

東京電力 K K 技術開発研究所 正会員 前田 弘

〃 高比良敏一

〃 江川顕一郎

1. 序

最近の大容量揚水発電所は大型のフィルダムで貯水池をつくるケースが多い。これらのダムは大型、重要構造物であるためその耐震性は十分に保証されたものでなければならない。耐震性の検討項目は多いが、そのうちダム材料の強度は耐震安全率を決定する重要な要素であり、その特性は十分に調査検討されねばならない。地盤および土構造物の地震時破壊には斜面の崩壊等に見られる動的せん断破壊と振動時に向けき水圧が発生し強度が低下して破壊する場合とに分けられる。ここではフィルダムの材料として最近特に大きなフィルダムに盛立てられている河床砂礫材料を選定した。これらは粒度構成から推察すると振動時間向けき水圧が発生して強度低下することはないので動的なせん断破壊についての実験により強度を検討することとした。

2 フィルダムすべり面における地震時応力状態について

フィルダムが地震を受けてすべり破壊を起す過程での、すべり面付近の応力状態は次のように想定される。まずダムは自重他の静的荷重で安定した応力状態にあり、そこに地震荷重が積重して作用する。破壊に至るような大きな応力を発生するのは地震波の主要動部と考え、地震動の特性より破壊応力の作用前に何回かのくり返し応力が作用する。振動応力の周期は、フィルダムの固有振動に近い波が大きく増巾されやすいことを考えると、ダムの固有周期に近いものであると想定される。

一方この間の応力の方向について図-1に示すすべり面上の一要素で考える。この図で地震による水平力が斜面を外側にすべらすように作用する過程を1、斜面の内側に安定方向に作用する過程を2、静的安定状態を0として応力に添字すると σ_1 , σ_2 の関係は次のようになると想定される。

$$\sigma_1 > \sigma_0 > \sigma_2, \quad \sigma_2 > \sigma_0 > \sigma_1$$

地震時には主軸も回転するが、図-1に示す要素ではこれは少ないとして上の応力関係を応力平面上に示すと図-2のとおりである。要素内のすべり面（水平と傾斜）上の応力は図の太実線で示され、上部の地震動の特性に従うと当初応力は r 点で、徐々に $\overline{PQ}$ 上を振動して P 点が破壊線に接するとき破壊すると思われる。

3 動的せん断試験法について

振動荷重による動的せん断強度を求めるための3軸圧縮試験、せん断試験が多く行われているが、応力過程で分類する次の2種に大別される。

- (i) 図-3に示されるよう振動応力の中心を静的に増大して破壊に至らす。
- (ii) 図-4に示すように静的中央応力を設定し、振動応力の振巾を増大して破壊に至らすもの。

また、この平面上での合成振動応力の方向をみると図-3のように静的応力の方向と同じもの、図-4に示すとおりせん断力方向だけで垂直力には無

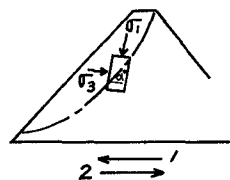


図-1 フィルダムすべり面のモデル化

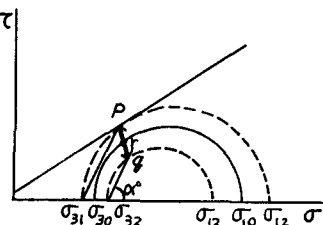


図-2 モデル化した応力状態

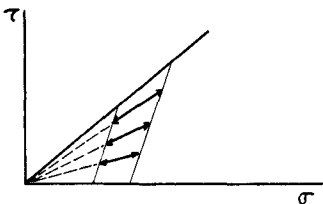


図-3. 振動せん断試験の応力状態(i)

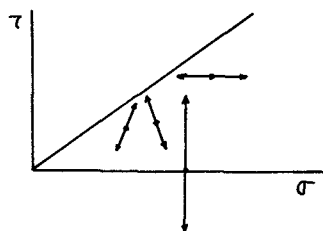


図-4. 振動せん断試験の応力状態(ii)

関係なもの、せん断力と垂直力の位相が一致しているもの、およびしないもの等に分けられる。

4 動的強度に関する試験検討

a. 試験方法：上記のとおりダム内の応力状態は複雑であり、かつ動的強度に関しても種々の試験が行われているので次の3種の試験を実施して動的強度を検討した。(i)軸圧のみを振動する3軸圧密、(ii)軸圧と側圧の位相を 180° ずらして振動する3軸圧密、(iii)斜面の振動すべり試験、ここでは(i)の試験についてのみ報告する。

b. 荷重パターン 地震時応力状態の検討で記した荷重過程を図-5に示した荷重パターンで再現して試験をする。順序は次のとおりである。

- ①拘束圧の増加
- ②拘束圧による圧密(1.0hr)
- ③軸圧の増加
- ④軸圧、拘束圧による圧密(0.5hr)
- ⑤軸圧の振動荷重

c. 試験材料：砂礫状として実際のダムで用いられている図-6に示す粒度分布のものをを用いた。図中実線で示してあるのが全粒径試料で、試験は点線で示す 9.52mm 以下の粒径試料で行なった。

d. 試験条件：供試体は $9.50 \times 125\text{mm}$ で振動せん断時の条件は不飽和、排水である。また、拘束圧は1, 4 kg/cm^2 の2種とし、供試体の向けき比は本材料の供試体作成時にとれる範囲0.55~0.35である。

e. 試験結果：試験は上記の他に粘性土を含む試料、飽和、非排水せん断でも実施されたが、ここでは(i)の試験による砂礫状の排水せん断の動的強度について記す。図-7には本材料の $e = 0.40$ 試料の試験記録の1例を示す。また図-8には同条件の静的試験と動的試験より得られた強度を比較して示す。これより次のことが判明した。

(i)振動軸荷重は徐々に増加して一定値に達しそれ以後は増加しないで減少する。軸方向変位は振動しながら中心線が徐々に増加し、軸荷重のピーク点付近から急激に増加する。この時視察によると供試体にはせん断線があらわれ、明らかに破壊しているのがわかる。また体積は振動荷重の初期の段階から変化の傾向が著しい。振動時強度を歪量で定義するものもあるが、ここでは図-7の振動応力のピークを破壊強度とする。

(ii)図-7の関係を応力-歪曲線で見ると振動応力の包絡線と静的応力-歪関係とは相似形である。また破壊時の軸歪量は静的歪より1~2%大きく、体積変化も向けき比によって差はあるが振動試験の方が大きい。

(iii)破壊時の主応力比と初期向けき比の関係は図-8に示すようになり、向けき比の小さいところでは振動強度の方が大きくなり、向けき比が大きくなるとほぼ一致する。この傾向は(ii)の試験法、他の材料、飽和・非排水の試験でも同様であり、向けき比=0.4でのモール円包絡線の角度は振動試験の方が1~2°大きくなる。

5 謝辞、本研究を進めるに当っては東京大学石原研而助教授、東京電力野口俊郎氏に御指導を賜り、東京電力技術開発研究所、建設部および高瀬川水力発電研究所の諸氏の御協力を得た。ここに感謝する

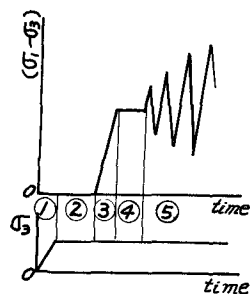


図-5 振動荷重パターン

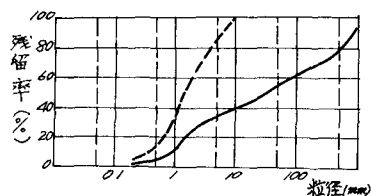


図-6 材料の粒度分布

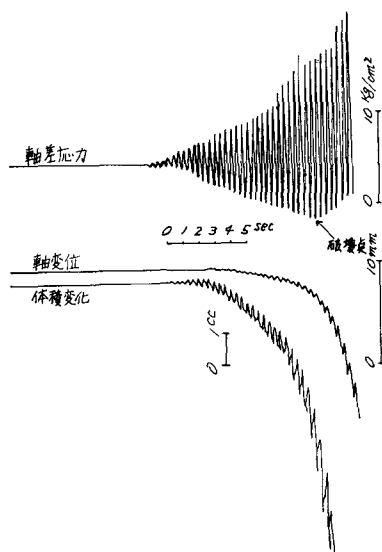


図-7 試験記録の1例

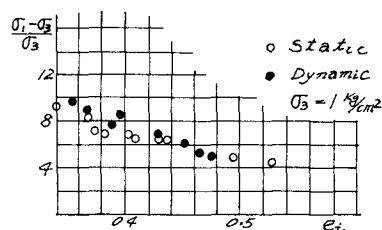


図-8 破壊主応力比～初期向けき比