

京都大学 フェロー会員 家村 浩和
京都大学 正会員 五十嵐 晃
大阪市 正会員 ○中野 泰也

1はじめに リアルタイムで構造物の動的応答を評価できる振動台実験においては、振動台の性能により供試体の大きさは制約を受けるため、多自由度を有する構造物の実大あるいはそれに近いスケールでの実験は困難である。そこで、本研究ではサブストラクチャ振動台実験のアルゴリズムを用いて多自由度構造物の動的応答をリアルタイムで評価する実験手法を開発した。

2実験手法と実験システム 本研究で開発したサブストラクチャ振動台実験手法は図1に示すように構造物を実験部分(供試体)と計算部分に分割し、加振により生じた実験部分のせん断力(ベースシア)を計測して計算機に取り込み計算部分の応答を算出、この値に基づき供試体を加振するという操作を1ステップとして応答計算と加振を同時に進め、構造物全体系の動的応答を求めようとするものである。この手法により、振動台が供試体に隣接する節点の応答を再現し、多自由度構造物の動的応答がリアルタイムで再現される。

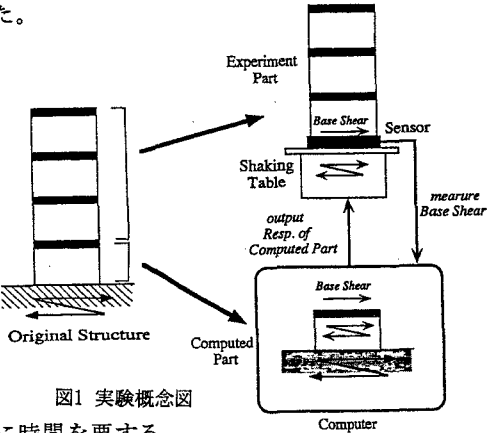


図1 実験概念図

しかし、現実には、コンピュータの計算や振動台の動作に時間を要するために計測と加振の間に時間遅れが生じる。そこで、ある時刻における振動台の加振信号は時間遅れ分前の計測値より求められたものとし、本実験手法では時間遅れを補正するために、各ステップで現ステップの計測値を前ステップの値と遅れ時間分前の計測値を用いた外挿による予測を行う。(図2)

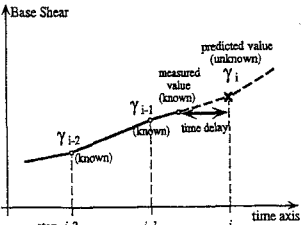


図2 加振時間遅れの補正

実験アルゴリズムを実現するために実験システムを構築した。図3に示すような3層モデルと実験装置から構成される。なお、実験対象構造物全体系は4自由度とし、実験部分3自由度、計算部分1自由度とした。この4自由度のモデルの動特性を表1に示す。

供試体のベースシアを計測するために、動力計を振動台とモデルの間に挿入した。また、供試体と動力計の間に鉄板(ベース)を設けたため、ベースシアにはベースの慣性力も考慮される。計算部分についての運動方程式は、ここでは次式で表される線形1自由度系とした。

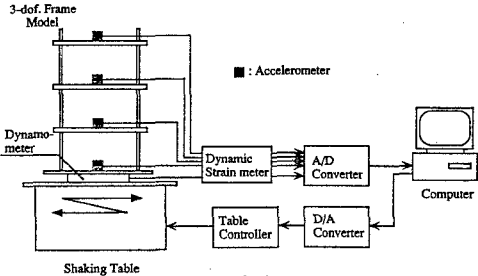


図3 実験システム

$$ma_i + cv_i + kd_i = -ma_{g,i} + \gamma_i$$

ここに、 a_i, v_i, d_i は*i*ステップにおける計算部分の応答量、 γ_i は*i*ステップにおけるベースシア、 m, c, k は計算部分の質量、減衰、剛性、 $a_{g,i}$ は入力波加速度である。

3実験シミュレーション 構築した実験システムを用いて実験を行

表1 4自由度モデルの動特性

	Period(sec.)	Participation Factor
1st mode	1.47	69.0
2nd mode	0.512	-21.1
3rd mode	0.334	10.2
4th mode	0.272	-4.43

った場合に実験結果に影響を及ぼすと思われる加振時間遅れや実験誤差が応答結果に及ぼす影響を検証するために実験シミュレーションを行った。実験部分、計算部分の応答計算にはともにNewmark- β 法($\beta=1/4$)を用いた。計算時間間隔は0.01秒とした。なお、入力波として、El Centro波 NS成分(最大加速度40gal)を用いた。ここではモデル4層部の相対変位応答の時刻歴を結果として示す。

時間遅れや実験誤差の影響がない場合(図4)、実験シミュレーション結果は全体系の応答計算結果(図中破線)とほぼ一致した結果を示し、この実験手法により構造物の動的応答を完全に評価することができる。

時間遅れや実験誤差の影響が顕著な場合の応答計算結果を以下に示す。なお、時間遅れや実験誤差の影響がない場合の結果(図中破線)を比較に用いた。

・時間遅れのある場合(図5)

時間遅れが0.005秒の場合の結果を示す。応答が発散している。高次の振動モードが励起される。また、遅れ時間が大きくなると蓄積される誤差が大きくなり、急速に発散することも判明した。

・振動台の出力信号にランダムな誤差が混入する場合(図6)

電気ノイズが主な原因である。機械振動がノイズとなり混入することもある。応答に大きなずれが生じている。誤差を含んだ値が応答計算を経ず、直接加振装置に送られるということが原因と考えられる。

4. サブストラクチャ振動台実験の実現に関して 本実験システムを用いサブストラクチャ振動台実験を実施した結果を図7に示す。入力波は振幅15galの正弦波である。応答は最終的には発散しており、良好な実験結果とは言えない。振動台が加振信号を正確に再現していないということが原因として考えられる。そこで、加振時間遅れおよびランダム誤差を考慮したシミュレーションを行うと、これとほぼ同様な結果が再現されている。(図8) 実施した実験においても加振時間遅れ、ランダムノイズの影響が顕著であったものと思われる。

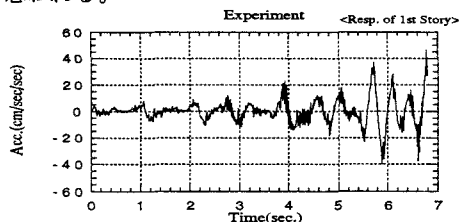


図7 実験結果

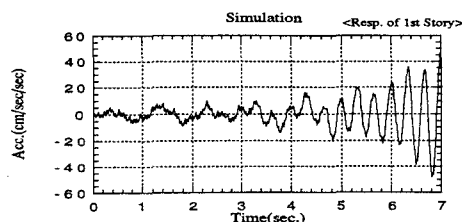


図8 シミュレーション結果(実験を再現)

5. まとめ 実験シミュレーションにより本研究において開発した実験手法が多自由度構造物の動的応答を正確に評価しうるものであることが示された。しかし、実験を行うにあたっては、振動台の加振時間遅れや系統的な実験誤差を可能な限り排除した実験システムを用いることで良好な応答結果が得られると考えられる。

【参考文献】

諏訪、サブストラクチャ振動台実験の基礎的アルゴリズム、京都大学提出卒業論文、1996年。

P.B. Shing, et al., Experimental Error Propagation in Pseudodynamic Testing, UCB/EERC83/12.