

第4章 実建物への適用

第4章 実建物への適用

4. 1. 厚木市内の高層事務所ビル

(1) 建物・構造概要

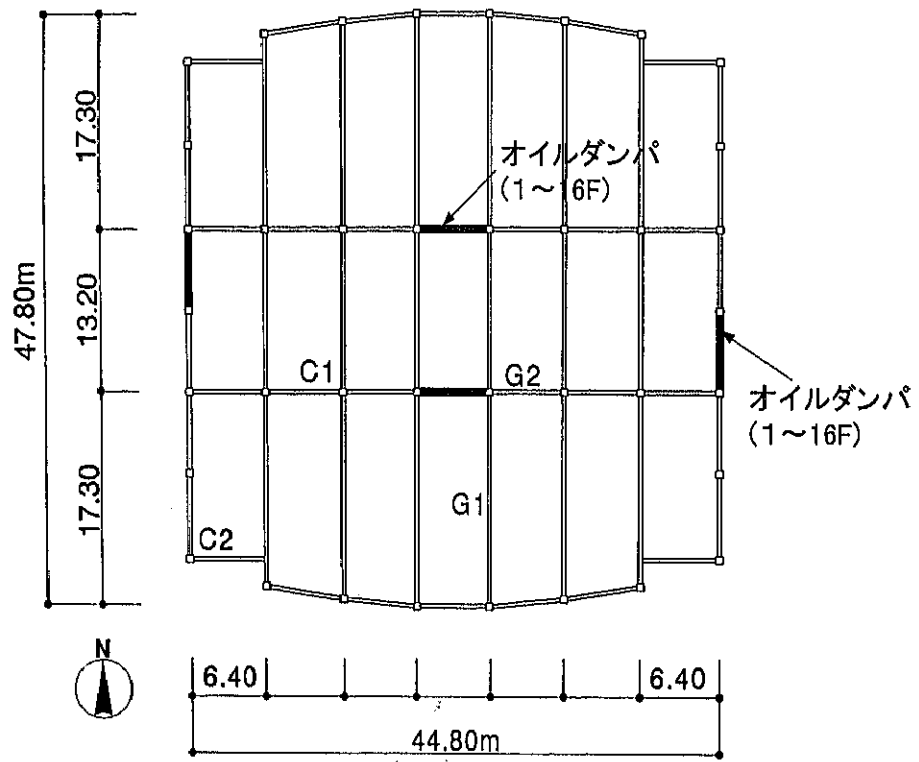
本建物は、地下1階、地上26階の高層事務所ビル^{1),2)}で、地上部は鉄骨造、地下部は鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄筋コンクリート造である。建物概要を表4-1-1に示す。基礎は場所打ちコンクリート杭によりGL-50m以深の泥岩層に支持している。写真4-1-1に建物外観を、図4-1-1(a)に建物梁伏図、(b)にオイルダンパ取付状況、(c)に主フレーム立面図を示す。建物は中央コア形式のバランスのとれた鉄骨ラーメン架構であり、平面的には図4-1-1(a)に示す4箇所にもダンパを配置した。ダンパは図4-1-1(b)に示すように上階柱梁交点から取り付けられたV字型ブレースの下部交点と下階梁との間を連結するように取り付けられ、建物の揺れにより生じる上下階の相対的な変位に対して効果を発揮する。立面的には、図4-1-1(c)に示すように1階から16階までダンパを配置し、1階から4階まではブレースの両側にダンパを配置することで、合計80台設置している。高さ方向にこのように配置したのは、建物の1次振動モードに対する減衰付加を重視したことによる。すなわち、1次モード形の節に当たる下層部にダンパを集中し、建物の曲げ変形によりダンパの効きが悪くなる上層部にはダンパを設置しないことにより、少ないダンパ個数で1次振動モードに対して効果的に減衰を付加している。

表 4-1-1. 建物概要

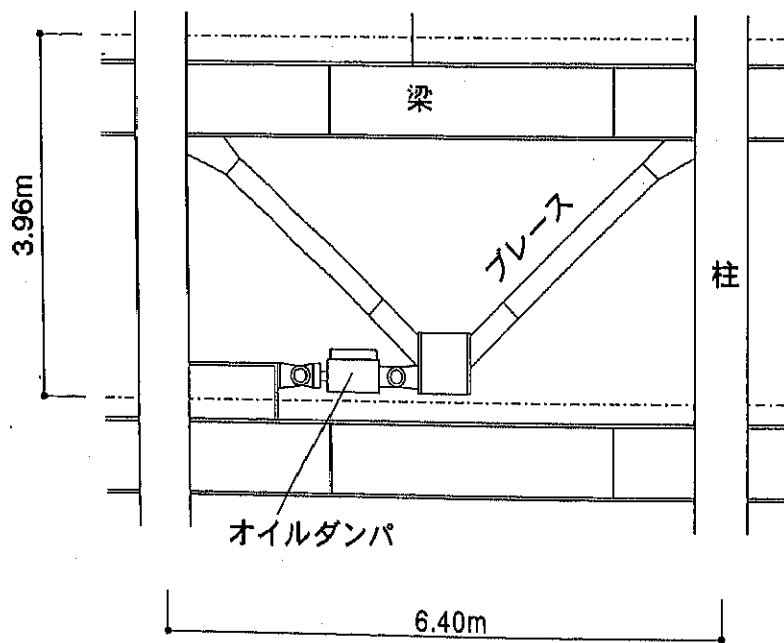
所在地	神奈川県厚木市岡田
用途	事務所、店舗、集会場
延床面積	57,119m ²
階数	地下1階、地上26階
軒高	107m
構造	地上S造、地下SRC及びRC造
基礎構造	場所打ちRC杭 (GL-50m)
工期	1993年7月～1995年9月



写真 4-1-1. 建物外観

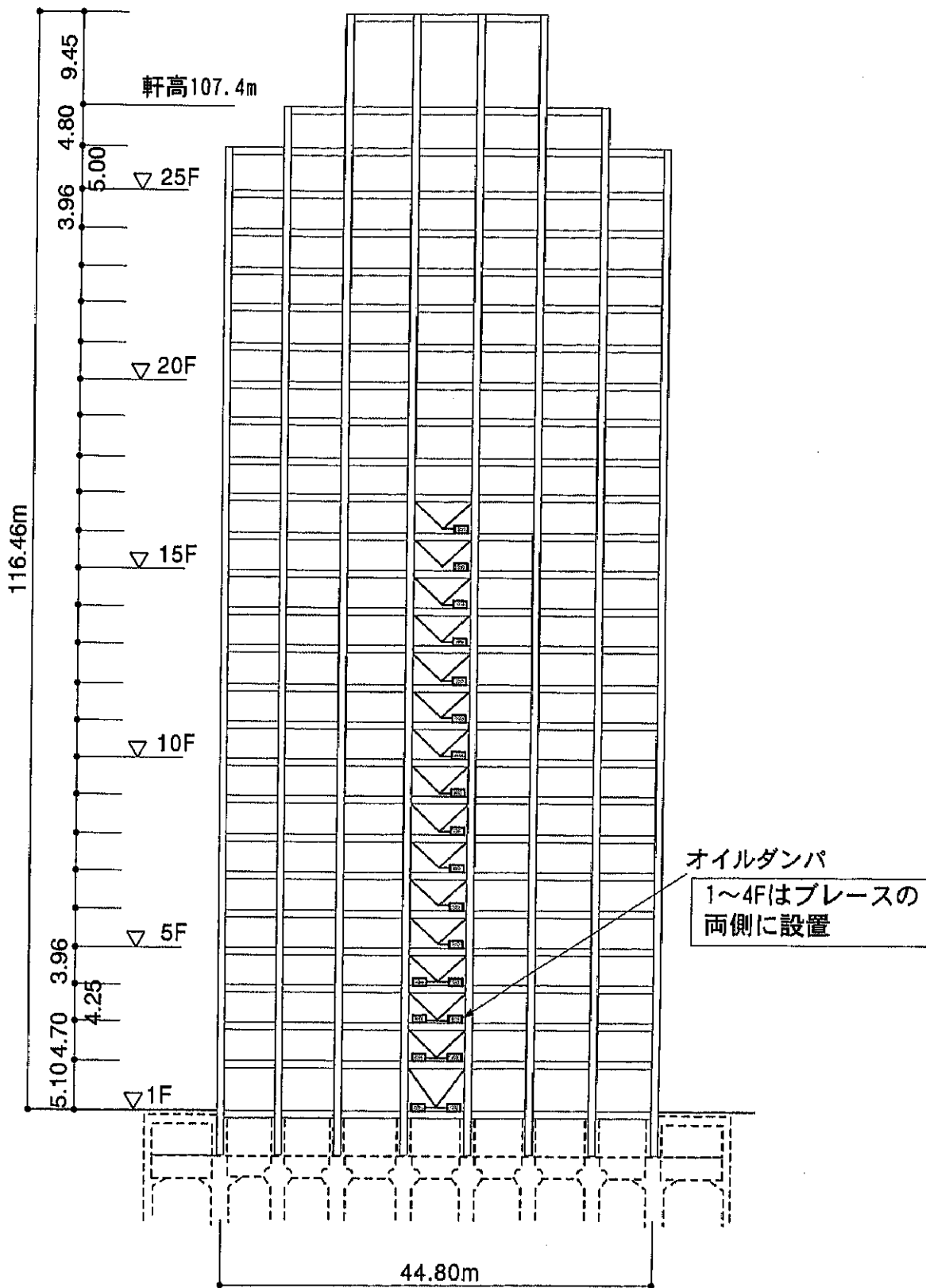


(a) 平面図



(b) オイルダンパ設置状況

図4-1-1. 建物概要



(c) 立面図

図4-1-1. 建物概要

(2) 制震設計

a) 設計方針³⁾

本建物の構造設計においては、オイルダンパによる応答低減効果を見込んで設計用ベースシヤール係数を $C_B=0.075$ に設定した。このベースシヤール係数による設計せん断力に対して、構造部材が許容応力度以下になるよう断面設計した。このベースシヤール係数は、この程度の高さの建物で通常設定されるベースシヤール係数の平均的な値 0.12 の 65%程度に当たる値である。設計された基本断面を表 4-1-2 に、部材番号を図 4-1-1(a)に示す。

表 4-1-2. 代表断面

部材番号	階数	(端部) 断面
G1	25,26	BH-800×400×16×28
	18~24	H-800×300×16×25
	12~17	H-800×300×16×28
	4~11	BH-800×350×16×28
	1~3	BH-800×400×16×28
G2	PHR2,PH	H-800×250×14×22
	24~26	H-800×250×14×25
	21~23	H-800×250×16×25
	15~25	H-800×300×16×25
	1~14	H-800×300×16×28
C1	20~PHR1	□-600×600×22×22
	17~19	□-600×600×25×25
	14~16	□-600×600×28×28
	11~13	□-600×600×32×32
	5~10	□-600×600×36×36
	1~4	□-600×600×40×40
C2	17~25	□-500×500×19×19
	14~16	□-500×500×22×22
	11~13	□-500×500×25×25
	8~10	□-500×500×28×28
	5~8	□-500×500×32×32
	3,4	□-500×500×36×36
	1,2	□-500×500×40×40

また、動的設計においても、通常の高層建物と同様の耐震安全性を確保することを基本方針としている。すなわち、設計クライテリアとして、レベル1地震（最大速度 25cm/sec）を想定した地震応答解析においては、応答最大層せん断力が許容応力度限

層せん断力以下に、応答最大層間変形角が 1/200 以下となるよう設計した。レベル2 地震（最大速度 50cm/sec）においては、応答最大層間変形角が 1/100 以下、構造部材の弾性限界に対する塑性率が 2.0 以下となるよう設計されている。上記をまとめて表 4-1-3 に示す。

このように、オイルダンパの応答低減効果を見込み、通常的设计クライテリアにより設計することで、通常の構造物に対して柱梁の構造部材が削減されることになる。これにより、オイルダンパの費用を加味しても構造体コストを低減できる可能性が生まれる。詳細は、本節(2)、e)において論じる。

表 4-1-3. 設計クライテリア

設計レベル	入力地震動の最大速度	クライテリア
レベル I	25cm/sec	応答最大層せん断力が許容応力度限層せん断力以下
		応答最大層間変形角が 1/200 以下
レベル II	50cm/sec	応答最大層間変形角は 1/100 以下
		構造部材の弾性限界に対する塑性率は 2.0 以下

b) 解析条件

①解析モデル

南北方向の解析モデルを図 4-1-2 に示す。解析モデルは、各フレームを等価な曲げせん断棒に置換し、オイルダンパ設置各階にブレースとオイルダンパの剛性を合成したせん断バネ要素とダンパのダッシュポット要素を、フレームのせん断変形にのみ有効となるよう組み込んだ。各階床は剛床とし、1階柱脚位置を固定とした 27 質点系モデルとした。フレームの剛性評価では、柱に曲げ変形、せん断変形、及び軸方向変形を、梁に曲げ変形、せん断変形を、パネルゾーンにせん断変形を考慮した。曲げせん断棒は、立体解析モデルの静的応力解析に基づき、各層の層間変形を曲げ変形とせん断変形に分離して評価した。ねじれが少ない構造計画であるため、各曲げせん断棒を剛リンクでつないだ平面解析モデルとした。各層の復元力特性は、静的弾塑性漸増解析結果に基づき、曲げせん断棒の曲げ剛性は弾性とし、せん断剛性に対しては Normal Tri-linear 型を仮定した。建物の減衰は、内部粘性系を仮定し、弾性時 1 次固有振動に対して臨海値の 2%とした。

なお、本建物のような多質点モデルにオイルダンパを多数組み込む場合の解析効率

を上げるため、ダッシュポット要素とバネ要素の直列結合であるマックスウエル型モデルを、数値解析上一つの要素として扱う解析手法^{4),5)}も研究されている。

②入力地震動

入力地震動として、表 4-1-4 に示す 3 地震波を採用した。同表には、入力最大速度に対応する最大加速度も示している。

表 4-1-4. 入力地震動、及び入力最大加速度

地震波	25cm/sec	50cm/sec	継続時間
エルセントロ 1940(NS)	255.8	511.5	30
タフト 1952(EW)	248.5	497.0	30
八戸 1978(NS)	165.1	330.1	30

③比較条件

本建物の耐震性能を評価するため、以下に示す 3 種類の条件での応答解析を行い応答最大値を比較する。

- ・ダンパのない場合：オイルダンパを取り除いたフレームのみの場合
- ・通常構造の場合：オイルダンパを用いなくて通常の耐震設計を行った場合の平均的なベースシヤール係数 $C_B=0.12$ を採用して設計した構造体。この構造体の固有値を、表 4-1-5 に示す。
- ・線形ダンパの場合：次節で設定するオイルダンパの減衰係数に対して減衰力制限を設けない場合。

表 4-1-5. 通常構造の固有値

次 数	1 次	2 次	3 次
固有周期(sec)	2.90	1.01	0.60
減衰定数(%)	2.00	5.75	9.64

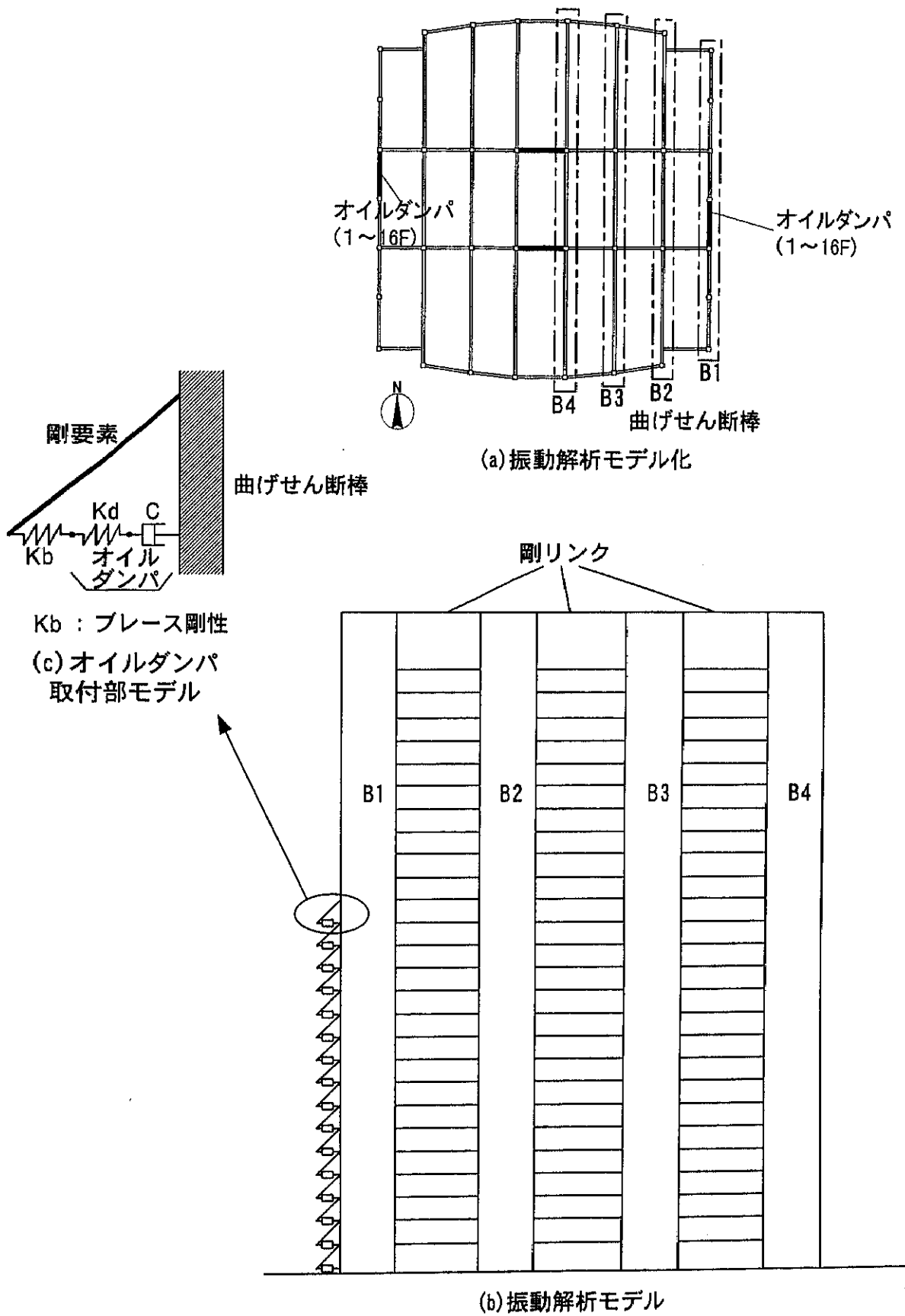


図4-1-2. 振動解析モデル

c) 特性、及び設定

①構造体特性

設定した解析モデルの諸元をもとに算定した、せん断剛性： K_s 、 k 、せん断変形比率： S 、剛性比： $N=k/K_s$ 、最適減衰係数： C_{opt} を図 4-1-3 に示す。せん断変形比率は、1層で 1.0、16層でも 0.95 とオイルダンパを設置した層ではほとんどせん断変形が卓越する変形性状になると想定される。剛性比は、ブレースに 1 台のオイルダンパを設置した上層で約 0.4、2 台設置した下層で 0.7 程度である。最適減衰係数は、概ね上層で 250kNsec/mm、下 4 層で 350kNsec/mm である。

②固有値

次に、上層階のオイルダンパの減衰係数をパラメータとした複素固有値解析により求めた付加減衰定数、及び固有周期を図 4-1-4 に示す。ここで付加減衰定数は、フレームの減衰を 0 としたダンパのみによる付加減衰定数を示している。これによれば、1 次振動に対して最大 7 % 程度の減衰付加が可能であることがわかる。ここでは、2 次、3 次振動に対する減衰付加と、1 次固有周期の変化の程度を考慮して上部各層の減衰係数を 100kNsec/mm に設定する。これより、オイルダンパの減衰係数は、1 台当たり 50kNsec/mm となり、3 章において示したオイルダンパと同様の減衰係数となる。設定した減衰係数での固有値を表 4-1-6 に示す。同表には、ダンパによる付加減衰定数を合わせて示しているが、2 次、3 次に対する値が 1 次に対する値より小さなものとなっている。

表 4-1-6. 固有値解析結果

次 数	1 次	2 次	3 次
固有周期(sec)	3.36	1.16	0.68
減衰定数(%)	7.99	9.42	13.4
付加減衰定数(%)	5.99	3.63	3.52

③オイルダンパ仕様

オイルダンパは、3 章で示した仕様のものを用いる。仕様をまとめて表 4-1-7 示す。本オイルダンパは、減衰力の過大な上昇を抑えるための減衰力制限機構としてリリーフ弁を設けており、800kN 以上では可能な限り小さな減衰係数 $C=1\text{kNsec/mm}$ となるように設計されている。このため、減衰力は抑制されるがストローク、及び速度が

増加することになり、オイルダンパの性能を保証するためには、ストローク、及び速度に許容値を設定し、応答最大値がそれらの値を下回ることを確認する必要がある。ここでは、オイルダンパの終局状態を検討し許容値の設定を行う。まず、オイルダンパの終局状態を、ストローク、減衰力、及び速度に対して検討する。

(1)ストローク

終局ストロークは、実ストローク±6cm に対して、施工誤差±0.5cm を考慮して5.5cm とした。

(2)減衰力

本オイルダンパの作動油、及びシールを除く構成部品（鋼製）は、最大減衰力時で降伏値に対して2以上の安全率で持って設計されている。そのため、減衰力の終局状態は、圧力によるシール部の漏れにより決まることになる。そこで、加圧機によりシリンダ内圧を上昇させた耐圧試験により終局状態を確認した。内圧を30MPa から10MPa おきに5分間加圧しながら上昇させた結果、60MPa において圧力が安定した直後にチェック弁取付部のシールから漏れが発生した。これより、60MPa の内圧に相当する減衰力である1500kNを終局減衰力とした。

(3)速度

オイルダンパの速度－減衰力関係を図4-1-5に示す。減衰力は、速度の増加と共に800kNまで線形に上昇した後、リリーフ弁の働きにより減衰係数1kNsec/mmに移行して速度21.8cm/secで約1000kNに達する。そこでリリーフ弁の開度が最大となるため、その後は固定オリフィスの特性と同様に、速度の2乗に比例して減衰力が上昇し、速度27.7cm/secで終局減衰力である1500kNに達する。この27.7cm/secを終局速度とした。

次に、本オイルダンパの安全率として、地震動の不確実性や、構造体のばらつき、オイルダンパの機差等を考慮して終局状態に対して1.5を設定した。

これらより、各許容値は、ストローク：3.5cm、減衰力：1000kN、速度：18.5cm/secと設定した。

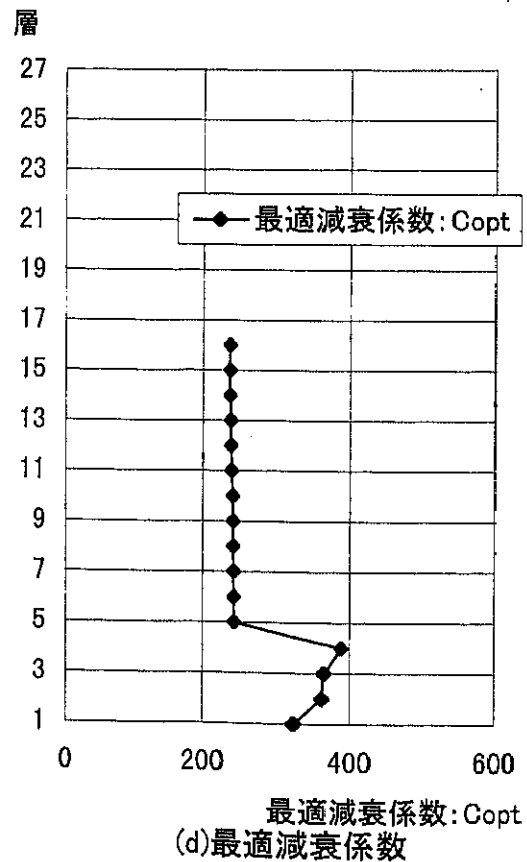
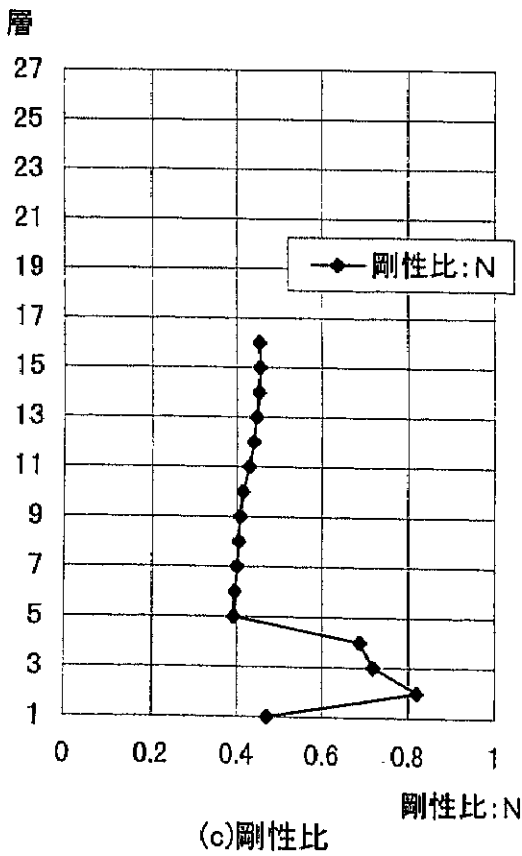
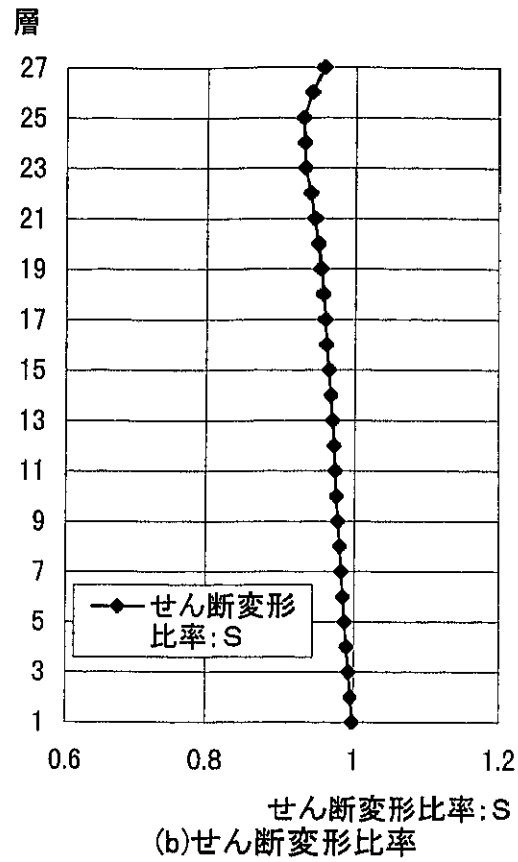
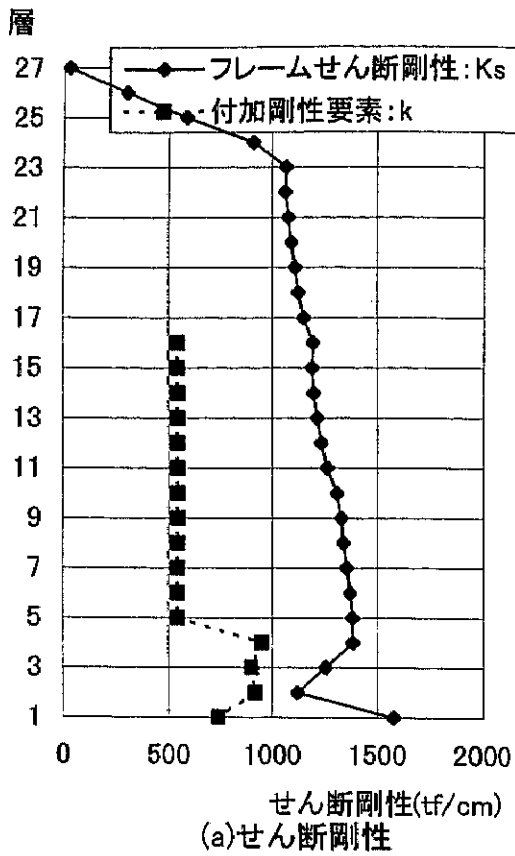


図4-1-3. 諸元、及び特性

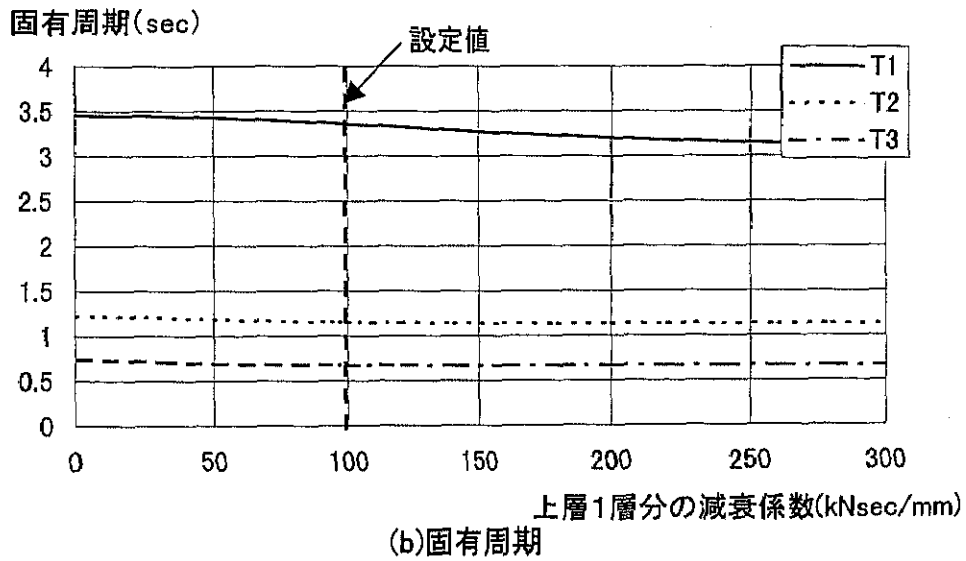
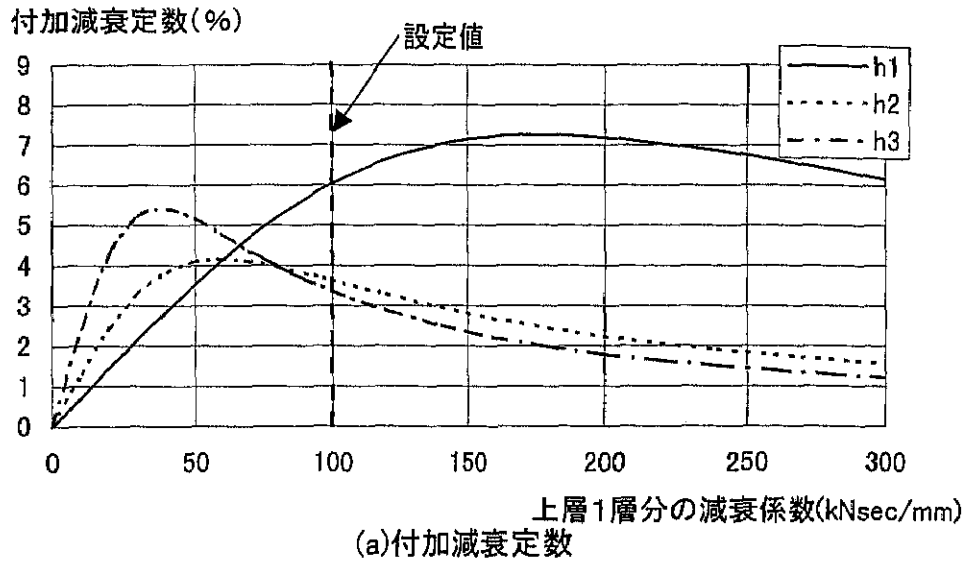


図4-1-4. 付加減衰定数、及び固有周期

表 4-1-7. オイルダンパ仕様

項目	仕様
最大減衰力	1000kN
リリース荷重	800kN
減衰係数	50kNsec/mm(≤ 800 kN)
	1kNsec/mm(> 800 kN)
剛性	350kN/mm
ストローク	± 6 cm
寸法	外形 340mm \times 全長 1680mm
許容ストローク	± 3.5 cm
許容速度	18.5cm/sec

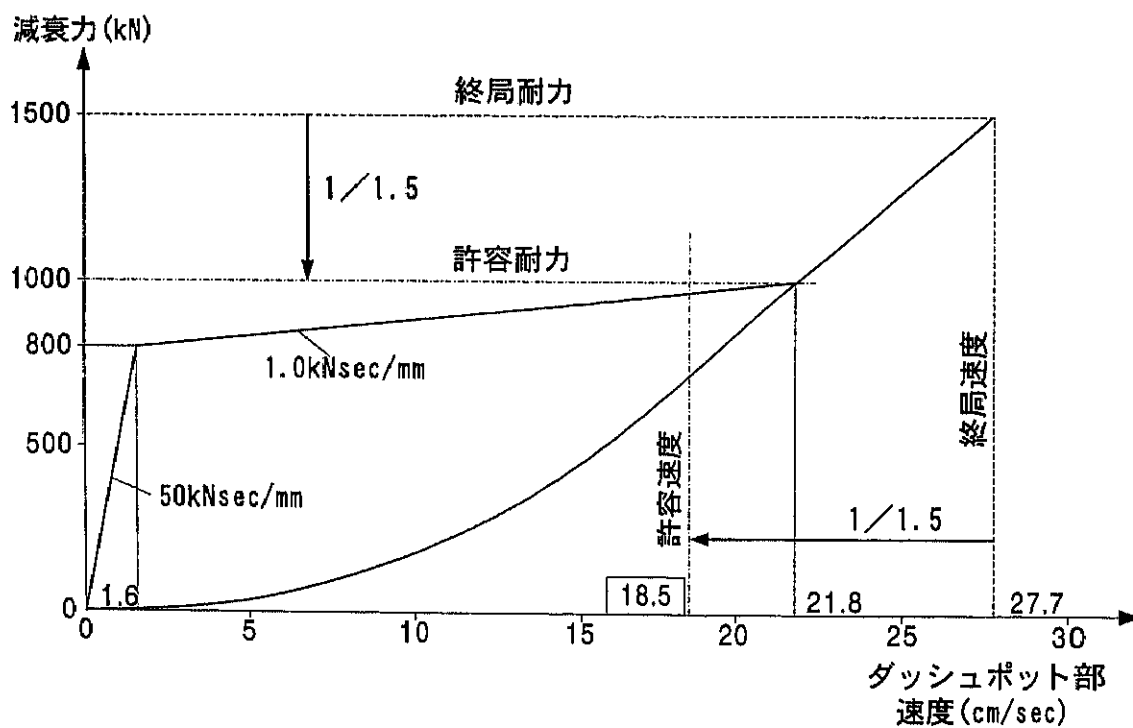


図4-1-5. オイルダンパ許容値

d) 地震応答解析

① 応答解析結果

レベル1（入力最大速度 25cm/sec）の応答最大値分布を図 4-1-6 に、応答最大値をまとめて表 4-1-8 に示す。これらより、層間変形角、及び層せん断力とも八戸(NS)が最も大きな応答値を示し、応答最大層間変形角は、最大で 1/288 とクライテリアである 1/200 以下に納まっている。応答最大せん断力は、1階のせん断力係数で最大が 0.059 と設計ベースシヤアの 0.075 以下に納まっている。

表 4-1-8. 応答最大値（入力最大速度 25cm/sec）

地震波	応答最大層間変形角			応答最大層せん断力	
	層間変形角	層間変形	階	せん断力	せん断力係数
エルセントロ	1/315	1.26cm	16	14.32kN	0.047
タフト	1/386	1.22cm	2	14.32kN	0.047
八戸	1/288	1.37cm	5	18.12kN	0.059

次に、レベル2（入力最大速度 50cm/sec）の応答最大値分布を図 4-1-7 に、応答最大値をまとめて表 4-1-9 に示す。これらより、最大値を与えるのは八戸(NS)であり、応答最大層間変形角は、最大で 1/147 とクライテリアである 1/100 以下に納まっている。応答最大塑性率は、最大で 1.89 とやはりクライテリアである 2.00 以下となっている。

表 4-1-9. 応答最大値（入力最大速度 50cm/sec）

地震波	応答最大層間変形			応答最大塑性率		
	層間変形角	層間変形	階	塑性率	フレーム	階
エルセントロ	1/154	2.58cm	14	1.88	A	21
タフト	1/180	2.61cm	2	1.87	A	21
八戸	1/147	2.69cm	5	1.89	A	8

最後に、レベル2（入力最大速度 50cm/sec）におけるオイルダンパの応答最大値分布を図 4-1-8 に、応答最大値をまとめて表 4-1-10 に示す。これらより、最大ストロークは 2.74cm と許容値の 3.5cm 以下であり、最大速度は 15.97cm/sec と許容値の 18.5cm/sec 以下に納まっている。これらより、大地震におけるオイルダンパの安全性が確認された。

表 4-1-10. オイルダンパの応答最大値 (入力最大速度 50cm/sec)

地震波	応答最大ストローク		応答最大速度	
	ストローク(cm)	階	速度(cm/sec)	階
1)セントロ	2.25	2	15.97	2
タフト	2.25	2	12.01	2
八戸	2.74	2	5.13	2

②各種条件との比較

入力地震動は、最も大きな応答値を示した八戸(NS)とし、最大速度 25cm/sec のレベル1にて検討する。ダンパありとダンパなし、及び通常構造の最大応答値を比較して図 4-1-9 に示す。最大加速度は建物頂部において、ダンパありではダンパなしに対して約 20%低減し、通常構造に対しては約 50%に低減している。

最大層間変形角は、ダンパありではダンパなしに対して約 30%低減し、通常構造に対しては約 40%低減している。応答最大層せん断力は、ダンパありではダンパなしに対して約 25%低減し、通常構造に対しては約 50%低減している。

次に、オイルダンパに減衰力制限を施していることの効果を見るため、線形ダンパの場合と比較した応答最大値を図 4-1-10 に示す。入力地震動は、最も大きな応答値を示した八戸(NS)とし、最大速度 50cm/sec のレベル2にて検討する。これらより、線形ダンパに対して減衰力制限をすることで、建物頂部の最大加速度は 8%減少し、最大層間変形角は 5%、最大塑性率は 3%しか増加しないにも関わらず、オイルダンパの最大減衰力は、約 50%に低減されている。これまでも確認したとおり、減衰力の制限機構を設けることで、応答低減効果をほとんど劣化させることなく、オイルダンパの容量や台数を削減して、ダンパを効率的に使用することが可能であることが実建物においても確認された。

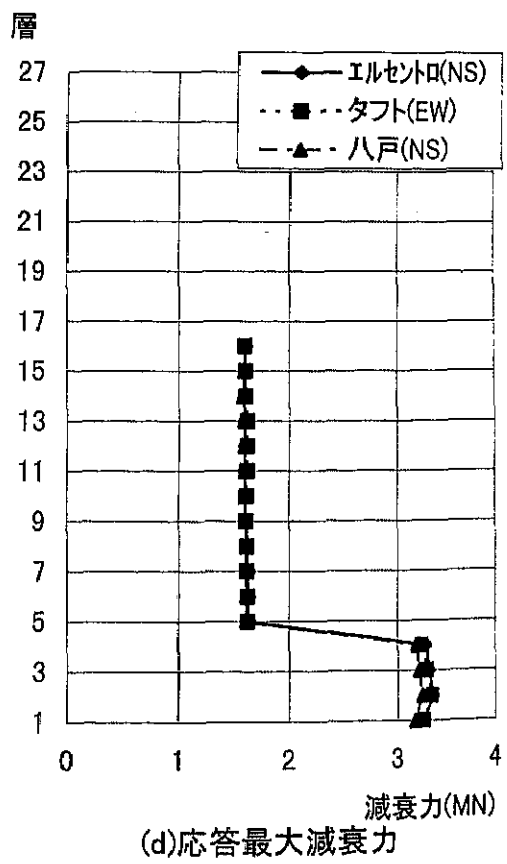
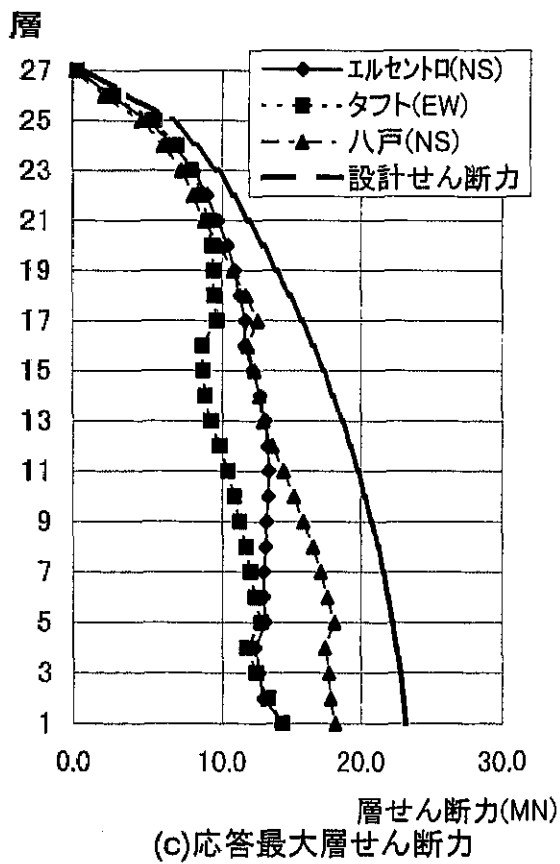
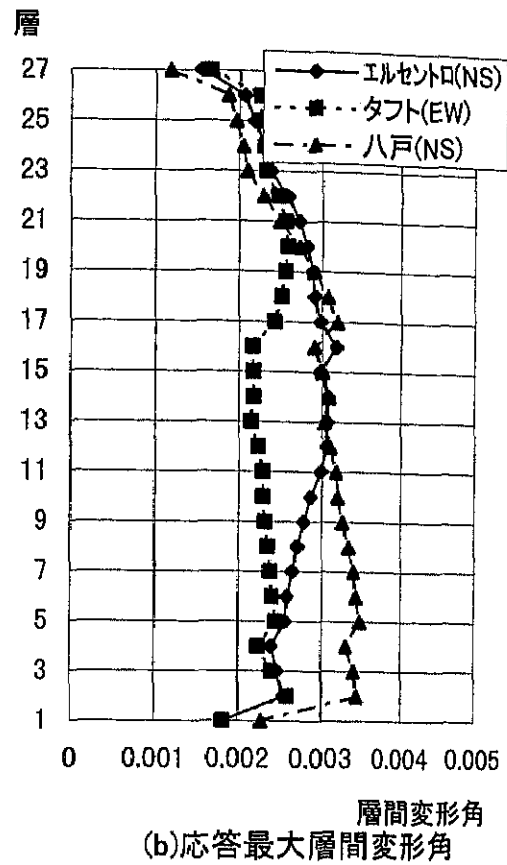
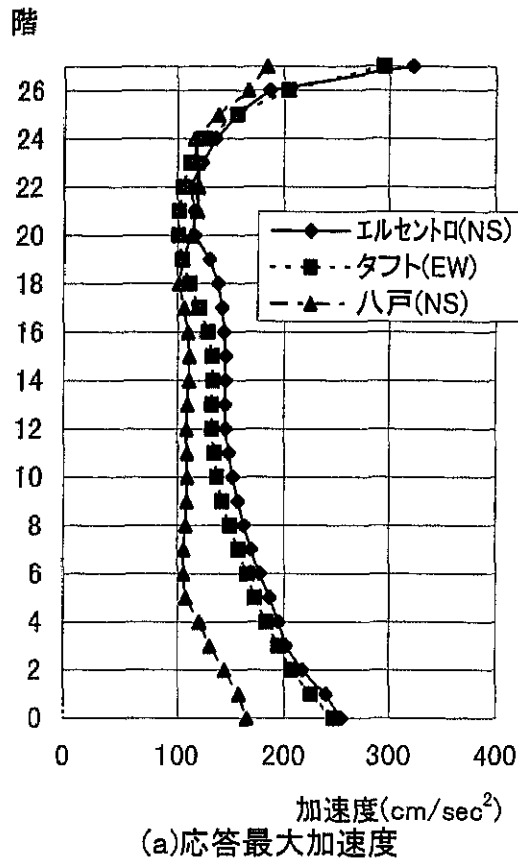


図4-1-6. 25kine入力・応答解析結果

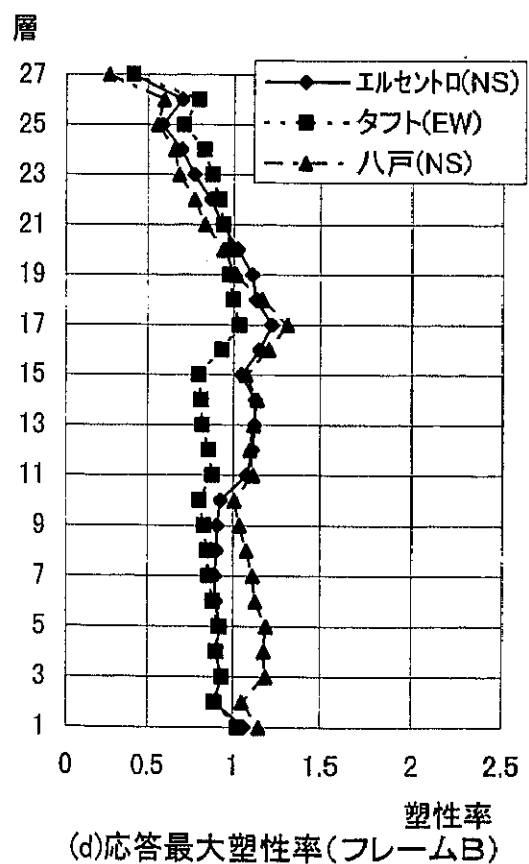
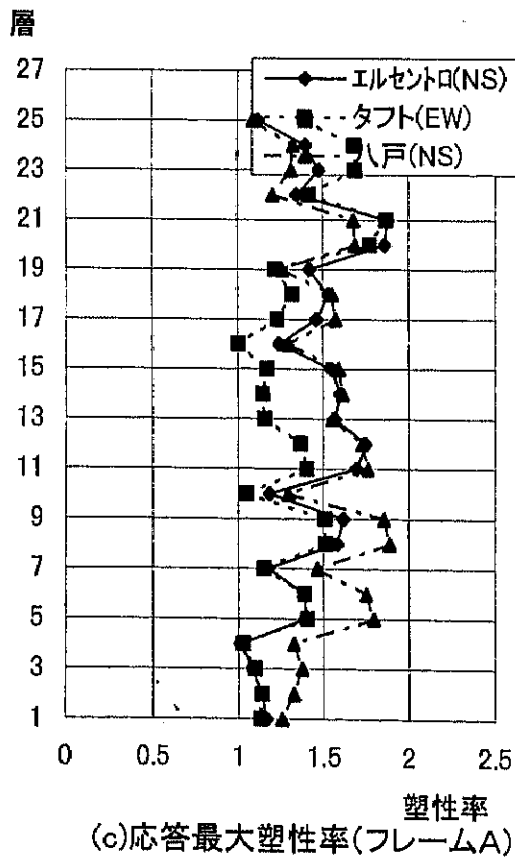
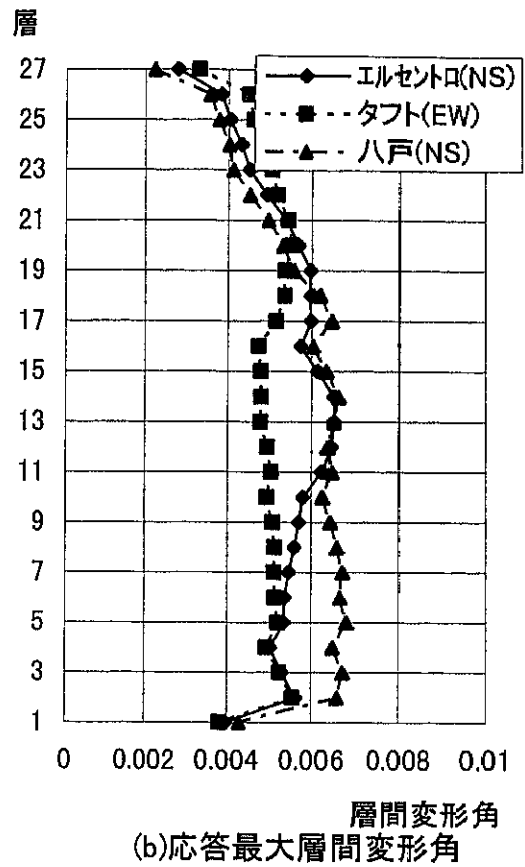
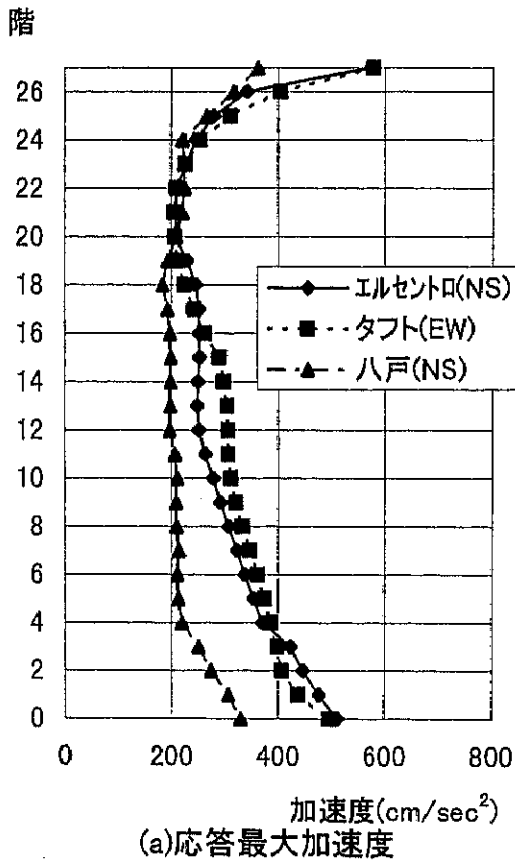


図4-1-7. 50kine入力・応答解析結果

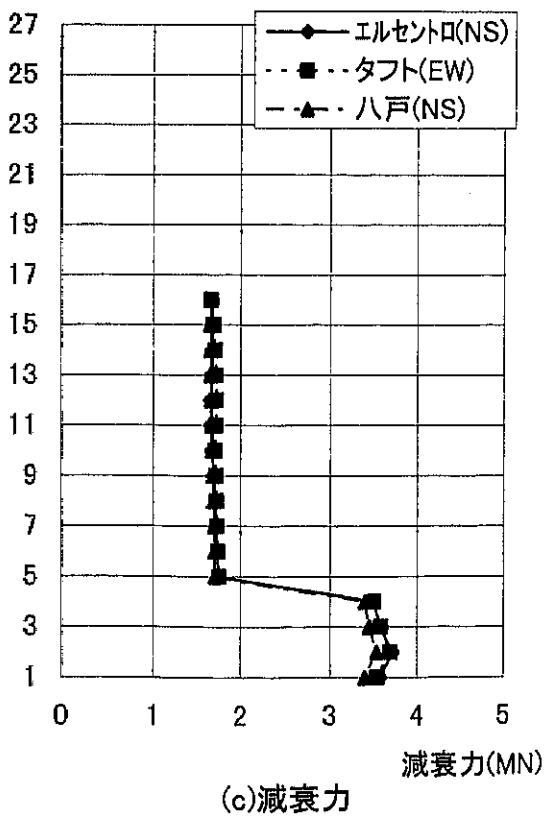
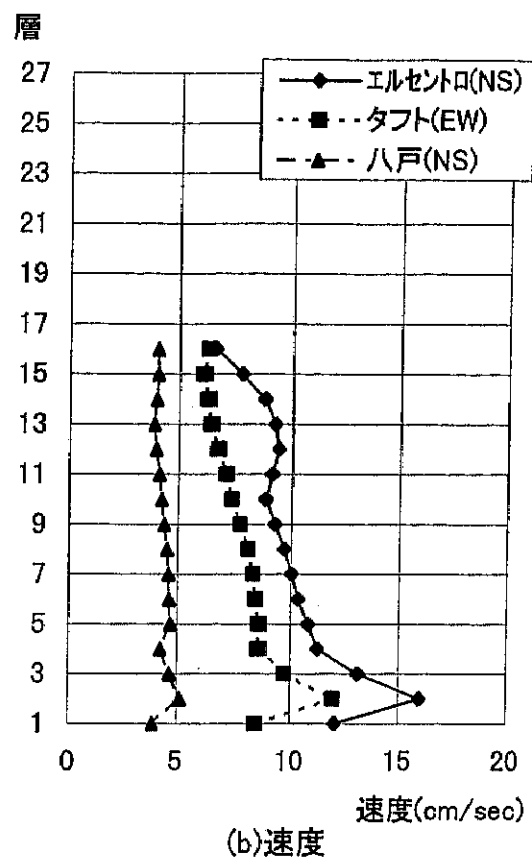
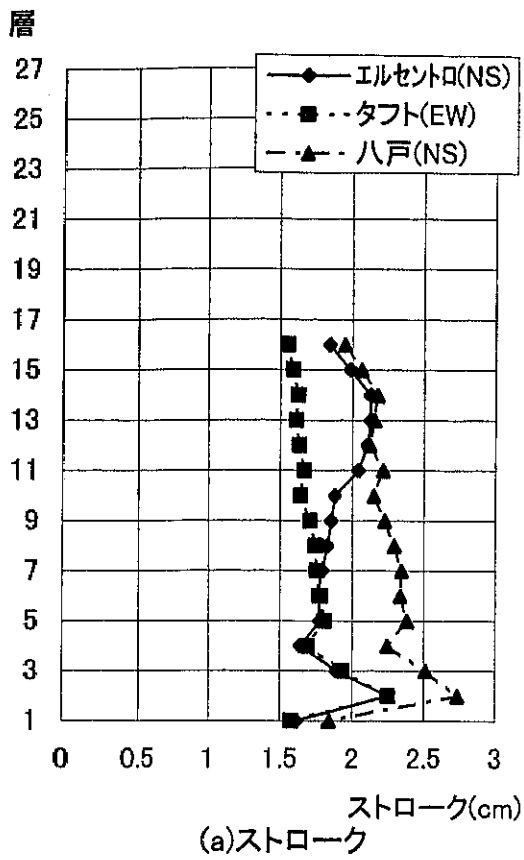


図4-1-8. 50kine入力・オイルダンパ応答値

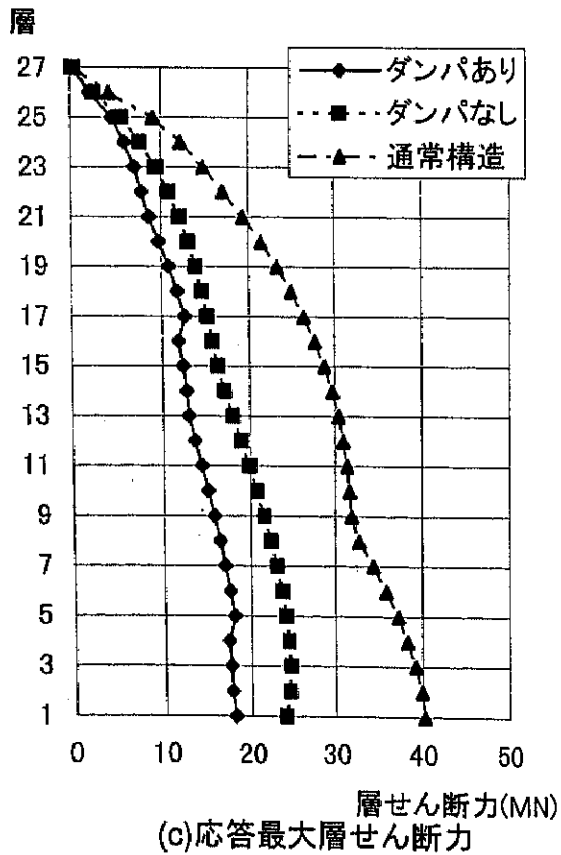
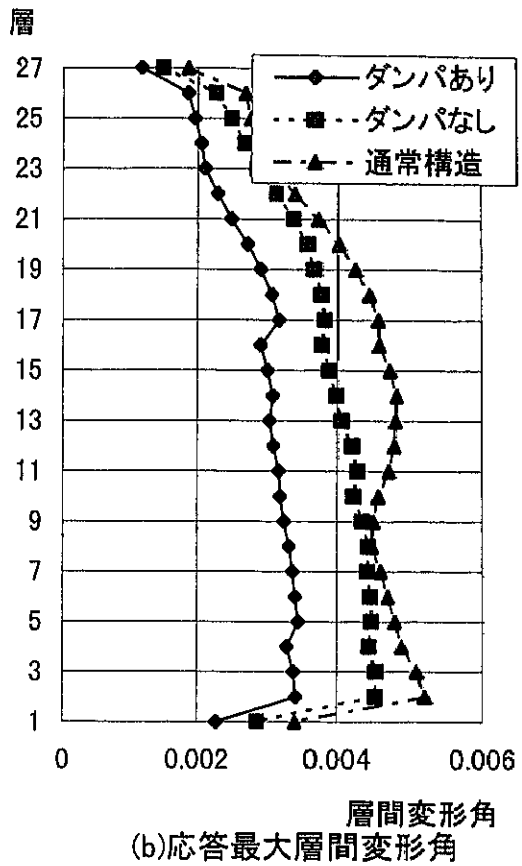
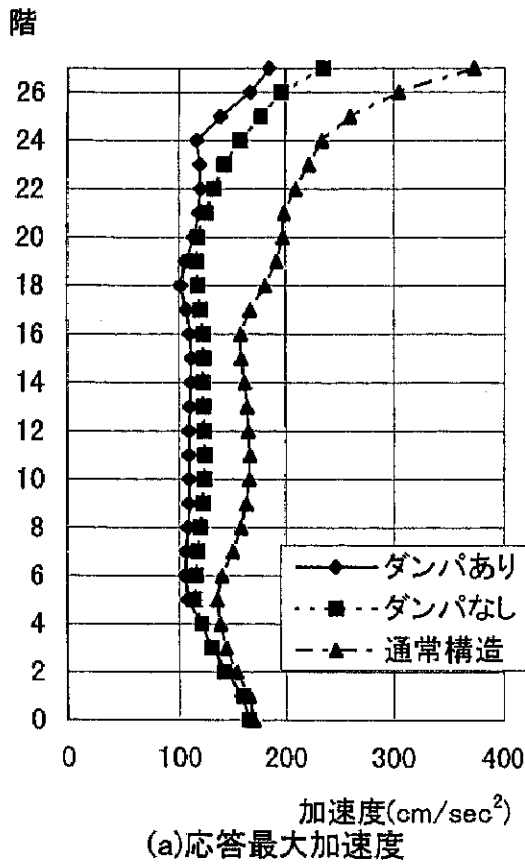


図4-1-9. ダンパあり、なし、通常構造の比較・八戸(NS)25kine入力

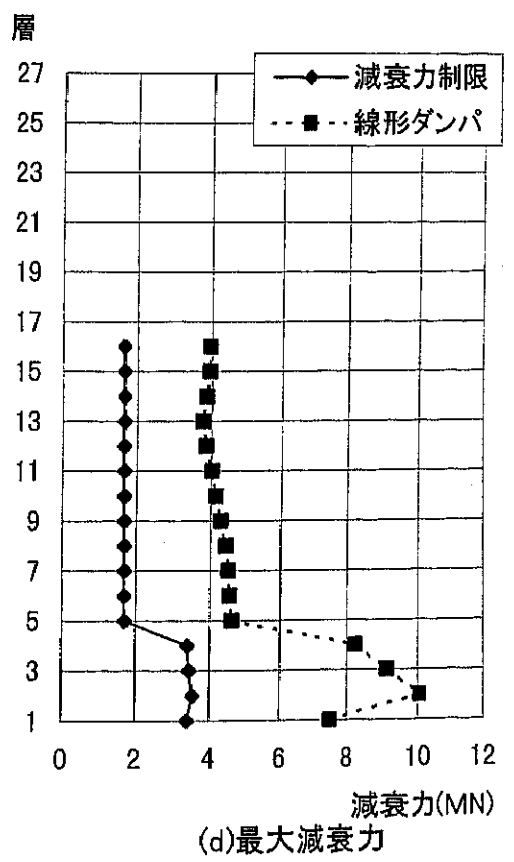
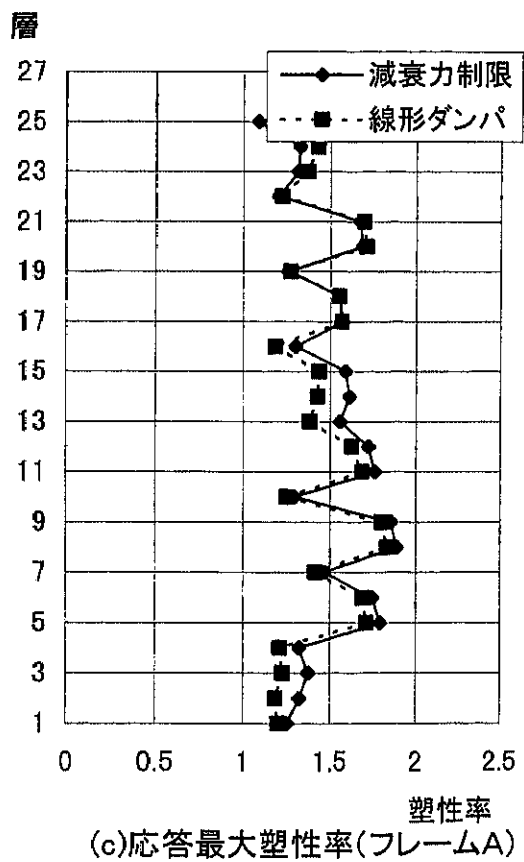
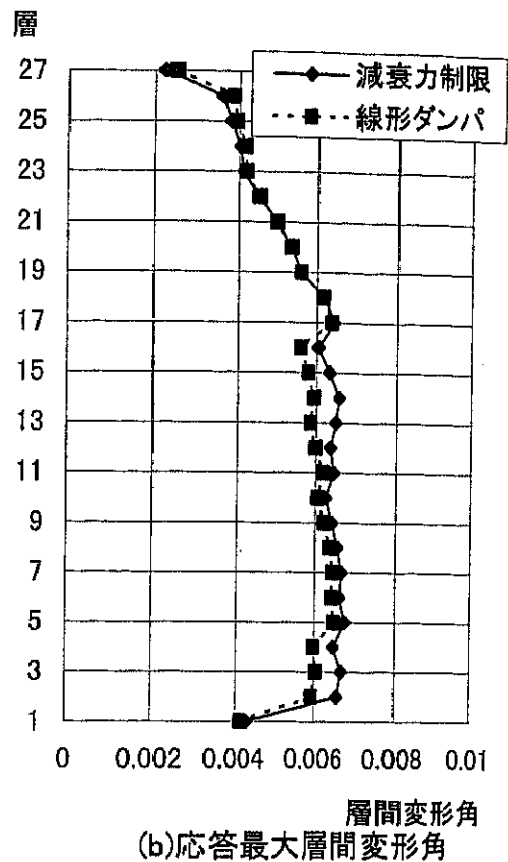
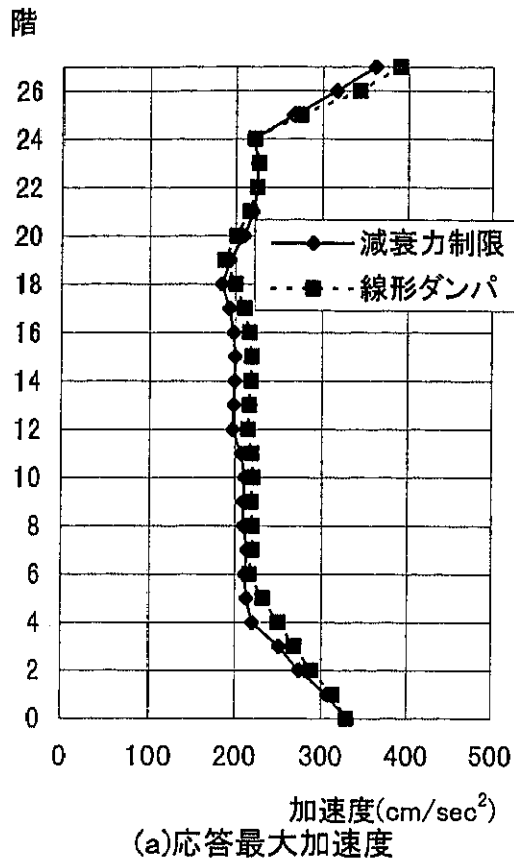


図4-1-10. 減衰力制限、線形ダンパ比較・八戸(NS)50kine入力

e) コスト比較

本建物においては、オイルダンパの応答低減効果を見込み、通常的设计クライテリアにより設計することで、通常の構造物に対して柱梁の構造部材を削減する方針で設計されている。これにより、オイルダンパの費用を加味しても構造体コストを低減できる可能性が生まれる。これを確認するため、通常構造に対するコスト比較を行う。通常構造は、これまで検討に用いてきた通常の耐震設計を行った場合の平均的なベースシヤ係数 0.12 を採用して設計した構造体とする。コスト比較をまとめて表 4-1-11 に示す。1次固有周期は、部材断面が削減されているため通常構造に対して高減衰構造では 15%程度長くなる。設計用ベースシヤ係数は、通常構造に対して高減衰構造が 60%程度に低減されている。それにより、柱梁部材の断面が低減され、鉄骨断面サイズ、及び板厚の低減がなされる。これらによるコスト低減効果を検討して以下に示す。

- ・鉄骨数量が約 25% (本建物では 2100t) 低減される。
- ・鉄骨の工場加工度は板厚が最大 65mm から 40mm に低下することで、製作が容易となる。これが鉄骨の加工費の低減につながる。
- ・鉄骨 1 ピースの重量が 15t 以下から 9t 以下へ低減され、タワークレーンが JCC400H から JCC200H に省力化される。これを代表にその他の仮設費も低減される。

以上を踏まえて、以下に示す 1992 年における単価をもとにコストを計算すると、高減衰構造にすることで約 9 億円のコスト低減がはかれる結果となった。

- ・鉄骨：35 万円/t
- ・オイルダンパ：350 万円/台 (施工費を含む)

これを、鉄骨コストに換算するとオイルダンパの費用を考慮しても、約 25%低減されていることになる。これらの関係は、各要素の単価や、建物条件、設計方針などに左右されるものであり、一概に論じることは困難であるが、本建物の例では高減衰構造化することにより構造体コストの削減も可能であることが確認された。

表 4-1-6. コスト比較(1992 年)

項 目		原設計	高減衰構造	
構造特性	1次固有周期	2.90 秒	3.40 秒	
	ベースシヤ- 係数	0.12 (100%)	0.075 (62%)	
	代表 部材断面	柱	C1□-650×650×65×65 ×50×50 C3□-550×550×60×60 ×50×50	C1□-600×600×40×40 ×36×36 C3□-550×550×32×32 ×28×28
		梁	BH-850×320×16×32	H-800×300×16×25
コスト	鉄骨数量	7950t(100%)	5850t(74%) (△2100t)	
	その他	-	・鉄骨加工度の合理化 ・鉄骨建方の簡素化 ・仮設費の低減	
	オイルダンパ	-	28000 万円 (1台 350 万円)	
	合計	高減衰構造では原設計に対して 約 9 億円安価となる		

(3) 耐火設計⁴⁾

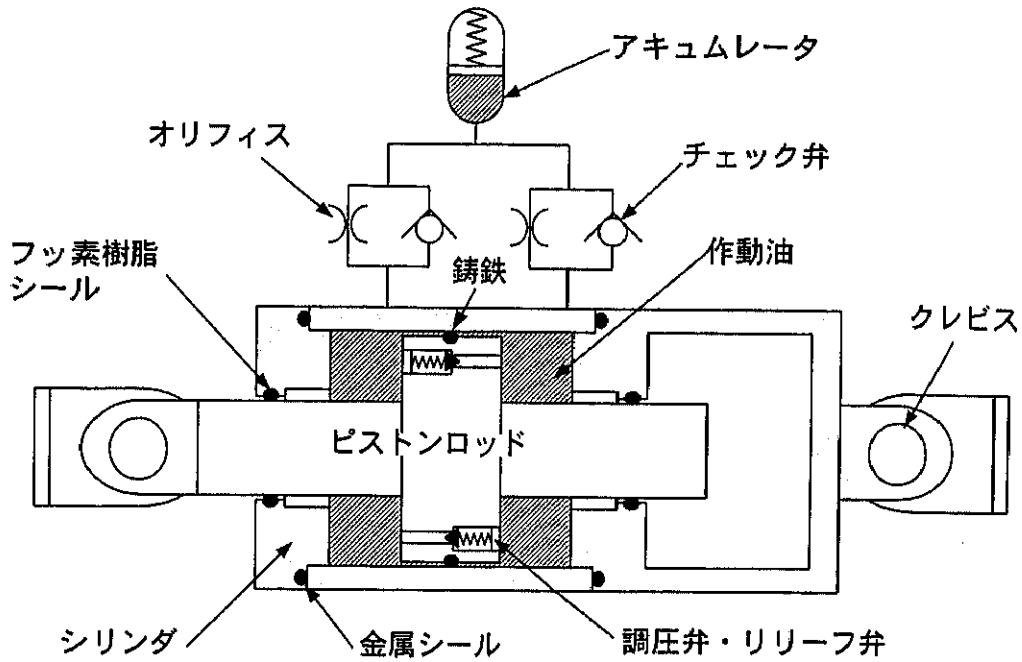
a) 設計方針

オイルダンパ、及び取付用ブレースは、地震時に水平力を負担する部材であり、建築基準法では主要構造部材に属するものと定義され、通常では2時間の耐火性能を確保することが要求される。しかし、可動部を有するオイルダンパの耐火被覆は容易ではない。そこで、本オイルダンパは、両端に自在継ぎ手を介して構造体に接合することで通常時の鉛直荷重を負担しない取付方法を採用していること、さらにはオイルダンパに対する耐火上の配慮、及び評価により、オイルダンパ、及び取付用ブレースに耐火被覆を施さないこととしている。ただし、標準火災曲線による2時間加熱に対しても石膏ボード(厚さ 12mm)3枚により、オイルダンパを含む構面全体を保護することで、オイルダンパ表面温度を許容温度である 140℃以下に保つことができることを確認している。本オイルダンパの許容温度は、図 4-1-11(a)に示しているオイルダンパの主な構成要素の規格値を調査した結果から、同図(b)に示す内で最も低い許容温度である作動油の 140℃と設定した。

b) 耐火性に関する検討

オイルダンパ、及び取付用ブレースに対して、以下に示す配慮、及び検討を行うことで耐火被覆を施さないこととした。

- (1) オイルダンパと取付用ブレースは、図 4-1-12(b)に示すように、地震時の水平力にのみ抵抗する機構として、通常時、及び火災時の鉛直荷重を負担させない。
- (2) オイルダンパが火災により損傷した場合には速やかに交換する。また、これを維持管理計画(表 4-1-8 参照)に定め建物存続期間中履行できるようにする。
- (3) 火災の影響を受けることが想定される場所では、ぼや程度の火災(標準火災曲線の耐火 20 分程度)に対しては取り替える必要がないよう軽微な壁で架構全体を保護する。本建物では、図 4-1-12(a)に示す廊下と事務室間に設置されるオイルダンパにこの保護を施している。軽微な壁とは、耐火構造程度の性能を有する石膏ボード 2 層貼り(12mm+9mm)不燃下地壁などとした。
- (4) 外部火災に対しては、隣接物からの距離、及び外壁を考慮してオイルダンパを交換する必要のないことを確認している。
- (5) 火災後の構造物の構造安全性を確認している。これは、仮に大地震に伴う火災により一部のオイルダンパが損傷を受けて効力を失ったとしても、大地震後の余震に対して建物が十分安全であることを確認している。

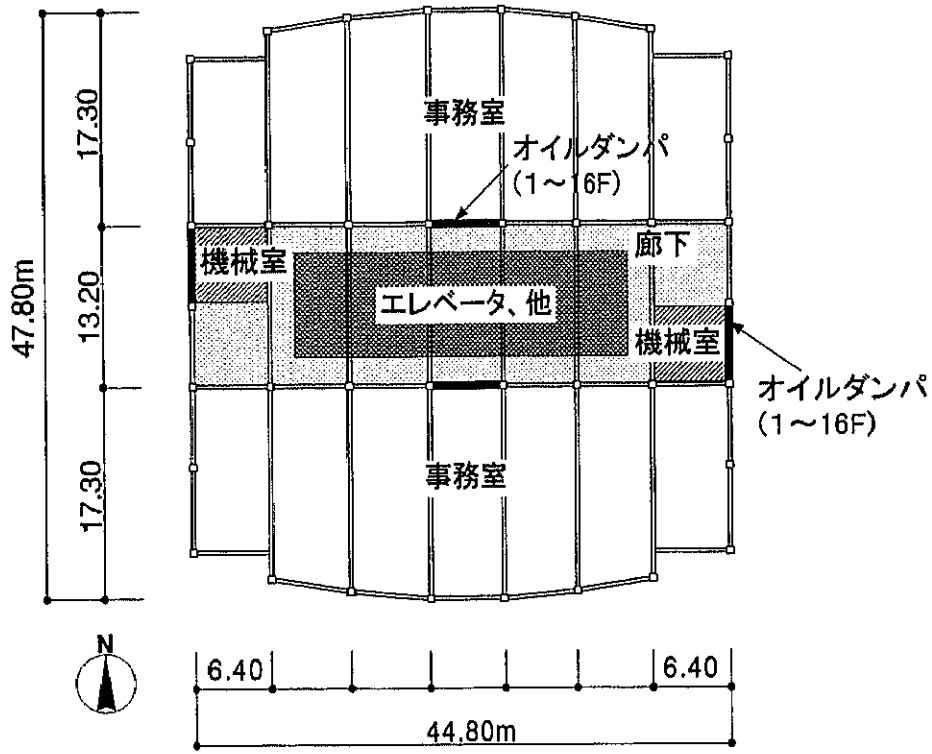


(a) オイルダンパ構成

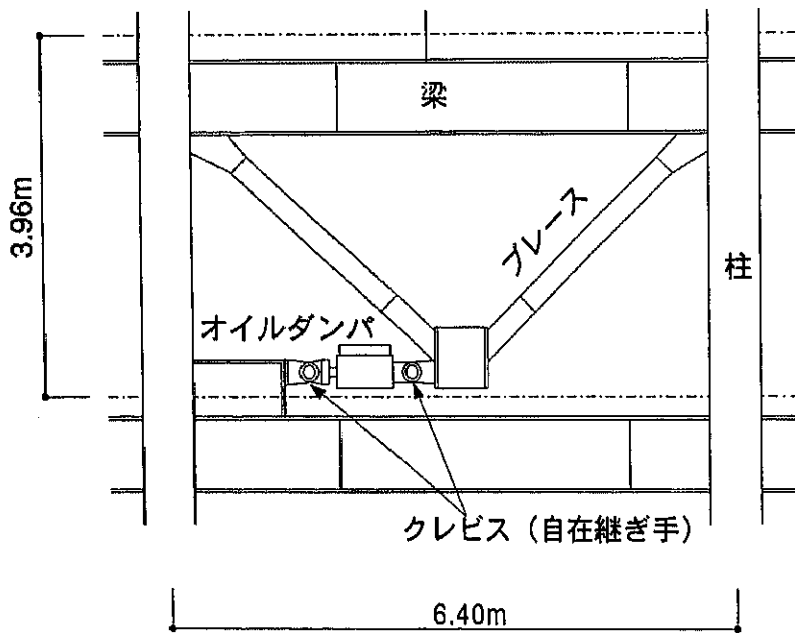
(b) 使用材料の材質及び規格

構成部品	材質	規格	
シリンダ	S35C	JIS.G4051,降伏点:390N/mm ² ,伸び:22%	
ピストン	FCD500	JIS.G5502,降伏点:320N/mm ² ,伸び:7%	
ロッド	SCM435	JIS.G4105,降伏点:780N/mm ² ,伸び:15%	
ボルト	SCM435	JIS.G4105,降伏点:880N/mm ² ,伸び:12%	
作動油	ダンパオイル N10 (鉱物油)	JR 規格 JRS64002-1A-15BR9A, 比重:0.858,粘度:9.66cSt(40℃), 許容温度:140℃	
シール	摺動部	鋳鉄 (FC250 相当)	JIS.G5501 抗折:10kN,たわみ:5mm 以下
		フッ素樹脂	シャバンアント' キャプテン製標準品 許容温度:200℃
	固定部	金属	アリコフレックス製標準品,許容温度:200℃

図4-1-11. オイルダンパの耐火上の条件



(a) 平面図



(b) オイルダンパ設置状況

図4-1-12. 耐火上の使用条件

(4) オイルダンパの品質管理

a) 取付前管理

量産されるオイルダンパの性能を確保するためには、製造時、及び完成後の性能確認は不可欠のものである。本建物のオイルダンパに対して実施した製造過程、及び出荷時における出荷試験フローを図 4-1-13 に示す。オイルダンパの製造管理においては、まず減衰係数を決める調圧弁、及びリリーフ弁の流量－圧力特性を管理することが重要である。特に、本オイルダンパのようにバルブ類をピストン内に組み込んだ構造の場合には、完成後の再調整が困難なため、予め単体特性が管理値内であることを確認することは、製造効率を上げるためにも有効となる。また、本オイルダンパでは、剛性確保が減衰付加効果を左右する重要な要件となるため、十分に作動油内のエアを抜くための作業要領を確立することが必要となる。そして、完成後の全体特性を動的加力により、主に表 4-1-7 に示す検査項目について確認する。ここで各検査項目に対して、機差による許容範囲を設けている。例えば、減衰特性に関しては、図 4-1-14 に示す使用条件も含めた許容範囲 $\pm 20\%$ をもとに、使用条件下での性能変動分を差し引いた機差による許容範囲として仕様値 $\pm 10\%$ を設けている。なお、本建物のオイルダンパは、これまで実績のないものであるため全数検査を行ったが、今後は製造・検査実績の蓄積により抜き取り検査が可能になると考える。

b) 取付時管理

精巧な機械部品であるオイルダンパを建物内に設置する場合には、丁寧に扱う必要があることはもちろん、特に以下に示す事項に注意する必要がある。

- ・他の部材にぶついたり、ロッドに無理な横力をかけない。
- ・雨水、火花などがかからないよう養生を施す。
- ・ピストンロッド部等の傷つきやすく、傷つくことで性能に支障をきたす部分には、十分な養生と注意を払う。

これらの管理事項を確実に実行するために、作業手順を含めた取付時の施工要領を作成することは有効な手段である。また、オイルダンパを取り付けるブラケット周りの寸法・施工精度は、オイルダンパが作動した場合に生じる付加的な力の大きさを左右するため、オイルダンパの設計に基づいた精度管理を行う必要がある。この場合、要求される精度は、オイルダンパの取付ディテールによっても異なるため、建物設計時に周辺部材の設計と合わせて検討する必要がある。これらの内、ロッド方向の取付長さ精度は、オイルダンパの許容ストロークに影響を与えるため、現場において微調整

が可能な取付ディテールや施工手順を採用することが望ましい。

c) 取付後管理

本オイルダンパは、主要構造部材と同様の信頼性をメンテナンスフリーで実現できる構造設計、及び材料選択が施され、製造・検査における品質管理も十分に行われているものであるが、建物取付後においても軽微な点検を行うことで、その信頼性をより確かなものとするにしている。本建物のオイルダンパで計画した維持管理計画を表 4-1-8 に示す。この管理計画の主なチェック項目は、オイルダンパにおいて最も懸念される故障である油漏れを目視により確認することである。そこで、内部油量の確認を容易に行うため、スプリング式アキュムレータのピストン部分に油量監視棒を取付けている。オイルダンパのどこかの部分で油漏れが生じた場合、それを補うためにアキュムレータ内の作動油が使用されて減少する。よって、この監視棒の変化を確認することで、オイルダンパ全体の油漏れを検知できることになる。また、検査頻度は、初期不良の検知を重要視し、設置後 1～3 年目を重点的に行うこととしている。それに加え、大地震、強風、及び火災等の異常時の後には、その都度臨時に点検を行ってオイルダンパの健全性を確認し、必要があれば取り替えることとしている。これらの維持管理計画は、今後の本オイルダンパの普及、実績の蓄積により、見直されて簡易化され、最終的には、通常の構造体と同様に扱えることが望まれる。

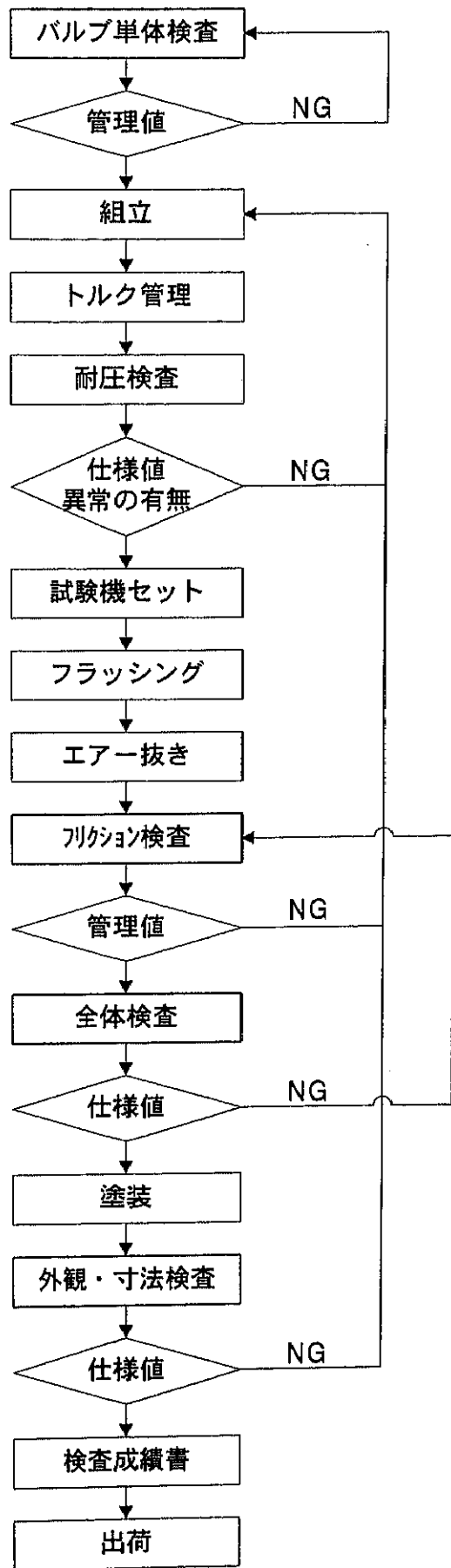


図4-1-13. 出荷試験フロー

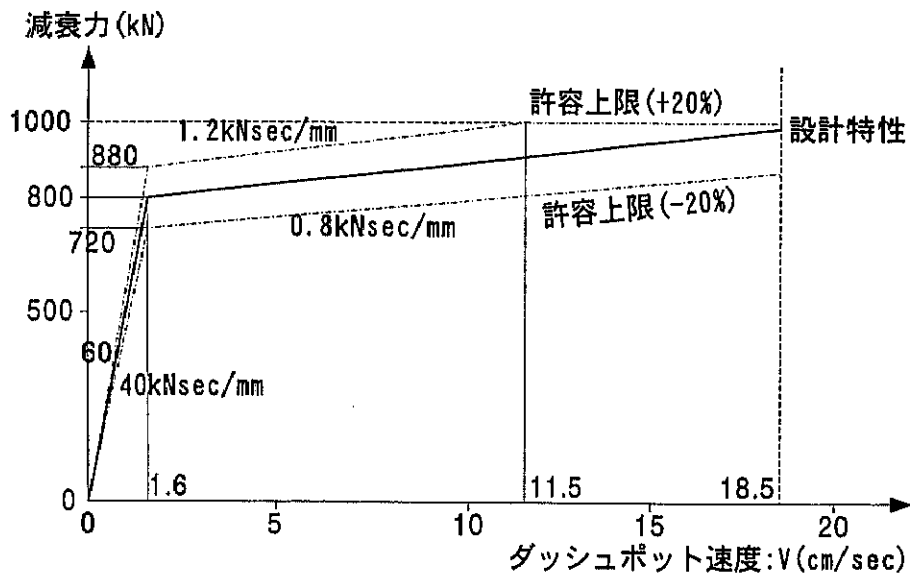


図4-1-14. ダッシュポット特性の許容範囲

表 4-1-7. 全体検査要領

項目	検査条件	規格	備考
耐圧	40MPa を加圧	外部漏れなし	
フリクション	$f=0.05\text{Hz}$, $D=\pm 50\text{mm}$	$\pm 4\text{kN}$ 以下	
取付部剛性	$f=0.3\text{Hz}$, $F=20\text{kN}$	1125kN/mm 以上	
全体剛性	$f=1.0\text{Hz}$, $F=250\text{kN}$	350kN/mm 以上	
減衰係数	$f=0.3\text{Hz}$, $F=250, 500\text{kN}$	50kNsec/mm $\pm 10\%$ 以内	温度補正
リ-フ特性	$V=2\sim 5\text{cm/sec}$	$F=724\sim 917\text{kN}$	
	$V=10\text{cm/sec}$	$F=796\sim 972\text{kN}$	
	$V=18.5\text{cm/sec}$	$F=841\sim 1000\text{kN}$	

表 4-1-8. 維持管理計画

点検種別 /時期	点検部分	点検目的	点検項目	点検方法	良否判定 基準	処置・対策	点検実施者
通常点検 竣工2年目まで 1回/年 3年目から 1回/3年	アキュムレタ	内部油量 の確認	油量監視棒位置	スケール 読取り	異常な 位置ずれ	点検実施者が建 物管理者の場 合、専門技術者 へ連絡し処置・ 対策を委ねる。	建物管理者 又は 専門技術者
定期点検 竣工後2年目まで 1回/年 6年目、12年目 以降1回/12年	外観	装置異常	有害な汚れ、 さび、損傷	目視	有無	補修または 交換	専門技術者
	取付部	取付部の 健全性	有害な 位置ずれ、変形	目視	有無	補修または 交換	
	ロッド	装置最大 変位置確認	ロッドとシリンダの 最大相対変位と 中立	簡易記録計 によるチャート 回収	異常な中立 位置ずれ、 及び最大スト ローク	補修または 交換	
臨時点検 震度5強以上の 地震、又は瞬間風 速40m/s以上の台 風の後、及び火災 があった時	アキュムレタ	↑	↑	↑	↑	↑	専門技術者 必要に応じて建物建設 会社
	外観	↑	↑	↑	↑	↑	
	取付部	↑	↑	↑	↑	↑	
	ロッド	↑	↑	↑	↑	↑	

4. 2. 清水市内の中層技術センター

(1) 建物・構造概要

本建物は、地上 10 階の自動車用照明機器メーカーの技術センターで、地上部は鉄骨造である。建物概要を表 4-2-1 に示す。基礎は場所打ちコンクリート杭により GL-38m 以深の砂礫層に支持している。

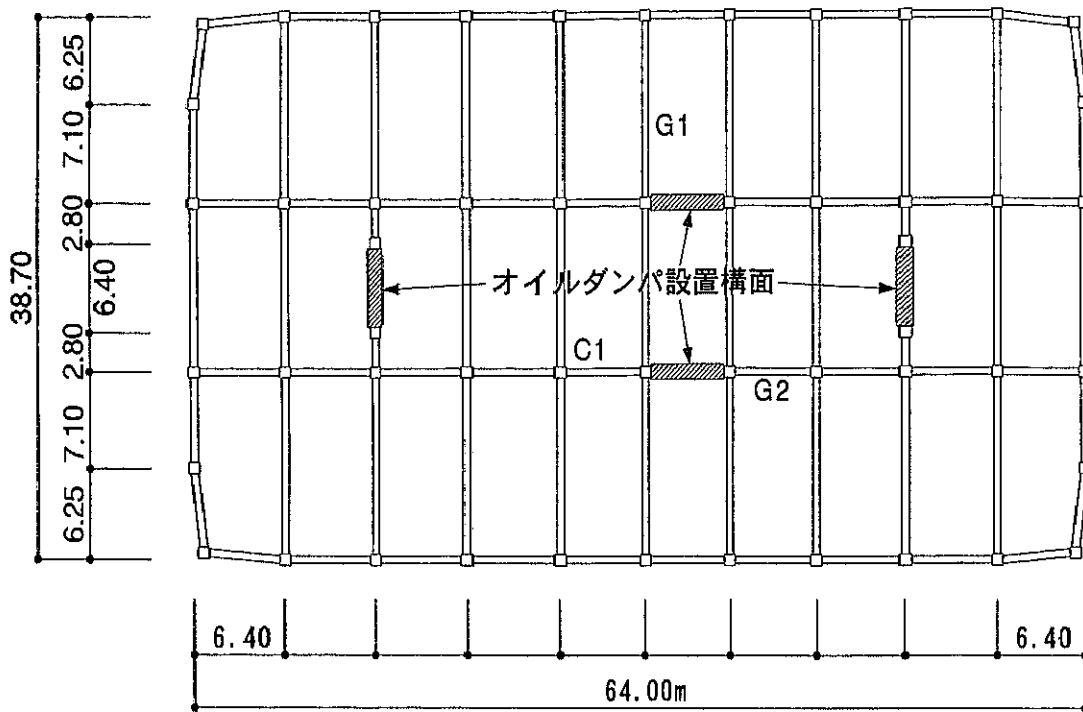
写真 4-2-1 に建物外観を、図 4-2-1(a)に建物梁伏図、(b)に主フレームの立面図、(c)にオイルダンパ取付状況を示す。建物は中央コア形式のバランスのとれた鉄骨ラーメン架構であり、平面的には図 4-2-1(a)に示す 4 箇所ブレースを配置して合計 16 台のダンパを配置した。オイルダンパは図 4-2-1(b)(c)に示すように、1～8階までに 2 層を通した設置とし、ブレースを上下階より跳ね出してその交差点間にダンパを組み込んでいる。これにより、各層設置に対して同等の効果で台数を 1/2 にでき、オイルダンパ設置に伴うコスト増を抑制することができる。また、中層建物では、ほぼ全層においてせん断変形が卓越するため、高層建物と比べて上層階に設置したオイルダンパも十分効果を発揮するが、本設置方法なら限られた台数で上層階までオイルダンパを設置できる。ただし、この設置方法では、オイルダンパ設置構面の大梁を削除する必要があるため、この欠損が全体の耐力・剛性にあまり大きな影響を与えない十分に余裕がある建物において実施することが望ましい。

表 4-2-1. 建物概要

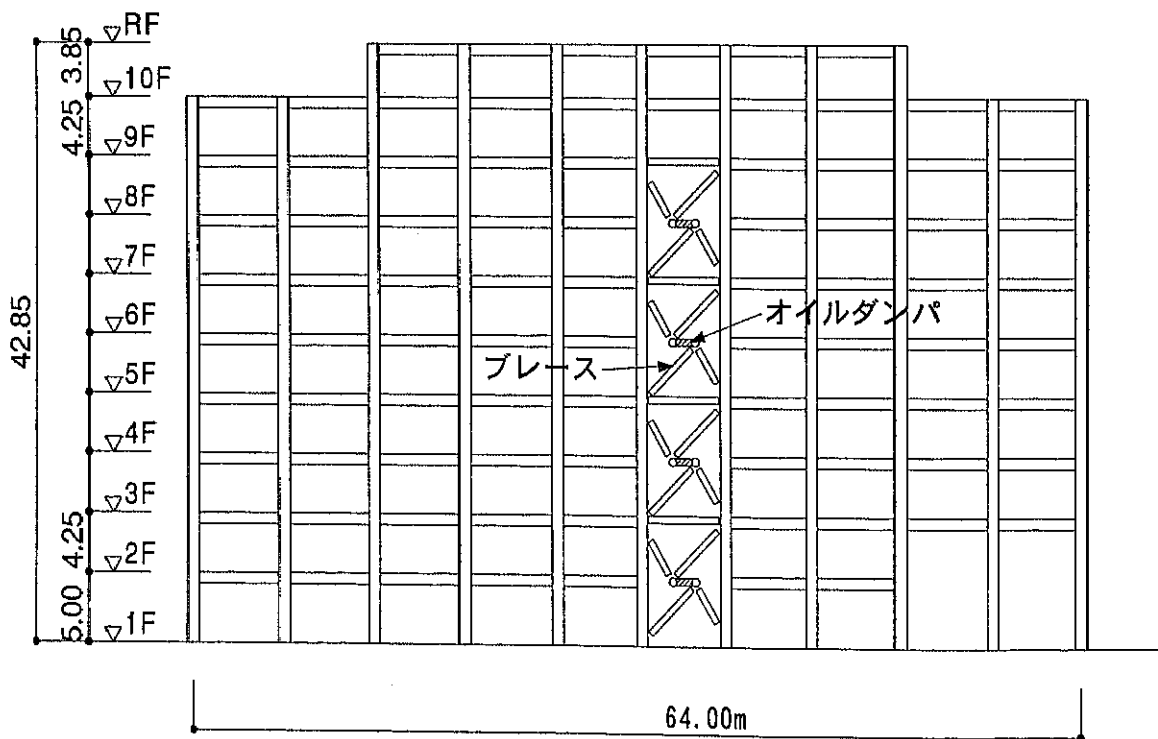
所在地	静岡県清水市北脇
用途	研究所
延床面積	22,737m ²
階数	地上 10 階
軒高	43.85m
構造	地上 S 造
基礎構造	場所打ち RC 杭 (GL-38m)
工期	1996 年 3 月～1997 年 3 月



写真 4-2-1. 建物外観

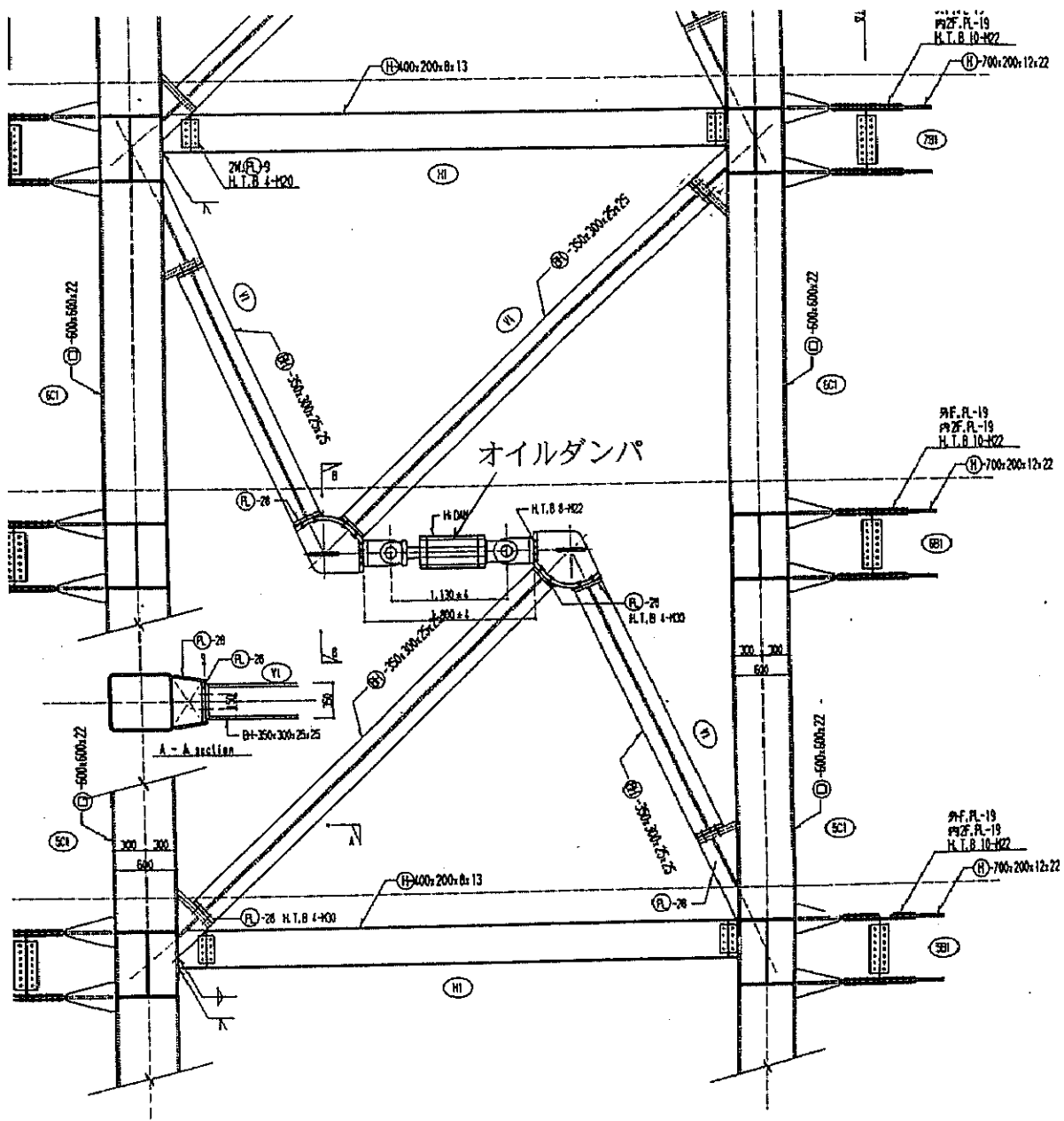


(a) 平面図



(b) 立面図

図4-2-1. 建物概要



(c) オイルダンパの取付状況

図 4-2-1. 建物概要

(2) 制震設計

a) 設計方針

本建物の構造体フレームは建築基準法に則って設定した設計ベースシヤール係数 $C_B=0.16$ にて設計し、オイルダンパを耐震性能向上のために付加的に使用した。設計された基本断面を表 4-2-2 に、部材番号を図 4-2-1(a)に示す。

表 4-2-2. 代表断面

部材番号	階数	(端部) 断面
G1	10~3	BH-700×600~300×16×25
	2	BH-700×600~300×16×28
G2	6~R	BH-700×600~200×12×22
	5	BH-700×600~200×12×25
	4	BH-700×600~200×12×28
	3~2	BH-700×600~300×16×25
C1	10	□-600×600×16×16
	7~9	□-600×600×19×16
	4~6	□-600×600×22×22
	1~3	□-600×600×25×25

耐震性能の目標として、通常この程度の高さの建物としては困難とされている高層建物と同等のクライテリアを満足することと設定した。すなわち、設計クライテリアとして、レベル1地震（最大速度 25cm/sec）を想定した地震応答解析においては、応答最大層せん断力が許容応力度限層せん断力以下に、応答最大層間変形角が 1/200 以下となるよう設計した。レベル2地震（最大速度 50cm/sec）においては、応答最大層間変形角が 1/100 以下、構造部材の弾性限界に対する塑性率が 2.0 以下となるよう設計されている。上記をまとめて表 4-2-3 に示す。

表 4-2-3. 設計クライテリア

設計レベル	入力地震動の最大速度	クライテリア
レベル1	25cm/sec	応答最大層せん断力が許容応力度限層せん断力以下
		応答最大層間変形角が 1/200 以下
レベル2	50cm/sec	応答最大層間変形角は 1/100 以下
		構造部材の弾性限界に対する塑性率は 2.0 以下

b) 解析条件

①解析モデル

南北方向の解析モデルを図 4-2-2 に示す。解析モデルは、各フレームを等価なせん断棒に置換し、オイルダンパ設置各階にブレースとオイルダンパの剛性を合成したせん断バネ要素とダンパのダッシュポット要素を組み込んだ。各階床は剛床とし、1階柱脚位置を固定とした 10 質点系モデルとした。フレームの剛性評価では、柱に曲げ変形、せん断変形、及び軸方向変形を、梁に曲げ変形、せん断変形を、パネルゾーンにせん断変形を考慮した。せん断棒は、立体解析モデルの静的応力解析に基づき評価した。ねじれが少ない構造計画であるため、各せん断棒を剛リンクでつないだ平面解析モデルとした。各層の復元力特性は、静的弾塑性漸増解析結果に基づき、せん断棒のせん断剛性に対して Normal Tri-linear 型を仮定した。建物の減衰は、レーリー減衰を仮定し、弾性時 1 次、2 次固有振動に対して臨界値の 2 % とした。

②入力地震動

入力地震動として、表 4-2-4 に示す 3 地震波を採用した。同表には、入力最大速度に対応する最大加速度も示している。

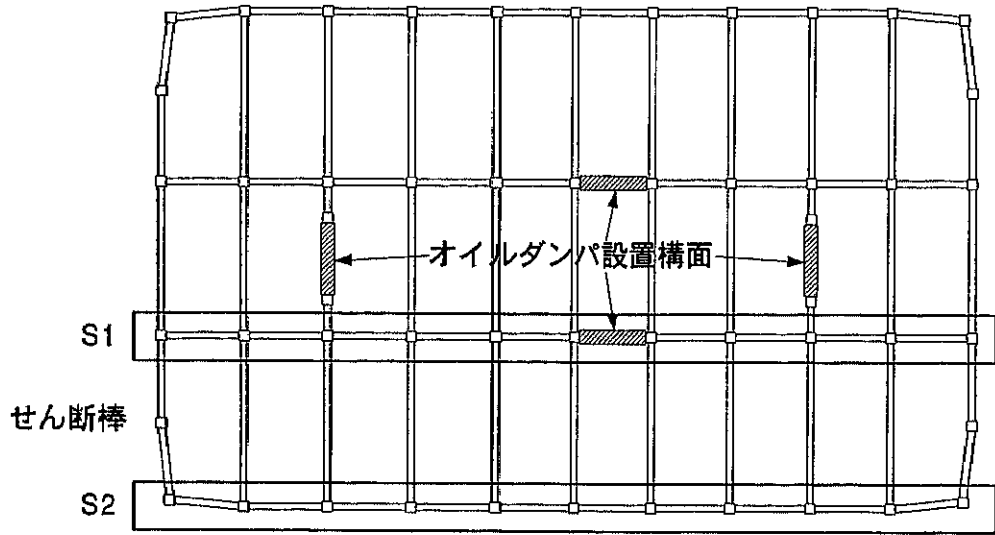
表 4-2-4. 入力地震動、及び入力最大加速度

地震波		25cm/sec	50cm/sec	継続時間
エルセントロ	1940(NS)	255.8	511.5	30sec
タフト	1952(EW)	248.5	497.0	30sec
東京 101	1956(NS)	242.5	485.0	11sec

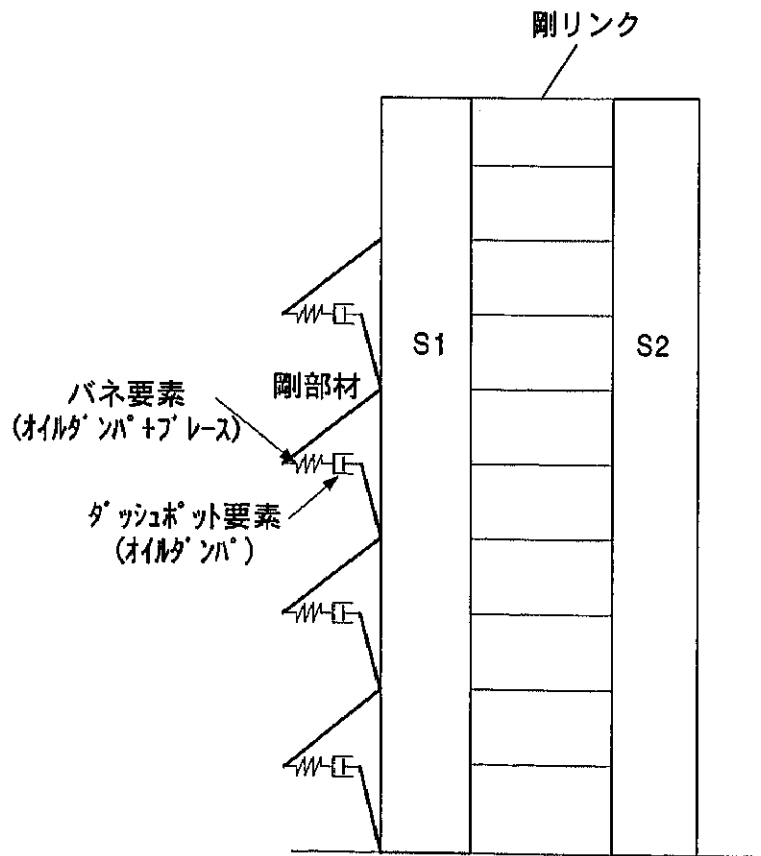
③比較条件

本建物の耐震性能を評価するため、以下に示す 2 種類の条件での応答解析を行い応答最大値を比較する。

- ・ダンパのない場合：オイルダンパを取り除いたフレームのみの場合であり、建築基準法に則って設計された構造体となる。
- ・各層にダンパを設置した場合：通常の設定方法である各層にオイルダンパを設置した場合であり、本手法と比較することでオイルダンパを 2 層通して設置した場合の特徴を把握する。各層設置の場合のオイルダンパ減衰係数は別途設定する。



(a) 振動解析モデル化



(b) 振動解析モデル

図4-2-2. 解析モデル

c) 特性、及び設定

①構造体特性

設定した解析モデルの諸元をもとに算定したせん断剛性： K 、 K' 、 k 、剛性比： $N=k/K'$ 、最適減衰係数： C_{opt} を図 4-2-3 に示す。ここで、同図(a)のせん断剛性には、2層分を等価な一つのせん断剛性に置換したフレーム剛性値： K' も示しており、同図(b)の剛性比は、この K' に対する値を示している。また、付加剛性の算定におけるオイルダンパ剛性は、2層通し設置によるストロークの増加を見込んだ表 4-2-6 に示す $K_d=280\text{kN/mm}$ を用いた。これらによると、剛性比は 0.45~0.6、最適減衰係数は平均で 55kNsec/mm である。

②固有値

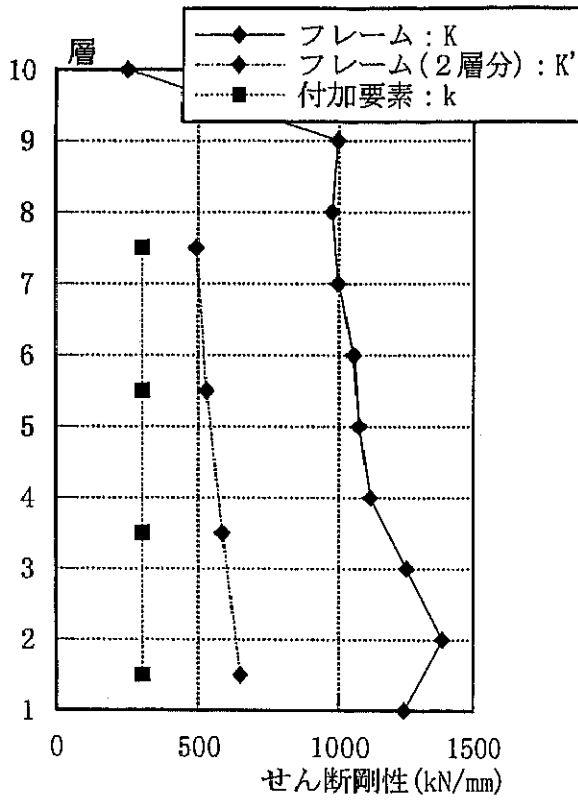
次に、上層階のオイルダンパの減衰係数をパラメータとした複素固有値解析により求めた付加減衰定数、及び固有周期を図 4-2-4 に示す。ここで付加減衰定数は、フレームの減衰を 0 としたダンパのみによる付加減衰定数を示している。これによれば、最大 11% 程度の減衰付加が可能であることがわかる。ここでは、対象建物が中層であることから 1 次振動に対する減衰付加を重要視して、各層の減衰係数を 50kNsec/mm に設定する。これより、オイルダンパの減衰係数は、1 台当たり 25kNsec/mm となる。設定した減衰係数での固有値を表 4-2-5 に示す。同表には、ダンパによる付加減衰定数を合わせて示しているが、2 次、3 次に対する値が 1 次に対する値よりかなり小さなものとなっている。

表 4-2-5. 固有値解析結果

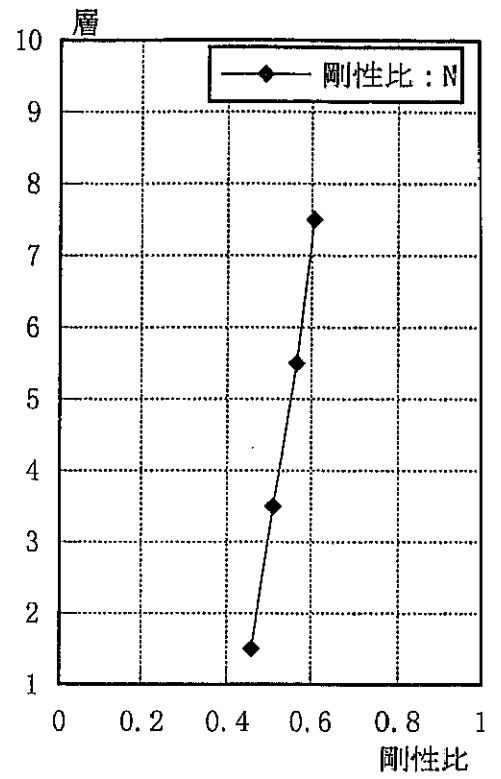
次 数	1 次	2 次	3 次
固有周期(sec)	1.43	0.46	0.29
減衰定数(%)	13.2	7.58	5.19
付加減衰定数(%)	11.2	5.58	2.45

③オイルダンパ仕様

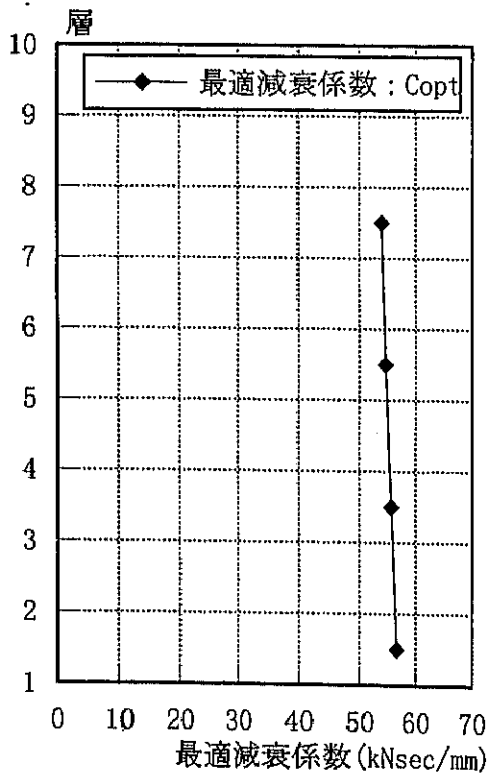
オイルダンパは、最大減衰力、及びリリーフ荷重を 3 章で示したものと同一とし、ストロークを 2 層通しによる増加分を見込んだ $\pm 9.0\text{cm}$ とした仕様のものを用いる。仕様をまとめて表 4-2-6 示す。



(a) せん断剛性



(b) 剛性比



(c) 最適減衰係数

図4-2-3. 諸元、及び特性

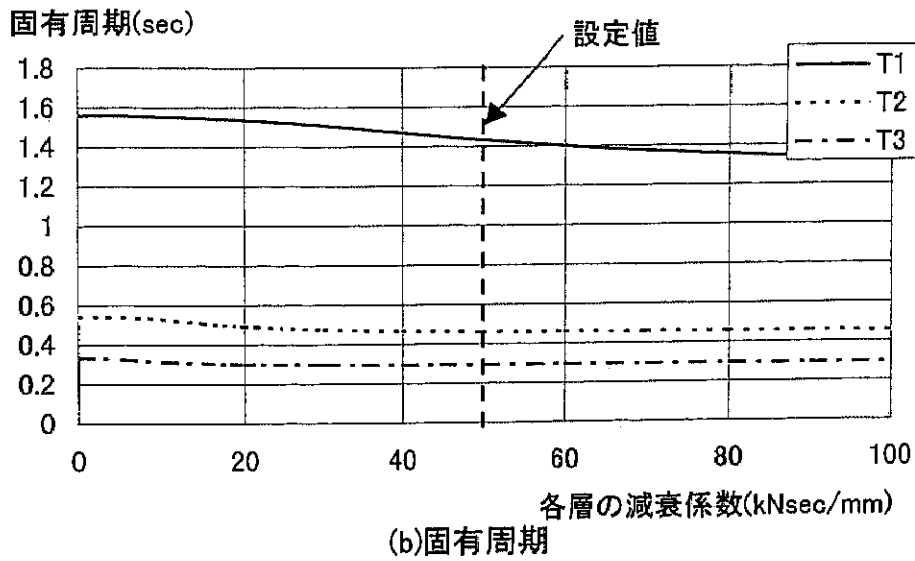
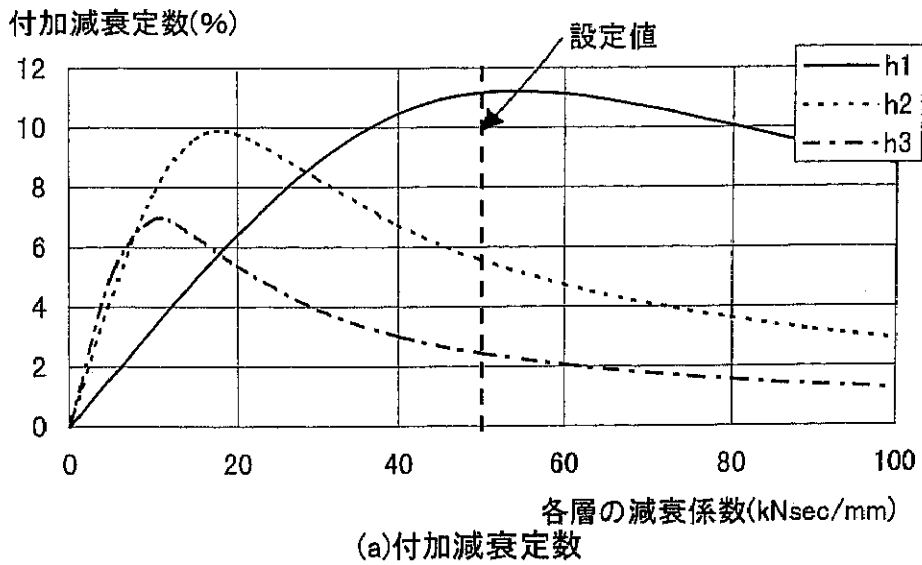


図4-2-4. 複素固有値解析結果

d) 地震応答解析

① 応答解析結果

レベル1（入力最大速度 25cm/sec）の応答最大値分布を図 4-2-5 に、応答最大値をまとめて表 4-2-7 に示す。これらより、層間変形角、及び層せん断力ともタフト(EW)が最も大きな応答値を示し、応答最大層間変形角は最大で 1/288 とクライテリアである 1/200 以下に、応答最大せん断力は1階のせん断力係数で最大が 0.149 と設計ベースシャーの 0.16 以下に納まっている。

表 4-2-7. 応答最大値（入力最大速度 25cm/sec）

地震波	応答最大層間変形角			応答最大層せん断力	
	層間変形角	層間変形	階	せん断力	せん断力係数
エルセントロ	1/314	1.35cm	4	16.05kN	0.098
タフト	1/221	1.92cm	4	24.31kN	0.149
八戸	1/343	1.24cm	6	9.52kN	0.058

次に、レベル2（入力最大速度 50cm/sec）の応答最大値分布を図 4-2-6 に、応答最大値をまとめて表 4-2-8 に示す。これらより、応答最大層間変形角は、タフトが最大で 1/111 とクライテリアである 1/100 以下に納まっている。応答最大塑性率は、エルセントロが最大で 1.91 とやはりクライテリアである 2.00 以下となっている。

表 4-2-8. 応答最大値（入力最大速度 50cm/sec）

地震波	応答最大層間変形			応答最大塑性率		
	層間変形角	層間変形	階	塑性率	フレーム	階
エルセントロ	1/122	3.48cm	5	1.91	A	6
タフト	1/111	4.21cm	1	1.88	B	1
八戸	1/134	3.16cm	7	1.80	A	7

最後に、レベル2（入力最大速度 50cm/sec）におけるオイルダンパの応答最大値分布を図 4-2-7 に、応答最大値をまとめて表 4-2-9 に示す。これらより、最大ストロークは 6.33cm と許容値の 8.5cm 以下であり、最大速度は 44.0cm/sec と許容値の 47.6cm/sec 以下に納まっている。これらより、オイルダンパの安全性についても確認された。

表 4-2-9. オイルダンパの応答最大値 (入力最大速度 50cm/sec)

地震波	応答最大ストローク		応答最大速度	
	ストローク(cm)	階	速度(cm/sec)	階
エントロ	5.56	5-6	40.9	7-8
タフト	6.33	1-2	44.0	5-6
八戸	5.08	7-8	40.1	7-8

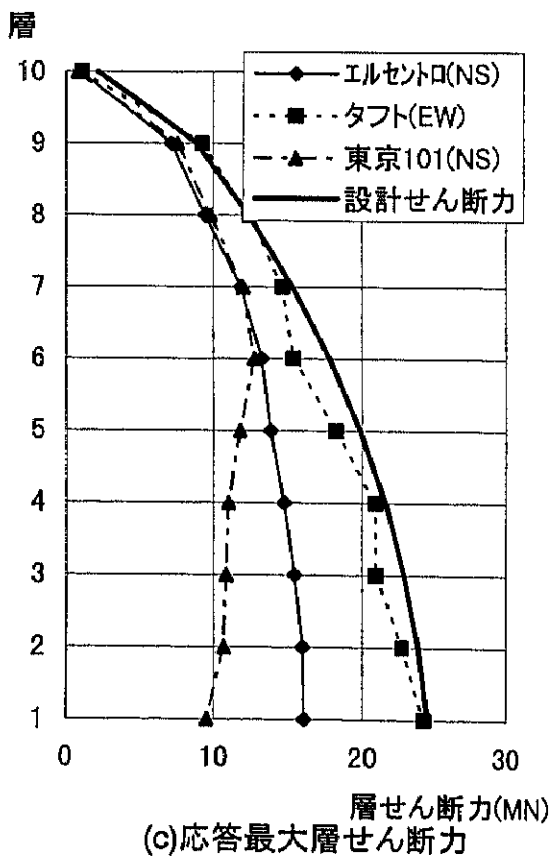
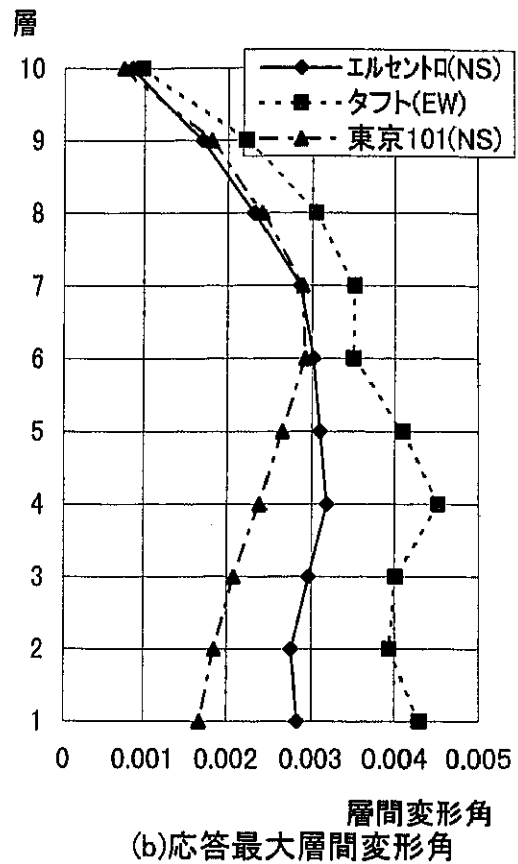
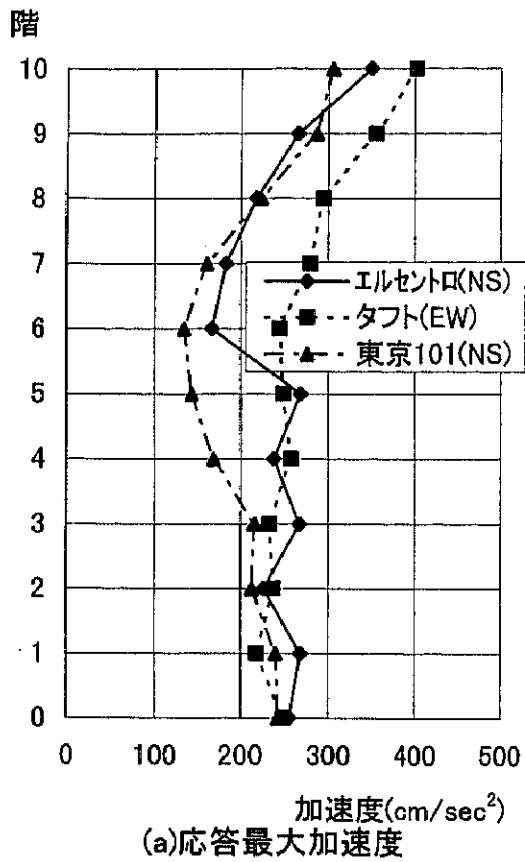


図4-2-5. 25kine入力・応答解析結果

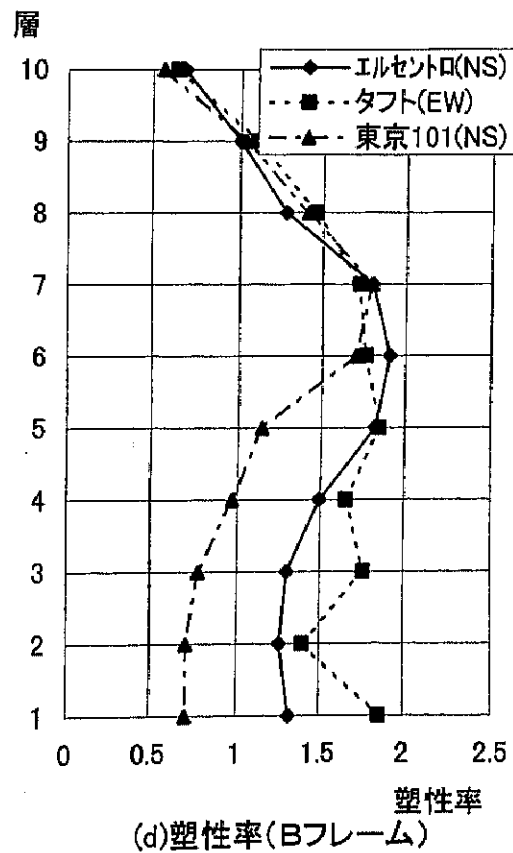
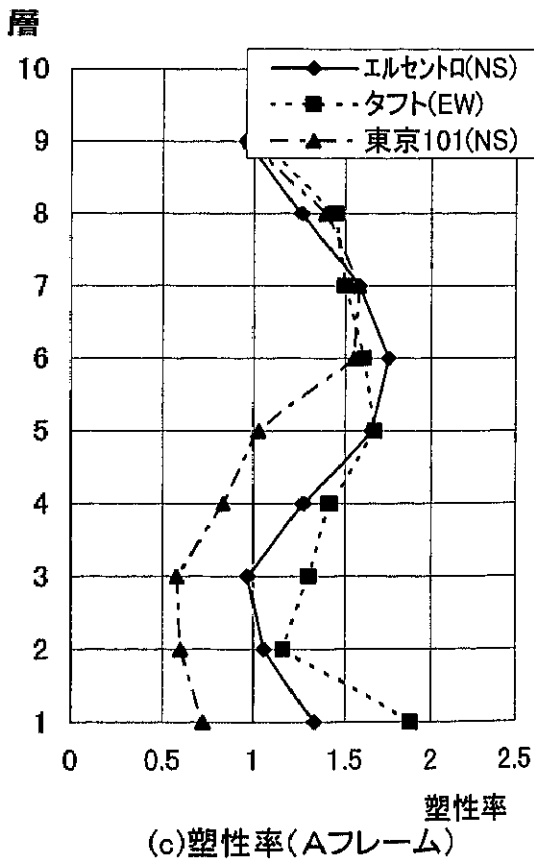
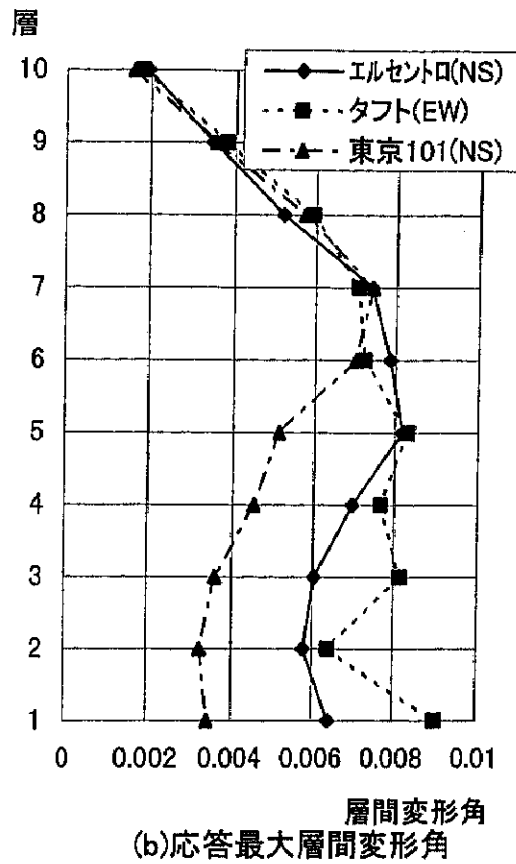
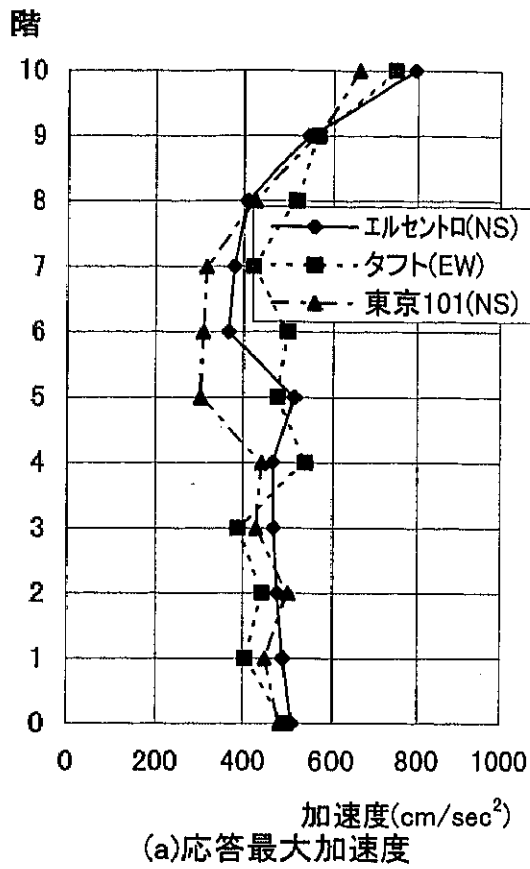


図4-2-6. 50kine入力・応答解析結果

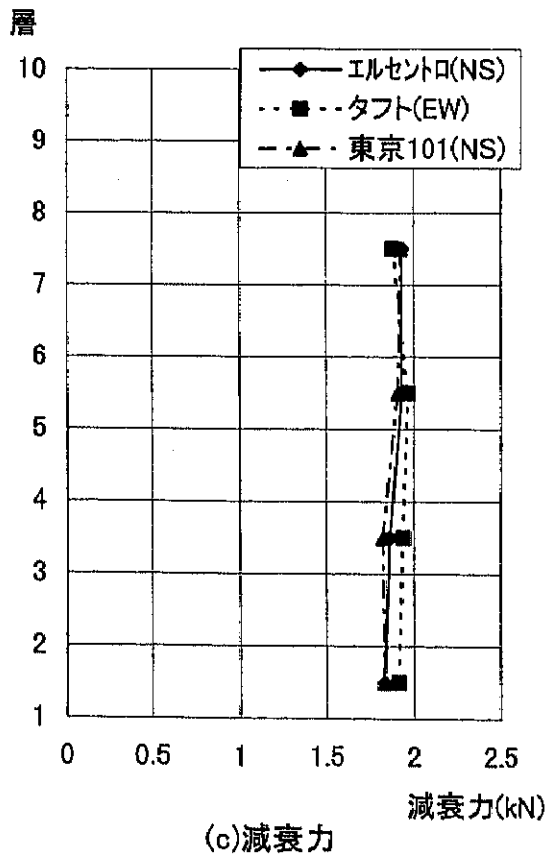
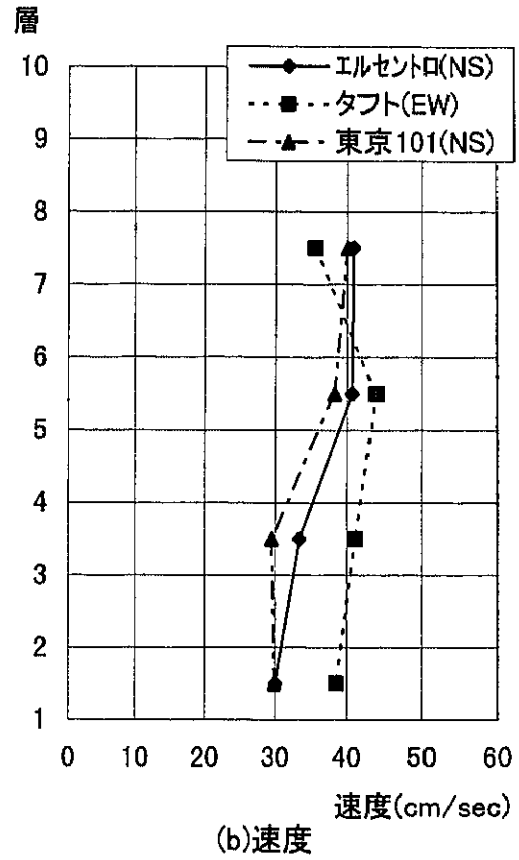
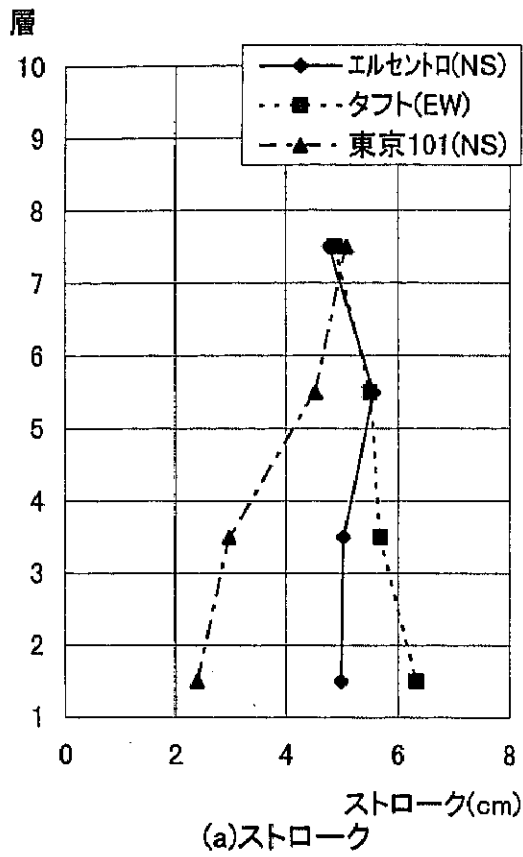


図4-2-7. 50kine入力・オイルダンパ応答値

②各種条件との比較

入力地震動の中で最も大きな応答値を示しているタフト(EW)波を用いて各種条件との比較を行う。まず、レベル1においてダンパなしと比較した応答解析結果を図4-2-8に示す。これらより、ダンパありはダンパなしに対して、層間変形角は最大で40%程度、層せん断力は30%程度応答値を低減している。また、レベル2においてダンパなしと比較した応答解析結果を図4-2-9に示す。これらより、ダンパありはダンパなしに対して、層間変形角、塑性率とも最大で40%程度応答値を低減し、構造体や仕上げ材の損傷を減じている。

次に、オイルダンパの設置層を、通常通り各層に設置した場合に対する比較検討を行う。まず、複素固有値解析により各層設置におけるオイルダンパの減衰係数を決定し、併せて2層通し設置との比較を行う。ここで、各層設置の場合の付加剛性算定におけるブレース断面は、2層通しと同断面とし、オイルダンパ剛性は、4.1節と同様の値とした。図4-2-10に各層の減衰係数をパラメータとした1次振動に対する付加減衰定数を示す。これより、各層設置の場合の各層減衰係数を、付加減衰定数が最大となる100kNsec/mmとした。なお、付加減衰定数の最大値は、2層通しの場合の方が若干大きな値となっている。次に、タフト(EW)のレベル1、及びレベル2における応答解析結果を図4-2-11、図4-2-12に示す。これら応答最大値より、加速度、層せん断力、層間変形角、塑性率とも2層通し設置は、各層設置とほとんど変わらないことが確認できる。また、オイルダンパの応答値を図4-2-13に示す。これらから、2層通しでは各層設置と比べて、ストローク、及び速度はほぼ2倍になっており、減衰力は各層設置同様にリリーフ機構により各設置層で2MN以下に抑制されている。以上より、2層通しの設置では、減衰力制限の中で速度、及びストロークが増加する分、各層設置に対して1台のオイルダンパにより吸収するエネルギーが約倍増することになり、限られた減衰力(オイルダンパ台数)の中で、オイルダンパを効率的に使用することができ、制震構造化するための投資を極力抑制できることがわかる。

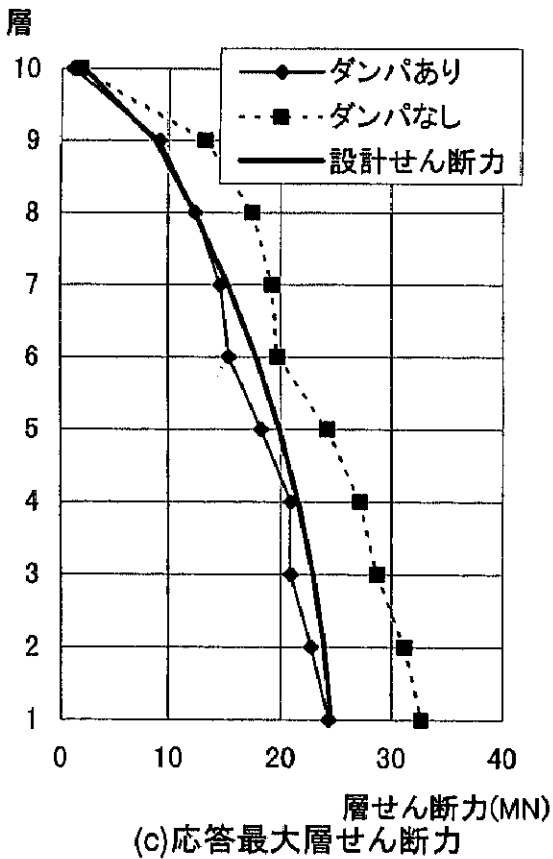
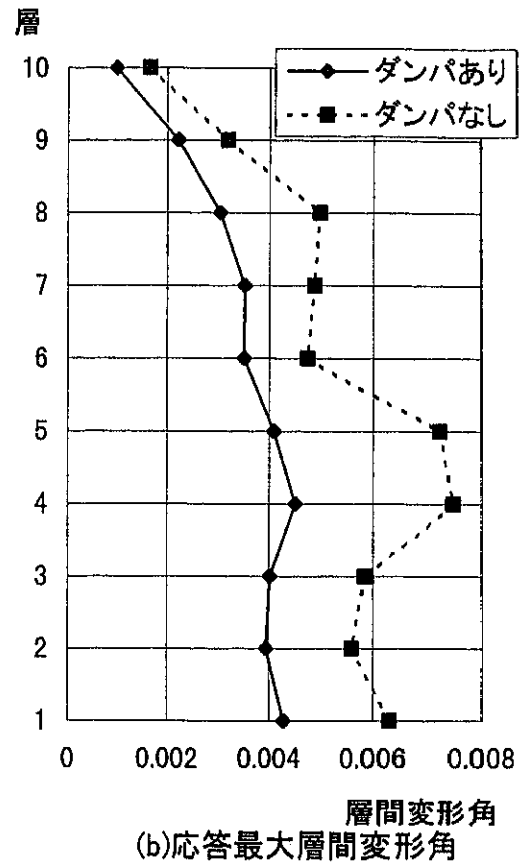
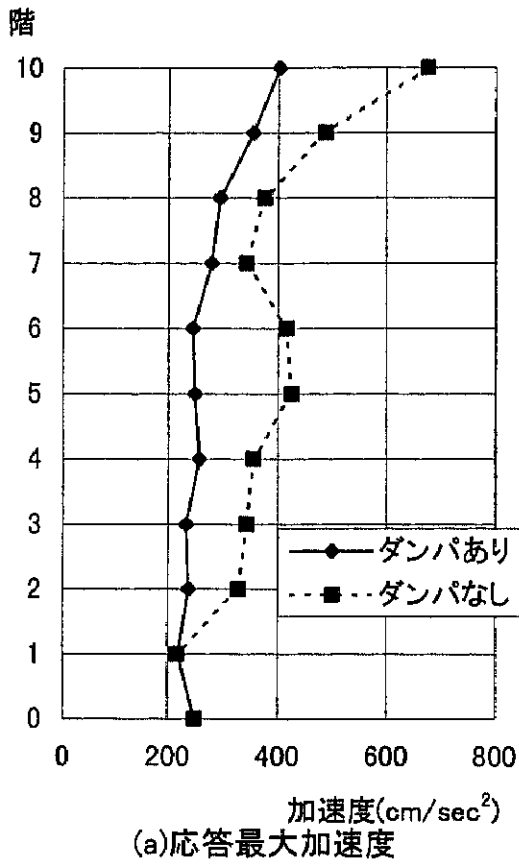


図4-2-8. ダンパあり、なし比較・タフト(EW)25kine入力

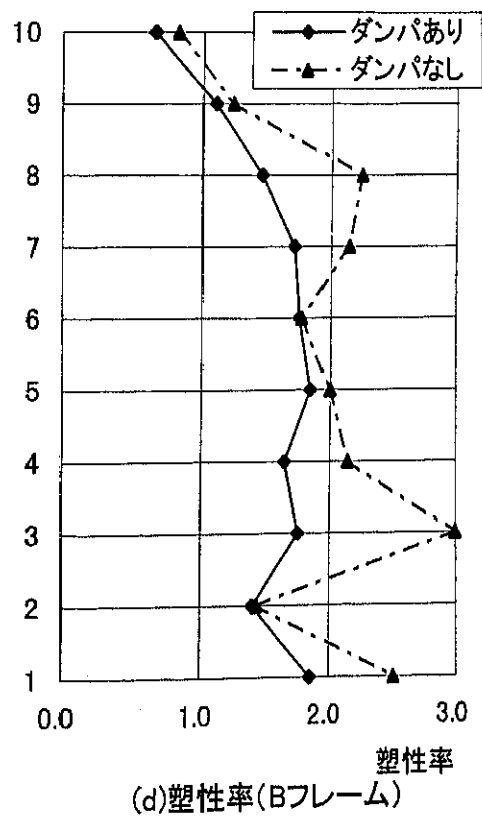
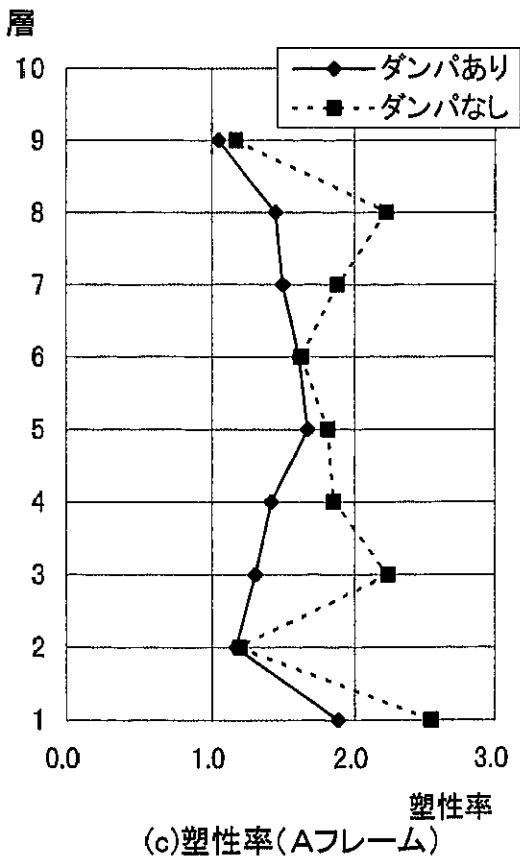
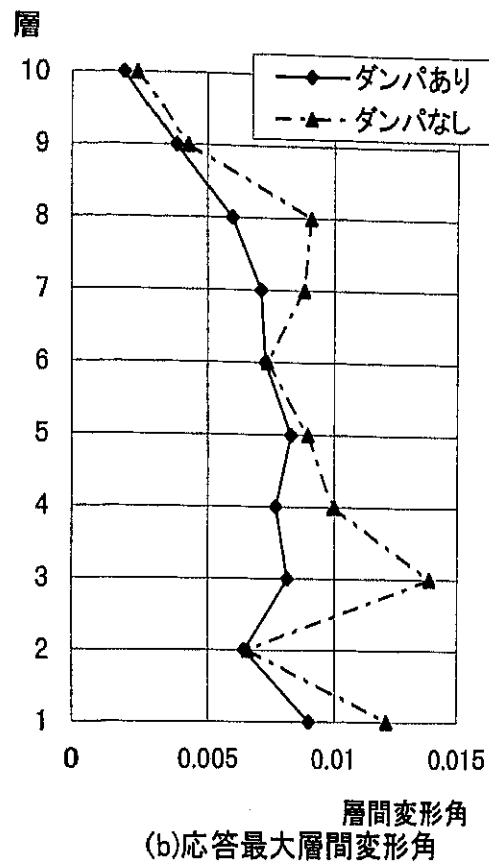
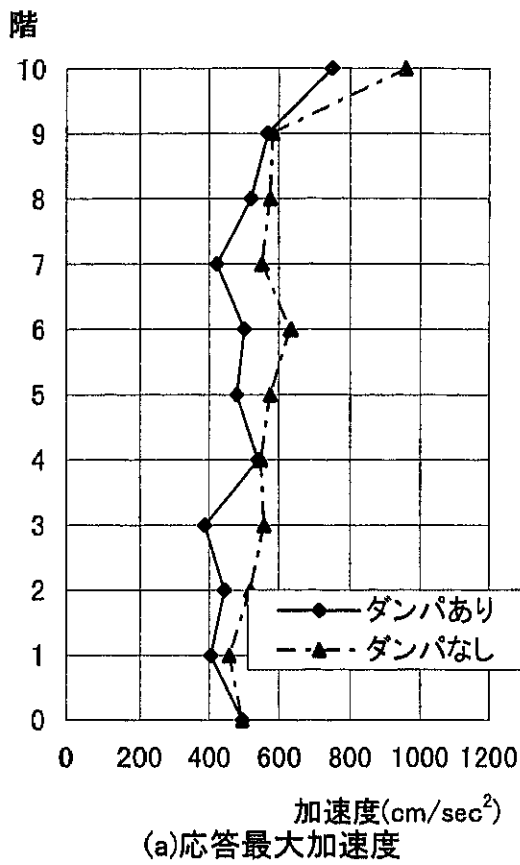


図4-2-9. ダンパあり、なし比較・タフト(EW)50kine入力

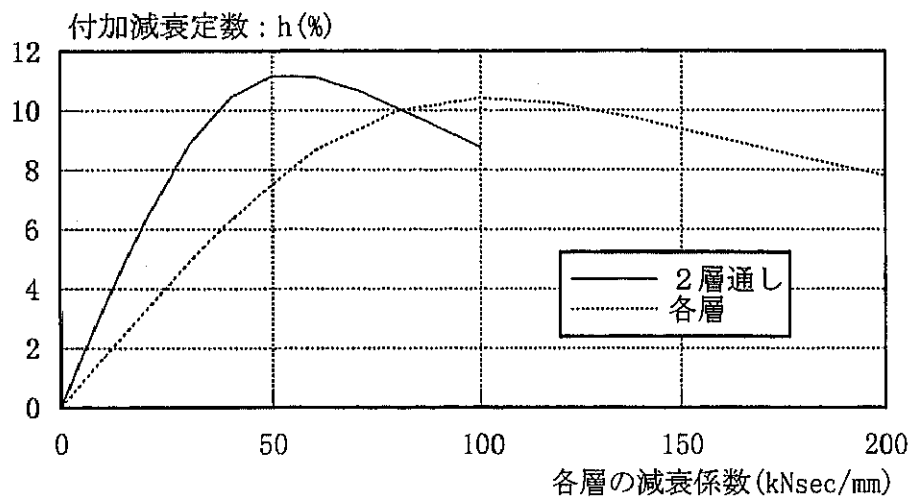


図4-2-10. 付加減衰定数の比較

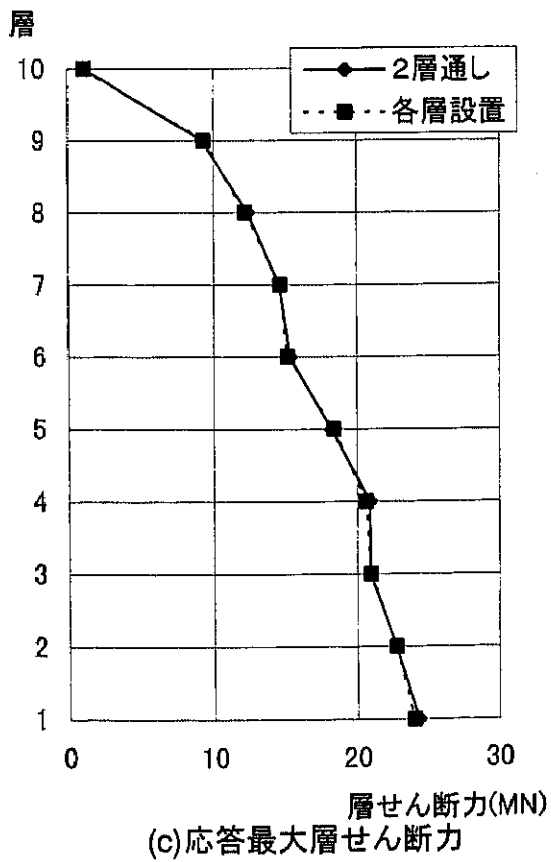
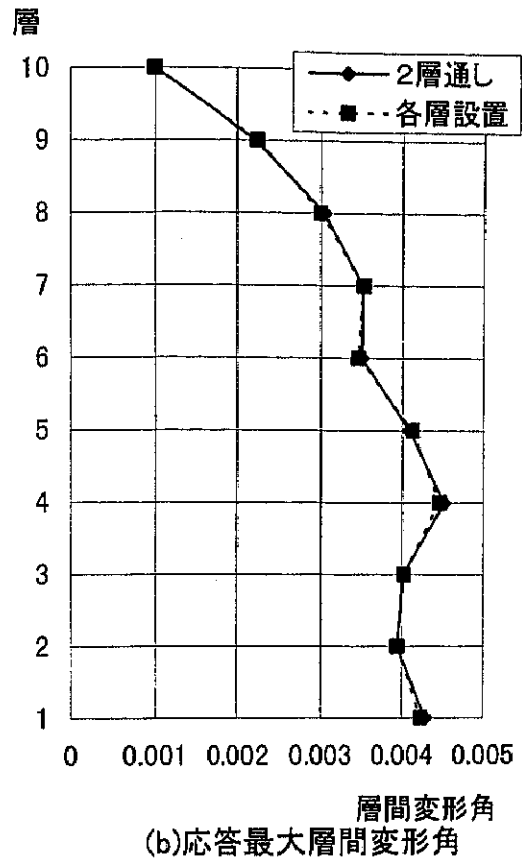
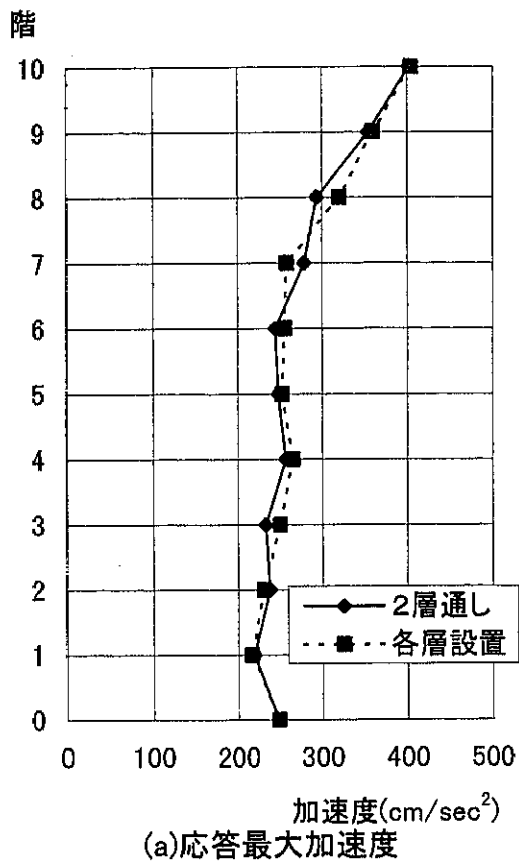


図4-2-11. 各層設置との比較・タフト(EW)25kine入力

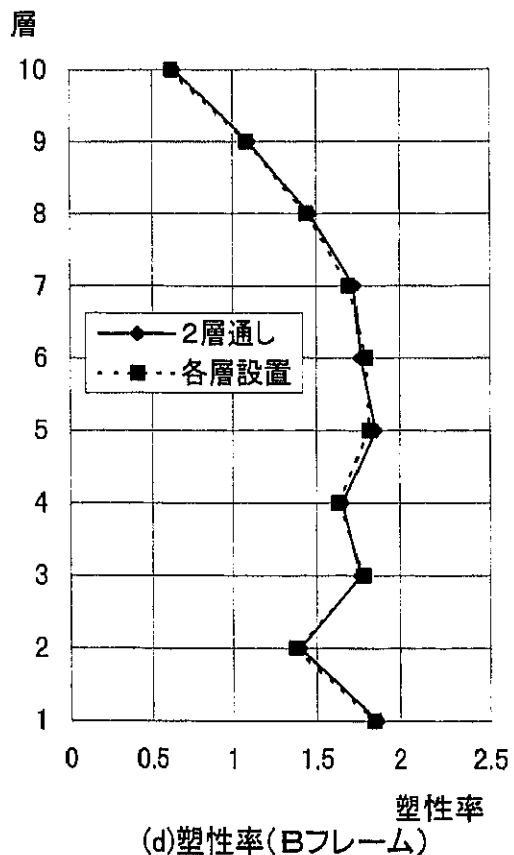
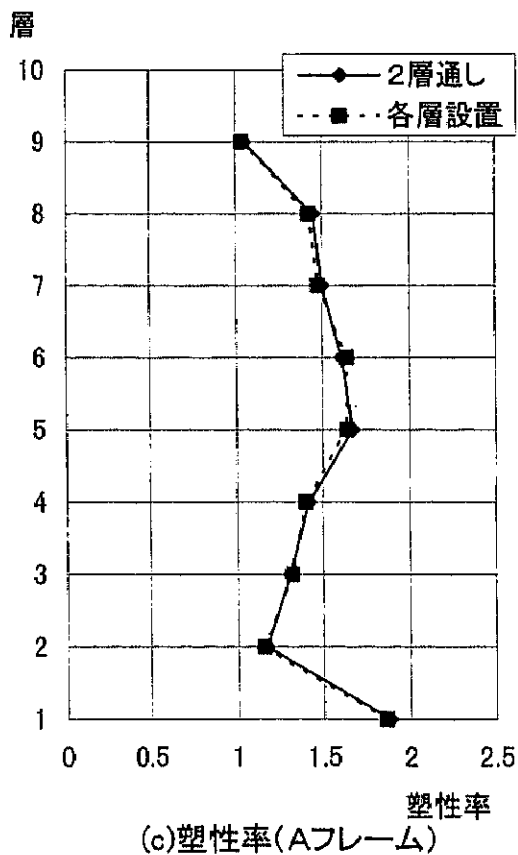
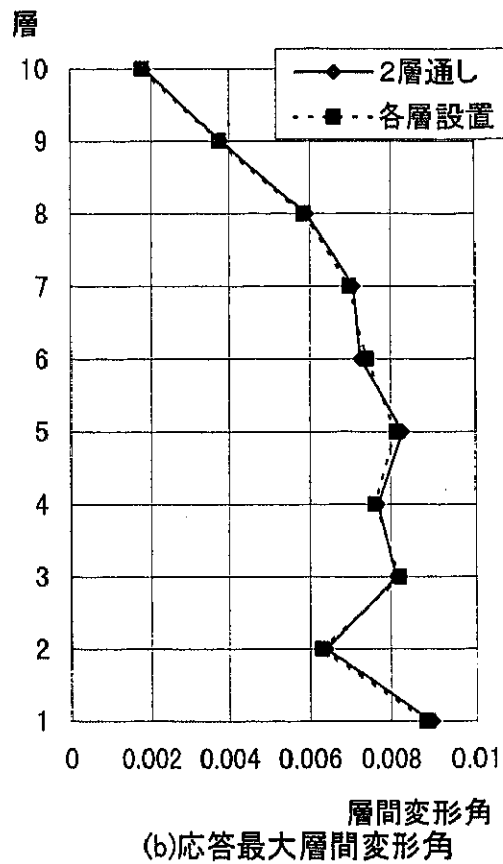
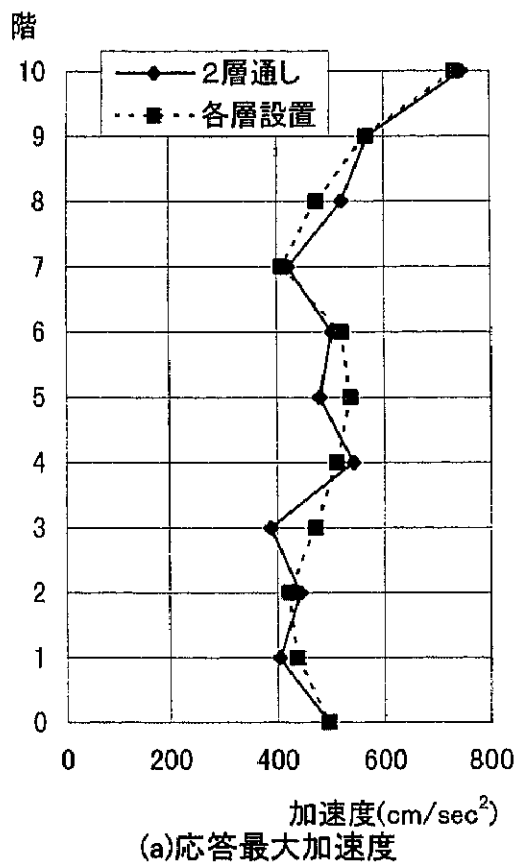
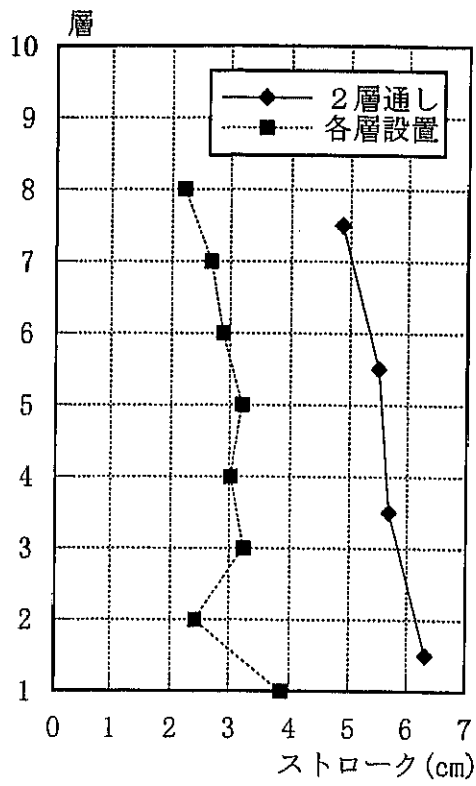
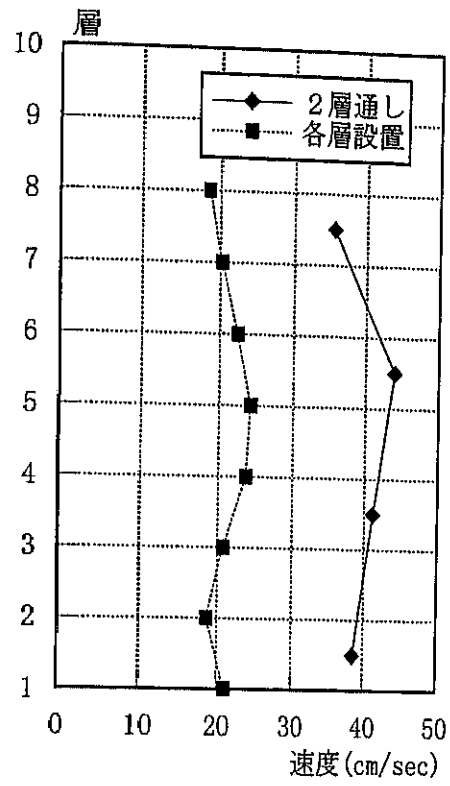


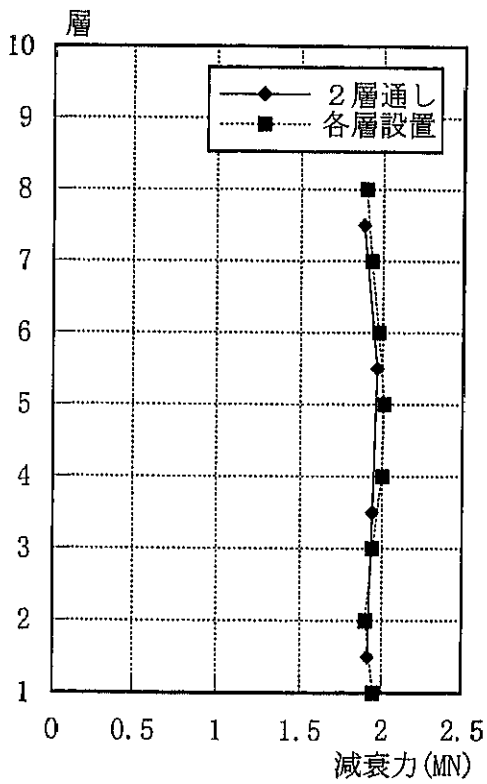
図4-2-12. 各層設置との比較・タフト(EW)50kine入力



(a) ストローク



(b) 速度



(c) 減衰力

図4-2-13. 各層設置との比較・ダンパ応答値・タフト(EW)50kine入力

第4章の参考文献

- (1)石原和男、他、「高減衰オイルダンパによる高層建物の制震（その1）適用建物の概要」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅱ、P851-852、1996年9月
- (2)高橋元一、小堀鐸二、丹羽直幹、栗野治彦、「動的外乱に対する設計の展望」、日本建築学会、P342-345、1996年11月
- (3)高層建築物構造評定委員会資料、「（仮称）厚木サテライトビジネスパークサテライトオフィス棟新築工事」、平成4年9月
- (4)畑田朋彦、小堀鐸二、石田雅利、丹羽直幹、「Maxwell型モデルを含む構造系の動的応答解析」、第9回日本地震工学シンポジウム、1994年、P1843-1848
- (5)T. Hatada, T. Kobori, M. Ishida, N. Niwa, "Dynamic Analysis of Structures with Maxwell Model", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.29, P159-176 (2000)
- (6)防災性能評定資料、「（仮称）厚木サテライトビジネスパークサテライトオフィス棟新築工事」、平成4年9月