

微小振動領域における鉄骨住宅の振動特性と交通振動対策

VIBRATION CHARACTERISTICS OF STEEL FRAMED LOW-RISED RESIDENCE AND MEASURE AGAINST TRAFFIC-INDUCED VIBRATION

中田 信治*, 福和 伸夫**
Shinji NAKATA and Nobuo FUKUWA

Traffic-induced vibration is one of principal problems for residence in urban area. Mid- and low-rise steel-framed buildings sometimes pose problem related to vibrations caused by road traffic as a principal road, a highway or a railroad. Traffic-induced vibration influences on habitability in the building. Especially on the three story buildings, habitability under horizontal vibration on top floor was reported. Factors of the problems are 1) vibration perception of a resident in a building, 2) dynamic property of a building, 3) predominant frequency of ground vibration, 4) frequency characteristic of vibration source. Each factor affects each other.

In this paper, each factor is analyzed in order to get a knowledge for design of a low-rise steel-framed residential building subjected to horizontal vibration.

Keyword : traffic-induced vibration, vibration level, perception limit, natural frequency, ground vibration

交通振動、振動レベル、振動知覚、固有振動数、地盤振動

1. はじめに

都市の高密度化に伴い幹線道路・高速道路・鉄道などの交通振動源に近接して3階建て住宅が建設される例が増えている。交通振動が地盤を伝播し、その振動により建物内部で有感振動を発生させる事は従来から数多く報告されている。特に、3階建て、4階建ての住宅においては上層階において水平振動が卓越することが報告されている。これらには、①建物内における居住者の振動知覚、②建物の振動性状、③地盤の卓越振動数、④振動源の振動特性の各要因が相互に係わりあっている。

居住者の振動知覚に関しては、平屋建て、2階建てのような戸建住宅においては鉛直振動を対象とすることがほとんどであったが¹⁾、3階建て、4階建になると、従来の戸建住宅ではあまり問題にならなかった水平振動の重要性が増してくる。しかしながら、建築物の水平振動に対する居住性についての検討は、高層住宅を対象とした長周期のものが多く^{2,3)}、中低層建物で問題となる短周期振動の研究は少ない^{4,5,6)}。

そこで、本論文では都市型住宅の振動居住性を向上させることを目的として、短周期域の振動知覚を把握した上で、振動知覚の生じやすい建物・地盤系の振動を分析し、更に具体的な振動対策手法について総合的な評価を行う。

まず、中低層建物における水平振動の居住性評価の資料を得るた

め中低層建物に想定される比較的短周期の範囲(1.0~6.0Hz)における水平振動の知覚試験を行い、短周期水平振動における知覚閾値に関して分析する。

次に、幹線道路や高速道路に近接した多数の建物を対象に振動計測を行い、建物固有振動数と振動レベルを評価する。これらの結果を基に建物内で居住者が水平振動を感じる住宅と振動を感じないとされる住宅を分類・整理し、実験室で行った知覚試験結果と照らし合わせることで知覚確率との確率的検証を行う。

一方、地盤振動については、既往の研究より平坦道路と高架道路とでは差異があることが明らかになっている。平坦道路では地盤と車両特性が現われ3Hz近傍及び十数Hzの広帯域の振動が励起されるのに対し、高架道路ではこれに高架構造の振動特性が加わるため狭帯域の振動特性になる^{7,8,9)}。

そこで、本論文でも振動を感じる住宅の多い地域において周辺地盤の微動計測を実施し、H/Vスペクトル分析により卓越振動数の確認を行い、振動問題発生時の建物・地盤の振動数の関係を検討する。

最後に振動対策について検討する。環境振動のような微小な振幅レベルでは構造骨組みに取り付く外装材、内装材等の2次部材の影響が振動特性に大きな影響を与えることが過去より指摘されており、これらを定量的に評価するための実測、実験も行われている^{10,11,12)}。本論文中でも2次部材の振動特性への寄与を検討したところ微小振幅

* 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生・工修

** 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

Graduate Student, Nagoya Univ., M. Eng.

Prof., Nagoya Univ., Dr. Eng.

レベルにおいては2次部材の寄与が大きいたことが明らかになった。環境振動レベルにおいては構造骨組みに加え2次部材の配置からも振動性状を制御できる可能性がある。しかしながら、今回測定したような軟弱地盤地域においては、平面計画的配慮だけでは抜本的な改善は困難である場合もある。そこで積極的な改善策として制振装置（Active Mass Damper）を屋上階に設置して振動制御を行う試みを行い、その改善効果を定量的に把握した。

このように、本論文では環境振動における中低層鉄骨住宅の設計・評価の資料を得るために居住者の振動知覚と地盤の振動特性に焦点をあて各要因の分析を行うと共に、具体的な振動対策についても検討を行なった。

2. 地盤振動性状

環境振動問題を発生させる原因としては地盤が軟弱地盤であること、高速道路等の振動源が近いことなどがあげられ、振動源の振動数特性と地盤の卓越振動数の把握は環境振動の予測評価上、重要である。特に、高架道路を振動源とする地盤振動の卓越振動数は水平、鉛直成分とも3Hz付近に見られることが過去から指摘されている。^{7,8,9)}

そこで、東京都内の複数の地域において地盤の微動計測を行った。

計測地域は図1に示す4地域である。4地域については基準法施行令に示す地盤種別をもとに選定した。各測定点の状況は高架道路や平坦道路を振動源としており、振動源からの距離は概ね100m以内の地盤面上で測定を行った。計測は、合計14箇所をA、Bを各1日、C、Dを1日で行い、時間帯は午前9:00～午後5:00の間に行った。

Aは表層が砂又はシルトでN値50以上の層が20m以上からみられる沖積低地で、中間に固い層が一部みられる場合がある。Bは表層が砂又は粘土層でN値50以上の層が30m以上みられない沖積低地である。Cは表層10～15mが概ねN値10以下の粘土層でそれ以深にN値50以上の層が見られる旧河川地域である。また、Dは参考のために設定した表層がローム、硬質粘土からなる、比較的安定した地盤地域で振動問題の報告のない地域である。

各地域の代表的なボーリングデータのN値をもとにS波速度を推定し¹³⁾、この結果をもとに計算した地盤の1次固有振動数はA地域が1.5Hz、B地域が1.1Hz、C地域が3.3Hz程度であり、地盤種別からするとA地域は軟弱な2種、B地域は3種、C地域は一般的な2種に概ね分類される。

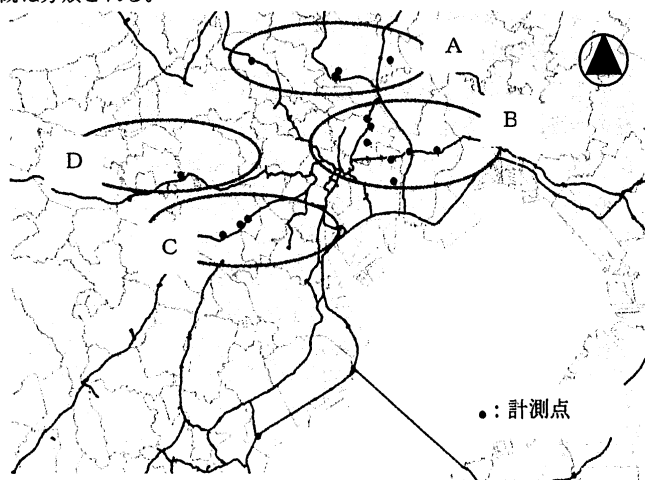


図1 測定位置図

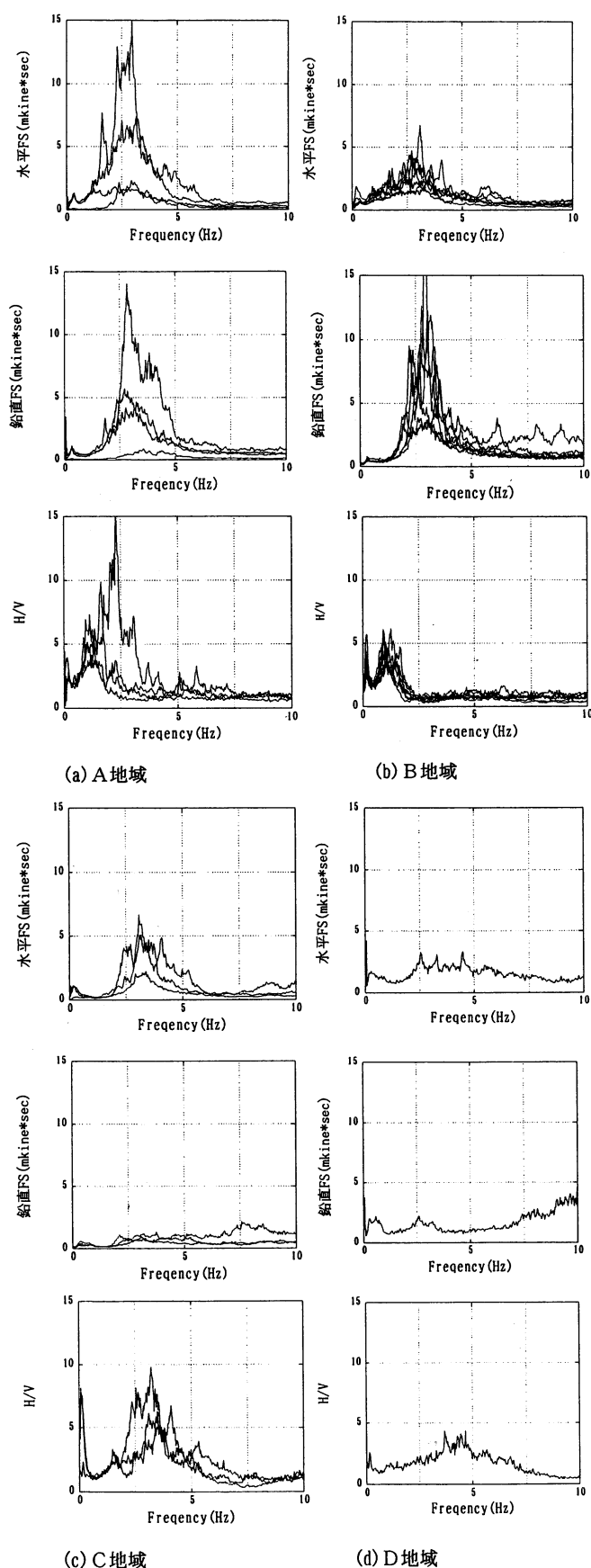


図2 地盤の常時微動の水平・上下平均フーリエスペクトルとH/Vスペクトル

微動計測は固有周期1秒の動コイル型の微動計を用い、サンプリング周波数200Hzで速度を1380秒間計測した。この記録を用いて区間長さ20.48秒のサンプリング波形を作り、平均フーリエスペクトルを算出した。また、NS、EW方向の平均フーリエスペクトルの2乗平方根とUD方向平均フーリエスペクトルの比からH/Vスペクトルを求めた。

図2に各地域における代表地点の微動の平均フーリエスペクトルとH/Vスペクトルを示す。A～C地域では水平方向の平均フーリエスペクトルは3Hz付近にピークが見られた。

一方、鉛直振動についてみるとA、B地域では水平振動同様に3Hz付近にピークがみられるが、C地域ではより高振動数側に卓越が見られる。H/Vスペクトルについては中間層に一部固い層を持つA地域は1～2Hz付近にピークが見られ、支持層が深いB地域についても1Hz付近にピークが見られる。支持層が10m程度にあるC地域は3Hz付近にピークが見られる。これらは、周辺のボーリングデータから計算した1次固有振動数と概ね同様の値となった。これに対し、振動問題のないD地域では平均フーリエスペクトル、H/Vともに明確な卓越振動数は見られず、フーリエスペクトル振幅もA～C地域に比べ小さい。

3. 短周期水平振動知覚実験

地盤の微動計測結果から、交通振動の影響を受けやすい地域における地盤フーリエスペクトルは地盤の種別によらず3Hz付近に卓越振動数を持っていることが確認された。そこで、この振動数領域における知覚閾の評価を行なうため水平振動知覚実験を行い、確率統計的に評価した。

実験は、鉄骨造地上7階建て建物の5階に被験室を設けて実施した。被験室のサイズは図3に示すように幅2.45m、長さ4.2m、高さ2.4mであり、仮想的な居室を想定した。加振は被験室直上階の6階に設置した起振機2機を同相運転することで1方向並進加振を行った。振動知覚に影響を与えないように起振機の音の遮断を行なうために壁や床に遮音処理を施した。

実験は合計98名の被験者に対して行った。被験者の内訳は男性88名、女性10名で、年齢は18歳から55歳となっている。椅子に腰掛けた姿勢（座位）で、振動を体感する方向は加振方向に対して被験者の体の前後方向及び左右方向の2方向の揺れを被験した。振動知覚の有無は机上においたスイッチにより検出し、少しでも振動を感じ始めたらONの操作をさせることとした。

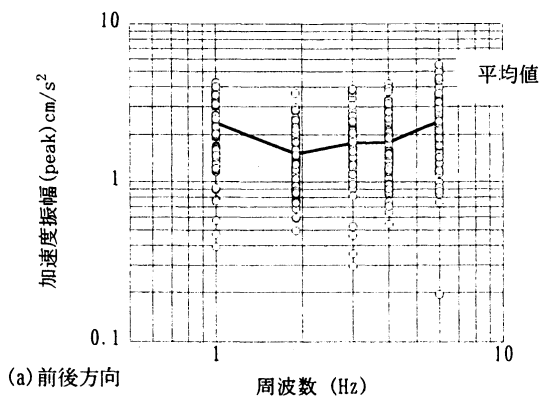


図5 知覚試験結果

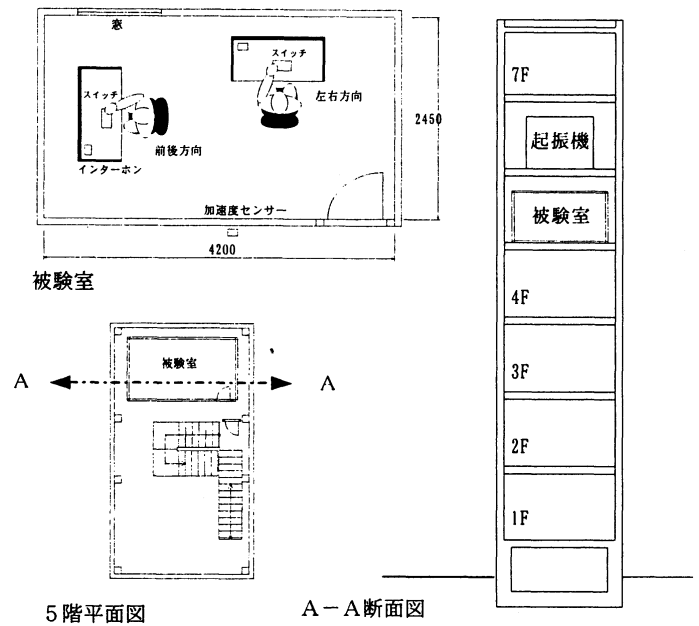


図3 試験室概要

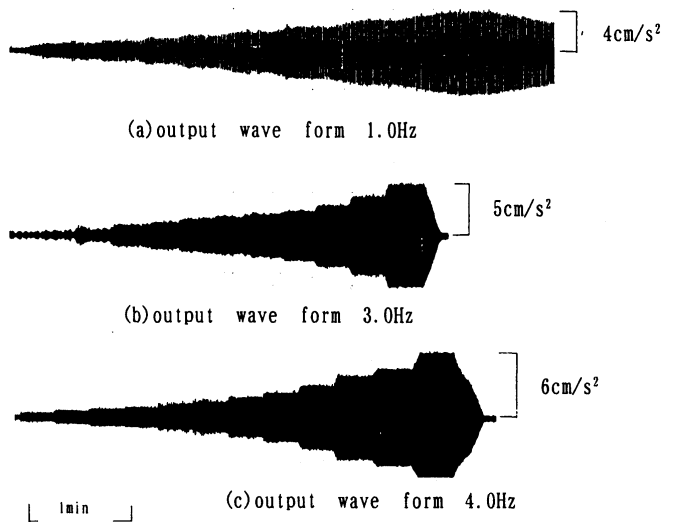
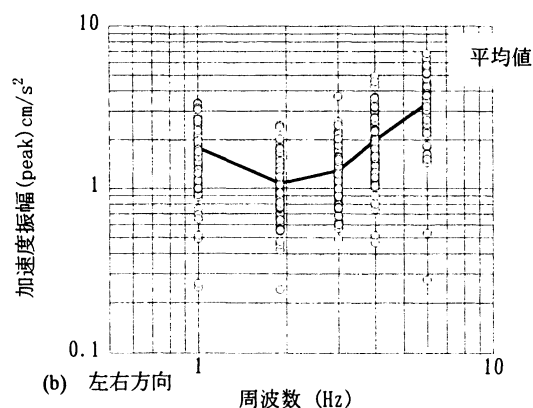


図4 試験室における加速度波形



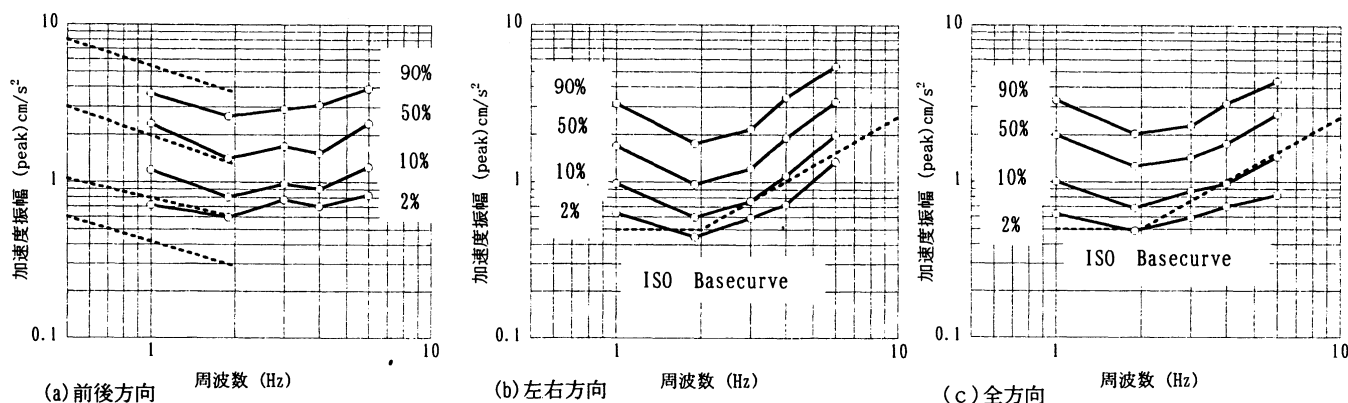


図6 確率的振動知覚

図4に被験室での加速度波形の例を示す。試験波は正弦波で振動数を固定して振幅を変化させた。

加振振動数は1.0Hz、1.9Hz、3.0Hz、4.0Hz、6.0Hzの5種類とした。但し、試験時には被験順序による差を緩和するため振動数順序は被験者ごとにランダムに変えた。また、5種類の振動数の試験波を前後方向と左右方向の2方向について被験させた。

図5は前後方向、左右方向における振動数毎の知覚閾を示す。実線は各周波数での知覚閾の平均値を結んだものである。方向による平均知覚閾を比べると、1.0～3.0Hzでは左右方向の方が小さく、4.0～6.0Hzについては前後方向の方が小さく、振動の方向により知覚閾に差があることが分かる。

試験終了時に行った振動の知覚方向に関するアンケート結果によると、前後方向、左右方向とも1.0～3.0Hzについてはほとんど加振方向が正しく回答されているが、6.0Hzの前後方向では約3割の被験者が上下方向に揺れを感じたと回答している。

図6は確率的振動知覚として振動知覚の2、10、50、90のパーセンタイル値を求めたものである。全方向とは前後方向と左右方向を合わせたものである。前後方向については長周期知覚試験の結果³⁾を破線で示している。1.0～1.9Hzの50パーセンタイル値が長周期試験結果の50パーセンタイル値に概ね対応している。左右方向と前後方向と全方向については比較のためISO2631のベースカーブ⁴⁾を破線で示した。ISOベースカーブはISO2631-2の中で、室や建物における振動の大きさは、ベースカーブの倍数で示されており、ベースカーブ以下の大きさでは一般に苦情は報告されていないといわれている。左右方向については1.9～6.0Hzの間では10パーセンタイル値がISOのベースカーブに概ね対応し、全方向については3.0～6.0Hzの10パーセンタイル値がISOベースカーブに概ね対応している。

結果として、振動数は前後方向、左右方向とも1.9Hzが最も知覚閾が低くなっているが、前後方向については3.0Hz、4.0Hzについても同程度の知覚閾を示していること、これに対して左右方向は振動数が高くなるに従い知覚閾が高くなっており、振動数と振動方向により知覚の特性が異なることが確認された。また、左右方向における各パーセンタイル値の勾配は概ねISOのベースカーブに一致していることが確認された。また、被験者の状況が知覚閾に及ぼす影響を考慮した既往の実験においても同様の傾向を示しており。特に水平振動に敏感な1.6～2.5Hz程度の範囲では状況によらず知覚閾はほぼ等しいとされている⁶⁾。

表1 振動レベル測定結果 (単位dB)

累積度数	測点	種別	件数	最小	最大	平均	標準偏差
50%値	1階	無感	20	20.8	33.2	24.4	3.51
		有感	11	21.5	45.1	33.2	6.24
	3階	無感	20	26.6	47.7	34.2	5.41
		有感	11	43.7	55.2	50.3	3.37
90%値	1階	無感	20	23.2	36.6	27	3.82
		有感	11	25.6	50.9	38.3	7.23
	3階	無感	20	30.1	53.1	38.7	5.61
		有感	11	50.3	61.9	56.0	3.56

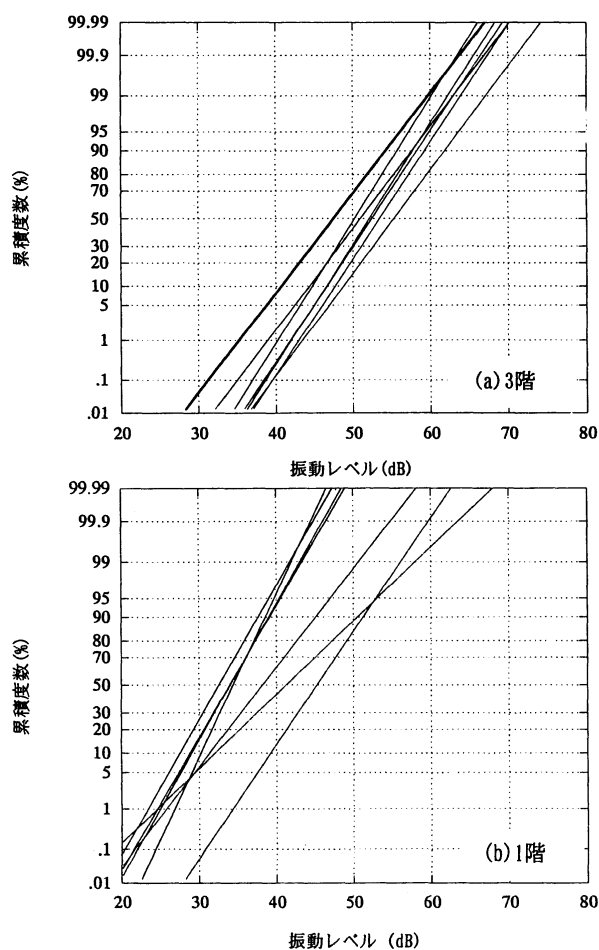
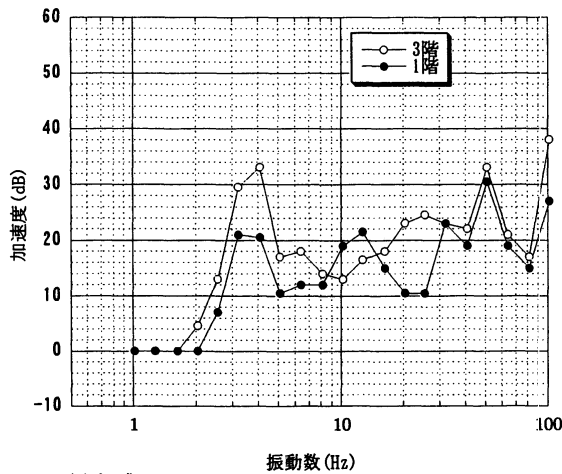
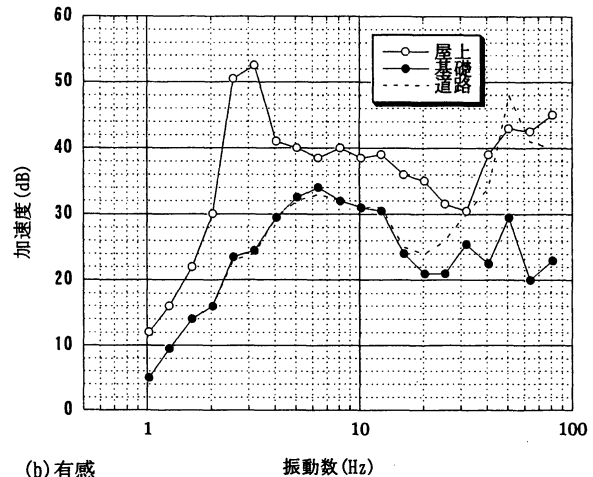


図7 振動レベルの累積度数



(a) 無感



(b) 有感

図8 3分の1オクターブ結果

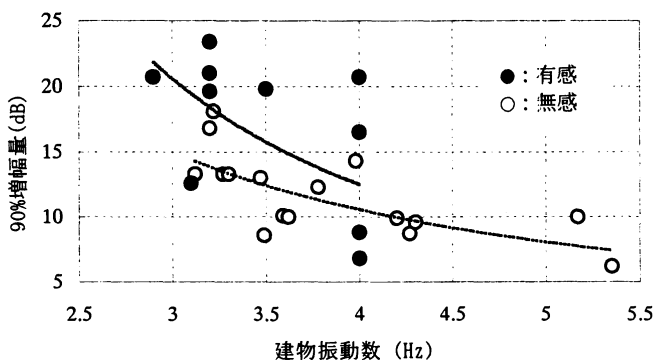


図9 振動レベル増幅量

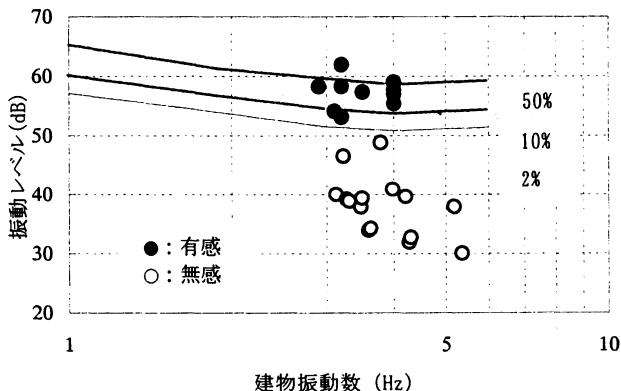


図10 建物3階観測値と振動知覚確率の対応

4. 実建物における振動の分析

短周期知覚実験結果の交通振動問題への適用性を検討するため、

戸建住宅での実測データをもとに知覚実験結果との確率論的検証を行った。対象建物としては、鉄骨造3階建て住宅とし交通振動を感じる住宅（有感）と振動問題の生じていない住宅（無感）について測定を行った。振動測定は1階床と3階床で、公害振動計を用いて行い、5秒間隔の振動レベルを測定した。なお、有感地域は微動計測を行った、A～Cに相当する。

表1に5秒間隔の振動レベルの累積度数から求めた50%値と交通振動等不規則な変動する振動の評価として一般的に用いられている90%値の結果を示す。また、図7は有感住宅の3階及び1階にお

る横軸に振動レベル、縦軸に正規分布の累積分布関数になるように目盛ったものであり、概ね直線上に並ぶ。90%値は3階床において50～62dBに分布している。また、1階床では概ね37～50dBの間にあるが、50dBを超過している例もみられる。

図8は3分の1オクターブ分析を行った例を示したものである。建物の固有振動数成分を含むバンドの増幅率は無感の場合は概ね10dB、有感の場合は概ね20dB程度となっている。図9は測定を行った建物での振動レベルの増幅量の分布を示したものである。実線は有感、破線は無感の場合の近似曲線を示す。振動数3Hz付近では有感の場合概ね20dB付近に分布しており、無感の場合は概ね15dB以下に分布しており近似曲線は右下がりの傾向が見られる。これは先に示した地盤の水平方向の卓越振動数が3Hz付近に比較的シャープなピークを持つことと関係している。増幅量が小さいにも係らず有感になっている場合も見られるが、これは振動源からの距離が近いために地盤の入力が大きいことと関係している。また、4Hz付近に増幅量が多いケースがあるがこれは振動源が平坦道路のもので、平坦道路の場合でも車体が長い場合、励起される振動数域が広がるため、車両によってこうした周波数領域でも共振する場合が見られる¹⁴⁾。こうした実測に基づく増幅率から応答を概略推定することが考えられる。

本実測における3階と1階の振動レベルを知覚実験で得られた振動知覚確率と比較する。図10に建物3階における観測振動レベルと振動知覚実験結果との対応を示す。図中の観測値は90%値を示す。知覚実験結果は正弦試験波で行われたため0-ピーク値を、 $\sqrt{2}$ で除した実効値を求め感覚補正を加えたものを示している。なお、知覚実験結果は全方向のものを示す。

振動を知覚する等確率線は振動レベルで評価すると1.0～4.0Hzにかけて直線的に低下し、それ以上の周波数範囲では一定となる。対象建物の卓越振動数範囲3.0～4.0Hzでは知覚確率50%がほぼ60dB、10%が55dB、2%が52dBに相当している。有感の振動レベルは知覚実験結果の2%～50%の間に分布しており有感・無感の境界は概ね2から10%の知覚確率に相当している、知覚実験結果よりISOベースカーブは概ね10%値と一致していることから、ISOベースカーブを超えるあたりが1つの指標になることが考えられる。

以上、実測調査結果より振動を感じる住宅における3階の振動レベル90%値は、50～62dBに分布している。また、その時の振動を感じる住宅における1階の振動レベル90%値は主に37～50dBに分布して

いることが確認された。

5. 振動対策事例

実測結果より敷地の条件として高架道路のような振動源が近接し、地盤が軟弱な場合は3Hz付近に地盤の卓越振動がみられ、建物の振動数もこれに近接する場合がある。

こうした場合における振動対策としては、地盤では、①振動伝播経路に遮断溝を設ける。②地盤改良を行う。建物では、③基礎の剛性をあげる、基礎の重量を増す。④建物の剛性を調整する。⑤建物屋上に制振装置を設けるなどの方法が考えられる。しかしながら軟弱地盤の場合は周期が長くなることなどから上記に示すような地盤、基礎による対策は効果がみられないことが多い。

以下、対策により効果が確認できた事例として、3階建てにおける建物の剛性を調整した事例、及び4階建ての屋上階に制振装置(AMD)を適用した対策事例を示す。なお、3階建てが地盤の微動計測を行った地域のうちC地域、及び、4階建てがB地域に位置する。

5. 1 対策事例1

対象建物は高架道路から100m離れた場所に位置しており、総重量約100tの3階建ての鉄骨構造である。高架道路上を大型車両が走行する時に、建物上層部において有感振動が生じている。測定により得られた建物の固有振動数は高架道路の橋軸方向が3.3Hz、橋軸直交方向が3.9Hzになっており、構造計算時に算出した固有振動数(橋軸方向1.7Hz、橋軸直交方向1.8Hz)より大きい。これは、構造計算時には鉄骨骨組みの剛性しか考慮していないことに起因しており、建物の振動性状に2次部材の寄与が大きいことを示している。

高架道路の橋軸方向に平行する方向で有感振動が発生している。図1-1はこの地点の地盤で測定した記録の加速度応答スペクトルを示す。建物の固有振動数の3.3Hzあたりにピークが見られる。間取りと2次部材の量を大幅に変更することにより建物の固有振動数を4.0Hzまで上げることで応答を60%程度まで低減することができると判断した。

図1-2は建物測定結果から建物の固有振動数が実測値に合うように各階の剛性を調整しモデル化しなおし、更に対策として固有振動数が目標値の4.0Hzになるように1,2階の剛性を調整しモデル化したもので各々測定した地盤データをもとに時刻歴解析を行なった結果を示す。なお、モデルは基礎固定の3質点系で解析し、入力動は実測波形を使用した。時刻歴解析によって得られた結果も加速度応答スペクトル結果と同程度の効果を確認することができた。

図1-3は対策前後における実測データの結果を示す。グラフは対策前後の測定振動レベル波形記録から、5秒間隔に振動レベルを100データ読み取り、90%値、50%値を求めた。また、測定時間帯における最高値を求めた。図に示す対策前と対策後の最高値、90%値、50%値は1時間毎の最大値を示す。90%値で対策前の最大値は58dBで有感の範囲にあるが、対策後は最大値で53dBまで低減しており、建物の微小振動領域における剛性の調整により振動の低減効果が実証された。

5. 2 対策事例2

当該建物は高架道路から40m離れた場所に位置し、周囲が河川に

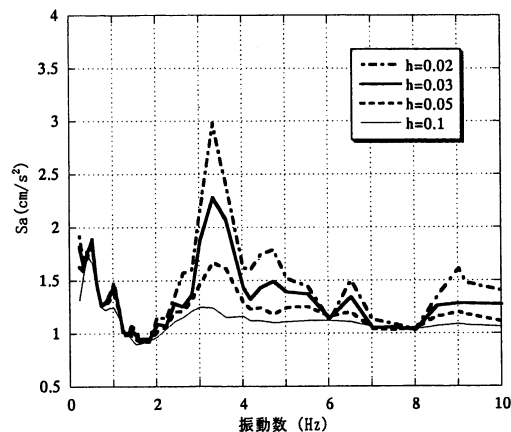
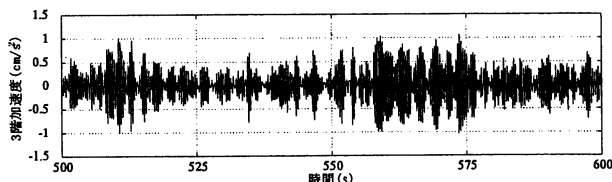
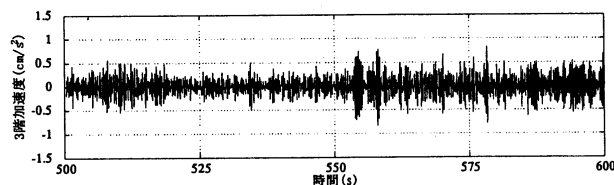


図1-1 地盤測定記録における加速度応答スペクトル

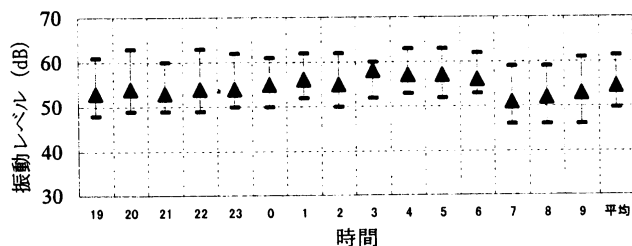


(a) 対策前

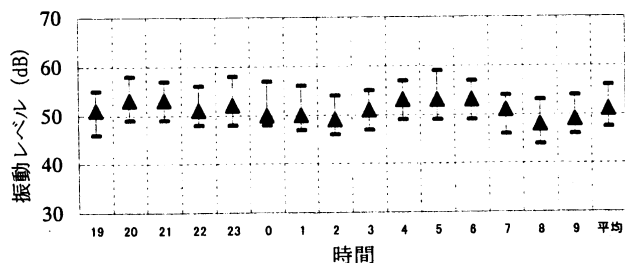


(b) 対策後

図1-2 対策前後における3階加速度波形解析結果の比較



(a) 対策前



(b) 対策後

図1-3 対策前後における3階実測振動レベルの推移の比較

囲まれた軟弱地盤に建設されている。図1-4に高架道路と建物の位置関係を示す。図1-5に建物の概要と振動測定器とAMDの設置位置を示す。対象建物は4階建ての鉄骨構造であり、建物総重量は約200tである。

高架道路を大型車両が走行すると建物上層部において有感振動が生じている。測定により得られた建物の固有振動数は高架道路に対して平行方向が3.2Hz、直角方向が3.4Hzであり、構造計算結果より算出される固有振動数（平行方向1.75Hz、直角方向1.48Hz）より大きい。対策事例1と同様に建物の振動性状に2次部材による寄与が大きいことを示している。

振動対策の検討にあたっては建物の振動数と地盤の振動数が近いことから、建物の振動数を変え地盤との共振を極力回避することも考えられたが、本建物においては間取りの変更による大幅な剛性の調整が不可能であること等から、剛性の調整による対策では十分に振動数を隔離できないと判断し、制振装置による対策を検討した。図16は当該地盤で測定した加速度データにおける加速度応答スペクトルを示す。

制振装置についてはTMDも考えられたが本建物については応答加速度が2gal以上あり低減効果を1/3以上確保したいこと及び設置面積の関係からAMDとした。AMDは建物の揺れを検出するセンサーを建物上層に有し、そこで検出した信号に対して外部より制御力を与えることによって建物の応答を積極的に低減するものである。本建物で採用したAMDは揺れに対して1次モードのみを制御するものである。振動を感知するセンサーは屋上階に、錘を制御するコントローラーは4階に設置した。各装置の設置状況は図15に示す通りである。図17は搭載したAMDの概要を示す。建物は両方向とも振動していることから水平2方向制御としている。今回使用した制振装置の錘の重量は1台当り250kgで各方向2台の計4台を交互に設置した、建物に対する質量比で約0.25%である。

図18はAMDを作動、停止したときの4階と1階における加速度波形である。4階応答加速度はピーク値が非制振時2gal程度であったものが制振時には0.6galに低減しており、AMD作動時には1galを超えることはほとんどみられなくなった。制振時は非制振時における値の1/3程度に低減していることが確認される。

本制御方式は建物に減衰を付加した効果と同じであり、非制振時3%の減衰が10%程度付加したものと同等の効果が得られた結果となっている。

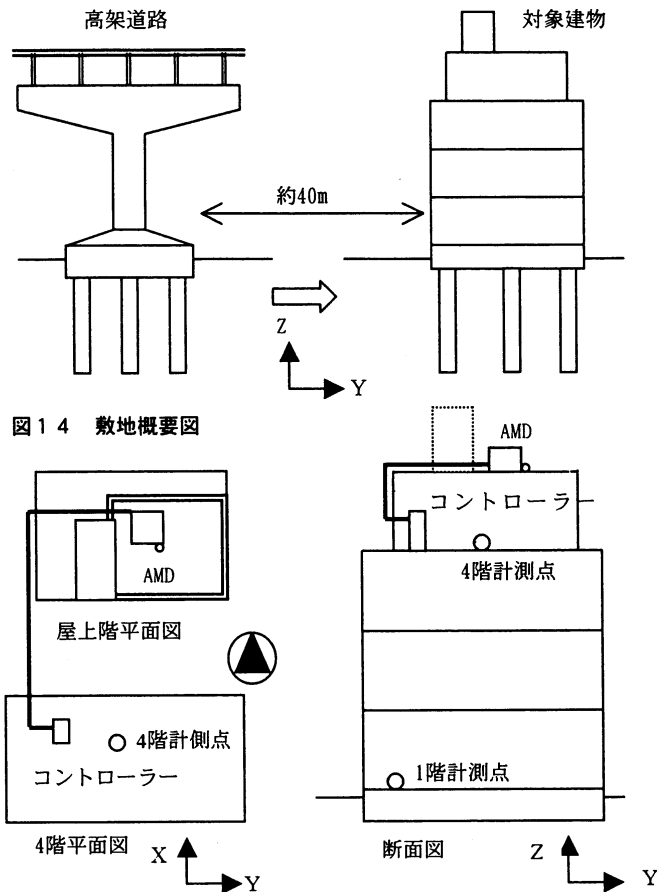


図14 敷地概要図

図15 建物概要及び振動測定・AMD設置位置

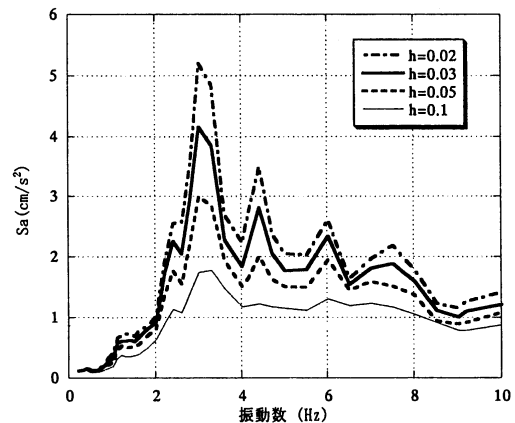


図16 地盤測定記録における加速度応答スペクトル

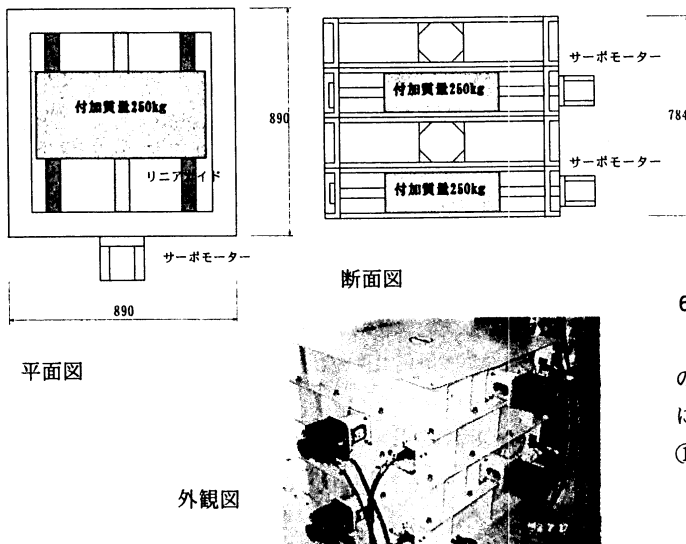


図17 AMDの概要

6. まとめ

以上、本論文では環境振動における中低層鉄骨住宅の設計・評価の資料を得ることを目的として居住者の振動知覚と地盤の振動特性に焦点をあて各要因の分析を行った。得られた結果を以下に示す。

- ①地盤の微動計測結果より、振動を感じる地域（A～C地域）における水平振動のフーリエスペクトルは地盤種別にかかわらず3Hz付近にピークが見られた。軟弱地盤層が厚いA、B地域の場合は水平振動、鉛直振動ともにフーリエスペクトルは3Hz付近に

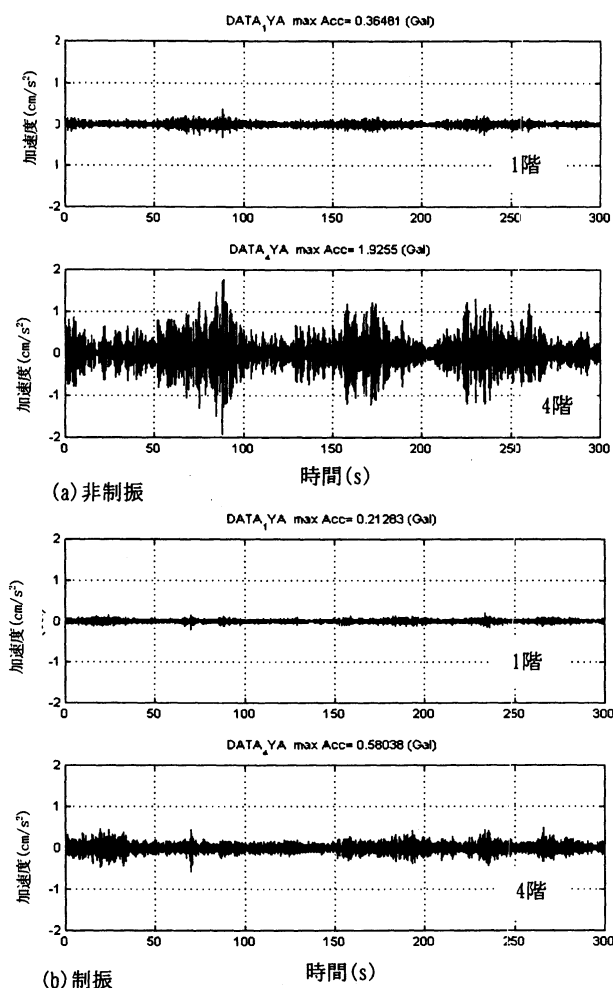


図18 制振装置による対策前後の加速度波形の比較

ピークがみられたが、軟弱層の比較的浅いC地域については鉛直方向には明確なピークはみられなかった。

- ②知覚実験及び実測結果より、振動数と加振方向により知覚の特性が異なることが確認された。また、各パーセンタイル値の勾配は概ねISOのベースカーブに一致することが確認され、10%タイル値がISOのベースカーブに相当する結果が得られた。実測により得られた結果と知覚実験で得られた振動知覚を比較すると実測値の90%タイル値における有感と無感の境界は知覚実験の10%タイル値に相当していることが確認された。このことからISOのベースカーブを超えるあたりが一つの指標になる結果が得られた。
- ③対策事例より建物の実測結果と構造計算結果より得られる固有振動数には差異がみられ環境振動評価においては2次部材の影響が無視できないことが確認された。
- ④振動対策として微小振動領域における剛性を調整することにより応答加速度の低減を図ることは有効であるが、地盤の振動数特性と建物の振動数特性が明確であることが条件となる。
- ⑤建物応答が大きく生じている場合にはAMDは有効な対策と考えられる。

以上の結果より、支持層が比較的深く、自動車交通による振動源が近い地盤の場合、3Hz近傍で地盤応答が卓越することが確認された。また建物の実測結果から、この振動数域の建物増幅率が大きくなる傾向が認められた。従って、このような地盤条件上に建設される鉄

骨3階建て建物に関しては、地盤調査時に振動レベルの測定を合わせて実施し、過去の実測に基づく応答増幅率を乗じて応答を予測することにより振動問題の発生の有無を(設計段階において)概略推定できる。万一、振動問題の発生が懸念される場合は本論で示した対策事例を参考に振動レベルに応じた対策を実施することになる。今後は、理論的な予測手法を確立するため、2次部材の影響を考慮した応答予測手法を検討する予定である。更に都市部のこうした地域における中低層建物の建設が多くなるに従い、居住性に配慮した設計も今後は必要になると考えられる。そのためにも、この種の振動に対する環境振動評価と設計手法の整備が望まれる。

謝辞

本研究を実施するにあたり地盤微動測定では、名古屋大学大学院生西畑尚氏、大河内靖雄氏(現中部電力)に協力を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1)通商産業省立地公害局：公害防止の技術と法規(振動編) 産業公害防止協会
- 2)日本建築学会：建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説, 1991
- 3)高層住宅振動限度委員会：超高層住宅の長周期振動に対する振動感覚の調査研究, 1988
- 4)ISO2631-2: Guide for the evaluation of human exposure to whole body vibration, 1989
- 5) 野田千恵子、石川孝重：広振動数範囲を対象とした水平振動感覚の評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文誌, No.506, pp.9-16, 1998.4
- 6) 石川孝重、野田千恵子：水平振動を受ける被験者の状況が知覚域に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文誌, No.524, pp.9-14, 1999.10
- 7)西阪理永、塩沢伸明、福和伸夫：平面道路と高架道路に近接するサイトの地盤・建物振動性状の分析, 構造工学論文集, Vol45B, pp.93-101, 1999.3
- 8) 西阪理永、塩沢伸明、福和伸夫：大型車両走行時の高架道路近傍地盤における振動伝達機構の分析, 構造工学論文集, Vol43B, pp.415-426, 1997.3
- 9)新井洋、時松孝次他：距離減衰から推定した交通振動源のスペクトル特性と地盤の減衰定数, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp.1059-1064, 1998
- 10)福和伸夫、田中清和：振動実験に基づく鉄骨3階建て住宅の固有振動特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol41B, pp.279-288, 1995.3
- 11)新田文夫、安藤信好：小規模建築における微小振動についての理論的考察, 日本建築学会計画系論文誌, No.468, pp.1-10, 1995.2
- 12)安藤信好、新田文夫他：小規模建築物の交通振動制御の一手法, 日本建築学会計画系論文誌, No.537, pp.29-36, 2000.11
- 13)太田、後藤：横波速度と土質工学的諸指標との関係式の構成, 自然災害資料解説シンポジウム講演資料, 1977
- 14)西阪理永、福和伸夫：交通振動問題における車両動荷重特性に関する検討, 日本建築学会構造系論文誌, No.491, pp.65-72, 1997.1

(2002年5月10日原稿受理, 2002年10月9日採用決定)