

兵庫県南部地震で被災したアースダムの有効応力解析

建設省土木研究所 正会員 ○岩下 友也
同 上 山口 嘉一

1. はじめに

1995 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震により、震央より北東に 33km に位置したアースダムでは上流法面にすべりが生じた。このダムは、芦屋断層と甲陽断層からそれぞれ 2km 以内に挟まれたサイトに位置し、1968 年に完成した堤高 24.5m のダムである。設計水平震度 0.15 の震度法で設計され、近代的な転圧施工（D 値 100%程度）により築堤された。

被害は上流面の貯水面から法先にかけての浸水部ですべり崩壊（ダム軸方向長さ約 100m）し、上端では 1.5 m 程の段差が生じた（写真-1）。崩壊部をピット掘削により調査した結果を図-1 に示す。リップラップおよび砂利の下部に含水比が高く緩んだ層が見られ、ピット P-2 と P-4 ではさらにその下部に非常に緩んだ層があった。緩んだ層と健全な領域との境界をすべり面とみなし（図-1 上の点線）、深さ 1.5～2.0m 程度のすべり崩壊域を確認できた。

本論文では、動的有効応力解析により当アースダムの地震時のすべり被害をシミュレートした。

2. 解析方法

築堤解析と湛水解析を行い、堤体内の初期応力を算出した。築堤解析では、堤体部において逐次盛立て解析を行った。湛水解析では、湛水による浮力、浸透力を算定し、築堤解析による応力と合成して動的解析の初期応力状態とした。

動的解析では、有効応力解析 (MuDIAN) を行った。堤体の浸水部は土と水の 2 相系、堤体の非浸水部および下流捨て盛土は土だけの 1 相系とした。構成式モデルは修正 Densification モデルを用いた。このモデルは、塑性せん断ひずみと塑性体積ひずみを独立に考える。塑性せん断ひずみの算出には、塑性体積ひずみが発生しない非関連流れ則による Mohr-Coulomb 降伏関数を用い、塑性体積ひずみ（2 相系部のみ）は、ひずみの累積量とダイレイタンスによる自生体積ひずみの関係を繰返し三軸試験結果から求める。また、変相線の考えを取り入れ、サイクリックモビリティの効果を表すことができる。

3. 解析モデルの設定

ダムで PS 検層・密度検層・常時微動観測等の原位置試験のほか、気泡ボーリングにより六甲花崗岩のまさ土を



写真-1 アースダム堤体のすべり被災状況

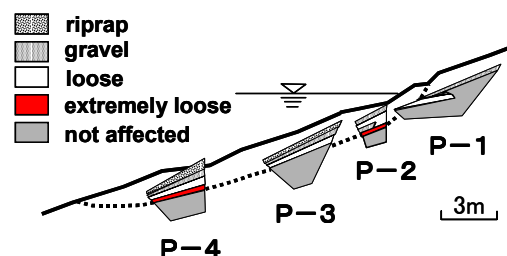


図-1 すべり崩壊部のピット開削断面図

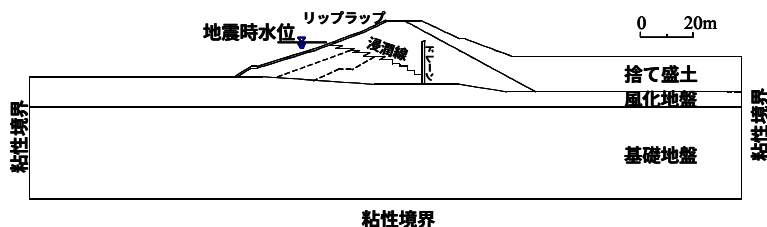


図-2 解析モデル

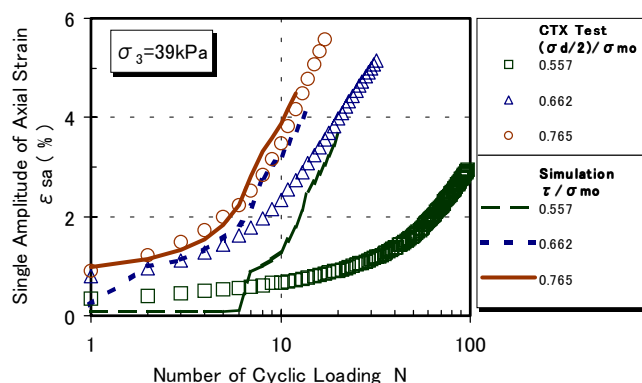


図-3 繰返し三軸試験 (CTX) のシミュレーション
(繰返し载荷回数と軸ひずみの関係)

キーワード：有効応力解析，ダム，地震被害，兵庫県南部地震

〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番，建設省土木研究所フィルダム研究室 TEL 0298-64-2211, FAX 0298-64-0164

主体とした堤体材料の不攪乱試料(φ70mm)を採取し、それを用いた各種室内土質試験を実施した。これらの試験値から、解析物性値を設定した。解析モデルの材料区分を図-2に示す。

動的解析(修正Densificationモデル)でのパラメータは、非排水の繰返し三軸試験(CTX)による要素試験結果をシミュレーションして決定した。三軸試験は、堤体の浅部、中部、深部の3区域での採取した不攪乱試料においてそれぞれの適切な拘束圧で実施し、2相系部ではパラメータを各区域で決定した。三軸試験とその要素解析の代表的ケースにおける繰返し载荷回数と片振幅軸ひずみの関係、および有効応力経路の比較をそれぞれ図-3, 4に示す。

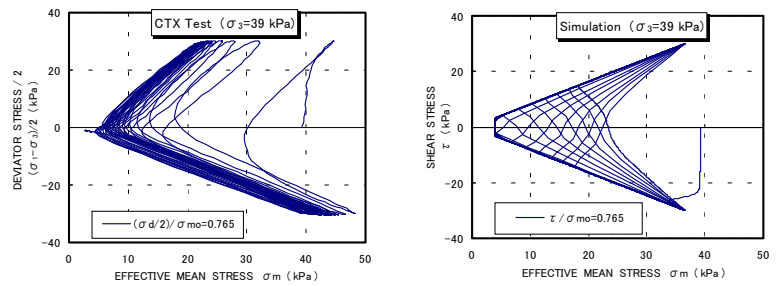


図-4 CTX 試験のシミュレーション(有効応力経路)

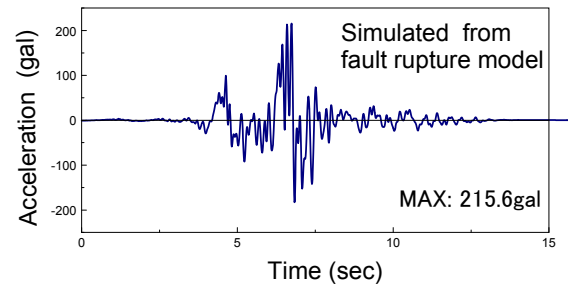


図-5 入力地震動

4. 入力地震動

このダムには、地震計が設置されておらず、また、ダムサイト付近でも地震記録は観測されていない。そこで、ダムサイトの350m地下の地震基盤面($V_p=5\text{km/s}$)における兵庫県南部地震時の地震動を統計的Green関数法により波形合成した(震源モデルは山田ら(1998)にもとづき設定、余震記録もないので要素地震波形はBoore(1983)の方法で作成し、その継続時間は久田式を適用)。さらに、その波形から地盤増幅特性を加味するため、一次元重複反射解析(SHAKE)により解析モデルの基盤面レベルにおける入射地震動を算出した。その水平ダム軸直交方向成分の地震動(最大加速度: 215.6gal, 図-5)を底面粘性境界下部から入力した。

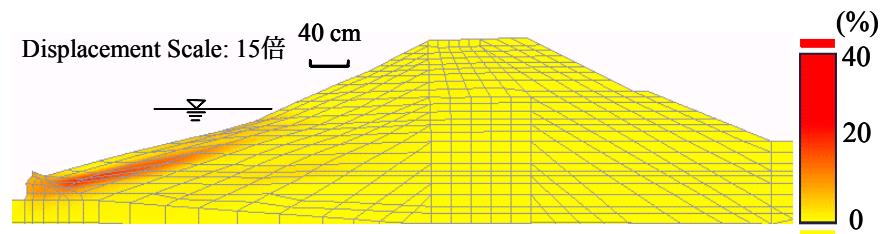


図-6 残留変形図と最大せん断ひずみ分布

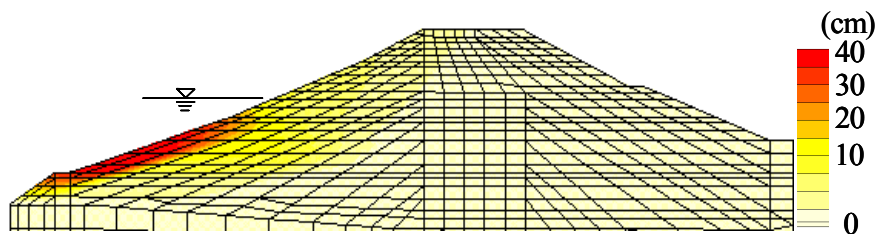


図-7 残留水平変位分布

5. 解析結果

動的解析後の残留変形図(変位量を15倍にして図化)上に最大せん断ひずみの分布を示したものを図-6に、水平方向の残留変位量分布を図-7に示す。残留変形図から浸水部の法面付近でははみ出しが生じ、その最大水平残留変位は37cm程度である。また、最大せん断ひずみも浸水部の法面から2~3mの層に生じている。残留変位が20cm程度以上の領域は開削調査で明らかになった図-1のすべり域とほぼ同域である。これらから、解析結果はすべり域の存在を再現していると考えられる。解析では、堤内の法面から10m深部付近まで、サイクリックモビリティ現象が現れている。

6. まとめ

兵庫県南部地震で被災したアースダムの動的有効応力解析を行い、浸水部の法面付近でのすべりを定性的には、シミュレートすることができた。

参考文献

- Boore, D.M. (1983): Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiation spectra, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 73, pp.1865-1894.
 山田雅行・平井俊之・岩下友也・吉田等・釜江克宏・入倉孝次郎(1998): 兵庫県南部地震の震源モデルの修正, 日本地震学会講演予稿集 1998年度秋季大会, 日本地震学会, B46.