

濃尾平野の深層地下構造の推定

野澤貴¹・小島清嗣²・北野哲司²・大保直人³・永田茂³・石田寛¹

1 工修 鹿島技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

2 東邦ガス株式会社 供給管理部 幹線建設グループ (〒456-8511 名古屋市熱田区桜田町 19-18)

3 正会員 工博 鹿島技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

著者らは既に名古屋地域における地震被害推定システムを構築し実用に供しているが、評価結果の推定精度向上のためには地下構造の検証が必須である。この目的のために、微動観測とその解析により濃尾平野の深層地下構造の推定を行った。微動観測の方法は、上下動アレイ同時観測と3成分移動観測の形態を実施した。f-k解析により求められた位相速度からは2つの解釈が考えられたが、H/V比との併用から基準モデルを設定することができた。このモデルと層厚変化のパターンを仮定し、移動観測記録のH/V比との対比から各点の地下構造を推定した。これらの結果を補間し、濃尾平野の地下構造の推定を行った。推定結果は概ね既往の調査結果と対応することが確認され、従来より広域にわたる深層地下構造が推定できた。

KeyWords: *microtremor, subsurface structure, Rayleigh wave, H/V spectral ratio*

1. はじめに

著者らは名古屋地域における地震被害推定システムを構築し、既に実用に供している¹⁾。評価結果の推定精度を高めるためには地下構造の適切なモデル化がなされているかが肝要であり、その検証が必須である。

本報告では、前述の目的のために、微動観測とその解析により濃尾平野の深層地下構造の推定を行った結果について報告する。

2. 微動観測の概要

微動観測の方法は、上下動アレイ同時観測と3成分移動観測の形態を実施した。観測地点位置を図-1に示す。図中の●印17点は移動観測を実施した地点を示す。上下動アレイ観測はアレイサイズを変えて大・中・小の3通りを行った。各アレイ観測の観測点数は基準点を中心とした10点で構成されるものとした。図中の点線は大アレイの外側の三角形を示している。大・中・小アレイの最大三角形の一辺の長さは各々、10km, 2.5km, 0.6km程度である。観測条件の詳細を表-1に示す。尚、アレイ観測では時刻の同時性を確保する為に、水晶発振時計信号も同時収録し、後処理により時刻較正を行った。

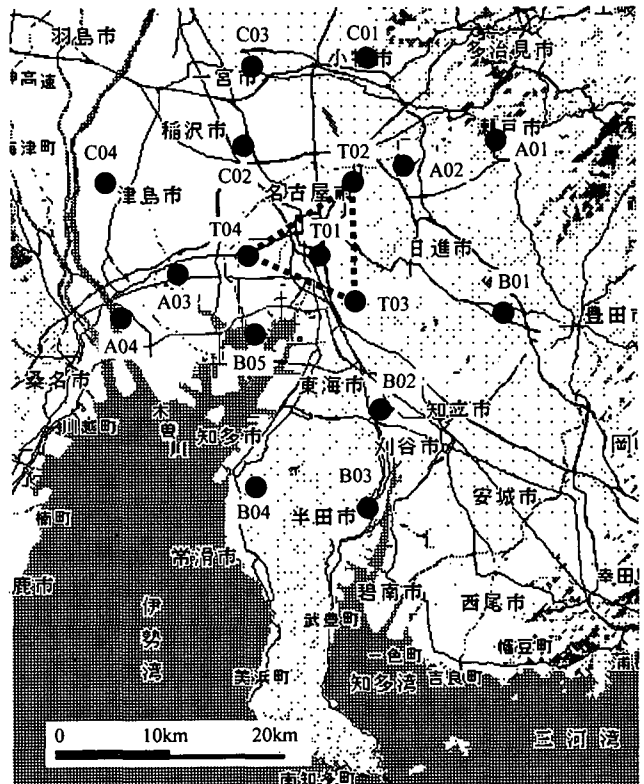


図-1 観測点位置

今回、微動計としてはPELS-73H,V(振動技研製)を使用した。この微動計は設置時に振り子周期を10s

に設定する必要があるが、観測現地において厳密に設定することは困難である。このため、全ての観測に際しては、自由振動波形を収録し、この波形から固有周期と減衰定数を同定することで、観測時の計器特性を把握した。さらに解析の際には固有周期 10s、減衰定数 70%に補正した記録を用いた。

表-1 観測条件

観測形態	観測日時と収録時間	観測点番号	サンプリングとフィルタ
小アレイ観測	1999/12/8 1:00~(90分間)	S01~S10	100Hz sampling 1Hz high-cut
中アレイ観測	1999/12/9 1:00~(90分間)	M01~M10	100Hz sampling 1Hz high-cut
大アレイ観測	1999/12/10 1:00~(90分間)	L01~L10	100Hz sampling 1Hz high-cut
3成分移動観測	1999/12/10, 11 の日中 (各地点 15分間)	T01~T04 A01~A04 B01~B05 C01~C04	50Hz sampling 1Hz high-cut 但し、以下の地点は 10Hz high-cut とした。 A01,A02, B01,B02,B03,B04 C01

※ アレイ観測の基準点(S01,M01,L01)及び T01 は同じ地点

3. アレイ観測記録の解析

各アレイ観測記録において、局所的なノイズ部分を除いて波形部分を選択しアンサンブル平均をとることとした。基準点を基準としたコヒーレンスは、小・中・大アレイで各々周期 1s, 2s, 4s 程度以上で良好となることを確認の上、f-k 解析を行った。尚、解析フレーム長は対象周期帯を考慮して、小・中・大アレイで各々 163.84s, 327.68s, 655.36s とした。フレーム数は各々、27, 29, 8 フレームである。図-2 には得られた Rayleigh 波の位相速度を示す。これらは概ね Rayleigh 波の基本モードに対応するものと考えられる。但し、破線で括った周期 3s 前後のデータは全体の分散曲線の中でやや上側に位置しているため、これらのデータについては、1) 基本モード [case 1], 2) 1次モード [case 2] の可能性を想定し、遺伝的アルゴリズムによる逆解析²⁾により地下構造の推定を行った。その際、層厚・Vp・Vs のパラメータ探索範囲は既往の調査結果^{3)~5)}を参照した。表-2 に求められた case 1, case 2 の地下構造モデルを、図-3 にはこれらによる理論分散曲線を観測と比較して示す。観測は概ね基本モードと対応しているが、周期 3s 前後については、case 1 では基本モードが、case 2 の場合には 1次モードが対応している。一方、アレイ観測のほぼ中心に位置する基準点では表-1 に示すように 3成分観測も実施している。これに基づいて後述する手法⁶⁾により H/V 比を求め、case 1, case 2 から

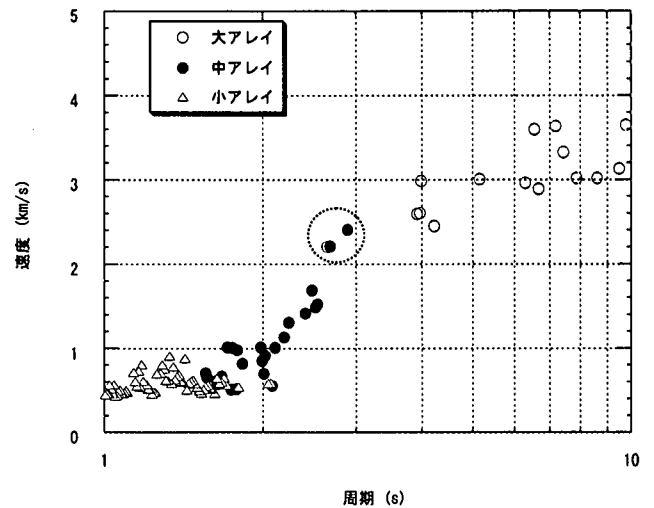


図-2 観測から得られた Rayleigh 波の位相速度

表-2 逆解析による地下構造の推定結果

(1) case 1

H (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	ρ (g/cm ³)
0.10	1.09	0.21	1.7
0.30	1.81	0.70	1.9
0.31	3.45	2.13	2.4
∞	5.00	3.00	2.6

(2) case 2

H (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	ρ (g/cm ³)
0.49	1.61	0.55	1.9
0.99	3.23	1.61	2.4
1.48	5.00	2.61	2.6
16.68	6.00	3.80	2.7
∞	7.90	4.31	3.1

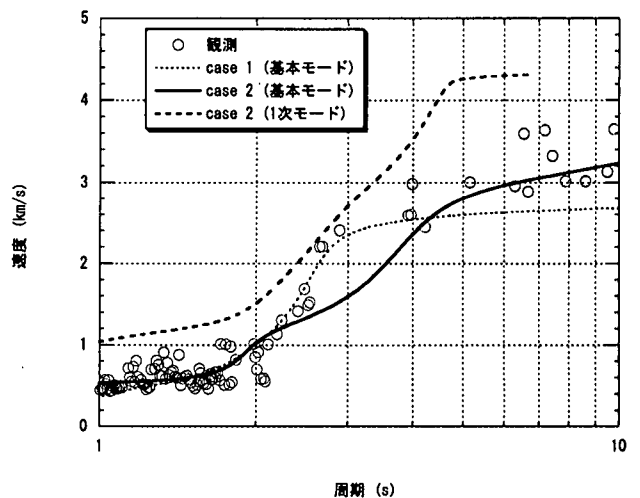


図-3 観測と理論分散曲線との比較

得られる理論 H/V 比と比較した。結果を図-4 に示す。case 1 の場合には観測に明瞭に見られる周期 2s 付近の谷が説明できず、case 2 の方が観測と良く対応することがわかる。図-5 には case 2 によるミディウムレスポンスを示すが、周期 3~5s 付近では 1 次モードが基本モードを上回っており、図-2 の破線で括ったデータを 1 次モードと解釈することに大きな矛盾はないと考えられる。

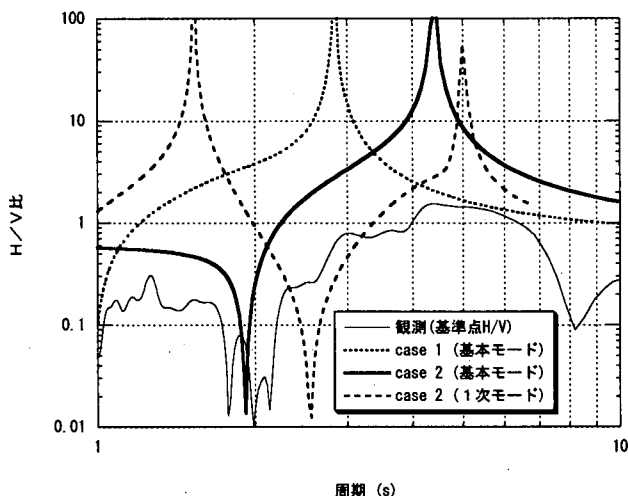


図-4 基準点での H/V 比と理論 H/V 比との比較

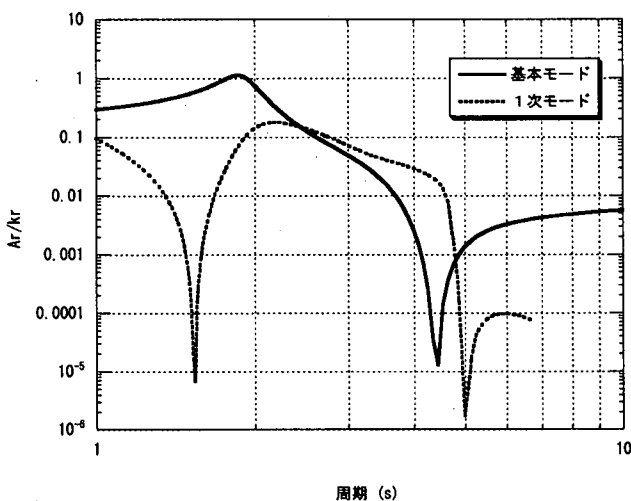


図-5 case 2 によるミディウムレスポンス

4. 移動観測記録の解析

移動観測を実施した地域は東部の台地・丘陵地と西部の沖積地に分けることができる。既往の調査によれば、東部では東海層群 ($V_s 0.5 \sim 0.7 \text{ km/s}$) がほぼ露頭している。また 3.での解析によれば、工学的基盤 ($V_s 0.5 \text{ km/s}$) 以浅に関して分解能が余りないといえる。これらを総合して、理論分散曲線と理論 H/V 比

について 3.での case 2 とほぼ同じ特性を有するような基準モデルを設定した。

移動観測点の地下構造は、観測記録の H/V 比を地下構造モデルによる理論 H/V 比と対比することで求めるが、その際の地下構造モデルの層厚変化については、表-3 のように地震基盤 ($V_s 2.6 \text{ km/s}$) の深さ D をパラメータとすることを仮定した。

観測記録の H/V 比は上下成分と相関のない水平成分を除去した形⁶⁾ で求めることとした。図-6 には移動観測点での H/V 比と理論 H/V 比との比較例を示す。図上段に下線を記した地震基盤深さが各地点で推定された地下構造モデルを表している。

表-3 基準モデルと層厚変化のパターン

基準モデル				西部	東部
H (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	ρ (g/cm^3)	H (km)	H (km)
0.05	1.00	0.30	1.9	0.04 D	-
0.20	1.30	0.50	1.9	0.16 D	0.17 D
0.40	1.60	0.70	2.1	0.32 D	0.33 D
0.60	3.20	1.60	2.4	0.48 D	0.50 D
1.50	5.00	2.60	2.6	1.50	1.50
17.00	6.00	3.80	2.7	17.00	17.00
∞	7.90	4.30	3.1	∞	∞

※ 層厚 H の欄における D は地震基盤の深さを示す。

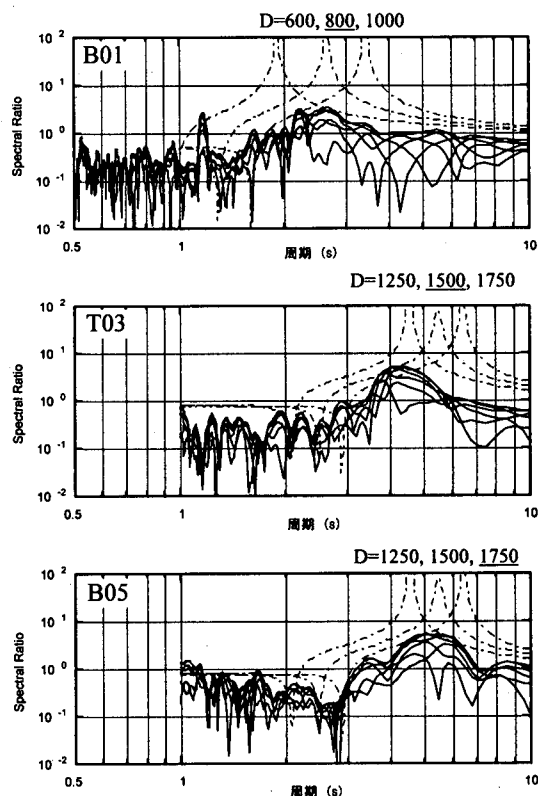


図-6 移動観測点での H/V 比と理論 H/V 比との比較

5. 広域地下構造の推定

4. で求めた各移動観測点の地下構造をもとに濃尾平野広域の地下構造の推定を試みた。補間方法としてはクリギング法を用い、2地点間の距離が0のとき相関係数が1で距離の増大とともに相関係数が低下する距離相関モデルを設定し、1.5km 間隔とした任意メッシュの重心と各移動観測点までの距離に応じた相関係数が距離相関モデルを満たすように値を求めた。図-7、図-8 に求められた、工学的基盤 ($Vs0.5\text{km/s}$) 及び地震基盤 ($Vs2.6\text{km/s}$) の深度分布を示す。

工学的基盤は名古屋市西部で深く、最深部で80m、東部では0~10mとなった。また地震基盤については、西部地域で深く、最深部で2000m、東部では1000m以下と求められた。いずれも西部で深く東部に行くにつれ浅くなる傾向がみられ、これは既往調査結果とも対応している。但し、今回の評価結果の方が全体に浅めの値となったが、これには表-3 で仮定した層厚比の関係が基準点の構造から定めたものであるため、広域に展開する場合にはその関係が必ずしも維持されないことが影響しているかもしれない。しかしながら、H/V 比の相对比较から、やや長周期の特性を反映した広域の等価な地下構造として求めることができたと考えられる。

6. まとめ

濃尾平野広域の深層地下構造を推定するために、微動観測とその解析を行った。推定結果は概ね既往調査結果と対応することが確認され、従来より広域にわたる深層地下構造が推定できた。

謝辞

微動観測に際しては、比嘉泰雄氏、佐藤浩氏、定本明男氏 (以上、(株)アルテス)、鳥澤一見氏 (鹿島技研) に御協力いただきました。ここに感謝を記します。

参考文献

- 1) 小島他：名古屋市市内周辺の加速度応答スペクトルの地盤増幅特性に関する検討、第10回日本地震工学シンポジウム論文集、第1分冊、pp.1111-1116、1998。
- 2) 山中・石田：遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析、日本建築学会構造系論文集、No.468、pp.9-17、1995.2。
- 3) 正木・飯田：名古屋地域の深部地盤構造 I、愛知工業大学研究報告、pp.165-173、1981。
- 4) 正木他：名古屋地域の深部地盤構造 II、愛知工業大学研究報告、pp.159-171、1982。

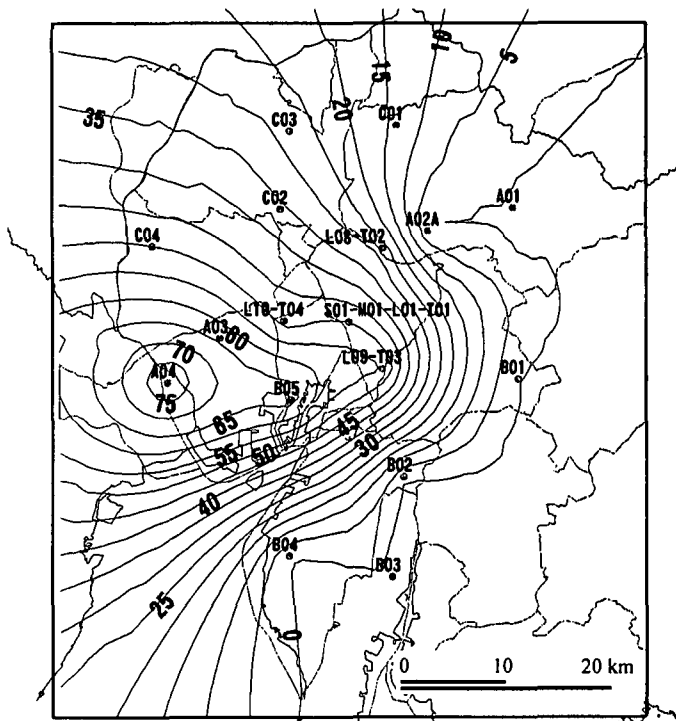


図-7 工学的基盤面深度の評価結果 (単位:m)

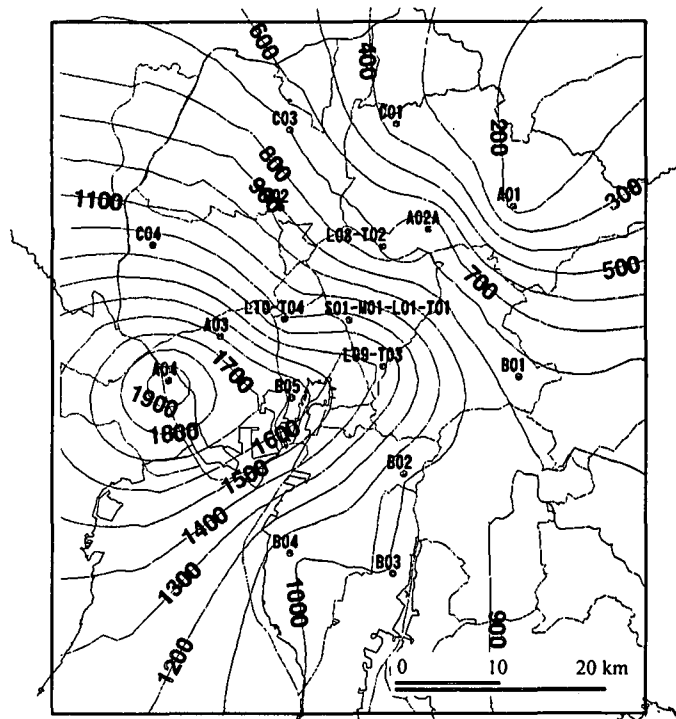


図-8 地震基盤面深度の評価結果 (単位:m)

- 5) Aoki et al. : Crustal structure in the profile across central Japan as derived from explosion seismic observations, J. Phys. Earth, 20, 197-223, 1972.
- 6) 石田他：神戸市街地直下における基盤深さ深度分布の推定—やや長周期微動の水平/上下スペクトル比に基づく評価—、日本建築学会構造系論文集、No.490、pp.91-100、1996.12。

(2001.5.25 受付)