

3. 5 仙台圏における高精度強震動予測に関する研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

仙台圏における高精度強震動予測の実現

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	瀧澤 一起	koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp
国立大学法人東京大学大学院情報学環／地震研究所	教授	古村 孝志	furumura@eri.u-tokyo.ac.jp
国立大学法人東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵	hiroe@eri.u-tokyo.ac.jp
国立大学法人東京大学地震研究所（現：防災科学技術研究所）	特任研究員 （現：契約研究員）	木村 武志	tkimura@eri.u-tokyo.ac.jp
国立大学法人東京大学地震研究所	特任研究員	増田 徹	tmasuda@eri.u-tokyo.ac.jp

(c) 業務の目的

強震動の評価を高精度化するためには、震源における断層破壊過程等のモデル、地震波の伝播特性などを規定する震源と対象地域との間の広域的な地下構造のモデル、対象地域の表層地盤による増幅率地図が、それぞれ高い精度で構築されることが必要である。震源のモデル化に関してはパイロット的重点調査観測及び本研究サブテーマ1、2から確度の高い情報が得られるだけでなく、本サブテーマでも過去の地震のインバージョン解析を行うなど情報の高度化に努める。また、仙台平野における地下構造探査の実施や、過去の探査結果のコンパイルなどを通して地震動予測のための広域の地下構造モデルの高精度化が可能と期待される。このほか高精度の地盤増幅率地図を作製することにより、仙台圏における強震動評価の高精度化を行う。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成17年度：

なし

2) 平成18年度：

なし

3) 平成19年度：

断層破壊過程のモデル構築のために、歴史地震記象などを調査し、過去の宮城県沖地震の強震記録を収集した。そして、収集したデータを用いて震源過程等の解析を行うとともに、断層破壊の動的シミュレーションのために、プログラム開発に着手した。また、

地下構造モデルの構築のために必要な、中小地震の地震動波形記録を得るために、仙台圏の強震動総合ネットワークの整備に着手した。また、宮城県中北部で過去に行われた地下構造探査結果をコンパイルし、整備した強震動ネットワークにより得られた中小地震記録などを用いて地下構造モデルのチューニングを行った。

これらの結果を用いて、近地の強震記録の比較及び波形インバージョンによる破壊過程の推定から、1978年・2005年の宮城県沖地震について、1978年の地震では北側の1つの大きなアスペリティ（すべりの大きな領域）と南側の2つのアスペリティが破壊したのに対し、2005年の地震では、南側の2つのアスペリティのみ破壊したことを示した。

また、2005年の地震について動学的震源モデルを構築し、破損エネルギーは2つのアスペリティでそれぞれ0.5 MJ/m²、0.3 MJ/m²であることが分かった。

4) 平成20年度：

平成19年度に得られた過去の宮城県沖地震の運動学的震源モデルを基に、動的震源モデルについても検討した。また、これに必要な断層破壊の動的シミュレーションのためのプログラムの高度化を行った。また、平成19年度に構築した宮城県域の地下構造モデルを基に、更に中小地震の地震動の波形記録等を用いてモデルの高度化を行った。得られた震源・地下構造モデルを基に、地震動の数値シミュレーションを行い宮城県中北部域の強震動評価に着手した。

5) 平成21年度：

平成20年度までに構築した過去の宮城県沖地震の震源モデルと、宮城県沖地震の震源域から仙台圏に至る地下構造モデルを用いて、宮城県沖地震による仙台圏での強震動予測を行う。

震源モデルについては、過去の宮城県沖地震の震源モデルを基に、強震動予測に適切なモデルを構築する。また、宮城県沖地震の震源の動学的モデルの構築を行うために、数値シミュレーションコードの並列化を行う。地下構造モデルについては本サブテーマで平成20年度までに構築したモデルに、サブテーマ1によって構築された海域の構造モデルを統合する。以上の震源・構造モデルを用いることにより、地震被害に直結する周期帯域を含む広帯域での強震動予測を行う。

(e) 平成21年度業務目的

宮城県沖地震について、高度化された震源モデル及び三次元地下構造モデルを用いて、仙台圏及びその周辺地域において、地震被害に直結する周期帯域を含む広帯域で強震動予測を行い、地震防災に資することを目的とする。

震源モデルについては、平成20年度までに得られた過去の宮城県沖地震の運動学的震源モデルや動的震源モデルを参照して、長周期地震動及び広帯域地震動の予測に対して適切な震源モデルを構築する。また、より現実的な震源モデル構築に向けて動的シミュレーションコードの並列化を図る。

三次元地下構造モデルについては、平成20年度までに構築した地下構造モデルを基に、サブテーマ1などで得られている海域の太平洋プレートの構造モデルと本サブテーマで構築してきたモデルを統合し、自然地震の地震動観測記録を用いて1次地下構造モデルの高度化を図る。

(2) 平成 21 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 21 年度業務では、高精度な強震動予測を行うために、平成 20 年度までに構築した宮城県沖地震の震源モデル及び地下構造モデルをさらに改良し、仙台圏及びその周辺における広帯域での強震動予測を行った。

平成 20 年度までに得られた過去の宮城県沖地震の運動学的震源モデル及び動力的震源モデルに基づき、長周期地震動及び広帯域地震動の予測に適切な震源モデルを構築した。また、より現実的な震源モデル構築に向けて動的シミュレーションコードの並列化を実現した。平成 20 年度までに構築した地下構造モデルを基に、サブテーマ 1 などで得られている海域の太平洋プレートの構造モデルと本サブテーマで構築してきたものを統合し、自然地震の地震動観測記録を用いて 1 次地下構造モデルの高度化を図った。得られた震源モデルと地下構造モデルを基に、宮城県沖地震による仙台圏及び周辺地域での強震動予測を行った。予測された強震動分布は、地震基盤の深い領域では長周期成分の振幅が大きく、堆積層の厚い領域では短周期成分の振幅が大きくなっている。また、予測される震度分布は、1978 年宮城県沖地震におけるアンケート震度の分布を再現するものとなっている。これらの特徴は、本研究で用いた震源特性や 1 次地下構造の特性を反映したものである。

宮城県沖地震の強震動予測にあたって、震源モデル及び地下構造モデルを高度化したことにより、地震被害に関連した広い帯域において従来より高精度な強震動分布が得られた。

(b) 業務の実施方法

1) 震源モデルの構築

仙台圏及びその周辺地域において、地震被害に直結する周期帯域を含む広帯域で強震動予測を行うために、過去の宮城県沖地震の運動学的震源モデル及び動力的震源モデルを基に長周期地震動及び短周期地震動の両者に対して適切な震源モデル構築した。平成 20 年度までの業務では、1978 年宮城県沖地震 (Mw 7.6) 及び 2005 年宮城県沖の地震 (Mw 7.2) について、Wu et al. (2008)¹⁾ の逆解析による震源モデルを基に、運動学的震源モデルと動力的震源モデル(木村・他、2009、Kimura et al.、2010)^{2)、3)} を検討した。Wu et al. (2008) の逆解析による 1978 年宮城県沖地震の震源モデルについて、図 1(a)、(b) の断面図に震源断層位置、図 1(c) に断層すべり変位量の分布を示す。また、2005 年宮城県沖の地震の震源モデルについて、図 2(a)、(b) の断面図に震源断層位置、図 2(c) に断層すべり変位量の分布を示す。Kimura et al. (2010)³⁾ による動力的震源モデルを図 3(a)、(b) 及び(c) に示す。これらの成果を基に、長周期地震動及び広帯域地震動の予測に適切な特性化震源モデルを構築した。また、より現実的な震源モデル構築に向けて、宮城県沖地震の動力的シミュレーションのための有限要素法の計算コードの開発・メッシュ生成・並列化を実現した(図 4、図 5)。

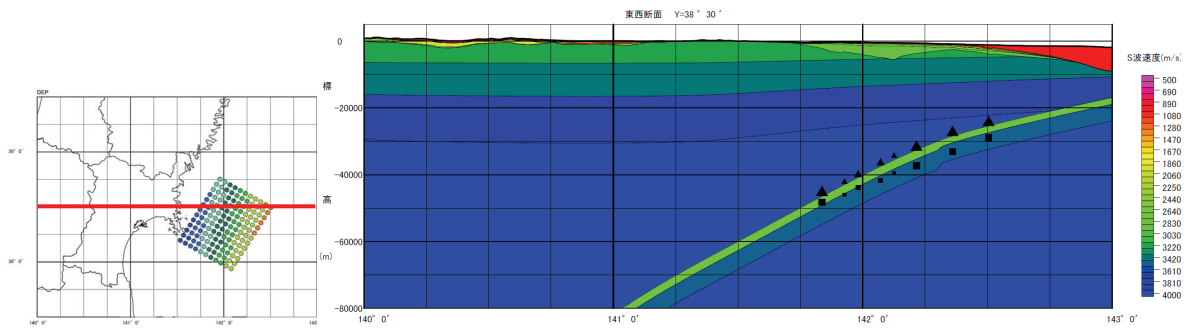


図 1(a) 1978 年宮城県沖地震の震源断層位置（北緯 38 度 30 分の断面）。
 ■は逆解析モデル（Wu et al., 2008）¹⁾、▲はプレートモデル。

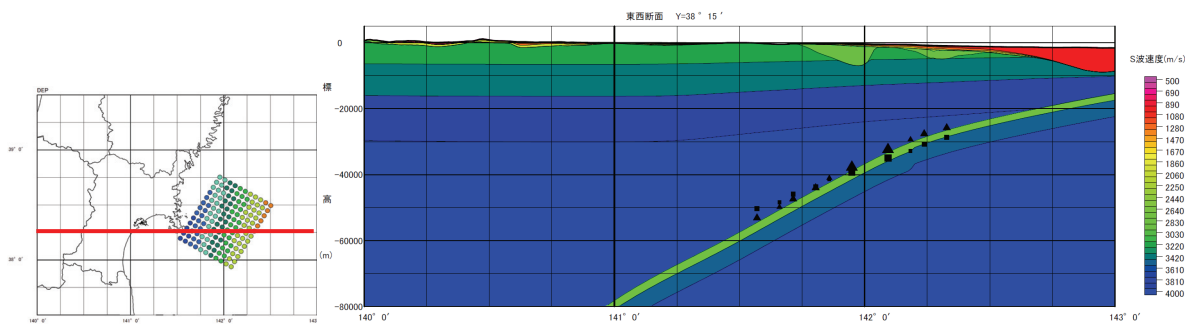


図 1(b) 1978 年宮城県沖地震の震源断層位置（北緯 38 度 15 分の断面）。
 ■は逆解析モデル（Wu et al., 2008）¹⁾、▲はプレートモデル。

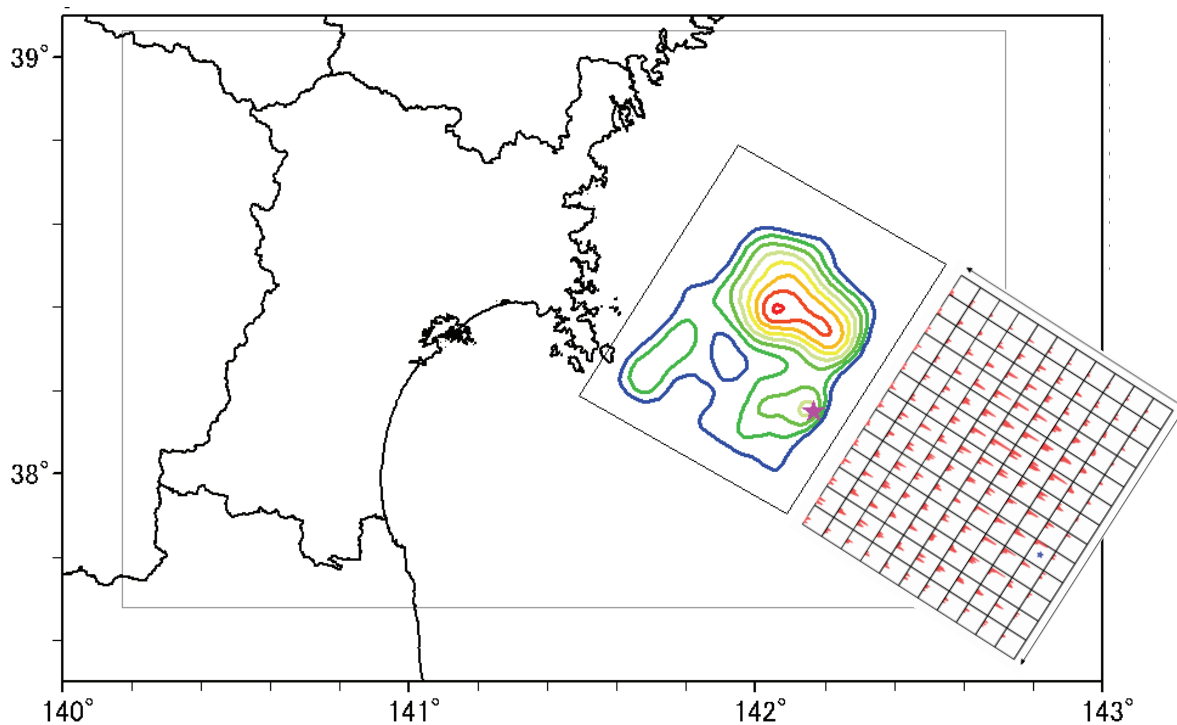


図 1(c) 1978 年宮城県沖地震の震源モデル（Wu et al., 2008）¹⁾。
 コンターはすべり変位量。★は破壊開始点。

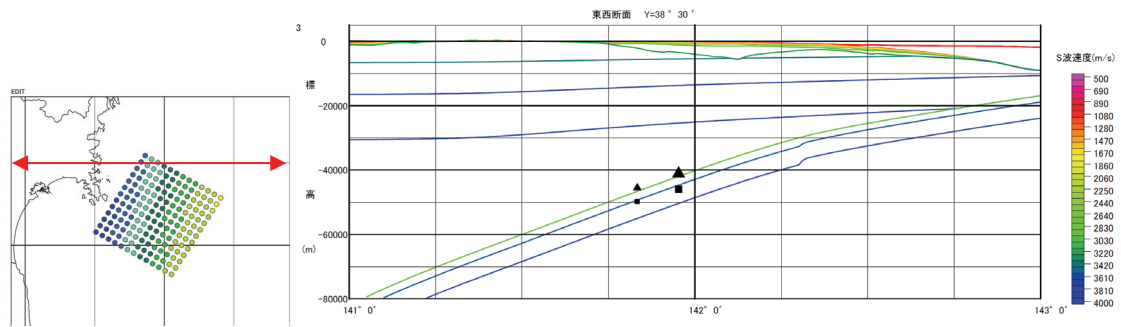


図 2(a) 2005 年宮城県沖の地震の震源断層位置 (北緯 38 度 30 分の断面)。
 ■は逆解析モデル (Wu et al., 2008)¹⁾、▲はプレートモデル。

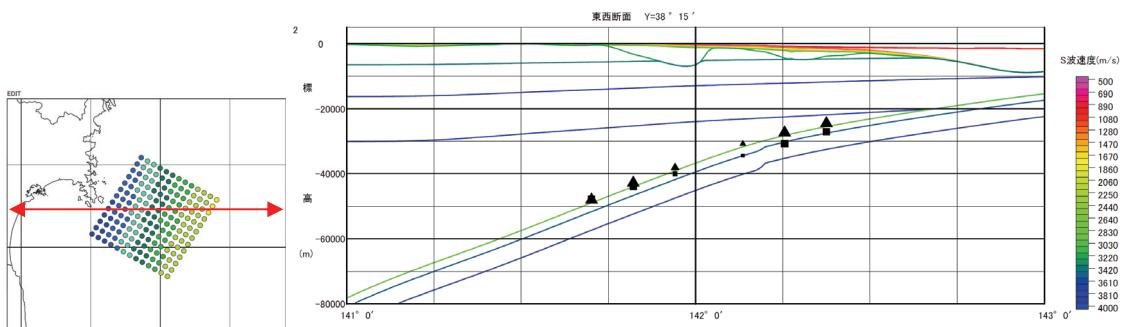


図 2(b) 2005 年宮城県沖の地震の震源断層位置 (北緯 38 度 15 分の断面)。
 ■は逆解析モデル (Wu et al., 2008)¹⁾、▲はプレートモデル。

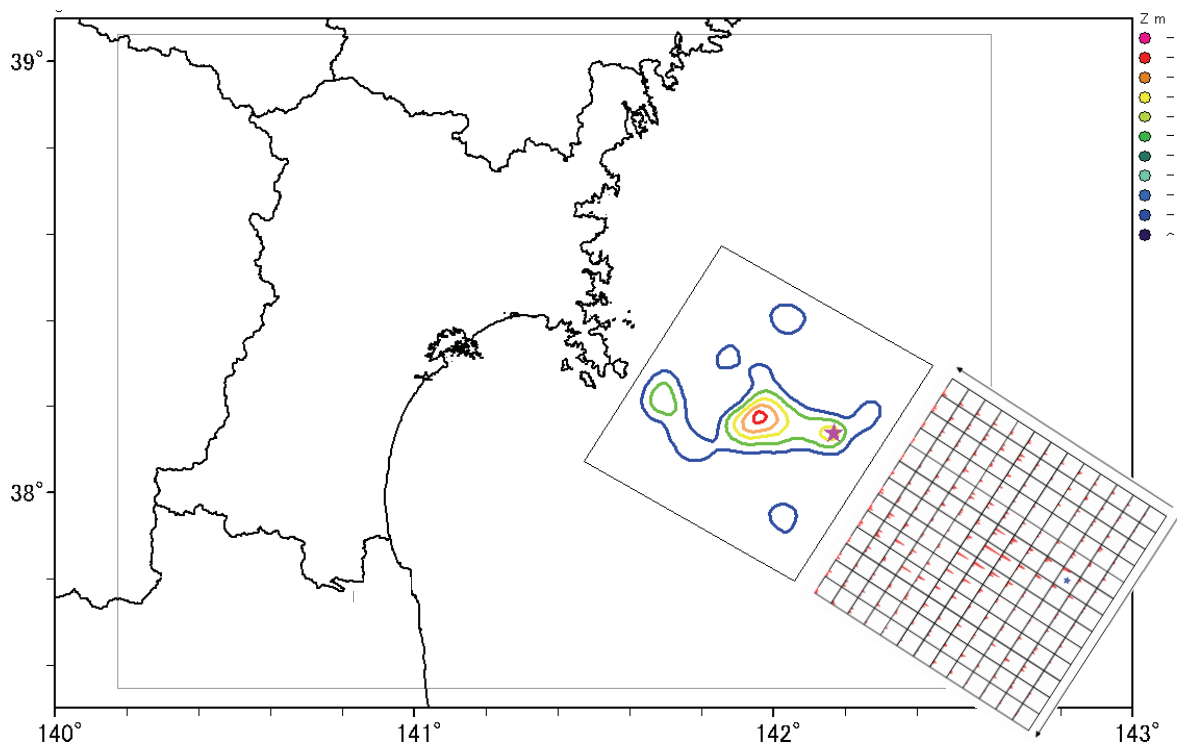


図 2(c) 2005 年宮城県沖の地震の震源モデル (Wu et al., 2008)¹⁾。
 コンターはすべり変位量。★は破壊開始点。

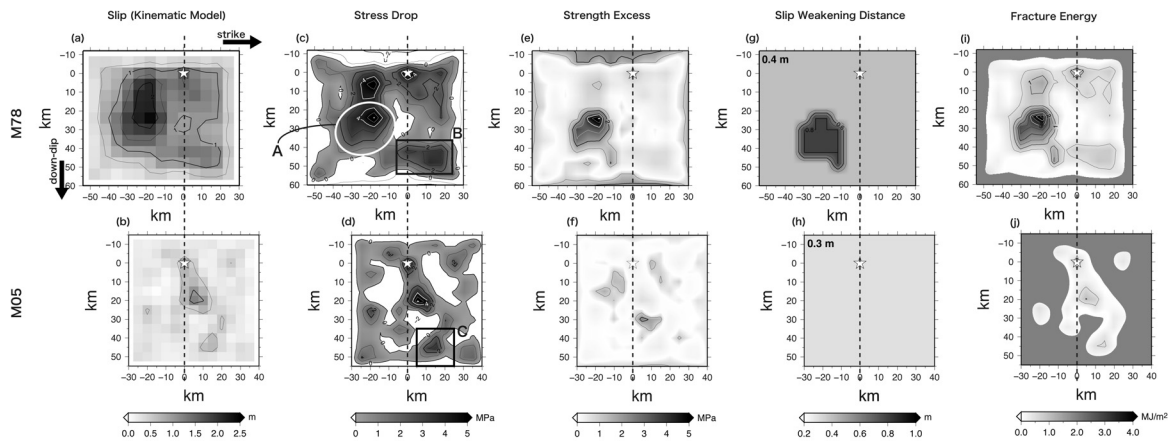


図 3(a) 宮城県沖地震の動学的震源モデルの構築 (Kimura et al., 2010)³⁾。上段は 1978 年宮城県沖地震、下段は 2005 年宮城県沖の地震。★は破壊開始点。

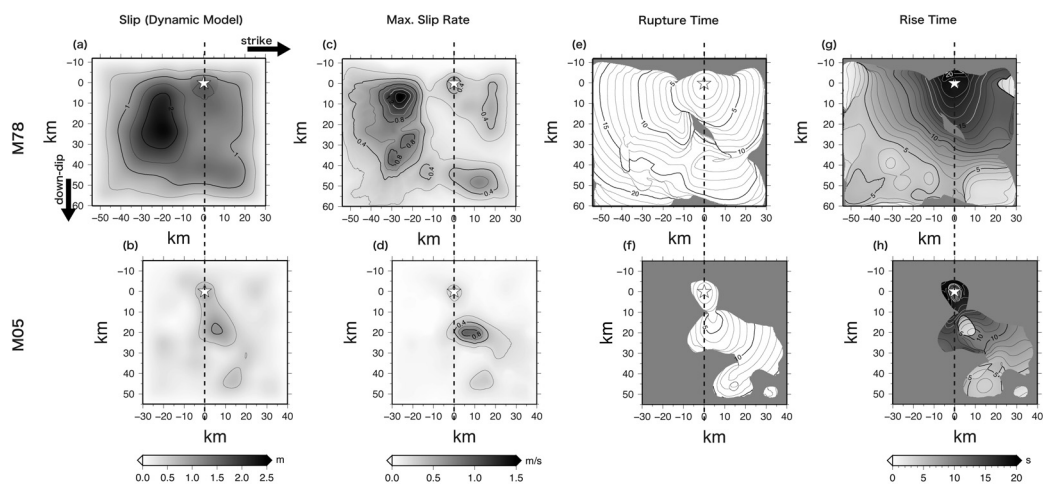


図 3(b) 宮城沖地震の動学的震源モデルの構築 (Kimura et al., 2010)³⁾。上段は 1978 年宮城県沖地震、下段は 2005 年宮城県沖の地震。★は破壊開始点。

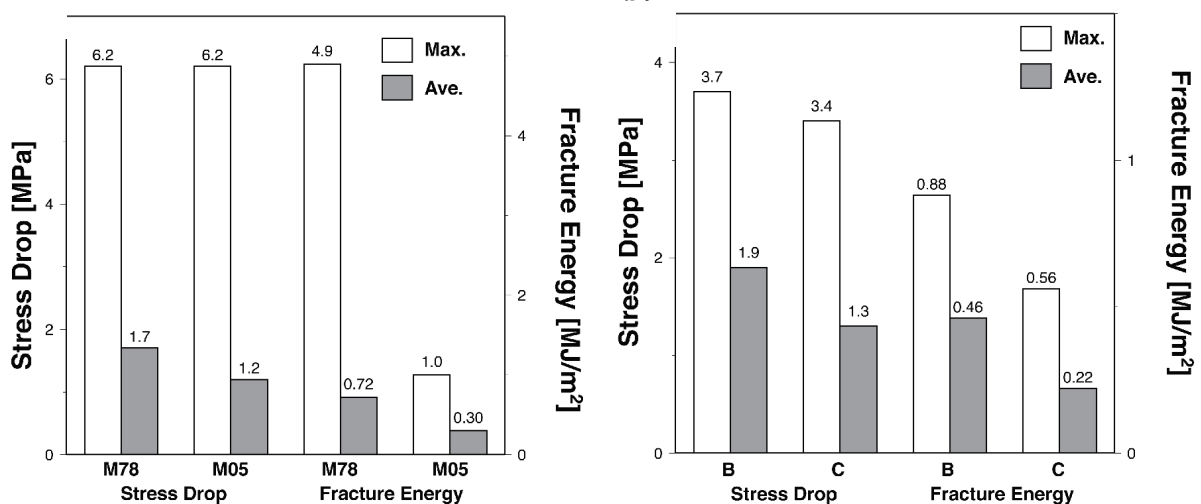


図 3(c) 宮城県沖地震の応力降下量と破壊エネルギー (Kimura et al., 2010)³⁾。1978 年宮城県沖地震と 2005 年宮城県沖の地震の比較。左は震源断層全体、右はアスペリティ。

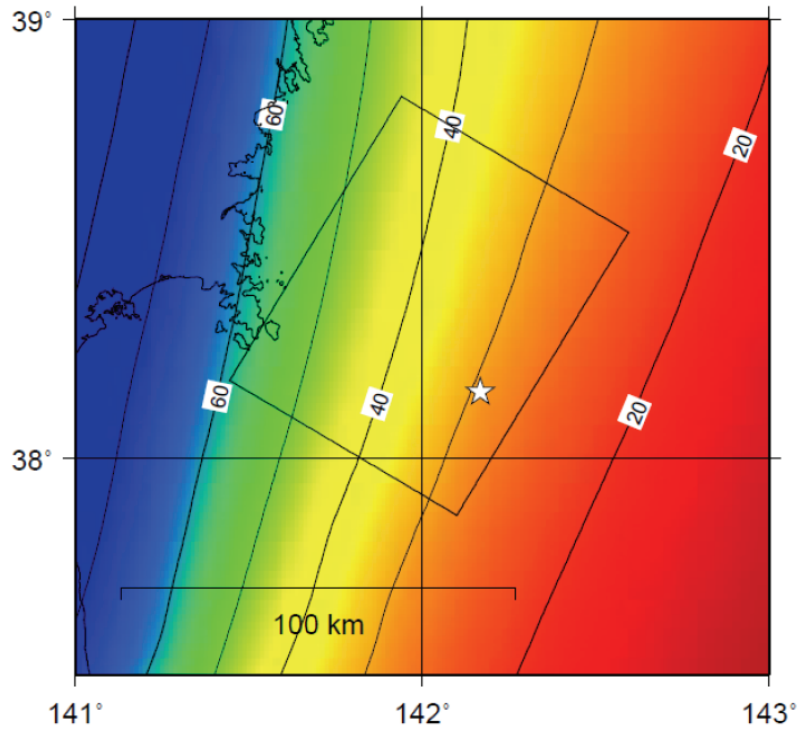


図4 動的シミュレーションのための宮城県沖地震のモデル化領域（黒線）と1978年宮城県沖地震の破壊開始点（星印）。太平洋プレートの深度（黒線で単位は km）は馬場・他（2006）⁴⁾に基づく。

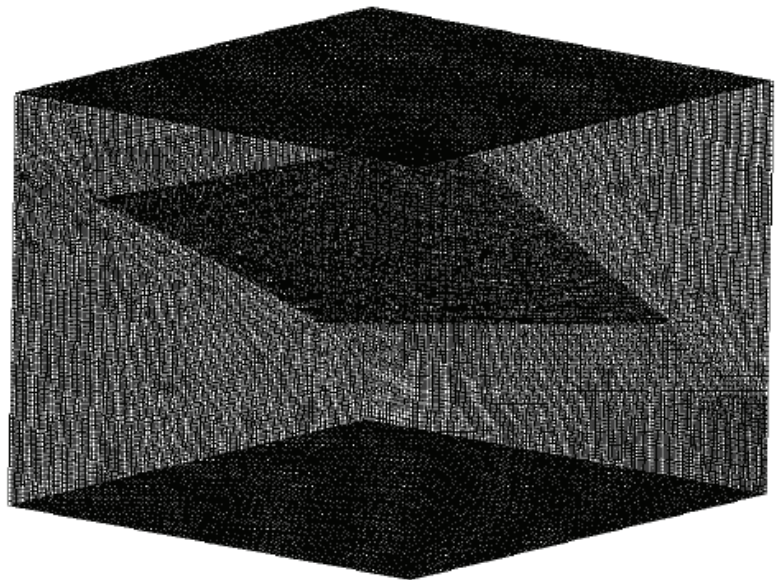
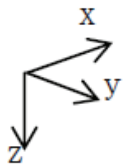


図5 生成された宮城県沖地震の有限要素法による動的シミュレーション用のメッシュ。x方向に134 km、y方向に122 km、z方向に95 kmの領域を約200 mの格子に分割している。色の濃い部分は、断層面上の二重接点を示す。

2) 地下構造モデルの構築

仙台圏及びその周辺地域を含む広域で、長周期地震動及び広帯域地震動を高精度で予測するために、地下構造モデルの構築・高度化を行った。地下構造のモデル化にあたっては、Koketsu et al. (2009) ⁵⁾による標準的なモデル化手法を用いた。この標準的なモデル化手法では、探査データ、ボーリング柱状図等に基づく0次モデル、R/Vスペクトル比等により修正された0.5次モデル、地震波観測記録の再現計算等により調整された1次モデルへと高度化される。0次モデル及び0.5次モデルの構築は、探査データ、ボーリングデータあるいは地震観測点の位置での一次元的モデル化であり、1次モデルの構築は、地震波伝播経路を含む面的なモデル化である。

既存の物理探査データに基づいて、地震基盤より浅い部分の0次地下構造モデルを構築するために、宮城県地下構造調査(宮城県、2005) ⁶⁾による反射法探査データ、ボーリング柱状図、及び地質断面図、女川原子力発電所変更許可申請書(1987) ⁷⁾による反射法探査データ、石油公団 ^{8) ~16)}による反射法探査データを収集整理した。図6(a)、図6(b)にこれらの物理探査及び調査の実施位置、図7にボーリング柱状図を示す。図8に想定地質断面図を示す。速度層区分及び各速度層のP波速度及びS波速度は、宮城県(2005) ⁶⁾及び高井・他(1995) ¹⁷⁾を参考にしてモデル化した。反射法探査データの解析結果、ボーリング柱状図、及び地質断面図から、それぞれの地点での各速度層の境界面深さが得られ、それらを補間することにより0次地下構造が三次元的にモデル化された。

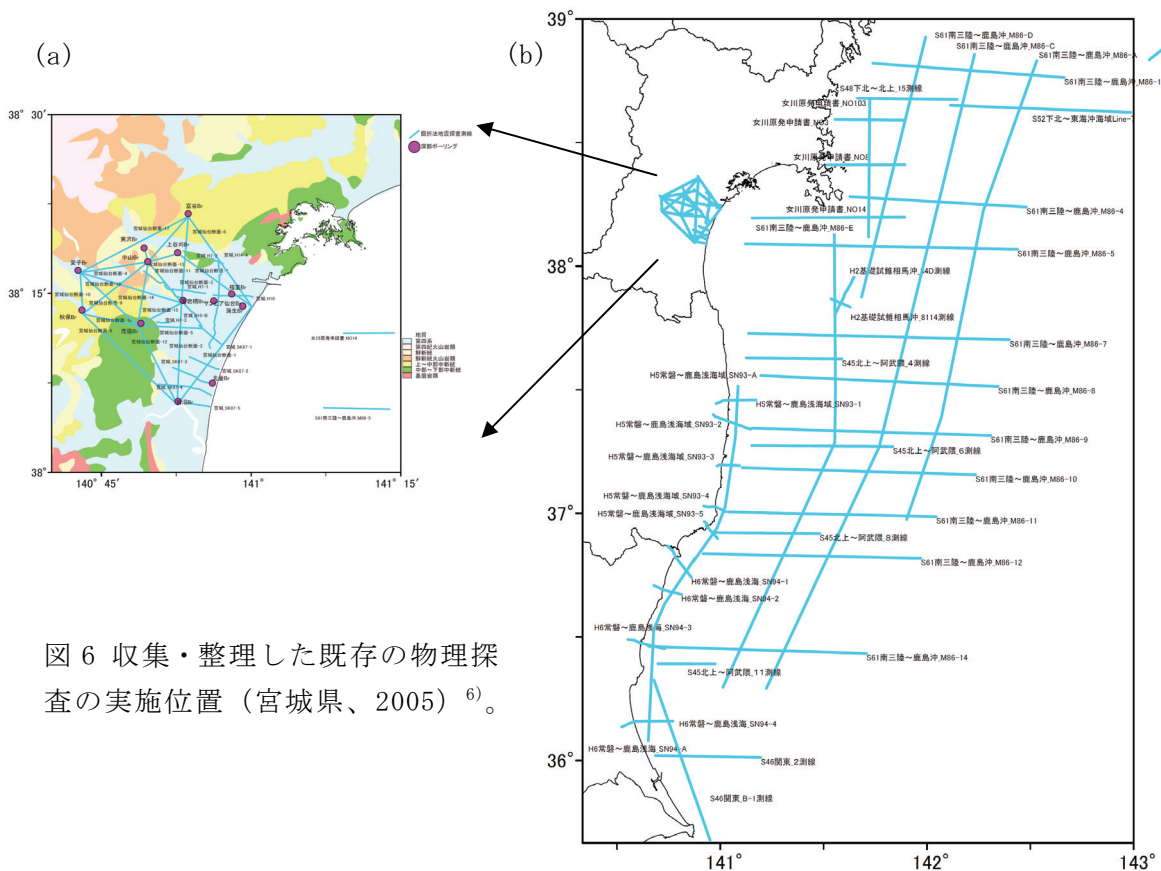


図6 収集・整理した既存の物理探査の実施位置(宮城県、2005) ⁶⁾。

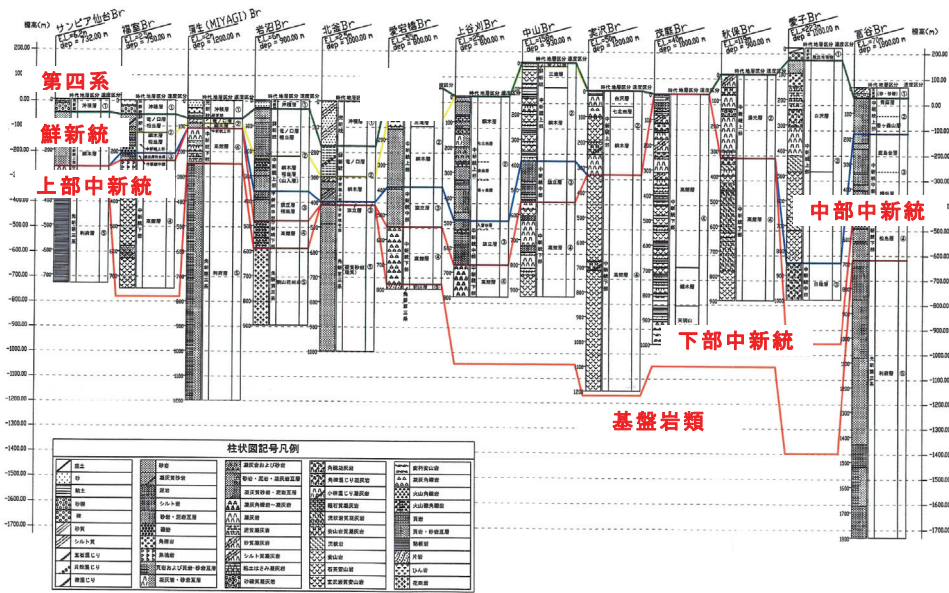


図7 収集・整理した既存のボーリング柱状図（宮城県、2005）⁶⁾。

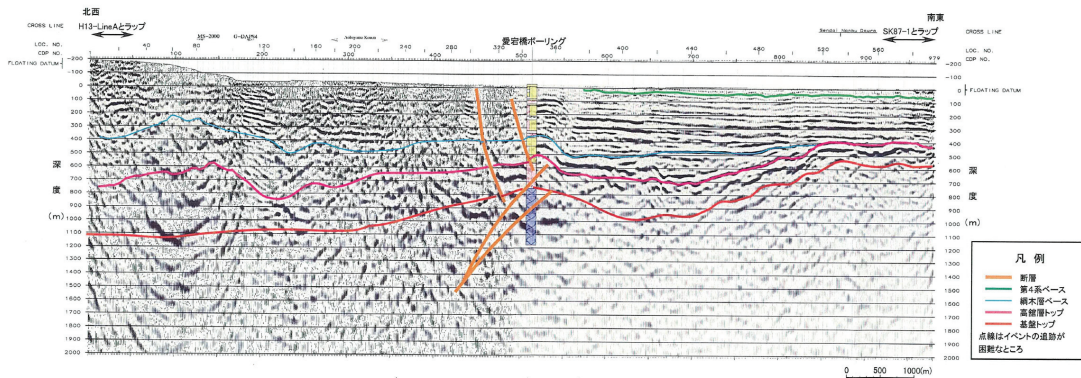


図8 地質断面図（宮城県、2005）⁶⁾。

0次地下構造モデルを修正して0.5次地下構造モデルを得るために、地震動のR/Vスペクトル比のピーク周期を用いて地震基盤以浅のS波速度構造モデルの修正を行った。R/Vスペクトル解析には、防災科学技術研究所K-NET、KiK-net、気象庁観測網の仙台圏周辺の観測点及び宮城県震度計で観測されたM6以上の地震の地震波記録を用いた。R/Vスペクトル比は、読み取ったS波初動から20秒後以降の160秒間の地震波観測記録のラジアル成分と上下動成分のフーリエスペクトルのそれぞれに、幅0.05HzのParzen Windowを施して求めた。得られたR/Vスペクトル比からそのピーク周期を読み取った。図9に解析に用いた地震の震央位置、図10に各観測点のR/Vスペクトルピーク周期を示す。図11(a)～(d)に、宮城県内のK-NET、KiK-net観測点、宮城県震度計観測点、及び気象庁観測点で求められたR/Vスペクトル比及びそのピーク周期をそれぞれ示す。各観測点直下の地下構造は、モデルから計算されるH/Vスペクトル比のピーク周期が観測されたR/Vスペクトル比のピーク周期と一致するように層厚が調整された。

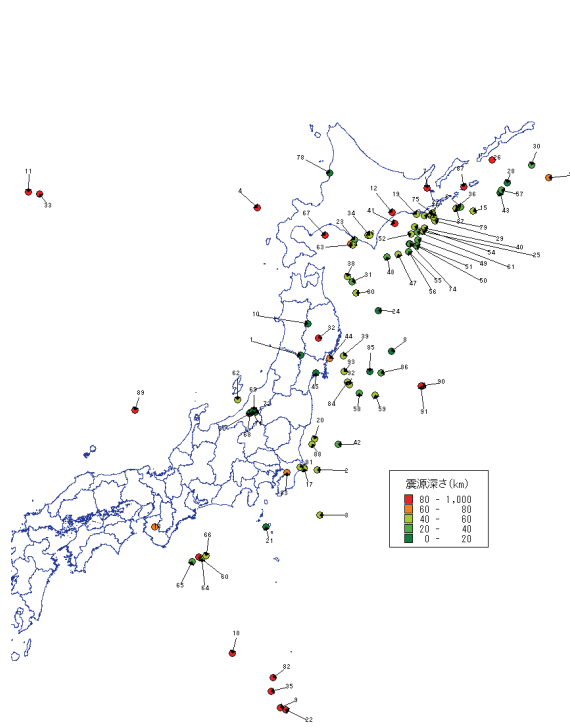


図 9 R/V スペクトル比の解析に用いた地震の震央位置。

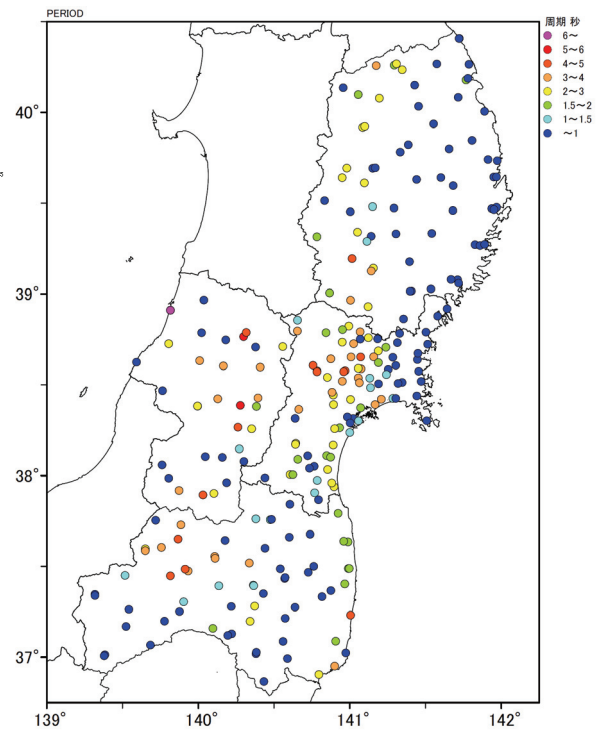


図 10 R/V スペクトル比の解析から得られたピーク周期の分布。

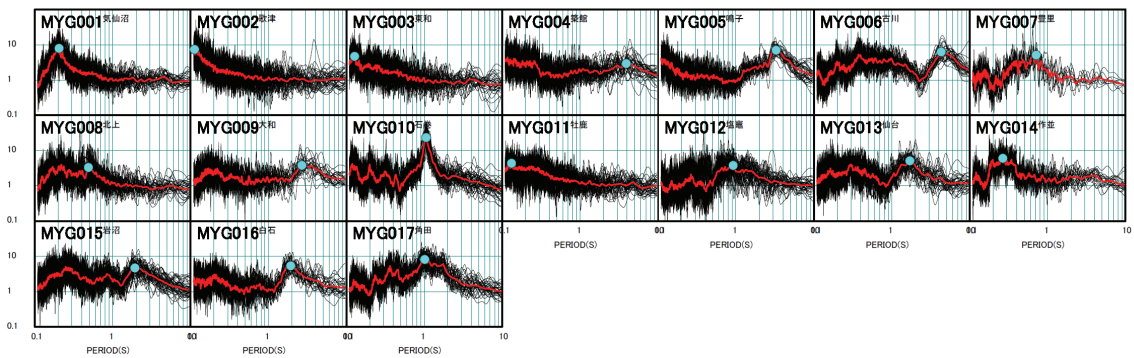


図 11(a) 宮城県内 K-NET 観測点の R/V スペクトル比とピーク周期。
黒線は各地震のスペクトル比、赤線は平均、●はピーク周期。

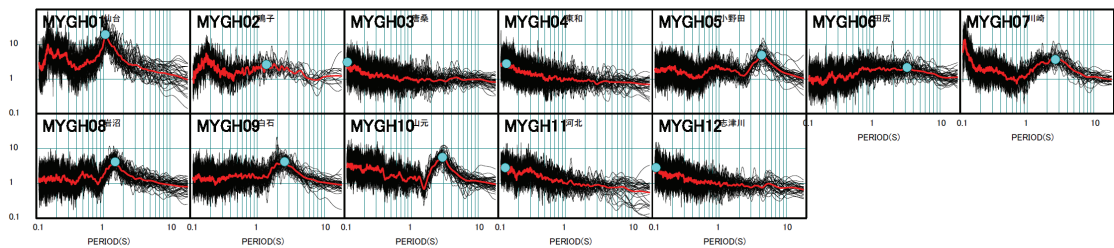


図 11(b) 宮城県内 KiK-net 観測点の R/V スペクトル比とピーク周期。
黒線は各地震のスペクトル比、赤線は平均、●はピーク周期。

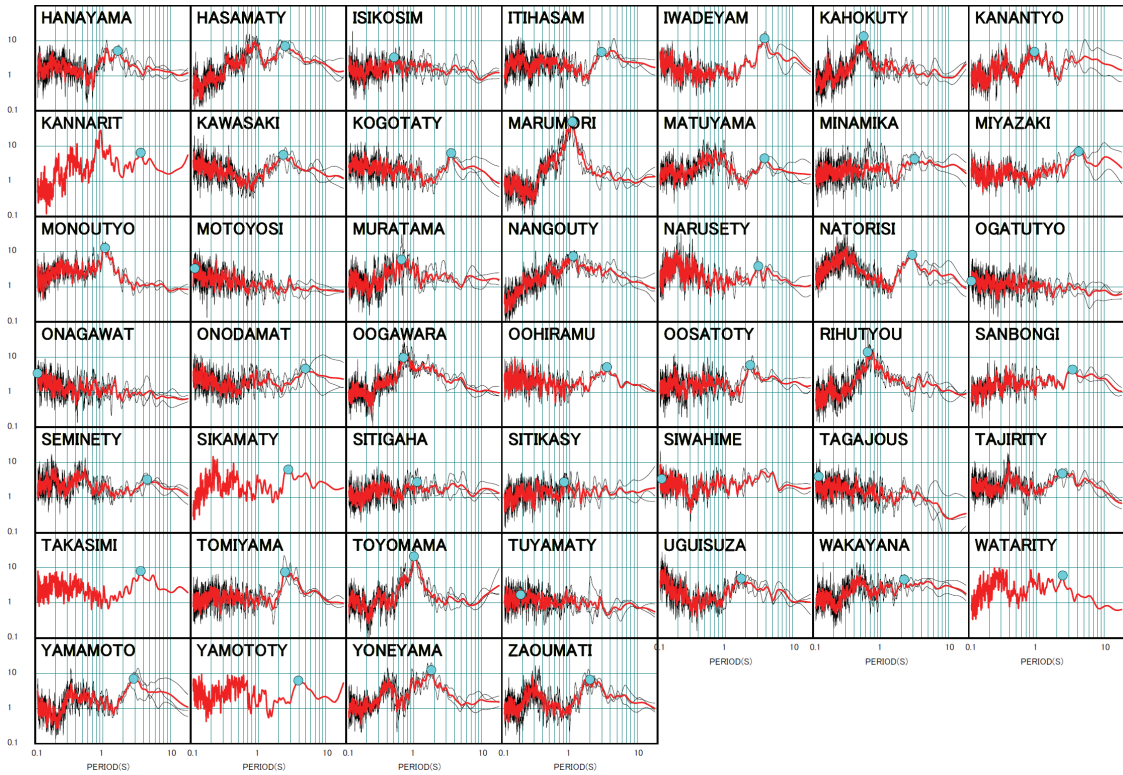


図 11(c) 宮城県震度計観測点の R/V スペクトル比とピーク周期。
 黒線は各地震のスペクトル比、赤線は平均、●はピーク周期。

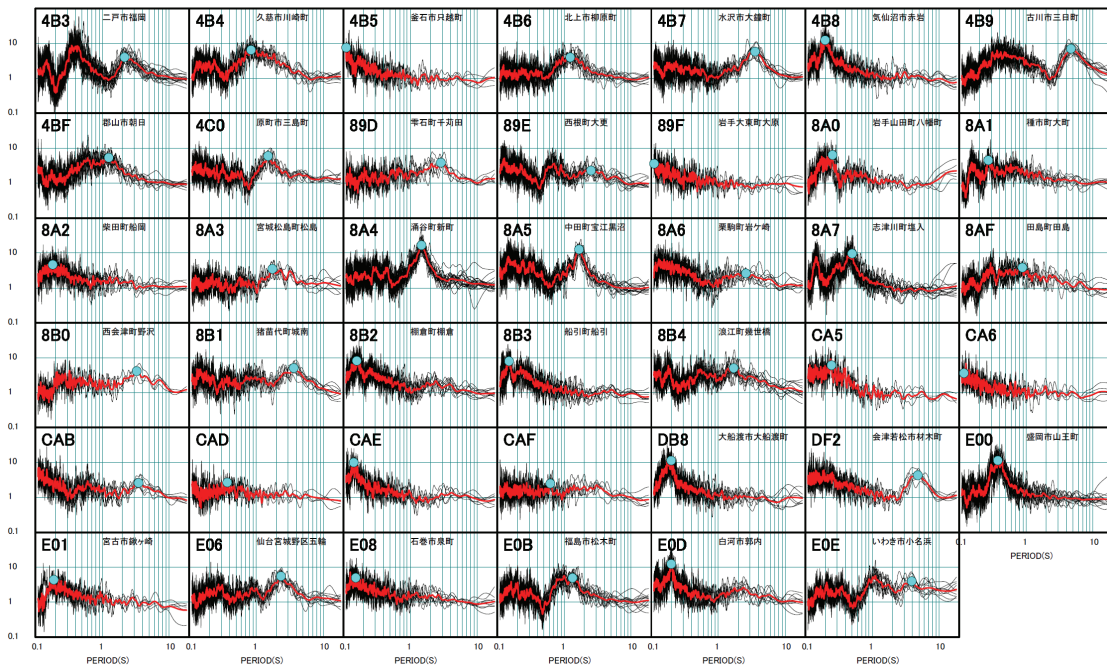


図 11(d) 気象庁観測点の R/V スペクトル比とピーク周期。
 黒線は各地震のスペクトル比、赤線は平均、●はピーク周期。

地震基盤より深い部分の地下構造は、P波及びS波の見かけ速度により調整した。宮城県沖地震の震源から K-NET、KiK-net の各観測点へ至る地震波は、上部マントル最上部、下部地殻、及び上部地殻を伝播する。Yamada and Iwata(2005)¹⁸⁾を参考に、三次元レイトレーシング法を用いて地下構造モデルから計算される走時により得られるP波及びS波の見かけ速度が、観測記録から読み取られた走時により得られる見かけ速度と一致するように、上部マントル最上部、及び上部・下部地殻におけるP波及びS波速度を調整した。走時解析に用いた地震は、1999年11月15日10時34分に発生した宮城県沖の地震(Mw5.6)である。走時データは、K-NET及びKiK-netの観測点を用いた。

観測記録のR/Vスペクトル比、あるいはP波及びS波の見かけ速度により修正された地下構造モデルは、中小地震の観測記録の差分法による再現計算により調整された。再現計算の対象とした地震は、1999年11月15日に宮城県沖の深さ46kmで発生したMw5.6の地震、2004年1月23日に福島県沖の深さ66kmで発生したMw5.3の地震である。表1にこれら地震の諸元を示す。また、表2には差分法計算の諸条件を示す。地下構造モデルの調整は、計算されたS波後続波の速度振幅及びスペクトル振幅が観測値と一致するように各層の厚さを変更することにより行った。また、観測点間の層境界深さの調整には、重力ブーゲ異常データ(地質調査総合センター、2004¹⁹⁾)を利用した。

表1 再現計算の対象とした地震の緒元。

	発震時刻震央	経度	緯度	深さ	走向	傾斜	すべり角	M ₀ (F-net)	ライズタイム
Eq4 Mw 5.6	1999/11/15 10:34:35 宮城県沖	142.428°	38.320°	46km 地震年報	4° 194°	57° 18°	81° 105°	2.89Nm ×10 ¹⁷	1s
Eq3 Mw 5.3	2004/01/23 18:01:31 福島県沖	141.127°	37.262°	66km (気象庁HP)	204°	67°	91°	1.01Nm ×10 ¹⁷	1s

表2 再現計算に用いた差分法の諸条件。

格子配置	応力-速度スタッガードグリッド Virieux(1986) ²⁰⁾
計算精度	時間2次 空間4次 Levander(1988) ²¹⁾
震源の導入	モーメントテンソルを等価な体積力として表現 する方法 Graves(1996) ²²⁾
吸収境界条件	Cerjan(1985) ²³⁾ による。厚さ20格子
粘弾性条件	メモリバリアブルによる Robertsson(1994) ²⁴⁾ 基準周期4秒

このようにして構築・修正された地下構造モデルは、さらに、2005年宮城県沖の地震(Mw 7.2)、及び1978年宮城県沖地震(Mw 7.6)の観測記録の再現計算により調整され、強震動予測に用いられた。

3) 長周期地震動予測

得られた震源モデルと地下構造モデルを基に、1978年宮城県沖地震及び2005年宮城県沖の地震に対する長周期地震動予測(地震調査研究推進本部地震調査委員会、2009)²⁵⁾を行った。1978年宮城県沖地震の震源モデルについては、前イベント震源モデルとそれを基にした特性化震源モデル(地震調査研究推進本部地震調査委員会、2009)²⁶⁾を用いた。2005年宮城県沖の地震については、前イベント震源モデルを用いた。

4) 広帯域強震動予測

長周期から短周期にわたる広帯域の強震動予測を適切に行うために、長周期地震動予測地図で用いられた特性化震源モデルを広帯域地震動予測に適するように改良した。改良した震源モデルを用いて、統計的グリーン関数法により短周期強震動の予測を行った。差分法による長周期地震動の予測時系列と統計的グリーン関数法による短周期地震動の予測時系列を用いて、ハイブリッド合成法により広帯域地震動の時系列を得た。

(c) 業務の成果

1) 震源モデルの構築

近年の震源過程についての研究により、すべり変位量の大きなアスペリティ領域が震源断層内において占める位置は、ほぼ同一の震源域で繰り返し発生する地震で変化がないことが指摘されている(Yamanaka and Kikuchi、2004)²⁷⁾。近い将来に発生懸念される宮城県沖地震に対して、防災の観点から強震動を予測する際に用いる震源として、Wu et al. (2008)¹⁾による1978年宮城県沖地震のインバージョン結果を基に、特性化震源モデルを構築した。図12にWu et al. (2008)¹⁾による前イベント震源モデルのすべり変位量分布と特性化震源モデルのアスペリティ位置を示す。表3(a)には特性化震源モデルの巨視的パラメータを、表3(b)には微視的パラメータを示す。この特性化震源は長周期地震動予測に用いられた。

広帯域地震動予測のための震源モデルについては、長周期地震動の予測に用いられた特性化震源モデルを基に、短周期地震動を適切に励起するように改良した。図13(a)に長周期地震動予測に用いた特性化震源モデル、図13(b)に短周期震源として改良した特性化震源モデルのアスペリティ配置を示す。表4に短周期震源として改良したモデルのパラメータを示す。

長周期地震動予測に用いた断層モデルでは、アスペリティの占める面積は震源断層全体の20%、アスペリティにおけるすべり変位量は震源断層全体における平均値の2.2倍としているが、短周期地震動予測のために改良された震源モデルではそれぞれ11%、3.6倍となっている。

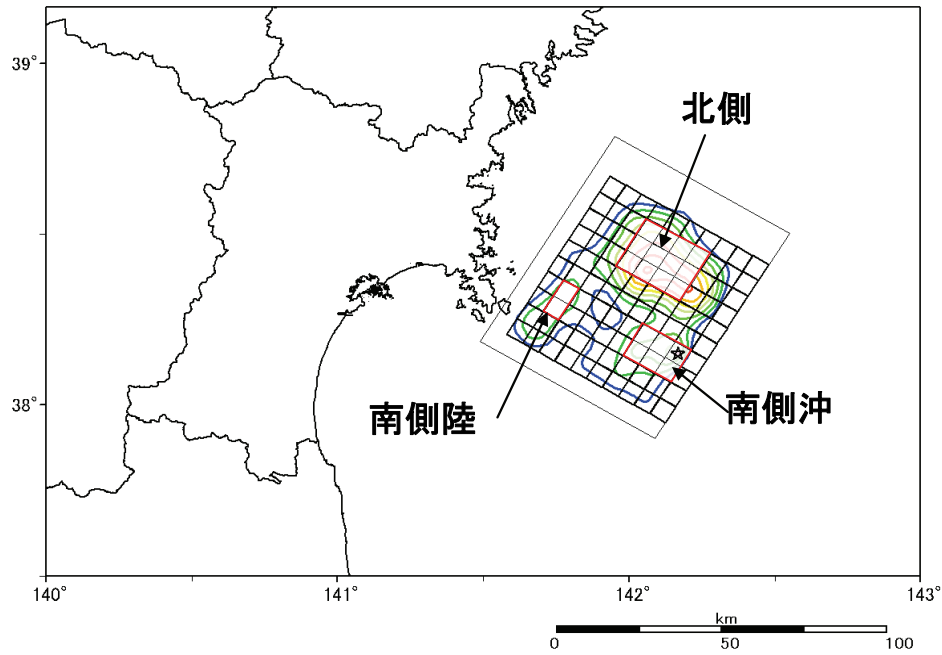


図 12 1978 年宮城県沖地震の特性化震源モデル。
 コンターは Wu et al. (2008) ¹⁾によるすべり変位量分布。
 すべり変位量の大きい震源断層の北側、南側沖合い、及び
 南陸側の 3 箇所領域をアスペリティとしている。

表 3(a) 1978 年宮城県沖地震の特性化震源モデルの巨視的パラメータ。

	本報告	地震本部(2005)	中防 (2005)
巨視的断層パラメータ			
破壊開始点 東経	142.167		
破壊開始点 北緯	38.150		
破壊開始点 深さ (km)	30		
走向 (degree)	211		
傾斜 (degree)	22		
すべり角 (degree)	90		
断層面積 S (km ²)	3600	2266	3663
静的応力降下量 σ_c (MPa)	3.12	7.0	4.0
地震モーメント M_0 (Nm)	2.77E+20 (固定)	3.1E+20	3.64E+20
モーメントマグニチュード	7.6	7.6	7.6
剛性率 μ (N/m ²)	6.37E+10	4.70E+10	4.63E+10
平均すべり量 D (m)	1.21	2.9	2.14

表 3(b) 1978 年宮城県沖地震の特性化震源モデルの微視的パラメータ。

	本報告	地震本部(2005)	中防 (2005)
微視的断層パラメータ			
全アスペリティの面積 S_a (km ²)	720 (= 0.20 S)	192 (= 0.08 S)	710 (= 0.20 S)
平均すべり量 D_a (m)	2.42 (= 2.2 D)	5.9	4.29 (= 2.0 D)
地震モーメント M_{0a} (Nm)	1.11E+20	5.2E+19	1.41E+20
応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	15.6(= $\Delta\sigma_c * S/S_a$)	平均 55 (Asp1 = 29) (Asp2 = 73)	18.2 (クラック) (個々は 29.5)
ライズタイム T_a (s)	2.81 (北側), 1.88 (南側沖), 0.938 (南側陸)		
アスペリティの個数	3	2	3
背景領域の面積 S_b (km ²)	2880	2074	2953
地震モーメント M_{0b} (Nm)	1.66E+20	2.6E+20	2.23E+20
平均すべり量 D_b (m)	0.905	2.7	1.63
実行応力 σ_b (MPa)	3.12(=0.2* $\Delta\sigma_a$)	6.8	3.4 (クラック)
ライズタイム T_b (s)	9.38		
f_{max} (Hz)	6	6	
震源時間関数	中村・宮武 (2000)	中村・宮武 (2000)	
その他の断層パラメータ			
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	
破壊伝播速度 V_r (km/s)	3.2	3.0	

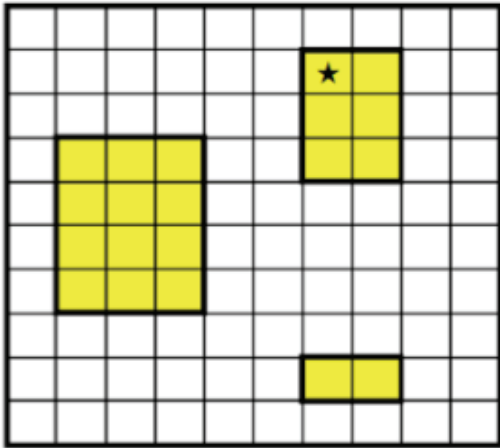


図 13(a) 長周期地震動予測に用いた特性化震源モデル。
図の横軸右に向かって断層の走向方向、縦軸下に向かって傾斜方向。
★は破壊開始点。

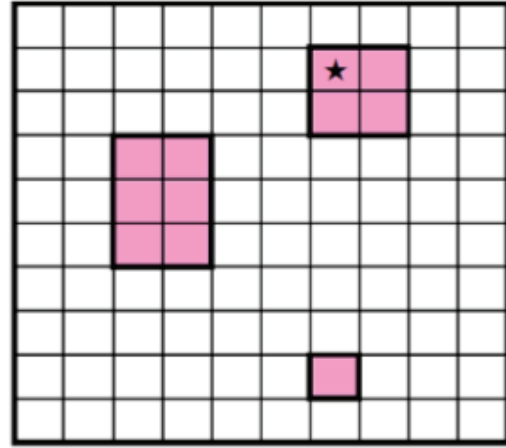


図 13(b) 短周期震源として改良された特性化震源モデル。
図の横軸右に向かって断層の走向方向、縦軸下に向かって傾斜方向。
★は破壊開始点。

表 4 宮城県沖地震の短周期震源モデルのパラメータ。

巨視的断層パラメータ		微視的断層パラメータ	
破壊開始点東経	142.167	強震動生成域総面積 S_a	396 (= 0.11 S) km ²
破壊開始点北緯	38.150	強震動生成域の面積	144, 216, 36 km ²
破壊開始点深さ	プレート上面 より 1 km 浅	平均すべり量	4.40 (= 3.6 D) m
		地震モーメント	1.11E+20 Nm
走向	211 度を投影	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	28.4 (= $\Delta\sigma_c * S / S_a$)
傾斜	22 度を投影	ライズタイム	1.88, 1.88, 0.938
すべり角	90 度	個数	3 個
断層面積 S	3600 km ²	背景領域面積	3204 km ²
応力降下量 $\Delta\sigma_c$	3.12 MPa	地震モーメント	1.66E+20 Nm
地震モーメント	2.77E+20 Nm	平均すべり量	0.813 m
M_w	7.6	実効応力	3.12 (= 0.11 $\Delta\sigma_a$)
剛性率	6.37E+10 N/m ²	ライズタイム	9.38 s
平均すべり量 D	1.21 m	f_{max}	6 Hz
その他の断層パラメータ		震源時間関数	中村・宮武 (2000)
破壊様式	同心円状	破壊伝播速度	3.2 km/s

また、より現実的な震源モデル構築に向けて、動力的シミュレーションコードの並列化を実現した。

2) 地下構造モデルの構築

収集した物理探査データ、ボーリングデータ及び地質断面図を整理し、平面的に補間して0次地下構造モデルを構築した。0次地下構造モデルにおける各層の上面深さの分布を図14(a)～(f)に示す。

次に、自然地震の観測記録から得られたR/Vスペクトル比のピーク周期と、0次地下構造モデルから計算されるH/Vスペクトル比のピーク周期が一致するように、地震基盤より浅い各層の厚さを修正し、0.5次地下構造モデルを構築した。モデルから計算されるピーク周期が観測値より小さい場合は、各層の厚さの比を保持したまま厚さを増加し(図15(a))、計算値が観測値より大きい場合は層厚を減少した(図15(b))。各層の速度は修正後も同一とした。

層厚を調整された地下構造モデルを用いて、表1に示された地震に対して速度波形の再現計算を行い、S波及び後続波の計算速度振幅と観測速度振幅を比較した。再現計算は差分法を用いた。差分法の諸条件は表2に示されている。S波及び後続波の計算速度振幅が過大評価あるいは過小評価となっている場合は、速度振幅及びスペクトル振幅が観測値と一致するように各層の厚さを変更することにより調整した。地下構造モデルを用いて計算されたH/Vスペクトル比のピーク周期が観測R/Vスペクトル比のピーク周期と一致していても、計算される波形の速度振幅が観測された速度振幅より小さい場合は、ピーク周期を変化させずに振幅が増幅されるように表層の層厚のみを増加した(図

15(c))。

地震基盤より深い上部地殻、下部地殻、上部マントル最上部のP波及びS波速度については、1999年11月15日に宮城県沖の深さ46kmにおいて発生したMw 5.6の地震を用いて、地下構造モデルから三次元レイトレーシング法で計算される走時による見かけ速度が、観測記録から読み取られたP波及びS波走時による見かけ速度と一致するように修正した。0次モデルにおける値に対して、P波速度は96%、S波速度は97%とした。図16(a)にP波について計算と観測見かけ速度との比較、図16(b)にS波についての比較を示す。

上述のように修正した地下構造モデルは、2005年宮城県沖の地震の再現計算による速度波形を観測記録と比較することによりさらに微調整を行った。観測点間の層境界深さの調整には、重力ブーグ異常データを利用した。図17に、各層の層厚の調整によるH/Vスペクトル比及び速度波形の変化の様子を示す。図18(a)及び18(b)に1次地下構造モデルと0.5次地下構造モデルを用いた場合の計算波形と観測波形との比較を示す。

以上の調整により、強震動予測のための1次地下構造モデルが構築された。図19(a)～(f)に1次地下構造モデルにおける地震基盤までの各層の上面深さの分布を、図20(a)～(f)に1次地下構造モデルと0次地下構造モデルとの差を示す。図21(a)～(f)に地殻及びマントルの上面深さ分布を示す。1次地下構造モデルを用いて、1978年宮城県沖地震の再現計算を実施した。図22(a)～(d)に結果を示す。

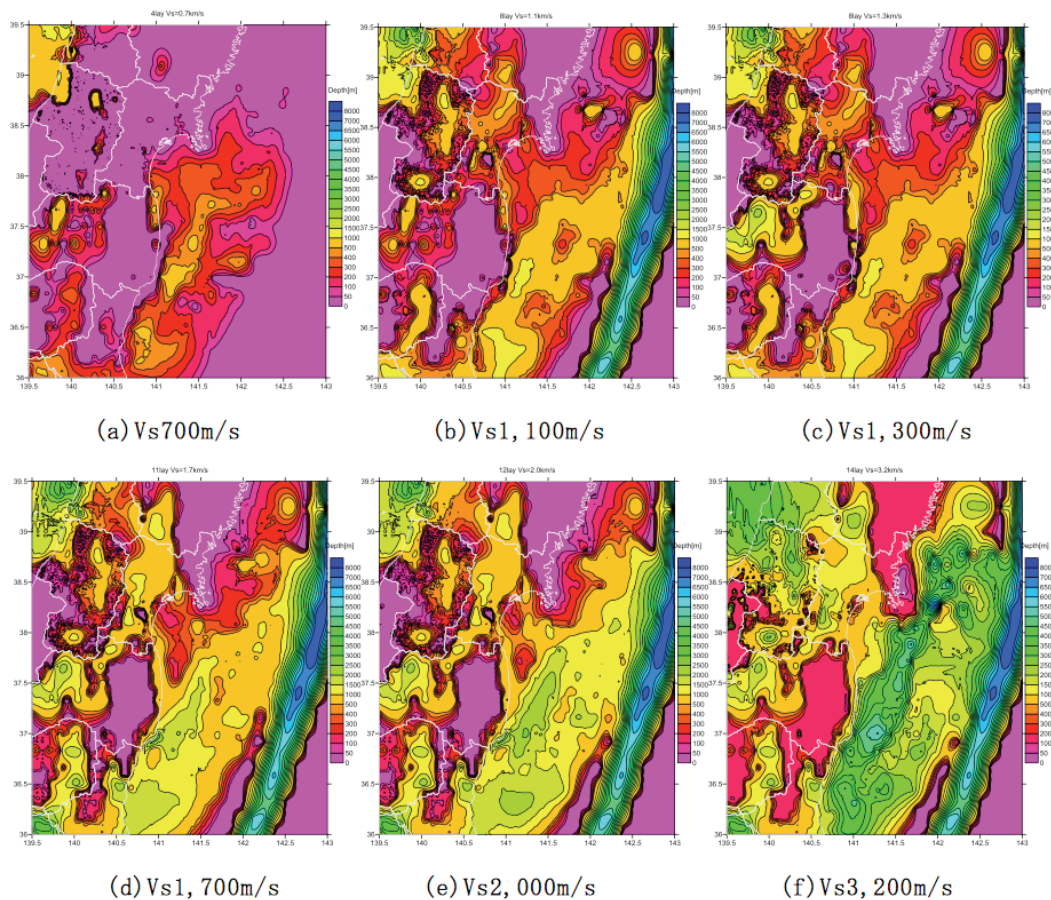


図14 探査データから構築した0次地下構造モデル。

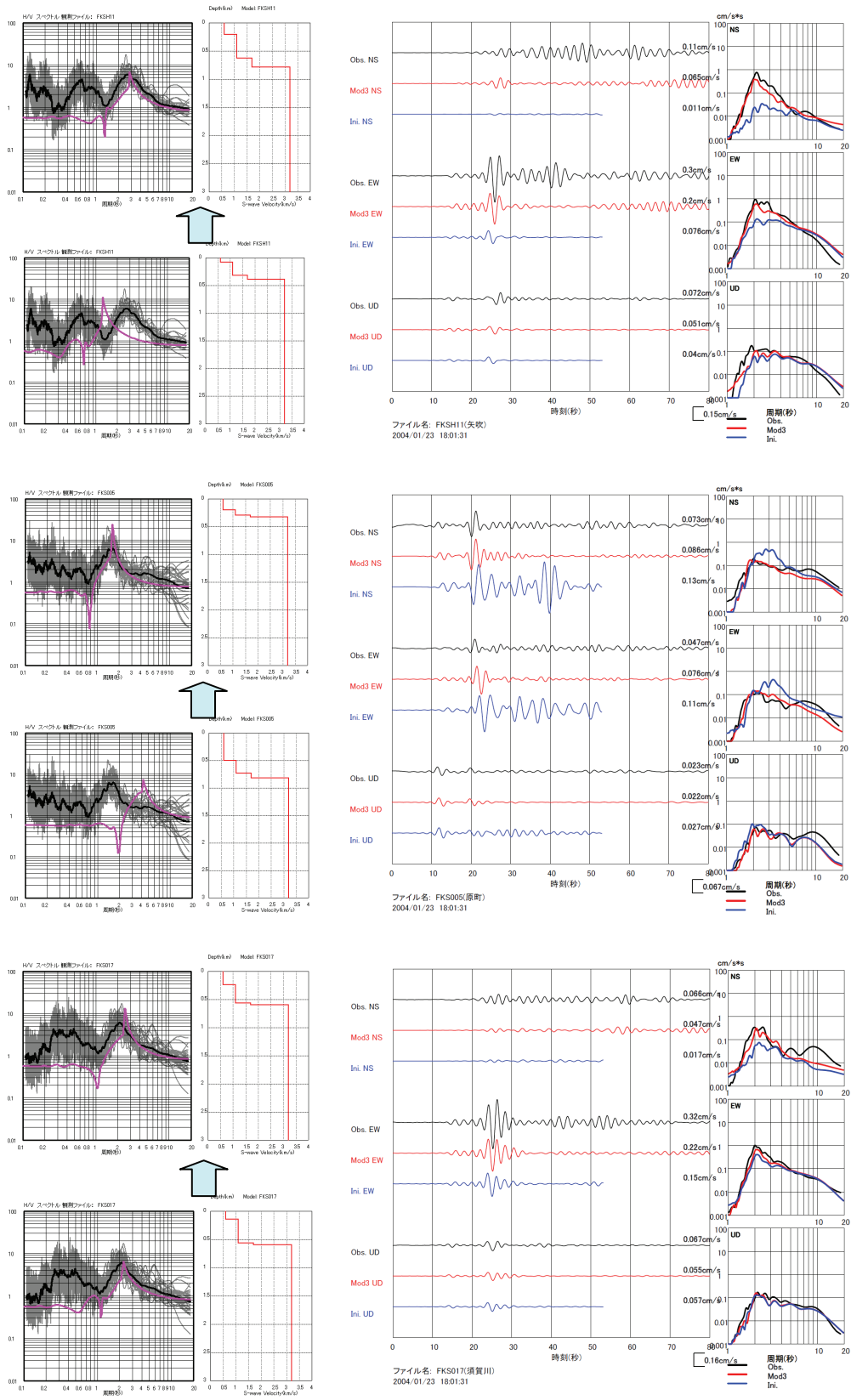


図 15 R/V スペクトル比による 0 次地下構造モデルの修正。
 上段は (a) 層厚を増加、中断は (b) 層厚を減少、下段は (c) 表層の層厚のみ増加。

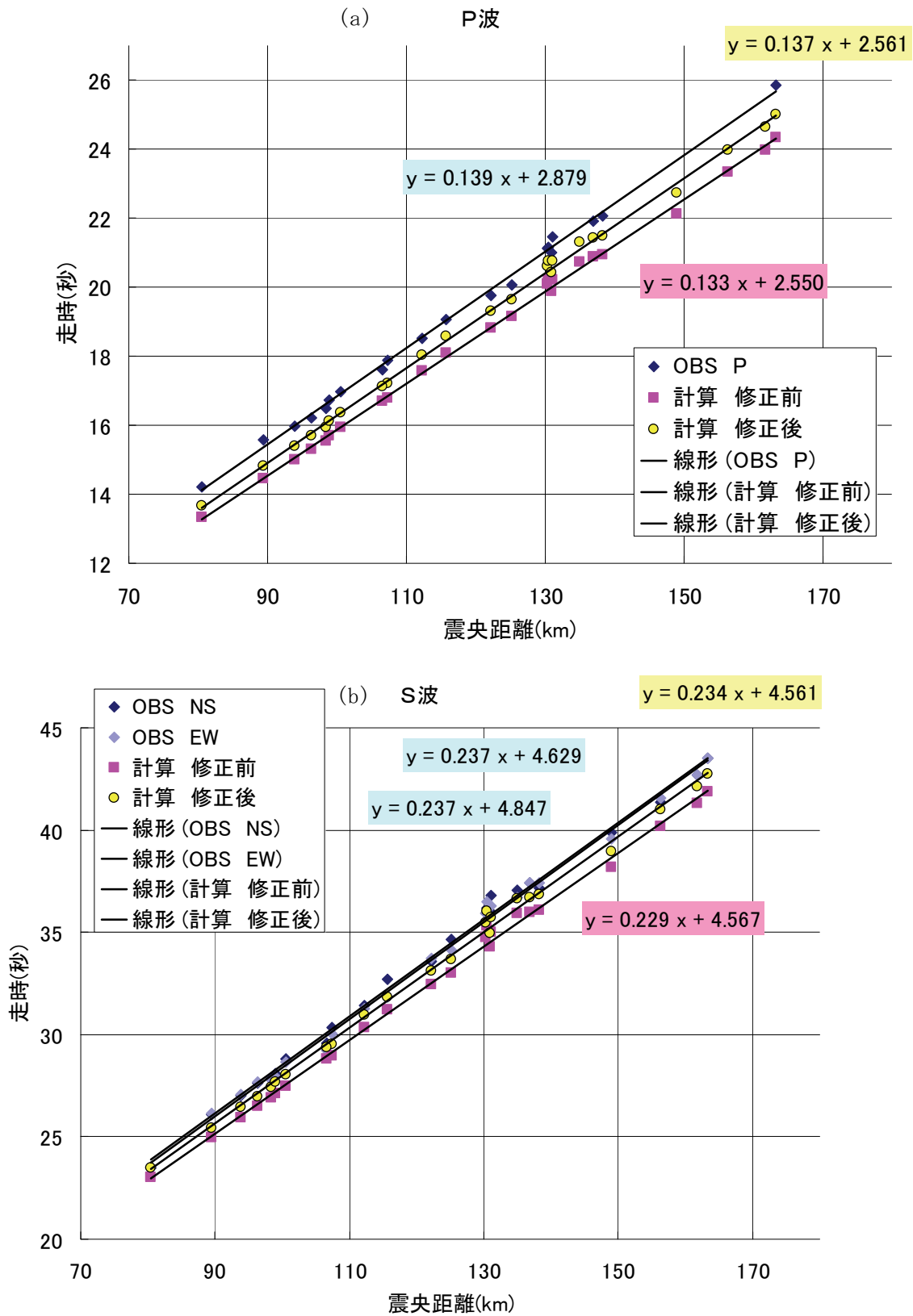


図 16 見かけ速度を用いた地下構造モデルの修正。
 (a) P波についての結果。(b) S波についての結果。

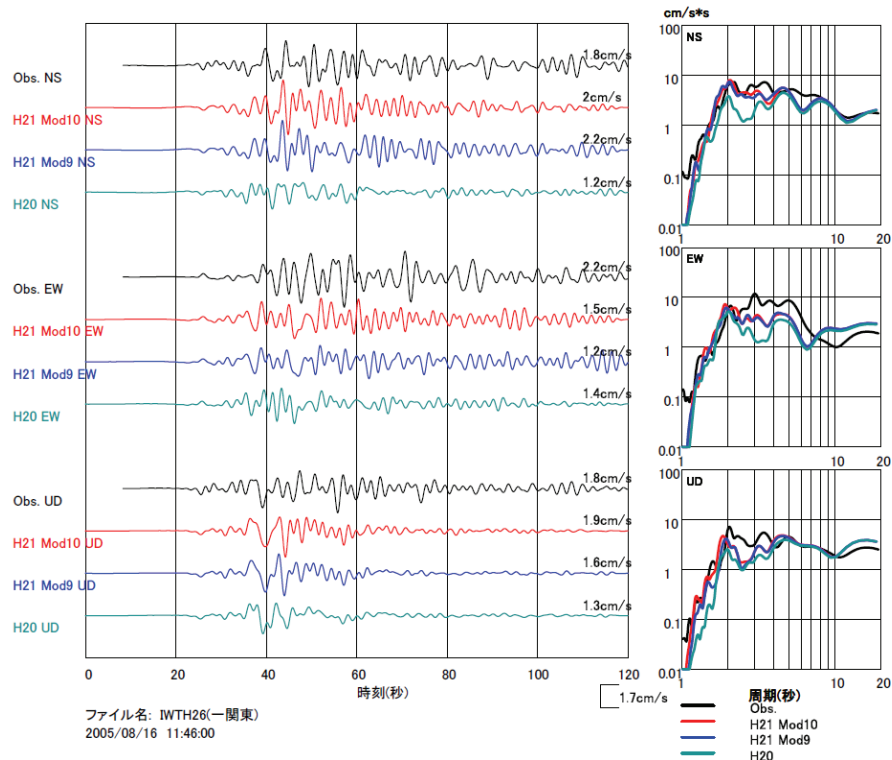
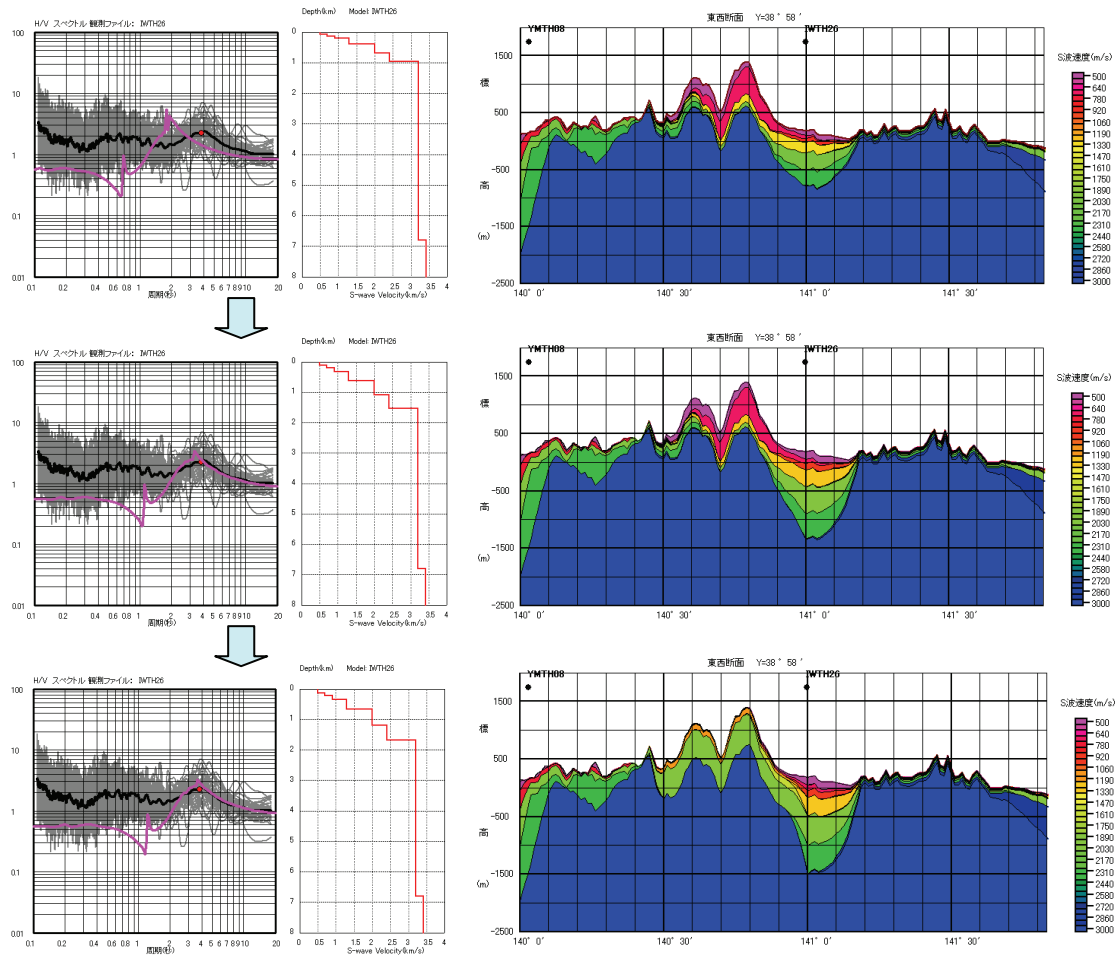


図 17 波形再現計算による地下構造モデルの微修正。

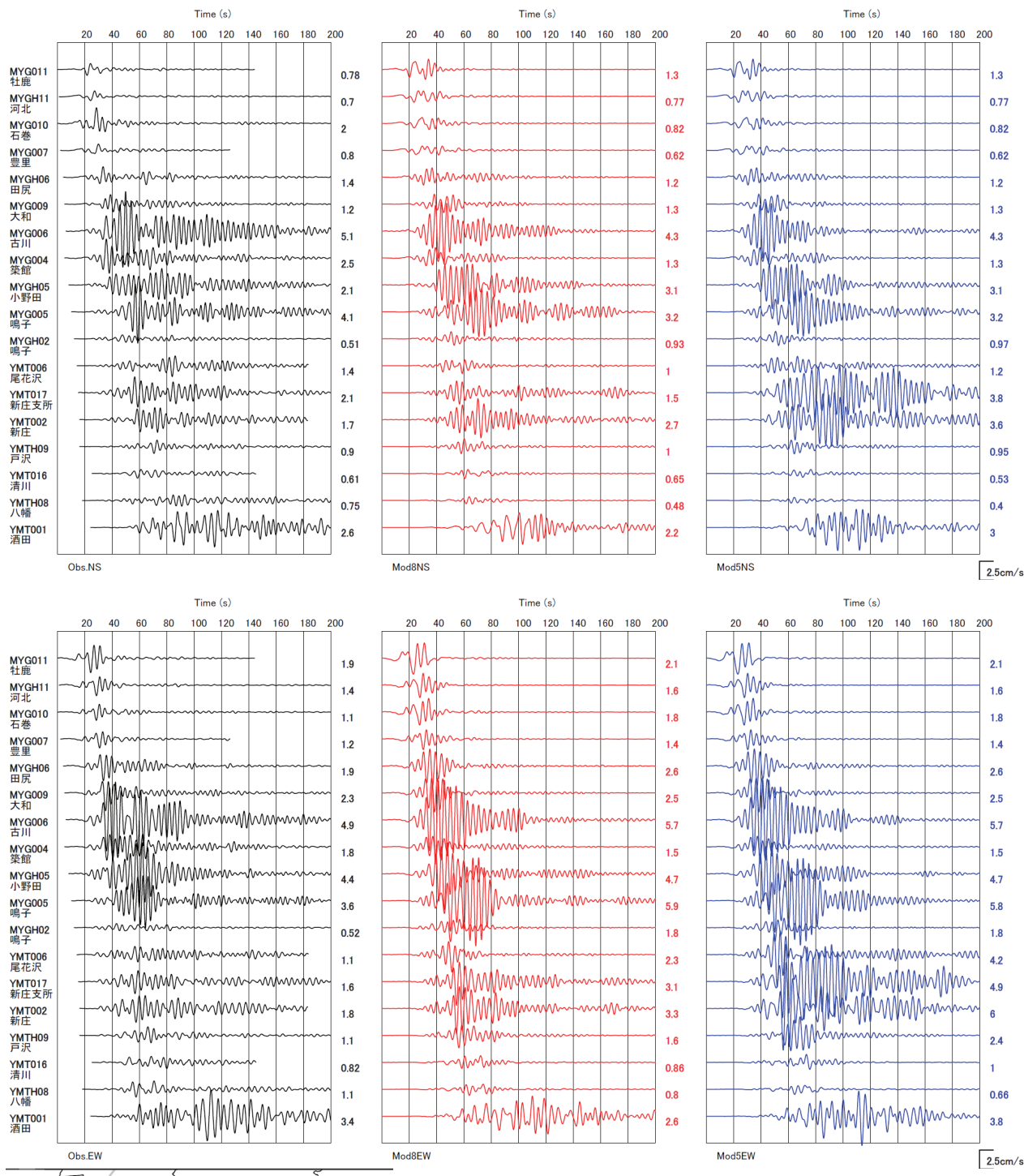


図 18(a) 1次地下構造モデル、0.5次地下構造モデルを用いて計算された速度波形と観測波形との比較。左列は観測波形、中列は1次モデル、右列は0.5次モデル。上段は南北成分、下段は東西成分。

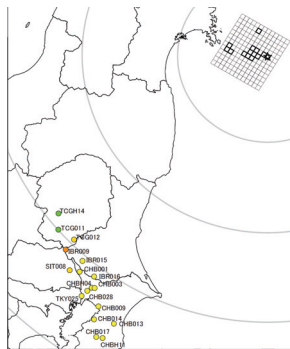
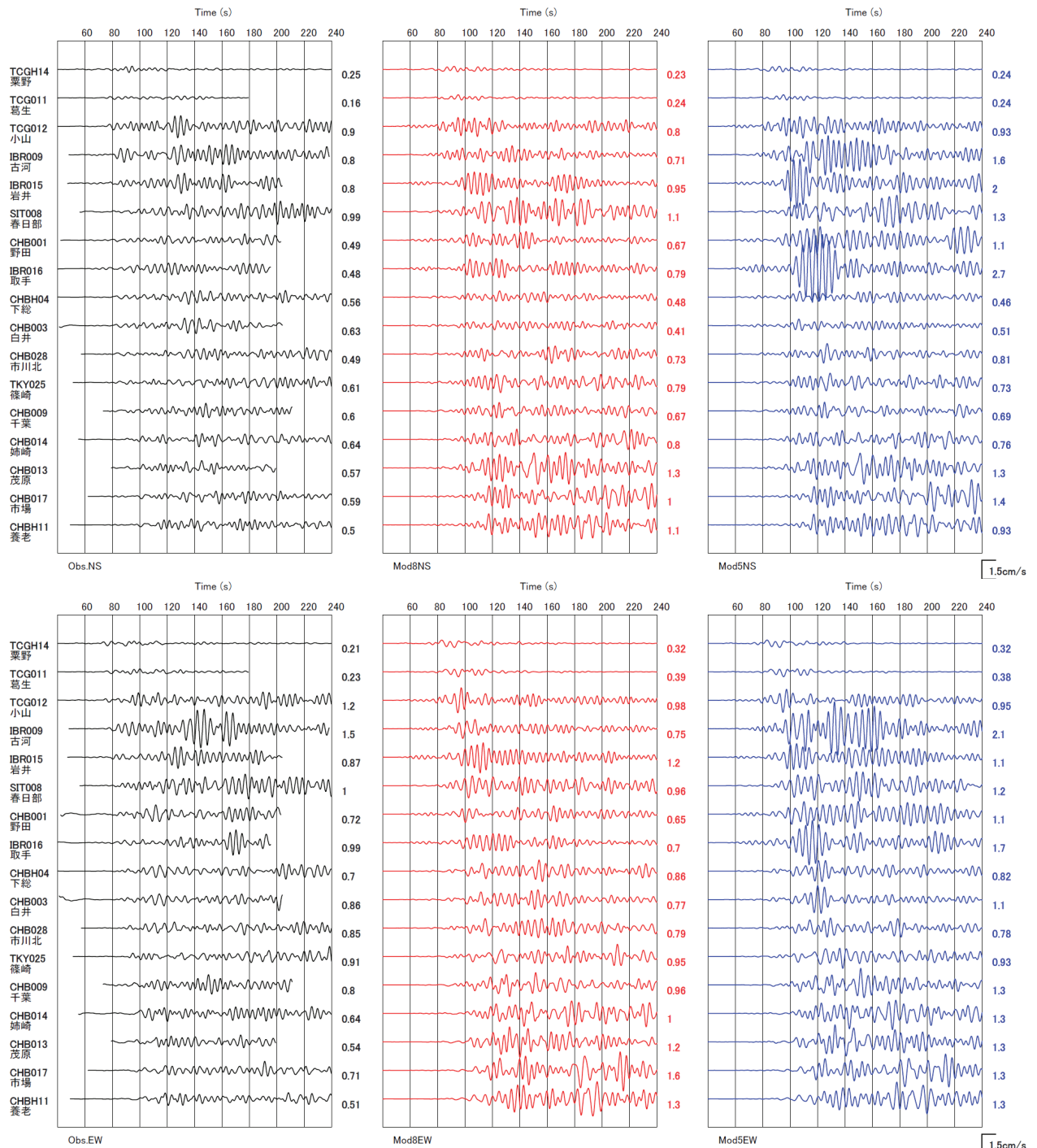


図 18(b) 1次地下構造モデル、0.5次地下構造モデルを用いて計算された速度波形と観測波形との比較。左列は観測波形、中列は1次モデル、右列は0.5次モデル。
上段は南北成分、下段は東西成分。

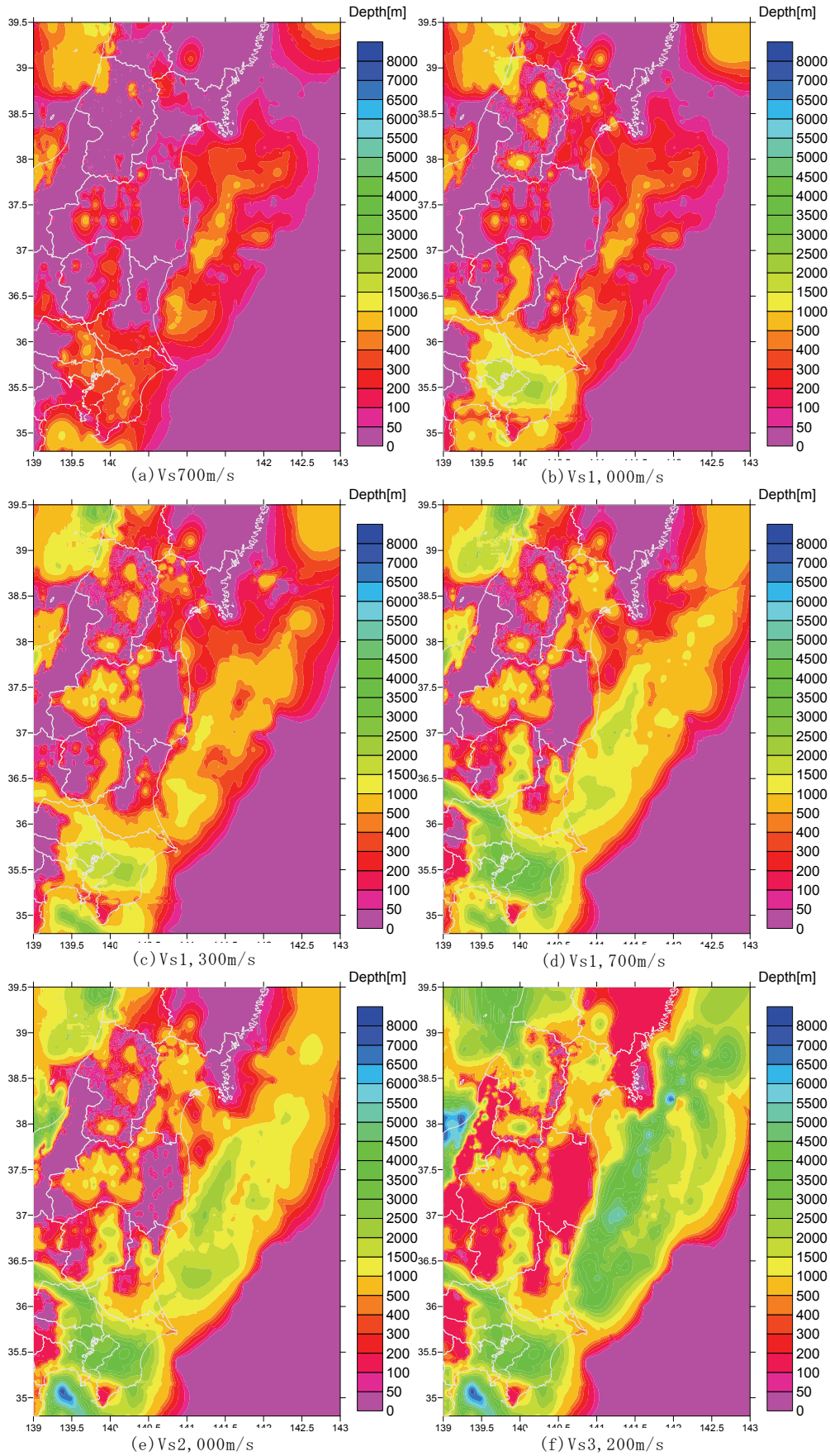


図 19 1次地下構造モデルの上面深さ分布（地震基盤まで）。

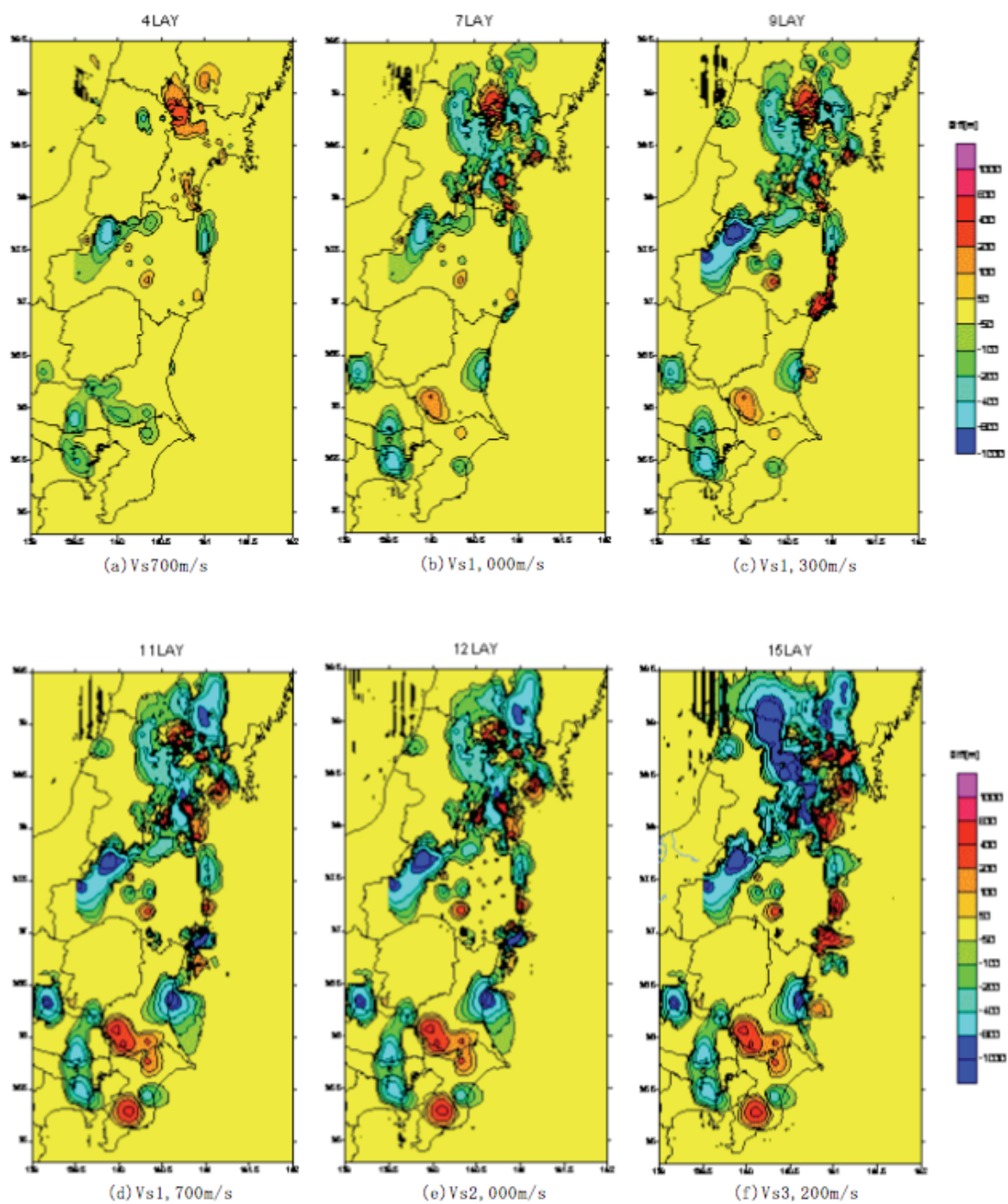


図 20 1次地下構造モデルと0次地下構造モデルの上面深さの差の分布。

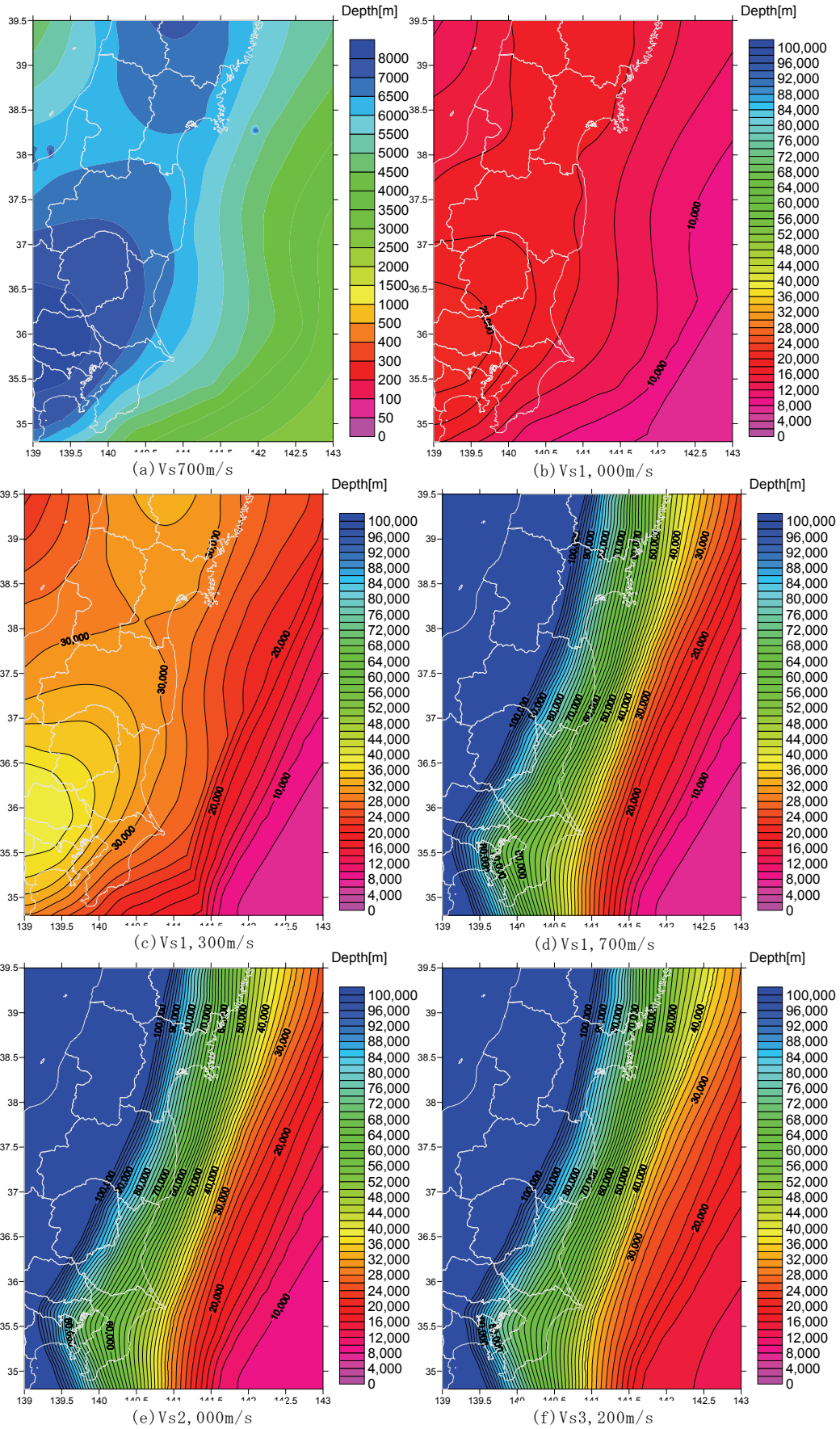


図 21 1次地下構造モデルの上面深さ分布(地殻及びマントル)。

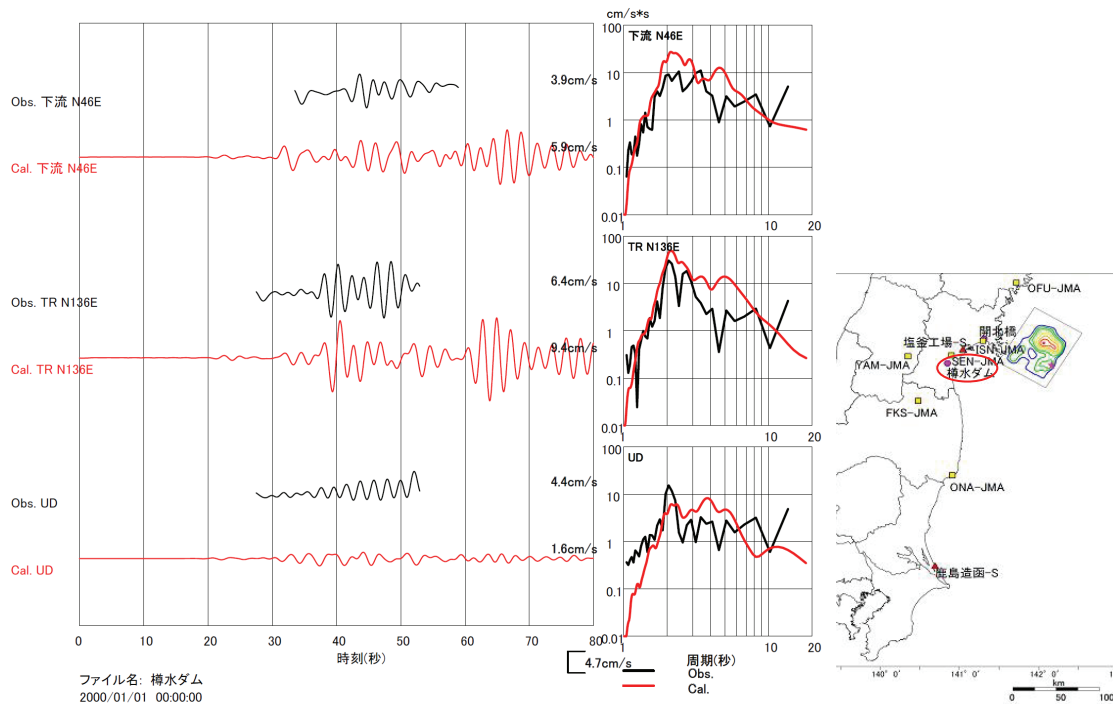


図 22(a) 1978 年宮城県沖地震の速度波形（樽水ダム）。
黒線は観測波形、赤線は 1 次地下構造モデルを用いた計算波形。

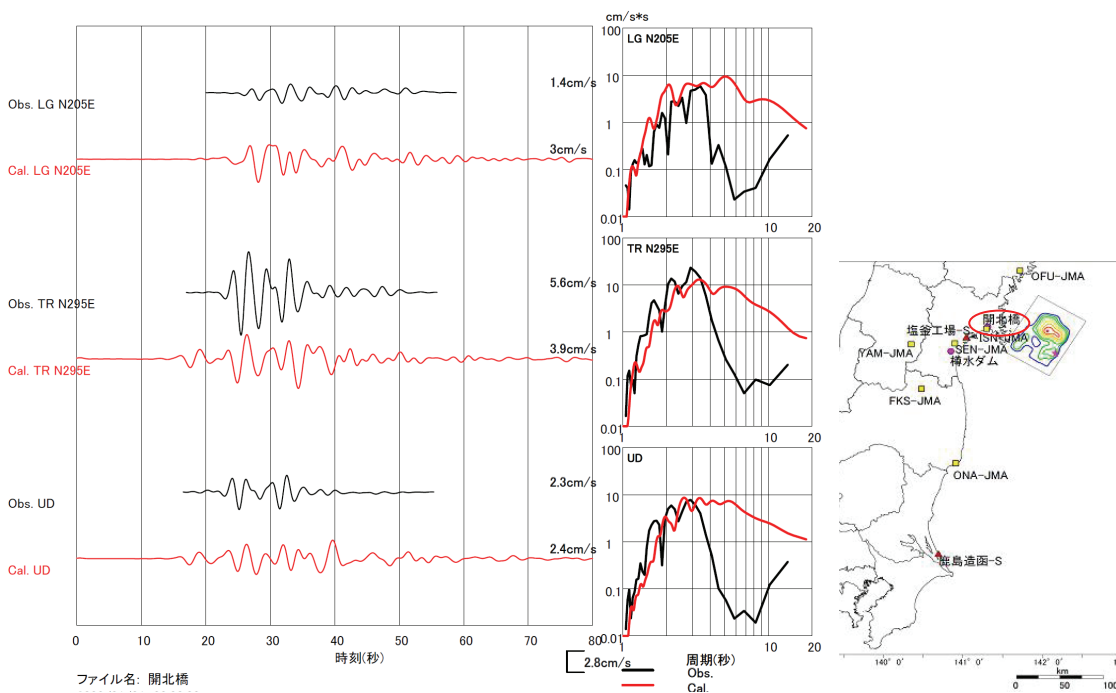


図 22(b) 1978 年宮城県沖地震の速度波形（開北橋）。
黒線は観測波形、赤線は 1 次地下構造モデルを用いた計算波形。

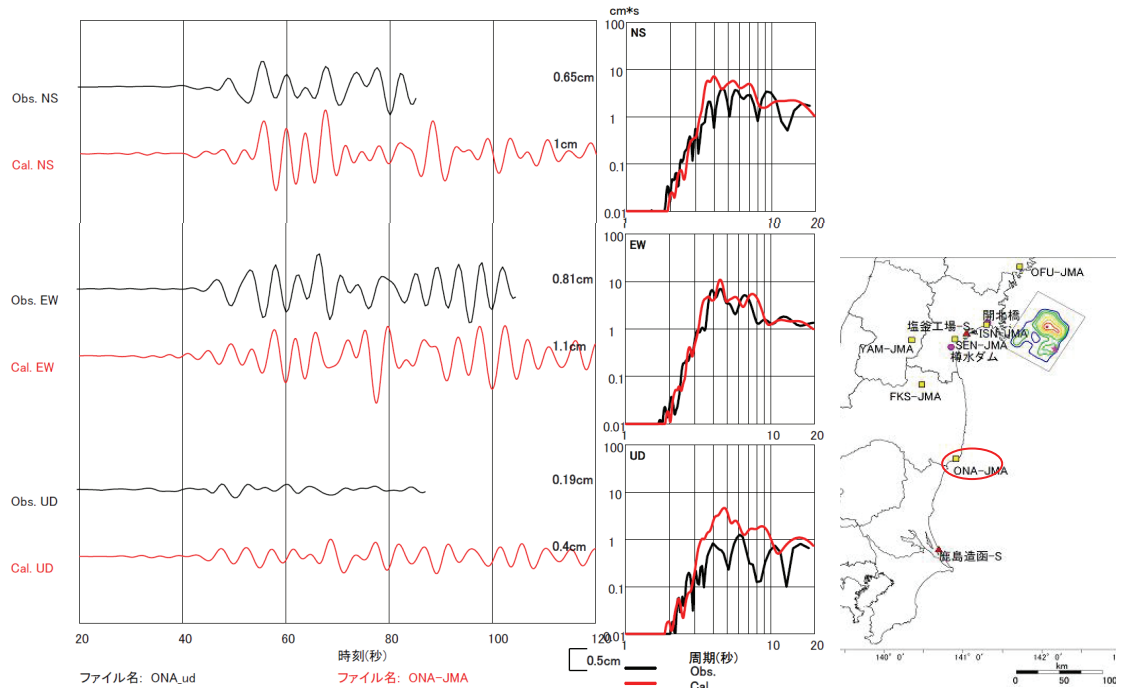


図 22(c) 1978 年宮城県沖地震の速度波形（小名浜）。
 黒線は観測波形、赤線は 1 次地下構造モデルを用いた計算波形。

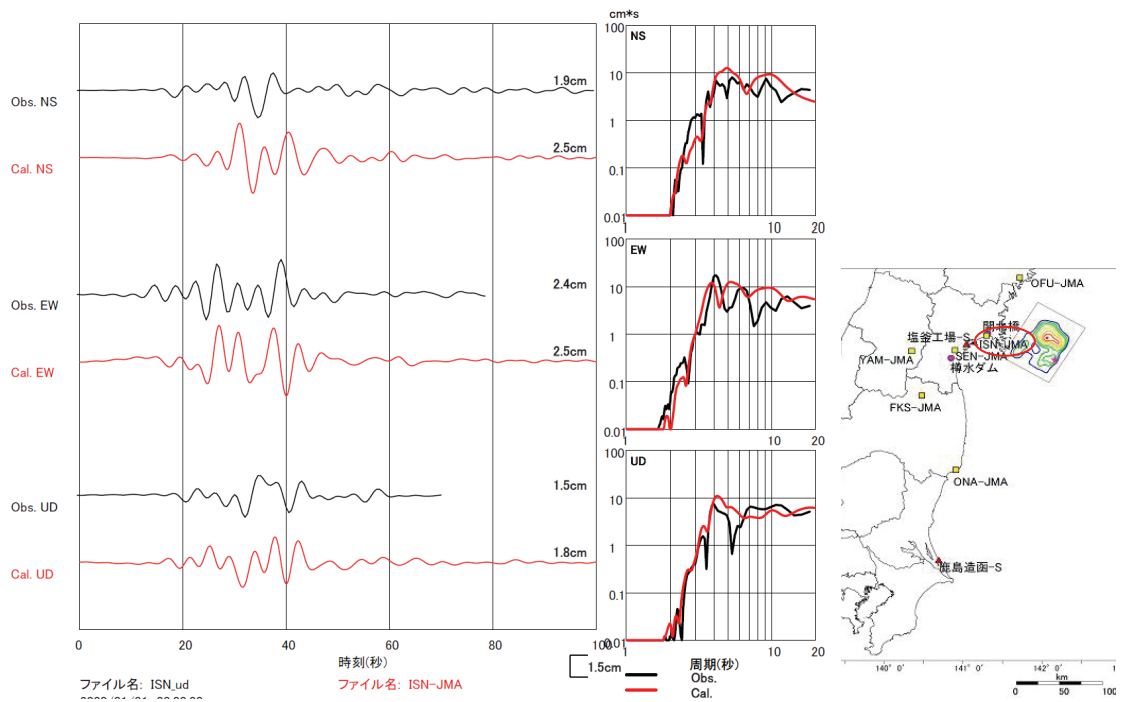


図 22(d) 1978 年宮城県沖地震の速度波形（石巻）。
 黒線は観測波形、赤線は 1 次地下構造モデルを用いた計算波形。

3) 長周期地震動予測

本業務で得られた震源モデル及び1次地下構造モデルを用いて、1978年宮城県沖地震及び2005年宮城県沖の地震を対象とした長周期地震動予測を行った。1978年宮城県沖地震については、前イベント震源モデルとして Wu et al. (2008)¹⁾によるインバージョン結果、及びそれを基に構築した特性化震源モデルを用いた。2005年宮城県沖の地震については、Wu et al. (2008)¹⁾によるインバージョン結果を前イベント震源モデルとして用いた。すべり速度関数は、中村・宮武(2000)²⁸⁾を用いた。図23に1978年宮城県沖地震の特性化震源モデルのアスペリティ及び背景領域のすべり時間関数を示す。

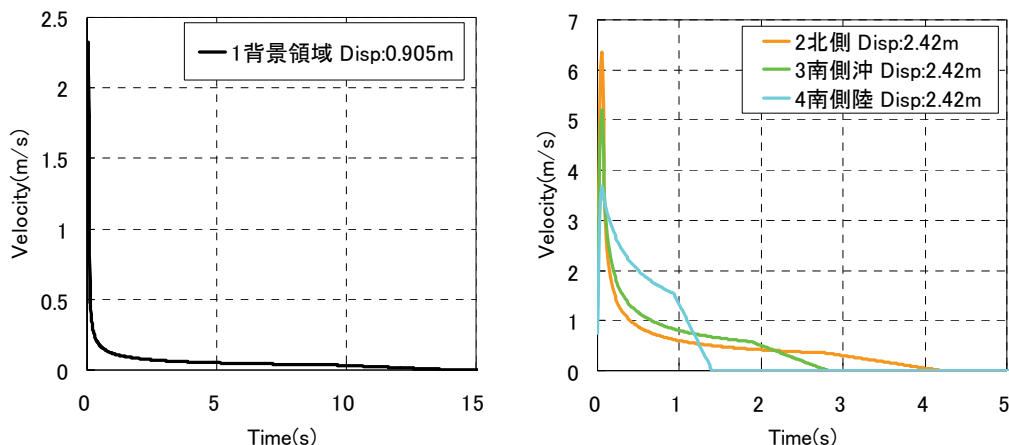


図 23 1978年宮城県沖地震の特性化震源モデルのすべり時間関数。

図24に、長周期地震動予測により得られた最大速度及び継続時間の分布を示す。図の左列は1978年宮城県沖地震の前イベント震源モデル、中列は1978年宮城県沖地震の特性化震源モデル、右列は2005年宮城県沖地震の前イベント震源モデルを用いた場合である。最大速度は水平2成分の速度振幅最大値の大きい方とした。また、継続時間は速度振幅が1cm/sを初めに超える時刻から最後に下回る時刻までの時間とし、東西成分と南北成分のうち長い方をとった。最大速度は、震源から近い地域で大きい値となるほか、堆積層の厚い平野や盆地で周辺より大きな値となっている。また、平野や盆地では継続時間も長い。このことは、地震による災害の軽減対策のうえで注意が必要である。

図25、図26、図27に、5%速度応答スペクトルの周期5秒、7秒、10秒の振幅分布を示す。図の左列、中列、右列は最大速度分布の場合と同じである。速度応答の分布は、概ね最大速度分布と同様の特徴を示している。仙台圏では、周期7秒や周期10秒の速度応答よりも周期5秒の速度応答のほうが大きい値をとる。

図28(a)～(j)に代表地点において予測された速度波形及び5%速度応答スペクトルを示す。

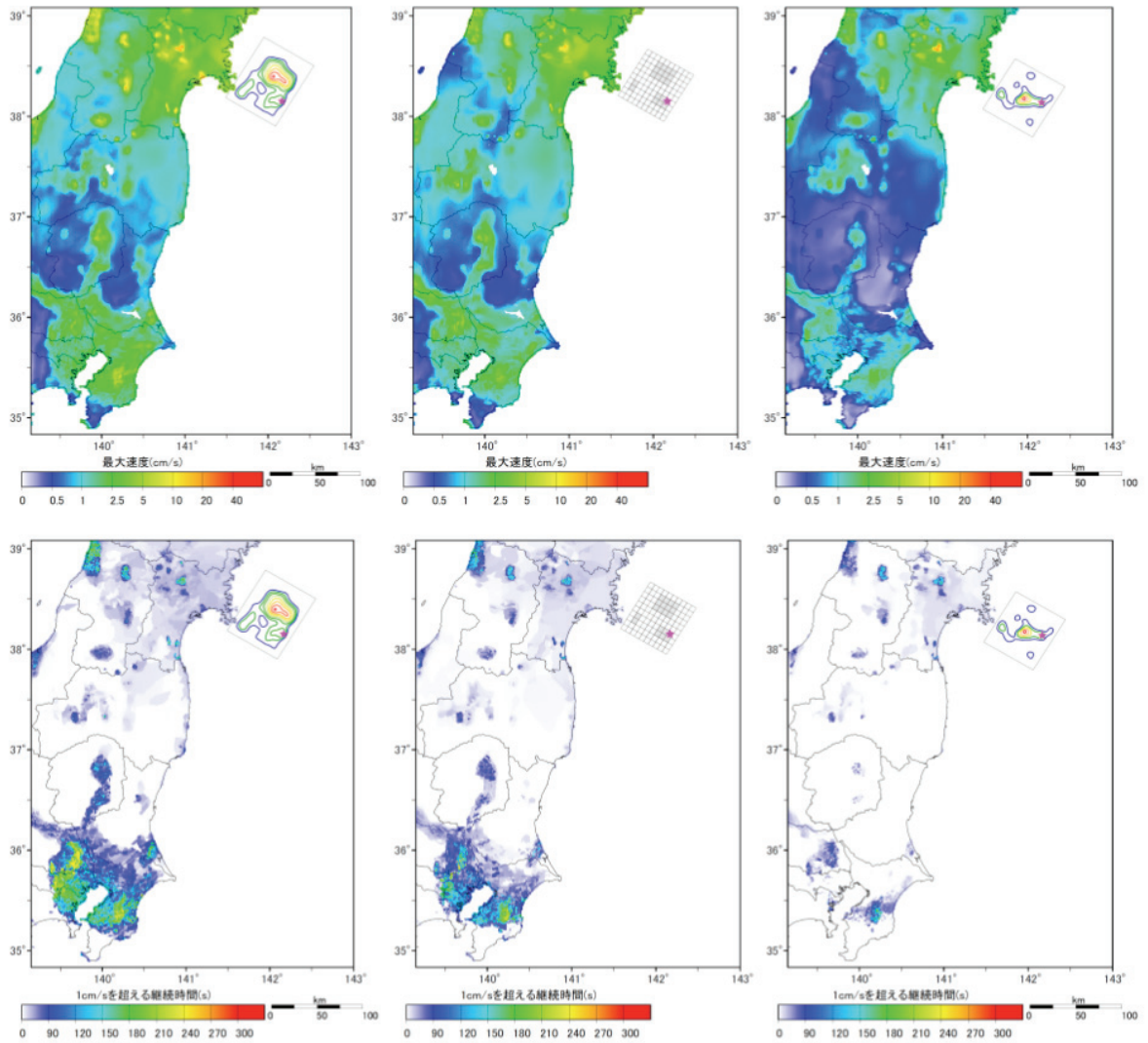


図 24 最大速度分布（上段）と振幅が 1cm/s を越える継続時間分布（下段）。

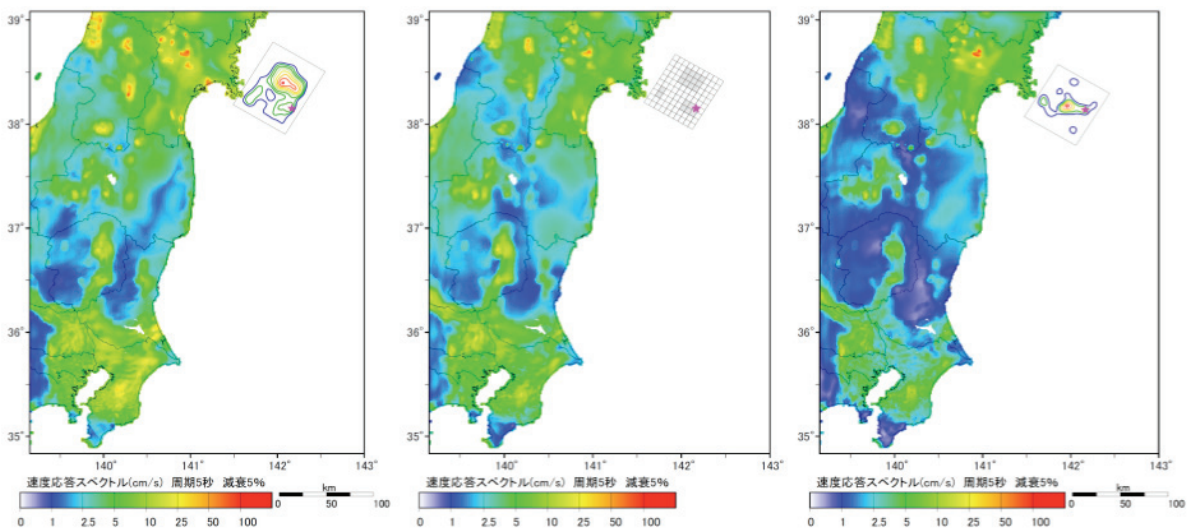


図 25 周期 5 秒の速度応答スペクトルの振幅分布。

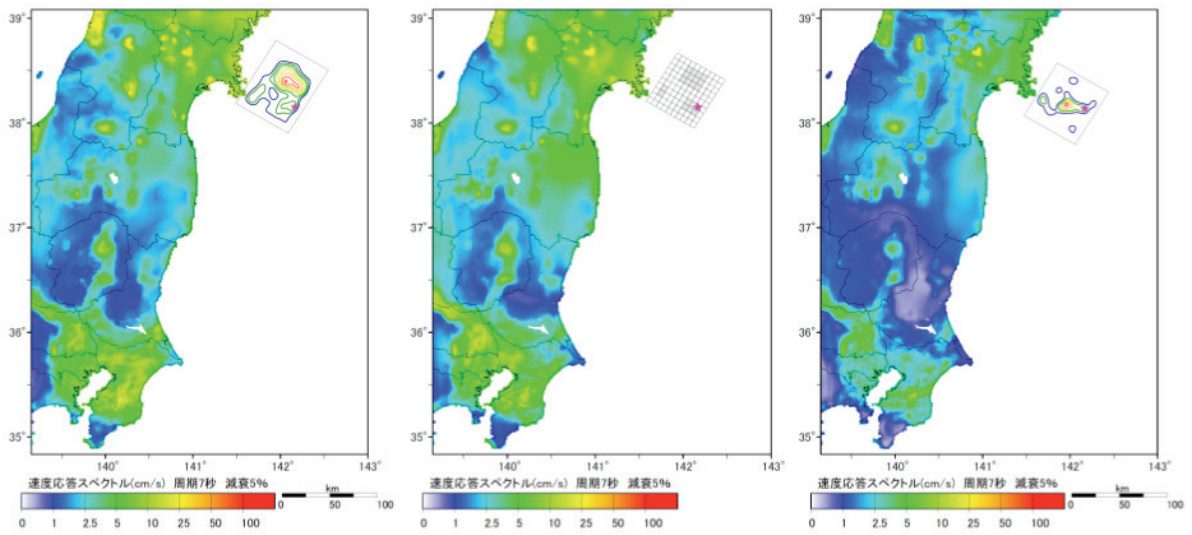


図 26 周期 7 秒の速度応答スペクトルの振幅分布。

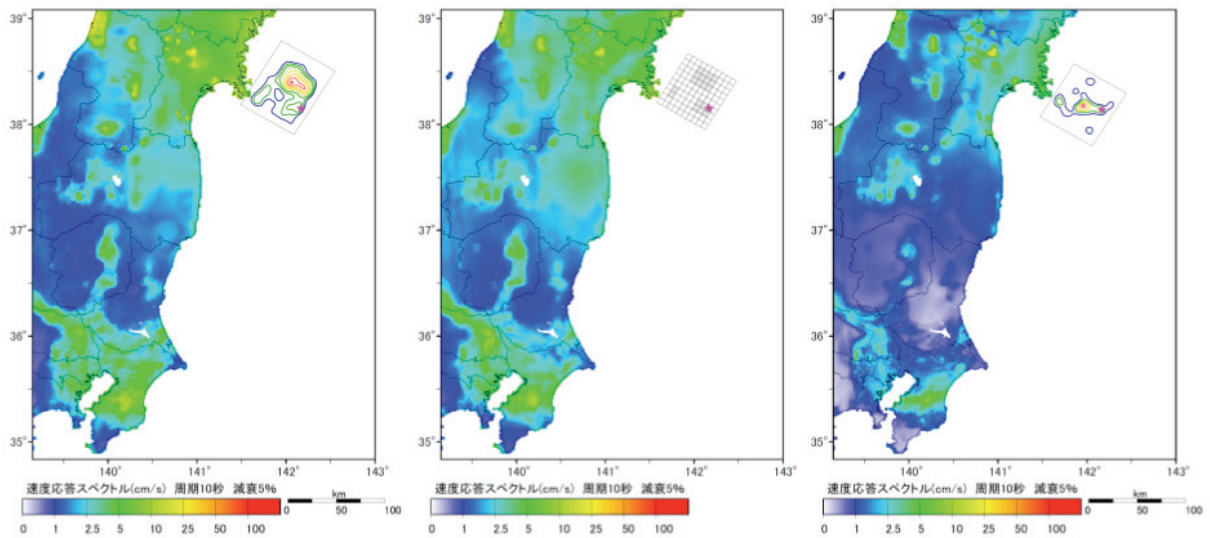


図 27 周期 10 秒の速度応答スペクトルの振幅分布。

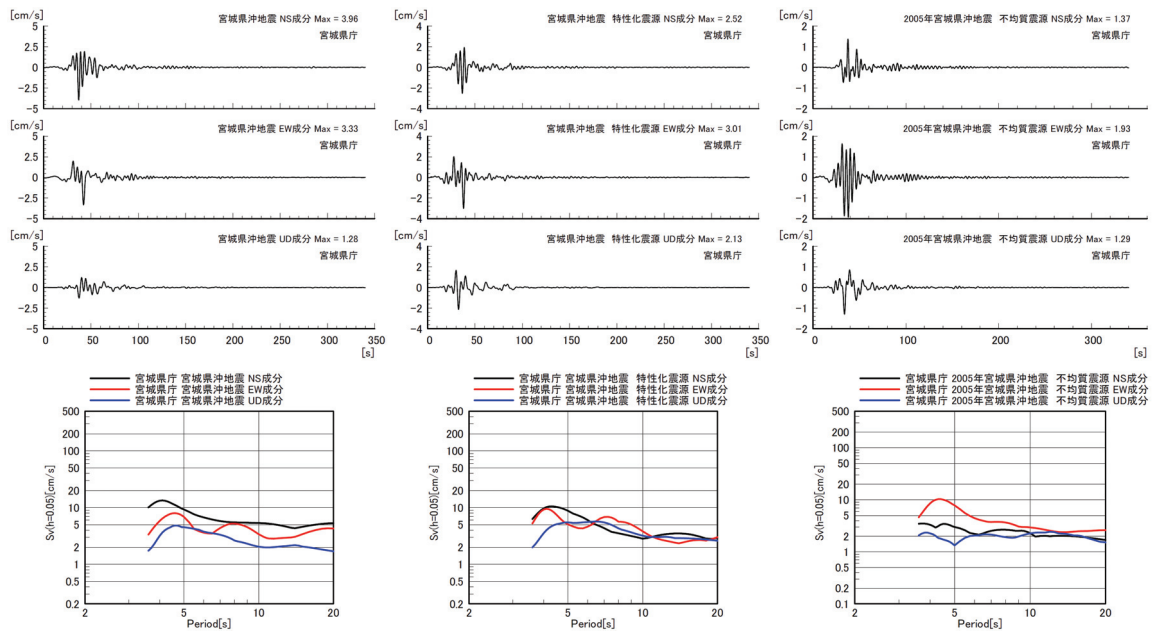


図 28(a) 速度波形及び速度応答スペクトル（宮城県庁）。
 左列は 1978 年宮城県沖地震（前イベント震源モデル）、
 中列は 1978 年宮城県沖地震（特性化震源モデル）、
 右列は 2005 年宮城県沖の地震（前イベント震源モデル）。

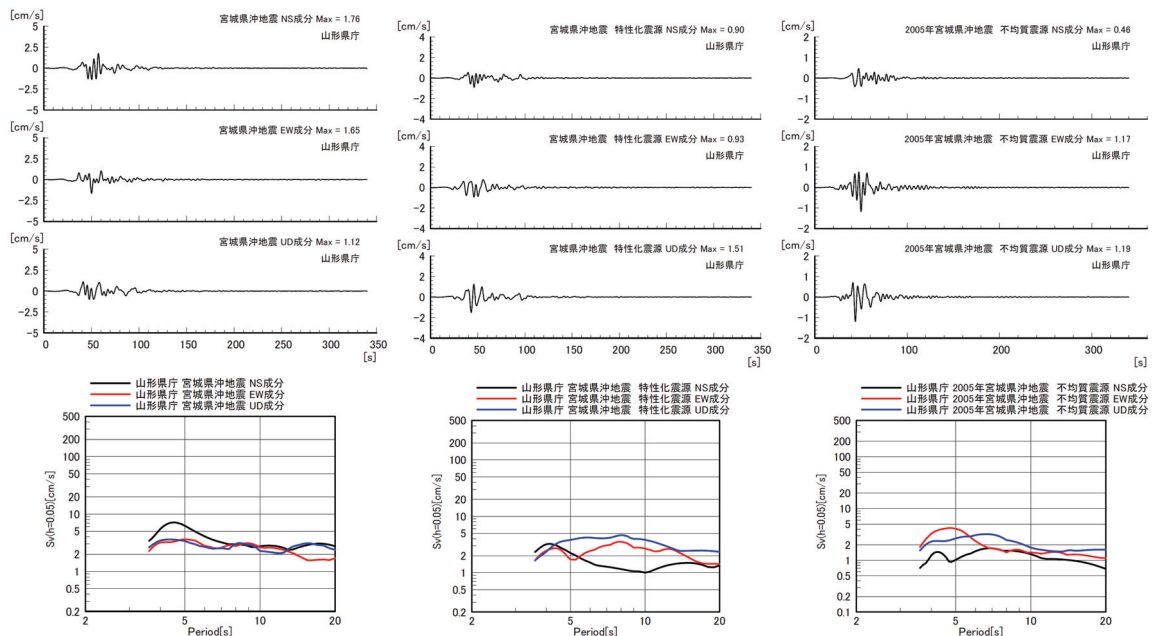


図 28(b) 速度波形及び速度応答スペクトル（山形県庁）。

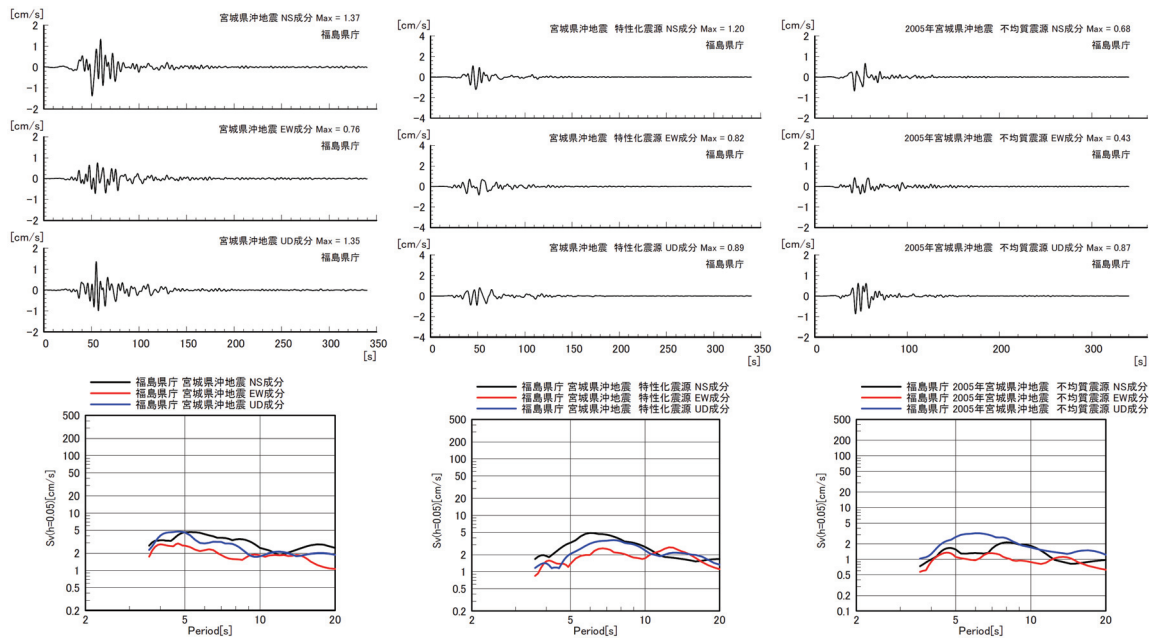


図 28(c) 速度波形及び速度応答スペクトル (福島県庁)。

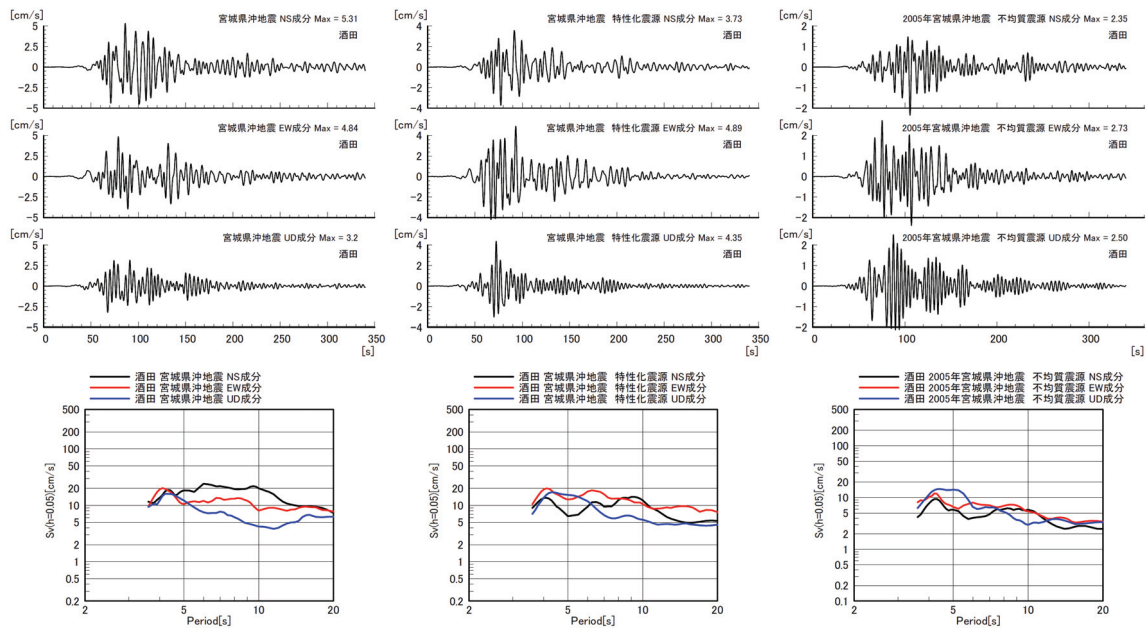


図 28(d) 速度波形及び速度応答スペクトル (酒田)。

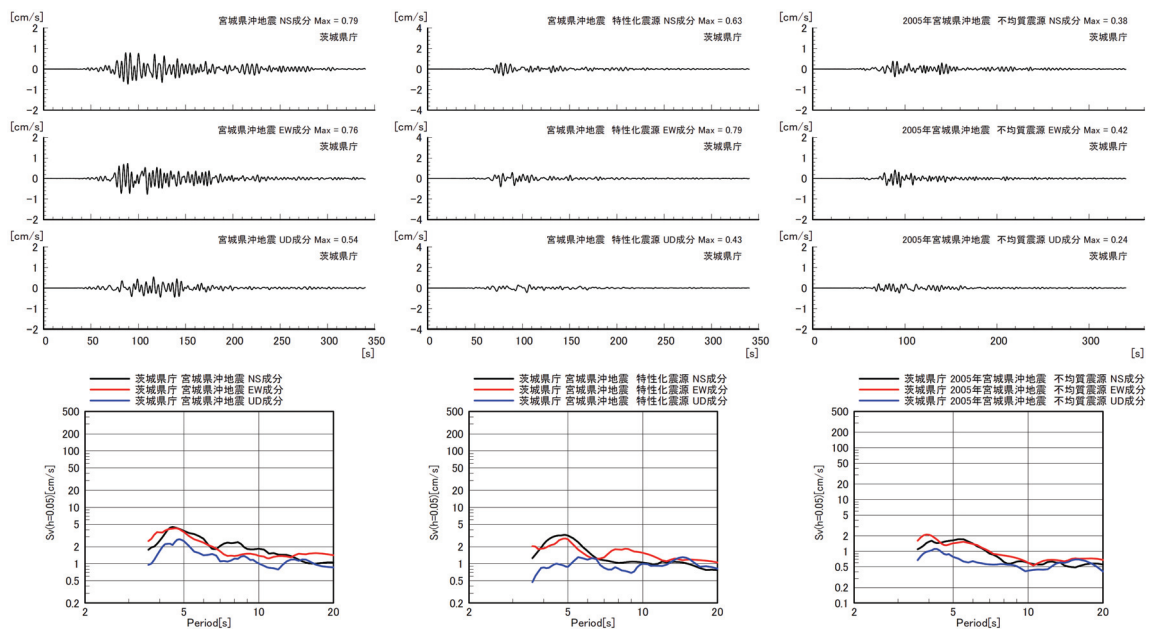


図 28(e) 速度波形及び速度応答スペクトル (茨城県庁)。

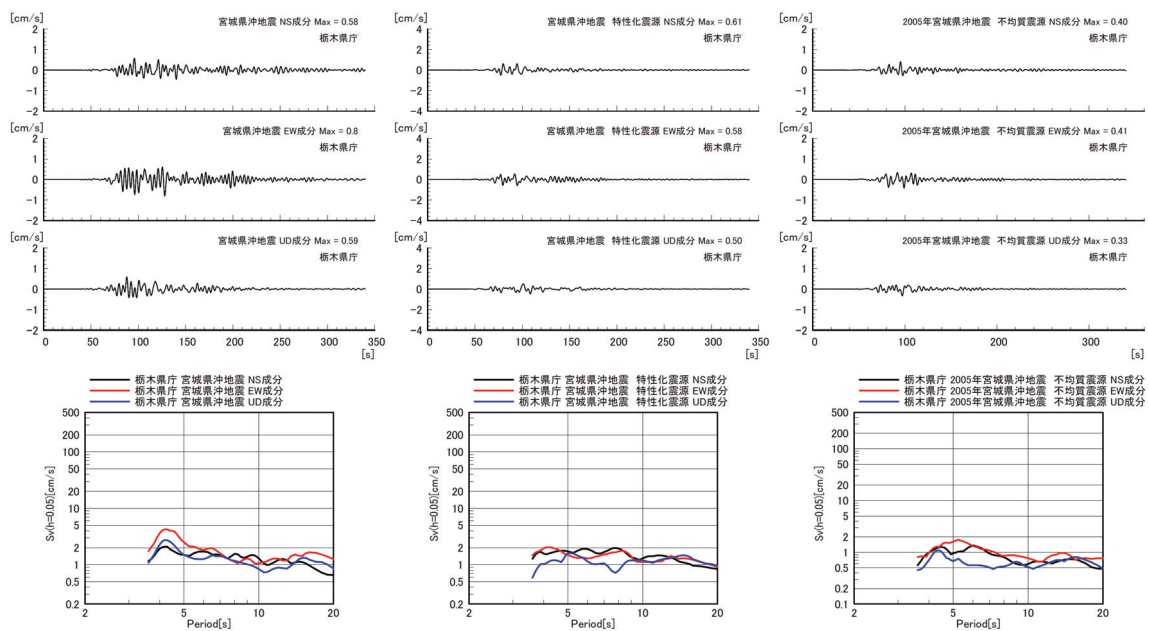


図 28(f) 速度波形及び速度応答スペクトル (栃木県庁)。

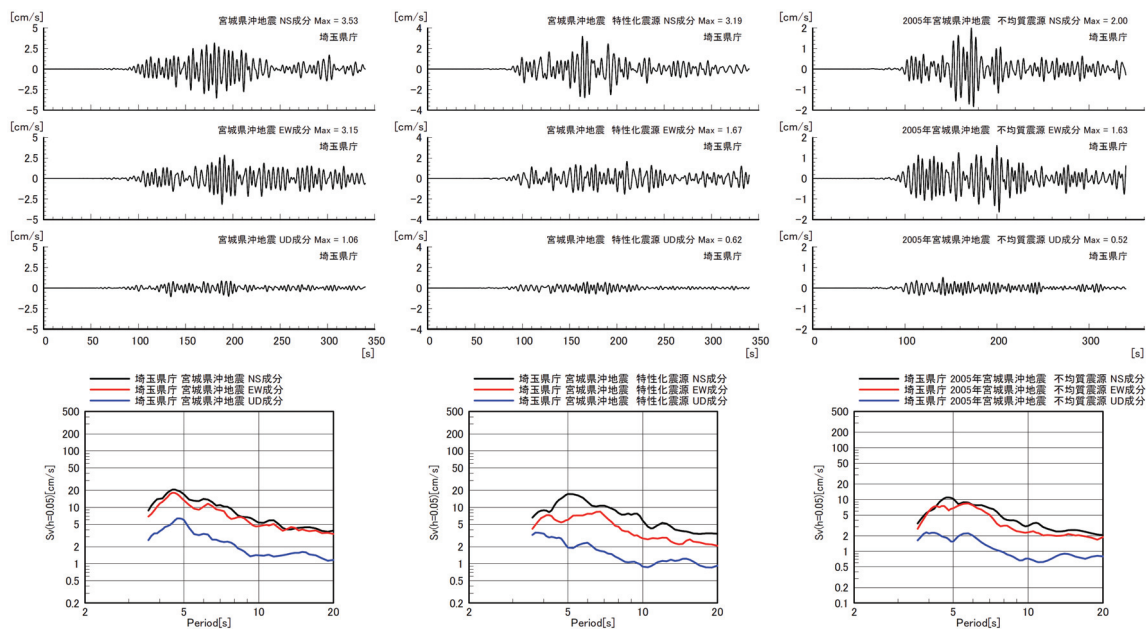


図 28 (g) 速度波形及び速度応答スペクトル (埼玉県庁)。

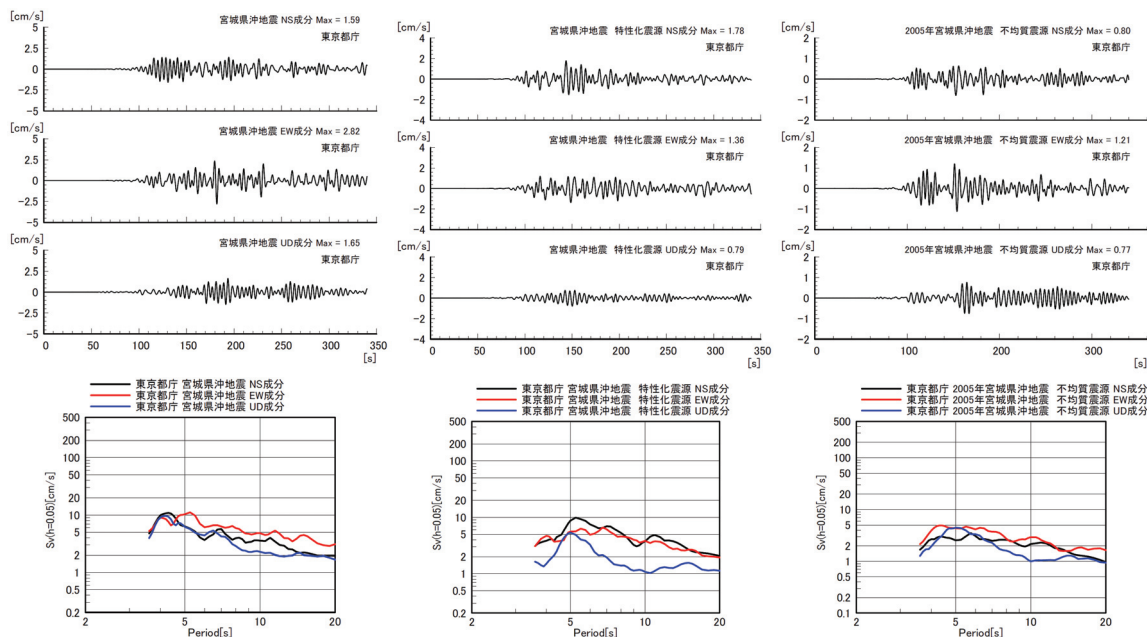


図 28 (h) 速度波形及び速度応答スペクトル (東京都庁)。

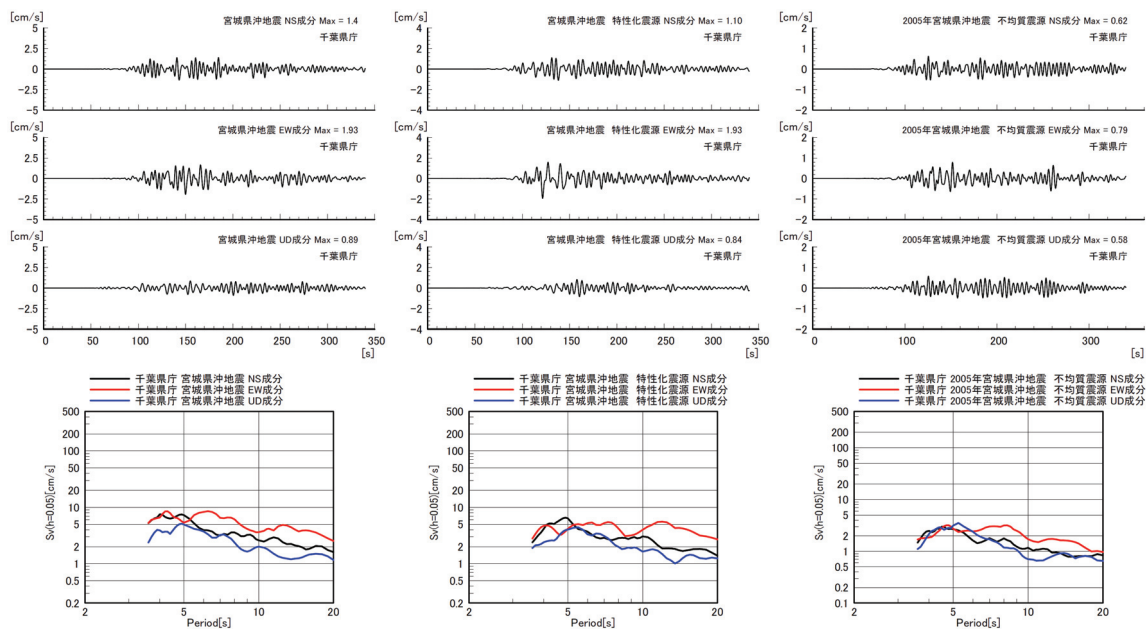


図 28(i) 速度波形及び速度応答スペクトル (千葉県庁)。

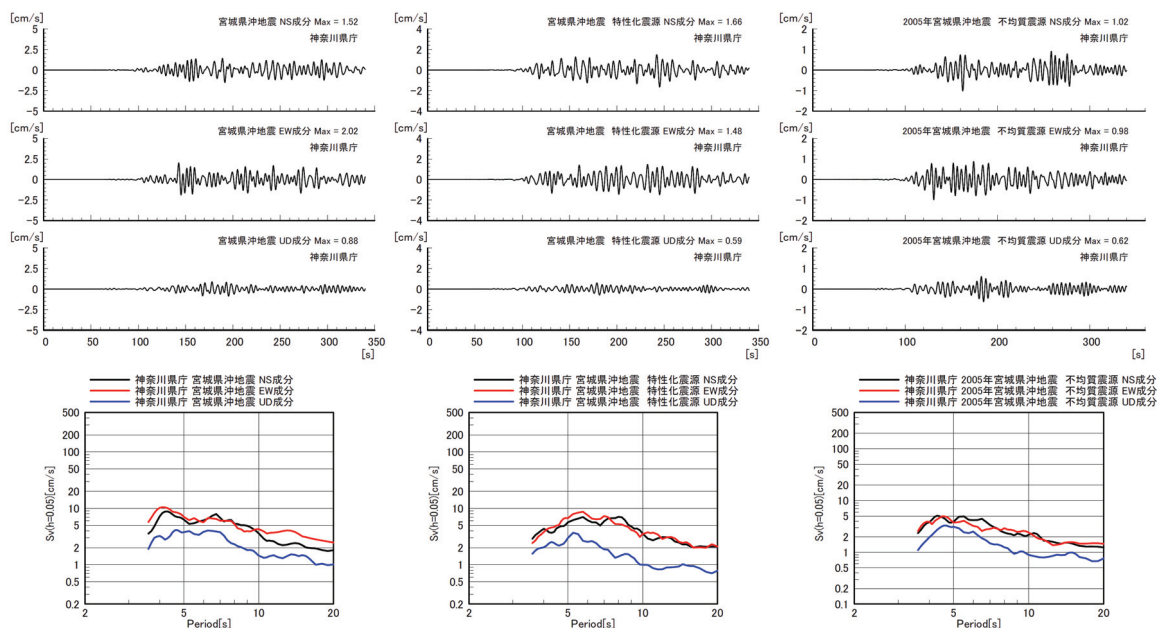


図 28(j) 速度波形及び速度応答スペクトル (神奈川県庁)。

4) 広帯域強震動予測

構造物の固有周期に一致する地震動の周期成分が構造物に大きな影響を与え、時には甚大な被害を及ぼす。地震防災対策を実効的なものとするためには、地震被害に直結する周期帯域を含む広い周期帯域で、強震動予測を高精度に行うことが不可欠である。本業務では、広帯域強震動予測を高精度で行うために、長周期地震動及び短周期地震動に対して適切な震源モデルを構築した。構築された震源モデルと本業務で得られた1次地下構造モデルを用いて、宮城県沖地震について、長周期地震動と短周期地震動を予測し、両者の時系列波形をハイブリッド合成法で合成することにより、広帯域予測地震動を得た。長周期地震動予測は、表3の特性化震源モデルを用いて差分法により計算を行い、短周期地震動予測は、表4の短周期地震動予測のために改良された震源モデルを用いて、統計的グリーン関数法により行った。なお、長周期地震動と短周期地震動は工学的基盤において合成した。図29にハイブリッド合成法におけるマッチング・フィルターの特性を示す。ハイブリッド合成法における接続周期は1.5秒とした。

図30に、仙台圏における宮城県沖地震による工学的基盤における最大速度分布を示す。図30(a)は差分法による長周期地震動の最大速度分布、図30(b)は統計的グリーン関数法による短周期地震動の最大速度分布、図30(c)はハイブリッド合成法による広帯域地震動の最大速度分布である。図には震源断層及び特性化震源モデルにけるアスペリティを示した。小さく区切られた矩形は、統計的グリーン関数法で計算する際に用いた要素である。長周期地震動予測に用いたアスペリティは影のついた部分であり、短周期地震動予測に用いたアスペリティは赤線で囲まれた領域である。星印は破壊開始点である。工学的基盤における最大速度は、観測点近傍における地下構造の影響により、長周期地震動でも短周期地震動でも仙台平野等の堆積層の厚い地域で大きい。

工学的基盤における最大速度に表層地盤の最大速度増幅率を乗じて、地表における最大速度を算出した。図31(a)及び図31(b)に、表層地盤のAVS30分布、最大速度増幅率の分布をそれぞれ示す。図32に広帯域地震動の地表における最大速度分布を示す。AVS30は地表から深さ30mまでの平均S波速度である。表層地盤の最大速度増幅率はAVS30から推定されている(藤本・翠川、2003)²⁹⁾。平野や盆地等の軟弱地盤が地表を覆う地域で最大速度増幅率は大きく、工学的基盤で振幅の大きい地域ではさらに大きな最大速度となる傾向にある。

広帯域地震動予測の妥当性を検証する1つの手段として、地表における最大速度を経験式(翠川・他、1999)³⁰⁾により震度に換算し、1978年宮城県沖地震のアンケート震度と比較した。図33に予測された広帯域地震動の震度分布とアンケート震度(丸印)を示す。広帯域地震動の震度は概ねアンケート震度と一致している。また、広帯域地震動の最大速度の距離減衰を司・翠川(1999)³¹⁾による経験式と比較した(図34)。本業務の広帯域地震動予測による最大速度の距離減衰は経験式とよい一致を示す。広帯域地震動の時刻歴波形を図35(a)～(d)に示す。

2005年宮城県沖の地震の震源域は、1978年宮城県沖地震の震源域の南部に限られていることから、北部を割れ残りと考え、1978年宮城県沖地震の断層北部を震源域とする北部単独シナリオを想定して広帯域強震動予測を行った。図36～38に予測結果を示す。また、図39(a)～(d)に予測された広帯域地震動の時刻歴波形を示す。

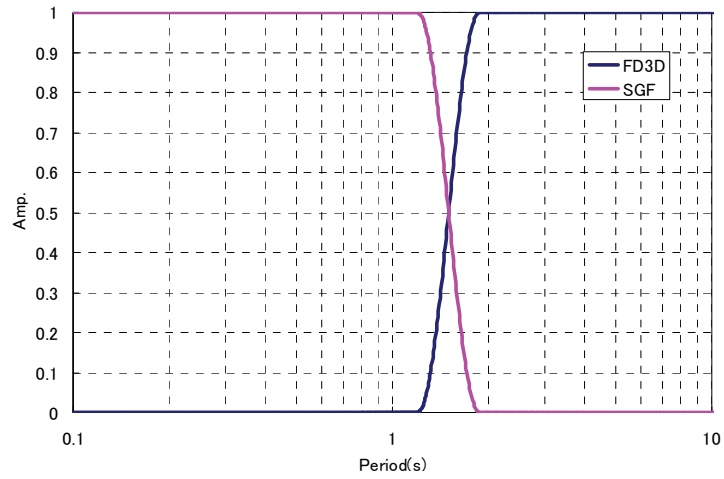


図 29 ハイブリッド合成法におけるマッチング・フィルターの特性。

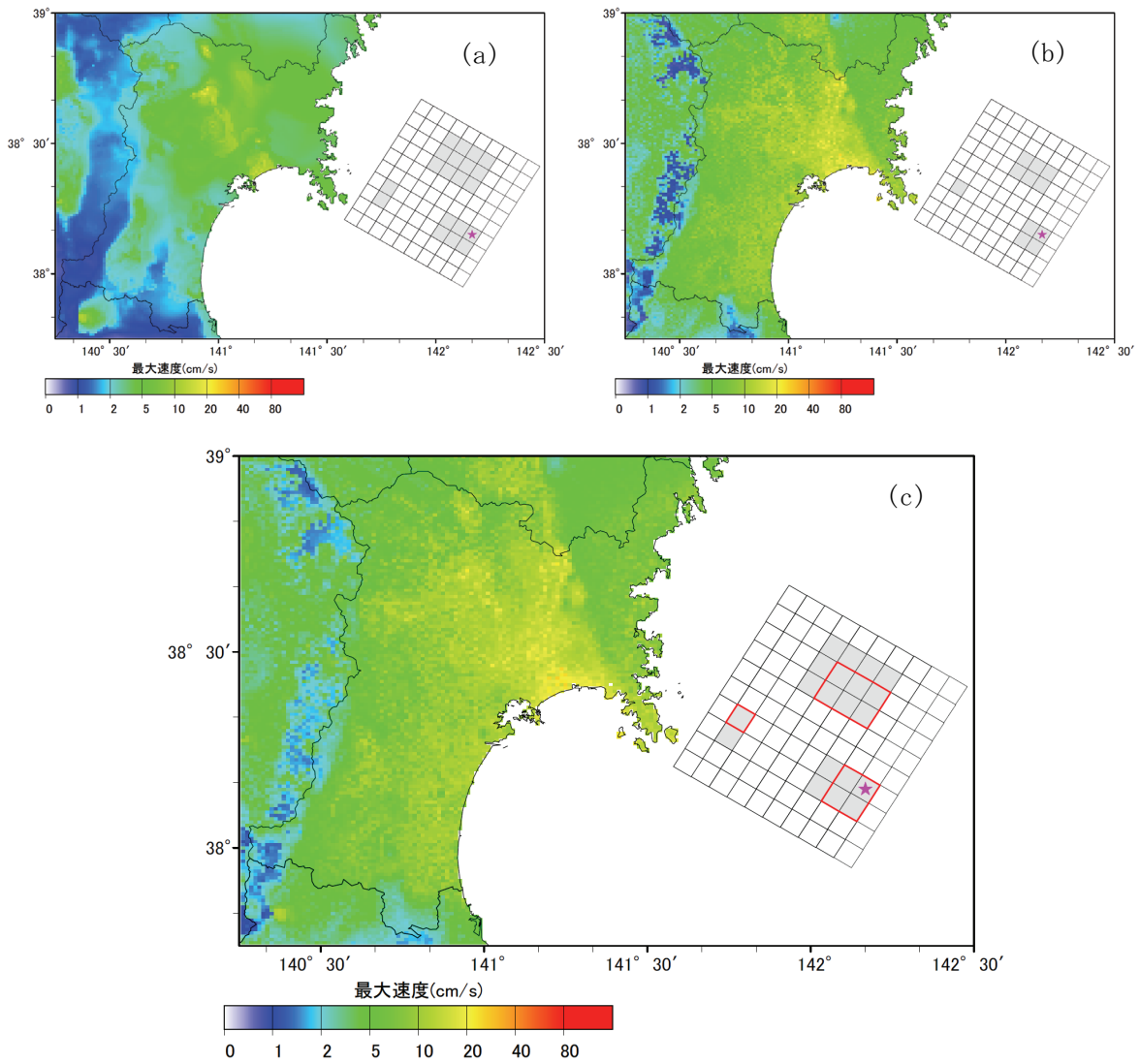


図 30 宮城県沖地震に対して予測された工学的基盤における最大速度分布。
(a)は長周期地震動、(b)は短周期地震動、(c)は広帯域地震動。

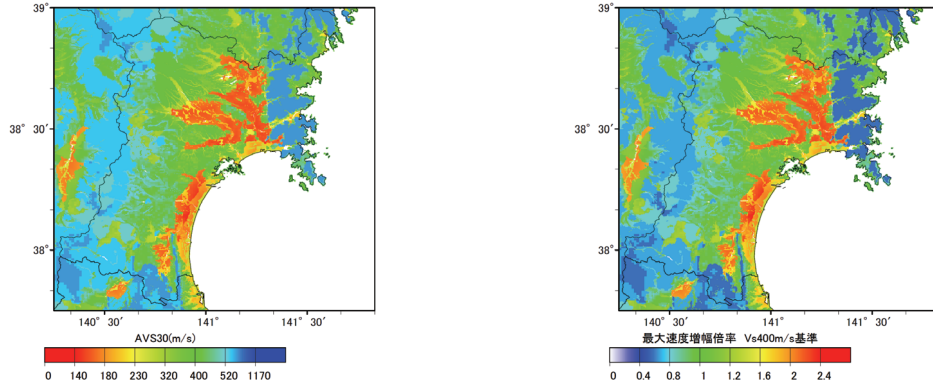


図 31(a) 表層地盤の AVS30 分布。 図 31(b) 表層地盤の最大速度増幅率分布。

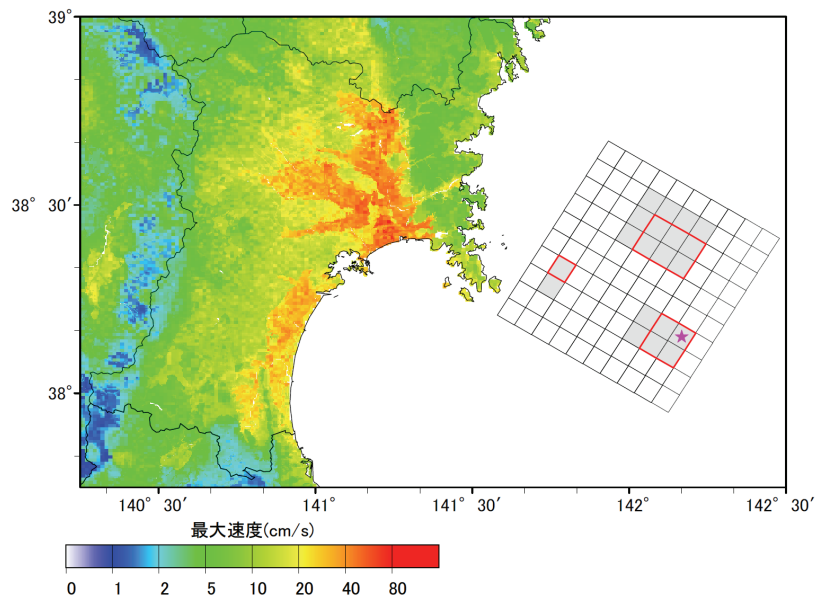


図 32 宮城県沖地震における広帯域地震動予測の地表における最大速度分布。

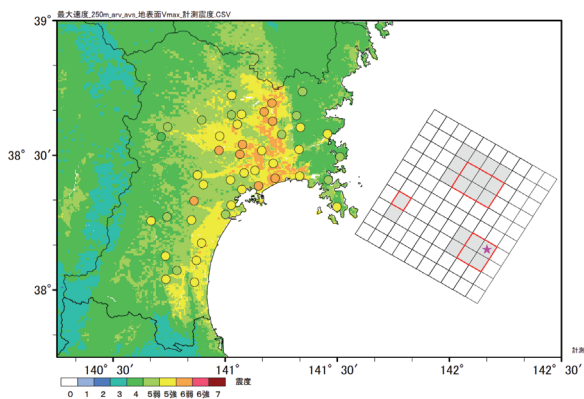


図 33 宮城県沖地震における広帯域地震動の震度分布。丸印は 1978 年宮城県沖地震のアンケート震度。

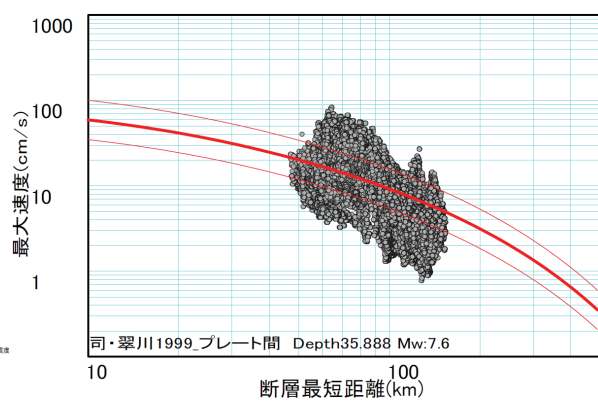


図 34 宮城県沖地震における広帯域地震動の距離減衰。赤色の曲線は司・翠川 (1999)³⁰⁾による経験式。

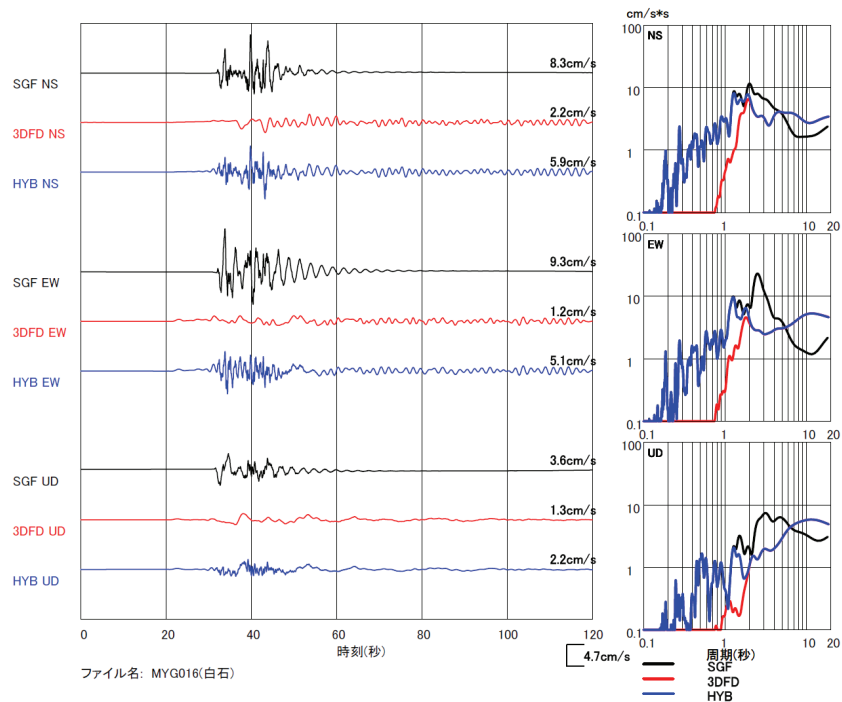


図 35(a) 宮城県沖地震における広帯域地震動予測の時系列波形（白石）。

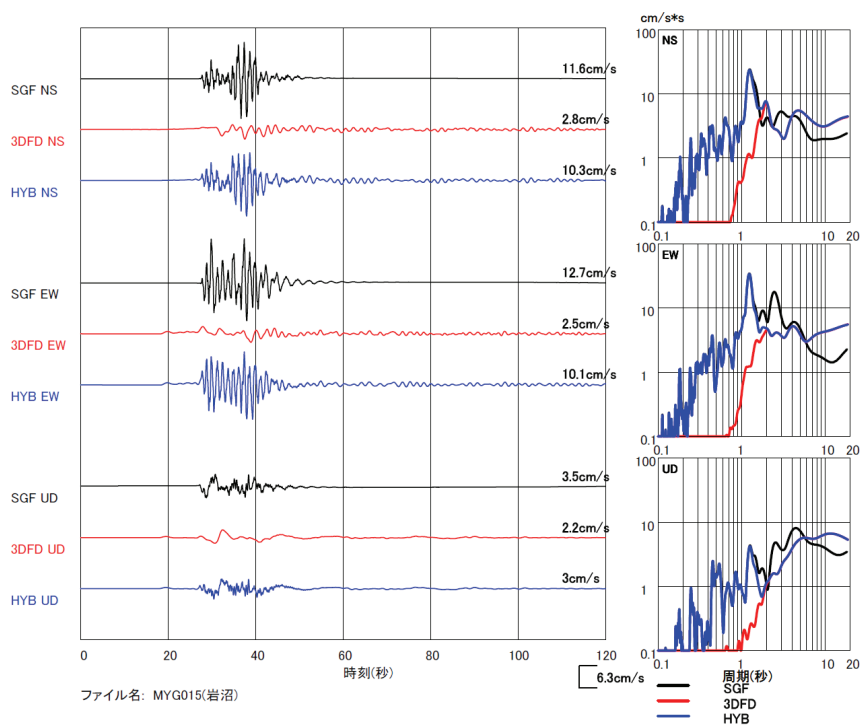


図 35(b) 宮城県沖地震における広帯域地震動予測の時系列波形（岩沼）。

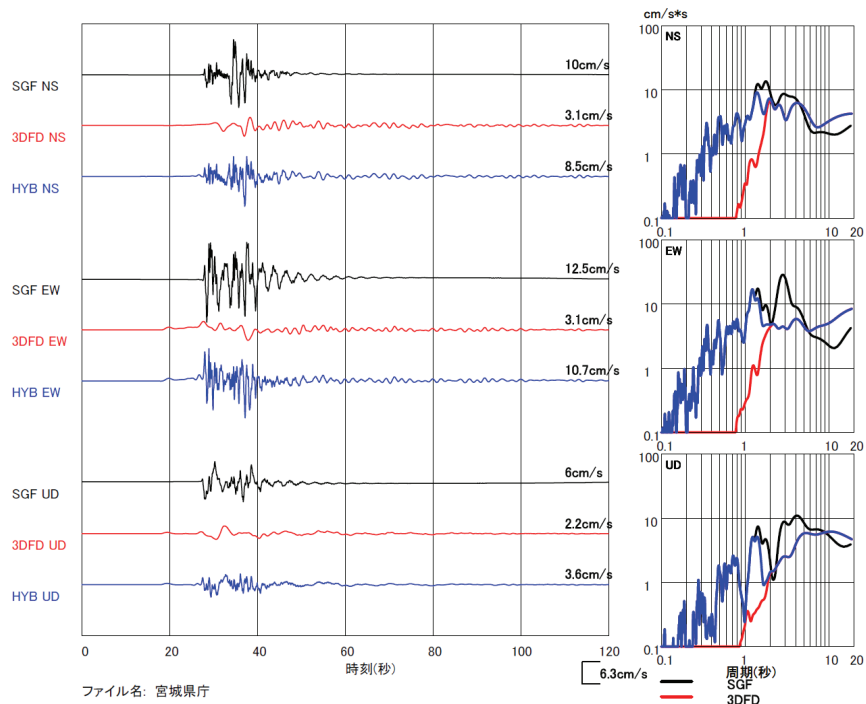


図 35(c) 宮城県沖地震における広帯域地震動予測の時系列波形（宮城県庁）。

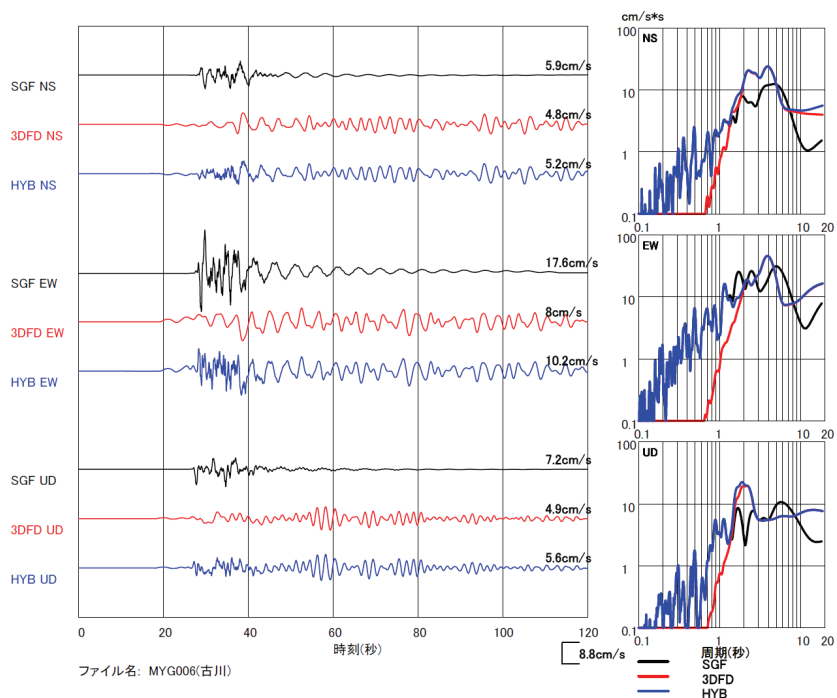


図 35(d) 宮城県沖地震における広帯域地震動予測の時系列波形（古川）。

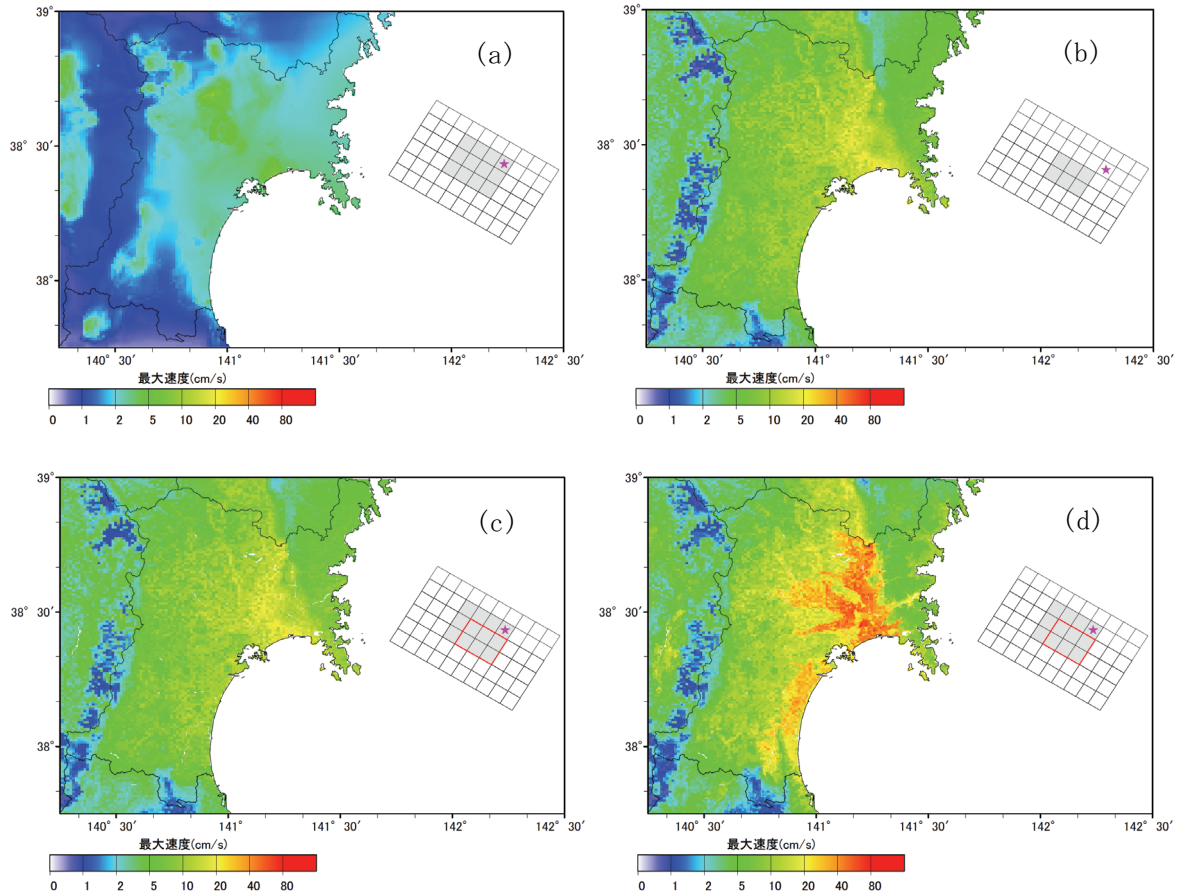


図 36 宮城県沖地震における広帯域地震動予測の最大速度分布。
 (a) 工学的基盤における長周期地震動、(b) 工学的基盤における短周期地震動、
 (c) 工学的基盤における広帯域地震動、(d) 地表における広帯域地震動。

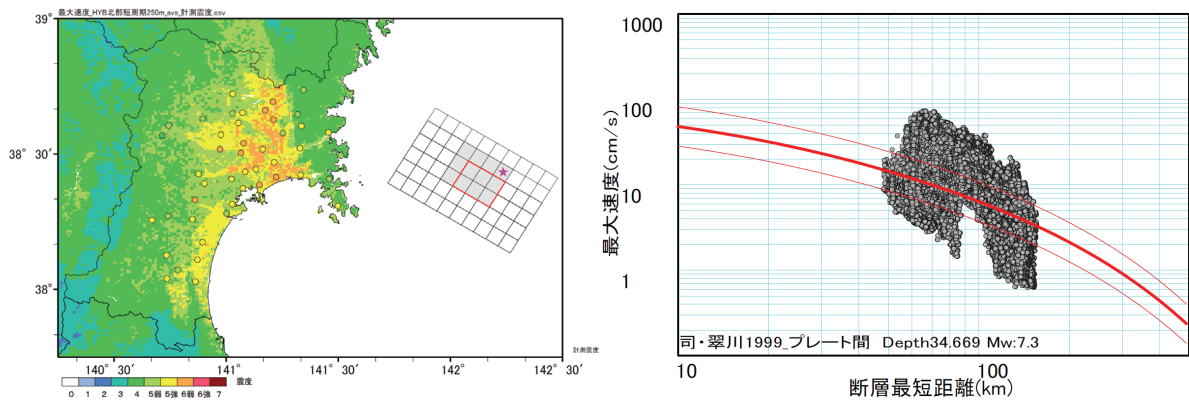


図 37 宮城県沖地震の北部単独シナリオによる広帯域地震動の震度分布。丸印は 1978 年宮城県沖地震のアンケート震度。

図 38. 宮城県沖地震の北部単独シナリオによる広帯域地震動の距離減衰。赤色の曲線は司・翠川 (1999)³⁰⁾ による経験式。

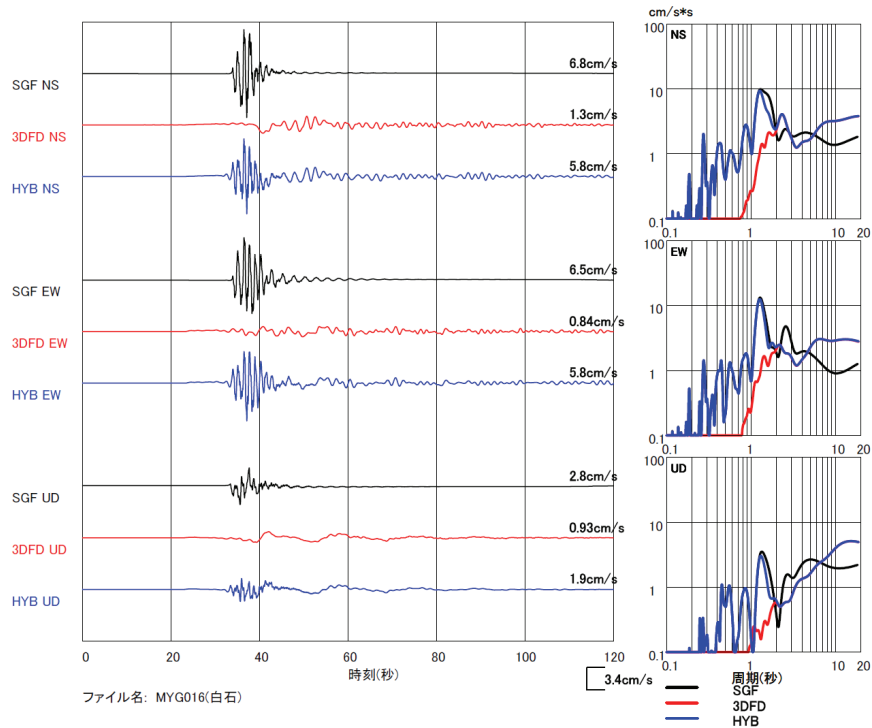


図 39(a) 宮城県沖地震の北部単独シナリオによる広帯域地震動予測の時刻歴波形（白石）。

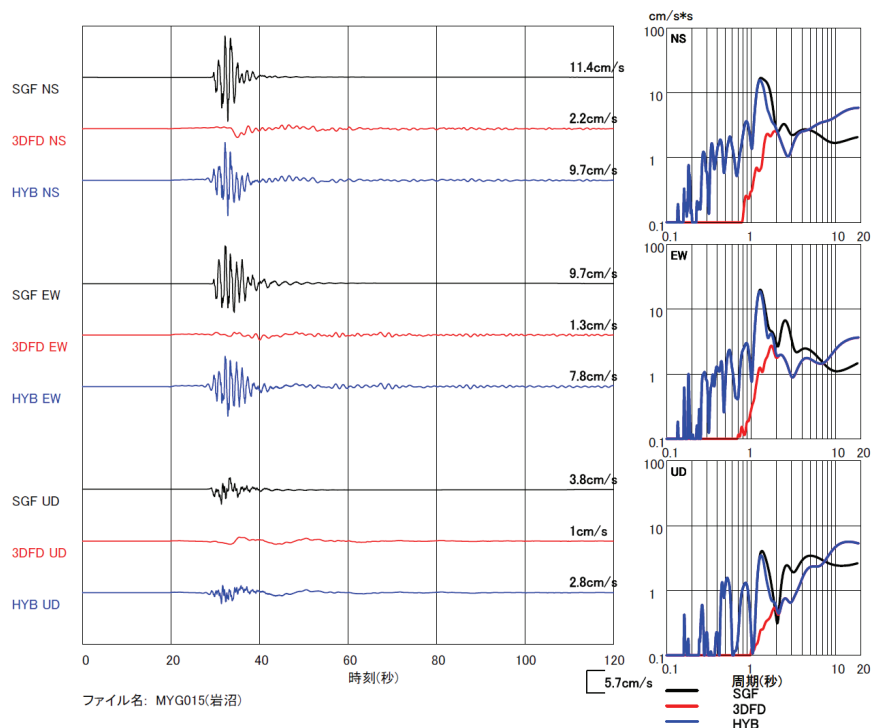


図 39(b) 宮城県沖地震の北部単独シナリオによる広帯域地震動予測の時刻歴波形（岩沼）。

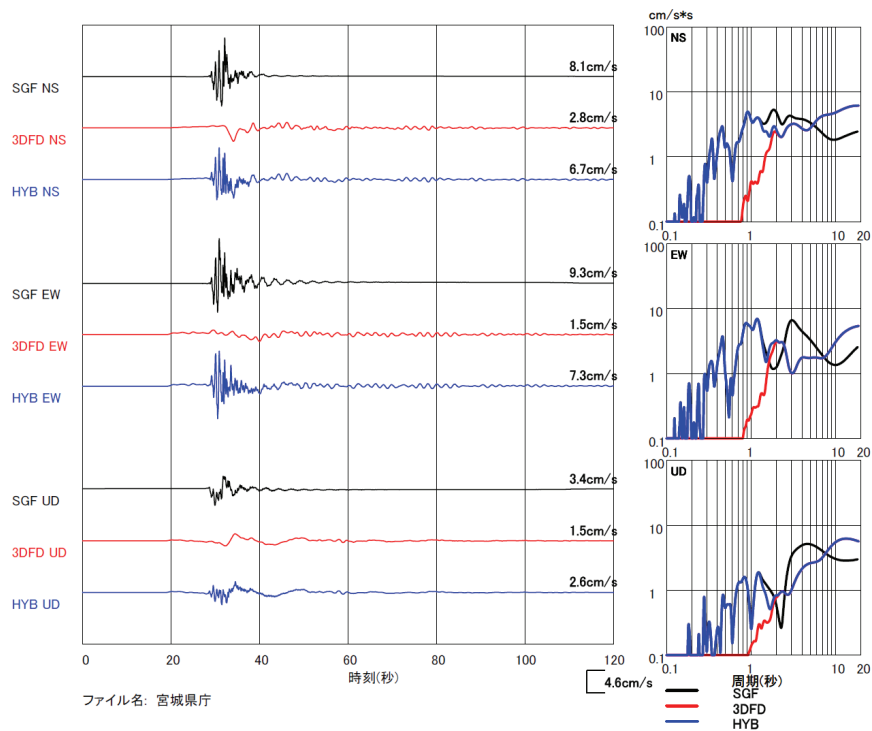


図 39(c) 宮城県沖地震の北部単独シナリオによる広帯域地震動予測の時刻歴波形（宮城県庁）。

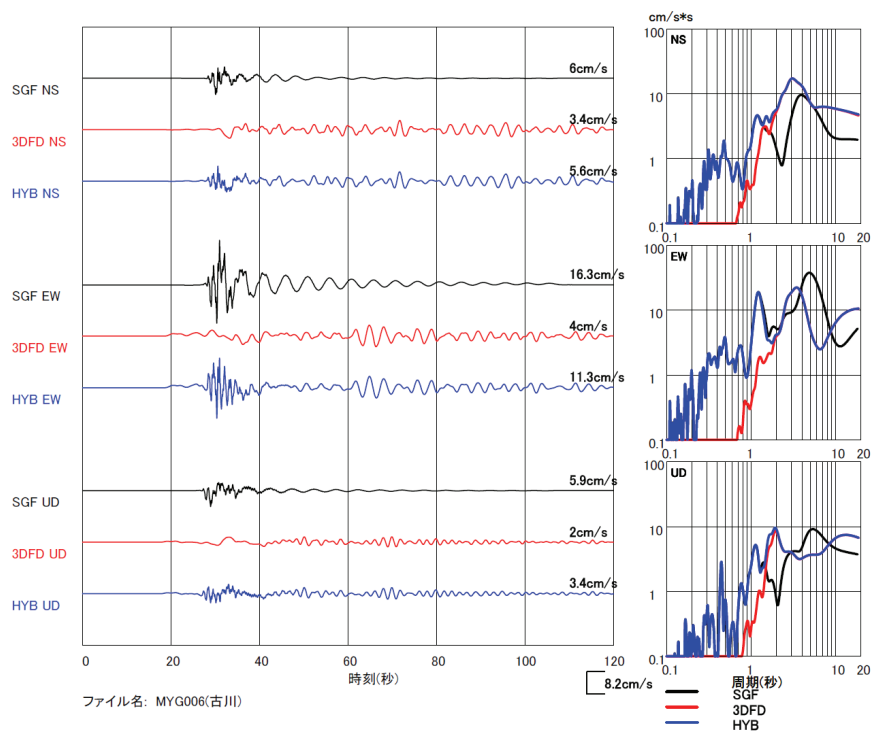


図 39(d) 宮城県沖地震の北部単独シナリオによる広帯域地震動予測の時刻歴波形（古川）。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 21 年度は、強震動予測の高度化のために、平成 20 年度までに得られた過去の宮城県沖地震の運動学的震源モデル及び動力的震源モデルに基づき、長周期地震動及び広帯域地震動の予測に適切な震源モデルを構築した。また、より現実的な震源モデル構築に向けて動的シミュレーションコードの並列化を実現した。震源モデルと並び強震動予測の高度化に必要な地下構造モデルについては、平成 20 年度までに構築した地下構造モデルを基に、サブテーマ 1 などで得られている海域の太平洋プレートの構造モデルと本サブテーマで構築してきたものを統合し、自然地震の地震動観測記録を用いて検証するなど、1 次地下構造モデルを高度化した。得られた宮城県沖地震の震源モデル及び 1 次地下構造モデルを用いて、地震被害に直結する周期帯域を含む広い周期帯域で、仙台圏及び周辺地域における高精度な強震動予測を実施した。得られた強震動分布は、地震基盤の深い領域では長周期成分の振幅が大きく、堆積層の厚い領域では短周期成分の振幅が大きくなっている。また、予測される震度分布は、1978 年宮城県沖地震におけるアンケート震度の分布を再現するものとなっている。これらの特徴は、震源特性や地下構造の影響を反映したものである。

上述のように、宮城県沖地震の強震動予測にあたって、震源モデル及び地下構造モデルを高度化したことにより、地震被害に関連した広い帯域において従来より高精度な強震動分布を得ることができた。

宮城県沖の領域では、過去におよそ 30 年の間隔において繰り返し海溝型地震が発生し、仙台圏及び周辺地域に被害を及ぼしている。地震からの被害を軽減するための対策は、例えば構造物の耐震化や実効的緊急対策の検討等に見られるように年々進んできてはいるものの、様々な観点からの詳細な検討が必要である。震源域の近傍及び周辺地域での強震動の影響評価をさらに高精度化する必要がある。そのために今後の課題として以下の項目が挙げられる。

- ・理論的手法による強震動予測の広帯域化を可能とするための震源過程のインバージョン手法の高度化。特にすべり時間関数の高分解能・高精度推定手法の開発。
- ・三次元地下構造の効果を精度よく取り入れるために、差分法や有限要素法等の理論的手法による予測の高度化。特により短周期帯域での計算の安定化と高精度化。
- ・震源断層から観測点至る地震波伝播経路にあたる領域の地下構造モデル手法の高度化及び、浅部地盤構造の三次元モデル化手法の高度化。

(e) 引用文献

- 1) Wu, C., K. Koketsu, and H. Miyake, Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 113, doi:10.1029/2007JB005189, 2008.
- 2) 木村武志・額額一起・宮武隆, 内陸地震と海溝型地震の破壊エネルギー, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, S148-P016, 2009.
- 3) Kimura, T., K. Koketsu, H. Miyake, C. Wu, and T. Miyatake, Dynamic Source Modeling of the 1978 and 2005 Miyagi-oki Earthquakes: Interpretation of Fracture Energy, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2009JB006758, in press, 2010.

- 4) 馬場俊孝・伊藤亜紀・金田義行・早川俊彦・古村孝志, 制御地震探査結果から構築した日本周辺海域下の3次元地震波速度構造モデル, 日本地球惑星科学連合大会講演予稿集, S111-006, 2006.
- 5) Koketsu, K., H. Miyake, Afnimar, and Y. Tanaka, A proposal for a standard procedure of modeling 3-D velocity structures and its application to the Tokyo metropolitan area, Japan, *Tectonophysics*, 472, 290-300, 2009.
- 6) 宮城県, 平成16年度仙台平野南部地域地下構造調査成果報告書, 2005.
- 7) 女川原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書<2号原子炉の増設>, 1987.
- 8) 石油公団, 昭和46年度 大陸棚石油・天然ガス資源基礎調査 基礎物理探査「関東」調査報告書, 24pp, 1971.
- 9) 石油公団, 昭和45年度 大陸棚石油・天然ガス資源基礎調査 基礎物理探査「北上～阿武隈」調査報告書, 22pp, 1971.
- 10) 石油公団, 昭和48年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「下北～北上」調査報告書 20pp, 1974.
- 11) 石油公団, 昭和52年度 大陸棚石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「下北～東海沖海域」調査報告書, 33pp. 1978.
- 12) 石油公団, 昭和61年度 国内石油天然ガス基礎調査 海上基礎物理探査「南三陸～鹿島沖」調査報告書, 27pp, 1987.
- 13) 石油公団, 平成2年度 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎試錐「相馬沖」調査報告書, 115pp, 1992.
- 14) 石油公団, 平成5年度 国内石油・天然ガス基礎調査 陸上基礎物理探査「鳥海山南麓地域」調査報告書, 46pp, 1994.
- 15) 石油公団, 平成5年度 国内石油・天然ガス基礎調査 海上基礎物理探査「常磐～鹿島浅海域」調査報告書, 1994.
- 16) 石油公団, 平成6年度 国内石油・天然ガス基礎探査 海上基礎物理探査「常磐～鹿島浅海域」調査報告書, 1995.
- 17) 高井剛・山中浩明・石田寛・古屋伸二, 福島県浜通りのやや長周期微動のレイ観測とS波速度構造の推定—富岡町と川内村における観測—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 227-228, 1995.
- 18) Yamada, N. and T. Iwata, Long-period ground motion simulation in the Kinki area during the Mj7.1 foreshock of the 2004 off the Kii peninsula earthquakes, *Earth Planets Space*, 57, 191-202, 2005.
- 19) 地質調査総合センター, 日本重力CD-ROM第2版, 2004.
- 20) Virieux, J., P-SV wave propagation in homogeneous media: Velocity-stress difference method, *Geophysics*, 51, 889-901, 1986.
- 21) Levander, A. R., Fourth-order finite-difference P-SV seismograms, *Geophysics*, 53, 1425-1436, 1988.
- 22) Graves, R. W., Simulating seismic wave propagation in 2D elastic media using staggered-grid finite differences, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 86, 1091-1106, 1996.
- 23) Cerjan, C., D. Kosloff, R. Kosloff, and M. Reshef, A nonreflecting boundary

- condition for discrete acoustic and elastic boundary condition, *Geophysics*, 50, 171-176, 1985.
- 24) Robertsson, J. O. A., J. O. Blanch, and W. W. Symes, Viscoelastic finite difference modeling, *Geophysics*, 59, 1444-1456, 1994.
- 25) 地震調査委員会、「長周期地震動予測地図」2009 試作版, 2009.
- 26) 地震調査委員会、「震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」)」, 2009.
- 27) Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, *J. Geophys. Res.*, 109, B07307, doi:10.1029/2003JB002683, 2004.
- 28) 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*, 53, 1-9, 2000.
- 29) 藤本一雄・翠川三郎, 日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均 S 波速度分布の推定, *日本地震工学会論文集*, 3, 3, 13-27, 2003.
- 30) 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄, 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, *地域安全学会論文集*, 1, 51-56, 1999.
- 31) 司宏俊・翠川三郎, 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, *日本建築学会構造系論文集*, 523, 63-70, 1999.

(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
Wu, C., K. Koketsu, and H. Miyake	Correction to 'Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes'	<i>J. Geophys. Res</i>	2009年4月
瀬瀬一起・三宅弘恵	長周期地震動予測地図	日本地震工学会誌	2010年1月
Kimura, T., K. Koketsu, H. Miyake, C. Wu, and T. Miyatake	Dynamic source modeling of the 1978 and 2005 Miyagi-oki earthquakes: Interpretation of fracture energy	<i>J. Geophys. Res.</i>	印刷中
木村武志・瀬瀬一起・宮武隆	内陸地震と海溝型地震の破壊エネルギー	日本地球惑星科学連合2009年大会	2009年5月
瀬瀬一起・三宅弘恵・引間	「長周期地震動予測地図」2009年版の作成－想定東海地	日本地球惑星科学連合2009年大会	2009年5月

和人・木村武志・古村孝志・藤原広行・橋本徹夫・石井透・吾妻瞬一・室谷智子・早川崇・渡辺基史・鈴木晴彦	震・東南海地震・宮城県沖地震一		
三宅弘恵・加瀬祐子・青井真・瀬瀬一起・木村武志・河路薫・池上泰史・秋山伸一	FEM および FDM による断層破壊の動力的シミュレーションの精度検証	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	2009 年 5 月
増田徹	断層すべりのライズタイムと強震動予測	日本地震学会 2009 年秋季大会	2009 年 10 月
三宅弘恵・瀬瀬一起・木村武志・引間和人・古村孝志・増田徹・鈴木晴彦・甲斐田康弘	宮城県沖地震の震源モデルと強震動予測	日本地震学会 2009 年秋季大会	2009 年 10 月

(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

動的シミュレーションコードの開発

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 5 ヶ年の成果と課題

本業務では、平成 19 年度から平成 21 年度にかけて、強震動評価の高精度化に向けて、以下の研究・開発を行った。

・宮城県沖地震の震源断層の深さについて、震源域における太平洋プレートの既往構造モデルを比較した。3つの既往プレートモデルは特に宮城県沖地震震源域において深さに差異がみられ、5-10 km程度のずれが見られる。本業務で推定した1978年と2005年の宮城県沖地震の震源モデルは、最も浅い馬場・他(2006)⁴⁾のモデルに近い。本研究で推定した宮城県沖地震震源域の深さは、長周期地震動及び短周期地震動の両者に対して、地表で観測される強震動をより励起するものとなっている。

・1978年宮城県沖地震について、運動学的震源モデルのすべり量と破壊伝播速度を再現するように動力的震源モデルを構築した。1978年宮城県沖地震の動力的震源モデルと、2005年宮城県沖地震の動力的震源モデルを比較し、応力降下量は2つの地震でほぼ同程度の値であるが、破壊エネルギーは地震モーメントの大きかった1978年の地震の方が2-5倍大きな値であることを示した。このことは、2つの地震で繰り返し破壊したアスペリティのみに注目した場合でも同様であった。この結果に基づいて、宮城県沖に想定される大地震による強震動予測に採用する震源モデルとして、アスペリティの位置及び強さは1978年宮城県沖地震と同等のものが妥当であると考えられる。

・有限要素法を用いた動力的破壊のシミュレーションコードを開発した。逆断層のシミュレーションが対応可能となり、非平面断層に対応可能な任意形状要素への拡張を行った。ここで開発されたコードは、従来より詳細な震源過程の研究に役立つものである。

・強震動予測の高度化に必要な地下構造モデルに関して、物理探査データ、ボーリングデータ、地質断面等を基に補間により構築した0次地下構造モデルに対して、観測記録のR/Vスペクトル比を用いて観測点直下の一次元構造を修正した。また、重力ブーグ異常あるいはP波及びS波の走時等を用いて伝播経路や観測点間の領域の構造を修正し、さらに、中規模地震の観測波形の再現計算により高精度な1次地下構造モデルを構築した。本研究で得られた1次地下構造モデル及び地下構造モデルの構築・修正の手法は、宮城県沖地震に影響を受ける仙台圏及び周辺地域における地下構造モデルの今後の調整のみならず、他の地域における地下構造モデルの構築・修正について標準的手法として適用が可能である。

・本業務で得られた震源モデル及び1次地下構造モデルを用いて、仙台圏及び周辺地域において、地震被害に直結する周期帯域を含む広い周期帯域で高精度強震動予測を行った。想定地震の強震動分布は、震源断層の位置及び深さ、震源過程、地震動伝播特性を支配する地下構造等のそれぞれの要因の総合的效果として予測されるものである。本研究では、これら影響する要因について、詳細なモデルを構築することができたことにより、高精度な結果が得られた。

今後さらに強震動予測の精度を高めるために、以下の課題があげられる。

・理論的手法による強震動予測の広帯域化を可能とするための震源過程のインバージョン手法の高度化。特にすべり時間関数の高分解能・高精度推定手法の開発。

・三次元地下構造の効果を精度よく取り入れるために、差分法や有限要素法等の理論的手法による予測の高度化。特により短周期帯域での計算の安定化と高精度化。

・震源断層から観測点に至る、地震波伝播経路にあたる領域の地下構造モデル手法の高度化及び浅部地盤構造の三次元モデル化手法の高度化。