

第I部門 非線形構造モデルのサブストラクチャーハイブリッド振動台実験

京都大学工学部 学生員 ○ 原 裕一
 京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃
 京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和

1 はじめに サブストラクチャーハイブリッド振動台実験システムは、対象構造物を振動台実験部分と数値計算部分に分割した上で、リアルタイムで相互に情報を取り込む振動台実験と数値計算を同時進行させることにより、その動的応答を評価しようとするものである[1]。本研究は、実験部分構造の持つ非線形性がサブストラクチャーハイブリッド振動台実験の信頼性に及ぼす影響と実験システムの妥当性を実験的に検討するものである。

2 実験供試体 本研究で用いた振動台実験用構造モデルを図1に示す。最下部にシャフトとベアリング軸受けによる回転ヒンジが設けられており、その部分での回転角-底面モーメント関係に非線形性が生じるような回転逆振り子型の形式となっている。直立状態より±20°程度までの回転変形が可能となっており、振動部分の質量14.88kg、おおよその固有振動周期1.3secの1自由度として近似できる。

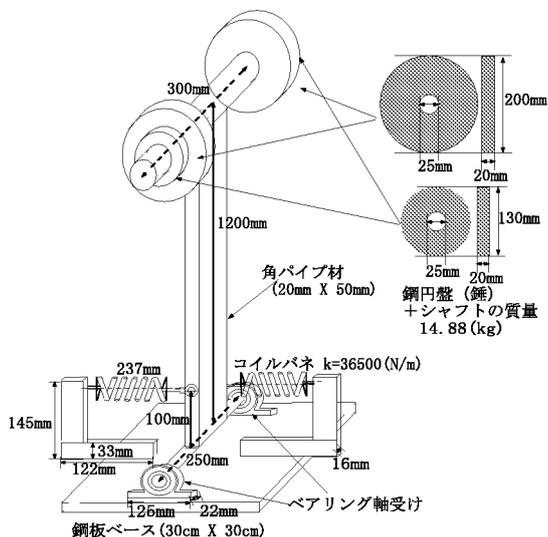


図1 実験供試体

計測により得られた回転角-底面モーメント関係を図2に示す。ここに見られる非線形性は、幾何学的な効果の寄与は小さく、主に復元力バネ機構の特性によるものである。この復元力特性の近似式として、最小二乗法を用いて次式が得られた。

$$M = 555.53 \times \theta e^{-1.0\theta} \quad (N.m)$$

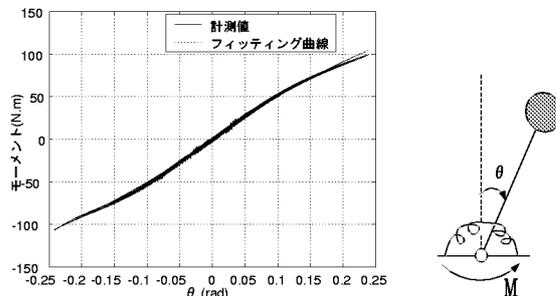


図2 復元力履歴

3 実験システム 実験システムの構築にあたっては、電気油圧サーボ式振動台とこれを制御するDSPシステム(T.I.社製 TMS320C6701GJCを使用)を組み合わせ、A/DおよびD/Aインターフェースを通じて計測信号を元に振動台への入力信号をリアルタイムで算出している。本システムのコーディングはMATLAB/SIMULINKで行い、Real-Time WorkshopによりC言語に変換しMTT社製PassC67を用いてDSPに実装した。実験システムの概要を図3、写真1に、振動台の諸元を表1に示す。

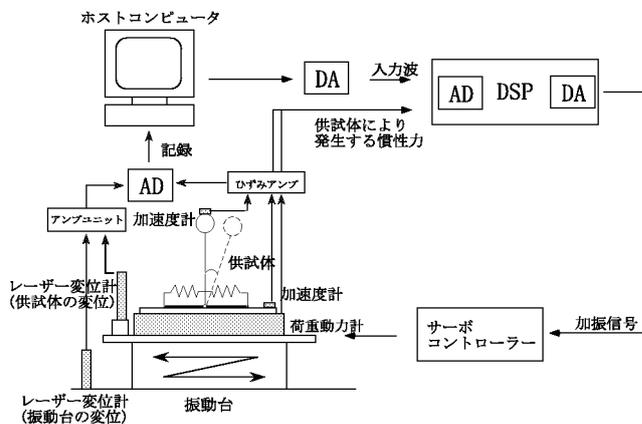


図3 実験システム

台面積	1.5m × 1.5m
最大積載重量	2ton
最大加振力	29.4kN
加振方向	水平一方向
最大振幅	±100mm
周波数	30Hz以下
駆動方式	電気油圧サーボ式

表1 振動台諸元

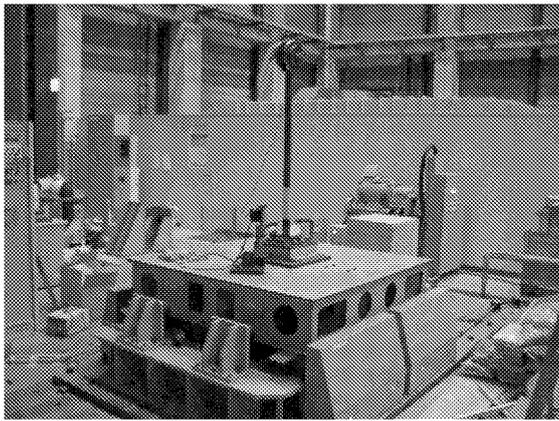


写真1 実験システム

入力波には0.76Hz, 30galの正弦波を用いた。

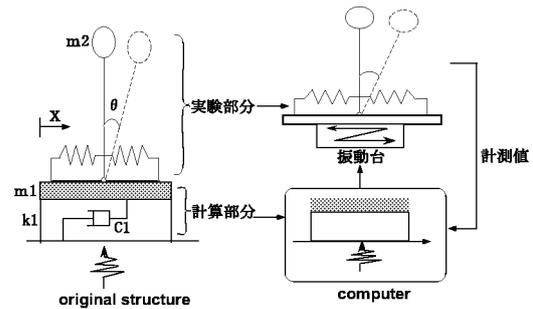


図6 実験対象モデル

図7に実験結果を数値シミュレーション結果と併せて示す。実験結果とシミュレーション結果は概ね一致しており妥当なシステムが構築できていると考えられる。

3.1 振動台動特性の補償 加振遅れ等の振動台動特性を補償するデジタルフィルタを作成し、計算・制御系に組み込んだ。作成したデジタルフィルタは3次FIRフィルタと高周波ノイズ除去用の3次IIRフィルタの二段階をカスケードしたものを、振動台の入出力関係の計測に基づいて決定した。デジタルフィルタによる補償前の振動台動特性を図4に、補償後の特性を図5に示す(上段は振幅特性、下段は位相特性)。

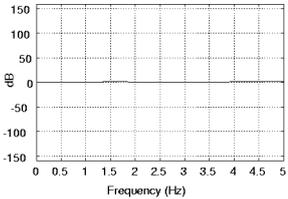


図4 動特性(補償前)

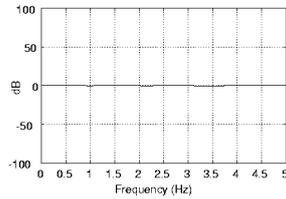


図5 動特性(補償後)

m1	c1	k1	m2(実測)
100(kg)	209(N/m/s)	10955(N/m)	14.88kg

表2 計算部分パラメータ

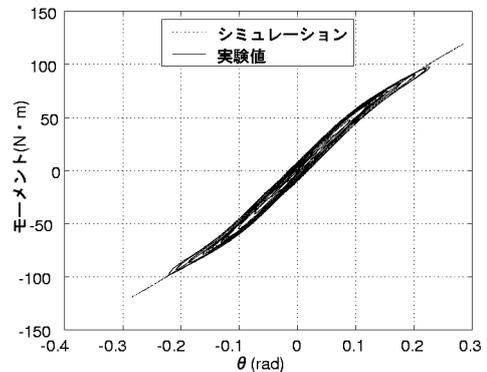
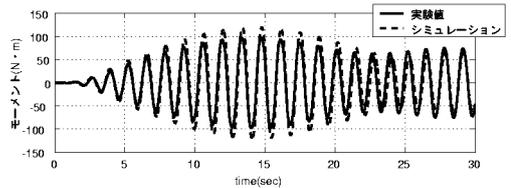
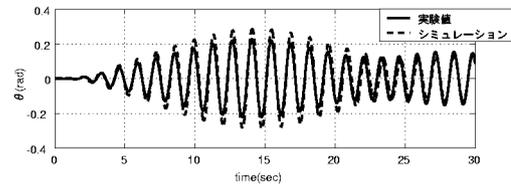


図7 実験結果

4 実験結果 図6のような計算部分が線形1自由度のスウェイ振動、実験部分がロッキング振動をする2自由度のモデルを適用したサブストラクチャーハイブリッド振動台実験を行った。計算部分の数値積分法として線形加速度法を用い、その計算時間刻みは $\Delta t = 1\text{msec}$ とした。

実験部分の計算部分に対する質量比 $\mu = 0.15$ 、固有周期 $T_1 = 0.6(\text{sec})$ 、減衰比 $h_1 = 0.1$ とし、これらから求めた計算部分の質量 m_1 、減衰 c_1 、剛性 k_1 、そして実験部分の質量の実測値 m_2 を表2に示す。

5 結論 実験モデルに非線形応答を示す供試体を用いてサブストラクチャーハイブリッド振動台実験を行い、実験部分構造においてここで示した程度の非線形性がある場合についても信頼性のある実験結果が得られることを確認した。今後、弾塑性挙動を含む非線形性の影響についても検討を行う予定である。

参考文献

[1] 五十嵐晃・家村浩和・田中創, 構造工学論文集 Vol.1.49A, pp.281-288, 2003