

プレート境界・スラブ内地震で短周期地震動が強いことは 女川原発の安全審査時にわかっていた

昨年 8月 16日の宮城県沖地震(M7.2、 \approx 73 km、震源深さH=42km)は、女川原発の安全審査に重大な誤りがあったのではないかと問いかけています。国は自分たちの誤りが明らかになるのを恐れ、さまざまなトリックを使ってごまかそうとしています。私たちは、全国の市民グループと共に 1月 18日、原子力安全 保安院や原子力安全委員会事務局と話し合い、「ごまかすな」と追及してきました。ここでは、「女川 3号の安全審査で短周期地震動を過小評価していたこと」、今回安全確認のために設定した想定宮城沖地震でも短周期地震動を過小評価していること」の 2点に絞り、具体的にそのトリックを明らかにします。少し難しいですがお読み下さい。

極めて強い原発にとって危険な短周期地震動

8.16宮城県沖地震では短周期地震動が極めて強く、女川原発敷地内地下岩盤での地震動(はざとり波)の応答スペクトルが設計用基準地震動の応答スペクトルを短周期側で超えました。ここで、「はざとり波」とは、地震計が地下 8.6mに設置してあることから、上部地層の影響を取り除いた地震波のことを言います。また、「応答スペクトル」とは、地震動による揺れが機器の固有周期で異なるため、横軸に機器の固有周期をとり、縦軸に機器の揺れの大きさ(速度や加速度)の最大値をとって表したグラフです。

図 1の応答スペクトルで、一点鎖線の折れ線は最強地震による基準地震動 S1、山形の長い二点鎖線の折れ線は直下地震以外のプレート境界地震などの限界地震による基準地震動 S2-D、破線の折れ線は限界地震のうち M6.5の直下地震による基準地震動 S2-Nです。波の形をした実線がはざとり波の南北方向、波形の破線が東西方向です。この図より、周期 0.05秒付

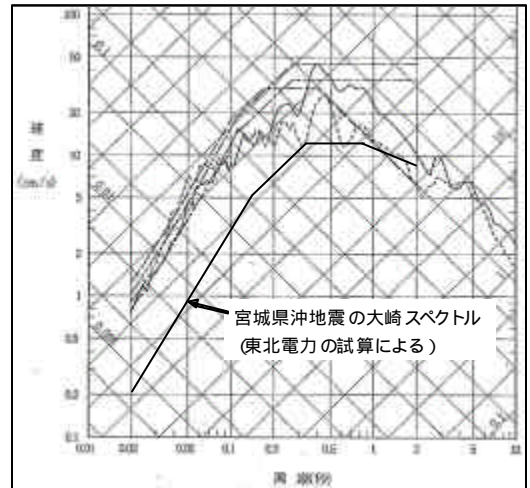


図 1 . 2005.8.16 宮城県沖地震によるはざとり波の応答スペクトルと、対応する大崎スペクトル

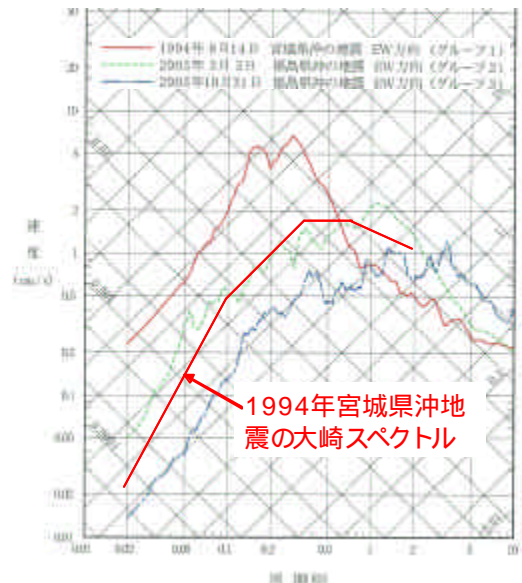
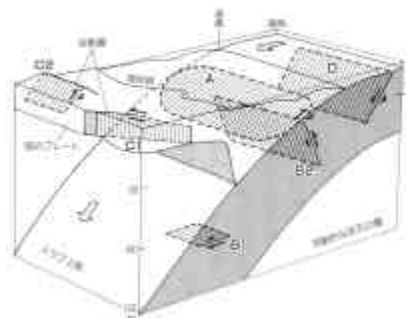


図 2 . 1994年宮城県沖地震の女川原発観測記録と応答スペクトル (EW方向、M6.0、 \approx 83km、H=42km)



Aがプレート境界地震、Bがスラブ内地震、Cが活断層による地震、Dが沈み込むプレート内部の地震

近で波形の破線がこれらすべての基準地震動の応答スペクトルを上回っていることがわかります。原発では、重要な機器の固有周期が0.03～0.4秒ですので、この範囲で基準地震動を超えると、耐震安全性が保証できず、重大です。

M 6クラスのプレート境界地震で明らか

図 2は昨年 8月の宮城県沖地震と同様に女川原発敷地内岩盤で観測された1994年宮城県沖地震の応答スペクトルとこれに対応する大崎スペクトルを描いたものです。図 1と同様に短周期地震動が極めて強く、安全審査で用いられる大崎スペクトルを大幅に超えていることがわかります。同様のことが1994年(M6.0)だけでなく1983年(M5.3)と1986年(M6.0)の宮城県沖プレート境界地震で観測されています。つまり女川原発サイトでは1980年代以降地震観測記録がとられており、沈み込んだプレート境界では短周期地震動が極めて強いことがわかっていたのです。

図 3は女川原発で観測された37個の地震動の応答スペクトルと日本電気協会の手法から求まる応答スペクトルの比の周期0.1秒以下についての平均値を求めたものです。日本電気協会の手法による応答スペクトルは大崎スペクトルよりやや下に来ますが、0.1秒以下ではほとんど変わりません。この図より、横軸で震源深さが30kmより深いところでは、比の値(倍率)が1を超えており、短周期地震動が安全審査で想定されているものより大きいということがわかります。

図 3の は図 4の点線で囲まれた地域で起きたプレート境界地震に関するものであり、はその外側で起きた地震に関するものです。これらの図より、点線の外側でも短周期地震動が強いということがわかります。このような知見は1980年代から1990年代にかけてわかっていたのです。

1995年の安全審査で断層モデルを評価

このような知見が増える中、断層モデルによる地震動評価の手法も発達し、女川 3号の安全審

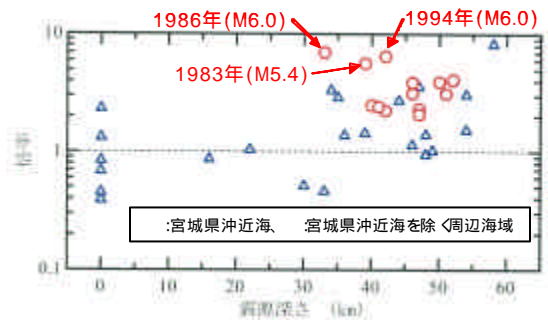


図 3 .日本電気協会の手法による岩盤表面上の応答スペクトルと観測記録の比(周期0.1秒以下の比率の平均)」と震源の関係(東北電力報告05.12.14)



図 4 .女川地点の検討に用いたプレート境界地震全地震(37地震)の震央分布と東北日本における低角逆断層型地震の西縁位置(Igarashi et al.(2001)による、東北電力報告05.12.14)
● 小
● 中
● 大

査では、設置許可申請書には記載されていないものの、1995年の2次審査段階で、地震調査研究推進本部と同様に1978年宮城県沖地震の断層モデルを評価し、それに基づいてM7.6のプレート境界地震の断層モデルも評価していたのです。それが次ページの図 5および図 6です。

ところが、1978年宮城県沖地震の断層モデルでは、宮古や石巻の地震観測記録には比較的良く合っていますが、大船渡の地震観測記録とは2～4倍の差があります。宮古や石巻では表1のようにS波速度が小さく地盤が軟らかいため、短周期地震動が減衰しやすいのですが、大船渡ではS波速度が大きく地盤が硬いため、短周期地震動が伝わりやすいのです。したがって、断層モデルによる評価が大船渡の観測記録とこれほど大きくずれているのは問題です。そこで、

図5.1995年の女川3号の安全審査における1978年宮城県沖地震(M7.4、 $\Delta=65\text{km}$ 、 $H=40\text{km}$)の断層モデルと地震観測記録との違い



表1.断層モデル解析に用いた地盤モデル

観測地点	深さ [m]	密度 [g/cm ³]	S波速度 [km/s]	Q値
宮古	~ 2.2	1.6	0.12	20
	~ 10.1	1.7	0.23	20
	~ 210.1	2.0	0.8	100
	~ 1410.1	2.4	2.5	200
	1410.1 ~	2.5	3.5	200
大船渡	~ 360.0	2.3	1.5	100
	360.0 ~	2.5	3.0	200
石巻	~ 25.0	1.9	0.4	10
	~ 225.0	2.0	0.8	30
	225.0 ~	2.5	3.0	200
女川サイト	~ 11.0	2.44	1.30	28
	~ 66.0	2.51	2.15	28
	~ 450.0	2.55	2.45	163
	450.0 ~	2.60	2.70	180

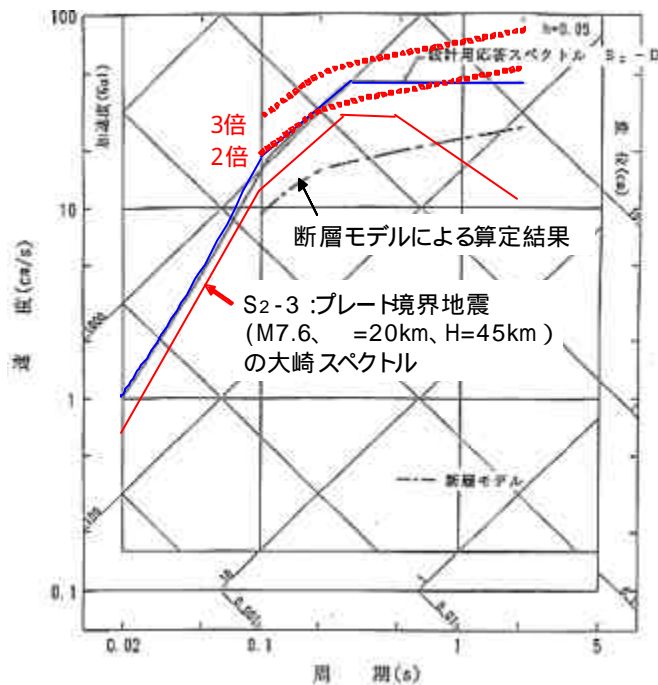
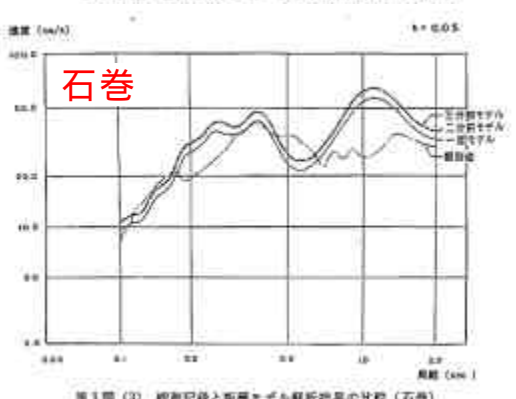
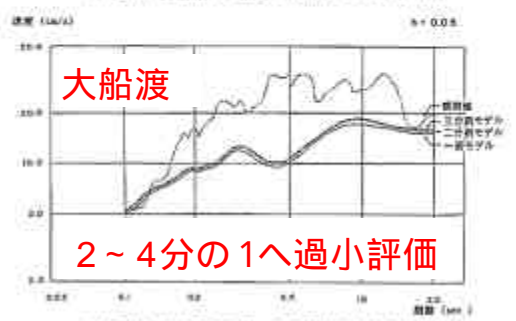
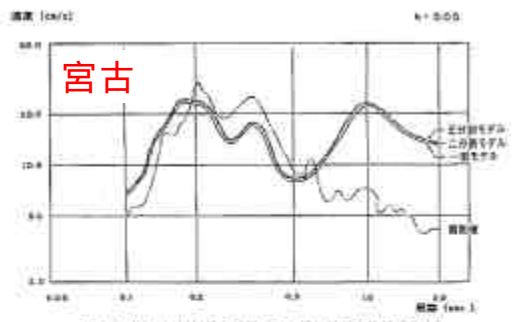
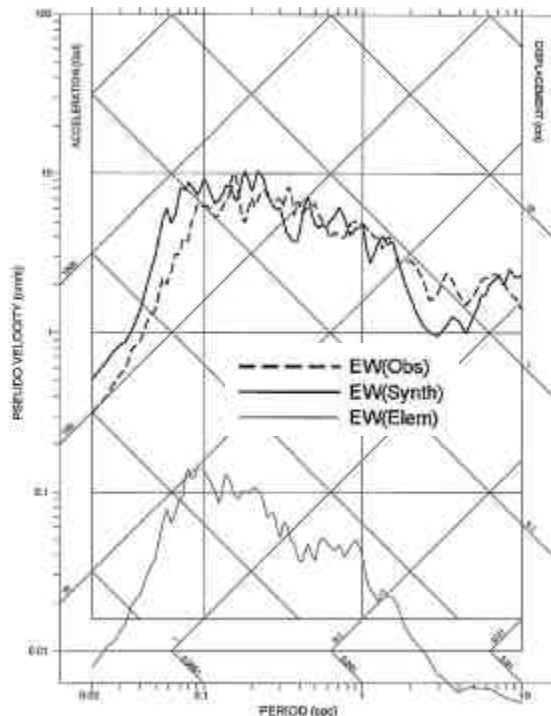
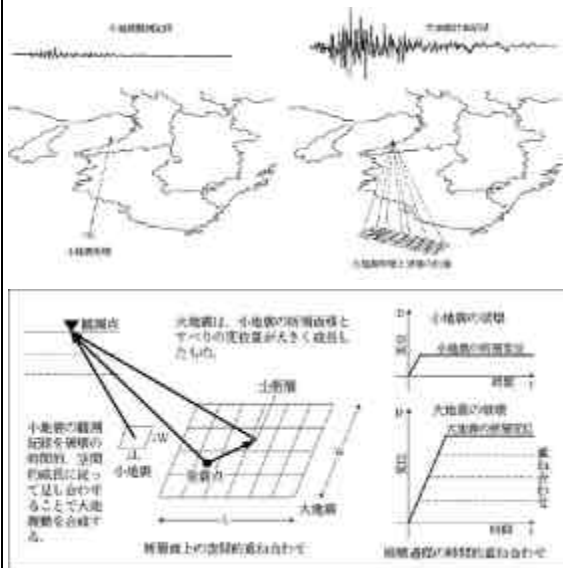
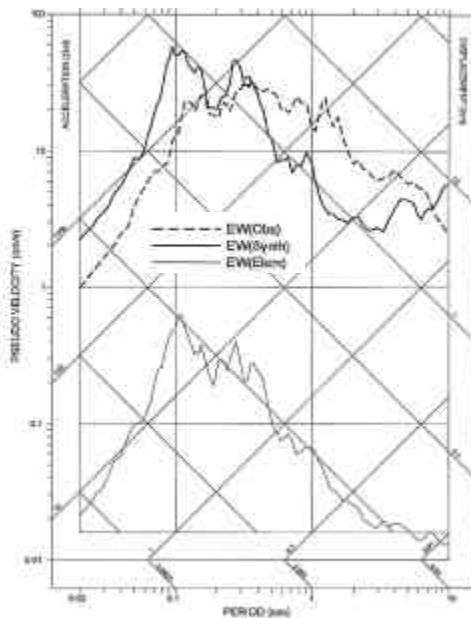


図6.1995年の女川3号の安全審査における「限界地震を策定するためのプレート境界地震(M7.4、 $\Delta=20\text{km}$ 、 $H=45\text{km}$)」の断層モデル(上図の断層長さだけを広くしたもの)による応答スペクトルと大崎スペクトル(图中、2倍および3倍の点線は断層モデルによる算定結果を2倍および3倍したもの)

断層モデルと経験的グリーン関数法による8.16宮城県沖地震観測記録の再現

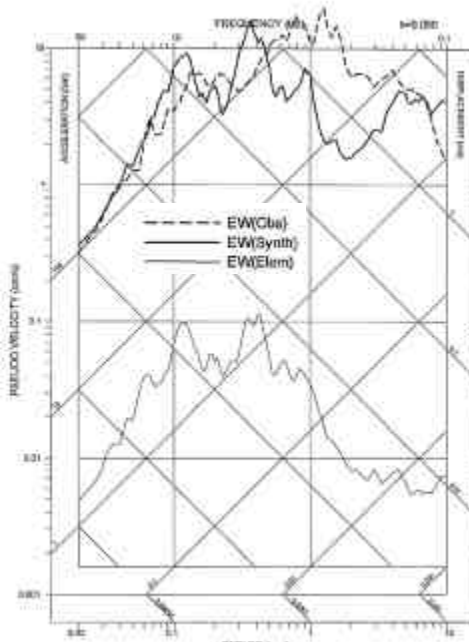


大船渡(EW)



河北(左 地中EW、上 地表EW)

経験的グリーン関数法は、再現しようとする大地震と同じ断層面で生じた小地震(要素地震)の観測記録を用います。断層モデルをメッシュに切って、各格子でこの要素地震が起きると仮定し、断層運動で各格子がずれ動く時刻を求め、その時刻に要素地震が次々に起きて観測点へ伝わると仮定し、観測点でその地震波を足し合わせます。その際、応力降下量の大きい格子位置では大きな要素地震が起きると仮定します。1995年女川3号安全審査時の断層モデルでは、大船渡はかなりずれていましたが、今回の再現では良く合っていると云えます。河北の地表では短周期側で実線の再現値が破線の観測値より大きくなっています。



8.16宮城県沖地震の周辺での観測記録の応答スペクトル(破線)と経験的グリーン関数法(要素地震は9.12余震)による再現応答スペクトル(実線)の適合性評価(長周期側震源スペクトルの補正なし)

この断層モデルに基づいてプレート境界地震を評価した図6の算定結果を2~3倍すると、2003年に地震調査推進本部が策定した想定宮城県沖地震に近くなります。つまり1995年の女川3号安全審査で評価した断層モデルは、大船渡の地震観測記録に合わせなかったために短周期地震動を過小評価してしまったのです。

1990年代には先に示したように、女川原発の敷地内でプレート境界地震の観測記録が蓄積されており、短周期地震動が想定以上に強いという知見が得られていたのです。地震学界でもこの頃には、深く沈み込んだプレートの境界やスラブ内で起こる地震では短周期地震動が非常に強くなるということは広く知られ、関心の的になっていました。ですから、大船渡の地震観測記録とかけ離れた断層モデルで妥当だとした結論は、当時の知見に照らしても間違っており、安全審査における重大な瑕疵といわざるを得ません。

なぜ大船渡の地震観測記録に断層モデルを合わせなかったのかは定かではありませんが、大船渡に合わせると、応答スペクトルが大崎スペクトルをかなり超えることになり、安全審査に用いられている大崎スペクトルではプレート境界地震が過小評価されることが明らかになってしまったためとも考えられます。

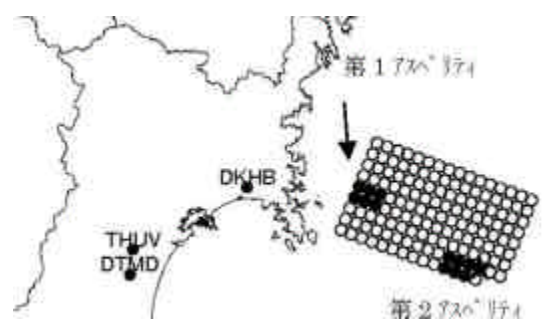
いずれにせよ、1995年の安全審査で策定された断層モデルは今日の知見によっても当時の知

見によっても短周期地震動を過小評価するものであったことは明らかであり、安全審査に携わった経済産業省原子力安全保安院(当時の通商産業省)および原子力安全委員会の責任は免れません。きちっと反省し、責任を明らかにすべきです。誤って策定された基準地震動に基づいて設置許可を出したわけですから、設置許可を取り消し、安全審査をやり直すべきです。

想定宮城県沖地震の短周期地震動は 8.16宮城県沖地震動を反映せず

東北電力は8.16宮城県沖地震を断層モデルで再現し、アスペリティの応力降下量(図7の表の実効応力に相当し38.9MPaと89.8MPa)が非常に大きくなることを明らかにしました。ここで、「アスペリティ」とはプレート境界でずれ動いた震源断層の中で非常に硬く固着した箇所のことです。アスペリティには震源断層の他の場所より数倍~数十倍の大きな歪みエネルギーが蓄えられており、大きな応力(単位面積当たりの力)がかかっています。断層がずれ動くと、この応力が急に小さくなります。地震前後のこの応力の差を「応力降下量」と言います。アスペリティが非常に強く固着していると、断層運動による応力降下量が大きくなり、断層が「硬く」動いて、強い短周期地震波が発生します。

地震調査研究推進本部は想定宮城県沖地震



	再現モデル	想定地震A1
マグニチュード	M _J 7.2	M _w 7.6
第1アスペリティ(面積、実効応力)	64km ² 、38.9MPa	96km ² 、29MPa
第2アスペリティ(面積、実効応力)	24km ² 、89.8MPa	96km ² 、73MPa

図7 .8.16宮城県沖地震の再現モデル(左)と地震調査研究推進本部の想定宮城県沖地震A1(右)

の断層モデルを何度も修正し、2年前に図 7の右側の断層モデルを提案しています。これは東北大学(THUV)で観測された1978年宮城県沖地震の観測記録を再現したのですが、8.16宮城県沖地震では応力降下量がこの想定宮城県沖地震を上回っています。そうしなければ女川原発で観測された地震観測記録を再現できなかったからです。

ところが、東北電力が今回安全確認のために設定した想定宮城県沖地震には、今回の8.16宮城県沖地震の大きな応力降下量が全く反映されていません。

東北電力は経験的グリーン関数法という手法で想定宮城県沖地震の断層モデルを求めています。これは、図 7の右側のメッシュになった一つ一つの格子で、断層の破壊速度に合わせて時間遅れで、要素地震と呼ばれる地震が次々に発生すると仮定し、女川原発に地震波が一斉に重なり合って届くとみなして地震動を計算するものです。その際にアスペリティの応力降下量が大きければその格子での要素地震が大きく評価されます。東北電力の想定宮城県沖地震では要素地震として8.16宮城県沖地震の9月12日の余震を用いていますが、これによって図 8のように地震調査研究推進本部(推本)の断層モデルより短周期地震動がやや大きくなっています。ところが、図 10の8.16宮城県沖地震「はぎとり波」の応答スペクトルとそれほど変わりません。これは、8.16宮城県沖地震の再現モデルで明らかになった応力降下量が大きいという特徴を想定宮城県沖地震の断層モデルに反映させていないからです。

そのため、図 9のように、想定宮城県沖地震の応答スペクトルは現在の最強地震による基準地震動S1-Dの2~3倍程度に収まり、限界地震の2倍程度に収まっています。8.16宮城県沖地震の応答スペクトルが図 10のように大崎スペクトルより4~9倍も大きかったことと比較すると、実に奇妙な感じです。地震の規模が大きくなると大崎スペ

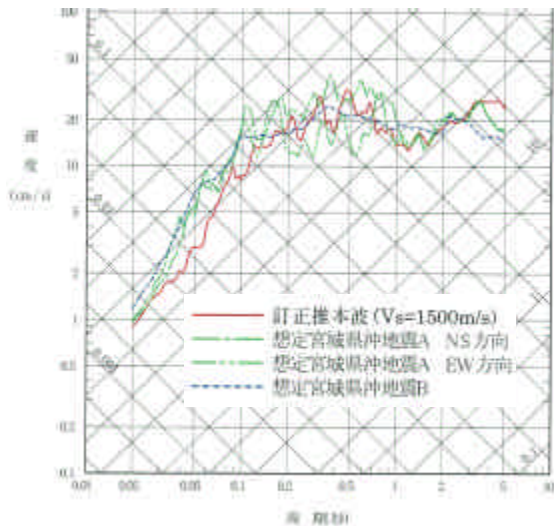


図 8 .訂正推本波の応答スペクトルと想定宮城県沖地震 AおよびBの応答スペクトルの比較 (東北電力2005.12.22追加報告)

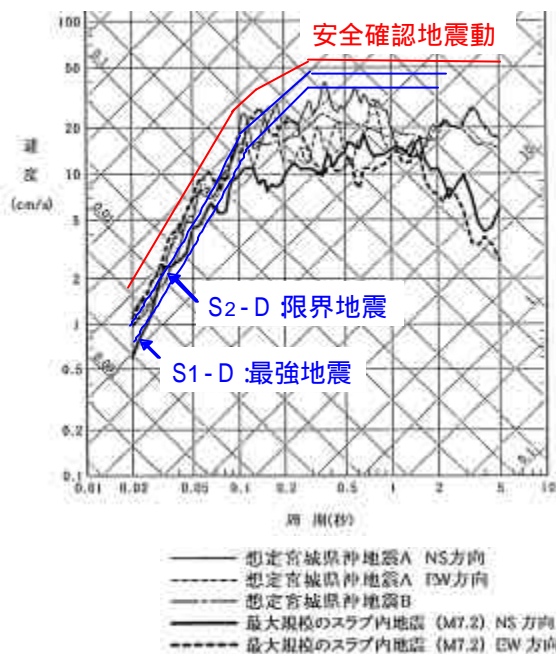


図 9 .東北電力による想定宮城県沖地震と最強地震と限界地震による基準地震動S1-DとS2-D

クトルとの差は縮まるのでしょうか。

8.16宮城県沖地震の特徴である「大きな応力降下量」を想定宮城県沖地震に反映させ、短周期地震動の過小評価をやめさせ、女川原発の安全評価をやり直させねばなりません。1995年の安全審査の過ちを繰り返させてはなりません。原発震災を女川原発で引き起こさせないために。