

ロックフィルダム沈下分析および盛立中の弾性波探査について(その1)

九州電力(株)	小丸川発電所建設所	正会員	栗津 善文
九州電力(株)	土木部 原子力グループ	正会員	笹田 俊治
九州電力(株)	小丸川発電所建設所	正会員	有村 研一

1 はじめに

九州電力(株)が建設中の小丸川発電所上部ダムは、アスファルト全面表面遮水壁型ロックフィルダムであり、盛立材料には、調整池掘削に伴う現地発生材（砂岩及び頁岩）を用いている。遮水壁の安全性評価においては、遮水壁基盤の変形の評価が特に重要であることから、設計時に常時（盛立時及び湛水時）ならびに地震時の堤体の変形に関する検討を、堤体材料の室内試験結果に基づく物性値を用いた静的・動的FEM解析により実施してきた。

一方、ロックフィルダムの動的変形特性の評価において重要な初期せん断剛性（Go）の設定については、澤田らによる弾性波速度モデル（以下澤田式）に基づくことが多いが、近年の大型機械による施工を考慮して、その適用性に関して検討した例は少ない。

そこで、当地点では静的・動的変形特性の施工段階での再評価、ならびに動的変形特性（Go）の設計値（室内試験結果により設定）および澤田式との比較を目的とした検討を行っている。本稿では、実測沈下量と予測沈下量の比較検討結果、堤体の弾性波速度検層結果について述べる。

2 ロックフィルダムの実測沈下量と予測沈下量との比較

ここでは上部ダム（主ダム）の層別沈下計による沈下量の計測結果と設計時の2次元FEMによる逐次盛立解析結果との比較を行った。

図-1に主ダムの標準断面図を示す。主ダムは堤高65.5m、堤頂長166.0m、堤体積88万m³のロックフィルダムであり、計6測線（上流側2，ダム軸3，下流側1）に測量式及び電気式の層別沈下計を設置している。

測量による各クロスアーム設置箇所の絶対沈下量と予測沈下量との比較を図-2に示す。なお、実測沈下量は即時沈下に浸水沈下、クリープ沈下を含む値であり、解析結果（即時沈下量に対応）とは直接的に比較できないことから、実測沈下量のうち即時沈下量を次の手順で算定した。すなわち、盛立高と沈下量の関係において盛立高が一定で沈下量が増大したものを浸水沈下およびクリープ沈下とし、全沈下量から減じたものを即時沈下量とした。この結果、実測の即時沈下量は解析による予測沈下量（即時沈下量に対応）に比べて小さく、6割程度の値である。これは、盛立中の現場密度測定結果で設計値と比べて高い値が得られていることと関連して、実施工で良好に締固めが行われていることを示すものと考えられる。

3 盛立中のロックフィルダムの弾性波探査

(1)目的

ダムの地震時の動的応答特性について、設計時点では室内振動三軸圧縮試験結果等に基づく堤体材料の動的物性値を用いた2次元動的FEM解析を行い、堤体に発生する最大加速度や遮水壁の最大発生ひずみを評価している。

ここでは、実施工時の動的物性値を密度データや弾性波速度により把握し設計値との比較を行うとともに、実際の動的応答性を評価する目的で主ダム盛立場（図-3）における弾性波探査（PS検層，屈折法探査）を実施した。

キーワード：ロックフィルダム，沈下量，弾性波探査

連絡先：宮崎県児湯郡木城町大字石河内大字大平 1261 番地 TEL0983-32-4023 FAX0983-32-4037

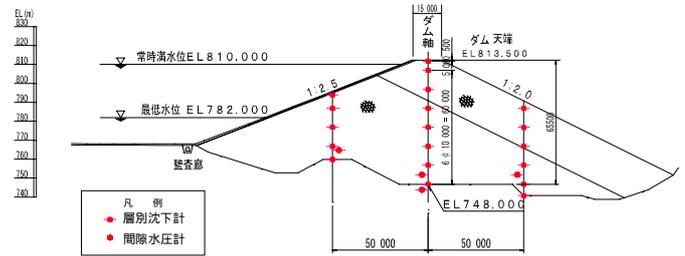


図-1 上部ダム（主ダム）横断面図

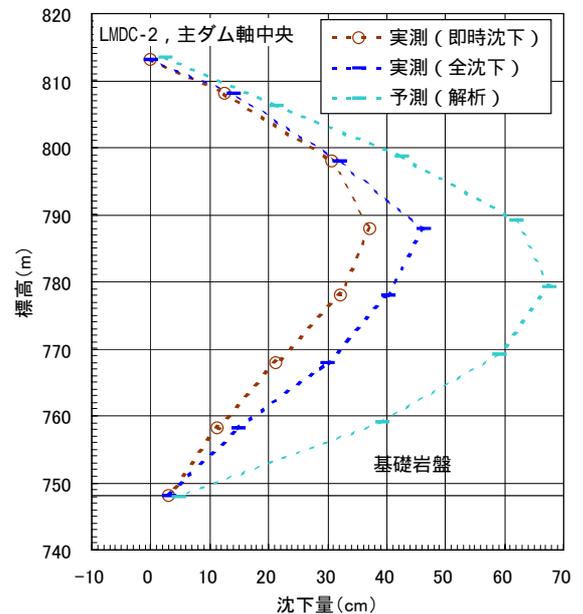


図-2 実測沈下量と予測沈下量の比較

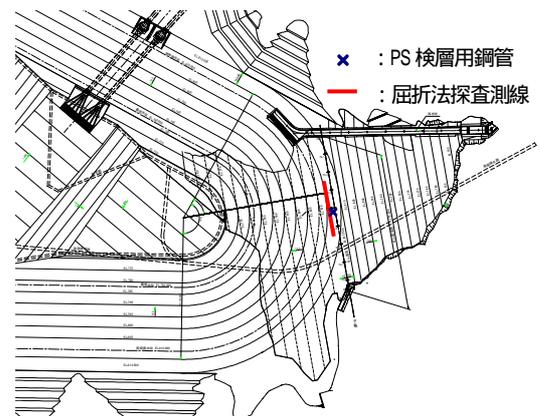


図-3 主ダム弾性波探査実施箇所

なお、PS 検層は通常、盛立完了後に実施されるが、当地点では盛立高を変えて3回実施し、拘束圧の変化による弾性波速度の変化についても把握することとした。

(2)弾性波探査

施工中の約 1/3 ダム高(盛立高さ 27m / 全盛立高さ 65.5m)における弾性波探査では、PS 検層および屈折法探査を実施した。

測定方法および解析方法

PS 検層では、ダム軸近傍に設置した鉛直鋼管内に受振器を設置し、鋼管付近の盛立表面で板叩き法により発生させた弾性波 (P 波, S 波) を受振した (図 - 4)。測定深度は 27m, 測定間隔は 1m とした。解析では走時曲線図の傾きから各区分深度の速度値を求めた。なお、震源箇所は、人力転圧領域 (A 点, 管からの距離約 3m) および機械転圧領域 (B 点, 管からの距離約 7m) の 2 箇所とした。この人力転圧領域は、鋼管付近 (周囲約 3m) の管の折れ曲がり防止するため、人力転圧 (1t 級振動ローラ) を行っている領域で、人力転圧の締め固め不足の影響を考慮して設定している。

一方、屈折法探査 (図 - 5) では、ダム軸方向の測線長 66m, 測定間隔 3m で受振器を設置して実施した。起振は PS 検層と同様に板叩き法によって行った。解析では、走時曲線を基に、萩原の方法を主体にして基盤の速度および深度走時を求めた。

解析結果

PS 検層と屈折法探査の結果、得られた鉛直管設置箇所付近における V_p , V_s の測定結果を表 - 1 ~ 表 - 3 に、深度方向分布を 図 - 6 に示す。特に地表面からの深度約 3m 以深において、屈折法により得られた弾性波速度の方が PS 検層の結果求められた値よりも大である。これは、屈折法では盛立材の弾性波経路が全て機械転圧領域と考えられるのに対して、PS 検層については弾性波経路の全部 (起振点 A) または一部 (起振点 B) が人力転圧領域内であることによるとも考えられる。すなわち、実際に機械転圧した盛立材の弾性波速度は、屈折法で得られた値に近いものと考えられる。

また V_s については参考として澤田式を併記しているが、今回の弾性波探査のうち特に屈折法の結果については、澤田式により求めた値よりも大であった。盛立途中段階の結果ではあるが、これは澤田式の参考となった昭和 40 年代のダム盛立で使用された転圧機械と当地点のそれとの転圧能力の差に起因するものと考えられる。

なお、 G_0 については、設計値は室内試験結果に基づき設定しているが、弾性波速度分布に基づいて算定される G_0 は設計値よりも大きいことから、地震時の動的変形は設計時に比べて安全側となると想定される。

4 おわりに

当地点のロックフィルダムの静的・動的変形特性について、施工時の実測データを基に再評価する目的で実測沈下量と予測沈下量との比較、及び弾性波探査を実施した。

今後は、盛立完了後から湛水までの浸水沈下やクレーン沈下による沈下量を、盛立中の沈下量の詳細な分析により精度良く予測する予定である。また、PS 検層については、盛立高 2/3, 盛立完了後にも実施しており、その結果については弾性波トモグラフィ解析、人力転圧領域と機械転圧領域それぞれの速度分布等を含めて別途報告する予定である。

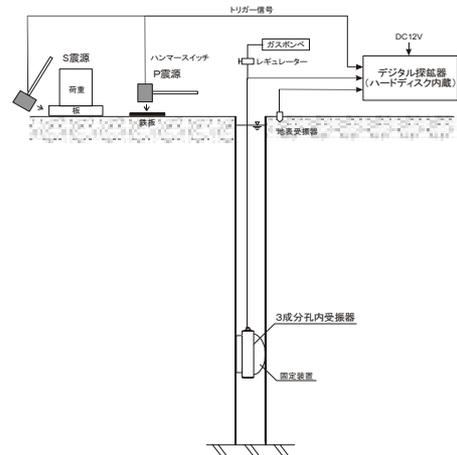


図 - 4 PS 検層測定概念図

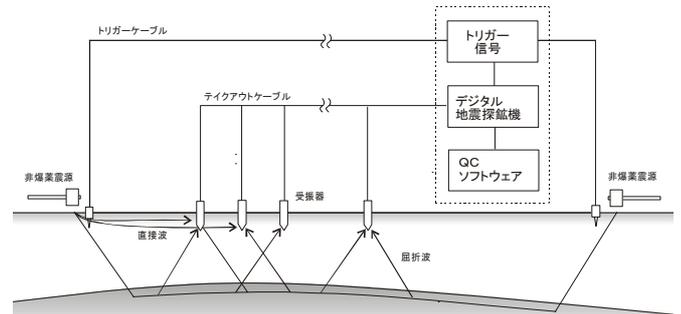


図 - 5 屈折法探査測定概念図

表 - 1 PS 検層測定結果 (P 波)

種別	深度 (m)	標高 (m)	震源A (km/s)	震源B (km/s)
P波	0.0 ~ 3.0	775.5 ~ 772.5	0.56	0.56
	3.0 ~ 15.0	772.5 ~ 760.5	0.68	0.72
	15.0 ~ 26.0	760.5 ~ 749.0	1.08	1.08

オフセット距離は、震源A: 3.3m, 震源B: 7.5m

表 - 2 PS 検層測定結果 (S 波)

種別	深度 (m)	標高 (m)	震源A (km/s)	震源B (km/s)
S波	0.0 ~ 3.0	775.5 ~ 772.5	0.20	0.27
	3.0 ~ 11.0	772.5 ~ 764.5	0.38	0.38
	11.0 ~ 26.0	764.5 ~ 749.0	0.57	0.57

オフセット距離は、震源A: 2.7m, 震源B: 7.0m

表 - 3 屈折法探査測定結果

深度 (m)	標高 (m)	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
0.0 ~ 2.5	774.87 ~ 772.37	0.57	0.29
2.5 ~	772.37 ~	0.98	0.51

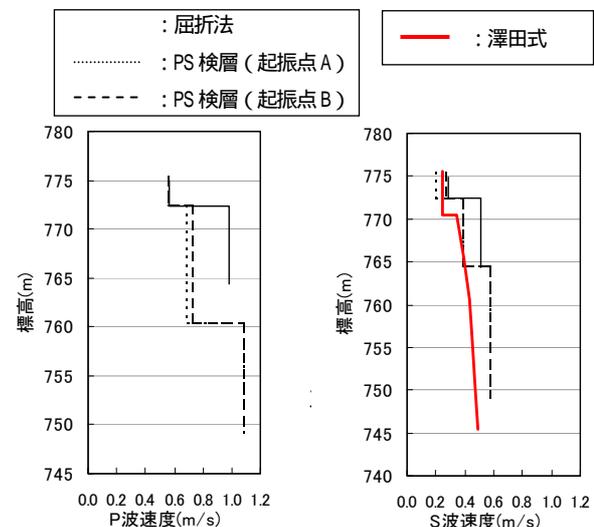


図 - 6 PS 検層および屈折法探査による弾性波速度分布