

Eディフェンスで実施した大型斜面模型の振動台実験の概要

原子力安全基盤機構
鉄道総合技術研究所
東北大学
日本大学

正会員 ○中村 英孝・村田 雅明
正会員 篠田 昌弘・渡辺 健治・中島 進
正会員 河井 正
正会員 中村 晋

1. はじめに

平成 18 年 9 月に原子力発電所の耐震設計審査指針が改訂され、地震随件事象として津波と斜面安定性に対する安全性評価が要求事項として規定された。斜面安定性を検討する上での主なイベントと事故シナリオは、原子炉建屋周辺斜面が地震に伴い不安定化し、斜面崩壊により土塊が崩落し、原子炉建屋等の重要構造物に衝突し、建屋・機器に損傷を与えるというものである(図1)。

著者らは、斜面の安定性評価技術の高度化を図ることを目的として、原子炉建屋周辺斜面の崩壊メカニズムの解明と斜面の変形特性や応答特性に関して、平成 20 年度より種々の実験と数値解析を連携させ検討を進めてきた。

今回、(独)防災科学技術研究所、兵庫耐震工学研究センターの実大三次元震動破壊実験施設において、大型斜面模型を2体構築し振動台実験を実施したので、その概要を報告する。詳細は文献1)と2)を参照されたい。

2. 振動台実験の目的

これまで実施した実験は、小型・中型模型であること(高さ約1.1m・2m)、水平動のみの入力であることを踏まえ、本実験では斜面模型を大型化し、従来の模型では再現が困難であった応答の影響や滑落挙動のスケール効果を把握すると共に、水平動と鉛直動が連成した実験データを取得することを主たる目的とする。さらに、すべり面の形成位置の違いによる斜面の崩壊挙動を把握するため、地層構成の異なる二種類の斜面模型を製作し、両者の応答特性や崩壊挙動を同時に観測することとした。以上の要件を満たす施設として、振動台規模が20m×15mで、三次元加振も可能な世界最大級の振動台(Eディフェンス)を本実験では用いることとした。

3. 斜面模型

振動台実験で加振した斜面模型は、図2に示す三層斜面模型と一層斜面模型である。三層斜面模型は、セメント改良礫土で製作した岩盤層と、東北珪砂6号とベントナイトを混合した弱層材料と表層材料で構成されている。この模型は、弱層内の破壊の進展状況と土塊の変位量の関係把握するため構築した。一方、一層斜面模型は上記弱層材料と同等の試料を用い、急勾配部の崩壊を防ぐため当部を補強した。この模型は、斜面内での応答増幅や位相ずれがすべり破壊に与える影響を把握するために構築した。両斜面模型の高さは3.8mである。なお、弱層材料の強度定数として、ピーク時の内部摩擦角と粘着力はそれぞれ31.4度と11.06kPaである。

4. 計測機器

変形特性と応答特性を把握するため、変位計を39個、加速度計を149個設置した。斜面のり面の変位計には、崩壊を妨げないように照射距離が長く高精度なレーザー変位計を設置した。

キーワード：斜面、振動台実験、安定解析、Eディフェンス

連絡先：〒105-0001 東京都港区虎ノ門4-1-28 (独)原子力安全基盤機構 耐震安全部、電話：03-4511-1561

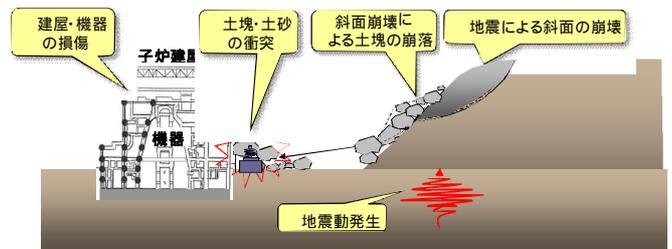


図1 原子炉建屋周辺斜面で想定される主なイベント

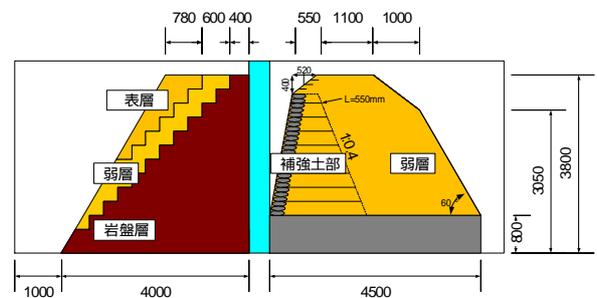


図2 斜面模型(左:三層斜面模型,右:一層斜面模型)

5. 撮影機器

加振中の撮影は、加振前後に模型正面から撮影するための撮影用カメラとビデオカメラ、クラックの発生を観察する望遠カメラ、除振台上に設置した画像解析用カメラ、撮影用カメラ、ビデオカメラ、クラックの発生を観察する土槽内に設置したネットワークカメラである。これらの撮影機器を用いることで、離れた距離でヘアクラックの発生を観察することに成功した。なお、除振台により加振中の画像解析用カメラの揺れを抑えることができた。

6. 加振条件

振動台実験で用いた入力波は、斜面内に応答増幅や位相ずれを発生させるための正弦波(水平のみ、鉛直のみ、水平+鉛直)と、斜面を崩壊させるための観測波(水平のみ、鉛直のみ、水平+鉛直)である。正弦波は、5Hz、10波とし、加速度レベルは100galと200galとした。水平成分と鉛直成分の位相は「位相ずれなし」、「90度位相ずれ」、「180度位相ずれ」とした。観測波は平成19年7月16日新潟県中越沖地震の柏崎原子力発電所で記録されたものである。

7. 実験結果

加振実験は、二日にかけて実施した。初日は、三層斜面模型ののり面は型枠で抑え変形しないようにし、一層斜面模型の応答特性の把握を目的に加振実験を行い、加速度レベル100galから斜面模型は大きく応答することを確認した。初日の加振後、三層斜面模型ののり面工を撤去し、二日目に観測波を用いて100galずつ加速度レベルを漸増させ加振実験を実施した。鉛直加速度は水平加速度の2/3とした。水平600gal、鉛直400galの観測波を入力した際に、一層斜面模型ののり先にクラックが発生し、水平700gal、鉛直470galの観測波で図3に示すように崩壊に至った。三層斜面模型は、水平700gal、鉛直470galの観測波を2度入力しても崩壊せず、水平800galの観測波を入力した際に岩盤層と弱層の境界部にクラックが発生した。その後、水平800galの正弦波を入力し、図4に示すように崩壊に至った。

図5に三層斜面模型崩壊時の振動台水平加速度と斜面天端の鉛直変位を示す。三層斜面模型の崩壊形態として、正弦波3波入力後に鉛直変位はオーバーレンジとなり、脆性的に崩壊していることが分かる。

8. まとめ

本実験は、斜面の崩壊メカニズムの解明と変形特性および応答特性の把握を目的に、高さ3.8mの大型斜面模型を製作し、水平方向と鉛直方向の同時加振を実施するという、他に類をみない加振実験である。今後、本実験結果を基礎資料として、原子炉建屋周辺斜面の安定性評価手法のガイドラインを構築していきたい。

参考文献

- (1)中島ら：Eディフェンスを用いた斜面の地震時安定性に関する振動台実験，地盤工学研究発表会，2012（投稿中）。
- (2)篠田ら：Eディフェンスを用いた岩盤斜面の地震時安定性に関する振動台実験，土木学会年次学術講演会，2012（投稿中）。

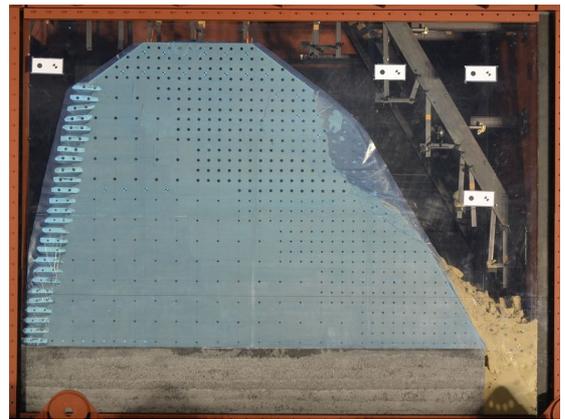


図3 一層斜面模型崩壊状況



図4 三層斜面模型崩壊状況

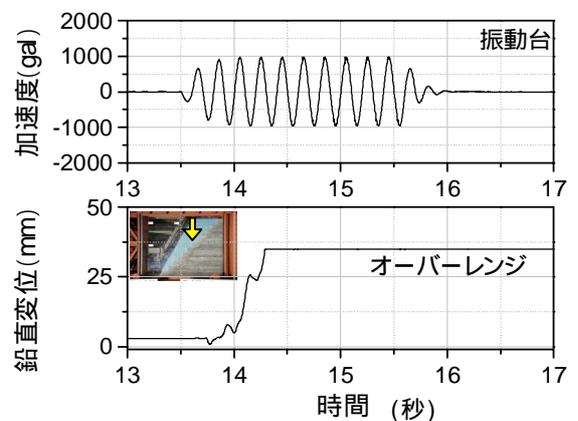


図5 三層斜面模型崩壊時の加速度・変位時刻歴