

平面道路と高架道路に隣接するサイトの地盤・建物振動性状の分析

A study on dynamic characteristics of soil and building
located near both national road and 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 propagation mechanism of traffic-induced vibrations on the soil and the building adjacent to both a national road and an elevated highway, microtremor tests and traffic vibration tests are conducted in twice. Under the ordinary vibration conditions for this site, it is understood that the vibrations caused by automobiles on the national road and the elevated highway coexist together on the soil, and that the vibration characteristic of a soil differs from point to point because of the differences of a distance and a direction from each road (vibration source). While soil responses in the EW(transverse) direction are strongly influenced by the traffic on the elevated highway, ones in the UD(vertical) direction are influenced by the traffic not only on the elevated highway but also on the national road. It is also cleared that the running conditions of automobiles such as classifications of roads, running velocities and loading conditions have great effects on the dynamic responses of the soil and the building.

Keywords : traffic-induced vibration, microtremor test, vibration source, wave propagation characteristic, classification of road, running condition of automobile

交通振動, 常時微動計測, 振動源, 振動伝播特性, 道路種別, 車両走行条件

1. はじめに

都市交通網の発達に伴い、狭い平野部に環境振動の源である道路・鉄道等の交通施設と、人間の居住空間や研究機関・精密工場等の微振動を嫌う施設が隣接せざるを得ない場面が急増しつつあり、路線延長工事中・供用後共に深刻な問題となっている。道路交通振動に限っていても付近住民からの苦情の例は多く、平面道路においては路面調査および路面舗装補修工事の実施、高架道路においては平面道路での対策に加えてジョイント部の段差改良^{1)~2)}や多径間連続桁の採用³⁾、更には動吸振器(TMD)等制振装置の開発・設置^{4)~7)}等の対策が講じられる場面も見受けられる。環境振動対策を考える際には、振動発生源が、対象とされる施設の極近傍にあるという性格上、振源そのものの特性が支配的となる。従って、振源近傍地盤における複雑な振動伝達機構に関しての詳細な検討が不可欠である。

著者らはこれまで、平面道路(硬質地盤⁸⁾・軟弱地盤⁹⁾

¹⁰⁾と高架道路^{11)~12)}において大型車両単独走行条件下での各種計測データを蓄積し、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。本論では、これまでの成果と既往の知見を踏まえつつ、交通量の非常に多い幹線道路と高架道路に挟まれた一画を対象とした交通振動計測を実施し、対象区域内の面的かつ総合的な振動環境の分析を行う。

2. 交通振動計測の概要

計測は、'94年と'97年の二度に渡って実施している。'94年の計測対象は車両・高架橋・地盤・建物であり、一般通行車両の少ない深夜に10tonダンプトラックの走行速度(30km/h, 60km/h, 80km/h)、積載状況(満載, 空載)、走行道路種別(高架道路, 平面道路)をパラメータとした車両走行実験を行った。また、対象建物の詳細な常時微動計測(pm3時頃, 30分間)および地盤・建物の常時微動計測(pm7時頃, 30分間)も行っている。一方、'97年の計測対象は主

注記) 本論文の一部は参考文献12)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 助手・博士(工学)

**住友林業株式会社 修士(工学)

***名古屋大学先端技術共同研究センター 教授・工博

Research Assoc., Dept. of Architecture, Graduate School of Eng., Nagoya Univ., Dr. Eng. Sumitomo Forestry & Co., Ltd., M. Eng.

Prof., C. for Co. Res. Adv. Sci. & Tech., Nagoya Univ., Dr. Eng.

に地盤上の2測線であり、am2時頃に一般車両通常走行時の振動計測(11分間, 20分間)を行った。また、参考のため昼間に別途、高架橋本体各部(計18地点)での20分間ずつの常時微動計測も実施している。図1に各計測点の配置と用いたセンサー種別を'94年, '97年共に併せて示す。紙面の都合上、'94年時の高架橋・車両の計測点並びに'97年時の高架橋常時微動の計測点については省いた。

当該高架橋の竣工時期は古く、橋梁の基本構造と言える単純(単径間)鋼鈑(I型)桁構造であり、床版はRC製かつ上下線独立タイプ、橋脚にはRC製のT型を採用している。また、基礎構造形式は場所打ちRC杭(杭長16m)である。計測対象建物はRC造ラーメン構造の4階建て事務所ビルで、平面形状は東西方向5スパン28m, 南北方向3スパン19mのほぼ長方形、軒高は14.4mであり、下部構造には

- ▲…'97 動コイル型微動計(速度&1秒計), NS/EW/UD
- △…'97 動コイル型微動計(速度&1秒計), UD
- ★…'97 サーボ型加速度計(高架橋梁中央), NS/EW/UD
- ☆…'97 サーボ型加速度計(高架橋梁中央), UD
- …'94 動コイル型微動計(速度&1秒計), NS/EW/UD
- ◎…'94 動コイル型微動計(速度&1秒計), NS/EW
- …'94 動コイル型微動計(速度&1秒計), UD
- ◇…'94 動コイル型微動計(速度&1秒計), UD, 建物詳細計測用

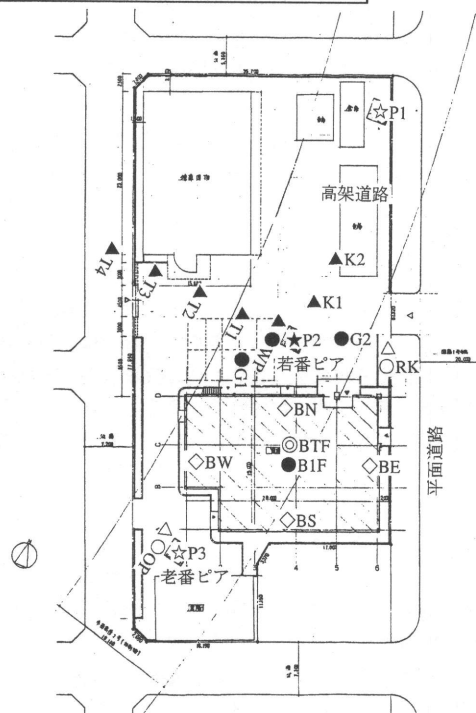


図1 計測点の配置と用いたセンサー種別('94年, '97年)

表1 車両各部の重量

	(単位 ton)			
	前輪ばね上	前輪ばね下	後輪ばね上	後輪ばね下
満載時	4.3	0.7	12.1	2.1
空載時	3.8	0.7	3.5	2.1
総重量	19.2			

杭長19.7mの場所打ちRC杭を採用している。支持層は深さ18m付近から出現するN値50以上の砂礫層(海部・弥富累層)である。なお、当該高架橋は対象建物の直上を通過する位置関係となっていることが大きな特徴である。

表1に'94年の計測で使した10tonダンプトラックの車両各部の重量を示す。車両が路面に与える振動外力(車両動的付加荷重¹³⁾)は、車両の前後輪ばね上・ばね下に設置したひずみゲージ型加速度計より得られた走行時の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⁸⁾。

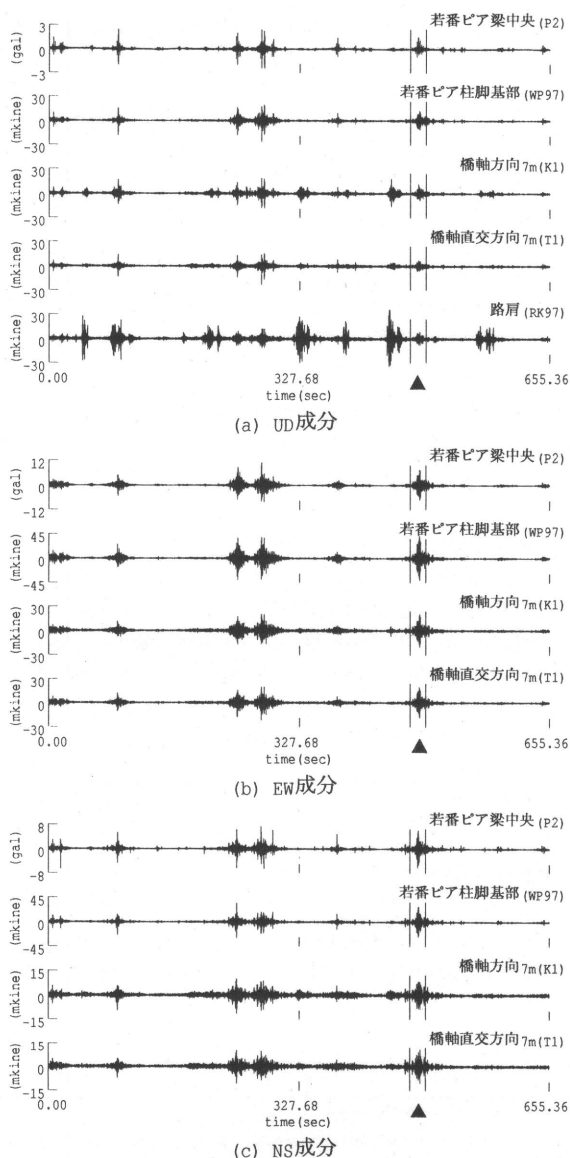


図2 通常交通状況下での各地点の波形(11分間, '97年)

3. 通常交通状況下での地盤の振動特性

図2に'97年の計測における路肩(RK97)と若番ピア梁中央(P2)、若番ピア柱脚基部(WP97)、橋軸方向7m(K1)および橋軸直交方向7m(T1)の11分間の波形を一覧する。'97年の計測では、若番ピア柱脚基部においては基部西端(橋軸直交線上)と北端(橋軸線上)の2箇所に計測点を設けているが、これより先、若番ピア柱脚基部(WP97)とは基部西端のことを指し、「若番ピア柱脚基部北端」と区別する。

図2(a)の路肩UD成分と若番ピア柱脚基部UD成分を比較すると、その様相は大きく異なっている。若番ピア梁中央の波形を参照することにより、柱脚基部においては高架道路に起因する振動が支配的であることが分かる。一方、路肩においては、よく観察してみると平面道路に起因する振動に加えて、高架道路での振動が柱脚基部より伝播していることが分かる。橋軸方向7m・橋軸直交方向7mの波形からも明らかなように、地盤応答のUD成分には、平面道路と高架道路の双方からの振動が混在しており、特に橋軸方向7mにおける平面道路交通振動の影響は相対的に大きい。これは、図1より、橋軸方向7mと橋軸直交方向7mの平面道路からの距離の差によるものであることが分かる。また、柱脚基部位置の方が橋軸直交方向7m地点より平面道路からの距離に近いのにも拘わらず平面道路の影響が小さいのは、橋脚基礎における入力損失効果によるものと予想される。なお、極僅かではあるが、若番ピア梁中央UD成分にも地盤からの入力即ち平面道路交通振動の影響が認められる。

次に図2(b)、(c)のEW成分(橋軸直交方向振動成分)、NS成分(橋軸方向振動成分)について観察してみると、UD成分の様相とは大きく異なり、地盤応答には柱脚基部から伝わる振動が支配的であることが分かる。また、その特性

は特にEW成分において顕著である。

以上の観察結果を踏まえた上で、図3に若番ピア柱脚基部と橋軸方向7m・橋軸直交方向7mとのコヒーレンスを示す。コヒーレンスは図2の11分間の速度記録全体を用いて20.48秒×32波のアンサンブル平均により求めている。なお、UD成分については若番ピア柱脚基部北端の記録も存在するため、図中には点線で、基部北端と橋軸方向7mとのコヒーレンスも示してある。

図3より、地点や振動方向成分によらず全体的に高振動数域でのコヒーレンスの低下は見受けられるが、5Hz以下の振動数領域での比較を行うと、EW成分の相関が非常に高い結果となっている。図には示していないがEW成分については橋軸直交方向28m(T4)とのコヒーレンスも他の2方向成分に比べて非常に高いことを確認している。また、橋軸方向と橋軸直交方向を比較すると、NS成分、EW成分に関しては差異はほとんど認められないが、UD成分では特異な性状を示している。即ち、同一直線上(橋軸直交線上)に位置する若番ピア柱脚基部と橋軸直交方向7mとのコヒーレンスに比べ、若番ピア柱脚基部と橋軸方向7mとのコヒーレンスは著しく低いことに対し、同じ柱脚基部でも橋軸線上に位置する基部北端と橋軸方向7mとのコヒーレンスは高い。

次に、図2の11分間の速度記録中、ビデオ判定により高架道路上を大型車が単独で通過した際に平面道路交通が無かった区間(図2中にマーキング、20.48秒間)を切り出し、高架道路車両走行に伴う近傍地盤振動の方位特性、ならびに振動方向成分毎の特徴に関する考察を行う。対象となった大型車両は南向きに走行しており、その走行速度は、若々番ピア・若番ピア・老番ピアの梁中央(P1、P2、P3)に設置したセンサーの記録(UD成分)を利用するこ

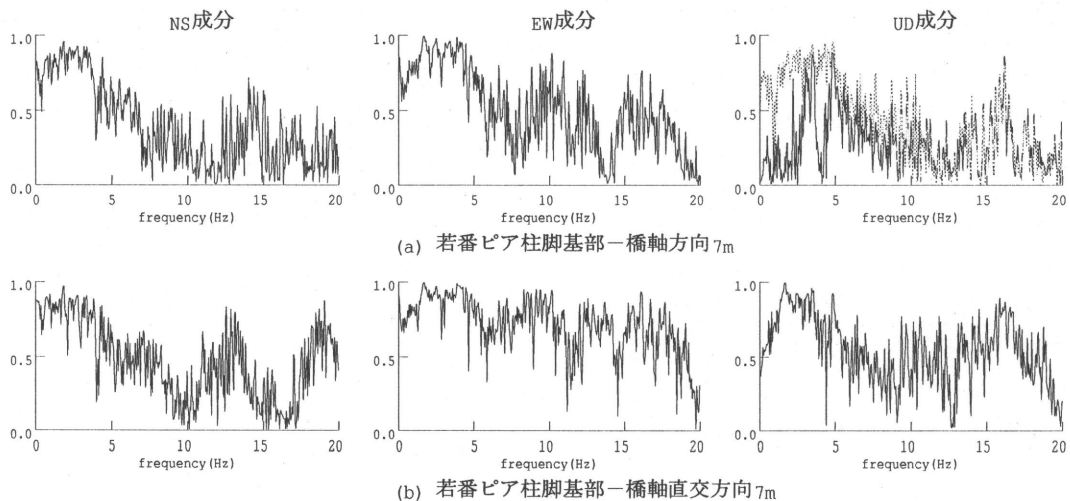


図3 若番ピア柱脚基部と橋軸方向7m・橋軸直交方向7mとのコヒーレンス(11分間、'97年)

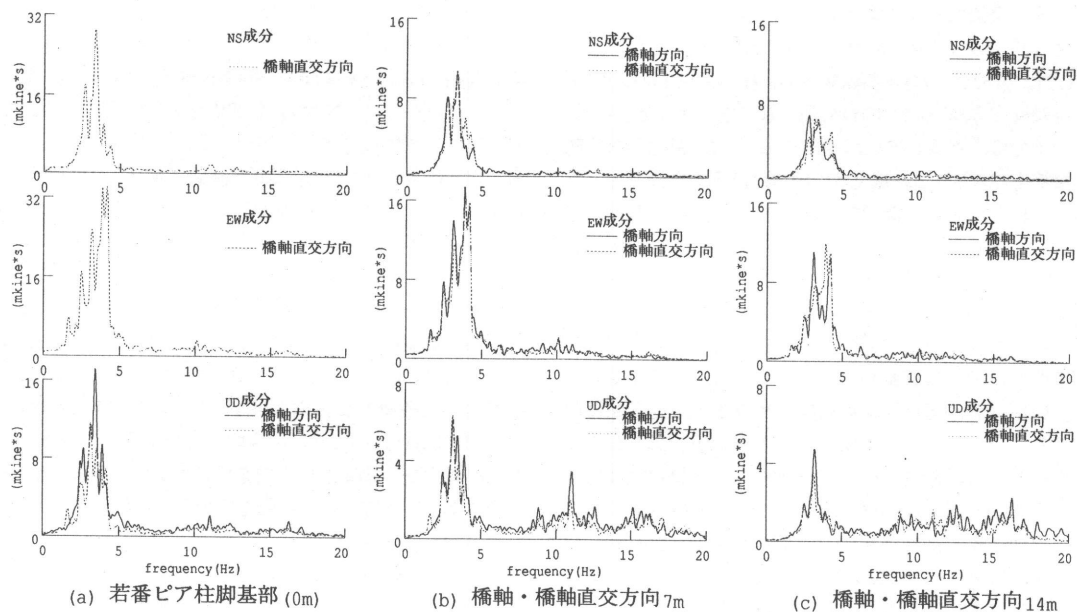


図4 橋軸方向地盤と橋軸直交方向地盤での速度波形のフーリエ振幅スペクトル (20.48秒のクリップ波, '97年)

とにより、平均64km/hと推定された。

図4に若番ピア柱脚基部より7m(K1, T1), 14m(K2, T2)離れた地盤上での速度波形のフーリエ振幅スペクトル (0.2HzのParzen ウィンドウを使用)を橋軸方向と橋軸直交方向とで重ね描く。参考までに、若番ピア柱脚基部におけるスペクトル(UD成分については基部西端と北端の双方)も併せて示す。図より、地盤上の各地点・各振動方向成分に共通して3~4Hz付近の限られた振動数帯域にパワーが集中しており、各振動方向成分毎にそれぞれ数個の卓越振動数を有していることが分かる。これらの卓越

振動数は、高架橋上を車両が走行することによって励起された、高架橋という振動システムの各部の固有振動数と調和的であることを、昼間に別途実施した高架橋本体各部(計18地点)での常時微動計測結果により確認している。また、EW成分のスペクトルが圧倒的に大きな振幅値を有しており、他サイトでの計測結果¹¹⁾と同様の傾向を示している。更に、互いに直交する2測線(橋軸方向と橋軸直交方向)において柱脚基部より同じ距離だけ離れた地点での比較を行うと、各振動方向成分とも全体としてのスペクトル形状・振幅はほぼ似通った結果となっている

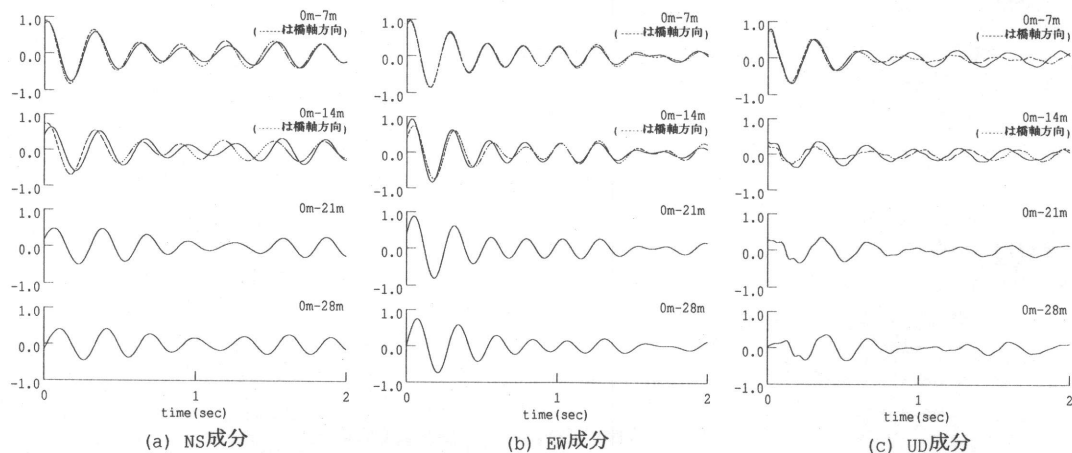


図5 若番ピア柱脚基部と橋軸方向・橋軸直交方向地盤各地点の相互相関係数 (20.48秒のクリップ波, '97年)

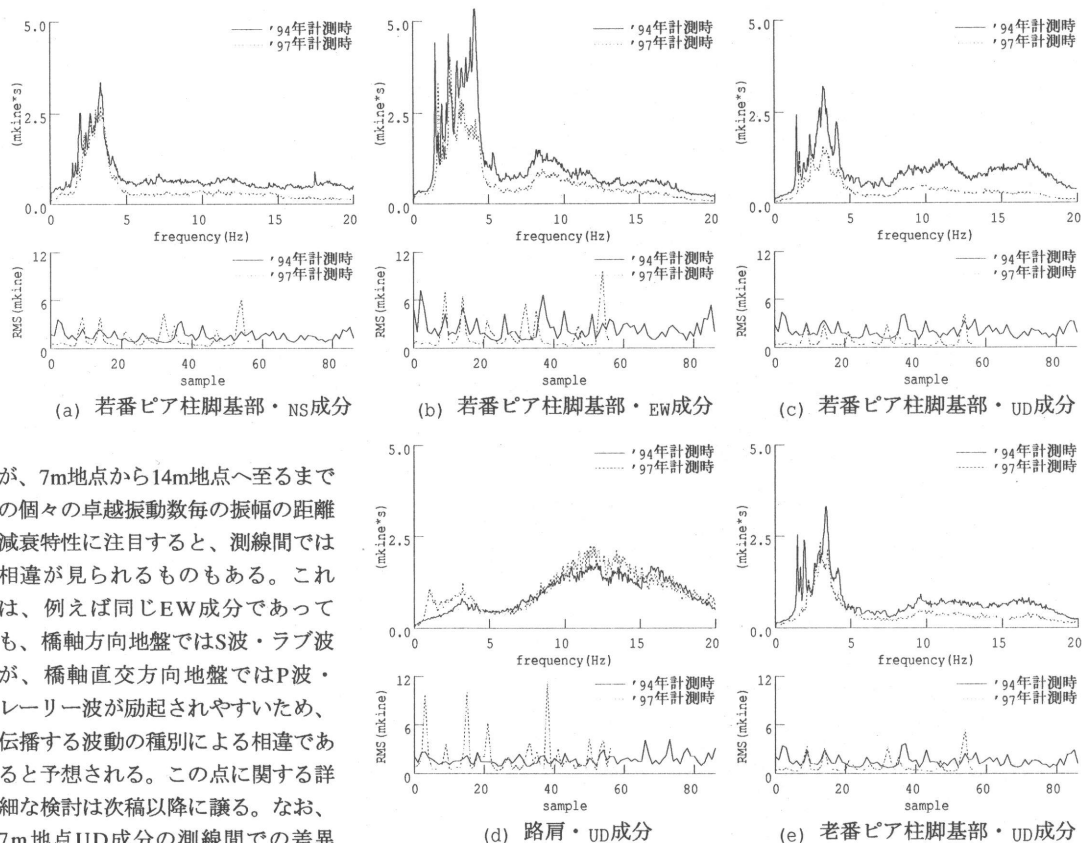


図6 '94年計測時と'97年計測時の振源(柱脚基部・路肩)速度波形の平均スペクトル(上段)およびRMS振幅の変動(下段)の比較

が、7m地点から14m地点へ至るまでの個々の卓越振動数毎の振幅の距離減衰特性に注目すると、測線間では相違が見られるものもある。これは、例えば同じEW成分であっても、橋軸方向地盤ではS波・ラブ波が、橋軸直交方向地盤ではP波・レーリー波が励起されやすいため、伝播する波動の種別による相違であると予想される。この点に関する詳細な検討は次稿以降に譲る。なお、7m地点UD成分の測線間での差異は、柱脚基部より放出される波動そのものの方位特性に起因していることが分かり、図3における結果と調和的であることが確認された。

図5に若番ピア柱脚基部と地盤7m(K1, T1)・14m(K2, T2)・21m(T3)・28m(T4)地点の相互相関係数を示す。UD成分については、柱脚基部応答として橋軸方向に対しては基部北端の記録を、橋軸直交方向に対しては基部西端の記録を用いている。図より、柱脚基部—地盤7m地点では測線間での差異は小さく、3成分ともに高い相関を示している。柱脚基部からの距離が離れるに従って各振動方向成分の相関は次第に低下するが、EW成分に関しては、最も離れた橋軸直交方向28mとも非常に高い相関を持つことが分かる。NS成分の相関も比較的高いが、UD成分に関しては低下が著しい。また、相関の低下の仕方には測線間で差異が見られる。なお、3成分の時間遅れ領域での相関の周期性についてみると、NS成分で3.4Hz、EW成分で3.9Hz、UD成分で3.1Hz毎に相関係数が大きくなっており、これは図4のフーリエスペクトルにおける最も卓越している付近の振動数と一致する。また、距離が離れるに従ってピークの発生時刻が順番に遅れており、柱脚基部から波動が伝播して行く様子が伺える。

4. 車両の走行条件が地盤・建物応答性状に与える影響

本節では、'94年の計測記録に基づき同一車両(10tonダンプトラック)の各種走行条件(走行速度、積載状況、走行道路種別)による地盤・建物応答性状の差異に関する考察を行う。考察に先立ち、当該高架橋では'94年と'97年の計測の間に橋脚の耐震補強工事を行っていることもあり、二度の計測間での振源特性の差異について常時微動記録ベースでの確認をしておく。図6に若番ピア柱脚基部(WP94とWP97)・老番ピア柱脚基部(OP94とOP97)・路肩(RK94とRK97)における常時微動記録('94年: pm7時頃, 30分間、'97年: am2時頃, 20分間)の平均フーリエスペクトルを比較する。また、計測時間内の波形振幅の時系列を概観するため、各サンプル波('94年: 20.48秒×87波、'97年: 20.48秒×57波)毎にRMS振幅を算出し、図6下段に併せて示す。'94年計測時は、どの地点・成分についても'97年計測時に比べてRMS振幅の時系列変動が緩やかであり、かつ全体的に振幅レベルが高い。これは、計測を行った時間帯の関係上、高架道路上および平面道路上での交通

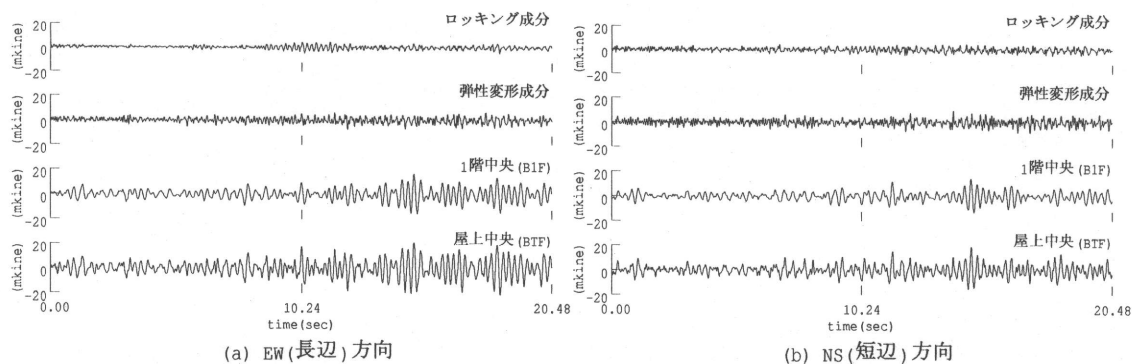


図7 通常交通状況下での対象建物の各種波形 (20.48秒, '94年)

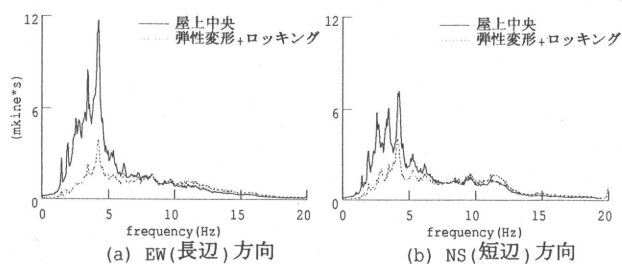


図8 (屋上中央) および (弾性変形成分+ロッキング成分) の平均フーリエスペクトル

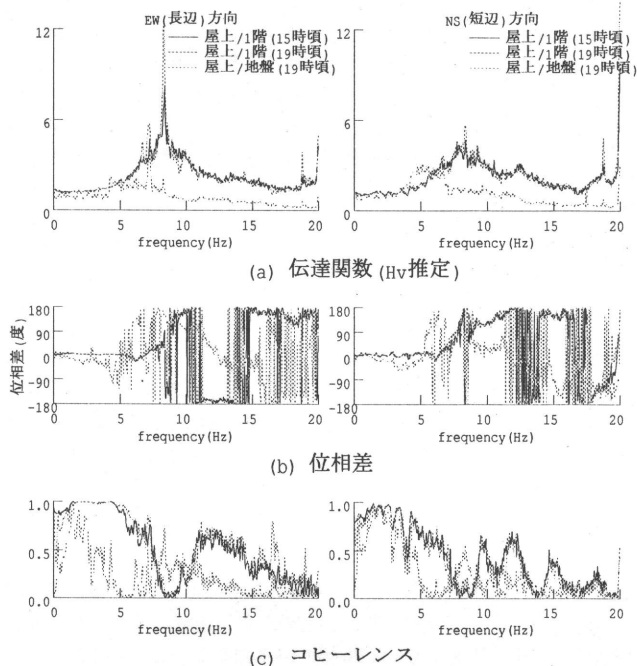


図9 (1階中央→屋上中央) および (地盤→屋上中央) の伝達関数・位相差・コヒーレンス

量・交通流の違いによるものと思われる。
'97年は深夜帯に計測を行ったため、交通量の少ない分、全体的な振幅レベルは下がっているが、その反面、渋滞もなく車の流れが良好であることから大型車両の高速走行等によりRMS振幅の変動は大きくなっている。次に、高架橋本体の固有振動性状に着目すると、柱脚基部位置でのNS, UD成分については、'94年と'97年では2Hz以下の低振動数域の卓越振動数に若干の相違が見られるものの全体としてのスペクトル形状はほとんど変化していないことが分かる。一方、EW成分のスペクトル形状には明確な差異が認められ、'97年では3~4Hz付近の卓越の度合いが著しく抑えられている。橋脚の耐震補強効果との関連も考えられるが、'97年計測時の複数回数のデータセット間での再現性を確認したところ、結果にばらつきがあったため、あまりはっきりとしたことは言えない。なお、'94年と'97年では振源(柱脚基部・路肩)スペクトルの「卓越振動数帯域」という観点での変化は小さいので、本論の一連の考察においては特に支障はないものと判断される。

次に、通常交通状況下での対象建物の振動性状の把握を行う。図7に、対象建物の詳細な常時微動計測記録(pm3時頃, 30分間)に基づき算出した建物屋上中央(BTF)におけるロッキング成分と建物弾性変形成分の波形(20.48秒分)を、屋上中央(BTF)・1階中央(B1F)での記録波形と共に示す。ここでの波形はすべて0~20Hzのバンドパスフィルタ(20~21Hzのcosテーパ付き)をかけたものである。ロッキング波形は、EW(建物長辺方向)成分については1階西UD(BW)と1階東UD(BE)、NS(建

物短辺方向)成分については1階南UD(BS)と1階北UD(BN)の波形の引き算をした上で、2つのセンサー間距離で除し建物の軒高を乗じることにより求めている。また弾性変形成分については、屋上中央で記録された波形から1階中央の波形とロッキング波形の双方を引き算して求めている。図8には、弾性変形成分とロッキング成分の和をとった波形の平均フーリエスペクトルを、屋上中央の波形そのものの平均フーリエスペクトルと重ね描く。図7と図8より、当該建物の頂部(屋上中央)の速度応答は、長辺方向であるEW方向の方が全般に大きい。また、頂部応答全体の中で1階から上が一体となって剛体的に振動している成分の占める割合もEW方向の方が大きいことが読み取れる。図7に示されるように、EW方向の建物頂部応答に占めるロッキング成分の割合は小さく抑えられており、建物形状からも理解しやすい結果を与えている。また、図8より、NS、EW両方向共に、建物頂部応答のうち5Hz以下の成分については建物が基礎ごと揺さられる剛体挙動が支配的であり、5Hz以上の成分では逆に弾性変形+ロッキング成分が支配的となっている。

図9に、図8と同じ常時微動記録(pm3時頃、30分間)、ならびに同日夕方(17時頃、30分間)を用いて求めた屋上中央/1階中央の伝達関数(Hv 推定¹⁴⁾)を位相差・コヒーレンスと共に示す。夕方に関しては若番ピア近傍地盤(G1)での記録も存在するため、屋上中央/若番ピア近傍地盤の伝達関数も求めてある。図より、屋上中央/1階中央の伝達関数にはNS、EW両方向共に明確なピーク(NS: 8Hz, EW: 8.2Hz)

が存在し、位相差・コヒーレンスから判断するにその信頼性は高いと思われる。また、2回の記録間での結果の再現性も高い。一方、屋上中央/若番ピア近傍地盤の伝達関数の推定精度は極めて悪く、対象建物の位置している一帯の地盤振動は若番ピア近傍地盤の1地点では代表できていないことが分かる。即ち、当該建物の東側には幹線道路、北側には若番ピア、南側には老番ピアが隣接しており、本論3節における考察結果からも明らかのように、当該建物周辺の地盤は面的に複雑な振動性状を有しているためと思われる。

以上の考察結果を踏まえて、同一車両(10tonダンプトラック)による各種走行条件(走行速度、積載状況、走行道路種別)での深夜単独走行実験を行い、車両の走行条件が地盤・建物の応答性状に与える影響について調査する。図10に各種走行条件下での建物屋上中央のフーリエスペ

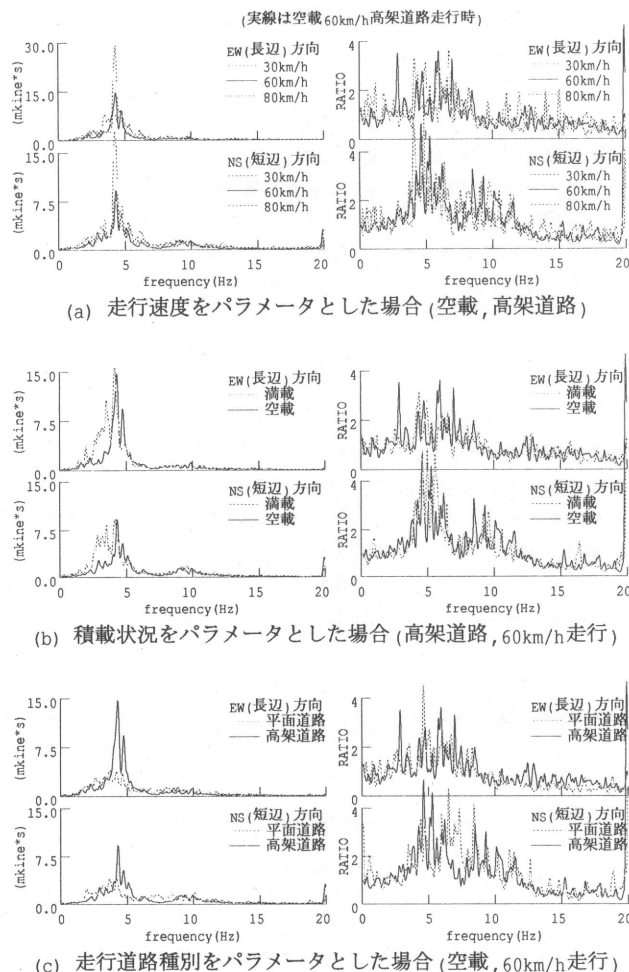


図10 各種走行条件下での屋上中央フーリエスペクトル(左)および屋上中央/地盤フーリエスペクトル比(右)の変化

クトル(左)、および屋上中央/地盤のフーリエスペクトル比(右)の変化を示す。「地盤」としては、高架道路走行実験時には若番ピア近傍地盤(G1)、平面道路走行実験時には路肩近傍地盤(G2)の記録を用いている。なお、各走行条件共に、分析に用いる時間区間(20.48秒間、建物直近通過時刻から前後に約10秒ずつ)においてほぼ単独走行が実現できているケースを採用した。平面・高架道路上の一般通行車両の影響は、計測当日の観察メモと、同時刻の路肩(RK94)・若番ピア柱脚基部(WP94)の波形により確認している。図10(a)~(c)左より、建物の頂部応答は車両の走行条件によって大きく変化していることが読み取れる。具体的には図10(a)左より、同一積載状況下では走行速度が上がるにつれて頂部応答は大きく増大して行くことが分かる。また図10(b)左より、積載状況が変化(空載→満載)すると頂部応答の卓越振動数が低下することが分か

る。これらの結果は、別サイトでの同様の実験による柱脚基部・近傍地盤での結果¹¹⁾、その他とも調和的であり、車両の走行条件によって高架橋柱脚基部から放出される波動の振幅や振動数特性が変化する、即ち高架橋各部の固有振動数の卓越の割合が変化していることが理解できる。図10(c)左は空載60km/hでの平面道路・高架道路走行による頂部応答の違いを示すものであるが、対象建物と各道路との位置関係や振源からの距離の定義が難しいため厳密な比較はできないが、平面道路の最左車線を走行することによりそれなりに振源距離を合わせたと考えると、平面道路走行時の頂部応答には高架道路走行時のような鋭いピークが見られない。参考までに、図11に走行道路種別による車両動的付加荷重¹²⁾のフーリエスペクトルの比較を行うが、もともとの振動発生源である車両の動荷重の平均的な特性には、走行道路種別による差異はそれほど認められない。従って、図10(c)左の頂部応答の相違は、車両の振動外力が直接地盤を伝わって建物に入力されるか、高架橋という振動システムを介した上で地盤を伝わって建物に入力されるかの振動伝達機構の違いによるものであると判断される。

一方、車両走行条件による建物応答性状の変化を図10(a)~(c)右の屋上中央/地盤のフーリエスペクトル比で表現

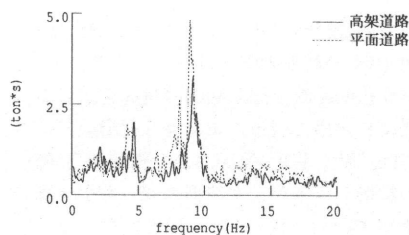
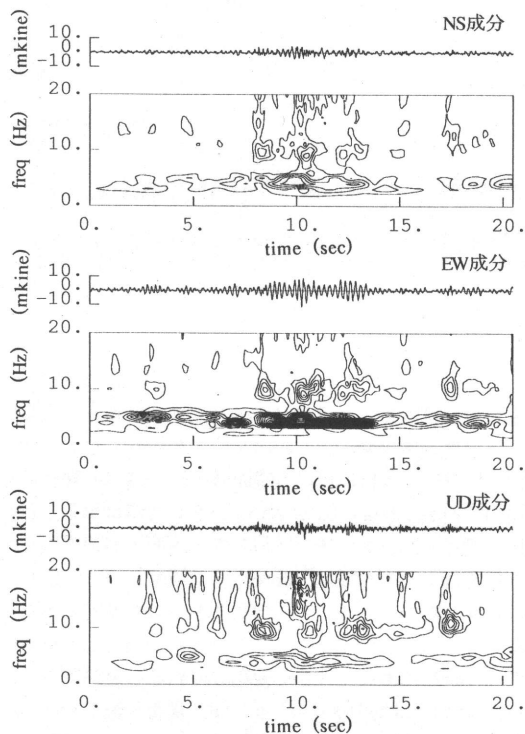


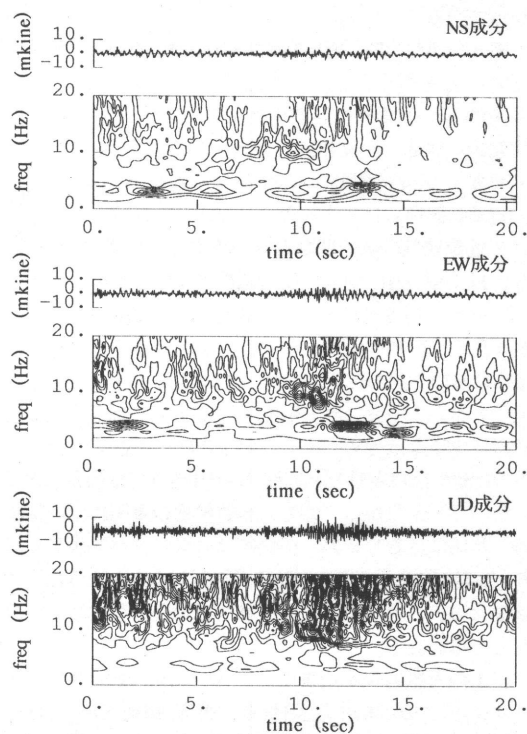
図11 走行道路種別による車両動的付加荷重のフーリエスペクトルの比較 (高架, 平面道路・空載60km/h)

すると、図10(a)~(c)左の建物頂部応答の差異は各種走行条件による道路近傍地盤の応答の差異がそのまま反映されただけのものであり、地盤から建物頂部までの振動システムは何ら変化していないことが確認できる。

最後に、走行道路種別(平面道路と高架道路)による近傍地盤の応答性状の比較を振動方向別に行っておく。図12に高架・平面道路での空載60km/h走行時の近傍地盤(高架:若番ピア近傍地盤、平面:路肩近傍地盤)の波形と非定常スペクトルを示す。図より、高架道路交通振動ではEW方向(橋軸直交方向)の振動成分が、平面道路交通振動ではUD方向(上下方向)の振動成分が支配的となっていることが分かる。また、高架道路交通振動では高架橋各ジョ



(a) 若番ピア近傍地盤(G1)



(b) 路肩近傍地盤(G2)

図12 走行道路種別による道路近傍地盤の波形と非定常スペクトルの比較(高架, 平面道路・空載60km/h)

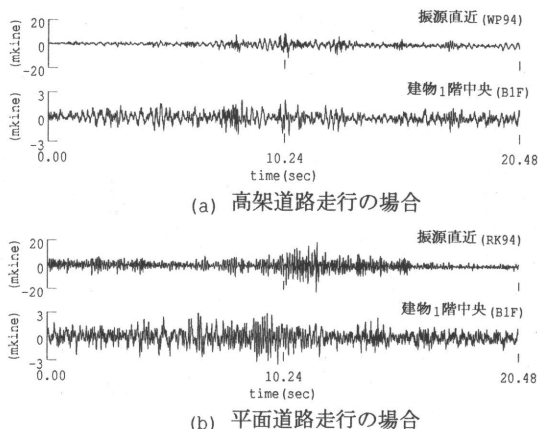


図13 走行道路種別による振源直近および建物1階中央の上下応答の比較 (高架, 平面道路・空載 60km/h)

イント部段差通過時以外は5Hz以下の低振動数領域のみに卓越が見られるのに対し、平面道路交通振動では20Hz以下の範囲内では高振動数領域まで卓越は幅広く分布している。これは、高架橋という振動システムがローパスフィルタ的な役割を担っていることに起因すると考えられる。図13に図12と同じケースでの振源直近(高架: 若番ピア柱脚基部、平面: 路肩)、および建物1階中央の上下応答の比較を行う。建物1階中央の上下応答は確かに平面道路走行時の方が大きくなっていることが確認できる。

5. まとめ

本論では、幹線道路(国道1号線)と高架道路に挟まれた一面を対象として'94年と'97年の二度に渡って交通振動計測を実施し、対象区域内の地盤の面的な振動性状の複雑さを把握すると共に、対象敷地内に建つ建物の振動性状に関する検討を行った。各種常時微動記録と単独車両走行実験データの分析結果により、通常の交通状況下での地盤・建物の振動特性には、平面道路・高架道路に起因する交通振動の影響が入り混じっており、振動方向や振動数帯域、また対象とする地盤地点・建物の各種道路からの距離によって、支配的となる振動は異なることが分かった。本論での考察結果を踏まえると、道路交通振動問題を取り扱う際には、その振動発生源まで立ち返ってまずは振源特性を精度良く把握する、というスタンスが非常に重要であることが再認識される。なお、平面道路・高架道路交通振動共に、地盤応答は複数振源(平面道路: 移動点、高架道路: 複数の柱脚基部)からの伝播波動の重ね合わせとして評価する必要があるため、重ね合わせ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、振動計測や波形の一次処理等にご協力下さいました美原義正名古屋大学技官と、石田栄介博士(現: 日本技術開発株式会社)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旧・現教官ならびに学生の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 梶川康男、沖野真、吉川実、枕本正信：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
- 2) 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
- 3) 枕本正信：走行車両により発生する振動の特徴と対策の動向—I. 高架道路橋の振動一、第2回振動制御コロキウム、Part A、pp. 155~168、1993. 8
- 4) 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
- 5) 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一、第2回振動制御コロキウム、Part A、1993. 8
- 6) 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、その他一、第2回振動制御コロキウム、Part A、1993. 8
- 7) 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
- 8) 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一、構造工学論文集、Vol. 39B、pp. 95~104、1993. 3
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 西阪理永、塩沢伸明、福和伸夫：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、構造工学論文集、Vol. 43B、pp. 277~286、1997. 3
- 12) 塩沢伸明、西阪理永、福和伸夫：高架道路近傍地盤の振動応答性状に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、D-1、pp. 289~290、1998. 9
- 13) 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
- 14) 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、No. 409、pp. 83~92、1990

