

アクティブ制振用小型実験装置に関する基礎的研究

大阪府立工業高等専門学校 正 員 岡南博夫
 京都大学工学部 正 員 古田 均
 大阪府立工業高等専門学校 学生員 ○小林靖仁
 大阪府立工業高等専門学校 学生員 松下泰弘

1. まえがき 地震・風等の外力によって構造物は振動するが、構造物の重要度が増大するに伴って、制振対策を講じることは不可欠となり、制振方法の一つとしてアクティブな制振方法が注目され研究が行われている。初期の実験的研究では、小さな模型を使用した基礎的な研究が行われていたが、最近ではかなり大型の模型を使用し実験規模も大きくなっているように思われる。この種の研究は、実験システムに多大な費用を有すると共に、情報・制御工学、耐震・耐風工学、建築・構造工学等の知識を必要とするが、本研究では、安価で手軽に構造物のアクティブコントロールに関する研究を行うための小型実験装置を試作し、実験システムの性能・特性を調べ、今後、どの程度の研究に利用できるかといった点を調べることを目的とした。

2. 実験概要 実験システムのブロック図を図1に示す。模型は1層せん断変形型模型であり、以下の3種類の模型を使用した。MODEL1 (質量 $m=0.0269\text{Kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{sec}^2$, 固有振動数 $f=7.75\text{Hz}$, 減衰比 $\zeta=0.017$) MODEL2 ($m=0.0622\text{Kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{sec}^2$, $f=5.09\text{Hz}$, $\zeta=0.019$), MODEL3 ($m=0.101\text{Kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{sec}^2$, $f=3.14\text{Hz}$, $\zeta=0.020$) また、コントロール力は、ステッピングモータ (日本サーボ TYPE KP6P8-201 ステップ角 7.5°) からコイル状スプリング (スプリング定数 $k=21.7\text{gf/cm}$, 83.3gf/cm の2種類を使用) を介して模型にステップ状に作用させる。1本のスプリングを図1に示すように斜めに (角度 25.7°) 設置する場合 CASE1とモータを中央に置き2本のスプリングをV字形 (角度 35.2°) に設置した場合 CASE2の2ケースで実験を行った。コントロール力は、MODEL1 CASE1 $k=21.7\text{gf/cm}$ では、模型自重の 0.368% , $k=83.3\text{gf/cm}$ で 1.41% , その他の場合は全てこれより小さい。制御には、32ビットパソコン NEC PC9801-ES2 を使用した。模型の加振方法は、地盤に相当する振動台を加振機で加振する方法と、発泡スチロールを設置した模型に扇風機による乱流を作用させて振動させる方法をとった。加振機は正弦波と外部信号による不規則波を発生させることができる。外部信号としてはパソコンにファイルした EL CENTROの変位地震波を D/A変換ボードから出力させデータレコーダに記録したものを利用した。

3. 制御方式 従来、最適制御理論にしたがった方式で制御力が与えられているが、ここでは、システムの時間遅れの問題等を簡単に検討できるようにするため、演算速度は遅くなるが、BASIC言語によって極めて簡単な閉ループ制御を試みた。変位を歪ゲージで検出し A/D変換ボードからパソコンに取り込み、変位が正から負、または負から正の状態が判定し、パルス状の制御力を速度に対応する減衰項の形でステッピングモータで与える方式をとった。これは、正弦波で考えれば、変位と速度との間に $1/4$ 周期の時間差を有するため、この時間差の中に A/D変換時間・計算時間・モータ

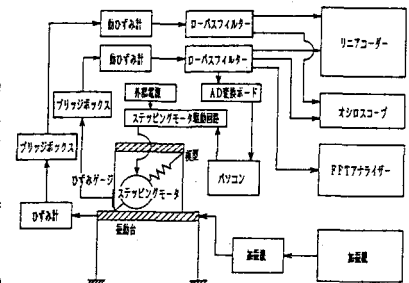


図1 実験システムブロック図

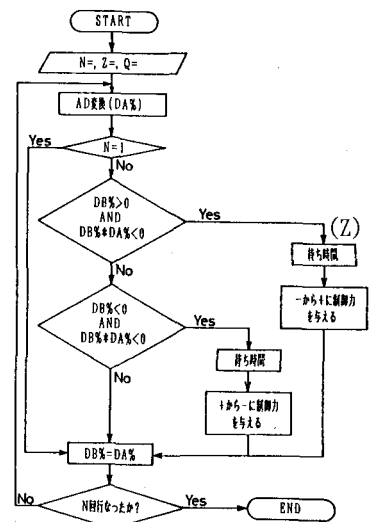


図2 制御方式フローチャート

Hiroo OKANAN, Hitoshi HURUTA, Yasuhito KOBAYASHI, Yasuhiro MATHUSHITA

の慣性による起動遅れ時間等のシステムの全体的な遅れ時間を含めて評価することができると考えたためである。変位による判定から1/4周期後の制御力を加えるまでの時間を調整するため、図2に示すようにBASICによるプログラムの中で待ち時間をFOR NEXT文による空回り回数Zで与えた。

4. 実験結果 図3は、変位が正から負に変化する点で判定し制御力を作用させるまでの時間遅れを調べた結果の一つであり、時間待ちとしてのFOR NEXT文の空回り回数Zが400の結果である。また、Qは、ステッピングモータの立ち上げ時に脱調しないように調整した立ち上げ速度調整値である。この時間遅れをZに応じて測定した結果が図4であり、BASICとBASIC-Cによる相違を示す。計算速度が早いことは、固有振動数の大きな模型の制御を行うことができることを示す。このデータから時間遅れが各模型の固有周期の1/4に相当する待ち時間を求めることができる。図5は、周期的な地盤変位を与えた時の変位応答を示し、制御力を加えた時の変位応答の減衰状態を示したものである。このような実験結果から、待ち時間（FOR NEXT文の空回り回数Z）と制御前と制御後の振幅比を求めた結果が図6である。応答変位がゼロであることを判定してから制御力を加えるまでの待ち時間が厳密に固有周期の1/4でなくても、制御効果を示す時間的余裕がかなりあることが示されている。このことは、不規則外力による構造物の応答が固有振動数付近のある振動数範囲で振動することを考えれば、制御力を与える時間的余裕があるということであり、都合がよい。不規則外力に対する例として、図7は乱流に起因する不規則振動に対する制御効果の一例を示し、図8は地震動による振動に対する制御効果を示した。

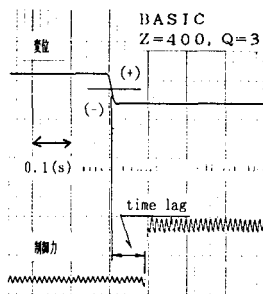


図3 作用制御力の時間遅れの測定例

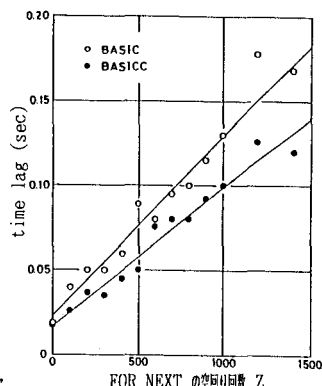


図4 時間遅れとプログラム中の待ち時間との関係

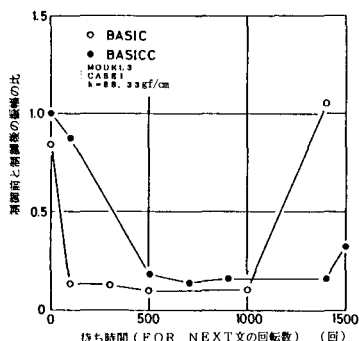


図6 制御効果とプログラム中の待ち時間との関係(正弦波外力による結果)

BASIC-C
MODEL 3
CASE 1
k=83.33 (gf/cm)
Z=900, Q=3

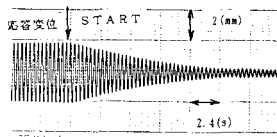


図5 周期的地盤変位による応答に対する制御効果の例

BASIC
MODEL 1
CASE 2
k=83.33 (gf/cm)
Z=50, Q=3

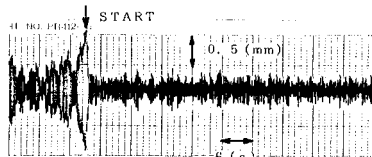
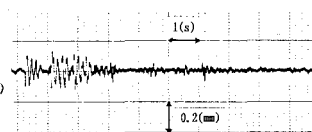


図7 不規則変動風による応答に対する制御効果の例

5. むすび 本装置は、固有振動数が14Hz程度までの模型実験に適應でき、簡単な方法によってある程度の制御効果の得られることが知られた。今後、多自由度振動系に対して本システムによる制御効果を検討する予定である。なお、最適な制御方法を考える場合には、変位応答の大きさに応じて制御力の大きさを変化させることが必要になるが、本実験装置ではステッピングモータのステップ数を変化させることによって、ある程度対応できる。しかし、このときには、もう少し1ステップ当りの回転角度が小さく、駆動トルクの大きなモータが必要であろう。

BASIC
MODEL 1
CASE 2
k=83.33 (gf/cm)
外力: 小
Z=100, Q=3



BASIC
MODEL 1
CASE 2
k=83.33 (gf/cm)
外力: 小
制御前

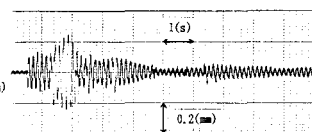


図8 地震波による応答に対する制御効果の例