

断層モデルの高度化に関する検討

平成19年4月

独立行政法人 原子力安全基盤機構

本報告書は、独立行政法人 原子力安全基盤機構が実施した業務の
成果をとりまとめたものです。

本報告書の複製、転載、引用等には、当機構の承認が必要です。

平成 19 年 4 月

断層モデルの高度化に関する検討

要 旨

原子力安全委員会では「耐震指針検討分科会」において、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 56 年 7 月 20 日決定）」（以下「新指針」という。）の高度化に向けての検討が行われ、平成 18 年 9 月に結審された。この新指針においては、基準地震動 S_s の策定に際し、その算定方式に断層モデルが導入され、地震動の不確実さに対しても言及することが要求されたことより、当機構の断層モデルによる地震動評価手法をなお一層高度化することが必要となった。

そこで、断層モデルによって評価される地震動の精度向上に関して、当該学術分野の先端技術を導入し、基準地震動策定に対するクロスチェック解析及びその不確実さ評価に活用することとした。

本作業は、当断層モデルを用いた地震動評価に関して、当該学術分野の現状及び今後の進展の方向性について調査・分析し、地震発生様式毎の断層モデルによる強震動予測レシピを充実させ、予測パラメータの不確実さの要因分析とその大きさを評価するとともに、予測精度の向上と説明性の高さを備えた地震動評価手法を確立するための検討を行った。

以下に作業成果の主な概要を示す。

(1) スラブ内地震の強震動予測レシピに関しては、その実効応力が内陸地殻内地震よりも数倍大きいことに着目し、アスペリティの応力降下量をまず規定する予測レシピを提案した。

また、統計的グリーン関数法を用いた鉛直地震動の評価は、理論的なものに比べて過小評価となることを示した。その影響は、水平動よりも短周期帯域に及ぶため、ハイブリッド合成法のマッチングフィルタの工夫が必要であることを示した。

海溝型地震及びスラブ内地震の高周波数限界 f_{max} に関しては、少ないデータながら試験的な解析を実施し、 f_{max} と減衰のべき乗数 n の平均値、平均±対数標準偏差の暫定的な値を求

めた。

- (2) 強震動予測パラメータの不確かさの定量的取り扱いに関して、運動学的断層モデルによる強震動評価に必要な各種パラメータ間の相関の有無について整理・分析した結果、アスペリティ位置及び破壊開始点位置の相関が強く、それらの設定によるばらつきが大きいことを示した。

また、現状の予測レシピの不確かさに関する留意事項として、固有地震（地表地震）と非固有地震（地中地震）による地震動特性、短周期レベル、アスペリティの深さ方向分布の不確かさに留意する必要があることを示した。特に、固有地震と非固有地震を区別しない現状の予測レシピでは、短周期地震動のレベルは地震規模に応じて大きくなるが、固有地震と非固有地震を分けた場合には、固有地震となった際に短周期レベルが低下するため、両タイプの地震の遷移域では非固有地震の方が地表地震より短周期レベルが大きくなる可能性があることが分かった。

- (3) 断層モデルの適用に際しては、アスペリティ位置及び破壊開始点位置の設定により地震動のばらつきが非常に大きくなる。このため、通常は最悪ケースを想定して設定されがちなこれらの位置を、予めどの程度まで絞り込んで予測を行うことができるかが、断層モデル適用にあたってのポイントとなる。また、このような現象は経験的な地震動評価のばらつきには十分に反映されておらず、そのために経験的手法によるばらつきが小さく見えることに関しては注意が必要であることを示した。

- (4) 断層モデルと応答スペクトル距離減衰式による地震動評価結果は、その平均特性においてほぼ整合することを示した。また、断層モデルによる地震動評価結果のばらつきについては、個々のパラメータに起因するばらつきの値が、周期によっては全体のばらつきを上回る場合があり、個々のパラメータの変動の影響が、結果に対して独立ではないことを示した。

最大加速度の距離減衰特性については、最近の観測事例を取り込むことにより、大地震による短周期の震源近傍地震動の飽和現象が、経験的モデルでも表現されることを示した。

- (5) 動力的断層モデルの適用性に関しては、運動学的断層モデルと動力的断層モデルの相違点について整理し、両者の長短をとりまとめた。また、動力的モデルは計算資源と膨大なパラメータが必要とされるため、実用的な予測手法としては、動力的知見を取り込んだ運動学的モデル(擬似動力学モデル)を目指すことが望ましいことを示した。

そして、動力的シミュレーションの一つとして実施されている地震サイクル・シミュレーションの試算例を紹介し、断層面の強度のばらつきが、生成される地震規模のばらつきを支配することを示した。

断層モデルの高度化に関する検討

目 次

1. 序論	1- 1
1.1 目的	1- 1
1.2 実施内容	1- 1
2. 断層モデルの高度化	2- 1
2.1 地震発生様式・地震毎の強震動予測レシピの高度化	2- 1
2.2 対象断層モデルの合理的設定	2- 7
2.3 鉛直地震動に関わる解析モデルの高度化	2-14
2.4 高周波数限界 f_{max} の高度化	2-20
3. 不確かさの取り扱い	3- 1
3.1 強震動予測パラメータの不確かさの定量的取り扱い	3- 1
3.2 固有地震と非固有地震の取り扱い	3- 7
4. 断層モデルの適用範囲	4- 1
4.1 断層モデル適用にあたって必要な情報	4- 1
4.2 情報の多寡と適用範囲	4- 4
5. 断層モデルと応答スペクトル距離減衰式との整合性	5- 1
5.1 ばらつきの種類	5- 1
5.2 応答スペクトル距離減衰式による強震動予測結果のばらつきの検討	5- 3
5.3 断層モデルによる予測結果のばらつきの検討	5- 6
5.4 震源近傍地震動の飽和を取り込んだ距離減衰式	5-13
5.5 断層モデルと応答スペクトル距離減衰式の比較	5-29
6. 動学的断層モデルの適用性	6- 1
6.1 運動学的断層モデルと動学的断層モデル	6- 1
6.2 動学的断層モデルの検討事例	6- 6
6.3 地震サイクル・シミュレーション例	6-29
7. 結論	7- 1
参考文献	参-1

表 一 覧

表2.1	Kagawa et al. (2004)による地震発生様式毎のアスペリティの特性.....	2- 4
表2.2	香川・他 (2003)が推定した内陸地殻内地震のフィルター・パラメターの一覧.....	2-21
表2.3	Kagawa et al. (2006)による海溝型地震のフィルター・パラメターの一覧.....	2-23
表2.4	Kagawa et al. (2006)によるスラブ内地震のフィルター・パラメターの一覧.....	2-24
表3.1	地表断層地震と地中断層地震のスケーリング・パラメータ	3- 9
表4.1	各地域での情報量	4- 6
表5.1	シミュレーションに用いた断層パラメータ	5- 7

図 一 覧

図2.1	入倉・三宅(2001)のスケーリング	2- 1
図2.2	中村・宮武(2000)のすべり速度時間関数	2- 3
図2.3	中田・他(1998)による断層分布形状と破壊開始点候補	2- 3
図2.4	壇・他(2003)によるすべり方向毎のアスペリティの実効応力	2- 4
図2.5	壇・他(2003)によるアスペリティの実効応力の深さによる変化	2- 6
図2.6	ヘリコプターを用いた航空磁気探査のセンサー取り付け方法	2- 9
図2.7	カリフォルニア東部剪断帯 (ECSZ)	2-11
図2.8	高分解能磁気異常データを用いた水平変位量解析結果例	2-11
図2.9	高分解能磁気異常データを用いた水平ずれ解析結果例	2-12
図2.10	大西・堀家(2004)による弾性波グリーン関数各項の比較	2-15
図2.11	大西・堀家(2004)による弾性波速度グリーン関数遠地項 (F) と 合計波 (T) の距離減衰の比較	2-16
図2.12	大西・堀家(2004)によるグリーン関数合成波に対する遠地項のみのスペクトル比 ...	2-17
図2.13	低角逆断層によるS波の放射	2-18
図2.14	水平方向の構造不均質によるエッジ波	2-19
図2.15	兵庫県南部地震時の神戸市ポートアイランドにおける鉛直アレー記録	2-19
図2.16	香川・他(2003)による2000年鳥取県西部地震の震源近傍記録による解析例	2-21
図2.17	香川・他(2003)による高周波数遮断特性の平均及び平均±標準偏差の フィルター形状へのフィッティング例	2-22
図2.18	Kagawa et al. (2006)による海溝型地震の高周波数遮断特性の平均 及び平均±標準偏差のフィッティング例	2-23
図2.19	Kagawa et al. (2006)によるスラブ内地震の高周波数遮断特性の平均 及び平均±標準偏差のフィッティング例	2-25
図3.1	震源断層の形状を構成するパラメータ	3- 1
図3.2	アスペリティと破壊開始点の配置	3- 3
図3.3	大塚・他 (1998)によるばらつきの試算例	3- 4
図3.4	Motohasi et al. (2005)による断層モデルと経験的手法のばらつき	3- 6
図3.5	固有地震 (左) と非固有地震 (右)	3- 7

図3.6	地表断層地震(上2段)と地中断層地震(下段)による地震動と距離減衰式の比	3- 8
図3.7	地表断層地震(上)と地中断層地震(下)のスケーリング	3- 9
図3.8	各種スケーリングと実地震のインバージョン結果	3-10
図3.9	各種スケーリングによる短周期レベル	3-11
図3.10	深さ方向のアスペリティ位置の確率分布	3-13
図4.1	地震モーメントと断層面積の関係の例	4- 1
図4.2	Kagawa et al.(2004)による M6.5 の標準的な地表断層地震(左)と地中断層地震(右)	4- 3
図5.1	地震間誤差と地震内誤差の地震規模依存性	5- 4
図5.2	地震内誤差と震源距離依存性	5- 4
図5.3	地震内誤差と振幅依存性	5- 4
図5.4	距離減衰式の回帰誤差(周期による地震間誤差と地震内誤差)	5- 5
図5.5	アスペリティと破壊開始点	5- 8
図5.6	変動させたパラメータの組合せと重み	5- 8
図5.7	地震動強さの中央値及びばらつきの空間分布	5- 9
図5.8	代表的な地点における個別パラメータによるばらつきと全体のばらつき	5-11
図5.9	NGA プロジェクトで用いられている地震	5-17
図 5. 10a	NGA モデルによる M6.0 横ずれ断層の周期 0.2 秒の加速度応答値	5-19
図 5. 10b	NGA モデルによる M6.0 横ずれ断層の周期 1.0 秒の加速度応答値	5-19
図 5. 10c	NGA モデルによる M8.0 横ずれ断層の周期 0.2 秒の加速度応答値	5-20
図 5. 10d	NGA モデルによる M8.0 横ずれ断層の周期 1.0 秒の加速度応答値	5-20
図 5. 10e	NGA モデルによる M8.0 横ずれ断層の周期 3.0 秒の加速度応答値	5-21
図 5. 10f	NGA モデルによる M7.0 逆断層上盤側の周期 0.2 秒の加速度応答値	5-22
図 5. 10g	NGA モデルによる M7.0 逆断層上盤側の周期 1.0 秒の加速度応答値	5-22
図 5. 10h	NGA モデルによる M7.0 逆断層上盤側の周期 3.0 秒の加速度応答値	5-23
図 5. 10i	NGA モデルによる M7.0 伏在逆断層上盤側の周期 0.2 秒の加速度応答値	5-24
図 5. 10j	NGA モデルによる M7.0 伏在逆断層上盤側の周期 1.0 秒の加速度応答値	5-24
図 5. 10k	NGA モデルによる M7.0 地表正断層破壊進行側の周期 0.2 秒の加速度応答値	5-25
図 5. 10l	NGA モデルによる M7.0 地表正断層破壊進行側の周期 1.0 秒の加速度応答値	5-25

図 5.11a	NGA モデルによる周期 0.2 秒の標準偏差	5-27
図 5.11b	NGA モデルによる周期 1.0 秒の標準偏差	5-27
図 5.12	乱数で生成された MJ6.5 の断層群	5-30
図 5.13	計算された応答スペクトルとスペクトル距離減衰式の比較	5-31
図 6.1	San Andreas 断層の最南端のセグメントにおいて南から北への破壊の解析	6- 5
図 6.2	Dalguer et al. (2006)により計算された地表断層地震と伏在断層地震における 動力学破壊シミュレーションの速度応答スペクトル	6- 5
図 6.3	M8.6 の横ずれ断層地震に対する動力学モデル(上)と等価な運動学モデル(下)	6- 6
図 6.4	断層上で選択された (図 6.3) 3 点での滑り速度関数	6- 7
図 6.5	震源放射特性と指向性の異なる 3 観測点 (左上) における断層近傍の地震動	6- 8
図 6.6	図 6.5 の 2 観測点における運動学モデル (赤線) と動力学モデル (黒線) による 地震動のフーリエ振幅スペクトル (左) と応答スペクトル (右)	6- 9
図 6.7	M=7.0 の横ずれ断層型シナリオ地震の動力学破壊モデル	6-10
図 6.8	Guatteri et al. (2003)により使用された観測点の位置	6-11
図 6.9	6 つの異なるシナリオ地震に対する図 6.8 に示す全観測点の加速度応答スペクトル ...	6-12
図 6.10a	観測点 2 における断層法線方向(左上)と断層平行方向(右上)の地震動 及びフーリエ振幅スペクトル (左下) と応答スペクトル (右下)	6-14
図 6.10b	観測点 5 における断層法線方向(左上)と断層平行方向(右上)の地震動 及びフーリエ振幅スペクトル (左下) と応答スペクトル (右下)	6-15
図 6.10c	観測点 47 における断層法線方向(左上)と断層平行方向(右上)の地震動 及びフーリエ振幅スペクトル (左下) と応答スペクトル (右下)	6-16
図 6.10d	観測点 50 における断層法線方向(左上)と断層平行方向(右上)の地震動 及びフーリエ振幅スペクトル (左下) と応答スペクトル (右下)	6-17
図 6.11	鳥取地域の地図	6-19
図 6.12	2000 年鳥取県西部地震で想定した動力学パラメータ	6-20
図 6.13	2000 年鳥取県西部地震の最終滑り分布	6-20
図 6.14	滑り変位の時刻歴 (上) と滑り速度の時刻歴 (下)	6-21
図 6.15	応力の時刻歴 (上) と滑り変位-応力関係 (下)	6-23
図 6.16	2000 年鳥取県西部地震における破壊フロントのコンター	6-23
図 6.17	1992 年 Landers 地震の観測点分布	6-24

図 6.18	運動学震源インバージョンに基づいた 1992 年 Landers 地震に対する準動力学震源モデル.....	6-25
図 6.19a	1992 年 Landers 地震のデータと加速度応答スペクトルの解析値 及び Abrahamson and Silva (1997)による距離減衰式との比較 (T=0.5、0.7 秒)	6-26
図 6.19b	1992 年 Landers 地震のデータと加速度応答スペクトルの解析値 及び Abrahamson and Silva (1997)による距離減衰式との比較 (T=1.0、1.5 秒)	6-26
図 6.19c	1992 年 Landers 地震のデータと加速度応答スペクトルの解析値 及び Abrahamson and Silva (1997)による距離減衰式との比較 (T=2.0、3.0 秒)	6-27
図 6.19d	1992 年 Landers 地震のデータと加速度応答スペクトルの解析値 及び Abrahamson and Silva (1997)による距離減衰式との比較 (T=5.0、7.0 秒)	6-27
図 6.20	地震サイクル・シミュレーションによって生じた地震のすべり分布	6-29
図 6.21	マグニチュード、平均応力降下量、断層長さ、最大すべり量の分布	6-30

1. 序論

原子力安全委員会では「耐震指針検討分科会」において、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和56年7月20日決定）」（以下「新指針」という。）の高度化に向けての検討が行われ、本2006年9月に結審された。この新指針においては、基準地震動 S_s の策定に際し、その算定方式に断層モデルが導入され、地震動の不確実さに対しても言及することが要求されたことより、当機構の断層モデルによる地震動評価手法をなお一層高度化することが必要となった。

断層モデルによる強震動予測に関する分野は、1995年兵庫県南部地震以降、精力的に調査及び研究が進められてきた。また、これらの成果を踏まえて、内陸の大地震やプレート境界の巨大地震による広域の強震動評価が中央防災会議や地震調査研究推進本部などにより実施され、それらの成果も急速に蓄積されつつある。

本作業は、当該学術分野の現状及び今後の進展の方向性について調査・分析するとともに、高周波数限界 f_{max} の平均特性、強震動予測パラメータの不確実さの定量化、簡易モデルを用いた動力学的断層モデルの適用性について具体的な検討を行った。

1.1 目的

地震発生様式毎の断層モデルによる強震動予測レシピを充実させ、予測パラメータの不確実さの要因分析とその幅を評価するとともに、当該学術分野の先端技術を反映して予測精度を向上させ、策定された基準地震動のクロスチェック解析及びその不確実さ評価に活用する。

1.2 実施内容

(1) 断層モデルの高度化

① 地震発生様式・地域毎の強震動予測レシピの高度化

内陸地殻内地震の断層様式（横ずれ断層／縦ずれ断層及び地表断層／地中断層）の違いを考慮したレシピ策定の可能性について検討を行うとともに、スラブ地震に関する予測レシピを新たに策定する。また、予測レシピに関わるパラメータの地域性に関して検討する。

② 対象断層モデルの合理的設定

地下の起震断層を抽出する手法について、新たな調査法に関する検討を行う。また、地形・地質学的情報から、強震動予測レシピに必要な情報を抽出する方法について検討する。

③ 鉛直地震動に係わる解析モデルの高度化

統計的グリーン関数法を用いて評価する鉛直地震動に関して、内外の研究成果を収集・

分析し、合理的な鉛直強震動評価法について検討する。

④ 高周波数限界 f_{max} の高度化

海溝型地震およびスラブ内地震の高周波数限界 f_{max} に関して、地殻内地震に対する研究成果を参考として、その平均特性について検討する。

(2) 不確実さの取り扱い

① 強震動予測パラメータの不確実さの定量的取り扱い

強震動予測レシピで取り扱う各種パラメータの不確実さの範囲について、現状の知見から整理を行う。また、パラメータ相互の相関性についても整理する。

② 固有地震と非固有地震の取り扱い

固有地震および非固有地震に対する断層モデル設定の考え方及びパラメータの与え方について、既往研究成果を基に整理する。

(3) 断層モデルの適用範囲

地震動予測に必要なパラメータ毎に、経験的手法に対する断層モデルの優位性が損なわれるパラメータのばらつきの限界値を指標として、断層モデルを適用するにあたって準備しておく必要のある情報について整理する。

(4) 断層モデルと応答スペクトル距離減衰式との整合性

断層モデルと各種応答スペクトル距離減衰式による強震動予測結果について、パラメータに関する情報量に応じたばらつきの比較を行う。

また、地震動の最大規模について米国で実施されている近傍地震動の飽和を含む新しい距離減衰式 (NGA) の考え方について調査する。

(5) 動力学的断層モデルの適用性

動力学的断層モデルの適用事例についてとりまとめを行うとともに、従来の断層モデルによる結果との比較・検討を行う。また、地殻内地震に対し、想定する大きな断層帯の活動サイクルの中、個々のセグメントの連動状況に関する動力学的モデルの適用可能性について検討を行う。

2. 断層モデルの高度化

2.1 地震発生様式・地震毎の強震動予測レシピの高度化

(1) 強震動予測レシピとは

断層モデルによる強震動予測に際しては、想定する震源断層を設定し、その規模や破壊シナリオを構築する必要がある。しかしながら、その方法に関しては設定者に依存しばらつきの大きなものとなりがちであった。そこで、モデル化に際しての任意性を少しでも小さくするために、入倉孝次郎京都大学名誉教授らによって提案されたものが、「強震動予測のためのレシピ」と呼ばれる非一様断層破壊シナリオの設定マニュアルである。

以下に、通称「入倉のレシピ」について、地殻内地震を対象として簡単にまとめる。なお、表現は、Irikura et al. (2004) ^(2.1) に準拠している。

Step 1: 断層破壊面積 ($S = LW$)

断層長さ L を決め、地震発生層厚と断層傾斜を考慮した最大幅 (W_{max}) との関係で断層幅 (W) を設定する。

$$W (km) = L (km) \quad : L < W_{max}$$

$$W (km) = W_{max} (km) \quad : L \geq W_{max}$$

Step 2: 地震モーメント (M_0)

断層破壊面積と地震モーメントの関係式から設定する (図 2.1 参照)。

$$S (km^2) = 2.23 \times 10^{-15} \times M_0^{2/3} \quad : M_0 < 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne-cm} \quad : \text{Somerville et al. (1999)} \quad (2.2)$$

$$S (km^2) = 4.59 \times 10^{-11} \times M_0^{1/2} \quad : M_0 \geq 7.5 \times 10^{25} \text{ dyne-cm} \quad : \text{入倉・三宅 (2001)} \quad (2.3)$$

$$S (km^2) = 5.30 \times 10^{-25} \times M_0 \quad : M_0 \geq 7.5 \times 10^{27} \text{ dyne-cm} \quad : \text{Scholtz (2002)} \quad (2.4)$$

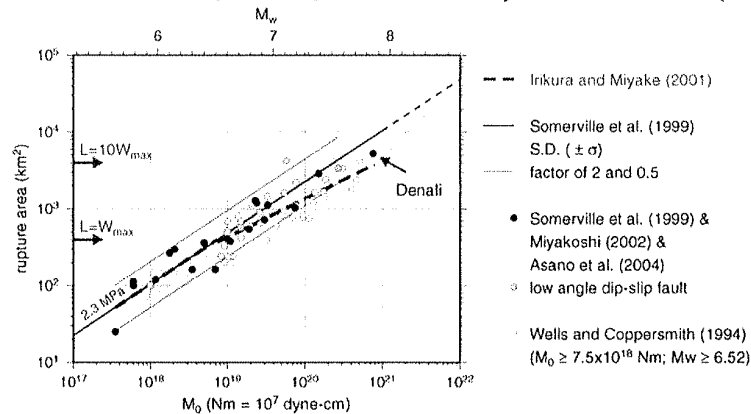


図 2.1 入倉・三宅(2001)のスケーリング

Step 3: 平均応力降下量 ($\Delta \bar{\sigma}_c$)

クラック理論 [Eshelby (1957)]^(2.5) に基づき設定する。

$$\Delta \bar{\sigma}_c = \frac{7\pi^{1.5}}{16} \cdot \frac{M_0}{S^{1.5}}$$

Step 4: アスペリティの総面積 (S_a)

断層破壊面積とアスペリティの総面積の経験則 [Somerville et al. (1999)、入倉・三宅 (2001)] から設定する。

$$\frac{S_a}{S} = 0.22$$

Step 5: アスペリティの応力降下量 ($\Delta \sigma_a$)

アスペリティ理論から、平均応力降下量に Step 4 で設定した比の逆数を掛けて求める [入倉・三宅 (2001)]。

$$\Delta \sigma_a = \Delta \bar{\sigma}_c \cdot \frac{S}{S_a}$$

また、壇・他 (2001)^(2.6) による短周期レベル $A = 2.46 \times 10^{17} M_0^{1/3}$ による拘束を導入し、アスペリティの応力降下量を規定した上でその面積を逆算する方法が用いられる場合もある。

Step 6: アスペリティの個数 (N) と配置

アスペリティの個数は対象断層帯のセグメンテーションに依存する。アスペリティの位置は地表変形量から推定して設定する。再来期間の短い地震であれば過去の地震時のアスペリティ位置が参照できる。近年では GPS 観測網が捉えたバックスリップ量が援用できる。

Step 7: アスペリティの平均すべり量比 (D_a)

動力学破壊シミュレーション (その手法は 6 章で紹介する) の結果を基に、STEP 6 で設定したアスペリティ個数 (N) に応じて、断層面全体の平均すべり量 (D) に対するアスペリティ部の平均すべり量 (D_a) の比を設定する。

$$N = 1 \text{ の場合は } D_a/D = 2.3$$

$$N = 2 \text{ の場合は } D_a/D = 2.0$$

$$N = 3 \text{ の場合は } D_a/D = 1.8$$

Step 8: アスペリティの実効応力(σ_a) と背景領域の実効応力 (σ_b)

アスペリティ部の実効応力(σ_a) は応力降下量 ($\Delta \sigma_a$) で近似できる。背景領域の実効応力(σ_b)は、動力学破壊シミュレーションの結果より、アスペリティ部の 1/5 程度に設定できる。

Step 9: すべり速度時間関数の設定

Kostrov 型のすべり速度時間関数を想定する [中村・宮武 (2000)]^(2.7)。その際、最大すべり速度は実効応力から、継続時間はアスペリティの大きさと破壊伝播速度から設定する。ここでも、動力学破壊シミュレーションの結果が参照されている (図 2.2)。

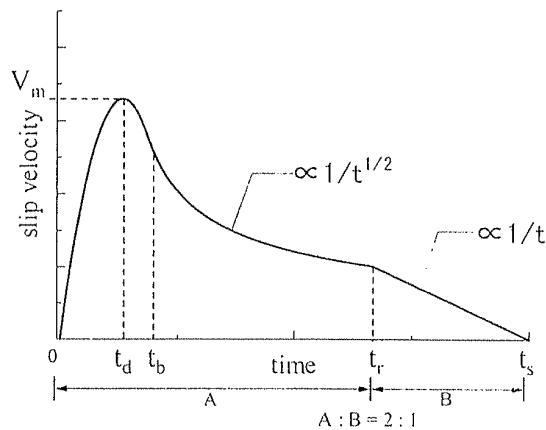


図 2.2 中村・宮武(2000)のすべり速度時間関数

[その他のパラメータ] - 破壊開始点 -

内陸地殻内地震の破壊開始点及び終了点は、活断層の分布形状から想定される [中田・他(1998)]^(2.8)。

なお、海溝型地震については、断層面積よりも想定マグニチュードが規定される場合が多いため、Step1 及び Step2 を逆転し、地震規模から断層面積を与える方法が用いられる。

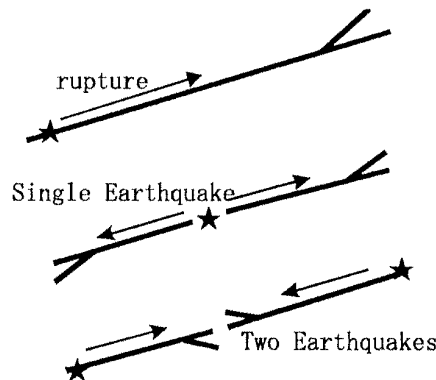


図 2.3 中田・他(1998)による断層分布形状と破壊開始点候補

(2) 断層のすべり方向による違い

断層のすべり方向（横ずれ／縦ずれ／斜めずれ）による違いについては、壇・他 (2003) ^(2.9) において検討が行われている。図 2.4 にその結果を示す。各地震のアスペリティ部の応力降下量(K_{0m})を、(5)に示す関係を用いて深さ 0 km での値に補正して比較を行っている。平均的には、横ずれ断層地震の応力が、縦ずれ断層（逆断層及び正断層）地震よりも有意に小さい傾向を示している。

この関係を積極的に用いれば、すべり方向による違いを反映した強震動予測が可能である。

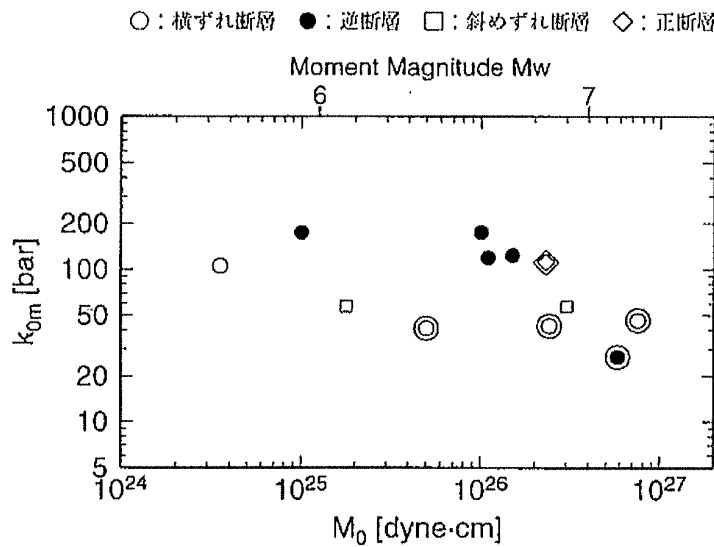


図 2.4 壇・他(2003)によるすべり方向毎のアスペリティの実効応力

(3) 地中断層と地表断層による違い

地中断層と地表断層による違いについては、kagawa et al (2004) ^(2.10) において検討が行われている。表 2.1 にその結果を示すが、アスペリティ部に着目すると、地表断層地震によるものの方が、地中断層地震によるものよりも、実効応力が小さく、すべり速度が半分程度であることが示されている。この関係を積極的に用いれば、地中断層と地表断層による違いを反映した強震動予測が可能である。

表 2.1 Kagawa et al. (2004)による地震発生様式毎のアスペリティの特性

		Stress Drop	Asperity Slip Contrast	Effective Slip Velocity
Surface Break Fault	Shallow Asperities	6.5±4.6 MPa	2.1±0.4	286±164 cm/s
	Deep Asperities	23.6±15.2 MPa	2.0±0.3	
Buried Fault	Deep Asperities	23.7±14.5 MPa	2.3±0.7	

(4) 地域による違い

地域によって強震度予測レシピを大幅に変更するだけの積極的な根拠は、現在のところ得られていない。

ただし、レシピに用いられる個々のパラメータについては、今後の詳細な検討が望まれるものの、地域性を導入する必要がある。以下に、それらの項目について考察する。

① 地震発生層厚さ

地震発生層厚さは、地殻岩盤が強震動を生成するだけの破壊を起こす能力のある層として規定される。その鉛直端は微小地震の震源深さ分布や、たて波速度 $V_p > 6\text{km/s}$ 層、キュリー点深度などから推定される。これらは地殻の状況やマンツルの熱流量の差異によって地域性を持つと考えられるので、対象地域の現況を十分に調査して設定する必要がある。

② 平均応力降下量

平均応力降下量も、地域の地殻が耐えることのできる応力による違いがあると思われるため、対象地域で発生する微小地震の解析による平均的な応力降下量の検討を予め実施して、周辺領域と比較・検討しておく必要がある。

ただし、地震発生層厚さ及び平均応力降下量も、微小地震レベルと大地震ではその特性が変化することも考えられるので、既往大地震の発生領域における比較・検討を実施しておくことが望ましい。

(5) スラブ内地震のための強震動予測レシピの検討

壇・他 (2003)では、アスペリティの深さによる実効応力の変化についても検討している。図 2.5 に示すように、深さとともに実効応力が増大し、特に、内陸地殻内地震とスラブ内地震を比較すると、スラブ内地震の実効応力は数倍となっていることが分かる。

そこで、この関係を用いてアスペリティの実効応力をまず規定し、(1)に示したレシピをステップ 5 から逆算することにより、スラブ内地震の強震動予測レシピが構築される。

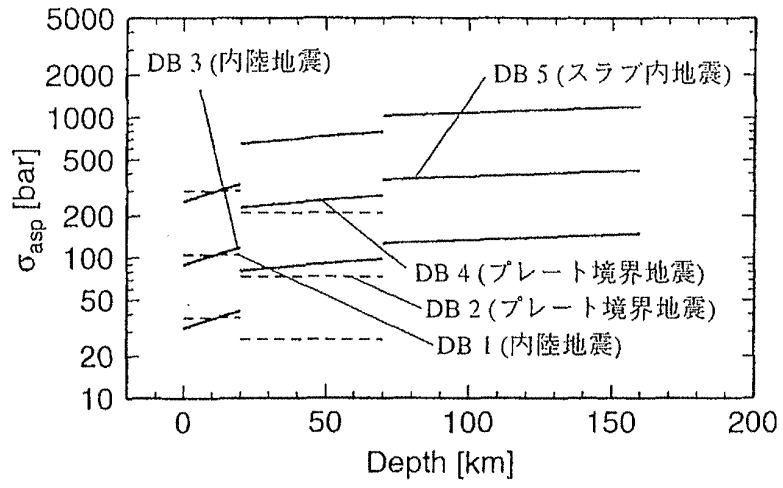


図 2.5 壇・他(2003)によるアスペリティの実効応力の深さによる変化