

伊方原子力発電所環境安全管理員会原子力安全専門部会 委員コメント一覧

目次（項目）

8	耐震性能	1 頁
10	耐震・耐津波性能（共通）	9 頁
11	全般	10 頁

項目 8:耐震性能

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント委員
8-87	<p>基準地震動の確率論的リスク評価等については、福島事故が起こった後でみなおされていないのであれば、起こる頻度が小さくなるようにするしか技術的には見直しはできないのではないかと思うが、①原子力規制委員会は見直していないのか、②見直していないのはなぜか。③見直していないのは、元々専門家に投げかけられていないから、専門家としてはそれを議論する場が特に準備されていないので議論されていないだけなのではないか。</p>	<p>安全目標については、旧原子力安全委員会において、詳細な検討が行われたものの決定事項には至らなかった。原子力規制委員会は、原子力施設の規制を進めていく上で安全目標は委員会の姿勢にかかわる非常に重要な目標であることから、平成25年2月20日に開催された第30回原子力規制委員会から同年4月3日までの5回の同委員会において、旧原子力委員会での安全目標や性能目標等の検討内容、海外諸国の取り組み、福島事故を踏まえた環境に放出される放射能に係る目標等の議論を踏まえ(別紙1, 2参照)、同年4月10日に開催された平成25年度第2回原子力規制委員会で下記①～⑤について合意が得られた。</p> <p>① 旧原子力安全委員会安全目標専門部会における検討結果(※)は原子力規制委員会が安全目標を議論する上で十分に議論の基礎となるものと考えられること(※炉心損傷頻度10^{-4}/年程度、格納容器機能喪失頻度10^{-5}/年程度等)。</p> <p>② ただし、東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、放射性物質による環境への汚染の視点も安全目標の中に取り込み、万一の事故の場合でも環境への影響をできるだけ小さくとどめる必要がある。具体的には、事故時のCs137の放出量が100TBqを超えるような事故の発生頻度は、100万炉年に1回程度を超えないように抑制されるべきである(テロ等によるものを除く)ことを、追加するべきであること。</p> <p>③ バックフィット規制の導入の趣旨に鑑み、安全目標は全ての発電用原子炉に区別無く適用するべきものがあること。</p> <p>④ 安全目標は、原子力規制委員会が原子力施設の規制を進めていく上で達成を目指す目標であること。</p> <p>⑤ 安全目標に関する議論は、今後とも引き続き検討を進めていく。</p> <p>(安全目標に関し規制委員会で検討した資料及び議事録は、平成25年2月20日、2月27日、3月6日、3月27日、4月3日、4月10日の原子力規制委員会のホームページ参照)</p>	H27 2/16	森
			H27 2/16	望月

8-90	常時解析は、施工過程を踏まえた解析をしているのか。	四電	常時解析は、施工過程を踏まえた解析を実施している。	H27 3/26	岸田
8-91	斜面は切り取った時が一番変形が大きくなるので、その際の解析を地震力や豪雨の情報もあわせて整理し、資料として残して欲しい。	四電	斜面を切り取った際の解析を資料として整理する。 (今後回答)	H27 3/26	岸田
8-92	断層面上の強度物性の設定はどのようにしているのか。	四電	解析に用いる岩盤や断層の各物性値については、資料1-2の23頁に整理しているとおおり、各種試験結果等に基づき設定しており、設定値は次の24頁に整理している。なお、25~28頁には原位置岩盤せん断試験、原位置断層せん断試験を例示している。	H27 3/26	森
8-93	すべり面について、モビライズド面を見ながら最小になりそうな面を選んだのか、もしくはいくつか計算した結果を踏まえて選定したのか。	四電	モビライズド面(潜在すべり面)については、複数面を選定し、簡便法によりすべり安全率を算定した上、最小となるものを選定している。	H27 3/26	森

8-94	資料 1-1 の 20 頁の構造物の建設について、海水管ダクトの基礎は岩盤上に設置しているようだが、側面はどうなっているのか。	四電	海水管ダクト側面については、岩盤を掘削し、そのまま鉄筋コンクリートを流し込むという施工法を採用しており、埋め戻し土はない。(海水管ダクトの基礎と側面に埋め戻し土はなく、上部のみ埋め戻し土となっている)	H27 3/26	森
8-95	資料 1-1 の 17 頁について、基礎の支持力の評価基準値の設定値は、平板載荷試験で確認された最大値をもって、設計上の強度定数を決めているのか。	四電	平板載荷試験は、設置する構造物を考慮し、80kgf/cm ² までの確認としている。基礎岩盤の実際の弾性限界はもっと大きいと考えるが、評価上は、安全側に確認ができている80kgf/cm ² (7.84N/mm ²)を基準値としている。	H27 3/26	森
8-96	資料 1-1 の 17 頁について、説明文に書いてある80kgf/cm ² という値は、応力-変位曲線図の横軸の最大80kgf/cm ² の数字と同じという理解でよいのか。	四電	評価基準値としている80kgf/cm ² は、応力変位曲線図の横軸の最大80kgf/cm ² の数値と同じである。	H27 3/26	森
8-97	計算上の応答の岩盤内の応答沈下はどこまでできているのか。	四電	一番重い原子炉建屋で2.15N/mm ² であり、評価基準値の1/4程度、20kgf/cm ² 程度である。	H27 3/26	森

8-98	原子炉建屋の最大接地圧からすれば、平板載荷試験で、5～6サイクルに相当し、残留ひずみが残っているようにも見えるが、影響はないのか。	四電	当該サイクルにおける残留変位は、非常に少なく0.1mm以下であり、残留変位による基礎地盤の傾斜も少なく、施設への影響はないと考える。	H27 3/26	森
8-99	平板載荷試験で、5～7サイクルでは、有意な残留変位が残っていると思われるが、どのように評価しているのか。	四電	当該サイクルにおける残留変位は、非常に少なく0.1mm以下であり、残留変位による基礎地盤の傾斜も少なく、施設への影響はないと考える。	H27 3/26	森
8-100	斜面のすべり安全率の評価基準値を1.2に設定しているが、安全目標の観点からこの数値はどのレベルと言えるのか。確率的にどの程度に相当するかは重要なので数値があるのであれば資料に残して欲しい。	四電	電力中央研究所の報告書において、すべり安全率1.2と評価される斜面が破壊する確率は、年あたり 10^{-5} 以下に相当することが報告されている。 (今後回答)	H27 3/26	森
8-101	平板載荷試験結果だが、採用値として除荷時と載荷時のどちらを採用しているのかがわからない。また、応力レベルの低い数値を採用している理由を教えてください。	四電	平板載荷試験の結果は、載荷時の値を採用している。 また、応力レベルの低い数値を採用していることについては、設置する構造物(原子炉建屋)の設置の応力レベルを考慮し、現在の応力レベルにおける値を採用している。	H27 3/26	岸田

8-102	平板載荷試験では、強度ではなく変形を議論するものであるが、審査ガイドでは、変形を表すことで強度のことを議論していいようになっているのか。	国	<p>審査ガイドでは、変形を表すことで強度のことを議論することにはなっていません。</p> <p>審査ガイドでは、基礎地盤の安定性評価においては、建物及び構築物が設置される地盤について、①基礎地盤のすべり、②基礎の支持力及び③基礎底面の傾斜の観点から照査されていることを確認するとされております。</p> <p>このうち①基礎地盤のすべりについて、審査ガイドでは「動的解析の結果に基づき、基礎地盤の内部及び基礎底面を通るすべり面が仮定され、そのすべり安全率によって総合的に判断されていること」また、「動的解析における時刻歴のすべり安全率が1.5以上であること」とされております。</p> <p>これに対して事業者は、岩盤せん断試験や室内試験で得られたせん断強度に対してすべり面の安全率が1.5以上であることを確認したとしています。</p> <p>また、②基礎の支持力について、審査ガイドでは、「原位置試験の結果等に基づいて設定されていることを確認する。」とされております。</p> <p>これに対して事業者は、平板載荷試験の最大載荷時において岩盤が弾性範囲にあることから最大載荷重を極限支持力とし、②の基礎の支持力については、「地震時の最大接地圧が基礎地盤の極限支持力を下回る」ことを判断基準として、その確認を行ったとしています。</p>	H27 3/26	岸田
		四電	<p>審査ガイドに従い、原位置試験の結果に基づき、基礎の支持力に対する評価基準値を設定している。</p>	H27 3/26	岸田
8-103	敷地内岩盤の性状で液状化は起きないとの説明だが、地下水位も含めて整理して欲しい。	四電	<p>耐震重要施設等は切土により造成されており、表土や崖錐堆積物は存在せず、風化を受けていない新鮮・堅硬な岩盤で構成され、切土後はアスファルトやコンクリート構造物、排水設備等を設けており、降水の岩盤内部への浸透は抑制されている。</p> <p>なお、3号建設時、周辺斜面に地下水排水トンネル及びこれに通じる地下水排水ボーリングを設置しているが、地下水排水トンネル坑口からの湧水量は極めて少なく、かつ地下水排水トンネル内は一部に滲み出し・適水程度が認められる以外はほぼ乾燥状態にあり、降雨時においても湧水はほとんど認められないことを確認している。</p> <p>(今後回答)</p>	H27 3/26	岸田

8-104	引張が発生している主要な部分の応力状態を時刻歴で示して欲しい。また、表面保護や押さえ効果で破壊に達していないと思うがそうした評価を整理して資料として残して欲しい。	四電	基礎地盤及び周辺斜面に関して、引張応力が発生している主要な部分の応力図(時刻断面)を提示する。 周辺斜面の耐震安定性解析条件としては、表面保護工やアンカー等の対策工を考慮することなく、所要の安全率を確保している。 しかし、現状としては、表面保護として擁壁、法枠等が施工されており、雨水等の浸透防止、表面の剥落防止となっているとともに、定期巡視(1回/6か月)及び定期点検(1回/年)において定期的な目視点検、変状調査を実施し、有意な変位・変状がないことを確認している。 また、解析上発生している斜面表層部の引張領域には、ロックアンカーを施工して、引張の発生を抑制しており、さらに緊張力アンカーについては、緊張力管理を実施し、継続的に安全性の確保を図っている。 (今後回答)	H27 3/26	岸田
8-105	過去に行った実験で非常に大きな地震力になっているのを用いて評価することになっているが、実験の整理やそのやり方は日進月歩であるのでいろいろな角度で検討していただきたい。	四電	大きな地震動になっていることを踏まえれば、ご指摘の通り線形解析手法の適用が困難になりつつあることから、時刻歴非線形解析手法等の最新の手法を用いた検討を先駆的に研究として取り組んでいきたいと考えている。	H27 3/26	岸田
8-106	資料1-2の71頁に原子炉建屋基礎地盤のすべり面が記載されているが、断層沿いのV字のすべり面ではなく、内接円のようなすべり面を想定した上で最小すべり安全率を選定しているのか。	四電	内接円のような断層面以外の岩盤を通るようにすべり面を設定した場合、断層面よりもせん断強度の大きな岩盤を通ることとなるため、すべり安全率は増加すると考えられる。したがって、最小すべり安全率を算定するために断層沿いのすべり面を想定することは妥当と考えている。	H27 3/26	森

8-107	岩盤分類の表と詳細データ集の間を整理したものが欲しい。	四電	敷地内の岩盤をどう分類しているかについては、資料1-1の6頁に名称(CH,CM,CL,D 級)と特徴を記載しているが、詳細な分類表を提示する。 (今後回答)	H27 3/26	奈良 林
8-108	敷地内の岩盤を新鮮かつ堅硬な岩盤としているが、具体的にはどういうことか。	四電	造岩鉱物や粒子が風化や変質を受けておらず、亀裂や節理も発達せず、粘土状の軟質部も介在しないような状態の岩盤を指す。	H27 3/26	奈良 林
8-109	伊方が他の発電所と比べて、地盤・地質の特徴、非常に硬くて堅牢だということを整理して欲しい。	四電	伊方の解放基盤表面におけるせん断波速度 V_s は 2.6km/s と他の発電所と比較しても硬い地盤となっている。	H27 3/26	奈良 林
8-110	集中豪雨のときは地盤がやわらかくなるなど、すべりに対して自然災害をどう考慮しているか。	四電	基礎地盤・周辺斜面の評価条件としては、集中豪雨などの降雨を考慮しても地下水位が低いことを確認しているが、安全側の解析となるよう地下水位を岩盤上部に設定して評価している。 (今後回答)	H27 3/26	奈良 林

8-111	地盤や周辺斜面の安定性評価において、どのようなデータや文献を用いたのかは資料に整理しておいて欲しい。	四電	安定性評価に用いた各種データや文献等について整理を進め、評価条件(根拠)が不明確にならないよう留意する。 (今後回答)	H27 3/26	岸田
8-112	外部火災対策として森林伐採をしているが、表面排水等の工事を検討してほしい。	四電	森林の伐採後は、新たな植生が生えてこないように、また、安定化のためコンクリートの吹付を行っているが、これに合わせて排水措置も講じていることから、斜面の安定性が大きく低下することはないと考えている。	H27 3/26	岸田
8-113	例えば、伊方以外の地震計が設置されている地盤で、基準地震動レベルの地震が発生した時の地盤の揺れがどの程度になるかを評価することで、基準地震動650ガルがもつ意味がより分かりやすくなり、説明性が増すと思うがいかがか。	四電	技術的には評価は可能であるが、精度の高い推定を行うためには精緻な地盤情報が必要であるため、推定した地震動の信頼性という観点で問題があると思われることや、評価を行った周辺地域にお住いの方々にとって余計な不安を煽ってしまうおそれがあることなど、様々な問題が内在すると考えていることから、実施には慎重な検討を要すると考えている。 基準地震動650ガルの持つ数値的な意味等をより一般の方々にわかりやすく説明することというのが、頂いたコメントの主旨であると認識しており、今後もより丁寧にわかりやすい説明を行うよう努めていく。	H27 3/26	森
8-114	断層モデルによる評価で採用している壇他の検証内容について、資料を用いて説明してほしい。	四電	中央構造線断層帯の地震動評価に用いている壇他(2011)のスケーリング則については、検証として、2000年鳥取県西部地震、2002年Denali地震、1999年Kocaeli地震における観測記録と評価結果との比較等を行い、実地震の観測記録の再現性を有していることを確認している。 (別紙3参照)	H27 3/26	森

項目 10: 耐震・耐津波性能(共通)

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答	日付	コメント 委員
10-4	地震動と津波で異なる断層モデルで評価しているのは何故か。統一モデルを求めるのではなく、両方の評価結果を示して厳しい方をとるとというのが工学的な判断ではないか。	<p>確かに地震と津波は同一の断層から起こるものではあるが、地下深い「強震動生成域」における震動が大きく影響する地震動評価と、地下浅部における地盤の変位が大きく影響する津波評価について、現在の評価技術では地震と津波それぞれにとって厳しい評価結果を算出できるような同一のモデルを構築することが困難であることから、異なるモデルで評価している。同一のモデルで評価する技術を確立することは将来的な研究課題であると考えている。</p>	H27 2/16	森
		<p>本件の場合、地震動モデルは中央構造線断層帯との連動を考慮し、北傾斜の断層である大分平野ー由布院断層帯および崩平山ー亀石山断層帯へ連続するモデルを設定している。一方、津波モデルは、別府湾に大きな津波被害をもたらした 1596 年の慶長豊後地震津波の再現性も考慮して、その際に活動したと考えられている別府湾ー日出生断層帯についても大分県における評価を参照しつつモデル化し、地震動モデルにて考慮した断層帯に加え、評価を行っていたものである。</p> <p>なお今回、地震動モデルを用いた津波評価を実施した結果、津波高さは基準津波として設定した水位と変わらず、別府湾の痕跡高の再現性という観点では、当社が用いている津波モデルは妥当であることを確認した。</p> <p>また、すべり量について、地震時に最大 10m の変位が認められた例もあるとのご指摘があるが、世界の地震の事例を見ても、「平均すべり量」が 10m 程度に達する事例はない。地表のすべり量が 10m 程度で飽和し、地中の平均すべり量はこの 1/2～1/3 というのが最新の知見である。伊方発電所においては、地表最大変位量としては 12～17m 程度、平均変位量としては 5.8m、アスペリティには 13m の変位量を想定しており、最新の知見に照らしても十分保守的な値を設定している。 (別紙4, 5参照)</p>	H27 2/16	高橋

項目 11:全般

番号	委員コメントまとめ	四電、国又は事務局回答		日付	コメント 委員
11-58	<p>深層防護の考え方によると、斜面等が大丈夫だったとしても、万一の場合にアクシデントマネジメントでどう対応するかということになり、今回の場合、海水ピットや海水管が何らかの影響を受けた場合に、どう対応するか整理してほしい。</p>	四電	<p>海水ピットは冷却に用いる海水を供給するための重要施設であるが、万一、海水ピットが損傷した場合においても、新規制基準に基づく安全対策として整備したポンプ車といった可搬型設備等により、海水を原子炉容器内や格納容器内に供給可能となっており、水源確保に対する信頼性は向上している。</p>	H27 3/26	奈良 林
11-59	<p>可搬設備等を実際に扱う訓練もされているのか。</p>	四電	<p>可搬設備等を用いた訓練も実施し、操作等の習熟に努めている。</p>	H27 3/26	奈良 林
11-60	<p>免震タイプと耐震タイプの2つの緊急時対策所があるが、どのように運用するのか。</p>	四電	<p>防災業務計画において、「非常体制」を発令した際には、発電所災害対策本部を耐震建屋である緊急時対策所(EL32m)に設置することとしており、その発令基準は明確となっている。例えば、非常体制を発令する事象としては、「原子炉冷却材の漏えい」、「全交流電源喪失のおそれ」、「敷地境界付近の空間ガンマ線量率の上昇」が設定されている。この基準は所員に周知されており、また事象の発生時には参集場所(追加設置する緊急時対策所)を所内周知するため、適切に対応できるものと考えている。なお、免震建屋である既設の総合事務所内の緊急時対策所は、事故対応のための多様性拡張設備とし、何らかの原因により緊急時対策所(EL.32m)が使用できない場合に使用するほか、状況に応じて緊急時対策所にほぼ相当する機能を持つ待避所・待機所などとして活用していく。</p>	H27 3/26	奈良 林

11-61	追加設置した緊急時対策所の空調ダクトを接続しておかないのはなぜか。	四電	接続作業は少人数で設備の運転が必要となる時間までに完了できることから実用性に問題はなく、このようなシステム構成とすることで、故障した場合の予備品との交換が容易となり、また、故障部のみとの交換など柔軟な対応が可能となる。なお、接続せずにおくことで、未使用時の地震による損傷リスクも低減できると考える。接続作業については、今後訓練により更なる信頼性の向上を図る。	H27 3/26	奈良 林
11-62	どのように緊急時を判断して使っていくのか、逆に平時はどのように使っていくのか。追加設置した緊急時対策所について、通常時使用しないため、設備の健全性はどうか確保するのか。	四電	防災業務計画において、「非常体制」を発令した際には、発電所災害対策本部を耐震建屋である緊急時対策所(EL32m)に設置することとしている。通常使用しない空調設備については、必要時に確実に機能するよう、定期的な運転によりその健全性を確認する。	H27 3/26	森
11-63	安全対策として原子炉下部水位の計測器の設置とあるが、設置目的と計器の型式は何か。原子炉下部の水位計測はどういった原理になっているのか。	四電	原子炉下部水位計(電極式水位検知器:2枚の電極板の線間抵抗の変化により水の有無を検知)は、万一、原子炉容器内の燃料が熔融し、原子炉容器下部から溶け出した場合、その冷却に必要な水量が原子炉容器下部に確保されていることを確認するため設置している。	H27 3/26	奈良 林
11-64	フィルタ付ベント設備は、環境への放射性物質の放出を極力低減させる構成とすべきであるが、現状の検討状況はどうか。	四電	環境への放射性物質の放出を低減する目的で設置するフィルタ付ベント設備については、現在国による先行プラントの審査がなされていることから、その動向を注視し、設計を進めていく。	H27 3/26	奈良 林

平成25年2月27日

第31回原子力規制委員会 配付資料

安全目標・性能目標について (国内の検討経緯の概要)

我が国における安全目標の議論

- 「安全目標」については、平成15年に原子力安全委員会の専門部会において、中間とりまとめがなされている。原子力安全委員会決定とはなっていない。

「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」
(平成15年12月原子力安全委員会安全目標専門部会) での記載

- ・「安全目標」は、国の安全規制活動が原子力利用活動に対して求める危険性の抑制の程度を定量的に明らかにするもの。
- ・「安全目標」によって示すリスクの抑制水準は、現状とかけ離れた高い努力目標ではない。
- ・「安全目標」を策定することには、次のような利益があると考えられる。
 - － 規制活動に一層の透明性、予見性を与える
 - － 規制活動の内容をより効果的で効率的なものにする
 - － 規制活動を横断的に評価することを可能にする
 - － 規制活動を相互に整合性のあるものとすることに寄与する
 - － 指針や基準の策定など国の原子力規制活動のあり方に関しての国と国民の意見交換を、より効果的かつ効率的に行うことを可能とする
 - － 事業者は、自らが行うリスク管理活動を「安全目標」を参照して計画・評価することにより、規制当局の期待に応える活動をより効果的かつ効率的に実施することができる

我が国における安全目標の議論

- 「安全目標」の適用に関しては、以下のとおりの記載がなされている。

「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」
(平成15年12月原子力安全委員会安全目標専門部会)抜粋

- ・安全目標は、まずは規制活動の合理性、整合性といった各種規制活動の全体にわたる判断の参考として適用し、個別の施設に対する規制等、より踏み込んだ適用は、安全目標適用の経験を積んだ段階で着手するのが適切としている。これは、米国における初期の安全目標適用の考え方と同様であり、リスク評価に不確実さが伴うことへの対処である。
ある施設は安全目標を満足しており、他の施設は満足していないといった結果が出てきた時、満足していない施設は不安全と直ちに結論付けることはせず、なぜそのような違いが生じたか、規制の何処に不相当なところがあったかという見直しが行われることになる。個別の施設が安全か否かの判断は、こうして見直された規制体系に基づいてなされることになる。
- ・将来、安全目標の適用経験が積みれ、かつ、リスク評価結果に対する信頼性が一層高まれば、個別施設の安全性を安全目標に照らして判断するような利用や、さらには、原子力施設の設計手法において安全目標が活用されることもあり得ると考えられる。

我が国における安全目標

- 平成15年に原子力安全委員会の専門部会の中間とりまとめにおいて、安全目標の案が提示されている。

「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」
(平成15年12月 原子力安全委員会 安全目標専門部会) 抜粋

(1) 定性的目標案

原子力利用活動に伴って放射線の放射や放射性物質の放散により公衆の健康被害が発生する可能性は、公衆の日常生活に伴う健康リスクを有意には増加させない水準に抑制されるべきである。

(2) 定量的目標案

原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによる、施設の敷地境界付近の公衆の個人の平均急性死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。
また、原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによって生じ得るがんによる、施設からある範囲の距離にある公衆の個人の平均死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。

定量的目標が対象とする事故による影響の発生の可能性の原因事象としては、機器のランダムな故障や運転・保守要員の人的ミス等、いわゆる内的事象と、地震及び津波・洪水や航空機落下等、いわゆる外的事象の両者を対象とする。ただし、産業破壊活動等の意図的な人為事象は対象外とする。

我が国における性能目標

- 平成18年には、安全目標案に対する性能目標について、原子力安全委員会安全目標専門部会が取りまとめている。安全目標と同様に、原子力安全委員会決定とはなっていない。

「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について

—安全目標案に対応する性能目標について—」

(平成18年3月28日 原子力安全委員会 安全目標専門部会) 抜粋

発電炉の性能目標の定量的な指標値として、

指標値1. CDF : 10^{-4} /年程度

指標値2. CFF : 10^{-5} /年程度

を定義し、

両方が同時に満足されることを発電炉に関する性能目標の適用の条件とする。

注) CDF : Core Damage Frequency

炉心損傷頻度

CFF : Containment Failure Frequency

格納容器機能喪失頻度

平成25年2月27日

第31回原子力規制委員会 配付資料

安全目標・性能目標について (海外の主な制度の概要)

- 注)・海外のデータは主な国際機関と一部主要国に限られている。
・邦訳は原子力規制庁による仮訳である。
・今後修正の可能性がある。

米国における安全目標 (1/2)

原子力発電所の運転に関する安全目標政策声明書 ・ 抜粋

NRC Safety Goals for the Operation of Nuclear Power Plant; Policy Statement 1986

背景

TMI事故後の大統領委員会報告(ケメニー報告)において、「NRCの安全に関する決定における安全哲学及び安全とコストのトレードオフの役割について、明確な政策声明を用意する」よう勧告される

目的

原子力発電所の運転に伴う公衆への放射線リスクの許容レベルを定める目標(どの程度安全であれば十分安全といえるか How safe is safe enough?)を確立すること

意義

1. 原子力発電所規制の整合性と一貫性の向上
2. 原子力発電所規制の予見性の向上
3. 規制基準の公衆理解、安全性における国民の信頼の醸成

範囲

1. 通常運転時及び事故時のリスク(但し、通常時のリスクは非常に低い)
2. 妨害行為及び放射性物質の盗取は含まない

米国における安全目標 (2/2)

原子力発電所の運転に関する安全目標政策声明書 ・ 抜粋

NRC Safety Goals for the Operation of Nuclear Power Plant; Policy Statement 1986

定性的目標

1. 社会を構成する個人に対しては、原子力プラントの運転の結果、生命や健康に対して有意なリスクの増加とならないような、あるレベルの防護がなされるべきである。
2. 原子力発電所の運転による生命と健康に関する社会的リスクは、現実的な競合技術による発電のリスクと同等あるいはそれより小さくすべきであり、かつ他の社会的リスクに有意な増加をもたらしてはならない。

定量的設計目標

1. 原子炉事故の結果として生じ得る発電所近傍の平均的個人の急性死亡リスクは、合衆国民が一般にさらされている他の事故の急性死亡リスクの合計の0.1%を超えるべきではない。
2. 原子力発電所の運転の結果として生じ得る発電所近くの集団のガン死亡リスクは、その他全ての原因によるガン死亡リスクの合計の0.1%を超えるべきではない。

米国におけるリスク判断基準

プラント個別の認可ベース変更に対するリスク情報を活用した意思決定に
確率論的リスク評価を活用するためのアプローチ 規制ガイドライン1.174 ・ 抜粋

NRC An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on
Plant-Specific Changes to the Licensing Basis, R.G. 1.174, Rev.1, 2002

下記の数値よりかなり大きい可能性が示された場合は、
それを減少させる方法を見つけることに重点を置く必要がある

○炉心損傷頻度

10^{-4} /年

○早期大規模放出頻度

10^{-5} /年

※放出量については定義されていない

IAEAにおける安全目標

IAEA 原子力発電所の基本的安全原則 ・ 抜粋

(Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev. 1 INSAG-12)

2. 1. 総合原子力安全目標

13. 目標: 原子力発電所において、放射線ハザードに対しての効果的な放射線防護策を確立、維持することにより、個人、社会及び環境を守ること。

2. 2. 放射線防護目標

16. 目標: 通常運転時に、原子力発電所内での放射線被ばく及び発電所からの放射性物質の放出による放射線被ばくは、合理的に達成可能な限り低く、かつ定められた制限値以下であることを確認すること。また、事故による放射線被ばくの範囲を緩和することを確認すること。

2. 3. 技術的安全目標

19. 目標: 原子力発電所内の事故を高い信頼性を持って防ぐこと: 発電所の設計段階で考慮される全ての事象に対し、また、発生確率が極めて低い事故に対して、万一放射線影響が生じる場合は、それが重大なものではないことを確かめること: 深刻な放射線影響を伴うようなシビアアクシデントの可能性は極めて小さいことを確認すること。

IAEAにおける性能目標

IAEA 原子力発電所の基本的安全原則 ・ 抜粋

(Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev. 1 INSAG-12)

2. 3. 技術的安全目標

25. 既存の原子力発電所については技術的安全目標に対応する到達目標は、重大な炉心損傷の発生する可能性が1炉年あたり約1万分の1回以下であることである。将来の原子力発電所においては、すべての安全原則の適用により、1炉年あたり10万分の1程度を上回らないまでという、改善された目標の達成がなされるであろう。シビアアクシデントの管理、緩和対策により、短期的な敷地外対応策を必要とするような大規模放射能放出の可能性は、少なくとも10分の1に減少されるであろう。

○既存の原子力発電所について、
重大な炉心損傷 < 約 10^{-4} /炉年
大規模放出頻度 < 約 10^{-5} /炉年

○将来の原子力発電所について、
重大な炉心損傷 < 約 10^{-5} /炉年
大規模放出頻度 < 約 10^{-6} /炉年

英国における安全目標

核物質施設の安全評価原則 2006年版・抜粋
(Safety Assessment Principles for Nuclear Plants: SAP)

基本原則

- 41 次の基本原則は、この文書に記載されている安全や放射性廃棄物の原則の基盤であり、英国の法律や国際的なグッド・プラクティスに基づいている。
- 42 IAEA安全基準にも基本原則が含まれているが、これらは規制評価よりも広い範囲をカバーしている。規制評価に関連するIAEAの基本原則は以下に定める基本原則の一部を示したものである。

(中略)

FP.5 個人へのリスクの制限

放射線リスクを制御する措置は個人が損害を許容できないリスクを負わないことを確認しなければならない。

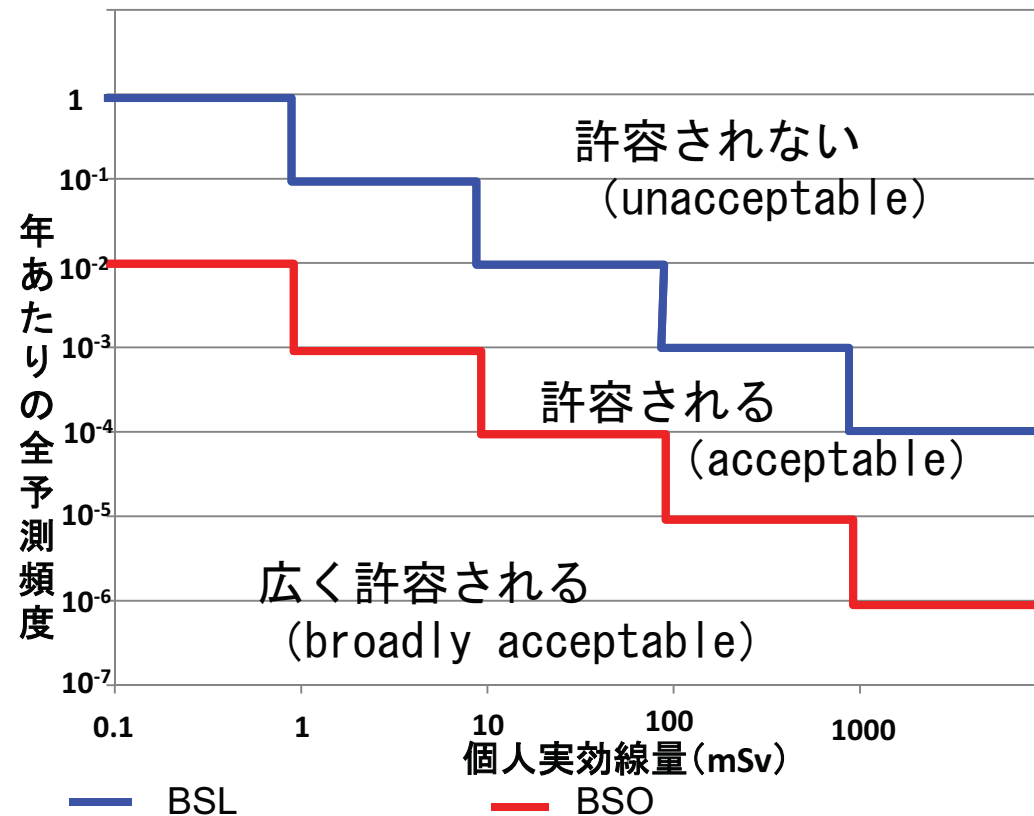
英国における安全目標 核物質施設の安全評価原則 2006 年版

(Safety Assessment Principles for Nuclear Plants: SAP)

英国では、個別施設に対する実効線量と頻度をあわせた目標を定めている。

○事故による敷地外の公衆に対する個人リスク BSL: 1×10^{-4} /年 BSO: 1×10^{-6} /年

○個別施設の事故に対する頻度及び線量目標 下図



BSL: Basic Safety Levels
BSO: Basic Safety Objectives

※安全規制法制上の基準ではない

(参考)SAP1992 年版での記載

○大規模な放射性物質放出(※)頻度

BSL 10^{-5} /年 BSO 10^{-7} /年

※ヨウ素131 10,000TBq以上、セシウム137 200TBq以上、
もしくはそれらと同様の結果を引き起こす量以上の
他の同位元素やその混合物。

○炉心損傷頻度

BSL 10^{-4} /年 BSO 10^{-5} /年

○原子炉以外の臨界事故頻度

BSL 10^{-3} /年 BSO 10^{-4} /年

○社会的リスク BSL 1×10^{-5} /年 BSO 1×10^{-7} /年

(放射線被ばくで100名以上の即発か最終的に死亡をもたらす事故の全リスク)

各国のLRF, LERFの目標値の一覧(暫定)

頻度のみを
指標とする加
盟国

国		指標	LRF/LERF	値(1/年)	備考
米国	NRC(規制機関)	LERF		1.00E-05	既設炉
		LRF		1.00E-06	新設炉
		OFF		1.00E-01	新設炉、条件付き確率
スロバキア	Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic(規制機関)	LERF		1.00E-05	目標
オランダ	Regulator(規制機関)	LRF/LERF		関数	限度 急性死亡者数と発生頻度の 関数
チェコ	Licensee(事業者)	LRF/LERF		1.00E-05	既存炉の目標
				1.00E-06	新設炉の目標
台湾	Licensee(事業者)	LERF		1.00E-06	目標
ロシア		LRF		1.00E-07	限度
韓国	KINS(規制支援機関)	LERF		1.00E-05	既存炉
				1.00E-06	新設炉
日本	JNES(規制支援機関) JAEA	OFF		1.00E-05	

放出量を指標
にする加盟国

イギリス	Regulator(規制機関)	LRF	131I > 10 ⁴ TBq or 137Csまたは他の同位体 > 200 TBq	1.00E-05	限度(法的限度ではない)
				1.00E-07	目標(線量/頻度の段階的)
フランス	Regulator(規制機関)	LRF	Unacceptable consequence	1.00E-06	目標
スウェーデン	Ringhals(事業者)	LRF	134,137Csが炉心内蔵量の 0.1%(1800 MWtの炉の場合)	1.00E-07	限度(法的限度ではない)
	OKG(事業者)	LRF	希ガスを除いた炉心内蔵量の 0.1%(1800 MWtの炉の場合)	1.00E-05 よりかなり低い	限度(法的限度ではない)
フィンランド	STUK(規制機関)	LRF	137Cs > 100TBq	5.00E-07	新設炉/既設炉
	FORTUM(事業者)	LRF	CDFの10%	1.00E-05	
	TVO(事業者)	LRF	137Cs > 100TBq	5.00E-07	目標
カナダ	CNSC(規制機関)	LRF	137Cs > 100 TBq	1.00E-06	
	Ontario Power generation(事業者)	LRF	137Cs炉心内蔵量の0.1%以上	1.00E-05 1.00E-06	限度 目標

各国のCDFの目標値の一覧(暫定)

国		CDF	
		値(1/年)	備考
米国	NRC(規制機関)	1.00E-04	既設炉
		1.00E-04	新設炉
イギリス	Regulator(規制機関)	1.00E-04	限度(法的限度ではない)
		1.00E-05	目標
フランス	IRSN(規制支援機関)	1.00E-05	限度
スイス	Gerhard Schoen(規制機関)	1.00E-05	
スウェーデン	Ringhals(事業者)	1.00E-05	限度(法的限度ではない)
	OKG(事業者)	1.00E-05	限度(法的限度ではない)
スロバキア	Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic(規制機関)	1.00E-04	目標
オランダ	Regulator(規制機関)	1.00E-04	既存炉の限度
		1.00E-06	新設炉の限度
フィンランド	STUK(規制機関)	1.00E-05	新設炉/既設炉
	FORTUM(事業者)	1.00E-04	
	TVO(事業者)	1.00E-05	目標
チェコ	Licensee(事業者)	1.00E-04	既存炉の目標
		1.00E-05	新設炉の目標
カナダ	CNSC(規制機関)	1.00E-05	
	Ontario Power generation(事業者)	1.00E-04 1.00E-05	限度 目標
イタリア	Regulator(規制機関)	1E-5 to 1E-6	目標
ハンガリー	Hungarian Atomic Energy Authority(規制機関)	1.00E-05	目標
日本		1.00E-04	
ロシア		1.00E-05	
韓国	KINS(規制支援機関)	1.00E-04	既存炉
		1.00E-05	新設炉

OECD/NEA "Use and Development of Probabilistic Safety Assessment CSNI," NEA/CSNI/R(2007)12, (2007)

"Probabilistic Risk Criteria and Safety Goals", OECD/NEA, NEA/CSNI/R(2009)16, (Dec., 2009)

新設炉と既設炉とで目標値を使い分けている国がある。

**伊方発電所3号機
壇・他(2011)について
(耐震性能)**

(コメント回答)

**平成27年4月21日
四国電力株式会社**

コメント

断層モデルによる評価で採用している壇他の検証内容について、資料を用いて説明してほしい。

壇・他(2011)の手法

○壇・他(2011)は、 $W=15\text{km}$ の鉛直断層をベースとした動学的断層破壊シミュレーションに基づいて、巨視的パラメータ(地震モーメント等)と微視的パラメータ(応力降下量等)を一連で設定する手法を提案している(下図参照)。

○そしてその中で、動学的断層破壊シミュレーションから導いた動的応力降下量の算定式を用いて鉛直横ずれ断層の動的応力降下量(平均動的応力降下量34bar, アスペリティの動的応力降下量122bar)を提案している。

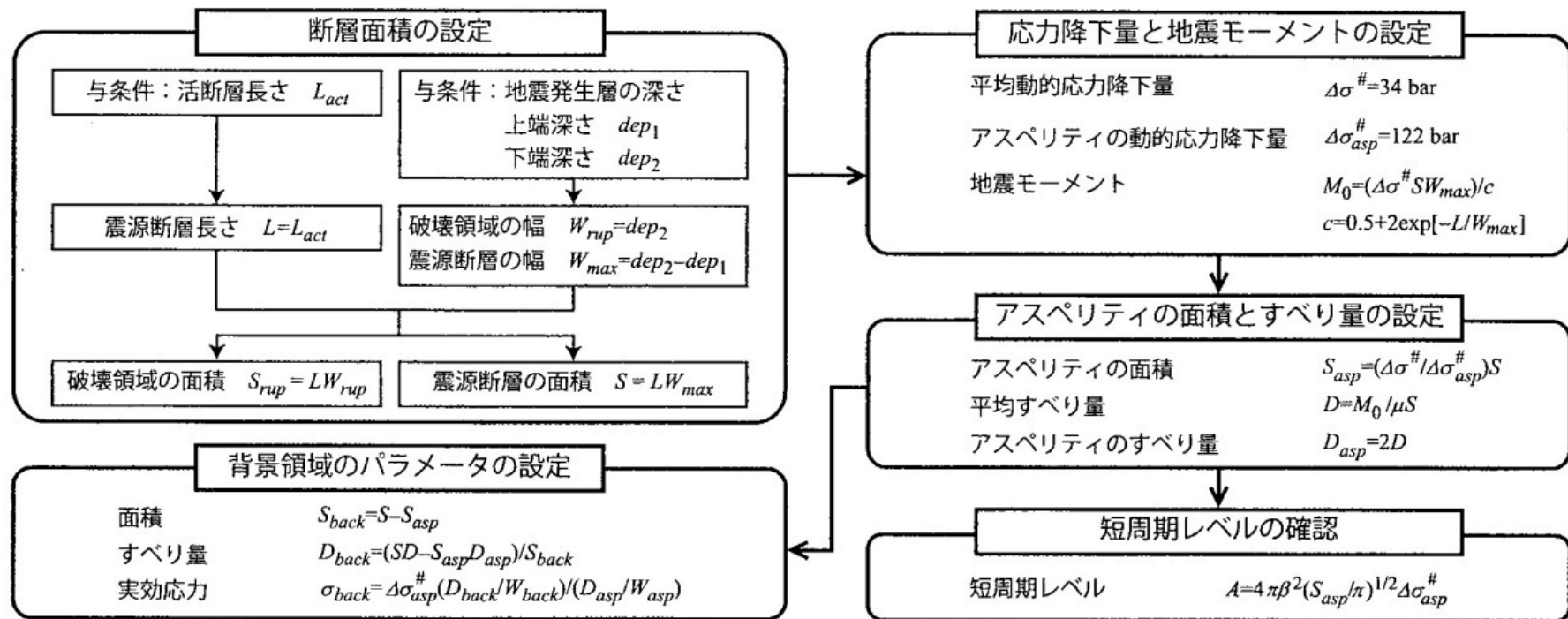
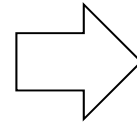


図9 長大な横ずれ断層による内陸地震の強震動予測用の断層パラメータ算定手順

壇・他(2011) 動的応力降下量の算定式[Irie et al. (2010)]

動学的断層破壊シミュレーションを実施

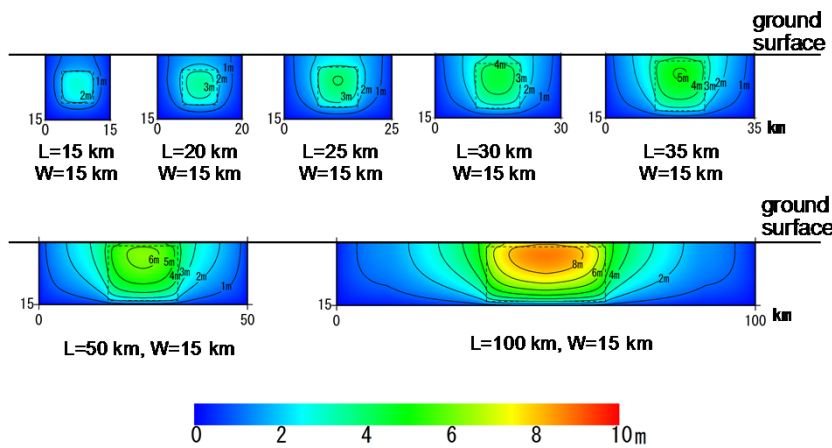


動学的結果に基づいて動的応力降下量の算定式を策定

動学的モデル

入力: 応力
出力: すべり量, 地震動
(応力とすべり量が物理的につながっている利点)

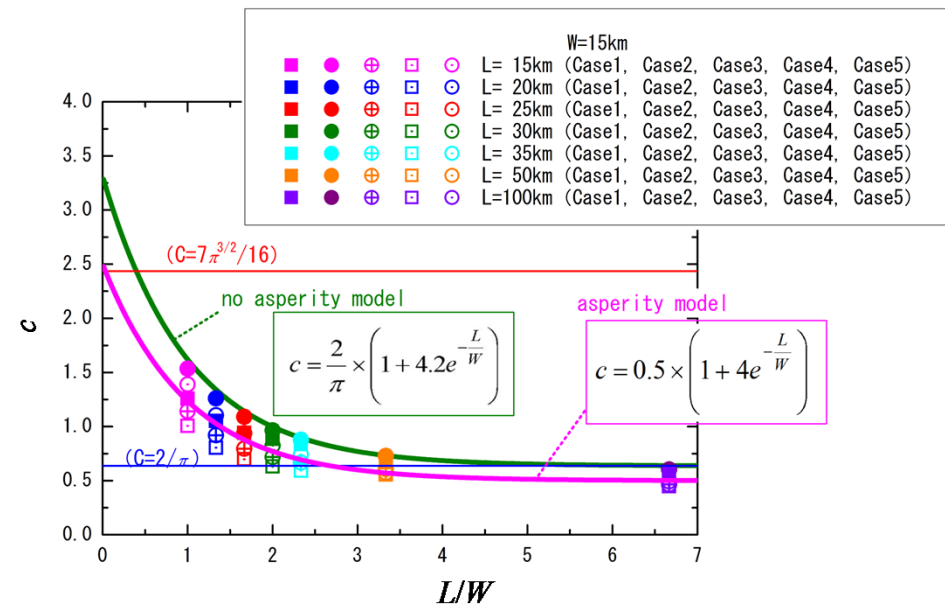
W=15kmの横ずれ断層について解析



動学的断層破壊シミュレーション結果の最終すべり量分布

算定式の策定

$$\Delta\sigma = c \frac{M_0}{LW^2_{max}}$$



入江・他(2011)では断層長さ300kmのシミュレーション結果も加えて検証

壇・他(2011) 動的応力降下量

表1 横ずれ断層による内陸地震の断層パラメータ

(a) 日本									(b) 日本以外										
年	地震	気象庁 マグニ チュード	震源 断層 長さ	破壊 領域 幅	破壊 面積	地震モー メント	短周期 レベル	平均動的 応力 降下量	出典	年	地震	モーメン トマグニ チュード	震源 断層 長さ	破壊 領域 幅	破壊 面積	地震モー メント	短周期 レベル	平均動的 応力 降下量	出典
		M_J	L	W_{rup}	S_{rup}	M_0	A	$\Delta\sigma^\#$				M_W	L	W_{rup}	S_{rup}	M_0	A	$\Delta\sigma^\#$	
			[km]	[km]	[km ²]	[dyne·cm]	[dyne·cm/s ²]	[bar]				[km]	[km]	[km ²]	[dyne·cm]	[dyne·cm/s ²]	[bar]		
1891	濃尾(注)	8.0	80,34	15,13	1642	1.5×10^{27}	-	37	26),27)	1906	San Francisco	7.9	432	12	5184	8.32×10^{27}	-	64	25),35)
1927	北丹後	7.3	35	13	455	4.6×10^{26}	-	70	27),28)	1976	Motagua	7.5	257	13	3341	2.04×10^{27}	-	24	25),36)
1930	北伊豆	7.3	22	12	264	2.70×10^{26}	-	102	27),29)	1976	Tangshan	7.6	70	24	1680	2.77×10^{27}	-	66	25),36)
1943	鳥取	7.2	33	13	429	3.6×10^{26}	-	61	27),30)	1988	Lancang-Gengma	7.0	80	20	1600	3.66×10^{26}	-	9	25),36)
1948	福井	7.1	30	13	390	3.3×10^{26}	-	66	27),28)	1990	Luzon Island	7.7	120	20	2400	4.07×10^{27}	-	68	36),37)
1978	伊豆大島	7.0	17	10	170	1.1×10^{26}	-	81	27),31)	1992	Landers	7.3	69	15	1035	1.06×10^{27}	1.15×10^{26}	45	11),21),36)
1995	兵庫県南部	7.3	60	20	1200	1.80×10^{26}	1.62×10^{26}	6	12),21),27)	1997	Ardakul	7.2	100	15	1500	7.35×10^{26}	-	20	36),38)
2000	鳥取県西部	7.3	26	14	364	8.62×10^{25}	5.93×10^{25}	19	12),27),32)	1997	Manyi	7.5	175	15	2625	2.23×10^{27}	-	34	36),39)
2005	福岡県西方沖	7.0	24	20	480	1.15×10^{26}	1.09×10^{26}	16	33),34)	1999	Kocaeli	7.6	141	23.3	3285.3	2.88×10^{27}	3.05×10^{26}	35	36),40)
										1999	Hector Mine	7.1	74.27	20	1485.4	5.98×10^{26}	-	16	36),41)
										1999	Duzce	7.1	49	24.5	1200.5	6.65×10^{26}	-	23	36),42)
										2001	Kunlun	7.8	400	30	12000	5.9×10^{27}	-	20	36),43)
										2002	Denali	7.8	292.5	18	5265	7.48×10^{27}	-	57	36),44)

(注) 濃尾地震の破壊面積は $80 \text{ km} \times 15 \text{ km} + 34 \text{ km} \times 13 \text{ km} = 1642 \text{ km}^2$ で求めた。

策定した動的応力降下量の算定式を用いて、上記地震について動的応力降下量を算出し、平均的な値として $\Delta\sigma^\#=34\text{bar}$ を得た。

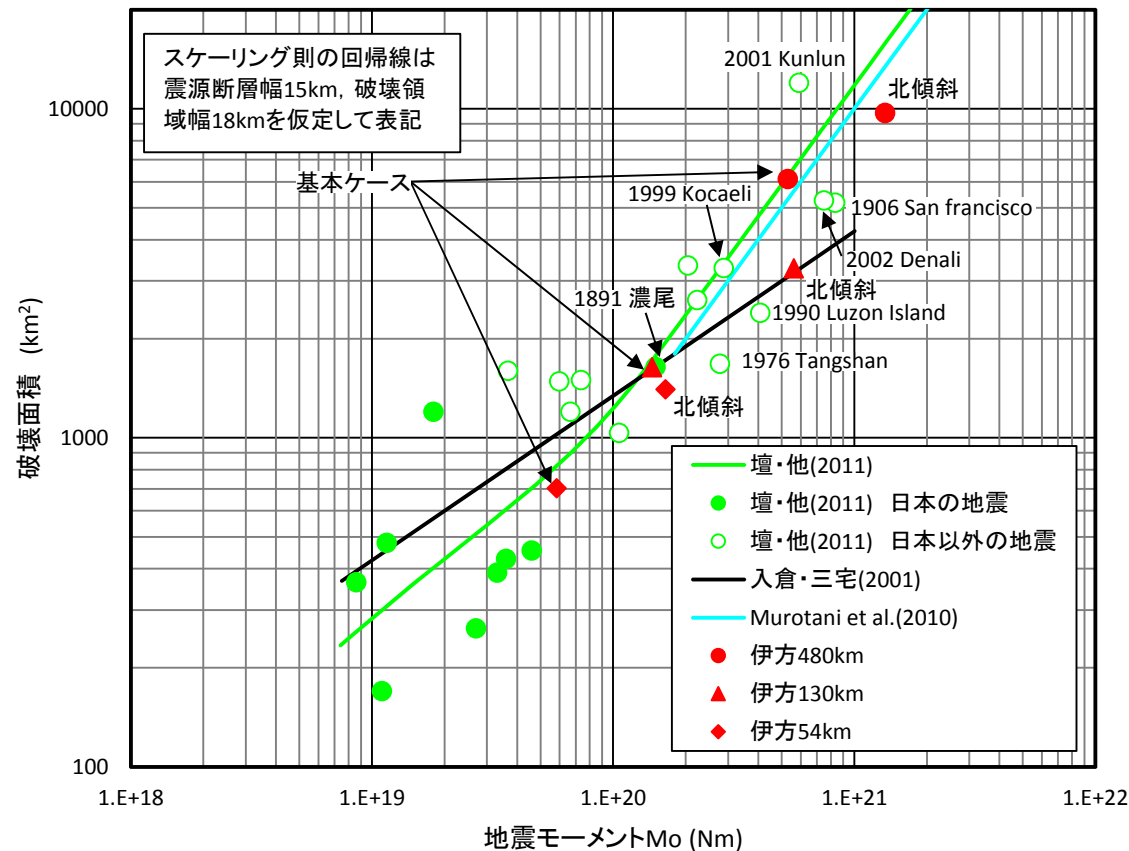
-
- ①断層パラメータの検証
(スケーリング則との整合性の確認)
 - ②実地震の再現性
 - (1) 壇・他 (2012), 藤堂・他 (2012) による検証
 - (2) 1999年Kocaeli地震の検証(再現性の確認)
 - ③地震動評価結果の検証
 - (1) 長大断層の観測記録との比較
 - (2) 地震本部の強震動予測結果との比較

平成26年11月7日
第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合
の資料より抜粋

パラメータの検証 $S \sim M_0$ 関係

設定しているパラメータの検証を行う。まず、断層面積と地震モーメントの関係について検証する。

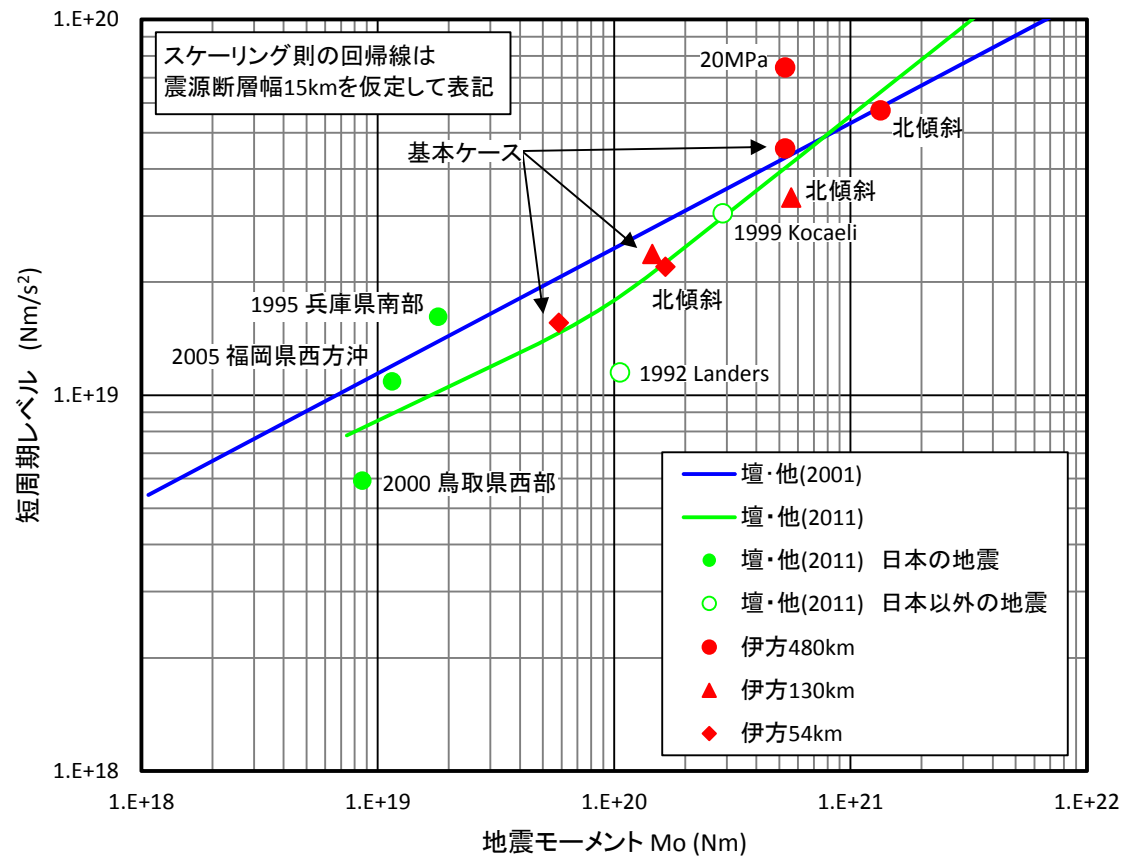
中央構造線断層帯の設定値のうち、基本ケースは幅15kmを仮定した回帰曲線の付近にあり、平均的な値といえる。北傾斜ケースのうち、480kmと130kmはやや大きめではあるが、データのばらつきの範囲内にある。したがって、地震モーメントの設定値は適切なレベルにあり、壇・他(2011)の $\Delta\sigma \sim M_0$ 関係式の適用は可能と判断する。



パラメータの検証 短周期レベル

さらに、短周期レベルについて検証する。

中央構造線断層帯の設定値は、応力降下量20MPaケースを除いて壇・他(2011)のA~Mo関係式の付近にあり、かつデータのばらつきに比べて回帰式との乖離は小さいことから、適切なレベルに設定されていると考える。



パラメータの検証 平均すべり量

平均すべり量もデータのばらつきの範囲にあり、平均的な値が設定されてる。

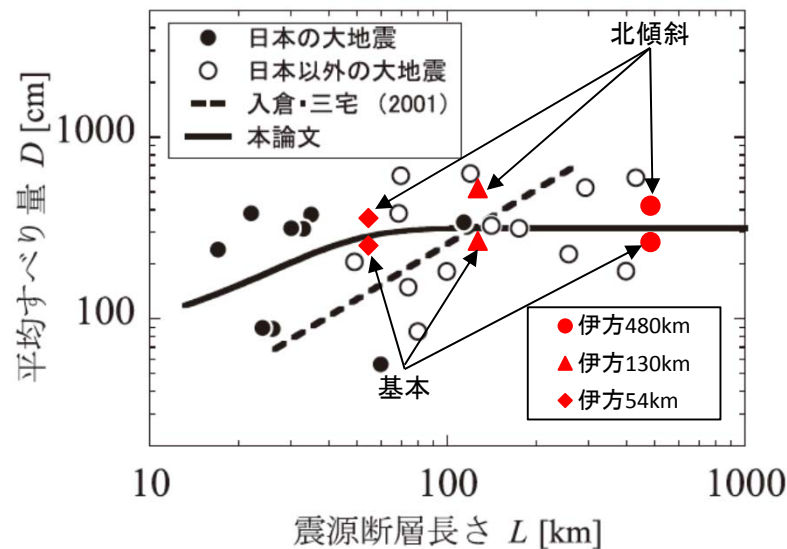


図7 平均すべり量と震源断層長さとの関係

以上の評価から、中央構造線断層帯に設定している断層モデルの幅は、壇・他(2011)が仮定した15kmと異なるものの、設定されたパラメータは回帰に用いたデータのばらつきの範囲内にあることから、壇・他(2011)の適用は可能であると判断する。

-
- ①断層パラメータの検証
(スケーリング則との整合性の確認)
 - ②実地震の再現性
 - (1) 壇・他 (2012), 藤堂・他 (2012) による検証
 - (2) 1999年Kocaeli地震の検証(再現性の確認)
 - ③地震動評価結果の検証
 - (1) 長大断層の観測記録との比較
 - (2) 地震本部の強震動予測結果との比較

平成26年11月7日
第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合
の資料より抜粋

壇・他(2011) 地震動レベルの検証

壇・他(2012)による検証①

- ①壇・他(2012)は、断層長さが50kmのケースについて統計的グリーン関数法で150km×100kmの範囲の地震動を5km格子で算出し、司・翠川(1999)と比較し、標準偏差の範囲と整合していることを確認している。
- ②さらに、2000年鳥取県西部地震のKiK-net日野と伯太における解放基盤波(山添・他, 2004)を工学的基盤上に換算したものと比較し、ほぼ対応していることを確認している。

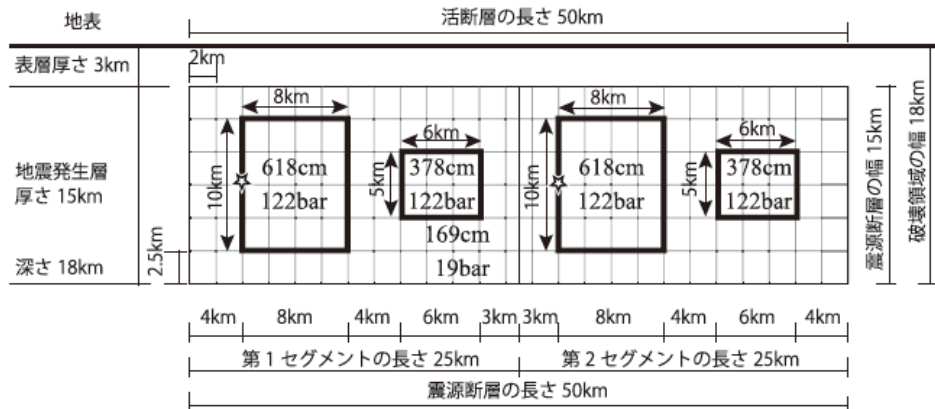
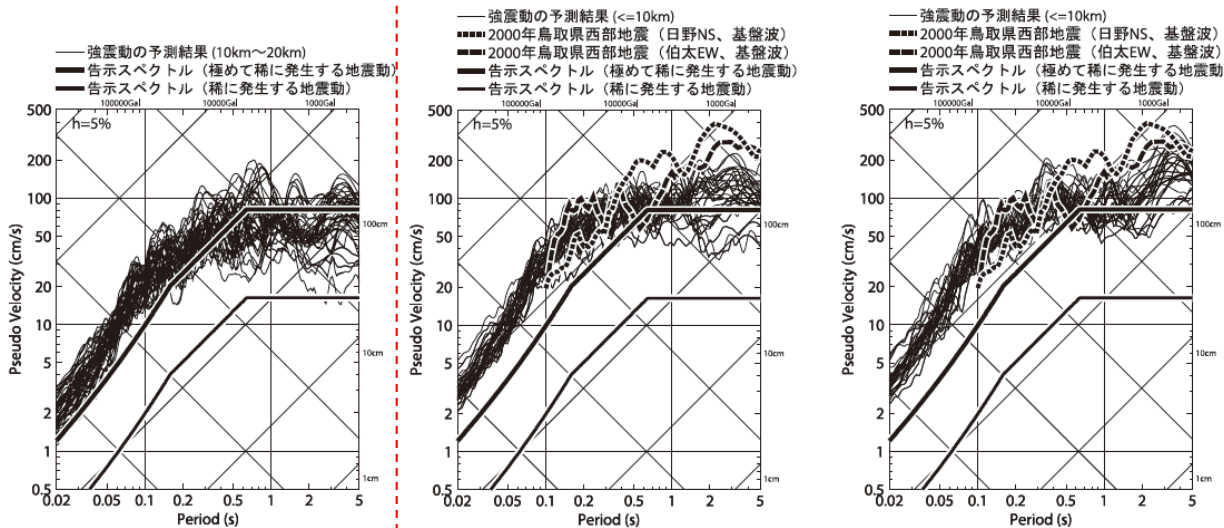
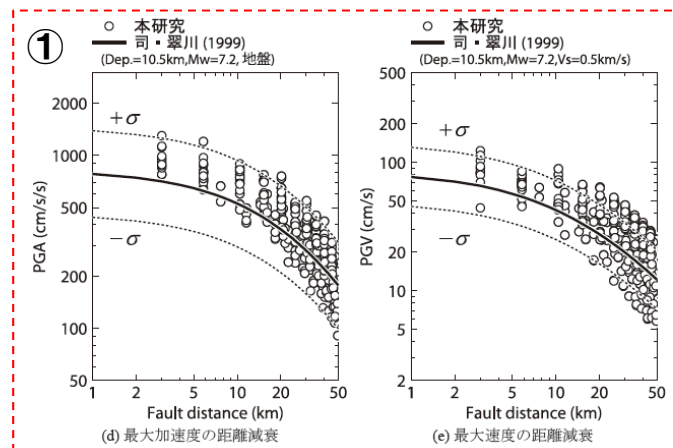


図3 活断層の長さが50 km のときのアスペリティモデルの例と強震動の試算結果



(g) 断層最短距離が10 km~20 km における擬似速度応答スペクトル(減衰定数5%)

(h) 断層最短距離が10 km 以内における擬似速度応答スペクトル(減衰定数5%)

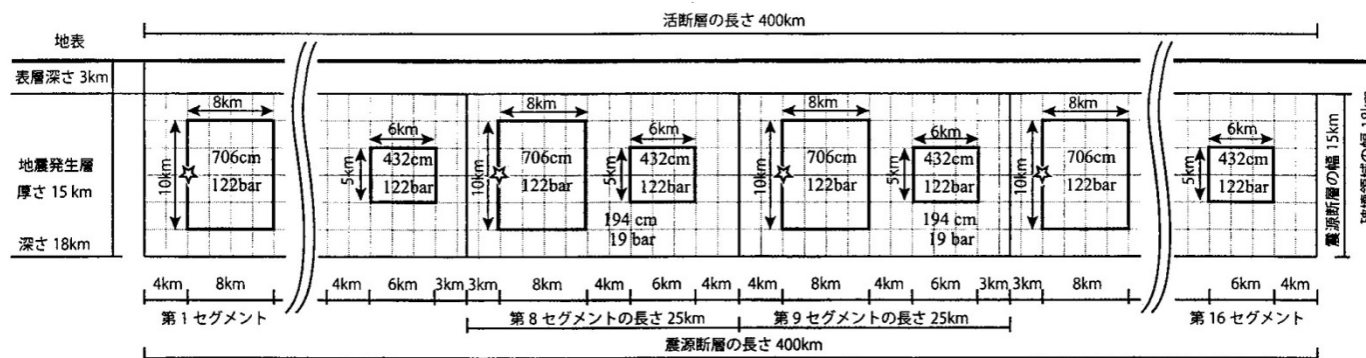
図4 活断層の長さが50 km の場合で破壊開始点を各セグメントにおいてアスペリティの左下端へ変えたときの擬似速度応答スペクトル

図3 活断層の長さが50 km のときのアスペリティモデルの例と強震動の試算結果(つづき)

壇・他(2011) 地震動レベルの検証

壇・他(2012)による検証②

- ③同様に、断層長さが400kmのケースについては、統計的グリーン関数法で500km×100kmの範囲の地震動を5km格子で算出し、司・翠川(1999)と比較し、標準偏差の範囲と整合していることを確認している。
- ④また、Denali地震におけるPS10観測点の最大速度とも比較し、整合していることを確認している。



(a) アスペリティモデルの例 (セグメントは16あり、☆は各セグメントの破壊開始点で、全体の破壊開始点は第1セグメントの☆である。)

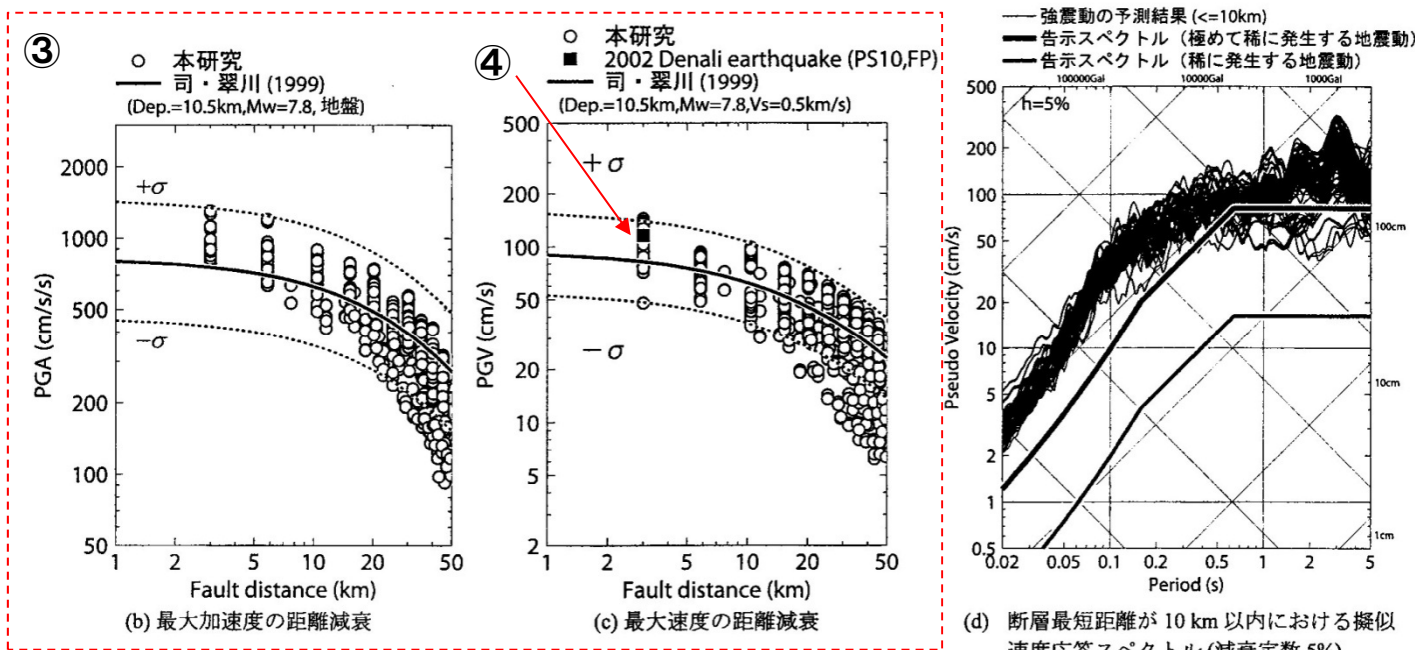
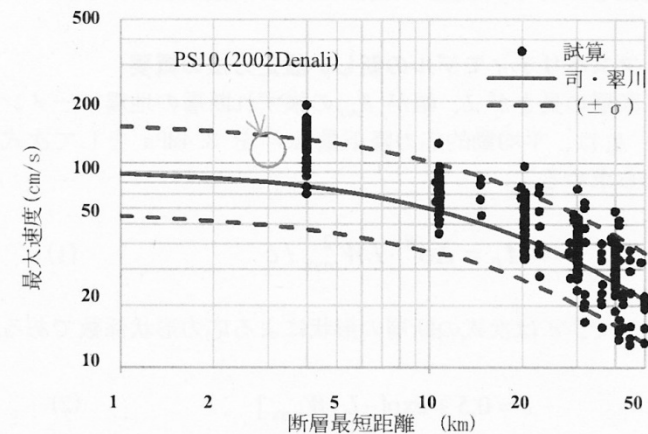
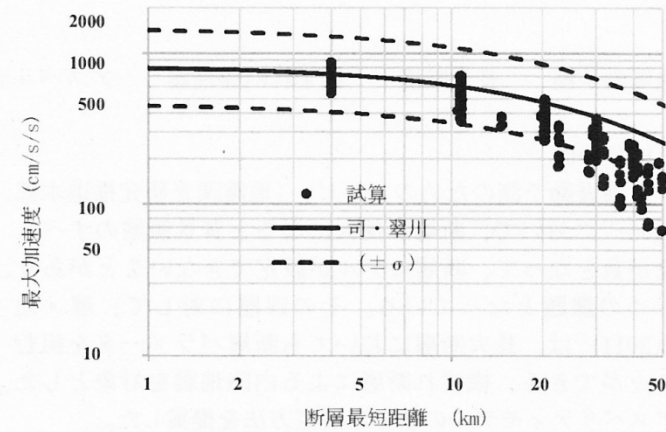
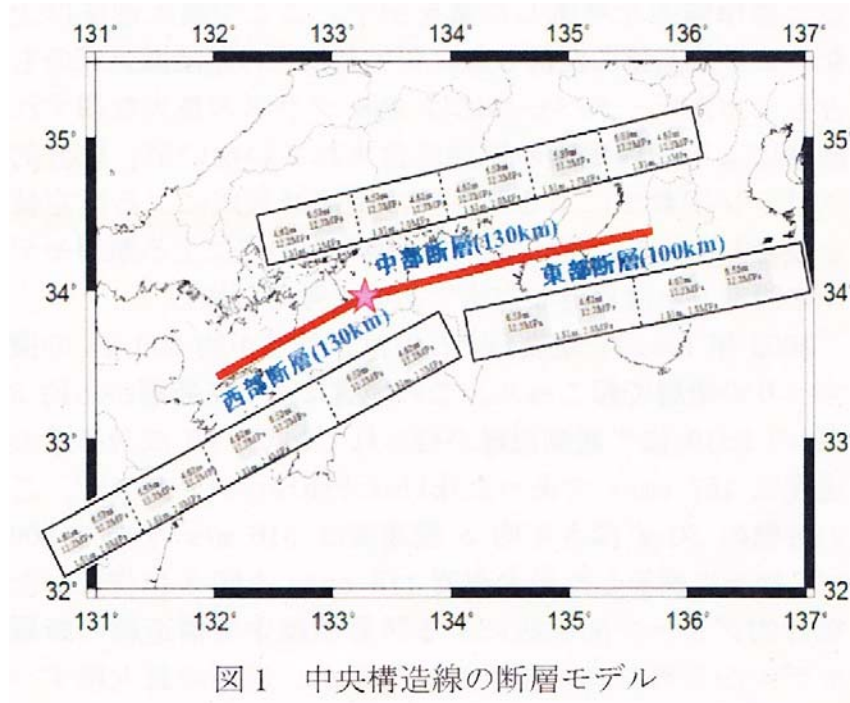


図6 活断層の長さが400kmのときのアスペリティモデルの例と強震動の試算結果

壇・他(2011) 地震動レベルの検証

藤堂・他(2012)による検証

- 藤堂・他(2012)では、地震本部が示す中央構造線の断層モデルに本手法を適用し、統計的グリーン関数法を用いて断層周辺の距離60kmまでの強震動を算出し、司・翠川(1999)やDenali地震の観測記録と比較し、整合することを確認している。



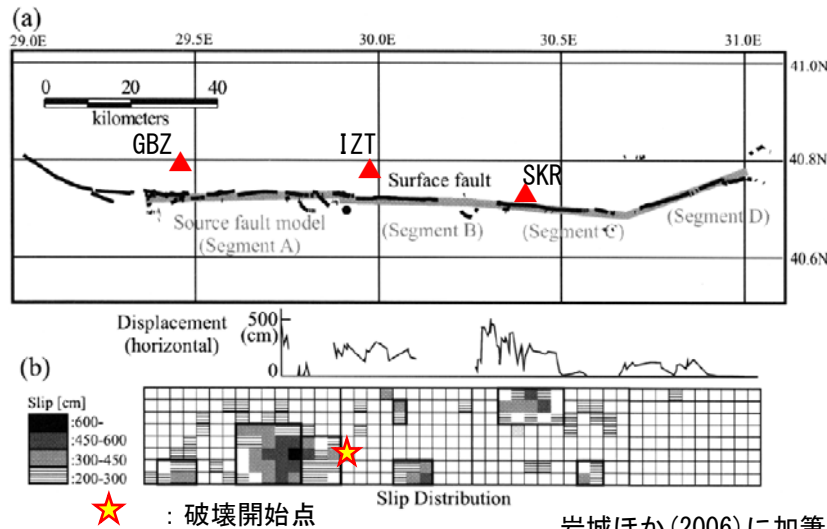
-
- ①断層パラメータの検証
(スケーリング則との整合性の確認)
 - ②実地震の再現性
 - (1) 壇・他 (2012), 藤堂・他 (2012) による検証
 - (2) 1999年Kocaeli地震の検証(再現性の確認)
 - ③地震動評価結果の検証
 - (1) 長大断層の観測記録との比較
 - (2) 地震本部の強震動予測結果との比較

平成26年11月7日
第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合
の資料より抜粋

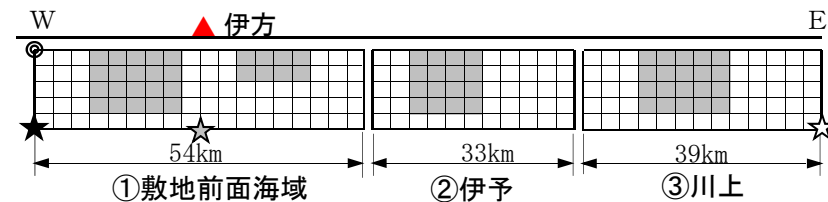
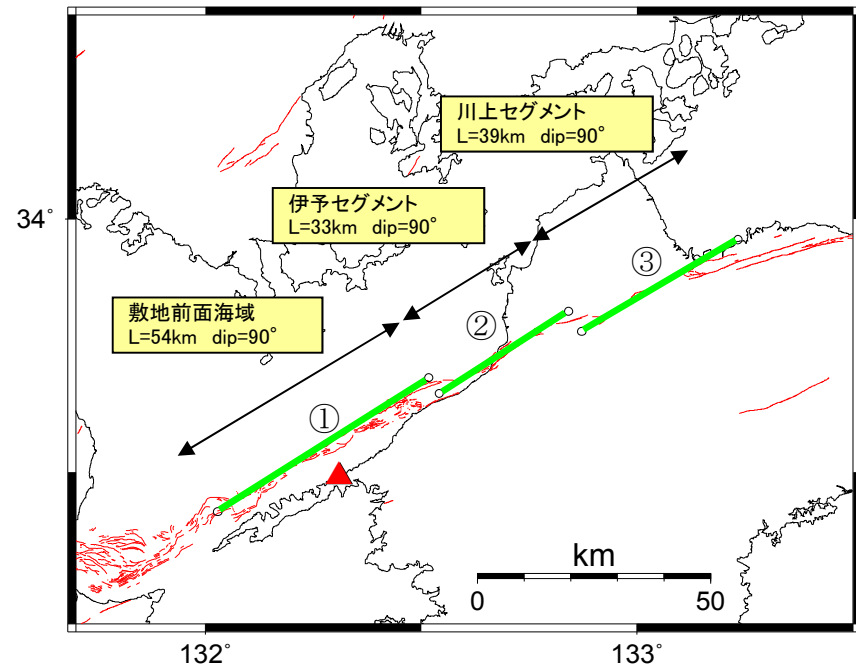
Kocaeli地震とMTL 130kmの断層モデルの比較

- 壇・他 (2011) のスケーリング則の適用性を検証するため、壇・他 (2011) を用いた地震動評価で、1999Kocaeli地震における震源近傍の観測記録を再現できるかどうかを検討する。
- Kocaeli地震は長さ140km程度の断層が横ずれ運動した地震であり、断層から10km以内の記録が得られている。これは、中央構造線130kmモデルのケースと類似していることから、両者を比較して検証することとする。

■ 1999 Kocaeli地震



■ MTL130km 基本震源モデル ①どちらも横ずれ断層



☆☆☆: 破壊開始点

■ 断層モデルと観測(評価)条件の比較

地震	断層長さ (km)	断層幅 (km)	傾斜角	地点	AVS30 (m/s)	Xsh (km)
1999 Kocaeli	141	23.3	90°	GBZ	701	9
				IZT	826	8
				SKR	412	4
MTL	126	13.0	90°	伊方	2600	8

②長さがほぼ等しい

③断層最短距離も10km以内

Kocaeli地震とMTL 130kmの断層モデルの比較

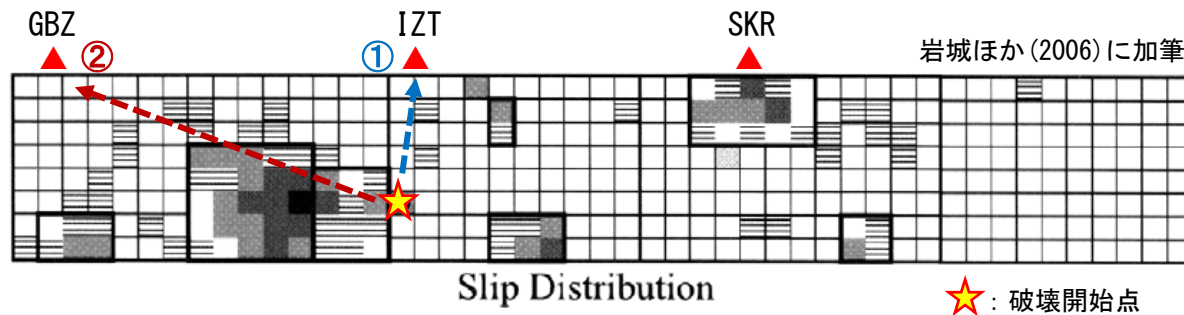
○さらに、破壊伝播方向に着目し、

①敷地の前面で破壊が始まり、その横に主アスペリティが位置するIZT地点の観測記録とMTL 130kmモデルの前面中央下端破壊のケース

②敷地が主アスペリティの破壊の進行方向にあるGBZ地点の観測記録とMTL 130kmモデル西下端破壊のケースを比較する。断層最短距離は、IZTが8km、GBZが9km、伊方が8kmであり、ほぼ等しい。

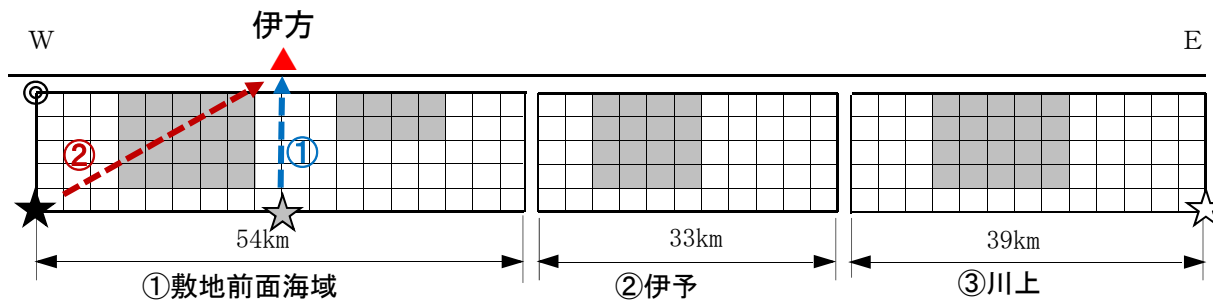
○SKR地点は同じような破壊パターンがないため、西下端破壊、前面中央下端破壊、東下端破壊の全てのケースと比較する。(③)

■1999 Kocaeli地震の断層モデル



地震	断層長さ (km)	断層幅 (km)	地点	AVS30 (m/s)	Xsh (km)
1999 Kocaeli	141	23.3	GBZ	701	9
			IZT	826	8
			SKR	412	4

■MTL130km 基本震源モデル



地震	断層長さ (km)	断層幅 (km)	地点	AVS30 (m/s)	Xsh (km)
MTL	126	13.0	伊方	2600	8

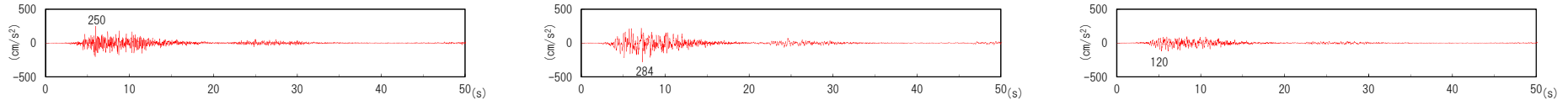
★ : 破壊開始点 (西下端) ☆ : 破壊開始点 (前面中央下端) ☆ : 破壊開始点 (東下端)

地震動レベルの比較①

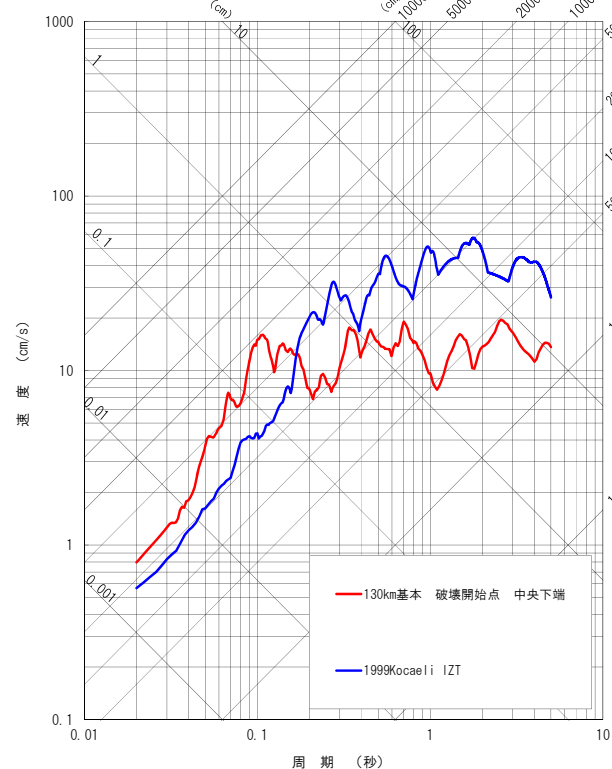
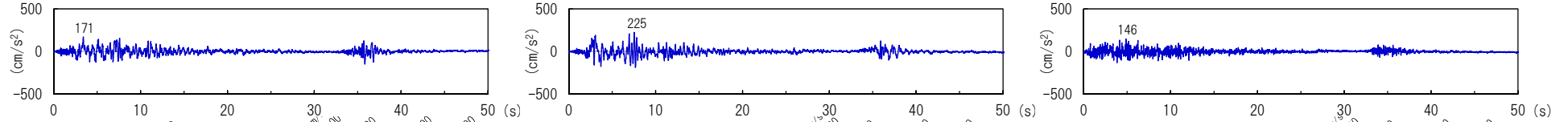
(MTL130km基本ケース(前面中央下端破壊)と1999Kocaeli IZTの比較)

伊方とIZTは地盤条件が異なるが、単純に比較してみたところ、NS方向は要素地震の特徴から長周期側で差異が見られるものの、EW, UDは全体として地震動レベルは概ね整合的である。また、主アスペリティによる時刻歴波形の最大加速度や継続時間も比較的類似している。

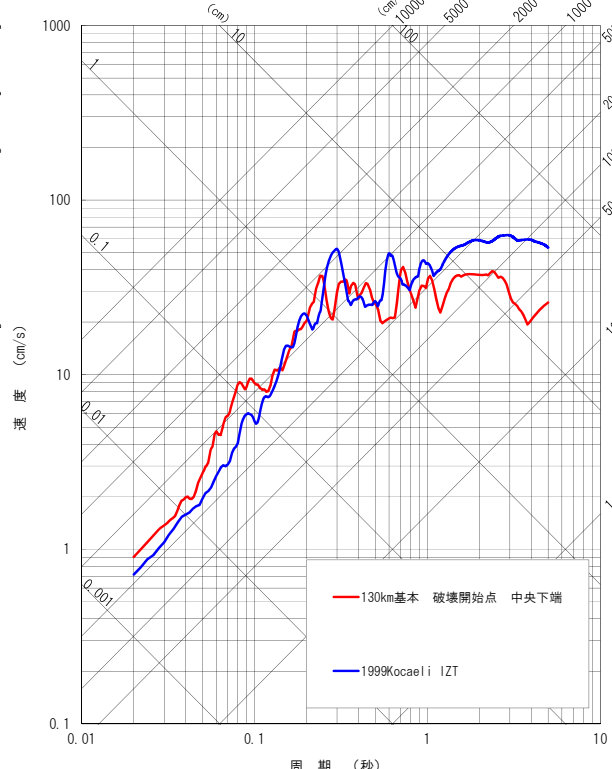
■ MTL 130km基本 前面中央下端破壊(シミュレーション)



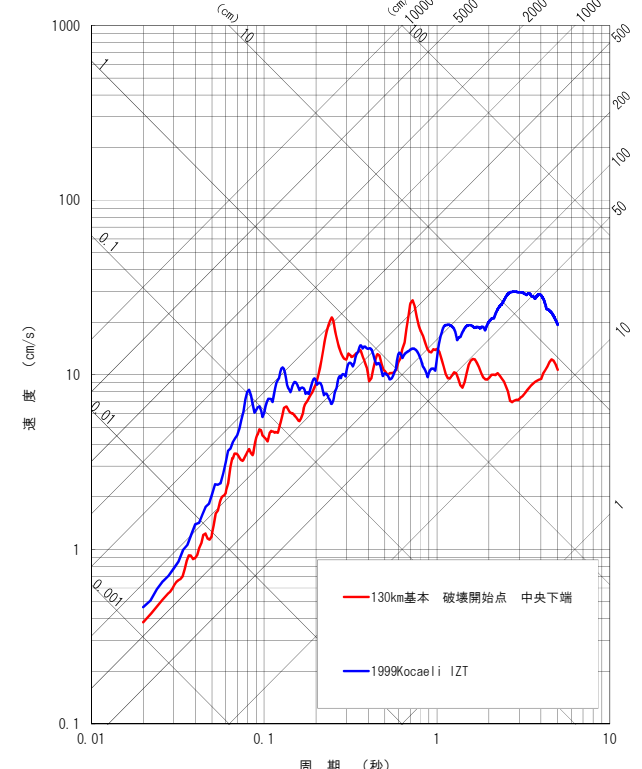
■ 1999Kocaeli IZT(観測)



NS



EW



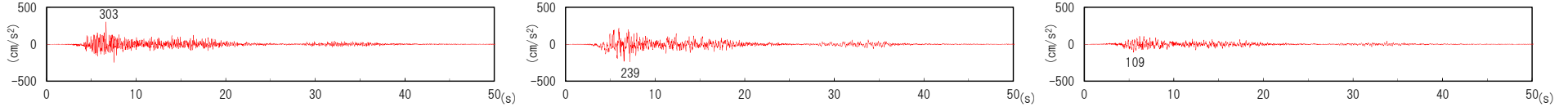
UD

地震動レベルの比較②

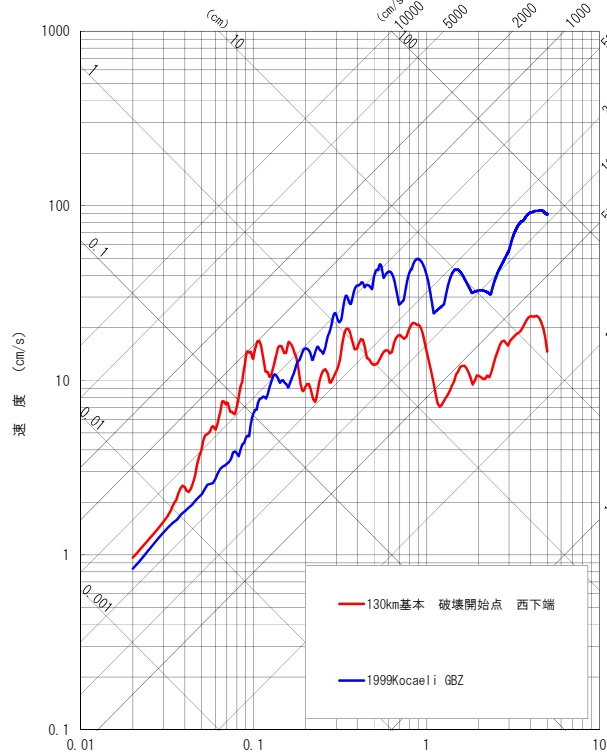
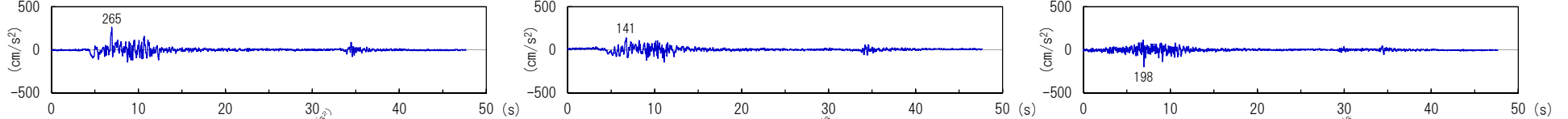
(MTL130km基本ケース(西下端破壊)と1999Kocaeli GBZの比較)

伊方とGBZは地盤条件が異なるが、単純に比較してみたところ、NS方向は要素地震の特徴から長周期側で差異が見られるものの、EW, UDは全体として地震動レベルは概ね整合的である。また、主アスペリティによる時刻歴波形の最大加速度や継続時間も比較的類似している。

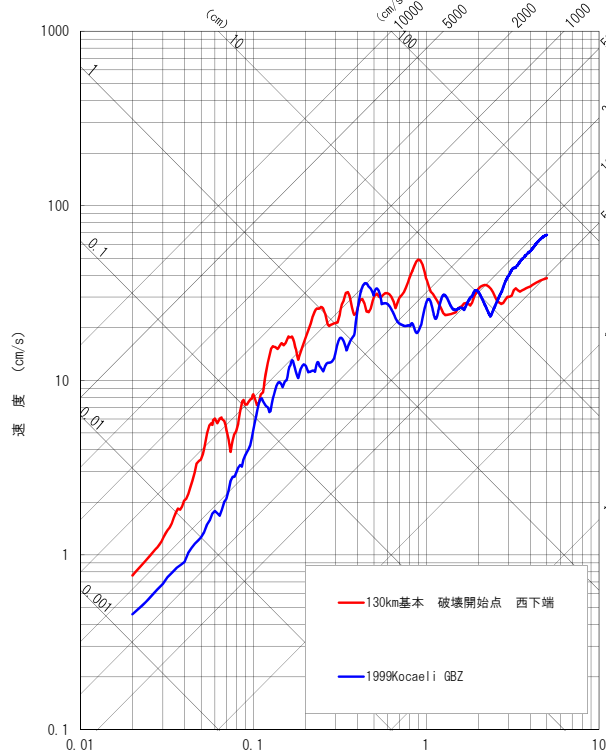
■MTL 130km基本 西下端破壊(シミュレーション)



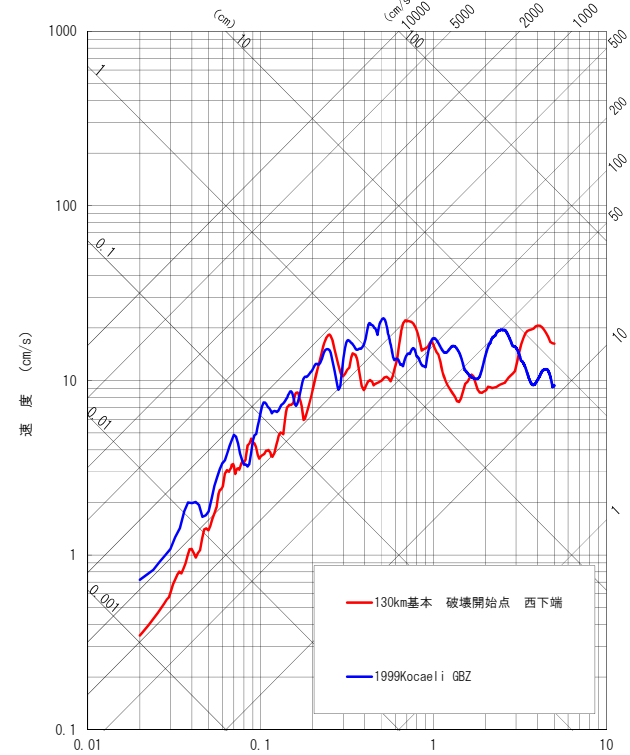
■1999Kocaeli GBZ(観測)



NS



EW

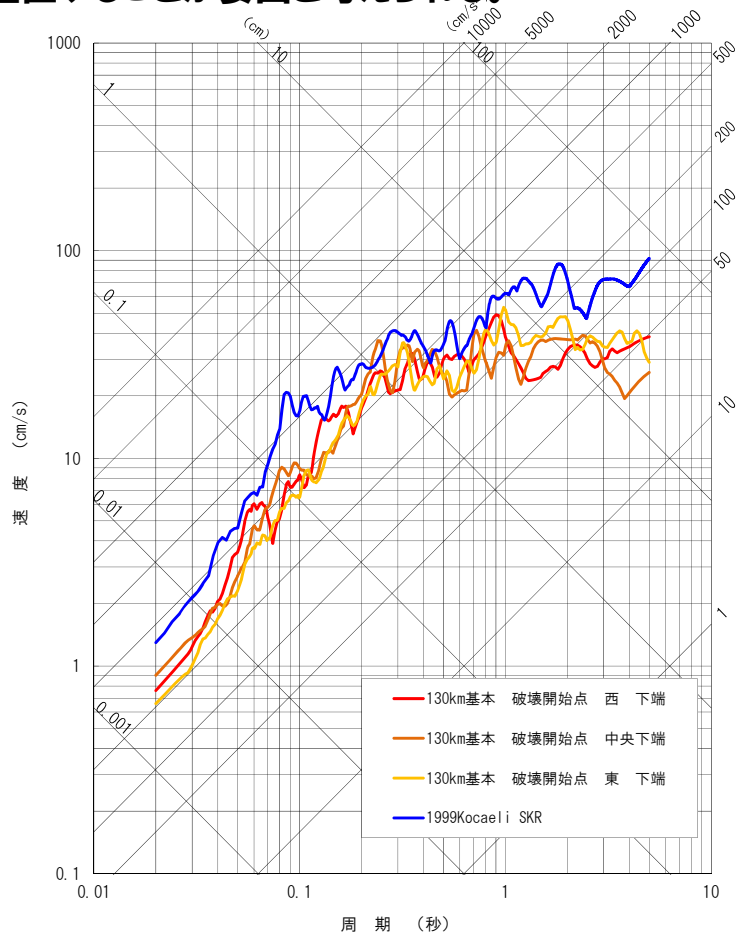


UD

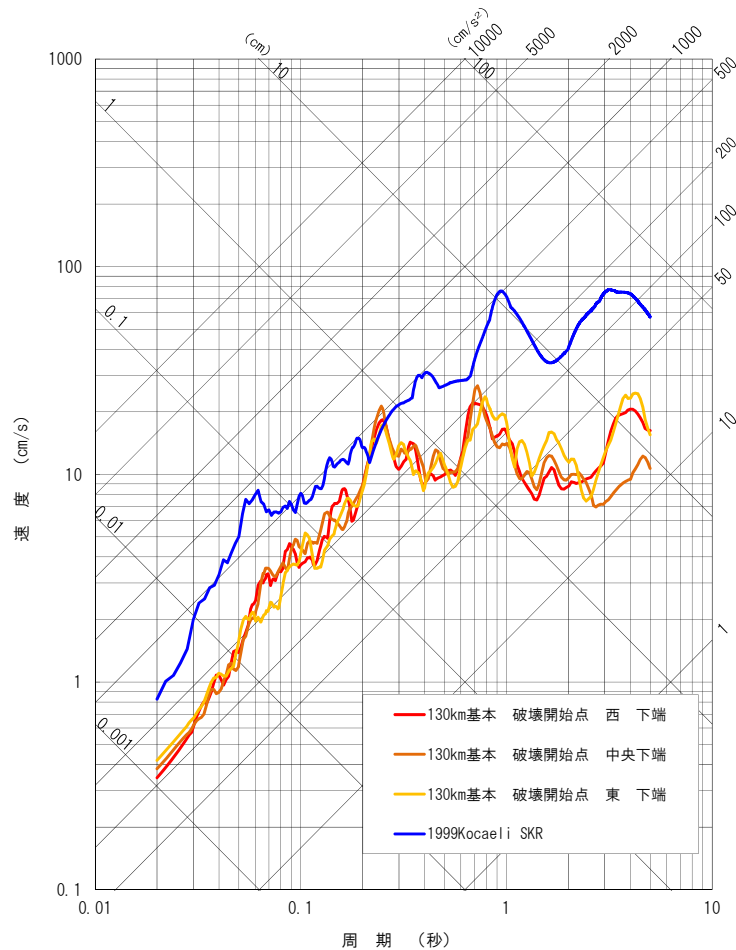
地震動レベルの比較③

(MTL130km基本ケース(全ケース)と1999Kocaeli SKRの比較)

- SKR地点の地震動レベルは、MTL130km基本ケースの地震動評価結果と比べてやや大きめとなっている。
- これは、SKR地点は地盤のAVS30が他の2地点と比べて小さく(412m/s)、伊方(2600m/s)よりもやわらかい地盤であること、断層からの距離(4km)が伊方発電所の場合(8km)と比べて近いこと、アスペリティがSKR地点の正面に位置することが要因と考えられる。



EW



UD



壇・他(2011)による実地震の再現性の検証 まとめ

距離減衰式や実地震の観測記録(鳥取県西部地震, Denali地震)との比較

- 壇・他(2012)では, 長大な横ずれ断層に壇・他(2011)のスケーリング則を適用した強震動の試算を実施しており, 2000年鳥取県西部地震の記録, 2002年Denali地震の記録および司・翠川(1999)と整合することを確認している。
- さらに, 藤堂・他(2012)では, 地震本部が示す中央構造線の断層モデルに壇・他(2011)のスケーリング則を適用した強震動の試算を実施し, Denali地震の観測記録や司・翠川(1999)と整合することを確認している。



Kocaeli地震との比較

- 壇・他(2011)のスケーリング則の適用性を検証するため, 1999Kocaeli地震における震源近傍の観測記録と, MTL130km基本モデルによる伊方発電所の地震動評価結果を比較した。
- IZT地点, GBZ地点の記録については, NS方向は要素地震の特徴から長周期側でやや差異が見られるものの, EW, UDは全体として地震動レベルは概ね整合的である。
- SKR地点については, MTL130km基本モデルの地震動評価結果と比べてやや大きめの地震動レベルであったが, これは, SKR地点の地盤の V_s が他の2地点と比べて小さく(412m/s), 断層からの距離(4km)が伊方発電所の場合(8km)と比べて近いことや, アスペリティがSKR地点の正面に位置することが要因と考えられる。



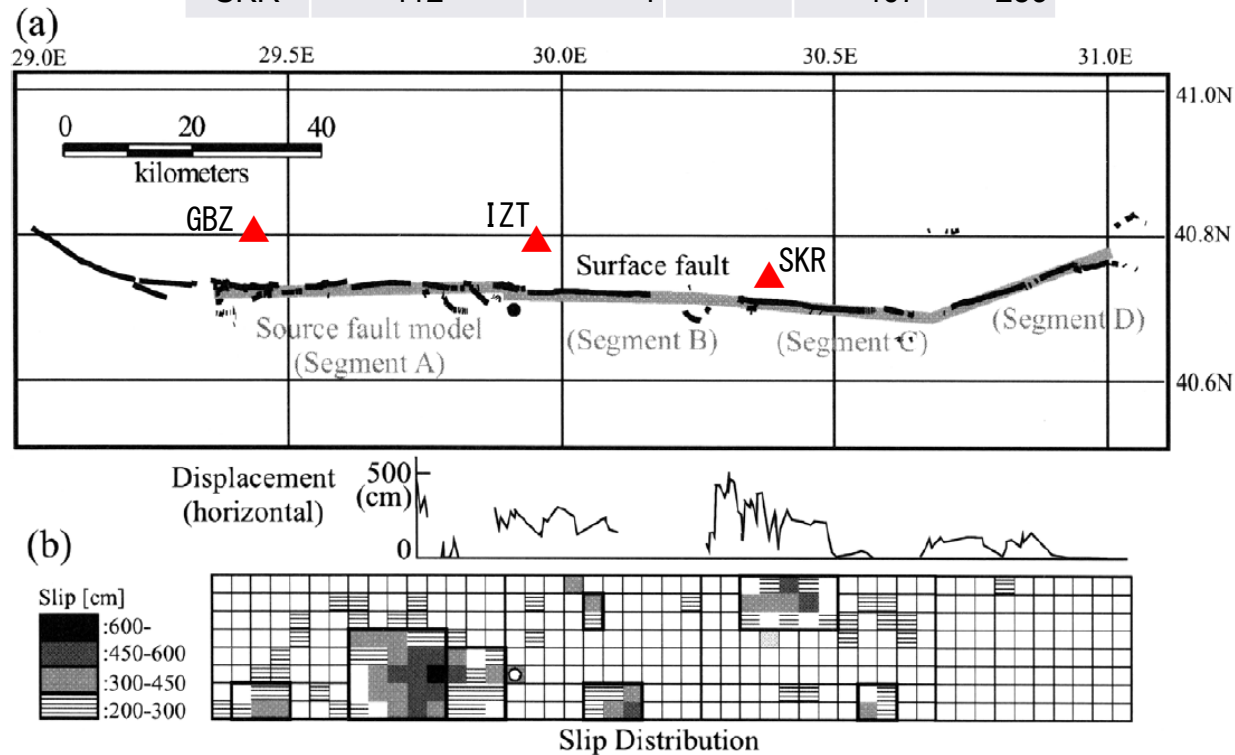
- 以上より, 壇・他(2011)のスケーリング則を用いた地震動評価結果は, 実地震の観測記録の再現性を有すると評価できると考える。

-
- ①断層パラメータの検証
(スケーリング則との整合性の確認)
 - ②実地震の再現性
 - (1) 壇・他 (2012), 藤堂・他 (2012) による検証
 - (2) 1999年Kocaeli地震の検証(再現性の確認)
 - ③地震動評価結果の検証
 - (1) 長大断層の観測記録との比較
 - (2) 地震本部の強震動予測結果との比較

平成26年11月7日
第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合
の資料より抜粋

1999 Kocaeli

Site	AVS30 (m/s)	Xsh (km)	Amax (cm/s/s)		
			NS	EW	UD
GBZ	701	9	265	141	198
IZT	826	8	171	225	146
SKR	412	4	—	407	259



Surface fault length = 115 km
Rupture area length = 141 km

付図5

1999年 Kocaeli地震の地表地震断層および深部起震断層モデルの関係。地表地震断層のデータはBarka et al. (2002), 深部起震断層のデータはSekiguchi and Iwata (2002) に基づく。図の見方は付図1を参照。

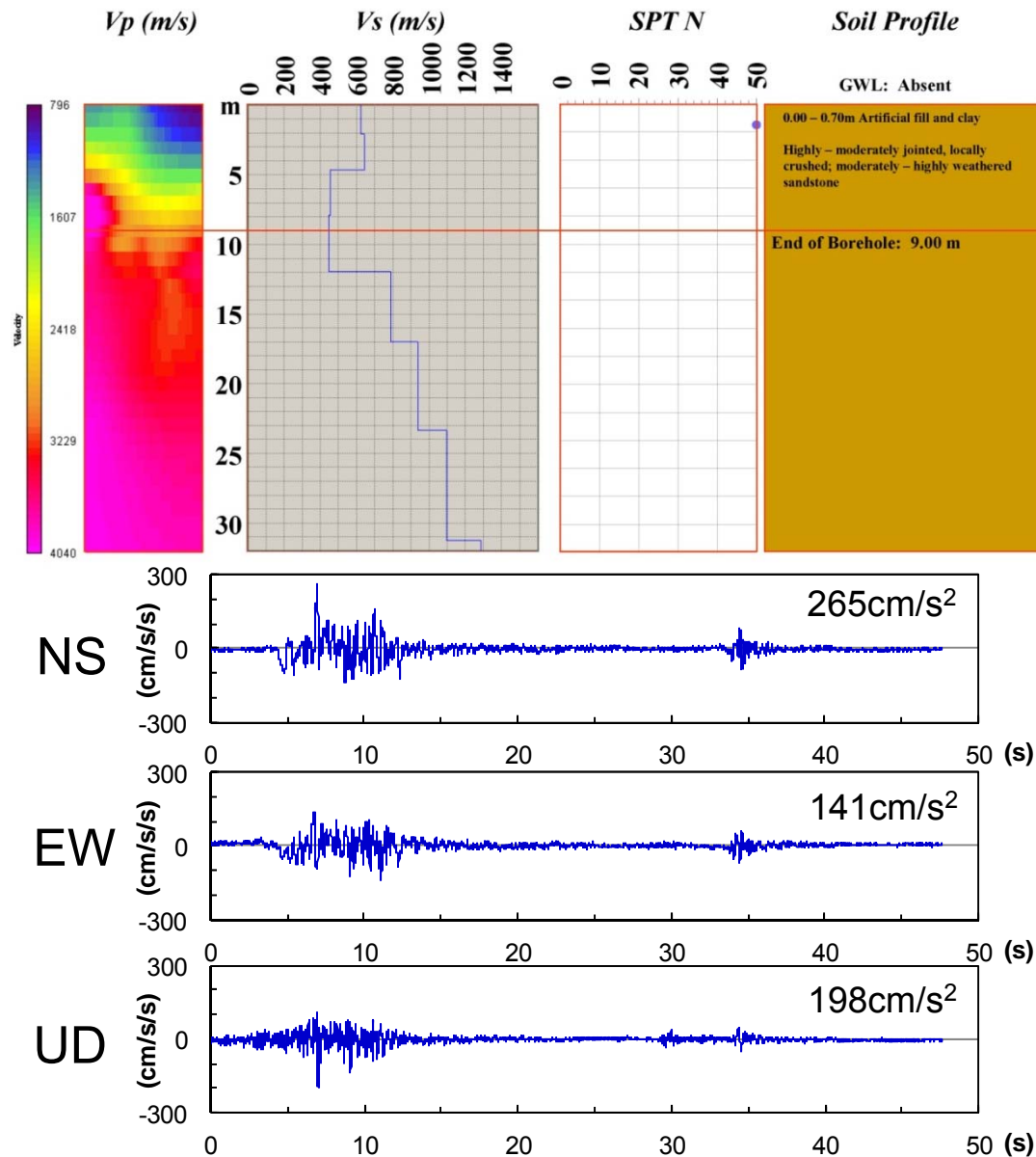
Appendix Figure 5

Schematic view of surface fault and source fault of the 1999 Kocaeli earthquake.

(a)：地表地震断層（黒線）と深部起震断層モデル（灰色線），および破壊開始点（黒丸）を，地表に投影して示す。深部起震断層モデルは，Somerville et al. (1999) に基づく破壊領域を投影している。(b)：地表地震断層の変位量分布と，深部起震断層の破壊領域のすべり量分布，アスペリティ分布を示す。すべり量分布は小断層ごとに色分けして表示し，アスペリティの範囲を太い枠で囲む。起震断層面上の破壊開始点を白丸で表す。

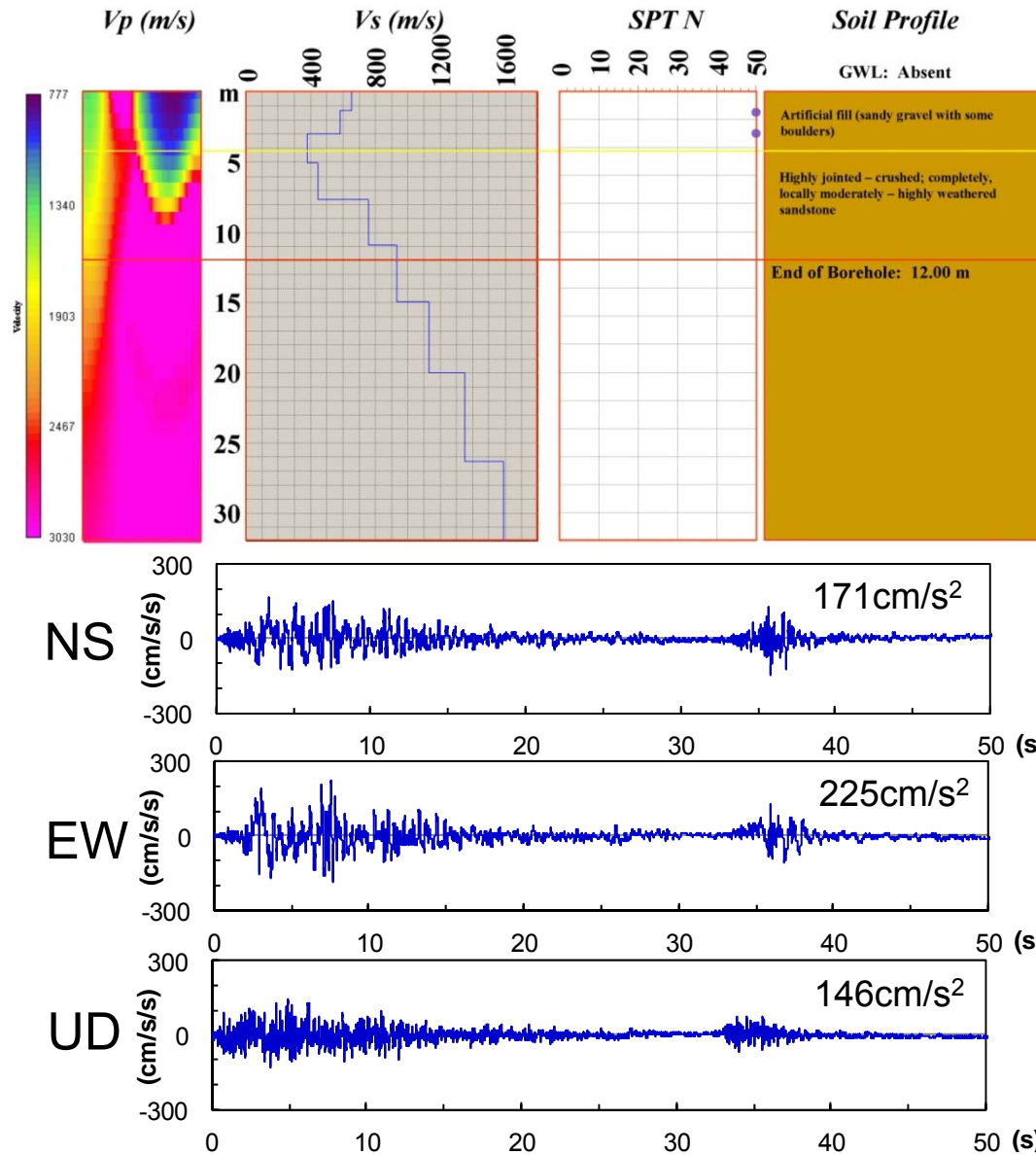
1999 Kocaeli GBZ $AVS30=701m/s$ $Xsh=9km$

AI_002_GBZ correlation of seismic velocities with geotechnical borehole data



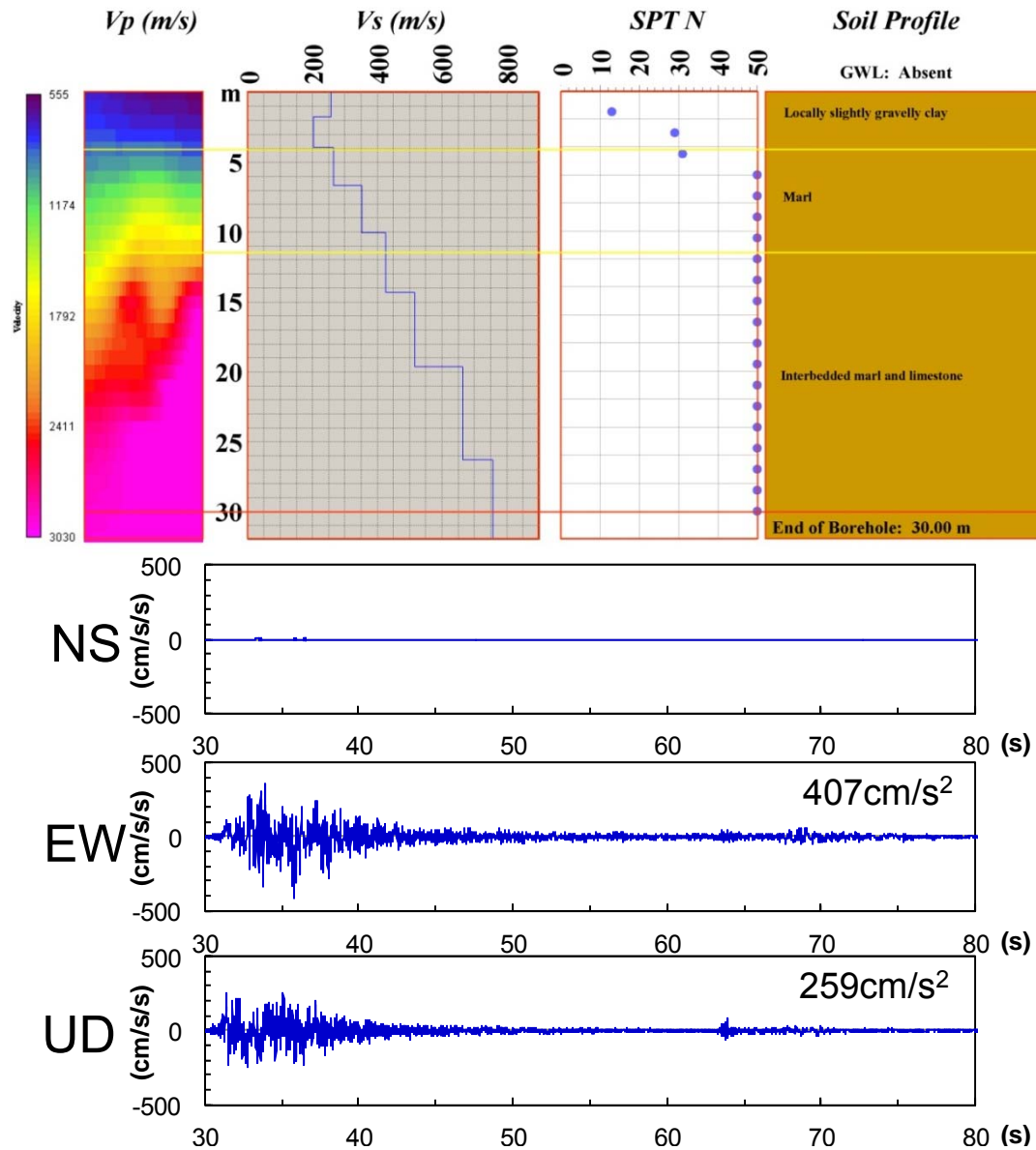
1999 Kocaeli IZT $AVS30=826m/s$ $Xsh=8km$

AI_004_IZT correlation of seismic velocities with geotechnical borehole data

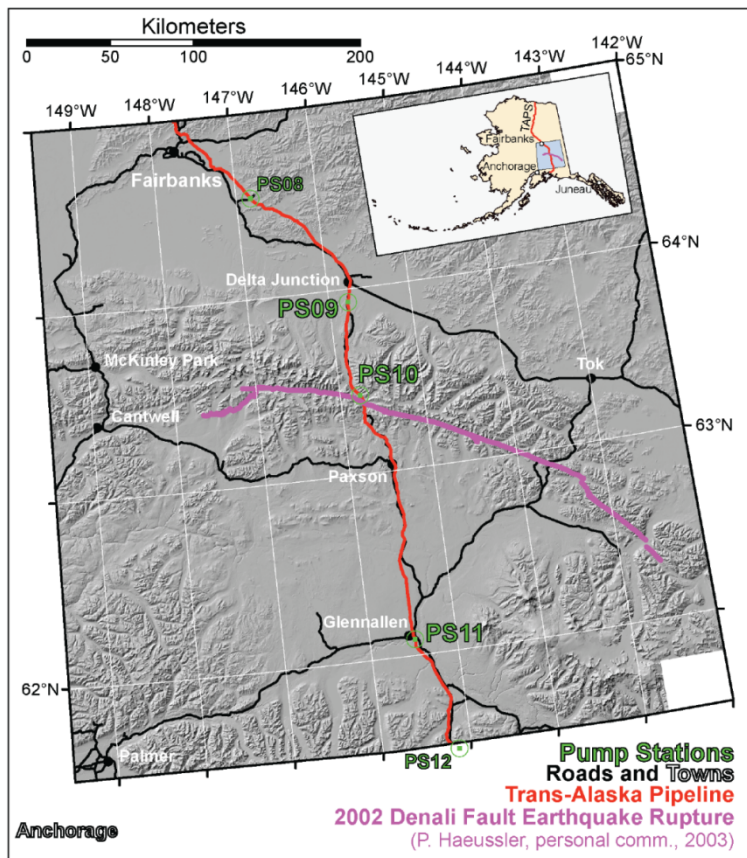


1999 Kocaeli SKR AVS30=412m/s Xsh=4km

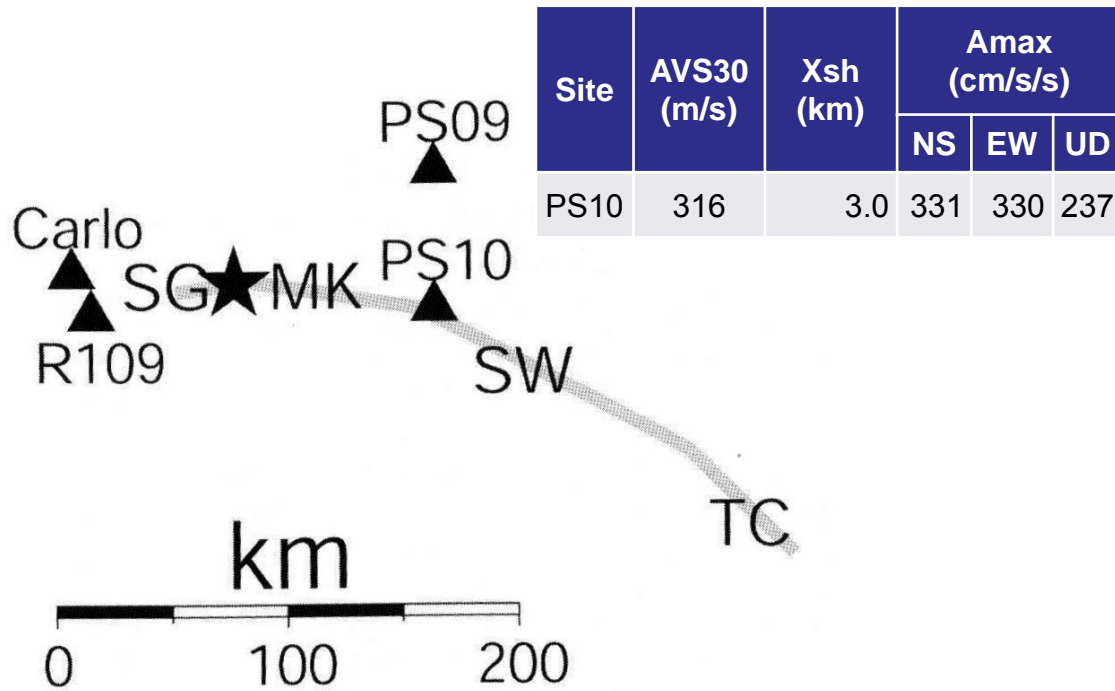
AI_005_SKR correlation of seismic velocities with geotechnical borehole data



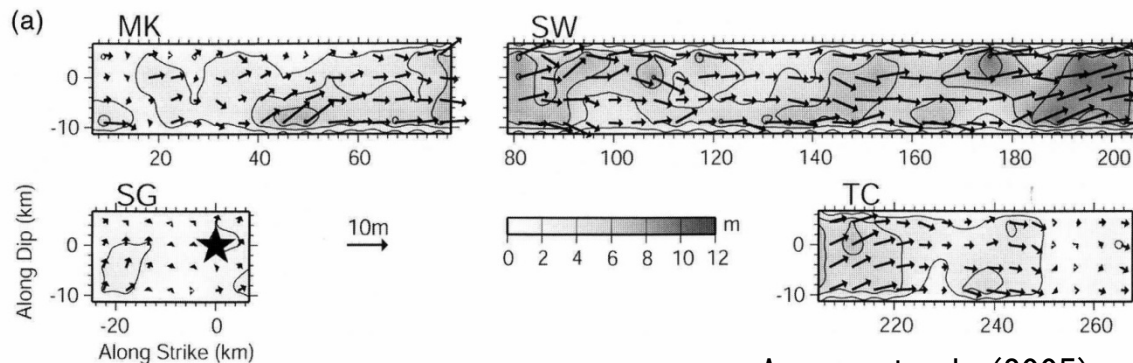
2002 Denali



USGS (2006)



Site	AVS30 (m/s)	Xsh (km)	Amax (cm/s/s)		
			NS	EW	UD
PS10	316	3.0	331	330	237

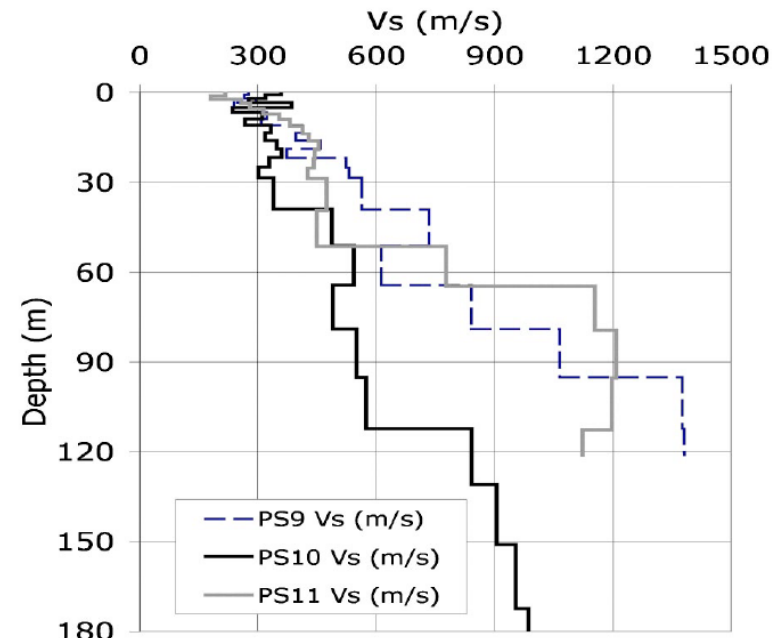
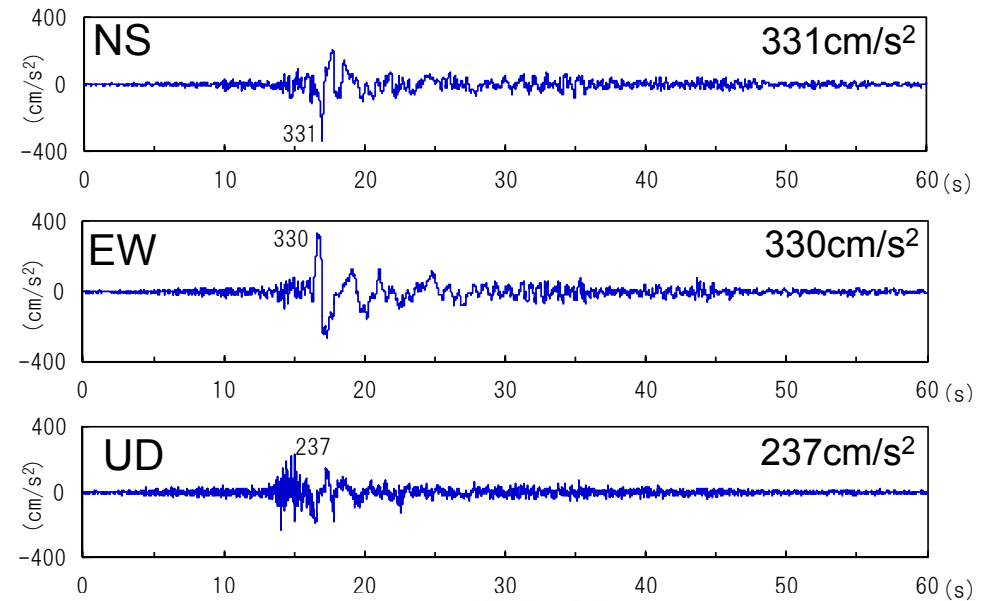
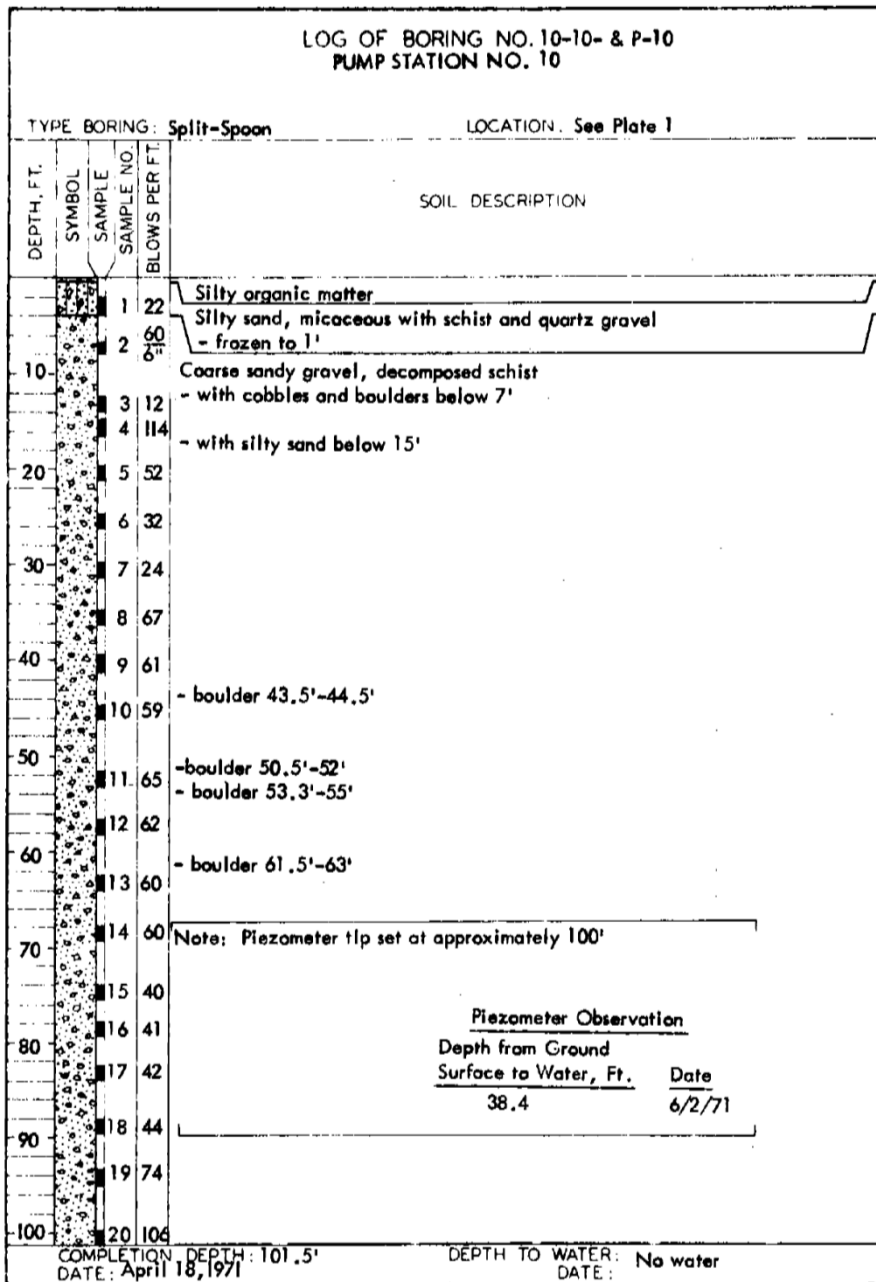


Asano et al. (2005)

Total length of fault planes = 292.5 km

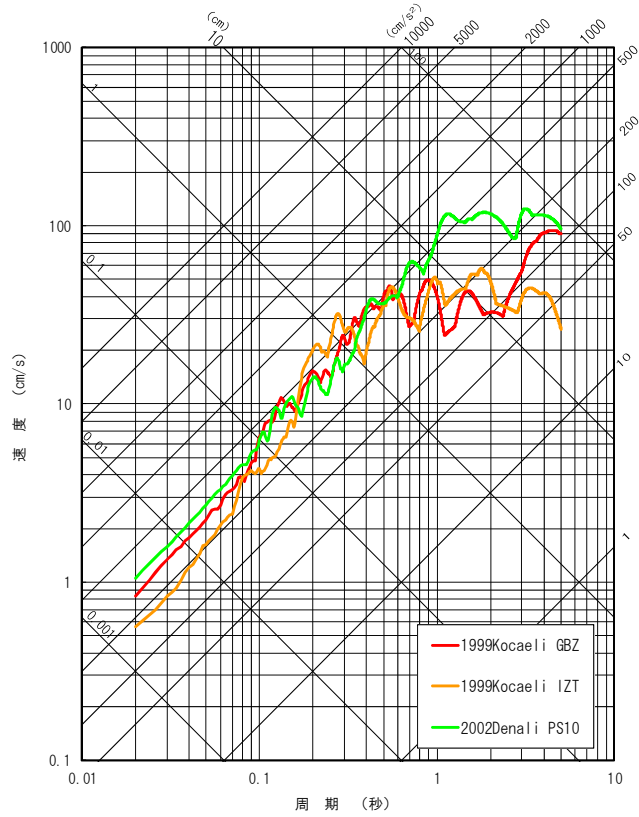


2002 Denali PS10 AVS30=316m/s Xsh=3km

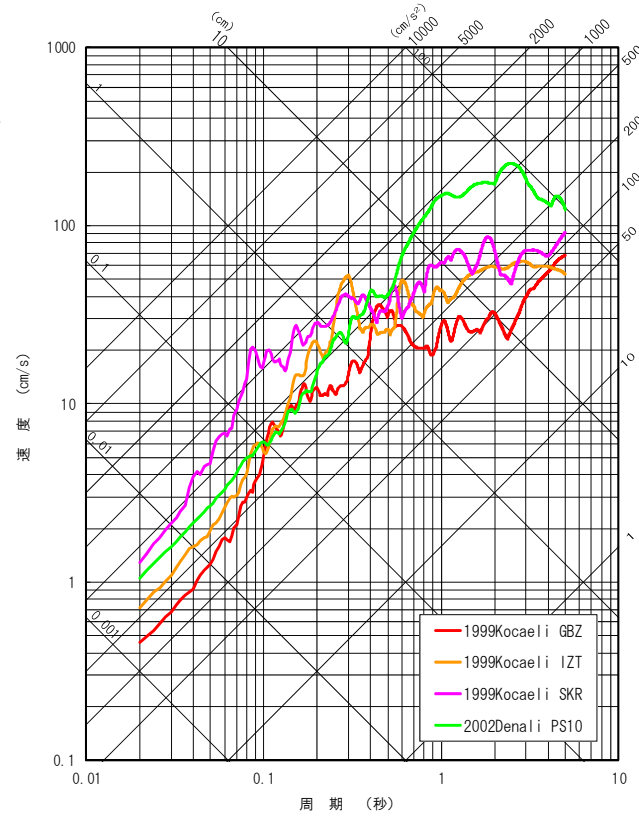


Kayen et al. (2004)

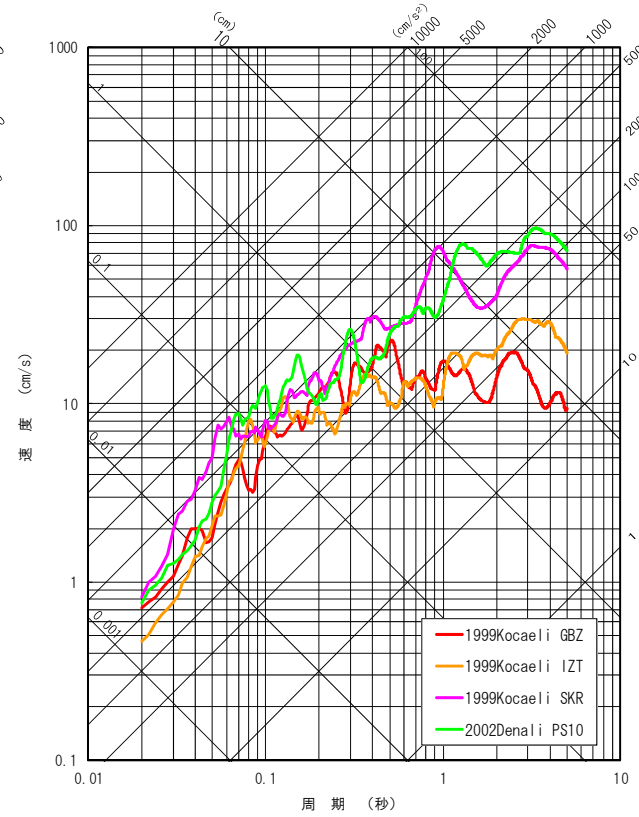
応答スペクトル(1999Kocaeli, 2002Denali)



NS方向



EW方向



UD方向

2008 Wenchuan

岩盤地点で観測された最大加速度は300ガル程度。

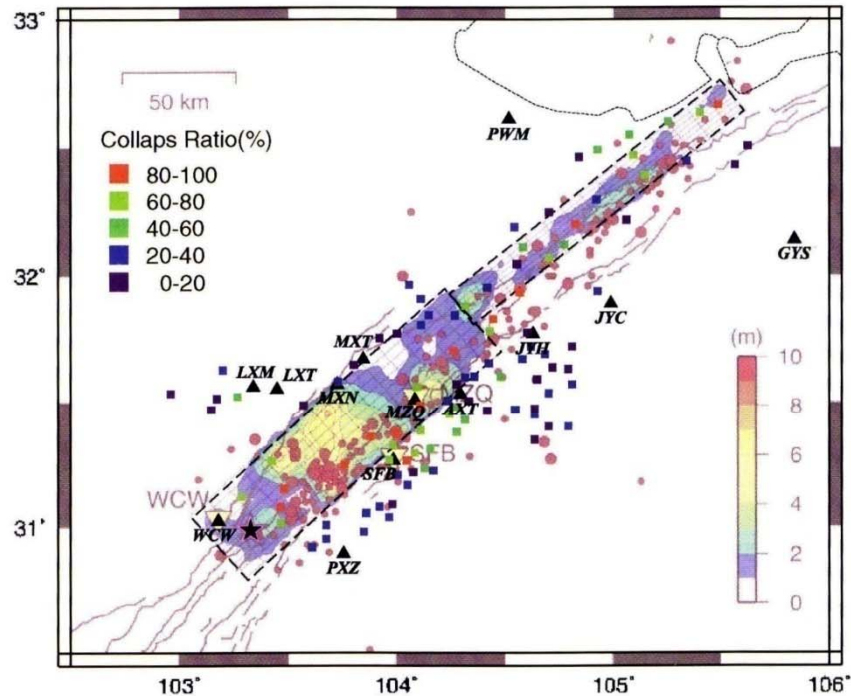


Figure 1. Distribution of slip on the fault plane and collapse ratios (squares) during the 2008 Wenchuan earthquake. The projection of the slip distribution onto the ground surface is obtained by the joint inversion of teleseismic and strong ground motion data (Koketsu *et al.*, 2009). The collapse ratios were estimated through remote sensing by the Chendu Branch of the China Academy of Science (2008). The star and triangle symbols indicate the hypocenter of the mainshock and the observation stations near the source area, respectively.

Site	Site Condition	Xsh (km)	Amax (cm/s/s)		
			NS	EW	UD
AXT	SOIL	5.1	203	290	180
JYH	SOIL	19.7	350	519	444
MXT	ROCK	23.6	302	307	267
MZQ	SOIL	7.4	803	824	623
PXZ	ROCK	21.8	142	121	99
SFB	SOIL	6.5	582	556	633
WCW	SOIL	17.7	653	958	948

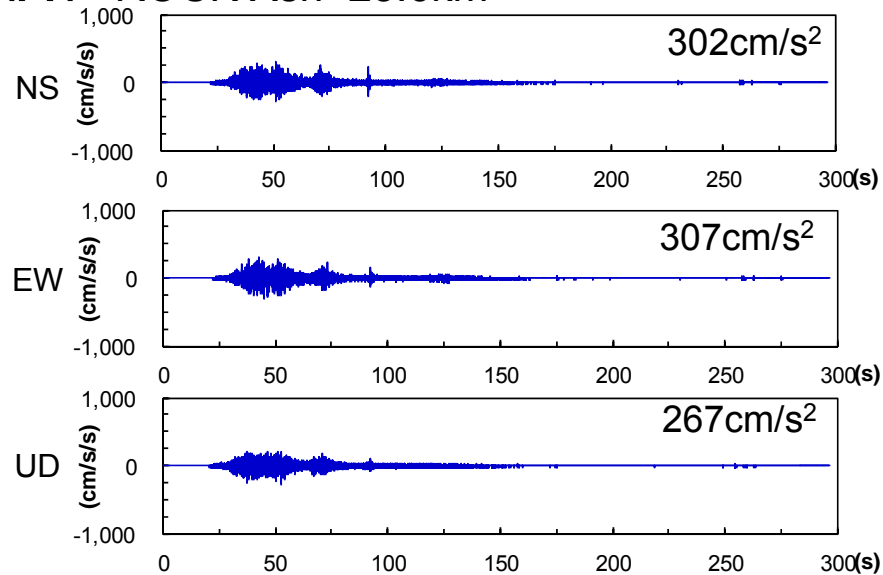
Site Condition, Xshは,
Ghasemi *et al.* (2010)による

Kurahashi *et al.* (2010)

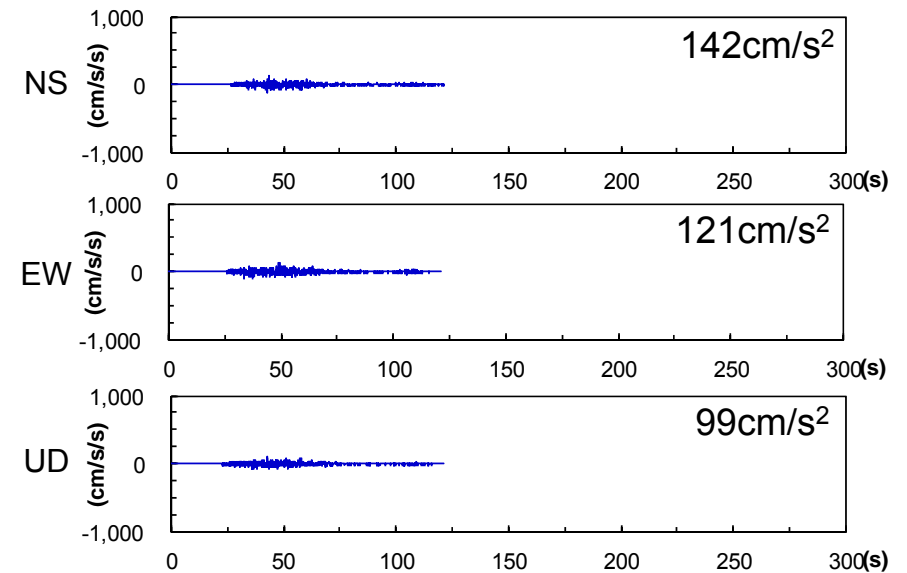
断層長さは約300km

2008 Wenchuan 岩盤地点の加速度波形

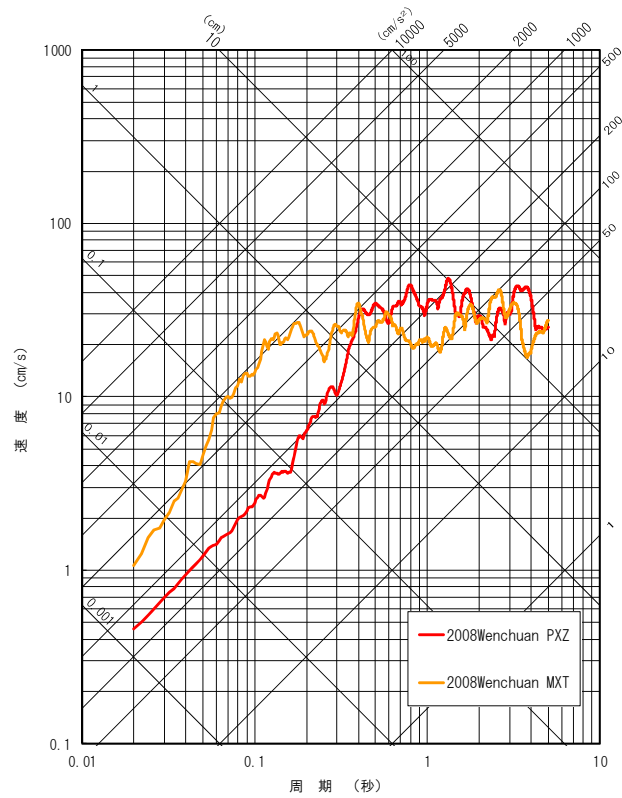
MXT ROCK Xsh=23.6km



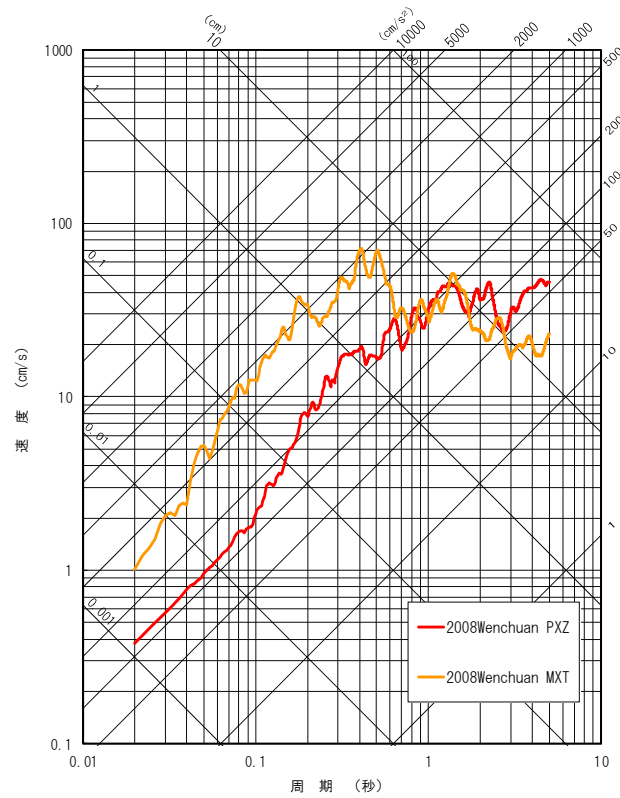
PXZ ROCK Xsh=21.8km



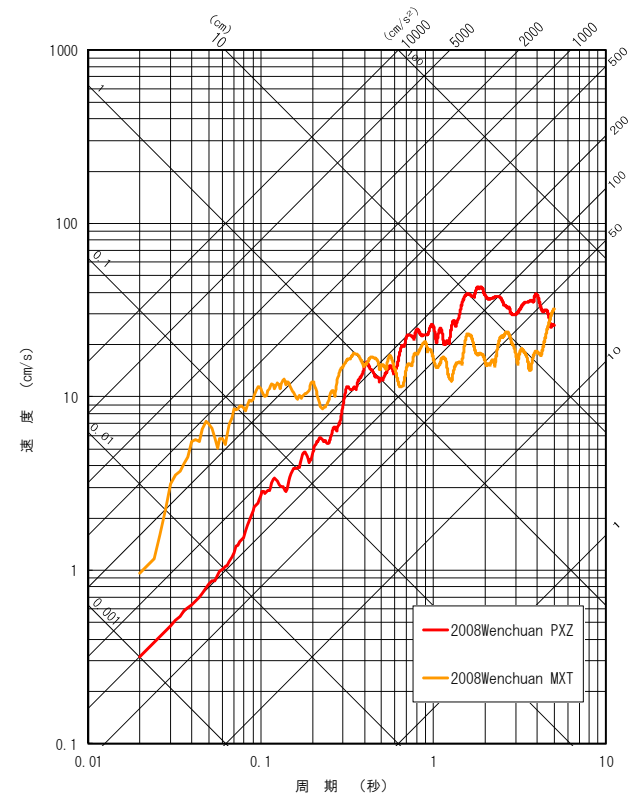
2008 Wenchuan 岩盤地点の応答スペクトル



NS方向



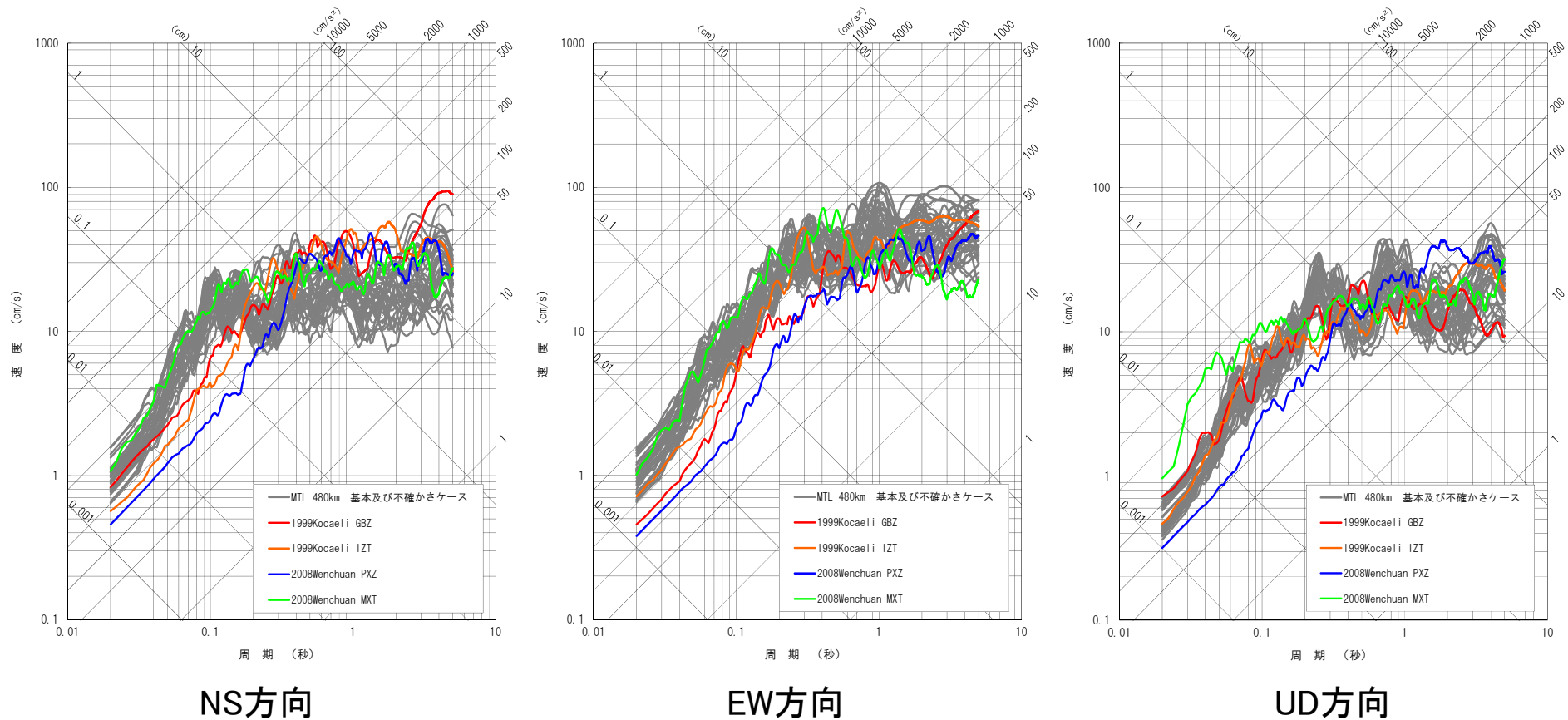
EW方向



UD方向

評価結果と観測記録との比較

前掲した長大断層の観測記録のうち、岩盤地点で観測された記録(Kocaeli, Wenchuan)と480km基本ケースおよび不確かさケースの地震動を比較する。観測記録のばらつきが大きいものの、地震動評価結果は、これらと整合的であると考える。



-
- ①断層パラメータの検証
(スケーリング則との整合性の確認)
 - ②実地震の再現性
 - (1) 壇・他 (2012), 藤堂・他 (2012) による検証
 - (2) 1999年Kocaeli地震の検証(再現性の確認)
 - ③地震動評価結果の検証
 - (1) 長大断層の観測記録との比較
 - (2) 地震本部の強震動予測結果との比較

平成26年11月7日
第156回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合
の資料より抜粋

地震本部(2009)の強震動予測モデルとの比較①

地震本部(2011)は中央構造線断層帯を6つにセグメント区分している。そして四国西部については、長さ130kmでモデル化し地震動評価を行っている[地震本部(2009)]。

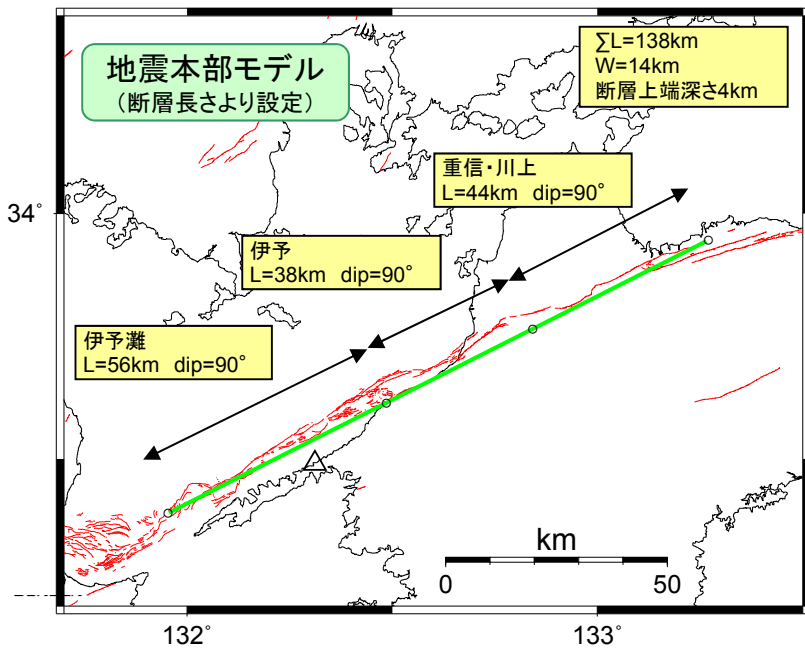
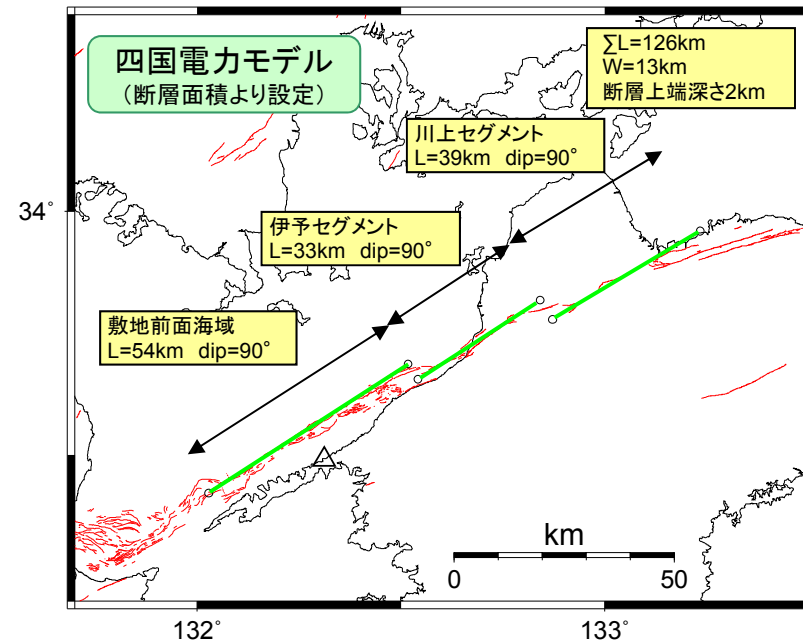
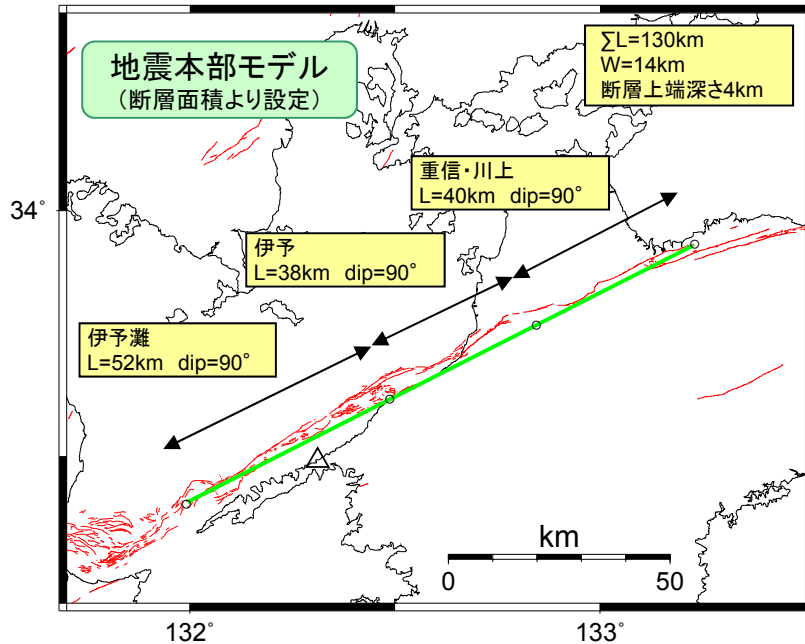
一方、当社は、480km, 130km, 54kmでモデル化を行った。

そこで、地震本部の130kmモデルと当社の130kmモデル(壇の手法で構築した基本震源モデル)におけるパラメータを比較する。さらに、その地震動評価結果とも比較する。

結果は次ページ以降に詳述するが、地震本部130kmモデルと当社130kmモデルは整合的であり、地震動評価結果は当社評価結果の方がやや保守的であることを確認した。

さらに当社は基本震源モデルに加えて、応力降下量1.5倍などの不確かさを考慮して地震動評価を行っており、さらに保守的な評価になっていると考える。

地震本部 (2009) の強震動予測モデルとの比較②



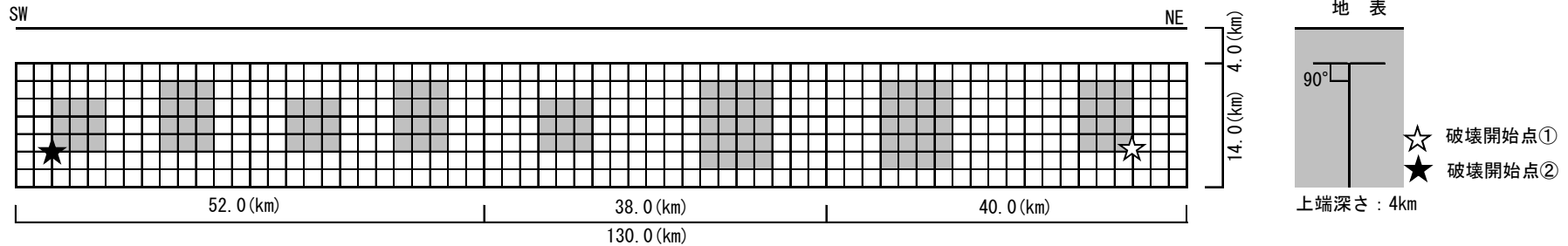
— : 断層トレース
— : 断層モデル上端線

○地震本部モデルは評価区間の東端と西端を直線で結んでモデル化

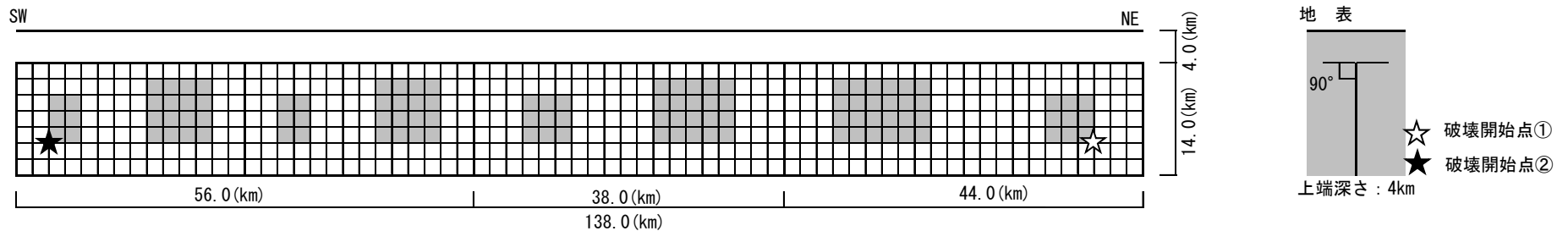
○四国電力モデルは、ジョグも考慮に入れて、断層トレースに忠実にモデル化

地震本部 (2009) の強震動予測モデルとの比較③

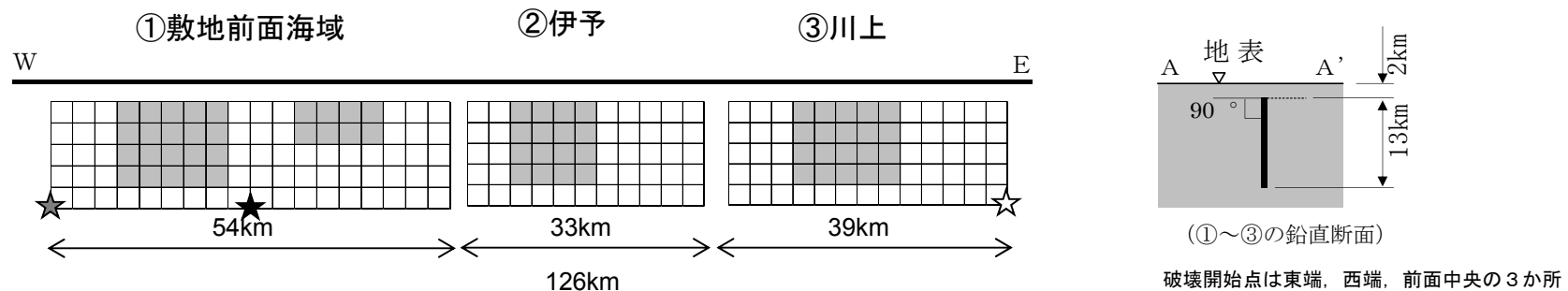
●地震本部130kmモデル(断層面積より設定)



●地震本部130kmモデル(断層長さより設定)



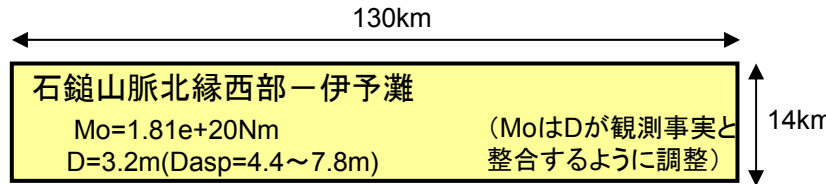
●四国電力130kmモデル



断層上端深さは、地震本部4km、四国電力2km、
アスペリティ上端深さは、地震本部6km、四国電力2kmと四国電力の方が浅い。

地震本部 (2009) の強震動予測モデルとの比較④

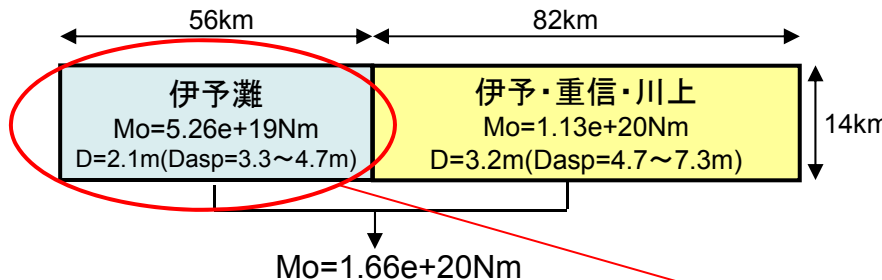
●地震本部130kmモデル(断層面積より設定)



平均応力降下量3.1MPa

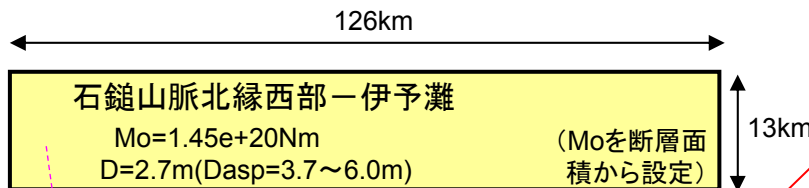
平均応力降下量は
3.1MPaと3.4MPa
で整合的

●地震本部130kmモデル(断層長さより設定)



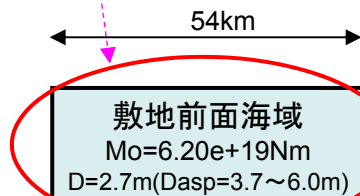
平均応力降下量3.1MPa

●四国電力130kmモデル



平均応力降下量3.4MPa

敷地前面海域セグメントのみを抽出すると



敷地前面海域の区間に
着目すれば, Mo,
Dは地震本部モデル
よりも保守的な設定

地震本部(2009)の強震動予測モデルとの比較⑤

四国西部130kmモデルの比較

	地震本部(2009)		四国電力
	断層面積より設定したモデル	断層長さより設定したモデル	130kmモデル(断層面積より設定)
断層長さ	130km	138km	126km
断層幅	14km	14km	13km
傾斜角	90度	90度	90度
断層上端深さ	4km	4km	2km
アスペリティ上端深さ	6km	6km	2km
地震モーメント	1.81E+20Nm	1.66E+20Nm	1.45E+20Nm
平均すべり量	3.2m	伊予灘:2.1m, 伊予~川上:3.2m	2.7m
アスペリティのすべり量	4.4~7.8m	3.3~7.3m	3.7~6.0m
応力降下量	3.1MPa	3.1MPa	3.4MPa
アスペリティの応力降下量	14.1MPa	14.1MPa	12.2MPa
短周期レベル	2.31E+19Nm/s ²	2.39E+19Nm/s ²	2.38E+19Nm/s ²
密度	2700kg/m ³		2700kg/m ³
S波速度	3.4km/s		3.5km/s
剛性率	3.12E+10N/m ²		3.31E+10N/m ²

敷地前面海域/伊予灘区間の比較

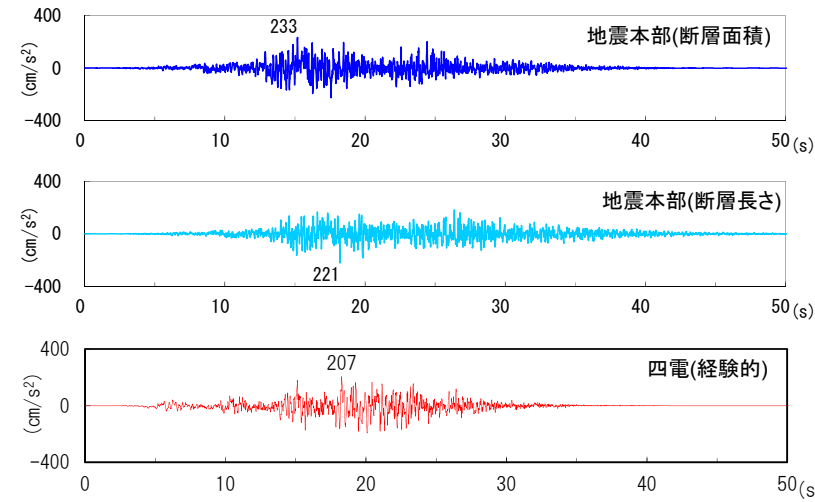
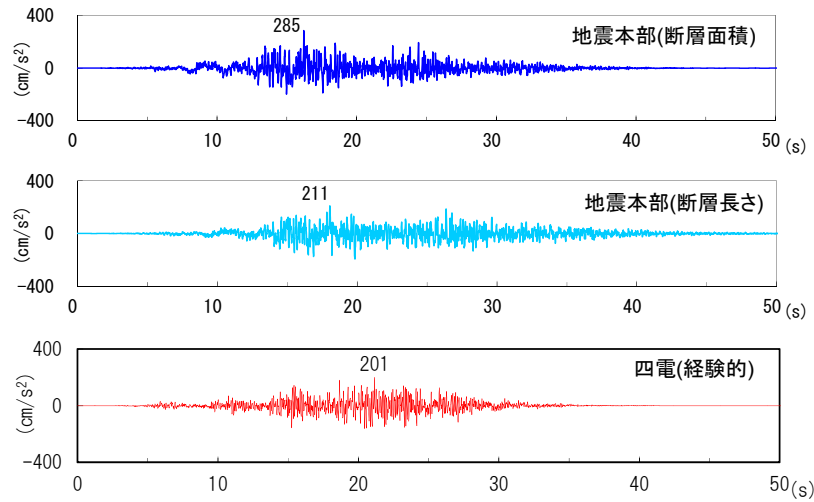
	地震本部(2009)	四国電力
	断層長さより設定したモデル のうち伊予灘区間	130kmモデルのうち54km区間
断層長さ	56km	54km
断層幅	14km	13km
傾斜角	90度	90度
断層上端深さ	4km	2km
アスペリティ上端深さ	6km	2km
地震モーメント	5.26E+19Nm	6.20E+19Nm
平均すべり量	2.1m	2.7m
アスペリティのすべり量	3.3~4.7m	3.7~6.0m
応力降下量	3.1MPa	3.4MPa
アスペリティの応力降下量	14.1MPa	12.2MPa
短周期レベル	1.52E+19Nm/s ²	1.56E+19Nm/s ²

パラメータによって大小はあるが、地震本部モデルと四国電力モデルは全体的にみると整合的であると考え

地震動の比較①

(破壊伝播方向 東→西)

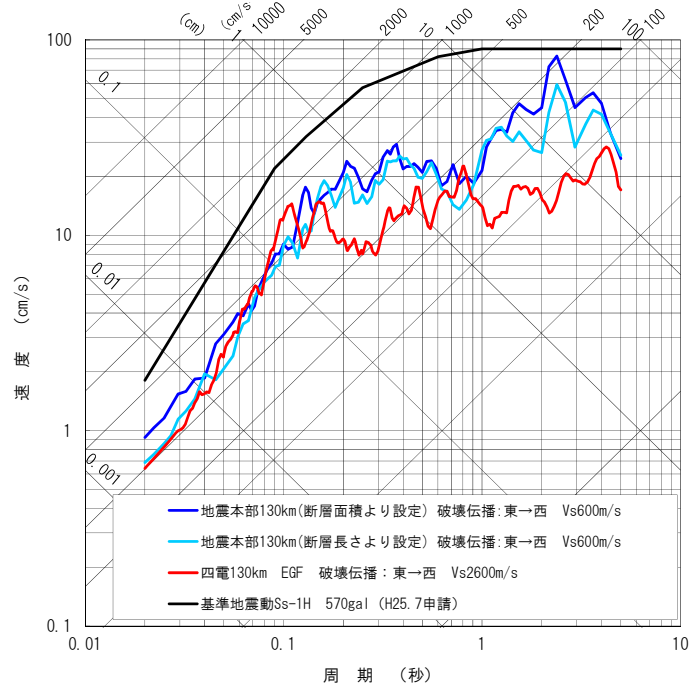
⇒地震本部が敷地を含むメッシュにおける工学基盤面 (Vs600m/s) で推定した地震動と、当社130km基本モデルの地震動および申請時の基準地震動Ss-1H(570Gal)を比較する。



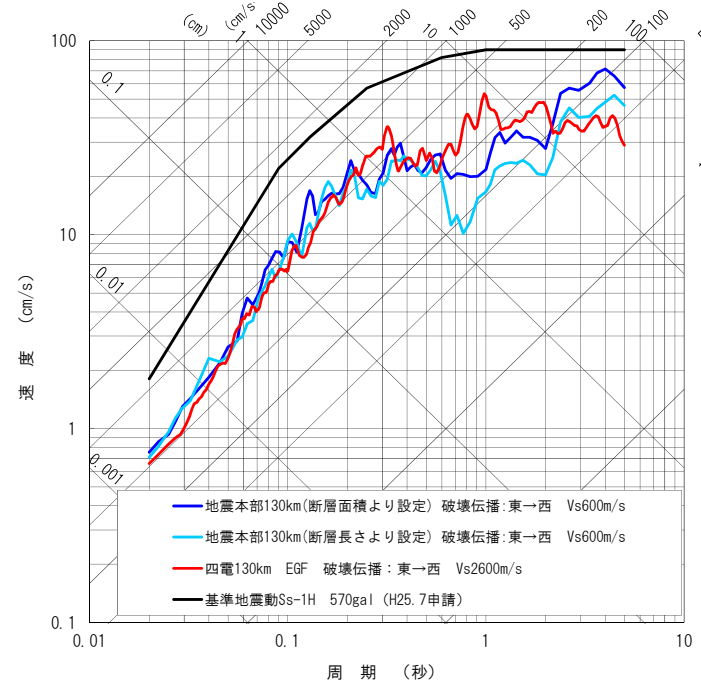
評価地盤

Vs600m/s

Vs2600m/s



NS方向

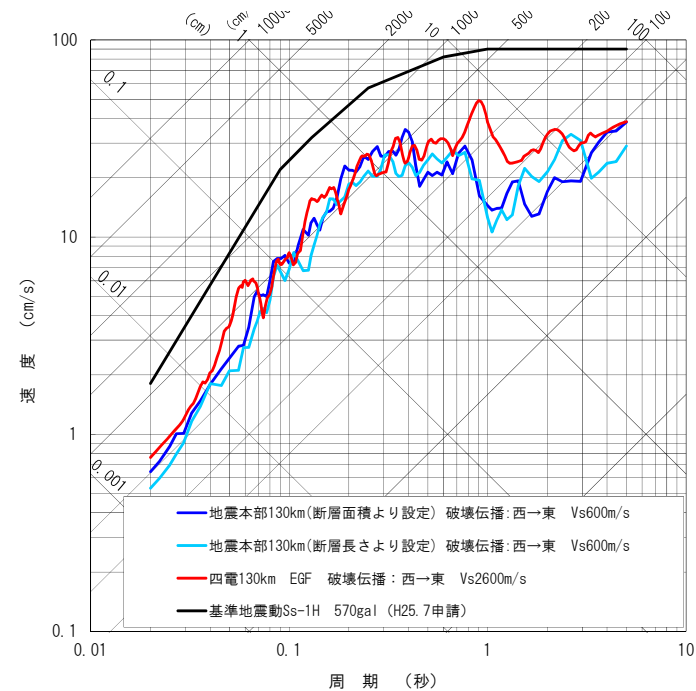
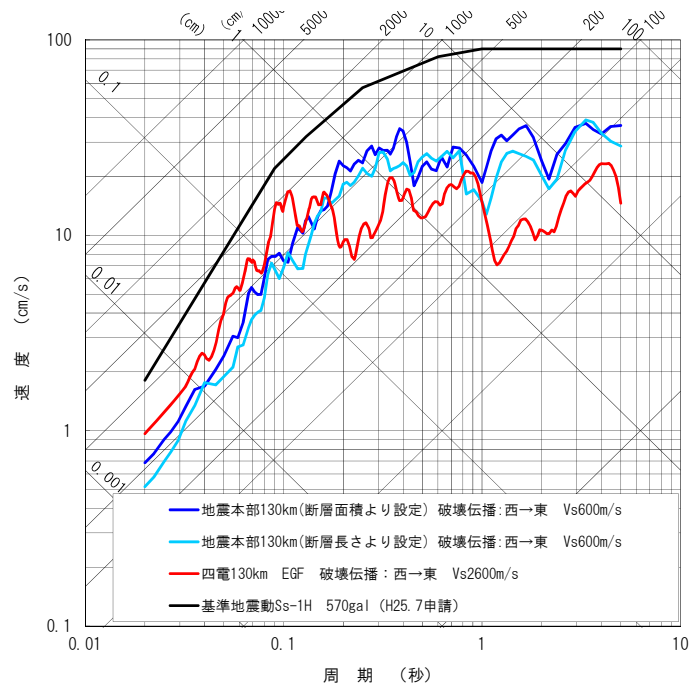
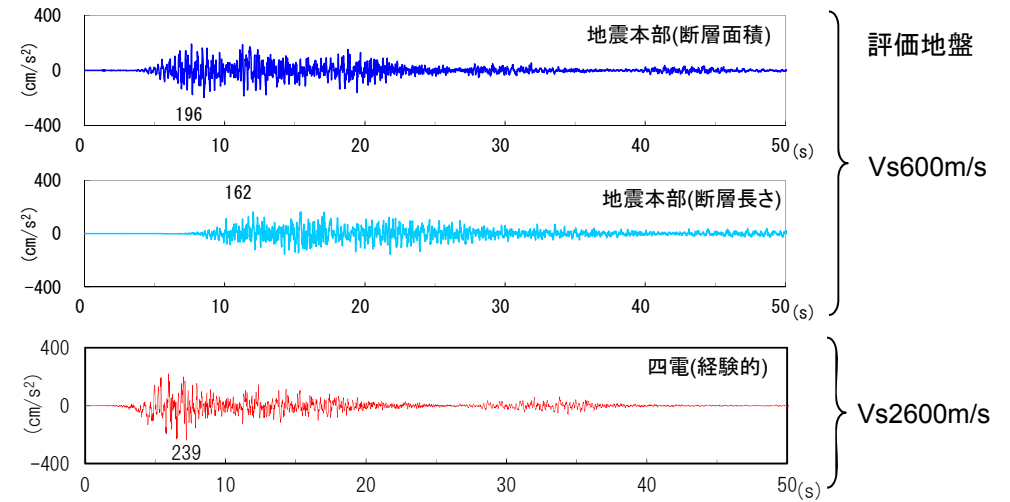
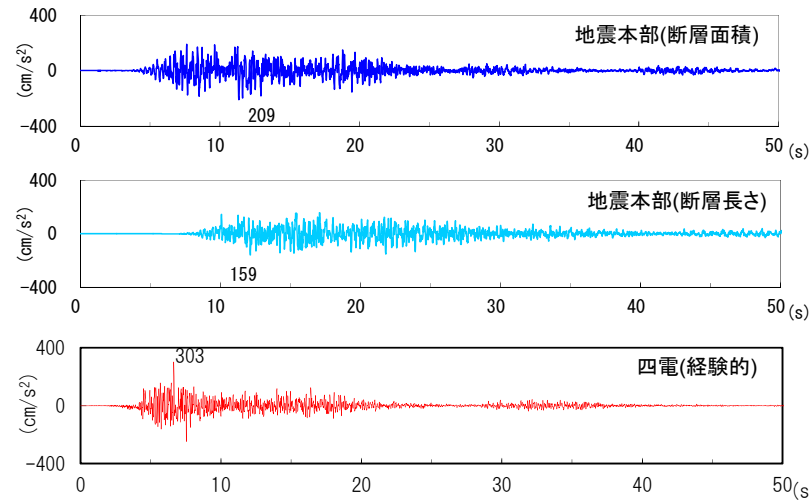


EW方向

地震動の比較②

(破壊伝播方向 西→東)

地盤条件は異なるが地震本部と当社の結果は、NSの長周期を除けばほぼ同レベル



NS方向

EW方向

地盤モデルを用いた引き戻し①

- ①地震本部の地盤構造モデルを用いて、地震本部が算出した工学的基盤面での地震動から地震基盤面 (Vs3300m/s層上面:EL.-2,165m)での地震動を算定する。
- ②そして、当社の地盤構造モデルを用いて、①で算定した地震動から解放基盤表面 (Vs2600m/s:EL.10m)での地震動を算定する。

地震本部の地盤構造モデル

EL(m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	密度 (kg/m ³)	Q
56 ~ 52	2000	600	1900	100
52 ~ 47	2500	1100	2150	150
47 ~ 34	3000	1400	2250	150
34 ~ 25	3500	1700	2300	150
25 ~ -147	4000	2100	2400	200
-147 ~ -446	5000	2700	2500	200
-446 ~ -2165	5500	3100	2600	300
-2165 ~ -7163	5700	3300	2700	300
-7163 ~	6000	3400	2750	300

①



②



地震基盤面

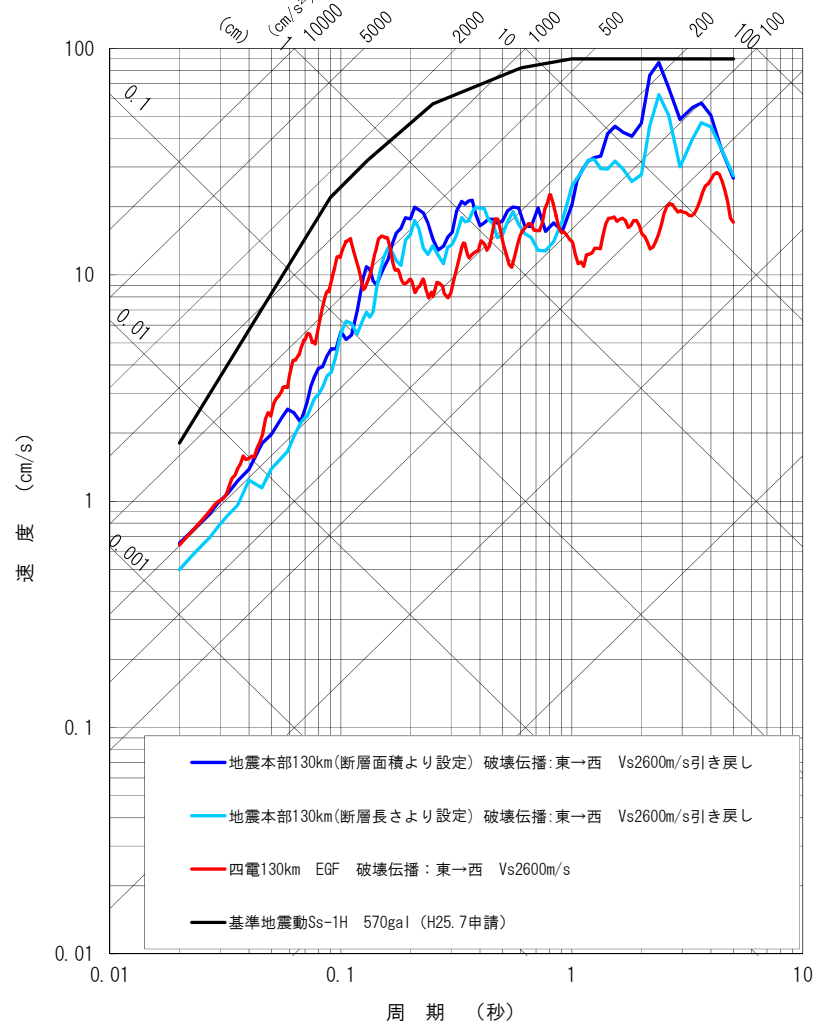
当社の地盤構造モデル

EL(m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	密度 (kg/m ³)	Q
10 ~ 0	5300	2600	3000	50
0 ~ -190	5500	2700	3000	50
-190 ~ -1990	5700	2800	3000	190
-1990 ~ -15990	6100	3500	3000	230
-15990 ~ -39990	6700	3870	2800	400
-39990 ~ -41990	6600	3820	2800	400
-41990 ~ -45990	6700	3870	2900	400
-45990 ~	8000	4620	3200	1200

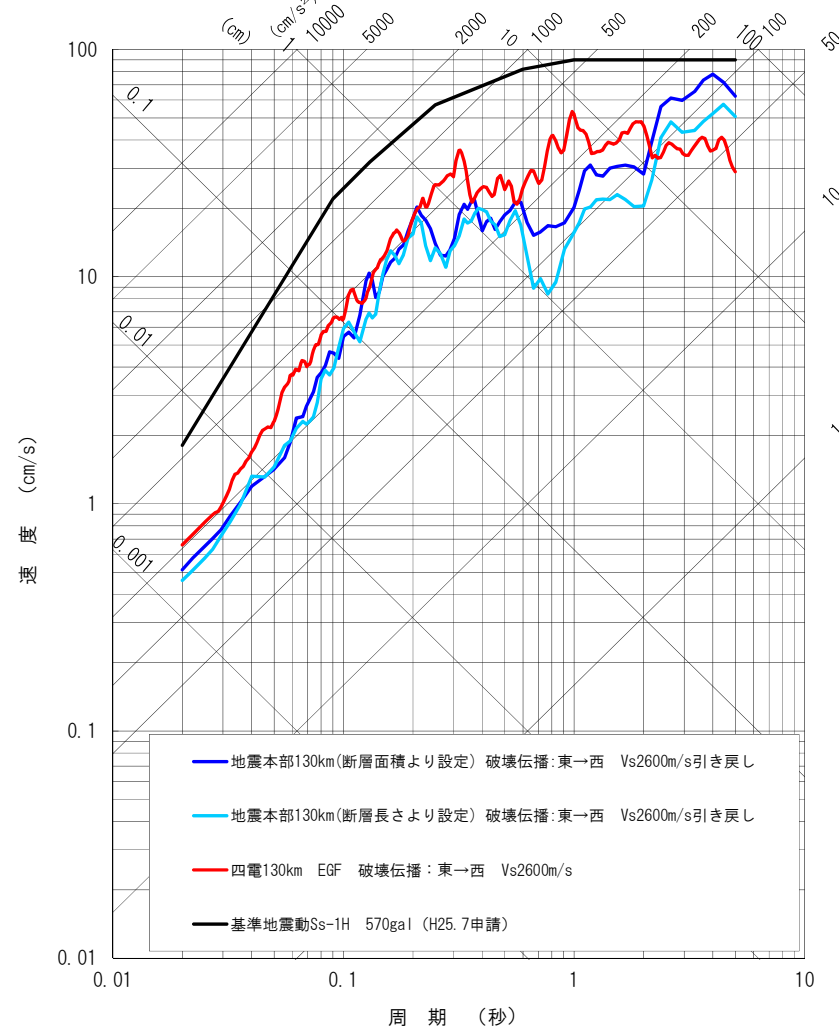
地盤モデルを用いた引き戻し②

(破壊伝播方向 東→西)

○地盤モデルを用いて引き戻しを行い，解放基盤表面 (Vs2600m/s) における地震動を比較すると，EWでは当社評価が全体的に大きめである。NSの長周期側では要素地震の特徴に起因して当社評価がやや小さめとなっているが，主要周期帯を含む短周期側では当社の結果が大きめの地震動となっている。アスペリティ上端深さが浅いことなどにより保守的評価になっていると考えられる。



NS方向



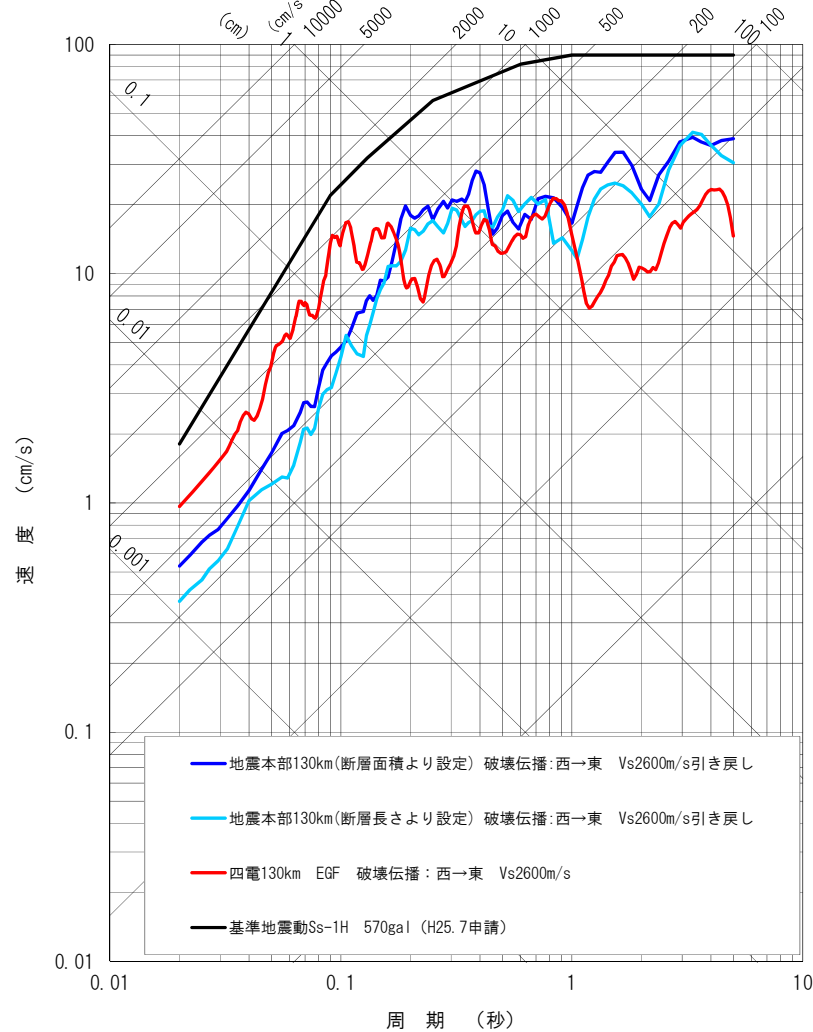
EW方向

地盤モデルを用いた引き戻し③

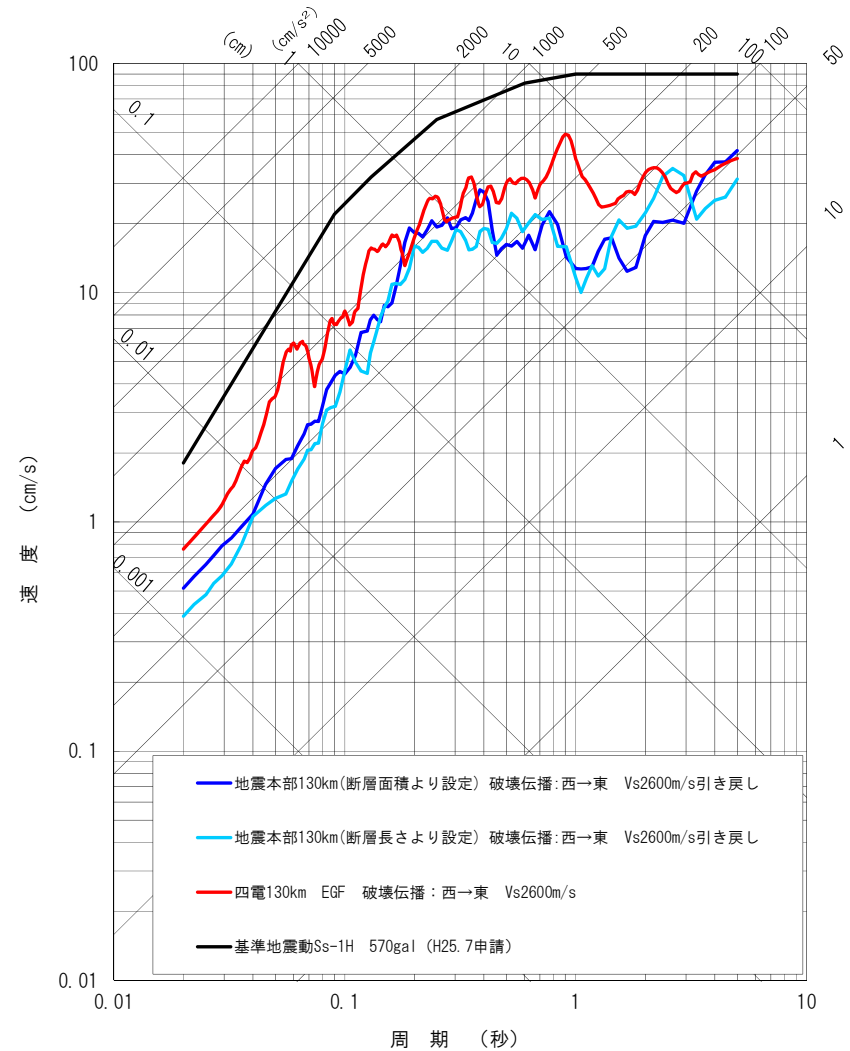
(破壊伝播方向 西→東)

○西からの破壊も東からの破壊と同様の結果である。

○当社はさらに応力降下量1.5倍などの不確かさを考慮して地震動評価を行っており、全体としてさらに保守的な評価となっていると考えられる。



NS方向



EW方向

まとめ

○壇・他(2011)は、動力学的断層破壊シミュレーションと地震データに基づいて、長大断層の断層パラメータ(地震モーメントや応力降下量等)の設定手法を提案するものである。

①断層パラメータの検証

○壇・他(2011)の手法に基づいて、伊方発電所の評価で設定されたパラメータは、回帰に用いたデータのばらつきの範囲内にあることから、壇・他(2011)の適用は可能であると判断する。

②実地震の再現性

○著者らにより、地震動の評価結果は、距離減衰式(司・翠川、1999)や、鳥取県西部地震・Denali地震の記録と整合することが確認されている。

○さらに、1999年Kocaeli地震の再現性について検証したところ、地震動レベルは概ね整合的であることを確認した。

○したがって、壇・他(2011)のスケーリング則を用いた地震動評価結果は、実地震の観測記録の再現性を有すると評価できると考える。

③地震動評価結果の検証

○伊方における地震動評価結果は、1999年kocaeli地震など長大断層における断層近傍の岩盤観測点の記録と整合的であることを確認した。また、地震本部による強震動予測結果よりも保守的な評価となっていることも確認した。

○以上より、壇・他(2011)による評価は適切であると判断する。

**伊方発電所3号機
地震動モデルと津波モデル
(耐震・耐津波性能)**

(コメント回答)

**平成27年4月21日
四国電力株式会社**

コメント

地震動と津波で異なる断層モデルで評価しているのは何故か。統一モデルを求めるものではなく、両方の評価結果を示して厳しい方をとるとするのが工学的な判断ではないか。

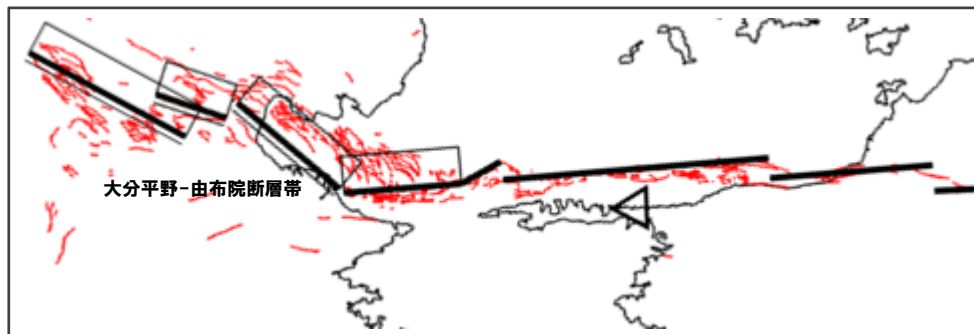
地震動モデルと津波モデル

地震動評価・津波評価とも、長さが400kmを超える、中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯の連動を想定しているが、別府-万年山断層帯のモデル化においては、

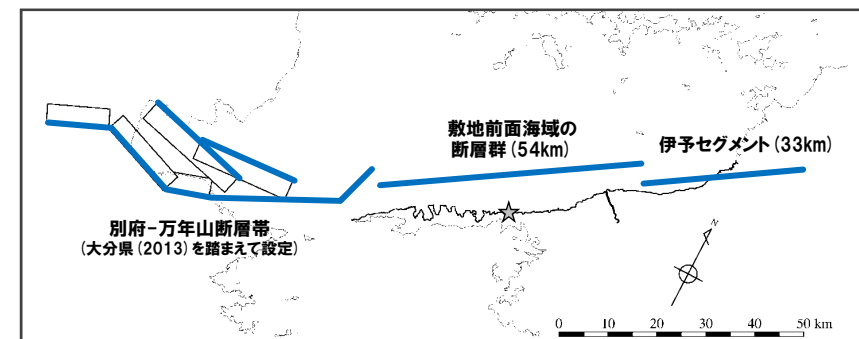
- 地震動モデルは、不確かさとして北傾斜断層を考慮する観点から、北傾斜断層である大分平野-由布院断層帯を対象としてモデル化し、
- 津波モデルは、1596年豊後地震津波の痕跡高の再現性の観点から、大分県(2013)による慶長豊後型地震再現モデルを採用している。

今般、頂いたコメントは、結論のみ、言い換えれば大分県モデルを採用した津波評価結果のみを示すのではなく、説明性向上の観点から、地震動モデルによる評価結果も示した上で、採用するモデルについて論じるべきではないかという趣旨と解釈する。

地震動モデル



津波モデル



検討方針

海域の活断層に想定される地震に伴う津波評価のうち、詳細パラメータスタディにおける最も厳しいケースは下記の通り。

このうち九州側の断層として採用している大分県モデルを、伊方地震動モデルに置き換えて解析を実施する。

波源	水位上昇側				水位下降側
	3号炉敷地前面	3号炉補機冷却海水取水口	3号炉T/B復水器取水先端	3号炉放水口	3号炉補機冷却海水取水口
海域の活断層に想定される地震に伴う津波 (中央構造線断層帯及び別府-万年山断層帯の地震に伴う津波)	+5.94m	+3.60m	+2.25m	+2.75m	-2.39m

評価条件

【敷地前面海域の断層群+伊予セグメント】 傾斜角:北75度, すべり角:上昇側165度 下降側195度

【豊予海峡】 傾斜角:90度, すべり角:150度

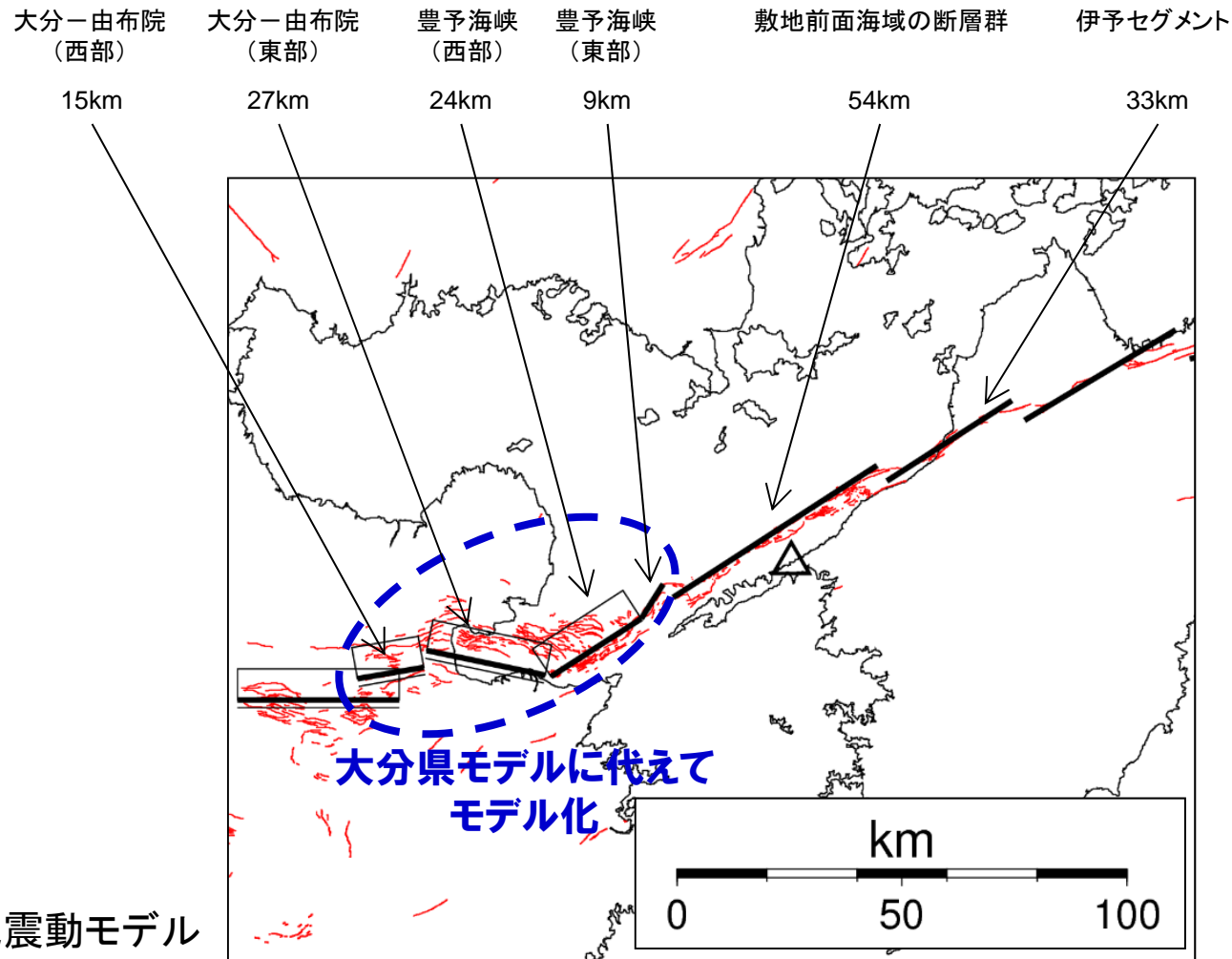
【別府地溝南縁】 傾斜角:北75度, すべり角:-90度

【別府湾断層帯】 傾斜角:南75度, すべり角:-90度

大分県モデルのパラメータを地震動モデルに置き換えて評価

地震動モデルをベースとした津波モデル

津波モデルにおいては、津波発生の観点から海域部に着目し対象とする断層を選定しているが、大分県モデルに代えて、地震動モデルにおける豊予海峡セグメントと大分平野ー由布院断層帯をモデル化する。



地震動モデル

津波モデルにおける地震規模設定方法

津波モデルは、土木学会の津波評価手法および地震本部の考え方にならない、下記の方針で構築する。

【考え方・方針】

地震規模は土木学会手法にしたがい、**武村(1998)**を用いた評価を基本とする

長大断層であるため、外挿となり、かつすべり量の飽和を考慮していない武村(1998)を全長に適用することは適切ではない

「地震規模想定区間」を設定して地震規模を評価する。
(概ね80kmを超えない範囲で「地震規模想定区間」を設定する)

伊予セグメントと敷地前面海域の断層群をあわせた87kmおよび豊予海峡セグメントと大分平野-由布院断層帯をあわせた75kmを「地震規模想定区間」として取り扱う。

豊予海峡・大分-由布院

伊予セグメント・敷地前面海域

豊予海峡セグメント・大分平野-由布院断層帯のすべり量は約6mとなり、長大断層のスケーリング則に照らしてやや大きめの評価となっている。

伊予セグメント・敷地前面海域のすべり量は約7~8mとなり、長大断層のスケーリング則に照らして保守的な評価となっている。また、地質調査結果による伊予断層や川上断層の1回あたりの変位量2~4mよりも保守的な設定となっている。

【考慮する知見など】

対象とする活断層は中央構造線断層帯と別府-万年山断層帯
→400kmを超える長大断層

長大断層は長さ80~100km程度で、平均すべり量が3~5mに飽和する

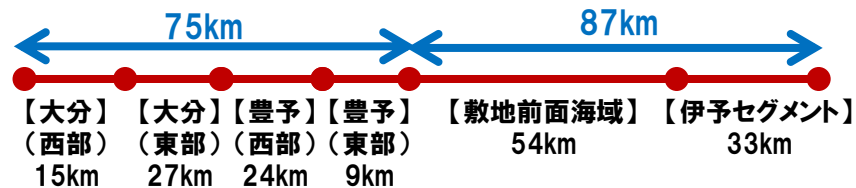
武村(1998)のデータベースで最大の断層長さは85km

「活断層の長期評価手法」報告書(地震調査研究推進本部, 2010)

「活動範囲」の長さが断層幅の4倍を超える場合には、単一の長さが断層幅の4倍を超えない「地震規模想定区間」の組合せを設定し、それぞれから発生する地震の規模を個別に評価したうえで、それらの地震のモーメント量の和をもって当該「活動範囲」の地震の規模とする。

地震学・地質学的には、別府-万年山断層帯と敷地前面海域の断層群の間で地震環境が異なり、セグメント境界と評価できる。

地震規模想定区間の設定



断層パラメータ(大分県モデルを採用したモデル)

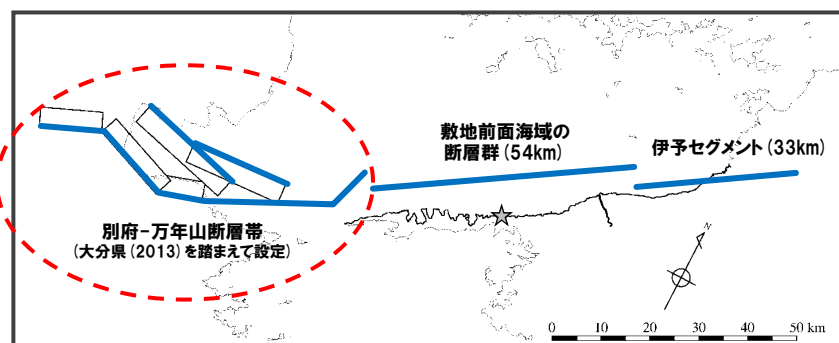
中央構造線断層帯(敷地前面海域の断層群+伊予セグメント)

断層名		剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
敷地前面海域の断層群 + 伊予セグメント	水位 上昇側	3.3E+10	北75	165	87	15.5	7.61	3.27E+20	7.37
	水位 下降側	3.3E+10	北75	195	87	15.0	7.61	3.27E+20	7.57

別府-万年山断層帯(大分県モデル)

断層名	剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
豊予海峡	3.3E+10	90	150	34.7	15.00	7.24	9.11E+19	5.30
別府地溝南縁	3.3E+10	北75	-90	9.5	15.53	7.15	6.67E+19	3.33
		北75	-90	12.8				
別府湾断層帯	3.3E+10	南75	-90	22.5	15.53	7.29	7.34E+19	6.37
		南75	-90	20.5	15.53		3.34E+19	3.18

大分県モデルを
地震動モデルに置き換える



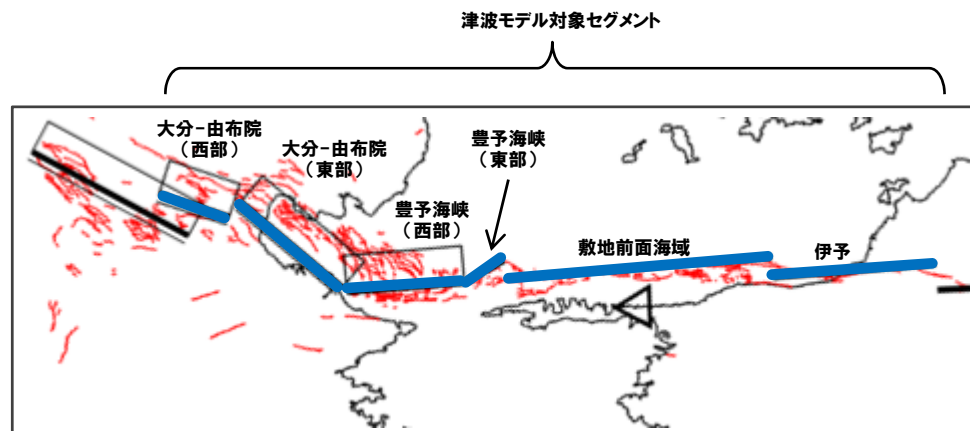
断層パラメータ(地震動モデルを採用 今回検討)

中央構造線断層帯(敷地前面海域の断層群+伊予セグメント)

断層名		剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
敷地前面海域の断層群 + 伊予セグメント	水位 上昇側	3.3E+10	北75	165	87	15.5	7.61	3.27E+20	7.37
	水位 下降側	3.3E+10	北75	195	87	15.5	7.61	3.27E+20	7.37

別府-万年山断層帯(地震動モデル)

断層名		剛性率(N/m ²)	傾斜角(度)	すべり角(度)	長さ(km)	幅(km)	Mw	MO(N・m)	すべり量(m)
豊予海峡(東部)	水位 上昇側	3.3E+10	北75	165	9	15.5	7.53	2.48E20	5.86
	水位 下降側	3.3E+10	北75	195	9	15.5			
豊予海峡(西部)		3.3E+10	北60	-90	24	17.0			
大分平野-由布院断層帯(東部)		3.3E+10	北60	-90	27	17.5			
大分平野-由布院断層帯(西部)		3.3E+10	北60	-90	15	17.5			



地震動モデルによる評価結果(水位)

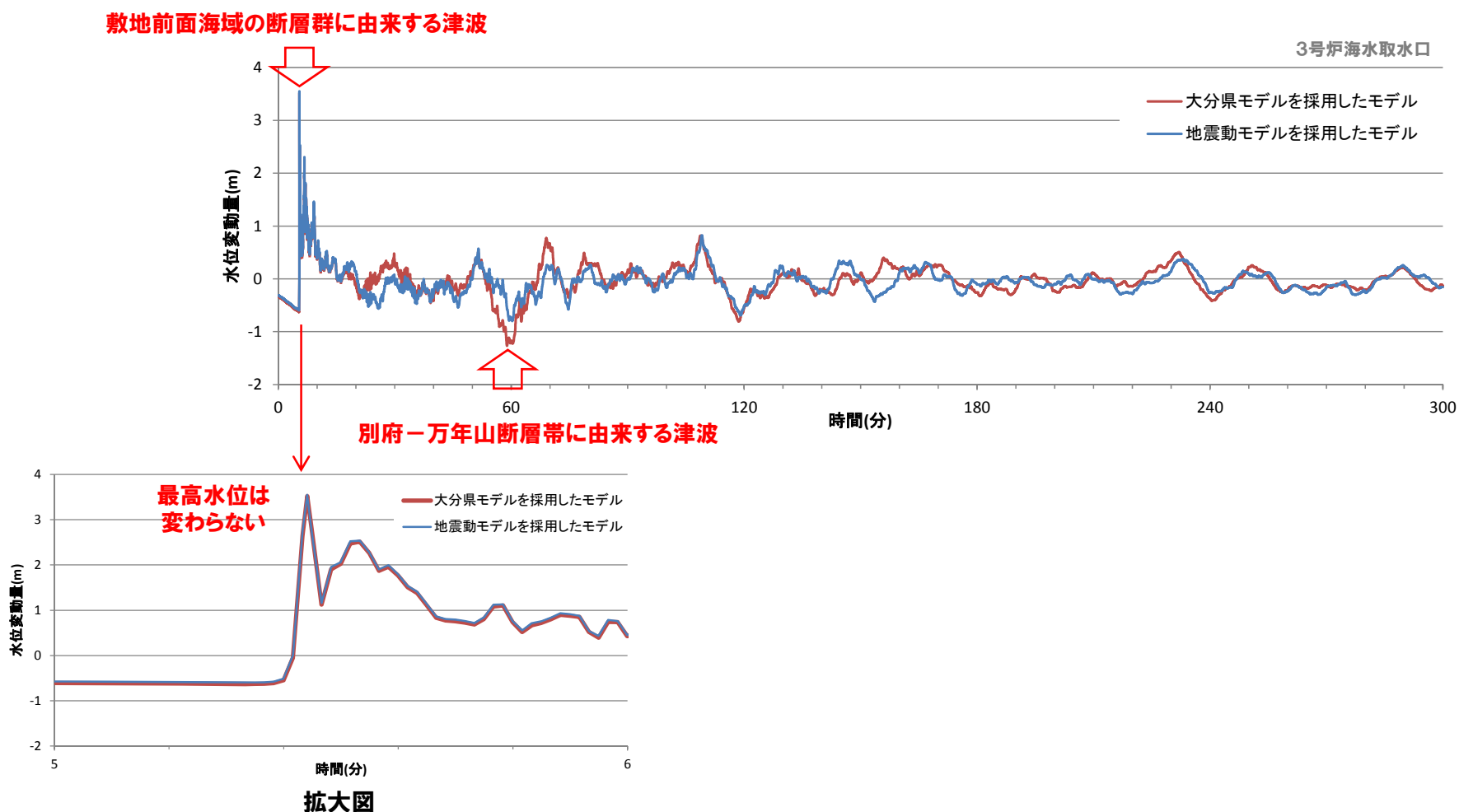
評価結果(水位)は、上昇側は5.94m、下降側は-2.35mとなり、大分県モデルを採用した場合(上昇側は5.94m、下降側は-2.39m)とほとんど変わらない結果となった。

波源		水位上昇側				水位下降側
		3号炉敷地前面	3号炉補機冷却海水取水口	3号炉T/B復水器取水先端	3号炉放水口	3号炉補機冷却海水取水口
海域の活断層に想定される地震に伴う津波 (中央構造線断層帯及び別府-万年山断層帯の地震に伴う津波)	地震動モデルを採用	+5.94m	+3.55m	+2.30m	+2.77m	-2.35m
	大分県モデルを採用	+5.94m	+3.60m	+2.25m	+2.75m	-2.39m

評価結果(水位:上昇側) 3号炉海水取水口

さらに詳細な検証を行うため時刻歴波形に着目すると、最高水位は地震発生から数分後に到来する敷地前面海域の断層群に由来する津波によりもたらされており、発電所の安全性(敷地の浸水)を論じる上で重要となる最高水位は、別府-万年山断層帯のモデルに左右されないことが分かる(拡大図参照)。

また、地震発生後50~60分頃にみられる別府-万年山断層帯に由来する津波による水位変動は、波の干渉により両モデルで若干の差はみられるものの、施設に与える影響(最大水位)という観点での評価において、有意な差があるものではない。

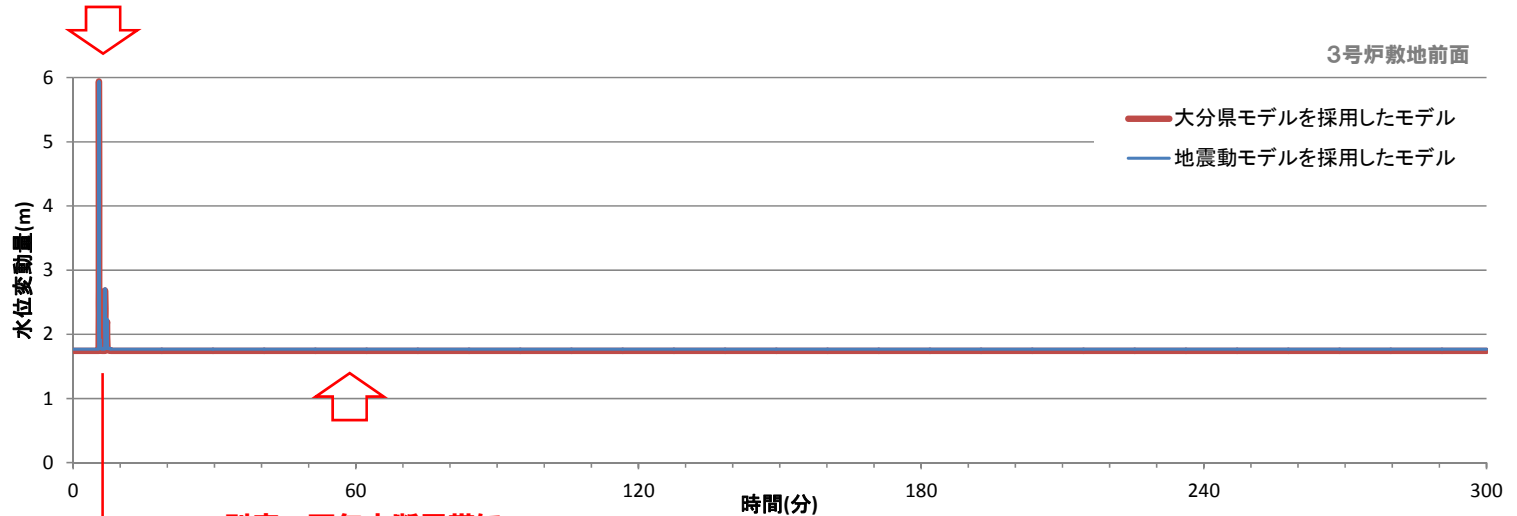


評価結果(水位:上昇側) 3号炉敷地前面

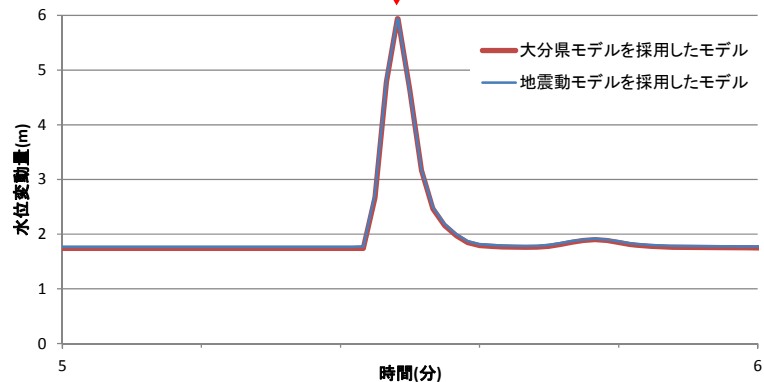
なお、上昇側の水位が最も高くなる地点である3号炉敷地前面においても、その最高水位は別府-万年山断層帯のモデルに左右されないことは海水取水口地点と同様である。

なお、当該評価地点は陸上であることから、別府-万年山断層帯に由来する津波は到達しておらず、その影響を確認することはできない。

敷地前面海域の断層群に由来する津波



別府-万年山断層帯に由来する津波が到達する時刻

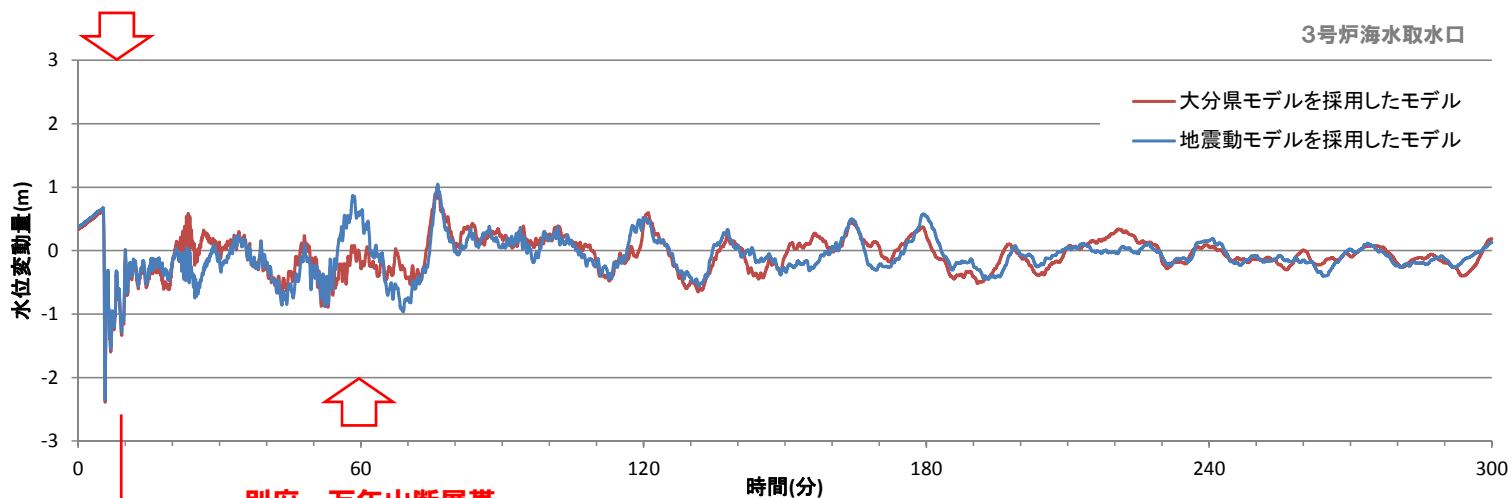


拡大図

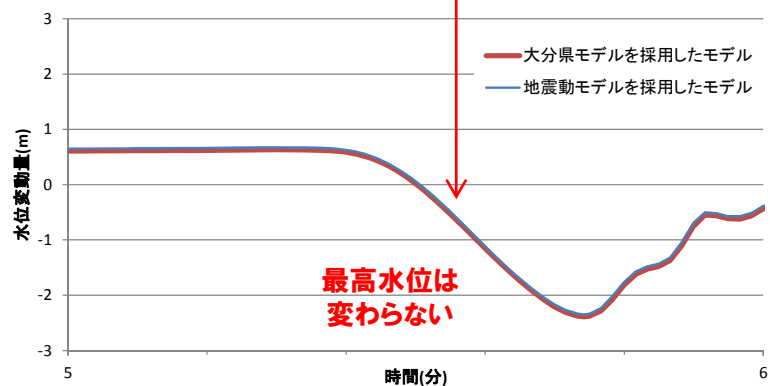
評価結果(水位:下降側) 3号炉海水取水口

水位下降側についても、上昇側と同様であり、敷地前面海域の断層群の影響が支配的である。そして、別府-万年山断層帯のモデルの違いによる影響は、干渉により若干の差はあるものの施設に与える影響(最低水位)の評価という観点において有意な差ではない。

敷地前面海域の断層群に由来する津波



別府-万年山断層帯
に由来する津波



最高水位は
変わらない

拡大図

まとめ(考え方の整理)

まず、地震動評価で構築したモデルを用いて別府－万年山断層帯をモデル化し、津波評価を行う。



一方、原子力規制庁の『基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド』(※)には、安全側評価の観点から地方自治体の知見が反映されていることを確認する旨が示されている。



別府湾周辺の活断層については、2013年に大分県が津波評価を行っているため、当該区間については大分県のモデルを採用して津波評価を行い、比較検討を行うこととする。



両モデルによる敷地での評価結果は、前掲のとおりほとんど変わらない結果となった。



両モデルの評価結果はほとんどかわらないものの、

- 水位下降側で、わずかではあるが、大分県モデルの方が厳しい評価になっていること
- 審査ガイドには、安全側評価の観点で地方自治体による知見が反映されていることを確認する旨が記述されていること
- 地震本部は1596年豊後地震を別府湾－日出生断層帯(東部)の活動としているが、伊方の地震動モデルは南側に連なる断層群をモデル化しており、別府湾－日出生断層帯(東部)を考慮したものではないのに対し、大分県モデルは別府湾－日出生断層帯(東部)をモデルに組み込んでいること

から大分県モデルを採用することとする。



なお、地震動と津波のモデルの整合は、現在も研究が進められている重要課題であると認識している。今後も、研究動向に注視し、合理性の高いモデルの構築に努めていきたい。

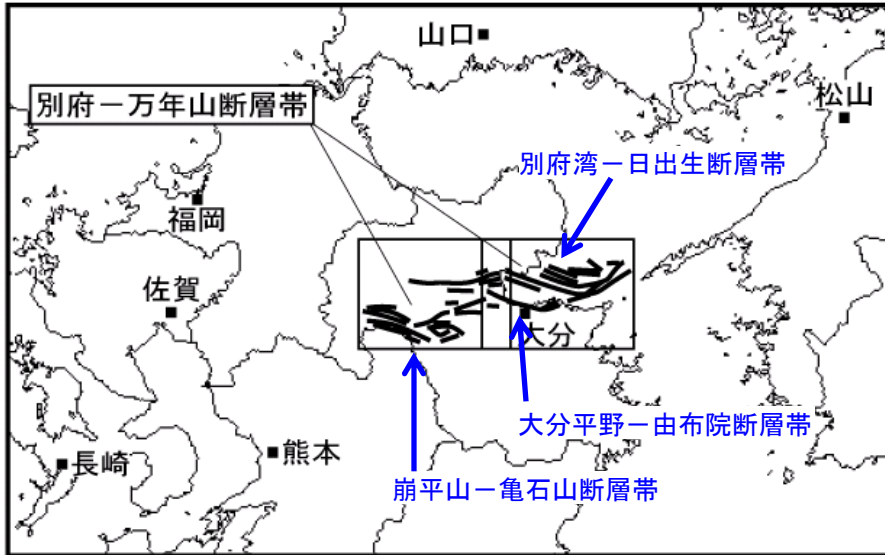
※『基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド』

3.6.2 行政機関による既往評価との比較

行政機関(地方自治体)において敷地又はその周辺の津波が評価されている場合には、波源設定の考え方、解析条件等の相違点に着目して内容を精査した上で、安全側の評価を実施するとの観点から必要な科学的・技術的知見を基準津波の策定に反映されていることを確認する。

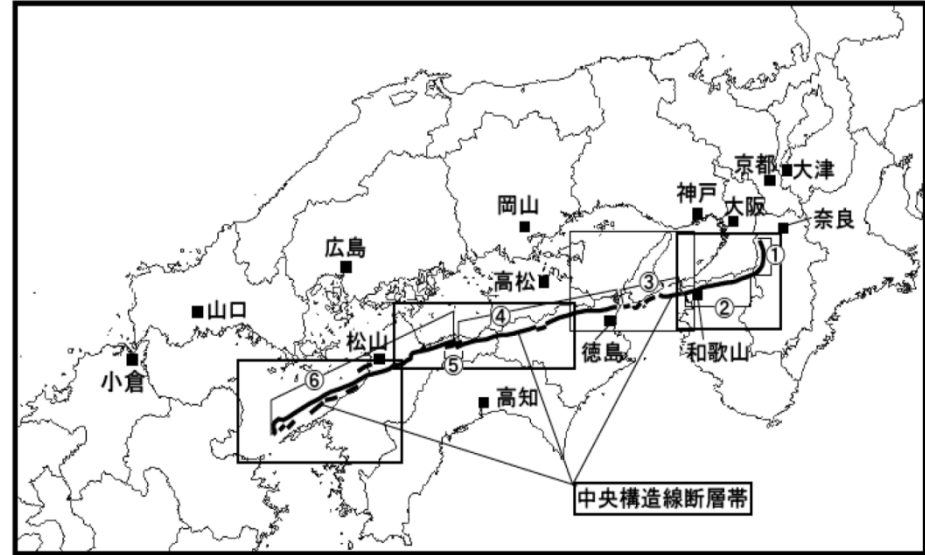
【参考】地震調査研究推進本部の知見

はねやま 別府一万年山断層帯



(地震調査委員会(2005)より)

中央構造線断層帯



(地震調査委員会(2011)より)

■ 別府一万年山断層帯は、大分県東部の別府湾の海底から大分県西部にかけて分布する活断層帯である。

■ 北側には主に南傾斜の(別府湾一出生断層帯)が、南側には主に北傾斜の大分平野一由布院断層帯、崩平山一亀石山断層帯が分布する。

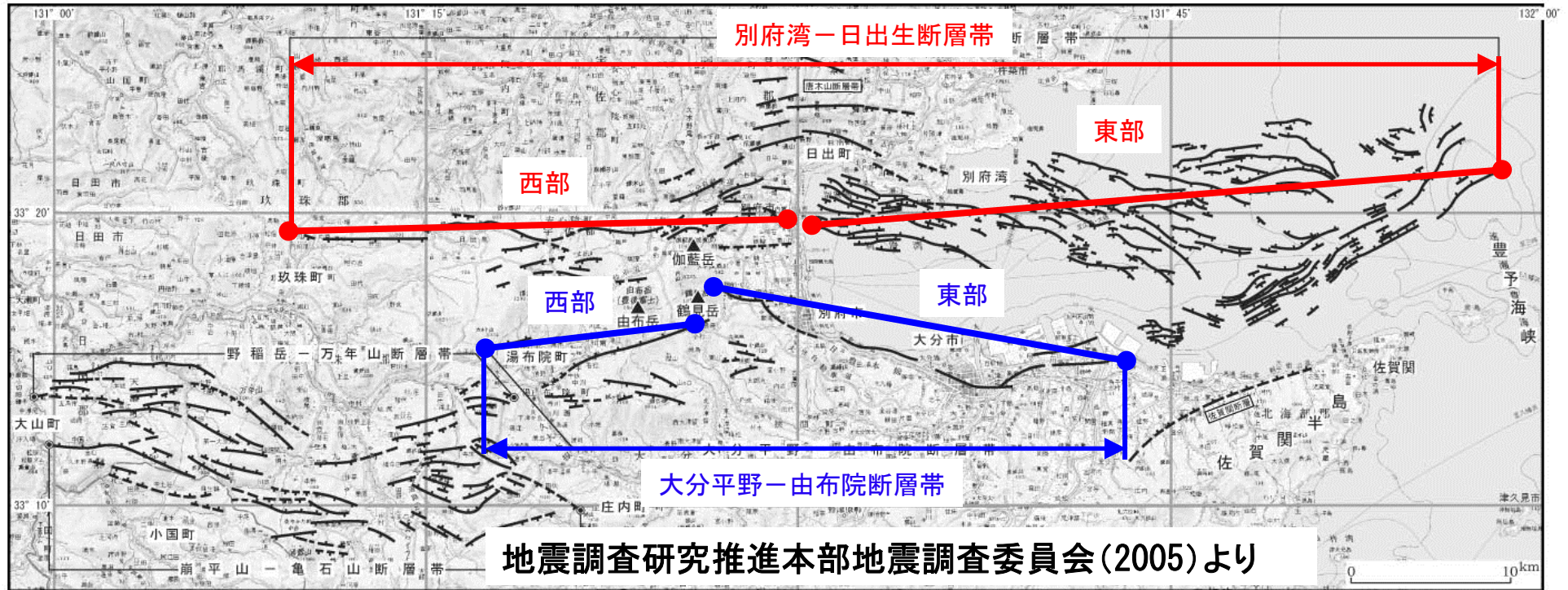
- ①: 金剛山地東縁 ②: 和泉山脈南縁 ③: 紀淡海峡-鳴門海峡
- ④: 讃岐山脈南縁-石鎚山脈北縁東部 ⑤: 石鎚山脈北縁
- ⑥: 石鎚山脈北縁西部-伊予灘

■ 中央構造線断層帯は、近畿地方の金剛山地の東縁から、和泉山脈の南縁、淡路島南部の海域を経て、四国北部を東西に横断し、伊予灘に達する長大な断層帯である。

さらに地震本部は、中央構造線断層帯と別府一万年山断層帯が連動する可能性について言及している

【参考】別府湾－日出生断層帯の知見 地震調査研究推進本部

地震本部は1596年豊後地震は別府湾－日出生断層帯(東部)の活動としている。



断層の名称		長さ	断層の性状	最新活動時期	平均活動間隔	将来の活動	今後に向けて
別府湾－日出生断層帯	東部	43km	主として北側が相対的に隆起する正断層	1596年の慶長豊後地震	約1,300～1,700年	東部と西部がそれぞれ単独で活動すると推定される。なお、全体が同時に活動する場合、火山地域に分布する断層帯であることを考慮すると、「今後に向けて」に記述するような事項に留意する必要がある。	過去の活動時期を見ると別府湾－日出生断層帯東部と大分平野－由布院断層帯東部が短い時間で連続して活動した可能性も示唆されるため、過去の活動について、さらに精度の良い資料を集積する必要がある。 また、別府－万年山断層帯の活動は火山活動とも密接な関係があることも考えられ、この点についても今後検討していく必要がある。
	西部	32km		約7,300年前以降 6世紀以前	約13,000～25,000年		
大分平野－由布院断層帯	東部	27km	南側が相対的に隆起する正断層	約2,200年前以降 6世紀以前	約2,300～3,000年	同上	
	西部	14km		約2千年前以降 18世紀初頭以前	約700～1,700年		

【参考】1596年豊後地震津波の痕跡高 平井 (2013)

平井 (2013) は、大分県が東日本大震災の直後から実施した津波防災対策の再検討のうち、古文書の調査結果を取りまとめたものであり、別府湾沿岸に4～6mの津波高を推定している。

古文書に記された津波被害箇所と津波高



【参考】大分県モデル(大分県津波浸水予測調査)

大分県津波浸水予測調査結果(確定値)について
掲載日:2013年2月8日更新

大分県防災対策推進委員会
委員長 直野 清光

県では、2011年3月11日に発生した東日本大震災を受け、**大分県有識者会議**のご意見をいただきながら、本県において被害が想定される以下の3つの震源・波源域に関する津波浸水予測の調査を行いました。この調査は、津波の到達時間や浸水範囲を把握することにより、住民避難を軸とした防災・減災対策を強化するために行ったものです。

なお、本調査結果は、市町村が作成するハザードマップや、現在調査中の地震津波被害想定調査(※)の基礎資料となります。

また、今後、津波防災地域づくりに関する法律(平成23年法律第123号)に基づく浸水想定との整合を図っていきます。

- (1) 南海トラフの巨大地震(東海・東南海・南海地震の連動と日向灘への震源域の拡大)
- (2) 別府湾の地震(慶長豊後型地震)
- (3) 周防灘断層群主部

※地震津波被害想定調査は、地震・津波による具体的な人的・物的被害を推計し、避難所運営、備蓄物資、災害廃棄物の処理用地の確保など、今後の県・市町村の防災・減災対策の資料となるものです。

(大分県ホームページより)

大分県有識者会議委員名簿

氏名	所属・職名	研究分野
竹村 恵二 (議長)	京都大学大学院理学 研究科附属地球熱学 研究施設教授	地球物理学 地質学
千田 昇	大分大学名誉教授	地理学 地形・地質
佐竹 健治	東京大学地震研究所 教授(地震火山情報 センター長)	地震・津波
平原 和朗	京都大学大学院理学 研究科教授	地震学
工藤 宗治	大分工業高等専門学校 都市・環境工学科 准教授	土質力学、地 盤工学、地盤 環境工学
平井 義人	大分県立先哲史料館 長	歴史古文書の 検証

【参考】大分県モデル

「大分県津波浸水予測調査報告書」(2013)において、慶長豊後地震津波の痕跡高を再現するモデルとして提案されているモデルは下記のとおり。

断層名	FLAT	FLON	FDEP	FTAT	FDIT	FRMD	FLEN	(連動)	FWID	FDIS	モーメント マグニチュード	
	位置	位置	位置	走向角	傾斜角	すべり角	長さ		幅(実幅)	すべり量		
	Lat(緯度)	Lon(経度)	Depth	θ	δ	λ	L		W	U		Mw
	deg	deg	km	deg	deg	deg	km		km	m		
豊予海峡	33.253297	131.715983	0	62.7	90	150	26.2	-	15.0	5.0	6.92	
別府地溝南縁	33.253714	131.715948	0	251.4	75	-90	9.5	39.1	15.5	3.1	7.15	
	33.226421	131.619195	0	290.0	75	-90	16.8					
	33.278201	131.449864	0	246.0	75	-90	12.8					
別府湾断層帯	33.360271	131.515867	0	103.5	75	-90	22.5	43.0	15.5	6.0	7.29	
	33.340350	131.640614	0	85.6	75	-90	20.5			3.0		

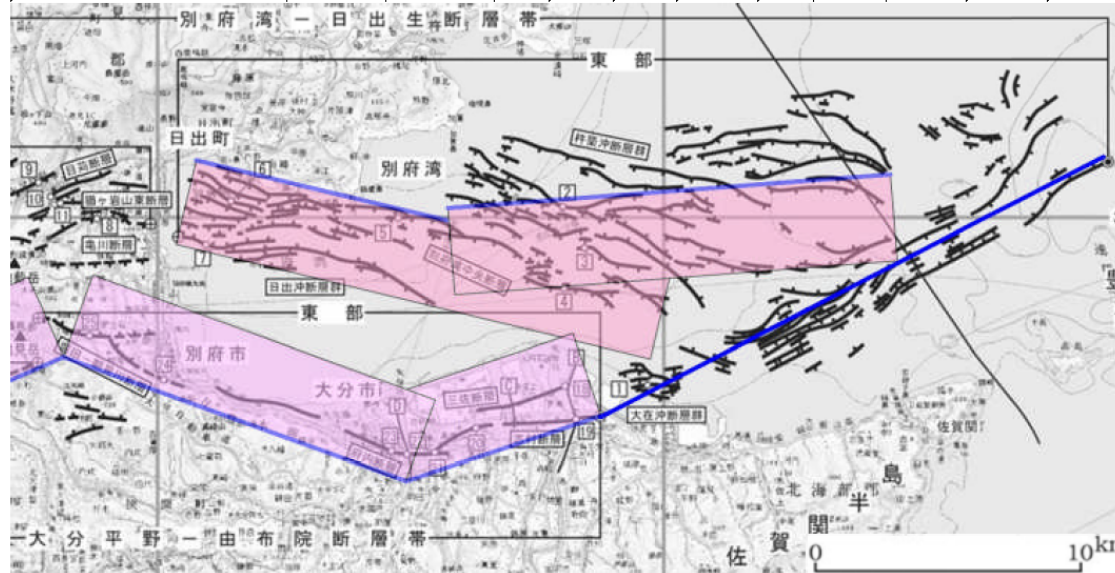


図 1-3 別府湾の地震(慶長豊後型地震) 断層パラメーター

**伊方発電所3号機
震源モデルについて
(耐震性能・耐津波性能)**

(コメント回答)

平成27年4月21日

四国電力株式会社

コメント

地震時に最大10mの変位が認められた例も踏まえ、中央構造線断層帯においても、10mの変位を考慮した地震動評価を実施してはどうか。



断層変位量に関する知見①

Shaw and Scholz (2001)

断層長さLが地震発生層幅Wの10倍を超えるような地震について、地表の変位量が飽和する傾向があると指摘するとともに(左図)、断層長さとは地表の変位量の関係式を提案している(右図)。

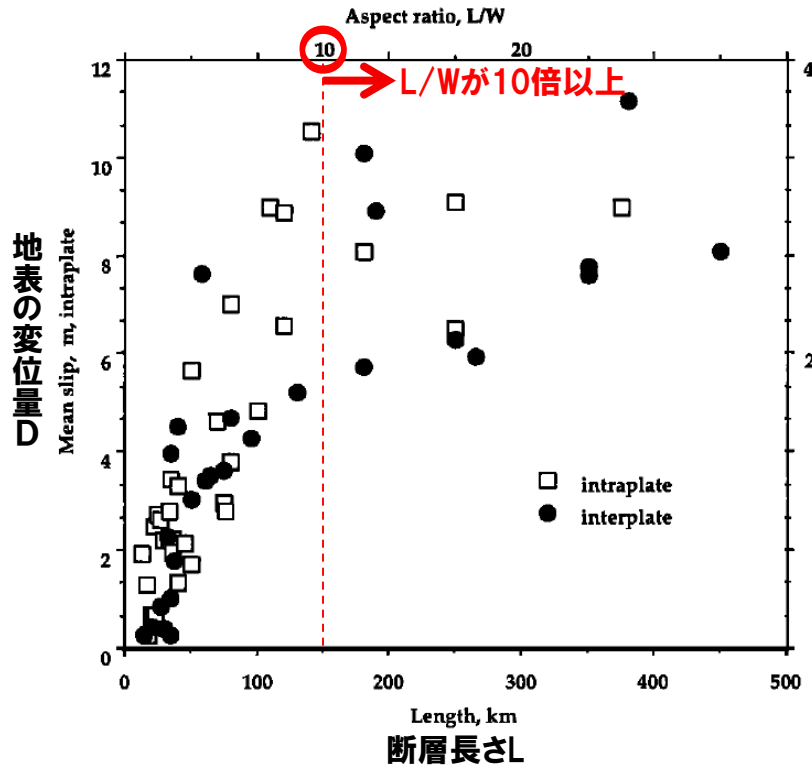


Figure 1. Compilation of mean slip vs length for large crustal earthquakes (modified after [Scholz, 1994b]). The aspect ratio is based on an assumed value of $W = 15 \text{ km}$.

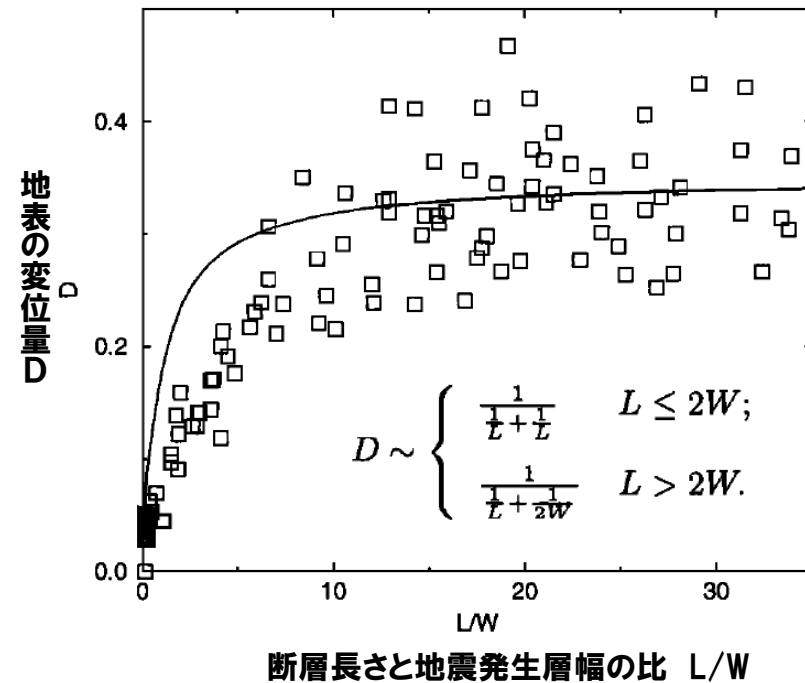


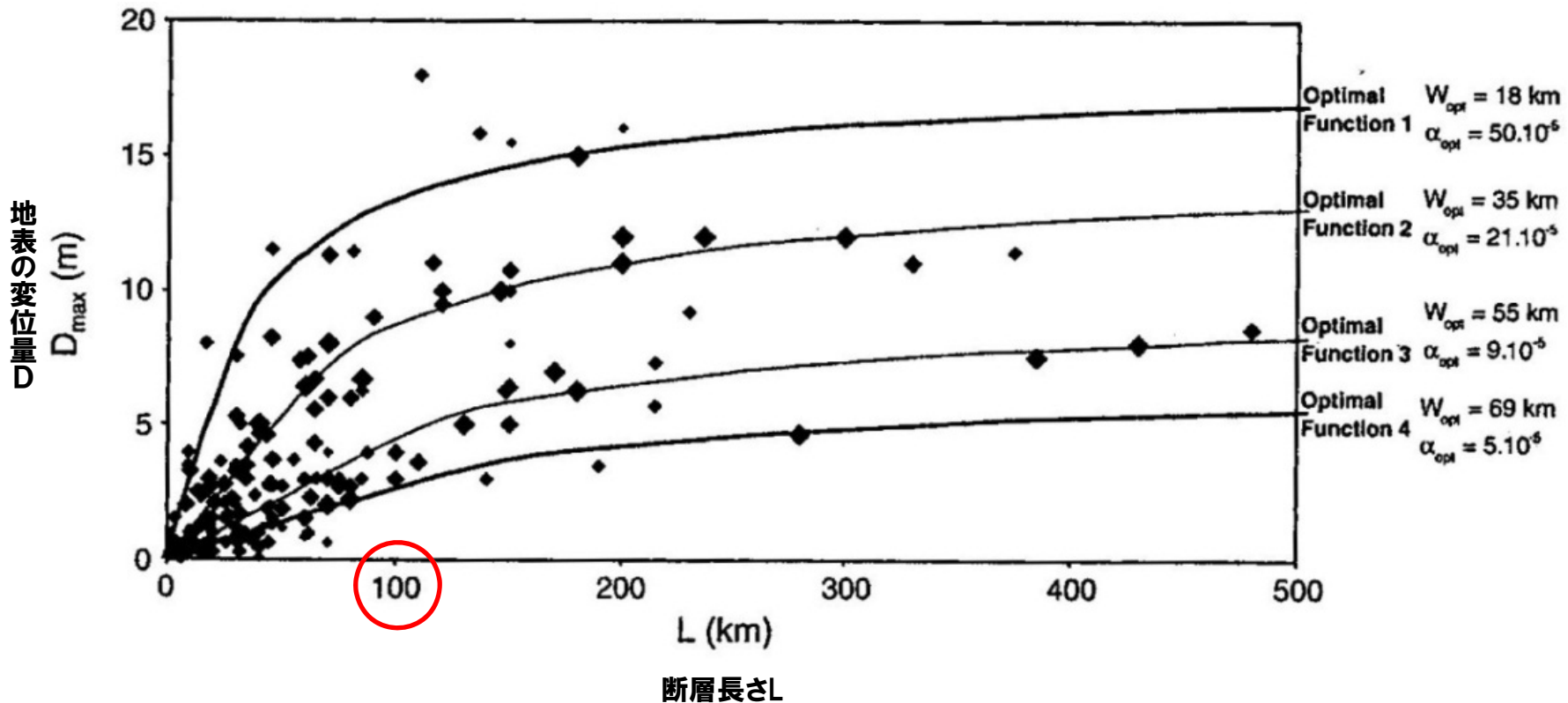
Figure 3. Average surface slip as a function of surface rupture in the model. Each point corresponds to an individual event. Note the remarkable similarities with Figure 1, both in terms of the mean behavior, and the variation about the mean. The solid line is the scaling expected from a simple constant stress drop estimate.



断層変位量に関する知見②

Manighetti et al. (2007)

Shaw and Scholz (2001)の断層長と変位量の関係式を用い、100kmを超えるような断層では、変位量が飽和していくと指摘している。



断層変位量に関する知見③

Kase (2010)

動的破壊シミュレーション結果に基づいて、『断層が単一面からなる場合は、長さとともに地表最大変位量が増加し、幅の約6倍で飽和する。一方、断層が複数のセグメントからなる場合には、変位量はほぼ一定である。』と指摘している(左図)。

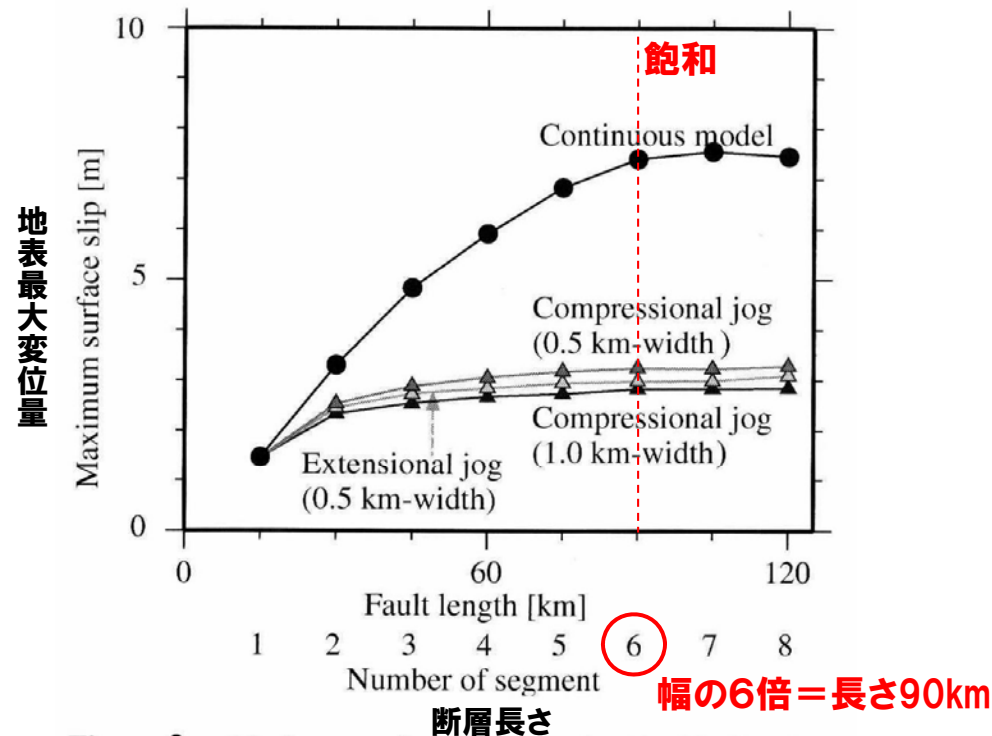


Figure 2. Maximum surface slip versus length of fault system in a continuous model (black circles) and segmented models composed of 15-km length segments that make up 0.5-km width compressional (dark gray triangles), 0.5-km width extensional (light gray triangles), and 1.0-km width compressional (black triangles) jogs. The segments do not overlap.

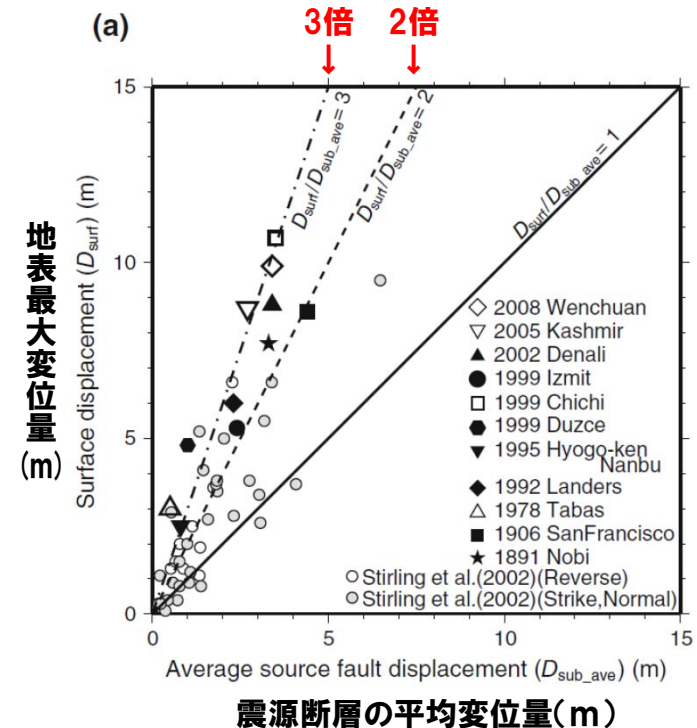
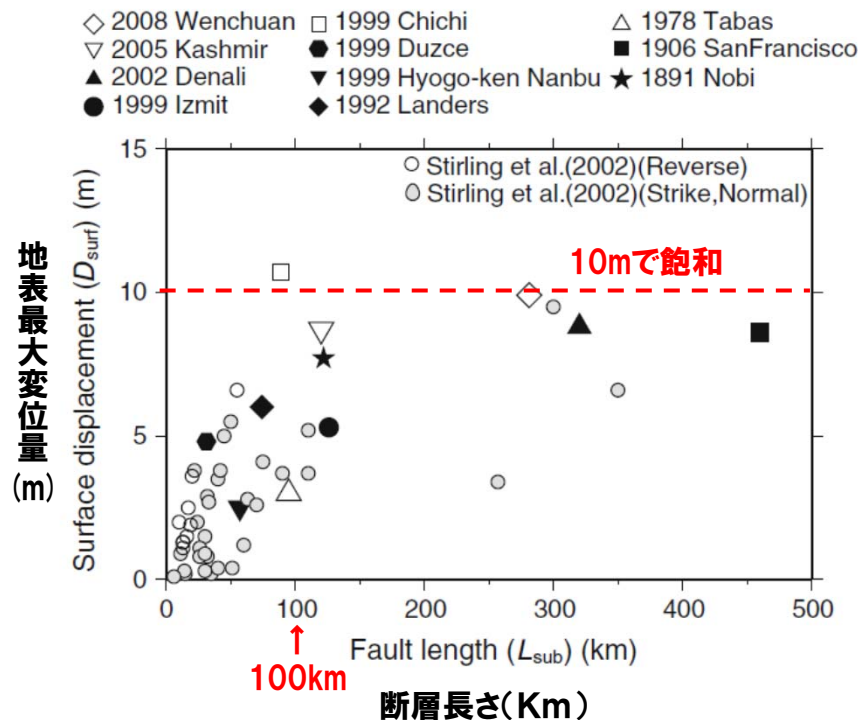
断層変位量に関する知見④

Murotani et al. (2014)

Murotani et al. (2014) は、断層長さや地表最大変位量の関係等について整理し、

- 地表最大変位量は、断層長さがほぼ100kmで約10mに飽和する(左下図)
- 地表で観測された最大変位量と震源断層における平均変位量の間には、長大断層に限れば、地表最大変位量は平均変位量の概ね2～3倍に収まる(右下図)

と指摘している。



断層変位量に関する知見⑤

2000年頃から「長大断層の地表変位量は飽和する傾向がある」との指摘がなされていた。



近年の研究では、「地表の最大変位量は約10mで飽和する」と指摘されている。



また、「地中の平均変位量は地表の最大変位量の1/3～1/2程度」との指摘もなされている。



これらの知見より、

地表の最大変位量は10m程度で飽和
地中の平均変位量は3～5m程度で飽和

と考えられる。

断層変位量に関する知見⑥

原子力安全委員会は、内陸地殻内の長大断層によるM8クラスの巨大地震の震源モデルを既往文献などから収集し(右表), 震源パラメータについて整理を行っている(左表)。



これをみると震源断層の平均変位量は1.6~4.1mとなっており, 3~5mという知見と整合的である。

表 4.1 内陸地殻内地震のすべり分布モデルから求めた震源パラメータ (S, S_0, D, D_0, D_{max})

文献	M_0 (N·m)	M_w	S (km ²)	S_0 (km ²)	S_0/S	D (m)	D_0 (m)	D_{max} (m)
1999年8月17日 トルコ・コジャエリ地震(Mw7.6)								
Bouchon et al. (2002)	2.50E+20	7.53	2664	552	0.21	3.0	5.2	6.8
Delouis et al. (2002)	2.40E+20	7.52	2903	776	0.27	2.4	5.7	8.0
Sekiguchi and Iwata(2002)	1.52E+20	7.39	2593	489	0.19	1.8	4.0	8.5
Yagi and Kikuchi (2000)	1.70E+20	7.42	1944	531	0.27	2.3	4.5	6.3
1999年9月20日 台湾・集集地震(Mw7.6)								
Chi et al. (2001)	4.10E+20	7.68	3920	833	0.21	3.6	7.2	25.8
Ma et al. (2001)	2.20E+20	7.49	3800	1150	0.30	3.9	9.1	13.4
関口・岩田(2001)	3.16E+20	7.60	6485	717	0.11	3.8	7.3	11.9
Wu et al. (2001)	2.70E+20	7.55	2729	641	0.23	4.1	9.3	25.2
Zeng and Chen (2001)	2.90E+20	7.57	3528	335	0.09	3.0	5.1	7.0
2001年1月26日 インド・ブジー地震(Mw7.6)								
Copley et al. (2011)	3.40E+20	7.62	2808	624	0.22	3.5	9.1	13.9
2002年11月3日 アラスカ・デナリ地震(Mw7.8)								
Oglesby et al. (2004)	7.50E+20	7.85	9103	2364	0.26	2.4	5.8	10.3
2005年10月8日 パキスタン・カシミール地震(Mw7.6)								
Avouac et al. (2006)	2.82E+20	7.57	2111	420	0.20	3.5	7.7	10.2
Shao and Ji (2005)	3.73E+20	7.65	4212	1296	0.31	2.6	5.0	6.4
2008年5月12日 中国・四川地震(Mw7.9)								
Ji and Hayes (2008)	1.15E+21	7.97	8925	1725	0.19	3.8	7.2	9.3
Nishimura and Yagi (2008)	9.07E+20	7.91	21700	4200	0.19	1.6	3.8	6.9
Sladen (2008)	8.81E+20	7.90	7000	1680	0.24	3.9	9.4	14.0

M_0 : 地震モーメント, M_w : モーメントマグニチュード, S : 全破壊域, S_0 : アスぺリティ領域の面積, D : 全破壊域内の平均すべり量, D_0 : アスぺリティ領域内の平均すべり量

「内陸地殻内の長大断層による巨大地震とプレート間の巨大地震を対象とした震源パラメータのスケーリング則の比較検討業務(平成24年1月)」より

表 3.1 震源モデルに関する文献(内陸地殻内地震)

文献	データ	解析周波数帯域 (Hz)	すべりデータまたはアスぺリティ情報の公開元
1997年11月8日 チベット地震(Mw 7.5)			
文献なし			
1999年8月17日 トルコ・コジャエリ地震(Mw 7.6)			
Bouchon et al. (2002)	近地波形	記載なし(長周期)	Mai ³⁾
Çakir et al. (2003)	GPS, InSAR, 野外地質構造調査	—	
Delouis et al. (2002)	InSAR, GPS, 遠地波形, 近地波形	遠地(P波): 0.01~0.8 遠地(SH波): 0.01~0.4 近地(SMA-1地震計=5点): 0.1~0.5 近地(SK-観測点): 0.05~0.5	Mai ³⁾
釜江・入倉(2002)	近地波形(フォワードモデリング)	1以上	文献中
Reilinger et al. (2000)	GPS, InSAR	—	Mai ³⁾
Sekiguchi and Iwata (2002)	近地波形	デジタルデータ: 0.1~1.0 アナログデータ: 0~1.0	Mai ³⁾
Yagi and Kikuchi (2000)	遠地波形, 近地波形	遠地: 0.01~0.8 近地(地表断層に近い観測点): 0.02~0.5 近地(遠い): 0.05~0.5	Mai ³⁾
1999年9月20日 台湾・集集地震(Mw 7.6)			
Chi et al. (2001)	近地波形	0.02~0.5	Mai ³⁾
Ji et al. (2003)	GPS, 近地波形	記載なし(長周期)	
平成22年度業務(2011)	近地波形(フォワードモデリング)	0.1~5程度(短周期)	平成22年度業務報告書
池田・他(2004)	近地波形(フォワードモデリング)	記載なし(短周期)	
Johnson et al. (2001)	GPS	—	Mai ³⁾
釜江・入倉(2002)	近地波形(フォワードモデリング)	1以上	文献中
Ma et al. (2000)	遠地波形	記載なし(長周期)	
Ma et al. (2001)	GPS, 遠地波形, 近地波形	遠地: 記載なし(長周期) 近地: 0~1	Mai ³⁾
Ma et al. (2003)	近地波形	記載なし(長周期)	Mai ³⁾
関口・岩田(2001)	近地波形	0.05~0.5	Mai ³⁾
Wu et al. (2001)	GPS, 近地波形	近地: 0.016~0.5	Mai ³⁾
Zeng and Chen (2001)	GPS, 近地波形	近地: 0.05~0.25	Mai ³⁾ 注) 論文とすべり分布が異なる
2001年1月26日 インド・ブジー地震(Mw 7.6)			
Copley et al. (2011)	InSAR, 遠地波形	遠地: 記載なし(長周期)	Caltech ¹⁾
2001年11月14日 チベット地震(Mw 7.8)			
文献なし			
2002年11月3日 アラスカ・デナリ地震(Mw 7.8)			
Asano et al. (2005)	GPS, 近地波形	近地(Alyeskaの観測点): 0.1~0.5 近地(その他): 0.05~0.5	Mai ³⁾ 注) 論文とすべり分布が異なる
Dreger et al. (2004)	近地波形, GPS, 地表すべり測量?	0.01~0.5	
Frankel (2004)	遠地波形, 近地波形	0.02~0.5	
Hreinsdóttir et al. (2003)	GPS	—	
菊地・山中(2002)	遠地波形	記載なし(長周期)	
Ji et al. (2004)	遠地波形	0~0.5	
Oglesby et al. (2004)	GPS, 近地波形	近地: 0.01~0.5	Mai ³⁾
Ozacar et al. (2003)	遠地波形	0.005~1	
Tsuboi et al. (2003)	遠地波形	0.00666~0.2	
Wright et al. (2004)	InSAR, GPS	—	
2005年10月8日 パキスタン・カシミール地震(Mw 7.6)			
Avouac et al. (2006)	ASTER images, 遠地波形	遠地: 0.01~1	Caltech ¹⁾
Ji (2005)	遠地波形	記載なし(長周期)	
Pathier et al. (2006)	InSAR	—	
Shao and Ji (2005)	遠地波形	記載なし(長周期)	Ji ²⁾
八木(2005a)	遠地波形	記載なし(長周期)	
山中(2005a)	遠地波形	記載なし(長周期)	
2008年5月12日 中国・四川地震(Mw 7.9)			
Furuya et al. (2010)	InSAR	—	
Ji and Hayes (2008)	遠地波形	記載なし(長周期)	USGS ⁵⁾
海洋研究開発機構(2008)	遠地波形	記載なし(長周期)	
Koketsu et al. (2009)	遠地波形, 近地波形	記載なし(長周期)	
倉橋(2011)	近地波形(フォワードモデリング)	0.1~10程度(短周期)	平成22年度業務報告書
Nishimura and Yagi (2008)	遠地波形	記載なし(長周期)	Nishimura ⁴⁾
Sladen (2008)	遠地波形	記載なし(長周期)	Caltech ¹⁾
Tong et al. (2010)	GPS, InSAR, 野外地質構造調査	—	
Xu et al. (2010)	GPS, InSAR	—	
山中(2008)	遠地波形	記載なし(長周期)	
Zhao et al. (2010)	遠地波形	0.002~0.2	

1) Caltech (Tectonics Observatory, California Institute of Technology): http://www.tectonics.caltech.edu/slip_history/

2) Ji (Dr. Chen Ji's web site): <http://www.geol.ucsb.edu/faculty/ji/>

3) Mai (Dr. Martin Mai's web site): <http://www.seismo.ethz.ch/static/srcmod/Homepage.html>

4) Nishimura (Dr. Naoki Nishimura's web site): <http://www.geol.tsukuba.ac.jp/~nshimura/>

5) USGS (U.S. Geological Survey): <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/>

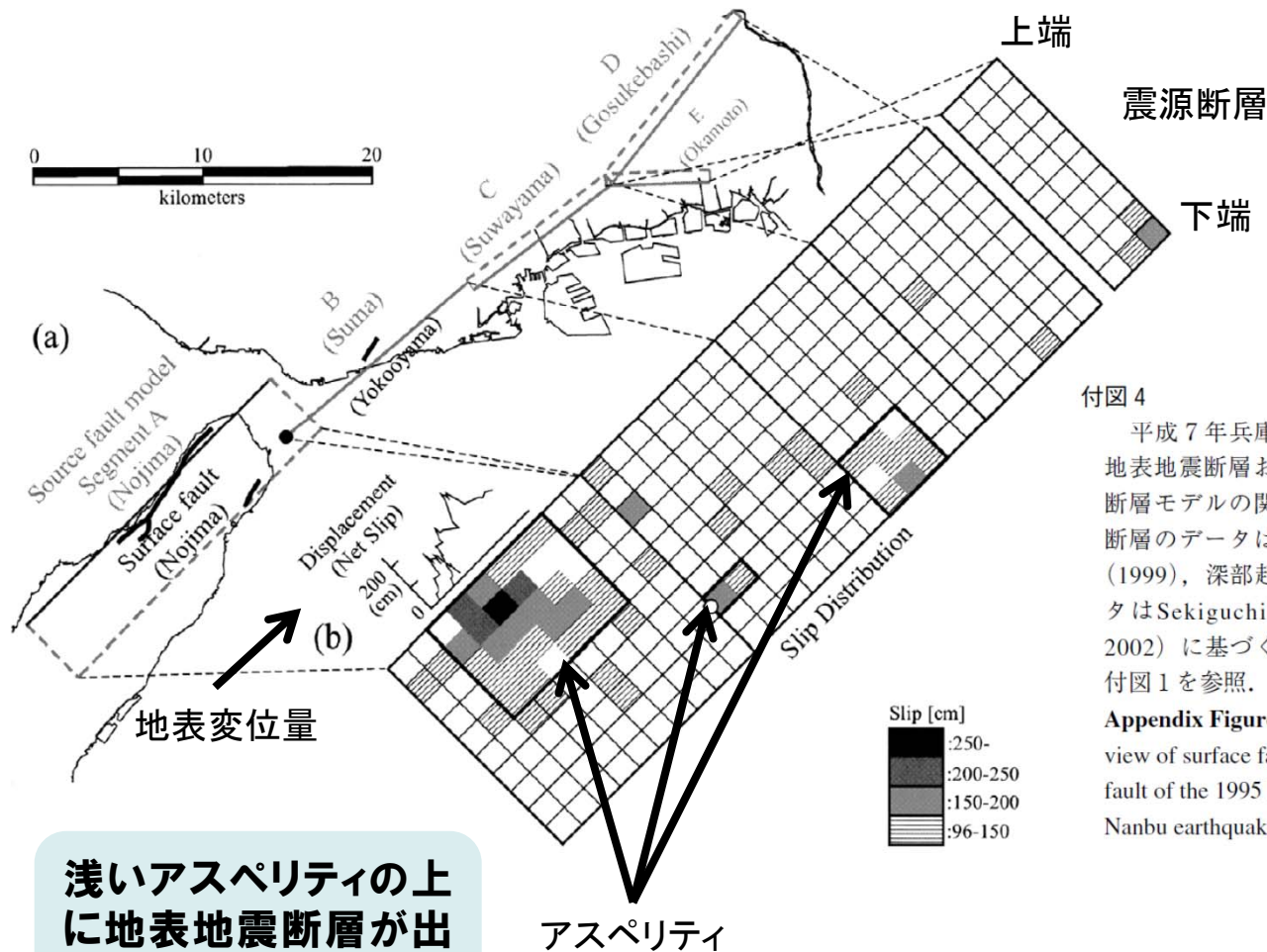
※フォワードモデリングに関しては、解析時に考慮した周波数帯域を記載した

■ : スケーリング則の検討に使用した文献(長周期データ)

■ : スケーリング則の検討に使用した文献(短周期データ)

地表の変位量と震源断層の変位量の関係①

大規模な地震に伴って地表に出現した地震断層と、その地震を発生させた震源断層(深部起震断層)の関係に着目し、両者の相関関係について検討を行った岩城ほか(2006)は、「深部起震断層面にアスペリティが設定されている範囲の直上で、地表地震断層の変位量が大きい傾向が見られた。」と述べている。



付図4

平成7年兵庫県南部地震の地表地震断層および深部起震断層モデルの関係。地表地震断層のデータは中田・岡田編(1999)、深部起震断層のデータはSekiguchi *et al.* (2000; 2002)に基づく。図の見方は付図1を参照。

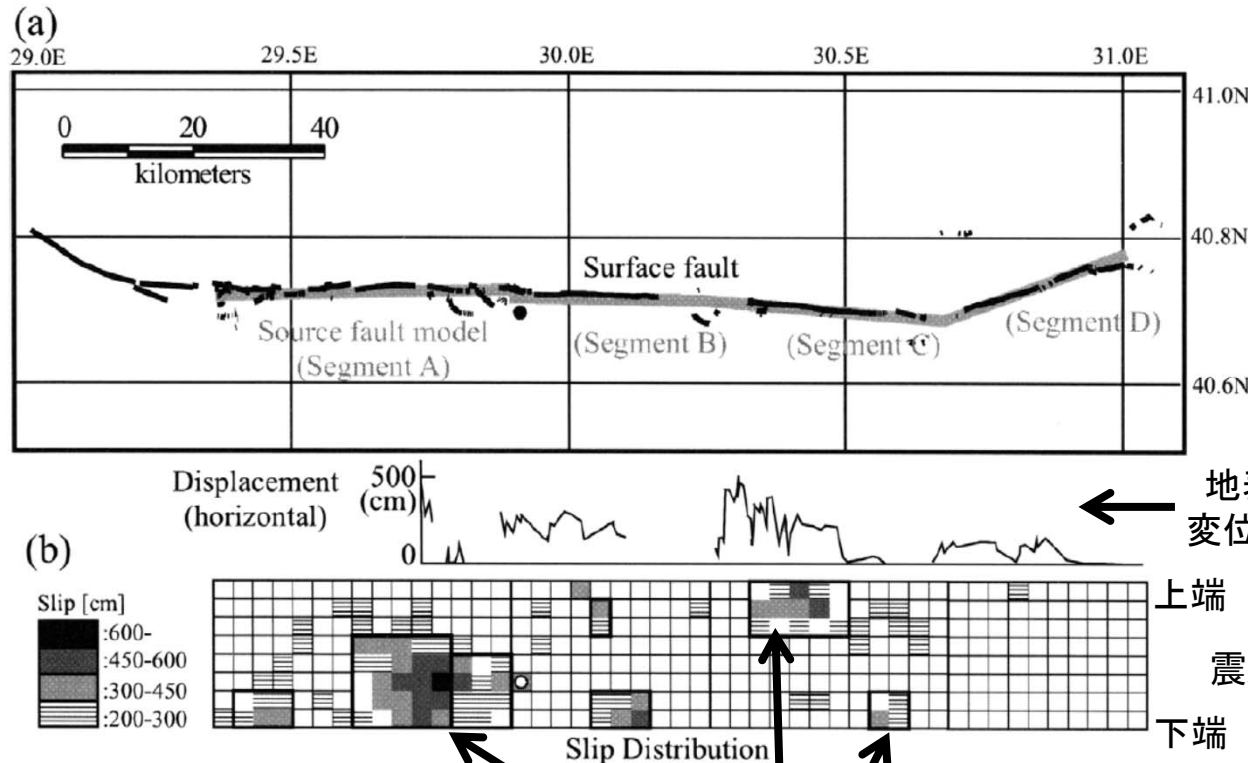
Appendix Figure 4 Schematic view of surface fault and source fault of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake.

図の見方

(a): 地表地震断層(黒線)と深部起震断層モデル(灰色線), および破壊開始点(黒丸)を, 地表に投影して示す。深部起震断層モデルは, Somerville *et al.* (1999)に基づく破壊領域を投影している。(b): 地表地震断層の変位量分布と, 深部起震断層の破壊領域のすべり量分布, アスペリティ分布を示す。すべり量分布は小断層ごとに色分けして表示し, アスペリティの範囲を太い枠で囲む。起震断層面上の破壊開始点を白丸で表す。

浅いアスペリティの上に地表地震断層が出現した

地表の変位量と震源断層の変位量の関係②



付図5

1999年 Kocaeli地震の地表地震断層および深部起震断層モデルの関係. 地表地震断層のデータはBarka et al. (2002), 深部起震断層のデータはSekiguchi and Iwata (2002) に基づく. 図の見方は付図1を参照.

Appendix Figure 5

Schematic view of surface fault and source fault of the 1999 Kocaeli earthquake.

地表変位量

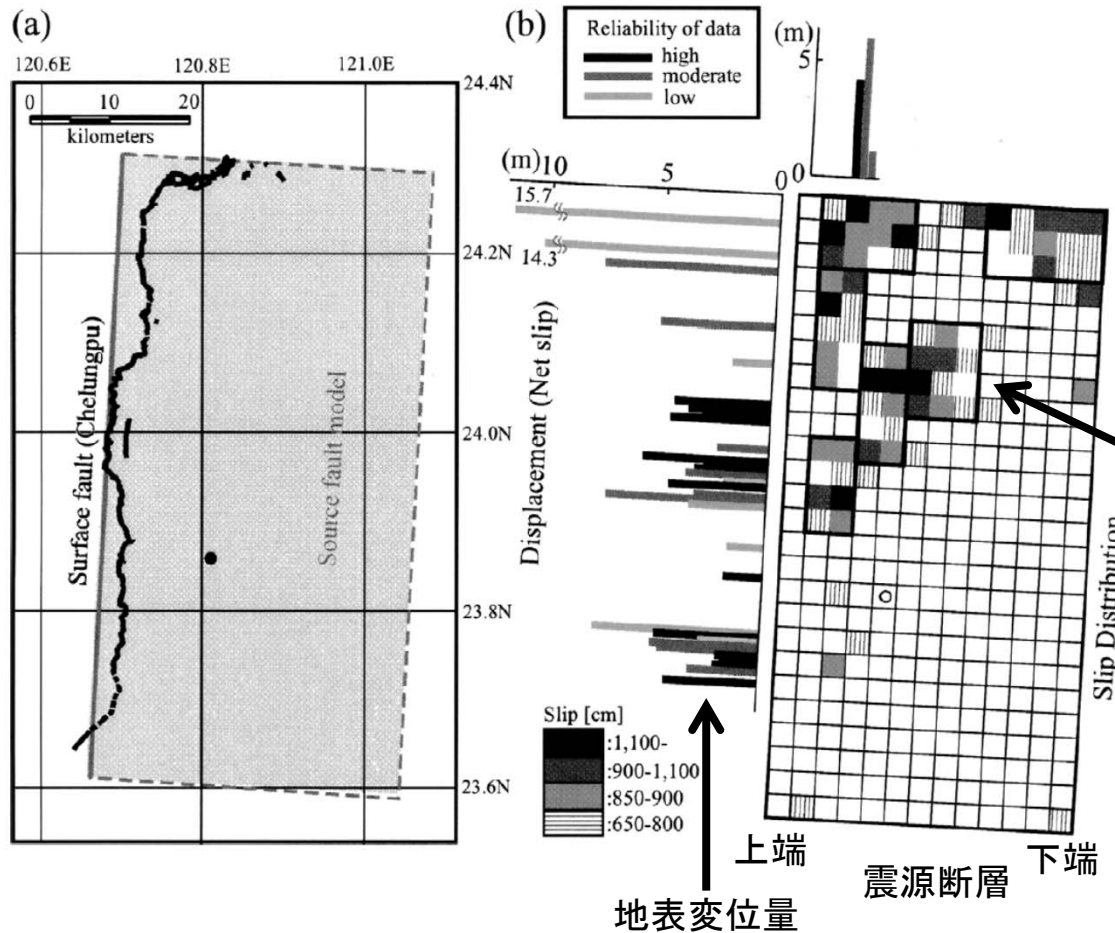
上端
震源断層
下端

アスペリティ

浅いアスペリティの上で地表変位量大きい

1999年 kocaeli地震

地表の変位量と震源断層の変位量の関係③



付図11

1999年 Chi-Chi地震の地表地震断層および深部起震断層モデルの関係。地表地震断層のデータは吾妻ほか(2000)、深部起震断層のデータは関口・岩田(2001)に基づく。図の見方は付図1を参照。

Appendix Figure 11

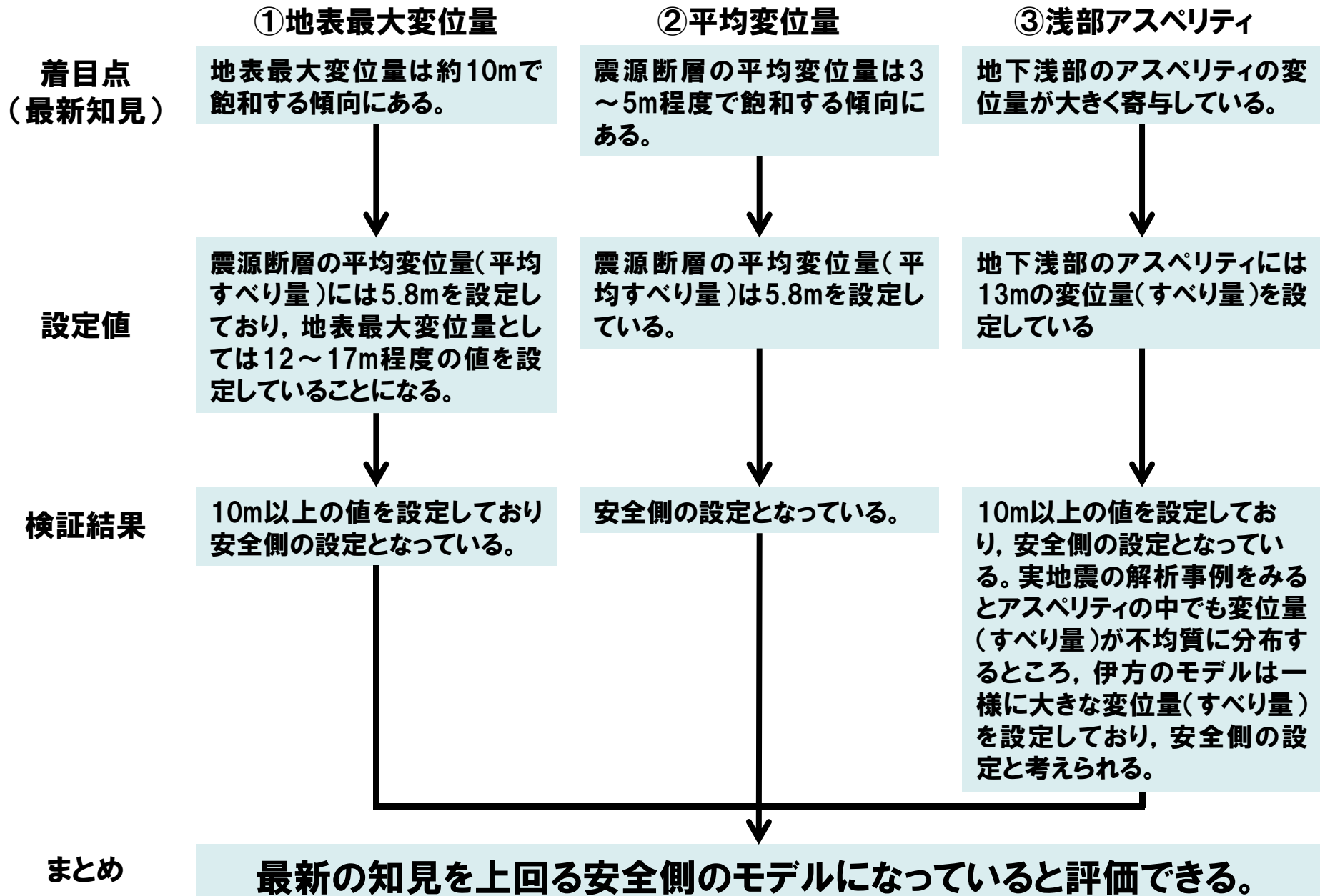
Schematic view of surface fault and source fault of the 1999 Chi-Chi earthquake.

アスペリティ

浅いアスペリティの上で地表変位量大きい。アスペリティ内の変位量も不均質。地表で10mの変位が生じた直下のアスペリティの変位量が一様に10mを超えている訳ではない。

1999年 Chi-Chi地震

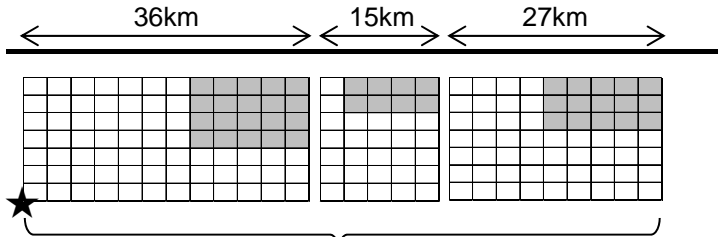
伊方で設定しているモデルの検証(着目点と検証結果)



設定モデルの検証

長さ480km 基本モデル by Fujii & Matsu'uraの手法

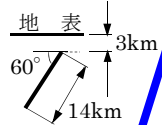
- ①崩平山-亀石山 ②大分-由布院 ③大分-由布院 (西部) (東部)



★:破壊開始点

☆:応力降下量の不確かさケースで想定する開始点

①~③断面図



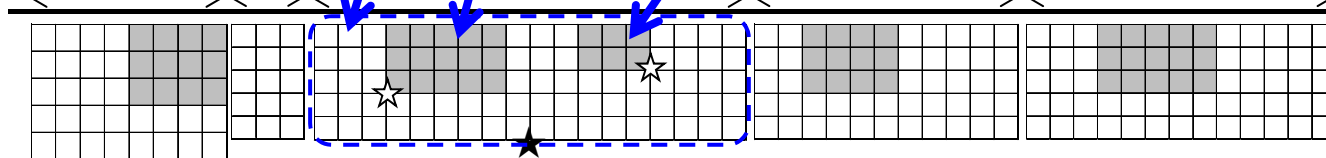
断層面全体の平均すべり量5.8m
アスペリティのすべり量13.0m
アスペリティのすべり量8.0m

- ④豊予海峡 (西部) 24km ⑤豊予海峡 (東部) 9km

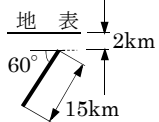
⑥敷地前面海域の断層群 54km

⑦伊予セグメント 33km

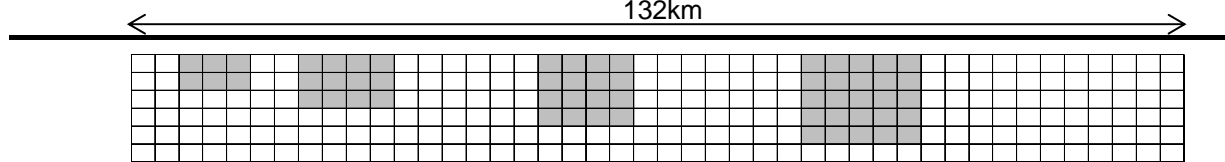
⑧川上セグメント 39km



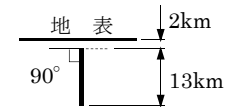
④断面図



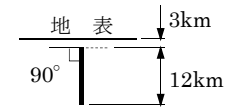
⑨讃岐山脈南縁-石鎚山脈北縁東部 132km



⑤~⑧断面図



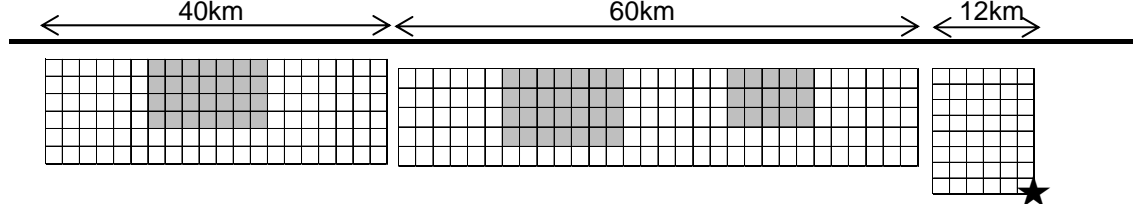
⑨断面図



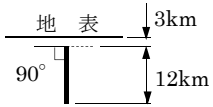
⑩紀淡海峡-鳴門海峡 40km

⑪和泉山脈南縁 60km

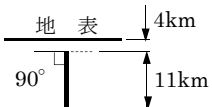
⑫金剛山地東縁 12km



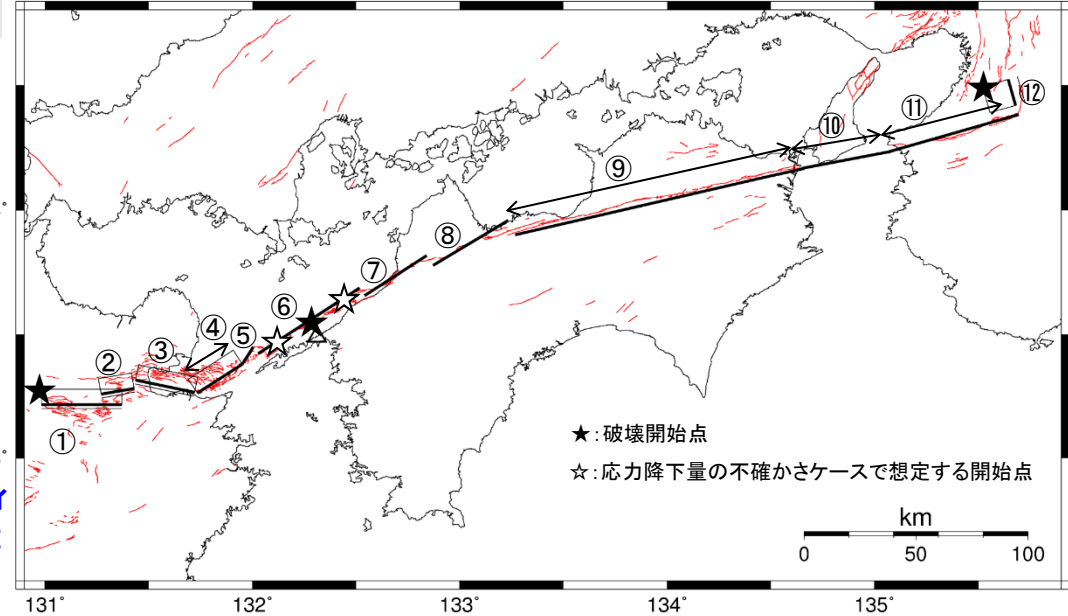
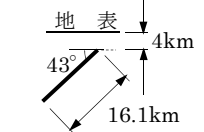
⑩断面図



⑪断面図



⑫断面図



★:破壊開始点

☆:応力降下量の不確かさケースで想定する開始点

設定モデルの検証 長さ480km 基本モデル by Fujii & Matsu'uraの手法

断層パラメータ		記号	単位	設定方法	全体	崩平山—亀石山	大分-由布院(西部)	大分-由布院(東部)	豊予海峡(西部)	豊予海峡(東部)	敷地前面海域の断層群	伊予	川上	讃岐山脈南縁—石鎚山脈北縁東部	紀淡海峡—鳴門海峡	和泉山脈南縁	金剛山地東縁		
断層位置	西端	—	北緯	—	—	33° 12' 56"	33° 15' 31"	33° 18' 55"	33° 15' 45"	33° 22' 48"	33° 25' 20"	33° 39' 21"	33° 46' 42"	33° 54' 2"	34° 10' 2"	34° 14' 1"	34° 25' 10"		
	—	—	東経	—	—	130° 59' 0"	131° 16' 16"	131° 26' 14"	131° 44' 7"	131° 57' 7"	132° 1' 42"	132° 32' 28"	132° 52' 16"	133° 16' 0"	134° 38' 59"	135° 4' 0"	135° 40' 50"		
走向	θ	[度]	—	—	—	N90E	N80E	N101.8E	N57E	N32E	N57E	N57E	N59E	N77E	N79.1E	N74E	N16W		
傾斜角	δ	[度]	—	—	—	60	60	60	60	90	90	90	90	90	90	90	43		
ずれの種類	—	—	—	—	—	正断層	正断層	正断層	正断層	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	右横ずれ	逆断層		
断層上端深さ	H	[km]	—	—	—	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	4	4		
断層長さ	L	[km]	—	—	481.0	36.0	15.0	27.0	24.0	9.0	54.0	33.0	39.0	132.0	40.0	60.0	12.0		
断層幅	W	[km]	$W=S/L$	—	12.7	14.0	14.0	14.0	15.0	13.0	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0	11.0	16.1		
断層面積	S	[km ²]	$S=L \times W$	—	6124.2	504.0	210.0	378.0	360.0	117.0	702.0	429.0	507.0	1584.0	480.0	660.0	193.2		
剛性率	μ	[N/m ²]	$\mu=\rho\beta^2$	—	—	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.31E+10	3.12E+10	3.12E+10	3.12E+10		
S波速度	β	[km/s]	—	—	—	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4		
密度	ρ	[g/cm ³]	—	—	—	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7		
破壊伝播速度	V_f	[km/s]	$V_f=0.72\beta$ (Geller et al., 1976)	—	—	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4		
地震モーメント	M_0	[N·m]	Fujii & Matsu'ura(2000)	—	1.18E+21	9.72E+19	4.05E+19	7.29E+19	6.94E+19	2.26E+19	1.35E+20	8.27E+19	9.77E+19	3.05E+20	9.25E+19	1.27E+20	3.72E+19		
モーメント「ニホード」	M_w	—	kanamori(1977)	—	8.0	7.3	7.0	7.2	7.2	6.8	7.4	7.2	7.3	7.6	7.2	7.3	7.0		
気象庁「ニホード」	M_j	—	武村(1998)	—	8.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
平均すべり量	D	[cm]	$D=M_0/(\mu S)$	—	—	583	583	583	583	583	583	583	583	583	618	618	618		
平均応力降下量	$\Delta\sigma$	[MPa]	$\Delta\sigma=3.1\text{MPa}$ (Fujii & Matsu'ura, 2000)	—	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1		
短周期レベル	A'	[N·m/s ²]	$A'=(A'_1^2+A'_2^2)^{0.5}$	—	4.81E+19	1.40E+19	9.01E+18	1.21E+19	1.33E+19	2.71E+18	1.65E+19	1.29E+19	1.40E+19	2.47E+19	1.29E+19	1.68E+19	3.29E+18		
全アスベリティ	地震モーメント	M_{0a}	[N·m]	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	—	5.08E+20	4.18E+19	1.74E+19	3.13E+19	3.95E+19	—	—	—	5.82E+19	3.56E+19	4.20E+19	1.31E+20	3.98E+19	7.07E+19
	面積	S_a	[km ²]	$S_a=0.215 \cdot S$ (設定値 $S_a/S=21.5\%$)	—	1316.7	108.4	45.2	81.3	102.6	—	—	—	150.9	92.2	109.0	340.6	103.2	183.4
	平均すべり量	D_a	[cm]	$D_a=\gamma_0 \cdot D$, $\gamma_0=2.0$	—	—	1166	1166	1166	1166	—	—	—	1166	1166	1166	1235	1235	
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	[MPa]	$\Delta\sigma_a=\Delta\sigma/0.215$	—	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	—	—	—	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	
	短周期レベル	A_a	[N·m/s ²]	$A_a=4\pi\beta^2\Delta\sigma_a(S_a/\pi)^{0.5}$	—	4.49E+19	1.30E+19	8.41E+18	1.13E+19	1.27E+19	—	—	—	1.54E+19	1.20E+19	1.31E+19	2.31E+19	1.20E+19	1.60E+19
第1アスベリティ	地震モーメント	M_{0a1}	[N·m]	$M_{0a1}=\mu \cdot D_{a1} \cdot S_{a1}$	—	—	4.18E+19	1.74E+19	3.13E+19	3.95E+19	—	—	—	4.73E+19	3.56E+19	4.20E+19	7.45E+18	3.98E+19	5.23E+19
	面積	S_{a1}	[km ²]	—	—	—	108.4	45.2	81.3	102.6	—	—	—	109.8	92.2	109.0	33.5	103.2	122.3
	平均すべり量	D_{a1}	[cm]	$D_{a1}=(\gamma_1/2\gamma_0^3) \cdot D_a$, $\gamma_1=r_1/r$	—	—	1166	1166	1166	1166	—	—	—	1304	1166	1166	672	1235	1369
	実効応力	σ_{a1}	[MPa]	$\sigma_{a1}=\Delta\sigma_a$	—	—	14.4	14.4	14.4	14.4	—	—	—	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	
	短周期レベル	A_{a1}	[N·m/s ²]	$A_{a1}=4\pi\beta^2\sigma_{a1}(S_{a1}/\pi)^{0.5}$	—	—	1.30E+19	8.41E+18	1.13E+19	1.27E+19	—	—	—	1.31E+19	1.20E+19	1.31E+19	7.25E+18	1.20E+19	1.31E+19
第2アスベリティ	地震モーメント	M_{0a2}	[N·m]	$M_{0a2}=\mu \cdot D_{a2} \cdot S_{a2}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.09E+19	—	—	2.11E+19	—	1.85E+19
	面積	S_{a2}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41.2	—	—	67.1	—	61.1
	平均すべり量	D_{a2}	[cm]	$D_{a2}=(\gamma_2/2\gamma_0^3) \cdot D_a$, $\gamma_2=r_2/r$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	798	—	—	950	—	968
	実効応力	σ_{a2}	[MPa]	$\sigma_{a2}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.4	—	—	14.4	—	14.4
	短周期レベル	A_{a2}	[N·m/s ²]	$A_{a2}=4\pi\beta^2\sigma_{a2}(S_{a2}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.03E+18	—	—	1.03E+19	—	9.24E+18
第3アスベリティ	地震モーメント	M_{0a3}	[N·m]	$M_{0a3}=\mu \cdot D_{a3} \cdot S_{a3}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.43E+19	—	—
	面積	S_{a3}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92.9	—	—
	平均すべり量	D_{a3}	[cm]	$D_{a3}=(\gamma_3/2\gamma_0^3) \cdot D_a$, $\gamma_3=r_3/r$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1118	—	—
	実効応力	σ_{a3}	[MPa]	$\sigma_{a3}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.4	—	—
	短周期レベル	A_{a3}	[N·m/s ²]	$A_{a3}=4\pi\beta^2\sigma_{a3}(S_{a3}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.21E+19	—	—
第4アスベリティ	地震モーメント	M_{0a4}	[N·m]	$M_{0a4}=\mu \cdot D_{a4} \cdot S_{a4}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.84E+19	—	—
	面積	S_{a4}	[km ²]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	147.1	—	—
	平均すべり量	D_{a4}	[cm]	$D_{a4}=(\gamma_4/2\gamma_0^3) \cdot D_a$, $\gamma_4=r_4/r$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1407	—	—
	実効応力	σ_{a4}	[MPa]	$\sigma_{a4}=\Delta\sigma_a$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.4	—	—
	短周期レベル	A_{a4}	[N·m/s ²]	$A_{a4}=4\pi\beta^2\sigma_{a4}(S_{a4}/\pi)^{0.5}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.52E+19	—	—
背景領域	地震モーメント	M_{0b}	[N·m]	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	—	5.54E+19	2.31E+19	4.15E+19	3.60E+19	1.64E+19	7.71E+19	4.71E+19	5.57E+19	1.74E+20	5.27E+19	6.67E+19	2.70E+19		
	面積	S_b	[km ²]	$S_b=S-S_a$	—	395.6	164.9	296.7	257.4	117.0	551.1	336.8	398.0	1243.4	376.8	476.6	193.2		
	平均すべり量	D_b	[cm]	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	—	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423	449	449	449	
	実効応力	σ_b	[MPa]	$\sigma_b=0.2 \cdot \Delta\sigma_a$	—	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9		
	短周期レベル	A_b	[N·m/s ²]	$A_b=4\pi\beta^2\sigma_b(S_b/\pi)^{0.5}$	—	4.98E+18	3.22E+18	4.31E+18	4.02E+18	2.71E+18	5.88E+18	4.60E+18	5.00E+18	8.83E+18	4.59E+18	5.16E+18	3.29E+18		