甲第６０３号証

2021.12.01

大飯発電所の敷地地下構造の不整形性について（2）

－関西電力の準備書面(28)の内容に関連して－

赤松 純平

目　　次

1. CH 級岩盤が支配的か ---------- 3
1.1 基準の厚さを超える岩級区間の頻度 ---------- 4
1.2 基準区間内の岩級分布 ---------- 5
2. 地震波速度と CM 級と CH 級の分布割合の関係 ---------- 8
2.1 原子炉建屋基礎における速度と岩級分布の関係 ---------- 8
2.2 深さ方向の岩級分布の変化による速度への影響 ---------- 11
3. CM 級岩盤と CH 級岩盤における最大コア長について ---------- 13
4. 速度の恣意的な設定について ---------- 14
4.1 解放基盤の P 波速度を 4.6km/s としたこと ---------- 14
4.2 断層破砕帯とシームの地盤震動特性への影響 ---------- 14
4.3 屈折法解析における地表面から深さ 50m での速度 ---------- 15
4.4 試掘坑坑間弾性波探査の結果について ---------- 16
4.5 PS 検層結果の信頼性 ---------- 17
4.6 単点微動観測では S 波速度 2.2km/s の硬質な岩盤の分布状況を
把握できないこと ---------- 17
(1) 調査対象のすり替えと解析における仮定の無視 ---------- 17
(2) 不都合な解析結果の無視 ---------- 18
5. 反射法地震探査結果について ---------- 19
6. 新たな反射法地震探査および VSP トモグラフィーの結果について---------- 20
7. 位相速度の逆解析における問題 ---------- 21
(1) 観測される位相速度は、地震計の位置に依存すること ---------- 21
(2) 漸増モデルを提示したのは、関電の地盤モデルが恣意的な
条件設定による不合理なものであることを示すためであること ---------- 22
8. 2018 年大阪府北部地震記録によると基準地震動が過小評価であること 22
(1) 地殻の速度構造の影響 ---------- 23
(2) 3 号炉地盤モデルについて ---------- 23
(3) 実地震記録による地震動予測であること ---------- 25

9. その他の主張について ---------- 27
(1) CM 級の存在割合の重要性 ---------- 27
(2) RQD の水平面内における分布と原子炉建屋基礎の速度分布の類似性 -- 27
(3) 最大コア長が示す岩盤の場所による劣化 ---------- 28
(4) 3 号炉と 4 号炉の基礎岩盤の速度差 ---------- 28
(5) 不整形地盤および速度コントラストについて ---------- 29
(6) 破砕帯やシームによる速度低下および
PS 検層結果における速度のばらつき ---------- 29
(7) 数 m～数 10m の不整形が地盤震動特性に及ぼす影響 ---------- 30
(8) 地盤モデルにおいて P 波速度を大きく設定していることについて --- 30
(9) 岩種別 P 波速度 ---------- 30
(10) 原子炉敷地の基盤が不整形地盤であることが再確認されたこと ----- 31
まとめ ---------- 32
参考文献 ---------- 33
註 ---------- 34

大飯原発敷地で関電が実施した地質調査と物理探査の資料は、原子炉建屋付近の地盤は断層破砕帯の影響を受けて地震波速度が低下した不整形な地盤であることを示しており、この調査結果を恣意的に解釈して策定した堅硬で均質な地盤構造モデルでは、基準地震動は過小評価される[1、2]。このような指摘に対して、関電は準備書面(28)でいくつかの反論を繰り返して記しているが、その内容はこれまでと同様、抽象的で定性的であり、言葉の言い替えや論点をずらしての議論などに終始している。その中に、地震波動論および地盤振動論の基礎的事項並びにデータの統計処理について看過できない認識の誤りがあるので、本稿では、関電の認識の誤りを指摘する。

１．CH 級岩盤が支配的か

筆者は図 1 を示して、元資料である地質柱状図では標高 0～-150m では CM 級が全体の 1/3 以上を占めているにも拘わらず、関電の地質断面図はほとんどが CH 級岩盤とされており、そのような断面図による議論は不正確であると指摘した[2、4 頁]。これに対して、関電は「**ボーリング調査でそれぞれ岩盤及びコア性状の観察を行って，風化や割れ目等の程度や状態を確認し，50 cm 程度を最小単位として，・・・岩級区分は E. L. -50m までは 3m 程度, E. L. -50m～E.L.-150m までは 5m 程度, E. L. -150m 以深は 10m 程度を基準として，その中で支配的な岩級区分を基に地質断面図を作成したのである**」[準備書面(28)、9 頁]と述べている。そこで 3m あるいは 5m を基準として CH 級が支配的であるか、その真偽を地質柱状図原本[3、6-3-588～641 頁、第 3.5.28 図]に基づいて検証する。

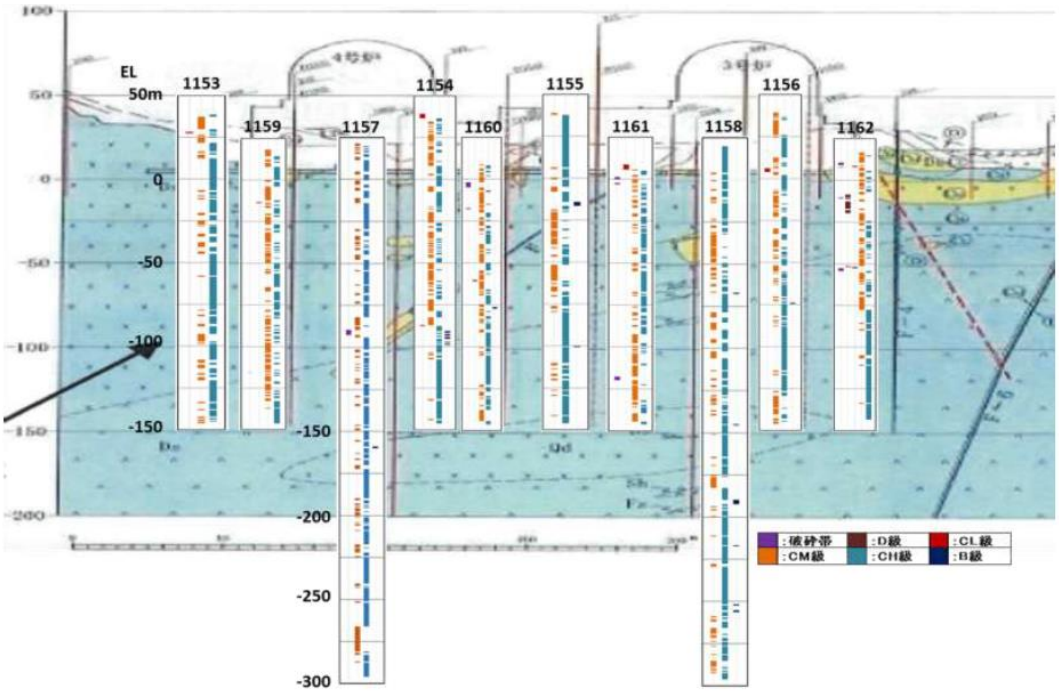
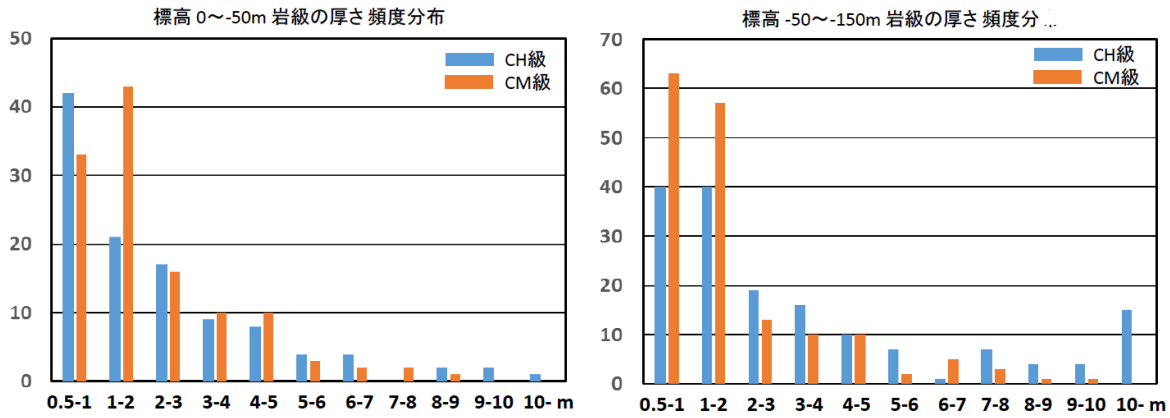


図 1．地質柱状図記載の岩級区分．橙色：CM 級、青色：CH 級．
関電の地質断面図に深さを一致させて重ね描きしてある．
関電の地質図は殆どが薄青色の CH 級と表示されている．

1.1 基準の厚さを超える岩級区間の頻度

図 2 は、CM 級と CH 級の区間の厚さの頻度分布、および基準値以上と未満による集計である。頻度分布では、CM 級、CH 級とも、薄いほど頻度が多い。集計表に示すように、標高 0～ -50m（左図）では、基準の 3m 以上の度数の合計は、CM 級は 28、CH 級は 30 であり、両者に殆ど差は無い。標高 -50～ -150m（右図）では、基準の 5m 以上の度数合計は CM 級は 12、CH 級は 38 である。CM 級は少ないが、それでも 24%を占めている（ 12÷(12＋38) ）。



標高	0 ～ -50m		-50m ～ -150m	
基準	3m以上	3m未満	5m以上	5m未満
CM級	28	92	12	153
CH級	30	81	38	125

図 2. CM 級と CH 級の厚さ別頻度分布および基準値を境とした度数の集計.

さらに、次頁の図 3 は、基準で区分した岩級の厚さの総計を百分率で示したグラフである。標高 0～-50m では、厚さの 3m 基準を充たしている岩級は、CH 級が全体の 31.9%、CM 級は 25.4%である。すなわち、3m 基準を充たす CH 級と CM 級の岩盤のうち、約 56%が CH 級であり、約 44%は CM 級である。確かに CH 級は過半数であるが、これを以て支配的とするのは科学的な判断ではない。3m 基準を充たさない岩盤を含めると、CM 級は 49.4%である。

標高-50～-150m では、5m 基準を充たすのは、CH 級は 43.7%、CM 級は 8.6%と確かに深部で CH 級が増加している。しかし、5m 基準を充たす岩盤のうち 16%は CM 級である(8.6 / (8.6+43.7))。また、基準を充たさない岩盤を含めると、CM 級は 32.3%である(8.6% +23.7 %)。

このように、関電の主張する厚さ基準によっては、標高 0～ -50m では CM 級と CH 級の出現頻度においても厚さの合計においても差異はなく、また、標高 -50～-150m では、CM 級が度数で 1/4、厚さで 1/3 を占めている。このように基準の厚さを越えるか否かの区別では CH 級が支配的ということにはならない。

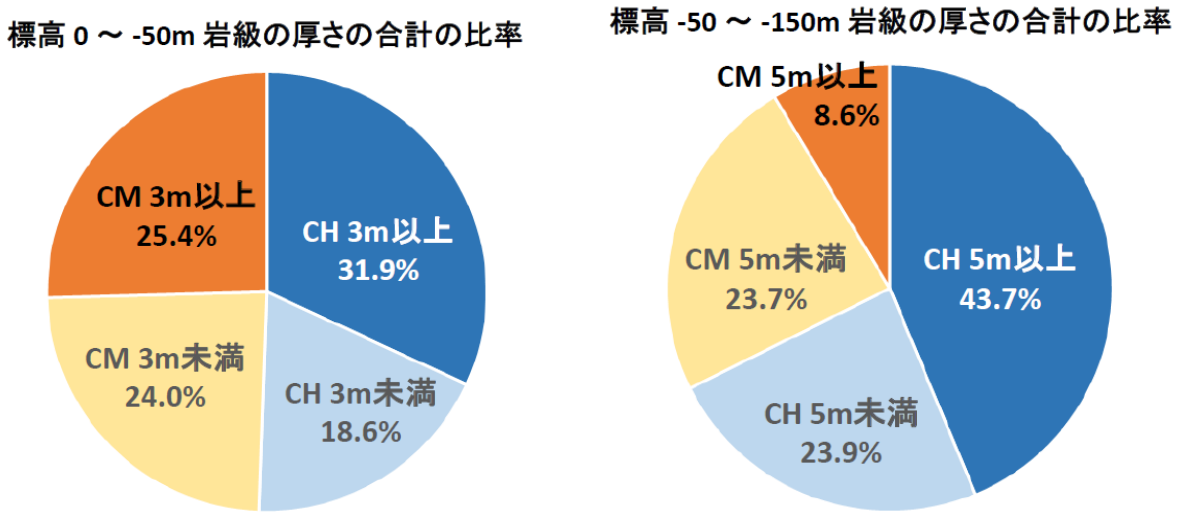


図 3. 厚さの基準値を越える岩級の占める比率.

1.2 基準区間内の岩級分布

関電の「・・・m 程度を基準として，その中で支配的な岩級区分を基に」[準備書面(28)、9 頁]という文言を基準区間内で分布割合の多い岩級をその区間の岩級としたものと解釈して、岩級分布を集計する。具体的には、標高 0～-50m では、3m 区間の CM 級と CH 級の厚さ合計の分布比率を求め、半分以上を占める岩級をその区間の岩級とする。そして、基準の 3m 区間を 1m 刻みに移動させる。標高 -50～-150m では、5m 区間、標高 -150～-300m では、10m 区間により「支配的」な岩級を、同様に 1m 刻みに移動させて調べる。すなわち、基準区間選挙区から単一の岩級を選ぶ小選挙区制である。次頁の図 4 に、原本の柱状図の岩級分布（彩色表示）と基準区間の CM 級と CH 級の比率の分布とを並べて示す。支配的岩級分布のグラフでは、左端が CM 級 100%、右端が CH 級 100%、中央で各々50%であり、過半数の側が当該区間の岩級となる（小選挙区における獲得票の率の分布に相当）。

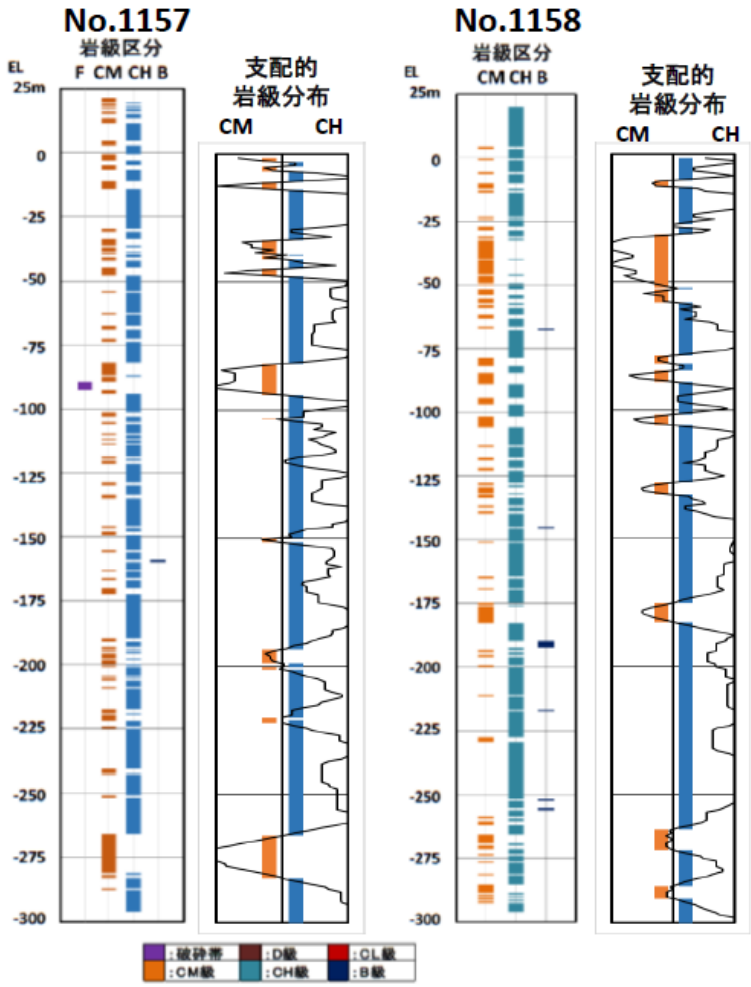


図 4. 柱状図記載の岩級分布と支配的岩級分布の比較.
支配的岩級分布は、左端が CM 級 100%、右端が CH 級 100%、中央で各々50%.

次頁の図 5 に、全てのボーリング孔（Nos.1153～1162）の標高 0～ -150m の支配的岩級分布を示す。CM 級が数十 m の幅で広がっていることが明瞭に示されている。CM 級の広がる深さはボーリング孔によって異なる。

次々頁の表 1 に基準区間内の CM 級の分布割合の平均値を示す。すなわち、図 4 の支配的岩級分布の橙色の占める割合である。3m を基準とする標高 0～ -50m では、CM 級は 22.2～76.0%、平均すると 50.4%、5m を基準とする標高 -50～ -150m では、16.3～51.5%で平均は 29.2%、また 10m を基準とする -150～ -300m では平均 17.6%が CM 級である。1.1 で述べた基準厚さを超える岩級分布と同様、支配的岩級の分布割合も場所による差異は大きい。次々頁の図 6 に 10 本のボーリング孔における岩級分布の平均の比率を円グラフに示した。標高-50m の深さまでは「支配的」岩級は CM 級である。また標高 -50～ -150m ではおよそ 3 割の基準区間で CM 級が支配的岩級となっている。基準区間内の比率の大きい岩級という区分では CH 級が支配的とは言えない。関電はどのような基準で CH 級を支配的とする地質図を作成したのであろうか。

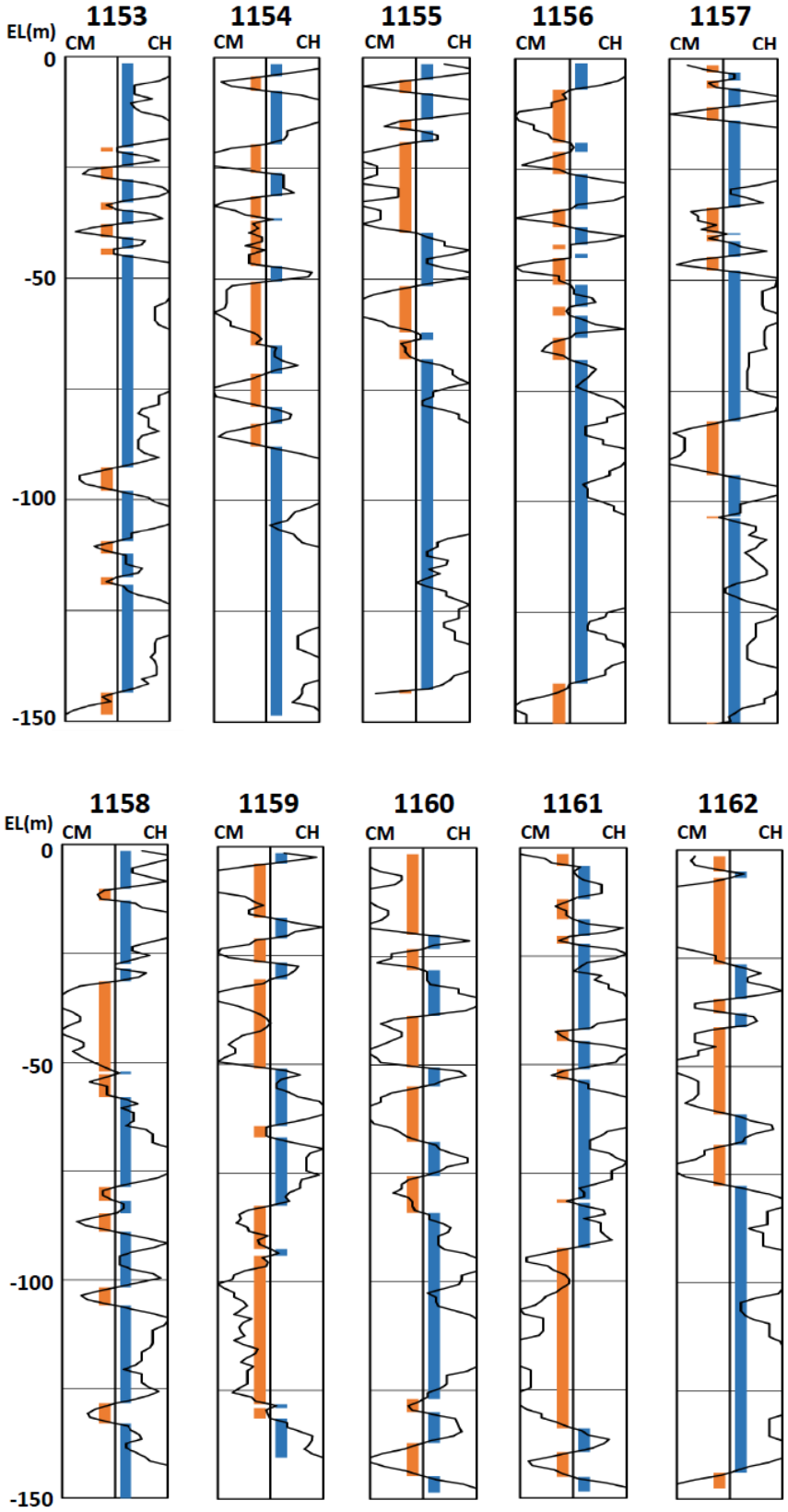


図 5. 支配的岩級分布.
岩級分布が 50%の中央より左側であれば当該基準区間は CM 級、右側で CH 級.

表 1　基準区間内の CM 級の分布割合の平均値

No	0 ～ −50m (%)	−50 ～ −150m (%)	−150 ～ −300m (%)
1153	22.2	16.7	
1154	46.2	28.6	
1155	52.9	18.8	
1156	50.0	23.8	
1157	35.2	16.3	19.1
1158	46.2	26.2	16.0
1159	72.2	51.5	
1160	76.0	34.6	
1161	30.4	51.0	
1162	73.0	24.2	
平均	50.4	29.2	17.6

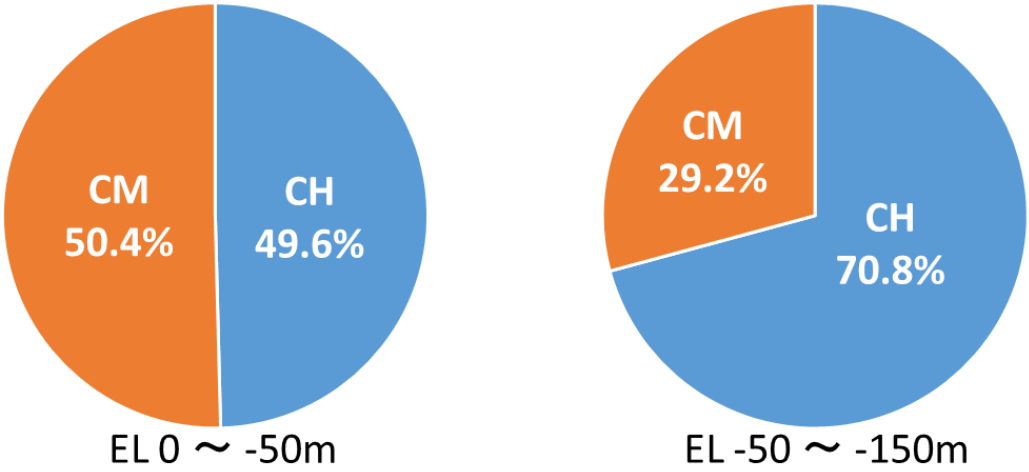


図 6.　基準区間で CM 級と CH 級が支配的となる比率.

2.　地震波速度と CM 級と CH 級の分布割合の関係

2.1 原子炉建屋基礎における速度と岩級分布の関係

筆者は、関電が実施した試掘坑坑間弾性波探査について既に「大飯発電所基準地震動策定における問題点－地盤構造モデルについて－(2018.1.14、甲第 244 号証)」[1]の中の「3. 試掘坑弾性波探査、3.3 坑間平均速度の場所による違い」と「8. 速度構造と地質構造（破砕帯）の関係」で詳述した。ここでは断層破砕帯とシーム（亀裂）によって CM 級が増加し、弾性波速度が低下していることを改めて示す。

試掘坑坑間弾性波探査の結果について「**P 波速度は 3.0km/s～5.2km/s で平均値 4.3km/s、変動係数 7.0%である**」と記されている[3、6-3-128 頁]。下の図 7 は発破点と地震計を結ぶ波線を、その速度値で彩色表示したものであり、発破点と地震計間の P 波の区間平均速度を表す[1、図 8]。図 8 に関電が調査した原子炉建屋基礎の断層破砕帯とシームのスケッチを引用した[4、27 頁]。図 7 と図 8 を見比べると、4 号炉から 3 号炉に向けて速度が大幅に低下し、速度の低下はシームの分布に調和していることが明瞭である。

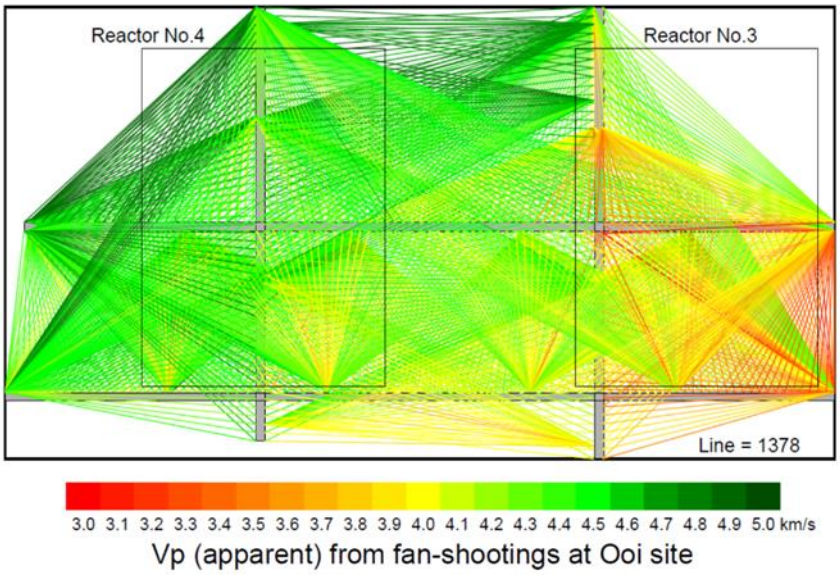


図 7. 試掘坑坑間弾性波探査の速度値による波線の彩色表示.

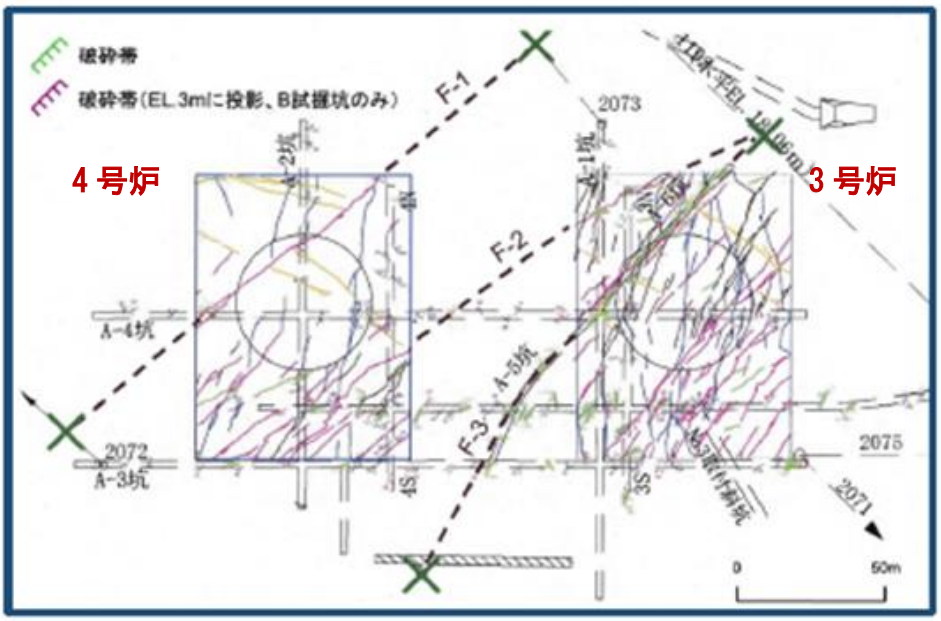


図 8. 原子炉建屋基礎岩盤の断層破砕帯とシームの分布.

次の図 9 は、試掘坑坑間弾性波探査のトモグラフィー解析の結果である[5]。調査対象域を 22×16 のブロックに分け、ブロックを通過する波線の速度の逆解析によってブロックの速度を求め、コンター図で示してある。赤～黄色で表示された速度の低下域は、F-1～F-4、f-1～f-5 の断層破砕帯に関係していること、4 号炉基礎よりも 3 号炉基礎で速度が遅いことが分る。建屋基礎内のブロックの速度の平均値は、

3 号炉：(4.05 ±0.64) km/s、　4 号炉： (4.43 ± 0.49)km/s である。

関電は、原子炉建屋基礎における岩級分布を炉心別に報告している。図 10 にその表を引用する[3、6-3-182 頁、第 3.5.14 表]。CM 級の分布割合は 4 号炉で 22.0%、3 号炉で 56.1%である。3 号炉基礎では CM 級が支配的であり、速度が顕著に低下する。

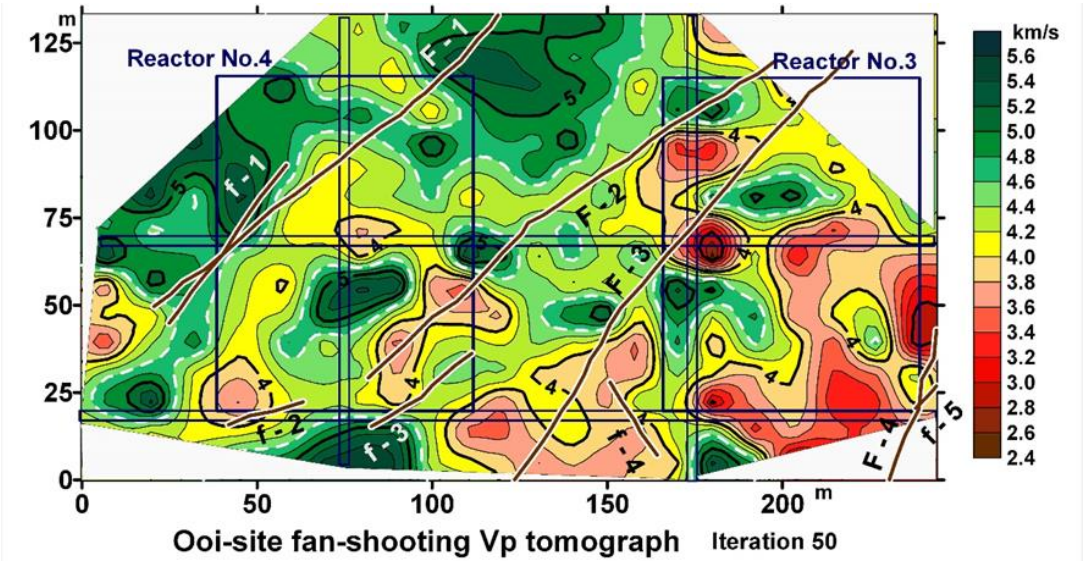


図 9. ファン・シューティングのトモグラフィ解析結果.

第 3.5.14表　岩盤物性の場所的変化に関する調査結果

（%）

	岩盤分類 / 岩種	〔CH〕	〔CM〕	計
3 号炉	細粒石英閃緑岩	38.9	51.7	90.6
	輝緑岩	5.0	4.4	9.4
	計	43.9	56.1	100
4 号炉	細粒石英閃緑岩	77.7	22.0	99.7
	輝緑岩	0.3	0	0.3
	計	78.0	22.0	100

図 10. 3・4 号炉建屋基礎岩盤の岩級分布の比率.

図 11 に原子炉建屋基礎の CM 級の割合と速度との関係を示す。速度は平均値と± 標準偏差を示した。仮に CM 級の割合と速度とに直線的な関係があるとすると、平均値は Vp (km/s) = －1.11 ×[CM 級の割合] + 4.67 である。この関係では、原子炉建屋基礎の岩盤の P 波速度が関電地盤モデルの採用している 4.6km/s であるためには、CM 級は全体の約 6%以下でなければならない。しかし標高 0～ -50m で 50.4%、-50～ -150m で 29.2%である。

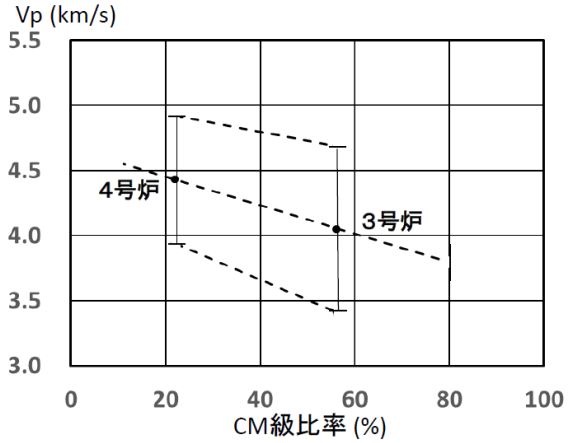


図 11. 原子炉建屋基礎における CM 級の分布割合と弾性波速度の関係.

2.2 深さ方向の岩級分布の変化による速度への影響

筆者は、深さ方向に 25m 刻みで 10 本のボーリング孔の RQD の平均値を求め、RQD と P 波速度の関係式から深部に低速度層のあることを示唆した[2、9 頁、図 16]。ここでは、標高 0～ -50m 区間と -50～ -150m 区間に分けて、岩級分布の違いをボーリング孔ごとに検討する。

次頁の図 12 にボーリング孔ごとの岩級の総厚さの比率を示す。No.1157 孔は 4 号炉位置に、No.1158 孔は 3 号炉位置にある。No.1153～No.1156 の 4 本は建屋の北西側に、No.1159～No.1162 の 4 本は南東側に、直線状に平行して掘削されている（図 12-3)。図の円グラフで示されるように、ボーリング孔の位置により、岩級分布が大きく異なっている。CM 級の分布割合は、標高 0～ -50m では、建屋の西隅付近の No.1153 で 26.2%、東隅付近の No.1162 で 71.5%と違いは大きい。また標高 -50～ -150m では、同じく No.1153 で 20.6%、建屋東側の No.1161 で半分以上の 52.8%である。

図の右側の横棒グラフは、建屋北西側の 4 本、原子炉直下の 2 本、建屋南東側の 4 本の平均の比率である。CM 級の分布割合は、建屋の北西側、炉心位置から南東側に向けて、標高 0～ -50m では 42.4%、40.5%、58.8%、また標高 -50～ -150m では 26.1%、28.3%、41.3%である。平均区間を 50m 区間、100m 区間と大きくしても、北西側から南東側への岩級の低下が顕著である。仮に、図 11 で示したように CM 級の分布と速度とに直線的な関係があるとするなら、10 本のボーリング孔の平均値（表 1、図 6）から、標高 0～ -50m 区間で 4.1km/s（CM 級：50.4%)、-50～ -150m では 4.3km/s（CM 級：29.2%）である。岩級分布のデータでは、標高-150m の深部においても 4.6km/s とはならない。

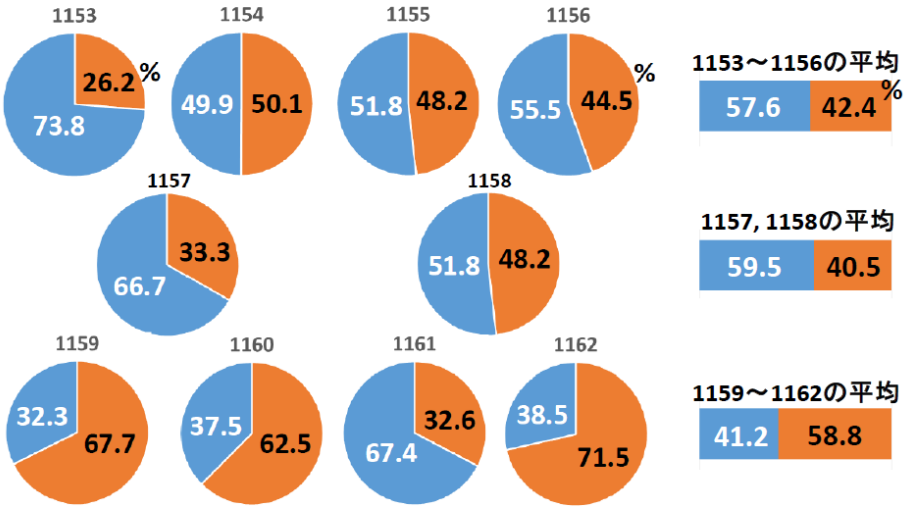


図 12-1. 標高 0 ～ -50m における岩級分布（岩級ごとの厚さの合計の比率）.

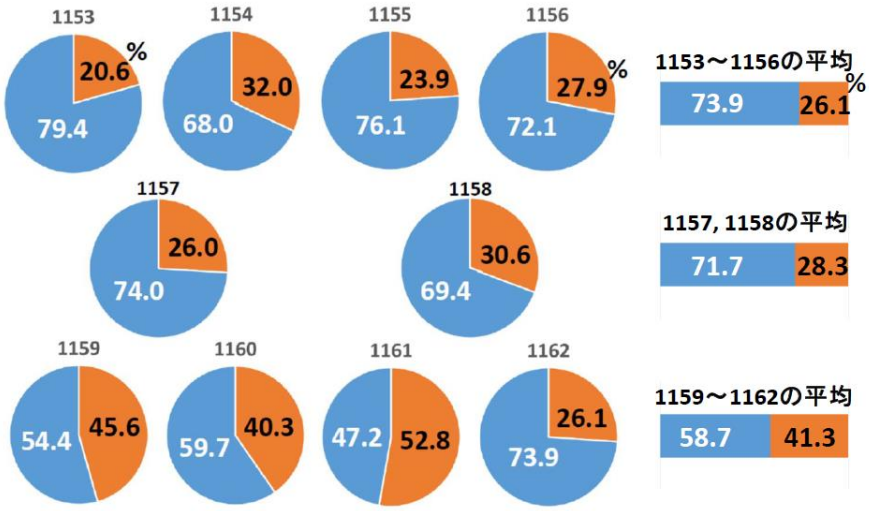


図 12-2. 標高 -50 ～ -150m における岩級分布（岩級ごとの厚さの合計の比率）.

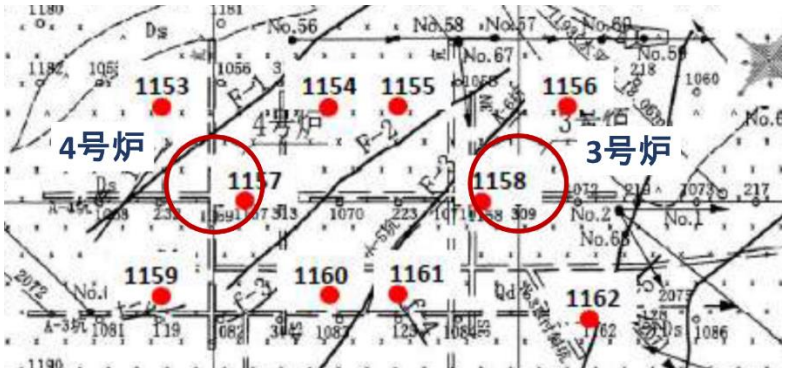


図 12-3. 炉心とボーリング孔の位置.

3. CM 級岩盤と CH 級岩盤における最大コア長について

関電は、最大コア長の分布の平均値と標準偏差について、理解し難い文言を記している。長くなるがその部分を下記に引用する。「**原告らは，コア長さの平均値のみをもって，「ＣＭ級が広く分布しているとの分析結果と整合している」と主張しているが，平均値はあくまでも複数のデータの合計をデータ数で割って得られた数値に過ぎず，平均値に該当する数値のデータが多数存在することを意味するものではない。原告らが引用している最大コア平均値の表には，平均値に加えて標準偏差も記載されているが，これも標準偏差の範囲内に一定数のデータが存在することを示すのみであって，10 cm 前後の長さのデータが多数存在することを意味するものではない。原告らの上記主張は，平均値及び標準偏差の数値の意味合いを誤って解釈したものと言わざるを得ない**」（準備書面(28) 15～16 頁）。これへの反論は多言を要しない。図 13 に示す岩級別最大コア長の頻度分布[註 1]をみれば分ることである。標高 0～-150m における最大コア長の分布は、CM 級は (8.4±4.8) cm、CH 級は(15.8±6.4)cm である。図中の曲線はそれぞれの正規分布[註 2]を示す。CM 級と CH 級の分布の違いは歴然としている。なお、長さ 10cm のコア長が突出して多いのは、RQD の評価が 10cm 以上のコア長に依るため、10cm 未満を切り上げて読む傾向にあることを示している。

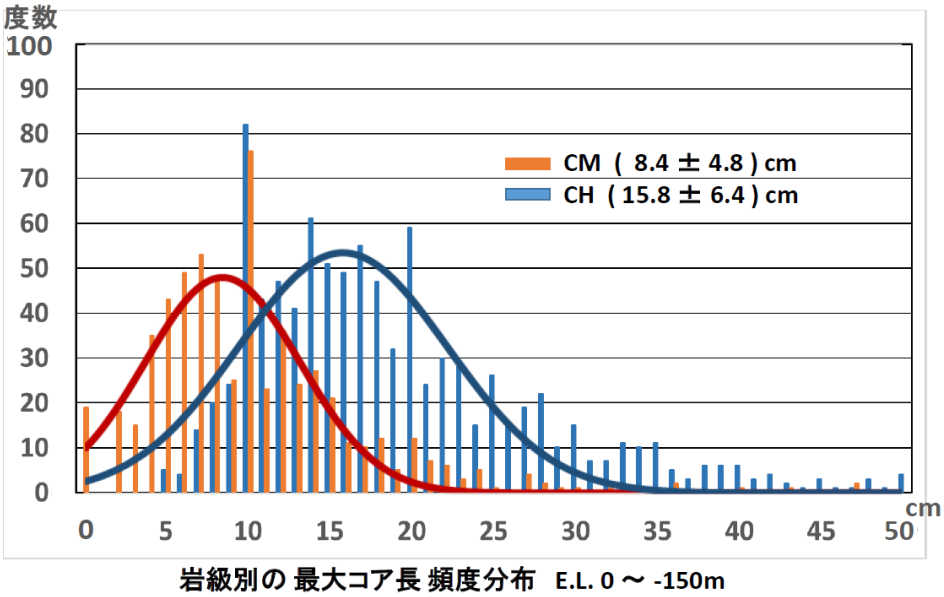


図 13. CM 級および CH 級の最大コア長の頻度分布.

4. 速度の恣意的な設定について

4.1 解放基盤のＰ波速度を 4.6km/s としたこと

関電は、解放基盤のＰ波速度を 4.6km/s としたことについて「**本件発電所敷地におけるＰＳ検層結果をもとにして得られた関係式を用いて，Ｓ波速度 2.2 km/s を基準にＰ波速度を 4.6 km/s と設定したのである**（準備書面(28)、20 頁）」と説明している。審査会合における資料、議事録、設置許可申請書には、これに相当する関係式は見当たらない。S 波から P 波速度を求める関係式は、単点微動観測の解析において

> **①2層地盤の仮定**
> 第1層のVs･Vpは、敷地内の各ボーリング孔のPS検層結果から、表層の埋土部分の平均値を用いる。（Vs=472m/s、Vp=1124m/s）
> 第2層のVsは2200m/sとする。
> 密度ρと第2層のVpは、以下の経験式により算定する。
> Vp=1.29+1.11Vs
> ρ =1.2475+0.399Vp-0.026Vp^2

が明示されているのみである[6、6 頁]。この式を使うと Vs = 2.2km/s では Vp= 3.7km/s である。地盤モデルの第 1 層の速度が、調査結果を無視した恣意的なものであることを、再三指摘してきたが、Vp = 4.6km/s の根拠である関係式の出所は不明である。

4.2 断層破砕帯とシームの地盤震動特性への影響を考慮していないこと

標記について、関電は「**本件発電所敷地において被告が実施した各種調査結果には，当然，敷地地下に存在している亀裂，節理及び破砕帯等の存在による影響が含まれており，被告は亀裂，節理及び破砕帯等の影響が含まれた調査結果を踏まえて地下構造モデルを策定している**（準備書面(28)、23 頁）」と、論点をすり替えて主張している。関電は、試掘坑坑間弾性波探査のデータは、解析をすれば破砕帯とシームの影響が明瞭に出るので、生データを示すだけである。そして、図 7 と図 9 に示した解析結果については、次の 4.3 節で指摘する論点ずらしをするのみで、真っ当な反論はない。

規制委員会の審査会合は大飯 3、4 号機について、第 1 回（2013.7.16）の「審査に係る申請の概要」から第 332 回（2016.2.19）の「地震動評価のまとめ」まで、33 回開催されている。その内、地下構造に関する審議は次頁の表 2 に示す 13 回である。これら審査会合の議事録と配布資料には、断層破砕帯と地盤震動特性とを関連づけた記載は全く無い。F-6 断層破砕帯については、活断層と判定するか否かについて現地調査を含めた審議がなされ、マスコミでも報道されて世間の耳目を集めたのとは対照的である。

表 2. 大飯 3、4 号炉の新規制基準適合性に関する審査会合の審議内容
（地下構造関係）

No	回	年.月.日	審　議　内　容
1	1	2013.7.16	新規制基準適合性審査に係る申請の概要
2	2	2013.7.23	基準地震動評価のための論点整理、 FO-A～B～熊川断層の3連動、地下構造の3次元把握
3	21	2013.9.18	地下構造の把握について 既存資料説明、追加調査計画、単点微動観測 H/V スペクトル
4	41	2013.11.1	FO-A～FO-B断層と熊川断層の連続性、地下構造評価、 単点微動観測、地震波干渉法、反射法地震探査
5	59	2013.12.18	FO-A～FO-B断層と熊川断層の連動性、地下構造評価、 単点微動観測、地震波干渉法、反射法地震探査
6	74	2014.1.29	地震動評価にコメント回答、破壊伝播速度の不確かさ 地下構造評価、反射法地震探査屈折法解析、地震波干渉法
7	78	2014.2.5	敷地内破砕帯の評価について、連続性・活動性の議論
8	89	2014.3.5	地盤モデルの評価方針、資料反復説明：旧来現行モデル採用 微動アレイ観測によるインバージョンモデルの提示 地震発生層の評価：深さを4～18kmと提示
9	107	2014.4.23	地下構造評価コメント回答（地震波干渉法、断層上端深さ）
10	111	2014.5.9	地震動評価、3連動を考慮、断層上端深さを3kmとする 地下構造評価、地盤モデルの変更 変更した地盤モデルと断層モデルによる基準地震動の提示
11	113	2014.5.16	地下構造評価コメント回答（構造モデル、地震波干渉法） 地震動評価コメント回答（断層モデル、不確かさについて）
12	206	2015.3.13	地盤、地震動、津波、基礎地盤・周辺斜面の安定性 火山影響について、評価のまとめ、地震観測取組状況説明
13	332	2016.2.19	地震動評価（地質・地質構造、地震動）、津波評価 まとめ（第206回以降の変更点）

4.3 屈折法解析における地表面から深さ 50m での速度

屈折法解析の結果について、関電は「被告は，屈折法解析の結果を評価する際に，原告らが指摘している 800m 付近のみに着目しているわけではなく，測線全体に着目し，全体として表層 50m 程度で弾性波速度 4 km/s 以上となると評価したのである。原告らは，屈折法解析の速度断面図の 800m 付近の表層から 50m 程度の深さの速度が 4.5 km/s ではないことを殊更に強調するが，これは盛土や沖積層の上の本件発電所構内の道路等の軟らかい地盤で測定したことによる影響であると考えられ，それ以外

の部分では約 4 km/s 以上の堅硬な地盤（青色の地盤）が広がっているのであるから，被告は，何ら事実と反する評価をしているわけではない（準備書面(28)、26 頁）」と記している。しかし、測線の 600～800m 付近は最も 3、4 号炉に近接しており、しかも低速度層が深く沈降している区間であるから、最も注意深く検討すべきである。さらに、測線全体に着目して、表層から 50m 程度では約 4km/s 以上の堅硬な地盤（青色の地盤）が広がっているのでは、標高 0m で 4.6km/s が広がっていることにはならない。なお、屈折法地震探査結果の速度のスケールは、下の図 14 に示すように、青色は約 3.6～4.0km/s であり、探査結果の図はこのスケールを越える 4.0km/s より大きい速度を示してはいない（図 16 参照）。

図 14. 屈折法地震探査の速度スケール [8、16 頁].

また、「**盛土や沖積層の上の本件発電所構内の道路等の軟らかい地盤で測定したことによる影響**（同、26 頁）」としているが、屈折法解析の「はぎとり法」は、速度の小さい表層をはぎとり（これにより、場所によって変化する表層の厚さを推定することが出来る）、下層の速度を求める解析法であるから、軟らかい地盤の影響が出たとするのは解析が誤っていたことを自認することになる。都合の悪い結果は解析処理の不備として葬ろうしており、深部での低速度層を示唆する RQD の低下をコア採取時の作業の影響に押しつける(準備書面(28)、12 頁)のと同根の非科学的な言い方である。

さらに、新たに実施されたオフセット VSP 探査のトモグラフィー解析の結果、当該区域では幅 100m 以上にわたって基盤が 50m 近くも沈降し、最深部では 4.6km/s の速度層は標高-80m の深さでしか観測されていない。VSP 探査の結果であるから、軟らかい地盤の影響とすることはできない。これについては、後述の 5.（18 頁）および 6.（19 頁）でも指摘するが、関電は不都合な観測事実には言及しょうとしない。

4.4 試掘坑坑間弾性波探査の結果について

試掘坑坑間弾性波探査の結果について、関電は「**原告らが問題視している試掘坑弾性波探査の結果は，Ｐ波速度 3.0～5.2 km/s，平均値 4.3 km/s なのであるから，従前より主張している細部における一定程度の速度の違いが生じることは避けられないものであることを踏まえると，上記設定と概ね合致している**（準備書面(28)、27 頁）」と記している。試掘坑弾性波探査について設置許可申請書には「**P 波速度は 3.0km/s～5.2km/s で平均値 4.3km/s、変動係数 7.0%である**[3、6-3-128 頁]」と記してある。

次頁の図 15 は平均値 4.3、変動係数 7%（標準偏差は 0.3=4.3×7%）の正規分布である。破線で示した 4.6 は平均値＋1σ（標準偏差）の位置にある。観測データの扱いでは、データにばらつきがあれば平均値を使い、バラツキは誤差としてその標準偏差などを吟味する。平均値から 1 標準偏差も隔たった 4.6km/s では恣意的な設定としか言いようがない。

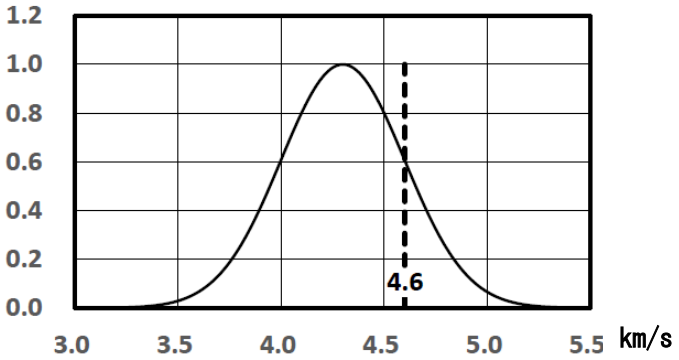


図 15. 平均値 4.3km/s、標準偏差 0.3km/s（変動率 7%）の正規分布。破線は 4.6km/s.

4.5 PS 検層結果の信頼性

準備書面(28)の 27～28 頁には PS 検層について現在のデジタル観測技術を前提にした誤った見解を展開している。建設当時、PS 検層においてフローティング方式は実用化されておらず、またダウンホール法はアナログ記録方式であった。3、4 号炉直下の 1157 孔および 1158 孔の PS 検層は、原発施設建設前に地山地表面で実施されたダウンホール法による。当時、波形は電磁オッシログラフという記録器により印画紙に記録するもので、現在一般的に行われるスタッキングなど S/N 比（信号とノイズの振幅比）向上の技術はない。「澤田義博氏の意見書について」の註 1 [7]に説明したが、特に板叩きによる S 波速度は非常に煩雑な実験手続きを経て解析の基礎資料である走時曲線を得る。P 波、S 波とも走時曲線が明示されておらず、地震発生層に相当する異常に高い速度値を出すなど、信頼性に欠ける。1157 孔および 1158 孔の PS 検層結果の信頼性に欠けることについては「澤田義博氏の意見書について」[7]の 2～4 頁に詳述した。

4.6 単点微動観測では S 波速度 2.2km/s の硬質な岩盤の分布状況は把握できない

単点微動観測について、準備書面(28)では 29～30 頁に従来の主張を、表現を変えて、繰り返している。次の 2 点を指摘する。

(1) 問題のすり替えと解析における仮定の無視

長くなるが、基盤という曖昧な表現で問題をすり替えた部分を引用する：

「**単点微動観測から基盤の上面深度を推定する際には，浅部地盤を表層と基盤の２層のみと仮定して表層地盤の層厚を求めるが，この層厚は各層に設定された弾性波速度等によって変動する。そのため，推定された基盤の上面深度の絶対値の信頼性に限界はあるものの，単点微動観測によれば，各地点の基盤の上面深度を相対的に把握でき，本件発電所敷地における基盤の上面深度の全体的傾向を把握するためには有効かつ合理的な手法である**（29 頁）」と基盤の上面深度を述べている。そして次頁では「**このような単点微動観測の特徴を踏まえ，被告準備書面(17) 11～12 頁で述べたとおり，被告は，本件発電所敷地全体におけるＳ波速度約 2.2 km/s の硬質な岩盤の分布状況を把握することを目的として，単点微動観測を実施したのである**（30 頁）」と、２層に分けた下層が S 波速度 2.2km/s の硬質な岩盤にすり替わってしまう。表層と基盤の

速度を一定として仮定した解析で、観測点での速度が仮定した値である保証は何もない。各観測点での表層の速度が既知の場合にその層厚が求まるのであって、しかも基盤の速度は 1.6km/s であっても 2.2km/s であっても層厚は殆ど変わらない。これについては既に詳しく計算例を示して証してある[1、10 頁]。

(2) 不都合な解析結果の無視

単点微動観測結果と屈折法地震探査結果とが違っていることについて「**このような調査目的や調査手法の違いを踏まえれば明らかなとおり，単点微動観測により把握できた速度境界面の深度と屈折法解析により把握できた速度グラデーションの境界面が完全に一致することを求めるのは，不合理である。被告は調査目的や調査手法の違いも踏まえた上で，概ね整合しているとの評価をしているのであり，原告らは，一致しなくて当然のものに対して，一致していないなどと批判しているに過ぎない**（準備書面(28)、30 頁）」と開き直っている。図 16 に解析結果を引用する[8、図 16]。

A 測線上の微動観測 11 点についてみると、400m 辺りの 1 点を除いて他の 10 点は全て、微動観測の青色層（Vp=3.7km/s、Vs=2.2km/s）上面は地震探査の黄色から黄緑色に変わる層（Vp=1.7～2.2km/s）に位置し、両探査結果による青色層相互の食い違いは 20m 以上である。特に赤枠で囲んだ 4 点は、青色層の深さの差は 35m に達している。すなわち、単点微動観測は、屈折法解析結果の Vp=1.7～2.2km/s の速度層を基盤と判定している。前述の関電の関係式（Vp=1.29+1.11Vs、12 頁）によれば、Vp=1.7～2.2km/s は S 波速度 0.37～0.82km/s に対応する。Vs=2.2km/s の基盤層の

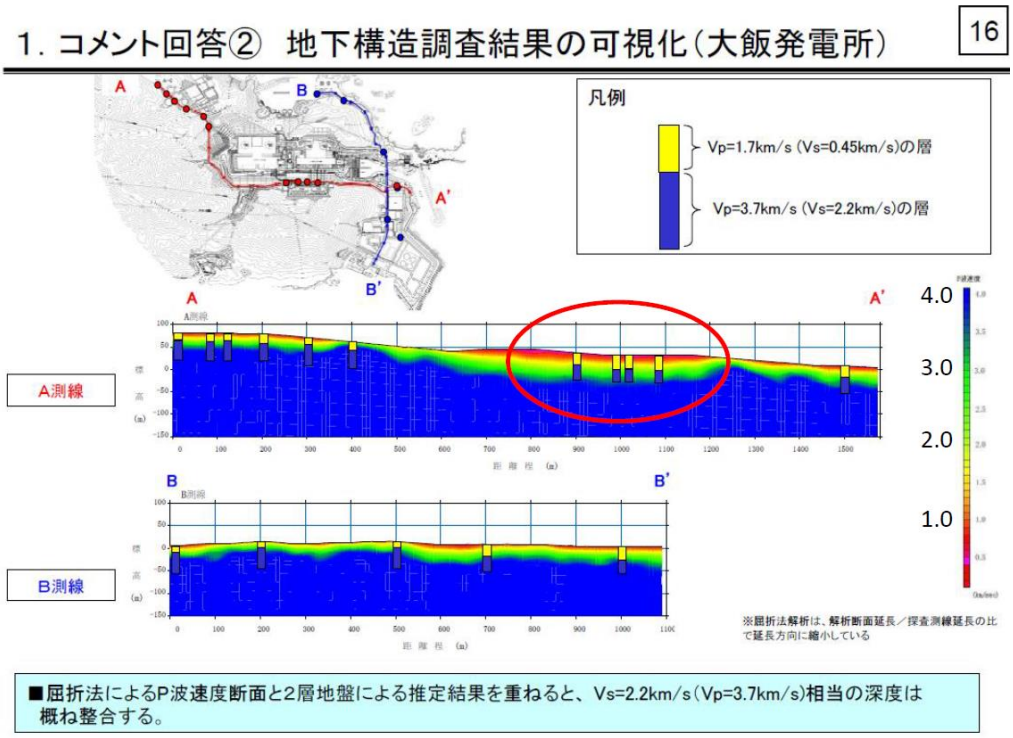


図 16. 単点微動観測と屈折法地震探査による基盤の深さの違い.

分布を目的として Vs=0.37～0.82km/s を探索し、概ね整合していると評価するのであろうか。35m に達する深さの差は、測定方法が異なるからとするには、違いがあまりにも大きすぎる。これまで再三指摘したが、このような齟齬を来たした原因は、関電自ら認めている単点微動解析の前提条件「**この層厚は各層に設定された弾性波速度等によって変動する**（準備書面(28)、29 頁）」ことを無視していることによる。

なお、微動観測では基盤層の標高は観測点の標高から表層の厚さを減じて求められている。地震計の位置を基準とすることについては、後述の 7 章で議論する。

5. 反射法地震探査結果について

反射法地震探査の専門家である田村八洲夫と芦田譲の両氏が断層の存在を指摘したことに対して、反射断面と屈折法解析の結果（準備書面(28)、32 頁、図表 5）を示し「**表層から 50m 程度までの部分には若干の速度低下が見られるが，これは，被告準備書面（17）23～24 頁で述べたとおり，本件発電所構内の盛土や沖積層の上の道路等で調査したデータを用いており，その解析結果は表層の柔らかい地盤の存在を反映していることによる。また，屈折法解析では標高-150m 以深の速度構造を確認できていないものの，その深度までの反射法地震探査結果による反射面と屈折法解析結果から読み取れる速度構造には特段対応関係は見られないことから，標高-150m 以深においても同様と評価できる**（同、32 頁）」と記して、断層の存在を否定しようとしている。反射記録のデータ処理では、速度解析によって速度の擾乱の影響を取り除く。解析結果の深部に表層の影響が残るのであれば、解析処理が不適切であるからである。そして関電は、またもや縦横比の異なる図面を並べて「**特段対応関係は見られない**」として、断層を示唆する深部にまで伸びる回折波を無視しようとしている。図 17 に準備書面(28)の図表 5 を引用する（一部加筆）。反射断面には、関電が回折波を黄色丸囲みで示している。丸囲みは-500m 辺りまでであるが、回折波は赤丸囲みで示すように-800m 付近にまで伸びている。この図の標高-150m 位置に赤線を加えた。屈折法解析の結果はこの深さより浅い。屈折法解析の図を反射断面と同じ縦横比で示す。このような浅部の屈折法解析によって深部を探索する反射法解析結果を否定することは不可能である。

さらに、次頁の 6.で指摘するように、新たに実施された反射法地震探査では発振記録に明瞭な回折波と反射屈折波が記録され、断層の存在を明瞭に示している[9]。その記録を示すだけで、構造を議論しないのは事実の隠蔽に与する所作である。

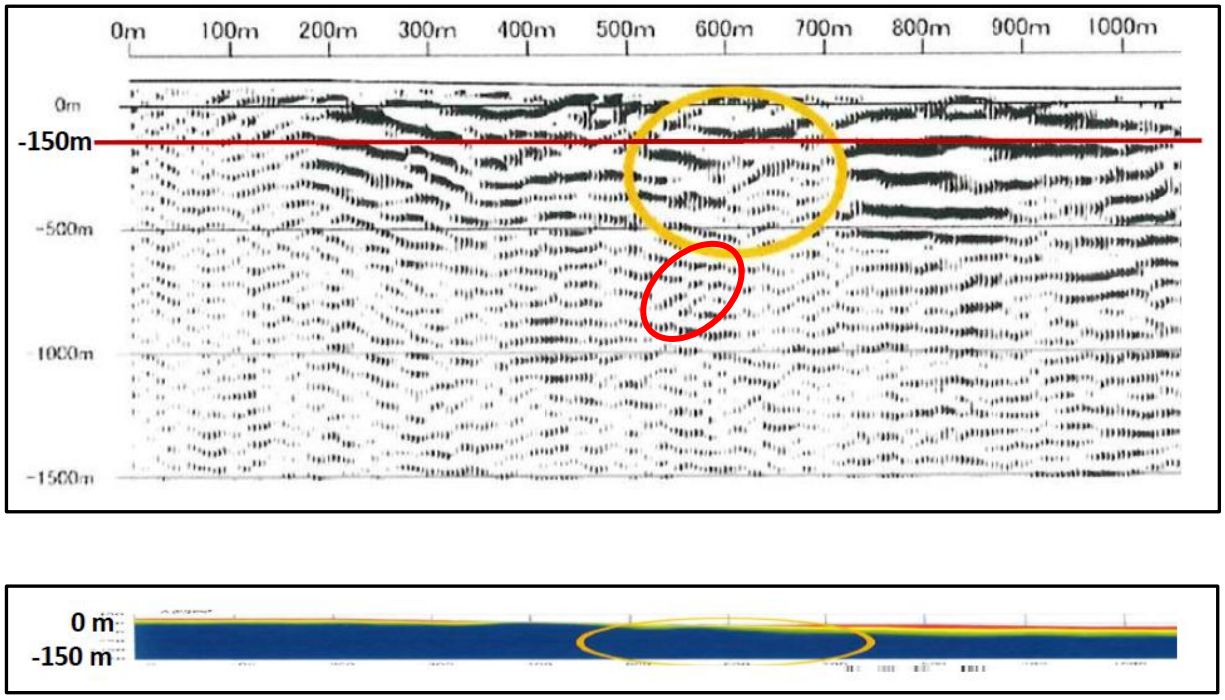


図 17．反射断面に現れた回折波（上図）．
反射断面と同じ縦横比で表した屈折法解析結果（下図）．

6. 新たな反射法地震探査および VSP トモグラフィーの結果について

関電は、新たに実施した反射法地震探査 C 測線の結果と VSP トモグラフィーの図を示して「**当該部分に地震波の伝播や増幅等に顕著な影響を与えるような特異な構造が認められないことがより鮮明になったと評価できる**（(28)、33 頁）」と主張している。しかし C 測線は、A 測線で指摘された断層回折波を充分カバーできる測線長ではなく、また C 測線の発振記録には断層に由来する回折波と典型的な反射屈折波が明瞭に現れている。関電はこのことに一切触れていない。田村氏は関電の「大飯発電所弾性波トモグラフィー解析および反射法地震探査の結果について（丙第 347 号証）」に、専門家として詳細な検証を行い、地誌的な観点をも加えて地盤構造の不均質性を論述する意見書 [9]を提示している。

また、関電は「**例えば下に凸の形状のように地震波を特定の場所に集中させるような構造が存在するかどうかである。そして，そのような特異な構造が存在しないことは，被告が実施した様々な調査結果から明らかになっていることを再度指摘しておく**（(28)、8 頁）」と、随所にいわゆるレンズ効果による波線集中を起こす構造はないと主張しているが、弾性波トモグラフィー解析結果はまさに波線集中を起こす構造であることを明らかにした。これについては、「大飯発電所の敷地地下構造の不整形性について－関西電力の準備書面(27)の内容に関連して－」[10]に詳述したので参照されたい。

7. 位相速度の逆解析における問題

これまで指摘してきた問題点 [1]、[11]を纏める：

(1) 解を導くための恣意的な条件設定：第 1 層を軟弱な土質地盤（Vp=2.0km/s、Vs=0.5km/s）とし、第 2 層を岩盤層（Vp=4.6km/s、Vs=2.2km/s）とし、第 3 層以下は 0.1km/s または 0.2km/s 刻みに単調増加するとして、各層の速度を与え、厚さのみを求めるという制約条件下で解を求めた。

(2) この結果、第 1 層の厚さは 80m と求まった。第 1 層の表面の高さは、地震計の平均の標高である+43.5m である。標高 0m に設置された原子炉は、厚さ 80m の土質地盤の内部で、第 2 層岩盤から 36.5m 上方に位置することになる。

(3) 第 1 層は土質地盤であるとしてカット、原子炉は岩盤から 36.5m 上空で宙に浮く。このため、第 2 層以下を原子炉が立地する標高まで 36.5m 持ち上げた。

(4) このような操作を必要とする齟齬をきたしたのは、見直しのための物理探査の結果を無視して、岩盤層にいきなり Vp=4.6km/s、Vs=2.2km/s の値を与えたからである。原子炉立地位置から岩盤が始まり、速度が Vs=2.2km/s より小さい値から漸増するモデルによって、観測位相速度を説明することが必要である。

(5) 観測された位相速度には観測誤差による単なるばらつきではなく、系統的なうねりがあり、深部における低速度層の存在を示唆する。しかし、逆解析において速度は単調増加するという制約条件をかけて低速度層が現われないようにした。

関電は、準備書面(28)の38～44頁において、これまでの主張を繰り返し、新たに前記(2)について反論しようとしている。以下に2点について関電の理解不足を指摘する。

(1) 観測される位相速度は、地震計の位置に依存すること

関電は澤田氏の意見書を引用して「**微動アレイ観測により得られた位相速度は，アレイの範囲内全体の平均的な速度構造に対応するものであり，かかる位相速度を目的関数として実施したインバージョン解析により得られた速度構造モデルは，アレイの範囲内全体の平均的な速度と層厚を示しており，同モデルの上面深度は，概ねアレイの範囲内全体にわたる平均的な標高に対応するものである（丙339、10頁）。ここでいうアレイの範囲内全体にわたる平均的な標高とは，設置された地震計の平均標高を指すものではなく，アレイの範囲内の全ての場所の平均的な標高を示しており，同モデルの上面深度は，微動アレイ観測のために設置された各地震計の平均標高はもちろん，本件発電所の原子炉設置位置付近の標高とも直接の関係はない（丙339，10頁）。**」(準備書面(28)、39頁)と述べているが、これは計測地震学の基礎を理解していない。半径約600mのアレイ内の地表面の全ての場所に、均等に密に設置された地震計によって観測された位相速度を逆解析すれば、アレイの範囲内の全ての場所の平均的な標高を示すであろう。しかし、同じ半径600mのアレイであっても、地震計の位置が変われば、同一の位相速度の分散曲線が観測されるわけではない。あくまでも、アレイを横切って伝播する表面波を地震計設置位置で観測しているのである。同じ現象でも観る位置によって異なって見える。地震計の位置（緯度、経度、標高）は計測地震学の基礎である。

さらに、4.6節(2)で述べたように、関電は、単点微動観測において、H/Vスペクトルによって第１層の厚さを求め、地震計の標高から第1層の厚さを減じて第２層岩盤の標高を求めている。同じ波動現象（どちらもレーリー波（表面波の一種）として扱っている）を解析しながら、一方で地震計の標高に無関係と言い、他方で地震計の標高を基準に解析しているのは解せない話しである。

(2)漸増モデルを提示したのは、関電の地盤モデルが恣意的な条件設定による不合理なものであることを示すためであること

原告準備書面(69)で例示した速度の漸増モデル（同、22頁）について、関電はモデルを示した意味を誤解している（準備書面(28)の40～41頁）。漸増モデルを提示したのは、同書面で断わってあるように「単純な（あるいは乱暴な）モデルでも，観測された位相速度をほぼ説明できる」(同、24頁）こと、すなわち、Vp=4.6km/s、Vs=2.2km/sではなく、見直しの調査結果に近い速度を用いると、岩盤層が原子炉建屋の36.5m下方ではなく、建屋付近に求まるということを示すためである。また、関電は、漸増モデルに低速度層がないと記しているが、漸増モデルは解放基盤の速度を吟味する目的のために、関電モデルの第1層と第２層を改変したものであるから、深部の低速度層を示唆する位相速度のゆらぎには対応していない。逆解析において恣意的な条件を設定しなければ、見直しの調査結果に適合する解が得られることを示すものである。

8. 2018 年大阪府北部地震記録によると基準地震動が過小評価であること

筆者は、2018 年大阪府北部地震 M6.1 の観測記録をω^{-2}則によって FO-B～FO-A～熊川断層に想定されている M7.8 の地震にスケールアップして、大飯原発サイトの強震動を予測した。スケールアップは、経験的グリーン関数法による波形合成の方法に従い、断層破壊過程は関電の断層破壊モデルを用いた。予測値は大飯原発の基準地震動を超えており、基準地震動が過小評価であることを示した。過小評価の原因は、(1)基準地震動の評価に用いられた断層破壊モデルでは、断層破壊の不均質性を的確にモデル化できていないこと、(2)基準地震動評価のための地盤モデルを、地盤調査結果を恣意的に解釈して解放基盤の地震波速度を大きくし、また地盤による地震波の減衰は大きいとして、地盤による地震波増幅率を小さく設定しているためであることを論証した[12]。

これに対し、関電は「**経験的グリーン関数法は，発震機構や伝播経路を大地震と共有する中小地震の観測波形をグリーン関数とみなし，これを重ね合わせて大地震の波形を合成する方法をいうため，想定する断層と発震機構や伝播経路を共有する震源域で適当な観測波形が入手できなければ利用できないものである**（準備書面(28)、45頁)」。「**発震機構や伝播経路を共通する震源域で適当な観測波形が入手できない場合にでも利用できる手法として，統計的グリーン関数法が考案されているのである（丙11，152～153 頁)。なお，本件発電所の基準地震動策定においては，発震機構や伝播経路を共通する震源域で適当な観測波形が入手できていないことを踏まえ，長周期成**

分を理論的方法，短周期成分を統計的グリーン関数法によりそれぞれ計算し，合成する方法であるハイブリッド合成法（丙 180，29 頁）を用いている」。そして、「**原告らが用いている計算手法は経験的グリーン関数法ではない独自の手法なのであるから，かかる不合理な手法で検証したところで，他の場所で発生した地震が本件発電所近傍で発生したことを論証したことにはならない**（同、46 頁）」と主張している。

これについて、以下のように反論する：

関電は、基準地震動の計算にハイブリッド合成法を用いているので、震源特性は M7.8 地震の平均的数値モデルである。筆者は、関電の断層モデルにおいて、関電が採用するハイブリッドの震源時間関数の代わりに観測された大阪府北部地震の記録を用いた。大飯原発観測点で観測される FO-B～FO-A～熊川断層近傍の地震ではない。関電が「**経験的グリーン関数法ではない独自の手法**」と主張する具体的内容は、震源時間関数と伝播経路についてである。筆者は、震源時間関数の違い、すなわち平均像か実地震かを問題にしているので、問題は伝播経路についてのみである。以下に伝播経路の効果は関電の計算と同じであることを述べる。

関電は伝播経路を震源から地震基盤までの地殻構造を一様で均質な弾性体としている。すなわち、経路に関するグリーン関数は減衰項のみである。筆者も同様に一様な均質弾性体とし、減衰定数は関電の用いた値を採用した。従って、関電の主張の根拠は、大阪府北部地震の震源から大阪観測点までの経路が一様な均質弾性体と仮定できるかということに帰着する。筆者は「大阪観測点での観測波形が褶曲など経路の不均質構造によって異常な増幅作用を受けていないことを前提にしている」[12、9 頁]。これは、経路に沿う速度構造を全国 1 次地下構造モデルで調べた結果であるが、最近、より詳しい「日本列島下の三次元地震波速度構造モデル」[13]が防災科学研究所により公表されたので、これを用いて改めて確かめる。

(1) 地殻の速度構造の影響

三次元地震波速度構造モデルによる震源から観測点までの速度断面図を次々頁の図 18 に示す。P 波速度は深さ 10km 付近で緩やかな上に凸の構造を示している。下に凸でないので、波線の集中などは発生しない。S 波速度分布は概ね平坦である。計算は SH 波を対象にしたので、S 波速度の深さ方向の変化が波線や振幅に及ぼす影響を検討する。

・距離減衰における波線長の影響：次々頁の図 19 は震源から観測点までの波線経路である。実線が図 18-2 の S 波速度構造モデルによる波線であり、点線は直線で結んだ波線である。深いほど速度が大きくなるため伝播経路の波線は緩やかに下に凸に湾曲している。実線（曲線）の波線長（20.87km）は直線より約 0.3%長い。観測波形を震源に戻す際の距離減衰は、直線近似で戻しているので、震源での振幅は実際より約 0.3%小さく見積もられていることになる。

・**速度構造の影響**：波線に沿って速度が変化する場合、観測点に到達する波の振幅はインピーダンス（密度×速度）の違いと入射角と屈折角の関係によって変化する。図 19 の波線に沿う各層の変化の積算値は 0.937（註 3）である。各層の境界での下方への反射により振幅は減少している。観測波形を震源に戻す際、速度を一定としているので、震源での振幅は実際より 6.3%小さく見積もっていることになる。

以上の距離減衰の影響 0.3%と速度構造の影響 6.3%を合わせると、約 6.6%小さく評価していることになる。

このように大阪府北部地震の震源から大阪観測点までの経路を一様な均質弾性体としたために、震源での振幅が 6.6%減少した。経路を一様な均質弾性体として予測した地震動の加速度ピーク値は 883 ガル[12、11 頁]であるが、6.6%分を乗じると 941 ガルとなり、基準地震動 856 ガルをさらに上回る。

耐震設計上重要な加速度応答スペクトルを次々頁の図 20 に示す[12、図 8、9]。関電地盤モデルによる加速度応答は、周期 0.3 秒以下で 3000 ガルに達する。これに 6.6%分を乗じると最大約 3200 ガルである。震源時間関数に平均的な数値モデルではなく、実地震記録を用いると基準地震動 Ss-1 の 2000 ガルを 1.6 倍も上回ることになる。

(2) 3 号炉地盤モデルについて

3 号炉建屋付近の地盤構造は、4 号炉付近に比べ断層破砕帯と付随するシームの影響を受けて、低速度化している。さらに、関電の地盤モデルの減衰定数は、岩盤よりも大きいと考えられる大阪の土質地盤の減衰定数よりも小さい[12、5 頁]。表層の速度と地盤全体の減衰定数の影響を検討するために、3 号炉近辺の地盤構造を反映する 3 号炉地盤モデルによって地震動を計算した。加速度ピーク値は 1280 ガル[12、13 頁]であるが、6.6%分を乗じると 1360 ガルとなり、基準地震動 856 ガルのみならず、クリフエッジ 1260 ガルを大きく越える。また図 20 に示すように、加速度応答スペクトルは周期 0.3 秒以下の短周期域で 4000 ガルであるが、6.6%分を考慮すると最大 4260 ガルに達っし、Ss-1 の応答を大きく越える。見直しの調査結果を無視した関電地盤モデルでは、基準地震動は過度に過小評価される。

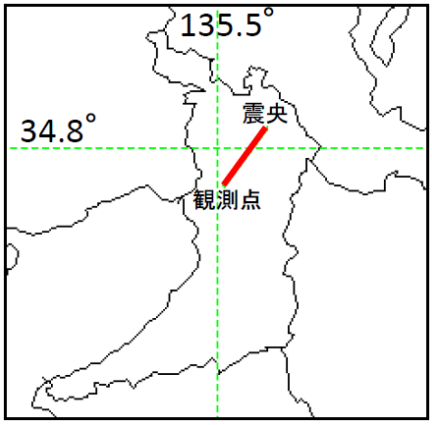


図 18-1．震央位置と観測点の位置関係．赤線位置の速度断面を検討.

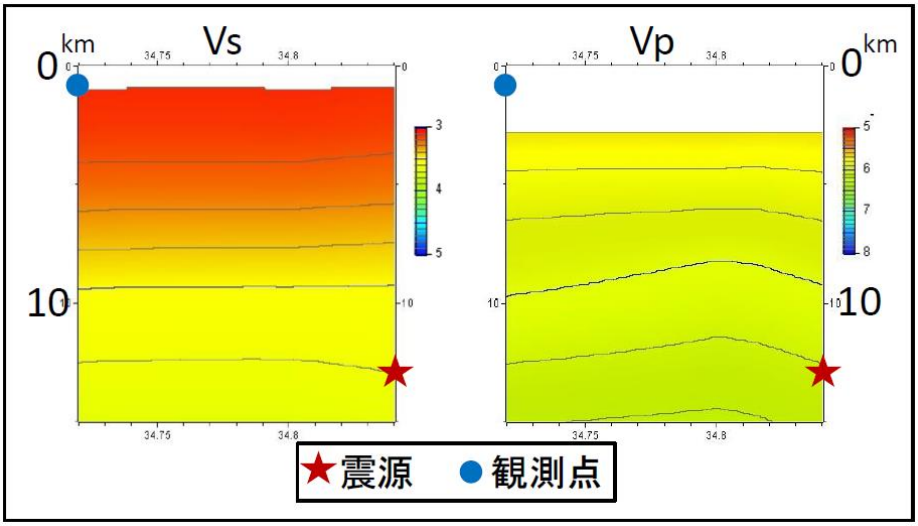


図 18-2．速度断面図（防災科研のソフト hinterviwer.bat により図化）.

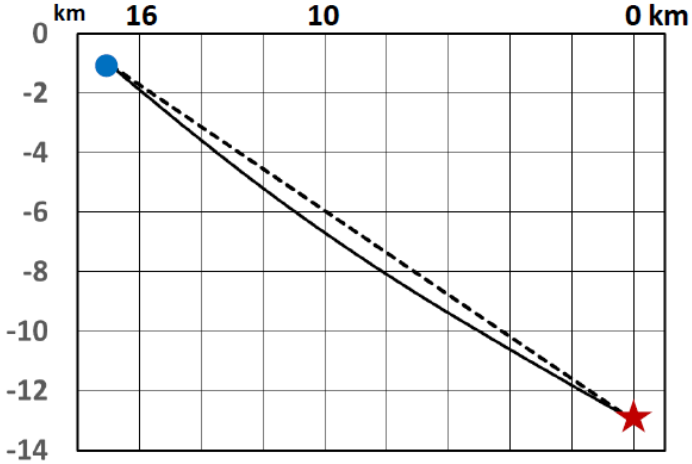


図 19．震源から観測点までの S 波の波線．実線：速度構造による、点線：直線近似.

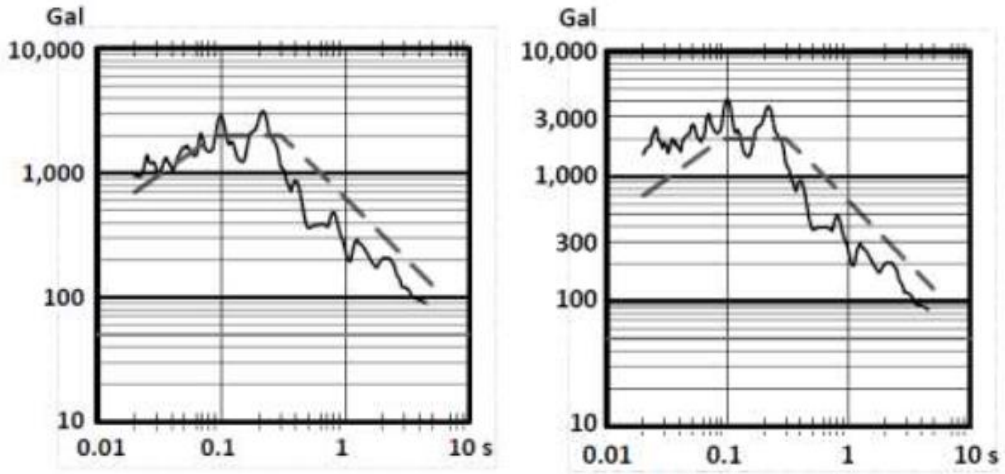


図 20．加速度応答スペクトル．左：関電地盤モデル、右：3 号炉地盤モデル．
破線は基準地震動 Ss-1．応答は短周期域で Ss-1 を大きく越える．
速度構造による 6.6%を考慮すると応答の最大値：3200Gal（左）、4260Gal(右).

(3) 実地震記録による地震動予測であること

関電は準備書面(28)の 46 頁で「**「現に他の場所で起こった，そのようにスケーリング則に合う実際の地震が，大飯サイト近傍で発生したらどうなるかということを論証した」（原告ら第 69 準備書面 28 頁）などと強弁しているが，上記のとおり原告らが用いている計算手法は経験的グリーン関数法ではない独自の手法なのであるから，かかる不合理な手法で検証したところで，他の場所で発生した地震が本件発電所近傍で発生したことを論証したことにはならないことは明らかである**」と主張している。

筆者は、関電が行った断層面の破壊過程による波形合成の手続きを踏襲したのであるが、厳密に言うなら「FO-B～FO-A～熊川断層と同じ形状の断層が 2018 年大阪府北部地震の震源域にあって、その断層により大阪府北部地震と同じ震源時間関数の M7.8 の地震が発生した場合、大飯原発と同じ地盤構造である断層近傍地点の地震動を予測した」のである。厳密には大阪府北部と大飯原発近傍とでは伝播経路に関するグリーン関数は異なるであろうが、前述のように現時点で知られている構造によればその違いは大きくはない。すなわち、FO-B～FO-A～熊川断層で、現に他の場所で起った地震が発生した場合の地震動を予測したのである。

関電は、基準地震動の策定において、震源を特定せずに策定する地震動として、2000 年鳥取県西部地震（M7.3）・賀祥ダムの記録と 2004 年北海道留萌支庁南部地震(M6.1)を考慮した地震動を、基準地震動 Ss-18、Ss-19 として採用している[3、6-5-16 頁]。これらは、震源近傍の観測記録であること、大飯サイトの解放基盤相当の地盤で観測されたと考えられること、基準地震動 Ss-1 を越える地震動であることにより採用されている。他の地域で発生した地震であるから、震源特性もグリーン関数も FO-B～FO-A～熊川断層に想定する地震とは異なると考えられるが、実地震の強震観測記録であることが重要なのである。2018 年大阪府北部地震 M6.1 の強震記録は、地震基盤で記録された実地震記録であり、同じ理由によって重要なのである。そして、この記録が、策定されている基準地震動が過小評価であることを示しているのである。

9. その他の主張について

関電準備書面(28)では、前記で論じてきたこと以外に瑣末な事項に不当な意見を記している。地震波動論や地盤震動論などに慣れていない読者が誤解を招かないよう、関電の間違いを指摘しておく。

(1) CM 級の存在割合の重要性

「原告らは，全体に占めるＣＭ級の割合にのみ着目しているが，基準地震動策定を目的とした地下構造モデルを策定する場面においては，ＣＭ級の割合が全体の何％を占めているのかは重要な問題ではない」[関電準備書面(28)、8 頁 7 行目]について。

「2. 地震波速度と CM 級と CH 級の分布割合の関係」で述べたように、関電の岩盤物性の場所的変化に関する調査結果では、3 号炉では CM 級が 56.1%、4 号炉では 22.0%であり、試掘坑弾性波探査結果から 3 号炉では Vp=4.05km/s、4 号炉では 4.43km/s である。地盤の増幅率はインピーダンス（速度×密度）の逆数に比例する。関電が用いている Vp と密度 ρ の関係式（13 頁）から、3 号炉では ρ ＝2.44g/cm^3、4 号炉では ρ ＝2.50g/cm^3 である。両者のインピーダンス比は 1.12 であるから、地震動（P 波）は 3 号炉の方が 12%増幅される。基準地震動策定において増幅率が 10%以上も増加することは重要な問題ではないのであろうか。

さらに、図 10 で示されるように、標高-50m の深さまでの平均値では CM 級が約 26～72%変化し、標高-50～-150m では約 21～53%も変化しているのである。CM 級 72%は Vp=3.25km/s に相当する（図 11 参照）。重要な問題ではないとして 3.25km/s を無視し、基準地震動策定を目的とした地下構造モデルの第 1 層（厚さ 180m）を Vp=4.6km/s としている。

(2) RQD の水平面内における分布と原子炉建屋基礎の速度分布の類似性

「原告らは,「ＲＱＤの値が小さいということは不連続面が多いということであり，それだけ地震波速度が遅くなるということである」とした上で，各ボーリング孔の深さ 25m ごとの平均値を内挿して得たコンター図を示して,「図の上部（北西側）でＲＱＤが大きく＝速度が大きく，下部（南東側）で小さい＝速度が小さいという傾向は，概ね共通する」などと主張している（原告ら第６７準備書面 15～16 頁）。

しかしながら，原告らが引用しているコンター図は 2%という小さい数値毎にグラデーションを待った色分けがなされているところ，同図の大部分を占めているのは 25～50%の部分であり，R.Q.D. を提案した Don U. Deere 氏によれば，R.Q.D. の 25～50%は岩石品質として同程度の評価が付される範囲であるため（丙 349 の 2，12 頁），その範囲内で R.Q.D. の数値の差異を強調することは有意ではない。すなわち，2%という小さな数値毎のグラデーションを待った色分けをすることに合理的な意味合いは見出せず，かえって地盤の質に大きな相違が存在するかのような誤った印象与えるもので適切ではない」[関電準備書面(28)、14 頁下から 9 行目]について。

ボーリング孔における RQD 値は 1m 毎に測定されている。それを 25m 区間で平均したので、値の変化する範囲は小さい。それでも 8～52%の差異がある。そして、僅か 10 本のボーリングのデータによるコンター図であるから、原子炉建屋基礎の P 波速度のトモグラフィーの精度には及ばないが、それでも速度分布と同じ傾向を示しているのである。「**地盤の質に大きな相違が存在するかのような誤った印象**」ではなく、標高-150m の深部においても標高 0m 付近と同様の速度異常があるほどの相違が存在することを隠蔽するのではなく「見える化」したのである。ことさらコンター間隔の 2%を取り上げて、全体の傾向が示す問題の重要性を無視するための詭弁でしかない。図 12 に示した岩級分布と同様、標高-150m の深部に至るまで岩盤の品質が北東から南西方向に劣化しているのである。

(3) 最大コア長が示す岩盤の場所による劣化

「原告らは，最大コア長が北西側から南東側へと系統的に減少しているとも指摘している（原告ら第 67 準備書面 19 頁）。

しかしながら，上記アで述べたとおり，最大コア長が減少している部分や R,Q.D. が低下している部分は，節理等の存在による影響であると考えられる。被告は，上記第２の１（２）イで述べたとおり，岩盤分類の考え方に基づいて，割れ目の量を考慮した上で，それ以外の要素も考慮して本件発電所敷地の岩盤がＣＭ級以上の堅硬な岩盤が著しい高低差なくほぼ水平に広がっているとの評価をしているのであるから，最大コア長の平均値の数 cm 程度の違いに大きな意味があるかのように主張する原告らの主張は不合理である」[関電準備書面(28)、16 頁 5 行目]について。

「**上記第２の１（２）イで述べたとおり，岩盤分類の考え方に基づいて，割れ目の量を考慮した上で，それ以外の要素も考慮して**」とあるが、関電は最大コア長に限らずRQD値、岩級区分の変化の様相を検討してはいない。4.2で述べたように、原子力規制委員会の審査会合で審議されたことはない。原告は、「岩級区分・ＲＱＤ・最大コア長・地震波伝播速度の各検討結果に整合性があること」[原告準備書面(67)、第2の6]を問題としているのである。なお、「**最大コア長の平均値の数cm程度の違いに大きな意味があるかのように主張する原告らの主張は不合理である**」は最大コア長の地質工学上の意味を理解していない意見である。RQD値はコア長10cm以上で定義されており、コア長はcm単位で計測される。RQD値では10cm以上のコア長は区分されない。最大コア長はこれを補う資料であり、亀裂間隔の指標でもある。数cmと云えども（まして平均値）おろそかには出来ない資料である。

(4)　3号炉と4号炉の基礎岩盤の速度差

「原告らは，３号炉と４号炉の間で全体として0.5km/s程度の速度差があることを大きな速度差であると主張するようであるが・・・」[関電準備書面(28)、17頁3行目]について。

地盤震動論の立場から、全体として0.5km/s、破砕帯近傍では1km/sも低下していることを問題にしている。地盤震動では0.1km/sの違いが増幅度に大きく影響する。

次項にも関連するが、基準地震動策定のための地下構造モデルの策定は定性的な一般論ではなく定量的な評価が必要なのである。意見書[14]に速度の違いによる増幅率の変化を詳述してあるので参照されたい。

(5) 不整形地盤および速度コントラストについて

「基準地震動を策定するための地下構造モデルの策定において重要とされるのは，地震波の伝播や増幅等に顕著な影響を与えるような特異な構造，すなわち，速度コントラストをもった傾斜，断層及び撓曲構造等で，かつ，それらの形状が，例えば下に凸の形状のように地震波を特定の場所に集中させるような構造が存在するかどうかであり，そのような特異な構造が存在しない・・・」、「原告らが指摘する程度の速度の違いは顕著な速度低下ではないため，そもそも速度コントラストとすら評価し得ず，特定の場所に地震波を集中させることはないと評価しているのである。原告らの主張は，速度の違いによって地震波が特定の場所に集中するかどうかという点を看過し，単に場所によって速度に一定程度の違いが存在するという自然の岩盤における至極当然のことを指摘しているに過ぎず，失当である」[関電準備書面(28)、17頁7行目]について。

前項に続く関電の主張であるが、この主張が全くの誤りであることは、関電自らが新たに実施した反射法地震探査とVSPオフセット・トモグラフィー解析[15]によりあきらかである。トモグラフィー解析で明らかになった基盤構造と速度コントラストによると、特定の場所、3号炉に、地震波が集中する。意見書[10]に詳述したので参照されたい。

(6) 破砕帯やシームによる速度低下およびPS検層結果における速度のばらつき

「破砕帯やシーム・・・規模の小さい割れ目である亀裂や節理の存在によっても弾性波速度が細部において低下する可能性があることを否定するものではなく，・・・地震動評価上，水平成層構造とみなせると評価しているのである」と主張し、これを補強するために小島意見書（丙340）「Vp，Vsの速度に着目すると，深度53m以深において多少の速度のばらつきが見られる。しかしながら，・・・寸法効果の観点から言えば，ＰＳ検層（サスペンション法）では1m規模の割れ目などによる物性のばらつき・・・局所的なばらつきであり，・・・」、あるいは澤田意見書（丙339）「２地点のサスペンションデータのうち，01-11は表層部分を除き，-100mまでは平均的にVs=2.2km/s，100m～130mではVs＝2km/s程度とやや低下しているが，この程度の速度低下では地盤増幅特性に与える影響はほとんどない」を引用していること[関電準備書面(28)、18頁6行目]について。

小島・澤田両氏の意見は定量的な検討の結果ではない。波動論の厳密解では、波長に比べて薄い低速度層であってもその深さによって震動特性に看過できない増幅作用を有すること、また、1m刻みのばらつく速度値であっても地震波はその1層ごとの影響を受け、その結果として波長に応じた増幅作用を受けるため、「寸法」の定量的

な評価を欠いた議論は無意味である。意見書[14]に、薄層モデルを用いた事例計算、およびO1-3孔とO1-11孔のPS検層結果を用いて計算した震動特性によって関電の主張が誤りであることを詳述したので参照されたい。

(7) 数 m～数 10m の不整形は地盤震動特性に無視できない影響を及ぼすこと

澤田意見書を引用して「**仮に破砕帯等による数m～数 10m 程度の不整形が存在するとしても，地震波の波長が十分長い（Vs＝2.2km/s の場合，例えば周波数 10Hz で波長 220m）ことから，地盤増幅特性に及ぼす影響はほとんどないと考えられる**」[関電準備書面(28)、19 頁 8 行目]と主張していることについて。

澤田氏の意見は数値解析に基づかない無責任な意見である。前項と同様、意見書[14]において波動論に基づくモデル計算で示してあるように、この規模の不整形は数 Hz 以上の周波数帯の波に顕著な影響を及ぼす。

(8) 地盤モデルにおいて P 波速度を大きく設定していることについて

「**原告らは試掘坑坑間弾性波探査結果のＰ波の速度に倍近い開きがあると指摘するが，上記第２の１（４）で述べたとおり，自然の岩盤には多少なりとも節理や破砕帯等が存在するため，単に細部において速度のばらつきが生じただけであって，地震動評価上，何ら問題になるものではない。試掘坑坑間弾性波探査は，一定の距離で測定区間を区切って当該測定区間の平均的な速度を測定するものであり，当該測定区間の一部にでも節理や破砕帯等の速度低下要因が含まれていれば，当該測定区間の平均的な速度が低下することになるが，実際に速度が低下しているのは節理や破砕帯等による影響と考えられ，ましてや地震波を特定の場所に集中させ得るような形状をもつ速度コントラストが存在するわけでもない。よって，倍近い速度の開きを無視しているとの原告らの批判は当たらない**」[関電準備書面(28)、20 頁 6 行目]と主張していることについて。

自らの調査結果と地震波動論および地盤震動論を無視した言辞を弄しているに過ぎない。速度値（関電は、Vp=4.6km/s、Vs=2.2km/s と称しているが）によって解放基盤と想定されている「**自然の岩盤**」の深さや形状が、「**節理や破砕帯等の影響で速度が低下**」しており、「**地震波を特定の場所に集中させ得るような形状をもつ速度コントラストが存在**」していることを、関電自らの調査結果が示しているのである。(5)に述べたとおり、新たに実施された反射法地震探査と VSP オフセット・トモグラフィー解析[15]は関電の主張が根拠のないものであることを再確認している。意見書[10]の「1.2 不整形地盤による波線集中（3 頁）」に詳述したので参照されたい。

(9) 岩種別 P 波速度

「被告が「物理探査ハンドブック　増補改訂版」（丙 308，1037 頁）の図表を示して輝緑岩及び細粒石英閃緑岩の速度を示したのは，単に，これらの岩種における一般的な弾性波速度を示す趣旨であって，本件発電所敷地の地下の岩盤が当該図表の弾性

波速度を有していると主張する趣旨ではない。上記趣旨からすれば，平均値を事細かに示すことに特別な意味があるわけではなく，原典から引用する必要まではなく，被告は，当該図表から見受けられる中央値の付近の大体の数値を「約」と付して示したのである」[関電準備書面(28)、25 頁 5 行目]について

原告は、3、4 号炉直下で地層は 20°以上も傾斜し、関電が引用した一般的な弾性波速度によると、速度は下層ほど低下していると指摘したのである。関電は、下層で低速度となることに速度値を原典から引用する必要はないと開き直り、地質断面図で地層が傾斜していることには答えない。問題にしているのは、3、4 号炉直下の地下構造なのであり、真っ当に回答すべきである。再度、問題点を指摘する。

関電が引用した「物理探査ハンドブック　増補改訂版」の図表は服部・杉本（1975）の「岩種別 P 波速度のヒストグラム」[[16]、図 3-a、8 頁]である。「P 波速度の岩種別統計値」として、閃緑岩は Vp=(4.35±0.16) km/s（95%信頼限界）で分散は 0.3561 $(km/s)^2$ （N=59）、輝緑岩は Vp=(4.30±0.27) km/s（95%信頼限界）で分散は 0.2025 $(km/s)^2$（N=13）と明記されている[[16]、表-2、6 頁]。図 21 に速度の正規分布（註 2）を示す。図の上部に関電の「**当該図表から見受けられる中央値の付近の大体の数値**」（閃緑岩は 4.0～4.5km/s、輝緑岩は 4.5km/s [関電準備書面(22)、15 頁]）をそれぞれ太線で示す。閃緑岩（黒太線）は 95%信頼限界を超えて小さい範囲に延びており、輝緑岩は 95%信頼限界の大きい方の端部（赤太線）である。この図からも明らかなように、関電は既存の研究成果を正しく引用せず、閃緑岩の速度より輝緑岩の速度を大きくして、下層の速度を大きく印象付けようとしたことになる。

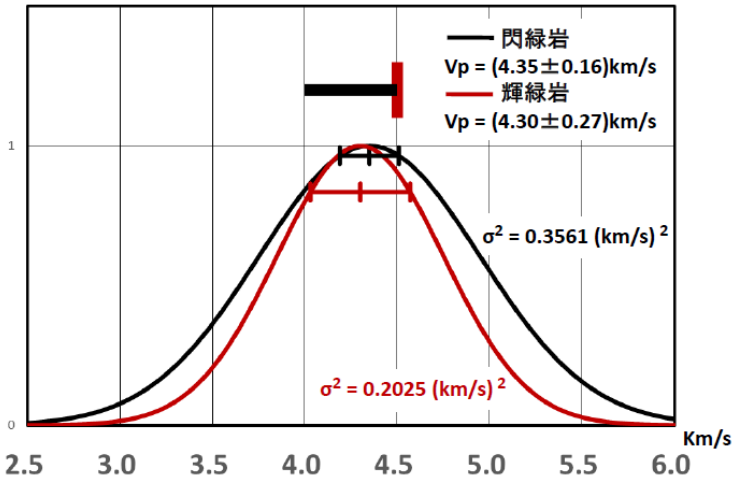


図 21．閃緑岩および輝緑岩の P 波速度の分布と 95%信頼限界(細線).
太線は、関電が主張する速度の範囲.

(10) 原子炉敷地の基盤が沈降する不整形地盤であることが再確認されたこと

原告側が屈折法地震探査結果は標高-50m の深部まで、関電が主張するような大きい速度ではないことを指摘してきたが、関電は「屈折法解析に関する原告らの主張に

対する反論」[関電準備書面(28)、26～27 頁]で、例えば次のように記している。

「**被告は，屈折法解析の結果を評価する際に，原告らが指摘している 800m 付近のみに着目しているわけではなく，測線全体に着目し，全体として表層 50m 程度で弾性波速度 4 km/s 以上となると評価したのである。原告らは，屈折法解析の速度断面図の 800m 付近の表層から 50m 程度の深さの速度が 4.5 km/s ではないことを殊更に強調するが，これは盛土や沖積層の上の本件発電所構内の道路等の軟らかい地盤で測定したことによる影響であると考えられ，それ以外の部分では約 4 km/s 以上の堅硬な地盤（青色の地盤）が広がっているのであるから，被告は，何ら事実と反する評価をしているわけではない**」[関電準備書面(28)、26 頁下から 9 行目]について。

従前の議論の繰り返しになるが、「**全体として表層 50m 程度で弾性波速度 4 km/s 以上**」では、地盤モデルを 4.6km/s とすることはできない。さらに「**盛土や沖積層の上の本件発電所構内の道路等の軟らかい地盤で測定したことによる影響**」が取り除かれた VSP トモグラフィー解析結果がさらに明瞭に不均質で不整形な地盤構造を示している。

また、「**原告らが指摘している速度断面図は，原子力規制委員会の審査会合で用いたものであり，仮に速度断面図から被告が事実に反する評価をしているのであれば，原子力規制委員会から評価が適切ではないとの指摘がされるはずであるが，そのような事実もない**」と記しているが、仮に規制委員会で真っ当な審議がされていたとしても、新たな調査結果で明らかになった不整形地盤の影響を審議すべきである。なお、新たな調査結果は従前の調査結果が示していた不均質構造をさらに明確にしたものであり、規制委員会は従前の調査結果を正しく判断していないことになる。

まとめ

- 大飯原発の基礎地盤の岩級分布は、CH 級岩盤が支配的であるとは限らない。標高 0～ -50m では CM 級が支配的である。CH 級が支配的であるとする地質断面図は正確ではない。
- 断層破砕帯に付随するシームの分布の増加、地震波速度の低下、CM 級岩盤の分布の増加は互いに相関し､岩盤は 4 号炉側から 3 号炉側に向けて系統的に脆弱化する。
- これまでの物理探査の結果に加え、新たに実施された反射法地震探査および VSP トモグラフィー解析の結果は、基盤構造が不均質であることを示している。
- 地盤構造モデルにおいて、解放基盤の速度は地質調査と物理探査の結果を無視して恣意的に大きく設定されている。
- 恣意的な地盤構造モデルによって策定された基準地震動は過小評価である。特に、岩盤が脆弱化している 3 号炉建屋付近では、地盤による増幅作用が大きい。
- 2018 年大阪府北部地震 M6.1 の強震記録は、基準地震動が過小評価であることを示している。

参考文献

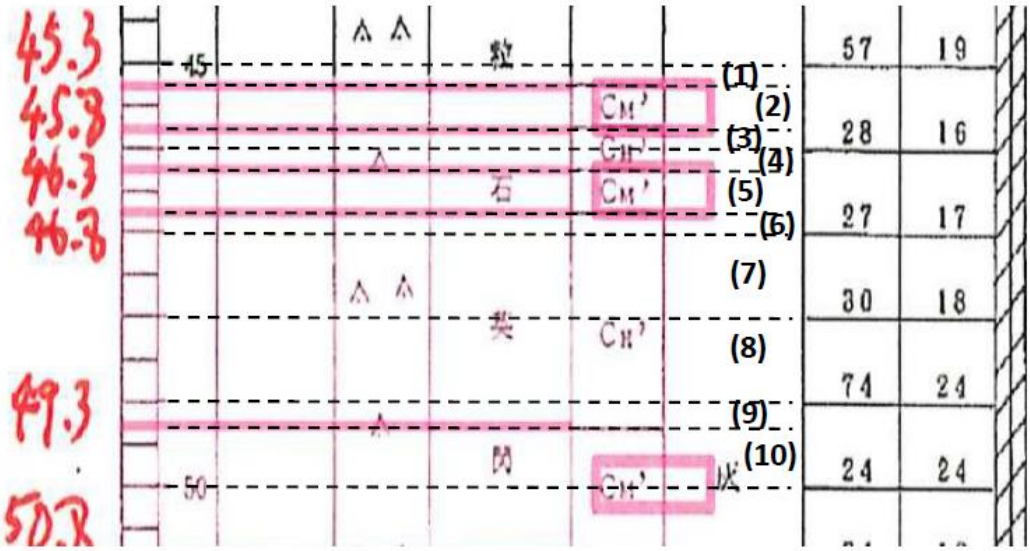
[1] 赤松純平、大飯発電所基準地震動策定における問題点－地盤構造モデルについて－、2018/01/09　（甲第 422 号証）
[2] 赤松純平、大飯発電所の地盤構造について－岩盤の亀裂および断層破砕帯に伴う地震波速度の低下－、2019.10.7（甲第 510 号証）
[3] 関電、大飯発電所発電用原子炉設置許可申請書（3、4 号炉完本）本文および添付書類平成 29 年 5 月現在（丙第 178 号証添付書類⑥).
[4] 関電、第 332 回審査会合、資料 1-2-1 大飯発電所地盤（敷地の地質・地質構造）について、平成 28 年 2 月 19 日.
[5] 赤松純平、大飯原発サイトの解放基盤の P 波速度と断層破砕帯の関係－ファン・シューティングによるトモグラフィー、2020.5.5
[6] 関電、第 41 回審査会合、資料 1-4 大飯発電所地下構造の評価について、平成 25 年 11 月 1 日.
[7] 赤松純平、丙第 339 号証澤田義博氏の意見書について、2021.5.16
[8] 関電、第 59 回審査会合、資料 2-1 高浜発電所・大飯発電所地下構造評価について、平成 25.12.18.
[9] 田村八洲夫、意見書（大飯発電所敷地における弾性波トモグラフィーおよび反射法地震探査の結果について）、2021 年 5 月.
[10] 赤松純平、大飯発電所の敷地地下構造の不整形性について－関西電力の準備書面(27)の内容に関連して－、2021.9.1.
[11] 赤松純平、大飯発電所の地盤構造について、2018.8.28　（甲第 467 号証）
[12] 赤松純平、FO-B～FO-A～熊川断層地震 M7.8（2018 年大阪府北部地震 M6.1 のスケールアップ）による大飯原発サイトの強震動、2019.1.20（甲第 481 号証）
[13] 防災科学技術研究所、日本列島下の三次元地震波速度構造（海域拡大 2019 年版）、https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/
[14] 赤松純平、大飯原発の PS 検層結果による地盤震動特性－細かなばらつきの不均質の影響について－、2021.11.20.
[15] 関西電力、大飯発電所 弾性波トモグラフィー解析および反射法地震探査の結果について、2020 年 10 月（丙第 347 号証）
[16] 服部保正・杉本卓司、岩石の P 波伝播速度に関する統計的研究（Ⅰ）、物理探鉱第 28 巻第 1 号、3-12 頁、1975.（甲第 513 号証）.

註１　岩級別最大コア長の集計方法

柱状図には、岩級は 0.5m を最小の基準として、岩級が変化する境界の深さが記される一方、最大コア長は孔口からの深さ 1m ごとに 1m 区間内の値が記されている。岩級の境界位置と最大コア長の境界位置は異なる場合が多い。岩級境界が最大コア長区間を分断する場合、分断された区間の最大コア長は次の基準に依った。

(1) 分断された区間が 0.5m 未満である場合、その区間は値なしとする。
(2) 分断された区間の幅が最大コア長未満の場合、その区間は値なしとする。
(3) 分断された区間の幅が 0.7m 以上の場合、当該最大コア長とする。

下図は No.1158 孔の深さ 45～50m の読み取り例である。赤線が岩級区分境界、右端欄が最大コア長で 1m 間隔。両者の境界を点線で示す。点線間の区間(1)～(10)の最大コア長を表に示す。



左端：孔口からの深さ目盛り(0.5m 間隔)、右端欄：最大コア長

区間	岩級	区間長(m)	最大コア長(cm)
1	CH	0.3	―
2	CM	0.5	16
3	CH	0.2	―
4	CH	0.3	―
5	CM	0.5	17
6	CH	0.2	―
7	CH	1.0	18
8	CH	1.0	24
9	CH	0.3	―
10	CM	0.7	24

岩級別に読み取った最大コア長.

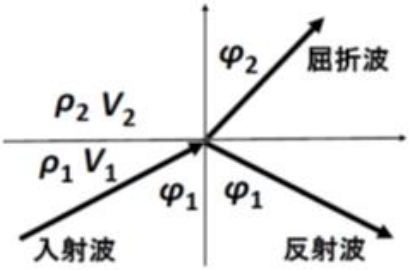
註２　正規分布

ある変数ｘ（この場合は最大コア長）に対して、事象ｙ（この場合は最大コア長の度数）が最も起りやすい形。平均値μと標準偏差σが与えられると次式で計算される。データ数が大きい場合、観測量はこの形になる（大数の法則）。ガウス分布とも称される。なお分散は σ^2 である。

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

ここに、π（～ 3.14）：円周率、e（～2.718）：自然対数の底。

註３　SH 波の屈折波（透過波）の振幅



図のように、密度と速度が ρ_1、V_1 の層から ρ_2、V_2 の層へ、SH 波が入射角 φ_1 で入射すると、反射波（反射角 φ_1）と屈折波（透過波、屈折角 φ_2）が生じる。

φ_1 と φ_2 はスネルの法則により、

$$\frac{\sin\varphi_1}{V_1} = \frac{\sin\varphi_2}{V_2} \qquad (1)$$

反射係数 R、透過係数 T は次式で表される、

$$R = \frac{\rho_1 V_1 \cos\varphi_1 - \rho_2 V_2 \cos\varphi_2}{\rho_1 V_1 \cos\varphi_1 + \rho_2 V_2 \cos\varphi_2}$$

$$T = \frac{2\rho_1 V_1 \cos\varphi_1}{\rho_1 V_1 \cos\varphi_1 + \rho_2 V_2 \cos\varphi_2} \qquad (2).$$

日本列島下の三次元地震波速度構造モデルは、深さ 0.1km ごとに速度値が与えられている。図 19 に示した波線は、深さ 1km ごとの値を抽出して計算したものである。また、波線に沿う振幅変化は、深さ 1km ごとに抽出した速度値により、スネルの法則(1)により各層への屈折角と、(2)式により透過係数を順次求め、震源位置から観測点位置まで積算したものである。