

抑止杭を施した斜面の地震時安定性評価（その1）

-抑止杭工斜面模型に対する動的遠心力模型実験-

電力中央研究所 正会員 ○小早川博亮 正会員 石丸真 関口陽 正会員 岡田哲実
 セレス 谷口友規 平賀健史
 ニュージェック 正会員 森 聡
 関西電力 正会員 中村大史

1. はじめに

重要施設周辺の斜面においては、近年相次いで観測される大きな地震動に対して耐震裕度向上のための対策工が検討されるようになってきた¹⁾。しかし、対策工を施した斜面の安定性について解析的な検討はなされている²⁾ものの、実斜面の崩壊時の挙動を把握することが困難であることから、その検証は必ずしも十分ではない。本報告では、対策工が設置された斜面の安定性評価の高度化に資するために、抑止杭が施された斜面模型に対して動的な遠心力模型実験を実施した結果について報告する。

2. 実験の概要

(1) 実験材料：実験に用いた地盤は人工軟岩と弱層を模擬した不連続面から構成される。人工軟岩は、材料の均質性や材料の強度を考慮して表1に示す配合で1週間養生したものとした。物性値は、湿潤密度 $\rho_t=2.07\text{Mg/m}^3$ 、初期せん断弾性係数 $G_0=933\text{MPa}$ 、ピークの強度定数は粘着力 $c=267\text{kPa}$ 、せん断抵抗角 $\phi=34.7^\circ$ 、引張強さ 41.4kPa である。弱層は模型作製の容易さ、物性の再現性を考慮して、テフロンシート（厚さ 0.2mm ）を用いた。その物性値は $\rho_t=2.10\text{Mg/m}^3$ 、 $c=0$ 、 $\phi=28.6^\circ$ （ピーク）、 19.3° （残留）である。

(2) 抑止杭：抑止杭工を設置する斜面の実験に先立ち、模擬不連続面で弱層を模擬した1/50スケールの斜面模型に対する加振実験により弱層上の土塊の滑動に対する安定性評価を実施し、設定した強度を用いた極限平衡解析によるすべり安全率が1.0を下回る水平震度と、実験による水平最大の加速度が一致することを確認した。そのうえで当該斜面に対し、水平震度 $K_H=0.6$ に対してすべり安全率 >1.2 となるように、既往の設計フロー³⁾に基づき抑止杭の仕様を定めた。杭は1/50寸法で外径 8.0mm 内径 7.4mm のステンレス製のパイプで、奥行き方向に 40mm 間隔で7本設置した。杭の模型下端は土槽の底面に固定し、模型中央の抑止杭内側には軸方向にひずみゲージ添付しひずみを測定した。

(3) 実験方法：本実験では見掛けの重力を50倍とし、1/50の大きさの模型を用いて実施した。斜面模型とセンサー配置を図1に示す。斜面高さは 200mm

（実物換算で 10m ）である。斜面模型は、土槽（縦 400mm × 横 700mm × 奥行 300mm ）の中に設置し、斜面模型と土槽壁面との間には摩擦を低減するために、間にワセリンを塗布した2枚の透明シリコンゴムシートを設置した。入力加速度波形は主要部で波数20波の正弦波（実物換算の周波数： 1.2Hz ）であり、主要部前後に4波のテーパを設けた。入力はいささ水平加速度レベルから開始し、各ステップの加振終了後、入力レベル上昇させるステップ加振とした。

表1 材料の配合

材料	配合 (kg/m ³)
セメント	82
砕砂	817
微粉末	817
混和剤	1
水	370

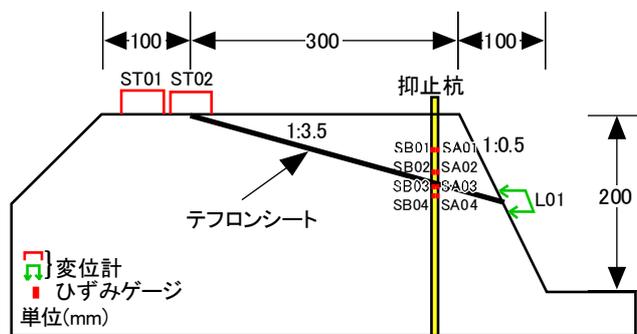


図1 斜面模型の概要とセンサー配置

キーワード：斜面，遠心力模型実験，抑止杭

連絡先：〒270-1194 我孫子市我孫子 1646 E-mail: h-koba@criepi.denken.or.jp

3. 実験結果と考察

各ステップの水平動最大加速度 a_h と目視での観察結果を表 2 に示す. d06 加振において初めて設計を超える入力となされたものの, 目視での変形は認められなかった. 各変位計で捉えた変位量の累積残留値を図 2 に示す. ST02 は d08 加振までは残留変位は 1mm 以下で推移しているのに対し, d09 加振で 50mm 程度の変位が生じている. 杭前面の L01 では d08 加振までは ST02 と同様に残留変位が 1mm 以下であるのに対し, d09 加振時にセンサーの測定範囲を超える変位が生じている.

杭の曲げモーメントの累積残留値を図 3 に示す. d01 ~d08 加振ではすべり面付近で正の曲げモーメント(杭頭が紙面左側に曲がる方向)が大きくなるが, d09 加振では, すべり面より深部において負の曲げモーメントが急激に大きくなっている. この曲げモーメントの分布の変化は, d07 加振までは所謂くさび杭のモードから, d08 加振での遷移状態を経て, d09 加振では抑え杭のモードに変化したと考えられる. 累積曲げモーメントが大きくなっていく GL-3.45m における加振ステップ d06 及び d09 の曲げ応力度を図 4 に示す. d06 加振では加振時の振動による曲げ応力度の増分が認められるものの, 許容曲げ応力度に比べて十分に小さい. d09 加振においては弱層上部の土塊が移動することにより杭自身に変形し, 揺れが収まってからも残留の曲げ応力が生じているものの, 弱層よりも上部の杭背面の土塊の移動はわずかであり, 杭自身はその機能を維持していた.

4. まとめ

水平震度 $K_H=0.6$ に対して $F_s>1.2$ を確保する抑止杭工を設置した斜面模型に対し, 遠心力模型実験を実施した結果, 水平最大加速度 $9.32m/s^2$ ($K_H=0.6$ の 1.5 倍相当) に対しても斜面の健全性が保たれ, 杭の設計としては妥当であることが示された.

謝辞: 本論文は電力 9 社, 日本原子力発電(株), 電源開発(株), 日本原燃(株)による原子力リスクセンター共通研究(平成 28 年度)によって得られた成果である.

参考文献 1)原子力規格委員会: 原子力発電所耐震指針技術指針 JEAG4601-2015, 日本電気協会, 2015. 2)戸田他: 抑止杭工を有する斜面の地震時安定性評価, 第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.126-127, 2013. 3)地すべり鋼管杭設計要領幹事会: 地すべり鋼管杭設計要領, 斜面防災対策技術協会, 2008.

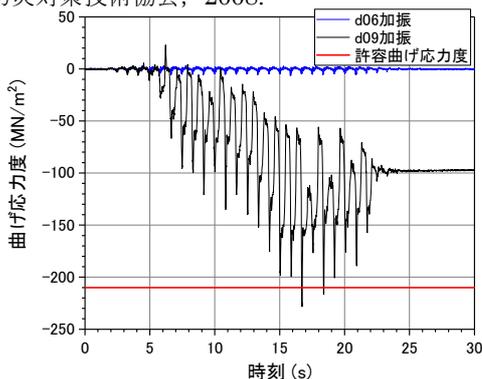


図 4 曲げ応力度の径時変化 (谷側, GL-3.45m)

表 2 各ステップの水平最大加速度・観察結果

ステップ	a_h (m/s^2)	観察結果
d01	0.72	d01~d08: 目視で確認できる変形なし.
d02	1.64	
d03	2.65	d09: 加振開始後に弱層上部の土塊が前後に振動し, その後杭の設置位置の地表において亀裂が発生する. 加振の継続により上記亀裂が弱層まで進展し, 杭前面の土塊が大きく変位する.
d04	3.42	
d05	4.76	
d06	6.31	
d07	8.64	
d08	9.32	
d09	11.47	

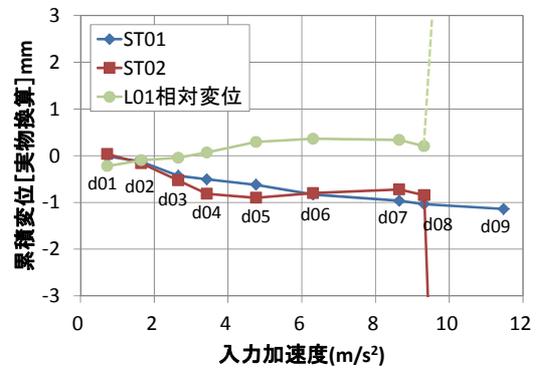


図 2 入力加速度と累積変位の関係

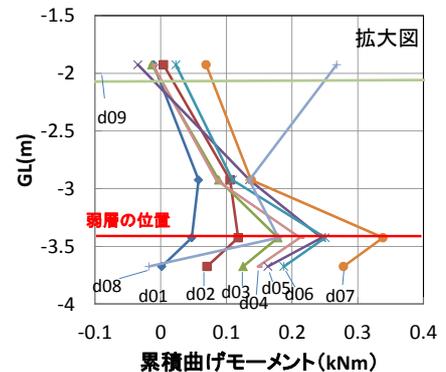
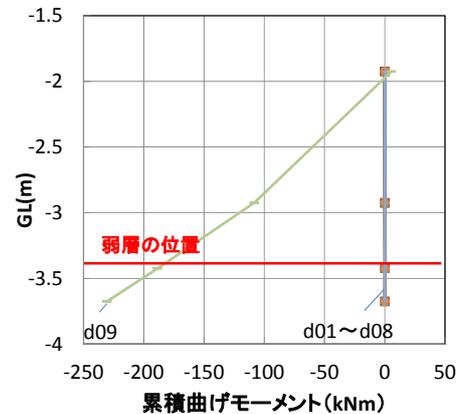


図 3 累積曲げモーメント深度分布

杭頭が山側(紙面左側)に曲がる方向が正