

## 意見書

大阪高等裁判所第11民事部 御中

令和5年5月7日

国立研究開発法人 海上・港湾・港空技術研究所  
港湾空港技術研究所  
地震防災研究領域 領域長

野 津 厚



### 1. 美浜原子力発電所は「震源が敷地に極めて近い場合」に該当する

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（地震ガイド）<sup>1)</sup>の5ページでは、「震源が敷地に極めて近い場合の地震動評価においては、地表に変位を伴う断層全体（地表地震断層から震源断層までの断層全体）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されていることを確認する」としています。ここで、「地表に変位を伴う断層全体（地表地震断層から震源断層までの断層全体）を考慮」するとは、例えば深さ3km程度以深の深部断層だけを考えるのではなく、深さ0km～3km程度の浅部断層を含めた断層全体を考慮するという意味です。すなわち、表1に示す通り、地震ガイドにおいては、「震源が敷地に極めて近い場合」には浅部断層の考慮を求めている一方で、それ以外の場合は浅部断層の考慮を求めていません。これは、図1の概念図からも直感的にわかりますように、震源が敷地に極めて近くない場合（図1上）は、浅部断層と深部断層から敷地までの距離に決定的な違いはないため、浅部断層で生成された地震波と深部断層で生成された地震波が敷地に到達するまでに減衰する程度に決定的な違いはなく、もともと震源で生成される地震波の大部分は深部断層で生成されることも併せて考慮すると、敷地に到達する地震波の大部分は深部断層に由来するものとなり、浅部断層の影響を無視したとしてもそれほどの不都合は無いのに対し、震源が敷地に極めて近い場合（図1下）は、深部断層で生成される地震波は敷地に到達するまでに減衰するのに対し、浅部断層で生成される地震波は、距離が近い分、あまり減衰せずに敷地に到達することになり、仮に浅部断層で生成される地震波の割合は小さかったとしても、敷地に到達する地震波の中で浅部断層に由来する地震波が大きな割合を占める可能性があり、これを無視することは不都合であるためです。地震ガイドにおいて

「震源が敷地に極めて近い場合」に限り浅部断層の考慮を求めていることから、地震ガイド<sup>1)</sup>における「震源が敷地に極めて近い場合」とは「浅部断層の影響が無視できない場合」に他ならないことがわかります。そこで、美浜原子力発電所が白木－丹生断層およびC断層に対して、浅部断層の影響が無視できる場合に該当するかを以下に考えて見ます。

表1 地震ガイド<sup>1)</sup>における浅部断層の取扱

| 震源と敷地との関係     | 浅部断層の考慮の要否    |
|---------------|---------------|
| 震源が敷地に極めて近い場合 | 浅部断層の考慮を求めている |
| 上記以外の場合       | 浅部断層の考慮を求めている |

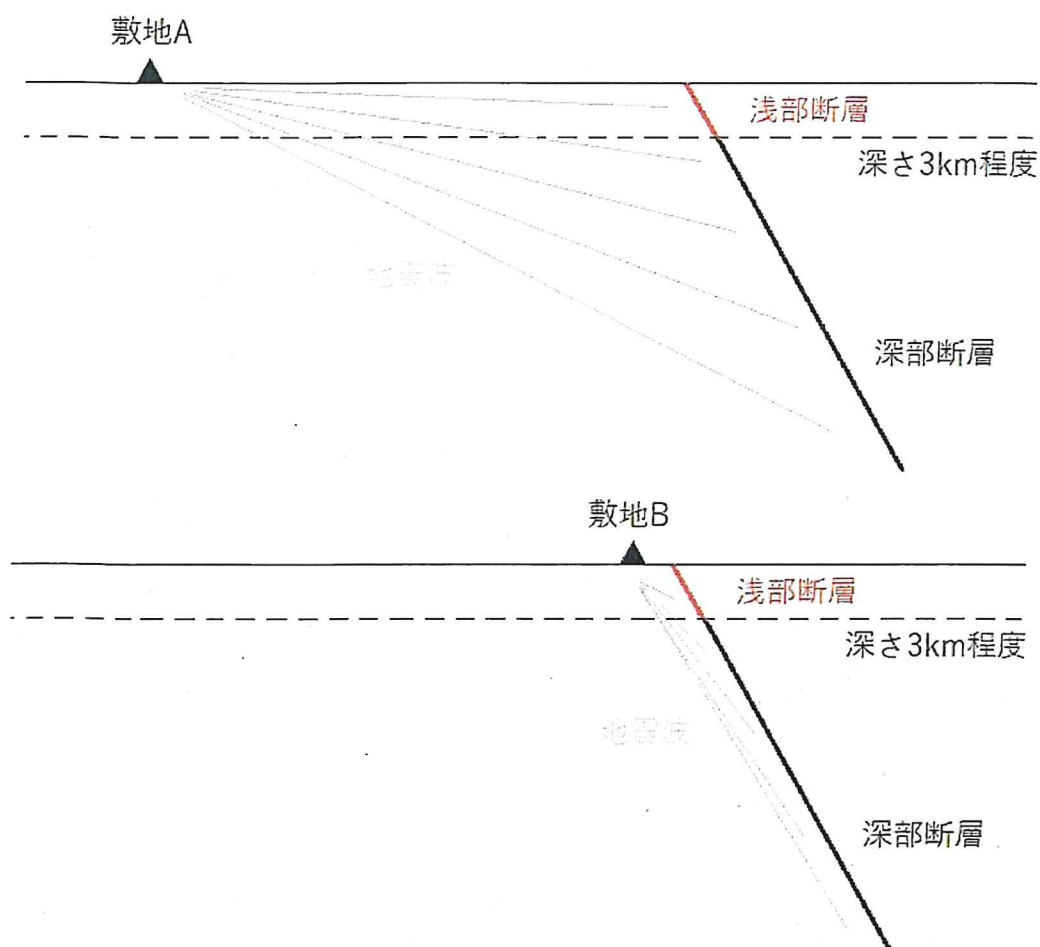


図1 震源が敷地に極めて近い場合（上）とそうでない場合（下）の浅部断層の影響度合いの概念図

図2に美浜原子力発電所と白木-丹生断層とのおよその位置関係を示します。これはほぼ南側から見た断面図です。基準地震動の策定<sup>2)3)</sup>では、図に黒線で示すアスペリティを含む3km以深の深部断層から地震波が生じることを想定していますが、図に赤線で示す「浅部断層」も地震波を出す可能性があります。そして、浅部断層は図からわかりますように原子力発電所に極めて近いのですから、浅部断層で生成される地震波が、距離が近い分、原子力発電所に大きな影響を及ぼす恐れがあります。したがって、美浜原子力発電所は白木-丹生断層に対して「浅部断層の影響が無視できない場合」すなわち「震源が敷地に極めて近い場合」に該当することがわかります。

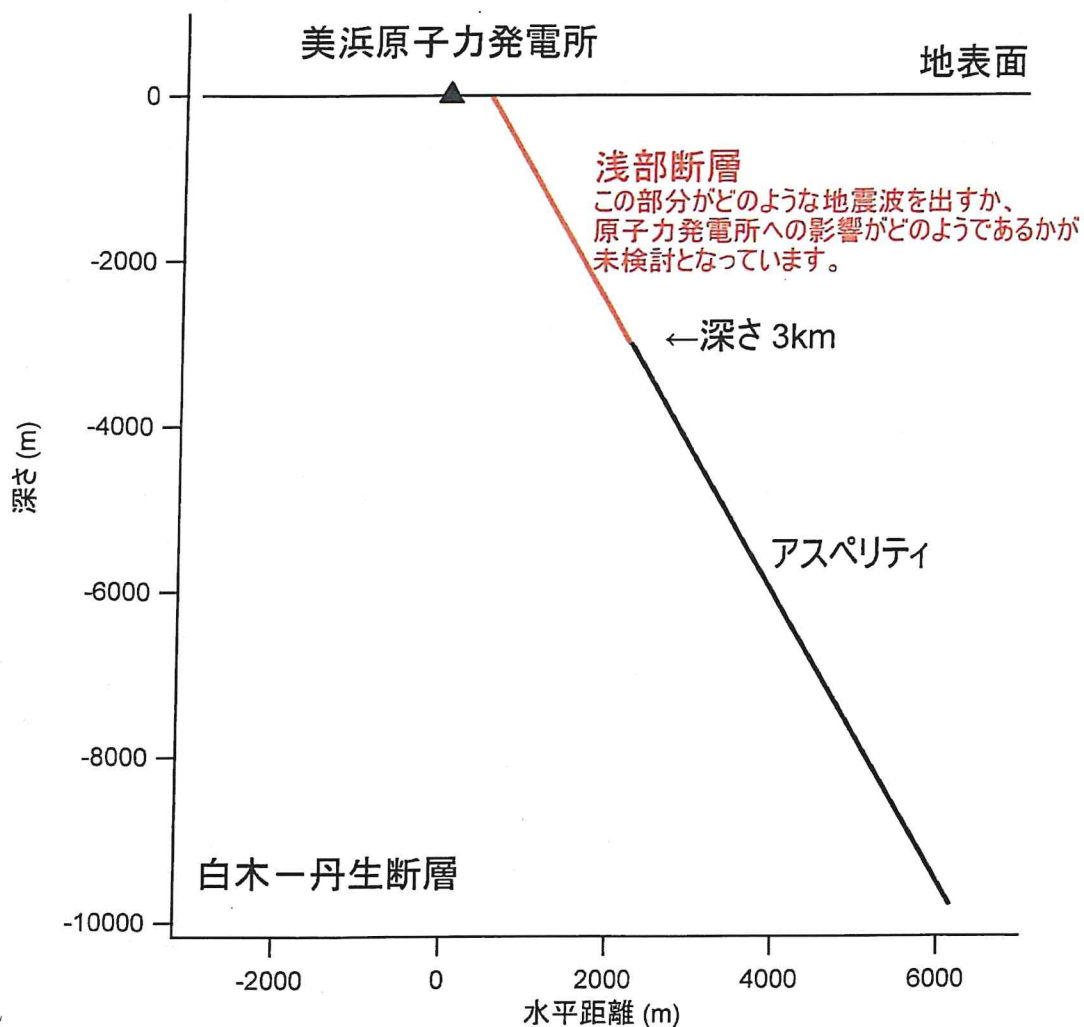


図2 美浜原子力発電所と白木-丹生断層とのおよその位置関係  
(ほぼ南側から見た断面図)

C断層についても同様です。図3に美浜原子力発電所とC断層とのおよその位置関係を示します。基準地震動の策定<sup>23)</sup>では、図に黒線で示すアスペリティを含む3km以深の深部断層から生じる地震波のみを考慮していますが、図に赤線で示す「浅部断層」も地震波を出す可能性があり、原子力発電所に大きな影響を及ぼす恐れがあるため、美浜原子力発電所はC断層に対して「浅部断層の影響が無視できない場合」すなわち「震源が敷地に極めて近い場合」に該当することがわかります。

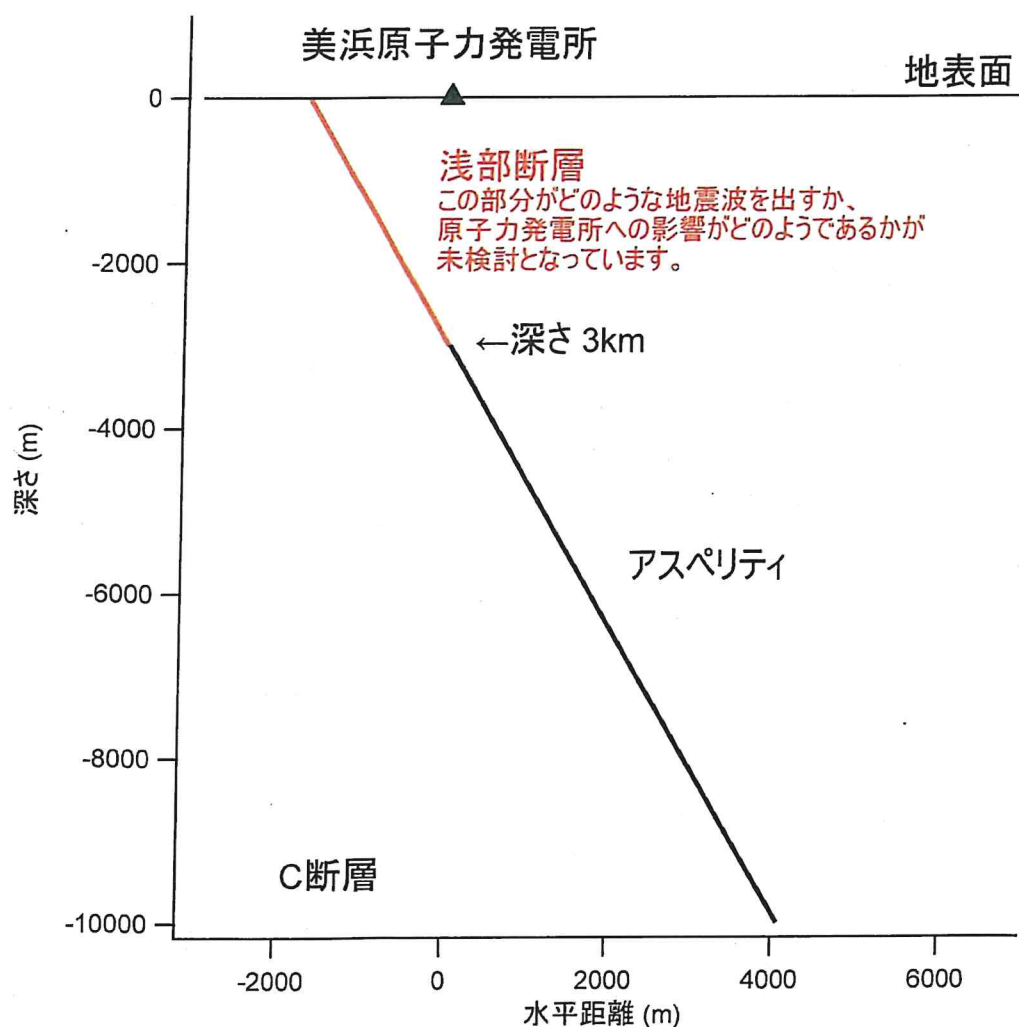


図3 美浜原子力発電所とC断層とのおよその位置関係  
(ほぼ南側から見た断面図)

以上のように、白木一丹生断層とC断層のいずれに対しても、浅部断層と原子力発電所が至近距離に位置することになり、浅部断層の影響が特に大きくな

ります。すなわち、浅部断層の影響が無視できる場合には該当しないため、「震源が敷地に極めて近い場合」に該当することになります。

事業者が基準地震動の策定において浅部断層から生じる地震波を考慮に入れないところを見ると、地震時に浅部断層が地震波を生じないと期待しているのかも知れません。もちろん結果的にそうならば良いですが、原子力発電所のような重要施設の耐震性の検討は、そのような楽観的な見通しの下に進めるべきでは無いと考えています。白木一丹生断層、C断層とも地表で変位が観測されている活断層ですから、過去には深部断層だけでなく浅部断層も断層運動が生じたことは間違いありません。断層運動が生じれば、それに伴いなんらかの地震波が生じますので、その検討を行うべきです。

## 2. アスペリティの上端深さと敷地での地震動の関係

試みに、白木一丹生断層について、アスペリティ上端深さと敷地での地震動の短周期レベルの関係を検討してみましょう。ここで対象とするのは短周期の地震波です。浅部断層が長周期のみならず短周期の地震波を出す可能性について考慮することが地震ガイドで求められており、この点については3. で述べます。

図4は関西電力が調査結果に基づいて策定した美浜原子力発電所の地下構造モデル<sup>3)</sup>ですが、表の注釈で関西電力は「浅部と同質の花崗岩が深部まで分布している」と述べています。実際に深さ0～4000mの範囲で岩盤の密度は一定値2.6g/cm<sup>3</sup>となっており、4000m以深の2.7g/cm<sup>3</sup>と比較してもわずか4%しか異なりません。また、深さ1000mにはS波速度2800m/sの極めて堅固な花崗岩が存在し、深さ3000mのS波速度3300m/sと比較してもわずか15%しか異なりません。従って、少なくとも深さ1000m付近には、深さ3000m付近と同質の岩盤が存在しており、岩盤が多くのひずみエネルギーをため込んで、岩盤に蓄積されたひずみエネルギーが解放されることによって強い地震波を放射するような断層破壊が発生する可能性があります。

## 5. 地下構造モデルの策定（まとめ）

第257回審査会  
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<br>(km/s) | S波速度<br>(km/s) | 密度 <sup>※1</sup><br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 層厚<br>(km) | 上面深度<br>(km) | Qs <sup>※2</sup> | 減衰定数<br>(%) |
|-----|----------------|----------------|------------------------------------------|------------|--------------|------------------|-------------|
| 1   | 4.0            | 1.65           | 2.6                                      | 0.06       | 0.00         | 16.67            | 3.0         |
| 2   | 4.1            | 1.7            | 2.6                                      | 0.11       | 0.06         | 16.67            | 3.0         |
| 3   | 4.2            | 1.8            | 2.6                                      | 0.03       | 0.17         | 16.67            | 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                                      | 0.05       | 0.52         | 100.00           | 0.5         |
| 9   | 4.9            | 2.4            | 2.6                                      | 0.01       | 0.56         | 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            | 2.6                                      | 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                                      | 1.98       | 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：法部は敷地内でのボーリング調査結果から2.6g/cm<sup>3</sup>として設定し、地質調査結果から浅部と同質の花崗岩が深部まで分布していることから、深部も法部と同等とみなして設定  
2.7g/cm<sup>3</sup>は「琵琶湖西洋断層帯の地震を想定した地震動評価(地質調査研究推進本部平成16年8月21日)」等でも用いられている値を採用

※2：深さ200m以下は、地盤の不均質性の評価及びQ値測定の結果を総合的に照らしてQs=16.67(減衰定数3%)とし、200m以下はQs=100(減衰定数0.5%)として設定

図4 美浜原子力発電所の地下構造モデル<sup>3)</sup>

一般に岩盤の強度が大きいほど大きな応力をため込むことができます。既往の岩石実験の結果に基づいて岩盤の強度 $|\tau|$ （単位はMPa）を推定するための式として Byerlee の式<sup>4)5)</sup>があります。

$$|\tau| = \begin{cases} 50 + 0.6\sigma_n & \cdots \sigma_n > 200\text{MPa} \\ 0.85\sigma_n & \cdots \sigma_n < 200\text{MPa} \end{cases}$$

ここに $\sigma_n$ は断層面に対して垂直な方向の応力です（単位はMPa）。関西電力の調査によると岩盤の密度は2600kg/m<sup>3</sup>ですので、深さ1000mにおける鉛直方向の有効応力（水圧の分を差し引いた応力のこと） $\sigma_v'$ は15.7MPa程度となります。応力が等方的であることを仮定し、 $\sigma_n$ も15.7MPa程度であるとすれば、岩盤の強度 $|\tau|$ は13.3MPa程度となります。つまり深さ1000m付近の岩盤は13.3MPa程度の応力をため込むことができるのです。仮に13.3MPaのせん断応力が地震時にすべて解放されれば、応力降下量は13.3MPaとなり、関西電力が「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定<sup>2)3)</sup>において考慮しているアスペリティの応力降下量と同程度の値となります。すなわち、深さ1000m

付近でアスペリティの破壊が生じたとしても不思議ではありません。深さ 500m においても、同様に考えれば、6.6MPa 程度の応力降下量を伴う破壊が生じることは考えられ、この値は関西電力が「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定<sup>2)3)</sup>において考慮している白木-丹生断層およびC断層の断層全体の平均応力降下量 (2.5MPa および 2.6MPa) よりかはるかに大きい値です。

そこで、ここでは、白木-丹生断層について、アスペリティ上端深さは少なくとも 1km 程度まで浅くなる可能性があり、さらに保守性を踏まえると 0.5km 程度まで浅くなる可能性があると考え、アスペリティ上端深さを 3km よりも浅くしていき、敷地での地震動の短周期レベルの 3km の場合に対する比を計算してみました。結果を図 5 に示します。アスペリティ上端深さが浅くなるにつれて、短周期レベルは大きくなっていき、アスペリティ上端深さが 1km の場合は短周期レベルが 3km の場合の 1.5 倍程度、アスペリティ上端深さが 0.5km の場合は短周期レベルが 3km の場合の 1.8 倍程度となることがわかります。このように、アスペリティ上端深さが浅くなるにつれて、敷地での地震動の短周期レベルが大きくなり、より大きい地震動が作用することがわかります。すなわち、美浜原子力発電所は「浅部断層の影響が無視できない場合」すなわち「震源が敷地に極めて近い場合」に該当することがわかります。参考までに断層から 10km 離れた地点についても計算していますが、浅部断層の影響は小さいことがわかります。

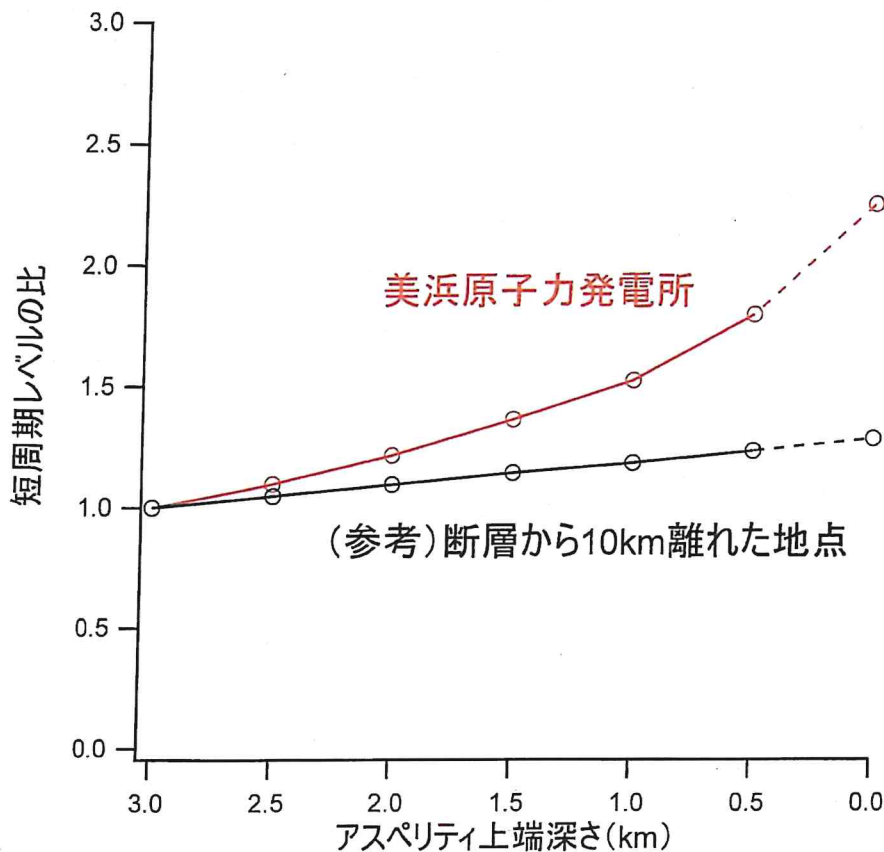


図5 白木-丹生断層についてアスペリティ上端深さと敷地での地震動の短周期レベルの比（上端深さが3kmの場合に対する比）

### 3. 浅部断層が長周期のみならず短周期の地震波を出す可能性について考慮することを地震ガイドは求めている

ここで、浅部断層が生成する地震波には、長周期の地震波、短周期の地震波など様々な地震波が考えられます。このうち、白木-丹生断層及びC断層のように敷地ごく近傍の活断層で地表まで変位が生じる場合は、断層の上盤側、下盤側とも地震前後で位置がずれることとなりますので、この位置のずれに対応する一方向の動きが生じます。この動きのことをフリングステップ（永久変位を伴うステップ状の地震波形）と呼んでいます。このフリングステップは、周期数秒程度の比較的長周期の地震動となる場合が多いと言えます。

しかしながら、浅部断層は長周期の地震波のみならず短周期の地震波も生成する可能性があり、地震ガイドは浅部断層が短周期の地震波を出す可能性についても考慮することを求めていると言えます。このことは地震ガイド5ページに「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」と書かれていることからわかります（下線筆者）。この点はやや専門的であり、わかりにくい点があるかと思いますが、要は、強震動の専門家の間では、断層面上におけるすべり（ずれ）の不均質性が短周期地震動の成因となることは常識であり、すべりの不均質性の影響を考えるとということは、短周期地震動の生成を考えるとということとほとんど同義だからです。

すべりの不均質性が短周期地震波を生むことについては様々な研究者により述べられており、例えば小山<sup>6)</sup>は「周期が数分の一から数十分の一秒の短周期地震波は...もともと断層面上の不均質領域（断層パッチ）のランダムな破壊に依存していると考えられている」と述べています。

すべりの不均質性と短周期地震波が関連していることは、次のような簡単な計算によっても確認することもできます。一例として図6に示すように長さ10kmの仮想的な断層を考え、断層から5kmの地点での地震動を表現定理<sup>1</sup>で計算します（震源の影響を見るためサイト増幅などは考慮しない）。仮想的な断層面上でのすべり分布として、図7左上のようななめらかなすべり分布を考えた場合に計算される変位、速度、加速度波形を図7左側の上から2段目、3段目、4段目に示します。一方、図7左上のすべり分布に対して±10%の揺らぎを与えたすべり分布を図7右上に示しており、このすべり分布に対して計算される変位、速度、加速度波形を図7右側の上から2段目、3段目、4段目に示します。図から明らかなように、変位波形では両者あまり差がありませんが、速度波形では少し差が出てきており、加速度波形では両者の間に著しい違いがあります。加速度波形の著しい違いは長周期成分に短周期成分が加わることで生じています。この例からも、すべりの不均質性が短周期成分を生んでいることがわかります。このように、地震ガイド5 ページにおける「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」との記述（下線筆者）は、浅部断層が短周期の地震波を出す可能性についても考慮することを求めたものと言えます。

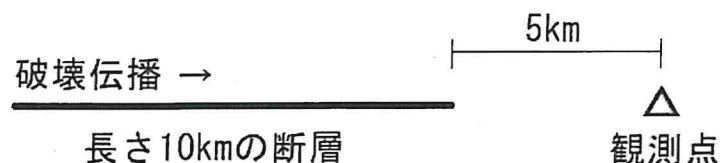


図6 仮想的な断層と観測点の位置関係

<sup>1</sup> 断層面から観測点まで地震波を伝える媒質が弾性体であると仮定した場合に、断層面上でのすべりの時空間分布と観測点での揺れとの間に理論的に成立する関係のこと。詳しくは以下のページを参照。

[https://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bst/taisin/tutorial\\_jpn/tutorial\\_012.pdf](https://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bst/taisin/tutorial_jpn/tutorial_012.pdf)

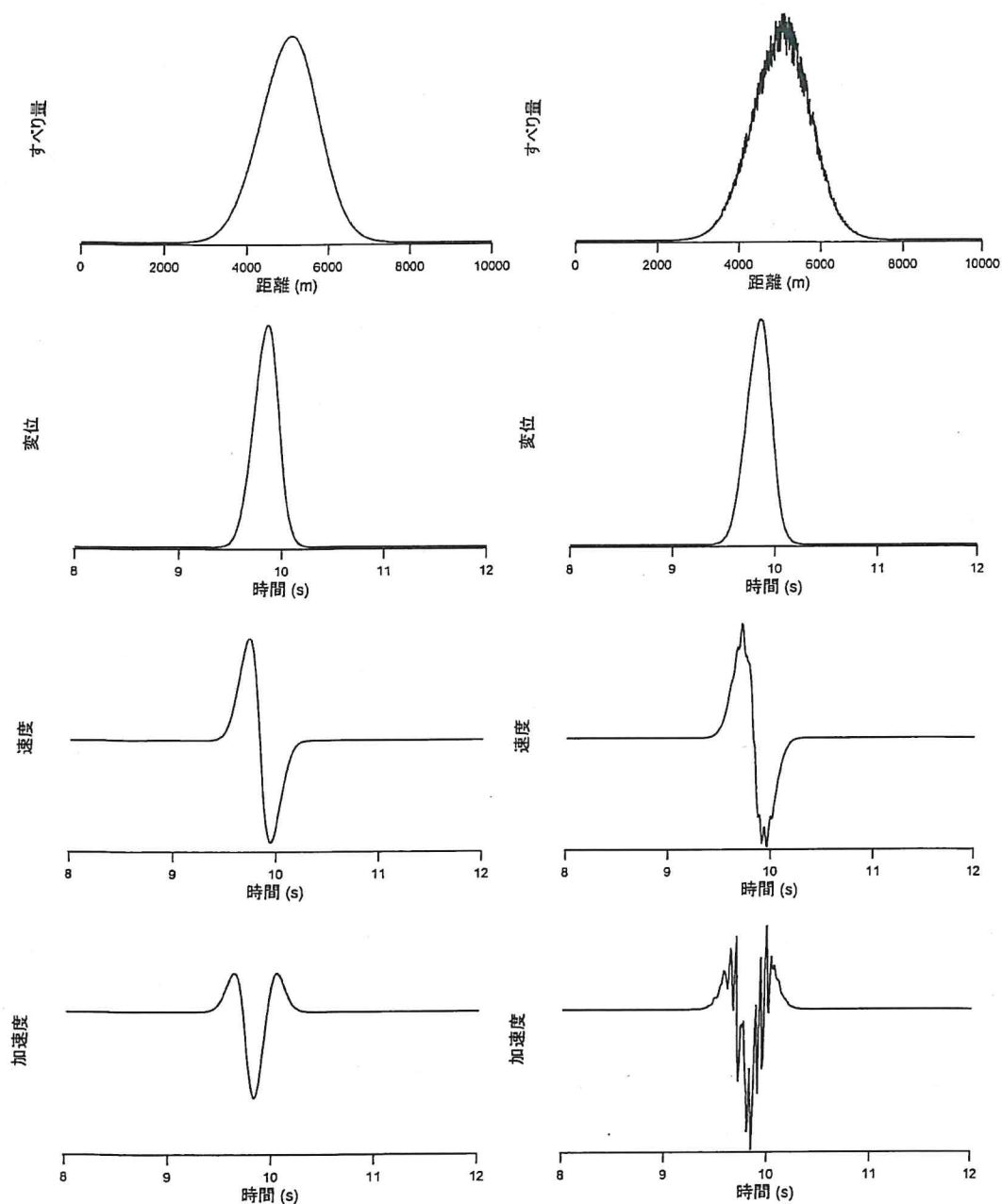


図7 仮想的な断層に対して仮定したすべり（上から1段目）と表現定理で計算した変位（上から2段目）、速度（上から3段目）、加速度（上から4段目）の各波形．左はすべり分布がなめらかな場合、右はすべり分布が不均質な場合．

地震ガイドの作成に至る過程（保安院時代の検討も含む）において、防災科学技術研究所の藤原広行氏から断層極近傍の地震動についての懸念が繰り返し示されていますが、その中で注目されるのは、浅部断層が地震波を出す可能性につ

いて藤原氏が繰り返し述べておられることです。例えば、平成25年1月15日の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（「地震等基準検討チーム」）第6回会合では「変位が地表まで現れるような断層がごく直近にあって、そのすぐ近くで起こる現象については、今の断層モデルを用いた計算手法では、それを無視するというか、ゼロと近似を行って計算をしているということで、そこから、その変位に伴うような地震動とか、変位を同時に説明する地震動、そういったものは計算していないと。ですから、そこを完全に初めからゼロだよというふうに切ってしまう評価でやるのは、安全側にはなっていないということで、そこにまだ我々が完全に把握していない、何か隠れているかもわからないし、それが、そこに対するおそれみたいなものをきちんと評価しなければいけない。それをきちんと見ましようということで、ぜひとも、その変位を伴うような断層が敷地内とか、あるいは、本当に直近にあるようなところで、すぐ近くで起こる地震動については、もしかしたら、今後、そんなに大きくないということがわかってくればいいですけども、それまではわからないこととして、十分な対処をしたほうがいいと思っています」と述べており、浅部断層が地震波を出す可能性についての考慮を求めています。また、平成25年1月15日の地震等基準検討チーム第7回会合では「これまでごく断層近傍の地震動の評価という観点から、幾つか発言させていただいたことをもう一回言っておきますと、これに加えて私は、なお、断層の本当のごく近傍領域での地震動の評価においては、こういったこれまで考えられてきた起震断層だけでなく、Capable Fault 全体ですね、この変位を起こす、ずれを起こす断層面全体から生じる地震動の影響を評価した上で、その地震動の妥当性を。引きずられて動くこの断層面は、あまり地震動は出さないのではないのかというふうに思われている。それはそうだと思いますし、ただ、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。ただ、そういう引きずられて動く断層面の微細な構造というものは大きくまとまったものでないために、遠くで見たときには見えない。ただ、本当に近いところ、そういったところの地震動として、もしかしたらきく可能性があるということが、今、否定し切れないと私は思っていますので」と述べており、浅部断層が地震波、特に短周期の地震波を出す可能性についての考慮を求めています。こうした経緯を踏まえて地震ガイドにおける「震源が敷地に極めて近い場合」の記述に至っているのですから、「震源が敷地に極めて近い場合」に該当するかの判断は、浅部断層が長周期のみならず短周期の地震波を出す可能性を考慮したうえで、それでもなお原子力発電所への影響が小さいと見なせるかどうかによって判断すべきであると考えられます。

#### 4. まとめ

地震ガイド<sup>4)</sup>における「震源が敷地に極めて近い場合」とは「浅部断層の影響が無視できない場合」に他なりません。白木-丹生断層及びC断層を対象とした美浜原子力発電所の基準地震動の策定<sup>2)3)</sup>では、図1及び図2に黒線で示すアスペリティを含む3km以深の深部断層から地震波が生じることを想定していますが、図1及び図2に赤線で示す「浅部断層」がどのような地震波を出すか、その原子力発電所への影響がどのようなものであるかが現状、未検討となっています。浅部断層は図からわかりますように原子力発電所に極めて近いのですから、浅部断層で生成される地震波が、距離が近い分、原子力発電所に大きな影響を及ぼす恐れがあります。したがって、美浜原子力発電所は白木-丹生断層に対してもC断層に対しても、「浅部断層の影響が無視できない場合」すなわち「震源が敷地に極めて近い場合」に該当します。

浅部断層は長周期の地震波のみならず短周期の地震波も生成する可能性があり、地震ガイド5ページにおける「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」との記載からもわかるように（下線筆者）、地震ガイドは浅部断層が短周期の地震波を出す可能性についても考慮することを求めています。地震ガイドにおける「震源が敷地に極めて近い場合」の記述に至った経緯を踏まえれば、「震源が敷地に極めて近い場合」に該当するかの判断は、浅部断層が長周期のみならず短周期の地震波を出す可能性を考慮したうえで、それでもなお原子力発電所への影響が小さいと見なせるかどうかによって判断すべきであると考えられます。

#### 参考文献

- 1) 原子力規制委員会 (2013), 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド。
- 2) 関西電力株式会社 (2015), 美浜発電所 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について, 第263回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料2-1, 平成27年8月21日, <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11235834/www.nsr.go.jp/data/000119065.pdf>.
- 3) 関西電力株式会社 (2016), 美浜発電所3号炉地震動評価について, 第361回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合, 資料1-5, 平成28年5月20日, <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11334008/www.nsr.go.jp/data/000150450.pdf>.
- 4) Byerlee, J.D. (1978), Friction of rock, Pure and Applied Geophysics, Vol.116, pp.615-626.
- 5) Lay, T. and Wallace, T.C. (1995), Modern Global Seismology, Academic Press.
- 6) 小山順二(1987), 短周期地震波の方位依存性, 地震2, 第40巻, pp.397-404.