

## 岡崎平野の地下構造調査及び強震動特性

### Geological Structure Survey and Strong Ground Motion Characteristics in the Okazaki Plain

酒井博之† 正木和明††

Hiroyuki SAKAI and Kazuaki MASAKI

**Abstract:** The Okazaki Plain located in the Aichi Prefecture is one of most industrial area in Japan, and also the region where severe damages are predicted by the future large earthquakes such as Tokai / Tohankai earthquakes. Therefore, it is important to take earthquake disaster prevention measures. Therefore, this study estimated the geological structure of the Okazaki plain based on the results of past studies (Geological structure survey by the Aichi Prefecture in 2001-2004 and Microtremor Array Observation). Then in this study strong motions were simulated and compared with observed ones. As a result, the wave pattern and the spectrum almost agreed. There is not the big change of the structure from the north to the south, and each layer is parallel to basement structure. However, the basement is deep in the west side of the plain. The model provided in this article is useful to estimate future strong earthquake motion.

## 1. 序論

### 1・1 背景

近年の中越沖地震をはじめとする地震では、多くの企業が被災し、被災後の復旧活動や事業継続活動に多大な影響を及ぼした。三河地域は日本有数の産業集積地域であり、且つ近い将来、東海地震や東南海地震等の巨大地震の発生が危惧されている地域であり、産業に大きな被害を受けることが懸念される。

そのため、三河地域の地下構造及び強震動特性を把握し、巨大地震に対する、耐震補強等の地震防災対策を推進する必要がある。

### 1・2 研究の目的

本研究では、これまでに行われてきた愛知県の下地構造調査<sup>1)</sup>や微動アレー観測<sup>2)3)</sup>の結果などを参考に初期

地盤モデルを仮定し、1次元、2次元地震動解析を組み合わせることで、より地震防災対策に有用な地下構造及び強震動特性を推定することを目的とする。

## 2. 研究方法

本研究は地域防災研究センターが設置した強震観測ネット (AI-net) のデータ<sup>4)</sup>を用い、岡崎平野の地盤モデルを仮定して1次元地震動解析を行う。図1に地震動解析の概念図を示す。解析により得られた速度波形・フーリエスペクトルと、実際に観測された速度波形・フーリエスペクトルの比較や、増幅率とスペクトル比 (観測波スペクトル/入力波のスペクトル) を比較することで地盤モデルを作成する。

次に、1次元地震動解析により推定された地盤モデルを基に、2次元地盤モデルを作成し、2次元地震動解析を行う。1次元解析同様、速度波形、フーリエスペクトルの比較を行い、より正確な地盤構造を推定する。全体のフローチャートを図2に示す。

† 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻

†† 愛知工業大学工学部都市環境学科 (豊田市)

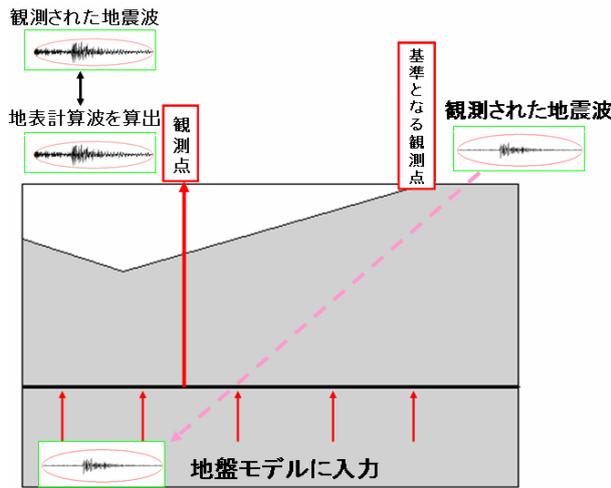


図 1 地震動解析概念図

よって深度構造図から基盤上であると推定される AIN. 004 (豊田工機花園工場) 地点の地震波を入力波に用いる。

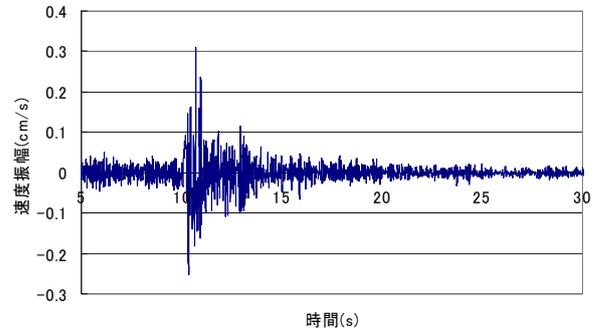


図 3 入力波に用いた AIN.004 地点の観測波形

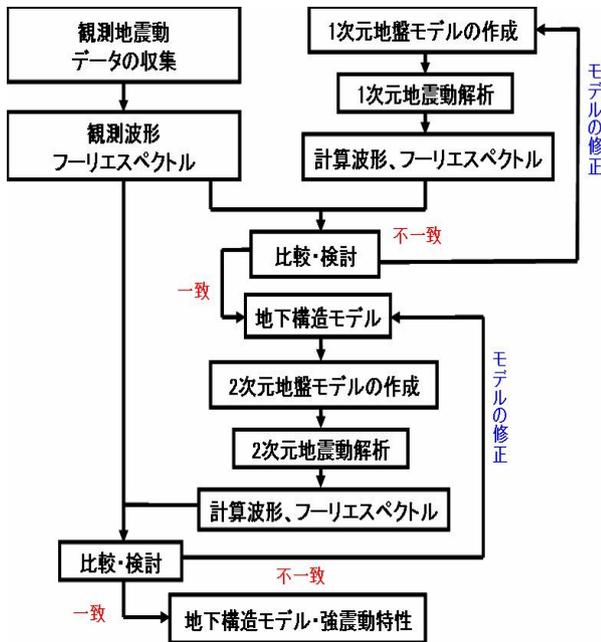


図 2 研究のフローチャート

### 3・2 解析地点

過去の微動アレー観測結果 (日比: 2005, 富田: 2006) を初期モデルとして理論計算を行い、アレー観測地点近傍の AI-net の観測記録 (10 地点) と比較した。



図 4 解析地点配置図

## 3. 1次元地震動解析による地盤モデルの作成

### 3. 1 入力波

1次元地震動解析を行うためにまず入力波の選定を行った。解析に用いる入力波は、マグニチュードができるだけ大きく、観測された地点が多いものが望ましい。

またこの解析においては、距離減衰や入射角の影響を取り除くため、三河地域の近傍で発生し 2005 年 12 月 24 日に観測された、愛知県西部を震源とした深さ 43km、M4.8 の地震を入力波とする。

地震波は堆積層を通過することで増幅してしまうので、岩盤上で採れた地震波を使用しなければならない。

岡崎平野は 5 層構造と考えられている。しかし、2 層目と 3 層目の物性値に大きな違いが見られないため、1 つの層として考えることができる。そのため本研究では、表 1 に示す 4 層構造として解析を行う。

表 1 岡崎平野の地質構成

A	沖積層、洪積層
B	東海層群
C	中新統
D	基盤岩

### 3・3 初期モデルでの解析

初期モデルでの解析結果の一例として AIN. 003 地点での波形、スペクトル、増幅率の比較を図 5～7 に示す。速度波形では振幅が倍ほども離れているところが見られ、スペクトル、増幅率においても卓越周期にずれが見られる。

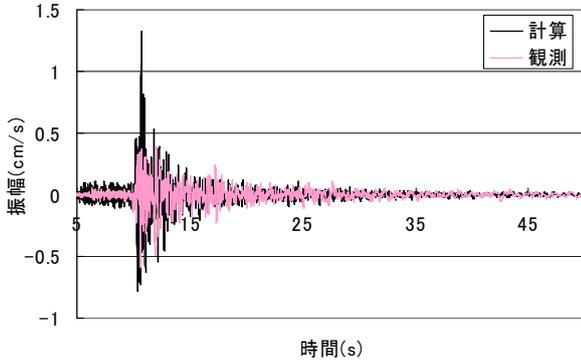


図 5 AIN. 003 の計算と観測の波形の比較

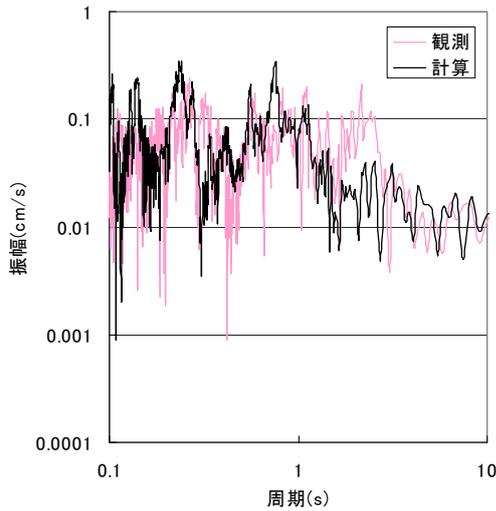


図 6 AIN. 003 の計算と観測のスペクトルの比較

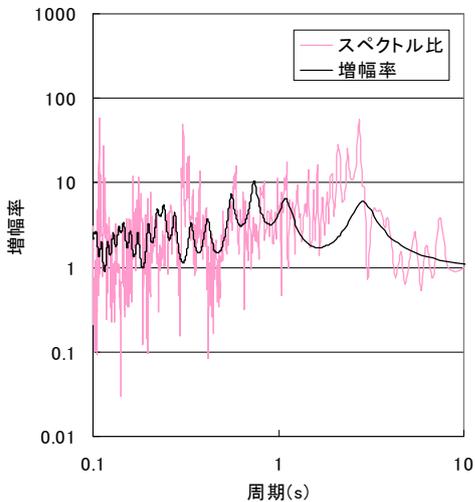


図 7 AIN. 003 の増幅率とスペクトル比の比較

### 3・4 モデルの修正

初期モデルのままでは、速度波形の最大振幅やスペクトルの卓越周期にずれが生じてしまっている。

そこで、S波速度、Q値、層厚などのパラメータを変化させることによって、波形の一致状況の改善を計った。

結果、速度波形では顕著に、スペクトル・増幅率においても、わずかではあるが一致が改善された。図 8～10 に比較を示す。

表 2 パラメータの修正

	$V_s$ (km/s)	$Q_s$	H(層厚:km)		$V_{sk}$ (m/s)	$Q_s$	H(層厚:km)
A	0.19	18.7	0.03		0.19	68.7	0.03
B	0.63	62.5	0.29	→	0.63	82.5	0.29
C	0.86	86.1	0.24	修正	1.06	86.1	0.34
D	3.00	300.0	$\infty$		3.00	300.0	$\infty$

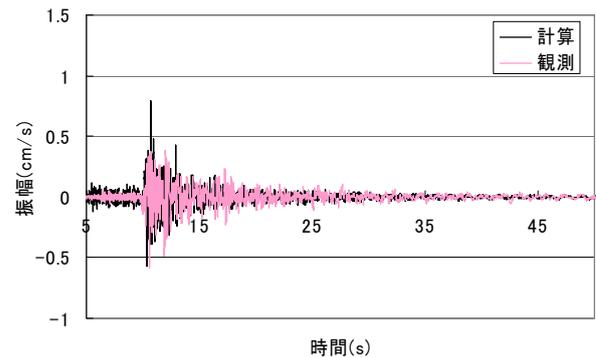


図 8 モデル修正後の AIN. 003 の計算と観測の波形の比較

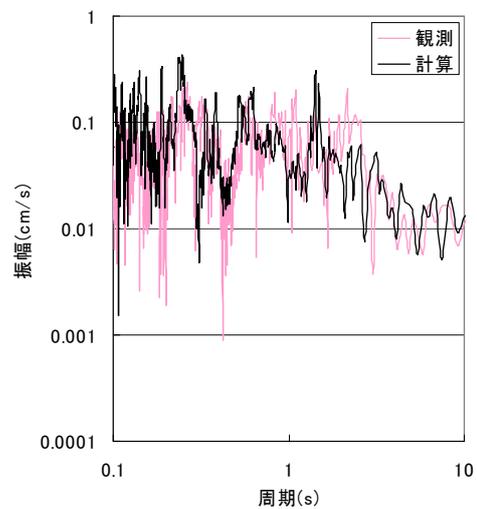


図 9 モデル修正後の AIN. 003 の計算と観測のスペクトルの比較

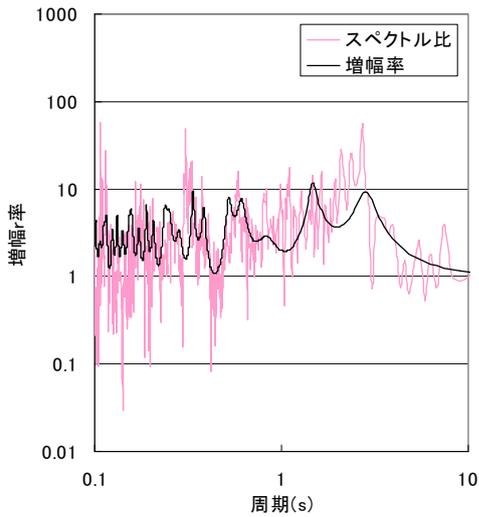


図 10 モデル修正後の AIN.003 の増幅率とスペクトル比の比較

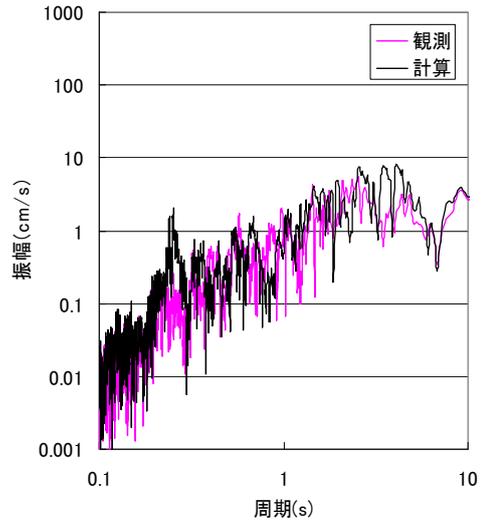


図 13 AIN.003 の計算と観測のスペクトルの比較

#### 4. 能登半島地震の観測記録を利用した解析

##### 4・1 1次元地震動解析

第 3 章で作成した 1 次元モデルを使用して、2007 年 3 月 25 日の能登半島地震でも同様の 1 次元解析を行った。震源は深さ 11 km、M6.9 の地震である。解析結果を図 12~14 に示す。

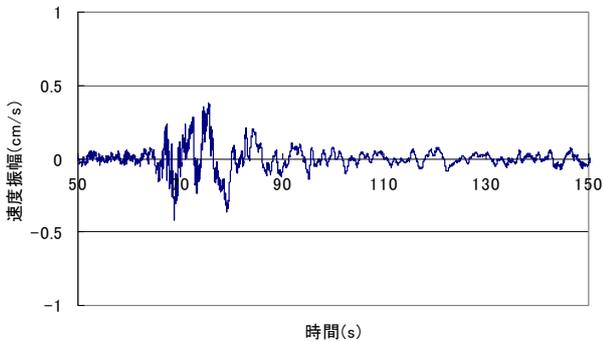


図 11 入力に用いた愛知工業大学の観測波形

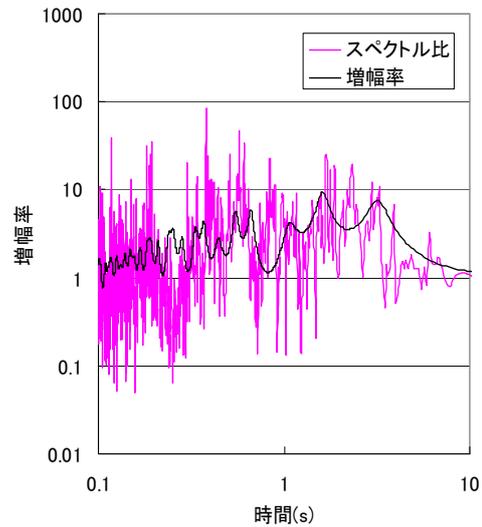


図 14 AIN.003 の増幅率とスペクトル比の比較

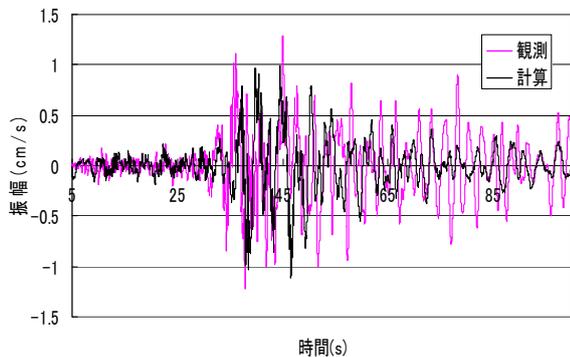


図 12 AIN.003 の計算と観測の波形の比較

愛知県西部の地震での解析結果同様、概ね波形、スペクトルともに観測の波形、スペクトルの特徴を再現していると考えられる。

しかし、速度波形の後続波の減衰等、振幅の増幅の様子に違いが見られる。これは、地盤構造が不形成であるために、他方向からの地震波の反射などが 1 次元では解析できていないためと考えられる。

##### 4・2 2次元地震動解析

さらなる一致を計るため、能登半島地震の地震記録を用いて 2 次元地震動解析を行い、地盤モデルの改善を試みた。

観測点の設置状況から図 4 のように測線を定め、愛知県の地下構造調査<sup>1)</sup>の結果及び第 3 章で行った 1 次元解

析の結果から、初期地盤モデルを作成する。各層のパラメータも愛知県調査結果を基に、1次元解析の結果を反映させ決定した。

2次元解析のための初期地盤モデルは、岡崎平野の北から南へ全長約30km、深さ5kmのもので、この測線の南の延長線上は東南海地震の震源が予測されているため、東南海地震を解析する場合においても有用なモデルであると考えられる。解析に用いるモデルのメッシュ幅は、水平方向40m、深さ方向40mであり、解析は差分法により行った。各層のパラメータを表3に、モデルを図15に示す。

表3 2次元モデル各層パラメータ

Layer	P波速度(km/s)	S波速度(km/s)	$\rho$ 密度( $g/cm^3$ )	Qs
A	1.70	0.35	1.90	50
B	2.20	0.62	2.00	50
C	3.00	1.25	2.30	100
D	5.50	3.30	2.70	250

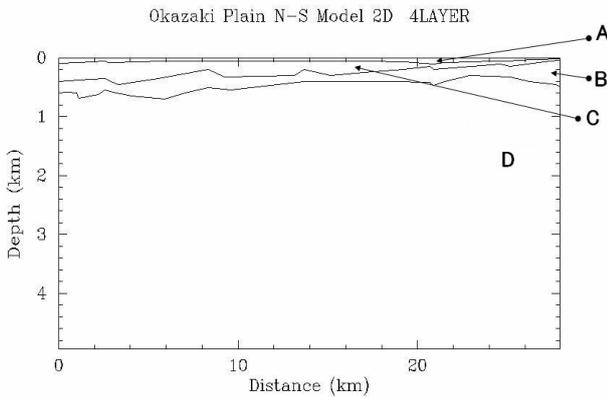


図15 初期地盤モデル

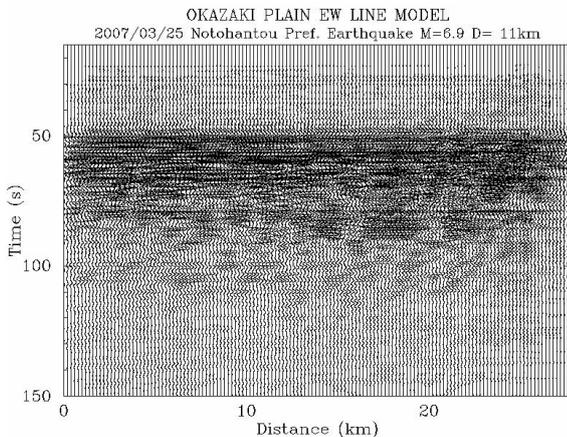


図16 鉛直入射時の水平距離600m毎の地点における計算波形のペーストアップ図

基盤上である愛知工業大学の観測波を入力波とし、作成した地盤モデルに深度3.0kmから平面波として鉛直入力した。

図16は解析によって得られた波形である。南北測線は全体に渡って各層がほぼ一様に堆積しているため、地震波の増幅も全体に渡って生じていることが明瞭である。

### 4.3 解析地点での波形とスペクトルの比較

計算された各観測地点の速度波形、フーリエスペクトルと観測された速度波形、フーリエスペクトルを比較した。一例として測線の北端に位置するAIN.003地点と、南端に位置するAIN.022地点の比較を図17~20に示す。

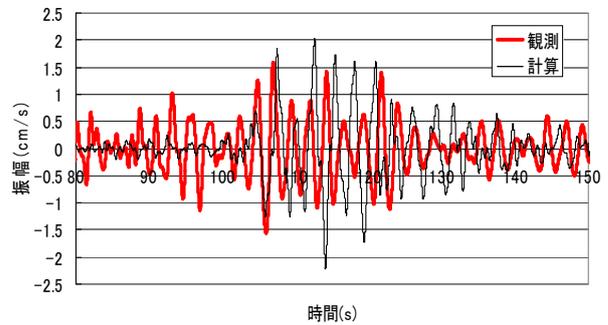


図17 AIN.003の計算と観測の波形の比較

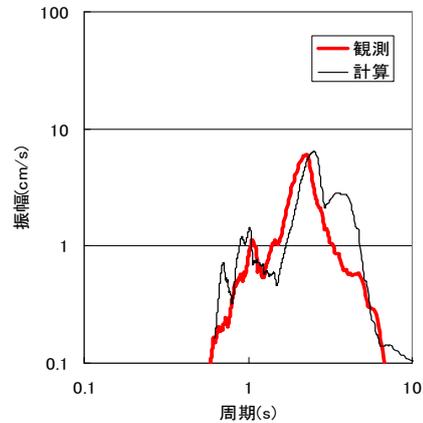


図18 AIN.003の計算と観測のスペクトルの比較

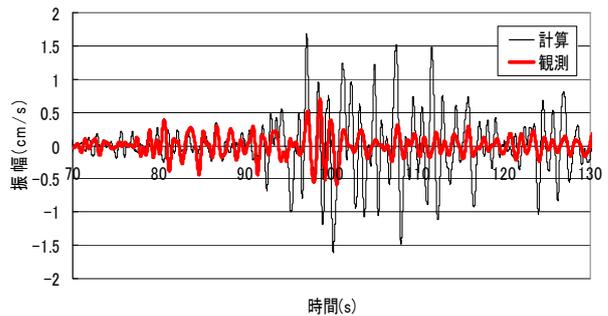


図19 AIN.022の計算と観測の波形の比較

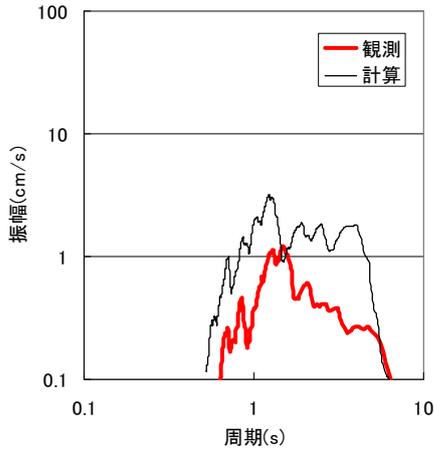


図 20 AIN.022 の計算と観測のスペクトルの比較

AIN.003 地点においては波形の形状の一致もよく、1次元解析の結果と比較しても、後続波の部分などがよく再現されており、スペクトルもよく一致している。したがって、1次元解析より2次元解析の方が観測波形をよりよく再現できたと言える。

しかし、AIN.022 地点では、計算波形、スペクトルとも振幅が大きく出ている。これは解析において、愛知工業大学で観測された地震波を測線全体に鉛直入力していることに原因があると考えられる。実際の地震波は、解析対象地域に入射角を持って入射してくる。愛知工業大学から各観測地点までは距離が離れている分距離減衰が生じ、測線の南へ向かうほど地震波は減衰していると考えられる。

よって地震波をより正しく反映させるには、入射角を考慮し解析する必要がある。

## 5. 斜方入射

斜方入射の概念図を図 21 に示す。

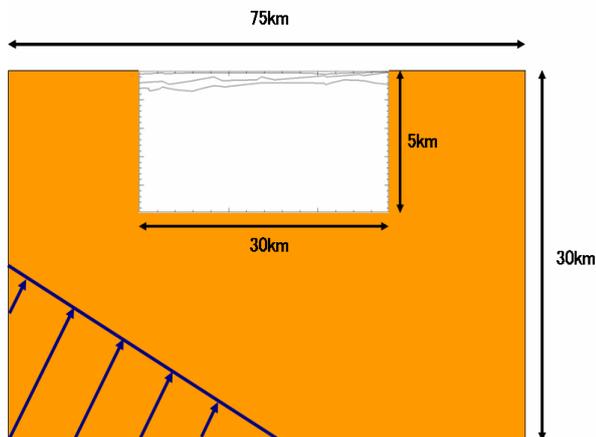


図 21 斜方入射概念図

解析対象地域は、鉛直入射時と同じ範囲であるが、図 22 に示すように斜方入射するためには地盤モデルを変更する必要がある。そのため南北に約 75km、深さ 30km 程度に拡張した解析モデルを用いた。

### 5・1 入射角

入射角を算出するため、防災科学技術研究所の基盤強震観測網 (kik-net) のデータ<sup>5)</sup>から、能登半島地震の S 波到達の走時曲線を求めた (図 22)。ここから得られた S 波速度と、基盤の S 波速度から入射角を三角関数より  $50^\circ$  と算出した。

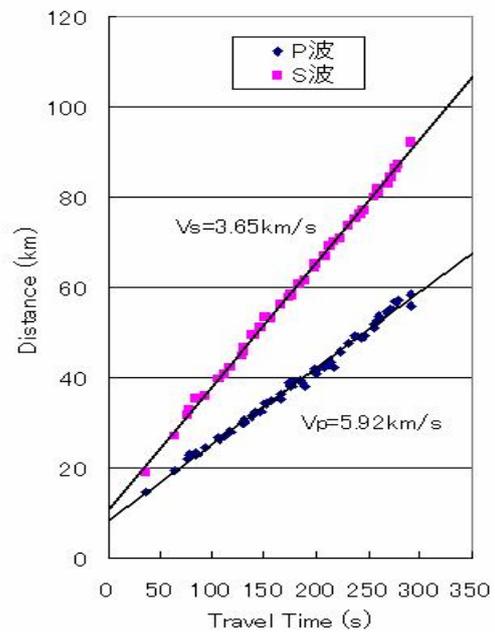


図 22 能登半島地震の走時曲線

### 5・2 解析結果

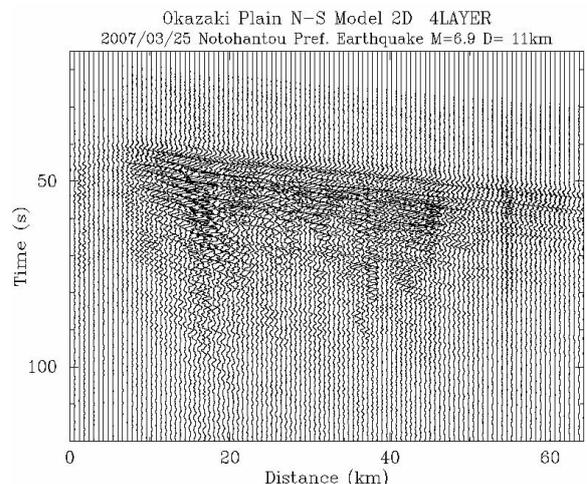


図 23 入射角  $50^\circ$  の場合のペーストアップ図

斜方入射により計算された各観測地点の速度波形、フーリエスペクトルと観測された速度波形、フーリエスペクトルを比較した。一例として AIN. 003、AIN. 022 地点の比較を図 24~27 に示す。

鉛直入射の場合と比較して、AIN. 003 地点では、わずかに波形の位相や振幅の大きさに改善が見られた。

AIN. 022 地点では、波形、スペクトルともに大幅な改善が見られ、斜方入射で解析することによって距離減衰がよく再現されたことがわかる。

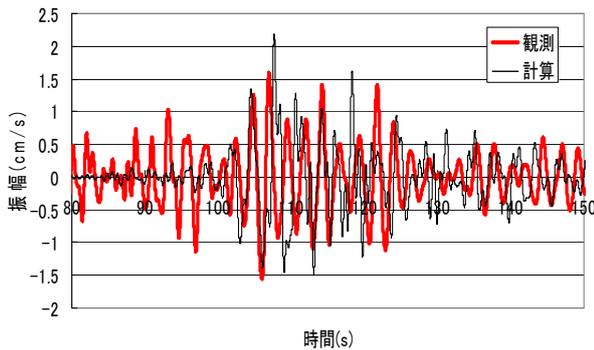


図 24 AIN. 003 の計算と観測の波形の比較

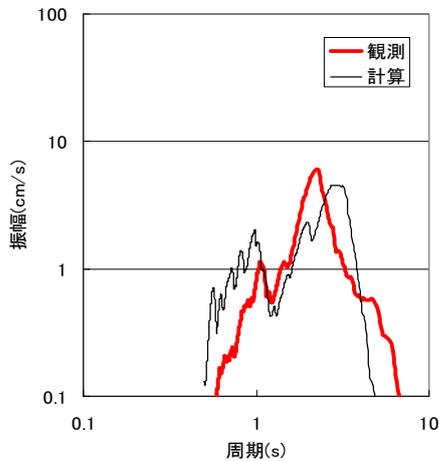


図 25 AIN. 003 の計算と観測のスペクトルの比較

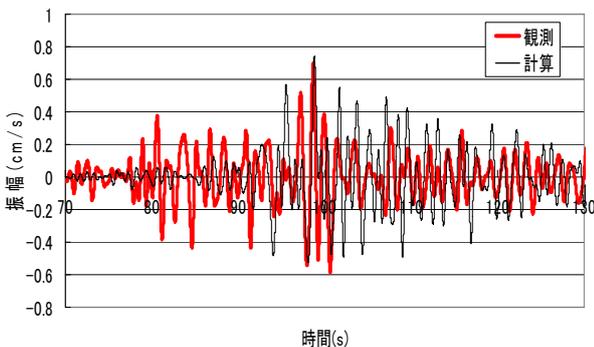


図 26 AIN. 022 の計算と観測の波形の比較

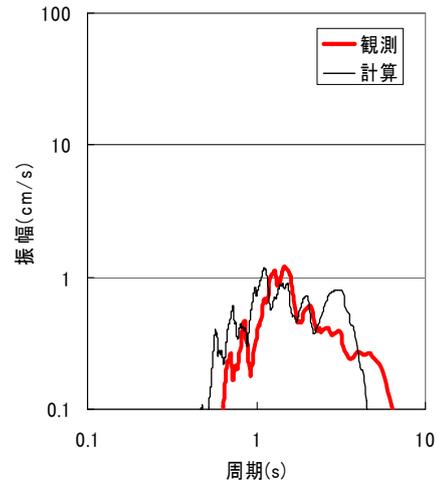


図 27 AIN. 022 の計算と観測のスペクトルの比較

## 6. 結論

本研究では、岡崎平野の強震動特性及び地下構造を推定するために、1次元、2次元解析による計算波形を、実際の観測波と比較してモデルの正確性を検証した。結論を以下に示す。

- (1) 既存の資料から得られた岡崎平野の地下構造は、北から南にかけてやや、層が薄くなっていく様子が見られるが、全体的に大きな変化はなく各層が平行した地下構造である。基盤までの深度も 1km 程で知多半島の地下構造と比較すると浅くなっており、東西には東から西にかけて深くなる構造である。
- (2) 1次元解析による計算波形と観測波形とを比較することにより、地盤モデルを改善した。
- (3) 1次元解析で得られた地盤モデルを用いて2次元解析を実施した結果、1次元解析では再現できていなかった後続波を再現することができるなど、改善がなされた。さらに、斜方入射を考慮することにより、測線の南の地点での波形も再現できた。

以上のことより、解析により求めた波形、スペクトルと観測の波形、スペクトルの対応は概ね良いといえ、推定した地下構造及び強震動特性は地震防災対策に有用であるといえる。

本研究では地震計の設置点や観測できている地震記録の関係上、1つの測線では解析できなかった。そのため、観測網の整備や観測記録の蓄積によって、多くの解析が行われることで、より有用な結果が得られると考える。

## 謝辞

本論文の作成にあたって、同研究室の卒業生で、東京工業大学総合理工学研究科人間環境システム工学瀬尾研の佐口浩一郎さんには、プログラムの作成、使用方法等研究全体に亘りまして御指導と御教授を賜り、心よりお礼を申し上げます。

愛知工業大学大学院生の倉橋奨さんには、お忙しい中データの収集等、御指導と御助言を賜り、心よりお礼を申し上げます。

愛知工業大学大学院生の上田竹寛君には、研究のお手伝い、アドバイスを頂き、心より感謝いたします。

## 参考文献

1) 愛知県：三河地域堆積平野地下構造調査報告書, 2001-2004

- 2) 富田玄武：微動アレー観測による岡崎平野北部の地下構造探査, 愛知工業大学工学研究科修士論文, 2006
- 3) 日比真一：微動アレー観測による岡崎平野の地盤構造探査, 愛知工業大学工学研究科修士論文, 2005
- 4) 愛知工業大学地域防災研究センター, 地震防災コンソシアムホームページ
- 5) 独立行政法人防災科学技術研究所防災研究情報センター強震観測管理室: 基盤強震観測網(kik-net)
- 6) 佐口浩一郎, 元木健太郎, 瀬尾和大: やや長周期地震動を構成する堆積層表面波の生成伝播過程に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 619 号 PP. 49-56, 2007
- 7) 精木紀男 他: 建築と土木技術者のための地震工学・振動学入門, 1997
- 8) 大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 1994

(受理 平成 20 年 3 月 19 日)