

2023年11月7日

令和5年(三)第1号 老朽美浜3号機運転禁止仮処分申立事件

プレゼン3番

震源極近傍地震動について

債権者代理人 井戸謙一

# 地震発生層

大地震になると、断層面が地表に及ぶ。浅部もずれる。浅部断層の活動によって極近傍の原発が受ける影響をどう評価するか

原発

地表

地下3km程度

通常地震

(浅部断層)

大地震

(深部断層)

地震発生層  
S波3km/s以上  
P波6km/s以上

通常地震は地震発生層がずれて発生する  
(硬い岩盤は応力を貯め込むことができる)

# 設置許可基準規則解釈(別記2)4条5項二号⑥ (甲第66号証)

「内陸地殻内地震について選定した検討用地震のうち、震源が敷地に極めて近い場合は、**地表に変位を伴う断層全体を考慮した上で**、震源モデルの形状及び位置の妥当性、敷地及びそこに設置する施設との位置関係並びに震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討するとともに、これらの検討結果を踏まえた評価手法の適用性に留意の上、上記⑤の各種の不確かさが地震動評価に与える影響をより詳細に評価し、震源の極近傍での地震動の特徴に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえた上で、さらに十分な余裕を考慮して基準地震動を策定すること」

# 基準地震動ガイド I . 3. 3. 2(5) (甲第65号証)

「特に、評価地点近傍に存在するアスペリティでの応力降下量などの強震動の生成強度に関するパラメータ、アスペリティ同士の破壊開始時間のずれや破壊進行パターンの設定において、不確かさを考慮し、破壊シナリオが適切に考慮されていることが確認されていること」「地表に変位を伴う国内外強震動生成域被害地震の震源極近傍の地震動記録に対して適切な再現解析を行い、震源モデルに基づく短周期地震動、長周期地震動及び永久変位を十分に説明できていることを確認する。この場合、特に永久変位・変形についても実現現象を適切に評価できていること。さらに、浅部における断層のずれの進展の不均質性が地震動評価へ及ぼす影響を検討するとともに、浅部における断層のずれの不確かさが十分に評価されていること。震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては、破壊伝播効果が地震動へ与える影響について、十分に精査されていること。また、水平動成分に加えて上下動成分の評価が適切に行われていること」

# C断層及び白木－丹生断層と美浜発電所 3号機との距離



# 震源極近傍とは、どの程度の距離をいうのか

## 第1 新規制基準検討時の議論

発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム（第3回会合） H24.12.7

【藤原広行氏】要素断層よりも距離的に近いサイトですね、数km以内、例えば1kmとか2km以内のサイトについては、物理モデルとして波動論的な計算手法が破綻する領域になっているということ、そんな近いところでの精度を保証する形での評価がこれまで行われてきていない方法論を用いた評価を実際行っている（甲67-1）

【島崎邦彦氏】震源に非常に近づいてくると、我々、よくわかっていない領域なわけですね。特に不均一性がどうなっているのか（甲67-1）

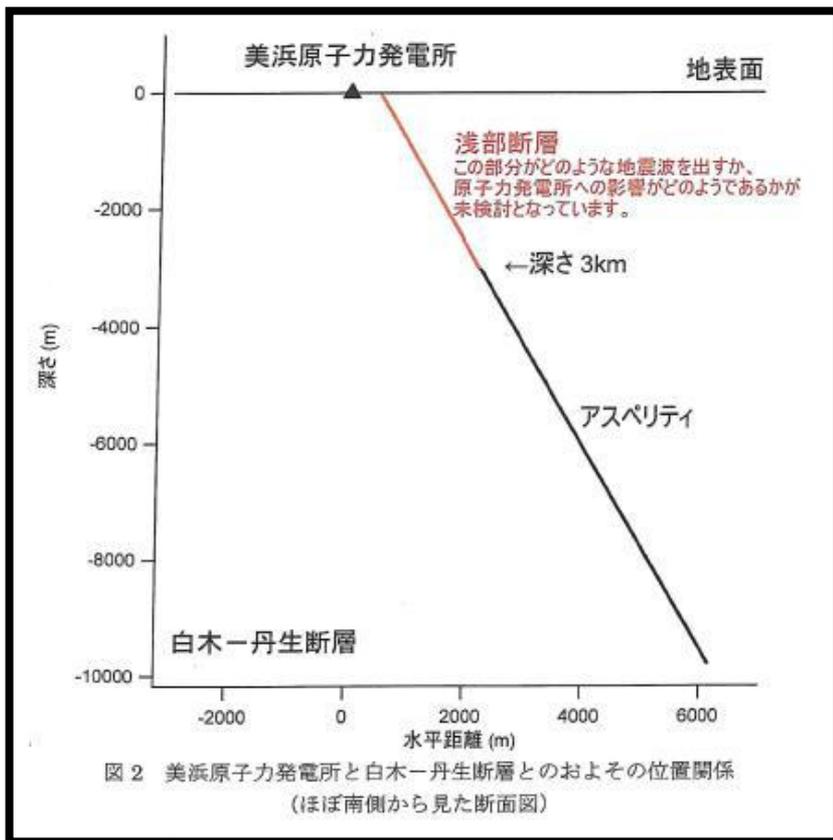
## 第2 学説

- 1 山田雅行ほか 断層面からの距離が数km以下の領域（甲68）
- 2 貴堂峻至ほか 震源断層に着目した研究では断層から数km程度（甲129）
- 3 推本強震動評価部会が取り上げた震源ごく近傍地震動 数百m～約3km（甲130）
- 4 大崎総合研究所 活断層より数km以内の距離に位置する場所（甲131）
- 5 田中信也 地表地震断層から2km程度以内の領域（甲132）
- 6 原子力規制庁安全規制管理官の発言 大体地表で1kmぐらい（乙259-1）

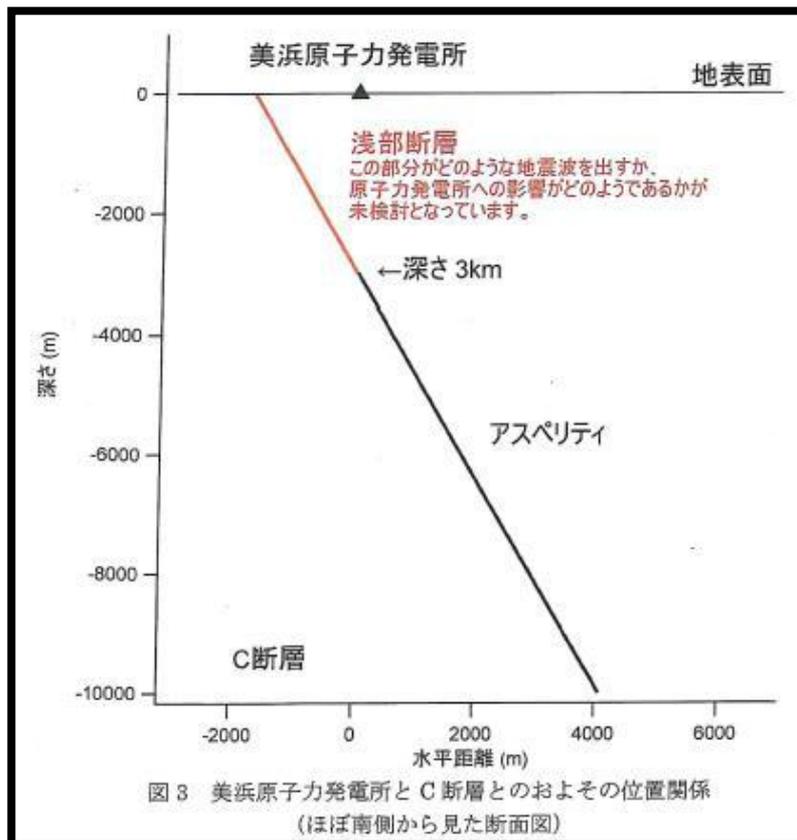
※ 結局、特別考慮を求める趣旨から考える必要がある。

# 規則の趣旨は、浅部断層で生成される短周期地震動の影響を考慮すべきというもの

## 白木・丹生断層



## C断層



# 美浜原発地盤モデル

## 5. 地下構造モデルの策定（まとめ）

第27回審査委員会  
資料から変更 44

■ 以上より、調査結果に基づく地下構造モデルを以下のとおり策定した。

調査結果に基づき策定した地下構造モデル

No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	層厚 (km)	上層深度 (km)	$Q_p$ <sup>※</sup>	減衰定数 (%)
1	4.0	1.65	2.5	0.05	0.00	16.57	3.0
2	4.1	1.7	2.5	0.11	0.05	16.57	3.0
3	4.2	1.8	2.5	0.03	0.17	16.57	3.0
3'	4.2	1.8	2.6	0.06	0.20	100.00	0.5
4	4.4	1.9	2.6	0.09	0.26	100.00	0.5
5	4.5	2.0	2.6	0.02	0.35	100.00	0.5
6	4.6	2.1	2.6	0.08	0.37	100.00	0.5
7	4.7	2.2	2.6	0.07	0.45	100.00	0.5
8	4.8	2.3	2.6	0.06	0.52	100.00	0.5
9	4.9	2.4	2.6	0.01	0.55	100.00	0.5
10	5.0	2.5	2.6	0.07	0.57	100.00	0.5
11	5.1	2.6	2.6	0.08	0.64	100.00	0.5
12	5.2	2.7	2.6	0.21	0.72	100.00	0.5
13	5.3	2.8	2.6	0.21	0.93	100.00	0.5
14	5.4	2.9	2.5	0.08	1.13	100.00	0.5
15	5.4	3.0	2.6	0.16	1.21	100.00	0.5
16	5.5	3.1	2.6	0.02	1.37	100.00	0.5
17	5.6	3.2	2.6	0.47	1.40	100.00	0.5
18	5.7	3.3	2.6	1.58	1.87	100.00	0.5
19	5.7	3.4	2.6	0.15	3.85	100.00	0.5
20	5.9	3.6	2.7	—	4.00	100.00	0.5

※1. ①部は敷地内でのボーリング調査結果から $2.5 \text{ g/cm}^3$ として設定し、地質調査結果から②部と③部間で④部が⑤部まで分布していることから、②部も③部と同等とみなして設定し $2.7 \text{ g/cm}^3$ とし、④部は調査結果から地盤を想定した改良軟弱地盤調査結果の最高部（2019年6月21日調査）を参考に設定した。

※2. ⑥部（300m以下）は、地盤の平均密度の調査及びGPR測定の結果を参考に⑥部で $Q_p=16.67$ （減衰定数2%）とし、300m以下1.0m+100（減衰定数0.5%）として設定した。

図4 美浜原子力発電所の地下構造モデル<sup>3)</sup>

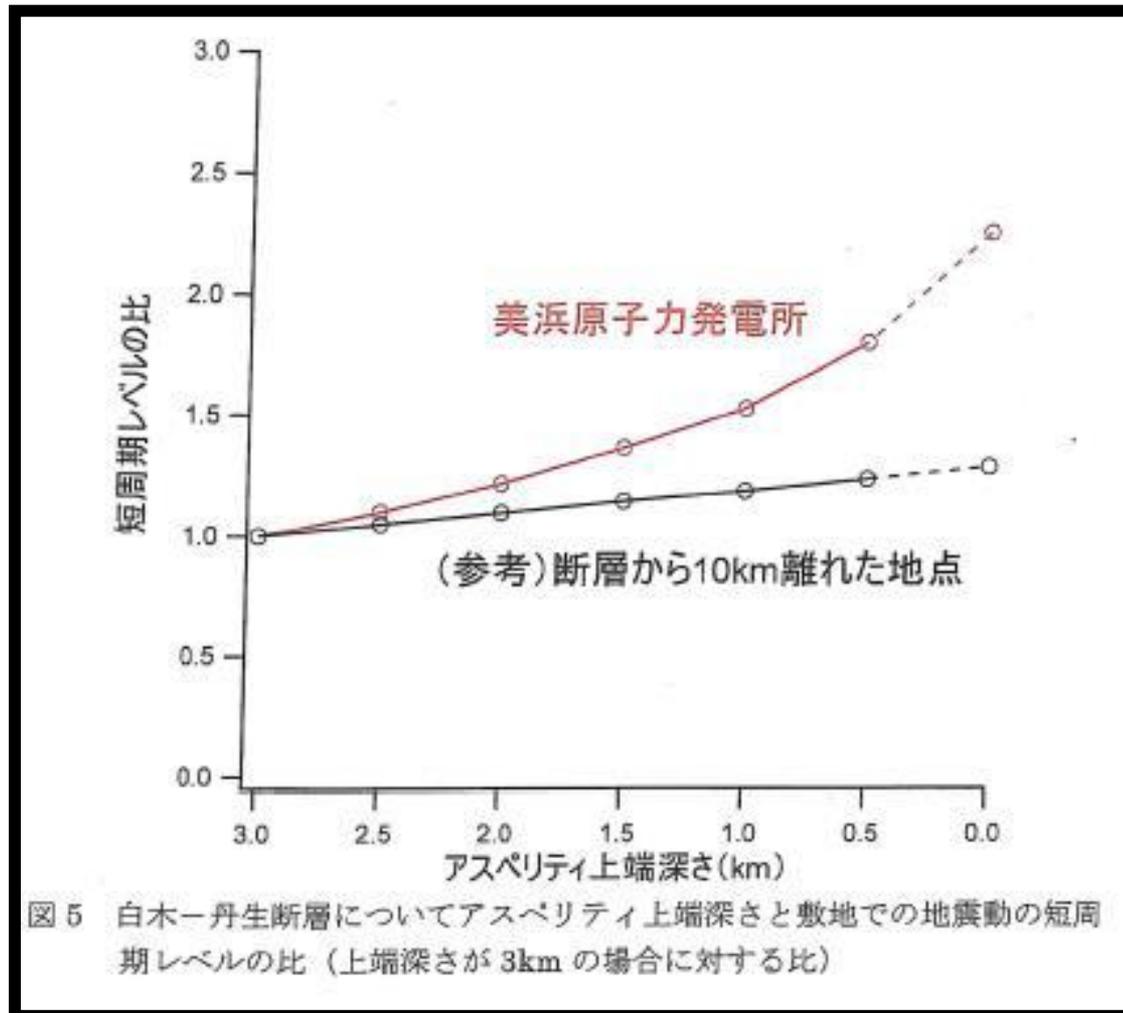
-0.45～-0.52km  
P波4.7km/s  
S波2.2km/s

-0.93～-1.13km  
P波5.3km/s  
S波2.8km/s

-1.87～-3.85km  
P波5.7km/s  
S波3.3km/s

岩盤は固いほど応力を貯め込むことができる。  
美浜の岩盤の固さは、地下500mや1kmでも、地震発生層の固さと大差がない。  
アスペリティが存在し得る。

# 白木・丹生断層でアスペリティの上端深さと短周期レベルの比



新規制基準は、地表変位によって生成される長周期地震動に対する考慮を求めているのか、短周期地震動に対する考慮も求めているのか(1)

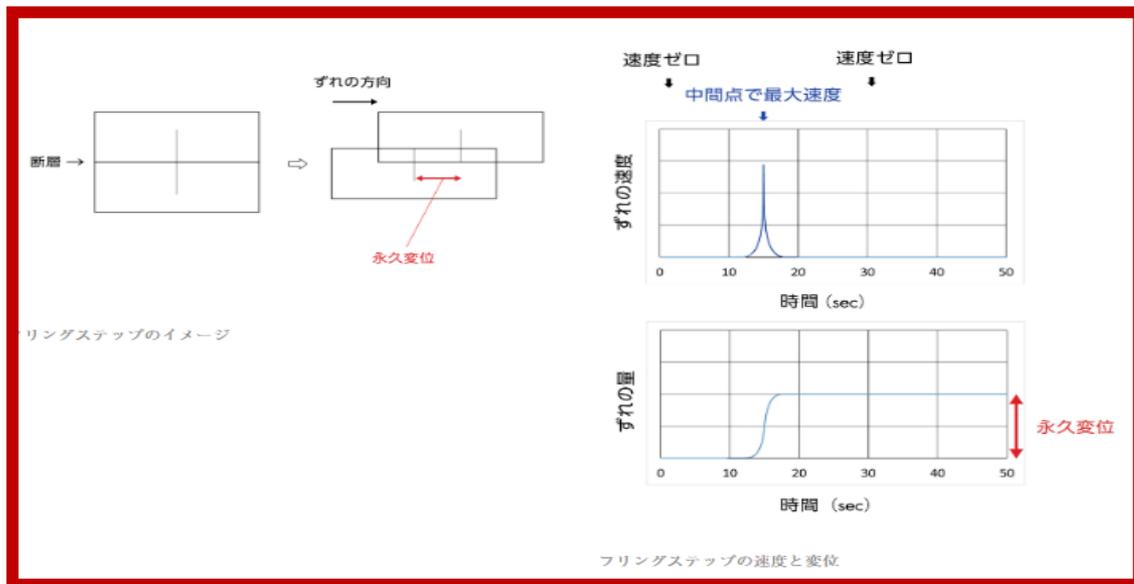
～「地表に変位を伴う断層全体を考慮した上で」の解釈～

債務者(川瀬意見書 乙271)

➡地表変位から生成されるのは長周期地震動である(リングステップ)から、長周期地震動に対する考慮を求める趣旨

債権者(野津意見書 甲137-1)

「地表に変位を伴う場合は、浅部断層も動いていてそこから地震波が出ているから、深部断層だけでなく浅部断層から出る地震波も考慮すべきである」という点にある。その場合の「地震波」には「長周期地震動」も「短周期地震動」も含まれる。



新規制基準は、地表変位によって生成される長周期地震動に対する考慮を求めているのか、短周期地震動に対する考慮も求めているのか(2)

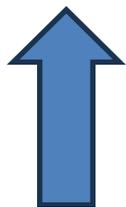
～「浅部における断層のずれの進展の不均質性が地震動評価へ及ぼす影響を検討する」ことを求めている趣旨～

### 債務者(川瀬意見書)

「永久変位・変形に着目したものと考えるべきである。」「滑り量(ずれ)の不均質性を浅部断層において考慮した上で、震源極近傍の地点における地震動を評価することを要求していると解すべき」(7頁)

### 債権者(野津意見書)

「ずれの進展の不均質性」が短周期地震動を生成することは強震動学者の常識



意味不明。「ずれの不均質性を考慮する」ということは、「短周期地震動を考慮する」ということと同義である。

川瀬意見書も、「ずれの進展の不均質性」が短周期地震動を生成すること自体は否定していない。

## ずれ(滑り量)の不均質性が 短周期地震動を生成する

左列のように、滑らかな滑り量(1段目)の場合、変位(2段目)、速度(3段目)、加速度(4段目)も滑らかに変化する。

ところが、右列のように、滑り量が不均質の場合、変位は概ね滑らかだが、速度では不整形になり、加速度は極めて不整形になり、突発的に高い加速度を生む。これが短周期地震動の影響である。

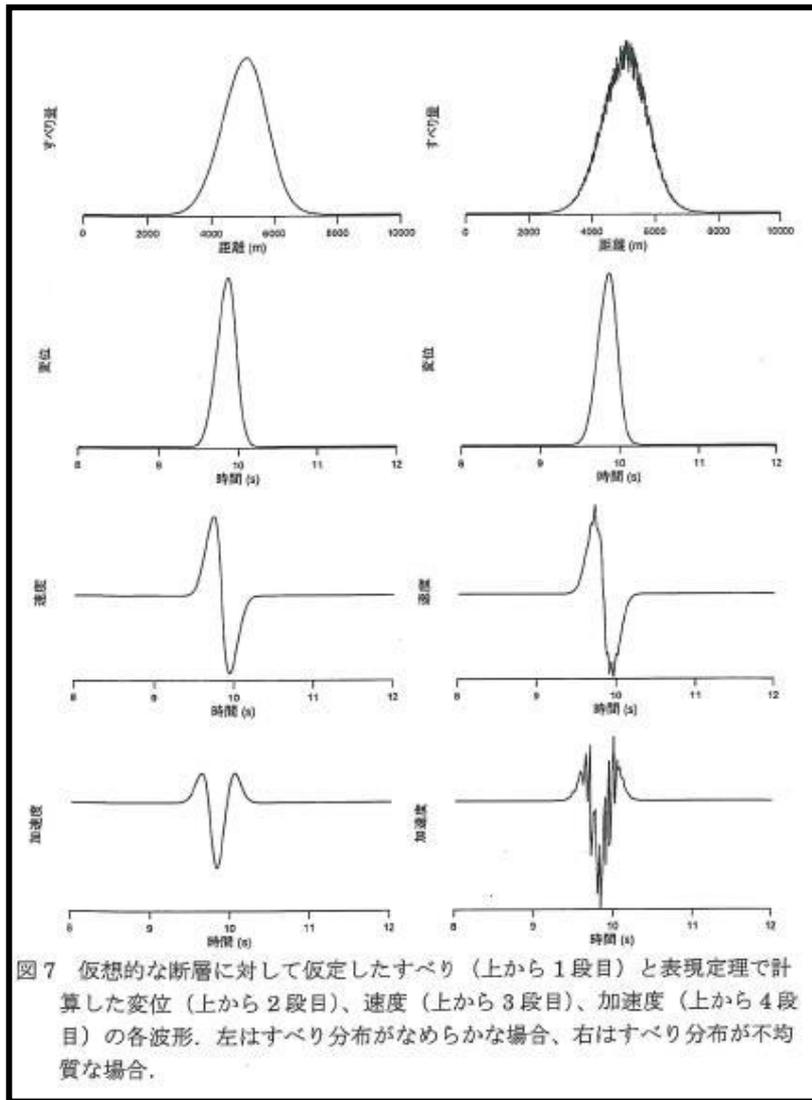


図7 仮想的な断層に対して仮定したすべり(上から1段目)と表現定理で計算した変位(上から2段目)、速度(上から3段目)、加速度(上から4段目)の各波形。左はすべり分布がなめらかな場合、右はすべり分布が不均質な場合。

# 熊本地震の解析によって浅部断層から短周期地震動が出ないことが確定したのか

## 川瀬意見書

2016年熊本地震等で観測された断層の近傍での加速度等の観測記録は、現行のレシピによる評価で再現性が十分確認されている(15頁)。

2016年熊本地震の後、西原村の観測記録に対しては各種の詳細な検討がなされ、その記録は、浅部断層に対して滑り速度の遅い、ゆっくりとしたずれを与えることで説明できることが現在では広く理解されている(18頁)。

物理的にも観測事実としても浅部断層から短周期地震動が生成されると想定すべき理由はない(19頁)

## 債権者の主張

熊本地震の解析では、レシピを適用した地震モーメントは観測値に半分にしかならず、様々なモデルが検討された。そして、浅部に大すべり域を置けば、浅部断層に短周期震源を置かなくても再現できるという結論になった。しかし、だからといって、浅部断層から短周期地震動が出る可能性は否定されていない。

【推本強震動部会中間報告(甲130)】

- ・ 浅部領域における短周期地震動の発生能力については意見が分かれている(付-2頁)。
- ・ 断層ごく近傍に適用可能な強震動(特に終期1秒程度以下の短周期地震動)評価手法の検討が必要であると結論づけた。

# 浅部断層から短周期地震動は出ないのか

## 川瀬

短周期成分を多く生成するSMGAは、高い応力降下量を有しているが、応力降下量は、地盤の深さ方向に依存して大きくなり、浅部では見られなくなっていく。野津意見書が指摘するように、地下3kmよりも浅部に高応力降下量が存在することは物理的に考えづらい。

## 債権者

応力降下量の多寡は、浅部断層と深部断層間の相対的な問題であって、浅部断層から短周期地震動が出ない等と断定する根拠はない。

浅部断層から短周期地震動が出る可能性は多くのところで認められている。(次スライド)

# SMGAから100%あるいはそれに近い 応力降下はあり得ないのか

## 川瀬

仲野らのデータによれば、平均応力降下量は拘束圧の2%。アスペリティの応力降下量はその5倍の10%。アスペリティで100%の応力降下が生じる可能性は32万分の1(10~15頁)

## 債権者

仲野らのデータはほとんどが中地震。大地震とは応力降下量も異なる。応力降下量が低割合に止まったから中地震に止まったとも言える。

2011東北地方太平洋沖地震における応力降下量は100%という研究がある(甲159の1, 2)

100%あるいはそれに近い応力降下はあり得る。

## 浅部断層から短周期地震動が出る可能性を認める根拠

### (1) 新規制基準策定段階の議論

・藤原広行氏(地震等基準検討チーム第3回会合)

「実際には、不均一さというふうなものが一体どの程度の大きさを持っているのか。これも遠くで見れば、それがだんだん平均化されてしまう。ただ、それが近くで、もしかしたら評価で用いている値以上の大きな不均一さを持っているかもわからない。」(甲67の1)

・島崎邦彦氏(地震等基準検討チーム第3回会合)

「震源に非常に近づいてくると、我々よくわかっていない領域なわけですね。特に不均一性がどうなっているのか。」(甲67の1)

・藤原広行氏(地震等基準検討チーム第7回会合)

「そこから出る地震動というのは、単に長周期だけではなくて、短周期の地震動も出ている。」(甲123)

### (2) 原子力規制庁佐口主任安全審査官(R1.12.13審査会合 敦賀2号機)

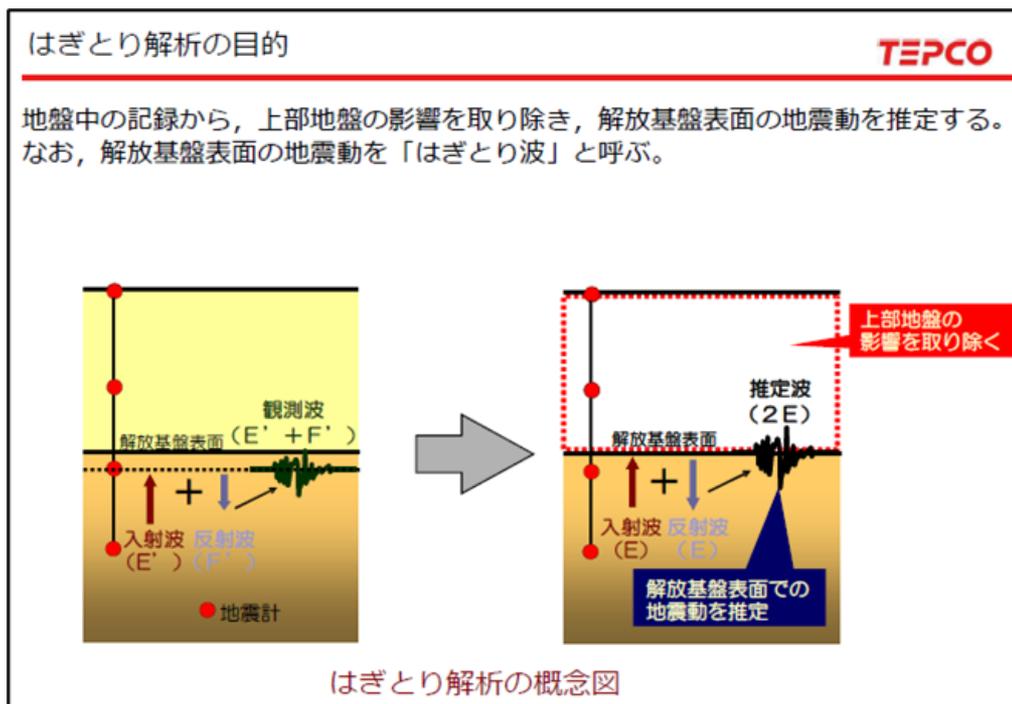
「要するに浅いところから短周期がでるのかでないのかというのが、やっぱりよくわからない。まだ、そこを明確にするだけの知見も、それから観測記録のない中で」【甲158】

### (3) 推本「地震調査研究の推進について—地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策(第3期)—」(R1.5.31)【甲160】

地震動予測のために取り組むべき項目の一つとして「M9クラスの超巨大地震による強震動や内陸地震の震源断層近傍の強震動評価手法を確立するため、最新の知見の収集と検討を継続する。」が掲げられた。

# 原子力発電所では、考えられる可能性 には備えることが求められる

2008岩手宮城内陸地震(Mj7.2) 一関西観測点(震源から3km)  
地上で3成分合成で4022ガル(観測史上最高 ギネス登録)【甲152】  
地下260mの地中(S波速度1800m/s)で3成分合成で1077ガル  
衝撃的な数値(この地中記録は基準地震動1500~2000ガルに相当する。)



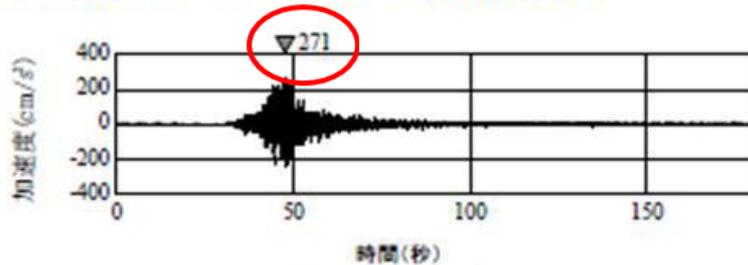
【甲161】

# 東電がしたはぎとり解析の結果 (甲161 9頁)

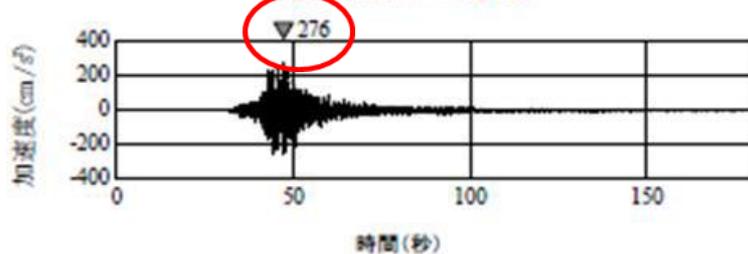
## ③自由地盤系北地点 はぎとり波の推定 (加速度時刻歴波形)

TEPCO

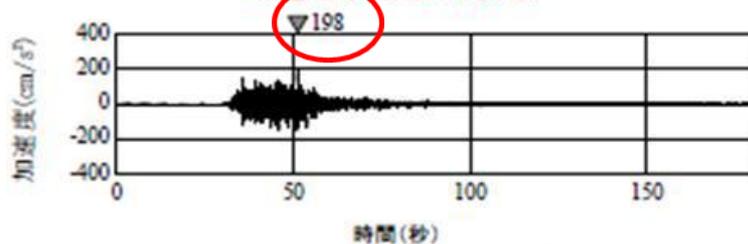
解放基盤表面 (O.P.-196m) に最も近い O.P.-200m の位置に設置されている地震計の記録を用いて、はぎとり波を推定。



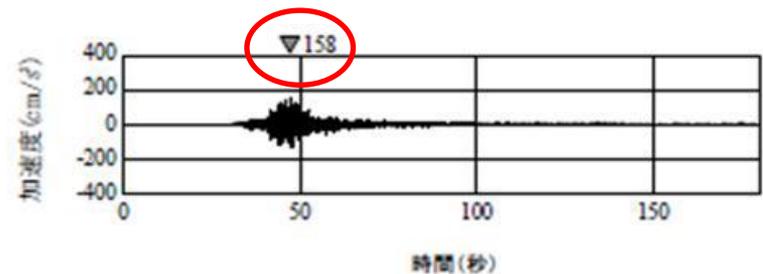
はぎとり波 (NS方向)



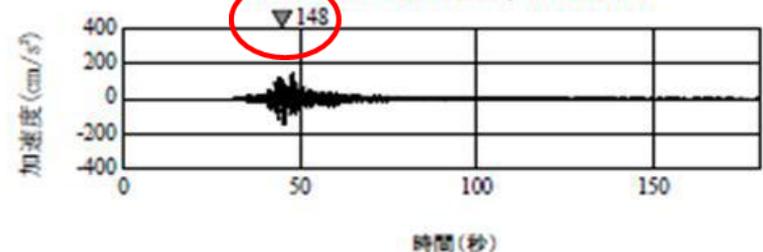
はぎとり波 (EW方向)



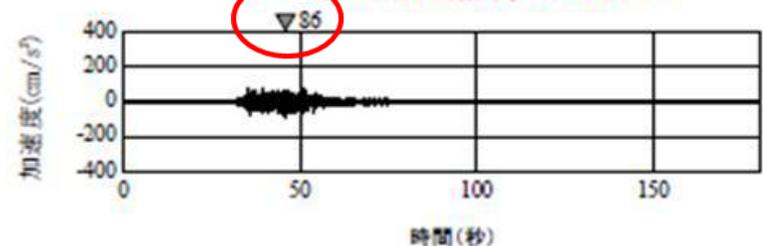
はぎとり波 (UD方向)



O.P.-200m観測記録 (NS方向)



O.P.-200m観測記録 (EW方向)



O.P.-200m観測記録 (UD方向)

地中観測記録をはぎとり解析すると、地震動は、1.5～2倍になる。

この衝撃的な地震動が生じた原因は、よくわかっていないが、一関西観測点は震源から3kmだった。

藤原氏の危機感は、これに由来する。

関電は、岩手宮城内陸地震の震源域とは地域性が異なるとして、これを全く考慮していない。地域性が異なるのなら、それを踏まえて考慮するのが原子力事業者として、当然持つべき姿勢である。