

論文の内容の要旨

Seismic Safety Evaluation of Concrete Arch Dam Based on Shear Failure of Jointed Rock Mass at Abutment

コンクリートアーチダムのアバットメント部における
亀裂性基礎岩盤の地震時せん断破壊安全性評価

ヤズダニ マホムド

大地震に対するダムの安全性評価は、既存のダムの場合でも新規にダムを設計する場合でも地震多発地域にある国々にとって重大な問題である。この問題の重要性は、イランでは Sefidrud ダムの破壊を引き起こした 1990 年の Manjil 地震の後に、日本でも 1995 年の阪神淡路地震の後に深く理解されるようになった。地震安全性評価プロセスの第一段階は大地震の発生によってダム崩壊を引き起こす極限状態の判別である。コンクリートアーチダムでは、大地震に対して考慮されている極限状態は、コンクリートダム本体のせん断や引張によるクラックの形成や伝播と、ダム基礎岩盤に存在していた亀裂に沿ったせん断破壊である。本研究ではコンクリートアーチダムの基礎岩盤のせん断破壊に焦点が置かれている。コンクリートアーチダムのサイト選定では亀裂や断層がより少ない硬岩がある場所を選んでいる。しかしながら、亀裂がまったくない岩盤を見つけるの困難であり、基礎岩盤はしばしば広がりを持った亀裂を含んでいる。日本のようなたくさんの亀裂が形成されている岩盤が多い場所で、基礎

岩盤は一組もしくは二組の亀裂群を含んだ岩盤として扱われる。

大地震が発生している間、アーチダムのアバットメント部の亀裂性岩盤はダム本体からの直応力とモーメントの増加を受ける。既存亀裂のせん断破壊はもっとも危険な場所から進行し、ダム本体からの力の増加によって拡大する。亀裂の破壊は応力状態だけでなく亀裂の配置や強度にも依存する。亀裂の破壊の進行は別々の方向をもった亀裂群が関連して起こる。亀裂のせん断すべりは違った方向性をもっているが関連している亀裂群の開口を引き起こす。そのような複雑な挙動はコンクリートアーチダムの安全性を支配していると考えられる。ダムは、亀裂の破壊が岩盤を貫通して表面に到達する前でも進行が止まらないならば崩壊する。コンクリートアーチダムの安全性を評価するためにはこのような複雑な挙動を再現できる数値解析手法が必要である。

本研究では、地震動の動的負荷がかかっているときのこのような破壊挙動を分析するために数値解析手法を使う。この手法では、ダムと亀裂を含まない基礎岩盤モデルの三次元動的解析の結果は、アバットメント部危険領域の水平方向2次元断面の局所解析に使われる。この二次元解析は亀裂モデルを含む。この方法ではもちろん、三次元解析の基礎岩盤亀裂の非線形効果は無視される。局所解析のために、亀裂のモデル要素を含む詳細メッシュが作成される。そして3次元動的解析から抽出された時刻歴節点力が入力される。ダムと基礎岩盤の境界の節点数は二次元詳細モデルと三次元モデルとでは一致しない場合がある。そこで3次元モデルの節点の間にある二次元詳細モデルの節点には、補間により求められた値を使う。

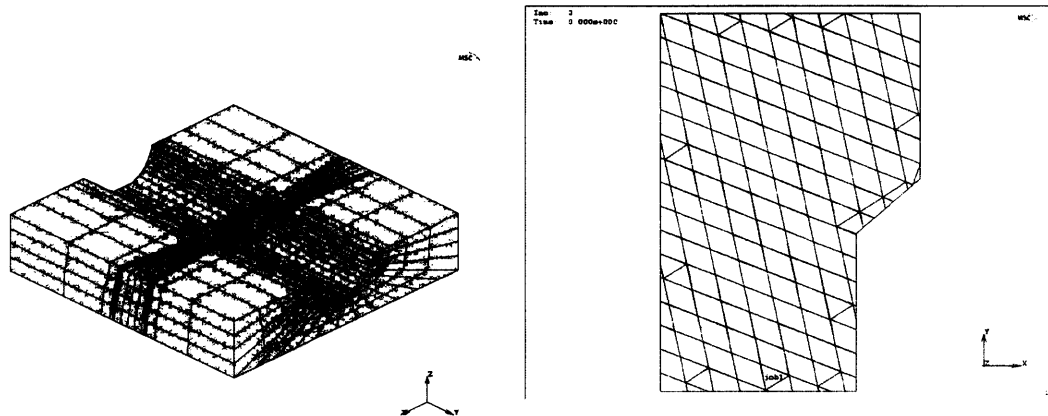


Fig.1-a.ダムと基礎岩盤の三次元モデル ; Fig.1-b.アバットメント部左側の危険高度にある水平方向断面局所領域の二次元詳細モデル

Fig.1-a と Fig.1-b は各々ダムと基礎岩盤の 3 次元モデルとアバットメント部左側の危険高度における 2 次元詳細モデルを示す。これらがこの論文で使われる。2 次元詳細モデルにおける亀裂モデル要素では、せん断構成側は完全弾塑性体と仮定しインターフェイス要素として扱う。この要素を平行でない二つの方向を一組として格子状に並べる。違う方向では大きさを変えられる。塑性領域において亀裂のせん断応力と直応力の関係は **Mohr-Coulomb** の基準に従うと仮定する。インターフェイス要素は非線形性が強いので、収束を得るために非常に小さな負荷増分で 2 次元モデルの増分分析を行う必要がある。この難しい収束問題を解決するために、地震荷重の各増分における時間間隔を 1.0^{-4} 秒にし、修正 **Newton-Raphson** 法という繰り返し計算法を使った。地震動による二方向群の亀裂の開口と滑り量は時間の関数として得られる。Fig.2 は地震荷重時のある時刻における 2 次元詳細モデルの変形図を表す。

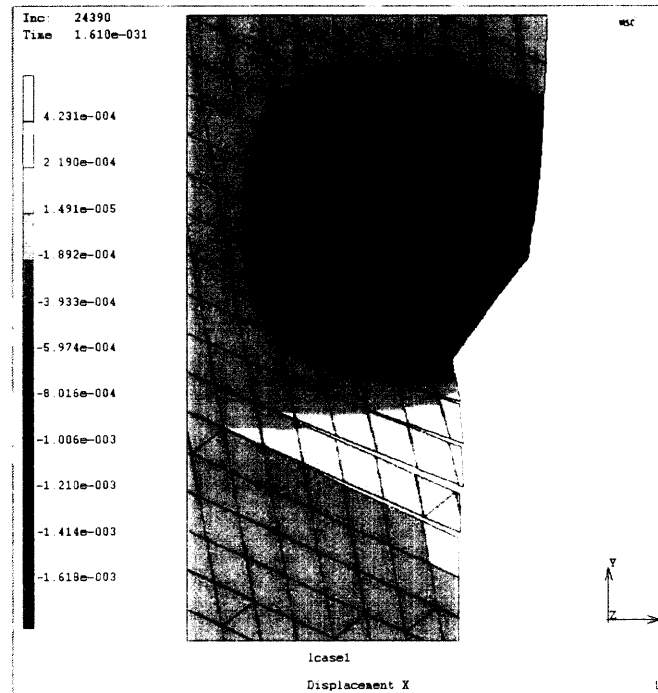


Fig.2 地震荷重時のある時刻における 2次元詳細モデルの X方向変位等高線図

アバットメント部のせん断破壊に対するコンクリートアーチダム安全性を評価するためにそれぞれの方向群の滑り量を基に二つの破壊指標を導入する。

1つ目の指標は2次元領域のすべての点における各亀裂群の平均滑り量である

2つ目の指標はある限界滑り量を超えた領域面積の破壊面積比である。

Fig.3 は PGA 876 gal の地震荷重下における $\theta = -25^\circ$ 方向で $C = 0.5$ MPa、 $\phi = 50^\circ$ とした亀裂群の破壊指標の時間変化を表す。ここで限界滑り量は $1.0 \cdot 10^{-12}$ とした。

最大地動加速度の値をいくつか変えてアバットメント部の2次元詳細モデルを動的解析することで地震マグニチュードもしくは最大地動加速度に対する最大破壊指標の時間変化が得られる。この結果を使うことで特定のマグニチュードに対するコンクリートアーチダムの地震安全性評価ができる。Fig.4 は $\theta = -25^\circ$ の亀裂群における最大地動加速度に対する最大破壊指標の変化を表す。

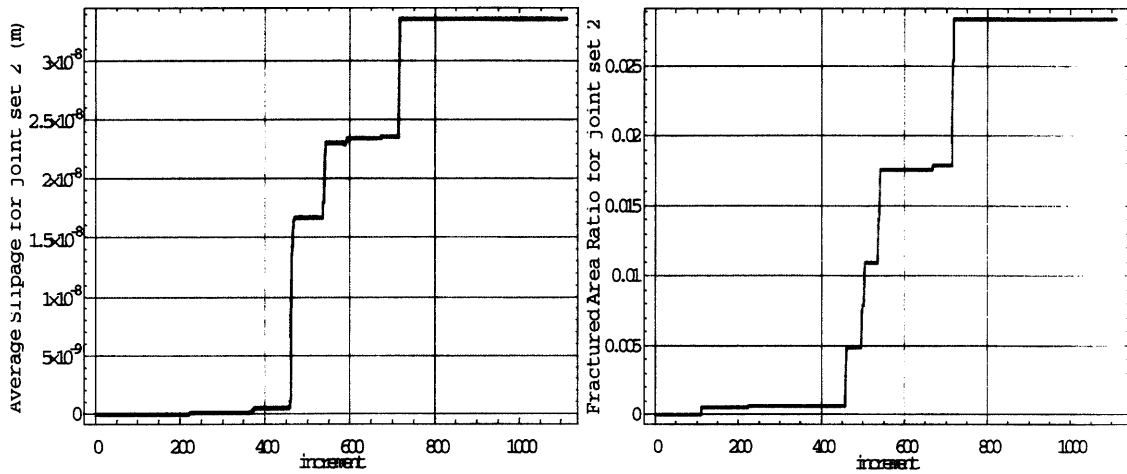
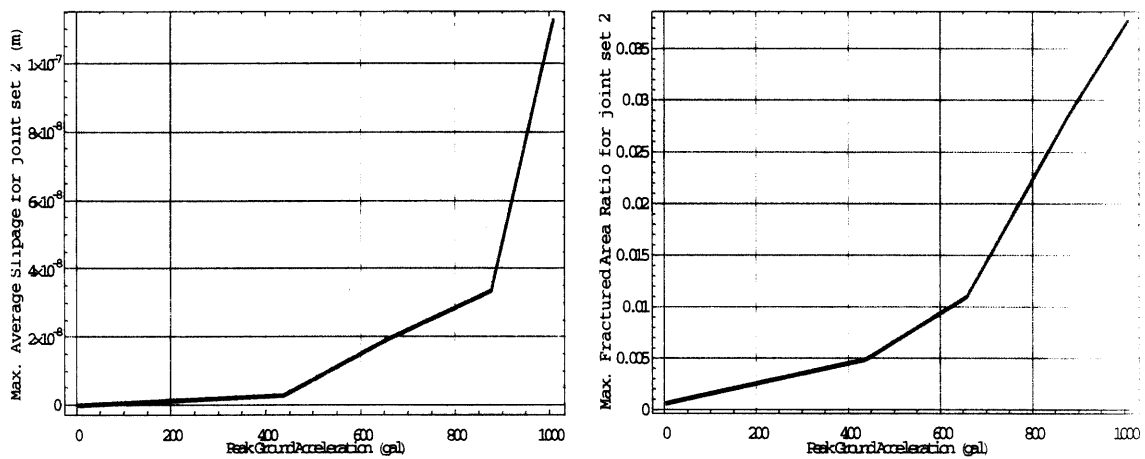


Fig.3 $\theta = -25^\circ$ の亀裂群破壊指標時間変化、PGA=876gal

加えて、亀裂群の配置や物性を変えることで破壊指標がどう変化するか示すことができる。この結果を比較することで、エンジニアはダムサイトを選定する



際により信頼できる条件を持ったサイトを選ぶことができるようになる。

Fig.4 $\theta = -25^\circ$ の亀裂群における最大地動加速度に対する最大破壊指標の変化