

フィルダムの動的物性値に関する資料解析

——動的解析のための物性値に関する一考察——

三祐コンサルタンツ 正会員 白石幸久 富樫 豊 森 富雄
名 城 大 学 ○ 嶋田靖弘

1. はじめに

フィルダムの耐震設計では、静的震度法や動的解析法によりフィルダム（以下ダム）の地震時挙動を推定し、安全性が検討される。その際、ダムの地震時における材料物性値（単に動的物性値）を如何に現実に促して決定するかが重要な問題である。この種の問題は二つに分けられ、一つは設計段階において動的物性値を実験や適当な実験式により推定する（初期設定）範疇のものであり、他の一つは、竣工後原位置試験や地震動観測等により物性値を逆算し、初期物性が設計どおりであるか否かの検証に関する範疇のものである。初期段階において物性値を決定する場合、物性に及ぼす各種因子の影響を十分把握し、併せて原位置試験等により推定の物性値の信頼度を確認することになる。ここでは、既存の資料を収集し、物性値に及ぼす各種因子の性状を把握し、より簡単に物性値を推定できる方法を考えるとともに、ダムの固有振動性状を物性値との対応についても検討を加える。但し、ここ対象とした物性値の種類は、主に剪断弾性の物性値、剪断弾性係数 G 、 S 波速度 V_s である。

2. 物性値評価方法 2-1. 設計段階 (1) 室内でサンプリング試料を現場状況にあわせるよう拘束圧、歪レベル、歪履歴の因子のもとで実験し、物性値を得る。これには動的三軸試験、動的剪断試験等があり、微小歪域の弾性係数、非線形歪依存性、拘束圧の影響が明らかとなる。(2) 動的試験が行われるケースは静的のそれに比べて少ないので、静的試験結果を動的値に読みかえる（通常換算率は10倍）ことが多い。(3) 動的試験がなされていない場合、あるいは初期弾性係数のみ原位置試験結果に基づく実験式を用いることが多い。(4) 土の物性は土の間隙構造と拘束圧とにより決まる傾向が強いので、拘束圧は別途考慮するとして、土の構造を間隙比 e で代表させ、土質試験を行い、 e を求め、実験式を用いる。2-2. 検証 (1) 原位置において、PS検層によりダムにおける現実の物性値を得られる。検層結果は大体どのダムでも共通となる傾向にあることが知られている（後出）。(2) ダムの固有周期をもとにダム全体の剛性を把握する方法として、常時激動、起振機実験、地震動観測がある。これらの方法ではあくまでもダム全体の平均的な剛性のみが評価される。2-3. 物性値の影響因子 物性値影響因子には、土の土質的な構造（間隙構造）、拘束圧、非線形性が最も重要なものと考えられる（振動数依存性はほとんどなし）。物性値の性状を見るため、これらの因子に対して実験・実測結果がまとめられている（第3章）。2-4. 設計段階における推定 動的試験が行われず静的試験のみの場合には、静的試験結果を動的のそれに換算する方法や、原位置試験・土質試験等による実験式を用いて物性値を求めることが多い。動的試験が施された場合でも微小歪域の値が得られないときは、実験式により初期弾性係数を求め、歪依存性に限り、動的試験結果を物性値評価に適用することもある。

3. 微小歪弾性係数（初期弾性係数） G

初期弾性係数 G に及ぼす因子として拘束圧 と間隙比 e を考える。 3-1. 拘束圧 σ_3 (1) 拘束圧については従来より多くの研究があるが、その中で馬場らによれば $G \propto \sigma_3^{0.69}$ としている。(2) 原位置でのPS検層によれば、図1のように、大体どのダムでも S 波速度 V_s の深さ方向分布は変らない。沢田等は、これらの実測データをもとに深さ Z と V_s の関係式を導いた（表3.1）。沢田の式による V_s 値は V_s 値域の中心部分に位置し、沢田式の合理性を伺い知ることができる。しかし、沢田の式を忠実に図化するすると30cm深のところで V_s 値が滑らかに接続しない。そこで、この点を解消するよ

うに実験式を作り直してみると(図2)、表1下枠の式を得る。この式は $G \propto f^{0.35 \sim 0.4}$ を示す。前項(1)の場合、対象土は無限媒体中の一点として想定されるが、原位置の場合、ダムの三角型クサビ形状が関係して、 f のベキ乗値が低下したと考えるべきことのように思われる。

3-2. 間隙比 e Richart によれば、間隙の状態もまた初期弾性係数 G に関与するととして、角ばった砂の場合 $G \propto (2.97 - e)^2 / (1 + e)$ が提案されている。馬場等は e の項を上式につけて $G = 395 \cdot (2.97 - e)^2 / (1 + e) \cdot f^{0.49}$ としている。この式により某ダムの V_s を算定したところ、図2中荒い点線のような分布が得られる。この値は原位置のPS検層結果より小さ目の値となり、またZ方向にはあまり増大していない。

4. 非線形性 非線形性については歪依存の G 、減衰定数 h が与えられる(略)。

5. 静的物性値から動的への変換 一般には静的値の10倍が動的値と言われている。某ダムでの静的値(図2中細点線)と動的値とを比較すると、周知の事実があらはまるようである(略)。

6. 振動性状 表3.1 枠下の式によりダムの平均S波速度 V_s を求め、クサビ型剪断モデルにより固有振動数 f を算定してみると、堤高 H として

$$f = \sqrt{G} / 2\pi H \times \sqrt{2.4^2 + \pi^2 (H/L)^2} \approx V_s \times 1.2 / \pi H$$

を得る。但し、 L は堤長、求まった f を H に対し図化すると図3を得る。この図に実際のダムの観測値を○印プロットした。観測値は沢田の式により物性を決定したFEM計算値より小さく、また、近似曲線は観測値を十分フォローできないが、FEM解とはあまりかけ離れてはおらず、比較的容易にダムの固有振動数が算定できる。

参考文献

- 1) 馬場義平、渡辺啓行 「大ダム」 1981, No95
- 2) 電力事業協会 「フィルダム工学」 第10章
- 3) Richart 著 岩崎他 訳 「土と基礎の振動」 鹿島出版会、他

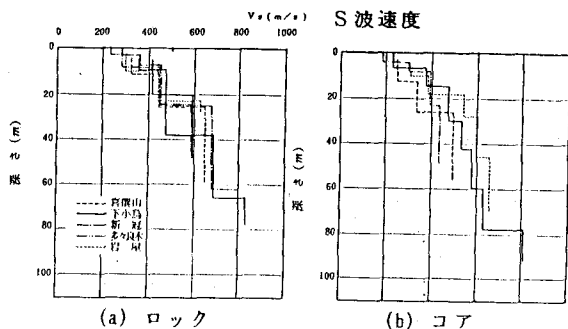


図1 弾性波速度分布 (S検層結果)

表1 弾性波速度モデル (3次元)

ゾーン	ロック		コア	
	Non-Saturated	Saturated	High	Low
深さ(m)				
0~5		$V_s = 245$		
5~30	$V_s = 250Z^{0.38}$	$V_s = 250Z^{0.38}$	$V_s = 210$	
30~	$V_s = 200Z^{0.38}$	$V_s = 200Z^{0.38}$	$V_s = 180Z^{0.38}$	$V_s = 140Z^{0.38}$
ポアソン比	$\nu = 0.375$ $-0.006Z^{0.38}$	$\nu = 0.49$ $-0.001Z^{0.38}$	$\nu = 0.45 - 0.006Z^{0.38}$	

unit: m/sec

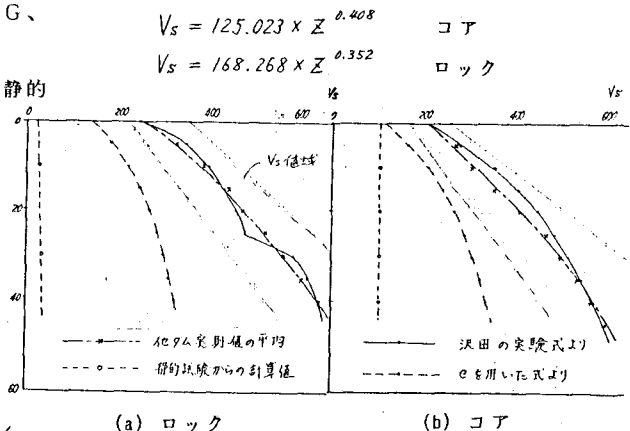


図2 各種方法による弾性波速度分布

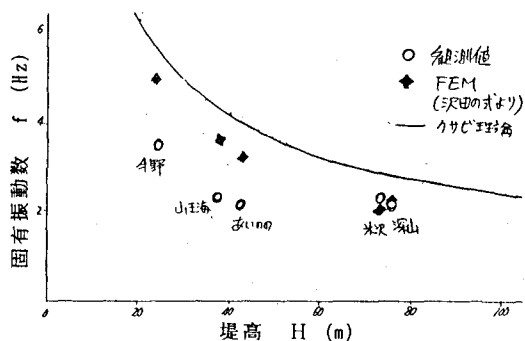


図3 堤高と固有振動数の関係