丙第340号証

意 見 書

令和２年11月

地圏空間研究所

小長谷圭二

1 経歴・専門分野

私の経歴等については、「経歴書」に記載のとおりである。

私の専門は、地質工学及び地質学である。

地質工学は、自然災害の研究や国土防災、そして社会インフラや重要構造物などのシステム構築に伴う自然環境との間の調整、関係する地質現象を取り扱う。これには、地質学を基礎とした実務で扱うための枠組み作り、定量化や閾値の設定、それらの適用方法についての研究が不可欠である。

また、私の博士学位論文として、「新生代堆積物の物理的性質に関する研究」(東京大学(1972))があり、これは、物理探査の一つである反射法地震探査(音波探査)による地質の同定手法の開発と地盤物性の長期変化(岩化作用)の体系化についてとりまとめたものである。

このうち、音波探査による地質の同定に関しては、地震波の反射パターンと露頭やボーリングによる地層パターン(岩相)とを種々の方法で相関づける研究を行っている。

2 本意見書の概要

本意見書では、以下の構成により、関西電力㈱が実施した原子力発電所の地質・地質構造の評価及び各種試験結果に基づき、地盤の速度構造に関する評価について、私の意見を述べる。

なお、関西電力は、平成 25 年 7 月に新規制基準が施行されたことに伴い、新規制基準の要求を踏まえ、地震動に影響を与える「震源特性」「伝播特性」「地盤の増幅特性(サイト特性)」を踏まえた原子力発電所の新たな基準地震動を策定している。その策定の過程での地下構造評価等に関する各種調査・分析の内容については、関西電力によって新規制基準の審査に係る各種資料(例えば、大飯発電所地盤モデルの評価について(平成 26 年 3 月 5 日)、大飯発電所地盤(敷地の地質・地質構造)について(平成 27 年 3 月 13 日)、大飯発電所地盤(敷地周辺、敷地近傍の地質・地質構造)について(平成 27 年 3 月 13 日)等)としてまとめられており、本意見書はそれらの資料を参照するとともに、新たに関西電力が実施した反射法地震探査及び弾性波トモグラフィーに関する別添資料の報告書も参照し、また関西電力から必要な事項の聴取も適宜行うことにより、取りまとめたものである。

1章では、大飯発電所近傍周辺及び敷地内の地質・地質構造について、当該地点の地質の成り立ち、硬岩で構成されている地質構造の観点から考察を行い、その考察から深部にわたる地盤の速度構造について、私の意見を述べる。

2章では、1章で述べた、地質・地質構造の特徴と関西電力が実際に現場で実施した各種試験(PS 検層、試掘坑弾性波探査、反射法地震探査、弾性波トモグラフィー)結果とを照らし合わせて、深部にわたる地盤の速度構造について、私の意見を述べる。

3章では、1章及び2章を踏まえてまとめを行う。

3 関西電力㈱大飯発電所の評価に対する意見

1章　大飯発電所近傍周辺及び敷地内の地質・地質構造について

関西電力㈱の設置許可申請書によれば、大飯発電所は若狭湾に突出し、小浜湾の西側を形成している大島半島の先端部に位置している。当発電所敷地の地質は、舞鶴帯南帯の夜久野オフィオライト(大島層を含む)を基盤とし、これを覆う第四紀の堆積物からなる。基盤である夜久野オフィオライト(大島層を含む)は輝緑岩、斑れい岩及び細粒石英閃緑岩を主体とし、頁岩、超苦鉄質岩を含んでいる(図-1、2)。また、関西電力㈱が新規制基準適合性審査にあたり実施した文献調査(Shibata et al.(1977)[1] 及び木村他(1989)[2])における年代測定結果及び微化石年代から、夜久野オフィオライト(大島層を含む)は古生代(ペルム紀)の地質であることが明らかになっている(図-3)。一般的に言えば、これらの輝緑岩、斑れい岩、細粒石英閃緑岩、超苦鉄質岩の火成岩や古生代等の古い時代に形成された頁岩の堆積岩は硬岩であると考えられる。これは「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)」においても同様の考え方であることが確認できる(図-4)。

ここで、硬岩の一般的な特徴を述べる。硬岩は、地表付近では風化の影響を受けているものの、深部に向かうにしたがって新鮮な状態を維持している。土や軟岩は圧密や固結の程度が弾性波速度等の物性に大きな影響を与えるが、硬岩は割れ目や破砕帯が弾性波速度等の物性に大きな影響を与える。割れ目や破砕帯は、その密度や連続性、性状などに細かな不均質性を有しており、その不均質性は硬岩の寸法効果(スケールファクター)に寄与している。なお、寸法効果とは、どの寸法で見るかによって物性が異なることである。事例として挙げると、小さなスケールでの評価(PS検層サスペンション法など)では、細かな割れ目が物性に与える影響は大きい。一方、大きなスケールでの評価(弾性波探査など)では、細かな割れ目やそれ以外の割れ目のない部分を含めた全体的な物性として評価され、細かな割れ目が物性に与える影響は小さい。つまり、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。

続いて、1～4 号炉を通る地質断面図(C－C'断面)、並びに C－C'断面と直交する地質断面図(3 号炉を通る D－D'断面及び 4 号炉を通る E－E'断面)によれば、D－D'断面の左側等の一部において、地表から盛土、堆積物があり、その下に風化の影響度合いに応じて D 級、C_L 級、C_M 級、C_H 級の岩盤が深さ方向に分布している。特に、原子炉建屋の設置高さ程度の以深では概ね C_H 級の岩盤が分布している(図-5～7)。なお、例えば C－C'断面の 4 号炉直下の E.L.-50m 付近のように、一部 C_M 級以下の岩盤がレンズ状に見られるが、これらは連続性に乏しく局所的な分布であることが確認されている。これらの岩盤分類については、ボーリング調査や試掘坑壁面地質観察に対して、硬質岩盤で一般に用いられている電研式の 6 段階の分類法の基本的な考え方に基づいて実施していることから、適切に評価していることも確認できる。

したがって、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 C_H 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 C_H 級以上の岩盤が深部まで続いていると考えられる。なお、本文で述べる深部とは、大飯発電所における地震動評価のための地盤モデル(第 1 層を Vs=2.2km/s、Vp=4.6km/s とし、深度 3km まで深度方向に速度が漸増するモデル。以下同じ)のスケールを言う。

以上の大飯発電所の敷地における地質・地質構造を踏まえると、大規模な断層、褶曲、貫入岩

などに起因する速度構造上の特異な構造が見られることはなく、同じ深度であればほぼ同程度のVp、Vsになり、顕著な速度コントラストは認められないと考えられる。

[1] Shibata,K.,Igi,S. and Uchiumi,S. (1977) :K−Ar ages of hornblendes from gabbroic rocks in Southwest Japan,Geochem. Jour.,Vol.11, No.2, p.57−p.64

[2] 木村克己・牧本博・吉岡敏和(1989):綾部地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所

2章　各種調査結果について

1章で述べた地質・地質構造の観点から想定される速度構造の特徴について、実際に現場で実施した各種試験の結果に照らして確認する。

2．1　PS 検層結果について

(1)　PS 検層の試験内容の概説

PS 検層の測定方法には、振源及び受振器の配置によって、ダウンホール法とサスペンション法がある。

ダウンホール法は孔口近くの地表で起振し、孔壁周辺の地盤を伝播して孔内で受振する方法で、測定した波形を深さ順に並べて初動位置を読み取り、時間と深さのグラフにプロットして走時曲線を作成し、その傾き(距離／時間)から弾性波速度を求めるものである。特徴としては、①地表から孔底までの走時を直接的に測定できる、②速度層区分を行うことができる、③孔壁周辺がゆるみやすい、浅部の速度計測にも有効である、が挙げられる(図-8)。

サスペンション法は起振と受振が一体となったゾンデ(2個の受振器と1個の振源で構成)を孔内に挿入し、上部、下部に配置した2組の受振器で測定された波形の初動をそれぞれ読み取ると、その差が1mを伝わるのに要した時間であり、(距離／時間)から弾性波速度を求めるものである。特徴としては、①地表に振源を必要としない、②1m区間の速度を求めることができる、が挙げられる(図-9)。

(2)　PS 検層の試験結果

PS 検層結果の一例として、「2．4　弾性波トモグラフィー結果について」の測線付近に位置することから、2 号炉の南東側で実施している O1-3 孔(孔口標高 E.L.+31.86m、掘進長 182m)について確認する。

O1-3 孔では地表付近の一部ではダウンホール法を用いているが、その他ではサスペンション法を用いて弾性波速度を求めている(図-10)。なお本図は、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。

本孔の柱状図を確認すると、地表から深度 34m 付近で着岩し、風化の影響により深度 46m 付近までは主に C_L 級が、深度 53m 付近までは主に C_M 級が分布し、深度 53m 以深は主に C_H 級が分布している。深度 150m～180m 付近では、主に C_H 級から構成されているが、局所的に割れ目密集部があり、C_L 級や C_M 級が所々に見出される。この一連の深度方向の傾向は、1章で述べたとおり、地表から風化の影響に応じて D 級、C_L 級、C_M 級、C_H 級と深さ方向に分布している傾向と同様である。

PS 検層結果と上述の岩級区分とを比較すると、深度 150m 付近までは岩級が上がるごとに概ね速度も速くなっていること、また、深度 150m 以深では割れ目の影響により局所的に若干速度が遅くなっていることが分かる(図-10)。以上から、岩級区分と Vp、Vs は概ね相関関係がある結果となっている。

さらに、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、1章で述べたとおり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が表現されている。それに対

し、後述する弾性波トモグラフィーでは 10m 規模の平均化された地盤全体としての物性が表現され、PS 検層で認められた物性のばらつきは認識されない。このことから、深度 53m 以深におけるばらつきは局所的であると言える。つまり、1m 規模よりも十分に長い波長の地震波を考慮する地盤モデルのスケールから見れば局所的なばらつきであり、それを踏まえて深度 53m 以深の地盤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。

したがって、PS 検層結果からも、1章で述べたとおり、ごく表層の風化の影響がある部分を除いて、概ね C_H 級の岩盤が浅部から分布しており、その速度のばらつきは局所的であることから速度構造上の特異な構造がないことが確認できる。

2. 2 試掘坑弾性波探査結果について

(1) 試掘坑弾性波探査の試験内容の概説

試掘坑内の坑壁において発破あるいは板たたきによって起振し、受振器で弾性波の伝わる速さを調べる試験である。

試験方法として、①坑壁を伝播する屈折波を利用してP波及びS波の速さから坑壁沿いの速度を調べる屈折波法(図-14 を坑壁に対して実施しているイメージ)、②起振器と受振器をそれぞれ別の坑内に設置し、坑間を伝播する P 波の速さから扇状に試掘坑間の速度を調べる平均速度法がある(図-11)。

(2) 試掘坑弾性波探査結果について

3,4 号炉設置位置付近の敷高 E.L.+4.0m の試掘坑において実施している試掘坑弾性波探査結果のうち、ここでは屈折波法について確認する。

北東－南西方向の A-3 坑及び A-4 坑の速度分布について、地盤モデルの速度(Vs=2.2km/s、Vp=4.6km/s)と比較すると、西側の速度が速いのに対し、東側の速度が遅い結果となっていることが分かる(図-12)。これについて試掘坑展開図を確認すると、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 C_M 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(図-13)。また、岩盤分類では C_H 級や C_M 級という評価ではあるが、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。

一方深度方向では、1～4 号炉を通る地質断面図(C－C'断面)を確認すると、試掘坑付近に C_M 級が分布しており、試掘坑の観察結果と整合的であるが、試掘坑より深い部分では風化の影響も小さく、例えば C－C'断面の F-3 破砕帯の周囲の C_M 級は極めて薄くなっていることが分かる(図-5)。これは破砕帯をとらえているボーリング結果に基づく評価であるが、1章で述べたとおり、地表近くでは風化の影響を強く受けており、より深い部分ではその影響が小さくなるという一般的な知見がよく表現されている。また、破砕帯の周囲以外においても、原子炉直下の試掘坑より深い部分では C_H 級が広く一様に分布していることが分かる。これらの傾向は C－C'断面と直交する、3 号炉や 4 号炉を通る地質断面図(D－D'断面、E－E'断面)でも同様であることが確認できる(図-6、7)。

したがって、試掘坑の東側において速度が若干遅くなっている部分は、局所的なもので

あり、1章で述べたとおり、速度構造上の特異な構造がないことを確認できる。なお、地質断面図から確認できるように、試掘坑の一部において認められる C_M 級の多くは、3,4 号炉原子炉建屋建設時に取り除かれており、建屋は概ね C_H 級の岩盤に直接設置されている(図-5～7)。

また、試掘坑弾性波探査により速度が若干遅くなっている部分は局所的な風化や掘削によるゆるみに過ぎず、試掘坑で実施した弾性波探査結果により設定した地盤モデルの速度(Vs=2.2km/s、Vp=4.6km/s)と同程度の速度を示す C_H 級が、地質断面図において広く一様に分布している。このことから、地盤モデルとして設定した速度(Vs=2.2km/s、Vp=4.6km/s)は妥当であると考えられる。

2．3 反射法地震探査結果について

(1) 反射法地震探査の試験内容の概説

反射法地震探査は、地表付近で人工的に弾性波(地震波)を発生させ、地下の地層境界や弾性波速度境界で反射して再び地表に戻ってきた反射波を、地表に多数設置した受振器で測定して、地下の反射面イメージから地下構造を推定する探査法である(図-14)。主に地層の連続性やそれに基づいた断層の有無などを把握するために用いられる。

(2) 反射法地震探査結果について

関西電力㈱が平成 29 年 5 月 24 日に設置変更許可を受けた申請書において示している、既往の反射法地震探査結果(A 測線及び B 測線)について確認する(図-15)。A 測線及びそれに直交するB測線では、探査測線に多少のうねりはあるものの、大規模な断層等に起因する速度構造上の特異な構造は認められず、ほぼ水平成層状の速度構造であると評価できる(図-16、17, 別添図-11、12)。

さらに今回、関西電力㈱が既往の反射法地震探査(A 測線)とほぼ平行する測線(C 測線)で新たに反射法地震探査を実施していることから、その結果についても確認する(図-15)。C 測線の結果は、既往の A 測線と同様に、E.L.-500m 程度まで明瞭な反射面が確認され、それ以深にも反射面が確認される。それら反射面には大規模な断層等に起因する速度構造上の特異な構造は認められず、A 測線と同様にほぼ水平成層状の速度構造であると評価できる(図-18、別添図-9)。なお、C 測線では発振点間隔を 5m としており、A 測線の 40m と比べて細かいことから、より精度の良い結果が得られていると考えられる。

なお、反射法地震探査結果を確認するうえで、大飯発電所のような火成岩を主体とする地質構造と堆積岩を主体とする地質構造では、成層構造の成因や反射面の構造も異なることに留意する必要がある。例えば、火成岩の岩体では、溶岩や火砕流が流れた面、応力解放による板状構造、風化により形成された割れ目等が反射面を形成し、前述の反射法地震探査結果のように、水平方向への一様な連続性もなく、縞模様も断片的になっている可能性も考えられる。これが仮に断層等であれば、ズレの規則性や深部への連続性も検討すべきである。ちなみに、当敷地ではこれらが認められず大規模な断層等は認められない。また反射の強度の変化が大きくなること、縞模様が水平ではなく局所的に傾斜した形態を呈することもあり得るが、このような形態が認められても岩体の物性のばらつきは小さ

いことから、速度構造は深度方向に漸増し、同じ深度であれば同程度の Vp、Vs になると推察される。

以上のことから、反射法地震探査結果からも、1章で述べたとおり、大飯発電所の敷地には、速度構造上の特異な構造が見られることはなく、同じ深度であれば同程度の Vp、Vs になり、顕著な速度コントラストが見られないことが確認できる。

ちなみに、C 測線の結果に、地質区分や当敷地で最も規模の大きい破砕帯(F-6 破砕帯)の位置を加筆した図を確認すると、地質境界に対応する反射面は認められず、また破砕帯の位置において反射面のずれは認められない(図-19)。

2. 4 弾性波トモグラフィー結果について

(1) 弾性波トモグラフィーについて

「2. 3 反射法地震探査結果について」にて記載した、関西電力㈱が新たに実施した反射法地震探査とあわせて、弾性波トモグラフィーも D 測線において実施しており、その結果について確認する。なお、孔内受振のために A 孔及び B 孔の 2 つのボーリング孔を用いている(図-20)。

(2) 弾性波トモグラフィーの試験内容の概説

本試験は、屈折法地震探査(図-14)で行われる地表起振＋地表受振のデータにあわせて、探査測線内に掘削されたボーリング孔を利用して、人工的に地表面に微小な振動を与え、地下を通ってきた振動を受振器で測定し、地表起振＋孔内受振(VSP 探査)(図-21)のデータも合わせて解析する試験手法である。正しくは、「VSP 探査を利用した弾性波トモグラフィー」と言えるが、本文では簡略的に「弾性波トモグラフィー」と呼称することとする。

(3) 弾性波トモグラフィー結果について

弾性波トモグラフィー結果を確認すると、Vp=4.6km/s の上面深度はおおよそ E.L.0m～E.L.-50m であることが確認できる。(図-22)。また、D 測線と交差する地質断面図(D－D'断面、E－E'断面)における測線付近では、E.L.0m 程度以深で概ね C_H 級が分布している(図-6、7)。また、O1-3 孔の岩級区分と比較すると、堆積層から岩盤への変化や、岩級の変化に応じて P 波速度が漸増することが確認できる(図-22)。さらに、O1-3 孔の位置における速度分布と O1-3 孔の PS 検層結果を比較すると、概ね整合していることも確認できる(図-10)。なお、深度 150m 以深の局所的な割れ目密集部付近では、PS 検層で見られたような速度の低下は認められず、P 波速度の分布は一様である(図-22)。以上を踏まえると、弾性波トモグラフィーはこれらの地質断面図やボーリングの岩級区分、PS 検層結果と概ね整合する結果が得られている。

また、弾性波トモグラフィーの D 測線と離れた位置で平行する建屋設置位置の地質断面図(C－C'断面)では、全体的に E.L.0m 程度以深で C_H 級の岩盤が分布している。弾性波トモグラフィーの結果と比較すると、図-1 に示した谷部による地形的な影響要因も含めて、探査測線と建屋設置位置の C－C'断面との位置の違いにより、C_H 級岩盤の上面深度に多少の高低差があると考えられる。しかしながら、地下 3km までの地盤モデルのスケールからすればごく

小さな高低差であり、敷地全体として概ね同様の広がりをもった地盤であると評価できる(図-5)。

さらに、前述のとおり、弾性波トモグラフィー結果において、地盤モデルの速度(Vp=4.6km/s)の上面深度はおおよそ E.L.0m～E.L.-50m であり、多少の起伏はあるもののごく小さな起伏であり、また以深にも均質に分布し続けることから、解放基盤表面 E.L.0m から地盤モデルとして設定した速度(Vs=2.2km/s、Vp=4.6km/s)は妥当であると判断される(図-22)。

なお、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 C_H 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(図-5～7)。

また上述のとおり、弾性波トモグラフィーの P 波速度分布の起伏はごく小さな起伏であり、反射法地震探査結果と同様に、大規模な断層等や地震動伝播、表層地盤の増幅に影響するような速度構造上の特異な構造は認められず、ほぼ水平成層状の速度構造であると評価できる。

以上のことから、1章で述べたとおり、ごく表層の風化の影響がある部分を除いて、概ね C_H 級の岩盤が浅部から分布していることが分かる。また、地盤モデルとして設定した速度が妥当であること、及び速度構造上の特異な構造が見られることはなく、同じ深度であれば同程度の Vp、Vs になり、顕著な速度コントラストが見られないことが確認できる。

3章　まとめ

1、2章を踏まえると、種々の調査結果はいずれにおいても互いに整合する結果が得られていることから、関西電力㈱が地盤モデルを策定するにあたり、採用した種々の調査結果及びそれを元にした評価結果はいずれも妥当であると判断される。また、今回追加で実施した反射法地震探査、弾性波トモグラフィーからも、既往の調査で地盤モデルが適切に設定されていると判断できる。

加えて、1、2章で述べたとおり、既往の調査から、敷地全体において速度構造上の特異な構造が見られないこと、またA測線とそれに直交するB測線のいずれも、ほぼ水平成層状の速度構造であると評価できることから、敷地内においてこれまで行ってきた調査で相当であり、三次元調査などの追加調査をするまでもないと判断される。さらに、高浜発電所、美浜発電所についても、それらの敷地は大飯発電所と同様に硬質な岩盤で構成されており、新規制基準適合性審査の際に同様に調査を実施していることから、大飯発電所と同様に評価できるものと考えている。

以上

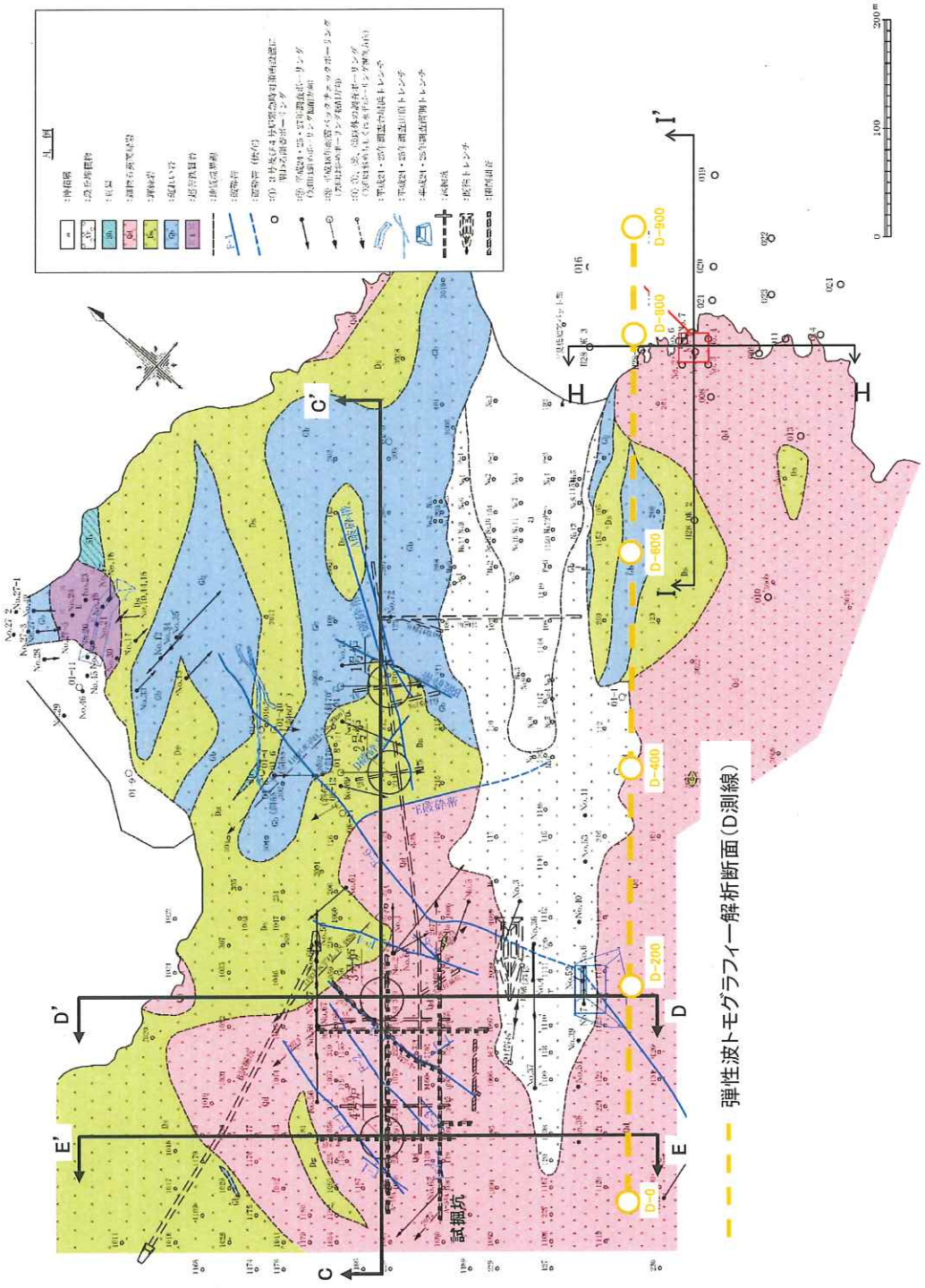

図-1 大飯発電所 地質水平断面図(E.L.+3.0m)

(出典:平成 31 年 3 月 15 日第 694 回審査会合 資料 1-1-1 の P.14 に加筆)

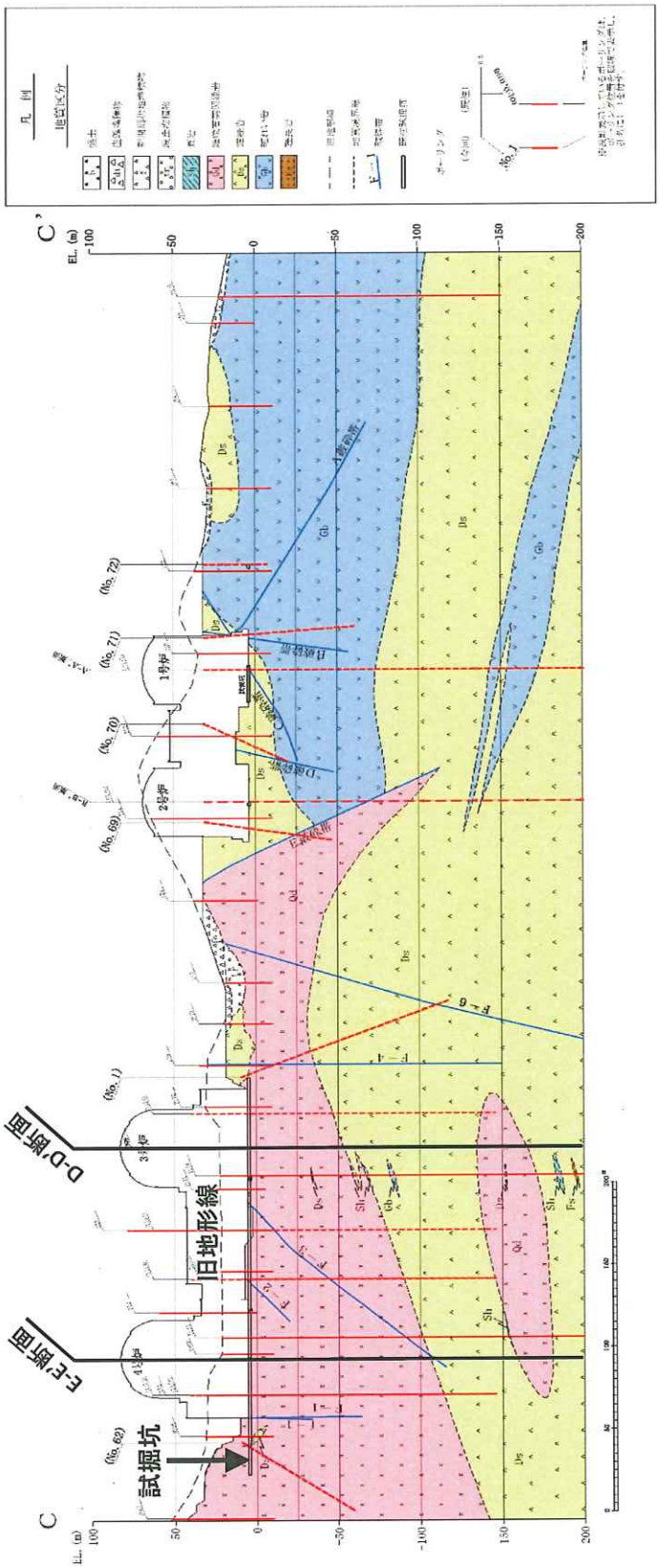

図-2 地質断面図(1～4 号炉:C－C')

(出典:平成 28 年 2 月 19 日第 332 回審査会合 資料 1-2-1 の P.18 に加筆)

地質時代			記号	地質名等	主要構成地層
新生代	第四紀	完新世	r	人工改変地	
			a	沖積層	礫・砂・シルト・粘土
			f	崖錐堆積物 新期扇状地堆積物	礫・砂・シルト
		更新世	of	古期崖錐堆積物 古期扇状地堆積物	礫・砂・シルト
			tm	中位段丘堆積物	礫・砂・シルト
古生代	ペルム紀	中期～後期	Sh	夜久野オフィオライト(大島層)	頁岩
			Ds	夜久野オフィオライト	輝緑岩 ※1
			Gb		斑れい岩
			Qd		細粒石英閃緑岩 ※2
			U		超苦鉄質岩

※1　輝緑岩の岩相は，多くは玄武岩質～粗粒玄武岩質である。一部は帯磁率が非常に高く，鏡下で不透明鉱物が非常に多いことから，鉄玄武岩（鉄輝緑岩）と考えられるものもあるが，これも含め地質区分上，輝緑岩としている。

※2　細粒石英閃緑岩の岩相は，多くは流紋岩質である。また，一部は真珠岩を含むことが石渡・池田(1987)[172]に記載されているが，これも含め地質区分上，細粒石英閃緑岩としている。

図-3 敷地の地質層序表

（出典：平成 31 年 4 月 17 日大飯発電所 3 号炉及び 4 号炉の設置変更許可申請書の P.6-3-10）

構成岩石種類				岩盤としての地質分類〔3.3.4(3)を参照〕		地盤構成材料としての工学的区分〔3.3.4(4)を参照〕	物性表示のための工学的区分〔3.3.5を参照〕
				岩塊の硬さ	岩盤分類法		
火成岩 変成岩				硬　岩	電研式分類等	○硬　岩 おおむね新鮮なもの ○風化岩，変質岩 風化，変質により岩質が劣化したもの，その程度により物性表示上軟岩Ｂ又は軟岩Ａとして取扱う場合がある（風化軟岩）。	
堆積岩	古生層						
	中生層						
	古第三系						
	新第三系	一般堆積岩	中新統	軟岩（堆積性軟岩）	軟岩Ⅰ類(1)：硬質岩盤に準じた2～3段階岩質等級区分(3)	軟　岩 1軸圧縮強度(q_u)が100～200 kgf/cm²以下のものを軟岩として扱う	軟岩Ｂ(2)（同左）
			鮮新統		軟岩Ⅱ類：原則として岩石種類のみ		軟岩Ｂ(2) 比較的固結度が大きいか又は不飽和状態のもの 軟岩Ａ(2) 軟質で飽和状態のもの
		火山砕屑岩			軟岩Ⅲ類：基質が堅硬なものは硬質岩盤として扱う／岩石種類，岩相によるグループ分け		

注：(1)　構成岩石の固結度により，古第三系又は鮮新統の一部もこれに含まれる場合がある。

注：(2)　岩石試験結果の適用において，有効応力法に対応するものをＡ，全応力法に対応するものをＢとした。（表 3.3.5－1 参照）

注：(3)　各地点の地質状況に応じて，適切な等級区分を設定する。

図-4 岩石の種類

（出典：原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）の P.100）

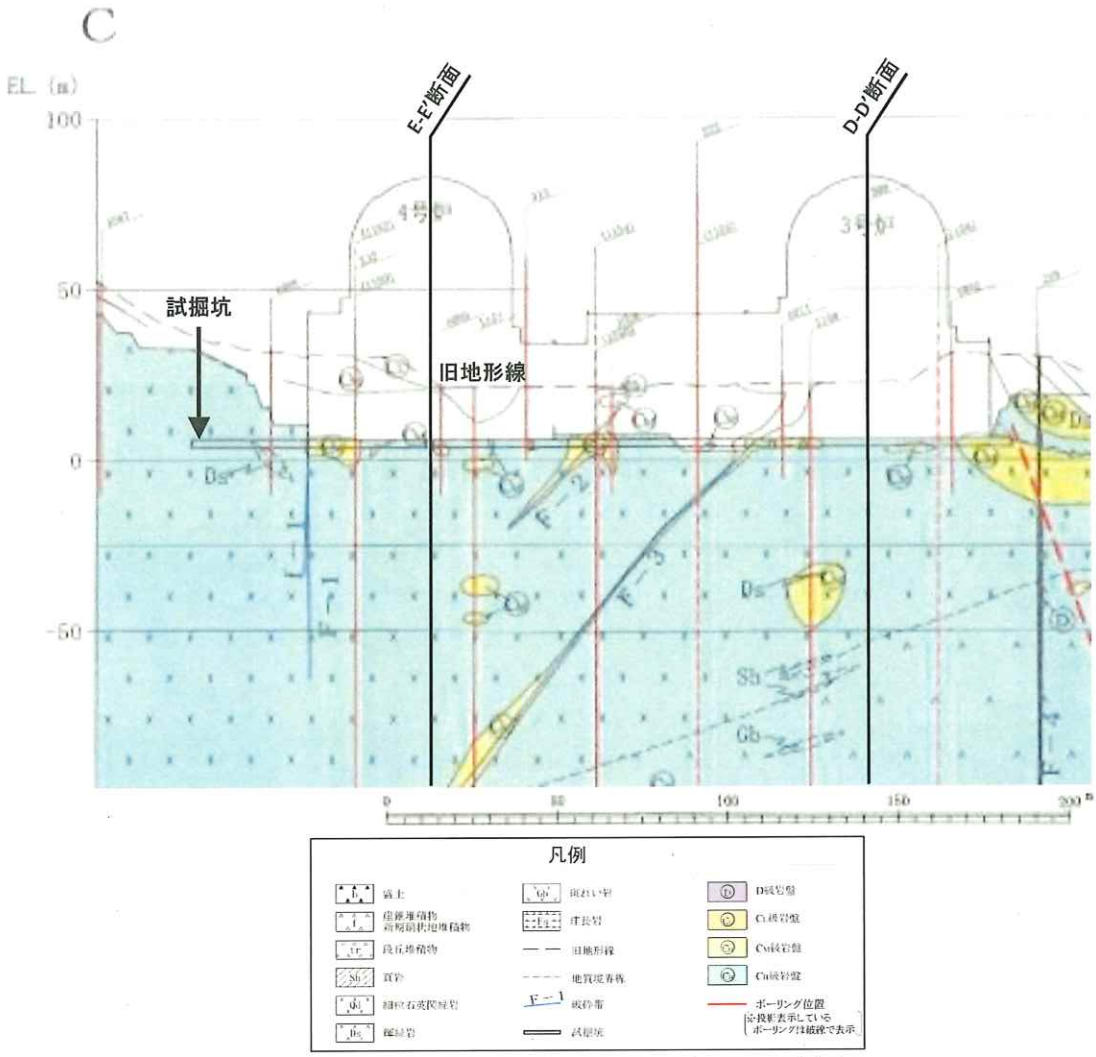

図-5 地質断面図(岩級区分, 1～4 号炉:C－C'拡大)

(出典:平成 26 年 3 月 5 日第 89 回審査会合 資料 3 の P.11 に加筆)

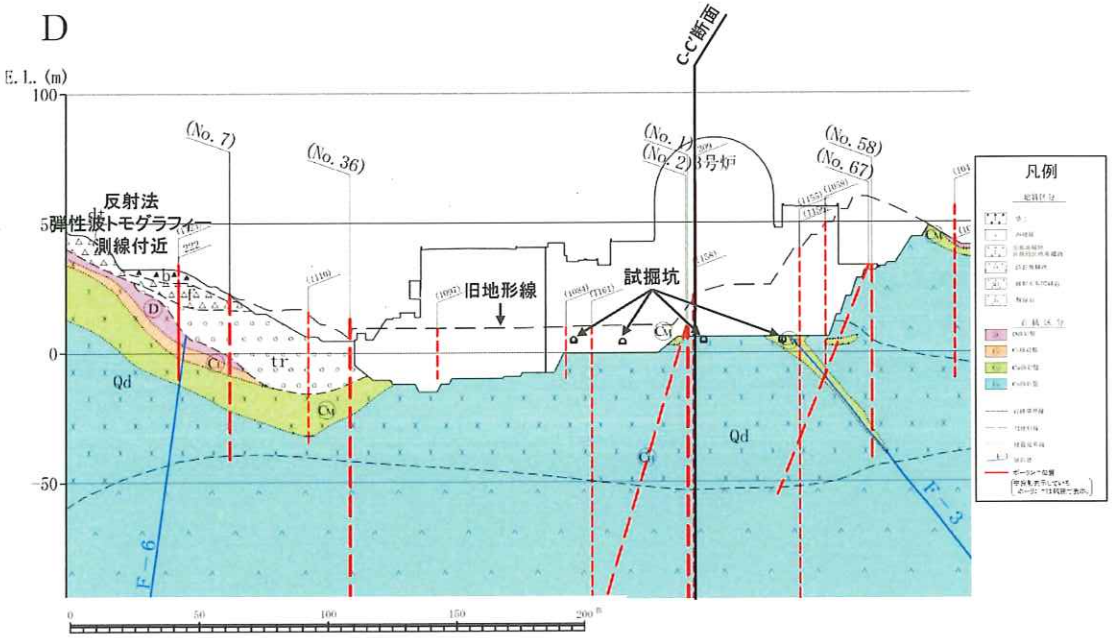

図-6　地質断面図(岩級区分，3 号炉:D－D'拡大)

(出典:平成 27 年 3 月 13 日第 206 回審査会合　資料 3-6-1 の P.27 に加筆)

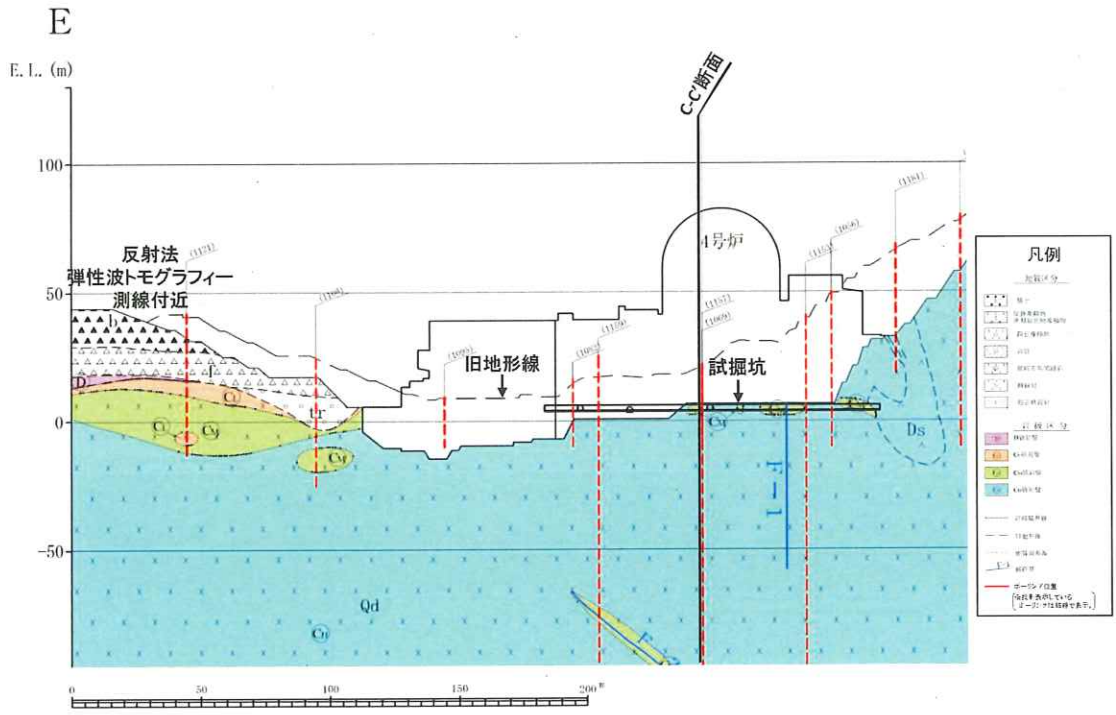

図-7　地質断面図(岩級区分，4 号炉:E－E'拡大)

(出典:平成 27 年 3 月 13 日第 206 回審査会合　資料 3-6-1 の P.28 に加筆)

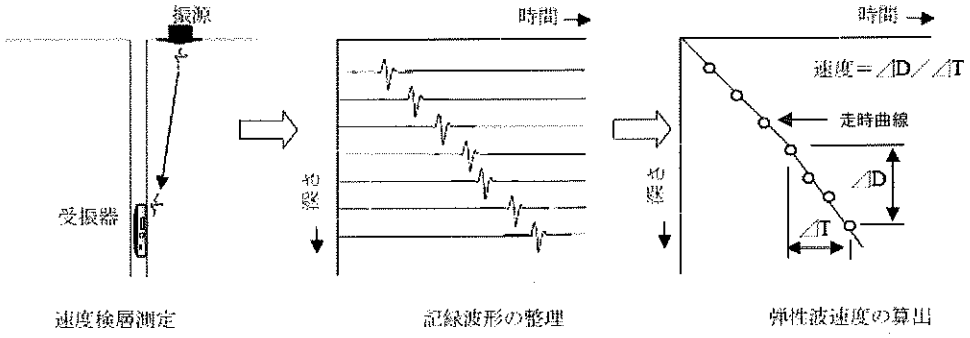

図-8 速度検層の原理(ダウンホール法)

(出典:社団法人 物理探査学会 標準化検討委員会

新版物理探査適用の手引き－土木物理探査マニュアル 2008－, P.487 に加筆)

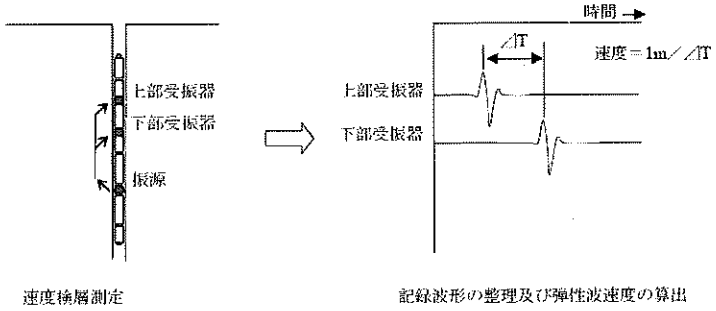

図-9 速度検層の原理(サスペンション法)

(出典:社団法人 物理探査学会 標準化検討委員会

新版物理探査適用の手引き－土木物理探査マニュアル 2008－, P.501)

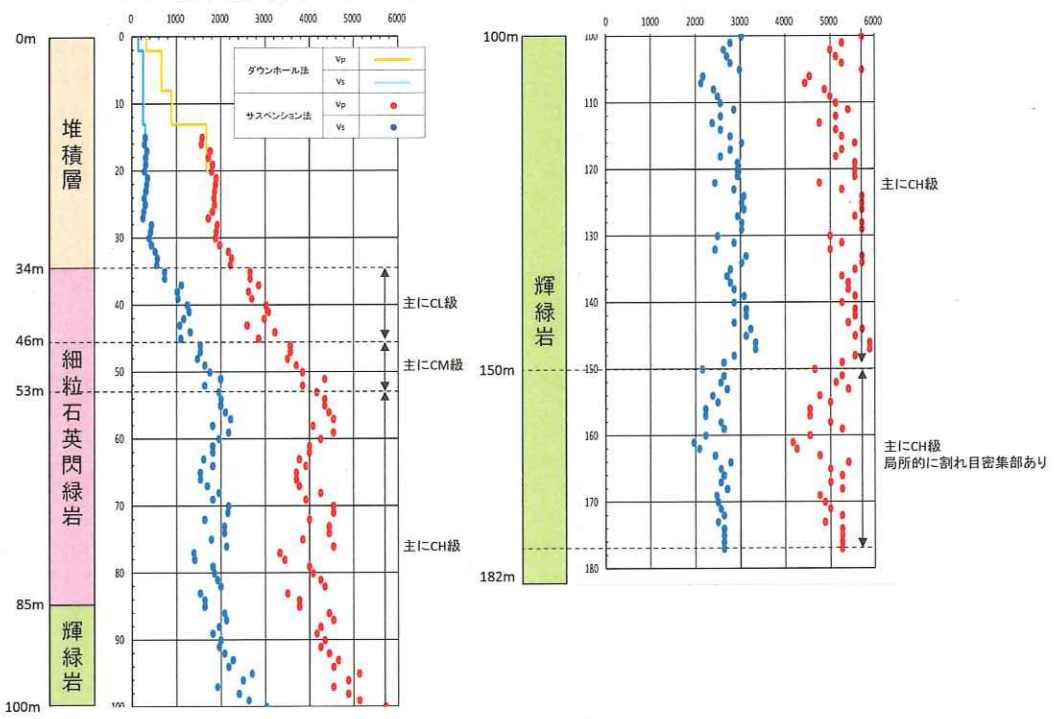

図-10 O1-3 孔 簡易柱状図及び PS 検層結果

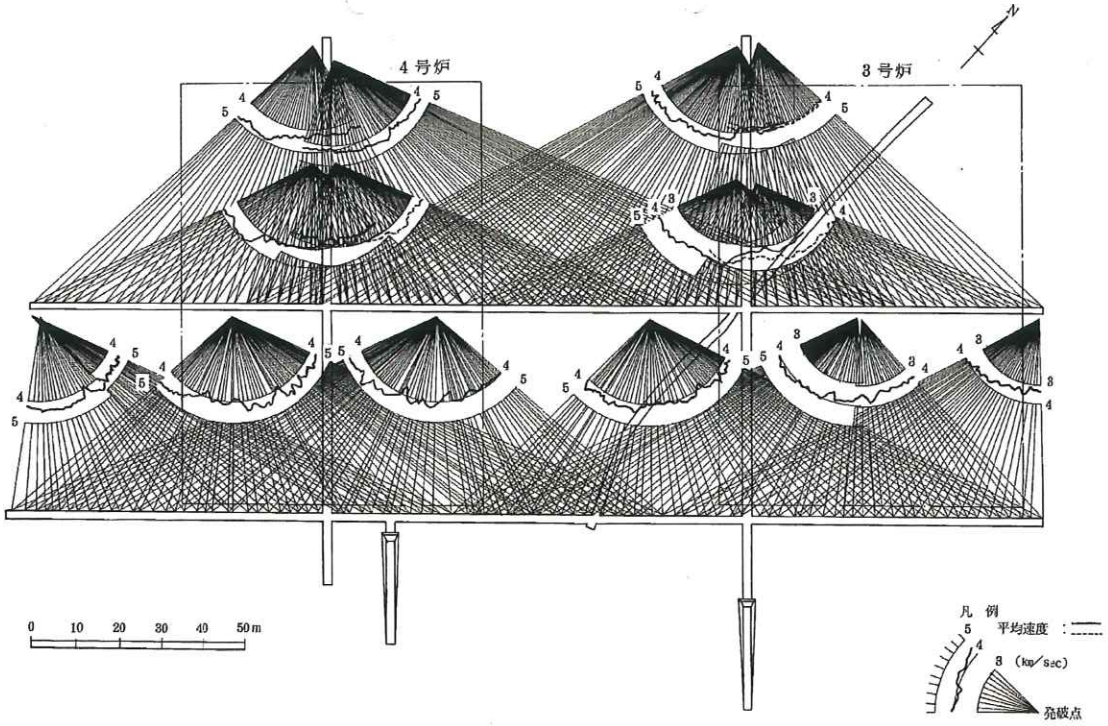

図-11 試掘坑内弾性波試験(平均速度法)測定例
(出典:平成 28 年 5 月 18 日 大飯発電所 3 号炉及び 4 号炉の
設置変更許可申請書の P.6-3-858)

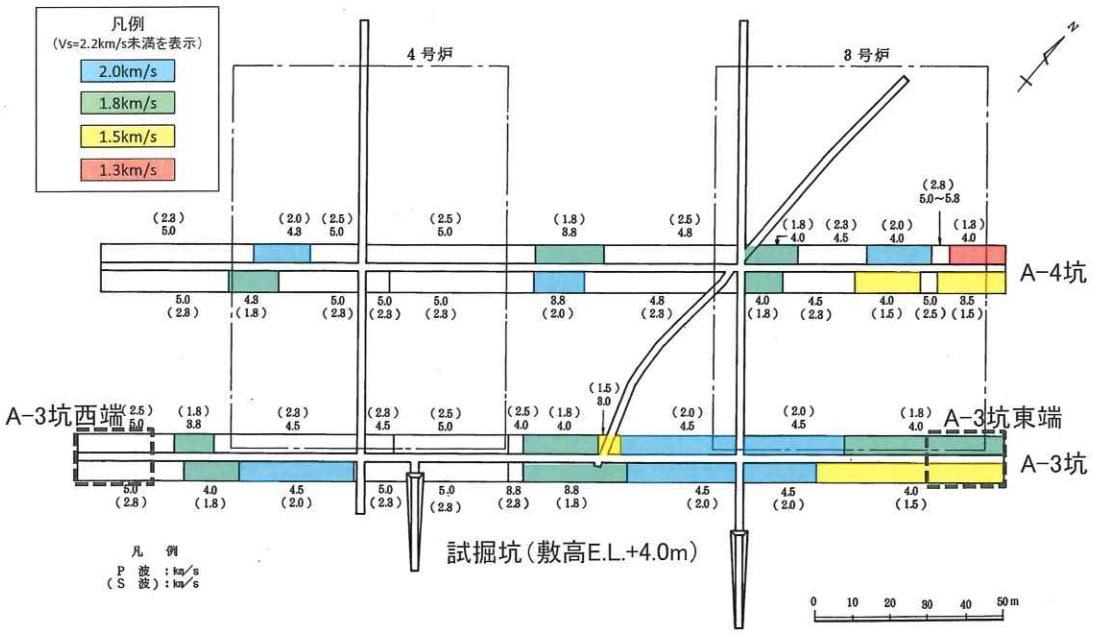

図-12 試掘坑内弾性波速度図(A-3 坑及び A-4 坑)

(出典:平成 28 年 5 月 18 日 大飯発電所 3 号炉及び 4 号炉の
設置変更許可申請書の P.6-3-820 に加筆)

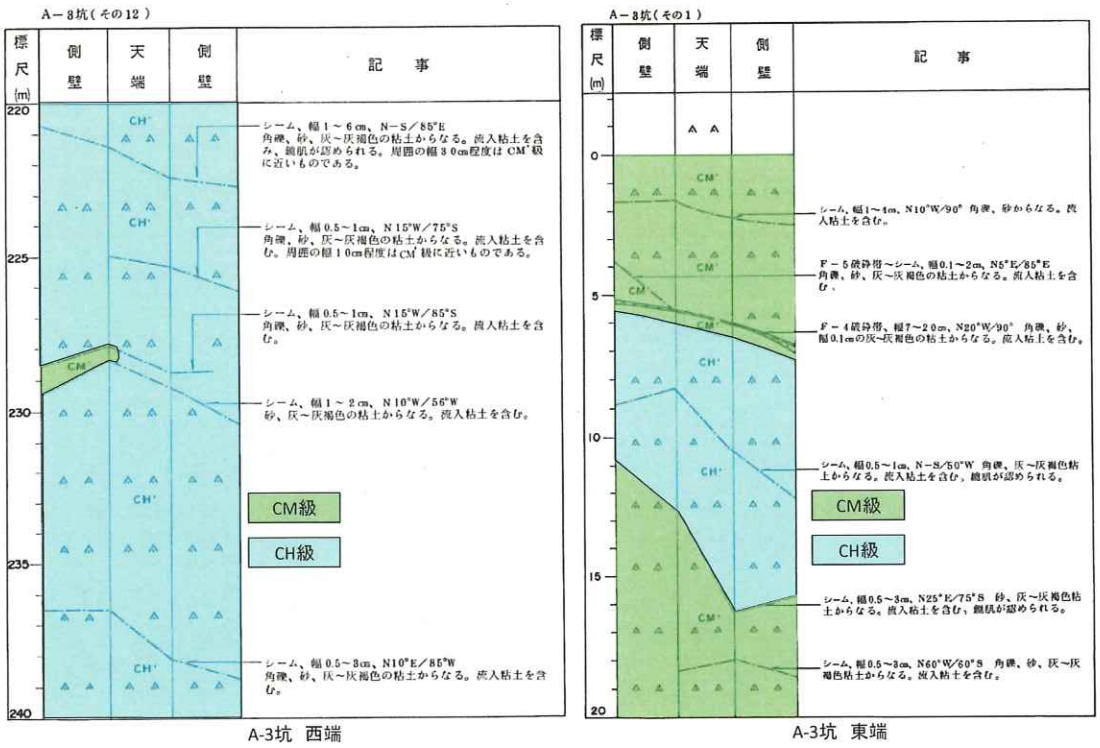

図-13 試掘坑展開図(A-3 坑西端及び東端)

(出典:平成 28 年 5 月 18 日 大飯発電所 3 号炉及び 4 号炉の
設置変更許可申請書の P.6-3-665 及び P.6-3-676 に加筆)

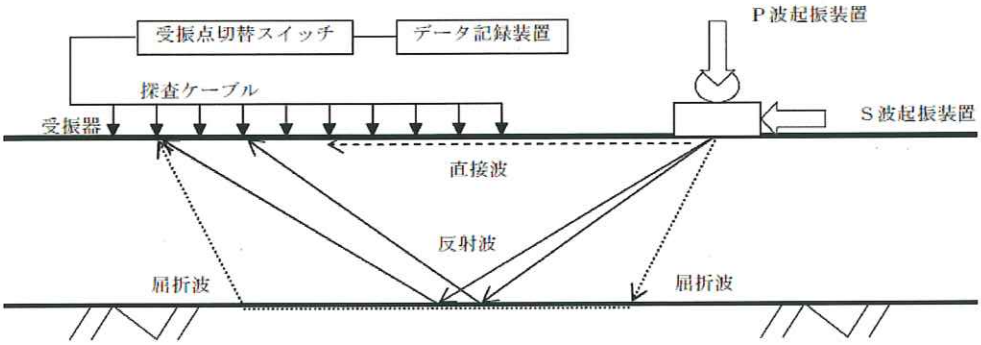

図-14 地震探査概念図

（出典:社団法人 物理探査学会 標準化検討委員会

新版物理探査適用の手引き－土木物理探査マニュアル 2008－, P.67）

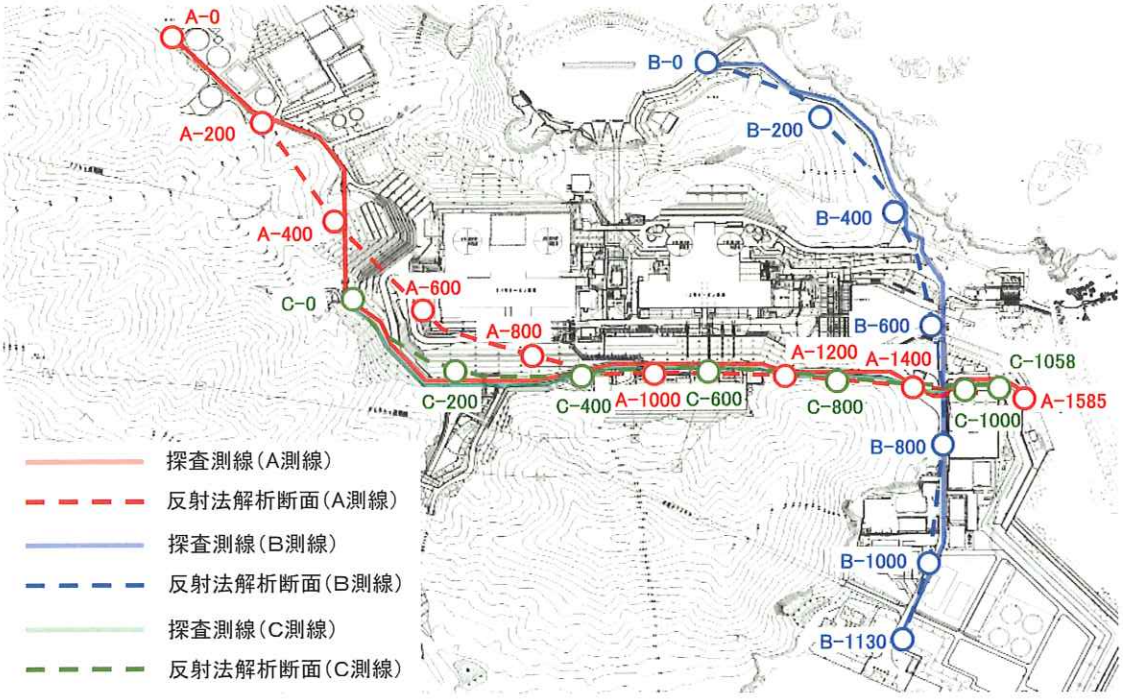

図-15 反射法地震探査 測線位置図

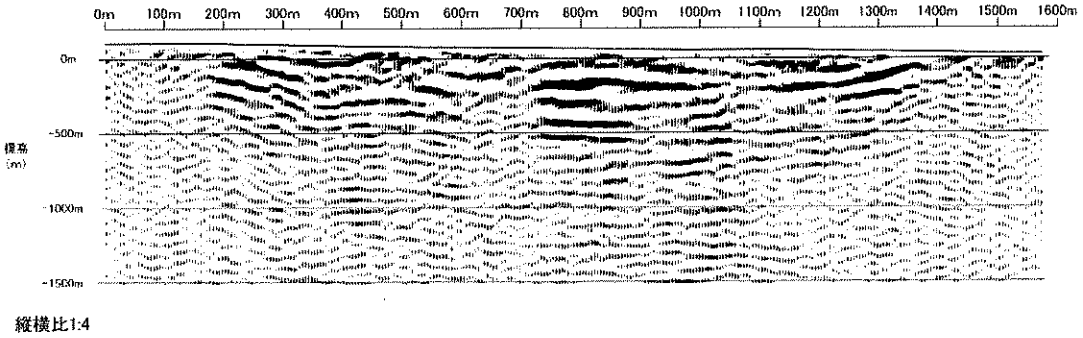

図-16 反射法地震探査結果(A 測線)

(出典:平成 28 年 5 月 18 日 大飯発電所 3 号炉及び 4 号炉の

設置変更許可申請書の P.6-3-815)

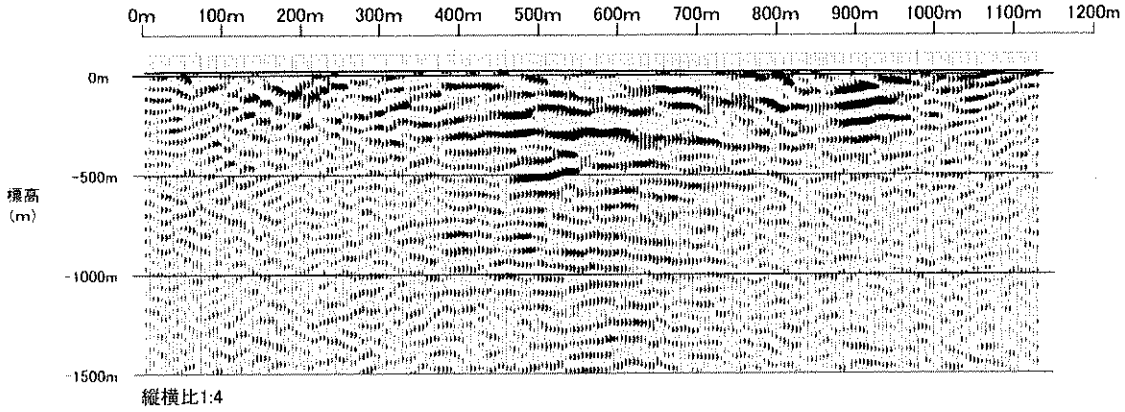

図-17 反射法地震探査結果(B 測線)

(出典:平成 28 年 5 月 18 日 大飯発電所 3 号炉及び 4 号炉の

設置変更許可申請書の P.6-3-817)

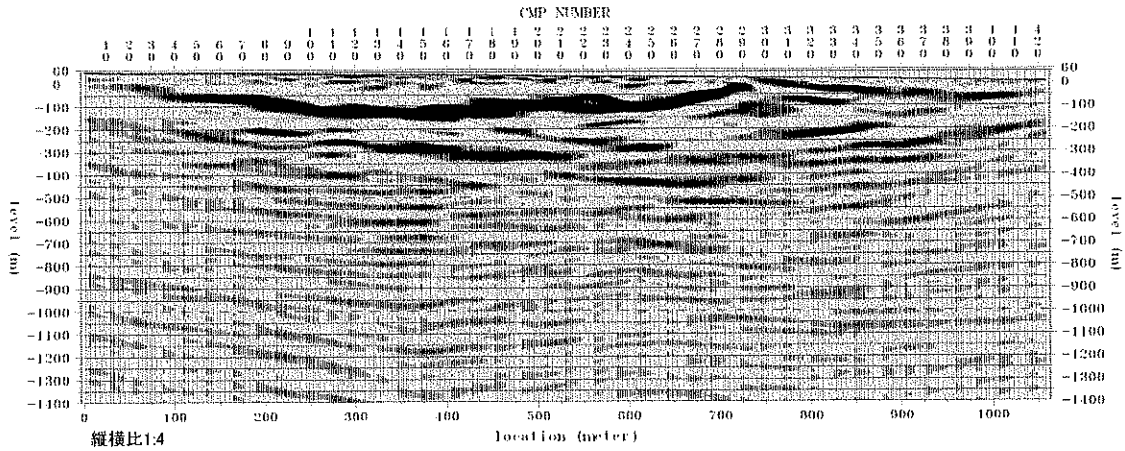

図-18 反射法地震探査結果(C 測線)

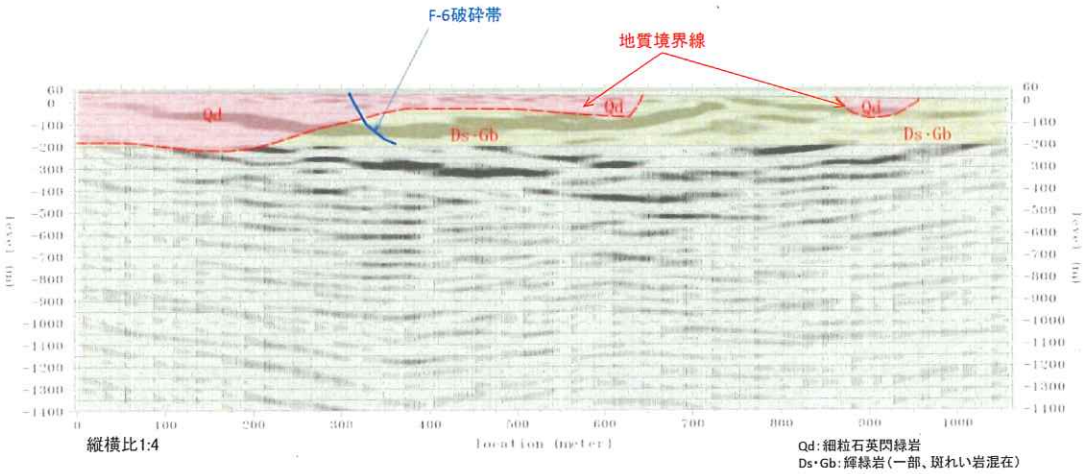

図-19　反射法地震探査結果（C 測線、地質区分及び F-6 破砕帯を加筆）

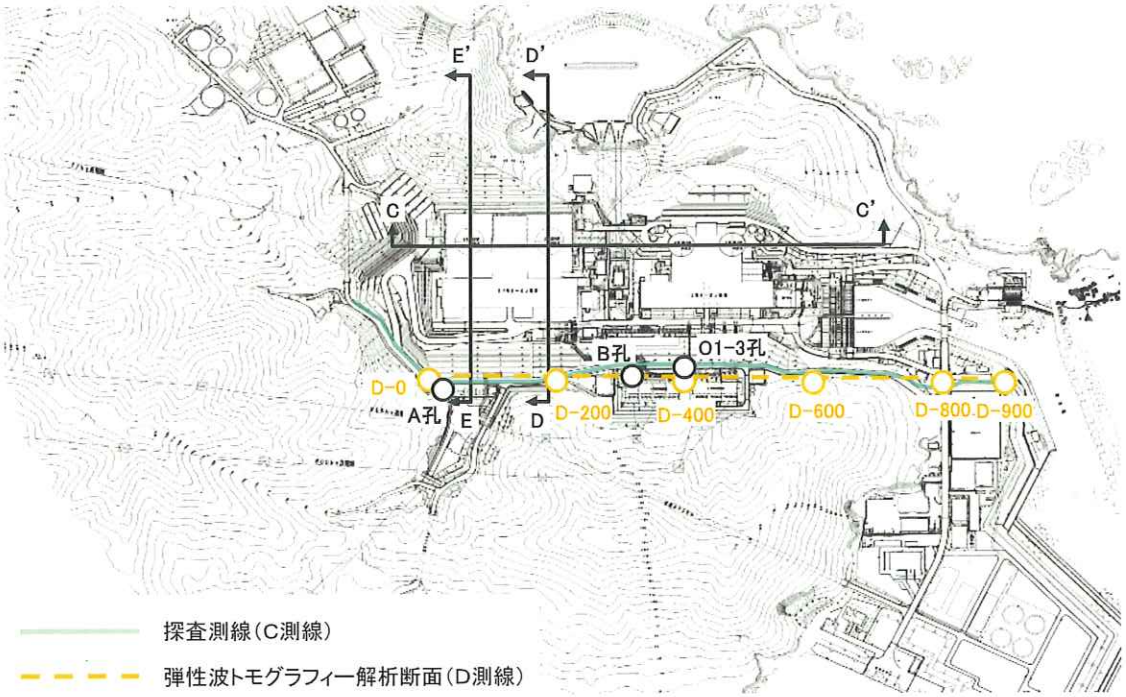

図-20　弾性波トモグラフィー　測線位置図

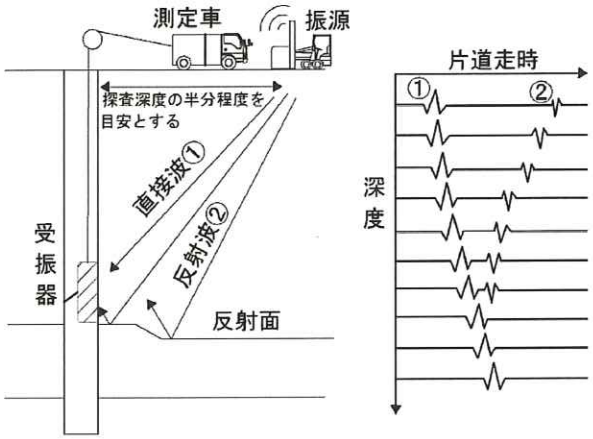

図-21 VSP 探査概念図

（出典:社団法人 物理探査学会 標準化検討委員会

新版物理探査適用の手引きー土木物理探査マニュアル 2008ー, P.471）

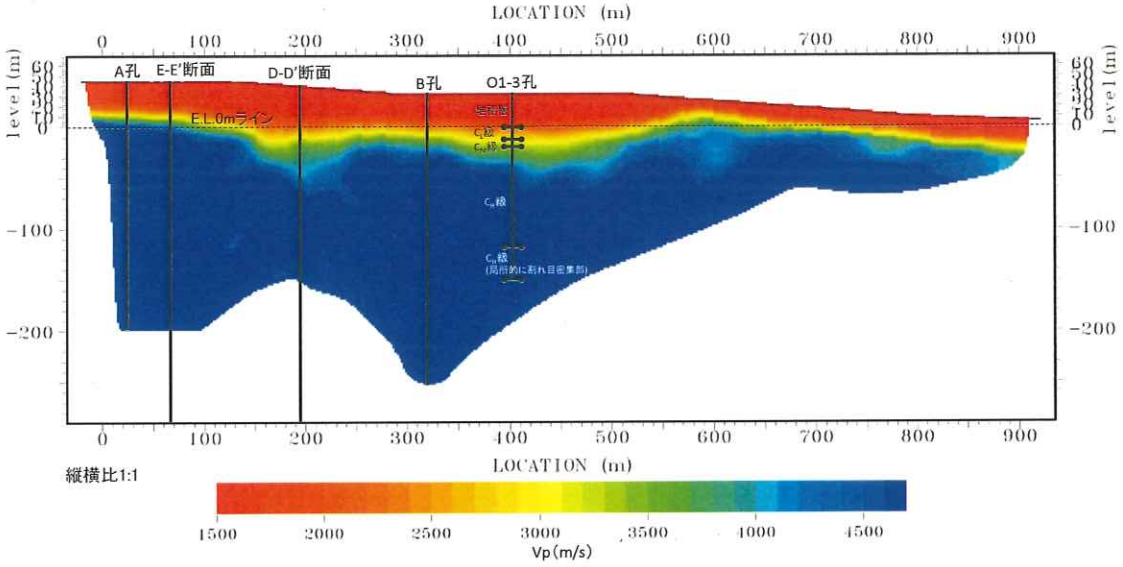

図-22 弾性波トモグラフィー結果（D 測線）

経 歴 書

氏　　名:小島 圭二

生年月日:昭和12年11月6日

現　　職:地圏空間研究所 代表

経　　歴:
昭和38年3月 東京大学大学院地質学専攻修士修了
昭和38年4月 建設省土木研究所地質研究室 研究員
昭和45年4月 東京大学工学部資源開発工学科 講師
昭和59年7月 東京大学工学部資源開発工学科 教授
平成 7年4月 東京大学工学系研究科地球システム工学専攻 教授
平成 9年7月 第17期日本学術会議会員～平成11年6月
平成10年3月 東京大学退官
平成10年4月 地圏空間研究所 代表 現在に至る
平成10年4月 中央大学理工学部土木工学科 講師～平成19年3月
平成10年4月 日本地下石油備蓄株式会社 技術顧問 現在に至る
平成10年4月 エンジニアリング振興協会 技術顧問 現在に至る
平成10年5月 東京大学名誉教授 現在に至る
平成14年4月 早稲田大学理工学部 講師・客員教授～平成20年3月
平成16年2月 石油天然ガス金属鉱物資源機構 技術顧問～平成22年3月
平成21年4月 日本大学文理学部 講師～平成25年3月

専門分野:地質工学

学会賞等:
応用地質学会論文奨励賞・論文賞 (平成2年 ジオトモグラフィー・岩盤画像化)
資源素材学会渡辺賞(平成7年 石油備蓄基地建設・意思決定)・論文賞(岩盤割れ目・水封評価)
産業環境管理協会論文賞 (平成15年 自然環境の管理／保全ー人工改変と自然の反応)
科学技術庁長官賞(原子力安全功労者 平成10年)
通商産業大臣賞(鉱山保安功労者 平成13年)
内閣総理大臣表彰(安全功労者 平成15年)

学会・委員歴:
応用地質学会会長 国際応用地質学会副会長(IAEG) 地圏長期評価研究協会会長

資源素材学会、石油技術協会、土木学会、地盤工学会、原子力学会等委員会委員長・委員等歴任
中央鉱山協議会会長　鉱山保安審査会会長
ダム技術会議委員
原子力委員会専門委員
原子力安全委員会専門委員
原子力環境整備機構評議員
原子力環境整備促進・資金管理センター評議員
石油天然ガス・金属鉱物資源機構、原子力研究開発機構等委員会委員長・委員
東京都環境評価審議会会長、千葉県地質環境審議会委員　など

主要著作目録
＝主要論文（共著、総説、解説を含む）＝
【地質調査技術（解析と物理探査解析など）と断層／活断層の解析・解釈技術】
新生代堆積物の物理的性質に関する研究，東京大学，1972 年
東京湾環状道路地質調査報告書－音波探査の解析方法の改善に関する試験調査，建設省土木研究所，1972 年
東京湾における音波探査反射面の第四紀学，東京大学工学部紀要，A，No.10，1972 年
定置式海底ボーリングによる地質情報について－簡易装置を用いた調査法の開発－，応用地質，Vol.15，No.3，1974 年（軟 X 線を用いたボーリングコアの調査技術など）
軟岩・弱層の不かく乱試料の採取と試験方法，国内岩の力学シンポジウム，岩の力学連合会，1973 年（軟 X 線によるボーリングコアの解釈技術など）
岩盤割れ目のフラクタル（その1）（その2），応用地質，Vol.33，No.3，1992 年，Vol.34，No.2，1993 年
地質現象から見た断層主変岩盤の変形に関する二、三の工学的特徴，応用地質学会年次研究発表会論文集，1979 年
ジオトモグラフィーによる岩盤の画像化（その1）（その2），応用地質，Vol.30，No.3 and No.4，1989 年
物理探査技術の地盤工学への利用に関する研究報告書，同研究委員会，地盤工学会，1997 年
活断層の科学と技術，土と基礎，Vol.47，No.2，1999 年
反射法地震探査による地下構造物の検知事例，地圏空間研究所研究成果報告，2000 年
東京湾岸地域における地質工学－50 年の実績，応用地質，Vol.50，No.3，2009 年
深部地質環境の調査解析技術の体系化に関する研究（日本原子力研究開発機構委託研究），JAEA-Research ，2007 年～2011 年
中間領域を考慮した地質環境調査・評価技術の高度化・体系化に関する研究（日本原子力研究開発機構委託研究），JAEA-Research，2012 年
坑道周辺岩盤の概念再構築に関する研究（日本原子力研究開発機構委託研究），JAEA-Research ，2013 年～2014 年　など

【書籍（共著を含む）】
軟岩―調査・設計・施工の基本と事例，土木学会，1984 年
土木学会編　新体系土木工学14　土木地質，技報堂出版，1984 年

Mineral Resources and Engineering Geology,John Wiley & Sons,1985
日本の自然8　自然の猛威, 岩波書店, 1986 年
自然景観の読み方7　自然災害を読む, 岩波書店, 1993 年
地質技術の基礎と実務, 鹿島出版会, 1995 年
廃棄物処分・環境安全用語辞典, 丸善, 2000 年
日本の地形地質－安全な国土のマネッジメントのために, 鹿島出版, 2001 年
原典から見る応用地質学(その論理と応用), 古今書院, 2011 年　など