

# 盛土材料としての堆積軟岩の諸特性と盛土事例

## 8. 堆積軟岩を用いたフィルダム

大山 英治 (おおやま えいじ)  
(株)アイコ

谷 茂 (たに しげる)  
農林水産省農業工学研究所造構部土質研究室

豊田 光雄 (とよだ みつお)  
建設省土木研究所ダム部フィルダム研究室

延山 政之 (のぶやま まさゆき)  
ソイルアンドロックエンジニアリング(株)

### 8.1 はじめに

フィルダムはコンクリートダムに比べて地質的条件があまり良くない比較的軟弱な場所に築造される。このためダムサイト近傍の材料も比較的軟弱な材料が多い。フィルダム材料としては、ダムサイト近傍でなるべく良質なものを調査して、ダム築造に用いることが重要である。しかしながら第三紀に属する地域が国土の1/3程度の面積を占めており、ここから得られる固結度の低い、いわゆる堆積軟岩を使用せざるを得ない状況にある。堆積軟岩は泥岩、シルト岩、砂岩、礫岩などに分類されるが堆積年代が新しいために、セメンテーションの少ない砂岩、礫岩等はその採取段階で容易に分離され、それぞれ砂、砂礫となることが多い。

古来より小規模のため池には堆積軟岩が盛土材料として用いられてきた。近年堤高50m未満の中小ダムにおいても、泥岩に代表されるようにスレーキング性の材料を積極的に盛土材料として使用し成果を上げており、建設後に堤体内部の風化が原因で損傷や機能低下が発生した事例はないようである。表-8.1に堆積軟岩を用いた主なダムを示す。これらのダムは北海道、北陸地方に偏在し、主に灌漑用のダムとして用いられている。堆積軟岩の使用方法は、主に、1) 泥岩をできるだけ粉碎し、ほかの細粒材と混合して遮水材として用いる場合と、2) 風化しないようにゾーニングを工夫して、シェルゾーン、ランダムゾーンに用いる場合に2分される。

ここでは、堆積軟岩を用いたフィルダムの実態調査を行い、調査・試験・設計・施工に関して硬岩のフィルダムと対比しながら特色や実例を述べる。

### 8.2 調査および試験

堆積軟岩材料の調査・試験は、基本的には一般のフィルダム材料の調査・試験と同様に行われている。しかし、土取場の地質構造を再検討するために、コア箱をあけてみると、コアがぼろぼろに変質しており当初作成した柱状図との照合に苦慮したことや、梅雨の最中、材料試験を行うために、山積みしておいた試料袋を開けてみると、試料採取時と様相が一変しており、試験条件の再検討を余儀なくされたこと等、軟岩材料の調査・試験においては留意すべき点が多いように思われる。

材料調査は主として土取場計画地における、①地質構造、②地山の風化度、③材料区分、④各材料の賦存量、

⑤地下水位等に対する調査が実施されている。

堆積軟岩を盛土材料として使用する場合の留意点は次のとおりである。

- 1) ボーリング調査においては堆積軟岩が乾・湿燥返し、温度変化等環境変化に鋭敏であるので、削孔直後にコア観察を行うとともにコアの経時変化も合わせて観察し、風化のしやすさ、スレーキングの有無等の定性的な判断を行うことが必要である。
- 2) 堆積軟岩は、一般の岩盤に比較して続成作用に伴う圧密やセメンテーション等をあまり強く受けていないので、密度は小さく、間隙率が高い。した

表-8.1 堆積軟岩を用いた主なフィルダム<sup>1)~8)</sup>

ダム名	ダム型式	堤高(m)	完成年度	泥(頁)岩の堆積時代	堆積軟岩を使用したゾーン
知多調整池(佐布里ダム)	中央コア型アースダム	21.0	1962	新第三紀鮮新世(常滑層)	コア 下流ランダム
厚真ダム	中央コア型	38.2	1969	新第三紀中新世(川崎層群)	内部ロック
郡ダム	傾斜コア型アースダム	38.2	1972		コア
山村ダム	傾斜コア型アースダム	37.0	1973	新第三紀鮮新世(市之原累層)	均一コア(風化泥岩) 下流ランダム(硬質泥岩)
中里ダム	ゾーン型フィルダム	46.0	1976	新第三紀鮮新世庵芸層群大泉層	下流ランダム
野花南ダム		41.5	1978	古第三期幌内群層(風化泥岩)	下流ランダム
小谷作ダム	傾斜コア型アースダム	14.1	1981	新第三紀中新世(水野谷層)	コア 表層シェル
岩坂ダム	均一型アースダム	31.7	1981	新第三紀中新世(東別所累層)	均一コア(強風化泥岩) 下流(軟質泥岩)
長柄ダム	傾斜コア型	52.0	1984	新第三紀中新世(笠森層泥岩)	表層シェル
菰野ダム	ゾーン型アースダム	28.0	1988	新第三紀大井累層(泥岩)	均一コア(風化泥岩) 下流ランダム(軟質泥岩)
望来ダム	均一型フィルダム	29.6	1988	新第三紀中新世(蟹の沢層)(極細粒砂岩泥岩)	均一コア 極細粒砂岩(風化部) 下流ランダム(新鮮部)
五位ダム	中央コア型	57.0	1989	新第三紀中新世八尾累層(砂岩、泥岩)	コア(強風化泥岩) ランダム(弱風化泥岩) 表層ロック(弱風化泥岩)
沼田ダム	中央コア型	44.9	1990	新第三紀中新世(豊平層、幌尻層)	表層シェル(粗粒砂岩) 内部ロック(細粒砂岩) 不透水コア(砂岩強風化帯)
瑞穂ダム	アースダム	25.9	1994	新第三紀中新世馬追山層(頁岩)	上流・下流ランダム

がって、新鮮岩であっても弾性波速度（P波）は2 km/s前後のものが多い。各速度間の速度差が小さいので風化度の相違を弾性波速度からの確に把握することは難しく、ボーリングコアとの対比が必要である。また、地下水の影響を受けやすいので、解析上の注意が必要である。

- 3) 試掘坑（試掘堅坑，試掘横坑）調査においては、ボーリング調査と同様に掘削直後に観察する必要がある。試掘坑では材料試験用の試料を採取する機会が多く、試料は掘削直後に採取し密封する等気密性を保ちながら保存することが肝要である。
- 4) 材料区分については、棒状コアであって比較的新鮮に見られる材料であっても積極的に破碎，細粒化をはかることによって不透水性材料として使用可能な場合があることも念頭におく必要がある。

一般に堆積軟岩を盛土材料として使用する場合、①細粒材と混合する、②出来る限り破碎し極力締固める、③風化作用が少なく、浸水の影響のないところにゾーニングする等の配慮がなされている。すなわち i) 細粒化、ii) 強度低下、iii) スレーキングにより引き起こされる沈下量に関しての材料試験が主として行われている。

各試験方法は試料に拘束圧下で（最大2 kgf/cm<sup>2</sup>以下）乾燥・湿潤の強制的な負荷を与える点で共通しているが、供試体の準備方法、乾燥・湿潤の与え方、乾湿の繰返し回数等で若干の相違が見られる。

材料試験ではスレーキングにより強度低下を起こす泥岩について図-8.1<sup>8)</sup>に示す試験装置を使用し、図-8.2<sup>8)</sup>に示す手順で強度低下を抑制し得る拘束圧，締固

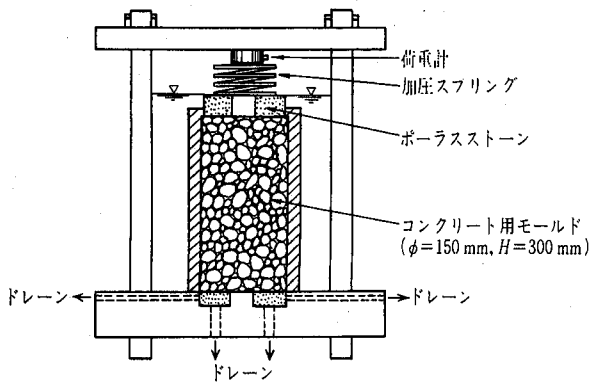


図-8.1 スレーキング試験装置

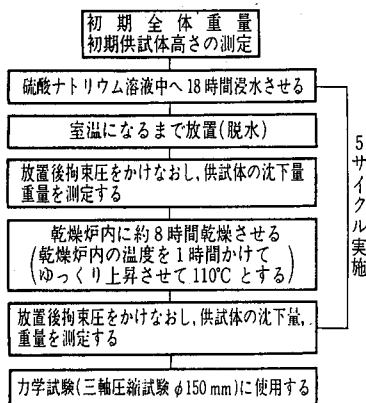


図-8.2 試験手順

め度を実験的に検証し、実験結果に基づく拘束荷重，締固め度を設計および施工に反映させている。

### 8.3 設計

堆積軟岩は施工方法や施工環境によって、工学的性質が変わりやすい（劣化する可能性がある）不安定な材料である。このため、設計においても盛立材料の性質が施工段階で変化していく可能性があることを十分考慮しておく必要がある。

フィルダムの盛立材料としてみた場合、堆積軟岩のかかえる問題は結局のところ、(イ)ダム材料として必要な工学的性質（せん断強度・変形特性・遮水性または透水性など）を最終的にいかに確保するかということと、(ロ)材料の劣化をいかに防止するか、あるいは劣化の可能性にどのように対処するかという問題につきる。前者は堆積軟岩に限らずすべてのフィルダム材料に共通する課題であるが、堆積軟岩の場合はもともと岩石強度が小さいうえに施工条件によって粒度が変化しやすいという特殊性があるために、硬岩の場合よりも設計値の評価がいっそう難しくなる。後者の劣化防止の問題は堆積軟岩、とりわけ乾湿の繰返しに伴って細粒化するような材料に特有の問題である。

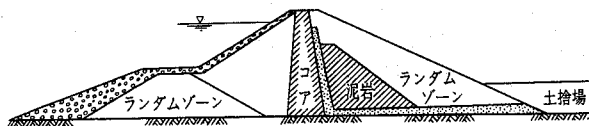
#### 8.3.1 ダム型式とゾーニング

ダムの型式は一般にダムサイトの地形や地質をはじめ、いろいろな立地条件を考慮して決定されるが、なかでもどのような盛立材料が利用できるかによって決まる要素が大きい。

堆積軟岩を盛立てたダムでは一般に複数の材料を活用するケースが多いので、ゾーン型ダムで設計されることが多い。遮水ゾーンの配置によって傾斜コア型と中心コア型があり、それぞれに得失がある。傾斜コアの場合、①コア部が透水ゾーンと独立に施工できるので、施工日数が限られる降雪や降雨の多い地域では有利になる、②コア幅が中心コアより大きいので機械化施工に適している、③上流側地山の接続部にブランケットを施工する場合に都合がよい、などの利点がある反面、中心コア型に比べると安定設計上不利である（すべり面がコア内を通る割合が大きい）という弱点があるため、コア材料のせん断強度が十分期待できてかつ上述の利点が生かせる場合を除くと、中心コア型が採用される事例の方が多い。

#### 8.3.2 材料の配置

すでに述べたように、堆積軟岩を用いたフィルダムでは、例えば、泥岩、シルト岩、砂岩、溶結凝灰岩、崖錐堆積物、段丘堆積物などのような幾種類かの掘削材料を用いることが多く、このような場合には必然的にゾーン型のダムになる。それぞれの盛立材料をどのように組み合わせ各ゾーンを構成するか、すなわち、材料配分を最適化する問題は、まず第1に各材料の工学的性質と土量によって定まる。コア材料としては十分な細粒分を含んだ風化土ないし強風化岩があてられる。比較的硬い泥岩や弱～中風化した軟岩、砂礫などはランダム材料になる。また、フィルターには砂や砂礫のような安定した材



図—8.3 泥岩を内部に配置した例（野花南ダム）

料が配置される。材料配分上、最も注意が払われるのは、泥岩のような築造後に風化が懸念される材料の取扱いである。これらは乾湿によって風化が進んで細粒化し、浸水後にせん断強度が低下する恐れが考えられる。一般的な考え方として、このような材料はランダムゾーンの中でも、できるだけ気象や水理環境の変動の影響を受けにくいところに使用するという対応がとられている。気象環境の面からは堤体表層部に露出するところは避けて、できるだけ深部に盛立てる。水理環境の面からみれば、上流側よりも下流側に使用するということが行われている。図—8.3はそのような一例であり、泥岩を下流ランダムゾーン的最深部に盛立てている<sup>5)</sup>。やむを得ず上流側ランダムゾーンに使用するときには、貯水位変動の影響が及ばない下層の死水域に配置するということもある。後述するように、堤体内部の材料劣化が直接確認されたことはないようであるが、少なくとも設計面で可能な劣化防止措置は各所のダムで配慮されている。

8.3.3 材料試験および設計値

一般に風化による細粒化に伴って供用後に強度の低下や変形（沈下）が生じる恐れがあるダム材料に対しては次のような対処法が考えられる。

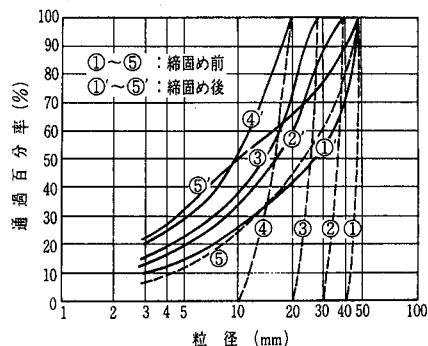
- a) この種の材料はできるだけ避けて、盛立量を少なくするか、もしくは使用しない。
- b) 風化しにくい状態にする。
- c) 風化を促進する要因から遠ざける。

堤高の大きいダムは a) の観点に立ち、わが国では堆積軟岩を使用した大規模ダムは建設されていない。しかし、これまでに泥岩を盛立てて築造された中小ダムでも、建設後に内部の風化が原因で損傷や機能低下をきたしたという報告事例はないようである。一般にフィルダムは気象環境的に厳しい条件にある場所に建設されることが多いにもかかわらず、多くのダムが長年にわたって何らの支障もなく安定して機能してきたという事実は、堤体内部の環境がかなり安定していることを示唆している。したがって、上記 b) や c) の処置を十分講じておけば、堆積軟岩をダム材料から排除する積極的な理由はみあたらない。

c) についてはすでに前項で述べたが、b) の盛立層を風化しにくい状態にするためには、大小様々な粒子を適度に混合して十分な締固めを行い、内部に大きな空隙を残さないようにすることが最も効果的であると考えられている。そのためには、盛立材料の粒度分布が良好であること、そして大きなエネルギーの機械で締め固めることが必要である。これは結果としてせん断強度の増加をもたらす、透水係数も低下するのでコア材料にとっては安定性と機能面の両方において望ましい対処法といえる。しかし、ランダム材料の場合は透水係数の低下が逆効果

になることが考えられるので注意が必要である。

以上に述べたことから、堆積軟岩を盛立てるフィルダムの設計および施工においては、“粗粒材料の締固め”ということが重要なテーマになる。もともと母岩が脆弱であるため、採取時には粗粒の岩塊であっても硬岩に比べればはるかに破碎しやすい。細粒化の度合いはもちろん風化度によってかわる。このため、設計に先だつ材料試験では締固め試験が必ず行われ、締固め特性と同時に破碎性が詳しく調べられる。泥岩のような風化しやすい材料は乾燥したり、加水することは好ましくないから、自然含水比で施工するのが基本である。したがって自然含水比のまま、締固めエネルギーと密度および破碎率の関係を求める締固め試験も通常の締固め試験とあわせてよく行われている。締固め試験の結果から、現場での施工粒度を予測し、締固め密度と粒度をかえた一連の透水試験や強度試験によって各材料の力学的・水理学的性質が明らかにされる。図—8.4は泥岩の初期粒度と突固めに伴う粒度の変化を示す一例である<sup>1)</sup>。図中の①～④は単一粒度に近い材料であるが最大粒径が異なっている。⑤は均等係数  $U_c \cong 11$ 、最大粒径50mmの試料を用いた場合である。均等粒度の場合はもとより、すべての粒度で締固めによって粒度は大きく変化していることがわかる。他所のダムで使用された泥岩においてもほぼ同様の傾向がみられる。



図—8.4 締固め後の粒度変化の一例（佐布里ダム）

堤体の断面設計はこれらの室内試験データをベースになされるのが一般的である。しかし、現場施工粒度を事前に予測するのは大変難しく、施工時の粒度のばらつきも予想されるため試験粒度を適切に設定するのは容易ではない。通常は幾つかの粒度について試験を行って最も低い値を設計に用いたり、過去の事例を参考にするなどの方法で対応しているが、ときには完全に細粒化させた材料を用いた力学試験によってせん断強度を求めた事例もみられる。設計のための数値データを求める試験のほかにも、材料の諸特性、とりわけ母岩の物性、スレーキング特性、水浸に伴う諸特性の変化など様々な試験がなされて、これらの結果は、ダム型式の決定や各種材料の用土計画に反映されている。

8.4 施 工

8.4.1 盛立試験

室内試験結果を基本とした設計においては、様々な不

確実性が内在していることを理解しておく必要がある。これは硬岩を使用するフィルダムにおいてもあてはまるが、堆積軟岩を盛立てるダムでは材料の粒度が確定しにくく、ばらつきもやすいという点から室内での締固めと現場転圧における締固めの差違に常に目を向けておくことが大切である。両者の関係は材料の性質や施工機械のタイプと規模、施工方法などに依存するため、いまのところ室内試験から現場の締固め密度と破碎率を予測する一般的な方法はない。このため本施工に先立って盛立試験を行い、「現場において実物材料の締固め特性を直接把握すること」の意義は極めて大きい。

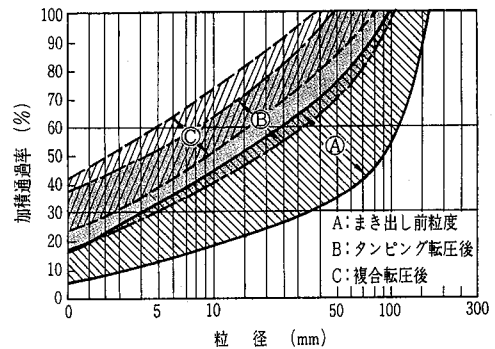
現場盛立試験の具体的な目的は、④盛立材料の採取方法の検討、⑤まき出し厚さ・転圧機種・転圧回数などについて設計値を満足する施工方法を決定する、⑥盛立管理に必要な基礎資料を収集する、ことにある。設定された試験条件ごとに試験ゾーンを定めて、各ゾーンの転圧後の密度・透水係数・粒度などを比較するという方法が一般にとられている。一般に現場試験では試験条件を正確にコントロールすることは難しく、常に質の高いデータが得られるとは限らない。このため、従来の経験的な手法には改良すべき点も少なくない。例えば、試験ゾーンの配置方法も工夫を要する一つと考えられる。

現場のローラー転圧による締固めでは、材質や初期粒度のばらつきが避けられないため、転圧後の密度にも当然ばらつきが生じる。締固め後の物性のばらつきは各種の盛立地盤で普通にみられるものであり、硬岩のフィルダム盛土においても同様である。フィルダム材料は一般に粒径が大きく大量の掘削土や発破採取土を利用するので、粒度分布や含水比などはかなりばらついて分布しているのが普通である。よく管理された施工ロット内では密度や含水比の分布は正規分布に近い形を示し、分散（ばらつきの大きさ）は粒径（最大粒径、平均粒径）と関係があることが知られている。材料自身の性質や施工条件から締固め密度のばらつきが避けられないものとみるならば、ばらつきの大きさを把握しておくことが重要である。ばらつきの問題は現場盛立試験の結果を分かりにくくしている要因の一つであるが、もう一つの隠れた要因に敷きならし時の締固めの影響がある。盛立材料によっては敷きならしに用いられるブルドーザーなどの締固め効果が無視できず、ときには後続のローラー転圧に匹敵する影響をもつことさえある。したがって、各種の施工条件を比較検討するときには敷きならし後の初期条件をいかにそろえるかが重要であり、初期密度の差異は転圧試験結果にかなり影響する可能性があることを理解しておく必要がある。

硬岩材料の盛立試験ではほとんどみられない締固め方法として“複合転圧”の効果なども検討されている。これは、例えば、はじめに軽ローラーの転圧によって盛立面の支持力を増して、次いで重ローラーを用いて十分に締固めするという考え方から、重量の異なる機械を組み合わせるものや、最初の転圧では主として粒子を破碎させるためにタンピング系のローラーで転圧し、その後に

フラットローラーで締め固めるというように、主たる転圧目的を異なる機械に分担させる方法である。また、わが国の硬岩ダムではほとんど実施されていないが、加水転圧によって粒子破碎を促進させることもある。

堆積軟岩材料の現場締固めにおいて注目すべき特徴は、顕著な（積極的な）粒子破碎である。図—8.5はランダム材料として用いた硬質泥岩の複合転圧に伴う細粒化の状況を示している。細粒化する割合は風化度によって異なるが、堆積軟岩の現場転圧では著しい破碎と細粒化が伴うことが明らかになっている。



図—8.5 硬質泥岩の転圧に伴う粒度変化（山村ダム）

#### 8.4.2 盛立および品質管理

転圧時の粒子破碎が著しい点を除けば、堆積軟岩の風化土を用いるコアの施工では、硬岩をロック材料に使用するダムのコアの施工と本質的にかわっているところはない。まき出し厚さも使用する転圧機種もほぼ同じである。一方、比較的硬い堆積軟岩はランダムゾーン（できる限り下流側の）に用いられ、現場転圧において積極的に粉碎して、大きな間隙を残さないようにしなければならないので、硬岩のロック材料の施工に比べると、施工目的や施工状況がすこし異なっている。硬岩の場合はまき出し厚さが大きく、数十 cm から 1 m 規模の巨大な岩塊も含まれている。このため、まき出しから敷きならしの段階で材料分離をひき起こす可能性があるため、これをできる限り防ぎながら大きな振動エネルギーを負荷して粒子の再配列を促すことによって、密な構造にするというのが施工の主眼になる。堆積軟岩の場合も密な構造にするという目的は同じであるが、これを主として粒度改良によって達成するという点で硬岩ロックの場合と大きな違いがある。このため、まき出し厚さは比較的小さいのが普通である。タンピングローラーによる破碎と振動ローラーによる締固めというような複合転圧なども岩塊の破碎を重視した施工法であり、硬岩ロックの施工ではみられない。ランダム材料の転圧では細粒分もかなり生成されるから、フラットローラーの転圧仕上げ面では境界層や不連続面をつくりやすいので、次層をまき出す前に再度タンピングローラーで転圧したりスレーキング処理を行って表面を乱しておく。このようにランダムゾーンの盛立においては粒度分布にばらつきが生じやすいという問題があり、特に鉛直方向のサンドイッチ構造が生じないように注意がはらわれている。図—8.6は盛立完了後に方形断面のテストピットを掘削してランダム

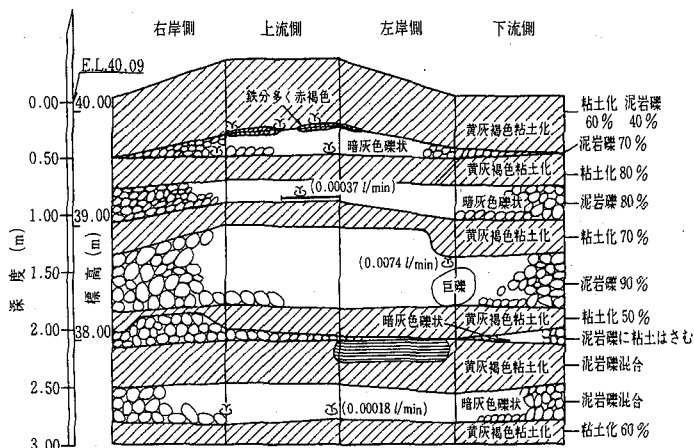


図-8.6 盛立層内部の状況(岩坂ダム)

ゾーンの粒度などを調べたときの掘削壁面の状況を観察した展開図である<sup>6)</sup>。

盛土材料の粒度と施工含水比をコントロールし、転圧後の密度をチェックすることによって、所要の品質(せん断強度と透水係数)を保證するという締固め管理の基本概念は、硬岩のロックフィルダムをはじめ、各種盛土構造物の品質管理に広く採用されている考え方である。すでに述べたように、盛土材料の粒度は統計的な分布をもつと考えるのが自然であり、これに施工誤差が加わるため、転圧後の密度も統計的にばらついており、品質管理の方法も“ばらつき”を考慮したものであることが望ましいが、設計および締固め管理の現状では統計的な評価という考え方はまだ十分に成熟していない。堆積軟岩を用いるフィルダムでは締固め密度を次のような指数に換算して評価している。最もよく用いられているD値の場合、90%や95%の値が管理規準として採用されることが多い。

$$C \text{ 値} = \frac{\text{盛土の密度}}{\text{自然含水比における突固め密度}} \times 100 (\%)$$

$$D \text{ 値} = \frac{\text{盛土の乾燥密度}}{\text{JIS 最大乾燥密度}} \times 100 (\%)$$

$$E \text{ 値} = \frac{\text{盛土の乾燥密度}}{\text{岩塊の絶乾密度}} \times 100 (\%)$$

いずれの指数を用いるにしろ、分母と分子のばらつきや整合性(粒度が同じで材質も同じ材料を用いて試験する必要があること)に注意を払う必要がある。

### 8.5 劣化環境

#### 8.5.1 劣化状況の測定事例

フィルダムは立地上の制約などから、気象環境的に厳しい地点に設置されることが多く、夏期は強い日射と降水、冬期は凍結融解作用を受け、厳しい劣化環境におかれている。

このため、盛立材料に堆積軟岩を用いる場合、乾湿や凍結融解作用の繰返しにより容易に細粒化し、密度、透水性、せん断強さなどが変化してダムの安定性に悪影響を及ぼすことが懸念されている。

このような材料を使用する場合は、事前に乾湿繰返し試験や凍結融解試験、薬液による安定性試験などを行い、

その耐久性を評価しているが、これらの劣化促進試験は非常に過酷な状態での試験であり、実際の現場の環境を再現できていないのが現状である。

盛立材料の劣化に影響を及ぼす要因としては、温度変化、凍結・融解、浸水と乾燥、拘束圧などをはじめ多くの環境要因が明らかになっており、室内実験においては個々の要因の影響が詳細に調べられている。しかし、実際のフィルダムで盛立てに使われた堆積軟岩の劣化状況を調べた例はきわめて少ない。数少ない事例の一つを示すと、Dダムではロック部に用いた玄武岩が盛立完了後約2年経過してから表層部の劣化が顕著になり、表層の約50cmが完全に破碎細粒化したため、表面から50cmごとに、1.5mの深さまで岩石の吸水量を調べている<sup>9)</sup>。その結果1m以深では吸水量も小さく、表層の被覆が劣化防止に効果が大きいことを指摘している。また、海外の例であるが、頁岩を用いて築造されたバーンホープダム(Burnhope Dam)で完成後約30年経過して調査したところ、採取時についたバケットの歯型が岩塊の表面にそのまま残っており、劣化がほとんど進んでいなかったという事例もある<sup>10)</sup>。

#### 8.5.2 温度環境の調査事例

盛立材料の劣化を考えると、フィルダムの温度環境は最も重要な影響因子と考えられる。図-8.7は九州にあるUダム(天端標高EL.738m)で得られた約4年間の堤体表層部の最高・最低温度の記録である<sup>11)</sup>。

温度の測定は図-8.8に示す位置に温度計(熱電対)を設置し、2時間ごとに実施している。これによれば、6月から9月にかけてリップラップ表面温度は50°C以上まで上昇し、最高で55°C~60°Cにも達するが、ロック表面や1m程度内部では半分程度の20°C~30°Cまで抑えられることが分かる。また、11月から3月にかけてのリップラップ表面は氷点下を記録しているものの、ロック表面では平成元年1月に1回あったのみであり、1m内部に至っては氷点下は全く記録されておらず、最低温度も5°C~14°C程度となっている。また、ロック表面から1m内部に入ると月内の温度変化はほとんどなく、月間を通して1°C~2°C程度と非常に小さいこ

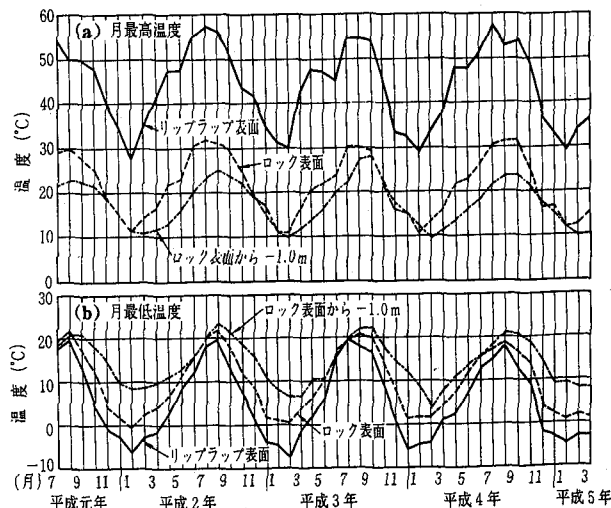
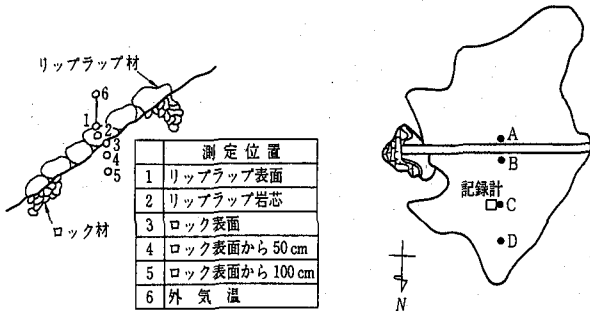


図-8.7 堤体の月最高・最低温度(Uダム:上流A地点)



図—8.8 温度測定位置 (Uダム)

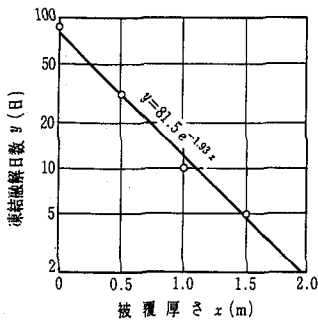
とが示されている。

温度が氷点下になり、再び 0°C 以上になるサイクルを 1 回として凍結融解回数を調べてみると、北向き斜面ではリップラップ表面は 1 冬当たり 30~50 回程度の凍結融解を繰り返しているようである。なお、九州にあるほかの 2 ダム (天端標高 E.L. 224 m と 762 m) においても同様の観測が行われたが、リップラップ表面の年間の凍結融解回数に若干違いがあるのみで、その他の傾向はほとんど U ダムと同じ結果が得られている。

また、図—8.9 は他のダムサイトにおいて凝灰角礫岩の供試体をそれぞれ 0.5 m, 1 m, 1.5 m の厚さの安山岩で被覆し、12 月から翌年 5 月まで供試体位置の温度や劣化度を測定した結果である<sup>12)</sup>。これによれば、被覆厚と凍結融解日数 (日最高気温が 0°C 以上、かつ日最低気温が 0°C 以下を示した日数) の間には明瞭な指数関係が認められ、被覆厚が 1.5 m 以上であれば凍結融解日数は数日程度となっており、著しい減少を示している。

わが国で堆積軟岩を本格的に盛立てたのは厚真ダム (堤高 38.2 m, 堤体積 542 千 m<sup>3</sup>) が最初といわれており、これ以降堆積軟岩を使用したダムがかなり多く築造されているが、建設後に材料の劣化が原因で機能上あるいは安定上問題となった事例はこれまでのところ報告されていない。

これは材料の使用に当たって、①物理的、力学的特性を詳細に把握して設計に反映する、②盛立前に十分に細粒化を促進し入念に締固める、③気象や水理環境の変動を受けにくいゾーンに使用するなどの対策がとられているためであるが、以上に示したように、劣化環境の面からみて、ダム内部 (ロックの表面から 1 m 以深) の温度環境が表面部に比べて著しく安定していることが決定的に重要な役割を果たしている点は疑いないようである。



図—8.9 凍結融解日数と被覆厚

### 8.6 おわりに

一般にフィルダムは、遮水性および堤体の安全性を確保するために不透水性材料、半透水性材料および透水性材料を適切に配置 (ゾーンニング) して築造される。堆積軟岩はこれまでの事例によると透水性材料、すなわちロック材料としては一

般に不適合であるとされており、不透水性材料 (コア材料) および半透水性材料 (ランダム, トランジション, シェル等) としてゾーンニングされることが多かった。

堆積軟岩をフィルダムの盛土材料として使用する場合は課題は次の二である。

- 1) 材料特性の入念な把握
- 2) 設計・施工の工夫

1) についてはダム材料として必要な工学的性質 (せん断強度, 変形性, 遮水性または透水性) をいかに確保するかである。2) については材料の劣化をいかに防止するかということに集約される。

これまで堆積軟岩で盛立てたダム, 宅造等で材料特性を評価するための試験は数多く実施され, 盛土材料としての適用性や問題点と対処法等が次第に明らかになりつつある。また過去に築造したフィルダムに使用した堆積軟岩の風化状況や堆積軟岩をとりまく劣化環境等も明らかとなりつつある。今後, 実際の風化環境における堆積軟岩の特性評価およびそれに基づくフィルダムへの適用性の確立が望まれる。

第29回土質工学研究発表会 (盛岡大会) で開催された「フィルダム建設に関する設計施工上の土質工学的諸問題」と題するディスカッションセッションにおいて諸戸 (八戸工業大学) は、「設計に合わせたダム材料の選定ではなく, 材料に合わせたダムの設計の時代となった」とセッションを締めくくっている。堆積軟岩はスレーキングというハンディを背負っているがゆえに盛土材料として敬遠されがちな材料であったが, 堆積軟岩の工学的特性を的確に把握し, 設計に工夫を凝らすことによって堆積軟岩ならではのオリジナル性の高いフィルダム建設の実現が待ち望まれる。

### 参 考 文 献

- 1) 愛知県企業局: 佐布里池技術誌, 1969.
- 2) 室蘭開発建設部厚真堰堤県津事務所: 国営かんがい排水事業, 厚真地区工事報告書 (施工), 1971.3.
- 3) 千葉県工業用水局: 郡ダム堤体の設計と施工, 1977.3.
- 4) 三重県企業庁: 北伊勢工業用水等 4 期事業「山村ダム工事誌」, 1975.
- 5) 北海道開発局 札幌開発建設部: 野花南ダム事業誌, 1982.
- 6) 石川県: 岩坂ダム工事誌, 1985.3.
- 7) 水資源開発公団房総導水路建設所: 長柄ダム工事誌, 1991.3.
- 8) 北陸農政局水見農業水利事業所: 五位ダム技術誌, 1993.3.
- 9) 西田武三: 築堤材料としての半透水・透水性材料の使用上の二, 三の留意点, 土と基礎, Vol. 32, No. 7, pp. 29~36, 1984.
- 10) 仲野良紀: 泥岩の力学特性と膨張性トンネルおよびフィルダム, 土と基礎, Vol. 28, No. 7, pp. 37~43, 1980.
- 11) 鶴田正治・深池正樹・江藤芳武・山下伸二: フィルダム盛立材料の劣化環境について, 堆積軟岩による盛土の工学的諸問題に関するシンポジウム発表論文集, pp. 273~278, 1995.
- 12) 中村康夫: フィルダム岩石材料の耐久性, 土と基礎, Vol. 32, No. 7, pp. 21~27, 1984.