

第2編 自然条件の調査	2-1
2.1 地質概要	2-1
2.2 微地形区分.....	2-7
2.3 深部地盤モデル	2-10
2.4 浅部地盤モデル	2-28
【参考文献】	2-33

第2編 自然条件の調査

2.1 地質概要

後述するように(2-2節)、今回の地震動計算においても、前回調査を踏襲し地盤を次のように区分してモデル化している。

- ・震源～地震基盤 ($V_s > 3.1\text{km/sec}$) 上面まで
- ・地震基盤上面～工学的基盤 ($V_s 0.3 \sim 0.6\text{km/sec}$) 上面まで : 深部地盤
- ・工学的基盤上面～地表面 : 浅部地盤 (おおむねN値50以下)

大分県内には、古生代から現在までの様々な地質時代の地層が分布しており(唐木田ほか、1992)、北東-南西方向に延びる地質構造線で境された帯状の地域ごとに、上記の「深部地盤」を構成する地層に特徴がある。以下、地盤構造の特徴をもとに、大分県をいくつかの地域に区分し、それぞれの地域の特徴をまとめる。県内の地質分布の概要を図2-1-1に示した。

(1) 県の南部地域

「臼杵-八代構造線」以南の地域である。主として付加体の地層が分布しており、標高300~500mの比較的高い山地を形成している。この地域は、さらに、「仏像構造線」により、白亜紀より古い地層が分布する北部の黒瀬川帯・秩父帯と白亜紀ないしそれより新しい付加体の地層が分布する南部の四万十帯に区分される。

黒瀬川帯と秩父帯に分布する地層は、主に砂岩、泥岩、石灰岩、チャート、塩基性火山岩類である。大分県内の四万十帯に分布する地層は、白亜紀~古第三紀の付加体であり、砂岩・泥岩を主とし、塩基性火山岩類、チャートなどを伴う。いずれも固結している岩石である。

このような古い付加体の地層は、地震動計算のための地盤モデルでは、一般に地震基盤相当の地層と想定されている(藤原ほか、2006)。この地域の地震計設置地点(KiK-net)での検層結果(図2-1-2)をみても、掘進範囲では、地震基盤相当の弾性波速度には達していないものの、後述する他の地域の観測地点より大きい弾性波速度を示しており、地下浅部の風化・緩み部を除いたあまり深くない地下で地震基盤相当の弾性波速度を示すことが期待される。

(2) 県の中部~北部地域

「臼杵-八代構造線」より北側には、構造線に近い地域には、礫岩・砂岩・頁岩の互層からなる白亜紀の大野川層群が、それより北側には、県の最北部まで、火山岩類と堆積岩類からなる新第三紀ないし第四紀の地層が広く分布している。ところどころの露頭や深掘りのボーリング結果からみて、その下位には、花崗岩類や変成岩類が分布すると推定される。これらは、領家帯の変成岩・花崗岩類、三波川帯の変成岩類であり、いずれも結晶質で固結しており、地下浅部の風化・緩み部を除き、地震基盤相当の地層である(図2-1-3の右側参照)。

大野川層群の地層は固結度が高く、弾性波速度は、後述する新第三紀、第四紀の地層より大きいのが、前述した地震基盤相当層よりは小さい(図2-1-3の左側)。これより、作成し

た地盤モデルでは、大野川層群については、深部地盤を構成する堆積層の一部（最も古い地層）として扱うこととした。

新第三紀ないし第四紀の地層は、溶岩類や高溶結の凝灰岩類を除き、一般に固結度は、あまり高くなく、弾性波速度も小さい（図2-1-4の地点では、S波速度1.5km/秒以下）。堆積層として、「深部地盤」の一部と位置づけられる。大分市付近では、「碩南層群」・「大分層」と名づけられており、広く台地（鶴崎台地や丹生台地など）を形成してひろく分布している。別府湾から阿蘇を経て島原にいたる地域は、新第三紀以降に活発な火山活動が生じた地域であり、「別府－島原地溝」と呼ばれている。この地域には、鶴見・由布・九重などの活火山が分布している。重力探査などの結果から、地下では地震基盤相当層の上面が地溝を形成しており、そこに新第三紀から第四紀の地層が厚く分布していると推定されている。また、耶馬溪火砕流、阿蘇火砕流、久住火砕流などの、比較的規模の大きい火砕流が100万年前以降に噴出し、厚く堆積している。

このような火山岩類は、明瞭な溶岩台地や火砕流台地、火山体を形成しており、別府－島原地溝の内部には、それらを変位させている活断層が発達している。被害想定では、このような活断層の活動による地震被害を想定した。

「深部地盤モデル」作成にあたっては、ここに述べた県内の地盤の地質的特長をふまえて地盤の区分、物性値の設定を行った。

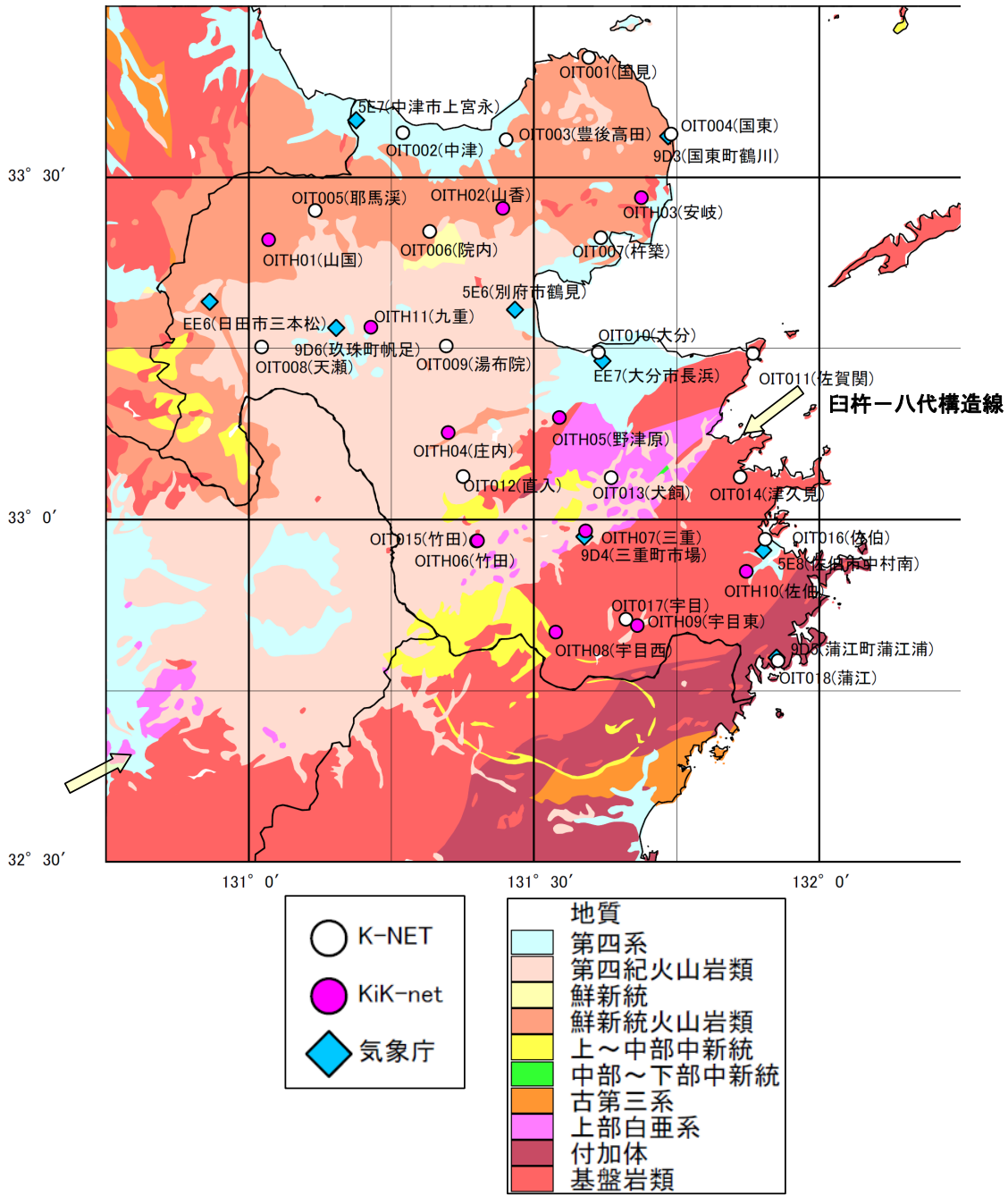
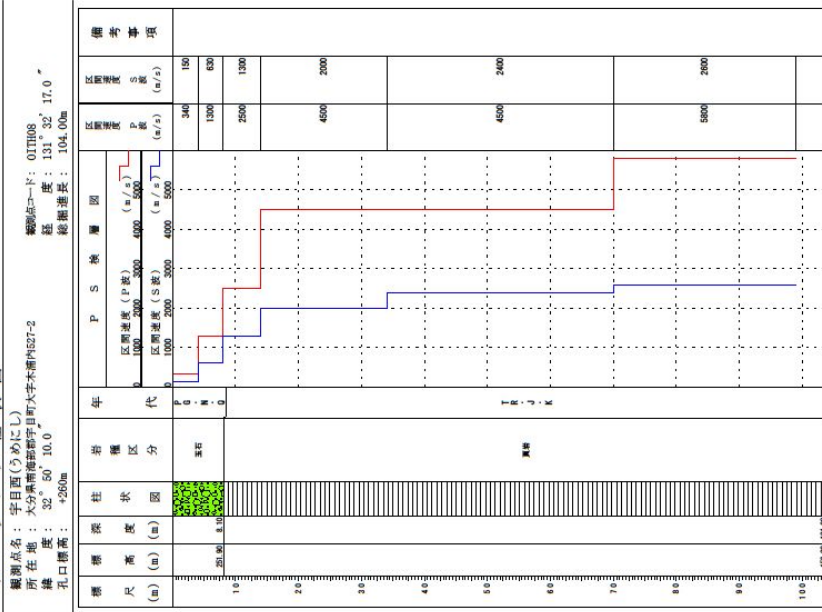


図2-1-1 大分県内の地質分布図とモデル作成に用いた地震観測地点の位置
産業技術総合研究所のシームレス地質図をトレースして作成。

01TH08地点

ボーリング柱状図



01TH09地点

ボーリング柱状図

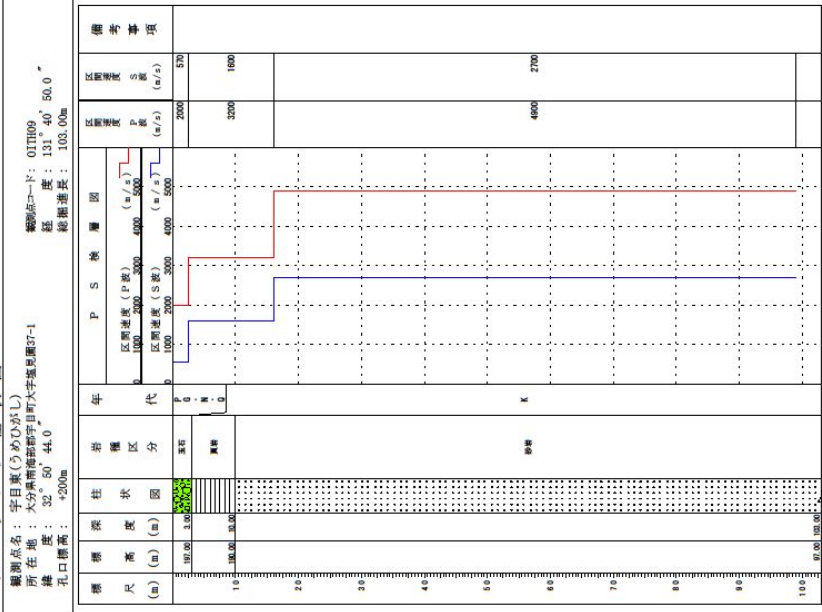
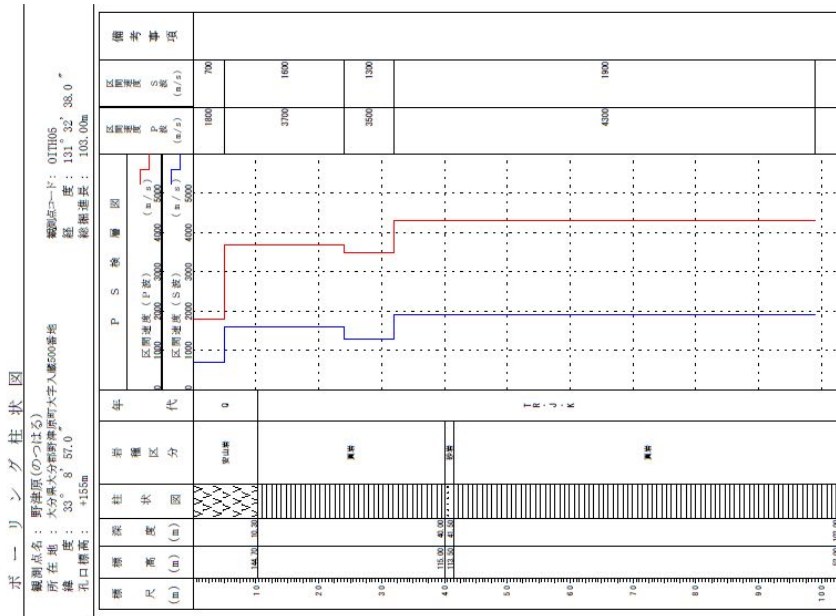


図2-1-2 地震計設置地点 (KiK-net) におけるボーリング柱状図とP S検層結果 [秩父帯]

01TH05地点 [大野川層群の分布域]



01TH05地点 [花崗岩\新しい火山岩類の分布域]

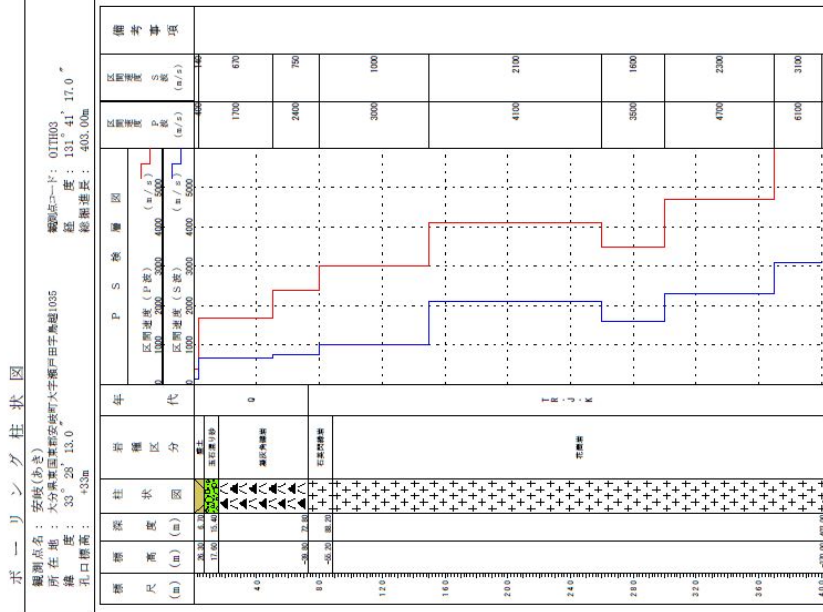


図2-1-3 地震計設置地点 (KiK-net) におけるボーリング柱状図とP S検層結果

2.2 微地形区分

前節で述べたような、「深部地盤モデル」に関連する県内の地質分布状況は、それぞれの地域の地形に反映されている。また、後述するように、「浅部地盤モデル」は、収集したボーリングデータの地質状況やN値を用いて作成しているが、ボーリングデータのない箇所については、近傍で同じ微地形区分に属する地点のボーリングデータをもとに補完している。

このように、地盤モデルを作成するには、基礎的な情報として、地形の区分とその分布を示すデータが不可欠である。この作業に資するために、国土交通省から公開されている1/5万土地分類基本調査の地形区分図をもとに、区分基準や凡例を統一して、県全体の微地形区分図を作成した。区分基準を表2-2-1に、作成した微地形区分図を図2-2-1、図2-2-2に示した。

大分県地域には、大分川流域の大分市や番匠川流域の佐伯市、中津市付近などを除いて、海岸沿いの平野は見られない。これらの平野も全国的に見ると規模は、あまり大きくない。一方、内陸には、新しい火山岩類の分布する地域の中に、いくつかの比較的まとまった山間盆地が形成されている（玖珠・日田・竹田の各盆地など）。「浅部地盤モデル」においては、これらの海岸平野や山間盆地の地盤構成を解明することが必要である。作成した微地形区分図には、これらの地域の広がりや特徴が示されている。

表 2-2-1 統一地形区分の基準

大区分	微地形区分	地形分類図での使用されている用語	地形分類図の区分理由	備考（地盤のイメージ）
山地・山麓	山地/火山山地	大起伏山地（起伏量 400m 以上）	<ul style="list-style-type: none"> ・山地と火山山地を明確に区分していない図幅がある。 ・急斜面として使用している図幅や I II に区分している図幅がある。 ・「両子……」はローカルな名称で地形的に山麓・尾根性で山地に区分した。 →以上の理由で“山地/火山山地”として一括した。 	<p>山地・山麓 →風化部を除き、新鮮部は一般に“地震基盤”に相当する。 (地震基盤；Vs=2,700m/s)</p>
		大起伏火山山地（起伏量 400m 以上）		
		中起伏山地（起伏量 400～200m）		
		中起伏火山山地（起伏量 400～200m）		
		小起伏山地（起伏量 200m 以下）		
		小起伏火山山地（起伏量 200m 以下）		
		急斜面		
		急斜面 I（谷密度 80/km ² 以上）		
		急斜面 II（谷密度 80/km ² 以下）		
		山頂緩斜面		
両子開析火山山麓尾根性緩斜面				
山腹緩斜面				
丘陵地・岩石台地	山麓地/火山山麓地	山麓緩斜面	<ul style="list-style-type: none"> ・山麓地と火山山麓地を明確に区分していない図幅や、山麓地を I II 区分している図幅がある。 →以上の理由で“山麓地/火山山麓地”として一括した。 	<p>丘陵地・台地・段丘 →一般に“工学的地震基盤”に相当する。なお、丘陵地・岩石台地の新鮮部や火砕流台地の凝灰岩などには“地震基盤”に相当する部分も存在する。 (工学的地震基盤；Vs=700m/s)</p>
		火山山麓地		
		山麓地 I（起伏量 100～50m）		
		火山山麓地 II（起伏量 100～50m）		
		山麓地 II（起伏量 50m 以下）		
		火山山麓地 II（起伏量 50m 以下）		
		丘陵地 I（起伏量 200～100m）		
		丘陵地 II（起伏量 100m 以下）		
		岩石台地・段丘		
		溶岩台地		
火砕流台地	丘陵地・岩石台地	石灰岩台地	<ul style="list-style-type: none"> ・丘陵地と岩石台地、岩石台地の区分は図幅によって使用がまちまちで、全体を“岩石台地”として一括した。 	
		上位岩石台地		
		下位岩石台地		
		下上位岩石台地		
		砂礫台地・段丘		
		上位砂礫台地/河岸段丘（上位）		
		中上位砂礫台地		
		中位砂礫台地		
		下上位砂礫台地		
		下位砂礫台地/河岸段丘（下位）		
下位砂礫台地（旧期扇状地）				
下位砂礫台地（新規扇状地）				
河岸段丘				
低地	火砕流台地	火山灰砂礫台地	<ul style="list-style-type: none"> ・火山灰台地と火砕流台地は図幅によって使用がまちまちで、ローカルな用語を使用している図幅もあり、全体を“火砕流台地”として一括した。 	
		火山灰砂台地		
		火山灰台地		
		耶馬溪火砕流台地		
		阿蘇火砕流台地		
		阿蘇 4 火砕流堆積物		
		飯田火砕流台地		
		松の本台岩層なだらけ堆積物台地		
		谷底平野		
		台地上浅谷		
河原/河原（氾濫原）/河原・浜				
氾濫原（上位）				
氾濫原（下位）				
洪水氾濫原				
扇状地				
自然堤防				
下位台地上自然堤防				
旧河道				
三角州・海岸低地				
三角州・海岸平野/三角州/デルタ/デルタ及び低地				
磯				
浜				
海浜				
被覆砂丘（浜堤）				
裸出砂丘（浜堤）				
砂礫堆（浜・自然堤防）				
砂嘴・砂州・浜堤				
湿地/湿地（後背地）				
干潟				
その他	埋立地	干潟	<ul style="list-style-type: none"> ・いずれも沖積低地に含まれるものであるが、地形区分が図幅によってまちまちである。 ・これらは、低地の特徴的な地形であるので、可能な限り原著を使用し、以下のように区分した。 ①谷底低地・氾濫原 ②扇状地 ③自然堤防 ④旧河道 ⑤浜堤 ⑥後背湿地 ⑦干潟 ・なお、その他の欄の沖積堆は基本的には“低地”に堆積し、扇状地と共通するが、図幅毎に使用の一貫性がないこと、低地以外の箇所にも分布すること、災害を生じやすいことなどから、その他（沖積堆として区分した） ・人工改変地であるが、沖積地盤上の人工改変地であることから、その他の人工改変地と区分した。 	<p>低地（平地） →一般に“工学的地震基盤”より上位の地盤で、“建築物の評定基盤”がこの地盤中に存在する。 (建築物の評定基盤；Vs=400m/s)</p>
		干拓地		
		干拓地（造成中）		
		埋立地		
		地すべり地形/崩壊地すべり地形/大岳地すべり地		
		地すべり地/崩壊地形		
		崩壊地形		
		崩壊地		
		崖		
		麓斜面及び崩壊/崖錐・麓斜面/崖錐/沖積堆		
土石流地形				
沖積堆				
人工改変地				
人工改変地/人工平坦地/人工地形				

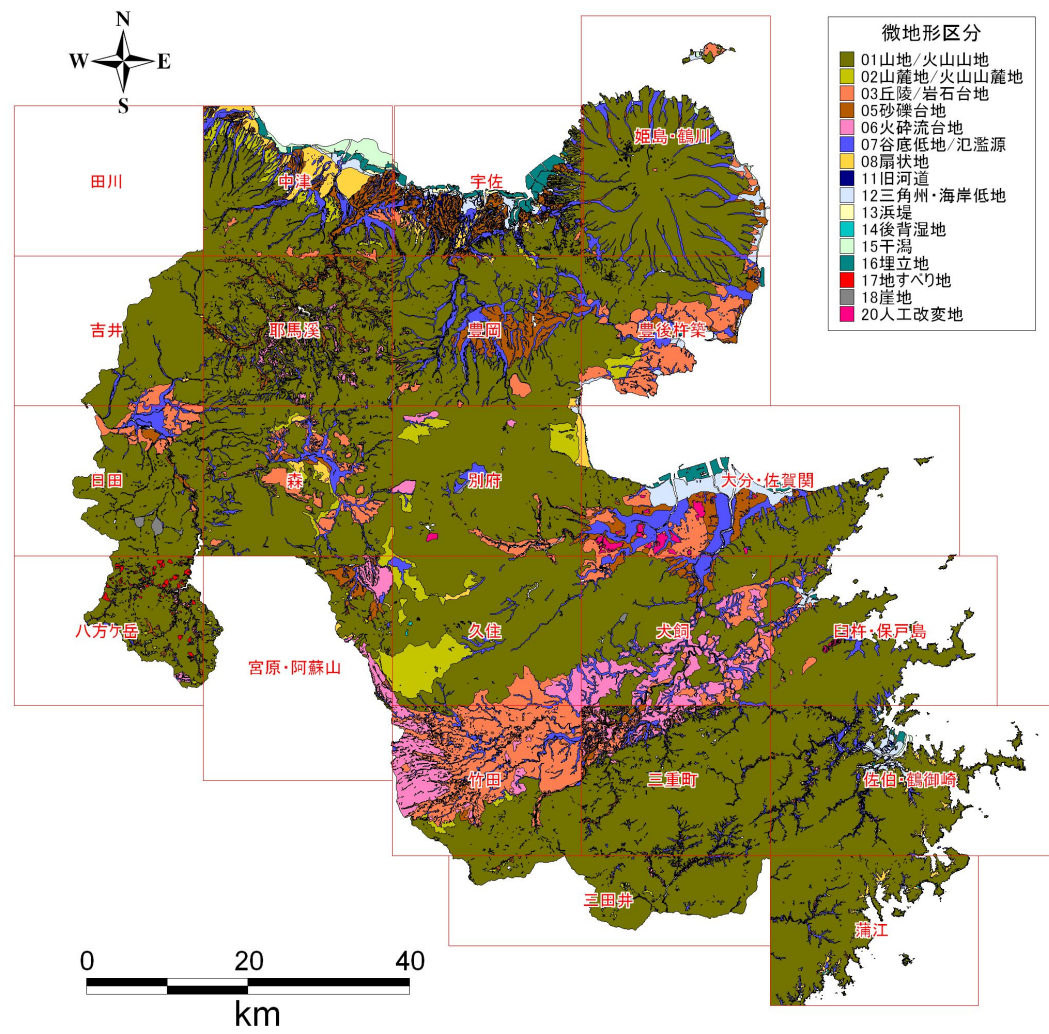


図 2-2-1 統一・修正後の微地形区分（ポリゴン）

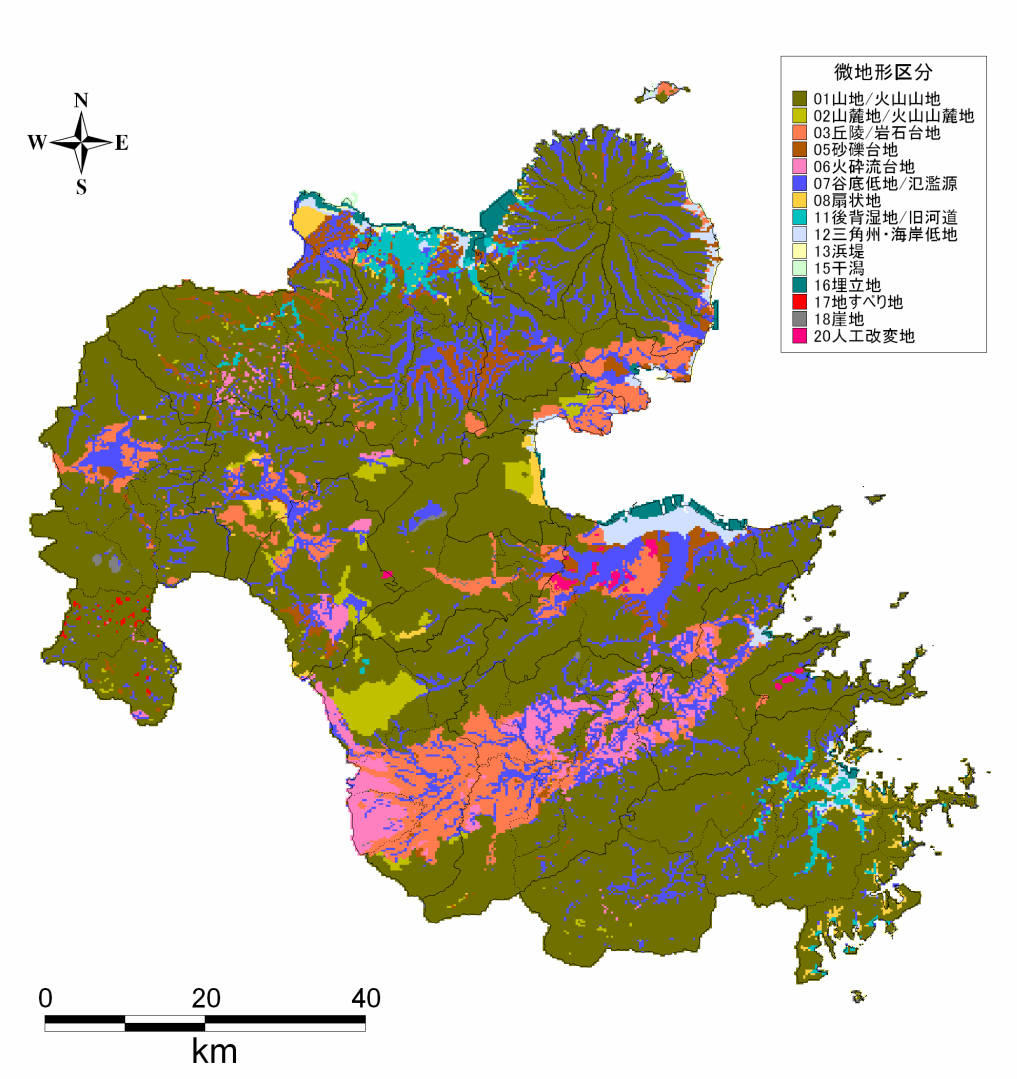


図 2-2-2 統一・修正後の微地形区分（メッシュ）

2.3 深部地盤モデル

(1) 深部地盤モデルの初期モデル

大分県地域を含み、地震動計算に用いることのできる既往の深部地盤モデルとしては、次のものが公開されている。

- ・地震調査研究推進本部による中部九州地方のモデル

「布田川・日奈久断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討」
(防災科研、2005)

- ・地震調査研究推進本部による日向灘－南部・中部九州地方のモデル

「日向灘の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討」(防災科研、2006)

防災科研では、これらのモデルにさらにデータを付加した北部九州地方のモデルも作成している。

これらのモデルでは、用いられたデータのほとんどがP波速度や地質構造に関するデータであり、S波速度に関する情報はきわめて少ない(図2-3-1参照)。特に、堆積層が厚いと推定されている大分市および周辺における、深度1km以浅の物性値に関する情報が少ないことが問題である。

本業務においては、防災科研の了解のもとに、北部九州地方の地盤構造モデルを利用し、これらのモデル作成後に得られた地質構造や物性値に関するデータを追加して初期モデルとして用いた。既往の物理探査データをもとにした、防災科研モデルの速度構造を表2-3-1に示した。また、新規のデータとして追加した大分市内で実施され微動アレイ探査、反射法地震探査データ(大分県で過去に実施した探査への追加)の測線・点を図2-3-2に示した。

(2) 地震動データによる地盤構造モデルの修正

上記の初期モデルをもとに、地盤モデルにより計算されるレイリー波のH/Vスペクトルと地震動のR/Vスペクトルの形状を比較して、両者がおおむね一致するようにモデルを修正して地震動計算に用いるモデルとして調整した。地震動のR/Vスペクトルは、S波初動の20秒以降の表面波成分のラディアル成分と上下動成分のフーリエスペクトルの比である。

観測データとして使用した地震の諸元と震央位置を図2-3-3に示した。データを得た観測地点(防災科研のK-net、KiK-net、気象庁観測点)の位置は、前出の図2-1-1に示してある。図2-3-4に実際の観測波形から作成したR/Vスペクトルを示した。

例えば、OIT010(大分)地点では、周期1.2秒付近にピークが見られ、周期8秒程度にもばらつきがあるもののピークが見られる。図2-3-5(1)に2000年10月6日鳥取県西部地震の速度波形を、図2-3-5(2)に2005年3月20日福岡県西方沖地震の速度波形を示した。図2-3-4で長周期帯域にR/VスペクトルのピークがみられるOIT001(国見)地点、OIT010(大分)地点などにおいては、後続位相の振幅が大きく、地震動のR/Vスペクトルとの相関が見られる。

実際の地盤構造モデルの修正作業では、周期1秒以上のピークが整合するようにした。観測R/Vスペクトルのピークが1秒以下で、地下構造モデルの理論H/Vスペクトルが1

秒以下の場合にはモデルを修正していない。それぞれの観測地点でのモデル修正方法を図 2-3-6 にまとめた。代表的な観測地点でのスペクトルの比較と修正前後の速度構造を、図 2-3-12 に検証結果とあわせて示した。

このように修正した速度構造を用いて、地質断面図を作成し（図 2-3-7、図 2-3-8）、断面図間を補完して各速度層の上面深度データを作成した（図 2-3-9）。防災科研モデルとの比較を図 2-3-10 に示した。

さらに、得られた地盤モデルの妥当性を検証するために、差分法により 2007 年 6 月 6 日の大分県中部の地震（図 2-3-11）の再現計算を行い、求められた波形と観測波形を比較した（図 2-3-12）。

多くの観測点でモデルのチューニングによる波形の一致度の改善が見られるが、OIT010 においてやや過小評価気味になっている。本地域では、微動アレイ探査データによりモデルを修正しており、修正前のモデルより堆積層の S 波速度が早く修正されている。その結果相対的に、修正前のモデルに比べ、修正後のモデルの波形の振幅が小さくなっていると考えられる。

（3）表層モデルの検討

以上の検討では、主として深部地盤の速度構造に起因すると考えられる、スペクトルの周期の長いピークに着目して、深部地盤モデルを修正した。しかしながら、実際の観測スペクトルには、より短い周期でのピークもみられる。これは、深部地盤としてモデル化した範囲より浅い地盤の特性によると考えられる。

例えば、図 2-3-13 に示したように、OIT013 地点において、ボーリングでの PS 検層結果および微動アレイ探査データでの浅部のデータを用いて、深度 200m 程度より浅い部分の速度構造を設定してモデルの理論 H/V スペクトルを求めると、深部地盤モデルのみでは再現できない、周期 1-2 秒程度のピーク周期も説明できる速度構造が得られる。

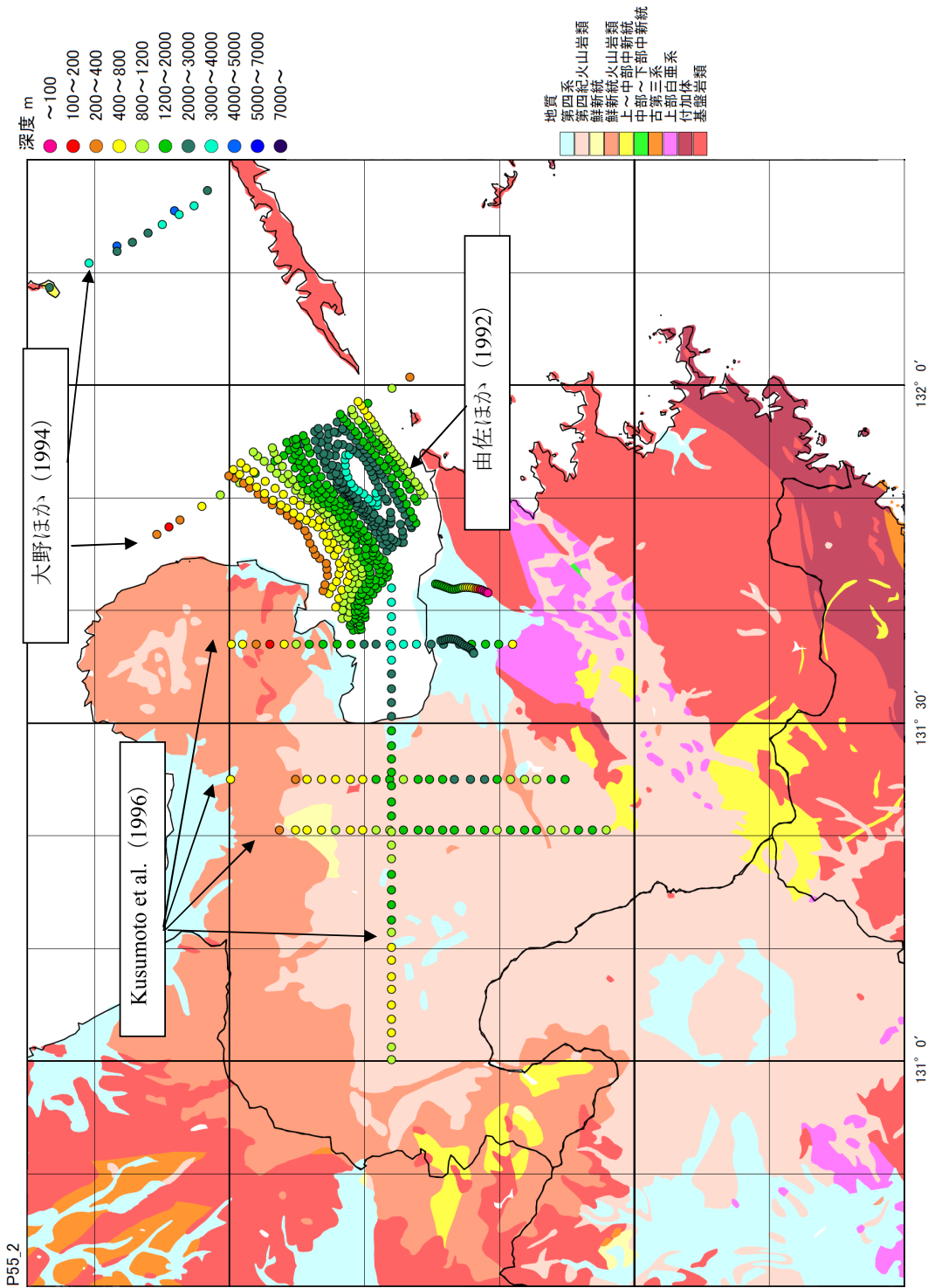


図 2-3-1 大分県の地質図と物理探査データの位置 (地震 hypocenter 深度を深さに応じて色分けして表示)

表 2-3-1 深部地盤モデル（初期モデル）の物性値一覧

速度層	P 波速度 (Km/s)	S 波速度 (Km/s)	密度 (g/cm ³)	およその地層との対応
第 1 層	2.0	0.6	1.9	大分層群（上部），沖積層
第 2 層	2.5	1.1	2.15	大分層群， 豊肥火山岩類相当
第 3 層	3.0	1.4	2.25	碩南層群相当
第 4 層	3.5	1.7	2.3	大野川層群（上部）相当
第 5 層	4.0	2.1	2.4	大野川層群（下部）相当
第 6 層	5.0	2.7	2.5	三波川変成岩類， 領家変成岩・花崗岩類 <地震基盤>

※防災科研モデルを参考に設定

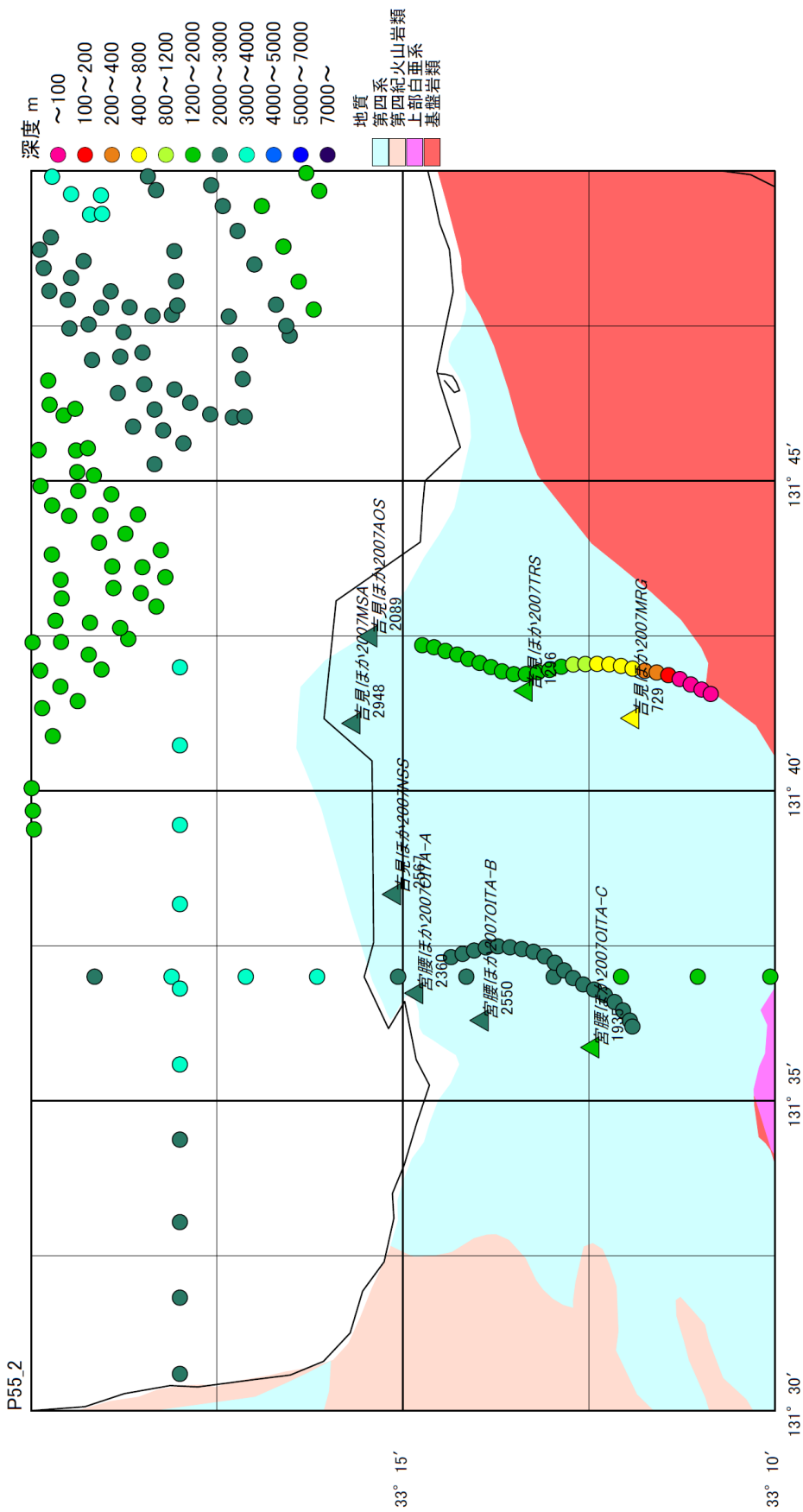
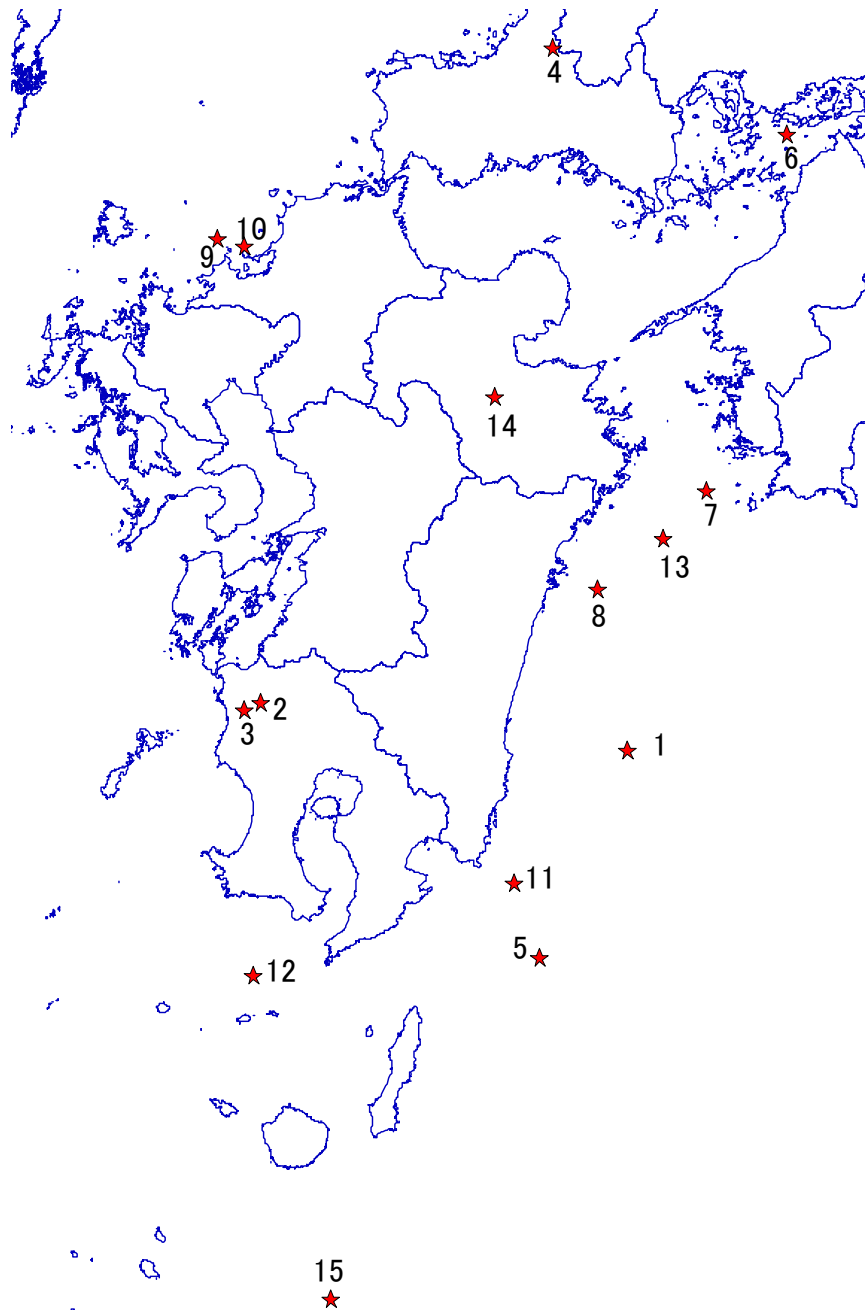


図 2-3-2 大分市内の物理探査データ (地震基盤深度を深さに応じて色分けして表示)



番号	年	月	日	時	分	秒	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)	マグニチュード
1	1996	10	19	23	44	0	31.8	132	39	6.6
2	1997	3	26	17	31	0	31.98	130.37	8	6.3
3	1997	5	13	14	38	0	31.95	130.3	8	6.2
4	1997	6	25	18	50	0	34.45	131.67	12	6.1
5	2000	6	25	15	34	0	31.02	131.61	48	5.9
6	2001	3	24	15	28	0	34.12	132.71	51	6.4
7	2001	4	25	23	40	0	32.78	132.35	42	5.6
8	2002	11	4	13	36	0	32.41	131.87	35	5.7
9	2005	3	20	10	53	0	33.73	130.18	9	7
10	2005	4	20	6	11	0	33.7	130.3	10	5.7
11	2005	5	31	11	4	0	31.3	131.5	30	5.7
12	2005	11	22	0	36	0	30.95	130.34	146	6
13	2006	3	27	11	50	0	32.6	132.16	35	5.5
14	2006	6	12	5	1	0	33.13	131.41	146	6.2
15	2006	12	11	0	28	0	29.73	130.68	54	5.7

図 2-3-3 R/V スペクトル比の検討に用いた地震の震央位置およびリスト

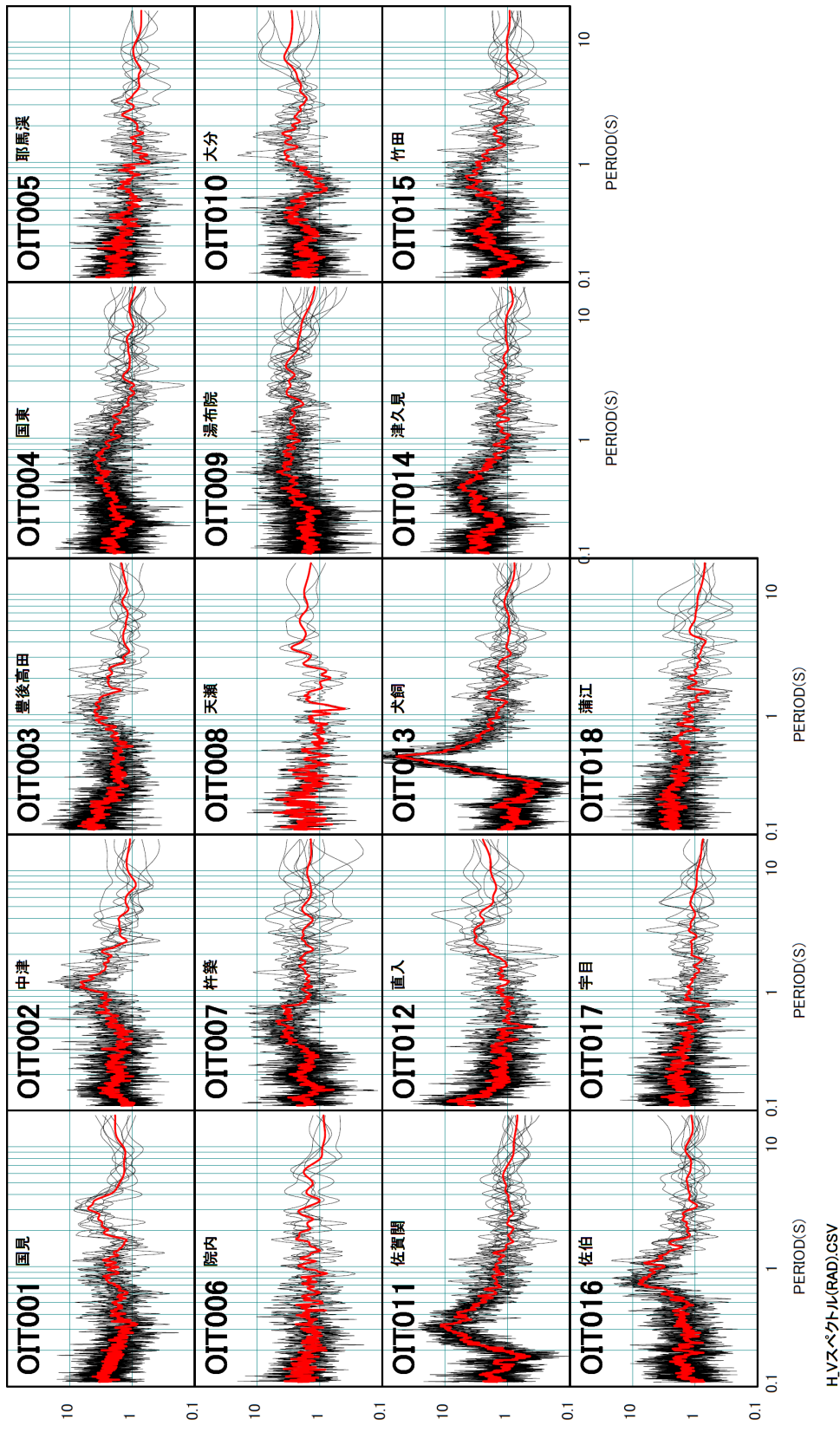


図 2-3-4 地震動の R/V スペクトル

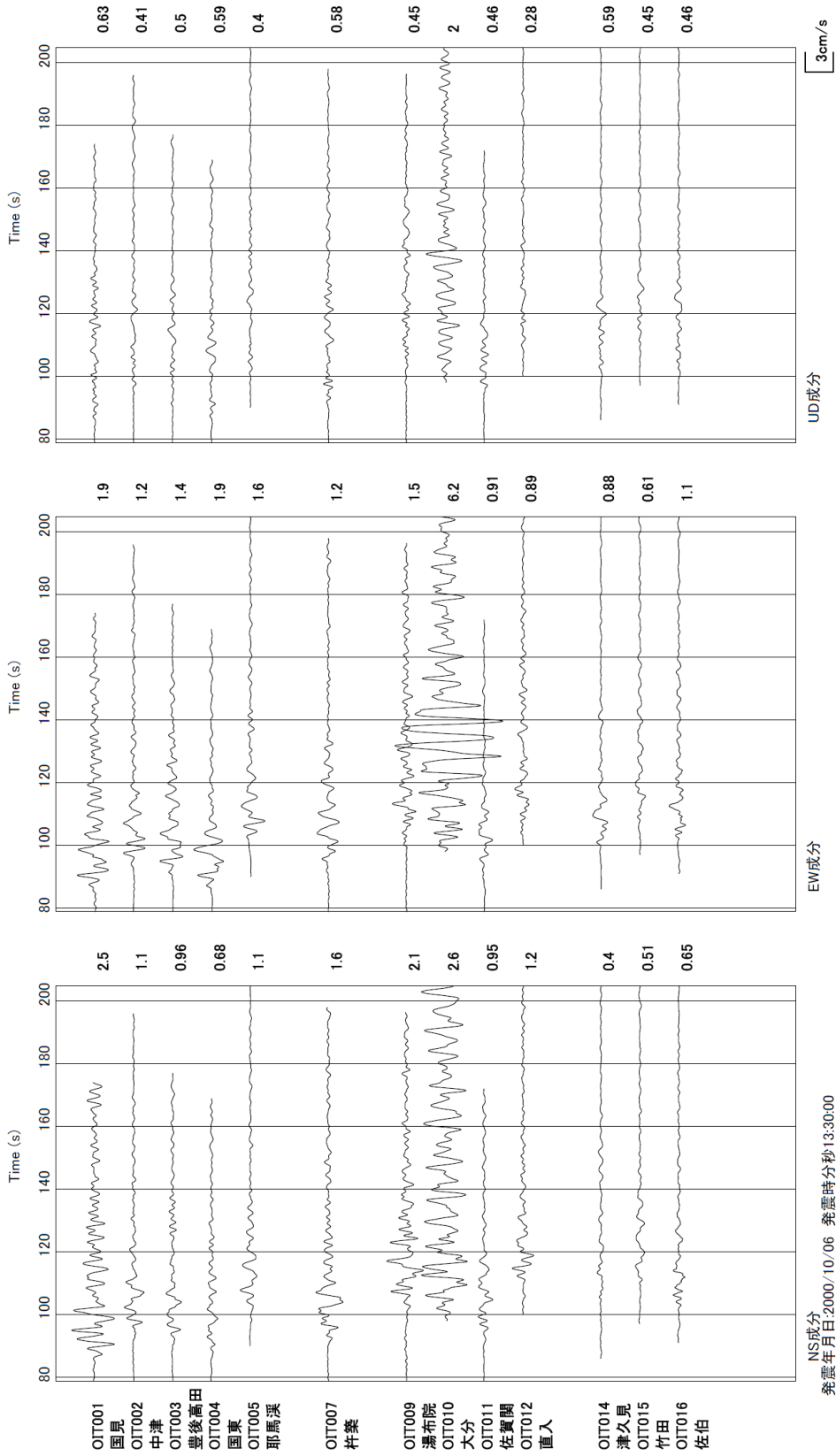


図 2-3-5(1) 2000 年 10 月 6 日 鳥取県西部地震の速度波形 (周期 2-20 秒)

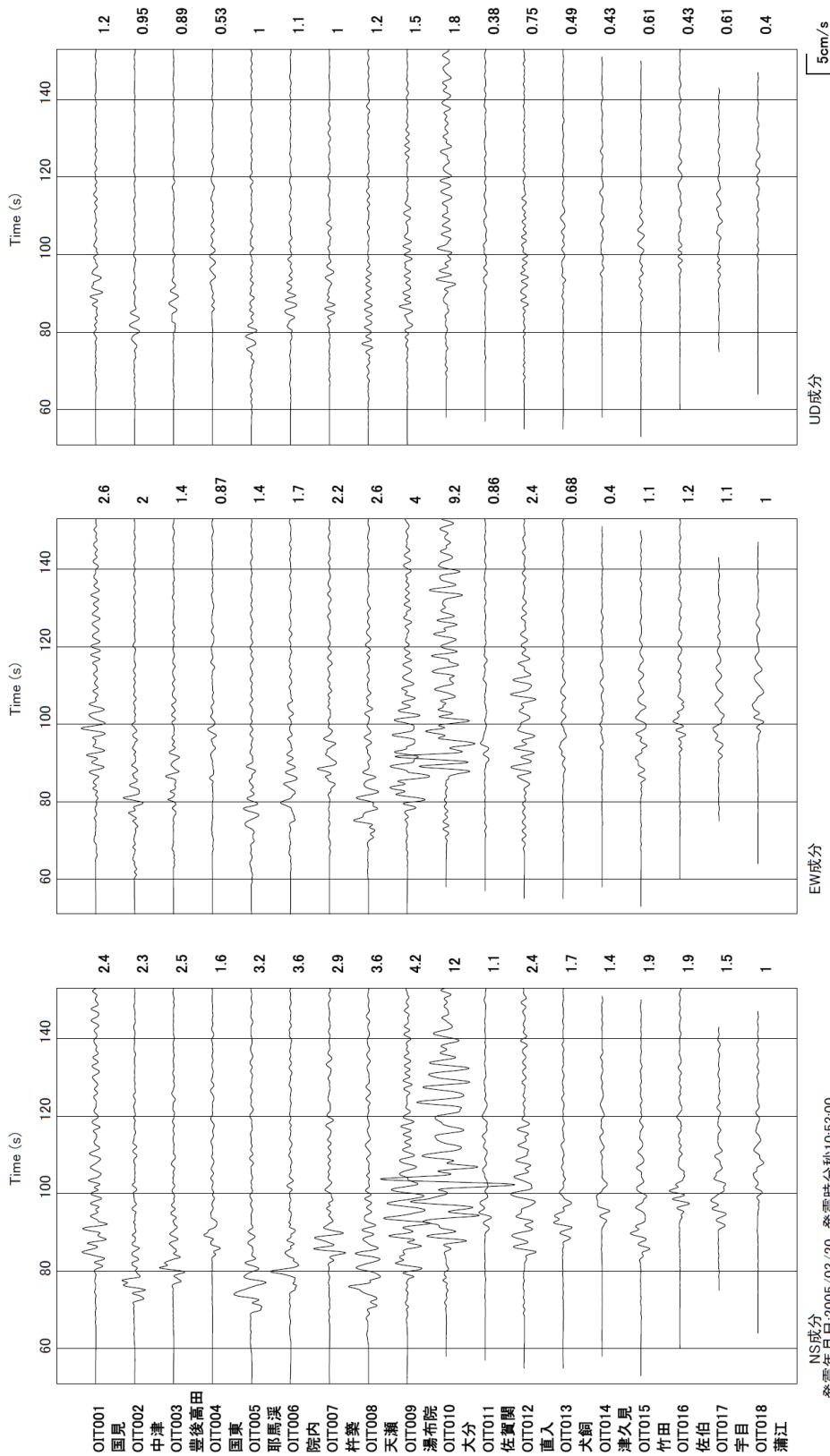


図 2-3-5(2) 2005年3月20日 福岡県西方沖地震の速度波形 (周期 2-20 秒)

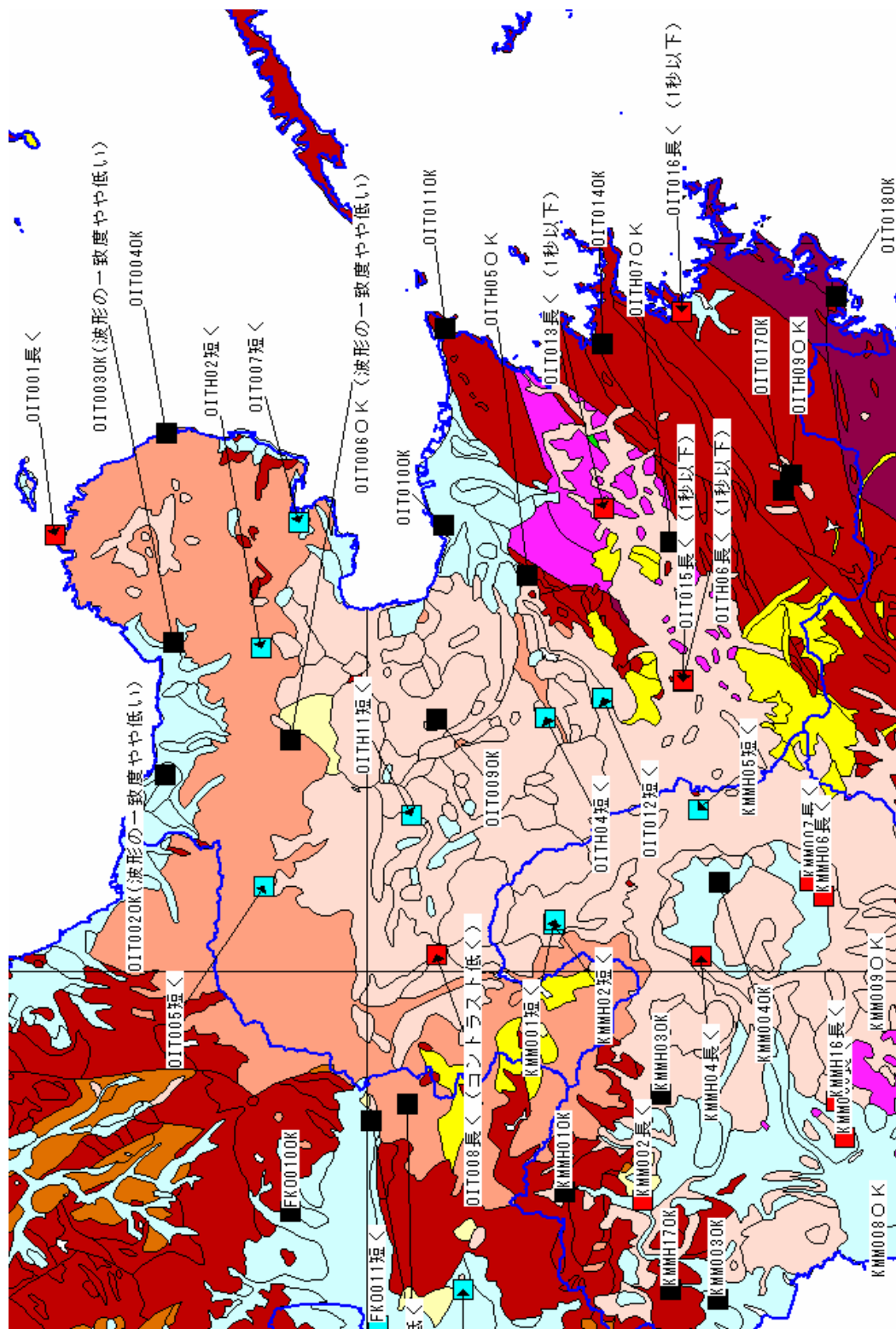
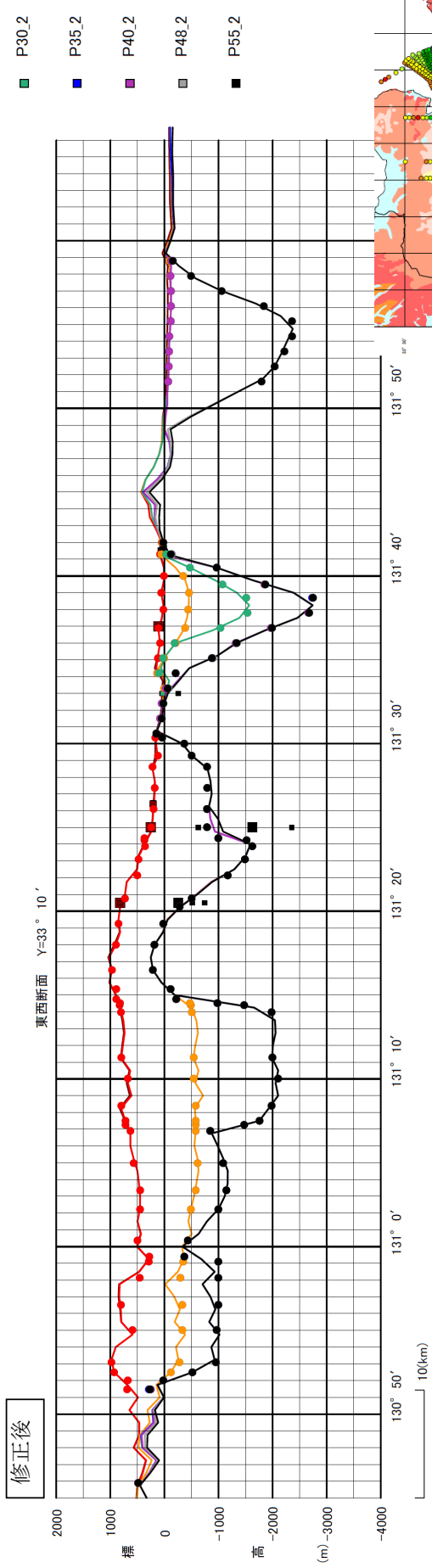
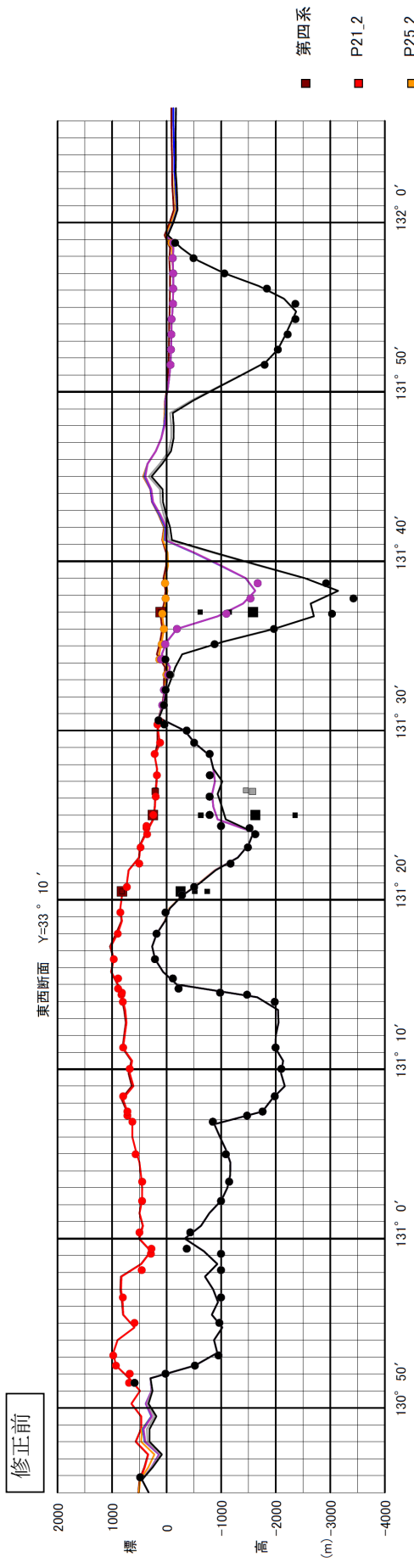


図 2-3-6 R/V スペクトル比等による深部地盤構造モデルの修正



- 第四系
- P21.2
- P25.2
- P30.2
- P35.2
- P40.2
- P48.2
- P55.2

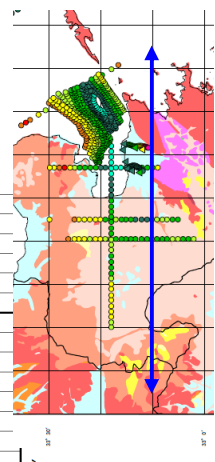


图 2-3-7 地下構造断面图 (北緯 33° 10' 断面 上图：修正前、下图：修正後)

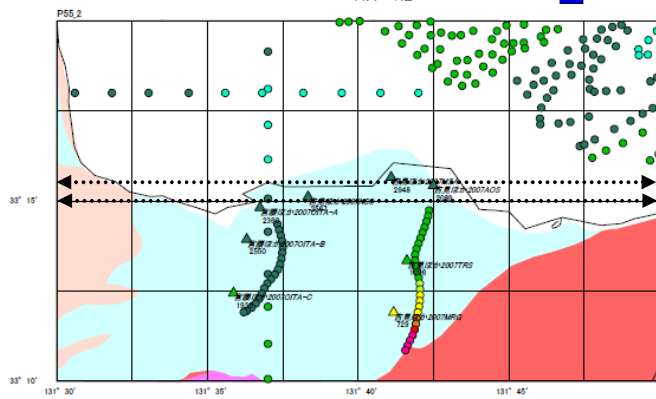
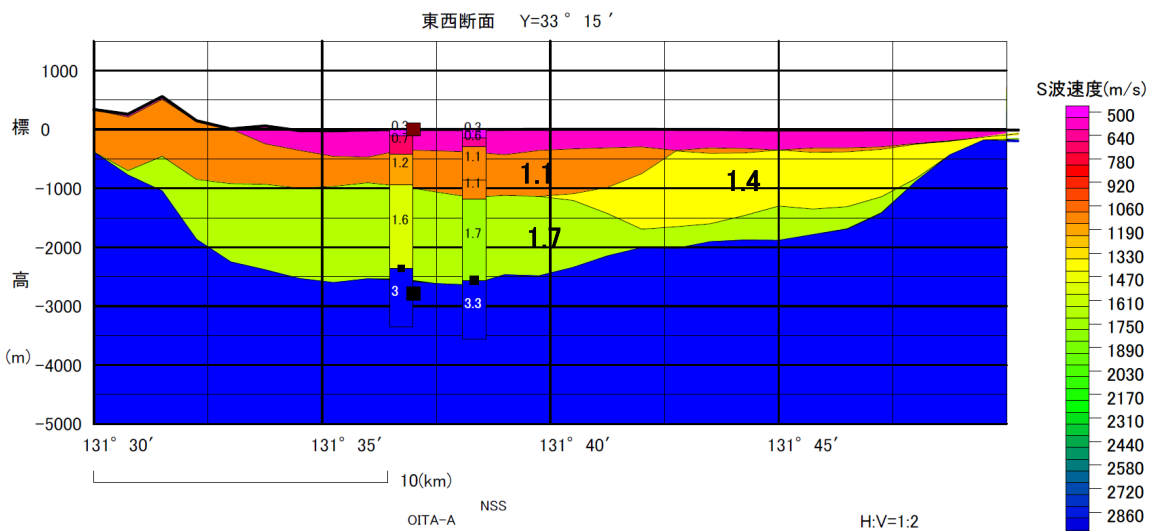
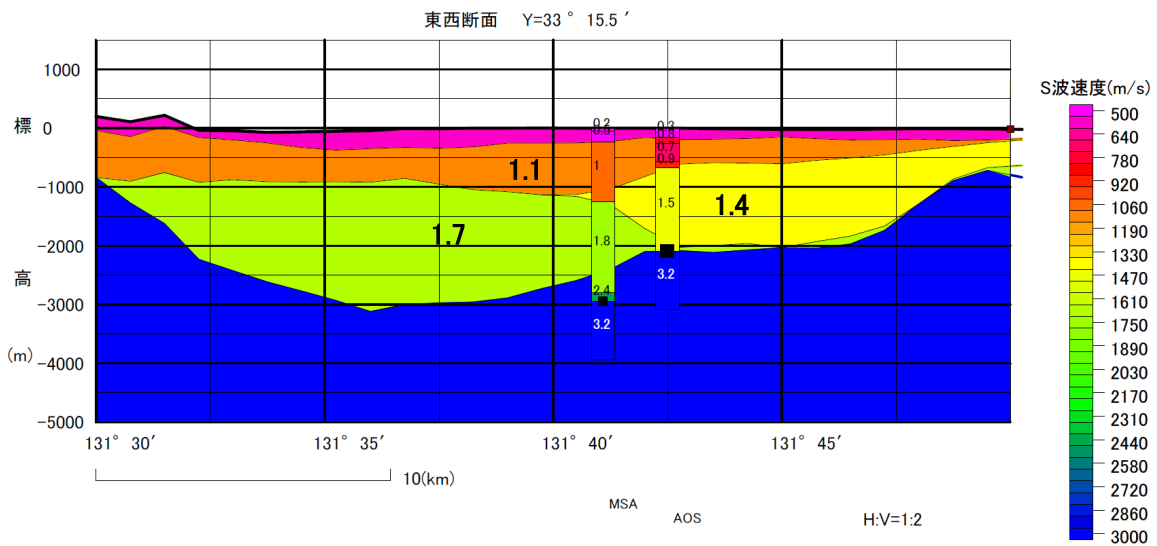
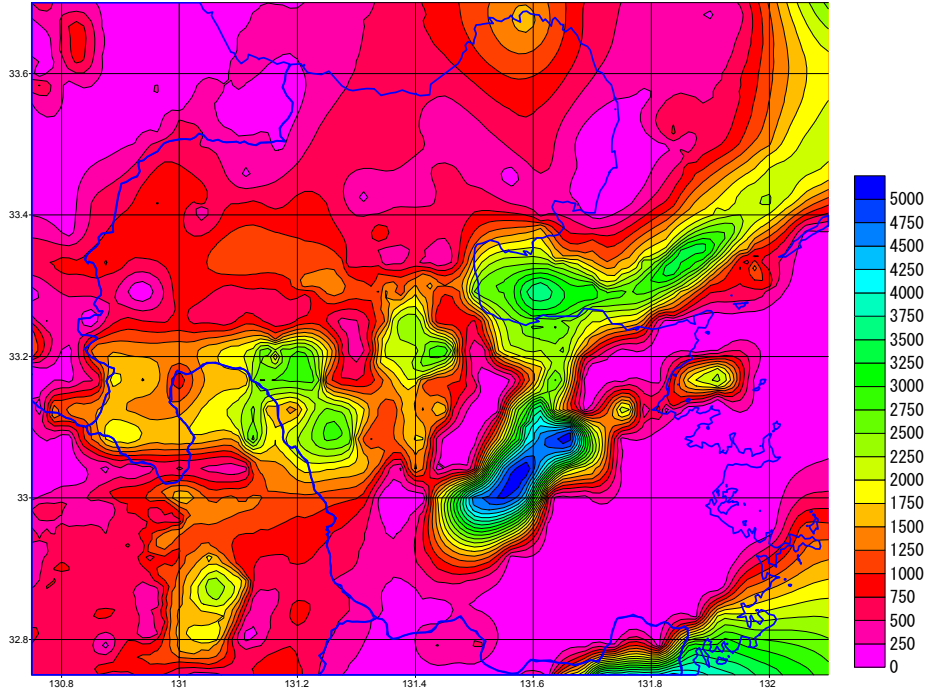


図 2-3-8 地下構造断面図 (大分市内、微動アレイ探査データとの比較)
上図：北緯 33° 15.5' 断面、下図：北緯 33° 15' 断面

修正後



修正前

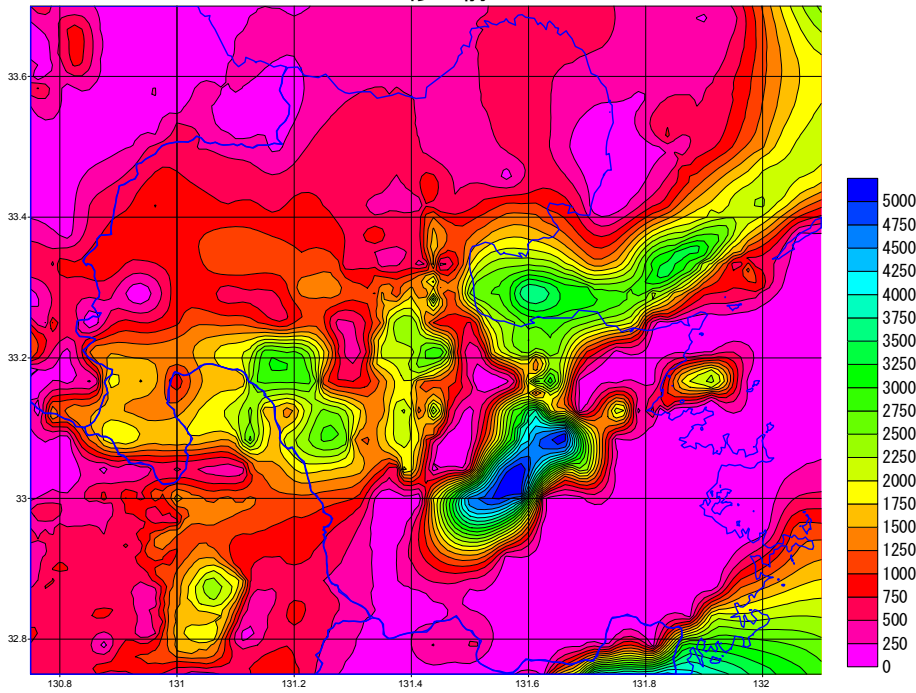


図 2-3-9 第 5 層 (Vs3.1) 上面深度コンター

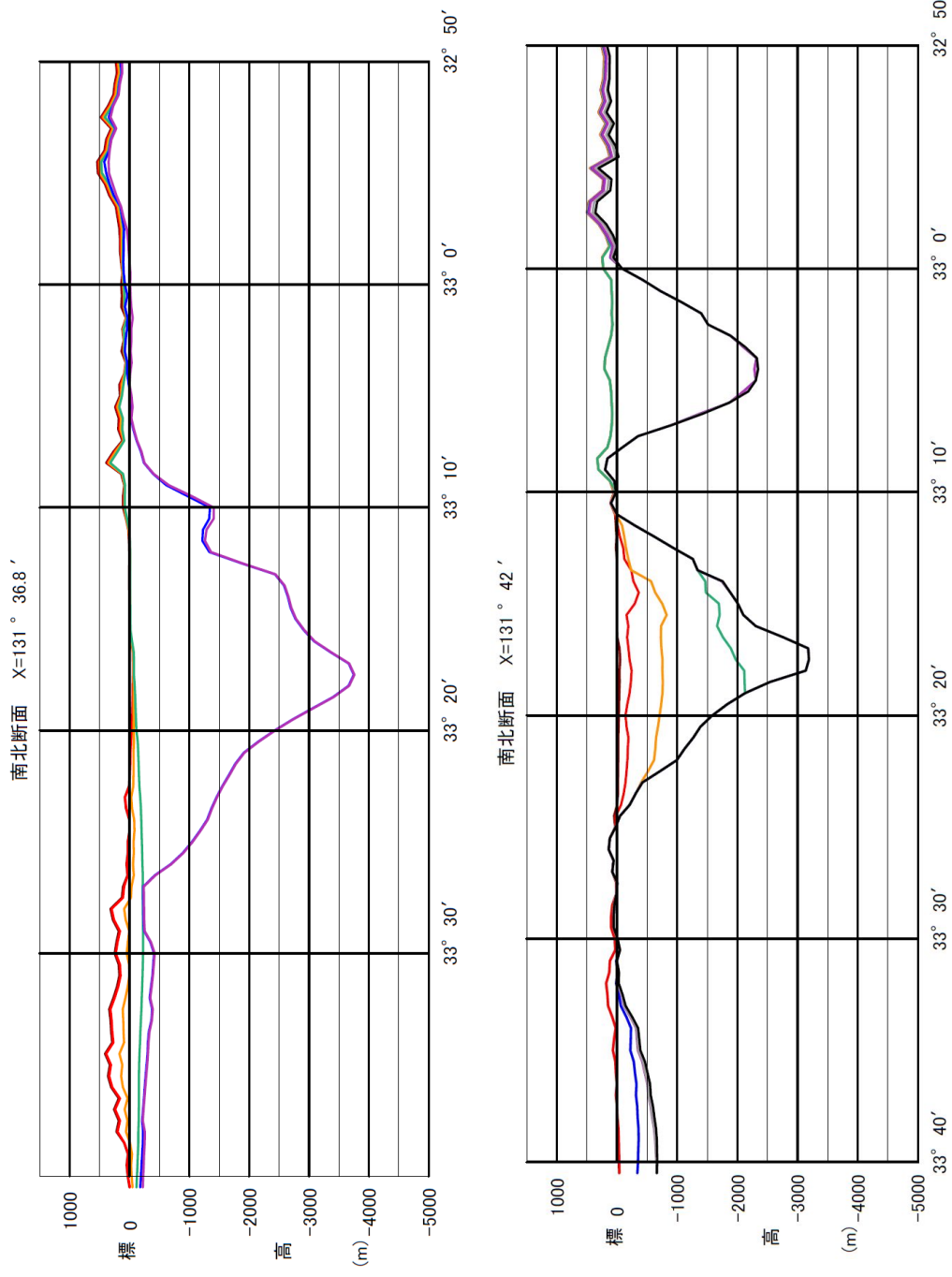


図 2-3-10 防災科研モデルとの比較 (上:日向灘地震の予測に用いた防災科研モデル 下:本検討のモデル)

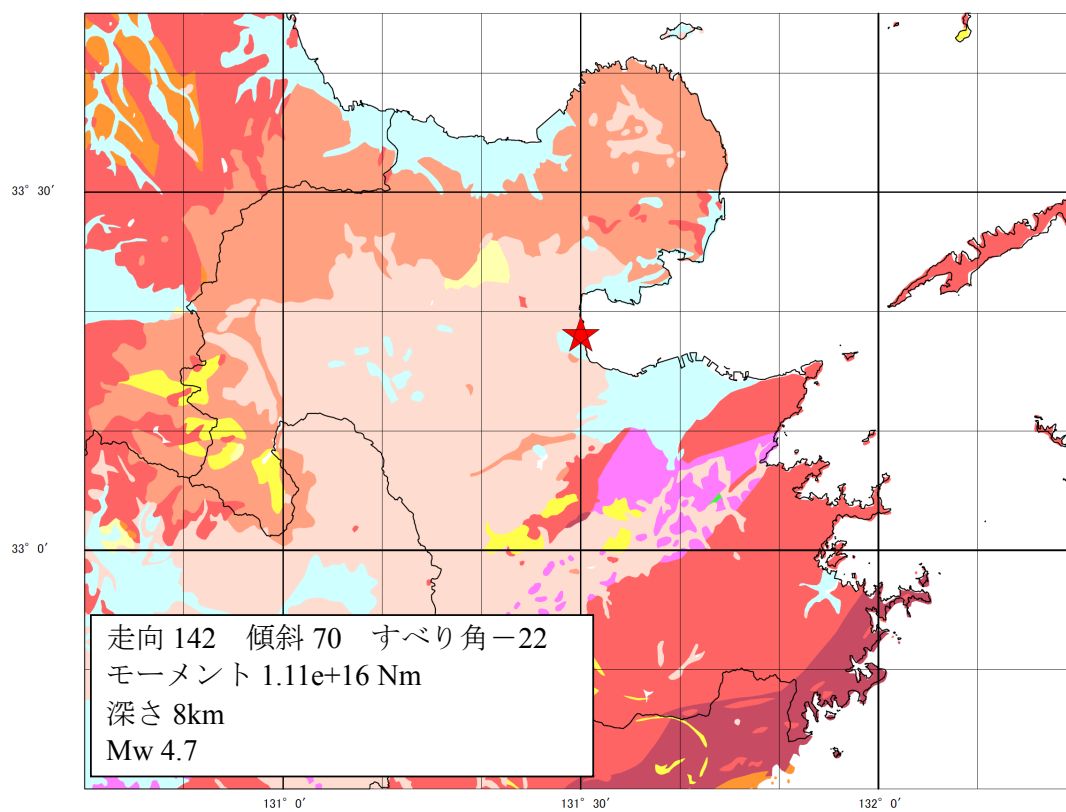


図 2-3-11 2007 年 6 月 6 日 23 時 42 分 大分県中部の地震の震央位置
 (震央位置は気象庁速報による)

OIT001(国見)

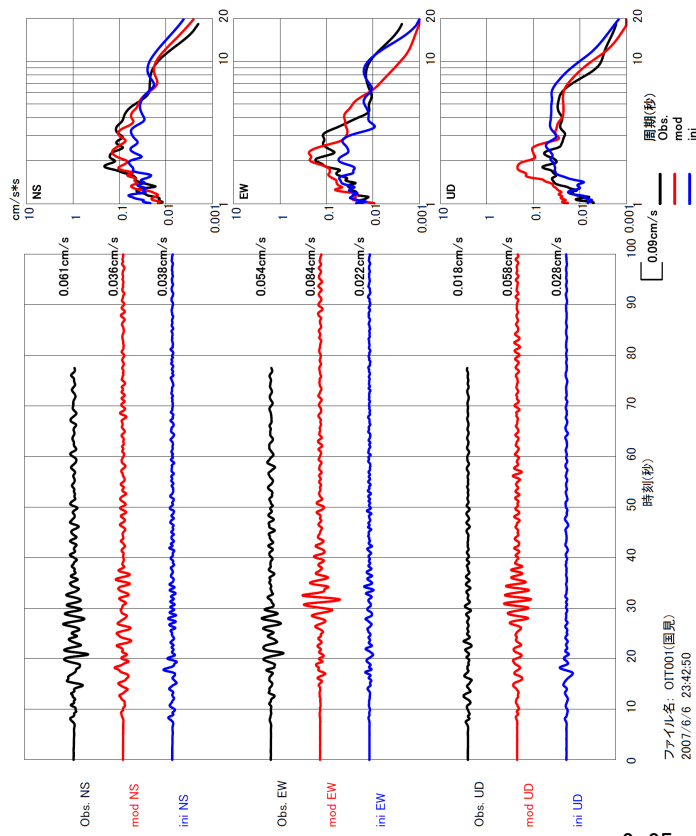
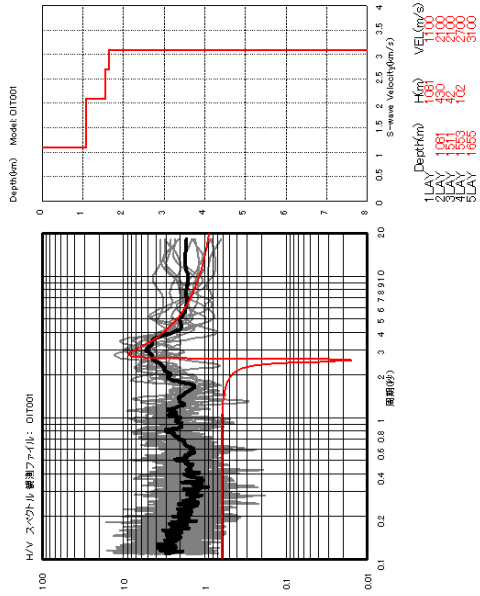
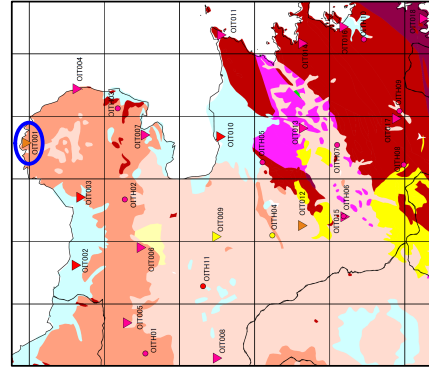
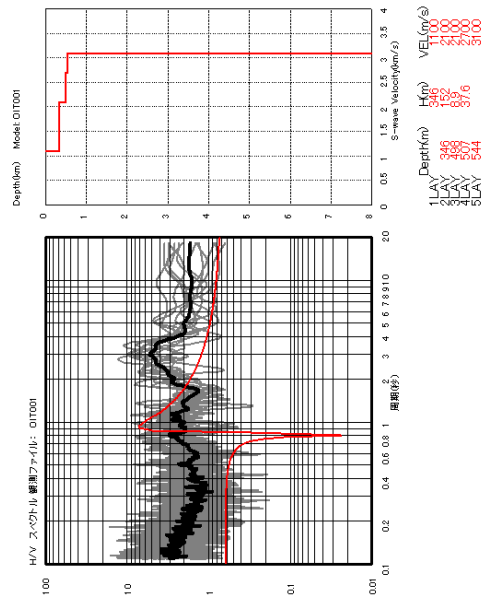


図 2-3-12(1) 2007 年 6 月 6 日大分県中部の地震の観測速度
波形と差分法による計算波形との比較 (OIT001 国見)

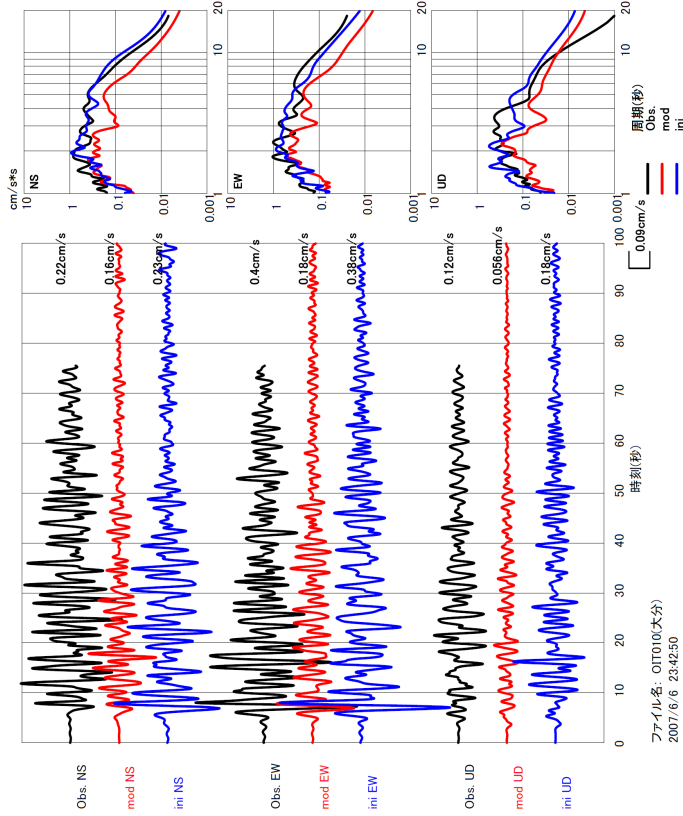
修正後



修正前



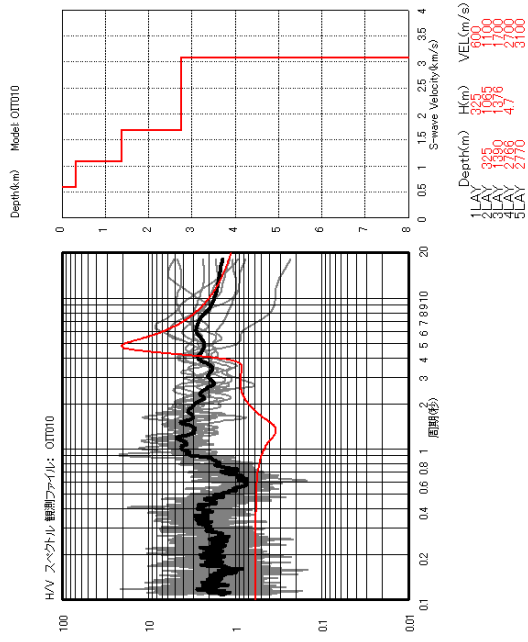
OIT010(大分)



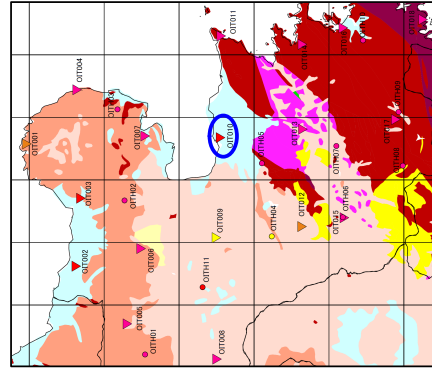
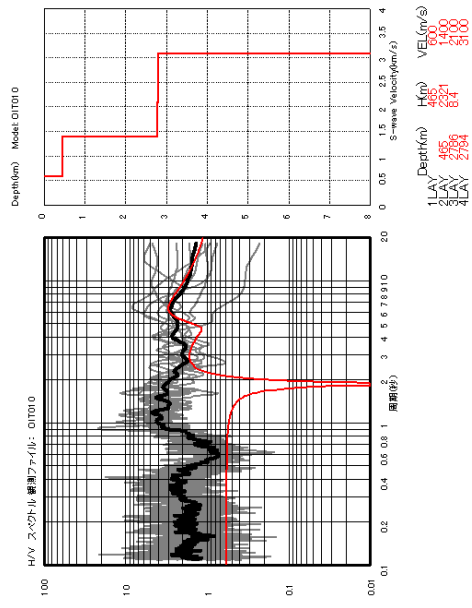
ファイル名: OIT010(大分)
2007/6/6 23:42:50

図 2-3-12 (2) 2007 年 6 月 6 日 大分県中部の地震 観測速度
波形と差分法による計算波形との比較 (OIT010 大分)

修正後



修正前



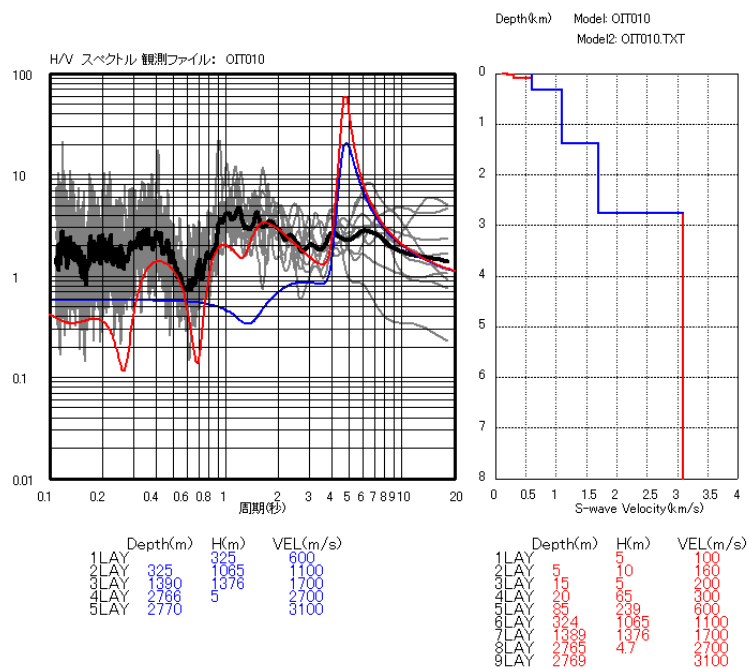


図 2-3-13 OIT010 地点の理論H/Vスペクトル

赤：浅部の構造を PS 検層および微動アレイ探査データを参考に設定したモデル
 (深度 0-20m：PS 検層データ、深度 20m 以深：微動アレイ探査データを参考に
 観測スペクトルのピークおよび谷形状にモデルの計算結果を合致させた。)
 青：深部地下構造モデル

2.4 浅部地盤モデル

本調査で使用したボーリングは、前回調査で利用した地盤工学会の九州地盤情報共有データベースの約2,600本、大分県土木所有の約3,600本、各市町村から収集した約2,400本、大分地盤図から約700本に、官界で追加収集・整理した地盤工学会の九州地盤情報共有データベース第二版の約1,600本、NEXCO西日本提供の約100本の合計約11,000本である。図2-4-1にボーリング位置図を示した。

なお、本調査では大分県内を250mメッシュで区分している。

(1) 工学的基盤の設定

追加した地盤資料をもとに、工学的基盤はとしてS波速度300m/s相当（ \approx N値 \geq 50）層上面に再設定することとした。

ボーリングのN値とS波速度との相関関係（図2-4-2）から得られたS波速度300m/sに対応するN値の深度、PS検層、ボーリングデータ、各地質（微地形区分）を参考に工学的基盤コンター図を作成したうえで、最終的に各メッシュの工学的基盤の深度を設定した。工学的基盤の深度分布図を図2-4-3に示す。

(2) 層構造モデルの設定

同じように追加した地盤資料をもとに、層構造モデルを再設定した。手法は前回調査と同様に、250mメッシュ毎に代表ボーリングを1本設定し、そのボーリングデータをもとに作成した。なお、ボーリングデータがない、あるいはあっても浅いものしかないメッシュも多くあるため、そうしたメッシュへの拡張には微地形区分（図2-4-4）を活用した。これは、微地形区分は表層30mまでの平均S波速度（以下、AVS30と称す）および表層の地震動増幅度との関係が深いためである。

以下に、表層地盤モデル作成の手順を記す。

- ①大分県内のボーリングポイントおよびPS検層ポイントの把握
- ②各ボーリングポイントおよびPS検層ポイントの微地形区分の把握
- ③直近の同一微地形でのボーリングを採用
- ④メッシュ毎に代表ボーリングを設定
- ⑤推定した工学的基盤の深さをもとに層厚を補正しモデル化
- ⑥深部地盤モデルの最上層（ $V_s=600\text{m/s}$ ）までKiK-net, K-NETからモデル化（図2-4-5）

(3) 浅部地盤モデル

作成した表層地盤モデルのAVS30を図2-4-6に示す。一般的に、AVS30が小さいほど地盤が軟弱であるといえる。

同じ平野である宇佐、大分、佐伯の3平野でも違いがあることがわかる。工学的基盤の深さでは大分で70mを越すような沖積層があるが、宇佐では10m程度である。AVS30では番匠川が流れている佐伯が小さい値を示している。

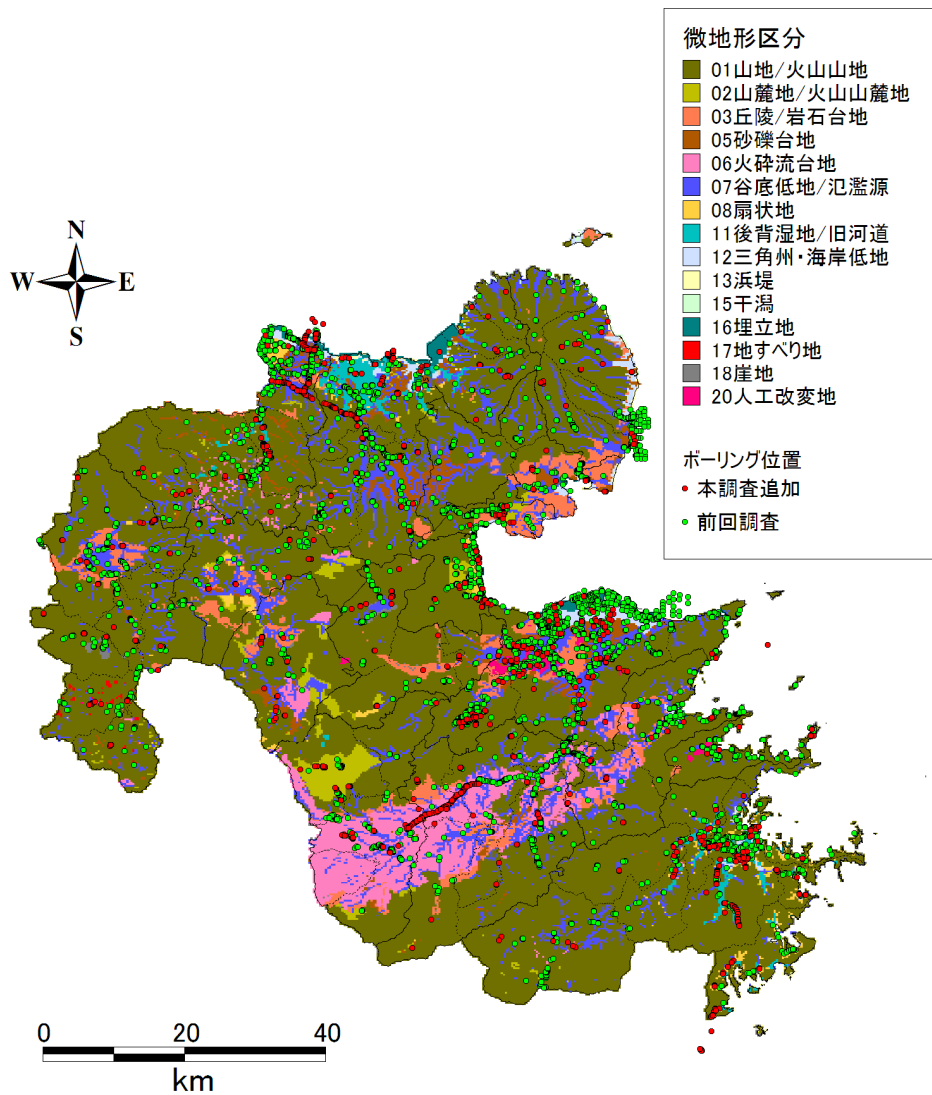


図 2-4-1 微地形とボーリング位置図

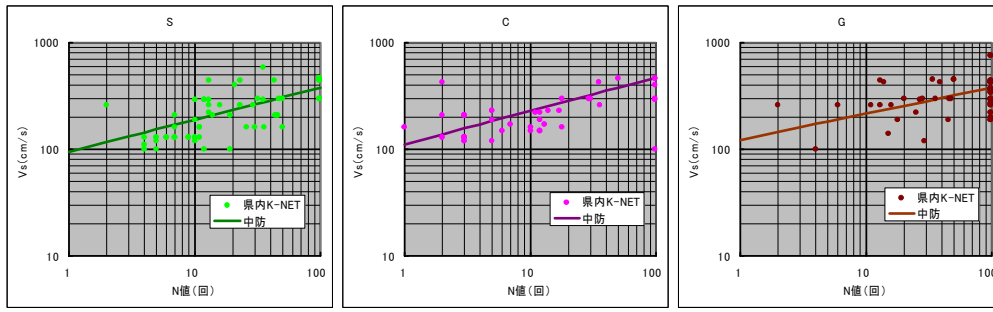


図 2-4-2 N 値と Vs の関係 (県内 K-NET より)

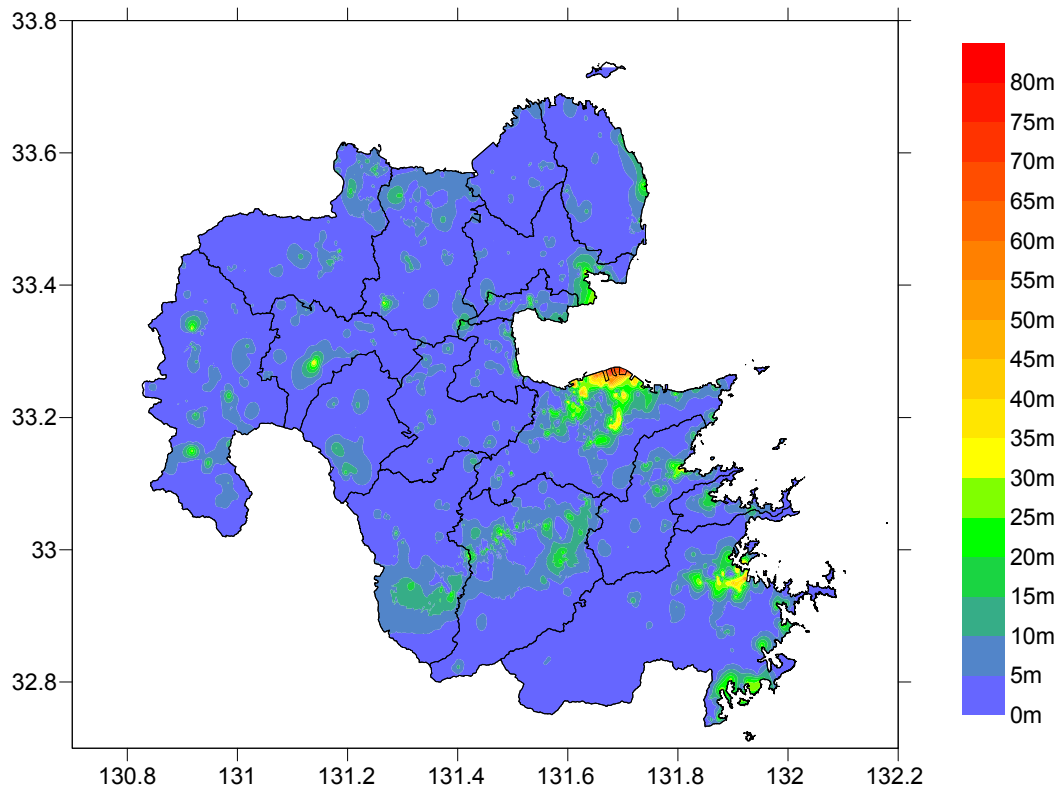


図 2-4-3 工学的基盤コンター

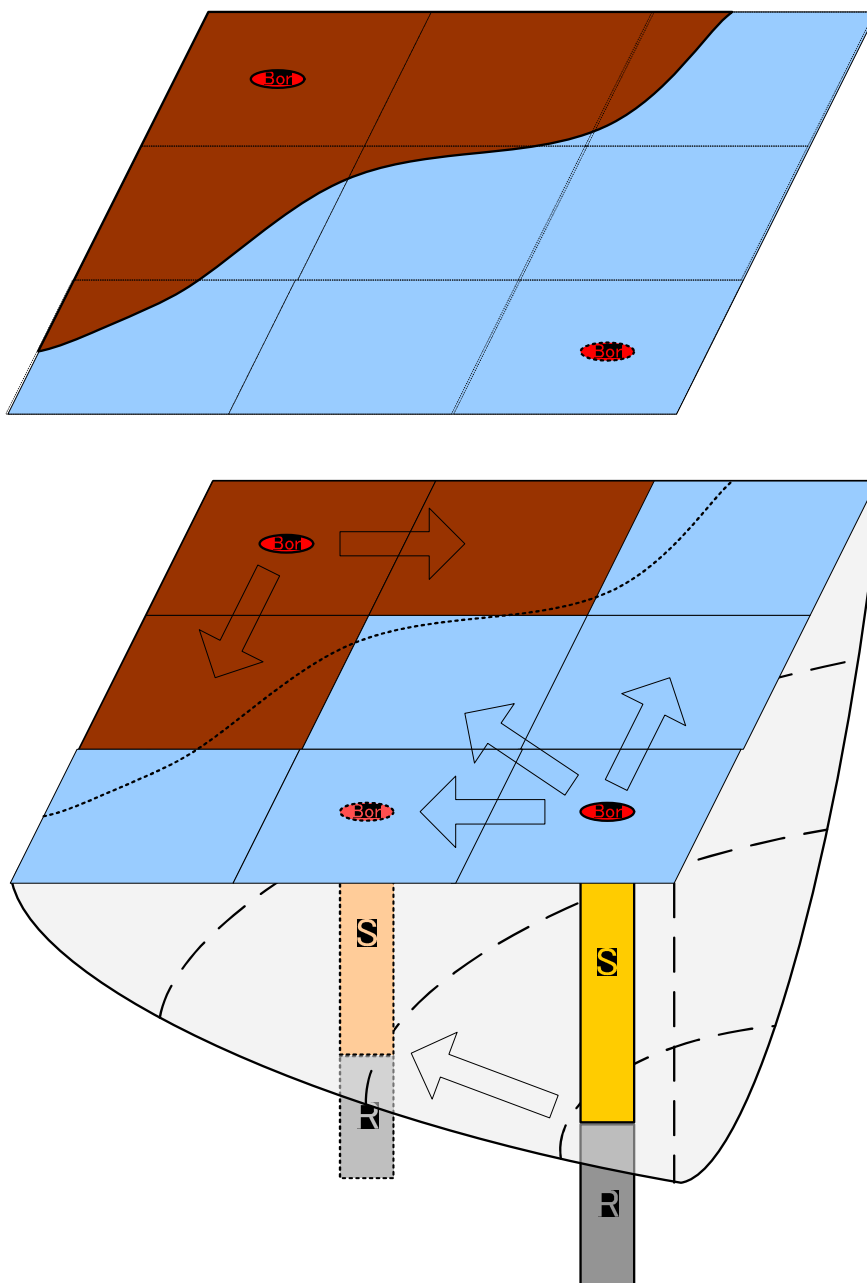


図 2-4-4 ボーリングの分配・補正の模式図

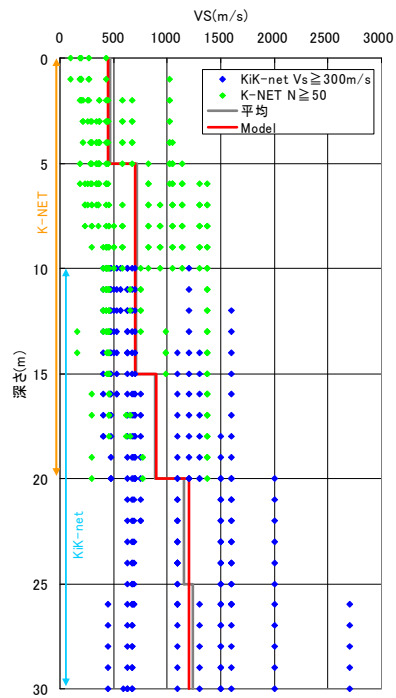


図 2-4-5 N \geq 50 以下の層構造 (県内 K-NET, KiK-net より)

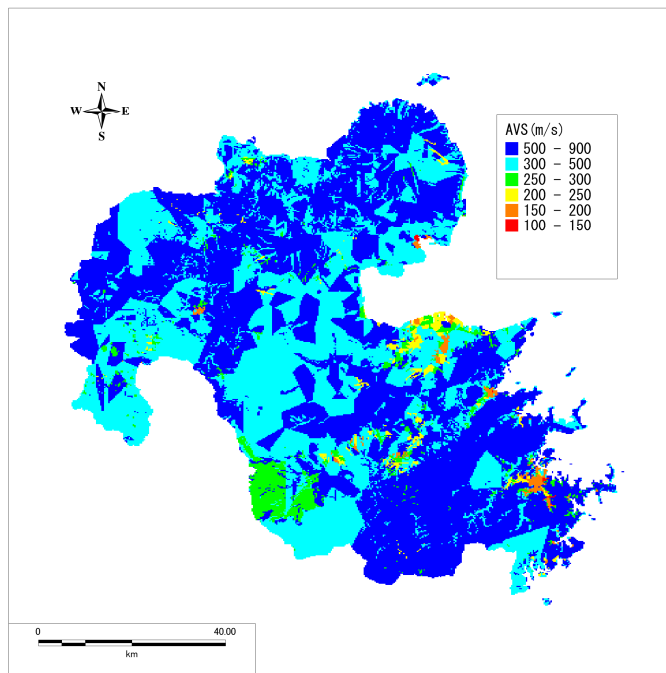


図 2-4-6 AVS30

【参考文献】

- 唐木田芳文, 早坂祥三・長谷義隆 (1992) : 日本の地質「九州地方」共立出版, 371 頁.
- 藤原広行・河合伸一・青井 真・先名重樹・大井昌弘・松山尚典・岩本綱司・鈴木晴彦・早川 譲(2006) : 強震動評価のための深部地盤構造全国初期モデル, 日本地震工学シンポジウム論文集(第 12 回)(CD-ROM), 1466-1469, 日本地震工学会.
- 国土交通省 土地・水資源局 国土調査課 : 5 万分の 1 土地分類基本調査
<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>
- 防災科学技術研究所(2005) : 布田川・日奈久断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討, CD-R.
- 防災科学技術研究所(2006) : 日向灘の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討, CD-R.
- Kusumoto Shigekazu, Y. Fukada, S. Takemoto, Y. Yusa(1996) : Three-dimensional Subsurface Structure in the Eastern Part of the Beppu-Shimabara Graben Kyusyu, Japan, as Revealed by Gravimetric Data, 測地学会誌, 42, 167-181.
- 大野一郎・河野芳輝・藤本博巳・小泉金一郎(1994) : 瀬戸内海西部の重力異常と負異常帯の地下構造, 地震 2, 47, 395-401.
- 由佐悠紀・竹村恵二・北岡豪一・神山孝吉・堀江正治・中川一郎・小林芳正・久保寺 章・須藤靖明・井川 猛・浅田正陽(1992) : 反射法地震探査と重力測定による別府湾の地下構造, 地震 2, 45, 199-212.
- 宮腰研・山本容維・凌 甦群・岩田知孝(2007) : 微動アレイ観測による大分平野の地下構造調査, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S150-P005.
- 吉見雅行・吉田邦一・関口春子・堀川晴央・竿本英貴・松浦旅人・杉山長志・馮少孔(2007) : 大分平野における微動アレイ探査, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, S150-P006.
- 地盤工学会九州支部 : 九州地盤情報共有データベース, (社), 2005
- 防災科学技術研究所 : 強震観測網 K-NET <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 防災科学技術研究所 : 基盤強震観測網 KiK-net <http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>