

大飯発電所基準地震動策定における問題点 ー地盤構造モデルについてー

赤松純平 2018.1.8

付図リスト

- 図 1 ボーリング孔位置とPS検層結果
- 図 2 PS検層結果の分析
- 図 3 (1)～(2) 試掘坑弾性波探査 (本坑・枝坑)
- 図 4 試掘坑弾性波探査によるS波速度の頻度分布
- 図 5 試掘坑坑間弾性波探査の測定位置図
- 図 6 (1)～(4) 試掘坑坑間弾性波探査 (平均速度法) の位図
- 図 7 坑間弾性波探査による平均P波速度の頻度分布
- 図 8 試掘坑坑間弾性波探査 速度による彩色表示波線
- 図 9 試掘坑坑間弾性波探査 平均P波のブロック別平均値
- 図 10 試掘坑坑間弾性波探査の平均P波速度のコンター表示
- 図 11 反射法地震探査・反射断面図
- 図 12 反射法地震探査屈折法解析による速度断面図
- 図 13 反射法地震探査屈折法解析による速度断面拡大図
- 図 14 反射法地震探査・屈折波のはぎとり法解析
- 図 15 単点微動観測H/Vスペクトル測定点位置図
- 図 16 単点微動観測H/Vスペクトルの解析方法
- 図 17 H/Vスペクトルのピーク周波数と表層の厚さの関係
- 図 18 いろいろの基盤岩速度におけるH/Vスペクトルの形状の比較
- 図 19 反射法地震探査屈折法解析による速度断面とH/Vスペクトル解析結果との齟齬
- 図 20 反射法地震探査屈折法解析による速度断面とH/V解析結果とが齟齬をきたしている地点のH/Vスペクトルの形状
- 図 21 微動観測アレイの測定点位置
- 図 22 微動アレイ観測および地震波干渉法による観測位相速度
- 図 23 位相速度の逆解析に用いる初期値
- 図 24 逆解析により求められたモデル (インヴァージョン・モデル)
- 図 25 インヴァージョン・モデルによる理論位相速度
- 図 26 地震動評価のための地盤モデル
- 図 27 インヴァージョン・モデルと地震動評価モデルの位相速度の比較
- 図 28 インヴァージョン・モデルと地震動評価モデルの地盤増幅特性の比較
- 図 29 見直し前の地盤モデル(現行モデル)と新しい地震動評価モデルのS波速度構造
- 図 30 見直し前の地盤モデルと新しい地震動評価モデルによる地震動評価
- 図 31 インヴァージョン・モデルと地盤モデルの違いの説明図
- 図 32 インヴァージョン・モデル → 地震動評価モデルの説明
- 図 33 インヴァージョン・モデルと地震動評価モデルの理論位相速度
- 図 34 インヴァージョン・モデルと地震動評価モデルの伝達関数
- 図 35 旧「現行モデル」と新「地盤モデル」による地盤増幅率の比較
- 図 36 ボーリング孔を用いた減衰定数 (Q値) 測定方法の概念図
- 図 37 減衰定数 (Q値) の解析方法の説明
- 図 38 ボーリング孔を用いた減衰定数 (Q値) 測定 (図36) の振幅分布の拡大図
- 図 39 減衰定数 (Q値) の違いによる地盤増幅率の変化
- 図 40 敷地における破碎帯の位置
- 図 41 破碎帯の幅と長さの関係および3、4号炉基礎岩盤の破碎帯分布
- 図 42 3、4号炉基礎岩盤の破碎帯分布と平均 P波速度の分布の関係
- 図 43 地質断面図. 3、4号炉直下の破碎帯の深さ分布.
- 図 44 地盤モデルの評価の考え方
- 図 45 地盤モデル検証のための組織.

註1 付図 PS検層 概念図

註3 付図 はぎとり法解析に利用する走時

註5 付図1 観測点、調査地点の位置.

註5 付図2 福島・翠川(1994)の原論文の S 波速度値.

註6 付図1 鉛直アレイ地震観測点の概況

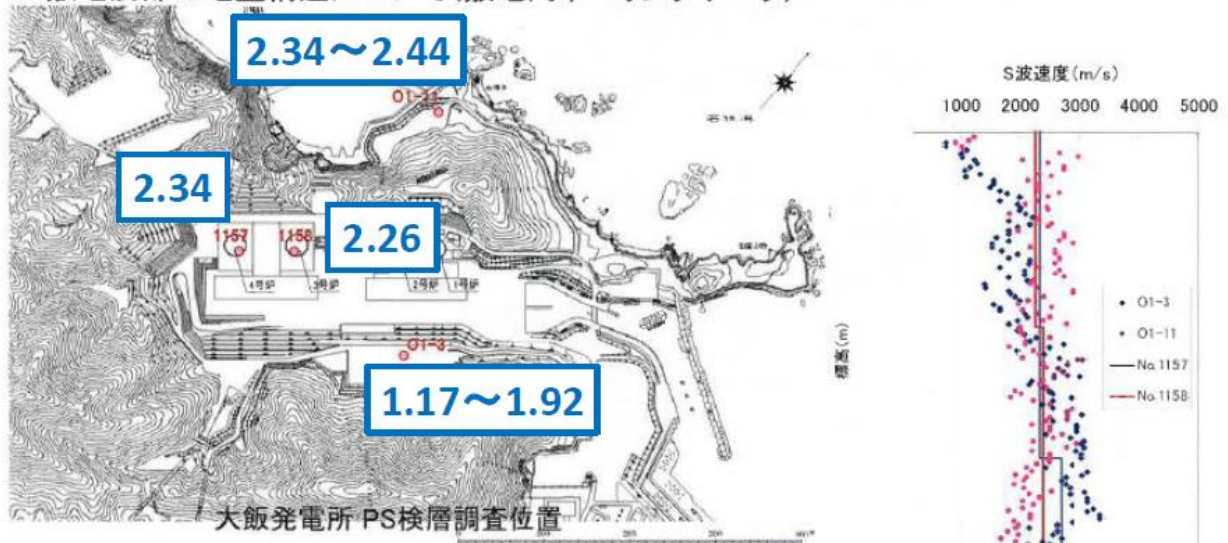
註6 付図2 新潟平野の深部地盤の減衰特性

①浅部の速度構造に関する調査

第21回審査会合
資料再掲

7

■敷地浅部の地盤構造について(敷地内ボーリングデータ)



敷地の速度構造を確認した結果、ごく表層部においては風化の影響等により、ややばらつきは見られるものの、ほぼ均質な地盤と考えられる。

⇒敷地内の浅部構造に特異な構造は見られない

S波速度構造

図1 ボーリング孔位置とPS検層結果。孔位置に標高-60mまでのS波速度値を追記。敷地の東側でVsは小さい。(乙A24、7頁を引用)。

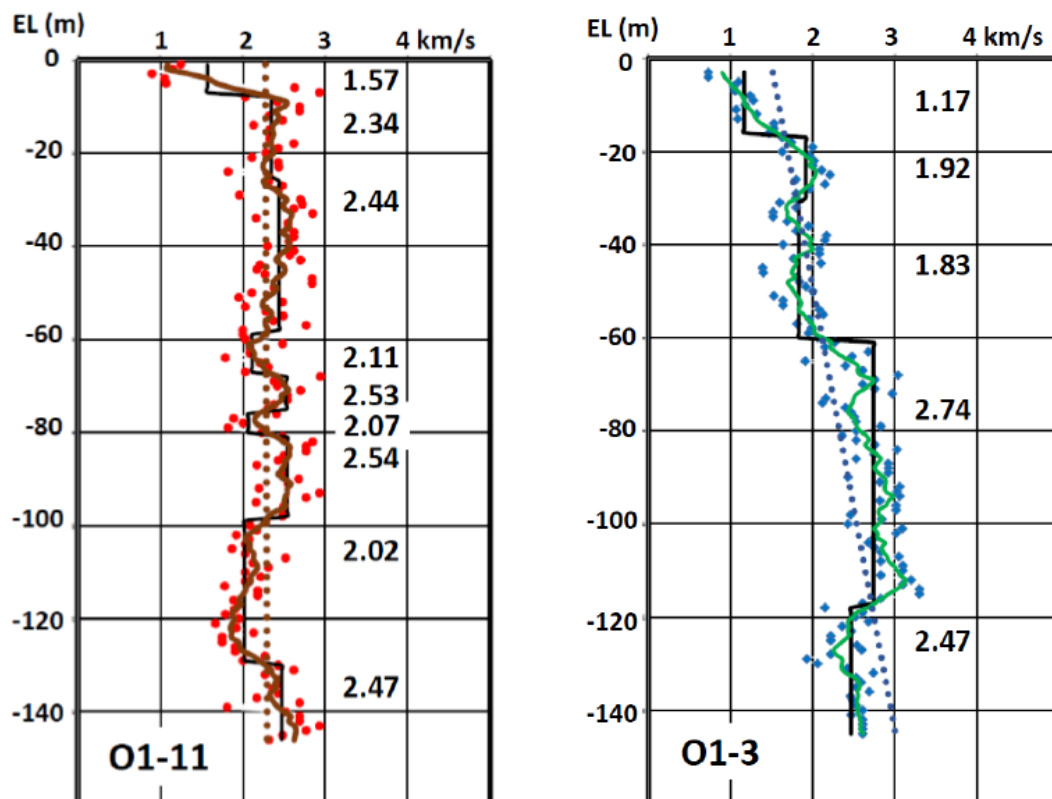


図2 PS検層結果の分析。

点線: 全体のトレンド、曲線(茶、緑): 上下6m幅の移動平均、直線(黒): 区間平均速度(値が付してある)
孔によって速度構造が異なること、深部に低速度層のあることがわかる。

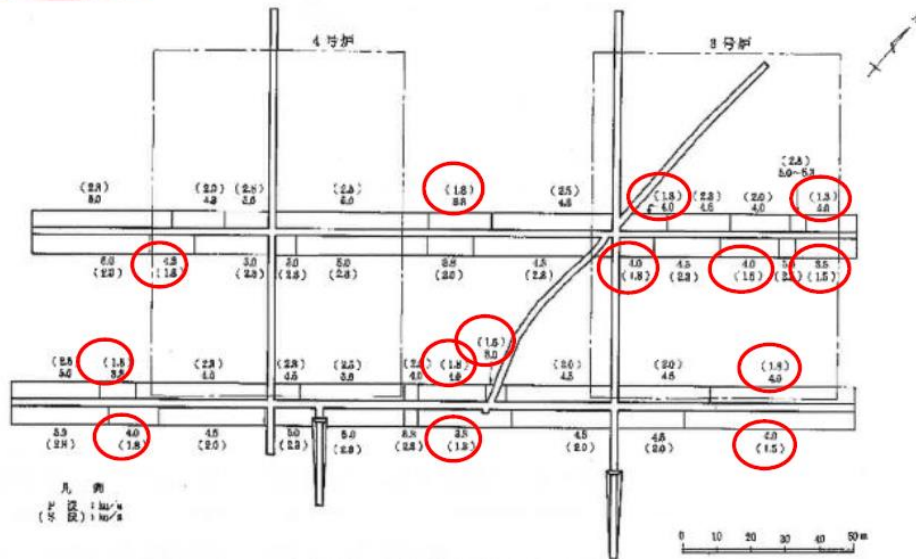
浅部の速度構造に関する調査

第21回審査会合
資料再掲

9

敷地内での試掘坑弾性波探査より、解放基盤のP波速度を4.3km/s、S波速度を2.2km/sと評価した。

大阪3、4号機設置許可
申請書より



試掘坑内弾性波速度図(1) 本坑

○印: 1.3, 1.5, 1.8km/s の位置 3号炉の位置する北東側で低速度

図3(1) 試掘坑弾性波探査(本坑). 図の説明は下の(2)と同じ.

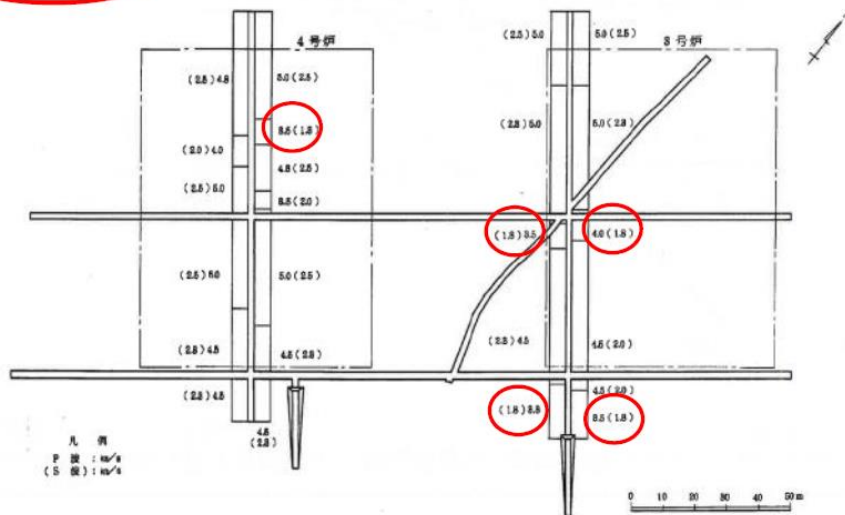
浅部の速度構造に関する調査

第21回審査会合
資料再掲

10

敷地内での試掘坑弾性波探査より、解放基盤のP波速度を4.3km/s、S波速度を2.2km/sと評価した。

大阪3、4号機設置許可
申請書より



試掘坑内弾性波速度図(2) 枝坑

○印: 1.3, 1.5, 1.8km/s の位置 3号炉の位置する北東側で低速度

図3(2) 試掘坑弾性波探査(枝坑). 赤丸印は $V_s=1.8\text{km/s}$ 以下の遅い区間. 3号炉側に丸印が多い.

『解放基盤のP波速度を4.3km/s、S波速度を2.2km/sと評価』とあるが、本坑と枝坑の測定値のS波

速度の算術平均値は、 $V_s=(2.141\pm0.335)\text{km/s}$ 、3号炉側では、 $V_s=(2.017\pm0.369)\text{km/s}$ である。

(乙A24、9～10頁加筆).

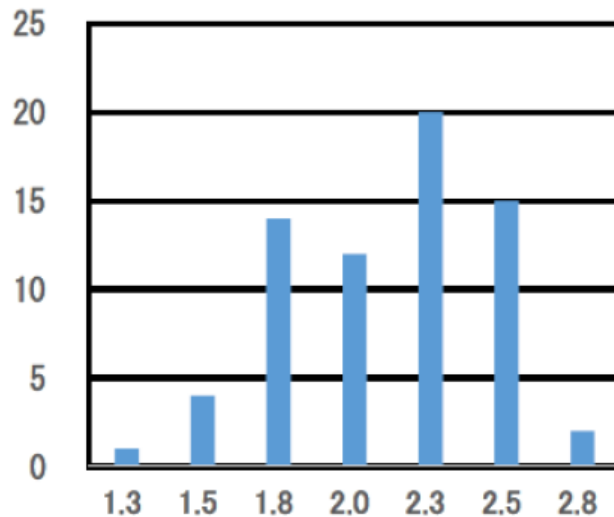
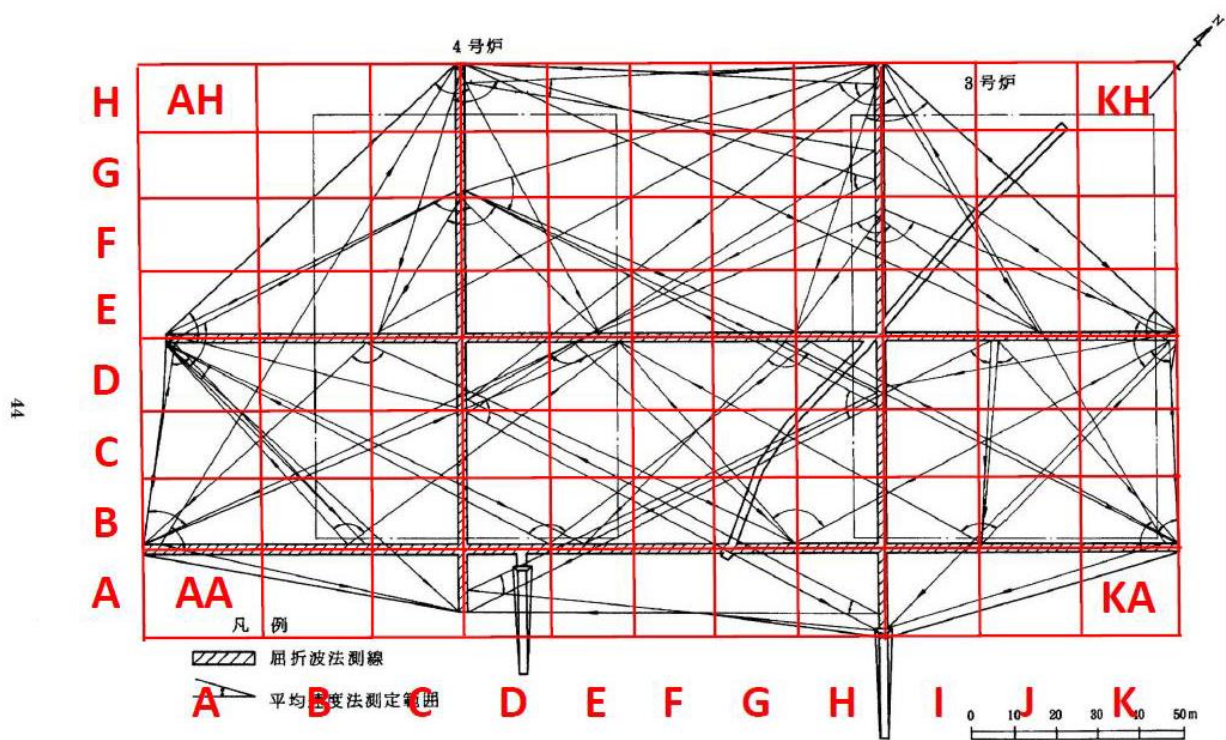


図4 試掘坑弾性波探査によるS波速度の頻度分布. 1.8km/sと2.2km/sとにピークがある. 1.8km/sのピークは3号炉近辺、2.2km/sのピークは4号炉近辺の速度を反映する.

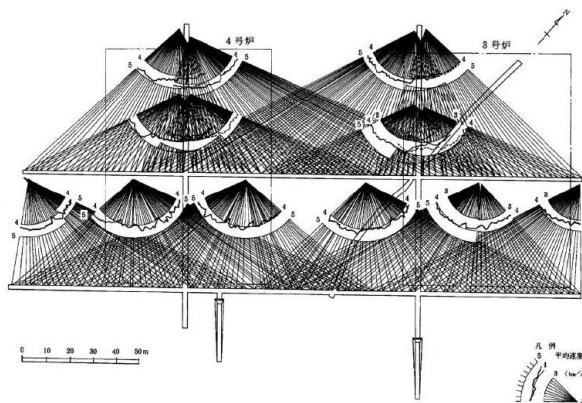


第5.9図 試掘坑内弾性波測定位置図

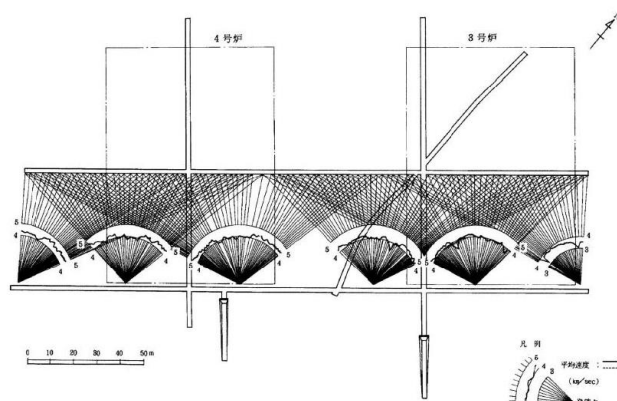
図5 試掘坑間弾性波探査の測定位置図.

坑道に沿って地震計を配置し、別の坑道で発破をかけて発破と地震計間の平均速度を測定する. 赤枠のブロックは、平均速度の場所による変化を調べるための区域 (図9参照).

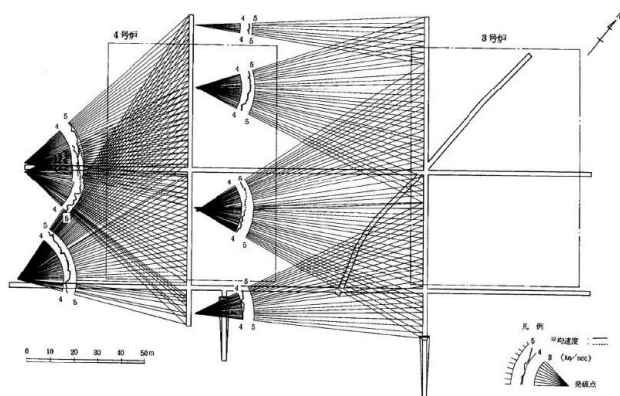
(大飯3、4号炉設置許可基準規制等への適合性について(地盤) 平成28年2月23日 関電、図幅集、44 頁を引用して加筆)



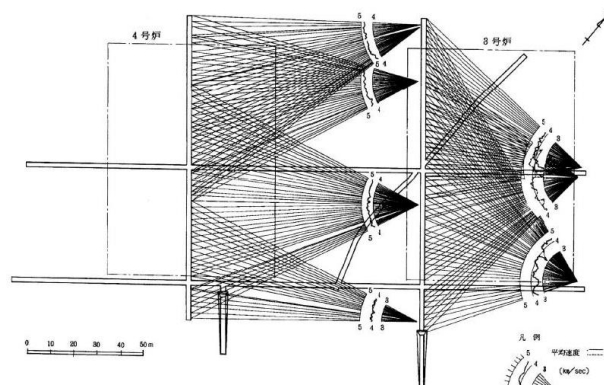
第 5.110 図(1) 試掘坑内坑間弾性波探査 (平均速度法) 結果図 (その 1)



第 5.110 図(2) 試掘坑内坑間弾性波探査 (平均速度法) 結果図 (その 2)



第 5.110 図(3) 試掘坑内坑間弾性波探査 (平均速度法) 結果図 (その 3)



第 5.110 図(4) 試掘坑内坑間弾性波探査 (平均速度法) 結果図 (その 4)

図 6 (1)～(4) 試掘坑坑間弾性波探査(平均速度法)結果図。
波線に沿う平均速度が円形グラフで示されている。
グラフのスケールは、調査範囲の左上は 4～5km/s であるが
右下は 3～5km/s あるいは 3～4km/s であり場所により速度が異なる。

右図: 図 (4) 右下の発破によるデータの円形グラフの拡大図、
この速度は 3.2～4.3km/s と極めて遅い。

(大飯3、4号炉設置許可基準規制等への適合性について(地盤)
平成 28 年 2 月 23 日 関電、図幅集、105～108 頁を引用)

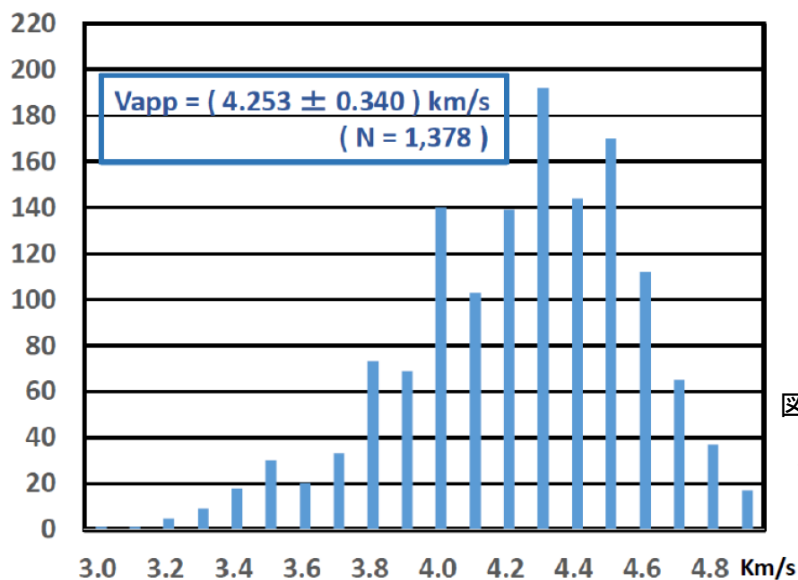
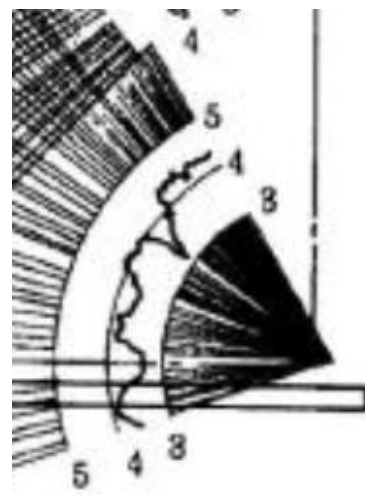
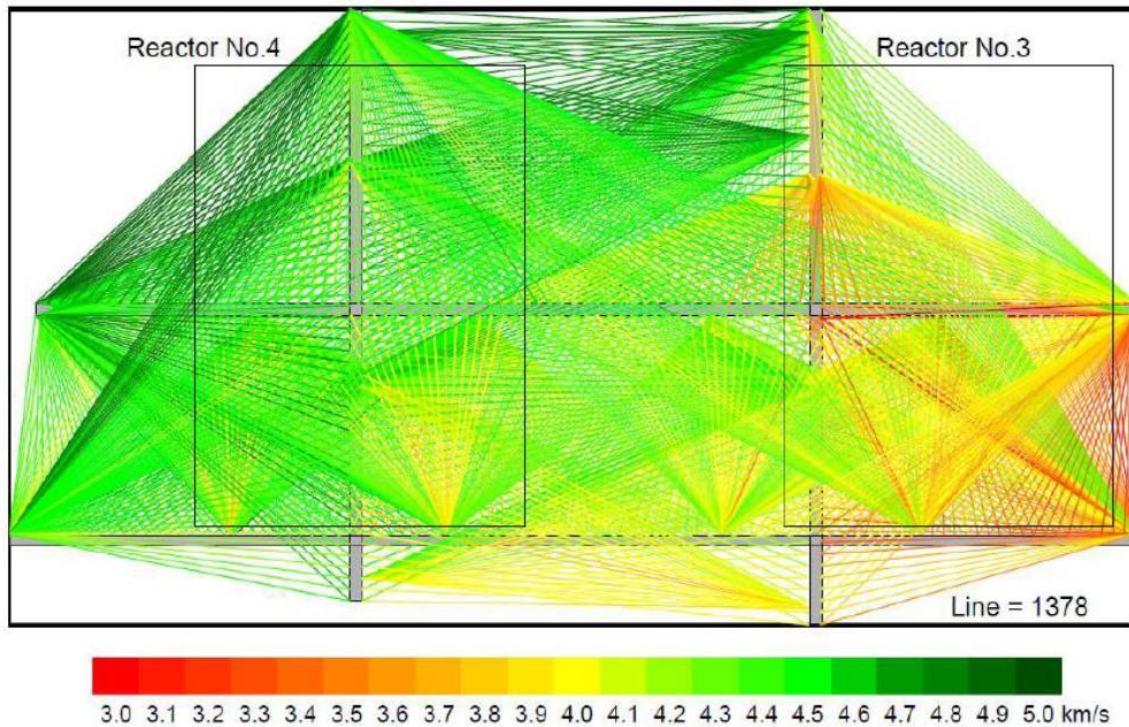


図 7 坑間弾性波探査による
平均 P 波速度の頻度分布。
VP=3.0～5.0km/s と広い範囲に分布。
低速度側への偏倚が大きい。



V_p (apparent) from fan-shootings at Ooi site

fan-shootingの波線を、波線の速度値の色で描いた。
生の測定値の分布図である。

図 8 試掘坑坑間弾性波探査 速度による彩色表示波線。
敷地西側(図の左上)から東側(右下)へ V_p は低下。
3号炉側で低速度が顕著である。

H			4.62	4.47	4.68	4.74	4.72	4.55	4.16		
G		4.85	4.64	4.50	4.57	4.64	4.61	4.50	4.21	4.20	
F	4.91	4.81	4.55	4.43	4.51	4.52	4.45	4.05	3.97	4.21	4.20
E	4.71	4.69	4.39	4.39	4.44	4.38	4.27	4.01	3.93	4.04	4.11
D	4.50	4.45	4.38	4.41	4.20	4.30	4.26	4.22	3.99	3.88	3.75
C	4.46	4.43	4.42	4.24	4.17	4.22	4.25	4.18	4.06	3.81	3.71
B	4.50	4.33	4.43	4.24	4.21	4.18	4.17	4.11	4.00	3.83	3.75
A	4.28	4.28	4.36	4.17	4.06	4.02	4.03	4.04	3.79	3.72	3.72
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K

大飯 fan-shooting ブロック通過波線の V_{app} 加重平均値

$$V_{app} = (4.253 \pm 0.340) \text{ km/s } (N = 1,378)$$

図 9 試掘坑坑間弾性波探査平均 P波のブロック別平均値。
ブロックの位置は図 5 参照。ブロック内を通過する波線の速度の平均値。
最大値は 4.91km/s (AFブロック)、最小値は 3.71km/s (KCブロック)。
平均値であるため、値の範囲は測定値より狭い。
敷地西側から東側へ V_p は低下している

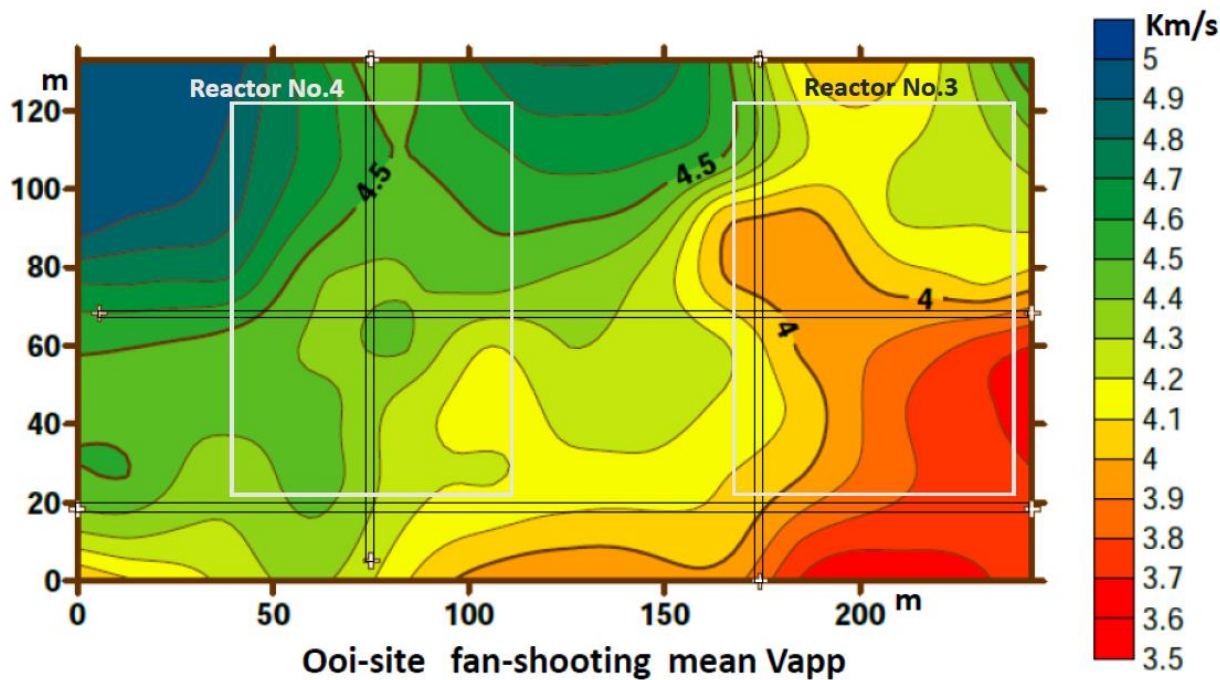


図 10 試掘坑間弾性波探査の平均 P 波速度のコンター表示。原子炉建屋を白枠で表示。
 図 9 に示した速度値がブロックの中心の値であるとして、横方向 100 × 縦方向 55 の格子点に
 値を内挿してコンターを描いた。速度は、西側から東側に系統的に低下する。
 3号炉直下に東から 4km/s 以下の低速度層が延びている。地震動評価モデルでは解放基盤は
 均質で P 波速度は 4.6km/s としているが、原子炉建屋直下の基盤は不均質で低速度である。

2. 1 地下構造の調査(反射法地震探査)

17

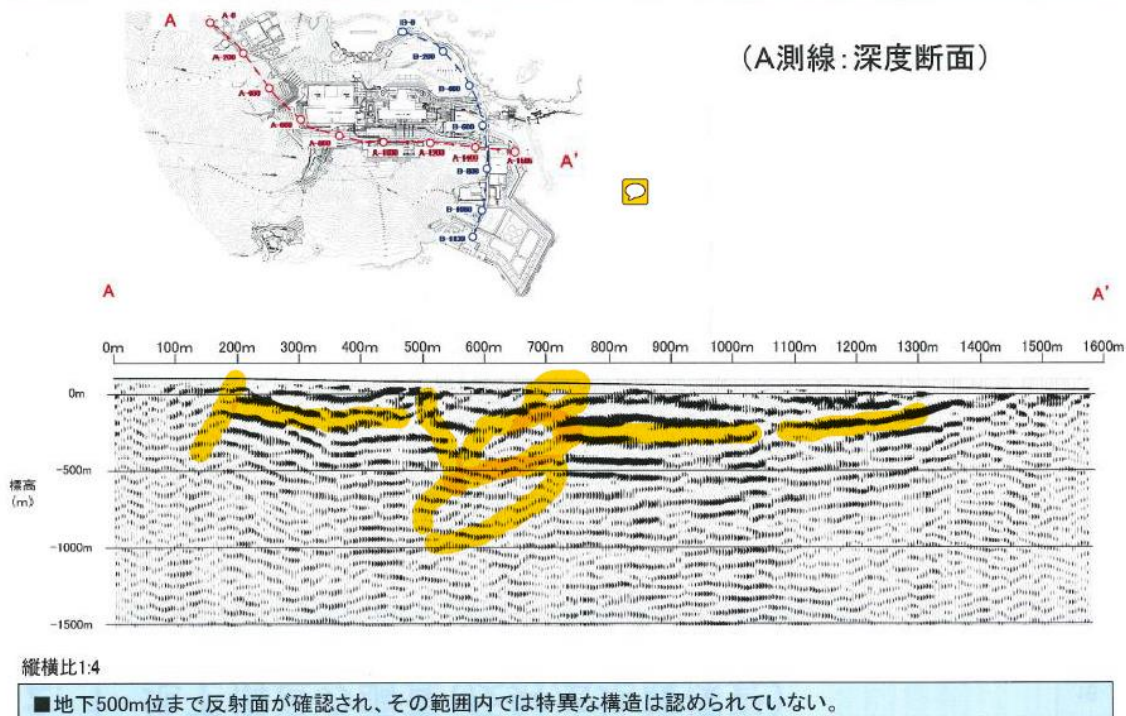
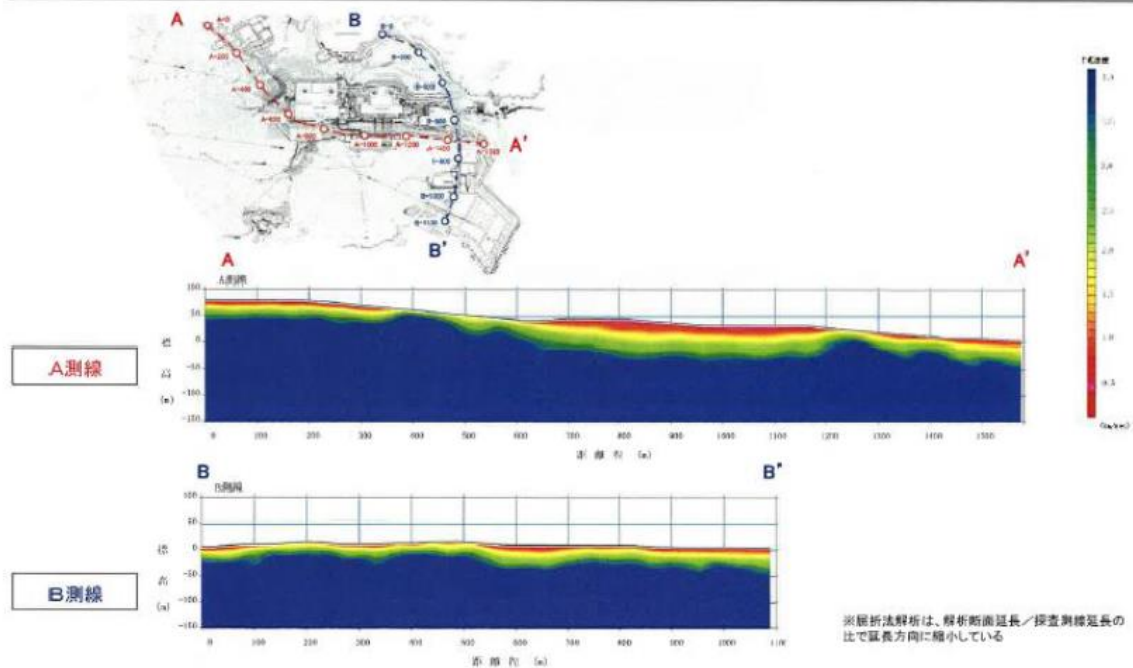


図 11 反射法地震探査・反射断面図。

反射波列は、水平あるいは単調な傾斜でなく、畝っている、また、連続しておらず何力所かで
 破断されている、回折波という特異な波列(橙丸囲み)が見られ断層の存在が示唆される。

(元物理探査学会理事・田村氏のコメント)。(丙28号証、17頁を引用加筆)



- 屈折法解析結果より、表層から50m程度で弾性波速度4km/s以上となる。
- 低速度帯の顕著な落ち込み等の特異な構造はなく、地下構造は水平方向に連続的である。

図 12 反射法地震探査屈折法解析による速度断面図。

原子炉建屋に沿った測線部分の、A測線 700～1200m 区間には低速度層の落ち込みがある。
(乙A24、57頁を引用)

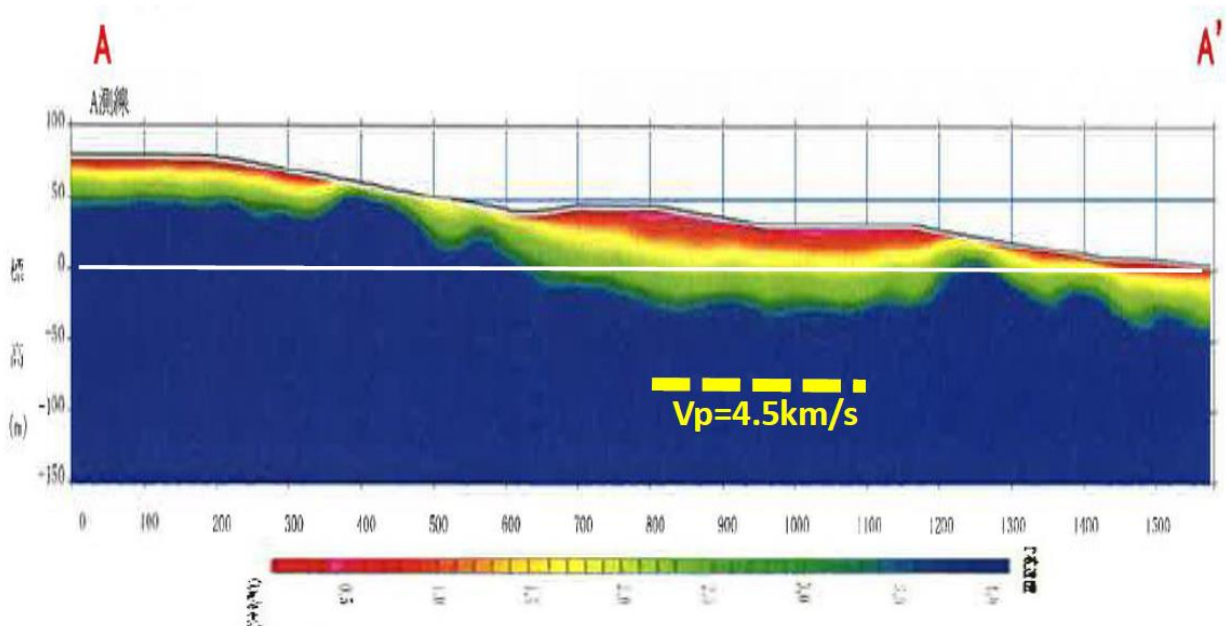


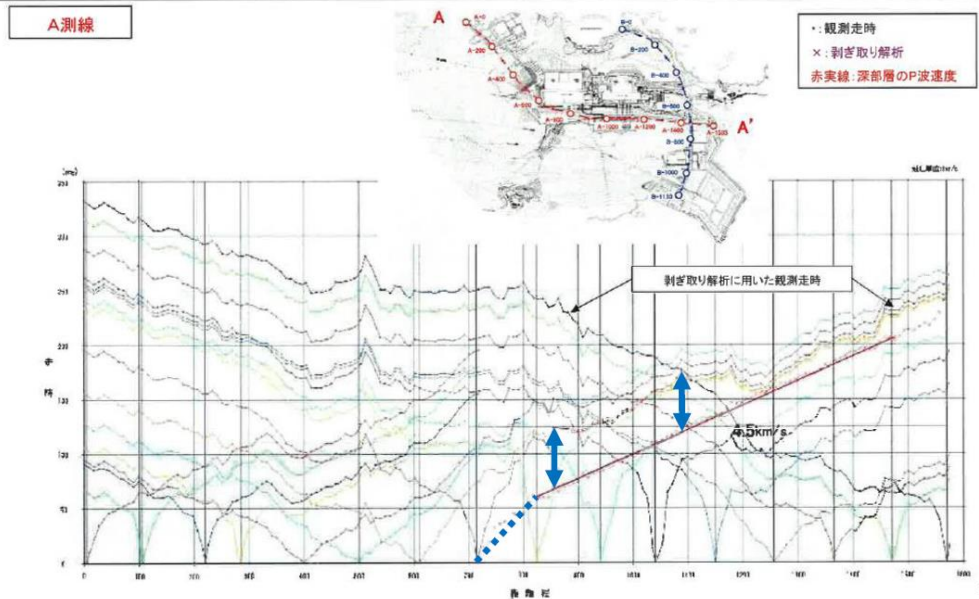
図 13 反射法地震探査屈折法解析による速度断面拡大図。

A 測線を縦に拡大し、標高 0m の位置に白線を記入した。

原子炉建屋付近では、解放基盤とされる標高 0m 付近で $V_p=2\text{km/s}$ 程度である。

黄色破線：はざとり法解析による $V_p=4.5\text{km/s}$ 層の上面深度で、標高は -80 ～ -90m である (図14参照)。

原子炉建屋付近の解放基盤(標高 0m 付近)の V_p を 4.6km/s とすることは許されない。



- A点からの波は、A' 点に到達していないため、A-800付近～A' 点間で解析した。
- その結果、やや深部を伝わる平均的な最下層速度は、約4.5km/s程度であった。

図 14 反射法地震探査・屈折波のはぎとり法解析。

青色点線：はぎとった表層の走時、この傾きから表層の平均の $V_p = 1.9\text{km/s}$ 。

青色矢印：はぎとり曲線（赤色直線）からの観測走時の遅れ、この時間差から下層の上面の深さは約120m、これは標高 -80m ～-90m に相当する。図13参照。

(乙A24、60頁を引用加筆)

③敷地内での単点微動観測

- 大飯発電所敷地内において、約50m間隔の微動観測を実施してH/Vスペクトルを評価し、敷地内における空間変動を評価した。

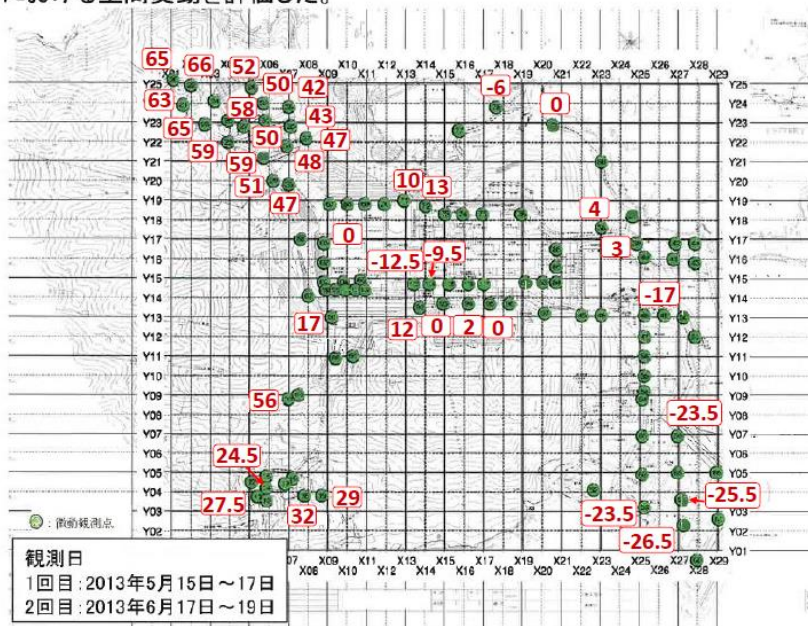


図 15 単点微動観測 H/V スペクトル測定点位置図。

関電が2層モデルで推定した岩盤 ($V_s = 2.2\text{km/s}$) の上面深度を赤字で示した。

ただし、岩盤の速度値は1.6km/s と置き換えることが可能。

岩盤上面は西(左上)から東(右下)に向かって傾斜。(乙A24、23頁を引用加筆)。

■2層地盤によるH/Vスペクトルの同定手順

①2層地盤の仮定

第1層の V_s ・ V_p 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。
($V_s=472\text{m/s}$ 、 $V_p=1124\text{m/s}$)

第2層の V_s は 2200m/s とする。

密度 ρ と第2層の V_p は、以下の経験式により算定する。

$$V_p=1.29+1.11V_s$$

$$\rho=1.2475+0.399V_p-0.026V_p^2$$

②観測H/Vスペクトルのピーク周波数の読み取り

微動のH/Vスペクトルから、 $1\text{Hz}\sim 10\text{Hz}$ でH/Vスペクトルが最大となる周波数を読み取る

③H/Vスペクトルの同定

- ①の物性値から算定した理論H/Vのピーク周波数が、
- ②で求めた観測H/Vのピーク周波数と一致するように、第1層の層厚を求める。

※なお、 $1\text{Hz}\sim 10\text{Hz}$ に明瞭なピークが見られるもののみを対象とする。

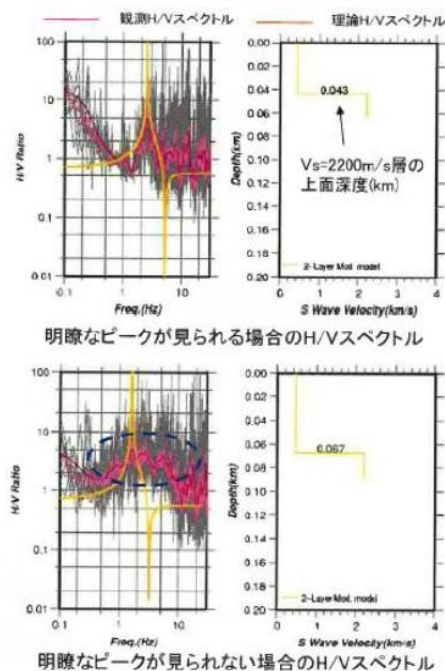


図 16 単点微動観測 H/V スペクトルの解析方法。

2層モデルの理論スペクトルと観測スペクトルのピーク周波数を合わせて表層の厚さを推定する。ピークの位置は、下層の速度にはほとんど無関係。図17、18、20参照。(乙A24、33頁を引用)

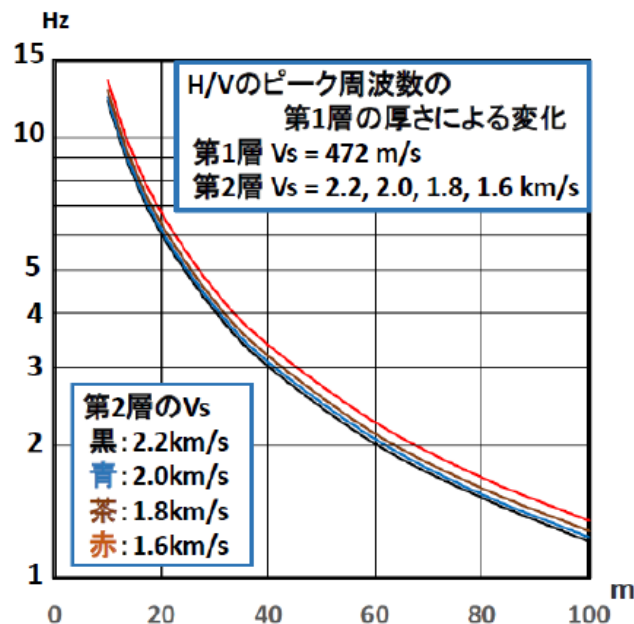


図 17 H/Vスペクトルのピーク周波数と表層の厚さの関係。

関電の2層モデルで、下層の V_s を $2.2\sim 1.6\text{km/s}$ とした場合、同一のピーク周波数に対して、岩盤の深さはほとんど変わらないことが分る。H/V スペクトルのピーク周波数は、基盤岩の速度には依存しない。

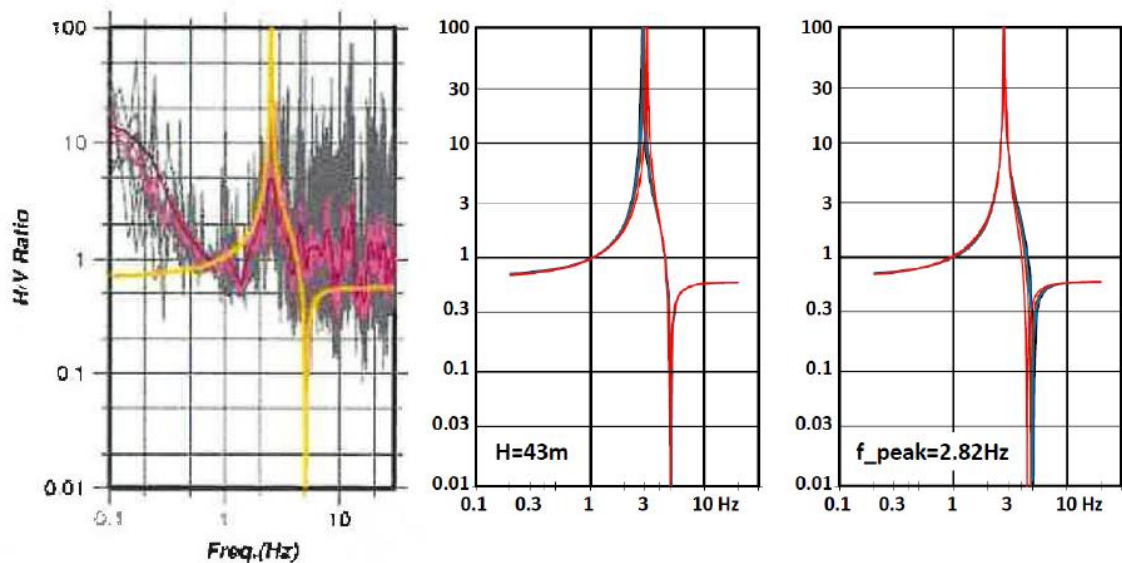


図 18 いろいろの基盤岩速度における H/V スペクトルの形状の比較.

左図: 図16の「観測スペクトルに明瞭なピークがみられる場合」の拡大図.

中図: 基盤岩深度が 43m の場合

右図: ピーク周波数が 2.82Hz の場合.

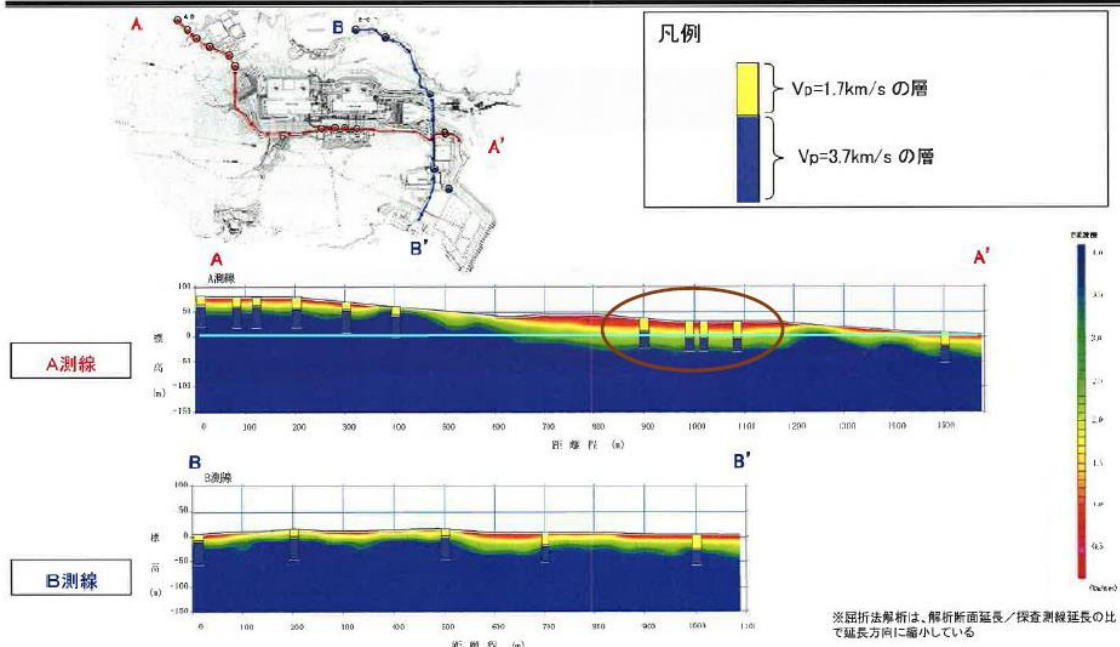
中図と右図では、岩盤の V_s を、黒: 2.2km/s、青: 2.0km/s、茶: 1.8km/s、赤: 1.6km/s としてある。スペクトルの形状は、ほぼ同じで4本が重なっている。

観測スペクトルは、岩盤の $V_s=2.2\sim 1.6\text{km/s}$ のどれでも説明可能である。

地下構造調査結果の可視化(大飯発電所)

第59回審査会合
資料再掲

58



■ 屈折法によるP波速度断面と、単点微動データによる2層地盤推定結果は、概ね整合している。

図 19 反射法地震探査屈折法解析による速度断面と H/V スペクトル解析結果との齟齬.

茶色丸印で示した原子炉建屋付近では、両者の違いが顕著である。

H/V 解析で基盤の $V_s=2.2\text{km/s}$ としたことによる齟齬である。(乙A24、58頁を引用加筆)

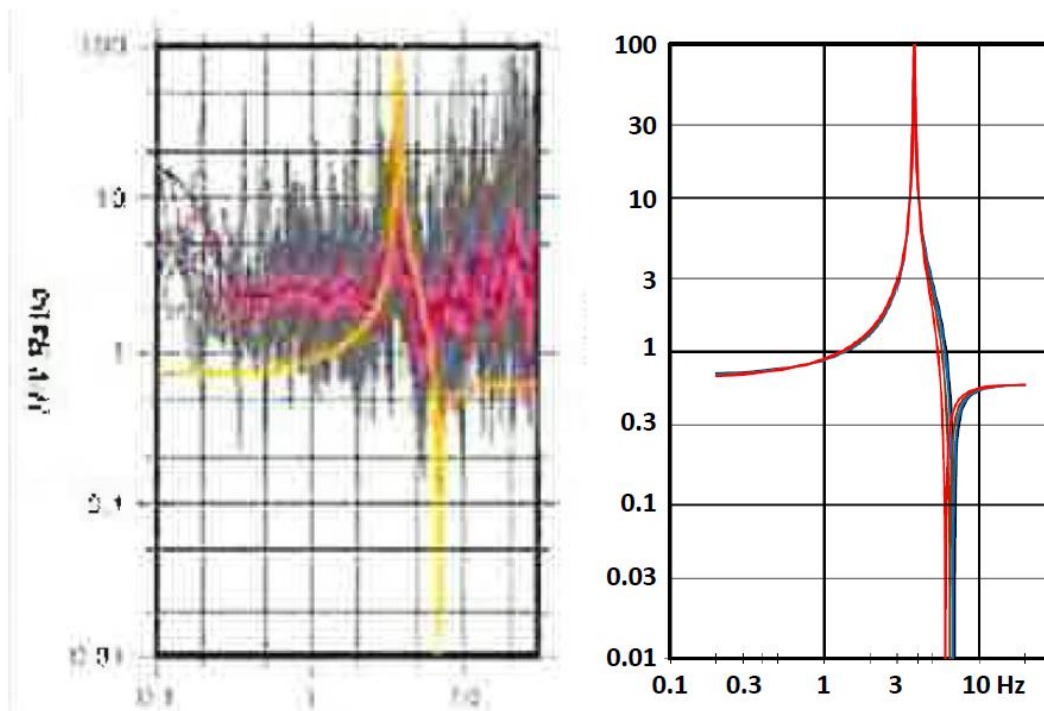


図 20 反射法地震探査屈折法解析による速度断面と H/V 解析結果とが齟齬をきたしている地点(図19)の H/V スペクトルの形状。
 左: 観測スペクトルと関電のモデルによるスペクトル(乙A24、33頁)。
 右: 基盤の $V_s=2.2\sim 1.6\text{km/s}$ としたモデルによる4本のスペクトル
 (表示の色は図18と同じ)

敷地内での微動アレイ調査(大飯)

66

■大飯発電所敷地内で半径約600m・300mの微動アレイ観測を行う。

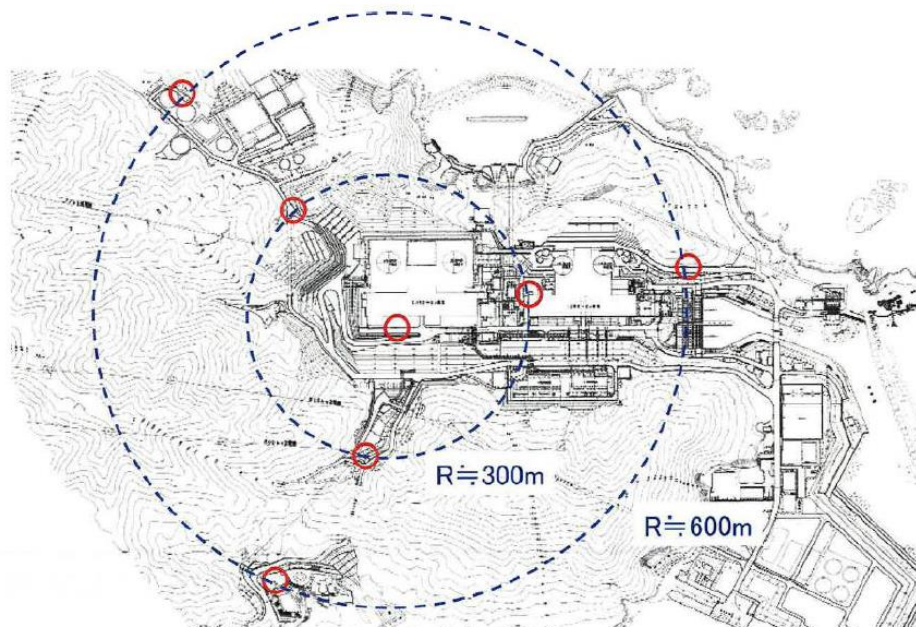


図 21 微動アレイ観測の測定点位置。
 浅い構造を調べる半径 300m の小アレイは、3、4号炉付近に展開されている。
 小アレイから求まる地表面近くの位相速度は 2km/s 以下。図22参照。
 (乙A24、66頁を引用)

- 微動アレイによる位相速度と地震波干渉法(参照点付きF-Kスペクトル解析)による位相速度は、周期2~3秒付近でよい連続性を示す。
⇒ 微動アレイによる位相速度(3秒以下)と地震波干渉法による位相速度(3秒以上)を目的関数としたジョイントインバージョン解析により、速度構造を推定する。

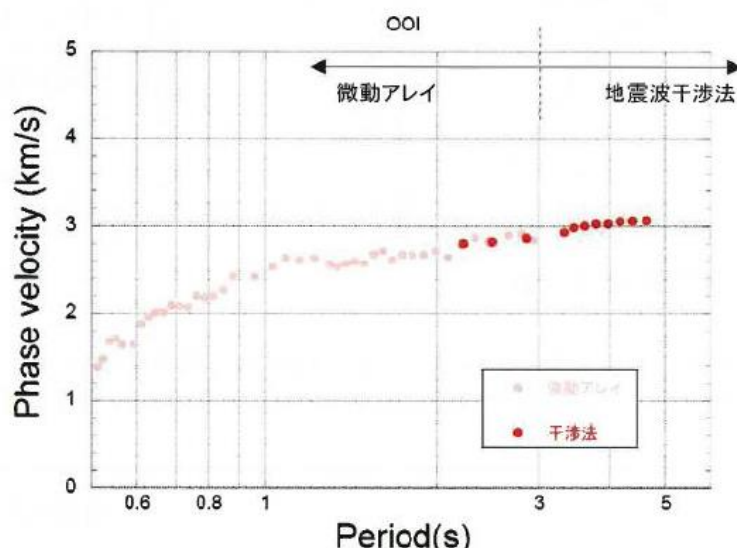


図 22 微動アレイ観測および地震波干渉法による観測位相速度。
周期 0.65 秒以下の短周期では 2.0km/s 以下であり、浅い場所のVsは遅い。
速度は長周期に向かって増減をくり返ししながら増加しており、
地下に低速度層が存在していることを示している。(乙A24、104頁を引用)

地盤モデルの検討

106

- 第1層に $V_s=0.5\text{km/s}$ の表層を考慮し、層厚0.01~0.1kmの範囲で探索する。
- 第2層以深は、サイトでのボーリング結果や既往の分析結果から、 $V_s=2.2\sim 3.6\text{km/s}$ までを0.1km/sごとにS波速度を設定し、層厚を0.01~2.0kmの範囲で探索する。
- 逆解析は山中(2007)によるハイブリッドヒューリスティック探索を用いた。

No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	層厚 (km)	密度 (g/cm^3)
1	2.0	0.5	0.01 ~ 0.1	2.08
2	4.8	2.2	0.01 ~ 2.0	2.7
3	4.7	2.3	0.01 ~ 2.0	2.7
4	4.8	2.4	0.01 ~ 2.0	2.7
5	5.0	2.5	0.01 ~ 2.0	2.7
6	5.1	2.6	0.01 ~ 2.0	2.7
7	5.2	2.7	0.01 ~ 2.0	2.7
8	5.3	2.8	0.01 ~ 2.0	2.7
9	5.4	2.9	0.01 ~ 2.0	2.7
10	5.5	3.0	0.01 ~ 2.0	2.7
11	5.6	3.1	0.01 ~ 2.0	2.7
12	5.7	3.2	0.01 ~ 2.0	2.7
13	5.8	3.3	0.01 ~ 2.0	2.7
14	5.9	3.4	0.01 ~ 2.0	2.7
15	6.0	3.5	0.01 ~ 2.0	2.7
16	6.1	3.6		2.7

図 23 位相速度の逆解析に用いる初期値。

第1層から第2層に速度値はジャンプしており、地表近くで測定されている低速度層を無視している。
速度は深さ方向に単調に増加させ、層厚だけを探索して、地下の低速度層には対応しない設定。
(第2層の $V_p=4.8\text{km/s}$ は 4.6km/s の誤り。) (乙A24、108頁を引用)

■今回選定された地盤モデルの諸元は以下のとおりであり、 $V_s=3.6\text{km/s}$ 層は深さ4.0kmと評価された。

No	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm^3)	層厚 (km)	上面深度 (km)
1	2.0	0.5	2.08	0.08	0
2	4.6	2.2	2.7	0.18	0.1
3	4.7	2.3	2.7	0.19	0.3
4	4.8	2.4	2.7	0.14	0.5
5	5.0	2.5	2.7	0.14	0.6
6	5.1	2.6	2.7	0.13	0.7
7	5.2	2.7	2.7	0.04	0.9
8	5.3	2.8	2.7	0.04	0.9
9	5.4	2.9	2.7	0.14	0.9
10	5.5	3	2.7	0.11	1.1
11	5.6	3.1	2.7	1.83	1.2
12	5.7	3.2	2.7	0.31	3.0
13	5.8	3.3	2.7	0.29	3.3
14	5.9	3.4	2.7	0.14	3.6
15	6.0	3.5	2.7	0.28	3.8
16	6.1	3.6	2.7	—	4.0

図 24 逆解析により求められたモデル（インバージョン・モデル）。
深さ4kmまでの16層から成り、表層は厚さ80m、 $V_s=0.5\text{km/s}$ である。（乙A24、108頁を引用）

■今回選定された地盤モデルについて、その物性値を用いて算定される理論位相速度を評価した結果、観測位相速度と良く対応していることを確認した。

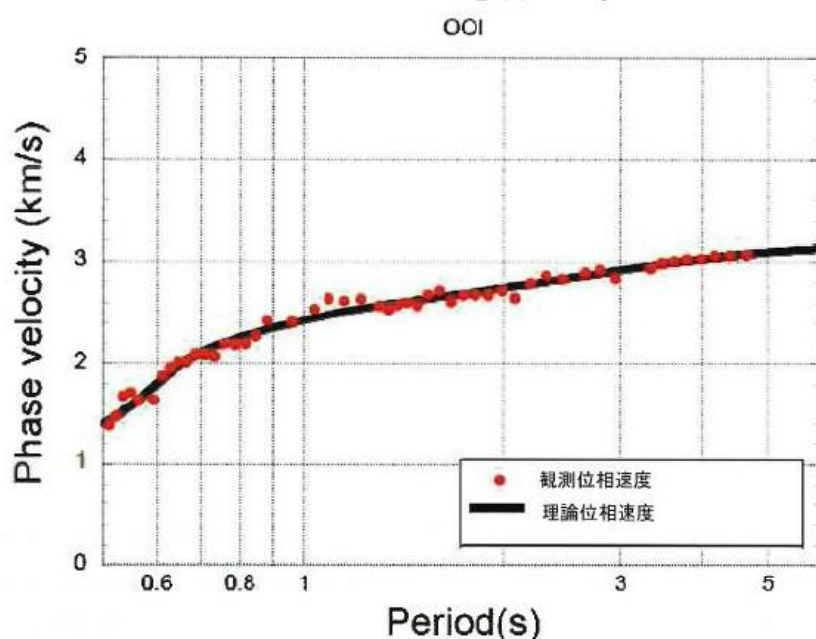


図 25 インバージョン・モデルによる理論位相速度。
全体の傾向は合うが、観測値の山谷は説明できない。（乙A24、110頁を引用）

■断層モデルを用いた手法による地震動評価のための地盤モデルは以下のとおり。

No.	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 (g/cm ³)	層厚 (km)	上面深度 (km)	Qs	減衰定数 (%)
1	4.6	2.2	2.7	0.18	0	16.67	3.0
2	4.7	2.3	2.7	0.19	0.18	100.00	0.5
3	4.8	2.4	2.7	0.14	0.37	100.00	0.5
4	5.0	2.5	2.7	0.14	0.51	100.00	0.5
5	5.1	2.6	2.7	0.13	0.66	100.00	0.5
6	5.2	2.7	2.7	0.04	0.79	100.00	0.5
7	5.3	2.8	2.7	0.04	0.83	100.00	0.5
8	5.4	2.9	2.7	0.14	0.87	100.00	0.5
9	5.5	3.0	2.7	0.11	1.01	100.00	0.5
10	5.6	3.1	2.7	1.83	1.12	100.00	0.5
11	5.7	3.2	2.7	0.05	2.95	100.00	0.5
12	6.1	3.6	2.7	—	3.0	100.00	0.5

図 26 地震動評価のための地盤モデル。

インヴァージョン・モデル（図24）の表層 $V_s=0.5\text{km/s}$ と、深さ3～4km の層が割愛された。
（乙A21、57頁を引用）

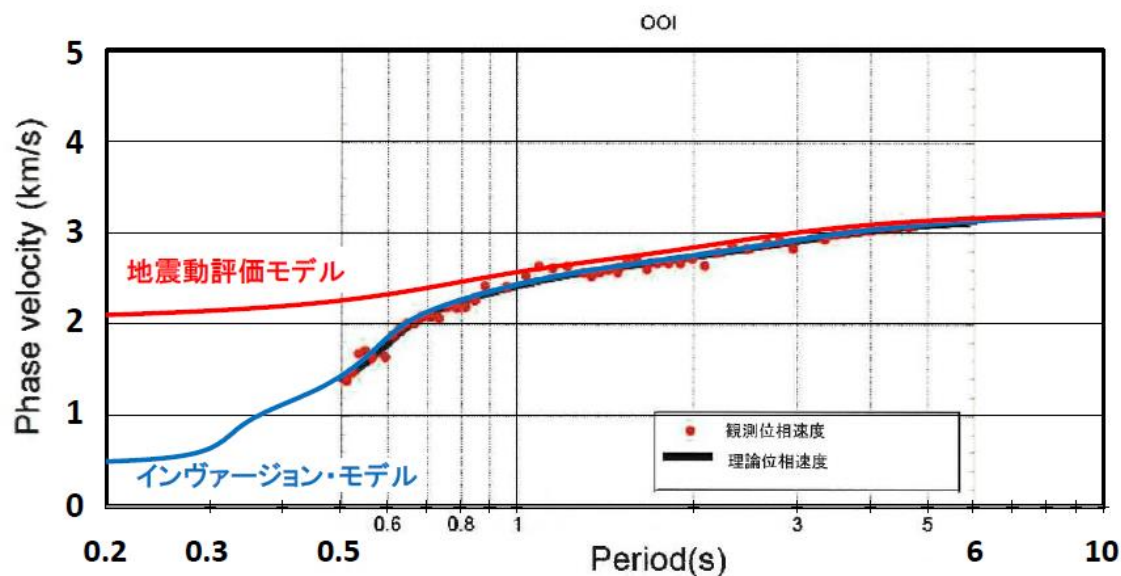


図 27 インヴァージョン・モデル（図 24）と地震動評価モデル（図 26）の位相速度の比較。
地震動評価モデルは $V_s=0.5\text{km/s}$ の層が無いので、
1 秒以下の周期で位相速度は観測値と全く異なる。

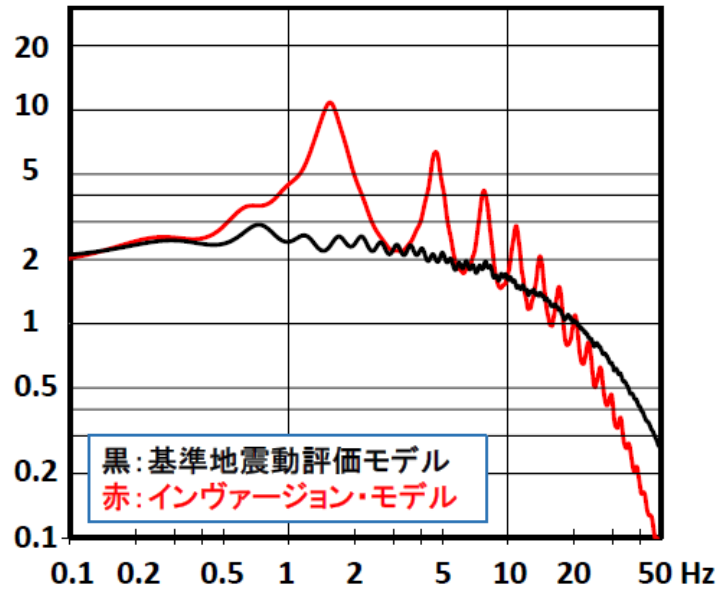
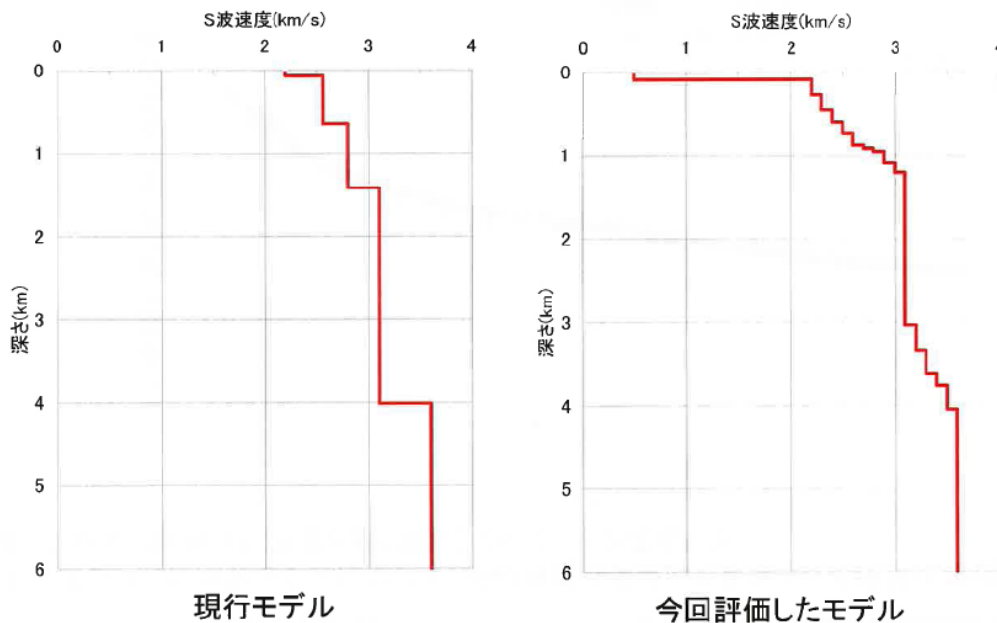


図 28 インヴァージョン・モデルと地震動評価モデルの地盤増幅特性の比較
インヴァージョン・モデルは、 $V_s=0.5\text{km/s}$ の表層内の多重反射により、共振のピーク列がある。

地盤モデルの検討

111

■ 現行の地盤モデルと今回評価したモデルのS波速度構造の比較



$V_s=3.6\text{km/s}$ ($V_p=6.1\text{km/s}$)層の上面深度は深さ4.0kmとなっている。

図 29 見直し前の地盤モデル (現行モデル) と新しい地震動評価モデルの S波速度構造。
現行モデルの表層は $V_s=2.2\text{km/s}$ 、
この時点では地震動評価モデルの表層は $V_s=0.5\text{km/s}$ としている。 (乙A24、11頁を引用)

■ FO-A～FO-B～熊川断層による地震動評価結果の比較(上端4km、短周期1.5倍ケース)(水平)

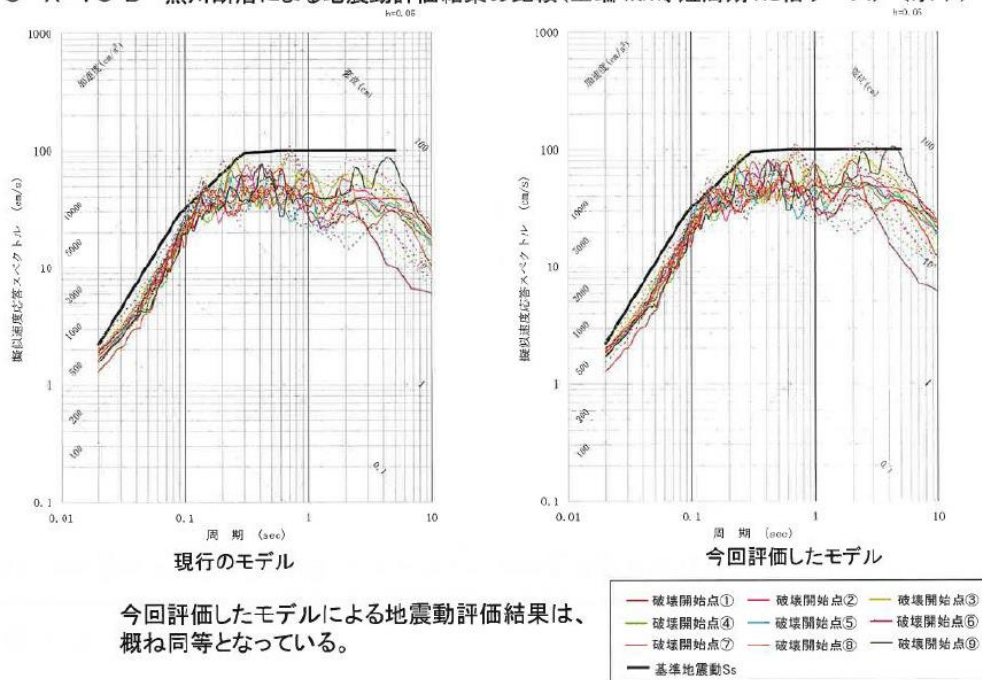


図 30 見直し前の地盤モデルと新しい地震動評価モデルによる地震動評価。

新しい地震動評価モデルの表層は $V_s=0.5\text{km/s}$ であり、現行モデルとは表層の速度が全く異なる、従って増幅特性が大きく異なるにも拘わらず、地震動の差異は大きくない。

規制委員会第89回審査会合で地盤の増幅特性を明示するよう求められた。(乙A24、113頁を引用)

3. 地盤モデル(大飯)

32

■大飯発電所の地震動評価に用いる地盤モデルは以下のとおり。

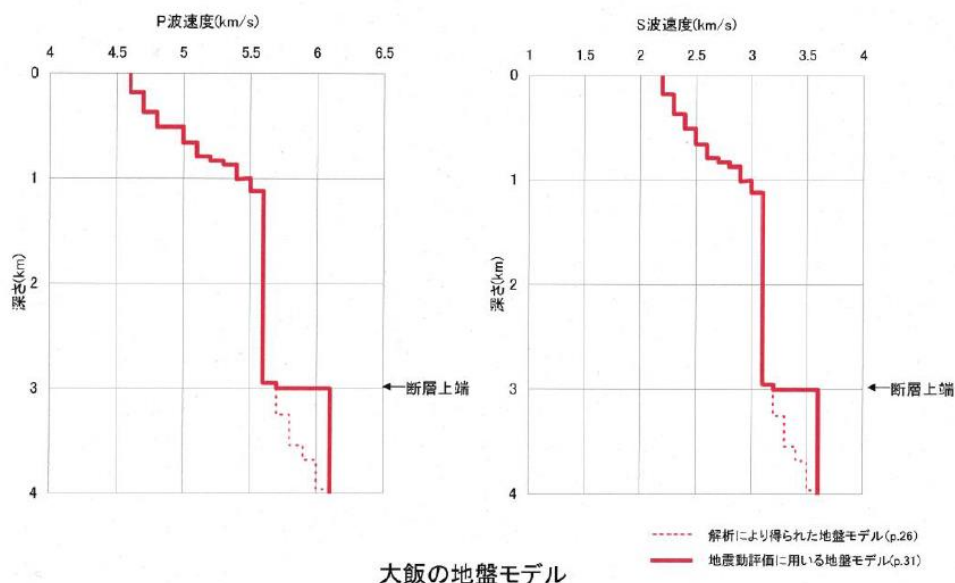


図 31 インヴァージョン・モデルと地盤モデルの違いの説明図。

深さ3～4kmの層を割愛したことは赤色点線で明示しているが、増幅特性に大きく影響する表層 $V_s=0.5\text{km/s}$ を割愛したことは明示していない。

(第107回審査会合、資料2-1、32頁を引用)

No	S波速度 (km/s)	上面深度 (km)
0	0.5	0
1	2.2	0.1
2	2.3	0.3
3	2.4	0.5
4	2.5	0.6
5	2.6	0.7
6	2.7	0.9
7	2.8	0.9
8	2.9	0.9
9	3	1.1
10	3.1	1.2
11	3.2	3.0
12	3.3	3.3
13	3.4	3.6
14	3.5	3.8
15	3.6	4.0

インバージョンにより
得られたモデル

大飯の地盤モデル



No.	S波速度 (km/s)	上面深度 (km)
1	2.2	0
2	2.3	0.18
3	2.4	0.37
4	2.5	0.51
5	2.6	0.66
6	2.7	0.79
7	2.8	0.83
8	2.9	0.87
9	3.0	1.01
10	3.1	1.12
11	3.2	2.95
12	3.6	3.0

地震動評価に用いる
地盤モデル

図 32 インヴァージョン・モデル
→ 地震動評価モデルの説明

インヴァージョン・モデルの第12～14層
(図24の第13～15層)を割愛したことは
赤色点線枠で示しているが、第0層
(図24の第1層)についての説明はない。
(資料3-1 3頁から引用)

図 33 インヴァージョン・モデルと
地震動評価モデルの理論位相速度

地盤モデルのS波速度は2.2km/s以上であるから2km/s以下の位相速度(黒色)は理論的にあり得ない(図27参照)。関電は地盤モデルに0.5km/s層を追加して計算し、位相速度を捏造している。

(資料3-1 5頁から引用)

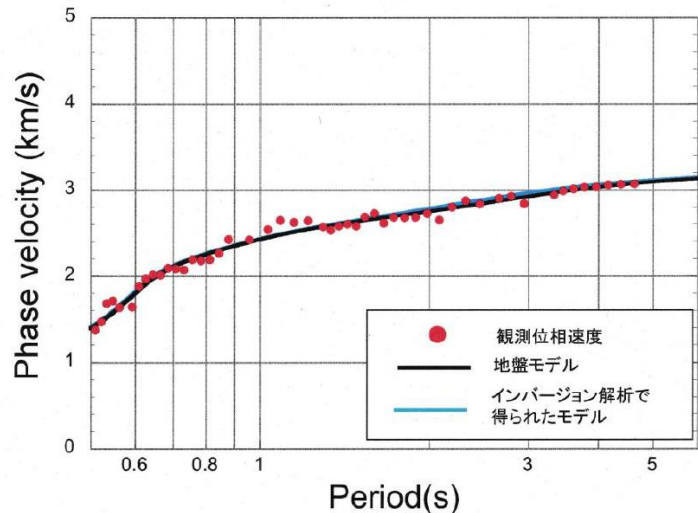
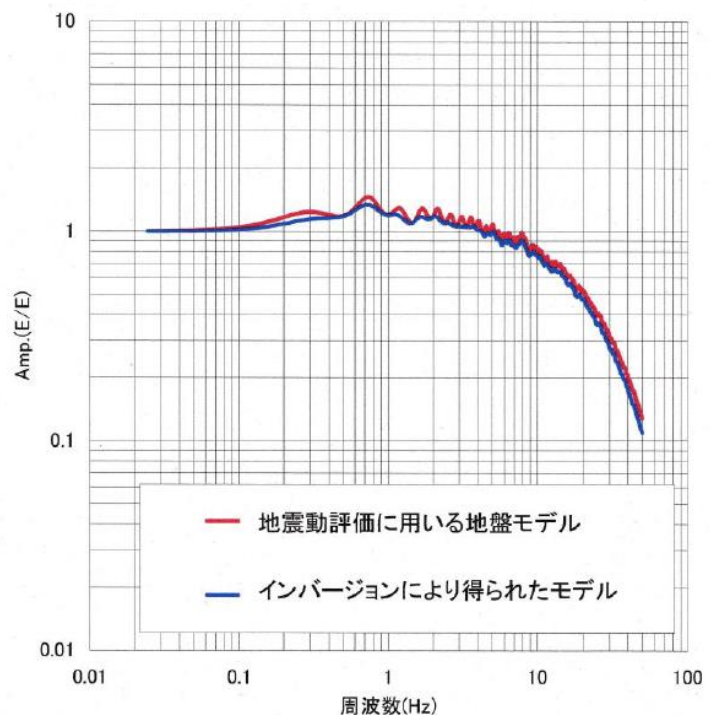


図 34 インヴァージョン・モデルと
地震動評価モデルの伝達関数

インヴァージョン・モデルは表層と下層のインピーダンス(速度×密度)比が4以上と大きく、多重反射による共振のピーク列が計算される(図28参照)。関電は、インヴァージョン・モデルの表層を削除して計算し、地震動評価モデルとほぼ同じ伝達関数の図を捏造している。

(資料3-1 4頁から引用)



資料3-1:原子力規制委員会 第113回
審査会合(平成26年5月16日)で関電が
配布した資料

「資料3-1 高浜発電所・大飯発電所地下
構造評価について(コメント回答)」

大飯の伝達関数の比較

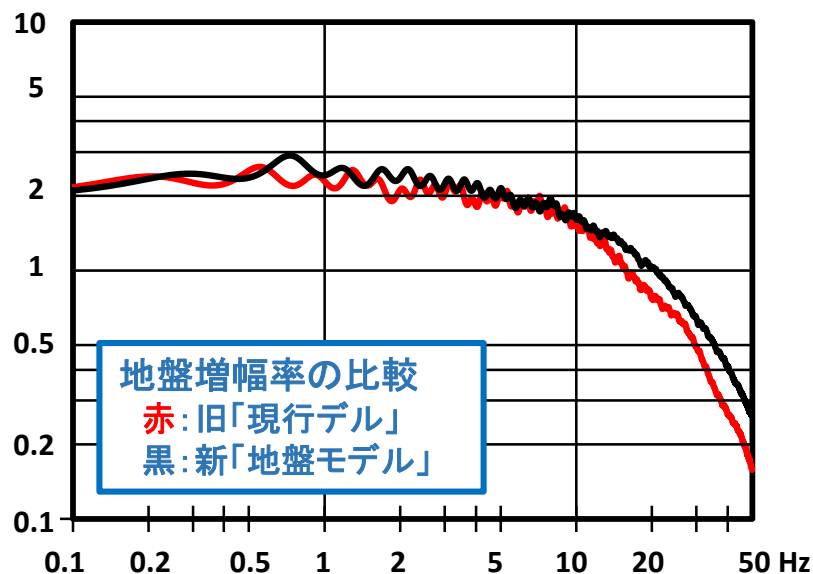


図 35 旧「現行モデル」(赤)と新「地盤モデル」(黒)による地震波増幅率
 旧「現行モデル」は、4層＋基盤、基盤上面の深さは4km(図29参照)
 新「地盤モデル」は、11層＋基盤、基盤上面の深さは3km(図26参照)
 両方とも、表層のVsは2.2km/s、減衰特性は深さ180mまで $h=3\%$ 、それ以深は $h=0.5\%$ 。

3. 地盤モデルの策定(減衰定数)

第206回審査会合
資料再掲

25

■敷地浅部の地盤構造について(ボーリング孔を用いたQ値測定)

ボーリング孔を用いて、ミニパイプおよび板叩き起振によるQ値測定を実施。

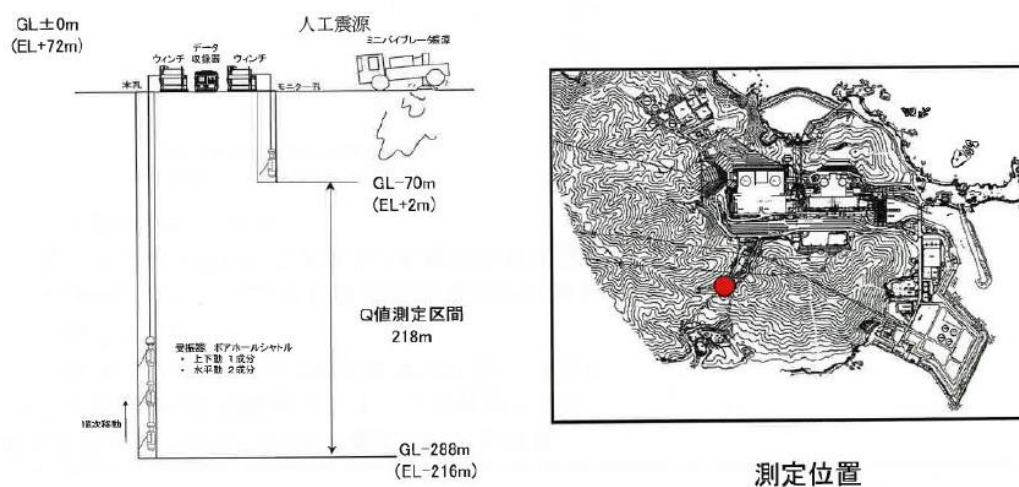


図 36 ボーリング孔を用いた減衰定数(Q値)測定方法の概念図 (乙A21、25頁を引用)

■ 解析手法

深度ごとに観測された波形に対して球面波による幾何減衰を補正した後、補正した振幅値と伝播距離のグラフの勾配から減衰係数およびQ値を算定する。

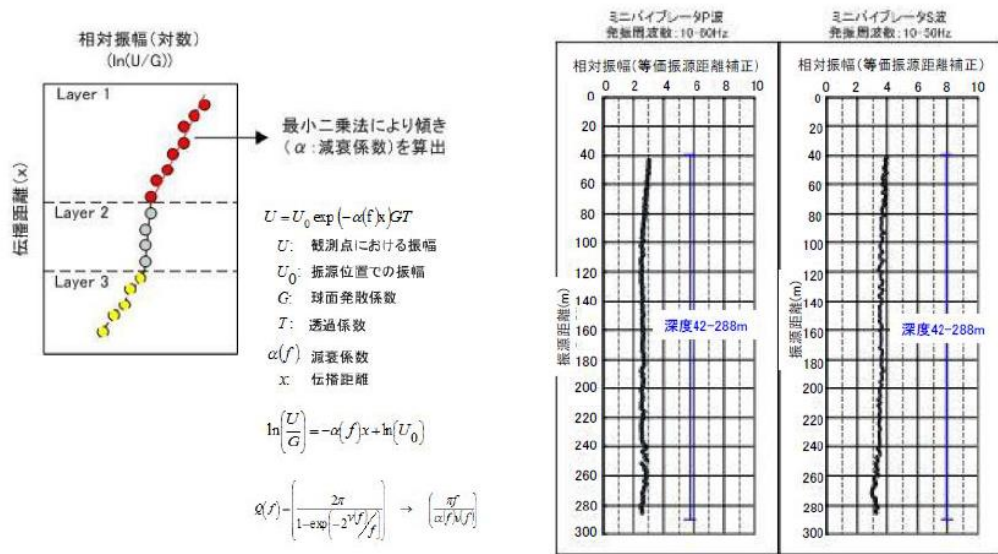


図 37 減衰定数(Q値)の解析方法の説明。

右図: 深さ方向の振幅分布、傾きから減衰係数 α を求める。(資料1-1、11頁を引用)

資料1-1:「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合第21回(平成25年9月18日)」において関電が配布した「資料1-1 大飯発電所地下構造の把握について」

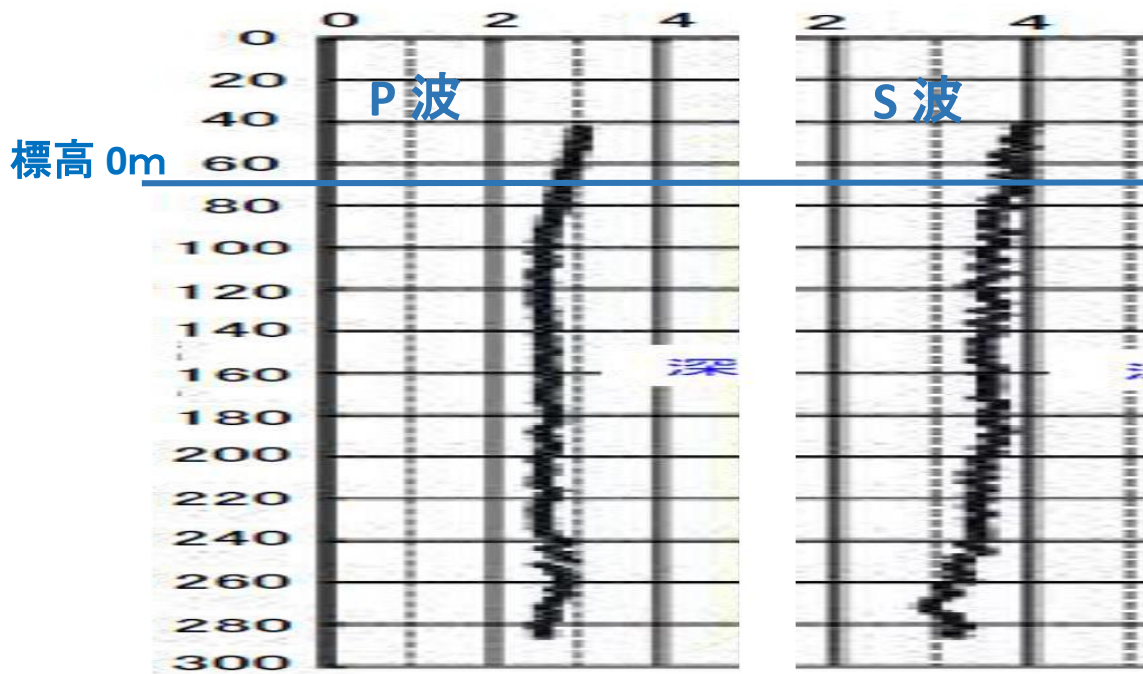


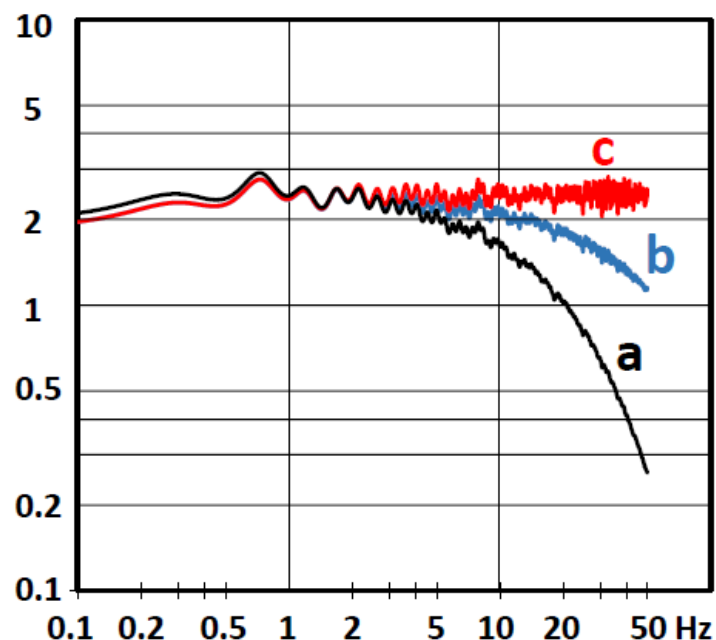
図 38 ボーリング孔を用いた減衰定数(Q値)測定(図37)の振幅分布の拡大図。

深さは地表からの値であり、70mが標高0mに相当する。

左:P波、深さ100~180mで振幅増加、180~240mでほぼ一定。

右:S波、深さ100~200mで振幅一定あるいは増加。

このようなデータから精度よく減衰定数を評価することは困難と思われる。



a: 関電の基準地震動評価モデル
 b: 表層はaと同じ、第2層以下 $Q_s=50f^{**1.1}$
 c: 全層で $Q_s=50f^{**1.1}$

図 39 減衰定数(Q値)の違いによる地盤増幅率の変化.

- a: 関電の地震動評価モデル(図26) 深さ180mまで $h=3\%$ ($Q=16.67$)、それ以深 $h=0.5\%$ ($Q=100$)
 b: 深さ180mまでは関電と同じ減衰定数、それ以深は中央防災会議の考え方 $Q=50f^{**1.1}$
 c: 全層にわたって中央防災会議の考え方 $Q=50f^{**1.1}$ (f: 周波数、**: べき乗)

中央防災会議の考え方に従えば、高周波数での増幅率は大きくなる。
 従って基準地震動は大きく算定され、安全側の評価をすることになる。

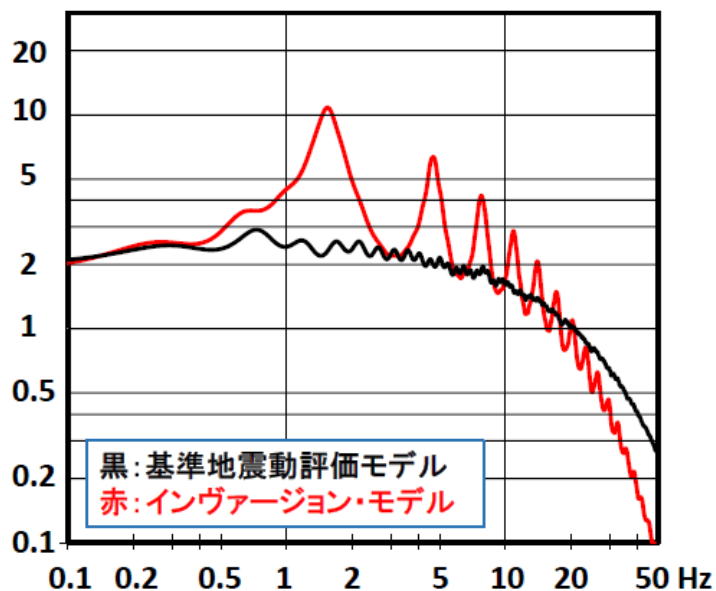


図 28 再掲 インヴァージョン・モデルと地震動評価モデルの地盤増幅特性の比較

インヴァージョン・モデルは、 $V_s=0.5\text{km/s}$ の表層内の多重反射により、共振のピーク列がある。

減衰特性を $h=3\%$ 、 0.5% とし(図39)、 $V_s=0.5\text{km/s}$ の表層を割愛したこと(図28)の両方の効果が合わさって、増幅率は小さく押さえられる→基準地震動が過小に評価される..

破砕帯位置と調査位置図

第206回審査会合
資料3-2-1 p75再掲

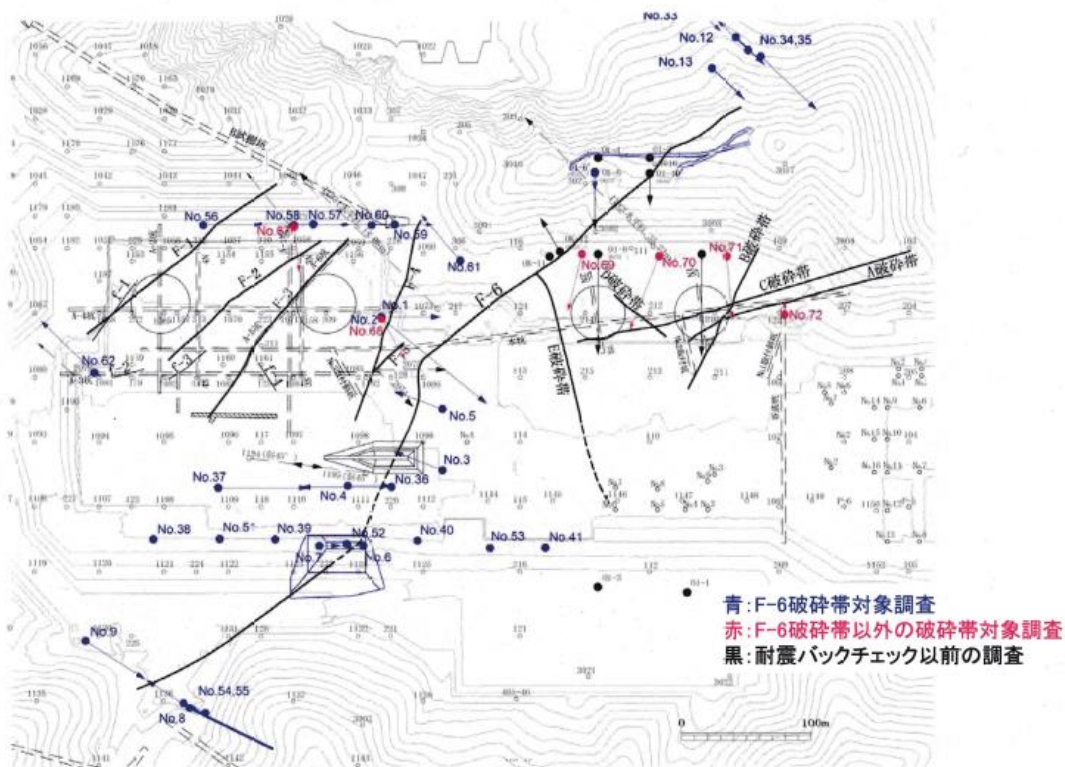


図 40 敷地における破砕帯の位置. F-1～F-6、f-1～f-4、A～Eの15本の破砕帯が確認されている。3、4号炉建屋直下にはF-1～F-5、f-1～f-4があり、最大のF-6は2号炉と3号炉の間にある。走向は概ね南北方向である。（資料1-2-1、78頁を引用）

破砕帯の幅と長さの関係(3、4号炉基礎岩盤スケッチ及びその他調査結果を統合)

第206回審査会合
資料3-2-1 p24再掲

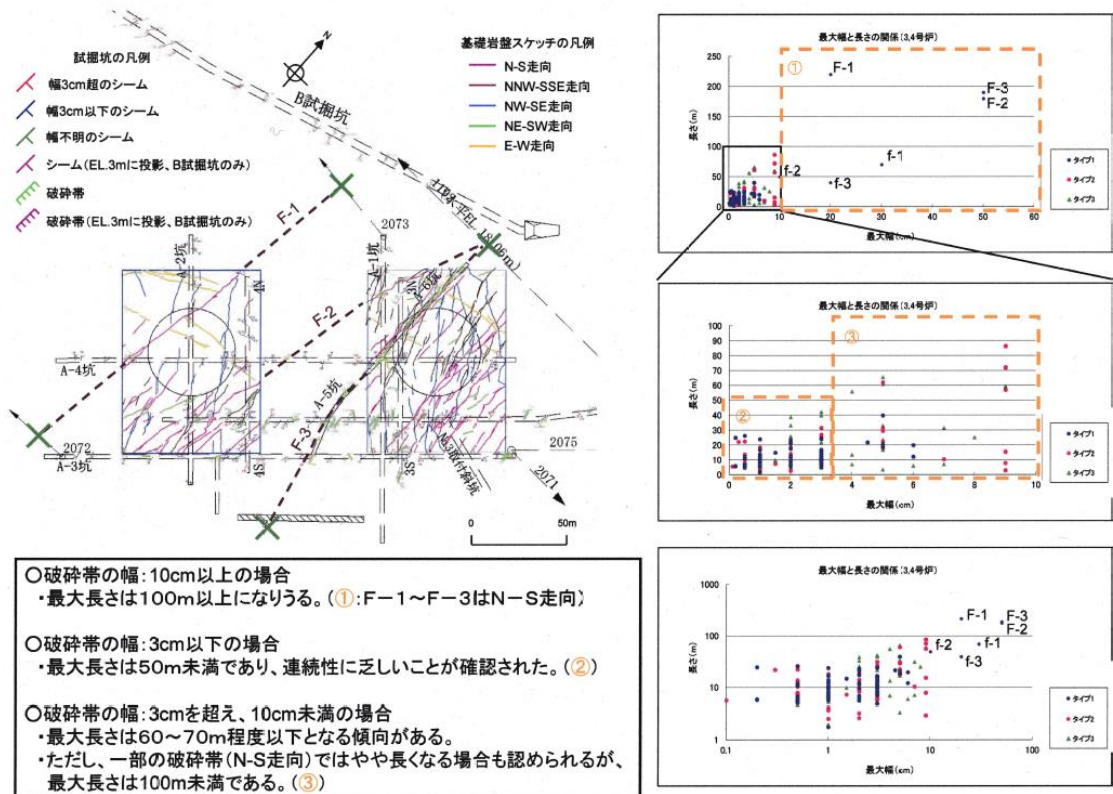


図 41 破砕帯の幅と長さの関係(右図)および3、4号炉基礎岩盤の破砕帯分布(左図)。

破砕帯が長くなるほど、その幅は広がる。100m 長で幅 1 m 近くにもなる。3、4号炉基礎岩盤にはF連番、f連番の他に、概ね南北走向の小さい破砕帯が付随する。小さい破砕帯は4号炉直下に比べ、3号炉直下の方が数が多く密に分布する。破砕帯の分布の違いが地震波速度の違いをもたらす(図41参照)。

(資料1-2-1、27頁を引用)

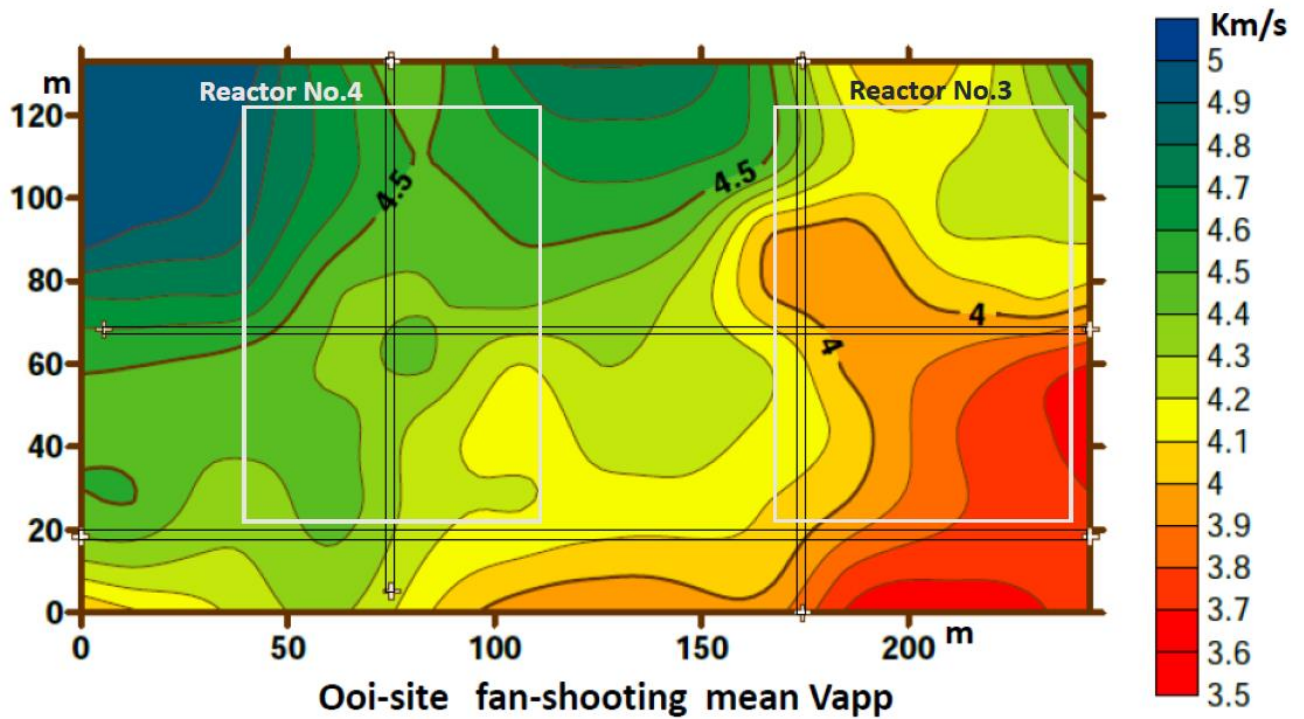
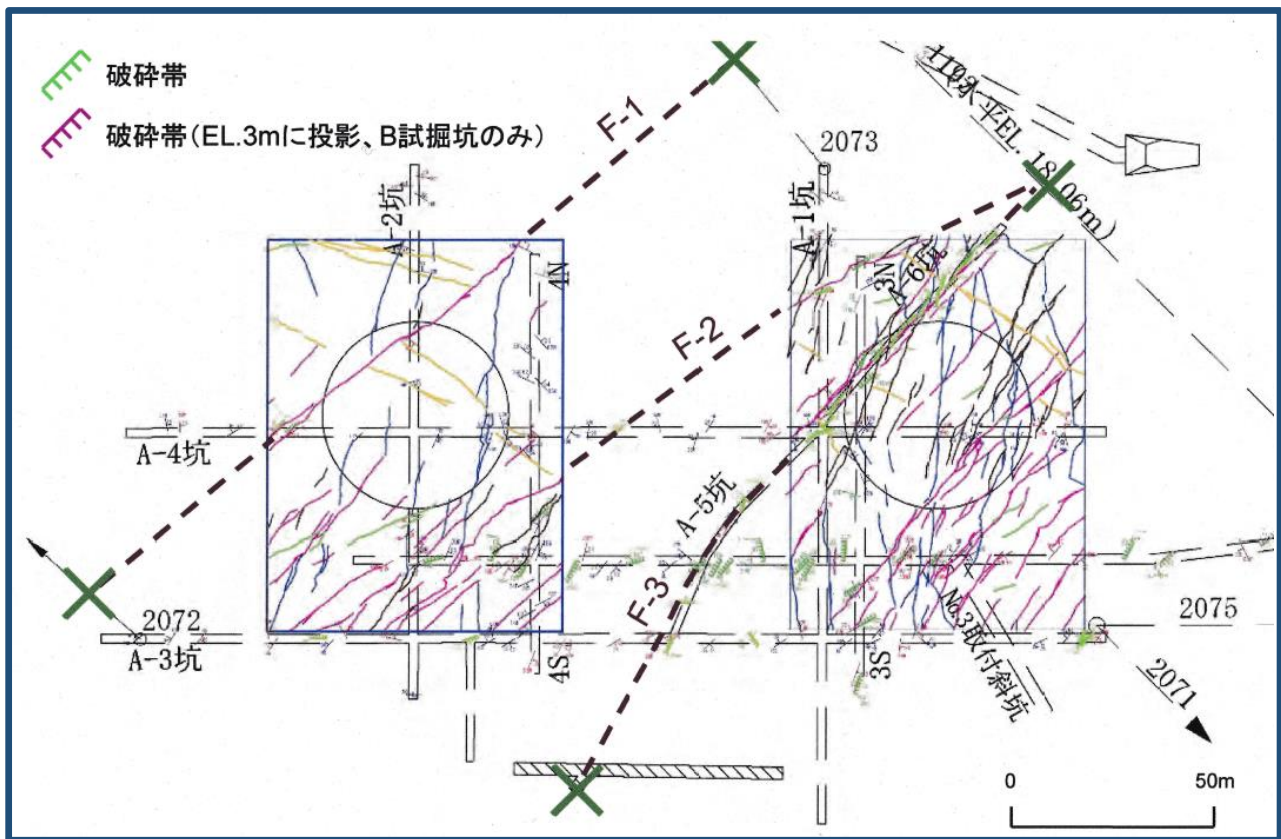
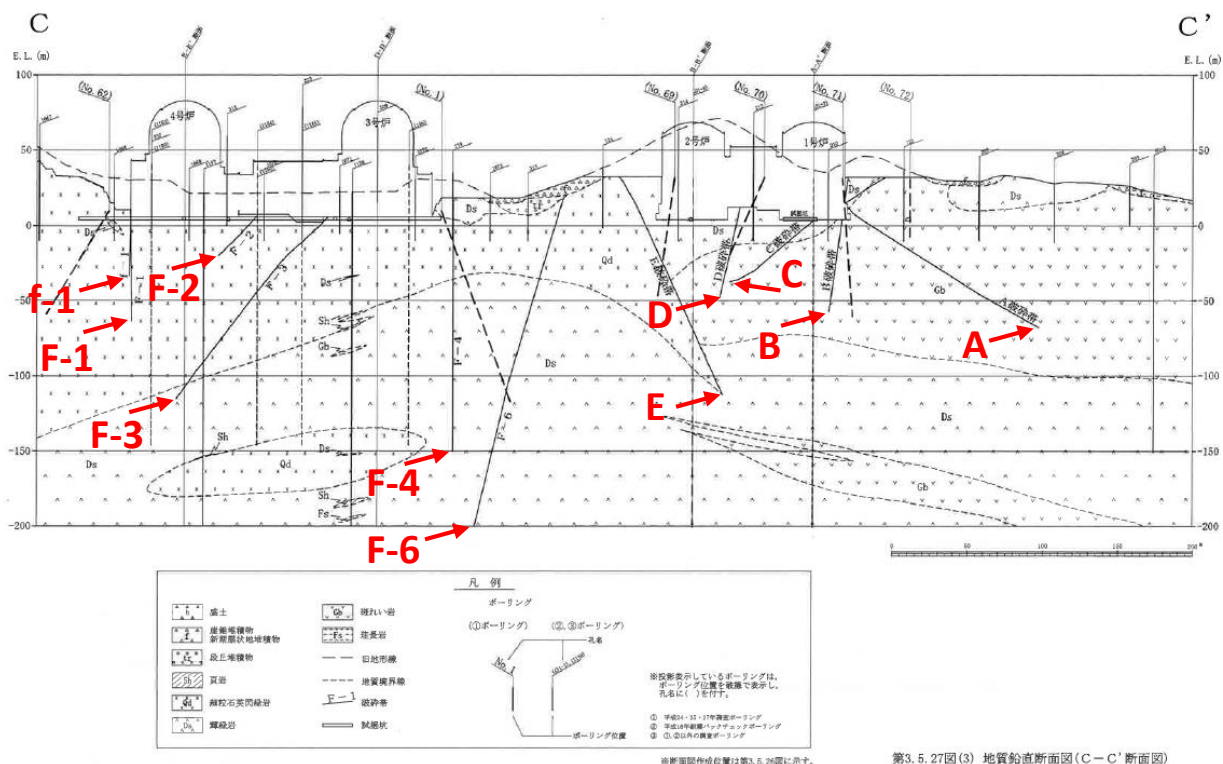


図 42 3、4号炉基礎岩盤の破碎帯分布と平均 P波速度の分布の関係。
 上図：図40の破碎帯分布の図を拡大。
 下図：試掘坑坑間平均 P波速度の分布(図10)。
 P 波速度は破碎帯の分布に大きく関係していることが明瞭である。



第3.5.27図(3) 地質鉛直断面図(C-C'断面図)

6-3-585

図 43 破碎帯の深さ。

3、4号炉直下では、破碎帯は深さ200mまで確認されたとしている。破碎帯の下端を赤矢印を加筆して示した。これらの破碎帯に伴って規模の小さい破碎帯が深部に高密度に分布し、地震波速度の低下をもたらしていることが示唆される。なお、F-5、f-2～f-4の破碎帯は、この断面図の位置を横切っていないとして記載されていない。(6-3-585頁を引用加筆)

■基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

⇒地震観測や各種物理探査のデータに基づき地盤モデルを評価することが求められている。

- 3) 地下構造モデルの設定においては、地下構造（深部・浅部地下構造）が地震波の伝播特性に与える影響を検討するため、地層の傾斜、断層、褶曲構造等の地質構造を評価するとともに、地震発生層の上端深さ、地震基盤・解放基盤の位置や形状、地下構造の三次元不整形性、地震波速度構造等の地下構造及び地盤の減衰特性が適切に評価されていることを確認する。
- 4) 地震基盤までの三次元地下構造モデルの設定に当たっては、地震観測記録（鉛直アレイ地震動観測や水平アレイ地震動観測記録）、微動アレイ探査、重力探査、深層ボーリング、二次元あるいは三次元の適切な物理探査（反射法・屈折法地震探査）等のデータに基づき、ジョイントインバージョン解析手法など客観的・合理的な手段によってモデルが評価されていることを確認する。なお、地下構造の評価の過程において、地下構造が水平成層構造と認められる場合を除き、三次元的な地下構造により検討されていることを確認する。
- 5) 特に、敷地及び敷地近傍においては鉛直アレイ地震動観測や水平アレイ地震動観測記録、及び物理探査データ等を追加して三次元地下構造モデルを詳細化するとともに、地震観測記録のシミュレーションによってモデルを修正するなど高精度化が図られていることを確認する。この場合、適切な地震観測記録がない場合も含めて、作成された三次元地下構造モデルの精度が地震動評価へ与える影響について、適切に検討されていることを確認する（信頼性の高い地震動評価が目的であるため、地下構造モデルの精度に囚われすぎないことに留意する。）。

図 44 地盤モデルの評価の考え方

第89回審査会合（平成26年3月5日）において関電が地盤モデルの評価の考え方を説明した図、[20、3頁]

「地盤モデル検討委員会（仮称）の設置」について

1. 委員会の目的

観測データの蓄積、地震波干渉法等による検討精度向上に向け、関係する各分野の学識者による指導をもとに地盤モデルの精度向上に努める。

2. 地盤モデル検証のための検討項目

- ①地震波干渉法精度向上のための微動データ・地震観測データの分離、解析
- ②微動データのうちラプ波（水平成分）を用いた検討
- ③大深度鉛直アレイ地震観測の実施、地震観測データを蓄積して解析検討

3. 体制（委員会）

①学識者

上記検討項目に関係する各分野の学識者から構成する。

- ・地震学分野
- ・地震動分野
- ・物理探査分野
- ・地質構造分野
- ・地震工学分野

②社内

土木建築室、原子力事業本部、総合企画本部（原子力・安全品質推進部門）他 他部門を含む

4. 運営

検討推進にあたっての工程、品質などについては、監査部門が関与する。

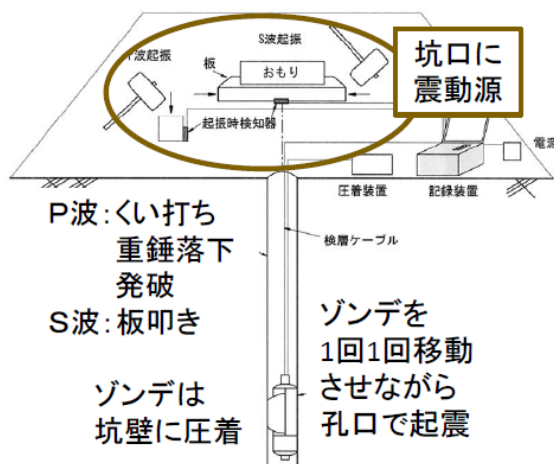
図 45 地盤モデル検証のための組織。

第89回審査会合（平成26年3月5日）において関電が地盤モデルの検証の方法を説明した図、[20、3頁]

関電は、地震観測を実施すると謳っているが、いまだに地震記録の解析結果が公表されていない。

ダウンホール方式

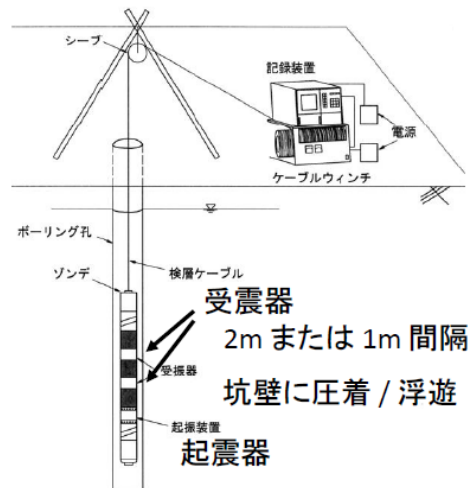
ゾンデの深さを変え
 孔口-ゾンデ間の波の到達時間を測定



大飯原発建設時には
開発されていない

孔内起震受震方式

深さを変えて測定
受震器間の区間速度を得る



註1 付図 PS検層 概念図

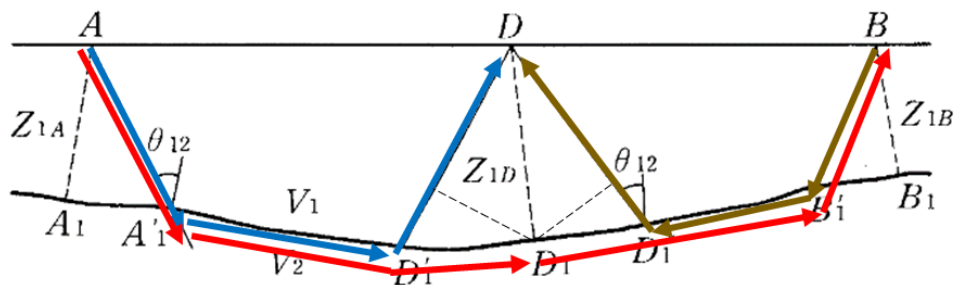


図 3・27 はぎとり法に利用する波線

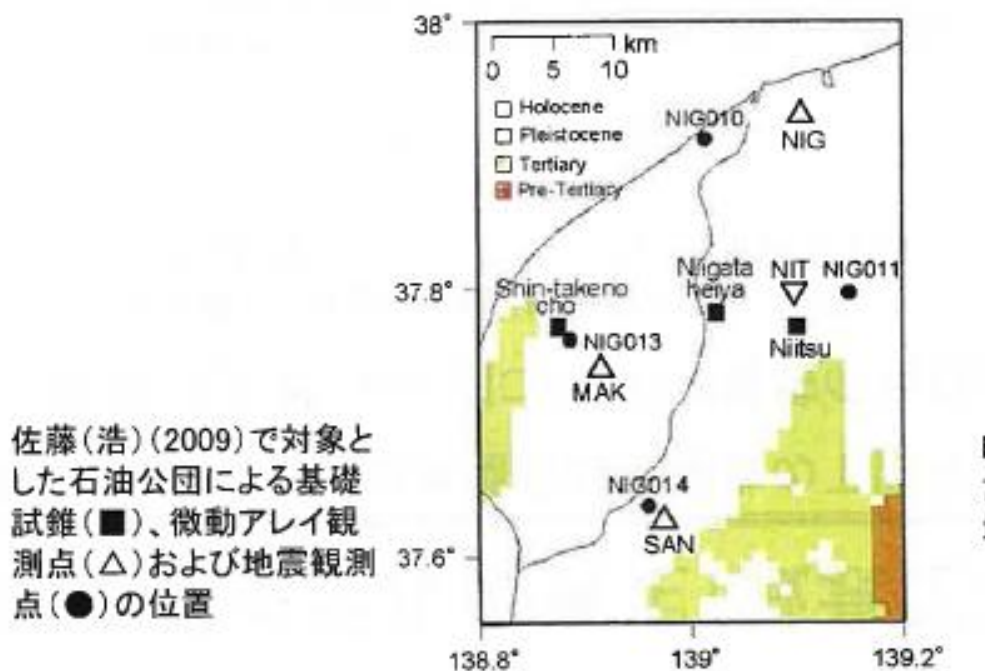
註 3 付図 はぎとり法解析に利用する走時

屈折法弾性波探査において、境界面の傾斜が一様でない場合の解析法。

表層、下層の速度を v_1 、 v_2 とする ($v_1 < v_2$)。

測線 AB 上の観測点 D における下層からの屈折波の経路は、震動源 A からは図の青矢印、震動源 B からは茶矢印であり、到達時間（走時）を、それぞれ $T(A-D)$ 、 $T(B-D)$ とし、

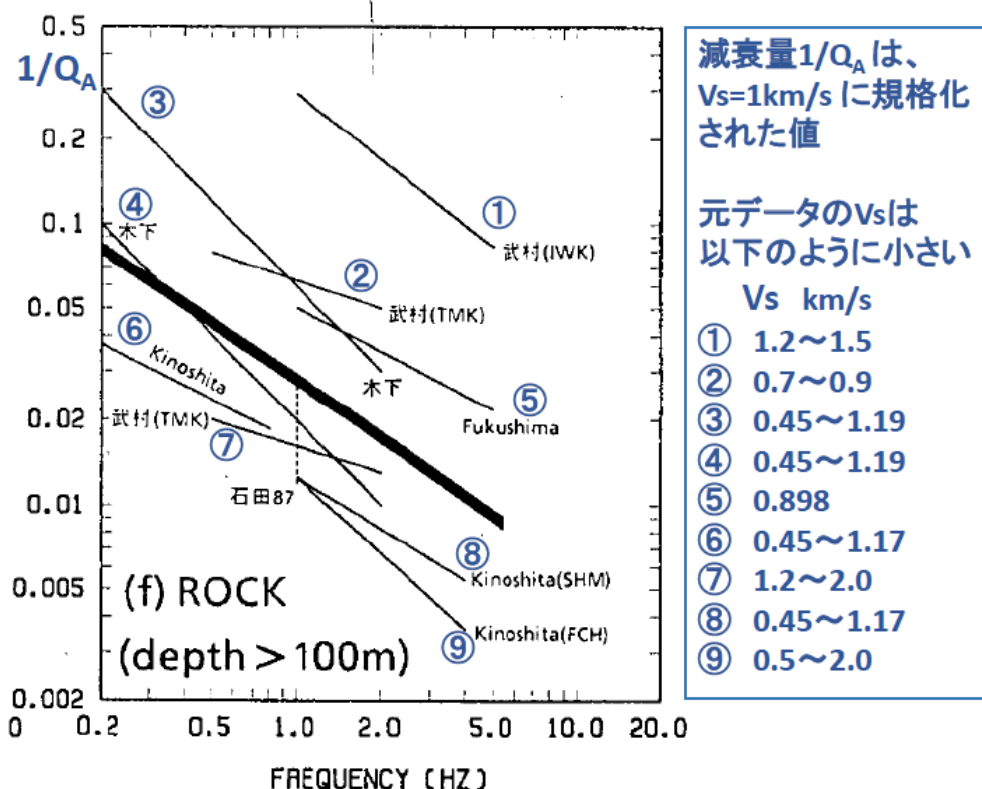
赤矢印で示した AB 間の走時を $T(A-B)$ とすると、 $T(A-D) + T(B-D) = T(AB) + 2 \times Z \cos \theta / V_1$ と近似できる。Z は D 点における下層までの距離で、境界面の傾斜が緩やかであれば境界の深さに対応する。θ は臨界屈折角で、 $\sin \theta = V_1/V_2$ 。これらの関係を利用して、D 点における下層の深さ Z を推定する。図は佐々・他著「物理探査」(株)森北出版、1993)を加筆して引用したもの。



註5 付図1 観測点、調査地点の位置。

微動アレイ観測点(△)の速度構造を10km近くも離れた地震観測点(●)の構造として用いている。

乙A21、19頁を引用。



福島・翠川(1994)のFig.4の一部を引用して加筆

V_s の値は、同論文のTable 1およびKinoshita(1992)、武村(1993)を参照した

註5 付図2 佐藤・他(2010)[21]が引用した福島・翠川(1994)[22]の原論文のS波速度値。

V_s は、0.45~2km/sと広い範囲にあり、減衰量の分散も大きい。

原論文Fig.4の(f) ROCK (depth > 100m)の図を引用、加筆。

S波速度値は、島・翠川(1994)が引用したKinoshita(1992)[23]、武村(1993)[24]を引用。

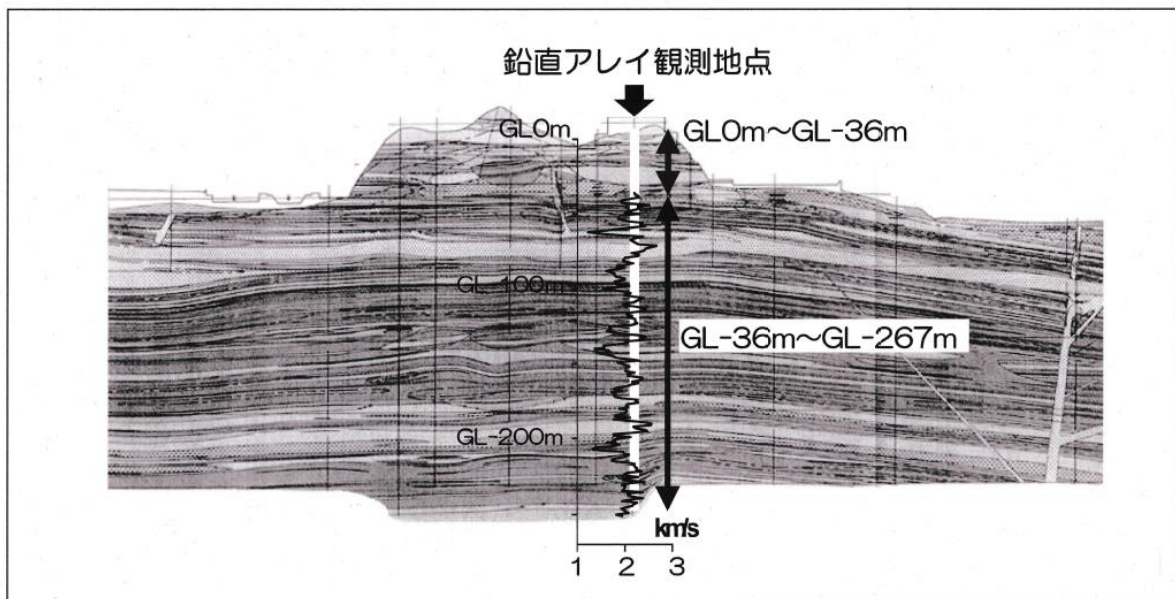


図1 検討の対象とした鉛直アレイ地点の概況およびPS 検層結果（S 波速度）

註6 付図1 鉛直アレイ地震観測点の概況.

安山岩、凝灰角礫岩、黑色頁岩の互層の小高い丘に立地している. [25、2頁、図1を引用]

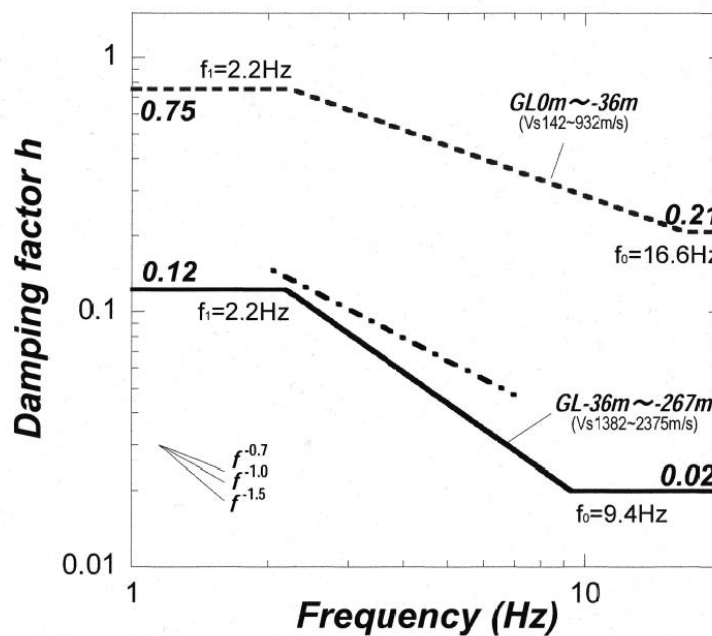


図4 同定された地盤の減衰定数
(図中の鎖線は、平均的な岩盤の減衰定数²⁾)

註6 付図2 新潟平野の深部地盤の減衰特性.

低周波数域、高周波数域で一定値になるモデルを仮定した逆解析による. [25、5頁、図4を引用]