甲第５９６号証

2021.9.1

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－

赤松純平

目　次

はじめに ---------- 1
1. 地盤による増幅効果 ---------- 2
1.1 多重反射について ---------- 2
1.2 不整形地盤による波線集中 ---------- 3
2. 寸法効果について ---------- 5
3. 岩盤等級と RQD 値の関係について ---------- 6
4. 澤田意見書および小島意見書の評価について ---------- 9
4.1 地質調査について ---------- 9
4.2 PS 検層について ---------- 10
4.3 試掘坑弾性波探査について ---------- 10
4.4 単点微動観測について ---------- 11
4.5 反射法地震探査について ---------- 11
4.6 微動アレイ探査及び地震波干渉法の観測結果を目的関数としたインバージョン解析並びに同解析に基づいた地下構造モデルの策定について -- 11
4.7 オフセット VSP 探査等を利用した弾性波トモグラフィー解析について ---------- 12
4.8 地表における地震観測結果について ---------- 12
5. 関電による地震観測計画 ---------- 12
まとめ ---------- 13

はじめに

筆者はこれまで、関西電力株式会社（関電）が大飯発電所（原発）敷地の地下構造調査のために実施した地質調査と物理探査の結果を分析して、原発サイトの地下構造は関電が主張するような堅固で均質な岩盤ではなく、敷地に存在する断層破砕帯によって脆弱化した不整形な地盤であること、そして堅固で均質な地盤モデルで策定された基準地震動は過小評価であることを指摘してきた[1、2、3]。この指摘に対し関電は準備書面(27) [4] において、従来からの主張を繰り返すとともに、新たに実施した地表地震観測および反射法地震探査とオフセット VSP 探査の結果を示し、地震・地震工学及び地盤工学の専門家である澤田義博氏の意見書 [5]、および地質工学及び地質学の専門家である小島圭二氏の意見書 [6] の内容を敷衍したとして、地盤構造の均

質性を主張して、筆者の指摘に対する反論としている。澤田氏および小島氏の意見書については、地質調査の元資料に基づかない地質図による判断、隠蔽された資料の見過ごし、解析における恣意的な結果を誘導するための条件設定の看過など、専門家の判断とは思えない点の多々あることを指摘した[7、8]。本稿では、準備書面(27)で新たに主張してきた項目を中心に、特に必要と思われる事項について、地震波動論の立場から反論する。

1. 地盤による増幅効果

1.1 多重反射について

関電は、準備書面(27)の「第 2 の 3 地震波の増幅と水平成層構造」で、地盤の速度・密度構造による振幅変化を説明した後、地震動増幅の観測例を示して『なお，表層に軟弱地盤が存在する地域では，地震波が表層の軟弱地盤内で何度も反射を繰り返すことにより地震波が増幅することが知られている（丙 343,「表層地盤と地震動の性質」６頁）。しかし，本件各発電所は堆積層等で構成されるような軟弱地盤ではなく，火成岩を主体とする硬岩により構成されているため，反射による地震波の増幅現象を考慮する必要はない（図表４．本件各発電所の敷地は，同図で言えば BAR や KAL に相当する。）[4、12 頁]』と述べて、大飯サイトは火成岩を主体とする硬岩であるから地盤増幅を考慮する必要はないと主張している。地盤の増幅特性（サイト特性）を正しく求めるために、関電自らが実施した調査そのものを否定する荒唐無稽な主張という他ない。関電の地盤モデルは表層の速度や地震波減衰を恣意的に大きく設定するなど多くの問題を含んでいるが、そのようなモデルでも反射による増幅が顕著にあるのである。次の図 1 に関電が原子力規制医委員会に報告した地盤の伝達関数[9、4 頁]を引用する。また、図 2 に伝達関数に対応する地盤の増幅率示す。

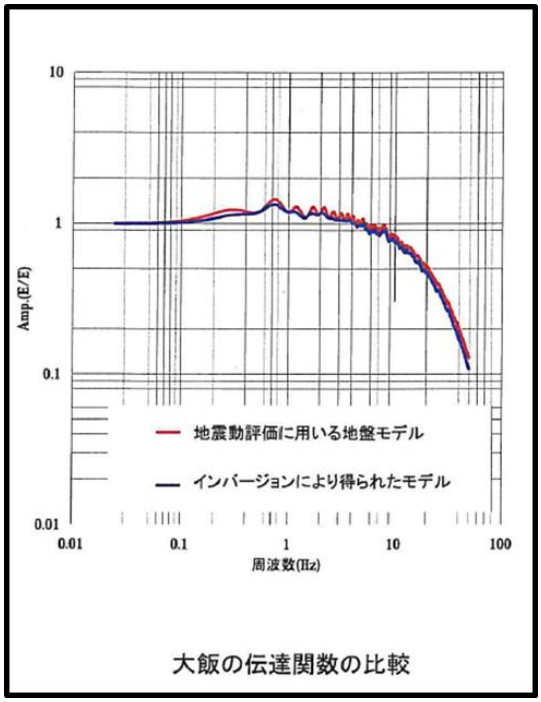


図 1．地盤の伝達関数.（[9]、4 頁）

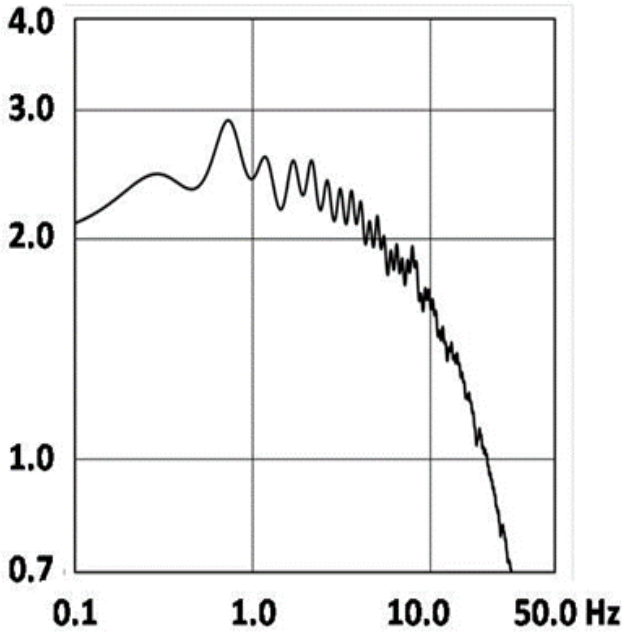


図 2．地盤の増幅率.

伝達関数（赤線）には、0.7～0.8Hz で約 1.45、1～2Hz で約１.3 の山がある。地表の地震動は表面の効果により、地表入射波が 2 倍に増幅される［註*］ので、増幅率は関電の示す伝達関数の 2 倍、すなわち、0.7～0.8Hz で約 2.9 倍、1～2Hz で約 2.6 倍の山を持つ。この山が、地層内に繰り返す反射によって形成される地盤特性である（多重反射）。火成岩を主体とする硬岩といえども反射による増幅特性を考慮しなければならないのである。なお、図において高周波数域で振幅が急速に減少し入射地震動よりも小さくなっているのは、関電が地盤の減衰特性を大きく設定したためであり、これにより基準地震動を小さく策定している。減衰については、[1]の「**7.3** 減衰構造と地震波増幅率」に詳述したので参照されたい。

註*：伝達関数とは、ある系（この場合、地震基盤から解放基盤までの地盤）への入力に対する応答を示す式のこと。周波数領域では入力と出力のスペクトル比（振幅の比）。関電は、地震基盤から地盤に下から入射する波と地表面に下から入射する波（多重反射を含めた上昇波）のスペクトル比を伝達関数として示している。地表面の震動は上昇波と下降波の和であり、上昇波は全反射して同振幅の下降波となるため、地盤増幅率は関電の示す伝達関数の 2 倍となる。

1.2 不整形地盤による波線集中

柏崎狩羽原発では、2007 年新潟県中越沖地震(M6.8)で基準地震動を大幅に超える地震動が観測され、不均質構造による地震波線の集中が大きな要因であるとされた。それ以来、不均質構造による地震動特性が重要な調査項目になっている。関電は、速度境界で地震波が屈折して集中するいわゆる「レンズ効果」について、スネルの法則で説明したうえで「**ただし，このような現象は，地盤の速度境界の形状に下に凸やレンズのような不整形性が存在するだけで生じるものではなく，速度境界における速度差が大きいため，速度境界における入射角の角度と屈折角の角度の差が大きくなる場合に限って生じる。スネルの法則によれば，速度境界における速度差が小さい場合には地震波は大きく屈折することなく，直進に近い進路で伝播するため，仮に地盤の形状に不整形が存在したとしても，それによる地震波の集中が発生しないからである**[4、15～16 頁]」と定性的な一般論を述べ、大飯サイトで測定された不整形による影響を定量的に評価することなく否定している。その一方で関電は「**大飯発電所敷地内において，これまで行われた地下構造に関する評価を充実させるために，オフセット VSP 探査等を利用した弾性波トモグラフィー解析を実施した。弾性波トモグラフィー解析の測線及び解析断面は以下のとおりである（図表１４）**[4、43 頁]」と述べて新しい地下構造の断面図を提示している。図 3 にトモグラフィ解析の結果を引用する。またこの断面図による基盤の不整形から計算される波線集中を図 4、図 5 に示す（波線集中の計算方法は註 1 参照のこと）。図 4、図 5 から明らかなように、トモグラフィ解析で示された下に凸の基盤構造と速度分布によって、基盤沈降部の上部に数倍の波線集中が生じている。

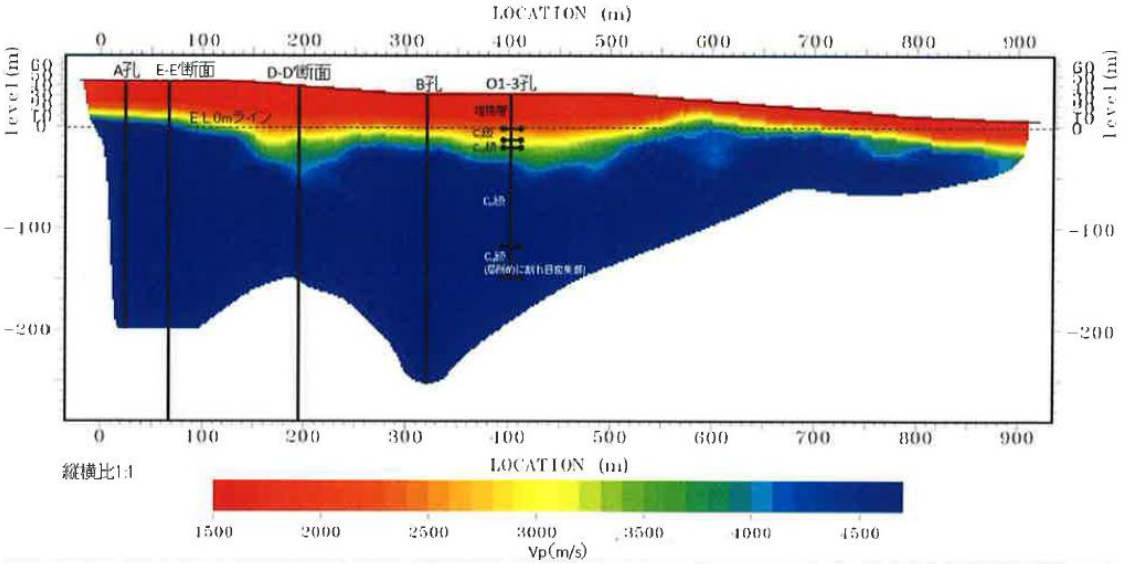


図 3. 弾性波トモグラフィ結果. [4]の図表 14 を引用.

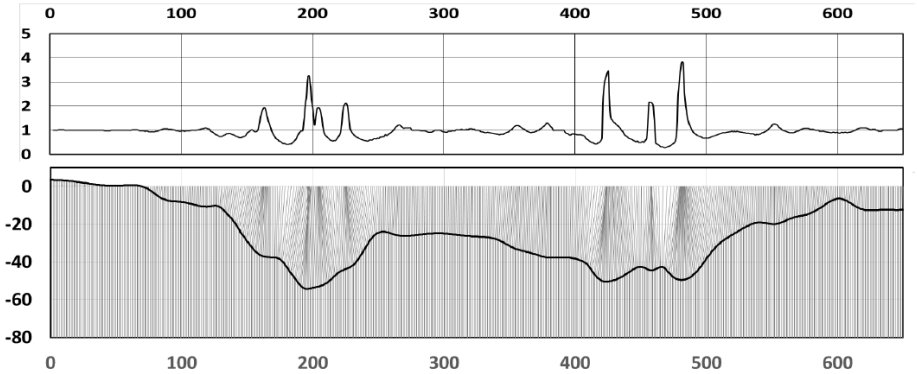


図 4. 鉛直入射の場合の波線の屈折（下図）と波線の集中度（上図）.

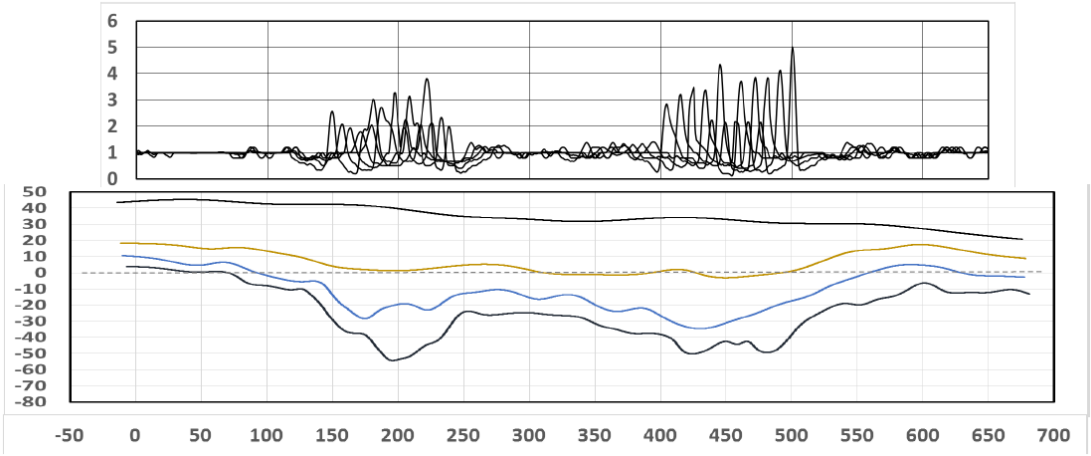


図 5. 基盤層＋表層の 2 層モデル（境界は最深部の黒線）で計算した
波線集中による標高 0m における波線の集中度.
入射角は鉛直に対して、0°、±15°、±30°.

ただし、註 1 に記すように、波線集中による地震動の評価は構造の大きさと波長の関係を吟味する必要がある。波動理論では構造不均質が概ね 1/4 波長より大きい場合、その影響が大きくなる。図 3 に示されるように、基盤の沈降域の大きさは、幅 100m 以上、深さ 50m 以上である。この深さの S 波速度を約 2km/s であるとすると、10Hz の波の 1/4 波長は約 50m である。従って、概ね 10Hz より高い周波数の S 波は不整形地盤の影響を受けることになる。基盤が沈降している場所では、地震動は最大 3～5 倍増幅される危険性がある（エネルギー換算では最大 9～25 倍）。定性的な一般論でこの影響を無視するのではなく、厳密な解析によってその危険性を評価すべきである。

2. 寸法効果について

関電は、調査結果を評価する際の留意する一般的留意事項として寸法効果（スケールファクター）を挙げ[4、19 頁 (2)]、「**小さなスケールの調査結果により地下構造モデルを評価した場合には，地震動評価上適切な寸法効果が考慮されないため，地震波の増幅に寄与しない細かな弾性波速度の違いを地下構造モデルに反映させることとなる。原告らは，寸法効果を考慮せずにＰＳ検層等の調査結果の細かな数値のばらつきを強調しているが，かかる主張は上記の点を理解していない**[4、20 頁]」と、一般的な留意事項から大飯サイトの PS 検層結果を否定しようとしている。しかし、関電は「**細かな数値のばらつき**」と曖昧な表現を使って、「数値がばらつく領域の大きさ」、「ばらつき自体の大きさ」の両方を検討しなければならないことを伏せている。基準地震動は 0.1～50Hz の周波数域で評価される。従って寸法効果の議論は、この周波数域の波が影響を受けるスケールの構造変化を議論しなければならない。「**細かな数値のばらつき**」として無視することは科学性を逸脱している。図 6 に PS 検層結果の S 波速度を示す[1、図 2]。

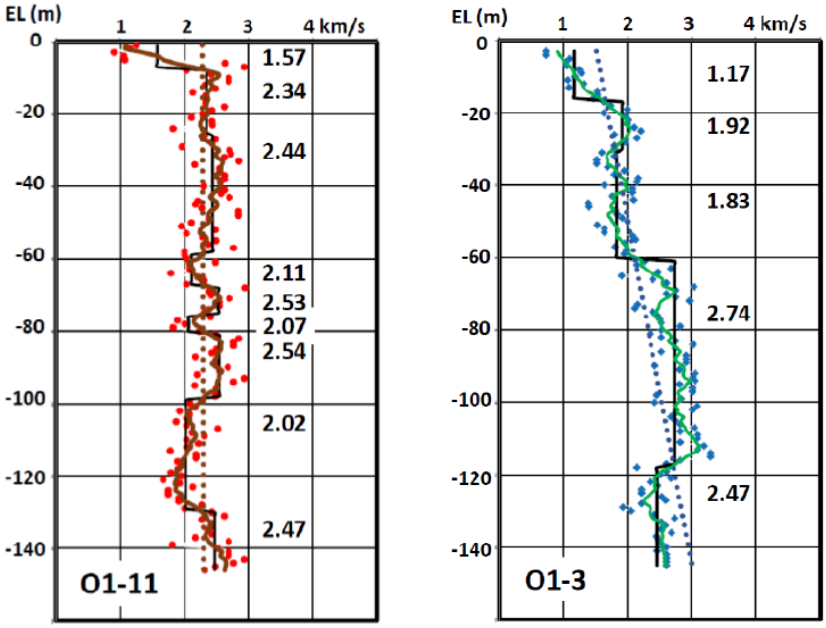


図 6. PS 検層結果.

図 6 に示す S 波速度は、全体の傾向（点線）の大きい方にずれる区間、小さい方にずれる区間のそれぞれの平均値である。O1-11 孔では、厚さ約 8m の表層は 1.57km/s と関電モデル 2.2km/s の約 7 割の速度しかなく、また標高-100m～-130m では 2.02km/s と約 9 割の低速度域となっている。また O1-3 孔では、標高-60m まで 1.17～1.92km/s であり、しかも標高-30m～-60m では 1.83m/s と約 83%の速度でしかない。平均的な速度の 3 割もの低速度域が 30m の規模で続くのである。これは寸法効果として無視できるのであろうか。前節で述べたように 1/4 波長を考えると、この規模の速度変化は約 17Hz 以上の S 波に影響を及ぼす。

3. 岩盤等級と RQD 値の関係について

岩盤工学あるいは地質工学において、岩盤の不連続性、すなわち亀裂の幅や頻度などの性状は最も重要な調査項目である。事実、関電自ら行ったボーリング調査の柱状図には、電研式岩盤分類による岩盤等級（岩級）と不連続性の指標である最大コア長、RQDなどが綿密に記載されている[10、6-3-588～641 頁、第3.5.28 図]。関電は、これらのデータの分析結果を明示することもなく「RQD **は高くないが、細粒石英閃緑岩及び輝緑岩そのものは堅硬で、節理は密着していることから、基礎岩盤は安定した岩盤である**」としている[10、6-3-115頁]。

しかし、原子炉建屋付近の10本のボーリング柱状図は、標高-150mの深部にまで岩級の低いCM級が36.6%を占め、岩級とRQDおよび最大コア長の分布傾向に高い相関のあることを示している[3、表1、付図1～10]。例として図7にNo.1161孔とNo.1162孔の岩級、最大コア長、RQDの分布を示す[3、付図9、10]。

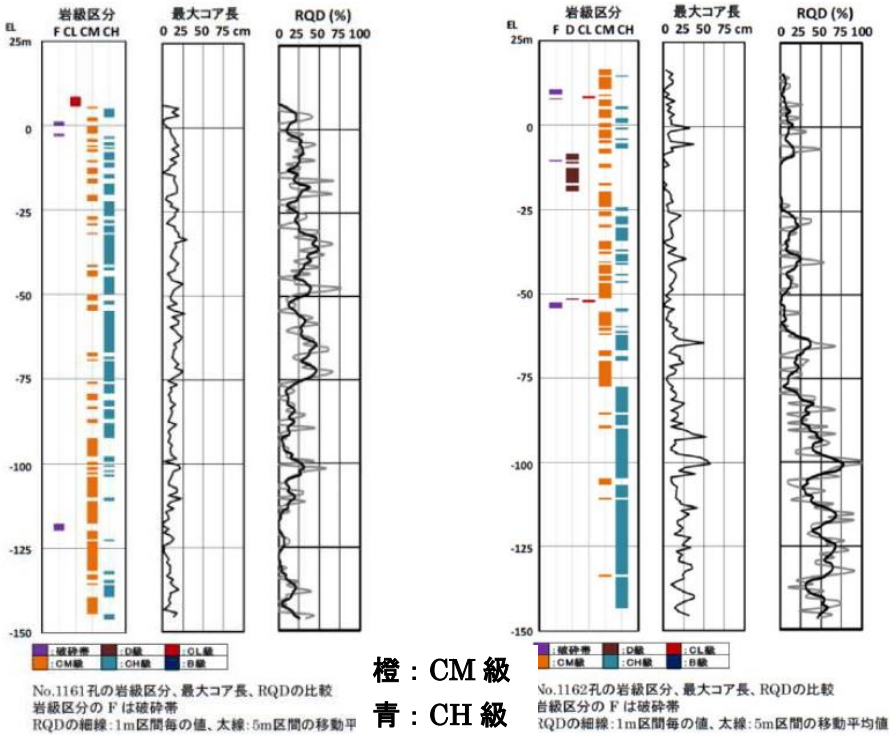


図7. No.1161孔およびNo.1162孔の岩級、最大コア長、RQDの分布.

また、大飯の基盤岩を構成する閃緑岩のRQDとP波速度の関係を適用すると、RQDの平均値28.7％はVp=3.82km/sに相当し、CM級以下は3.50km/sに、CH級以上は4.00km/sに相当する[3、9頁]。

このような指摘に対し、関電は「R.Q.D.は，客観的に測定可能な指数ではあるものの，岩盤の割れ目の量のみを示す指数であるため，電研式岩盤分類の手法では考慮されている割れ目の量以外の要素が全く考慮されておらず，岩盤状態の一側面を捉えるための手法に留まる」、「また，R.Q.D.は，ボーリングコアを観察して得られる指数である関係上，ボーリングコアの採取時に応力解放や人為的・機械的な外力等によって割れ目が発生する可能性を排除できない」、「このようなR,Q.D.の特性を踏まえ，被告は，本件各発電所敷地の地質の評価に当たっては，電研式岩盤分類の手法を基本とした一定の考え方を主たる評価基準として利用し，R.Q,D.は参考数値として扱うに留めている。R.Q.D.の数値と表裏の関係にある最大コア長についても，同様である[4、21頁]」と述べて、都合の悪い調査結果を無視している。

表1に、ボーリング孔毎のCH級とCM級の岩盤におけるRQDの平均値を示す（註2）。標高0～-150m区間の平均値は、CH級はRQD=41.60%であるが、CM級は6.61%であり、その差異は大きい。次頁の図8に岩級別のRQDの頻度分布を示す。頻度分布は、同じ岩級であっても割れ目の分布に顕著な差のあることを示している。このことからも、RQDが岩盤の性状を評価する重要な指標であることが明らかである。「一般的にも、硬岩においては、（岩盤を構成する岩石の）岩質よりも不連続面の影響が大きいため、現地における不連続面の評価が重要となる」とされている[11、529頁]のであるから、RQDを軽視することは許されない。なお、表1においてRQDがボーリング孔の位置によって変化しているのは、断層破砕帯に付随するシーム（亀裂）の分布密度が西から東へ増加し、これに相関して地震波速度が系統的に低下するという岩盤の脆弱化が深部にまで及んでいることに対応している[3、11頁]。

表1．ボーリング孔ごとのCH級岩とCM級岩のRQD平均値．（N：データ数）

No.	RQD_CH	N	RQD_CM	N
1153	40.52±24.29	106 (11)	5.17±8.83	23 (5)
1154	52.65±22.01	77 (14)	6.11±9.03	44 (7)
1155	42.88±25.16	85 (5)	8.54±17.89	39 (5)
1156	48.19±24.05	88 (15)	10.66±13.39	38 (10)
1157	36.80±23.01	93 (7)	5.85±8.96	34 (9)
1158	38.78±21.09	89 (18)	8.78±11.59	46 (10)
1159	36.33±24.28	54 (19)	5.75±11.10	63 (13)
1160	38.63±24.18	59 (6)	5.53±9.48	55 (11)
1161	33.79±17.71	63 (10)	6.38±8.58	53 (9)
1162	44.69±24.49	72 (6)	3.89±7.50	45 (9)
合計	41.60±23.68	786 (111)	6.61±10.99	440 (88)
	標高 0～-150m			

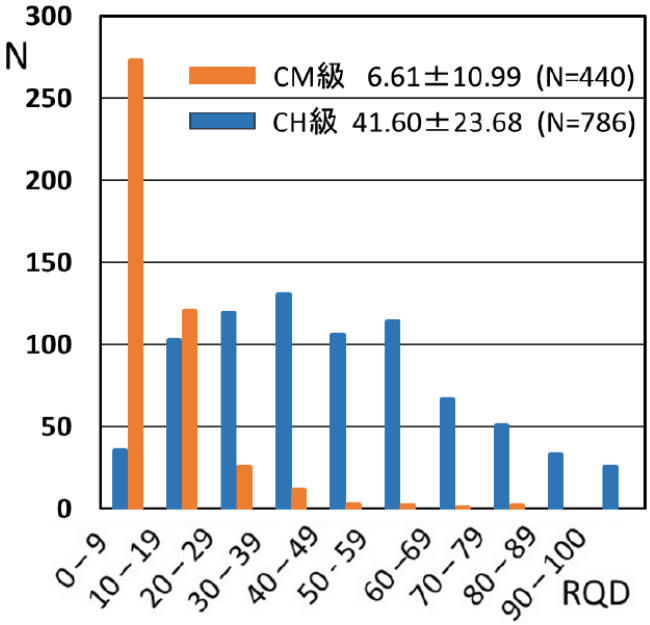


図8. CM級とCH級におけるRQDの頻度分布.

筆者が、RQDとP波速度の関係を用いてP波速度の深さ方向の分布を議論し、低速度層の存在を指摘したことについて、「**杉本（1979）においても「RQDの値と弾性波速度値を細部にわたって対比しても，変化が多く且つ精度のうえからもあまり意味がない。こゝでは掘進長10m以上の区間にわたり同一な岩石が連続している場合のみを対象として両者（引用者注:R.Q.D.の値と弾性波速度）の対比を試みた」（甲508，91頁）**」ことを引用して、10m未満の区間の速度を議論することを合理的でないと主張している（[4]、22～23頁）。しかし「**原子炉基礎深ボーリングの結果から、原子炉の基礎底面下ではE.L.-50m～E.L.-120mまでは細粒石英閃緑岩が分布し、その基底面は南西方向に約20°傾斜している**［10、6-3-115頁]」と、同一の**細粒石英閃緑岩**が数十m～100m以上連続していると主張しているのである。さらに、筆者は細部にわたって対比しているのではない。25m区間の平均値で深さ方向の変化を検討したのである。関電の誤解を解くために、再度RQD平均値とP波速度の分布を図9に示す。

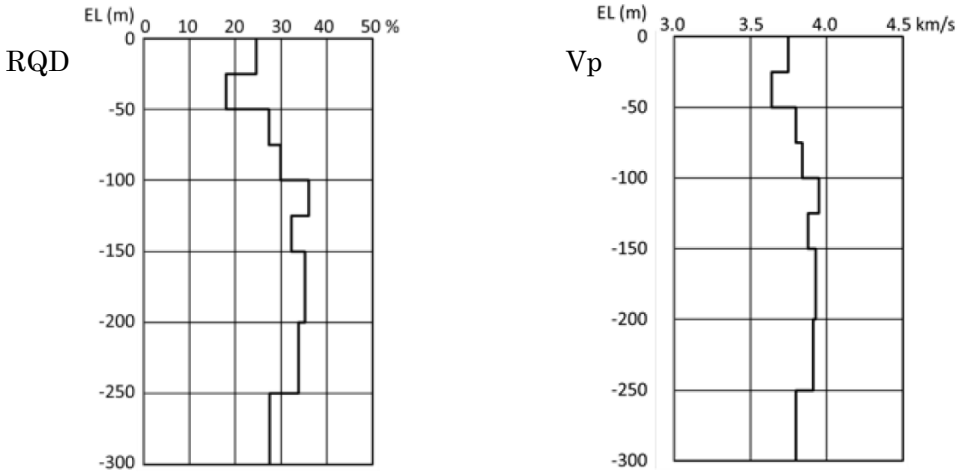


図9. RQD平均値およびRQD平均値から求めたP波速度の深さ分布.[3の図9、16]

関電は、大飯サイトの岩盤については、RQD を岩級や地震波速度と結びつけて岩盤の性状を評価することを合理的でないと主張する一方、美浜サイトではボーリング調査の深さ 50～350m の RQD と P 波速度の関係の図を示して、次のように説明している。「**RQD や孔径について確認を行った結果、RQD が小さい深度及び孔径が大きい深度において、Vp と密度の低下が確認された。以上より、RQD が小さい深度及び孔径が大きい深度、つまり割れ目が多く、地質的に脆弱な深度において、Vp と密度の低下が確認された**「12、42 頁」」。つまり、RQD が小さい場合、岩盤は割れ目が多く地質的に脆弱で、Vp が低下すると測定結果を説明しているのである。大飯サイトと美浜サイトでは RQD の評価が全く異なり、関電の主張は不合理である。

4. 澤田意見書および小島意見書の評価について

関電の準備書面(27)は「**澤田氏及び小島氏は，澤田意見書（丙339）及び小島意見書（丙340）において，大飯発電所敷地において策定された地下構造モデルの妥当性を認める旨の見解を示している。以下，両氏による地下構造モデルの妥当性評価について詳しく述べる**[4、32頁]」として、調査項目ごとに両氏の見解が記されている。両氏の意見書については、その誤りを指摘してある[7、8]ので、本稿では調査項目を追って簡単に反論しておく。

4.1　地質調査について

関電は、小島氏が敷地の岩級分布を3枚の地質断面図（C-C'断面、D-D'断面、E-E'断面）に依って判断したことを引用して、「**「硬岩が広く分布する場所に位置する大飯発電所の敷地には，概ねＣＨ級の岩盤が浅部から分布し，深部まで同じ岩盤で構成されること，及び風化の影響は深部まで及ばないと考えられることから，少なくともＣＨ級以上の岩盤が深部まで続いていると考えられる」と述べている（丙340，2頁）**」、また「**「硬岩の物性を評価するにあたっては，その調査のスケール，寸法効果の影響に注意を払わなければいけない」（丙340，2頁）とも述べており**」と記して、「**小島氏は，寸法効果の影響を考慮すれば，上記評価で指摘している程度の岩級区分の局所的な低下については有意なものではないと評価していると考えられる**[4、33頁]」と主張している。さらに、関電は、「**澤田氏も，大飯発電所敷地の地盤に関して，「電研式岩盤等級で言えば，破砕帯や風化した部分の周辺では局所的にＣＭ級を含むものの，その大半はＣＨ級の堅硬な岩盤が十分な広がりを持って分布しており，地質性状には何らの問題もないことが判る」と述べ（丙339，7頁），小島氏と同趣旨の評価をしている**」と述べて、「**小島氏及び澤田氏の上記評価に鑑みても，被告が，地質調査の結果から，大飯発電所敷地の地下には，岩級区分がＣＭ級以上に分類される堅硬な岩盤が，著しい高低差がなく，ほぼ水平に広がっていることが確認できたと評価したことは，何ら不合理ではない**[4、33頁]」と主張している。

ところが、小島氏も澤田氏も地質調査の原本であるボーリング地質柱状図とは異なる内容の地質断面図によって判断し意見を書いている[7、2頁、8、1頁]。寸法効果については、具体的に不均質の大きさと波長との関係を論じたのではない。両氏とも調査資料の原本に基づいて判断すべきであり、そうしていないのであるから、両氏の意

見書に基づく関電の上記主張は妥当ではない。

さらに、関電は「**ＣＭ級以上に分類される堅硬な岩盤が，著しい高低差がなく，ほぼ水平に広がっていることが確認できたと評価したことは，何ら不合理ではない**[4、33頁]」と、CM級の存在を意識した文章を書いているが、地質断面図は殆ど全てがCH級として記載されている。

4.2　PS検層について

関西電力は、小島氏が「O1-3孔の簡易柱状図及びPS検層結果」の図によって確認したとして「「**深度53m以深の地震（ママ）全体の平均的な速度として評価するならば、地盤モデルの速度と概ね同程度であると評価できる」と評価している（丙340、4～5頁）**」と主張している。小島氏が確認したとする図は、小島氏自身が「**関西電力㈱より受領したPS検層結果と柱状図をもとに作図したものである**[6、4頁]」と述べている。O1-3孔の柱状図は規制委員会の資料にも裁判資料にも公開されていない。簡易柱状図では標高約－21m以深で全て「主にCH級」とされており、原子炉建屋のボーリング柱状図の岩級分布（CM級が36.6%））とは全く異なる。原子炉建屋とO1-3孔の地下構造が全く異なるのか、あるいは、小島氏の「作図」の過程で異なったのか、詳細は不明である。関電はO1-3孔の柱状図原本を公開すべきである。

小島氏、澤田氏とも、表層部および深部における速度の低下を「この程度の低下」は地盤増幅特性に影響を及ぼさないと記すのみで、どのような周波数の波にどの程度の影響を及ぼすか具体的な指摘が全くない。簡単な計算で済むことである。

4.3　試掘坑弾性波探査について

試掘坑に沿う屈折法弾性波探査で低速度が測定されることについて、小島氏は「**西側よりも東側のほうが風化の影響を受け、周辺に比べてCM級が多く分布することにより相対的に速度が若干遅くなっている部分が認められる」、「試掘坑においては応力解放や掘削によるゆるみの影響も否定できず、見た目よりも速度が遅くなっていることも考えられる**[4、36頁]」と、「見た目よりも」と意味不明な言葉で試掘坑掘削の影響であるとし、澤田氏は「**局所的な亀裂や破砕帯、その周囲の風化の影響によるもの**[4、38頁]」と局所的な風化や掘削によるゆるみを強調している。両氏とも屈折法地震探査の結果だけから、速度の低下が局所的であることを主張し、西から東への系統的な速度低下が生ずる原因を風化や掘削のゆるみで説明しようとしている。しかし、両氏の説明には重大なミスがある。なぜなら、試掘坑弾性波探査では、坑間弾性波探査(fan-shooting)が実施されており、坑間弾性波探査は屈折法地震探査よりも格段に掘削によるゆるみの影響が少なく、面的な広がりを調査できるにも拘わらず、両氏とも坑間弾性波探査については全く言及していないからである。坑間弾性波探査の結果は、速度が断層破砕帯とそれに伴うシーム（亀裂）の分布に対応して系統的に低下し、岩盤が断層破砕帯の影響により西から東に系統的に脆弱化していることを明確に示している[1、3章]。坑間弾性波探査の結果を関電が両氏に伝えなかったのか、両氏がその結果を無視したのかは不明である。なお、地震波速度と断層破砕帯の関係については、[1]の3章および8章に詳述してある。

4.4　単点微動観測について

関電は、「**澤田氏は、「単点微動観測結果により推定したVs＝2.2 km/s 層の上面深度は概ねE.L.-25m～E.L.＋65mの範囲であり，大飯発電所敷地全体の平面的なスケールの大きさおよび各地点の標高差を勘案すると，Vs＝2.2 km/s 層の上面深度に著しい高低差がないことがわかる」と述べている（丙339，8頁）。これは，大飯発電所敷地全体のスケールを踏まえれば，上記程度の上面深度の高低差には有意な影響がないとする趣旨である。よって，被告が，単点微動観測の調査結果を踏まえて，大飯発電所の敷地全体にわたってＳ波速度約2.2 km/s の硬質な岩盤が広がり，その上面深度には著しい高低差がない（大きな傾きがない）と評価したことは，不合理ではない**[4、39頁]」と主張している。澤田氏の意見とされる上記の文言は、この観測・解析方法を理解している専門家の意見ではない。解析では、前提条件として岩盤のS波速度（Vs）を2.2km/sとし、表層はVs=472m/sの土質地盤であるとしてその厚さを求めている。各観測点でこの速度が確かめられているのではない。しかも、基盤の速度がVs=1.6km/sであっても表層の厚さはほぼ同じに求められる。基盤の速度が2.2km/sであるならという仮定の下での議論であり、2.2km/s層の分布性状を調査する観測・解析ではない。単点微動観測については[1]の5章に詳述してある。

4.5　反射法地震探査について

A測線には反射断面記録に断層構造に特徴的な回折波が認められ[13]、新たに実施されたC測線では発振記録に断層構造を示唆する顕著な走時異常が記録されている[14]。澤田氏も小島氏も、A測線で記録されている回折波について言及せず、また、C測線の発振記録については一言も触れること無く、水平成層構造であるとの意見を述べている([5]の9頁、[6]の6頁)。関電にとって都合の悪いデータは判断から外されているようである。さらに、小島氏は反射断面図にF-6断層を書き込んで［6、図-19］断層位置に反射異常はないと証言しているが、氏が書き込んだ断層は地質調査で調べられたF-6断層とは全く異なる傾斜方向をしている。このことについては、[8]の「2.3 反射法地震探査結果について」を参照されたい。

4.6　微動アレイ探査及び地震波干渉法の観測結果を目的関数としたインバージョン解析並びに同解析に基づいた地下構造モデルの策定について

この観測と解析の最大の問題点は、観測記録の精度の吟味が皆無であること、インヴァージョン解析は結果を誘導するための初期値と境界条件を与えて行われたこと、このため地盤モデルの表層が原子炉設置面の地下約40m下方に求まるという矛盾を生じたことである（[1]の6章、[2]）。澤田氏の意見は従来の関電の主張をそのまま述べているだけである。例えば、観測された位相速度の分散曲線に見られるデータの偏倚、インヴァージョン解析における恣意的な初期条件、境界条件の設定など、観測・解析に携わった専門家であれば当然検討すべき事項について黙している。この問題に関しては「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－[1]」の第6章および「大飯発電所の地盤構造について[2]」において指摘してあるが、澤田氏は指摘した事項を避けて意見書を書いている。

4.7　オフセットVSP探査等を利用した弾性波トモグラフィー解析について

前述の「1 章の(2)　不整形地盤による波線集中」に述べたように、トモグラフィ解析結果には幅が 100m 以上、深さ標高-50m に達する基盤の落ち込みが 2 か所見られる。小島氏と澤田氏はともに地質断面図を参照して、これらの落ち込みは問題ないとの意見を述べている。しかし、両氏とも波動への影響を定性的に述べるだけであり、しかも参照している地質断面図の岩級分布はボーリング地質柱状図原本とは異なるものである。さらに、小島氏は「**弾性波トモグラフィーのＤ測線における，風化の影響を受けた比較的低速度の部分（おおよそＣＨ級より岩級が劣るもの）は，建屋建設前には建屋設置位置付近にも分布していたものであり，それは地質断面図でいえば原子炉建屋設置面から旧地形線の間に相当する。ただ，建屋建設時にはそれらの部分は掘削して取り除かれており，現状建屋設置位置には分布していないため，何ら問題ない**[4、45 頁]」と全く虚偽の証言をしている。D 測線における低速度の部分は標高-50m にも沈降しており、ボーリング柱状図によれば、CH 級より岩級の劣る CM 級は標高-150m にまで全体の 36.6%も分布しているのである。原子炉建屋設置面は標高 0m であり掘削して取り除かれるものではない。

4.8　地表における地震観測結果について

関電は、電力中央研究所が実施した地震観測の論文を引用して「**本研究では，硬岩サイトを対象に水平アレイ観測により得られた地震記録を用いて・・・地震波の到来方向ごとに各観測点における基準化スペクトル（引用者注：観測点のうちの一地点を基準点としたときの他の観測点とのフーリェスペクトル比）を求めた。その結果，平均基準化スペクトルは方位に依らず概ね一致し，１次元仮定が妥当であることを支持する結果となった**[4、48 頁]」と主張し、澤田氏もこの結果を是とする意見である[4、49 頁]]と主張している。しかし、基準化スペクトルは方位により 1～10Hz の平均で 0.88～1.29 倍の違いがあるうえ、基準化スペクトル自体が 0.66～1.69、１σの分散を考慮すると 0.53～2.6 の開きがある。原子炉建屋の両端の地震動には 1.7 倍、１σを考慮すると 2.6 倍もの違いがあるのである。電中研の論文は、場所の違いにより増幅度が顕著に変化する基準化スペクトル自体の分析を行わず、方位による違いが大きくないことを印象付けようとしている。地表地震観測結果については「澤田義博氏の意見書（丙第 339 号証）について[7]」にその分析結果を詳述した。

5. 関電による地震観測計画

原子力規制委員会は地震動評価のための地下構造調査について「敷地近傍地下構造調査（精査）では、高密度な物理探査、鉛直アレイ地震動観測及び水平アレイ地震動観測並びに物理検層等を適切に組み合わせた十分な調査が実施されていること」を要請している[15、24 頁]。これを受けて関電は大飯サイトにおける地震観測について、規制委員会の審査会合で次の説明を行っている：

第 21 回審査会合（平成 25 年 9 月 18 日）：地下構造を三次元的に把握するために、鉛直アレイ地震観測、大深度地震観測を実施するとして追加調査計画を提示した（16、

26-27 頁）。提示された計画表を次頁の図 10 に引用する。この計画では、鉛直アレイ地震観測は平成 26 年 2 月開始、大深度地震観測は平成 27 年度開始となっている。

第 206 回審査会合（平成 27 年 3 月 13 日）：鉛直アレイ地震観測も大深度地震観測も実施されておらず、計画の見直しが報告された[17、185 頁]。報告に使われた資料を図 11 に引用する。見直しの理由は、掘削中の観測孔が崩落したため観測場所を変更するというものである。見直し工事は平成 30 年 3 月頃に終了予定となっている。それから 3 年以上も経過しているが、規制委員会へ地震観測の報告はされていない。

なお、原子炉建屋付近のボーリング柱状図（Nos.1153～1162）の中で、崩落した観測孔（マムシ谷）に最も近接する No.1159 孔は、標高 0～-150m 区間で CM 級以下の岩が 53.1%と岩質は最も脆弱である[7、図 2-2]。観測孔選定には、地質調査によって判明している地質条件の場所による変化を検討すべきであった。

まとめ

関西電力は準備書面(27)において、専門家である澤田義博氏および小島圭二氏の意見書の内容を敷衍したとして、地盤構造の均質性を主張しているが、両氏の意見書は一般的な事項を定性的に指摘するのみで、具体的で定量的な議論を欠いている。両氏の判断には総じて次のような重大な瑕疵がある。

・地質調査の元資料に基づかない地質図による判断、
・隠蔽された資料の見過ごし、
・解析における恣意的な結果を誘導するための条件設定の看過。

新たに実施された地表地震観測結果は、地震動増幅が場所によって大きく変化する不整形地盤であることを示している。また、新たに実施されたオフセット VSP 探査の結果は、解放基盤と目される基盤が 2 カ所において、幅 100m 以上深さ 50m 以上にわたって沈降していることを明らかにした。これらの基盤の沈降部のレンズ効果によって、概ね 10Hz 以上の高周波の地震波が波線集中を起し、地震動が数倍増幅する危険性がある。これらの結果は原子炉の耐震安全性評価の見直しが必要であることを示している。

以上のとおり、敷地の地下構造は関電が主張するような堅固で均質な岩盤ではなく、堅固で均質な地盤モデルで策定された基準地震動は過小評価である。地質調査および物理探査の結果に整合する地盤モデルによって基準地震動を策定すべきである。

2－1. 地下構造把握のための追加調査計画

27

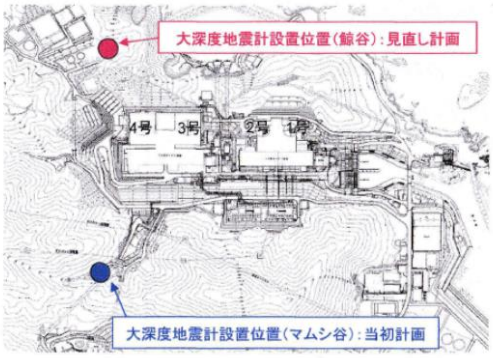
項目	目的	6月	7月	8月	9月	10月以降
敷地内での稠密微動観測	既存ボーリングデータ等と比較し、浅部の地下構造を把握する	▽調査		解析	▽今回報告	
敷地周辺での地表面地震観測・微動アレイ観測	深部（3～4km程度）の地下構造を把握する			▽設置済	▽解析結果	継続観測 データ拡充
反射法地震探査	地盤構造を連続的に把握する。				計画準備等	探査 解析 解析結果▽
鉛直アレイ地震観測	地震記録を収集し、地盤増幅特性に関するデータを拡充する。	既設地震計 地表面地震計 鉛直アレイ地震観測 大深度地震観測		既設地震計データ回収 計画準備・許認可等 掘削中、H27年度地震観測開始	地震観測 地震計製作 ボーリング掘削	地震計設置 H26.2 観測開始

図 10. 地下構造把握のための地震観測計画（平成 25 年 9 月）.

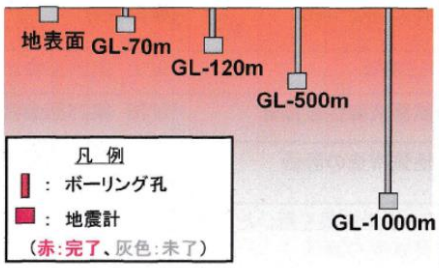
（参考）大飯発電所の大深度地震計設置の取組み状況

185

大飯



平 面 図



- ●当初計画地点については、掘削中に孔内の崩落が発生するなど、大深度地震計の設置に不適当な地盤と判断した。
- ●地震計の設置位置を見直し、新たな候補地点（鯨谷付近）に設置する。
- ●地震計の設置深度については、地盤モデルの検討結果から地震基盤相当の地盤が確認されているGL.-1000mとする。
- ●見直し位置で工事着手済み。今後、地震観測を早期に開始するため、工程の前倒しに取り組む。

（工期：約3年間）

図 11. 地震観測計画の似直し（平成 27 年 3 月）.

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－、2018.1.9（甲第 422 号証).
[2] 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).
[3] 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）
[4] 関西電力、準備書面(27)、令和 3 年 5 月 17 日.
[5] 澤田義博、意見書、2021 年 11 月（丙第 339 号証).
[6] 小島圭二、意見書、令和 2 年 11 月、（丙第 340 号証).
[7] 赤松純平、澤田義博氏の意見書（丙第 339 号証）について、2021.5.16.
[8] 赤松純平、小島圭二氏の「関西電力㈱大飯発電所の評価に対する意見」（丙第 340 号証）について、2021.5.16.
[9] 関西電力、高浜発電所・大飯発電所 地下構造について（コメント回答）、原子力規制委員会第 113 回審査会合資料 3-1、平成 26 年 5 月 16 日.
[10] 関西電力、大飯発電所発電用原子炉設置許可申請書（3、4 号炉完本）本文及び添付書類、平成 29 年 5 月現在（丙第 178 号証).
[11] 日本材料学会、岩の力学－基礎から応用まで、平成 5 年、丸善株式会社.
[12] 関西電力、美浜発電所 地下構造評価について、原子力規制委員会第 257 回審査会合資料 2-2、平成 27 年 7 月 31 日.
[13] 田村八洲夫、「反射法地震探査」のデータ評価、ShiftM.jp by もったいない学会、http://shiftm.jp/?p=973）、2017.
[14] 田村八洲夫、意見書（大飯発電所敷地における反射法地震探査記録について）、2021 年 5 月.
[15] 原子力規制委員会､敷地内及び敷地周辺の地質･地質構造調査に係る審査ガイド、平成 25 年 6 月（甲第 426 号証）.
[16] 関西電力、大飯発電所地下構造の把握について、平成 25 年 9 月 18 日、第 21 回審査会合資料 1-1.
[17] 関西電力、大飯発電所地震動評価について、平成 2 7 年 3 月 13 日、第 206 回審査会合資料 3-4.
[18] 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）

註１　波線集中の計算

基盤層 ＋ 表層の 2 次元 2 層モデルに下から地震波が任意の入射角で入射する場合について、スネルの法則により屈折角を求め、屈折波線が表層表面に達する位置を計算する。スネルの法則を用いるには、付図 1 に示すように、入射位置の境界の傾きと境界への入射角が必要である．弾性波トモグラフィ解析結果の速度断面図（[18]の図-5、図 3 に引用）を以下の手順で 2 層モデルとし、計算処理した．

(1) トモグラフィ結果図（pdf）の速度境界が明瞭になるように色調補正(付図 2).
原図では、赤：2km/s 前後、黄：3km/s 前後、緑：3.7km/s 前後、紺 4.5km/s 前後である．

(2) 市販のソフト(Surfer：Golden Software)の画面上で図の枠、地表、境界線の位置座標を読み取り、縦横のスケールをメートル単位に変換. 読み取った点数は、地表：12 点、第 2 層上面：24 点、第 3 層上面：41 点、基盤層上面：63 点.

(3) 境界位置を 3 次式によるスプライン補間（spline-interpolation）により等間隔のデータに補間（0.1m 間隔、ただし図化は 1m 間隔).

(4) 基盤（Vp=4.5km/s）＋ 表層（Vp=3.5km/s）の 2 層モデル. 境界の傾斜は各点での 3 次式の微係数で与える．

(5) 入射波線：入射基準面（標高-80m)において 1m 間隔.
入射角：鉛直に対して 0°、±15°、±30°の 5 ケース.

(6) 波線の集中度：[標高 0m の 5m 幅の区間に到達する波線の数］と、[入射基準面での 5m 幅の入射波線数］の比の移動平均．入射基準面の 5m 幅の入射波線数は 5.

付図 2 に色調補正したトモグラフィ解析結果図と読み取った境界位置図を比較して示す。本文中の図 3 に鉛直入射の結果を示した．付図 3、4 に鉛直入射角±30°の計算結果を示す．また、本文の図 4 に鉛直入射角が 0°、±15°、±30°の 5 ケースの波線の集中度を重ねて示した．

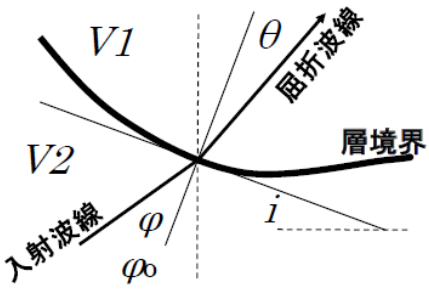
波線集中の特徴は以下のようである．

・集中域は、入射角によって若干変化するが概ね基盤凹部の上にあり、平行層の場合の 3～5 倍の波線密度である．エネルギー密度では 9～25 倍である．

・関電の P 波速度と S 波速度の換算式 Vp = 1.29 + 1.11 Vs を使うと、基盤層と表層の Vs は 2.9km/s, 2.0km/s となり、速度比は P 波の 1.29 に比べ、S 波のほうが 1.45 と大きい．S 波の方が波線集中が発生しやすい．

・ S 波速度を 2km/s とすると、周波数が 10Hz 以上の波は 1/4 波長が 50m 以下であるので、幅 100m、深さ 50m の基盤凹みの影響を受ける．

・波線集中の計算は、波の位相を考慮していない．集中した波線が場所で同位相に近い場合振幅は加算され逆位相では打ち消しあう. 波線集中は地震動が増幅されるための必要条件を提示するものである。

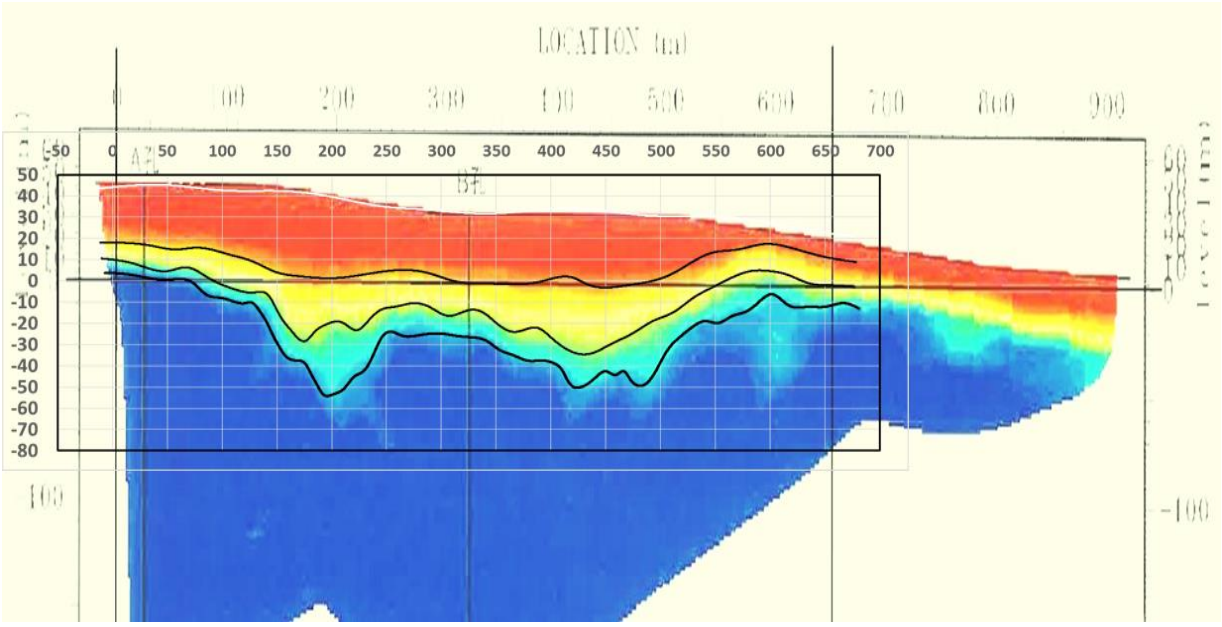


$V1$: 表層の速度
$V2$: 基盤の速度
i : 境界面の傾斜角
φ_0 : 入射波の鉛直からの角
φ : 入射角
θ : 屈折角

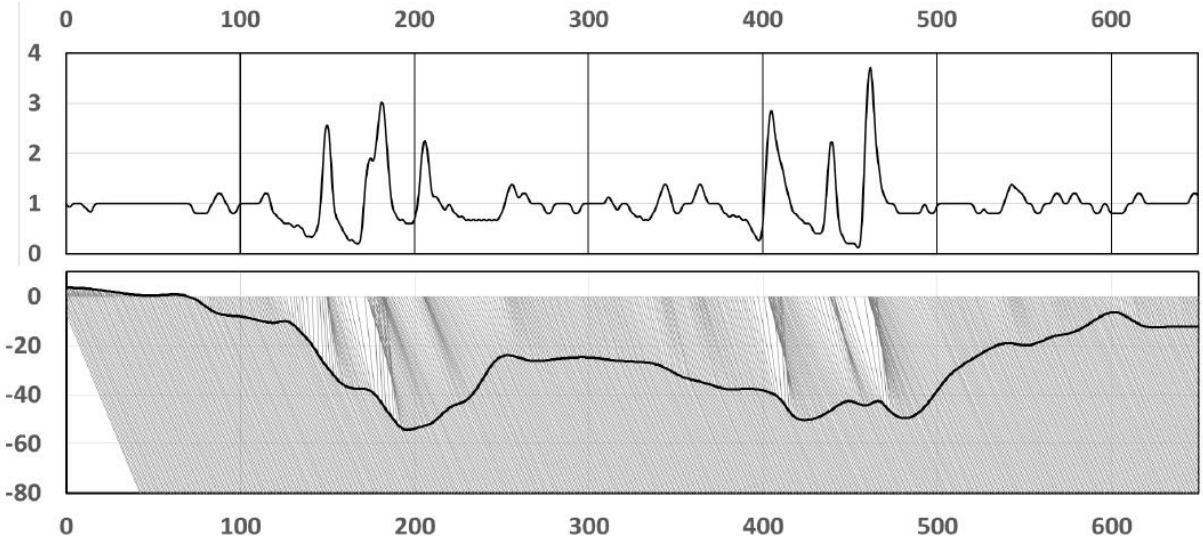
$$\varphi = \varphi_0 - i$$

$$\frac{\sin\theta}{V1} = \frac{\sin\varphi}{V2}$$

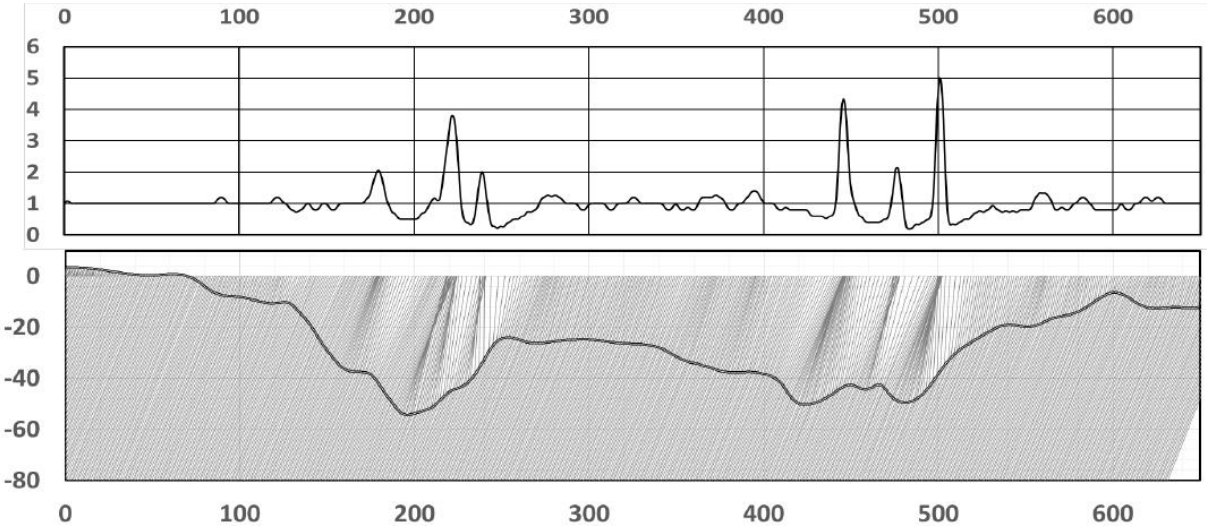
付図 1．速度境界での波線の屈折.



付図 2．色調補正したトモグラフィ解析結果と読み取った速度境界.
基盤上面として読み取った位置の下方に約 4.1km/s の速度域がしみだしているが
基盤層に含めた。



付図３．鉛直入射角 30°の場合の波線集中.

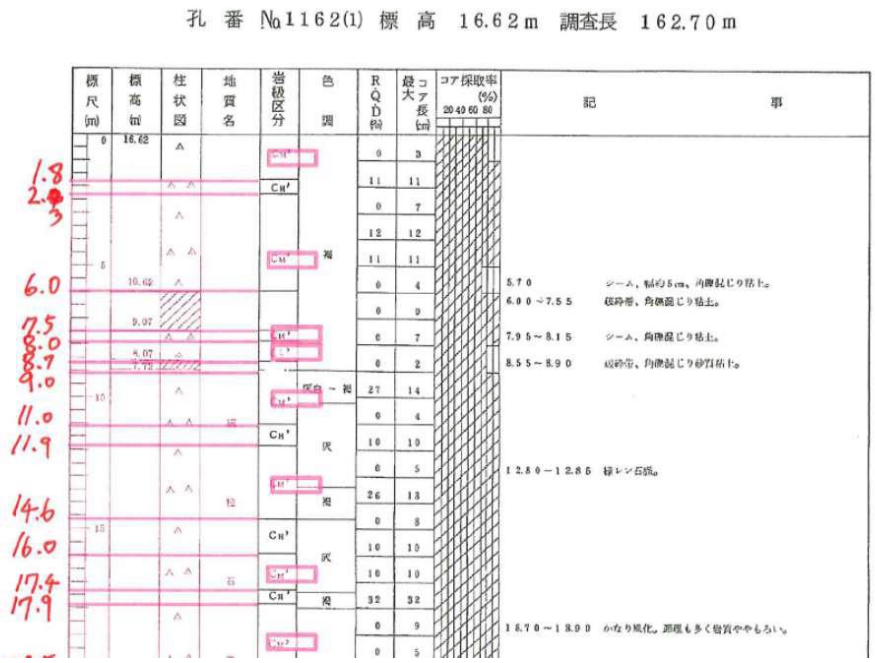


付図 4. 鉛直入射角-30°の場合の波線集中.

註 2　岩盤等級と RQD の読み取り

下図に示すように、ボーリング柱状図は第 1 欄から、標尺(m)、標高(m)、柱状図、地質名、岩級区分（第 5 欄）、色調、RQD(%)（第 7 欄）、最大コア長(cm)、コア採取率(%)、記事の順に記載されている[10、6-3-588～641 頁、第 3.5.28 図]。岩級区分は岩級の境界線が記載され､RQD と最大コア長は標尺 1m 毎に値が記載されている。岩級区分境界線は標尺目盛りにより 0.1m の位まで読み取った（標尺目盛りは 0.5m 間隔）。岩級区分と RQD の区分の境目は一致する場合は少ない。

岩級別の RQD : RQD は 1m 長で定義されているので、ある岩級の区分長が 1m 以上であれば、その岩級の RQD は対応する RQD とする。岩級区分が 1m 幅の RQD 区分の中にある場合、分割された区域が 0.7m 以上であればその区域の RQD を採用する。0.7m 未満の区域は棄却する。表 1 のデータ数(N)において括弧の数は 1m 未満 0.7m 以上の区域の数（内数）である。



ボーリング柱状図．岩級区分の深さを赤線で読み取った．