

(62) フィルダム底設監査廊の設計と基礎岩盤の変形

建設省土木研究所 正会員 松本徳久 ○正会員 池田 隆

1. はじめに

近年、我国では新第三紀堆積岩、第四紀低溶結凝灰岩、風化岩などのいわゆる軟岩を基礎とするダムが築造されるようになった。これらの軟岩は通常、変形性が大きく、ロックフィルダムの基礎とした場合、グラウチング、安全管理等の目的で岩盤内に設ける底設監査廊に過大な応力を生じさせることなくまたジョイントの開きを許容値内とする設計・施工が必要である。このため、これまでに軟岩基礎に建設されたロックフィルダムでは、監査廊のジョイントに継目計を設置して盛立及び湛水に伴うジョイントの挙動を計測したり、岩盤変位計を設置して基礎の沈下を測定したりしている。本文では、軟岩を基礎とするAダムで測定された監査廊ジョイントの変位のデータをとりまとめるとともに、三次元の堤体及び基礎岩盤のモデルを考え、有限要素法による解析を行って基礎の変形量を求めた結果を報告するものである。

2. Aダムの諸元及び地質の概要

Aダムは北海道開発局が建設した中央コア型のロックフィルダムである。堤体標準断面図を図-1に、また、ダム諸元を表-1に示す。

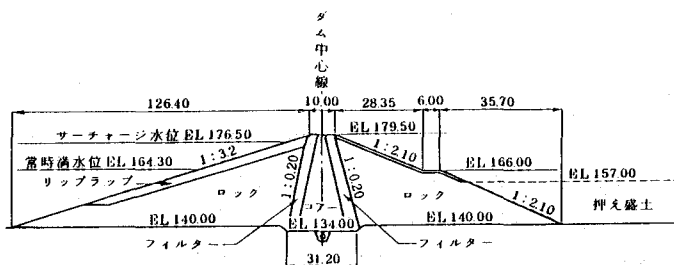


図-1 堤体標準断面図

ダムサイトの地質は、新第三紀末期の先野幌層の砂岩・礫岩層を基盤として、それ

を覆ってダムの直接の基礎となる軽石凝灰岩層（層厚40～50m）、溶結凝灰岩層（層厚50m）が堆積している。軽石凝灰岩層は固結度が低く節理は見られず、溶結凝灰岩層は柱状、板状の節理が発達している。また、基盤岩である先野幌層は軟質で未固結な部分をもつ地層である。軽石凝灰岩層、溶結凝灰岩層はダム軸にはほぼ平行な走向をもち上下流方向には約5%下流下がり傾斜で堆積している。断層、褶曲等は見られない。ダム軸地質断面図を図-2に示す。

表-1 Aダム諸元

事業者	北海道開発局
所在地	北海道恵庭市漁平
水系	石狩川水系
型式	中央コア型ロックフィルダム
堤高	4.55m
堤頂長	2.70m
堤体積	647,300m ³
完成年	昭和54年(1979年)7月盛立完了 昭和54年(1979年)11月湛水開始

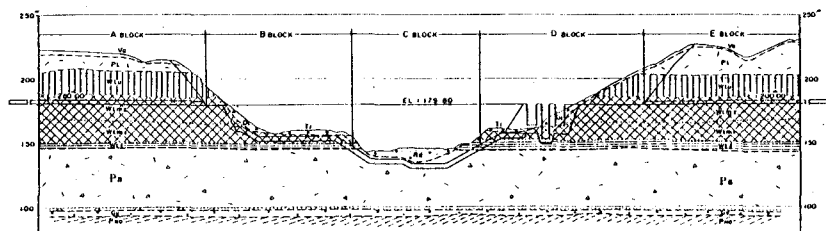


図-2 ダム軸地質断面図

- Rd : 堤河床堆積物
- Dt : 崖堆積層
- Va : 新期火山灰層
- Tr : 段丘堆積層
- Pt : 軽石凝灰岩（非溶結）
- Wu : 極低溶結凝灰岩
- Wtm2 : 極高溶結凝灰岩
- Wtm1 : 高溶結凝灰岩
- Wt1 : 低溶結凝灰岩
- Ps : 軽石凝灰岩（極低溶結）
- Gv : 古期段丘堆積層
- Pao : 先野幌層（砂岩・礫岩）

凡 例

3. 軽石凝灰岩の変形性

Aダムの主要な基礎となる軽石凝灰岩は平均一軸圧縮強度が11 kgf/cm²程度の軟岩である。軽石凝灰岩については原位置平板載荷試験（載荷板径30cm、等変位法）を3ヶ所行っている。その試験結果を表-2に示す。軽石

凝灰岩の変形係数は、 $2,000\text{ kgf/cm}$ 程度、接線弾性係数は $6,100\text{ kgf/cm}$ 程度である。

表一2 軽石凝灰岩平板載荷試験結果

試験地点	変形係数 (kgf/cm)	接線弾性係数 (kgf/cm)
No 1	2,300	6,600
No 2	1,770	5,800
No 3	1,800	5,800
平均	1,960	6,070

4. Aダムの監査廊及び継目計

Aダムの監査廊の断面図を図-3に示す。監査廊は台形型で、岩盤内に埋めこまれた型式のものである。配置はコア敷中央に左右岸方向に全通しているとともに、河床部より堤体下流側にぬける上下流方向にも設けられている。ジョイント間隔は6mを基本としている。継目計は、図-3に示すように監査廊コンクリート部の四隅に設置され、監査廊軸方向のジョイントの開きを測定できるようにになっている。設置ヶ所はダム軸縦断方向は全ジョイントに、横断方向はロック敷内の範囲に設置されている。計器は、歪ゲージ型のものである。

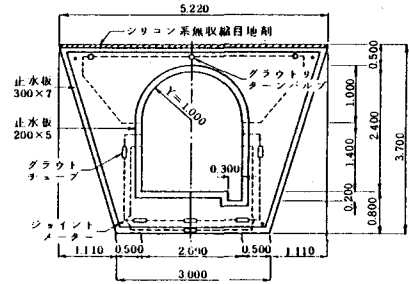


図-3 Aダム監査廊断面図

5. 継目計の実測値

Aダムは1977年6月16日盛立開始、1979年7月7日盛立完了、同年11月14日より試験湛水を開始した。継目計の計測頻度はだいたい、盛立施工時は1月に1回、試験湛水開始後は年に1～2回である。図-4は1979年8月23日（盛立完了後ほぼ1ヶ月経過後、試験湛水開始前）のジョイントの開きを監査廊鳥瞰図に示したものである。これによると、ジョイントが大きく開いているのは河床部の最も標高の低い部分で、最大7mm近い開きを生じている。その他のジョイントでは大きな開きを生じているところは見られない。また、監査廊上面と下面の開きの大きさを比較したところ、明確な傾向はないようである。

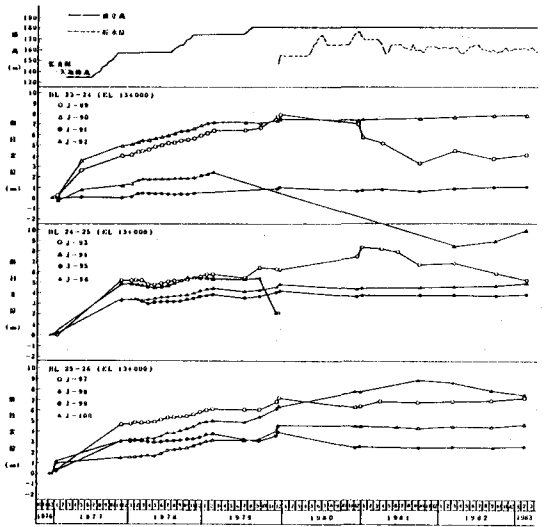


図-5 継目計実測時系列

図-5は、河床部最下位標高のブロック23から26

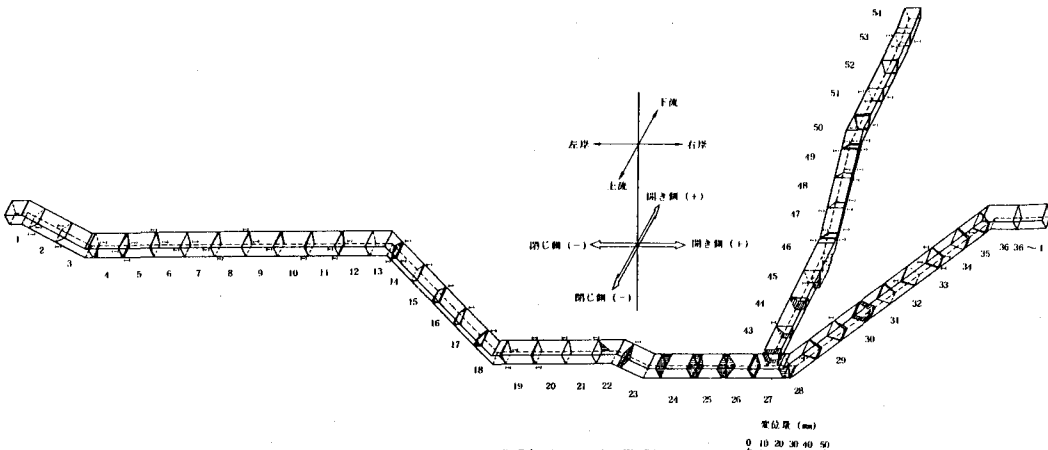


図-4 継目計実測鳥瞰図

までの3つのジョイントについて、堤体盛立開始時から試験湛水後までの継目計の値を経時的に示したものである。これによるとジョイントの開きは主として堤体の盛立荷重によるもので、湛水後の水圧によっては大きな変化はないようである。これは湛水後の水圧荷重は監査廊の上下面にほぼ同じ大きさで作用するためと思われる。

表一三 物 性 値

材 質	弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比	凝潤密度 (t/m ³)
コ ア	500	0.4	2.212
ロ ッ ク	500	0.4	2.210
軽 石 凝 灰 岩	2,000	0.35	—
低 溶 結 凝 灰 岩	5,000	0.3	—
高 溶 結 凝 灰 岩	24,000	0.2	—
先野幌層 (浅部)	3,300	0.35	—
先野幌層 (深部)	4,000	0.3	—

6. Aダムの三次元変形解析

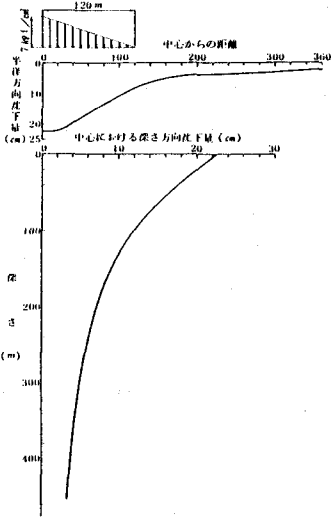
6.1 解析の概要

Aダムの堤体と基礎岩盤を含めた三次元有限要素法による変形解析を行い、堤体築堤完了後の基礎岩盤の変形量から監査廊ジョイントの開きの大きさを概略予測できないかを検討した。解析にあたっては岩盤、堤体とも等方な弾性体と仮定した。解析に用いた物性値を表一三に示す。弾性係数はコア、ロックは他ダムの例を参考にして決め、軽石凝灰岩は原位置平板載荷試験の変形係数より定めた。低溶結凝灰岩、高溶結凝灰岩は類似の岩盤の既往試験の変形係数より推定した。先野幌層については、軽石凝灰岩との弾性波速度の比より定めた。コア、ロックの凝潤密度は盛立管理試験結果より決め、岩盤の自重は考慮しなかった。

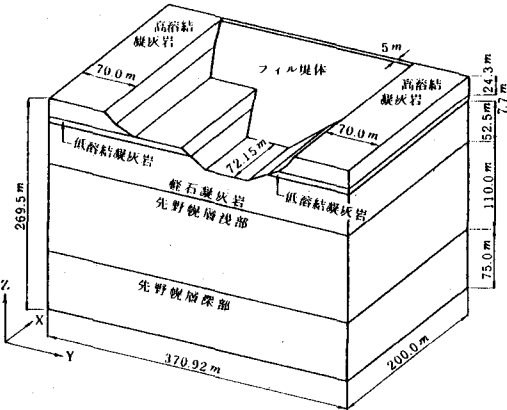
6.2 モデルの大きさ

Aダムの三次元のモデル化にあたっては、ダム軸を含む鉛直断面について面対称モデルとし堤体法面勾配は堤敷の全長の $\frac{1}{2}$ と堤高より計算して1:2.75とした。

三次元モデルを採用した理由は、二次元モデルの場合、堤体自重による応力が平面内で拡散せずモデルを大きくするに従って堤体自重による基礎岩盤の変形量が大きくなるが、三次元モデルでは堤体自重による応力は三次元的に拡散するため、ある程度モデル化の範囲を大きくすれば実際の基礎岩盤の挙動に近い解析ができると考えられるからである。鉛直方向、水平方向のモデル化の範囲については、円錐型の分布荷重が半無限弾性体に作用した場合の解析解を用いて検討した。円錐型分布荷重の半径は、堤敷全長の $\frac{1}{2}$ の120m、中心部の最大荷重はコアゾーンの高さに相当する荷重の70%として7.0kgf/cmとした。岩盤の弾性係数は軽石凝灰岩と先野幌層の平均値をとり3,300kgf/cm、ポアソン比は0.35とした。図一六に、円錐荷重による半径方向の岩盤表面の沈下量および中心における深さ方向の沈下量の分布を示す。円錐荷重中心における岩盤表面の沈下量は22.3cmである。図一六よりモデル化の範囲は、鉛直方向は沈下量の減少率が小さくなり中心表面での沈下量の30%程度になる220m(堤高の約5倍)まで、水平方向も同様に円錐荷重の外縁から70m(堤高の約1.5倍)とした。この結果、解析のモデルの大きさは図一七に示すようになった。計算における境界条件は底面は剛接、側面はその面に直角な方向は固定、平行な方向は可動とした。使用したプログラムはNASTRANである。



図一六 三角形分布荷重による変位



図一七 モデル鳥瞰図

6.3 計算結果

ダム軸断面における変位の分布を図-8に示す。基礎岩盤の最大の沈下量は、 $Y=128.1$ で25.4cmである。モデル化の範囲が十分大きければモデルの端部での変位量は、堤体自重による応力が拡散することによりゼロに近くなるはずだが、今回の解析に用いたモデルは、モデル化の範囲がやや小さいようである。

同じ図-8に、フィル堤体の着岩面の変形による伸びの値(単位mm)を示す。この伸びと解析モデルの各区間に対応する実際のダムの監査廊ジョイントの開きの合計を

表-4 継目の開き実測値と解析値の比較

(単位mm)

	河床部	左岸水平部	左岸水平部～河床部	右岸傾斜部
継目計実測値	B1.18 ～ B1.28 25.84	B1.3 ～ B1.13 157	B1.13 ～ B1.18 -195	B1.28 ～ B1.36 6.43
解析値	$Y=110.29$ ～ 163.718 40.4	$Y=20.628$ ～ 80.0 16.4	$Y=80.0$ ～ 110.29 -5.6	$Y=163.718$ ～ 201.77 37.3

比較したものを表-4に示す。監査廊ジョイントの開きは4つの継目計の値の平均値を用いた。この表より、岩盤の変形係数を原位置試験により求めた軽石凝灰岩を基礎とする河床部では、対応するブロック間の継目計実測値の合計と三次元解析による変形量は比較的近い値を示している。その他の左岸水平部、右岸傾斜部等では、岩盤の変形係数が推定値であるため実測値と解析値の対応が良くないが、定性的な傾向は似ているようである。

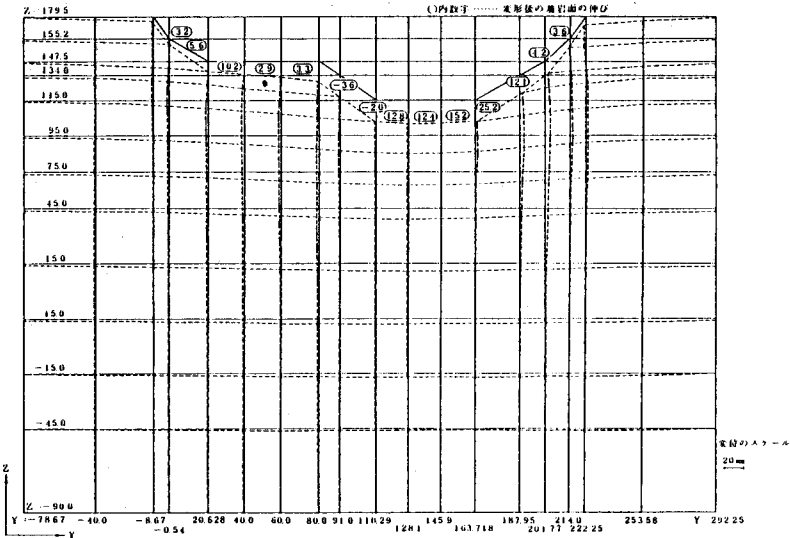


図-8 変位図

堤体河床部コアゾーン最下部要素の鉛直方向応力は約7.0 kgf/cm²であり、三次元モデルによる岩盤の最大沈下量は円錐荷重による最大沈下量にはほぼ等しい値となっており、円錐荷重を用いれば、ある程度、ロックフィルダムのような形状の構造物の基礎の沈下量を推定しうると思われる。

7. 結 論

Aダム監査廊のジョイントの開きの実測値を整理し、三次元有限要素法によるモデルを解析することにより次のことが言える。

- 1) 軟岩上にロックフィルダムを築造する場合、基礎の沈下により底設監査廊のジョイントに開きが生じることがあり、その開きは大部分が堤体盛立荷重によって生じ湛水に伴う水圧によってはほとんど変化しない。
- 2) 三次元有限要素法を用いた基礎岩盤および堤体を含めたモデルの線型の変形解析により基礎岩盤の変形量・監査廊のジョイントの開きを予測することが可能である。
- 3) 三次元有限要素法を用いた変形解析では、モデル化の範囲をどれ位にとるかが重要である。基礎岩盤の変形係数が2,000kgf/cm²～4,000kgf/cm²程度の岩盤では、岩盤のモデル化の範囲は深さ方向は堤高の5倍以上、水平方向は堤体の端より堤高の1.5倍以上必要である。
- 4) モデル化の範囲を定める場合、円錐型の分布荷重を用いたモデルを用いると有効である。

参考文献 1) 土木学会編：土木技術者のための岩盤力学 昭和54年版，土木学会，1979年8月
2) 倉西 剛：弾正学，文献社，1949年4月

(62) The Design of Inspection Gallery for Fill Type Dam and
the Deformation of Foundation Rocks

Norihisa Matsumoto

Takashi Ikeda

Public Works Research Institute

Ministry of Construction

Recently in Japan, more than several dams have been constructed on the so-called soft rock, such as Neogene sedimentary rocks, Miocene pyroclastic rocks, and weathered rocks. These soft rocks have large deformability. Therefore in the design of rock fill dams whose foundation is soft rocks, if the gallery should be built in the foundation for grouting or safety inspection, it is necessary to take it into consideration that the deformation of foundation should not exceed allowable stress in the gallery, nor allow opening of joints which might be the seepage pass. Because of this reason, in the construction of some rock fill dams on soft rocks, joint meters have been installed on the joints of gallery and the openings of joints have been measured during construction and impoundment, or deformation meters of foundation have been set in the bedrock and the settlement of foundation has been recorded. In this paper, the opening of inspection gallery of A Dam was analysed and the amount of deformation was calculated using three-dimensional model of dambody and foundation by finite element method.

As the result of this paper, the joints of gallery of A Dam opened as the dambody was constructed and the influence of impoundment to the openings was very little. And three-dimensional finite element method is valid to assume the deformation of the foundation of fill type dam.