

## 1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、砂防施設以外の土木構造物が大きな被害を受けたことに鑑み、「砂防設備の耐震設計に関する検討委員会」を設置して砂防施設の耐震性評価について検討がなされた。その結果、砂防設備に関する地震動の観測体制の強化、充実を図る事が課題とされ、砂防施設に地震計が設置、観測が開始され、データの蓄積が図られている<sup>1)</sup>。これは、砂防えん堤の耐震性を評価するための重要なデータである。

砂防えん堤の耐震性を評価するには堤体の地震応答特性を把握する必要がある。堤体の地震応答特性は前述の観測記録を活用して、実地震に対する応答シミュレーション解析を行うことが有効であるが、その解析の信頼度を高めるためには、物性値を適切に設定することが非常に重要である。

ここで、堤体の地震応答特性は振動の大きさに影響を受ける可能性があるため、出来るだけ大きい地震動の観測記録を用いて解析を行うことが望ましい。しかし、そのような地震動観測記録を取得するためには長い年月を要するため、実用的ではない。一方、加速度が小さい地震の観測記録は相対的に取得する機会が多い。そこで、本研究では小地震の観測記録を活用して、砂防えん堤の地震応答特性を評価するために必要な物性値の設定手法を提案した。そして、規模の大きい別の地震に対して、その妥当性の評価を行った。

表-1 解析対象砂防えん堤

堤高	14m
堤長	144m
天端幅	2.5m
堆砂高	4m
基礎地盤	岩盤(CL級)

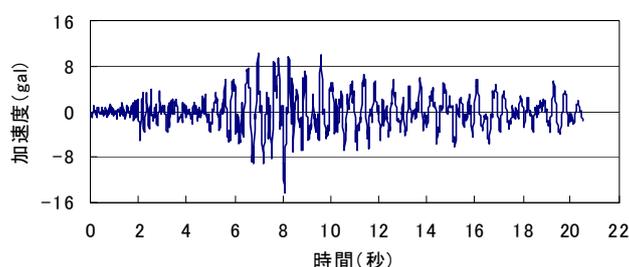


図-1 水平方向の加速度波形（地震A）

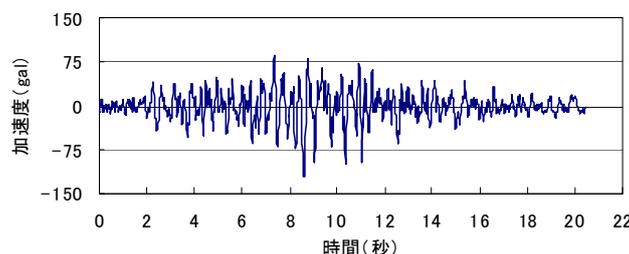


図-2 水平方向の加速度波形（地震B）

## 2. 小地震の観測記録を用いた検討

### 2-1 対象堰堤の特徴及び対象波形

表-1に解析対象の砂防えん堤を示す。この砂防えん堤は堤体（左岸天端）・地盤（左岸基礎地盤）に地震計が設置されており、2回の地震の観測記録がある。ここでは地震A（地盤水平方向で14gal、鉛直方向で9gal、震度2）、地震B（地盤水平方向で122gal、鉛直方向で62gal、震度4）とそれぞれ呼称する。図-1、図-2に地震A、Bにおける地盤の水平方向の加速度波形を示す。入力波は水平1方向と鉛直方向の2成分の観測記録から主要動が含まれる範囲（20.48秒）を切り出し、有賀の方法<sup>2)</sup>に基づいて、解析基盤から同時入力した。

### 2-2 解析手法

本研究では、堤体と地盤を2次元有限要素法でモデル化した（図-3参照）線形解析（直接積分法）を行った。解析プログラムは伊藤忠テクノソリューションズ（株）のSoilplusを用いた。解析時間は0.005秒とした。なお、堤体と堆砂の境界については、引張応力を伝達しない条件を設定している。また、このモデルでは水の影響は考慮していない。

### 2-3 解析パラメータの設定

表-2にモデルのパラメータを示す。岩盤の弾性係数、減衰定数を除くパラメータは、既往の実績等から設定した<sup>3)~10)</sup>。一方、2次元モデルにおける岩盤の弾性係数や減衰定数については、谷地形を有する岩盤と堤体の連成挙動や、振動エネルギーの逸散等実際の3次元挙動を間接的に評価するため、見かけの値として設定する必要があると

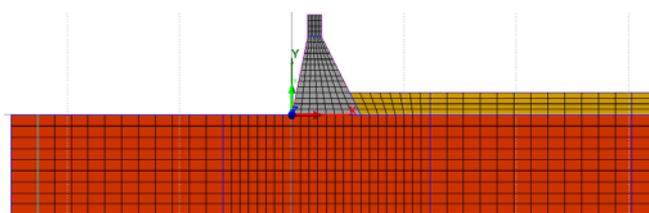


図-3 解析モデル

表-2 解析パラメータ

パラメータ	単位	堤体	地盤	堆砂
弾性係数	KN/m <sup>2</sup>	22,000,000	4,500,000	523,747
単位体積重量	KN/m <sup>3</sup>	22.56	23.54	17.66
減衰定数	%	4	10	5
ポアソン比	-	0.2	0.3	0.48

いわれている<sup>3)</sup>。そのためには、岩盤の弾性係数、減衰定数は、観測記録において、地盤の堤体に対する伝達関数を解析上で再現するように設定する必要がある。

## 2-4 解析結果

図-4に地盤に対する堤体の伝達関数の観測結果と解析結果を示す。図には、過去の室内試験を参考に設定した値(弾性係数 $1,500,000\text{KN/m}^2$ )<sup>10)</sup>を用いたケースを併記した。図-4より、過去の室内試験値を用いて弾性係数を設定した場合、伝達関数のピークが低振動数側に移行するため、本研究で対象としている砂防えん堤の堤体の地震応答特性を再現できないことがわかった。また、伝達関数のピークの振動数にあわせるように弾性係数( $3,750,000\text{KN/m}^2$ )を調整し、伝達関数のピークの大きさを合わせるように減衰定数(8%)を調整することによって伝達関数全体を概ね再現できた。

## 3. 規模の大きい地震波形を用いた検討

2.によって、小地震の観測記録から砂防えん堤の地震応答特性を解析上で再現することができた。これらをもとに、地震Aより水平加速度で約9倍大きい地震Bに対しての適用性を検証した。

地震Bで観測された波形について、2.と同様なモデル・パラメータで解析を行った。その結果を図-5に示す。図より、観測波形の伝達関数は地震Aとほぼ同様の形状を示しており、地震の加速度が大きくなっても応答特性がそれほど変わっていないことが確認できる。さらに、解析結果と観測結果を比較すると、伝達関数のピークを示す固有振動数は一致することがわかり、小さい加速度の地震波形を用いて同定したパラメータをそのまま用いても、今回のケースでは堤体の地震応答特性を概ね再現できることがわかった。

## 4. まとめ

砂防えん堤の地震応答特性は、規模の小さい地震動の観測記録を利用して岩盤の物性値を適切に設定することで、シミュレーションにより再現できることがわかった。また、小さい地震で同定したパラメータを用いて、規模が大きい地震における応答特性を、今回のケースでは概ね再現できることがわかった。

今後は堤体に発生する応力や転倒・滑動・沈下に対する安定性の評価を行う必要があると考えている。

**参考文献** 1) 独立行政法人土木研究所：砂防えん堤に設置されている地震計の観測記録(平成8年～18年)、土木研究所資料4071号、2007。 2) 有賀義明：地震観測記録に基づく既設ダム地震時挙動の三次元再現解析、日本地震工学会論文集 第7巻、第2号(特集号)、p.130-143、2007。 3) 塩尻弘雄、上田稔：ダム-岩盤-貯水の連成を考慮した重力式ダムの三次元地震応答シミュレーション、土木学会論文集 No. 640/I-50、p.177-192、2000。 4) 社団法人土木学会：2007年度版制定コンクリート標準示方書 設計編、p.44、2007。 5) 西山卓・大矢幸司・田井中治・伊藤孝男：歴史的砂防施設保存に関わる安定性評価手法の一事例-日光稲荷川釜ツ沢砂防えん堤を例として-、砂防学会誌、Vol.60、No.4、p.40-49、2007。 6) 建設省河川局：改定新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編〔Ⅱ〕、p.8、1997。 7) N値の話編集委員会：改訂N値の話、p.43、2004。 8) 社団法人土質学会：土質工学ハンドブック、p.506、1982。 9) 國生剛治：地震応答解析のための土の動的特性、2.3.2 地盤材料の減衰特性、土と基礎、Vol.34、No.1、p.75-81、1986。 10) 社団法人土木学会：第4版土工学ハンドブック、p.406-407、1989。

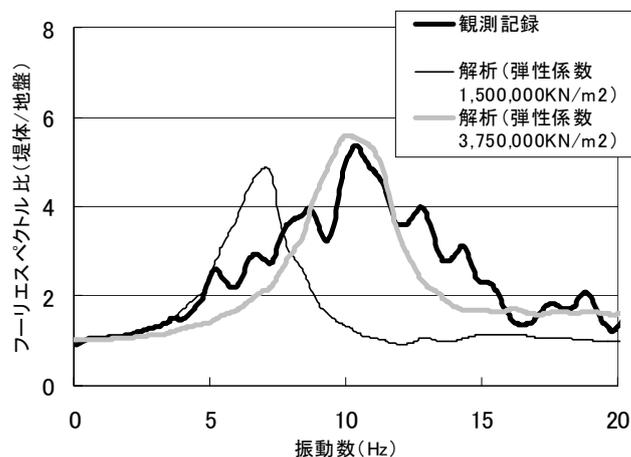


図-4 地盤に対する堤体の伝達関数  
(地震A：水平方向 減衰定数 8%)

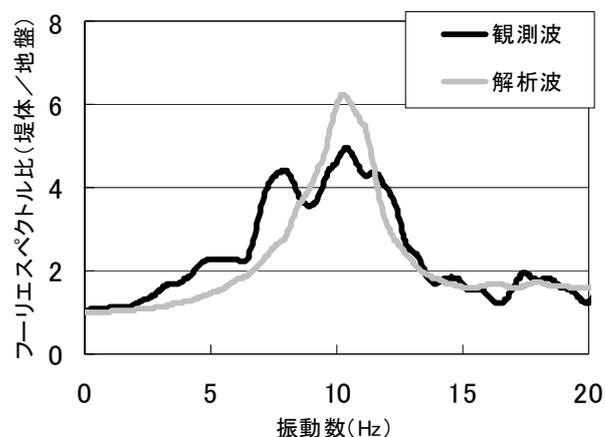


図-5 地盤に対する堤体の伝達関数  
(地震B：水平方向 減衰定数 8%)