

大型車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

A STUDY ON THE PROPAGATION MECHANISM OF TRAFFIC-INDUCED VIBRATIONS IN CASE OF ELEVATED HIGHWAY

西阪理永*, 塩沢伸明**, 福和伸夫***

Riei NISHIZAKA, Nobuaki SHIOZAWA and Nobuo FUKUWA

In order to evaluate the dynamic characteristics of the traffic-induced vibrations in the neighborhood of an elevated highway, a traffic vibration test is conducted. The wave propagation mechanism is investigated by detecting the wave paths and sensitivity of responses at different points on the existence of expansion joints, running velocity and loading condition. It was understood that the surface unadjustment in the expansion joints can be one of the important sources of vibrations. The effect of this unadjustment is considerable not only at the place of the nearest column but also at the base of the next columns. Also, it became clear that dynamic properties of the bridge itself can play an important role on the level of vibration. It was observed that resonance can be happened by matching the frequency of vehicle dynamic load and the natural frequency of bridge.

Keywords : traffic-induced vibration, elevated highway, vehicle dynamic load, joint in bridge, running speed, loading condition

交通振動, 高架道路, 車両動荷重, 伸縮継手の段差, 走行速度, 積載状況

1. はじめに

世界有数の地震国である我が国では、古くから耐震工学が重要視され、地震動に強い構造物を設計するための研究が盛んに行われてきた。近年では、地震動を震源（断層運動）まで遡って、発震から波動伝播のプロセス全体として捉える必要性が認識され、地震学・地質学といった理学の分野の知識も採り入れた地震工学が急速に発達している。一方、我が国は世界有数の先進国でもあり、狭い平野部に、環境振動の源である道路、鉄道、工場等の施設と、電子顕微鏡施設、核磁気共鳴装置、加速器施設、半導体工場等の微振動に対して非常に敏感な精密施設が隣接せざるを得ない場面が急増しつつあり、研究機関や精密工場を中心に深刻な問題となっている。これらの振動対策に対応するためには、従来の主に人間の体感を対象とした環境工学的な研究のみでは不十分であり、地震工学における地震動の扱いと同じく環境振動に関しても、振動発生源まで立ち戻って伝播のプロセスを

分析することが重要となる。環境振動の振源は、地震動の震源に比べて極端に近い位置にあり、目で見て特定できる場合も多く、その点では有利である。しかし、近い分だけ振源そのものの特性が支配的となることから、地震動を考える際の震源の取り扱い以上に振源特性の評価精度が要求される。また、環境振動は局所的な地盤条件にも大きく左右されるため、近傍地盤における波動伝播性状についての詳細な検討が不可欠である。

著者らはこれまで、最も身近な環境振動源の一つである平面道路交通振動について、名古屋大学構内（硬質地盤）¹⁾、名古屋港金城埠頭（軟弱地盤）^{2,3)}において車両走行実測データを蓄積し、振源特性と地盤内波動伝播性状に関する様々な検討を行ってきた。本論文では、自動車交通振動問題の次のステップとして、高架道路交通振動について車両走行実測結果に基づく考察を行う。

近年、都市部の高架道路においては、道路網の発達に伴い、交通振動に対する付近住民からの苦情の例も多

注記) 本論文の一部は参考文献22)に発表したものである。

* 名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生・修士(工学)
日本学術振興会特別研究員

** 名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻 大学院生

*** 名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻 助教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, School of Eng., Nagoya Univ., M. Eng.,
JSPS Research Fellow

Graduate Student, Dept. of Architecture, School of Eng., Nagoya Univ.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, School of Eng., Nagoya Univ., Dr. Eng.

く、路面調査の実施や路面の舗装補修工事等の対策が講じられている。高架道路交通振動に関する実測^{4)~6)}、模型実験⁷⁾、解析的研究^{4),8)~10)}も各種行われてきており、特に高架橋本体に関する振動軽減対策として、動吸振器(TMD)等制振装置の開発・設置^{6),10)~12)}や、ジョイント部の段差改良^{9),13)}あるいは多径間連続桁の採用¹⁴⁾等について、様々な報告がなされている。また、ジョイント部段差や路面凹凸に関連して道路橋に作用する自動車動荷重に関する研究の例⁴⁾もある。近年の高架橋の振動制御に関する研究成果については、土木学会の第1回~3回の振動制御コロキウムや橋梁交通振動に関するコロキウムに集約されており、これらの論文集の中には、高架橋の振動特性の一般的傾向を整理した研究が幾つか示されている^{14)~15)}。特に文献14)では、既往の実験結果をもとに、車両条件・路面条件・構造条件・地盤条件などに関連した体系的な整理を行っており、現状の知見が集約して示されている。しかし、文献14)中に指摘されているように「実橋での測定が容易でないので重量変化、速度変化の実測事例は少ないのが現状」である。また、文献17)では各種走行条件に対する地盤の応答性状を非常によく分析されているが、残念ながら振動レベル(dB)での議論に留まっており高架橋に伴う交通振動で重要となる振動数の議論がなされていない。

2. 実測の概要

実測は、供用直前の高架道路において、10tonダンプトラックを深夜単独走行させて行った。実測対象は、車

表1 車両各部の重量

	前輪ばね上	前輪ばね下	後輪ばね上	後輪ばね下	(単位 ton) 総重量
満載時	4.8	0.7	12.7	2.1	20.3
空載時	3.9	0.7	4.1	2.1	10.8

両、高架橋ならびに近傍地盤である。

使用した10tonダンプトラックの車両各部の軸重量を表1に示す。実測対象の高架道路は、鋼床版・鋼製連続箱桁を採用した鋼製T型橋脚である。基礎構造形式は場所打ち鉄筋コンクリート杭であり、支持層は深さ24m、N値50以上の海部・弥富累層である。名古屋地盤図¹⁰⁾による当該計測地付近のボーリング柱状図を図1に示す。図より、上部20m程までは比較的N値の変動が大きく、その下部に約10m程、N値50以上の砂礫層が分布している。

振動実測を行ったのは、ある2本のピア間の50m区間であり、一方のピア上には伸縮継手（ジョイント部）が

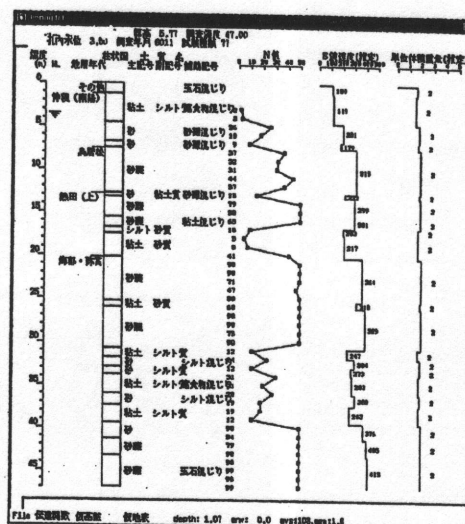


図1 ボーリング柱状図

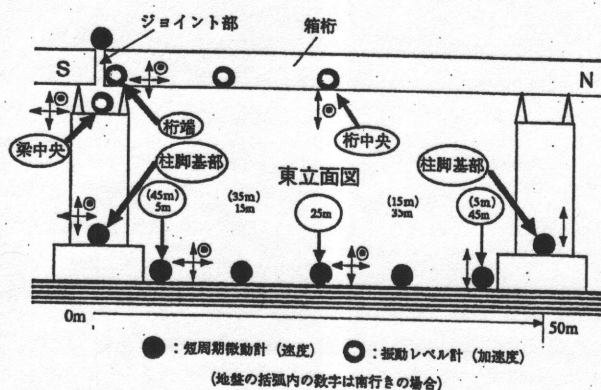


図2 高架橋・地盤上の計測点の配置

表2 走行条件一覧

[illegible]

存在する。この区間に計測点を高架橋・地盤上で合計13ヶ所（計31成分）設け、実測を行った。各計測点の配置を図2に示す。柱脚基部・地盤上では動コイル型の微動計（1秒計）を用いて速度波形を記録し、高架橋上では振動レベル計（せん断型圧電式加速度計）を用いて加速度波形を記録した。得られた速度波形については、評価基準を統一するため、A/D変換後に振動数領域で微分して加速度波形にしている。トラック上には、車両が路面に与える振動外力（車両動的付加荷重⁴⁾）を推定する目的で、前後輪のばね上、ばね下にひずみゲージ型加速度計を設置し、走行時の上下加速度波形を記録した。動的付加荷重は、実測より得られた上下加速度記録と表1に示した車両各部の重量を用いて慣性力の和の形で求めた。

本実測では、各走行条件が近傍地盤の応答に与える影響を明らかにするため、各種の走行ケースを設定した。走行ケース一覧を表2に示す。走行速度は30, 60, 80km/hの3ケースを、積載状況は満載（20.3t）と空載（10.8t）を採用した。また、高架橋ジョイント部通過の有無の影響を考察するために、同一車線（北行左側走行車線）を北行（ジョイント部あり）、南行（ジョイント部なし）の両方向で走行させた。なお、参考のために追越車線で

の走行も行っている。

3. 高架橋・地盤の常時微動特性

図3に、計20分間の常時微動計測から得られた平均加速度フーリエスペクトルを、高架橋桁中央部と桁端部、梁中央部と柱脚基部、地盤上5, 25m地点の組み合わせで示す。橋軸平行方向（NS）成分に関しては、桁中央と桁端の動きはほぼ等しいと考え、桁端のみで代表させている。微動計測は深夜に行ったが、高架橋下の一般道路の交通量は多く、微動記録は平面道路を走行する車両の影響を多分に受けていた。供用前的高架道路のため、高架上を走行する車両は無い。平均フーリエスペクトルを求める際には、サンプル長40.96秒（データ数8,192個）の波形2,238個のフーリエスペクトルをアンサンブル平均した。図より、橋脚全体の橋軸平行（NS）方向の固有振動数は3.3Hz、桁の鉛直（UD）方向は主に3.0Hzであることが分かる。これらの振動数は既往の実測事例ともよく対応している¹⁸⁾。橋軸直角（EW）方向に関しては、1.5, 4.0, 11~14Hz等多くの振動数で卓越が見られ、複雑な固有振動特性を示している。

平面道路交通振動の影響を除去し、静寂時の地盤の卓

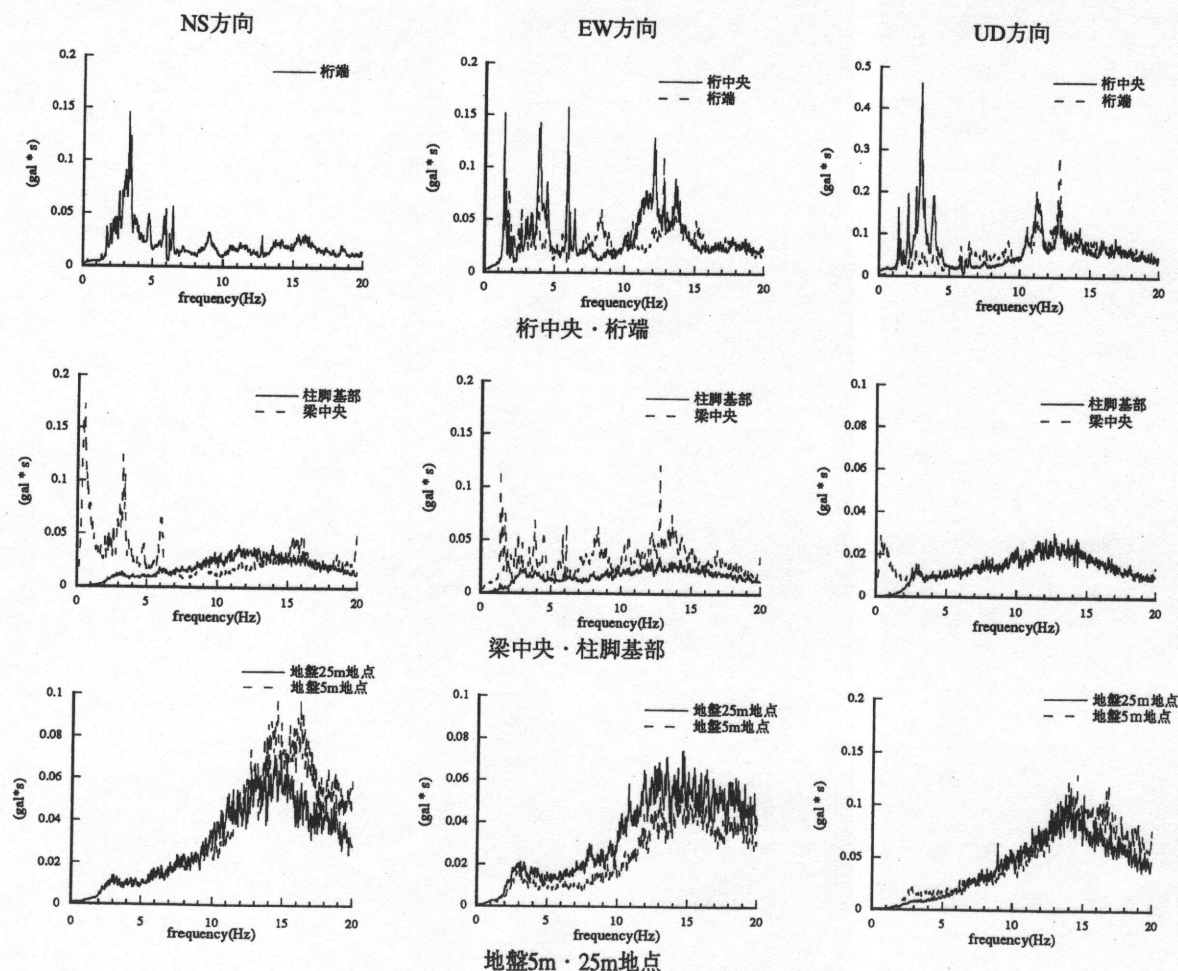


図3 常時微動記録による平均加速度フーリエスペクトル

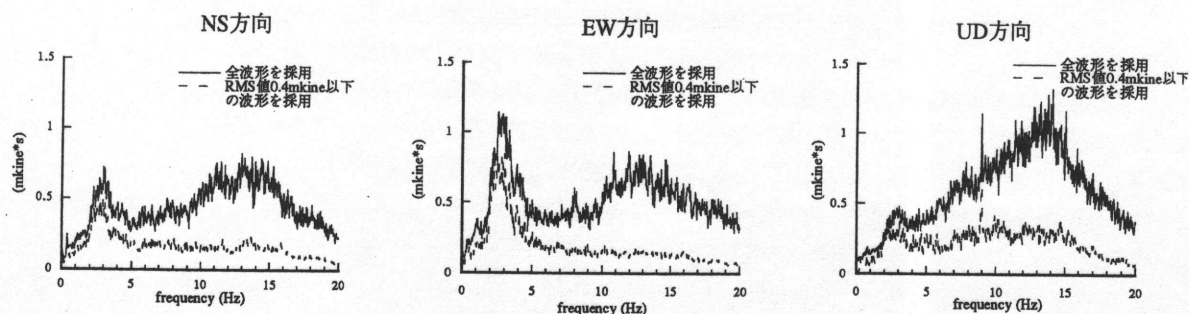


図4 地盤の平均速度フーリエスペクトルに及ぼす平面道路交通振動の影響（地盤25m地点）

卓越振動数を求めるために、40.96秒間（データ数8,192個）のRMS値が0.4mkine以下となる速度波形サンプルのフーリエスペクトルのアンサンプル平均を図4に示す。参考までに図中には、RMS値にかかわらず全継続時間（2,238個のサンプル波）を用いた平均速度フーリエスペクトルも示す。図より、地盤の卓越振動数は概ね3.0Hzであり、10～15Hz付近の成分は平面道路交通振動の影響と思われる。この結果は、車両のばね下振動数^{1),14),18)}に対応する。

4. 走行条件が地盤応答性状に与える影響

高架道路上で10tonダンプトラックを単独走行させた場合の、車両動的付加荷重、高架橋・地盤の応答性状について、走行条件が与える影響を分析する。車両走行時の全体系の振動性状について概略的傾向を述べた上で、高架橋ジョイント部通過の有無、走行速度、積載状況、走行する車線に着目して考察する。

4.1 車両走行時の高架橋・地盤応答の全体的特性

考察対象を満載・60km/h・北行走行車線走行のケースに限定し、車両が当該計測地直上の高架道路約340m区間（20.48秒）を走行する際の車両動的付加荷重、高架橋・地盤上各地点の応答性状の時間変化について検討する。

図5に、各計測地点で得られた波形を方向成分毎に示す。図上部には、応答波形の時間軸に対応する車両の高架橋上の位置を合わせて示す。図より、橋軸平行（NS）方向と鉛直（UD）方向においては、ジョイント部段差通過時の衝撃的成分が支配的であることが分かる。車両動的付加荷重振幅はジョイント部通過時に大きく成長し、高架橋・地盤応答の最大値も、桁中央UDを除けば、同時刻に発生している。また各部の振動応答には、直近のジョイントのみならず、2径間（100m）、3径間（150m）先の隣接ジョイント部の影響も明確に認められる。また、地盤応答に関しては、複数の経路で伝播した波動が混在している。一つは、各ジョイント部で発生した振動が直下の柱脚部から地盤内を距離減衰しながら伝播してきた波動である。このことは、文献¹⁸⁾においても「高架橋周辺の地盤振動は前後100mにある幾本からの

振動が伝播し重なり合っている」と指摘されていることに対応する。他の一つは、隣接ジョイント部で発生した振動が高架橋全体の振動を励起させ、その結果としてほぼ同時に複数の柱脚部から伝播した波動である。このように、異なるプロセスで複数の橋脚から波動が地盤に放出されるため、これらを分離するのは難しい。橋軸直角（EW）方向に関しては、ジョイント部通過時の影響に加えて、車両が桁中央付近を通過する際に発生する応答成分もかなり支配的である。特に、EW方向の地盤応答が、車両のジョイント部通過時の瞬間的な応答を除くと、全方向成分の中で最も大きくなっていることは注目すべきであり、これは既往の研究^{20)~21)}でも一部指摘されている通りである。一般に平面道路に起因する交通振動では鉛直成分が卓越すると言われているのに対し、高架道路の場合の特徴的な点である。

図6には、図5に対応する加速度フーリエスペクトルを示す。NS応答に関しては、桁端部と梁中央部はほぼ等しい振動特性であり、約3、4Hzに卓越が見られる。これは、図3の常時微動特性とよく対応している。EW応答に関しても、桁端部と梁中央部はほぼ同一の振動特性を有しているが、常時微動で卓越していた多くの振動数の中から4Hz付近のみが選択されている。4Hz付近の卓越は、桁端部に比べて桁中央部で5割ほど増大している。UD応答に関しては、桁端部と梁中央部の振動特性はオーダーが異なり、梁のたわみの影響が現れている。また、桁端部に比べて桁中央部で3Hzと4Hzが増大している。3Hzの卓越は常時微動でも見られたものである。NS,EW応答では柱脚基部に対して柱頭部（梁中央部）が大きく振動しているが、UD方向の梁中央部と柱脚基部応答はほぼ等しく、図5よりジョイント部通過時の瞬間的な応答振幅の大きさに差があるのみであることが分かる。これは、柱の鉛直方向の剛性が極めて高いためであると思われる。柱脚基部応答を方向成分によって比較するとEW応答が他に比べて大きく、特に4Hzの卓越が目立つ。この結果、地盤応答に関しても、静寂時の卓越振動数である3Hzも見られるが、4Hz付近の卓越も目立つ。これらの3Hzや4Hzの成分は、車両の動的付加荷重にばね上振動数の寄与として多く含まれる成分であり、高架橋の振動数

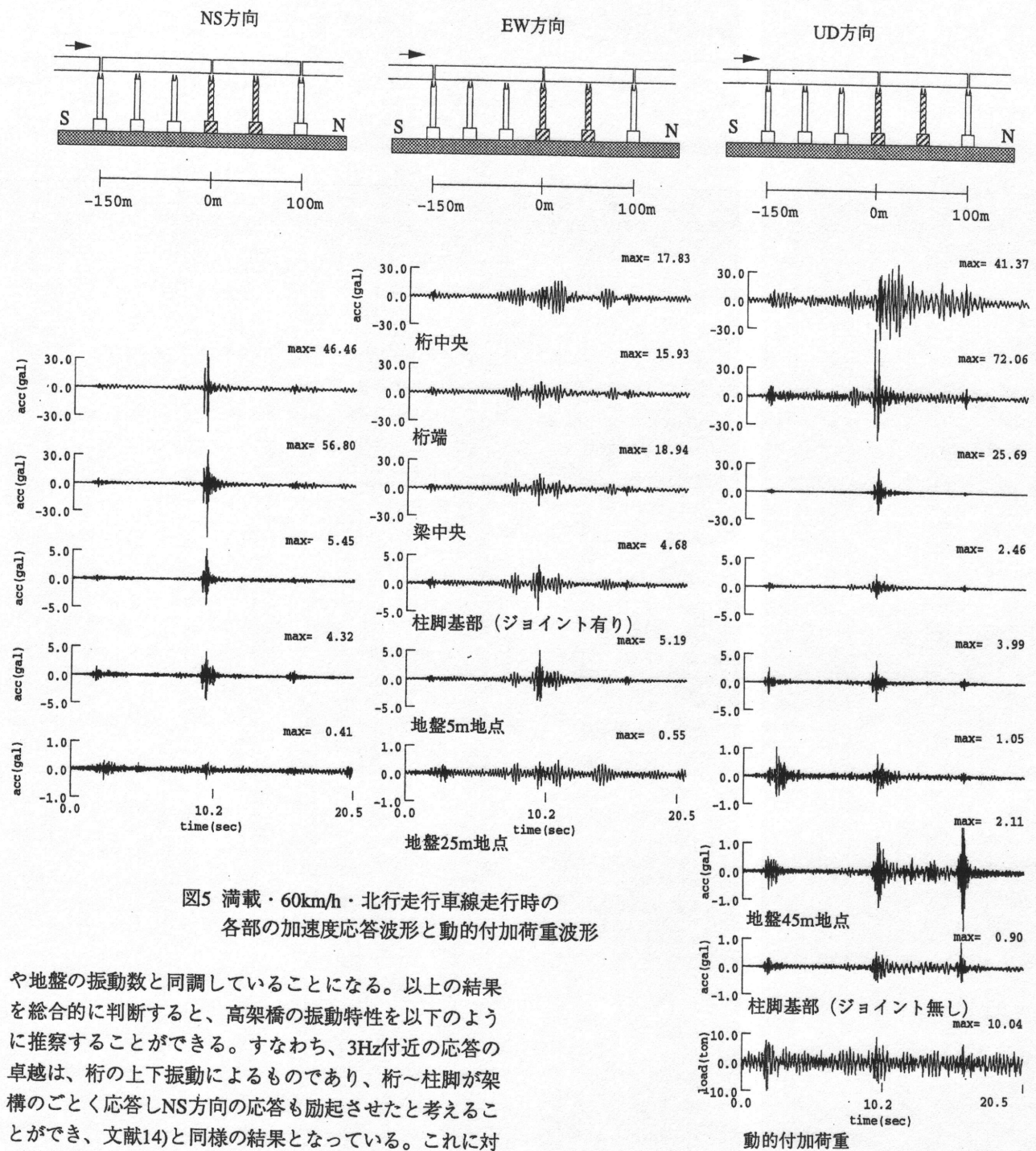


図5 満載・60km/h・北行走行車線走行時の各部の加速度応答波形と動的付加荷重波形

や地盤の振動数と同調していることになる。以上の結果を総合的に判断すると、高架橋の振動特性を以下のように推察することができる。すなわち、3Hz付近の応答の卓越は、桁の上下振動によるものであり、桁～柱脚が架構のごとく応答しNS方向の応答も励起させたと考えることができ、文献14)と同様の結果となっている。これに対して4Hz付近の卓越は、梁中央・桁中央・桁端のEW応答で明確に認められ、桁中央部が他の部位に比べて増幅し上下応答も同時に励起されていることから、橋脚の横振動と桁の横・上下振動からなる横ねじれ振動の連成応答であると判断される。さらに、横ねじれ振動であることの可能性を明確にするために、図7に満載・60km/hで追越車線を北行走行させた場合の各部の加速度応答波形を示す。(ただし、桁中央のNS方向に関しては桁端とほぼ同様の応答を示すものとみなして桁端のNS方向で代用している。) また、図8に各部のEW応答の加速度フーリエ

スペクトルを走行車線走行時と追越車線走行時とで比較して示す。図5と図7より、全体的傾向として外側車線である走行車線走行時に各部の応答が増大していることが分かる。中でもEW応答の増加が大きく、この原因は図8のフーリエスペクトルから4Hzの応答成分の増加にあることが分かる。すなわち、動荷重作用位置が外側に偏心したことによる横振動・横ねじれ振動であることを裏付ける結果となっている。

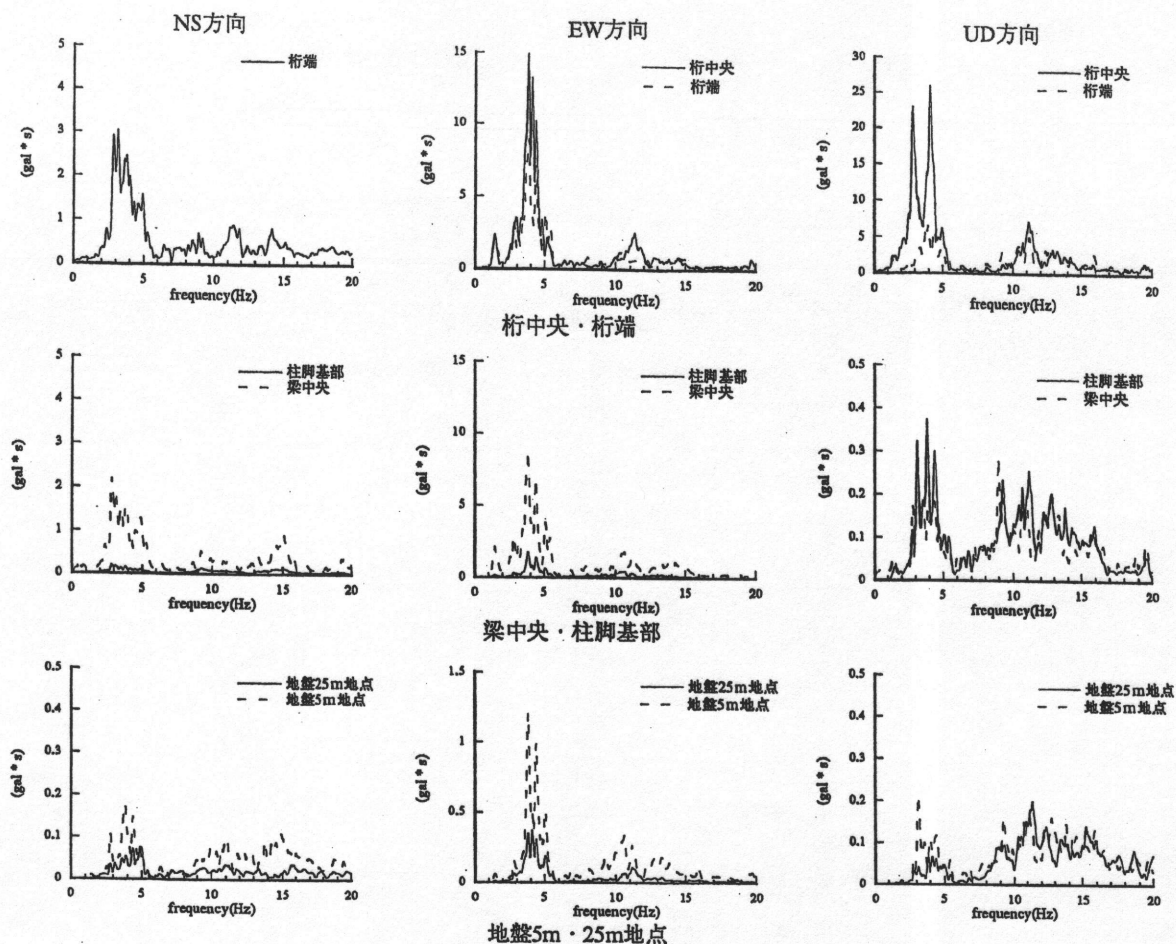


図6 満載・60km/h・北行走行車線走行時の各部の加速度フーリエスペクトル

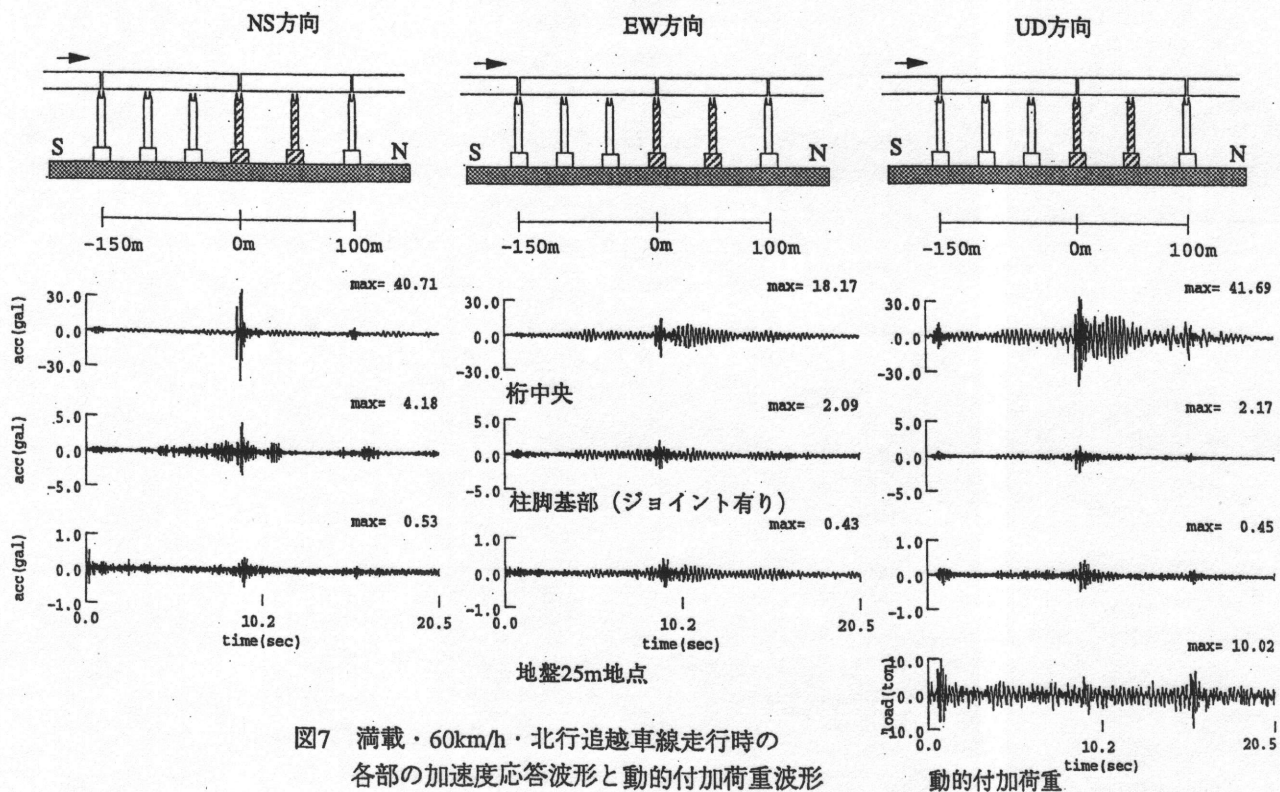


図7 満載・60km/h・北行追越車線走行時の各部の加速度応答波形と動的付加重波形 (桁中央のNS方向は桁端で代用)

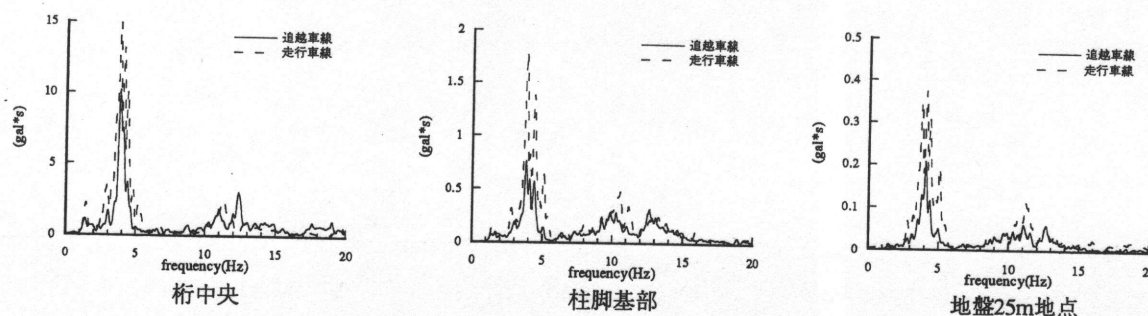


図8 走行する車線の違いによる加速度フーリエスペクトルの変化 (EW方向)

4.2 ジョイントの影響に関する考察

高架橋ジョイント部の影響を考察するため、満載・60km/h・北行走行（ジョイント部あり）と南行走行（ジョイント部なし・同車線を逆走）の結果を比較する。継続時間は双方とも2.56秒を採用している。これは、車両が、注目しているピアの直前から次のピアの直前まで走行するのにかかる時間に相当する。

図9に、5m (UDのみ)、25m、45m (UDのみ) 地点の地盤応答波形を示す。25m地点の波形を観察すると、ジョイント部通過時の影響が、北行ケースのNS、UD応答に認められ、特にUD応答に顕著である。UD応答に関しては、北行・南行共に25m地点よりも45m地点の方が振幅が大きく、45m地点の振動数性状は5m地点のそれと類似している。これは、図5の考察で述べたように、ピア通過時の発生振動が高架橋を介して隣接ピアの柱脚部から伝播したことによるためと思われる。従って、ジョイント部を有しないピアの近傍地盤においても、隣接してジョイント部を有するピアがある場合には、比較的大きな振動応答が発生することが分かる。25m地点のEW応答に関しては、前述のようにジョイント部の影響は支配的でなく、継続時間の長い応答となっている。

図10に、図9の25m地点の波形の加速度フーリエスペクトルを示す。特徴的な点は以下の2点である。一つは、ジョイント部の影響はUD応答に顕著に現れ、特に8~15Hz付近の応答が増大することである。これはジョイント部で車両ばね下の振動数が励起されたことによると考えられる^{1),3),14),18)}。他の一つは、EW応答へのジョイント部の影響は相対的に小さいことである。4Hz付近の卓越も、ジョイントの有無による差は比較的小さく、他の方向に比べて非常に大きなパワーを有してい

る。これは、図5の考察でも述べたように、車両が桁中央付近を通過する際に発生する振動成分が支配的であることによる。

4.3 走行速度の影響に関する考察

満載時・北行走行時に、走行速度の変化が柱脚基部および地盤応答に及ぼす影響について考察する。対象ピア直上付近の高架道路上で、同一長さ部分を車両が通過している時の応答特性の違いを分析するため、30km/hは20.48秒、60km/hは10.24秒、80km/hは7.68秒の区間を採用した。

図11に、動的付加荷重と、柱脚基部、地盤上5m地点、25m地点の加速度応答波形のRMS振幅値の時間変化を、距離軸で示す。RMS値は0.16秒間の移動平均値であり、0.01秒ずつずらして算定している。図12には、対応する

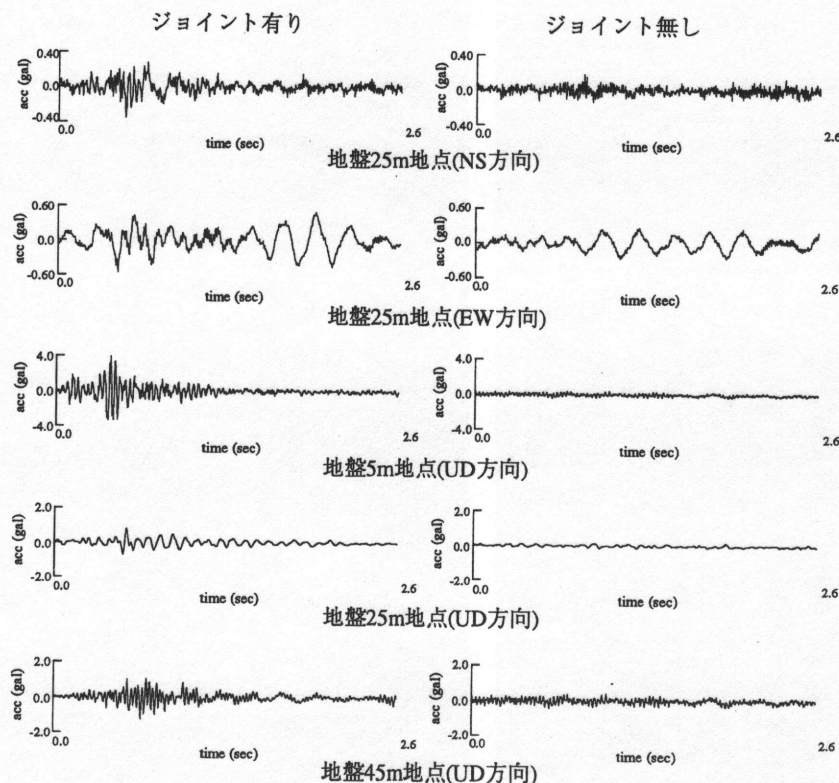


図9 ジョイント通過の有無による地盤上加速度応答波形の比較

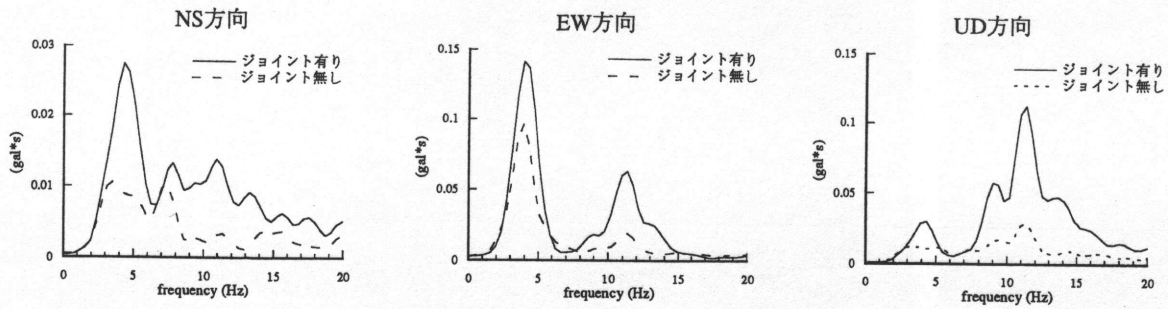


図10 ジョイント通過の有無による加速度フーリエスペクトルの変化 (地盤25m地点)

波形のパワースペクトルを示す。

動的付加荷重は、走行速度と共に全時間に渡って増大し、ジョイント部通過時に加え、ピア間の走行中にも大きな振幅を示す。柱脚基部、地盤上のNS, UD応答は、ジョイント部通過時のみ振幅が増大する。これに対してEW応答は、ジョイント部通過時のみならず、桁上走行時にも大きな振幅となる。特に地盤25m地点の応答に着目すると、80km/h走行時のEW方向応答は、全時間に渡ってうなりのような大振幅応答を示しており、他の方向成分に比較して顕著な応答増加を示している。

図12より、動的付加荷重の卓越振動数は3~4Hz付近と

11~12Hz付近にあり、それぞれ後輪ばね上、後輪ばね下の固有振動数に対応している。走行速度による固有振動数の変化はほとんど見られないが、固有振動数付近のスペクトル振幅の増大が認められる。柱脚基部、地盤上の卓越振動数はいくつか認められるが、特に3~4Hz付近が顕著である。これは、橋脚の横振動と桁の横ねじれ振動が連成した固有振動数の可能性があり、走行速度が上がると卓越する傾向にある。3~4Hzは車両後輪ばね上の固有振動数に対応しており、動的付加荷重に含まれるこの振動数成分が高架橋の3~4Hz付近の固有振動数成分を刺激したと思われる。

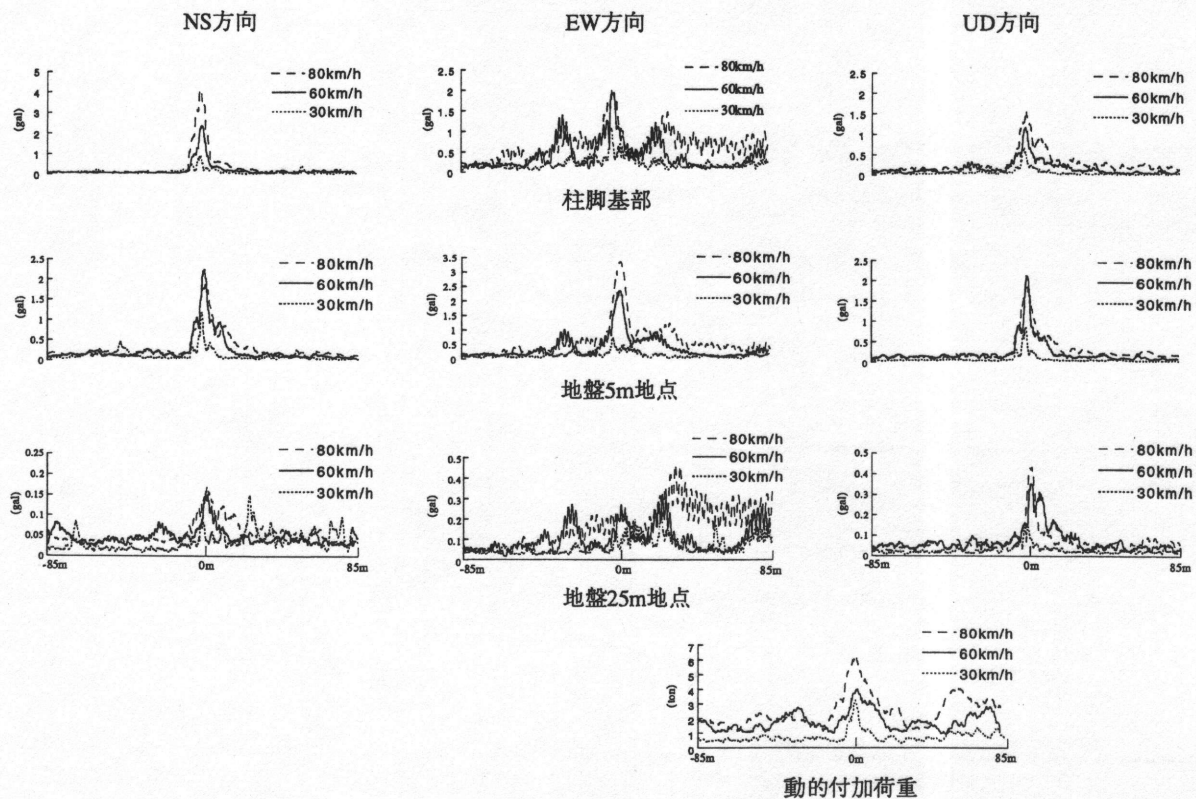


図11 走行速度の違いによる加速度RMS波形の比較 (満載時)

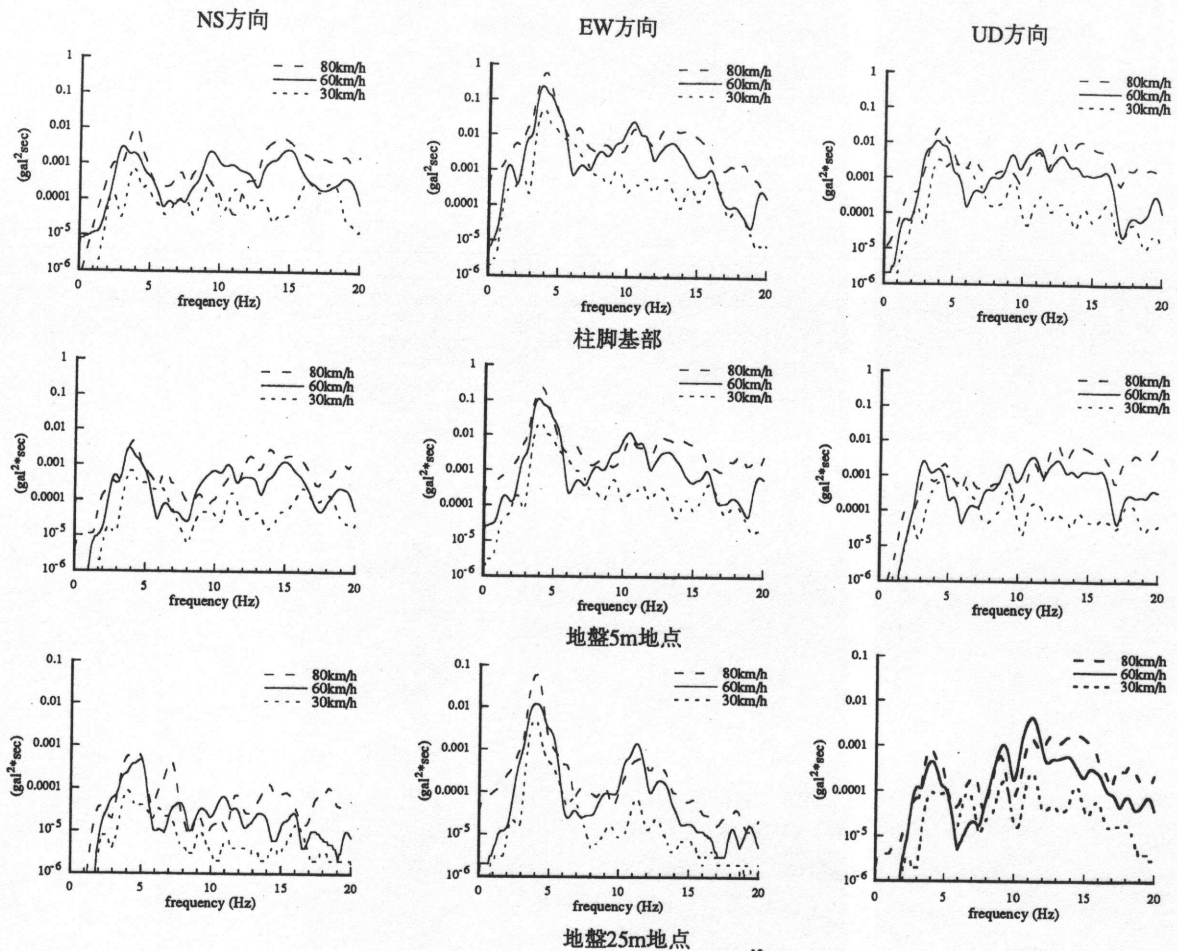


図12 満載時の加速度パワースペクトルの
走行速度依存性

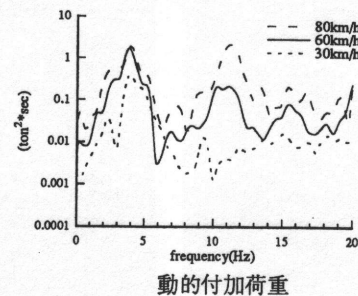
4.4 積載状況の影響に関する考察

60km/h・北行走行時に、積載状況の変化が柱脚基部および地盤応答に及ぼす影響について考察する。採用した継続時間は10.24秒である。

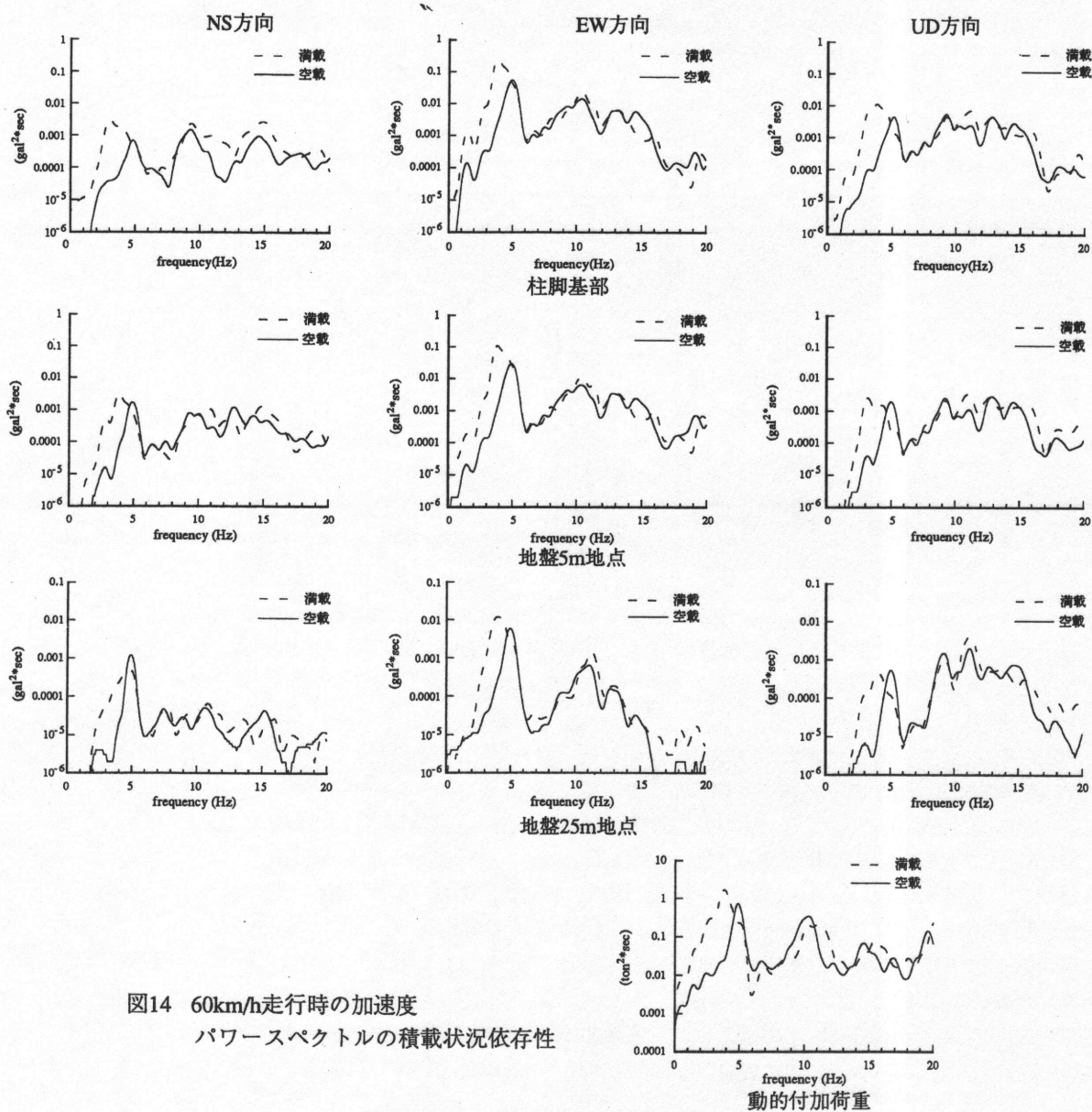
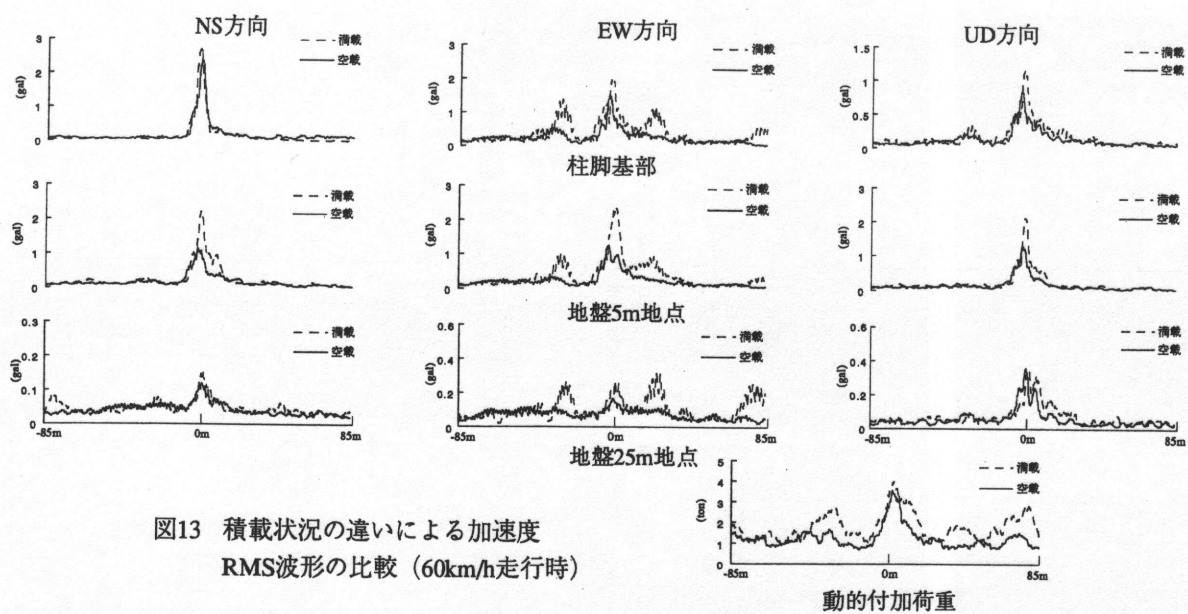
図13に、動的付加荷重と柱脚基部、地盤上5m地点、25m地点の加速度応答波形のRMS振幅値の時間変化を示す。図14には、対応する波形のパワースペクトルを示す。

動的付加荷重に関しては、ジョイント部通過時には大きな差は見られないが、ピア間の走行中に満載時の方が大振幅となる傾向にある。柱脚基部、地盤上においては、NS, UD応答は、ジョイント部通過時のみ振幅に差が生じ、他の時間には積載状況の影響は小さい。一方、EW応答に関しては、満載時にはジョイント部通過時のみならず、桁上走行時にもかなり大きな振幅となっている。

図14より、積載状況による動的付加荷重の振動数特性の違いは顕著であり、後輪ばね上に対応する卓越振動数は、満載時には空載時よりも低振動数に移行している。



これは、トラックの重量増加効果によるためであると思われる^{2),3)}。柱脚基部、地盤上において満載時に顕著に見られる4Hzの卓越は、空載時には1オーダー近く減少し、5Hzの卓越として認められる。図15、図16では、高架橋桁中央部（NSは桁端部）と柱脚基部における各方向成分の加速度応答波形と非定常スペクトルを、満・空載時と比較する。図より、満載時の桁中央部では、3方向共にほぼ全時間に渡って3~4Hzの卓越が見られるが、空載時には見られず、その影響が柱脚基部の応答に反映されていることが分かる。満載時の動的付加荷重の4Hzの卓越が空載時には5Hzにシフトしたことで、高架橋の固有振動数から外れて共振が起こらなかった可能性が指摘される。この点については、今後、より詳細な検討が必要であると思われる。



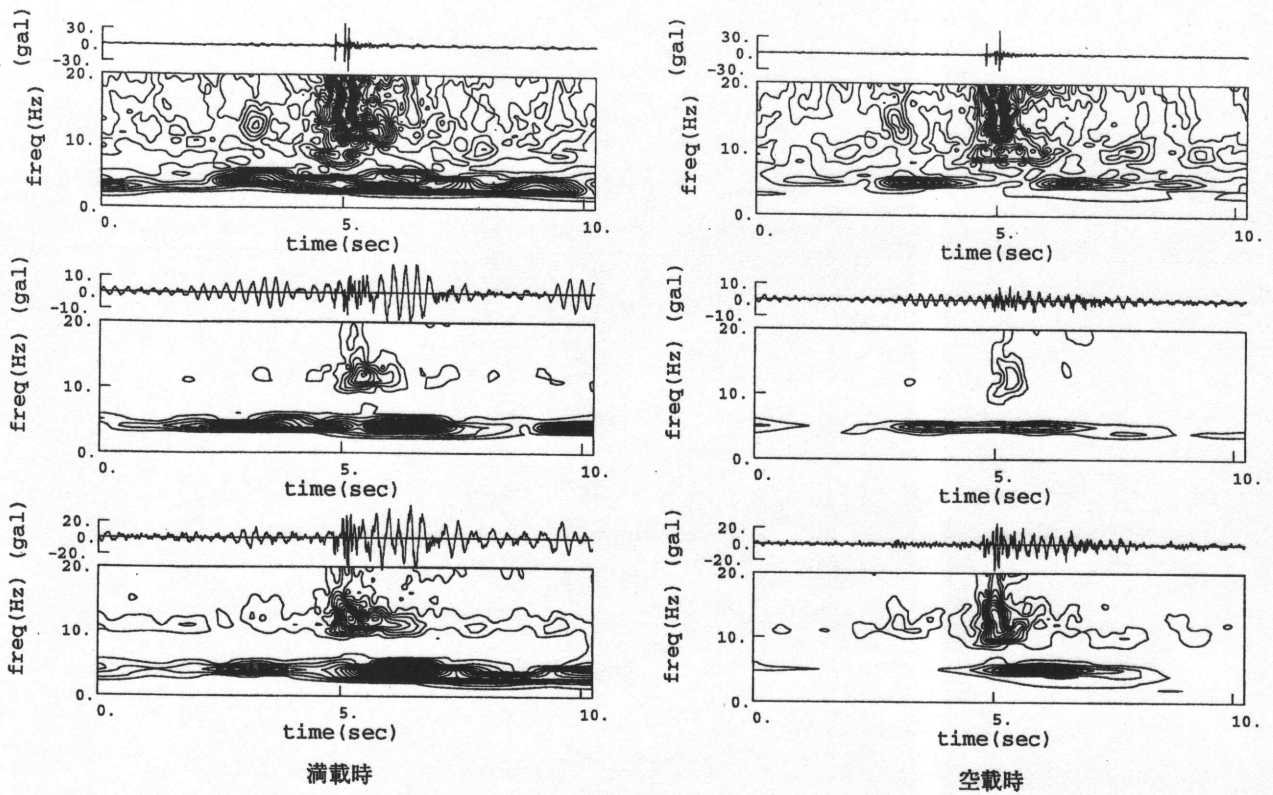


図15 積載状況の違いによる桁中央部の加速度応答波形と非定常スペクトルの比較(60km/h走行時)

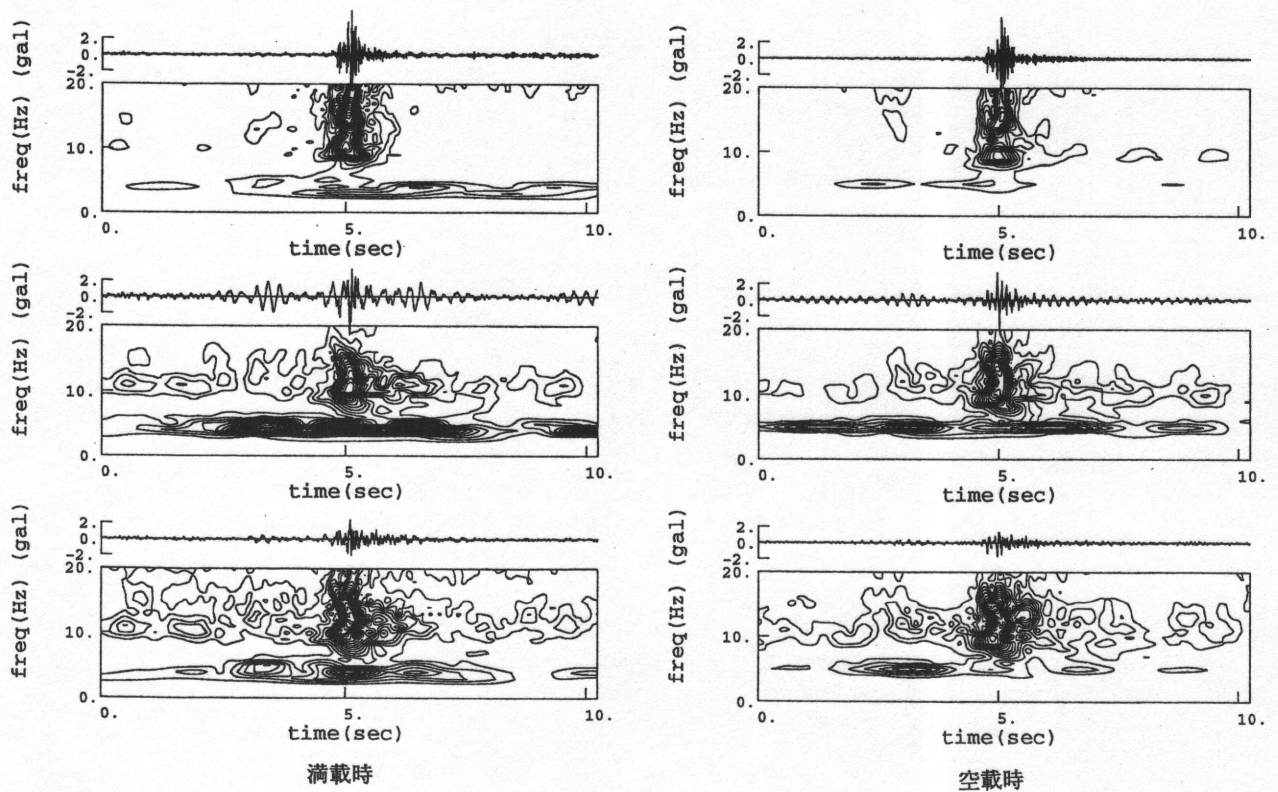


図16 積載状況の違いによる柱脚基部の加速度応答波形と非定常スペクトルの比較(60km/h走行時)

5. まとめ

本論文では、高架道路交通振動問題における車両動的付加荷重特性、高架橋及び近傍地盤での応答性状について、基礎的な分析を行った。

高架道路近傍地盤の振動応答性状は、車両動的付加荷重や高架橋各部応答の振幅及び振動数特性が複雑に絡み合った結果として定まるものである。従って、各種走行条件による車両、高架橋の振動性状の変化について、詳細に検討することが重要である。特に、車両と高架橋の固有振動数が近接する場合には、高架橋応答振幅は共振現象により増大し、地盤応答振幅も大きくなるため注意が必要である。なお、地盤応答は複数の柱脚部からの伝播波の重ね合わせであるため、その詳細な機構を明らかにすることは今後の研究課題としたい。

謝辞

本論文を作成するにあたって、振動実測等にご協力下さいました多賀直恒九大教授、美原義正名古屋大学技官、山田耕司豊田高専講師、石田栄介名古屋大学助手、荒川政知、西山拓一の両氏をはじめとする名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻構造設計工学講座の各氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 福和伸夫、西阪理永、浅野三男、多賀直恒、寺村彰：自動車走行外乱による地盤の振動性状に関する研究—実測記録の分析と薄層法によるシミュレーション解析—、構造工学論文集、Vol. 39B、pp. 95~104、1993.3
- 2) 西阪理永、福和伸夫、多賀直恒：軟弱地盤における交通振動の波動伝播性状に関する研究、第9回日本地震工学シンポジウム論文集、Vol. 1、pp. 511~516、1994.12
- 3) 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研究—平面道路における自動車交通振動問題に関する研究(その1)、日本建築学会構造系論文集、No. 491、pp. 65~72、1997.1
- 4) 横山功一：道路橋の設計自動車動荷重に関する研究、東京工業大学学位論文、1992.3
- 5) 薄井王尚、袴田文雄、梶川康男：4径間連続橋の振動測定、土木学会年次学術講演会講演概要集(第1部)、Vol. 43rd、pp. 862~863、1988
- 6) 横山功一、澤田憲文、岩津守昭、澤登善誠、右近大道、伊関治郎：動吸振器による道路橋の交通振動の軽減効果について、構造工学論文集、Vol. 38A、pp. 815~823、1992.3
- 7) 前原博、吉川実、吉川正昭：橋脚及び地盤の模型振動実験、土木学会年次学術講演会講演概要集(第1部)、Vol. 39th、1984
- 8) 松浦康夫、森尾敏、北角哲：高架橋から伝播するレーリ一波の特徴、土と基礎、Vol. 38、No. 4、pp. 49~55、1990
- 9) 梶川康男、沖野真、吉川実、杉本正信：高架橋と周辺地盤の交通振動予測と制振効果、構造工学論文集、Vol. 35A、pp. 597~605、1989.3
- 10) 岡林隆敏：交通振動制御の可能性—II. 道路橋に設置する動吸振器の効果について—、第2回振動制御コロキウム、Part A、1993.8
- 11) 川谷充郎：交通振動制御の可能性—III. アクティブコントロール、その他—、第2回振動制御コロキウム、Part A、1993.8
- 12) 川谷充郎、森淳彦：道路橋の交通振動に対する制振装置の開発、振動制御コロキウム、Part B、1991.7
- 13) 讃岐康博、梶川康男他：ジョイントレス工法の防振対策工としての妥当性の検討、第2回振動制御コロキウム、Part B、1993.8
- 14) 秋本正信：走行車両により発生する振動の特徴と対策の動向—I. 高架道路橋の振動—、第2回振動制御コロキウム、Part A、pp. 155~168、1993.8
- 15) 戸松往夫：走行車両により発生する振動の特徴と対策の動向—III. 地盤振動—、第2回振動制御コロキウム、Part A、pp. 155~168、1993.8
- 16) 梶川康男：道路橋の交通環境振動問題とその課題、第3回振動制御コロキウム、Part A、pp. 1~4、1995.8
- 17) 鳥野清：地盤振動の実態と振動低減対策、第3回振動制御コロキウム、Part A、pp. 5~26、1995.8
- 18) 秋本正信：橋梁交通振動の加振源対策、橋梁交通振動に関するコロキウム論文集、Part A、pp. 109~119、1995
- 19) 土質工学会中部支部：最新名古屋地盤図、名古屋地盤図出版会、1988
- 20) 阪神高速道路公団、(財)阪神高速道路管理技術センター：道路交通振動調査業務報告書、1982.3
- 21) 阪神高速道路公団、(財)阪神高速道路管理技術センター：道路交通振動調査研究検討会報告書、1984.3
- 22) 塩沢伸明、西阪理永、福和伸夫：高架道路における自動車走行時の地盤応答性状に関する研究(その1)、(その2)日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、Vol. D-1、pp. 239~242、1996.9