

振動実験に基づく鉄骨3階建住宅の固有振動特性に関する研究

A study on the eigenproperty of 3 story steel house
based on vibration test

福和伸夫* 田中清和** 近藤雅子***

Nobuo FUKUWA, Kiyokazu TANAKA and Masako KONDO

In order to grasp the dynamic characteristics of prefabricated steel house of three stories, several vibration tests are carried out for different construction stages. The dynamic properties are evaluated as eigenfrequencies and damping ratios by using several identification methods based on observation records obtained from microtremor, free-vibration and sweep excitation tests. First, the differences of obtained results among identification methods and excitation conditions are examined. Next, by comparing the results for different construction stages, the effect of non-structural members and the amplitude dependency is studied. Compared to the results of the pure steel framed structure, when the ALC walls and partition walls are added, the eigenfrequencies increases by 50 - 150% and damping ratio increases from 1% to 3%. These eigenproperties show strong dependency on amplitudes when the non-structural members exist. From these results, the nonstructural members acts an important role for the dynamic properties.

keywords : 3 Story Steel House, Microtremor, Free Vibration Test, Sweep Excitation Test, Eigenfrequency, Damping Ratio, Non-structural Member, Amplitude Dependency
鉄骨3階建住宅, 常時微動, 自由振動試験, スウィープ加振試験,
固有振動数, 減衰定数, 非構造部材, 振幅依存性

1. はじめに

土地不足や地価の高騰により, 地盤条件が良好でない狭隘な土地に鉄骨系3階建住宅が建設される機会が増加してきた。軟弱な地盤に立地する建築面積の小さい3階建住宅の場合には, 交通振動などの環境振動に対しての居住性が重要なテーマとなる。この結果, 3階建プレハブ住宅の振動問題に対する認識が高まってきた。しかし, 住宅の場合, 一般に平面形が複雑であり, 非構造部材が多く用いられるため, その振動特性を解析的に解明することは困難である。したがって, 住宅固有の振動性状を実証的に理解することが問題解決の第一段階となる。そこで, 著者らは都心部に建設される機会の多い鉄骨3階建住宅を対象に, 各建設段階ごとに種々の振動試験を行って基本的な振動性状を把握することを試みた。

本論では, 主として環境振動などの微小振幅レベルで

の構造物の固有振動特性を明らかにすることを目的とする。このような微小振幅時には, 構造設計上, 剛性への寄与を無視している非構造部材もかなりの剛性を負担すると考えられる。そこで, 非構造部材を設置する毎に振動実験を行い, 各非構造部材の剛性や減衰への寄与を検討する。また, 非構造部材の寄与度は振動振幅に依存することが想定されるので, 固有振動特性の振幅依存性についても考察する。固有振動特性は, 固有振動数と減衰定数により評価する。これらの評価には, 従来より種々の振動試験方法や振動記録の分析方法が提案されているが, 各方法の住宅振動問題への適用性や, 方法の差異による評価値の変動度合いを検討するために, 試験方法や分析方法が評価値に与える影響の検討も行う。

基本的な振動試験の方法や分析方法についてはすでに体系的に整理されているが¹⁾, 近年, 微動記録を有効に

本研究の一部は文献23)にて発表したものである。

* 名古屋大学工学部建築学科 助教授・工博

** 名古屋大学工学部建築学科 大学院生

*** 名古屋大学工学部建築学科 研究生

Assoc. Prof., Dep. of Architecture, School of Eng., Nagoya University, Dr. Eng.

Graduate Student, Dep. of Architecture, School of Eng., Nagoya University

Research Student, Dep. of Architecture, School of Eng., Nagoya University

活用する方法も提案されてきた^{2) 3)}。特に、減衰定数の評価については、制振構造物の増加に伴う建築物の減衰性能の評価の観点から、評価方法の信頼度も含めて議論が活発に行われはじめている^{4) 5)}。構造物の固有振動特性の検討については、高層建物を中心に数多くの検討事例^{4~11)}があるが、住宅を対象とした検討事例はごくわずかであり、弾性すべり支承を利用した免震住宅に関する振動試験¹²⁾、平面形に偏心がある場合のねじれ振動に着目した振動実験¹³⁾、プレース構造を主構造とする構造体に付加されたALC板の影響に関する実験研究¹⁴⁾、大型振動台を用いた実大振動実験¹⁵⁾などに留まっている。なお、文献¹⁴⁾は本論でも検討対象としているALC版の振動特性に与える影響について検討を行ったものであるが、本論では他の非構造部材の影響も含め、かつ振幅依存性まで考慮して検討していること、非構造部材の剛性への寄与が相対的に大きくなるラーメン構造を対象としていることに特徴がある。

2. 対象建物と地盤、振動実測の概要

建設地点で実施した標準貫入試験結果を図-1に、敷地地盤地表で得られた常時微動記録（上下成分）の平均フーリエスペクトルを図-2に示す。盛土の下にN値38程度の砂層が存在しており、約3.2Hzに卓越振動数が認められる。このことから、本建物を支持している地盤は第2種地盤に相当し比較的良好な地盤である。

建物は図-3~4に示す平面と立面を有する3階建鉄骨造のプレハブ住宅であり、NS方向に1スパン、EW方向に2スパンの鉄骨ラーメン構造である。柱には角形鋼管、梁にはH型鋼を使用している。平面サイズは、3,660mm×10,980mm、高さが8,625mmであり、東西に半スパンずつはねだしがある。基礎構造には布基礎が採用されている。外壁にはALC版が用いられ、面内の剛体的な並進・回転運動に抵抗しない接合方式が採用されている。これによって、地震時のような大変形時にALC版が剛性を負担しないように施工されている。隣り合うALC版間には変形追従性の優れたシーリング材が充填されている。外壁の開口はEW方向には全くなく、NS方向には窓やドアによる開口が存在している。また、床にもALC版が採用され、梁に直置きとなっている。外壁の室内側の内装、間仕切壁および天井材には、石膏ボードが用いられており、下地は木製である。また、鉄骨製の階段が建物図心から北西側に偏った位置に設置されている。

施工は、図-5に示すように、1)鉄骨フレーム・階段およびALC版床の設置、2)ALC版外壁の設置、3)外壁の内装および天井設置、4)間仕切壁設置、5)1階部分袖壁の設置、の順に実施され、各施工段階毎に振動実験を実

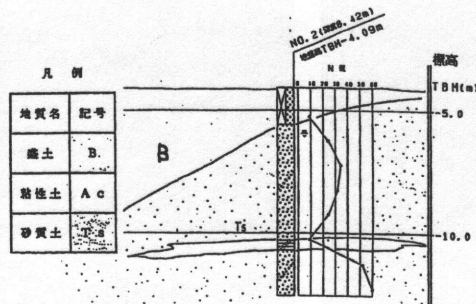


図-1 建設地点の標準貫入試験結果

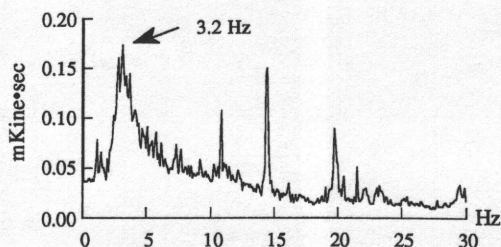


図-2 建設地点で得られた常時微動記録（上下成分）の平均フーリエスペクトル

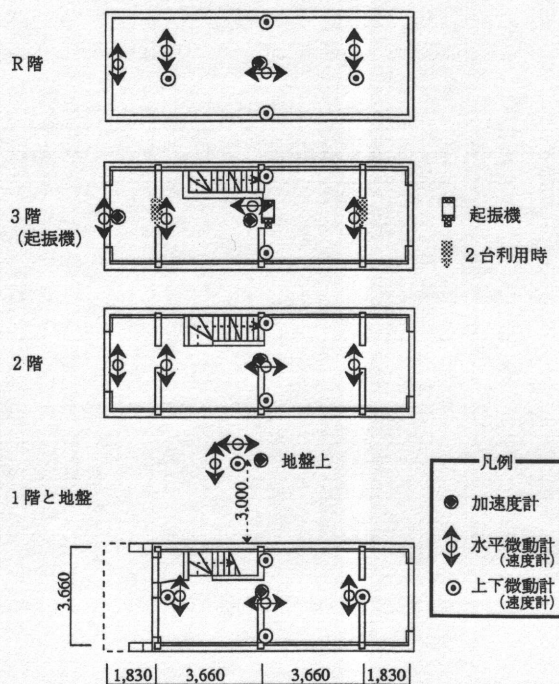


図-3 完成時の各階平面図と計測器配置

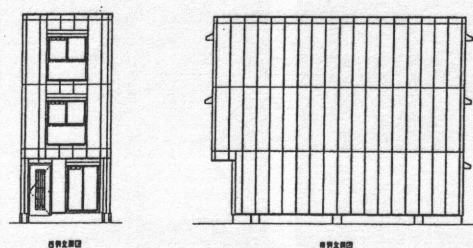


図-4 立面図

施した。各施工段階の建物各部の重量を表-1に一覧する。表のように、純鉄骨時と比較して建物完成時には上部構造物の重量が約2.7倍となっており、基礎を含めた総重量は72ton、うち上部構造物の重量は約半分である。また、重量増加の約65%はALC版外壁によるものである。

振動実験としては、3階床位置に設置した2台の電磁式加振機を用いた起振機実験と常時微動計測を実施した。起振機試験では、微動レベルの微小振幅レベルから大振幅までをカバーするために、微動計の測定範囲での小加力試験と圧電型加速度計を利用した大加力試験（加振力30kg相当）を実施した。加力時に2台の加振機を同期させてNS方向、EW方向、ねじれ方向に加力した。実験内容は、スウィープ加振試験、共振振動数での定常振動試験ならびに加振機停止後の自由振動試験、および常時微動試験である。実施した試験内容を表-1に併せ示す。また、常時微動計測時と小加力試験時の微動計の配置、大加力試験時の加速度計の配置について、代表的な例を図-3に示す。微動計を用いた計測では建物の立体振動特性が把握できる配置となっている。

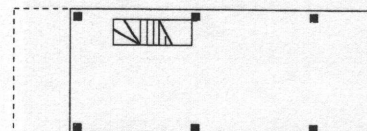
3. 実測記録の分析方法

固有振動数と減衰定数の推定には、種々の実験方法や分析方法が用いられている^{1~3)}。しかし、高層建築物の検討事例⁹⁾によれば、同定結果が実験方法や分析方法によって変動することが指摘されている。そこで、各種の実験方法と分析方法を利用して固有振動数と減衰定数を評価して評価値のバラツキを考察し、住宅の振動問題に適した方法を探る。ここでは、第4施工段階のNS方向の固有振動特性を例として評価値の差異を検討する。

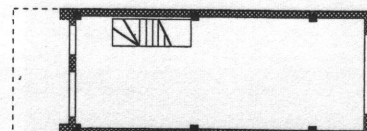
3. 1 自由振動試験に基づく方法

本方法は自由振動試験から得られた記録を用いて建物-地盤連成系の固有振動特性を求める方法である。自由振動試験では、3階床に設置した電磁式加振機により共振振動数で調和加振し、定常状態を確認した上で加振機を停止し、自由振動波形を計測した。図-6に小加振時の自由振動波形（3階位置の2カ所のNS方向の記録の平均波形）を、図-7にフーリエスペクトルを示す。ま

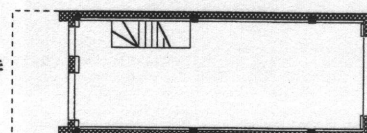
1) 純鉄骨時



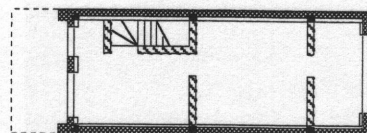
2) ALC版外壁設置時



3) 外壁内装・天井設置時



4) 間仕切壁設置時



5) 追加袖壁設置

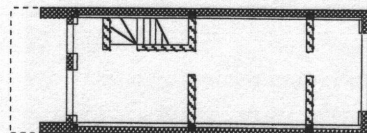


図-5 施工段階ごとの1階平面の変遷

表-1 建設段階と重量、試験内容の一覧

段階	施工状況	重量 (ton)					試験内容					計測日 1993年
		基礎	1 階	2 階	3 階	総重量	常時 微動	自由振動試験		スウィープ試験		
								小加力	大加力	小加力	大加力	
1	鉄骨骨組 +ALC床+階段	33.1	4.9	4.8	4.0	46.7	○	○				7月9日
2	ALC外壁設置	35.1	10.6	10.7	7.3	63.7	○	○	○	○	○	7月27日
3	外壁内装 +天井設置	35.2	12.2	12.4	8.9	68.8	○	○	○	○	○	8月11日
4	間仕切壁設置	35.5	13.0	13.9	9.3	71.7	○	○	○	○	○	8月30日
5	追加袖壁設置	35.7	13.1	13.9	9.3	72.0	○	○		○		9月14日

小加力時はNS, EW, ねじれ方向, 大加力時はNS, EW方向に加振

た、図-8に振動モードを示す。ほぼ1次固有振動数のみで自由振動しており、階段位置の偏心により若干のねじれ振動を含んでいる。固有振動数は、フーリエスペクトルのピーク振動数より2.6Hzと推定される。減衰定数の評価法の1つとして、図-9のように自由振動波形の隣合うピークの振幅比を回帰して算定した対数減衰率から減衰定数を評価した結果は $h=2.18\%$ となる。また、減衰定数の評価に用いるピーク振幅の数の影響を調べた結果が図-10であり、多くのピークを採用する(評価用継続時間を長くすると)、減衰定数が減少する。これは、振幅の減少により、減衰定数の振幅依存性の影響と微小振幅のノイズ成分の混入が生じたためと推察される。他の減衰定数の評価法として、自由振動波形の包絡線に最小二乗近似させた減衰曲線から減衰定数を推定する方法がある。図-11に複素包絡線¹⁶⁾から求めた包絡線を示す。図中には、2種類の時間帯域で最小二乗近似させた減衰曲線を示す。図のように、時間帯域の設定によって、減衰定数は1.98%~2.18%と変動しており、前出の対数減衰率による評価法に比較して結果のバラツキが大きい。非構造部材の影響が顕著な建物では、減衰定数の振幅依存性が認められることが一般に指摘されている。

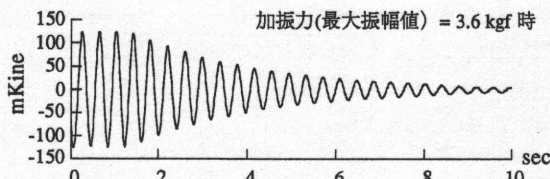


図-6 自由振動波形(第4施工段階NS方向)

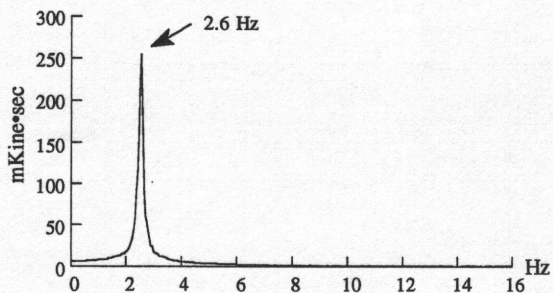


図-7 自由振動波形のフーリエスペクトル

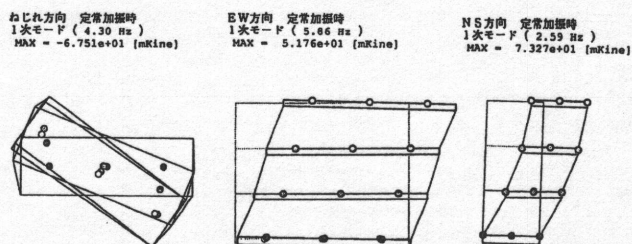


図-8 自由振動時の振動モード

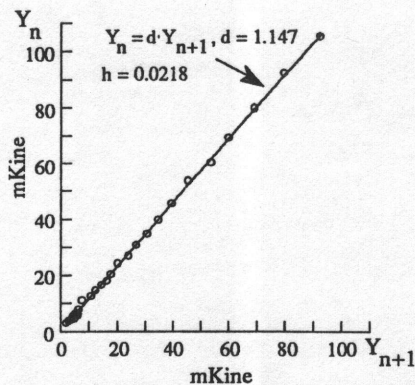


図-9 振幅比 d を用いた減衰定数 h の評価

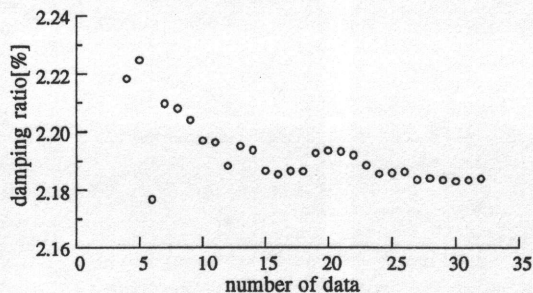


図-10 減衰定数評価時の採用ピーク数の影響

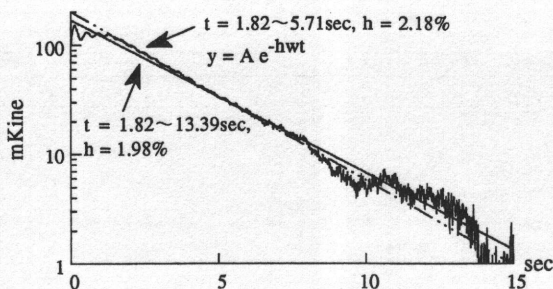


図-11 自由振動波形の包絡線と回帰減衰曲線

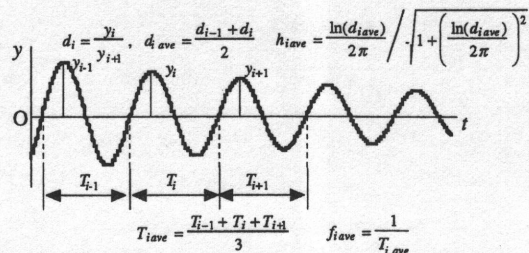


図-12 自由振動波形に基づく振幅依存性の検討

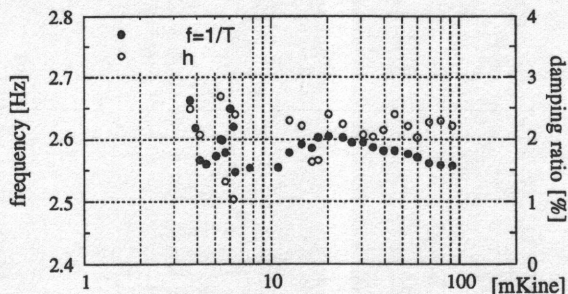


図-13 固有振動数と減衰定数の振幅依存性

る。そこで、図-12に示す方法で隣り合う3波区間毎の平均的な固有振動数と減衰定数⁸⁾を算定した結果を図-13に示す。横軸は3波のピーク振幅の平均値である。図のように、振幅の増大とともに、固有振動数は減少し、減衰定数は増大しており、図-7および図-9で得られた固有振動数と減衰定数は、これらの平均的な値を示していることが分かる。

3.2 常時微動記録を用いたRD法による分析

RD法は、航空宇宙工学の分野で用いられ、Jeary¹⁷⁾によって建築構造物への適用がはじめられた方法である。近年、田村ら^{2, 18, 19)}が、風振動や常時微動に基づく構造物の減衰評価や評価方法の検討を精力的に行っている。その考え方の基本は多数個の波の重ね合わせでランダムなノイズ成分を除去し自由振動成分のみを抽出しようとするものである。ここでは、図-14に示す常時微動記録に対して、図-15のようにフーリエスペクトルを算出し、図中の振動数帯域のバンドパスフィルター（両側に振動数幅1.0Hzのcosineテーパ付き）をかけた上で、各ピークから始まる4秒間の波を順次生成・加算することにより、各次の自由振動波形を求めた。結果は図-16に示す通りであり、高次まで含めて自由振動波形が生成されている。図中の振幅は、重ね合わせ結果の平均振幅を示しており、重ね合わせ個数も併せ示してある。得られた自由振動波形を利用して、3.1節に示した方法で固有振動数と減衰定数を算定した結果は、1次が2.7Hzと1.6%、2次が8.7Hzと1.4%となる。参考のために自己相関関数法を用いて算出した自由振動波形は図-17のようになり（減衰定数1.38%）、RD法の1次に対応している。RD法の利用に当たっては重ね合わせ個数の検討が重要となるので²⁾、検討した結果を図-18に示す。図から2000個程度の重ね合わせが必要なことが分かる。RD法は常時存在する微動を利用するので、加振機を必要とせず、また、高次の振動性状まで検討できることから、住宅などの小規模軽量建物の振動特性の同定には有用な方法である。

3.3 スウィープ加振試験による方法

スウィープ加振は、3階に設置した電磁式加振機の振動数を手で掃引することによって、加振力（NS方向）と3階NS方向の応答記録のフーリエスペクトル比から共振曲線を求めた結果を図-19に示す。図中には大小2種類の加振レベル（各々35.0kgf、4.4kgf相当）の結果を示してある。得られた共振曲線に対して、ハーフパワー法、1/2h法、位相勾配法、1自由度系の理論共振曲線を用いた振幅・位相スペクトルに対するスペクトルフィッティングを適用し²⁰⁾、固有振動数と減衰定数を評価し

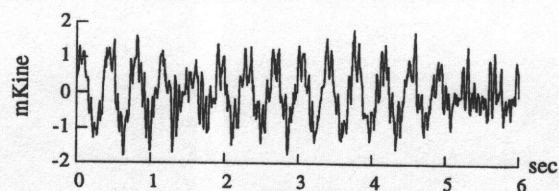


図-14 常時微動波形の例

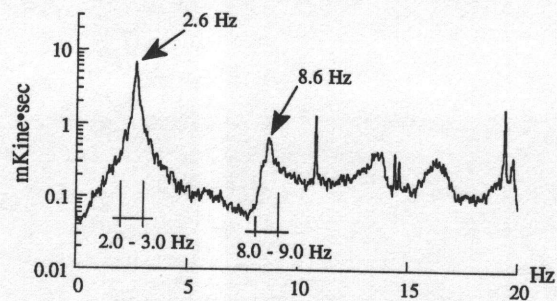
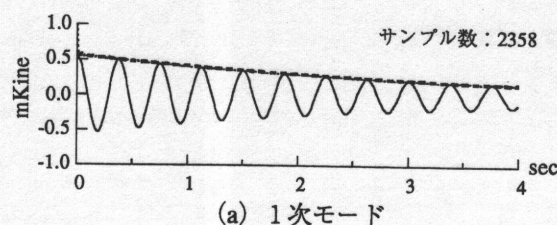
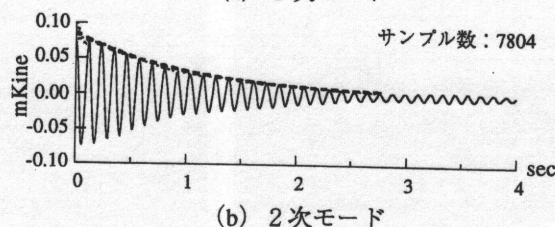


図-15 常時微動波形のフーリエスペクトルと振動数バンド



(a) 1次モード



(b) 2次モード

図-16 1次～2次の自由振動波形

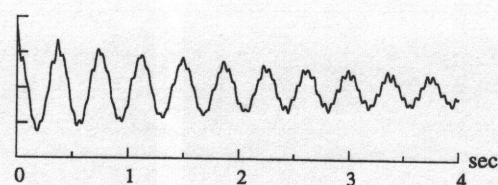


図-17 自己相関関数法による自由振動波形

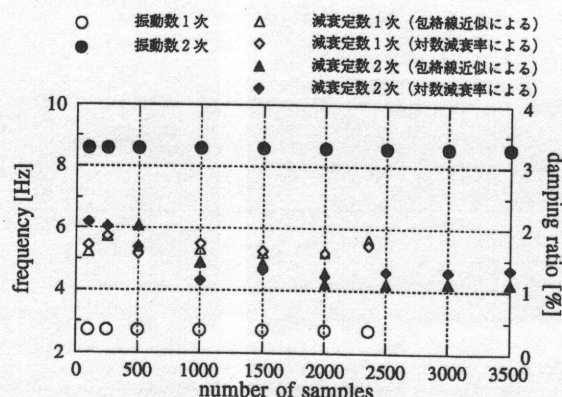


図-18 重ね合わせ個数と固有振動数・減衰定数

た。小加振時のハーフパワー法、 $1/2h$ 法、位相勾配法、スペクトルフィッティング法の結果については表2に示してある。加振力4.4kgfの場合には、固有振動数は振幅のスペクトルピークから2.6Hz、位相が 90° となる位置から2.58Hz、振幅・位相のスペクトルフィッティングから各々2.56Hz、2.60Hzと求められる。また、減衰定数は、ハーフパワー法2.26%、位相勾配法2.85%、振幅・位相のスペクトルフィッティングが2.22%と1.80%と求められる。これらの値は建物-地盤連成系の特性を表している。このように同一の共振曲線に対しても、評価手法によって評価結果に差異が認められる。なお、大加力時にはピークが低振動数側に移行しピーク高さも減少しており、振幅依存性が認められる。

3. 4 常時微動記録を用いた伝達関数の推定

常時微動記録(480秒)を多数のサンプル波(40波)に分割し、各サンプル波を基準点(1階)のそのRMS値で基準化し、パワースペクトルのアンサンプル平均値を算定した。このパワースペクトルを利用して、 H_1 推定、 H_2 推定ならびに H_v 推定を行った^{16, 21, 22)}。 H_1 推定は出力に、 H_2 推定は入力に、 H_v 推定は入出力にノイズが存在する場合のシステム伝達関数の推定法である。図-20に、1階床位置に対する3階床位置の伝達関数をコヒーレンスとともに示す。この結果は、建物の基礎部分でのロッキング動が微小と考えられる場合には、基礎固定時の固有振動特性に対応する。図のように推定法によって結果に大きな差異があり、コヒーレンスも非常に小さい。位相も併せて観察すると、このシステムの入力源が地盤からのものだけではないことを示唆している³⁾。このような場合には減衰定数が過大に評価され、好ましい同定結果は得られない。つぎに、図-21に H_v 推定により求めた1階に対する3階の伝達関数と地盤に対する伝達関数を比較して示す。両者を比較することにより、建物-地盤間の動的相互作用の大きさを判断できる。本結果の推定精度は十分なものとは言えないが、両者の固有振動数を比較するとその差異は小さく、基礎はほぼ固定状態にあると考えてよいと判断される。以上の結果から、本建物のように軽量かつ小型の建物の場合には、常時微動記録に基づく伝達関数の推定精度が十分ではないこと、本地盤条件の場合には、得られた振動記録に動的相互作用の影響は小さいことが分かる。

3. 5 試験方法・分析方法による固有振動特性の差異

以上で得られた固有振動数と減衰定数を表-2に一覧する。固有振動数に関しては振幅レベルの違いによる差異は若干認められるものの、分析方法による違いはないと考えることができる。しかし、減衰定数の評価値はか

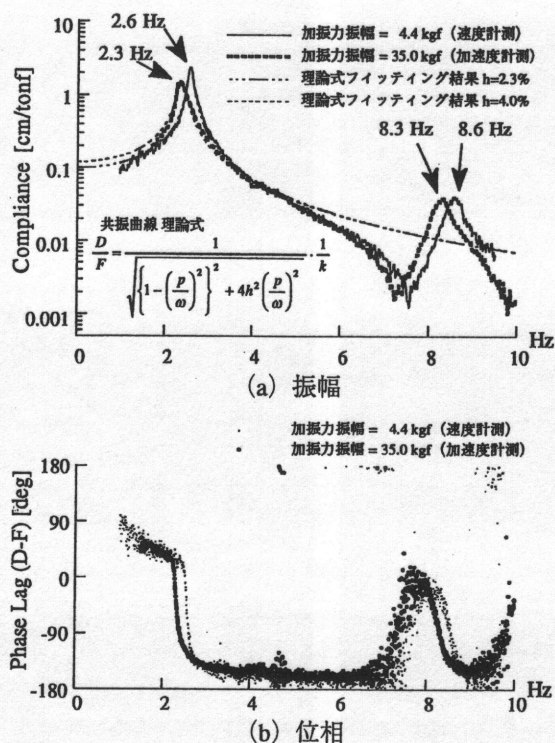


図-19 スウィープ加振による共振曲線

なりばらついており、伝達関数推定法に基づく振幅適合法と包絡形の減衰曲線適合法の結果の信頼度は乏しいと判断される。そこで、以下の検討では平均的特性を与えている対数減衰率による評価を中心に検討することとし、振幅依存性の検討には移動平均法を利用する。

4. 建設過程における固有振動特性の変動の考察

非構造部材が建物の固有振動特性に与える影響を考察するために、各施工段階の固有振動数と減衰定数を算定した結果を図-22~23に示す。

第1施工段階は純鉄骨状態であり鉄骨階段を除けば非構造部材の寄与はなく、純粋なラーメン構造にALC版の床が付加されたものである。この結果、各方向の固有振動数はほぼ同一の値を有しており、減衰定数も0.5~1%程度と低減衰となっている。

ALC版外壁が付加された第2施工段階では、方向によって固有振動数ならびに減衰定数に顕著な差異が現れる。開口の影響とスパン数のため、NS方向とEW方向とでは外壁量に大きな差異があり、NS方向では外壁設置による重量増加効果が剛性増加効果を上回って固有振動数を1割弱減少させ、EW方向では5割の増加を示している。ねじれ方向は両者の中間となっている。外壁の付加によって上部構造物の重量が約2倍になっているので、外壁の剛性への寄与はラーメン躯体に対して、NS方向で

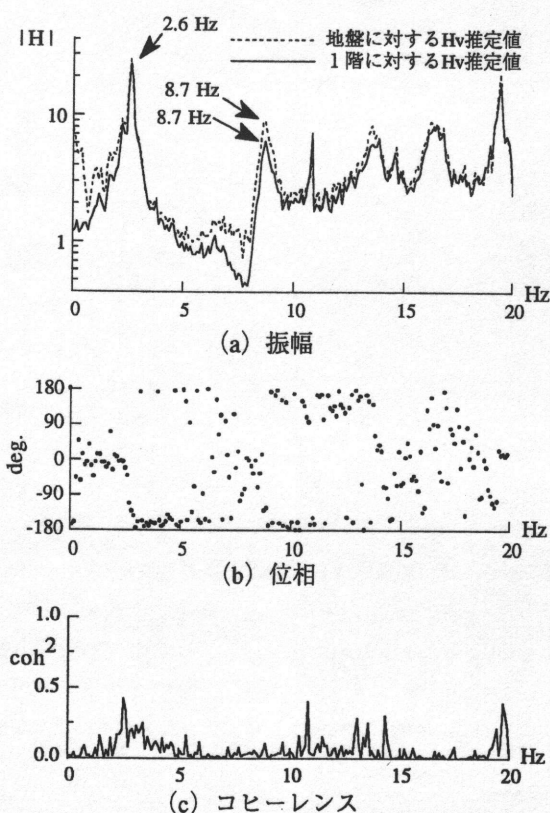


図-20 1階に対する3階の伝達関数

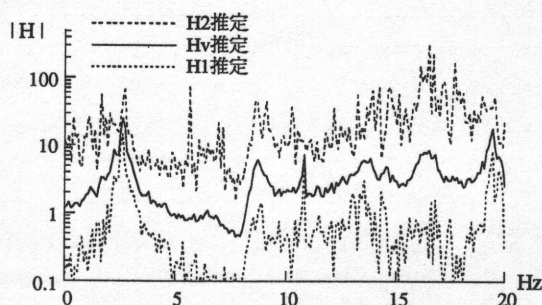


図-21 伝達関数に及ぼす動的相互作用の影響

約6割の、EW方向で4.5倍の剛性を負担していることになる。また、減衰定数の増加効果が著しく、ALC版の摩擦などによる減衰効果が期待できることが分かる。また、減衰の増加度合いも外壁量の方向性に対応している。

第3施工段階は外壁の内装と天井の施工が行われた段階であり、固有振動数はかなり増加している。内装・天井は木製の下地に石膏ボードを取り付けたものであり重量の変化は大きくはない。固有振動数の変化から推定した非構造材の剛性負担は、躯体のそれに比較して、NS方向で約1.8倍、EW方向で約12.3倍となり、第2段階と比較して非構造部材の剛性が約3倍に増加している。これには外壁内装部および天井部の剛性とALC版外壁のシーリング材の固化が寄与していると思われる。また、減衰定数も増加しており、特にNS方向の増加度合いが大きい。

第4施工段階はNS方向に間仕切壁を設置した段階であり、NS方向の固有振動数の増加が顕著となっている。減衰定数については大きな変動は認められない。

外壁に袖壁を付加した第5施工段階では第1施工段階と比較して、固有振動数はNS方向が2.1Hzから2.7Hzに、EW方向が2.5Hzから6.7Hzに、ねじれ方向が2.2Hzから4.5Hzに増加している。上部構造物の重量は2.7倍に増加しているため、純鉄骨ラーメンの仮定と比べて、NS方向が4.5倍、EW方向が19.4倍、ねじれ方向が11.3倍の剛性となる。したがって、環境振動などの小振幅レベルの問題では非構造材の剛性が重要な役割を果たすことが分かる。また、NS方向とEW方向の振動特性の差異は、非構造材の配置によって生じている。このことは、非構造部材の適切な配置による固有振動数の調整が容易であることを示しており、振動対策上有用な示唆を与えている。

表-2 試験・分析方法による固有振動数と減衰定数の差異（第4段階NS方向）

試験方法	自由振動試験（小加力）		スウィープ加振試験（小加力）			
	スペクトルピーク	移動平均法	共振曲線ピーク	位相90度	振幅適合	位相適合
固有振動数	2.6	2.55~2.65	2.56	2.58	2.56	2.60
減衰定数	対数減衰率	減衰曲線適合	ハーフパワー法	1/2h法	位相勾配法	
	2.2	1.98~2.26				
		1.9~4.1	2.26	2.16	2.85	2.22
常時微動試験						
試験方法	RD法		伝達関数推定法			
	スペクトルピーク	H ₁ : 振幅適合	H ₂ : 振幅適合	H _V : 振幅適合	位相適合	
固有振動数	2.66	2.60		2.64	2.64	
減衰定数	対数減衰率	減衰曲線適合				
	1.75	1.81				
		1.50			3.64	2.39

5. 固有振動特性の振幅依存性の考察

固有振動特性の振幅依存性を検討するために、自由振動波形の3波区間毎の移動平均によって求めた固有振動数と減衰定数を図-24~25に示す。図中にはRD法を用いて常時微動記録から算出した結果も示してある。

固有振動数に関しては、純鉄骨ラーメン時の第1段階では殆ど振幅依存性が認められないが、施工段階の進捗とともに、振幅依存性が顕著となって、本検討の振幅範囲(0.1mKine~1Kine)では大振幅時(1Kine程度)には1~2割程度減少している。減衰定数については、微小振幅時に評価値のバラツキが大きいものの、平均的には施工第1段階では減衰定数の振幅依存性は小さく、施工段階が進むにつれて減衰定数が振幅と共に増大する傾向を示す。常時微動レベル(0.2~2mKine)と比較すると、大振幅時には2倍弱の減衰定数を与えており、超高層ビルで得られた結果⁸⁾と同様の傾向を示している。このように、非構造部材の存在は、剛性や減衰定数の増加に寄与するとともに、振幅の増大にともなって剛性を低

下させ減衰を増加させる振幅依存性の原因ともなる。本研究での振幅レベルは数十mGalから数十Galの範囲であるので、大地震時における非構造部材の効果にまでは言及できないが、環境振動で問題となる振幅範囲においては、振幅依存性を考慮した上で非構造部材の影響を適切に反映させた検討を行う必要があることが分る。

6. まとめ

本研究では、都心部に建設される機会の多い鉄骨3階建プレハブ住宅を対象に、施工過程における固有振動特性の推移を振動試験結果に基づいて考察した。その結果以下のような知見が得られた。

- 1) 振動試験法や分析方法によって、減衰定数にバラツキが大きく、適切な試験・処理が必要である。小住宅のように規模の小さい軽量の構造物の場合には、常時微動記録を用いた伝達関数推定法の利用は適切ではなく、加振機試験による方法か、常時微動記録を用いた

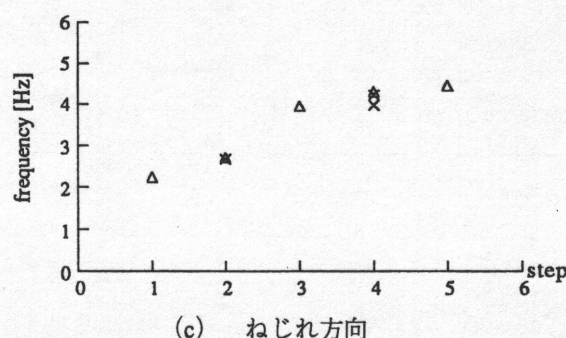
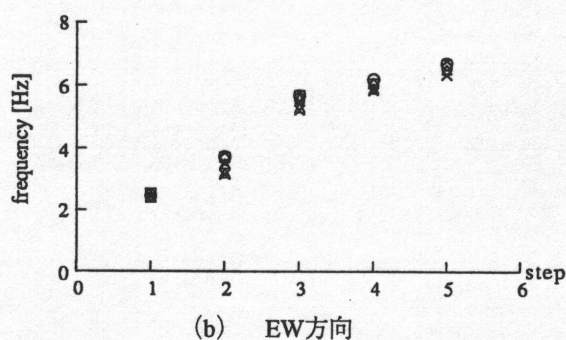
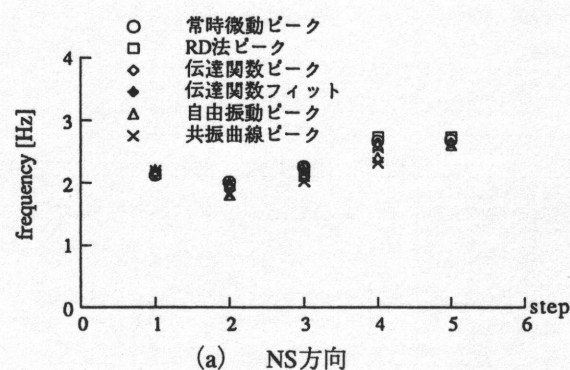


図-22 建設過程による固有振動数の変化

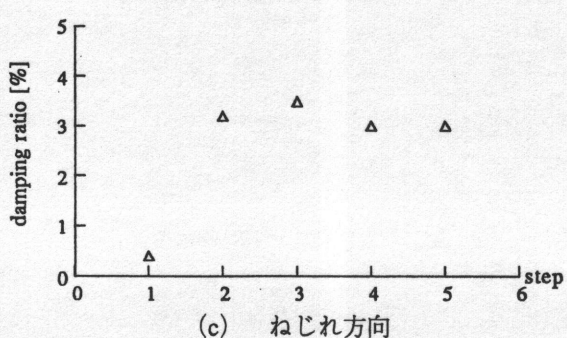
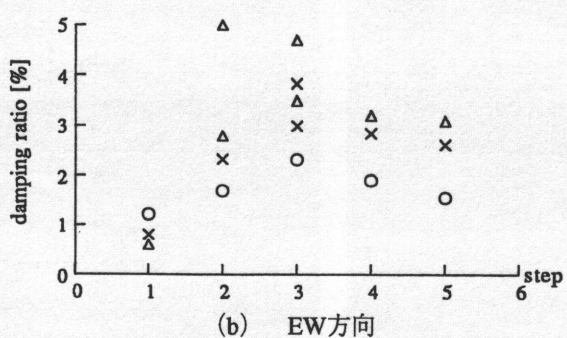
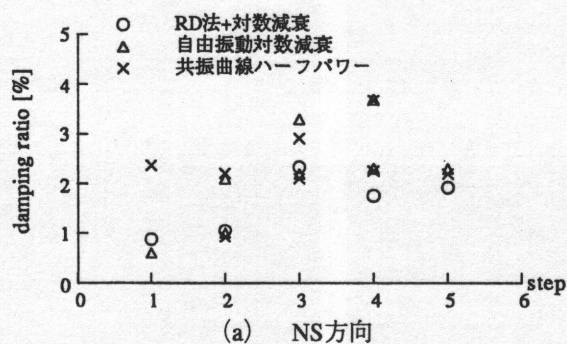


図-23 建設過程による減衰定数の変化

RD法による分析が好ましい。

2) 非構造部材の剛性への寄与は非常に大きく、完成時の剛性は純ラーメン時の5~20倍になる。また、非構造部材は減衰定数を増加させる効果も有する。これらの特性は非構造部材の配置によって大きく異なり、本検討建物では、完成時の振動特性はNS方向とEW方向で大きく異なる結果となった。

3) 非構造部材の存在により、固有振動特性に顕著な振幅依存性が生じる。本研究で対象とした振幅範囲では、振幅の増加とともに、剛性が1~2割減少し、減衰は2倍程度に増加する。

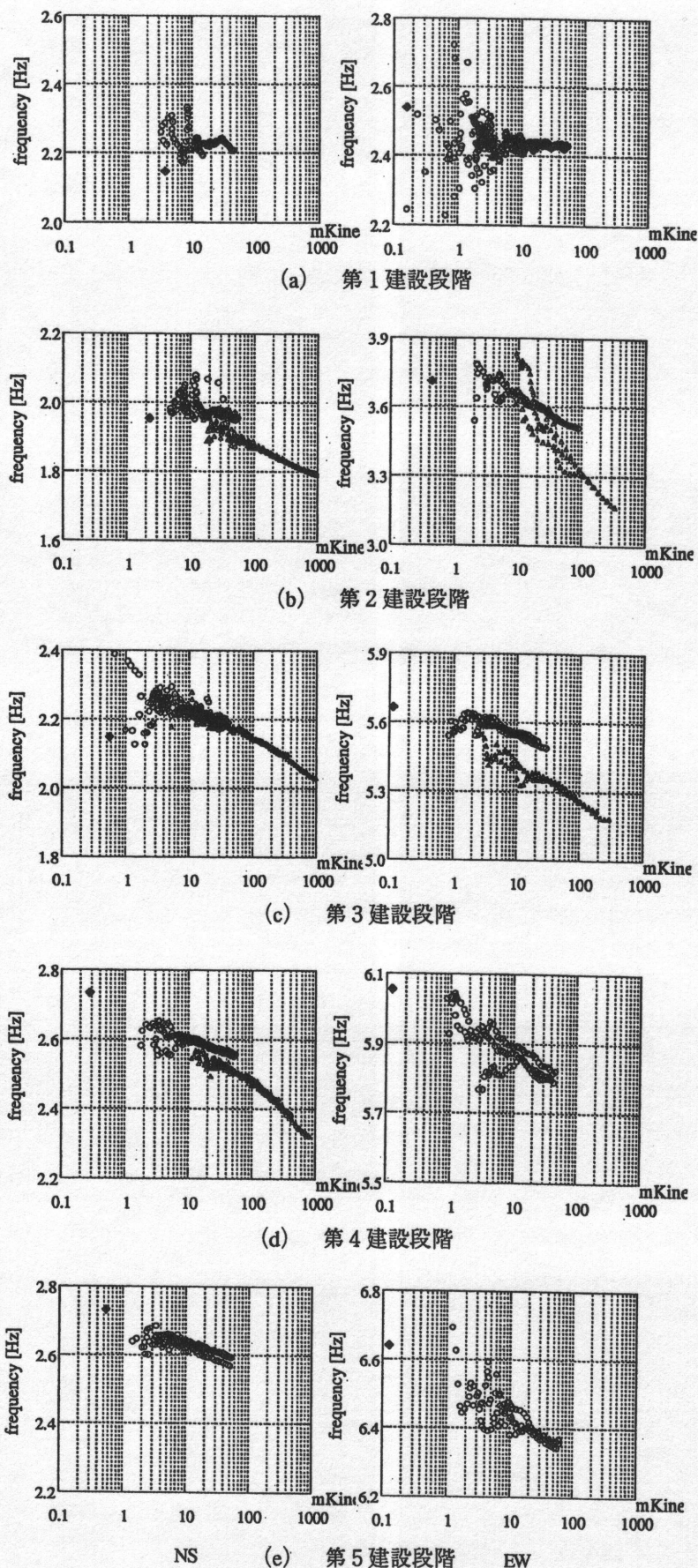
住宅のように数多くの非構造部材が用いられる建物では、環境振動などの小振幅レベルの振動現象に対して、非構造部材が支配的な寄与をするので、非構造部材の影響を適切に考慮した検討が必要になる。今後は、地震時のような大振幅レベルでの挙動を明確にするとともに、得られた実測記録を用いて各非構造部材の剛性を同定し、適切な振動解析モデル作成に結びつけ、振動対策につながる部材の最適配置に関する検討を進める。

謝辞

本研究を行うにあたり、名古屋大学の今岡克也助手、美原義正技官をはじめとする研究室の大学院生諸氏に多大の協力を得ました。ここに謝意を表します。

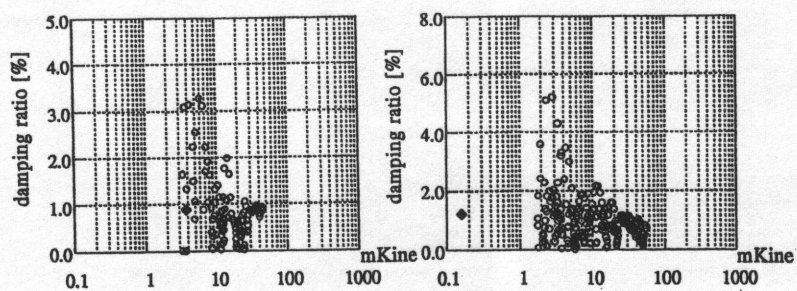
参考文献

- 1) 日本建築学会：建築構造物の振動実験，丸善，1978
- 2) 田村幸雄他：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，pp.29-38，1993
- 3) 和泉正哲，勝倉裕，飛田潤：構造物の常時微動における振動システム，日本建築学会構造系論文報告集，第409号，pp.83-92，1990
- 4) 建築物の減衰評価研究会：建築物の減衰評価研究報告書，日本建築センター，1993
- 5) Y. Tamura, M. Yamada and H. Yokota: Estimation of Structural Damping of Buildings, ASCE Structures Congress XII, pp.1012-1027, 1994
- 6) 日本建築学会：建築物の耐震設計資料，丸善，1981
- 7) 横田治彦他：振動試験および地震観測データにもと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，pp.77-84，1993

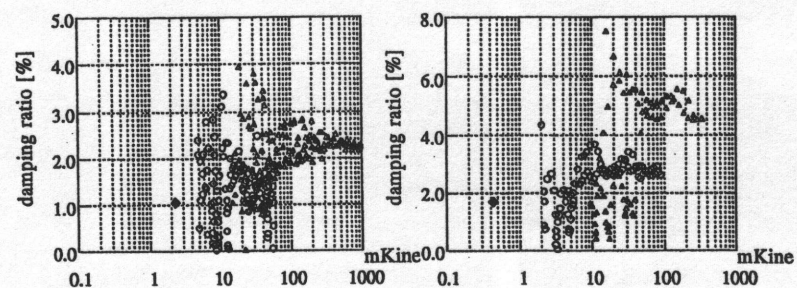


図一 2 4 固有振動数の振幅依存性

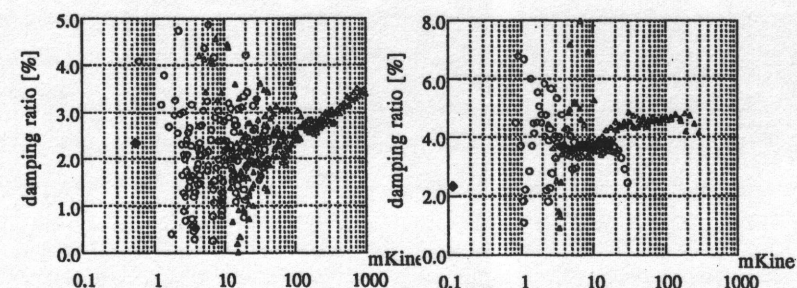
- 8) 中村豊他：大阪弁天町・ORC200シンボルタワーの強制振動試験（その2振動特性の振幅依存性），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.877-878，1993
- 9) 早川崇他：常時微動による超高層建物の振動特性評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.895-896，1993
- 10) A.G. Davenport and P. Hill-Carroll：Damping in Tall Buildings: Its Variability and Treatment in Design, ASCE Spring Convention, Seattle, 1986
- 11) A.P. Jeary：Damping in Tall Buildings - A Mechanism and A Predictor, Earthq. Engng. Struc. Dyn., Vol.14, pp.733-750, 1986
- 12) 萩尾堅治，北沢功次，長島一郎：免震住宅に関する研究，大成建設技術研究所報，第24号，pp.295-300, 1991
- 13) 石川幹夫他：3階建てプレファブ住宅の振動実験（その1実験），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1019-1020, 1990
- 14) 森俊之他：軽量鉄骨ブレース造3階建て建築物の強制振動試験—外壁ALC板が建物の振動特性に及ぼす影響について—日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.559-560, 1991
- 15) 三宅辰哉，福知保長：低層鉄骨建物における非構造部材の耐震効果に関する研究 その1非構造部材による水平力分担と減衰性の向上，構造系論文報告集，第462号，PP151-160, 1994
- 16) 理論地震動研究会：地震動—その剛性と波形処理，鹿島出版会，1994
- 17) A.P. Jeary：The Dynamic Behaviour of Tall Buildings, Ph D. Thesis, Univ. College London, UK, 1981
- 18) 田村幸雄，佐々木淳，塚越治夫：ランダムな外力による強制振動時の減衰評価（パフエーティング振動時の減衰定数について），日本風工学会誌，No.47, pp.93-94, 1991
- 19) 田村幸雄他：RD法による強風時の構造物の減衰評価，第12回風工学シンポジウム論文集，pp.303-308, 1992
- 20) 河村壮一：耐震設計の基礎，オーム社，1984
- 21) D.E. Newland，坂田勝，木村康治訳：不規則振動とスペクトル解析，オーム社，1991
- 22) 長松昭男：モード解析入門，コロナ社，1993
- 23) 田中清和，福和伸夫：自由振動試験による鉄骨造3階建住宅の固有振動特性 建設段階に伴う固有振動数，減衰定数の変化と振幅依存性評価，日本建築学会東海支部研究報告，pp.297-300, 1994



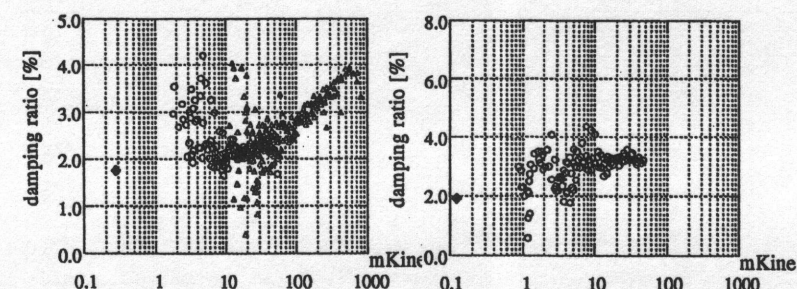
(a) 第1建設段階



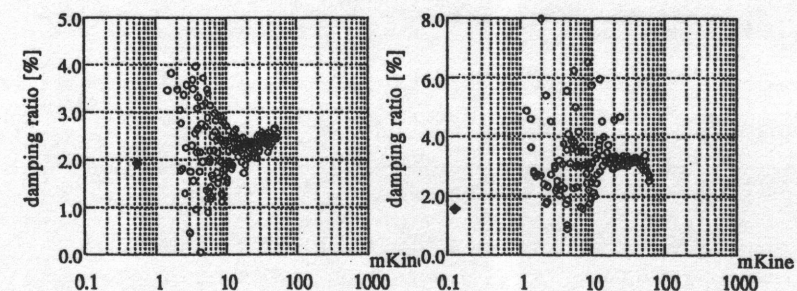
(b) 第2建設段階



(c) 第3建設段階



(d) 第4建設段階



(e) 第5建設段階

- 微動速度計による計測値
- △ 加速度計による計測値
- ◆ RD法（常時微動）

図-2.5 減衰定数の振幅依存性