

荒砥沢ダムのシミュレーション解析への非線形構成式の適用

竹中土木 正会員 ○津國 正一
 ダム技術センター フェロー会員 松本 徳久
 ダム技術センター 正会員 安田 成夫
 竹中土木 正会員 荻野 寿一

1. はじめに

フィルダムの耐震解析手法を検討するために、宮城県の荒砥沢ダムを対象としたシミュレーション解析を実施した。荒砥沢ダムでは2008年の岩手・宮城内陸地震での地震波観測記録が、堤体天端・中央・監査廊の3点である(図-1)。解析コード MuDIAN¹⁾を用いてシミュレーション解析を実施した。シミュレーションは3次元の解析モデルを用いて行った。非線形解析では降伏面に Mohr-Coulomb モデルを用い、降伏面内の塑性せん断歪の計算手法が異なる3種類の構成式を用いた。

2. シミュレーション解析で用いた非線形構成式

解析では降伏面に Mohr-Coulomb モデルを用いた弾塑性モデル(PL モデルと呼ぶ)・下負荷面モデル(SL モデルと呼ぶ)とマルチハードニングモデル(MH モデルと呼ぶ)の3種類の非線形構成式を用いた。それぞれの構成式では降伏面内で発生する塑性せん断歪の計算手法が異なっている。PL モデルでは Mohr-Coulomb 面で定義した降伏面内で塑性せん断歪の発生はなく弾性挙動を示す。SL モデルでは、現在の応力点を通して降伏面と相似な下負荷面を定義することによって、降伏面内での塑性せん断歪の発生をモデル化している²⁾。MH モデルは、降伏面内に双曲線で定義したせん断応力とせん断歪の関係を用いることによって、塑性せん断歪の発生をモデル化している³⁾。

3. シミュレーション解析条件

荒砥沢ダムの3次元解析モデルを図-2に示す。基礎岩盤と堤体を合わせた全体モデルと、堤体中央断面をそれぞれ示している。要素分割には6面体のソリッドで要素を用いている。基礎岩盤のせん断波速度 V_s は、CM 級岩盤の

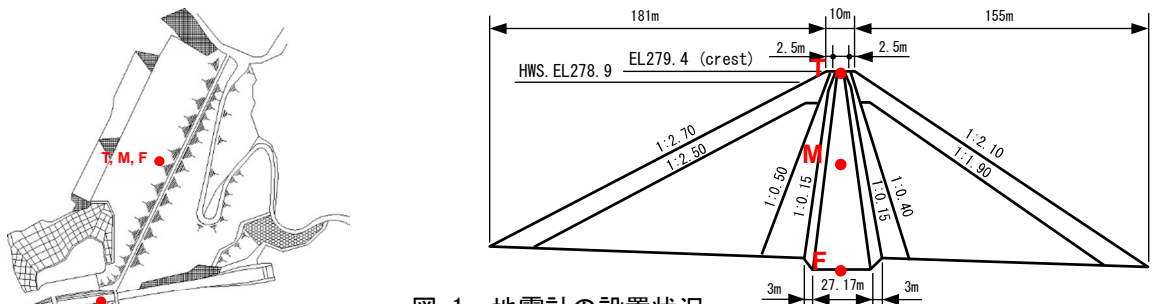


図-1 地震計の設置状況

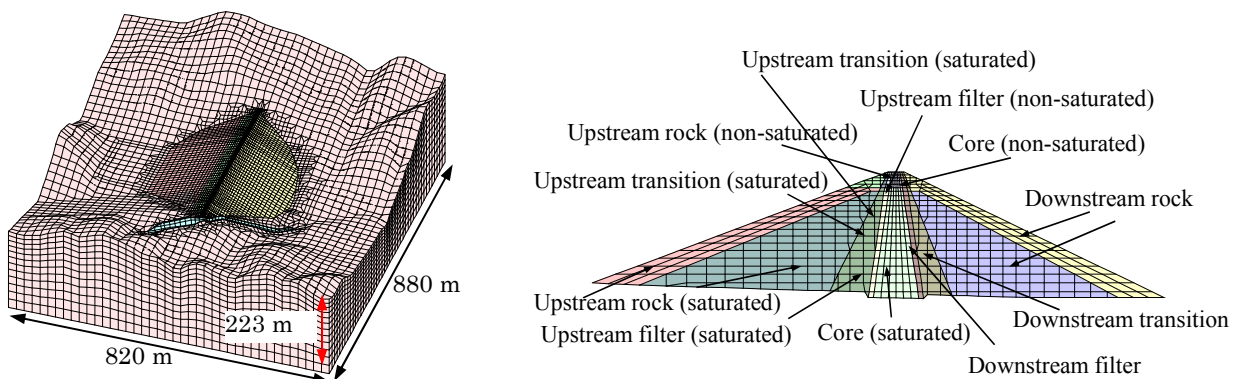


図-2 3次元解析モデル(左:全体、右:堤体中央部断面、要素数 79,043、節点数 82,219)

キーワード: 非線形構成式, ロックフィルダム, 地震応答解析

連絡先: 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 株式会社竹中土木 Tel:03-6810-6307

一般値 $V_s=1440$ (m/s) を採用した。地震応答解析時の境界条件は、底面が粘性境界。側面は側面の横に設けた自由地盤と等変位境界として、自由地盤と同一の挙動を示すようにしている。

シミュレーション解析で用いる地震波の作成には、図-2 に示す 3 次元モデルを用いた。単位の大きさの地震波を解析モデル底面に入力し、監査廊位置での伝達関数を求める。次に求めた伝達関数と監査廊での観測波を用いて、解析モデル底面に入力する地震波を作成した。

4. シミュレーション解析と考察

表-1 に示すのは 3 種類の構成式で共通なパラメータである単位体積重量・内部摩擦角と粘着力の堤体各材料での値である。初期せん断剛性とポアソン比も 3 種類の構成式で共通で、沢田式で設定した値を用いている。

PL モデルで求めた堤体天端での水平加速度時刻歴の観測結果と解析結果を比較しているのが図-3 である。全体的に観測結果に比べて解析で得られた応答加速度の方が大きくなっている。PL モデルでは Mohr-Coulomb の降伏面に到達するまでは、初期せん断剛性を用いているため、弾性挙動に近い応答となるため応答加速度の値が大きくなっていると考えられる。図-4 は同様に SL モデルで得られた水平応答加速度時刻歴と観測結果を比較している。SL モデルでは応力が Mohr-Coulomb の降伏面に到達する前でも、塑性せん断歪の発生をモデル化することができ、加振中に堤体のせん断剛性が低下する現象を表すことができる。そのため応答加速度の大きさは PL モデルに比べて全体的に小さくなっており、観測結果に近づいている。図-5 では MH モデルで得られた応答加速度時刻歴と観測結果を比較している。加速度の大きさと位相ともに解析結果は観測結果を良く再現できた。

5. まとめ

- ① PL モデルでは観測加速度記録の再現性が悪く、観測結果に比べて大きな応答加速度を示している。
- ② SL モデルでの観測加速度記録の再現性は PL モデルに比べて良かった。しかし再現性が最も良かったのは MH モデルである。MH モデルでは堤体材料の動的特性を入力パラメータとして使用できるので、動的特性のモデル化が 3 種類の構成式の中で最も優れているため、観測記録の再現性が最も高かった。

参考文献：1) 塩見忠彦，吉澤陸博，鬼丸貞友，津國正一(1998)：地盤と構造物の非線形挙動を考慮した構造解析システムの開発，竹中技術研究報告，No.54，pp.1-8. 2) 津國正一，塩見忠彦 (2001)：土木学会第 56 回年次学術講演会，Ⅲ部門，pp.172-173. 3) 吉田洋之，時松孝次，土方勝一郎，杉山達也，塩見忠彦(2008)：サイクリックモビリティを考慮した実用的な土の有効応力-ひずみモデル，日本建築学会構造系論文集，Vol.73，No.630，pp.1257-1264。

表-1 非線形解析で設定した解析パラメータ

	Material	Unit weight (t/m^3)	Internal friction angle (degree)	Cohesion (kPa)
1	Bedrock	2.6	-	-
2	Core (saturated)	2.1	33.2	49
3	Core (non-saturated)	2.05	33.2	49
4	Filter of upstream (saturated)	2.43	42.2	78
5	Filter of upstream (non-saturated)	2.34	42.2	78
6	Filter of downstream	2.34	42.2	78
7	Transition of upstream (saturated)	2.33	39.9	39
8	Transition of upstream (non-saturated)	2.24	39.9	39
9	Transition of downstream	2.24	39.9	39
10	Inner rock of upstream (saturated)	2.29	42.7	49
11	Outer rock of upstream (saturated)	2.32	43.4	49
12	Outer rock of upstream (non-saturated)	2.15	43.4	49
13	Inner rock of downstream	2.18	40.2	49
14	Outer rock of upstream	2.13	42.7	49
15	Spillway	2.4	-	-

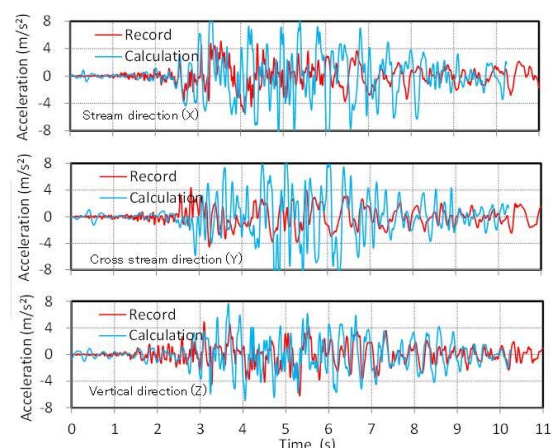


図-3 水平加速度時刻歴 (PL モデル)

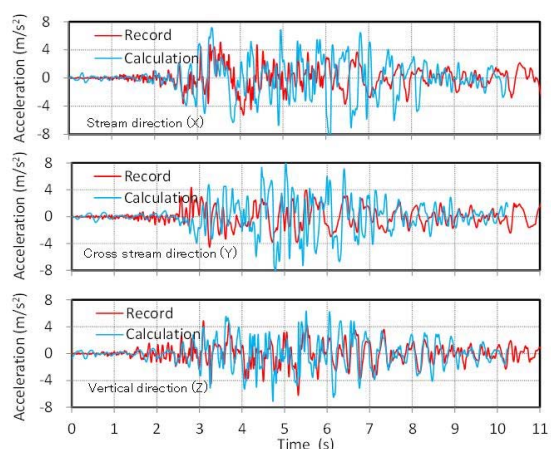


図-4 水平加速度時刻歴 (SL モデル)

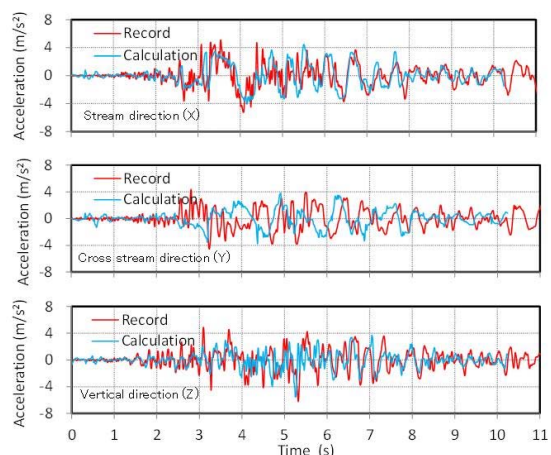


図-5 水平加速度時刻歴 (MH モデル)