

8.11 駿河湾スラブ内地震は語る！浜岡原発は、 原発直下の想定スラブ内地震に耐えられない！

静岡県駿河湾で2009年8月11日早朝5時7分、M6.5の地震が起きました。最大震度6弱という強い地震動が市街地を襲い、東名高速道路の相良牧之原IC付近の路肩が崩落して通行止めになり、お盆の帰省ラッシュに大きな影響を与えました。静岡県内では死者1名、5千棟以上の家屋で一部損壊が発生しましたが、幸いにして家屋倒壊という大きな被害は免れました。図13のように、大きな被害をもたらす地震の地表で観測される地震動の周期特性では周期1~2秒にピーク値が来るのに対し、今回は0.5秒以下の短周期にピーク値が来ており、地震規模がM6.5と小さくピーク値も比較的小さ

かったためです。

ところが、図1のように震源距離で43.5kmも離れた浜岡原発では、運転中の浜岡4・5号が大きな地震動を感知し自動停止しました。5号では、停止後に原子炉圧力容器内の中性子計測装置の一つが異常上昇値を示し、非常用ディーゼル発電機につながる補助変圧器に過電流が流れて機能停止し、タービン建屋3階で作業用床デッキプレート取り付けボルト(直径7mm)が24本も折損するなど被害が出ました。中部電力が調べてみると、浜岡5号の原子炉建屋地下2階で観測された地震動は、図3のように安全審査時に設定された最強地震S1による

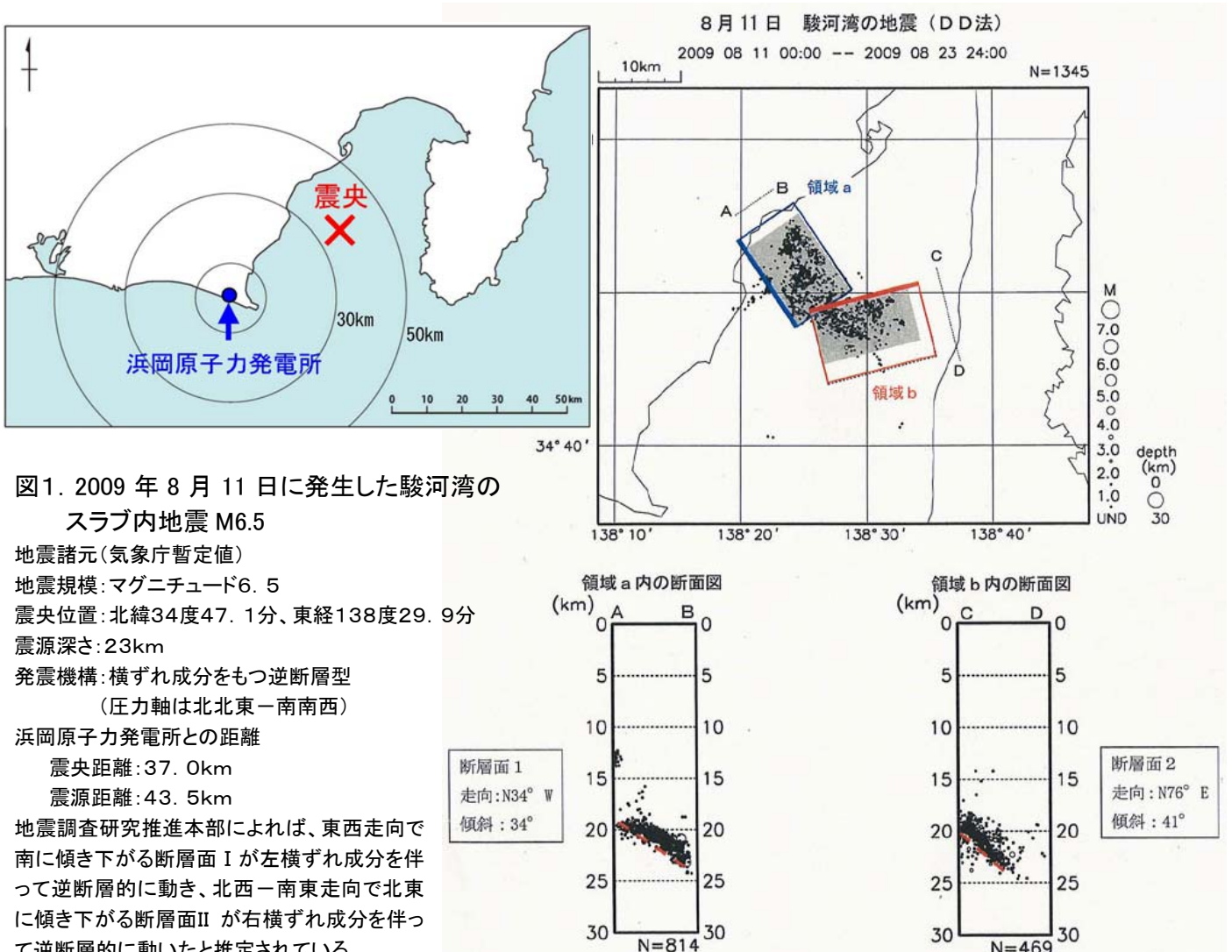


図1. 2009年8月11日に発生した駿河湾の
スラブ内地震 M6.5

地震諸元(気象庁暫定値)
 地震規模: マグニチュード6.5
 震央位置: 北緯34度47.1分、東経138度29.9分
 震源深さ: 23km
 発震機構: 横ずれ成分をもつ逆断層型
 (圧力軸は北北東-南南西)
 浜岡原子力発電所との距離
 震央距離: 37.0km
 震源距離: 43.5km
 地震調査研究推進本部によれば、東西走向で南に傾き下がる断層面Iが左横ずれ成分を伴って逆断層的に動き、北西-南東走向で北東に傾き下がる断層面IIが右横ずれ成分を伴って逆断層的に動いたと推定されている。

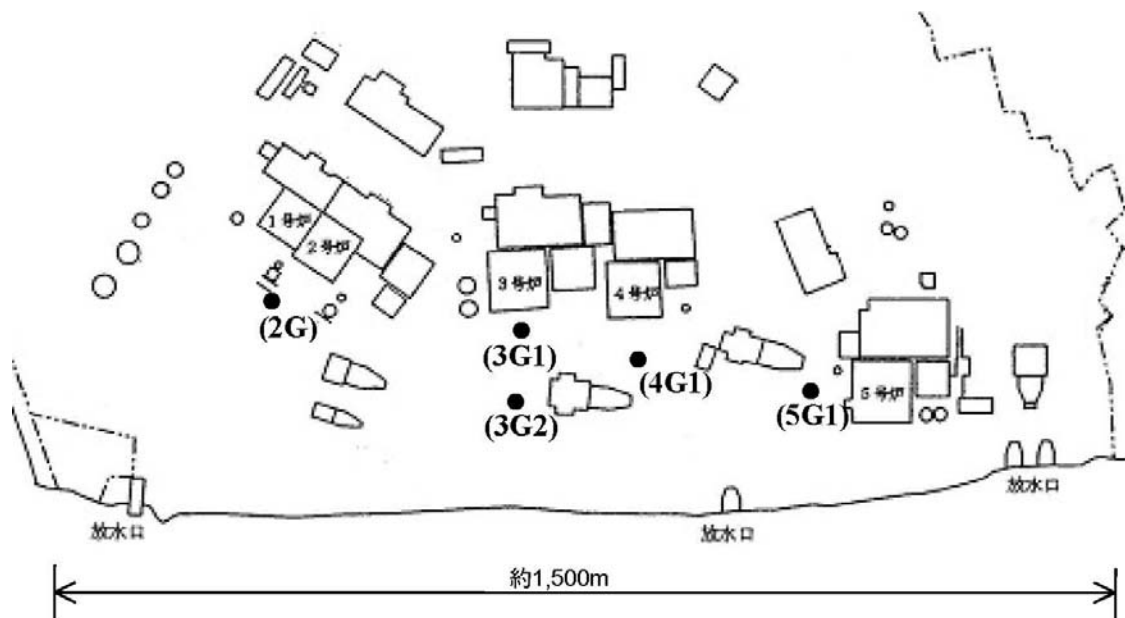


図2. 浜岡原発敷地内の原子炉建屋と地震計設置場所（浜岡5号の原子炉建屋地下2階の地震計で最強地震 S1 を超える地震動が観測された。基準地震動が定められている解放基盤表面相当位置の地震計は5G1 の地下 22m に設置された地震計である。その地震観測記録と応答スペクトルは公表されたが、はざとり波は未公表である。3・4号の原子炉建屋での地震観測記録は5号より小さいが、予想以上に大きな地震動が観測されている。）

基準地震動を超えていました。実は、剛構造に作られた原発は今回のような短周期にピークが来る地震動に弱いのです。

ではなぜ、直下地震でもないのに周期0.5秒以下の短周期地震動が強かったのでしょうか。それは、阪神・淡路大震災をもたらした内陸地殻内で起こる地震(活断層による地震)とは異なり、極めて強い短周期地震動を発生させる「プレート内地震(スラブ内地震)」だったからです。駿河湾では、南東からフィリピン海プレートが北西方向へ沈み込んでいますが、そのプレートの中で地震が起きたのです。

浜岡原発の耐震設計でもこのようなスラブ内地震を想定していますが、地震規模がM6.7と今回より大きく、原発直下で起こると想定されています。43.5kmも離れたM6.5の小さなスラブ内地震ですら最強地震S1による基準地震動を超えたのに、原発直下でM6.7のスラブ内地震が起きても本当に大丈夫なのでしょうか。----「とても耐えられない」というのが私たちの結論です。ここで、この問題についてより深く考えてみる前に、今回のスラブ内地震で浮上した問題点について整理しておきます。

(1) 2005年8月の宮城県沖プレート間地震(M7.2、

深さ42km)や2003年5月の宮城県沖のスラブ内地震(三陸南地震 M7.1、深さ72km)では「深く沈み込んだプレートで起きる地震では短周期地震動が極めて強い」と言われてきました。しかし、今回のスラブ内地震の震源は深さ23kmと比較的浅い場所でしたが、強い短周期地震動が発生しました。ということは、浅い場所でのスラブ内地震でも、極めて強い短周期地震動が生じると言えるのです。浜岡原発では、等価震源距離24.2km(上端深さ19km、下端深さ29.5km、傾斜角70°)の震源断層によるスラブ内地震が原発直下に想定されており、この地震動評価が今回の地震によって大きく左右されることになります。

(2) 浜岡原発の敷地内でも、廃炉の決まった1・2号、その隣にある3・4号、そして5号では地震観測記録に大きな違いがありました。原子炉建屋地下2階での最大地震動は、1・2号で109gal、3号で147gal、4号で163galであるのに対し、図2のように4号から約300mしか離れていない5号では426galにも達しました。この5号で図3のように最強地震 S1 による基準地震動が超えられたのです。新潟県中越沖地震の際に柏崎原発で見られたような地下での局所的な増幅構造があ

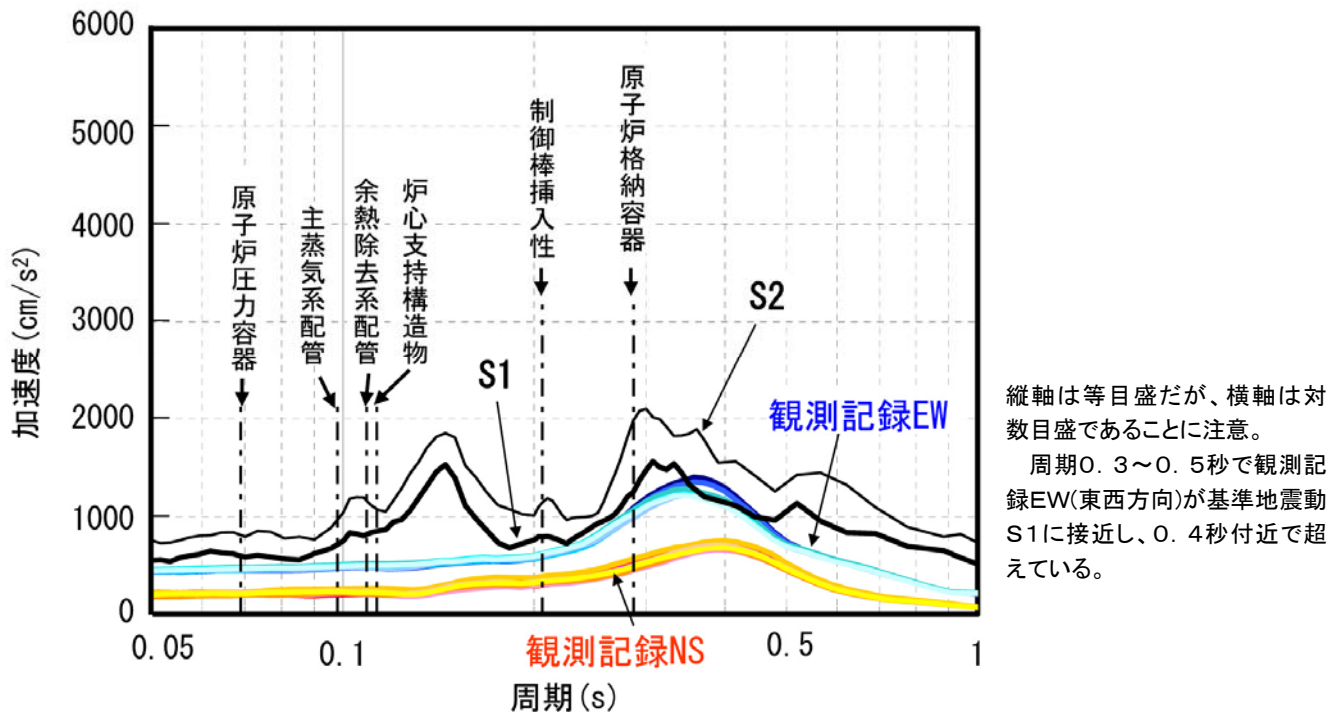


図3. 浜岡5号原子炉建屋地下2階に設置された地震計観測記録(東西EWと南北NS)の床応答スペクトルと浜岡原発の基準地震動S1(旧指針の最強地震)およびS2(旧指針の限界地震)の応答スペクトル

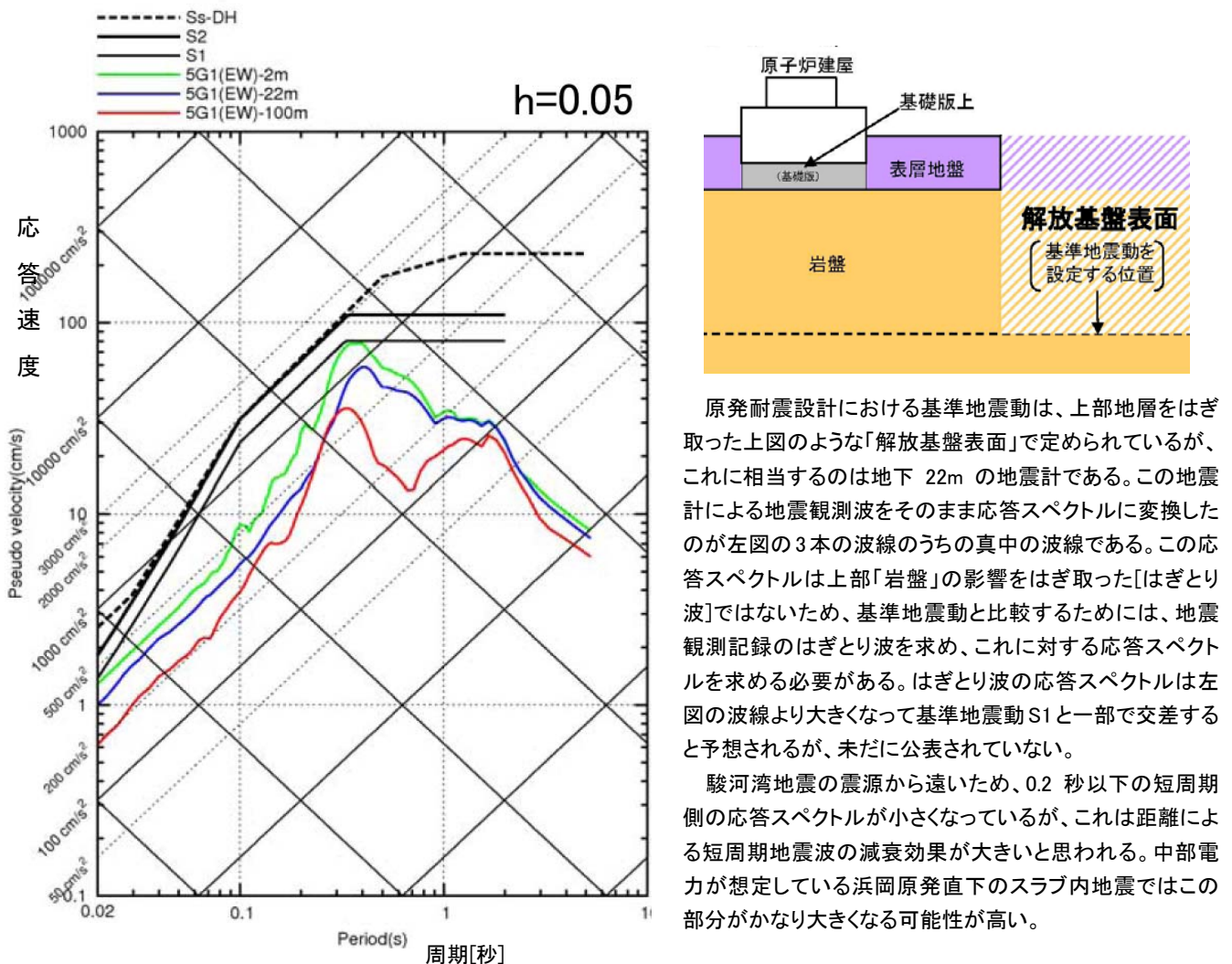
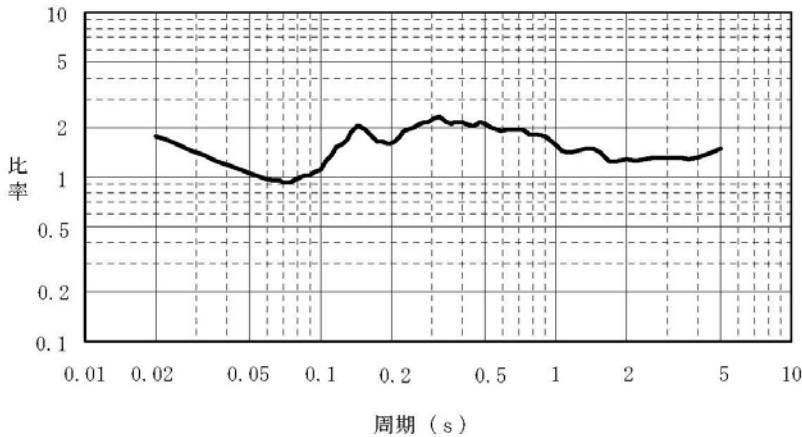


図4. 浜岡5号敷地内地下2m、22m、100mの地震計による駿河湾地震観測記録の応答スペクトルと浜岡原発の基準地震動S1(旧指針の最強地震)、S2(旧指針の限界地震)およびSs-DH(新指針)

表 1 浜岡原発サイトにおける耐専スペクトルの補正係数 $\alpha(T)$ (図 4 の読取)

周期 T [sec]	0.02	0.05	0.07	0.09	0.1	0.13	0.15	0.17	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
補正係数 $\alpha(T)$	1.8	1.0	0.9	1.0	1.1	1.7	2.1	1.7	1.6	2.0	2.2	2.2	2.2



注1 3つのスラブ内地震とは次の3つの地震:
 (1)1983年, M5.7, 震源深さ $d=40\text{km}$, 震央距離 $\Delta=52\text{km}$, 震源距離 $X=66\text{km}$,
 (2)1997年, M5.9, $d=39\text{km}$, $\Delta=66\text{km}$, $X=77\text{km}$,
 (3)2001年, M5.3, $d=30\text{km}$, $\Delta=45\text{km}$, $X=54\text{km}$.
 いずれも震源距離が長く、近距離のスラブ内地震の地震動予測に適切なデータが得られるか否かは疑問である。

出典: 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(2007年1月, 中部電力株式会社)

図5. 浜岡原発で観測された3つのスラブ内地震のはざとり波の応答スペクトルと耐専スペクトルの比率 (表1の値はこれを読取った概略値)

ったのかもしれませんが、今後明らかにされることでしょう。もちろん、このような地下構造は浜岡原発の安全審査では考慮外ですから、その影響は安全審査の妥当性そのものを根底から揺るがすことになることでしょう。

(3) 原子炉建屋近くの解放基盤表面相当位置での地下地震計の観測記録とその応答スペクトルは図4のように公開されていますが、そのはざとり波が未だに公開されていません。基準地震動と比較するためには解放基盤表面でののはざとり波と比較する必要があります。そうすれば、安全審査時の基準地震動の設定、とりわけ原発直下での想定スラブ内地震の評価が非常に甘かった可能性が浮き彫りになることでしょう。さらに、9月18日には図14のような原子炉建屋直下100mの地震観測記録(図14の5RB_UNG-100TNS(左図)とTEW(右図))が公表されましたが、図4の5G1(EW)-100mまたはそれを真北基準に方位変換して評価し直した図14の地震観測記録(5G1 GL-100m TNS R3(左図)とTEW R3(右図))を比較してわかるように、すぐ近くであるにもかかわらず、短周期地震波がより強いものでした。

これらの問題点は今後解明されていくでしょうし、

全国的な運動の力で明らかにさせていかねばなりません。

ここでは、今回の駿河湾地震による地震動を分析すると、浜岡原発直下に想定されるスラブ内地震が大幅に過小評価されていると言えます。このことを、震災を経験された若狭ネット会員(神戸市)による「中部電力の応答スペクトルによる方法の分析」を参考にして具体的に示しましょう。

そのため、まず、M6. 5、震源距離 43.5km の駿河湾地震に対応する「耐専スペクトル」を中部電力と同じ方法で求め、浜岡原発での観測記録の応答スペクトルが耐専スペクトルを大幅に超えることを示します。なお、中部電力はスラブ内地震のスペクトルを耐専スペクトル(ここでは「標準耐専スペクトル」と呼ぶ)に修正を加えて決めています。ここでは単に「耐専スペクトル」と記します。

次に、中部電力が安全審査で想定している原発直下の M6. 7のスラブ内地震に対する耐専スペクトルを駿河湾地震による観測記録に則して求め、それが旧指針の最強地震 S1(図4の細線)および限界地震 S2(図4の太実線)は元より新指針の基準地震動 $S_s\text{-DH}$ (図4の破線)をも超えることを示します。ここに、「耐専スペクトル」とは、図3や図4のように原発の施設がどの程度の地震動に耐えられ

るかを施設の固有周期ごとに応答加速度(図3)や応答速度(図4)で表したものです。「断層モデル」とともに、新しい耐震設計審査指針で、安全審査における基準地震動の作成に用いられることになった方法です。

スラブ内地震の地震動予測

それではまず、駿河湾で起きたスラブ内地震に対する「耐専スペクトル」を求めましょう。この耐専スペクトルは、標準耐専スペクトルに浜岡原発敷地に固有の補正係数 $\alpha(T)$ を掛けて作成します。この補正係数 $\alpha(T)$ は浜岡原発で観測された過去のスラブ内地震から求めます。たとえば、中部電力は過去に起きた3つのスラブ内地震(注1)の地震観測記録から求めた応答スペクトルをそれに対応する標準耐専スペクトルで割り、図5のように周期ごとの補正係数 $\alpha(T)$ を求めています。この図5から補正係数 $\alpha(T)$ の値を具体的に読みとったものが表1です。駿河湾スラブ内地震に対応する標準耐専スペクトルは別途求められますので、それに表1の補正係数を掛けて作成した耐専スペクトルが図6

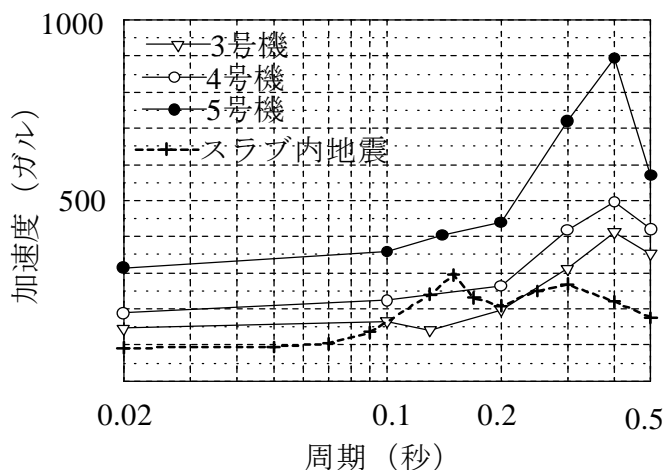


図6. 駿河湾スラブ内地震に対応する耐専スペクトル(破線: 等価震源距離 $X_{eq}=43.5\text{km}$)と浜岡3・4・5号の解放基盤表面位置相当の地震計による地震観測記録の応答スペクトル(実線, 概略図)

表2. 駿河湾スラブ内地震に対する耐専スペクトルと地震観測波の応答スペクトルとの実測誤差 $\beta(T)$ (図6の最上部の5号地震観測波の応答スペクトルと耐専スペクトルの周期ごとの比)

周期 T [秒]	0.02	0.05	0.07	0.09	0.1	0.13	0.15	0.17	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
実測誤差 $\beta(T)$	3.0	3.3	3.5	2.5	1.4	1.7	1.3	1.8	2.2	2.4	2.8	4.1	3.3

の破線です。図6の3本の実線は3・4・5号の解放基盤表面相当位置(地下 22m)に設置してある地震計による観測記録を応答スペクトルに直したもので、中部電力が公表したものの概略図です。本来なら、観測された地震波をそのまま用いるのではなく、地震計の上部 22m の地層の影響をはぎとった「はぎとり波」の応答スペクトルを描き、それと耐専スペクトルを比較すべきところですが、残念ながら、はぎとり波の応答スペクトルは公表されていません。それでも、駿河湾スラブ内地震の観測波の応答スペクトルは耐専スペクトルを超えています。5号の地下観測記録では最大で約 2 倍にも大きくなっています。3・4号でも周期0.1~0.2秒を除けば地下観測記録が耐専スペクトルを超えています。はぎとり波ではさらに大きく超えることは間違いありません。つまり、5号だけでなく、3・4号でも地下地震計の地震観測記録が耐専スペクトルを大きく超えているのです。したがって、浜岡原発の安全審査では、耐専スペクトルによってスラブ内地震による

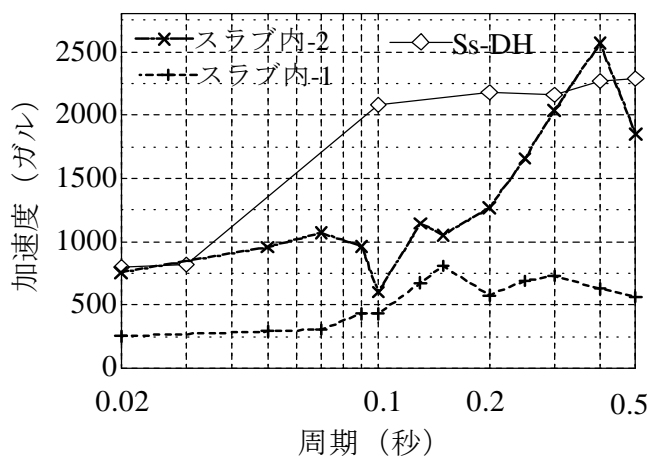


図7. 想定スラブ内地震のスペクトルと基準地震動 Ss-DH(実線, 概略図)。スラブ内-1: スラブ内地震 (M6.7, $X_{eq}=24.2\text{km}$) の耐専スペクトル, スラブ内-2: スラブ内-1 を $\beta(T)$ 倍したスペクトル, Ss-DH: 基準地震動(中部電力のスペクトル図の読み取り, 0.02 秒の値は 800 ガル)。

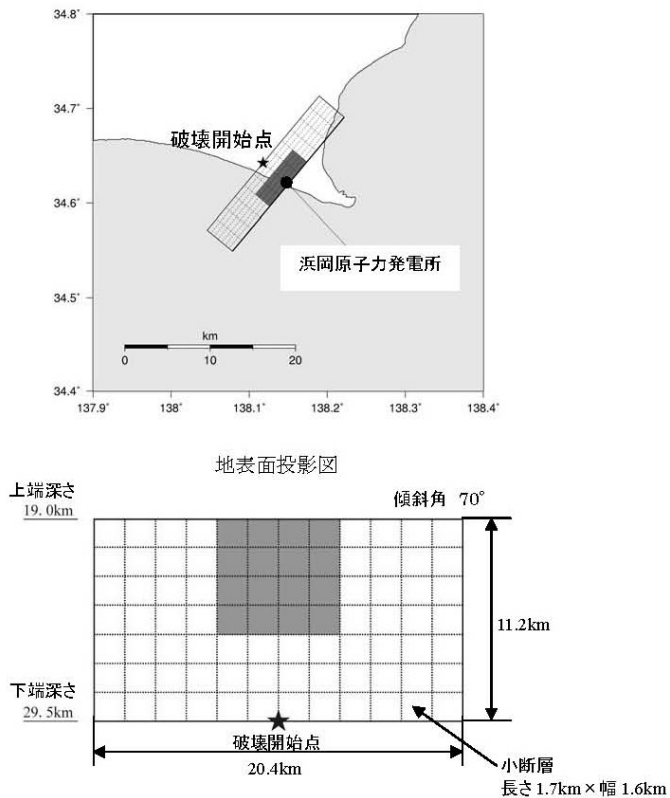


図8. 中部電力が想定している浜岡原発直下のスラブ内地震(M6.7、等価震源距離 24.2km)

地震動が大幅に過小評価されていると言えるのです。

図6より、5号について、観測地震波の応答スペクトルと耐専スペクトルの比を実測誤差 $\beta(T)$ として求めると、表2のようになります。周期0.4秒では約4倍も耐専スペクトルより大きくなっています。地震観測波を本来比較すべき「はぎとり波」に変えるとその差はもっと大きくなります。つまり、安全審査では耐専スペクトルでスラブ内地震が4分の1以上大幅に過小評価されていると言えるのです。

安全審査で想定された浜岡原発直下のスラブ内地震も過小評価されている

次に、中部電力が浜岡原発の安全審査で想定しているM6.7の原発直下のスラブ内地震(図8)について、その地震動をいかに過小評価しているかを示しましょう。

中部電力によれば、図9の⑤のように、原発直下のスラブ内地震の等価震源距離 X_{eq} は 24.2km となっています。そこでこれに対応する標準耐専ス

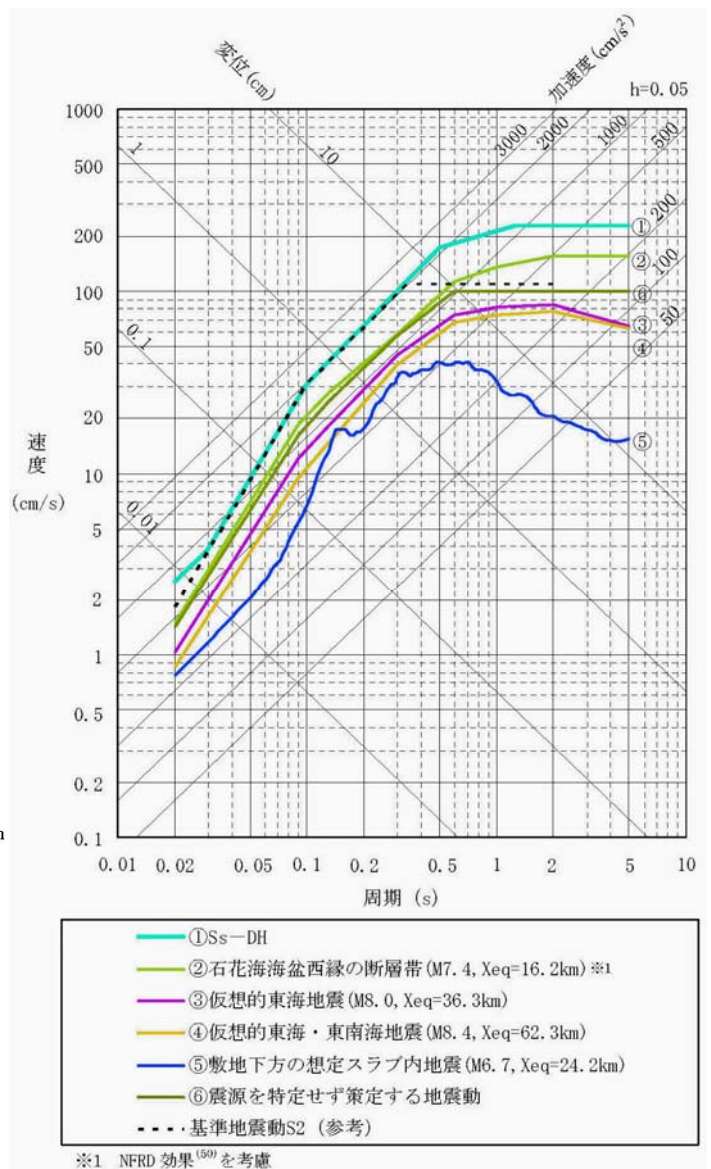


図9. 浜岡原発の新指針に基づく基準地震動 Ss-DH

①と想定スラブ内地震の耐専スペクトル⑤

出典: 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(2007年1月, 中部電力株式会社)

ペクトルを求め、表1の補正係数 $\alpha(T)$ を掛けると図7のスラブ内-1の破線が得られます。これは中部電力のバックチェック報告(2007年1月)に載っている図9の耐専スペクトル⑤(縦軸は応答速度、斜め45°の線が応答加速度を示す)と同じものです。浜岡原発における想定スラブ内地震に対する耐専スペクトルには、駿河湾スラブ内地震で明らかになった表2のような実測誤差がありますので、耐専スペクトルに表2の実測誤差 $\beta(T)$ を掛けると、想定スラブ内地震が起きたときに予想される応答スペクトル(応答加速度)が、図7の真中の一点鎖線のようにならされます。もちろん、これは「はぎとり波」の応

答スペクトルではありませんので、はぎとり波を用いるともっと大きくなります。また、駿河湾スラブ内地震では震源距離が 43.5km と遠いため、短周期地震動が減衰してしまっている可能性があります。そのため、実際に想定スラブ内地震が起きた場合には、大きな短周期地震動がそれほど減衰せずに浜岡原発を襲う危険性があります。したがって、駿河湾スラブ内地震の地震観測波に関する「はぎとり波」の効果および距離減衰効果を考慮すれば、想定スラブ内地震による解放基盤表面位置での地震動の応答スペクトルは、浜岡原発にとって命取りになる周期0.03~0.4秒で、図7の真中の一点鎖線の2倍以上になる可能性があります。そうなれば、基準地震動 S_s -DH をほとんどの周期で大幅に超えてしまうのです。これでは、何百億円もの大金を掛けた耐震工事も役に立ちません。浜岡3~5号も1・2号と同様に廃炉にすべきです。5号に隣接して6号を増設する計画なんて、もってのほかです。

フィリピン海プレートの浅いスラブ内地震でも極めて大きな短周期地震動をもたらす

宮城県沖のプレート間地震やスラブ内地震では、政府や電力会社は、「沈み込んだ深い位置でのプレート間地震やスラブ内地震では、耐専スペクトルを超える極めて大きな短周期地震動をもたらす。」とし、「これは宮城県沖だけの地域性に基づく。」と主張してきました。駿河湾スラブ内地震は、それが大きな間違いであることを事実で暴いたのです。

旧指針の最強地震 S1 や限界地震 S2 の基準地震動を超える地震が最近相次いでいます。新指針の基準地震動 S_s は、図4を見れば明らかなように、「解放基盤表面での最大地震動」に対応する周期0.02秒の付近の応答加速度や約0.3秒以上の応答加速度などでは大きくなっていますが、原発にとって重要な0.03~0.4秒の周期では旧指針とさほど変わらない大きさに留まっています。したがって、旧指針の基準地震動が実際の地震動で超えられると、新指針の基準地震動でも簡単に超えられてしまうのです。活断層の長さや活動度に関する議論が以前より真剣に行われるようになったこ

とは歓迎すべきことですが、肝心の地震動評価で旧態依然たる過小評価がまかり通っているのです。これでは、活断層評価をより正しく、より安全側に行ったとしても基準地震動を評価する段階で大幅に過小評価されてしまい、全く意味がありません。

断層モデルによるスラブ内地震評価も見直すべき

浜岡原発の想定スラブ内地震の地震動評価の場合も、耐専スペクトルだけでなく断層モデルによる評価も過小評価されている可能性があります。また、スラブ内地震の規模についても、地震調査研究推進本部は図10のように地域区分を行い、2004年9月5日に起きた紀伊半島南東沖スラブ内地震(プレート内地震)の規模をM7.4としています。中部電力は「天正17年駿河遠江の地震M6.7」の規模に抑えています。原発直下に想定するスラブ内地震の規模を地震調査研究推進本部の指摘する最大マグニチュードのM7.4に設定すべきではないでしょうか。

また、中部電力は断層モデルの要素地震として、図11のような「2001年4月3日に起きた静岡県中部のスラブ内地震M5.3」の浜岡原発での観測波を用いています。これに基づいて、スラブ内地震の

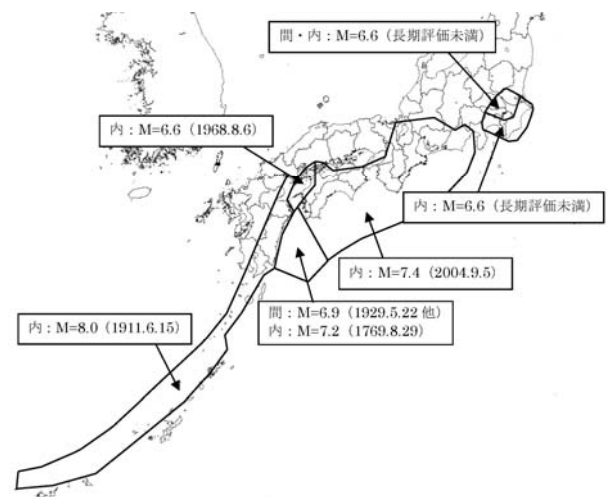


図10. 地震調査研究推進本部による「フィリピン海プレートの震源断層を予め特定しにくい地震の最大マグニチュード

(間: プレート間地震、内: プレート内地震)

出典: 地震調査研究推進本部地震調査委員会:「全国を概観した地震動予測地図」報告書(2005.3.23)、分冊1「確率的地震動予測地図の説明」、p.141

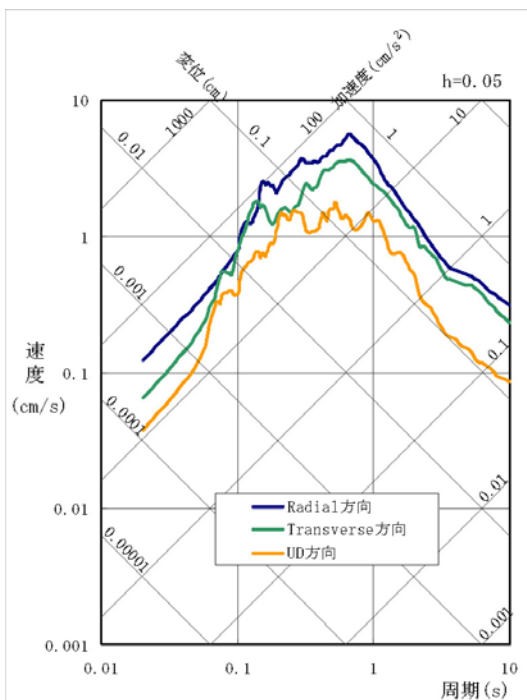


図11. 浜岡原発の想定スラブ内地震の地震動評価に用いられた要素地震(2001年4月3日に起きた静岡県中部の地震M5.3)の応答スペクトル

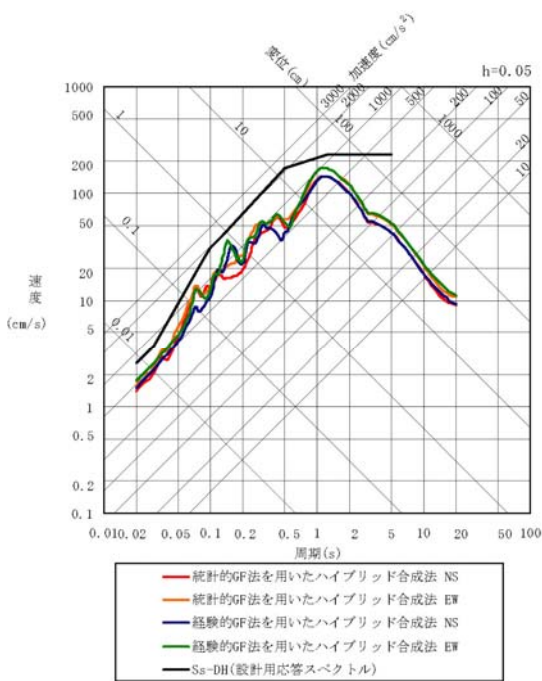


図12. スラブ内地震の断層モデルによる評価
 中部電力:「敷地下方の想定スラブ内地震の統計的グリーン関数法を用いたハイブリッド合成法による地震動評価」(合同W7-1-4), 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同WG(第7回)配付資料(2008年4月28日)

地震動評価が行われ、図12のような結果を得ています。これでも新指針の基準地震動 Ss-DH に非常に接近しています。地震規模を M7.4 に上げれば確実に Ss-DH を超えて、基準地震動を大幅に見直さざるを得なくなるでしょう。

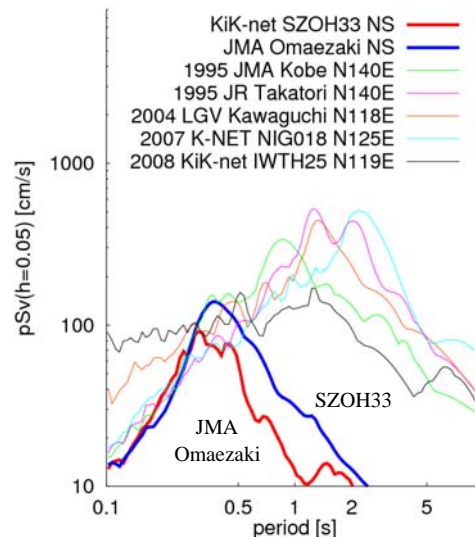
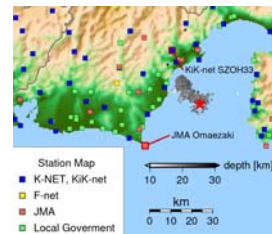


図13. 気象庁御前崎観測点(JMA Omaezaki)と防災科学技術研究所 KiK-net 静岡南観測点(SZOH33)の地表地震計による地震観測記録の疑似速度応答スペクトル

(いずれも地表の地震観測記録であることに注意)
 出典: 京都大学防災研究所
<http://www.catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/goto/eq/20090811/report.html>



断層モデルによる短周期側の地震動評価では要素地震の特徴が反映されますので、その選択によって結果が左右されます。今回の駿河湾のスラブ内地震では、図4のように浜岡原発の地下地震計で地震観測波が得られており、余震の観測波も図15のように得られています。これらの余震では図11と比べて短周期地震波がより強いと言えます。これらを要素地震として用いて地震動評価を再検討すべきです。図15の3余震の観測記録の間でも大きな差があり、千差万別です。図11のような「ある一つ」の余震記録だけを使って想定スラブ内地震の地震動評価を行うのは決定的に不十分です。

図13は地表での地震観測記録ですが、震源により近い防災科学研究所 KiK-net での地下岩盤での地震観測記録も得られています。これらも参考にして浜岡原発までの伝播経路でどのように地震波が減衰したのかを評価し、原発直下の想定スラブ内地震の評価をやり直すべきです。

今回の駿河湾スラブ内地震を厳密に評価し、浜岡原発での地震動評価をやり直し、耐震安全性を再評価すれば、浜岡原発は全面閉鎖する以外にないのではないのでしょうか。

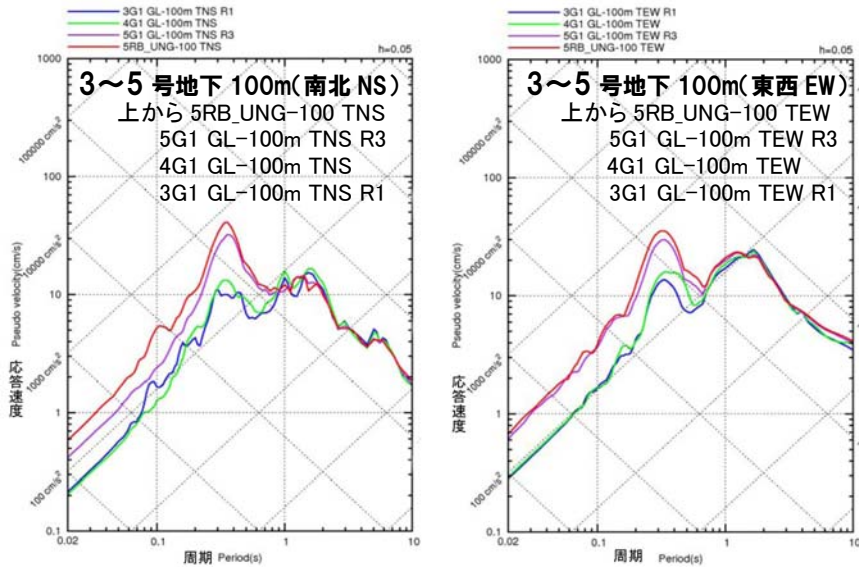


図14. 浜岡原発地下 100m の地震計5RB、5G1 等の地震観測記録(南北 NS と東西 EW)

(最初に公表されたのは地下 100m の地震計 1~5G1 の観測記録だったが、5号原子炉建屋直下 100m の地震計 5RB の観測記録のほうが短周期地震動が大きい。図15の余震記録も同様である。

図14と図15は地震計の加速度記録を真北基準に方位変換して評価し直したもの)

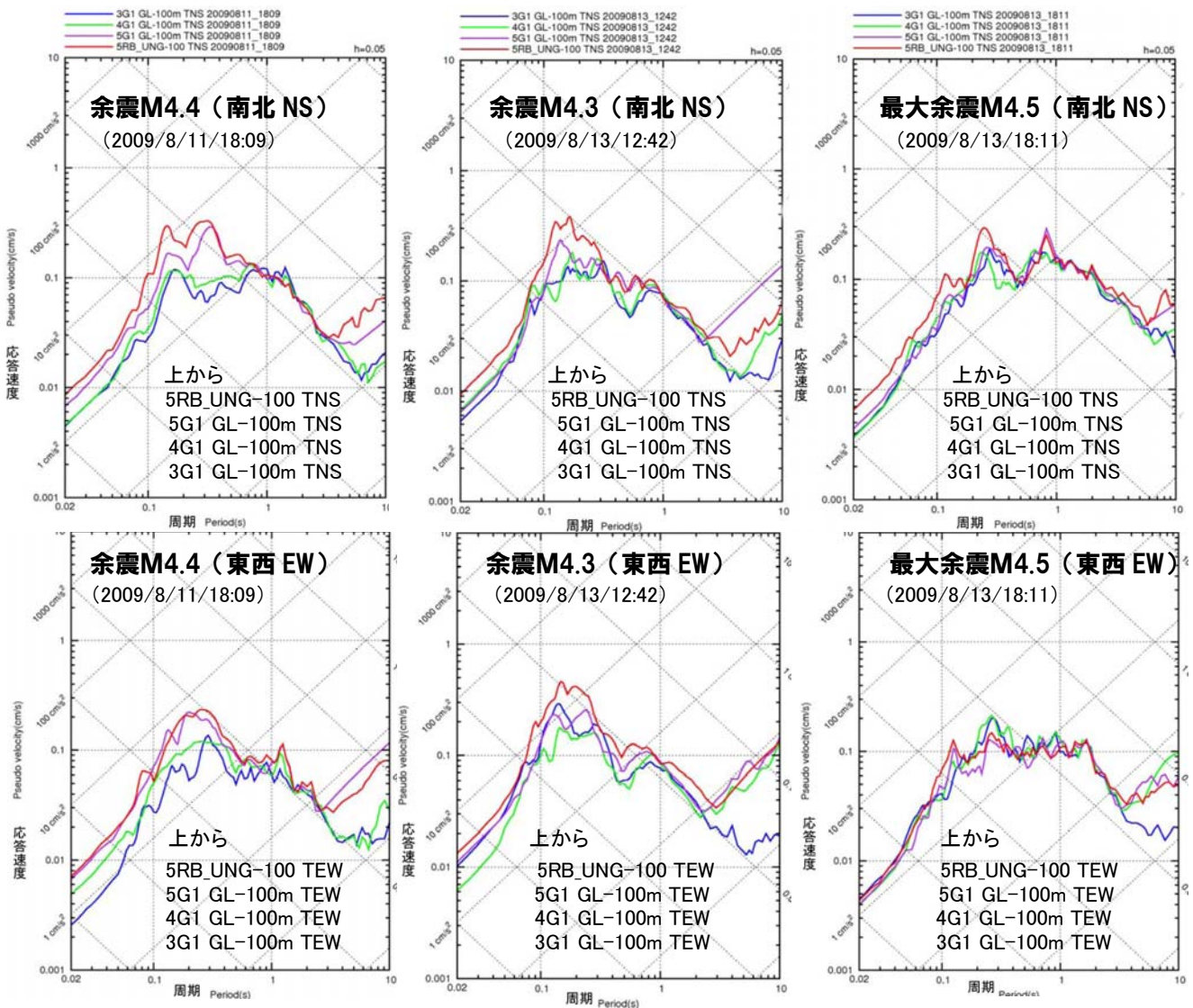


図15. 駿河湾スラブ内地震の3つの余震に対する浜岡原発地下 100m の地震観測記録

(上段:南北 NS、下段:東西 EW、3つの余震で少し短周期側での大きさが違う。真中の最も小さい M4.3 の余震で短周期地震動が最も大きく、M4.5 の最大余震による短周期地震動が最も小さいように見える。今回の駿河湾スラブ内地震の地震動再現や原発直下の想定スラブ内地震の地震動評価では、どの地震波を要素地震として用いるかで結果が異なる。)