# 抑止杭を施した斜面の地震時安定性評価(その2) 一抑止杭工斜面模型に対する時刻歴非線形解析—

ニュージェック	正会員	〇森	聡	西村昇	
電力中央研究所	正会員	石す	山真	岡田哲実	小早川博亮
関西電力	中村大史		ŧ.		

## 1. はじめに

原子力発電所のS クラス施設における周辺斜面の地震時安定性評価では、地盤を弾性体と仮定した等価線形解析 の結果に基づき、すべり安全率による評価が行われてきた.しかし、近年では、基準地震動が従来よりもかなり大 きくなる状況にあり、地盤を弾性体と仮定し、破壊を考慮できない解析に基づく安全率評価では、合理的な設計が 困難になってきている.そこで、地盤の破壊を考慮できる時刻歴非線形解析の実用化に関する取り組みが行われ解 析手法の検証と高度化が実施されてきた.しかしながら、対策工を施した周辺斜面を対象とした検証は現状ではま だ十分におこなわれておらず、検証データの蓄積が必要である.本検討では、対策工として抑止杭が施工されてい る斜面の動的遠心力模型実験に対して、時刻歴非線形解析を適用するとともに、その適用性について検討するもの である.

## 2. 検討概要

本検討では、前稿の抑止杭工斜面模型に対する動的遠心模型実験を対象に、時刻歴非線形解析手法を用いて動的 挙動を解析した.解析コードは、多重せん断ばねモデル(Towhata・Ishihara、1985)に基づいて導出された応力 -ひずみ関係に、ひずみ依存性や破壊の影響を考慮した材料非線形モデル(石丸ほか、2017)を汎用コードである TDAPIIIに組み込んで用いた.材料非線形モデルの概要を図1~2に示す.



## (1)解析モデル

解析モデル図を図3に示す.モデル斜面は基礎地盤部と弱層部からな り,弱層部は,はく離・すべりを考慮可能なジョイント要素でモデル化 した.また,抑止杭はビーム要素でモデル化し,地盤要素に剛結した. (2)物性値 <sup>境界部ジョイント要素</sup>抑止杭 弱層 0.01m 図 3 解析モデル

(2)初江恒

<u>ま1</u> 地般お上び弱**層**の物性値

## 表2 地盤の構成則パラメータ

マルチスブリングの本数

履歴曲線の開数

基準ひずみ γ

初期基準せん断強度 τ

最大減衰定数 haz

ひずみ軟化係数 A

C<sub>1</sub> (0)

 $C_1(\infty)$ 

 $C_2$  (0

C₂(∞)

α

β.

設定値

12

亚曲總

0.0003

γ,×G<sub>0</sub>

0.18

300

1.0

0.25

0.5

1.4 1.2

1.0

表3 抑止杭の物性値

項目

せん断弾性係数(kN/m²)

断面二次モーメント(m<sup>4</sup>

単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

軸力を考慮した全塑性モーメ

ポアソン比

断面積(m<sup>2</sup>

ント(kN・m)

終局せん断強度(kN

物性値

(単位奥行あたり)

7.423E+7

0.3

8.466E-3

1.571E-4

36.29

243 8

574.4

物性値を <b>表 1~3</b>
に示す.
(3)入力加速度
入力加速度は, 模
型底面で計測され
た水平加速度と鉛

解析に用いた

項目		地盤	弱層
湿潤密度 $\rho_i$		2.07t/m <sup>3</sup>	2.1t/m <sup>3</sup>
初期せん断弾性係数 $G_0$		9. 330 × 10⁵kPa	2.8×103kPa
動ポアソン比 <i>v</i>		0. 42	0.49
ピーク強度	С	267. 1kPa	0. 0kPa
$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$	$\phi$	34. 7°	28. 6°
残留強度		$\tau_r = a\sigma^b$	$\tau_r = c + \sigma \tan \phi$
		<i>a</i> =4. 61	<i>c</i> =0. 0kPa
		<i>b</i> =0. 70	φ=19.3°
引張強度 <i>σ</i> ,		41. 4kPa	0. 0kPa

直加速度をモデル底面に一様に入力した.

キーワード 原子力発電所背後斜面,時刻歴非線形解析,対策工,抑止杭

連絡先 〒531-0074 大阪市北区本庄東 2-3-20 株式会社 ニュージェック E-mail: morist@newje.co.jp

-021

(4)時間積分法・計算時間刻み
時間積分法は、Newmark β法(β=
0.25)を用いた.減衰特性は、剛性比
例減衰を用いた.計算時間刻みは 5.0
×10<sup>-5</sup>秒とし反復計算は実施せず、残差
力は次ステップに持ち越しとした.

## 4. 解析結果

## (1)加速度応答

最大水平加速度分布を図4に示す.最 大加速度は、加振ステップd06まで解析 値と実験値は概ね一致している、解析値 は実験値より若干大きい傾向となる.加 振ステップd08以降では、解析で破壊領 域が拡大しており実験値とは整合して いない.

## (2)累積変位

水平方向累積変位の比較を図5に示す. 加振ステップ d08 までの累積変位の増加 傾向とd09 の抑止杭位置からの亀裂が進 展し抑止杭前面のL01 が急増する傾向は, 解析値と実験値は整合している.

(3)抑止杭断面力の比較

加振ステップ d06(設計荷重相当)にお ける弱層近傍の抑止杭の断面力時刻歴を 図7に示す.曲げモーメントは解析値が実 験値より大きく評価される傾向がある. (4)破壊状況

各加振ステップにおける破壊状況を図8



12

図8 破壊状況図(破壊した要素)

に示す.加振ステップが増加するとともに,杭設置位置の地表で破壊が発生し,弱層まで進展している.これらの 破壊が進展する現象は実験とよく一致している.解析において杭設置位置の地表で発生した破壊が弱層まで連続す るタイミングは,実験より早く,解析は保守的な評価となっている.また,加振ステップ d08 で,根入れ部に破壊 が拡大しているが,これは引張破壊となっており,抑止杭と地盤を剛結した影響が現れていると考えられる.

#### 5.まとめ

地盤の破壊を考慮した時刻歴非線形解析を用いて,抑止杭を施された斜面の動的遠心力模型実験の解析を実施した.加速度,累積変位は,実験で顕著な変状が生じるまで,解析値と実験値は概ね整合する結果が得られた.また, 杭設置位置で発生する破壊の進展現象を解析的にも再現できた.現状では,抑止杭と地盤の結合方法等について課 題もあると思われるが,本検討で実施した解析は実験と比較して保守的な評価となることが確認できた.

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

<sup>1)</sup> Towhata, I. and Ishihara, K.: Modelling soil behavior under principal stress axes rotation, Proc. 5th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Vol. 1, pp. 523-530, 1985. 2) 石丸真,岡田哲実,中村大史,河井正,風間基樹:軟岩のせん断破壊後の強度変形特性のモデル化と斜面の地震時すべり安定 性評価への適用,土木学会論文集C(地圏工学), Vol.73, No. 1, pp. 23-38, 2017.