

地質境界を有するフィルダム基礎岩盤の変形係数のばらつきの違いによる影響検討

独立行政法人土木研究所 正会員 山口嘉一、○新家拓史

1. はじめに

軟岩をフィルダムの基礎とした場合、底設監査廊の設計や、堤体遮水ゾーン部の安全性検討のために、堤体築造による基礎の変形量やひずみを精度良く予測する必要がある。岩盤の変形係数は、同一サイトの同一岩種・岩級の岩盤でさえもばらつきをもって得られるが、現状においては、そのばらつきを統計的に処理したうえで変形係数の設計値を定める決定論的な対応について具体的な方法が確立されていない。

本研究では、地質境界を有し2種類の岩で構成されるフィルダム基礎岩盤について、変形係数のばらつきを表す変動係数が異なる場合における堤体築造による基礎表面の沈下量や伸び方向のひずみの評価に与える影響について検討し、所要の信頼性を確保した基礎岩盤の変形に関する決定論的設計法について考察した。

2. 解析モデルと解析条件

本解析では、基礎岩盤が線形弾性体として挙動するものと仮定し、有限要素法による2次元弾性応力変形解析コードを用いた。解析モデルを図-1に示す。モデルダムは軟岩を基礎とするフィルダムの一般的な値である堤高50m、掘削勾配1:1.5¹⁾とした。ポアソン比は軟岩に対する基礎の変形解析で一般的に用いられている0.3とした。解析モデルは、左右岸対称の谷形状を想定し、解析は平面ひずみ状態で行い、境界条件として、左右端の境界は水平方向の変位を固定し、底面は固定境界とした。また、ダム堤体部はモデル化せず、堤体荷重を基礎岩盤表面に分布荷重として与えた。なお、堤体の単位体積重量は、19.6kN/m³とした。地質境界の位置と角度は、地質境界が河床部中央部に位置し、その角度が左岸側に45°傾斜して直線状に存在するケースを設定した。

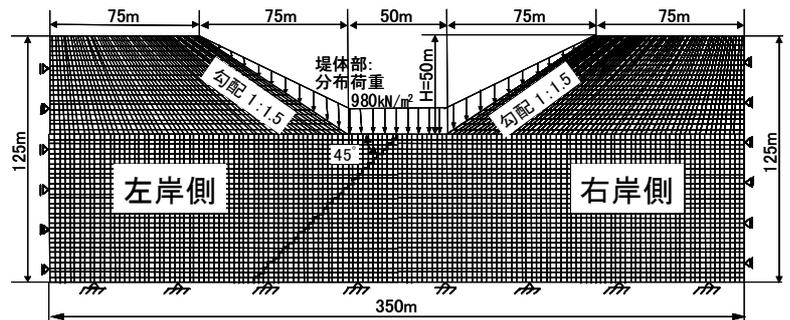


図-1 解析モデル(要素数 6600、節点数 6811)

表-1 解析ケース

	地質境界 角度(°)	分布範囲	左岸側		右岸側	
			平均変形係数 μ (MPa)	変動係数 σ/μ	平均変形係数 μ (MPa)	変動係数 σ/μ
CASE 1	45	$\mu \pm 2\sigma$	500	0.1	100	0.1
CASE 2				0.3		0.3
CASE 3				0.5		0.5

また、ダム堤体部はモデル化せず、堤体荷重を基礎岩盤表面に分布荷重として与えた。なお、堤体の単位体積重量は、19.6kN/m³とした。地質境界の位置と角度は、地質境界が河床部中央部に位置し、その角度が左岸側に45°傾斜して直線状に存在するケースを設定した。

3. 解析方法

本検討では、2つの地質領域の変形係数を確率変数としたモンテカルロシミュレーション法による線形変形解析(確率論的解析)を行った。変形係数のばらつきを表す確率密度関数には正規分布を用い、ばらつきの程度を示す変動係数(= σ/μ : μ は平均値、 σ は標準偏差)を変化させて解析を行った。解析に用いた変動係数の範囲は、岩種・岩級を限定すれば、変動係数は概ね0.3~0.5程度との既往の検討結果^{2),3)}から、表-1の3ケースとした。なお、2種類の地質の変動係数には、各ケースとも同じ値を用いている。また、実施工時には岩盤検査およびグラウチングによる改良によって変形係数はある程度の範囲に収まると考え、分布範囲を $\mu \pm 2\sigma$ に規定した⁴⁾。その結果として得られる基礎岩盤表面の沈下量やひずみと、変形係数として $\mu - \alpha\sigma$ (α は係数)を用いた決定論的解析結果を比較検討し、所要の信頼性を確保した沈下量やひずみ予測を決定論的に実施するための係数 α を算出した。なお、確率論的解析における解析回数は、各ケース100 reals(乱数により発生させた変形係数をモデルの各要素に割り付ける1回の作業を1 realと呼ぶ)とした。

4. 解析結果と考察

図-2、3は、解析結果の一例として、それぞれCASE 2($\sigma/\mu=0.3$)、CASE 3($\sigma/\mu=0.5$)における基礎岩盤表面の沈下量とひずみ分布を示したものである。ここで、沈下量は基礎岩盤表面を形成する節点の沈下量で、ひずみはこれらの隣接節点間の伸び方向のひずみを負として整理している。図中の実線は、変形係数の平均値 μ を与えた決定論的解析の結果である。図より、沈下量のばらつきは、沈下量最大の河床部付近で大きく、ひずみのばらつきは、隅角部付近および河床部のうち変形係数の小さい右岸側で大きい。また、全ケースの解析結果の図は示していないが、沈下量およびひずみのばらつきは、 σ/μ が大きいほど大きく、右岸側でその傾向は顕著である。

キーワード フィルダム, 軟岩, 地質境界, 変形性, ばらつき

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 独立行政法人土木研究所 TEL029-879-6781

次に、変形係数の平均値を用いた決定論的手法の結果として得られた沈下量 δ_μ 、ひずみ ε_μ で、各ケースの沈下量 δ 、ひずみ ε を正規化した δ/δ_μ 、 $\varepsilon/\varepsilon_\mu$ の非超過率を求め、式(1)、(2)により各非超過率に対応する決定論的手法に用いる μ - α の係数 α を算出した。

$$\alpha_\delta = \left(1 - \frac{\delta_\mu}{\delta}\right) \times \frac{\mu}{\sigma} \dots (1)$$

$$\alpha_\varepsilon = \left(1 - \frac{\varepsilon_\mu}{\varepsilon}\right) \times \frac{\mu}{\sigma} \dots (2)$$

ここで、ひずみから α_ε を算出する際、決定論的解析のひずみ

が圧縮ひずみを示す箇所（データは、監査廊の軸方向圧縮側への変形であるため、継目変位としては安全側の挙動であるため、 α_ε の評価から除外した。

図-4 に非超過率 95%における α の比較を示す。図には、全データでの評価結果、地表面の地質境界で区分した左右岸ごとの評価結果、設計上問題となる絶対値の大きい箇所（沈下量については最大箇所、ひずみについては左右岸の最大箇所（隅角部）およびその両測点のデータ）を抽出して評価した結果を示している⁴⁾。沈下量から算出した α_δ は、 σ/μ が大きいほど大きく、0.1~0.4 程度の範囲に分布し、評価データごとの差は小さい。一方、ひずみから算出した α_ε は、評価データごとの差が大きく、特に変形係数の小さい右岸部で算出したものが大きい。 α_ε は 0.7~2.0 程度の範囲に分布し、 α_δ に比べて大きい。また、変動係数による α_ε の違いは、全般に σ/μ が大きいほど大きくなる傾向を示すが、 α_ε が大きい右岸部では $\sigma/\mu = 0.1$ の場合が最も大きく、 σ/μ が大きいほど小さい値を示す。

ここで、右岸部の α_ε は、比較的ひずみの小さい河床部右岸側およびアバット付近（隅角部付近除く）の結果の影響で大きな値を示している。そこで、監査廊スパン長を 6m とした場合の監査廊の 1 継目あたりの開き量に着目し、平均変形係数を用いた決定論的解析による継目開き量が 3mm 以下となる節点を除外して α_ε を評価することで、引張ひずみが小さく設計上大きな問題とならない領域の影響を除外できると判断した⁴⁾。図-5 に継目開き量 3mm 以下の影響を除外した α_ε 分布を示す。図より、 α_ε は $\sigma/\mu = 0.1, 0.3, 0.5$ の場合に、それぞれ 0.6~0.9、0.7~0.9、0.8~1.2 と評価データごとの差が比較的小さく、 σ/μ が大きいケースで α_ε が大きくなる傾向を示した。

以上より、変動係数の異なるケースの検討において、微小なひずみとなる箇所の結果を除外して評価した場合に、変形係数のばらつきの程度に応じた α が得られた。ただし、本研究では非超過率 95% を対象に検討したが、実設計においては、どの程度の非超過率で評価した α を用いるかによって設計の信頼性や経済性に大きな影響を与えるため、今後更なる検討を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：ダムの岩盤掘削，pp.118-122，1992。
- 2) 伊藤 洋，新 孝一：地盤物性値のばらつきの影響評価，電力土木，No. 208，pp.53-63，1987。
- 3) 山口嘉一，赤松利之：確率論的変形解析によるフィルダム基礎設計の基礎的研究，(独)土木研究所資料，第 3869 号，2002。
- 4) 山口嘉一，中村 真，新家拓史：地質境界を有するフィルダム基礎岩盤の変形に関する信頼性設計の基礎的検討，第 34 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.163-168，2005。

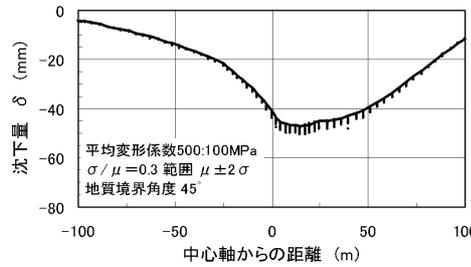


図-2(a) 沈下量分布(CASE 2)

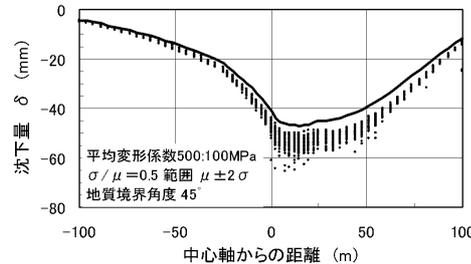


図-3(a) 沈下量分布(CASE 3)

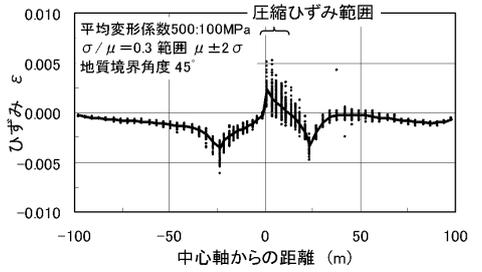


図-2(b) ひずみ分布(CASE 2)

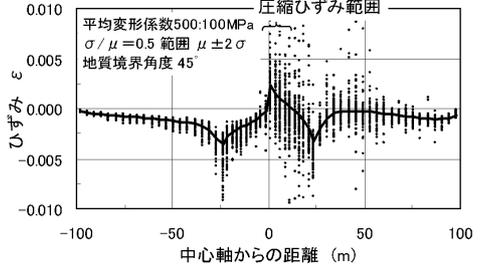


図-3(b) ひずみ分布(CASE 3)

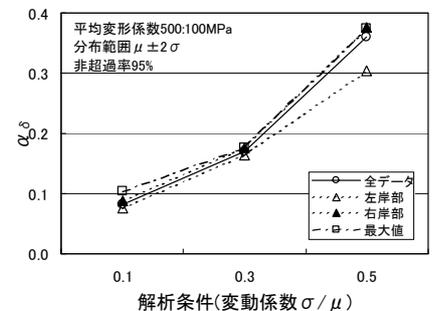


図-4(a) α_δ の比較 (非超過率 95%)

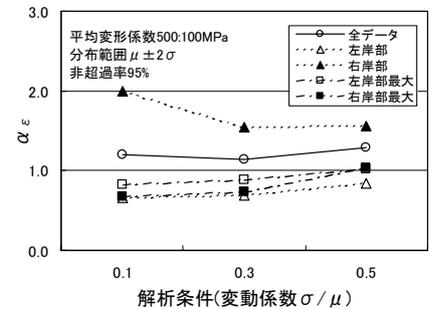


図-4(b) α_ε の比較 (非超過率 95%)

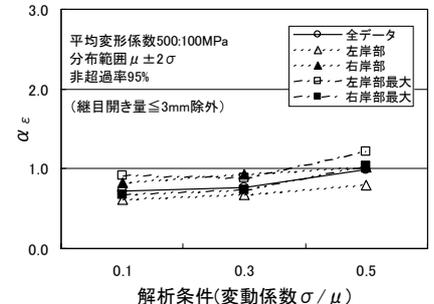


図-5 α_ε の比較 (継目開き量 ≤ 3 mm 除外、非超過率 95%)