# 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告)

## 強震断層モデル編

- 強震断層モデルと震度分布について-

## 平成24年8月29日

1	. はじめに	1
2	. 強震断層モデルについて	3
	(1)強震断層域のセグメント分けと相似則の適用領域	3
	(2)強震断層モデルの平均応力降下量	3
	<ul><li>(3) 強震動生成域 (SMGA) の面積とその個数</li></ul>	3
	(4) 強震断層モデルの断層パラメータについて	4
3	. 強震動生成域 (SMGA) の位置と検討ケース	8
	<ol> <li>(1) 強震動生成域(SMGA)の位置:(基本ケース)</li> </ol>	8
	(2)検討ケース	8
4	. 震度分布の推計手法	.10
	(1)地盤モデル	. 10
	(2) AVS30 と震度増分について	. 14
	(3) 強震波形計算手法による震度の推計	. 14
	(4) 経験的手法による震度の推計	. 15
5	. 震度分布の推計結果	.17
	(1) 強震波形計算による震度分布(図 5.1~5.4)	. 17
	(2) 経験的手法による震度分布(図5.5)	. 17
	(3) 震度分布の重ね合わせ(図 5.6)	. 18
	(4)留意点	. 18
6	. 強震断層モデル等の点検・評価	20
	(1) 平均応力降下量	. 20
	(2)強震動生成域(SMGA)の応力降下量	. 20
	(3) 経験的手法による震度分布との比較	. 21
	(4) 平均すべり量から見た中央防災会議(2003) モデルとの比較	. 22
7	. 今後の検討事項	24
	(1) 地震の時間差発生等、防災対策の検討に必要なケース	. 24
	(2)長周期地震動	. 24
	(3) 震源断層モデル及び震源断層近傍における震度分布の評価	. 24
8	. おわりに	26

## 目 次

1. はじめに

南海トラフ巨大地震の強震断層モデルは、モーメントマグニチュード(Mw) 9ク ラスの巨大なものであり、これまで、このような巨大な強震断層モデルを設定し検討 した事例はない。このため、本検討会では、Mw9クラスには及ばないが、これまで 最大級の想定地震として東海・東南海・南海地震のMw8.7の震度分布を検討した中 央防災会議(2003)による方式及び、その後取りまとめられた地震調査委員会(2009) の方式を踏まえ、南海トラフの巨大地震強震断層モデルの断層パラメータ等を設定し た。

このモデルの検討に当たり、Mai et al. (2005)のデータベース("Finite-Source Rupture Model Database")及び Murotani et al. (2008)から抽出した海溝型地震 と考えられる19の地震(28解析モデル)の震源断層モデル、Allmann and Shearer (2009)による平均応力降下量に関する統計、及び最近のMw 8 クラスの地震及び2011 年東北地方太平洋沖地震の解析結果を基に、海溝型地震の強震断層モデルにおいて特 に強い地震波を発生させる強震動生成域(SMGA)の面積とそのすべり量等に関する 特徴、平均応力降下量等を調査し活用した。

本年3月31日に第一次報告として公表した震源断層モデルは、これら最新の研究 成果から得られた海溝型地震の断層モデルの統計的な特徴等を基に、中央防災会議 (2003)及び地震調査委員会(2009)のモデルの設定手順等を踏まえ、まず、マク ロ的に見た断層パラメータ等の震源断層全体の地震モーメントや平均変位量等を設 定し、次に、ミクロ的に見た断層パラメータ等のSMGAの地震モーメントや応力降 下量等の微視的震源特性を設定し構築したものである。

地盤モデルの構築においては、約70万本(重複資料を除く、約48万本)のボーリ ング資料を収集・整理し、若松・松岡(2011)の250mメッシュの微地形区分データ との対比により、250mメッシュの浅い地盤構造モデルを作成した。なお、深い地盤 構造モデルについては、地震調査委員会(2011)による「全国1次地下構造モデル(暫 定版)」を基本とし、中部圏について一部修正したものを用いることとした。

今般、被害想定等を検討する過程において、液状化危険度(別添資料参照)を検 討するともに、地盤モデル及び強震断層モデル等全体を点検し、ボーリングデータ を用いた浅い地盤構造モデルの作成については、その地点のみでなく周辺のボーリ ングデータも用いて平滑化する方式に改めた。強震断層モデルについては、巨大地 震の中でも最大級のものであることが確認された。

1

今回、第一次報告からの追加・変更・修正事項は、液状化危険度の報告の追加と、 浅い地盤モデルの一部地点の変更とそれに伴う一部地点の震度の修正のみである。な お、震度分布については、一部地点の震度の修正はあるが、全体的には特段の変更は 見られず、第一次報告の震度分布と概ね同じである。

本検討会で検討した強震断層モデルは、Mw9 クラスの巨大地震の中でも最大クラ スのものである。しかし、Mw9 クラスの巨大な地震の強震断層モデルの設定方式等 については、地震調査委員会(2009)のレシピ等はあるものの、観測された地震波形 や震度分布と比較して適切にパラメータ等を調整する必要があり、現時点において強 震断層モデルの設定等について汎用的な手法として確立したものはない。

今回構築した強震断層モデルは、震源断層全体の地震モーメント等を定めてから断 層内部の微細なパラメータを設定する方式を活用したものであり、設定する断層パラ メータの幅が大きく、今回仮定したパラメータによっては、想定より大きな強震動を 生成する強震断層モデルとなっている可能性も否定できない。

また、震源断層近傍での強震動の強さの正しい評価が、被害想定を行う上で極めて 重大な課題となるが、東北地方太平洋沖地震もそうであるように、殆どの海溝型の巨 大地震の震源断層域は陸域から遠く離れた海域にあり、震源断層直上での強震動を評 価するための観測データが殆どなく、その妥当性の評価は十分には行えていない。

防災対策上の観点から見て、常に最新の知見等を踏まえ必要な点検・見直し等を迅 速に実施することが重要である。現在、密な強震観測データが得られた東北地方太平 洋沖地震の解析を通して、Mw9クラスの巨大地震の断層モデルと断層パラメータの 研究が進められているところである。本年秋の地震学会等での研究報告等、今後も継 続して、Mw9クラスの強震動生成域等に関する最新の研究成果を収集し、様々な観 点から検討する。また、震源断層近傍で大きな震度をもたらした南海トラフおよび相 模トラフ沿いの地震について、過去の資料を改めて調査し、南海トラフの巨大地震の 強震断層モデル及び震源断層近傍の震度の推計手法の点検・評価を行うこととする。 なお、この検討は、長周期地震動の検討と併せて行うこととする。

これら最近の知見を踏まえた強震断層モデルおよび震源近傍の強震動の点検・評価 については、長周期地震動の検討も併せて、首都直下地震モデル検討会と共同して検 討するに加え、これまでと同様、文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会(以 下、「地震調査委員会」という。)と連携して検討を行うこととする。

 $\mathbf{2}$ 

## 2. 強震断層モデルについて

第一次報告の強震断層モデルは、次のとおりである。

## (1) 強震断層域のセグメント分けと相似則の適用領域

南海トラフの巨大地震モデルとして想定する震源断層域(地震時に動く断層域)は、 中間とりまとめ(平成23年12月27日公表)で報告したとおり、修正した新たなプ レート境界面において、東側(駿河湾側)は駿河湾における南海トラフのトラフ軸(富 士川河口断層帯の領域を含む。)から、南西側(日向灘側)は九州・パラオ海嶺の北 側付近でフィリピン海プレートが厚くなる領域までとし、深さ方向には、トラフ軸か らプレート境界面の深さ約 30km からそれよりもやや深い深部低周波地震が発生し ている領域まで(日向灘の領域はプレート境界面の深さ約40kmまで)とする。そし て、震源断層域のなかで、強震断層モデルを検討する強震断層域は、プレート境界面 の深さ10kmより深い領域とする。

この強震断層域は、過去に発生した地震においても単一の領域となっていないこと から、沈み込むプレートの形状や地形等からみた大きな構造単位と過去に発生した地 震の強震断層域を考慮し、東から順に、駿河湾域、遠州海盆域、熊野舟状海盆域、室 戸舟状海盆域、土佐海盆域、日向灘域の6セグメントに区分した。このうち、遠州海 盆域と熊野舟状海盆域を合わせて東海域と呼び、室戸舟状海盆域と土佐海盆域を合わ せて南海域と呼ぶこととする(図2.1)。

これらセグメントのうち、第一次報告の強震断層モデルでは、駿河湾域、東海域、 南海域、日向灘域の4領域に区分けし、それぞれに対し、地震の規模に関する相似則 (スケーリング則)を適用する。

#### (2) 強震断層モデルの平均応力降下量

震源断層全体の地震モーメントは、断層全体の面積と平均応力降下量から、相似則 (スケーリング則)を用い設定する。第一次報告の強震断層モデルでは、この平均応 力降下量を4.0MPaと設定した。この値は、相似則を適応する上記の4領域全てに適 用する。

#### (3) 強震動生成域 (SMGA) の面積とその個数

SMGA の総面積は強震断層域全体の概ね 10%とし、6 つの各セグメントに 2 個配置し、各セグメントの SMGA の合計面積も各セグメントの面積の概ね 10%とする。

## (4) 強震断層モデルの断層パラメータについて

第一次報告の強震断層モデルは、強震断層域全体を駿河湾域、東海域、南海域、日 向灘域の4領域に分割し、それぞれの領域ごとに、相似則(スケーリング則)を用い 地震モーメントを算出し強震断層モデルのパラメータ等を設定するモデルである。強 震断層全体の地震モーメントは、これら4領域の地震モーメントの和で表される。

各領域の強震断層パラメータ等の設定は次のとおり。

## ① 各領域ごとのマクロ的に見た断層パラメータ

i) 地震モーメント及びモーメントマグニチュード

対象領域全体の地震モーメント(Mo)は、対象領域全体の強震断層面積(S) と平均応力降下量(Δσ、ここでは4.0MPaとした)から、相似則(スケーリング 則)により推定する。

 $Mo = \alpha \cdot \Delta \sigma \cdot S^{3/2}$ ここで、 $\alpha$  は係数(ここでは、 $\alpha = 16/7\pi^{3/2}$ を用いた) なお、モーメントマグニチュード (Mw) は、次式に従い算出する。  $\log Mo = 1.5Mw + 9.1$ 

ii) 平均変位量

平均変位量(D)は、次の地震モーメント(Mo)と強震断層面積(S)との関係式から算出する。

Mo =  $\mu \cdot D \cdot S$ ここで、 $\mu$  : 剛性率  $\mu = \rho \cdot V_s^2$  (密度  $\rho = 2.8 \text{g/cm}^3$ 、S波速度  $V_s = S.382 \text{km/s}$ )

iii) 破壊伝播速度および f max

破壊伝播速度(Vr)は次式による。

 $V_{\rm r} = 0.72 V_{\rm s}$ 

f maxは兵庫県南部地震から推定された値である6Hzとする。

## ② 各領域ごとのミクロ的に見た断層パラメータ等について

## i)小断層による断層の近似

3次元的に複雑な曲面構造を持つ強震断層域を、約10km メッシュの小断層で 近似する。

## ii)走向、傾斜及びすべり角

各セグメントに、Loveless and Meade (2010) によるフィリピン海プレートの 沈み込むベクトルのすべり角の水平成分に関する逆方向の平均値と一致するよう に与える。強震波形の計算の際には、乱数を用いて、すべり角に対し±30 度のゆ らぎを与え、強震波形の計算結果が極端なものとならないよう対処する。

## iii) SMGA の面積と配置個数

SMGA の面積は、各セグメントの面積の 10%程度とし、セグメント内の地形的な構造単位に2個配置する。

## iv) SMGA 全体の地震モーメント (Mo<sub>s</sub>)

SMGA は他の領域に比べてプレート間のカップリングが強い所で、破壊時には SMGA 以外の所よりも変位量が大きいと考えられる。SMGA の変位量は、 Somerville et al. (1999)の相似則から強震断層全体の平均変位量の2倍として 与える。

SMGA 全体の地震モーメント(Mo<sub>s</sub>)は、次式の関係を用い、SMGA 全体の平 均変位量と総面積から推定する。

Mos = µ · Ds · Ss = Mo · 2 Ss/S ここで、 Ds : SMGA 全体の平均変位量(ここで、Ds = 2 D とする) Ss : SMGA 全体の総面積

## v ) 個々の SMGA の地震モーメント (Mo<sub>si</sub>)、変位量(D<sub>si</sub>)

個々の SMGA の地震モーメントは、個々の SMGA の応力降下量がすべて等し く一定であるとして、強震動生成域の面積の 3/2 乗の重みで振り分ける。

 $Mo_{si} = Mo_s \cdot S_{si}^{3/2} / \Sigma S_{si}^{3/2}$ 

Mo<sub>si</sub>:i番目の SMGA の地震モーメント

S<sub>si</sub>: : i 番目の SMGA の面積

個々の SMGA の変位量は、次式から算出する。

 $D_{si} = Mo_{si} / (\mu \cdot S_{si})$ 

D<sub>si</sub>: i番目の SMGA の変位量

なお、地震調査委員会(2009)では、次式で個々の SMGA の断層変位量を求めてか ら地震モーメントを算出する方式としている。  $D_{si} = (\gamma i / \Sigma \gamma i^3) \cdot Ds$ ここで、 $D_{si} : i 番目の SMGA の断層の平均変位量$  $D_S : SMGA 全体の断層の平均変位量$  $\gamma_i = r_i / r$  $r_i : i 番目の SMGA の面積の等価半径$ r : SMGA 全体の面積の等価半径

これは、面積と等価半径の関係を用いると、個々の SMGA の地震モーメントは、 それぞれの面積の 3/2 乗の重みで振り分ける方式と等価な方式であることが示される。

vi) 個々の SMGA の応力降下量 ( $\Delta \sigma_{si}$ )

個々の SMGA の応力降下量は、全て等しいとして設定する。地震調査委員会(2009)と中央防災会議(2003)の方式を以下に示す。 $<math>\Delta \sigma_{si} = \Delta \sigma \cdot S / Ss$ ; 地震調査委員会(2009)

 $\Delta \sigma_{si} = 1/\alpha \cdot M_{si} / S_{si}^{3/2}$ ;中央防災会議(2003)  $\Delta \sigma_{si}$ : i番目の SMGA の応力降下量( $\Delta \sigma_{si} = \Delta \sigma_{sj}$ )

これらの式から分かるとおり、中央防災会議(2003)の方式は、SMGAの個数を 多くしていくと応力降下量が大きくなっていく問題がある。しかし、今回のケースで 見ると、両者の方式による値は、概ねバラツキの範囲にあると思われることから、今 回は、1707年宝永地震以降の5地震の震度を重ね合わせた震度分布を再現する際に 用いた中央防災会議(2003)の方式によった。

vii) SMGA 以外の領域(背景領域)の地震モーメント(Mo<sub>b</sub>)及び変位量( D<sub>b</sub>)

強震断層域全体の地震モーメント(Mo)から、強震動生成域全体の地震モーメント(Mo<sub>s</sub>)を引いた値を背景領域の地震モーメント(Mo<sub>b</sub>)とする。この地震 モーメントと背景領域の総面積(S<sub>b</sub>)から、次の関係式を用いて背景領域の変位 量(D<sub>b</sub>)を求める。

 $Mo_b = \mu \cdot D_b \cdot S_b$ 

viii)背景領域の応力降下量 $(\Delta \sigma_b)$ 

背景領域の応力降下量は、次の関係式から求める。

$$Mo_b = \alpha \cdot \Delta \sigma_b \cdot S_b^{3/2}$$
  
ここで、α は係数

## viii)破壊開始点

破壊開始は、1944年昭和東南海地震及び1946年昭和南海地震の解析結果を参照して設定した中央防災会議(2003)と同様の場所(紀伊半島の南)に設定する。 なお、破壊開始点は、強震動生成域に接する背景領域に設定する。

## ③ 強震断層モデル全体の地震モーメント及びモーメントマグニチュード

強震断層モデル全体の地震モーメントは、駿河湾域、東海域、南海域、日向灘域のそれぞれの領域ごとの地震モーメントの総和から求める。これら各領域をj(=1~4)の地震モーメントを Mo(j)とすると、強震断層モデル全体の地震モーメントMot 及びモーメントマグニチュードMwt は以下の式で求める。

 $Mo_t = \Sigma Mo (j)$ 

 $\log Mo_t = 1.5 Mw_t + 9.1$ 

## 3. 強震動生成域 (SMGA) の位置と検討ケース

## (1) 強震動生成域 (SMGA) の位置: (基本ケース)

SMGA の位置は、過去の地震時の強震動生成域と概ね同じ場所に位置する可能性 が示唆されることから、中央防災会議(2003)の強震断層モデル(図 3.1, 3.2)を参 考に配置した。この際、同じ領域で深い側と浅い側それぞれに計2個配置されてい るものについては、その中間に1個配置することとした。なお、日向灘の領域につ いては、過去に発生した日向灘地震の解析結果を参考に配置することとする。

強震断層モデルの強震断層面は、約10km メッシュの小断層で近似している。これに、上に述べた考えに従い強震動生成域を設定したものを、図3.3~3.6に示す。

## (2)検討ケース

強震動生成域は、過去の地震時の強震動生成域と概ね同じ場所に位置する可能性 が示唆されるが、その周辺で少し位置が変わる可能性や、やや深い場所にある可能 性も考えられる。

このため、基本ケースの強震動生成域の位置が東西にずれているケースとして、 やや東側(トラフ軸から見て、トラフ軸に概ね平行に右側)に設置したケース、や や西側(トラフ軸から見て、トラフ軸に概ね平行に左側)に設置したケースを検討 する。また、強震動生成域は、陸域側の深い場所にある傾向も見られることから、 強震動生成域が陸域側の深い場所にあるケースを加え、次の4ケースを検討する (図 3.2~3.6 参照)。

- ①基本ケース:中央防災会議による東海地震、東南海・南海地震の検討結果を参考 に設定したもの
- ②**東側ケース**:基本ケースの強震動生成域を、やや東側(トラフ軸から見て、トラ フ軸に概ね平行に右側)の場所に設定したもの
- ③**西側ケース**:基本ケースの強震動生成域を、やや西側(トラフ軸から見て、トラ フ軸に概ね平行に左側)の場所に設定したもの
- ④陸側ケース:基本ケースの強震動生成域を、可能性がある範囲で最も陸域側(プ レート境界面の深い側)の場所に設定したもの

上記ケースにおける強震動生成域の具体的な設定に当たっては、深部低周波地震 の発生領域及び長期的ゆっくりすべりの領域は、プレートがある程度固着している ものの、特に強い地震波を発生させるような断層すべりが起きる可能性は低いと考 えられることから、これらの領域を避けるよう配慮した。

なお、強震動生成域を基本ケースよりも海側(プレート境界面の浅い側)に設置

するケースも考えられるが、基本ケースに比べ陸域との距離が大きくなることから、 陸域の震度の大きさは基本ケースよりも小さくなる。このことから、このケースは 検討しないこととした。

## 4. 震度分布の推計手法

中央防災会議(2003)の震度計算は、強震波形計算によって求められた地表の震度 と経験的手法によって求められた地表の震度とを比較検討し、強震波形計算による結 果を主体に、それにより表現できていないところについては、経験的手法による結果 も加えて、最終的な震度分布を求めている。

本検討会の震度計算においても、基本的に同様の方法をとることとし、強震波形計 算による結果に経験的手法による結果を重ね合わせることで、震度分布を求めること とした。



## (1) 地盤モデル

震度分布の推計に用いる地盤モデル(浅い地盤構造モデル及び深い地盤構造モデル により構成)は、最近の科学的知見を踏まえ、以下の考え方により、構築することと した。

なお、この震度分布の推計は、概ね3秒より短い周期の地震動を対象としており、 いわゆる長周期地震動については別途検討が必要である。



図 4.2 工学的基盤における強震波形計算の概念

## ①浅い地盤構造モデル

## i) 浅い地盤のメッシュサイズ

工学的基盤(平均 S 波速度が 0.35~0.70km/s に相当する地層)よりも浅い地 盤の地盤モデル(以下「浅い地盤構造モデル」という。)について、これまで中央 防災会議(2003)では、既存のボーリングデータや国土地理院の微地形区分図等 から、1km メッシュ(基準地域メッシュ)の浅い地盤構造モデルを作成していた。

しかしながら、最近の研究によって、浅い地盤構造モデルの構築に不可欠であ る微地形区分が250mメッシュで整備されてきていることを背景として、本検討 会では、震度分布の推計を250mメッシュで行うこととし、今回の推計に用いる 浅い地盤構造モデルを、測量基準を世界測地系とした250mメッシュ(4分の1 地域メッシュ、緯度間隔7.5秒、経度間隔11.25秒)で新たに作成することとし た(メッシュ数:福島県以南で約365万メッシュ)。 ii)AVS30の設定

浅い地盤の各メッシュにおける AVS30 については、従前と同様に、地質調査 資料(ボーリング及び PS 検層のデータ)を基に、地質調査資料に欠ける部分に ついては微地形区分図を基にして求めることとした。

a)地質調査資料による設定

本検討会において、新たに浅い地盤構造モデルを構築するに当たり、国土交 通省、独立行政法人防災科学技術研究所、各地域の地盤協議会等、地方公共団 体から、ボーリング及び PS 検層のデータを収集した。今回の浅い地盤構造モ デルの構築のために使用したボーリング本数は、約 49 万本(従前の約 3.8 倍)、 PS検層本数は、約 2800本(従前の約 1.2 倍)である。

このボーリングデータ及び PS 検層データから既往の関係式を用いて、それ ぞれの AVS30 を求めた。同一 250m メッシュ内に複数のボーリングデータや P S検層データがある場合には、以下の優先順位に従って採用することとした。

優先順位	AVS の算出区分		
1	PS 検層 掘進長 30m 以上のデータによる AVS30		
2	PS 検層 掘進長 10-30m データによる AVSn (n=10、20)		
	から推定した AVS30		
3	ボーリング 掘進長 30m 以上のデータによる AVS30		
4	ボーリング 掘進長 10-30m データによる AVSn (n=10、		
	20)から推定した AVS30		

表 3.1 250m メッシュ内の AVS30 の採用優先順位

その際、同種の優先順位に複数のデータがある場合には、最小の値を採用することとした。

これら各メッシュで得られた値を面的に平滑化するため、近隣 1.5km 以内に ある同一微地形区分の最大 5 個(自分自身を含む)の資料の調和平均を持って そのメッシュの値とすることとした。

## b) 微地形区分図による設定

250m メッシュの微地形区分図については、若松・松岡(2011)を用いるこ ととし、これをもとに微地形区分と AVS30 の関係を整理した。微地形区分と AVS30 の関係については、以下の3つの関係式について検討し、微地形区分ご とに最も妥当なものを採用することとした。

·中央值式:

収集した PS 検層による AVS30 対数値の中央値を推定値とした場合

・松岡・他(2005) 方式:

松岡・他(2005)を参考にして AVS を推定する説明変数として、標高、傾斜、 先第三系・第三系の山地・丘陵からの距離を考慮した場合

・藤本・翠川(2003)及び中央防災会議(2003)方式

藤本・翠川(2003)及び中央防災会議(2003)を参考にして AVS30 を推定 する説明変数として標高を考慮した場合

その結果、岩石台地、砂礫質台地、ローム台地、谷底低地、扇状地の微地形 区分には松岡・他(2005)方式を、その他の微地形区分には中央値式を適用す ることとした。また、資料の数値のバラツキを加味し、それぞれ求められた式 (µ式)の値から準偏差を差し引いた値を用いる式( $-\sigma$ 式)を用いることとし た。なお、山地(先第3系)の資料には周辺域の柔らかい地盤の資料も混在し ている可能性があることから、山地(先第3系)の $-\sigma$ 式はµ式と同じとした。

## ②深い地盤構造モデル

地震基盤(平均 S 波速度が 3km/s に相当する層)から工学的基盤(平均 S 波速 度が 0.35~0.70km/s に相当する地層)までの間の地盤の地盤構造モデル(以下「深 い地盤構造モデル」という。)について、これまで中央防災会議(2003)では、い くつかの領域での弾性波探査、常時微動探査により得られている成果から、地震基 盤及び工学的基盤の深さの平均的な分布を内挿して速度構造を求めることで、深い 地盤構造モデルを作成してきた。

しかしながら、深い地盤構造モデルについては、地震調査委員会において、その 後検討が進められ、2009年に地震動予測地図作成の一環として実施してきた強震 動評価のための全国深部地盤構造モデル(いわゆる「全国 0.5 次モデル」)が、2011 年1月に「全国 0.5 次モデル」を改良した、「全国 1 次地下構造モデル(暫定版)」 が公表されている。

これを踏まえ、本検討会の深い地盤構造モデルについては、地震調査委員会による「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を基本とすることとし、濃尾平野地域については、「全国1次地下構造モデル(暫定版)」と「全国0.5次モデル」と少し乖離があることから、独立行政法人産業総合技術研究所を中心としたグループによる 3次元地盤構造モデル(堀川・他2008)を用いて一部修正したものを用いることとした。

13

## (2) AVS30 と震度増分について

地表の震度は、工学基盤における震度から浅い地盤で増幅される震度の増分を加え て算出する。この震度増分は、地盤の非線形性により、震度が大きくなると震度増分 が小さくなる。横田・他(2005)は、数値計算により非線形性を加味した AVS30と 震度増分の関係式を作成し、中央防災会議(2003)でもこの関係式を用いて地表の震 度分布を求めてきた。

今回、浅い地盤のメッシュサイズを250mにするに当たり、収集したボーリング資料と同一区画内にある震度の観測データを比較し、震度増分の関係式の点検を行った。 結果、図4.3に示すとおり、震度増分の関係式は従来から用いている関係式で問題ないことが確認された。

したがって、工学的基盤の震度から地表の震度の推定は、従来と同じく、横田・他 (2005)による AVS30 と震度増分の関係式を用いる。

このように作成した震度増分を図 4.4 に示す。

## (3) 強震波形計算手法による震度の推計

強震波形の計算は、以下の方法による。

## ①統計的グリーン関数法

強震波形の計算に当たっては、工学分野での活用も念頭におき、工学的基盤 (Vs =350~700m/s)までは、地震学的に想定される振幅スペクトルに確率的な位 相を与えて作成した小地震波形をグリーン関数とし、設定された断層モデルに従い 波形合成を行う、いわゆる統計的グリーン関数法を用いる。

## ②断層近傍での強震動の強さの飽和効果

強震断層域の広がりを考慮した地震波伝播の理論的考察によれば、強震動スペク トルは、断層に近い場所では、断層からの距離が短くなることによる振幅の増幅は 起きなくなる。即ち、断層近傍では地震動の強さが飽和した状態となる。また、工 学的基盤においても、強い地震波が入力した場合には、弱い地震波に比べ減衰が大 きくなる特性(非線形性)を持つことから、断層近傍での地震動の増加は小さくなる 傾向がある。

このため、中央防災会議でのこれまでの検討で用いた手法と同じく、震源直上等 の震源域からの距離が小さいところでは、経験的手法と同様、1/(R+C)[R:断 層最短距離、C:定数]で地震波の振幅が減衰するとして強震波形を計算し、地震 動が震源近傍で飽和するようにした。ただし、Cはある距離から徐々に減じ、一定 の距離でゼロとなり、1/Rの距離減衰にスムーズにつながるようにした。 このパラメータ C の値が適切でない場合には、震源近傍の震度を過小評価或いは 過大評価することになる。第一次報告の検討では、中央防災会議(2003)での検討 手順と同じく、震源近傍の震度の減衰の様子が、距離減衰式による減衰の様子と概 ね類似になるよう調整した。第一次報告では、まず、平均応力降下量 3.0MPa を適 用した強震断層モデルで C を調整した上で、この値を平均応力降下量 4.0MPa のモ デルにも適用することとした。

今回の報告においても、第一次報告と同じ値C=18km を用いているが、この値 はあくまで暫定的なものであり、震源断層直上等の震度の大きさを適正に評価する には、今後再検討が必要である。

## ③地表における震度の推定

地表における震度は、工学基盤の地震波形から震度を計算し、AVS30と震度増分の関係式を用いて推定する。

## (4) 経験的手法による震度の推計

## ①距離減衰式

震源からの距離にしたがい地震の揺れの強さがどの程度減衰するかを示す経験 的な式を用いて震度を簡便に推定する手法(経験的手法)は、断層の破壊方向、地 殻構造などの影響を正確には表現できないが、これらの結果を包括した概観的な震 度分布を推計していると見ることもできる。強震波形計算による手法は、設定した 断層の破壊過程や地殻構造等を表現しているが、地盤条件等により地震波が集中す るような場合や局所的に地震動が大きくなるような条件が考慮できていない場合 がある。

このことから、震度分布の評価に当たっては、強震波形計算のみでなく、経験的手法も考慮して震度を吟味するのが適切と考える。

#### ②経験的手法のパラメータの評価

中央防災会議(2003)によると、経験的手法は Mw 8 より大きな地震に対して適 用できるように作成されたものではないが、過去の Mw 8 を超える地震の震度分布 と比較すると、全体的には距離減衰の関係は成立していると考えられ、検討した東 海・東南海・南海地震は Mw 8.7 の地震であったが、経験的手法のパラメータ Mw 8.0 を仮定するとその震度分布をよく説明した。

Mw9.0 の 2011 年東北地方太平洋沖地震の震度分布に適用されている経験式のパ ラメータ Mw は 8.2~8.3 であることから、第一次報告と同じく、南海トラフの巨 大地震の検討に用いる経験的手法のパラメータ Mw は 8.3 と設定した。

## ③地表における震度の推定

地表における震度は、経験的手法による平均的な工学基盤の震度から、強震波形 計算の手法と同じく、AVS30と震度増分の関係式を用い地表の震度分布を求める。

## 5. 震度分布の推計結果

## (1) 強震波形計算による震度分布(図5.1~5.4)

強震波形計算による震度分布を求めるに当たっては、基本ケース、東側ケース、 西側ケース、陸側ケースの4つのケースについて推計した。それぞれの主な特徴は 以下のとおりである。

## ① 基本ケースの場合(図 5.1)

中央防災会議による東海地震、東南海・南海地震の検討結果を参考に設定したケ ースで、伊豆半島より以東の震度がやや小さく、愛知県以西では震度が大きくなり、 特に震度6弱以上の領域が広がっているが、震度の強い地域の全体的なパターンは 類似している。震度7が想定される地域は、静岡県、愛知県、三重県、和歌山県、 徳島県、高知県である。

② 東側ケースの場合(図 5.2)

基本ケースの強震動生成域をトラフ軸に平行に東側(右側)に移動させたケース で、静岡西部から愛知東部、室戸岬等の強震動生成域の直上付近では、震度7の地 域が見られる。震度7が想定される地域は、静岡県、愛知県、三重県、兵庫県、和 歌山県、徳島県、高知県である。

③ 西側ケースの場合(図 5.3)

基本ケースの強震動生成域を、トラフ軸に平行に西側(左側)に移動させたケー スで、紀伊半島東部及び四国で震度が大きくなり、徳島県の紀伊水道西岸域や足摺 岬付近で震度7の地域が見られる。震度7が想定される地域は、静岡県、愛知県、 三重県、兵庫県、和歌山県、徳島県、香川県、高知県である。

④ 陸側ケース(図 5.4)

基本ケースの強震動生成域を、可能性がある範囲で最も陸域側の場所に設定した ケースで、強震動生成域がそれぞれの地域の内陸直下にあることから、全体的に震 度が大きくなり、震度6弱、震度6強の地域が大きく広がる。震度7が想定される 地域は、静岡県、愛知県、三重県、兵庫県、和歌山県、徳島県、香川県、愛媛県、 高知県、宮崎県である。

## (2) 経験的手法による震度分布(図 5.5)

強震波形計算による震度分布を見ると、強震動生成域の直上付近の震度が大きく、 フィリピン海プレートの形状を反映した分布となっている。これに対し、経験的手 法による震度分布は、強震断層全域からの距離に応じた平均的な震度分布となって いる。強震動生成域の設定位置や地盤構造等が必ずしも正しくない可能性があるこ とを考慮すると、経験的手法による震度分布も補完的に活用することが適切である と考える。

経験的手法による震度分布では、神奈川県西部から鹿児島県にかけての広い範囲 で震度 6 弱以上の揺れが見られる。震度 7 が想定される地域は、静岡県、愛知県、 徳島県、高知県である。

## (3) 強震波形計算手法及び経験的手法による震度の最大値の分布図(図5.6)

各地域等における防災対策を検討する観点から見ると、上記の強震波形手法及び 経験的手法それぞれにより推計された震度の最大値に対し検討することから、各地 域における震度の最大値の分布が概観できる分布図が必要となる。

このための資料としては、強震波形計算による4ケースの震度と、経験的手法に よる震度の各地点における最大値をプロットした分布図を示すことが適当であり、 この分布図を「震度の最大値の分布図」と呼ぶこととする。

この分布図は、各ケース及び経験式による震度の最大値が容易に把握できる分布 図であり、この分布図から見ると、神奈川県の西部から宮崎県にかけての広い範囲 で最大震度が震度6弱以上となっており、静岡県、愛知県、三重県、兵庫県、和歌 山県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県、宮崎県で最大震度が震度7の地域がある。

## (4) 今回の震度分布と第一次報告の震度分布との比較

今回、ボーリングデータを用いた浅い地盤構造モデルの作成については、周辺のボ ーリングデータも用いて平滑化する方式に改めた。このことにより震度の値が修正さ れることから、今回の震度分布と第一次報告の震度分布とを比較した。

第一次報告の震度分布と第二次報告の震度分布は、震度 7 の市町村数は 153 から 151 に、震度 6 強の市町村数は 242 から 239 になり、震度 6 弱の市町村数は 292 で 同じである。震度分布については、一部地点の震度の修正はあるが、全体的には特段 の変更は見られず、第一次報告の震度分布と概ね同じである。

## (5) 留意点

今回の検討では、250m メッシュ単位で震度の計算を行ったものであるが、地形・ 地質の条件について便宜上 250m メッシュで区分したものであるため、メッシュの 境界を越えた外側のメッシュでは異なる震度の値になる場合がある。しかしながら、 実際には 250m 間隔で隣り合うメッシュが別の震度の値になるというものでもない。 したがって、例えば震度 6 弱以上のメッシュがどの位置に存在しているかを厳密に とらえることは必ずしも適切でなく、震度分布がどのようなエリアの大きさに広が りをもっているかをマクロ的に見ることが必要である。

この観点から、今回の検討では、ある一定上の震度になる市町村の抽出は、その 市町村において一定の震度以上になる 250m メッシュの数が、10 個以上になる場 合としている。なお、海岸線上にあるメッシュについては、その中心位置が海側に 属している場合はカウントしていない。

## 6. 強震断層モデル等の点検・評価

今回検討した強震断層モデルについて点検・評価した。

#### (1) 平均応力降下量

海溝型のプレート境界地震の平均応力降下量の中央値は、Allmann and Shearer (2009)によると、3.0MPa前後と解析されている(図 6.1 参照)。この結果につい ては、Mw7クラス以下の規模の地震も含んでいることから、2011年東北地方太平洋 沖地震、2010年チリ地震、2004年スマトラ地震といった世界の巨大地震と、日本周 辺で発生した Mw8以上の地震の平均応力降下量について整理した(表 6.1)。

解析対象とした地震は8例と少ないが、平均応力降下量の平均値は1.9MPa、平均 値に標準偏差を加えた値は3.1MPa(平均値から標準偏差を引いた値は1.1MPa)で ある。なお、表 6.1に示すとおり、東北地方太平洋沖地震の地震波による解析結果を 見ると、その中央値は4.0MPaである。

第一次報告の強震断層モデルの平均応力降下量は 4.0MPa としたが、地震・津波は 自然現象であり不確実性を伴うものである。過去資料から求められた巨大地震の平均 応力降下量の平均値とその標準偏差から推定すると、資料が少なくその数値にバラツ キはあるが、平均応力降下量が第一次報告で設定した値 4.0MPa より大きくなる確率 は 10%程度である。

この点から見ると、第一次報告の強震断層モデルは、巨大地震の中でも最大クラスの強震断層モデルであるといえる。

#### (2) 強震動生成域 (SMGA) の応力降下量

第一次報告の強震断層モデルの SMGA の応力降下量は、表 6.2 に示すとおり、セ グメントによって多少異なるが、34~46MPa である。SMGA の応力降下量は、地震 調査委員会(2009)の手順による場合は 40MPa となり、今回のケースについては、 SMGA の値に多少のバラつきはあるものの、両者は概ね同程度であると思われる。

一方、東北地方太平洋沖地震の解析で、SMGA を直接解析する研究が行われている。これらの解析結果を収集・整理した結果を、表 6.4 及び図 6.3 に示す。これらから、SMGA の応力降下量は、平均 24MPa 程度で、平均値に標準偏差を加えた値は約30MPa である。また、SMGA の地震モーメントは面積の 3/2 乗に比例することが分かった(図 6.4)

地震調査委員会(2009)のレシピに従うと、仮に、震源断層全体の平均応力降下量が 4.0MPa で SMGA の応力降下量を 30MPa 程度とするには、SMGA の面積を震源

断層全体の面積の15%程度とする必要がある。逆に、SMGAの応力降下量を30MPa、 その面積を震源断層全体の面積の10%程度とすると、震源断層全体の平均応力降下量 は3.0MPaとなる。

従来の方式は、まず、マクロ的なパラメータである震源断層全体の地震モーメント、 平均すべり量等を定め、次に、SMGAの応力降下量等を設定する方式であり、震源 断層全体と SMGAの地震モーメントの比率等に幅があり、不確定性が大きくなる。 今回のような巨大地震の検討のように検証すべき震度分布や地震波形がない場合に は、その不確定性から、想定より大きな強震断層モデルとなっている可能性も否定で きない。

強震断層モデルから算出される強震動は、主として SMGA のパラメータによって 支配される。SMGA を直接解析する新たな手法による解析事例はまだまだ少なく評 価が難しい点はあるが、検証すべき震度分布を持たない巨大地震の強震断層モデルの 検討においては、最初に震源断層全体の地震モーメント等を設定する従来の方式では なく、最初に SMGA の応力降下量等のパラメータを直接設定する新しい方式を検討 する必要がある。

## (3)経験的手法による震度分布との比較

強震波形計算による震度分布は、経験的手法による震度分布に比べ、SMGA の直 上付近の震度が大きくなっている。震源直上の震度分布は、経験的手法による震度分 布が適切なのか、強震波形計算による手法が適切なのか、いずれも適切でないのか、 このことを評価することが求められる。しかしながら、東北地方太平洋沖地震を始め として、殆どの海溝型の巨大地震の震源断層域は陸域から遠く離れた海域にあり、震 源断層直上での強震動を評価するための観測データが殆ど得られていないことから、 本検討会でも、引き続きの検討課題としている。

また、東北地方太平洋沖地震は Mw9.0 の地震であるにも関わらず、経験的手法に よる震度分布の比較では、観測された震度分布は Mw8.2~8.3 相当のものであった。 この理由の解明についても課題となっている。

震源断層近傍の震度分布を適切に評価することは、被害想定を行う上で極めて重大 な課題である。このことは、本検討会のみでなく、震源断層の大半が陸域化にある相 模トラフ沿いの巨大地震を検討する首都直下地震モデル検討会においては、さらに深 刻な課題である。

このため、本検討会では、首都直下地震モデル検討会と連携し、過去資料がある程 度そろっている、南海トラフで発生した1707年宝永地震、1854年安政東海地震、1854 年安政南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年昭和南海地震に加え、相模トラフ 沿いで発生した 1703 年元禄関東地震、1923 年大正関東地震について強震断層モデル と強震断層近傍の震度分布について調査し、震源断層近傍の地震動が適切か否かにつ いて点検・評価する必要がある。なお、この検討は、長周期地震動の検討と併せて行 うこととし、統計的グリーン関数の計算で用いている非弾性的減衰を表す値(Q値) についても点検する必要がある。

## (4) 平均すべり量から見た中央防災会議(2003) モデルとの比較

中央防災会議(2003)の強震断層モデルは、1707年宝永地震以降の5地震(1707 年宝永地震、1854年安政東海地震、1854年安政南海地震、1944年昭和東南海地 震、1946年昭和南海地震)の震度の資料を重ね合わせ、それぞれの場所における 最大の震度を再現できるように強震動生成域の強さ等を設定したモデルである。

このモデルは、想定東海地震、東南海地震、南海地震の3つのモデルからなり、 平均応力降下量は3.0MPで、これらを合わせた東南海・南海地震、東海・東南海・ 南海地震の全体モデルも検討されているが、相似則(スケーリング則)は、それぞ れの領域に適用されている。

中央防災会議(2003)のモデルのモーメントマグニチュード及び平均すべり量は、 想定東海地震モデルは Mw8.0、平均すべり量 2.9m、東南海地震モデルは Mw8.2、 平均すべり量 3.8m、南海地震モデルは Mw8.6、平均すべり量 5.8m で、東海・東 南海・南海地震の全体としては Mw8.7、平均すべり量 4.9m、平均応力降下量 3.0MPa の強震断層モデルであった(表 6.3)。

本検討会の強震断層モデルは、平均応力降下量 4.0MPa として、東側から順に、 駿河湾域モデル、東海域モデル、南海域モデル、日向灘域モデルから構成される。 モーメントマグニチュード及び平均すべり量は、駿河湾域モデルは Mw8.0、平均す べり量 3.6m、東海域モデルは Mw8.5、平均すべり量 6.9m、南海域モデルは Mw8.8、 平均すべり量 9.3m、日向灘域モデルは Mw8.4、平均すべり量 5.5m となる。強震 断層モデル全体としては、Mw9.0、平均すべり量 7.6m、平均応力降下量 2.3MPa となる。

断層全体の平均すべり量で見ると比較すると、中央防災会議(2003)モデルは、 フィリピン海プレートの沈み込む速度の約100年間分の量に相当し、強震動生成域 のすべり量の大きなものには約200年間分の量に相当するもので、今回の強震断層 モデルは、フィリピン海プレートの沈み込む速度から見ると、東から順に、約150 年分、約150年分、約170年分、約80年分に相当し、日向灘域を除くと、強震動 生成域のすべり量の大きなものには、約300~350年分の年数に相当するものであ る。

22

本検討会の強震断層モデルは、次に発生する可能性の高い強震断層モデルを検討 したものではなく、南海トラフで発生しうる巨大地震の強震断層モデルである。ま た、プレート間の固着率は1より小さいと考えられ、実際には上記の年数より多い 年数を要するものと思われる。

このような地震の発生頻度は極めて低く、何時発生するかは不明であるが、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの地震である。

## 7. 今後の検討事項

以下については、鋭意検討を進め、検討が終了次第、順次公表するものとする。

## (1) 地震の時間差発生等、防災対策の検討に必要なケース

南海トラフの巨大地震の地震動による防災対策を検討するに当たっては、想定する 巨大地震が発生した場合が最悪の被害をもたらすものとは限らない。今後、南海トラ フの巨大地震の震源域の東側の領域(駿河湾・東海域)、西側の領域(南海域、日向 灘域)のそれぞれの領域の地震が、時間差を持って発生したケースなど、防災対策を 検討するに必要なケースについて検討する。

## (2) 長周期地震動

震度分布は、概ね3秒より短い周期の地震動の揺れの強さを表す指標であり、今後、 超高層ビルや大型石油備蓄タンクと共振して被害をもたらす恐れのある、周期3秒以 上のゆったりとした地震動、いわゆる長周期地震動についても別途検討する必要があ る。

現在、地震調査委員会は長周期地震動の検討を進めているが、過去の巨大地震の長 周期地震動の波形記録が少ないなど、作成したモデルの精度の検証等に課題が多く残 されている状況にある。

地震調査委員会では、引き続き全国の地盤構造モデルの構築に向けて検討しており、 本検討会でも地震調査委員会と連携して、長周期地震動の推計のための断層モデルと 地盤モデルについて検討を進める。

## (3) 震源断層モデル及び震源断層近傍における震度分布の評価

今回の南海トラフの巨大地震の強震断層モデルは、Mw9クラスの巨大地震の中で も最大級のものであることは確認したが、震源断層全体の地震モーメントを定めてか ら SMGA の応力降下量を設定する方式を活用して設定したもので、断層パラメータ の設定に幅があり、想定より大きな地震動を推計している可能性も否定できない。

強震断層モデルから算出される強震動は、主として SMGA のパラメータによって 支配される。SMGA を直接解析する新たな手法による解析事例はまだ少なく、評価 が難しい点はあるが、SMGA の応力降下量等のパラメータを直接設定することによ り不確定性を小さくすることができる方式を検討し、今回の強震断層モデルを点検・ 評価する。

一方、震源断層近傍での強震動の強さの評価は、被害想定を行う上で極めて重大な

課題である。しかしながら、東北地方太平洋沖地震もそうであるように、殆どの海溝型の巨大地震の震源断層域は陸域から遠く離れた海域にあり、震源断層直上での強震動を評価するための観測データが殆ど得られていない。

このため、南海トラフで発生した 1707 年宝永地震、1854 年安政東海地震、1854 年安政南海地震、1944 年昭和東南海地震、1946 年昭和南海地震のみでなく、相模ト ラフ沿いで発生した 1703 年元禄関東地震、1923 年大正関東地震など、過去資料があ る程度そろっている地震について調査し、強震断層モデル及び震源断層近傍における 強震動の計算方法等について検討し、震源断層近傍の地震動が適切か否かについて点 検・評価する。

これら最近の知見を踏まえた強震断層モデルの設定および強震動の計算方法等に ついては、長周期地震動の検討も併せて、首都直下地震モデル検討会と共同して検討 するに加え、これまでと同様、地震調査委員と連携して検討を進めることとする。 8. おわりに

今般、被害想定等を検討する過程において、液状化危険度(別添資料参照)を検討 するともに、地盤モデル及び強震断層モデル等全体を点検した。

地盤モデルについては、ボーリングデータを用いた浅い地盤構造モデルの作成を、 その地点のみでなく周辺のボーリングデータも用いて平滑化する方式に改めた。なお、 震度分布については、一部地点の震度の修正はあるが、全体的には特段の変更は見ら れず、第一次報告の震度分布と概ね同じである。

強震断層モデルについては、その適合性を評価し、想定のとおり、巨大地震の中で も最大級のものであることを確認した。しかしながら、今回の強震断層モデルは、震 源断層全体の地震モーメント等を定めてから設定する方式のもので、設定するパラメ ータの幅が大きく、想定より大きな強震断層モデルとなっている可能性も否定できな い。また、震源断層近傍での強震動の強さの評価は、被害想定を行う上で極めて重大 な課題であるが、震源断層直上での強震動を評価するための観測データが殆ど無いこ とから、その妥当性の評価が十分に行えているとは言い難い面がある。

このため、これら強震断層モデルの設定及び震源近傍での強震動の計算方法等が適切か否かを点検・評価するため、本年秋の地震学会等での研究報告等、強震動生成域 等に関する最新の研究成果の収集し様々な角度から整理し、また、過去の資料がある 程度揃っている南海トラフ沿いで発生した1707年宝永地震、1854年安政東海地震、 1854年安政南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年昭和南海地震に加え、相模 トラフ沿いで発生した1703年元禄関東地震、1923年大正関東地震について、強震断 層モデル及び強震断層近傍の震度の大きさについて調査する。これら結果を踏まえ、 より適正な巨大地震の強震断層モデルの構築および震度分布の推計を行うために、今 回の強震断層モデル及び震源断層近傍の震度分布を点検・評価することとする。なお、 この検討においては、長周期地震動の検討も併せて行うこととする。

これら最近の知見を踏まえた強震断層モデルおよび震源近傍の強震動の点検・評価 については、長周期地震動の検討も併せて、首都直下地震モデル検討会と共同して検 討するに加え、これまでと同様、地震調査委員会と連携して検討を行うこととする。

26

# 巻末資料



図2.1 セグメント分けと各セグメント



図2.2 フィリピン海プレートの相対的な運動速度 Loveless and Meade(2010)の解析結果を基に作図



図3.1 中央防災会議(2003)で設定した強震動生成域



図3.2 中央防災会議(2003)で設定した強震動生成域



図3.3 強震動生成域の設定の検討ケース(基本ケース)



図3.4 強震動生成域の設定の検討ケース(東側ケース)



図3.5 強震動生成域の設定の検討ケース(西側ケース)



図3.6 強震動生成域の設定の検討ケース(陸側ケース)



図4.3 AVS30の算出に用いたボーリング位置図

スムージング方法(重み付き調和平均)



$$AVS_{0}^{*} = \frac{\sum_{j=0}^{n} w_{j}}{\sum_{j=0}^{n} \left( w_{j} \cdot \frac{1}{AVS_{j}} \right)} \quad , \quad w_{j} = \begin{cases} 1 - \frac{r_{j}}{R} & r_{j} < R \\ 0 & r_{j} \ge R \end{cases}$$

 $AVS_0^*$ :スムージング後のAVS  $AVS_0$  ( $AVS_j$  j=0のとき):スムージング前のAVS  $AVS_j$  ( $AVS_j$  j=1~nのとき):  $AVS_0$  メッシュを中心に半径

- 円内に検索されたメッシュのAVS
- R:検索半径(m)
- $r_{j}$  :  $AVS_{0}$ と $AVS_{j}$ のメッシュ中心点間距離(m)
- $W_j$ :相対距離  $r_j/R$  による重み関数(中心メッシュに近いほど 重みが大きくなるように設定)

図4.4 スムージングイメージ図



図4.5 スムージングイメージ図 (スムージング前)



図4.6 スムージングイメージ図 (スムージング御)



基盤震度 が高震度のAVS30と震度差を重ね書き



図4.8 250mメッシュ震度増分



図5.1 基本ケースの震度分布



図5.2 東側ケースの震度分布



図5.3 西側ケースの震度分布



図5.4 陸側ケースの震度分布



図5.5 経験的手法による震度分布



図5.6 震度の最大値の分布図 強震波形4ケースと経験的手法の震度の最大値の分布



図6.1 プレート境界地震の応力降下量別分布 (Allmann, B. P., and P. M. Shearer, 2009を基に作図)



図6.2 プレート境界地震の地震モーメントと断層面積の関係 (Murotani,, Miyake and Koketsu, 2008)

整理
下量の
、力降-
半均凡
いよる
⊆解析(
用いた
震波を
.1 书
表6

ake	Reference	data	M0 (N m)	Mw	S (km2)	σ (MPa)	$\log 10(\Delta \sigma)$	地震別中央値	地震別平均值MPa	地震毎残差	地震每分散	残差	
.iz	Yamanaka and Kikuchi (2003)	T	1.00E+21		88 88	00	3 0.4	8		0.01			-
	Honda et al. (2004)	S	2.90E+21	8.	3 224	00 2.	1 0.3	12	961	0.01	0.025	0.017	
	Koketsu et al. (2004)	S, G	2.20E+21	8.	2 120	00 4.	1 0.6	11	1 7.7	0.05	0.00.0	110.0	
	Yagi (2004)	S, T	1.70E+21	8	1 221	00 1.	3 0.1	1		0.08			
oki I	Nagai et al. (2001)	S, T	3.50E+21	.'8	3 312	00 1.	5 0.1	8 0.18	1.51	0.18		0.008	
	Murotani(2007)		5.50E+21	'8	4 576	00	1 0.0	0.00	1.00	00'0	000.0	0.073	
	Ichinose et al. (2003)	S, T	2.40E+21	8.2	2 308	00 1.	1 0.0	14		0.00			
	Kikuchi et al. (2003)	S	1.00E+21	57	9 112	00 2.	1 0.3	12 0.04	1.10	0.08	0.017	0.052	
	Yamanaka (2008)	S	2.00E+21	.'8	3 320	00 0.	6 -0.0	15		0.01			
	Wald and Somerville (1995)	T, G	7.60E+20	ΪL	9 91	00 2.	1 0.3	12 0.41	155	10:0		0100	
	Kobayashi and Koketsu (2005)	S, T, G	1.10E+21		8 91	00 3.	1 0.4	19 0.41	0.0.7	0.01		0.013	
年世地震	Koketsu et al.	Teleseis+Strong+InlandGPS	3.80E+22	9.0	720	00 4.9	0.6	61		0.01			_
	Lay et al	Teleseis	4.00E+22	0.0	760	00 4.8	0.6			0.01			
	Lee at al	Teleseis	3.67E+22	0'6	800	00 4.1	0.6	11		00'0			
	Yagi and Fukahata	Teleseis	5.70E+22	9.1	792	00 6.4	1 0.8			0.04			
	Y.Yoshida et al.	Teleseis	4.30E+22	9.0	006	00 4.0	0.6	0.60	3.98	0.00	0.013	0.109	
	Y.Yoshida et al.	Strong	3.40E+22	9.0	) 900	00 3.1	0.5	0		0.01			
	Ammon et al	Teleseis+Strong+InlandGPS	3.60E+22	0'6	1000	00 2.8	0.4	15		0.02			
	K.Yoshida et al.	Strong	4.30E+22	9.0	1067	04 3.1	0.4	6		0.01			
	Suzuki et al	Strong	4.42E+22	0'6	1071	00 3.2	0.5	0					_
し地震	Pilido et al.(2011)	Teleseis	1.48E+22	8.7	560	00 2.	8 0.4	12		00.0			
	Delouis et al.(2010)	Teleseis+GPS+InSAR	1.80E+22	8.8	600	00 3.	1 0.4	9 0.45	2.79	00.00	0.001	0.031	
	Lay et al.(2010)	Teleseis	2.60E+22	8.9	815	00 2.	8 0.4	15		0.00			
トラ地震	Ammon et al.(2005)	Teleseis	6.50E+22	9.14	. 2600	00 1.	2 0.0	90.0 0.09	1.23	00'0	0.000	0.033	
								中央値の平均値				分散	
							$\log(\Delta \sigma)$	0.27				0.049	
							Jσ	1.9	MPa			<b>镖</b> 準偏差	
												0.22	
							+標準偏差	3.1	MPa				
							-標準偏差	Ξ					

	面積(km <sup>2</sup> )		110	150	
	広力パラメータ (MPa)		2	3	
全体	<u>平均すべり</u> 量(m)		7	6	
	<u>地震モーメント(Nm)</u>		3 4F	- +22	
	Mw		9.	0	
	セグメント名	日向灘域	南海域	 東海域	駿河湾域
	面積(km²)	19,053	53,790	29,419	7,888
	平均応力降下量(MPa)	4	4	4	4
谷セクメント	平均すべり量(m)	5.5	9.3	6.9	3.6
	地震モーメント(Nm)	4.3E+21	2.0E+22	8.3E+21	1.2E+21
	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0
	面積(km²)	2,047	6,109	3,661	853
強震動	面積比	11%	11%	12%	11%
生成域	平均すべり量(m)	11.1	18.6	13.7	7.1
SMGA	地震モーメント(Nm)	9.3E+20	4.7E+21	2.1E+21	2.5E+20
	Mw	7.9	8.4	8.1	7.5
	面積(km <sup>2</sup> )	1,018	1,953	910	438
強震動	応カパラメータ(MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
生成域	平均すべり量(m)	11.0	20.5	13.7	7.2
主成域 SMGA①	地震モーメント(Nm)	4.6E+20	1.6E+21	5.1E+20	1.3E+20
	Mw	7.7	8.1	7.7	7.3
	面積(km²)	1,029	1,615	914	415
強震動	応力パラメータ(MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
生成域	平均すべり量(m)	11.1	18.7	13.7	7.0
SMGA(2)	地震モーメント(Nm)	4.7E+20	1.2E+21	5.1E+20	1.2E+20
	Mw	7.7	8.0	7.7	7.3
	面積(km²)		1,612	913	
強震動	応カパラメータ(MPa)		46.4	45.4	
生成域	平均すべり量(m)		18.7	13.7	
SMGA(3)	地震モーメント(Nm)		1.2E+21	5.1E+20	
	Mw		8.0	7.7	
	面積(km²)		929	924	
強震動	応カパラメータ(MPa)		46.4	45.4	
生成域	平均すべり量(m)		14.2	13.8	
SMGA④	地震モーメント(Nm)		5.4E+20	5.2E+20	
	Mw		7.8	7.7	
	面積(km <sup>2</sup> )	17,006	47,681	25,758	7,035
	応カパラメータ(MPa)	3.7	3.7	3.7	3.7
背景領域	平均すべり量(m)	4.9	8.1	5.9	3.1
	地震モーメント(Nm)	3.4E+21	1.6E+22	6.2E+21	9.0E+20
	Mw	8.3	8.7	8.5	7.9
	破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
そのほか	fmax(Hz)	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz
	剛性率(Nm <sup>2</sup> )	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10

## 表6.2 強震断層モデルのパラメーター覧(基本ケース)

表6.3 中央防災会議(2003	)で設定した強震断層モデルパラメー	-ター覧
		/ //

			東南海·南海	東南海	南海	東海·東南海·南海	東海·東南海
アスペリティ1		面積(km²)	1222	_	1222	1222	_
		地震モーメント(Nm)	4.32E+20	_	4.32E+20	4.32E+20	_
		平均 すべり量 (m)	8.6	—	8.6	8.6	-
		応力パラメータ <i>」</i> σ(MPa)	24.6	_	24.6	24.6	_
アスペリティ2	2-1	面積(km <sup>2</sup> )	2758	-	2758	2758	-
		地震モーメント (Nm) 亚物式ズリー (m)	1.40E+21	-	1.40E+21	1.40E+21	-
		十均9700重 (m) 広力パラメータ / (MPa)	12.9	-	12.9	12.9	-
	2-2	応力パリノーション (WiFa) 面積 (km <sup>2</sup> )	124.0		124.0	1226	
		地震モーメント (Nm)	4.34E+20	_	4.34E+20	4.34E+20	_
		平均すべり量 (m)	8.6	_	8.6	8.6	_
		応力パラメータ(MPa)	24.6	_	24.6	24.6	_
アスペリティ3		面積 (km <sup>2</sup> )	2963	_	2963	2963	_
		地震モーメント(Nm)	1.63E+21	_	1.63E+21	1.63E+21	_
		平均すべり量(m)	13.4	-	13.4	13.4	-
		応力パラメータ <i>」</i> の(MPa)	24.6	—	24.6	24.6	_
アスペリティ4			/15	-	/15	/15	-
		地展モーメント (NM) 亚物オズリー (m)	1.93E+20	—	1.93E+20	1.93E+20	-
		ーちりやくり重 (III) 応力パラメータノの(MPa)	24.6	_	24.6	24.6	_
アスペリティ5		面積 (km <sup>2</sup> )	1308		_	1308	
		地震モーメント(Nm)	4.26E+20	4.26E+20	_	4.26E+20	4.26E+20
		平均 すべり量 (m)	7.9	7.9	_	7.9	7.9
		応力パラメータ乙の(MPa)	21.9	21.9	_	21.9	21.9
アスペリティ6		面積(km <sup>2</sup> )	1107	1107	_	1107	1107
		地震モーメント(Nm)	3.31E+20	3.31E+20	-	3.31E+20	3.31E+20
		平均すべり量(m)	7.3	7.3	-	7.3	7.3
マスペリティス		応刀ハフメータ」の(MPa) 素語 (lun2)	21.9	21.9	_	21.9	21.9
7 227771		回恨 (Km <sup>-</sup> ) 地震モーかん (N)	2 315,00	2 215-00	—	2 215-00	1107
		心辰で「ハント (NM) 平均すべり景 (m)	3.31E+20 7 9	3.31E+20 7.9	_	3.31E+20 7.9	3.31E+20 7.9
		応力パラメータ / g (MPa)	21.0	21 9		7.3 21 Q	7.3 21 Q
アスペリティ8		面積 (km²)	402	402	_	_	_
		地震モーメント(Nm)	7.27E+19	7.27E+19	_	_	_
		平均すべり量(m)	4.3	4.3	_	_	-
		応力パラメータ Δσ(MPa)	21.9	21.9	_	_	_
アスペリティ9	9-1	面積(km²)	-	-	-	1087	1087
		地震モーメント(Nm)	—	-	—	3.09E+20	3.09E+20
		半均9へり重 (m) 広力パーメータ 4々(MD-)	-	-	-	0.9	0.9
	9-2	応力ハリハーシ <u>ノ</u> O(MPa) 面積 (km <sup>2</sup> )	_	_	_	522	522
	52	地震モーメント (Nm)	_	_	_	1 03F+20	1 03F+20
		<ul><li>2. 2 (m)</li><li>平均すべり量 (m)</li></ul>	_	_	_	4.8	4.8
		応力パラメータ d (MPa)	_	_	_	21.6	21.6
アスペリティ10	10-1	面積 (km²)	_	_	_	529	529
		地震モーメント(Nm)	_	_	_	1.05E+20	1.05E+20
		平均 すべり量 (m)	—	—	—	4.8	4.8
		応力パラメータ <i>」</i> の(MPa)	_	_	_	21.6	21.6
	10-2	面積(km <sup>2</sup> )	—	-	—	254	254
		地震モーメント (Nm)	-	-	-	3.49E+19	3.49E+19
		十均9へり重 (m) 広力パラメータ イσ(MPa)	-	-	-	3.4 21.6	3.4 21.6
アスペリティ11	11-1	而積 (km <sup>2</sup> )	_	_	_	344	344
		地震モーメント(Nm)	_	_	_	5.50E+19	5.50E+19
		平均すべり量 (m)	_	_	_	3.9	3.9
		応力パラメータ⊿σ(MPa)	_	_	_	21.6	21.6
	11-2	面積(km <sup>2</sup> )	-	-	_	175	175
		地震モーメント(Nm)	-	-	-	2.00E+19	2.00E+19
		半均すべり量 (m) 広力パース 4 c (MD-)	—	-	—	2.8	2.8
자모	一一一一					21.0 \$200100	21.0
月泉	円/両	面積 (km) 地震モーメント (Nm)	4 60F+21	_	4 60F+21	4 60F+21	_
		<ul><li>2. 2 (m)</li><li>平均すべり量 (m)</li></ul>	4.0	_	4.0	4.002.21	_
		応力パラメータ (MPa)	2.4	_	2.4	2.4	_
	東南海	面積 (km <sup>2</sup> )	約11800	約11800	_	約11100	約11100
		地震モーメント (Nm)	1.29E+21	1.29E+21	—	1.21E+21	1.21E+21
		平均すべり量(m)	2.7	2.7	—	2.7	2.7
	市海	応力ハラメータ」の(MPa)	2.4	2.4	_	2.5	2.5
	果海	山槓 (km <sup>-</sup> ) 地雲エー√いト (Nm)	—	—	—	ポリ0000 4 72E±20	★J0000 472E±20
		地展モーバント (Nill) 平均すべり量 (m)	_	_	_	4.721-20	4.721-20
		応力パラメータ⊿の(MPa)	_	_	_	2.3	2.3
全体	南海	面積(km <sup>2</sup> )	約37000	_	約37000	約37000	_
		地震モーメント(Nm)	8.76E+21	_	8.76E+21	8.76E+21	_
		平均 すべり量 (m)	5.8	_	5.8	5.8	_
S波速度Vs		応力パラメータ <i>」</i> の(MPa)	3.0	-	3.0	3.0	-
3.8(km/s)		マクニチュート Mw	8.6	-	8.6	8.6	—
半均密度 p	東南海	面積 (km <sup>2</sup> ) 地雷エーハー (Nu )	約15800	約15800	-	約14600	約14600
2.8(g/cm°) 剛性茲 ()		地震モーメント (Nm) 亚物オズは是 (m)	2.45E+21	2.45E+21	—	2.30E+21	2.30E+21
$M_{1} \pm 4 \mu$ $A_{1} E \pm 10 (N/m^{2})$		十均9700重 (m) 広力パラメータ / σ(MPa)	3.0	3.0 3.0	-	3.0 3.0	3.0
破壊伝播速度 Vr			3.0 8.2	8.2		8.2	8.2
2.7(km/s)	東海	面積 (km <sup>2</sup> )	_	_	_	約9400	約9400
	· · ·	地震モーメント(Nm)	_	_	_	1.10E+21	1.10E+21
		平均すべり量(m)	_		_	2.9	2.9
		応カパラメータ」(MPa)	—	—	—	3.0	3.0
		マク゛ニチュート゛Mw	—	—	—	8.0	8.0
	全体	面積(km <sup>4</sup> ) 地雷エー <b>パ</b> ル(NIII)	約52800	約15800	約37000	約61000	約24000
		地展モーメント (Nm) 平均すべい号 (m)	1.12E+22	2.45E+21	8./6E+21	1.22E+22	3.40E+21
		〒約9・19里(m) 応力パラメータオで(MD-2)	5.2	3.8 2 N	0.0 0 0	4.9	3.5 2.0
			3.0	3.0	3.0	3.0	0.0
L	L		8.0	8.2	8.0	8.7	8.3

	面積(km²)	応力降下量 (MPa)	モーメント (N・m)	モーメントマ グニチュード (Mw)	すべり量(m)
Asano & Iwata(20	012)				
SMGA①	1296	23.9	4.57E+20	7.7	5.2
SMGA2	1296	27.8	5.33E+20	7.8	6.1
SMGA3	1225	17.5	3.07E+20	7.6	3.7
SMGA(4)	1225	6.6	1.16E+20	7.3	1.4
合計	5042	1	1.41E+21	8.0	-
割合※1	5.6%	1	4.2%	-	-
割合※2	4.2%		3.4%		
Kurahashi•Irikura	a(2011)				
SMGA	2596	41.3	2.31E+21	8.2	-
SMGA(2)	1731	23.6	7.05E+20	7.8	-
SMGA3	4867	29.5	4.34E+21	8.4	-
SMGA4	1482	16.4	3.83E+20	7.7	-
SMGA5	1129	26.0	3.99E+20	7.7	-
合計	11805	-	8.14E+21	8.5	-
割合※1	13.1%	-	23.9%	-	-
割合※2	9.8%		19.3%		
釜江·川辺(2011	)				
SMGA(1)	1600	18.9	4.93E+20	7.7	-
SMGA2	2500	21.6	1.10E+21	8.0	-
SMGA3	400	27.0	8.80E+19	7.2	-
SMGA(4)	900	10.8	1.19E+20	7.3	-
SMGA5	900	23.1	2.58E+20	7.5	-
合計	6300	-	2.06E+21	8.1	-
割合※1	7.0%	-	6.1%	-	-
割合※2	5.3%		4.9%		
佐藤(2012)					
SMGA(1)	2025	39.8	1.49E+21	8.0	15.3
SMGA2	8100	25.9	7.73E+21	8.5	19.9
SMGA3	900	29.1	3.23E+20	7.6	7.5
SMGA4	450	20.6	8.06E+19	7.2	3.7
合計	11475	-	9.624E+21	8.6	-
割合※1	12.8%	-	28.3%	-	-
割合※2	9.6%		22.9%		
	0.0%				

## 表6.4 東北地方太平洋沖地震の強震動生成域の面積や応力降下量

	SMGA合計面積平均(km <sup>2</sup> )	合計モーメントの平均(N・m)	Mw
平均	8655	5.31E+21	8.4
割合①※1	9.6%	15.6%	
割合②※2	7.2%	12.6%	

<u>※1 Y.Yoshida et al.の断層面積全体、モーメント全体に対する割合</u>

Y.Yoshida et al.	断層面積全体S(km <sup>2</sup> )	モーメント全体M <sub>0</sub> (N・m)	Mw	$\Delta \sigma$ [MPa] <sup>*3</sup>
	90000	3.40E+22	9.0	3.1

※2 津波データ、GPSデータによる解析(内閣府2012)の断層面積、全体、モーメント全体に対する割合

内閣府(2012)	断層面積全体S(km <sup>2</sup> )	モーメント全体M <sub>0</sub> (N・m)	Mw	$\Delta \sigma$ [MPa] <sup><math>\%3</math></sup>
	120000	4.21E+22	9.0	2.5

※3 M<sub>0</sub>= 16/(7 π ^(3/2)) \* Δ σ \* S<sup>^</sup>(3/2)から算出

#### 津波断層モデル(ケース1からケース11の平均)

面積(km <sup>2</sup> )	モーメント(N·m)	Mw
140000	6.19E+22	9.1

応力降下量(全データ) 平均 23.9MPa 標準偏差 8.6MPa	応力降下量の内最大及び最小 から1個のデータを省いたもの 平均 23.8MPa 標準偏差 6.6MPa	応力降下量の内最大及び最小 から2個のデータを省いたもの 平均 23.6 MPa 標準偏差 4.2MPa
--	--	---



図6. 〇 東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による震源過程解析結果 と強震動生成域

表6.〇 東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による震源過程解析結果による セグメント内の強震動生成域の数

	セグメント内の強震度生成域の数				
	三陸沖中部	宮城県沖&三陸 沖南部海溝寄り	福島県沖	茨城県沖	
Asano and Iwata(2012)	0	2	2	0	
川辺他(2011)	0	2	2	1	
Kurahashi and Irikura(2011)	1	2	1	1	
佐藤(2011)	0	2	0	2	





図6.3 東北地方太平洋沖地震のSMGAの応力降下量(MPa)と強震動生成域の 地震モーメント(Mw)の関係(表1を整理)



図6.4.1 東北地方太平洋沖地震の強震動生成域SMGAの面積Sとモーメントマグニ チュードMwの関係(表1を整理) ・応力降下量が最大から2個、最小から2個抜いたもので回帰した直線を表示 ・最大から2個、最小から2個は赤色で表示



図6.4.2 東北地方太平洋沖地震の強震動生成域の面積(S) とモーメントマグニ チュードMwの関係(表1を整理)