

# 大飯発電所 地震動評価について

平成26年5月9日  
関西電力株式会社

## 概要

1

- 大飯発電所の基準地震動策定においては、これまでは、FO-A~FO-B断層、上林川断層および熊川断層を検討用地震としていたが、これまでの審査会合を踏まえて、FO-A~FO-B断層については熊川断層との3連動を考慮することとした。
- 地震動評価に用いる地盤モデルについては、前回審査会合で示した地盤モデルを用いることとし、また断層上端深さ3kmを基本ケースとして、FO-A~FO-B断層と熊川断層との3連動および上林川断層について地震動評価を行う。

1. 検討用地震の選定	…3～7
2. 地盤モデルの策定	…8～37
3. 地震動評価手法	…38～44
4. 地震動評価結果	…45～82
FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動	…45～71
上林川断層	…72～82
5. 基準地震動の策定	…83～97
震源を特定して策定する地震動	…83～85
震源を特定せず策定する地震動	…86～91
まとめ	…92～97
(参考)断層パラメータについて	…98～105
(参考)鳥取県西部地震について	…106～113

## 1. 検討用地震の選定

第59回審査会合  
資料再掲

3

### ■敷地周辺における主な地震を分類し、それぞれの地震が敷地に及ぼす影響について検討する。

#### ○過去の被害地震

「最新版 日本被害地震総覧」に記載されている震度分布図及び気象庁が公表している震度分布図によると、敷地で震度Ⅴ以上であった地震には、1586年畿内・東海・東山・北陸諸道の地震、1596年畿内および近隣の地震、1662年山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狹・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃の地震、1819年伊勢・美濃・近江の地震、1891年濃尾地震、1927年北丹後地震及び1963年越前岬沖地震がある。また、被害地震から想定される地震について、規模Mと震央距離Δ及び敷地で想定される震度の関係から、上記5地震以外に敷地で震度Ⅴ以上であったと考えられる被害地震として、745年美濃の地震及び1185年近江・山城・大和の地震が挙げられる。

#### ○内陸地殻内地震

震度Ⅴ以上の被害地震は、陸域の活断層との関連や地震の発生深さからして、いずれも内陸地殻内地震であると考えられる。抽出された被害地震と活断層について、規模と距離の観点から敷地への影響を検討する。

#### ○プレート間地震

敷地周辺地域では、プレート間地震の可能性のあるものとして、1855年遠州灘の地震や1906年三重県沖の地震が発生している。また、南海トラフに沿ってM8クラスのプレート間地震が繰り返し発生しているが、これらの地震はいずれも敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地で震度Ⅴ以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

#### ○スラブ内地震

敷地周辺地域では、沈み込んだフィリピン海プレート内で発生したと考えられる陸域のやや深い地震として1952年吉野地震や1994年滋賀県中東部の地震等が該当し、それらの地震の多くが近畿中南部で発生しており、敷地で震度Ⅴ以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

#### ○アウターライズ地震

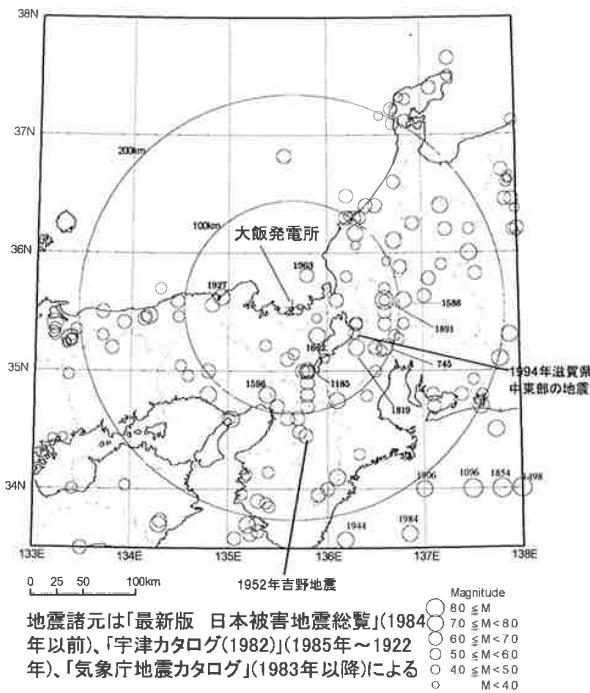
海溝軸周辺で発生した地震として、2004年紀伊半島南東沖地震が該当するが、敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

#### ○その他の地震

敷地周辺地域では、上記3種類の地震のいずれにも分類されない特徴的な地震は発生していない。

# 1. 検討用地震の選定

## ■敷地周辺で過去に発生した被害地震



○内陸地殻内地震  
敷地周辺の主な被害地震として、1662年山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃の地震や1963年越前岬沖地震などが発生している。

○プレート間地震  
南海トラフに沿ってM8クラスのプレート間地震が繰り返し発生しているが、これらの地震はいずれも敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地で震度Ⅴ以上が想定される地震はないことから、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

○スラブ内地震・アウターライズ地震  
敷地周辺地域では、沈み込んだプレート内で発生したと考えられる陸域のやや深い地震として1952年吉野地震、1994年滋賀県中東部の地震等が該当し、それらの地震の多くが近畿中南部で発生しており、また敷地から離れた場所で発生しているため、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

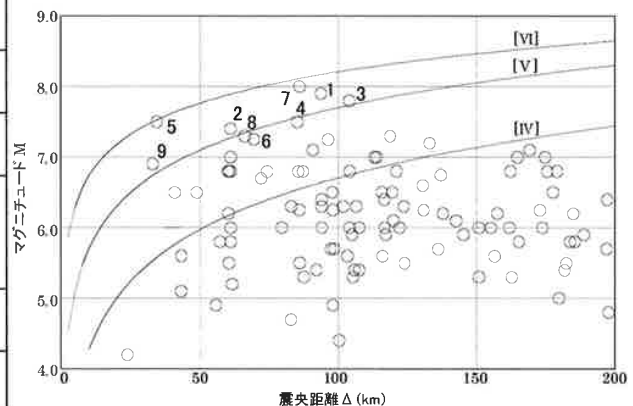
また海溝軸付近で発生した地震として、2004年紀伊半島南東沖地震などが該当するが、敷地から200kmを超える範囲で発生しており、敷地へ及ぼす影響は大きくない。

○その他の地震  
敷地周辺地域では、上記3種類の地震のいずれにも分類されない特徴的な地震は発生していない。

# 1. 検討用地震の選定

## ■敷地に大きな影響を及ぼす被害地震

番号	年月日	マグニチュード	震央距離 (km)	地名 (地震名)
1	745.6.5	7.9	94	美濃
2	1185.8.13	7.4	61	近江・山城・大和
3	1586.1.18	7.8	104	畿内・東海・東山・北陸諸道
4	1596.9.5	7.5	85	畿内および近隣
5	1662.6.16	7.5	35	山城・大和・河内・和泉・摂津・丹後・若狭・近江・美濃・伊勢・駿河・三河・信濃
6	1819.8.2	7.25	70	伊勢・美濃・近江
7	1891.10.28	8.0	86	愛知県・岐阜県 (濃尾地震)
8	1927.3.7	7.3	67	京都府北西部 (北丹後地震)
9	1963.3.27	6.9	33	福井県沖 (越前岬沖地震)



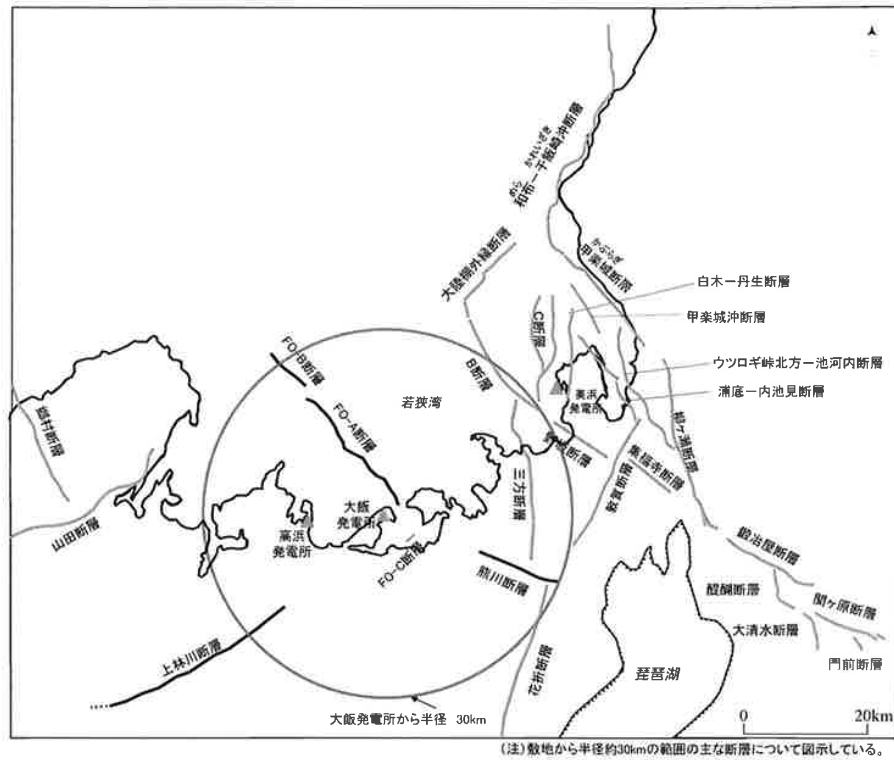
【IV】、【V】、【VI】は気象庁震度階級で、震度の境界線は村松(1969)、勝又・徳永(1971)による

敷地に大きな影響を及ぼす被害地震のM-Δ図

※1922年以前の歴史地震の地震規模は「最新版 日本被害地震総覧」での中央値を採用

# 1. 検討用地震の選定

## ■若狭湾周辺の主な断層の分布

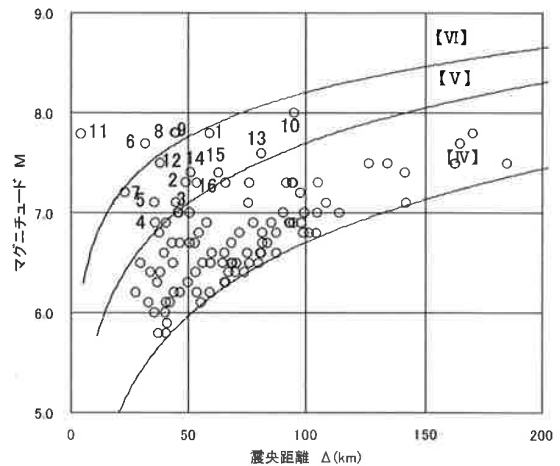


# 1. 検討用地震の選定

## ■敷地に大きな影響を及ぼす活断層の地震

番号	断層名	長さ (km)	規模 M	震央距離 (km)
1	和布-干飯崎沖~甲楽城断層	60	7.8	59
2	柳ヶ瀬断層	31	7.3	49
3	ウツロギ峠北方-池河内断層	23	7.1	45
4	C断層	18	6.9	36
5	敦賀断層	23	7.1	36
6	大陸棚外縁~B~野坂断層	49	7.7	32
7	三方断層	27	7.2	23
8	花折断層	58	7.8	44
9	琵琶湖西岸断層系	60	7.8	45
10	濃尾地震断層系	80	8.0	95
11	FO-A~FO-B断層と熊川断層	63.4*	7.8	3
12	上林川断層	39.5*	7.5	38
13	有馬-高槻構造線	45	7.6	81
14	山田断層	33	7.4	51
15	郷村断層	34	7.4	63
16	FGA3東部	29	7.3	54

※地震動評価上の長さ



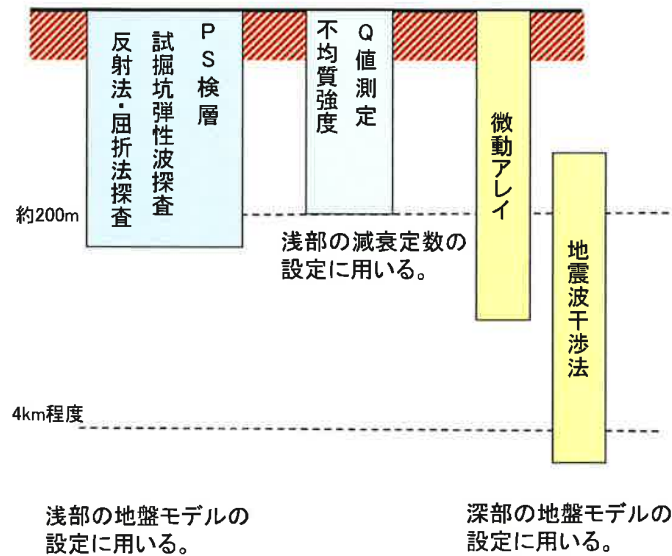
【IV】、【V】、【VI】は気象庁震度階級で、震度の境界線は村松(1969)、勝又・徳永(1971)による

敷地に大きな影響を及ぼす活断層のM-Δ図

FO-A~FO-B断層と熊川断層との3連動および走向が敷地に向いている上林川断層を検討用地震として選定する。

## 2. 地盤モデルの策定

■敷地周辺で実施した各種調査結果を組み合わせ、地盤モデルを策定する。



## 2. 地盤モデルの策定

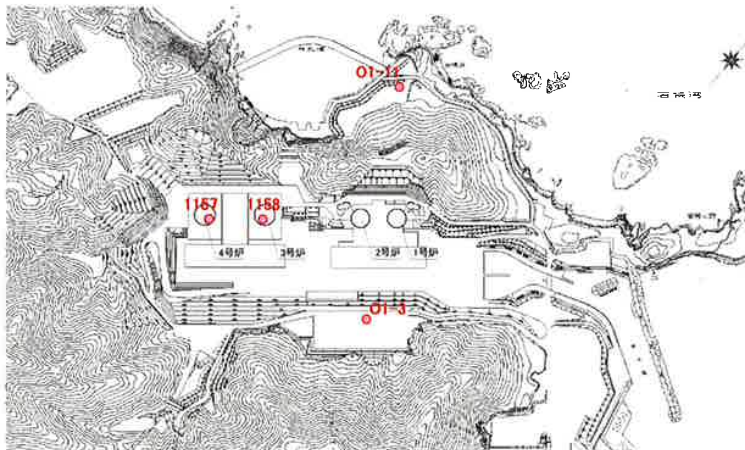
■これまでに実施した地下構造モデル策定のための調査は以下のとおり。

調査・検討項目	審査会合	検討結果の概要
PS検層	9/18 第21回会合	浅部の速度構造の評価
試掘坑弾性波探査	9/18 第21回会合	解放基盤面のP波・S波速度の評価
地質構造の評価	9/18 第21回会合	敷地内の地質に特異な構造がないことを確認
PS検層結果を用いた不均質強度の評価	9/18 第21回会合	浅部の減衰定数の評価
Q値測定	9/18 第21回会合	浅部の減衰定数の評価
敷地内の単点微動調査	9/18 第21回、第41回	解放基盤面に著しい高低差等の特異な構造がないことを確認
反射法地震探査	12/18 第59回会合	敷地の地下構造に特異な構造がないことを確認
屈折法地震探査	12/18 第59回会合	浅部のP波速度の評価、および浅部に特異な構造がないことを確認
敷地内での微動アレイ探査	3/5 第89回会合	周期約0.5~2.0秒の位相速度を評価
地震波干渉法	第41回、第59回、第74回、第89回会合	周期約2秒以上の位相速度・群速度を評価

浅部の地下構造評価に用いる。

主に深部の地下構造評価に用いる。

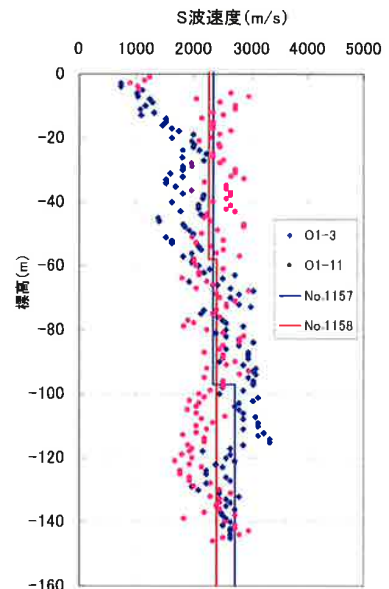
### ■敷地浅部の地盤構造について(敷地内ボーリングデータ)



大飯発電所 PS検層調査位置

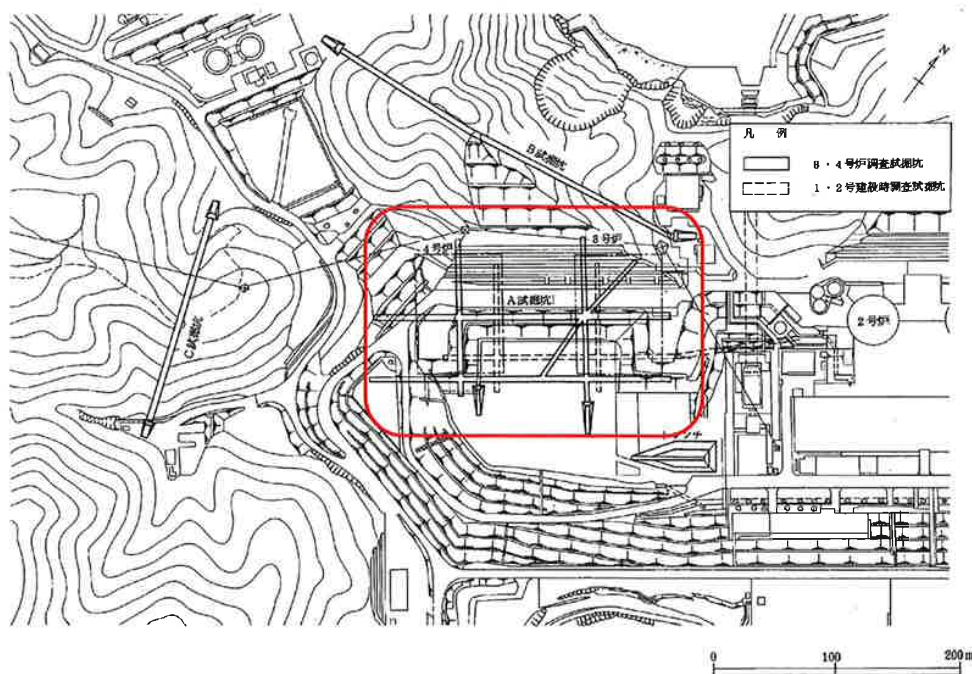
敷地の速度構造を確認した結果、ごく表層部においては風化の影響等により、ややばらつきは見られるものの、ほぼ均質な地盤と考えられる。

⇒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

### ■大飯発電所3,4号炉試掘坑位置



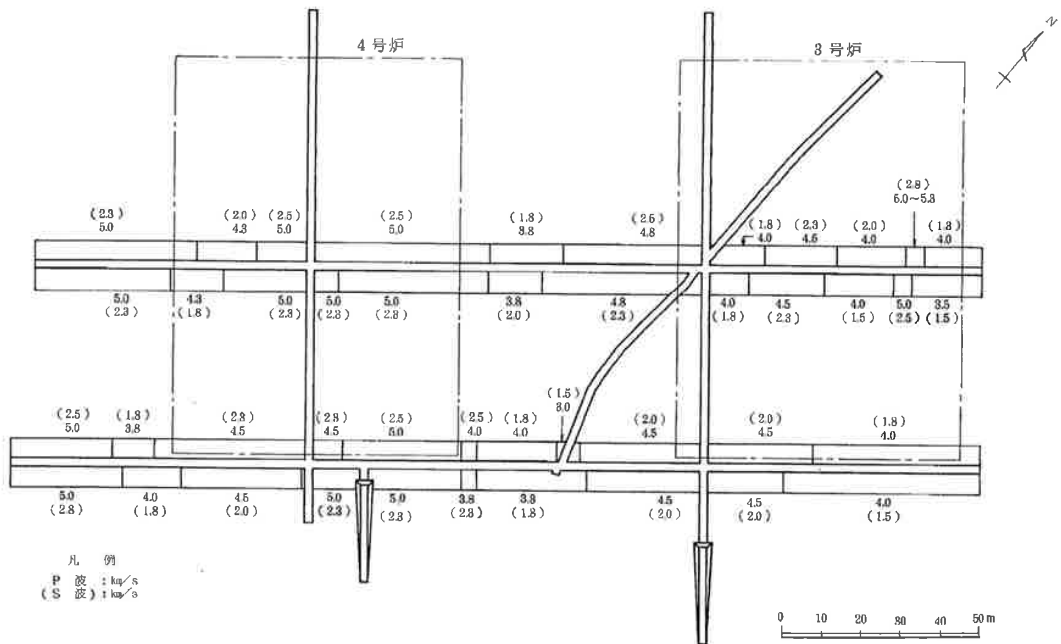
## 2. 地盤モデルの策定

第21回審査会合  
資料修正

12

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

大飯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

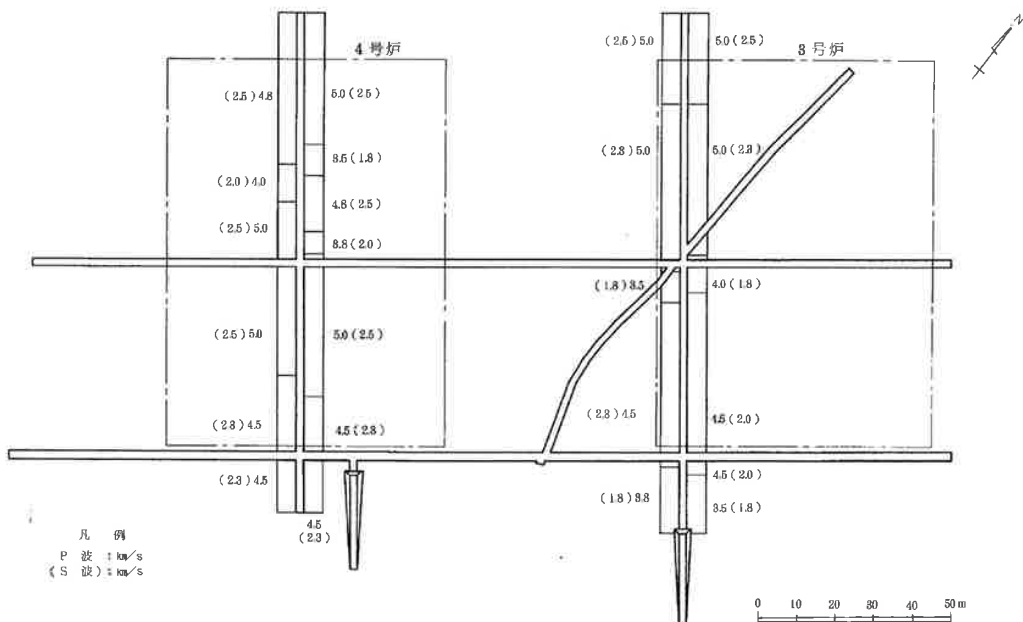
## 2. 地盤モデルの策定

第21回審査会合  
資料修正

13

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

大飯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



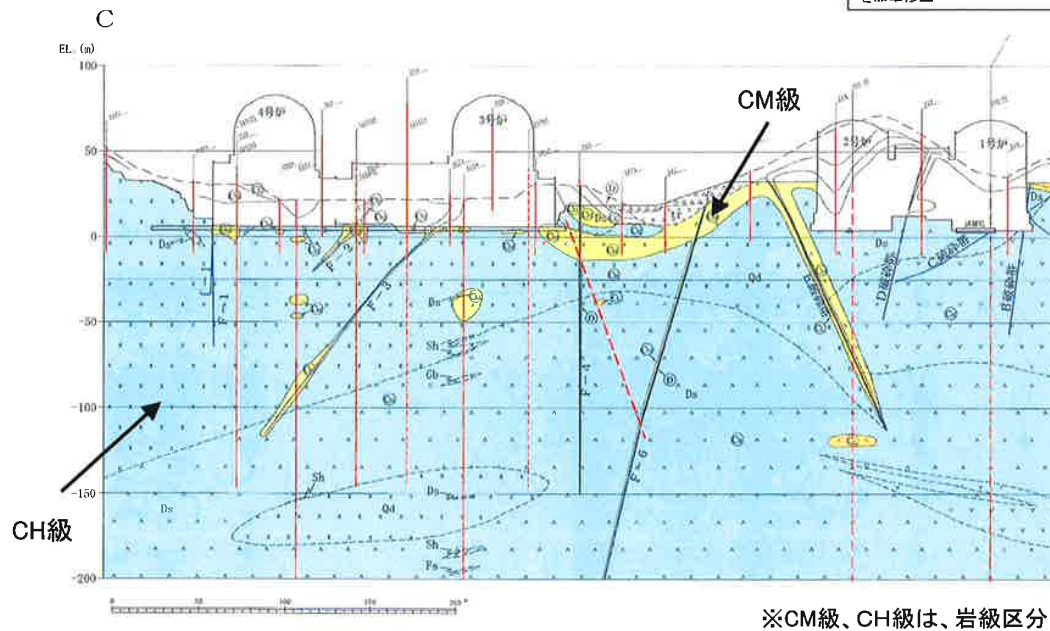
## 2. 地盤モデルの策定

第21回審査会合  
資料再掲

14

■原子炉建屋基礎岩盤については、CM級以上の岩盤が基礎直下より確認されている。

大阪発電所敷地内破砕帯の調査に関する  
有識者会合 第5回資料「大阪・現調6-1」  
を加筆修正



3, 4号機直下の地質断面図

## 2. 地盤モデルの策定

第89回審査会合  
資料再掲

15

■敷地内のボーリングデータ、PS検層、試掘坑弾性波探査から、敷地浅部に $V_s=2.2\text{km/s}$ 程度の硬質な岩盤が広がっていることが確認された。

■地質断面図から、原子炉建屋の基礎直下よりCM級以上の岩盤が確認された。



## 2. 地盤モデルの策定(減衰定数)

### ■Vs2000m/s程度の岩盤の減衰定数の下限値と速度構造の不均質性に関する知見

#### ▶佐藤(浩)・他(2007)による不均質性の統計的性質の推定方法

- a. 対象データとなる速度検層データ $V(z)$ に対して、(1)式をフィッティングすることにより深さ方向に増加する漸増(トレンド)成分( $V_0+V_1 \cdot z$ )を推定する。

$$V(z) = V_0 + V_1 \cdot z + \xi_0(z) \quad (1)$$

- b. 検層データから漸増成分を除去して $\xi_0(z)$ を求め、平均速度で無次元化することにより、速度構造の不均質(揺らぎ)のデータ $\xi(z)$ を抽出する。

$$\xi(z) = \frac{\xi_0(z)}{(V_0 + V_1 \cdot z)} \quad (2)$$

- c. 不均質データ $\xi(z)$ のパワースペクトル $P(k)$ を求め、 $P(k) \propto k^{-\alpha}$ を仮定したフィッティングから傾き $\alpha$ を求め、更にHurst指数 $\nu$ を次式(3)から求める。

$$\nu = \frac{\alpha - 1}{2} \quad (3)$$

- d. 不均質データ $\xi(z)$ の自己相関関数を求め、(4)式で示すフォンカルマン型の自己相関関数 $N(r)$ を仮定してフィッティングすることにより、標準偏差 $\varepsilon$ 、相関距離 $a$ を求める。なお、Hurst指数 $\nu$ については、c.で求めた値を用いる。

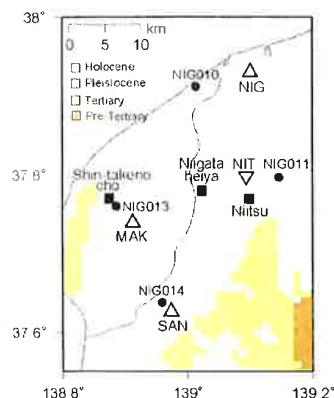
$$N(r) = \frac{\varepsilon^2 2^{1-\nu}}{\Gamma(\nu)} \left(\frac{|r|}{a}\right)^\nu K_\nu\left(\frac{|r|}{a}\right) \quad (4)$$

ここに、 $r$ は相対的な距離、 $K_\nu$ は $\nu$ 次修正ベッセル関数、 $\Gamma$ はガンマ関数である。

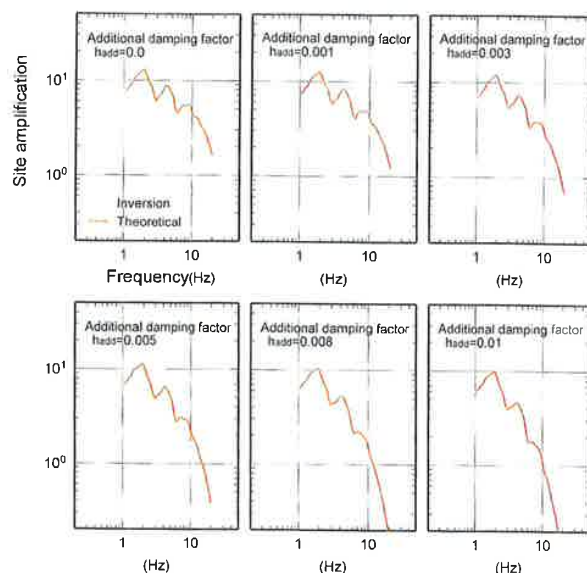
## 2. 地盤モデルの策定(減衰定数)

### ■速度構造の不均質性と付加減衰に関する知見

- ▶ 佐藤(浩)(2009)では、速度構造の不均質性が地震波の減衰の要因の一つであることが指摘されていることから、新潟平野や関東平野の検層結果から求めた不均質強度と減衰定数の関係にも着目している。
- ▶ これによると、新潟平野地域の4地点におけるサイト増幅特性について、理論サイト増幅特性に速度構造の不均質性とそれと等価な効果をもたらす減衰定数の付加値を考慮すると、経験的サイト増幅特性と調和的なレベルとなるように改善されるとしている。



佐藤(浩)(2009)で対象とした石油公団による基礎試錐(■)、微動アレイ観測点(△)および地震観測点(●)の位置



NIG014における経験的サイト増幅特性(灰太線)と表層地盤を考慮したSANの深部地盤モデルの減衰定数を変化させたときの理論サイト増幅特性(赤線)の比較

※図は佐藤(浩)(2009)より抜粋

## 2. 地盤モデルの策定(減衰定数)

第21回審査会合  
資料再掲

18

### ■速度構造の不均質性と付加減衰に関する知見(続き)

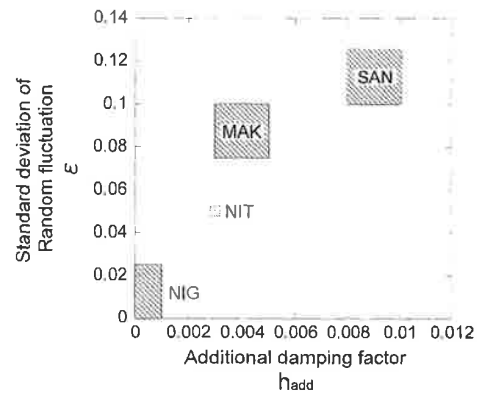
▶また、不均質データの標準偏差  $\varepsilon$  が不均質強度を支配しており、平均的な減衰定数に対して付加すべき減衰定数とその地点で考慮すべき不均質強度は比例するとしている。

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき  
不均質性の標準偏差(強度)の目安

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Standard deviation $\varepsilon$	0 ~ 0.025	0.05	0.075 ~ 0.1	0.1 ~ 0.125

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき  
減衰定数の付加量

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Additional damping factor $h_{add}$	0 ~ 0.001	0.003	0.003 ~ 0.005	0.008 ~ 0.01



新潟平野地域での広帯域のサイト増幅特性評価において、考慮すべき深部地盤の不均質性強度(標準偏差  $\varepsilon$ )とそれと等価な効果をもたらす減衰定数の付加量  $h_{add}$  の関係

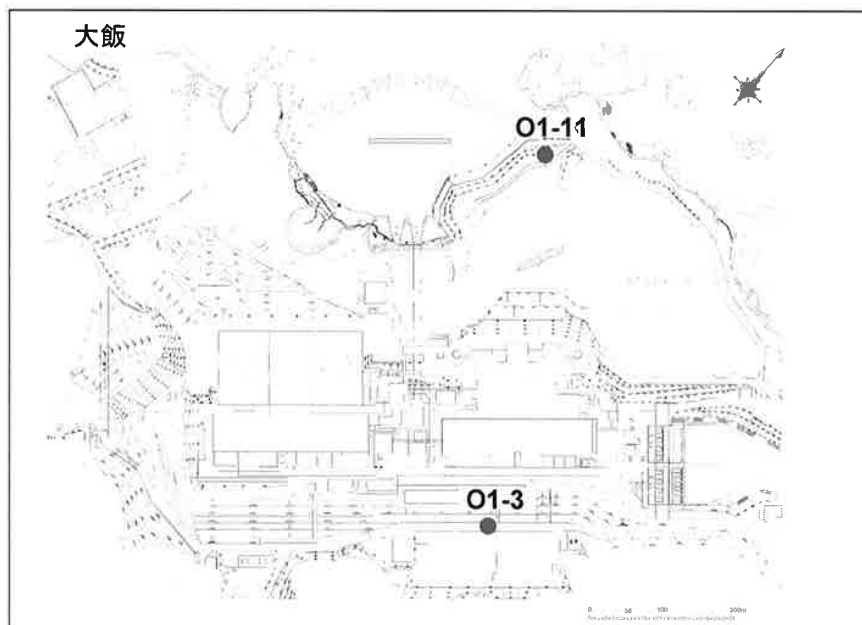
※図・表は佐藤(浩)(2009)より抜粋

## 2. 地盤モデルの策定(減衰定数)

第21回審査会合  
資料修正

19

■地盤の速度構造の不均質性と減衰定数の関係について着目し、不均質強度を検討し、浅部(深さ200m以浅)の地盤の減衰定数を評価。



● : 不均質強度検討に使用したPS検層孔

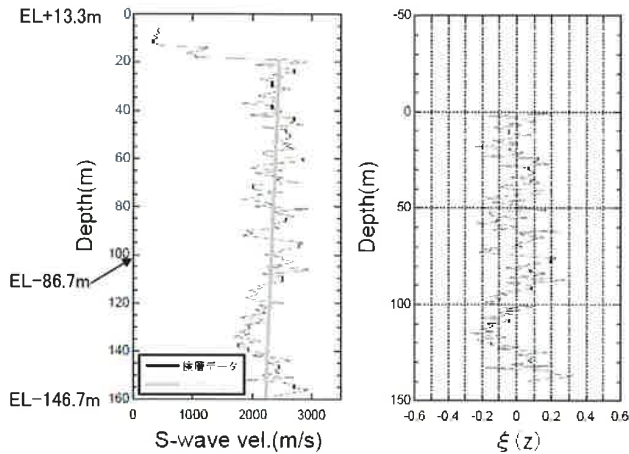
## 2. 地盤モデルの策定(減衰定数)

第21回審査会合  
資料修正

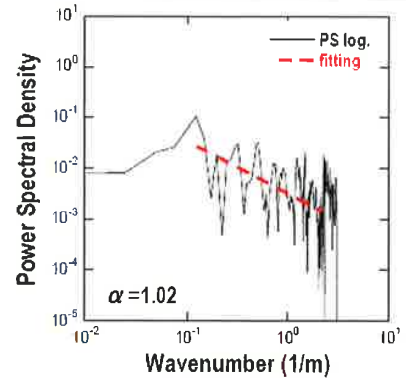
20

大飯発電所(O1-11孔)のPS 検層(S波速度)による不均質性の統計的性質の推定結果

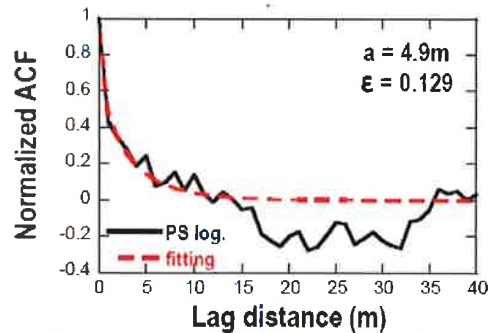
対象データ範囲(m)	平均S波速度(km/s)	漸増成分の傾き(1/s)	相関距離a(m)	Hurst指数 $\nu$	標準偏差 $\epsilon$
GL-19 ~-159	2.34	-1.67	4.9	0.21	0.129



検層データに対するフィッティング結果(左)と抽出された不均質データ $\xi(z)$ (右)  
(孔口標高EL+13.3m)



不均質データのパワースペクトルとフィッティング結果



不均質データの自己相関関数とフィッティング結果

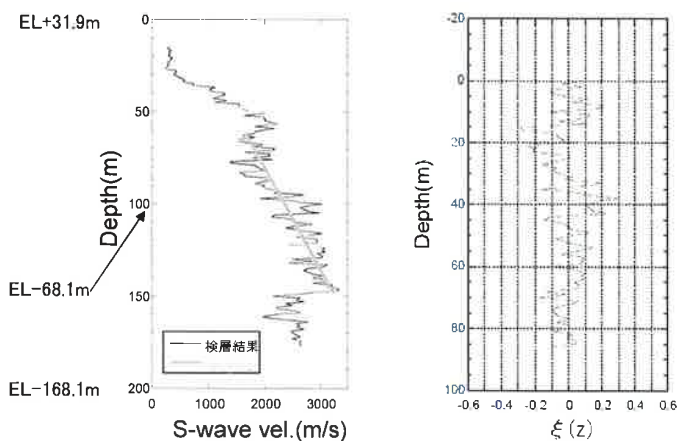
## 2. 地盤モデルの策定(減衰定数)

第21回審査会合  
資料修正

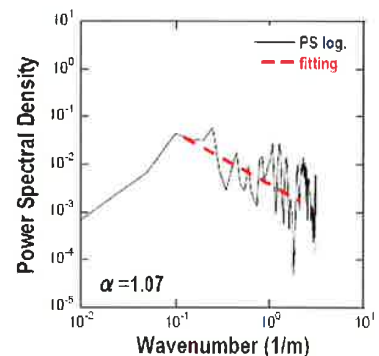
21

大飯発電所(O1-3孔)のPS 検層(S波速度)による不均質性の統計的性質の推定結果

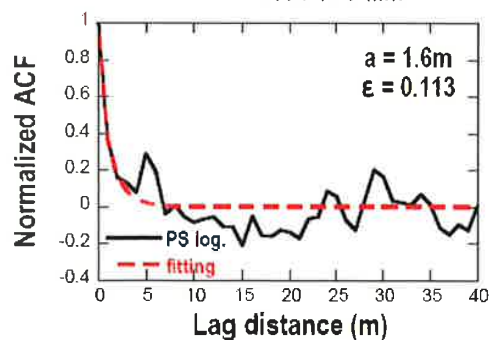
対象データ範囲(m)	平均S波速度(km/s)	漸増成分の傾き(1/s)	相関距離a(m)	Hurst指数 $\nu$	標準偏差 $\epsilon$
GL-62 ~-148	2.44	18.29	1.6	0.21	0.113



検層データに対するフィッティング結果(左)と抽出された不均質データ $\xi(z)$ (右)  
(孔口標高EL+31.9m)



不均質データのパワースペクトルとフィッティング結果



不均質データの自己相関関数とフィッティング結果

## 2. 地盤モデルの策定(減衰定数)

### ■速度構造の不均質性と付加減衰に関する考察

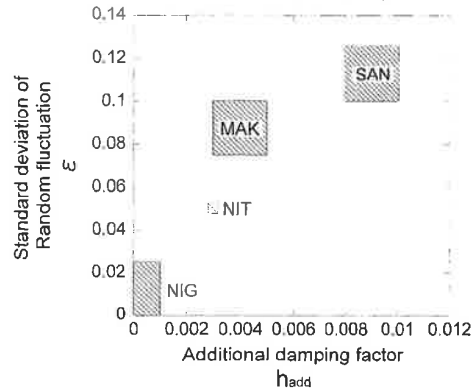
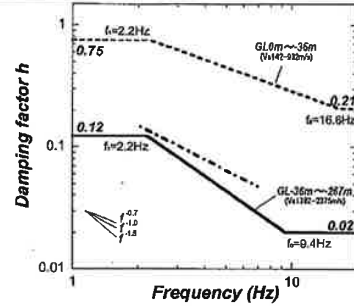
- ▶不均質強度(標準偏差)は0.11~0.13程度であり、佐藤・山中(2009)の指標を参考にすると、大きめの数字である。
- ▶佐藤・他(2007)による同等の速度構造の減衰定数の下限値と合わせて考えると表層の減衰定数は3%程度と考えられる。

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき  
不均質性の標準偏差(強度)の目安

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Standard deviation $\varepsilon$	0 ~ 0.025	0.05	0.075 ~ 0.1	0.1 ~ 0.125

広帯域のサイト増幅特性で考慮すべき  
減衰定数の付加量

	NIG (NIG010)	NIT (NIG011)	MAK (NIG013)	SAN (NIG014)
Additional damping factor $h_{add}$	0 ~ 0.001	0.003	0.003 ~ 0.005	0.008 ~ 0.01

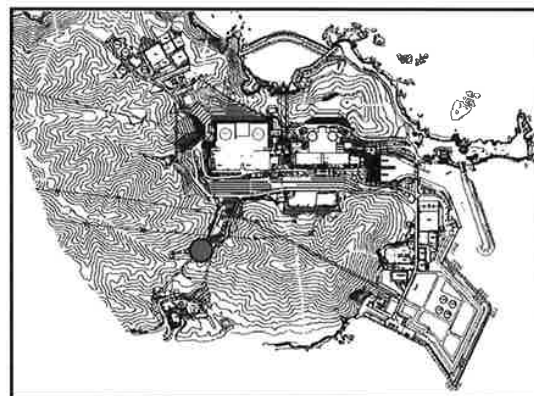
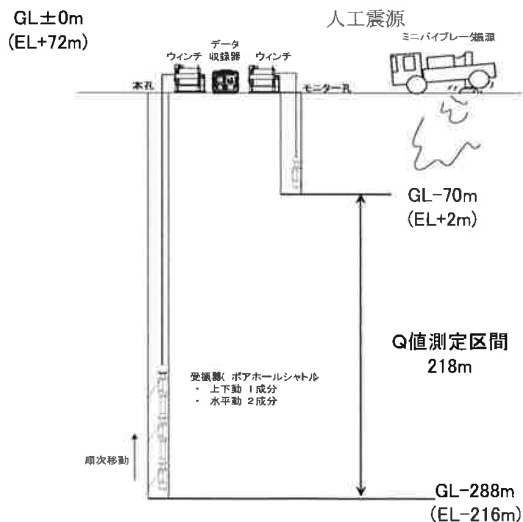


新潟平野地域での広帯域のサイト増幅特性評価において、考慮すべき深部地盤の不均質性強度(標準偏差  $\varepsilon$ )とそれと等価な効果をもたらす減衰定数の付加量  $h_{add}$  の関係

## 2. 地盤モデルの策定(減衰定数)

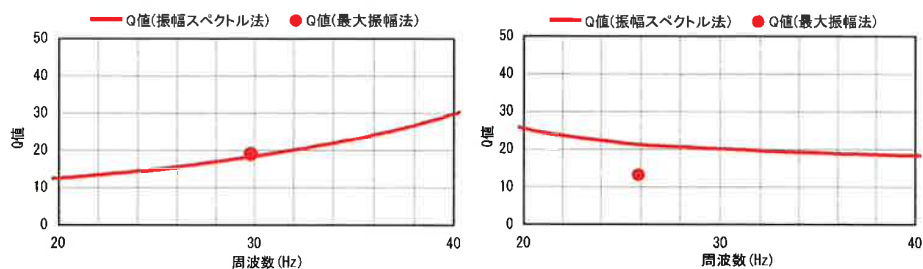
### ■敷地浅部の地盤構造について(ボーリング孔を用いたQ値測定)

ボーリング孔を用いて、ミニバイブおよび板叩き起振によるQ値測定を実施。



測定位置

敷地浅部の地盤構造について(Q値測定結果)



S波・ミニバイブレータ

S波・板たたき

波種	起振源	解析深度区間 (m)	卓越周波数 (Hz)	Q値 (減衰定数(%))
S波	ミニバイブレータ	42~70	30.2	15.78(3.17)
		70~288	29.8	19.05(2.62)
	板たたき	42~70	29.7	7.42(6.74)
		70~288	25.9	13.21(3.79)

■佐藤・他(2007)、佐藤・山中(2009)の知見を基に、敷地内のPS検層結果から速度構造の不均質性と減衰定数の関係について着目して不均質強度を評価した結果から減衰定数は3%程度と考えられる。

■敷地内でのQ値測定を実施した結果、減衰定数は約3%程度以上となっている。

⇒浅部の減衰定数を3%とする。

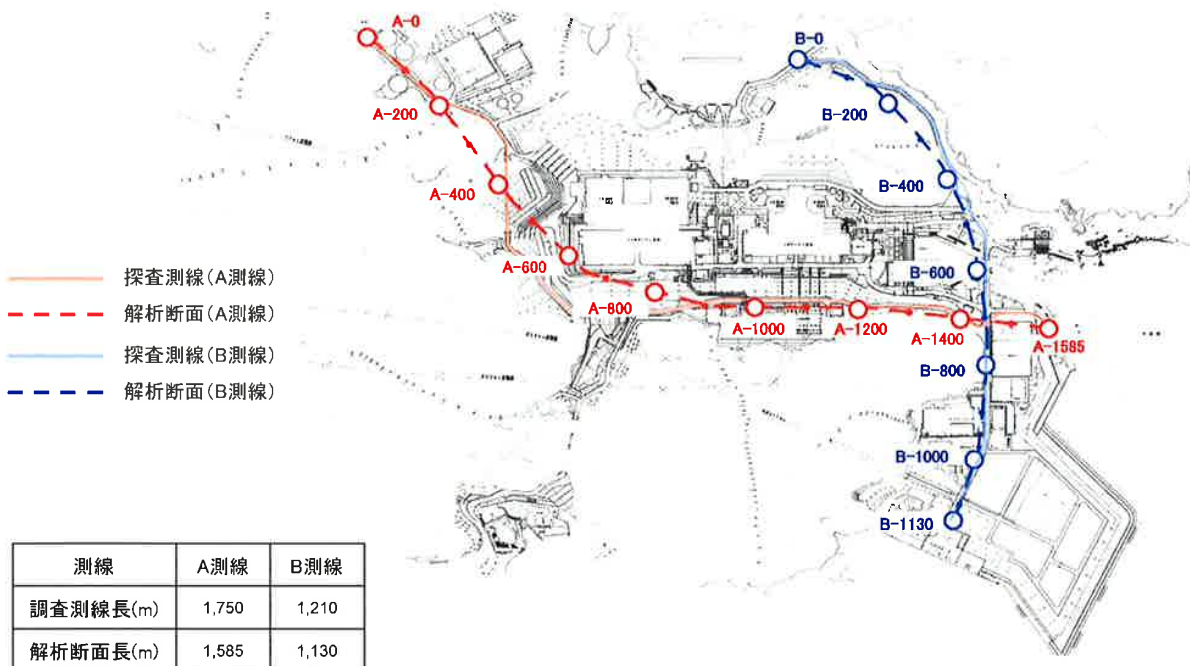


## 2. 地盤モデルの策定(反射法地震探査)

第89回審査会合  
資料再掲

26

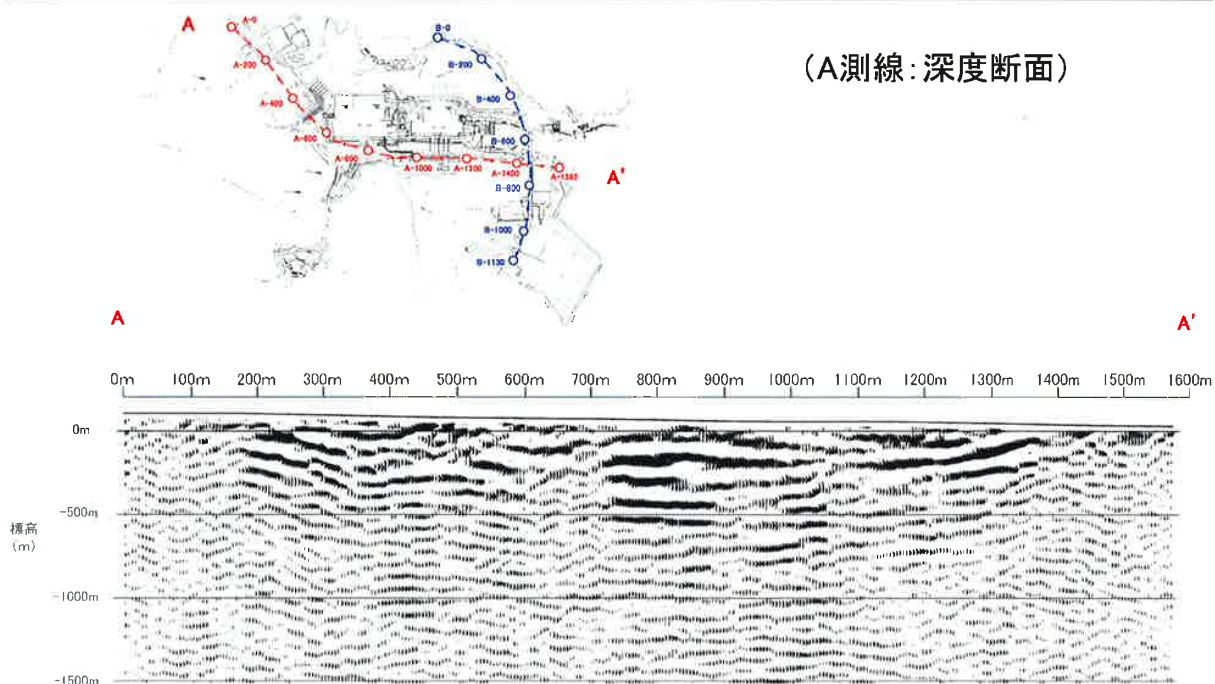
■本調査では測線配置が屈曲しているため、反射点分布のほぼ中央付近を通過する解析断面を設定した。



## 2. 地盤モデルの策定(反射法地震探査)

第89回審査会合  
資料再掲

27



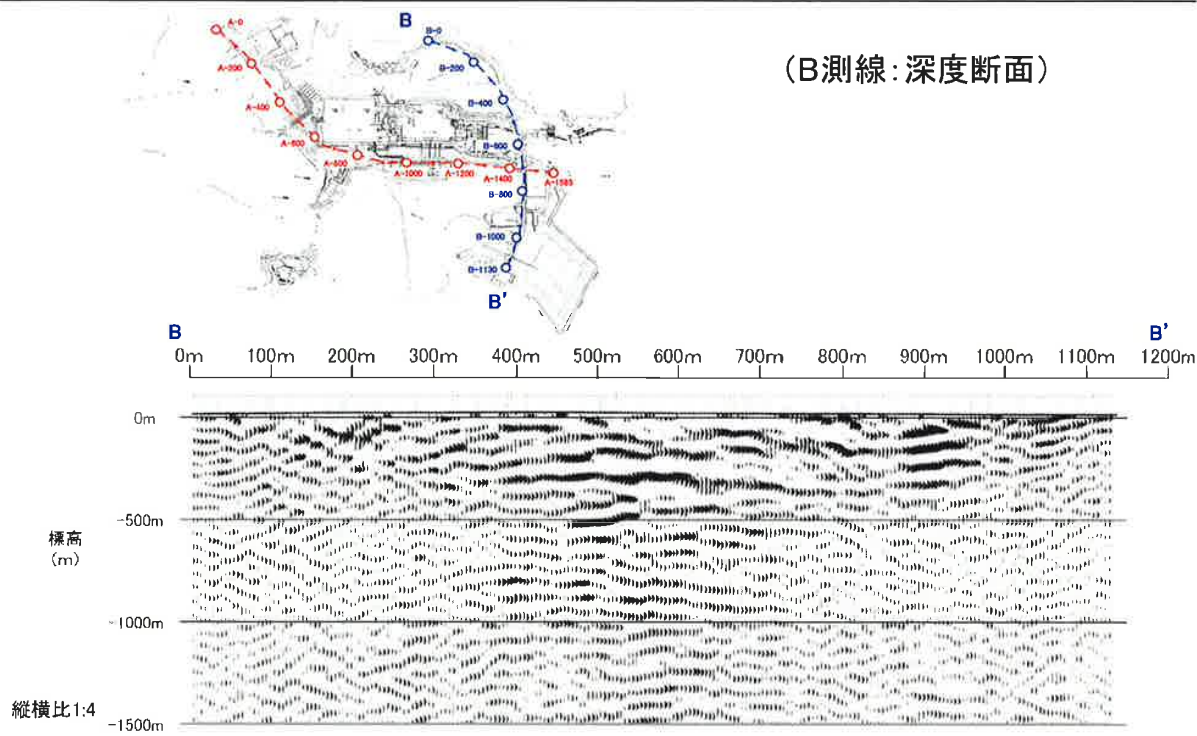
縦横比1:4

■地下500m位まで反射面が確認され、その範囲内では特異な構造は認められていない。

## 2. 地盤モデルの策定(反射法地震探査)

第89回審査会合  
資料再掲

28



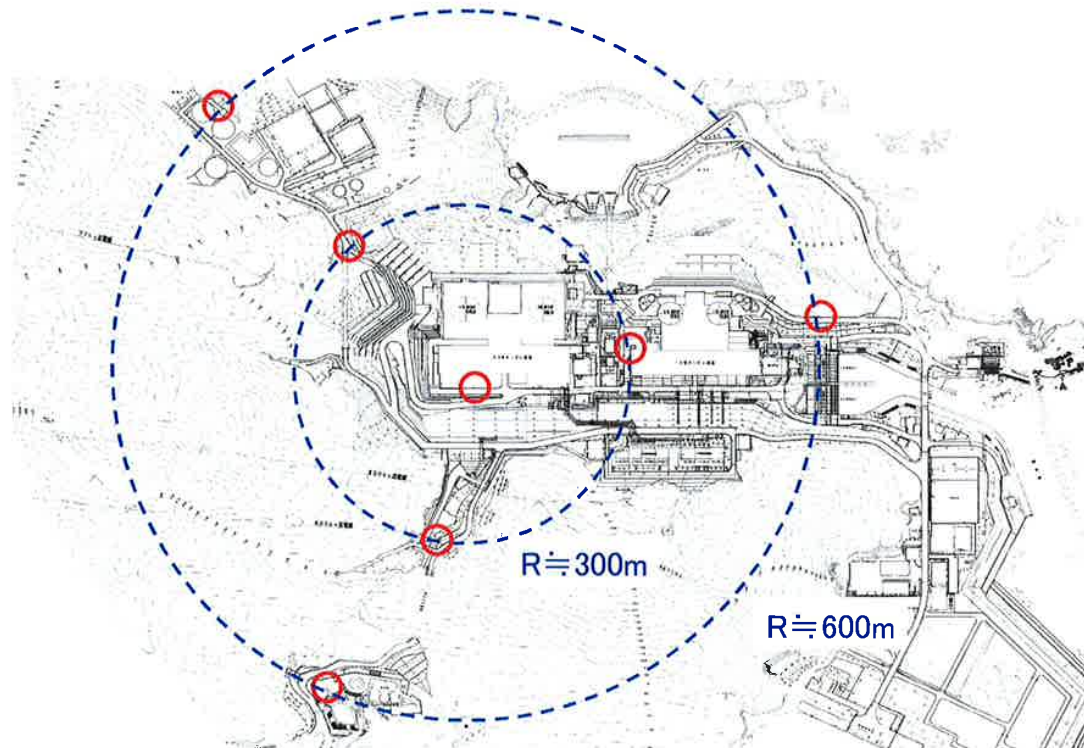
■地下500m位まで反射面が確認され、その範囲内では特異な構造は認められていない。

## 2. 地盤モデルの策定(敷地内微動アレイ)

第89回審査会合  
資料再掲

29

■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。



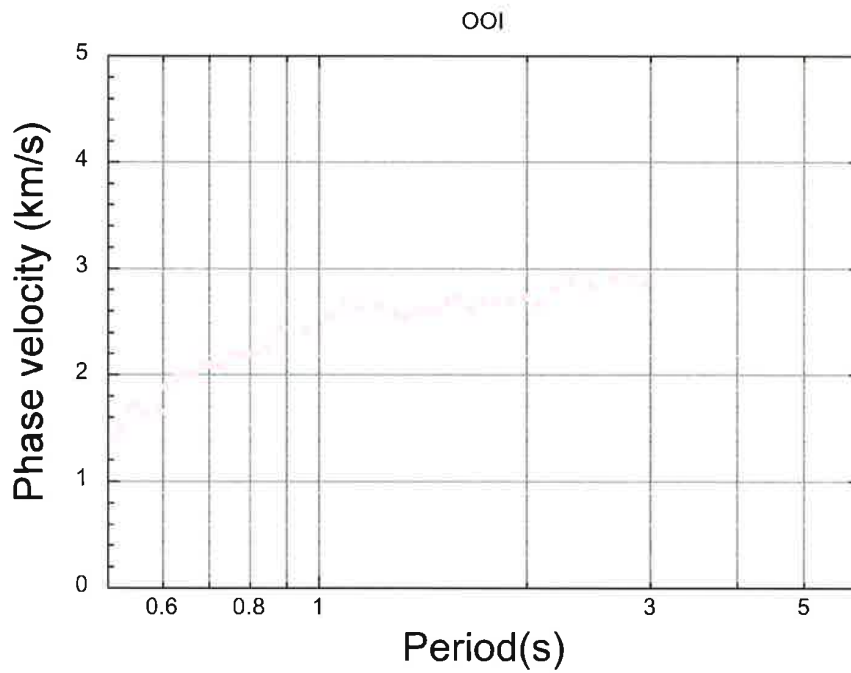


## 2. 地盤モデルの策定(敷地内微動アレイ)

第89回審査会合  
資料再掲

30

■大飯発電所の微動アレイにより得られた位相速度

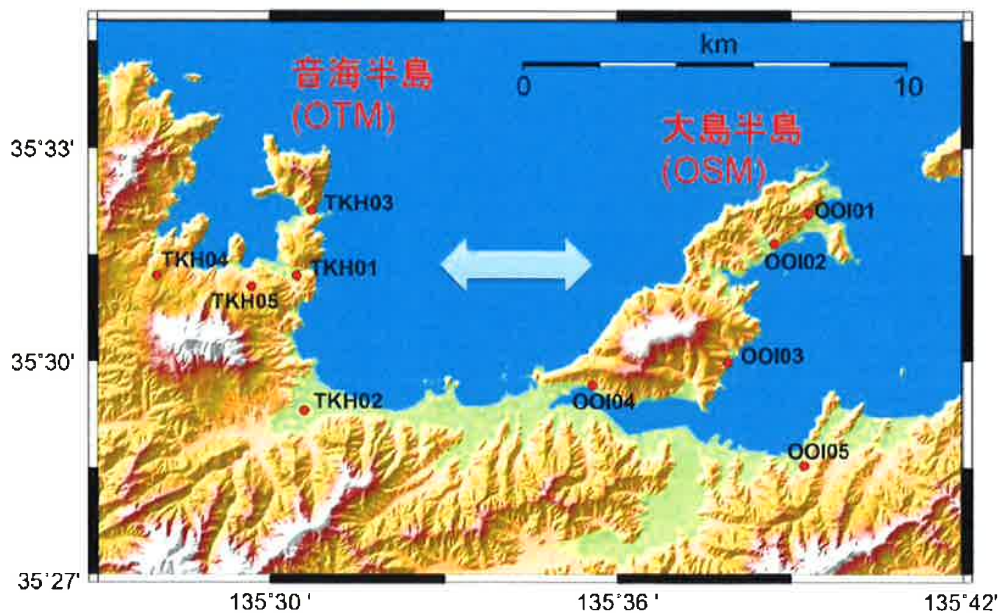


## 2. 地盤モデルの策定(地震波干渉法)

第89回審査会合  
資料再掲

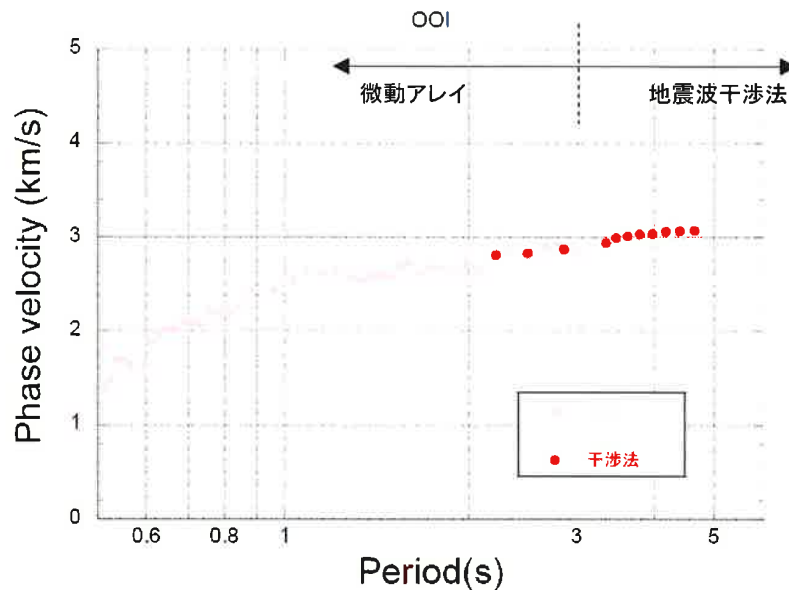
31

■大飯・高浜発電所周辺で7月末より12月末まで実施した地表面地震観測で得られた常時微動記録を用いて、地震波干渉法による深部地下構造の評価を行う。



## 2. 地盤モデルの策定(地震波干渉法)

- 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。



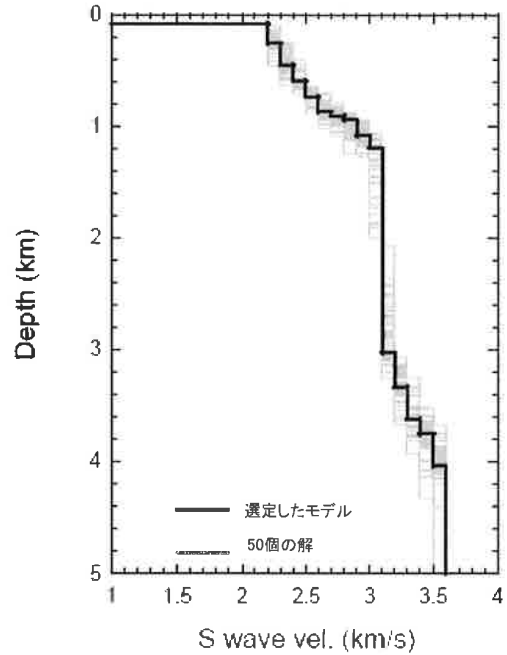
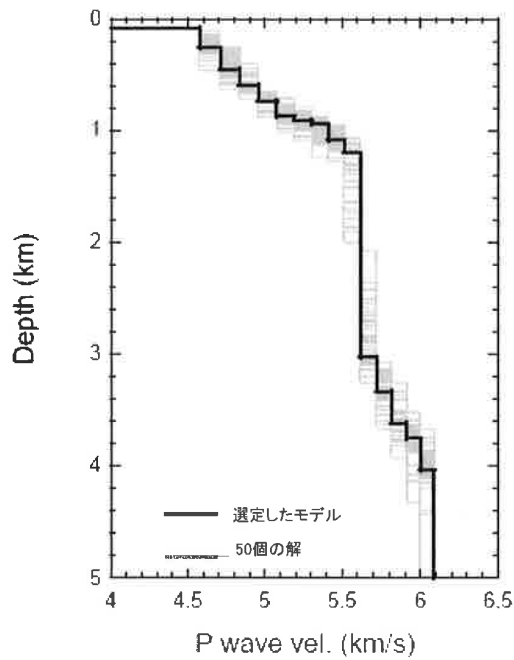
## 2. 地盤モデルの策定

- 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 ( $\text{g/cm}^3$ )
1	2.0	0.5	0.01 - 0.1	2.08
2	4.6	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

## 2. 地盤モデルの策定

■得られた50個の解から、その平均に最も近いモデルを地盤モデルとして選定する。

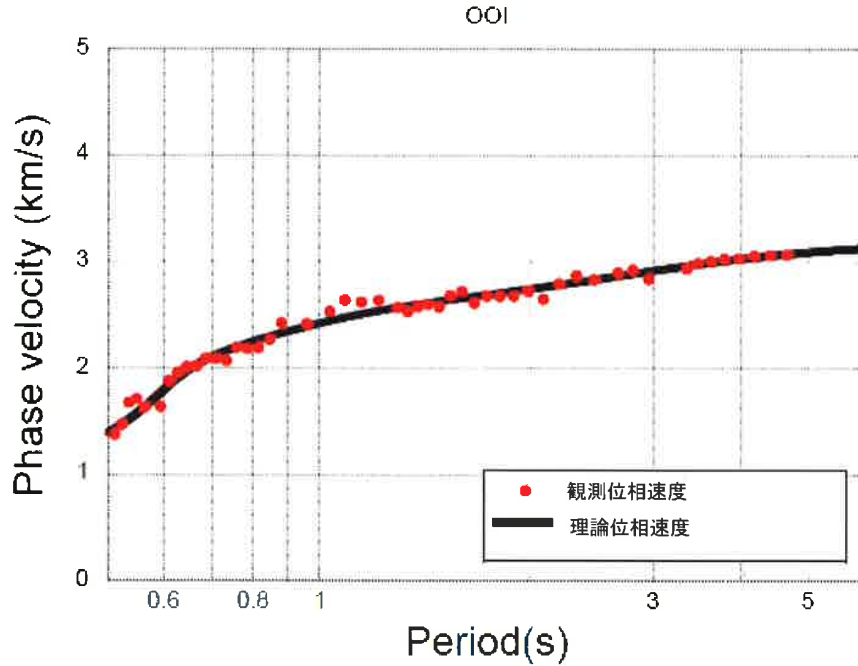


## 2. 地盤モデルの策定

■選定された地盤モデルの諸元は以下のとおりであり、断層上端深さに相当すると考えられる $V_p=5.8\text{km/s}$ 層の上面深度は約3.3kmであった。

No	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	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

■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。



■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 <sup>3</sup> )	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

#### ■評価方法

##### ○応答スペクトルに基づく地震動評価

- ・解放基盤表面の地震動として評価できること、震源の拡がりや考慮できること、敷地における地震観測記録等を用いて諸特性が考慮できること、更に水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できることから、Noda et al.(2002)(以下、耐専式という。)を採用
- ・耐専式の適用性を検討し、適用が難しいと判断した場合は、断層モデルを用いた地震動評価結果を重視
- ・地震規模は松田式により算定

	長さ※1	地震規模※2
FO-A~FO-B~熊川断層	63.4km	7.8
上林川断層	39.5km	7.5

※1:地震動評価上の長さ  
 ※2:地震規模は松田式より算出

##### ○断層モデルを用いた手法による地震動評価

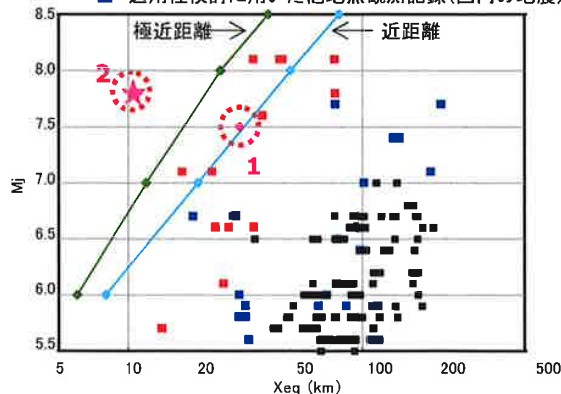
- ・評価地点の震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が得られていないため、短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側を理論的方法(離散化波数法)を適用したハイブリッド合成法により評価
- ・前回審査会合にて示した地盤モデルを用いて評価
- ・新潟県中越沖地震の反映事項を踏まえて、短周期の地震動レベルを1.5倍したケースも評価

##### ○応答スペクトルに基づく地震動評価

#### ■検討用地震の等価震源距離と耐専式での地震の諸元との比較

1. 回帰分析に用いた地震の諸元  
 $5.5 \leq M_j \leq 7.0$  ( $M_j$ : 気象庁マグニチュード)  
 $h \leq 60\text{km}$  ( $h$ : 震源深さ)  
 $28\text{km} \leq X_{eq} \leq 202\text{km}$  ( $X_{eq}$ : 等価震源距離)
2. 観測記録を用いて距離減衰式の適用性について検討した際に用いた地震の諸元  
 $5.4 \leq M_j \leq 8.1$  ( $M_j$ : 気象庁マグニチュード)  
 $h \leq 60\text{km}$  ( $h$ : 震源深さ)  
 $14\text{km} \leq X_{eq} \leq 218\text{km}$  ( $X_{eq}$ : 等価震源距離)

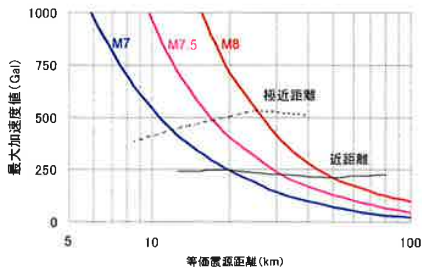
- 回帰式の作成に用いた観測記録
- 適用性検討に用いた他地点観測記録(海外の地震)
- 適用性検討に用いた他地点観測記録(国内の地震)



No.	検討用地震	$M_j$	$X_{eq}$ (km)
大飯	1 上林川断層	7.5	30.2
	2 FO-A~FO-B断層~熊川断層	7.8	11.0

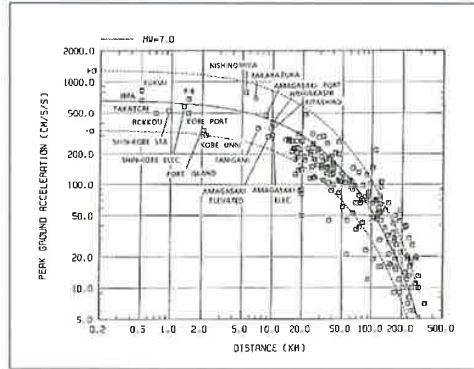
○応答スペクトルに基づく地震動評価

- 等価震源距離と極近距離との乖離が大きく、回帰式を策定するうえで用いた等価震源距離の最小値との差が大きい断層の評価については、大きく外挿することになる。
- FO-A~FO-B断層と熊川断層との3連動については、等価震源距離と極近距離の乖離が大きいため、適用範囲外とする。
- 適用範囲外とした断層による地震動評価については、断層モデルを重視することとし、その妥当性を検証するため、耐専式以外の距離減衰式を用いて、応答スペクトルに基づく地震動評価を行う。



耐専式における等価震源距離と最大加速度値の関係

極近距離とは  
近距離(約200~250Galの加速度となる点)の1/2程度



兵庫県南部地震で観測された最大加速度値と既往の距離減衰式(福島・田中(1992))との比較(Fukushima & Irikura, 1997)

○応答スペクトルに基づく地震動評価

- 耐専式以外の距離減衰式  
国内の地震を含むデータベースにより作成された距離減衰式のうち、FO-A~FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した地震動評価に用いた距離減衰式は以下のとおり

各種距離減衰式のデータベース諸元

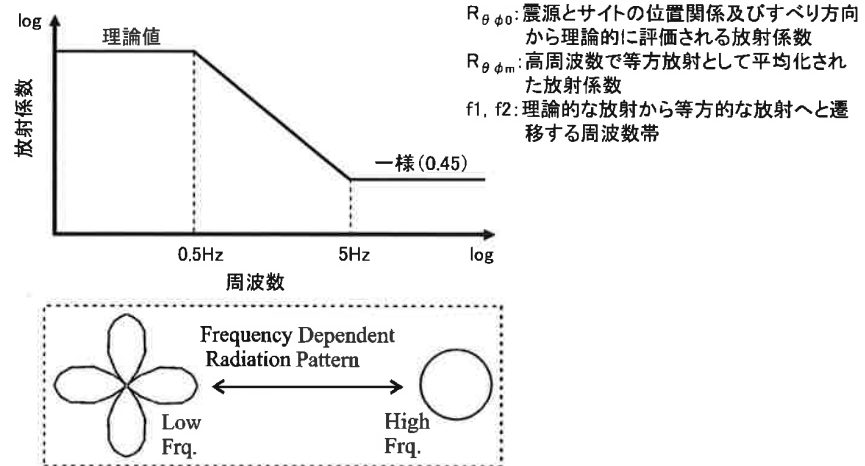
距離減衰式	データベース諸元					サイト補正の考え方
	対象地震	地震種別	Mの範囲	断層最短距離の範囲	地盤種別	
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.5~8.2	1~500km	100≦Vs30≦1400m/s (原論文の図から読取)	原論文の評価式を用いて補正
Zhao et al.(2006)	主に国内	内陸 プレート間 プレート内	5.0~8.3	0.3~300km	・Vs30>1100m/s ・Vs30>600m/s 等で整理	原論文の評価式を用いて補正
内山・翠川(2006)	日本周辺	内陸 プレート間 プレート内	5.5~8.3	300km以内	Vs30=500m/s程度の工学的 基盤	—
片岡・他(2006)	日本周辺	内陸 海溝性	4.9~8.2	250km以内	工学的基盤(31測点)の Vs30の平均値は720m/s	—
Abrahamson and Silva(2008)	国内外	内陸	4.27~7.9	200km以内	100≦Vs30≦2000m/s	原論文の評価式を用いて補正
Boore and Atkinson(2008)			4.27~7.9	400km以内	NEHRP分類A~E	原論文の評価式を用いて補正
Campbell and Bozorgnia(2008)			4.27~7.9	200km以内	150≦Vs30≦1500m/s	原論文の評価式を用いて補正
Chiou and Youngs(2008)			4.27~7.9	70km以内	100≦Vs30≦2000m/s	原論文の評価式を用いて補正
Idriss(2008)			4.5~7.7	200km以内	450≦Vs30≦900m/s	原論文の評価式を用いて補正

※Vs30: 地表から深さ30mまでの平均S波速度(大阪はVs30=2200m/s)

#### ■統計的グリーン関数法における放射係数の設定

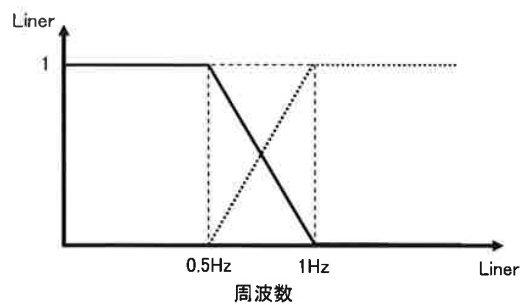
SH波及びSV波の放射特性を、釜江・他(1990)による振動数に依存するモデル(下式)を用いた。ここで、パラメータ $f_1, f_2$ は釜江・他(1990)に従い、 $f_1=0.5\text{Hz}$ 、 $f_2=5\text{Hz}$ と設定した。

$$R_{\theta\phi}(f) = \frac{(\log(f_2) - \log(f))R_{\theta\phi 0} + (\log(f) - \log(f_1))R_{\theta\phi m}}{\log(f_2) - \log(f_1)}$$



#### ■統計的グリーン関数法と理論的方法の結果のハイブリッドのフィルター

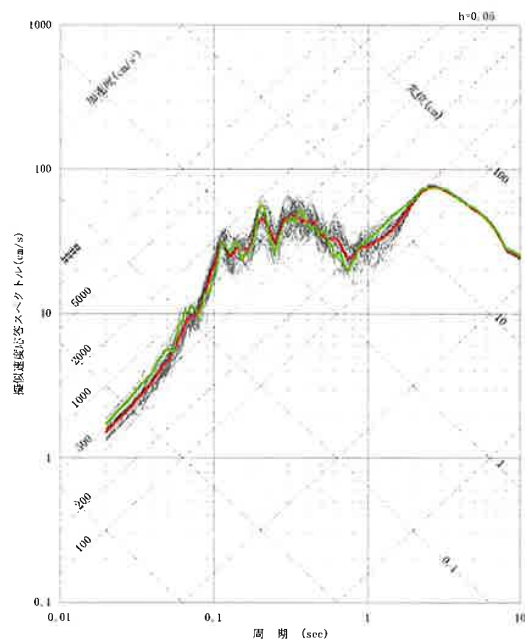
遷移周波数帯(0.5Hz~1Hz)で相補的に低減するフィルター(マッチングフィルター)を施した。



マッチングフィルターの形状



■破壊伝播速度 $V_r$ は、Geller(1976)によりS波速度の0.72倍とする。また、統計的グリーン関数法における位相の乱数と、破壊伝播速度 $V_r$ を±5%の揺らぎを与える乱数を変えて50組の波形合成を行い、50波の平均値(減衰定数5%の擬似速度応答スペクトル)との残差が最小となる波形を選定した。



「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」(平成21年12月21日)には、以下のとおり記載されている。

平均破壊伝播速度 $V_r$  (km/s) は、特にその震源域の詳しい情報がない限り、Geller (1976) による地震発生層のS波速度  $\beta$  (km/s) との経験式  $V_r = 0.72 \cdot \beta$  により推定する。

### 4. 地震動評価結果 (FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動)

■FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した場合の地震動評価ケースにおいては以下のとおり設定した。

- ①基本ケースの震源モデルを調査結果等に基づき、左横ずれ断層傾斜角 $90^\circ$ 、すべり角 $0^\circ$ と設定。
- ②考慮する不確かさケース
  - ・新潟県中越沖地震の反映を踏まえ短周期の地震動レベルを1.5倍としたケースを考慮
  - ・断層傾斜角について敷地側へ近くなるように傾斜させた傾斜角 $75^\circ$ としたケースを考慮
  - ・横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることも想定し、すべり角 $30^\circ$ としたケースを考慮
  - ・破壊伝播速度については基本ケース $V_r = 0.72\beta$  ( $\beta$ は地震発生層のS波速度)に対して、宮腰・他(2003)の知見を参考にしてアスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差 $1\sigma$ を考慮した $V_r = 0.87\beta$ としたケースを考慮
  - ・アスペリティ位置については、基本ケースにおいて各断層ごとに敷地近傍に配置しているが、さらにすべてのアスペリティを一塊として敷地近傍に配置し、影響が大きくなるようなケース(アスペリティの形状を変えて2ケース)を考慮

なお、破壊開始点については、すべてのケースにおいて、断層およびアスペリティ下端に複数のケースを設定した。その結果、全55ケースを評価した。