

Ⅲ-419

高精度三軸試験結果を用いた貯水位変動時のダムの挙動解析

建設企画コンサルタント（正）野呂 和司

関西電力（正）井土垣 正博

建設企画コンサルタント 鈴木 剛

はじめに：

土構造物に生じる変形が比較的小さく弾性的である場合の変位を予測するには、ひずみレベルに応じた変形係数を用いることが必要とされる。本報告は、弾性的な挙動を示す貯水位変動時のロックフィルダムを対象に、LDTを用いた三軸試験（高精度三軸試験）¹⁾による変形係数を使ってFEM解析を行い、ダムに生じているひずみレベルと剛性の低下率を調べ、変位を予測する方法を検討したものである。

解析方法：

解析の対象としたダムは表-1に示す5つの中央コア型ロックフィルダムである。同表には初湛水から数年経過した後のダム天端の貯水位変動時の実測変位 $\delta_H \cdot v^{*2}$ （太田第二ダムは1年経過後）と、貯水位変動時のひずみ γ （＝水平変位 $\delta_H^{*2}/$ ダム高さH）を示すが、 γ は $1 \sim 2 \times 10^{-4}$ の範囲にある。

表-1 解析対象ダムの諸元および解析ケース

項 目	堤体高さ H (m)	水位変動 ΔH_w^{*1} (m)	水平変位 δ_H^{*2} (cm)	鉛直変位 δ_v^{*3} (cm)	ひずみ γ^{*5} ($\times 10^{-4}$)	解析手法と用いたG。	
						PS検層	三軸試験
下小島ダム	119	47.0	2.80	—	2.4	A法	—
瀬戸ダム	110.5	34.0	1.57	0.66	1.4	A法 ^{*4}	—
黒川ダム	98	25.5	1.62	1.20	1.7	A法 ^{*5}	—
喜撰山ダム	91	26.0	1.57	0.93	1.7	A法	A法、B法 ^{*6}
太田第二ダム	44.5	20.0	0.51	0.33	1.1	—	B法

1: H, W, L. — L, W, L.、2: 実水位変動時の実測変位を ΔH_w^{*1} に相当するように換算した値（水位上昇時に δ_H は下流側への変形が正、 δ_v は上方への変形が正）
3: δ_H/H 、4: コア部は下小島ダムのPS検層結果を代用、5: 喜撰山ダムのPS検層結果を代用
6: ロック、フィルター部は太田ダムロック材の三軸試験結果を代用

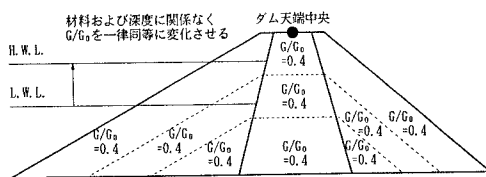


図-1 A法の解析手順

解析はFEMによる線形弾性解析を次の2つの方法で行った。

表-1にそれぞれの解析対象ダムを示す。

A法：貯水位変動時のGの低下率 G/G_0 とせん断ひずみ γ を求めるために、 G/G_0 を堤体材料および深度に関係なく一律同等に1.0～0.2に0.1きざみで変化させ、ダム天端水平変位が実測変位と一致する G/G_0 を求める解析（図-1）。

B法：貯水位変動時のダム天端変位を予測するために、高精度三軸試験から求めた $G_{sec}/G_{max} \sim \gamma$ 関係（図-5）を基に収束計算を行う等価線形解析（図-2）。

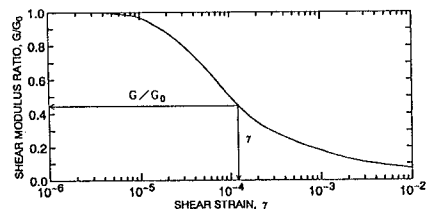
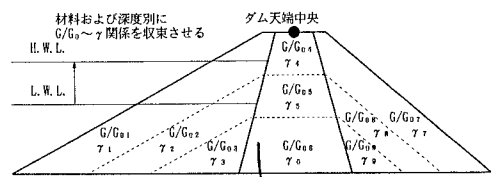


図-2 B法の解析手順

貯水位の上昇に伴い水圧が増加し上流ロック部に浮力が作用するので、これを図-3に示すように水圧増分としてコア前面に表面外力を、浮力として水浸部分の自重の減少分に見合う物体力を上向きに作用させた。上流ロック部を解析モデルに含めたのは、上流ロック部に浮力を作用させるためと、水圧によるコア部の下流側への変形に伴う上流ロック部の土圧の減少による変形のもどりを考慮するためである。

原位置PS検層による $V_s \sim Z$ 関係²⁾がいずれのダムでも3～4層構造に分かれることから、それに合わせて初期せん断剛性率 G_0 をゾーンごとに決定した（図-3）。表-1に示すように、 G_0 は原位置PS検層結果があるダムは V_s より、高精度三軸試験による材料試験結果を実施したダムは E_{max} ¹⁾ [$G_0 = E_{max}/2(1+\nu)$]より決定した。図-3には一例として、下小鳥ダムの G_0 を示した。

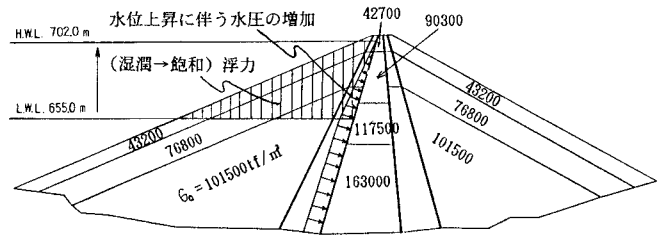


図-3 作用外力と解析モデルの G_0 区分

解析結果：

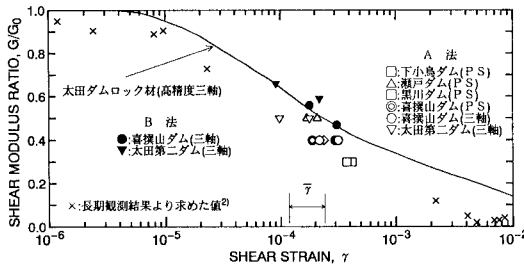
解析結果を表-2および図-4に示す。図-4はA法とB法による G/G_0 と γ をロックとコアの別に平均して、 $G/G_0 \sim \gamma$ 関係にプロットしたものである。図中には建設時から完成後の長期にわたる静的・動的挙動観測等から求めた $G/G_0 \sim \gamma$ 関係²⁾と高精度三軸試験より求めた $G/G_0 \sim \gamma$ 関係も併せて示している。A法では、貯水位変動時の G/G_0 は0.3～0.5、ひずみ γ は $1 \sim 4 \times 10^{-4}$ の範囲にあり、高精度三軸試験の $G/G_0 \sim \gamma$ 関係にはほぼ一致した。B法では、表-2に示すように解析によるダム天端中央の鉛直変位 δ_{vK} は実測変位 δ_v^{*2} の60～80%で計測値に比べてやや小さいものの、水平変位 δ_{HK} は計測値 δ_H^{*2} にはほぼ一致した。これより、貯水位変動時の概略の変形は高精度三軸試験による G_0 の40%の G を用いた解析（A法）で、より詳細な変形は高精度三軸試験による $G/G_0 \sim \gamma$ 関係を用いた等価線形解析（B法）で、予測できると考えている。

表-2 解析結果

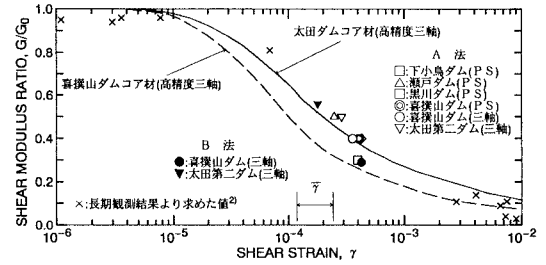
項 目	(A法) 解析手法と用いた G_0	
	PS検層	三軸試験
下小鳥ダム	0.3	—
瀬戸ダム	0.5	—
黒川ダム	0.4	—
喜撰山ダム	0.4	0.4
太田第二ダム	—	0.5

項 目	(B法) 水平変位 δ_{HK} (cm)	鉛直変位 δ_{vK} (cm)
喜撰山ダム	1.59 (1.57)	0.60 (0.93)
太田第二ダム	0.49 (0.51)	0.26 (0.33)

()内は実測変位 δ_H^{*2} 、 δ_v^{*2}



(a) ダムロック部



(b) ダムコア部

おわりに：

図-4 $G/G_0 \sim \gamma$ 関係の比較

以上のことから、次に示すことがわかった。

- ①：貯水位変動に伴ってダム堤体内に発生するひずみは 10^{-4} レベルであること。
- ②：このひずみレベルにおける剛性は初期剛性の0.3～0.5程度であること。
- ③：ひずみレベルを考慮した変形係数を用いることで、貯水位変動時の変位予測が精度よく行えること。

また、計測に基づく $G/G_0 \sim \gamma$ 関係と高精度三軸試験に基づく $G/G_0 \sim \gamma$ 関係がほぼ一致することから、盛立てから地震時に至る一連の挙動を高精度三軸試験から得られた変形特性($G/G_0 \sim \gamma$ 関係)を用いることで統一的に説明できそうである。

参考文献： 1)井土垣正博、鈴木剛、野呂和司(1995)：各種地盤材料の原位置試験と室内試験における変形係数の比較，第30回土質工学研究発表会，金沢。 2)近藤信昭(1990)：長期観測結果に基づくロックフィルダムの挙動に関する研究，東京大学学位論文。