

## 三次元遠心振動台の開発と試加振実験

電力中央研究所 正会員 ○中村 邦彦, 岡田 哲実, 石丸 真, 西本 壮志  
東京農工大学 松本 健斗, 田川 泰敬  
木更津工業高等専門学校 岡本 峰基

### 1. はじめに

原子力発電所の基礎岩盤および周辺斜面においては、動的解析（等価線形解析）の結果から得られた応力状態を用いたすべり安全率による安定性評価が行われている。発生応力を大きめに評価する点で保守的な評価となっている可能性が高いが、どの程度保守的な評価となっているかは定かではない。今後、確率論的リスク評価の導入により、現実的な耐力の評価が必要と考えられることから、解析手法の高度化のため、破壊を考慮できる時刻歴非線形解析手法の開発と検証が進められている<sup>2)</sup>。

また、現行評価手法の保守性は、線形の仮定の問題だけでなく、二次元の仮定の問題にも存在している。二次元解析の妥当性は主に遠心力载荷加振実験を用いて検証される場合が多いが、三次元の遠心実験装置は存在しないため、三次元解析の検証が困難であった。そこで、本研究では三次元解析の妥当性の検証を可能とするため、三次元遠心振動台の開発を行った。

### 2. 開発した三次元振動台の概要

作製した三次元振動台を図1に示す。装置は土槽を三次元で自由自在に作動させるため、ベースから6本のリンクがテーブルに接続されており、この6本のリンクの長さを油圧アクチュエータで制御するというスチュワートプラットホーム型の6自由度( $x, y, z, \alpha, \beta, \gamma$ , ここで $x, y, z$ はテーブルの変位,  $\alpha, \beta, \gamma$ はテーブルの姿勢を示す回転角を示す。)の平行リンク機構を有する。

装置は通常の振動台に用いられている変位制御に加え、高速演算処理装置(DSP)を導入して高周波数帯で良好な目標値追従性能の実現が容易な加速度制御も可能とした。加速度計については、図1に示すテーブルの3点に設置しており、この3点から土槽を設置するテーブルの中心部分において加速度を計算で求めることにより入力地震動となる。目標とする加速度が発生するよう次項で示す6本の油圧アクチュエータ変位を制御することにより、テーブルの挙動を制御する。

### 3. 開発した制御方法

平行リンク機構の問題点として、他軸による干渉の発生やジャッキの遊びによる命令と実行の時間遅れ等がある。これらの点により目標とした加速度波形を模型地盤に与えることが困難となる。そこで、本研究では、これらを低減するための平行リンク機構の制御方法を開発した。

基本となる平行リンク機構の制御システムのブロック線を図2に示す。ここでは $r$ が目標値加速度、 $a_g$ がテーブル加速度、 $y_1 \sim y_6$ が各アクチュエータの変位、 $J^{-1}$ はヤコビ行列をもとにした変換行列を示し、操作量(加速度制御器の出力)から変換行列により各アクチュエータの操作電圧を決定する。制御はアクチュエータの変位制御とテーブルの加速度制御で構成した。それぞれの制御は $K_p$ と $C_{rw} \cdot C_{hw}$ で示されている。加速度制御器の設計にはDMM(Dual Model Matching)法を採用した<sup>3)</sup>。

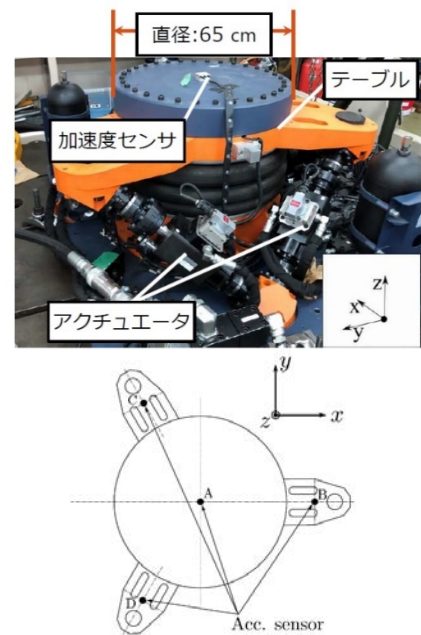


図1 作製した三次元振動台

キーワード 三次元振動台, 遠心模型実験, 耐震設計

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 地震工学領域 TEL 04-7182-1181

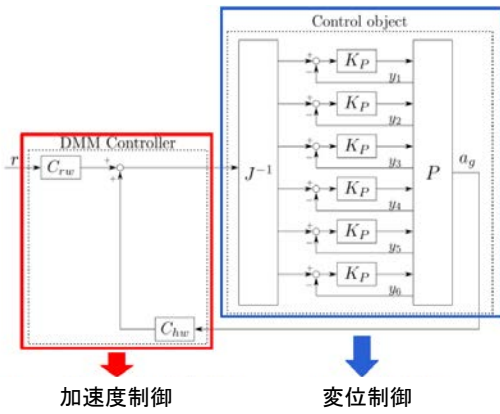


図2 制御システムのブロック線図

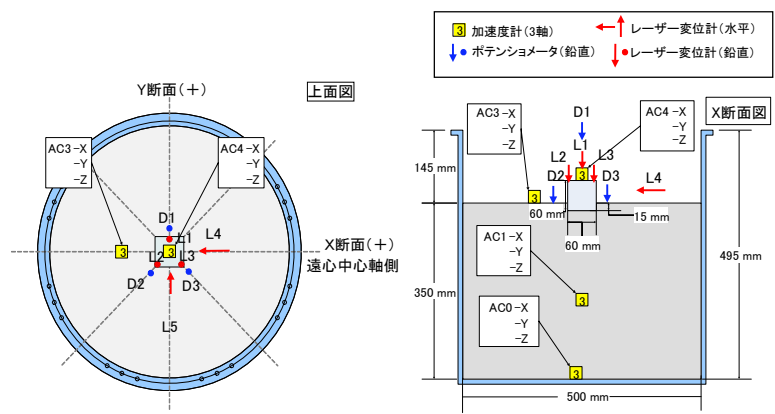
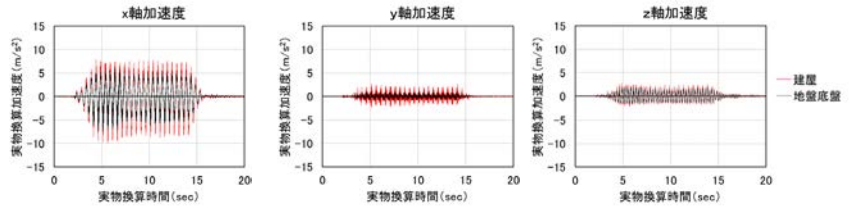


図3 模型概要

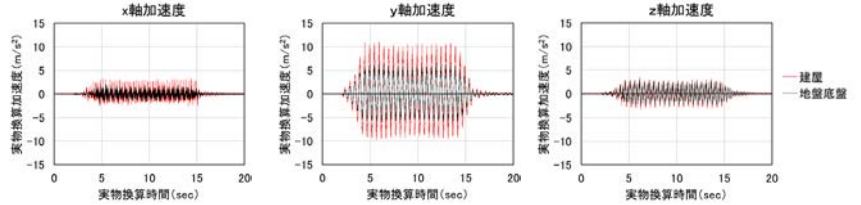
4. 試加振実験

提案した制御方法を用いて、遠心加速度 20G で遠心模型実験を実施した。図3に示す剛土槽に、実物換算で層厚 7m の軟岩を模擬した人工地盤を作製した後、1.2m 立方の建屋模型を設置し動作実験を行った。地盤模型の底盤および建屋模型の3方向の加速度を計測した。図4に実験で得られた x,y,z 各単軸のみ加振した場合と x,y,z の三軸同時に加振した場合の実スケール換算の加速度波形（計測加速度の 1/20）を示す。

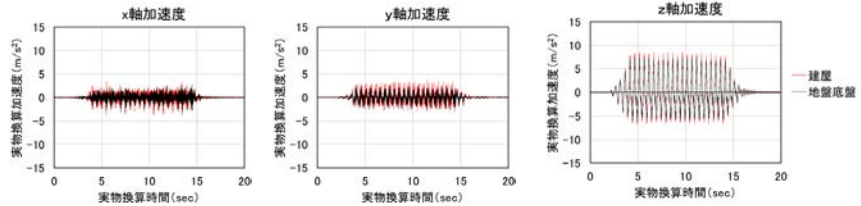
x軸加振



y軸加振



z軸加振



x,y,z軸加振

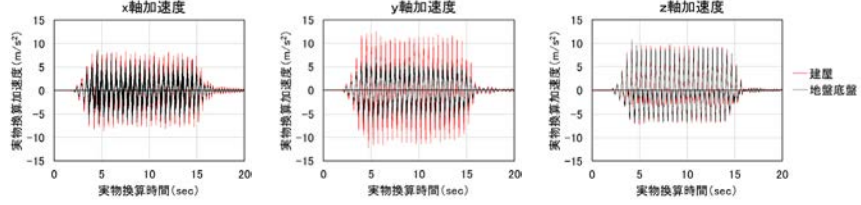


図4 実験で得られた加速度波形

各軸のみの加振では、約

10~40%の他軸への干渉が見られる。また、三軸同時に同加振レベルで加振した場合、Z軸の入力が他軸よりも大きくなる傾向がある。また、建屋の応答はY軸方向で増幅が見られることがわかった。

5. まとめ

遠心場での三次元の地盤模型実験が可能な三次元遠心振動台を開発した。20G（遠心場）で新たに開発した制御方法を用いて振動台の動作確認を行い、やや他軸への干渉が見られるが想定した入力加速度波形が得られることを確認した。今後改良を加え、加振加速度の増加を目指し、模型地盤で遠心実験を行う。

参考文献

1)日本電気協会原子力規格委員会：原子力発電所耐震設計技術指針，2015。 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, Vol.73, No.1, p.23-38, 2017。 3)Tagawa et al.: Characteristic transfer function matrix-based linear feedback control system analysis and synthesis. International Journal of Control, Vol. 82, No. 4, pp. 585-602, 2009.