- 3.3.2 強震動予測
- 目 次
- (1) 業務の内容
 - (a) 業務題目
 - (b) 担当者
 - (c) 業務の目的
 - (d) 8 か年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)
 - 1) 平成25年度
 - 2) 平成26年度
 - 3) 平成27年度
 - 4) 平成28年度
 - 5) 平成29年度
 - 6) 平成30年度
 - 7) 平成31年度
 - 8) 平成32年度
 - (e) 平成29年度業務目的
- (2) 平成29年度の成果
 - (a) 業務の要約
 - (b) 業務の成果
 - 1) 微動による堆積平野速度構造調査
 - a) 調査の概要
 - b) 微動アレイ観測
 - c) 微動アレイ解析による Rayleigh 波位相速度の推定
 - d)S波速度構造モデルの推定
 - 2) 地震波形記録の収集
 - 3) 震源断層モデルに基づく強震動予測
 - a) 簡便法による強震動予測
 - b) 詳細法による強震動予測のための震源断層パラメータの設定
 - c) 詳細法による強震動予測手法の概要
 - d) 詳細法による強震動予測結果
 - (c) 結論ならびに今後の課題
 - (d) 引用文献
 - (e) 成果の論文発表・口頭発表等
 - (f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定
- (3) 平成30年度業務計画案

(a) 業務題目

3.2 強震動予測

(b)	担	当	者

所属機関	役職	氏名		
京都大学防災研究所	教授	岩田	知孝	
	准教授	関口	春子	
	准教授	浅野	公之	
福井大学附属国際原子力工学研究	准教授	大堀	道広	
所				
鳥取大学大学院工学研究科	教授	香川	敬生	
	助教	野口	竜也	
東京工業大学環境・社会理工学院	教授	山中	浩明	
	助教	地元	孝輔	
東京大学大学院情報学環附属総合	准教授	三宅	弘恵	
防災情報研究センター				
国立研究開発法人防災科学技術研	部門長	藤原	広行	
究所社会防災システム研究部門				
	主任研究員	森川	信之	
国立研究開発法人産業技術総合研	主任研究員	堀川	晴央	
究所活断層·火山研究部門				

(c) 業務の目的

サブテーマ2で構築された日本海沿岸地域の断層形状モデルに基づいて、強震動予測の ための震源断層モデルに必要なパラメータを検討し、震源モデルの特性化を行う。従来の 速度構造モデルや必要な微動観測などを行い、対象地域の地下速度構造モデルの高度化を 進める。これらの情報を組み合わせて、対象断層帯が活動した場合の強震動予測を行い、 地震動分布の特徴を調べる。

(d) 8 か年の年次実施計画(過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成25年度:

内陸地震の震源モデル特性化情報を収集した。既往地下速度構造モデル集約情報に基づ き、情報が十分でない石川県の加賀平野南部及び邑知潟平野において、微動アレイ探査及 び単点微動調査を行い、地盤速度構造モデル情報を得た。福井県、石川県の自治体震度計 波形記録の収集を行った。

2) 平成26年度:

内陸被害地震の震源モデルの収集を継続し、強震動生成の観点に立った震源モデル特性

化を継続した。既往地下速度構造モデル集約情報に基づいて、富山平野において微動アレ イ探査を行い、地盤速度構造モデル情報を得た。富山県の自治体震度形波形記録を収集し、 福井、石川、富山県の地震波形を用いた地震波サイト増幅特性評価を開始した。

3) 平成27年度:

平成 26 年度に引き続き、地震基盤までの堆積層の速度構造情報が不足している富山平 野を現地調査対象領域として設定し、新たに微動アレイ探査を行い、地盤速度構造モデル 情報を得た。北陸地方の強震・震度観測点の地震波形記録を収集し、収集集した地震波形 記録を用いて、スペクトルインバージョン法により各強震観測点のサイト増幅特性を推定 し、既存地下構造モデルの検証を行った。サブサブテーマ 2.5 で得られた富山沖及び砺波 平野の震源断層モデルに基づいて、特性化震源モデルを設定し、強震動予測を実施した。

4) 平成28年度:

強震動予測に資する地下速度構造モデルの集約情報に基づき、北陸地方から山陰地方に かけての日本海沿岸地域のうち地下速度構造モデル情報の不足している地域のうち、山陰 地方西部の堆積平野を現地調査対象領域として設定し、微動アレイ探査などの地下構造調 査を行った。対象地域における地震波形記録の収集を継続し、観測サイトの地盤震動特性 を分析した。対象地域における震源断層モデルに基づいて、シナリオ地震想定と強震動予 測を行った。

5) 平成29年度:

日本海沿岸地域の強震動予測に資する地下速度構造モデルの集約を進めるとともに、北 海道道南の地下速度構造情報の不足している地域である函館平野にて微動アレイ観測など の地下構造調査を行った。日本海沿岸の対象地域の地震波形記録の収集を継続し、観測サ イトの地盤震動特性を分析した。平成 28 年度までにサブサブテーマ 2.5 で構築された震 源断層モデルに基づいて、シナリオ地震想定と強震動予測を行った。

6) 平成30年度:

日本海沿岸地域の強震動予測に資する地下速度構造モデルの集約を進めるとともに、東 北地方北部日本海沿岸の地下速度構造情報の不足している地域の堆積平野で微動アレイ観 測などの地下構造調査を行う。日本海沿岸の対象地域の地震波形記録の収集を継続し、観 測サイトの地盤震動特性を分析する。平成 29 年度までにサブサブテーマ 2.5 で構築され た震源断層モデルに基づいて、シナリオ地震想定と強震動予測を行う。

7) 平成31年度:

対象地域の地震記録の収集、地震記録や微動記録等を用いた地下構造モデルの検証、改 良を継続する。本調査研究サブテーマ2等で得られた震源断層モデルにプロトタイプ特性 化震源モデル、及び更新された地下速度構造モデルを用いて、北海道、東北北部等の日本 海側における強震動予測を実施する。 8) 平成32年度:

地下構造モデルを改訂する。本調査研究サブテーマ 2 等で得られた震源断層モデルに、 強震動予測のための改訂特性化震源モデル、及び更新された地下速度構造モデルを整理し て提案する。

(e) 平成29年度業務目的

強震動予測の高度化には、強震動予測のための震源モデル及び地下構造モデルの高度化 が必要である。地下構造モデルは一般には地球物理学的探査を踏まえた情報によって構築 されているが、既往情報の多寡によってそのモデルの性能が決まる。また、強震動予測手 法は、実地震データに基づいて検証を行って、方法の妥当性を確認し、更新していく必要 がある。今年度は、地震基盤までの堆積層の速度構造情報が不足している北海道道南の函 館平野を現地調査対象領域として設定し、微動アレイ探査を行う。日本海沿岸の対象地域 における地震波形記録の収集を継続し、観測サイトの地盤震動特性を分析する。対象地域 における震源断層モデルに基づいて、シナリオ地震想定と強震動予測を行う。

(2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

地震基盤までの堆積層の速度構造情報が不足している北海道道南の函館平野を現地調 査対象領域として設定し、微動アレイ観測を5地点で実施した。微動アレイ観測により得 られた上下動微動波形記録に SPAC 法を適用して位相速度を求め、Rayleigh 波基本モー ドの分散曲線をフィッティングすることにより、S 波速度構造を推定した。また、対象地 域の強震・震度観測点の地震波形記録を収集し、地震動の特徴を分析した。サブサブテー マ 2.5 から提案された島根沖から北部九州沖にかけての震源断層モデルに基づいて、特性 化震源モデルを設定し、簡便法及び詳細法による強震動予測を実施した。

(b) 業務の成果

1) 微動による堆積平野速度構造調査

a) 調査の概要

強震動予測を実施するためには、適切な震源モデルに加え、地表から地震基盤までの堆 積層の詳細なS波速度構造モデルが不可欠である。日本海地震・津波調査プロジェクトの 年次進行計画及び既存の地下速度構造調査に関する文献調査を踏まえ、平成29年度は北 海道道南を堆積平野速度構造調査の対象とした。まず、微動アレイ探査の調査地点の選定 のために、北海道道南における堆積平野の地下速度構造調査に関する文献調査を実施した。 このうち、微動アレイ探査によって地表から基盤までのS波速度構造が推定されている文 献¹⁾⁻¹⁰⁾を表1に示す。石狩平野、小樽平野、黒松内平野、勇払平野においては、既往研究 によって微動アレイ探査がなされ、S波速度構造が求められている。しかし、日本海沿岸 の地震により強い揺れに見舞われる可能性のある函館平野においては、地震基盤までのS 波速度構造に関する情報が得られていなかった。このため、函館平野内の函館市、北斗市、 亀田郡七飯町の計5地点において、微動アレイ探査を実施した。

表1 北海道道南における微動アレイ探査による地下構造調査に関する既往文献

調査地域	文献	地点数	調査地点
石狩平野~	岡田・他	8 地点	石狩平野〜勇払平野にかけての地域(A地点〜H
勇払平野	$(1990)^{1)}$		地点)
石狩平野	笹谷・他	6 地点	札幌市(MED2:前田2、MED9:前田9、TIH:太
	$(2001)^{2}$		平、HNB:東苗穂)
			石狩市 (ISK2:石狩 2、SNK:新港)
石狩平野	札幌市	35 地点	札幌市(2002) 札幌市内 21 地点 (No. 1~21)
	(2002, 2003		札幌市(2003) 札幌市内 9 地点 (No. 22~30)
	, 2004) ³⁾⁻⁵⁾		札幌市(2004) 札幌市内 5 地点 (No. 31~35)
石狩平野	吉田・他	4 地点	石狩郡当別町(HGU:東裏)
	$(2009)^{-6)}$		江別市(MHR:美原、YHT:八幡、STG:世田谷)
石狩平野	吉田・他	3 地点	石狩市(KOY:北生振、OYF:生振、BNG:花畔)
	(2010) ⁷⁾		
小樽市街地	宮腰・他	3 地点	小樽市(A 地点~C 地点)
	$(1989)^{-8)}$		
黒松内低地	松島・大島	4 地点	黒松内町(A 地点~D 地点)
	$(1989)^{9)}$		
勇払平野	国松・他	3 地点	勇払郡厚真町(ATM:国家石油備蓄基地)
	$(2005)^{10)}$		苫小牧市 (TIP:苫小牧港)
			千歳市 (CTS:N-NET 千歳)

b) 微動アレイ観測

函館平野内の5地点(函館市2地点、北斗市2地点、亀田郡七飯町1地点)において新たな微動アレイ観測を実施した(図1、表2)。これらの地点では、原則として、既存のK-NETまたは震度計観測点の周辺でアレイを構成した。ただし、七飯町においては、既設強 震観測点(七飯町桜町震度計、K-NET七飯)は平野端部に位置している。堆積平野の速度 構造を把握するという当初の目的に照らし、地質情報の得られている既存の温泉ボーリン グ孔(七飯町中島)^{11),12)}近傍での微動アレイ観測を実施した。MHRは更新世の中位段丘 堆積物、その外の4地点は完新世の堆積物のサイトである¹³⁾。

各地点では、最大アレイ半径 *R*maxの異なる観測を複数セット実施した(図 2~6)。準備 段階で、国立研究開発法人防災科学技術研究所の運営する地震ハザードステーション(J-SHIS)の深部地盤モデル V2¹⁴⁾(以下、J-SHIS V2 モデル)の情報を参照してアレイを設 計した。現場観測は 2017 年 9 月 25 日~17 日に実施した。表 2 に各アレイ観測の諸元を まとめた。L及びSアレイでは固有周期5秒の3成分速度計LE-3D/5s(Lennartz-Electronic 製)、Nアレイでは過減衰型3成分加速度計JEP-6A3(ミツトヨ製)を用いた。データ収 録装置 LS-8800(A/D 変換 24bit、白山工業製)により、サンプリング周波数 100 Hz で微 動波形を収録した。時刻較正は収録装置毎に GPS 時計により行った。観測開始前には、ハ ドルテストを行い、地震計間のコヒーレンスが適切であることを確認した。



図1 微動アレイ観測実施地点(赤及び青三角)及び既存ボーリング位置(緑丸)

	地名	ア	アレイ	アレイ中心点		
地点		V	半径	緯度	経度	観測日時
		イ	(m)	(度)	(度)	
		N	10	41.77032	140.73830	2017/9/25 13:20-13:46
HAK	函館市大森町	S	40, 120	41.77048	140.73829	2017/9/25 15:35-16:35
		L	380, 760	41.77326	140.73688	2017/9/25 11:25-13:15
	函館市美原	Ν	10	41.81762	140.75182	2017/9/28 10:50-11:15
MHR		S	28, 92	41.81795	140.75214	2017/9/28 10:15-11:00
		L	310, 620	41.81741	140.74990	2017/9/28 11:50-13:30
	七飯町中島	Ν	10	41.86187	140.70154	2017/9/27 18:30-19:00
NNE		S	58,174	41.86209	140.70156	2017/9/27 18:10-19:00
		L	444, 888	41.86150	140.70360	2017/9/27 15:20-17:00
	北斗市上磯	Ν	12	11 00500	140 65911	2017/9/27 11:20-12:53
КМІ			29	41.62002	140.65511	2017/9/27 13:20-13:55
IXIVI I		S	83, 249	41.82541	140.65253	2017/9/27 10:50-11:30
		L	690, 1380	41.83135	140.65713	2017/9/27 12:10-13:30
	北斗市大野	Ν	10	11 88300	140 64479	2017/9/26 11:00-12:00
OON			30	41.00090	140.04473	2017/9/26 12:27-13:20
		S	90, 180	41.88426	140.64453	2017/9/28 14:40-15:20
		L	490, 980	41.88344	140.63994	2017/9/28 16:05-17:05

表 2 微動アレイ観測の諸元(緯度経度は世界測地系)



図 2 HAK アレイの観測地点(左:Lアレイ、右:S&Nアレイ)



図 3 MHR アレイの観測地点 (左:Lアレイ、右:S&Nアレイ)



図 4 NNE アレイの観測地点 (左:Lアレイ、右:S&Nアレイ)



図 5 KMI アレイの観測地点(上:Lアレイ、左下:Sアレイ、右下:Nアレイ)



図 6 OON アレイの観測地点(左:Lアレイ、右:S&Nアレイ)

c) 微動アレイ解析による Rayleigh 波位相速度の推定

アレイ直下の地下速度構造の情報と密接に関係する表面波の分散性(位相速度-周波数の関係)を検出する。本業務では、空間自己相関法(以下、SPAC法; Aki, 1957)¹⁵⁾を用いて、位相速度を推定した。SPAC法では基本的には円形アレイを展開し、中心点と半径 rの円周上に等間隔に設置した各観測点(今回の観測では正三角形の3つの頂点)の相関 係数を方位平均した空間自己相関係数を求める。このとき、微動が定常確率過程であるという仮定から、空間自己相関係数は

$$\rho(f,r) = J_0\left(\frac{2\pi f}{c(f)}r\right)$$

と表現される。左辺は観測量(ρ :空間自己相関係数)であり、得られた空間自己相関係数 $\rho(f, r)$ は0次のベッセル関数 J_0 となることを意味している。左辺の観測量に対応するベッ セル関数の変数を見つけることができれば、半径 r における周波数 f での位相速度c(f)が 求まる。

微動アレイ観測で収録した微動の上下動成分を用い、20.48秒間(Nアレイ)または40.96 秒間(S及びLアレイ)を解析区間の単位として20秒ずつ(Nアレイ)または40秒ずつ(S 及びLアレイ)ずらしながら、時間的、空間的に安定した微動波形が得られている5区間に 対し、SPAC法を適用し、微動中に含まれる表面波(Rayleigh波)位相速度を推定した。こ の解析を9セット(計45区間)に対して行い、位相速度の平均値と標準偏差を求めた。フー リエスペクトルを求める際のスムージングの幅はアレイサイズに応じて変えた。

図7に各アレイの平均パワースペクトルの例を示す。Lアレイについては、約1~2 Hz以 下の周波数帯域で、アレイを構成する各点の平均パワースペクトルが類似しており、相関 のある信号が取得されていることが確認できる。ただし、NNEは他の地点に比べ、パワー スペクトルのばらつきが大きい結果となった。Sアレイは、高周波数まで十分なパワーと類 似性を持った信号が得られている。Nアレイについての図は省略したが、アレイ半径が短 いことからも推測できるとおり、アレイを構成する各点のパワースペクトルの類似性に問 題点は見られなかった。図8に各アレイでSPAC法により得られた観測位相速度を丸印で示 す。Lアレイ、Sアレイ、Nアレイとアレイ種類毎に丸印の色を変えている。黒実線が本調 査で得られた最終的な位相速度を表す。

HAK、MHR、KMI及びOONでは10 Hzまで、連続性のよい位相速度を求めることがで きた。いずれの地点も、表層から深部地盤までのS波速度構造を拘束できる情報が得られた と考えている。NNEは位相速度が非常に小さいため、今回のアレイ観測(最小半径10 m) の場合の解析限界波長(空間エイリアジングを起こさない最小の波長)との関係で、5 Hz までの位相速度を得ることができた。このときの位相速度は約65 m/sと他の4地点に比べ てかなり小さい。また、3 Hz未満の低周波数側では、MHRの位相速度が他の4地点に比べ て大きい。



図7 各アレイにおける各観測点の微動の平均パワースペクトルの例。図中の線の色と番 号はアレイを構成する各点の地震計番号に対応する。



図8 各アレイにおける観測位相速度(上段左:OON、上段右:NNE、中段左:KMI、中 段右:MHR、下段右:HAK)。

d)S波速度構造モデルの推定

表面波位相速度から S 波速度構造モデルを推定した。パラメータの推定手法としては、 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm、以下 GA) による速度構造のモデリング手法 (Yamanaka and Ishida, 1996)¹⁶⁾を用いた。仮定した速度構造モデルから計算される Rayleigh 波基本モードの位相速度と観測位相速度の misfit 関数

$$misfit = \frac{1}{N} \sum_{i}^{N} (O_i - C_i)^2 \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_i + w_0}\right)^2$$

ができるだけ小さくなるような速度構造モデルを探索した。ここで、Nはデータの個数、 O_i 、 σ_i 、 C_i はそれぞれ観測位相速度、その標準偏差、理論位相速度、 σ_0 は標準偏差の係数、 w_0 は極端に小さな σ_i の悪影響を防ぐためのパラメータである。実際には、 σ_0 には $\sigma_i + w_0$ の 最大値を、 w_0 には 0.001 (km/s)を与えた。

S 波速度構造モデルの探索に際しては、国立研究開発法人防災科学技術研究所が運営し ている地震ハザードステーション (J-SHIS) で公開されている深部地盤モデル V2¹⁴⁾ (以 下、J-SHIS V2 モデル) を参照し、深部地盤を構成する各層の S 波速度は J-SHIS V2 モ デルで与えられている値に固定して、層厚を探索した。また、 Vs = 0.6 km/s の層の上に、 表層として 1~2 層を追加し、層厚と S 波速度の両方を探索の対象とした。地震基盤(半 無限層)の Vs は 3.1 km/s とした。探索に際し、GA のパラメータとして、1 世代当たりの 個体数を 10、世代数は 5000 世代とし、乱数の初期値を変えて 10 回試行し、misfit 最小 解を最適な速度構造モデルとした。図 9~13 にそれぞれの観測点での観測位相速度ととも に最適な速度構造モデルによる Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線、推定された S 波速度構造モデルを示す。misfit が最小の 2 倍までのモデルを図中に灰細線で図示し、 速度構造モデル推定の誤差を定性的に示した。

各観測点ともに推定速度構造モデルによる Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線 は観測位相速度とよく一致しており、観測位相速度を説明できる地下構造モデルが推定さ れた。比較のため、既存の J-SHIS V2 モデルから観測点直下の一次元速度構造モデルを抽 出し、理論分散曲線を計算したものを同図に緑実線で示した。以下、各地点での推定結果 の概要と J-SHIS V2 モデルとの差異を述べる。

HAK (函館市大森町、図 9): K-NET HKD160 の位置する大森公園を中心に展開したア レイである。地震基盤は深さ約 3 km で、最適解周辺で深さ方向に 1 km 程度のばらつき (図 9 (中)の灰細線の分布)はあるものの、J-SHIS V2 モデルと比べ、地震基盤の深さ は深いことは明らかである。観測位相速度が J-SHIS V2 モデルによる理論位相速度よりも 全体的に遅いことを反映して、 $V_{\rm S} > 1$ km/s の層の深さが J-SHIS V2 モデルよりも深い。 $V_{\rm S} = 0.6$ km/s の層の上に、沖積層に相当する層を 1 層追加し、 $V_{\rm S} = 0.29$ km/s、厚さ 51 m と求められた (図 9 (右))。国立研究開発法人防災科学技術研究所が公開している K-NET HKD160 の PS 検層結果 (深さ 20 m まで実施されている)とも類似しており、妥当 な値といえる。

MHR (函館市美原、図 10): 函館地方気象台周辺で展開したアレイである。Vs=0.6 km/s の層の上に 1 層追加した。微動アレイにより求められた位相速度は J-SHIS V2 モデルに よる理論分散曲線よりも速いため、各層の上面深さは全体的に J-SHIS V2 モデルよりも浅 く推定された。J-SHIS V2 モデルでは、同じ函館市内の HAK と MHR での地震基盤深度 は大きくは変わらないモデルとなっているが、本調査の結果からは、MHR の地震基盤は HAK に比べ、顕著に浅いことが分かった。なお、推定速度構造モデルによる理論分散曲線 (図 10 (左)の赤実線)は、低周波数帯域で観測位相速度に比べ若干過小評価である。本 調査では、J-SHIS V2 モデルの速度区分に従って地震基盤の Vs を 3.1 km/s としている が、試みに地震基盤の Vs を未知パラメータとして同様の最適化を行ったところ、地震基 盤の Vs を約 3.2 km/s とすると位相速度の再現性が向上した。その場合でも、堆積層部分の速度構造は図 10 とほぼ同じものが得られた。

NNE(七飯町中島、図 11): *Vs* = 0.6 km/sの上に、速度の遅い層を2層追加した。図 11の第1層の*Vs*推定結果は0.07 km/sと、本調査で解析を実施した他の4点に比べかなり小さい値が得られた(図 11(右))。調査地周辺の泥炭層の分布と関連しているかもしれない。深部の層は全体的にJ-SHIS V2モデルよりも深めに推定された(図 11(中))。

KMI(北斗市上磯、図 12):北斗市役所周辺で展開したアレイである。 $0.5 \sim 1$ Hz の範囲の位相速度の特徴を説明するためには、 $V_{\rm S} = 0.6$ km/s と 1.1 km/s の層の間に中間速度の層を1層追加する必要があった。また、 $V_{\rm S} = 0.6$ km/s の上には、より遅い速度層を2層追加した。各層の層厚と追加した3層の $V_{\rm S}$ を同時に最適化した結果、最終的に図 12 に示す速度構造モデルが得られた。 $V_{\rm S} > 1$ km/s の層の深さは J-SHIS V2 モデルよりも深い。

OON(北斗市大野、図13):北斗市役所総合分庁舎(旧大野町役場)周辺で展開したア レイである。0.6~5 Hzの範囲の位相速度の特徴を説明するためには、Vs = 0.6 km/s と 1.1 km/sの層の間に中間速度をもつ1層追加する必要があった。また、Vs = 0.6 km/sの 上にもより遅い速度層1層を追加した。各層の層厚と追加した2層のVsを同時に最適化 した結果、最終的に図13に示す速度構造モデルが得られた。地震基盤の深さはJ-SHISV2 モデルとほぼ同じ深さに推定された(図13(中))。高波・山内(1996)17)は、渡島半島 南部を横断する測線で採石発破による爆破地震動を用いた屈折法解析を行い、旧大野町付 近での地震基盤の深さを約1.5 kmと推定した。本調査の微動アレイによる推定結果は屈 折法による結果とも調和的である。

NNE と OON はアレイ内に温泉ボーリング^{11),12)} が存在する。また、KMI の約 3 km 北 西に、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網 KiK-net の上磯観測点 (OSMH02) が存在しており、観測井掘削時の柱状図がウェブサイトで公開されている。 これらのボーリング位置は図 1 の地図に示してある。柱状図に示されている地質情報を表 3 にまとめた。特に OON 近傍の旧大野町健康センター泉源のボーリングは、深さ 1,325 m で渡島半島南部の基盤をなす中生界の上磯層群(石灰岩)に達している。地層区分はこれ ら 3 カ所の柱状図で共通であった。速度層と地層区分が必ずしも厳密に対応する必要はな いが、これら 3 地点での速度構造と地層の対比を検討した。NNE と KMI の第 1 層は沖積 層に相当する層である。3 地点に見られる Vs=0.36~0.6 km/s の層は、層厚から上部~中 部更新統の文月層にほぼ対応すると見なせる。 Vs = 0.6~0.8 km/s の層は中部~下部更新 統の富川層の上部に相当すると考えられる。富川層が低地帯の東部で薄く、西部で厚いと いう地質学的特徴^{18),19)}とも整合する。Vs = 1.1 km/s の層は富川層の下部、鮮新~上部中 新統の茂辺地層の厚さに類似している。Vs = 1.4~1.7 km/s の層は中部中新統の戸田川層 や戸切地川層に対応するのではないかと推測される。函館平野西縁断層帯を境に平野側が 沈降しており^{18),19)}、地震基盤も七飯町から北斗市に向かって深くなる傾向がある。



図 9 HAK (函館市大森町)における速度構造推定結果。観測位相速度及び標準偏差(o 印)、推定速度構造モデル(最適解:赤実線、misfit が最適解の2倍以内のモデル:灰細 線)、J-SHIS V2モデル(緑実線)。(左)微動アレイによる観測位相速度と理論 Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線の比較。(中)S波速度構造モデル。(右)地表から深 さ 0.5 km までの範囲を拡大して図示したS波速度構造モデル及びモデルパラメータ。



図 10 MHR (函館市美原) における速度構造推定結果。凡例は図 9 に同じ。



図 11 NNE(七飯町中島)における速度構造推定結果。凡例は図 9 に同じ。



図 12 KMI(北斗市上磯)における速度構造推定結果。凡例は図 9 に同じ。



図 13 OON(北斗市大野)における速度構造推定結果。凡例は図 9 に同じ。

地質時代	地層名	大野町健	康センター泉源	七飯町中	島泉源	KiK-net OSMH02 上磯			
区分		(北斗市2	Þ町)	(七飯町口	中島)	(北斗市大工川)			
		総掘進長	1360 m	総掘進長	850 m	総掘進長	363 m		
完新世	沖積層・扇	0~	砂礫	0~	表土·砂礫	0~	砂礫・シルト質		
	状地堆積物	35 m	(扇状地堆積物)	2 m	(沖積層)	27 m	砂礫(沖積層)		
更新世	文月層	35~	砂礫	2~	砂・砂礫・粘土	27~	礫·粘土		
		86 m		76 m		97 m			
				$76\sim$	火山灰(中の沢				
				103 m	火山砕屑物)				
	富川層	86~	礫岩~含礫砂岩	103~	砂岩~礫岩	$97~m\sim$	礫岩·細流砂		
		302 m		144 m			岩・砂質泥岩・		
							シルト岩		
		302~	含礫粗粒砂岩~						
		693 m	礫岩						
鮮新世	峠下火山砕			144~	凝灰角礫岩				
	屑岩層			190 m					
中新世	茂辺地川層	693~	凝灰質砂岩	190~	凝灰岩	-			
		811 m		312 m					
		811~	凝灰質砂岩凝灰						
		899 m	質シルト岩互層						
		899~	礫岩~粗粒砂岩						
		1077 m							
	戸田川層	1077~	硬質頁岩·泥岩	312~	硬質頁岩				
		1295 m	互層	650 m					
	戸切地川層	1295~	凝灰質粗粒砂岩	$650\sim$	凝灰岩				
		1325 m		725 m					
				$725\sim$	砂岩				
				790 m					
				790 m	硬質頁岩				
				\sim					
先第三系	上磯層群	1325 m	石灰岩						
		\sim							

表 3 温泉^{11),12)}及び KiK-net 観測井ボーリングの地質層序

2) 地震波形記録の収集

各都道府県では、全国展開されている国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測 網(K-NET)、基盤強震観測網(KiK-net)、気象庁の計測震度計観測点に加えて、各地方 自治体の震度情報ネットワークシステムによる計測震度計観測点が設置され、震度情報の 発表や防災対応に活用されている。平成 29 年度は微動アレイ調査に関係して、北海道震 度情報ネットワークシステムの地震波形記録を収集した。収集に際しては、北海道総務部 危機対策局危機対策課及び北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センターの 協力を得た。

図 14 に函館平野における記録例として、平成 28 年 1 月 14 日 12 時 25 分に浦河沖で発 生した地震(*M*JMA 6.7、深さ 52 km)の波形を示す。オリジナルの加速度波形を積分し、 速度波形としたものに、0.05~10 Hzの帯域通過フィルターを適用した波形を図示した。 HKDP08(北斗市役所、旧上磯町)、HKDP09(北斗市総合分庁舎、旧大野町)が北海道か ら提供された記録である。このほかに、気象庁震度計(843:七飯町桜町、D66:函館市美 原)、K-NET HKD156(七飯)、HKD160(函館)、KiK-net OSMH02(上磯)の記録を併 せて示した。KiK-net OSMH02については、図中の OSMD02が地中、OSMS02が地表の 記録に対応する。OSMH02、HKDP08、HKD160では、他の地点に比べS波到着が遅れて いること、やや長周期の後続動が長時間継続することなど、厚い堆積層の存在を示してい る。これらの特徴は、微動アレイ探査で求められた堆積層の厚さとも対応している。



図 14 函館平野における記録例(平成 28 年 1 月 14 日 12 時 25 分浦河沖の地震、左:NS 成分、右: EW 成分)

3) 震源断層モデルに基づく強震動予測

a) 簡便法による強震動予測

平成 28 年度のサブサブテーマ 2.5 で提案された島根沖~北部九州沖の震源断層モデル を対象に、地震動予測式を用いた方法(簡便法)による強震動予測を実施した。サブサブ テーマ 2.5 からは、山陰沖~北部九州沖及び 1872 年浜田地震震源断層の矩形断層モデル のパラメータが提供された(図 15)。近接している複数断層の連動を考慮した組み合わせ については、サブサブテーマ 2.5 及び 3.1 の意見も参考にして協議の上で設定した。これ らの断層について、単独 31 ケース、連動 6 ケースの計 37 ケース(図 15 の矩形モデルの うち青色及び赤色で着色したもの)を設定し、強震動を試算した。断層長 20 km 未満の短 い断層、断層形状が未確定でサブサブテーマ 2.5 にて本年度以降も継続して検討が行われ る断層については、今年度の試算対象に含めていない。次年度以降、断層パラメータを確 定する情報が得られ次第、同様の試算を行う予定である。

サブサブテーマ 2.5 から提供された断層モデルパラメータ(基準点座標、上端深さ、走向、傾斜、すべり角、断層長さ、断層幅)から、断層面積を求めた。入倉・三宅(2001)²⁰⁾の関係式を用い、断層面積から地震モーメントを得た。各ケースの断層パラメータを表4にまとめた。モーメントマグニチュード(Mw)は最も小さいHamadaが6.4、最も大きいFO03+FO05が7.1であった。司・翠川(1999)²¹⁾の地震動予測式を用い、断層最短距離とMwから工学的基盤での最大速度(PGV)を求めた。次に、藤本・翠川(2006)²²⁾によるPGV増幅率とAVS30の関係の経験式をJ-SHIS表層地盤データV3²³⁻²⁵⁾のAVS30に適用し、工学的基盤から地表までのPGV増幅率を求めた。得られた増幅率を用い、工学的基盤のPGVを地表のPGVに変換した。最後に、藤本・翠川(2005)²⁶⁾のPGVと計測 震度の関係の経験式を用いて、地表での計測震度を計算した。各ケースの震度分布を図16~52に示す。震度は計測震度に対応する気象庁震度階に応じて色分けした。ただし、計測 震度4.0未満の領域は着色していない。図16~52の地図の縮尺は統一しており、高震度域の空間的な広がりを相互に比較することもできる。以下に試算結果の概要を述べる。

SH01D(図 16)は岡村・他(2014)²⁷⁾で出雲沖断層群北帯と呼ばれている断層群を構成する断層の1つに対応し、南下がりの傾斜をもつ。出雲平野の一部で震度5弱と予測された。SH02Da及びSH02Dbも同様に出雲沖断層群北帯に含まれる南下がりの断層である。SH02Da単独ケース(図 17)では出雲平野の大部分で震度5弱となった。SH02Da+SH02Db連動ケース(図 18)では、出雲平野周辺の震度5弱の領域が広がるとともに、大田市の一部で震度5強と予測された。

SH03D (図 19) は出雲沖断層群南帯の西部に位置する北西下がりの断層である。益田平 野や浜田市周辺、見島で震度 5 弱~5 強と予測された。SH06D (図 20) は出雲沖断層群南 帯の東部に位置する北下がりの大田沖断層である。出雲沖断層群の中では陸域に近いこと もあり、出雲平野や大田市などで最大震度 6 弱となったほか、浜田市から江津市にかけて の沿岸部で震度 5 強と予測された。

SH11(図 21)は浜田沖断層群(岡村・他, 2014)²⁷⁾に含まれる北北西-南南東方向の 走向をもつ左横ずれ断層である。浜田市から江津市にかけての領域で震度 5 強~6 弱、益 田平野で震度 5 強と予測された。

SH13 (図 22) 島根半島の沖合に位置し、北下がりの傾斜をもつ。厚い堆積層の分布す

る米子平野・弓ヶ浜半島から松江、出雲平野、大田市にかけての広い領域で震度5強となったほか、島根半島沿岸のごく一部では震度6弱となった。

YM06 (図 23) は、岡村・他 (2014)²⁷⁾ が見島周辺断層群と呼ぶ断層群に含まれ、見島 隆起帯の西縁を限る北北西-南南東走向の断層である。断層直上の見島では震度 6 弱~6 強と予測されたほか、深川湾や油谷湾周辺の一部で震度 5 強となった。

YM07a+YM07b+YM07c(図 24)は、見島隆起帯の東縁から海岸近くに達する北北西-南南東走向の長さ約 50 kmの断層である。益田市から長門市にかけての領域及び見島で、 震度 5 強と予測され、一部の地点では震度 6 弱~6 強であった。

YM08(図 25)は見島隆起帯中央部から萩市沖に延びる長さ約 40 km、北西-南東走向の断層である。見島で震度 5 強~6 強のほか、萩市の堆積平野で震度 6 弱と予測された。 破壊様式によっては、萩市の堆積平野での揺れが強くなることが予想されることから、詳細法による検討対象とした。

YM09(図 26)は長さ 69 km の断層で、Mw も 7.1 と大きい。菊川断層帯の海域部(神田岬沖断層)である。山口県西部の響灘沿岸などの広い領域で震度 5 強~7、北九州市周辺でも震度 5 強となった。破壊様式の影響を見るため、詳細法による検討対象とした。

YM10(図 27)は岡村・他(2014)²⁷⁾が角島沖断層群と呼ぶ断層群に含まれる、北西-南東走向の鉛直な断層の1つである。油谷湾周辺の一部で震度5強となった。YM11(図 28)、YM14(図 29)及びYM15(図 30)も同じく角島沖断層群の北西-南東走向の断層 である。それぞれ、油谷湾周辺で震度5強~6弱と予測された。

YM12(図 31)及び YM13(図 32)は、菊川断層帯や角島沖断層群よりもさらに北西沖 に位置し、北東-南西走向の南東下がりの断層である。いずれも陸域で震度 5 弱以上とな る地点はなかった。YM16(図 33)では、見島で震度 5 弱~5 強、深川湾や油谷湾周辺で 震度 5 弱と予測された。YM17D(図 34)及び YM18D(図 35)は、岡村・他(2014)²⁷⁾ が千里ヶ瀬西方断層群と呼ぶ断層群に含まれ、東北東-西南西走向の南下がりの断層であ る。いずれも陸域で震度 5 弱以上となる地点はなかった。

FO01 と FO02 は、響灘の関門沖断層帯に対応し、南東-北西方向の走向をもつ。FO02 単独ケース(図 36)では、北九州市から宗像市付近にかけての平野部で震度 5 強と予測さ れた。FO01+FO02 連動ケース(図 37)では地震モーメントが 2.1 倍になり、震度 5 強の 面積も約 2.3 倍広くなった。

FO03 は西山断層帯の最も北に位置する断層、FO05 は大島沖断層に対応する。FO03 単 独ケース(図 38)では、沖ノ島で震度 5 強~6 弱となった。FO05 単独ケース(図 39)で は、若松半島から糸島半島にかけてと沖ノ島に震度 5 強~6 弱の領域が広がり、大島(宗 像市)の一部で震度 6 強であった。西山断層帯海域部 FO03+FO05 連動ケース(図 40)で は、断層全長が 74 km に達し、Mw 7.1 と算出された。福岡県の陸域の広い範囲や島嶼部 で震度 5 強~6 強の揺れが予測されるため、詳細法による検討対象とした。

FO06(図 41)は、警固断層帯北西部に対応する北西-南東走向の断層である。福岡県 沿岸部、福岡平野、糸島半島などで震度 5 強~6 弱と予測された。海の中道や志賀島、玄 界島では震度 6 強~7 となっている。

FO07 は警固断層帯北西部の北東に位置し、FO08 及び FO09 は壱岐の北東部に位置する、いずれも南東-北西方向の走向をもつ鉛直な断層である。FO08 単独ケース(図 42)

や FO09 単独ケース(図 43)では、壱岐で震度 5 弱~6 弱、福岡平野や糸島半島など沿岸 部で震度 5 弱~5 強の予測となった。断層に近い小呂島では震度 6 弱~6 強である。FO07 +FO08 連動ケース(Mw 7.0、図 44)や FO07+FO09 連動ケース(Mw 7.0、図 45)では、 北九州市、宗像市周辺~福岡平野~糸島半島周辺、唐津市周辺、壱岐、小呂島などで震度 5 強~6 強の揺れが予測された。また、堆積層の影響で筑紫平野でも震度 5 強となった。

FO04D(図46)は北東-南西走向で、南東下がりの傾斜をもつ断層である。壱岐で震度 5強~6弱が予測された。

TS01D や TS02D は対馬の南西沖に位置する東下がりの傾斜をもつ断層である。TS01D (図 47)では、対馬南部で震度 5 弱~5 強、より対馬に近い TS02D(図 48)では、震度 5 強~6 弱になる地点が見られた。TS03D(図 49)は対馬の北方沖に位置する南東下がり の傾斜をもつ断層である。対馬の北端部付近で震度 5 弱~5 強になる地点がある。

FK01 (図 50) は五島列島の北西沖に位置する断層であり、小値賀島など一部の島嶼で 震度 5 強となった。FK02 (図 51) では、五島列島での予測震度は 5 弱以下となった。

Hamada (図 52) は 1872 年浜田地震の震源断層の候補である。震源断層周辺で震度 6 弱~6 強の領域が広がった。

以上の試算結果を踏まえ、YM08 断層、YM09 断層、FO03+FO05 断層、Hamada 断層の4 ケースを、統計的グリーン関数法を用いて詳細法による検討対象に選定した。



図 15 強震動予測の検討対象とした島根沖~北部九州沖の矩形断層モデル(青:簡便法の 検討対象とした断層、赤:簡便法及び詳細法の検討対象とした断層、黒:その他の断層)

	Her 673	始点緯度	始点経度	上端深さ	走向	傾斜	すべり角	長さ	幅	Mo	.
NO.	對增	(北緯,度)	(東経,度)	(km, TP-)	(度)	(度)	(度)	(km)	(km)	(Nm)	MW
1	SH01D	35.72	131.97	1.20	90	60	-145	22.9	17.0	8.43E+18	6.6
2	SH02Da	35.65	131.75	1.20	91	60	-155	33.4	17.1	1.81E+19	6.8
	(1020- (11020)	35.65	131.75	1.20	91	60	-155	33.4	17.1	3 735 40	
U	SHU2Da+SHU2DD	35.63	131.59	1.20	77	60	-177	14.4	17.1	3.72E+19	7.0
3	SH03D	35.24	131.58	1.10	230	60	157	34.3	17.2	1.94E+19	6.8
4	SH06D	35.40	132.46	1.10	262	60	178	35.6	17.2	2.09E+19	6.8
5	SH11	34.95	131.92	0.20	340	85	6	27.3	14.9	9.20E+18	6.6
6	SH13	35.76	133.03	0.20	255	60	-176	41.2	17.2	2.79E+19	6.9
7	YM06	34.71	131.13	0.20	340	75	42	35.0	15.4	1.62E+19	6.7
		34.94	131.32	0.12	318	80	-9	16.6	15.1		
2	YM07a+YM07b+YM07c	34.79	131.39	0.20	340	90	-17	17.1	14.9	3.19E+19	6.9
		34.66	131.48	0.28	324	90	-5	16.9	14.9	1.	112200
8	YM08	34.58	131.42	0.14	326	90	0	39.7	14.9	1.95E+19	6.8
9	YM09	34.28	130.87	0.10	306	90	-12	68.7	14.9	5.83E+19	7.1
10	YM10	34.51	130.87	0.12	324	90	-3	24.9	14.9	7.66E+18	6.5
11	YM11	34.40	130.77	0.12	324	90	-12	49.4	14.9	3.01E+19	6.9
12	YM12	34.84	130.08	0.12	48	60	-163	23.6	17.2	9.17E+18	6.6
13	YM13	34.86	130.07	0.13	48	60	-163	23.5	17.2	9.09E+18	6.6
14	YM14	34.41	130.74	0.12	316	90	-8	41.6	14.9	2.14E+19	6.8
15	YM15	34.43	130.79	0.11	326	90	-8	30.0	14.9	1.11E+19	6.6
16	YM16	34.66	130.91	0.12	6	90	148	21.5	14.9	5.44E+18	6.4
17	YM17D	35.26	130.22	0.14	67	60	-109	23.3	17.2	8.93E+18	6.6
18	YM18D	35.50	130.53	0.20	82	60	-86	44.6	17.1	3.24E+19	6.9
19	FO02	34.29	130.35	0.09	146	90	34	26.6	14.9	8.74E+18	6.6
3	E001+E002	34.39	130.31	0.11	150	90	21	12.3	14.9	1 87E+19	6.8
×.	100111002	34.29	130.35	0.09	146	90	34	26.6	14.9	1.070415	
20	F003	34.16	130.06	0.11	332	90	-21	36.4	14.5	1.55E+19	6.7
21	F005	34.17	130.11	0.07	138	90	38	37.7	14.9	1.76E+19	6.8
1	F003+F005	34.16	130.06	0.11	332	90	-21	36.4	14.5	6.60E+19	7.1
9		34.17	130.11	0.07	138	90	38	37.7	14.9	1000000	1.000
22	FO06	33.78	130.09	0.03	123	90	1	24.5	15.0	7.51E+18	6.5
23	FO08	34.05	129.68	0.09	116	90	2	36.4	14.9	1.64E+19	6.7
5	F007+F008	33.88	130.10	0.05	142	90	11	19.2	15.0	3.84E+19	7.0
		34.05	129.68	0.09	116	90	2	36.4	14.9		
24	F009	34.11	129.75	0.09	129	90	-3	35.2	14.9	1.53E+19	6.7
6	FO07+FO09	33.88	130.10	0.05	142	90	11	19.2	15.0	3.67E+19	7.0
1000		34.11	129.75	0.09	129	90	-3	35.2	14.9	1252676271275	1.00
25	FO04D	34.09	129.59	0.11	27	45	176	40.1	21.2	4.02E+19	7.0
26	TS01D	33.73	129.04	0.12	7	45	147	27.4	21.2	1.88E+19	6.8
27	TS02D	33.78	129.09	0.11	9	60	169	30.5	17.1	1.51E+19	6.7
28	TS03D	34,85	129.40	0.17	45	60	179	28.0	17.1	1.28E+19	6.7
29	FK01	33.38	128.80	0.15	212	65	-166	33.2	16.4	1.65E+19	6.7
30	FK02	33.33	128.28	0.15	87	60	-29	23.7	17.1	9.14E+18	6.6
31	Hamada	35.02	132.19	0.04	230	80	154	20.7	15.2	5.30E+18	6.4

表 4 簡便法による強震動予測のための断層パラメータ

○囲み数字は連動ケース。



図 16 簡便法による地表の震度分布 (SH01D 断層)



図 17 簡便法による地表の震度分布 (SH02Da 断層)



図 18 簡便法による地表の震度分布 (SH02Da+SH02Db 断層連動ケース)



図 19 簡便法による地表の震度分布 (SH03D 断層)



図 20 簡便法による地表の震度分布 (SH06D 断層)



図 21 簡便法による地表の震度分布(SH11 断層)



図 22 簡便法による地表の震度分布(SH13 断層)



図 23 簡便法による地表の震度分布 (YM06 断層)



図 24 簡便法による地表の震度分布 (YM07a+YM07b+YM07c 断層連動ケース)



図 25 簡便法による地表の震度分布 (YM08 断層)



図 26 簡便法による地表の震度分布 (YM09 断層)



図 27 簡便法による地表の震度分布 (YM10 断層)



図 28 簡便法による地表の震度分布 (YM11 断層)



図 29 簡便法による地表の震度分布 (YM14 断層)



図 30 簡便法による地表の震度分布 (YM15 断層)


図 31 簡便法による地表の震度分布 (YM12 断層)



図 32 簡便法による地表の震度分布 (YM13 断層)



図 33 簡便法による地表の震度分布 (YM16 断層)



図 34 簡便法による地表の震度分布 (YM17D 断層)



図 35 簡便法による地表の震度分布 (YM18D 断層)



図 36 簡便法による地表の震度分布 (FO02 断層)



図 37 簡便法による地表の震度分布 (FO01+FO02 断層連動ケース)



図 38 簡便法による地表の震度分布(FO03 断層)



図 39 簡便法による地表の震度分布 (FO05 断層)



図 40 簡便法による地表の震度分布 (FO03+FO05 断層連動ケース)



図 41 簡便法による地表の震度分布 (FO06 断層)



図 42 簡便法による地表の震度分布 (FO08 断層)



図 43 簡便法による地表の震度分布(FO09 断層)



図 44 簡便法による地表の震度分布 (FO07+FO08 断層連動ケース)



図 45 簡便法による地表の震度分布 (FO07+FO09 断層連動ケース)



図 46 簡便法による地表の震度分布 (FO04D 断層)



図 47 簡便法による地表の震度分布(TS01D 断層)



図 48 簡便法による地表の震度分布(TS02D 断層)



図 49 簡便法による地表の震度分布(TS03D 断層)



図 50 簡便法による地表の震度分布 (FK01 断層)



図 51 簡便法による地表の震度分布 (FK02 断層)



図 52 簡便法による地表の震度分布(Hamada 断層)

b) 詳細法による強震動予測のための震源断層パラメータの設定

簡便法による強震動予測結果に基づき、FO03+FO05 断層、YM09 断層、YM08 断層、 Hamada 断層の4 ケースを対象に詳細法による強震動予測を実施した。簡便法と同様に、 矩形断層の位置、形状については、サブサブテーマ2.5 の成果(本プロジェクト平成28 年 度成果報告書)に従った。サブサブテーマ2.5 から提供されるのは矩形断層モデルである ため、これを地震調査研究推進本部の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(レシ ピ)」²⁸⁾を参考に、強震動生成域(アスペリティ)及び背景領域のパラメータ設定を行っ た。それぞれに対して、破壊様式の違いによる強震動予測結果の違いを把握するため、破 壊開始点の異なる2種類のシナリオを想定した。それらの破壊シナリオに基づいて統計的 グリーン関数法による波形合成を行い、地表面での最大速度及び震度分布を推定した。4 断 層モデルに対して、破壊開始点2通りをそれぞれ破壊シナリオとして設定したため、詳細 法の計算ケース数は8 である。表 5~8 に各断層で設定したパラメータの一覧をまとめた。 設定した震源モデルの模式図を図 53 に示す。

西山断層帯海域部の FO03+FO05 断層に対しては、FO03 に 2 つ、FO05 に 3 つの強震 動生成域を設定した。FO03 の北側の強震動生成域の北西端から破壊するケースと FO05 の最も南東に位置する強震動生成域の南東端から破壊するケースの 2 つのシナリオを想定 した。

菊川断層帯海域部の YM09 断層に対しては、4 つの強震動生成域を配置し、最も北西に 位置する強震動生成域からの破壊開始と最も南東に位置する強震動生成域からの破壊開始 の 2 つのシナリオを想定した。

見島隆起帯中央部から萩市沖の YM08 断層についても同様に、2 つの強震動生成域を配置し、破壊開始点位置の異なる 2 つのシナリオを想定した。

Hamada(浜田地震震源断層)については、1つの強震動生成域のみを断層中央付近に 配置し、破壊開始点位置の異なる2種類のシナリオを想定した。

ここでの震源断層パラメータ設定は、強震動の試算を目的としているため、サブサブテ ーマ 2.5 から提供された震源断層の矩形モデルのうち地震基盤よりも上にある部分(図 53 のグレーの部分)については、地震発生層の外であるとして、特性化震源モデルの背景領 域として含めなかった。この点は、津波予測のための震源モデルとは異なるモデル化とな っている。



(a) F003+F005 断層 ケース 1

図 53 設定した震源モデルの模式図

(b) F003+F005 断層 ケース 2



(c) YM09 断層 ケース 1









(g) Hamada 断層 ケース 1





表 5 FO03+FO05 断層の震源断層パラメータ

バラメータ	肥卵	設定值			単位	設定模糊				
17 - 00 - 00 - 00 - 144 - 100 - 20 - 44 - 170 - 1		F003 F005		100	いいやうなたいかいや 田 4日 川 妻 ナイ しょう 金 ひっつからす					
泰华品牌逐(以外洲吧素) 其是卡顿皮(世界型体系)		34,1570 34,1690		(Q)	中国の中央国家報告書でもこに中東的く国産					
高华总程度(世界測地系)		1303	130,0040 130,1100		EE I	平成部中度成果報告書をもとに本単語で設定				
る単点来さ		3.1 1.1		km	平成28中度成果報告書をもとに本果的で設定					
龙间角	-	332 138		R .	平成20年進成果體含蓄					
18,84,74		90			90		度	平成28年度成果報告書		
T~9m				38			BE	平成28年度成果雜音書		
断層長さ(走向方向)	- 64	3	6	38			km	平成28年度成果報告書		
(全体)断層長さ(走向方向)	L			74			km	$L = \Sigma L_{g}$		
地震発生層上端深さ	H_{+}	3	1	<u>u</u>			km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定		
地震発生層下端深さ	Ha	15	.1	15.1			km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定		
地震発生層の厚さ	T_i	12	.0	14.0			km	$T_s = H_d - H_s$		
断層幅(傾斜方向)	W ₁	1	2	14			km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定		
新層面積	<i>S</i> ,	243	32		532			$S_4 = L_4 \times W_4$		
(全体)新層面積	5			964			km²	$S = \Sigma S_{i}$		
(全体)地震モーメント	M_{Φ}			5.17E+19			Nm	(S (4.24×10 ⁽¹⁾)) ² =10 ⁽⁷⁾ (Inikara and Miyake, 2011)		
(全体)モーメントマグニチュード	M_{*}			7,1				(log ₁₀ M ₀ -9.1)/1.5 (Hanks and Kanamori, 1979)		
(全体)断層全体の平均すべり量			1	1.7			m	$D = M_0 / \mu S$		
地震モーメント	M_W	2.18	E+19		2.98E+19		Nm	$M_{00} = (S_1^{-3/2} \Sigma S_1^{-3/2})M_0$		
新層全体の静的応力降下量	.10	3.	t		3.1		MPa	Fujii and Matsu'ura (2000)		
断層全体の平均すべり量	D,	1	6		1.8		115	$D = M_a / \mu S$		
小断層長さ(走向方向)	dL		1.0		km	本業務で設定				
小断層幅(傾斜方向)	diff.	8		1.0			km	本業務で設定		
アスペリティ総面積の等価半径	R,	5	5		6.1		km	$R_{+} = (S_{+}/\pi)^{12}$		
アスペリティの総面積	5.	95	i.0	117.0			km ²	S = 0.22S,		
アスペリティの総面積(計算用)	5.	89.0 116.0			km ²	本業務で設定				
アスペリティの平均すべり量	D,	3.2		3.5			m	D ₄ =2.0D ₄ (Somerville et al., 1999, 石井・師, 2001)		
アスペリティの総論書モーメント	Min	9.61	E+18		1.31E+19		Nm	$M_{m} = \mu D_{a}S_{a}$		
アスペリティ面積/新層面積比	5.15	0.1	22	0.22			14-1			
アスペリティの実効応力	$\Delta \sigma_s$	14.1		14.1			MPa	$\Delta \sigma_s = (S_1/S_s) \Delta \sigma$ (Madaman, 1070)		
各アスペリティの番号	-	Asp 1-1	Asn 1-2	Asn 2~1	Asn 2-1 Asn 2-2 Asn 2-3			(Automitigh, 1979)		
各アスペリティ両諸の英語半径	R.,	47	2.9	43	31	31	km	画積比を16-6/F003) 1-1-2/F005)とする		
あアスペリティの美価単純の仕事		0.85	0.52	0.71	0.50	0.50	Fare	*. = R _ / R _		
各アスペリティの原語	8	60.1	25.0	58.5	29.3	20.3	Inc?	S = +D =		
タフスペリティの市時(計算用)	1	64.0	25.0	56.0	10.0	10.0	8.111	It sup		
タフスペリティの言わすべい景	D	2.6	2.2	41	2.0	20		D = (x - 3 D		
モノスペリティの映画エーシュ	M	7.020+10	1 705+10	7.005.10	2 705+18	9.795+10	Net	$M = D_{A}$		
ち スペリアイの地蔵モーメント	-14 (m)	7.022*10	1./36+10	1005-10	2.125-10	2.725+10	N/D-	A TABLE LOUGH		
日/入い/140美知6/月 年772(日本)の長さ(未供主由)(計算用)	11	20	50	80	60	60	- ALTA	CONTRACTOR COLOR		
音アスペリティの彼(通知大臣)(計算用)	100	80	50	20	6.0	60	kin	中美的心理化		
音アスペリティの場(福井/川川)(計算用/	7.	80	3.0	1.0	3.0	10	KID	Tr = 0.5 P		
######################################	34	1.0	1.0	1.4	1.075+10	1.0	37.00	M = M - M		
背景領域の称地感モーメント	Mille	1.22	2419	-	1.072+19		NI	$M_{\rm B} = M_{\rm B} = M_{\rm B}$		
資源環境の認識権	31	33	7,0		415.0		km-	3, = 3 - 3,		
資源領域の応急値(計算用)	21		1.0		416.0		km			
背景領域の平均すべり重	D_h	1.1 1.3		III	$D_b = M_{th} / \mu S_b$					
首衆領域の実効応力	σb	3.1 2.4		MPa	$\sigma_b = (D_b / W) = (\pi^{++} / D_b) = r = \Sigma y^+ \times \sigma_b$					
各背景領域のライズタイム	Tr_b	2.5		2.9			- 3	(Day, 1982)		
S波速度	μ	3.4		3.4			km/s	J-SHIS 深部地盤モデルV2		
密度	ρ	2.75		2.75			g cm	J-SHIS 深部地盤モデルV2		
副性率	М	31	.8		31.8		GPa	$\mu = \rho \beta^2$		
破壞伝播速度	$-P_{\rm F}$	2	4	2.4			km/s	$V_i = 0.72\beta$ (Geller, 1976)		
破壊様式		同心的	円破壊		問心円破壊			本業務で設定		
高周波数遮断フィルター	Jana	1.000		6.5			Hz	码来·他 (2009)		
フィルター形状		1/(1+(f/6.5) ^{1.0}) ^{1/2}						職来·他 (2009)		

表 6 YM09 断層の震源断層パラメータ

パラメータ	5145	10-12-18					经定规制			
新 (8) (4) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2	1.9	24 2000				105	可からからた 明小た 明 和 た またよ しょうま またのまたが			
產準結釋後(協介測地來)			34,2800				平成28平復成米額官者をもとに平米防て設止			
基準点経度(世界測地系)			130.	8680		度	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定			
基準点深さ		31				km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定			
赤肉体		304					可はなのないがは思想の生態			
ALIPI M		300					4-III.20 H BENG REAR END			
54(14)			9	0		展	平成28年度成果報告書			
すべり角				12		度	平成28年度成果報告書			
断層長さ(走向方向)	L		6	9		km	平成28年度成果報告書			
特徴発力量と推測さ	11			1		Low	けんかったり かんたりしんなたいまたようし ディーカーカンターウリントロン			
宅族先生増工増休で			3			KIII	〒20,28年後国本報行音にもこい卒業街で就定			
地震発生層下端深さ	Ha		11	1.1		km	平成28年度成果報告書をもとに本業特で設定			
地震発生層の厚さ	T_{i}		12	2.0		km	$T_{3} = H_{4} - H_{3}$			
断搦幅(傾斜方向)	11.		1	2		km	平成28年度成果報告書を伝とに本業務で設定			
NG BE IN EA	5		9	28		12	$C = T = \Pi^{*}$			
1001 (100 UNL 100	-0					6.111	and a standing and			
地震モーメント	M_0		3.81	E+19		Nm	(5/(4.24×10 ·))*10			
			- 44 C - 31 S 32 F				(Inkura and Miyake, 2011)			
モーメントマグニチュード	M.		7	0			$(\log_{10}M_0 - 9.1)/1.5$			
				ST (-			(Hanks and Kanamori, 1979)			
断層面積に対する等価半径	R		16	12		km	$R = (S_{\pm} / \pi)^{1/2}$			
						in the second	(7/16) × (M / P ¹)			
断暦全体の静的応力降下量	10		3	9		MPa	(T-1-1) - (My R)			
	1121					1-0-1	(Eshelby, 1957)			
断層全体の平均すべり重	D		1	4		m	$D = M_0/\mu S$			
結果数にくり	10		1.79	E+10		Sugar	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_{\odot} \times 10^{7})^{1.7}$			
AT NOT AND AND			1.10	E-19		Sun's	(壇・他,2001)			
小販層長さ(走向方向)	dL		1	0		km	本業務で設定			
小断履峰(傾斜方向)	dW	10					本業務で設定			
-1-101 INE THE CIDE OF 22 I-27		1.0				36.111	P C A A A A A A A			
アスペリティ総面積の等価半径	R.	8.4				km	$R_{\pm} = (/\pi/4) \times \{M_{\oplus}/(AR)\} \times \beta^{-1}$			
							(Boatwright, 1984; 班 • 他, 2001)			
アスペリティの総面積	S,	-	22	0.0		km*	$S_a = \pi R_a^{-2}$			
アスペリティの総画積(計算用)	5.	224.0					本業務で設定			
							$D_{-} = 2.0D$			
アスペリティの平均すべり量	D_{*}	2.9					(Somerville et al. 1999 Fitt+ht 2001)			
77 - CUE (0 10 H # 7 - 4) 1	11	2025-10					(Source ends, 1999, orgenes, avor)			
ノスペリナイの総地展モーメント	Mille	2.03E+19					$M_{0h} = \mu_{L} \sigma_{H} \sigma_{H}$			
アスペリティ面積/断層面積比	5. 15:	0.27					24 927246.000			
アスベリティの実施たっ	Arr	14.7				MDa	$\Delta \sigma_s = (S/S_s) \Delta \sigma$			
7A 17110792, MIG/A	carra.					1000	(Madariaga, 1979)			
各アスペリティの番号		Asp.1	Asp.2	Asp.3	Asp.4					
各アスペリティ面積の等価半径	R_	42	4.2	4.2	42	km	面積比を比比比とする			
タファイリティの第6世界の仕事	40	0.50	0.60	0.60	0.50		$\gamma = D / D$			
		0.00	0.50 0.50 0.50		1.7.2	77 0 8 0				
各アスヘリティの面積	S.	55.0	55.0 55.0 55.0 55.0		km*	$S_{m} = \pi R_{m}$				
各アスペリティの面積(計算用)	5-	56.0	56.0 56.0 56.0 56.0		56.0	km*	$L_{*}^{\prime} \sim W_{*}^{\prime}$			
各アスペリティの平均すべり量	D_{ui}	2.9	2.9	2.9	2.9	m	$D_{\mu\nu} = (\gamma_{\mu} / \Sigma \gamma_{\nu}^{3}) D_{\mu}$			
各アスペリティの地震モーメント	Ma	507F+18	507E+18	5.07E+18	507E+18	Nm	$M_{ex} = \mu D_{-}S_{-}$			
タファイリー の実施する		147	147	147	147	3.00.	人々に第日に対応法			
87A-17147984007	10 M	14.7	14.7	(4,7	14.7	NIL	and the state of the second			
各アスヘリティの長さ(走向方向)(計算用)	L	8.0	0.8	8.0	8.0	km	本果的又設定			
各アスペリティの幅(傾斜方向)(計算用)	П.,	7.0	7.0	7.0	7.0	km	本業務で設定			
各アスペリティのライズタイム	Tr.	1.4	1.4	1.4	1.4	5	$Tr_{*} = 0.5W_{*}/V_{*}$			
豊振領域の総地震モーメント	Ma	1 79E+19				Nm	$M_{ch} = M_{ch} - M_{ch}$			
奈県領域の松市時	8.	800.0					2 - 2 - 2			
門 派 101-14 17 16 30 19	- 1 h	0,800					3, -3-3,			
背景領域の範面積(計算用)	SE	604.0					本憲務で設定			
背景領域の平均すべり量	D_b	0.9					$D_b = M_{ib} / \mu S_b$			
背景領域の実効応力	σ_{h}	2.9					$\sigma_b = (D_b / W) \times (\pi^{1/2} / D_s) \times r \times \Sigma r^3 \times \sigma_s$			
	The second	245					$Tr_b = 0.5W/V$			
各背景領域のライスタイム	R_{h}	2.5					(Duy: 1982)			
2)法法律	· . p.	9.4					LSHIS 運動抽動工匠AUS			
の政法技	P	3.4					LOTIO MARKED C. J. N.V.2			
面度	ρ	2.75					J-SHIS mm電量モデルV2			
剛性率	μ		31	.8		GPa	$\mu = \rho \beta^2$			
Table (C. 197 Year)	12		à			10000	$V_{i} = 0.72\beta$			
银磁运管建度			2	-		km/s	(Geller, 1976)			
破線棒式		間心円確性					本業務で設定			
市田は粉油能力という。	1		14.01	6		11.	and the choice			
前周次敦延町ノイルター	/ 80		0			112	NO NO 118 (2009)			
フィルター形状			1/(1+(f/	6.5) ()			鶴来・他 (2009)			

表 7 YM08 断	層の震源断層	ペラメータ
------------	--------	-------

バラメータ	記号	設定値		単位	設定根拠		
基準点緯度(世界測地系)		34.5760		度	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定		
基準占経度(世界測地系)		131.4	4190	喧	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定		
ままの+		0.1		1 line	軍虎の軍虎虎軍部日首として「米的でに定		
数年点床で		3.1		KIII te	十成20十度成末報百音生むこに牛果伤で成足		
走同判	-	326		度	半成28年度成果報告書		
傾斜角		90		度	平成28年度成果報告書		
すべり角		0)	度	平成28年度成果報告書		
断層長さ(走向方向)	L	4	0	km	平成28年度成果報告書		
抽靈發生陽上鍵彈力	H.	3	1	km	軍成98年度成果報告書からとに本業務で設定		
も設先上層上端床で	H.	15	1	1 trans	軍虎00年度成果報告書をもしに本業務で設定		
北欧光工作「清休で	T	1.		KIII	平成20平茂成末報音音管も5に平乗拐で似足		
地震発生層の厚さ	1.	12	2.0	km	$I_{i} = H_{d} - H_{i}$		
断層幅(傾斜方向)	W	1	2	km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定		
断層面積	S	48	30	km ²	$S = L \times W$		
地震モーメント	M_0	1.28	E+19	Nm	(S/(4.24×10 ⁻¹¹)) ² ×10 ⁻⁷ (Irikura and Miyake, 2011)		
モーメントマグニチュード	M_w	6	7		(log ₁₀ M ₀ – 9.1) / 1.5 (Hanks and Kanamori, 1979)		
断層面積に対する等価半径	R	12	.4	km	$R = (S_s / \pi)^{1/2}$		
断層全体の静的応力降下量	Δσ	3	0	MPa	$(7/16) \times (M_0/R^3)$		
断腸会体の平均すべい量	D	0	8	111	(Eshelby, 1957) $D = M_c/\mu S$		
BUILD TO MAN LONG A. 20 T	-	0.			$t = 2.46 \times 10^{10} \times 114 \times 10^{510}$		
短周期レベル	A	1.24	E+19	Nm/s ²	$A = 2.46 \times 10^{\circ} \times (M_0 \times 10^{\circ})$ ($\overline{u} \cdot (0.2001)$		
小断層長さ(走向方向)	dL	1.	.0	km	本業務で設定		
小新屬幅(傾斜方向)	dW	1	0	km	本業務で設定		
			100		$P = (7\pi/4) \times (M//(4P)) \times R^2$		
アスペリティ総面積の等価半径	R.,	5	3	km	(Bostunisht 1084; ## + 88 2001)		
マスズリティの紛落時	s	00.7		1222	(Doarwright, 1984, 40, 108, 2001)		
	01	88.7		Km	- A We Dr- with str		
アスヘリティの総面積(計算用)	9.1	89.0		km*	本兼務で設定		
アスペリティの平均すべり量	D_s	1.7		m	D ₃ =2.0D (Somerville et al., 1999: 石井・他, 2001)		
アスペリティの総地震モーメント	Ma	4.74E+18		Nm	$M_{n_s} = \mu D_s S_s$		
アスペリティ面積/断層面積比	5.15	0.18			The state of the state		
	01.0			ane i	$\Lambda \sigma = (S/S) \Lambda \sigma$		
アスペリティの実効応力	$\Delta \sigma_s$	16.1		MPa	(Madariaga, 1979)		
各アスペリティの番号		Asp.1	Asp.2				
各アスペリティ面積の等価半径	R.	4.5	2.8	km	入倉・三字(2001)に従い、面積比を16:6とする		
タフスペリティの美価半級の比率		0.95	0.52		$\pi = R / R$		
タファベリティの声味	5 C	0.05	24.2	1.1.2	P P 2		
合アスヘリナイの面積	Sal	04.0	24.2	km [*]	$S_{M} = \pi R_{M}$		
各アスペリティの面積(計算用)	2.11	64.0	25.0	km"	$L_4 \times m_3$		
各アスペリティの平均すべり量	D_{st}	1.9	1.2	m	$D_{si} = (\gamma_i / \Sigma \gamma_i^{s}) D_s$		
各アスペリティの地震モーメント	MOM	3.85E+18	8.84E+17	Nm	$M_{0ui} = \mu D_{ui} S_{ui}$		
各アスペリティの実効応力	σ _{n.}	16.1	16.1	MPa	Δσ。に等しいと仮定		
各アスペリティの長さ(走向方向)(計算用)	L'.	8.0	5.0	km	本業務で設定		
各アスペリティの幅(傾斜方向)(計算用)	₩",	8.0	5.0	km	本業務で設定		
各アスペリティのライズタイム	Tr.	16	10		$Tr_{c} = 0.5W'_{c}/V_{c}$		
背景領域の紛地震モーメント	Ma	8.08	F+18	Nm	$M_{ch} = M_c - M_c$		
	5	0.082+18		1 toni	S = S - S		
門原間線のから単相	69	00	1.5	KII	a de the set of a		
育業領域の総面積(計算用)	21	39	1.0	km*	- 本兼物で試定		
背景領域の平均すべり量	D_{\pm}	0.6		m	$D_{\rm b} = M_{\rm 0b} / \mu S_{\rm b}$		
背景領域の実効応力	σ_h	3	.7	MPa	$\sigma_b = (D_b / W) \times (\pi^{1/2} / D_a) \times r \times \Sigma_r^{n/2} \times \sigma_a$		
各背景領域のライズタイム	Tr _b	2.5		s	$Tr_b = 0.5W / V_r$ (Day, 1982)		
S波速度	β	3.4		km/s	J-SHIS 深部地盤モデルV2		
家庭	0	2.4		aland	LSHIS 澤部地般エデルV?		
11.12、	P	2.	9	CD-	A2		
用11 土 中	μ	31	.0	OPa	$\mu = \rho p^{-1}$		
破壞伝播速度	V_{t}	2	4	km/s	$v_{\pm} = 0.72p$ (Geller, 1976)		
破壊様式		同心日	円破壊		本業務で設定		
高周波数遮断フィルター	f	A	5	Hz	鶴李·他 (2009)		
フィルター形井	2 100	1/(1+(f)	6 5)18)1/2		鶴泰·••••• (2009)		
21/22 1210	L I	1/(1+(f/6.5)**)**		1	100/15 112 (2007)		

表 8	Hamada	断層の	震源断層	パラ	メ	ータ
-----	--------	-----	------	----	---	----

パラメータ	記号	設定値	単位	設定根拠
基準点緯度(世界測地系)		35.0162	度	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定
基準点経度(世界測地系)		132.1888	度	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定
基準点深さ		1.0	km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定
走向角		230	度	平成28年度成果報告書
傾斜角		80	度	平成28年度成果報告書
すべり角	,	154	度	平成28年度成果報告書
断層長さ(定回万回)		21	km	平成28年度成果報告書
地震発生僧上唾深さ	H _s	1.0	km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定
地震発生層下端深さ	H _d	14.8	km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定
地震発生層の厚さ	Τ.	13.8	km	$T_{y} = H_{d} - H_{y}$
断層幅(傾斜方向)	W	14	km	平成28年度成果報告書をもとに本業務で設定
断層面積	S	294	km ²	$S = L \times W$
地震モーメント	M_0	4.79E+18	Nm	(S/(2.23×10 ⁻¹⁵)) ^{3/2} ×10 ⁻⁷ (Somerville <i>et al.</i> , 1999)
モーメントマグニチュード	$M_{\rm w}$	6.4		(log ₁₀ M ₀ -9.1) / 1.5 (Hanks and Kanamori, 1979)
断層面積に対する等価半径	R	9.7	km	$R = (S_{i} / \pi)^{1/2}$
断層全体の静的応力降下量	Δσ	2.3	MPa	$(7/16) \times (M_0/R^3)$ (Eshelby, 1957)
断層全体の平均すべり量	D	0.5	m	$D = M_0 / \mu S$
短周期レベル	A	8.93E+18	Nm/s ²	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/2}$ (i g · (th. 2001)
小断層長さ(走向方向)	dL	1.0	km	本業務で設定
小断層幅(傾斜方向)	dW	1.0	km	本業務で設定
アスペリティ総面積の等価半径	<i>R</i> .	3.5	km	$R_a = (7\pi/4) \times \{M_0/(AR)\} \times \beta^2$ (Boatwright, 1984; $\hat{\pi} \cdot \hat{m}, 2001$)
アスペリティの総面積	S.	38.9	km ²	$S_{+} = \pi R_{+}^{2}$
アスペリティの総面積(計算用)	S' .	36.0	km ²	本業務で設定
アスペリティの平均すべり量	<i>D</i> .	1.0	m	$D_s = 2.0D$ (Sometrille et al. 1999) \mathcal{F}_{τ} (\$2001)
アスペリティの総地震モーメント	Moa	1.27E+18	Nm	$M_{0n} = \mu D_n S_n$
アスペリティ面積/断層面積比	S./S	0.13		
アスペリティの静的応力降下量	$\Delta \sigma_{*}$	17.5	MPa	$\Delta \sigma_{\rm s} = (S/S_{\rm s}) \Delta \sigma$ (Madariaga 1979)
アスペリティの実効広力	<i>a</i>	17.5	MPa	Ar に等しいと仮定
アスペリティの長さ(走向方向)(計算田)	L'	60	km	大衆族で設定
77ペリティの毎(桶封本向)(計算用)	11.4	6.0	kim	大学家で明治
タフラ かいこ のこ ノブカノノ		0,0	Alli	
音/入へりナイのフィスライム #月5日の前時間下 小1	1/3 1/3	1.2	5	$Tr_{s} = 0.5r_{s}/r_{s}$
育業領域の総地蔵モーメント	M _{-0b}	3.52E+18	Nm	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
育素領域の総面積	3b	255.1	km*	$S_{b} = S - S_{a}$
背景領域の総面積(計算用)	Sta	258.0	km"	本業務で設定
背景領域の平均すべり量	D_b	0.4	m	$D_{\rm b} = M_{\rm 0b} / \mu S_{\rm b}$
背景領域の実効応力	σ_{b}	3.2	MPa	$\sigma_b = (D_b / W) / (D_a / W_a) \sigma_a$
各背景領域のライズタイム	Tr_b	2,9	5	$Tr_{b} = 0.5W / V_{c}$ (Day, 1982)
S波速度	β	3.4	km/s	J-SHIS 深部地盤モデルV2
密度	ρ	2.75	g/cm3	J-SHIS 深部地盤モデルV2
剛性率	μ	31.8	GPa	$\mu = \rho \beta^2$
破壊伝播連度	V.	24	km/s	$\dot{V}_r = 0.72\beta$
防衛は二	1	同心口动性		(Geller, 1976) 大事務小部時年
取扱係入 宣用波動遊艇フィルター	1	61	H.	(小米历)(以北) 佐藤(2002)
同川(A) (X) (三円) ノイルクー フィルカード++	J max	1/11/6/0 11/2/1/2	112	(2002)
11/1/ 1/21	1	1/(1+(1/0.1)]	1	(1.))# (2002)

c) 詳細法による強震動予測手法の概要

地震動計算手法は統計的グリーン関数法を採用した。ω⁻² 則に従うスペクトルモデル (Boore, 1983)²⁹⁾を用いて統計的グリーン関数を作成し、これを要素地震として入倉 (1994)の手法³⁰⁾を用いて波形合成を行った。破壊伝播速度には、乱数による一定のばら つきを与えている。高周波数遮断フィルターの遮断周波数*f*_{max}は、Hamada断層では佐藤 (2002)³¹⁾による6.1 Hz、その他の断層では鶴来・他(2009)³²⁾による6.5 Hzを用いた。 フィルター形状は表5~8に記載している。統計的グリーン関数法のサブ断層サイズは1

ノイルター形状は表5~8に記載している。統計的グリーン関数法のサノ断層サイスは1 km×1 kmとした。統計的グリーン関数法による強震動予測の対象領域は、簡便法による予 測震度が5強以上となる領域を含むように設定した。

統計的グリーン関数法の計算出力地点は、J-SHISの深部地盤モデル V2のメッシュ中心 点とした。J-SHIS 深部地盤モデル V2 では、旧日本測地系の第3次メッシュ(基準地域 メッシュ)コード毎に各層境界の深さが与えられており、そのメッシュ間隔は約1km(緯 度差30秒、経度差45秒)である。計算地点毎に直下の深部地盤構造をJ-SHIS 深部地盤 モデル V2から抽出することにより、水平成層構造として与えた。地震基盤から深部地盤 に入射した地震動の応答は、Haskell matrix 法³³⁾により評価し、工学的基盤(ここでは Vs = 600 m/s 層の上面)での予測波形を得る。このとき、Q 値の周波数依存性はないもの と仮定した。

次に、J-SHIS 表層地盤データ V3 の AVS30 を用いて、工学的基盤での PGV を藤本・ 翠川(2006)²²⁾による AVS30 と PGV 増幅率の経験式を用いて換算し、地表の PGV を求 めた。最後に、藤本・翠川(2005)²⁶⁾の地表 PGV と計測震度の経験式を用いて、地表の 計測震度 LMAを得た。このとき、J-SHIS 表層地盤データ V3 は世界測地系(日本測地系 2000)の4分の1地域メッシュコード(約250 m 間隔)に対して与えられているため以 下のような手続きで計算した。まず、J-SHIS 表層地盤データ V3 の4分の1地域メッシ ュコードに対応する緯度・経度を旧日本測地系に変換した後、旧日本測地系の4分の1地 域メッシュコードに変換した。次に、この旧日本測地系4分の1地域メッシュコード左8 桁と同じコードとなる J-SHIS 深部地盤モデル V2 の第3次メッシュコードに対応する工 学的基盤での予測波形に、表層地盤データによる増幅率を適用し、約250 m 間隔での予測 震度分布を得た。地図などへの作図に際しては、再度測地系を世界測地系に戻す作業を行 っている。

d) 詳細法による強震動予測結果

FO03+FO05 断層の地震の強震動予測結果を図 54~57 に示す。各ケースについて、工 学的基盤上での最大速度(ケース1:図 54、ケース2:図 56)、地表での震度(ケース1: 図 55、ケース2:図 57)の分布を掲載した。以下、同様に、YM09 断層の地震の結果を図 58~61 に、YM08 断層の地震の結果を図 62~65 に、Hamada 断層の地震の結果を図 66 ~69 に示す。

福岡沖 FO03+FO05 断層の地震(図 54~57)では、北西から破壊の始まるケース 1(図 55)で、地盤増幅率の大きな堆積層の分布することと横ずれ断層の破壊の指向性効果により、福岡県沿岸に震度 6 弱~6 強の強い揺れの範囲が分布する。筑紫平野では、簡便法の結果(図 40)と同様に、広い範囲で震度 5 弱となった。南東から破壊が始まるケース 2(図

57)では北部九州の震動は小さくなり、震度6弱以上は沖ノ島や大島(宗像市)の一部などに限られる結果となった。

同様に、山口沖の YM09 断層の地震(図 58~61)、YM08 断層の地震(図 62~65)の震 度分布についても、南東から破壊が伝播するケース 2 よりも、北西から破壊が伝播するケ ース 1 の方が、全体的に本州の震度は大きめに推定された。YM08 については、最大震度 は 6 弱となった。

浜田地震を想定した Hamada 断層の地震(図 66~69)では、簡便法(図 52)と同様に 震源断層に近い島根県沿岸で高震度の領域が広がっている。破壊方向の異なるケース1と ケース2で詳細な震度分布に違いが見られることから、複数の破壊シナリオを想定するこ とが肝要である。

山口沖や島根沖の断層の地震を想定したこれらの計算結果では、簡便法による予測震度 に比べ、詳細法は全体的に小さめの震度となっていた。島根県から山口県にかけての日本 海沿岸地域では、河川沿いや河口付近の小規模な平野(三角州など)に沖積層や扇状地堆 積物などS波速度の遅い堆積層が分布していることを除けば、基盤岩が地表近くで広範に 分布していることにより、地震動があまり増幅せず、小さめの評価になっていることが可 能性の1つとして考えられる。

今回の強震動予測試算結果では、4 ケースとも、予測震度が震度 7 となる地点はなかっ た。震源断層が海域のみに分布しており、地震動計算地点から離れていることから、内陸 の直下で発生する地震に比べ、震度は小さめとなることが期待される。上述のように対象 地域における堆積平野の分布など地下構造も関係している。また、断層に近い領域の地震 動レベルは、強震動生成域(アスペリティ)の深さや位置など、仮定する震源断層モデル によっても違いが生じ得ることに留意する必要がある。

本検討で強震動の計算を行った領域に含まれる山口県萩市、長門市や島根県益田市では、 平成28年度日本海地震・津波調査プロジェクトにおいて、微動アレイ調査により、新たに 速度構造モデルを推定した。J-SHIS深部地盤モデルV2と本プロジェクトで新たに推定さ れた速度構造モデル(平成28年度成果報告書参照)を用いた強震動予測結果の比較を行 った。本報告書では、例として、萩沖のYM08断層ケース1における萩市役所(微動アレ イ実施地点のHAG)での計算結果の比較を図70に示す。この地点では、微動アレイ調査 の解析により、既存モデルよりも基盤深度が深く、堆積層が厚くなったモデルが得られた

(図 70 下段)。本プロジェクトによる新しい速度構造モデルの試算結果は、既存の J-SHI S V2 モデルによる計算結果(図 70 上段)に比べ、地表の PGV は約 1.5 倍大きくなり、 震度も 5 強(計測震度 5.3)から 6 弱(計測震度 5.6)となった。このように、速度構造モ デルが強震動予測結果に及ぼす寄与は無視できず、本調査プロジェクトを通じて速度構造 モデル情報を拡充し、モデルの高度化を進めることの必要性、意義を再確認できる。



図 54 工学的基盤上での PGV 分布 (FO03+FO05 断層ケース 1、★:破壊開始点)



図 55 地表での震度分布 (FO03+FO05 断層ケース 1、★:破壊開始点)



図 56 工学的基盤上での PGV 分布 (FO03+FO05 断層ケース 2、★:破壊開始点)



図 57 地表での震度分布 (FO03+FO05 断層ケース 2、★:破壊開始点)



図 58 工学的基盤上での PGV 分布 (YM09 断層ケース 1、★:破壊開始点)



図 59 地表での震度分布(YM09)断層ケース 1、★:破壊開始点)


図 60 工学的基盤上での PGV 分布 (YM09 断層ケース 2、★:破壊開始点)



図 61 地表での震度分布(YM09 断層ケース 2、★:破壊開始点)



図 62 工学的基盤上での PGV 分布 (YM08 断層ケース 1、★:破壊開始点)



図 63 地表での震度分布(YM08 断層ケース 1、★:破壊開始点)



図 64 工学的基盤上での PGV 分布 (YM08 断層ケース 2、★:破壊開始点)



図 65 地表での震度分布 (YM08 断層ケース 2、★:破壊開始点)



図 66 工学的基盤上での PGV 分布(Hamada 断層ケース 1、★:破壊開始点)



図 67 地表での震度分布(Hamada 断層ケース 1、★:破壊開始点)



図 68 工学的基盤上での PGV 分布(Hamada 断層ケース 2、★:破壊開始点)



図 69 地表での震度分布 (Hamada 断層ケース 2、★:破壊開始点)



図 70 萩(HAG)における YM08 断層ケース1の工学的基盤での予測波形(速度及び加速度波形)、速度構造モデルの比較(上段: J-SHIS V2 モデル、下段:本調査プロジェクトのモデル)

(c) 結論ならびに今後の課題

文献調査等に基づき、北海道道南の堆積平野のうち、地震基盤までの堆積層のS波速度 構造情報が不足している函館平野を現地調査対象領域として設定し、新規の微動アレイ調 査を5地点で実施した。微動アレイ観測により得られた上下動微動波形記録にSPAC法を 適用して位相速度を求め、Rayleigh波基本モードの分散曲線をフィッティングすることに よりS波速度構造を推定した。これにより、表層から地震基盤までの堆積層の速度構造モ デルの更新に必要な情報を取得したともに、既存のボーリング調査結果との比較検証を行 った。上記調査に関係して、北海道の震度情報ネットワークシステムの地震波形記録を収 集し、微動アレイ探査の予察調査及び結果の検証等に活用した。また、秋田県についても データ収集のための協議や準備を進めた。これら震度計の波形記録収集には、各道県庁の 危機管理担当部局担当や周辺の関係者のお世話になった。次年度以降は、東北地方北部の 日本海沿岸地域の堆積平野域で速度構造情報が不足している津軽平野を対象に、微動アレ イ調査等による速度構造情報の取得を進め、情報を蓄積していく必要がある。

サブサブテーマ 2.5 で作成された山陰沖から北部九州沖にかけての震源断層の矩形モデ ルに基づいて、特性化震源モデルを作成し、強震動予測を実施した。簡便法(地震動予測 式)では単独、連動あわせて計 37 ケース、詳細法(統計的グリーン関数法)では 4 断層 帯、計 8 ケースに対する強震動予測を実施し、各断層が活動した場合の予測震度分布の情 報を得た。次年度以降も、サブサブテーマ 2.5 で新たに構築・改良される震源断層モデル に基づいて、特性化震源モデルによる強震動の試算を継続することで、試算結果をプロジ ェクトに還元していく。

(d) 引用文献

- 岡田廣,松島健,森谷武男,笹谷努:広域・深層地盤調査のための長周期微動探査法, 物理探査, Vol.43, No.6, pp.402–417, 1990.
- 2) 笹谷努,吉田邦一,岡田廣,中野修,小林稔明,凌甦群:札幌都市域における深部地下 構造調査と強震動観測,自然災害科学, Vol.20, No.3, pp.325–342, 2001.
- 3) 札幌市:平成 13 年度地震関係基礎調查交付金石狩平野北部地下構造調查業務成果報告書, 202p., 2002.
- 4) 札幌市:平成 14 年度地震関係基礎調查交付金石狩平野北部地下構造調查成果報告書, 291p., 2003.
- 5) 札幌市:平成 15 年度地震関係基礎調查交付金石狩平野北部地下構造調查成果報告書, 198p., 2004.
- 6) 吉田邦一, 堀川晴央, 加瀬祐子, 丸山正:石狩平野中央部における微動アレイ探査, 活 断層・古地震研究報告, No.9, 1–17, 2009.
- 7) 吉田邦一, 笹谷努, 前田宜浩, 高井伸雄, 三輪田吾郎, 大畑大志郎, Dhakal Yadab Prasad, 鏡味洋史, Raafat El-Shafei Fat-Helbary: 石狩平野北西部における微動アレ 一探査, 北海道大学地球物理学研究報告, No.73, 159–173, 2010.
- 8) 宮腰研,松島健,森谷武男,笹谷努,平田賢治,渡辺儀輝,岡田廣,大島弘光,秋田藤 夫:長周期微動を用いた地下構造の推定(4)小樽市における探査例,物理探査学会第
 80回学術講演論文集, pp.118–120, 1989.

- 10) 国松直,吉見雅行,関口春子,堀川晴央,吉田邦一,竿本英貴,馮少孔,杉山長志:微動 アレイ探査による勇払平野深部地下構造の推定,活断層・古地震研究報告,No.5,1–15, 2005.
- 11) 北海道立地下資源調査所:北海道市町村の地熱・温泉ボーリングー地域エネルギー開発利用施設整備事業-(昭和55年度~平成5年度),256p.,1995.
- 12) 北海道立地質研究所:北海道市町村の地熱・温泉ボーリングデータ集, 220p., 2004.
- 13) 秦光男, 上村不二雄, 広島俊男: 20 万分の1 地質図幅「函館及び渡島大島」, 通商産 業省工業技術院地質調査所, 1984.
- 14)藤原広行,河合伸一,青井真,森川信之,先名重樹,東宏樹,大井昌弘,はお憲生,長 谷川信介,前田宜浩,岩城麻子,若松加寿江,井元政二郎,奥村俊彦,松山尚典,成田 章:東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討,防災科学技術研 究所研究資料, No.379, 2012.
- 15) Aki, K.: Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, Vol.35, No.3, pp.415-456, 1957.
- Yamanaka, H. and Ishida, H.: Application of genetic algorithms to an inversion of surface-wave dispersion data, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.86, No.2, pp.436-444, 1996.
- 17) 高波鐡夫,山内政也:採石発破の爆破地震動観測による北海道渡島半島南部の浅部地 設構造,北海道大学地球物理学研究報告, No.59, 189–209, 1996.
- 18) 太田陽子, 佐藤賢, 渡島半島活断層研究グループ: 函館平野とその周辺の地形-とくに 西縁の活断層に関連して-, 第四紀研究, Vol.33, No.4, 243-259, 1994.
- 19) 田近淳,大津直,岡崎紀俊,鈴木隆広,平川一臣,伏島祐一郎:北海道活断層図 No.2 「函館平野西縁断層帯」活断層図とその解説,65p.,1999.
- 20)入倉孝次郎, 三宅弘恵:シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol.110, No.6, pp.849-875, 2001.
- 21) 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, No.523, pp.63-70, 1999.
- 22) 藤本一雄, 翠川三郎: 近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度の関係, 日本地震工学会論文集, Vol.6, No.1, pp.11-22, 2006.
- 23) 若松加寿江, 松岡昌志: 全国統一基準による地形・地盤分類 250 m メッシュマップの 構築とその利用, 日本地震工学会誌, No.18, pp.35-38, 2013.
- 24) Wakamatsu, K. and Matsuoka, M.: Nationwide 7.5-Arc-Second Japan Engineering Geomorphologic Classification Map and Vs30 Zoning, J. Disas. Res., Vol.8, No.5, pp.904-911, 2013.
- 25) 松岡昌志, 若松加寿江: 地形・地盤分類 250 m メッシュマップ全国版に基づく地盤の ゆれやすさデータ, 独立行政法人産業技術総合研究所, 知的財産管理番号 H20PRO-936, 2008.

- 26) 藤本一雄, 翠川三郎:近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集, No.7, pp.241-246, 2005.
- 27) 岡村行信,井上卓彦,阿部信太郎:山陰西部及び九州北部沖の第四紀断層,活断層・古 地震研究報告, No.14, 157–177, 2014.
- 28) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:震源断層を特定した地震の強震動予測手法 (「レシピ」),全国地震動予測地図 2016 年版報告書別冊,46p.,2016.
- 29) Boore, D. M.: Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.73, No.6A, pp.1865-1894, 1983.
- 30) 入倉孝次郎: 震源のモデル化と強震動予測, 地震第 2 輯, Vol.46, No.4, pp.495-512, 1994.
- 31) 佐藤智美: KiK-net 強震記録に基づく鳥取県西部地震とその余震のラディエーション パターン及び fmaxの評価,日本建築学会構造系論文集, No.556, pp.25-34, 2002.
- 32) 鶴来雅人,香川敬生,入倉孝次郎:強震動予測のための講習は遮断フィルターに関する 研究(その2)-2005年福岡県西方沖地震の観測記録に基づく検討-,日本地震工学会 論文集, Vol.9, No.1, 1-18, 2009.
- 33) Haskell, N. A.: The dispersion of surface waves on multilayered media, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol.43, No.1, pp.17-34, 1953.

著者	題名	発表先	発表年月日
浅野公之,	微動アレイ探査による富山県	日本地球惑星科学連合	平成 29 年 5
吉田邦一,	内の堆積平野域の速度構造の	2017年大会(千葉市)	月 24 日
宮腰研,	推定(口頭発表)		
大堀道広,			
岩田知孝			
浅野公之,	山陰地方西部の堆積平野にお	日本地震学会 2017 年度秋	平成 29 年
吉田邦一,	ける微動探査	季大会(鹿児島市)	10月26日
宮腰研,	(ポスター発表)		
大堀道広,			
岩田知孝			

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

(f) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

- 3) 仕様・標準等の策定
 - なし

(3) 平成30年度業務計画案

平成 29 年度に引き続き、日本海沿岸地域の強震動予測に資する地下速度構造モデルの 集約を進めるとともに、東北地方北部日本海沿岸の地下速度構造情報の不足している地域 の堆積平野(津軽平野)で微動アレイ観測などの地下構造調査を行う。日本海沿岸の対象 地域の地震波形記録の収集を継続し、観測サイトの地盤震動特性を分析する。平成 29 年 度までにサブサブテーマ 2.5 で構築された震源断層モデルに基づいて、シナリオ地震想定 と強震動予測を行う。