

これでいいのか，浜岡原発3・4号の基準地震動 S_s 耐震安全性バックチェック報告の問題点

大阪府立大学大学院工学研究科 長沢啓行 (生産管理システム)

浜岡原発5号増設のための設置変更許可申請書(1997年)では，旧指針の最強地震による基準地震動 S_1 が図6のように「安政東海地震 M8.4(図2参照)」の大崎スペクトル(最大速度は震源近傍の震害調査等で推定)によってほぼ決まり，限界地震による基準地震動 S_2 が図7のように S_1 の1.32~1.37倍に設定されていた。後者の理由は， S_2 で考慮された最大地震は地震地体構造の「南海トラフ沿いの地震 M8.5」だったが，その大崎スペクトル(最大速度は同上)が S_1 を超えなかったためである。ところが，新指針に基づくバックチェック報告における基準地震動 S_s の応答スペクトルは，図8のように原発にとって重要な周期帯でほぼ S_2 に等しく，しかも， S_s を規定しているのはプレート境界の「想定東海地震」ではなく，内陸地殻内の「石花海(せのうみ)海盆西縁断層帯の地震(図4参照)」であり，部分的に，震源断層のアスペリティのうちの一つを敷地直下に置き替えた「仮想的東海地震」および「仮想的東海・東南海・南海地震」である(図3および図20参照)。このことは，東海地震に注目していた私たちにとっては「意外」であり，旧指針による安全審査では内陸地殻内地震が大幅に過小評価されていたことを表している。また，旧指針で S_1 以下と想定されていた東海地震も別の意味で過小評価されていたことになる。

バックチェック報告では今度こそ，これらが正当に評価されたと言えるのだろうか？否である。

旧指針の「大崎スペクトル」は，新指針で「耐専スペクトル」に取って代われ，新たに断層モデルでも地震動が評価されることになった。これらの耐専スペクトルや断層モデルによる地震動評価は旧指針の欠陥をカバーできているのだろうか？否である。

この小論では，浜岡原発に則して新指針による地震動評価の問題点を明らかにしたい。なぜなら，図1のようにフィリピン海プレートが沈み込むその真上に浜岡原発が位置し，プレート間地震とス

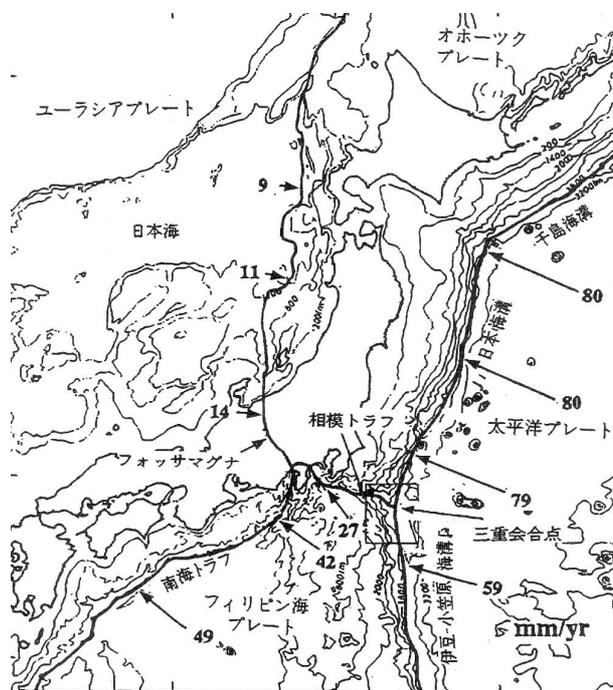


図1: 浜岡原発沖で沈み込むフィリピン海プレート (数字は年間沈み込み量，浜岡沖合では42mm/yr) p.II-86[1]

ラブ内地震(沈み込んだ海洋プレート内地震)の危険にさらされ，かつ，浜岡原発周辺には内陸地殻内地震の巣(震源断層)が当たり一面に存在しており，3つのタイプの地震による原発震災の危険がまさに凝縮されているからである。また，この浜岡原発においてこれらの地震動がいかに過小評価されているのかを明らかにすることは，他の原発においても同様の過小評価が行われている可能性を明らかにすることにつながると信ずるからである。

中部電力は2007年1月25日「浜岡原子力発電所4号機『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」[1]を原子力安全・保安院に提出した。これは，原発の耐震設計審査指針が2006年9月に改定されたことを受け，原子力安全・保安院からの指示でバックチェックを進めていたものである。中部電力は浜岡4号に続き，3号の評価結果を2007年2月21日に提出した[2]。5号は2007年6月を予定

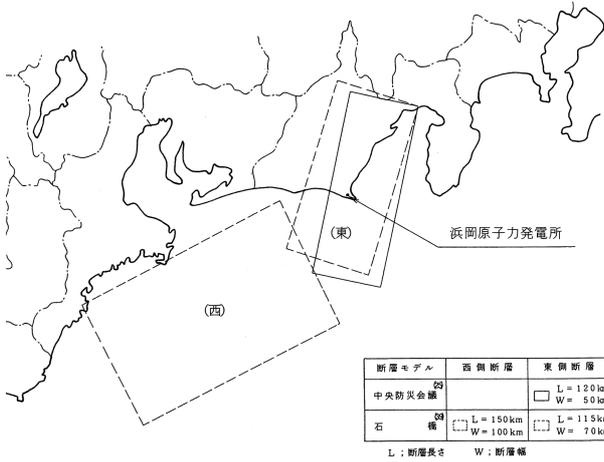
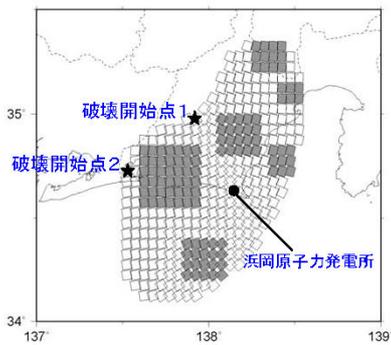
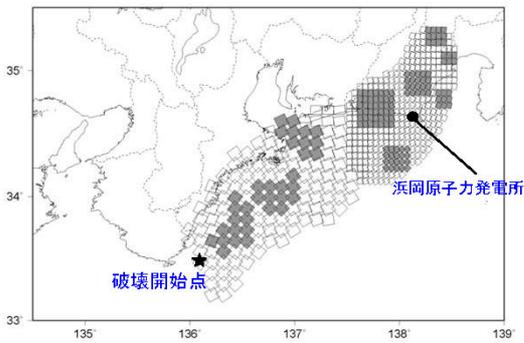


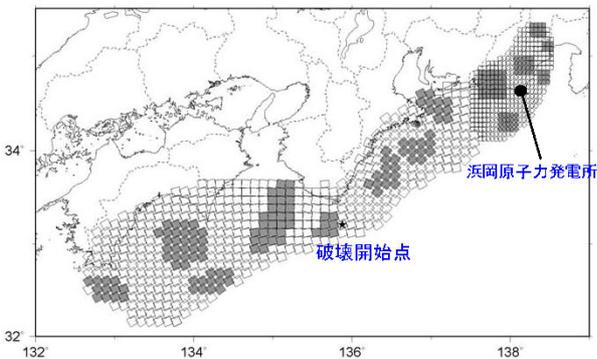
図 2: 5号増設原子炉設置変更許可時の断層モデル (西は中央防災会議の想定東海地震, 破線四角は安政東海地震(東)および南海トラフ沿い地震 M8.5(西)) 第 5.6-2 図 [7]



(a) 「想定東海地震」の断層モデル



(b) 「想定東海・東南海地震」の断層モデル



(c) 「想定東海・東南海・南海地震」の断層モデル

図 3: 中央防災会議をベースにしたバックチェック報告における想定東海地震等の各断層モデル [1]

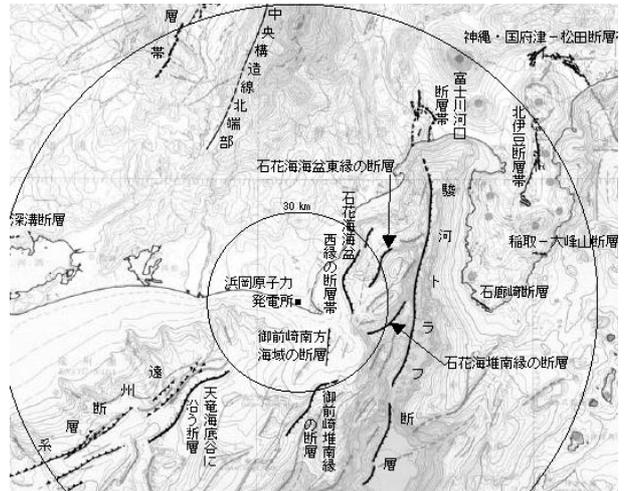


図 4: 浜岡原発周辺における内陸地殻内地震の検出断層 (p.3-8[1]) (5号増設原子炉設置変更許可時には, 石川海盆西縁の断層は北 18km で M6.9, 南 10.8km で M6.6, 御前崎南方海域断層 8.1km で M6.3, 天竜海底谷に沿う断層 27km で M7.2 など短くぶつ切りにして過小評価され, 遠州断層系はなかった (第 5.3-1 表 [7]), バックチェック報告では, 石川海盆西縁断層は南北合わせて 34km で M7.4, 御前崎南方海域断層は 16.2km で M6.9 へ拡張され, 天竜海底谷に沿う断層は石川海盆西縁断層で代表させ, 遠州断層系 151km で M8.5 が追加された (第 2.2-3 表 [1])

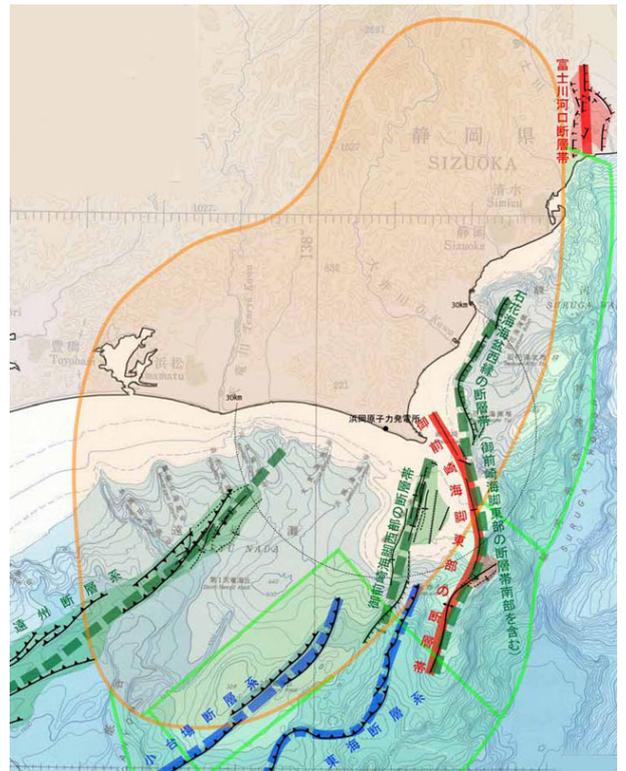


図 5: 経済産業省審議会の議論で延長または追加された内陸地殻内地震の断層 (第 4-3 図 [8]) (石川海盆西縁断層は背斜構造を含めて 76.9km で M7.6 へ, 御前崎海脚西部断層帯は 54.2km で M7.1 へ, 遠州断層系は 179.1km で M8.4 へ「拡張」され (これら 3 つの断層帯の気象庁マグニチュードはすべて断層モデルによる評価で松田式より小さい, 第 3.1 表 [3]), 富士川河口断層帯に加えて御前崎海脚東部断層帯 54.2km が想定東海地震等と連動するケースが追加検討された [8])

していたが、とりまとめ作業が遅れるなか、新潟県中越沖地震が7月16日に発生、経済産業大臣からの7月20日付「平成19年新潟県中越沖地震を踏まえた対応について(指示)」を受け、一層遅れることになった。その後の2007年10月26日には、静岡地方裁判所が新潟県中越沖地震の教訓を何ら顧みることなく浜岡原発運転差止訴訟判決を出し、中部電力の「耐震設計は十分」との主張を全面的に認め、浜岡1~4号のすべてについて運転差止請求を棄却した。

ところが、2008年5月に東京電力が柏崎刈羽原発解放基盤表面ではざとりの分析結果を公表したのを受け、原子力安全委員会は「柏崎刈羽原子力発電所で取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告を踏まえてバックチェック結果の確認において検討すべき事項の追加について」(2008年6月16日)を出し、地下構造特性の影響が適切に考慮されているかどうかを検討するよう原子力安全・保安院に指示した。原子力安全・保安院は9月4日になってようやく「電力会社への指示」を出したが、それに先だつ8月8日、中部電力は「敷地および敷地周辺の地下構造特性の調査(微動アレイ観測、微小地震観測、陸域・海域弾性波探査、ボーリング調査)を9月初めから来年にかけて実施する」と発表した。5号のバックチェック評価結果は未だ提出されず、1・2号も来年9月頃に提出する予定だが、その目処は立っていない。

他方、浜岡3・4号のバックチェック報告書の審査は経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会や原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会などで行われているが、決してすんなり進んでいるわけでもない。

報告書提出を受けた原子力安全・保安院は、2007年4月の耐震・構造設計小委員会第12回会合から審議を開始し、その下部の地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループで基準地震動 S_s や津波の評価について2008年5月までに14回審議し、構造ワーキンググループで基準地震動 S_s による建屋・構造物や機器・配管系の耐震性評価について2008年4月までに11回審議した。事務局に

よれば、地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループで出たコメント135個中87個の検討は「済んだ」が、1年を経て48個が残っていた。そこで、事務局はそのうちの半分以上を「事務局で報告書の文言修正をチェックする」と言って引き取り、22項目に絞ってワーキンググループで審議することとした。他方、構造ワーキンググループでは地震動による耐震性評価を終え、地震による取水槽のスロッシングも含めた津波に対する非常用機器の冷却機能の保持について主に検討を実施することとなった。しかし、9月15日現在、浜岡原発のバックチェックに関するワーキンググループ会合はまだ再開されていない。

長引く審議を速めようと事務局が動いたのは明確だが、これらの絞られた項目もそう簡単ではない。たとえば、「断層面が大きくなると逆に地震動が小さくなるという耐震スペクトルの問題点の影響を評価すること」、「内陸地殻内地震がプレート境界地震に連動する場合の位相の影響を検討すること」、「御前崎海脚東部断層帯をプレート境界地震との連動としてだけでなく内陸地殻内地震の検討用地震として評価すること」、「震源を特定せず策定する地震動について能登半島地震や最新の知見を踏まえて検討すること」、「応力降下量などの不確かさの検討と考慮した不確かさの幅の根拠の説明」、「地震ハザード評価のクロスチェック」、「津波による砂丘のすべりへの湿潤効果の評価」など、課題が絞られているとはいえ、審議が公開されているため、ごまかせない。この間の審議過程でも、中部電力が全く評価していなかった背斜構造を含む石花海(せのうみ)海盆断層帯のプレート境界地震との連動評価(図5参照)、中部電力が御前崎台地の段丘形成を説明するために想定していた「御前崎海脚東部断層帯」への明確化・大規模化などバックチェック報告の不十分さが一部明らかにされ、それを補完する回答が中部電力に求められてきた。しかし、その回答のほとんどが、バックチェック報告で出された基準地震動 S_s の枠内で説明できるような断層モデルの修正に留められたり、松田式による地震規模と断層モデルによる地震規模が都合良く使い分けられたりするなど、肝心な点が

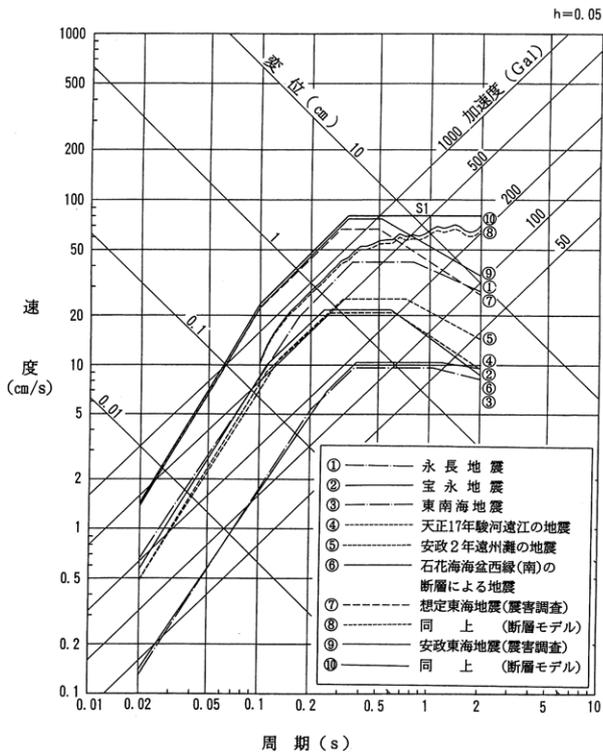


図 6: 旧指針の最強地震による基準地震動 S_1 (第 5.6-5 図 [7], S_1 は安政東海地震 (震害調査) ⑨ によってほぼ決まっている。石花海海盆西縁断層帯は北と南に分断して評価されているため⑥の南の断層だけが小さく評価されている)

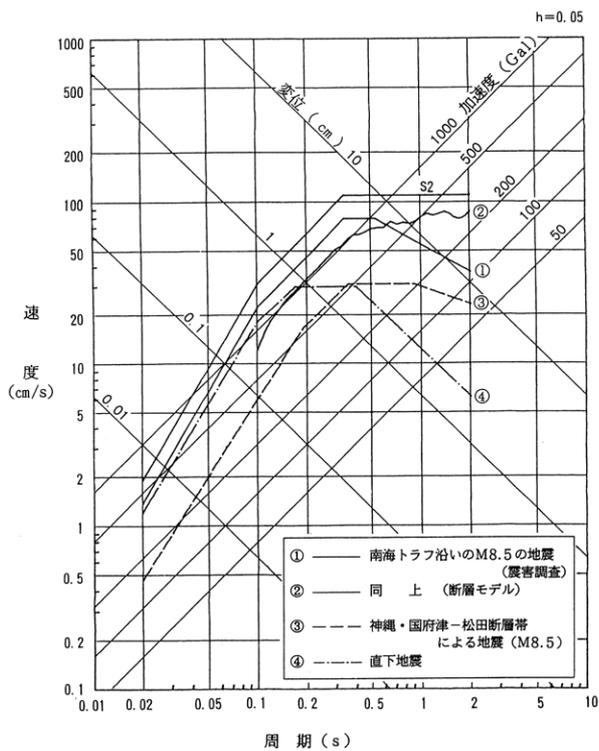


図 7: 旧指針の限界地震による基準地震動 S_2 (第 5.6-6 図 [7], 地震地体構造の南海トラフ沿いの M8.5 の地震 ① は S_1 を超えないため, S_2 は S_1 の 1.32 ~ 1.37 倍に設定されている。図 9 の石花海海盆西縁断層帯 M7.4 の耐専スペクトル ⑤ はこの図の地震地体構造 M8.5 ① を超えている)

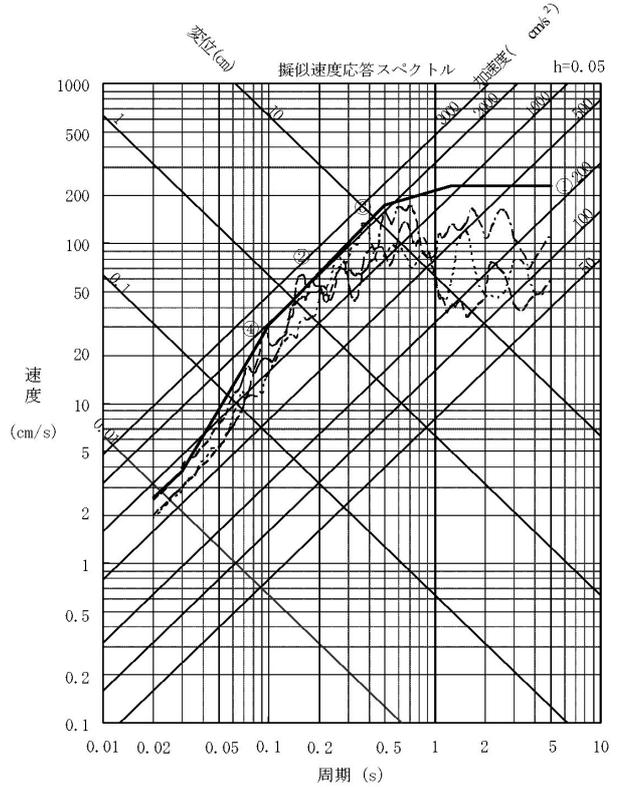


図 8: 新指針の基準地震動 S_s (水平成分, 第 3.3-5 図 [1], S_s は周期 0.03 ~ 0.3 秒強で図 7 の S_2 と一致する。① S_s -DH, ② S_s -1H (仮想的東海地震, 経験的 GF 法ハイブリッド, 破壊開始点 1, EW), ③ S_s -2H (仮想的東海地震, 統計的 GF 法ハイブリッド, 破壊開始点 1, EW), ④ S_s -3H (仮想的東海・東南海・南海地震, 統計的 GF 法ハイブリッド, EW))

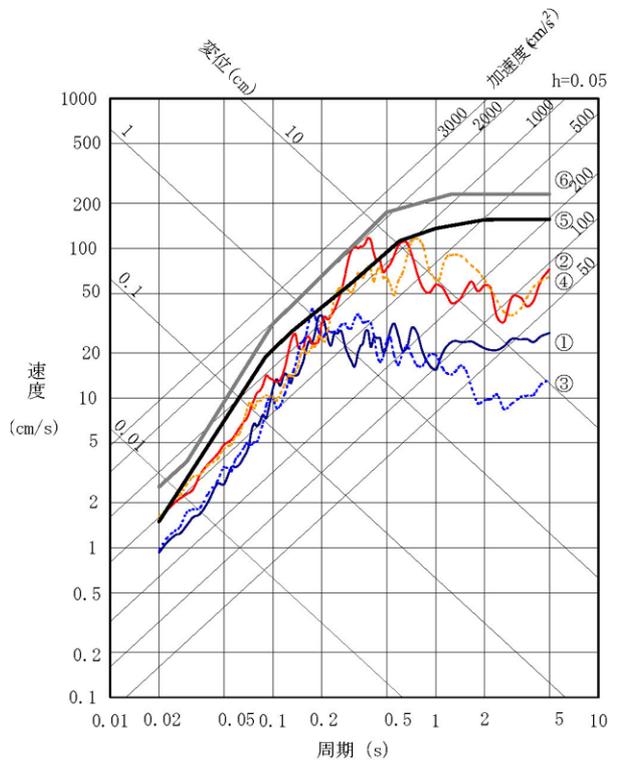


図 9: 基準地震動 S_s -DH ⑥ と石花海海盆西縁断層帯の耐専スペクトル ⑤ および断層モデル ② (第 4.38 図 [3], 断層モデルは統計的 GF 法, 破壊開始点 1 が ① NS と ② EW, 破壊開始点 2 が ③ NS と ④ EW, ⑥ は Noda et al. (2002) M7.4, $X_{eq}=16.2\text{km}$, NFRD を考慮)

指摘されずに審議が進んできた。

ここでは、バックチェック報告とその審議の過程で明らかになった問題点について整理してみたい。

内陸地殻内地震が効いている基準地震動 S_s

(1) 中部電力は新指針に基づく基準地震動 S_s を敷地周辺で起こりうる内陸地殻内地震、東海地震などプレート境界地震およびスラブ内地震について、それぞれの地震動を耐専スペクトルおよび断層モデルによって評価し策定している。それは結果として次のようになっており、水平動は図 8 のように S_s -DH, S_s -1H, S_s -2H, S_s -3H の 4 種類、鉛直動は図 10 のように S_s -DV, S_s -1V, S_s -2V, S_s -3V の 4 種類で構成されている。

(i) S_s -DH は図 9 のように石花海盆西縁の断層帯 (M7.4, $X_{eq}=16.2\text{km}$: 図 4 参照) の耐専スペクトル (ディレクティブティ効果を考慮) の 1.5 ~ 1.8 倍の大きさに策定している。それは、石花海盆西縁断層帯の断層モデルによる地震動評価が周期 0.3 ~ 0.4 秒で耐専スペクトルを超えているため、ちょうどこれを包絡するようになってきている。

(ii) 中央防災会議と同じ想定東海地震、想定東海・東南海地震および想定東海・東南海・南海地震 (図 3 参照) を断層モデルで地震動評価したところ S_s -DH を超えない。しかし、想定東海地震の海側アスペリティ 1 個を敷地直下に配置換えした仮想的東海地震 (図 20 参照)、仮想的東海・東南海地震および仮想的東海・東南海・南海地震について断層モデルで評価したところ、図 8 のように仮想的東海地震 (破壊開始点 1) の経験的グリーン関数法および統計的グリーン関数法による水平動ならびに仮想的東海・東南海・南海地震の統計的グリーン関数法による水平動が S_s -DH をそれぞれ周期 0.16 秒, 0.4 秒, 0.1 秒付近で少し超えたため、これらを基準地震動 S_s -1H, S_s -2H, S_s -3H と設定している。

(iii) 鉛直動 S_s -DV は図 10 のように、図 8 の水平動 S_s -DH の 2/3 に設定 (各コントロールポイントの応答値を 2/3 倍する) し、水平動 S_s -1H, S_s -2H,

S_s -3H に対応する地震波の鉛直動は S_s -DV を超えないけれども、基準地震動 S_s -1V, S_s -2V, S_s -3V として設定している。

(iv) S_s -DH と S_2 を比較して明らかのように (図 7, 図 8 および図 17 参照), 新指針の基準地震動 S_s -DH は、旧指針の限界地震による地震動 S_2 と周期 0.03 ~ 0.3 秒強でほぼ一致する。すなわち、原発の重要機器の固有周期帯 0.03 ~ 0.4 秒の大半で S_s は S_2 とほぼ同じ応答スペクトルになっている (S_2 のコントロールポイントの値は第 5.6-7 表, p.6-5-213[7], S_s の値は第 3.3-1 表, p.II-78[1])。周期 0.02 秒での加速度応答値 (基準地震動 S_s の解放基盤表面での最大加速度に等しい) は 600 ガルから 800 ガルへ引き上げられたが、この影響で応答スペクトルが引き上げられたのは周期 0.02 ~ 0.03 秒の間だけである。周期約 0.3 秒以上で応答スペクトルが引き上げられているが、原発にとってその影響はほとんどないに等しい。

以上から明らかなことは、第 1 に、Noda et al. (2002) による耐専スペクトルが浜岡原発における基準地震動 S_s の応答スペクトル策定にとって非常

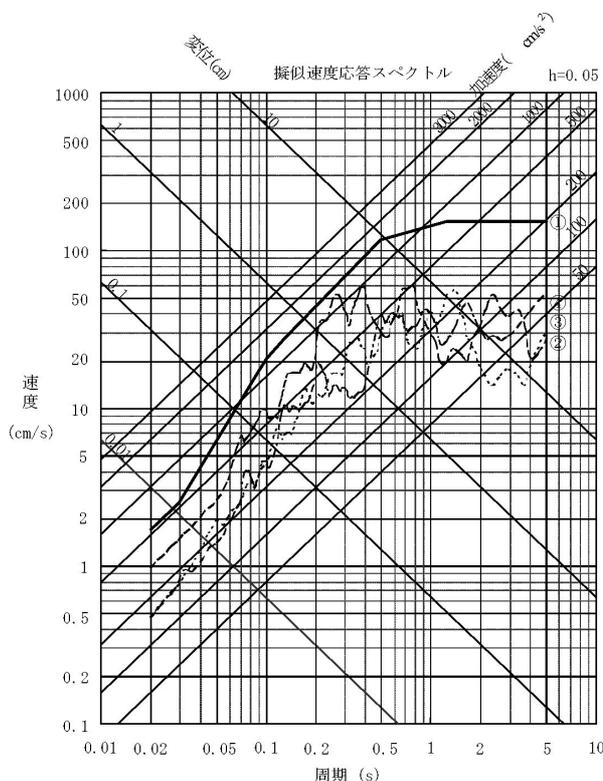


図 10: 新指針の基準地震動 S_s (鉛直成分, 第 3.3-6 図 [3], ① S_s -DV, ② S_s -1V, ③ S_s -2V, ④ S_s -3V, ② ~ ④は①を超えない)

に重要な役割を果たしていること、とりわけ石花海盆西縁断層帯のように内陸地殻内地震の評価が決定的に重要であること(図9参照)、第2に、これまで東海・東南海・南海地震による原発震災が強調されてきたにもかかわらず、その断層モデルによる評価はそれほど大きくないことである。これらはいずれも意外な結果であり、内陸地殻内地震の耐専スペクトルは中部電力の評価で十分なのかどうか、東海・東南海・南海地震による断層モデルによる地震動評価は本当にこれで十分なのかどうか問われなければならない。

内陸地殻内地震は追加・「拡張」されたが、なぜか、基準地震動 S_s は変わらない

(2) 検討用地震として中部電力が最終的に選定したのは、内陸地殻内地震は「石花海盆西縁断層帯による地震(M7.4)」だけであり、プレート間地震が「想定東海地震(M8.0)」、「想定東海・東南海地震(M8.4)」、「想定東海・東南海・南海地震(M8.7)」の3種類、スラブ内地震が「天正17年駿河遠江の地震(M6.7)」である。中部電力はこれらの検討用地震について耐専スペクトルと断層モデルで地震動評価を行い、基準地震動 S_s を策定している。

内陸地殻内地震について中部電力は図4のように検討用地震選定のための重要な地震として、石花海盆西縁断層帯(M7.4)以外にも御前崎南方海域の断層(M6.9)および遠州断層系(M8.5)を挙げていた。これらについてアスペリティを考慮しない一様断層と見なして等価震源距離を求め、耐専スペクトルで評価した結果、石花海盆西縁断層帯だけに絞ったのである。また、中部電力は「富士川河口断層帯(M7.6)」と「御前崎台地の変動地形に関連する断層による地震(M7.4)」が想定東海・東南海・南海地震に付加して連動するケースも評価しているが、基準地震動 S_s の策定に影響を与えるほどではなかった。

ところが、原子力安全・保安院の審議会での1年に及ぶ議論の過程で、中部電力が御前崎台地の段丘を説明する断層として考慮していた「御前崎台地の変動地形に関連する断層による地震(M7.4)」は図15の「御前崎海脚東部断層帯の地震(M7.6)」へと拡張され、傾斜角も70°から、逆断層としてより現実的な60°へ修正され、石花海盆西縁断

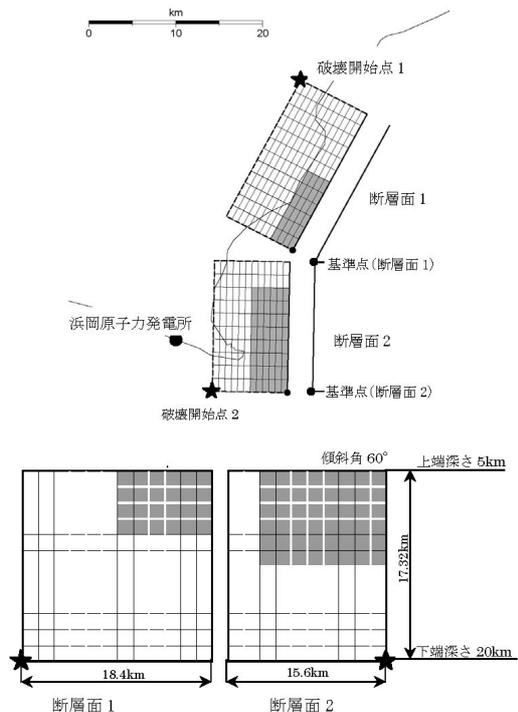


図11: 石花海盆西縁断層帯(第4.1図, p.36[3])

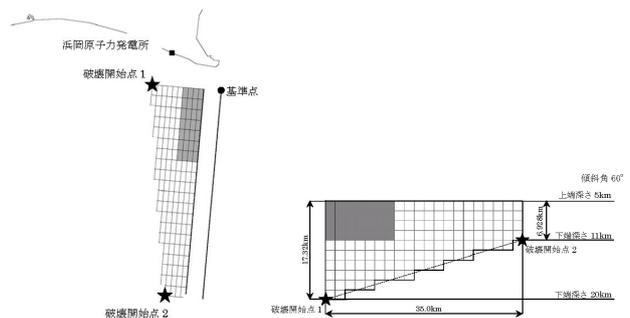
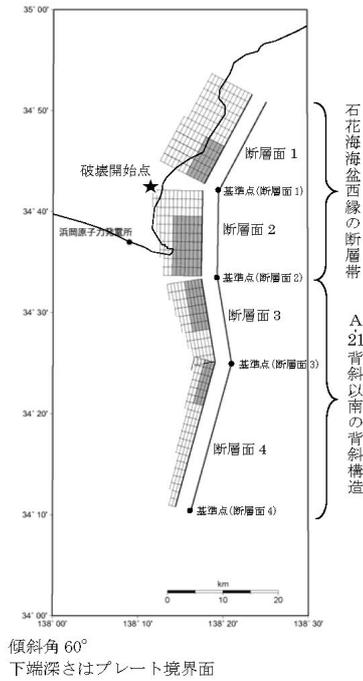


図12: 御前崎海脚西部の断層帯(第4.2図, p.38[3])

層帯(M7.4)は図13の「A21背斜以南の背斜構造を含む石花海盆西縁断層帯(M7.6)」へ拡張された。さらに、御前崎南方海域の断層(M6.9)は図12の「御前崎海脚西部の断層帯(M7.1)」へ、遠州断層系(M8.5)は図16の「遠州断層系(M8.4)」へ「拡張」された。このように震源断層のパラメータが変わった以上、これらについて耐専スペクトルおよび断層モデルで評価し直すのが当然だが、審議会では想定東海・東南海・南海地震に付加して連動する断層として評価されるに留まっている。

浜岡原発の敷地に近く基準地震動 S_s に大きな影響を与えると予想される「御前崎海脚東部断層帯の地震(M7.6)」および「A21背斜以南の背斜構造を含む石花海盆西縁断層帯(M7.6)」について耐専スペクトルを評価し直せば、図9から判断して



傾斜角 60°
下端深さはプレート境界面

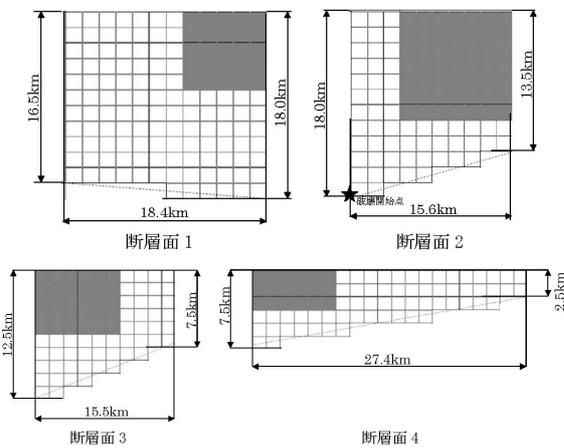


図 13: A21 背斜以南の背斜構造を含む石花海海盆西縁断層帯 (第 4.23 図, p.68[3])

Ss-DH を超えることは確実である。

ちなみに、「御前崎海脚東部断層帯」は中部電力による海上音波探査等でも断層の存在は確認されていない。しかし、御前崎台地の隆起を説明するため、図 14 のように「御前崎台地北東沖の海域において、背斜状構造に関連する断層が存在するものと想定」し、「御前崎台地の変動地形に関連する断層」として、御前崎台地の傾斜を再現するための断層のずれによる地表変形シミュレーション(半無限弾性体モデルによる静的変形計算)を行っている。すなわち「御前崎台地の変形領域を考慮し、御前崎台地の北西端付近から石花海海盆の西縁に沿うように、断層面の下端位置を設定」し、「御前崎面の弧状をなす傾斜形状を再現するため」断層長さを「仮に 10km と設定」している。その上で、地震動

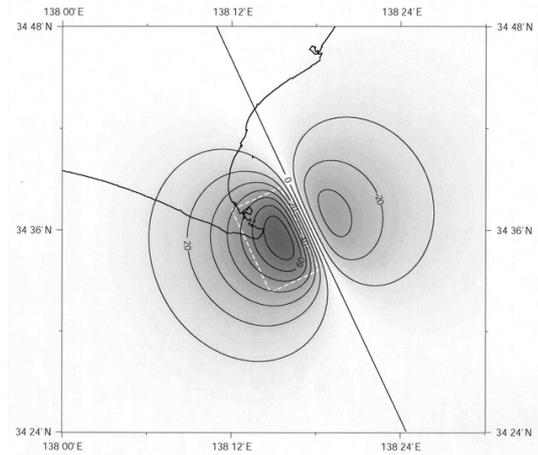


図 14: 「御前崎台地の変動地形に関連する断層による地震 (M7.4)」を策定するための地表変形シミュレーション (第 3.2-14 図, p.I-156[1]) (図中の数値は地表変形量 cm で 10cm 間隔, 断層の長さ 10km, 幅 17km, 上端深さ 3km, 下端深さ 19km, 傾斜角 70°, すべり量 2.5m)

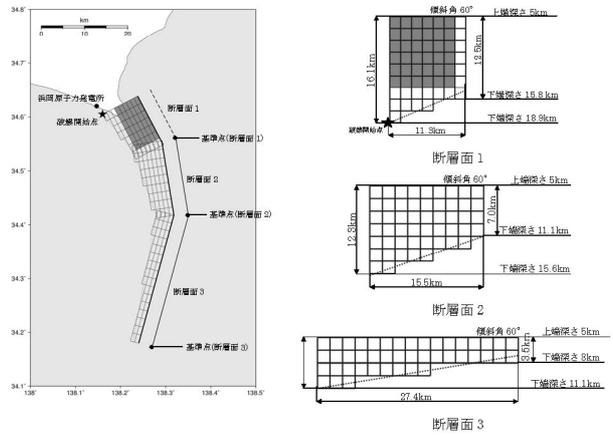


図 15: 御前崎海脚東部の断層帯 (第 4.13 図, p.57[3])

等の検討では、「断層の南東方向及び深さ方向をプレート境界まで延長」し、音波探査記録では断層が認められないことから「M7 程度の断層が存在するものと仮定し、断層面上でのすべり量を 2.5m」とすると「1 回の活動に伴う地形の傾斜量は 50cm 程度となり、御前崎面に認められる高低差約 25 m を傾斜の累積量とすると、御前崎面の形成時期から、断層の活動間隔は 1,500 年程度となる。」と見積もっている (p.I-41[1])。このように、「御前崎海脚東部の断層帯」は見えない震源断層を評価しているため、不確実さをより多く含んでいる。たとえば、断層北西端を御前崎台地の変形領域から設定しているが、より北西へ伸びている可能性は否定できない。この場合には震源断層が浜岡原発により近くなるため、このような不確実さも考慮すべきであろう。

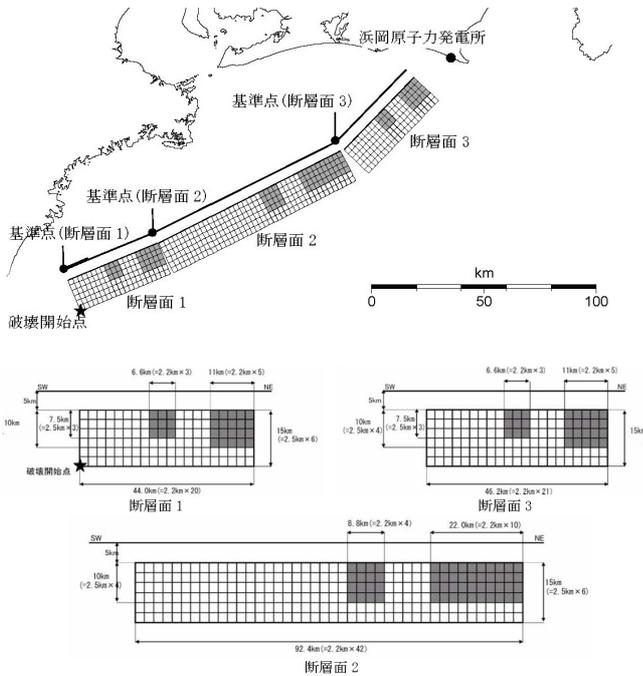


図 16: 遠州断層系 (第 4.3 図, p.40[3])

また、想定東海・東南海・南海地震とこれらの断層が連動する際には、地震波が打ち消し合って地震動が弱まる傾向が見られるため、これらの内陸地殻内地震がプレート間地震との連動ではなく単独で活動する場合の耐専スペクトルおよび断層モデルによる評価も実施すべきであろう。

その際、耐専スペクトルおよび断層モデルは、使い方を誤ると地震動を大幅に過小評価することになるため注意を要する。

耐専スペクトルは観測記録で補正されなければ地震動の過小評価が避けられない

(3) 耐専スペクトルは地震の規模を気象庁マグニチュードで与え、震源断層との距離を等価震源距離で表し、これら二つのパラメータで応答スペクトルを求めている。しかし、元になった地震観測記録は 44 地震だが、プレート境界地震が 3/4 を占め、内陸地殻内地震は 1/4 にすぎず、プレート内地震で参照された観測記録はない。そのため、Noda et al. の耐専スペクトルはプレート間地震に対する応答スペクトルの推定値であり、内陸地殻内地震では 0.6 倍して小さくすることになっている。また、スラブ内地震については、敷地内でのスラブ内地震観測記録で大きく補正することになっている。

しかも、使われた観測記録の地震規模は M7.0 以

下と小さく、等価震源距離で 20km 以下の近距離地震観測記録はない。つまり、短周期の強震動が過小評価される可能性がデータそのものの中に含まれているのである。したがって、耐専スペクトルは、短周期の強震動を過小評価するおそれのある、ごく限られたデータに基づいて回帰式を求め、それを観測記録の範囲外へムリヤリ外挿したものに他ならない。

さらに、地震基盤から解放基盤表面までの地盤や地層による増幅効果は敷地での地震観測記録による補正でカバーする以外にない。現に、新潟県中越沖地震では、柏崎刈羽原発 1 号解放基盤表面で再現された地震動(はざとり波)の応答スペクトルを得るためには、耐専スペクトル(内陸補正後)を 6~7 倍も補正しなければならなかった。

具体的には、東京電力の解析によれば、震源の影響で 1.5 倍程度、深部地盤における不整形性の影響で 2 倍程度、古い褶曲構造での増幅で 2 倍程度の計約 6 倍 [9]。独立行政法人原子力安全基盤機構 JNES によれば、震源特性の影響(短周期レベルが平均の 1.5 倍程度)で約 1.5 倍、不整形性を伴う厚い堆積層による影響(震源の放射特性の影響を含む)で約 3 倍、3 次元差分法による解析結果と応答スペクトルの差から推定されるその他要因で 1.5 倍程度の計 7 倍程度 [10] である。

ところが、浜岡原発では想定震源断層内で起こる内陸地殻内地震の敷地内観測記録が存在しないため、全く補正できない。浜岡原発の地震発生層上端は図 11~13 および表 1~表 7 で明らかなように地下 5km と深く、プレート運動による歪みを蓄積できない地層が厚く堆積していることが予想される。しかも、浜岡原発直下には柏崎刈羽原発で問題になった向斜構造が発達しており、地下深くにある地震基盤から解放基盤表面へ至る地層の 3 次元構造による地震動の増幅効果が問題になる。これらの厚い地層や向斜構造で地震動が何倍にも増幅されるおそれがあり、それは想定震源断層からの地震観測記録がなければ検証できない。つまり、Noda et al.(2002) の方法で耐専スペクトルを求めてはいるが、それをどのように補正すればよいのかが全くわからないのである。

中部電力は、これを意識してか、耐専スペクト

ルを用いる際に、「内陸補正の0.6倍」を実施せず、プレート間地震に対する耐専スペクトルをそのまま用い、NFRD効果（兵庫県南部地震で見られたディレクティビティ効果で周期1~2秒の応答値が大きくなるが、原発ではあまり影響しない）を適用している。これは結果として、内陸地殻内地震の耐専スペクトルと比べて短周期側の応答値を1.6倍程度に大きく評価していることになるが、柏崎刈羽原発ではさらに約4倍の地盤や地層の増幅効果を考慮しなければならなかった。浜岡ではこの後者の増幅率がわからないため、中部電力が現在求めている耐専スペクトルは、内陸地殻内地震の震源特性をプレート間地震相当にしているとは言え、余裕を持ったものとは到底言えず、これをさらに何倍かしなければならぬ代物である。それを十分認識し、地盤や地層による増幅効果を十分検討した上で「御前崎海脚東部断層帯の地震(M7.6)」および「A21背斜以南の背斜構造を含む石花海海盆西縁断層帯(M7.6)」に関する耐専スペクトルを求め直すべきであろう。そうすれば、現在の基準地震動Ssをさらに数倍に大きくしなければならなくなるのは必至であろう。

ちなみに、耐専スペクトルのもう一つの大きな問題点として、一体となって動く震源断層が原発敷地から遠ざかる方向へ伸びると、応答スペクトルの値が小さくなるという矛盾が生じる。たとえば、東海・東南海地震は東海地震を含むから応答スペクトルが東海地震より大きくなって当然だが、図17のように耐専スペクトルでは逆に東海地震より小さくなっている。これは地震規模が大きくなるにもかかわらず、等価震源距離がより遠くなるからである。この点は審議会でも指摘され、中部電力はこの影響を評価するように求められている。

地震の規模が断層モデルで過小評価されている

(4) 耐専スペクトルでは、気象庁マグニチュードの求め方に注意を要する。検討用地震として中部電力が当初評価した石花海海盆西縁断層帯(長さ34.0km, M7.4)、御前崎南方海域の断層(長さ16.2km, M6.9)、遠州断層系(151km, M8.5)はすべて震源断層の長さを松田式に適用して気象庁マグニチュードを算出していた。

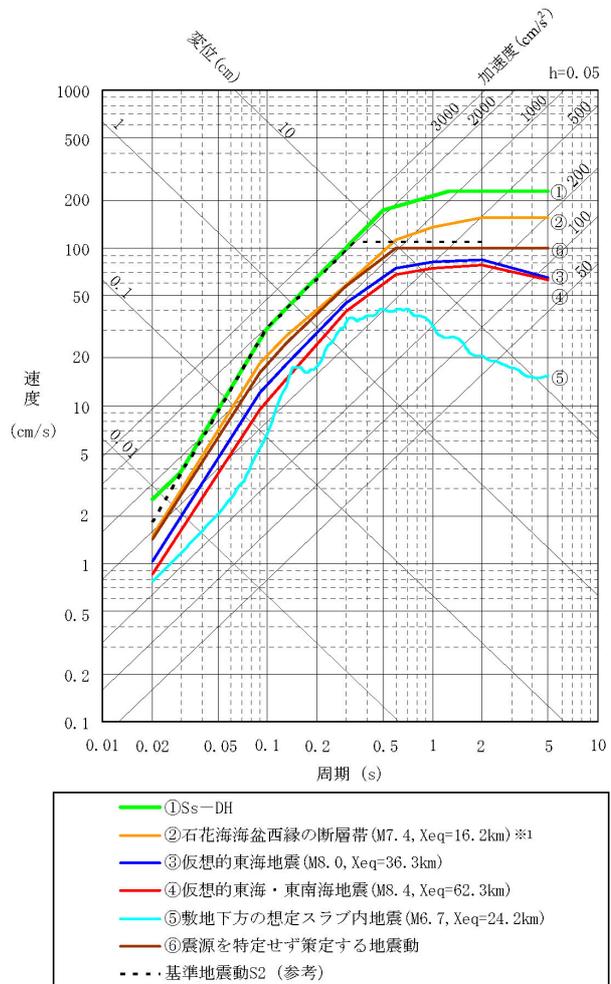


図17: 耐専スペクトルによる検討用地震の評価(図4-8, p.4-12[7] 新指針の①基準地震動Ss-DHと旧指針のS2(破線)は周期0.03~0.3秒でほぼ一致する。④仮想的東海・東南海地震は③仮想的東海地震を含み、規模がより大きいのに耐専スペクトルが小さくなるという矛盾が生じている。)

ところが、石花海海盆西縁断層帯(長さ34.0km, M7.4)を延ばした「A21背斜以南の背斜構造を含む石花海海盆西縁断層帯(長さ76.9km, M7.6)」は松田式によるM8.0ではなく断層面積を入倉の断層モデルに適用してM7.6としている。しかも、この新しい断層帯については断層モデルによる海洋プレート間地震との連動の評価だけで、耐専スペクトルを求めていない。

御前崎南方海域の断層(長さ16.2km, M6.9)を延ばした「御前崎海脚西部の断層帯(長さ35.0km, M7.1)」では、松田式によるM7.4ではなく入倉の断層モデルによるM7.1としている。もし、松田式でM7.4とすれば、御前崎海脚西部の断層帯(M7.4, Xeq = 16.3km)は石花海海盆西縁断層帯(M7.4, 16.2km)とほぼ同じになってしまい、アスペリティの形状を図12の長方形から正方形に変えると等

価震源距離が石花海盆西縁断層帯より小さくなり、御前崎海脚西部の断層帯の耐専スペクトルが石花海盆西縁断層帯の耐専スペクトルを超えてしまう。

遠州断層系 (151km, M8.5) を敷地近くまで延ばした「遠州断層系 (179.1km, M8.4)」では、松田式による M8.6 ではなく、入倉の断層モデルによる M8.4 とし、断層の長さと同面積が大きくなったにもかかわらず、M8.5 から M8.4 へ小さくしている。他方、遠州断層系の等価震源距離 X_{eq} はアスペリティなしの一樣断層を仮定して求めた場合には、86.6km から 66.9km へ 20km ほど短くなっている (アスペリティを考慮した場合には 60.0km へさらに近くなる: 図 2-4-1(p.II-126[1]), 図 3.1(p.29[3]), 図 4.4(p.42[3]))。つまり、これまで通りに松田式でマグニチュードを求めると、「M8.5, $X_{eq} = 86.6\text{km}$ 」から「M8.6, $X_{eq} = 66.9\text{km}$ 」になり、耐専スペクトルが石花海盆西縁断層帯の耐専スペクトルに近づき、部分的にはそれを超えることになる。中部電力はそうなるのをできるだけ避けるため、入倉の断層モデルで地震規模を小さくし、「M8.4, $X_{eq} = 66.9\text{km}$ 」(アスペリティを考慮した場合には 60.0km) に押さえたのである。

このように、中部電力はバックチェック報告では、松田式で地震規模を算出して耐専スペクトルを求めていたにも関わらず、審議会の過程で震源断層を大きく修正しなければならないとみるや、入倉の断層モデルで地震規模を過小評価する方針へ転換したのである。これでは、あまりにもその意図が見え見えではないか。しかし、審議会では今のところ、この問題点が指摘されていない。

プレート沈み込みによる影響を考慮して震源断層の応力降下量を大きく設定すべき

(5) 「御前崎海脚東部断層帯の地震 (54.2km, M7.6)」では、松田式による M7.7 ではなく、入倉の断層モデルによる M7.0 でもない。中部電力は、先に述べたように、御前崎台地の段丘変異 (0.5m/地震 1 回) を説明するために断層平均すべり量を 2.5m と固定して断層モデルから M7.6 としている。仮に、松田式による M7.7 を用いると、断層平均すべり量は 3.7m になり、段丘変異は 0.7m/地震 1

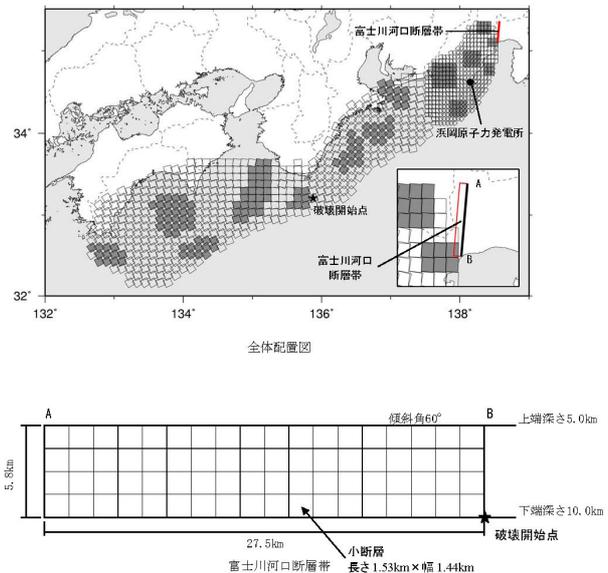


図 18: 富士川河口断層帯と東海・東南海・南海地震との連動 (第 3.1-8 図, p.II-138[1])

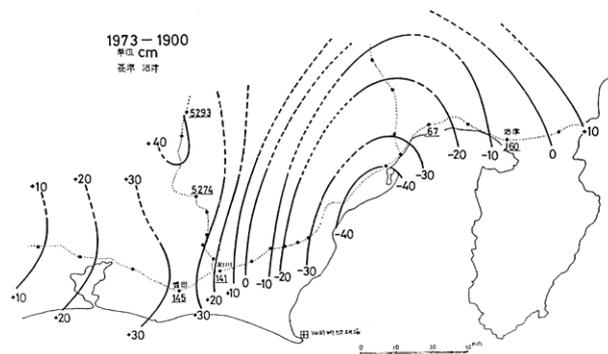


図 19: フィリピン海プレートの沈み込みによる富士川河口断層帯周辺での地殻の歪み (気象庁, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/hantekai/q2/jyoge.jpg>)

回とやや大きくなるが、誤差の範囲内と言えなくもない。

特異なのは、図 18 の富士川河口断層帯 (長さ 27.5km, M7.6) である。この断層帯は東海・東南海・南海地震との連動が評価されているが、その断層のすべり量と応力降下量は国内平均と比べて異常に大きい。松田式では M7.2 にしかならず、入倉の断層モデルではさらに小さい M6.5 に留まるが、中部電力は、地震調査研究推進本部などの評価に基づき、表 7 のように富士川河口断層帯の断層平均すべり量を 7.0m と固定し、断層面積から地震規模を求める通常の断層モデルとは異なる方法で地震規模を M7.6 とし、アスペリティのない一樣断層として震源を定義している。断層平均応力降下量は 46.0MPa にもなる。これは、富士川河口断層帯の断層幅が 5.77km しかなく、断層下端がプレート境界面と接しており、図 19 のようにプレー

ト沈み込みによる地殻の歪みが富士川河口断層帯周辺で極端に大きく蓄積しているためだと推定される。

この観点から浜岡原発周辺の内陸地殻内地震の断層下限を見ると、ほとんどすべての震源断層がプレート境界面と接しており、震源断層面がスロープ状になっているか、極端に断層幅が狭い。つまり、プレート境界面と接するこれらの断層帯では、プレート沈み込みによる歪みの影響をより大きく受けている可能性があり、断層長さから松田式で算出される国内の平均的な地震規模をさらに上回る可能性もあるのではないかと推測される。しかし、これらの断層帯で内陸地殻内地震が実際に起こらない限り本当のことはわからない。そうであれば、安全側に立って地震規模をやや大きく設定しておくのが無難であろう。ところが、このような観点を中部電力は持っていないし、審議会でも検討されていない。

断層モデルの地震動評価には最新の知見を入れ不確かさをより大きく検討すべき

(6) 震源断層から地震の規模をどのように見積もるのかは、耐専スペクトルだけでなく、断層モデルによる地震動評価にも影響してくる。アスペリティ面積固定法では地震規模が大きくなるほどアスペリティの応力降下量が大きくなり、短周期地震動が大きくなるからである。表1~7の「 $S_a/S = 0.22$ 法」の列を比較すれば、このことは一目瞭然である。しかし、最近国内で起こった内陸地殻内地震の多くはアスペリティの応力降下量が20~30MPaと大きい。浜岡原発でも、2000年鳥取県西部地震(M7.3)、2007年能登半島地震(M6.9)、2007年新潟県中越沖地震(M6.8)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であろう。

問題なのは、中部電力が、断層モデルのパラメータのうち、ライズタイムの値や破壊伝播方式について明記していないことである。プレート間地震のようにすべり量が大きいと、ライズタイムは当然大きくなるが、M6.8~M7.3の国内内陸地殻内地震の例では0.4~0.6秒である。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る。

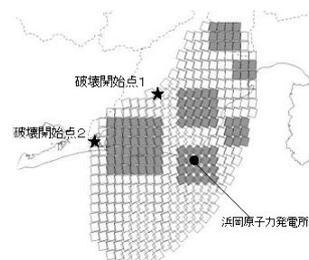


図 20: 仮想的東海地震の断層モデル(図 4-4, p.4-9[1])

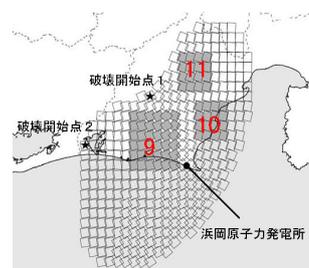


図 21: 新知見による断層モデル(第 4 図, p.I-13[12])

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ある。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、原発にとって最悪のシナリオを描いて評価し直すべきである。

東海地震や東南海地震は過小評価されている

(7) 中部電力は想定東海地震と同じ断層パラメータを用いながら、図3(a)のアスペリティ6個のうち1個を図20のように原発敷地直下へ配置換えした「仮想的東海地震」を設定している。図8および図10の基準地震動 $S_s-1H \sim S_s-3H$ および $S_s-1V \sim S_s-3V$ はこの仮想的東海地震および仮想的東海・東南海・南海地震の断層モデルの応答スペクトルによるものである。最大の問題は、断層モデルの応力降下量の妥当性、断層モデルで採用されている要素地震の妥当性および敷地直下のプレート境界面の深さ位置である。

中央防災会議での地震動評価の検証は、あくまで一般家屋やビルの倒壊に関係の深い震度のとの比較である。原発のように固有周期0.03~0.4秒という非常に特殊な建屋・機器・配管系の破壊を対象にしてはいない。それを考慮すると、応力降下量は小さすぎるのではないかと。内陸地殻内地震でも20~30MPaであり、プレート間地震ではそれ

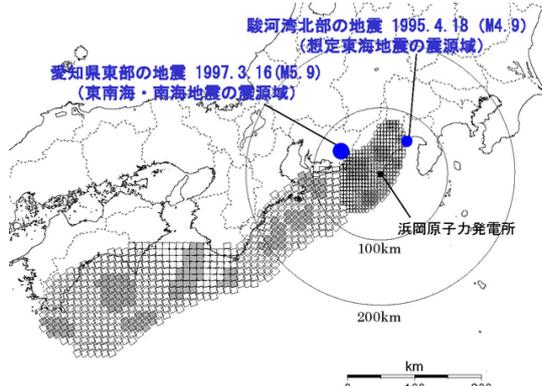


図 22: プレート間地震の評価に用いられた要素地震 (第 1 図, p.IV-4, W7-1-3[3])

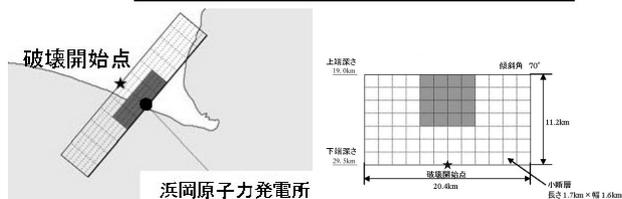
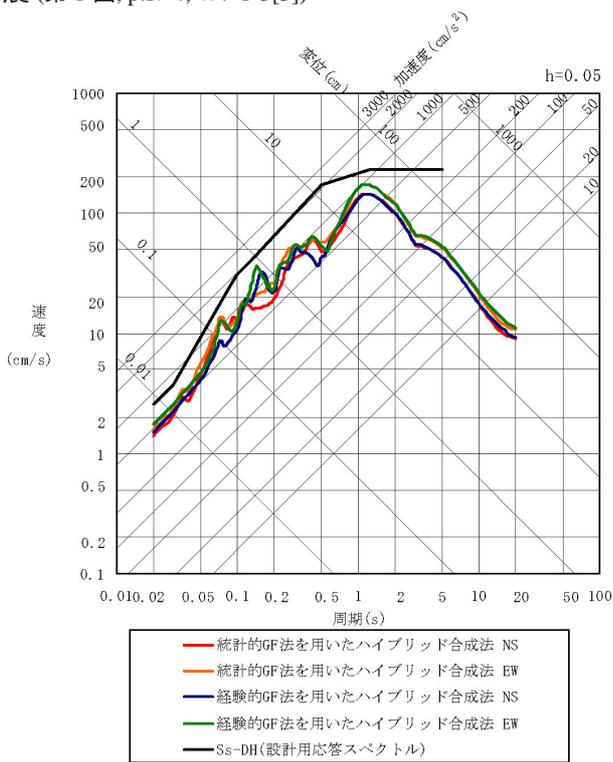


図 23: スラブ内地震の断層モデルによる評価 (第 1 図および第 2 図, W7-1-4[3])

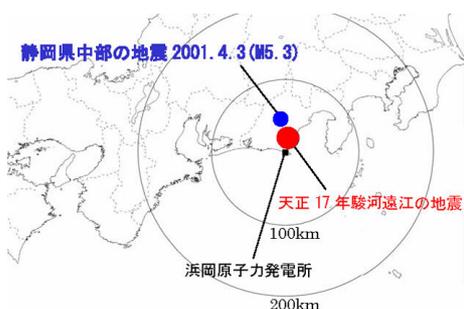


図 24: スラブ内地震の評価に用いられた要素地震 (第 2 図, W7-1-4[3])

より大きいと推測される。

ちなみに、歴史地震の震度は地震による家屋の倒壊率などに基づいて推定されており、地震波の周期 1 秒付近の地震動の強さを表すものである。気象庁による最新の震度も、加速度ベクトル波形の絶対値が 0.3 秒以上継続する最小加速度値 a から計測震度 $= 2 \log_{10} a + 0.94$ を計算するものであり、「周波数 0.5 ~ 10Hz (周期 0.1 ~ 2 秒) の範囲で地震動の加速度と速度の中間の波形を求めていることに相当」する。たとえ、断層モデルによる地震動評価結果が (計測) 震度と一致したとしても、それは周期 1 秒前後の中間的な波形との整合性を検討しているにすぎず、原発の重要な建屋・構築物および機器・配管系の固有周期帯 0.03 ~ 0.4 秒における応答スペクトルの一致を意味しない。

また、用いられている要素地震は図 22 のように、東海地震に対して駿河北部の地震 (1995.4.18, M4.9)、東海・東南海地震に対して愛知県東部の地震 (1997.3.16, M5.9) であるが、これらはいずれも東海地震の震源域の外部周辺で起きた地震であり、震源域内のアスペリティの位置で起きた地震ではない。また、駿河北部の地震については石橋ら [6] が地震の震源位置を再検討した結果、プレート間地震ではなくスラブ内地震の可能性があると指摘している。内陸地殻内地震、プレート間地震、スラブ内地震の 3 つのタイプで震源特性に大きな違いがあり、プレート間地震の短周期レベルは内陸地殻内地震の 2 倍程度、スラブ内地震では内陸地殻内地震の 4 ~ 6 倍程度とされる。したがって、用いる要素地震は原則として同じタイプの地震であり、想定震源域内の地震でなければ、震源特性や伝播特性を地震波に正しく反映させることはできない。その意味で、想定東海地震や東南海地震の特徴を十分反映した地震波になっているかどうかには疑問が残る。

他方、中部電力が評価している「敷地下方の想定スラブ内地震」は、図 24 のように天正 17 年駿河遠江の地震を敷地下方に設定するものであり、要素地震には静岡県中部の地震 (2001.4.3, M5.3) を用いている。この要素地震の応力降下量は 50.5MPa であるのに対し、「敷地下方の想定スラブ内地震」におけるアスペリティの平均応力降下量は 25.6MPa にすぎない。これは、中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」がフィリピン海プレート内の地震の断層平均応力降下量を 5MPa と設定していることから、アスペリティ総面積/断層面積比 19.6 % を用いて 25.6MPa を導いているからである。しかし、要素地震の応力降下量の半分の値にしか設

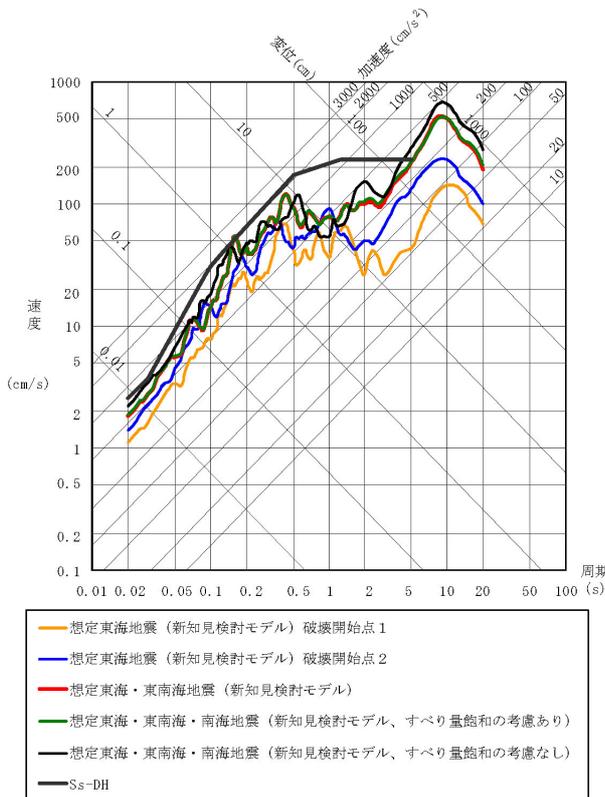


図 25: 新発見の東海地震等に関する断層モデルによる評価 (EW, 第 13 図, p.II-28[12])

定されないのは、小さすぎるのではないかと思われる。この「敷地下方の想定スラブ内地震」の断層モデルによる応答スペクトルは図 23 に示されるように基準地震動 Ss-DH に極めて近い。もし、アスペリティの応力降下量を 2 倍にし、要素地震と同じ値にすれば、応答スペクトルは今の基準地震動 Ss を遙かに超えるであろう。

中部電力はまた、審議会の過程で想定東海地震に新発見を適用したモデルをも検討している。新発見では、図 21 のようにアスペリティを陸域の固着域の分布に基づいて陸域側に設定し、アスペリティ面積を中央防災会議の約 31 % から約 19 % へ小さくし、アスペリティの個数を 6 個から 3 個へ減らし、プレート境界面と敷地との距離を中央防災会議の約 19km から約 14km へ近づけている。さらに、応力降下量を中央防災会議のクラックモデルによる 21.4MPa からアスペリティモデルによる 16MPa へ小さくしている (詳細は表 8 参照)。その結果、図 25 のように部分的に基準地震動 Ss-DH を超えるものの、Ss-DH と Ss-1H ~ Ss-3H を合わせた応答スペクトルは超えないことになっている。しかし、新発見と同じ条件でクラックモデルで応

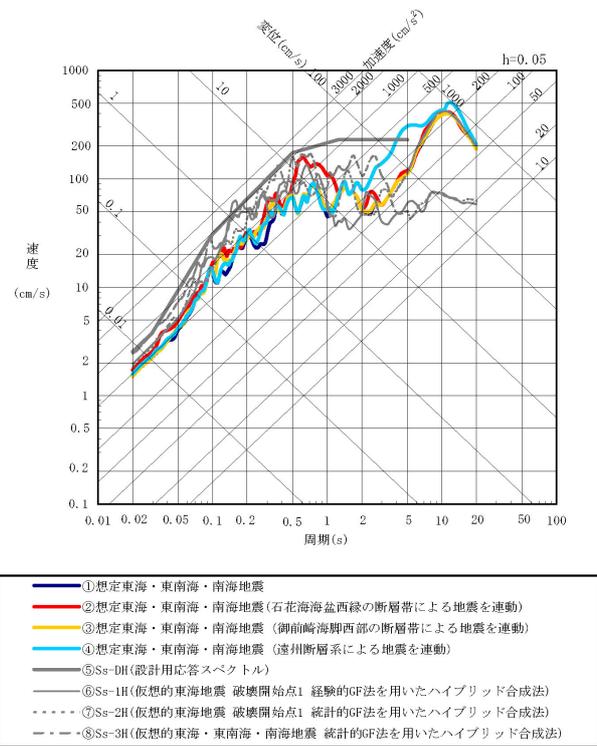


図 26: 東海・東南海・南海地震と石花海盆西縁断層帯等との連動評価 (EW, 第 4.36 図 [3], 評価結果は下図のように波形合成の時間遅れと位相に依存し、想定東海地震が仮想的東海地震にかわれば、評価結果はかなり変わる)

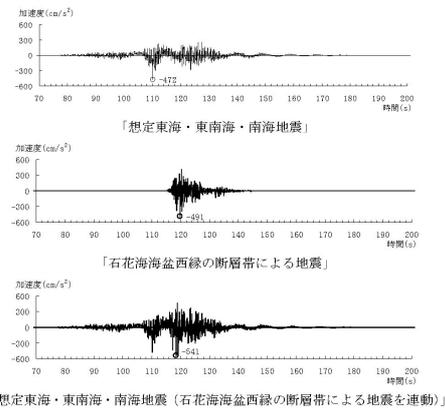


図 27: 石花海盆西縁断層帯との連動の波形合成 (EW, 第 4.27 図 [3])

力降下量を求めると、表 8 のように 16MPa から 20.7MPa になる。この応力降下量を用いて断層モデルで応答スペクトルを求めると図 25 をさらに大きく超えると推定される。また、アスペリティモデルでは断層平均応力降下量を増やした場合のアスペリティの応力降下量も計算できるから、断層平均応力降下量を 3MPa から 3.5MPa へ引き上げるとアスペリティモデルでも 18.4MPa が増える。これを用いた地震動の応答スペクトルは、今の Ss-DH と Ss-1H ~ Ss-3H を合わせた基準地震動を超えると推定される。

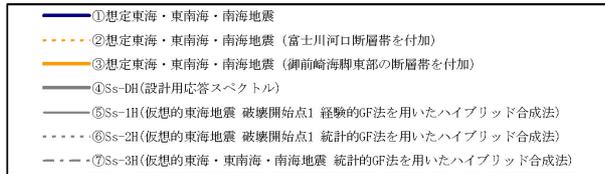
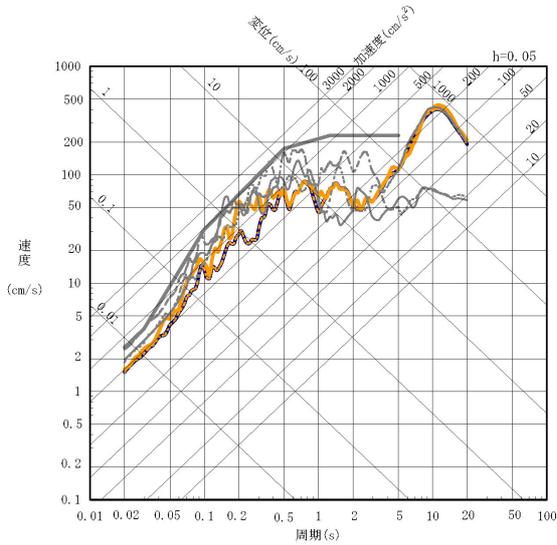


図 28: 東海・東南海・南海地震と富士川河口断層帯等との連動評価 (EW, 第 4.21 図 [3], 富士川河口断層帯は下図のように時間遅れが大きく波形合成にあまり寄与しない)

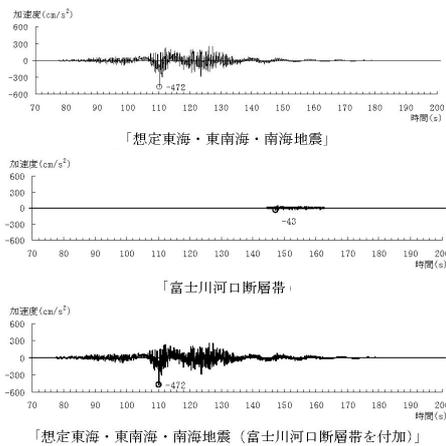


図 29: 富士川河口断層帯との連動の波形合成 (EW, 第 4.15 図 [3])

不確かさを考慮するのであれば、仮想的東海地震でプレート境界面と敷地との距離を約 19km から約 14km に近づけた場合を評価すべきだし、仮想的東海地震と「A21 背斜以南の背斜構造を含む石花海盆西縁断層帯」などとの連動も評価すべきであろう。

東海地震等との連動には位相特性を考慮すべき

(8) 想定東海・東南海・南海地震と富士川河口断層帯との連動では、図 29 のように富士川河口断層帯の破壊時期がずれるため全体への影響は少ないが、「御前崎海脚東部の断層帯」との連動 (図 28 参

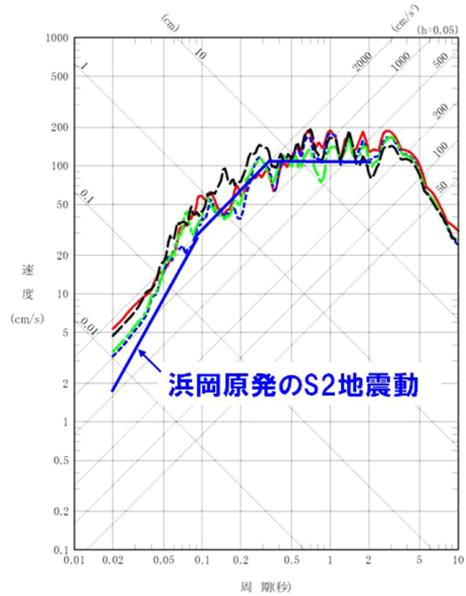


図 30: 柏崎刈羽 1～4 号解放基盤表面のはぎとり波 (EW) と旧指針の基準地震動 S_2 (はぎとり波は、赤:1 号, 青点線: 2 号, 緑一点鎖線: 3 号, 黒破線: 4 号, 新指針の S_s は周期 0.03～0.3 秒で旧指針の S_2 とほぼ同じ)

照) や「A21 背斜以南の背斜構造を含む石花海盆西縁断層帯」との連動 (図 26 および図 27 参照) では、地震動全体への影響が大きく、しかも、二つの地震の間の位相のずれに大きく左右される。条件次第では、 S_s -DH と S_s -1H～ S_s -3H を合わせた基準地震動を大幅に超えることも予想される。中部電力はそれを調べるには無限の計算が必要だと難色を示しているが、正確な計算が必要なのではなく、最悪の場合にどれだけ大きな地震動になるおそれがあるのかを見極める必要がある。そうでなければ、シミュレーションの意味がなからう。

柏崎刈羽原発解放基盤表面での「はぎとり波」を「震源を特定せず策定する地震動」に加えるべき

(9) 新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原発敷地内解放基盤表面での「はぎとり波」は、図 30 のように、中部電力の策定した基準地震動 (水平動は S_s -DH と S_s -1H～ S_s -3H を合わせたもの) を超える。この事実は全電力会社が真摯に受け止めるべきであり、柏崎刈羽原発の特殊性に矮小化してはならない。現に、それを超えると推定される岩手・宮城内陸地震 M7.2 (暫定) が 6 月 14 日に生じている。岩手・宮城内陸地震の震源ごく近傍で逆断層の上盤直上に位置する一関西 (いちのせきにし) では最大加速度が地表で 4022gal (cm/s^2), 地下で 1078gal (いず

観測点	3成分合成	東西	南北	上下
一関西 (地表)	4022 gal	1143	1433	3866
(地下)	1078 gal	1036	748	640
一関西 (地表)	100.1cm/s	71.0	61.5	84.7
(地下)	73.2cm/s	42.2	37.2	68.5

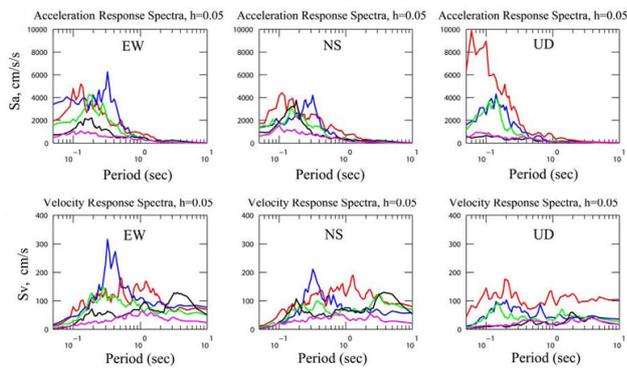


図 31: 岩手・宮城内陸地震 M7.2 で観測された地震観測記録の応答スペクトル (赤：一関西 IWTH25, 青：東成瀬 AKTH04, 緑：IWTH26, 黒：MYG004, 紫：ATK023)

れも 3 成分合成) という極めて大きな地震動が観測された [11] . しかも, 上下動が極めて大きく, 地表では 3866gal で水平動の約 3 倍, 周期 0.06 秒における加速度応答スペクトルは図 31 のように上下 UD で 9853gal にも達した . 地下でも, 最大速度は水平動の 1.5 倍を超えている . 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, 原発解放基盤表面に求められる 700m/s 相当をはるかに超える . この地下地震動を解放基盤表面位置ではぎとり波に換算すれば, 柏崎刈羽原発のそれを確実に超えるであろう . この地下観測点の地震動も地下構造で増幅されたと言えるのであろうか . また, 東成瀬 (地表) で観測された地震動の速度応答スペクトルは, 周期 0.32 秒で 316cm/s に達している . これほど大きな地震動が現に観測されているということを肝に銘じ, 地震動の過小評価を最大限に回避する義務を怠ってはならない .

新潟中越沖地震による地震動を事前には誰も予測できなかった以上, このはぎとり波を「震源を特定せず策定する地震動」に加える必要がある . それだけに留まらず, 基準地震動 S_s の決め方を抜本的に変更し, これまでに観測され, また, 今後観測されるであろう M7.3 以下の地震の解放基盤表面相当位置での地震動 (はぎとり波) をすべて「震源を特定せず策定する地震動」に加える必要がある . その地震動に耐えられない原発は即刻閉鎖すべきである .

参考文献

- [1] 中部電力株式会社：「浜岡原子力発電所 4 号機『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」および別冊 (平成 19 年 1 月) http://www2.jnes.go.jp/atom-lib/online_doc/anzensinsa/hamaoka4/hamaoka4-1.pdf, [hamaoka4-2.pdf](http://www2.jnes.go.jp/atom-lib/online_doc/anzensinsa/hamaoka4/hamaoka4-2.pdf), [hamaoka4-3.pdf](http://www2.jnes.go.jp/atom-lib/online_doc/anzensinsa/hamaoka4/hamaoka4-3.pdf)
- [2] 中部電力株式会社：「浜岡原子力発電所 3 号機『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」および別冊 (平成 19 年 2 月) http://www2.jnes.go.jp/atom-lib/online_doc/anzensinsa/hamaoka3/hamaoka3-1.pdf, [hamaoka3-2.pdf](http://www2.jnes.go.jp/atom-lib/online_doc/anzensinsa/hamaoka3/hamaoka3-2.pdf)
- [3] 中部電力株式会社：「浜岡原子力発電所 3, 4 号機『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に関する報告のうち 基準地震動 S_s の策定 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の検討のうち 内陸地殻内地震の検討用地震の選定、並びに内陸地殻内地震及びプレート間地震 (活断層が関係するケース) の地震動評価」(合同 W7-1-1) および補足説明 (合同 W7-1-2~4), 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部耐震・構造設計小委員会地震・津波, 地質・地盤合同 WG(第 7 回) 配付資料 (2008 年 4 月 28 日) <http://www.meti.go.jp/committee/materials/download/files/g80428a03j.pdf> ~ [g80428a09j.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/materials/download/files/g80428a09j.pdf)
- [4] 原子力安全・保安院：「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」(2008 年 9 月 4 日) http://www.meti.go.jp/press/20080904004/taishin_bc.pdf
- [5] 鈴木篤之原子力安全委員会委員長：「第 7 回耐震安全性評価特別委員会における鈴木委員長あいさつ」(2008 年 9 月 5 日) <http://www.nsc.go.jp/info/080908.pdf>
- [6] 石橋克彦・原田智也：「1995 年 4 月 18 日駿河湾北部の地震 (M4.9) について—プレート間地震が海洋プレート内地震か?—」, 地震, 第 2 輯, 第 61 巻 (2008)
- [7] 中部電力株式会社：「浜岡原子力発電所原子炉設置変更許可申請書 (5 号原子炉の増設) 本文および添付書類」(1997 年 4 月, 1998 年 4 月一部補正)
- [8] 中部電力株式会社：「浜岡原子力発電所 3, 4 号機『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に関する報告のうち敷地周辺・近傍及び敷地の地質敷地周辺海域の地質構造について」(合同 W4-4-2), 総合資源エネルギー調査会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG(第 4 回) 配付資料 (2008 年 2 月 15 日)
- [9] 東京電力株式会社：「柏崎刈羽原子力発電所における平成 19 年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動について」, 総合資源エネルギー調査会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG(第 9 回) 配付資料合同 W9-1-2(2008 年 5 月 22 日)
- [10] 独立行政法人原子力安全基盤機構：「2007 年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所で発生した地震動の分析」, 総合資源エネルギー調査会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG(第 9 回) 配付資料合同 W9-2-1(2008 年 5 月 22 日)
- [11] 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/>
- [12] 中部電力株式会社：「浜岡原子力発電所 3, 4 号機『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』等の改訂に関わる報告のうち 基準地震動 S_s の策定 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の検討のうち プレート間地震の地震動評価 (補足説明) 最近の知見を考慮した場合のプレート間地震の地震動評価への影響について」(合同 W3-3), 総合資源エネルギー調査会 地震・津波, 地質・地盤合同 WG(第 3 回) 配付資料 (2007 年 12 月 25 日)

表 1: 石花海 (せのうみ) 海盆西縁断層帯の断層パラメータ

断層パラメータ		断層モデルで M7.3 とした場合		松田式で M7.4 とした場合	
		A 法 (中部電力)	$S_a/S = 0.22$ 法	A 法	$S_a/S = 0.22$ 法
走向		(北部)N27.9E (南部)N1.0E			
傾斜角 θ		60 °(縦ずれ)			
断層長さ L		34.0 km			
断層幅 $W = \text{深さ} / \sin \theta$		17.32 km			
断層面積 $S = LW$		588.90 km ²			
断層上・下端深さ		5 km・20 km			
破壊開始点		断層下端 2 種類 (北下端・南下端)			
破壊伝播方式		同心円状 (放射状) と推定される			
地震モーメント M_0		1.93 × 10 ¹⁹ N・m		2.39 × 10 ¹⁹	
マグニチュード		M7.3 (中部電: M7.4), M_w 6.8		M7.4, M_w 6.85	
平均すべり量 $D = M_0 / (\mu S)$		0.9 m		1.1	
平均剛性率 $\mu = \rho \beta^2$		3.60 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左	
平均 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 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{3/2}$		3.3 MPa		4.1	
短周期レベル A		1.42 × 10 ¹⁹ N・m/s ²		1.53 × 10 ¹⁹	
F_{\max}		6Hz		同左	
全体 アスペリティ	面積 $S_a = \pi r^2$	156.71 km ²	129.55 km ²	208.28	129.55
	地震モーメント $M_{0a} = \mu D_a S_a$	1.03 × 10 ¹⁹ N・m	8.49 × 10 ¹⁸	1.69 × 10 ¹⁹	1.05 × 10 ¹⁹
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$ [複数アスペリティの式による値] *1	12.4 MPa	14.9 MPa [複数: 19.0]	11.5 *2	18.5 [複数: 23.6]
	平均すべり量 $D_a = 2D$	1.8 m	1.8 m	2.3	2.3
アスペリティ 1	面積 $S_{a1} = (1/3)S_a$	52.24 km ²	43.18 km ²	69.43	43.18
	地震モーメント M_{0a1}	2.68 × 10 ¹⁸ N・m	2.22 × 10 ¹⁸	4.41 × 10 ¹⁸	2.74 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	12.4 MPa	14.9 MPa [複数: 19.0]	11.5	18.5 [複数: 23.6]
	平均すべり量 $D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$	1.4 m	1.4 m	1.8	1.8
アスペリティ 2	面積 $S_{a2} = (2/3)S_a$	104.48 km ²	86.37 km ²	138.86	86.37
	地震モーメント M_{0a2}	7.59 × 10 ¹⁸ N・m	6.27 × 10 ¹⁸	1.25 × 10 ¹⁹	7.76 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	12.4 MPa	14.9 MPa [複数: 19.0]	11.5	18.5 [複数: 23.6]
	平均すべり量 $D_{a2} = M_{0a2} / (\mu S_{a2})$	2.0 m	2.0 m	2.5	2.5
背景領域	地震モーメント $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	9.02 × 10 ¹⁸ N・m	1.08 × 10 ¹⁹	6.99 × 10 ¹⁸	1.34 × 10 ¹⁹
	面積 $S_b = S - S_a$	432.18 km ²	459.33 km ²	380.60	459.33
	平均すべり量 $D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	0.6 m	0.65 m	0.5	0.8
	実効応力 $\sigma_b = 0.2\sigma_a$	2.9 MPa	3.0 MPa [複数: 3.8]	2.2	3.7 [複数: 4.7]

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。中部電力は「A 法」を用いているが、地震の規模が大きくなると、上表のように、アスペリティ面積が 26.6% と高めになるため、「 $S_a/S = 0.22$ 法」と比べて平均応力降下量の値が小さくなる。中部電力は耐専スペクトルによる評価では活断層の長さから松田式で求めた気象庁マグニチュードを用いているが、断層モデルのパラメータの表にその値を記載し、断層モデルでこれに対応する地震モーメントを用いているかのような錯覚を与えている。

*1: 複数アスペリティを考慮した入倉の式によれば、 $\Delta\sigma_a = \frac{\xi \Delta\sigma}{\sqrt{\gamma_s} \sum_{i=1}^{N_a} (S_{ai}/S_a)}$ 、 $\sigma_b = 0.2\sigma_a = 0.2\Delta\sigma_a$ になる。ただし、 $\xi = D_a/D = 2$ 、 $\gamma_s = S_a/S = 0.22$ 、 $S_{a1} : S_{a2} = 1 : 2$ 、 $N_a = 2$ である。

*2: 「松田式で M7.4 とした場合」にはアスペリティ総面積が 35.4% に大きくなるため、アスペリティの平均応力降下量が 11.5MPa と小さくなる。このように「A 法」では地震規模が大きくなると応力降下量が小さくなるという問題点があるため、レシピでは地震規模が大きい場合には「 $S_a/S = 0.22$ 法」を使うように推奨している。

表 2: A21 背斜以南の背斜構造を含む石花海（せのうみ）海盆西縁断層帯の断層パラメータ

断層パラメータ		断層モデルで M7.6 とした場合		松田式で M8.0 とした場合	
		A 法 (中部電力)	$S_a/S = 0.22$ 法	A 法	$S_a/S = 0.22$ 法
走向		石花海海盆 (断面 1)N27.9E (断面 2)N1.0E 背斜構造 (断面 3)N350.8E (断面 4)N15.2E			
傾斜角 θ		60 °(縦ずれ)			
断層長さ L		76.90 km			
断層幅 $W = \text{深さ} / \sin \theta$		10.98 km (2.5 ~ 18.0km で、断層形状による平均)			
断層面積 $S = LW$		844.38 km ²			
断層上・下端深さ		5 km・7.2 ~ 20.6 km			
破壊開始点		断層下端 1 種類 (断面 2 北下端)			
破壊伝播方式		同心円状 (放射状) と推定される			
地震モーメント M_0		3.97 × 10 ¹⁹ N・m		1.20 × 10 ²⁰	
マグニチュード		M7.6, M _w 7.0		M8.0, M _w 7.3	
平均すべり量 $D = M_0 / (\mu S)$		1.420 m		4.305	
平均剛性率 $\mu = \rho \beta^2$		3.31 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左	
平均 S 波速度 V_s (または β)		3.5 km/s		同左	
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$		2.52 km/s		同左	
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{3/2}$		3.94 MPa		11.9	
短周期レベル A		1.81 × 10 ¹⁹ N・m/s ²		2.62 × 10 ¹⁹	
F_{\max}		6Hz		同左	
アスベリティ全体	面積 $S_a = \pi r^2$	255.27 km ²	185.76 km ²	1119.97 *2	185.76
	地震モーメント $M_{0a} = \mu D_a S_a$	2.40 × 10 ¹⁹ N・m	1.75 × 10 ¹⁹	—	5.29 × 10 ¹⁹
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$ [複数アスベリティの式による値] *1	13.03 MPa	17.9 MPa [複数: 30.9]	—	54.3 [複数: 93.8]
	平均すべり量 $D_a = 2D$	2.840 m	2.840 m	—	8.610
背景領域	地震モーメント $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	1.57 × 10 ¹⁹ N・m	2.22 × 10 ¹⁹	—	6.73 × 10 ¹⁹
	面積 $S_b = S - S_a$	589.11 km ²	658.62 km ²	—	658.62
	平均すべり量 $D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	0.805 m	1.020 m	—	3.091
	実効応力 $\sigma_b = 0.2\sigma_a$	2.6 MPa	3.6 MPa [複数: 6.2]	—	10.9 [複数: 18.8]

注：専門委員の指摘に基づき、想定東海・東南海・南海地震に「A21 背斜以南の背斜構造を含む石花海海盆断層帯」を連動させた場合を検討するため、中部電力が総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ（第 7 回：2008 年 4 月 28 日）で報告した断層モデルであり、バックチェック報告書には記載されていない。破壊開始点は、想定東海・東南海・南海地震 = プレート境界地震による破壊が石花海海盆断層帯（断面 2 北下端）に伝播してから破壊が始まると仮定されているため、1 箇所を設定されている。この断層帯単独での断層モデルによる地震動評価は行われておらず、耐震スペクトルによる評価も行われていない。

「A 法」とは短周期レベルからアスベリティ総面積を求める方法で、「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスベリティ総面積を断層面積の 22 % に固定する方法である。中部電力は「A 法」を用いているが、上表のように、地震の規模が大きいとアスベリティ面積が 30.2 % と高めになるため、「 $S_a/S = 0.22$ 法」と比べて平均応力降下量の値が小さくなる。他方、入倉式では平均断層幅を 16.6km としているが、本断層の幅は 2.5 ~ 18km で平均 10.98km と非常に狭い。断層面積が小さいため、断層平均の応力降下量が 11.9MPa と大きくなり、アスベリティの平均応力降下量も 54.3MPa と大きくなっている。

*1：複数アスベリティを考慮した入倉の式によれば、 $\Delta\sigma_a = \frac{\xi \Delta\sigma}{\sqrt{\gamma_s} \sum_{i=1}^{N_a} (S_{ai}/S_a)}$ 、 $\sigma_b = 0.2\sigma_a = 0.2\Delta\sigma_a$ になる。ただし、 $\xi = D_a/D = 2$ 、 $\gamma_s = S_a/S = 0.22$ 、 $S_{a1} : S_{a2} : S_{a3} : S_{a4} = 41.29 : 82.59 : 41.25 : 20.63$ 、 $N_a = 4$ である。4 つのアスベリティになるため、M8.0 の場合では応力降下量が過大になりすぎる（M8.0 の場合はあくまで参考値である）。

*2：「松田式で M8.0 とした場合」には断層幅の小さい本断層帯ではアスベリティ総面積が断層面積と比べて過大になりすぎるため（ $S_a/S = 1.33$ ）、これ以上の計算は無意味になる。このように「A 法」では地震規模が大きくなるとアスベリティ総面積が過大になったり、応力降下量が小さくなったりするという問題点があるため、レシピでは地震規模が大きい場合には「 $S_a/S = 0.22$ 法」を使うように推奨している。

表 3: A21 背斜以南の背斜構造を含む石花海（せのうみ）海盆西縁断層帯（表 2）における「断層モデルで M7.6 とした場合」の各セグメントの断層パラメータ

断層パラメータ		石花海海盆西縁断層帯		A21 背斜以南の背斜構造	
		A 法 (中部電力)	$S_a/S = 0.22$ 法	A 法	$S_a/S = 0.22$ 法
走向		(断面 1) N27.9E (断面 2) N 1.0E		(断面 3) N350.8E (断面 4) N 15.2E	
傾斜角 θ_i		60 °(縦ずれ)		60 °(縦ずれ)	
断層長さ L_i		34.00 km		42.90 km	
断層幅 $W_i = \text{深さ} / \sin \theta_i$		16.56 km (13.5 ~ 18.0km)		6.56 km (2.5 ~ 12.5km)	
断層面積 $S_i = L_i W_i$		563.10 km ²		281.28 km ²	
断層上・下端深さ		5 km・16.7 ~ 20.6 km		5 km・7.2 ~ 15.8 km	
地震モーメント M_{0i}		2.93×10^{19} N・m		1.03×10^{19}	
平均すべり量 $D_i = M_{0i}/(\mu S_i)$		1.574 m		1.112	
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{3/2}$		3.94 MPa		3.94 (全セグメント同一)	
短周期レベル A_i		1.48×10^{19} N・m/s ²		1.04×10^{19}	
F_{\max}		6Hz		同左	
アスペリティ	面積 $S_{ia} = \pi r^2$	170.23 km ²	123.88	85.03	61.88
	地震モーメント $M_{0ia} = \mu D_{ia} S_{ia}$	1.77×10^{19} N・m	1.29×10^{19}	6.26×10^{18}	4.55×10^{18}
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$ [複数アスペリティの式による値]*1	13.03 MPa	17.9 MPa [複数：30.9]	13.03	17.9 [複数：30.9]
	平均すべり量 $D_{ia} = 2D_i$	3.148 m	3.148 m	2.225	2.225
アスペリティ 1	面積 $S_{ia1} = (2/3)S_{ia}$	113.49 km ²	82.59 km ²	56.69	41.25
	地震モーメント M_{0ia1}	1.31×10^{19} N・m	9.53×10^{18}	4.62×10^{18}	3.36×10^{18}
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	13.03 MPa	17.9 MPa [複数：30.9]	13.03	17.9 [複数：30.9]
	平均すべり量 $D_{ia1} = M_{0a1}/(\mu S_{a1})$	3.488 m	3.488 m	2.465	2.465
アスペリティ 2	面積 $S_{ia2} = (1/3)S_{ia}$	56.74 km ²	41.29 km ²	28.34	20.63
	地震モーメント M_{0ia2}	4.63×10^{18} N・m	3.37×10^{18}	1.63×10^{18}	1.19×10^{18}
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	13.03 MPa	17.9 MPa [複数：30.9]	13.03	17.9 [複数：30.9]
	平均すべり量 $D_{ia2} = M_{0a2}/(\mu S_{a2})$	2.466 m	2.466 m	1.743	1.743
背景領域	地震モーメント $M_{0ib} = M_{0i} - M_{0ia}$	1.16×10^{19} N・m	1.64×10^{19}	4.09×10^{18}	5.79×10^{18}
	面積 $S_{ib} = S_i - S_{ia}$	392.87 km ²	439.22 km ²	196.24	219.40
	平均すべり量 $D_{ib} = M_{0ib}/(\mu S_{ib})$	0.892 m	1.130 m	0.630	0.799
	実効応力 $\sigma_{ib} = 0.2\sigma_{ia}$	2.6 MPa	3.6 MPa [複数：6.2]	2.6	3.6 [複数：6.2]

注：専門委員の指摘に基づき、想定東海・東南海・南海地震に「A21 背斜以南の背斜構造を含む石花海海盆断層帯」を連動させた場合を検討するため、中部電力が総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ（第 7 回：2008 年 4 月 28 日）で報告した断層モデルであり、バックチェック報告書には記載されていない。表 2 の「断層モデルで M7.6 とした場合」のセグメントごとの断層パラメータである。各セグメントへの地震モーメント M_0 の配分は $S_i^{3/2}$, $i = 1, 2$, の割合により, $M_{0i} = M_0 S_{ia}^{3/2} / \sum_{k=1}^2 S_{ka}^{3/2}$ で比例配分している。各セグメントでアスペリティ面積を 2:1 に分けて大きい方をアスペリティ 1 としているため、表 2 の断面とアスペリティの対応関係は、断面 1（石花海海盆：アスペリティ 2）、断面 2（石花海海盆：アスペリティ 1）、断面 3（背斜構造：アスペリティ 1）、断面 4（背斜構造：アスペリティ 2）となる。

「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。中部電力は「A 法」を用いているが、上表のように、アスペリティ面積が 30.2% と高めになるため、「 $S_a/S = 0.22$ 法」と比べて平均応力降下量の値が小さくなる。

*1：複数アスペリティを考慮した入倉の式によれば、 $\Delta\sigma_a = \frac{\xi \Delta\sigma}{\sqrt{\gamma_s \sum_{i=1}^{N_a} (S_{ai}/S_a)}}$, $\sigma_b = 0.2\sigma_a = 0.2\Delta\sigma_a$ になる。ただし、 $\xi = D_a/D = 2$, $\gamma_s = S_a/S = 0.22$, $S_{a1} : S_{a2} : S_{a3} : S_{a4} = 41.29 : 82.59 : 41.25 : 20.63$, $N_a = 4$ である。

表 4: 御前崎海脚東部の断層帯の断層パラメータ

断層パラメータ		断層モデルで M7.0 とした場合		D 固定で M7.6 とした場合		
		A 法	$S_a/S = 0.22$ 法	中部電力	$S_a/S = 0.22$ 法	
走向	(断面 1)N332.6E (断面 2)N350.8E (断面 3)N15.2E					
傾斜角 θ	60 °(縦ずれ)					
断層長さ L	54.2 km					
断層幅 $W = \text{深さ} / \sin \theta$	8.04 km (2.5 ~ 16.1km で、断層形状による平均)					
断層面積 $S = LW$	436 km ²					
断層上・下端深さ	5 km・8.0 ~ 18.9 km					
破壊開始点	断層下端 1 種類 (断面 1 北下端)					
破壊伝播方式	同心円状 (放射状) と推定される					
地震モーメント M_0	8.65 × 10 ¹⁸ N・m		3.60 × 10 ¹⁹ N・m			
マグニチュード	M7.0, M_w 6.6		M7.6, M_w 7.0			
平均すべり量 $D = M_0 / (\mu S)$	0.60 m		2.5 m ^{*1}			
平均剛性率 $\mu = \rho \beta^2$	3.31 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左			
平均 S 波速度 V_s (または β)	3.50 km/s		同左			
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$	2.52 km/s		同左			
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{3/2}$	2.3 MPa		3.1 MPa ^{*2}	9.65 MPa		
短周期レベル A	1.09 × 10 ¹⁹ N・m/s ²		1.75 × 10 ¹⁹ N・m/s ²			
F_{\max}	6Hz		同左			
アスベリティ	面積 $S_a = \pi r^2$	64.9 km ²	95.9 km ²	96 km ²		
	地震モーメント $M_{0a} = \mu D_a S_a$	2.58 × 10 ¹⁸ N・m	3.82 × 10 ¹⁸	1.58 × 10 ¹⁹ N・m		
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	15.6 MPa	10.5 MPa	14.1 MPa	43.85 MPa	
	平均すべり量 $D_a = 2D$	1.2 m	1.2 m	5.0 m ^{*1}		
背景領域	地震モーメント $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	6.06 × 10 ¹⁸ N・m	4.82 × 10 ¹⁸	2.02 × 10 ¹⁹ N・m		
	面積 $S_b = S - S_a$	371.1 km ²	340.1 km ²	340 km ²		
	平均すべり量 $D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	0.49 m	0.43 m	1.8 m		
	実効応力 $\sigma_b = 0.2\sigma_a$	3.1 MPa	2.1 MPa	2.8 MPa	8.8 MPa	

注：バックチェック報告書で「想定東海・東南海・南海地震（御前崎台地の変動地形に関する断層を付加）」として考慮していた：「敷地近傍付近の御前崎台地には、第四系の御前崎面に変位を与えているリニアメントが認められ、御前崎面に見られる傾斜に伴って副次的に生じたものか、プレート間地震に伴うお付き合い断層として受動的に活動している可能性が高いと考えられる。一方、御前崎台地北東沖に推定される背斜状構造については、本構造と調和的な断層は確認されていないが、この地域における顕著な変動地形と推定されることなどから、御前崎台地北東沖の駿河湾岸沿いに断層（以下「御前崎台地の変動地形に関連する断層」という。）が存在するものと想定する。」（報告書別冊 p.II-3[1]）専門委員の指摘に基づき、当初は長さ 20km、面積 244km²、 $M_0 = 2.01 \times 10^{19}$ N・m、 M_w 6.8、平均応力降下量 12.9MPa の一様断層（アスベリティなし）としていたが、中部電力が「御前崎海脚東部の断層帯」として再評価し、総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波・地質・地盤合同ワーキンググループ（第 7 回：2008 年 4 月 28 日）で報告した。破壊開始点は、想定東海・東南海・南海地震 = プレート境界地震による破壊が御前崎海脚東部の断層帯（断面 1 北下端）に伝播してから破壊が始まると仮定されているため、1 箇所に設定されている。

「A 法」とは短周期レベルからアスベリティ総面積を求める方法で、「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスベリティ総面積を断層面積の 22% に固定する方法である。中部電力はアスベリティの平均すべり量を 5m と仮定し、応力降下量を 3.1MPa と仮定したうえで、「 $S_a/S = 0.22$ 法」を用いている。参考のため、アスベリティの平均すべり量を 5m と仮定するが、応力降下量を 3.1MPa とは仮定しない場合の「 $S_a/S = 0.22$ 法」による結果を最右欄に示す。

*1：御前崎完新世段丘の形成に関する地形変形シミュレーションからアスベリティの平均すべり量を 5m と仮定している。入倉式で断層面積から地震モーメントを求め、アスベリティの平均すべり量を求めると、上表左欄のように、1.2m にしかならない。そこで、中部電力はアスベリティの平均すべり量を 5.0m と仮定して、これに合うように地震モーメントを断層面積とは関係なく 4 倍以上に増やし、結果として、断層面積から入倉式で推定される地震規模 = M7.0 から M7.6 へ大幅に大きく評価したことになる。

*2：地震調査研究推進本部地震調査委員会（2006）のレシピによる長大な断層に対する値 3.1MPa を用いている。この値は Fujii and Matsu'ura(2000) が内陸の長大な横ずれ断層に対して、 $M_0 = \frac{WL^2}{aL+b} \Delta\sigma$ の関係が成り立つと仮定し、しかも、断層幅 $W = 15$ km、 $a = 0.014$ 、 $b = 1.0$ と仮定し、収集した観測データで回帰計算したものであり、縦ずれの逆断層で平均断層幅が 8km と狭い御前崎海脚東部断層帯に対して妥当かどうかは疑問である。上表最右欄のように、アスベリティ平均すべり量 $D = 2$ m となる断層の平均応力降下量は入倉式によっても 9.65MPa と 3 倍以上になり、アスベリティの応力降下量は 40MPa を超える。安全のためには、このような場合を想定した計算をすべきであろう。

表 5: 御前崎海脚西部の断層帯の断層パラメータ

断層パラメータ		断層モデルで M7.1 とした場合		松田式で M7.4 とした場合	
		A 法 (中部電力)	$S_a/S = 0.22$ 法	A 法	$S_a/S = 0.22$ 法
走向		N185.1E			
傾斜角 θ		60 °(縦ずれ)			
断層長さ L		35.0 km			
断層幅 $W = \text{深さ} / \sin \theta$		12.12 km (12.7 ~ 23.1km で, 断層形状による平均)			
断層面積 $S = LW$		424.34 km ²			
断層上・下端深さ		5 km・11 ~ 20 km			
破壊開始点		断層下端 2 種類 (北下端・南下端)			
破壊伝播方式		同心円状 (放射状) と推定される			
地震モーメント M_0		1.00 × 10 ¹⁹ N・m		2.39 × 10 ¹⁹	
マグニチュード		M7.1, M_w 6.6		M7.4, M_w 6.9	
平均すべり量 $D = M_0 / (\mu S)$		0.7 m		1.7	
平均剛性率 $\mu = \rho \beta^2$		3.31 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左	
平均 S 波速度 V_s (または β)		3.5 km/s		同左	
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72V_s$		2.52 km/s		同左	
平均応力降下量 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{3/2}$		2.8 MPa		6.7	
短周期レベル A		1.14 × 10 ¹⁹ N・m/s ²		1.53 × 10 ¹⁹	
F_{\max}		6Hz		同左	
アスぺリティ	面積 $S_a = \pi r^2$	81.09 km ²	93.35 km ²	258.24 *1	93.35
	地震モーメント $M_{0a} = \mu D_a S_a$	3.83 × 10 ¹⁸ N・m	4.41 × 10 ¹⁸	—	1.05 × 10 ¹⁹
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	14.6 MPa	12.7 MPa	—	30.2
	平均すべり量 $D_a = 2D$	1.4 m	1.4 m	—	3.4
背景領域	地震モーメント $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	6.19 × 10 ¹⁸ N・m	5.61 × 10 ¹⁸	—	1.34 × 10 ¹⁹
	面積 $S_b = S - S_a$	343.25 km ²	330.99 km ²	—	330.99
	平均すべり量 $D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	0.5 m	0.5 m	—	1.2
	実効応力 $\sigma_b = 0.2\sigma_a$	2.9 MPa	2.5 MPa	—	6.0

注：専門委員の指摘に基づき、御前崎台地の変動地形に関連する断層から海脚に延長する背斜(御前崎海脚東部)の西にあるもう一つの背斜構造(御前崎海脚西部)について活動性を中部電力が再検討した結果、総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ(第7回:2008年4月28日)で報告した断層モデルであり、バックチェック報告書には「御前崎南方海域の断層(16.2km, M6.9)」として記載していたのを延長したことになる。中部電力は、御前崎海脚西部の断層帯を単独で評価すると同時に、念のため、御前崎海脚東部と同様、想定東海・東南海・南海地震に連動させた場合も検討している。ただし、御前崎海脚東部の断層帯については単独での評価はしていない。破壊開始点は、御前崎海脚西部の断層帯を単独で評価する際には北下端と南下端の2カ所を設定し、想定東海・東南海・南海地震と連動させる際にはプレート境界地震による破壊が御前崎海脚西部の断層帯(北下端)に伝播してから破壊が始まると仮定している。

御前崎海脚西部の断層帯を耐震スペクトルで評価する際には断層長さから M7.4 とするのではなく、断層モデルによる M7.1 を用いている。バックチェック報告では「御前崎南方海域の断層」として断層長さ 16.2km から松田式で M6.9 としていたが、審議会の議論で 35km へ延びると、「プレート境界との関連で地震発生層が薄くなるため、マグニチュード (Mj) は断層面積から Somerville et al.(1999), 入倉・三宅 (2001) 及び武村 (1990) により地震モーメントを介して算定した」(表 3.2 の注「2」p.30, 合同 W7-1-1[1]) と用いる式をかえている。バックチェック報告書の当初の「御前崎南方海域の断層(16.2km, M6.9)」では松田式を用い、表 1 の石花海盆西縁の断層帯でも耐震スペクトルを求める際には活断層の長さから得た松田式の M7.4 を用いているのとは対照的である。審議会で活断層の長さを延ばさざるを得なくなると松田式から入倉式へ乗り換えるという使い分けをしている。これを「卑劣なご都合主義」と言わずして何と言うべきか。

「A 法」とは短周期レベルからアスぺリティ総面積を求める方法で、「 $S_a/S = 0.22$ 法」とはアスぺリティ総面積を断層面積の 22% に固定する方法である。中部電力は「A 法」を用いており、上表のように、アスぺリティ面積が 19.1% と 22.0% より小さいため、この場合は「 $S_a/S = 0.22$ 法」より平均応力降下量の値が大きくなる。

*1:「松田式で M7.4 とした場合」には断層幅の小さい本断層帯ではアスぺリティ総面積が断層と比べて過大になり ($S_a/S = 0.61$)、地震モーメントが $M_0 = 2.91 \times 10^{19}$ となって断層全体の M_0 を超えるため、これ以上の計算は無意味になる。

表 6: 遠州断層系による地震の断層パラメータ

断層パラメータ	断層モデルで M8.4 とした場合		松田式で M8.6 とした場合		
	$S_a/S = 0.22$ 法	中部電力	$S_a/S = 0.22$ 法	改訂レシピ	
走向	(断面 1)N66.9E (断面 2)N62.8E (断面 3)N44.0E				
傾斜角 θ	90 °(右横ずれ)				
断層長さ L	179.1 km		184.1 km		
断層幅 W	15 km		17 km		
断層面積 $S = LW$ (S_1 :断面 1, S_2 :断面 2, S_3 :断面 3)	2686.5 km ² (649.5 km ² , 1362.0 km ² , 673.5 km ²)		3129.7 km ² (増分比例配分)		
断層上・下端深さ	5 km・20 km				
破壊開始点	断層下端 1 種類 (断面 1 南下端)				
破壊伝播方式	同心円状 (放射状) と推定される				
地震モーメント M_0	4.01 × 10 ²⁰ N・m		6.05 × 10 ²⁰ N・m		
M_{01} (断面 1)	7.88 × 10 ¹⁹	7.77 × 10 ¹⁹	1.19 × 10 ²⁰	1.19 × 10 ²⁰	
M_{02} (断面 2)	2.39 × 10 ²⁰	2.41 × 10 ²⁰	3.61 × 10 ²⁰	3.61 × 10 ²⁰	
M_{03} (断面 3)	8.32 × 10 ¹⁹	8.23 × 10 ¹⁹	1.26 × 10 ²⁰	1.26 × 10 ²⁰	
マグニチュード	M8.4, M_w 7.7		M8.6, M_w 7.8		
平均すべり量 $D = M_0/(\mu S)$	4.150 m		6.258 m		
$D_1 = M_{01}/(\mu S_1)$ (断面 1)	3.371	3.320	5.082	4.360	
$D_2 = M_{02}/(\mu S_2)$ (断面 2)	4.881	4.924	7.360	6.314	
$D_3 = M_{03}/(\mu S_3)$ (断面 3)	3.432	3.395	5.176	4.440	
平均剛性率 $\mu = \rho\beta^2$	3.60 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左		
平均 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 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{3/2}$	7.0 MPa	3.1 MPa	10.6 MPa	8.42 MPa	
短周期レベル A	3.91 × 10 ¹⁹ N・m/s ²		4.48 × 10 ¹⁹ N・m/s ²		
F_{\max}	6Hz		同左		
アスペリティ (断面 1)	面積 S_{1a}	142.9 km ²		142.9 km ²	166.6 km ²
	地震モーメント $M_{01a} = \mu D_{1a} S_{1a}$	3.47 × 10 ¹⁹ N・m	3.42 × 10 ¹⁹	5.23 × 10 ¹⁹ N・m	
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	31.93 MPa	14.09 MPa	48.14 MPa	38.28 MPa
	平均すべり量 $D_{1a} = 2D$	6.74 m	6.64 m	10.17 m	8.72 m
アスペリティ (断面 2)	面積 S_{2a}	299.6 km ²		299.6 km ²	349.3 km ²
	地震モーメント $M_{02a} = \mu D_{2a} S_{2a}$	1.05 × 10 ²⁰ N・m	1.06 × 10 ²⁰	1.59 × 10 ²⁰ N・m	
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	31.93 MPa	14.09 MPa	48.14 MPa	38.28 MPa
	平均すべり量 $D_{2a} = 2D$	9.762 m	9.847 m	14.72 m	12.63 m
アスペリティ (断面 3)	面積 S_{3a}	148.2 km ²		148.2 km ²	172.7 km ²
	地震モーメント $M_{03a} = \mu D_{3a} S_{3a}$	3.66 × 10 ¹⁹ N・m	3.62 × 10 ¹⁹	5.52 × 10 ¹⁹ N・m	
	応力降下量 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	31.93 MPa	14.09 MPa	48.14 MPa	38.28 MPa
	平均すべり量 $D_{3a} = 2D$	6.865 m	6.791 m	10.35 m	8.88 m
背景領域	地震モーメント $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	2.25 × 10 ²⁰ N・m	2.24 × 10 ²⁰	3.39 × 10 ²⁰ N・m	
	面積 $S_b = S - S_a$	2094.3 km ²		2094.3 km ²	2441.2 km ²
	平均すべり量 $D_b = M_{0b}/(\mu S_b)$	2.981 m	2.975 m	4.495 m	3.856 m
	実効応力 $\sigma_b = 0.2\sigma_a$	6.39 MPa	2.82 MPa	9.63 MPa	7.66 MPa

注: バックチェック報告書では「遠州断層系 (151km, M8.5:松田式)」と評価されていたが、専門委員の指摘に基づき、敷地近くへ 28km ほど延ばされて 179.1km になり、想定東海・東南海・南海地震との連動も前掲の合同 WG(第 7 回) で検討された。しかし、長大な断層であるため、マグニチュード (Mj) は断層面積から入倉・三宅 (2001) 及び武村 (1990) により地震モーメントを介して M8.4 と小さく算定された。しかも、この耐専スペクトルは「武村 (1990) のデータベースの範囲 (最大マグニチュードは Mj8.0) 外であるため、参考値」(表 3.2 の注「 3」p.30, 合同 W7-1-1[1]) 扱いにされた。中部電力は「 $S_a/S = 0.22$ 法」で評価しているが、応力降下量を 3.1MPa に固定している (表 4 下欄 *2 の注記参照)。引用者による「改訂レシピ」適用ケースでは地震モーメントに合わせて断層面積をやや大きくしている。

表 7: 富士川河口断層帯の断層パラメータ

断層パラメータ		断層モデルで M6.5 とした場合		D 固定で M7.6	松田式で M7.2
		A 法	$S_a/S = 0.22$ 法	中部電力	$S_a/S = 0.22$ 法
走向		N184.8E			
傾斜角 θ		60 °(縦ずれ)			
断層長さ L		27.5 km			
断層幅 $W = 深さ / \sin \theta$		5.77 km			
断層面積 $S = LW$		159 km ²			
断層上・下端深さ		5 km・10.0 km			
破壊開始点		断層下端 1 種類 (断面南下端)			
破壊伝播方式		同心円状 (放射状) と推定される			
地震モーメント M_0		1.90 × 10 ¹⁸ N・m		3.78 × 10 ¹⁹	1.39 × 10 ¹⁹
マグニチュード		M6.5, M_w 6.1		M7.6, M_w 7.0	M7.2, M_w 6.7
平均すべり量 $D = M_0 / (\mu S)$		0.35 m		7.0 m *1	2.6 m
平均剛性率 $\mu = \rho \beta^2$		3.40 × 10 ¹⁰ N/m ²		同左	同左
平均 S 波速度 V_s (または β)		3.50 km/s		同左	同左
平均破壊伝播速度 $V_r = 0.72 V_s$		2.52 km/s		同左	同左
平均応力降下量 $\Delta \sigma = (7/16) M_0 (\pi/S)^{3/2}$		2.3 MPa		46.0 MPa	17.0 MPa
短周期レベル A		6.58 × 10 ¹⁸ N・m/s ²		1.78 × 10 ¹⁹	1.28 × 10 ¹⁹
F_{max}		6Hz		同左	同左
アスぺリティ	面積 $S_a = \pi r^2$	23.6 km ²	34.9 km ²	断層全体が 背景領域 (一様断層)	34.9 km ²
	地震モーメント $M_{0a} = \mu D_a S_a$	5.68 × 10 ¹⁷ N・m	8.39 × 10 ¹⁷		6.16 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta \sigma_a = (S/S_a) \Delta \sigma$	15.6 MPa	10.5 MPa		77.2 MPa
	平均すべり量 $D_a = 2D$	0.7 m	0.7 m		5.2 m
背景領域	地震モーメント $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	1.33 × 10 ¹⁸ N・m	1.06 × 10 ¹⁸	3.78 × 10 ¹⁹	7.77 × 10 ¹⁸
	面積 $S_b = S - S_a$	135.1 km ²	123.8 km ²	159 km ²	123.8 km ²
	平均すべり量 $D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	0.29 m	0.25 m	7.0 m	1.8 m
	実効応力 $\sigma_b = 0.2 \sigma_a$	3.1 MPa	2.1 MPa	46.0 MPa	15.4 MPa

注：バックチェック報告では富士川河口断層帯を検討用地震選定のための内陸地殻内地震として考慮し、「フィリピン海プレートと西南日本を乗せた陸側プレート境界をなす断層帯と位置付けられている。本断層帯の平均変位速度は少なくとも 7m/千年, 平均活動間隔は千数百年で, 最新活動時期は千年以上前であった可能性が高く, 地震時の変位量は 7m 程度またはそれ以上と推定されており, その場合, 地震規模は M8 程度 (M8 ± 0.5), 震源域は駿河湾内にまで及ぶと考えられるとし, 30 年以内の地震発生確率を 0.2 ~ 11 %としている。」(報告書 p.II-9[1]) との評価に基づき, 「想定東海・東南海・南海地震 (富士川河口断層帯を付加)」(p.II-38[1]) として考慮していた。専門委員の指摘に基づき, 中部電力が総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 耐震・構造設計小委員会 地震・津波・地質・地盤合同ワーキンググループ (第 1 回: 2007 年 10 月 12 日および第 7 回: 2008 年 4 月 28 日, 内容は同じ) でその詳細を報告したが評価は変えていない。地震調査研究推進本部地震調査委員会が約 20km とし, 北方へは延びていないと推測されるが, 中田・今泉 (2002) の見解 (北方に活断層有) をとり入れて一連の 27.5km としたと説明している。破壊開始点は, 想定東海・東南海・南海地震 = プレート境界地震による破壊が富士川河口断層帯 (南下端) に伝播してから破壊が始まると仮定されているため, 1 箇所に設定されている。

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

*1: 中部電力は断層全体の平均すべり量を 7.0m と仮定し, 地震モーメント M_0 を断層面積 S との関係式 ($S = 2.23 \times 10^{-15} M_0^{2/3}$ ($S < 291 \text{km}^2$) または $S = 4.24 \times 10^{-11} M_0^{1/2}$ ($S \geq 291 \text{km}^2$), ただし, M_0 [dyn-cm]) から求めず, 平均すべり量 D から $M_0 = \mu D S$ で求めているため, M7.6 の規模になり, 断層全体の平均応力降下量も 46.0MPa と大きくなっている。しかし, アスぺリティについては「A 法」も「 $S_a/S = 0.22$ 法」も使っておらず, 「全面が内陸地殻内地震のアスぺリティに相当するすべり量と応力降下量をもつ一様断層」(報告書 p.II-75[1]) とし, 事実上, 断層全体を背景領域と見なしているため, $S_a/S = 0$ となる。断層全体をアスぺリティ見なした場合には, $S_a/S = 1$ となるが, アスぺリティの平均すべり量は 2 倍の 17m になる (平均応力降下量は $\Delta \sigma_a = (S/S_a) \Delta \sigma = 46.0 \text{MPa}$ で変わらない)。

表 8: 想定東海地震（または「仮想的東海地震」）と新知見検討モデルの断層パラメータ

断層パラメータ	中央防災会議 (中部電力)	新知見検討モデル			
		アスペリティモデル (中部電力)		クラックモデル を適用した場合	
		$\Delta\sigma = 3.5\text{MPa}$			
断層面積 $S = LW$		9409 km ²			
敷地～プレート境界面の距離	約 19km	約 14km			
地震モーメント $M_0 = (16/7)(S/\pi)^{3/2}\Delta\sigma$	1.10×10^{21}	1.10×10^{21}	1.28×10^{21}	1.10×10^{21}	
マグニチュード	M _w 8.0 (7.96)	M _w 8.0 (7.96)	M _w 8.0 (8.00)	M _w 8.0 (7.96)	
平均すべり量 $D = M_0/(\mu S)$	2.85 m	2.84 m	3.31 m	2.84 m	
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (固定)	3.0 MPa	3.0 MPa	3.5 MPa	3.0 MPa	
アスペリティ 全体	面積 S_a	2925 km ²	1788 km ²	1788 km ²	
	地震モーメント $M_{0a} = \mu D_a S_a$	6.26×10^{20} N·m	4.16×10^{20}	4.86×10^{20}	
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	21.4 MPa	16 MPa	18.4MPa	
	平均すべり量 D_a	5.22 m (固定)	5.68m	6.62 m	
アスペリティ 9 (9-1)	面積 S_{1a1}	1087 km ²	946 km ²	946 km ²	
	地震モーメント M_{01a1}	3.07×10^{20} N·m	2.61×10^{20}	3.05×10^{20}	
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	21.4 MPa	16 MPa	18.4MPa	
	平均すべり量 $D_{1a1} = M_{01a1}/(\mu S_{1a1})$	6.89 m	6.73m	7.86 m	
アスペリティ 9 (9-2)	面積 S_{1a2}	536 km ²	アスペリティモデルの式 $\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$ $D_a = 2D$		
	地震モーメント M_{01a2}	1.06×10^{20} N·m			
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	21.4 MPa			
	平均すべり量 $D_{1a2} = M_{01a2}/(\mu S_{1a2})$	4.84 m			
アスペリティ 10 (10-1)	面積 S_{2a1}	529 km ²	421 km ²	421 km ²	421 km ²
	地震モーメント M_{02a1}	1.04×10^{20} N·m	7.74×10^{19}	9.03×10^{19}	7.16×10^{19}
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	21.4 MPa	16 MPa	18.4 MPa	20.7 MPa
	平均すべり量 $D_{2a1} = M_{02a1}/(\mu S_{2a1})$	4.81 m	4.49 m	5.24 m	4.15 m
アスペリティ 10 (10-2)	面積 S_{2a2}	254 km ²	クラックモデルの式 $\Delta\sigma_a = (7/16)\pi^{3/2}M_{0a}/\sum_{k=1}^{N_a} S_{ak}^{3/2}$ $D_a = \text{固定}$		
	地震モーメント M_{02a2}	3.47×10^{19} N·m			
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	21.4 MPa			
	平均すべり量 $D_{2a2} = M_{02a2}/(\mu S_{2a2})$	3.33 m			
アスペリティ 11 (11-1)	面積 S_{3a1}	344 km ²	421 km ²	421 km ²	421 km ²
	地震モーメント M_{03a1}	5.47×10^{19} N·m	7.74×10^{19}	9.03×10^{19}	7.16×10^{19}
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	21.4 MPa	16 MPa	18.4 MPa	20.7 MPa
	平均すべり量 $D_{3a1} = M_{03a1}/(\mu S_{3a1})$	3.88 m	4.49 m	5.24 m	4.15 m
アスペリティ 11 (11-2)	面積 S_{3a2}	175 km ²	両モデルとも, M_{0iaj} は M_{0a} を $S_{iaj}^{3/2}$ に比例して配分		
	地震モーメント M_{03a2}	1.98×10^{19} N·m			
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$	21.4 MPa			
	平均すべり量 $D_{3a2} = M_{03a2}/(\mu S_{3a2})$	2.77 m			
背景領域	地震モーメント $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	4.73×10^{20} N·m	6.79×10^{20}	7.92×10^{20}	7.10×10^{20}
	面積 $S_b = S - S_a$	6484km ²	7621 km ²	7621 km ²	7621 km ²
	平均すべり量 $D_b = M_{0b}/(\mu S_b)$	1.78 m	2.17 m	2.54 m	2.27 m
	実効応力 σ_b	2.3 MPa	2.6 MPa	3.0 MPa	2.7 MPa

注：新知見検討モデルは、専門委員の指摘に基づき中部電力が前掲の合同 WG(第 7 回) で報告したもので、バックチェック報告には掲載されていない。中央防災会議はクラックモデルを用いており、断層全体の関係式 $\Delta\sigma = (7/16)M_0(\pi/S)^{3/2}$ が各アスペリティでも成り立つ ($\Delta\sigma_a = (7/16)M_{0ai}(\pi/S_{ai})^{3/2}$) と仮定している。その結果、アスペリティの平均応力降下量は $\Delta\sigma_a = (D_a/D)\Delta\sigma/\{\sqrt{S_a/S}\sum_{k=1}^{N_a}(S_{ak}/S_a)^{3/2}\}$ で与えられ、表 1～表 3 の*1 に注記された「複数アスペリティを考慮した応力降下量」を求める式に等しい。中央防災会議は $D_a = 2D$ とせず、 $D_a = 5.25\text{m}$ と固定（中央防災会議がプレート平均収束率 $3.5\text{cm/y} \times 150\text{y} = 525\text{cm}$ より固定、上表では丸め誤差を含めて 5.22m と記載、p.II-50[12]) しているため、 $\Delta\sigma/D = (7/16)\pi^{3/2}/\sqrt{S} = \text{一定より}$ $\Delta\sigma_a$ も上式から $\Delta\sigma$ の値によらず一定になる。新知見検討モデルの原モデル（アスペリティモデル）では、各アスペリティで $\Delta\sigma_a = \Delta\sigma/(S_a/S) = \Delta\sigma/0.19$ としているため、 $\Delta\sigma$ によって変わる。