

(41) フィルダム基礎の変形量予測精度

建設省土木研究所 正会員 ○ 山 口 嘉 一

建設省土木研究所 正会員 松 本 徳 久

1. はじめに

一般に、フィルダムは、基礎に対して要求する強度・変形性の程度は、コンクリートダムに比して、緩い。しかし、基礎が軟質の岩盤あるいは地盤のときには、フィルダムの設計・施工において、強度・変形性について検討し、必要な対策を実施する必要がある。

フィルダムの基礎が全体に軟質であるとき、あるいは硬質の部分と軟質な部分が混在しているときには、堤体の盛土荷重によって大変位や不等沈下が生ずる可能性がある。これらの現象は、圧縮側の歪だけでは、せん断や引張の歪を伴う。歪が過大であれば、遮水ゾーン下の基礎のグラウチングで改良されている部分の透水性が大きくなることが予想され、また歪が堤体の変形能力を越えれば、堤体にきれつ等を惹起しかねない。さらに、フィルダムの基礎に底設の監査廊を設けるとときにも変形性の検討は欠かせない。このようなことから、フィルダムの事業者は、設計段階において、基礎の変形予測を実施することが多くなっている。そこで、筆者らは、最近完成したフィルダムの変形の実測値を整理し、これらを設計段階において事業者の実施した変形解析結果と比較することにより、変形予測の精度を検討した。

2. 調査対象ダムの諸元と変形解析の目的

今回調査を実施した4ダムの諸元および基礎地盤の縦断面方面の変形解析を実施した目的を表-1にまとめる。この表からこれらのダムでは、軟質岩および断層・破砕帯部における大変位、不等沈下等の発生、あるいはその部分にカルバート式の監査廊を設置した場合の大きな継目開き量の発生の有無を検討するために変形解析が実施されていることがわかる。また、基礎の変形の予測値を施工に先立って求めておき、施工中の実測値をこれと比較することにより、施工管理を行うことも重要な目的である。

表-1 調査対象ダムの諸元と変形解析目的

ダム名	事業者	ダム型式	堤高 (m)	堤頂長 (m)	堤体積 (千m ³)	解 析 目 的
A	青森県	IC	52.0	225.0	944	軟岩基礎の堤体盛立に伴う沈下量分布を知り、設計、安全管理に役立てる。
B	宮城県	CC	74.0	420.0	2,682	右岸アバットメント部に分布する軟質岩の沈下量分布およびカルバート式の監査廊を設置した場合の継目開き量を求める。
C	埼玉県	CC	83.5	260.0	1,690	河床部破砕帯上に設置するカルバート式監査廊の適切な継目間隔を決定する。
D	沖縄総合事務局	CC/PG	35.0	330.0	441	断層上に設置されるカルバート式監査廊の沈下量分布および継目開き量を求める。

注) IC:傾斜コア型ロックフィルダム, CC:中央コア型ロックフィルダム
CC/PG:中央コア型ロックフィルダムと重力式コンクリートダムの複合ダム

3. 変形解析手法の概要

調査4ダムで事業者により実施された変形解析は、全て基礎地盤を弾性体とした二次元縦断面方向についてのものである。

4ダムで実施された解析の概要をモデル、荷重、基礎の入力物性値および境界条件の4項目についてまとめたものを表-2に示す。この表から以下のことが読み取れる。

解析モデルの大きさは、鉛直方向が $D=(1.0\sim1.7)H$ 、水平方向が複合ダムであるDダムを除いて $W=(0.4\sim1.0)H$ とある程度の幅がある(記号は、表-2の注3を参照)。なお、モデルの大きさを決定した確固たる根拠はないようである。ただ唯一、Bダムにおいて、基礎地盤に見立てた均質等方な半無限無限の弾性体に、堤体に見立てた円錐分布荷重(図-1参照)を載荷した際の最大沈下量を参考に鉛直方向のモデルの大きさを決定しているのみである。

基礎に対する主荷重は堤体の自重であるが、これについては堤体を全体一層として載荷するか実際の盛立に合わせて逐次盛立載荷を行うかの問題がある。より実際に近い形で解析を行うのであれば、後者を採

用することが望ましい。

しかし、長谷川³⁾は、両者の載荷方法によって生ずる地盤の変位量の差はさほど大きくないと報告しているの、前者の載荷法を採用することが解析精度を著しく低下させることはないと考え。

基礎の入力物性値である弾性係数は4ダムとも原位置変形試験により決定されている。しかし、基礎を構成する全ての岩に対して原位置変形試験が実施されている訳ではなく、変形上問題となるであろう岩を対象に実施されている。また、原位置変形試験の実施位置、個数、精度等の問題もあってか、弾性係数の深さ方向分布の考慮はなされていない。

境界条件としては、底面は剛接、側面は水平方向が固定、鉛直方向が自由というのが一般的なようである。

4. 解析値と実測値の比較

3.に示したような手法で設計段階で実施された変形解析結果として求めた変形量の解析値と施工段階で水準測量や岩盤変位計より求めた変位量の実測値を比較したものを図-2,3,4に示す。これらの図からフィル堤体の盛立に伴い発生する実測値は解析値よりかなり小さいことがわかる。この実測値と解析値の差が生じた原因として考えられる事項を以下に列挙する。

- ① 三次元ではなく二次元解析を行ったことおよび堤体自重を逐次盛立載荷ではなく全体一層載荷したダムが4ダム中3ダムであったこと。
- ② 通常、地盤の弾性係数は深さ方向に増加する（図-5参照）。しかし、今回の解析ではこのことが考慮されていない。
- ③ 二次元モデルゆえモデルの大きさ、特に鉛直方向の大きさが大き過ぎるのではない。ただし、モデルが大きくても、②に示した地盤の弾性係数の深さ方向増加が考慮されていれば解析の精度はかなり向上するはずである。
- ④ 地質境界の見誤り。設計時に安全側の物の見方をしたために、変形上の問題が発生する可能性の高い地質部分の範囲を広めに設定してしまったのではない。

表-2 変形解析概要

ダム名	モデル			荷重	基礎の入力物性値の決定法	基礎の入力物性値決定上の特徴	境界条件
	型	D	W				
A	地盤厚一定 (監査廊なし)	1.1 H	右岸側 0.73 H 左岸側 0.50 H	堤体自重 全体1層載荷	・原位置平板載荷試験	・変形性は割線弾性係数で評価 ・弾性係数の深さ方向分布は考慮していない。	底面-剛接 側面-水平方向は固定、鉛直方向は自由
B	底面水平 (監査廊なし)	1.7 H	右岸側 1.0 H 左岸側 1.0 H	堤体自重 逐次盛立載荷 (12層)	・原位置平板載荷試験	・変形性は変形係数で評価。 ・変形係数の深さ方向分布は考慮していない。	同 上
C	底面水平 (監査廊あり)	1.6 H	右岸側 0.71 H 左岸側 0.45 H	堤体自重 全体1層載荷	・孔内載荷試験	・変形性は複数の試験から求めた割線弾性係数の最小値で評価。 ・弾性係数の深さ方向分布は考慮していない。	底面-剛接 側面-剛接
D	底面水平 (監査廊あり)	1.0 H	なし	堤体自重 (コア土柱重量) と 監査廊コンクリート自重	・原位置平板載荷試験 ・孔内載荷試験	・変形性は接線弾性係数で評価(値を低減させたケースあり)。 ・弾性係数の深さ方向分布は考慮していない。	底面-剛接 側面-水平方向は固定、鉛直方向は自由

注) 1) 監査廊のあるなしは、監査廊モデル化の有無を示す。
2) 基礎の入力物性値は、必ずしも原位置変形試験のみから決定しているのではなく、他の試験結果や他ダムでの例を参考に決定しているものもあることを付記しておく。
3)

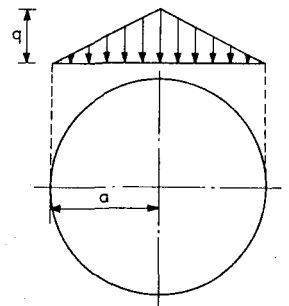
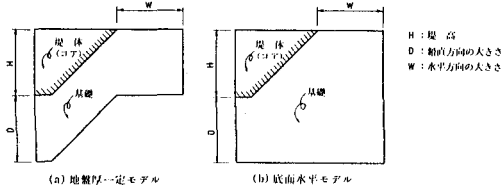


図-1 円錐分布荷重

⑤ 今回の解析は、調査時に実施した原位置変形試験から決定された弾性係数を用いた弾性解析である。

しかし、実際のダム基礎地盤は、グラウチングによる改良あるいは堤体盛立に伴う上載荷重の増加によりその弾性係数が増加する（図-6 参照）。この点が解析上考慮されていない。

①の問題点については、3.では大きな誤差原因とはならないと述べた。しかし、三次元ではなく二次元解析を実施すること、堤体荷重を逐次盛立载荷ではなく全体一層载荷することにより、数割ではあるものの実際よりも大きめの変位量を予測してしまうようである。

②～④の問題点については、変形解析を実施する際に現状実施している程度の数量の地質データを詳細に検討することでかなりの部分が解決されるものとする。しかし、実施される原位置変形試験の個数や原位置変形試験の精度に対する試験地盤の緩み、地盤の異方性の影響などを考えると、現有の地質データを詳細検討するだけで変形解析精度を十分満足にいく程度まで向上することができるとは言い切れないのも事実である。

⑤のグラウチングや堤体盛立に伴う基礎地盤の弾性係数の増加を定量的に評価して変形解析に反映することは、現状においては非常に困難だと言える。

5. おわりに

本論文をまとめると以下の通りである。

① 4つのフィルダムの設計段階に実施された縦断面方向の基礎の変形解析の目的およびその概要をまとめた。

② ①の解析より求まった堤体盛立に伴う基礎変位量の解析値と水準測量や岩盤変位計により求まった変位量の実測値を比較した結果、解析値が実測値よりかなり大きいことがわかった。

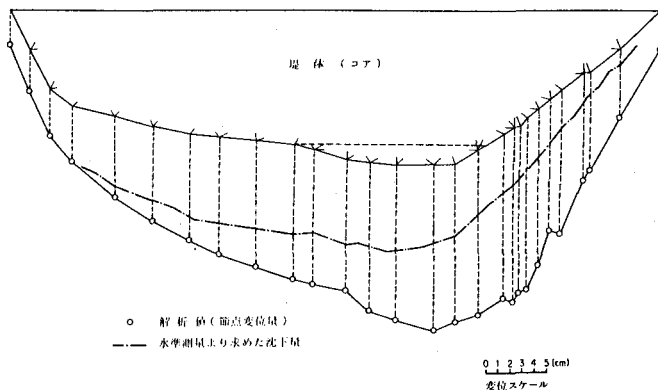


図-2 基礎変位量の解析値と実測値 (Aダム)

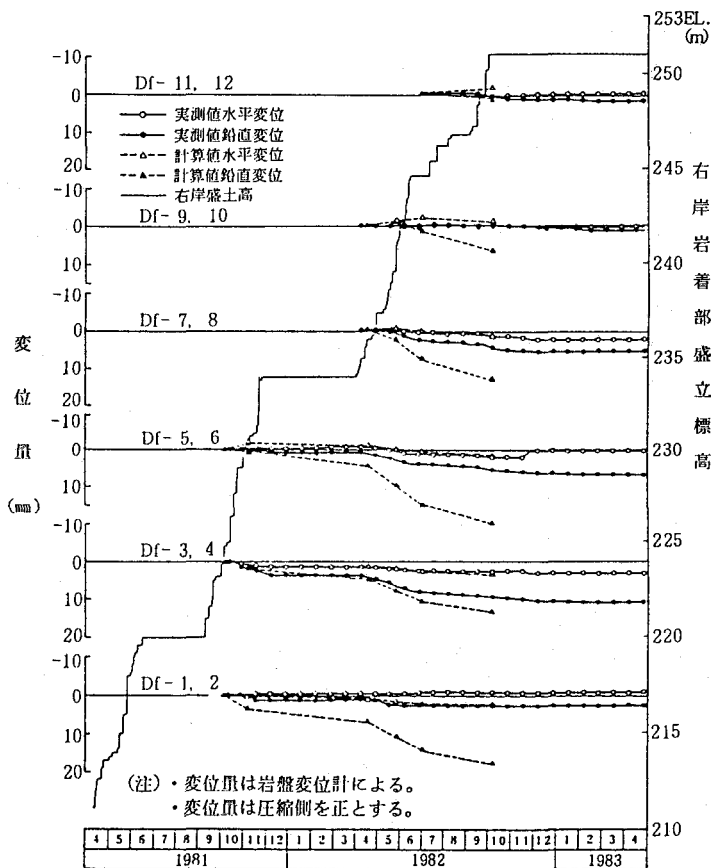


図-3 基礎変位量の解析値と実測値 (Bダム)

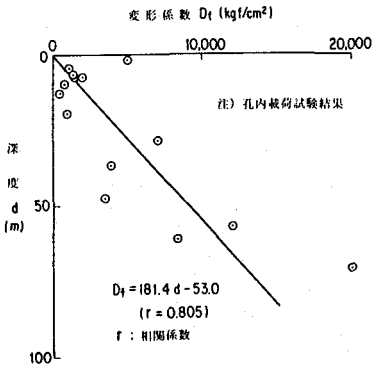


図-5 弾性係数の深さ方向分布 (Aダム)

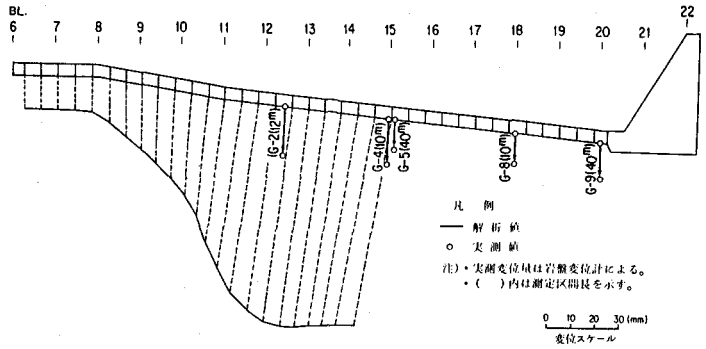


図-4 基礎変位量の解析値と実測値 (Dダム)

③ 既往の研究も参照して、②の解析値が実測値よりもかなり大きくなった原因を列挙し、今後のフィルダムの基礎の変形解析を行う際の注意点とした。最後に、調査に御協力頂いた4ダムの関係各位に謝意を表します。

＜参考文献＞

- 1) 川嶋登紀衛・金沢紀一：大規模断層を含む風化基礎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。
- 2) 金沢紀一：ロックフィルダムの軟質基礎の盛立て中の挙動予測と監視，大ダム，No 114，pp. 3～10，1985年12月。
- 3) 長谷川高士・内田一徳：フィルダム監査廊の応力変形解析，農業土木学会論文集，第108号，pp. 33～44，1983年12月。
- 4) 松本徳久・池田 隆：フィルダム底設監査廊の設計と基礎岩盤の変形，建設省土木研究所資料，第2069号，1984年2月。
- 5) 松本徳久・山口嘉一：フィルダム基礎の変形予測，建設省土木研究所フィルダム研究室内資料，第5号（印刷中）。

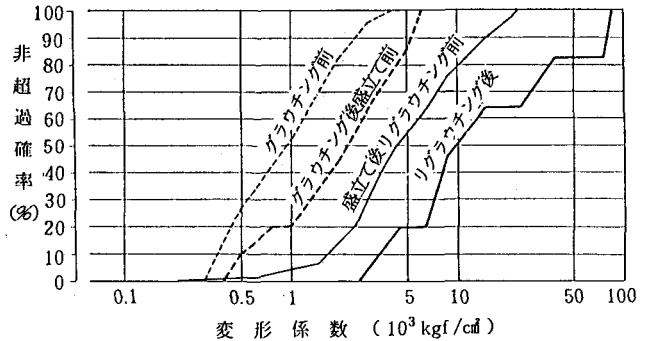


図-6 グ라우チングおよび堤体盛立に伴う基礎の弾性係数の増加²⁾

(41) Accuracy of Estimation of Deformation
for Foundations of Filldams

Yoshikazu YAMAGUCHI
Norihisa MATSUMOTO

Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Summary

Filldams can be constructed on the sites where it is difficult to construct concrete dams because of low strength and large deformability of foundations. If damsites are composed of soft rocks or complex combination of soft rocks and hard rocks, there would be possibility of large and/or differential subsidence of foundations due to the fill placement. These phenomena could cause cracking of the shallow part of foundation and/or dam body (particularly, impervious zone), or opening of joints of inspection galleries which are installed in the base of filldams. Therefore, in the design for filldams under the above-mentioned geological conditions, deformation analyses by F.E.M. are performed in order to predict the subsidence distribution of foundation and/or the values of opening and shearing displacement of joints of inspection galleries. The authors collected and arranged deformation data of foundations measured by levellings or displacement meters and analyzed deformation data at four filldams which have been recently completed. Furthermore, the accuracy of deformation analyses was examined by comparing measured results with analyzed ones.