

Ⅲ - A 185

フィルダムの地震時間隙水圧に関する一考察

建設省土木研究所 正会員 岩下 友也

ニュージエック(前建設省土木研究所) 正会員 ○ 井根 健

建設省土木研究所 正会員 吉田 等

1. はじめに

フィルダムの地震時安定性を解析的に評価する手法としては、築堤・湛水解析による常時の堤体内応力と動的応答解析により算出した地震時の動的応力増分を重ね合わせ、その応力状態を基に想定すべり面でのすべり安全率を検討する手法が多い。この場合、貯水位以下の浸水部において、地震時の発生間隙水圧をどのように評価するかが重要な課題である。渡辺ら¹⁾は、地震時の平均主応力から地震時の間隙水圧を推定し、動的解析より求めた地震時の全応力増分から、それを差し引くことによって地震時の有効応力の増分を求めている。粒状体である土質材料では、偏差応力によっても過剰間隙水圧が発生する。密に締まった砂や礫材料を非排水状態で繰返し応力を作用させると、緩い砂の液化現象とは異なり、間隙水圧比が100%にまでは達しない²⁾。そこで、本研究では、まさ土を主体とした転圧施工によりD値100程度に締固められたアースダムをモデルとして、間隙水圧がダムの地震時すべり安定性に与える影響について検討した。

2. 地震時の間隙水圧

堤体要素に作用する動的応力増分を平均主応力と偏差応力に大別して考える。前者については弾性体として体積変化が、後者についてはダイレーションにより体積変化が生じる。非排水条件下では、それに相当する間隙水圧が発生すると仮定した。

(1) 平均主応力による地震時間隙水圧, $ud1$

渡辺ら¹⁾の方法と同様に、平面ひずみの条件を仮定し、(1)式に示す地震時の間隙水圧 $ud1$ を算出した。

(2) 偏差応力による地震時間隙水圧, $ud2$

$$ud1 = \frac{(1+\nu)(\sigma_1 + \sigma_2)}{3} \quad (1)$$

ダム堤体の不攪乱採取試料を用いて繰返し

$$\sigma_1, \sigma_2, \nu: \text{最大, 最小主応力, ポアソン比}$$

三軸試験を実施した。試験は、側圧を一定に

保ち、軸方向に正弦波形的繰返し荷重を加えた。発生した過剰間隙水圧から上述の平均主応力の変化による間隙水圧 $ud1$ を取り除いた水圧分、つまり偏差応力による過剰間隙水圧比 $(ud2/\sigma'c)_{ct}$ の時刻歴の一例を図-1に示す。 $\sigma'c'$ は初期の有効拘束圧である。また、同図中には載荷繰返し偏差応力 σ_d を併記している。 σ_d が引張り側に最大の時(○)の $(ud2/\sigma'c)_{ct}$ と繰返し偏差応力振幅比 $\sigma_d/\sigma'c'$ の関係を、繰返し載荷回数 N 毎 ($N=5, 10, 20$) に整理した結果とその回帰直線を図-2に示す。 N が多くなるにつれて $(ud2/\sigma'c)_{ct}$ も大きくなるが、両者の関係は、全ての回数でほぼ直線関係にあり、概ね平行な傾きをとっている。これらの関係に加え、横軸の意味合いは違うが図-1に示した $N=5$ の偏差応力がゼロの時(□)、および $1/2$ の時(△)の $(ud2/\sigma'c)_{ct}$ を図-2にプロット(図中の白抜き)した。これらの間隙水圧も、ほぼ同様の傾向を示すことがわかる。この傾向は他の回数においても同様である。

本研究に使用した入力波は兵庫県南部地震時の実測波形であり、衝撃型の波形と考えられるので、(2)式に示す繰返し回数の少ない $N=5$ の回帰式を使用する。

$$(ud2)_{ct} = -1.01\sigma_d/2 + 0.68\sigma'c' \quad (2)$$

(2)式の $\sigma'c'$ に築堤・湛水解析による常時の平均主応力 σ_m' を、 $\sigma_d/2$ に動的解析による地震時最大せん断応力 τ_{dmax} の時刻歴を代入し、かつ地震波のランダム性を考慮して全体を0.65倍した(3)式を、地震時の偏差応力に伴う間隙水圧 $ud2$ とした。

$$ud2 = 0.65(-1.01\tau_{dmax} + 0.68\sigma_m') \quad (3)$$

3. 解析結果

動的応答解析は複素応答法を使用した。また、入力波は兵庫県南部地震において震央から北東51kmに位置す

【キーワード】 間隙水圧, ダム, 動的解析, すべり, 兵庫県南部地震, 安定性

【連絡先】 〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211 FAX 0298-64-0164

る一庫ダムの下部監査廊で記録された波形（最大加速度:183gal）を使用した。ダムのモデルは基礎岩盤部もモデル化した。基盤を除いた堤体の有限要素図と想定した3つのすべり面を図-3に示す。浸水部の浅いすべり円弧だけを対象としているので、せん断強度定数は内部摩擦角を55度、粘着力は無視した。

解析は間隙水圧の考慮の仕方を異にする3ケース行った。各々のケースに対する各すべり円弧の最小安全率を表-1に示す。間隙水圧を考慮しないCASE1は他の2つのCASEより安全率はかなり大きくなっている。ud1とud2を考慮したCASE2は、ud1だけを考慮したCASE3よりも安全率は大きい。解析結果の一例として、CASE2の円弧②に対する主要動付近の(2)安全率、等価瞬間加速度 $Ah.e^{(1)}$ 、(3)せん断応力比、および(4)過剰間隙水圧の時刻歴を図-4に示す。なお、貯水池側にすべりを生じさせうる時、等価瞬間加速度は下流方向となり負で表示してある。図-4(4)より、すべり土塊を滑らそうとした時($Ah.e < 0$)に、ud1は正の水圧となり、ud2はそれをうち消す負圧として働くが、その総和は正の圧力となっている。すなわち、ud2を考慮した場合は、平均主応力による間隙水圧ud1だけを考慮した場合よりもすべり安全率は大きくなる。ここで、(1)式より算出するud1は、初期せん断が作用しているダム法面付近においては、最小主応力方向と成り得るすべり面垂直応力に比べて、大きくなってしま

う。ud2に関しては、図-4(3)に示した τ_{dmax}/σ_m は1以上の時間帯もあるが、図-2で σ_d/σ_c が0.8以下の試験データだけの回帰式で、ud2を算出している。このためud2の負圧を大きめに推定している可能性もある。また、本検討では完全非排水条件を仮定したが、ロックフィルダムに適用する場合には、部分排水条件も考慮する必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、地震時に発生する間隙水圧を平均主応力によるud1と偏差応力によるud2に大別した。ud2については繰返し三軸試験から実験的に算出する方法を提案した。密締めのアースダムの地震時挙動を動的解析し、間隙水圧の考慮の仕方を変えたすべり解析を実施し、間隙水圧がすべり安定性に及ぼす影響を評価した。その結果、強振動時にはud2は負圧となり、ud1だけを考慮した場合よりもすべり安全率は大きくなることがわかった。

【参考文献】(1) 渡辺啓行,馬場恭平:フィルダムの動的解析に基づくすべり安定評価手法の一考察,大ダム(財)日本大ダム会議, No.97, pp.25-37, 1981.
(2) 岩下友也,館野信,吉田等,津國正一:粗粒材料の動的せん断強度とダイレイタンシー特性の関係,第24回地震工学研究発表会講演論文集,土木学会, pp.529-532, 1997.

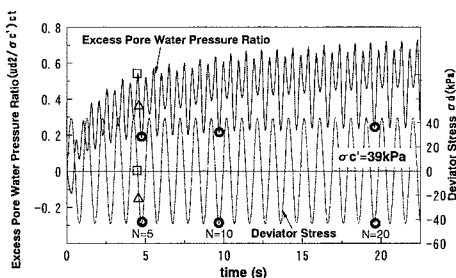


図-1 繰返し三軸試験による偏差応力に伴う過剰間隙水圧比と偏差応力の時刻歴の一例

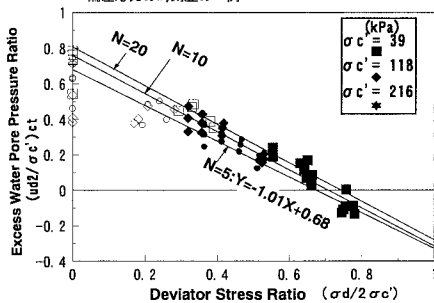


図-2 繰返し三軸試験による偏差応力に伴う過剰間隙水圧比の関係

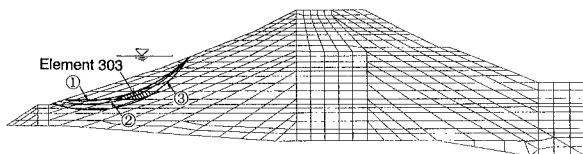


図-3 ダム堤体部の要素図と想定すべり円弧

表-1 すべり円弧の最小安全率

すべり円弧	CASE1 ud1,ud2考慮せず	CASE2 ud1,ud2考慮	CASE3 ud1だけ考慮	円弧深さ(m)
①	2.71	0.58	0.03	2.8
②	2.83	1.10	0.32	3.6
③	3.34	1.74	1.21	4.9

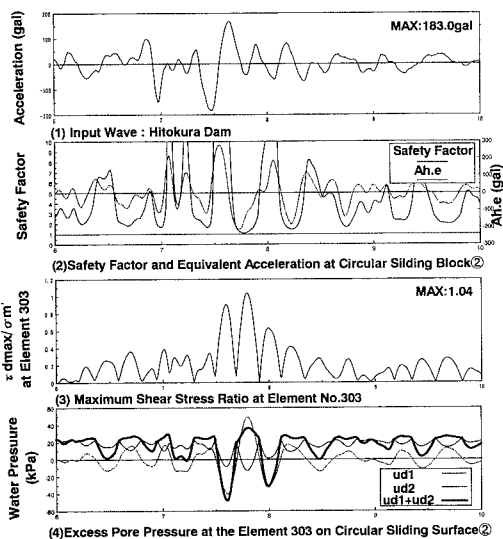


図-4 すべり安全率、等価瞬間加速度、最大せん断応力比、および過剰間隙水圧の時刻歴(CASE2,円弧②)