

岩盤分類の位置づけとその内容についての考察

武内俊昭

深田地質研究所

Some Consideration on Situation and Substance of Rock Classification

TAKEUCHI Toshiaki

Fukada Geological Institute

要旨：岩盤分類については、その要素についてISOでの基準化を受けて現在日本でも国内基準を作成するための議論がすすめられている。一方、新たな岩盤分類が外国から導入され、わが国の既往の岩盤分類を再検討する動きもある。このような中で岩盤の分類を建設の流れのなかでどのように位置づけ、どう適用すべきかについて、吉中（1993）が示したフローに沿って現存する幾つかの岩盤分類を参照しながら整理し考察した。そして岩盤を材料としての見方で区分する“基本岩盤分類”と目的を持って具体的な構造物の設計、施工につながる“応用岩盤分類”という考え方を示した。さらに、既存資料の活用について、一般化と個別化の観点を入れて考察し指針や規準、設計標準示方書などの位置づけ、施工に関する内容も加えているトンネル地山分類等の位置づけについても言及した。最後に、基本岩盤分類と応用岩盤分類をつなぐ適切な手法の研究をはじめ、今後の検討課題とその方向について考察した。キーワード：岩盤分類、岩盤等級、岩盤物性評価

1.はじめに

いわゆる岩盤分類（Rock classification）と呼ばれる概念がわが国の土木建設の分野において意識され始めたのは、1958年Dr. Leopold Mullerが黒四ダムの地質工学的なコンサルタントとして来日した頃からと思われる。その頃の様子は田中(1983)が文献1)において詳細に述べている。

爾来、今日まで、わが国においてはダムやトンネルなどの対象や各機関によるさまざまな岩盤分類と称されるものが、提唱され利用されてきた。また、海外においても、N.BartonのQシステム、BieniawskiのRMR（Rock Mass Rating）、Hoek and BrownのGSI（Geological Strength Index）などのいろいろな岩盤分類が提唱され、わが国にも導入されている。一方、最近では岩盤の区分や分類

の基準をISOとして構築する動きが顕著であり、それを受けてわが国においても統一した基準を作ろうとする動きがすでに始められている。

このように、岩盤分類をめぐる動きが活発化している。一方、昨今の情勢から経済性や環境への配慮をより重視した建設がすすめられる状況にあり、そのための地質調査の役割についても再認識する必要があると云われている。

そのため、岩盤分類も地質専門技術者の範疇で議論されていた時代から建設の設計・施工に、より密着したものとして考える必要があり、トータルとして工事を安全かつ経済的にすすめる中に組み込んで考える必要がある。

一口に岩盤分類と称されているが、その内容は肉眼判定を主体にしたもの、岩盤物性を対応づけたもの、施工の方法を結びつけたものなど、さ

まぎまである。ここでは、これらの岩盤分類についてその位置づけや内容を整理し、今後検討すべき方向について考察する。

2.建設の流れと岩盤分類

建設工事の中で岩盤分類をどのように位置づけるか、については、吉中(1993)が文献2)の中で考え方をフローチャートで示している。吉中のこのフローチャートは、岩盤分類についての基本的な考え方を示唆してくれる。吉中は、同図において、岩盤分類の使われ方を、建設の規模や地質および岩盤状況などによりA,B,Cの3通りの異なる過程に分けて示している。

Aは、岩盤分類の結果が、さまざまな指針・規準類、設計標準示方書などを介して、直接的に設計・施工に使われる過程である。

Bは、岩盤分類の結果をもとに既存のデータを活用して岩盤の物性値を求め、解析用の岩盤モデルを作成し設計を行う過程である。

Cの過程では、岩盤分類の結果を受けて岩盤試験などが効率的に計画実施される。これらの目的は解析用の岩盤モデルをより厳密に合理的に作成しようとするものである。大規模な建設計画ではこの過程が用いられる。

このフローでは、地質調査の後、最初に基本となる岩盤分類があり、その後サイトの個別な状況に応じて3つの異なる過程が選ばれるが、最終的には設計および施工へつながっていく流れが示されている。

この流れに沿って岩盤分類の位置づけやそれぞれのステップの意味について、既存の岩盤分類も参照しながら考察したい。

2.1 初期岩盤分類について

図-1は、上述した吉中(1993)によるフロー

チャートに筆者が若干の加筆修正を行ったものである。いわゆる岩盤分類は、調査から設計・施工の流れの中で初期段階に行われるものであり、一般的に一括して呼ばれる岩盤分類と区別するため、この図では“初期岩盤分類”と仮称する。

吉中はこれを単に“岩盤分類”という表現をしているが、ここではこの初期岩盤分類をさらに2つに分けて考えることにする。

初期岩盤分類に求められる性質の一つは、地質や構造物および実施機関によらない、より一般性を持つということである。この性格を持った分類を“基本岩盤分類”と呼ぶこととする。一方、既存の初期岩盤分類は、ダムやトンネルなどの構造物を目的としており、その後の設計や施工にさまざまな形でリンクされている。そのため、上にあげた基本岩盤分類とは違ってやや応用性あるいは個別性を持っている。このような分類を“応用岩盤分類”と呼ぶこととする。

この2つの分類の内容について以下に述べる。

1) 基本岩盤分類

基本岩盤分類に求められるのは、さまざまな地質あるいはダムやトンネルなどいろいろな構造物に適用することができる一般性を持った分類である。このことは、言い換えると岩盤を材料としての要素で記述しようとすることである。その結果をどう利用するかは、ダムやトンネルなどの目的によってさらに具体的なものが作られて良い。次項で説明する応用岩盤分類はこのような位置づけと考えられる。

また、基本岩盤分類には特に客観性が求められる。例えば、岩石の硬さについては、供試体の一軸圧縮試験などによって数量的に表現する方法が用いられる。しかし、ごく初期に適用されるためこの分類は出来るだけ簡便で、複雑な測定などを伴わない手法が望まれ、岩盤の地質的な観察が

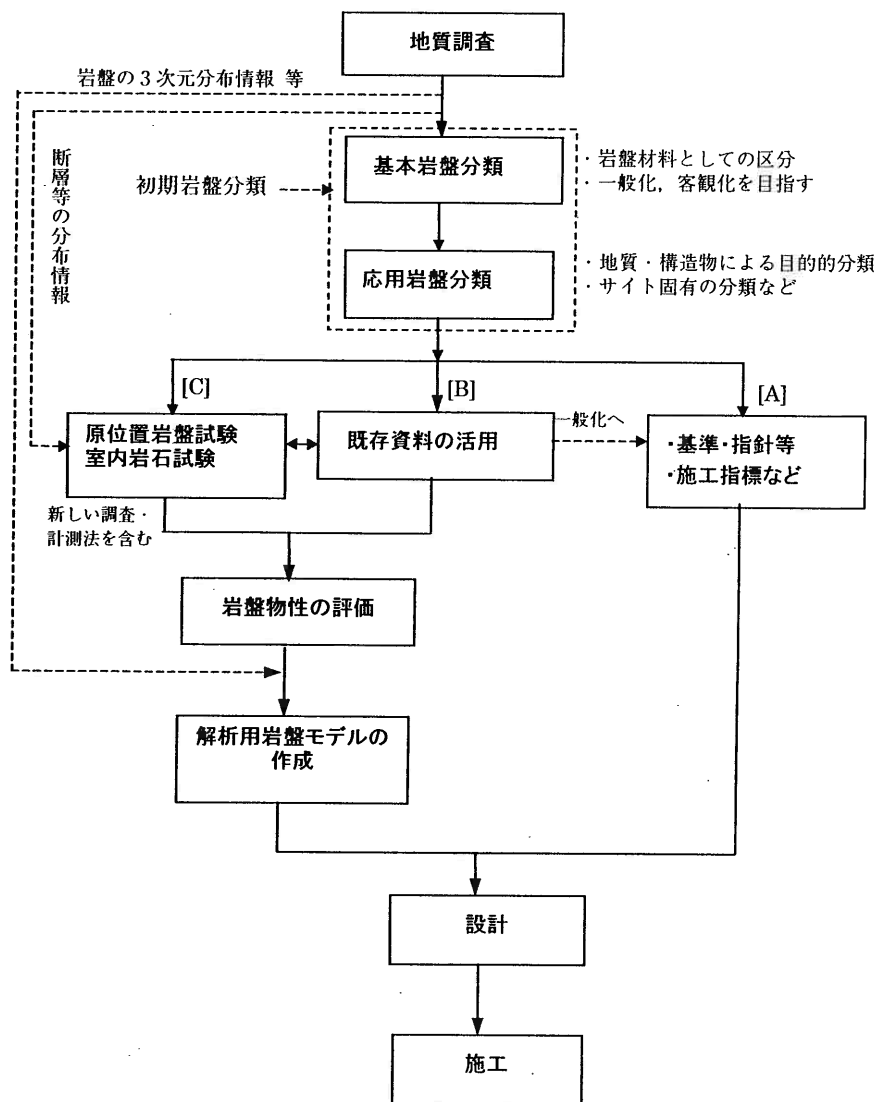
岩盤分類の位置づけとその内容についての考察

主体でその客観的な表現が望まれる。

2) 応用岩盤分類

ダムやトンネルなどの具体的な構造物を目的として作成される分類で、電研式岩盤等級区分基準（田中）

（以下，“田中の岩盤分類”と略称する），土研式岩盤等級区分基準（岡本・安江）などがこれに相当する。また，田中の分類をベースにして，岩盤を硬質岩，中硬質岩，軟質岩にわけ，それぞれについて等級を定め，一部に新鮮な岩石の一軸圧縮強度を指標に用いるなどの改訂をしたもの（菊地・1979）もこれに相当する。これらの岩盤分類は，いずれもダムの基礎岩盤への適



図一 岩盤分類の位置づけ（吉中1993²⁾ に若干の加筆，修正を施す）

用を念頭において作成されたものである。そして菊地（1979）の分類は，その後，多くのダムにおける試験データのまとめから，せん断強度や変形係数などの岩盤物性と対応がつけられている。

表-1に示す風化花崗岩の岩盤区分基準は本四架橋調査において使用されたものであり，橋梁基礎を目的としたものである。また，トンネルにおいてもこの，応用岩盤分類に相当する分類があるが，設計・施工への目安あるいは指針と一体化されたものが多い。この分類においても，結果をより客観的表現にすることは重要であり，そのため

の改良や工夫も今後引き続き望まれる。

また，基本岩盤分類と応用岩盤分類をつなぐ手法の研究，あるいはつながりを考慮した基本岩盤分類の構築あるいは応用岩盤分類の改良などがこれからの課題である。また，応用岩盤分類が基本岩盤分類から目的を持って分派的に作られるものと位置づけるならば，応用岩盤分類相互の関係を検討することは，あまり意味を持たないと考えられる。

表一 1 風化花崗岩の岩盤区分基準 (肉眼判定による)¹⁾

等級	強 度		不 均 一 性 (割れ目の状態)	ボーリング		色調
	硬 軟	風化・変質		コア状況	掘削状況	
D	ハンマーの強打で鈍い音を発生し容易に崩壊する。	完全にマサ状風化、ごく稀に玉石状岩塊を残す。鉱物は結合力を失っている。	割れ目はほとんどみられないが、ところにより僅かにもとの割れ目の跡がうかがえる場合もある。	粘土状 砂状 亜角礫状	掘り易い	褐 — 黄褐
C _L	ハンマーの強打で崩し易いがところにより硬い岩塊を含む。	岩塊内部まで風化しているが岩の形態を保っている。	割れ目はほとんど閉口し割れ目沿いの粘土化、マサ化が進んでいる。	角礫状 岩片状 部分的に短棒状	掘り易いが、コアつまりをおこしやすい 1.5m/h以上	黄褐
C _M	岩塊内部は新鮮でなかなか割れにくい。	有色鉱物の周囲は褐色をおびている。	割れ目沿いは、風化変質している粘土シームをしばしば挟む。	棒状 長さ10~20cm	最も掘り易い 1.5m/h以上	淡褐
C _H	ハンマーで強打すると金属音を発生し割れにくい。	概ね新鮮で堅硬な岩盤	割れ目沿いに若干風化変質	棒状 長さ20~30cm	掘り易い 1.0m/h以上	淡褐 — 乳灰
B	ハンマーで強打すると金属音を発生しほとんど割ることができない。	全般に未風化の新鮮な岩盤。	ごく稀に割れ目沿いに微弱的な風化、またはヘアクラックがみられる。	棒状 長さ30cm以上	やや硬く掘りにくい 0.8m/h以上	乳灰 — 灰
A	ハンマーで強打してもほとんど割ることができない。	未風化の堅硬な岩盤。	割れ目の発達は稀で、密着している。		0.5m/h以上	灰 — 青灰

2.2 指針・設計標準示方書などの位置づけ

吉中が示したAの過程は、初期岩盤分類の結果を用いて既存の指針や基準、設計標準示方書など(以下指針等と略記する)によって設計、施工を行う場合である。(図-1中では[A]で示す)これらの指針等の中には、応用岩盤分類による等級との関係が示されており、地質等の条件が比較的単純で規模のあまり大きくない構造物の設計や、大規模な構造物であっても初期段階の概略設計などに適用される。これらの指針等は、既存の多くの資料を検討し岩盤等級との関係で一般化できるものを指針等という形で示したものと考えることができる。

また、旧国鉄のトンネル地山分類、日本道路公団の地山分類なども、同様な位置づけの分類と考えることができる。これらの分類の特徴は応用岩盤分類に相当する内容に加えて、トンネルの設計・施工に直接関係する内容が付加されている点である。例えば鋼製支保工の種類や間隔、掘削工法、掘削面(切羽、内空面)の安定性などを区分された等級に応じて記述している。これらのものは、応用岩盤分類に相当する等級と設計や施工に關係する要素をセットで適用されるようにしてい

る点において、ダムに関して応用岩盤分類から岩盤のせん断強度を評価した菊地(1979)の分類の場合と類似しているが、トンネルにおいては、それが指針や標準示方書に近いような形で施工に直接的につながっている点で違いがある。

トンネルにおいて適用されている岩盤分類は、このことを考えると指針類の中でも、より詳細に施工に踏み込んで示したものと位置づけることができる。つまり、既存試験資料をもとにより一般化した形でまとめたものが指針類であり、やや個別的な形で少し具体的にまとめ設計や施工の標準として示したものがトンネルで適用されている地山分類などにあたると考える。

そして、それぞれは、新たな資料の追加、分析により、また新たな計測等の手法を加えることにより改良されていくものと思われる。

2.3 既存試験資料の活用と岩盤物性の評価

1) 岩盤等級と岩盤物性評価

既存の資料を有効に活用して、建設をより経済的に安全にすすめようとする動きは、現在求められている主要な方向の一つである。既存の試験等の資料は岩盤分類を指標としたものが活用され

岩盤分類の位置づけとその内容についての考察

るケースが多く、図-1 のフローにおいても[B]で示すように、応用岩盤分類から直接つながったものももっとも望まれる。そして、活用の結果は、解析用岩盤モデル作成のための岩盤物性を適切により経済的に評価することである。そのため、ここでは、これを一体化して“既存試験資料の活用と岩盤物性の評価”としている。

代表的な例の一つに、図-2に示す岩盤等級とせん断試験結果との関係がある。この他にもさまざまな物性値と岩盤分類の相関がいろいろな研究者により検討され発表されている。また、表-1における各等級に対応する岩盤物性をこの地域における多くの調査試験結果からまとめたものを表-2に示す。このような研究は、“既存試験資料”をより充実するための研究やその成果である。

岩盤等級と変形係数や弾性係数との相関、岩盤等級と粘着力あるいは内部摩擦角との相関、岩盤等級と弾性波速度との相関などがある。

2) 評点による岩盤等級と岩盤物性評価。

ここで、初期岩盤分類の結果を数値で表現している分類の位置づけを考察してみたい。

海外において提唱れたN.Barton のQシステム、BieniawskiのRMR, Hoek and BrownのGSIなどの岩

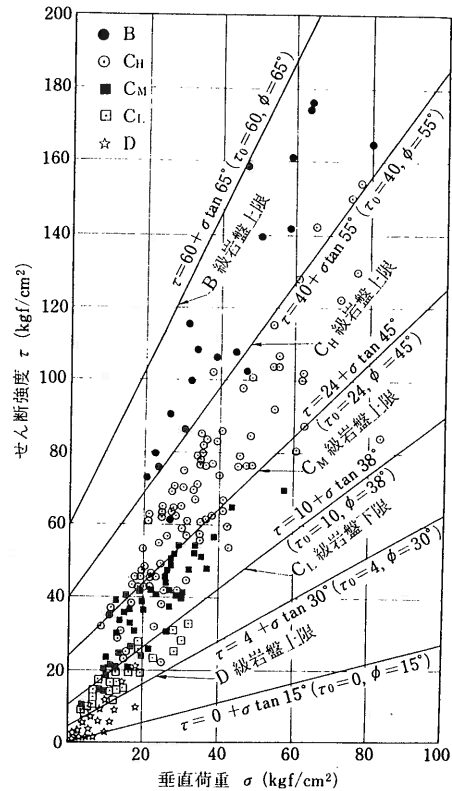


図-2 岩級区分とせん断試験結果との関係³⁾

盤分類は、それぞれの分類要素に数段階の数字による評点を与え、その合計点で岩盤を評価している点に特徴がある。わが国では、本州四国連絡橋・明石～鳴門ルートの層状岩の岩盤分類に評点

表-2 南北備讃瀬戸大橋地点の岩盤の物理・力学量一覧表⁵⁾

岩盤等級	密度	弾性波速度	反射検層の反射回数	一軸圧縮強度	LLTによる変形係数	速度検層による弾性係数	RQD (%)
	(g/cm^3)	(km/sec)		(kgf/cm^2)	(kgf/cm^2)	(kgf/cm^2)	
D	[]	P [] S []	[]	~ 100	[]	[]	[]
CL	[]	[]	[]	~ 300	[]	[]	[]
CM	[]	[]	[]	100 ~ 600	[]	[]	[]
CH	[]	[]	[]	300 ~ 1000	[]	[]	[]
B~(A)	[]	[]	[]	600 ~	[]	[]	[]

を取り入れた例がある。このような岩盤分類の考え方は、区分を客観化することとともに岩盤物性値を決めるための手続きを実験式あるいは経験式を用いることにより、数学的に扱えるように意図しているものと思われる。例えば、実際にRMRでは、変形係数を求めるための経験式が提案されている。そして、実際への適用例や試験結果の蓄積にともない、その経験式の係数などが修正されている。

つまり、このような分類は、初期岩盤分類と岩盤物性を同時に評価し、それを数式で示すことによって、客観性および一般性を持たせたものともみることができる。

以上のべたような既存資料がより充実し内容の厳密性と信頼性が向上すると、初期岩盤分類から比較的容易に岩盤の物性値が得られるようになり、岩盤試験を極力少なくしてより経済的に設計することも可能になる。そして少なくとも、花崗岩など同じ種類の地質が分布するサイトではその可能性がより大きいと思われる。

2.4 原位置岩盤試験、室内岩石試験

重要構造物の設計に用いる岩盤物性を求める場合やより厳密性を求める場合には、既存資料の活用に加えて原位置における岩盤試験あるいは採取した岩石試料の室内力学試験が計画され実施される。そして、初期岩盤分類の結果により試験位置や採取位置が適切に決められる。原位置試験には、岩盤直接せん断試験、平板載荷試験、孔内載荷試験などいわゆる直接的に岩盤の工学的物性を得るものと、弾性波速度や電気比抵抗などのように間接的なものがある。室内試験としては、C、 ϕ を求める三軸圧縮試験などがある。とくに割れ目の少ない軟岩においては、物性値を求める有効な試験となっている。また、安定性などの評価をするために欠かせないと思われる場合、断層や破

砕帯などの物性を評価するために、新しい、特別な調査・試験などを実施する場合も、この[C]原位置岩盤試験などに含まれる。

2.5 解析用岩盤モデル

既存資料の活用や原位置岩盤試験等の結果から岩盤の物性を求め、設計および施工のための解析用岩盤モデルが作成される。ここでは区分されたそれぞれの等級の岩盤物性値を評価するだけでなく、その3次元的な分布も考慮する必要がある。

つまり、解析用岩盤モデルは、区分された岩盤とその物性値および3次元分布から構成される。

また、モデルの作成については、初期岩盤分類によって区分されたものを修正する場合があります。例えば、原位置における速度測定の結果、初期段階の岩盤区分の結果を一部変更する場合があります。解析用岩盤モデルは、そのサイト特有の要素や条件が反映された個別のモデルであると言える。

そして、[A]から[B]、[C]と移るにしたがって、一般化された問題から次第に個別のケースの問題へと移っていくことがわかる。

3. 基本岩盤分類から応用岩盤分類への考察

2.1で記述したように本来の意味で一般化された基本岩盤分類はまだ無い。これに対し、現存する応用岩盤分類に位置づけられるものは、いくつかあるが、それらは岩塊の硬さ、割れ目の間隔、割れ目の状態をその要素としている点に共通点はある。しかし、観察結果を詳細に記述することに基本を置くものと各分類要素を出来るだけ簡潔に、場合によっては数値で表現したり、要素の組み合わせによって、より客観的な評価をすること

岩盤分類の位置づけとその内容についての考察

を意図したものなどの違いがみられる。

これらを統合することは現実的には困難であり、すでに述べてきたように、さらにそれぞれの岩盤分類から出発して岩盤物性の評価や施工との関係が作り上げられている。

そのため、前述したように基本岩盤分類と、ダムやトンネルなどを目的とした既存の応用岩盤分類との関係を客観的なものに作りあげることが今後の課題と考えられる。

両者を結びつけるための考え方として、基本岩盤分類をある程度細かく分類することが必要であろう。つまり、図-3に模式的に示すように細かく区分されたものの組み合わせが既存の応用岩盤分類の一つの区分に相当するように考える。しかし、このように考えても、それぞれの区分で境界が必ずしも一致しないなどの問題が生ずる可能性がある。これらのことを含め、今後十分に研究していく重要な課題であると考えられる。



図-3 基本岩盤分類の細区分の対比

4. 新しい調査・計測手法の利用について

最近では、調査計測手法もいろいろなものが開発され、実際に使われるケースも多くなっている。シュミットハンマー、針貫入試験、ポイントロード、弾性波速度、電気比抵抗、各種岩石試験、岩石の色彩、などがある。そして、これらの測定結果と岩盤等級、あるいはそれら相互の相関、あるいは基本的な物性（密度、空隙率など）

との関係がいろいろ研究され成果が発表されている。これらの研究成果の利用やこれからの研究の方向を、それぞれの手法に応じて、表-1のフローのどこかに位置づけて目的的にすすめるならば、計画から調査、設計・施工のフローの完成度が増し、岩盤分類がより一層、建設計画の中で有効な役割を果たすことにつながるであろう。

例えば、断層粘土の物性評価に針貫入試験の利用を考えるならば、それは、特別なケースについて、解析用の岩盤モデルを作成するための物性評価と見ることができる。これに対して、岩石の色彩を数値化して利用することを考えるならば、色彩は地質の種類によって違うため一般性を求めることは困難であるが、個別なケースにおいて岩石の風化の客観的な指標となる可能性がある。

このような例は、基本岩盤分類をより客観化するための補助手段として位置づけられると考えられる。

5. 結語

地質の違いや対象とする構造物の違い、さらにはいろいろな機関によりさまざまな岩盤分類が使われているが、構造物の建設に関する調査から設計・施工への流れの中におけるそれらの位置づけと整理を試みた。多種多様でそれぞれ実際面での適用実績を多く持つこれらの岩盤分類を必ずしも合理的に整理されたとは云えないが、より一般化させていく方向と個別の問題としてすすめる方向をある程度示すことができたと考える。しかし、分類される区分とその物性値のバラツキとの関係など、まだ残されている事項もある。

これらについては、あらためて検討したいと考えている。

引用文献

- 1) 田中治雄 (1983) : 岩盤分類が提案された頃の
思いで. 応用地質特別号「岩盤分類」 pp.1~2.
- 2) 桜井春輔・吉中龍之進・菊地宏吉 (1993) :
岩盤分類とその適用, 土木工学社
- 3) 菊地宏吉・藤枝誠也(1984): ダム基礎岩盤の耐
荷性に関する地質工学的総合評価, 応用地質
特別号, pp.103~118
- 4) 土木学会 (1986) : ダムの地質調査
- 5) 本州四国連絡橋公団 (1993) : 本州四国連絡
橋・地質地盤調査誌