

断層とダムの連成挙動を評価するための三次元解析法

弘前大学 フェロー会員 有賀 義明
電源開発(株) 正会員 柏柳 正之

1. まえがき

1906San Francisco地震(M8.3)では、San Andreas断層沿いに建設されていた複数の既設ダムが断層変位によって被害を受けた¹⁾。1999台湾集集地震(M7.6)では、石岡ダムが断層変位によって決壊し²⁾、地表の断層変位による地震被害の重要性が改めて認識された。本研究では、断層変位に対する長大構造物の安全性評価法の確立を目的に、接触面要素を活用した三次元モデルの境界条件や地震作用の入力方法を工夫することによって、地表の地震断層に対する構造物の非連続的な挙動を評価するための三次元解析法について検討した。

2. 断層とダムの連成系の解析法

2.1 提案法の基本的考え方

ダム底面の直下に断層が分布すると仮定して、断層を挟んで、断層の片側半分の下方基盤から基盤加速度を入力し、残りの片側半分が自由に挙動できるような境界条件を設定して、断層変位に対する構造物の挙動を模擬する三次元解析法を考案した。提案法は三次元的解析法³⁾を基本にしており、断層は接触面要素を用いてモデル化している。

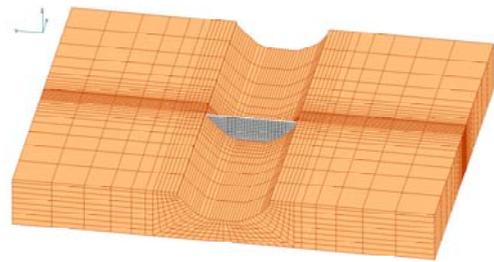
2.2 三次元解析モデル

ダム直下に断層が分布していることを想定して作成した、ダム-基礎岩盤-断層連成系の三次元解析モデルを図-1に示す。ダム直下の断層、ダム堤体内のコントラクション・ジョイントおよびダム底面に沿うペリフェラル・ジョイントの分布は、図-2のように設定し、これらは接触面要素³⁾を用いてモデル化した。大規模な断層変位に対する挙動を評価するために基礎岩盤の側方境界は鉛直面内ローラー支持又は自由端を設定した。そのため、図-1では、境界条件の影響を緩和するために、ダム軸方向1335m、上下流方向1094.4m、鉛直方向162mの範囲をモデル化した。接触面要素の構成と力学的特性は、それぞれ図-3と図-4に示すとおりである。

2.3 境界条件と基盤加速度の入力法

断層変位を模擬するための工夫として、図-5に示したように、断層を挟んで解析モデルの右側半分の下方境界は自由境界とし、解析モデルの左側半分の下方基盤のみから加速度を入力する方法を考えた。

加速度入力については、断層面で大きな変位が発生するようにするためには、大きな加速度を一方向に作用させることがひとつの方法として考えられたことから、ここでは図-6に示したような曲線で表現できる基盤加速度波を仮定した。



基礎岩盤の幅1335.0m、奥行き1094.4m、高さ162.0m

図-1 三次元解析モデル(全体モデル)

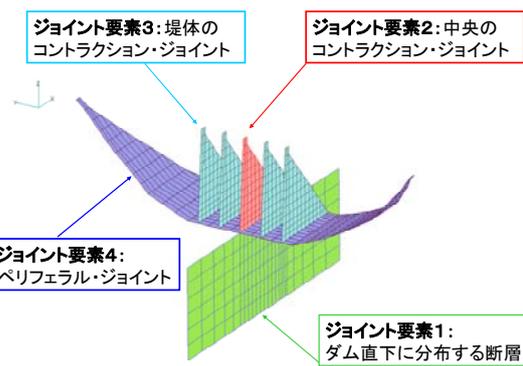


図-2 ダム直下の断層と堤体ジョイントの分布の仮定

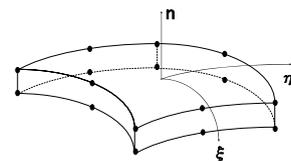


図-3 接触面要素の構成

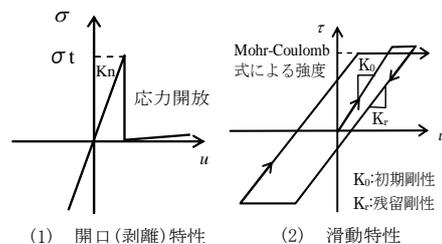


図-4 接触面要素の力学的特性

キーワード：断層変位，ダム，三次元解析，非連続的挙動，地震断層，安全性評価

連絡先：〒036-8561 弘前市文京町3，弘前大学大学院理工学研究科地球環境学専攻 Tel・Fax 0172-39-3608

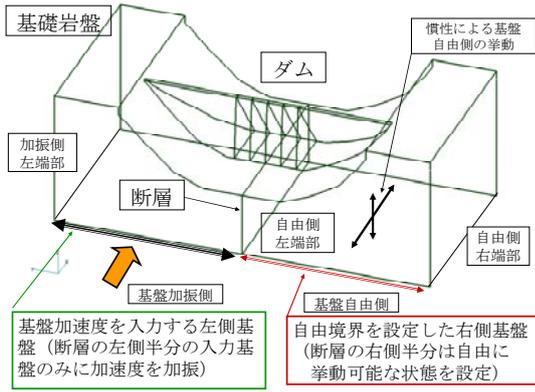


図-5 境界条件と基礎加速度の入力法

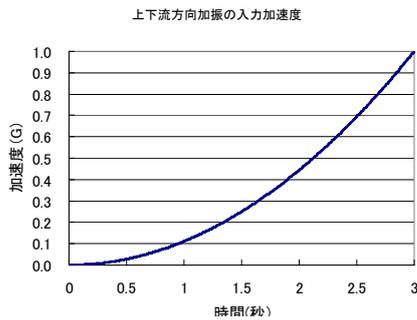


図-6 仮定した基礎加速度波

2.4 解析用物性値

解析に用いた、ダムと基礎岩盤の動的物性値を表-1に、断層、コントラクション・ジョイントおよびペリフェラル・ジョイントの動的物性値を表-2に示す。

表-1 ダムおよび基礎岩盤の動的物性値

項目	ダム	基礎岩盤
密度 (t/m ³)	2.4	2.6
動的せん断剛性(N/mm ²)	11000	9300
動ポアソン比	0.20	0.30
減衰定数 (%)	5	5
せん断波速度 (m/s)	2140	2060

表-2 断層およびジョイントの動的物性値

ジョイントの種類	Kn N/mm ²	Ko N/mm ²	C N/mm ²	φ 度	Kr	C'	φ' 度	Hj %	σt N/mm ²
1 断層	243000	93000	0	45	1.0	0	45	5	0.01
2 ダム中央	264000	110000	0	45	1.0	0	45	5	0.01
3 ダム堤体	264000	110000	0	45	1.0	0	45	5	0.01
4 ダム底面	243000	93000	4.5	45	1.0	0	45	5	3.00

【備考】 Kn：ジョイント面の法線方向の剛性(N/mm²)，Ko：ジョイント面の接線方向のせん断剛性(N/mm²)，C：ジョイントのせん断強度(N/mm²)，φ：ジョイントの摩擦角(度)，Kr：開口・滑動した後のせん断剛性(N/mm²)，C'：開口・滑動した後の残留せん断強度(N/mm²)，φ'：開口・滑動した後の残留摩擦角(度)，hj：ジョイント要素の減衰定数，σt：ジョイント要素の初期引張強度(N/mm²)

2.5 解析結果

解析結果の一例として、加速度入力に加振方向を水平上下流方向、基礎岩盤の側方境界を基礎自由側の左端部の境界面を鉛直面内ローラー支持に設定した際の結果を図-7に示す。図-8に示したようにダム中央のジョイント面での最大相対変位は約0.18mとなった。

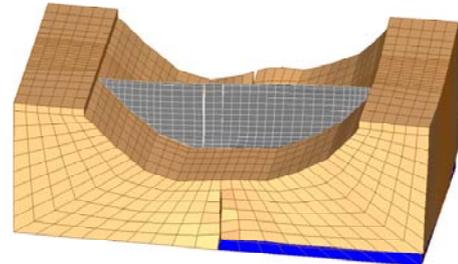
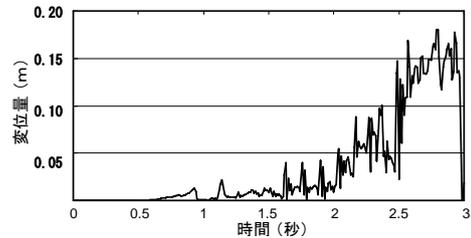


図-7 ダム中央下部の相対変位時刻歴



(ジョイント面の上下流方向の相対変位)

図-8 ダム中央下部の相対変位時刻歴

3. あとがき

提案法の適用可能性を検討するために、コンクリートダムを対象に事例解析を行った結果、提案法を用いることにより、断層とダムの非連続的な連成挙動を模擬することが可能であることが分かった。基礎加速度を水平上下流方向に入力した場合は水平方向の変位が卓越する横ずれ断層を想定した解析、鉛直方向に入力した場合は鉛直方向の変位が卓越する正断層や逆断層を想定した解析に適していると考察される。

参考文献

- 1) Leps T. M. : The influence of possible fault offsets on dam design, Water power & dam construction, pp.36-43, April, 1989
- 2) Lee J. C., H.T. Chu, J. Angelier, Y. C. Chan, J. C. Hu, C. Y. Lu and R. J. Rau : Geometry and structure of northern surface ruptures of the 1999 Mw=7.6 Chi-Chi Taiwan earthquake: influence from inherited fold belt structures, Journal of Structural Geology 24, pp.173-192, 2002
- 3) 有賀義明, 曹増延, 渡邊啓行: 強震時のジョイントの非連続的挙動を考慮したアーチダムの三次元動的解析に関する研究, 土木学会論文集 No. 759/I-67, pp. 53-67, 2004
- 4) 有賀義明: 断層変位に対するコンクリートダムの挙動の解析法に関する基礎的研究, 土木学会地震工学論文集論文集 Vol. 29, 11-8, pp. 690-697, 2007