

建設省土木研究所 正会員 ○松本徳久
同 同 山口嘉一

Classification of Foundations for Filldams

Norihisa MATSUMOTO, Public Works Research Institute, MOC
Yoshikazu YAMAGUCHI, Public Works Research Institute, MOC

Abstract

Since most of dam sites are very complicated recently, geological investigations of dam sites are becoming more and more important, and results of investigations are utilized for and connected with the design of evaluation of rocks or rock classifications. It is not too much to say that conventional rock classifications, such as the method established by Tanaka & Kikuchi and that by Okamoto & Yasue, are aimed mostly for concrete dams, that is, in these classifications strength and deformability which are very important elements for the design of concrete dams are mainly considered. On the other hand, in designing filldams, we have to pay more attention to permeability of foundations. Therefore we wish to establish foundation classification for filldams. In the first step of it, we tried to discuss and select important elements about strength, deformability and permeability of foundations for filldams.

1. はじめに

ダムの基礎岩盤をほぼ一定の工学的性質を持ついくつかの類型に分類することにより、たとえ不均一な岩盤が対象であっても設計上非常に取り扱い易くなる。現在もよく用いられている岩盤分類、田中・菊池^{1), 2)}の電研方式または岡本・安江の土研方式³⁾は、ダム基礎の岩盤分類として、我が国のダムの地質調査を設計・施工に反映する方法として大きな役割を果たしてきた。これらの分類法は、本来コンクリートダムの基礎岩盤の分類を強く意識したもので、コンクリートダムの安全性設計にとって重要な物性値であるせん断強度や変形係数との対応が取り易い。一方、フィルダムは、その基礎が岩盤から土質基礎まで多種多様であること、基礎の物性値としては透水性をより重視すべきことなどの特徴がある。よって、従来の考え方を加味しながらも、フィルダムを対象とした地盤分類を築き上げる必要がある（なお、ここで敢えて地盤分類と記したのは、フィルダムの基礎が必ずしも岩盤だけではないことを考慮してのことである）。このことは、第21回岩盤力学に関するシンポジウムのパネルディスカッションにおいても話題となった⁴⁾。ダム基礎の分類は、地質調査と設計の接点を成すものであり、本来両者の立場から築き上げていかなければならないが、今回は、主としてフィルダムを設計する立場から、基礎の地盤分類時に考慮すべき要素の整理を試みた。

2. 現行の岩盤分類法

現在、我が国で用いられているダム基礎の岩盤分類の例とそれぞれで採用されている分類要素をまとめたものを表-1に示す。なお、各岩盤分類法の具体的内容は非常に有名なものゆえ、ここで記すことを控え、原書に譲りたい。この表中には、電研式、土研式のほかに水資源公団や電源開発の岩盤分類法が示されてい

るが、前者2つと比較するとその使用頻度は低い。また、採用された分類要素を見ると岩石強度、ハンマー打撃等、岩盤の強度、変形性を強く意識したものが多く、主にコンクリートダムを対象にしていることが容易に想像がつく。

我が国には、ダム基礎以外にもトンネル、斜面、橋梁基礎に対する多くの岩盤分類が、諸外国には、RSR法⁶⁾、RMR法⁷⁾、Qシステム⁸⁾といった評点分類法なるものもあるが、今回は、我が国のダム基礎に対する岩盤分類に限るということで、その内容については詳しくは触れないことにする。

表-1 ダム基礎の岩盤分類の例と分類要素 (文献5)表-1の一部)

機 関	分 類 名	表 示 法	分 類 要 素					記 事
			風の 化・程 変 質度	亀裂の 間隔	割れ れ状 目態	岩石 強度	ハン マー 撃	
電力中央研究所	電研式岩盤分類	A~D CはC _u , C _s , C _t	○		○	○	○	硬さの程度をハンマー 打撃で判断
建 設 省	土研式岩盤区分	A~D		◎	○	○		三要素の組み合わせによる 総合評価
水 資 源 公 団	岩 盤 分 類	A~E CはC _u , C _s , C _t	○		○	○	○	電研式を一部修正
電源開発(KK)	同 上	① ~ ⑥	○	◎		○	○	三要素の組み合わせによる 総合評価

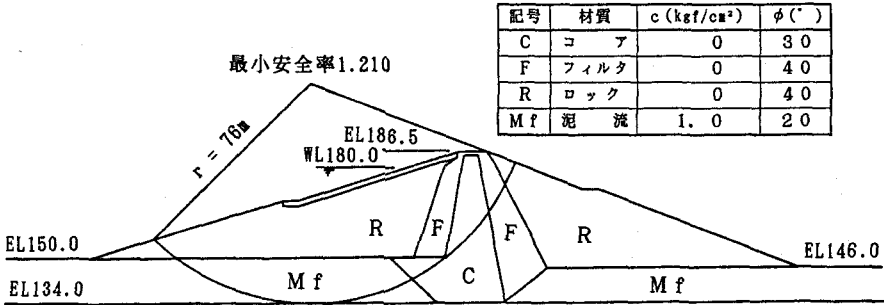
◎:定量的表現 ○:定性的表現

3. フィルダムの基礎に要求される工学的性質

岩盤分類は、ひとつにはグルーピングにより複雑な岩盤を対象にした構造物の設計をより確実にかつ効率的に達成すること、もうひとつには、グルーピングが1ダムだけではなく、他ダムとも共通したものにすることで、ダム間の経験が交流され蓄積され易くなることがその主目的である。そのため、岩盤分類を議論するに際しては、まず対象構造物の設計パラメタ(工学的性質)を明確に押さえておく必要がある。ダム基礎に要求される工学的性質は、一般に、強度、変形性および透水性に要約される。そこで以下では、これらの性質がフィルダムの基礎の設計においてどのように考慮されているのかを整理することにより、フィルダムの基礎地盤の分類の手掛かりとしたい。

3. 1 強度

フィルダムにおいてもコンクリートダムと同様、堤体および基礎の安定性を検討する際の強度としては、せん断強度を用いている。安定性は、種々のすべり面を仮定し、限界塑性平衡の考え方にに基づき、安全率が所定の値(通常1.2)以上あるか否かで検討されている。このとき、基礎のせん断強度が堤体のそれ以上であれば、基礎を通るすべり面で最小安全率が発生することはまずない。しかし、逆の場合は、図-1に示すように基礎を通るすべり面での安全率を検討する必要がでてくる。例えば、ゾーン型のロックフィルダムの場合、堤体材料の中で最も体積およびせん断強度が大きいのはよく転圧されたロック材料である。ロック材料の強度(排水強度)は、見掛けの粘着力 $c = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 45^\circ$ 程度である⁹⁾。よって、フィ



記号	材質	c (kgf/cm ²)	φ (°)
C	コ ア	0	30
F	フィルタ	0	40
R	ロック	0	40
Mf	泥 流	1.0	20

図-1 基礎を切るすべり面(御所ダム, 常満時)

ルダムの基礎がこれ以上の強度を持つか否かを分類の基準点のひとつとして採用すべきである。なお、フィルダムの型式が、均一型、表面遮水型と変われば、当然、上記の基準値は変わる。

3. 2 変形性

基礎の変形性についても強度と同様、同じフィルダムであっても、表面遮水型と均一型では要求の度合いが大きく異なるので、この点は分類上考慮に入れるべきである。つまり、均一型フィルダムの堤体材料は塑性に富む粘性土であるため、基礎のかかなり大きな変形に対しても堤体は亀裂も発生することなく追従することができる。一方、表面遮水壁型フィルダムにおいては、遮水壁の設置後、湛水による水圧荷重により遮水壁に亀裂が発生するほどの過度の変形が生じてはならない。

フィルダム基礎の変形性に関するもうひとつの検討項目は、グラウチングの合理的な施工、安全管理および補修の目的から設置される監査廊（通常カルバート式）の設計に伴う問題である。すなわち、岩盤が軟質であると、コンクリート構造物である監査廊に上部の堤体荷重により発生する応力が許容値内にあることはもちろんのこと、継ぎ目の開きやズレが許容値内にあるかなどの検討を行う必要がある。仮にカルバート式監査廊を設置すると継ぎ目の開きやズレが大きく、堤体に亀裂を発生させる恐れのある場合には、図-2に示すようにトンネル式の監査廊が採用されることがある¹⁰⁾。図-2に示すダムの基礎は、全体として堅固な岩盤で構成されているが、トンネル式監査廊が設置された部分は破碎帯である。このように監査廊の変形に関しては、基礎全体が軟質であるときのほか、硬軟の地盤が混在しているときも問題となる。

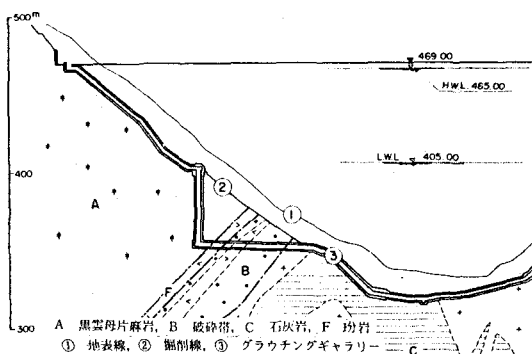


図-2 トンネル式監査廊（川島ら¹⁰⁾による）

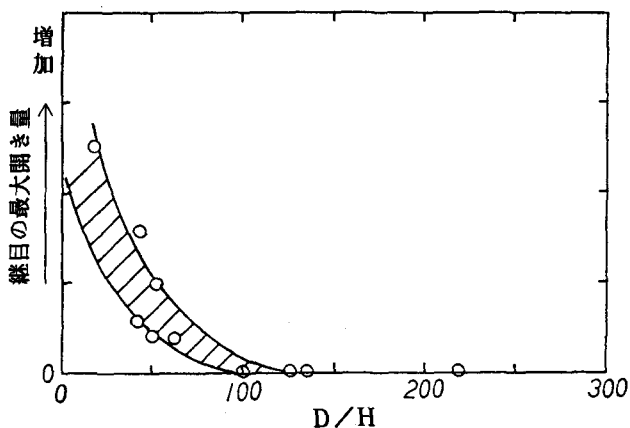


図-3 カルバート式監査廊の継ぎ目の開き量

カルバート式の監査廊で実測された継ぎ目の開き量の最大値とその地点の岩盤の変形係数 D (kgf/cm^2) の盛土高 H (m) に対する比との関係を図-3に示す。この図より、 $D/H > 100$ であれば岩盤の変形性が余り問題ではなく、 $D/H < 50$ では設計に際し岩盤の変形性に充分な注意を払う必要がある。

3. 3 透水性

現在、ダム基礎に対する調査結果は、主に岩級区分図とルジオンマップに集約して整理される。このことから現行の岩盤分類では透水性を充分加味したものとは言えないことがわかる。しかし、フィルダムの基礎の設計では、透水性の占めるウェイトが高く、筆者らとしては、現在の岩級区分図とルジオンマップの両方の機能を備えた地盤分類図を完成させることが最終目的と考えている。

基礎の透水性を地盤分類に重点的に導入するに際しては、地盤内の水の流れが、①主に亀裂中、②主に粒子間隙、③あるいは①と②の両方、のいずれの形態で発生しているのか、さらに、地盤が最も一般的な止水処理方法であるグラウチングによりどの程度まで改善されるか（グラウチビリティ）、などについての充分

な考慮が必要となる。

基礎の透水性（浸透破壊を含む）とグラウタビリティを考慮した分類の概念のフローを図-4に示す。まず、基礎をその透水性がフィルダムのカーテングラウチングの改良目標値である $2 \sim 5L_u$ 以下の基礎が硬岩や比較的固結度の高い軟岩で構成されている場合は、基礎処理の必要はなく、非常に高い等級に位置付けられる。一方、低、未固結の軟岩、砂礫基礎の場合、パイピング等の浸透破壊の恐れがあるか、ある場合には合理的かつ経済的な対策が有るか、といった検討が増えるに従ってその等級を落としていく必要がある。なお、土質地盤の場合は、ほとんど強度、変形性の問題に帰着するといっても過言ではなく、設計に際して、透水性の占めるウェイトは低い。

基礎の透水性が $2 \sim 5L_u$ 以上である場合には、分類に際してグラウタビリティを考慮しなければならない。まず、大部分の硬岩のように高圧、適量注入により透水性が改善できる場合は、全く基礎処理を要さないものに次いで等級が高い。上記の条件を満たさないが、大量注入によれば透水性の改良が可能な高透水性の岩盤や、孔間隔を狭めて低圧注入を行えば透水性の改善が可能な軟岩、砂礫地盤は次の等級に位置する。これらの方策を講じて、従来のグラウチングによる透水性の改善が困難な場合は、①超微粒子セメントと二重管ダブルパッカー工法を組み合わせた特殊グラウチング工法、②アスファルトコンクリート、鉄筋コンクリートあるいは土質材料によるブランケット工法、③連続地中壁工法、などにより止水処理にあたらなければならない。なお、これらの工法を採用しなければならない場合でも①の特殊グラウチングで改良が可能な場合は、あくまでグラウチングということもあり他の場合よりは地盤の等級を高めておく方が良い。さらに軟弱な地盤においては、透水性と変形性を互いに独立した事象とするのではなく、フィルダムの盛土により、応力・変形と透水性が連成している点も注意すべきである。¹²⁾

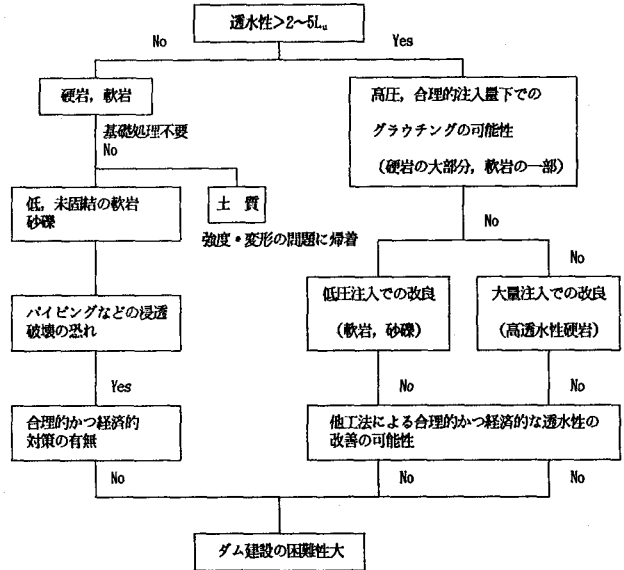


図-4 透水性から見た地盤等級付けの流れ

4. フィルダムの基礎の地盤の種類

地質的に良好な堅硬な岩盤のダムサイトの多くが開発され、減少しつつある傾向にある。また、流域面積が大きく、ダムサイト地盤が硬岩であるときには、転流工や洪水吐の取りつけ易さの点から、コンクリートダムが選定されることが多い。したがってフィルダムの基礎は、硬岩もあるが、むしろ軟岩や、砂礫・土質基礎の場合がしばしばである。軟岩には、風化岩であるマサ、新しい地質時代の固結度の小さい堆積岩・火山碎屑岩等多様である。また第四紀の地質には、未固結の火山灰が硬い溶岩に薄く挟まれているなどの変化の激しい地質の混在の問題もある。そして、これらの地質は、従来のダム基礎の岩盤分類からするとCあるいはD級に一括されるものが多いが、フィルダムの基礎として整理するときには、上記の透水性の項で述べたように特性に注意して細区分した方がよいと考える。

5. おわりに

今回は、フィルダム基礎の地盤分類を目指して以下の検討を実施した。

- ① 現行のダムの岩盤分類を示し、これらはコンクリートダムの設計との対応が非常に強い。一方、フィルダムの基礎分類としては、これらの現行の分類において、C₁級・D級をきめ細かく細区分して規定すべきである。
- ② フィルダム基礎の地盤分類法の作成には、調査と設計の接点、すなわち地質の専門家と設計の専門家の両者の協力が必要であり、本論では設計の立場から地盤分類時に考慮すべき項目を挙げることにした。以下各論として、基礎の強度については、基礎のせん断強度が堤体のそれよりも大きいかな否かを分類の基準に加えることを提案した。

変形性については、堤体の型式や底設の監査廊の設置を充分意識すべきことを指摘した。

フィルダムの基礎分類を実施するための最も重要な要素となる透水性については、地盤中の水の流れの形態、グラウタビリティ、パイピング抵抗性等多くの検討項目を挙げるとともに、等級付けの流れを示した。

参考文献

- 1) 田中治雄：土木技術者のための地質学入門、山海堂、pp.28～36、1964年。
- 2) 菊池宏吉・斉藤和夫・楠健一朗：ダム基礎岩盤の安定性に関する地質工学的総合評価について、大ダム、No.102、pp.20～31、1982年12月。
- 3) 岡本隆一・安江朝光：ダムサイトにおける岩盤分類の試み、土木技術資料、Vol.8、No.9、pp.1～10、1986年9月。
- 4) 土木学会 岩盤力学委員会 ダム・大型構造物基礎小委員会：ダム基礎における岩盤評価、第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.481～488、1989年2月。
- 5) 日本応用地質学会：国内における岩盤分類、応用地質特別号“岩盤分類”、pp.133～137、1984年8月。
- 6) Wickham, G.E., Tiedemann, H.R. and Skinner, E.H.: Support determinations based on geological predictions, North American Rapid Excavation and Tunneling Conference, Chicago 1972, Proceedings, Vol.1, pp.43～64, 1972.
- 7) Bieniawski, Z.T.: Geomechanics classification of rock masses and application in tunneling, Proc. 3rd Int. Cong. Rock Mech. Vol.2, Part A, pp.27～32, 1974.
- 8) Barton, N., Lien, R. and Lunde, J.: Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mechanics Vol.6, No.4, pp.189～236, Springer-Verlag, 1974.
- 9) 松本徳久・渡辺和夫：ロック材料の三軸圧縮試験と強度特性、建設省土木研究所報告、第173号、p.55、1987年3月。
- 10) 川島登紀衛・金沢紀一：大規模断層を含む風化基礎上におけるロックフィルダムの設計、大ダム、No.102・103、pp.32～41、1982年12月、1983年3月。
- 11) 建設省河川局開発課監修：グラウチング技術指針・同解説、(財)国土開発技術研究センター、pp.50～51、1983年11月。
- 12) 松本徳久・山口嘉一：フィル堤体の盛土に伴う基礎岩盤の変形と透水性の変化、土木学会論文集、第370号、pp.281～290、1986年6月。