

# 意見書 (3)

平成28年12月26日

松山地方裁判所民事第2部 御中

氏名 \_\_\_\_\_ 印

小職が平成28年9月9日付けで作成した「意見書」に対し、債務者（四国電力）は平成28年10月31日付けで広島地方裁判所民事第4部に「準備書面（5）の補充書4」（以下「債務者ら補充書4」と言います。）を提出し反論を試みていますが、その内容は、小職の指摘に対して正面から答えるものではないため反論として成立しておらず、また誤りも多く含まれるため、指摘させていただきます。

## 1 プレート間地震（南海トラフ地震）について

小職は「意見書」において「四国電力がプレート間地震を対象に行っている強震動評価の決定的な不備は、一言で言えば、東北地方太平洋沖地震の経験から十分に学ばないうちに南海トラフ地震の予測に進んでしまっているという点です」と述べました。その具体的な内容は、東北地方太平洋沖地震において構造物の耐震性に重大な影響を及ぼす可能性のある大振幅パルス波が観測されていること、これが女川原子力発電所や福島第一原子力発電所で基準地震動を超える地震動が観測された原因であったこと、それにも関わらず、「このような地震動がどのような震源過程によって生成されたのか、どのような震源モデルを用いれば再現できるのか」といった点について債務者が調査を行った形跡がないこと、などでした。しかしながら、債務者ら補充書4においては、これらの事項への言及が全く見いだされません。この点だけをとっても、プレート境界地震を対象に債務者が行っている強震動評価の不備の問題について、債務者ら補充書4は何らの回答も与えていないことは明らかです。

次に、債務者ら補充書4の個別の記載について見ていきます。

債務者ら補充書4のプレート境界地震に関する記述は、強震動生成域（SMGA）の平均応力降下量をどのような値とすべきかの議論に終始しています。例えば、5頁では、内閣府（2012）<sup>1</sup>のモデルにおける強震動生成域の平

<sup>1</sup> 南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）強震断層モデル編－強震断層モデルと震度分布について－，2012，[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829\\_2nd\\_report05.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_2nd_report05.pdf)

均応力降下量の値（複数の強震動生成域のうち最も大きいものが 46.4MPa）に言及しています。しかしながら、これらの数字はあくまでも一辺が数 10km もある強震動生成域（図 1 ではこれを概念的に緑の長方形で示しています。）における平均的な応力降下量に過ぎません。一辺が数 10km もあるような領域においては、その内部において応力降下量が一律であるとは考えにくく、その内部において相対的に応力降下量の高い部分と低い部分が存在するのはむしろ当然であると言えます。そして実際に、東北地方太平洋沖地震においては、宮城県沖の SPGA（SMGA の中で局所的に応力降下量の高い部分；図 2 ではこれを概念的に赤の長方形で表示）の破壊が女川原子力発電所に基準地震動を超える地震動をもたらし、また福島県沖の SPGA の破壊が福島第一原子力発電所に基準地震動を超える地震動をもたらしたことは、平成 28 年 9 月 9 日付けの「意見書」および拙文<sup>2</sup>で述べたとおりです。従って、原子力発電所の耐震安全性を論じる上で、SMGA の内部における応力降下量の不均質性（SMGA の内部にも応力降下量の高い部分や低い部分が存在すること）を考慮することが必須であるにも関わらず、債務者はこのことについて何ら検討していません。この点がまさに債務者が「東北地方太平洋沖地震の経験から十分に学ばないうちに南海トラフ地震の予測に進んでしまっている」点です。

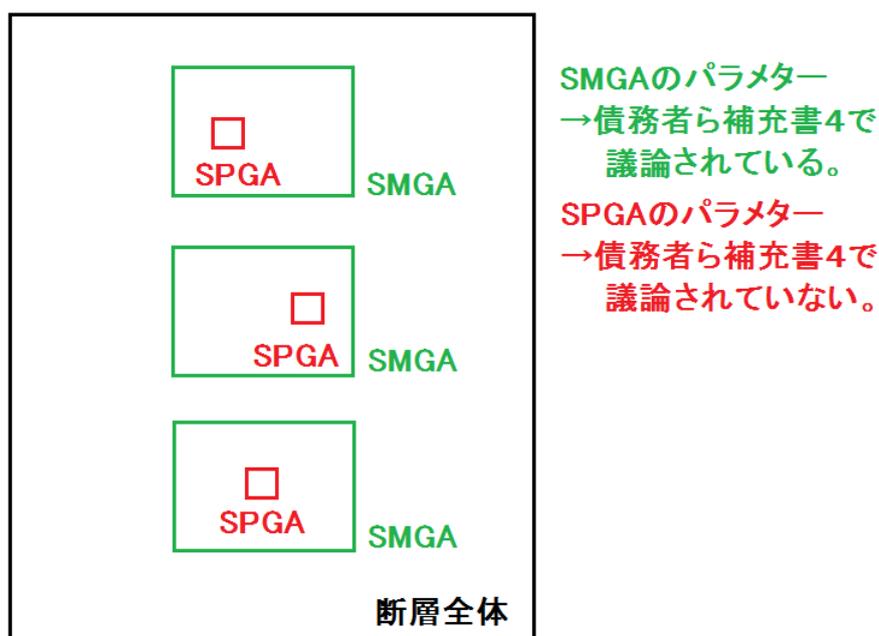


図 1 断層全体と SMGA および SPGA の関係を示す概念図

<sup>2</sup> 野津厚：不幸中の幸いであった東北地方太平洋沖地震の強震動生成過程から原子力発電所の耐震安全を考える，科学，第 85 巻，2015，pp.974-980.

次に、債務者ら補充書4の5頁～7頁では、「(1)太平洋プレートとフィリピン海プレートの違いについて」と題して、「太平洋プレートとフィリピン海プレートとでは発生する地震動の強さが異なる（太平洋プレートの方が大きい）」と主張しています。しかし、この箇所における債務者の議論は、太平洋プレート上面における巨大地震とフィリピン海プレート上面における巨大地震の比較に基づいていないという決定的な問題点があります。これは、考えてみれば当然のことであり、全国をカバーする強震観測網が確立されてからまだ日が浅く、この間に太平洋プレート上面においては巨大地震と言える地震が二つ起きていますが（2003年十勝沖地震と2011年東北地方太平洋沖地震）、フィリピン海プレート上面についてはまだ起きておらず、このため、両プレートで発生する巨大地震の平均応力降下量の大小について、確立されたデータに基づいて議論することは不可能なのです。従って、両プレートの比較に関する債務者の主張は、債務者による希望的観測と言わざるを得ません。小職自身も、フィリピン海プレート上面の地震が太平洋プレート上面の地震ほど大きな地震動をもたらさないことを願っています。しかし、原子力発電所のような重要な施設の耐震安全性の検討においては、希望的観測は禁物だと思います。

この点に関して、本来議論の対象とすべき地震はプレート間地震であるにも関わらず、債務者はプレート間地震とスラブ内地震の双方を持ち出して議論しています。これは、プレート間地震のデータだけでは両プレートの比較に関する債務者の主張が成立しないことを債務者自身も意識しておられるからかも知れませんが、本来議論すべきはプレート間地震ですので、以下の議論においては対象をプレート間地震に絞ります。

プレート間地震に関して、債務者ら補充書4の6頁11行目では、佐藤（2010）<sup>3</sup>により求められた太平洋プレートのプレート間地震に係る短周期レベルが壇ほか（2001）<sup>4</sup>の式（ $A=2.64 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$ 、ここでの短周期レベルAの単位は  $\text{dyne-cm/s}^2$ 、地震モーメント  $M_0$  の単位は  $\text{dyne-cm}$ ）で求められる短周期レベルの「1.63倍」であったことから、「太平洋プレートのプレート間地震が相対的に強い地震動をもたらすものである」と述べています。一方、18行目では、「太平洋プレートの地震がフィリピン海プレートの地震に比べ、相対的に強い地震動をもたらす」と述べていますので、債務者は壇ほか（2001）の式で求められる短周期レベルがフィリピン海プレート上面で発生する地震の短周期レベルに相当すると仮定してしまっているようですが、この仮定に根拠

<sup>3</sup> 佐藤智美：逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケールリング則，日本建築学会構造系論文集，第651号，2010，pp.923-932.

<sup>4</sup> 壇一男，渡辺基史，佐藤俊明，石井透：断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化，第545号，2001，pp.51-62.

はありません。なぜなら、上述の通り、全国をカバーする強震観測網が確立されて以来、フィリピン海プレート上面ではまだ巨大地震が起きていないからです。

次に、債務者ら補充書4の7頁～12頁では、「(2)本件発電所の敷地直下にSPGAは想定されないことについて」と題して、深部低周波地震の発生領域に基づき、発電所の直下ではSMGAもSPGAも存在しないと主張しています。しかしながら、「深部低周波地震の発生領域は巨大地震発生時に強震動を生成しない」とする説は、実際の巨大地震による検証を経ておらず、その最終的な検証は、次の南海トラフ巨大地震の発生を待った上で、その強震波形データを解析し、強震動を生成した領域と深部低周波地震の発生領域が棲み分けているかどうかを確認することを通じて行う必要があります。この説の検証が済んでいない現時点においては、原子力発電所のような重要な施設の耐震安全性の検討を実施しようとする場合、不確実性を考慮するために、敷地直下におけるSMGAおよびSPGAの存在の可能性を当然考慮すべきです。この点、債務者はSMGAを敷地直下に考慮した検討を行っており、この点は妥当であると考えます。しかし、SPGAの存在を考慮していない点が問題です。債務者は、「敷地直下にSMGAが存在する確率よりも敷地直下にSPGAが存在する確率は相当に低い」と考えているようです。しかし、敷地直下にSMGAが存在するという条件の下で、そのSMGAの応力降下量が均一であるという事象の条件付き確率はどの程度であるか、という見積もりを債務者は全く行っていないのですから、債務者の考えには根拠がないこととなります（なお、このことに関連して、債務者ら補充書4の10頁では、敷地周辺の地震はプレート内で発生していることを述べています。しかしながら、松崎他（2003）<sup>5</sup>では推定された地震発生層の上面はほぼフィリピン海プレート上面に相当していると述べていることから、少なくとも深さの点ではプレート間にほぼ相当する地震も起きていることになり、また、メカニズムの観点からも、松崎他(2003)のFig.10(c)(g)などを見ても、プレート間地震と考えるもおかしくないようなP軸を有する地震も起きているようです）。

なお、小職が平成28年9月9日付けで作成した「意見書」では、債務者が不確実性を考慮するために設定した敷地直下のSMGAの内部にSPGAを設定しましたが（図2）、念のため、内閣府の陸側ケースのSMGAの内部にSPGAを図3に示すとおり設定し、平成28年9月9日付け「意見書」と同じ方法で地震動の計算を行ってみました。この場合の地震動の計算結果を図4に示します。この図にあるように、最大加速度は約1066Gal、最大速度は約129cm/sと

<sup>5</sup> 松崎伸一，大野裕記，池田倫治，福島美光：震源分布からみた伊予灘周辺フィリピン海プレートの形状および地震特性，地震2，56，2003，pp.267-279.

なり、敷地直下に SPGA を置いた場合と比較すれば小さい値になっているものの、やはり加速度、速度ともに大きな値を示していることがわかります。近い将来の発生が懸念される南海トラフ巨大地震において、このような地震動が伊方発電所を襲う蓋然性は否定できず、万が一このようなシナリオが現実のものとなった場合、福島第一原発事故のような事態が再来することが考えられます。このようなパラメトリックスタディは、本来であれば債務者自身が実施すべきものであると考えます。

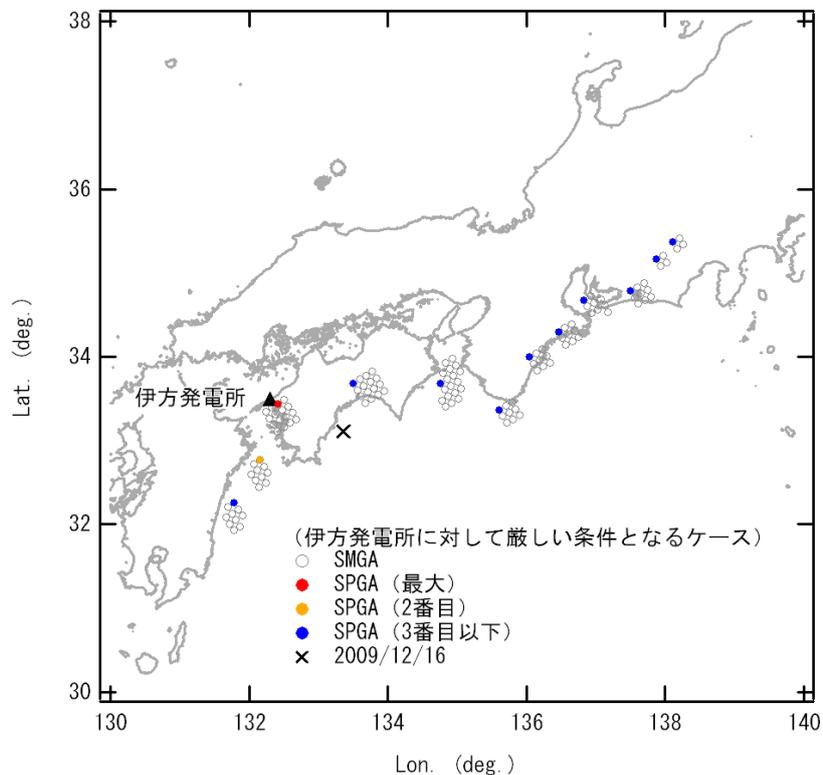


図2 平成28年9月9日付け「意見書」の試算における SPGA の位置

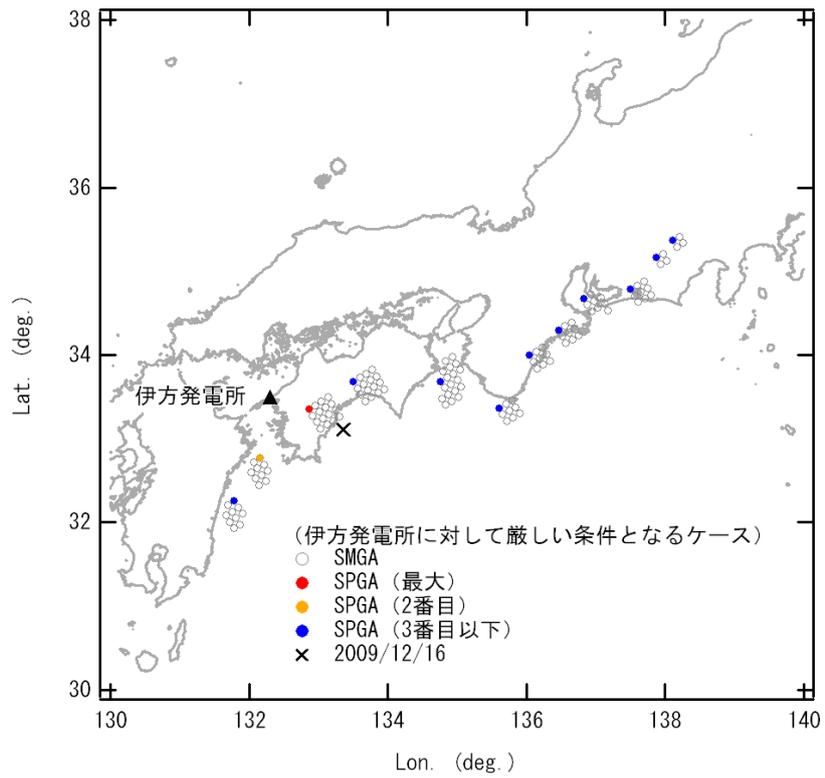


図3 内閣府の陸側ケースのSMGA内に設定したSPGAの位置

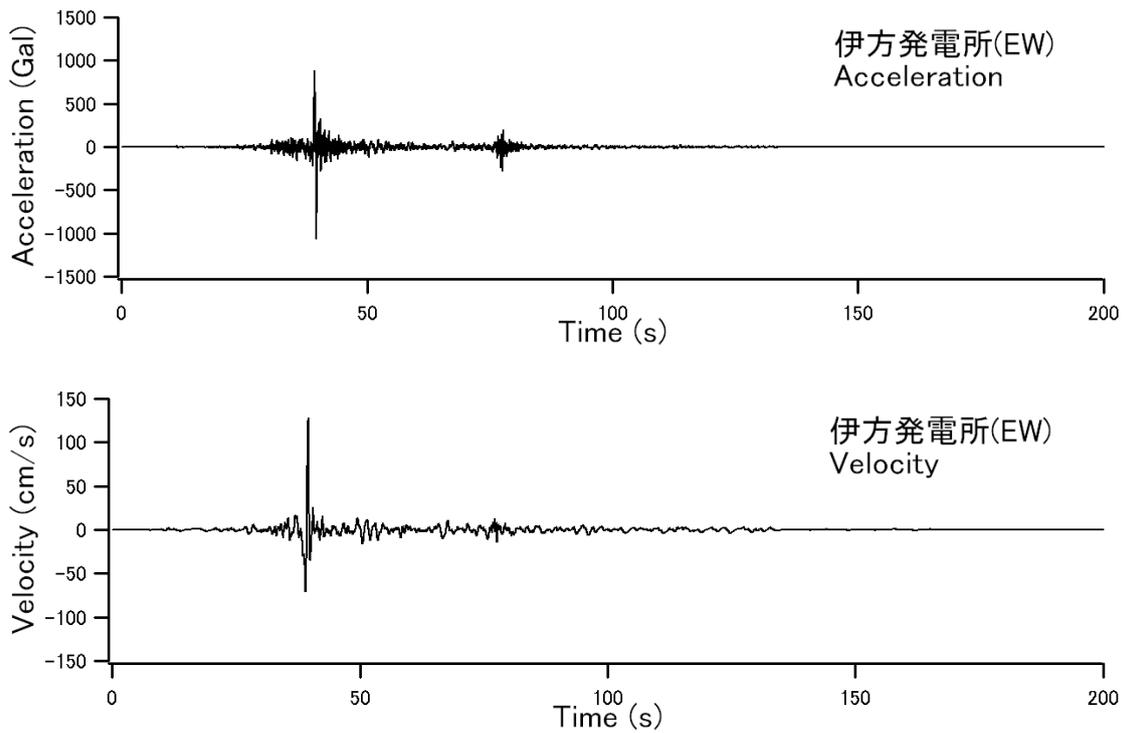


図4 図3の位置にSPGAを設定した場合の地震動の計算結果(加速度波形と速度波形)

さらに、債務者ら補充書4の12頁～15頁では、「(5)地盤条件が本件発電所の敷地とは異なることについて」と題して、小職が地震動の試算に用いたサイト増幅特性が5～10Hzの高周波側において2～5倍程度増幅することが大きな地震動が算出されている原因であり、発電所の敷地においてはこのような地震動は考えられないと述べています。この主張について検証するため、図5に示すように、平成28年9月9日付け「意見書」の試算で用いていたEHHM07のサイト増幅特性において、5Hz以上の増幅している部分を強制的に1としたサイト増幅特性を人工的に作成し、先ほどの内閣府の陸側ケースのSMGAの内部にSPGAを設定したケースに対して、地震動の計算を行って見たところ、最大加速度は約878Galで18%しか小さくならず、最大速度は約128cm/sでありほとんど変わりませんでした。この場合も、現在設定されている基準地震動を上回る地震動となります。なお、こうした結果が得られるのは、この場合SPGAから生成される周期1秒前後のパルス状の地震波が最大加速度および最大速度を決定しており、高周波成分の堆積層内での増幅が最大加速度や最大速度を決定しているのではないためです。

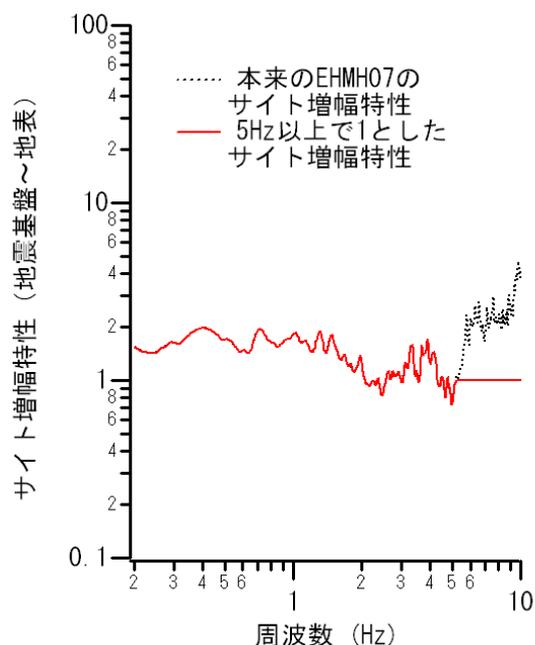


図5 本来のEHHM07のサイト増幅特性と5Hz以上で1としたサイト増幅特性

さらに、債務者ら補充書4の16頁～20頁では、「(4)断層近傍の地点への適用性の問題について」と題して、小職による平成28年9月9日付け「意見書」の試算では、directivityやラディエーションパターンを十分に考慮していないように述べています。しかしながら、小職が平成28年9月9日付け「意見書」や本意見書での試算に用いた手法は、小断層からの寄与の重ね合わせに

より *directivity* を考慮する手法（野津他，2012）<sup>6</sup>であり、債務者ら補充書4の16頁で引用されている野津（2012）<sup>7</sup>の手法とは異なります。この点は債務者による全くの誤解であると考えられます。

また、小職の試算では、平均的なラディエーションパターンを考慮していますが、これは、この条件の下で、東北地方太平洋沖地震や他の海溝型地震の強震動を精度良く再現できているためです（野津他，2012）。全体として、小職が用いている強震動シミュレーション手法（*directivity* やラディエーションパターンの考慮の方法を含む。）は、東北地方太平洋沖地震による強震動の再現に最も成功している手法であることは、平成28年9月9日付け「意見書」で述べたとおりです。むしろ、債務者らが基準地震動の設定に用いている手法こそ、このような検証を経ていない不十分な手法です。

## 2 内陸地殻内地震について

債務者は、壇ほか（2016）<sup>8</sup>による1999年トルコ **Kocaeli** 地震（横ずれ断層地震）の解析結果をもって、壇ほか（2011）<sup>9</sup>の手法の長大断層への適用性が確認された事例であるとしていますが（債務者ら補充書4の23頁）、これは誤りです。確かに壇ほか（2016）の梗概の最後には、「壇・ほか（2011）による長大横ずれ断層のレシピの妥当性が示された」と書かれていますが、梗概の中身を見ればそうでないことがわかります。

まず、文献のタイトルには「長大横ずれ断層」とありますが、**Kocaeli** 地震は **Mw7.6** の地震であるため、長大というには長さは短いと思われれます。しかし、そのことだけが問題なのではありません。図6は壇ほか（2016）による1999年トルコ **Kocaeli** 地震の特性化震源モデルです。図の右が東です。壇ほか（2011）の手法では、アスペリティの応力降下量は決まっており、断層全体の面積からアスペリティの面積の総和が決まります。後は、アスペリティの面積を断層面上に配分していくことになるのですが（このことは、短周期レベルの総和が与えられており、これを断層面上に配分していくことに対応します。）、

<sup>6</sup> 野津厚，山田雅行，長尾毅，入倉孝次郎：海溝型巨大地震における強震動パルスの生成とその生成域のスケーリング，日本地震工学会論文集，12，2012，pp.209-228.

<sup>7</sup> 野津厚：強震動を対象とした海溝型巨大地震の震源モデルをより単純化する試み—疑似点震源モデルによる2011年東北地方太平洋沖地震の強震動シミュレーション—，地震2，65，2012，pp.45-67.

<sup>8</sup> 壇一男，具典淑，島津奈緒未，藤原広行，森川伸之：長大断層用の強震動予測レシピの検証（その1）長大横ずれ断層による1999年トルコ **Kocaeli** 地震の事例，日本建築学会大会学術講演梗概集，2016.

<sup>9</sup> 壇一男，具典淑，入江紀嘉，アルズベイマサマン，石井やよい：長大横ずれ断層による内陸地震の平均動的応力降下量の推定と強震動予測のためのアスペリティモデルの設定方法への適用，日本建築学会構造系論文集，第670号，pp.2041-2050，2011

予測問題では一般に断層面全体に均等にアスペリティを配分していくという方針のようです。債務者による基準地震動の策定でもそのようにされています。従って、「断層面全体に均等にアスペリティを配分していく」という条件の下で観測記録を再現できなければ、予測手法としての壇ほか（2011）の検証としては失敗なのです。

しかしながら、Kocaeli 地震の例では、図の左方にある観測点での記録を再現するために、破壊開始点（★）より左側にある震源断層全体の 1/3 ほどの部分に短周期側のエネルギーの約 67% を放射するアスペリティを割り当てる必要がありました。これは、短周期レベルで言えば、全断層の短周期レベルに約 0.8 を乗じた値を破壊開始点（★）より左側の 1/3 ほどの部分に割り当てたこととなります。このようにしなければ観測記録を再現できなかったということは、壇ほか（2011）の手法の検証としては失敗です。あるいは、言い換えれば、過去の地震の再現のためにアスペリティを偏在させる必要があったのですから、未来の予測においても常にアスペリティを偏在させるケースを考慮すべきであるとも言えます。

同じように、図 7 は島津ほか（2016）<sup>10</sup>による 2008 年中国四川地震（逆断層地震）の特性化震源モデルです。図の右が南西です。この例では、図の右半分に分布する観測点での記録を再現するために、断層面の右半分に全てのアスペリティを割り当てる必要がありました（それでもなお結果は過小評価気味でした）。観測地震動を再現するためにこのようなアスペリティの配置を行わなければいけないケースがあることも事実である以上、原子力発電所のような重要施設の基準地震動の策定においては、アスペリティを断層面の発電所に近い部分に偏在させたケースは当然考慮すべきです。債務者ら補充書 4 では実際にこの中国四川地震においてアスペリティが偏在していたかどうかの議論がありました。議論のポイントはそこではありません。壇ほか（2011）のレシピ

（島津ほか(2016)では壇ほか(2015)が用いられていましたが、壇ほか(2015)に壇ほか(2011)との本質的な違いはありません。）の使い方として、アスペリティを偏在させなければ地震動を再現できない事例があった以上は、予測問題においてもそのような使い方をすべきであるという議論です。

---

<sup>10</sup> 島津奈緒未，具典淑，壇一男，藤原広行，森川伸之：長大断層用の強震動予測レシピの検証（その 2）長大逆断層による 2008 年中国四川地震の事例，日本建築学会大会学術講演梗概集，2016.

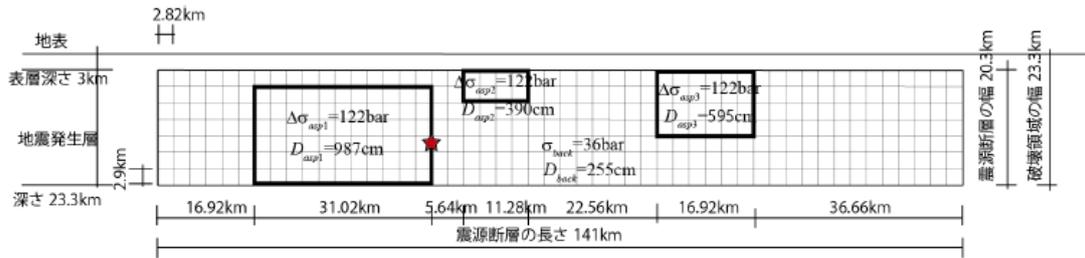


図 6 1999 年トルコ Kocaeli 地震の特性化震源モデル (壇ほか (2016) による). 図の右が東. 図の左方にある観測点での記録を再現するために, 破壊開始点 (★) より左側の 1/3 ほどの部分に短周期側のエネルギーの約 67% を放射するアスペリティを割り当てる必要があった. 短周期レベルで言えば, 全断層の短周期レベルに約 0.8 を乗じた値を破壊開始点 (★) より左側の 1/3 ほどの部分に割り当てたことになる.

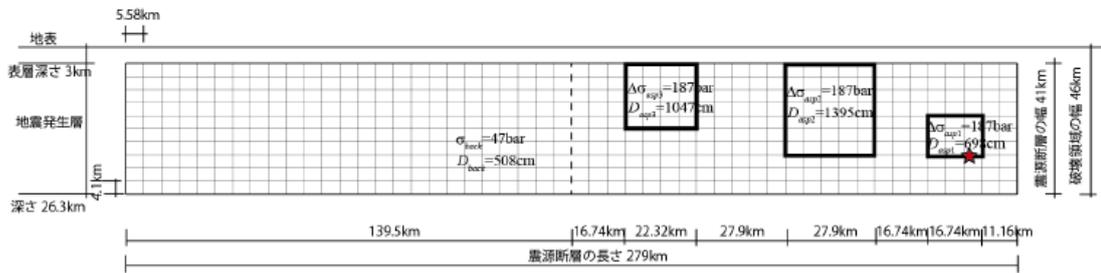


図 7 2008 年中国四川地震の特性化震源モデル (島津ほか (2016) による). 図の右が南西. 図の右半分に分布する観測点での記録を再現するために, 断層面の右半分に全てのアスペリティを割り当てる必要があった (それでもなお結果は過小評価気味であった).

債務者はまた、四国の中央構造線断層帯においては、中東部での変位量が大きく西方に向かうに従って変位量が小さくなるので、敷地周辺にアスペリティが偏在する可能性を考慮すべき合理的な理由がないと述べています (債務者ら補充書 4 の 3 1 頁)。しかしながら、断層面上において変位量の大きい部分と強震動を生成する部分とが重なるかどうかという点に関しては、既存のデータは M7 程度の内陸地殻内地震に対しては肯定的、海溝型巨大地震に対しては否定的であり、ある意味において両者の中間である長大な内陸地殻内地震においては、これまで繰り返してきている通りデータが得られていない現状がありますので、いずれが当てはまるかはまだわからない状況であり、債務者の主張はここでも希望的観測にすぎないと言えます。

債務者はまた、アスペリティ内の不均質を考慮すべきとの小職の主張について、短い断層においても通常はアスペリティ内の不均質を考慮する手順はとられていないと述べていますが (債務者ら補充書 4 の 3 1 頁)、これも先ほどと

似た議論であり、既存のデータは M7 程度の内陸地殻内地震に対してこれを考慮する必要性が小さいことを示していますが、海溝型巨大地震に対しては考慮する必要があることを示しており（これを考慮する強震動評価手法が強震動の再現に成功しており）、ある意味において両者の中間である長大な内陸地殻内地震においては、いずれが当てはまるかはまだわからない状況であり、不確実性を考慮するためにも、これを考慮することが必要と考えます。

債務者はまた、南傾斜の逆断層の考慮が不十分であるとの小職の主張についても議論していますが（債務者ら補充書 4 の 32 頁～34 頁）、この点については小職が平成 28 年 10 月 27 日付けで提出した「意見書」の内容を覆すものとはなっていないことから、同「意見書」の内容をここで繰り返すことはいたしません。一点だけ補足するとすれば、小職は敷地前面の中央構造線が横ずれを主体とする断層であることを否定しているのではありません（債務者はそのように誤解しているようですが）。横ずれに加わるのが正断層成分なのか（横ずれに正断層成分が加われば 2016 年熊本地震と同じです）、逆断層成分なのかを問題にしています。整理しますと、

①横ずれ＋正断層成分＋北傾斜

②横ずれ＋逆断層成分＋南傾斜

のいずれのストーリーでも、敷地前面断層の南側が隆起している（小職の平成 28 年 10 月 27 日付け「意見書」参照）という現地の状況を説明できます。しかしながら、国土地理院の地殻変動ベクトルに示される「九州南東部の反時計回りの回転運動とそれに伴う四国西部の北西への移動」に適合するのは②のストーリーだけです。

### 3 震源を特定せず策定する地震動について

債務者は、「2008 年岩手・宮城内陸地震（Mw6.9）の際に震源近傍の KiK-net 一関西の地中観測点において観測された地震動を考慮すべき」との小職の主張（その考慮の方法については平成 28 年 9 月 9 日付け「意見書」で述べました。）に対しても反論を試みていますが、その反論の中身については、平成 28 年 9 月 9 日付け「意見書」の内容を覆すものとはなっていないことから、同「意見書」の内容をここで繰り返すことはいたしません。ただし、内容について議論が込み入っている点もありますので、あえて細部を省いて論点の整理だけさせていただきたいと思えます。詳細については平成 28 年 9 月 9 日付け「意見書」を御覧下さい。

2008 年岩手・宮城内陸地震（Mw6.9）の際、震源近傍の KiK-net 一関西の地中観測点では、露頭基盤波に変換すれば 1850Gal 程度（基準地震動の 3 倍程度）に相当する著しく大きい地震動が観測されました。このような地震動が対

象とする発電所の敷地では生じ得ないと債務者が主張するためには、

①Mw6.9の地震は直下では生じ得ないと主張するか、

②仮に Mw6.9 の地震が敷地直下で生じても、発生する地震のタイプ（逆断層/横ずれ断層）が異なり、そのタイプの違いによって3倍程度の差は説明できると主張するか、

のいずれかしか選択肢がありません。しかしいずれの主張にも債務者は成功していない、という点が、平成28年9月9日付け「意見書」における小職の論旨の骨格です。

以上