

3. 3. 1 4. 2 近畿圏における地下構造モデルの構築に関する研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目：近畿圏における地下構造モデルの構築に関する研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	教授	岩田知孝	iwata@egmdpri01.dpri.kyoto-u.ac.jp
大阪工業大学工学部建築学科	教授	堀家正則	horike@archi.oit.ac.jp
(財)地域地盤環境研究所	主席研究員	香川敬生	kagawa@geor.or.jp
(財)地域地盤環境研究所	主任研究員	Petukhin, Anatoly	anatolyp@geor.or.jp
(財)地域地盤環境研究所	主任研究員	大西良広	onishi@geor.or.jp
京都大学原子炉実験所	教授	釜江克宏	kamae@kuca.rri.kyoto-u.ac.jp
京都大学原子炉実験所	助手	川辺秀憲	kawabe@rri.kyoto-u.ac.jp

(c) 業務の目的

強震動予測の高精度化のために、地下構造モデル構築に資することのできる人工地震探査やボーリング調査などを用いてそれらを直接用いることのできる地域は限られており、数々の地球物理学的情報により外挿する必要がある上に、構築された3次元物性値モデルの妥当性を、実地震記録で検証する必要がある。そのためには各種の強震動観測データを用いたモデル評価と、人工地震探査だけでは得ることの困難なパラメータ、たとえば堆積層内のQ値などを、観測地震データをもとに評価する必要がある。本研究項目においては、これまでの研究成果をもとに、近畿圏における地下構造モデルを統合的に策定し、実記録を用いてその検証を行って信頼度の高いモデルを構築することを目的とする。

(d) 5ヵ年の年次実施計画

- 1) 平成14年度：堆積盆地の理論と実際のサイト増幅特性評価を大阪堆積盆地をテストサイトとして行った。
- 2) 平成15年度：サイト増幅特性とモデルとの比較の継続と、広域地下構造構築法に関する研究、広域堆積盆地構造の強震動生成との関係についての検討を行った。
- 3) 平成16年度：サイト増幅特性とモデルとの比較の継続と広域堆積盆地構造モデルの実記録による検証と改良方法について検討を行った。
- 4) 平成17年度：地下構造調査結果による構造情報を取り入れた地盤・地殻構造モデルを策定する。
- 5) 平成18年度：平成17年度に構築した地盤・地殻構造モデルの妥当性の検証と改良

を行う。

(e) 平成17年度業務目的

近畿圏の強震動予測を目的とした、地盤・地殻構造モデルを構築することを目的とする。そのため各種地下構造探査情報等を収集する。そのモデルがどのように地震記録を説明することができるかどうかを検討するため、実記録を用いてモデルシミュレーションを行い、再現性を検証する。

(2) 平成17年度の成果

(2-1) 近畿圏における強震動予測のための地下構造モデル作成および強震動予測

岩田知孝（京都大学防災研究所）

iwata@egmdpri01.dpri.kyoto-u.ac.jp

堀家正則（大阪工業大学工学部建築学科）

horike@archi.oit.ac.jp

香川敬生（(財)地域地盤環境研究所）

kagawa@geor.or.jp

Petukhin, Anatoly（(財)地域地盤環境研究所）

anatolyp@geor.or.jp

大西良広（(財)地域地盤環境研究所）

onishi@geor.or.jp

(a) 業務の要約

大阪平野を含む広い領域を対象に、海溝型地震および内陸大地震による地震動を計算するための、地殻、堆積層、および表層地盤構造モデルを作成する。対象とする大地震は、東南海・南海の海溝型地震および有馬高槻構造線断層帯と六甲淡路断層帯が連動したとされる1596年慶長伏見地震とする。慶長伏見地震については、震源破壊モデルが提案されていないため、本検討の中で妥当な震源破壊シナリオを検討する。対象とする堆積地盤は、大阪平野、京都盆地、近江盆地、奈良盆地であり、これら堆積地盤および想定震源域をカバーするように地殻構造モデルを構築する。これら堆積盆地に対して中小地震記録による検証をおこなう。表層地盤モデルは大阪平野を主たる対象とし、大阪平野部においては非線形地盤応答を含む地表面地震動を対象大地震について試算する。その他の地域については、工学的基盤面における地震動を試算する。

(b) 業務の実施方法

東南海・南海地震の震源域および大阪平野、京都盆地、近江盆地、奈良盆地を含む領域について、地殻構造、堆積地盤構造、表層地盤構造の総合的なモデル化をおこなう。その際、既往文献・報告など公表資料の収集・整理をおこなうとともに、必要に応じて新たなデータを追加した既往モデルの更新をおこなう。対象地震として、東南海・南海の海溝型地震および1596年慶長伏見地震の震源破壊シナリオを検討する。既公表資料を参照しつつ、震源破壊モデルが提案されていない1596年慶長伏見地震は震源破壊シナリオを新たに構築する。得られた地盤モデルおよび震源モデルは地震観測記録あるいは震度分布による検証を実施し、東南海・南海地震および1596年慶長伏見地震による強震動の試算をおこなう。

(c) 業務の成果

1) 大規模地殻構造モデルの検討

近畿地方における大規模地殻構造として、沈み込み帯に直交（ほぼ南北）する断面を図

1に示すように考える。これら各層内において、地震波伝播速度、密度、減衰能（Q値）は一定とし（表1）、各層境界深度の3次元形状をモデル化する。

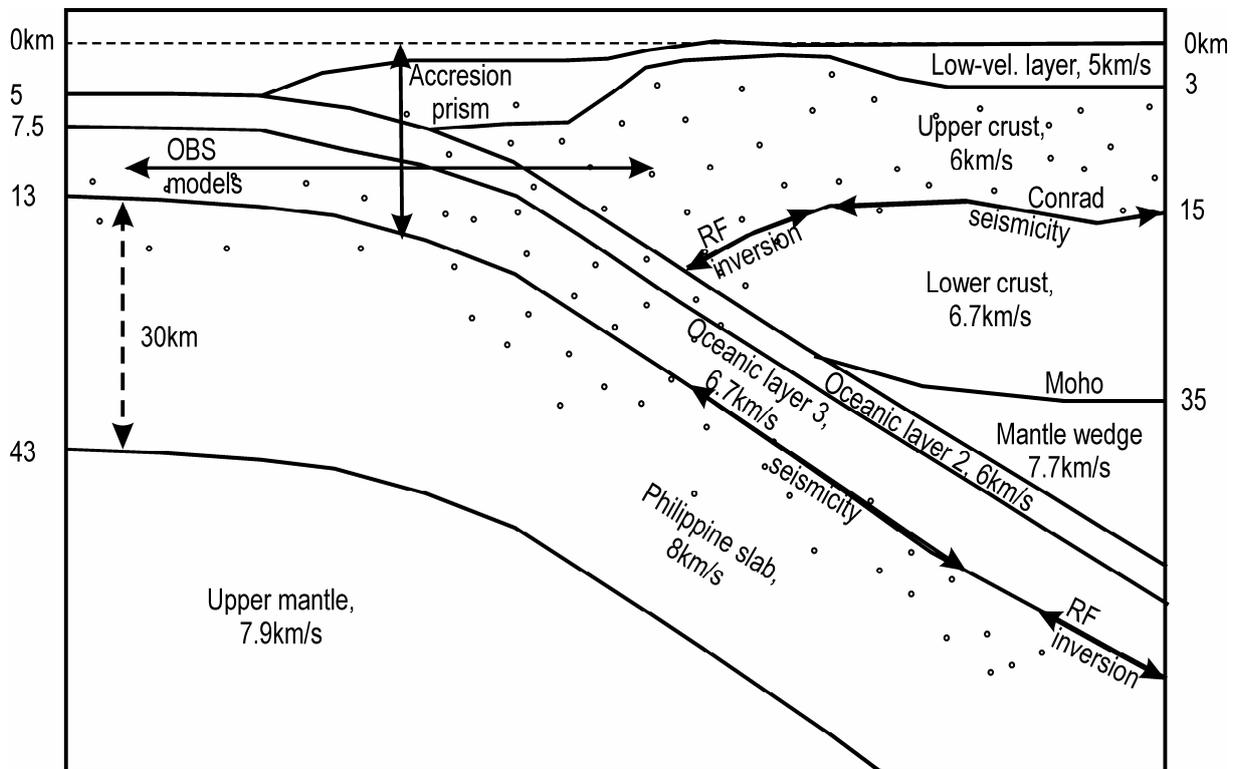


図1 近畿地方の想定地殻構造と各層に対応するP波速度

表1 各層に設定した物性値

Layer	V_p , m/s	V_s , m/s	Density, kg/m^3	Q-value
Surface low-velocity layer	5000	2700	2740	500
Upper crust	6000	3450	2800	1000
Lower crust	6700	3900	2900	500
Mantle wedge	7700	4450	3100	1000
Oceanic crust layer 2	6000	3450	2700	500
Oceanic crust layer 3	6700	3900	2800	500
Slab	8000	4630	3220	1000
Upper mantle	7900	4570	3100	1000

各層境界の3次元形状をモデル化するにあたり、表2に示す文献を収集し、参考資料とした。境界面によっては複数の情報を用いてモデル化をおこなっている。図1にはその際

に参照した情報の範囲を示し、表2には各文献において具体的にどの図をモデル化に用いたかを明記している。

表2 想定した境界面をモデル化するにあたって用いた資料¹⁾⁻¹⁴⁾

境界面	モデル化に用いたデータ	参照資料
surface low-velocity layer 下面深度	OBS 反射断面 (右記)	Takahashi et al., 2002, Figure 8, KR9810*; Kodaira et al., 2000, Figure 12, KR9704*; Kodaira et al., 2002, Figure 10a, KY9903+ES99*; JAMSTEC database, MO97201, MO97202, MO97203*; ERI database, ERI94NS, ERI94EW, ERI95NS, ERI95EW*; Nakanishi et al., 2002, Figure 10, KR9806*; Nakanishi et al., 1998, Figure 4-5, P1-P5.
Conrad面深度	1. 地殻内地震の下限深度 2. レシーバ関数のインバージョン	伊藤, 2002, Figure 4; Yamauchi et al., 2003, Figure 4.
Moho面深度	1. レシーバ関数のインバージョン 2. 走時インバージョン	汐見・他, 2004b, Figure 2; Yamauchi et al., 2003, Figure 4; Salah and Zhao, 2004, Figure 12.
Oceanic crust 上面深度	1. OBS 反射断面 2. スラブ上面から7-8km	(上記)
Oceanic layer 3 の上面深度	1. OBS反射断面 2. スラブ上面から5-6km	(上記)
Slabの上面深度	1. OBS 反射断面 2. 沈み込み帯の地震活動の上限深度 3. レシーバ関数のインバージョン	(上記) 三好・石橋, 2004, Figure 7; 馬場, 2002, Figure 1; Yamauchi et al., 2003, Figure 1; Shiomi et al., 2004a, Figure 10.

各層の境界深度をモデル化するにあたって、Koketsu and Higashi (1992)¹⁵⁾やKagawa et al.(2004)¹⁶⁾がスムーズな構造モデルの構築に際して用いた、マルチ・スプライン関数の考え方を適用した。図2にコンラッド面の等深度線を示す。

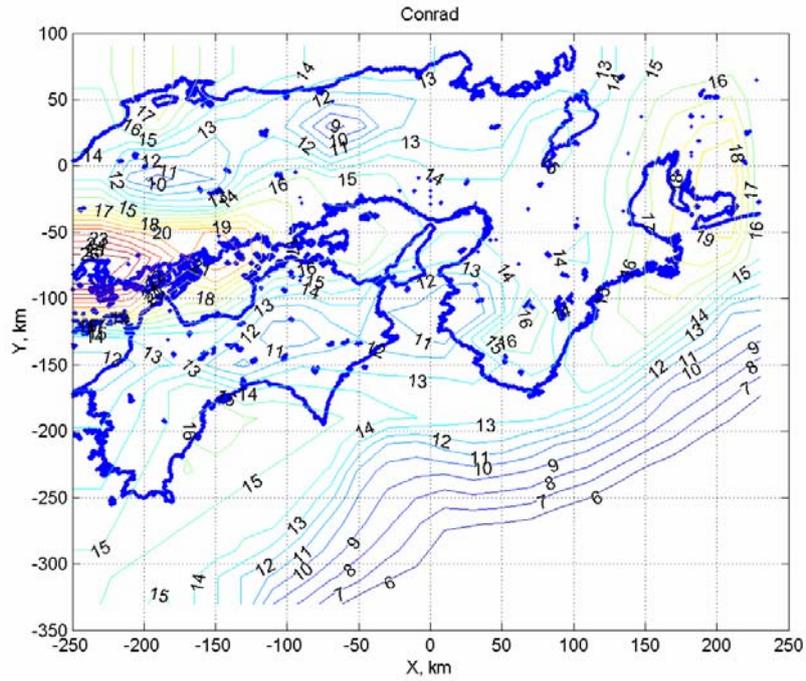


図2 コンラッド面の深度分布

構築したモデルの南北断面および東西断面の例を図3に示す。また、モデルを用いて計算した波形と観測地震記録との比較例を図4に示す。

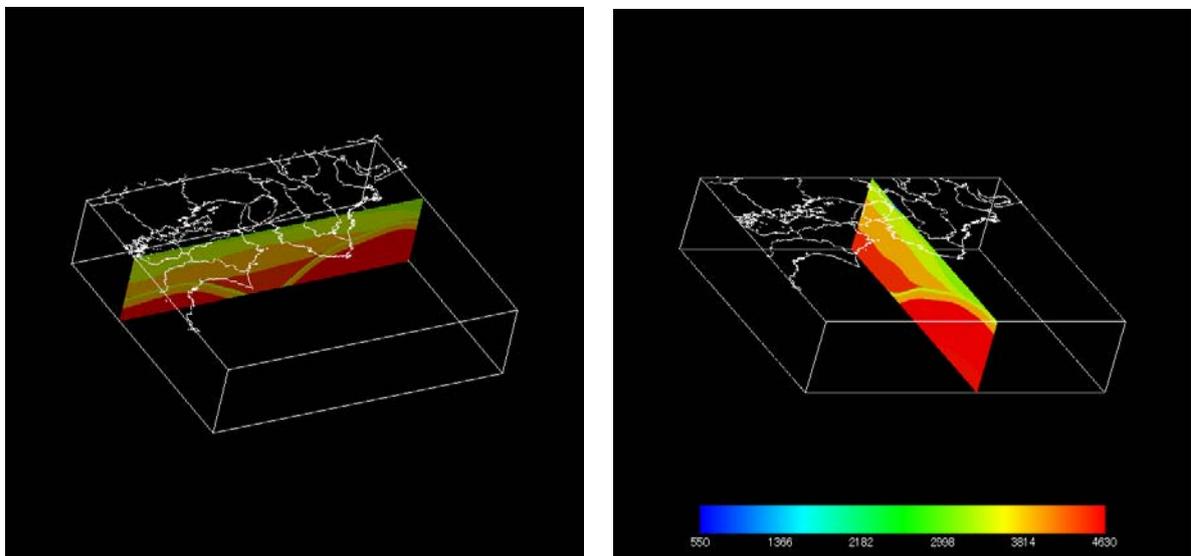


図3 構築したモデルの東西断面（左）および南北断面（右）の例

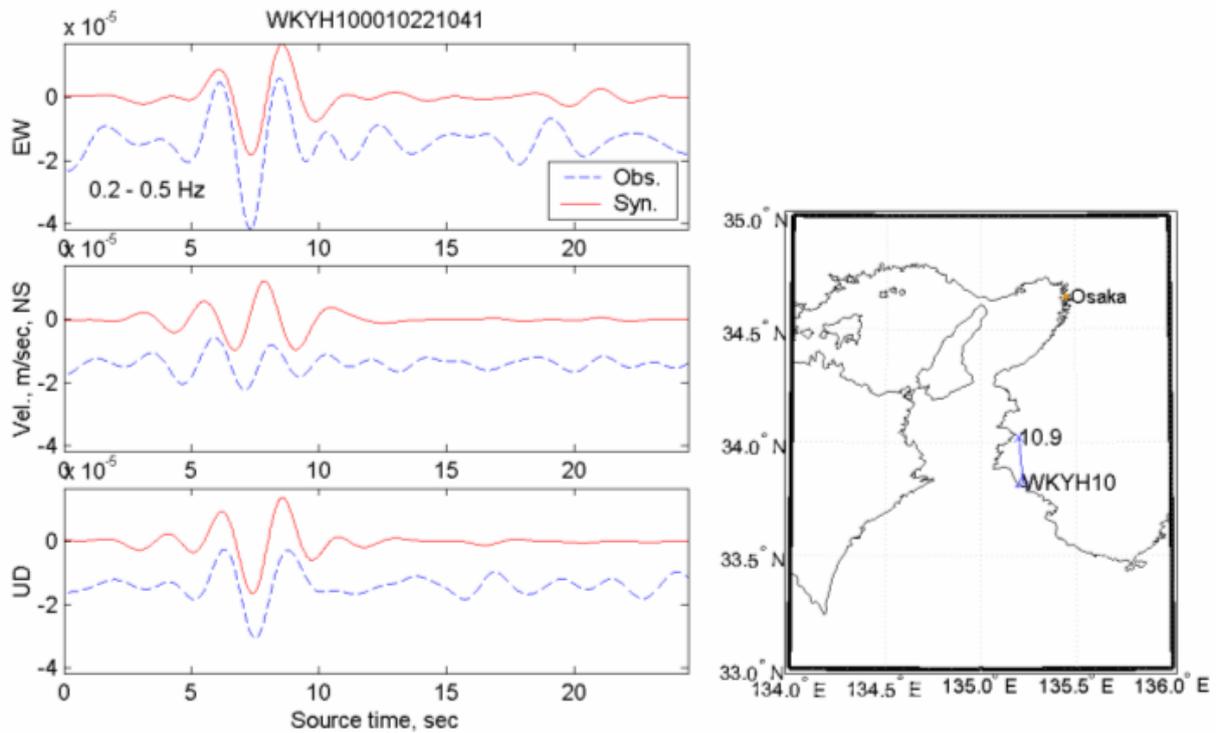


図4 モデルを用いて計算した波形と観測地震記録との比較例

2) 堆積盆地モデルの検討

以下の基本方針に沿って、堆積盆地構造のモデル化をおこなった。

- A) 堆積盆地の外部は岩盤が地表面に露頭しているものとする。
- B) 地表面の標高は0 mとし、山地地形などは考慮しない。
- C) 水圏は個別にモデル化せず、標高0 mまで表層堆積物に覆われているものとする。
- D) 各堆積盆地の堆積層を数層に分割し、各層内で物性は均質とする。

大阪平野のモデル化は、香川・他(1993)¹⁷⁾をはじめとするマルチ・スプライン関数によるモデル化がおこなわれており、その最新成果がKagawa et al.(2004)¹⁶⁾である。これらのモデルでは、堆積層は大きく3分割され、それに基盤岩を加えた4層構造が採用されている(香川・他、1998¹⁸⁾)。

このモデルに、近年実施された探査結果を追加する。図5にKagawa et al.(2004)¹⁶⁾で用いられた、基盤岩深度が与えられている地点と、新たに追加した探査測線の情報を示す。新たに追加されたもののうち、赤線が大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)で実施されたもの(大都市大震災軽減化特別プロジェクト、2005¹⁹⁾)、朱線が横倉・他(2005)²⁰⁾によるもの、青線および緑線が大阪府危機管理室(2005)²¹⁾による平成15年度および平成16年度実施のものである。図6に大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)による探査結果の一部を示す。

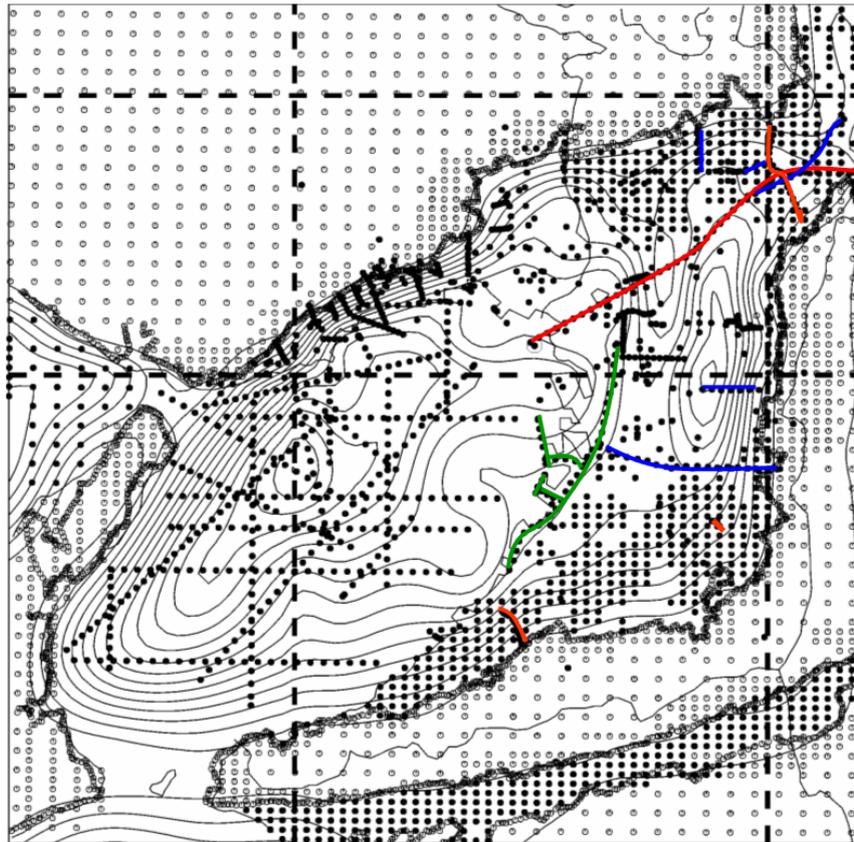


図5 大阪平野のモデル化で基盤岩深度が与えられた地点

以上の条件でマルチ・スプライン関数によるモデル化を実施した結果を、図5に等深度線として付記している。表3に、このモデルを構築するスプライン係数を示す。非常に少量のデータでモデルが構築されていることがわかる。また関数で表現されているため、任意地点の情報を取り出すことが可能である。

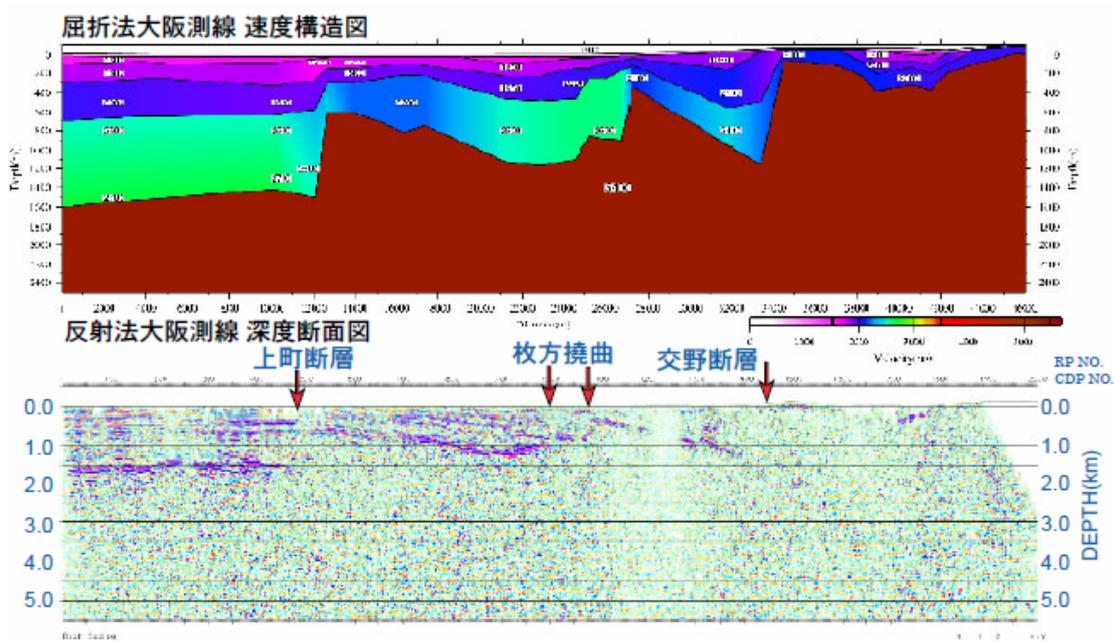


図6 大大特による平成16年度探査の例

表3 大阪平野基盤岩深度モデルを構築するスプライン係数

	2.005	2.077	1.226	1.965	0.548	0.210	-0.759	-0.104	-0.987	-0.365	-1.215	-0.393	-0.935	-1.119	-0.814	-0.730	-0.205
	-1.447	-0.188	1.585	-0.052	1.005	0.491	0.544	0.169	0.699	-0.138	0.000	-0.707	-0.491	-0.948	-1.281	-0.840	0.149
	0.790	-0.308	-1.379	-0.236	-0.808	-0.664	-0.569	-0.318	-0.515	0.083	0.021	0.190	0.302	0.331	0.777	-0.342	-0.767
	-1.479	-0.354	2.787	1.922	1.015	1.146	0.746	0.448	-0.024	-0.768	-0.953	-0.849	-1.163	-0.128	-1.541	1.259	-3.719
	1.967	-1.120	-0.400	4.197	0.678	1.952	1.502	1.837	2.757	1.510	1.652	0.851	1.310	-0.165	0.816	-3.170	15.046
	1.635	2.627	-1.923	1.006	4.740	2.633	2.834	1.292	0.825	0.739	0.427	1.336	0.670	1.549	-0.269	0.757	-2.852
	0.306	0.262	2.869	-1.870	2.244	1.217	2.471	2.535	2.568	2.609	2.717	0.777	1.150	2.899	-1.292	0.751	-4.261
J	1.665	1.965	-1.618	0.597	-0.882	3.006	2.059	2.199	0.637	1.841	0.760	1.491	0.382	1.475	2.558	-4.726	21.826
	1.437	-0.860	0.246	0.374	-0.911	-1.079	1.015	1.693	2.174	1.453	1.763	2.621	-0.958	3.427	-2.196	1.968	-7.710
	0.272	-0.177	-0.028	-0.232	0.253	-0.062	-1.926	-1.089	0.097	1.702	0.376	1.020	0.353	0.736	2.330	-3.271	12.052
	0.029	0.022	-0.112	0.334	-1.002	-0.530	0.377	-0.459	0.123	0.659	1.967	0.016	0.883	1.066	0.552	1.365	-9.662
	-0.180	-0.172	-0.008	-0.332	0.122	0.063	-0.773	-0.163	-0.230	-0.410	-0.703	0.599	0.196	0.694	1.196	-0.482	6.959
	-0.045	-0.010	-0.063	-0.043	-0.352	-0.440	0.234	-0.109	-0.918	0.345	0.693	-1.711	-0.377	-0.212	-0.403	0.660	-0.872
	-0.159	-0.137	-0.006	-0.125	0.071	0.111	-0.725	-0.420	0.694	-0.342	-2.214	1.732	-1.190	0.850	-1.699	2.460	-4.475
	-0.265	-0.514	0.002	-1.786	-1.730	-0.925	1.124	-0.940	-3.241	-2.750	11.907	-13.933	6.005	-8.131	2.537	-1.140	-10.244

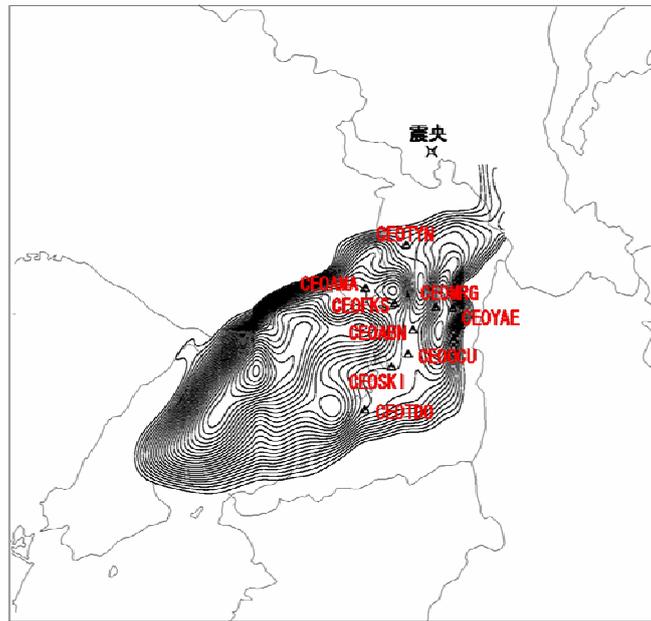


図7 シミュレーション波形と観測波形の比較を実施したサイト

次に、このモデルを用いた中小地震のシミュレーションを実施する。比較をおこなったサイトを図7に、波形シミュレーション結果を、観測波形と比較して図8に示す。波動の到来時刻、震幅および継続時間が、概ね良好に再現されていることが分かる。

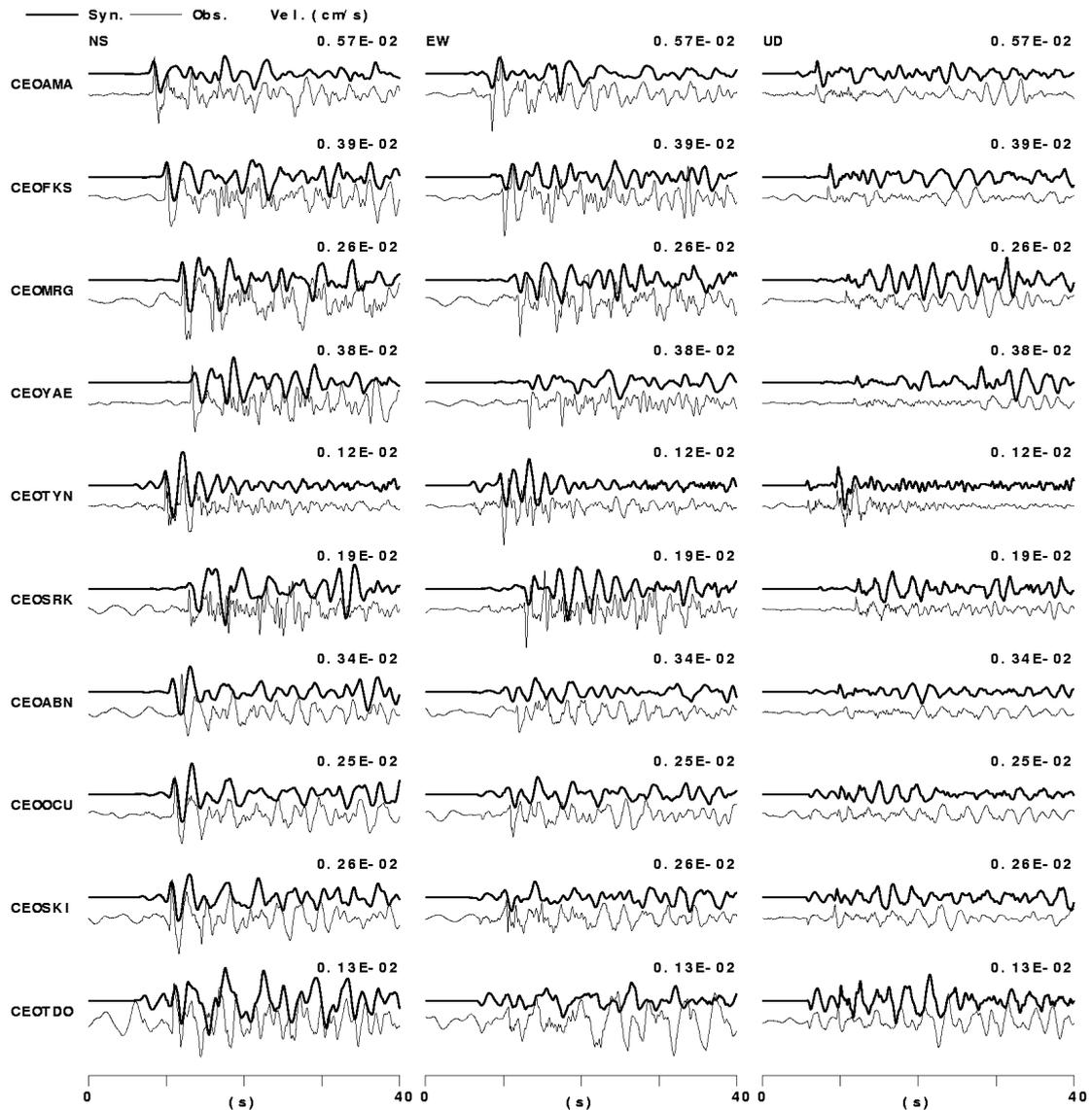


図8 大阪平野におけるシミュレーション波形と観測波形

加えて、京都市(2003)²²⁾による調査検討を基に京都盆地のモデル化をおこなった。京都市地盤モデルは、水平方向および鉛直方向の格子モデルで構成され、格子毎に物性が異なる。これを、均質な層に分割してモデルを構築した。各堆積層は基本的に深さが増すにつれて地震波伝播速度が大きくなっている。まず、鉛直方向の最適層分割を検討し、堆積層6層に基盤岩を加えたモデルを構築した。近隣盆地構造との連続性を考慮し、基盤岩の物性は先に示した大阪堆積盆地構造と共通とした。次に、この物性境界に対応する深度をモデル化領域全体の格子点で与え、格子点間の深度を補間することで任意地点の構造モデルが得られるように汎用化した。

このほか、近江盆地では、滋賀県(2005)²³⁾による調査検討の一環として実施されたモデル(香川・他、2006²⁴⁾)を収集した。奈良盆地の地盤構造探査情報は希薄であり、盆地全域を網羅するような調査は行われていない。奈良盆東縁断層調査のための反射法地震探査(地質調査所、1997²⁵⁾)、微動を利用した探査(盛川・他、1998²⁶⁾)が近年実施されており、香川・他(2005)²⁷⁾でスプライン関数によるモデル化がおこなわれている。これらモデル化

した堆積盆地全体の基盤岩深度コンターを図9に示す。

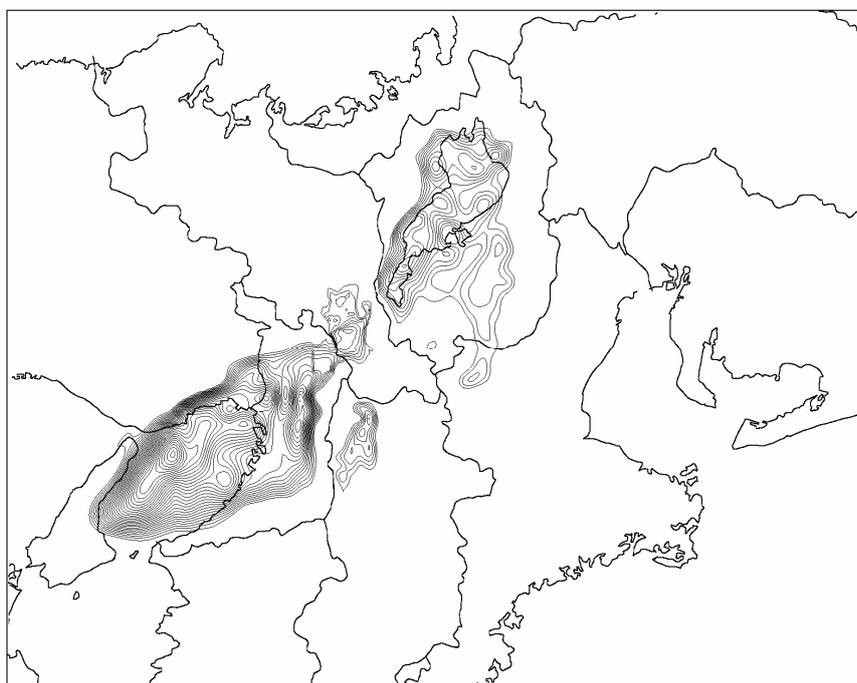


図9 モデル化した堆積盆地の基盤岩深度分布

3) 浅層地盤モデルの検討

大阪平野とその周辺域では、全国に先駆けてボーリング・データの統一的なデータ・ベース化がおこなわれており、その本数は優に3万本を越えている。図10に登録されているボーリング地点を示す。図中、赤点は関西地盤情報活用協議会^{28)・31)}、青点は大阪湾地盤情報の研究協議会^{32)・34)}が管理していたものであるが、2003年よりこれらを統合した関西圏地盤情報の活用協議会(現会長:近畿地方整備局企画部長)が発足し、データの管理運営をおこなっている。

これらデータ・ベースを用いた表層地盤応答のためのモデルは、活断層研究センター(2005)³⁵⁾などで検討されている。ここでは、対象地域を500mメッシュ(山地部を除くと約8000点)に分割し、メッシュ内に存在するボーリング・データの平均像をモデル化した。具体的には、地表から工学的基盤(大阪市中心部では深さ20-40mの天満砂礫層)までを2m毎に分割し、その2m毎にメッシュ内で優勢な地層区分(粘土/砂/礫)を与え、平均N値と平均密度を設定する。得られたN値と土被り圧(P_0 gf/cm²)より、活断層研究センター(2005)³⁵⁾の提案している以下の関係式を用いて、その深度におけるS波速度(m/s)を換算した。なお、ボーリング点が存在しないメッシュについては、地盤条件が共通の周辺メッシュの値を補間してモデル化をおこなっている。

【粘土】

$$V_s = 65 \times (N+1)^{0.304} \times P_0^{0.076}$$

【砂】

$$V_s = 30 \times (N+1)^{0.173} \times P_0^{0.197}$$

【礫】

$$V_s = 30 \times (N+1)^{0.143} \times P_0^{0.225}$$

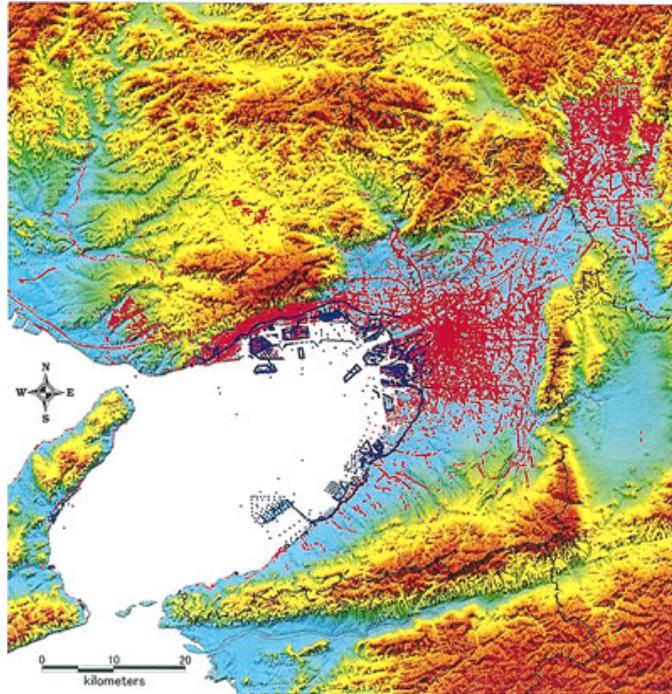


図 10 大阪平野とその周辺におけるボーリング・データベース登録地点

また、地盤の非線形応答特性については、ボーリング・データベースに少ないながらも含まれている三軸試験および中空ねじり試験のデータを、以下に示すHardin-Drnevichモデルで近似することで $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 特性を得た。

$$\frac{G}{G_{max}} = \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_r}, \quad h = h_{max} \left(1 - \frac{G}{G_{max}} \right)$$

地域による特徴を区分するだけのデータがないことから、ここでは以下に示す特性値を全域で用いることとした。

【粘土】

$$\gamma_r = 1.4 \times 10^{-3}, \quad h_{max} = 0.19$$

【砂および礫】

$$\gamma_r = 6.0 \times 10^{-4}, \quad h_{max} = 0.195$$

このようにして与えられた地盤情報から工学的基盤相当の深度まで図化したものを図 11 に示す。表層部は 2 m 毎にモデル化され、2) で示した堆積地盤モデルの表層部（大阪平野では $V_s=350\text{m/s}$ ）に連結されている。また、図 12 には、得られた約 8000 点のモデルから表層 30m までの平均 S 波速度 (Midorikawa et al., 1994³⁶⁾) である AVS30 の分布を示す。

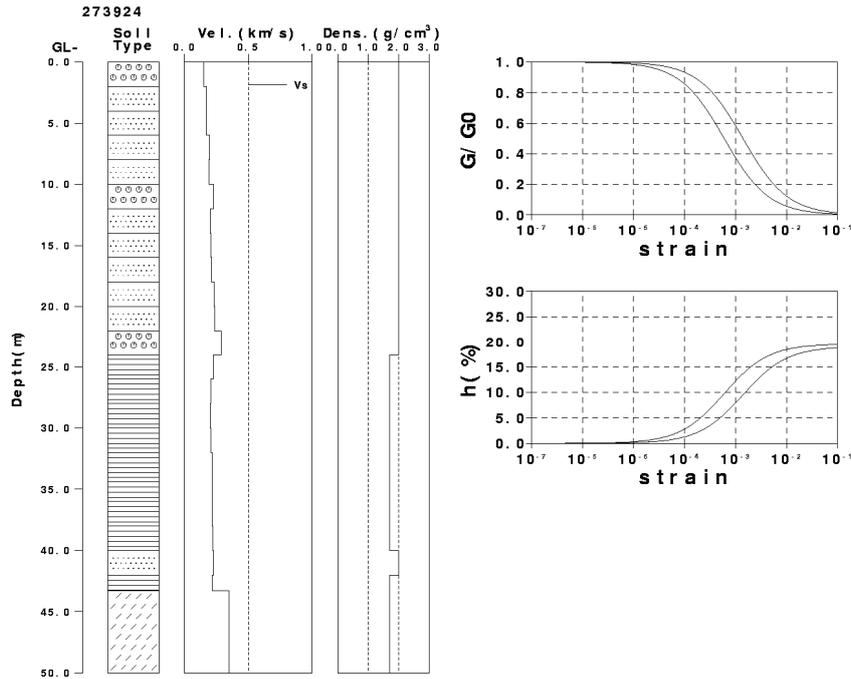


図 11 500mメッシュ各層の地盤モデルの図化例

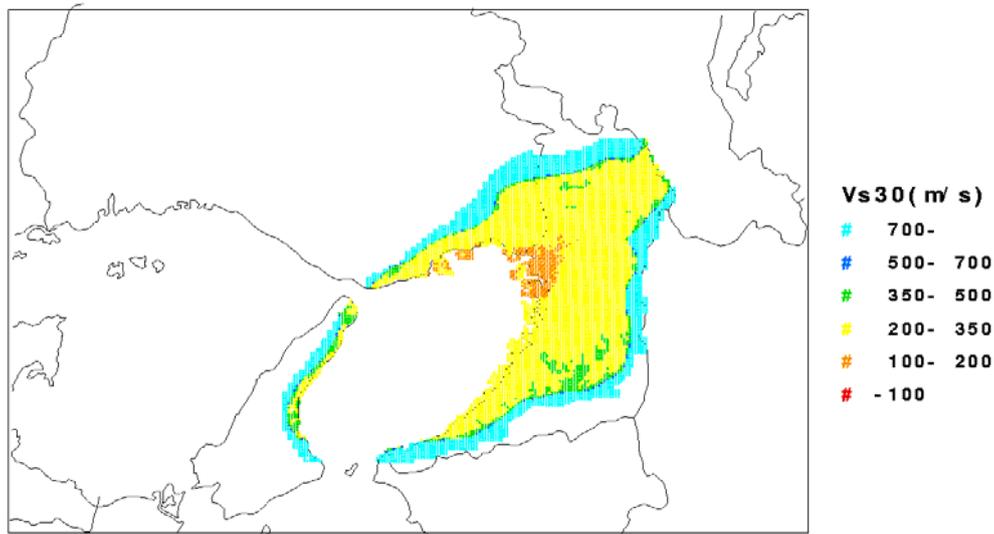


図 12 ボーリング・データより求めた 500mメッシュの Vs30 値の分布

4) 震源モデルの検討

海溝型地震（東南海・南海地震）の標準的な断層破壊シナリオとして、内閣府中央防災会議(2002)³⁷⁾に設置されている東南海・南海地震に関する専門調査会で提案されている、両地震の同時発生モデル（マグニチュード 8.6）を考える。また、もうひとつのバリエーションとして、アスペリティ位置は中央防災会議(2002)³⁷⁾の検討を尊重し、破壊開始点のみ変更したシナリオを想定する。その際、主たる対象とする大阪平野に、アスペリティ 4 が大きく影響するように、同アスペリティの南端部を破壊開始点とする。図 13 に、設定したふたつの断層破壊シナリオの破壊開始点位置を示す。

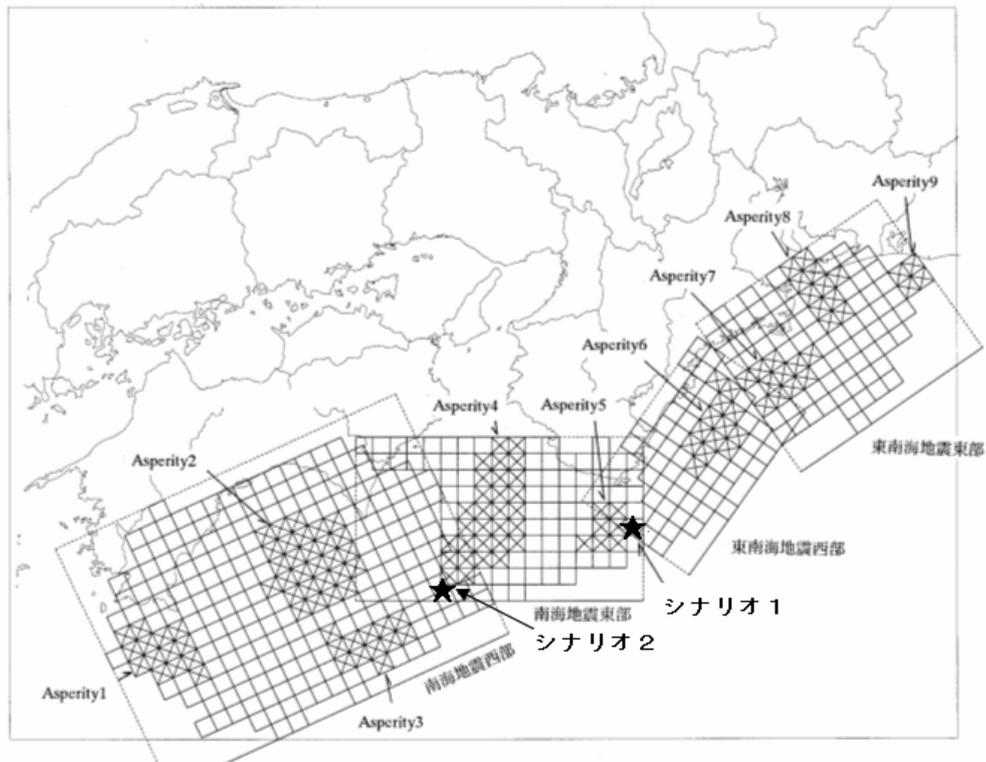


図 13 想定したふたつの破壊シナリオにおける破壊開始点位置

次に、内陸の巨大地震として 1596 年慶長伏見地震を想定する。ここでは、地震調査研究推進本部(2005)³⁸⁾の見解に基づき、有馬高槻構造線断層帯と六甲淡路断層帯（淡路島は東岸断層帯）が連動したものと仮定する。宇佐美(2003)³⁹⁾による推定震度分布（図 14）と 1995 年兵庫県南部地震の震度分布を比較した場合、震度 5、6 の範囲が広く、1891 年濃尾地震に匹敵する。地震規模の大きかったことを窺わせるため、マグニチュード 8 程度を想定する。また、兵庫県南部地震の震度 5 域が北東に延びているのに対して、慶長伏見地震では南西側への広がりが大きい。震度 6 の領域について見れば、北東側はほぼ断層端で止まっているが、南西側は断層端を越えて広がっている。破壊は南西に向かったと考えられる。また、京都南部で大きな被害が出ていることから、断層東端付近にアスペリティが存在したと仮定する。淡路島部にもアスペリティがあったものと仮定し、有馬高槻構造線西部にはアスペリティを置かないこととする。活断層分布の形状および中田・他(1998)⁴⁰⁾の仮定より、断層が放射状に分布している、有馬高槻構造線断層帯と六甲淡路断層帯の交差部が破壊開始点の候補として挙げられる。

以上の前提を基に、断層破壊シナリオを設定する。断層位置は地震調査研究推進本部(2005)³⁸⁾の設定に準じるが、より活断層線に沿った形で設定する（図 15）。また、兵庫県南部地震を参考に、傾斜 80 度、走向 205 度（すべりが縦 2：横 1）と仮定する。

- 有馬高槻構造線断層帯：走向 260 度，長さ 56km，幅 16km
- 六甲淡路断層帯：走向 240 度，長さ 50km，幅 16km
- 淡路島東岸断層帯：走向 215 度，長さ 24km，幅 16km

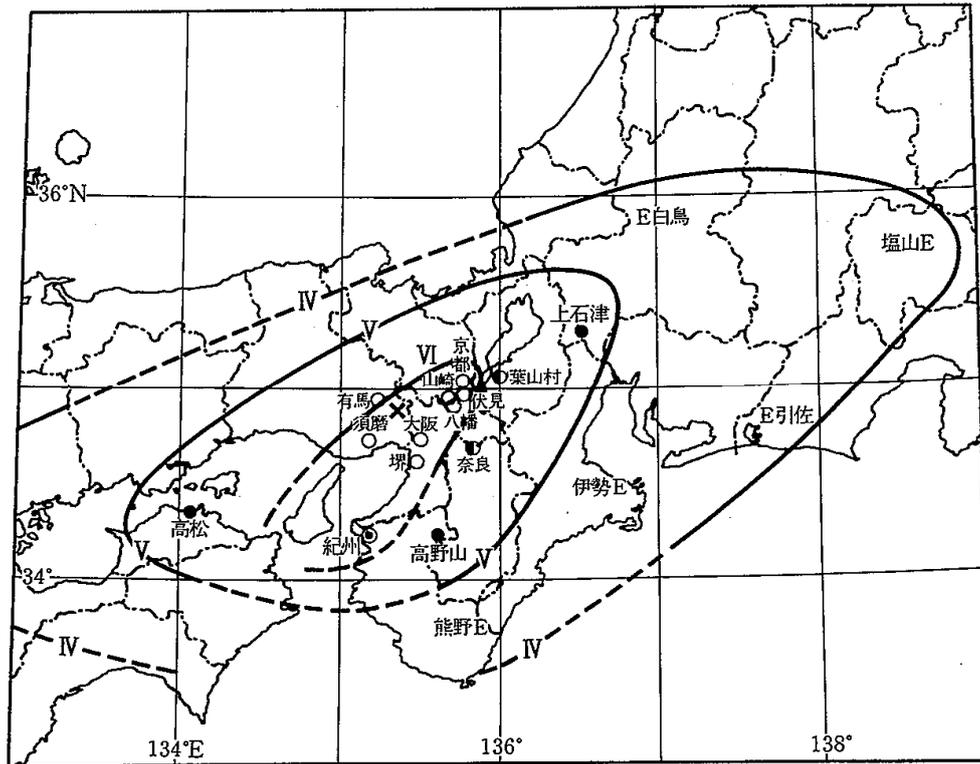


図 14 慶長伏見地震の震度分布³⁹⁾



図 15 慶長伏見地震の断層設定

次に、入倉のレシピ(Irikura et al., 2004⁴¹⁾)に沿って、以下に示すように断層破壊パラメータを設定する。なお、すべり時間関数は、中村・宮武(2000)⁴²⁾によって提案されているすべり速度時間関数を用いる。

断層面積 : 2,080 km²
 地震モーメント : 2.054×10²⁰ N·m
 対応マグニチュード : M_w=7.5, M_j=8.0 [武村(1990)⁴³⁾]
 平均応力降下量 : 5.27 MPa
 アスペリティ面積比 : 0.22
 アスペリティ応力降下量 : 23.95 MPa
 背景領域応力降下量 : 4.79 MPa
 アスペリティ個数 : 3

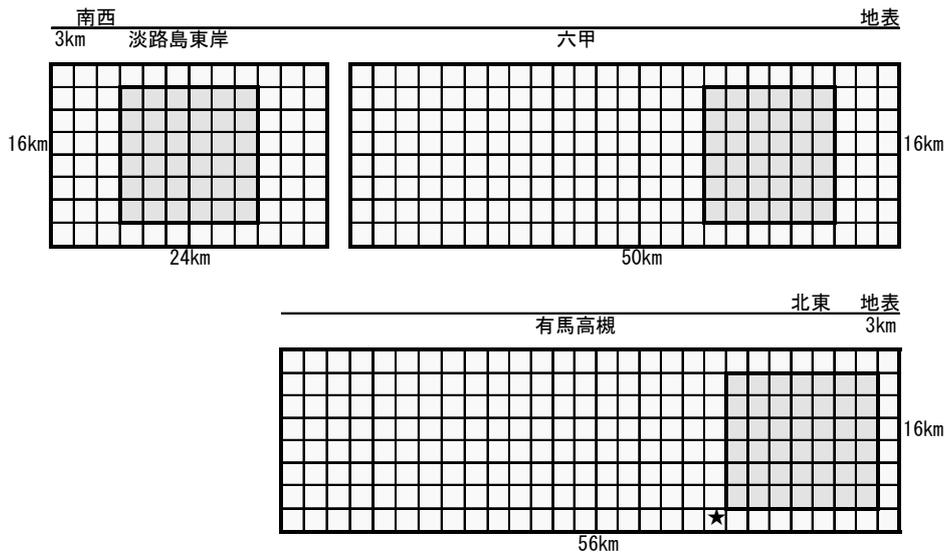


図 16(a) 慶長伏見地震の破壊シナリオ 1

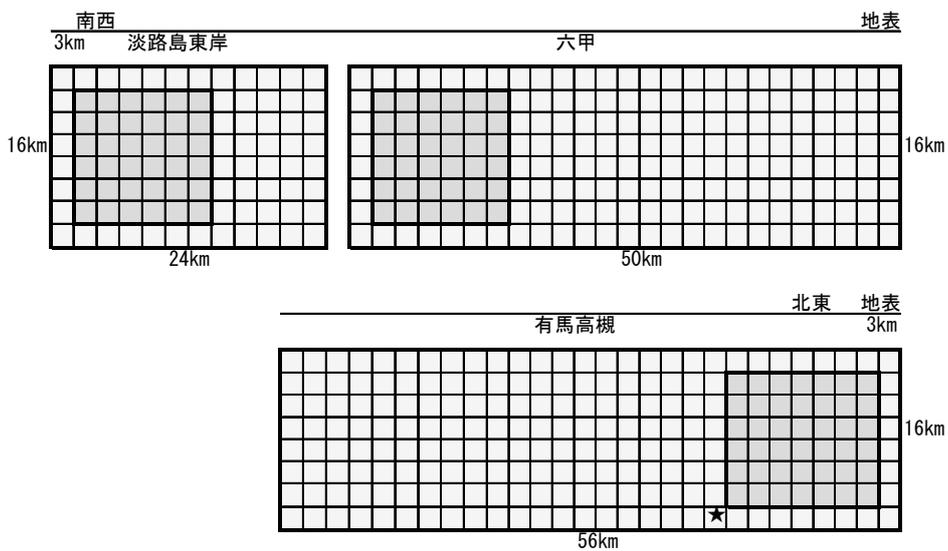


図 16(b) 慶長伏見地震の破壊シナリオ 2

破壊開始点配置は図 15 で固定とし、図 16 に示すように、アスペリティ配置を変えて以下のふたつのシナリオを設定する。図中の要素断層はそれぞれ 2 km×2 km の大きさである。濃い網掛け部がアスペリティに相当し、それ以外が背景領域である。

なお、本シナリオで慶長伏見地震の広域震度分布がどの程度説明できるかを確認するため、1)及び2)で設定した地殻構造モデル（表層は地震基盤）にこれら2通りの震源破壊シナリオを仮定して3次元差分法による地震動伝播計算を実施した（周期0.8秒以上を対象）。得られた最大速度分布に、3)でAVS30値分布より換算した速度増幅率（ボーリング情報の範囲外は若松・他(2005)⁴⁴⁾による経験式を利用）を掛けることで表層を含む堆積層の影響を考慮した地表面速度分布を計算した。さらに、以下に示す最大速度（PGV）と計測震度（ I_{JMA} ）の経験式(童・山崎、1996⁴⁵⁾)を用いて、計測震度分布を推定した。

$$I_{JMA} = 2.30 + 2.01 \times \log_{10}(PGV)$$

その結果を図17に示す。いずれのケースも、慶長伏見地震の震度5、6以上の範囲は概ね説明しており、伏見城の被害などが伝えられている京都南部で震度7となっている。ただし、阪神間から神戸にかけての地震動はシナリオ1の方が大きくなっている。

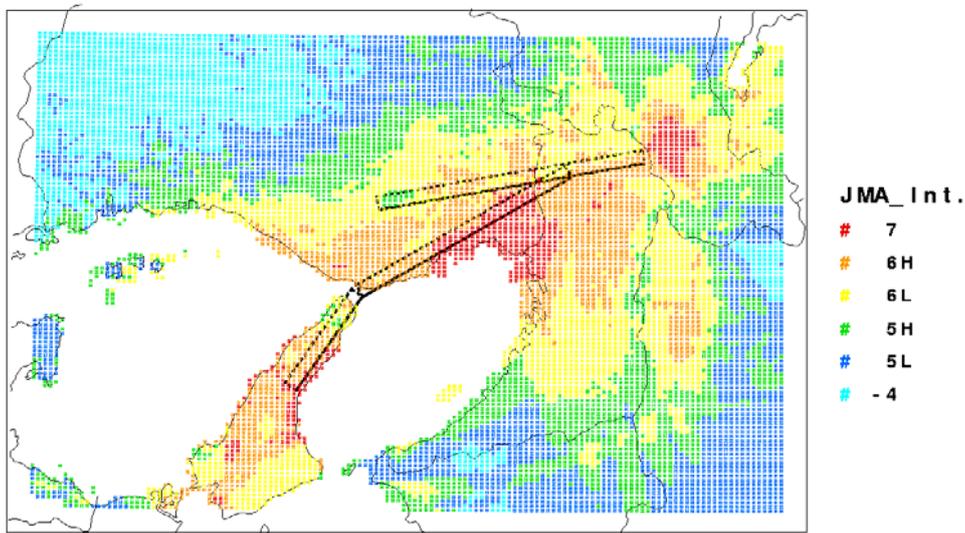


図17(a) 簡易法による慶長伏見地震破壊シナリオ1の震度分布

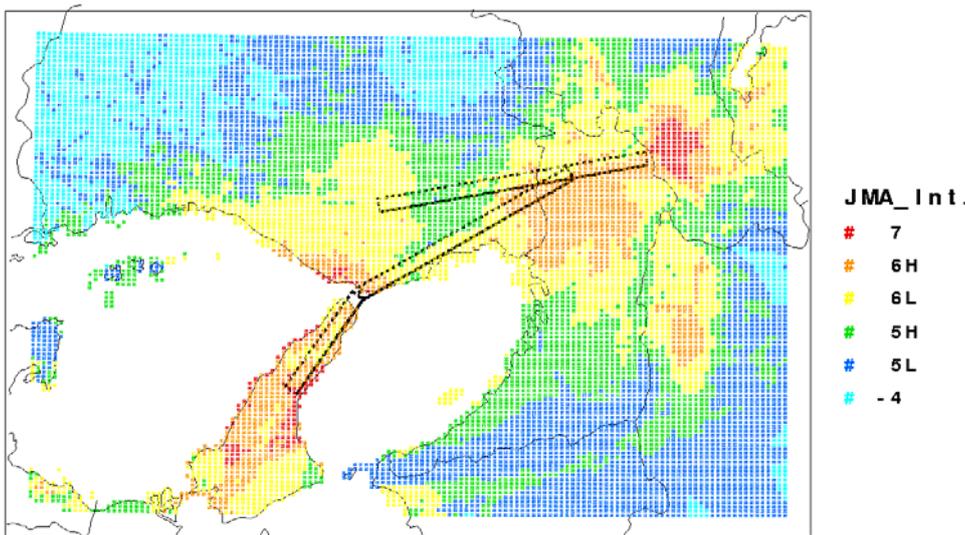


図17(b) 簡易法による慶長伏見地震破壊シナリオ2の震度分布

5) 強震動の試算

広帯域強震動の計算にあたっては、長周期帯域を3次元差分法(Pitarka, 1999⁴⁶⁾)、短周期帯域を統計的グリーン関数法(釜江・他、1990⁴⁷⁾)のハイブリッド法を用いて工学的基盤における地震動を求め、等価線形法(Schnabel et al., 1972⁴⁸⁾)によって表層非線形地盤応答を考慮した地表面地震動を評価した。

まず、海溝型地震シナリオ1による、大阪平野部地表面における応答スペクトルの例を図18に示す。次に、1596年慶長伏見地震シナリオ1を想定した場合の、工学的基盤面(S波速度500m/s以上)におけるスナップ・ショットの一例を図19に示す。

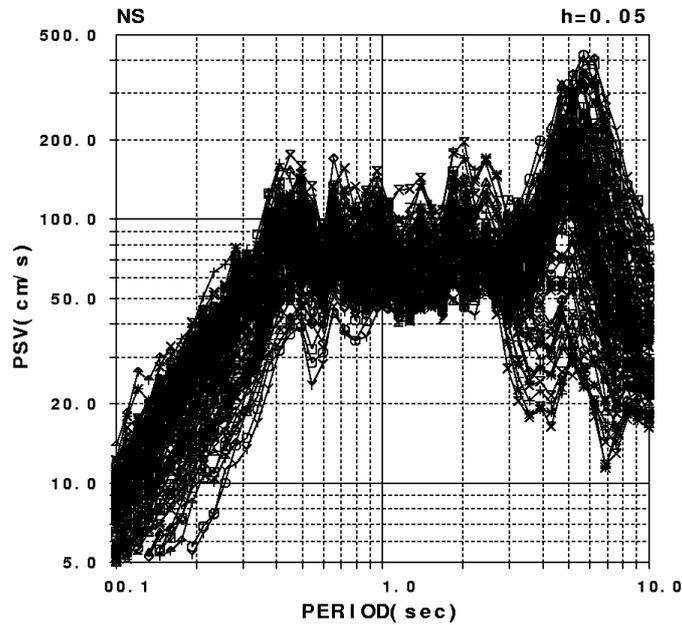


図18 東南海・南海地震同時発生シナリオ1の地表面擬似速度応答スペクトル(NS成分)

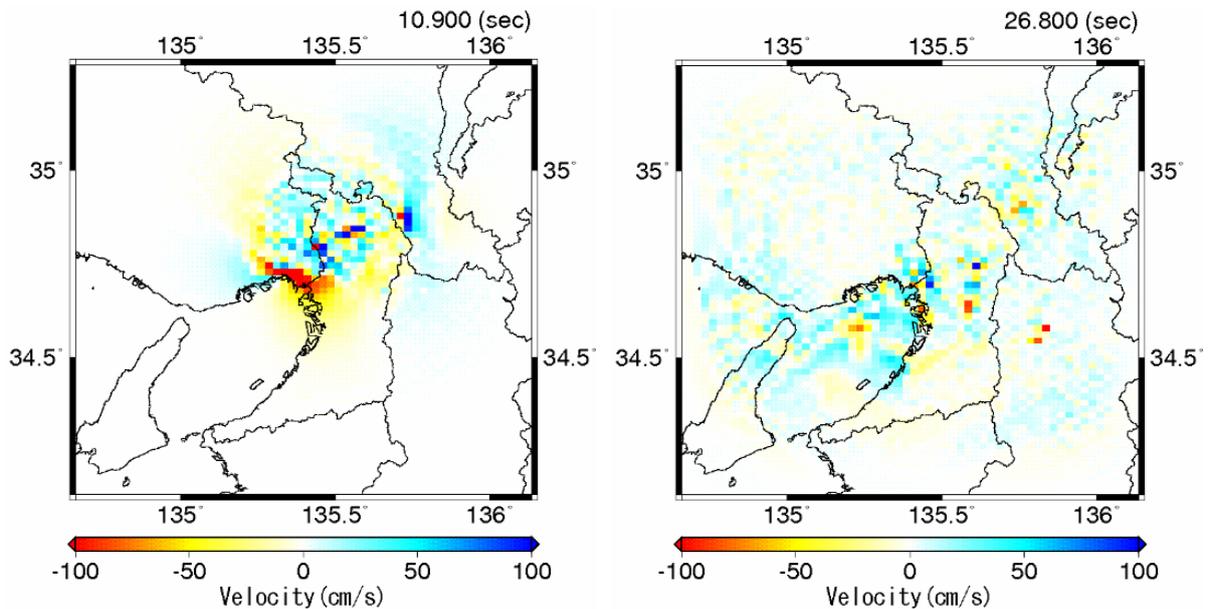


図19 慶長伏見地震の波動伝播例

(d) 結論ならびに今後の課題

以上の検討によって得られた結論を以下にまとめる。

- ① 大阪堆積盆地を含む近畿圏および東南海、南海の海溝型震源断層を含む領域の地殻について、上・下部地殻、海洋プレート、マントルによる構成される3次元構造モデルを構築した。
- ② 大阪平野および近隣の堆積盆地（近江盆地、京都盆地、奈良盆地）について、3次元堆積盆地構造の不整形地盤をモデル化し、観測地震動による検証をおこなった。
- ③ 大阪平野を対象に、工学的基盤以浅の浅層地盤構について、表層地震応答解析に必要な地震波伝播速度、密度、非線形応答特性をモデル化した。
- ④ 海溝型地震として東南海・南海地震の同時発生モデル、内陸地震として1596年慶長伏見地震の震源とされる有馬高槻構造線および六甲淡路断層帯を対象として、断層破壊シナリオを想定した。
- ⑤ 東南海・南海地震（海溝型地震）、有馬・高槻構造線地震（内陸地震）を対象に広帯域の地震動を試算した。

また、今後の課題を以下にまとめる。

- ① 地殻構造モデルについては、紀伊半島南東沖の地震のシミュレーション波形の継続時間が十分に再現されておらず、海域部の構造、特に Accretion prism（付加帯）のチューニングが必要である。
- ② 堆積地盤モデルの検討では、奈良盆地のモデル化に検討の余地があり、加えて京都盆地と奈良盆地の接合部のモデル化の必要性である。
- ③ ボーリング・データベースを用いた表層地盤モデルについては、今回対象とした大阪平野での検討を、近隣の堆積盆地（近江盆地、京都盆地、奈良盆地）にも拡張することが望ましい。

(e) 引用文献

- 1) Takahashi N., S.Kodaira, A.Nakanishi, J.O.Park, S.Miura, T.Tsuru, Y.Kaneda, K.Suyehiro, and H.Kinoshita : Seismic structure of western end of the Nankai trough seismogenic zone, J.Geophys.Res., Vol.107, 10.1029/2000JB000121, 2002.
- 2) Kodaira, S., N. Takahashi, J.O. Park, K.Mochizuki, M.Shinohara, S.Kimura : Western Nankai trough seismogenic zone: Results from a wide-angle oceanic bottom seismic survey, J.Geophys.Res., Vol.105, pp.5887-5905, 2000.
- 3) Kodaira S., E.Kurashimo, J.O.Park, N.Takahashi, A.Nakanishi, S.Miura, T.Iwasaki, N.Hirata, K.Ito, and Y.Kaneda : Structural factors controlling the rupture process of a megatrast earthquake at the Nankai trough seismogenic zone, Geophys.J.Int., Vol.149, pp.815-835, 2002.
- 4) JAMSTEC database, http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/IFREE_center/
- 5) ERI database, <http://www-es.s.chiba-u.ac.jp/~satot/ERIDB>
- 6) Nakanishi A., N.Takahashi, J.O.Park, S.Miura, S.Kodaira, Y.Kaneda, N.Hirata,

- T.Iwasaki, and M. Nakamura : Crustal structure across the coseismic rupture zone of the 1944 Tonankai earthquake, the central Nankai Trough seismogenic zone, *J.Geophys.Res.*, 107, 10.1029/2001JB000424, 2002.
- 7) Nakanishi A., H.Shiobara, R.Hino, S.Kodaira, T.Kanazawa, and H.Shimamura : Detailed subduction structure across the eastern Nankai Trough obtained from ocean bottom seismographic profiles, *J.Geophys.Res.*, 103, 27151-27168, 1998.
 - 8) 伊藤潔 : 地殻内地震発生層, 月刊地球, Vol.38, pp.114-127, 2002.
 - 9) Yamauchi, M., K.Hirahara, T.Shibutani : High Resolution Receiver Function Imaging of the Seismic Velocity Discontinuities in the Crust and the Uppermost Mantle Beneath Southwest Japan, *Earth Planets Space*, Vol.55, pp.59-64, 2003.
 - 10) 汐見勝彦, 小原一成, 藤春夫 : 中国・四国地方におけるモホ面形状-海洋性モホ面と大陸性モホ面の同定-, 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, B059, 2004.
 - 11) Salah, M. K., and D. Zhao : Mapping the Crustal thickness in Southwest Japan Using Moho Reflected waves, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol.141, pp.79-94, 2004.
 - 12) 三好崇之, 石橋克彦 : 震源分布からみた伊勢湾から四国西部にかけてのフィリピン海スラブの形状, 地震 2, Vol.57, pp.139-152, 2004.
 - 13) 馬場俊孝 : 沈み込むフィリピン海プレートの形状, 月刊地球, Vol.38, pp.77-81, 2002.
 - 14) Shiomi, K., H.Sato, K.Obara, and M.Ohtake : Configuration of subducting Philippine Sea plate beneath southwest Japan revealed from receiver function analysis based on the multivariate autoregressive model, *J.Geophys.Res.*, Vol.109, 10.1029/2003JB002774, 2004.
 - 15) Koketsu, K. and S. Hogashi : Three-dimensional topography of the sediment/basement interface in the Tokyo Metropolitan Area, central Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.82, pp.2328-2349, 1992.
 - 16) Kagawa, T., B. Zhao, K. Miyakoshi, and K. Irikura : Modeling of 3-D basin structures for seismic wave simulations based on available information on the target area: Case study of the Osaka Basin, Japan, *Bulletin of Seismological Society America*, Vol.94, pp.1353-1368, 2004.
 - 17) 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, 第 22 回地震工学研究発表会講演概要, pp.199-202, 1993.
 - 18) 香川敬生, 澤田純男, 岩崎好規, 南荘淳 : 常時微動アレー観測による大阪堆積盆地深部 S 波速度構造のモデル化, 地震 2, Vol.51, pp.31-40, 1998.
 - 19) 大都市大震災軽減化特別プロジェクト, 地震動 (強い揺れ) の予測「大都市圏地殻構造調査研究」, 平成 16 年度成果報告書, 文部科学省, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/daidai/h16seika-hokokusho/contents_H16_F.html2005.
 - 20) 横倉隆伸, 加野直巳, 山口和雄, 田中明子, 大滝壽樹, 伊藤 忍, 衣笠善博 : 反射法記録による速度構造のモデル化手法, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究 第 4 回シンポジウム論文集, pp.105-112, 2005.
 - 21) 大阪府危機管理室 : 大阪平野地下構造調査について, 2005.
 - 22) 京都市 : 京都市第 3 次地震被害想定 http://www.city.kyoto.jp/shobo/frame_dai3-

- higaisoutei.html, 2003.
- 23) 滋賀県：琵琶湖西岸断層帯等による地震被害予測調査, http://www.pref.shiga.jp/c/jishin/higai_yosoku/, 2005.
 - 24) 香川敬生, 趙伯明, 堀江良樹, 岩田知孝, 入倉孝次郎：強震動評価のための近江盆地3次元堆積盆地構造モデルの作成と検証, 地球惑星科学関連学会 2006 年合同大会, 投稿中, 2006.
 - 25) 地質調査所：奈良盆地東縁断層系反射法地震探査, 地質調査所研究資料集 No.289, 近畿三角地帯の主要活断層の先行調査報告, 1997.
 - 26) 盛川仁, 土岐憲三, 尾上謙介, 赤松純平, 竹内徹：脈動の H/V スペクトル比を用いた奈良盆地中央部の基盤岩構造の推定, 第 10 回 日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1269-1272, 1998.
 - 27) 香川敬生, 大西良広, 長郁夫, 趙伯明：3次元速度構造のモデル化手法, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究 第4回シンポジウム論文集, pp.83-86, 2005.
 - 28) 地下空間の活用と技術に関する研究協議会, 関西の大深度地盤の地質構造とその特性の研究委員会：関西地盤, 1992.
 - 29) 関西地盤情報活用協議会：新関西地盤－神戸および阪神間－, 1998
 - 30) 関西地盤情報活用協議会：関西地層分布図－大阪平野－, 1998
 - 31) 関西地盤情報活用協議会：新関西地盤－京都盆地－, 2002.
 - 32) 大阪湾海底の地盤研究委員会：大阪湾海底地盤, 1990.
 - 33) 大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会：海底地盤－大阪湾を例として－, 1995.
 - 34) 大阪湾地盤情報の研究協議会：ベイエリアの地盤と建設－大阪湾を例として－, 2002.
 - 35) 活断層研究センター：大阪湾周辺地域の地震動地図－地震動予測研究成果報告暫定版, <http://unit.aist.go.jp/actfault/osaka/index.htm>, 産業技術総合研究所, 2005.
 - 36) Midorikawa, S., M. Matsuoka, and K. Sakugawa：Site effects on strong ground motion records due to the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan, earthquake, The 9th Japan Earthquake Engineering Symposium, Vol. 3, pp.85-90, 1994.
 - 37) 中央防災会議：東南海, 南海地震等に関する専門調査会, 第7回説明資料, 2002.
 - 38) 地震調査研究推進本部：六甲・淡路島断層帯の長期評価について, http://sparc1038.jishin.go.jp/main/chousa/05jan_rokko/, 2005.
 - 39) 宇佐美龍夫：最新版日本被害地震総覧[416]-2001, 東京大学出版会, 2003.
 - 40) 中田高, 島崎邦彦, 鈴木康弘, 佃栄吉：活断層はどこから割れ始めるのか?, 地学雑誌, Vol. 107, pp.512-528, 1998.
 - 41) Irikura, K, Miyake, H, Iwata, T, Kamae, K, Kawabe, H, Dalguer, LA.：Recipe for predicting strong ground motion from future large earthquake, Proc. 13WCEE, No.1371, 2004.
 - 42) 中村洋光, 宮武隆：断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式, 地震2, Vol.53, pp.1-9, 2000.

- 43) 武村雅之：日本列島およびその周辺域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係，地震2，Vol.43，257-265，1990.
- 44) 若松加寿江，久保純子，松岡昌志，長谷川浩一，杉浦正美：日本の地形・地盤デジタルマップ，東京大学出版会，1995（製品シリアル番号：JEGM0465）.
- 45) 童華南，山崎文雄：地震動強さ指標と新しい気象庁震度の対応関係，生産研究，Vol.48，No.11，31-34，1996.
- 46) Pitarka, A.: 3D elastic finite-difference modeling of seismic motion using staggered-grid with non-uniform spacing, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.89, pp.54-68, 1999.
- 47) 釜江克宏，入倉孝次郎，福和保長：地域的な震源スケーリング則を用いた大地震（M7級）のための設計用地震動予測，日本建築学会構造系論文集，416，57-70，1990.
- 48) P. B. Schnabel, P. B., J. Lysmer, H. B. Seed : "SHAKE" a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered site, EERC, 1972.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
岩田知孝， ペトヒン アナトリ， 香川敬生	強震動シミュレーションのための近畿圏地盤・地殻構造モデルの構築	日本地球惑星科学連合 2006年大会	2006年 5月16日
Iwata, T., A. Petukhin, T. Kagawa	Basin and Crustal structure model of Kinki area for strong motion prediction	International Symposium on ESG	2006年 8月30日 (予定)

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし