

(61) フィル堤体の盛土に伴うアバットメントの変形と透水性の変化

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

フィルダムの建設にあたって基礎岩盤の止水処理は最も重要な問題の1つである。ダム基礎の止水工法としては、ボーリング孔を穿孔しこれにセメントミルクを注入するグラウチング工法が最も一般的な工法として採用されている。しかし、近年、多くのダムサイトの基礎岩盤に見られるいわゆる軟岩は、固結度が低いため強度が小さく変形性が大いという特徴をもつ。さらに限界圧力が小さいため、グラウチング施工時高い圧力でグラウトミルクを注入すると岩盤を破壊してミルクが注入されるため有効なグラウチングが困難であり、また、ルジオンテストにより正確な透水性を把握することも難しい。このため、軟岩基礎のカーテングラウチングでは堤体の盛立後に監査廊内よりグラウチングすることにより、盛土荷重を利用して限界圧力を高めて効率的なグラウチングを行うなどの工夫をしている。本文は、アバットメントに著しく固結度の低い地層をもつAダムについて、アバットメントに岩盤変位計を設置しルジオンテストの試験孔を設け、堤体の盛土に伴うアバットメントの変形と透水性の変化を実測するとともに有限要素法による堤体の盛立解析を行い解析手法の妥当性を検証したものである。

2. Aダムの概要

Aダムは堤高73mの中央コア型のロックフィルダムである。ダム諸元を表-1に示す。ダムサイト付近に分布する基礎岩は、新第三紀中新世の砂岩・凝灰質砂岩・凝灰岩・凝灰角礫岩・泥岩等で厚さ10～30mの互層で存在し、それを新期火山性の泥流堆積物・段丘堆積物等が覆っている。基礎岩の各層は、ダム軸断面では右岸側へ6～14°傾斜し、上下流方向には上流側へ4～5°傾斜している。ダム軸地質断面図を図-1に示す。

表-1 ダム諸元

事業者	宮城県
型式	中央コア型ロックフィルダム
堤高	73.0m
堤頂長	420.0m
堤体積	2,606,000m ³
完成年	昭和58年(1983年)6月盛立完了

アバットメントに分布するYtは比較的堅硬で開口した大亀裂が存在する。Ym・Sm・Sa₂の各層は軟質で層理面に沿う細亀裂が発達している。最上部のStは、固結が不十分で層理面がほとんど見られないが、多くの薄い粘上脈が挟在している。ダムの設計・建設にあたってはこのStの工学的性質が最も問題となった。

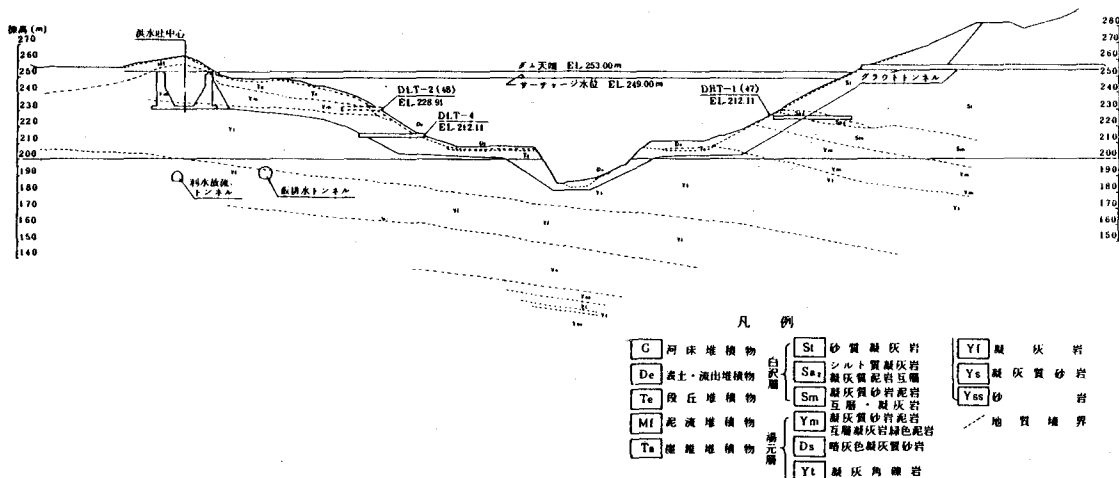


図-1 ダム軸地質断面図

3. 砂質凝灰岩の工学的性質

砂質凝灰岩 S1 は、平均の一軸圧縮強度が 7.7 kgf/cm^2 でありその物理試験の結果を表-2に示す。また、原位置平板載荷試験（載荷板径 30 cm ，等変位法）が行われており，その結果を表-3に示す。

表-2 砂質凝灰岩 (St) の物理的性質

湿潤密度	1.62 g/cm^3	間隙比	0.89
自然含水比	36.9 %	一軸圧縮強度	7.7 kgf/cm^2
乾燥密度	1.20 g/cm^3	透水係数	$2.7 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$
比重	2.38		

4. 左岸アバットメントの計測

Aダムでは右岸アバットメントの S1 層から Ym 層にかけて岩盤変位計および透水試験孔（ルジオンテスト用）を設けて，堤体の盛土に伴うアバットメントの変位および透水性の変化を測定した。岩盤変位計の設置図を図-2に，透水試験孔の配置図を図-3に示す。岩盤変位計は水平・鉛直方向それぞれ6本ずつ標高差6～7m間隔で設置されている。アンカー部から検出部までのロッドの長さは10mで，ボーリング孔とロッドの間に周囲の岩盤より柔らかい水ガラスを填充してグラウチングのセメントミルクが浸透してロッドを岩盤に固定しないよう配慮している。また，平面的な設置位置は浸透水に対する安全性を考慮してダム軸より上流側としている。透水試験孔は監査廊内から削孔し，アバットメントに直角な方向およびアバットメント表面に平行方向に上流側に，それぞれ7本ずつ標高差6～7m間隔で設置されている。透水試験孔の長さは12mで，透水試験は1ステージ3本ずつ4ステージで，各試験孔上端の設置標高に対し，原則として盛土前と盛土後盛土高5mおきに行っている。

表-3 原位置平板載荷試験の結果

変形係数	$2,000 \text{ kgf/cm}^2$
接線弾性係数	$5,800 \text{ kgf/cm}^2$
割線弾性係数	$5,100 \text{ kgf/cm}^2$

平面図

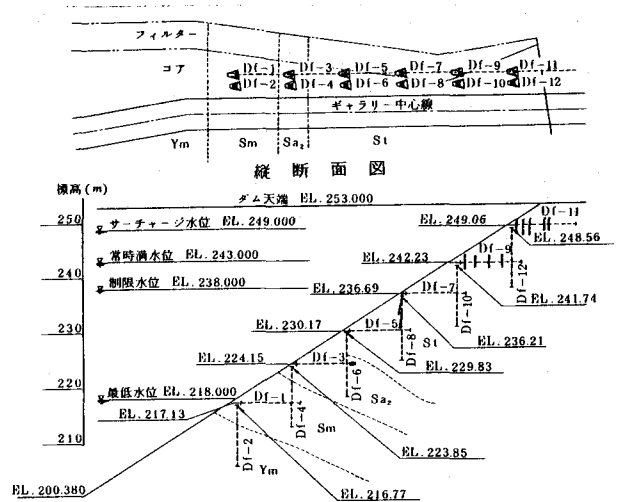


図-2 岩盤変位計設置図

平面図

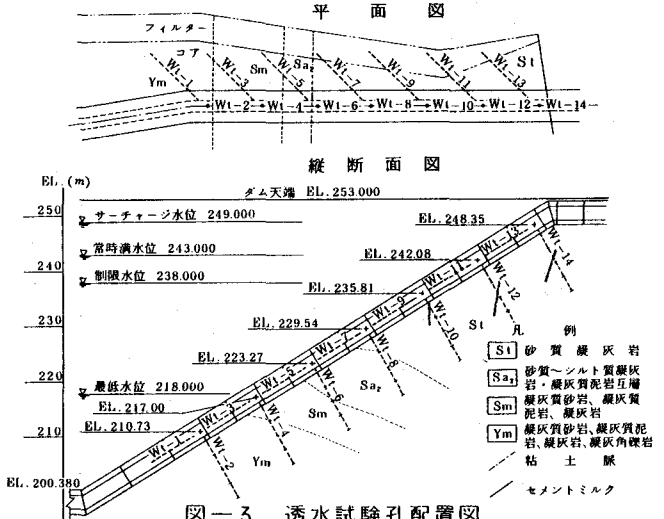


図-3 透水試験孔配置図

5. 透水性の変化

図-4，5はそれぞれ，アバットメントに平行な方向および直角な方向に設けられた透水試験孔の第3ステージの盛土高によるルジオン値の変化を示したものである。透水試験孔は，Ym・Sm・Sa₂・S1の各地層に設けられているが，全体の傾向として盛土高が高くなるに従ってルジオン値が減少している。また，限界圧力が認められた試験では岩盤を破壊していると考えられ，同じ試験孔の次の透水試験では前回の試験より大きなルジオン値を示しているものが見られる。しかし，岩盤を破壊した場合も盛土に従ってルジオン値は小さくなっている。これは堤体の盛土荷重により岩盤内の水みちとなる微小な亀裂が閉じたためと考えられる。

6. 堤体の盛立解析

Aダムについて、ダム軸縦断面の二次元モデルを用いて有限要素法による変形解析を行い実測値との対応を検討した。有限要素法による変形解析は、まず、堤体だけをDuncan-Chanの理論を用いた非線形の築堤解析を行い、次に築堤解析により求められた堤体の岩盤に及ぼす荷重を基礎岩盤のモデルに作用させたものである。使用したプログラムは堤体がISBILD、基礎岩盤はNASTRANである。図-6に堤体および基礎岩盤のモデルを示す。解析に用いた物性値は、堤体(コアゾーン)については表-4に基礎岩盤については表-5に示す。コアゾーンの物性値は三軸圧縮試験の結果より求め、基礎岩盤の弾性係数は、S1は原位置平板荷試験結果の変形係数を用い、Ymは一面せん断試験のせん断変位とせん断荷重から求めた。その他の地層の弾性係数は一軸圧縮強度等から推定した。基礎岩盤のモデル化の範囲は、鉛直方向は、堤体の基礎岩盤に及ぼす荷重が円錐型の分布と仮定した場合の沈下量と同じ沈下量を示すまでの深さとし、左右岸方向はアバットメント

表-4 堤体築堤解析に用いた物性値

単位体積重量(γ)	2.13 t/m ³	応力~ポアソン比の関係を表わす係数 (F)	0.10 t/m ²
初期ポアソン比 (Q)	0.4	除荷時の弾性係数の大気圧に対する比 (Kur)	360
破壊比(Rf)	0.85	粘着力(C)	2.0 t/m ²
初期弾性係数の大気圧に対する比 (K)	240	内部摩擦角(ϕ)	34°
応力~歪関係を表わす指数(n)	0.65		

m、鉛直方向がダム天端から下端まで253mとなった。

7. 盛立解析と実測値の比較

図-7は、岩盤変位計の実測値と盛立解析による計算値を同一図面上に示したものである。各岩盤変位計の変位量の基準線はそれぞれ右縦軸の標高に一致させている。計算値による岩盤変位量を実測値と比較すると、水平変位はほ

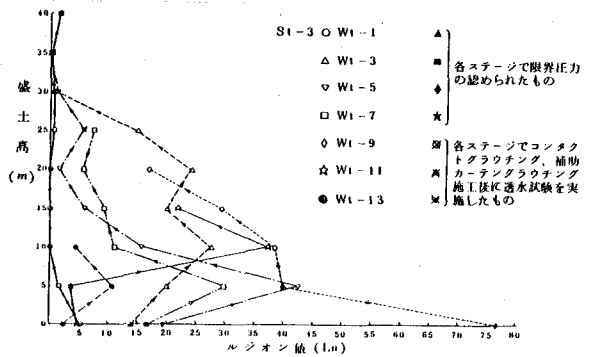


図-4 ルジオン値盛土高による変化(斜面平行方向)

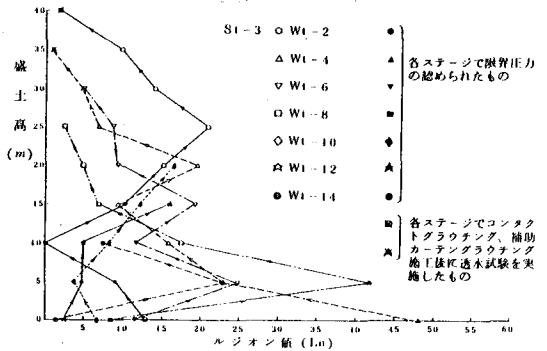


図-5 ルジオン値盛土高による変化(斜面直角方向)

表-5 基礎岩盤の物性値

地 層 名	弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比
白 沢 層 砂 質 凝 灰 岩 (S1)	2,000	0.3
白 沢 層 凝 灰 岩 泥 岩 互 層 (Sa2)	2,000	0.3
白 沢 層 砂 岩 泥 岩 互 層 凝 灰 岩 (Sm)	3,400	0.3
湯 元 層 砂 岩 泥 岩 互 層 凝 灰 岩 (Ym)	2,700	0.3
湯 元 層 凝 灰 岩 角 礫 岩 (Yl)	4,500	0.3
湯 元 層 凝 灰 岩 (Yf)	3,500	0.3
湯 元 層 凝 灰 質 砂 岩 (Ys)	3,000	0.3
湯 元 層 砂 岩 (Yss)	2,500	0.3

a) 堤体部

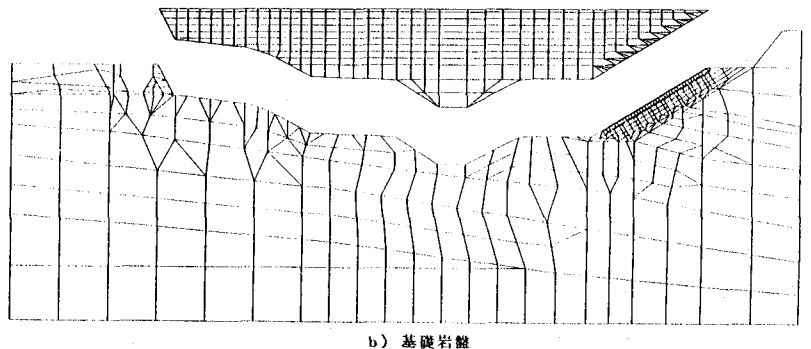


図-6 堤体及び基礎岩盤のモデル

ば実測値と一致しているが、鉛直変位はDf-4,12を除いて計算値の方が大きくなっている。これは、堤体の岩盤に及ぼす荷重を求める場合、二次元モデルを用いたため、鉛直荷重は実際の堤体の荷重より大きくなったのに対し、水平荷重は二次元モデルと実際の値との差が小さかったためと思われる。水平変位については、堤体の盛土高が岩盤変位計の設置標高に近い付近では、実測値、解析値とも伸びる現象が見られる。その原因は、盛土高が岩盤変位計と同じ標高付近では、岩盤変位計の設置されている岩盤表面は盛土荷重により下方に押し下げられるのに対し、岩盤表面より10 m深部の岩盤変位計のアンカー部は盛土荷重による下方への変位の影響が及んでいないため、相対的に岩盤変位計を引張る方向の変位が生じたためと思われる。図-8は、透水試験孔と同一標高にある岩盤変位計の測定値と透水試験によるルジオン値の変化を示したものである。岩盤変位計の測定値はアバットメント斜面に平行な方向と直角な方向に分解して図示してある。軟質な砂質凝灰岩(SI) 層の標高 236.7, 242 m

付近の岩盤の変位量およびルジオン値の変化を見ると、盛土標高が岩盤変位計の設置標高付近になると斜面に平行方向の岩盤変位は伸びの方向となる。この時点でのルジオン値はその前より同じか大きくなる傾向があり、堤体の盛立により岩盤表面付近に引張歪が生じ、透水性を大きくしていることをうかがわせている。

8. ま と め

Aダム右岸アバットメントの盛土による透水性および岩盤変位の実測と解析により以下のことが言える。

- 1) 亀裂が少なく変形性の大きい軟岩基礎は、ダム堤体の盛土荷重により圧縮され透水性は小さくなる。
- 2) 同じく軟岩基礎では、盛土標高付近では岩盤表面に引張歪が生じ透水性が大きくなる現象が見られる。
- 3) 軟岩よりなるアバットメントの岩盤表面の変位は、二次元モデルによる有限要素法の解析によりある程度推定することができる。

＜参考文献＞

- 1) Duncan J.M., Chin - Yung Chang : Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils 1970年
- 2) 柴田 功：軟岩の透水性と止水設計法に関する研究、土木研究所報告 153 号の 1、1980 年 3 月

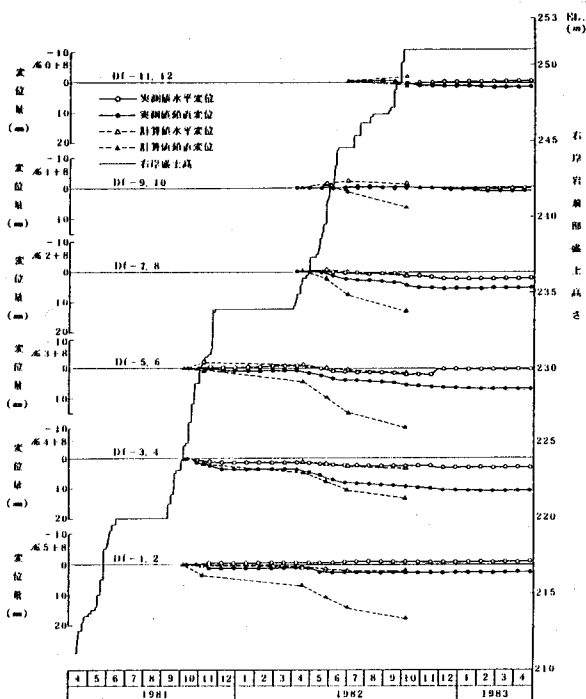


図-7 岩盤変位計の実測値と解析値

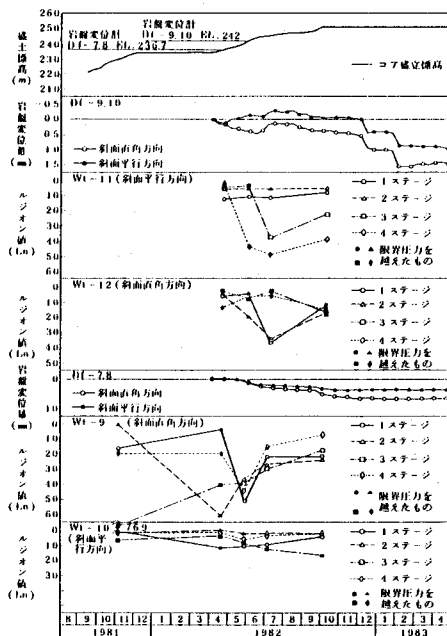


図-8 ルジオン値の変化

(61) The Deformation of Dam Abutment and Change of Permeability
due to the Fill Placement in Embankment Dams

Norihisa Matsumoto
Takashi Ikeda

Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Foundation treatment to control seepage is one of the most important part in the construction of fill type dams. As the method of foundation treatment, grouting, i.e., injection of cement mix into the cracks of bedrock, is the most popular one. But soft rock, which is often observed in the foundation of dams recently, has low strength and shows extreme deformability, and it can be punctured at low injection pressure during grouting, so it is very difficult to attain watertightness in the bedrock by grouting, and to know the true permeability by water pressure test. For these reasons, it is often necessary to drill holes for curtain grouting from inspection gallery and to inject cement into these holes after dambody is filled at enough height for the purpose of using the weight of dambody to raise the allowable pressure of grouting.

This paper shows the results of measurement of deformation and permeability in the abutment of A Dam, whose foundation contains very weak rock in the right abutment, and the results of analysis of FEM by using two-dimensional model of A Dam. And three points are attained as conclusion,

- 1) The permeability of dam foundation which is composed of soft rock is decreased owing to the consolidation caused by the weight of dambody.
- 2) In the soft rock of dam foundation, permeability of bedrock nearly at the same level of the top of dambody is increased because of the tensile strain caused by the weight of dambody.
- 3) The deformation of foundation near the surface of abutment can be roughly assumed by using two-dimensional FEM.