

制振構造物の振動実験及び地震応答解析

D1-01075 崎田 健史

1. 研究の背景と目的

構造物の減衰定数は、地震や風などの外力に対する建物の応答を推定する上で重要なパラメータであるが、現行の設計では、鉄鋼造で2%、RC造で3%程度の減衰定数が慣用的に用いられており、精度は大まかなものである。また、近年では建物に、制振装置を用いることが多くなっており、制振装置の性能を決定する上で、構造物の減衰能力を正確に評価する必要が高まっている¹⁾。しかし、微動レベル及び強震レベル、ダンパーを考慮した実測例が少ないのが現状である。そこで本研究では、実在の構造物での微動観測及び強制加振実験、地震観測記録から、制振ダンパーの導入前後での減衰定数及び固有周期、振動モードを検討することを目的とする。

2. 常時微動観測実験及び強制加振実験

2.1. 実験概要

日時：2004年7月19日(月)

建物概要：地震防災・環境研究センター新棟 鉄骨造

建築面積 543 m² 高さ 21.6 m 地上5階 塔屋1階²⁾

2.2. 実験方法

常時微動観測実験は、微動観測計(VSE-15D)7台(ch1~ch6,ch8)を用いて行った。強制加振実験は人力加振及び起振機加振を行い、人力加振実験では、微動観測により得られた周期特性に合わせて壁や柱などを6人で加振して、建物の振動振幅が十分成長したと確認した時点で加振を停止し、自由振動を計測した。また起振機加振実験でも同様に周期特性に合わせて加振して、自由振動を計測した。今回用いた粘弾性ダンパーは、粘弾性体の厚さ d=5[mm]、形状係数 S/d は 20000[mm]のアクリル系粘性ダンパーである²⁾。ダンパー写真を写真1に示す。またダンパーのせん断ひずみ特性を図1に示す。起振機は、重量 36kg、加振振動数範囲 0.1~100Hz、加振力 32kg の電磁式振動加振器(APS-113 型)を使用した。図2にダンパー設置位置と微動計の配置を示す。表1に実験基本項目を、表2に強制加振実験の加振方法を示す。



写真1 ダンパー写真

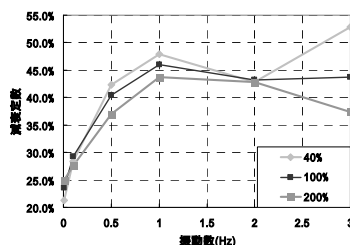


図1 ダンパーの特性²⁾

表1 実験基本項目

| 観測内容 | 項目 | 内容 |
|---------------|---------------|--------------------------------|
| 常時微動観測実験 | 実験回数 | 配置1パターンに対してNS,EW方向にそれぞれ3回(計6回) |
| | 観測時間 | 各40秒間 |
| | サンプリング間隔 | 100Hz |
| 人力加振 起振機加振 | 観測機器 | 微動観測計:7台(1成分) |
| | 実験回数 | 加振方向1パターンに対して5回ずつ |
| | 観測時間 | 各40秒間 |
| | サンプリング間隔 | 100Hz |
| 観測機器 | 微動観測計:7台(1成分) | |

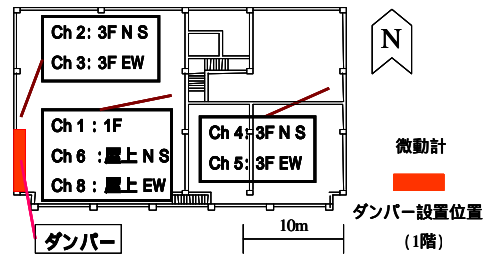


図2 ダンパー設置位置と微動計の配置

表2 加振方法

| | |
|-----|-------------------------------|
| 実験1 | 3階西側のキャットウォーク上でNS方向に2次モードで柱押し |
| 実験2 | 3階南側のキャットウォーク上でNS方向に1次モードで壁押し |
| 実験3 | 3階東側のキャットウォーク上でEW方向に1次モードで壁押し |
| 実験4 | 起振機によりNS方向に1次モードで定常加振後停止 |
| 実験5 | 起振機によりNS方向に2次モードで定常加振後停止 |
| 実験6 | 起振機によりEW方向に1次モードで定常加振後停止 |

2.3. 常時微動観測実験の結果

微動観測記録のNS成分のフーリエスペクトルを図3に示した。固有振動が1.9Hz付近にみられ、西側では2.34Hz付近にピークがみられる。図中に示した範囲でバンドパスフィルタかけた変位波形を図4に示した。建物中心より西側(ch2, ch6)と東側(ch4)が逆位相で揺れており、ねじれを起こしていることがわかる。また、1.9Hz付近では同位相で揺れていた。

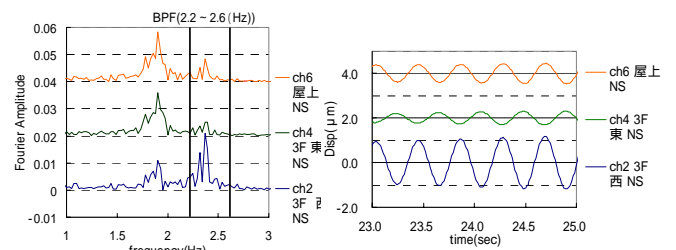


図3 フーリエスペクトル(NS)

図4 2.34Hz付近の変位波形

2.4. 減衰定数算定方法

減衰定数算定方法として、2つの方法で減衰定数を算定した。一つは、バンドパスフィルタにより目的とする波形のみを抽出した変位波形の極大値の最小二乗近似が $e^{-\delta t}$ になることから減衰定数を求めた。(以後、最小二乗近似) もう一つは、ランダムな時系列波形の極大値を初期値とした小サンプルを数多く作成し、それらを多数重ね合わせることで、時系列波形のランダム成分の和がゼロに近づき、自由減衰振動を1自由度系の自由振動波形で最小二乗近似を行い、その振幅比から減衰定数を求めた²⁾。(以後、RD法)

2.5. 強制加振実験結果

表3に強制加振実験のダンパー設置前後の減衰定数を表す。ここでは各実験で5回行った結果の平均値を示した。ただし、うまく近似していないものや、減衰定数を過大評価しているものは除いて評

価した。人力加振実験では概ね2%前後の減衰定数が得られ、起振機加振実験では1%前後の減衰定数が得られた。この違いは振幅レベルの違いによるものと考えられる。また2次モードで加振した実験では、建物東側より剛性の低い西側の方が、減衰定数が大きかった。これは建物西側にダンパーを設置した影響が考えられる。

NS方向に加振した加振実験において、2つの算定方法でダンパー設置前より設置後の減衰定数が大きくなった。このことからダンパーの効果を確認することができた。また人力加振実験に比べ起振機加振実験の方が減衰定数の増加率が大きかった。これは起振機の加振力が小さい事が原因と考えられる。

ダンパーを設置していないEW方向では減衰定数がダンパー設置前後で変化していない結果が多かったが、結果の一部でダンパー導入による減衰定数の増加が確認された。これは微小振幅レベルである起振機加振実験ではうねりが生じエネルギーの伝達がされた可能性があることが考えられる。

表3 人力加振実験でのダンパー有無による減衰定数 (NS)

| | | 最小二乗近似(%) | | | RD法(%) | | |
|------------------|-----|-----------|------|------|--------|------|------|
| | | 設置前 | 設置後 | 比 | 設置前 | 設置後 | 比 |
| NS 人力 実験1 | ch2 | 1.55 | 1.85 | 119% | 1.6 | 1.87 | 117% |
| | ch4 | 1.56 | 1.87 | 120% | 1.62 | 1.86 | 115% |
| | ch6 | 1.56 | 1.86 | 118% | 1.61 | 1.87 | 116% |
| NS 人力 実験2 | ch2 | 2.09 | 2.29 | 110% | 1.86 | 2.25 | 121% |
| | ch4 | 1.7 | 1.84 | 108% | 2.21 | 2.31 | 105% |
| | ch6 | 1.9 | 2 | 105% | 2.1 | 2.37 | 113% |
| NS 起振機 実験4 | ch2 | 0.93 | 1.04 | 112% | 0.74 | 0.95 | 128% |
| | ch4 | 0.82 | 0.9 | 110% | 0.73 | 0.93 | 127% |
| | ch6 | 0.85 | 0.95 | 112% | 0.73 | 0.94 | 129% |
| NS 起振機 実験5 | ch2 | 0.52 | 0.78 | 150% | 0.69 | 0.74 | 107% |
| | ch4 | 1.07 | 1.44 | 135% | 1.19 | 1.4 | 118% |
| | ch6 | 0.55 | 0.75 | 136% | 0.59 | 0.82 | 139% |
| EW 人力 実験3 | ch3 | 2.05 | 2.05 | 100% | 2.69 | 2.63 | 98% |
| | ch5 | 2.10 | 2.08 | 100% | 2.74 | 2.79 | 102% |
| | ch8 | 2.07 | 2.06 | 100% | 2.72 | 2.68 | 99% |
| EW 起振機 実験6 | ch3 | 1.2 | 1.22 | 102% | 1.11 | 1.38 | 124% |
| | ch5 | 1.21 | 1.2 | 100% | 1.09 | 1.36 | 125% |
| | ch8 | 1.01 | 1.17 | 116% | 1.19 | 1.48 | 124% |

3. 地震観測記録での検討

3.1 地震観測の概要

地震防災・環境研究センターに設置されている強震観測システムにおける観測地震記録から得られた地震波を元に対象建物の減衰定数及び固有周期、振動モードを検討する。今回は、表4に示す地震波を採り上げて検討を行った。図5に強震計の配置図を示す。

表4 地震観測記録一覧

| ダンパーの有無 | 地震発生時刻 | 震源位置 | マグニチュード | 震源深さ |
|---------|------------------|---------|---------|------|
| 無し | 2003/5/17 23:33 | 千葉県北東部 | M5.1 | 50km |
| | 2003/7/11 14:24 | 神奈川県西部 | M4.1 | 20km |
| | 2003/7/12 2:31 | 神奈川県西部 | M3.9 | 20km |
| | 2003/10/15 16:30 | 千葉県北西部 | M5.0 | 80km |
| 有り | 2004/7/17 15:10 | 房総半島南東沖 | M5.5 | 60km |
| | 2004/8/6 3:23 | 千葉県北西部 | M4.9 | 80km |
| | 2004/8/25 1:49 | 東京湾 | M4.6 | 70km |
| | 2004/10/6 23:40 | 茨城県南部 | M5.8 | 60km |

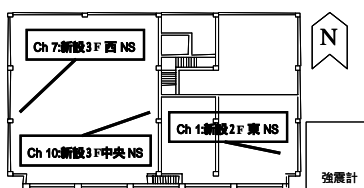


図5 強震計の配置図

3.2 地震観測記録の振動特性

強制加振実験と同様に固有周期を同定し、フーリエ振幅と卓越振動数との関係を図6に示した結果、フーリエ振幅が増加するにつれて卓越振動数が減少する卓越振動数の振幅依存性が確認できた。

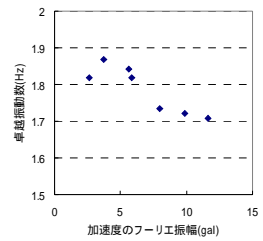


図6 卓越振動数の振幅依存性

3.3 地震観測記録の減衰定数算定結果

強制加振実験同様、RD法を用いて減衰定数を算定した。振幅依存性の影響を見るため、振幅ごとにRD法をかけて振幅と減衰定数の関係を検討した。図7に算定結果を示す。

図7より減衰定数の振幅依存性が確認できる。しかし、減衰定数にはばらつきが大きく、ダンパー導入による減衰定数の増加の傾向は見受けられなかった。

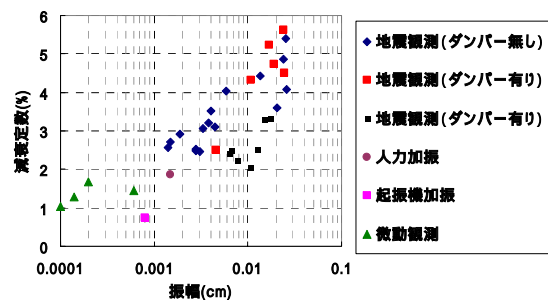


図7 減衰定数の振幅依存性

4. まとめ

- ・ 常時微動観測の解析結果、1.9Hzにおいて固有振動がみられ、2.34Hzにおいては、建物西と東が逆位相に変位していることから、ねじれを生じていることを確認した。
- ・ 減衰定数算定の結果、人力加振実験では概ね2%前後の減衰定数が同定され、起振機加振実験では1%前後の減衰定数が同定された。
- ・ 強制加振の減衰定数算定結果、最小二乗近似による算定結果及びRD法による算定結果の両方で、ダンパー導入による減衰定数の増加が見受けられた。
- ・ 地震観測記録からの解析結果、卓越振動数の振幅依存性が確認できた。
- ・ 地震観測記録からの減衰定数算定結果、振幅と減衰定数が比例する振幅依存性の傾向が見られた。
- ・ 地震観測記録の減衰定数算定結果、減衰定数のばらつきが大きく不安定な減衰定数が算定され、ダンパーの効果を検討できなかった。

【謝辞】

常時微動観測実験において、宮澤研究室には実験機材を使用させて頂きました。また同研究室大学院生の野中氏にご協力頂きました。早稲田大学曾田研究室大学院生の壁谷澤寿成氏に多大な協力をして頂きました。また人力加振実験では早稲田大学曾田研究室の大脇氏が設計したダンパーを使用させて頂きました。起振機加振実験において、鹿島建設所有の起振機を使用させて頂きました。ここに記して感謝の意を表します

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建築物の減衰、2000年
- 2) 片野正文：制振構造物の振動実験及び地震応答解析、工学院大学2003年度卒業論文、2003年2月