

アレイ観測記録にみられる首都圏南西部での やや長周期地震動の波動伝播特性

淵上 勝志*

要 旨

首都圏南西部に高密度に配置されたアレイ観測による地震観測記録を用いて、対象地域でのやや長周期地震動の伝播特性と地盤構造との関係について検討した。その結果、周期6～9秒のラブ波成分が卓越し、これらは2つの波群からなっていることが認められた。第1の波群は震源方向よりやや西側から1.0～1.5km/sec程度で伝播し、地盤構造から推定される伝播速度と概ね対応することが確認された。また第2の波群は観測記録の制限から検討項目は限られたが、卓越方向は震源直交方向と一致することが確認された。

1. はじめに

近年、長大構造物あるいは高層、免震構造物の出現により、建設される建物の固有周期は数秒程度にまでなっている。関東平野のような堆積盆地では、地盤構造の影響により周期1秒から20秒のやや長周期成分の地震動がしばしば観測されている。この地震動が長周期構造物に与える影響を検討することは、耐震設計上重要な課題である。そこで堆積層上でのやや長周期地震動を

評価するためには、伝播経路を含めた観測点周辺の地下構造を知り、その影響を検討することが重要になる。このことは、将来の南関東地震時の首都圏域での地震動を予測する上で、不可欠な要素である。

地震観測より、やや長周期地震動と地下構造の関係を検討した例は数多くある。横田ら¹⁾は、東京都心での地震観測結果より、M6以上の地震で震源の浅い場合にはほとんどの地震で周期8秒から10秒の表面波が確認され

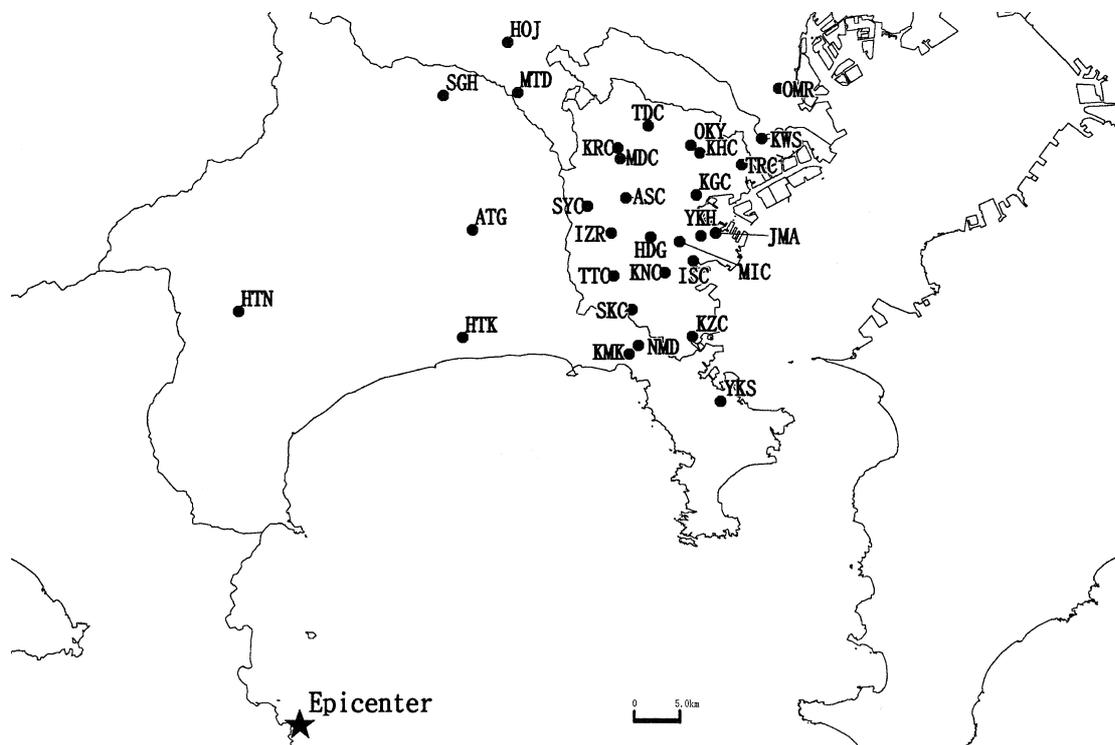


図 - 1 観測点と対象地震の位置関係

* 技術研究所

ることを報告している。若松ら²⁾は、首都圏でのやや長周期成分の特性について検討し、ラブ波に見られる特徴的な波群について述べ、その特性は相模湾を通過するか否かで大きな違いが生じると報告している。また山中ら³⁾は、伊豆半島近海に震源域をもつ地震を解析し、関東平野で確認されるやや長周期成分の伝播経路には2種類あり、震源方向から伝播するものと、関東平野西縁の山地から伝播するものが存在すると報告している。

これらの報告はいずれも地震観測記録をもとに検討されたものであり、平野内部に見られる挙動の概要を示している。すべてに共通していることは、やや長周期成分の伝播特性は平野内部及び周辺の地下構造に大きく影響を受けているという点である。しかしながら、観測記録点数の制限等により平野内部の伝播特性の詳細について検討するには至っていない。

近年、各機関で地震観測が積極的に行われ、得られる地震動データは格段に増大しつつある。本研究では、首都圏南西部に高密度に配置されたアレイ観測による地震観測記録を用いて、やや長周期成分の伝播特性を把握し、地下構造と対比することで、やや長周期地震動と地下構造の関係について検討する。

2. 観測地点

首都圏南西部に配置されている観測点と今回の対象地震の位置関係を図 - 1 に示す。対象とする地震は、1997年3月4日12時51分伊豆半島東方沖で発生したM5.7、震源深さ約3kmの地震である。検討に用いた記録は、横浜

市周辺に配置された各機関の観測点29地点で収録されたものである。各観測点は横浜市地震観測ネットワーク14点、K-Net10点、東京工業大学2点、五洋建設2点、気象庁1点である。各観測点でセンサー特性、設置状況等は異なるが、いずれも加速度記録が得られており、サンプリングタイムは50~200Hzである。表 - 1 に観測点を示す。

表 - 1 観測点

| 機関名 | 記号 | 観測点 | 機関名 | 記号 | 観測点 | |
|-----|-----|-----|-------|------|-----|------|
| 横浜市 | SYC | 瀬谷 | K-Net | YKH | 横浜 | |
| | IZR | 緑園 | | KMK | 鎌倉 | |
| | TRC | 鶴見 | | KWS | 川崎 | |
| | KGC | 神奈川 | | HTN | 秦野 | |
| | MIC | 南 | | HOJ | 八王子 | |
| | KNC | 港南 | | MTD | 町田 | |
| | HDG | 権太坂 | | YKS | 横須賀 | |
| | ASC | 旭 | | SGH | 相模原 | |
| | ISC | 磯子 | | ATG | 厚木 | |
| | KZC | 金沢 | | HTK | 平塚 | |
| | KHC | 港北 | | 東工大 | KRC | 交流むつ |
| | TDC | 都筑 | | | NMD | 西御門 |
| | TTC | 戸塚 | | 五洋建設 | OKY | 大倉山 |
| | SKC | 栄 | | | OMR | 大森 |
| 気象庁 | JMA | 横浜 | | | | |

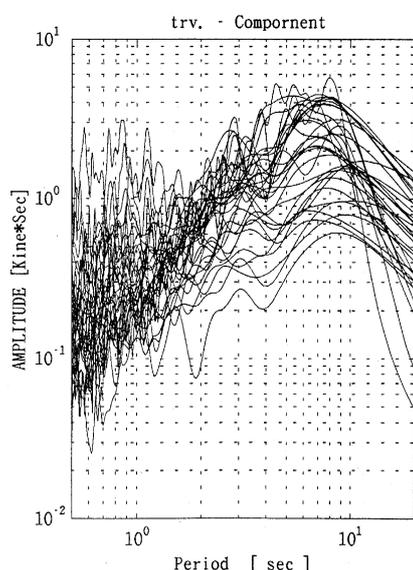


図 - 2 速度フーリエスペクトル (T 成分)

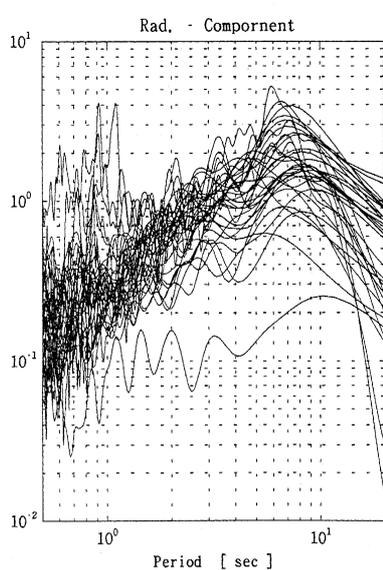


図 - 3 速度フーリエスペクトル (R 成分)

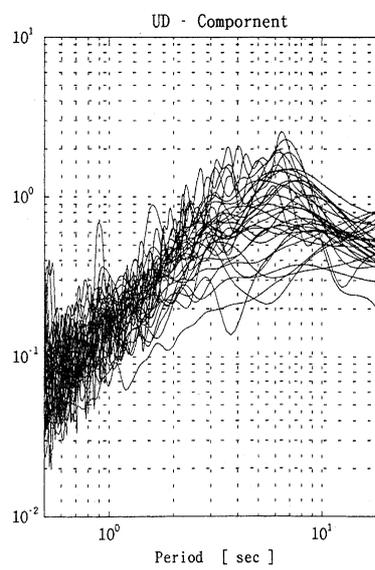


図 - 4 速度フーリエスペクトル (UD 成分)

3. 観測記録の概要

3.1 周期特性

観測された加速度記録を積分し、速度記録へ変換して検討に用いる。図 - 2 ~ 4 に震源直交方向、震源方向、上下方向(以後それぞれT成分、R成分、UD成分と略記する)の速度フーリエスペクトルを示す。各成分に着目すると、T成分で周期6~9秒付近に卓越成分が確認され、振幅も各成分の中で最も大きい。R成分は5~8秒付近に卓越成分が確認されるが、振幅はT成分よりも小さい。UD成分では4~7秒付近に卓越成分が確認される。これらの結果は既往の観測結果とも一致しており、また対象地域の深部地下構造から推定されるラブ波の約8秒、レイリー波の約5秒の卓越周期とほぼ一致している。

以上より、各成分中でT成分の振幅が最も大きくその卓越周期成分が6~9秒程度であることから、ラブ波の卓越が推測される。したがって以後はT成分のみに着目して検討を行う。

3.2 時刻歴の特徴

図 - 5 に1~10秒のバンドパスフィルター(以後BPFと略記する)処理を施したT成分の速度記録を、先頭の時刻を発震時刻で合わせ震源距離に応じて表示している。図中の直線はS波初動の走時を示している。いずれの記

録も、S波初動からかなり遅れた時刻でやや長周期成分が卓越し、前述のフーリエスペクトルにみられた周期6~9秒の成分が確認できる。首都圏南西部南端に位置するKMK(鎌倉)及びNMD(西御門)の記録は、記録時間は短いが主要動の後にすでにやや長周期成分が確認され、関東平野に到達する以前にかなりラブ波が発達していると考えられる。また平野内部に近づくにつれ、やや長周期成分は励起されJMA(横浜)周辺で最も大きな振幅を示す。

各観測記録の記録時間がそれぞれ異なるため必ずしも表面波の励起が十分に観測できないものがあるが、以後各検討項目に応じて選別して用いることとする。

3.3 周期特性と深部地下構造

各観測点で得られるT成分の周期特性と深部地下構造の関係について検討する。図 - 6 に各観測点のT成分の速度フーリエスペクトルの一覧を示す。また、図 - 7 に先新第三系上面深度分布図⁴⁾を示す。図中の深度はほぼ地震基盤深さに一致する。横浜市中心部周辺では、やや長周期成分の振幅が大きく、平野端部に近づくにつれ振幅は小さくなり、振幅の分布と地震基盤深さ分布とはよく対応している。また対象地域北東部の観測点ではやや長周期成分の振幅が小さいが、これは表面波が到達する

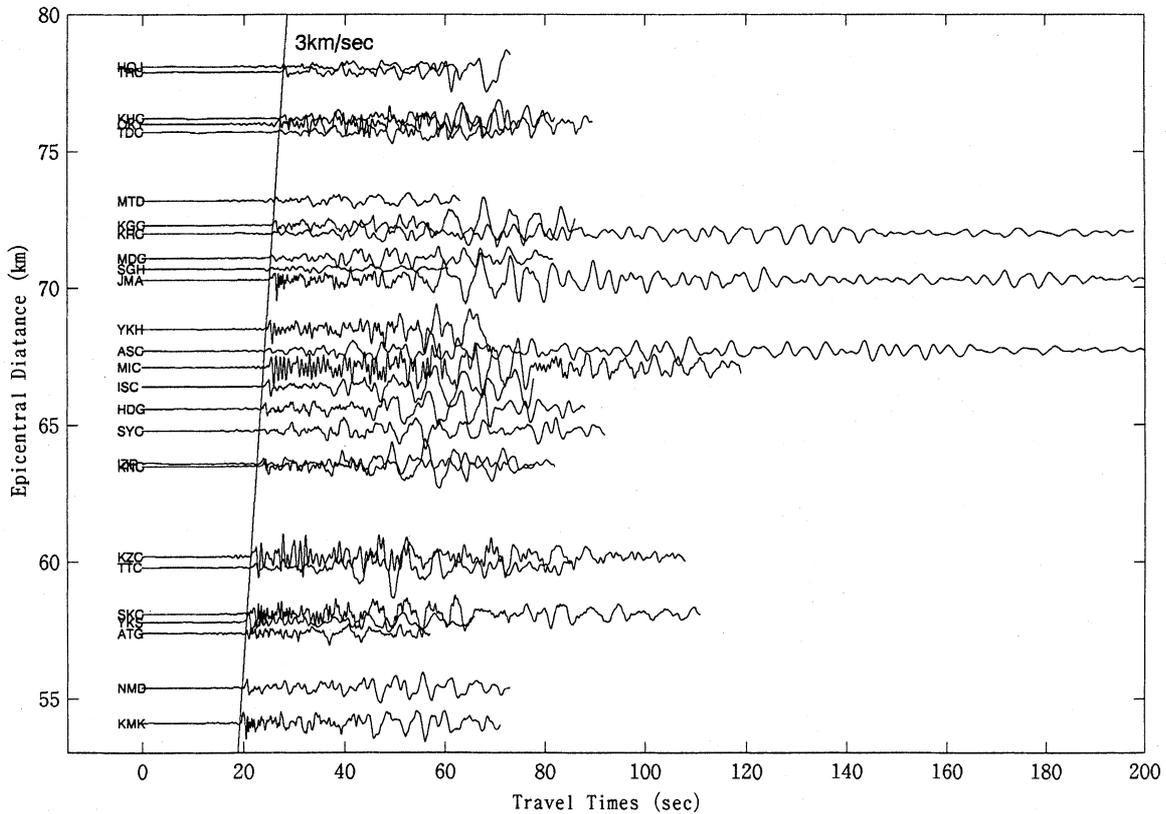


図 - 5 速度時刻歴波形 (T成分1 - 10秒バンドパスフィルター波形)

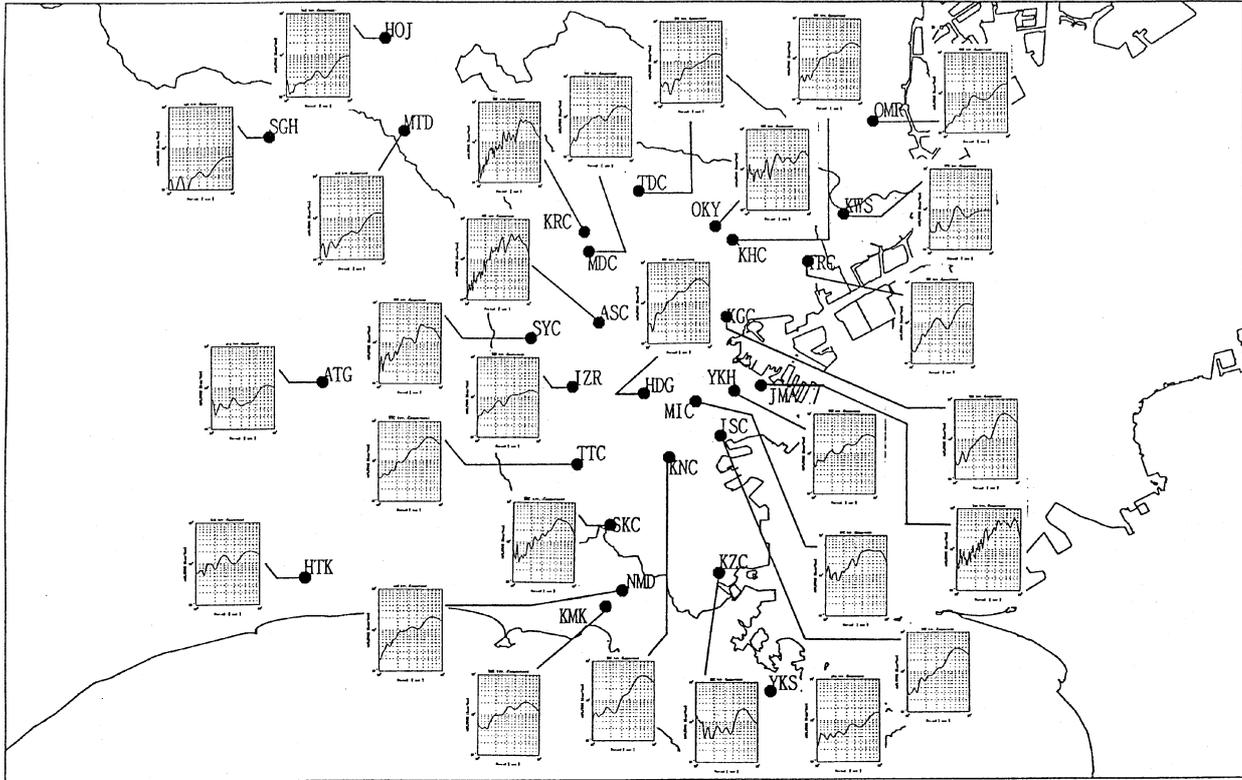


図 - 6 各観測点のT成分速度フーリエスペクトルの一覧 (T成分)

以前に記録が終了したことによると考えられる。

4. やや長周期成分にみられる伝播特性

フーリエスペクトルで確認されるT成分の6~9秒付近に着目し、6~9秒のBPF波形を震源距離に応じて図-8に示す。記録時間の短いものは、やや長周期成分の到達以前に記録が終了している。十分に記録時間の長いものに着目すると、図-9に示すように二度大きな振幅が現れ、一度目は地震発生数十秒後にもっとも大きな振幅を示し、その後再び振幅の大きな波群が確認される。

前述のように関東平野へ入射する波動として、相模湾に面する南側からの顕著な分散性を有する表面波だけでなく、西の関東山地から分散性の少ない表面波の入射もあり、少なくとも2種類の波動の存在が報告されている²⁾³⁾。

今回の観測でも6秒から9秒のBPF波形に2つの波群が確認できることから、以後主要動直後に最も大きな振幅を示す波群を第1波群、その後再び振幅の大きくなる波群を第2波群として分類し、それぞれの波群の伝播特性

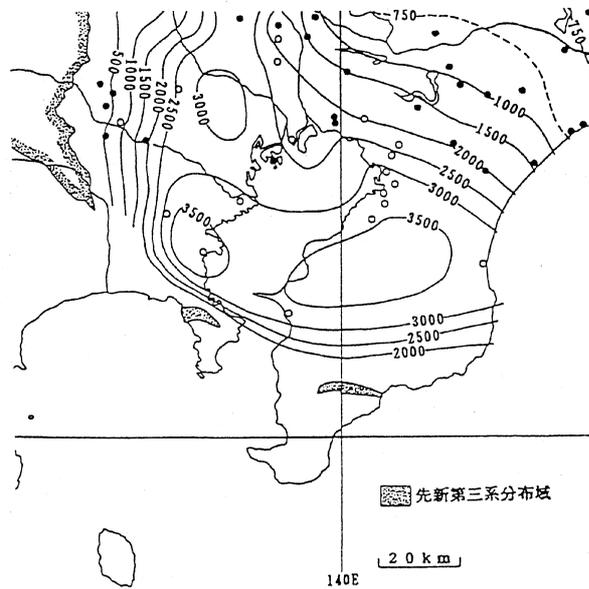


図 - 7 先新第三系上面深度分布

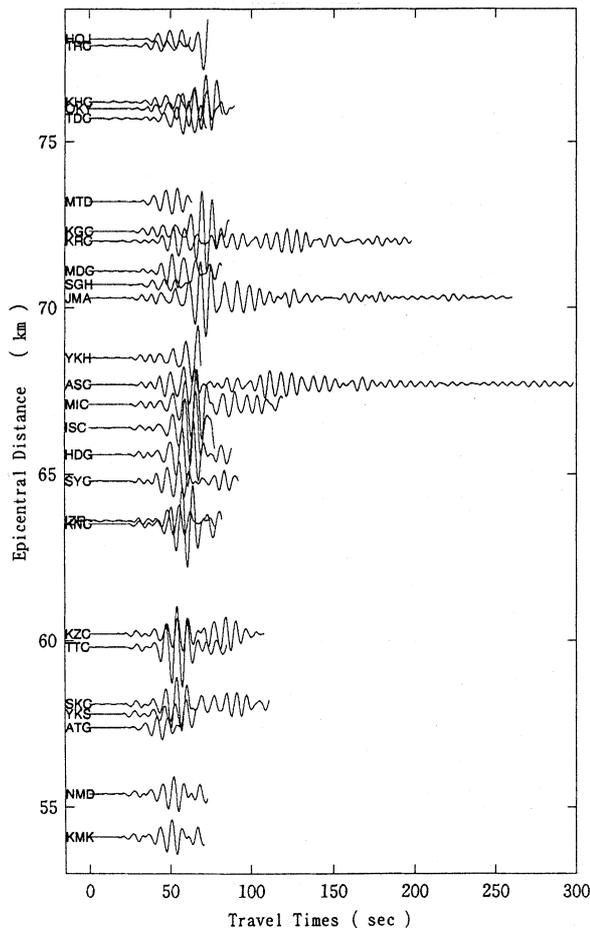


図 - 8 速度波形一覧 (6-9秒BPF波形)

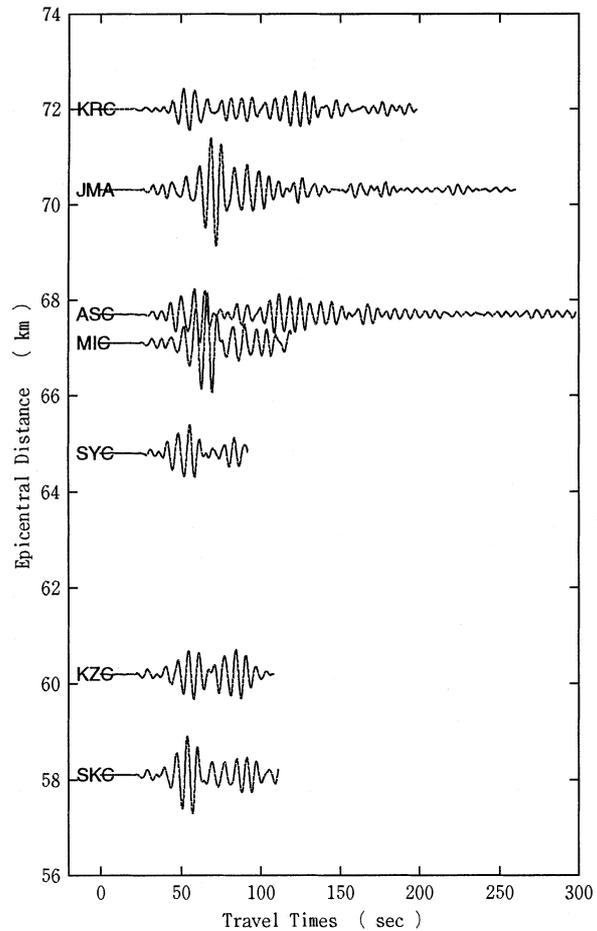


図 - 9 記録時間の長い観測点での速度波形 (6-9秒BPF波形)

について検討を行う。

4.1 第1波群に着目した伝播性状の検討

第1の波群は記録時間の短い観測点でも確認されている(図-8参照)。この波群が確認される時間内の周期6~9秒のオービットを作成し、図-10にその結果を示す。このとき図中に示す軸は震源方向と震源直交方向を示すものである。

主軸の向きは観測点毎に異なり、首都圏南西部の南側(HTK、SKC、KZC)では概ね震源直交方向を示し、北側(TDC、OKY、ASC)では大きく回転している傾向がみられる。しかしながら多くの観測点で主軸は震源直交方向より西に回転しており、この波群の伝播方向は、震源よりやや西側であると推測される。

次に、各観測点で複数のグループを構成し、各グループ毎に伝播方向と伝播速度を求める。伝播方向と伝播速度は6、7、8秒を中心周期とする各BPF波形からSemblance解析⁵⁾を用いて求めた。それぞれのグループに対して得

られたSemblance値が最大となる時間での波形の伝播方向および伝播速度を図-11に示す。

対象地域の南端に位置するグループ7では、伝播方向はほぼ震源方向に一致している。しかしながらその他のグループは震源方向よりやや西側から伝播している。得られた伝播方向は、オービットの卓越方向とほぼ直交している。

伝播速度は、臨海部に近いグループ4で1.1km/secと最も遅いが、他のグループでも1.2~1.5km/sec程度である。

4.2 第2波群に着目した伝播性状の検討

第2波群に対して各観測点でオービットを作成し、その結果を図-12に示す。このとき図中に示す軸は震源方向と震源直交方向を示すものである。ほとんどの観測点で主軸はほぼ震源直交方向を示しているが、主軸が震源直交方向とややずれている観測点もある。

第1波群についての検討と同様にSemblance解析を行った。しかしながら、観測点間隔が大きいため伝播方

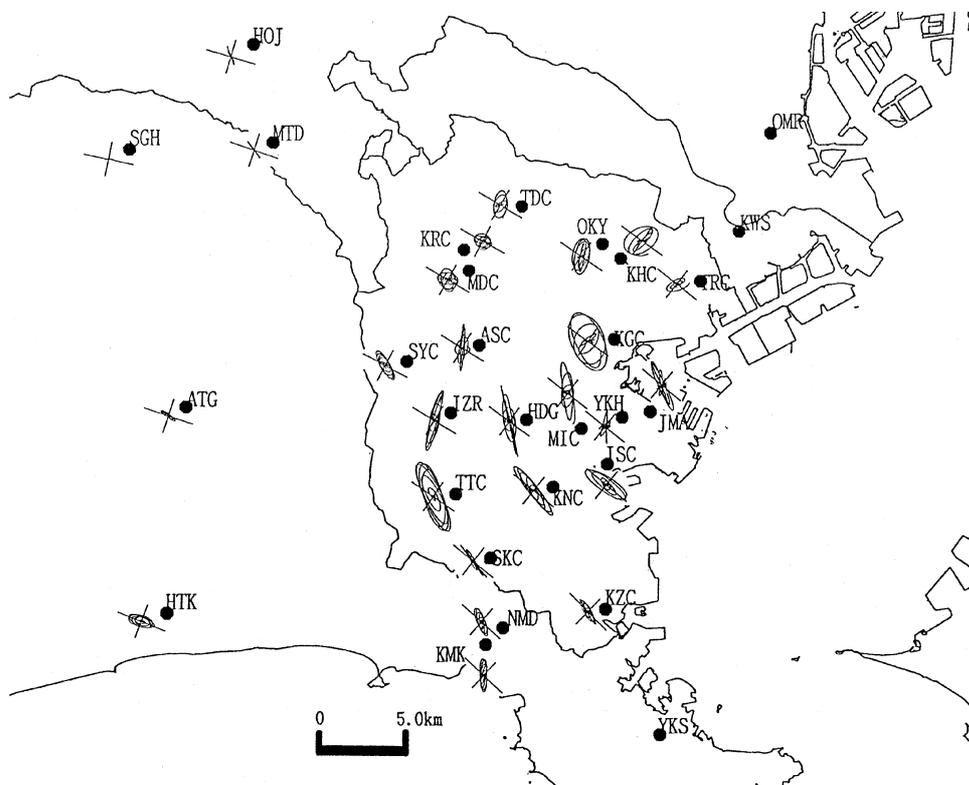


図 - 10 第1波群継続中のオービット (6-9秒 BPF)

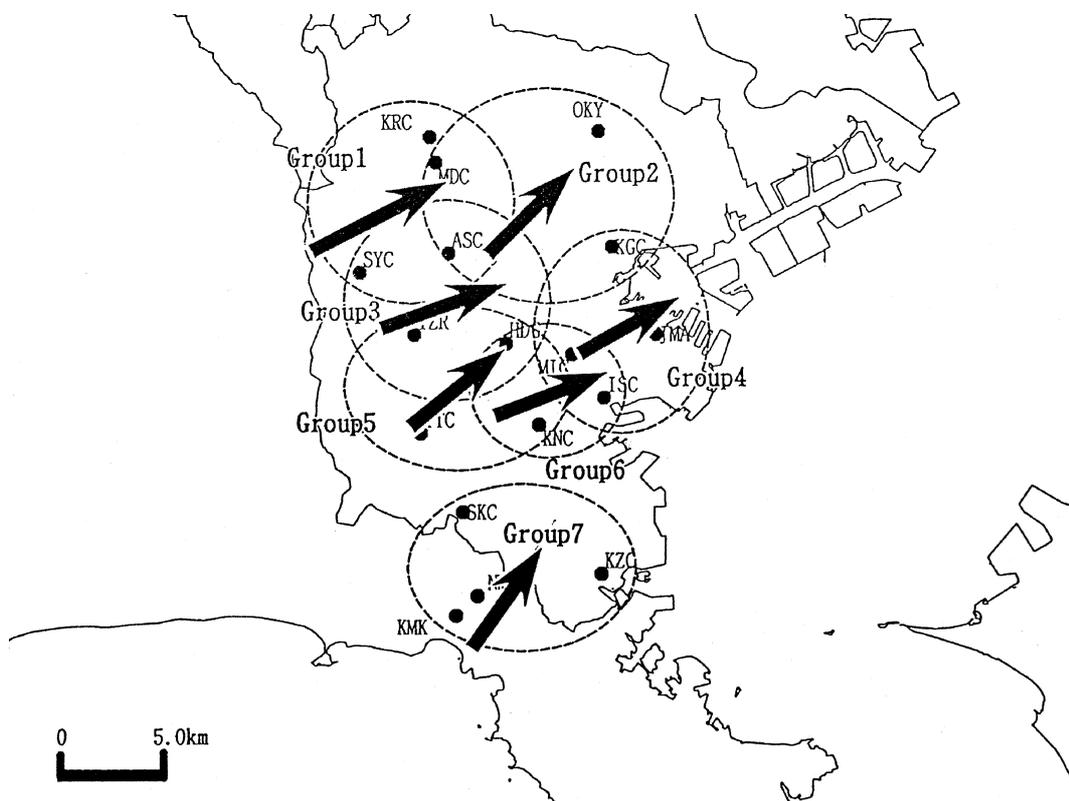


図 - 11 Semblance 解析による各グループでの伝播速度と伝播方向



図 - 1 2 第 2 波群継続中のオービット (6-9 秒 BPF)

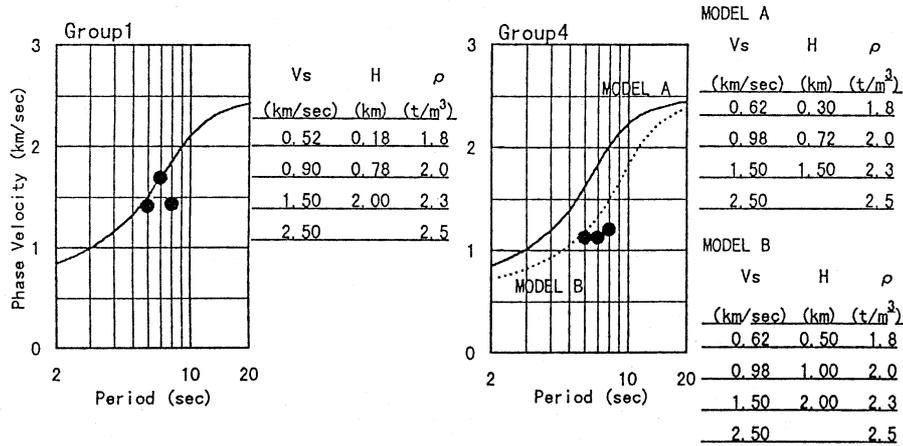


図 - 1 3 観測結果と推定地盤構造から得られる伝播速度の比較

向、伝播速度ともに信頼性のある結果を得られなかった。
 なお、第2波群の出現時刻から、震源から観測点までのみかけの伝播速度を計算すると0.6km/sec前後となる。

4.3 地盤構造との対応

前節で、第1波群を対象として求めた Group1 及び Group4 の Semblance 解析による伝播速度を、人工地震探査等による地盤構造^{6),7)}から推定される理論分散曲線(図中に実線で示す)と比較し、結果を図 - 1 3 に示す。

Group1 では理論値と観測値はほぼ一致するが、Group4 では観測値の方が遅い。図 - 7 に示した先新第三紀系の

深度分布では、Group4 での基盤深度は約3.5kmとされているため、地盤モデルを修正して計算したものを点線で示す。この場合には理論値と観測値はほぼ一致する。

5. まとめ

1997年伊豆半島東方沖の地震(M5.7)で関東平野南西部の31地点で観測された記録を解析したところ、

- 1)震源直交方向に周期6~9秒の成分が卓越していること、
- 2)これらはS波初動からかなり遅れて発生した2つの波

群からなっていること、
3)第1波群は震源方向より西側から1.0～1.5km/secの伝播速度で伝播しており、観測点付近の地盤構造から計算されるラブ波の伝播速度と概ね一致すること、
4)第2波群については、記録時間が十分なものが限られているために、限られた解析しか行えなかったが、その卓越方向は震源直交方向とほぼ一致していること、
以上の4点が確認できた。

謝 辞

本論文は、東京工業大学翠川三郎教授との共同研究の成果である。本論文の作成に当たりまして地震観測記録を提供していただいた横浜市、東京工業大学年縄巧助教授、防災科学技術研究所、気象庁の関係各位に心から御礼を申し上げます。

参考文献

1) 横田治彦・片岡俊一・田中貞二：東京で観測されるやや長周期地震動とその特性、第7回日本地震工学シンポジウム、pp.193～197、1986

2) 若松邦夫・野畑有秀・安井謙：第9回日本地震工学シンポジウム、地震観測に基づく首都圏地域の地盤振動性状に関する研究、pp.187～192、1994

3) 山中浩明・瀬尾和大・佐間野隆憲・丹羽正徳：関東平野およびその周辺の地下構造とやや長周期地震動、第9回日本地震工学シンポジウム、pp.451～456、1994

4) 鈴木宏芳：江東深層地核活動観測井の地質と首都圏地域の地質構造、防災科学技術研究所研究報告、第56号、pp.77～123、1996

5) N.S.Neidell・T. Taner：Semblance and Other Coherency Measure for Multichannel Data、Geophysics、Vol.36、No.3、pp.482-497、1971

6) 山中浩明・瀬尾和大・佐間野隆憲・翠川三郎・嶋悦三・柳沢馬住：人工地震による首都圏南西部の地下深部調査(3) - 1983、1984年に実施された人工地震データの総合的解析 -、地震第2報、第41巻、pp.527～539、1988

7) 佐藤浩章・山中浩明・栗田勝実・瀬尾和大：やや長周期微動のアレイ観測による関東平野南西部の深い地盤のS波速度構造探査、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.191～192、1997