

ジャイロダンパーの制振効果に関する 実験的研究

1110310 大西 健二

高知工科大学 工学部 社会システム工学科

ジャイロモーメントを利用した制振装置，GD(gyroscopic damper)による制振効果について実験を行った．建築物の変形を曲げ変形として捉えるのではなく，せん断変形として捉え検討した．4階建ての建築物を想定した模型にGDを取り付け，ジャイロモーメントが働いている場合とそうでない場合の応答を比較し，GDが地面からの振動に対して制振効果を持つことを実証した．

Key Words : ジャイロダンパー, 模型実験, 層間変形角

1. はじめに

近年では，建築物の風振動をパッシブ型のダンパーで抑制している例が多い．その代表的な制振装置としては，オイルダンパー，TMD(Tuned Mass Damper)，TLD(Tuned Liquid Damper)等が挙げられる．しかし，ジャイロモーメントを利用したGD(gyroscopic damper)を用いた制振は，実例も実験例も少ない．さらに，地震振動の制振にGDを用いた例は，未だに報告がない．

村井は地盤振動に対するジャイロダンパーの制振効果を検討している¹⁾．しかしながら，線形化された運動方程式に基づいた解析的なものにとどまっておき，線形化の妥当性は検討されていない．振幅が大きくなった時のジャイロモーメントが線形化された簡単な式で表わされないことはよく知られている．解析的な検討の結果の妥当性を検証するためには，模型実験が必要と考えられる．また，実施設計を考えた時の問題点の抽出という意味でも実験は有意義と考えられる．本研究では建築物を想定した模型にGDを設置し，地盤振動に対する制振効果を実験的に検討した．

2. 実験概要

2.1 実験装置の概要

(1)建築物の模型

4階建ての建築物を想定した模型を製作した．各階の高さ350mm、全体高さ1400mmとした．平面は4隅に柱を配置した正方形で、柱の中心間隔は400mmである．柱には10×10×1のアルミ角パイプを用いた．柱間には10×10×1のアルミアングル製の梁を設けたが、結果的に剛性が過大であったので、2,3階の振動方向(写真-1のy軸方向)の梁は撤去した．各階の天井は厚さ3mmの亚克力板で製作し、その上に各階に1kg、全体で合計4kgの質量を載せた．

(2)GDの模型

写真-1に示した構造のGDを建物の2階部分に取り付けた．

鉛直軸(z)周りに高速で回転するローターをジンバル枠で支持し、このジンバル枠を(x)軸に直角な水平軸(y)周りに回転できるように支持する．ジンバルの回転軸(y)周りには、ジンバルの位置を保持し、エネルギー吸収用のダンパーの役割を果たす板バネを設ける．さらに、このジンバル枠を、(x)軸に回転できるようにフレームで支持する．フレームと床の間はピン結合、フレームと天井の間は板バネで支持し、建物の層間変形によってフレームが(x)軸周りに回転する構造となっている．

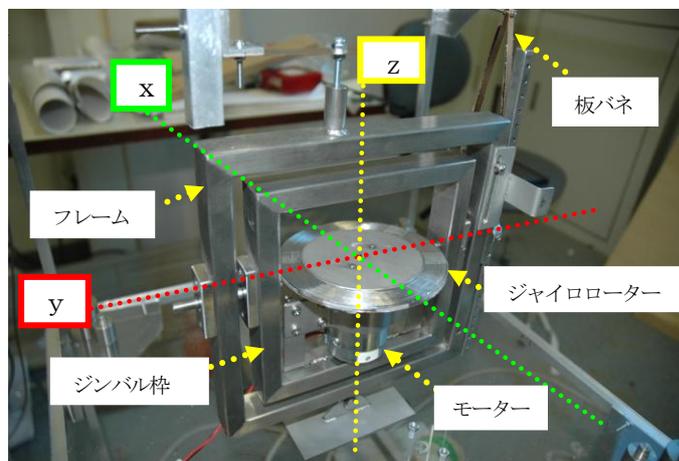


写真-1 使用したジャイロダンパー

2.2 実験方法

GDを取り付けた模型の1階床部分を振動台に固定し、正弦波で加振して建物の応答を測定した．加振振動数は1.3~2.4Hzとした．振動台を速度制御モードで運転したため、厳密には速度振幅一定の実験となっているが、上記の振動数範囲での変位振幅は約1mmであった．建物模型の応答は、模型屋上部に取り付けた歪ゲージ型加速度計で測定した．ローターの回転数は、モーターにかかる電圧で調整した．本実験に先立ってモーター電圧と回転数の関係を調べた．結果を表-1に示す．表からも明らかのように、モーター電圧と回転数はほぼ比例

関係にある。以下、本稿では便宜的にモーターにかけた電圧(V)で回転数を表わすことにする。

表-1 モーターにかけた電圧とローターの回転数

電圧(V)	ローターの回転数(RPS)
6	16.34
9	26.19
12	34.5
15	43.28

3. 実験結果

文献 1)によれば GD の固有振動数と建物の固有振動数が一致している時、GD の制振効果が最大となる。そこで、本実験に先立って GD の固有振動数の測定を試みたが、復元バネが手作りのために非線形性が著しく、正確な固有振動数が測定できなかった。数回の測定の平均的な値は約 1.7~1.8Hz 程度であった。一方、質量が 4kg の時の建物の固有振動数は約 1.6Hz であった。GD の振動数を調整するのは困難であったため、建物に載せる質量を 3.2kg, 2.4kg として建物の固有振動数を変化させて、振動数比の影響を検討することとした。質量を上記の値とした時の固有振動数は、各々 1.575、1.85、1.725Hz であった。以上の条件で、GD の制振効果を調べた結果を図 1, 2, 3 に示す。

いずれの場合もローター回転数の増加に伴って応答振幅は単調に減少している。回転数最大の場合の振幅減少率はおよそ 1/4~1/3 程度である。質量 4kg の場合の減少率が若干小さいように見えるが、建物と GD の振動数比の影響はさほど大きくない。これは、解析的な検討の結果が示すところと大きく異なる。その理由は明らかでなく、復元バネの非線形性の影響を含めて、詳細な検討が今後の課題である。

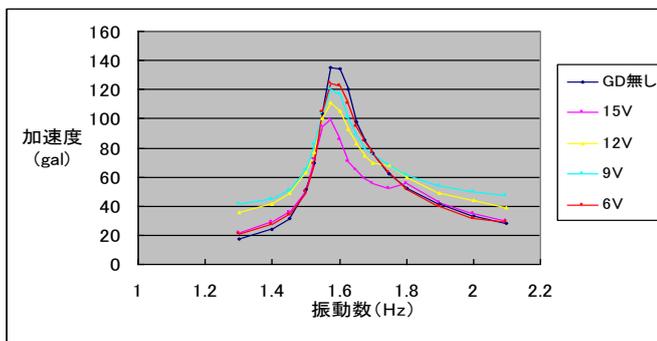


図-1 質量 4kg での建物の応答振幅

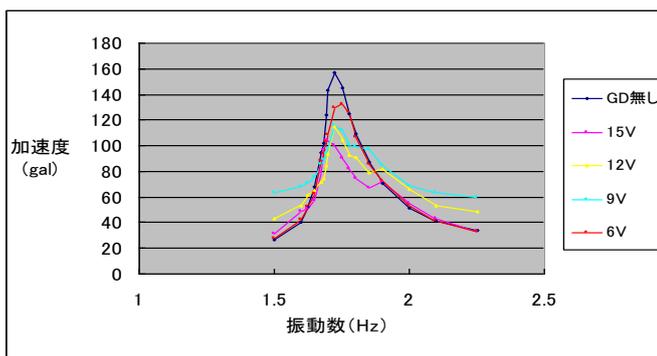


図-2 質量 3.2kg での建物の応答振幅

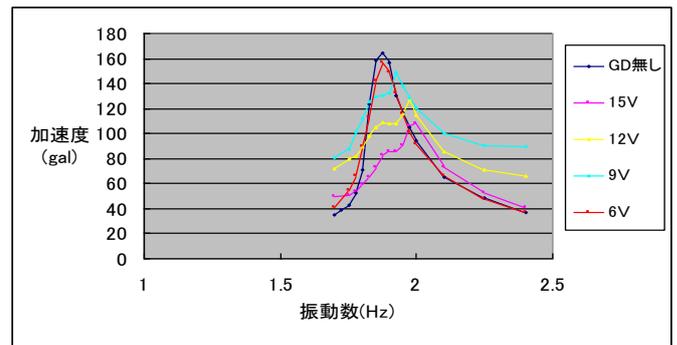


図-3 荷重 2.4kg の建物の振幅

4. 解析値との比較

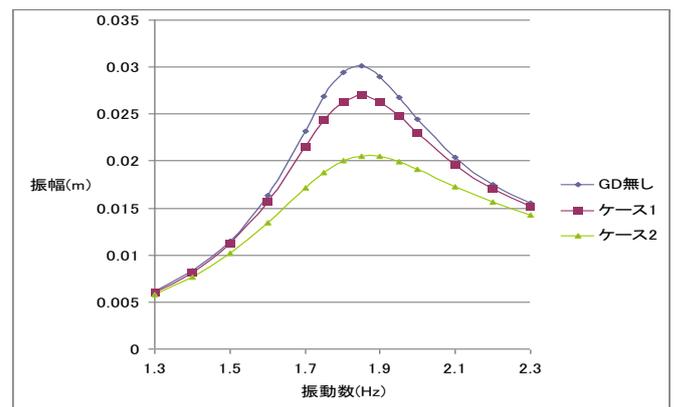


図-4 解析結果

実験結果と解析との整合性を調べるため、模型諸元を用いた 4 階の建物の解析を行った。ただし、建物の剛性、質量、GD ローターの極慣性モーメント、バネによる復元モーメントなどの諸元を正確に測定することが難しいため、定量的にはかなりの誤差を含む結果であるが、製作した模型の応答が解析結果と基本的に整合するかどうかを判断することは可能と考えられる。結果を図-4 に示す。GD の回転数は実験における最大回転数の約 4 倍となっている。また、ローターの極慣性モーメントについては、ケース 1 では円盤の寸法から計算した値を、ケース 2 ではその 2 倍とした。モーター内部にも回転部があること、ローター周囲には鋼よりも比重の大きい半田線を巻いていることから、実際にはケース 1 とケース 2 の中間程度の値であろうと推定される。

図から解析結果と実験結果はほぼ一致しているようにも見えるが、解析値の方が回転数が高いことを考えれば、実験の方が GD の制振効果が高いことになる。GD に限らず、制振装置では実験あるいは実機では解析ほどには効果が表れないのが一般的であり、今回の結果の精度については更に精緻な検討が必要と思われる。しかしながら、手作りのラフな模型でも定性的には解析と同様な制振効果を確認できたことから、GD を用いた建物の地盤振動応答の制振は可能であると結論できる。

参考文献

- 1) 村井玲太：ジャイロダンパーによる高層建築物の制振、高知工科大学卒業論文、2010