : 岩盤構造の評価 (岩石の種類, 岩石の硬さ, 地質学的構造) パラメーターB : 不連続面の影響 (不連続面の間隔, 不連続面の走向・傾斜, トンネルの掘削方向) パラメーターC : 地下水の影響 (パラメーターAとBの合計, 不連続面の状態, 湧水量)

Q 値法

この方法は 1974 年にバートンほか（ノルウェー）によって提案された方法で、トンネルの事例分析にもとづいています。

Q 値法は岩盤分類の指標を Q 値で代表させ、この値で劣悪な岩盤から極上の岩盤まで 9 段階に分類し（図 7.6 の上の図の最上段）、これに対応したトンネル支保工を決めています。つまり、上の図の右側の岩級では支保工なしでいいのですが、左に行くにつれて重い支保工となり吹付けコンクリートやロックボルトを使用します。

Q 値は、RQD、不連続面系の数、不連続面の粗さ・不連続面の変質程度・不連続面の水の状態、弱層の状態、など 6 つの指標を総合して算出します（表 7.12 参照）。

この方法の優れた点は、工学的性と連結できることで、大まかですが変形係数などを推定することができます。

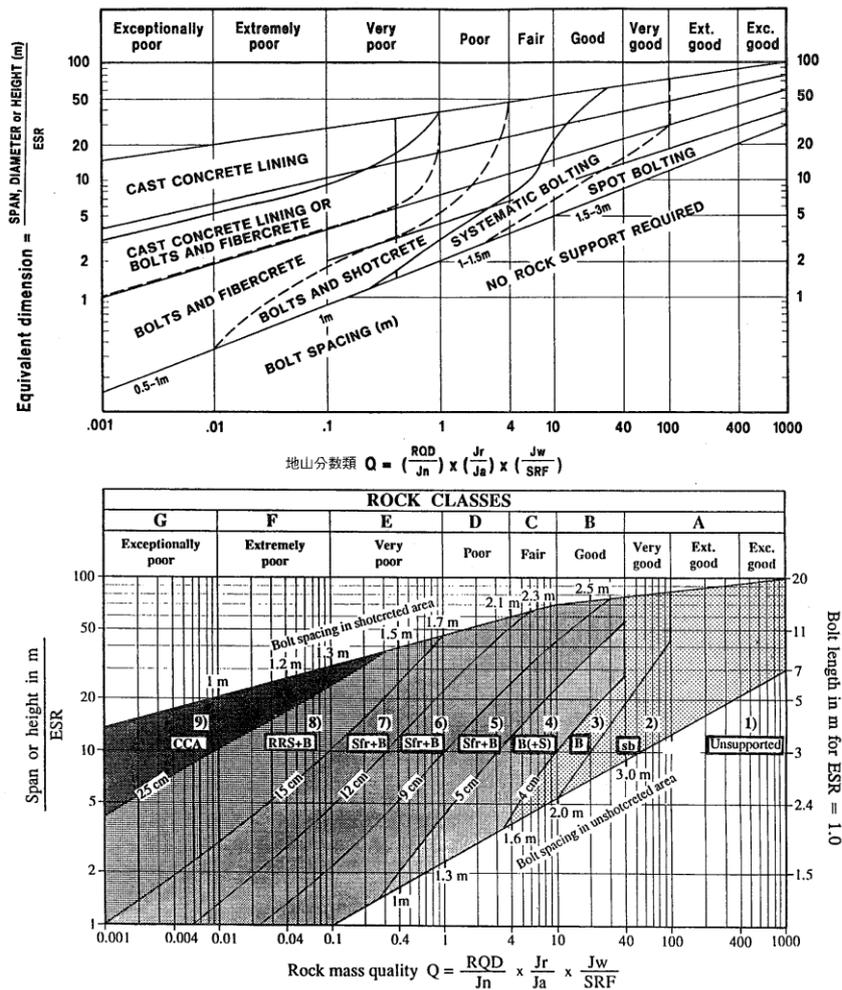


図 7.6 Qシステムによる支保工設計チャート (Barton, 伊藤訳, 1995, 36p)

表 7.14 Q値の各指標の評点 (同上, 37p)

1. コア採取率による指標 RQD (Rock Quality Designation)		RQDの値	N シルト質, または砂質粘土, 粘土分の 少ない軟化したもの	—	5.0
A	非常に悪い	0~25	連続した厚い粘土層がある場合 (G, H およびJの粘土状況に応じて判断する)	6°~12°	10, 13, 13~20
B	悪い	25~50			
C	中位岩盤	50~75			
D	良い	75~90			
E	非常に良い	90~100			
備考 1) RQDが10以下の場合, RQD=10とする 2) RQDは5%きざみでよい(たとえば, 100, 95, 90%など)					
2. 不連続面系の数に対する指標 Jn (Joint Set Number)		Jnの値	5. 不連続面における水の状態に対する 指標 Jw (Joint Water Reduction Factor)		
A	大塊状またはほとんど節理がない	0.5~1.0	大体の水圧	Jwの値	
B	1節理系	2	kgf/cm ²		
C	1節理系に加えランダムなものがある	3	A 水がない, あるいはごく少量の湧 水 (局所的で5ℓ/分以下)	1.0以下	1.0
D	2節理系	4	B 中程度の湧水, あるいは湧水が被 圧状態, ときには不連続面の狭在 物が流される	1~2.5	0.66
E	2節理系に加えランダムなものがある	6	C 大量の湧水, あるいは高被圧状態 にあるが, 岩盤は新鮮で不連続面 に狭在物がない	2.5~10	0.5
F	3節理系	9	D 大量の湧水, あるいは高被圧状態で, 不連続面の狭在物が流されている	2.5~10	0.33
G	3節理系に加えランダムなものがある	12	E 著しい湧水, 発破時突発的に出水 するが時間とともに減少するもの	10以上	0.2~0.1
H	4節理系以上, ランダムで著しい節理, 角砂糖状	15	F 時間を経ても減少することのない 異常な多量, 高圧な湧水	10以上	0.1~0.05
J	破碎された岩, 砂状	20	備考 1) C~Fに対する評価は, 大体のもの, 排水設備があ る場合は, Jwを高くする. 2) 湧水が凍結することによる問題は考慮していない.		
備考 1) トンネルの交差部では3.0×Jnとする 2) トンネル坑口部では2.0×Jnとする					
3. 不連続面の粗さに対する指標 Jr (Joint Roughness Number)		Jrの値	6. 応力 (の減少) 状態に対する指標 SRF (Stress Reduction Factor)		
a) 不連続面は接触しているか			SRFの値		
b) 10cmせん断したときに接触する場合			a) 弱層がトンネルと交差し, これによりゆるみが発生する場合		
A	連続していない節理	4	A 粘土または化学的に分解している軟弱層が多く 存在し, 土かぶりに関係なく地山が非常にゆる い状態にある	10	
B	粗い, あるいは不規則な面で凹凸がある	3	B 粘土, または化学的に分解している軟弱な層が 1つある場合で土かぶりが50m以下	5	
C	滑らかで凹凸がある	2	C B.と同様であるが土かぶりが50m以上の場合	2.5	
D	鏡肌で凹凸がある	1.5	D 堅岩の中にせん断が多く存在する場合 (ただし せん断面は粘土を含まない) で土かぶりに関係 なくゆるい地山	7.5	
E	粗い, あるいは不規則で平面状	1.5	E 堅岩中にせん断面が1つ存在する場合で粘土は 挟まず, 土かぶりが50m以下の場合	5.0	
F	なめらかで平面状	1.0	F E.と同様であるが土かぶりが50m以上の場合	2.5	
G	鏡肌で平面状	0.5	G 節理は開口しているが, 細かく破碎され, 角砂 糖状を呈する場合 (土かぶりに関係なく)	5.0	
c) せん断したときに不連続面が接触しない場合			備考 1) せん断帯が存在し, 影響を与えないが, トンネル とは交差ししない場合にはSRFを25~50%低くする.		
H	不連続面に狭在する粘土が十分に厚く, そのた め不連続面で岩盤が接触しない	1.0	b) 堅岩で応力が問題となる場合	σ_1/σ_3 σ_2/σ_3 SRFの値	
J	砂や礫などの狭在物が厚く岩盤どうしが接触し ない	1.0	H 低応力, 地表面近傍	>200 <0.01 2.5	
備考 1) 節理の平均間隔が3.0m以上の場合1.0を加える 2) Jr=0.5は, あきらかな方向性を持った平面状の鏡 肌の場合でせん断強度の最小値に相当する					
4. 不連続面の変質に対する指標 Ja (Joint Alteration Number)		摩擦角 ϕ_r の値			
a) 不連続面で岩盤が接触している場合			J 中位の応力	200~10 0.01~0.3 1	
A	しっかりと固結し, 軟化しない不透水 性の狭在物がある場合	0.75	K 高応力, 非常にしまっ ている (構造的には安定し ているが, 堅面では不安 定性を示すもの)	10~5 0.3~0.4 0.5~2	
B	変質を受けていない不連続面, しみが ある程度	1.0	L 中位の山はね (大塊状岩)	5~3 0.5~0.65 5~50	
C	多少変質した不連続面で, 軟化しない 狭在物や砂粒子, 粘土を含まない破碎 物がある	2.0	M 著しい山はね (大塊状岩)	3~2 0.65~1 50~200	
D	シルト質または砂質粘土の被覆がある。 ただし軟化しない	3.0	N 著しい山はね, 急激な大 変形	<2 <1 200~400	
E	軟化を呈し, 摩擦の小さい粘土鉱物の 被覆, たとえばカオリナイト, 雲母, また緑泥岩, 滑石, 石膏, 石黒などや 少量の膨潤性粘土 (厚さ1~2mm以上の 不連続な狭在物)	4.0	備考 2) 初期応力の異方性が高い場合, $5 \leq \sigma_2 \leq 10$ の場合 σ_2 を0.75 σ_3 , $\sigma_3 > 10$ の場合 σ_2 を0.5 σ_3 とする。た だし σ_1 は一軸圧縮強度, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ は最大, 最小主応 力である。 3) 土かぶりがトンネルスパンより小さく, 非常に小 さい土かぶり状態については, ほとんど事例がな く, Hの評点にたいしてSRFを2.5から5にする.		
b) せん断した場合, 10cm以内で岩塊どうしが接触する状態			c) 高応力下で劣化し, 押し出しや塑性 流動を呈する場合		
F	砂質粒子のみで粘土を含まない狭在物	4.0	O ゆっくりと押し出してくる	1~5 5~10	
G	強過圧密の軟化していない粘土鉱物の 狭在物 (連続して厚さ5mm以下)	6.0	P 激しく押し出してくる	>5 10~20	
H	中程度あるいは低過圧密状態の軟化す る粘土鉱物の狭在物 (連続して厚 さ5mm以下)	8.0	備考 4) スクィーズィングは土かぶりH>350Q ^{1/3} のとき起 こる (Singhら, 1992). 岩塊の圧縮強度 $q=7\gamma$ Q ^{1/3} (Mpa) である (Singhら, 1993). ここで γ は単位体積重量 (gm/cc)		
J	膨潤性粘土の狭在物, たとえば, モン モリロナイト (連続して厚さ5mm以 下) Jaの値は膨潤性粘土の量と水の有 無で変わる	8~12	d) 膨潤性地山, 水の存在により化学的な吸水 膨脹挙動を示す場合		
c) せん断しても岩塊どうしは接触しない場合			R ゆっくりと吸水膨脹	5~10	
KL	破碎帯のみ, 破碎程度G, HおよびJに相 当する粘土を含む場合	6°~12° 6.0, 8.0, 8~12	S 激しく吸水膨脹	10~15	

RMR (Rock Mass Rating)

1973年にビニアウスキーによって南アフリカなどの硬岩を対象に提案された方法で、その後多くの事例分析により修正されました。

区分の指標は6つで、岩石コアの一軸圧縮強度、RQD、不連続面の間隔、不連続面の状態、地下水の状態、不連続面の方向に対して評点を付けその合計によって岩盤を評価します。ほとんど肉眼観察で対応できるので、現場では使いやすい方法です。

トンネル支保荷重の算出、岩盤基礎の原位置変形係数との関係などを求めることができます。この分類はNEXCO（東・中・西高速道路会社）のトンネル切羽評価表に取り入れられています。

表 7.15 RMRの分類指標

パラメーター			評価区分						
1	インタクトロックの強度	ポイントロード指数	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	1軸圧縮強度試験が望ましい		
		1軸圧縮強度	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
		評価点	15	12	7	4	2	1	0
2	ボーリングコアの性状 (RQD)		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
		評価点	20	17	13	8	3		
3	不連続面の間隔		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
		評価点	20	15	10	8	5		
4	不連続面の状態		非常に粗い肌連続していない密着している新鮮な	少し粗い肌間げき幅<1 mm 少し風化した肌面	少し粗い肌間げき幅<1 mm 強風化肌面	滑り面の肌または断層粘土<5 mmまたは間げき幅1-5 mm	軟らかい断層粘土>5 mmまたは間げき幅>5 mm		
		評価点	30	25	20	10	0		
5	地下水	トンネル10mあたり湧水量	無し	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
		比節理水圧力主初期応力	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		一般状況	完全乾燥	湿っぽい	濡れている	滴水	流水		
		評価点	15	10	7	4	0		

不連続面の方向に対する修正

節理向の方向傾	向斜	とくに望ましい	望ましい	中程度	望ましくない	とくに望ましくない
トンネル		0	-2	-5	-10	-12
基礎		0	-2	-7	-15	-25
斜	面	0	-5	-25	-50	-60

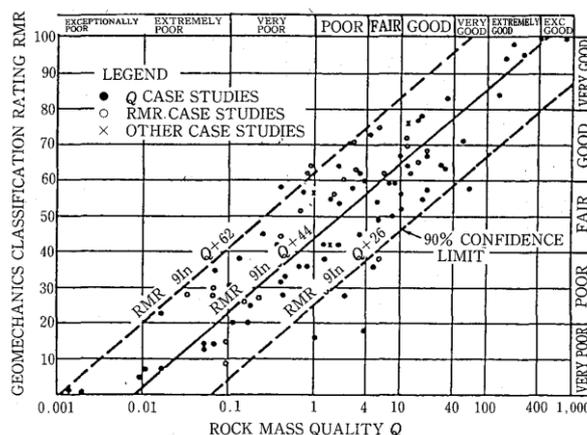


図 7.7 RMR値とQ値との相関（縦軸がRMR，横軸がQ値）

7.6 耐荷性評価を目的とした菊池の分類

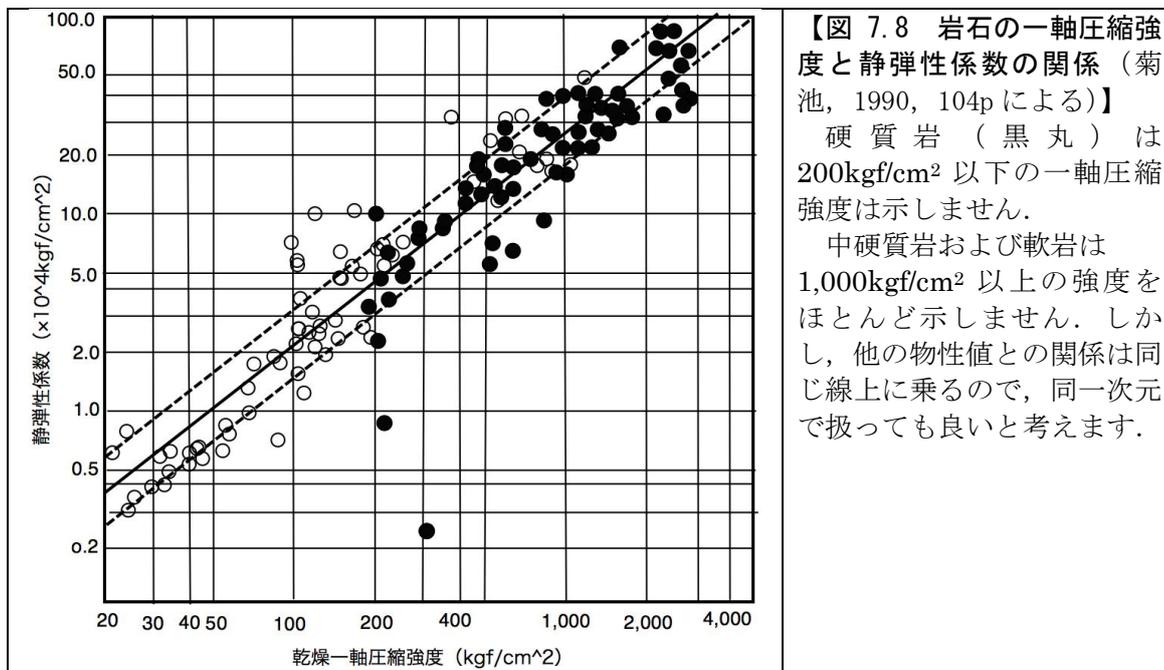
主にダム基礎岩盤の耐荷性評価を目的に開発された岩盤分類です。

基本的考え方

まず、岩盤の耐荷性を支配するのは岩石それ自体の強度・変形性と割れ目の分布状態です。実際の岩盤では固結度のよい古生層や火成岩の耐荷性は、ほとんどが岩盤中の割れ目に支配されるのに対し、新第三紀の泥岩などは岩石自体の強度によって支配されています。同じ物理定数で示される強度と変形特性でも、それを支配する挙動が異なっていることになります。

岩石の一軸圧縮強度と静弾性係数との関係、一軸圧縮強度と純せん断強度の関係を見ると岩質や風化程度によらず、ほぼ直線にのることが分かっています(図 7.8)。このことは、軟質岩から硬質岩まで同一の次元で取り扱えることを示していると考えます。

このような考えから、岩石を硬質岩($\geq 80\text{MN/m}^2$)、中硬質岩($80\sim 20\text{MN/m}^2$)、軟質岩($\leq 20\text{MN/m}^2$)に分けて同次元で扱うこととしました。



岩盤等級区分要素と区分基準

岩盤等級の区分に際しての着目点は次の5項目です。実際の区分要素には、このほかに風化の状態が入っています。

- (1) 岩石それ自体の変形性および強度
- (2) 割れ目の分布密度
- (3) 割れ目の連続性
- (4) 割れ目の開口性
- (5) 割れ目面の状態および挟在物質の性状

岩石の強度による区分では、 200kgf/cm^2 以下は軟岩、 $200\sim 800\text{kgf/cm}^2$ は中硬岩、それ以上は硬岩で

す。

割れ目の分布密度は、一応数値が示されていますが、節理の方向は考慮されていません。
割れ目の開口性・状態は定性的な表現となっています。

これらを総合して岩盤等級区分基準が構成されています。「菊地の分類」ではボーリング・コアによる分類要素と基準が示されているのが大きな特徴です（菊地，1990，110p）。

また、岩盤等級と変形係数・静弾性係数との関係も示されています（菊地，1990，107-115）。

7.7 岩盤等級区分指標の定量的評価方法

現在、国内で用いられている岩盤分類の主な区分基準は、岩種（岩石グループ）、弾性波速度、岩石の一軸圧縮強度、不連続面の間隔などです。ここでは、一軸圧縮強度の簡易測定と不連続面の間隔について述べます。

一軸圧縮強度の簡易測定

一軸圧縮強度を簡易的に測定する方法として現在実用に供されているのは次の4つです。

(1) シュミットロックハンマー

この測定器はもともとコンクリートの非破壊試験器として開発されたものです。このコンクリート用測定器の打撃部の先端にアタッチメントを付け面積を広くし、凹凸のある岩盤に対応できるようにしたものです。コンクリート用のプランジャの径は15mmですが、岩盤用の改良型は30mmとなっています（図7.9）。

測定できる強度範囲は、5～150 MN/mm² 程度までですが、ハンマー（錘）の反発度を利用しているので、向きによって反発度から一軸圧縮強度への換算式が違ってくるので注意が必要です。

(2) 点載荷試験機（点載荷式圧裂引張り強度試験機）

この試験器は非整形試料を用いて点載荷強度を求め、その値から一軸圧縮強度を推定するものです。

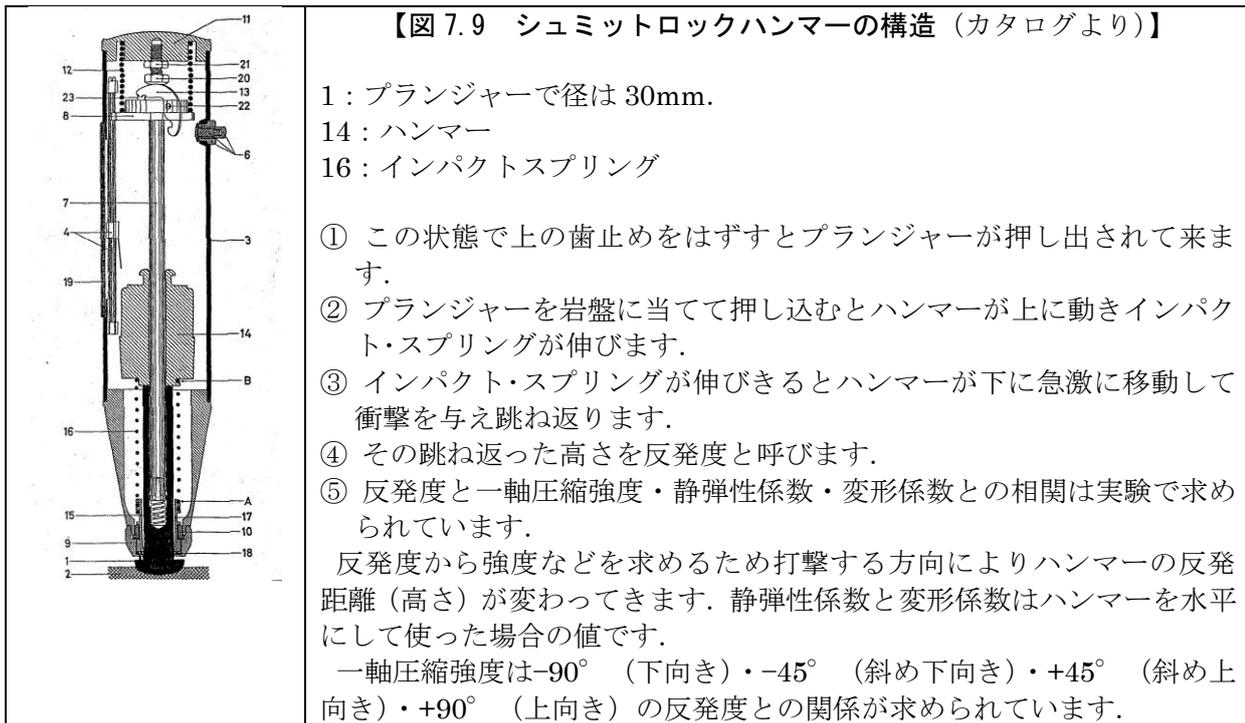
(3) 針貫入試験機（軟岩ペネトロ計）

この試験機は木綿針様の針を岩石に貫入して、その深度と貫入荷重の関係から一軸圧縮強度を推定するものです。測定できる強度の範囲は0.3～40 MN/m² までですので、軟質岩から中硬質岩の一部に適用できます。

(4) 土壌硬度計

先端角30°の金属の円錐を地山に挿入して、その貫入深度から一軸圧縮強度を推定します。同時に、貫入量も測定でき、この値は植生工を選定する指標となります。精度は悪くなりますが換算一軸圧縮強度で5MN/m² 程度まで測定できます。

シュミットロックハンマー



点載荷試験機

点載荷試験機は整形しない岩石片で一軸圧縮強度を測定できます. NEXCO のトンネル設計要領では, この試験器の使用を奨めています.



【図 7.10 点載荷試験機】

左 : 亀裂の多い花こう岩の切羽. 正面から見ていると亀裂の多さが分からないが, 写真左側に切羽面に平行な板状節理が発達しています.

右 : トンネル内で点載荷試験を実施しているところ. 1 個目をセット中であと 2 個が機械の左側に置いてあります.

【図 7.11 針貫入試験機】

上：全体
 下：拡大。左側の円い筒の先から針が顔を出しています。この状態は 10mm 以上貫入した状態です。円い筒の中の円柱に 10mm の目盛りが書いてあり、その右側の筒に貫入力量(100N まで)が記されています。
 軟岩では左の筒のみが移動し、少し硬くなると中央の貫入力量の部分が動きます。

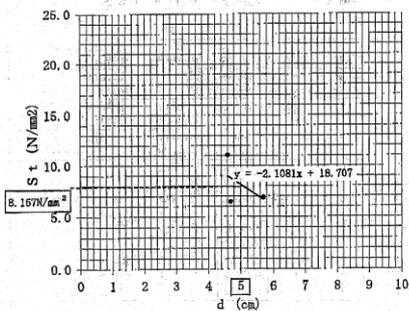


【図 7.12 点載荷試験結果】

試験様式712
 JHS 715 点載荷試験機を用いた岩片の強度試験方法
 工事名：北海道横断自動車道広内トンネル工事 試験日：平成16年9月11日
 試験場所：STA. 1136+07.65m 断面番号：支保工 No.412
 試験者：木下 寛明 採取状況：岩片状
 岩石名：花崗岩 特徴：中～粗粒

試験結果

供試体No	D (cm)	P (N)	St (N/mm ²)	備考
1	4.70	16,000	6.6	
2	5.70	25,000	6.9	
3	4.60	26,000	11.1	
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				



一軸圧縮強度の推定: $qu = 25 \times St(50) = 25 \times 8.167 = 204.2 \text{ N/mm}^2$

不詳複製

日本道路公団

図 7.9 で試験していた花こう岩の試験結果。ここでは、載荷点強度と載荷点間距離がうまく比例していません。

求められた一軸圧縮強度は、 204 N/mm^2 です。

試験は、大きさの異なるいくつかの試験片を用いて点載荷強度 (St) と上下方向の試験片の長さ(d)をプロットし、 $D=5 \text{ cm}$ の時の点載荷強度を求めます。

点載荷強度は実験から求められた次の式で算出します。

$$St = 0.9 \times (P/D^2)$$

St : 点載荷強度(N/mm²)

P : 破壊荷重(N)

D : 載荷点間距離(cm)

D' : 軟岩の場合の破壊時の載荷点距離(cm)

推定一軸圧縮強度は次式により求めます。

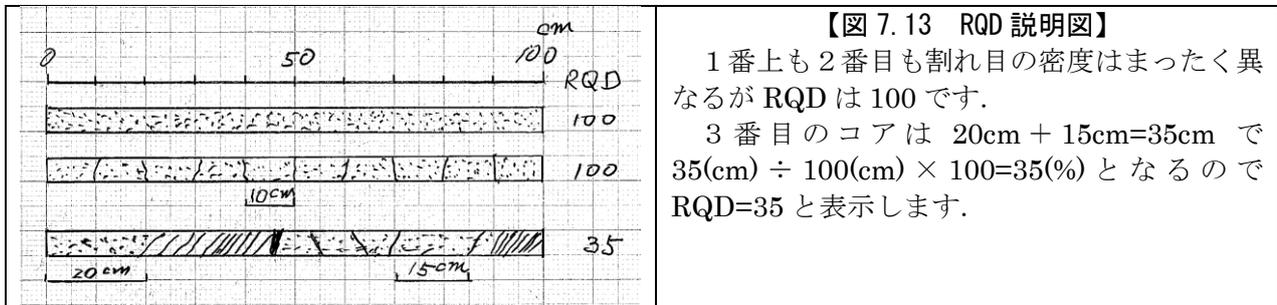
$$qu = 25 \times St(50) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

割れ目の分布状態

岩盤の割れ目の定量的評価手法として使われているのは RQD (Rock Quality Designation) です。これは、長さ 1m 当たりのボーリング・コアの中に含まれる 10cm 以上の棒状コアの長さを合計した値です。1m のコアが 10cm 間隔で規則正しく割れている場合は、RQD は 100 です (図 7.13 の中)。また、まるまる 1m の棒状コアが採取された場合も RQD は 100 になります (図 7.13 の上)。このように、RQD は正しく割れ目の密度を反映していないのですが、ある程度、客観的に数値化できるという利点があります。また、ボーリングの掘進方向と割れ目の方向を考慮していないのも RQD の欠点で、岩盤の評価には周辺の踏査を含めた総合的な視点が必要です。

実際、ボーリングでは数 m の棒状コアが採取されたので、岩盤評価を B にしたところ、実際にトンネルを掘削してみたらザクザクの岩盤に遭遇したという例もあります。このような場合、周辺の地形の「なだらかさ」が良い目安になる場合があります。

そのほかに、ボーリング・コア 1m の中で最大コア長から 3 番目までのコアの合計長を指標とする方法もあります (RCI : Rock Classification Index)。



【図 7.14 泥岩中で掘削したボーリング・コアの状態】

上の写真の RQD は次のようになっています。

1 番上 : 45 2 番目 : 80 3 番目 : 60 4 番目 : 0

4 番目はこの方向から見ると RQD=60 と判定しても良いように見えますが、縦亀裂が 25cm 付近から右側に入っているため 0 と判定しました。

RQD と岩盤等級の関係は、菊池 (1990, 120p) に図が載っています。これを見ると、A~C_M 級までは違いが認められますが C_M 級と C_L 級とでは重複部分が多くなっています。