

3. 4 断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究

3. 4-1 震源断層モデル・地下構造モデルの高度化

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 震源断層モデル・地下構造モデルの高度化

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人九州大学	准教授	竹中 博士
国立大学法人福岡教育大学	准教授	山田 伸之

(c) 業務の目的

微動観測・解析とサブテーマ1～3により得られる情報を最大限に活用してより信頼度の高い警固断層帯（南東部）の強震動予測を得るための地下構造モデルと震源断層モデルを高度化する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成23年度：

地下構造に関する既往情報の調査・収集をサブテーマ2と協力して進めるとともに、警固断層周辺域において微動アレイ探査による構造解析を行った。微動アレイ探査は、福岡平野において、過去の微動観測で得たデータによる地下構造情報の有効活用と探査の実施により、5地点の基盤深度及び堆積層内のS波速度構造情報を推定した。またさらに、筑紫平野北部の1地点において浅部から深部までをターゲットにした広帯域の位相速度を得るための微動アレイ探査を行い、探査地点の深部地盤及び浅部地盤のS波速度構造モデルを推定した。

2) 平成24年度：

数値モデル化を視野に入れて、平野を面的にカバーできるように探査を追加するとともに、既存の微動アレイ観測記録を活用し福岡平野および筑紫平野北部の3次元速度構造モデルの構築への基礎的情報の蓄積化を行った。福岡平野においては、過去に微動観測で得たデータを有効活用するとともに、追加観測を実施し、主に博多湾を囲む5地点での探査地点の基盤深度及び堆積層内のS波速度構造情報を得た。また、筑紫平野北部地域においては、5地点の探査地点において浅部から深部までをターゲットにした微動探査を行い、探査地点の深部地盤及び浅部地盤のS波速度構造情報を得た。そして、集積した情報をもとに警固断層帯南東部（福岡平野及び筑紫平野北部）周辺域の3次元構造の数値モデル化を行った。

3) 平成25年度：

サブテーマ2より期待される地下の3次元的な震源断層面形状モデル、サブテーマ1、サブテーマ3で期待される断層活動のセグメント構造、分岐形態、断層変位の空間変化に関するデータ、及びそれぞれの既存研究結果等を考慮した警固断層帯固有の地震シナリオに基づき、震源断層モデルを高度化する。

(2) 平成 24 年度の成果

(a) 業務の要約

深部地盤構造モデル作成のための速度構造情報を得るため警固断層帯南東部周辺域において微動アレイ探査による構造解析を行った。福岡平野においては、博多湾を取り囲む地域で 5 地点（福岡市西区姪浜、福岡市東区香椎照葉、福岡市西区唐人町、福岡市西区千早、福岡市東区西戸崎）で微動アレイ探査を実施した。また、警固断層帯南東部延長上に位置する筑紫平野北部にて 5 地点（久留米市宮ノ陣、うきは市筑後吉井、朝倉市甘木、筑紫野市二日市、筑前町）での微動アレイ探査を実施した。各地点で得られた常時微動記録を用いて解析を行い、位相速度を算出した。そこからは、各地点とも連続性の良い位相速度の分散曲線が得られた。さらに、その分散曲線から 1 次元の S 波速度構造を推定した。その際には、数値計算用地下構造モデルの構築を視野に入れ、S 波速度（以下、 V_s ）3 km/s 相当の地震基盤とその上の 1～3 層の堆積層構造を推定した。こうして、新たに福岡平野 5 地点、筑紫平野北部 5 地点の速度構造が得られた。昨年度の成果を合算すると、福岡平野で 10 地点、筑紫平野北部で 6 地点となり、当該地域の深部地盤の速度構造データの蓄積が進んだ。さらに、集積した情報をもとに警固断層帯が分布する福岡平野から筑紫平野北部を中心とした地域において、主に既存の微動アレイ探査の速度構造モデルを基に面的補間関数（スプライン関数）を用いた地下構造の数値モデル化を行い、3 次元深部地盤構造モデルを構築した。

(b) 業務の実施方法

1) 微動アレイ探査

福岡平野では、2005 年 3 月の福岡県西方沖の地震 (M 7.0) 以降、警固断層帯に関する長期評価や地震動予測が実施されている（例えば、川瀬・他(2003)、森川・他(2008)）。そこで用いられた地下構造モデルは、現存する地下構造情報を統合して構築されたものと考えられるが、根拠となる物理探査情報に乏しく、多くの部分で推定や空間補間がなされると推測される。特に、地震動評価において重要なパラメータの一つである S 波速度 (V_s) の情報に関しては、情報が極めて少ない。従って、本業務では、福岡地域でのより精度の高い地震動評価を可能にするために、平野内部と端部をバランスよく配置した複数箇所での微動アレイ探査（例えば、岡田(1998)）を実施した。また、一方、警固断層帯南東部延長上に位置し、福岡県西方沖の地震の際に周辺地域に比べやや強く揺れたことが指摘されている筑紫平野でも地下構造探査を実施した。この平野に関しては、水縄断層帯近傍を除き、地下構造の物性に関する既往の調査研究は見当たらない。

今年度は前年度の探査結果を踏まえ、さらに速度構造情報の高精度化を図るために、平野を面的に網羅するように探査を実施した。今年度の新たな探査の実施は、福岡平野 5 地点（MHM:福岡市西区姪浜、KST:福岡市東区香椎照葉、TJM:福岡市西区唐人町、CHY:福岡市東区千早、STZ:福岡市東区西戸崎）、筑紫平野北部中央の 5 地点（AMG:朝倉市甘木、KRM:久留米市宮ノ陣、CYS:うきは市筑後吉井、CZM:筑前町、FTI:筑紫野市二日市）とした。これらの位置を図 1 に示す。

本業務で活用した微動アレイ探査は、深い地盤の S 波速度構造を解明する有力な手法の

一つであり、開発の進んだ都市部での活用に特に有効的である。すでに多くの探査事例が存在し（例えば、山中・他(1994)）、本業務においてもその手法を活用することとした。本業務における作業フローを図2に記す。

図1の探査地点における観測には、7台の観測装置を複数の三角形の頂点とその重心（厳密な重心ではないので以下、中心と記す）位置に配置し常時微動の同時収録をしているが、解析にF-K法（周波数波数スペクトル法：Capon、1969）を用いているため、配置形状に任意性がある。そのため開発の進んだ都市部向けの測定法であるともいえる。本業務のアレイ観測の諸元を表1に示す。表1の位置は各探査地点の中心位置である。各探査地点では、中心位置を各アレイで共通にし、事前情報や観測地の状況に応じて配置を決定した。福岡平野では、平野の中央に位置し、堆積層厚数百m程度と考えられ、都市域でかつ人為的な振動の多い地点では、約1000mから十数mの観測機器設置点間隔のアレイを大(L)アレイ、中(M)アレイ、小(S)アレイの3種を設定し、一つのアレイ毎に同時観測を行った。また、その他の探査地点については、数百mから数十mの間隔の大(L)アレイ、小(S)アレイの2種類のアレイを設定した。また、筑紫平野では、堆積層厚は2000m程度と予想されたため、やや間隔の大きい3段階の配置をとった。こうした配置間隔は、位相速度の推定可能な最大波長に関係し、おおむねこの解析方法では4～5倍程度といわれている（岡田、1998）。これら各探査地点での観測点配置に関する概略を図3、図4に示す。これらの図に示す位置は、機器を設置した地点であり、各地点の現場状況に応じて、安全性とデータの質への影響が出ないように設置点を配慮した。各地点とも大半の設置点に人員を配置し、周辺住民への配慮を行うとともに、設置場所の地面がコンクリートやアスファルトなど強固で安定した場所に設置した。

観測には、アカシ製の加速度上下動計（JPE6）と白山工業製データロガー（LS8800）および外部アンプ（500倍の設定）を組み合わせ、アルミ製のボックスの中に収納されたものを使用した。収録は、100Hzサンプリングで、アレイ配置に応じて、20～90分間行った。データロガーの時刻は、GPS信号で校正させ、機器間での時間差が1/100秒以下になるようにした。また、位置情報の取得には、ハンディGPSを使用し、設置点間隔の数%以内の誤差になるようにした。観測は、好天の日中に実施した。

以上の観測から得られた記録のうちノイズ等の少ない良好な記録の速度波形とフーリエスペクトルを図5に示す。ここで示すものは、複数の観測地点で同時に収録した記録の一部で、加速度計で得られた記録を速度波形に積分するとともに、長周期成分を強調するために周期0.3～7.0s（一部0.5～7.0s）のバンドパスフィルター処理を施したものである。各図の速度波形からは、いずれの地点においても、定性的にはコヒーレントな波形が得られ、また、一部短周期成分でややばらつきのある大きな地点が見られるが、概ね広帯域にわたり揃いの良い記録が得られていることが分かる。また、アレイの中でのスペクトル性状の大きな違いも見られず、微動アレイ解析に十分活用できる記録であることが判断できる。なお、周期1秒以上での長周期側での卓越は、一部不明瞭だが、概ね3.0～5.0sの周期帯で見られた。

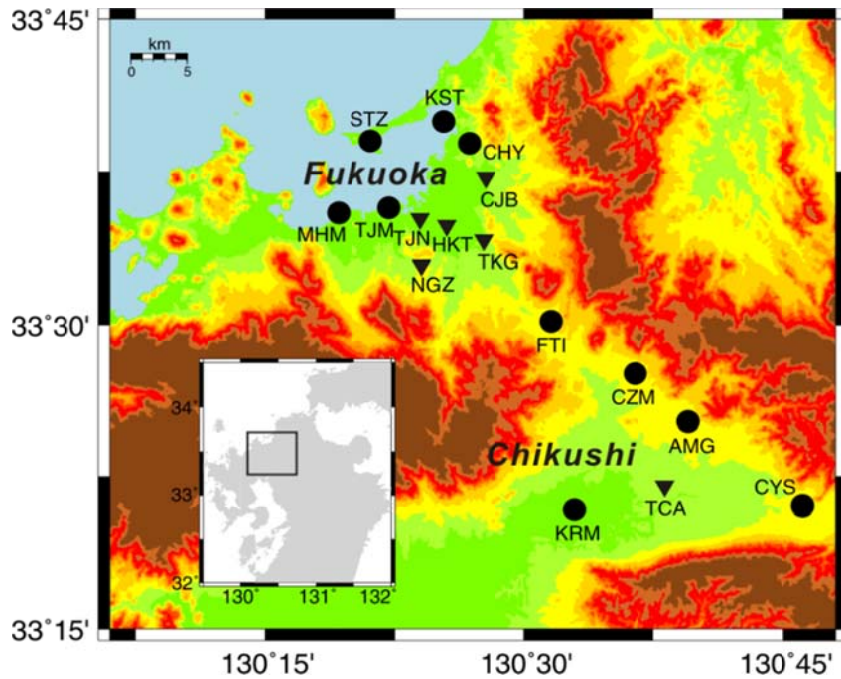


図1 微動アレイ探査を実施した地点位置図(●:今年度実施地点、▼:2011年度実施地点)

表1 2012年度に実施した微動アレイ観測の諸元

Basin	Site code	Location of No. 7		Station Spacing (m)	
		Lon. (°)	Lat. (°)	Max.	Min.
Fukuoka	CHY	130.44725	33.64807	910	13
Fukuoka	STZ	130.35103	33.65010	833	19
Fukuoka	MHM	130.32049	33.59137	1157	77
Fukuoka	TJM	130.36870	33.59618	1029	57
Fukuoka	KST	130.42235	33.66510	1284	24
Chikushi	KRM	130.52257	33.32780	2167	28
Chikushi	AMG	130.65841	33.42035	232	16
Chikushi	CZM	130.60762	33.45977	1971	33
Chikushi	CYS	130.76862	33.35128	2634	18
Chikushi	FTI	130.52608	33.50240	308	19

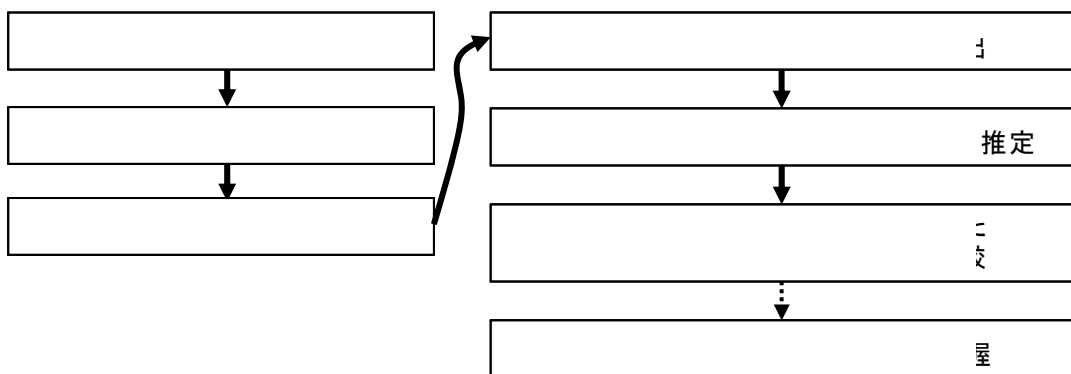
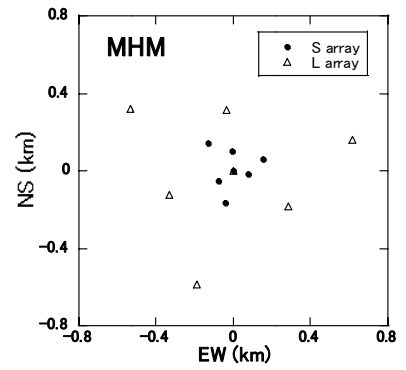
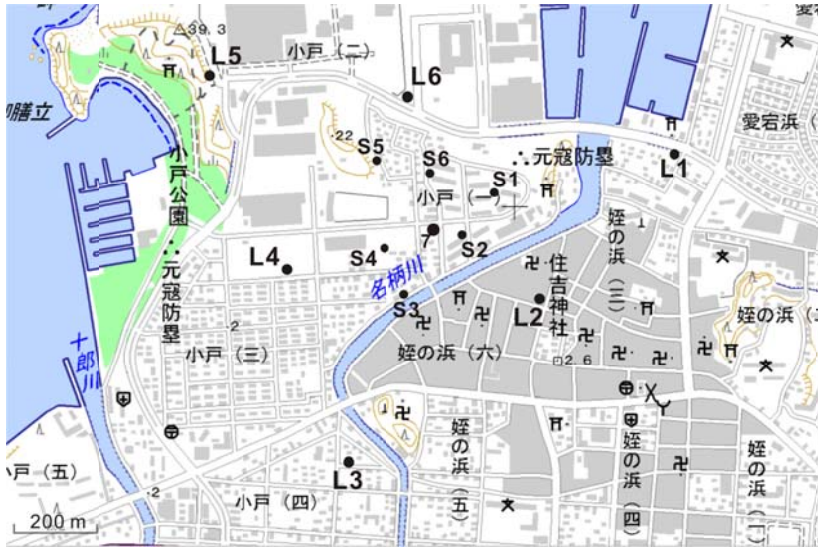
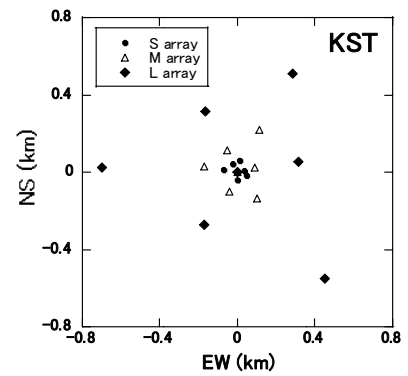


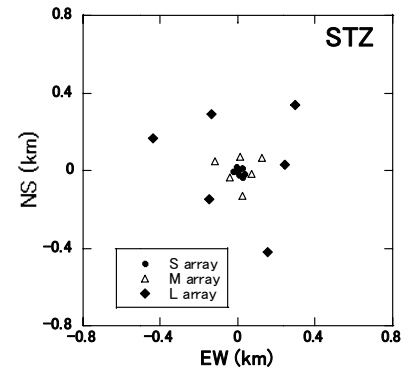
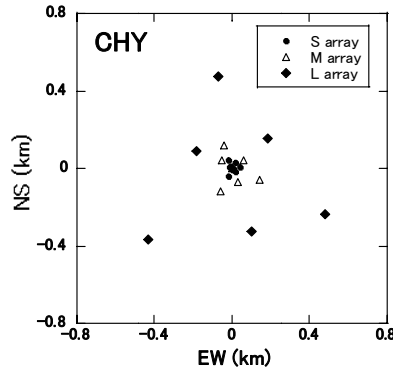
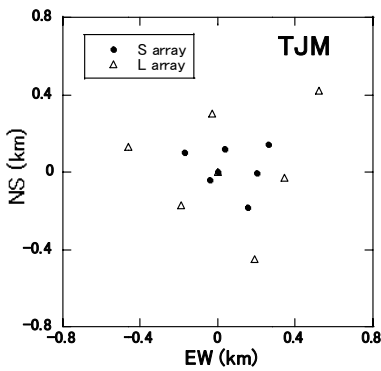
図2 本業務の作業フロー



a) 福岡市西区姪浜(MHM)：観測点位置と配置詳細

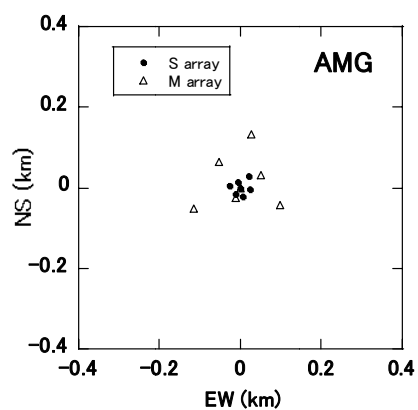


b) 福岡市東区香椎照葉(KST)：観測点位置と配置詳細

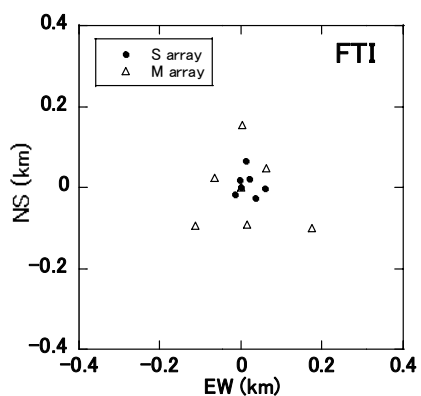
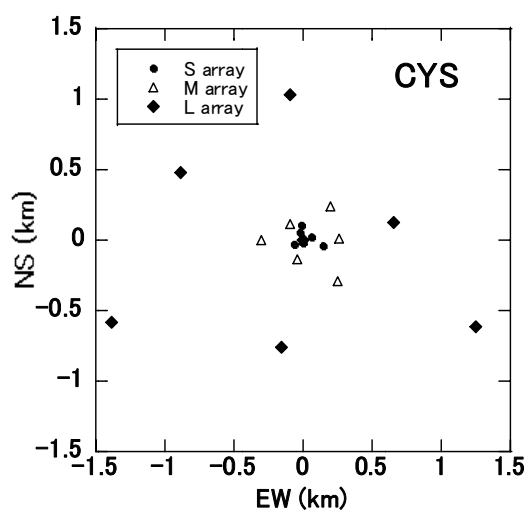
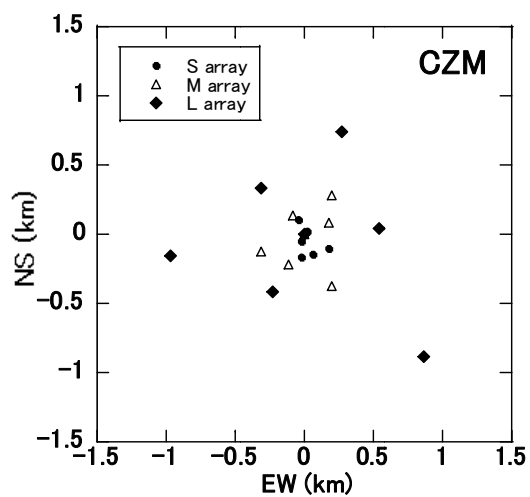
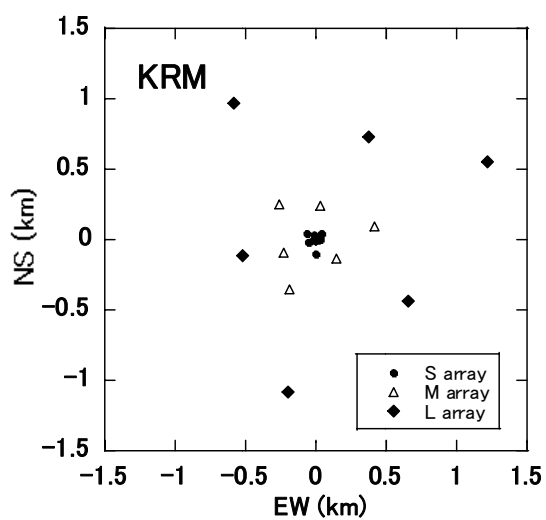


c) 唐人町(TJM)、千早(CHY)、西戸崎(STZ)の観測点配置

図3 福岡平野内の微動アレイ探査実施地点の観測点配置



a) 朝倉市甘木 (AMG) : 観測点位置と配置詳細



b) 久留米 (KRM)、筑前町 (CZM)、筑後吉井 (CYS)、二日市 (FTI) の 4 地点の各観測点配置
 図 4 筑紫平野北部の微動アレイ探査実施地点の観測点配置

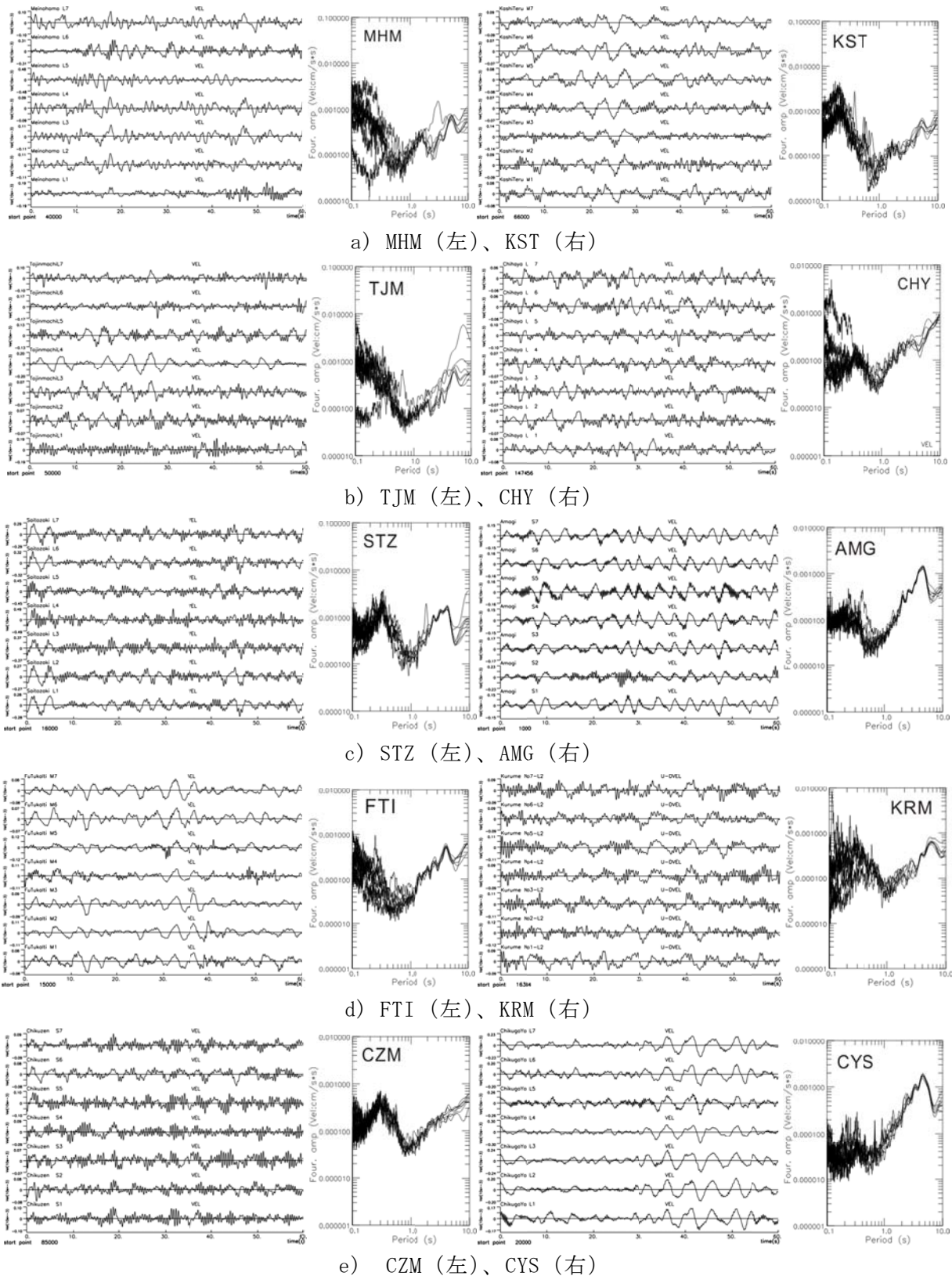


図5 各地点で得られた上下動速度波形とフーリエスペクトルの一部（波形は60秒間）

得られた観測微動記録をSアレイで81.92秒間、MとLアレイで163.84秒間のデータセットに分割した。なお、解析時に採用する記録区間は、交通振動等によるパルス状のノイズの混在しない記録を目視等により採用した。各データセットに対して、周波数波数スペクトル解析(Capon, 1969)を行い、周波数波数スペクトルを求めた。その結果の各周波数において波数スペクトルのピーク位置の波数ベクトルから位相速度を算出した。これらの操作を周期毎に行い、レイリー波の位相速度の分散曲線を得た。各探査地点の位相速度を図7に示し、周波数波数スペクトルの例を図6に示す。得られた位相速度の周期範囲は、探査地点毎に異なるが概ね0.2~2.0 sであった。福岡平野では、位相速度2.5 km/sを超えるのがCHYやSTZで周期0.6~0.8 s前後であるのに対し、MHMやTJMでは1.2 s前後であり、それぞれほぼ同様な周期変化をしている。筑紫平野北部では、KRM、CYS、CZMとAMG、FTIとで位相速度の変化傾向は大きく異なっていた。これらの結果は、各地点の地下構造を反映していると考えられ、KRMやCYSなどに比して、AMGやFTIでは堆積層が薄いことを表している。位相速度の変化傾向は福岡平野のほうが地点ごとのばらつきが大きく、福岡平野の複雑な地下構造を反映しているともいえる。なお、周波数波数スペクトルでは、幾分複雑な形状を呈する周期もあるが、各地点・各周期ともスペクトルのピーク値(図中の×印)を採ることができ、連続的な位相速度の分散曲線が得られている。

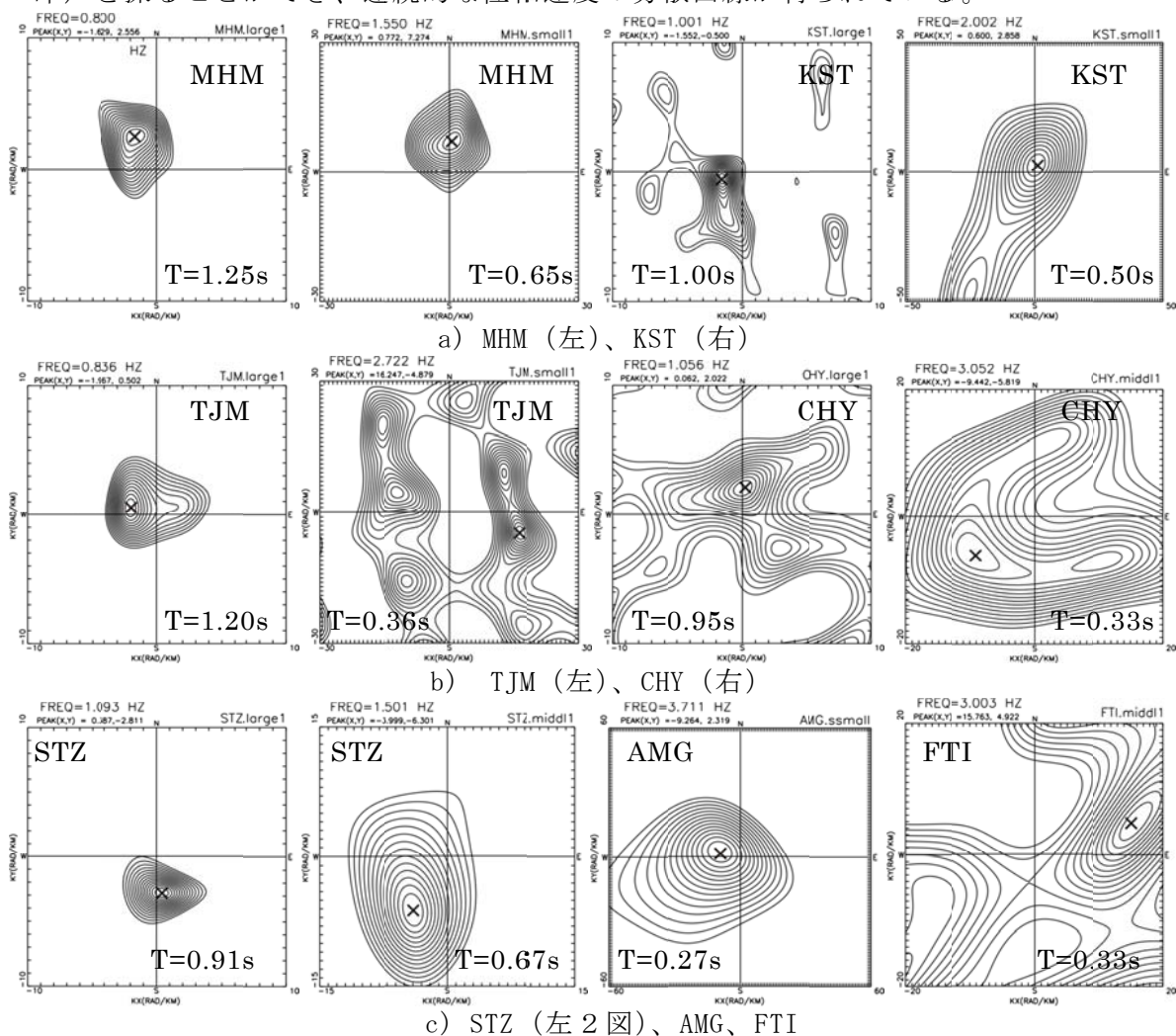


図6 各地点でのある周期での周波数波数スペクトル例

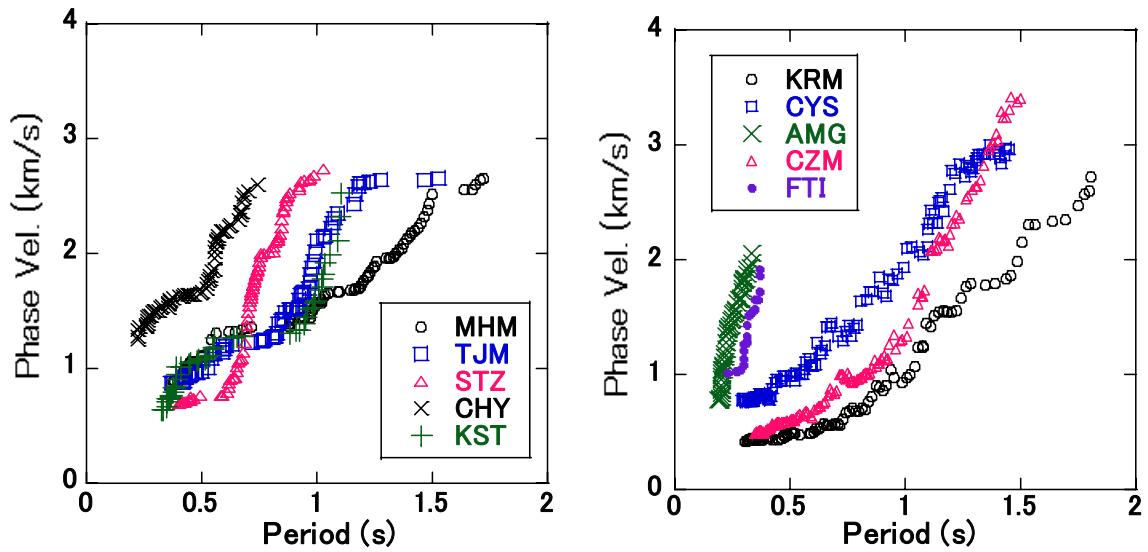


図7 福岡平野(左)と筑紫平野北部周辺(右)の各地点の観測位相速度

2) 3次元深部地盤構造モデルの作成

深部地盤構造モデル構築のための最も基本である、福岡平野から筑紫平野北部にかけての既存の微動アレイ探査データを使用する。微動アレイ探査から得られた速度構造は、福岡平野と筑紫平野とで堆積層の数や速度が大きく異なり、統一して扱うことができない。モデル構築のために、福岡平野・筑紫平野北部に区分して取り扱うこととした。また、モデル構築を行う領域全体でみると、構造の異なる堆積盆地や山地が混在している。堆積層の層厚変化をみると、山地に近づくに従い薄層化している。そこで、堆積盆地間や山地との接合を行うため、盆地境界から山地にかけては遷移領域として V_s 2.6 km/s および V_s 3.5 km/s で構成されるとした (図8、9参照)。そして福岡平野と筑紫平野の速度構造に対して、重み付き平均処理を行い、共通化を行った。この共通化処理をした速度構造を用いて、各境界面を再推定した。

再推定した各境界面深度から2次元3次Bスプライン関数により滑らかな曲面を推定する (香川ほか, 1993; 宮腰ほか, 1997; 宮腰ほか, 1999)。この手法は与えた深度データからスプライン関数の係数を求め、その係数から任意の地点の深度を求めるものである。今回は標高値でのモデリングのため、微動アレイ探査から得られた境界面の深度データを国土地理院の数値標高データを用いて各観測点の標高を求めた。推定する各境界面の標高データに対して、一定間隔でスプライン係数を求める。データに対して間隔が適切でないと推定される局面は不自然な振動を伴う。ここでは異なる間隔での結果を比較して、5 km × 5 km 間隔を採用した。

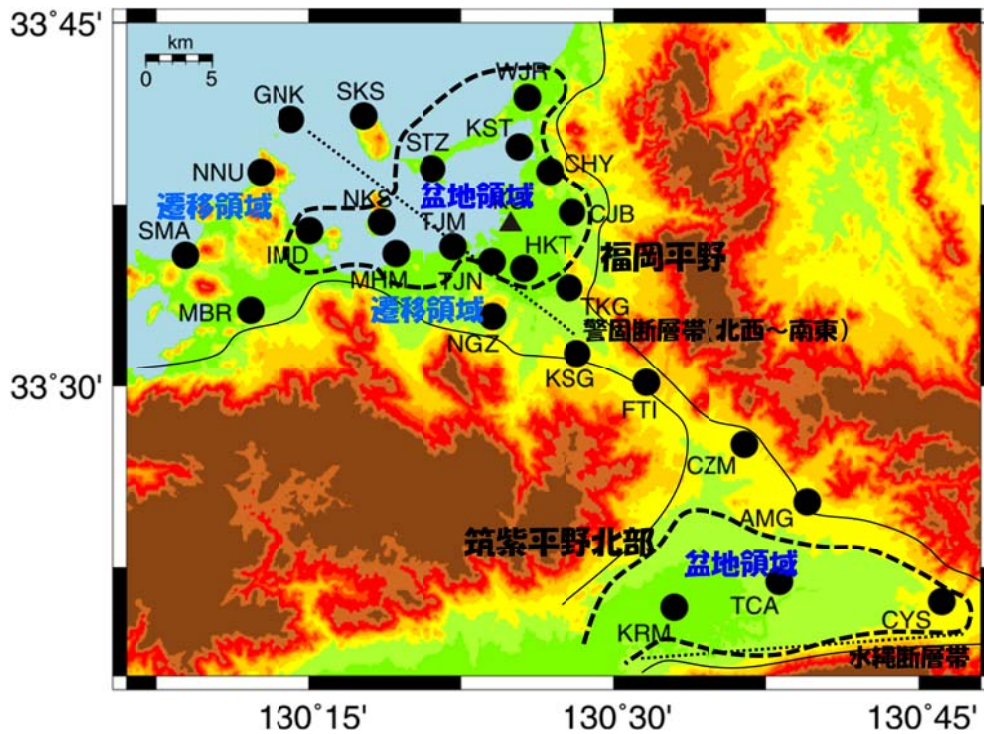


図8 モデル構築における微動データの領域区分

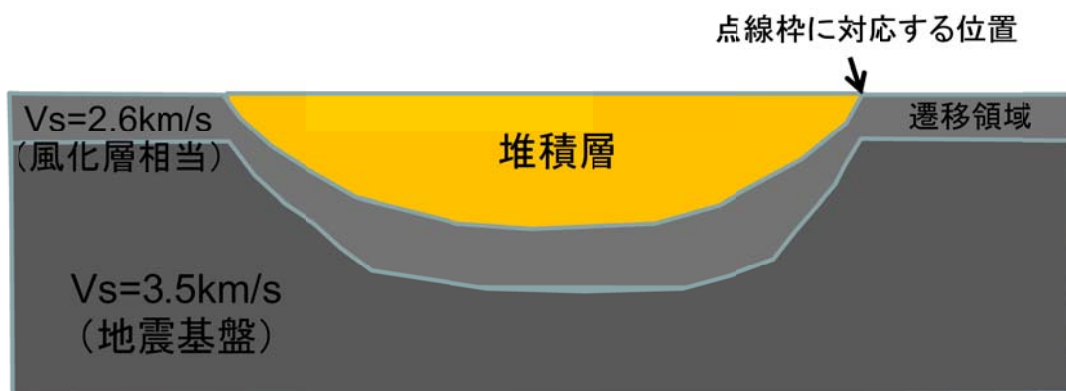


図9 モデル構築における遷移領域の概念図

(c) 業務の成果

1) 微動アレイ探査

図7で示した常時微動の観測記録から算出した位相速度をもとにして、遺伝的アルゴリズム(山中・石田、1995)により逆解析を行い、1次元S波速度構造を推定した。逆解析の際には、レイリー波の基本モードのみを仮定し、位相速度の観測値と理論値の差の2乗和が最小になるようにモデルパラメータを決定した。最適化するパラメータは、各層のS波速度と層厚とし、表2に示す福岡平野内で共通の探索範囲を設定した。ただし、福岡・筑紫平野ともにJ-SHISに深部地盤モデルが示されてはいるものの、全般的にS波速度3

km/s 相当層の地震基盤までの速度構造の詳細は不明であり、本業務の主眼は地震動シミュレーションによる地震動評価を目的とした地下構造の数値モデルを作成することにあるため、ここでは、堆積層数は極力少なく仮定した。また、最下層の速度値を 3 km/s 以上になるようにパラメータを設定するとともに、探索範囲を広く設定した。各層の密度値は他の堆積平野の値を参照に各層で一定値を与え、P 波速度は既往の実験式（狐崎・他、1990）によって S 波速度と連動させた。また、位相速度の様子から 2 層から 4 層モデルを仮定した。一方、筑紫平野北部の地点については、事前情報が福岡平野よりも少ないため、表 3 に示すように P 波速度、S 波速度、層厚の各値に幅を設け、密度値のみを固定し 5 層モデルで逆解析を行った。両平野の分水嶺に位置する FTI については、2 層モデルとして逆解析を行った。

表 4 と 5 に、各探査地点で微動アレイ観測記録をもとにした逆解析から推定された速度構造を、図 10 と 11 に観測位相速度と逆解析モデルに対する基本モードのレイリー波の理論位相速度の比較を示す。観測位相速度のエラーバーは、複数のデータセットにおける位相速度の標準偏差を表す。

福岡平野の 5 地点については、KST で 4 層モデルが得られているが、MHM、TJM、CHY、STZ の 4 地点は 3 層モデルが得られた。S 波速度 1.0 km/s 前後の第 1 層、1.4~1.8 km/s の第 2 層が共通して見られた。KST については、人工島上の地点の影響が考えられ、第 1 層の速度値は小さい。地震基盤相当層の最下層は、S 波速度でおよそ 3.5~3.6 km/s で、これらはいずれの地点でも共通にみられた。図 10 には、観測値と理論値の位相速度の比較を示しているが、全般的には、観測記録をよく再現できていた。ただし、STZ の周期 0.5 s 以下と周期 0.8 s 以上でフィッティングが悪く、十分に説明できていない。

筑紫平野北部の 5 地点については、FTI を除き 5 層モデルが得られた。昨年度の TCA（大刀洗）は、地震基盤上面が 2 km に近い結果となったが、今回の地点は、KRM で 0.5 km 程度、CYS で 0.8 km 程度となり、AMG では、堆積層が非常に薄いモデル（ほとんど無い）が得られた。FTI については、観測位相速度がおよそ 2 km/s 程度までしか得られていないため、最下層の V_s 値が V_s 2.3 km/s と地震基盤相当層の速度値が得られていないが、この値は、他の地点の地震基盤の 1 つ上の層とみることができ、FTI では地震基盤までの深さは非常に小さいものと考えられる。筑紫平野においても、地震基盤相当層の速度値は 3.0~3.5 km/s となり、共通している。図 11 には、観測値と理論値の位相速度の比較を示している。筑紫平野では、観測位相速度のエラーバーが大きいが、いずれの地点も得られたモデルによる理論位相速度は観測記録をよく再現できている。

以上をまとめると、今年度実施した福岡平野 5 地点、筑紫平野 5 地点で、アレイ観測により得られた位相速度をある程度満たす S 波速度構造モデルを推定することができた。福岡平野では、いずれの地点も博多湾岸地域であるため、おおむね類似したモデルとなり、昨年度の業務で得られた地点の結果ともある程度整合性のとれる結果となった。福岡平野の地震基盤構造は、関東や大阪平野に比べれば、数百 m とずっと浅く、かつ、水平方向への広がりも小さいが、警固断層に平行する複数の谷形状をしているともされ（J-SHIS 深部地盤構造図参照）、地震基盤構造等は非常に複雑であると考えられる。また、筑紫平野内は、今年度の探査によって、おもに平野の端部の速度構造が得られたことになり、その結果から、狭い領域内で非常に複雑な速度構造をしていることが推測される。

表2 福岡平野の地点で逆解析に設定した探索範囲

Vs(km/s)	Thickness(km)	ρ (g/cm ³)	Vs(km/s)	Thickness(km)	ρ (g/cm ³)
0.4-1.2	0.001-0.5	2.0	0.4-1.2	0.001-0.5	2.0
1.6-3.0	0.001-1.0	2.5	0.8-2.4	0.001-1.0	2.3
2.8-3.6	-	2.7	2.0-3.0	0.001-1.0	2.5
			2.8-3.6	-	2.7

表3 筑紫平野北部の4地点(左)とFTI(右)の逆解析に設定した探索範囲

	Vs(km/s)	Thickness(km)	ρ (g/cm ³)		Vs(km/s)	Thickness(km)	ρ (g/cm ³)
1	0.4-1.2	0.001-1.0	1.90		0.4-1.2	0.001-0.5	2.0
2	0.8-1.6	0.001-1.0	2.20		2.2-3.6	-	2.7
3	1.6-2.4	0.001-1.0	2.40				
4	2.4-3.2	0.001-1.0	2.60				
5	3.0-3.5	-	2.70				

表4 福岡平野の・5地点で得られた速度構造

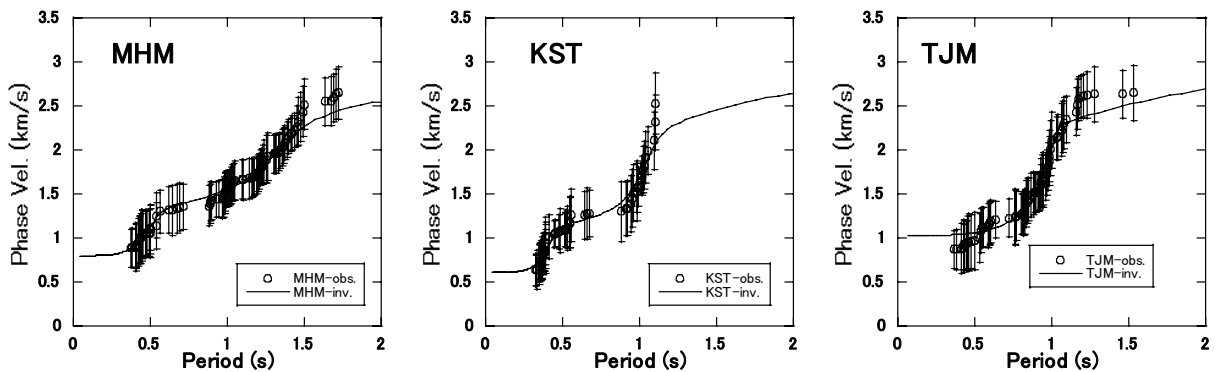
	MHM		KST		TJM		CHY		STZ	
	Vs (km/s)	Depth (km)	Vs (km/s)	Depth (km)	Vs (km/s)	Depth (km)	Vs (km/s)	Depth (km)	Vs (km/s)	Depth (km)
1	0.85	0.00	0.64	0.00	1.10	0.00	1.16	0.00	0.97	0.00
2	1.63	0.19	1.37	0.12	1.85	0.42	1.67	0.10	2.35	0.32
3	3.59	0.95	2.93	0.64	3.58	0.66	3.55	0.42	3.54	0.35
4			3.59	0.68						

表5 a) 筑紫平野の・4地点で得られた速度構造

	AMG		KRM		CZM		CYS	
	Vs (km/s)	Depth (km)	Vs (km/s)	Depth (km)	Vs (km/s)	Depth (km)	Vs (km/s)	Depth (km)
1	0.68	0.00	0.45	0.00	0.52	0.00	0.83	0.00
2	0.86	0.01	0.80	0.15	1.46	0.17	0.86	0.21
3	2.38	0.02	1.90	0.23	2.28	0.17	1.68	0.23
4	3.19	0.03	2.40	0.23	2.93	0.18	3.19	0.84
5	3.42	0.11	3.01	0.53	3.50	0.18	3.50	0.84

表5 b) FTIで得られた速度構造

FTI		
	Vs (km/s)	Depth (km)
1	0.93	0.00
2	2.31	0.14



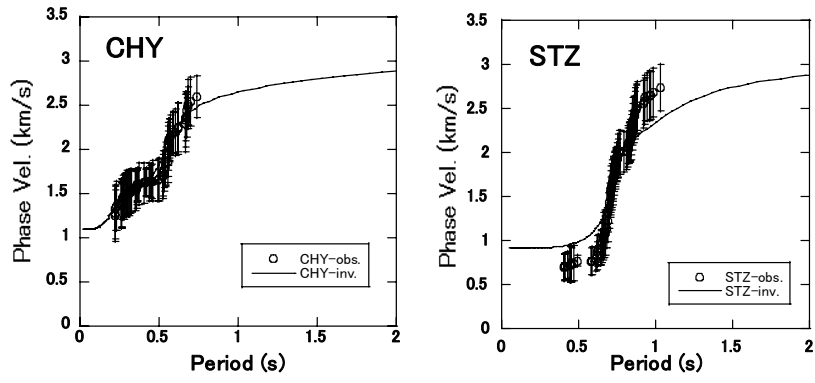


図 10 福岡平野の地点の観測位相速度と逆解析モデルから算出される位相速度の比較

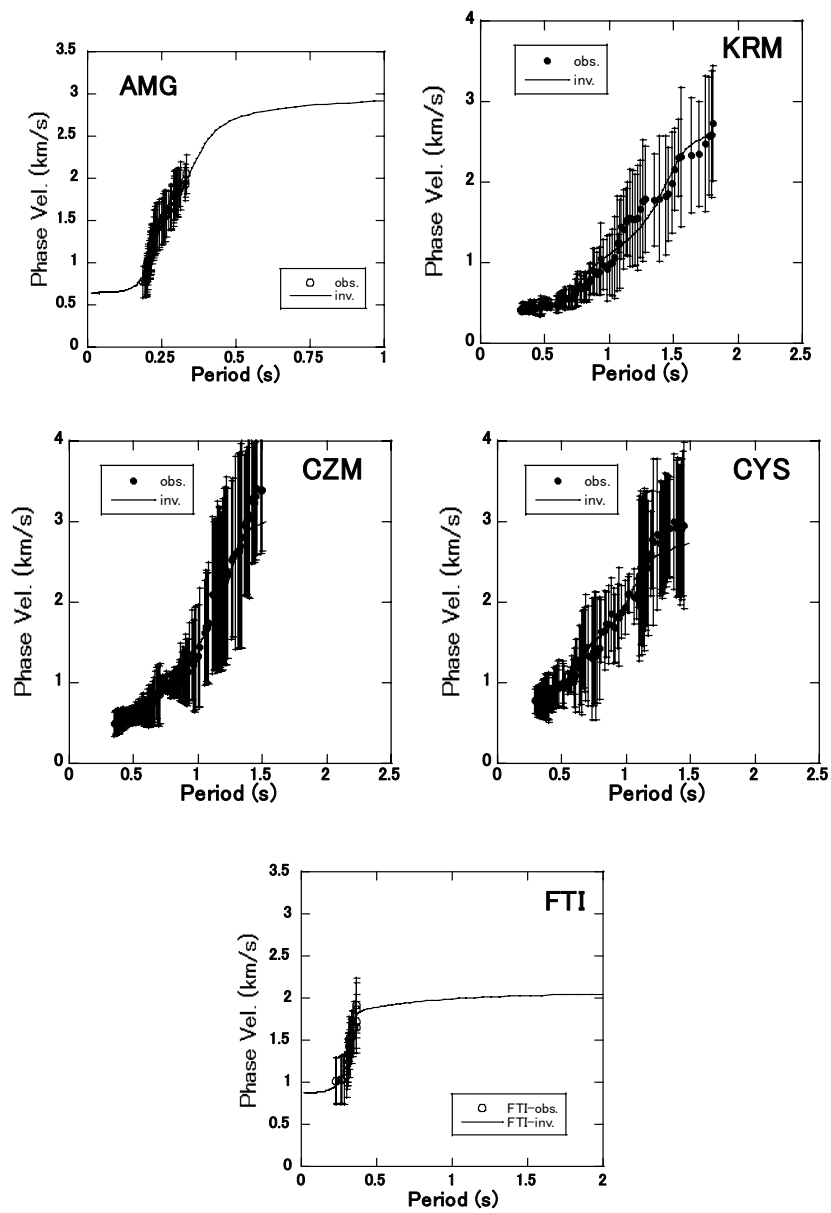


図 11 筑紫平野の地点の観測位相速度と逆解析モデルから算出される位相速度の比較

2) 福岡平野および筑紫平野北部のS波速度構造の平均像の把握

昨年度(平成23年度)と今年度(平成24年度)の各地点での探査・解析結果を受けて、ここでは両平野でのS波速度の平均像を把握することを行った。これは、地震動シミュレーション用に平野の速度構造を数値モデル化するためのものであり、本業務で得られた結果のみならず、既往の結果(例えば、山田・竹中(2012))も取り込んだ。それらの地点を図12に示す。福岡平野では、合計15地点の結果が得られたことになる。平均像については、平野の中心付近で、福岡平野で4層モデル、筑紫平野で5層モデルが得られていた(最下層は地震基盤)ことから、各層の V_s 値の平均値を算出し、両平野の平均像とした。その結果を表6に示す。最下層(地震基盤)の V_s 値は、3.6 km/s、その上の層も2.6 km/sとなり、これらの値は、福岡平野も筑紫平野も共通の値となった。それよりも上の層に両平野の違いが現れ、福岡平野で0.8と1.6 km/s、筑紫平野で0.6、1.3、2.0 km/sとなった。

次に、このS波速度の平均値を各層および層数で固定し、再度前述した逆解析を行い、各地各層の層厚を算出した。福岡平野の各地の結果を表7に、筑紫平野の結果を表8に示す。ここでもFTIは別扱いとし、福岡平野と同様に3層モデルとして扱った。これらのモデルから得られる理論分散曲線と観測による位相速度の比較の例を両平野それぞれ図13と14(図中の太点線)に示す。ここには、図10と11で既に示した位相速度(図中の実線)も比較のために記している。TJNなどの平野の中央部では、各層に厚さが存在するが、TKGなど平野の端部の地点については、堆積層が薄いことを表している。これらのモデルによる位相速度の比較では、 V_s 値を固定しているため、逆解析時の拘束条件が強くなる形になるため、観測位相速度への再現度は低下している。しかしながら、図13や図14からは全般的にはエラーバーの範囲内に収まっており、定性的にはフィッティングは悪くないといえる。なお、筑紫平野について、TCAとKRM以外の平野の端部に位置するといえる地点については、5層モデルにして逆解析を行うことはやや問題があると考えられるため、堆積層が薄い地点として処理することが適当である。この点については、今後の課題とする。しかしながら、こうした結果は、3次元のS波速度構造モデルとして数値モデルを構築するための基礎的な資料として活用できると考えられる。

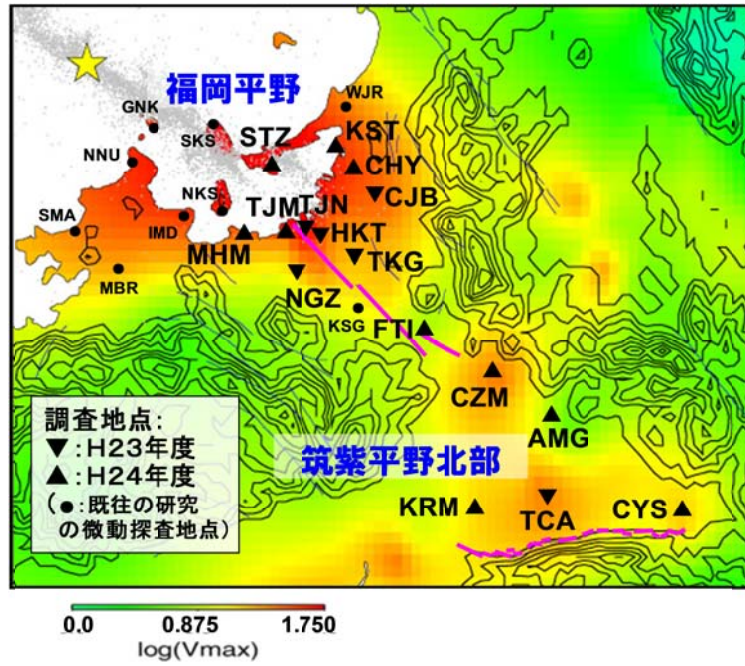


図 12 本業務によって実施された探査地点および既往の研究結果を参照した地点の分布 (2005年福岡県北西沖の地震の地震動強さの分布図 (竹中(2005)) に加筆)

表 6 福岡平野(左)と筑紫平野北部(右)の各層の平均 S 波速度値

Fukuoka			Chikushi		
layer	Vs	ρ	layer	Vs	ρ
1	0.8	2.0	1	0.6	1.9
2	1.6	2.3	2	1.3	2.2
3	2.6	2.5	3	2.0	2.4
4	3.5	2.7	4	2.6	2.5
			5	3.5	2.7

表 7 表 6 の Fukuoka の値を用いて、逆解析により得られた堆積層の層境界深度 (km) 福岡地域と FTI の地点

layer	TKG	NGZ	CJB	HKT	TJN	CHY	STZ	MHM	TJM	KST	FTI
1	0.11	0.11	0.12	0.11	0.22	0.01	0.24	0.17	0.19	0.18	0.10
2	0.11	0.12	0.66	0.12	0.79	0.38	0.27	0.89	0.72	0.76	0.19
3	0.13	0.59	0.71	0.78	0.98	0.44	0.35	0.95	0.77	0.87	0.53

表 8 表 6 の Chikushi の値を用いて、逆解析により得られた堆積層の層境界深度 (km) 筑紫平野北部の地点

	TCA	KRM	AMG	CZM	CYS
1	0.20	0.27	0.06	0.19	0.12
2	0.31	0.28	0.07	0.67	0.48
3	0.94	0.31	0.07	0.71	0.53
4	1.82	0.42	0.08	0.83	0.62

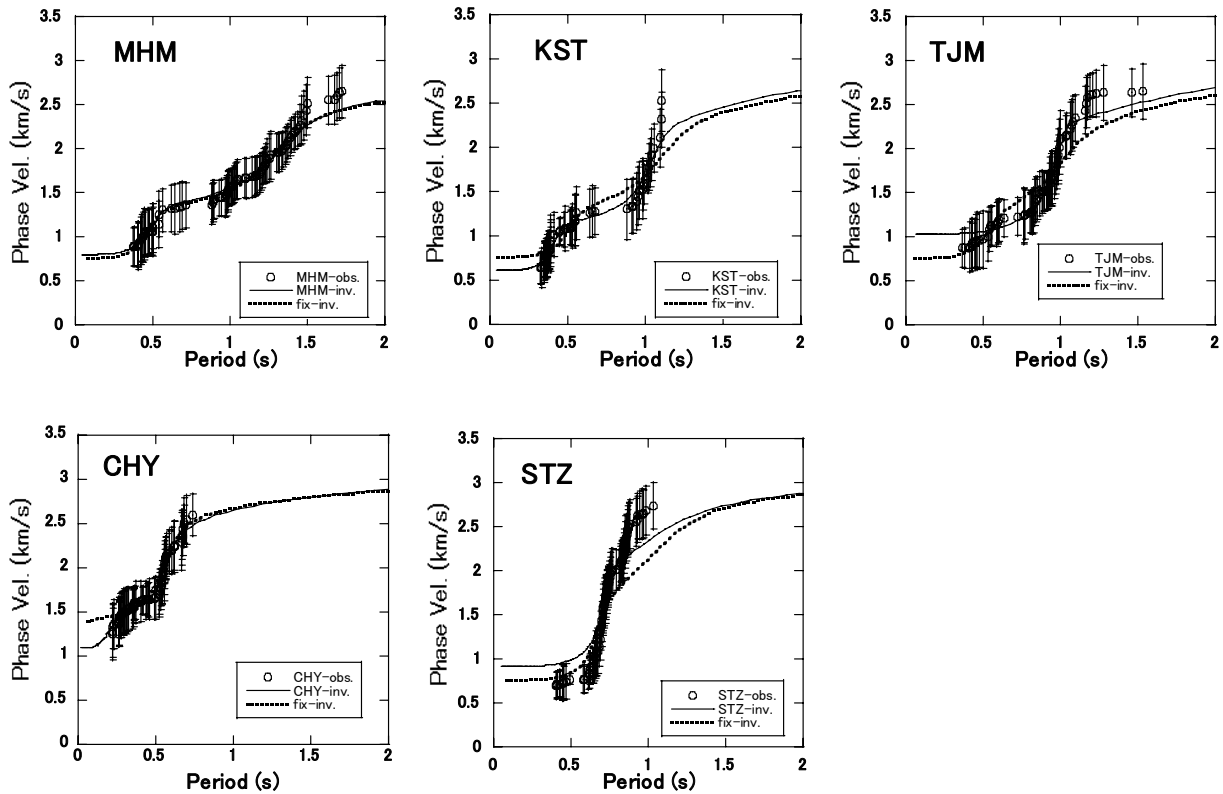


図 13 福岡平野の地点の観測位相速度と逆解析モデルから算出される位相速度の比較

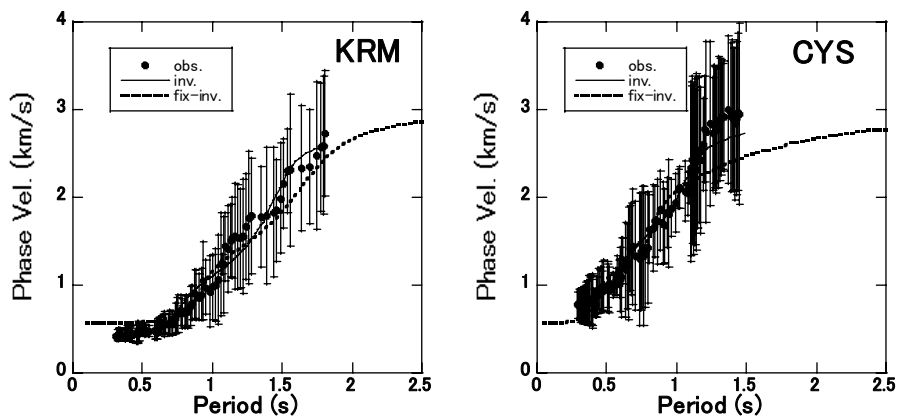


図 14 筑紫平野の地点の観測位相速度と逆解析モデルから算出される位相速度の比較

3) 3次元深部地盤構造モデルの作成

深部地盤構造の各層境界面について推定されたスプライン係数を用いて、各層境界面の任意の地点の標高を求める。しかし、福岡平野と筑紫平野で堆積層の速度構造が異なっており、また、スプライン係数で推定される曲面の関係で、本来下位の層の標高が上位の層の標高より高いなど、各層を積み重ねて強震動シミュレーションのためのモデルを作成した場合、不具合が発生する。また、山地部など別処理が必要な領域も存在する。このため、出力にあたっては、逆転層が存在する場合、上位の層の標高値を与えることとし、さらに、モデル出力を行う地点の標高値を参照し、山地部では遷移領域として取り扱った。以下に具体的な処理の流れを示す。

1. 任意の地点の標高、Vs0.6 km/s 下面標高、Vs0.8 km/s 下面標高、Vs1.3 km/s 下面標高、Vs1.6 km/s 下面標高、Vs2.0 km/s 下面標高、Vs2.6 km/s 下面標高、地震基盤の標高を求める。

2. 境界領域付近の平均化：緯度 33.48° より北、33.52° より南に含まれるデータに対して、

Vs0.6 km/s 下面標高：標高値との平均値に置き換え

Vs1.3 km/s 下面標高：Vs0.8 km/s 下面標高との平均値に置き換え

Vs2.0 km/s 下面標高：Vs1.6 km/s 下面標高との平均値に置き換え

3-a. 任意の地点の緯度 33.5° 以北：

Vs0.6 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs0.8 km/s 下面標高：標高より浅ければ標高に置き換え

Vs1.3 km/s 下面標高：Vs0.8 km/s 下面標高に置き換え

Vs1.6 km/s 下面標高：Vs0.8 km/s 下面標高より浅ければ Vs0.8 km/s 下面標高に置き換え

Vs2.0 km/s 下面標高：Vs1.6 km/s 下面標高に置き換え

Vs2.6 km/s 下面標高：Vs1.6 km/s 下面標高より浅ければ Vs1.6 km/s 下面標高に置き換え

このような処理をして、その地点の標高が 200m より高ければ、遷移領域として以下のように置き換える。

Vs0.6 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs0.8 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs1.3 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs1.6 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs2.0 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs2.6 km/s 下面標高：標高-0.13km

3-b. 任意の地点の緯度 33.5° より南部：

Vs0.6 km/s 下面標高：標高より浅ければ標高に置き換え

Vs0.8 km/s 下面標高：Vs0.6 km/s 下面標高に置き換え

Vs1.3 km/s 下面標高：Vs0.6 km/s 下面標高より浅ければ Vs0.6 km/s 下面標高に置き換え

Vs1.6 km/s 下面標高：Vs1.3 km/s 下面標高に置き換え

Vs2.0 km/s 下面標高：Vs1.3 km/s 下面標高より浅ければ Vs1.3 km/s 下面標高に置き換え

Vs2.6 km/s 下面標高：Vs1.6 km/s 下面標高より浅ければ Vs1.6 km/s 下面標高に置き換え

このような処理をして、その地点の標高が 200m より高ければ、遷移領域として以下のように置き換える。

Vs0.6 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs0.8 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs1.3 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs1.6 km/s 下面標高：標高に置き換え

また、地震基盤が 300m より浅ければ、更に以下のように置き換える。

Vs2.0 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs2.6 km/s 下面標高：標高-0.13km

4. 海域：海域は標高が 0m 以下、Vs2.6 km/s 下面標高が-130m 以上の領域とし、遷移領域として以下のモデル化を行った。

Vs0.6 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs0.8 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs1.3 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs1.6 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs2.0 km/s 下面標高：標高に置き換え

Vs2.6 km/s 下面標高：標高-0.13km

5. Vs2.6 km/s 層厚補正：以上のプロセスで Vs2.6 km/s の層厚が 20m 未満であったら、Vs2.6 km/s の層厚に 20m を加える。

以上のプロセスで出力したモデルを図 15 から図 20 に示す。図 21 から図 24 には断面図を示す。

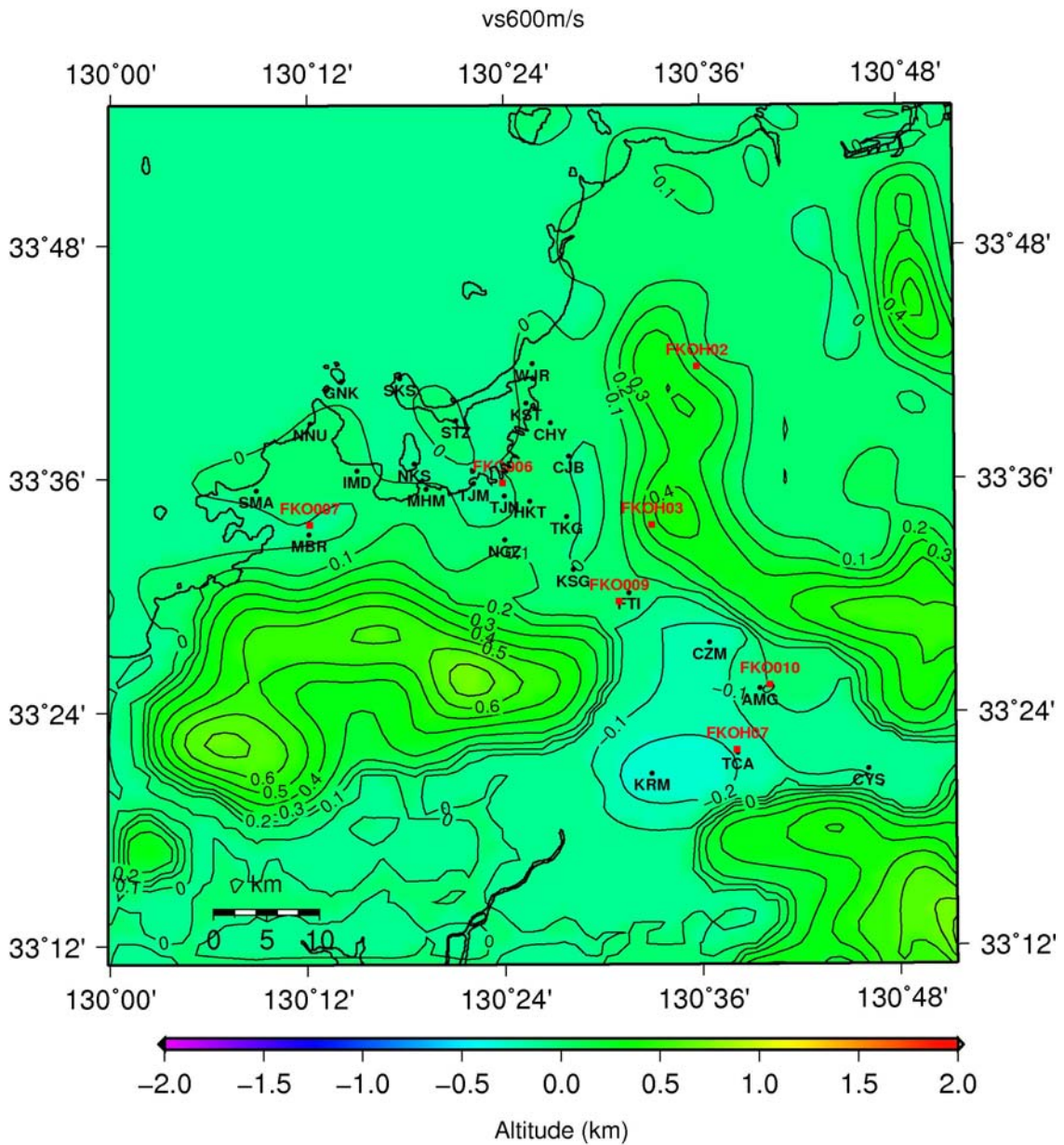


図 15 Vs0.6 km/s 下面標高モデル

● : 微動アレイ探査地点, ■ : K-net, KiK-net 観測点。コンター間隔は 0.1km。

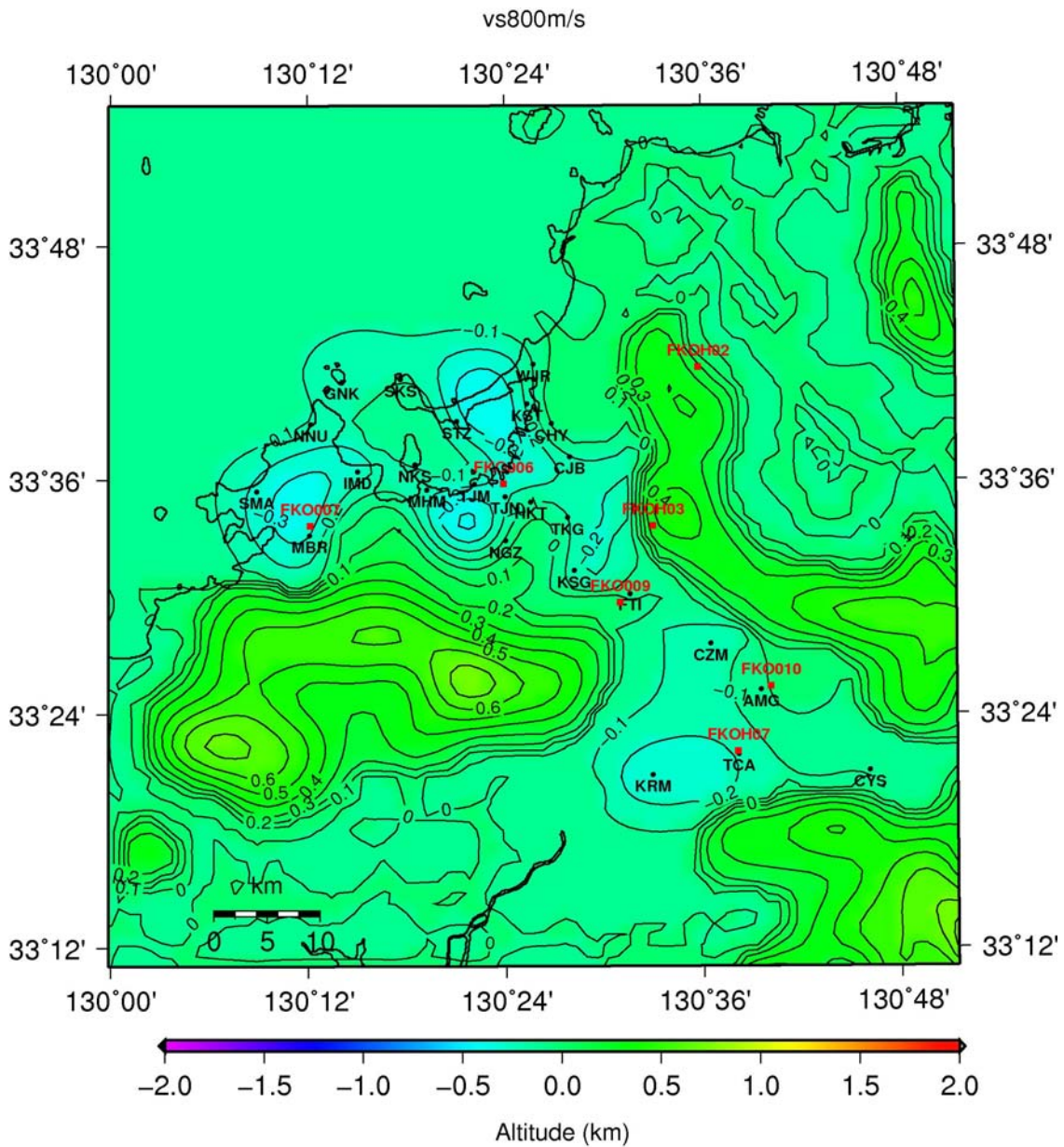


図 16 Vs0.8 km/s 下面標高モデル

● : 微動アレイ探査地点, ■ : K-net, KiK-net 観測点。コンター間隔は 0.1km。

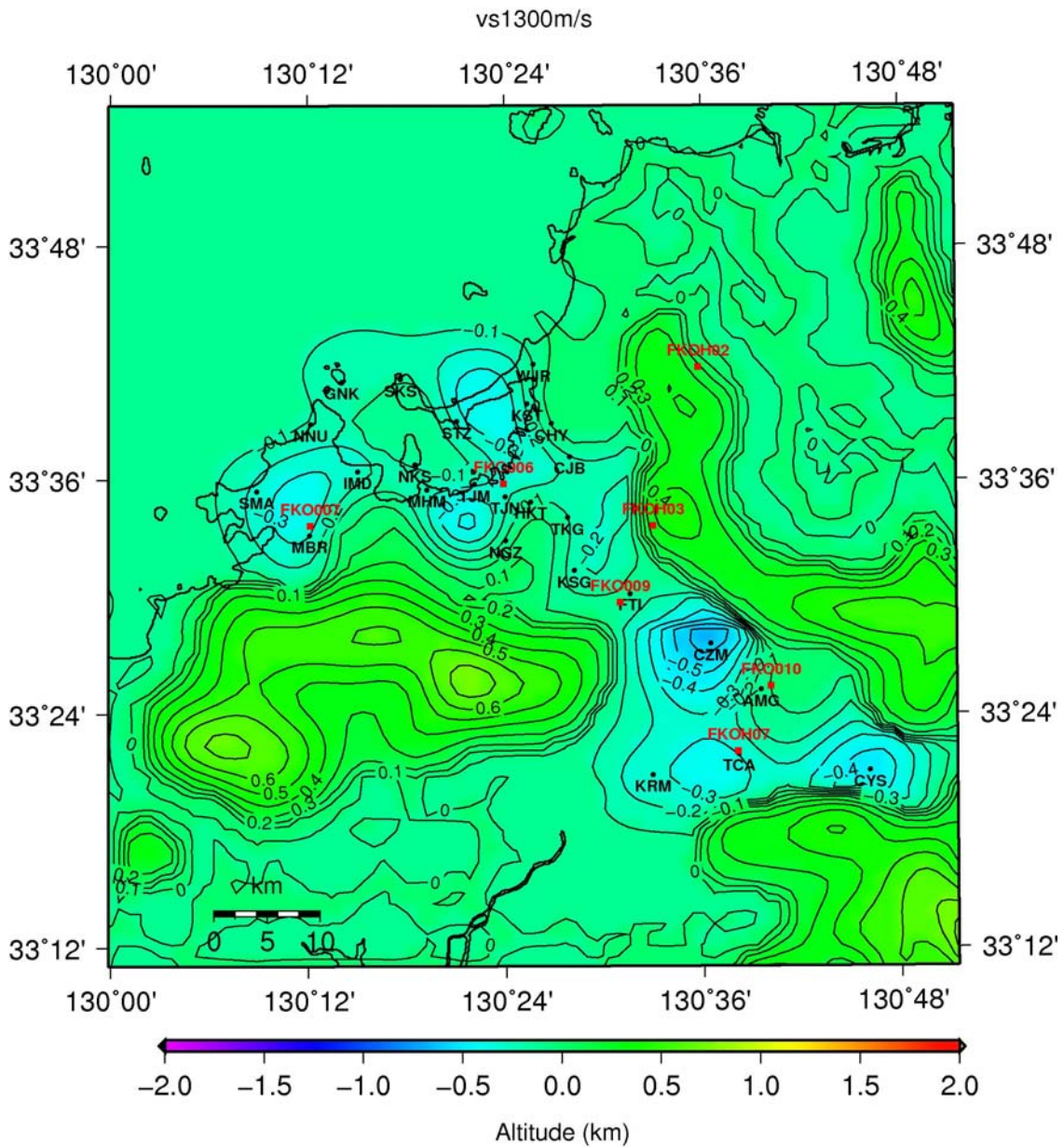


図 17 Vs1.3 km/s 下面標高モデル

● : 微動アレイ探査地点, ■ : K-net, KiK-net 観測点。コンター間隔は 0.1km。

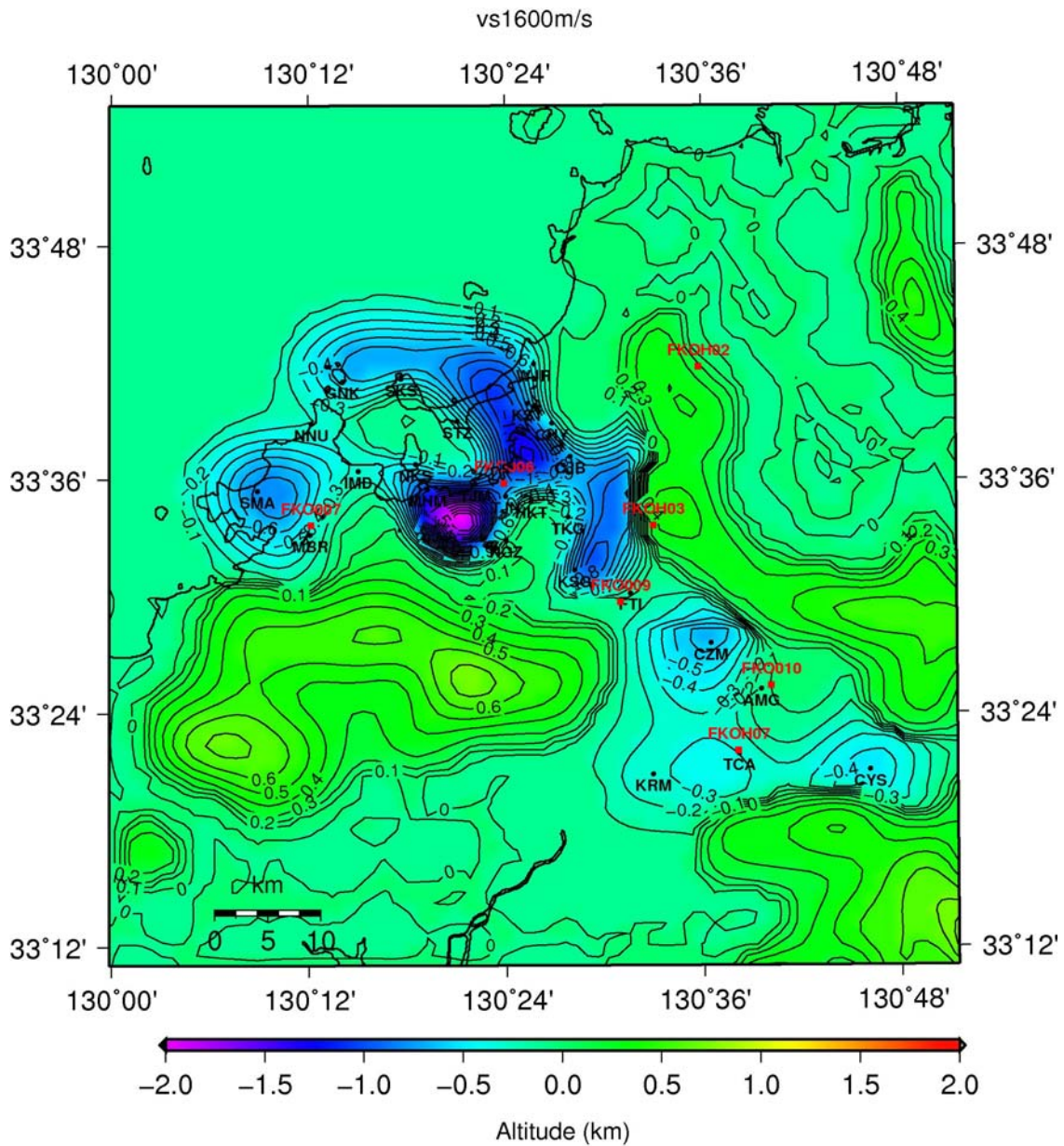


図 18 Vs1.6 km/s 下面標高モデル

● : 微動アレイ探査地点, ■ : K-net, KiK-net 観測点。コンター間隔は 0.1km。

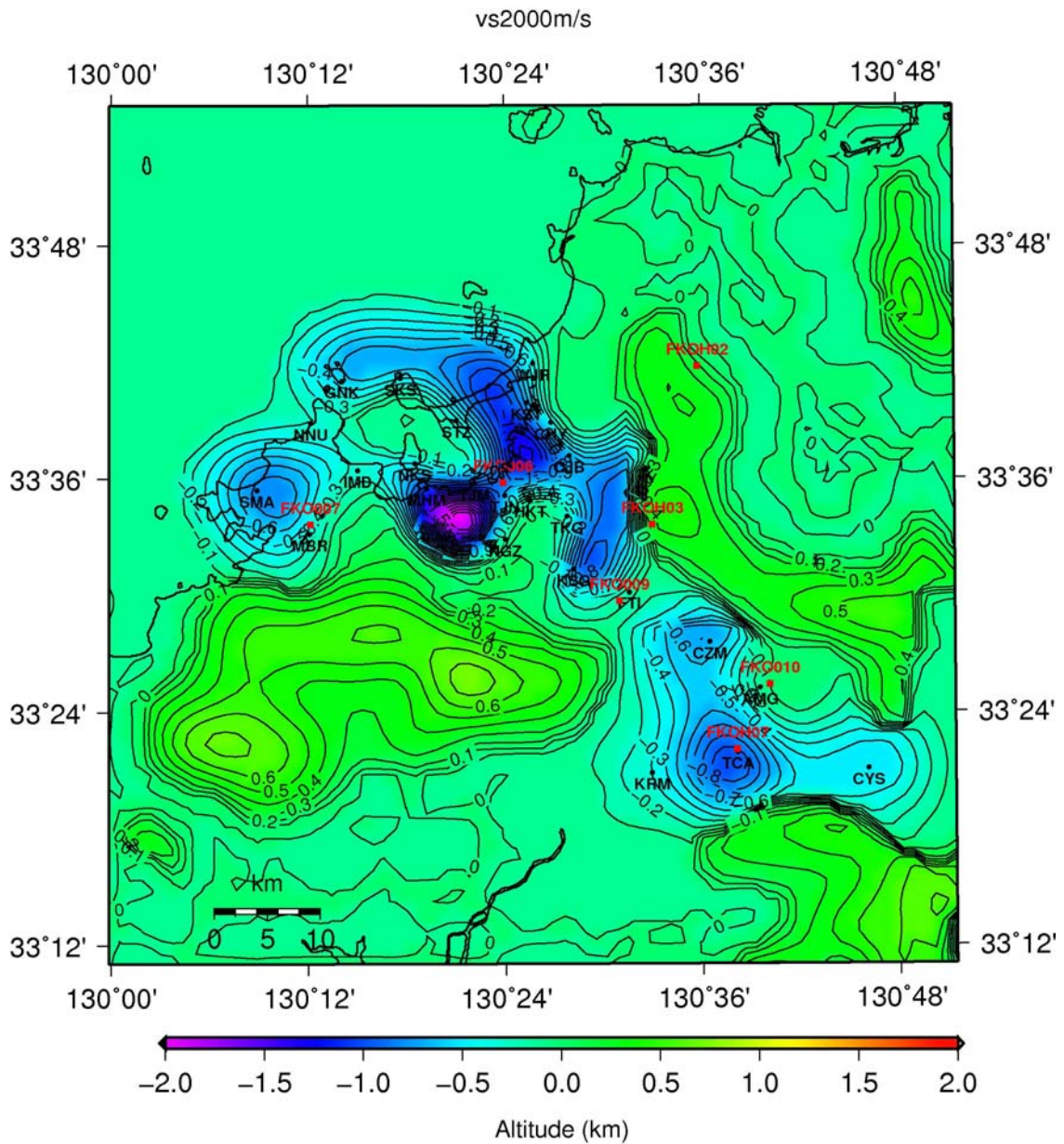


図 19 Vs2.0 km/s 下面標高モデル

● : 微動アレイ探査地点, ■ : K-net, KiK-net 観測点。コンター間隔は 0.1km。

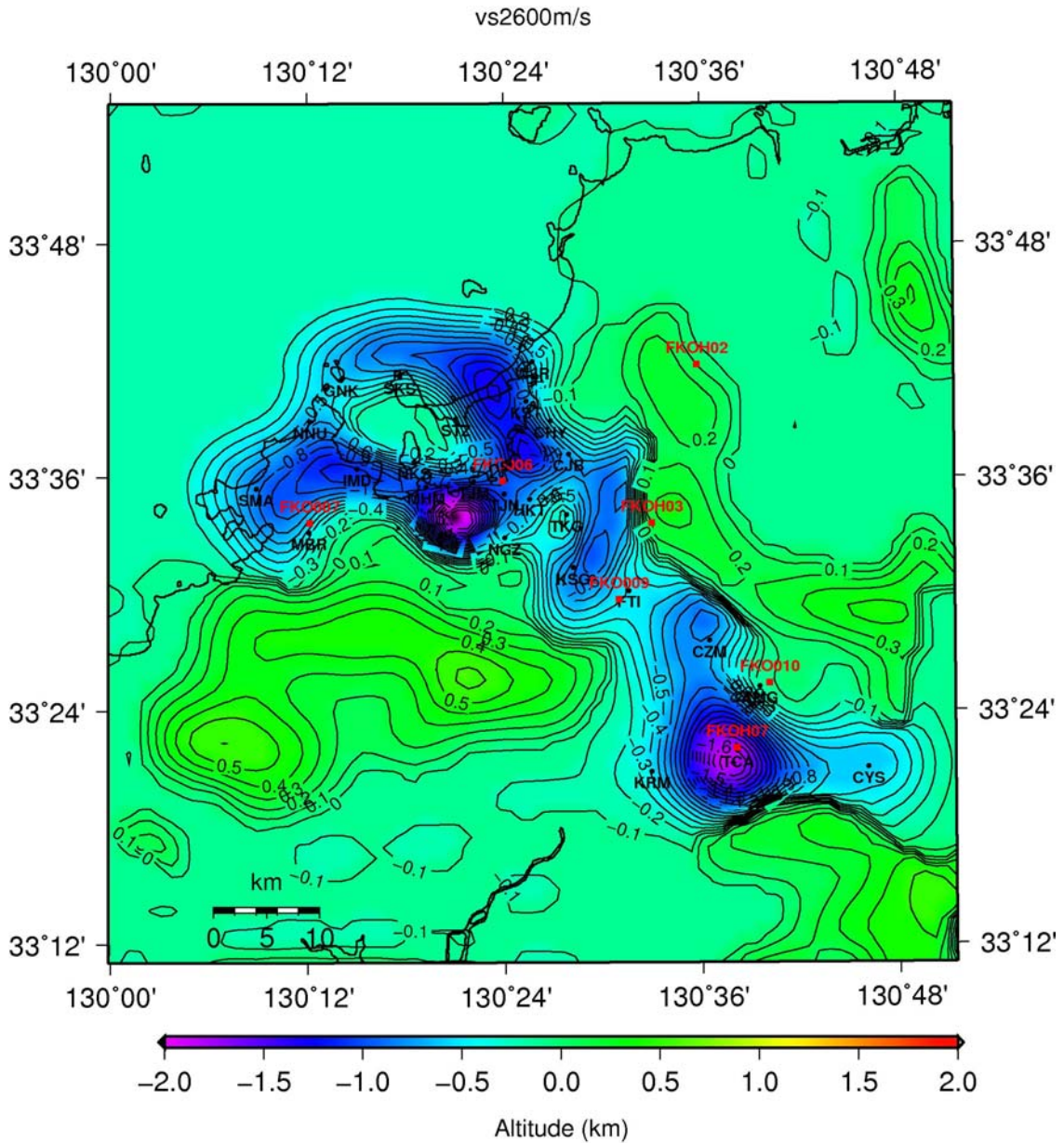


図 20 Vs2.6 km/s 下面標高モデル

● : 微動アレイ探査地点, ■ : K-net, KiK-net 観測点。コンター間隔は 0.1km。

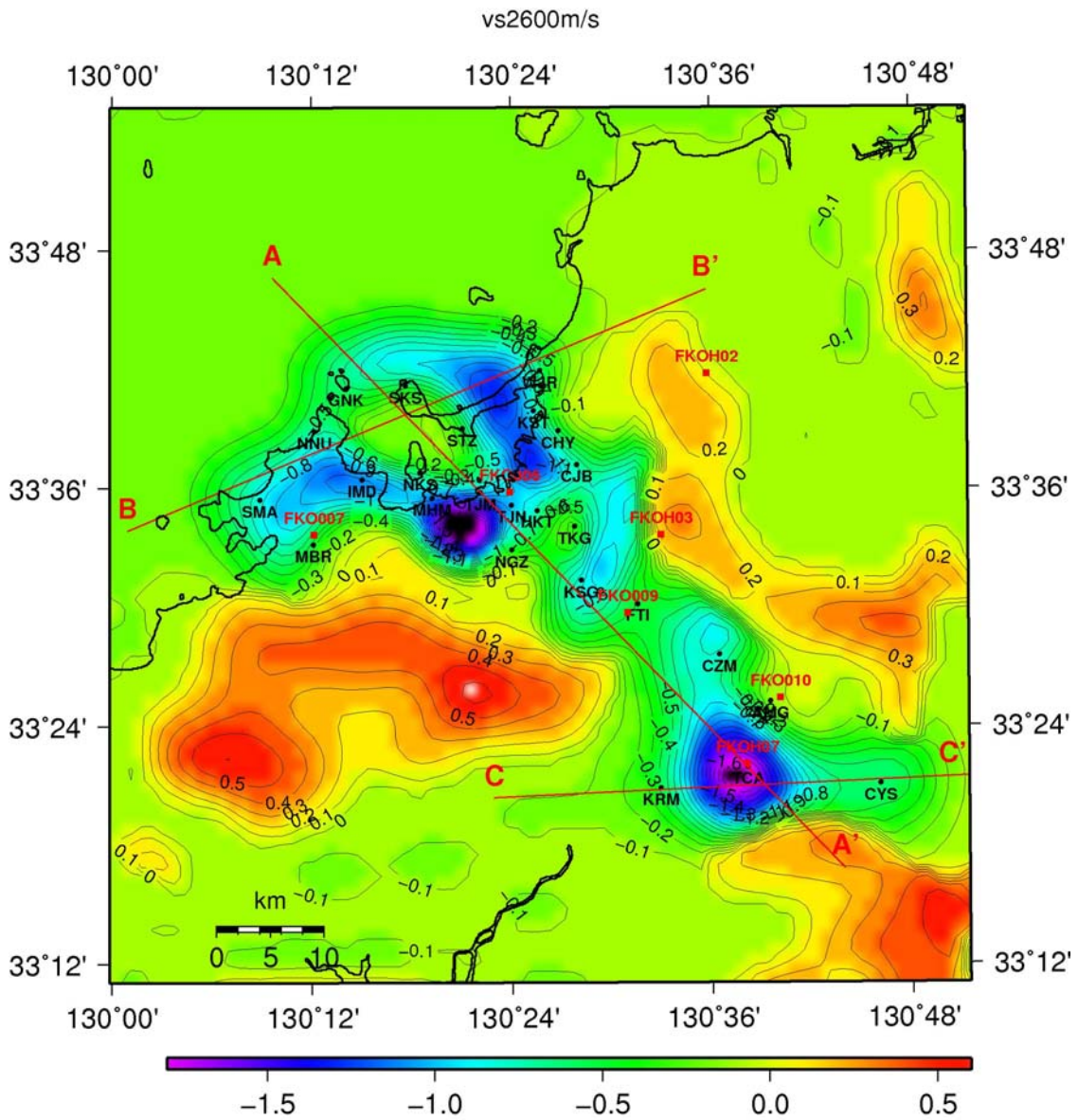


図 21 断面位置図

● : 微動アレイ探査地点, ■ : K-net, KiK-net 観測点。コンター間隔は $V_s 2.6 \text{ km/s}$ 下面標高で、 0.1 km 。

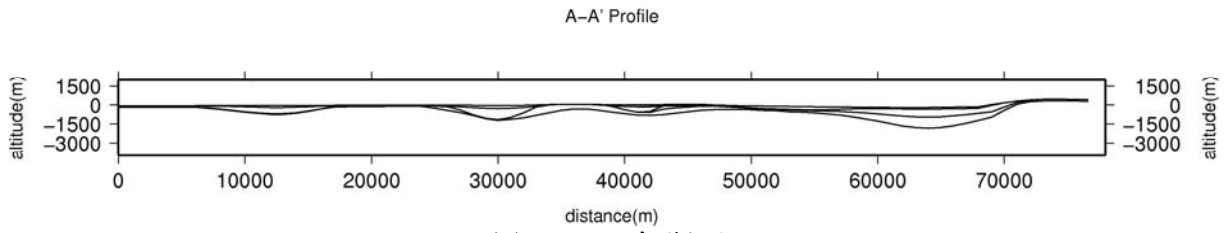


図 22 A-A' 断面

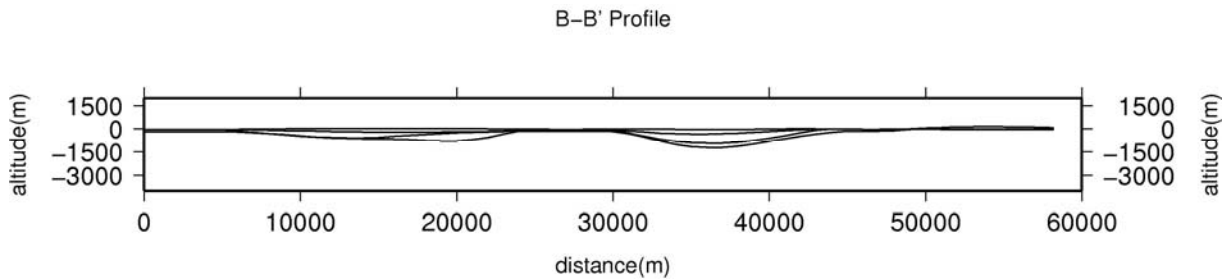


図 23 B-B' 断面

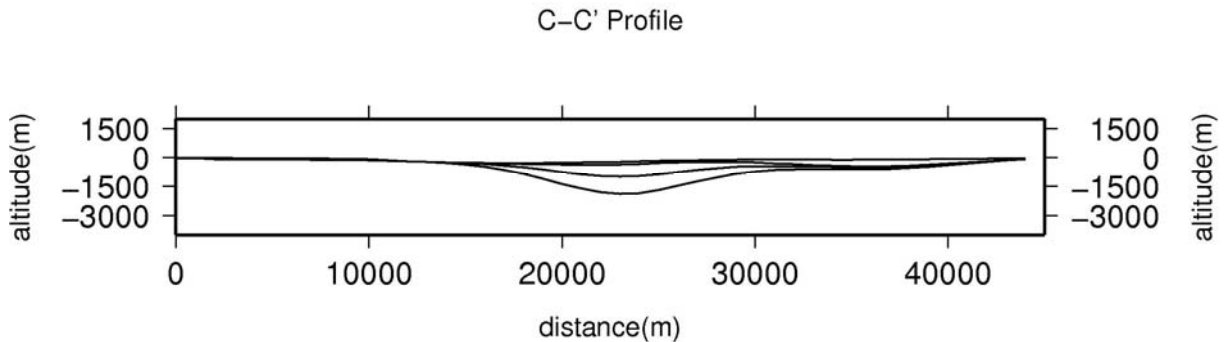


図 24 C-C' 断面

(d) 結論ならびに今後の課題

福岡平野及び警固断層帯南東部延長上に位置する筑紫平野北部における深部地盤の速度構造情報を得るため、博多湾周辺部5地点と筑紫平野北部5地点にて微動アレイ探査を実施した。各地点で得られた常時微動記録を用いて解析を行い、位相速度を算出し、各地点とも連続性の良い位相速度の分散曲線が得られた。また、その観測位相速度をもとに地震基盤に至る堆積層のS波速度構造を推定するとともに、これまでの微動探査結果を集約して速度構造の平均的な値を算出した。さらに、それらを基に福岡平野から筑紫平野北部を中心とした地域において、面的補間関数(スプライン関数)を用いた地下構造の数値モデル化を行い、3次元深部地盤構造モデルを作成した。今回作成した深部地盤構造モデルは、微動アレイ探査結果はほぼ満足するものの、スプライン補間の影響で幾つかの小盆地に別れ、部分的には盆地の最深点が観測データで押さえられていない部分も多い。福岡地域および筑紫地域は、既存の地下構造の物性値情報が非常に少ないために、必要に応じた追加の微動アレイ探査に加え、本業務内の他の調査結果を構造モデルに反映させるとともに、モデルの検証を行うことが今後の課題である。

(e) 引用文献

- Capon, J., High resolution frequency wavenumber spectrum analysis, *Proc. IEEE*, **57**, 1408-1418, 1969.
- 香川敬生・澤田純男・岩崎好規・南荘 淳, 大阪堆積盆地における深部地盤構造のモデル化, 日本地震工学会論文集, **22**, 199-202, 1993.
- 川瀬 博・長戸健一郎・中道 聡, ハイブリッド法強震動予測結果に基づいた福岡市におけるシナリオ地震の被害予測, 構造工学論文集, **49B**, 7-16, 2003.
- 木下 健・川瀬 博・早川 崇・佐藤智美, アレイ微動による九州大学周辺地域の地盤構造の推定, 日本建築学会九州支部研究報告, **40**, 209-212, 2001.
- 狐崎長琅・後藤典俊・小林芳正・井川 猛・堀家正則・斎藤徳美・黒田 徹・山根一修・奥住宏一, 地震動予測のための深層地盤 P・S 波速度の推定, 自然災害科学, **9-3**, 1-17, 1990.
- 宮腰 研・香川敬生・越後智雄・堀江佳平・澤田純男, 大阪堆積盆地における深部地盤構造のモデル化 (その 2), 日本地震工学会論文集, **24**, 33-36, 1997.
- 宮腰 研・香川敬生・趙 伯明・徳林宗孝・澤田純男, 大阪堆積盆地における深部地盤構造のモデル化 (その 3), 日本地震工学会論文集, **25(1)**, 185-188, 1999.
- 森川信之・先名重樹・早川 讓・藤原広行, 警固断層帯 (南東部) の地震を想定した地震動予測地図, 地球惑星科学連合 2008 年大会予稿集, S146-P021, 2008.
- 岡田 広, 微動利用の地下構造推定方法, 物理探査学会 (編), 物理探査ハンドブック, 203-211, 1998.
- 竹中博士, 「2005 年福岡県西方沖地震災害調査報告」. 日本建築学会編 (分担執筆), 担当: 第 2 章「地震と地震動の特性」2.2 節「広域の強震観測網の強震記録の特性」(pp. 7-8), 丸善, (ISBN 4-8189-2029-0 C3052), 2005.
- 山田伸之・竹中博士, 福岡地域の深部地盤 S 波速度構造, 物理探査学会第 127 回学術講演会, 258-259, 2012.
- 山中浩明・武村雅之・石田 寛・池浦友則・野沢 貴・佐々木 透・丹羽正徳, 首都圏西部におけるやや長周期微動アレイ観測と S 波速度構造の推定, 地震 **2**, **47**, 163-172, 1994.
- 山中浩明・石田 寛, 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, 9-17, 1995.

3. 4-2 地下構造モデルの検証と強震動予測・被害予測

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 地下構造モデルの検証と強震動予測・被害予測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人京都大学防災研究所	教授	川瀬 博
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	松島 信一
国立大学法人京都大学防災研究所	研究員	長嶋 史明

(c) 業務の目的

本業務で得られた情報を反映して警固断層帯周辺の三次元地盤構造モデルを作成し、中小地震観測波形をターゲットに検証し、警固断層帯において地震が発生した際の広周期帯域の強震動予測を行うとともに、予測された地震動に対して動的非線形応答解析による構造物の被害予測を実施し、その社会的インパクトを明らかにする。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 23 年度：

2005 年福岡県西方沖地震の発生後に観測された中小地震観測波形、各種の公開情報および既往文献情報を収集した。三次元地盤構造情報について、地震調査研究推進本部が J-SHIS サイトを通して配布している深部地下構造モデルおよび表層地盤種別情報、および既往の調査研究結果を収集してそれを元に三次元地盤構造（V1）を作成し、中小地震の強震動シミュレーションを行った。

福岡平野内において短期微動観測を実施するとともに、長期微動観測点を試験的に設置し、観測を開始した。

2) 平成 24 年度：

平成 23 年度敷設の観測点に対して情報の少ない地域を中心にさらに観測点を追加し、長期微動観測を継続する。また長期微動観測点を補間する形で、福岡平野内において短期微動観測を行った。

長期微動観測および短期微動観測にて得られた記録からサイト増幅特性および水平上下比を得る。これをターゲットにして地震波干渉法の理論に基づき一次元波動場のインバージョン解析により基盤より上の堆積層部分の速度構造モデルを求め、地下構造高度化のための参照情報として分担テーマ 4-1 のチームに渡した。

サブテーマ 2 の情報、分担テーマ 4-1 の速度構造、本分担テーマで得た速度情報などの新規情報を参照して作成される三次元地盤構造（V2）を分担テーマ 4-1 から受けとり、福岡県西方沖地震の本震をターゲットにしてその妥当性を検証した。

3) 平成 25 年度 :

三次元地盤構造 (V3) とサブテーマ 1・3 から得られる情報を参照して、強震動予測レシピによる標準的震源モデルに基づいた広周期帯域の強震動予測を行い、その地動最大値の分布を明らかにするとともに、その予測強震動に対して分担者らが開発してきた動的非線形応答解析による構造物の構造種別ごとの被害予測を実施して、その社会的インパクトを明らかにする。

(2) 平成 24 年度の成果

(a) 業務の要約

本サブサブテーマでは、強震動予測の高度化のため、平成24年度は長期微動観測点を福岡平野内に設置し、また短期の微動観測を従来観測情報やボーリング情報の少ない地域を中心に実施し、増幅特性および水平上下比を得た。これをターゲットにして地震波干渉法を用いた一次元波動場のインバージョン解析により基盤より上の堆積層部分の速度構造モデルを求め、地下構造高度化のための参照情報として分担テーマ 4-1 のチームに渡した。次に、サブテーマ 2 により明らかにされる基盤形状および堆積層構造等の情報、およびサブテーマ 4 の分担テーマ 4-1 で実施する微動アレー探査から得られる速度構造、本分担テーマで逆算した速度情報などの新規情報を参照して作成された三次元地盤構造 (V2) を分担テーマ 4-1 から受け取り、福岡県西方沖地震の本震をターゲットにしてその妥当性を検証した。

(b) 業務の実施方法

平成 23 年度に設置した長期微動観測点では継続して連続観測を行い、新たに長期微動観測点を設け 2 測線計 8 点で観測を行った。得られた連続記録から気象庁一次元化震源リスト等をもとに地震動の抽出を行い、地震動 H/V スペクトル比を方位別に計算した。また観測 H/V スペクトル比を再現するように、拡散波動場理論 (Kawase et al. 2011) に基づいて 1 次元地盤構造を同定し、地下構造高度化のための参照情報として分担テーマ 4-1 のチームに渡した。微動アレー探査から得られた速度構造等を参照して作成された三次元地盤構造 (V2) を用いて、三次元有限差分法に既往研究の進言モデルを組み合わせて福岡県西方沖地震の本震の再現を試み、その妥当性の検証のためのパラメトリックスタディを実施した。

(c) 業務の成果

1) 長期微動観測点の設置

平成 23 年度は 5 点の長期微動観測点を福岡平野内に設置したが、本年度は新たに別の測線を設け 3 点の長期微動観測点を設置した。図 1・図 2 には平成 23 年度および本年度に設置した長期微動観測点の観測点位置を示す。また観測点諸元を表 1 に示す。写真 1~3 に、新たに設置した観測点の設置位置の外観および内観を示す。

設置した地震計は aLab 製 ITK 強震計 AK-002KGB1 (センサは K-NET95 型加速度計) で、時刻校正は GPS で行い、データサンプリングは 100Hz としている。



図1 長期微動観測点位置 測線1

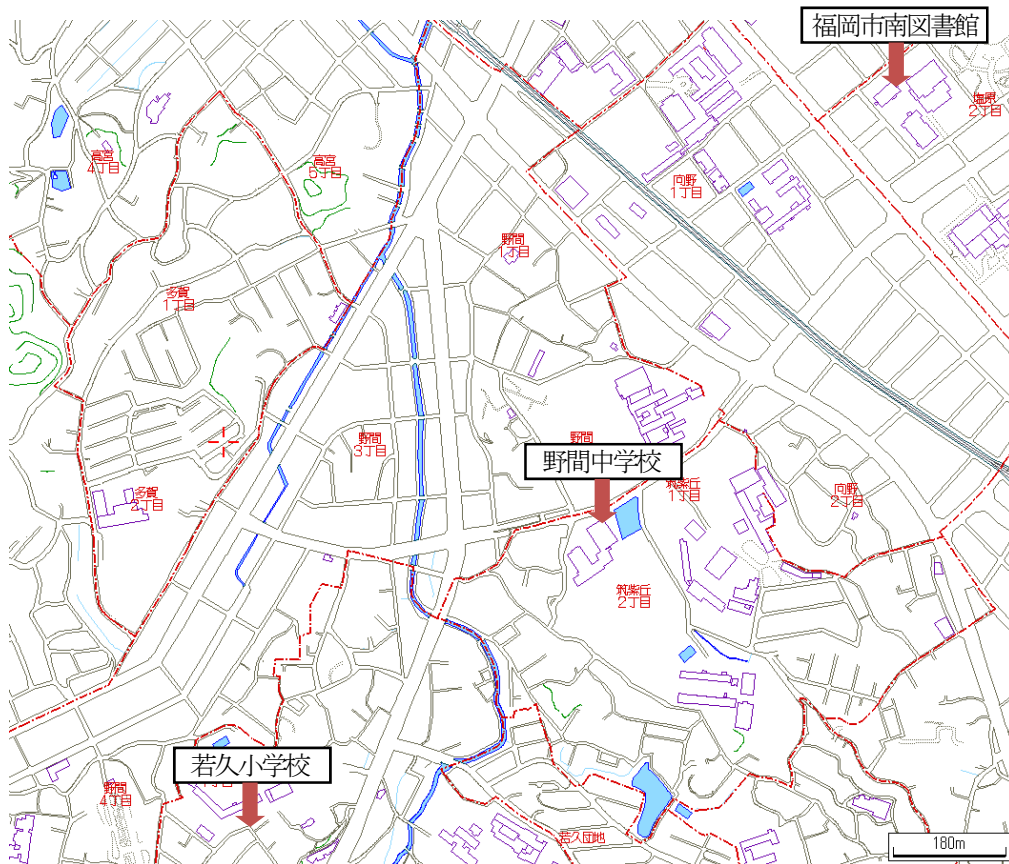


図2 長期微動観測点位置 測線2

表1 長期微動観測点の諸元

識別番号	設置地点名	設置場所	緯度経度	設置日
keg00	舞鶴中学校	南棟玄関	33.586514N, 130.380557E	2/27
keg01	警固中学校	防火水槽内	33.585185N, 130.387345E	2/27
keg02	少年科学文化会館	受水槽内	33.592150N, 130.390267E	3/2
keg03	大名・舞鶴小学校	プレハブ校舎1F印刷室内	33.588946N, 130.394871E	2/27
keg04	福岡市民会館	受水槽内	33.598751N, 130.398715E	2/28
keg05	野間中学校	高圧電力室	33.559101N, 130.418265E	8/23
keg06	福岡市南図書館	整理室	33.565391N, 130.423414E	8/23
keg07	若久小学校	電気室	33.554669N, 130.412347E	8/23



写真1 野間中学校観測点
(高圧電力室内)



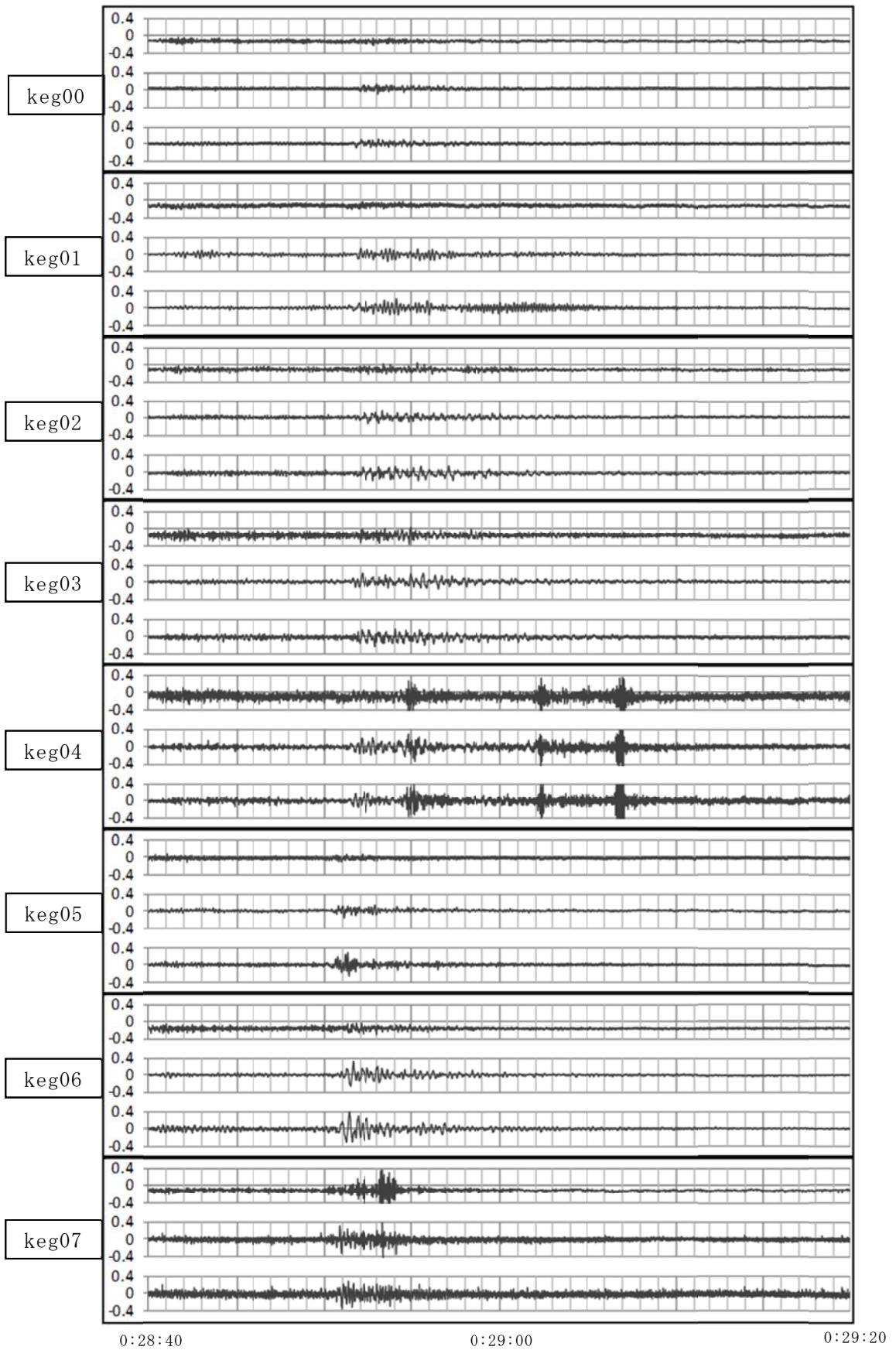
写真2 福岡市南図書館観測点
(整理室内)



写真3 若久小学校観測点
(電気室内)

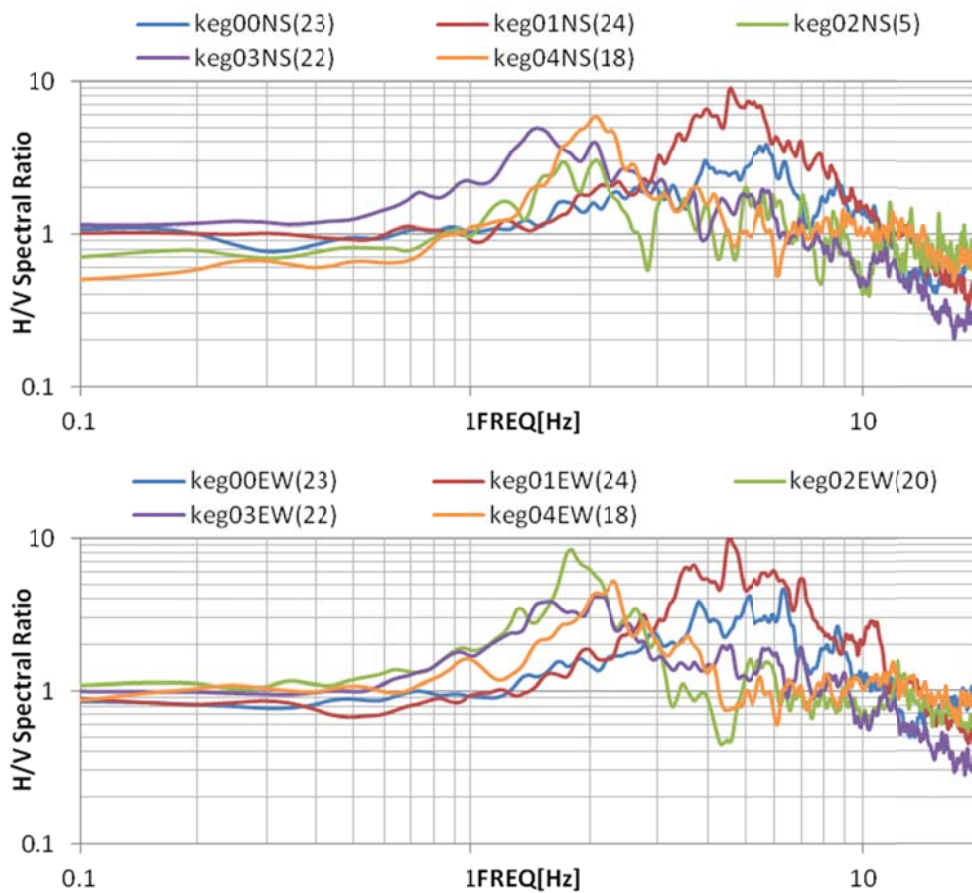
2) 長期微動記録からの地震波形の抽出

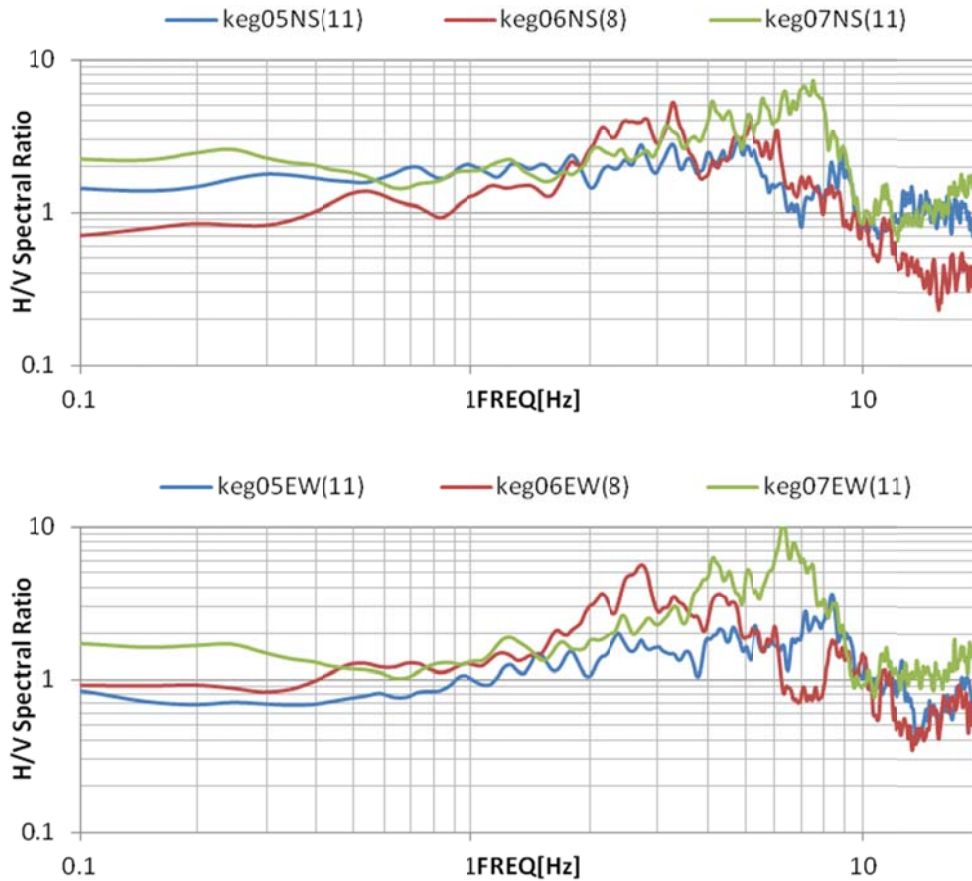
長期微動観測点における常時連続観測記録から地震動の抽出を試みた。気象庁一元化震源リストから福岡平野周辺に位置するものを選択し、該当時間の記録波形を目視で確認して抽出を行った。観測記録の中でノイズが少なく振幅が大きく出る keg03 を代表点とし、keg03 で地震動が見えていると思われる地震を選択する。その地震に対して他点でも観測記録を確認し地震動が見えているものを観測地震記録とした。福岡管区気象台が発表している福岡県内で震度1以上を観測した地震に対しても、同様の手順で観測記録の取捨選択を行った。図3には抽出した地震動の一例を示す。



3) 観測 H/V スペクトル比

抽出した地震記録を用いて地震動 H/V スペクトル比を計算した。S 波の立ち上がりから 20.48 秒間切出し、方位別に H/V スペクトル比を計算し平均をとった。図 4・図 5 には測線 1 および測線 2 の観測 H/V スペクトル比を示す。凡例の括弧内は抽出できた地震動数を示す。各観測点の H/V スペクトル比の方位差を見ると、keg02 では 2 Hz のピークにおいて大きな振幅差が見られた。測線 1 において警固断層帯を挟んで北東側の keg02・03・04 と南西側の keg00・01 でピーク振動数に差が見られ、測線 2 では警固断層帯の北東側の keg07 と南西側の keg05・06 でそのスペクトル形状に差が見られた。





3) 1次元地盤構造同定

観測 H/V スペクトル比を再現できるような 1 次元地盤構造を拡散波動場理論 (Kawase et al. 2011) に基づいて同定した。初期モデルには川瀬・松尾 (2004) での同定モデルと J-SHIS の深部地盤構造を組み合わせ、地震基盤を含めて全 10 層のモデルを用いた。表 2 に初期モデルの諸元を示す。(1) 式を最少化するように、ハイブリッドヒューリスティック法 (山中 2007) を用いて地震基盤以浅の S 波速度と層厚を対象に探索した。各層の P 波速度および密度は S 波速度より換算し、S 波速度で逆転層が生じないようにした。

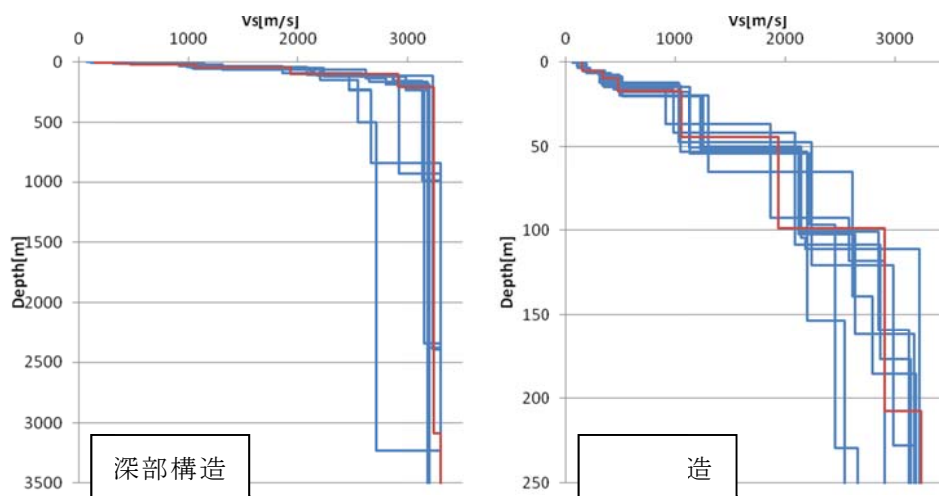
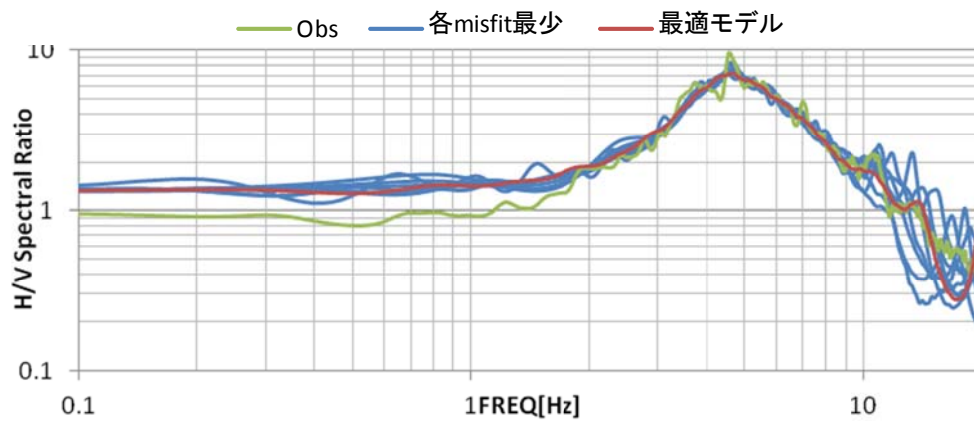
$$misfit = \sum_f \frac{(HV_{obs}(f) - HV_{cal}(f))^2}{f} \quad (1)$$

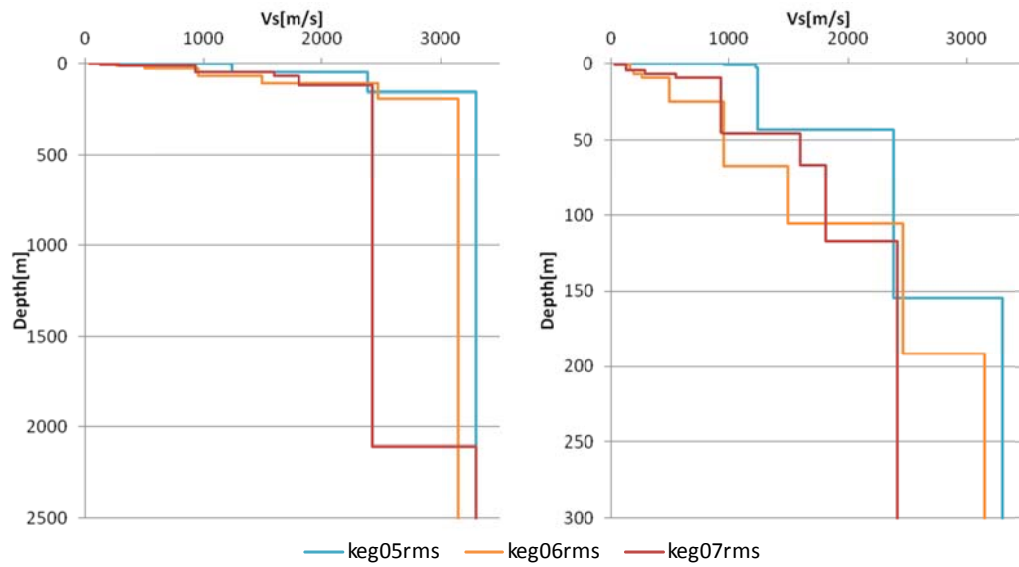
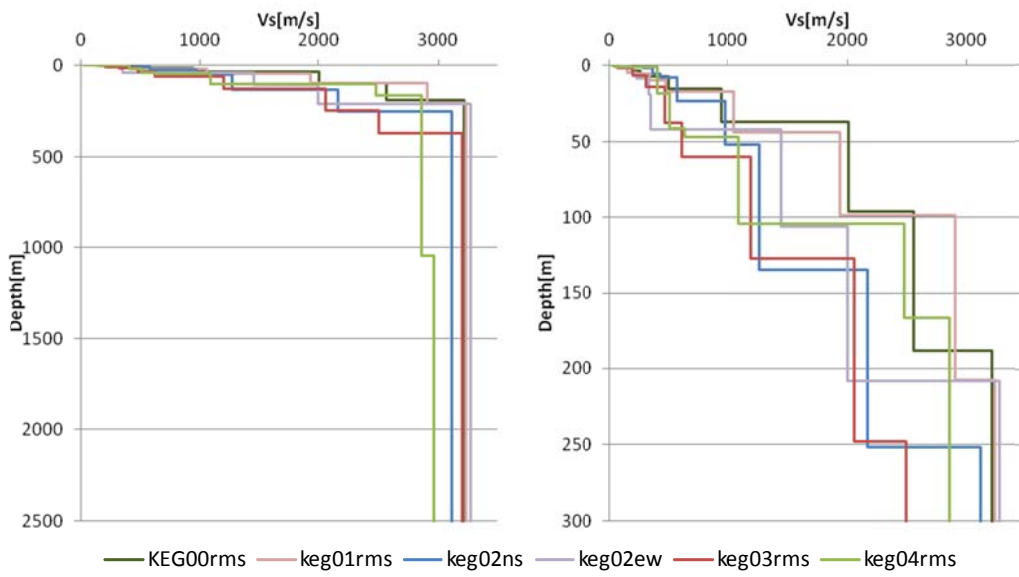
200 世代 100 個体の計算を 10 回行い、各計算で得られた 10 個の解の内 *misfit* が最少のものを最適モデルとした。観測 H/V スペクトル比にはほとんどの点で方位差が見られなかったため、NS/UD と EW/UD の自乗和平均平方根 (RMS) を使用したが、keg02 ではピーク振幅に大きな差が見られたので方位別に構造を同定した。図 6 には一例として keg01 の計算結果を示す。10 回の計算結果の内どの計算結果も 4.5Hz のピークをうまくトレースできているが、得られた構造にはばらつきが見られた。深さ 10m で S 波速度はほぼ 500m/s となり、深さ 210m ほどで S 波速度が約 3200m/s という地震基盤に達するよ

うな高速度層が得られた。図7・図8には測線1および測線2の地盤構造同定結果をそれぞれ示す。

表2 初期モデル 諸元

	No.	厚さ[m]	深さ[m]	Vs[m/s]	Vp[m/s]	密度[g/cm ³]
川瀬・松尾(2004)	1	2	2	110	366.67	1.77
	2	6	8	130	433.33	1.76
	3	4	12	150	500	1.66
	4	3	15	180	600	1.94
	5	5.45	20.45	320	1970	1.87
J-SHIS 深部構造	6	59.55	80	600	2000	1.9
	7	482	562	2100	4000	2.4
	8	482	1044	2700	5000	2.5
	9	1438	2482	3100	5500	2.6
	10	-	-	3300	5700	2.7





4) 三次元盆地構造による強震動シミュレーション

本年度の成果を受けて福岡平野の3次元構造モデルとして、J-SHISモデルを改良した三次元構造モデル（V2）を用いて、福岡県西方沖地震の本震のシミュレーションを行った。当初は中小地震をターゲットにシミュレーションを実施する計画であったが、昨年度の検討から周期1秒前後のやや短周期域のパワーが不足している中小地震記録では精度よい比較が望めないということがわかったので、その周期に大きなパワーのある本震記録をターゲットとした。

図9には昨年度に用いたJ-SHISモデルの地下構造を示す。図10には Suzuki and Iwata

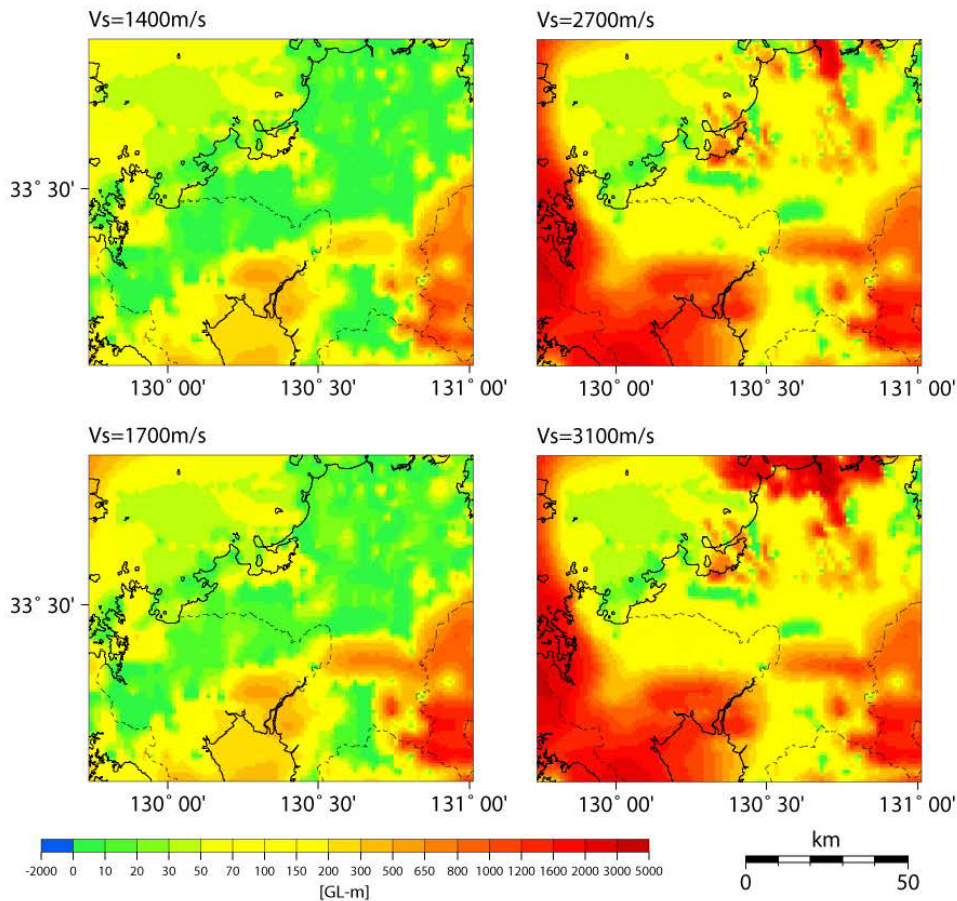


図9 福岡周辺の各層上面の深さ分布(J-SHISによる一次モデル)

(2006)の求めた2005年福岡県西方沖地震の本震の震源すべり量分布を示す。ここで図中に重ね書いた矩形の領域は梅田・他(2006)が用いたアスペリティの初期モデルの形状を示している。梅田・他(2006)はこれを初期モデルとして観測波形と理論波形を比較することにより、フォワードモデリングで本震の単一アスペリティモデルの形状とすべり速度関数を求めた。図11には得られた震源モデルとそれによるシミュレーション波形を観測波形と比較したものを示す。

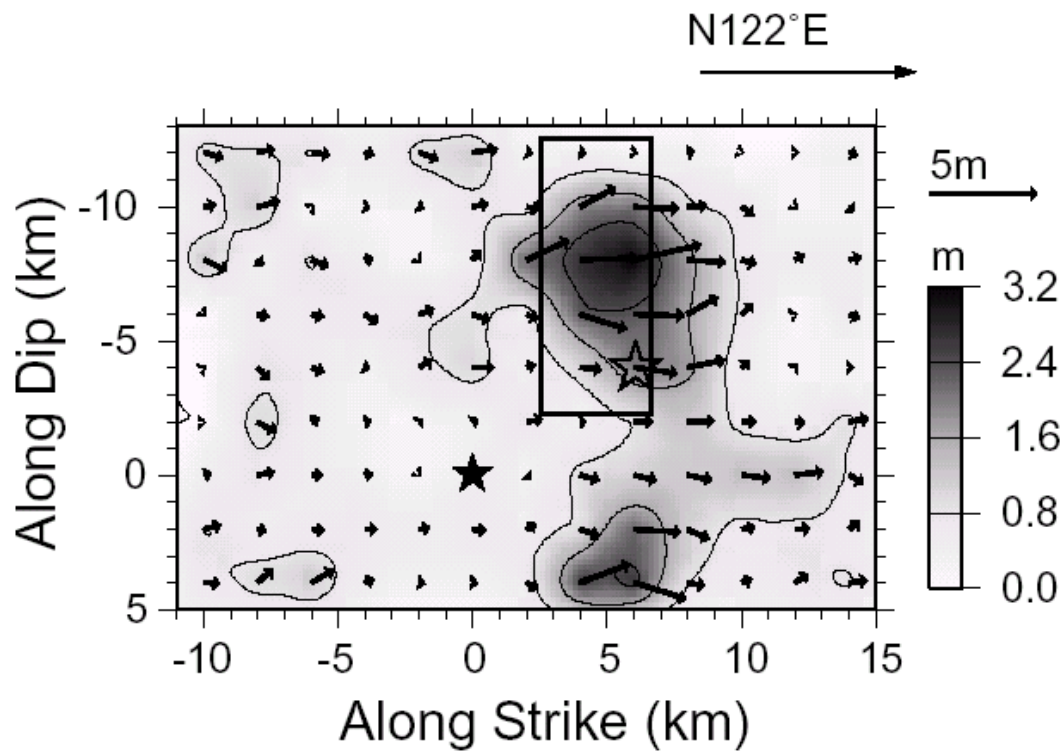


図 10 Suzuki and Iwata (2006)による本震のすべり量分布

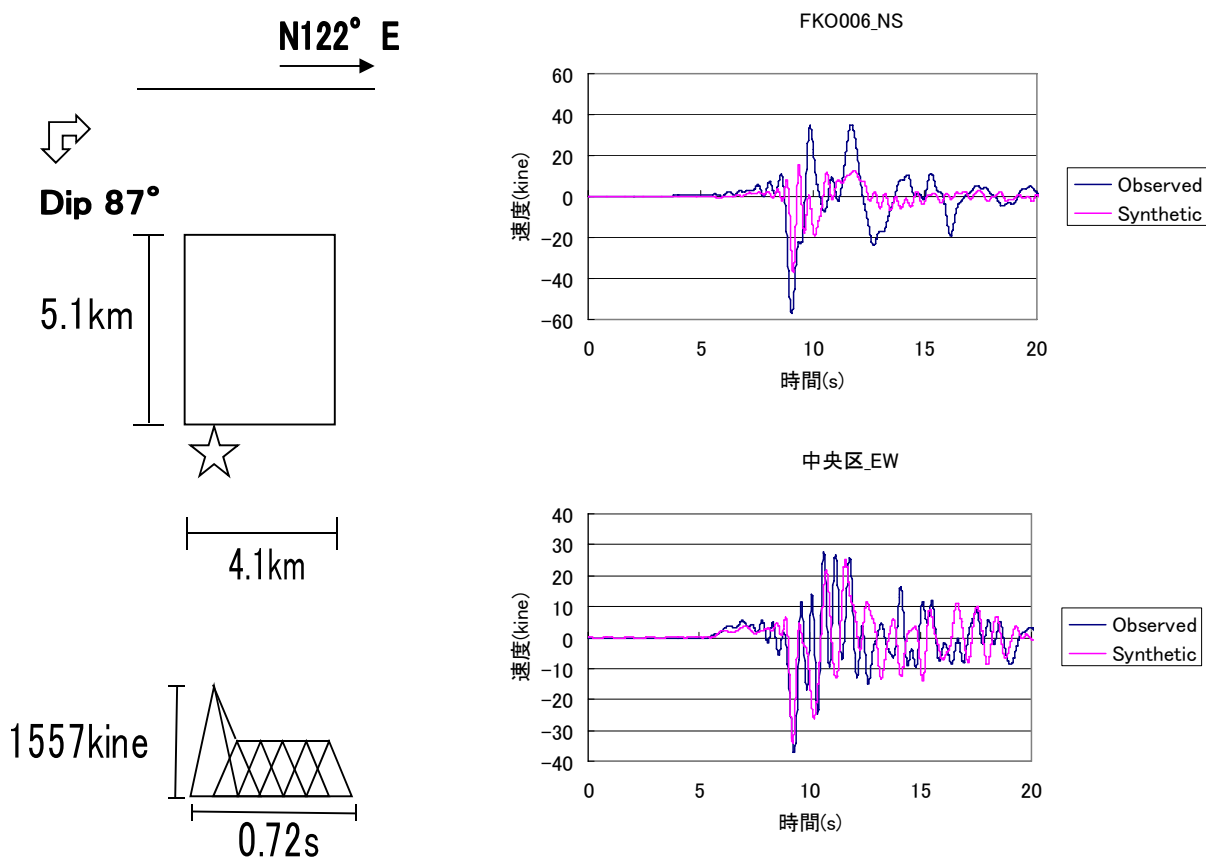
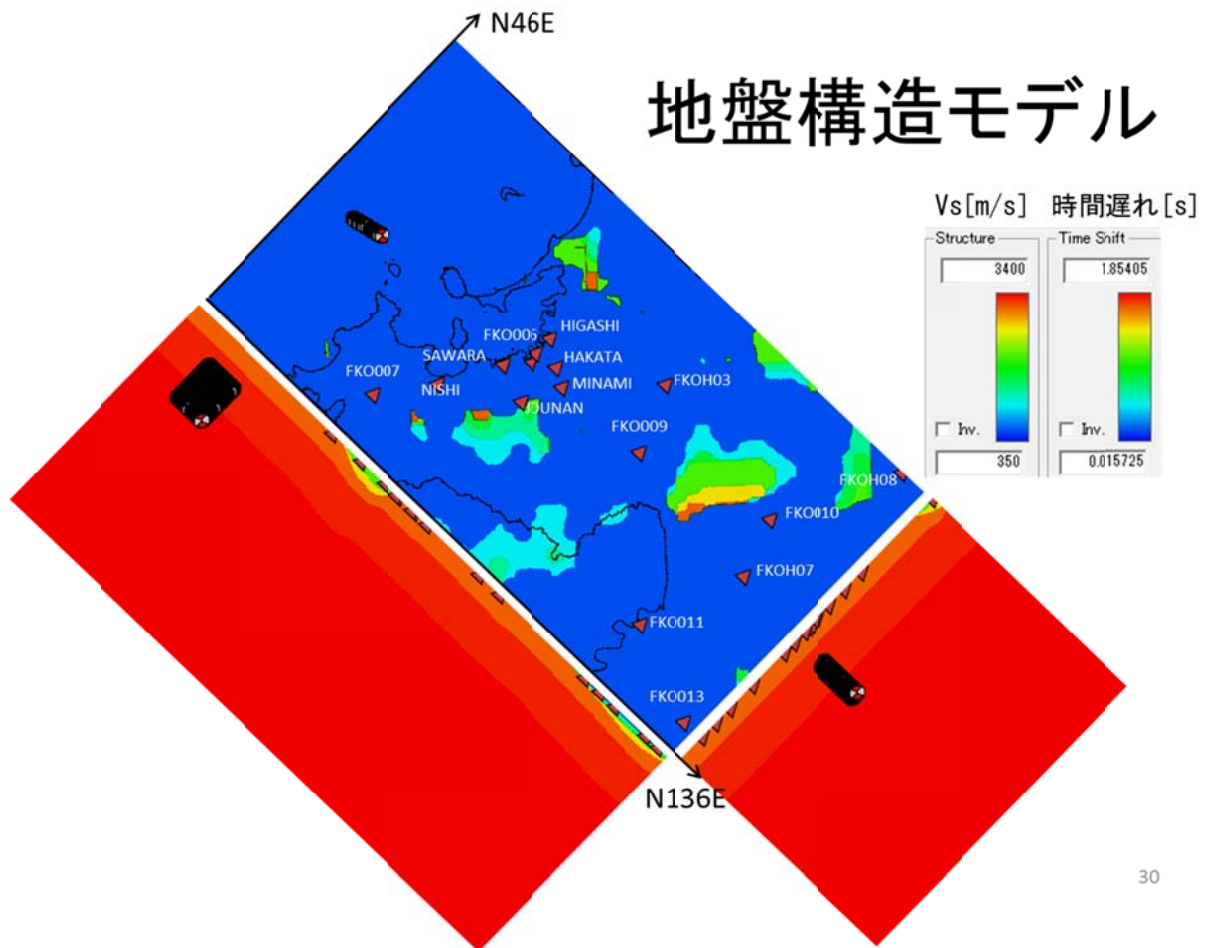


図 11 梅田・他(2006)による単一アスペリティモデルとその再現波形

今回の盆地構造の強震動シミュレーションでは J-SHIS 地盤構造モデルを基本に、その構造を本業務で得られた情報に適合したモデルとすることとした。サブサブテーマ 4-1 で得られた構造と J-SHIS の構造を比較すると、盆地内の観測点においては両者の間に相関関係が見られ、速度構造の対比を行ってそれらの層の地震基盤から上の相対的な層厚を比較したところ、平均的に以下のような結果が得られた。ここでは J-SHIS の構造では周辺山地部においては表層堆積層がない地点が多いことから、この比率を盆地内外に適用することとした。図 12 には用いた地下構造モデルと震源の位置関係を示す。

表 3 J-SHIS モデルと本研究での V2 モデルの相対的關係

層番号	J-SHIS の S 波速度	V2 の S 波速度	層厚比
1	600m/s	800m/s	2.00
2	1,100~2,100m/s	1,600m/s	1.00
3	2,700m/s	2,600m/s	0.27



30

ル

以上の準備のもとで本震に対して J-SHIS モデル（地下構造モデル V 1）および本年度提案の地下構造モデル V 2 により強震動シミュレーションを行った。計算条件は以下の通りである。

- 計算領域 40km×70km×30km
- Grid 浅部 50m → 150m 深部
- X, Y, Z-grid 数 798(50m の場合。150m では 266):1440(480):61+181
- 時間刻み $\Delta t=3.9068800E-03$, 計算ステップ数=6500
- 吸収境界 60 Grid (厚さ 3km)
- Q 値のレファレンス振動数 1Hz

ここで Q 値は初期モデルでは J-SHIS の値を用い、最上層でも $Q=100$ とした。

得られた計算波形を図 13~21 に示す。ここで図 13、16、19 の 2 成分は V 1 モデルの結果、図 14、17、20 の 2 成分は V 2 モデルの結果である。図 15、18、21 の 2 成分は V 2 モデルにおいて Q 値を梅田・他(2006)の値としたものである。比較対象とした地点は本震観測記録のある震度計・K-N E T および KiK-net の観測点 16 地点であるが、ここではそのうち FK0006 と震度計中央区 CHU0、および FK0009 の 3 地点を比較した結果を示す。

これらの図から、J-SHIS モデルは震源に近い FK0006 や中央区震度計地点においては過小評価傾向にあり、最初のパルスはよく再現されているものの後続のやや短周期波形の再現性が低い傾向にある。これに対して V 2 モデルでは、最上層である $V_s=800\text{m/s}$ の層の厚さが厚くなっているために、やや短周期波形の振幅が増大しており、特に EW 成分の後続動では観測値と比べて過大となっている。Q 値を減少させてこの後続動振幅への影響を見てみたが、今回試みた程度の変化では、多少減少はしたものの観測値レベルに対応するレベルまで減らすことはできなかった。

震源から離れた FK0009 地点では計算波形は観測波形の振幅レベルの数倍以上となっており、この地点近傍の速度構造が軟らかすぎることを示している。梅田・他(2006)のシミュレーション研究においても FK0009 において比較がされており、その結果を図 22 に示したが、同様に短周期の波形は生成されているものの、その振幅レベルに大きな違いがあり、この観測点周辺の最上層の層厚をチューニングする必要があることがわかる。

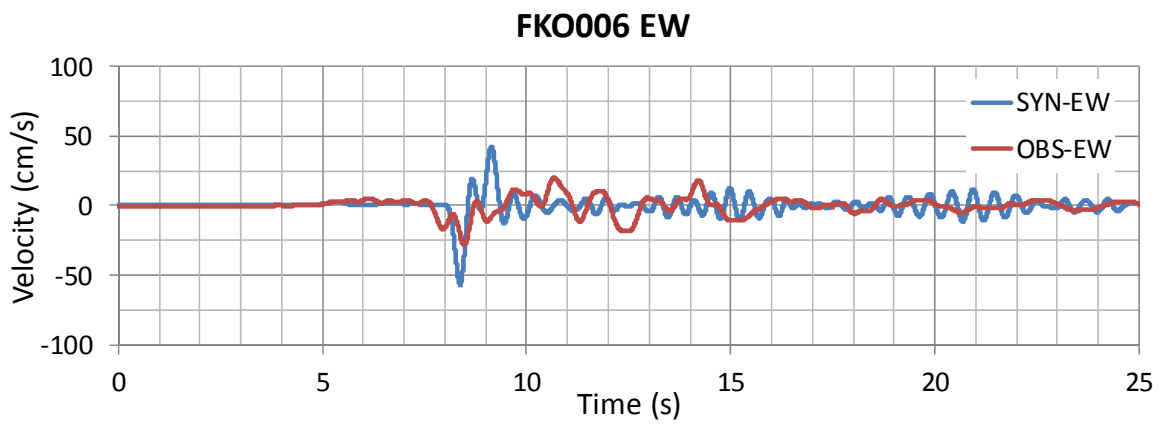
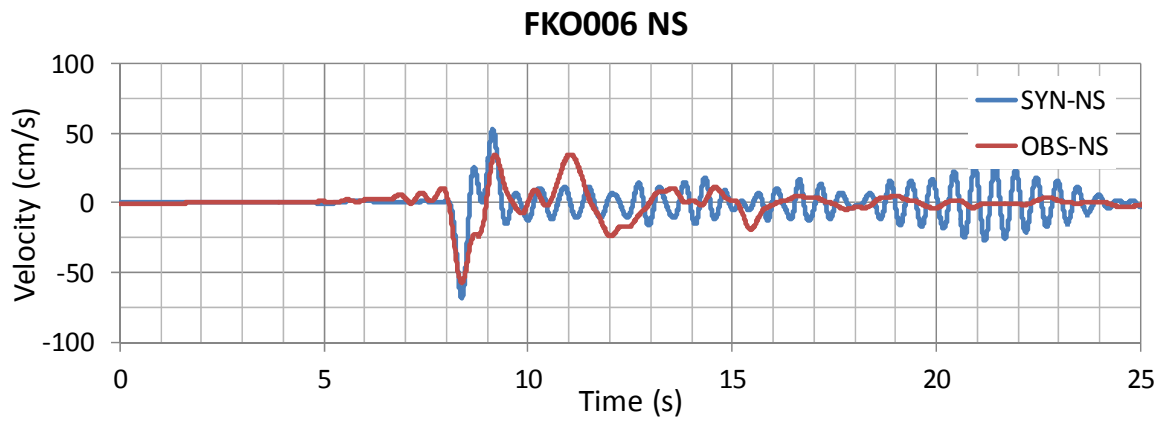


図 13 V 1 モデルを用いた F K O 006 地点での本震シミュレーション結果

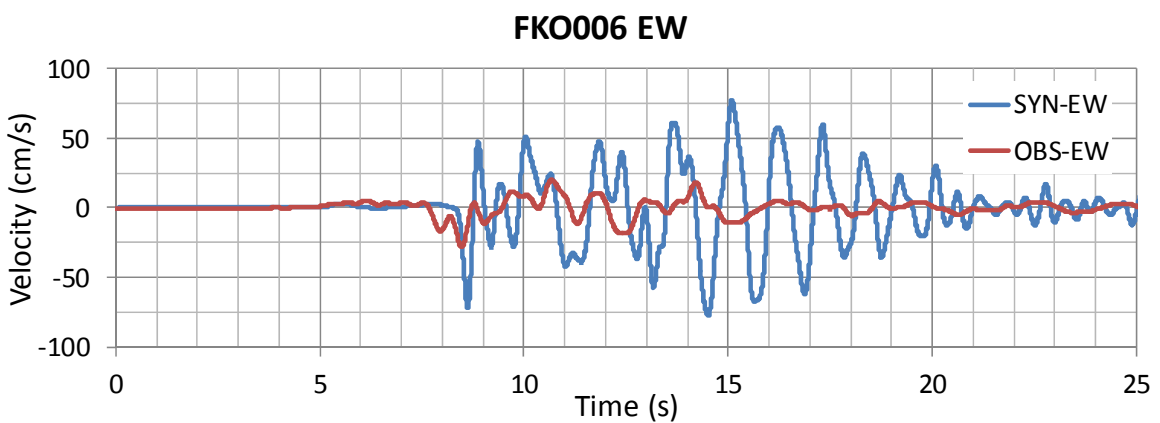
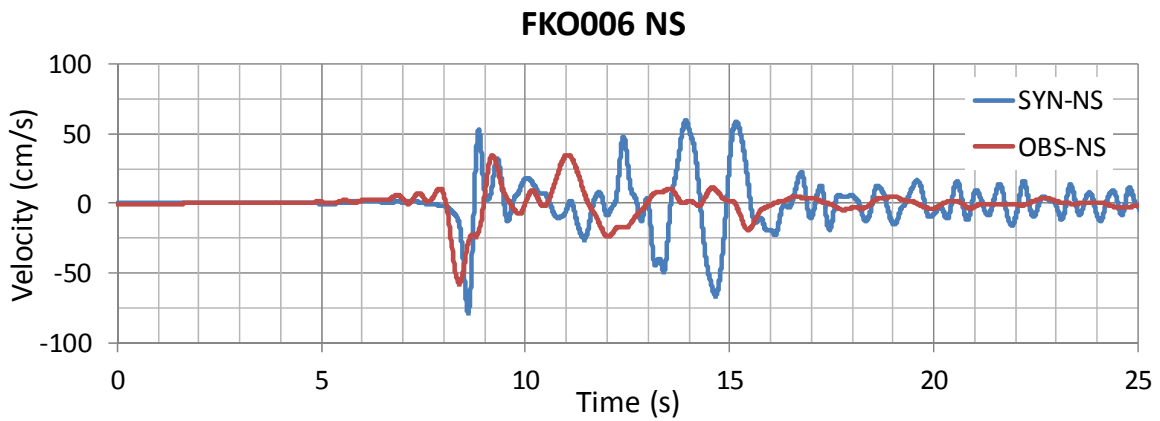


図 14 V 2 モデルを用いた F K O 006 地点での本震シミュレーション結果

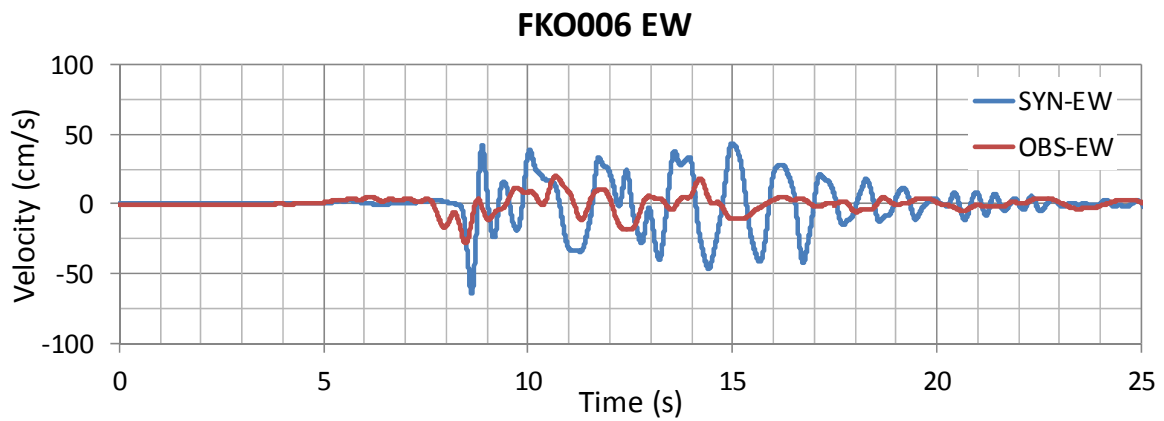
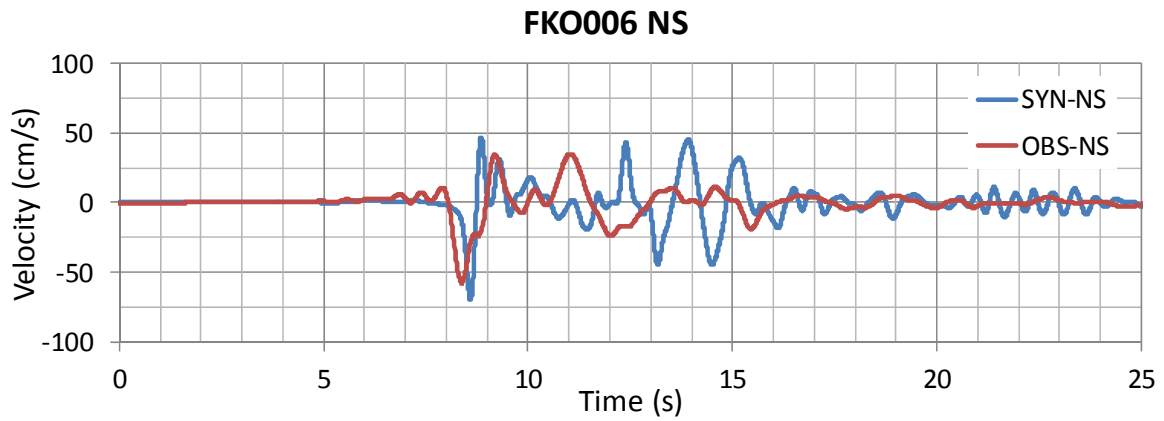


図 15 V 2 モデルの Q 値を減らしたモデルによる
F K O 006 地点での本震シミュレーション結果

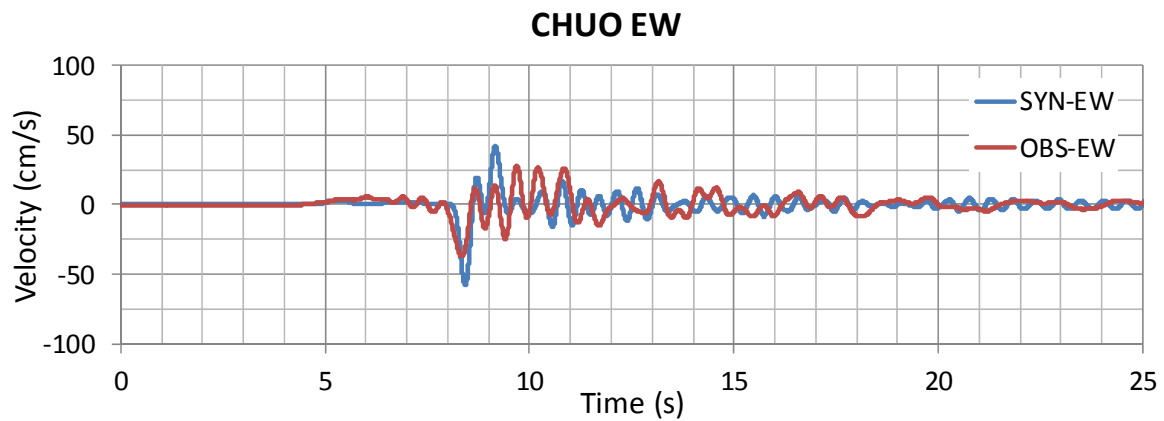
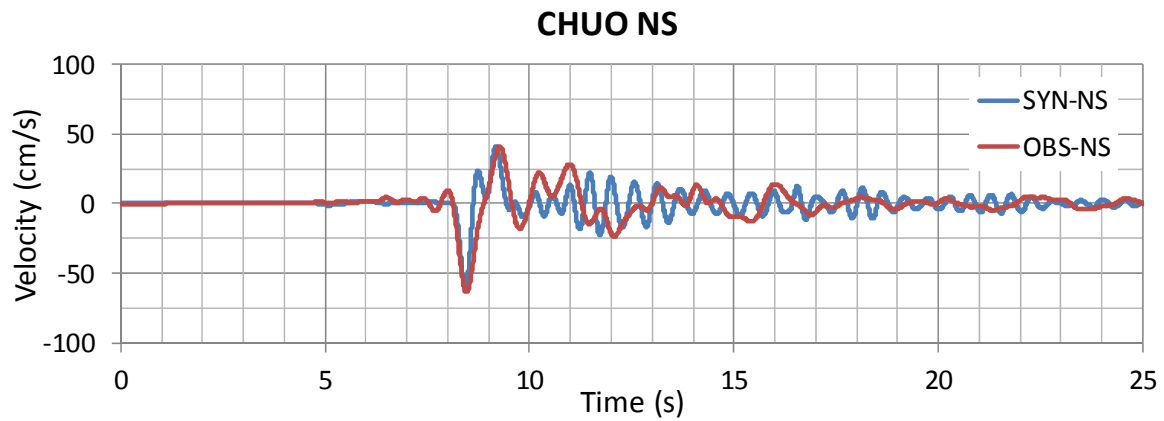


図 16 V 1 モデルによる中央区震度計地点での本震シミュレーション結果

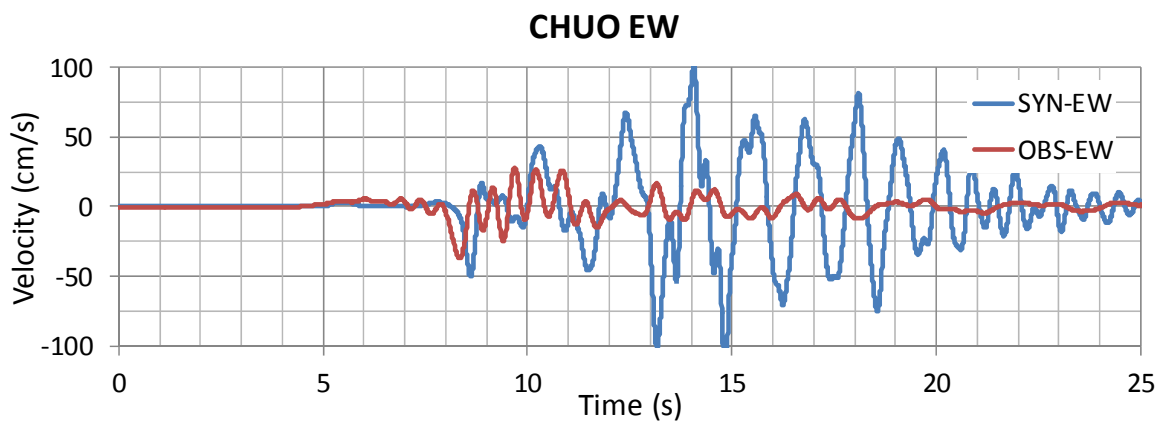
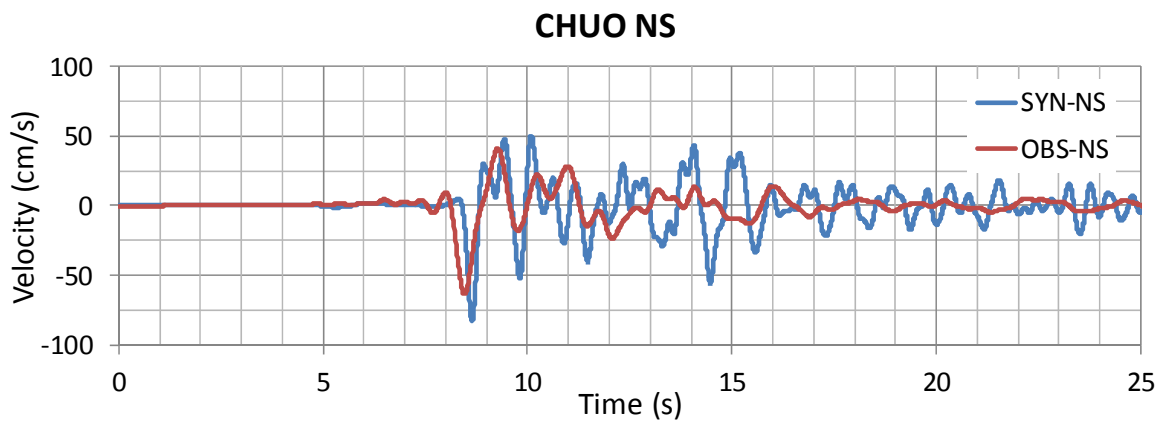


図 17 V 2 モデルを用いた中央区震度計地点での本震シミュレーション結果

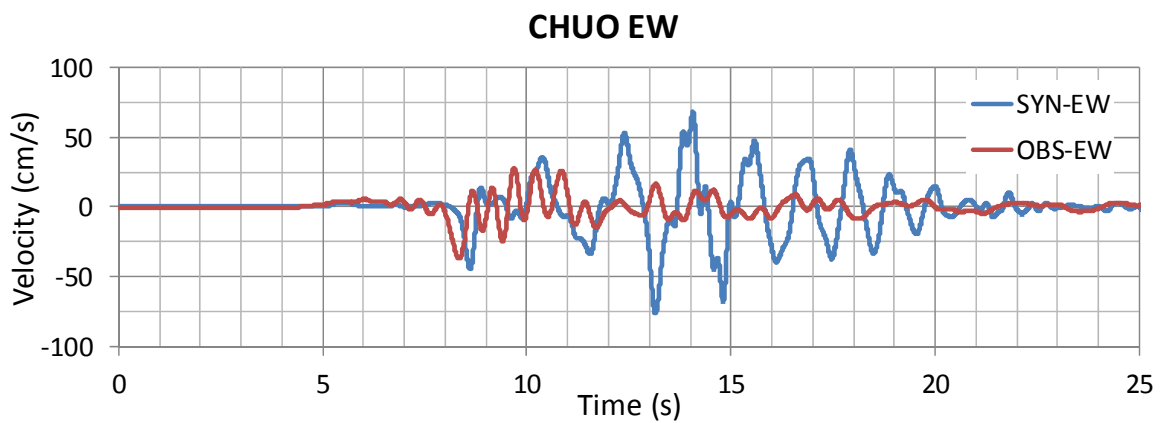
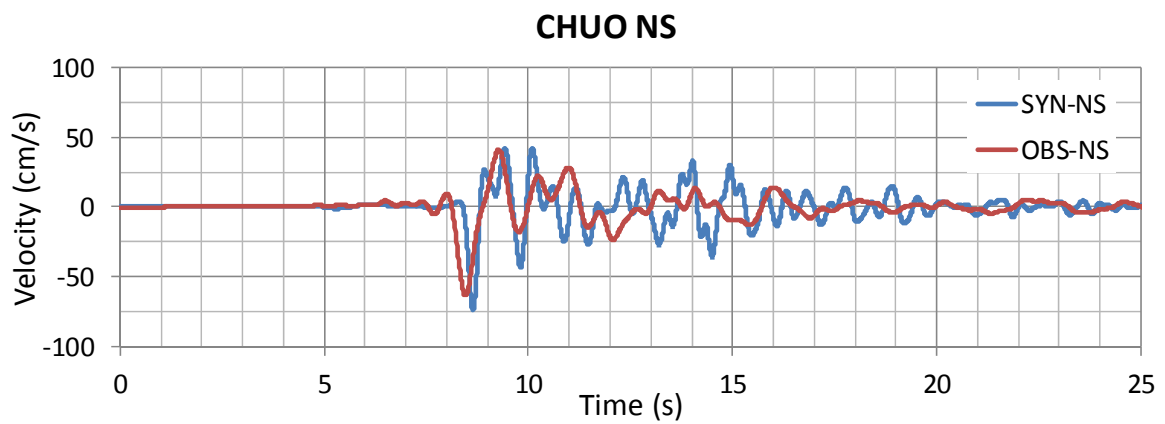


図 18 V 2 モデルの Q 値を減らしたモデルによる中央区震度計地点での本震シミュレーション結果

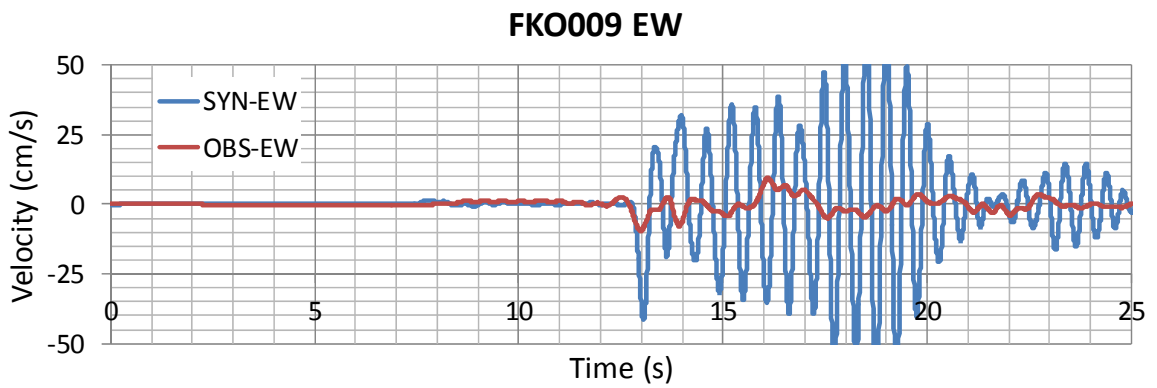
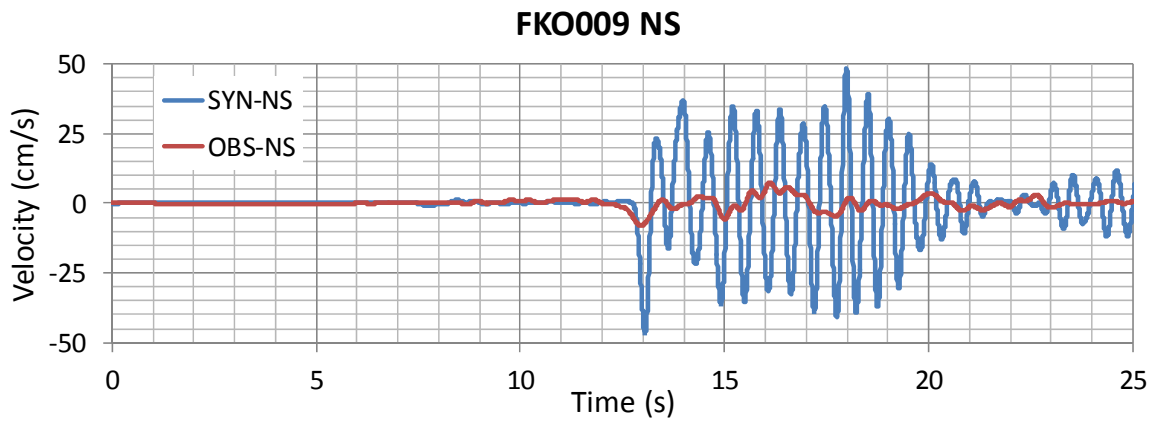


図 19 V 1 モデルを用いた F K O 009 地点での本震シミュレーション結果

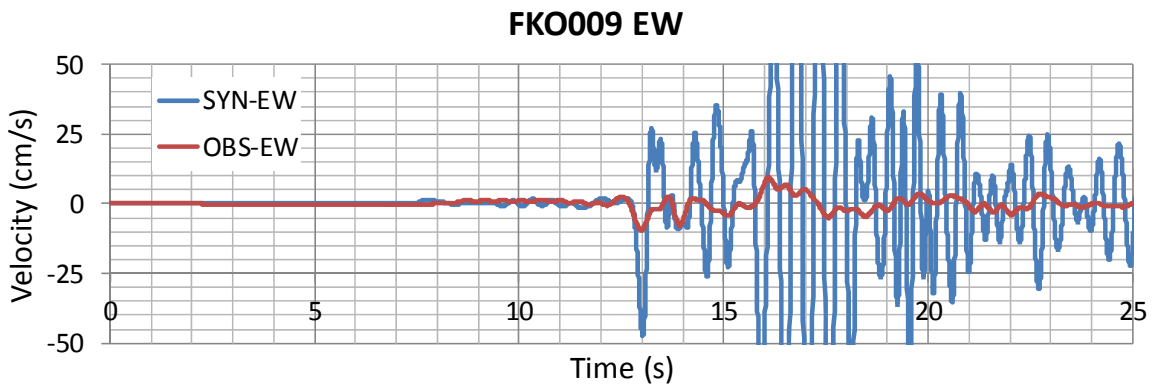
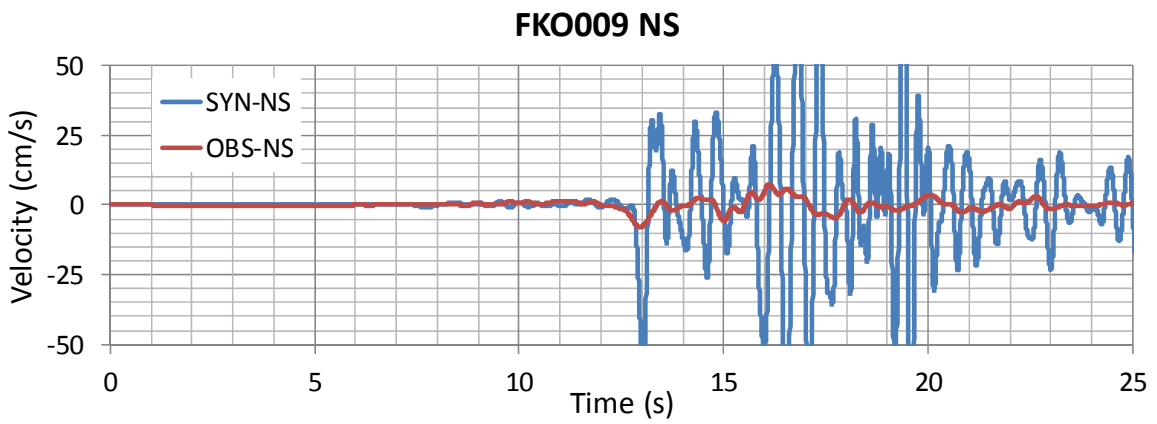
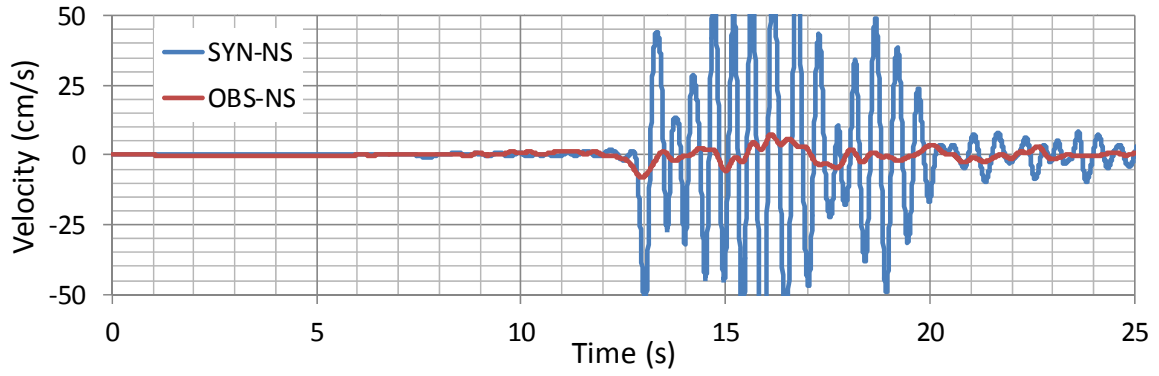
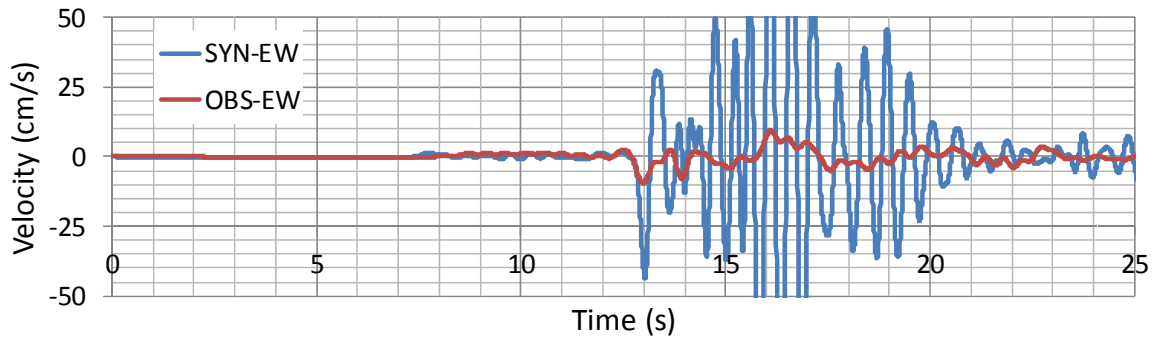


図 20 V 2 モデルを用いた F K O 009 地点での本震シミュレーション結果

FKO009 NS

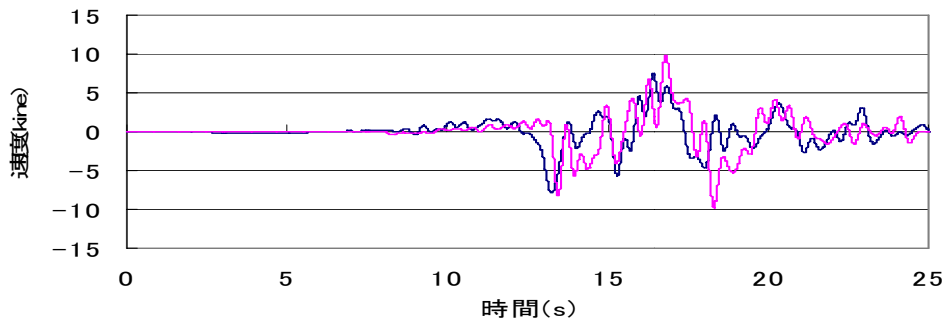


FKO009 EW

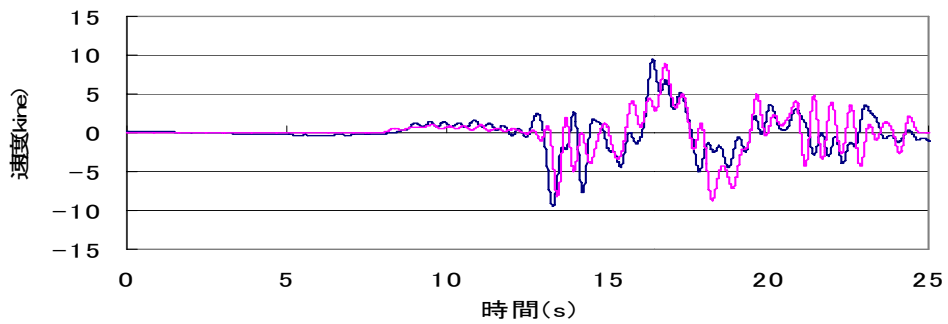


— Observed — Synthetic

FKO009_NS



FKO009_EW



吉果

(d) 結論ならびに今後の課題

本年度は当初計画に従って地震観測点を設置して地震波形を収集し、その水平上下比から各地点での速度構造を求めた。また第一次の三次元地盤構造（V1）と他のチームの求めた地盤速度構造の情報を基に改良三次元地盤構造（V2）を作成し、福岡県西方沖地震の本震の強震動シミュレーションを実施し、それらが概ね妥当なものであることを確認するとともに、一部地点ではさらなる改良が必要であることを明らかにした。

今後、さらに三次元地盤構造に改良を加え、再現性を確認したうえで地震本部の強震動予測レシピに従って警固断層帯南部の想定震源モデルを作成し、強震動予測を実施して地震波形を求め、それによる建造物の被害予測を実施したい。

(e) 引用文献

- Kawase, Hiroshi, Francisco J. Sanchez-Sesma, and Shinichi Matsushima : The Optimal Use of Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios of Earthquake Motions for Velocity Inversions Based on Diffuse-Field Theory for Plane Waves, *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol.101, No. 5, 2011~2014, 2011.10
- 川瀬博・松尾秀典：K-NET, KiK-NET, JMA 震度計観測網による強震記録から分離したサイト増幅特性とS波速度構造との対応, *日本地震工学会論文集*, 第4巻, 第4号, 126~145, 2004.
- 梅田尚子・川瀬博・松島信一：福岡県西方沖地震の三次元有限差分法による強震動シミュレーション, *日本建築学会学術講演梗概集 B-2, 構造 II*, pp.17-18, No.21009, 2006年7月31日, 2006.
- 地震調査研究推進本部：平成21年度版全国地震動予測地図, 2009.
- 太田外氣晴, 江守克彦, 河西良幸：耐震・振動・制御, 共立出版, 2001.
- Suzuki, W. and T. Iwata: Source model of the 2005 west off Fukuoka prefecture earthquake estimated from the empirical Green's function simulation of broadband strong motions, *Earth, Planets and Space*, 58, 99-104, 2006.
- 山中浩明：ハイブリッドヒューリスティック探索による位相速度の逆解析, *物理探査*, 第60巻, 第3号, 126~145, 2007.