

3. 4 断層近傍及び都市域における強震動予測向上のための調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層近傍及び都市域における強震動予測向上のための調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所	部門長	藤原 広行
同上	主任研究員	森川 信之
同上	主幹研究員	先名 重樹
同上	主任研究員	前田 宜浩
同上	主任研究員	岩城 麻子

(c) 業務の目的

強い揺れによる被害が予測される震源断層ごく近傍及び周辺の大都市域を対象として、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の成果に基づいて構築された強震動評価のための広域地盤モデル（浅部・深部統合地盤モデル）の修正版を構築するとともに、地表断層及び地震発生層より浅い震源断層のモデル化手法を確立する。サブテーマ1～3の成果に基づいて、当該断層における活動区間などに関する不確実さを考慮した多様な震源モデルを構築し、修正した地下構造モデルを用いて地表変位を含む高精度な面的な強震動予測計算結果を平均値だけでなく幅を含めて提示する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 令和2年度：

地震調査研究推進本部による現行の屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯（恵那山－猿投山北断層帯）の地震を想定した震源断層を特定した地震動予測地図(2018)において震度6弱から6強の強い揺れが予測されている地表断層周辺、及び周辺都市域（名古屋市、瀬戸市、長久手市、豊田市域）の強震動計算のための地盤モデルの構築について、工学的基盤の不整形性を高精度化するための微動アレイ観測、地震観測（地震計設置）を実施した。

震源断層を特定した地震動予測地図では、震源モデルが地中の単純な矩形で表現されており、谷筋に沿って複雑な地表断層形状をしている当該断層帯と乖離している部分もある。そこで、複雑な地表断層形状の詳細なモデル化手法と計算ツールを作成した。

2) 令和3年度：

地盤モデル高精度化のための地震観測を引き続き行うとともに、令和2年度の調査データとあわせて分析し、東海地域の浅部・深部統合地盤モデルを修正した。

平成28年（2016年）熊本地震を対象とした検討で得られている知見を踏まえ、当該断層帯における地震発生層上端深さとそれ以浅の地表変形を含む破壊過程が強震動計

算結果に及ぼす影響を、定量的に評価するための感度解析を実施した。

3) 令和4年度：

過年度までに構築した強震動計算のための地盤モデルの検証を行い、必要に応じて修正及び調整を行う。

当該断層帯を対象とした地表変位を含む高精度化された強震動予測を行うため、活動区間などの不確実さを考慮した多様な震源モデル群を設定する。構築した地下構造モデル及び震源モデル群を用いて広帯域（周期 0.1～10 秒）強震動シミュレーションを行い、現在の地震動予測地図から高精度化された面的な強震動予測計算結果を不確実さも含めて提示する。

(2) 令和3年度の成果

(a) 業務の要約

地震調査研究推進本部による震源断層を特定した地震動予測地図（2020）において、震度6弱から6強の強い揺れが予測されている地表断層周辺及び周辺都市域における強震動予測を向上させるため、地盤モデル高精度化のための地震観測を引き続き行うとともに、令和2年度の調査データと併せて分析し、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の成果に基づく東海地方の浅部・深部統合地盤モデル（東海地方の既往地盤モデル Wakai et al., (2019)）を修正した。また、作成された地盤モデルに基づき、断層傾斜を変えた重力分布の理論計算を行い、断層傾斜角に関する検討を実施した。平成28年（2016年）熊本地震を対象とした検討（岩城ほか，2018）からは、アスペリティが存在し得る地震発生層の上端深さとそれより浅い震源断層における地表変位を含む破壊過程が、断層ごく近傍の強震動計算結果に大きな影響を及ぼすことが明らかとなってきた。そこで、当該断層帯における地震発生層上端深さとそれより浅い地表変位を含む破壊過程が強震動計算結果に及ぼす影響を、定量的に評価するための感度解析を行った。

(b) 業務の実施方法

断層近傍及び周辺都市域の詳細な地盤モデル構築のため、令和2年度に引き続き、地震観測を実施した。地震計設置後に観測された地震記録、及び、令和2年度に計測した微動アレイ探査の解析を行った。東海地方の既往地盤モデルを初期モデルとして、昨年度に作成された重力基盤解析結果、微動解析結果及び、地震観測記録等に基づき、浅部・深部統合地盤モデルを修正した。さらに、作成された地盤モデルに基づき断層傾斜角を変えた重力分布の理論解析を行うことで、断層傾斜角に関する検討を実施した。

また、次年度に多様・多数の震源モデル構築と強震動計算を効率的に行うために、地震発生層より浅い震源断層におけるすべり量を変えた震源モデルによる感度解析を実施した。

(c) 業務の成果

本研究における浅部・深部統合地盤構造モデル構築のため、地盤モデル構築範囲内において、昨年度に引き続き20箇所の地震観測を実施し、地震計設置後に観測された地震記録

(令和3年1月～令和4年1月)を整理し、R/V スペクトル比を計算した(図1)。昨年度計測した微動アレイ探査(大アレイ40地点、小アレイ843地点)の観測位相速度に基づき、S波速度構造の解析(図2)とAVS30等の計算を実施した(図3)。これらの解析結果より、東海地方の既往地盤モデルを初期モデルとして、昨年度に作成された重力基盤解析結果、収集・整理された反射法地震探査データ、自治体等の地震観測記録等も活用した上で、浅部・深部統合地盤構造モデルを修正した(図4)。地震基盤上面($V_s3100(m/s)$)の深さ分布とモデル化範囲の南西-北東方向及び北西-南東方向の断面図を図5に示す。工学的基盤上面深さについて、北東側の盆地内では、今回作成したモデルは東海地方既往モデルよりもわずかに深い。南西側の平野では、今回作成したモデルと東海地方既往モデルは同程度であり、50~75 m程度である。AVS30については、北東側の盆地内で概ね300 m/s以上であり今回作成したモデルは既往東海地方モデルよりもわずかに大きい。南西側の平野では160~400 m/s程度である。また、断層を境にAVS30の相違が大きくなっている(図3右図)。地震観測データに基づくR/V スペクトル比と、既往地盤モデル及び作成した浅部・深部統合地盤構造モデルの理論H/V スペクトル比の比較を図6に示す。今回作成した浅部・深部統合地盤構造モデルの理論H/V スペクトル比は、既往の東海地方モデルの理論H/V スペクトル比よりも観測R/V スペクトル比と調和的である。

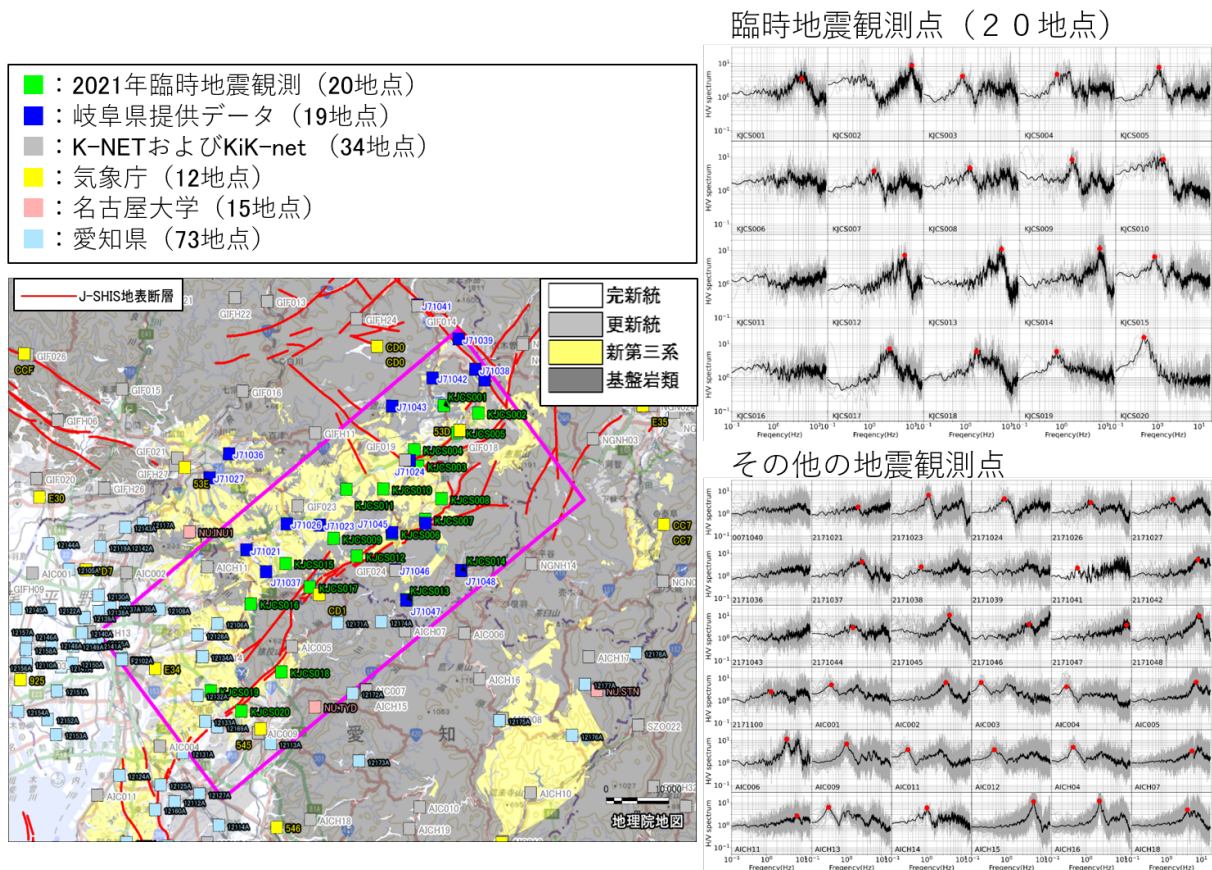
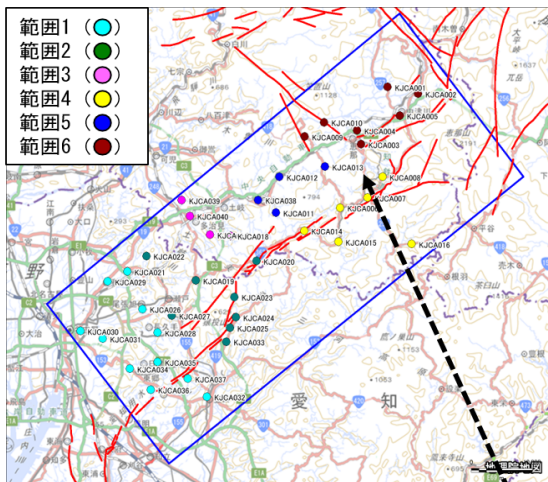


図1 モデル化に使用した地震観測点分布図(左図)とR/V スペクトル比の計算例

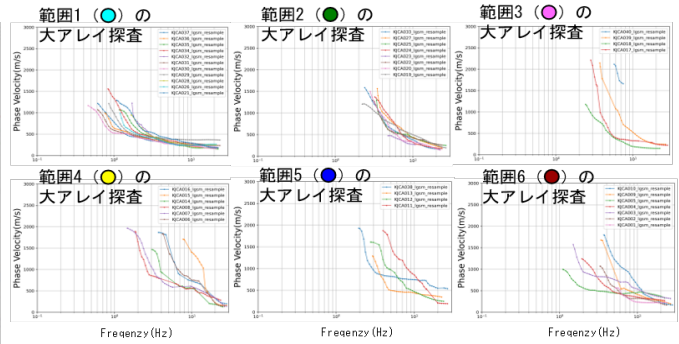
(背景)



図：地図・地理院地図、断

微動探査アレイ(大アレイ)40地点

層トレース・J-SHIS)



微動観測の位相速度と地震記録等のR/Vスペクトル比とのジョイントインバージョン

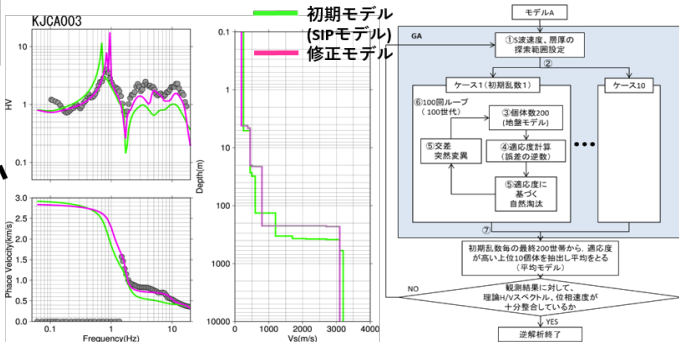


図2 微動アレイ探査(大アレイ)の観測地点及び観測結果(位相速度)と、S波速度構造解析手法及び解析結果の例(背景図：地図・地理院地図、断層トレース・J-SHIS)

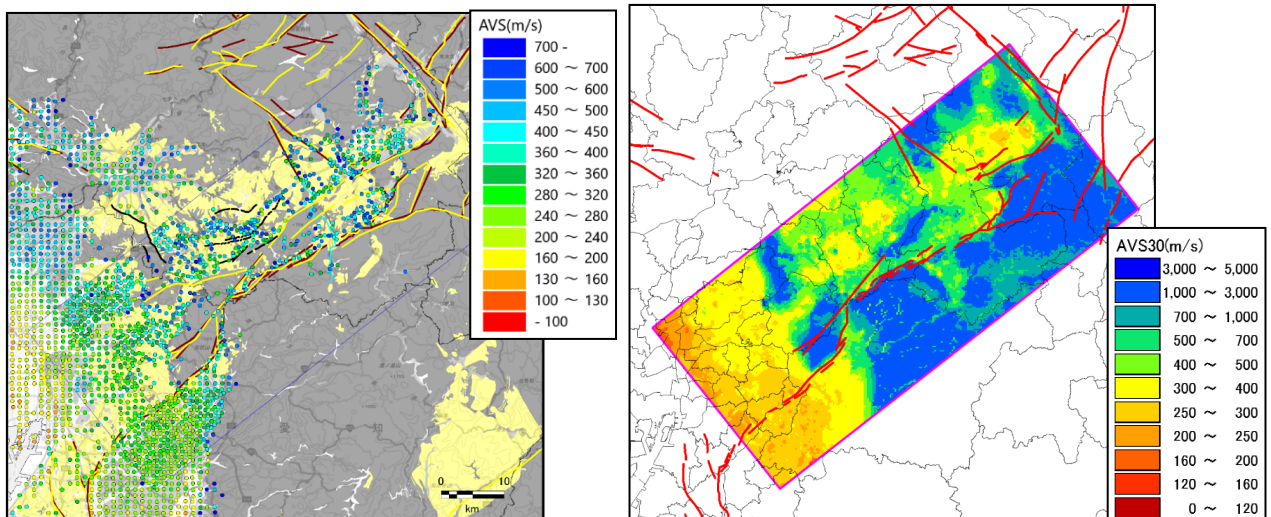
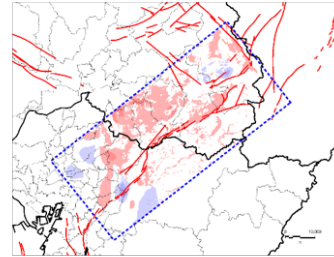
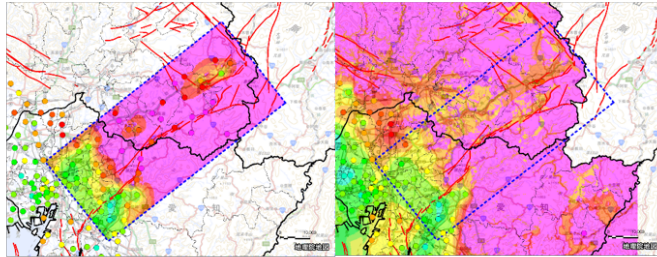
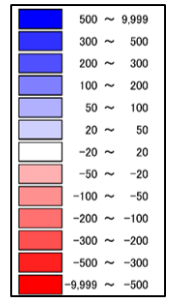


図3 微動アレイ観測(小アレイ)によるAVS30(左)と、修正した浅部・深部統合地盤構造モデルのAVS30(右)(背景図：地図・地理院地図、断層トレース・J-SHIS)

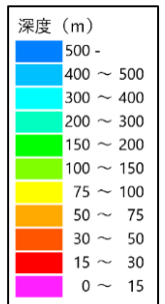
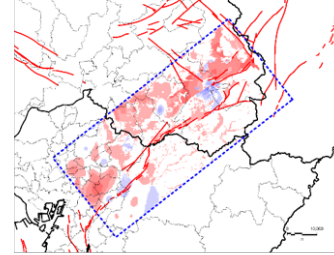
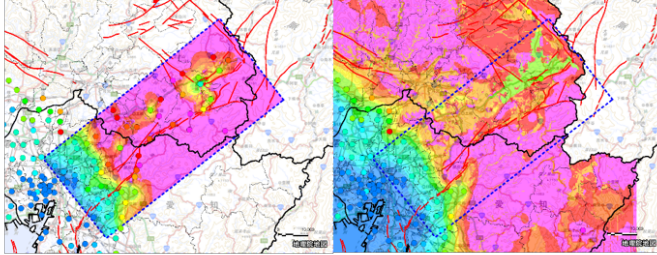
Vs600 m/s層上面深度



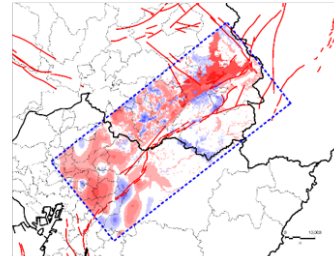
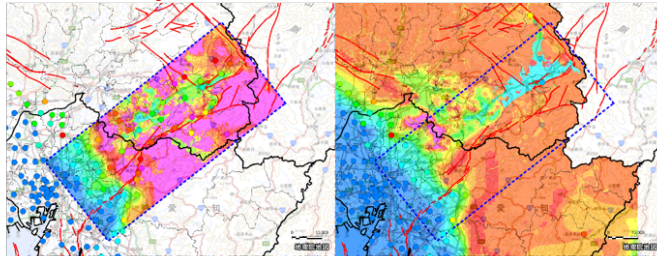
差分



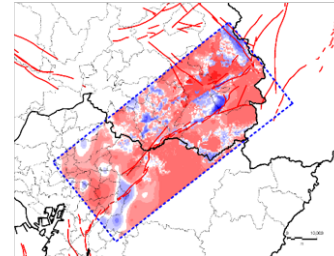
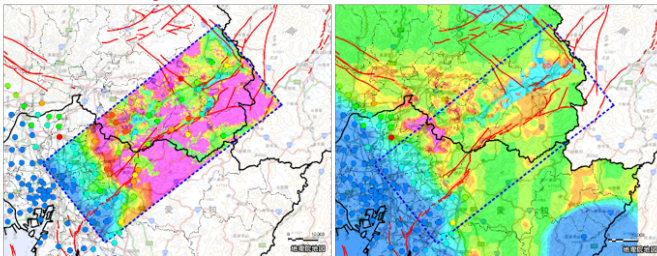
Vs1100 m/s層上面深度



Vs2000 m/s層上面深度



Vs3100 m/s層上面深度



作成モデル

既往のモデル

今回作成したモデルー既往のモデル

図4 作成した浅部・深部統合地盤構造モデルと東海地方の既往地盤モデルとの比較（背景図：地図・地理院地図、断層トレース・J-SHIS）

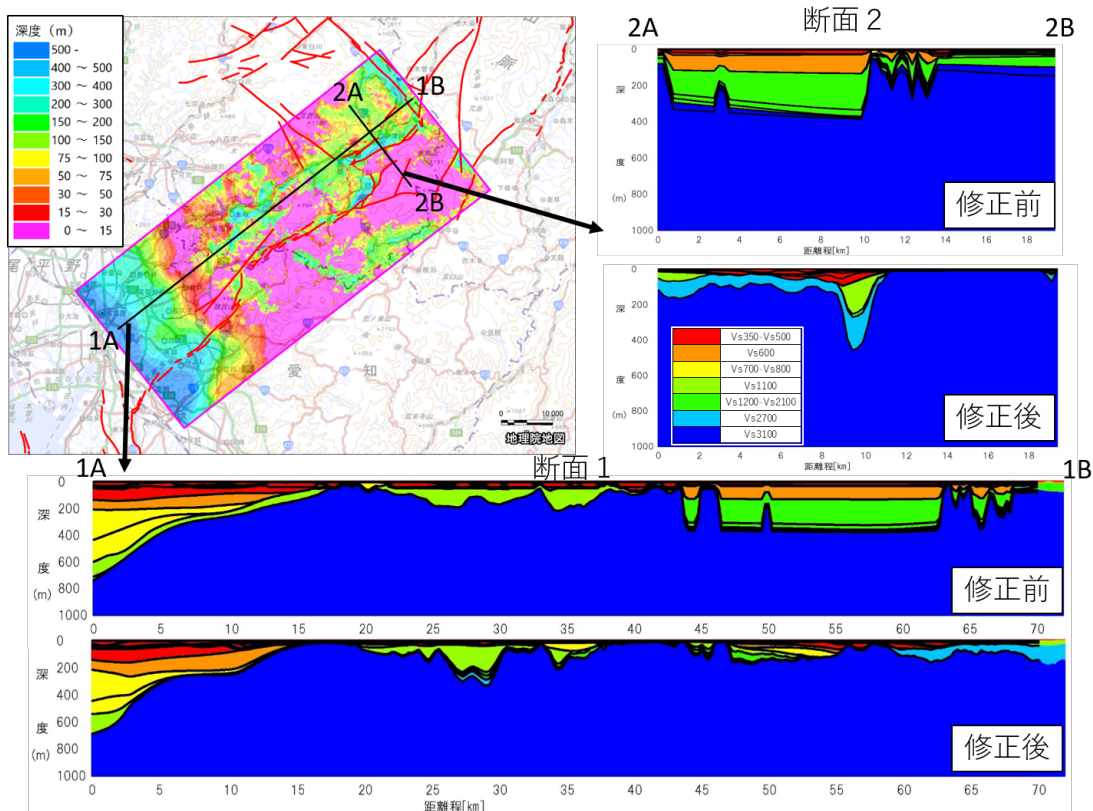


図5 作成した浅部・深部統合地盤構造モデル（左上は Vs3100 上面深度）と東海地方の既往地盤モデルとの断面の比較（背景図：地図・地理院地図、断層トレース・J-SHIS）

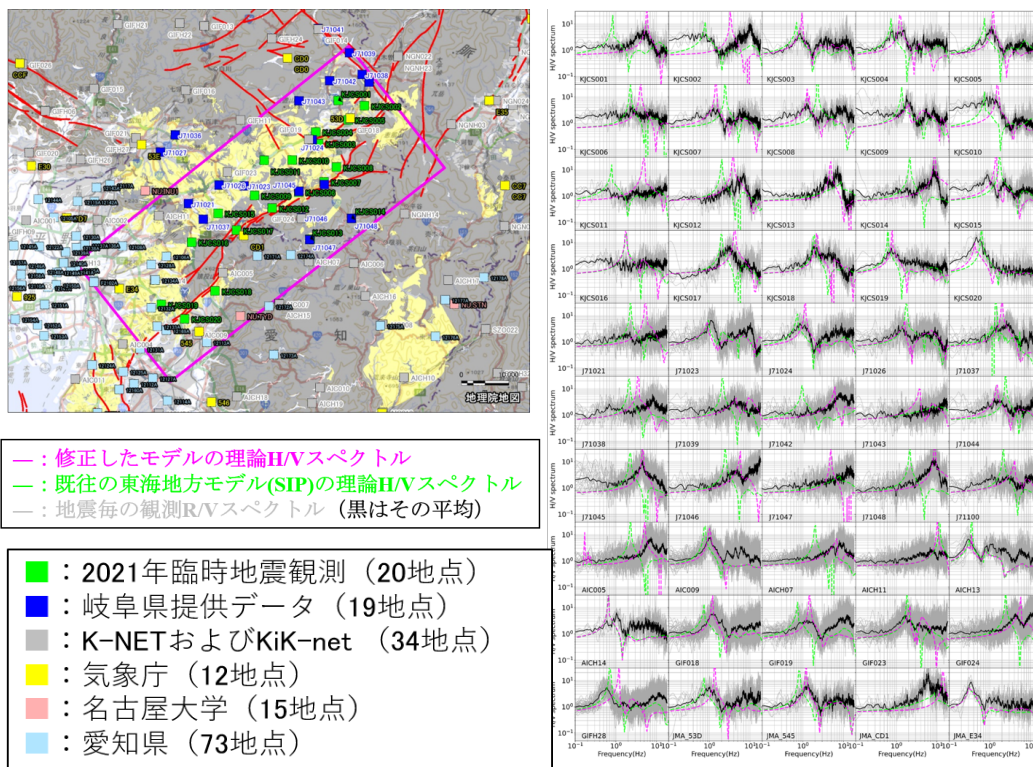


図6 地震観測記録のR/Vスペクトル比と地盤モデルによる理論H/Vスペクトル比の比較（左図は地震観測地点図、右図はスペクトル比の比較）（背景図：地図・地理院地図、断層トレース・J-SHIS）

また、今回作成した浅部・深部統合地盤構造モデルの範囲のうち、恵那山断層帯の傾斜角を検討するため、本解析で得られた重力基盤標高（初期条件）と残差重力（シグナル成分）を用いて2次元フォワード解析を行った。手法は Komazawa(1995)によるものである。図7に解析測線及びフォワード解析結果を示す。断層と直交方向の複数の測線（NW1～NW8）の傾斜角を検討した結果、NW8 測線では、逆断層で傾斜角 30 度とした場合、観測重力値と理論重力値が整合する結果となった。その他の断面についても今後、同様の検討を行うこととしている。

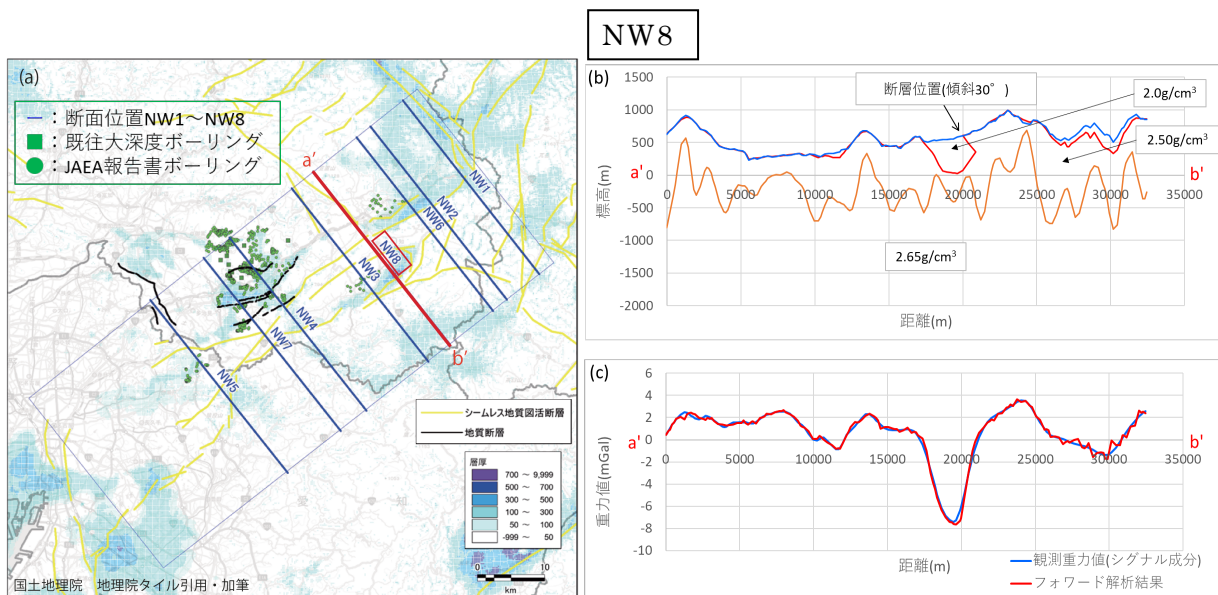


図7 重力基盤層厚(a)と、地盤モデルを使った理論重力計算結果（NW8断面(b),(c)）の比較（背景図：地図・地理院地図、断層トレース・産総研シームレス地質図）
 (a) 重力基盤層厚とフォワード解析測線位置 (b)解析モデル (c)フォワード解析結果（シグナル成分）

2016年熊本地震を対象とした検討から、従来の強震動予測では考慮されていなかった地震発生層よりも浅部における震源断層の滑りが断層ごく近傍の強震動に影響を及ぼすことが分かってきた。そこで、本検討では当該断層帯においてどの程度の違いが生じるかを調べた。具体的には、全国地震動予測地図 2020年版の恵那山-猿投山北断層帯の震源断層モデル（ケース1；従来モデル）の上端から地表付近まで、背景領域と同じ滑り量を付与した。工学的基盤（ $V_s=600\text{m/s}$ ）上の最大速度分布を図8に、近接地点の速度及び変位波形の比較を図9に示す。このとき、smoothed ramp型のすべり関数を仮定し、パルス幅を2秒とした。断層近傍において違いが顕著に見られ、特に変位においては2倍程度大きくなる地点もあることが確認された。一方、すべり速度時間関数におけるパルス幅を地震発生層内のアスペリティに近い0.5秒に変えた場合には、最大振幅だけでなく、後続波形にも違いが見られ（図10）、震源モデルだけでなく、地下構造モデルによる影響も生じていることが確認された。

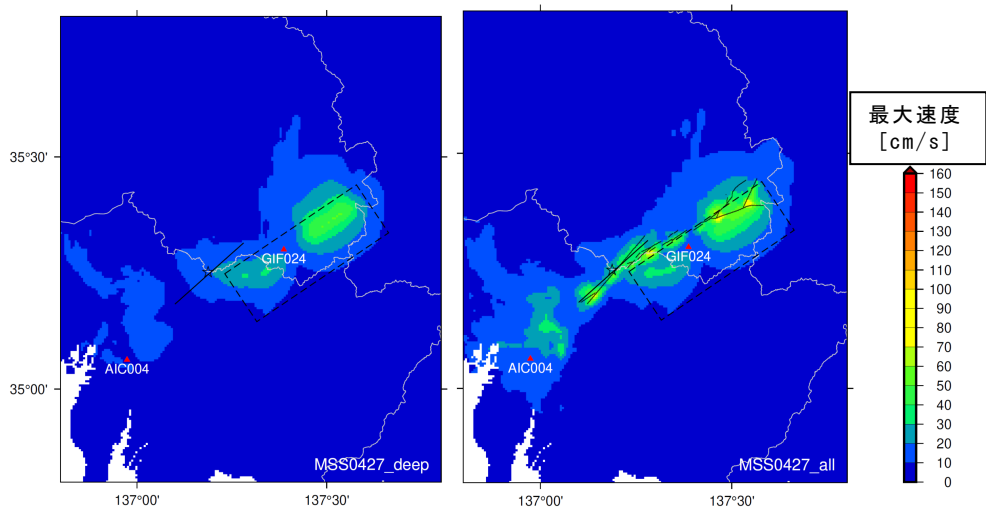


図8 従来モデル（左）と浅部に滑りを付与したモデル（右）による工学的基盤上の最大速度分布

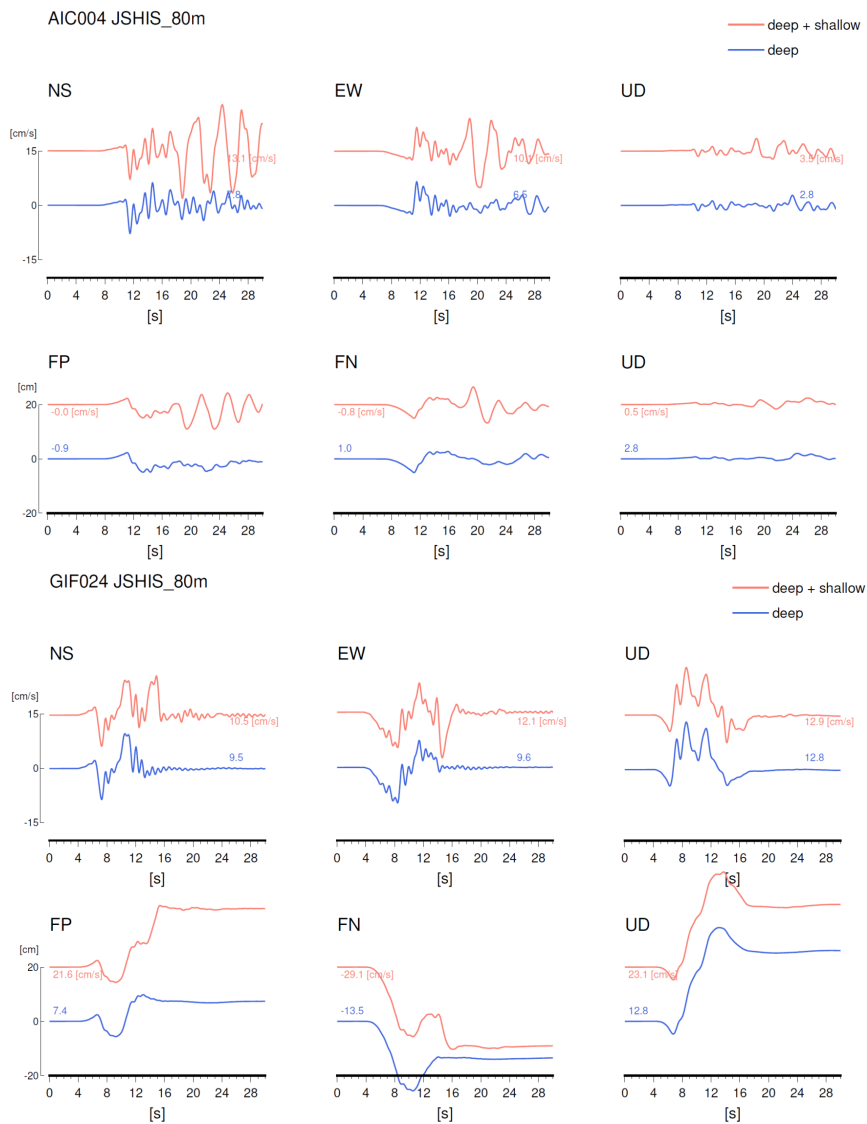


図9 断層近傍の地点における波形の比較（青：従来モデル、赤：浅部に付与したモデル）

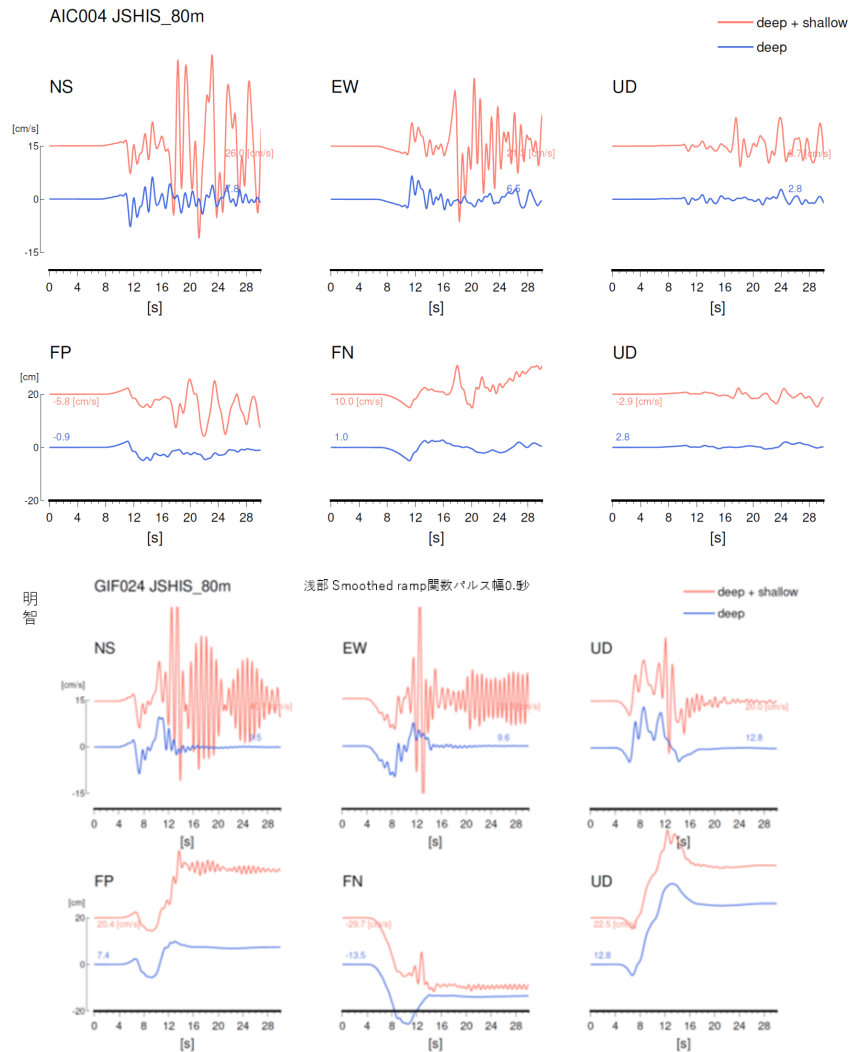


図 10 すべり速度関数のパルス幅を変えた検討における断層近傍の地点における波形の比較（青：パルス幅 2 秒（図 9 の赤と同じ）、赤：パルス幅を 0.5 秒としたモデル）

(d) 結論ならびに今後の課題

本年度において、詳細な地盤モデル構築のため、昨年度に引き続き、地震観測を実施し、地震計設置後に観測された地震記録、及び、令和 2 年度に計測した微動アレイ探査の解析を行った。東海地方の既往地盤モデルを初期モデルとして、昨年度に作成された重力基盤解析結果、微動解析結果及び、地震観測記録等に基づき、浅部・深部統合地盤モデルを修正した。さらに、作成された地盤モデルに基づき断層傾斜角を変えた重力分布の理論解析を行うことで、断層傾斜角に関する検討を行った。平成 28 年（2016 年）熊本地震を対象とした検討で得られている知見を踏まえ、当該断層帯における地震発生層上端深さとそれ以浅の地表変形を含む破壊過程が強震動計算結果に及ぼす影響を、定量的に評価するための感度解析を実施した。来年度は、今年度作成した浅部・深部統合地盤構造モデルに基づく強震動計算を実施し、地震観測記録との整合性の検証を行った上で、必要に応じて浅部・深部統合地盤構造モデルの微修正を行う。また、サブテーマ 1 及び 3 の成果による断層モデルや本サブテーマで構築

する地盤構造モデルを踏まえ、当該断層帯を対象とした地表変位を含む高精度化された強震動予測を行うため、活動区間などの不確実さを考慮した多様な震源モデル群を設定する。構築した地下構造モデル及び震源モデル群を用いて広帯域（周期0.1～10秒）強震動シミュレーションを行い、現在の地震動予測地図から高精度化された面的な強震動予測計算結果を不確実さも含めて提示する。

(e) 引用文献

防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS <https://www.j-shis.bosai.go.jp/>

岩城麻子・前田宜浩・森川信之・藤原広行・早川俊彦：強震動評価のための地表に達する断層モデル：2016年熊本地震における検討，第15回日本地震工学シンポジウム論文集，OS2-02-03，2018.

地震調査研究推進本部地震調査委員会，全国地震動予測地図 2020年版，https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2020/，2021.

国土地理院：地理院タイル，<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>.

Komazawa, M. : Gravimetric Analysis of Aso Volcano and its Interpretation , J. Geod. Soc. Japan. **41**, 17-45 1995.

産業技術総合研究所地質調査総合センター：日本重力データベース DVD版，<https://iss.ndl.go.jp/books/R100000002-I024461489-00>，2013.

産業技術総合研究所地質調査総合センター，20万分の1日本シームレス地質図 V2，<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html>，閲覧日 2020-12-25

Wakai, A, S. Senna, K. Jin, A. Yatagai, H. Suzuki, Y. Inagaki, H. Matsuyama, H. Fujiwara, Modeling of Subsurface Velocity Structures from Seismic Bedrock to Ground Surface in the Tokai Region, Japan, for Broadband Strong Ground Motion Prediction, Journal of Disaster Research, Vol.14, No.9, pp. 1140-1153, 2019.