

4層骨組構造模型の浮き上がり振動台実験

—Sweep 波入力に対する減振効果—

Shaking table test of a four story frame model
- Rocking effect for sweep wave -

北海学園大学大学院工学研究科
北海学園大学工学部

○学生員
フェロー

沢江和樹 (Kazuki Sawae)
当麻庄司 (Shouji Toma)

1. はじめに

構造物の耐震方法として、ロッキング振動による浮き上がり効果を利用することはよく知られている¹⁾²⁾³⁾。浮き上がり効果は、構造物が地震力を受けたとき、構造物全体のロッキング振動により生じる。このとき、構造物の底部に作用する転倒モーメントと重力が均衡状態になり、構造物をわずかに浮き上がらせることによって減振効果をもたらせるものである。

ここでは、図-1に示す4層の小型骨組み構造物模型がsweep波を受ける場合、浮上りによる減振効果がどの程度あるのかを確認するために実験を行った。以下、その実験結果について記述する。

2. 実験概要

2.1 実験器材

(1) 振動台

実験の状態を図-1に示す。本実験で用いた振動台は永久磁石式2軸方向振動機(株)サンエス製)であり、デジタル入力制御することができる。図-1は、水平方向振動台の上に鉛直方向の加振機が搭載されている状態である。なお、本試験では水平方向のみ加振した。

(2) 構造模型

実験で使用する構造物は、図-1に示す4階層骨組構造物模型を用いた。構造物模型は一層の高さ約24.5cm、全高さ99.5cm、床面の寸法は22.5cm×15.0cmであり、模型の全体質量は7.36kgである。

実験では、模型の床面と振動台をボルトで4箇所固定したものを、固定模型とする。また、ロッキングによる浮き上がりを許容するため、ボルトを緩めた状態としたものを、浮き上がり模型とする。

(3) 加速度計の配置

加速度計の配置は、図-2に示すように、振動台と各階床面の中央に配置する。鉛直方向の加速度計は、振動台中央、3階床面の左右と4階天井の左右に配置した。

(4) ひずみゲージ

構造物の柱部材のひずみを調べるために、ひずみゲージを構造物の左側の部材に設置した。設置箇所は、図-2に示すように各階床面から1cmの位置に設置した。

2.2 実験方法

本実験では、4階骨組構造物模型にsweep波を水平方向に入力するとき、各階での2軸方向の加速度および各

階間の部材に生じるひずみ量を測定するものとする。実験は、構造物模型を固定した場合と浮き上がりを許容した場合について実施し、比較する。

なお、実験に使用した入力波は正弦波である。入力波条件は、最大加速度 $68.7\text{cm/s}^2(0.07\text{G})$ 、振動数の範囲を1~20Hz、振動台への入力時間を3minとした。加振方向は水平方向のみである。

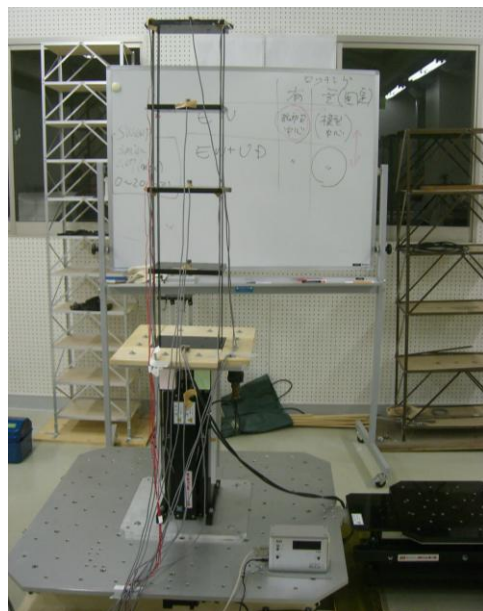


図-1 構造物模型と振動台装置

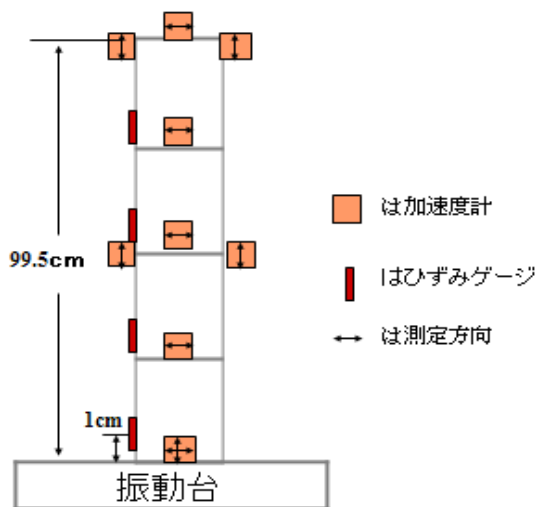
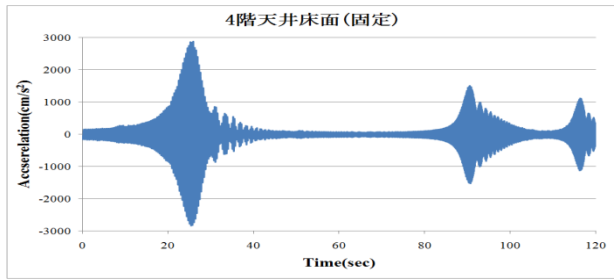
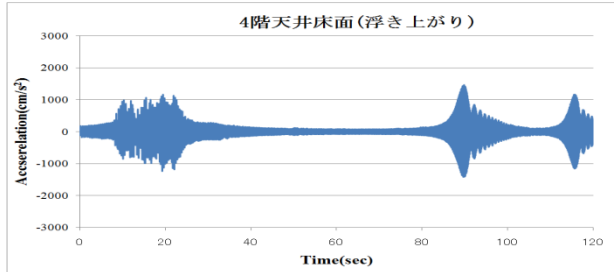


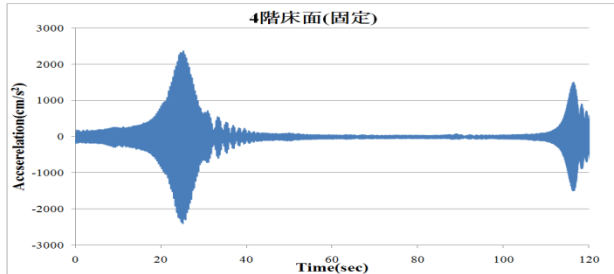
図-2 加速度計とひずみゲージの配置



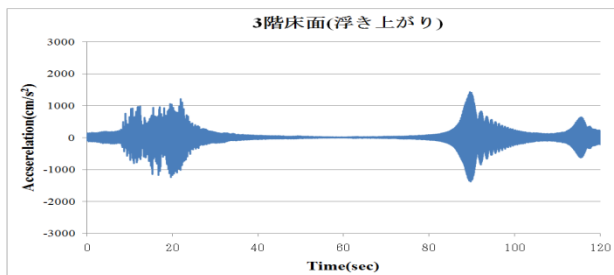
(a) 4階天井水平加速度



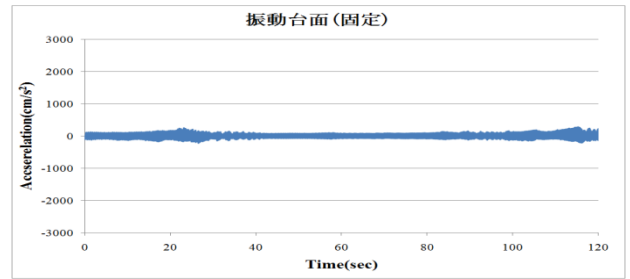
(b) 4階床面水平加速度



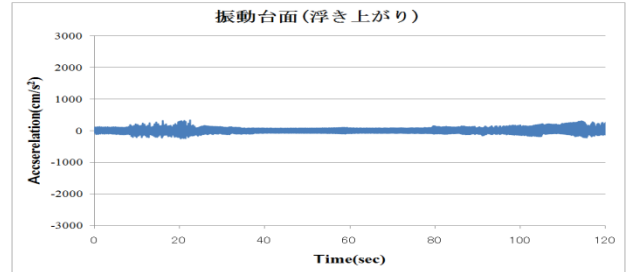
(c) 3階床面水平加速度



(d) 振動台面水平加速度



(a) 4階天井(left)鉛直加速度



(b) 振動台面鉛直加速度

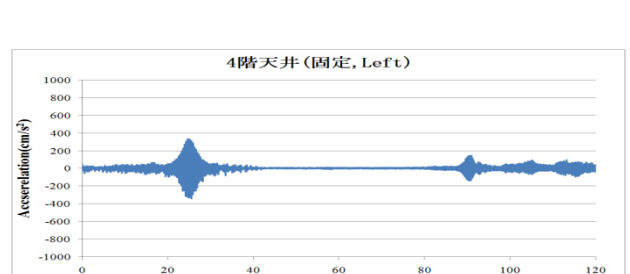


図-4 鉛直加速度の比較

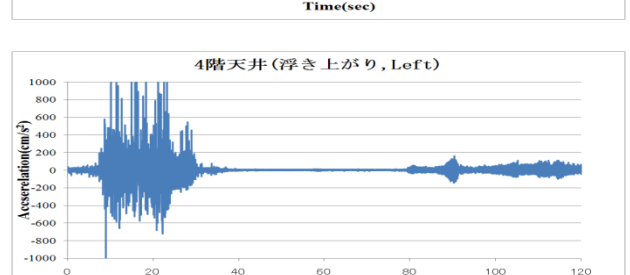


図-3 水平加速度の比較

3. 加速度の測定結果

3.1 水平加速度による比較

実験では、水平方向の加速度計を 4 階天井、4 階床面、3 階床面、2 階床面および振動台中央の合計 5 箇所を設置した。図-3 に、(a) 4 階天井、(b) 4 階床面、(c) 3 階床面、(d) 振動台中央の 4 箇所での水平加速度の計測結果を示した。各図の上段は固定、下段は浮上りがある場合の結果を示す。各図の縦軸及び横軸は同じスケールで表している。

固定した場合と浮き上がりが発生した場合を比較すると、浮上りは 1 次モードの共振時のみ発生し、他のモードでは生じなかった。1 次モードの各階の測定結果は固定と浮き上がりの場合で大きく異なっており、浮上りの効果がよく表れている。一方、浮上りが生じていない 2 次と 3 次のモードでは、固定と浮き上がりの場合はほとんど同じ結果となっている。

入力波と考えられる振動台面中央での水平加速度(図-3(d))は、固定時と浮き上がり時でほとんど同じであるが、浮き上りの場合、20 秒付近で若干大きな高周波が生じている。これは 1 次モードでの共振時の挙動が振動台に影響を与えてしまった結果である。すなわち、1 次モードでは後で述べるように、浮き上がりが生じ、落下時に模型が振動台に衝突するためである。

4 階天井の水平加速度(図-3(a))をみると、共振状態が 3 箇所で行っていることがわかる。本模型の場合、目視によると 1 次の固有周期は 2.4Hz、2 次は 9.0Hz として 3 次は 14.2Hz で生じている。固定した場合、最大加速度と最小加速度はそれぞれ 2883cm/s^2 、 -2819cm/s^2 となり、1 次固有モードの共振で最も大きな加速度が生じた。一方、浮き上りの場合 2 次モードでの加速度が最大となり、最大加速度と最小加速度はそれぞれ 1361cm/s^2 、 -1365cm/s^2 であり、固定した場合に比べ大きく減少した。

4 階床面の水平加速度(図-3(b))は、固定した場合、1 次モードでの最大加速度と最小加速度はそれぞれ 2345cm/s^2 、 -2396cm/s^2 である。浮き上りの場合それぞれ 1478cm/s^2 、 -1508cm/s^2 であり、4 階天井と同様に加速度が 1/3 以下と減少した。ただし、浮上りの場合、4 階床面での加速度最大値は、3 次モードで生じている。そして、2 次モードが他の階層に比べて非常に小さくなっている。

3 階床面の水平加速度(図-3(c))は、固定した場合、1 次モードでの最大加速度と最小加速度はそれぞれ 2000cm/s^2 、 -1858cm/s^2 である。浮き上りの場合、1 次モードよりも 2 次モードが大きくなり、 1330cm/s^2 、 -1245cm/s^2 である。4 階と同様に、浮き上がりが発生した場合の方が小さくなっている。

1 次モードの水平方向加速度について全体で比較すると、次の傾向がわかる。①1 次モードでは、上層階になるにつれて加速度は増加していく。②1 次モードでの水平加速度は、浮き上がりの影響により加速度を大きく抑えることができる。③1 次モードで浮き上がりが生じる場合、加速度範囲は各階ともおよそ -1000cm/s^2 から 1000cm/s^2 の間におさまっている。

3.2 鉛直加速度による比較

鉛直方向の加速度は、図-2 に示すように、4 階天井の左右、3 階床面の左右および振動台中央の 5 箇所計測した。そのうち、図-4 に 4 階天井左側(図-4(a))と振動台中央(図-4(b))の加速度結果を示した。その他の計測点における鉛直振動は、4 階天井左側(図-4(a))と同様な傾向を示している。図-4 に示されたグラフは、比較しやすくするため、縦軸の範囲を -1000cm/s^2 から 1000cm/s^2 に統一した。模型が浮き上がった場合、落下時に床面に衝突して衝撃を受けるため、4 階天井の鉛直加速度(図-4(a))がグラフ範囲を局所的に超えてしまっていることがわかる。

図-4(a)の 4 階天井左側の鉛直加速度は、固定した場合、最大加速度と最小加速度はそれぞれ 322cm/s^2 、 -336cm/s^2 である。浮き上がりの場合の局所的な最大加速度と最小加速度はそれぞれ、 2013cm/s^2 と -1080cm/s^2 である。

振動台中央部の鉛直加速度(図-4(b))をみると、浮上りの場合 1 次モードでかなり大きな鉛直振動が発生している。これは、1 次モードでの構造模型が浮上り、その落下時の衝突の影響が出ている。また、骨組構造模型の 3 次モードに近いところでかなり鉛直振動が測定されているが、これは振動台自身の固有周期に近いためその影響が出たものである。

振動台中央の鉛直加速度は、固定した場合最大加速度と最小加速度はそれぞれ 58cm/s^2 、 -46cm/s^2 である。浮き上がりの場合の局所的な最大加速度と最小加速度はそれぞれ、 384cm/s^2 、 -489cm/s^2 である。

この結果より、1 次モードで模型のロッキング振動により浮き上がりが発生すると、落下時の衝突衝撃により鉛直方向の加速度が局所的に非常に大きくなる。また、浮き上がりが発生しない 2 次と 3 次のモードでは、水平加速度と同様に固定と浮き上がり双方に加速度の差違はほとんどなかった。

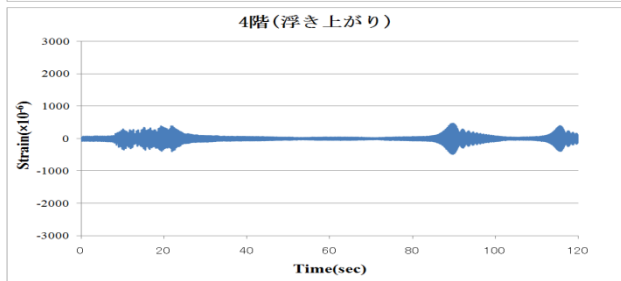
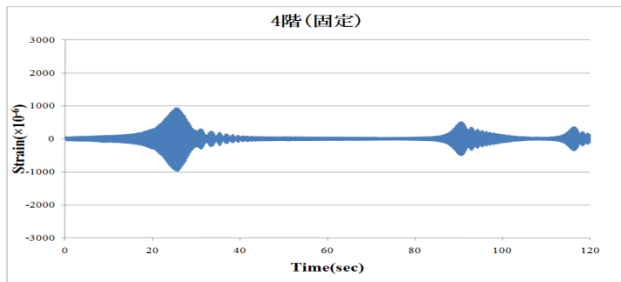
4. ひずみの測定結果

次に、柱部材に対する各階のひずみを比較する。ひずみの計測は図-2 に示すように各階の 4 点で実施したが、そのうち 1, 2, 4 階における計測結果を図-5 に示す。上段は固定の場合、下段は浮上りの場合である。これによると、固定した場合に比べ浮き上がった場合の方が、全体的に部材に対するひずみが大きく減少していることがわかる。

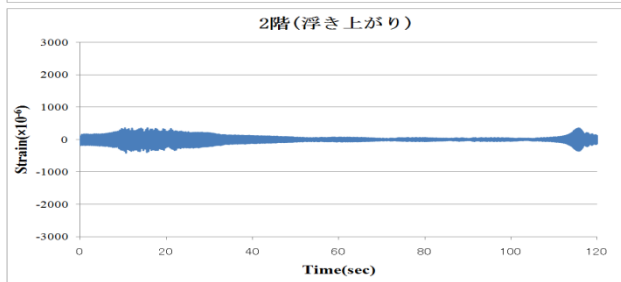
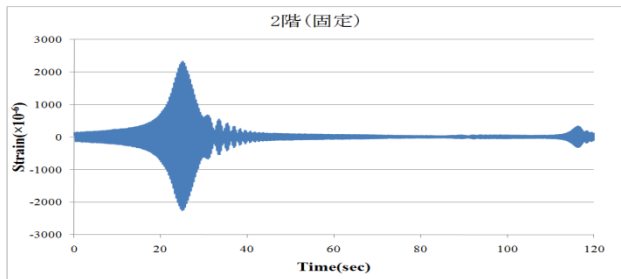
固定した場合、1 次モードでは上の階にいくにしたがってひずみ量は減少していく。そして、2 次、3 次モードでは振動モードの違いが各階でよく表れている。

図-5 (c) で示した 1 階層柱ひずみにおいて 1 次モードの最大ひずみを比較すると、浮き上がった場合のひずみは、固定した場合のひずみに比べ、約 1/4 である。このことにより、浮き上がりを許容した場合、部材に対する作用力が大きく減少していることがわかる。

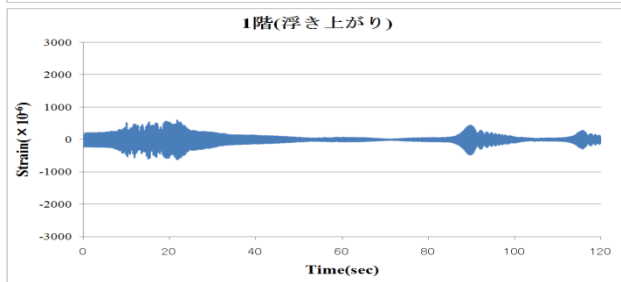
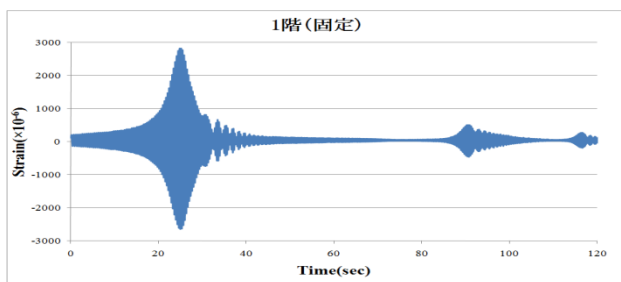
また、2 次、3 次モードでは浮上りが生じないため、水平および鉛直加速度の計測結果と同様に、固定した場合と浮き上がりが生じた場合で大きな違いはなかった。



(a) 4 階層柱のひずみ



(b) 2 階層柱のひずみ



(c) 1 階層柱のひずみ

図－5 柱部材のひずみの比較

今回の実験での最大ひずみの計測値は、1 階層柱 (図－5 (c)) の固定した場合の 1 次モードにおいて 2827μ であった。

5. まとめ

ここでは、浮き上がり効果が骨組み構造物の振動にどのような効果もたらすかを検討するため、4 層骨組構造物模型を用いて振動台実験をおこなった。この実験の結果、次のようなことがわかった。

(1) 水平加速度

水平方向の加速度は、固定した場合に比べ、浮き上がりが発生した場合の方が小さくなり、減振効果大きい。

(2) 鉛直加速度

鉛直方向の加速度は、浮き上がりが発生する場合構造物自身がロッキング振動をするため、上下方向の加速度が大きくなる。また、浮上りの落下時に模型の底面が振動台に衝突するため、その衝撃により局所的に過大な加速度が発生する。

(3) ひずみ量

ひずみ量は、固定した場合、1 次モードでは低層になるにつれて大きくなる。一方、浮き上がりが発生した場合、模型は拘束されていないため剛体ロッキング運動が生じることにより、ひずみ量が小さくなる。

以上の結果より、浮き上がりを許容することによって、水平方向の加速度とひずみ量を大きく減少させることができる。しかし、浮上りの落下時に衝突により鉛直方向の加速度が大きくなるため、この衝撃をやわらげる対策を検討する必要がある。

また、構造物の変形は、固定した場合上階層になるにつれ大きくなる。一方、浮上りの場合ロッキング振動により構造物全体の変形は大きい。浮き上がりにより構造物への作用力は減じることはできるが、変位を抑えることはできない。

今後はこの大きな変形の問題を含め、解析的な研究を加えていく必要がある。

参考文献

- 1) 緑川光正、須藤智文、麻里哲広、小豆畑達哉、石原正：ベースプレート降伏により柱脚浮き上がりを許容した 10 層鉄骨架構の 3 次元地震応答、日本建築学会構造系論文集、第 74 巻、第 637 号、495-502、2009 年 3 月。
- 2) 豊巻真悟、麻里哲広、緑川光正、石山祐二：構造物の浮き上がりと応答に及ぼす地震動上下成分の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006 年 9 月。
- 3) 和田章、山田哲、小野泰寛、小林勝己、佐々木康人：弾性地盤上の建築構造物の地震時浮き上がり現象に関する基礎実験、日本建築学会構造系論文集、第 595 号、57-64、2005 年 9 月。