

建設工事における風化・変質作用の取扱い方

8. 風化・変質作用によるダム建設上の問題点

市 川 慧 (いちかわ けい)

建設省土木研究所 地質官

8.1 ダムにとっての風化・変質の意義

岩盤に設置されたダムでは、構造物に加わる水圧を支持岩盤に伝達すると共に、貯溜した水の浸透を制御して基礎や構造物自体の安定が確保されなければならない。ダムの規模・構造を決定する要因は貯水容量の確保が主体であるが、構造物を支える岩盤の能力からくる限界が反対要因として存在する。かつては計画上必要な規模のダムを良好な岩盤に建設することができたが、現今では地質や用地上の制約条件から、良好なサイトに思いどおりのダムを建設する方式が困難になってきた。

ダムの基礎岩盤に対する考え方では、欠陥のない健全な岩盤を想定し、現存する種々の欠陥（破碎と風化・変質や軟質部の存在）を割り引いて岩盤の力学的性質を評価する方法がとられている。ダムでは構造物が基礎と接する面積が他の構造物に比較して特段に広いので、他の構造物の場合のように基礎の物性を直接求めて設計に反映させる方法は、不可能ではないにしても著しく時間と経費を必要とする。そこで、岩盤をある程度の大きさを持つ単位として評価する岩盤区分が導入されている。この岩盤区分¹⁾を設定する上での割引き要因の一つに風化・変質（熱水変質）がある。したがって、ダムにおいては基礎岩盤の強度・透水性という工学的性質と、堤体材料の品質、基礎と堤体の耐久性に影響を及ぼす劣化因子として風化・変質の意義が存在する。

本章では、ダムの現場でどのような風化・変質の問題にどのように対処したかを、基本的な考え方と共に述べることに重点をおき、地質学・鉱物学的な表現や説明は先行する諸章に比べてやや学問的に正確さを欠くことになるだろうが、現場での「応用」段階ではこのように単純化あるいは表象化されていると解されたい。

なお本章に述べた事例はそれぞれの現場に固有の条件下での解決であって、風化・変質に対処する標準的な手法と考えてはならないことを強調しておく。

8.2 ダムサイトの問題

ダムサイトにおける風化・変質の問題は、提案されたダムの候補地点で計画から要請される規模の貯水池を作るダムを設計する過程で出現する。すなわち、その基礎岩盤にダムの設計が可能かどうかを、本来堅硬であった当初の岩盤がどの程度劣化しているか、どのような対策が可能か、あるいはダムの計画を変更するかを判断する過程である。

ダムサイトでは踏査やボーリングに基づいて、支持岩盤の調査を行うが、風化・変質とも露頭や試料の欠如部分に存在するので、調査の進捗に従って次第に明らかになってくる。特にボーリングでは、岩盤の透水試験を並行して進める必要から清水送水掘りを行うので、破碎部分に脈状に存在する比較的規模の小さい粘土などは流失して角礫状のコアしか採取されないことがあるので、変質の予想される地域では最初から徴候を見逃さないことが必要となる。また、花崗岩のような粗粒深成岩地域では、節理に沿う風化が地表から深部に及び、地表の露頭分布から描いた地質図には反映されにくい急勾配の風化帯が縞状に分布し、当初の印象とは全く異なった岩盤状況となっていることもあるので特に注意が必要である。

サイトの岩石自体が広域的な風化や変質などの影響をこうむっていることもあるが、全般的に見て最も良好なものあるいは支配的なものを基準にとり、それから割引きを行うので、これが実務上支障となることは少ない。すなわち、基礎岩盤の諸性質の不均一性が大きな問題であり、それを設計すべき構造物の大きさとの関連で取り扱うことになる。

講 座

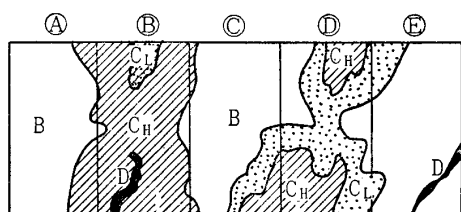
8.2.1 基礎岩盤のせん断強度

ダムの中でも多数を占めるコンクリート重力式ダムでは、基礎のせん断強度がダムの高さや断面を決定する上で最も基本的な性質である。ダムが比較的強く、岩盤が強固なときには端に引張り応力が生じない（ミドルサード）条件が満たされればよいが、岩盤が強固でないときや欠陥のあるときには基礎での滑動に対抗できなくなり、一般にはブロックごとのせん断強度を求めて必要断面（下流面勾配と上流側の増厚）を決めることが多い。このため、ダムの高さに対する必要せん断強度をあらかじめ求めておき、これが確保できるかどうかを検討することになるが、岩盤が一様な工学的性質を持つことはまれで、損なわれていない岩盤と破碎、変質などの劣化因子とが共存する不均一な集合に対して、ある規模の大きさ（例えば打設ブロック）の岩盤強度の総和として評価することになる。

ブロックのせん断強度の計算では、風化・変質に限らずブロック内の不均一な弱所の所在を明らかにしてそれを岩盤区分に反映し、基礎面内の面積比で案分する。もちろん上下流端のような構造上特殊な部位が劣化部にくることのないようにダムの位置（座取り）を決定することは言うまでもない。一方、フィルダムでは、設計は堤体と基礎の変形性と透水性を主な因子として行われ、堤体を構成するコア、フィルター、ロックという複数のゾーンの変形性を有することもあって、基礎の不均一性は、剛なコンクリートダムほど問題とならない。

基礎のスケールとの関係における不均一性は次の三つのケースに分けられる（図—8.1）。

- ① 一様に分布しているときには、本来の岩盤に劣化を加味した区分を設け、設計値とする。この場合は割引きの程度を正しく評価することと、工学的性質に大きなばらつきがないことの確認が必要となる。図ではブロック③は一つの单元 C_H から成るとする。



図—8.1 基礎岩盤の不均一性の模式図

- ② 一様に分布しないときで、一つの区分として扱い得るほどの大きさであるときには、その部分に対する岩盤区分を設定して、複数の单元から成る岩盤として扱う。図ではブロック④、⑤、⑥はそれぞれの岩盤の面積に応じて重みづけを行ってブロックのせん断強度とする。

- ③ 一様に分布しないときで、一つの区分として扱い得るほどの大きさでないときには、その部分の大きさと性質を考慮して、全体の区分を確保する処置をするという前提で、全体の区分の工学的性質に対して設計を行う。これが不可能なときには②の扱いとなる。図ではブロック⑦がこれに当たる。

このような設計上の取扱いを可能にするためには、各々の单元の大きさと工学的性質を考慮した区分単位と、その属性を的確に設定し、実際の施工時に設計の前提とした岩盤条件が確保されていることが効果的に確認できなければならない。

8.2.2 基礎岩盤の透水性

基礎岩盤の透水性に風化・変質が与える影響は強度の場合より小さい。透水性を著しく大きくするものの一つに地表付近の応力解放による緩みがあり、風化の場合には岩石が細片化するのに対して、緩みの場合はオープクラックを生じるような大きい岩盤から拳大の岩片の集合まで変化があるが、いずれも分離面に沿って表面からの風化が進行している。このようなゾーンはダムでは透水性が著しく高いことから容易に判断ができる。

変質は粘土化と珪化では異なり、前者は一般に透水性を低下させる方向に働くので問題は少ないが、動水勾配が大きいと洗い流されて著しく高い透水性を示す恐れがある。ダムの基礎岩盤では、低・未固結堆積物の場合のように顕著なものになった事例はほとんど知られていないが、これは大規模な粘土化帯では調査や建設の段階で適切な処置が行われたためである。また、小規模な場合は周囲の岩盤が形成する骨格があって、未固結堆積物のような粒子の移動による水みちの拡大が生じないためであろうが、いずれにしてもこの現象が著しい場合には、パイピングにつながるので十分な配慮が必要となる。

8.2.3 岩盤の短期劣化

岩盤の劣化は一般に地質学的時間の経過の中に進

行するが、一部の岩石には極めて短時間に進行するものがある。これがスレーキング²⁾と膨潤で、泥質軟岩に固有の現象である。前者は掘削や試料採取などによって大気中に曝露されて乾燥した岩石が、再び水分の供給を受けて急速に泥・砂状化あるいは細片化する現象で、乾燥と湿潤を繰り返して表層の劣化した部分が取り除かれるたびに劣化が深部に及ぶ。スレーキングが発生するまでの時間はさまざまで、早いものは露出後4時間というものがあるが一般に3～7日程度で、一般の風化現象に比較すれば桁外れに早い。後者は変質をこうむった岩石の中のパーミキュライトやスメクタイト、カオリナイトなどの粘土鉱物が掘削などによる応力の解放、乾燥後の吸水などによって急速に体積を増大させるもので、発生までの期間は前者よりやや遅く3～7日程度から数か月である。

このような岩盤では、基礎掘削時には堅硬であったものが堤体施工までの間に劣化して、岩盤の当初の強度や透水性が確保されなくなるばかりか、支持岩盤と堤体との一体性を確保することができなくなる恐れがある。現状では決定的な対策は見つかっていないが、①地下水面以下の岩盤では掘削後の表面を乾燥させないために散水養生を行う、②堤体打設の工程を調整して現象が発生するまでの間に余裕を持って表面が堤体によって被覆されるようにする、③基礎掘削の際に仕上げ掘削しろを通常より厚くとして劣化していない岩盤が確保できるようにする、というのが一般的である。

8.2.4 ダム型式に影響を与えた例

ダムの型式は地形、地質、材料採取の可否、用地などの多くの要素から決められるが、フィルダムではダム軸より上流側の堤体積(全体の半分以上)が貯水池に食い込む分だけダムが高くなること、大流域に建設されるダムや小規模なダムでは洪水吐が本体に比較して大きくなって複雑な構造のダムとなること、構造上越流が許されないので余裕高を大きくする必要があってその分だけダムが高くなることなど、コンクリートダムよりダム高が高くなる要因が多いので、計画検討の初めは重力式コンクリートダムが載るかどうかの検討(最も重要なものはせん断強度と変形性)を優先させるのが普通である。

したがって、調査が進んだ段階でダム型式を変更

する可能性はあり得るが、ダム事業の社会的影響の大きさを考えると決して望ましいことではないので、調査の比較的初期の段階で型式を決定しなければならないことが往々にして生じる。ダムの規模にもよるが、20本程度のボーリングと4坑程度の横坑から自信を持ってダム型式が決められるのは、条件が良好なときのコンクリートダムと、一見して所要せん断強度がとれないことが分かるときのフィルダムの場合だけで、ダムタイプを決定する際には苦慮することが多い。次に示すダム型式の決定に風化・変質が関与した事例は、いずれも100m級の比較的大きいダムの場合で、規模に対する岩盤条件が限界に近い場合の例である。

8.2.4.1 薄い粘土脈を含むシーム群

ダムサイトの地質と問題点：第三系中新統の安山岩質火山砕屑岩から成り、右岸の岩盤にはほぼ水平なシーム群が発達し、その間隔は数cm～数10cm、幅は0.5mm以下で粘土を挟在する。重力式ダムの基礎としては滑動に対抗できない恐れがあるので掘削除去しなければならないが、深度が深い。また、被りの浅いこともあって透水性も非常に高い。

対策：グラウチングによる当該部分の透水性の改良が可能であれば、残してフィルダムの基礎にすることを考え、被りの薄いことを考慮に入れて低圧注入によるグラウチングテストを行った結果が良好であったので、ロックフィルダムに決定した。

8.2.4.2 河床の大規模な断層破碎帯

ダムサイトの地質と問題点：粗粒～細粒の花崗岩から成り、河川にやや斜交する方向で上下流に走る断層がある。中位標高から上は全体に風化が著しく、風化の下面は山体の深部でもあまり高くない。断層破碎帯は幅約40mで60～70°傾斜し、変質により緑色化した破碎変質帯、白色変質して再固結したカタクラスチック帯、破碎を伴わない桃色変質帯から成る。前者の強度は期待できないが、後2者のせん断強度がコンクリートダムとしての設計の可否を左右することになる。風化面の下の岩盤は破碎帯以外は堅硬でコンクリートダムの基礎としての問題はない。

対策：破碎帯がダムが最も高くなる河床にあり、幅40mという広さのために、従前のように一括して低い評価を与えるやり方では重力式ダムの設計が成

講座

り立たない。破碎帯には鉱物粒子に至るまで破碎されて粘土化したもの（岩盤とはいえない）から、比較的破碎の程度が低く何がしかの強度が期待できるものまでがあり、理論的にはそれぞれの合計として岩盤の強度を算定することができる。ただし一般論としては、事前の調査でこのようにして求めた強度はダム規模に対してぎりぎりの条件となる 경우가多く、実際の掘削面（着岩面）が当初の想定と違っていたときの余裕がなく、前提となった設計条件そのものの成否にかかわることがあるので、通常のダム以上の綿密な調査を必要とする。このダムでは一方ではこのような岩盤条件であり、一方では貯水池上流端に集落が存在することから、フィルダムにしてダム高を上げることができないという背反条件におかれているので、ダム型式は調査の現段階では決まっていない。破碎帯内の岩盤の強度分布をごく詳細に調査して、満足の行く余裕が確認できれば重力式ダムとして設計することになる。（口絵写真—11～16）

8.2.4.3 岩盤の割れ目の中の薄い熱水脈

ダムサイトの地質と問題点：細粒の花崗岩から成り、岩石は極めて緻密堅硬であるが、全体に破碎が進み、数 cm～数 10 cm の等径状の岩塊に割れている。これに軽度の熱水変質作用が加わり、岩石そのものは全く影響されていないが、割れ目には厚さ 0.1～0.5 mm 程度の粘土（カオリナイト）のフィルムが形成されている。この粘土はボーリング時には検出されず（透水試験を並行して実施し、送水掘りを行ったときに洗い流された）、棒状コアの復元が可能な上に採取率も高いので岩盤としては良好で強度があると判断された。横坑を掘削した時点で、粘土のフィルムが膨潤して壁面が小崩壊を繰り返したので発見された。（口絵写真—17, 18）

対策：複数の割れ目群が存在し、粘土フィルムを挟むので、岩片のかみ合わせによる強度の発現が期待できない上に、掘削時に緩みを生じてせん断強度が極端に低くなることが予想され、当初堅硬な花崗岩を前提として考えられた重力式ダムの計画を再検討する必要が生じた。掘削除荷による岩盤の劣化、コンクリート堤体との付着、堤体からの応力伝達と岩盤のせん断強度の発現機構を、ダム型式を含めて検討している段階にある。

8.2.4.4 花崗岩類の深層風化

ダムサイトの地質と問題点：粗粒～中粒の花崗岩から成り、河道に急角度で交差するほぼ鉛直の節理群が発達する。調査が初期段階にあるので詳細は不明であるが、節理が密な部分と間隔の空いた部分とがあるらしく、前者に沿って深部まで風化が及んでおり、口絵写真—19のように堅硬な岩盤に挟まれて著しく風化の進んだ部分が深部に存在している。高標高部の背鰭状の尾根の分布と河床の露頭の部分的な欠如はこれを反映しているらしい。

対策：十分な情報がないが、互層状に分布する深層風化帯の位置と幅とが鍵になると考えられる。ダム基礎の岩盤条件に応じてブロックごとのせん断強度を想定して重力式ダムの可否を検討すると同時に、十分なせん断強度が得られずにフィルダムとするときには、変形性の程度を把握して、特にダムが高くなる部分に極端な差が生じないことを確認する必要がある。

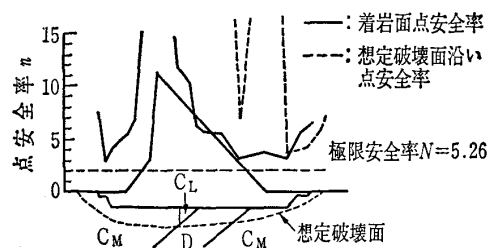
8.2.5 風化・変質帯の処理の例

前述のように風化・変質帯が広い範囲に分布するときには、それを加味した新しい区分を設定して岩盤の性質を決める。そのときの各々の単元の大きさと、例えばコンクリートダムのブロックとの関係から見れば、次のケースが問題となる。

- ① ブロック全体が重力式ダムとして設計できるだけのせん断強度が期待できない。
- ② ブロック内の一部に弱所があり、それを加味したせん断強度が重力式ダムの基礎の強度に足りない。
- ③ 強度不足は生じないが、局部的に変形などの極端な差が生じて、堤体内部に好ましからざる応力が発生する。
- ④ 透水性に極端な差が生じて水みちとなる恐れがある。

これらの問題に対する対応であるが、特にコンクリートダムの場合が多いのは、堤体、岩盤、弱所における強度と剛性の差がダムの設計に本質的に作用するからであり、堤体が柔構造のフィルダムでは、少なくとも岩盤であればその強度がダムの設計の支障となることはまれだからである。

基礎の風化・変質帯が小規模なときには掘削線を追いついて脆弱部を置き換えたり、V字形の切込み

図—8.2 コンクリートマットの例⁴⁾

を施工したりして堤体の応力を健岩の部分に伝えるようにする工法がとられる。

基礎岩盤を補って風化・変質の問題の処理を行った事例を示す。

8.2.5.1 マットコンクリート

ダムサイトの地質と問題点：中生界の砂岩・泥岩とこれを貫く流紋岩から成り、前者は貫入の際の熱水変質や熱硬化変質に伴う割れ目からの風化が、後者では珪化と粘土化を伴う変質作用が著しく、通常の断面形状では基礎のせん断強度が不足する。

対策：基礎の長さを長くすれば計算上は所要の滑動に対する安全率が確保できるので、堤体と一体にした大規模なコンクリートマットを施工した。これによって想定破壊面を図—8.2の点線のようにとることができ、重力式コンクリートダムとしての設計が可能になった。

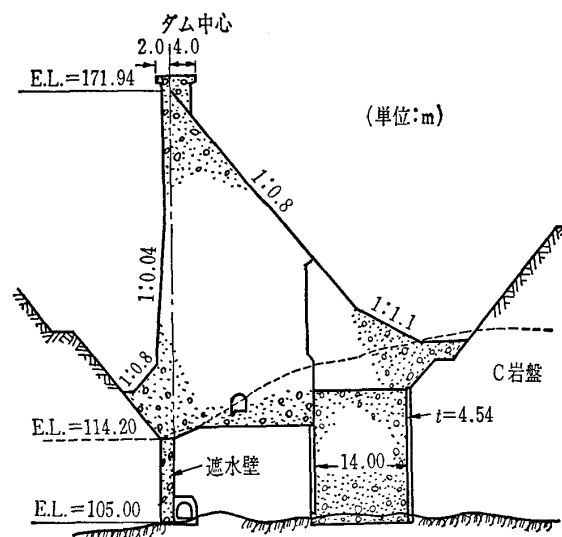
8.2.5.2 堤趾部分の大規模な置換え

ダムサイトの地質と問題点：50～90°の傾斜の古生界の輝緑凝灰岩と粘板岩の互層から成り、河床付近にある2条の断層の間は著しく破碎して深部まで風化している。この脆弱な岩盤を深部まですべてコンクリートブロックで施工することは困難である。

対策：極端な掘削を避けるために、岩盤の強度を考慮して堤体の基礎は風化岩盤を若干掘削して設置し、基礎岩盤の受ける応力が最大になる堤趾付近には図—8.3のような柱状のピラーを深部の堅硬な岩盤に到達させると共に、上流端の遮水を確実にするために風化岩盤に対してはカーテングラウチングに代えて遮水壁を施工することで対応した。

8.3 材料の問題⁶⁾

ダムの材料ではコンクリート骨材とロック、フィルター、コア材の問題がある。これらの材料の品質は各種の仕様書、示方書、指針の示す基準に合致し

図—8.3 コンクリートピラーの例⁵⁾

ていなければならないことは言うまでもないが、一般に材料の量が膨大である上に、大きさの規格が市販品にはマッチせず購入が困難で、ダムサイトからできるだけ近いところに求めなければ適正なコストの設定という条件もまた満たすことが難しい。指針類に主任技術者の判断にかかる許容事項が定められているのはこのためでもあり、事実、通常の骨材や石材の規格から外れる材料を使用した例も少なくない。また、原石山としては品質のばらつきが大きく、そのままでは使用できない原材料を改良あるいは選別によって活用した事例も多い。

8.3.1 ミクロな問題

これは材料に固有の品質の問題である。すなわちコンクリート骨材、ロック、フィルター、コア材等の本来の適否にかかるもので、材料の物理・化学的特性の判断の問題である。

コンクリート骨材では、例えば比重が小さいと堤体重量の確保のために堤体積が増大するが、単に比重が低いだけなら設計で対応ができる。しかし、比重が低いことは同時に構成鉱物の粘土化、空隙の存在を意味していることが多く、規格要素のそれぞれが単独で評価できることは少ない。骨材に与える風化・変質の影響には次のようなものがある。

規格値に対して：比重の低下、間隙率の増大、安定性の低下、すりへり減量の増大、早期劣化

コンクリートの品質に対して：アルカリ骨材反応、早期凝固、ワーカビリティの低下

これらはいずれも鉱物の化学的变化に起因するも

講 座

ので、特に最近の原石山の条件の悪化に伴うものである。興味ある2, 3の事例を示す。

8.3.1.1 炭酸塩鉱物脈による骨材の早期劣化

① 中新統安山岩中に貫入した炭酸塩鉱物（主として方解石）の吸水凍結による分解に伴って、採取後一冬を越した頃に碎石の角がとれる程度に表面が劣化した。採取後間もない中にモルタル中に封入されたものは変化していないことから、採取後の放置期間を短くするような工程とした。

② 中新統粗粒玄武岩の石基（ガラス質あるいは微細結晶の集合体）に熱水変質が生じており、岩石そのものは安定性が少し低いほかは規格を満たしているが、数年間放置した試料はすべて表面から凍結融解による細片化を生じた。このダムでは材料調査と本体建設の間の時間的余裕が十分であったので、この岩石を使うことはなかった。調査段階で凍結融解試験を実施すれば検討の対象にはならなかったと考えられる。

8.3.1.2 アルカリ骨材反応

セメント中のアルカリ鉱物（特にNa）と骨材中の特定の珪酸塩（非晶質シリカ、鱗珪石、クリストバル石、火山ガラスなど）とが反応して SiO_2 ゲルを析出し、コンクリートにひび割れを生じる現象で、岩石中にこれらの鉱物を生じる原因の一つに変質作用がある。この反応は単位セメント量を減らす、低アルカリセメントを使う、フライアッシュ、高炉スラグなどの混合セメントを使うという対策が、反応性骨材の排除と併せてとられており、通常のダムでは硬化発熱量を抑える必要もあって使用される単位セメント量が少ない上に、ほとんどが混合セメントを使っているので問題になることは少ない。

8.3.1.3 早期凝固

粘土鉱物（特にスメクタイト）を含む骨材を使用したコンクリートが、打設中に凝固を生じて十分な締固めができなくなる現象である。これはダムではセメント量と水量を低くした低スランプコンクリート（一般に5～8以下）を使っているために表れたもので、スメクタイトがコンクリート中の水と添加剤の溶液を層間に吸着して、見かけ上単位水量が減少する結果を生じたためと考えられている。これに単純に対応すると、流動性を確保するための水量の増加→水/セメント比を確保するためのセメント量

の増加→コンクリートの硬化発熱量の増加→硬化後の収縮クラックの発生という過程をたどることになり、場合によってはコンクリート冷却設備が必要になったり、コンクリート配合を最初からやり直す必要が生じたりして、施工計画を大幅に狂わせることにもなりかねない。現在のところでは水よりも界面活性の高い流動化剤の方がスメクタイトの層間に取り込まれる影響が大きいこと、スメクタイトの陽イオン交換が原因であろうということが分かっているが、詳細はよく分からない。実用上は混和剤の増量が有効であることが知られている。

一方、フィルダムでは、ロック材の比重は設計に直接影響するだけでなく、吸水量、安定性は堤体の耐久性に大きく影響する。岩石材料としての問題はコンクリート骨材の場合と本質的に大きな差はないが、材料の大量確保が必要となるので、変質の入り方、分布、程度を知り、許容限界をあらかじめ定めて対応する。

8.3.2 マクロな問題

これは岩体の中における品質の分布の問題である。ダムでは堤体積が大きいので、専用の原石山を開いて対応するのが普通で、採取量は小規模なコンクリートダムの数万 m^3 から大ロックフィルダムの1千万 m^3 以上に達する。採取に当たっては、対象とする複数の地区の岩質、劣化の程度、表土や廃棄岩の量、運搬距離等の経済性、環境などについて比較検討を行って原石山の選択と掘削計画を立てる。ここで問題となるのは風化や変質が採取予定線より内側に入り込んでいる場合で、材料としての仕様は決定できるが、それを実際に確保するための基準を決定し、採取に反映させる手段が、現場では最も重要かつ困難な問題となる。

岩体を構成する主岩石は適切であっても、実際には深成岩の深層風化と変質脈、噴出岩の自破碎帯と凝灰質の層準、熱水による同時変質、脈岩の本質的な規模の小ささと岩相の不安定、中生界堆積岩の構造運動に伴う潜在クラックに起因する細片化と高度に破碎された粘板岩の層準の混入による複雑な岩質分布という問題が生じている。重機を用いる掘削現場で、原石採取の際に除去できるのは比較的規模の大きい岩塊だけで、不良材料の混入を防止するには、ロック材採取の時には原石採取の段階で混入の

表—8.1 異種材料の混入による岩級評価の変更
(上は当初区分, 下は変更後の区分である。)

砂 岩			粘 板 岩			R I } R II } ロック材 R III }					
C _M	C _L	D	C _M	C _L	D						
R I	R II	CF	R II	R III	W	CF: コア, フィルター材 W: 廃棄岩					
混 入		主	砂 岩			互 層			粘 板 岩		
		C _M	C _L	D	C _M	C _L	D	C _M	C _L	D	
砂 岩	C _M					R II	/	/		/	/
	C _L	R I	R II	CF		R II	R III	/		R III	/
	D					R III	CF	W	R III	CF	CF
互 層	C _M	R I	/	/					R II	/	/
	C _L	R II	R II	/		R II	R III	CF		R III	/
	D	R III	R II	CF					R III	CF	W
粘 板 岩	C _M	R II	/	/		R II	/	/			
	C _L		R III	/			R III	/	R II	R III	W
	D	R III	CF	W		R III	W	W			

斜線は実質的に該当なし

恐れのある部分を最初から避けるように余裕を持った採取計画とし、コンクリート骨材採取では原石採取段階と破碎、ふるい分けの段階で除去を考えるのが通常である。問題のあった事例を示す。

8.3.2.1 いわゆるメラングジュ^{注1)}

中生界の砂岩・粘板岩から成る山体で、砂岩は緻密堅硬であるが、粘板岩には千枚岩状に片状化し、軽い熱水変質と風化をこうむって軟質化している部分がある。当初の調査では比較的厚い砂岩に薄層状の粘板岩を挟む部分と、比較的厚い粘板岩から成る層相とが分布しているとされたが、砂岩は大小の広がりを持つレンズ状をなし、間には粘板岩が薄層をなして詰まっていた。ここからロックフィルダムのロック材を採取するに当たって、岩体全体に軽度の風化と細片化が進んでいることを考慮して表—8.1のような区分を行い、それぞれの規格を設計に反映させる(ロックゾーンを表層と内部で複数に分ける)ことで対応した。採取前の各岩種ごとの推定賦存量と現実に採取した結果とを対比すれば、予想より低いランクの岩種が多い。

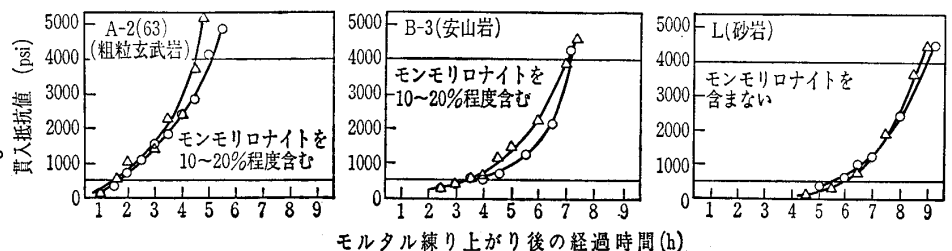
注 1) 堆積後に移動したことによって生じる極めて不規則な砂岩、粘板岩の混合した岩体をいう。

これは砂岩と粘板岩の分布単位の大きさが予想より小さかったことにもよるが、砂岩の岩塊の周囲に粘板岩がフィルム状に付着して粘板岩の外観を呈したためと、塊状とされた砂岩の岩体の中の微細な割れ目に粘板岩が薄脈状に入り込んでいて砂岩の大塊がとれなかったためである。現場で実際に掘削・積込みを行う上で岩種ごとに区分して細かく仕分けることはほとんど不可能で、ロック材のように切羽から直送するシステムでは、変質・風化の入り方によってはボーリングや横坑から決めた岩盤の状況が実際の施工条件とずれることがあり、必要量が確保できないと原石山の拡張や変更を余儀なくされることがある。

8.3.2.2 変質鉱物脈を含む火山岩類など

岩石材料の主要な供給源は新第三系火山岩である。これは溶岩流の中心では緻密堅硬であるが、周辺で凝灰岩などの碎屑岩や自破碎、自変質部が混じり合って複雑な岩相分布を呈することが多い。岩石材料として使えるのは緻密溶岩のみで、介在するその他の岩石は採取の時に避けるか、処理の時に除去する必要がある。凝灰岩のように肉眼で明りょうに区別できるものはよいが、細脈状に変質鉱物を含むものや、基質中に粘土鉱物を胚胎するものでは掘削時のみならずその後の処理が必要となる。

あるダム(コンクリート)の骨材は中新統中部の粗粒玄武岩で軽微な熱水変質を伴い、脈状のモンモリロナイトを含むほか、石基中にも若干量のモンモリロナイトが存在した。別のダム(同じくコンクリート)の骨材は中新統中部の石英安山岩で、石基中にモンモリロナイトと濁沸石を含む。さらにもう一つのダム(コンクリート)の骨材は安山岩で石基中に濁沸石を含み、別に脈状の濁沸石も存在する。これらの岩石は粘土鉱物を含まなければ骨材として何ら問題がないが、ある程度以上に含むときにはコンクリートを劣化させる。これらのダムで行った対策



図—8.4 凝結硬化速度試験結果⁶⁾

講座

表—8.2 破碎粒度による粘土鉱物含有率の変化⁷⁾

試料	顕微鏡下での特徴	X線チャートピーク比
原石 一次破碎品 80~40m/m	① モンモリロナイト、緑泥石、方解石、石英、ルチルなどの二次鉱物の生成がみられる。 ② モンモリロナイト化は、それほど強くなくかんらん石が少量みられ、また、輝石は多く残っている。	0.15
原石 一次破碎品 5~0m/m	① モンモリロナイト、ローモンタイト、緑泥石、方解石、石英、ルチルなどの二次鉱物がみられる。 ② モンモリロナイトは非常に多い。 ③ ローモンタイトは、0.5~1m/m程度岩石組織を交代して存在する。ローモンタイト量は1%以下である。	0.30

の事例は次のようなものであった。

脈状に含まれるときには、骨材の破碎の過程で岩片同士がぶつかり合って摩耗や剥脱を生じて粘土鉱物が細粒化して分離するので、最初のダムでは一時破碎プラントで粒径 15 mm 以下を廃棄すると共に、二次プラントのクラッシャーの次にスクラバを付け足して材料を洗浄し、さらに 5 mm 以下の部分を砂に回さずに廃棄し、砂は別途粗骨材から製造することによって、骨材中のモンモリロナイトの含有量を抑えた。また、採取切羽が高所にあれば原石を落下させて人工的に分級を生じさせ、遠方に飛散した粗粒の部分の採取した事例もある。ただし、こうして製造した細骨材を使用すると、細粒率の低下によるワーカビリティの低下→フレッシュコンクリートの流動性の低下→単位水量の増加とセメント量の増加、あるいは流動化剤の増加という対応が必要になるだけでなく、セメント量の増加は硬化発熱量の増大→収縮クラック防止のためのコンクリートの冷却設備という対策が必要となるデメリットもある。

石基中に浸透する、あるいは堆積岩の続成中に形成されて一様に存在する場合には、試験によって製品のコンクリートの品質を確保する許容含有量を定めて管理基準を作成し、原石の採取段階で限界を越えるものを除去することになる。これらのダムではいずれも現場にX線回折測定装置を設置して採取工程上の予定箇所をロットに区切ってサンプリングを行い、モンモリロナイトと濁沸石の定量的結果、含有量が規定を越えるロットをすべて廃棄することにした。これらのダムでは原石山の埋蔵量の余裕があったので、こうした対策が可能であったが、結果的

に採取率が大幅に低下することになったほか、品質管理に多大の労力と経費を要した⁸⁾。

8.3.3 材料の劣化

岩石材料の劣化の問題には、前述の建設に直接結びつく欠陥のほかに、長期的な物性の変化という問題がある。これは材料の採取の時点では問題がなかったものが、時間の経過と共に劣化して行くという厄介な問題で、建設後10年以上も経ってから劣化が顕在化するものである。このほとんどに粘土鉱物が関係し、堆積岩中のモンモリロナイトのように初生的な起源のものもあるが、大半は熱水変質などの形で後生的に加わったものである。これには、①岩体中に包蔵されていたものを取り出したために応力解放が原因となって粘土鉱物が吸水膨張して岩石を破壊する、②粘土鉱物内に吸収された水の凍結によってコンクリートや岩石が破壊される、③粘土鉱物が水の吸収と放出を繰り返して体積変化と構造変化を生じてコンクリートを破壊する、という現象があり、特に③は濁沸石によるものが有名である。

長期劣化の原因は、現在ではここにあげたほかには知られていない。原石山の選択に当たっては最初から鉱物学的調査が不可欠であるが、定量を含む実験室レベルでの変質鉱物の試験調査と、地質や鉱物にほとんど親しむことのなかったオペレーターと現場監督のレベルでの選択や対応との間には、マニュアル化や簡易判別法（色、硬さ、音といった最もシンプルな）の制定を始めとする大きなギャップが残っている。

引用文献

- 1) Jap. Soc. Eng. Geol.: Rock Mass Classification in Japan, 1992.
- 2) 市川・平野・神保：軟岩の簡易スレーキング試験法、土木研究所資料、No. 2455, 1986.
- 3) 建設省阿賀野川ダム工事事務所：阿賀野川水系大川ダム、pp. 312~350, 1988.
- 4) 建設省四十四田ダム工事事務所：四十四田ダム工事誌、pp. 1-23~30, 4-329, 1964.
- 5) 市川ほか：粘土鉱物含有骨材を使用したコンクリートの劣化に関する共同研究報告書(その2)、土木研究所共同研究報告書、No. 38, p. 57, 1990.
- 6) 市川 慧：原石山の調査、ダム技術、No. 63, p. 36, 1991.
- 7) 丹野光正：骨材原石細粒分の乾式処理について、ダム技術、Vol. 3, No. 3, pp. 121~123, 1985.
- 8) 山口甚郎：骨材における含水鉱物の対策に関する研究、ダム技術、No. 34, pp. 4~14, 1989.