

もんじゅの耐震安全性評価結果に関する公開質問状

若狭連帯行動ネットワーク

貴機構は、11月16日の原子力安全委員会地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会第38回WG2会合で、「高速増殖原型炉もんじゅ基準地震動 S_s の策定について」を報告しています。これは、2008年3月の耐震安全性評価結果中間報告書をさらに見直したのですが、その基準地震動 S_s は依然として過小評価されていると思われます。

そこで、以下の公開質問状を提出しますので、真摯に検討し、文書回答と口頭説明を行って頂きますよう強く求めます。

1. 地震動過小評価の根本原因について

(1) 貴機構の11月報告[?]によれば、高速増殖原型炉もんじゅの新しい基準地震動 S_s は、C断層(断層上端深さ3km)、白木-丹生断層(同3km)および浦底-池河内(同4km)の3耐専スペクトルに少し余裕を持たせたもの、ならびに、C断層と白木-丹生断層の断層モデルによる9地震波で構成されます。その地震動は760ガルであり、2008年3月の中間報告[?]の600ガル、設置許可時の466ガルを大幅に超えています。設置許可時には、C断層は海域の短い断層としてバラバラに評価され、白木-丹生断層は海側では5.1kmの短い断層とされ、陸側では活断層とは見なされませんでした。浦底断層も湾内のS-11断層および内池見断層や池河内断層との一体性は評価されませんでした。また、2008年3月の中間報告では耐専スペクトルの地震規模を松田式ではなく断層モデルから求めることで地震動を過小評価していました。

なぜ、これらの過小評価が生じたのか、その根本原因を明らかにして下さい。今後同じような過ちを繰り返さないためには、安全規制当局による審議会だけでなく、市民の声に対しても真摯に受けとめ、公開の場で耐震安全性評価結果を丁寧に説明し広く意見を求めるべきだと私たちは考えますが、いかがですか。貴機構が今後、原発の耐震安全性評価と国民的合意について、どのような方針で臨も

うとしているのか、明らかにしてください。

2. 直下地震の地震動評価について

(1) C断層の耐専スペクトルを求める際、貴機構は上端長さ18kmを松田式に代入して地震規模をM6.9としています。ところが、C断層は60°に傾斜する2つの断層が地下で交差する末広がりの台形断層であり、断層上端長さから地震規模を求めるのは地震動の過小評価だと私たちは考えます。

原子力安全委員会も1995年の阪神・淡路大震災後の検討の結果、松田式を「震源断層の長さ」と気象庁マグニチュードとの関係」と見なし、地表で確認される活断層の長さではなく地下に広がる震源断層の長さを松田式に適用すべきであるとの見解に変わっています[?]。したがって、松田式を適用する際には断層上端長さではなく震源断層の長さ、たとえば、台形断層面の中央長さをを用いるべきであり、上端深さ4km、3kmおよび4kmで55°傾斜の3モデルを考慮すれば、地震規模はM7.0~M7.1になります。この地震規模で耐専スペクトルを評価し直し、断層モデルについてもM7.0~M7.1で地震動評価をやり直すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

(2) 貴機構は、孤立した断層の長さを20kmとしています。その根拠は「Stirling et al.(2002)により整理された地表地震断層長さ L と震源断層長さ L_{sub} の関係から、 L が小さくなくても L_{sub} は約20km付近に漸近し、そ

れ以上は小さくならないことから、震源断層長さを 20km とする」(p.II-13[?]) というものです。この知見は孤立した断層に限らず成り立つ関係ですので、C 断層についても、震源断層の長さは 20km より短くならないと考えられますが、いかがですか。

松田式によれば、20km の断層は M7.0 の地震規模に相当しますので、C 断層による地震規模は少なくとも M7.0、地下での末広がり台形構造を考慮すればそれ以上と評価すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

(3) 白木 - 丹生断層について、貴機構は耐専スペクトルを求める際には、上端長さ 15km が断層幅 16.2km より短いため、断層長さを断層幅に合わせて 16.2km とし、松田式から地震規模を M6.8 としています。上端深さを 3km とした場合には断層幅が 17.3km になるため、同様にして M6.9 としています。ところが、断層モデルでは孤立した断層と見なして震源断層長さを 20km としています。なぜ、耐専スペクトルでも断層長さを 20km としないのか、その理由を説明して下さい。耐専スペクトルと断層モデルとで全く異なる震源断層を想定していたのでは地震動評価に整合性がなくなると私たちは考えますが、いかがですか。

(4) 中央防災会議は「内陸部で発生する被害地震のうち、M7.3 以下の地震は、活断層が地表に見られていない潜在的な断層によるものも少なくないことから、どこでもこのような規模の被害地震が発生する可能性がある」と考えらる。[?] としています。これは厚い堆積層などで震源断層が見えない可能性を念頭に置いていると思われませんが、原子力安全・保安院の審議会で貴機構が自ら説明したように、もんじゅや美浜原発等の地下は花崗岩で形成されており、音波探査などでは地下の断層が見えないのではありませんか。地表に活断層が認められない場所ですら M7.3 を想定すべきところ、地表に活断層が認められる C 断層や白木 - 丹生断層ではなおさら、不確かさを考慮して M7.3 の震源断層を想定すべきだと私たちは考えますがいかがですか。

(5) 島崎 (2008)[?] によれば、M7.5 未満の地震

をもたらす活断層では震源断層の長さが活断層の長さより長い可能性があり、「短い活断層で発生する地震の最大規模は M7.4 程度と予想される」としています。このような可能性も念頭に置き、安全側に立って評価し直すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

(6) 貴機構が求めた C 断層や白木 - 丹生断層による直下地震の地震動評価は実際の地震観測記録に基づいたものではありません。耐専スペクトルには、等価震源距離で 20km 未満の地震観測記録は回帰した元データに含まれてはならず、20km 以遠の地震観測記録に基づく外挿にすぎません。また、断層モデルも地震規模の想定が小さすぎるだけでなく、震源特性パラメータの設定法や要素地震の選定法などにより結果が変わる一種のシミュレーションにすぎません。その意味では、岩手・宮城内陸地震 (M7.2, 2008.6.14) において、震源ごく近傍の一関西 (いちのせきにし) で観測された地震記録を重視すべきだと私たちは考えます。その地震観測記録によれば、地下で 3 成分合成最大加速度は 1078gal に達し、上部地層の影響を除いた「はざとり波」に換算すれば、さらに大きくなるでしょう。そうすれば、貴機構が美浜原発に対して今回設定した基準地震動の 750gal[?] をはるかに超え、新潟県中越沖

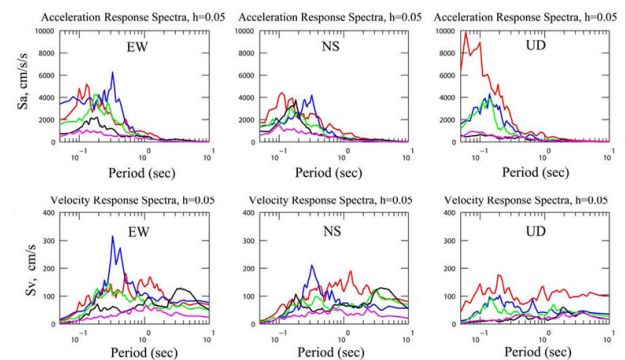


図 1: 岩手・宮城内陸地震 M7.2 で観測された地震観測記録 (地表) の応答スペクトル [?] (赤:一関西 IWTH25, 青:東成瀬 AKTH04, 緑:IWTH26, 黒:MYG004, 紫: ATK023)

岩手・宮城内陸地震の地震観測記録				
観測点	3 成分合成	東西	南北	上下
一関西 (地表)	4022 gal	1143	1433	3866
	[加速度](地下) 1078 gal	1036	748	640
一関西 (地表)	100.1cm/s	71.0	61.5	84.7
	[速度](地下) 73.2cm/s	42.2	37.2	68.5

地震 (M6.8, 2007.7.16) で観測・再現された柏崎刈羽 1 号の 1699gal(解放基盤表面位置はぎとり波) を超える可能性すらあります。一関西の地下地震計は深さ 260m, S 波速度 1810m/s の岩盤に設置されており, もんじゅの解放基盤表面位置の S 波速度 1900m/s と同等と言えます。この地下地震観測記録の解放基盤表面相当位置ではぎとり波の応答スペクトルを求め, これを包絡するように基準地震動を改めるべきだと私たちは考えますが, いかがですか。

3. M8 クラスの大地震の評価について

(1) 貴機構は「大陸棚外縁～B～野坂断層」の等価震源距離が約 13km と短いため, 耐専スペクトルを求めず, 他の距離減衰式によって応答スペクトルを求めています。ところが, 敦賀原発では等価震源距離が 15.4km とやや離れているため, 図??のように耐専スペクトルを求めています。この図には, 断層モデルによる地震動評価も重ねて示していますが, 耐専スペクトルの 1/4～1/3 しかありません。このように大きな差があるのは, 耐専スペクトルの地震規模が M7.7 であるのに対し, 断層モデルの地震規模が M7.3(上端 4km) と小さく, 地震エネルギーではほぼ 1/4 であることに起因します。敦賀半島周辺の内陸地殻内地震による地震動評価について, 貴機構は, 日本原子力発電および関西電力と共同で作業しており, この事実を認識しているはずで。そこで, 敦賀原発でのこの耐専スペクトルをもんじゅにおける「大陸棚外縁～B～野坂断層」の断層モデルおよび他の距離減衰式による応答スペクトルの上に描くと図??のようになります。これより, もんじゅでの断層モデルや距離減衰式による地震動評価が, 等価震源距離で 2～3km 離れた敦賀原発での耐専スペクトルと比べてかなり小さくなっていることは一目瞭然です。もんじゅにおける耐専スペクトル相当の応答スペクトルは, 敦賀原発での耐専スペクトルより大きくなることは明らかであり, 実際にはもっと大きな差になると思われます。この不整合を正すため, 断層モデルの地震規模を M7.7 として地震動を評価し直す

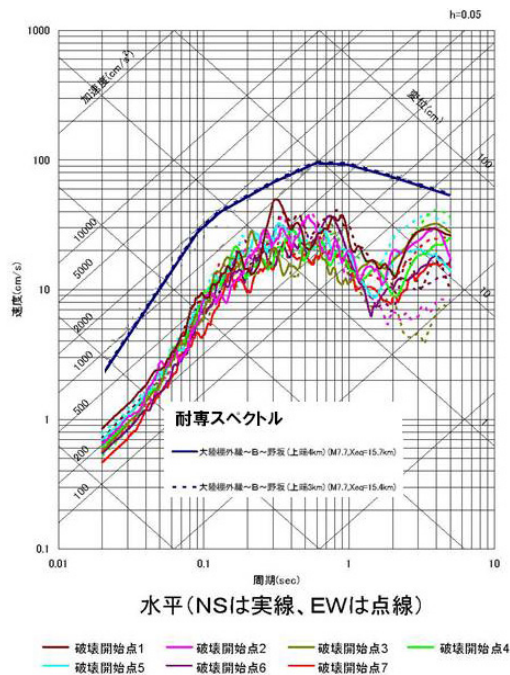


図 2: 大陸棚外縁～B～野坂断層の敦賀原発での耐専スペクトルと断層モデル(断層上端 4km) による地震動評価 [?]

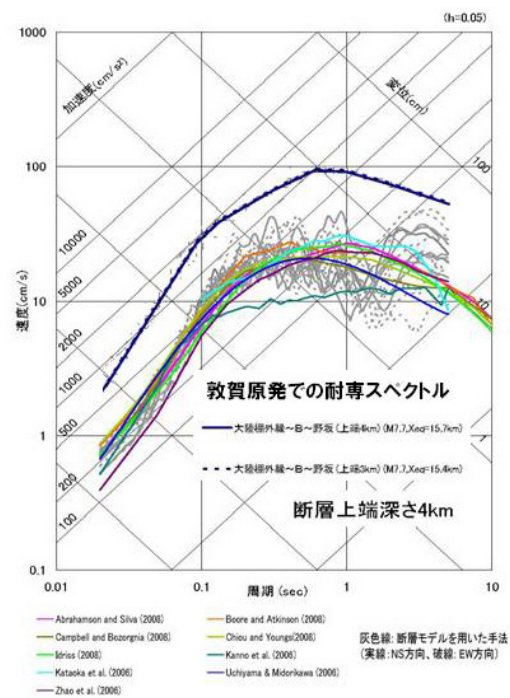


図 3: 大陸棚外縁～B～野坂断層の「敦賀原発での耐専スペクトル」と「もんじゅでの距離減衰式および断層モデル(断層上端 4km) による地震動評価」の比較 [?]

べきだと私たちは考えますが, いかがですか。この断層モデルを基本モデルとして短周期レベルを 1.5 倍にする不確かさの考慮を行うべきだと私たちは考えますが, いかがですか。また, もんじゅより等価震源距離が 2～3km 遠い敦賀原発での「大陸棚外縁～B～野坂断

層」の耐専スペクトルは、基準地震動 S_s のベースになった C 断層、白木 - 丹生断層、浦底 - 池河内断層の耐専スペクトルを上回っています。等価震源距離で敦賀原発とわずか 2~3km しか変わらないのですから、もんじゅでの「大陸棚外縁 ~ B ~ 野坂断層」の耐専スペクトルを求め、それを基準地震動 S_s に反映させるべきだと私たちは考えますが、いかがですか。貴機構は、日本原子力発電および関西電力と共同で敦賀半島周辺での内陸地殻内地震の地震動評価を行っていますが、なぜ、耐専スペクトルは 15.4km だと適用可能であり約 13km だと適用できないと判断したのですか、その根拠を説明して下さい。

(2) 貴機構は、「和布 - 干飯崎沖 ~ 甲楽城断層」M7.8 およびその関ヶ原断層までの延長断層帯 M8.3 の地震動評価では、表?? ~ 表?? のように、アスペリティ面積/断層面積比を 22% に固定する方法を用いています。ところが、平均応力降下量についてだけ、断層平均で 3.1MPa、アスペリティ平均で 14.1MPa という Fujii-Matsu'ura(2000)[?] の応力降下量を採用しています。断層長さが何 km 以上なら Fujii-Matsu'ura(2000) の応力降下量を採用すべきだと考えているのですか。その根拠と共に説明して下さい。

(3) Fujii-Matsu'ura[?][?] は、断層幅より断層長さが十分長い中規模断層から長大断層を広く包含する $L - M_0$ 関係式 (断層長さ L と地震規模を表す地震モーメント M_0 の関係式) を「観測データに基づく回帰計算」から求めたものであり、応力降下量 $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ はそれに付随して得られた値に過ぎません。図?? のように、Fujii-Matsu'ura は中規模断層に対しては武村式、長大断層に対しては Scholz の式に漸近するように彼らの $L - M_0$ 関係式を導出しています。したがって、彼らの応力降下量を用いるのであれば、表?? ~ 表?? のように、彼らの $L - M_0$ 関係式を用いて地震規模を求めるべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

(4) 断層長さ 49km の「大陸棚外縁 ~ B ~ 野坂断層」に対しては、表?? のように、円形破壊モデ

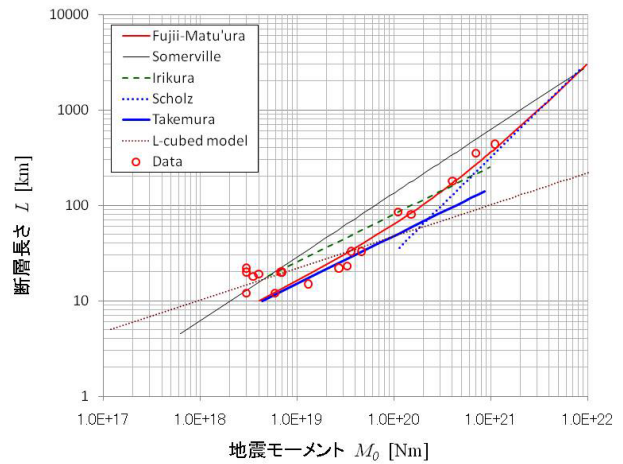


図 4: Fujii-Matsu'ura[?] 等によるスケリング則の関係: Somerville(細線), 入倉 (Irikura, 緑破線), Scholz(青太点線), 武村 Takemura(青太直線), L3 モデル(茶細点線), Fujii-Matsu'ura(赤太曲線). Fujii-Matsu'ura は Takemura と Scholz に漸近し国内地震データ(赤丸)にフィットしている

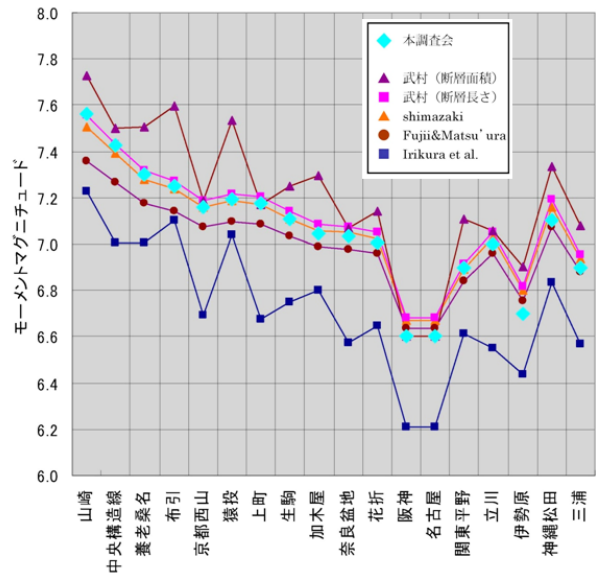


図 5: 中央防災会議で検討された主な活断層による地震規模評価式 [?]: 上から武村式 (断層面積), 武村式 (断層長さ), Shimazaki 式, 中央防災会議による式, Fujii-Matsu'ura 式, Irikura(入倉) 式であり、日本の垂直横ずれ断層では、入倉式による地震規模が最も小さくなる

ルを用いて断層平均応力降下量を求め、短周期レベルからアスペリティの面積と平均応力降下量を求めています。断層長さが 60km の「和布 - 干飯崎沖 ~ 甲楽城断層」に対しては、表?? のように、円形破壊モデルを適用せず、アスペリティの面積を断層面積の 22% に固定する方法を採用し、応力降下量だけを Fujii-Matsu'ura(2000) から準用しています。

「大陸棚外縁 ~ B ~ 野坂断層」では、なぜ、「和布 - 干飯崎沖 ~ 甲楽城断層」とは異なる地震動評価法を用いたのか、説明して下さい。アスペリティの面積を断層面積の 22% に固

定する方法では、表??のように応力降下量がより大きくなるからでしょうか。また、Fujii-Matsu'ura(2000)の応力降下量の方が大きくなるからでしょうか。ご都合主義としか思えないため、理論的に納得できる説明を求めます。

(5) Fujii-Matsu'ura[?]を採用するのであれば、その地震データが入倉らの北米中心の地震データとは全く異なることを直視すべきです。中央防災会議による国内の主な活断層に対する地震規模を比較した図??によれば、推本レシピで採用されている入倉式がもっとも小さな地震規模になり、武村式(断層面積)が最も大きく、その中間に武村式(断層長さ)とFujii-Matsu'ura式があります。

したがって、国内の断層モデルでは国内の地震データに基づいた断層モデルのパラメータ設定法を採用すべきであり、レシピの妥当性について根本から見直すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

M5クラスを超える近距離地震観測記録の存在しないもんじゅでは、震源断層に関する巨視的・微視的パラメータについて、その妥当性を判断するための根拠となるデータが全くありません。少なくとも推本による改訂レシピ、すなわち、「地震規模を松田式で求めて断層面積を修正してレシピを適用する」方法を採用すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

(6) 貴機構は、浦底 - 池河内断層は断層長さ25kmから松田式でM7.2と評価し、耐専スペクトルではこの地震規模を用いています。しかし、断層モデルでは断層深さを浦底 - 内池見断層の20kmから18kmへ浅くし、断層上端深さも4kmと深くしているため断層面積が浦底 - 内池見断層(上端深さ3km)とそれほど変わらず、地震規模は入倉式よりM6.9と設定しています。その結果、図??のように、地震動評価結果が両者で2~3倍の差になって現れています。地震規模におけるM7.2とM6.9の差は、地震エネルギーで3倍弱になりますので、図??における両者の差はこの地震規模の違いによるものと考えられます。浦底 - 池河内断層(M7.2, $X_{eq} = 10.2\text{km}$)の耐専スペクト

ルは、

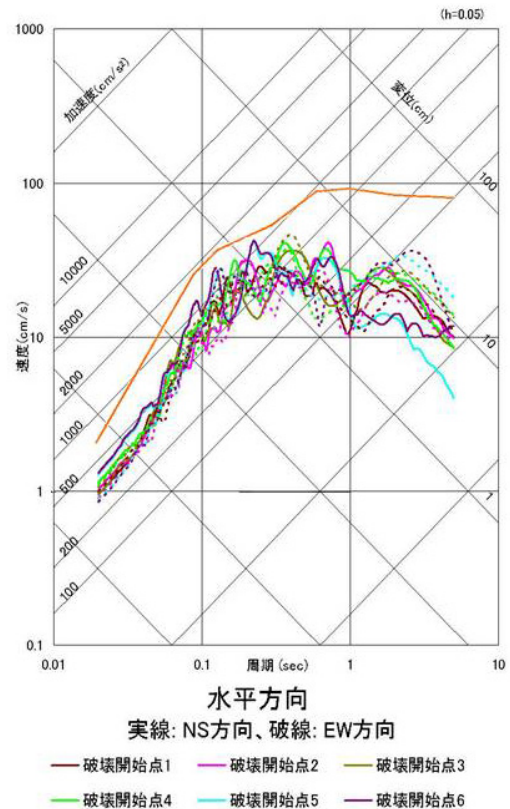


図 6: 浦底 - 池河内断層(断層上端 4km)の耐専スペクトルと断層モデルによる地震動評価の比較[?]

C断層(上端3km, M6.9, $X_{eq} = 7.6\text{km}$)および白木 - 丹生断層(上端3km, M6.9, $X_{eq} = 7.5\text{km}$)の耐専スペクトルとほとんど変わりません。C断層と白木 - 丹生断層のM6.9規模の断層モデルによる地震動評価はそれぞれの耐専スペクトルを一部超える程度に大きくなっており、基準地震動 S_s に追加されています。浦底 - 池河内断層についても、耐専スペクトルと同じ地震規模のM7.2で評価すれば、当然、現在の基準地震動を超えることが予想されます。この地震動評価をやり直すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

その際、貴機構がM6.9で行った震源断層の微視的パラメータ設定法をM7.2の場合に適用すると、表??のようにアスペリティ面積が過大になるため、アスペリティ面積を断層面積の22%に固定する方法で微視的パラメータを設定して地震動評価を行うか、もしくは、推本による改訂レシピを適用すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

(7) 断層モデルは根拠となる国内データの裏

付けに乏しく、未完成であり、今後の強震記録の蓄積によって大幅な修正が避けられません。アスペリティ平均応力降下量についても、14MPaでは小さすぎることを示すデータがすでに得られつつあります。たとえば、鳥取県西部地震 M7.3 (2000.10.6) では2アスペリティで平均応力降下量は28.0MPaと14.0MPa、能登半島地震 M6.9(2007.3.25)では3アスペリティで20MPa、20MPaおよび10MPa、新潟中越沖地震 M6.8(2007.7.16)では3アスペリティで23.7MPa、23.7MPaおよび19.8MPa、岩手・宮城内陸地震 M7.2(2009.6.14)では2アスペリティで17.0MPaと18.5MPaと評価されています。これらを教訓として、アスペリティの応力降下量を20~30MPaまたはそれ以上に設定すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

(8) 断層モデルのパラメータのうちライズタイムや破壊伝播方式も地震動評価結果に大きく影響します。M6.8~M7.3の国内内陸地殻内地震の例ではライズタイムは0.4~0.6秒です。M7クラスの地震でライズタイムがこれより大きいと地震動の振幅が小さく評価されるおそれがあります。

また、アスペリティの破壊開始点に破壊が到達してからアスペリティ内で改めて同心円状に破壊が伝播するマルチハイポセンター破壊を想定すべきです。

アスペリティの配置や破壊開始点の位置もディレクティビティ効果やフォーカシング効果が現れるように想定し、原発サイトにとって最悪のシナリオを描いて評価し直すべきです。

以上を考慮して、断層モデルの地震動評価をやり直すべきだと私たちは考えますが、いかがですか。

(9) 耐専スペクトルは近距離での地震観測記録が存在しないだけでなく、平均的な応答スペクトルを示すものにすぎず、地震によって「倍半分」や「1桁」のバラツキがあります。これを考慮するのであれば、耐専スペクトルの2倍または1桁の安全余裕を見込んで基準地震動 S_s を定め直す必要があると私たちは考えますが、いかがですか。

以上

参考文献

- [1] 独立行政法人日本原子力研究開発機構：「高速増殖原型炉もんじゅ基準地震動 S_s の策定について」, 原子力安全委員会地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会第38回WG2会合, 配布資料WG2第38-4号(2009年11月16日)
- [2] 独立行政法人 日本原子力研究開発機構：「高速増殖炉もんじゅ『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書」(平成20年3月)
- [3] 原子力安全委員会：第9回原子力安全委員会臨時会議速記録(1999年2月18日) http://www.nsc.go.jp/anzen/soki/soki1999/genan_so09.htm, 第166回原子炉安全専門審査会速記録(1999年2月10日) http://www.nsc.go.jp/shinsa/soki/genshiro/genshiro_so166.htm, 第14回耐震指針検討分科会地震・地震動ワーキンググループ速記録(2004年3月3日) http://www.nsc.go.jp/senmon/soki/taisinjisin/taisinjisin_so14.htm
- [4] 中央防災会議事務局：「内陸部の地震による工学基盤の揺れの強さの考え方」,「東南海、南海地震等に関する専門調査会」第5回資料2(2002年6月12日)
- [5] 島崎邦彦：「震源断層より短い活断層の長期予測」, 日本活断層学会2008年度秋季学術大会予稿集 S-05
- [6] 防災科学技術研究所：「平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震において記録されたきわめて大きな強震動について」,「加速度応答スペクトル&速度応答スペクトル(h=5%)」 <http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/iwate-miyagi080614/>
- [7] 日本原子力発電株式会社：「敦賀発電所基準地震動 S_s の策定について」, 原子力安全委員会地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会第38回WG2会合, 配布資料WG2第38-3号(2009年11月16日)
- [8] 関西電力株式会社：「美浜発電所基準地震動 S_s の策定について」, 原子力安全委員会地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会第38回WG2会合, 配布資料WG2第38-5号(2009年11月16日)
- [9] Fujii Y. and Matsu'ura M.: "Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication," Pure appl. Geophys. 157, pp.2283-2302 (2000)
- [10] Matsu'ura M. and Sato T.: "Loading Mechanism and Scaling Relations of Large Interplate Earthquakes," Tectonophysics, 227, pp.189-198 (1997)
- [11] 中央防災会議事務局：第26回「東南海、南海地震等に関する専門調査会」参考資料：中部圏・近畿圏の内陸地震の震度分布の検討資料集(平成18年12月7日)

表 1: 3 社 (関西電力・日本原電・日本原子力研究開発機構) による「C 断層」の断層パラメータ [?][?][?]

断層パラメータ		断層モデルで M6.9 とした場合		松田式で M7.0 とした場合	
		A 法 (3 社)	$S_a/S = 0.22$ 法	A 法	$S_a/S = 0.22$ 法
断層位置 上南端 (北緯 ° 東経 °)		北部 (N35°43'42'' E135°59'36'') 南部 (N35°40'23'' E135°56'57'')			
走向		北部 354.4 南部 24.6			
傾斜角 θ		60 ° (共通)			
ずれの種類		逆断層 (共通)			
断層長さ L		18km (台形断層面の上端長さ)		20.7 km (台形断層面の中央長さ)	
断層幅 W		16.2 km			
断層面積 $S = LW$		335.34 km ²			
断層上端深さ		4 km			
断層下端深さ		18 km			
破壊開始点		アスペリティ 下端 3 種類 + 断層下端 2 種類 (下端中央なし)			
破壊伝播方式		同心円状 (放射状)			
地震モーメント M_0		6.26×10^{18} N·m		8.13×10^{18}	
マグニチュード		M6.9 (6.90) , M_W 6.5 (6.46)		M7.0 , M_W 6.5 (6.54)	
平均すべり量 $D = M_0/(\mu S)$		53.3 cm		69.3	
剛性率 $\mu = \rho\beta^2$		3.50×10^{10} N/m ²		同左	
S 波速度 V_s (または β)		3.6 km/s		同左	
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$		2.59 km/s		同左	
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{2/3}$		2.5 MPa		3.2	
短周期レベル A		9.77×10^{18} N·m/s ²		1.07×10^{19}	
ライズタイム $t_r = 2.03 \times 10^{-9}M_0^{1/3}$		0.81 sec		0.88 sec	
アスペリティ	面積 S_a	61.31 km ²	73.77 km ²	86.94	73.77
	地震モーメント M_{0a}	2.30×10^{18} N·m	2.77×10^{18}	4.24×10^{18}	3.59×10^{18}
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	13.6 MPa	11.3 MPa	12.4	14.7
	平均すべり量 D_a	107.1 cm	107.1 cm	139.2	139.2
背景領域	地震モーメント M_{0b}	3.96×10^{18} N·m	3.49×10^{18}	3.89×10^{18}	4.53×10^{18}
	面積 $S_b = S - S_a$	274.03 km ²	261.57 km ²	248.40	261.57
	平均すべり量 D_b	41.3 cm	38.1 cm	44.8	49.5
	実効応力 σ_b	2.7 MPa	2.3 MPa	2.5	2.9
Q 値		$50f^{1.1}$			
f_{\max}		8.3 Hz			

注 : 「 A 法 」 とは短周期レベルからアスペリティ総面積を求める方法で、「 $S_a/S = 0.22$ 法 」 とはアスペリティ総面積を断層面積の 22 % に固定する方法である .

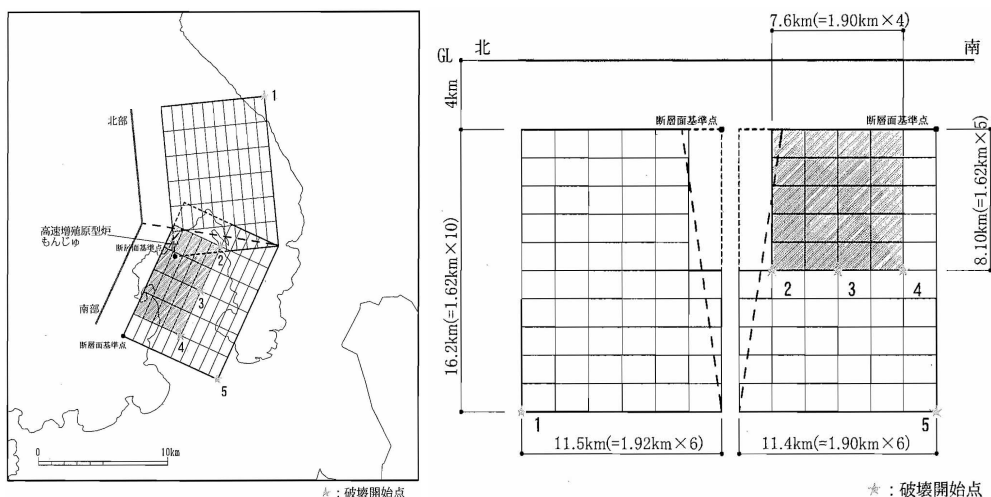


図 7: C 断層の震源断層モデル

表 2: 3 社による「白木 - 丹生断層」の断層パラメータ [?][?][?]

断層パラメータ	断層モデルで M6.9 とした場合		松田式で M7.0 とした場合		
	A 法 (3 社)	$S_a/S = 0.22$ 法	A 法	$S_a/S = 0.22$ 法	
断層位置 上南端 (北緯 ° 東経 °)	N35°39'38" E135°59'53"				
走向	3.8				
傾斜角 θ	60 °				
ずれの種類	逆断層				
断層長さ L	20.0 km (15km と評価されたが, 孤立した断層として 20km を想定)				
断層幅 W	16.2 km				
断層面積 $S = LW$	324 km ²				
断層上端深さ	4 km				
断層下端深さ	18 km				
破壊開始点	アスペリティ下端 3 種類 + 断層下端 2 種類 (下端中央なし)				
破壊伝播方式	同心円状 (放射状)				
地震モーメント M_0	5.84 × 10 ¹⁸ N·m		8.13 × 10 ¹⁸		
マグニチュード	M6.9 (6.88), M _W 6.4 (6.44)		M7.0, M _W 6.5 (6.54)		
平均すべり量 $D = M_0/(\mu S)$	51.5 cm		71.7		
剛性率 $\mu = \rho\beta^2$	3.50 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左		
S 波速度 V_s (または β)	3.6 km/s		同左		
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$	2.59 km/s		同左		
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{2/3}$	2.4 MPa		3.4		
短周期レベル A	9.54 × 10 ¹⁸ N·m/s ²		1.07 × 10 ¹⁹		
ライズタイム $t_r = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$	0.79 sec		0.88 sec		
アスペリティ	面積 S_a	57.89 km ²	71.3 km ²	90.0	71.3
	地震モーメント M_{0a}	2.10 × 10 ¹⁸ N·m	2.58 × 10 ¹⁸	4.54 × 10 ¹⁸	3.59 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	13.7 MPa	11.1 MPa	12.2	15.4
	平均すべり量 D_a	103.5 cm	103.5 cm	144.1	144.1
背景領域	地震モーメント M_{0b}	3.74 × 10 ¹⁸ N·m	3.26 × 10 ¹⁸	3.59 × 10 ¹⁸	4.53 × 10 ¹⁸
	面積 $S_b = S - S_a$	266.11 km ²	252.7 km ²	234.0	252.7
	平均すべり量 D_b	40.2 cm	36.8 cm	43.9	51.3
	実効応力 σ_b	2.7 MPa	2.2 MPa	2.4	3.1
Q 値	50 $f^{1.1}$				
f_{\max}	8.3 Hz				

注: 「A 法」とは短周期レベルからアスペリティ総面積を求める方法で、「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスペリティ総面積を断層面積の 22% に固定する方法である。

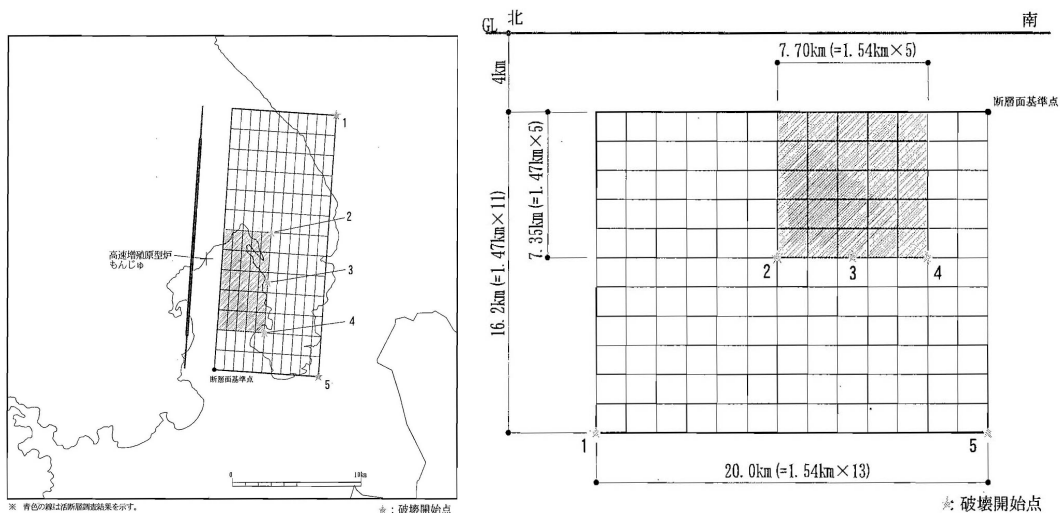


図 8: 白木 - 丹生断層の震源断層モデル

表 3: 3 社による「浦底 - 池河内断層」の断層パラメータ [?][?]

断層パラメータ		断層モデルで M6.9 とした場合		松田式で M7.2 とした場合	
		A 法 (3 社)	$S_a/S = 0.22$ 法	A 法	$S_a/S = 0.22$ 法
断層位置 上南端 (北緯 ° 東経 °)		北部 (N35°41'35" E136°04'28") 南部 (N35°36'53" E136°10'26")			
走向		北部 324.5 南部 313.9			
傾斜角 θ		90 ° (共通)			
ずれの種類		左横ずれ断層 (共通)			
断層長さ L		25 km (浦底とウツロギ峠池河内の両セグメントのつながりを考慮)			
断層幅 W		14.0 km			
断層面積 $S = LW$		341.6 km ²			
断層上端深さ		4 km			
断層下端深さ		18 km			
破壊開始点		アスペリティ下端 3 種類 + 断層下端 3 種類			
破壊伝播方式		同心円状 (放射状)			
地震モーメント M_0		6.49 × 10 ¹⁸ N·m		1.39 × 10 ¹⁹	
マグニチュード		M6.9 (6.92), M _W 6.5 (6.47)		M7.2, M _W 6.7 (6.70)	
平均すべり量 $D = M_0/(\mu S)$		54.3 cm		116.6	
剛性率 $\mu = \rho\beta^2$		3.50 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左	
S 波速度 V_s (または β)		3.6 km/s		同左	
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$		2.59 km/s		同左	
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{2/3}$		2.5 MPa		5.4	
短周期レベル A		9.89 × 10 ¹⁸ N·m/s ²		1.28 × 10 ¹⁹	
ライズタイム $t_r = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$		0.82 sec		1.05 sec	
アスペリティ	面積 S_a	63.23 km ²	75.2 km ²	175.1	75.2
	地震モーメント M_{0a}	2.41 × 10 ¹⁸ N·m	2.87 × 10 ¹⁸	1.43 × 10 ¹⁹	6.16 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	13.5 MPa	11.4 MPa	10.5	24.4
	平均すべり量 D_a	109.1 cm	109.1 cm	234.3	234.3
背景領域	地震モーメント M_{0b}	4.08 × 10 ¹⁸ N·m	3.62 × 10 ¹⁸	—	7.77 × 10 ¹⁸
	面積 $S_b = S - S_a$	278.37 km ²	266.4 km ²	166.5	266.4
	平均すべり量 D_b	41.8 cm	38.8 cm	—	83.3
	実効応力 σ_b	2.7 MPa	2.3 MPa	—	4.9
Q 値		50 $f^{1.1}$			
f_{\max}		8.3 Hz			

注: 「A 法」とは短周期レベルからアスペリティ総面積を求める方法で、「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスペリティ総面積を断層面積の 22% に固定する方法である。松田式で M7.2 とした場合の A 法では、 $S_a/S = 0.51$ と非常に大きくなり、背景領域の地震モーメントがマイナスになるため無意味になる。

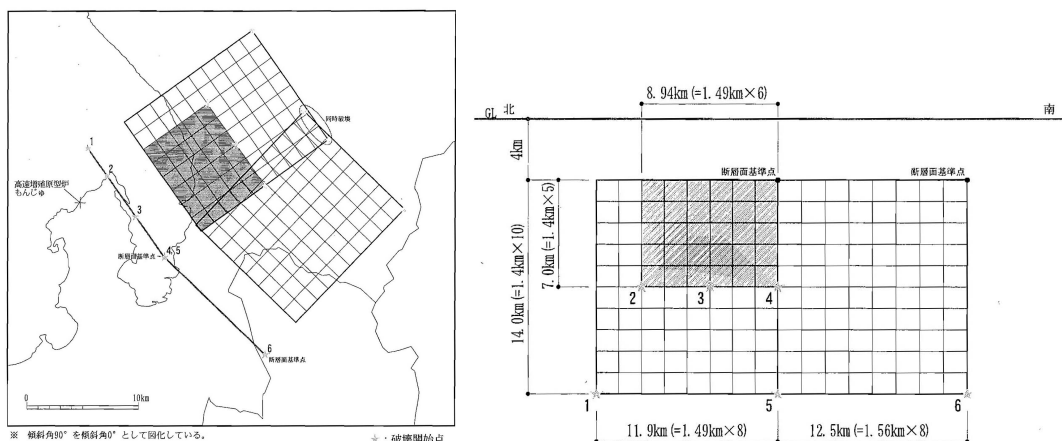


図 9: 浦底 - 池河内断層の震源断層モデル

表 4: 3 社による「大陸棚外縁断層・B 断層・野坂断層 (大陸棚～B～野坂断層)」の断層パラメータ [?][?][?]

断層パラメータ		断層モデルで M7.3 とした場合		松田式で M7.5 とした場合	
		A 法 (3 社)	$S_a/S = 0.22$ 法	A 法	$S_a/S = 0.22$ 法
断層位置, 走向, 傾斜角 θ		図??の通りで, 傾斜角は北部 60°, 南部 90°			
断層長さ L		49km (断層上端長さ)		40km (断層中央長さ)	
断層幅 W		北部 16.2km, 南部 14.0 km			
断層面積 $S = LW$		598.79 km ²			
断層上端深さ		4 km			
断層下端深さ		18 km			
破壊開始点		アスペリティ下端 5 種類 + 断層下端南北 2 種類			
破壊伝播方式		同心円状 (放射状)			
地震モーメント M_0		1.99 × 10 ¹⁹ N·m		3.13 × 10 ¹⁹ N·m	
マグニチュード		M7.3, M _W 6.8		M7.5, M _W 6.9	
平均すべり量 $D = M_0/(\mu S)$		95.2 cm		149.2 cm	
剛性率 $\mu = \rho\beta^2$		3.50 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左	
S 波速度 V_s (または β)		3.6 km/s		同左	
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$		2.59 km/s		同左	
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{2/3}$		3.32 MPa		5.2 MPa	
短周期レベル A		1.44 × 10 ¹⁹ N·m/s ²		1.67 × 10 ¹⁹ N·m/s ²	
ライズタイム $t_r = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$		1.19 sec		1.38 sec	
アスペリティ 全体	面積 S_a	161.13 km ²	131.7 km ²	293.4	131.7
	地震モーメント M_{0a}	1.08 × 10 ¹⁹ N·m	8.82 × 10 ¹⁸	3.08 × 10 ¹⁹	1.38 × 10 ¹⁹
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	12.3 MPa	15.1 MPa	10.6	23.6
	平均すべり量 D_a	191.3 cm	191.3 cm	299.9	299.9
アスペリティ 大 (南部)	面積 S_{a1}	80.56 km ²	65.9 km ²	146.7	65.9
	地震モーメント M_{0a1}	6.32 × 10 ¹⁸ N·m	5.17 × 10 ¹⁸	1.80 × 10 ¹⁹	8.10 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a1}$	12.3 MPa	15.1 MPa	10.6	23.6
	平均すべり量 D_{a1}	224.2 cm	224.2 cm	351.3	351.3
アスペリティ 小 (南部)	面積 S_{a2}	40.28 km ²	32.9 km ²	73.3	32.9
	地震モーメント M_{0a2}	2.23 × 10 ¹⁸ N·m	1.83 × 10 ¹⁸	6.38 × 10 ¹⁸	2.86 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a2}$	12.3 MPa	15.1 MPa	10.6	23.6
	平均すべり量 D_{a2}	158.5 cm	158.5 cm	248.4	248.4
アスペリティ 小 (北部)	面積 S_{a3}	40.28 km ²	32.9 km ²	73.3	32.9
	地震モーメント M_{0a3}	2.23 × 10 ¹⁸ N·m	1.83 × 10 ¹⁸	6.38 × 10 ¹⁸	2.86 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a3}$	12.3 MPa	15.1 MPa	10.6	23.6
	平均すべり量 D_{a3}	158.5 cm	158.5 cm	248.4	248.4
背景領域	地震モーメント M_{0b}	9.16 × 10 ¹⁸ N·m	1.11 × 10 ¹⁹	4.77 × 10 ¹⁷	1.74 × 10 ¹⁹
	面積 $S_b = S - S_a$	437.66 km ²	467.06 km ²	305.4	467.1
	平均すべり量 D_b	59.8 cm	68.1 cm	4.5	106.7
	実効応力 σ_b	2.5 MPa	3.0 MPa	2.1	4.7
Q 値		50 $f^{1.1}$			
f_{\max}		8.3 Hz			

注: 「A 法」とは短周期レベルからアスペリティ総面積を求める方法で、「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスペリティ総面積を断層面積の 22% に固定する方法である。A 法では, 断層面積が大きくなるほどアスペリティ面積の全断層面積との比 S_a/S が大きくなり, 応力降下量が小さくなる。そのため, 地震調査研究推進本部のレシピでは, 長大な断層に関しては A 法は問題があるため $S_a/S = 0.22$ 法を用いるように推奨している。その際, 推本は「内陸地震によるアスペリティ総面積の占める割合は, 断層総面積の平均 22% (Somerville et al., 1999), 15% ~ 27% (宮腰・他, 2001) であり, 拘束条件にはならないが, こうした値も参照しておく必要がある。」としている。上の例では, $S_a/S = 0.269$ (断層モデルで M7.3 とした場合) および 0.49 (松田式から M7.5 とした場合) であり, $S_a/S = 0.22$ 法を用いるのが望ましいと言える。

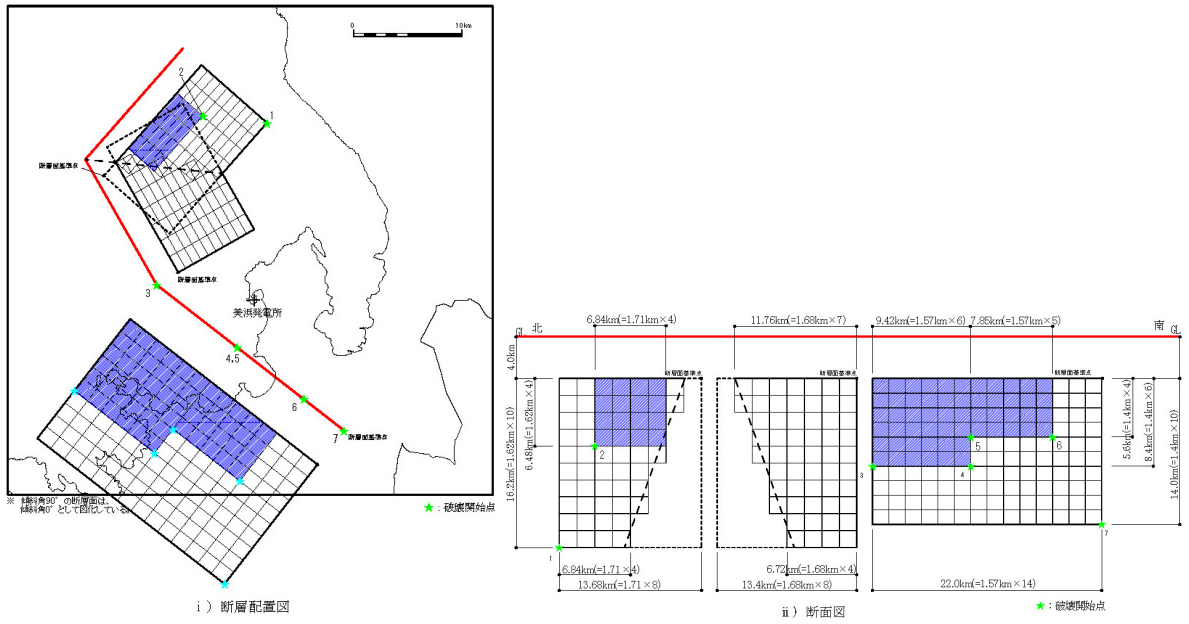


図 10: 「大陸棚外縁断層・B断層・野坂断層(大陸棚～B～野坂断層)」の断層モデル[?][?][?]

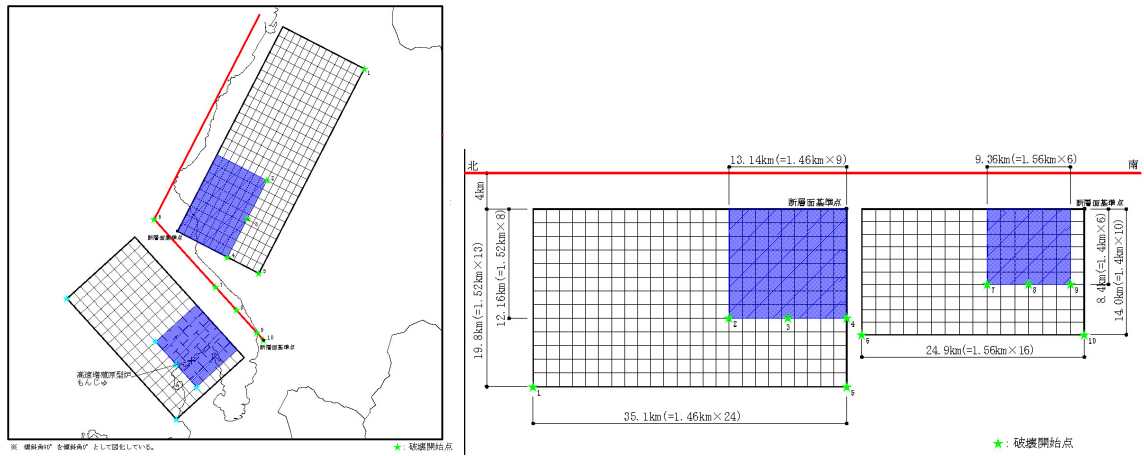


図 11: 「和布 - 干飯崎沖～甲楽城断層」の震源断層モデル[?][?][?]

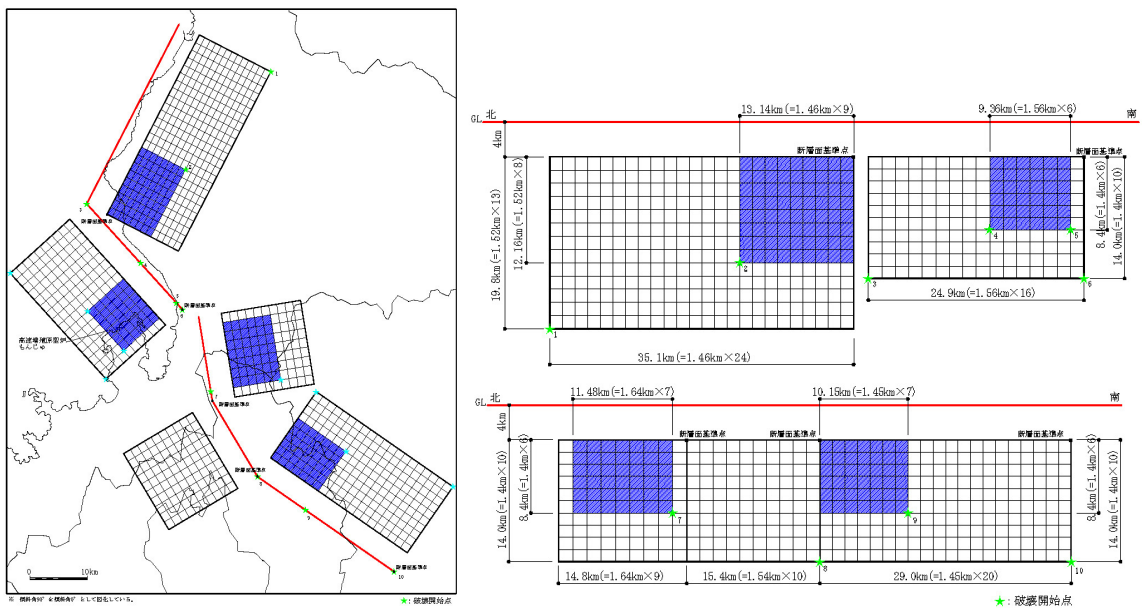


図 12: 「和布 - 干飯崎沖～甲楽城断層, 柳ヶ瀬断層および鍛冶屋断層(～関ヶ原断層)」の震源断層モデル[?][?][?]

表 5: 3 社による「和布 - 干飯崎沖 ~ 甲楽城断層」の断層パラメータ [?][?][?]

断層パラメータ	断層モデルで M7.7 とした場合		Fujii-Matsu'ura *2	松田式 (M7.8)	
	$S_a/S = 0.22$ 法	同左 (3 社)	$S_a/S = 0.22$ 法	$S_a/S = 0.22$ 法	
断層位置, 走向, 傾斜角 θ	図??の通りで, 傾斜角は北部 45°, 南部 90°				
断層長さ L	60km(北部 35.1km, 南部 24.9km, 両断層面は交差しない)				
断層幅 W	北部 19.8km, 南部 14.0 km				
断層面積 $S = LW$	1043.58 km ² (北部 694.98 km ² , 南部 348.60 km ²)				
断層上端深さ	4 km				
断層下端深さ	18 km				
破壊開始点	各アスペリティ下端 3 種類 + 各断層下端南北 2 種類				
破壊伝播方式	同心円状 (放射状)				
地震モーメント M_0	6.06 × 10 ¹⁹ N·m		9.10 × 10 ¹⁹	7.01 × 10 ¹⁹	
マグニチュード	M7.7, M_W 7.1		M7.9, M_W 7.2	M7.8, M_W 7.2	
平均すべり量 $D = M_0/(\mu S)$	165.9 cm		249.1 cm	192.1 cm	
剛性率 $\mu = \rho\beta^2$	3.50 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左		
S 波速度 V_s (または β)	3.6 km/s		同左		
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$	2.59 km/s		同左		
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{2/3}$	4.38 MPa	3.1 MPa *1	3.1 MPa	5.1 MPa	
短周期レベル A	2.08 × 10 ¹⁹ N·m/s ²		2.38 × 10 ¹⁹	2.19 × 10 ¹⁹	
ライズタイム $t_r = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$	1.72 sec		1.97 sec	1.80 sec	
アスペリティ全体	面積 S_a	229.59 km ²		229.59	
	地震モーメント M_{0a}	2.68 × 10 ¹⁹ N·m		4.02 × 10 ¹⁹	
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	19.9 MPa	14.1 MPa *1	14.1	23.0
	平均すべり量 D_a	333.4 cm		500.8	386.1
アスペリティ大 (北部)	面積 S_{a1}	152.90 km ²		152.90	
	地震モーメント M_{0a1}	1.98 × 10 ¹⁹ N·m		2.97 × 10 ¹⁹	
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a1}$	19.9 MPa	14.1 MPa *1	14.1	23.0
	平均すべり量 D_{a1}	369.5 cm		554.8	427.8
アスペリティ小 (南部)	面積 S_{a2}	76.69 km ²		76.69	
	地震モーメント M_{0a2}	7.02 × 10 ¹⁸		1.05 × 10 ¹⁹	
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a2}$	19.9 MPa	14.1 MPa *1	14.1	23.0
	平均すべり量 D_{a2}	261.7 cm		393.0	303.0
背景領域	地震モーメント M_{0b}	3.38 × 10 ¹⁹ N·m		5.07 × 10 ¹⁹	
	面積 $S_b = S - S_a$	813.99 km		813.99	
	平均すべり量 D_b	118.6 cm		178.2	137.4
	実効応力 $\sigma_b = 0.2\Delta\sigma_a$	4.0 MPa	2.8 MPa	2.8	4.6
Q 値	50 $f^{1.1}$				
f_{\max}	8.3 Hz				

注: 「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスペリティ総面積を断層面積の 22% に固定する方法である.

*1: Fujii-Matsu'ura(2000) のスケーリング則を用いず, 彼らの断層平均応力降下量だけを借用して $\Delta\sigma = 3.1\text{MPa}$ とし, アスペリティ平均応力降下量を $\Delta\sigma_a = \Delta\sigma/0.22 = 14.1\text{MPa}$ と算出している.

*2: Fujii-Matsu'ura(2000) のスケーリング則より $M_0 = \Delta\sigma WL^2/(0.014L+1) = 3.1\text{MPa} \times 15\text{km} \times (60\text{km})^2/(0.014 \times 60\text{km}+1) = 9.10 \times 10^{19}\text{Nm}$ を求め, 平均応力降下量 (断層・アスペリティ・背景領域) 以外は, 通常の $S_a/S = 0.22$ 法を用いる.

表 6: 「和布 - 干飯崎沖・甲楽城断層, 柳ヶ瀬断層および鍛冶屋断層(~ 関ヶ原断層)」の断層パラメータ [?] [?] [?]

断層パラメータ		断層モデルで M8.2 とした場合		Fujii-Matsu'ura *2	松田式 (M8.3)
		$S_a/S = 0.22$ 法	同左 (3 社)	$S_a/S = 0.22$ 法	$S_a/S = 0.22$ 法
断層位置, 走向, 傾斜角 θ		図??の通り, 傾斜角は和布 - 干飯崎沖のみ 45°, その他 90°			
断層長さ L		119.2km(北から 35.1, 24.9, 30.2, 29.0, 断層面は交差しない)			
断層幅 W		和布 - 干飯崎沖のみ 19.8km, その他 14.0 km			
断層面積 $S = LW$		1872.38 km ² (北から 694.98, 348.60, 422.80, 406.00)			
断層上・下端深さ		4 km・18 km			
破壊開始点		アスペリティ下端計 5 種類 + 断層下端計 5 種類			
破壊伝播方式		同心円状 (放射状)			
地震モーメント M_0		1.95 × 10 ²⁰ N・m		2.48 × 10 ²⁰	2.70 × 10 ²⁰
マグニチュード		M8.2, M_W 7.5		M8.3, M_W 7.5	M8.3, M_W 7.6
平均すべり量 $D = M_0/(\mu S)$		297.6 cm		377.9 cm	411.8 cm
剛性率 $\mu = \rho\beta^2$		3.50 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左	
S 波速度 V_s (または β)		3.6 km/s		同左	
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$		2.59 km/s		同左	
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{2/3}$		5.9 MPa	3.1 MPa *1	3.1 MPa	8.1 MPa
短周期レベル A		3.07 × 10 ¹⁹ N・m/s ²		3.33 × 10 ¹⁹	3.42 × 10 ¹⁹
ライスタイム $t_r = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$		2.54 sec		2.75 sec	2.83 sec
アスペリティ全体	面積 S_a	411.92 km ²		411.92	411.92
	地震モーメント M_{0a}	8.62 × 10 ¹⁹ N・m		1.09 × 10 ²⁰	1.19 × 10 ²⁰
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	26.7 MPa	14.1 MPa *1	14.1	36.9
	平均すべり量 D_a	598.3 cm		759.5	827.6
アスペリティ和布 - 干飯崎沖	面積 S_{a1}	152.90 km ²		152.90	152.90
	地震モーメント M_{0a1}	3.79 × 10 ¹⁹ N・m		4.81 × 10 ¹⁹	5.24 × 10 ¹⁹
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a1}$	26.7 MPa	14.1 MPa *1	14.1	36.9
	平均すべり量 D_{a1}	708.1 cm		898.9	979.6
アスペリティ甲楽城	面積 S_{a2}	76.69 km ²		76.69	76.69
	地震モーメント M_{0a2}	1.35 × 10 ¹⁹ N・m		1.71 × 10 ¹⁹	1.86 × 10 ¹⁹
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a2}$	26.7 MPa	14.1 MPa *1	14.1	36.9
	平均すべり量 D_{a2}	501.5 cm		636.6	693.8
アスペリティ柳ヶ瀬	面積 S_{a3}	93.02 km ²		93.02	93.02
	地震モーメント M_{0a3}	1.80 × 10 ¹⁹ N・m		2.28 × 10 ¹⁹	2.49 × 10 ¹⁹
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a3}$	26.7 MPa	14.1 MPa *1	14.1	36.9
	平均すべり量 D_{a3}	552.3 cm		701.1	764.0
アスペリティ鍛冶屋 (~ 関ヶ原)	面積 S_{a4}	89.32 km ²		89.32	89.32
	地震モーメント M_{0a4}	1.69 × 10 ¹⁹ N・m		2.15 × 10 ¹⁹	2.34 × 10 ¹⁹
	応力降下量 $\Delta\sigma_{a4}$	26.7 MPa	14.1 MPa *1	14.1	36.9
	平均すべり量 D_{a4}	541.2 cm		687.1	748.7
背景領域	地震モーメント M_{0b}	1.09 × 10 ²⁰ N・m		1.38 × 10 ²⁰	1.50 × 10 ²⁰
	面積 $S_b = S - S_a$	1460.46 km ²		1460.46	1460.46
	平均すべり量 D_b	212.9 cm		270.2	294.5
	実効応力 $\sigma_b = 0.2\Delta\sigma_a$	5.3 MPa	2.8 MPa	2.8	7.4
Q 値, f_{max}		50 $f^{1.1}$, 8.3 Hz			

注: 「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスペリティ総面積を断層面積の 22% に固定する方法である。

*1: Fujii-Matsu'ura(2000) のスケーリング則を用いず, 彼らの断層平均応力降下量だけを借用して $\Delta\sigma = 3.1$ MPa とし, アスペリティ平均応力降下量を $\Delta\sigma_a = \Delta\sigma/0.22 = 14.1$ MPa と算出している。

*2: Fujii-Matsu'ura(2000) より $M_0 = \Delta\sigma \bar{W} L^2 / (0.014L + 1) = 3.1$ MPa × 15km × (119.2km)² / (0.014 × 119.2km + 1) = 2.48 × 10²⁰Nm を求め, 平均応力降下量 (断層・アスペリティ・背景領域) 以外は, 通常の $S_a/S = 0.22$ 法を用いる。