

## 交通機関が地盤の振動特性に及ぼす影響

斎藤 徳美\*・山本 英和\*・杉山 洋\*\*

### Effect of Vehicular Traffic on Ground Vibration Characteristics.

Tokumi SAITO\*, Hidekazu YAMAMOTO\* and Hiroshi SUGIYAMA\*\*

#### ABSTRACT

Simultaneous observation of short-period seismic noise were carried out on the observation points where the distances from the national road and the express highway in Morioka area. Investigation was likewise conducted with respect to the ground vibration characteristics excited by the cars and vehicles and their influential range. On the other hand, the investigation was also made to see whether directly-generated noise by vehicular traffic was included in the results of short-period seismic noise observation, approximately 490 points in Morioka area.

Short-period seismic noise was measured by 3-component seismometers with a natural period of 1 sec. Power spectra were calculated by means of FFT from 2048 digitized data of wave forms.

Results of the investigation are summarized as follows:

1) Due to passage of cars and vehicles, ground vibration in the frequency band between 5 Hz and 15 Hz is much excited and its directly-generated influence is exercised upon a range no less than 300 m from the road.

2) Amplitude and predominant frequency of the short-period seismic noise while none of cars and vehicles pass through make no change in accordance with the distance from the road.

3) With respect to the amplitude of the short-period seismic noise observed in Morioka area at midnight especially while none of cars and vehicles pass through, none of significant difference is seen in either the district close to the road with in 200 m from the trunk-line road where huge traffic volume or the region excluding the said district.

Therefore it is suggested that vibration characteristics of the ground peculiar to the site can be observed even in the vicinity of trunk-line road, provided that passage of cars and vehicles is ceased for a settled time required for analysis.

**Key words:** short-period seismic noise, vehicular traffic, ground vibration characteristics

#### 1. 結 言

都市近郊における短周期微動の解析は、浅部地下構造の推定、地震時における地盤の振動特性の把握等を目的

に、数多く行われている。短周期微動の発生源は、人間の活動に係わる人為的振動源が主と考えられているが、一般には入力波は多数の周波数成分を含むものとみなして解析が行われる。そのため、微動測点付近の交通機関

1994年10月11日原稿受付；1994年12月28日受理  
第91回（平成6年秋季）学術講演会にて発表

\* 岩手大学工学部  
〒020 盛岡市上田4-3-5

\*\* 復建技術コンサルタント㈱  
〒980 仙台市青葉区錦町1-7-25

Manuscript received October 11, 1994; Accepted December 28, 1994.

This paper was presented at the 91th (1994) SEGJ Conference.

\* Faculty of Engineering, Iwate Univ.  
4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate 020, Japan

\*\* Fukken Gijyutsu Consultant Co., Ltd.  
1-7-25, Nishiki-cho, Aoba-ku, Sendai 980, Japan

工場施設等による特殊な振動について特に留意することが必要と考えられる。工場施設の稼働による振動の影響については、これまでいくつかの報告がなされている(河内ほか, 1988; 微動研究グループ, 1994; 小淵ほか, 1994)。しかし、交通機関による直接的振動の特性やその振動がどの程度の距離まで影響を及ぼしているかについては、交通量や道路条件等により異なることもあり、詳細な検討がなされていない。

そこで、本研究では盛岡市域の国道および高速道路からの距離を順次変えた測点で短周期微動の3成分レイ観測を行い、車両等による直接的振動の特性およびその影響範囲を明らかにすることを目的に検討を行った。また、盛岡市域で深夜に観測された約490点の短周期微動観測結果について、同市域の交通量調査結果を基に、交通機関による直接的ノイズが含まれていないかどうかについて併せて検討を行ったのでその結果について報告する。

## 2. 観測・解析装置および方法

### 2.1 測線位置および観測方法

測線は Fig. 1 に示す盛岡市北方の滝沢村一本木地区の国道282号線にほぼ直交する1 km (測線1: 一本木と呼称) および盛岡市太田地区の東北自動車道にほぼ直交する700 m (測線2: 太田と呼称) の2測線である。測線一本木においては岩手火山砕屑物が広く分布し、一方、測線太田には沖積層の砂礫が分布しており、同一測線上の測点での地質条件に大差はないと推測される。

観測は道路端の測点を基準点として、複数の測点で同時観測を行うことが望ましいことはいうまでもない。しかし、東北自動車道は盛土の高架であり、国道でも道路端に地震計を設置できる場所が無いため、道路端から50 m離れた測点を基準点とした。また、現有の観測システムの制約から、Fig. 2 に示すように、測線一本木では1回目50・75・100・150 m, 2回目50・200・250・300 m, 3回目50・400・500・1000 mの組み合わせで観測を行った。一方、測点太田では設置場所の制約もあり、1回目50・100・200 m, 2回目50・300・700 mの組み合わせで観測を行った。1回の観測時間は30~45分である。測線一本木の観測は1993年9月1日午後、測線太田の観測は1988年11月4日深夜を行った。測線一本木は郊外で夜間の交通量が著しく減少すること、また、測点太田では昼間には付近の準幹線道路の交通量が多いことから前記時間帯に観測を行ったものである。

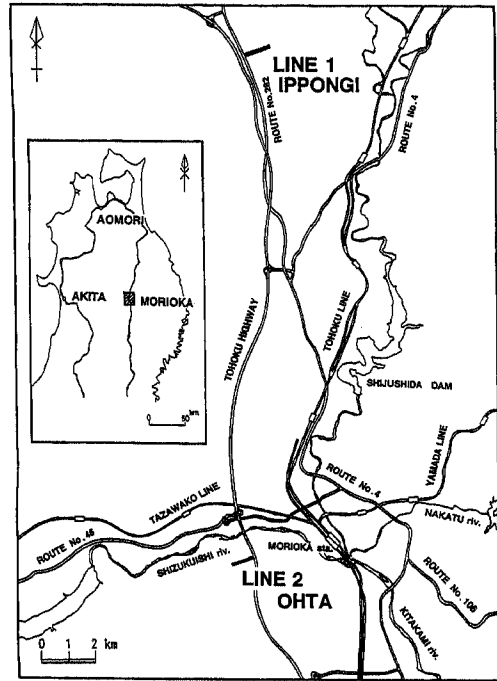


Fig. 1 Location of observation lines. The observation line Ippongi is on a place 1 km from the national road, and the line Ohta is 700 m from the Tohoku express highway.

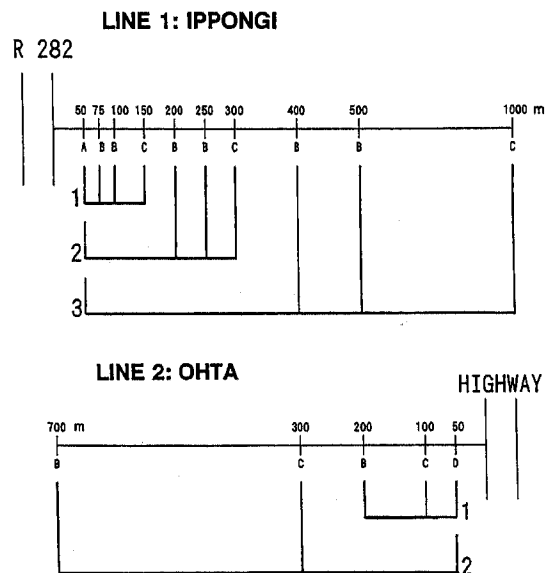


Fig. 2 Combination of observation systems in the individual lines. Observation was made 3 times by means of 4 systems in the line Ippongi, whereas observation was made twice by means of 3 systems in the line Ohta.

## 2.2 観測および解析装置

観測に用いた地震計は固有周期 1 秒の動電速度型で、この出力を増幅器により増幅して、データレコーダに記録した。観測に用いた 4 システムの観測機器は若干異なっているが、4 システムの 3 成分ともほとんど同じ振動特性を示すことが確かめられている。

解析にはデータレコーダの記録を再生し波形を十分に吟味・検討の上、40.96 秒の区間を解析単位として 0.02 秒間隔でデジタル化した。そして長さ 2 秒ごとの 20 区間に区分し各区間の最大振幅を読み取り、それらの算術平均をもって平均最大振幅とすると共に、FFT により周波数解析を行いパワースペクトルを求めた。なお、測定・再生系の総合周波数特性は 1 Hz から 25 Hz まではほぼフラットである。

## 3. 解析結果

### 3.1 測線一本木における交通振動の影響

Fig. 3 に 40.96 秒間の観測波形の例を示す。道路端から 50 m の測点を基準点に 150 m まで、300 m までおよび 1000 m までのそれぞれで観測時刻が異なっているため、基準点の最大振幅は 1.72~2.96 m<sub>kine</sub> と差異がある。車両の通行は頻繁であり、車両通行時には基準点は勿論道路に近い測点では大きな振動が観測される。

一般に車両の通行は連続的であるが、長時間のうちに

は通行が途切れる場合がある。そこで、車両通行時と通行が途切れ基準点から車両を確認できない非通行時に区分して検討を行った。車両通行時については通行が連続的な十数区間を平均して平均最大振幅およびスペクトルを求めた。

Fig. 4 に車両通行時の N-S および U-D 成分のパワースペクトルの国道からの距離による変化を示す。水平動成分は N-S と E-W 成分とで顕著な差異が認められないため図には水平動として N-S 成分を示した。また、3 回の組み合わせで観測を行っているため、基準点の 50 m は 1 回目 (50 m-1)、2 回目 (50 m-2) および 3 回目 (50 m-3) の 3 スペクトルを示してある。国道近傍では遠方の測点に比して水平動成分では 10~15 Hz の高周波成分が顕著に卓越し、一方上下動成分では 5 Hz 以上の成分が多く含まれ、国道から遠ざかるに従いこれらが減少する傾向がある。

車両通行時の国道からの距離による平均最大振幅の変化を Fig. 5 に、卓越周波数の変化を Fig. 6 に、2~6、6~10 および 10~15 Hz の各周波数帯でのパワー値の総和の変化を Fig. 7 にそれぞれ示す。平均最大振幅は水平動および上下動とも基準点で 1.5~2.0 m<sub>kine</sub> 程度と大きく、国道から離れるに従って急激に減少し 400 m 以遠では 0.3~0.4 m<sub>kine</sub> 程度とほぼ一定の値となる。卓越周波数としては、国道のごく近傍で水平動で 10~

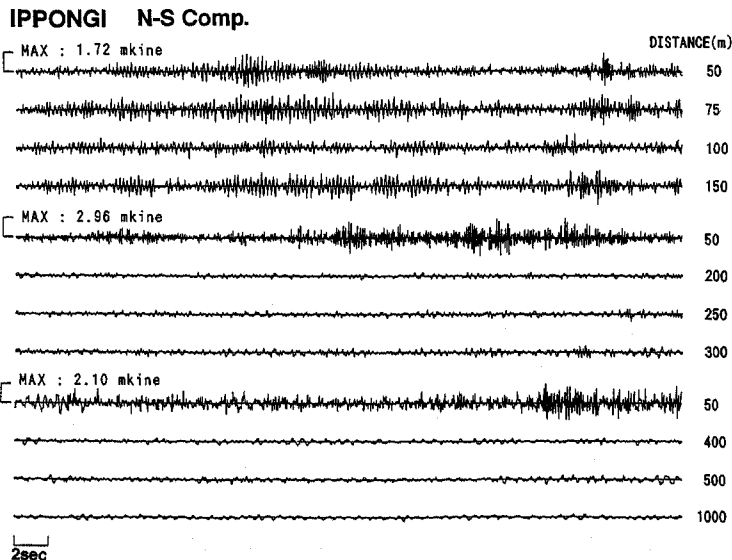
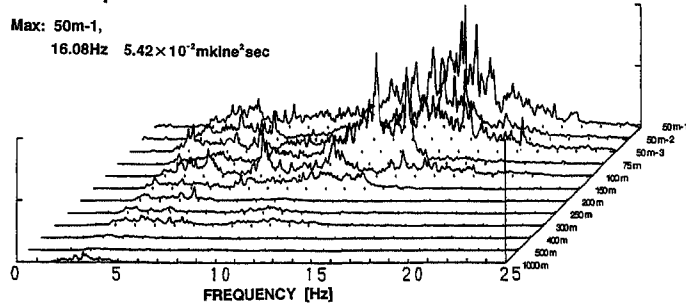


Fig. 3 Examples of traces of N-S component in the line Ippongi. With the observation line 50 m from the national road as a criterion point, observation was made 3 times by means 4 systems. The length of traces is approximately 40 sec. All the traces are high-cut filtered at 25 Hz.

**IPPONGI (traffic is busy.)**

**N-S Comp.**

Max: 50m-1,  
16.08Hz  $5.42 \times 10^{-2} \text{mkine}^2 \text{sec}$



**U-D Comp.**

Max: 50m-2, 6.93Hz  
 $6.58 \times 10^{-2} \text{mkine}^2 \text{sec}$

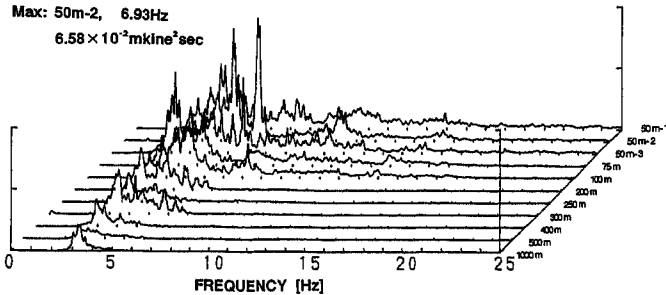


Fig. 4 Variation of normalized power spectrum with distance from the national road in case of passage of the cars and vehicles in the line Ippongi. Since observation was made 3 times, the 50 m as the criterion point is shown by 3 spectra of 50 m-1, 50 m-2 and 50 m-3.

15 Hz, 上下動で 5 Hz 程度が卓越する他顕著な差異はない。しかし、各周波数帯でのパワー値の変化を見ると、水平動では国道近傍で 10~15 Hz のパワーが著しく大きく、遠ざかるに従い急激に減少するのに対し、上下動では 2~6 Hz のパワーが大きく、遠ざかるに従い緩やかに減少する。そして、400 m 以上離れるといずれの周波数帯もほぼ一定の値を示す。

Fig. 8 に車両非通行時の N-S および U-D 成分のパワースペクトルの国道からの距離による変化を示す。車両通行時に比してパワー値が 1 桁以上小さいこと、またスペクトルは最大値で基準化して表示しているためややばらつきがあるように見受けられるが、距離によって変化する傾向は認め難い。

車両非通行時の国道からの距離による平均最大振幅の変化を Fig. 9 に、卓越周波数の変化を Fig. 10 に、2~6, 6~10 および 10~15 Hz の各周波数帯でのパワー値の総和の変化を Fig. 11 にそれぞれ示す。基準点では軽車両等の通行のためか平均最大振幅がやや大きいものの、それ以遠では平均最大振幅は 0.3~0.4 mkine、卓越周波数は 3~4 Hz とほぼ一定であり、また各周波数帯でのパワー値の総和にも距離による変化は認められない。

以上のような解析結果から、測線一本木においては国道から 300 m 程度までは車両の通行による直接的振動の影響が及んでいると判断される。

**3.2 測線太田における交通振動の影響**

Fig. 12 に車両通行時の N-S 成分および非通行時の U-D 成分のパワースペクトルの東北自動車道からの距離による変化を代表例として示す。Fig. 2 に示したように、2 回の組み合わせで測定を行っているため、基準点の 50 m は 1 回目 (50 m-1) および 2 回目 (50 m-2) の 2 スペクトルを示してある。車両通行時のスペクトルは水平動 2 成分および上下動成分とで差異はなく、自動車道近傍では 5~10 Hz の高周波成分が顕著に卓越し、自動車道から遠ざかるに従いこれらが減少する傾向が明らかである。一方、車両非通行時においては、3 成分とも自動車道からの距離による変化はなく、いずれも 1 Hz 以下の脈動と推測される成分と 3~4 Hz のみが卓越している。

Fig. 5 および 6 に示したと同様の解析を測線太田でも行ったが、車両通行時における自動車道からの距離による平均最大振幅の変化は、基準点で水平動 0.3~0.4

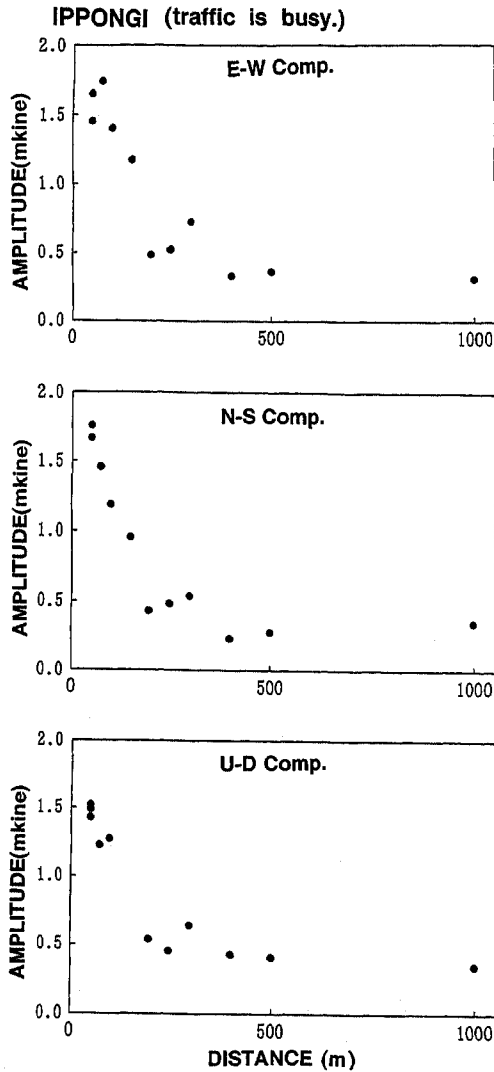


Fig. 5 Variation of amplitude with distance from the national road in case of passage of the cars and vehicles in the line Ippongi.

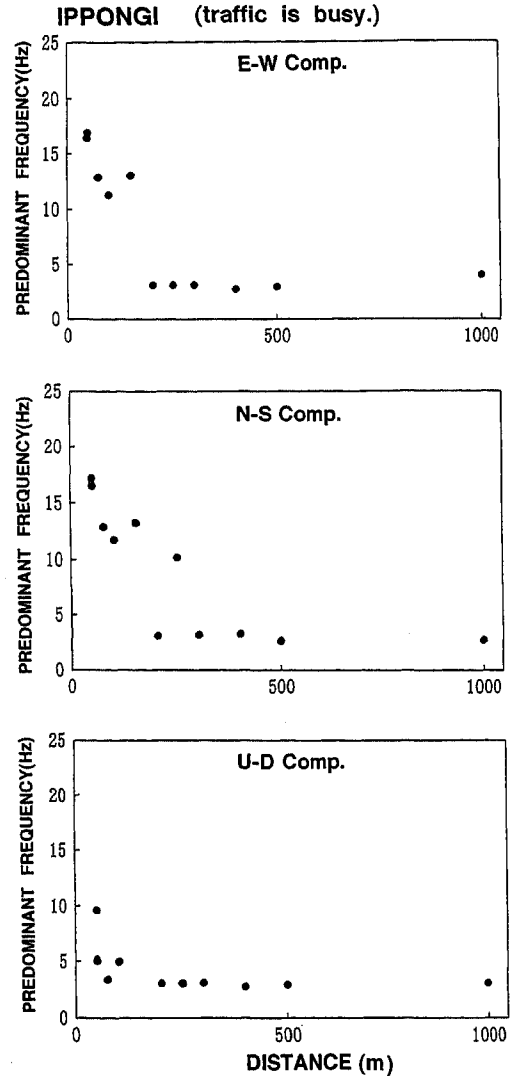


Fig. 6 Variation of predominant frequency with distance from the national road in case of passage of the cars and vehicles in the line Ippongi.

m/kine, 上下動0.2~0.3 m/kineで自動車道から遠ざかるに従い減少し、700 mの測点では非通行時のレベル0.05 m/kine程度となる。また、同様に卓越周波数の変化は、自動車道近傍では5~10 Hzが卓越し、300 m以遠では非通行時同様3~4 Hzまたは脈動と推測される1 Hz以下を示す。非通行時には自動車道からの距離による変化は認められない。

車両通行時の自動車道からの距離による2~6, 6~10および10~15 Hzの各周波数帯でのパワー値の総和の変化をFig. 13に示す。自動車道近傍では6~10 Hzお

び10~15 Hzの周波数帯のパワーが大きく、遠ざかるに従い急激に減少する。2~6 Hzは6 Hz以上の成分に比して近傍では小さいものの距離による減少は少ない。また、Fig. 11と同様の検討をこの測線でも行ったが、車両非通行時における各周波数帯のパワーの総和は自動車道からの距離によって殆ど変化が認められない。

測点設置上の制約から東北自動車道から300~700 mの間での観測がなされていないが、パワーの減少傾向から、測線太田における車両の通行による直接的振動の影響は400~500 m程度まで及んでいるものと推測され

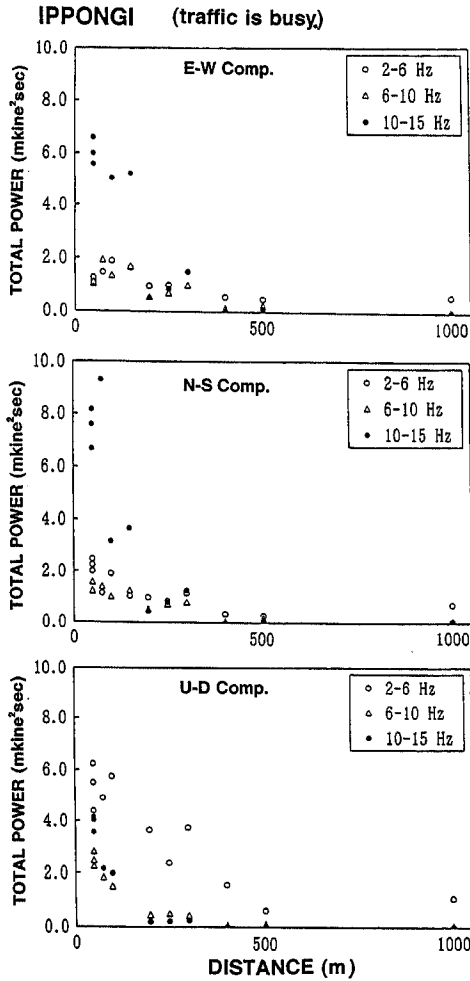


Fig. 7 Variation of total power per each frequency band with distance from the national road in case of passage of the cars and vehicles in the line Ippongi. The total sum of the power values in each frequency band is indicated by open circles in case of 2~6 Hz, by open triangles in case of 6~10 Hz, and by solid circles in case of 10~15 Hz.

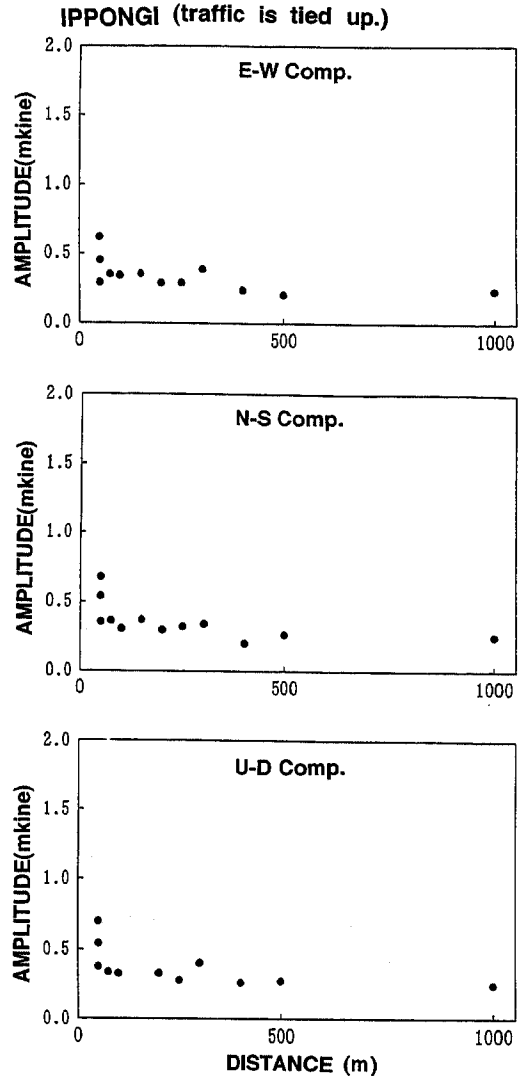


Fig. 9 Variation of amplitude with distance from the national road in case of no-passage of the cars and vehicles in the line Ippongi.

る。

### 3.3 盛岡市域微動観測点における交通振動の影響

盛岡市域においては1988年から1992年にかけて約490観測点で1点3成分短周期微動の移動観測が行われている。観測は雨・風等の悪天候を避け、深夜1時から4時の時間帯に行い、解析は車両などの通行が確認されない静かな安定した区間を対象に行われている。Fig. 14に当市域の平均最大振幅の分布の例として、上下動成分

の分布を示す。平均最大振幅は0.004~0.30 mkinの範囲にあり、市域の西部および東部の山地一帯で小さい。盛岡駅東側の市街地は入力振動レベルが大きいと考えられるにもかかわらず0.03 mkin以下と最も平均最大振幅の小さい範囲に含まれる。一方、市域の北西部および南部には市中心部からやや離れているにもかかわらず0.1 mkin以上の振幅の大きな区域が分布している。盛岡市域においては、盛岡駅東側の市街地から東部には花崗岩や輝緑凝灰岩等の基盤岩類が地表あるいは地下浅部

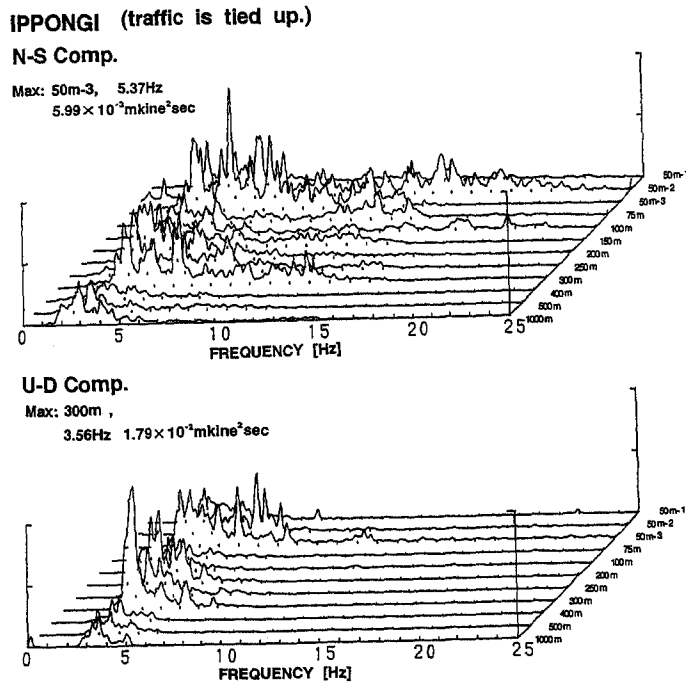


Fig. 8 Variation of normalized power spectrum with distance from the national road in case of no-passage of the cars and vehicles in the line Ippongi.

に分布し、一方北西部には軟弱な火山泥流堆積物が厚く分布し(大上ほか, 1977; 岩手県, 1978), 平均最大振幅分布は地盤状況と整合的であると考えられる。

しかし、同市域においては南北に東北自動車道・国道4号線、東西に国道46号線・106号線等が走り、これらの他市街地一帯の幹線道路では交通量が多い。そこで、微動解析結果に交通機関の直接的振動の影響が含まれていないかどうかの検討を行った。Fig. 15に1990年に行われた交通量調査(東北地方建設局, 1992)に基づく盛岡市域の主要幹線道路における深夜2時から5時までの時間帯における1時間あたりの交通量の分布を示す。市中心部および国道4号線で1時間あたり最大300台以上と交通量が多く、100台以上の地点が多数ある。前章で示したように、道路から200m以内は特に車両の通行による直接的振動の影響を受ける。また、1時間あたり100台以上の交通量があった場合平均的にみて通常の微動解析にもちいる約41秒間に1台以上の通行があることとなる。これらを考慮して、Fig. 16に斜線で示す1時間当たり100台以上交通量のある道路から200m以内の道路周辺区域(INと略称)とそれ以外の区域(OUTと略称)の2つに区分して、平均最大振

幅の頻度分布を調べた。

Fig. 17に道路周辺区域とそれ以外の区域における平均最大振幅の頻度分布の例として上下動成分の結果を示す。平均値はINで0.044 mkine, OUTで0.046 mkineと差異はなく、また頻度分布からも両者の間に有意な差異は認められない。水平動成分でも平均値はINで0.73 mkine, OUTで0.70 mikeと同様のことがいえる。また、道路から100m以内とさらに交通の影響を受けやすい範囲をINとして比較しても同様の結果が得られる。

短周期微動は表層地盤の特性を反映するため、道路周辺区域に堅固な地盤が偏在する場合には、交通振動の影響を受けていても見掛け上振幅が小さい場合も考えられる。Fig. 18にINおよびOUTでの微動観測点の表層地質区分ごとの頻度分布を示す。いずれも大部分が沖積層および洪積層であり、両者に顕著な差異は認められない。それゆえ、深夜に雨・風等の悪天候および交通機関の通行を避けて観測・解析された微動特性には交通機関による直接的な影響はほとんど含まれていないと考えられる。

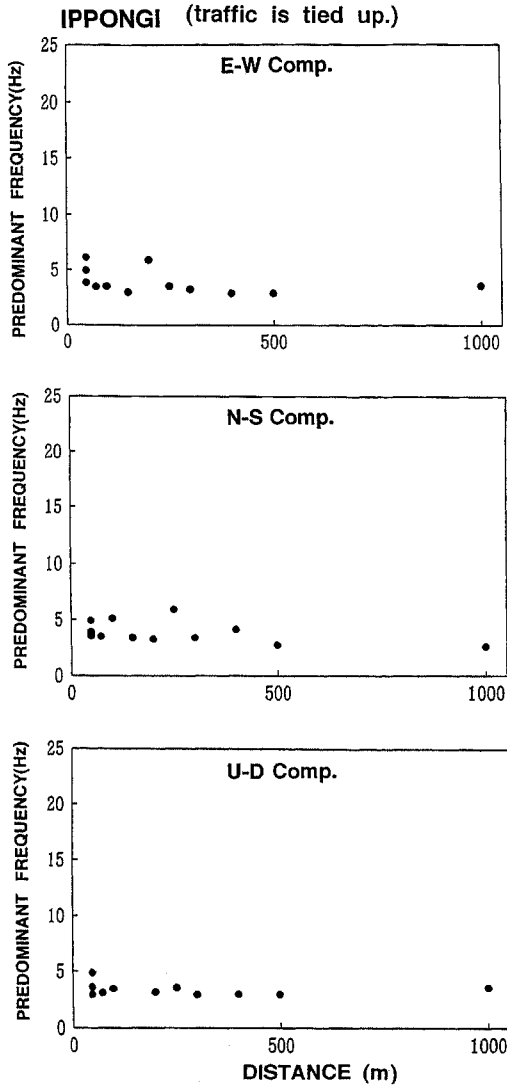


Fig. 10 Variation of predominant frequency with distance from the national road in case of no-passage of the cars and vehicles in the line Ippongi.

#### 4. 考 察

車両の通行による直接的な影響は、測線一本木では300 m程度まで、深夜で振動レベルが著しく小さい測線太田ではさらに広範囲に及んでいる。測線一本木においては、車両の通行により水平動成分では10~15 Hzの高周波成分が、上下動成分では2~6 Hzの周波数帯が主として励起されている。測線太田では水平動および上下動とも6~15 Hzが多く励起されている。車両の通行

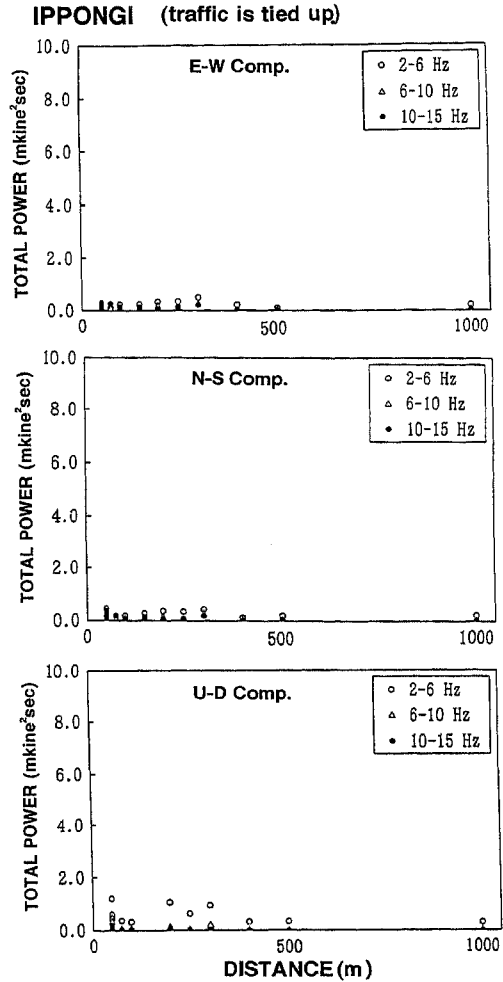


Fig. 11 Variation of total power per each frequency band with distance from the national road in case of no-passage of the cars and vehicles in the line Ippongi. The total sum of the power values in each frequency band is indicated by open circles in case of 2~6 Hz, by open triangles in case of 6~10 Hz, and by solid circles in case of 10~15 Hz.

による直接的振動は道路条件および車両の走行状態等によっても異なると推測される。測線一本木の国道は観測点とほぼ同一標高にありかつ走行速度も60 km/s程度であるのに対し、測線太田の東北自動車道は盛土上にありかつ走行速度も100 km/s以上と高速であり、また振動が主として測線とした市道の高架部分と盛土との境界で発生しているため、励起される周波数が若干異なるものと考えられる。

しかし、車両の通行が途切れ車両を確認できない車両



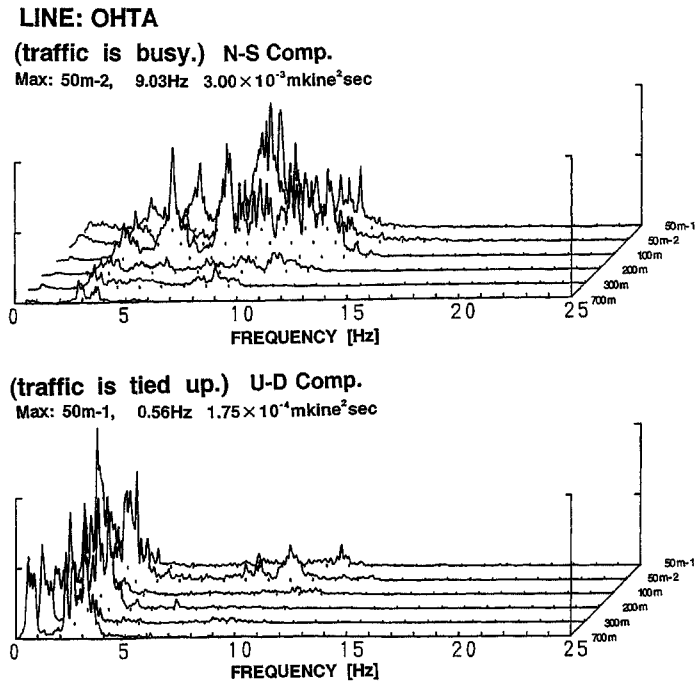


Fig. 12 Variation of normalized power spectrum with distance from the express highway in the Ohta. The schematic diagram in the upper place shows N-S component in case of the passage of cars and vehicles, whereas the diagram in the lower place shows U-D component in case of the non-passage of cars and vehicles. Since the observation was made twice, the 50 m as a criterion point is shown by 2 spectra of 50 m-1 and 50 m-2.

非通行時における微動特性は、道路からの距離によって変化がなく、かつ車両通行時の道路から著しく離れた測点とも大差はない。また、盛岡市域で深夜の時間帯に観測し車両が確認されない静かな安定した区間を解析の対象とした微動の平均最大振幅には、道路周辺区域とそれ以外の区域とで有意な差異が見い出されない。

これらのことから、車両の通行による振動の影響は道路および車両の走行条件等で異なるものの、一定時間車両の通行が途切れる場合には幹線道路近傍でも微動の観測は可能であり、得られた微動特性は観測点に固有なものとみなしてよいものと考えられる。

## 5. 結 言

盛岡市域の国道および高速道路からの距離を順次変えた測点で短周期微動の3成分アレイ観測を行い、車両等による直接的振動の特性およびその影響範囲について検討を行った。また、盛岡市域でこれまで深夜に観測された約490点の短周期微動観測結果について、交通機関による直接的ノイズが含まれていないかどうかについて併せて検討を行った。その結果、以下のようなことが明

らかになった。

- 1) 車両の通行により5 Hz~15 Hzの周波数帯の振動が多く励起され、その直接的な影響は、道路から300 m以上までである。
- 2) 車両非通行時における微動の振動および卓越周波数は、道路からの距離によってほとんど変化がない。
- 3) 盛岡市域で深夜の時間帯に観測し、車両の通行が確認されない静かな安定した区間を解析の対象として得られた微動の平均最大振幅は、道路周辺区域とそれ以外の区域とで有意な差異が見い出されない。
- 4) 解析に必要な一定時間、車両の通行が途切れるならば、幹線道路近傍でも地盤の振動特性を観測することが可能である。

## 謝 辞

観測にあたっては当時の岩手大学大学院生石川淳一・深田秀美・富田昌伸・濱田泰治・伊藤 信・吉田芳則・大丸篤志の各氏および岩手大学地下探査学研究室配属の卒研学生諸君の助力を得た。また、東北大学工学部阿部司助教授には観測機器を借用させていただくと共に、有

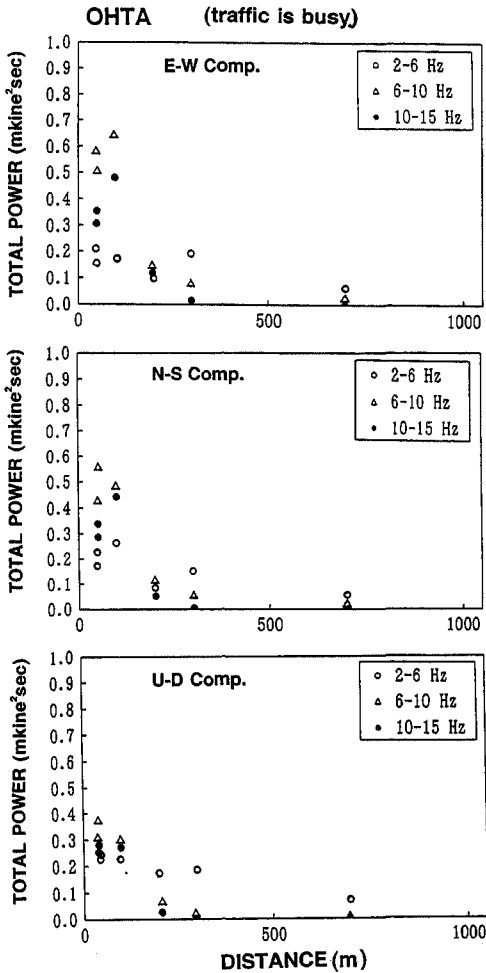


Fig. 13 Variation of total power per each frequency band with distance from the express highway in case of the passage of the cars and vehicles in the line Ohta. The total sum of the power values in each frequency band is indicated by open circles in case of 2~6 Hz, by open triangles in case of 6~10 Hz, and by solid circles in case of 10~15 Hz.

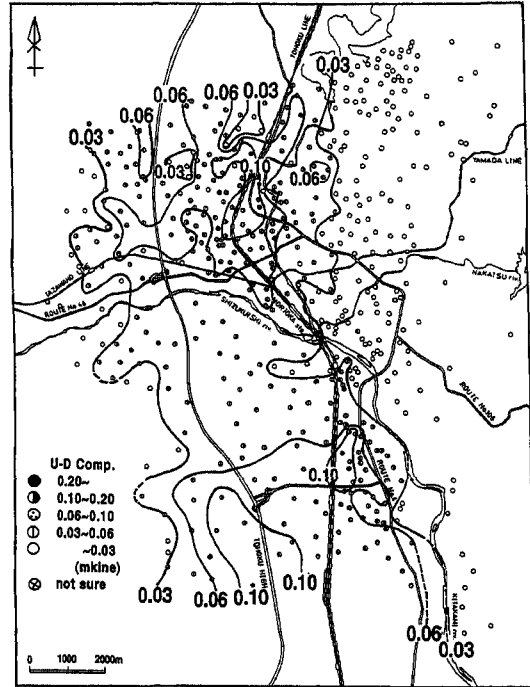


Fig. 14 Distribution of amplitude of short-period seismic noise (U-D component) in Morioka district. Amplitude is small enough in the area ranging from center of the city (eastern part of Morioka station) to mountainous district of the east part.

益など助言を賜った。記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

微動研究グループ：斎藤徳美・阿部 司・小林直太・中島直吉・中村 操・野越三雄・毎熊輝記（1994）：秋田市茨島工業地帯周辺における地盤の振動特性，物理探査，47，120-133。

岩手県（1978）：北上山系開発地域土地分類基本調査表層地質図一盛岡。

河内邦夫・後藤典俊・武藤 章（1988）：室蘭・登別地区の地盤の振動特性(3)―常時微動の振動源と卓越周期の安定性，物理探査学会第79回学術講演会講演論文集，60-63。

小淵卓也・斎藤徳美・山本英和（1994）：釧路市における工場振動を利用した浅部地下構造の推定，物理探査学会第91回学術講演会講演論文集，262-266。

大上和良・遠藤真哉・村井貞允（1977）：ボーリング資料に基づく北上低地の地下地質（その1）―盛岡市付近，岩手大学工学部研究報告，30，21-29。

東北地方建設局（1992）：平成2年度全国道路交通情勢調査一般交通調査報告書。

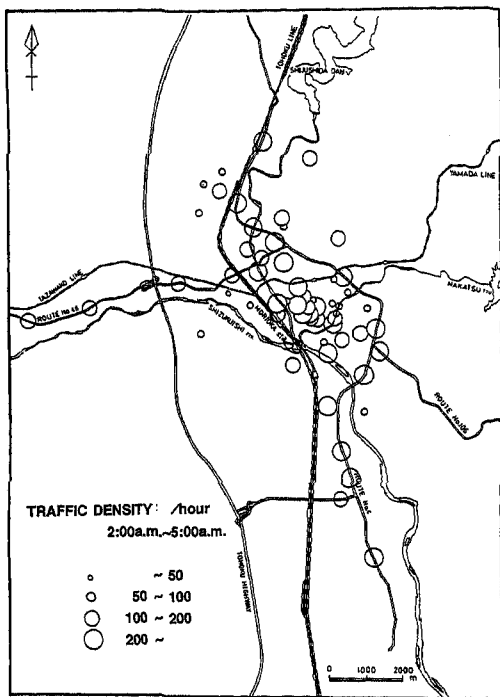


Fig. 15 Distribution of traffic volume in Morioka district per hour from 02:00 at midnight to 05:00 in the morning.

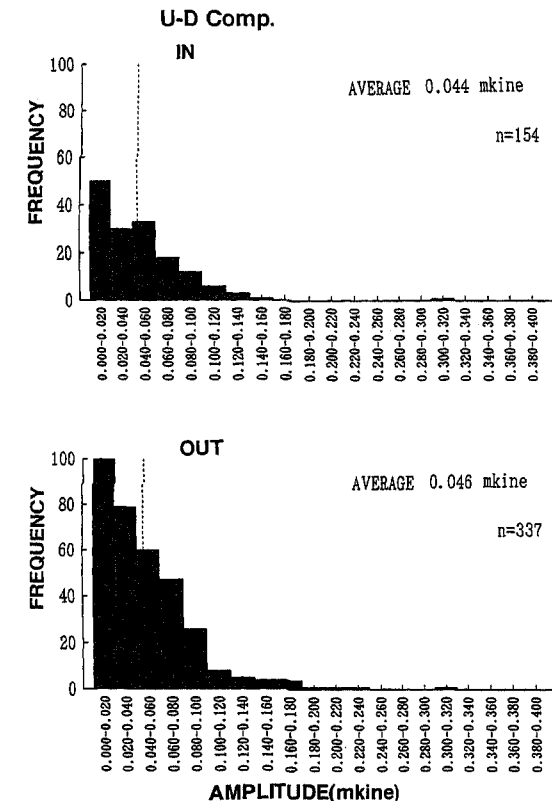
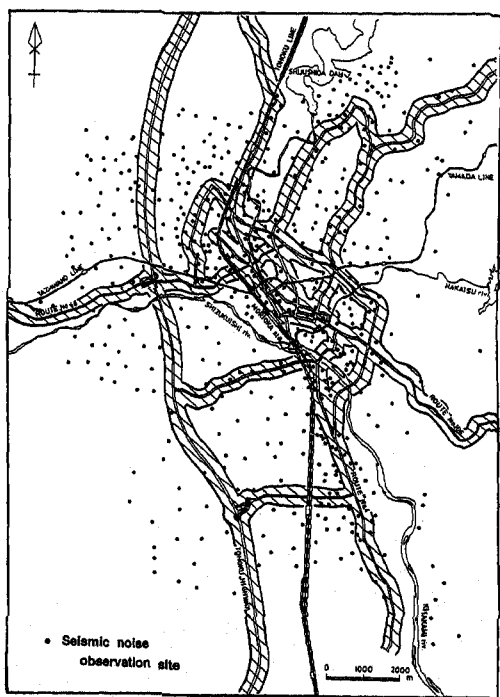


Fig. 17 Comparison of frequency distribution of amplitude (U-D component) on the observation point both on and in the outside of the districts surrounding the roads on which more than 100 cars and vehicles pass through per hour. No difference is noticed between the two.

Fig. 16 Distribution of the regions surrounding the roads. The hatched range shows the districts surrounding the road 200 m within the roads on which more than 100 cars and vehicles pass through per hour.

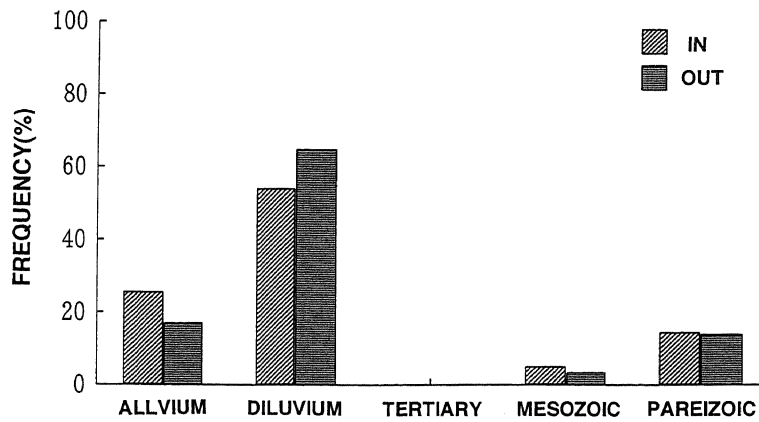


Fig. 18 Comparison of frequency distribution of geological condition on the observation point both on and in the outside of the districts surrounding the roads. No difference is noticed between the two.