

第5章 高層建物における振動特性の評価・検証

第5章 高層建物における振動特性の評価・検証

4.1 節で述べた厚木市に建設された高層事務所ビルでの振動実験、及び地震観測の結果を示す。ここでは、固有値（固有周期、減衰定数）を同定して、本構造の減衰特性を確認する。そして、設計時に用いた振動解析モデルによって、これらの結果をシミュレートし、振動解析モデルの妥当性を検証する¹⁾。

なお、縮小オイルダンパを設置した鋼製3層模型試験体を用いた振動台実験²⁾によっても、20%程度の減衰定数での振動解析モデルの妥当性を確認している。

5. 1. 振動実験

(1) 実験方法

a) 加振装置

加振装置は、図 5-1-1 に示す通り、建物最上階（25 階）に重り 14.5t の振り子式起振機を特設³⁾し、これにより建物を加振した。振り子式起振機の詳細を図 5-1-2 に示す。鋼製の重りをチェーンブロックにより吊り下げ、このチェーンブロックの吊り長さを変えることで振り子の固有周期を調整する。

b) 加振方法

加振は1次振動モードを主な対象とし、自由振動実験を主体に行った。自由振動実験では人力で振り子を揺動して建物の応答を成長させ、応答が十分成長した後、振り子の変位最大時に、建物床に接合された振り子停止用ダンパのフックを振り子に引っ掛けスムーズに加振を停止した⁴⁾。また、参考のため常時微動計測も行った。

c) 計測項目

1、7、13、20、26 階の各階床の変位と振り子の加振方向加速度を計測した。

図 5-1-1(a)(b)にセンサの設置位置を示す。

d) 実験条件

実験は、鉄骨工事、全層の床コンクリート打設、及び外壁カーテンウォール取付が完了し、大型のタワークレーンが撤去され、内部間仕切り壁の施工も上層階を除いて終了した時期に実施した。加振方向とダンパの接続状態をパラメータとして以下の3条件で実験を実施した。また、各ケースとも加振レベルを変えながら3～4回ずつ加振した。なお、オイルダンパ非接続の実験は、施工上の理由によりオイルダンパが機

械室に設置される南北方向のみとした。

- ・南北方向ダンパなし（ダンパ非接続状態）
- ・南北方向ダンパあり（ダンパ接続状態）
- ・東西方向ダンパあり（ダンパ接続状態）

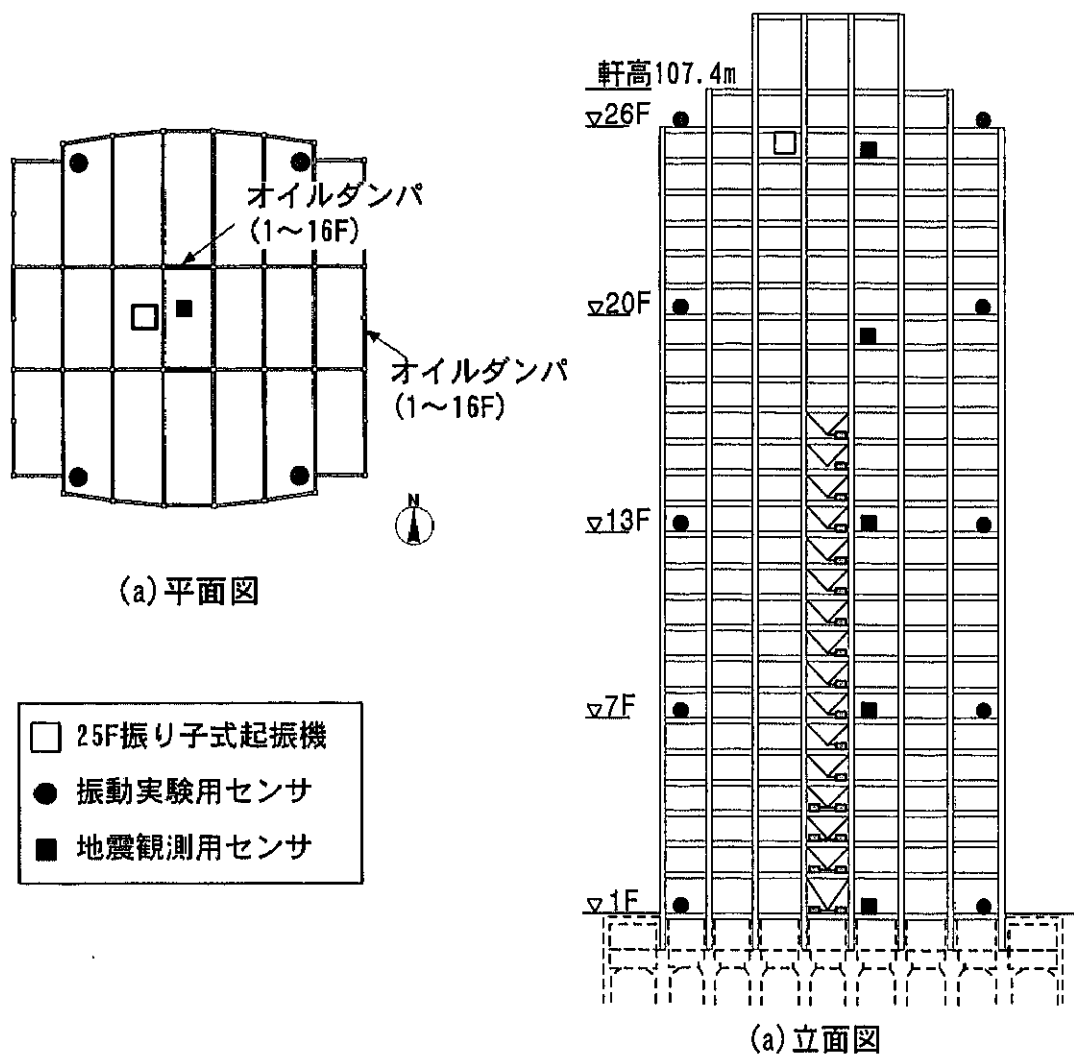


図5-1-1. センサ、及び起振機の配置

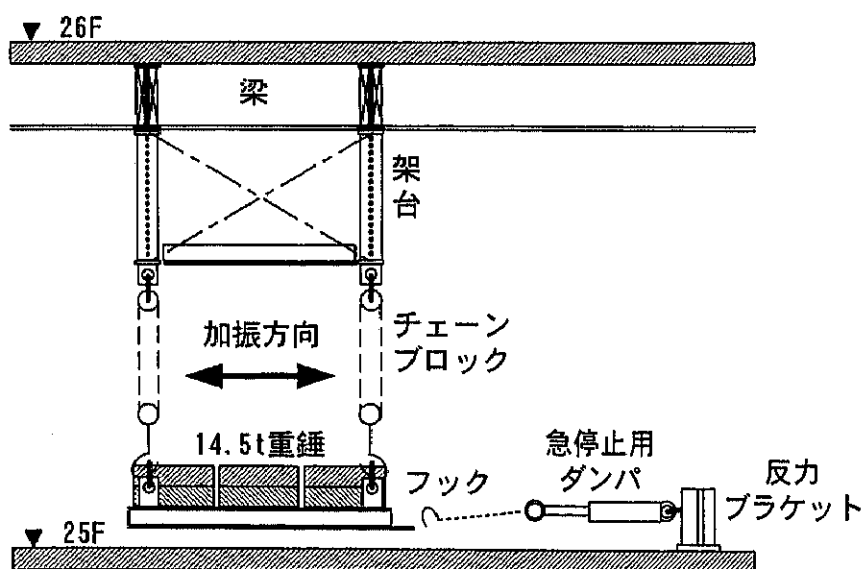


図5-1-2. 振り子式起振機

(2) 実験結果

a) 加振方法の検討

振り子による加振方法の妥当性を確認するため、図 5-1-3 に建物頂部変位と振り子加速度の関係を時刻歴で示している。図中の◆は振り子の急停止位置であり、これ以降では振り子の加速度が急減し、加振力がほとんど発生していないことがわかる。その後、建物の応答変位は、徐々に減衰しながら自由振動状態を示している。また、加振停止直後に過渡的な現象は見られず、停止時の衝撃が建物の応答に大きな影響を及ぼしていないことがわかる。このように、ここで用いた加振方法は、減衰の高い構造物の自由振動波形を得る上で有効なものであると考えられる。

b) 自由振動波形の比較

図 5-1-4 に各実験ケースにおける建物頂部変位の自由振動波形の比較を示す。ダンパなしのケースに比較してダンパありの 2 ケースでは振動が速やかに減衰しており、オイルダンパの効果が認められる。

c) 固有周期、及び減衰定数

振幅レベルに応じた固有周期と減衰定数を把握するため図 5-1-4 に示すように、連続した自由振動波形の 5 波を 1 単位とした複数の区間に分割し、各区間毎に特性を評価した。減衰定数は、回帰分析の方法で求めた区間毎の対数減衰率により計算した。図 5-1-5(a)(b) に各振幅レベルに対する固有周期と減衰定数を示す。横軸は各評価区間における建物頂部変位波形の第 1 波目の両振幅値である。固有周期は、オイルダンパの有無に拘わらず振幅の増大とともに長くなる傾向が認められる。また、南北方向 2 ケースを比較すると、ダンパありの方が若干短周期側にシフトしている。減衰定数は、ダンパなしのケースでの減衰定数は両振幅約 5mm まで増加し、その後は微減する傾向にある。これは自由振動実験による高層建物の 1 次減衰定数の振幅依存性としてよく確認されている傾向である⁹⁾。これに対して、オイルダンパありの 2 ケースではいずれも振幅の増大とともに増加する傾向を示している。

また、常時微動観測波形により RD 法⁹⁾を用いて算定した 1 次固有周期と 1 次減衰定数を、図 5-1-5 の横軸 0 の位置にプロットする。1 次固有周期に関しては自由振動実験との連続性が確認できる。1 次減衰定数は南北方向 2 ケースを比較すると 0.5% 程度の減衰付加が読み取れる。

d) ダンパによる減衰付加効果

図 5-1-5(b)より、両振幅 10mm での南北方向 2 ケースの減衰定数は、ダンパありで 3.6%、ダンパなしで 1.5% である。これより当振幅レベルにおけるオイルダンパの減衰付加率は +2.1% と評価される。この振幅における代表階のオイルダンパ変位を計測すると最大 0.1mm 程度であり、その時のオイルダンパの減衰力は 3.2 節に示すオイルダンパの減衰係数、及び剛性特性から評価すると、設計最大減衰力の 1% 程度である 10kN 以下と想定される。そのため、4.1 節に示す設計仕様値により算定した設計時の付加減衰定数 5.99% からはかなり低下した結果となっている。また、振幅の増大に伴って減衰付加効果が増加する傾向が確認されるが、これはオイルダンパの減衰係数、及び剛性が減衰力の増大に伴って設計仕様値に向かって増加する傾向を反映したものであると考えられる。

これらより、強風や中小地震程度の小振幅レベルでも 2% 程度の付加減衰定数が期待できることがわかる。

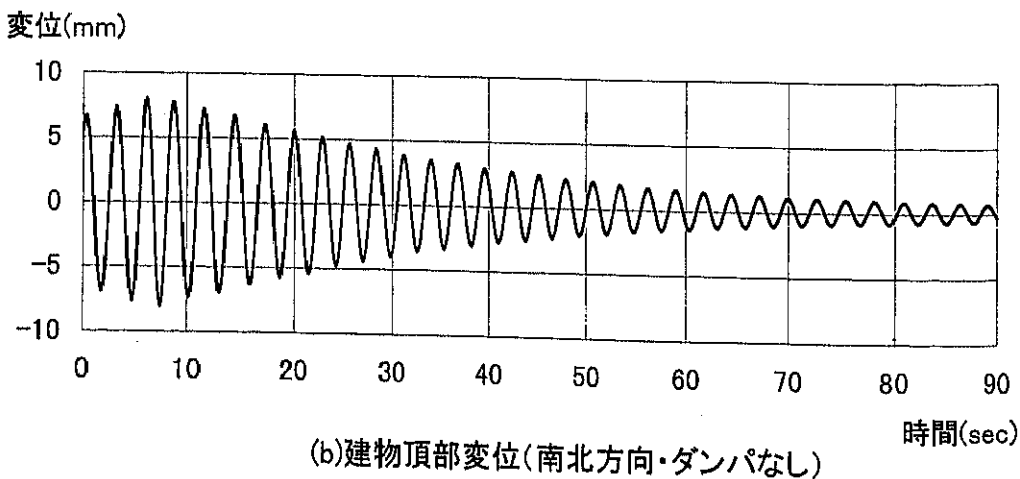
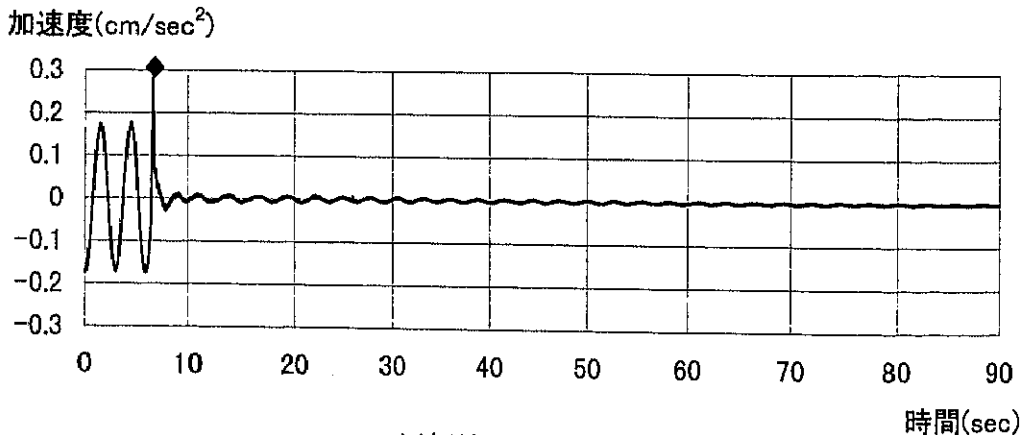
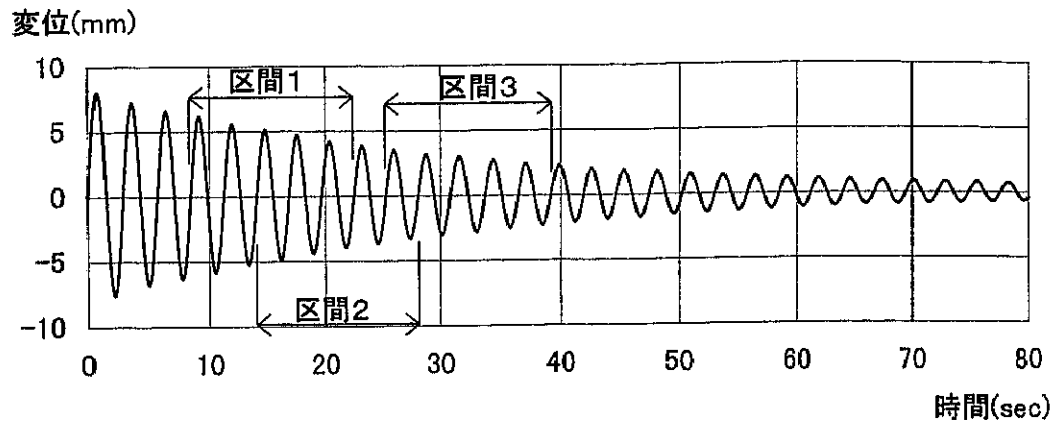
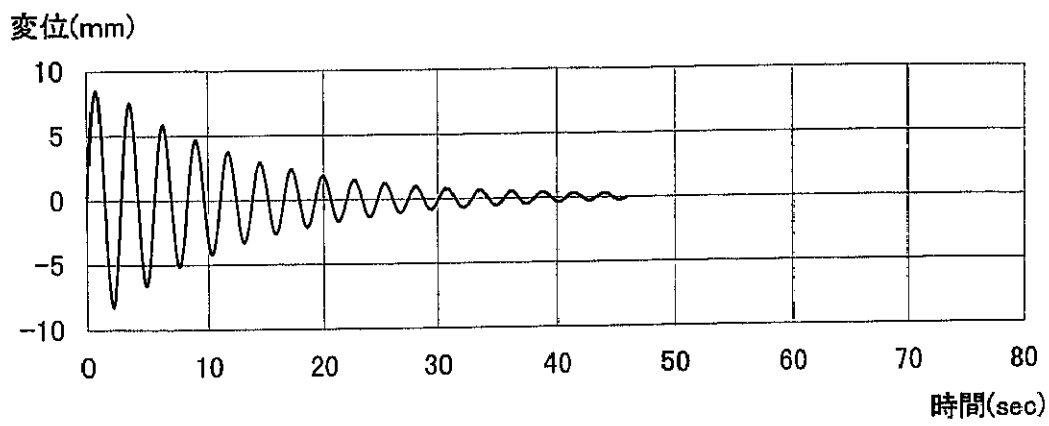


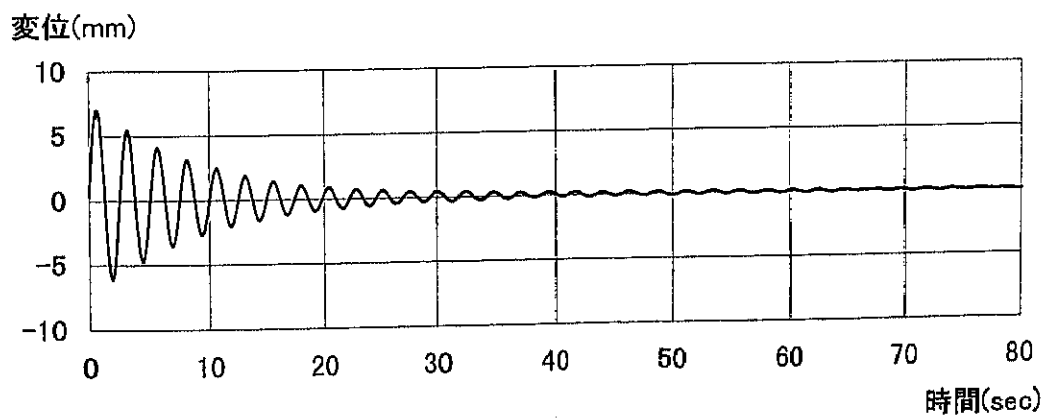
図5-1-3. 加振方法の検討



(a)南北方向・ダンパなし

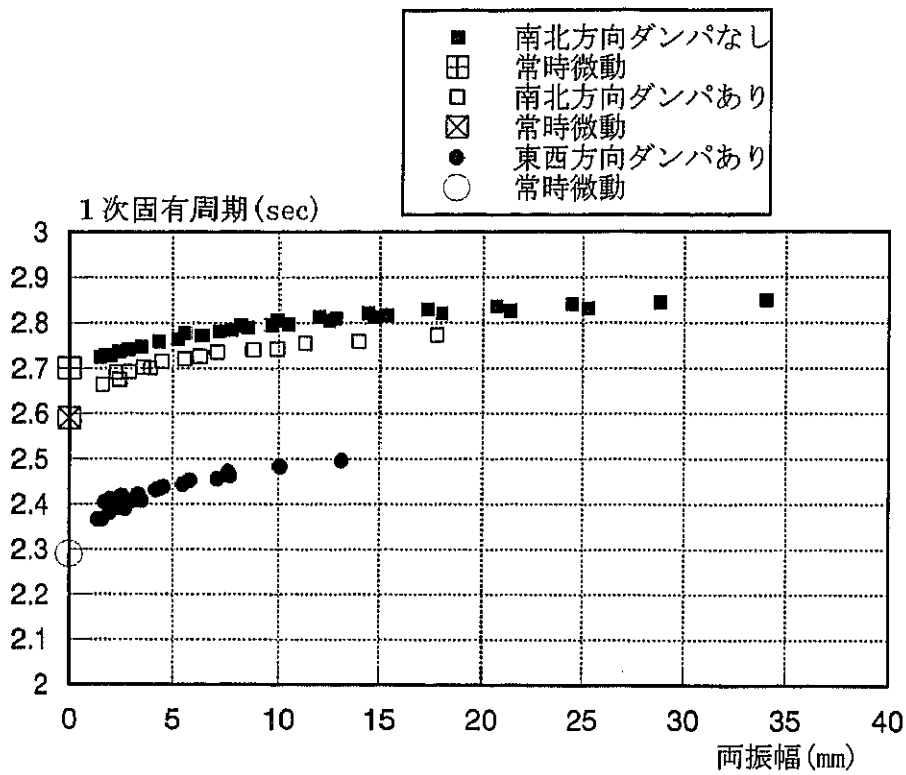


(b)南北方向・ダンパあり

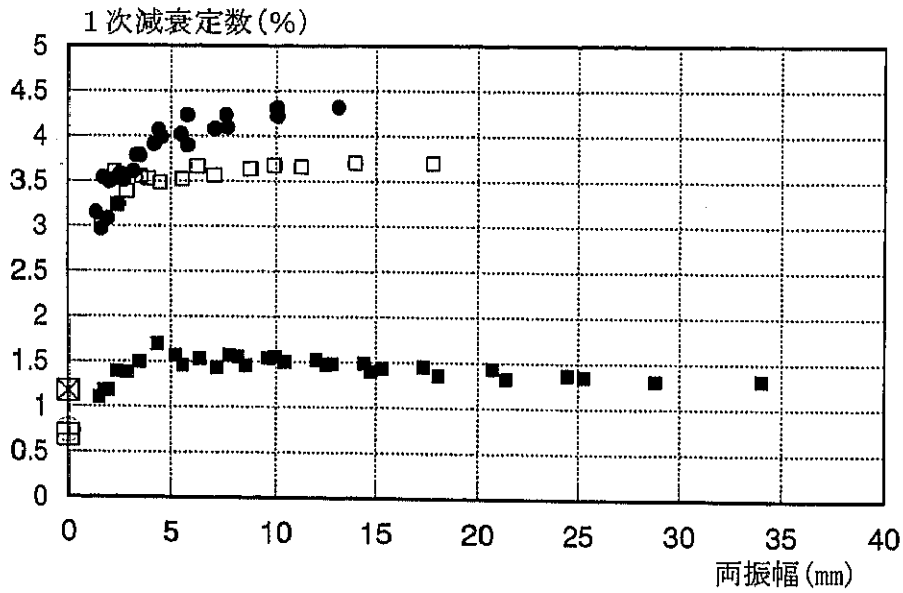


(c)東西方向・ダンパあり

図5-1-4. 建物頂部の自由振動変位波形



(a) 1次固有周期



(b) 1次減衰定数

図5-1-5. 固有周期、及び減衰定数

5. 2. 地震観測

(1) 地震観測装置

地震観測では、図 5-1-1 に示すように、1、7、13、19、25 階の各階床のほぼ中央部に設置されたセンサにより、南北、東西 2 方向の加速度を計測している。1 階については上下加速度も観測した。観測開始のトリガーは、1 階の水平各方向いずれかの加速度が 5cm/sec^2 以上で起動するよう設定している。収録周波数は 100Hz である。

(2) 地震観測結果

a) 観測地震

観測された 6 地震の概要、及び 1 階加速度の一覧を表 5-2-1 に示す。この内、1995 年 7 月相模湾地震は建物竣工直前であり、まだ建物が使用されていない状態での観測記録である。以降は、比較的 1 階観測加速度の大きな表 3 備考に●印を付けた 3 地震について記す。

表 5-2-1. 観測地震概要

| 年/月/日 | 地震名 | 厚木付 近震度 | 深さ | マグニチュード | 1 階最大加速度 (cm/sec^2) | | 備考 |
|------------|--------|------------|-------|---------|-----------------------------------|-------|----|
| | | | | | X(南北) | Y(東西) | |
| 1995/07/03 | 相模湾 | Ⅲ | 120km | 5.6 | 27.1 | 17.0 | ● |
| 1996/03/06 | 山梨県東部 | Ⅲ | 20km | 5.8 | 36.8 | 19.1 | ● |
| 1996/12/21 | 茨城県南部 | Ⅲ | 40km | 5.4 | 4.9 | 3.6 | |
| 1997/07/09 | 千葉県北西部 | Ⅱ | 80km | 5.0 | 4.8 | 7.8 | |
| 1998/08/29 | 東京湾 | Ⅲ | 70km | 5.4 | 17.4 | 16.2 | ● |
| 1999/05/22 | 神奈川県西部 | Ⅲ | 20km | 4.4 | 16.4 | 4.2 | |

b) 加速度応答スペクトル

1 階、及び 25 階の減衰定数 1 % の加速度応答スペクトルを南北方向について図 5-2-2 に示す。1 階のスペクトルを見ると各地震とも建物の 1 次固有周期である 3 秒付近の成分は少なく、2 次固有周期である 1 秒以下に主な成分を持ったものであることがわかる。建物頂部 (25 階) のスペクトルでは 1 次固有周期 3 秒近傍で若干の増幅が、また 2 次固有周期 1 秒近傍で顕著な増幅が認められる。

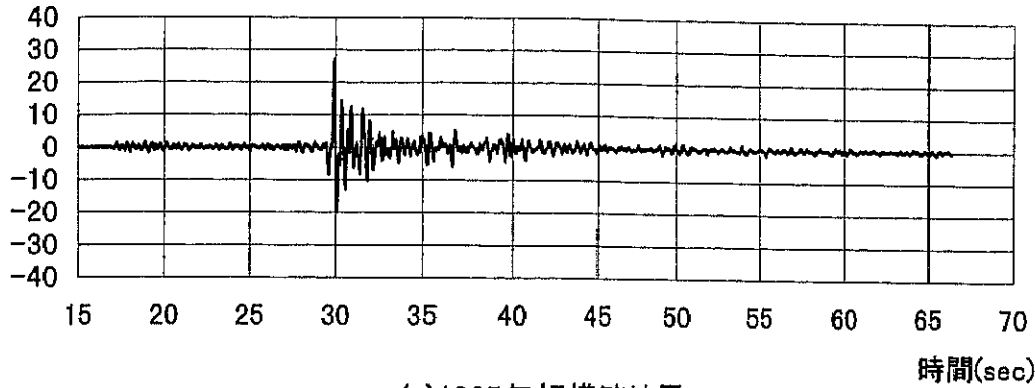
c) 最大加速度分布

観測階の加速度分布を図 5-2-3 に示す。各地震、各方向とも、1 階の入力に対する上階の応答の顕著な増大は認められない。これは、観測された地震が、建物の 2 次、3 次固有周期近傍のパワーが卓越する地震動であること、オイルダンパにより 1 次振動に対して大きな減衰が付加されていることによるものと考えられる。

d) 観測加速度のフーリエ変換による伝達関数

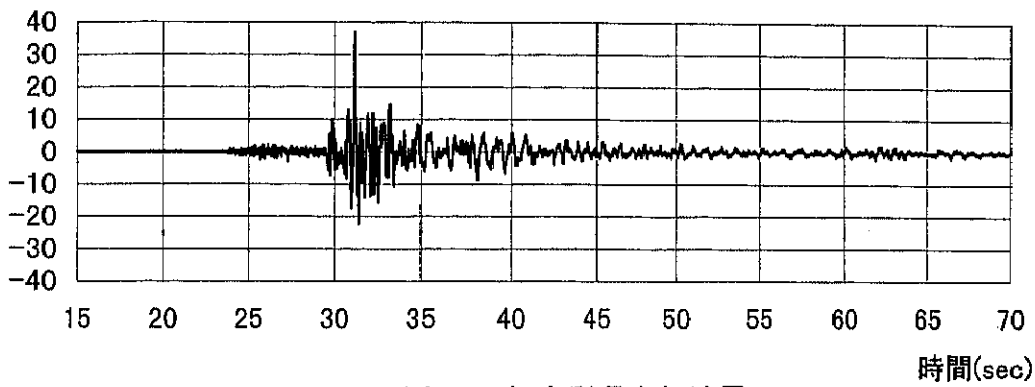
南北方向の観測加速度のフーリエ変換による 1 階に対する 25 階の伝達関数の 1 次固有周期近傍について図 5-2-4 に示す。伝達関数のピークを見ると、1995 年 7 月相模湾地震から 1998 年 8 月東京湾地震にいたる過程で 1 次固有周期が長くなる傾向が見られる。

加速度(cm/sec²)



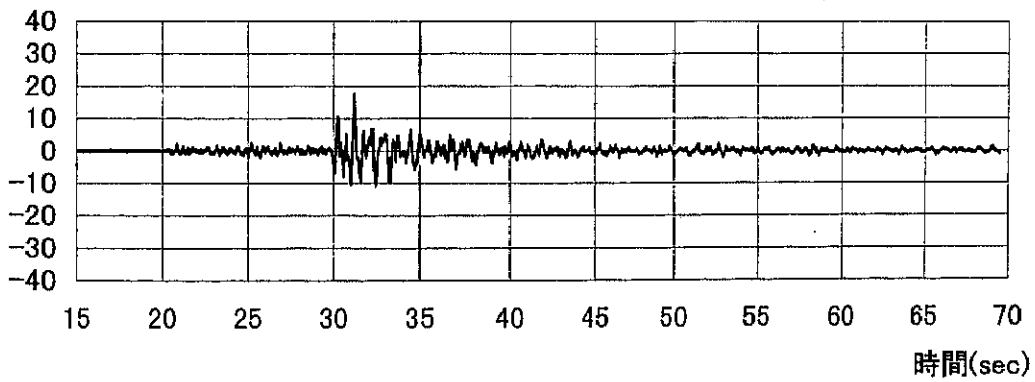
(a)1995年相模湾地震

加速度(cm/sec²)



(b)1996年山梨県東部地震

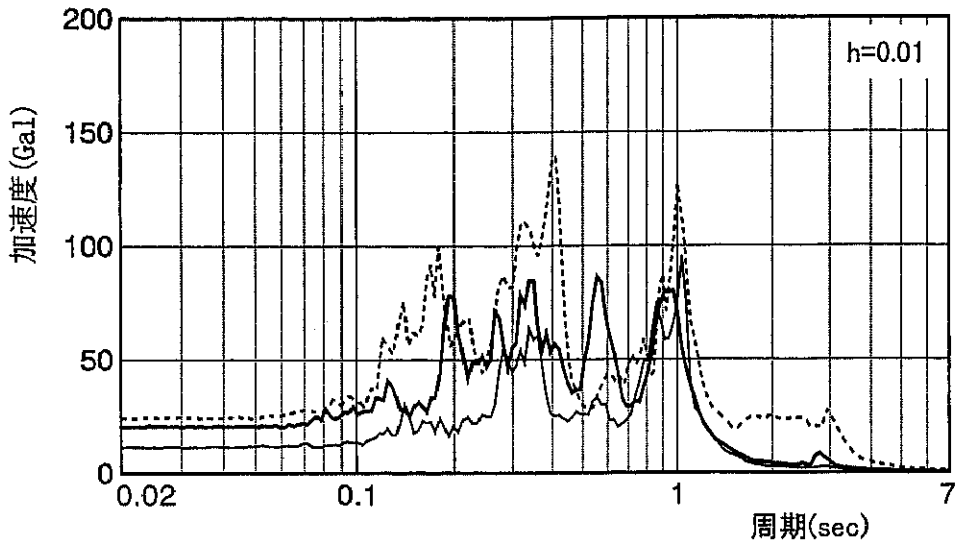
加速度(cm/sec²)



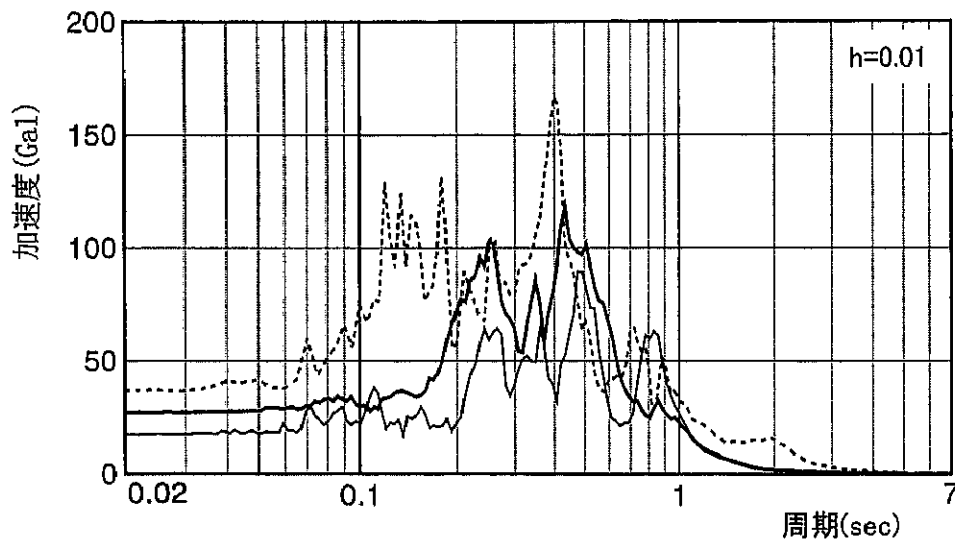
(c)1998年東京湾地震

図5-2-1. 1階加速度時刻歴波形(南北方向)

1995年相模湾
 1996年山梨県東部
 1998年東京湾



(a)25階



(b)1階

図5-2-2. 加速度応答スペクトル(南北方向)

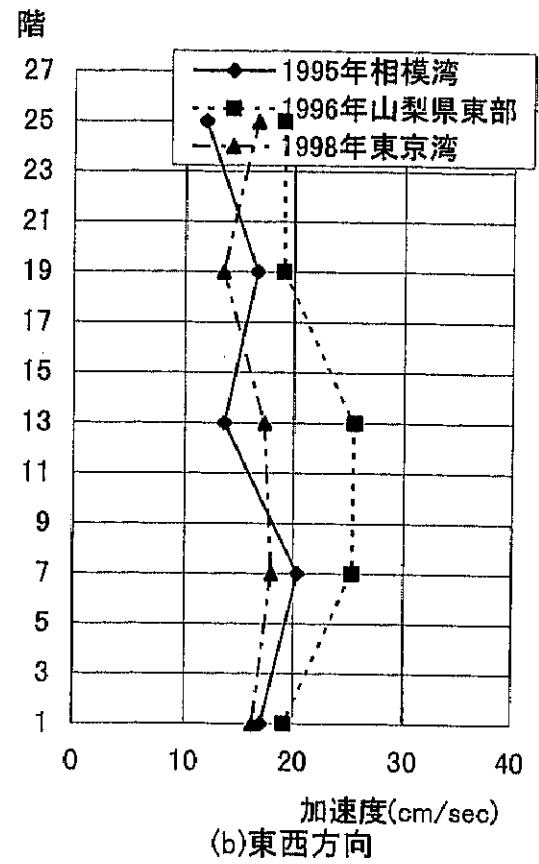
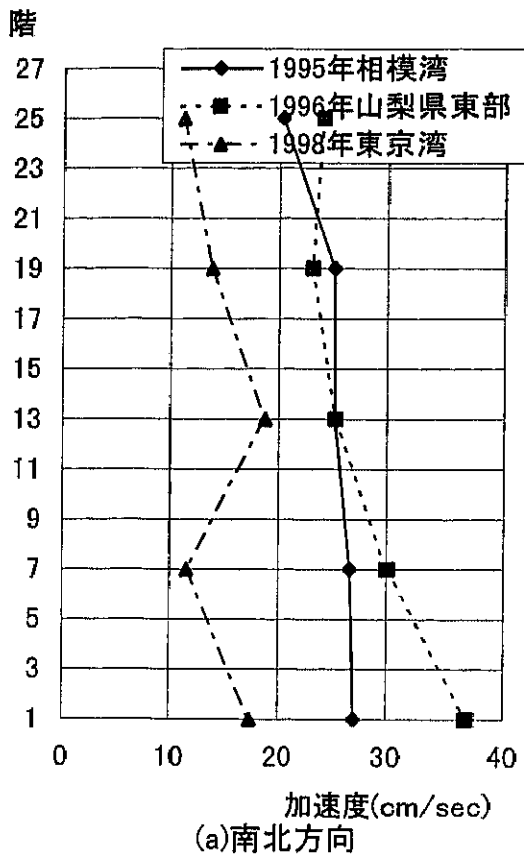


図5-2-3. 最大値分布

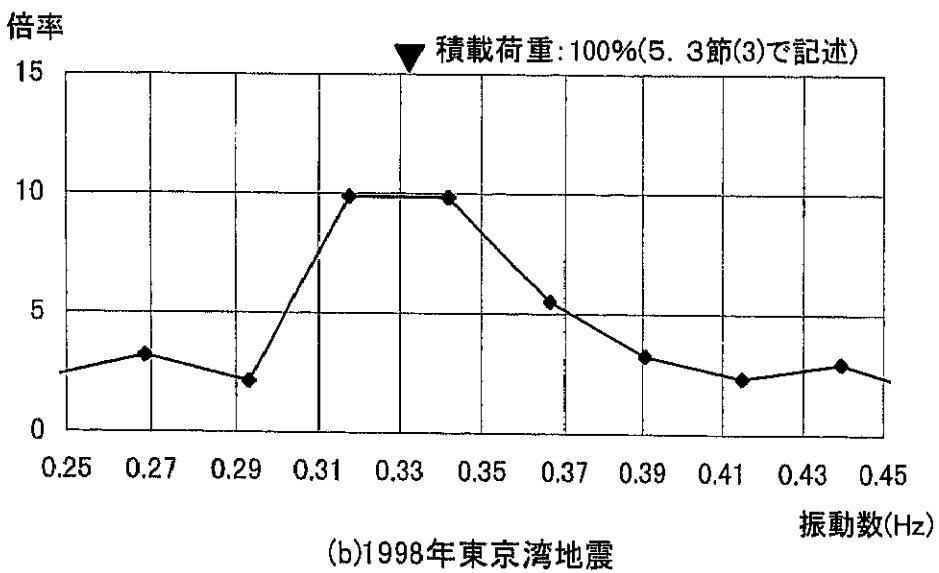
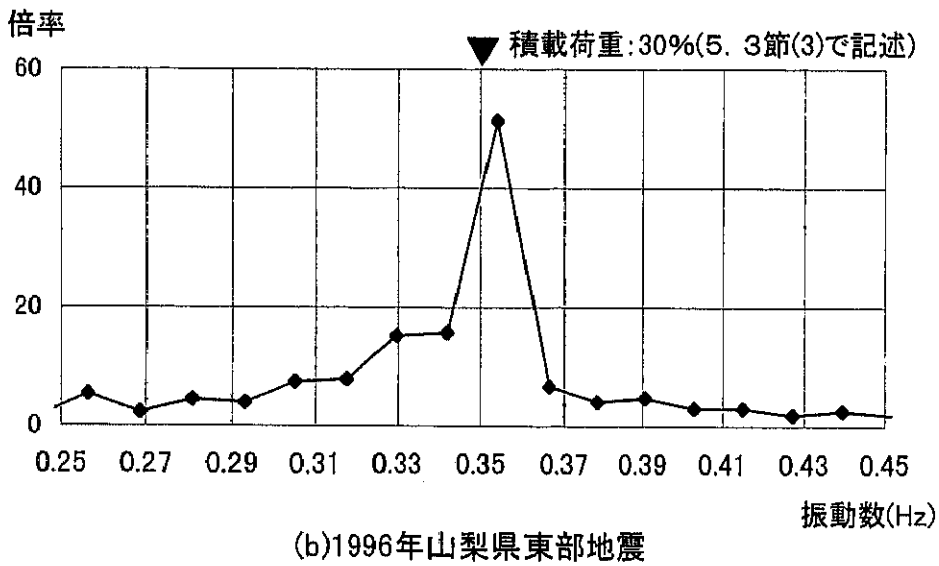
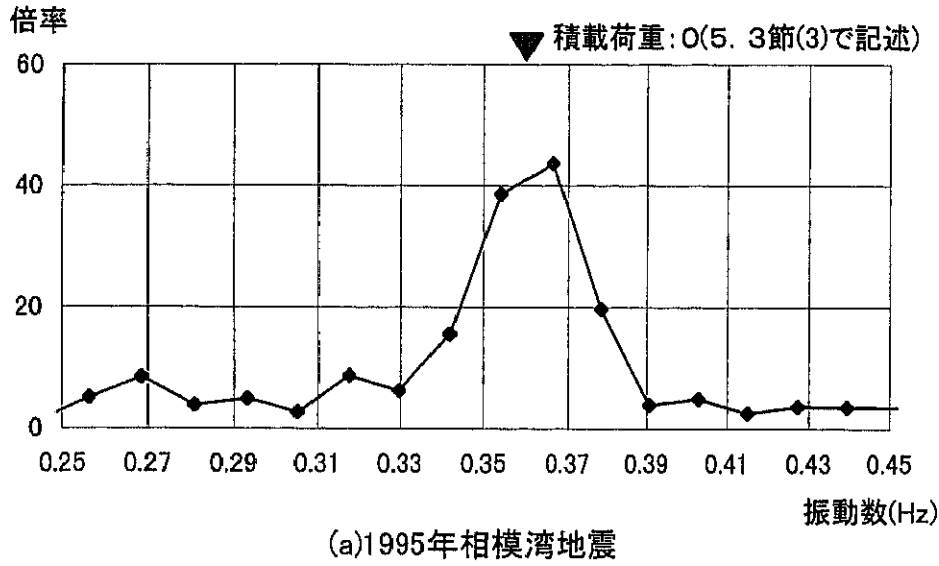


図5-2-4. 伝達関数(25階/1階、南北方向)

5. 3. シミュレーション解析

ここでは、本建物の設計時に設定した振動解析モデルの妥当性を確認するため、設計時と同様の手法で振動実験結果を固有値解析により、また地震観測結果を時刻歴応答解析により検討する。そのため、建物フレームとオイルダンパについて実験結果をもとに別々にモデル化し、オイルダンパモデルを建物フレームモデルに組み込むことで設計時と同様の手法により振動解析モデルを構築する。解析対象は、振動実験においてオイルダンパの有無の実験を実施した南北方向とした。

(1) 解析モデル

a) 建物モデル

① フレーム

設計で用いた解析モデルは、以下の手順で作成した。図 5-3-1(a)に示す各構面を(A)(B)(C)部に分け、それらを図 5-3-1(b)に示すように剛床リンクによりつなぐ。ここで、オイルダンパ設置フレームについては、フレームの曲げ変形によるオイルダンパ部変形に対する影響を考慮するため、境界梁付き曲げせん断棒(A)に置換している。

オイルダンパの力学特性は、図 5-3-1(c)に示すように、Maxwell モデルとブレース剛性 K_b を直列に配置して境界梁付き曲げせん断棒(A)に組み込んでいる。

この解析モデルに対して、小振幅レベルからの振動特性を表現するため以下の2項目を考慮する。

(1) 実際の建物での小振幅レベルの振動特性において無視することができない2次部材（主に外壁カーテンウォールと推定される）の特性を、振動実験結果の1次固有周期から想定した2次部材の剛性を示すせん断棒(D)を付加する。

(2) オイルダンパ特性は、小荷重での特性も含めた力学モデルとして、本節(1)、b)で示す摩擦要素を含んだ非線形 Maxwell 型モデルとして表現する。

② 2次部材特性

2次部材の特性は、荷重-変形関係を既往の文献⁷⁾より、概ねバイリニア特性として設定した。その初期勾配は、振動実験のダンパなしケースの1次固有周期をもとに算定した各振幅における等価剛性より求め、計測振幅以上の部分については外挿法により設定した。また、最大荷重はファスナー部の締め付けトルク 130kNmm に相当する各層 550kN と設定した。各階の2次部材の荷重-変形関係、及び層間変形に対する2次部材剛性の関係を図 5-3-2 に示す。ここで、各層の等価剛性は、荷重-変形関

係をもとに割線剛性として求めた。

③建物フレーム減衰

減衰定数は、振動実験結果の解析においては、固有値解析により1次付加減衰定数について検討するため、建物モデルには減衰を考慮しない。地震観測結果の解析においては、レーリー減衰を仮定し、1次減衰定数は地震観測時の振動レベルに相当する振動実験結果の頂部両振幅20mm近傍で、安定した値として確認されている減衰定数1.4%を設定した。また、2次減衰定数については、1次減衰定数に対する比率を既往の文献⁷⁾によるデータを参考に1.7%と設定した。1～3次減衰定数をまとめて表5-3-1に示す。

表 5-3-1. 建物フレームの減衰定数

| 次 数 | 1次 | 2次 | 3次 |
|-------------|------|------|------|
| フレーム減衰定数(%) | 1.40 | 1.70 | 2.50 |

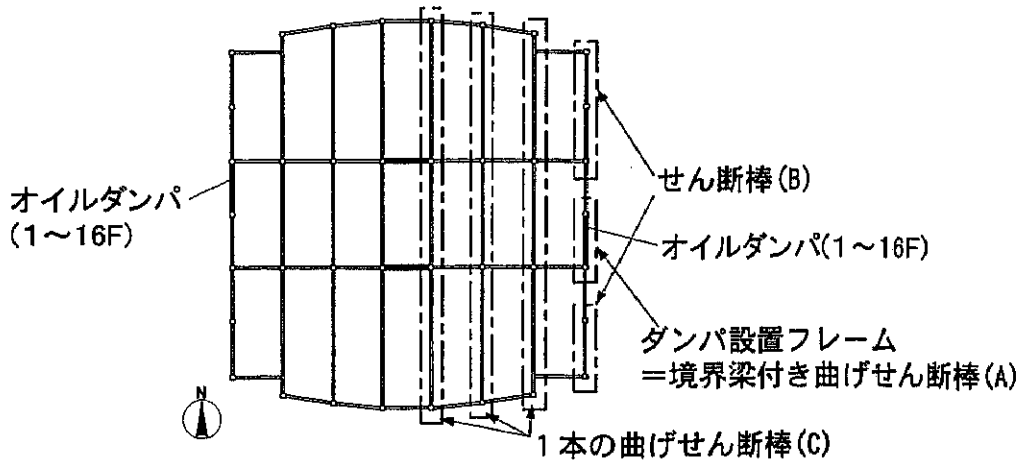
これら設定した1～3次モードの減衰定数と、既往の文献⁸⁾による式(5-3-1)から算定した値、及び常時微動よりRD法で求めた値を比較して図5-3-3に示す。

$$h_n = 1.2^{n-1} h_1 \quad (5-3-1)$$

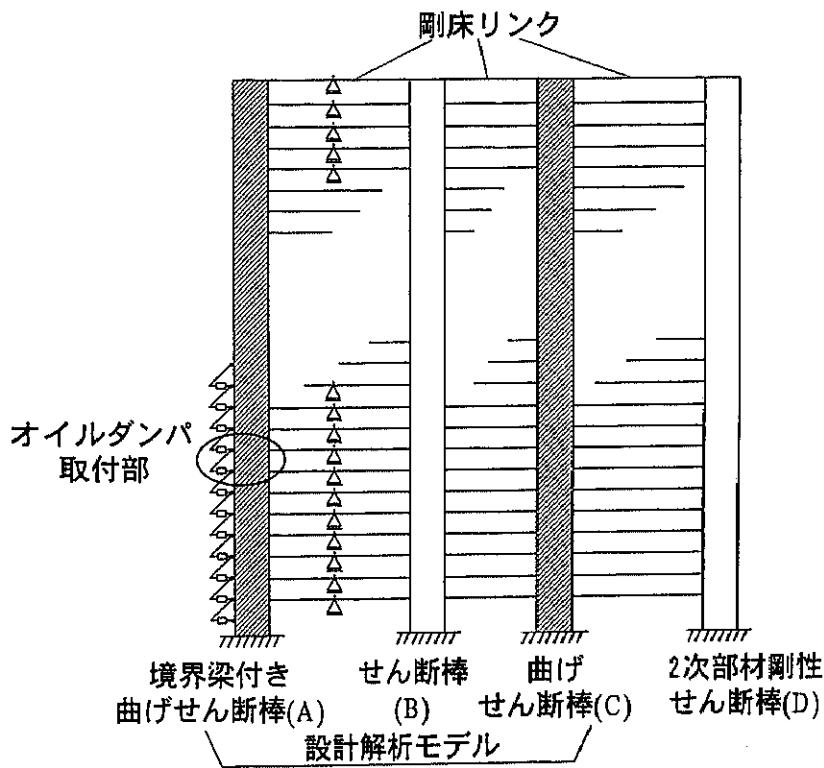
ここで、 h_n はn次モードの減衰定数、 h_1 は1次モードの減衰定数を表す。これらより、常時微動による減衰定数は、1次減衰定数の絶対値は違うが1次モードに対する2次、3次モードの傾向は式(5-3-1)と類似している。また、設定した減衰定数は、式(5-3-1)と比較すると、3次モード以上の高次振動に対して大きめの減衰を与える可能性があることがわかる。

④建物重量

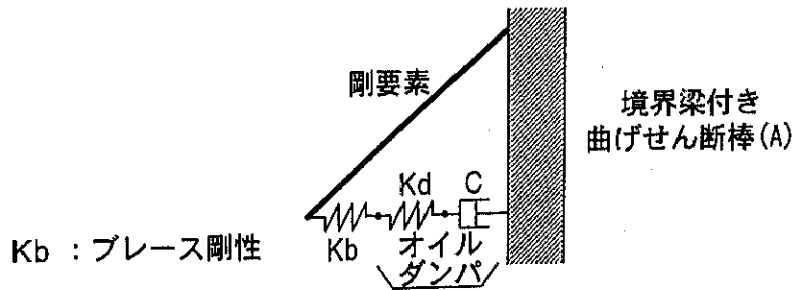
建物重量は、振動実験時においては積載物がほとんどないため、設計重量から積載荷重を除いた重量とする。地震観測時においては、5.2節の図5-2-4に示すフーリエ変換による伝達関数から観測時期が新しいほど周期が長くなる傾向が、入居率の違いによる積載荷重の差に起因するものと考えられるため、地震毎に積載荷重を想定する。1995年7月相模湾地震では施工中のため振動実験時と同様に積載荷重を0とし、1996年3月山梨県東部地震、及び1998年8月東京湾地震では、入居率から設計時積載荷重の30%、及び100%として想定した。



(a) 振動解析モデル化

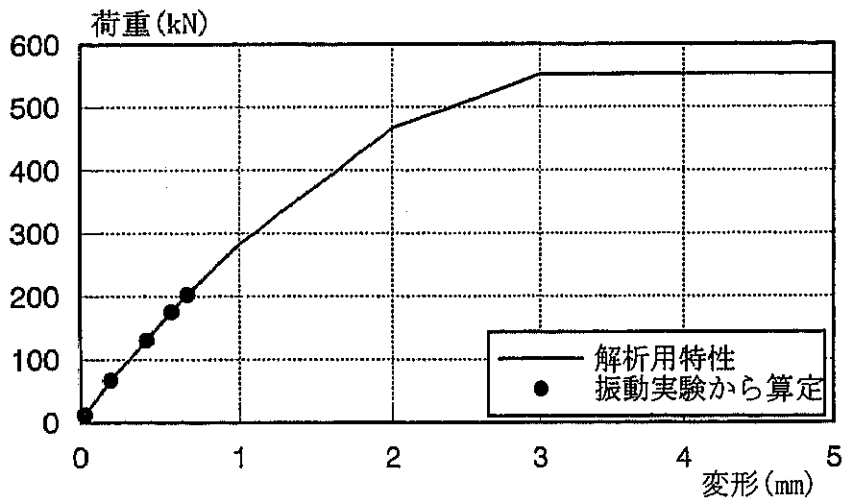


(b) 振動解析モデル

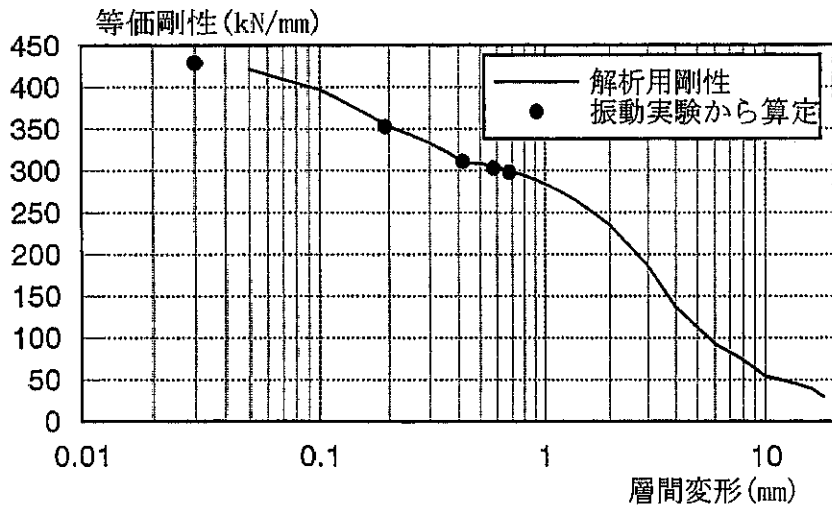


(c) オイルダンパ取付部モデル

図5-3-1. 振動解析モデル



(a) 荷重-変形関係



(b) 等価剛性-層間変形関係

図5-3-2. 2次部材特性

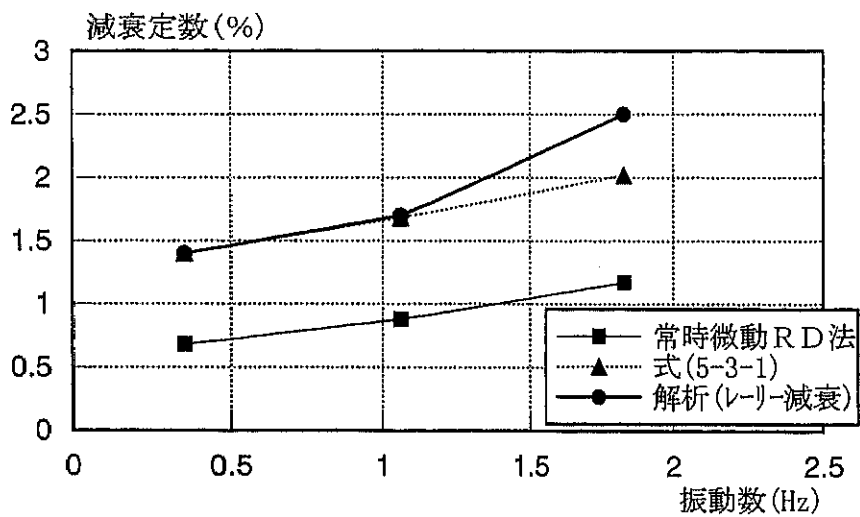
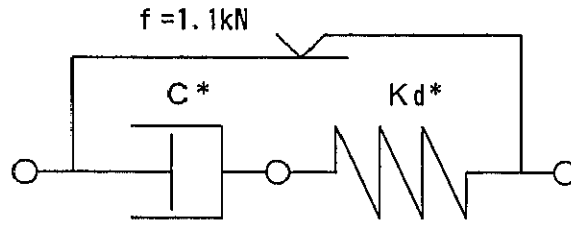


図5-3-3. フレームの減衰定数

b) オイルダンパモデル

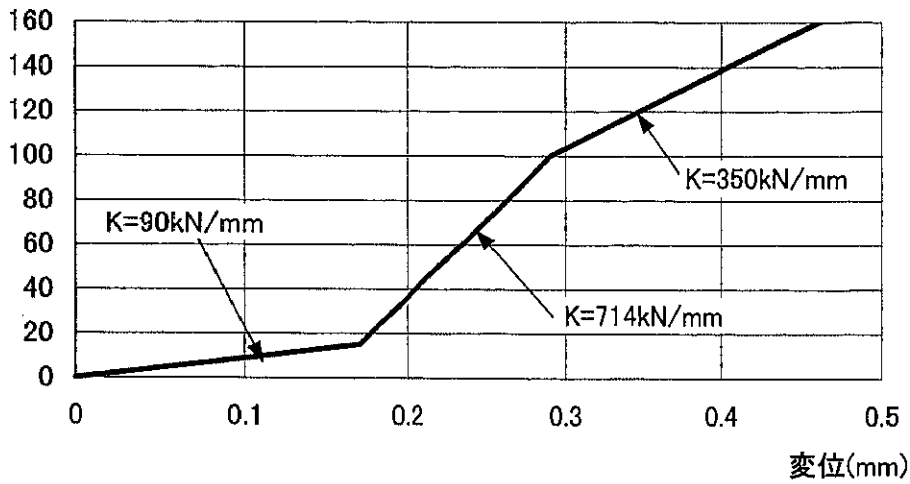
図 5-3-4(a)に示す Maxwell モデルと摩擦要素を並列に配置しモデルにより、オイルダンパの微小振幅レベルから設計範囲までの力学特性を表現する。ここで、ダッシュポット特性 C^* 、及びバネ特性 Kd^* は、ダンパ単体実験結果より得られた等価減衰係数、及び等価剛性を近似できるように、図 5-3-4(b)(c)に示すような 3 折れ線による非線形特性として設定する。また、摩擦要素はオイルダンパ単体実験結果より $f = \pm 1.1 \text{ kN}$ とした。ここで、ダッシュポット特性 C^* は、オイルダンパの油圧回路上、減衰特性に小振幅で影響を及ぼすオリフィスによる減衰係数の低下を反映して設定した。また、バネ特性 Kd^* は、空気混入による低圧時での油の体積弾性係数の低下を反映して設定した。

この力学モデルを用いて 0.3Hz の定常加振により算定した各減衰力レベルにおける等価減衰係数 C 、及び等価剛性 K をオイルダンパ単体実験結果と対比して図 5-3-5 に示す。これより、設定したオイルダンパの力学特性が実験結果を良好に表現できるものであることがわかる。図 5-3-5(b)には、設定した初期内圧 300kPa で空気混入量 2% を想定した場合の、本オイルダンパでの各荷重における等価剛性を示しているが⁹⁾、実験結果、及び設定したバネ特性と良好に一致した結果となっている。ただし、荷重 15kN 以下の低振幅部分では、設定した解析用特性より空気混入量から算定した等価剛性の方が下回っているため、実際のオイルダンパでは解析用特性より等価剛性が下がることも予想される。



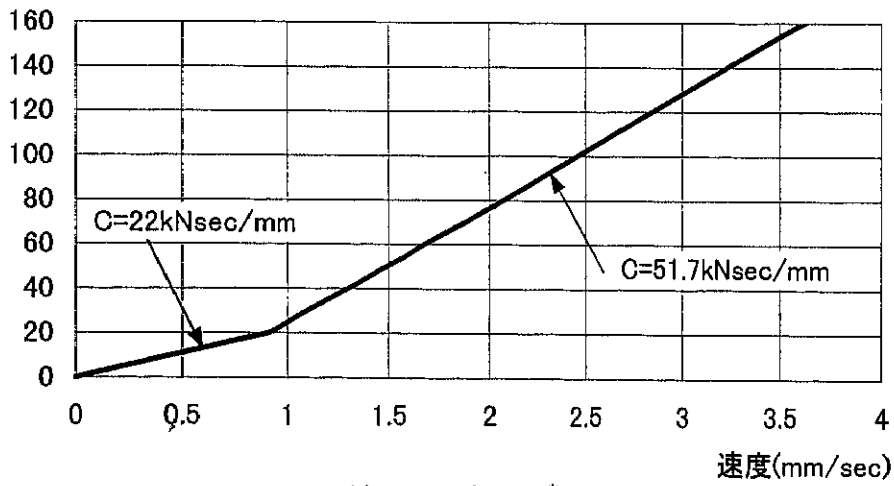
(a) 力学モデル

減衰力(kN)



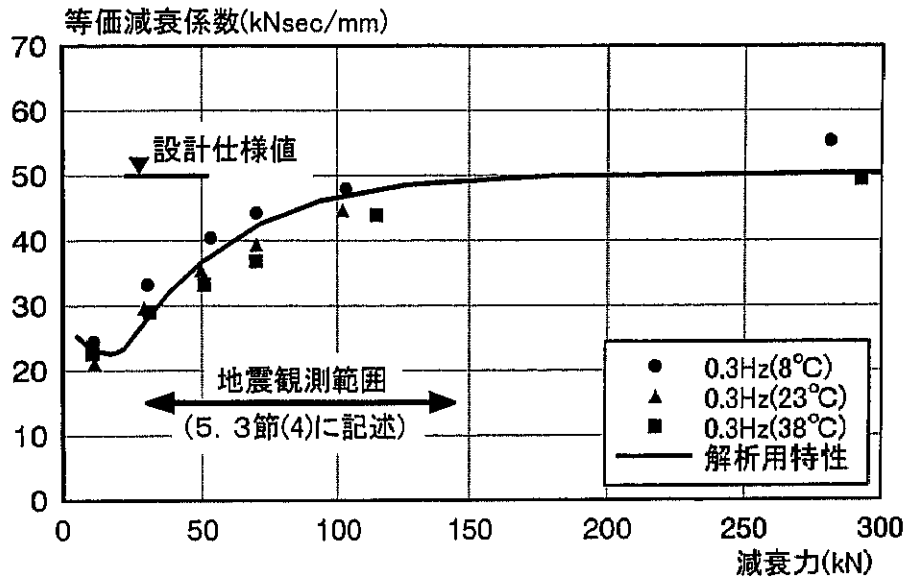
(b) バネ Kd^* 特性

減衰力(kN)

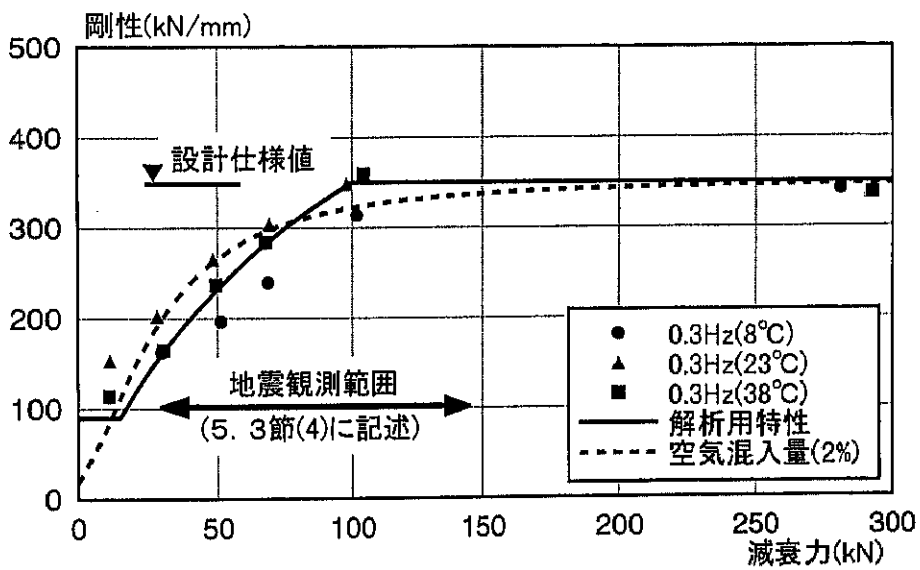


(c) ダッシュポット C^* 特性

図5-3-4. オイルダンパモデル



(a)減衰係数



(b)剛性

図5-3-5. ダンパの解析用特性と実験結果の比較

(2) 建物振動実験

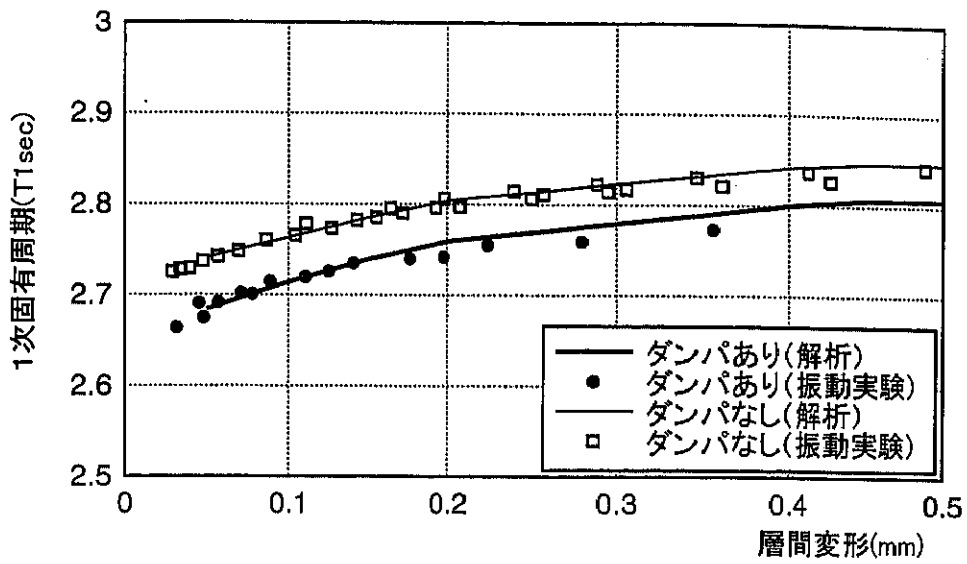
a) 固有値解析手順

ここでは、構築した振動解析モデルを用いて以下の手順により1次固有周期、及び1次付加減衰定数を求め、実験値との比較を行う。

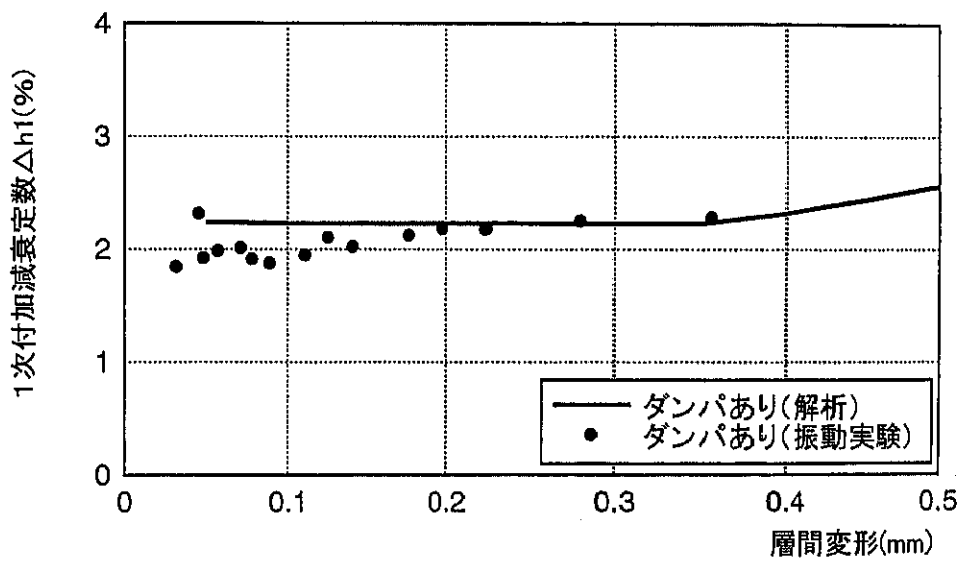
- (1) 図 5-3-4(a) で示したオイルダンパの力学モデルにブレース剛性を直列に配した層間モデルを作成する。
- (2) 本(1)のモデルに対して層間変形をパラメータとし、建物の1次固有周期に相当する周期3秒の定常加振を行う。
- (3) 得られたオイルダンパ部分のみの荷重—変形関係から各層間変形に対応する等価減衰係数 C と等価剛性 K を算定する。なお、減衰力が制限値800kNを越える場合には減衰力800kNにおける値とする。
- (4) 得られた各層間変形に対応するオイルダンパ特性を構築した振動解析モデルの各階ダンパに設定する。
- (5) 同様に図 5-3-2 に示す2次部材剛性も各層間変形に対応して設定する。
- (6) 以上の手順により作成した振動解析モデルを用いて、層間変形をパラメータとした複素固有値解析を行う。

b) 固有値解析結果

この解析の結果得られた各層間変形に対する1次固有周期 T_1 、及び1次付加減衰定数 Δh_1 を図 5-4-6(a)(b)に示す。同図には、振動実験で得られた1次固有周期、及び1次付加減衰定数を示す。ここでは、各階同一変形と仮定した層間変形をもとにプロットしている。付加減衰定数は、各振幅レベルにおけるオイルダンパありの実験結果による減衰定数からオイルダンパなしの減衰定数を差し引くことで求めた。これらより、振動解析モデルにより算定した1次固有周期、及び1次付加減衰定数とも振動実験結果と良好な一致を示している。なお、1次付加減衰定数において、層間変形0.2mm以下で実験結果が解析結果を下回っているが、これは本節(1). b)で考察したように、オイルダンパの実際のバネ特性が油への空気混入により解析用特性より低下しているためと考えられる。また、この結果から風荷重下などの小振幅レベルでの制震効果予測では、オイルダンパの減衰係数、及び剛性の低下傾向を考慮すべきであることがわかる。



(a)1次固有周期



(b)1次付加減衰定数

図5-3-6. 振動実験結果の固有値比較

(3) 地震観測

a) 積載荷重の確認

建物重量の設定の是非を確認するため、観測地震における各層最大層間変形の平均値である層間変形 0.5mm における 2 次部材剛性、及びオイルダンパ特性（等価減衰係数 C、等価剛性 K）を用いて、積載荷重をパラメータとした複素固有値解析を行った。これにより得られた 1 次固有周期を表 5-3-2 に示し、合わせて振動数に変換して図 5-2-4 の伝達関数上にプロットして比較している。これらによると、解析値は地震観測結果によるピーク値の推移とほぼ一致した傾向を示しており、想定した積載荷重の妥当性が確認された。

表 5-3-2. 積載荷重をパラメータとした 1 次固有周期

| 設計積載荷重に対する比率 | 1 次固有周期(sec) |
|--------------|--------------|
| 0 | 2.80 |
| 30% | 2.86 |
| 100% | 3.01 |

b) 時刻歴解析結果

次に、構築した振動解析モデルに各地震時の積載荷重を考慮し、1 階南北方向の観測加速度を入力したシミュレーション解析による観測階の加速度時刻歴波形と観測波形を比較して図 5-3-7～5-3-9(a)～(d)に示す。各観測階における振動周期より約 1 秒の 2 次振動モード、または約 0.5 秒の 3 次振動モードが卓越した振動であることがわかる。各地震波、各階ともシミュレーション結果は観測結果に対して十分な合致度を示しており、この傾向は他の観測階においても同様であることを確認している。これらより、2 次、または 3 次モードを含めて精度の高い振動解析モデルが構築できていることがわかる。

また、オイルダンパの効果を考察するため、振動解析モデルよりオイルダンパを取り除いた場合の解析を 1998 年 8 月東京湾地震に対して行い、オイルダンパが設置された状態における観測結果と比較して図 5-3-10 に示す。これより、主に 2 次モードが卓越する地震動においても、オイルダンパによる応答低減効果が特に後半で発揮されていると推定される。この結果を考察するため、本地震における各層最大層間変形の平均値 0.5mm における複素固有値解析により得られたオイルダンパによる付加減衰定数と、建物フレームに設定したレーリー減衰を図 5-3-11 に示す。これより、1 次モードに対してはオイルダンパによりフレーム減衰を上回る付加減衰が与えられるもの

の、振幅が小さいことや1次モードを重視したオイルダンパ配置となっていることにより、2次、3次モードに対してはフレーム減衰に比して小さな付加減衰となっていることがわかる。このため、2次、3次振動が卓越する1998年8月東京湾地震において、地震時後半で発揮された20%程度の応答低減効果となったものと考えられる。

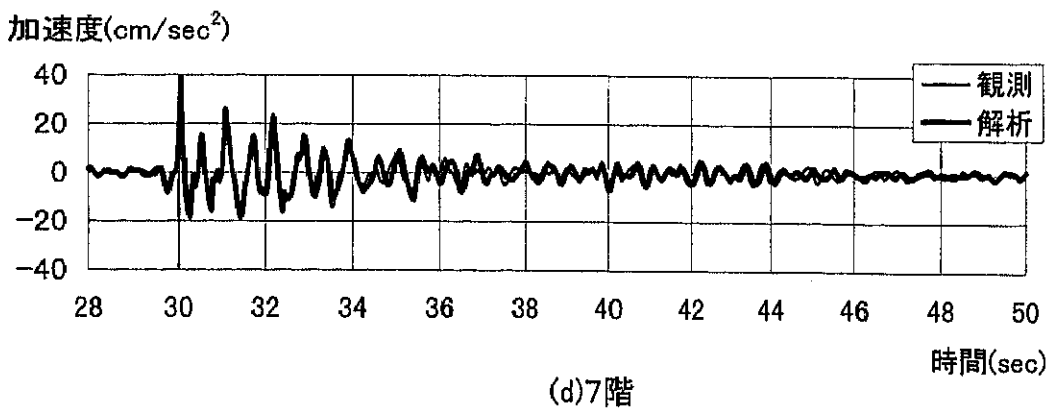
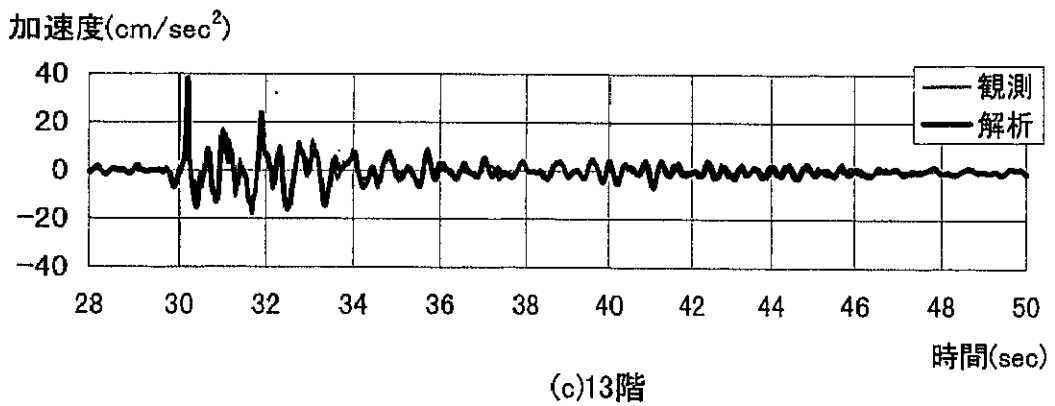
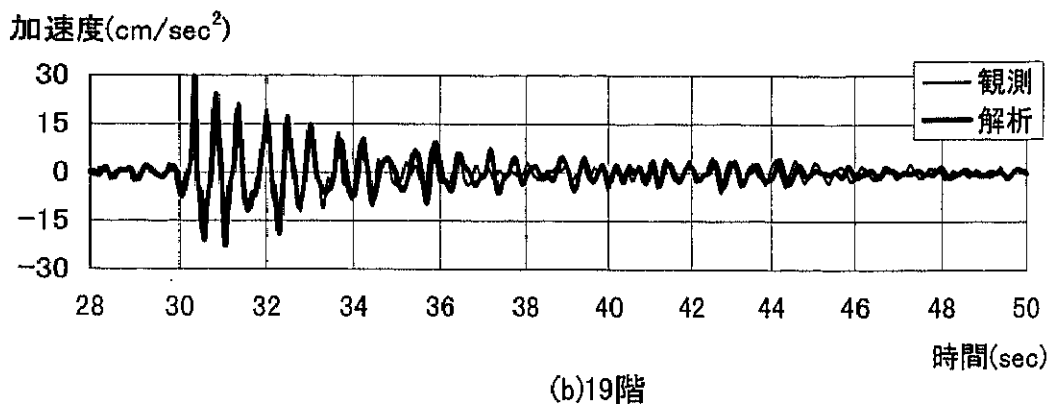
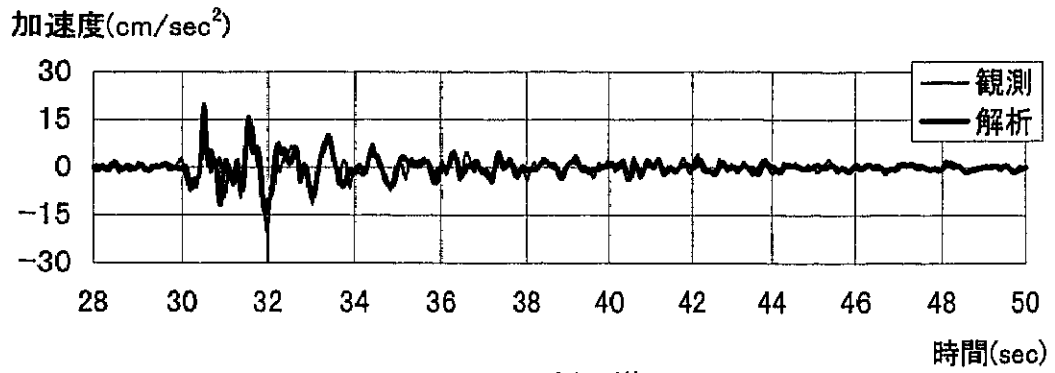


図5-3-7. 加速度時刻歴波形の比較(1995年相模湾地震)

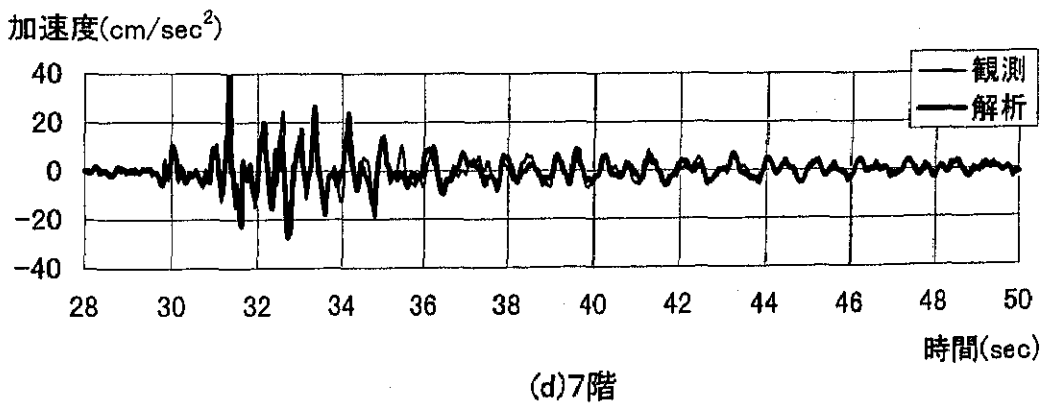
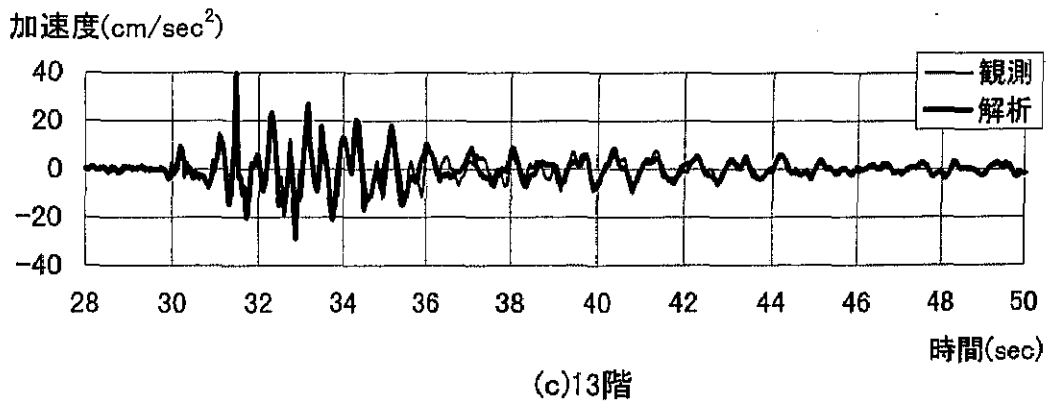
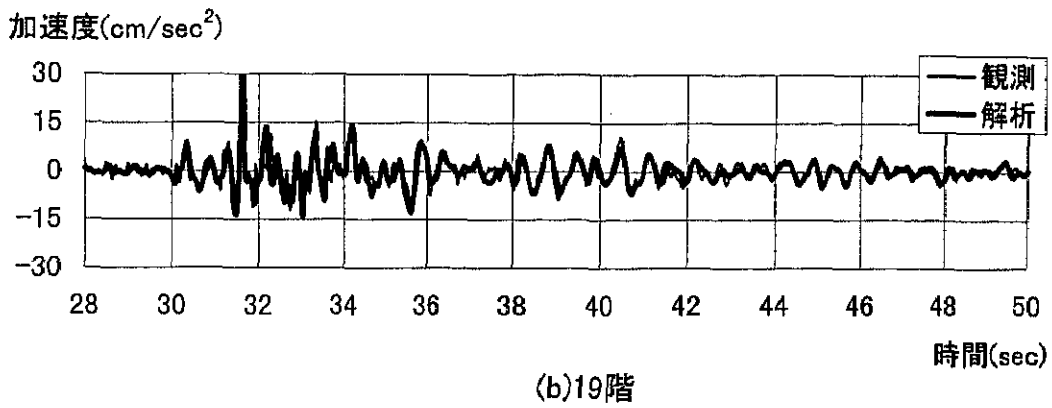
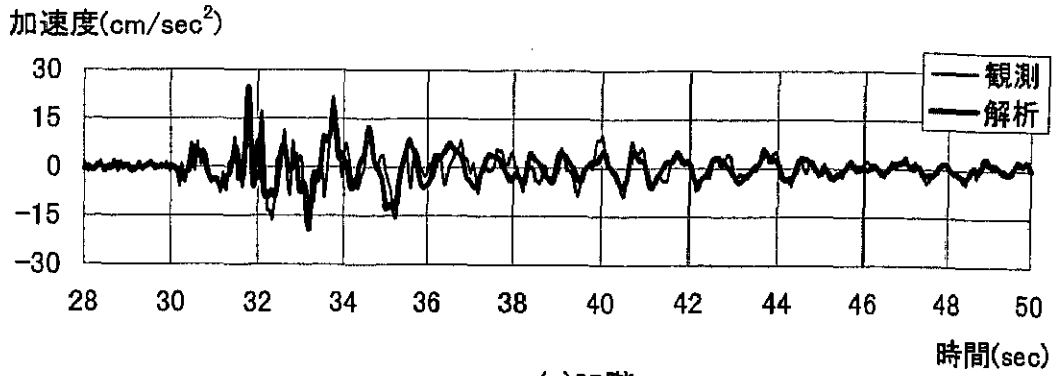
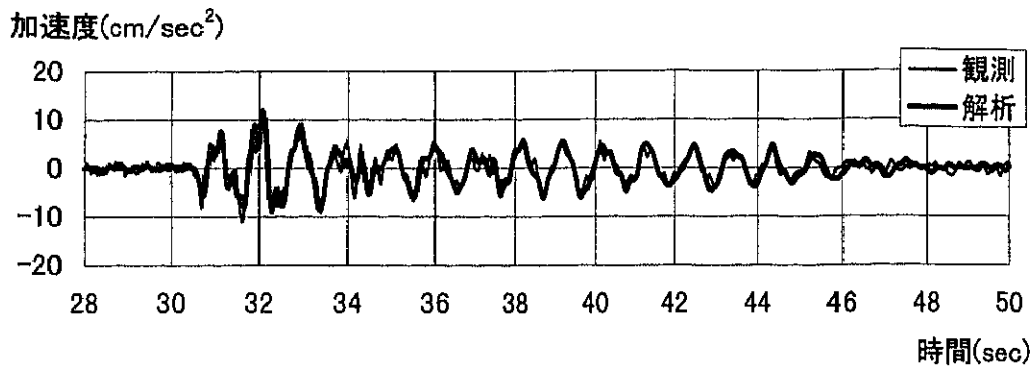
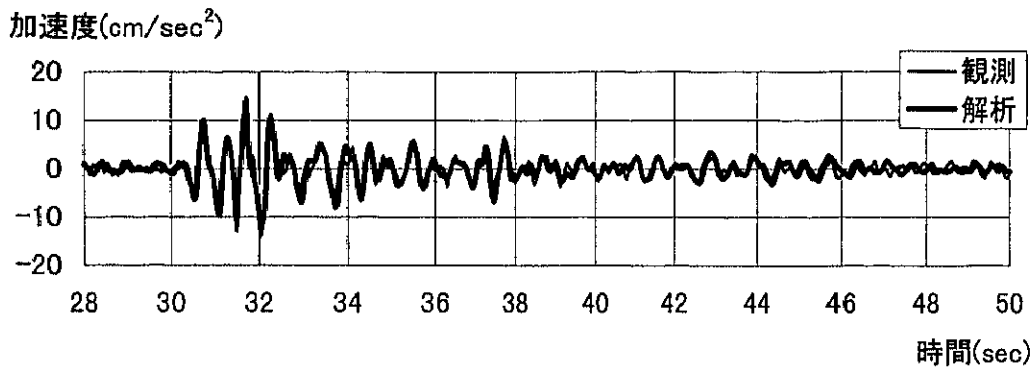


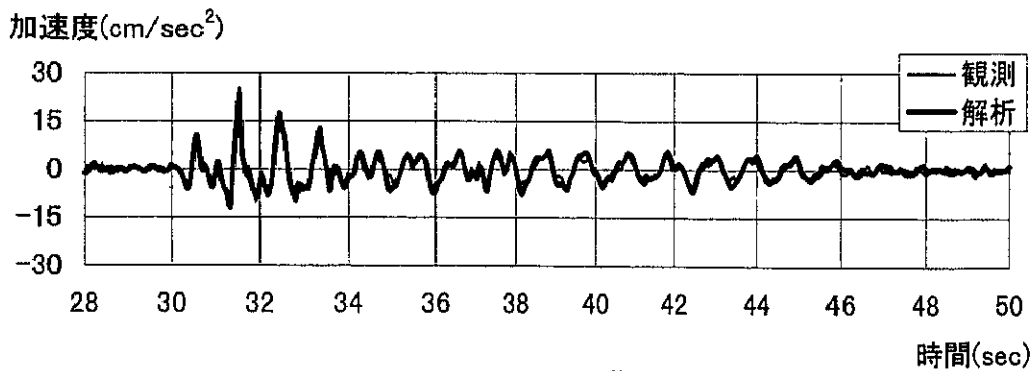
図5-3-8. 加速度時刻歴波形の比較(1996年山梨県東部地震)



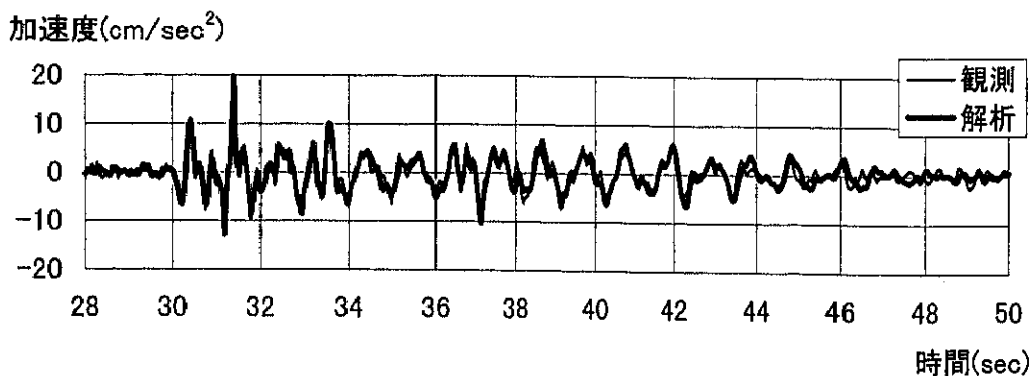
(a)25階



(b)19階

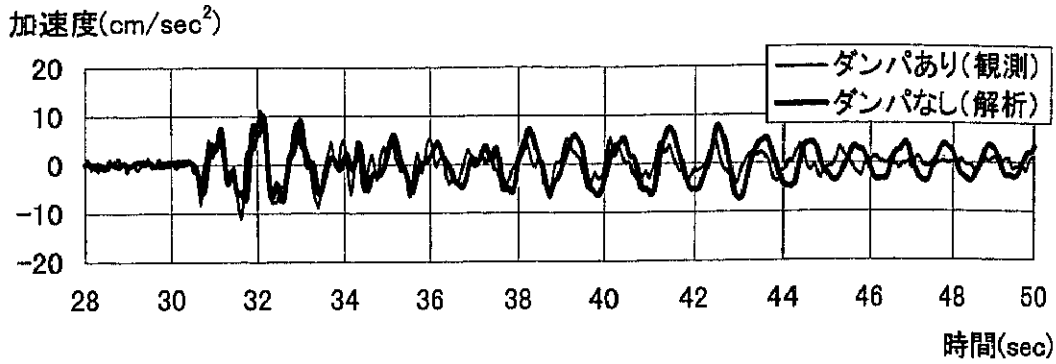


(c)13階

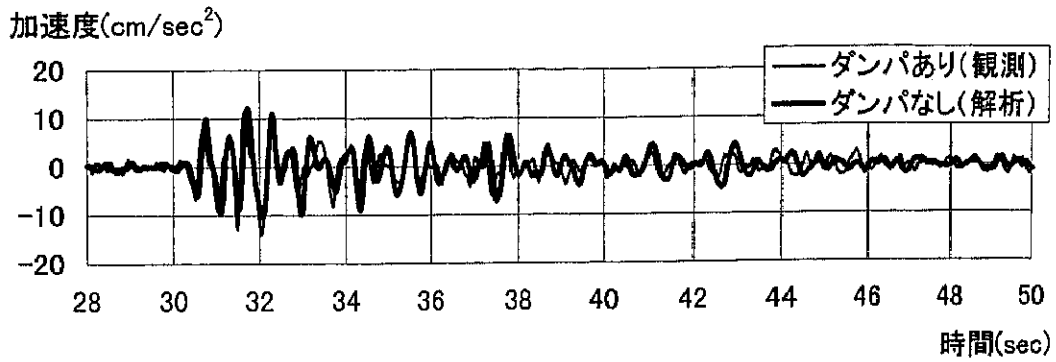


(d)7階

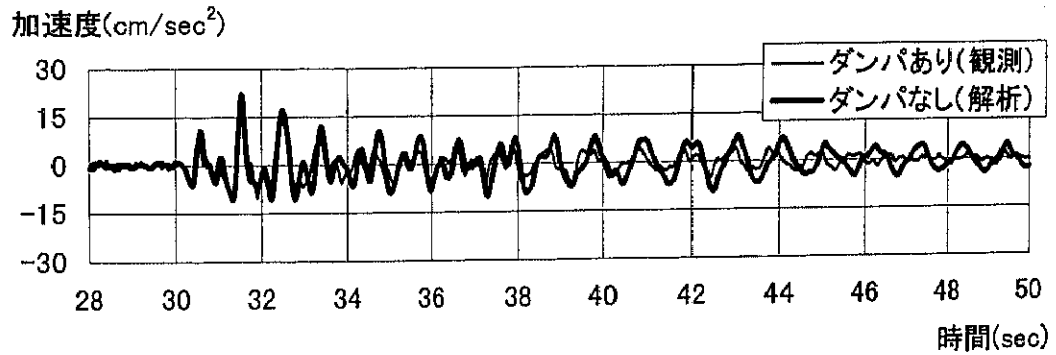
図5-3-9. 加速度時刻歴波形の比較(1998年東京湾地震)



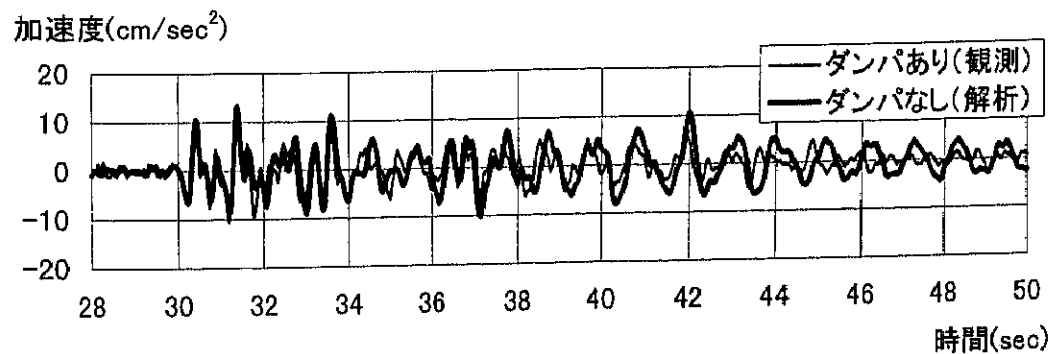
(a)25階



(b)19階



(c)13階



(d)7階

図5-3-10. オイルダンパの効果(1998年東京湾地震)

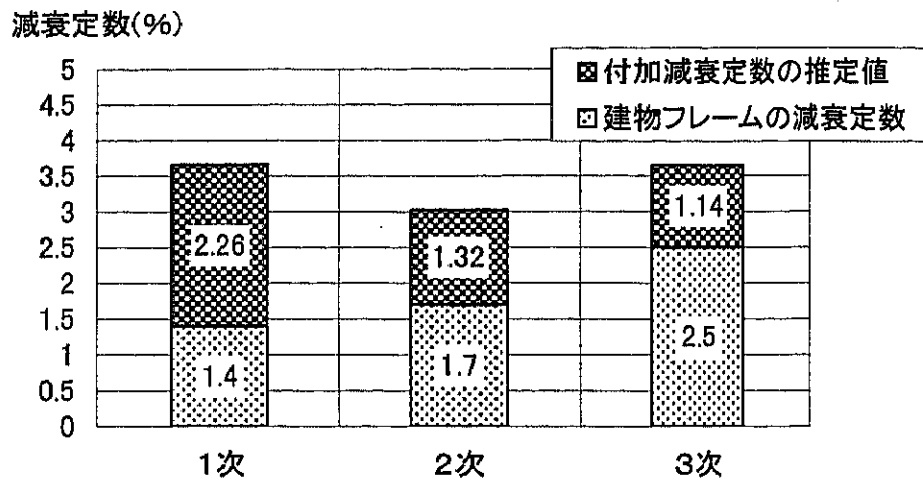


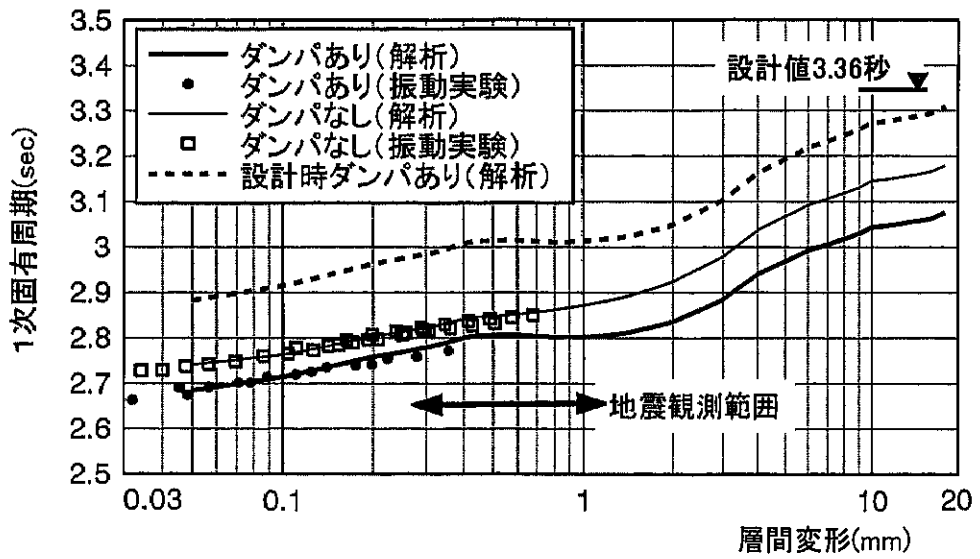
図5-3-11. 減衰定数の比較

(4) 解析検討範囲の振動レベル

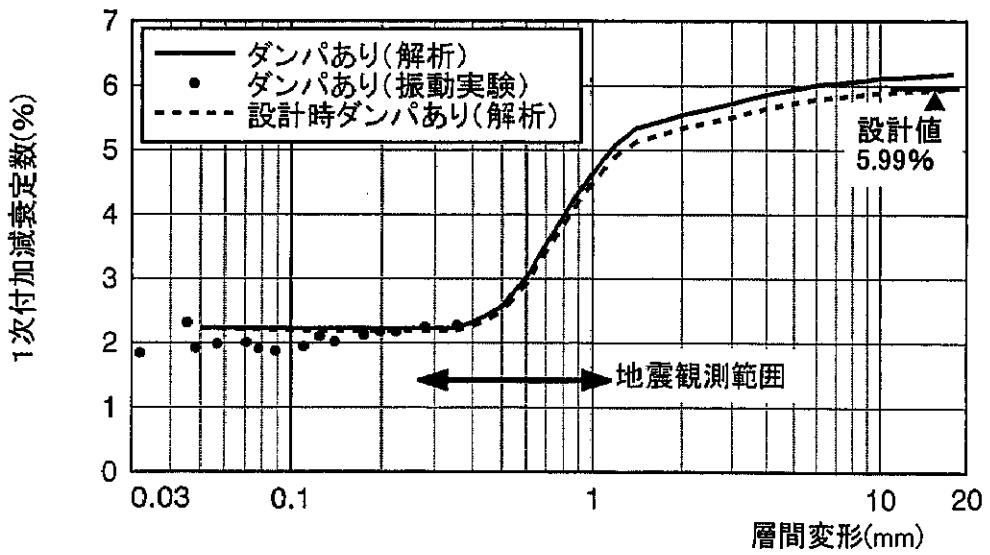
本節(2)の振動実験結果の検討で実施した振動解析モデルを用いた複素固有値解析による1次固有周期と1次付加減衰定数について、振動実験範囲の振幅を越えて、基準階の層間変形で1/200相当する層間変形18mmまでの解析結果を図5-3-12に示す。同図には、設計重量(積載荷重を全て考慮)を用いた場合の値も「設計時ダンパあり」として示している。1次固有周期は、層間変形の増大に伴い長くなり、設計時の1次固有周期3.36秒に漸近していく。1次付加減衰定数も層間変形の増大に伴い増加し、設計時の1次付加減衰定数6.0%に漸近することがわかる。

地震観測結果を振動解析モデルによりシミュレートした結果得られた各階の最大層間変形、及び1台当たりの最大発生減衰力を図5-3-13に示す。最大層間変形の範囲を図5-3-12に記入すると、今回の地震観測記録が、振動実験レベルから設計レベルに至る過程の振動レベルであることがわかる。また、最大発生減衰力の範囲を図5-3-5に記入すると、オイルダンパの小振幅非線形範囲を越えて設計仕様値を実現している荷重レベル範囲に入っていることがわかる。

本検討を踏まえ、振動実験結果、及び地震観測記録がシミュレーション解析により良好に表現できることより、ここで構築した振動解析モデルが、微小レベルから設計レベルに至る本建物の振動特性を精度良く表現できるものであり、本建物の解析モデルとして妥当なものであることを検証できた。



(a)1次固有周期



(b)1次付加減衰定数

図5-3-12. 固有値解析結果

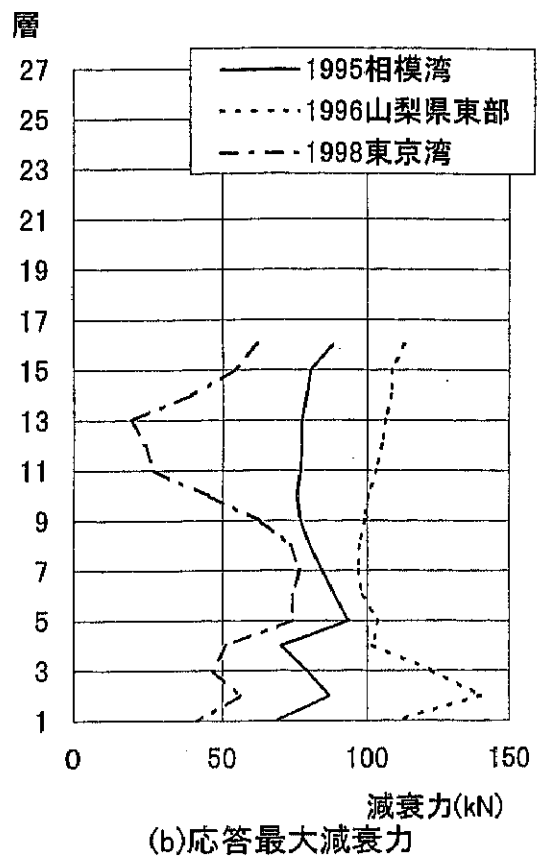
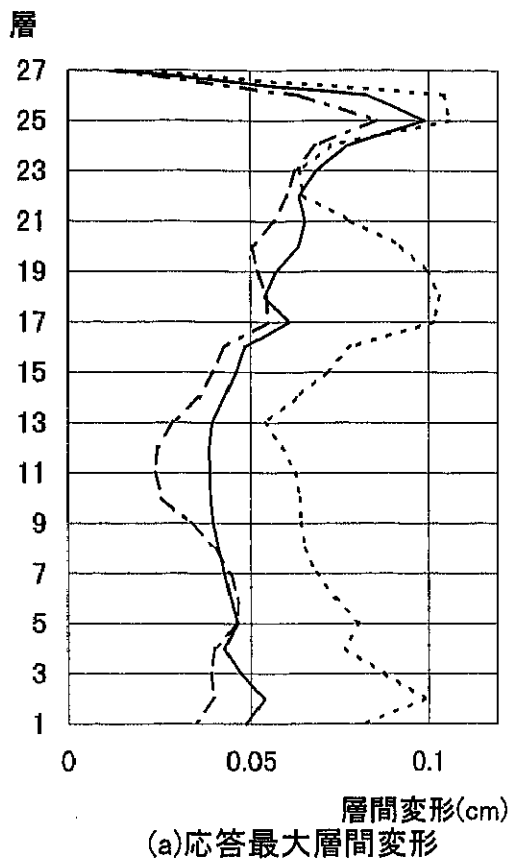


図5-3-13. 地震観測における応答最大値(解析)

第5章の参考文献

- (1)丹羽直幹、小堀鐸二、高橋元一、田上淳、「高減衰オイルダンパを設定した高層建物の振動特性」、構造工学論文集 vol.46B、2000年3月、P345-355
- (2)倉田成人、小堀鐸二、高橋元一、丹羽直幹、水野孝之、「高減衰構造の実験的研究—3層試験体の振動台実験—」、構造工学論文集 vol.38B、1992年3月、P235-243
- (3)田上淳、他、「高減衰オイルダンパによる高層建物の制震（その2）振り子による振動実験」、日本建築学会大会学術講演梗概集、1996年9月、P853-854
- (4)丹羽直幹、他、「建築物の振動実験装置」、特願平7-218482、1995年8月
- (5)森田高一、神田 順、「構造物の減衰定数の振幅依存性に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅱ、P995-996、1998年9月
- (6)田村幸雄、佐々木淳、塚越治夫、「RD法による構造物のランダム振動時の減衰評価」、日本建築学会構造系論文報告集第454号、P29-38、1993年12月
- (7)中尾好昭、森畑 武、王 立忠、「鉄骨造高層建物におけるP C壁版の耐震効果に関する一考察」、日本建築学会構造系論文報告集第427号、P47-57、1991年9月
- (8)横田治彦、佐武直紀、岡田敬一、「振動試験および地震観測データに基づく鉄骨造高層建物の減衰性状」、日本建築学会構造系論文報告集第453号、P77-84、1993年11月
- (9)（社）日本油空圧学会編、「油空圧便覧」