補足説明資料①-08
深部地下構造モデルの設定及び解析検討

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

第128回
資料1 p.89一部修正

検討概要

＜目的＞
○2007年新潟県中越沖地震時に柏崎刈羽原子力発電所において観測された地震動が大きかった要因を踏まえ、敷地周辺における地震基盤面及びそれ以浅の速度構造が地震動の増幅に影響を及ぼすか検討する。

＜深部三次元地下構造モデルの作成＞
○敷地周辺の深部からやや浅部を対象として実施した地下構造調査（屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層、既往調査等）の結果に基づき、敷地周辺の地震基盤以浅の深部三次元地下構造モデルを作成する。

↓

＜二次元有限差分法による解析検討＞
○作成した深部三次元地下構造モデルの代表的な４方向を解析断面として、二次元有限差分法により、３～５号炉位置の地盤増幅特性に係る解析検討を行う。

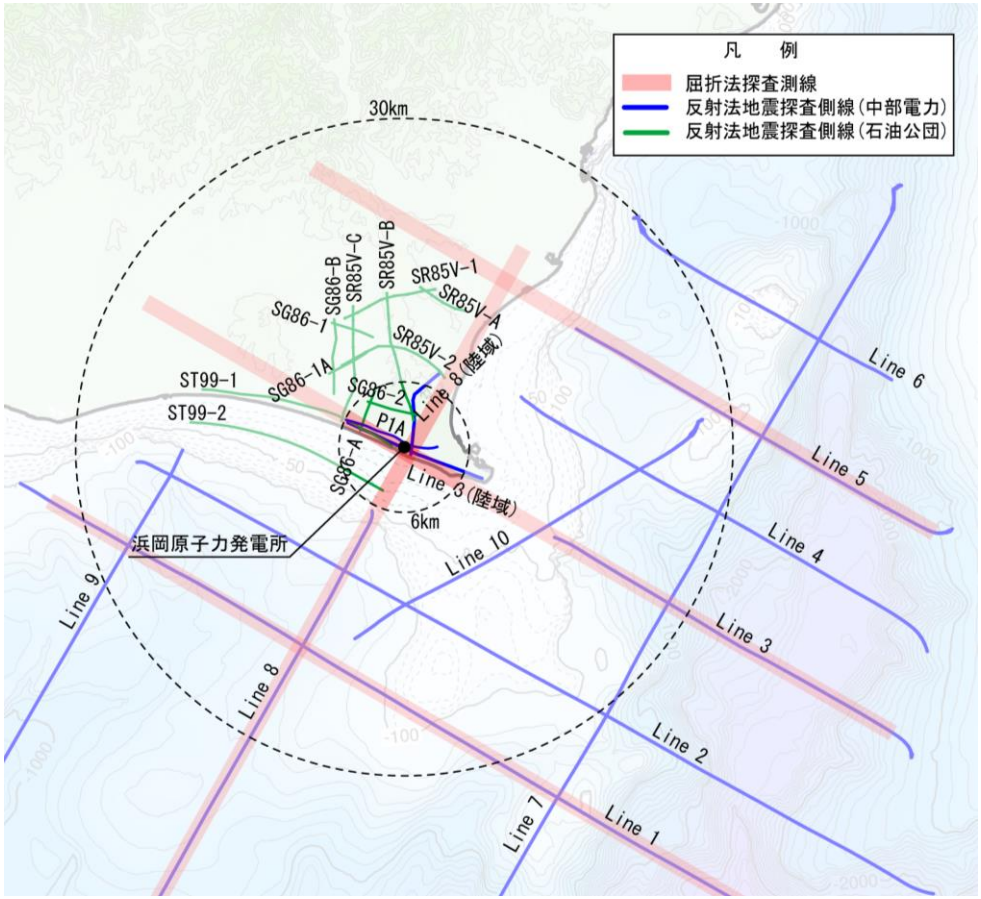
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.90一部修正

深部地下構造モデルの設定
（層境界の設定）

○屈折法地震探査結果を基に、反射法地震探査結果等を参照して、A層（解放基盤表面相当）～E層（地震基盤面）の５層の層境界を設定する。
○二次元有限差分法による解析モデルの範囲は敷地から半径6km程度とするが、広域の地下構造との連続性の観点から、敷地から半径30kmを検討対象とする。



測線名		発振・受振
Line 1,2,4～7,9,10		発振：エアガン（7800in³）、発振間隔50m 受振：444chストリーマーケーブル
Line 3,8	海域	発振：エアガン（7800in³）、発振間隔50m 受振：444chストリーマーケーブル
	陸域	発振：バイブロサイス（18t）4台、発振間隔50m 受振：1成分速度計25m間隔
P1A		発振：バイブロサイス（6t）1台、発振間隔10m 受振：1成分速度計10m間隔
SR85V		発振：バイブロサイス（18t）4台、発振間隔50m 受振：1成分速度計25m間隔
SG86		発振：ダイナマイト、発振間隔50m 受振：1成分速度計12.5m間隔
ST99-1		発振：バイブロサイス（18t）4台、発振間隔12.5m 受振：1成分速度計25m間隔
ST99-2		発振：エアガン（1500in³）、発振間隔25m 受振：OBC（25m間隔ハイドロフォン）

・Line1・3・5・8では屈折法地震探査を実施。
・Line1～10、P1Aの実施者は中部電力。
　SR85V、SG86、ST99-1、ST99-2の実施者は石油公団。

＜層境界の設定に用いた地下構造調査＞

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。
・探査測線図を変更。

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

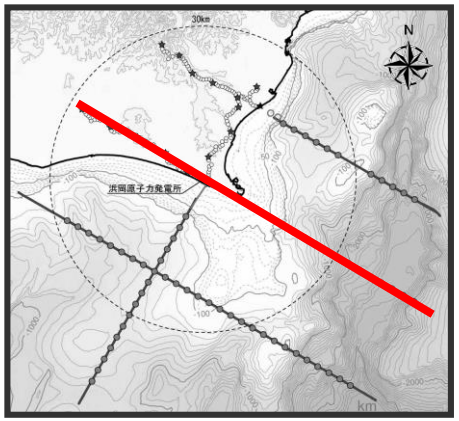
第164回
資料 p.19一部修正

深部地下構造モデルの設定
（層境界の設定）

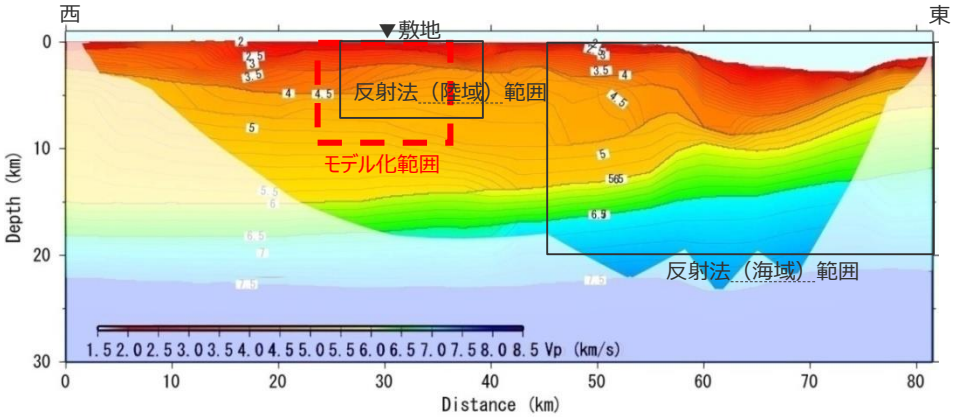
○屈折法地震探査結果を基に、反射法地震探査結果等を参照して、A層（解放基盤表面相当）～E層（地震基盤面）の５層の層境界を設定する。

<層境界の設定>

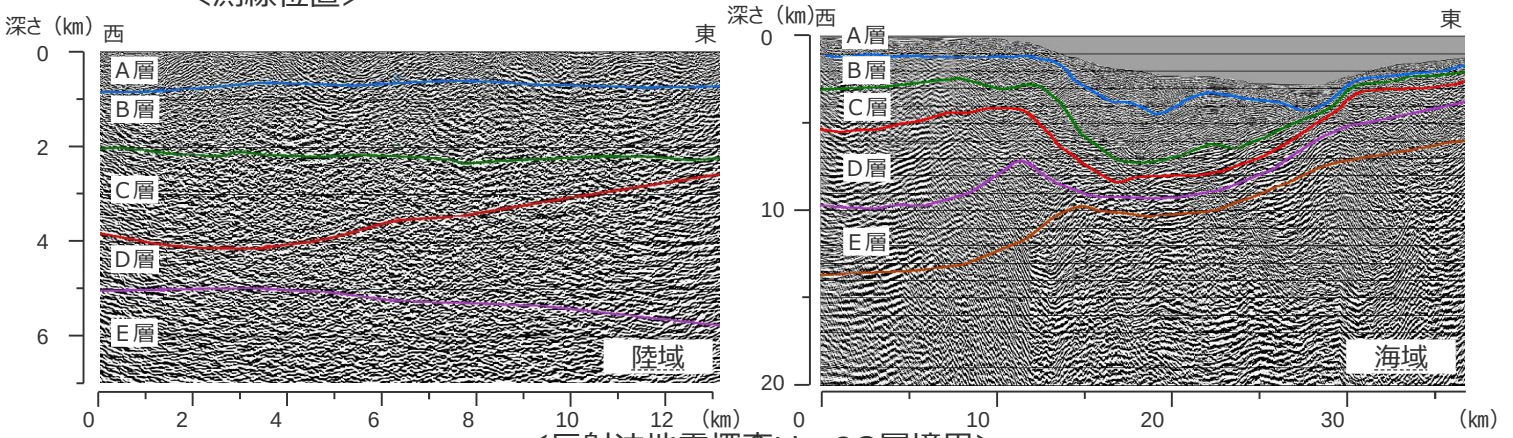
速度層	主に対比される地層
A層下面	掛川層群、相良層群上部
B層下面	相良層群中部・下部、西郷層群
C層下面	倉真層群、大井川層群、三倉層群
D層下面	四万十累層群上部
E層下面	四万十累層群下部



<測線位置>



<屈折法地震探査Line3のP波速度構造>



<反射法地震探査Line3の層境界>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。
・測線位置図を変更。

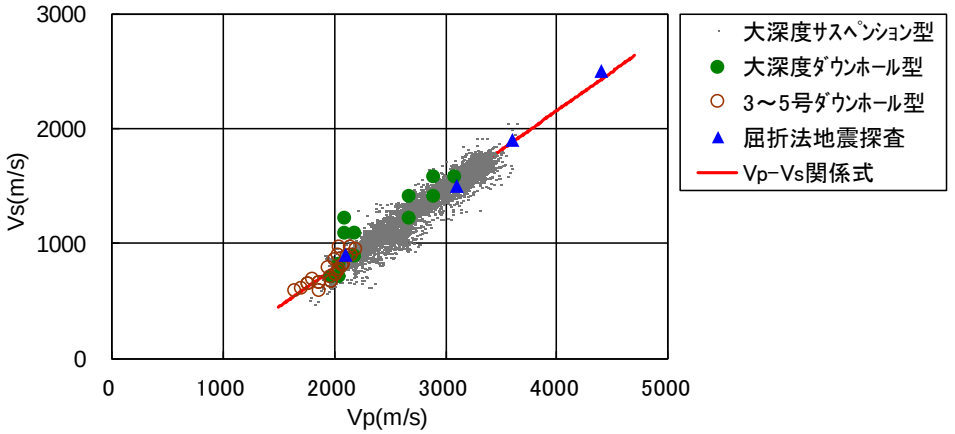
<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

深部地下構造モデルの設定
（物性値の設定）

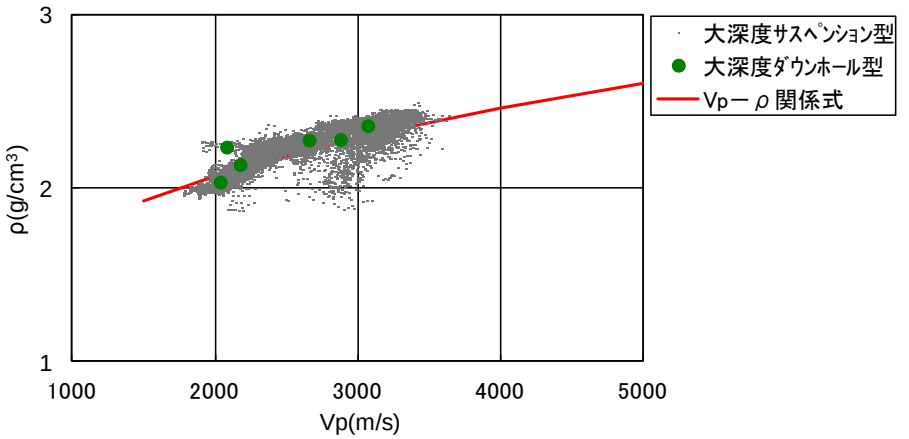
第128回
資料1 p.93一部修正

＜各層の物性値の設定方法＞

層	物性値	設定方法
A層～B層	P波速度	・大深度ボーリングのPS検層結果を用いて設定する。
	S波速度	
	密度	・各調査結果との対応が良いVp－ρ関係式を用いてP波速度から推定する。 Vp－ρ関係式：$\rho=0.31Vp^{0.25}$(g/cm^3)（Gardner et al.(1974)）
C層～E層	P波速度	・屈折法地震探査結果を用いて設定する。
	S波速度	・各調査結果に基づき作成したVp－Vs関係式を用いてP波速度から推定する。 Vp－Vs関係式：Vs=0.68Vp－580(m/s)
	密度	・A層～B層の設定方法と同じ。



＜Vp－Vs関係式と各調査結果との対応＞



＜Vp－ρ関係式と各調査結果との対応＞

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

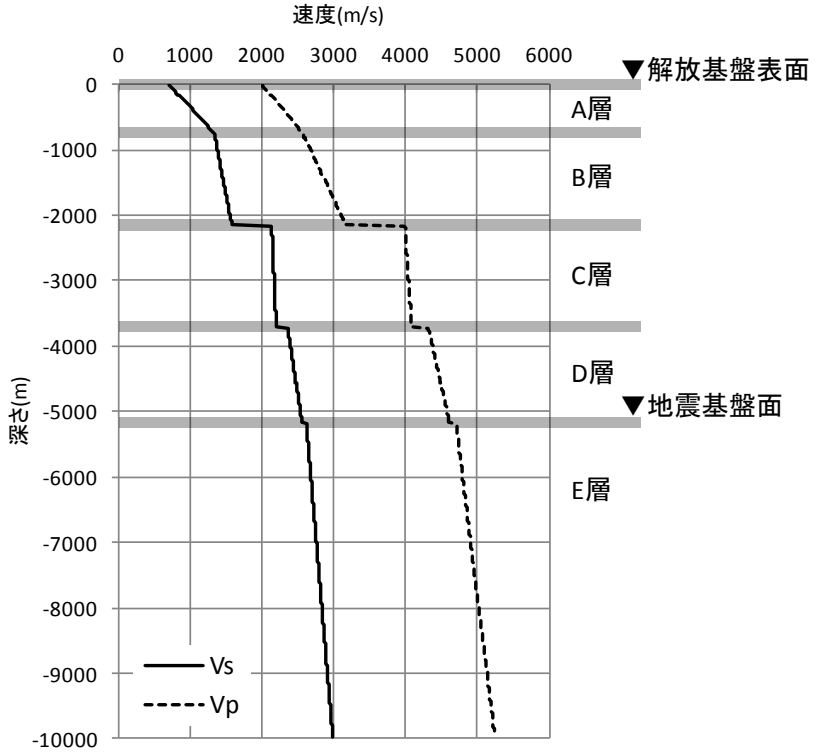
・表中「(5)」を削除。

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

深部地下構造モデルの設定
（物性値の設定）

<各層の物性値>

層区分	上面			下面		
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm^3)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm^3)
A層	700	2000	2.07	1330	2560	2.21
B層	1330	2560	2.21	1580	3180	2.33
C層	2130	3990	2.46	2200	4080	2.48
D層	2350	4310	2.51	2560	4610	2.56
E層	2620	4700	2.57	3230	5600	2.68



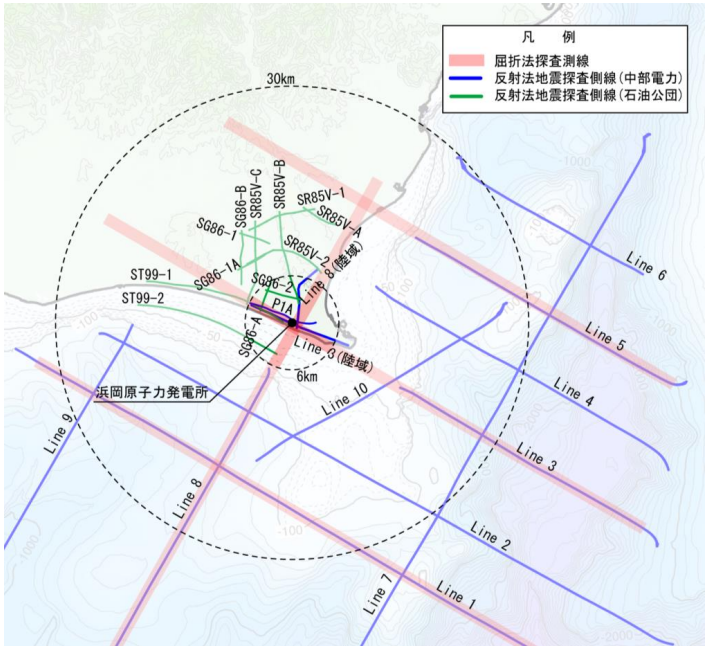
<層区分（例：敷地直下の速度構造）>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

深部地下構造モデルの設定

第194回
資料1 p.10一部修正

○敷地周辺の深部からやや浅部を対象とした地下構造調査（屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層、既往調査等）の結果に基づき、敷地周辺の地震基盤以浅の深部三次元地下構造モデルを作成。

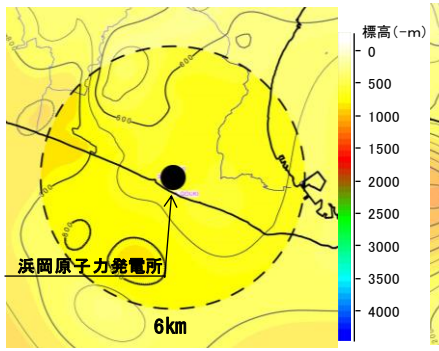


＜敷地周辺の地下構造調査＞

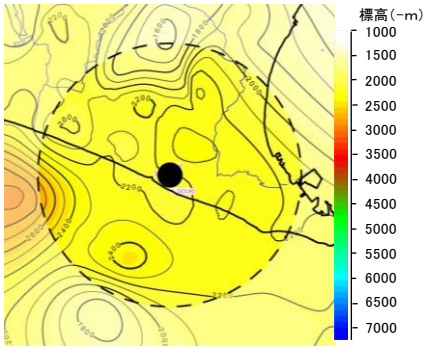
深部三次元地下構造モデルの作成

＜各層の物性値＞

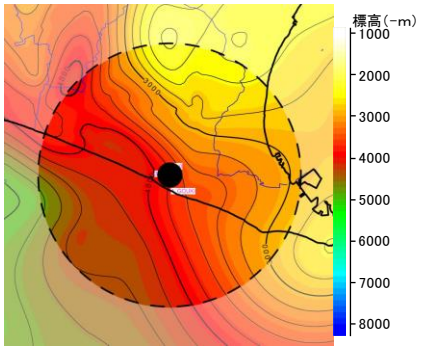
層区分	上面			下面		
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm³)
A層	700	2000	2.07	1330	2560	2.21
B層	1330	2560	2.21	1580	3180	2.33
C層	2130	3990	2.46	2200	4080	2.48
D層	2350	4310	2.51	2560	4610	2.56
E層	2620	4700	2.57	3230	5600	2.68



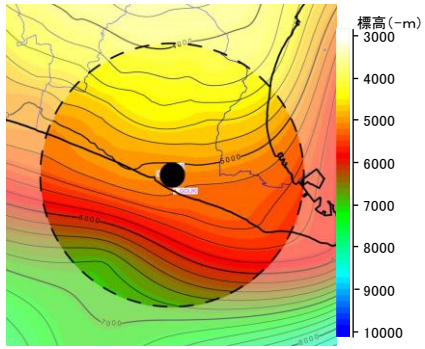
A層下面



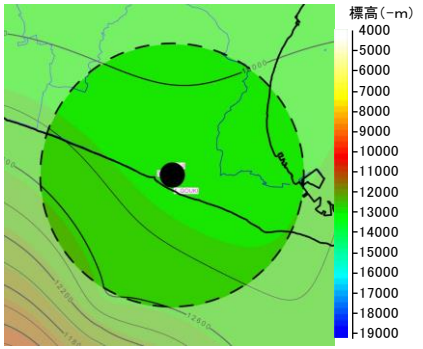
B層下面



C層下面



D層下面



E層下面

＜各層境界のコンター＞

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（___）は、一部修正箇所を示す。
・探査測線図を変更。

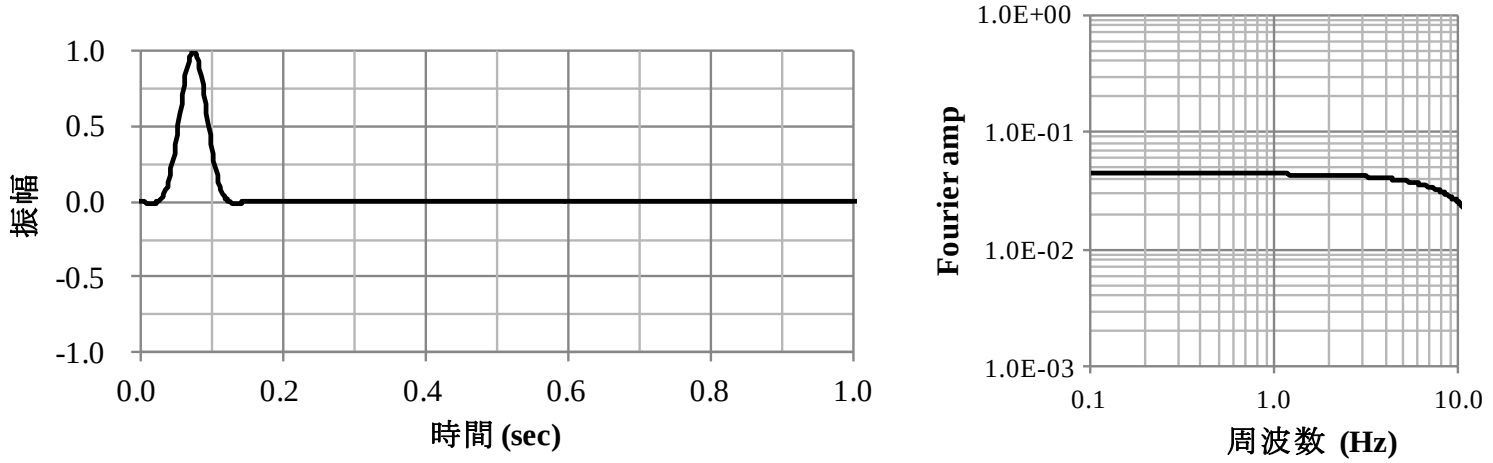
<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）（解析諸元）

第128回
資料1 p.95一部修正

＜解析諸元＞

解析手法	二次元有限差分法
解析モデル範囲	水平：-6km≦x≦6km　鉛直：-10km≦y≦0km
解析対象周波数	上限5Hz
メッシュサイズ	25m
入力波	BELL型単独波（SH波、SV波）
入射角	-45°、-30°、-15°、0°（鉛直下方入射）、15°、30°、45°



＜入力波：BELL型単独波＞
（左図：時刻歴波形、右図：フーリエスペクトル）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

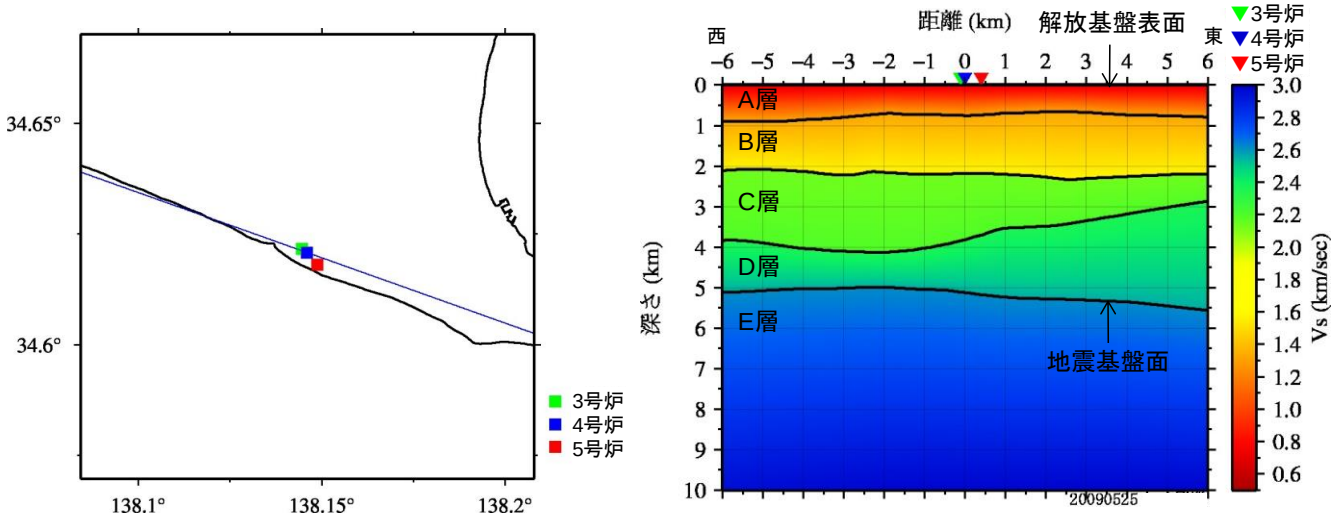
・表中「※1」を削除。

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

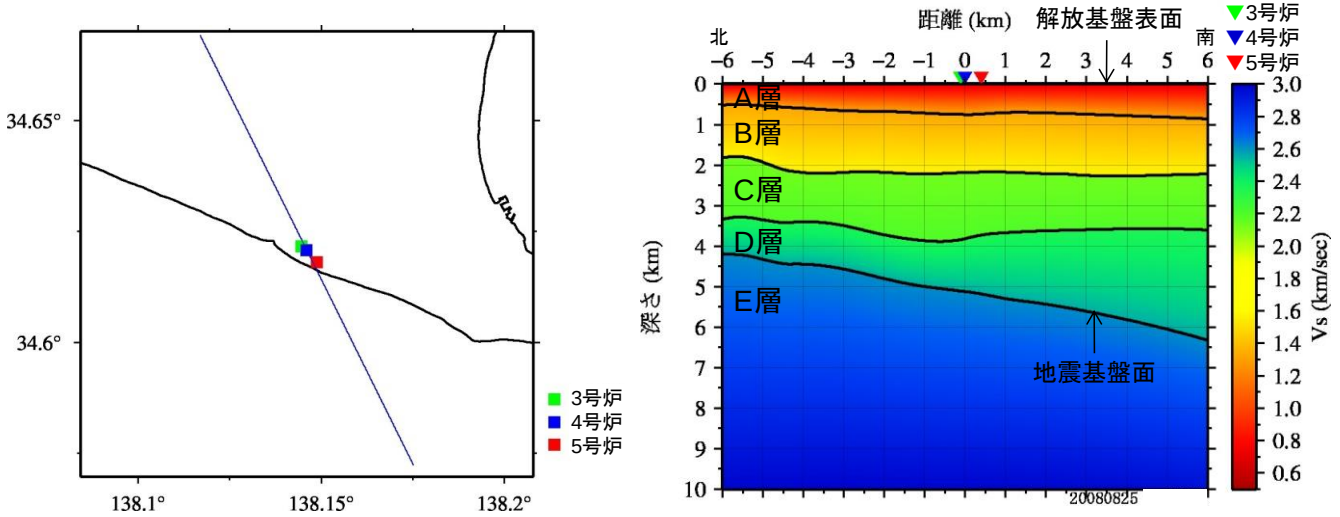
第128回
資料1 p.96再掲

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析断面の位置及び解析断面（ケース①、②））



<ケース①（左図：解析断面の位置、右図：解析断面）>



<ケース②（左図：解析断面の位置、右図：解析断面）>

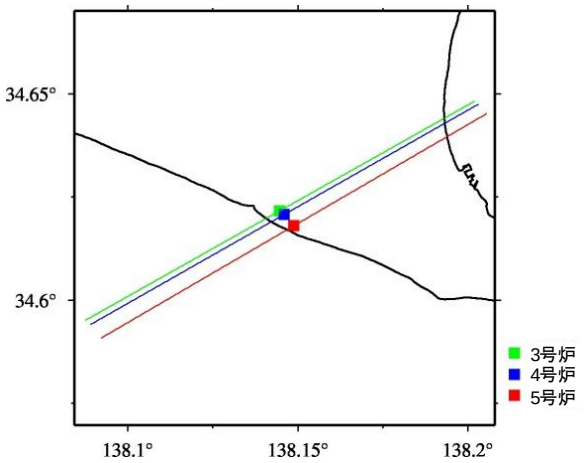
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

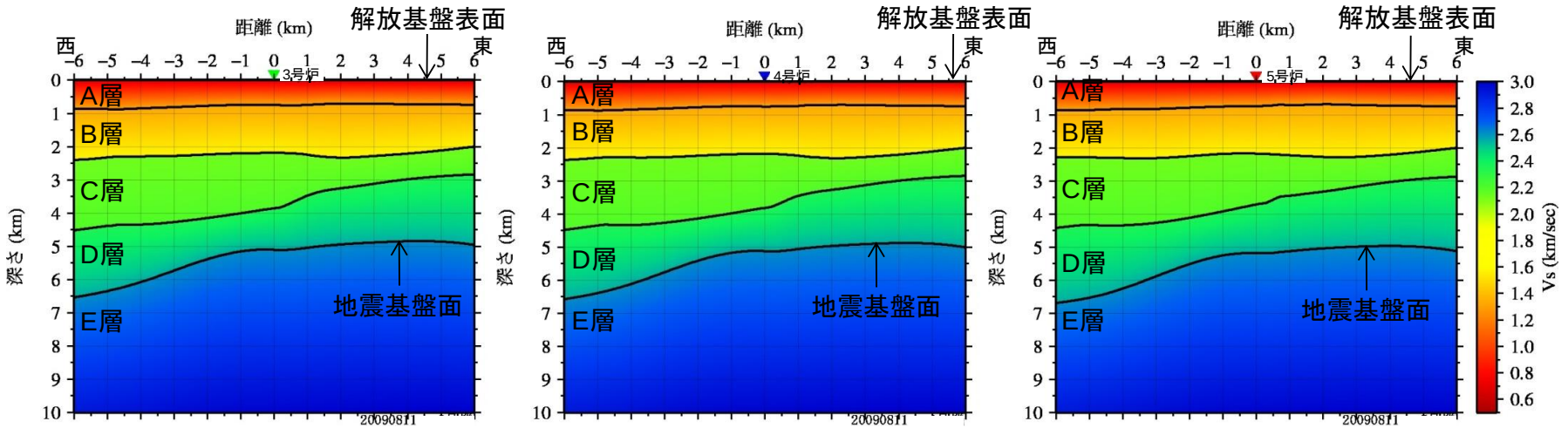
<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.97再掲

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析断面の位置及び解析断面（ケース③））





3号炉断面　　4号炉断面　　5号炉断面

<ケース③（上図：解析断面の位置、下図：解析断面）>

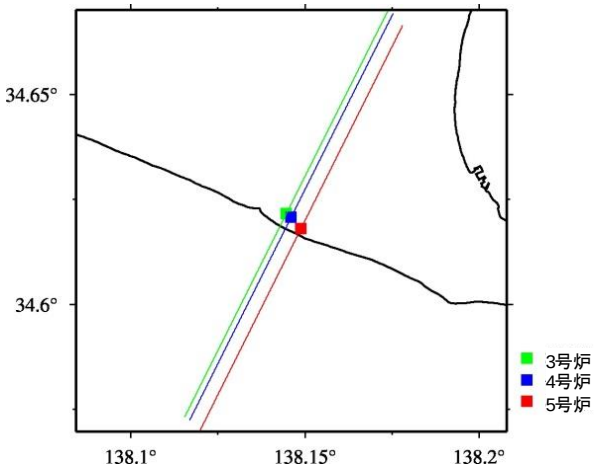
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

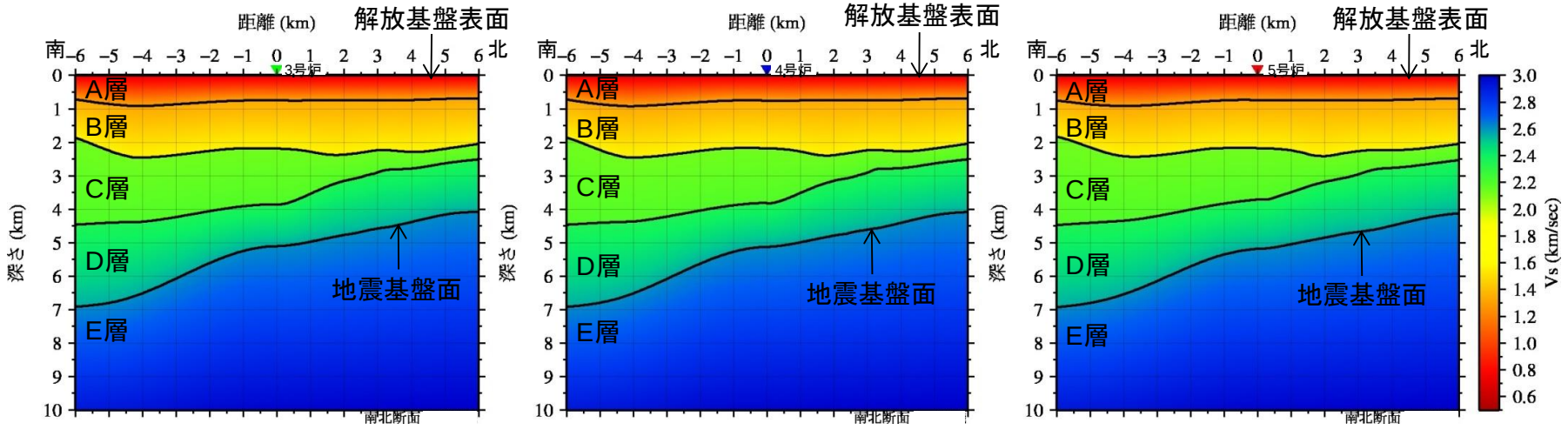
<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.98再掲

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析断面の位置及び解析断面（ケース④））





3号炉断面　　4号炉断面　　5号炉断面

<ケース④（上図：解析断面の位置、下図：解析断面）>

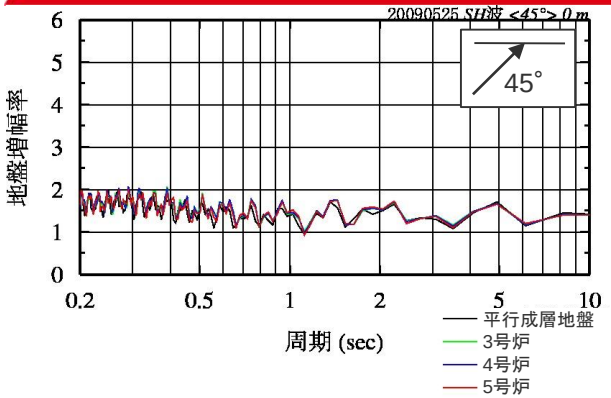
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

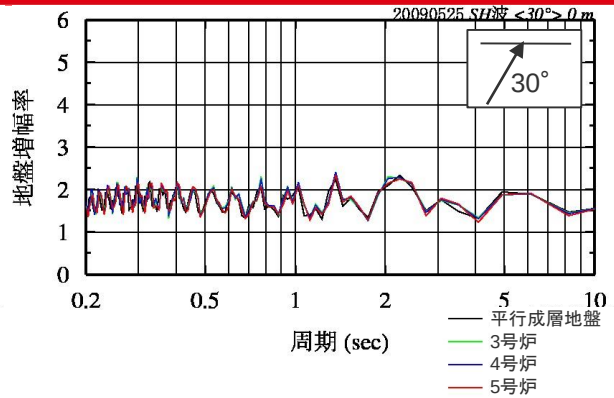
<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

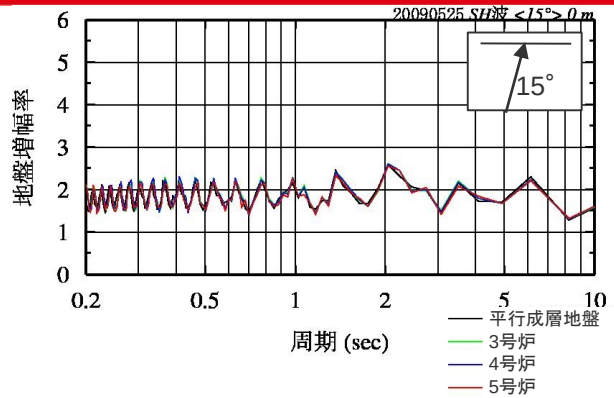
第128回
資料1 p.99一部修正

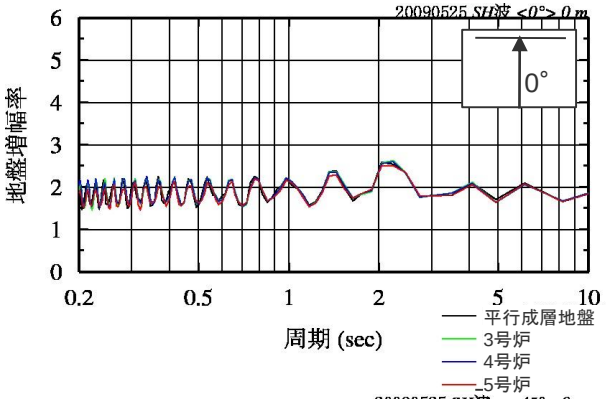
深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

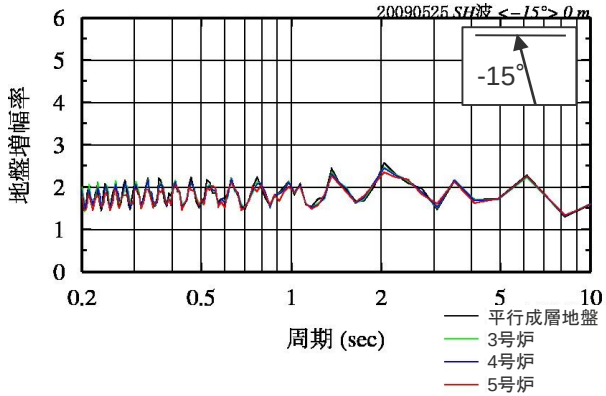
（解析結果（ケース①（SH波））

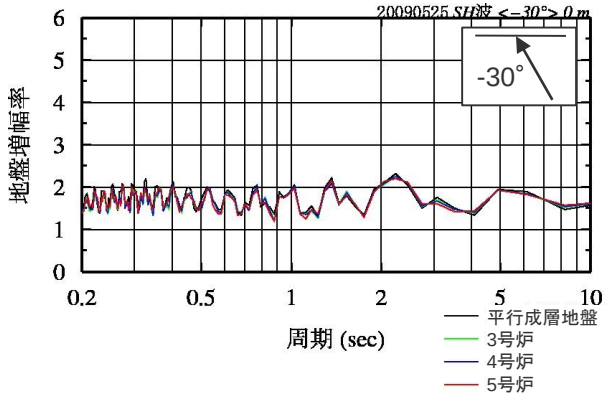


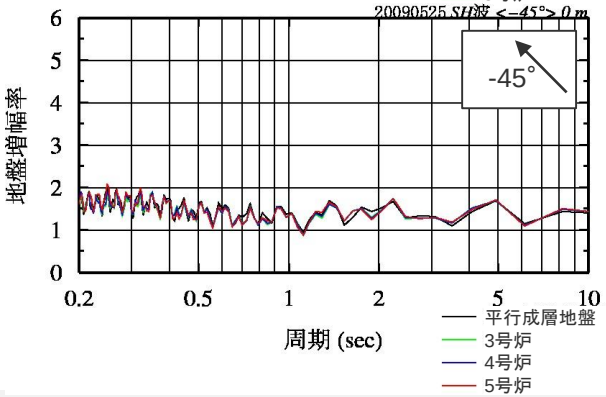












・地盤増幅率：応答波／入力波

＜ケース①の解析結果（SH波）＞

○３～５号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

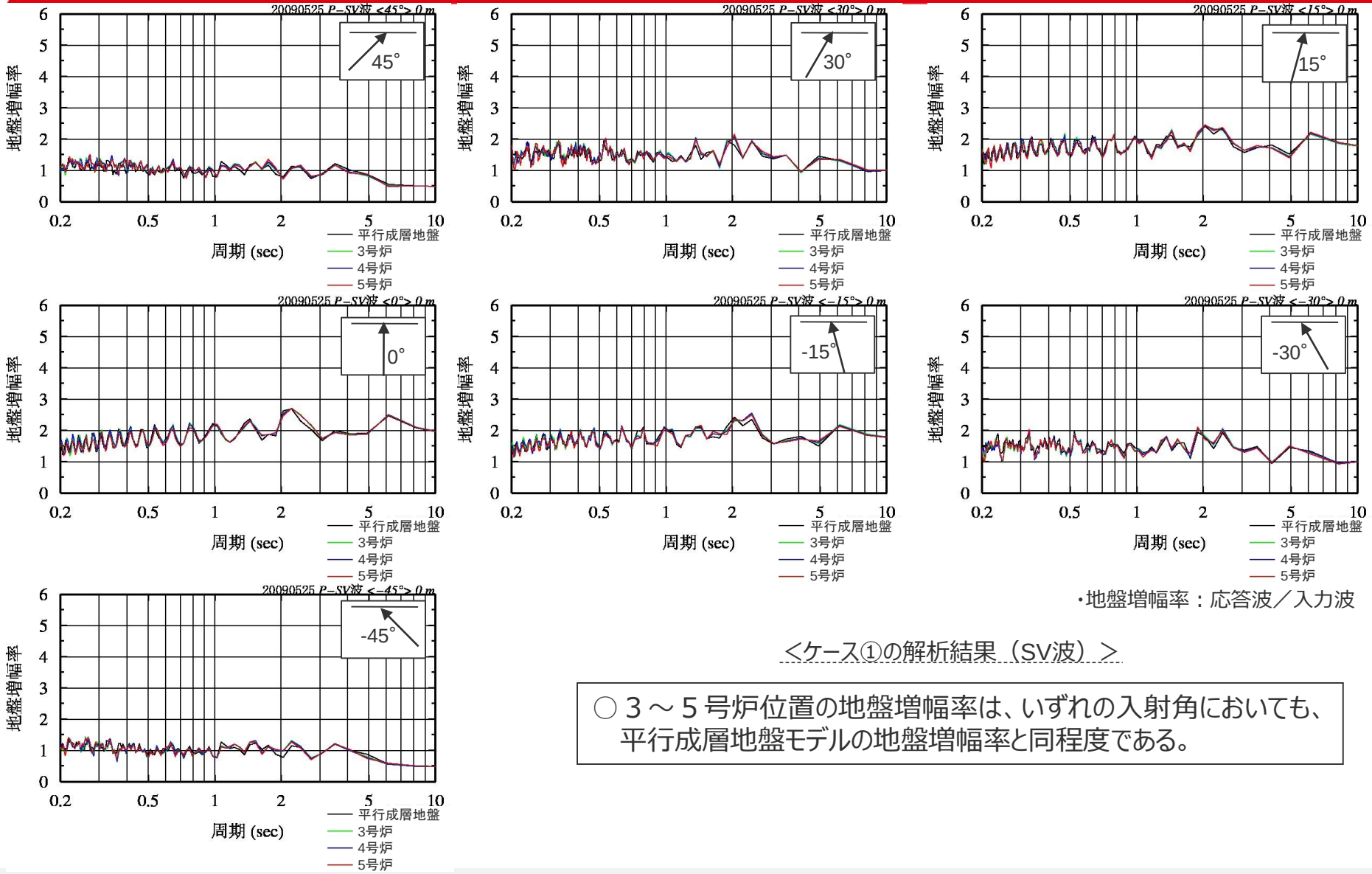
・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.100一部修正

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース①（SV波）））



・地盤増幅率：応答波／入力波

＜ケース①の解析結果（SV波）＞

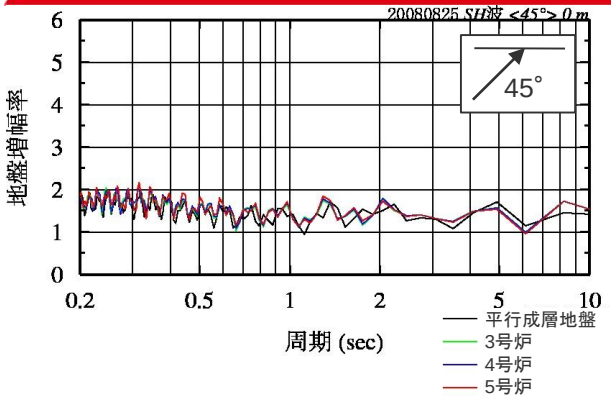
○３～５号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

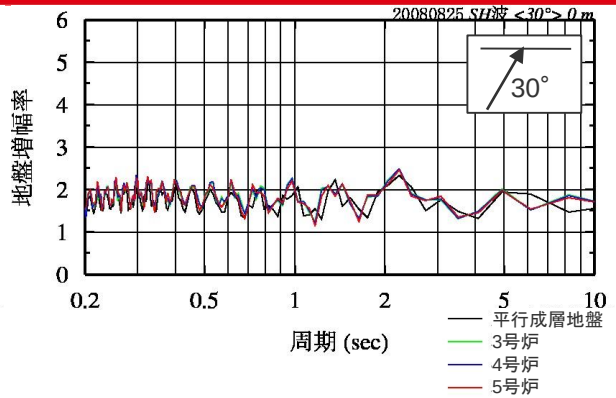
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

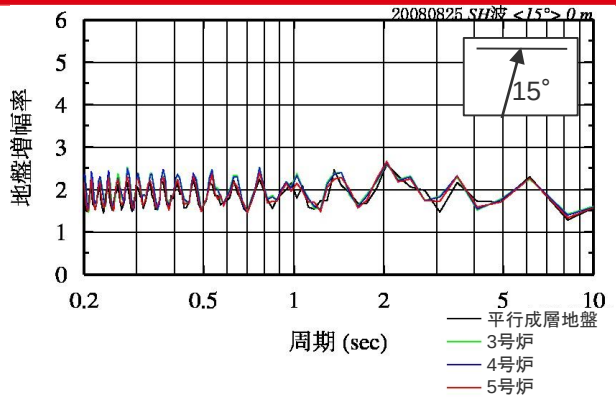
<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

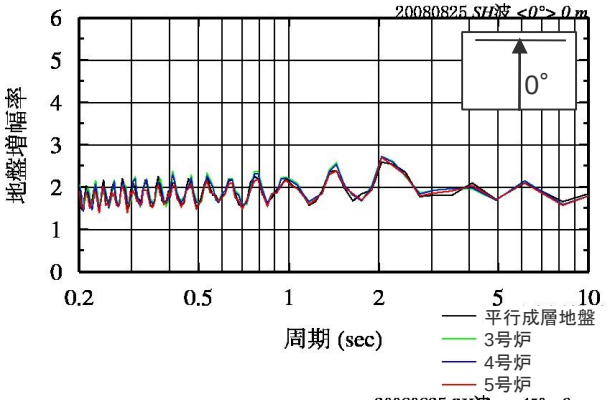
第128回
資料1 p.101一部修正

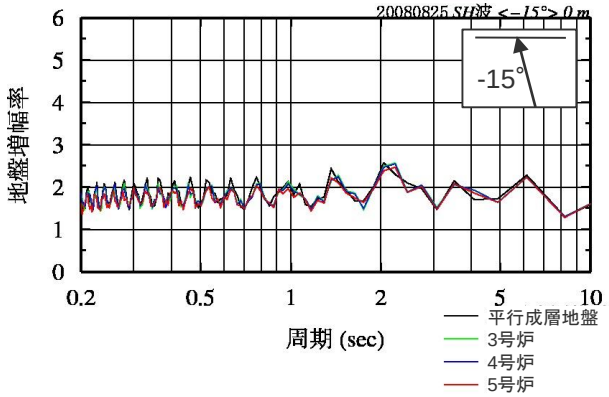
深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）
（解析結果（ケース②（SH波）））

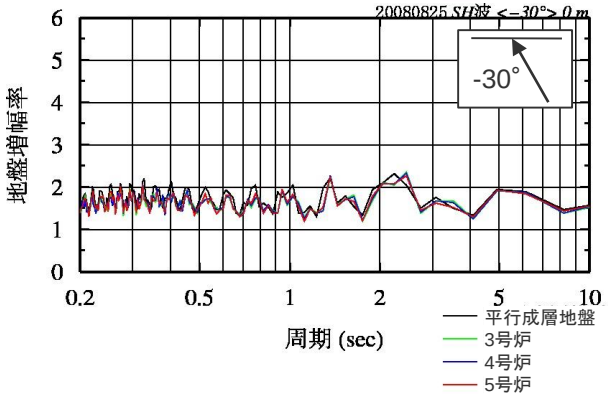


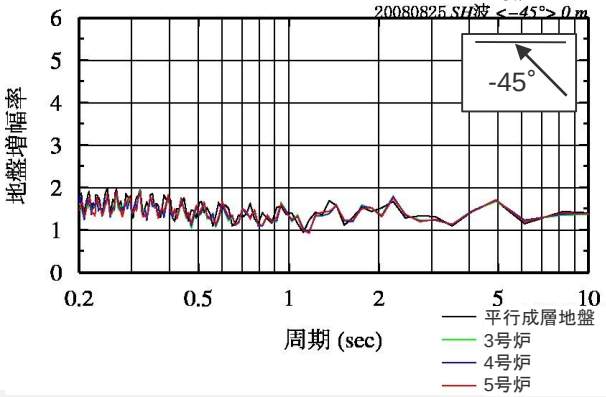












・地盤増幅率：応答波／入力波

<ケース②の解析結果（SH波）>

○３～５号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

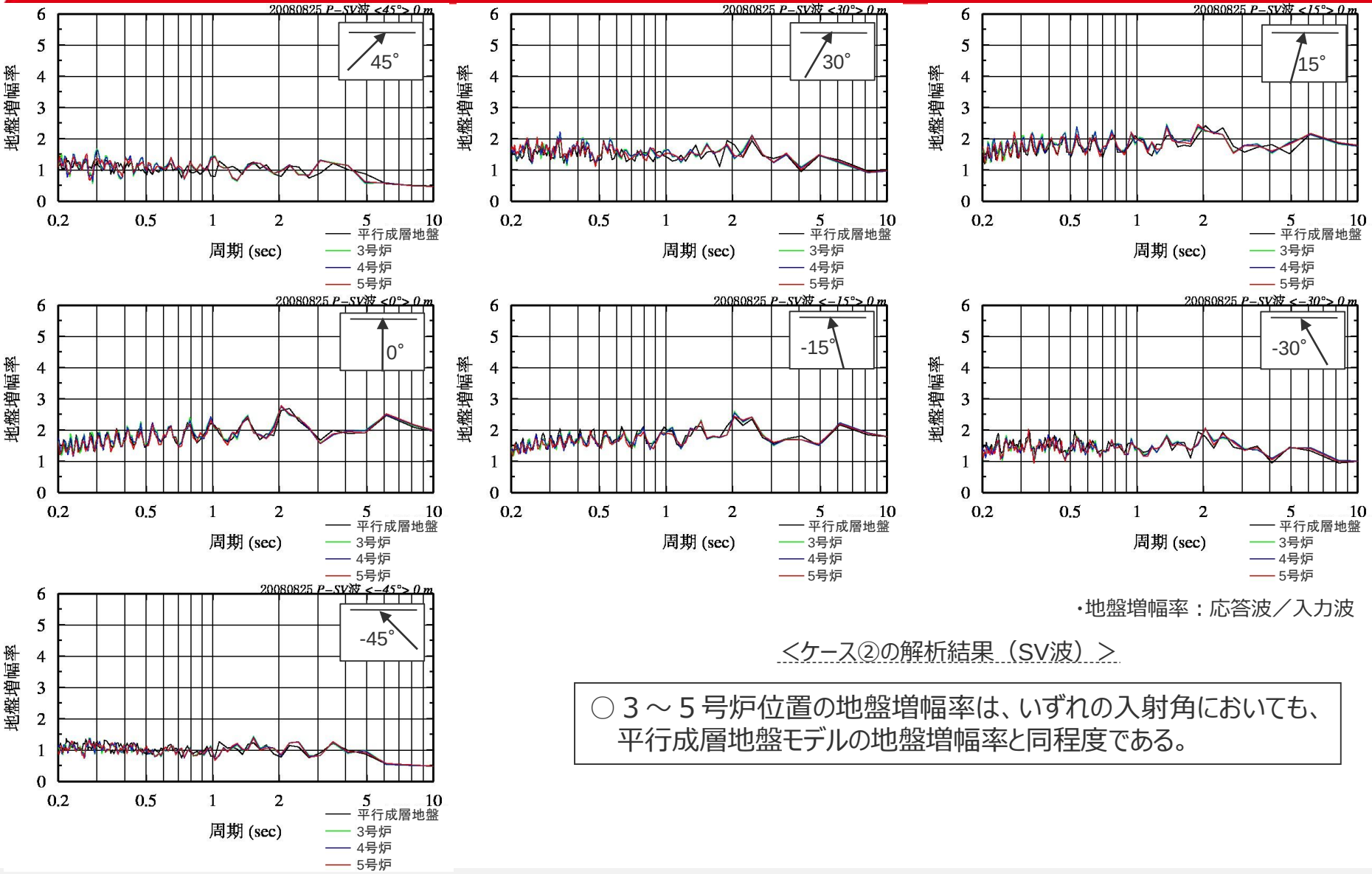
・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.102一部修正

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース②（SV波））



・地盤増幅率：応答波／入力波

＜ケース②の解析結果（SV波）＞

○３～５号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

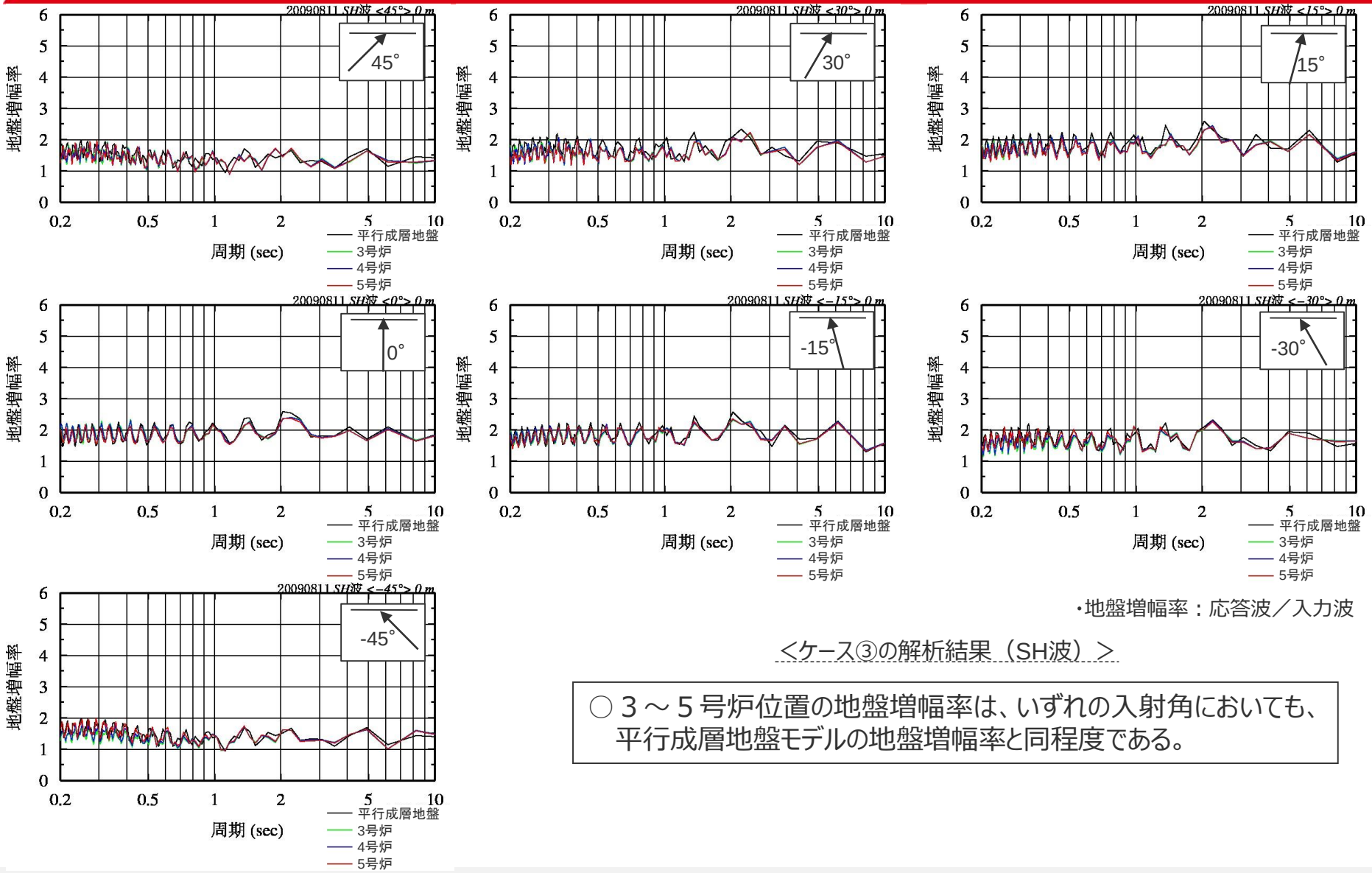
・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.103一部修正

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース③（SH波））



・地盤増幅率：応答波／入力波

＜ケース③の解析結果（SH波）＞

○３～５号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

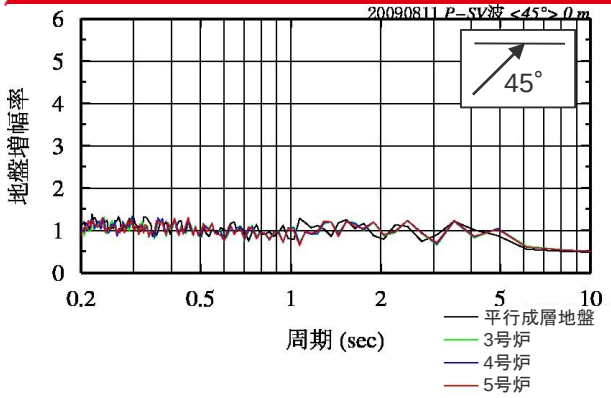
・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

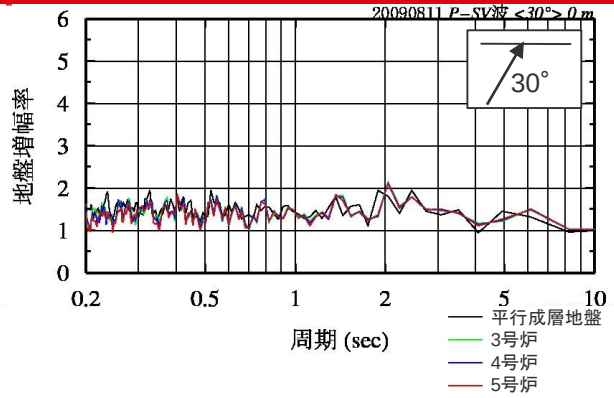
<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

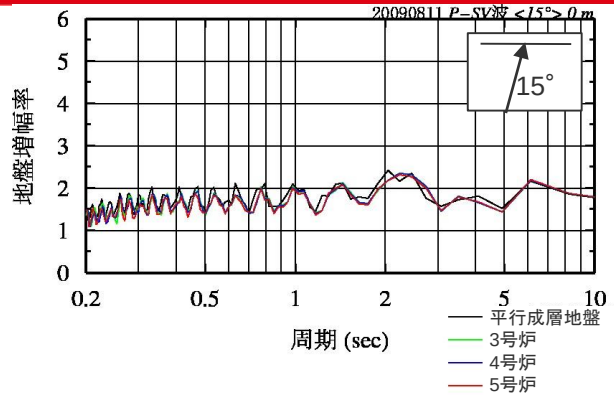
第128回
資料1 p.104一部修正

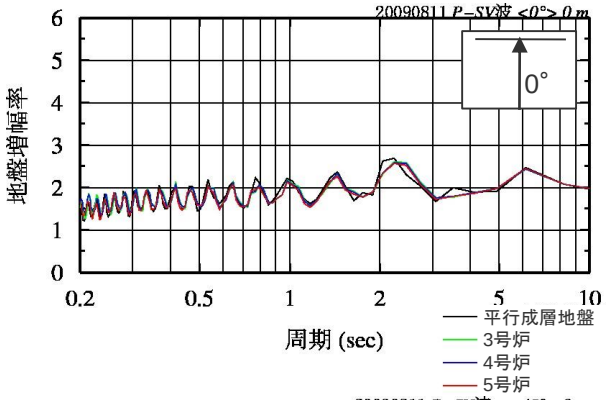
深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

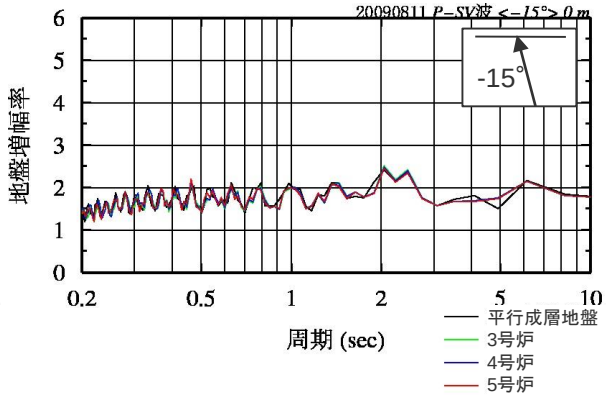
（解析結果（ケース③（SV波）））

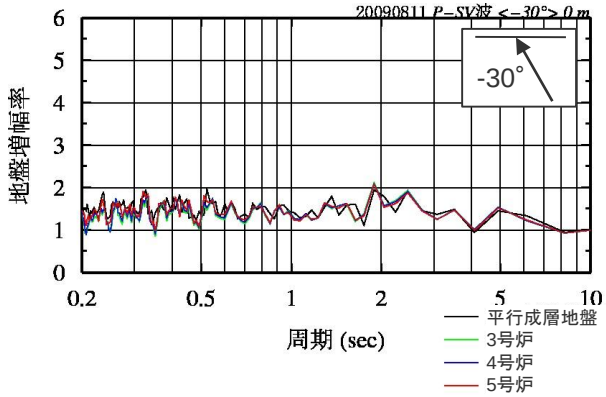


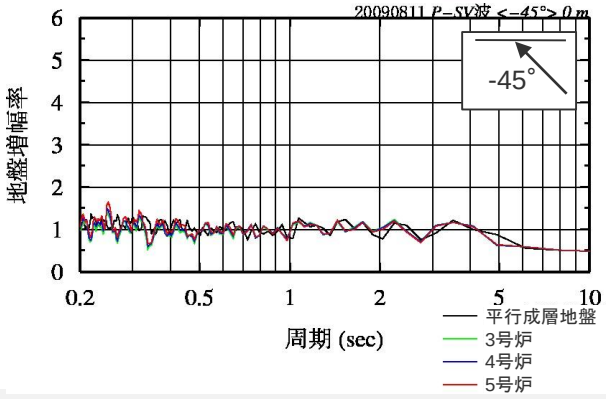












・地盤増幅率：応答波／入力波

＜ケース③の解析結果（SV波）＞

○３～５号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

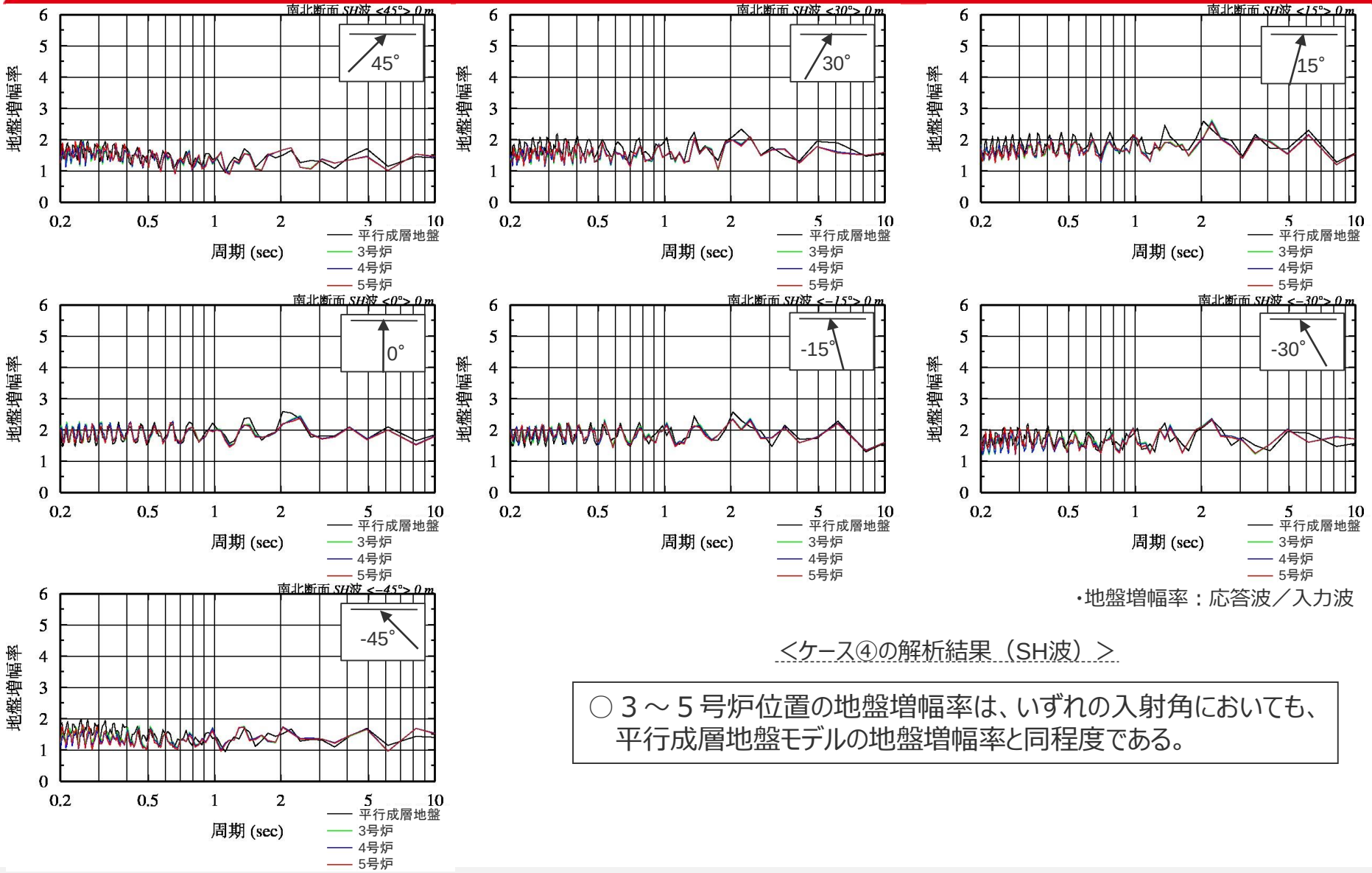
・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.105一部修正

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース④（SH波））



・地盤増幅率：応答波／入力波

<ケース④の解析結果（SH波）>

○３～５号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

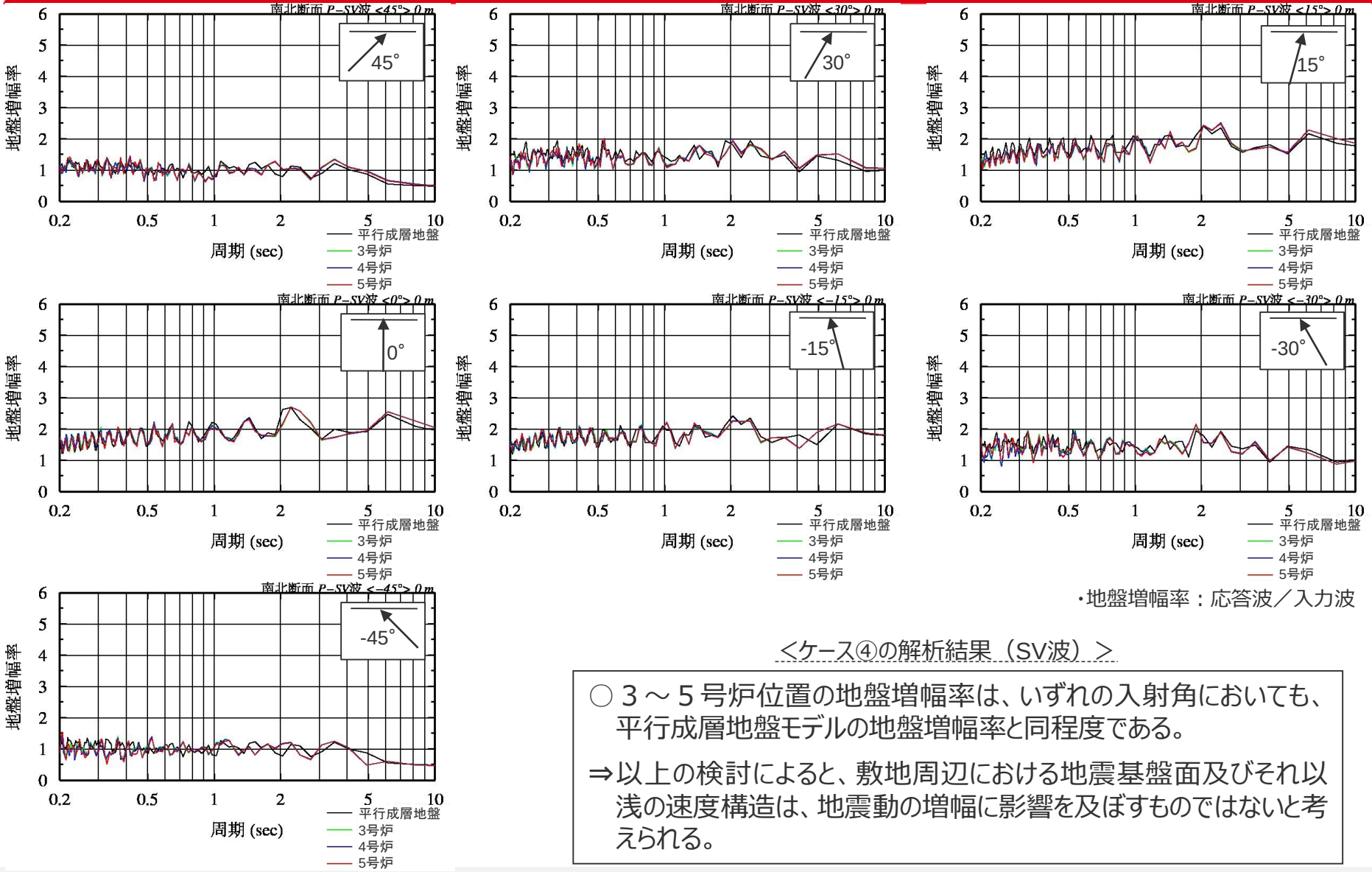
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-08 深部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.106一部修正

深部地下構造モデルを用いた解析検討（二次元有限差分法）

（解析結果（ケース④（SV波））



・地盤増幅率：応答波／入力波

＜ケース④の解析結果（SV波）＞

○３～５号炉位置の地盤増幅率は、いずれの入射角においても、平行成層地盤モデルの地盤増幅率と同程度である。

⇒以上の検討によると、敷地周辺における地震基盤面及びそれ以浅の速度構造は、地震動の増幅に影響を及ぼすものではないと考えられる。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

補足説明資料①-09
浅部地下構造モデルの設定及び解析検討

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

検討概要

＜目的＞

○地下構造調査結果及び地震観測記録に基づく検討により、2009年駿河湾の地震における浜岡原子力発電所５号炉周辺の増幅要因はS波低速度層※であると推定される。

※S波低速度層は５号炉から北東方向にかけて、深さ数百mの浅部に局所的に分布しており、その内部は、濃淡のある不均質な速度構造の集合体と考えられる。

○S波低速度層が地震動の増幅に影響を及ぼすか検討し、５号炉周辺の増幅要因の検証を行う。

＜浅部三次元地下構造モデルの作成＞

○敷地近傍の浅部地盤を対象として実施した地下構造調査（オフセットVSP探査、ベイケーブル探査、反射法地震探査、ボーリング調査・物理検層等）の結果に基づき、S波低速度層を含む敷地近傍の浅部三次元地下構造モデルを作成する。

＜三次元有限差分法による解析検討＞

○作成した浅部三次元地下構造モデルを用いて、三次元有限差分法により、３～５号炉位置の地盤増幅特性に係る解析検討を行い、地震観測記録の特徴との関係について検討する。

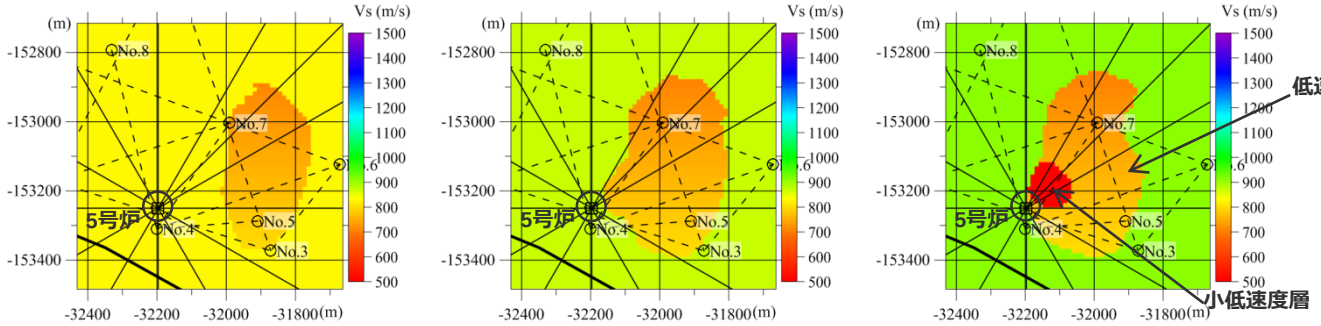
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

第940回
資料2 p.37一部修正

浅部地下構造モデルの設定

○低速度層、小低速度層※、母岩（相良層）から成る浅部三次元地下構造モデル（チューニングモデル）は、基本的に地下構造調査結果に基づき設定し、小低速度層は地震観測記録の特徴を説明できるよう、その形状をチューニングして低速度層の内部に設定する。

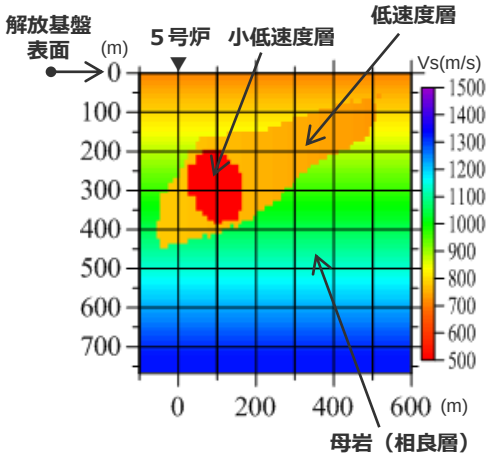
※オフセットVSP探査結果（フルウェーブ解析）によると、低速度層の内部が濃淡のある不均質な速度構造の集合体であることを踏まえ、低速度層の内部には更に速度が低い構造（小低速度層）をモデル化する。



深さ144m断面　深さ192m断面　深さ240m断面

深さ288m断面　深さ336m断面　深さ384m断面

＜深さ毎の速度断面＞



＜N60E方向の速度断面＞
（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.110再掲

浅部地下構造モデルの設定
（物性値の設定）

＜S波速度＞

○オフセットVSP探査結果等に基づき、低速度層は700～800m/s、小低速度層は500m/s、母岩（相良層）は深さ方向に漸増する速度構造とする。

＜P波速度及び密度＞

○地下構造調査結果において低速度層に対応する変化は認められないことから、低速度層、小低速度層ともに母岩（相良層）と同じ設定とする。

＜母岩（相良層）＞

深度(m)	S波速度(m/s)	P波速度(m/s)	密度(g/cm^3)
0（モデル上面）	700	2000	2.07
∫	直線補間	直線補間	直線補間
-732（モデル下面）	1330	2560	2.21

＜低速度層及び小低速度層＞

	S波速度(m/s)	P波速度(m/s)	密度(g/cm^3)
低速度層	700～800	母岩と同じ	母岩と同じ
小低速度層	500	母岩と同じ	母岩と同じ

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第164回
資料2 p.71一部修正

浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）（解析諸元）

＜解析諸元＞

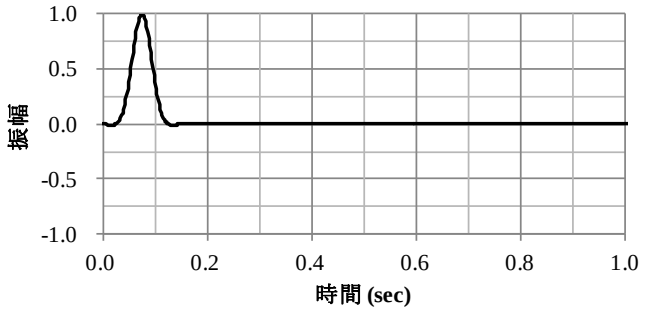
解析手法	三次元有限差分法
解析対象周波数	上限8Hz
メッシュサイズ	12m（最小）
入力波	BELL型単独波、BELL型連続波
入射角	20°※1 
入射方向	0°（北）,30°,60°※2, 90°（東）,120°,150°, 180°（南）, 210°,240°, 270°（西）,300°,330°

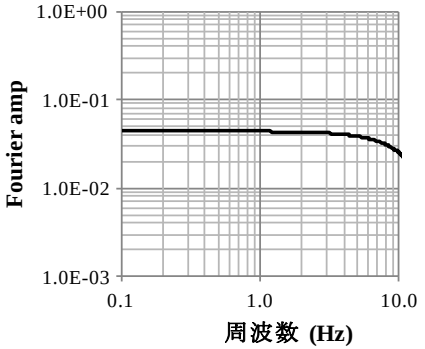
※1：2009年駿河湾の地震のレイトレーシング解析結果に基づく。（前述（補足説明資料①-08）の深部三次元地下構造モデルに基づき、2009年駿河湾の地震の震源位置まで拡張し、レイトレーシング解析を実施。）

※2：2009年駿河湾の地震の地震波到来方向。

＜入力波1：BELL型単独波＞
（左図：時刻歴波形、右図：フーリエスペクトル）
⇒地盤増幅率（応答波／入力波）の検討に用いる。

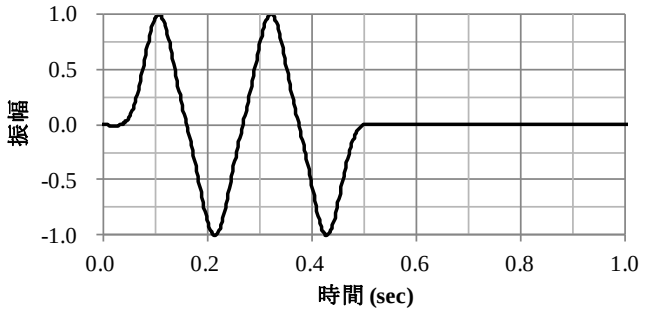
・解析結果①（周波数特性）
：入射方向N60E（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向に相当）とした３～５号炉位置の地盤増幅率

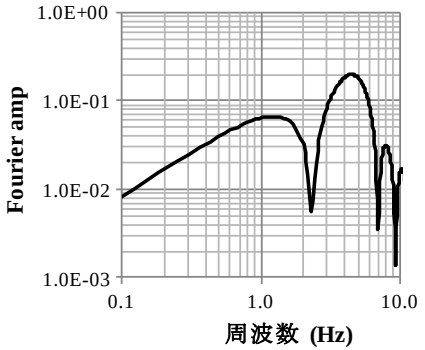




＜入力波2：BELL型連続波＞
（左図：時刻歴波形、右図：フーリエスペクトル）
⇒時刻歴波形の検討に用いる。

・解析結果②（経時特性）
：入射方向N60E（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向に相当）とした３～５号炉位置の応答波形
・解析結果③（地震波到来方向毎の増幅特性）
：N0E～N330Eで入射方向を30°刻みとした３～５号炉位置の応答波形の最大値分布





Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討>

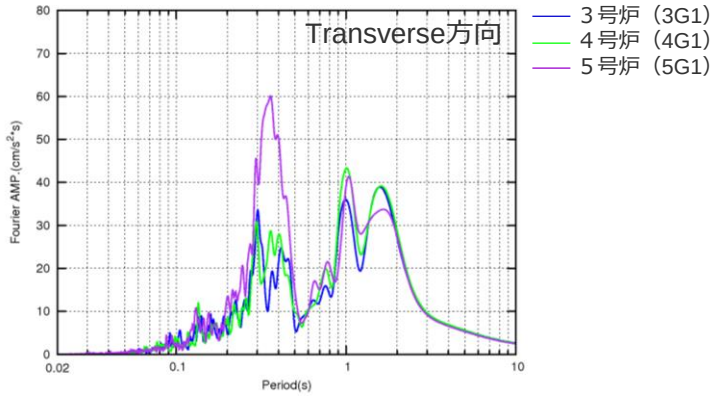
第164回
資料2 p.72一部修正

浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（地震観測記録の特徴と浅部地下構造モデルを用いた解析結果との比較（周波数特性））

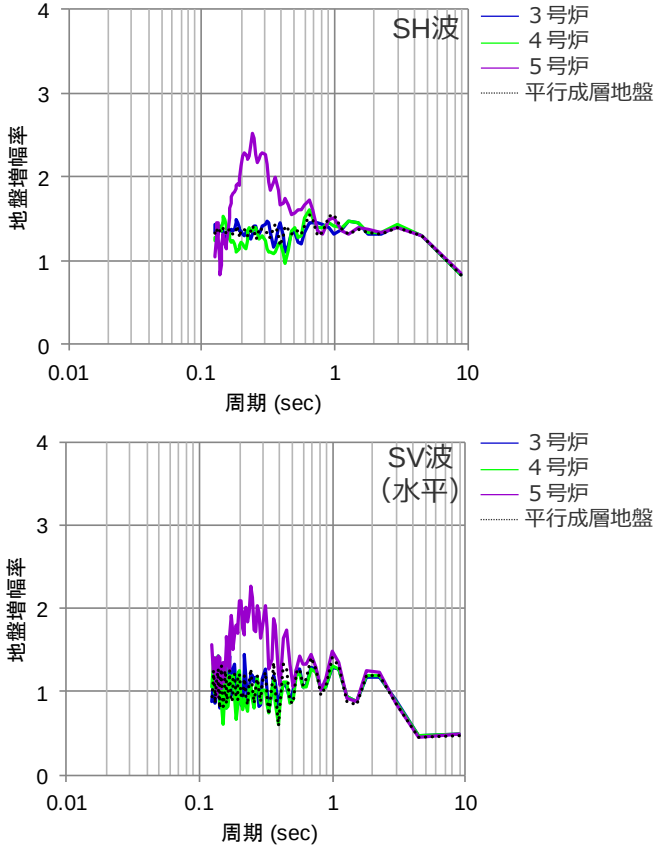
○地震観測記録として2009年駿河湾（本震）の地震の加速度フーリエスペクトルと、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果として入射方向N60E（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向に相当）とした３～５号炉位置の地盤増幅率を示す。
○地震観測記録の特徴として、５号炉周辺の顕著な増幅は周期0.2～0.5秒付近の狭帯域に見られ、解析結果においても、５号炉位置では周期0.2～0.5秒付近で増幅しており、両者は概ね整合している。

地震観測記録



＜2009年駿河湾の地震（本震）の加速度フーリエスペクトル＞
（3G1, 4G1, 5G1(G.L.-100m)）

解析結果



＜３～５号炉位置の地盤増幅率（応答波／入力波）＞
（入力波：BELL型単独波、入射方向：N60E方向、入射角：20°）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討>

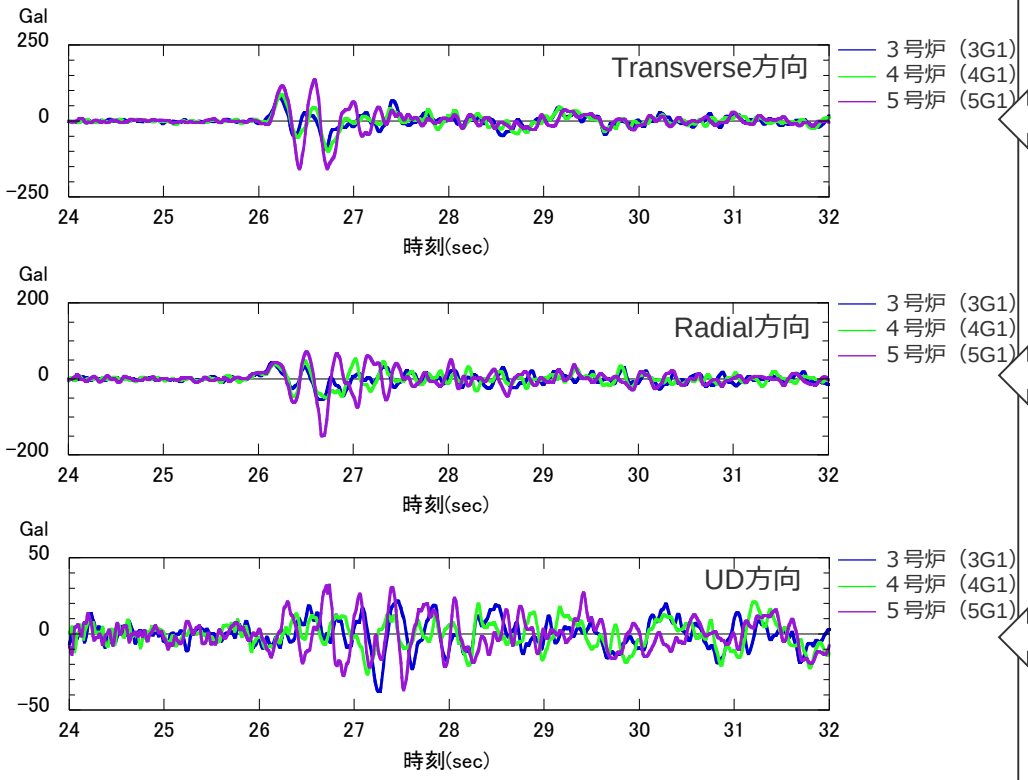
第164回
資料2 p.73一部修正

浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（地震観測記録の特徴と浅部地下構造モデルを用いた解析結果との比較（経時特性））

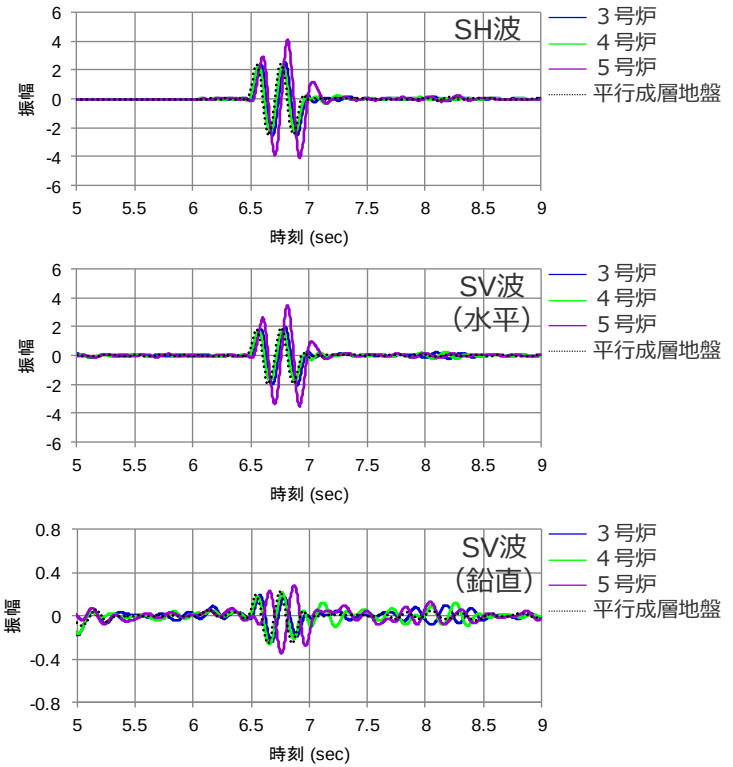
○ 地震観測記録として2009年駿河湾の地震（本震）の加速度時刻歴波形と、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果として入射方向N60E（2009年駿河湾の地震（本震）の地震波到来方向に相当）とした３～５号炉位置の応答波形を示す。
○ 地震観測記録の特徴として、水平動では、S波主要動部で５号炉周辺の顕著な増幅が見られ、若干の位相遅れを伴うとともに、一波目より二波目以降でより増幅が大きい。また、鉛直動の位相特性はランダムになっている。
○ 解析結果において、５号炉位置では水平動でやや位相遅れを伴い、一波目より二波目以降でより増幅が大きい。また、鉛直動の位相特性はランダムになっており、地震観測記録の特徴と概ね整合している。

地震観測記録



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度時刻歴波形>
（3G1, 4G1, 5G1(G.L.-100m)）

解析結果



<３～５号炉位置の応答波形>
（入力波：BELL型連続波、入射方向：N60E方向、入射角：20°）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第164回
資料2 p.74一部修正

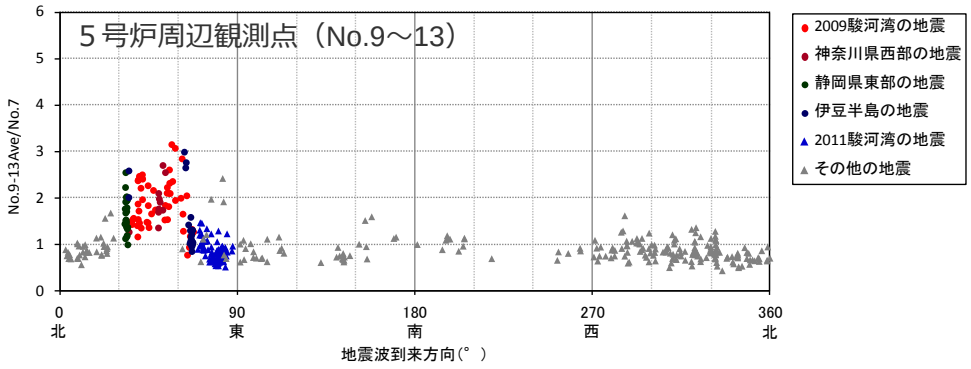
浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（地震観測記録の特徴と浅部地下構造モデルを用いた解析結果との比較（地震波到来方向毎の増幅特性））

○ 多点連続地震観測の分析結果として５号炉周辺観測点における各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係と、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果としてN0E～N330Eで入射方向を30°刻みとした３～５号炉位置の応答波形の最大値分布を示す。
○ 地震観測記録の特徴として、５号炉周辺では、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向（N30E～N70E）で顕著な増幅が見られるが、その他の方向では同様の増幅は見られず、増幅がやや小さい傾向が見られる。
○ 解析結果において、５号炉位置ではN30E～N60E付近で最大応答値が最も大きく、その他の方向では同様の増幅が見られず、増幅がやや小さい傾向が見られており、地震観測記録の特徴と概ね整合している。

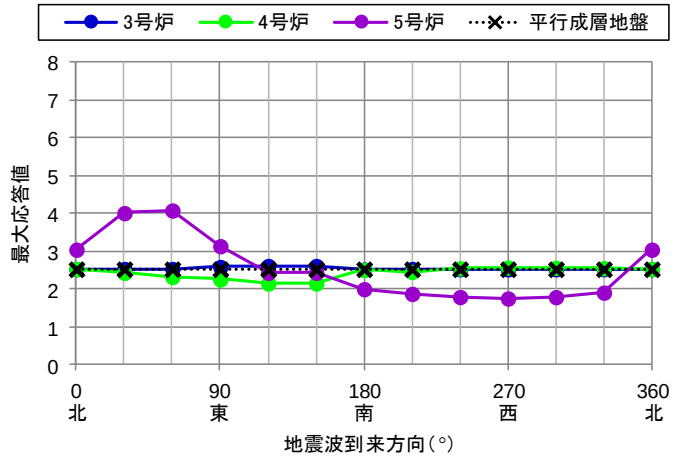
⇒ 以上の検討によると、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果は地震観測記録の特徴と概ね整合していることから、５号炉周辺の増幅要因はS波低速度層であると評価した。

地震観測記録



＜各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係（水平平均）＞
（観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日）

解析結果



＜３～５号炉位置の応答波形の最大値分布＞
（入力波：BELL型連続波（SH波）、
入射方向：N0E～N330E（30°刻み）、入射角：20°）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

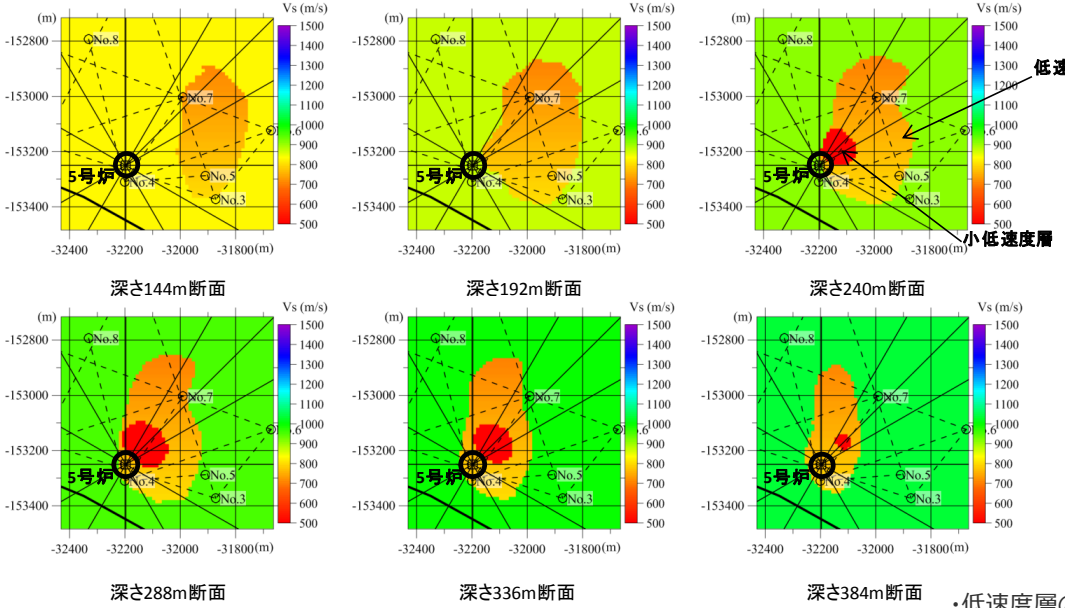
<補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第164回
資料2 p.75再掲

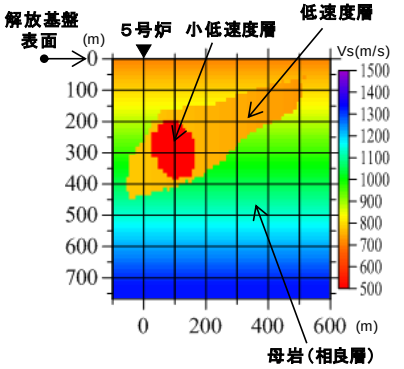
浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）
（小低速度層に関するパラメータスタディ（検討概要））

作成した浅部三次元地下構造モデル

○前述のとおり、低速度層、小低速度層、母岩から成る浅部三次元地下構造モデルは、基本的に地下構造調査結果に基づき設定し、小低速度層は地震観測記録の特徴を説明できるよう、その形状をチューニングして、低速度層の内部に設定している（以降の検討では、「チューニングモデル」という）。



<深さ毎の速度断面>



<N60E方向の速度断面>
（2009年駿河湾の地震の
地震波到来方向）

・低速度層のS波速度：700～800m/s
・小低速度層のS波速度：500m/s

小低速度層に関するパラメータスタディ

○小低速度層に関して、「サイズ」、「物性値（S波速度）」、「位置」、「形状」に関するパラメータスタディを行い、観測記録の特徴との整合性を検討する。

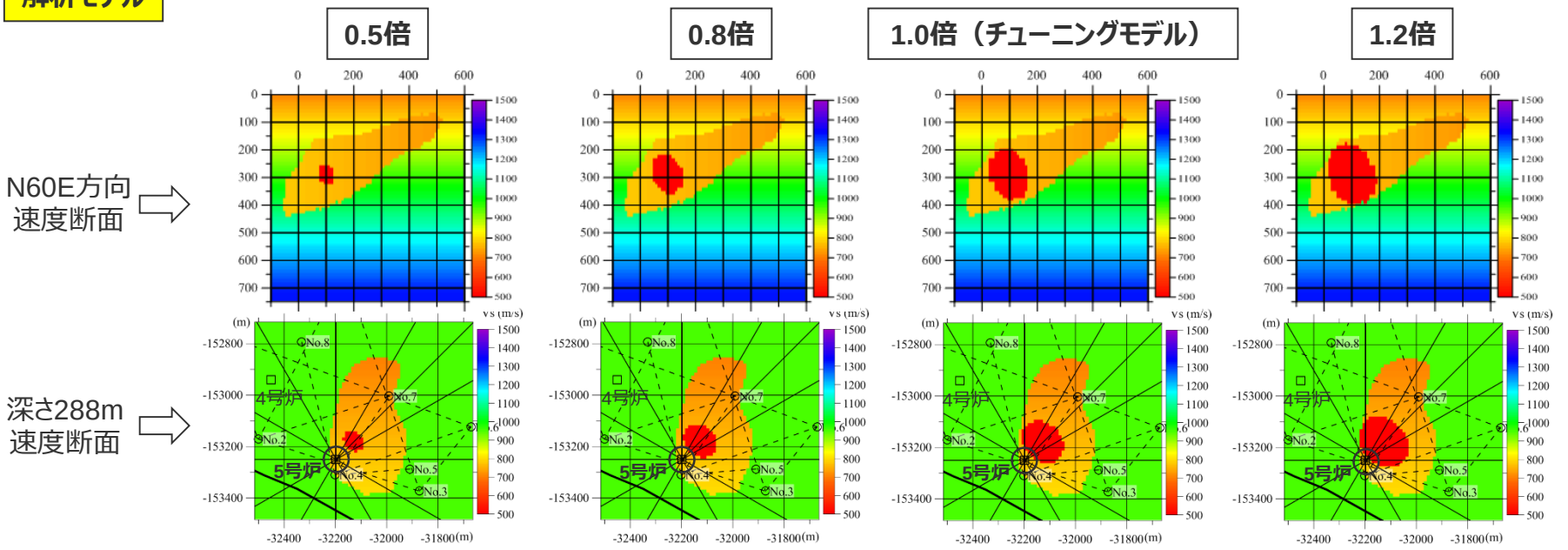
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

第164回
資料2 p.76再掲

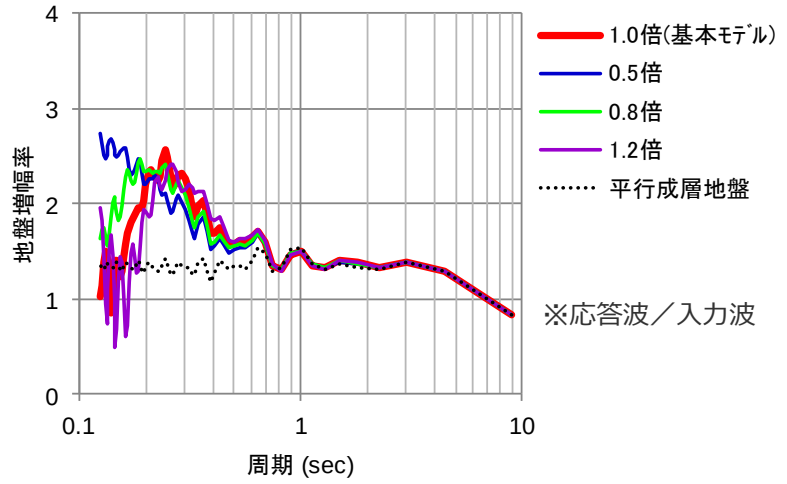
浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（サイズ））

解析モデル



解析結果（５号炉位置の地盤増幅率※）



○チューニングモデルの小低速度層（1.0倍）に対して、全体のサイズを0.5倍、0.8倍、1.2倍とした場合のパラメータスタディを実施。

○小低速度層のサイズが小さくなると、チューニングモデルに比べて、増幅が見られる周期帯は限定されない傾向がある。

・入力波：BELL型単独波（SH波）

・入射角：20°
・入射方向：60°
} 2009年駿河湾の地震の地震波の入射角、到来方向に基づく

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

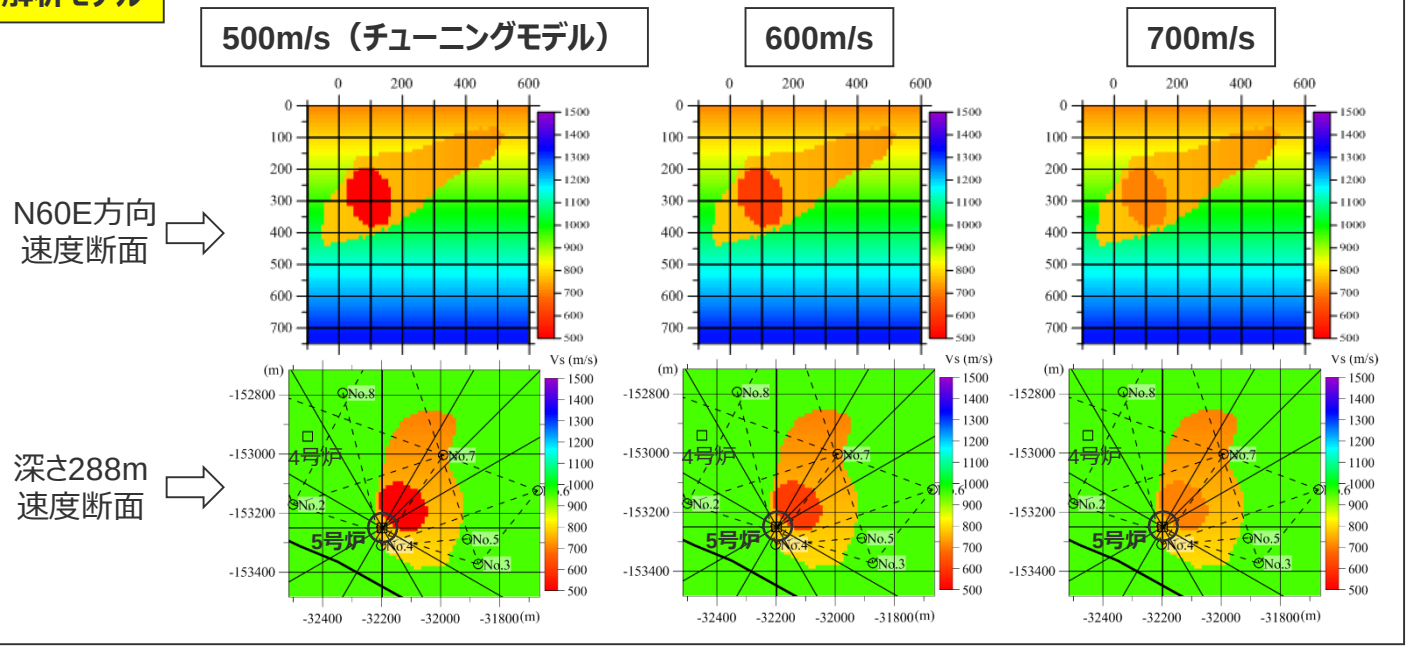
<補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第164回
資料2 p.77再掲

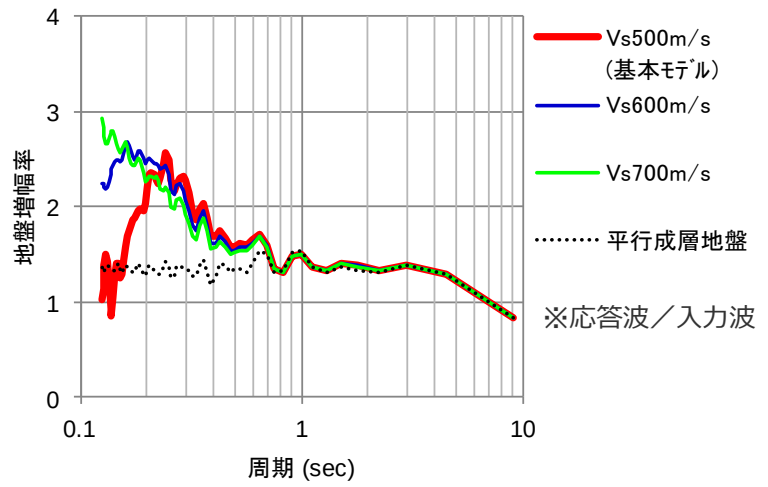
浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（物性値））

解析モデル



解析結果（５号炉位置の地盤増幅率※）



○チューニングモデルの小低速度層（Vs500m/s）に対して、S波速度を600m/s、700m/sとした場合のパラメータスタディを実施。

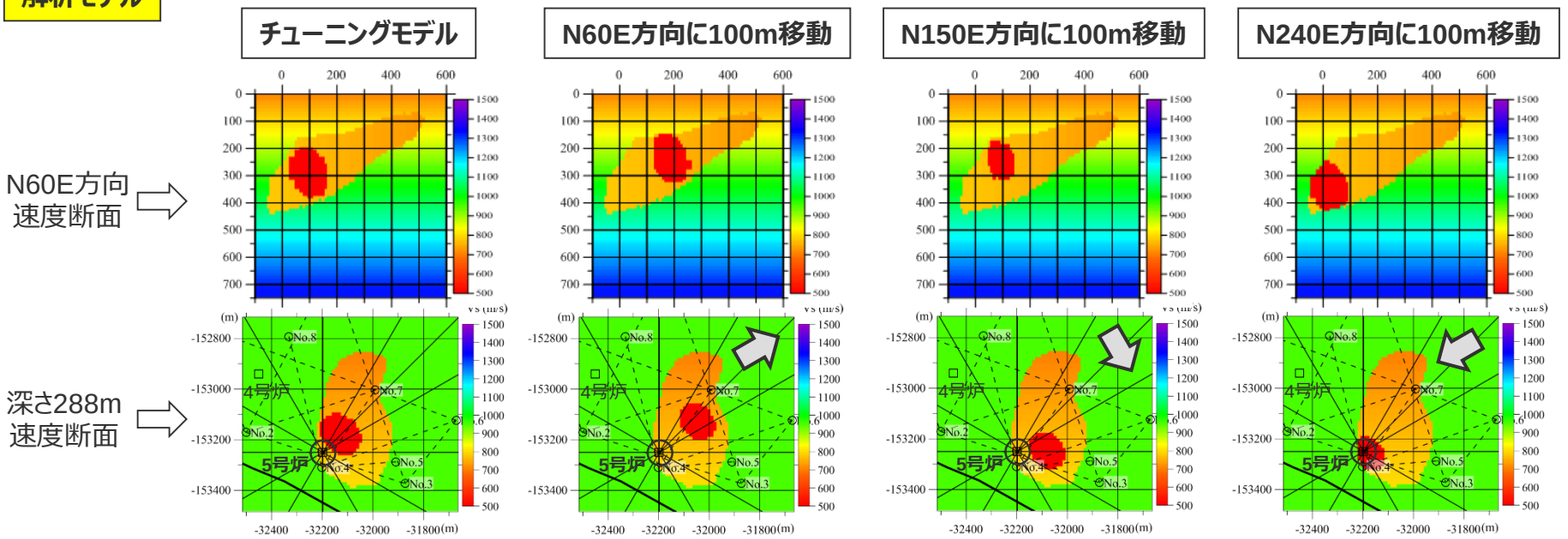
○小低速度層のS波速度が大きくなると（速度コントラストが小さくなると）、チューニングモデルに比べて、増幅が見られる周期帯は限定されない傾向がある。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

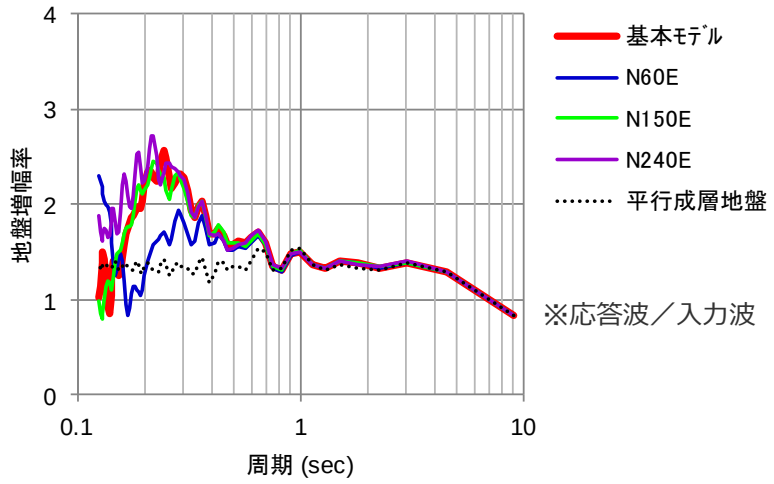
浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（位置））

解析モデル



解析結果（５号炉位置の地盤増幅率※）



○チューニングモデルの小低速度層に対して、N60E方向（2009年駿河湾の地震方向）、N150E方向（2009年駿河湾の地震方向と直交方向）、N240E方向（2009年駿河湾の地震方向と逆方向）へそれぞれ100m移動した場合のパラメータスタディを実施。

○N60E方向へ移動したモデルでは、チューニングモデルより増幅率は小さくなり、これと逆方向（N240E方向）に移動したモデルでは、チューニングモデルより増幅が見られる周期帯は限定されない傾向がある。また、N150E方向へ移動したモデルでは、チューニングモデルの増幅率と同等になっている。

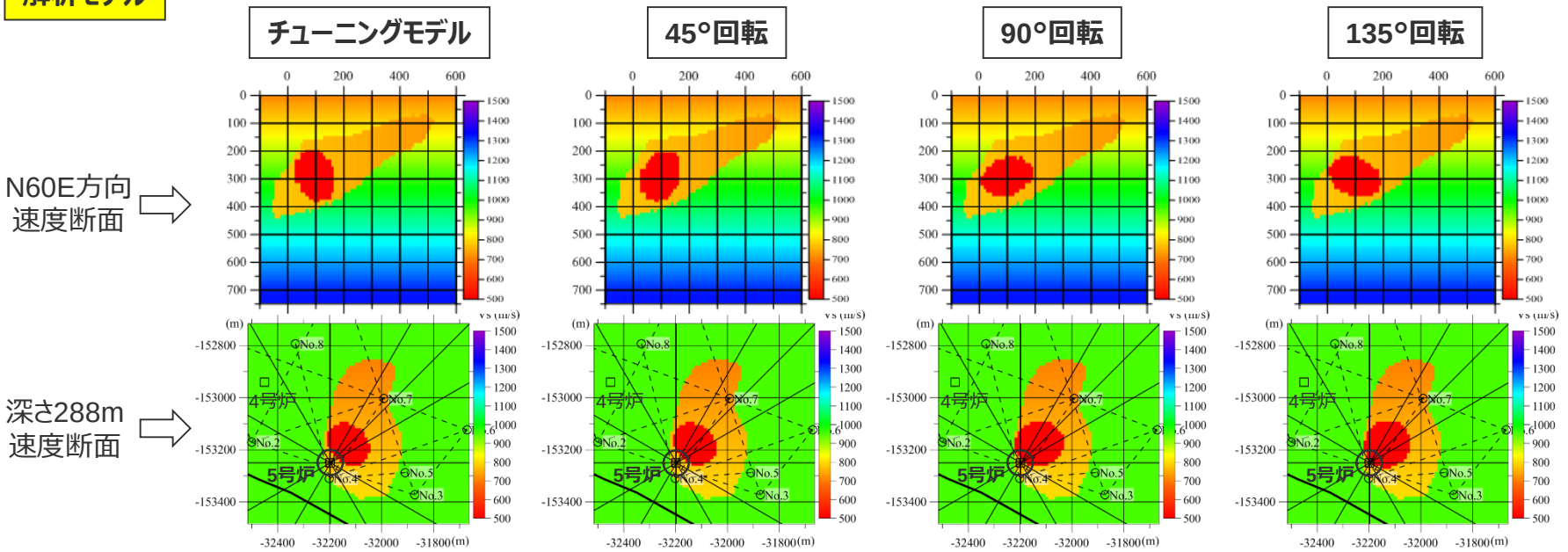
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

第164回
資料2 p.79再掲

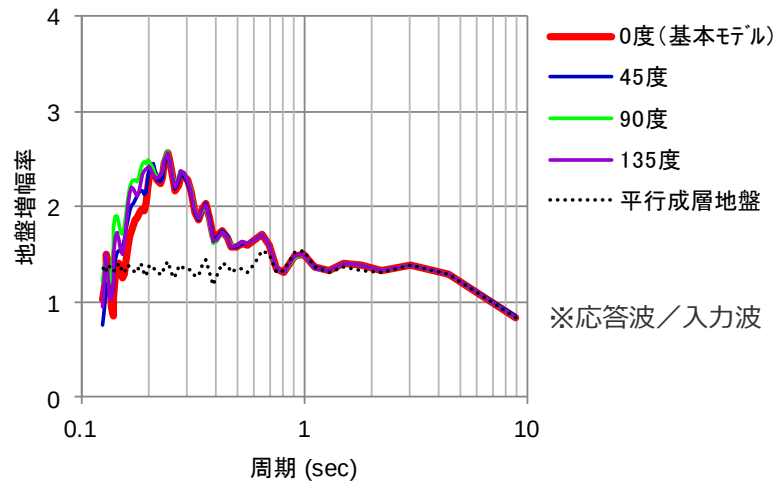
浅部地下構造モデルを用いた解析検討（三次元有限差分法）

（小低速度層に関するパラメータスタディ（形状））

解析モデル



解析結果（５号炉位置の地盤増幅率※）



○チューニングモデルの小低速度層に対して、2009年駿河湾の地震方向にそれぞれ45°、90°、135°回転させた場合のパラメータスタディを実施。
○いずれの解析結果もチューニングモデルと大きく変わらないが、増幅が見られる周期帯は若干短周期側に広がっている。

○以上のパラメータスタディによると、小低速度層の「サイズ」、「物性値（S波速度）」、「位置」、「形状」によって地盤増幅率は変化するが、チューニングモデルの解析結果は地震観測記録の特徴と整合しており、このパラメータスタディを踏まえても、チューニングモデルの妥当性に支障はない。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

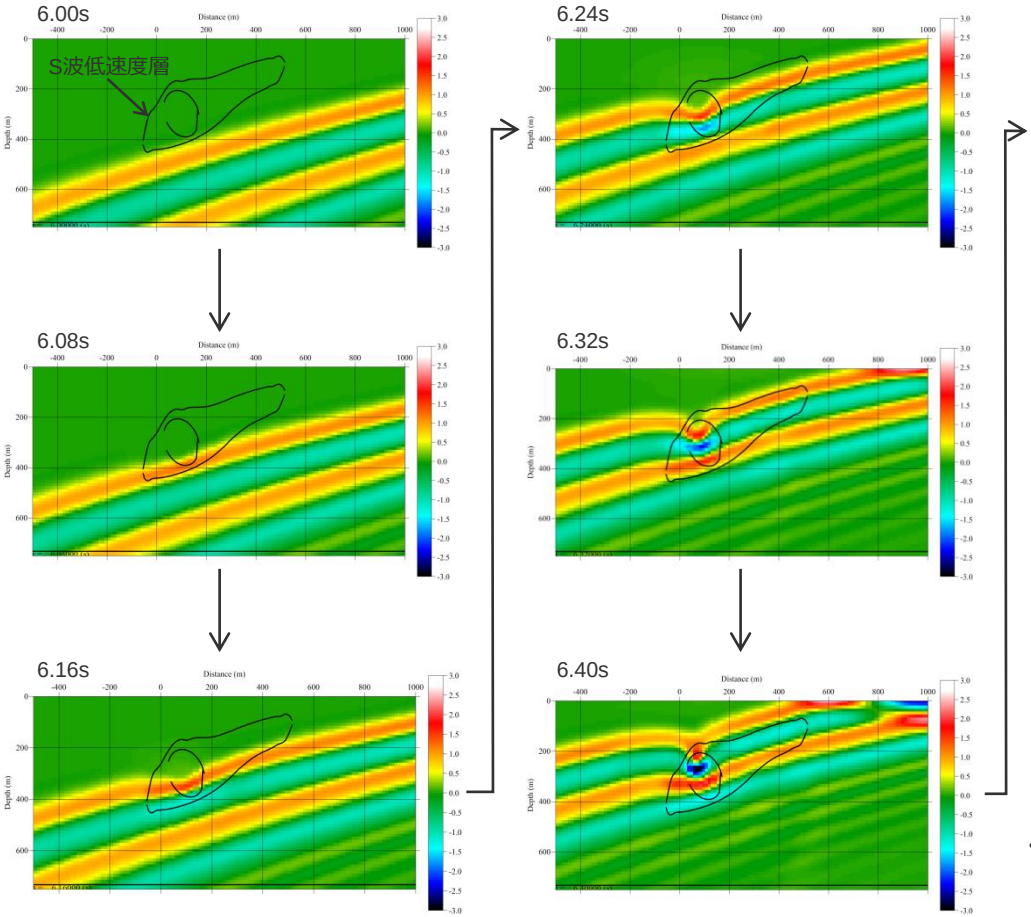
<補足説明資料①-09 浅部地下構造モデルの設定及び解析検討>

第128回
資料1 p.117一部修正

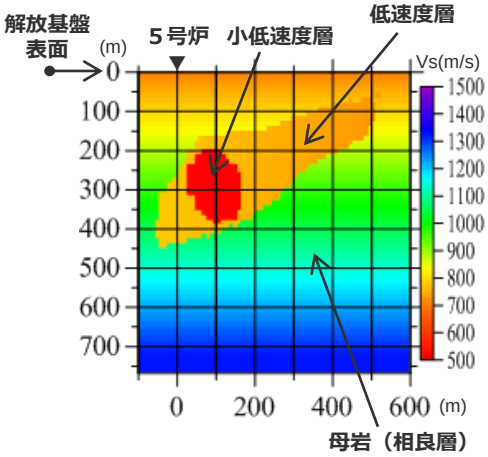
5号炉周辺の地震波の増幅メカニズム

（浅部三次元地下構造モデルを用いた三次元有限差分法による解析結果（スナップショット）の分析）

○三次元有限差分法による解析結果の時間断面毎のスナップショットによると、下方から伝播する平行な波面が低速度層・小低速度層を通過すると、下に凹形状に屈曲していき、それとともに一部の振幅が大きくなっている。



・横軸Distance(m)の＋側がN60E方向
－側がN240E方向



<浅部三次元地下構造モデル>
（2009年駿河湾の地震方向の断面）

<三次元有限差分法による解析結果の時間断面毎のスナップショット（N60E方向断面、0.08秒刻み）>
（入力波：BELL型連続波、入射方向：N60E方向、入射角：20°）

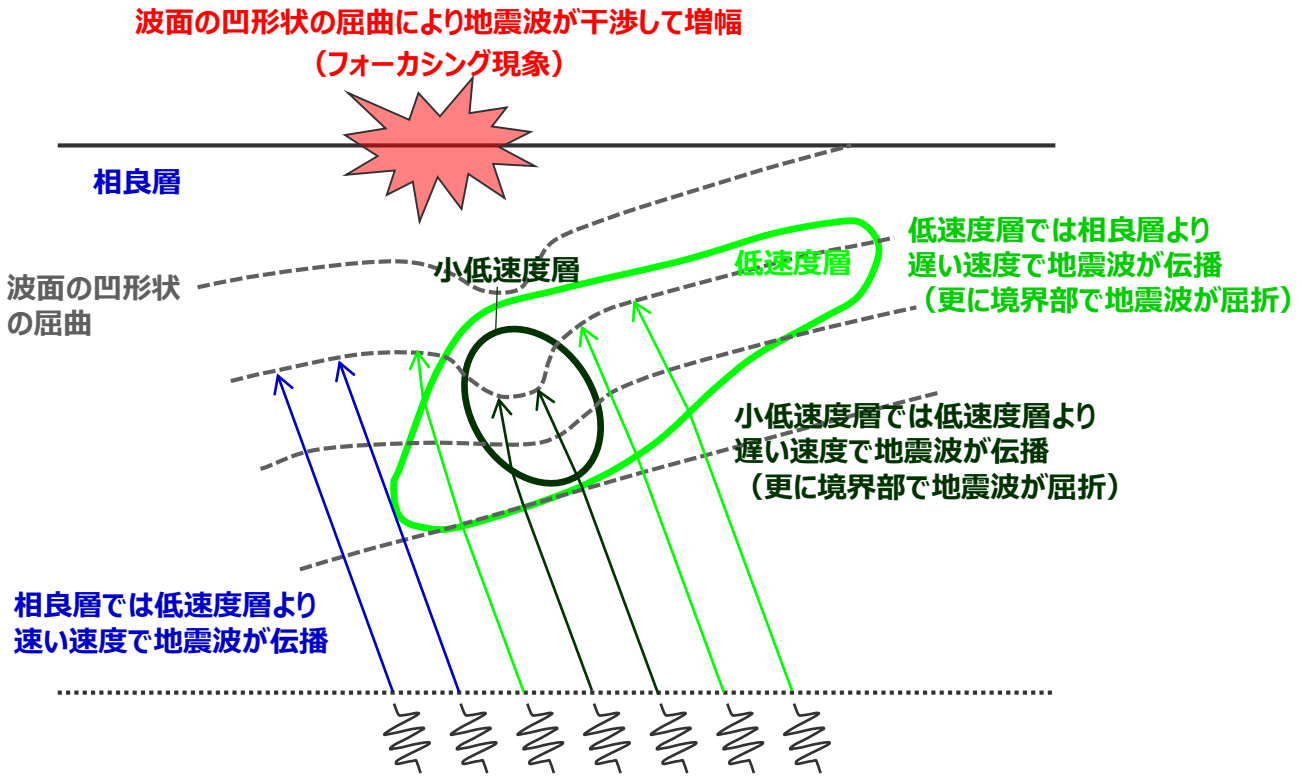
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

第128回
資料1 p.118一部修正

5号炉周辺の地震波の増幅メカニズムの考察

○下方から伝播する地震波は、低速度層、小低速度層それぞれの境界部で屈折するとともに、それぞれの層内の伝播速度が異なることにより、その波面が凹形状に屈曲する。この波面の凹形状の屈曲により地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象が５号炉周辺の地震動の増幅メカニズムと分析した。



Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

補足説明資料①-10
地震波の伝播経路に関する検討

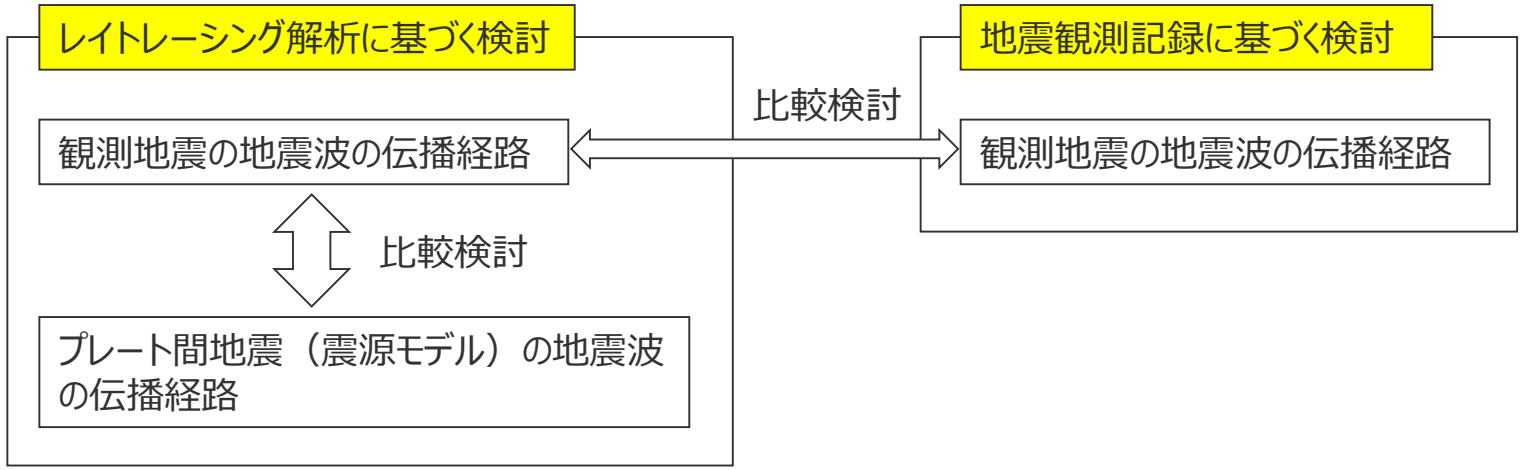
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（検討概要）

第164回
資料2 p.120再掲

○４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路について、観測地震の地震波及び敷地への影響が大きいプレート間地震（震源モデル）の地震波を対象として、レイトレーシング解析及び観測記録に基づき検討する。



○４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路の特徴（低速度層との関係を含む）、観測地震の地震波とプレート間地震（震源モデル）の地震波の伝播経路の関係等について把握する。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・まとめの記載（既往報告）を下段に追加。

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

第194回
資料1 p.32再掲

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（４号炉に到達する波線の分析（概要））

○多数の観測記録が得られている多点連続地震観測における観測地震及び内閣府(2012)によるプレート境界面（震源モデルの断層面に相当）の震源を対象としてレイトレーシング解析を行い、４号炉に到達する主要な地震波の伝播経路（波線）について検討する。

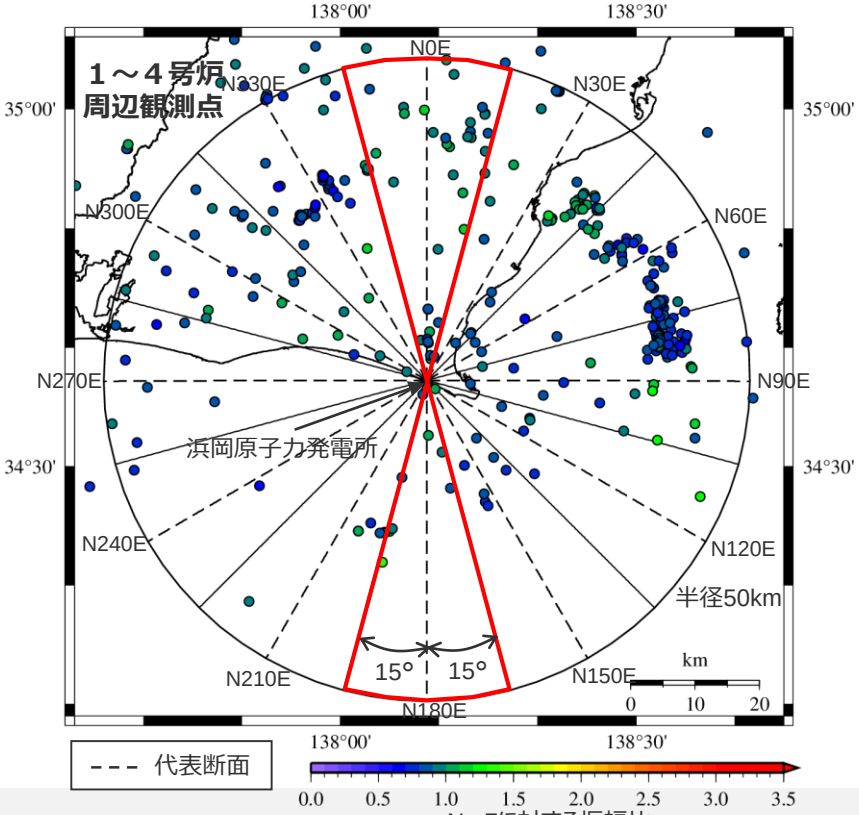
・レイトレーシング解析に用いる地下構造モデルについて、前述の深部三次元地下構造モデルに基づき、敷地から半径50kmを含む範囲まで拡張。

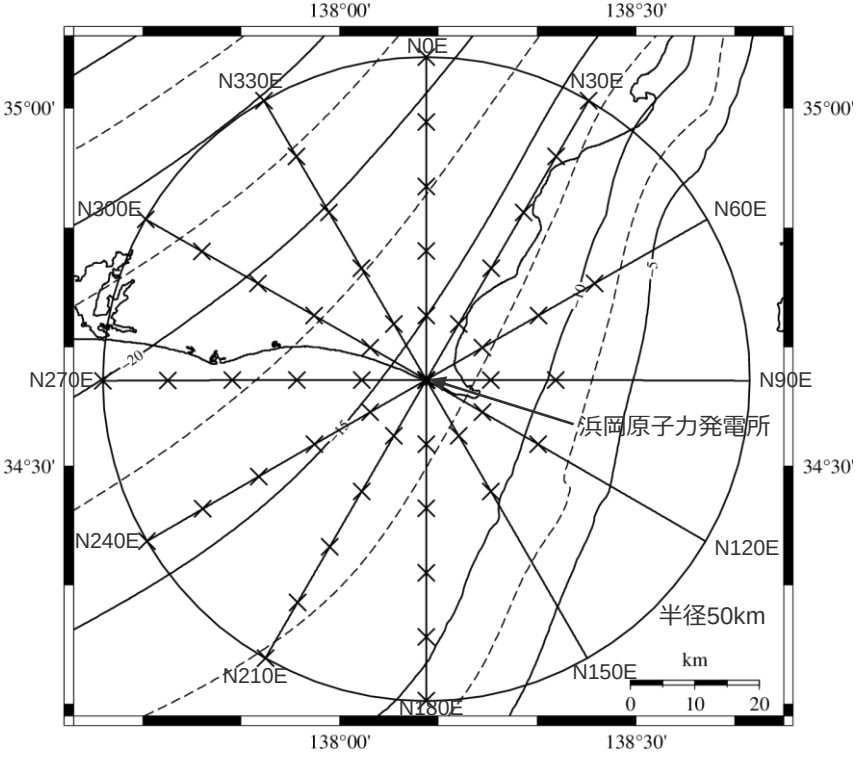
①観測地震（多点連続地震観測）の
レイトレーシング解析

・代表断面毎にレイトレーシング解析を実施
：代表断面は地震波到来方向30°毎
：代表断面±15度の範囲内にある観測地震を対象

②プレート境界面（内閣府(2012)）の震源の
レイトレーシング解析

・下図の×印毎にレイトレーシング解析を実施
：地震波到来方向30°毎
：敷地からの水平距離10km毎
（深さ約10km以浅は除く）





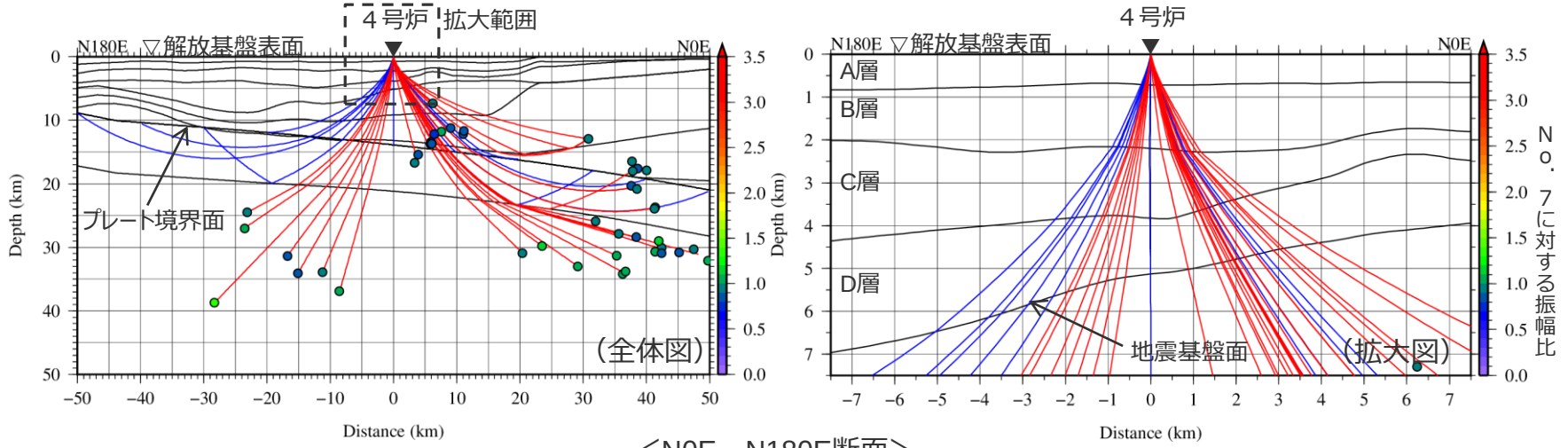
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

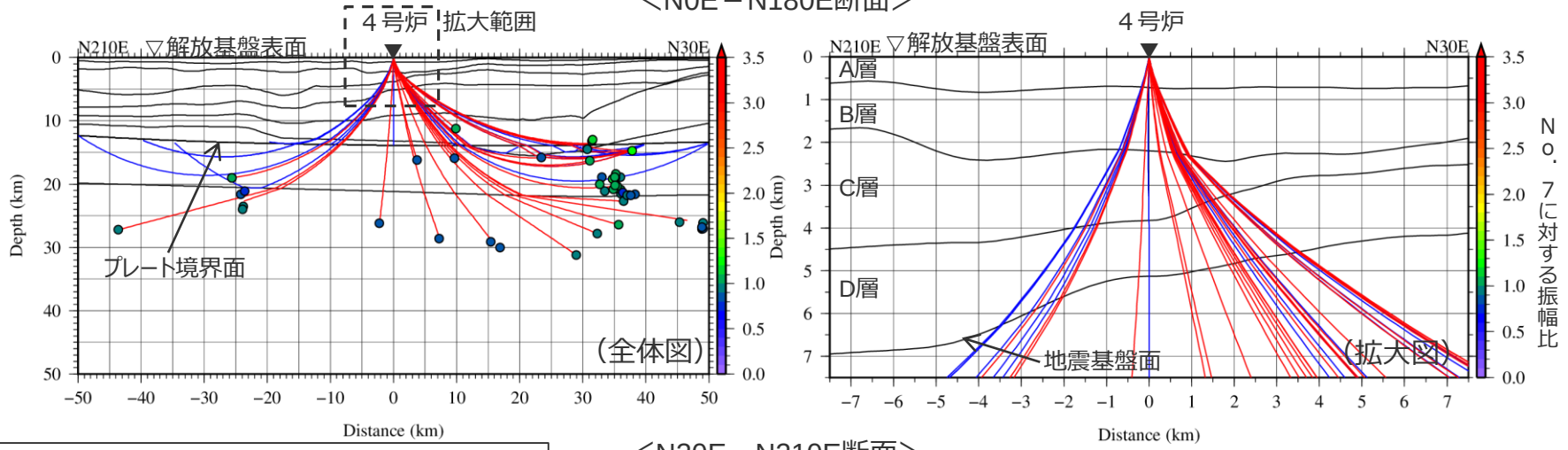
第164回
資料2 p.122再掲

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（レイトレーシング解析に基づく検討（４号炉に到達する波線） １／３）

○ ４号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線について、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、地震基盤面以浅では概ね同様の伝播経路となっている。



<N0E－N180E断面>



<N30E－N210E断面>

４号炉に到達する観測地震の波線
４号炉に到達するプレート境界面の震源の波線

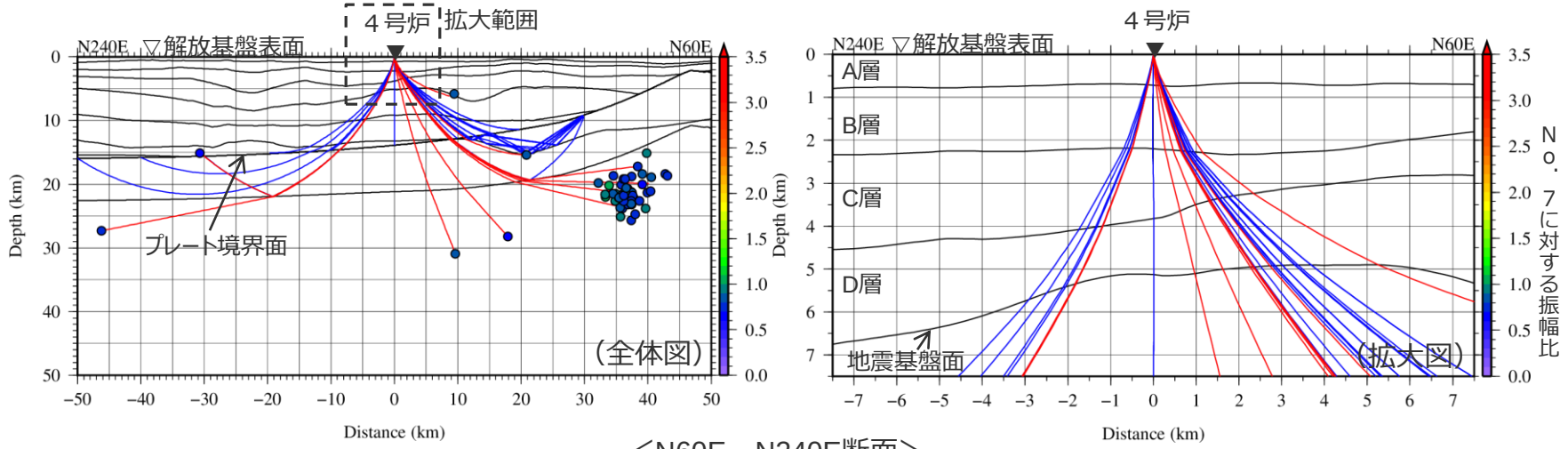
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

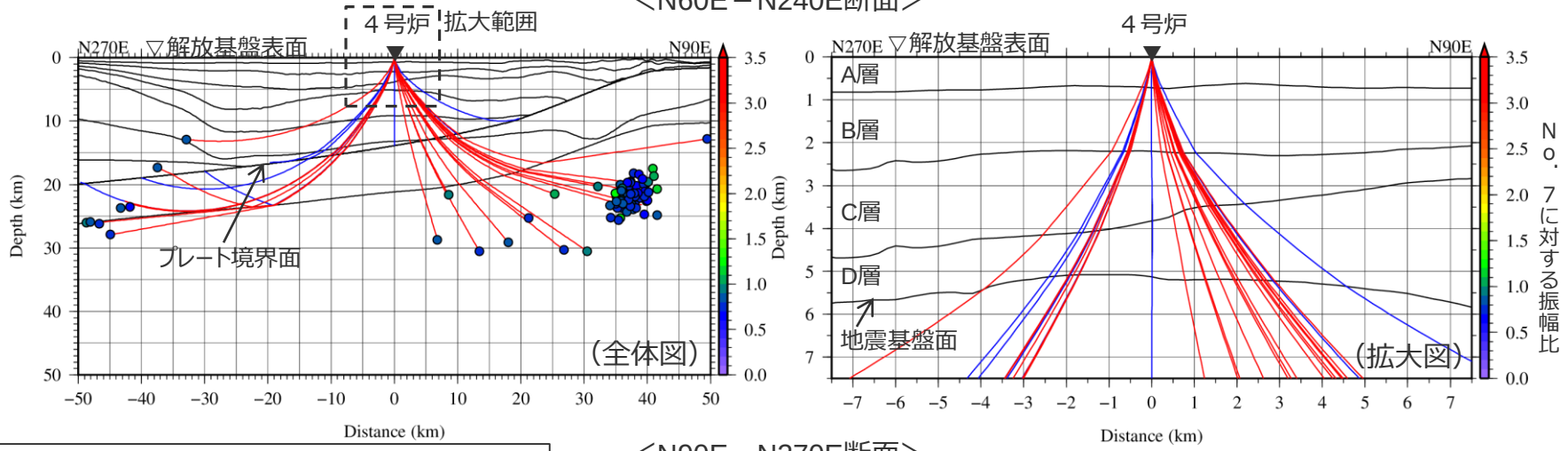
第194回
資料1 p.33再掲

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（レイトレーシング解析に基づく検討（４号炉に到達する波線）２／３）

○４号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線について、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、地震基盤面以浅では概ね同様の伝播経路となっている。



<N60E－N240E断面>



<N90E－N270E断面>

４号炉に到達する観測地震の波線
４号炉に到達するプレート境界面の震源の波線

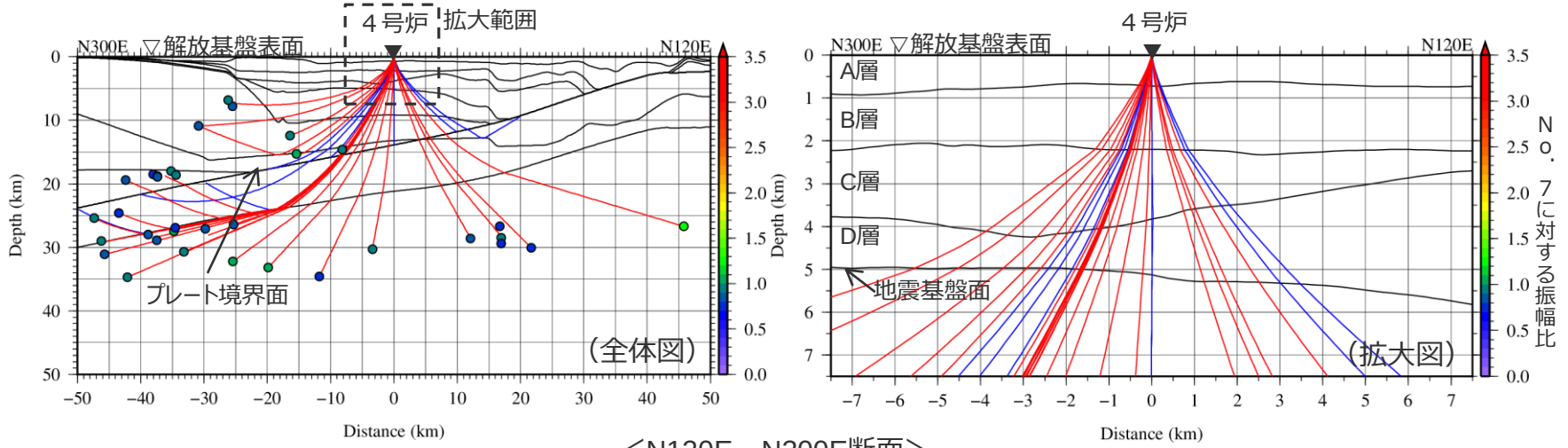
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

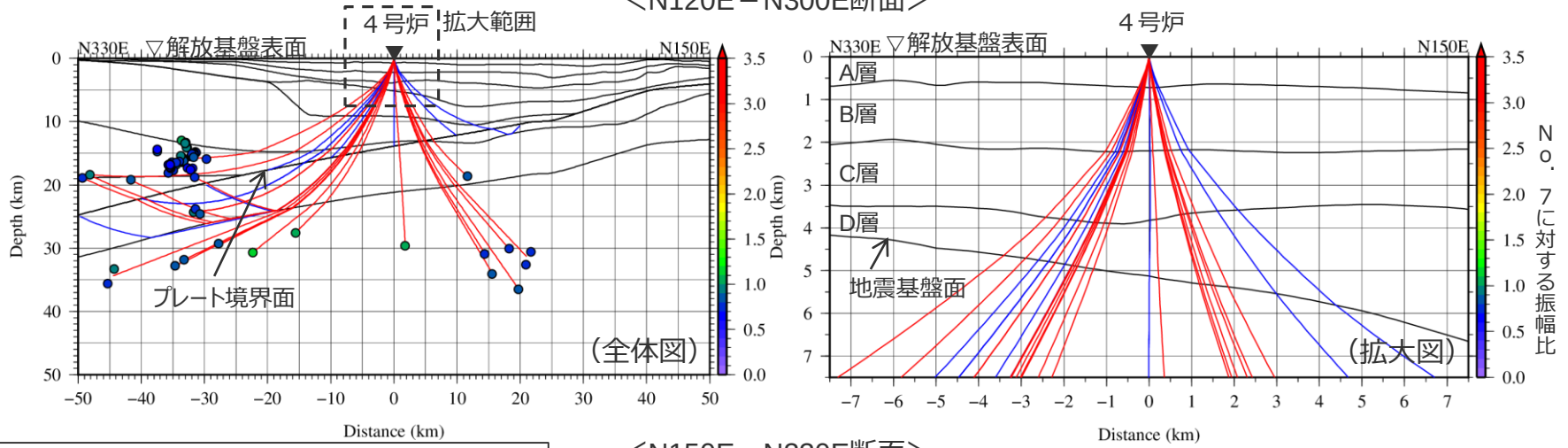
第164回
資料2 p.124再掲

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（レイトレーシング解析に基づく検討（４号炉に到達する波線）３／３）

○４号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線について、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、地震基盤面以浅では概ね同様の伝播経路となっている。



<N120E－N300E断面>



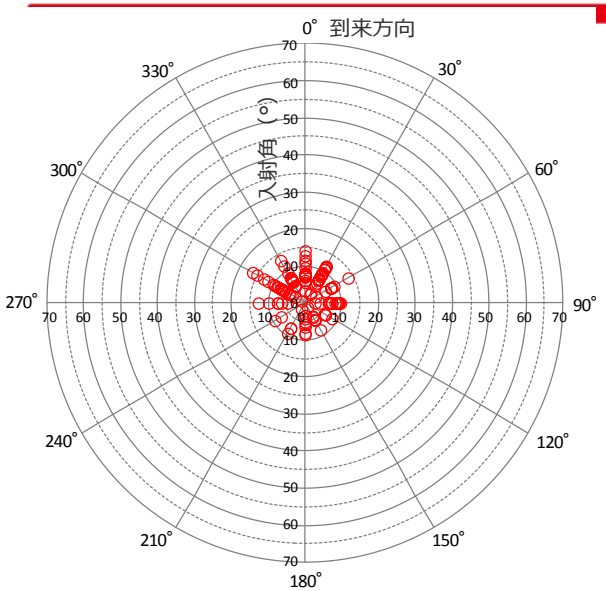
<N150E－N330E断面>

４号炉に到達する観測地震の波線
４号炉に到達するプレート境界面の震源の波線

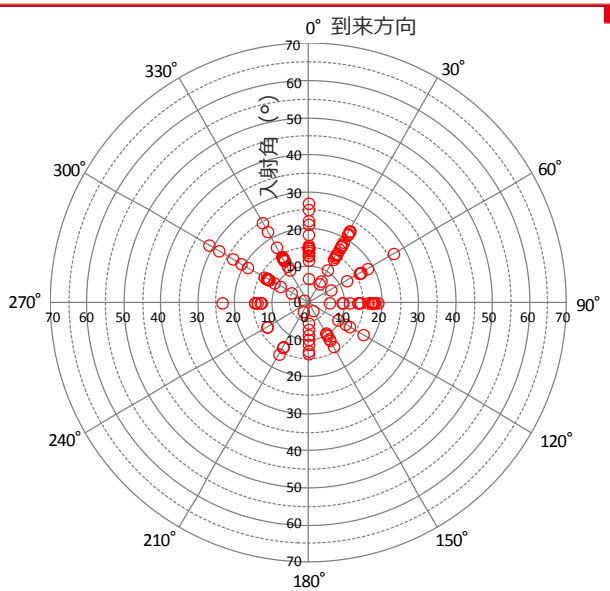
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

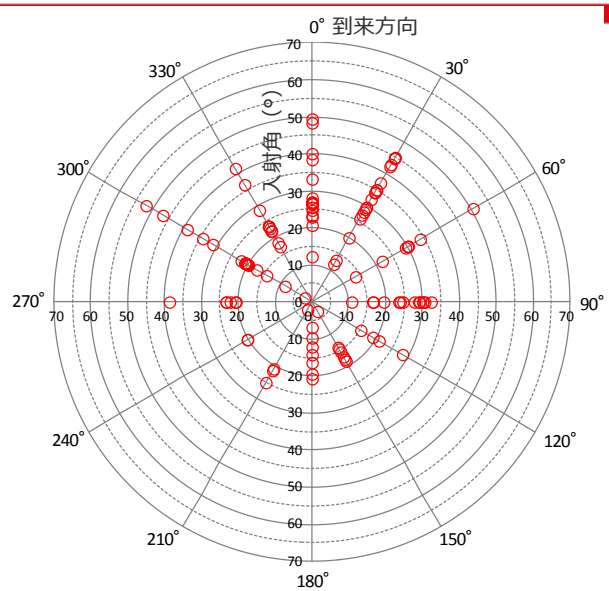
４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（レイトレーシング解析に基づく検討（観測地震の入射角））



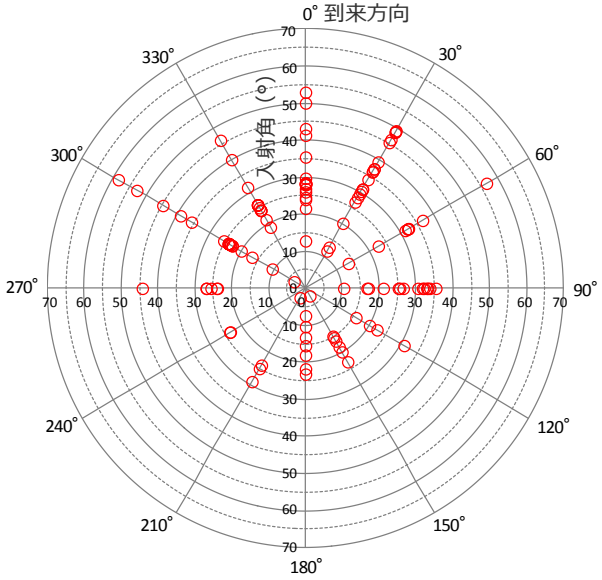
解放基盤表面



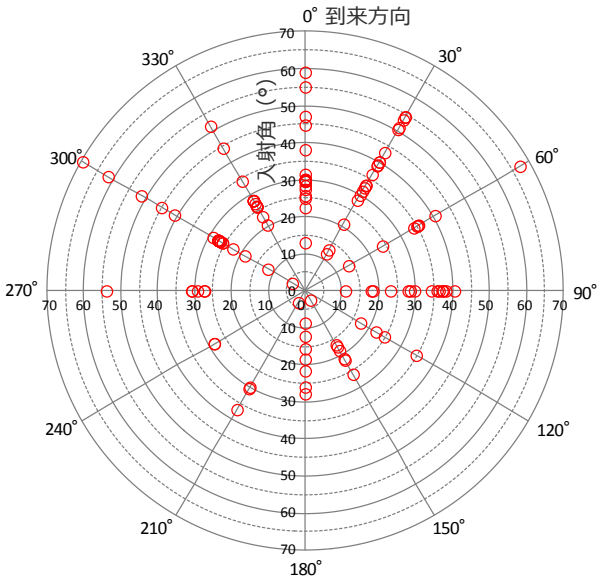
A層下面※



B層下面



C層下面



地震基盤面

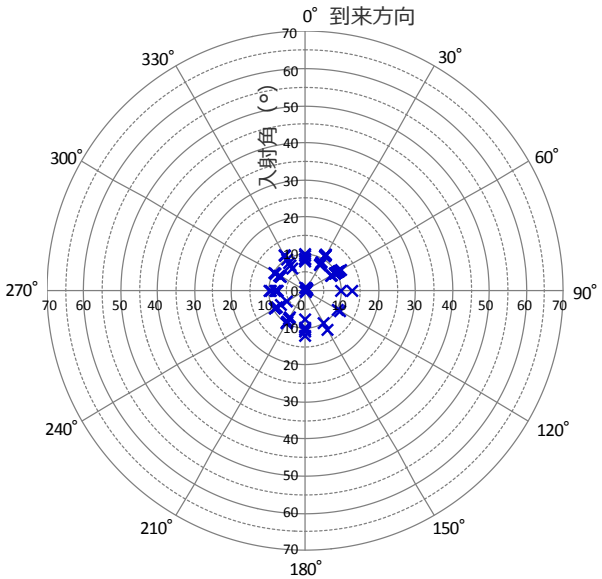
○：観測地震の入射角

○ **<u>４号炉に到達する観測地震の波線</u>**について、地震基盤面では入射角が大きい震源も見られるが、**<u>上方に伝播するにつれて鉛直下方に近づき</u>**、浅部三次元地下構造モデルのモデル底面に相当する**<u>A層下面では20°程度</u>**、**<u>解放基盤表面では10°程度</u>**となっている。

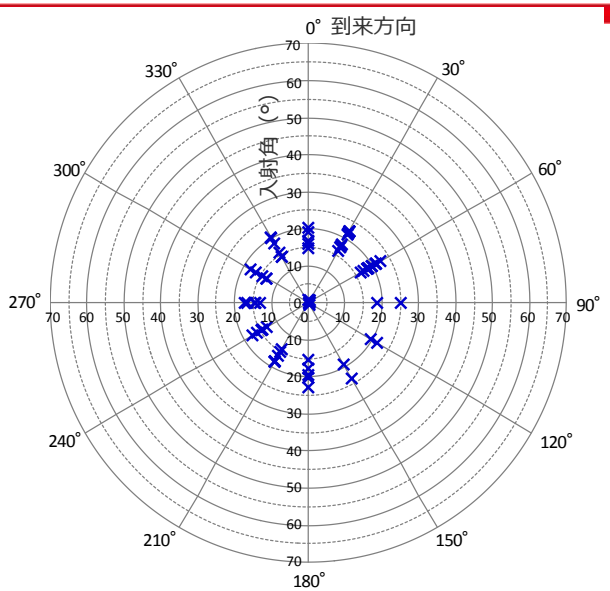
※浅部三次元地下構造モデルの底面に相当

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

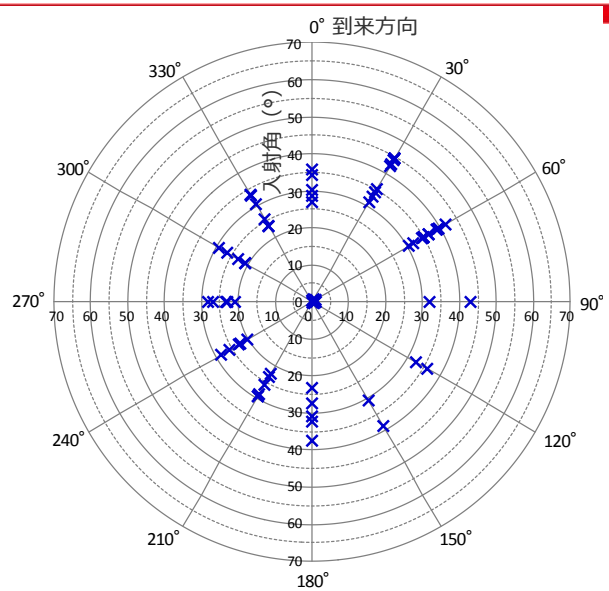
４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（レイトレーシング解析に基づく検討（プレート境界面の震源の入射角））



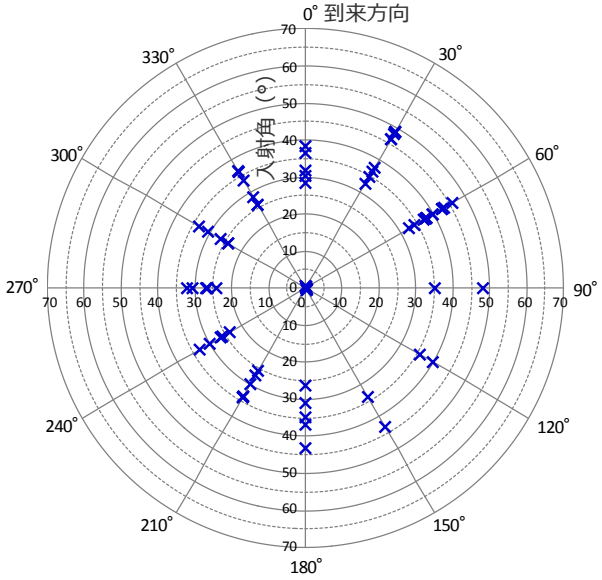
解放基盤表面



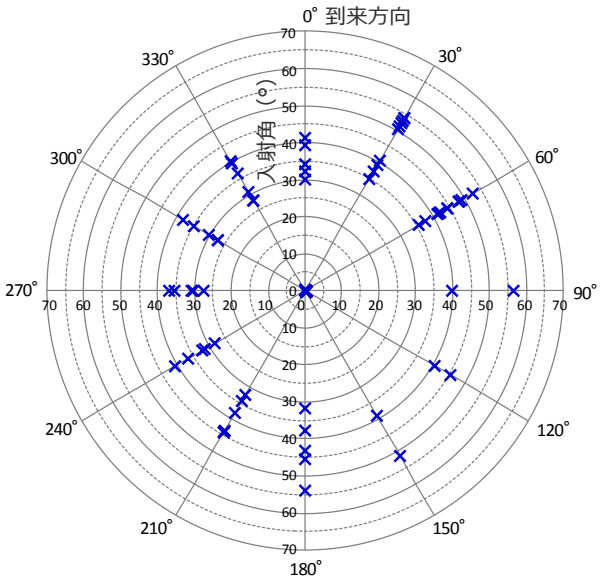
A層下面※



B層下面



C層下面



地震基盤面

×：プレート境界面の震源の入射角

○**４号炉に到達するプレート境界面の震源の波線**について、観測地震同様、地震基盤面では入射角が大きい震源も見られるが、**上方に伝播するにつれて鉛直下方に近づき**、浅部三次元地下構造モデルのモデル底面に相当する**A層下面では20°程度**、**解放基盤表面では10°程度**となっている。

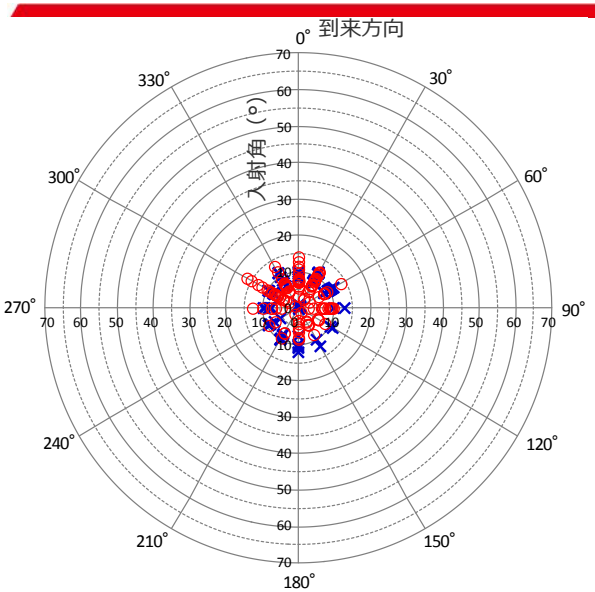
※浅部三次元地下構造モデルの底面に相当

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

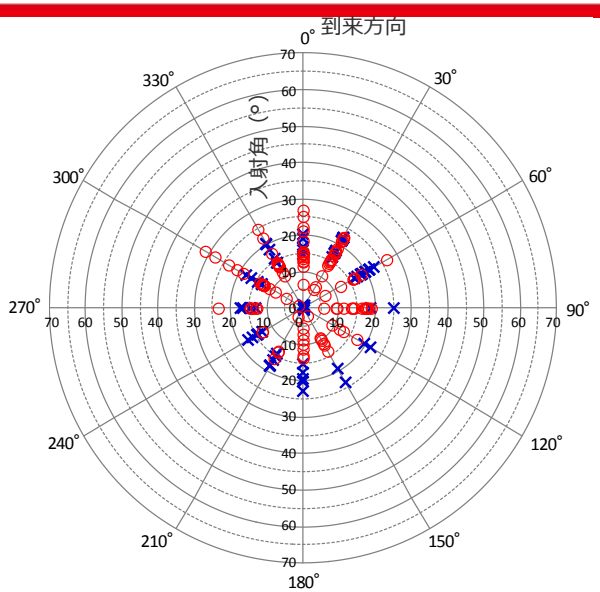
<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

第194回
資料1 p.34一部修正

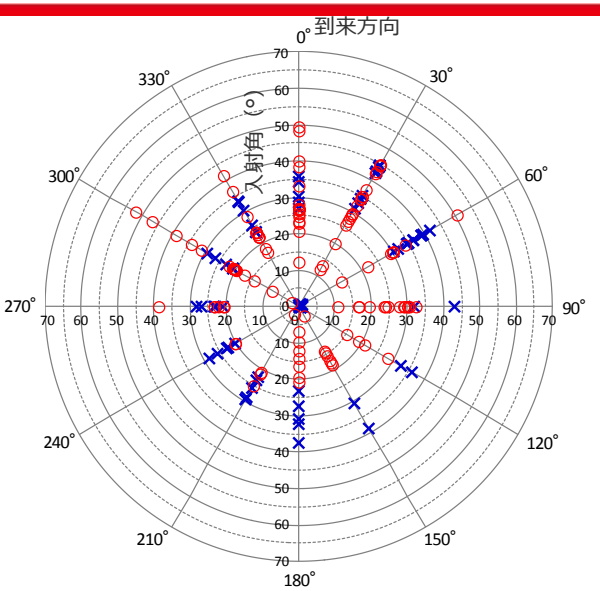
４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（レイトレーシング解析に基づく検討（観測地震及びプレート境界面の震源の入射角の比較））



解放基盤表面

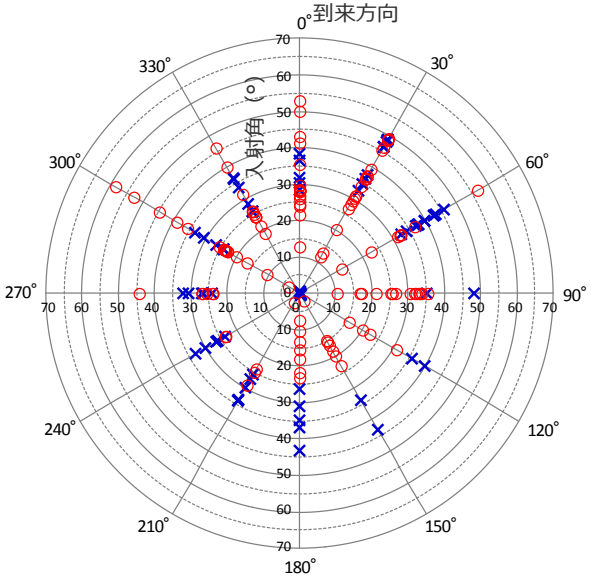


A層下面※

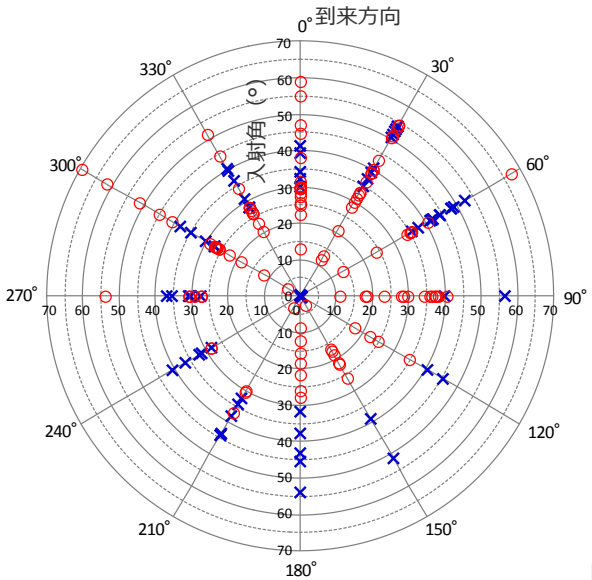


B層下面

○：観測地震の入射角
×：プレート境界面の震源の入射角



C層下面



地震基盤面

○ ４号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線について、**いずれも上方に伝播するにつれて鉛直下方に近づき、同様の入射角**となっている。

⇒**これまでに得られている観測地震の分析結果に基づき、敷地への影響が大きいプレート間地震（震源モデル）の地盤増幅特性についても考慮することができる**と評価。

※浅部三次元地下構造モデルの底面に相当。

・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

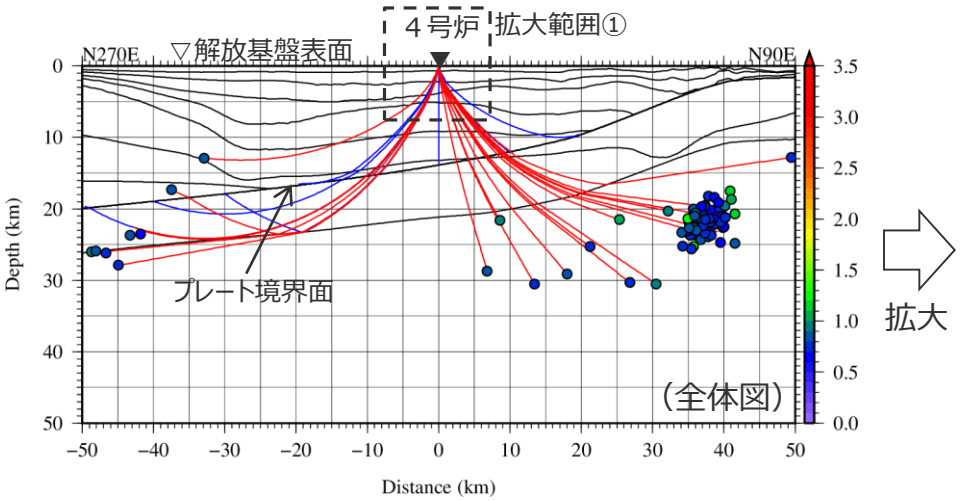
<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

第194回
資料1 p.35一部修正

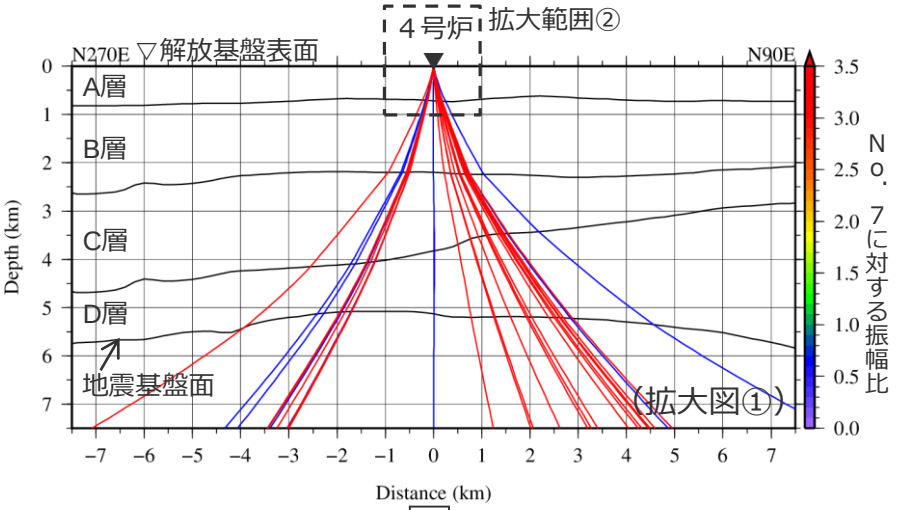
４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路

（レイトレーシング解析に基づく検討（４号炉に到達する波線とS波低速度層との関係）１／２）

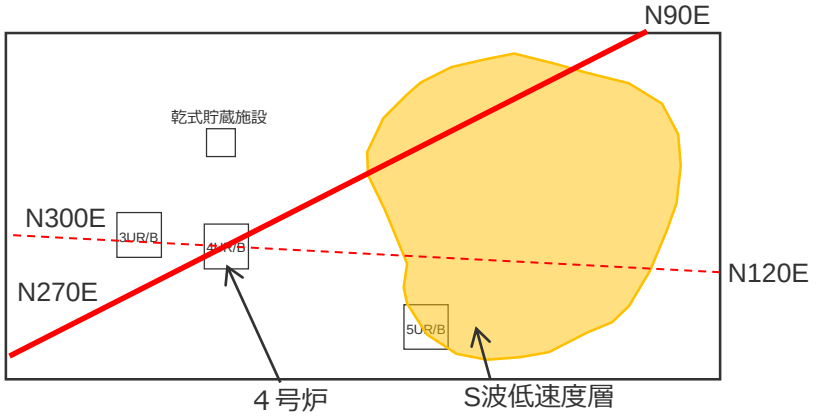
○**４号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線**について、前述のとおり、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、**S波低速度層を伝播しない**。

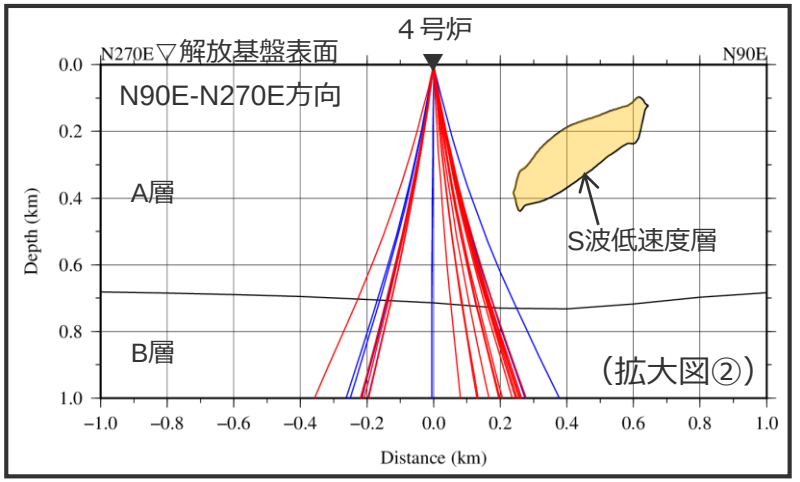


拡大



拡大





４号炉に到達する観測地震の波線
４号炉に到達するプレート境界面の震源の波線

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・箱書き下フレネルゾーンに関する記載を削除。
・敷地図を変更。

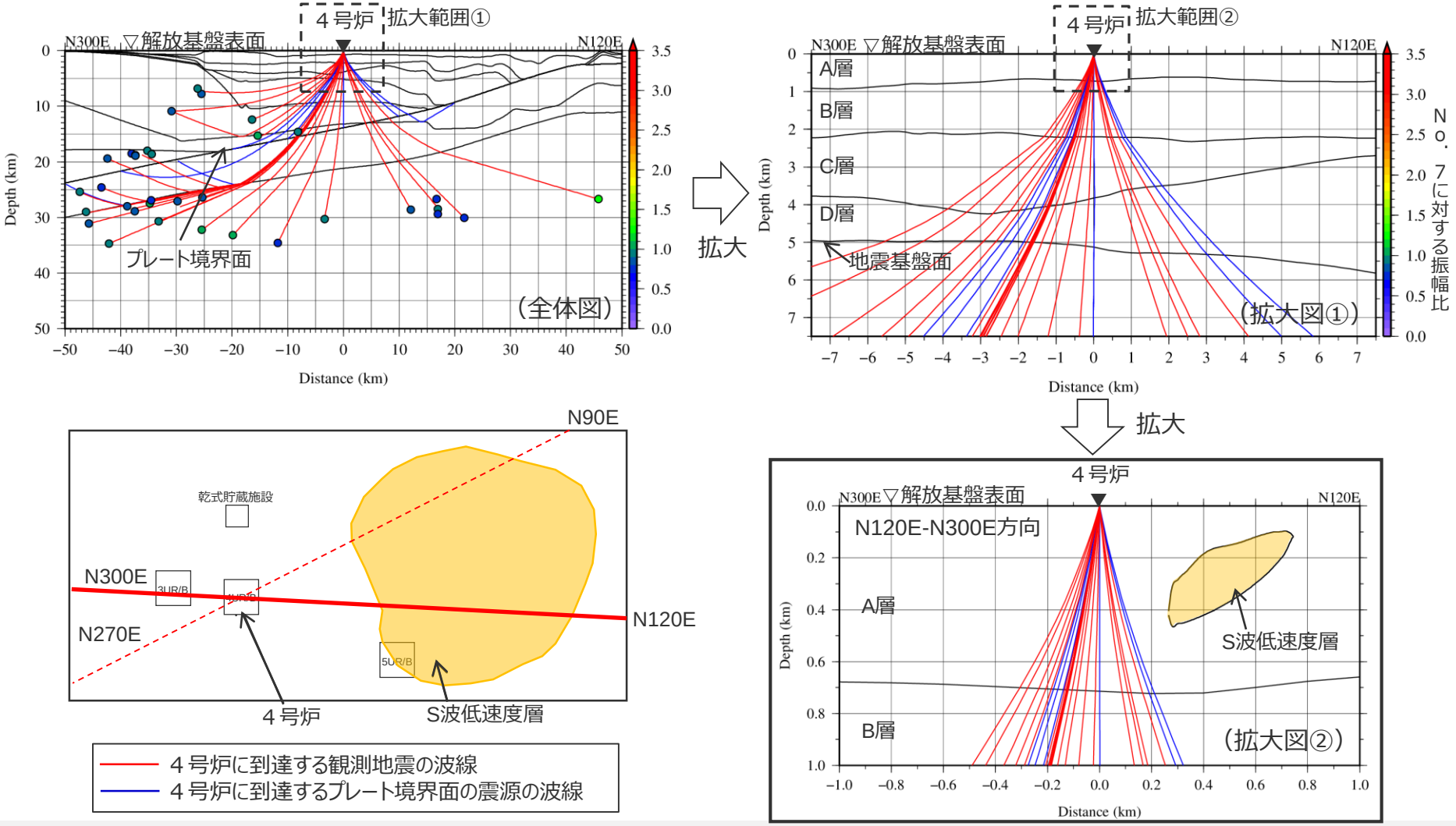
<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

第164回
資料2 p.129一部修正

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路

（レイトレーシング解析に基づく検討（４号炉に到達する波線とS波低速度層との関係）２／２）

○**４号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線**について、前述のとおり、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、**S波低速度層を伝播しない**。



Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・敷地図を変更

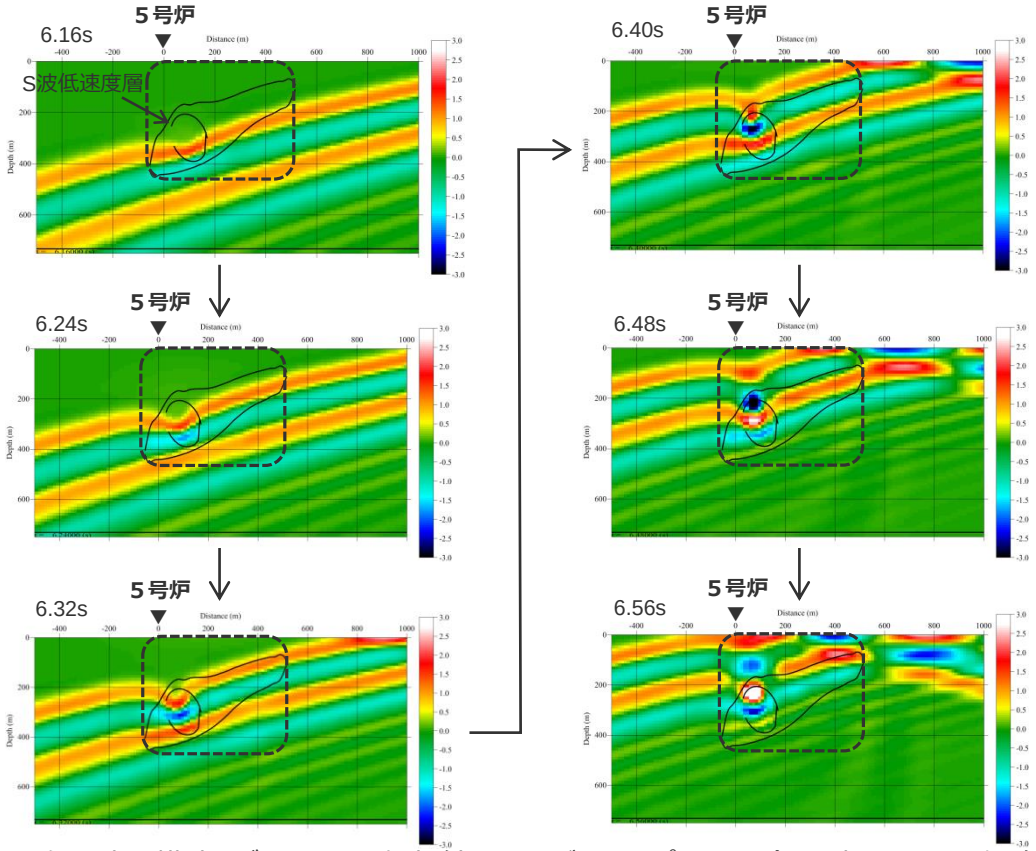
<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（スナップショット（浅部三次元地下構造モデルの解析結果）に基づく検討）

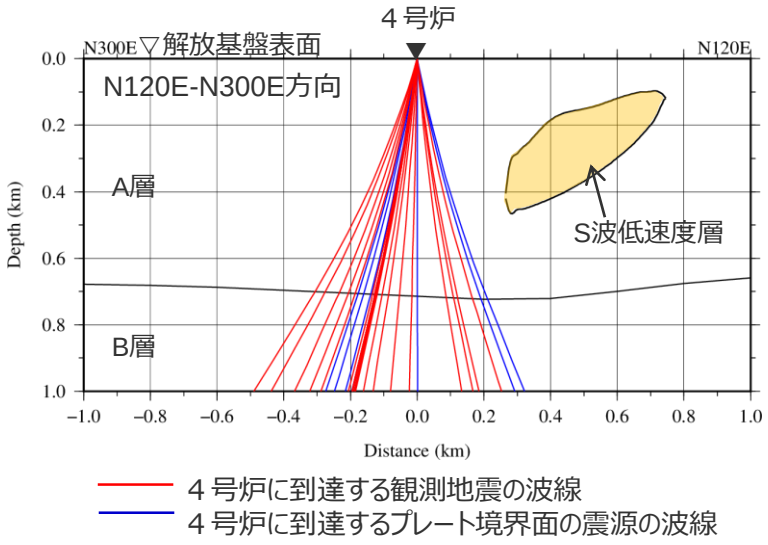
第194回 資料1 p.35
第940回 資料2 p.39
合体

○ S波低速度層による５号炉周辺の地震波の増幅メカニズムについて、低速度層、小低速度層、相良層（母岩）の伝播速度が異なることにより、地震波の波面が凹形状に屈曲し、これにより地震波が干渉して増幅するフォーカシング現象と分析される。
○ 地震波の増幅メカニズムがこの波面の凹形状の屈曲に起因するため、**S波低速度層が影響を及ぼす範囲は、５号炉周辺等のS波低速度層の上部付近に限られる**。

⇒ ５号炉周辺の下方にはS波低速度層が確認されており、一部の方向で**５号炉周辺はS波低速度層による影響を受ける**が、５号炉から離れた４号炉周辺の下方にはS波低速度層が確認されていないことから、**４号炉周辺はS波低速度層による影響を受けない**と評価した。



<浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果に基づくスナップショット（５号炉から2009年駿河湾の地震方向の断面、0.08秒刻み）>
（入力波：BELL型連続波、入射方向： 2009年駿河湾の地震方向、入射角：20°）



４号炉に到達する観測地震の波線
４号炉に到達するプレート境界面の震源の波線

<レイトレーシング解析結果（拡大図）>

４号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線は、上方へ伝播するにつれて鉛直下方に近づいており、S波低速度層を伝播しない。

・横軸Distance(m)の＋側がN60E方向
　－側がN240E方向

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

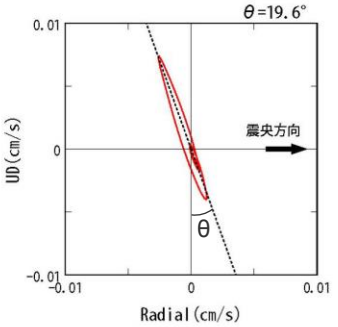
・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

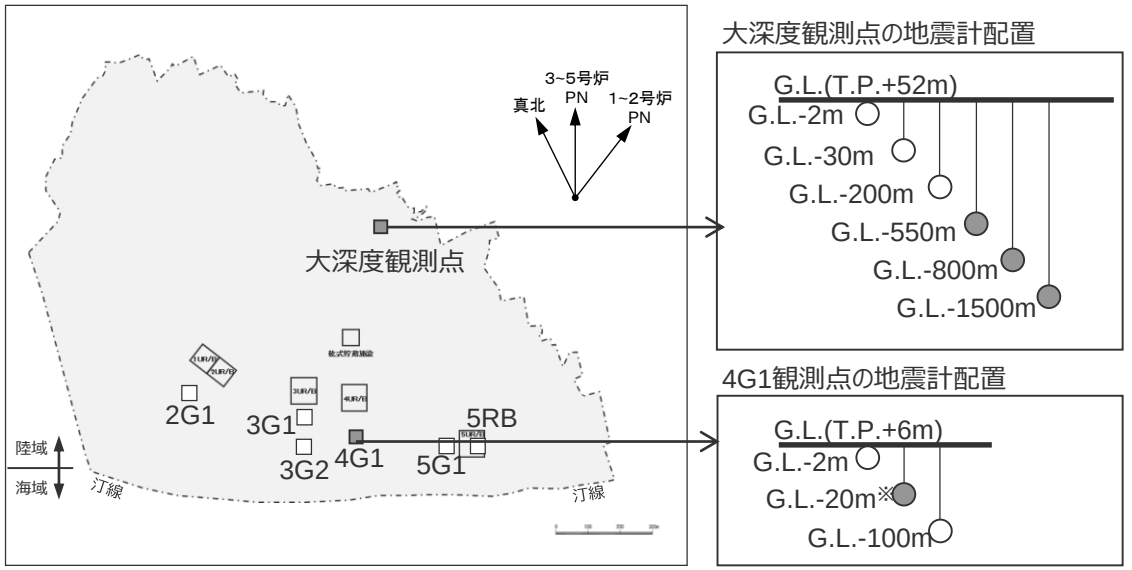
第164回
資料2 p.131一部修正

4号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（地震観測記録に基づく検討（概要））

○地震観測記録のP波初動部から算出したRadial-UD方向のオービットに基づき、観測地震の入射角を検討する。
○検討に用いる観測点について、深部には大深度観測点（G.L.-550m，-800m，-1500m）を、浅部には4G1観測点（解放基盤表面）を用いる。

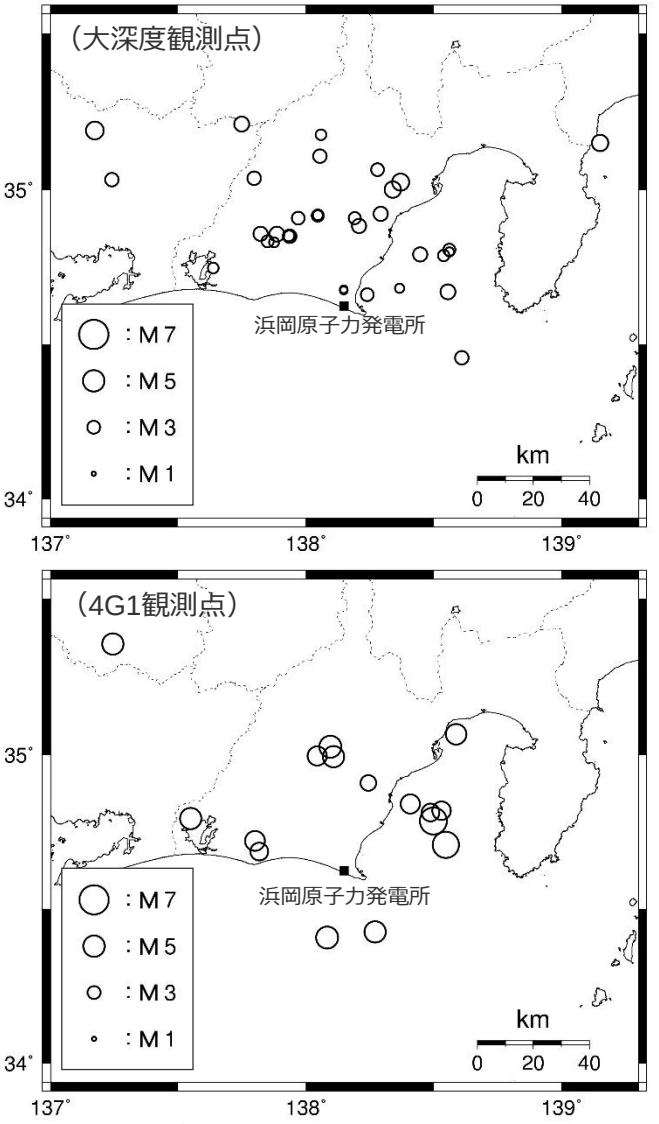


入射角の検討例
（G.L.-1500m）



●：検討に用いる地震計
※解放基盤表面付近

<地震計の配置図>



<検討に用いる観測地震の震央分布>

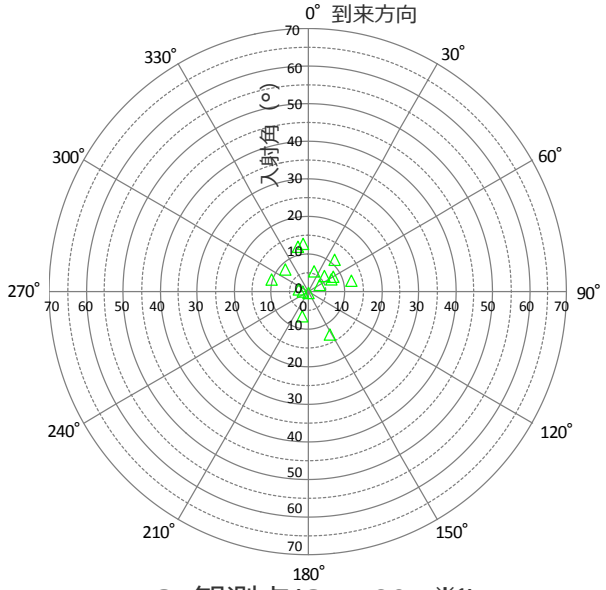
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。
・敷地図を変更。

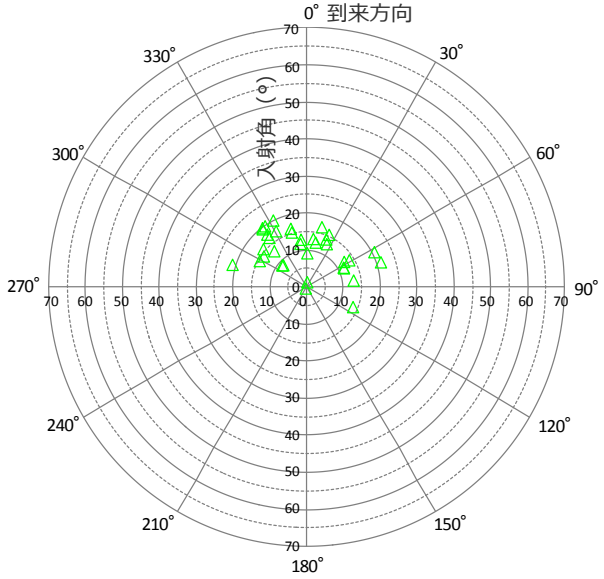
<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路

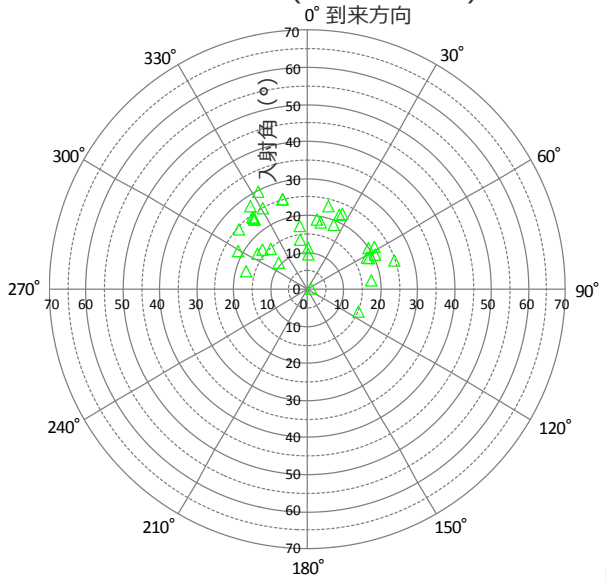
（地震観測記録に基づく検討（観測地震の入射角））



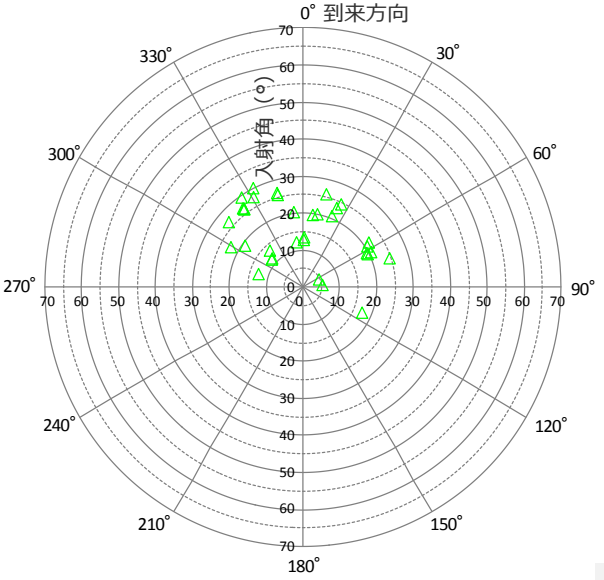
4G1観測点(G.L.-20m※1)



大深度観測点（G.L-550m）



大深度観測点（G.L-800m※2）



大深度観測点（G.L-1500m）

○地震観測記録に基づく観測地震の入射角についても、上方に伝播するにつれて鉛直下方に近づき、浅部三次元地下構造モデルのモデル底面に相当するG.L.-800mでは20°程度、解放基盤表面では10°程度となっている。

△：観測地震の入射角（観測記録に基づく）

※1 解放基盤表面付近

※2 浅部三次元地下構造モデルの底面に相当

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

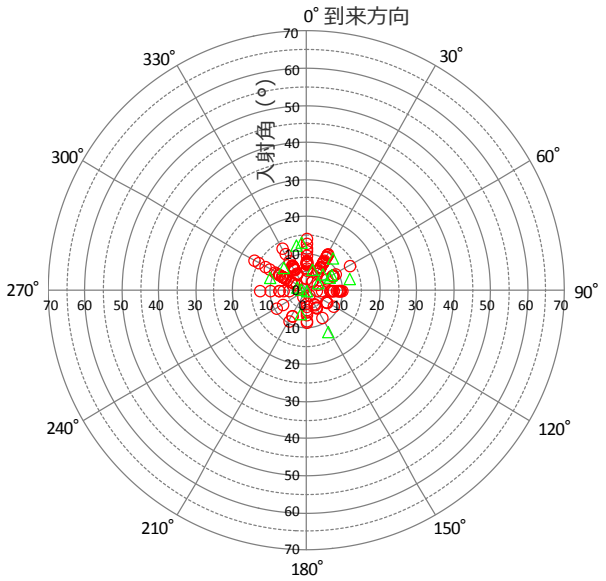
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

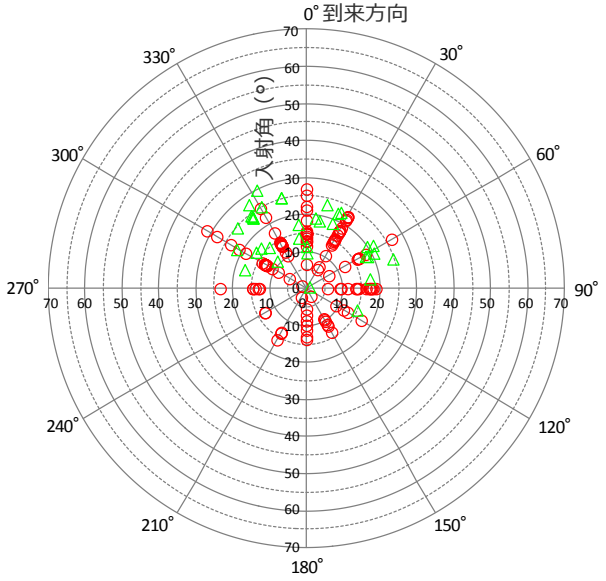
第164回
資料2 p.133再掲

４号炉周辺に到達する地震波の伝播経路
（地震観測記録に基づく検討（観測地震の入射角の比較））

○観測地震について、その震源は異なるものの、観測記録に基づく場合とレイトレーシング解析に基づく場合（前述参照）の入射角の比較検討を行った。
○比較検討が可能な解放基盤表面及び浅部三次元地下構造モデルのモデル底面において、両者は概ね整合しており、それぞれの入射角の妥当性を表している。



<解放基盤表面>
・観測記録：G.L-20m
・レイトレーシング解析：解放基盤表面



<浅部三次元地下構造モデルのモデル底面>
・観測記録：G.L-800m
・レイトレーシング解析：A層下面

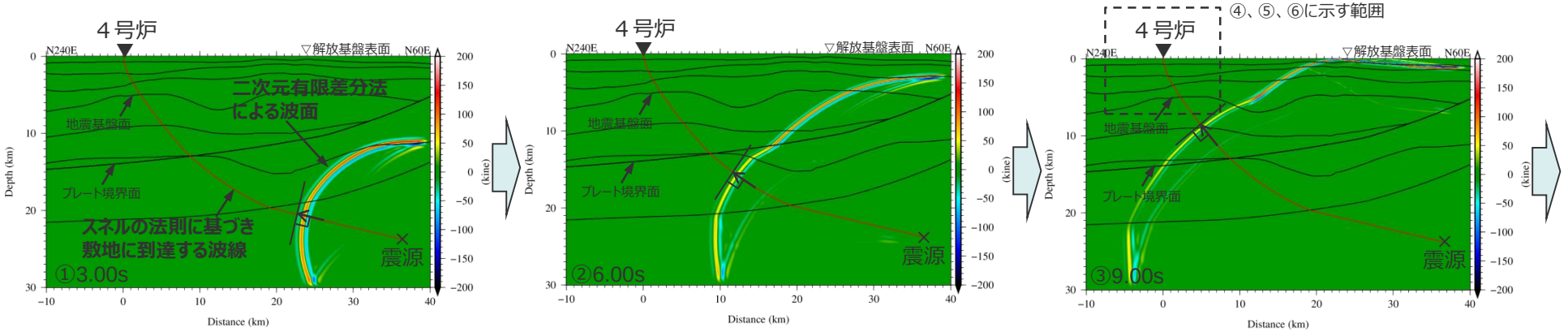
△：観測地震の入射角（観測記録に基づく）
○：観測地震の入射角（レイトレーシング解析に基づく）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

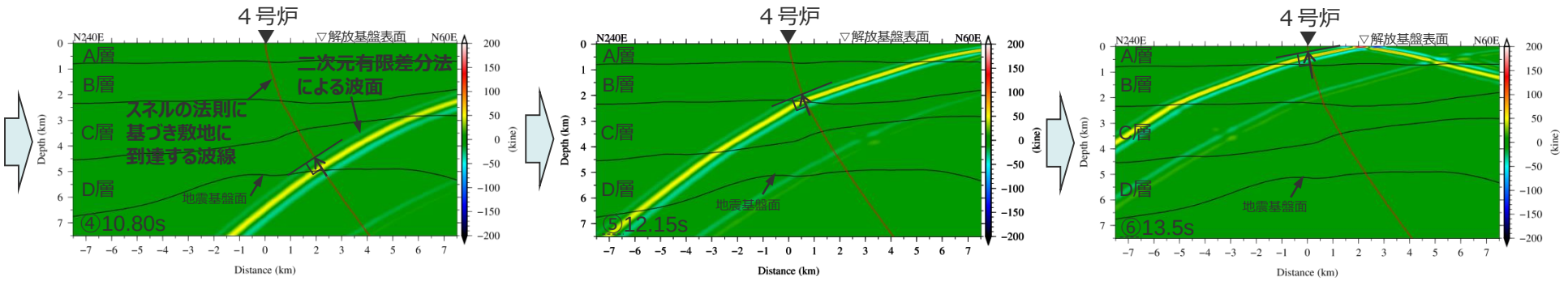
第176回
資料3-2 p.7一部修正

４号炉に到達する波線と主要な地震波との関係

○**レイトレーシング解析による波線**は、スネルの法則に基づいており、**敷地に到達する地震波の最短経路**を表している。
○４号炉に到達する地震波に関して、スネルの法則に基づき敷地に到達する波線と二次元有限差分法による波面を比較すると、振幅が大きい主要な地震波は波線にしたがって伝播しており、**最短経路を表す波線は敷地に到達する主要な地震波の伝播経路を表している**と分析した。



（地震基盤面以深におけるスナップショット）



（地震基盤面以浅におけるスナップショット）

＜４号炉に到達する波線と二次元有限差分法による波面の比較（N60E-N240E方向断面）＞

・解析は二次元有限差分法により実施した。また、発震条件は点加震とし、入力波は中心周波数2.8HzのRicker波とした。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

小括①

第176回
資料3-2 p.8一部修正

地震波の伝播特性（最短経路）に関する検討

○スネルの法則に基づき**４号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線**は、**敷地に到達する地震波の最短経路を表しており、S波低速度層を伝播しない**。

○**最短経路を表す波線は、敷地に到達する主要な地震波の伝播経路を表している**。

地震波の伝播特性（迂回経路）に関する検討

○敷地に到達する地震波には、地震動への寄与は小さいと考えられるが、最短経路以外の経路（以下、「迂回経路」という。）を伝播して到達する地震波も存在する。

○以降では、迂回経路として地震波が伝播する領域について、フレネルゾーンを用いて検討する。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・上段タイトル「（既往報告）」を削除。
・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

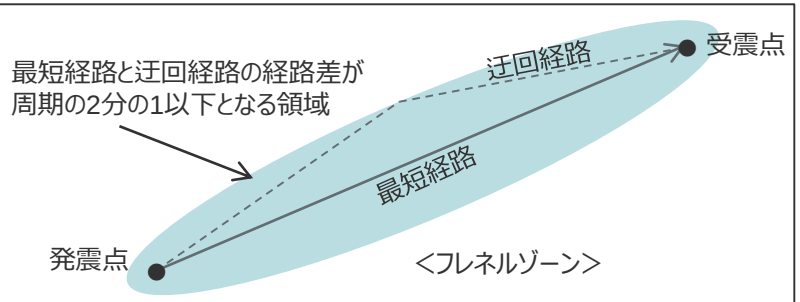
第176回
資料3-2 p.9一部修正

地震波の伝播特性（迂回経路）に関する検討
（フレネルゾーンと算出方法）

フレネルゾーン

○フレネルゾーンは、最短経路の他、ホイヘンスの原理により迂回経路として地震波が伝播する領域を表している。ここでは、Watanabe et al.(1999) に基づき、発震点から受震点に至る最短経路と迂回経路の経路差が周期の2分の1以下となる領域をフレネルゾーン（第一フレネルゾーン）とする。

○4号炉に到達する波線を対象にフレネルゾーンを求め、S波低速度層との位置関係を確認する。



フレネルゾーンの算出方法

○以下に示す手順で4号炉に到達する波線のフレネルゾーンを求めた。

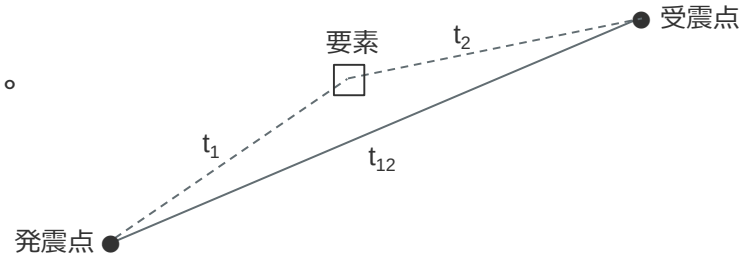
①震源（発震点）から断面上の各要素までの走時 t_1 を算出。

②４号炉（受震点）から断層面上の各要素までの走時 t_2 を算出。

③震源（発震点）から４号炉（受震点）までの走時 t_{12} を算出。

④下記に示す式を満たす領域を、フレネルゾーンとした。

$$| t_1 + t_2 - t_{12} | \leqq T/2$$ （ここで、Tは周期を表す）



フレネルゾーンの算出条件

○算出断面：N90E-N270E方向断面（4号炉から見て、S波低速度層が位置する方向）

○対象波線：多点連続観測記録の波線

○計算周期：0.2秒、0.5秒（5号炉で顕著な増幅が見られる周期帯（0.2～0.5秒）の最小値及び最大値）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

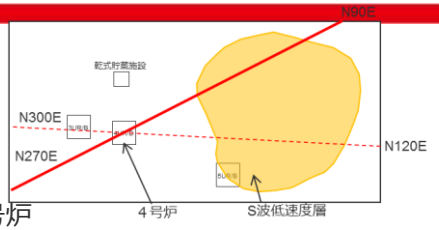
・下線（ ）は、一部修正箇所を示す。
・上段箱書きの※と参考文献を削除。

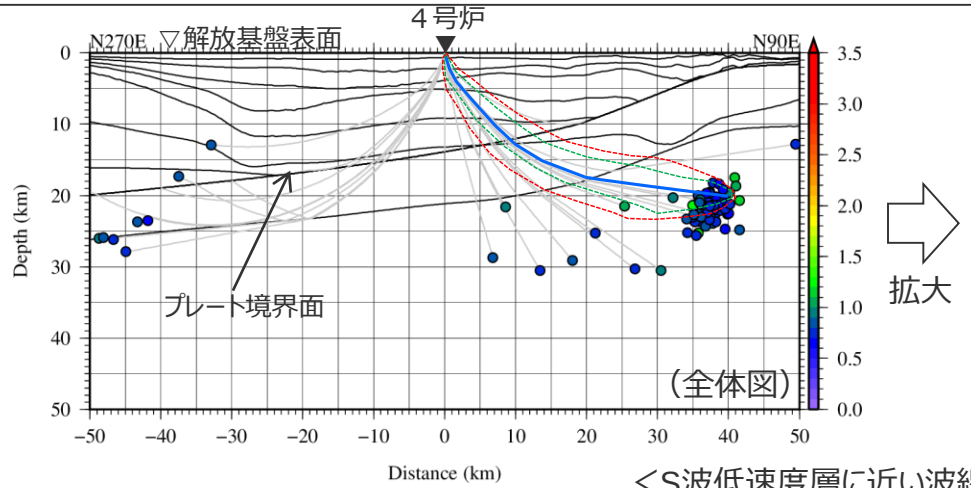
<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

地震波の伝播特性（迂回経路）に関する検討
（フレネルゾーンとS波低速度層の位置関係）

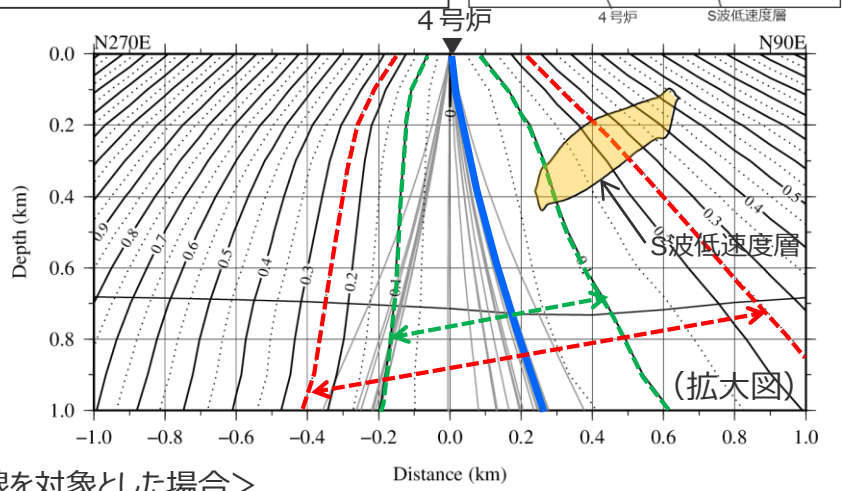
第176回
資料3-2 p.10一部修正

○ S波低速度層に近い波線を対象とした場合、周期0.2、0.5秒でS波低速度層の一部がフレネルゾーンに含まれる。また、S波低速度層から離れた波線を対象とした場合、周期0.2秒ではS波低速度層がフレネルゾーンに含まれないが、周期0.5秒ではS波低速度層の一部がフレネルゾーンに含まれる。
○ S波低速度層の一部がフレネルゾーンに含まれるが、地震動の顕著な増幅は見られない。

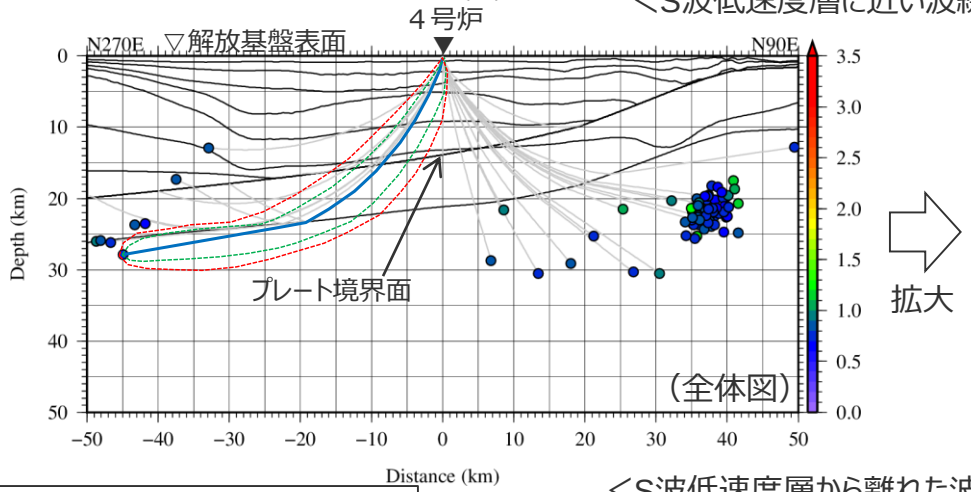




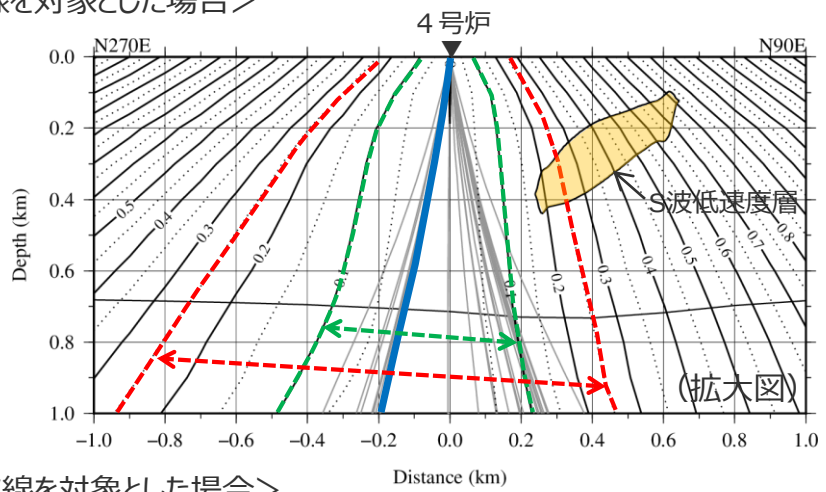
拡大



<S波低速度層に近い波線を対象とした場合>



拡大



<S波低速度層から離れた波線を対象とした場合>

フレネルゾーンを求めた波線
周期0.2秒におけるフレネルゾーン
周期0.5秒におけるフレネルゾーン

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・敷地図を変更

小括②

地震波の伝播特性（迂回経路）に関する検討

○フレネルゾーンは最短経路の他、迂回経路として地震波が伝播する領域を表している。
○４号炉に到達する地震波の波線を対象にフレネルゾーンを求め、S波低速度層との位置関係を確認した結果、S波低速度層から離れた波線であっても、S波低速度層の一部がフレネルゾーンに含まれるが、地震動の顕著な増幅は見られない。

既往報告に基づくS波低速度層の影響確認

○最短経路や迂回経路を伝播するすべての地震波の影響が含まれる「地震観測記録の分析」（既往報告）および「地下構造モデルを用いた解析検討」（既往報告）に基づき、S波低速度層による４号炉への影響を確認する。

既往報告①
：地震観測記録の分析に基づく影響確認
・地震観測記録（多点連続地震観測）の分析結果に基づき、S波低速度層による４号炉への影響を確認する。

既往報告②
：地下構造モデルを用いた解析検討に基づく影響確認
・浅部三次元地下構造モデルを用いた解析検討の結果に基づき、S波低速度層による４号炉への影響を確認する。

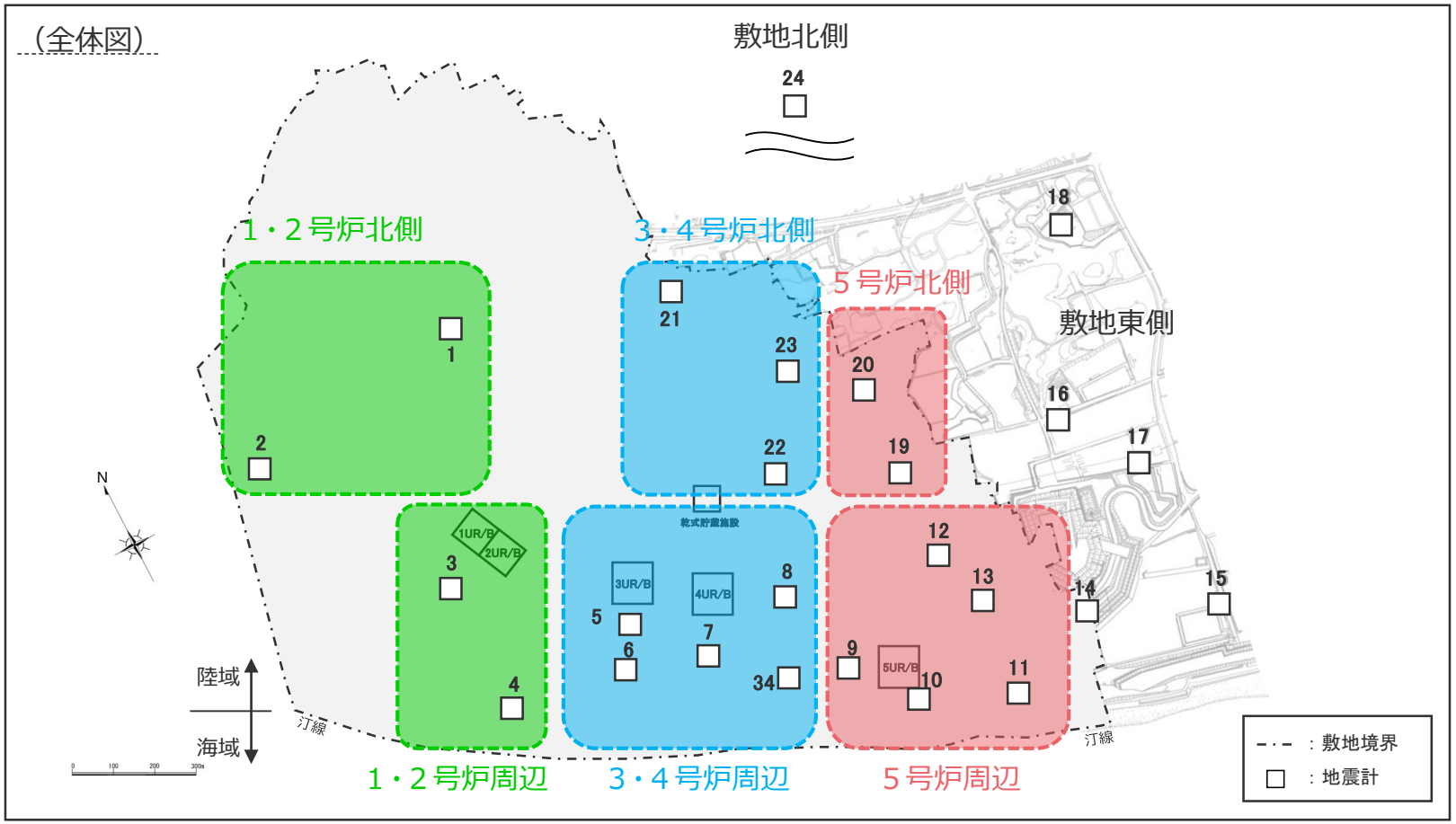
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

第176回
資料3-2 p.12一部修正

S波低速度層の影響確認
（多点連続観測記録の分析）

○敷地では、地表に地震計（2Hz速度計）を多数設置し、連続地震観測を行っている。
○この多点連続地震観測の分析結果に基づき、S波低速度層による４号炉への影響を確認する。

・敷地全体の解放基盤表面相当深さの地盤増幅特性を検討するために、自然地震のフーリエスペクトル比、微動アレイ探査の分散曲線及びボーリングデータを用いて表層地盤を推定し、地表で得られた観測記録からはぎとり波を推定。
・推定したはぎとり波について、No.7に対する各観測点の振幅比を算出して、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討。



Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。
・敷地図を変更。

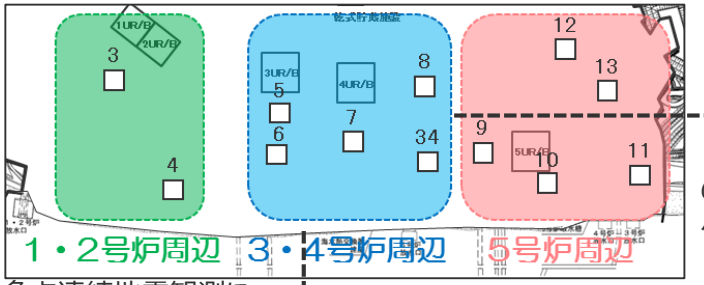
<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

第176回
資料3-2 p.13一部修正

S波低速度層の影響確認
（４号炉周辺の地盤増幅特性）

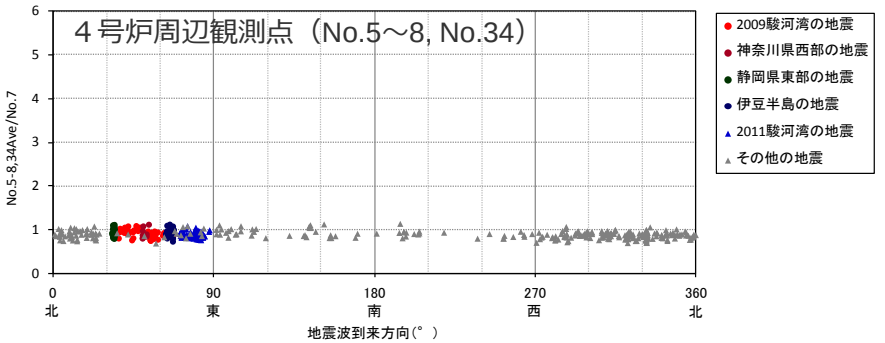
○ ４号炉周辺の観測点（No.5～No.8, No.34）をグルーピングした場合の各地震の振幅比（No.7基準）は、**いずれの地震波到来方向の地震でも振幅比は１程度**である。また、４号炉周辺の観測点それぞれの各地震の振幅比（No.7基準）も、若干のばらつきはあるものの、**いずれの地震波到来方向の地震でも振幅比は１程度**である。

⇒ 最短経路や迂回経路を伝播する**すべての地震波の影響が含まれる地震観測記録の分析結果**によると、**S波低速度層による４号炉の地震動の顕著な増幅は見られない**。

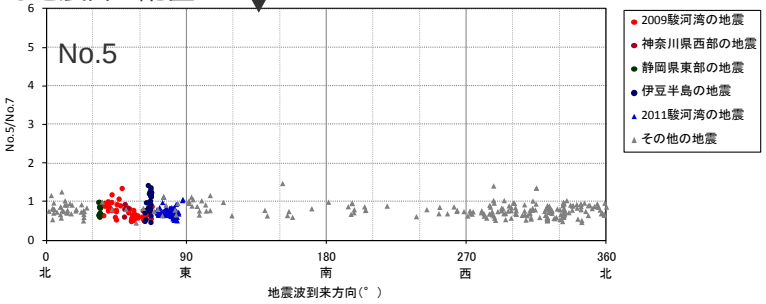


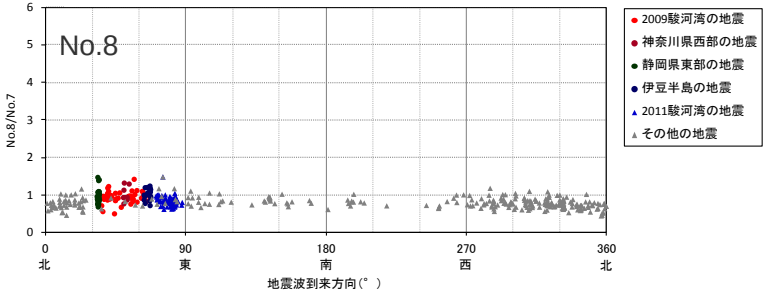
多点連続地震観測における地震計の配置

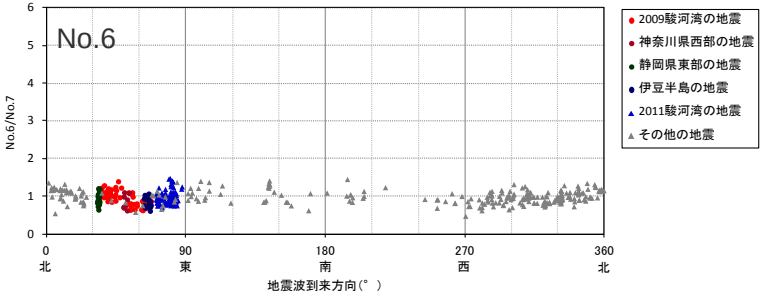
４号炉周辺の観測点をグルーピング

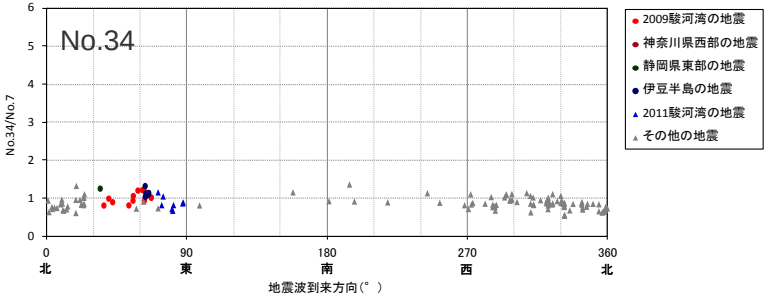


４号炉周辺の各観測点









<各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係（水平平均）>（観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

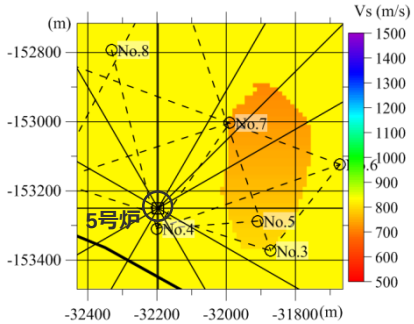
・下線（　）は、一部修正箇所を示す。
・敷地図を変更。

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

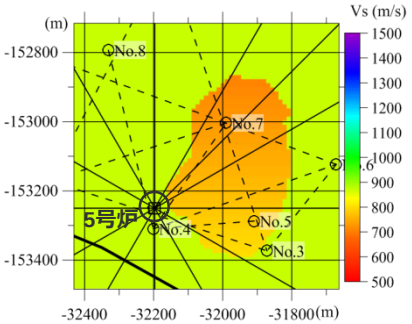
S波低速度層の影響確認
（浅部地下構造モデル）

○地下構造調査結果や地震観測記録の特徴に基づくモデルのチューニングを踏まえて、S波低速度層を含む浅部三次元地下構造モデル※を作成している。
○この浅部三次元地下構造モデルを用いた解析検討に基づき、S波低速度層による４号炉への影響を確認する。

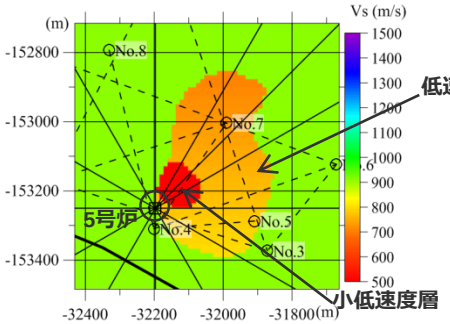
※低速度層、小低速度層、母岩（相良層）から成る浅部三次元地下構造モデル（チューニングモデル）は、基本的に地下構造調査結果に基づき設定し、小低速度層は地震観測記録の特徴を説明できるよう、その形状をチューニングして低速度層の内部に設定。



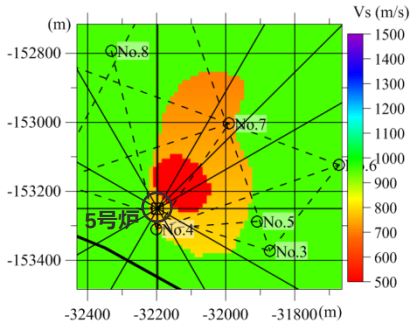
深さ144m断面



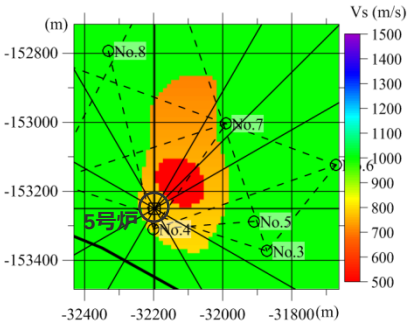
深さ192m断面



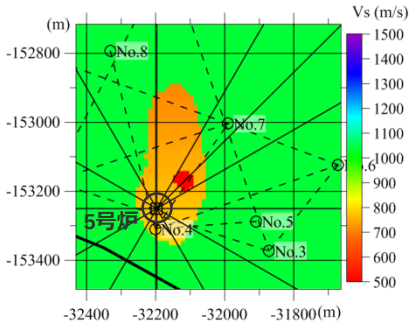
深さ240m断面



深さ288m断面

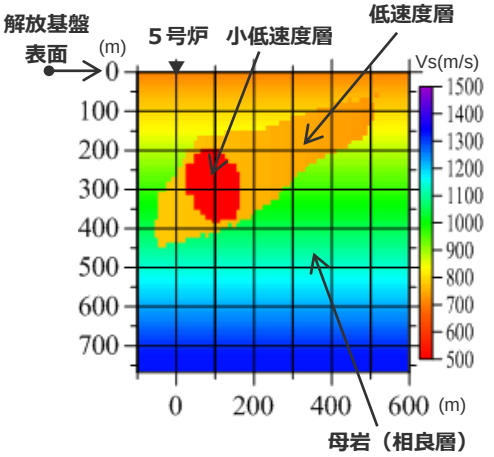


深さ336m断面



深さ384m断面

＜深さ毎の速度断面＞



＜N60E方向の速度断面＞
（2009年駿河湾の地震の地震波到来方向）

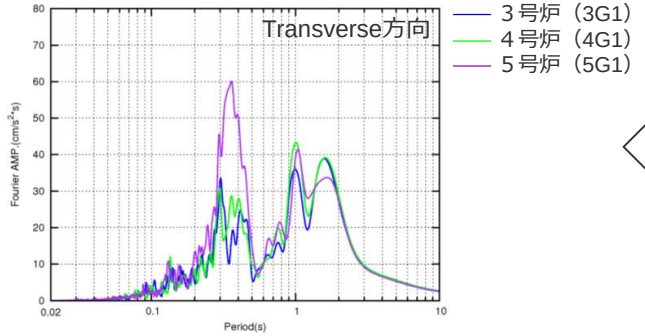
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

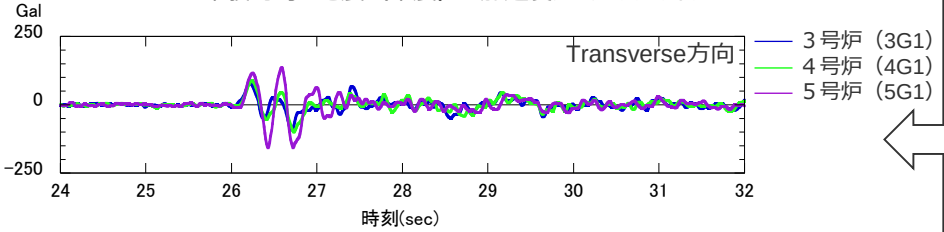
S波低速度層の影響確認
（浅部地下構造モデルの妥当性確認）

○周波数特性、経時特性、地震波到来方向毎の増幅特性について、浅部三次元地下構造モデルを用いた解析結果は地震観測記録の特徴と概ね整合しており、５号炉周辺の増幅要因として、当該モデルは妥当であると考えられる。

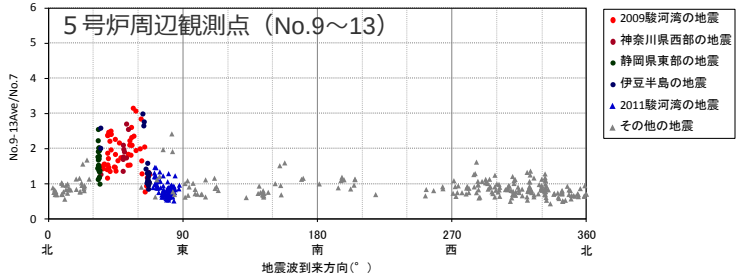
地震観測記録



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度フーリエスペクトル>



<2009年駿河湾の地震（本震）の加速度時刻歴波形>



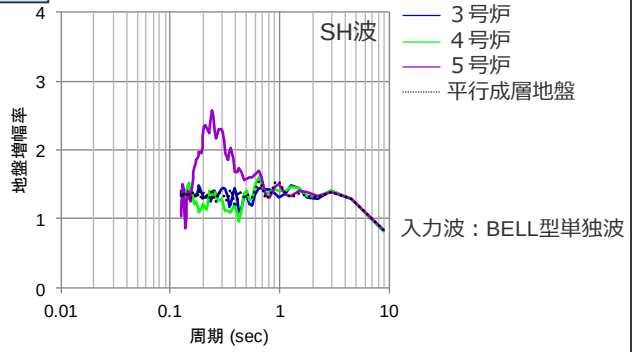
<地震波到来方向毎の振幅比（No.7基準）>

周波数特性

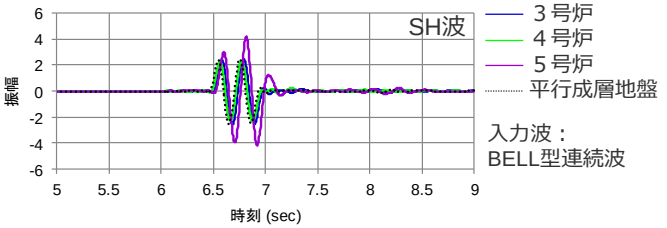
経時特性

地震波到来方向毎の増幅特性

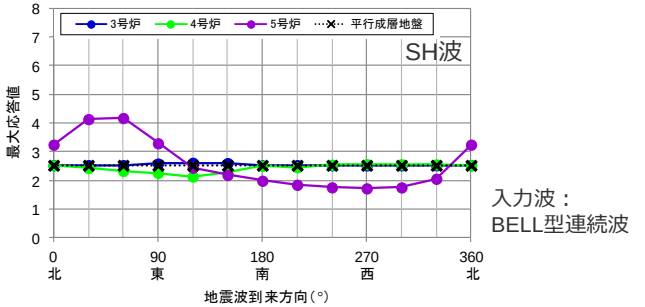
解析結果



<３～５号炉位置の地盤増幅率（入射：2009年駿河湾の地震方向）>



<３～５号炉位置の応答波形（入射：2009年駿河湾の地震方向）>



<３～５号炉位置の応答波形の最大値分布（入射：各方向）>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

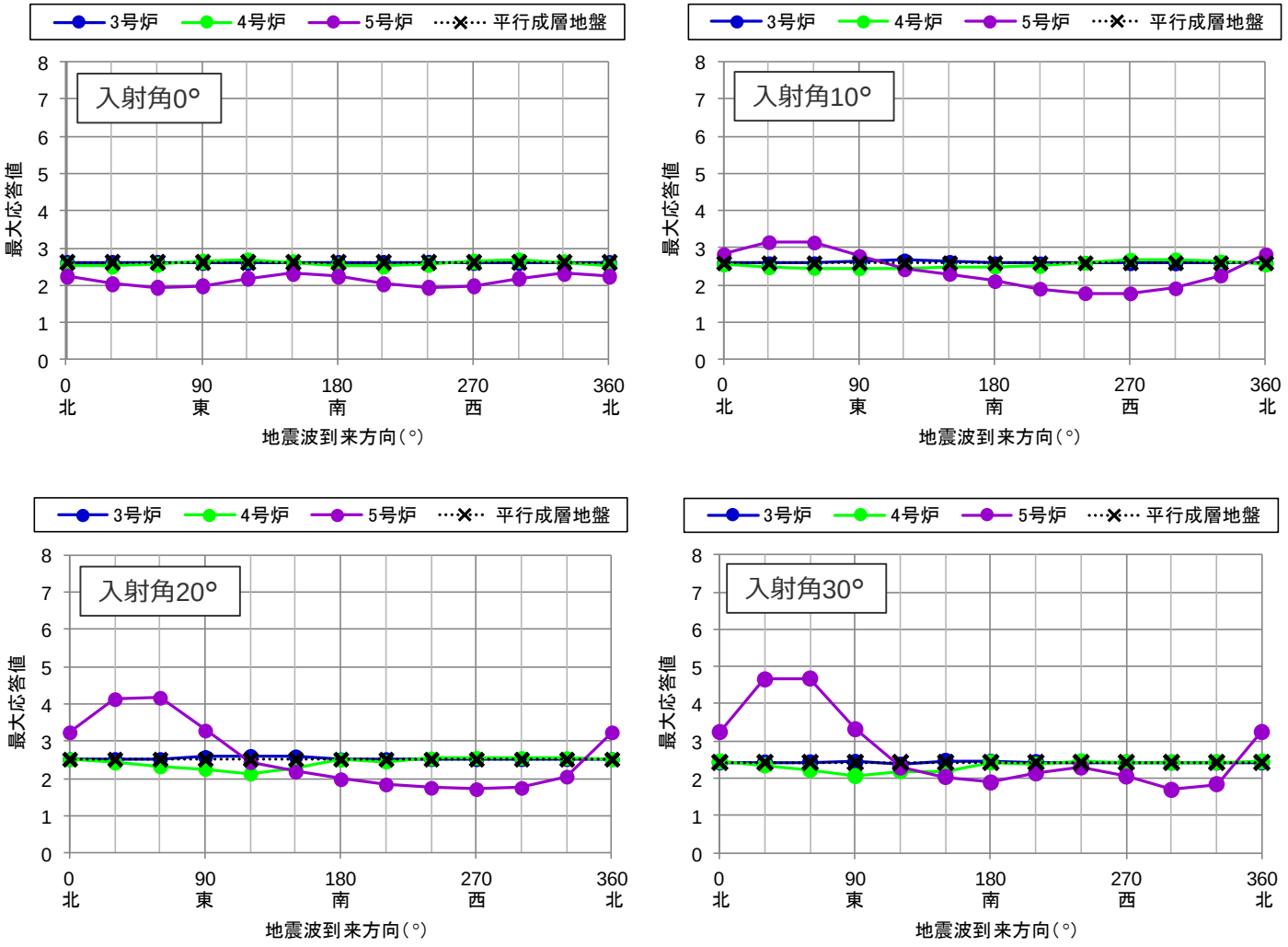
S波低速度層の影響確認
（浅部三次元地下構造モデルによる解析結果）

第176回
資料3-2 p.16再掲

○浅部三次元地下構造モデルに基づき、「入射角、入射方向」に関するパラメータスタディを行う。
・入射方向は全方位30°刻みとする。
・入射角は0°、10°、20°、30°とする。

＜**４号炉位置**＞
○４号炉位置の最大応答値は、**いずれの入射角、到来方向においても平行成層地盤と同程度**であり、顕著な増幅は見られない。

⇒最短経路や迂回経路を伝播する**すべての地震波の影響が含まれる地下構造モデルを用いた解析検討の結果**によると、**S波低速度層による4号炉の地震動の顕著な増幅は見られない**。



＜３～５号炉位置の応答波形の最大値分布＞
（入力波：BELL型連続波（SH波））

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

小括③

○最短経路や迂回経路を伝播する**すべての地震波の影響が含まれる「地震観測記録の分析」および「地下構造モデルを用いた解析検討」**に基づき、以下のとおり、S波低速度層による４号炉への影響を確認した。

＜地震観測記録の分析（既往報告）＞
・地震観測記録（多点連続地震観測）の分析結果によると、**S波低速度層による４号炉の地震動の顕著な増幅は見られない**。

＜地下構造モデルを用いた解析検討（既往報告）＞
・浅部三次元地下構造モデルを用いた解析検討の結果によると、**S波低速度層は４号炉の地震動の顕著な増幅は見られない**。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-10 地震波の伝播経路に関する検討>

第176回
資料3-2 p.18一部修正

まとめ

地震波の伝播特性（最短経路）に関する検討

○スネルの法則に基づき**4号炉に到達する観測地震及びプレート境界面の震源の波線**は、**敷地に到達する地震波の最短経路を表しており、S波低速度層を伝播しない**。

○**最短経路を表す波線は、敷地に到達する主要な地震波の伝播経路を表している**。

地震波の伝播特性（迂回経路）に関する検討

○フレネルゾーンを用いて、最短経路の他、迂回経路として地震波が伝播する領域を検討した結果、S波低速度層の一部はフレネルゾーンに含まれるが、 地震動の顕著な増幅は見られない。

既往報告に基づくS波低速度層の影響確認

○最短経路や迂回経路を伝播する**すべての地震波の影響が含まれる「地震観測記録の分析」および「地下構造モデルを用いた解析検討」**に基づき、**S波低速度層による４号炉周辺の地震動の顕著な増幅は見られない**ことを確認した。

○**４号炉周辺に到達する主要な地震波はS波低速度層を伝播**せず、フレネルゾーンの検討を踏まえても、**すべての地震波の影響が含まれる「地震観測記録の分析」および「地下構造モデルを用いた解析検討」**に基づき、**S波低速度層による４号炉周辺の地震動の顕著な増幅は見られない**ことを確認した。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・左上箱書きタイトル「（既往報告）」を削除。

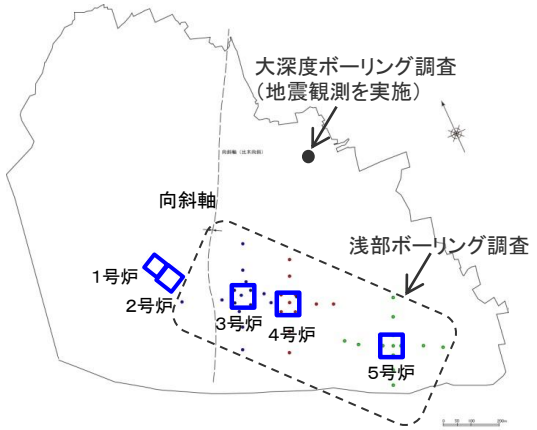
補足説明資料①-11
統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

一次元地下構造モデルの設定
（設定に用いる調査結果）

第194回
資料1 p.47一部修正

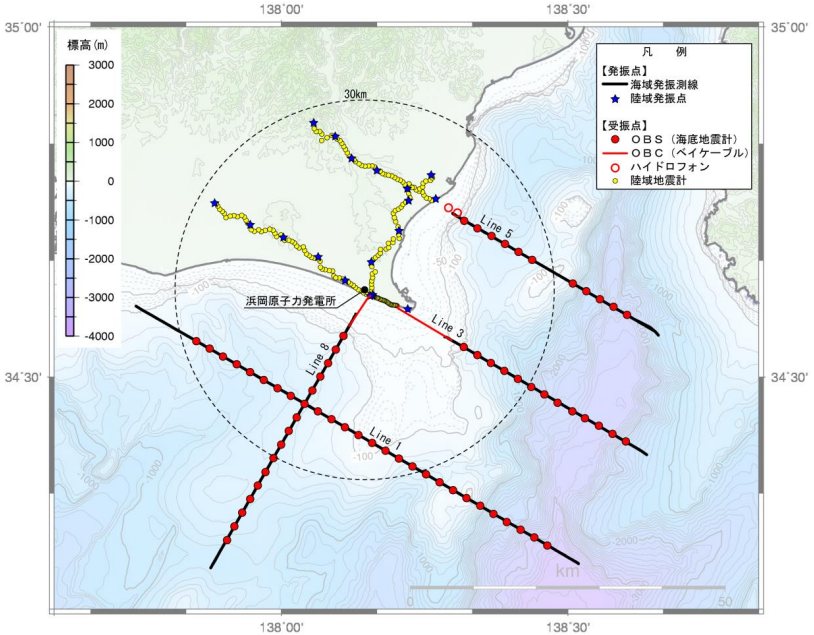


<ボーリング調査位置図>

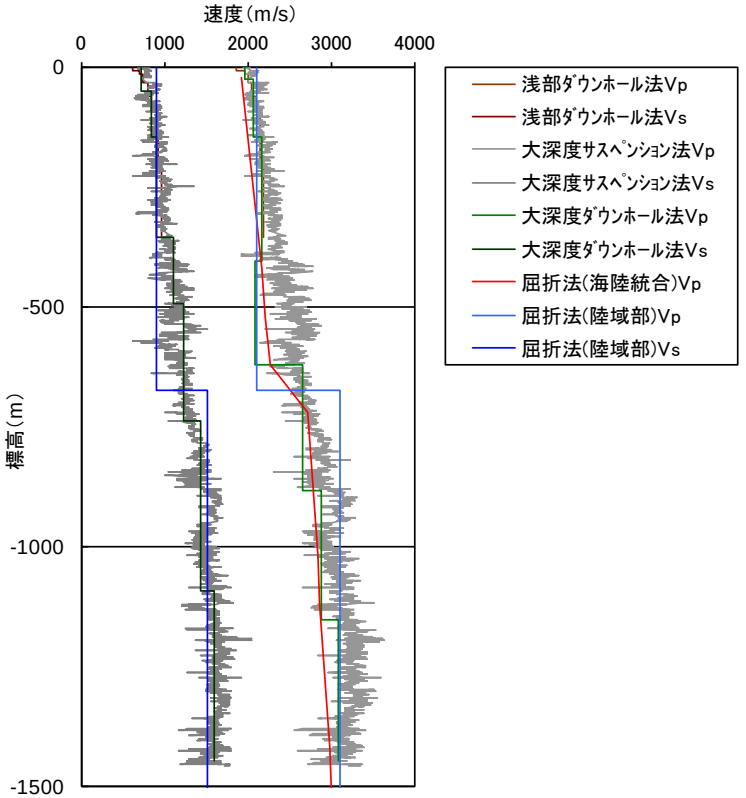
<一次元地下構造モデルの設定に用いる調査結果>

○浅部ボーリング調査（標高約-300m以浅）　：P波速度、S波速度、密度
○大深度ボーリング調査（標高約-1500m以浅）　：P波速度、S波速度、密度
○屈折法地震探査（陸域部）（標高約-5000m以浅）　：P波速度、S波速度
○屈折法地震探査（海陸統合）（標高約-23000m以浅）：P波速度

⇒各調査結果は整合しており、これらの調査結果を用いて、地震動評価に用いる一次元地下構造モデルを設定する。



<屈折法地震探査測線図>



<敷地における各調査結果の比較>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。
・測線図を変更し、配置を変更。

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第194回
資料1 p.49再掲

一次元地下構造モデルの設定
（Vp－Vs、Vp－ρ関係式）

＜Vp－Vs関係式＞

○ T.P.-2050m～T.P.-5050m（地震基盤面）のS波速度は、サンプル数が多い大深度ボーリング調査のPS検層結果（サスペンション法）に基づき作成した以下のVp－Vs関係式を用いて、P波速度から推定する。

Vp－Vs関係式：Vs=0.68Vp－580(m/s)

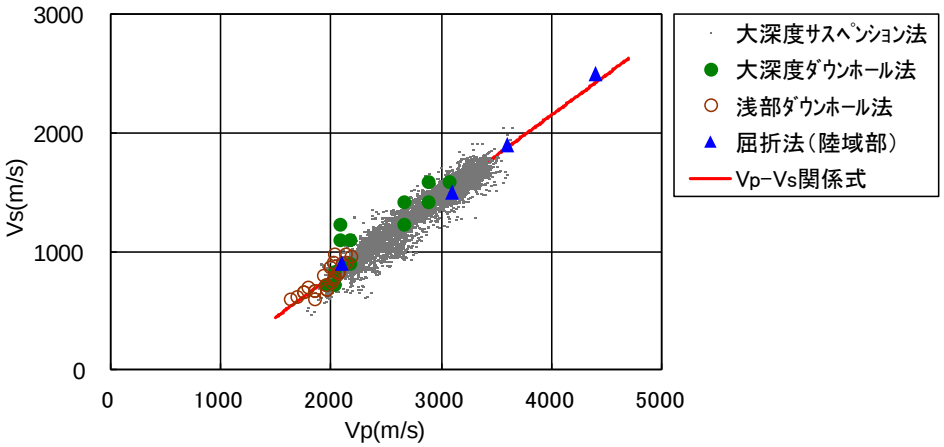
○ この関係式は、浅部及び大深度ボーリング調査のPS検層結果（ダウンホール法）や屈折法地震探査（陸域部）の結果と整合している。

＜Vp－ρ関係式＞

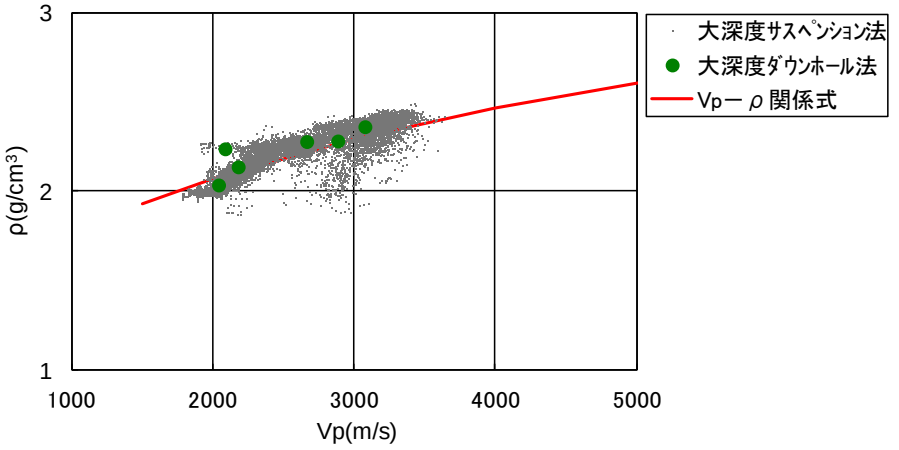
○ 密度は、以下のVp－ρ関係式（Gardner et al.(1974)）を用いて、P波速度から推定する。

Vp－ρ関係式：$\rho=0.31Vp^{0.25}(g/cm^3)$

○ この関係式は、大深度ボーリング調査におけるPS検層結果（サスペンション法及びダウンホール法）と密度検層結果との関係と整合している。



＜Vp－Vs関係式と各調査結果との対応＞



＜Vp－ρ関係式と各調査結果との対応＞

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第882回
資料1-1 p.55一部修正

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（地震動評価に用いる一次元地下構造モデル（概要））

○地震動評価に用いる一次元地下構造モデルは、地下構造調査により得られた詳細な地下構造データ等に基づき設定し、敷地の観測記録の再現検討等を踏まえてその妥当性を確認している。

＜速度構造＞

・T.P.-14m～T.P.-2050mでは、S波速度及びP波速度の両方が得られる浅部及び大深度ボーリング調査のPS検層結果（ダウンホール法）に基づき、S波速度及びP波速度を設定する。

・T.P.-2050m以深について、P波速度は屈折法地震探査結果（海陸統合）に基づき設定し、S波速度は、T.P.-5050m以浅では各調査結果に基づき算定したVp－Vs関係式（Vs=0.68Vp-580(m/s)）を、T.P.-5050m以深ではObana et al.(2004)によるVp-Vs関係式（Vp/Vs=1.78）を用いて、P波速度から推定する。

＜密度＞

・各調査結果との対応が良いGardner et al.(1974)のVp－ρ関係式（$\rho=0.31Vp^{0.25}$(g/cm^3)）を用いて、P波速度から推定する。

＜Q値＞

・統計的グリーン関数法（短周期の地震動評価）：$100f^{0.7}$※1、波数積分法（長周期の地震動評価）：Qs=Vs/10、Qp=2Qs※2

※1 中央防災会議(2001a)、※2 原子力安全基盤機構(2007)、新色・山中(2013)。

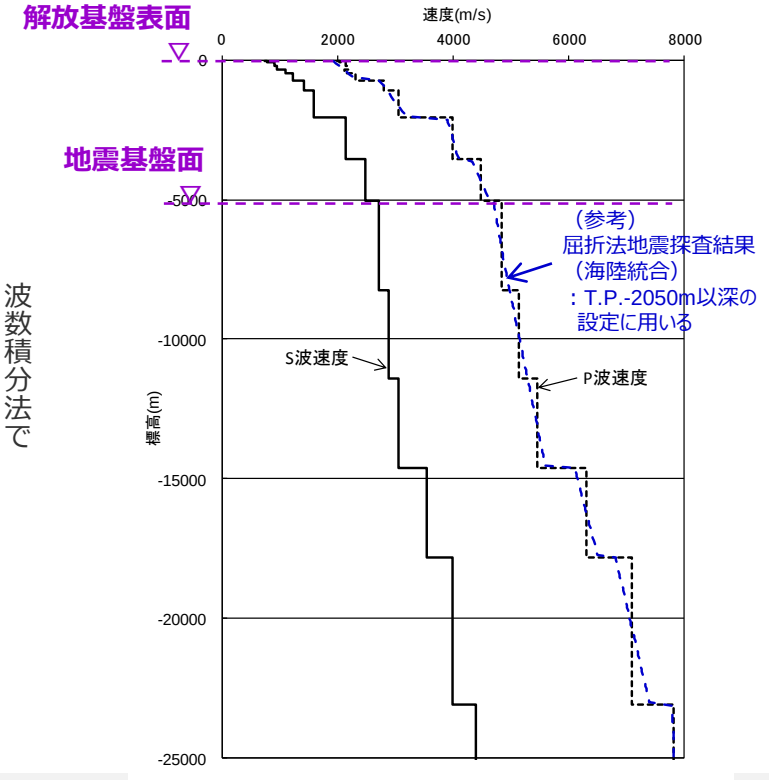
解放基盤表面

統計的グリーン関数法で用いる地下構造（地震基盤以浅）

地震基盤面

波数積分法で用いる地下構造（全層）

層	標高 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ρ (g/cm^3)	Vp/Vs
1	-14	740	2000	2.07	2.70
2	-32	790	2030	2.08	2.57
3	-62	830	2070	2.09	2.49
4	-92	910	2140	2.11	2.35
5	-192	960	2180	2.12	2.27
6	-354	1100	2110	2.10	1.92
7	-493	1230	2320	2.15	1.89
8	-739	1420	2790	2.25	1.96
9	-1094	1590	3060	2.31	1.92
10	-2050	2150	3990	2.46	1.86
11	-3550	2470	4470	2.53	1.81
12	-5050	2720	4830	2.58	1.78
13	-8240	2880	5130	2.62	1.78
14	-11400	3060	5450	2.66	1.78
15	-14600	3540	6300	2.76	1.78
16	-17800	3990	7100	2.85	1.78
17	-23100	4390	7810	2.91	1.78



・統計的グリーン関数法には地震基盤以浅の地下構造を、波数積分法には全層の地下構造を用いる。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・箱書きの参照資料に関する記載を削除。

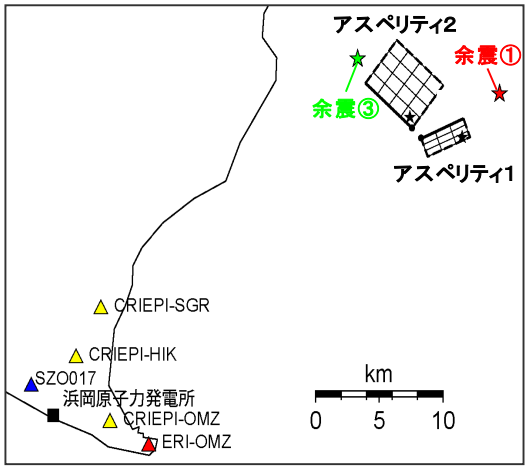
<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第194回
資料1 p.50一部修正

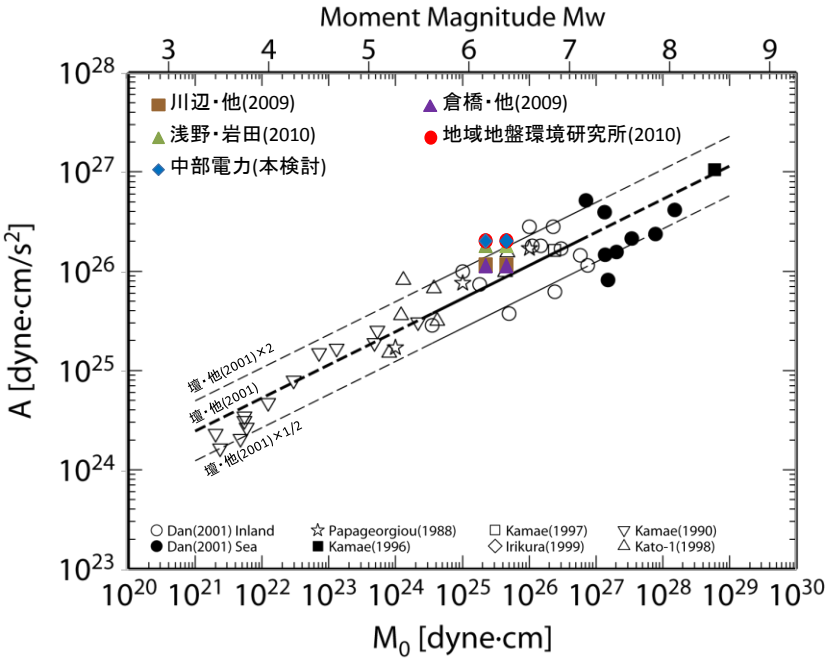
統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（地震動の顕著な増幅が見られない観測点の地震観測記録の再現検討）

○振幅レベルが大きく、信頼性の高い記録が得られている2009年駿河湾の地震（本震）を対象として、この地震の特性化震源モデルに基づき、一次元地下構造モデルを用いた統計的グリーン関数法による地震動評価を行い、敷地の観測記録（３号炉及び４号炉）の再現性について検討する。

	面積	地震モーメント	応力降下量
アスペリティ１（南部）	13.0km^2	6.80×10^{17}Nm	35.7MPa
アスペリティ２（北部）	23.0km^2	1.20×10^{18}Nm	27.5MPa



<経験的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震（本震）の特性化震源モデル>
（当社作成）



・地震モーメントは2.25×10^{18}Nm(F-net)、4.6×10^{18}Nm(鈴木・他(2009))を用いる

<2009年駿河湾の地震（本震）のM$_0$－A関係>
（壇・他(2001)に各文献・当社作成モデルの
地震モーメント－短周期レベル関係を加筆）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

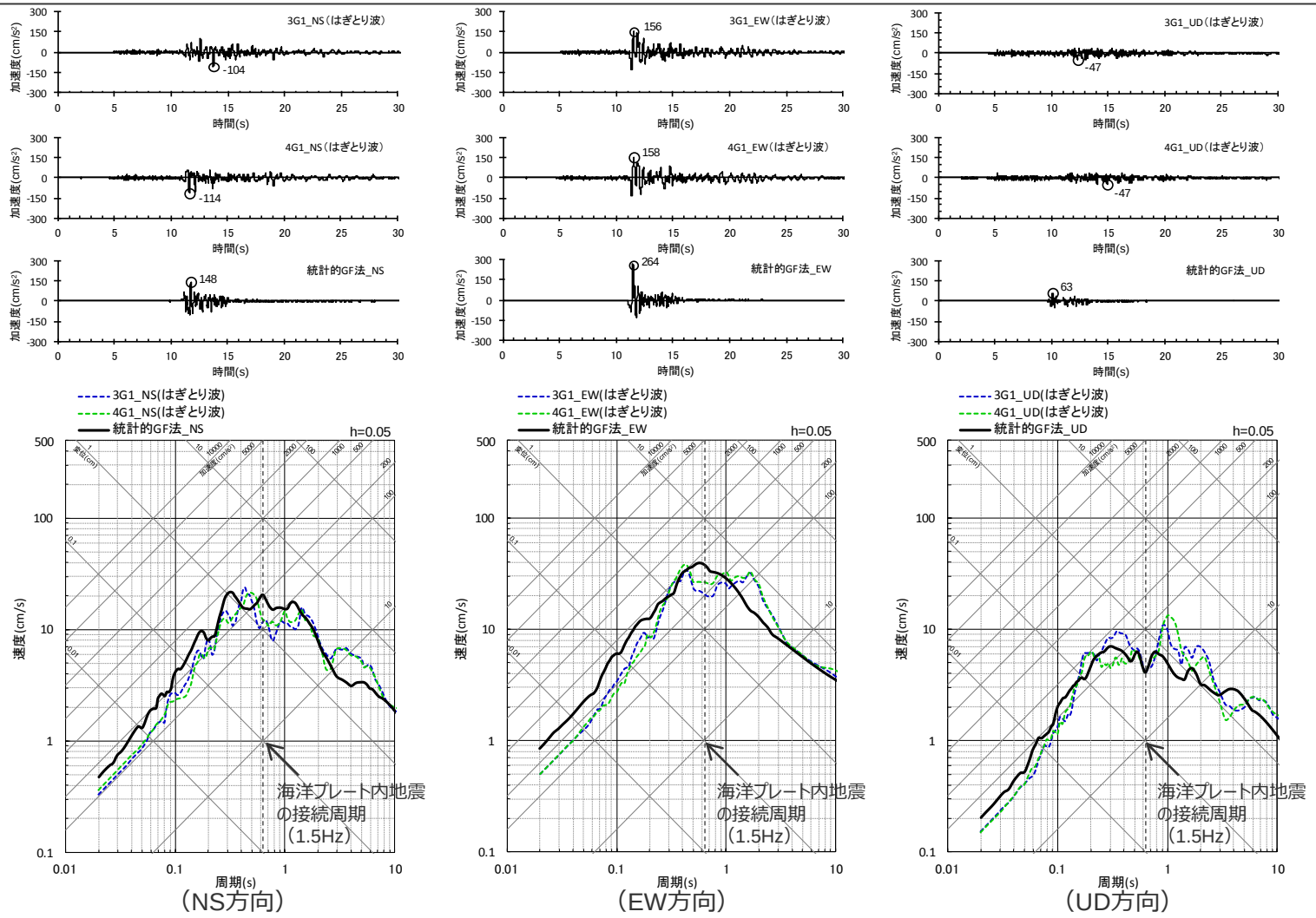
<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第940回
資料2 p.55再掲

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定

（2009年駿河湾の地震（本震）の再現検討結果と３号炉（3G1）、４号炉（4G1）の観測記録（はぎとり波））

○統計的グリーン関数法による2009年駿河湾の地震（本震）の地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果は、その評価対象周期（短周期）で**３号炉（3G1）、４号炉（4G1）の観測記録（はぎとり波）を概ね再現**している。



（NS方向）　（EW方向）　（UD方向）

<2009年駿河湾の地震（本震）の地震動の顕著な増幅を考慮しない地震動評価結果と３号炉（3G1）、４号炉（4G1）の観測記録（はぎとり波）との比較>
（上図：加速度時刻歴波形、下図：応答スペクトル）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第194回
資料1 p.52一部修正

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（地震観測記録を用いて推定した地盤モデルによる検証）

地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの設定（前述）

○地震動評価に用いる一次元地下構造モデル（統計的グリーン関数法）は、地下構造調査により得られた詳細な地下構造データ等に基づき、敷地の観測記録の再現検討を踏まえて設定し、Q値は安全評価上、中央防災会議(2001a)等の$100f^{0.7}$を用いる。

比較検討

地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの検証

○地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの妥当性を検証するため、以下の観点で両モデルの比較検討を行う。

・地盤増幅率
・プレート間地震の地震動評価結果
・観測記録（Coda波部H/Vスペクトル、微動アレイ観測による分散曲線）との整合性

地震観測記録を用いて推定した地盤モデル

○地震動評価に用いる一次元地下構造モデルを検証するため、異なるアプローチとして、地震観測記録を用いて推定した地盤モデルを２通り設定する。

・アプローチ①：P波部H/Vスペクトル及びレシーバー関数を用いて推定した地盤モデル（地震基盤面以浅）
・アプローチ②：大深度伝達関数を用いて推定した地盤モデル（G.L.-1500m以浅）

地震動評価に用いる一次元地下構造モデルについて、周期特性はその他の地盤モデルと同様であり、振幅は保守的になっていること、観測記録と概ね整合していることから、当該一次元地下構造モデルの妥当性を確認。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

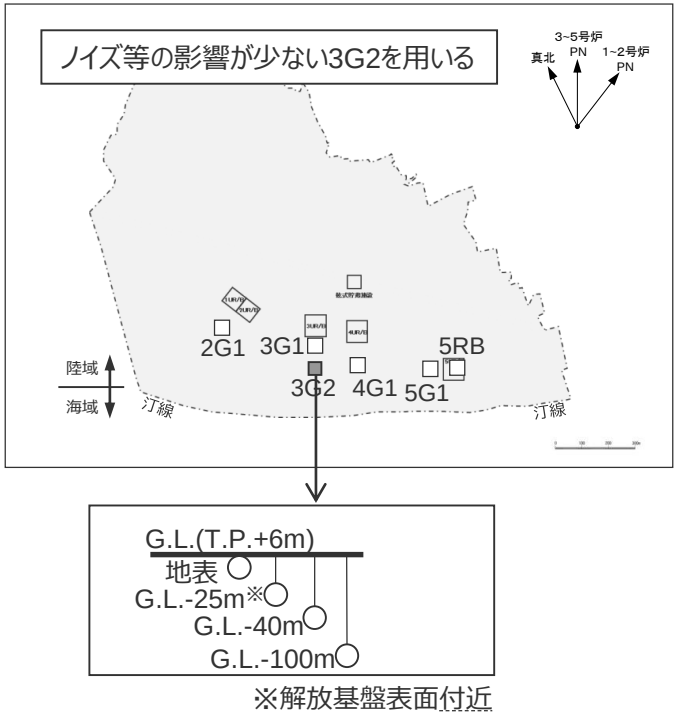
統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①））

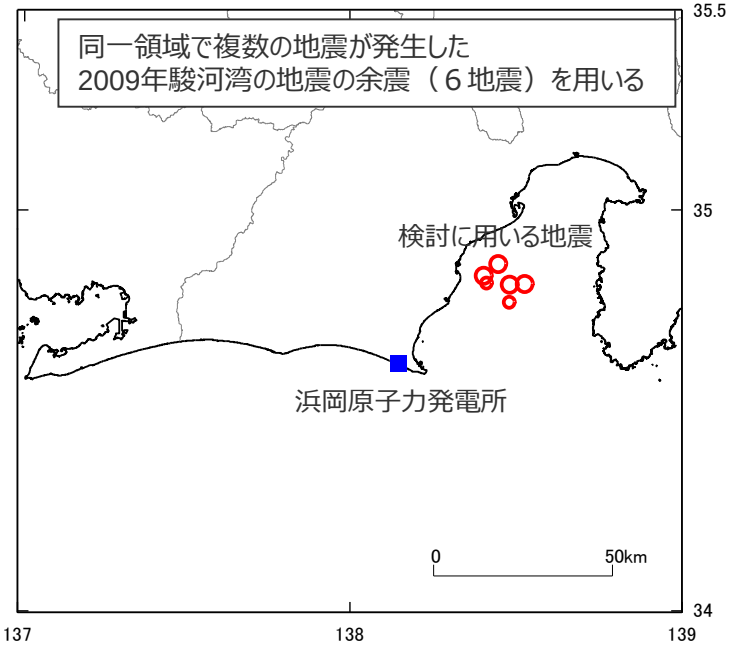
第194回
資料1 p.53一部修正

＜アプローチ①＞地震観測記録を用いた地盤モデルの推定（地震基盤面以浅）

＜浅部地盤モデルの推定＞
・2009年駿河湾の地震の余震（６地震）における伝達関数（G.L.-100m以浅）の観測値と理論値の差が最小となる浅部地盤モデルを推定。

＜深部地盤モデルの推定＞
・2009年駿河湾の地震の余震（６地震）におけるP波部H/Vスペクトル及びレシーバー関数の観測値と理論値の差が最小となる深部地盤モデルを推定。





Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。
・敷地図を変更。

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①））

第194回
資料1 p.54一部修正

＜浅部地盤モデルの推定＞
○ 3 号炉PS検層結果に基づき、層モデルと探索範囲を設定。
○ 2009年駿河湾の地震の余震（６地震）における伝達関数（G.L.-100m以浅）の逆解析により浅部地盤モデルを推定。

＜層モデルと探索範囲の設定＞

層No.	深度(m)※	層厚(m)	ρ(t/m³)	Vs(m/s)	Qs		Vp(m/s)	Qp	
					Qo	n		Qo	n
1	-2	2	1.80	50～400	1～20	0.0～1.0	300～1000	1～20	0.0～1.0
2	-4	2	1.80						
3	-10	6	2.10	50～651	1～20	0.0～1.0	600～1724	1～20	0.0～1.0
4	-20	10	2.10	200～693	1～20	0.0～1.0	1715～1785	1～20	0.0～1.0
5	-25	5	2.10	700～735	1～20	0.0～1.0	1754～1826	1～20	0.0～1.0
6	-30	5	2.10						
7	-40	10	2.10	760～840	1～20	0.0～1.0	1891～1968	1～20	0.0～1.0
8	-60	20	2.10						
9	-100	40	2.10	826～913	1～20	0.0～1.0	1950～2030	1～20	0.0～1.0
10		∞	2.10	910			2020		

＜推定した浅部地盤モデル＞

層No.	深度(m)※	層厚(m)	ρ(t/m³)	Vs(m/s)	Qs		Vp(m/s)	Qp	
					Qo	n		Qo	n
1	-2	2	1.80	200	8.77	0.85	380	1.16	0.81
2	-4	2	1.80	200	8.77	0.85	380	1.16	0.81
3	-10	6	2.10	320	7.19	0.83	700	1.14	0.71
4	-20	10	2.10	650	1.08	0.61	1760	1.07	0.61
5	-25	5	2.10	720	1.13	0.85	1820	1.10	0.75
6	-30	5	2.10	720	1.13	0.85	1820	1.10	0.75
7	-40	10	2.10	830	5.43	0.88	1960	2.26	0.84
8	-60	20	2.10	830	5.43	0.88	1960	2.26	0.84
9	-100	40	2.10	880	1.10	0.98	2020	2.95	0.82
10		∞	2.10	910	1.10	0.98	2020	2.95	0.82

Q値モデル：$Q(f)=Q_0 f^n$

地震計の設置位置
解放基盤表面
浅部地盤モデル推定部

※層下端深度を示す。

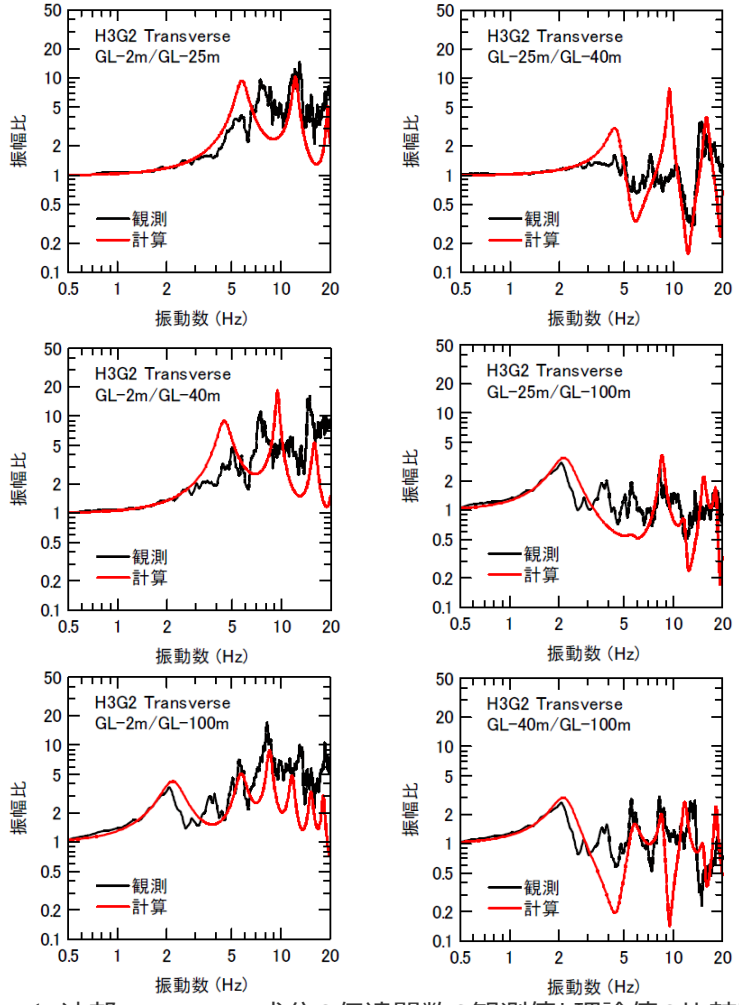
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①））

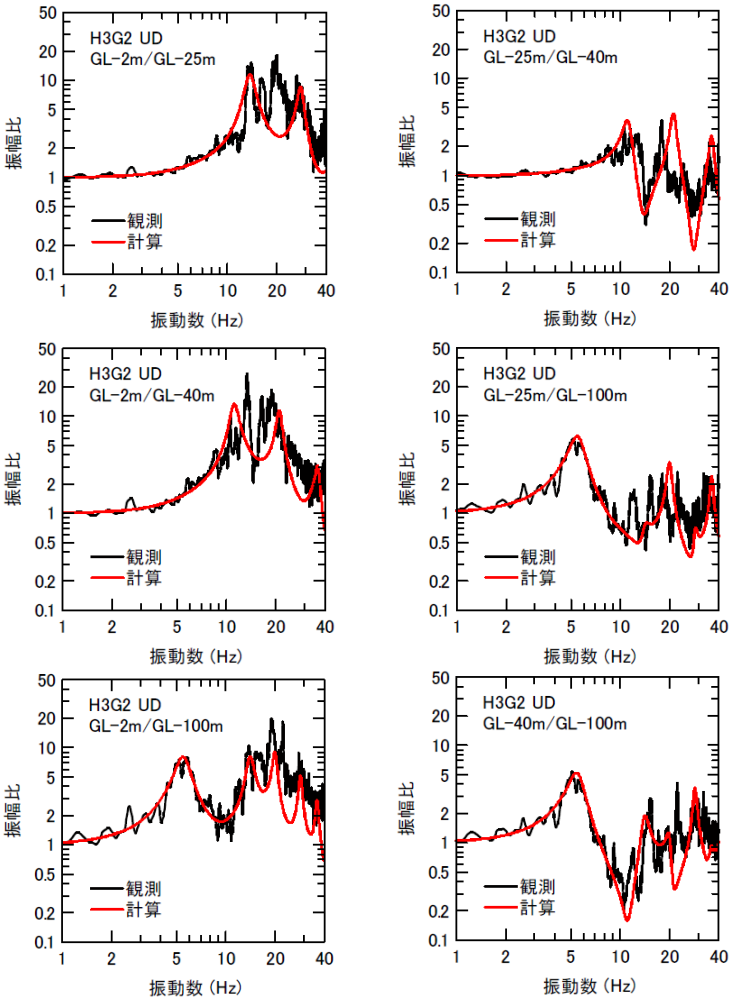
第194回
資料1 p.55再掲

○2009年駿河湾の地震の余震（６地震）におけるS波部Transverse成分の伝達関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、浅部地盤モデル（Vs, Qs）を推定。



<S波部Transverse成分の伝達関数の観測値と理論値の比較>

○2009年駿河湾の地震の余震（６地震）におけるP波部UD成分の伝達関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、浅部地盤モデル（Vp, Qp）を推定。



<P波部UD成分の伝達関数の観測値と理論値の比較>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①））

第194回
資料1 p.56一部修正

＜深部地盤モデルの推定＞
○地震動評価に用いる一次元地下構造モデルに基づき、層モデルと探索範囲を設定。
○2009年駿河湾の地震の余震（６地震）におけるP波部H/Vスペクトル及びレシーバー関数の逆解析により深部地盤モデルを推定。

＜層モデルと探索範囲の設定＞

層No.	層厚(m)	Vs(m/s)	Vp(m/s)	Qs		Qp	
				Qo	n	Qo	n
1	2	200	380	8.77	0.85	1.16	0.81
2	2	200	380	8.77	0.85	1.16	0.81
3	6	320	700	7.19	0.83	1.14	0.71
▼4	10	650	1760	1.08	0.61	1.07	0.61
5	5	720	1820	1.13	0.85	1.10	0.75
6	5	720	1820	1.13	0.85	1.10	0.75
7	10	830	1960	5.43	0.88	2.26	0.84
8	20	830	1960	5.43	0.88	2.26	0.84
9	40	880	2020	1.10	0.98	2.95	0.82
10	48～148	810～1010	2040～2240	10～50	0.5～1	5～50	0.5～1
11	62～262	860～1060	1980～2380	10～50	0.5～1	5～50	0.5～1
12	39～239	1000～1200	1910～2310	10～50	0.5～1	5～50	0.5～1
13	146～346	1130～1330	2120～2520	10～150	0.5～1	5～150	0.5～1
14	255～455	1220～1620	2590～2990	10～150	0.5～1	5～150	0.5～1
15	856～1056	1390～1790	2860～3260	10～150	0.5～1	5～150	0.5～1
16	1300～1700	1800～2350	3790～4190	10～150	0.5～1	5～150	0.5～1
▽17	1300～1700	1800～2670	4270～4670	20～150	0.5～1	5～150	0.5～1
18	2990～3390	2520～2920	4630～5030	20～150	0.5～1	10～150	0.5～1
19	∞	2680～3080	4930～5330	20～150	0.5～1	10～150	0.5～1

＜推定した深部地盤モデル＞

層No.	深度(m)※	層厚(m)	ρ(t/m³)	Vs(m/s)	Vp(m/s)	Qs		Qp	
						Qo	n	Qo	n
1	-2	2	1.80	200	380	8.77	0.85	1.16	0.81
2	-4	2	1.80	200	380	8.77	0.85	1.16	0.81
3	-10	6	2.10	320	700	7.19	0.83	1.14	0.71
▼4	-20	10	2.10	650	1760	1.08	0.61	1.07	0.61
5	-25	5	2.10	720	1820	1.13	0.85	1.10	0.75
6	-30	5	2.10	720	1820	1.13	0.85	1.10	0.75
7	-40	10	2.10	830	1960	5.43	0.88	2.26	0.84
8	-60	20	2.10	830	1960	5.43	0.88	2.26	0.84
9	-100	40	2.10	880	2020	1.10	0.98	2.95	0.82
10	-180	80	2.10	920	2090	15.6	0.76	8.07	0.60
11	-310	130	2.08	1000	2020	20.1	0.72	10.5	0.78
12	-540	230	2.14	1170	2260	22.2	0.73	11.3	0.63
13	-880	340	2.14	1140	2280	33.0	0.82	17.7	0.57
14	-1170	290	2.24	1620	2740	38.2	0.80	26.3	0.63
15	-2150	980	2.28	1650	2950	90.3	0.76	58.8	0.75
16	-3530	1380	2.46	2070	3940	139	0.72	92.7	0.69
▽17	-5180	1650	2.55	2290	4600	146	0.67	120	0.61
18	-8260	3080	2.57	2820	4720	145	0.78	129	0.73
19		∞	2.60	3010	4960	145	0.78	129	0.73

Q値モデル：$Q(f)=Q_0 f^n$

深部地盤モデル推定部　▼解放基盤表面
推定した浅部地盤モデル（固定）　▽地震基盤面

※層下端深度を示す。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

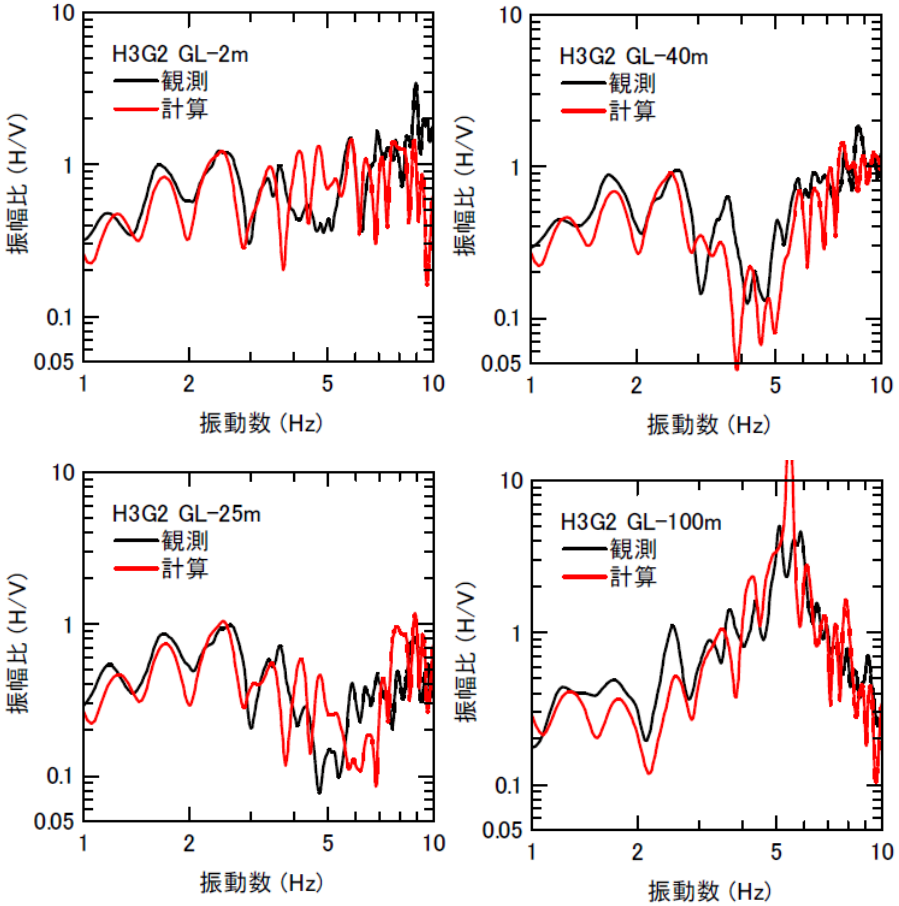
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

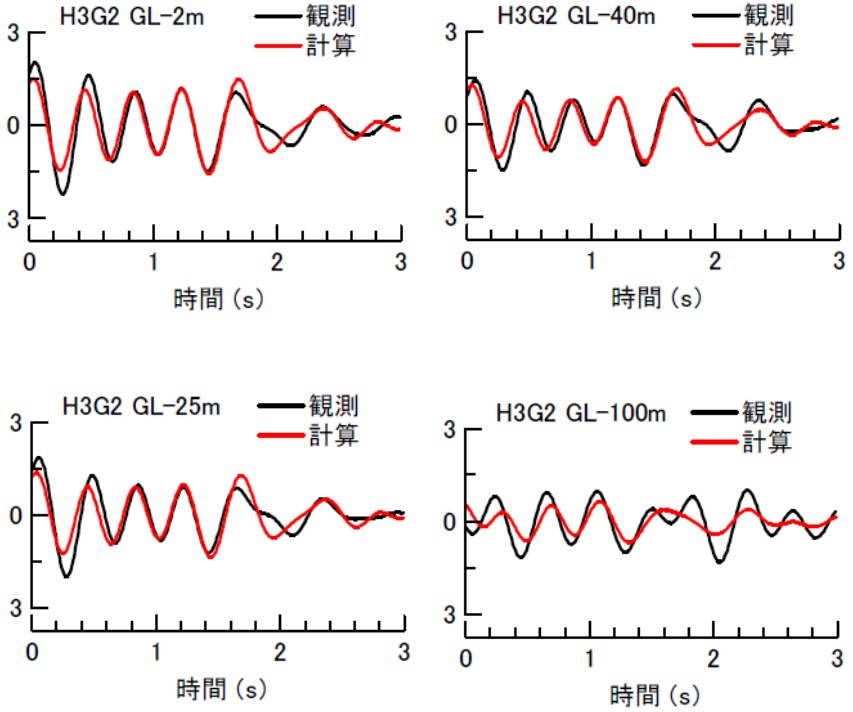
第194回
資料1 p.57再掲

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①））

○2009年駿河湾の地震の余震（６地震）におけるP波部H/Vスペクトル及びレシーバー関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、深部地盤モデルを推定。



<P波部H/Vスペクトルの観測値と理論値の比較>



<レシーバー関数の観測値と理論値の比較>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

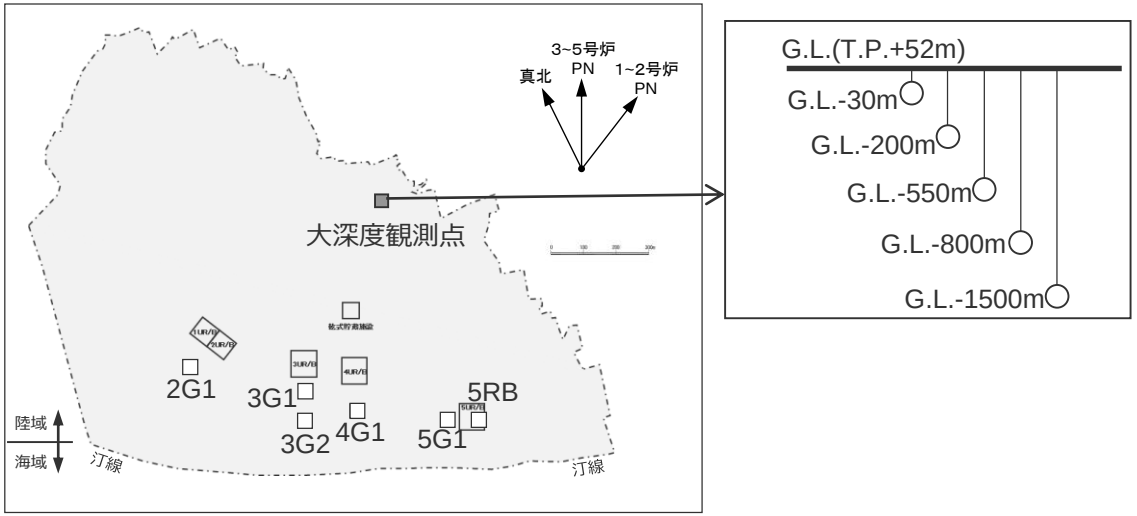
<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ②））

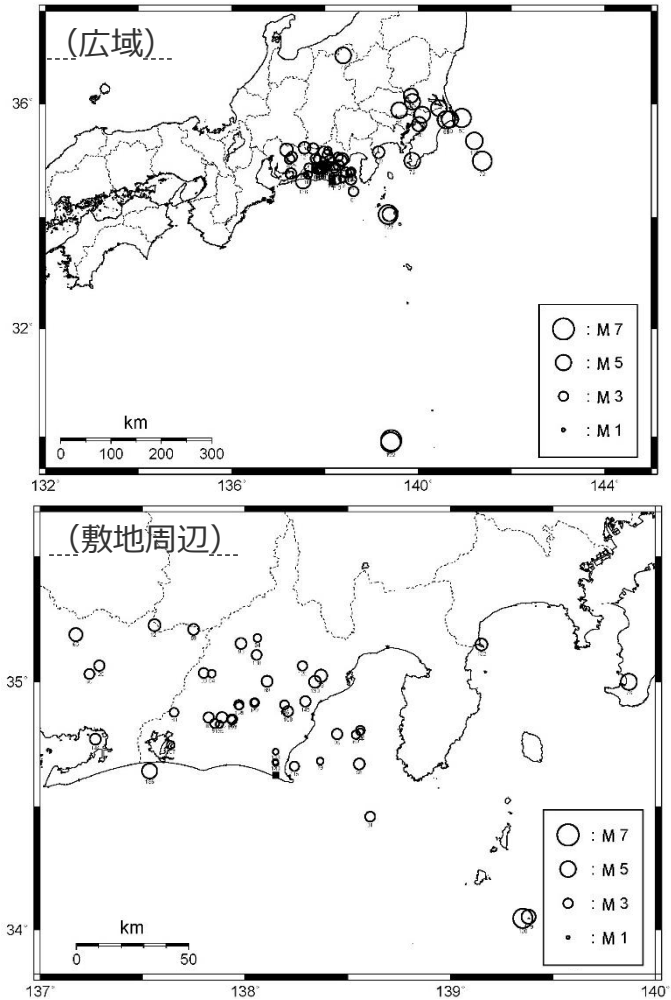
第194回
資料1 p.58一部修正

＜アプローチ②＞地震観測記録を用いた地盤モデルの推定（G.L.-1500m以浅）

○大深度観測点において、伝達関数（G.L.-1500m以浅）の観測値と理論値の差が最小となる地盤モデルを推定。



＜検討に用いる地震計の配置図（大深度観測点）＞



＜検討に用いる観測地震の震央分布＞
（観測分析期間：2012年3月14日～2013年10月6日）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・敷地図を変更。
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第194回
資料1 p.59修正

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ②））

○大深度観測点におけるPS検層結果等に基づき、初期モデルと探索範囲を設定。
○観測地震における伝達関数（G.L.-1500m以浅）の逆解析により、地盤モデルを推定。

深さ GL-(m)	層厚 (m)	密度 (g/cm³)	初期モデル S波速度 (m/s)	探索範囲 S波速度 (m/s) 下限	S波速度 (m/s) 上限	h0 下限	h0 上限	α 下限	α 上限	最適化結果 S波速度 (m/s)	h0	α
0												
2	10	1.88	240	120	480					187		
10												
	5	1.88	380	190	760	0	1	0	1	296	1.000	0.484
15												
	5	1.88	540	270	1080					420		
20												
● 30	12	2.07	720	360	1440					560		
32												
▼ 67	69	2.06	720	360	1440					773		
101												
	97	2.09	830	415	1660	0	1	0	1	831	0.065	1.000
198												
● 200	209	2.12	900	450	1800					978		
407												
	139	2.09	1100	550	2200					1045		
546												
● 550	246	2.09	1230	615	2460					1201		
792												
● 800	355	2.27	1420	710	2840					1486		
1147						0	1	0	1		0.022	1.000
	353	2.31	1590	795	3180					1759		
● 1500												
	-	2.31	1590	795	3180					1759		

● ：地震計
▼ ：解放基盤表面

（水平動）

深さ GL-(m)	層厚 (m)	密度 (g/cm³)	初期モデル P波速度 (m/s)	探索範囲 P波速度 (m/s) 下限	P波速度 (m/s) 上限	h0 下限	h0 上限	α 下限	α 上限	最適化結果 P波速度 (m/s)	h0	α
0												
2	10	1.88	571	571	571					571		
10												
	5	1.88	982	982	982	0	1	0	1	982	1.000	0.447
15												
	5	1.88	1541	1541	1541					1541		
20												
● 30	11	2.07	1991	1991	1991					1991		
31												
▼ 67	46	2.06	1961	1961	1961					1961		
77												
	121	2.09	2239	2239	2239	0	1	0	1	2239	0.219	1.000
198												
● 200	260	2.12	2197	2197	2197					2197		
458												
● 550	216	2.09	2203	2203	2203					2203		
674												
● 800	263	2.23	2525	2525	2525					2525		
937												
	270	2.27	3037	3037	3037	0	1	0	1	3037	0.049	1.000
1207												
	293	2.31	3440	3440	3440					3440		
● 1500												
	-	2.31	3440	3440	3440					3440		

● ：地震計
▼ ：解放基盤表面

（鉛直動）

減衰定数モデル：$h(f)=h_0 f^{-\alpha}$

<推定した地盤モデル>

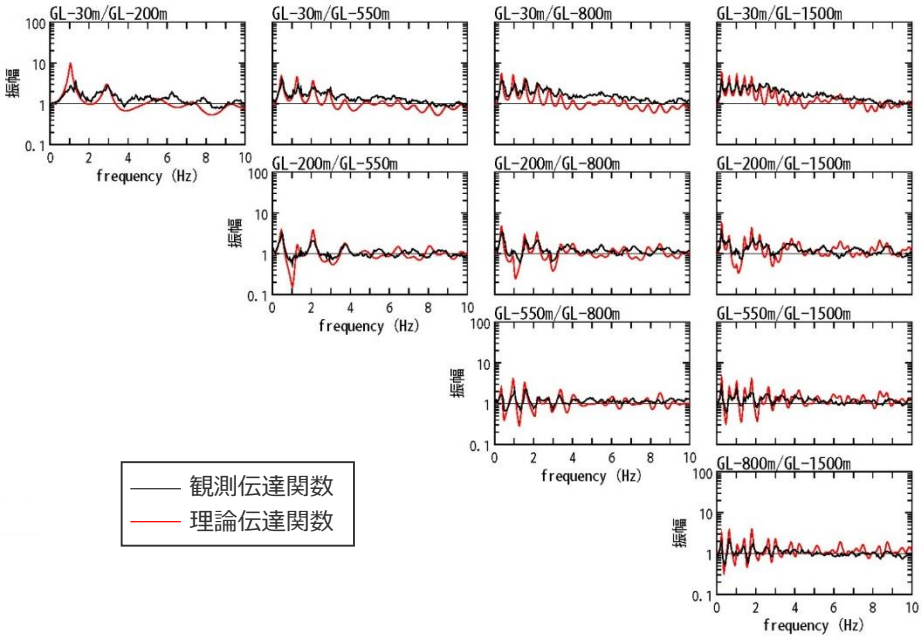
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第194回
資料1 p.60再掲

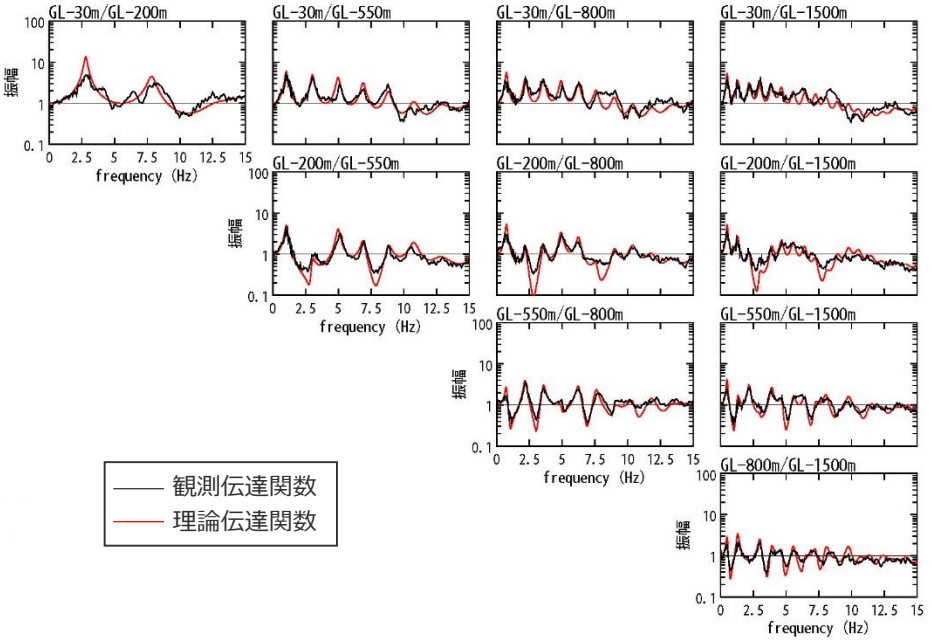
統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ②））

○観測地震におけるS波部（水平平均）の伝達関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、地盤モデル（Vs, Qs）を推定。



<S波部（水平平均）の伝達関数の観測値と理論値の比較>

○観測地震におけるP波部（上下成分）の伝達関数の観測値と理論値の差が最小となるよう、地盤モデル（Vp, Qp）を推定。



<P波部（上下成分）の伝達関数の観測値と理論値の比較>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（地盤増幅率の比較検討）

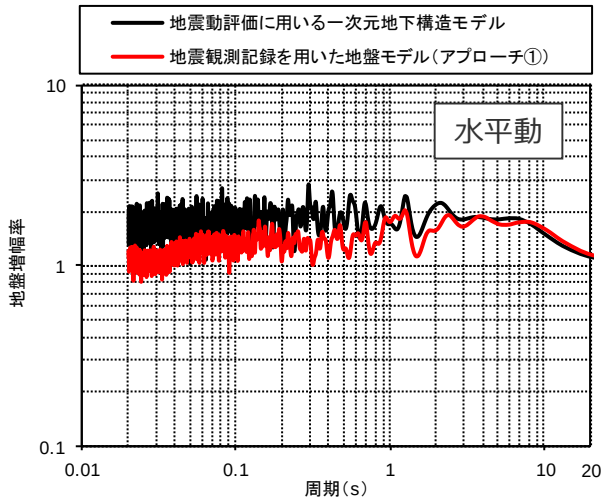
第194回
資料1 p.61再掲

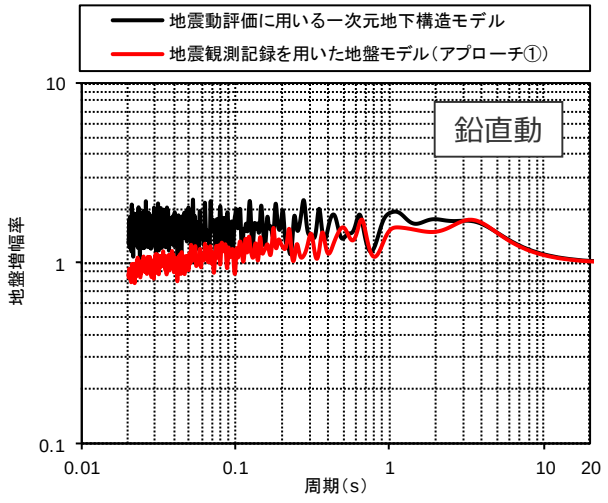
○地震動評価に用いる一次元地下構造モデルと地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①及びアプローチ②）との地盤増幅率の比較検討を行った。

○その結果、地盤増幅の周期特性については、両者に明瞭な卓越周期は見られず概ね一致しており、振幅については、地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの方が大きくなっている。

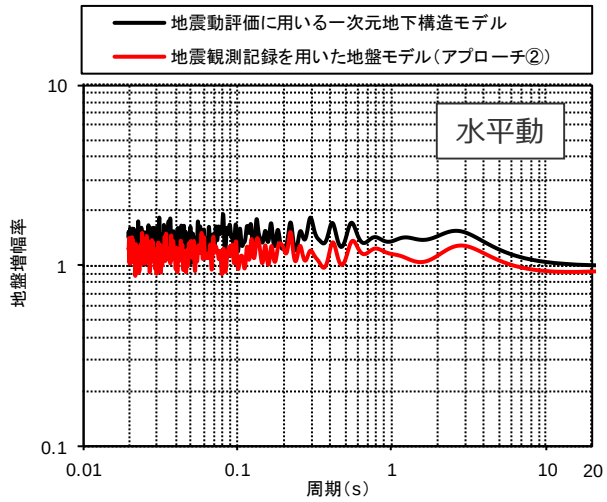
⇒**速度構造については両者が概ね同様**となっており、**Q値については地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの方が地震観測記録を用いて推定した地盤モデルに比べ保守的に設定**されていることを示している。

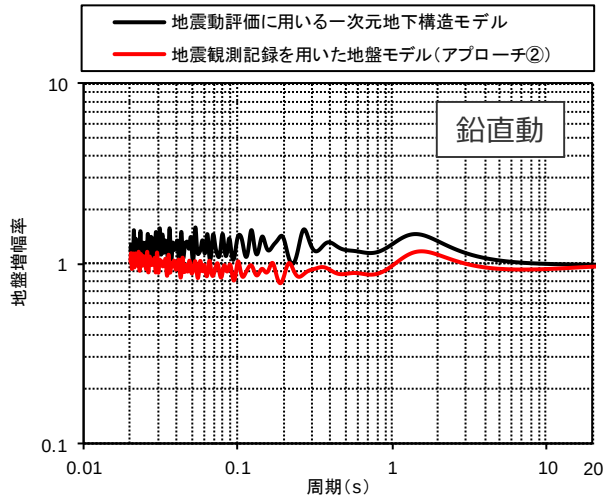
地震動評価に用いる一次元地下構造モデルと地盤モデル（アプローチ①）との地盤増幅率の比較
（解放基盤表面／地震基盤面）





地震動評価に用いる一次元地下構造モデルと地盤モデル（アプローチ②）との地盤増幅率の比較
（解放基盤表面／G.L.-1500m）





Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

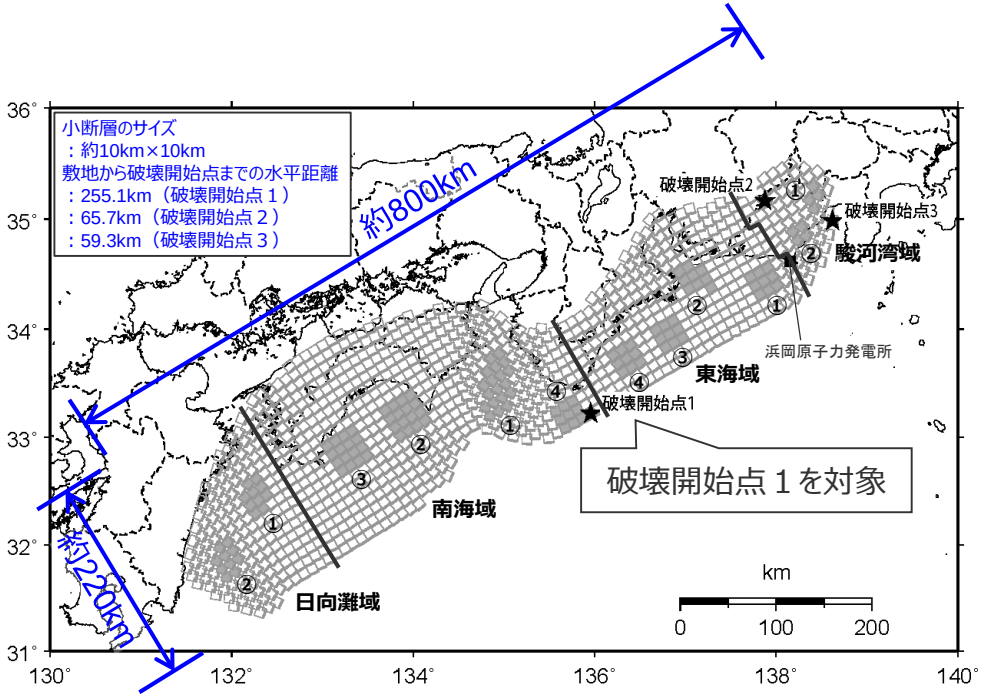
<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第194回
資料1 p.62一部修正

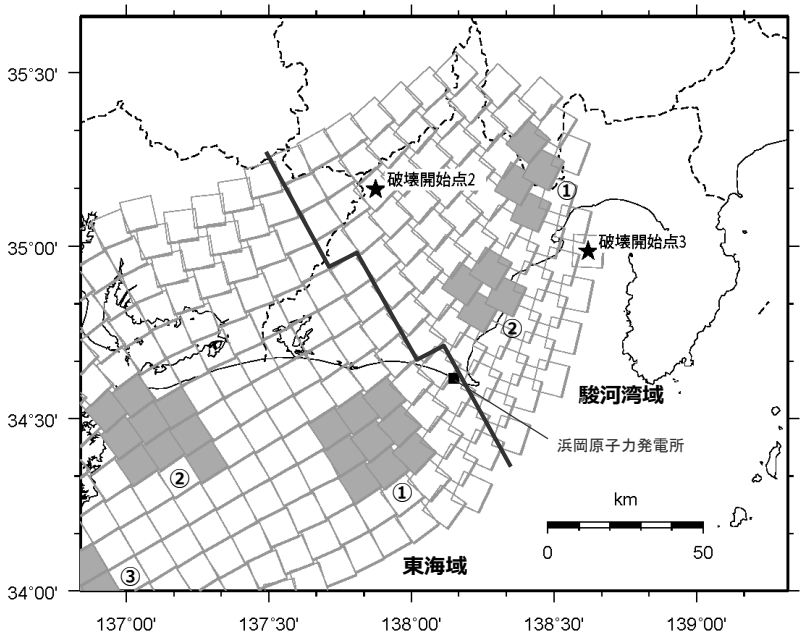
統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（プレート間地震の地震動評価結果の比較検討）

○プレート間地震の検討用地震である南海トラフ最大クラス地震モデル（基本ケース）を例として、地震動評価に用いる一次元地下構造モデル及び地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①及びアプローチ②※1）をそれぞれ用いた統計的グリーン関数法による地震動評価を行い、各評価結果の比較検討を行う。

※1：地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ②）はG.L.-1500m以浅のモデルであり、地震動評価に際して、これ以深は地震動評価に用いる一次元地下構造モデルを用いる。



（全体）



（敷地周辺）

<プレート間地震の検討用地震（南海トラフ最大クラス地震モデル（基本ケース）※2）>

※2：内閣府(2012)の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」で検討された南海トラフで想定される最大クラスの地震の強震断層モデルに基づき設定。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

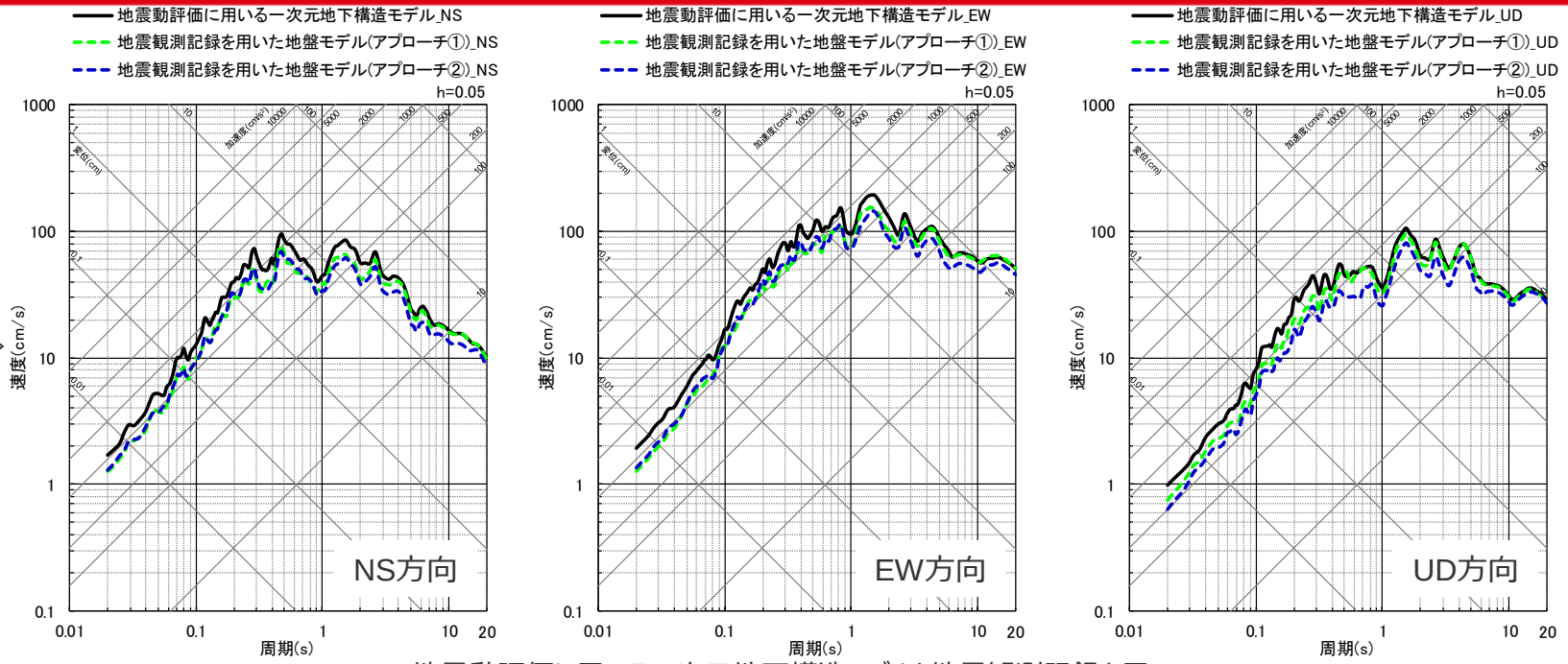
・領域境界、強震動生成域のNo.等の情報を追記。

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第194回
資料1 p.63修正

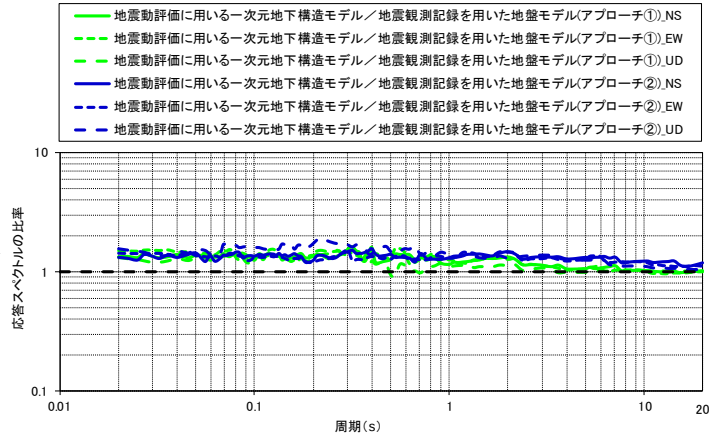
統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（プレート間地震の地震動評価結果の比較検討）

地震動評価結果の比較



地震動評価に用いる一次元地下構造モデルと地震観測記録を用いて推定した地盤モデル（アプローチ①、②）との応答スペクトル比を算出

応答スペクトルの比率



○地震動評価結果の周期特性については、いずれも同様となっており、振幅については、地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの方が大きくなっている。

⇒**速度構造についてはいずれも概ね同様**となっており、**Q値については地震動評価に用いる一次元地下構造モデルの方が地震観測記録を用いて推定した地盤モデルに比べ保守的に設定**されていることを示している。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-11 統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

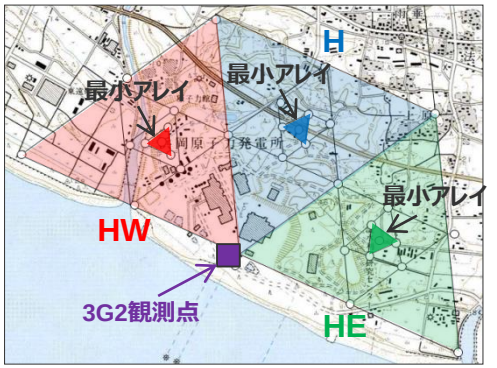
第194回
資料1 p.64一部修正

統計的グリーン関数法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（観測記録（Coda波部H/Vスペクトル、微動アレイ観測による分散曲線）との整合性）

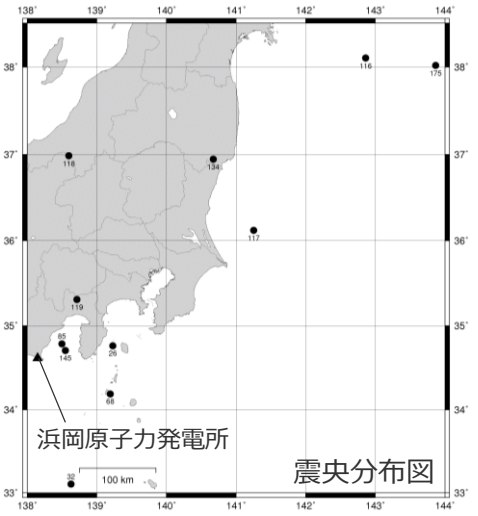
○Coda波部を対象とした観測H/Vスペクトル（観測値）と各モデルの理論H/Vスペクトル（理論値）との比較検討を行った結果、観測値に明瞭な卓越周期は見られず、各モデルの理論値は同様の傾向となっており、観測値と概ね整合している。

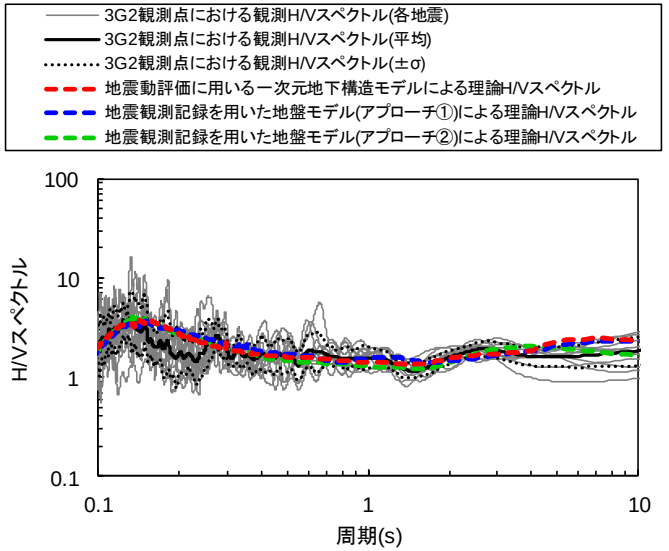
○微動アレイ観測による観測分散曲線（観測値）と各モデルの理論分散曲線（理論値）との比較検討を行った結果、各モデルの理論値は同様の傾向となっており、観測値と概ね整合している。

・観測H/Vスペクトルは3G2観測点の観測記録に基づき算出しており、各モデルの解放基盤表面以浅の表層地盤には3G2観測点における最適化地盤を用いる。
・微動アレイ観測の最小アレイ位置の表層地盤状況を踏まえて、各モデルの解放基盤表面以浅の表層地盤には上記の最適化地盤モデル（3G2観測点）に表層地盤（Vs200m/s、層厚6m）を付加。

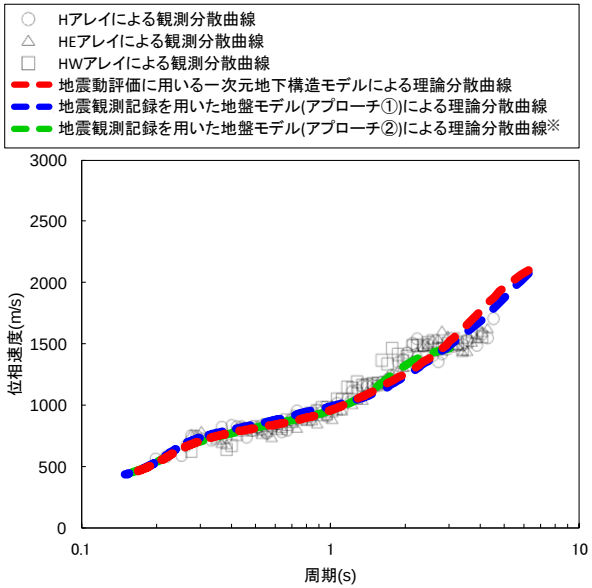


<微動アレイ観測及び3G2観測点の位置図>





<H/Vスペクトルの比較>



<分散曲線の比較>

※地盤モデル（アプローチ②）は、G.L.-1500m以浅のモデルであり、地震基盤面以浅のモデルであるその他のモデルと下端深さが異なるため、描画帯域を変更する。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

補足説明資料①-12
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第882回
資料1-1 p.55一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（地震動評価に用いる一次元地下構造モデル（概要））

○地震動評価に用いる一次元地下構造モデルは、地下構造調査により得られた詳細な地下構造データ等に基づき設定し、敷地の観測記録の再現検討等を踏まえてその妥当性を確認している。

＜速度構造＞

・T.P.-14m～T.P.-2050mでは、S波速度及びP波速度の両方が得られる浅部及び大深度ボーリング調査のPS検層結果（ダウンホール法）に基づき、S波速度及びP波速度を設定する。

・T.P.-2050m以深について、P波速度は屈折法地震探査結果（海陸統合）に基づき設定し、S波速度は、T.P.-5050m以浅では各調査結果に基づき算定したVp－Vs関係式（Vs=0.68Vp-580(m/s)）を、T.P.-5050m以深ではObana et al.(2004)によるVp-Vs関係式（Vp/Vs=1.78）を用いて、P波速度から推定する。

＜密度＞

・各調査結果との対応が良いGardner et al.(1974)のVp－ρ関係式（$\rho=0.31Vp^{0.25}$(g/cm^3)）を用いて、P波速度から推定する。

＜Q値＞

・統計的グリーン関数法（短周期の地震動評価）：$100f^{0.7}$※1、波数積分法（長周期の地震動評価）：Qs=Vs/10、Qp=2Qs※2

※1 中央防災会議(2001a)、※2 原子力安全基盤機構(2007)、新色・山中(2013)。

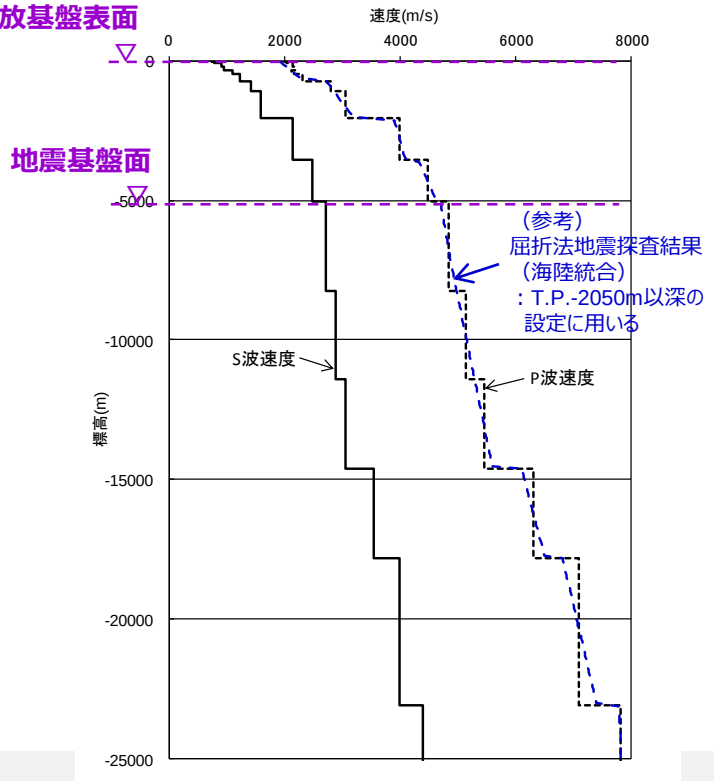
解放基盤表面

統計的グリーン関数法で用いる地下構造（地震基盤以浅）

地震基盤面

波数積分法で用いる地下構造（全層）

層	標高 (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ρ (g/cm^3)	Vp/Vs
1	-14	740	2000	2.07	2.70
2	-32	790	2030	2.08	2.57
3	-62	830	2070	2.09	2.49
4	-92	910	2140	2.11	2.35
5	-192	960	2180	2.12	2.27
6	-354	1100	2110	2.10	1.92
7	-493	1230	2320	2.15	1.89
8	-739	1420	2790	2.25	1.96
9	-1094	1590	3060	2.31	1.92
10	-2050	2150	3990	2.46	1.86
11	-3550	2470	4470	2.53	1.81
12	-5050	2720	4830	2.58	1.78
13	-8240	2880	5130	2.62	1.78
14	-11400	3060	5450	2.66	1.78
15	-14600	3540	6300	2.76	1.78
16	-17800	3990	7100	2.85	1.78
17	-23100	4390	7810	2.91	1.78



・統計的グリーン関数法には地震基盤以浅の地下構造を、波数積分法には全層の地下構造を用いる。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・箱書きの参照資料に関する記載を削除。

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.3一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（検討概要）

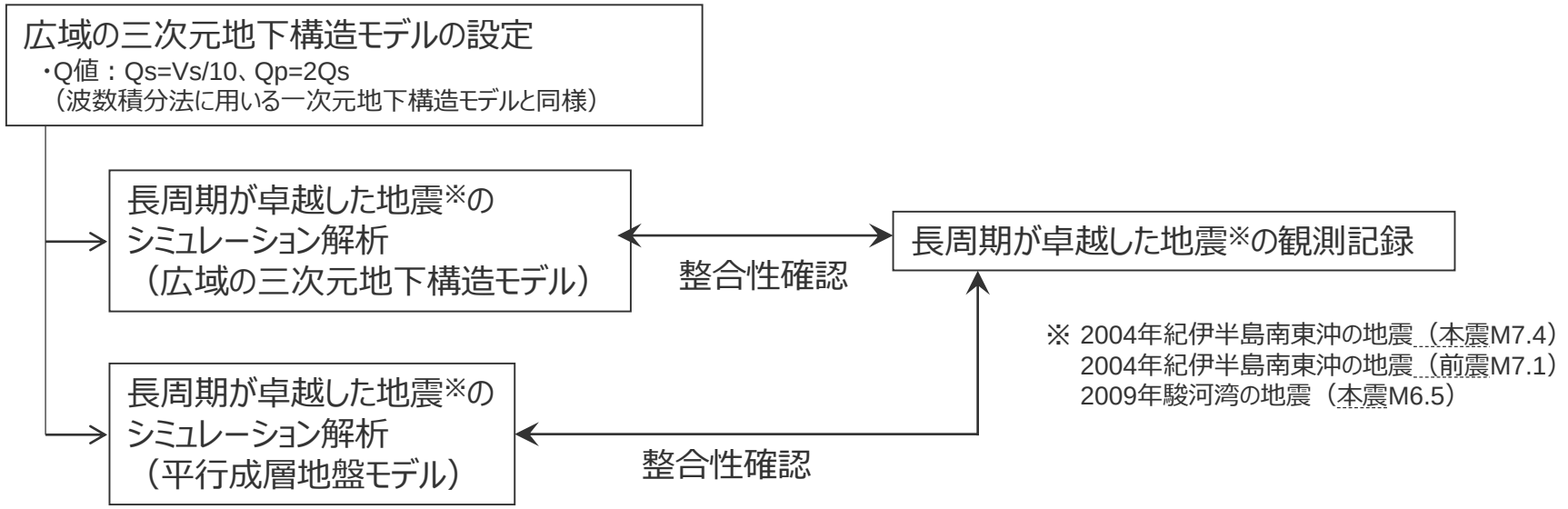
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定

○波数積分法（長周期の地震動評価）に用いる一次元地下構造モデルについて、速度構造は統計的グリーン関数法と同様の方法で設定し、**Q値はQs=Vs/10、Qp=2Qsとして設定**している。

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定の妥当性確認

○長周期の地震動が卓越した、2004年紀伊半島南東沖の地震（本震M7.4及び前震M7.1）、2009年駿河湾の地震（本震M6.5）を対象として、**波数積分法に用いる一次元地下構造モデルと同様のQ値**を用いて、**広域の三次元地下構造モデル及び平行成層地盤モデルによるシミュレーション解析**を行い、**観測記録の再現性を検討**する。

⇒波数積分法に用いる一次元地下構造モデル（Q値や速度構造）の設定の妥当性を確認する。



Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.4一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（広域の三次元地下構造モデル（概要））

○敷地周辺の三次元地下構造モデル（地震基盤以浅）を踏まえて、2004年紀伊半島南東沖の地震（本震及び前震）や2009年駿河湾の地震（本震）の観測記録のシミュレーション解析を行うため、モデル化範囲を拡張した広域の三次元地下構造モデルを設定する。

【既往報告】
敷地周辺の三次元地下構造モデル
（解放基盤表面～地震基盤）

長周期の地震動を評価するため
・表層地盤及び地震基盤以深の層を追加
・駿河湾域～東南海域～南海域～日向灘域にかけてモデル化範囲を拡張

【新規報告】
広域の三次元地下構造モデル※1
（表層地盤～地震基盤～マントル）

三次元有限差分法
によるシミュレーション解析

フィードバック

長周期の地震動が卓越した地震※2
のシミュレーション解析

整合性確認

長周期の地震動が卓越した地震※2の観測記録

※1： Q値はQs=Vs/10、Qp=2Qsとして設定

※2： 2004年紀伊半島南東沖の地震（本震M7.4）
2004年紀伊半島南東沖の地震（前震M7.1）
2009年駿河湾の地震（本震M6.5）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

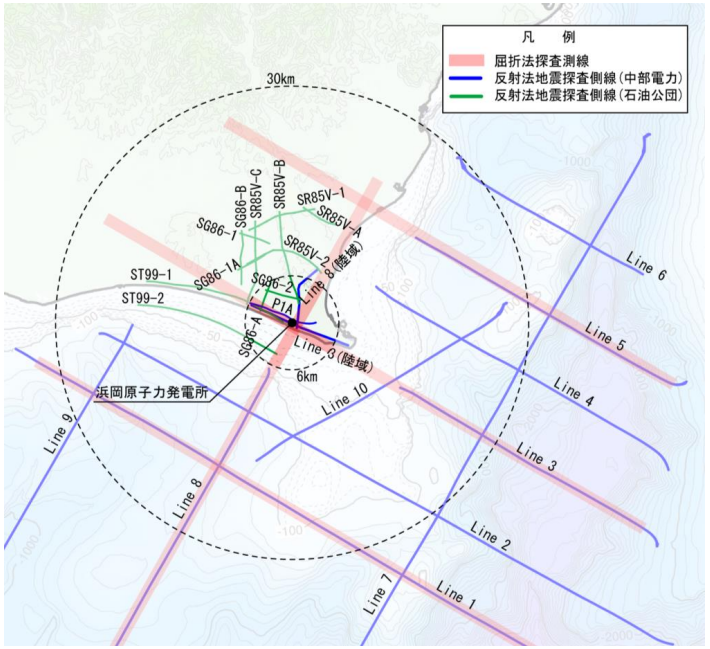
・上段箱書き「これまでに報告した」を削除。
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.5一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（敷地周辺の三次元地下構造モデル）

○敷地周辺の深部からやや浅部を対象とした地下構造調査（屈折法地震探査、反射法地震探査、大深度ボーリング調査・物理検層、既往調査等）の結果に基づき、敷地周辺の地震基盤以浅の深部三次元地下構造モデルを作成。

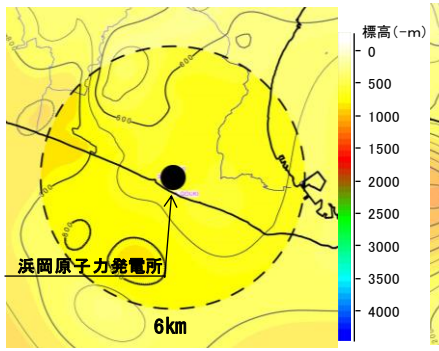


<敷地周辺の地下構造調査>

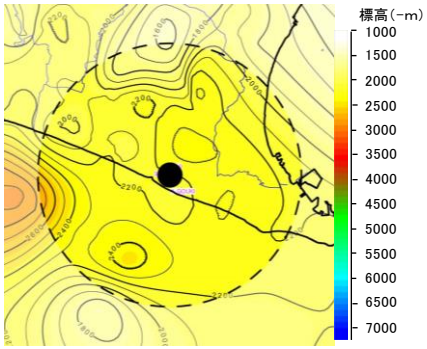
深部三次元地下構造モデルの作成

<各層の物性値>

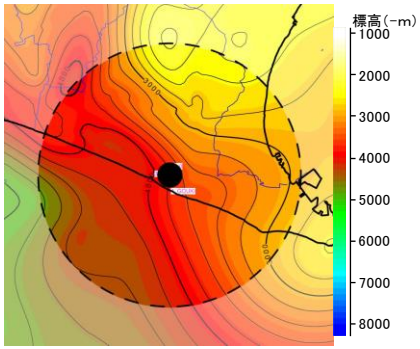
層区分	上面			下面		
	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	密度 (g/cm³)
A層	700	2000	2.07	1330	2560	2.21
B層	1330	2560	2.21	1580	3180	2.33
C層	2130	3990	2.46	2200	4080	2.48
D層	2350	4310	2.51	2560	4610	2.56
E層	2620	4700	2.57	3230	5600	2.68



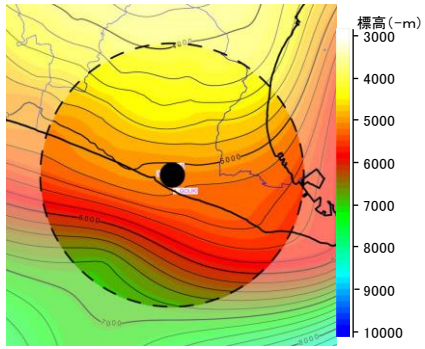
A層下面



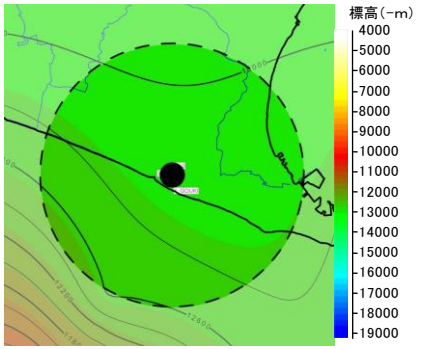
B層下面



C層下面



D層下面



E層下面

<各層境界のコンター>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（___）は、一部修正箇所を示す。
・探査測線図を変更。

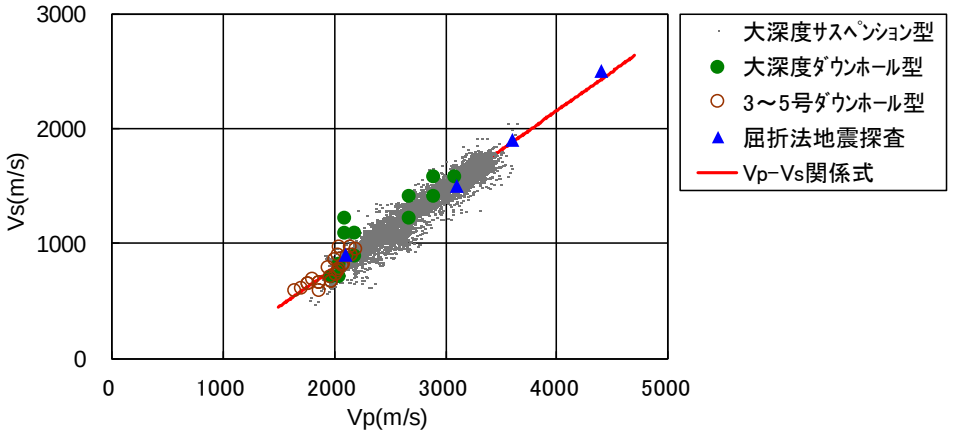
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.6再掲

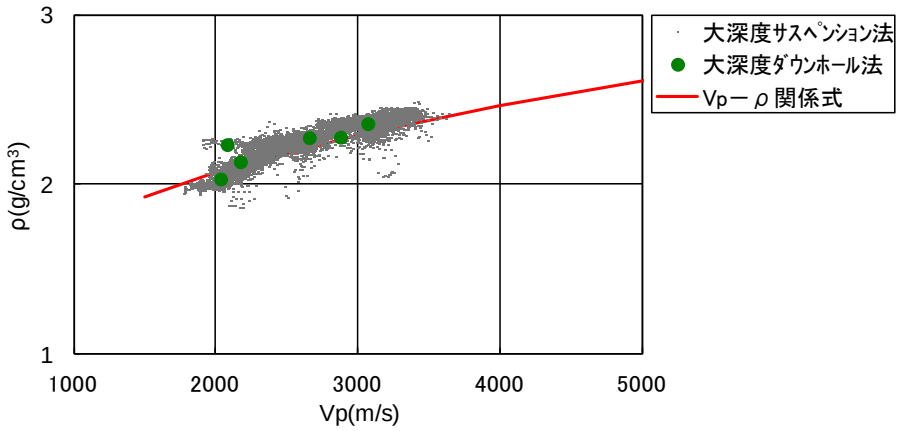
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（広域の三次元地下構造モデル（概要））

＜各層の物性値の設定方法＞

層	物性値	設定方法
A層～B層	P波速度	・大深度ボーリングのPS検層結果を用いて設定する。
	S波速度	
	密度	・各調査結果との対応が良いVp－ρ関係式を用いてP波速度から推定する。 Vp－ρ関係式：$\rho=0.31Vp^{0.25}$(g/cm^3)（Gardner et al.(1974)）
C層～E層	P波速度	・屈折法地震探査結果を用いて設定する。
	S波速度	・各調査結果に基づき作成したVp－Vs関係式を用いてP波速度から推定する。 Vp－Vs関係式：Vs=0.68Vp－580(m/s)
	密度	・A層～B層の設定方法と同じ。



＜Vp－Vs関係式と各調査結果との対応＞



＜Vp－ρ関係式と各調査結果との対応＞

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.7一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（広域の三次元地下構造モデル（物性値の設定））

：敷地周辺の三次元地下構造モデル（前述）から追加する層区分

Q値の設定：Qs=Vs/10、Qp=2Qs

No.	層区分		上面 Vp (km/s)	上面 Vs (km/s)	上面 密度 (g/cm^3)	下面 Vp (km/s)	下面 Vs (km/s)	下面 密度 (g/cm^3)
1	Vs350	表層地盤の物性値（地震調査委員会(2012b)による地下構造モデルを踏まえて設定）	1.70	0.35	1.99	1.70	0.35	1.99
2	Vs400		1.70	0.40	1.99	1.70	0.40	1.99
3	Vs500		1.80	0.50	2.02	1.80	0.50	2.02
4	Vs600		2.00	0.60	2.07	2.00	0.60	2.07
5	A1	敷地周辺の三次元地下構造モデル（前述）と同様の設定	2.00	0.70	2.07	2.14	0.86	2.11
6	A2		2.14	0.86	2.11	2.28	1.02	2.14
7	A3		2.28	1.02	2.14	2.42	1.17	2.17
8	A4		2.42	1.17	2.17	2.56	1.33	2.21
9	B1		2.56	1.33	2.21	2.77	1.41	2.25
10	B2		2.77	1.41	2.25	2.97	1.50	2.29
11	B3		2.97	1.50	2.29	3.18	1.58	2.33
12	C		3.99	2.13	2.46	4.08	2.20	2.48
13	D		4.31	2.35	2.51	4.61	2.56	2.55
14	E1		4.70	2.62	2.57	5.15	2.93	2.63
15	E2		5.15	2.93	2.63	5.60	3.23	2.68
16	Conrad面まで	地震基盤以深の物性値（地震調査委員会(2012b)による地下構造モデルを踏まえて設定）	6.00	3.47	2.73	6.40	3.70	2.77
17	Moho面まで		6.41	3.71	2.77	6.83	3.95	2.82
18	F（陸域マントル）		7.80	4.51	2.91	7.80	4.51	2.91
19	G1（海洋性地殻第2層）		5.00	2.90	2.40	5.00	2.90	2.40
20	G2（海洋性地殻第3層）		6.00	3.47	2.73	7.40	4.28	2.88
21	H（海域マントル）		8.00	4.62	2.93	8.00	4.62	2.93

解放基盤表面→（A1層上面）

地震基盤面→（E1層上面）

プレート境界面→（G1層上面）

・層境界の分割は地震調査委員会(2012b)による地下構造モデルを踏まえて設定。
・密度はGardner et al.(1974)に基づき設定（G1層のみ地震調査委員会(2012b)による地下構造モデルに基づき設定）。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

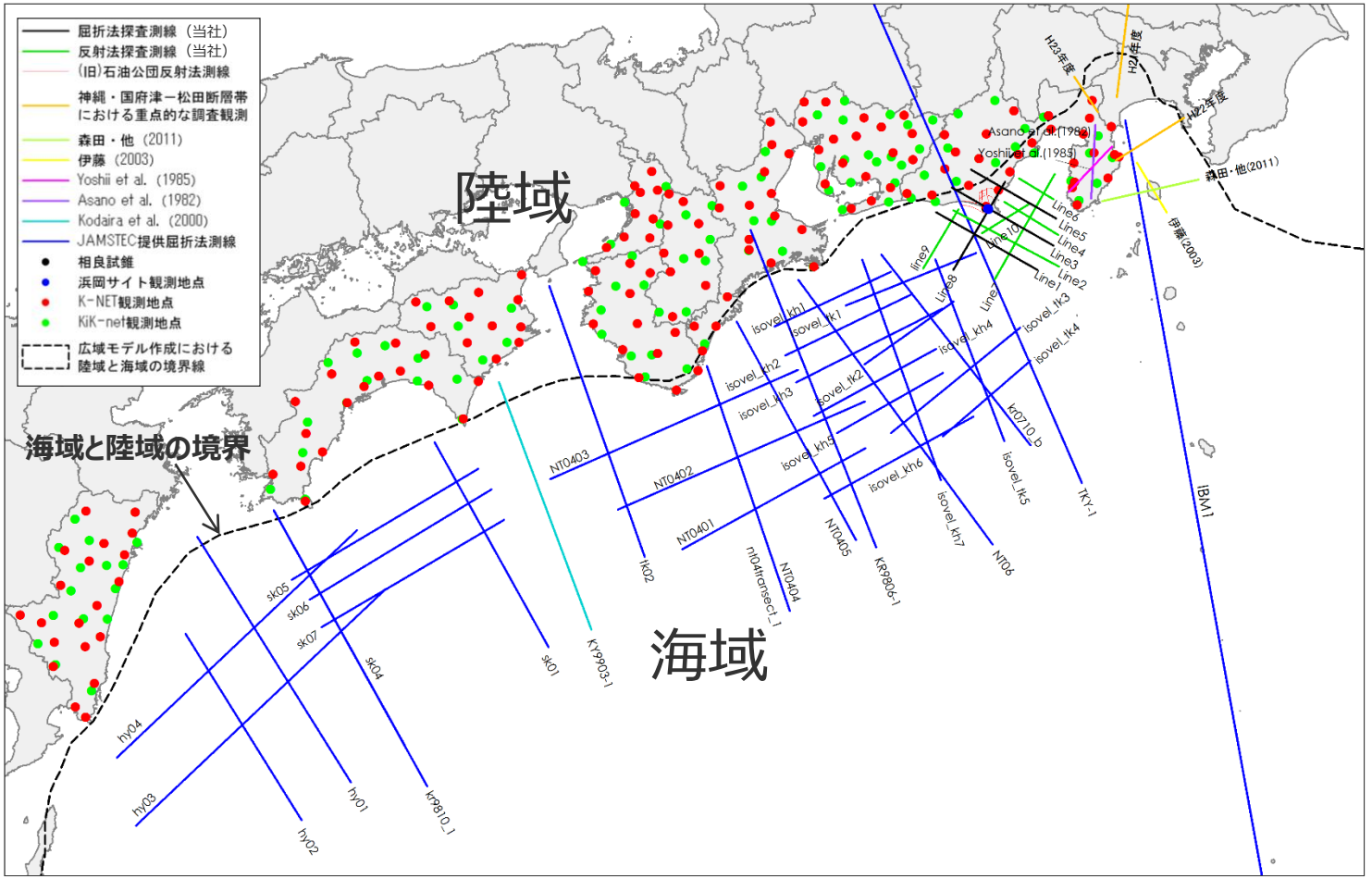
・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.8一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（広域の三次元地下構造モデル（層境界の設定））

○層境界について、海域は主に弾性波探査の探査結果を踏まえて設定し、陸域は地震調査委員会(2012b)に基づき作成した地下構造モデルをベースに、H/Vスペクトルによるモデルチューニングを踏まえて設定する。



・海域部と陸域部の境界については、弾性波探査の探査結果（海域）と地震調査委員会(2012b)による地下構造モデル（陸域）との連続性を踏まえて設定する。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

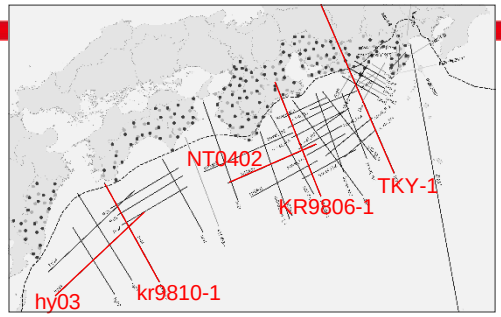
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

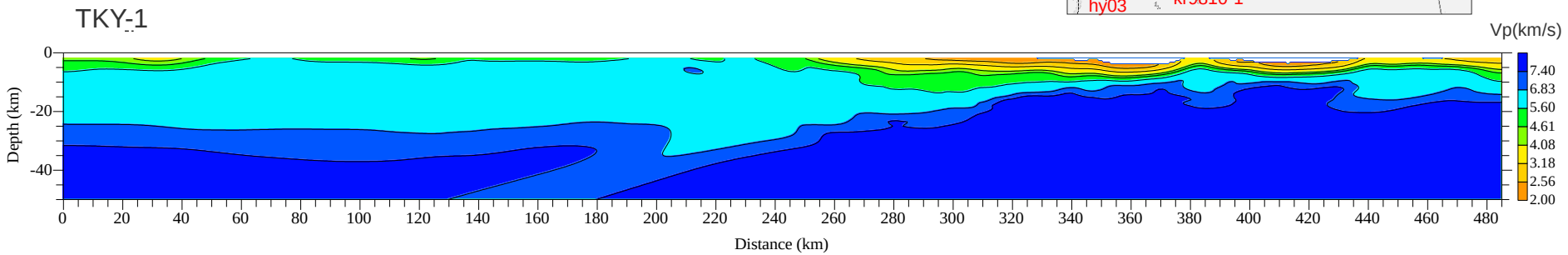
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

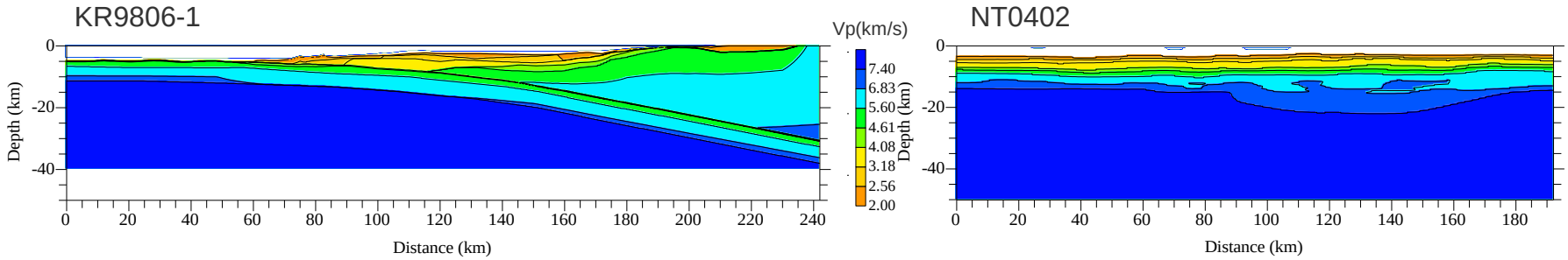
第246回
資料1-2 p.9一部修正

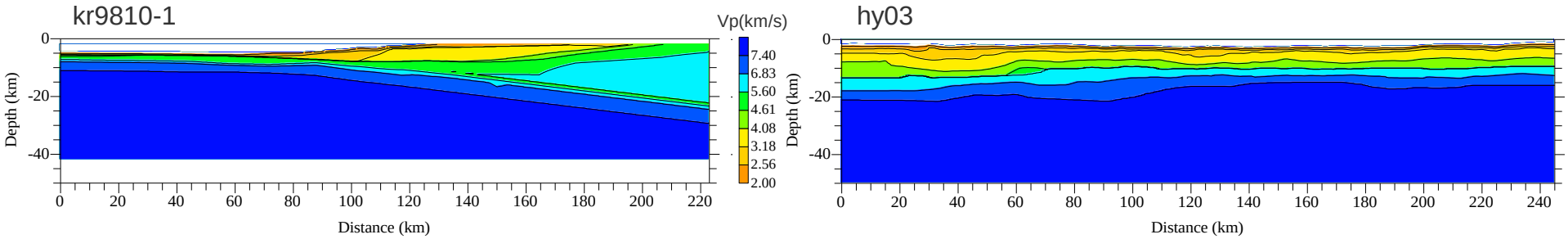
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（広域の三次元地下構造モデル（調査結果））

○海域の層境界の設定に用いる弾性波探査の探査結果（P波速度構造）の例を以下に示す。









Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

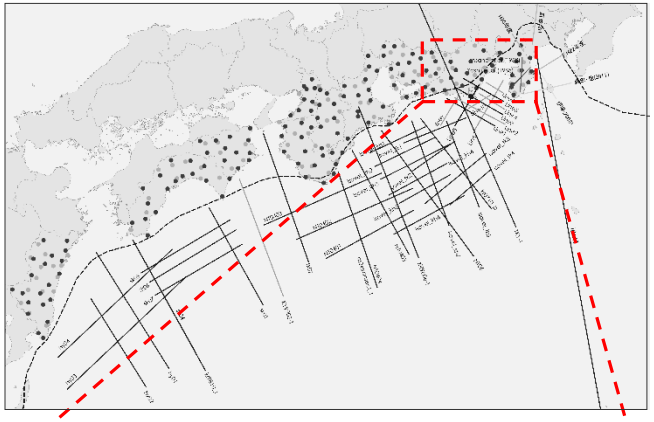
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

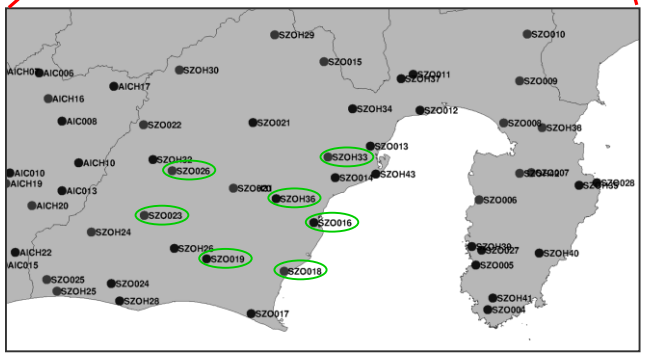
第246回
資料1-2 p.10一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定

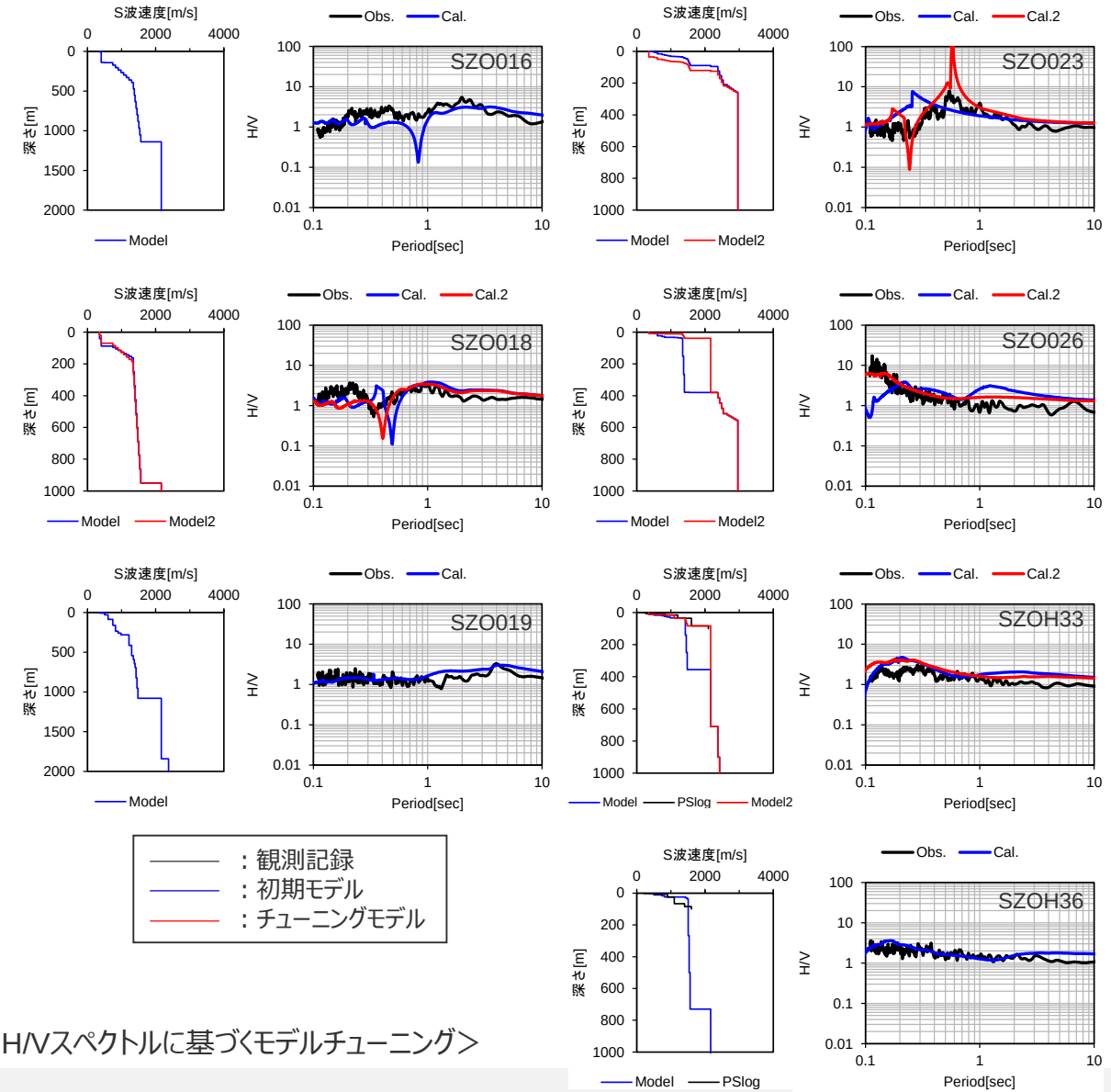
（広域の三次元地下構造モデル（H/Vスペクトルに基づくモデルチューニング））

○陸域において、地震調査委員会(2012b)に基づき作成した地下構造モデルをベースとして、H/Vスペクトルによりモデルをチューニングした例を以下に示す。





：H/Vスペクトルチューニング例を示す観測点



：観測記録
：初期モデル
：チューニングモデル

<H/Vスペクトルに基づくモデルチューニング>

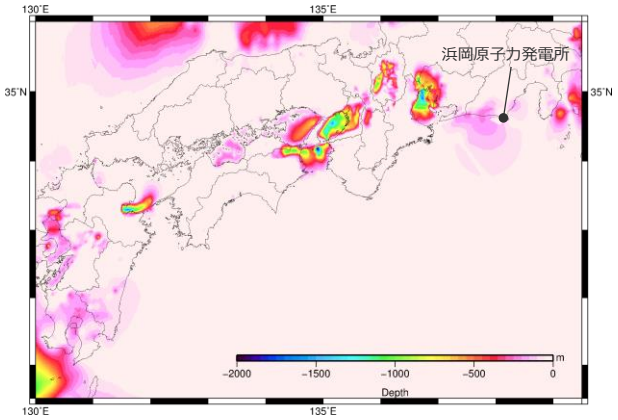
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

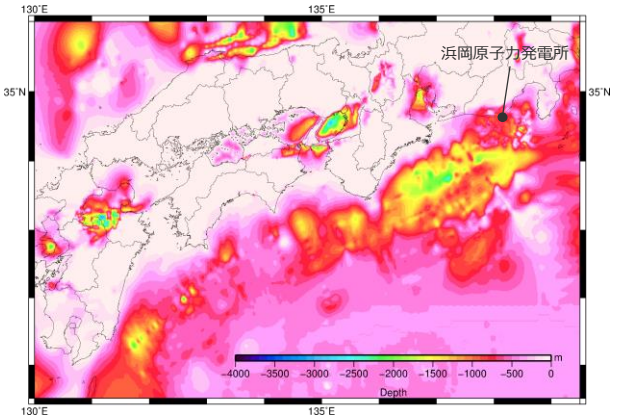
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.11再掲

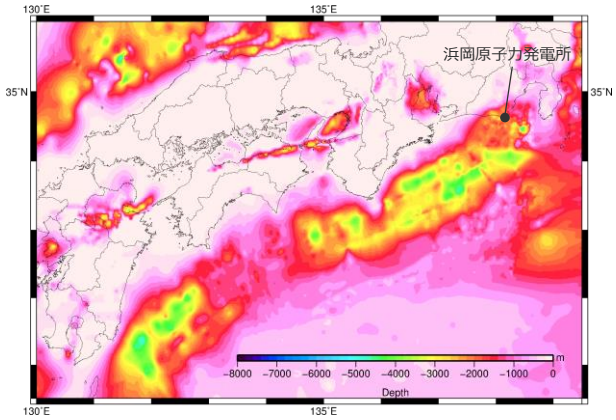
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（広域の三次元地下構造モデル（各層境界のコンター））



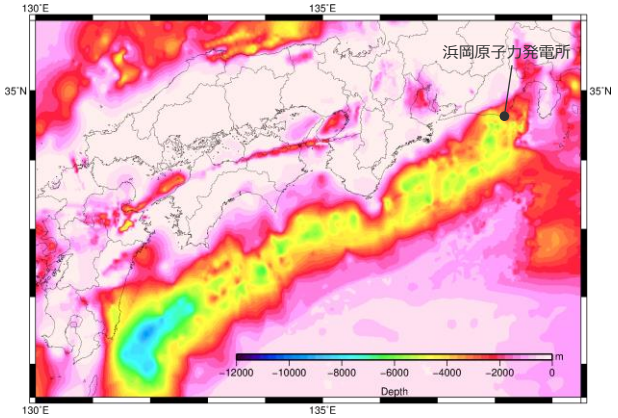
表層下面
（L4層下面）



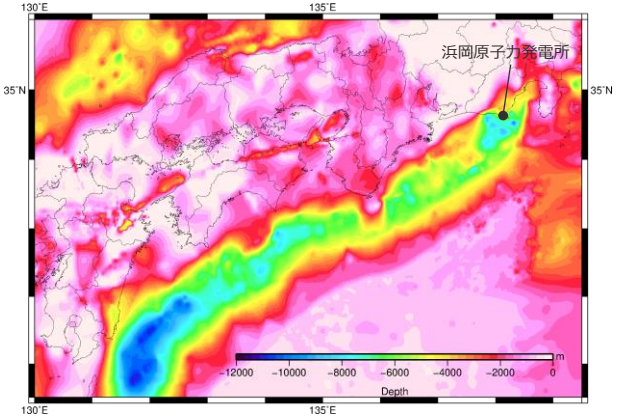
A層（A4層）下面
（L8層下面）



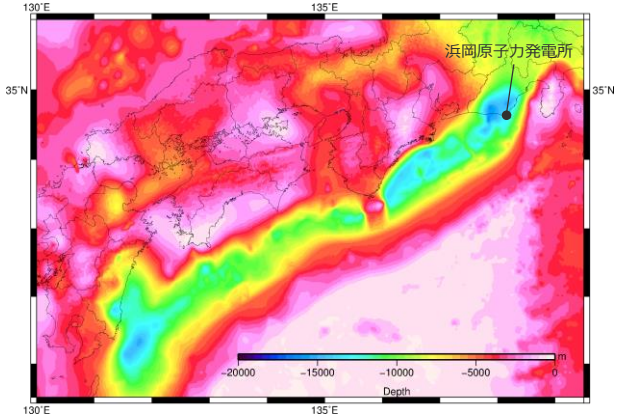
B層（B3層）下面
（L11層下面）



C層下面
（L12層下面）



D層下面
（L13層下面）
<地震基盤面>



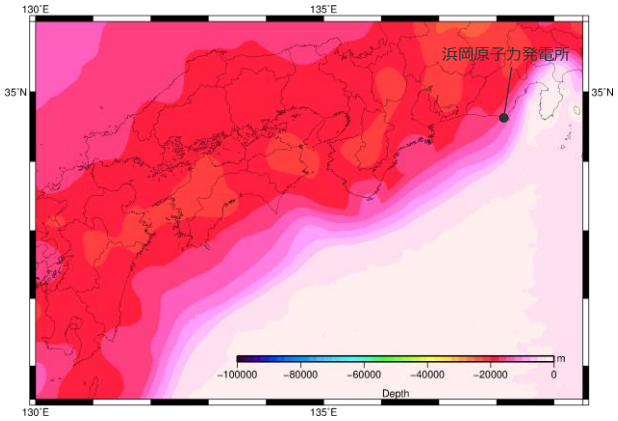
E層（E2層）下面
（L15層下面）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

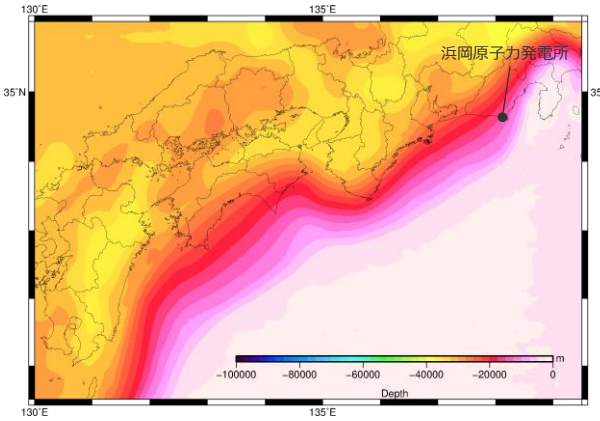
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.12再掲

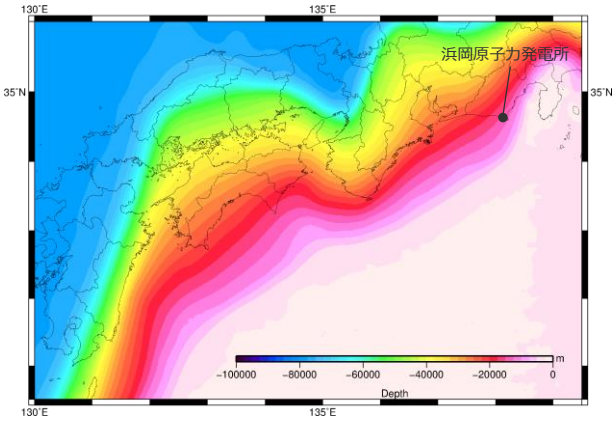
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定
（広域の三次元地下構造モデル（各層境界のコンター））



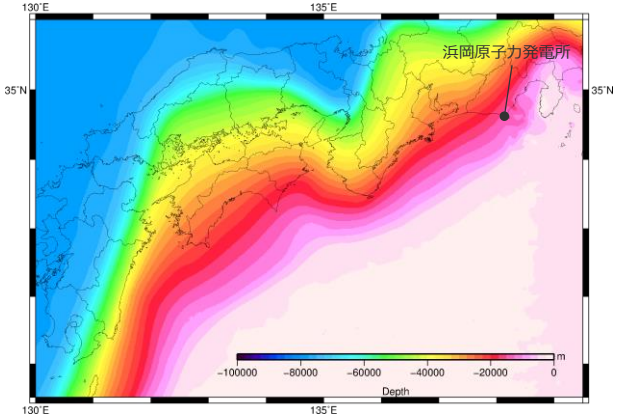
コンラッド面※1
（L16層下面）



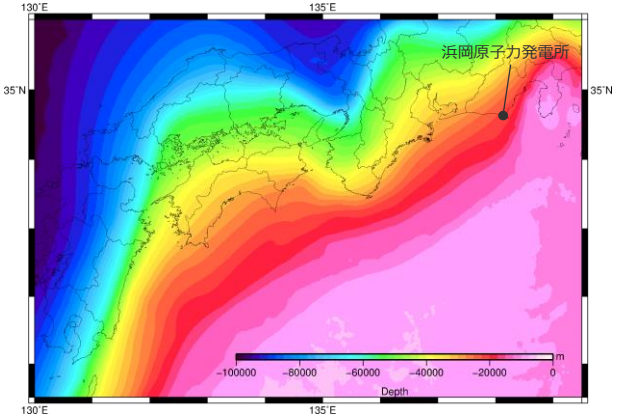
モホ面※2
（L17層下面）



F層（陸域マントル）下面
（L18層下面）
<プレート境界面※3>



G1層下面
（L19層下面）



G2層下面
（L20層下面）

※1：Katsumata(2010)による
※2：Katsumata(2010)による
※3：内閣府(2012)による

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.13一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証
（観測記録のシミュレーション解析（概要））

○長周期の地震動が卓越した、2004年紀伊半島南東沖の地震（本震M7.4及び前震M7.1）、2009年駿河湾の地震（本震M6.5）を対象として、三次元有限差分法に基づき、**波数積分法に用いる一次元地下構造モデルと同様のQ値**を用いて、**広域の三次元地下構造モデル（モデル①）及び平行成層地盤モデル（モデル②・③）によるシミュレーション解析**を行い、**観測記録の再現性を検討**する。

○具体的には、まず、敷地やその周辺等の観測点を対象とした、広域の三次元地下構造モデル（モデル①）による観測記録のシミュレーション解析を行い、次に、敷地の観測点を対象とした、平行成層地盤モデル（モデル②・③）による観測記録のシミュレーション解析を行う。

＜解析対象とする地下構造モデル（Q値はいずれもQs=Vs/10、Qp=2Qs）＞
- モデル①：広域の三次元地下構造モデル
- モデル②：モデル①における敷地直下の地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル
- モデル③：波数積分法に用いる地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル

モデル①～③のシミュレーション結果が観測記録を再現できることを確認する。

||

波数積分法に用いる一次元地下構造モデル（Q値や速度構造）の設定の妥当性を確認する。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

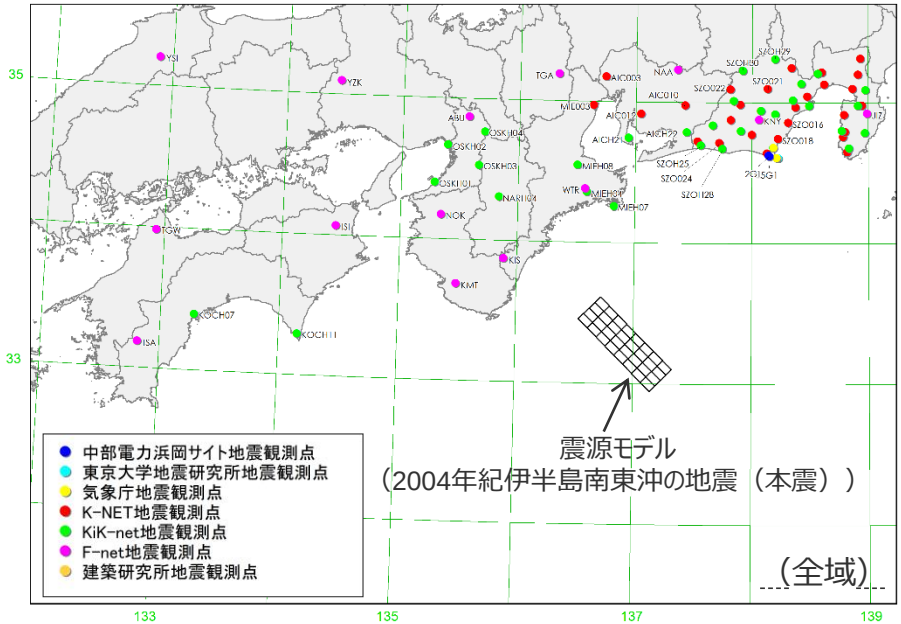
・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

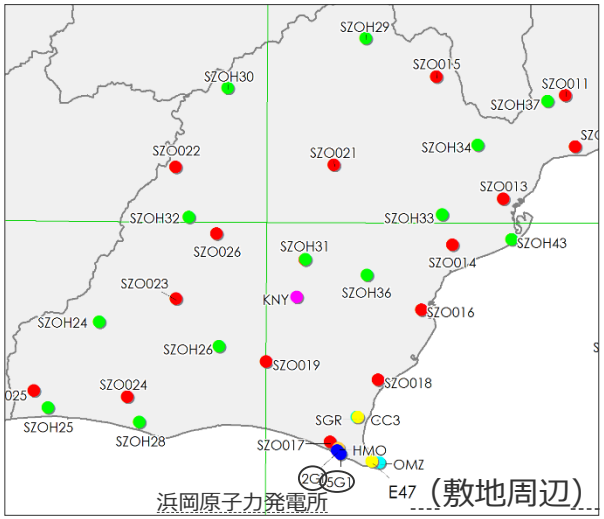
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

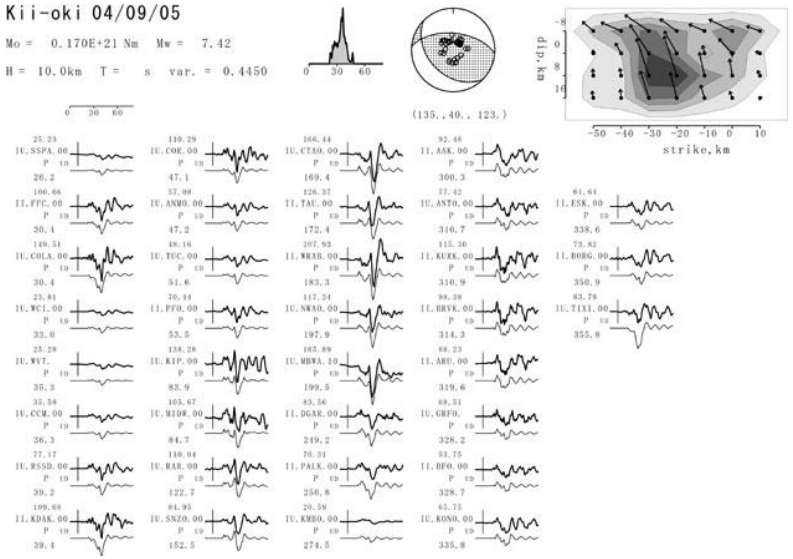
（広域の三次元地下構造モデル（解析条件）：2004年紀伊半島南東沖の地震（本震））

第246回
資料1-2 p.14一部修正





<観測点と震源モデルとの関係>



<本解析に用いるすべり分布>
（EIC地震学ノートNo.153による）

<解析諸元>

解析手法	三次元有限差分法
解析モデル範囲	東西：650km 南北：460km 鉛直：86.8km
解析対象周波数	0.5Hz以下
メッシュサイズ	水平：140m 鉛直：140m（深さ0.0km～2.8km） 280m（深さ2.8km～8.4km） 560m（深さ8.4km～19.6km） 840m（深さ19.6km～86.8km）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

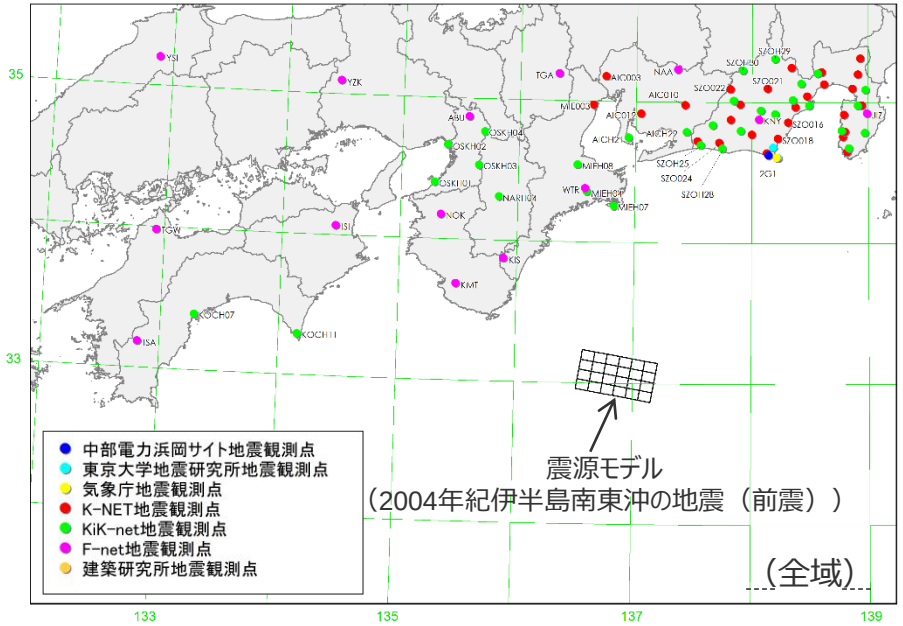
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

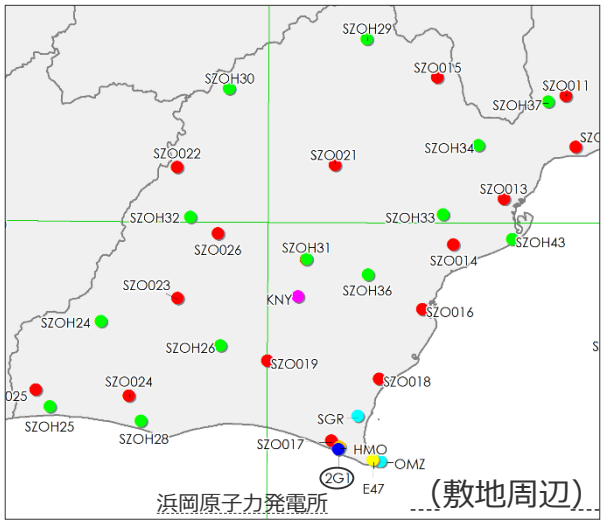
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.15一部修正

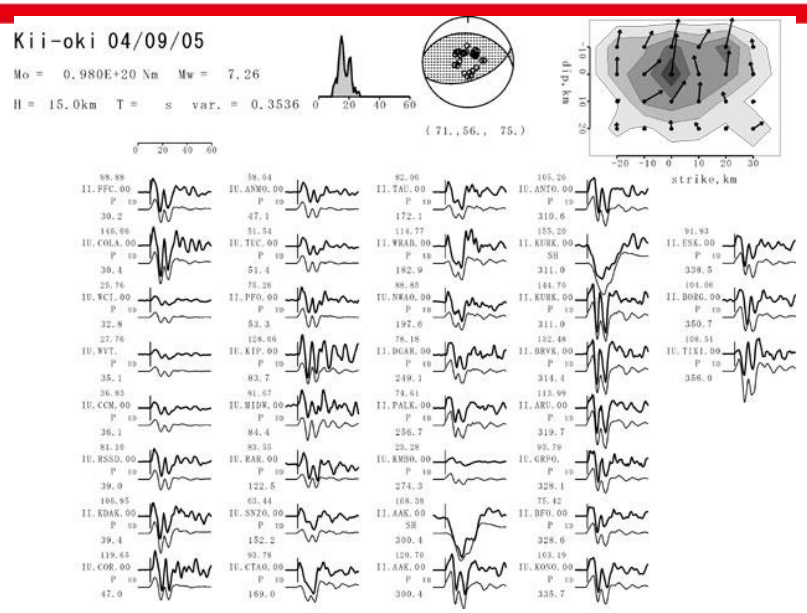
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（広域の三次元地下構造モデル（解析条件）：2004年紀伊半島南東沖の地震（前震））





<観測点と震源モデルとの関係>



<本解析に用いるすべり分布>
（EIC地震学ノートNo.152による）

<解析諸元>

解析手法	三次元有限差分法
解析モデル範囲	東西：650km 南北：460km 鉛直：86.8km
解析対象周波数	0.5Hz以下
メッシュサイズ	水平：140m 鉛直：140m（深さ0.0km～2.8km） 280m（深さ2.8km～8.4km） 560m（深さ8.4km～19.6km） 840m（深さ19.6km～86.8km）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

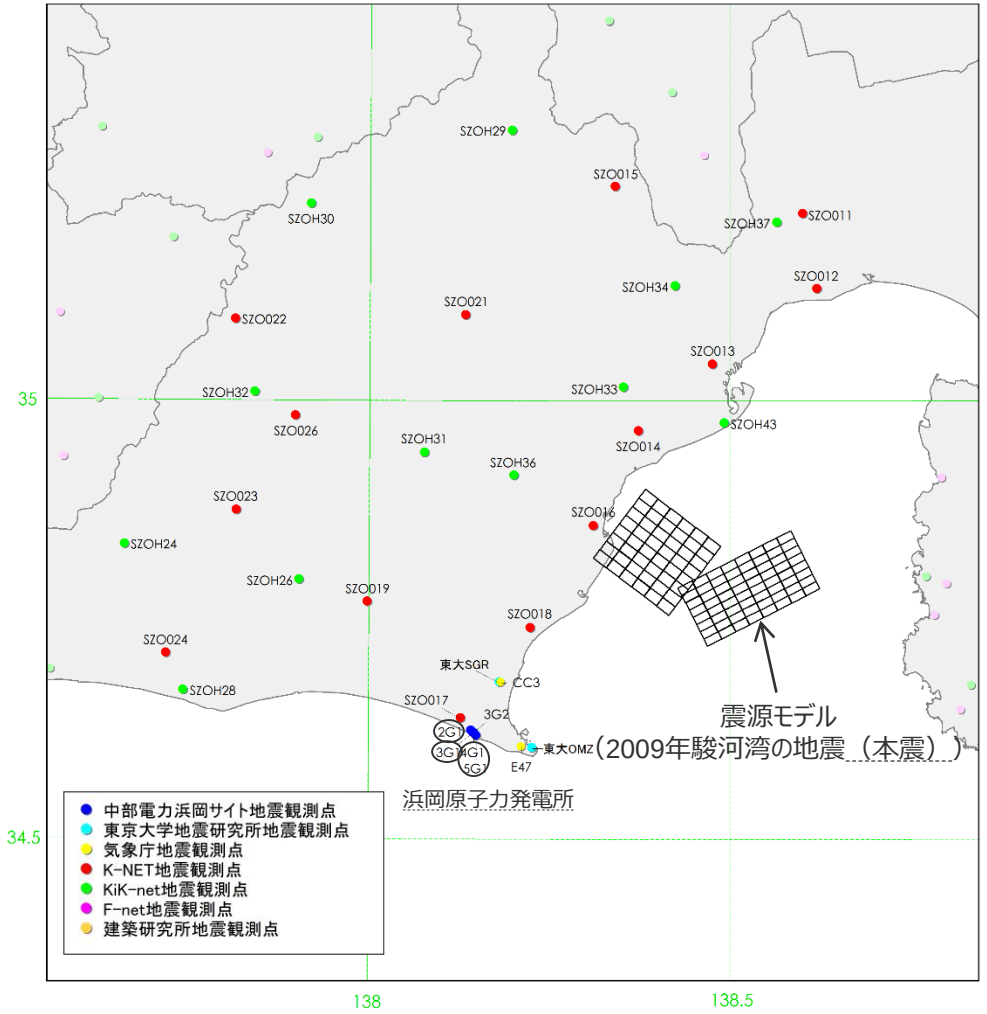
・下線（ ）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

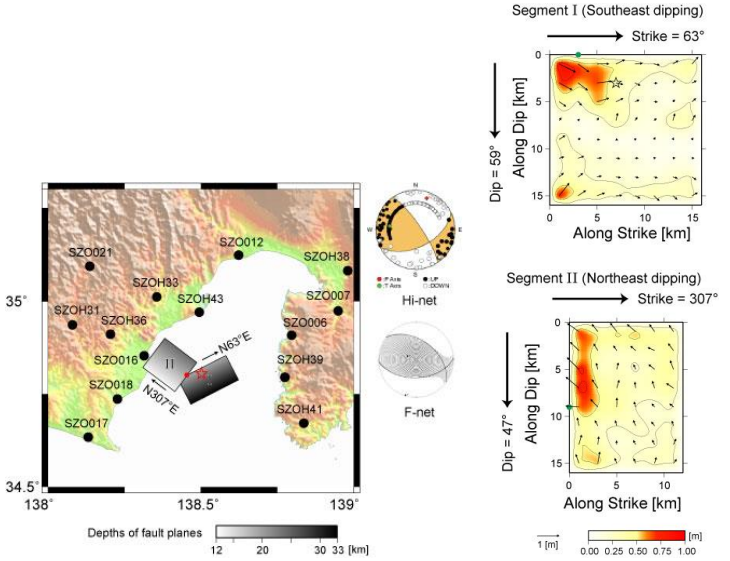
第246回
資料1-2 p.16一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（広域の三次元地下構造モデル（解析条件）：2009年駿河湾の地震（本震））



<観測点と震源モデルとの関係>



<本解析に用いるすべり分布>
（鈴木・他(2009)による）

<解析諸元>

解析手法	三次元有限差分法
解析モデル範囲	東西：105km 南北：105km 鉛直：78.4km
解析対象周波数	1Hz以下
メッシュサイズ	水平：70m 鉛直：70m（深さ0.0km～2.8km） 140m（深さ2.8km～8.4km） 280m（深さ8.4km～19.6km） 420m（深さ19.6km～86.8km）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

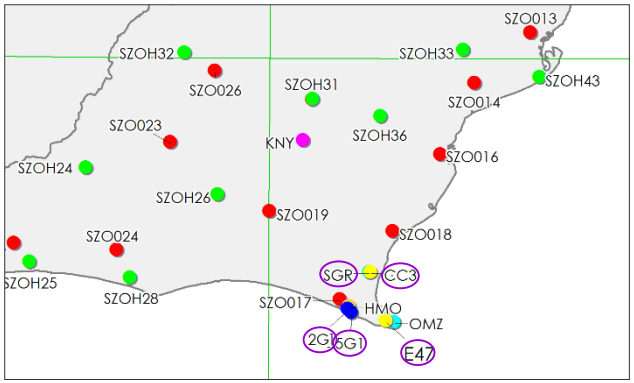
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.17一部修正

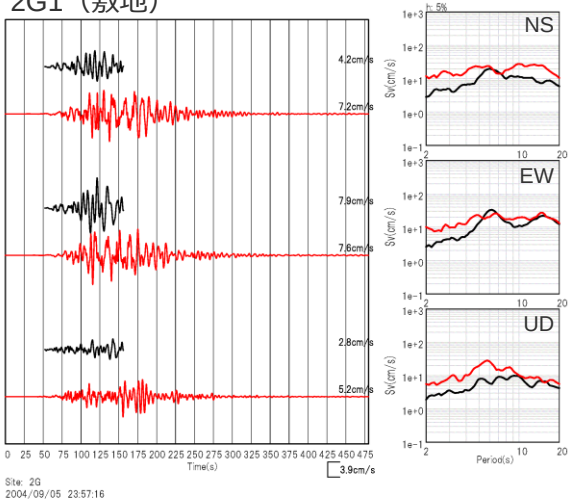
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（観測記録のシミュレーション解析（モデル①）：2004年紀伊半島南東沖の地震（本震）の解析結果（敷地及びその周辺の観測点））

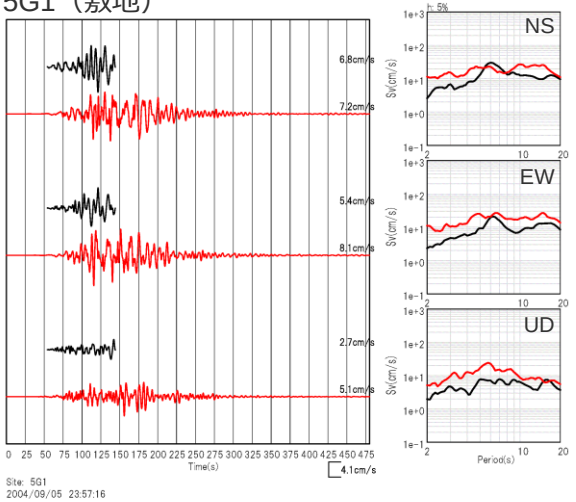
観測記録
シミュレーション結果（モデル①）



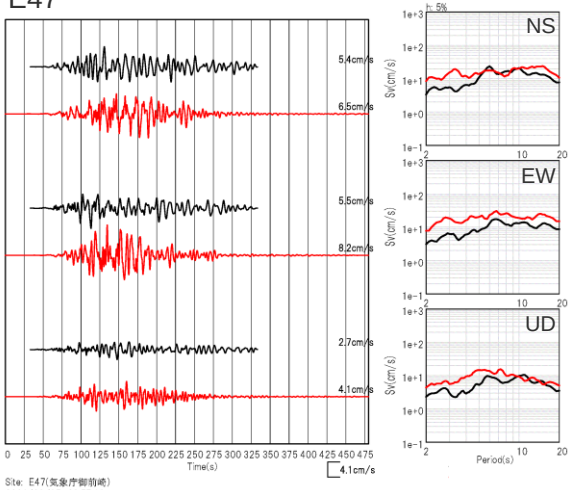
2G1（敷地）



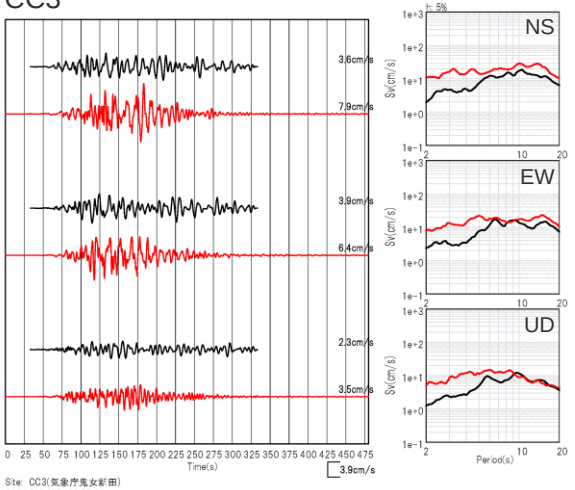
5G1（敷地）



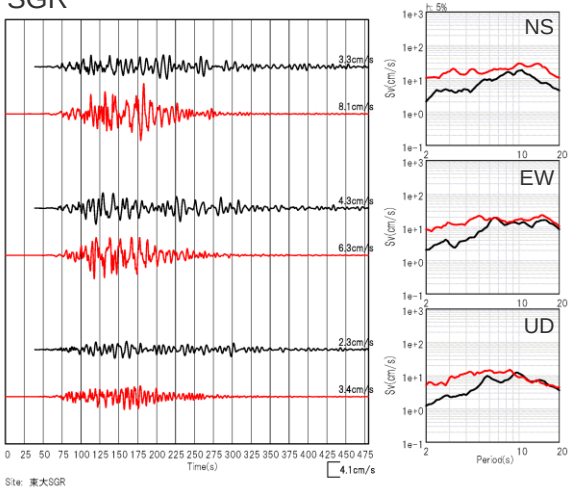
E47



CC3



SGR



○敷地及びその周辺の観測点において、シミュレーション結果（モデル①）は観測記録を大きめに再現している。

<左図：速度波形、右図：速度応答スペクトル>
（上から順にNS、EW、UD）

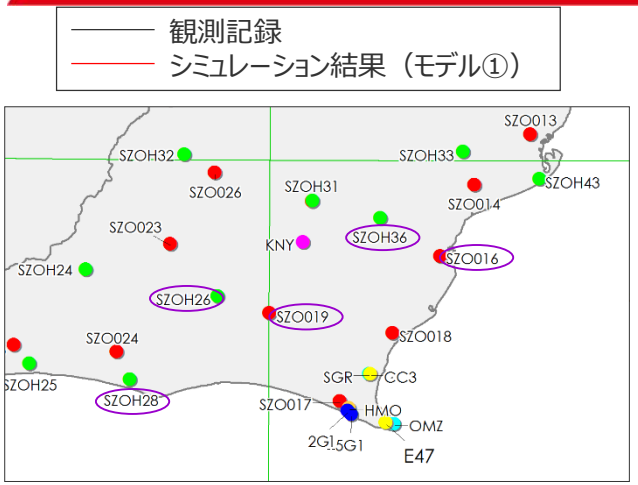
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

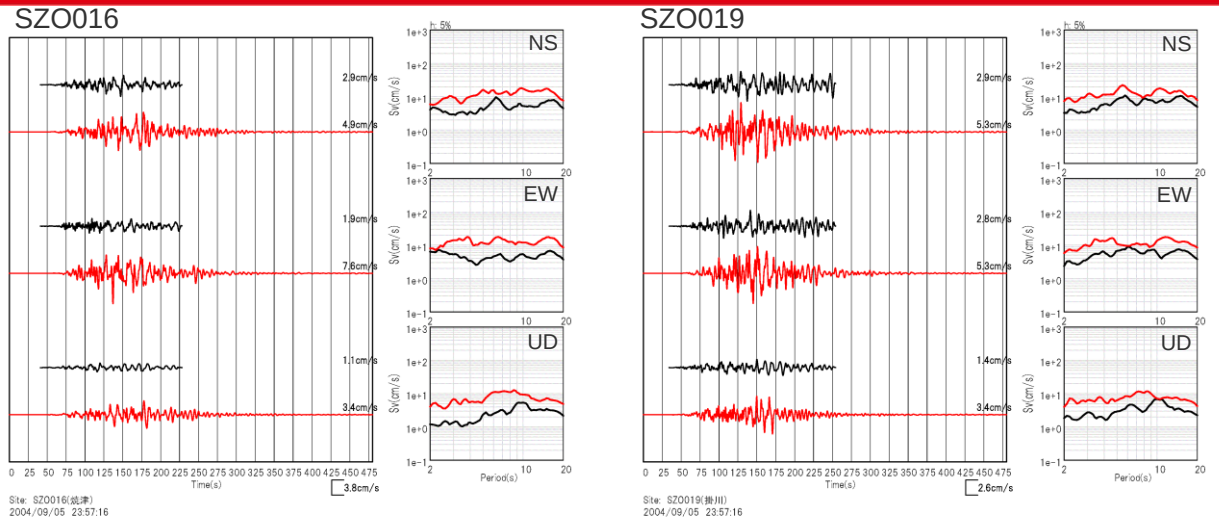
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

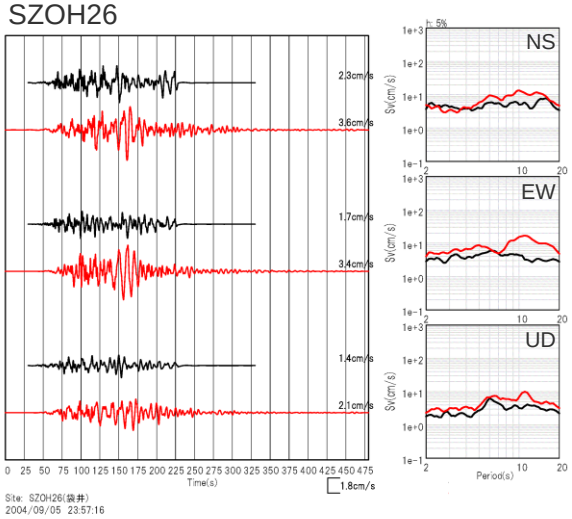
第246回
資料1-2 p.18一部修正

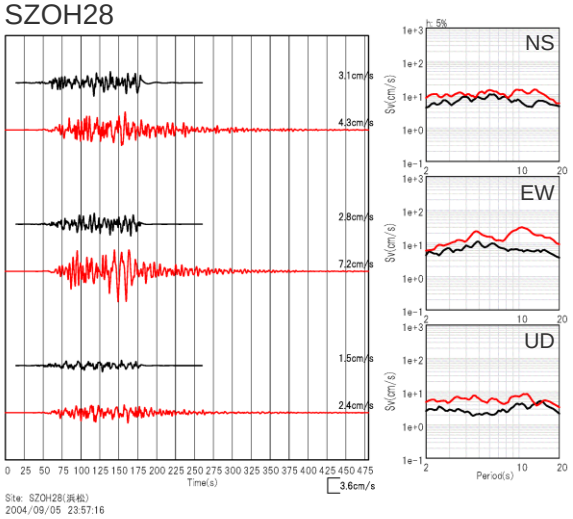
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

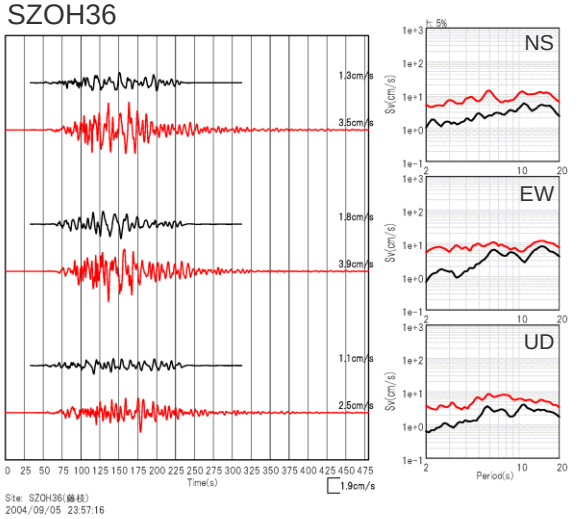
（観測記録のシミュレーション解析（モデル①）：2004年紀伊半島南東沖の地震（本震）の解析結果（敷地からやや離れた観測点））











○敷地からやや離れた観測点において、シミュレーション結果（モデル①）は観測記録を大きめに再現している。

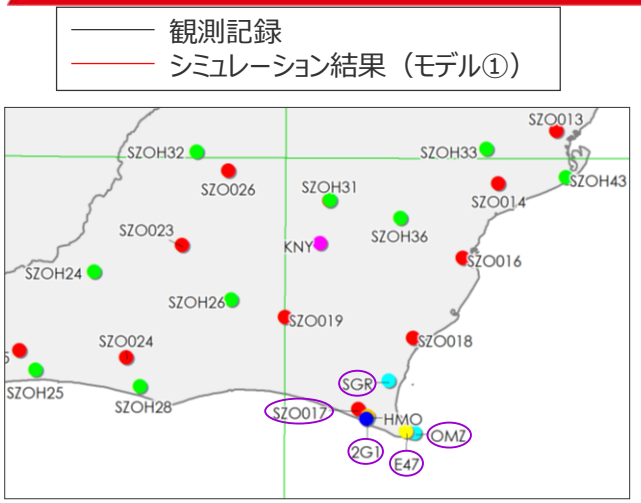
<左図：速度波形、右図：速度応答スペクトル>
（上から順にNS、EW、UD）

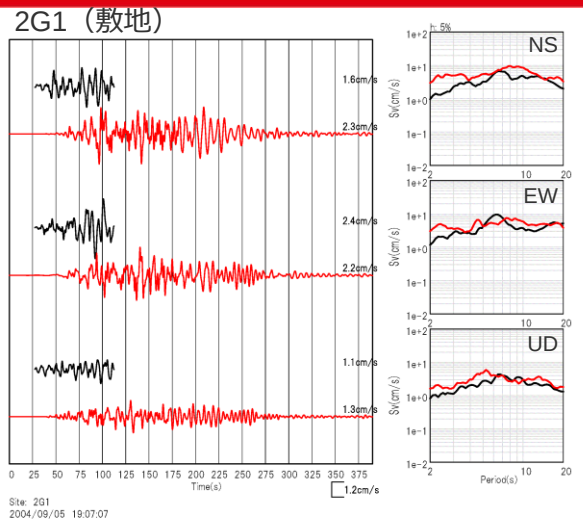
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

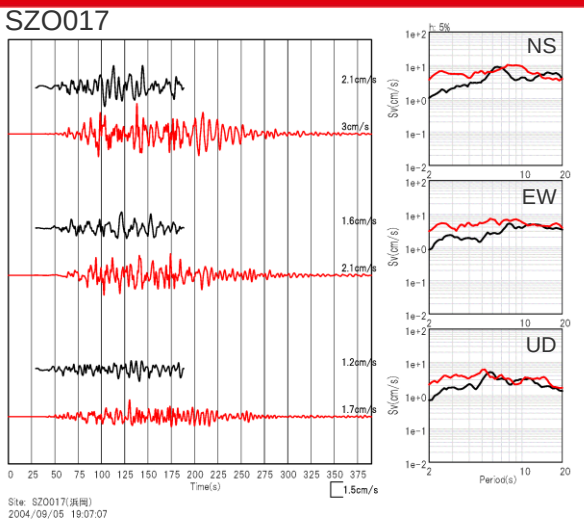
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

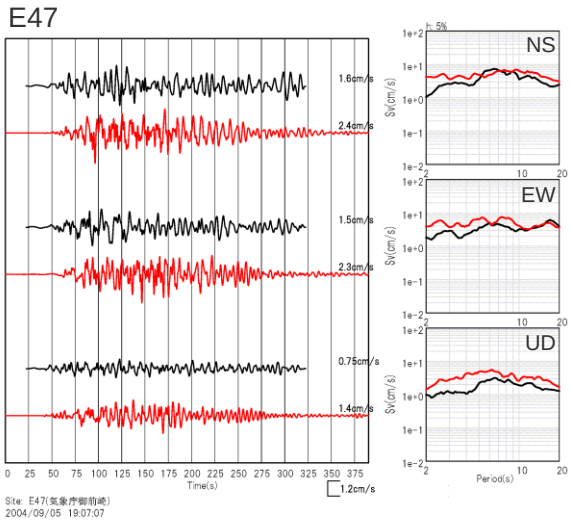
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

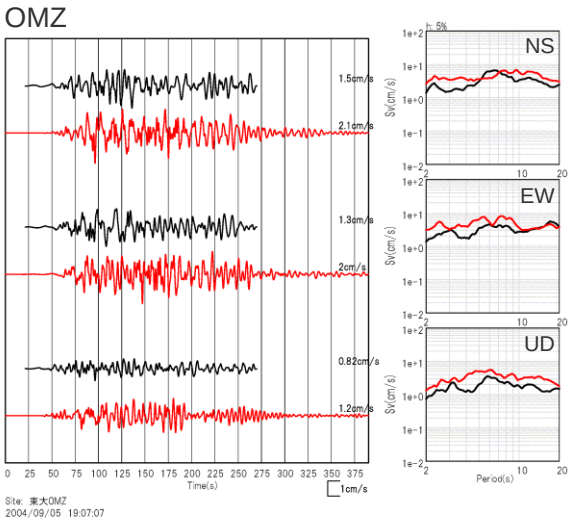
（観測記録のシミュレーション解析（モデル①）：2004年紀伊半島南東沖の地震（前震）の解析結果（敷地及びその周辺の観測点））

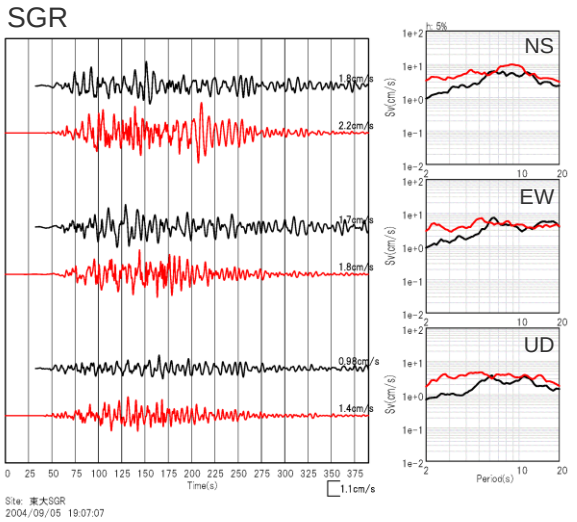












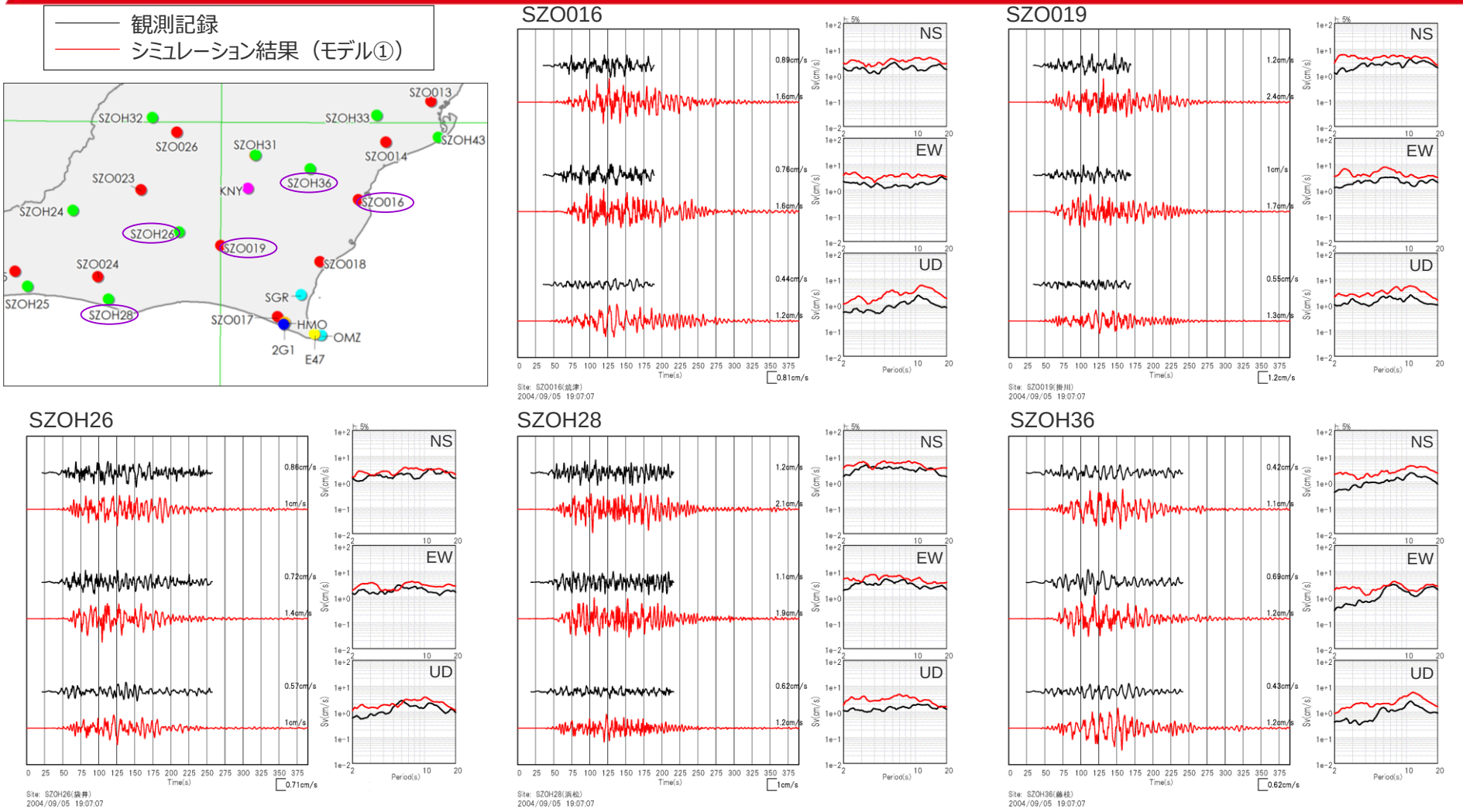
○敷地及びその周辺の観測点において、シミュレーション結果（モデル①）は観測記録を大きめに再現している。

＜左図：速度波形、右図：速度応答スペクトル＞
（上から順にNS、EW、UD）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（観測記録のシミュレーション解析（モデル①）：2004年紀伊半島南東沖の地震（前震）の解析結果（敷地からやや離れた観測点））



○敷地からやや離れた観測点において、シミュレーション結果（モデル①）は観測記録を大きめに再現している。

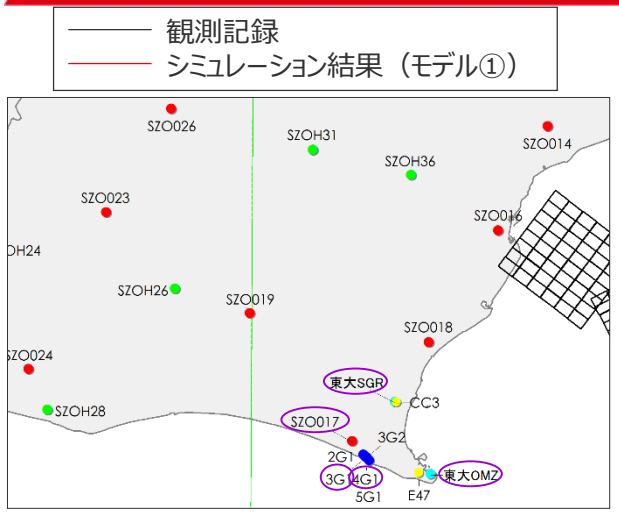
＜左図：速度波形、右図：速度応答スペクトル＞
（上から順にNS、EW、UD）

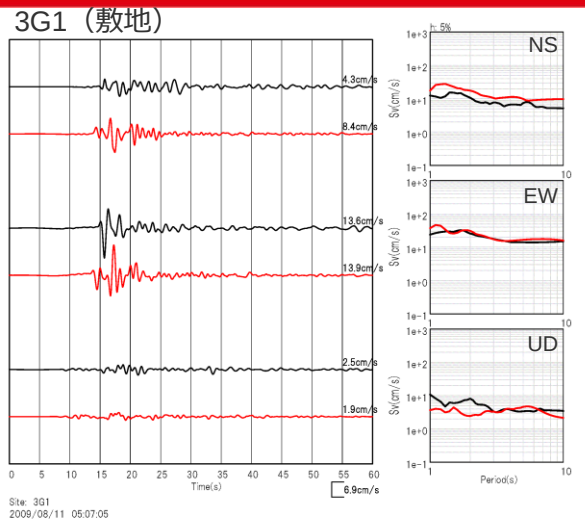
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

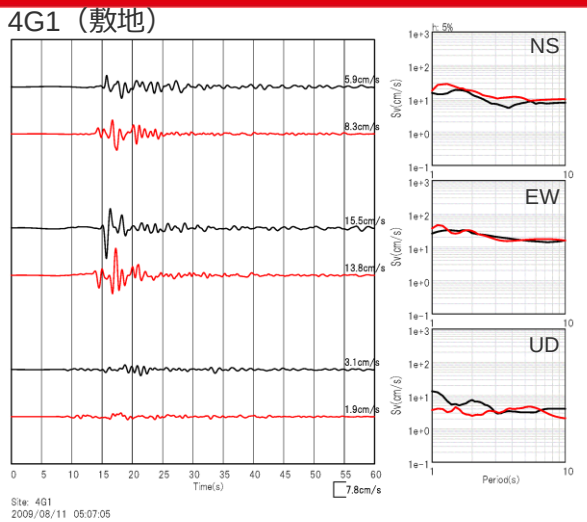
第246回
資料1-2 p.21一部修正

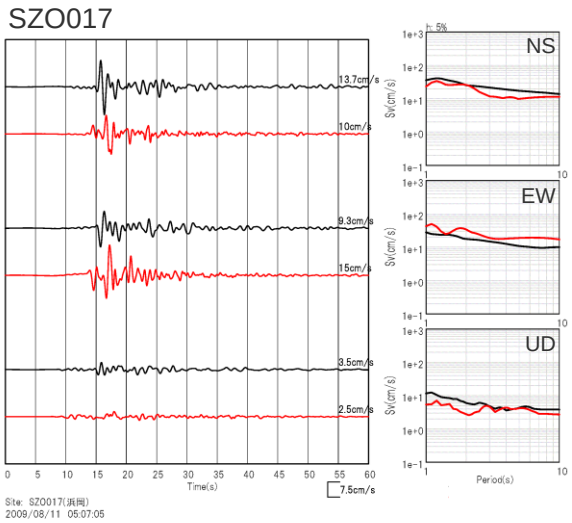
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

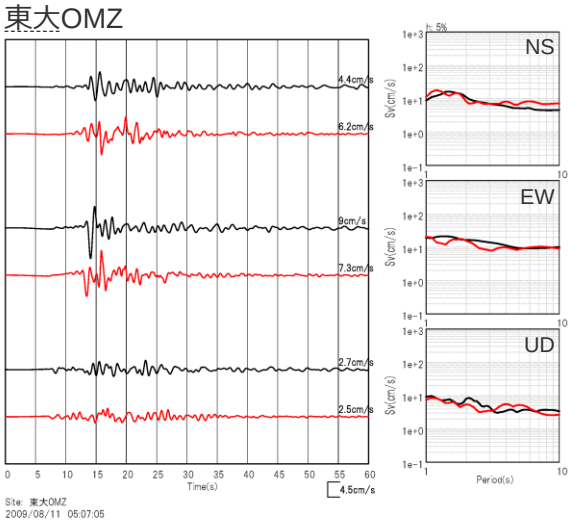
（観測記録のシミュレーション解析（モデル①）：2009年駿河湾の地震（本震）の解析結果（敷地及びその周辺の観測点））

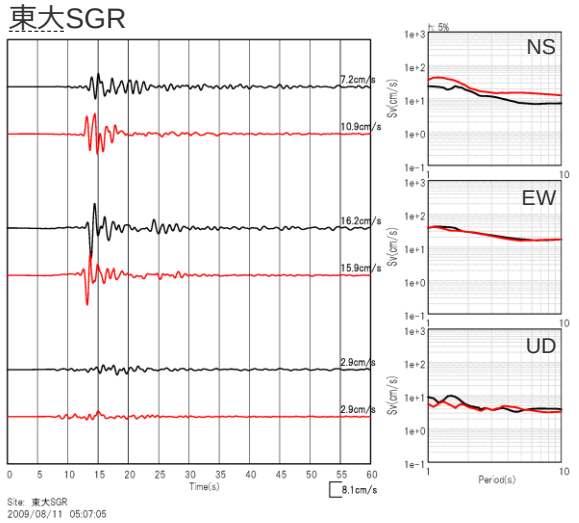












○敷地及びその周辺の観測点において、シミュレーション結果（モデル①）は観測記録を概ね再現している。

<左図：速度波形、右図：速度応答スペクトル>
（上から順にNS、EW、UD）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

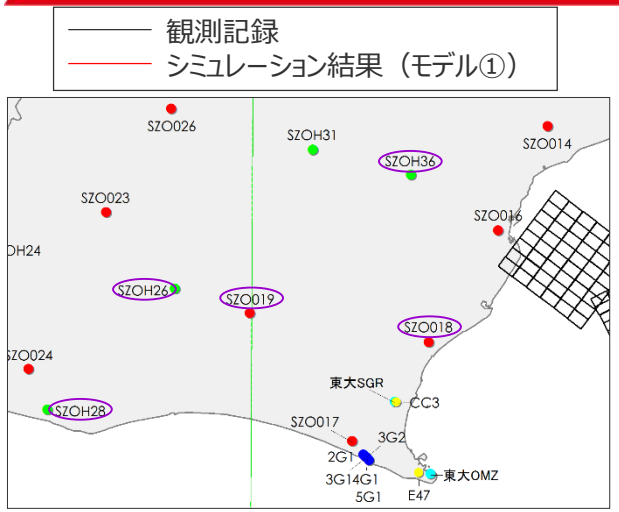
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

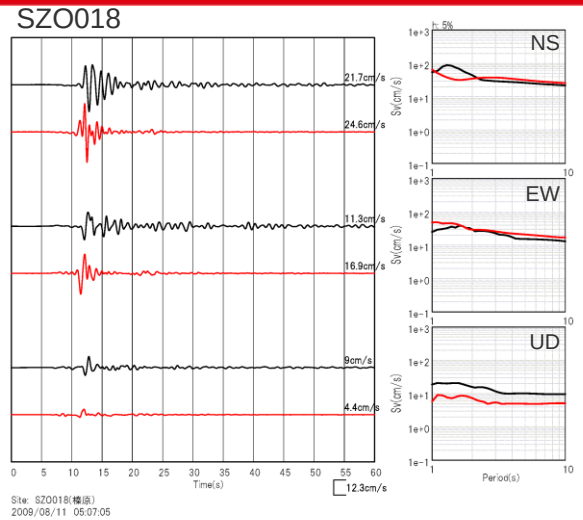
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

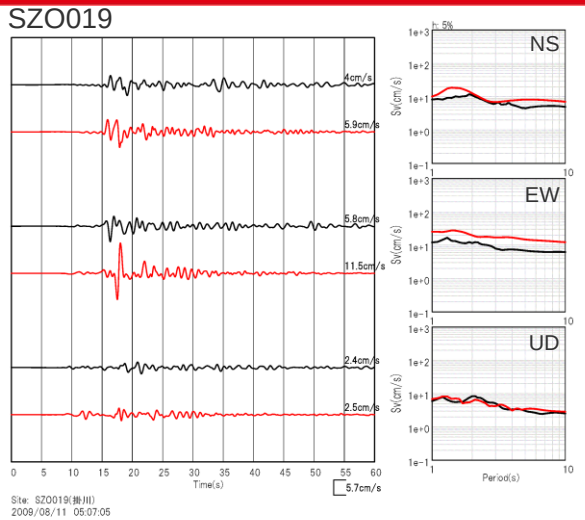
第246回
資料1-2 p.22再掲

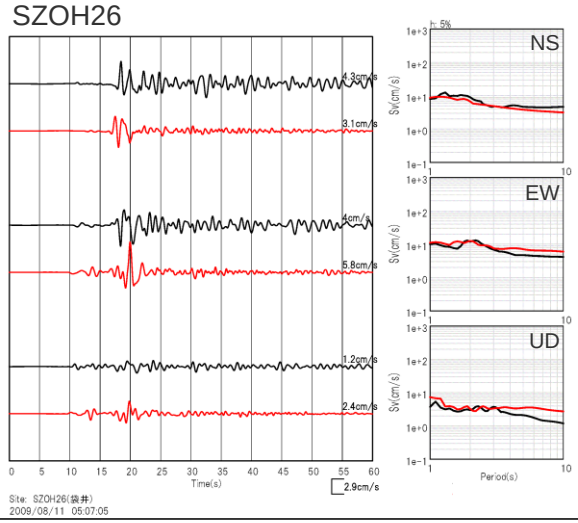
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

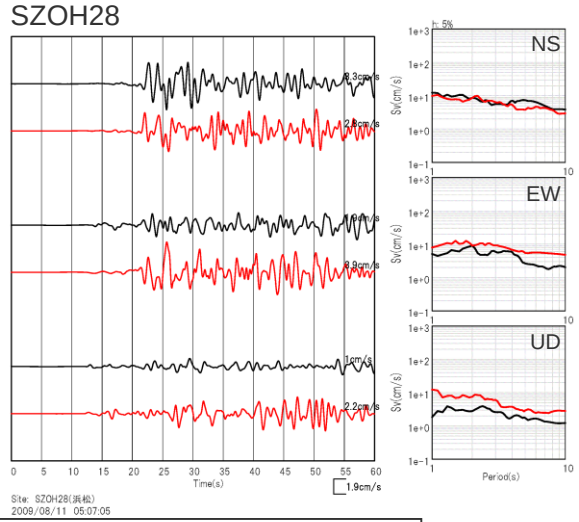
（観測記録のシミュレーション解析（モデル①）：2009年駿河湾の地震（本震）の解析結果（敷地からやや離れた観測点））

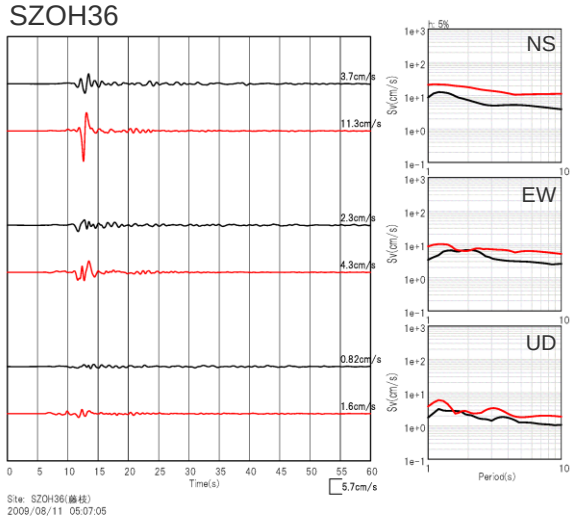












○敷地からやや離れた観測点において、シミュレーション結果（モデル①）は観測記録を概ね再現している。

⇒長周期の地震動が卓越した３地震のシミュレーション解析（モデル①）により、**Q値の設定（Qs=Vs/10、Qp=2Qs）の妥当性を確認**。

<左図：速度波形、右図：速度応答スペクトル>
（上から順にNS、EW、UD）

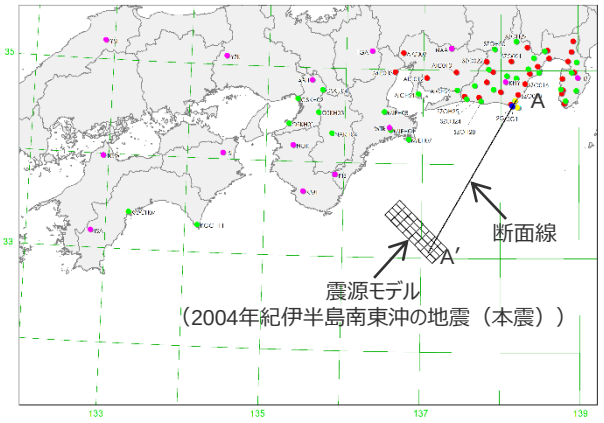
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.23再掲

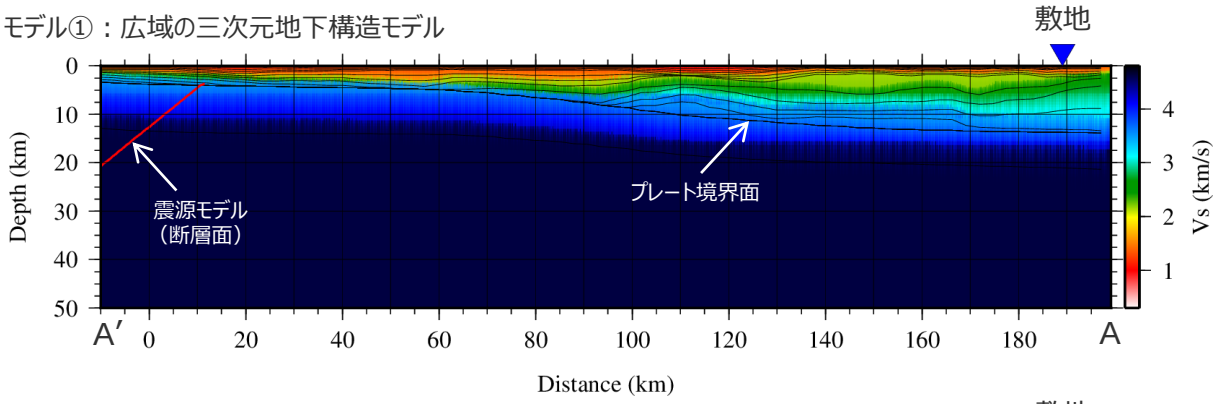
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（観測記録のシミュレーション解析（モデル①～③）：2004年紀伊半島南東沖の地震（本震）の地下構造モデル）

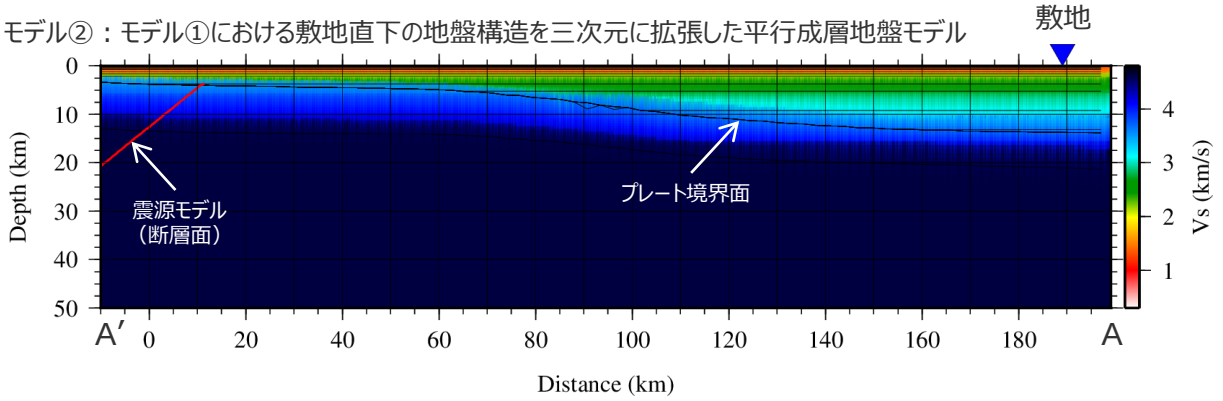


<地下構造モデルの比較>

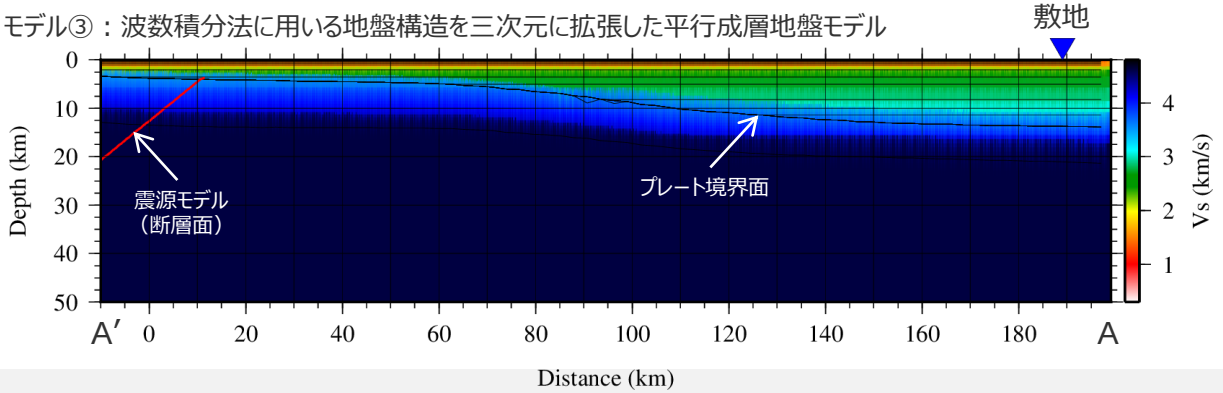
モデル①：広域の三次元地下構造モデル



モデル②：モデル①における敷地直下の地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル



モデル③：波数積分法に用いる地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル



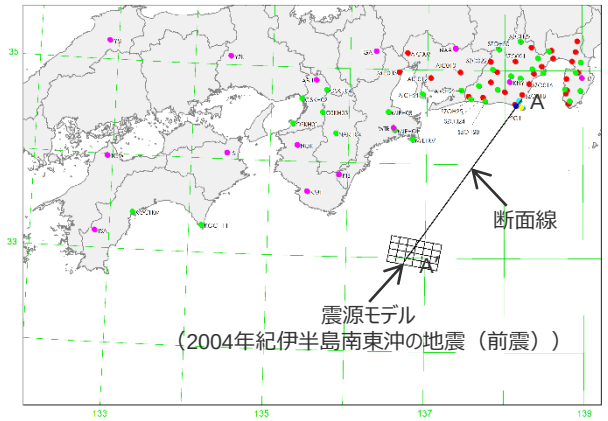
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.24再掲

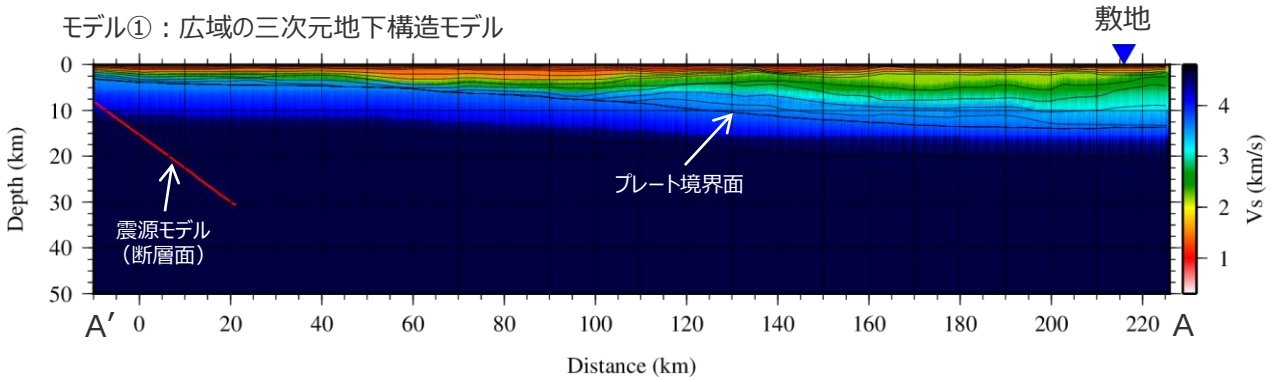
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（観測記録のシミュレーション解析（モデル①～③）：2004年紀伊半島南東沖の地震（前震）の地下構造モデル）

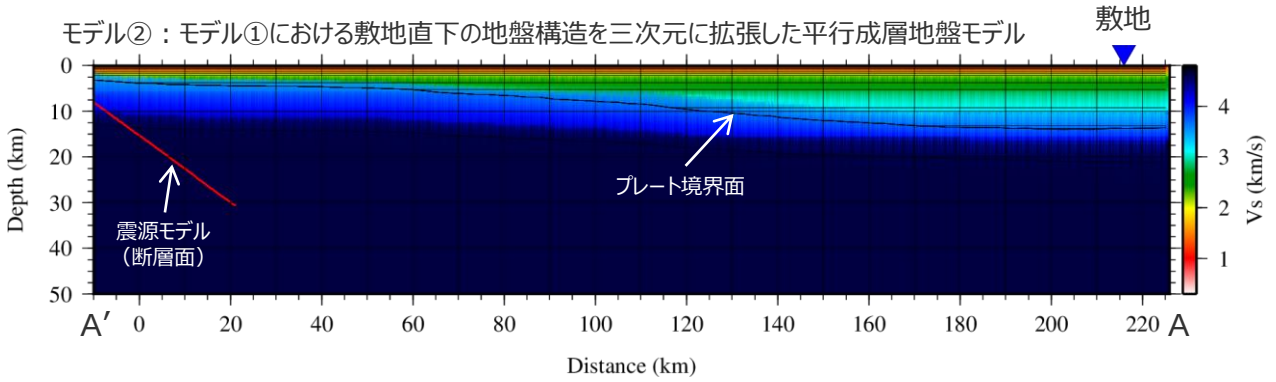


<地下構造モデルの比較>

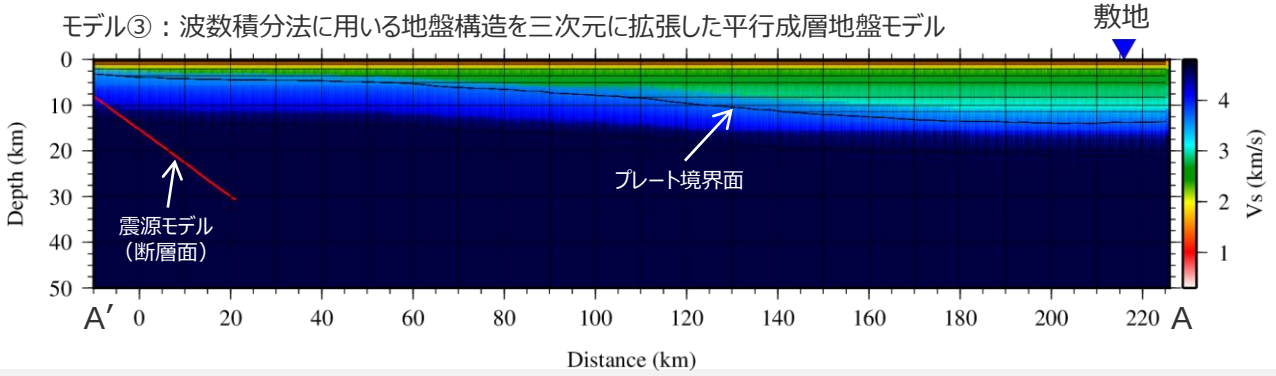
モデル①：広域の三次元地下構造モデル



モデル②：モデル①における敷地直下の地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル



モデル③：波数積分法に用いる地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル



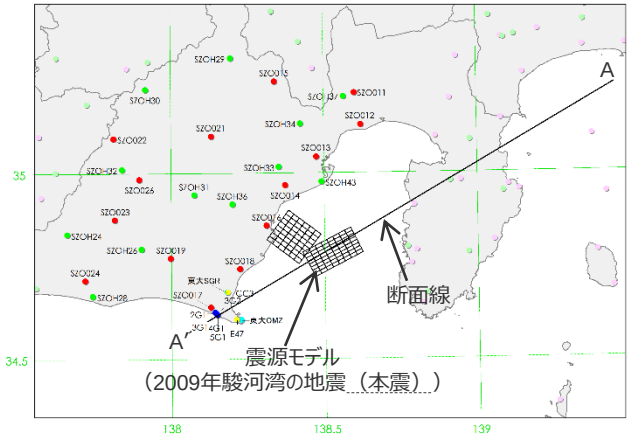
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

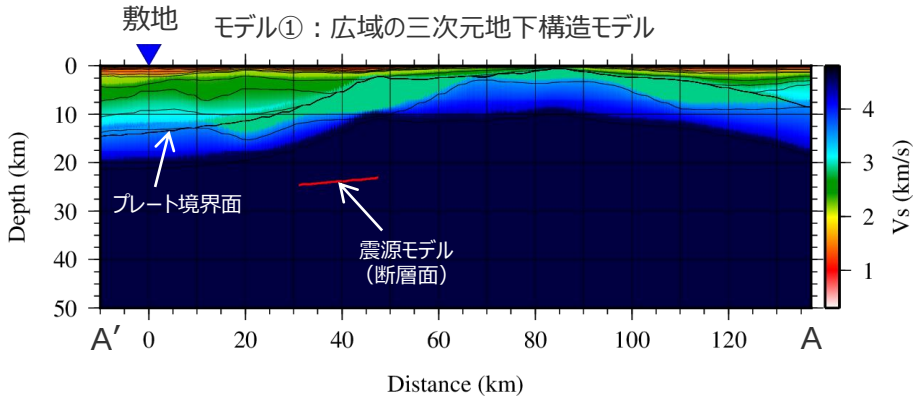
第246回
資料1-2 p.25一部修正

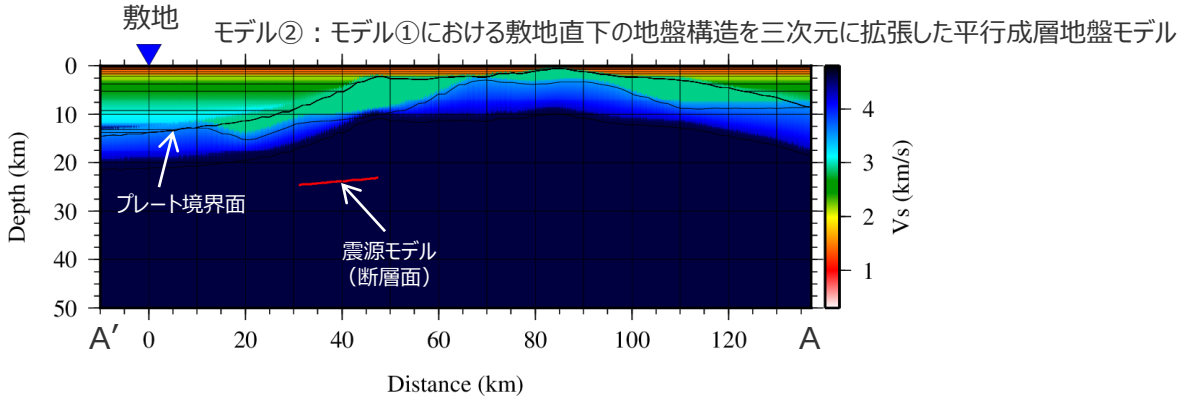
波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

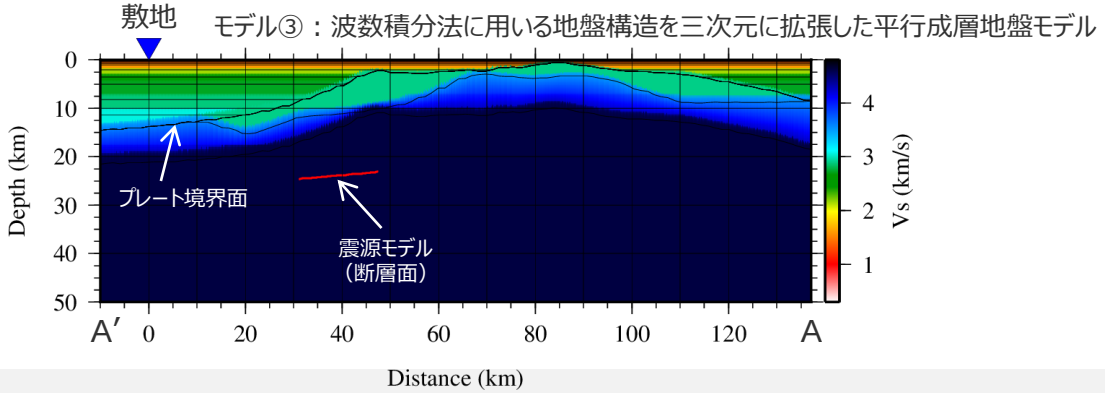
（観測記録のシミュレーション解析（モデル①～③）：2009年駿河湾の地震（本震）の地下構造モデル）



<地下構造モデルの比較>







Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

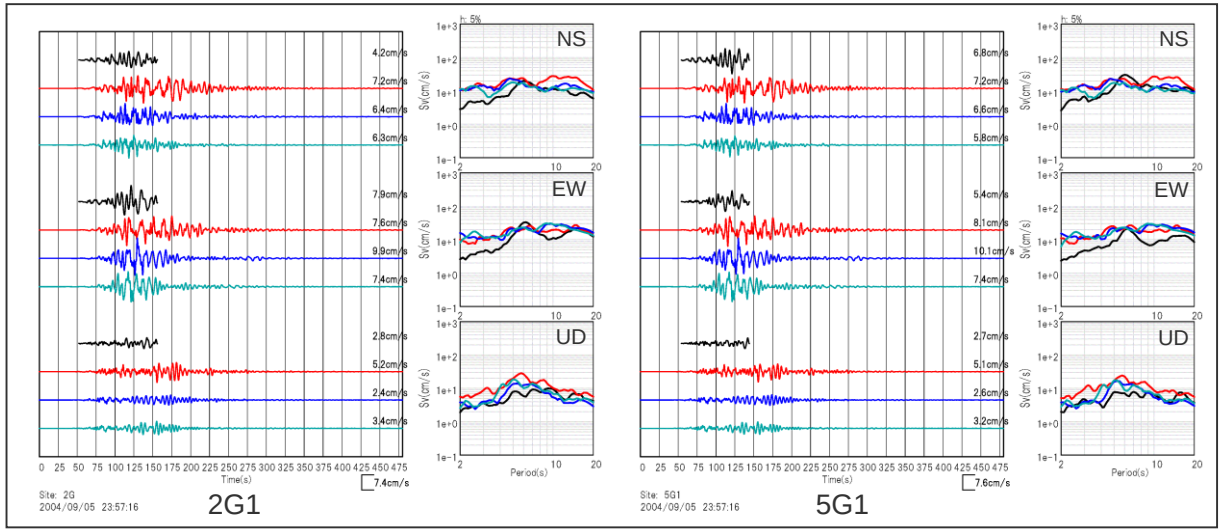
<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.26一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証

（観測記録のシミュレーション解析（モデル①～③）：３地震の解析結果（敷地の観測点））

2004年紀伊半島南東沖の地震（本震）



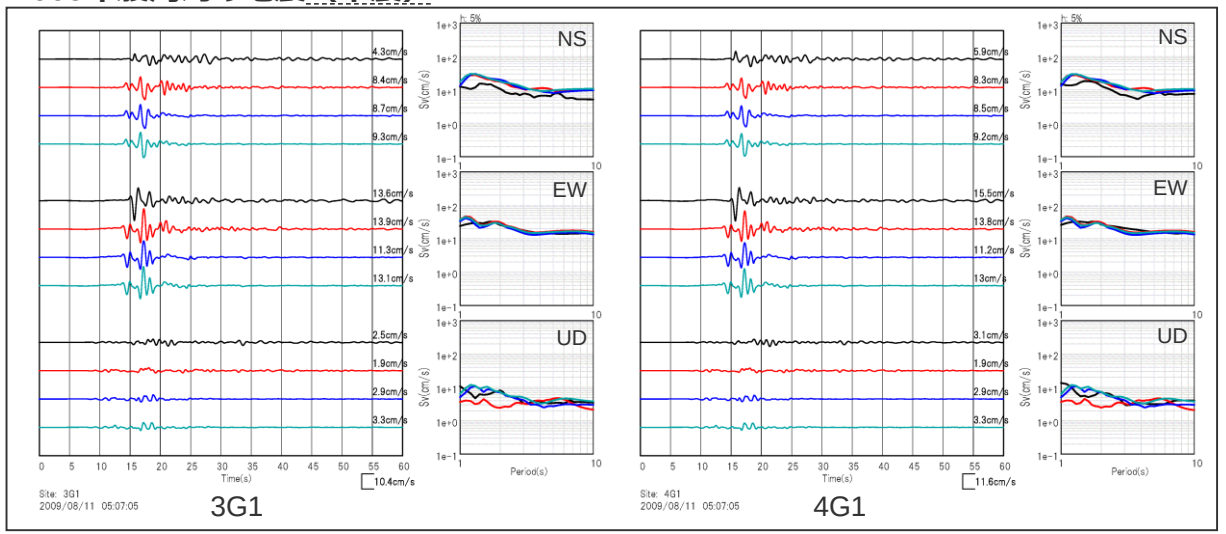
○平行成層地盤であるモデル②・③のシミュレーション結果は、三次元地下構造モデルであるモデル①のシミュレーション結果と同様であり、観測記録を概ね再現している。

⇒**波数積分法に用いる一次元地下構造モデル（Q値や速度構造）の設定の妥当性を確認**。

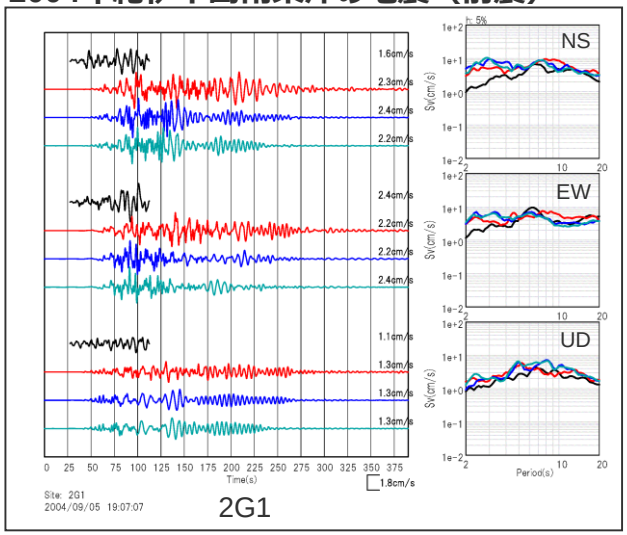
観測記録
シミュレーション結果（モデル①）
シミュレーション結果（モデル②）
シミュレーション結果（モデル③）

モデル①：広域の三次元地下構造モデル
モデル②：敷地直下の地盤構造（モデル①）を三次元に拡張した平行成層地盤モデル
モデル③：波数積分法に用いる地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル

2009年駿河湾の地震（本震）



2004年紀伊半島南東沖の地震（前震）



<左図：速度波形、右図：速度応答スペクトル>（上から順にNS、EW、UD）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。
・図の配置を変更。

<補足説明資料①-12 波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの設定>

第246回
資料1-2 p.27一部修正

波数積分法に用いる一次元地下構造モデルの検証（まとめ）

○長周期の地震動が卓越した、2004年紀伊半島南東沖の地震（本震M7.4及び前震M7.1）、2009年駿河湾の地震（本震M6.5）を対象として、三次元有限差分法に基づき、**波数積分法に用いる一次元地下構造モデルと同様のQ値**を用いた、**広域の三次元地下構造モデル（モデル①）及び平行成層地盤モデル（モデル②・③）によるシミュレーション解析**を行い、**観測記録の再現性を検討**。

＜解析対象とする地下構造モデル（Q値はいずれもQs=Vs/10、Qp=2Qs ）＞

- モデル①：広域の三次元地下構造モデル
- モデル②：モデル①における敷地直下の地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル
- モデル③：波数積分法に用いる地盤構造を三次元に拡張した平行成層地盤モデル

モデル①～③のシミュレーション結果が観測記録を再現できることを確認した。

||

波数積分法に用いる一次元地下構造モデル（Q値や速度構造）の設定の妥当性を確認した。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。

補足説明資料①-13
地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

検討概要

既往検討

【地震観測記録の分析】
（敷地における地盤増幅特性の検討）
○５号炉周辺の観測点では、2009年駿河湾の地震を含むN30E～N70Eの地震波到来方向の地震では顕著な増幅は見られるが、その他の地震波到来方向では顕著な増幅は見られない。
○１～４号炉周辺を含むその他の観測点では、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向でも顕著な増幅は見られない。

【地下構造調査結果の分析】
（S波低速度層の分布の検討）
○S波低速度層は５号炉から2009年駿河湾の地震の到来方向である北東方向にかけて、深さ数百mの浅部に局所的に分布。

＋

追加検討

【地震観測記録の分析】
（４号炉周辺と５号炉周辺の間の領域の地盤増幅特性の検討）
○地震動の顕著な増幅が見られない４号炉周辺と地震動の顕著な増幅が見られる５号炉周辺の間において、追加観測点を設置し、地盤増幅特性を検討。

（海底試掘トンネルにおける地盤増幅特性の検討）
○海底試掘トンネルにおける観測点について、陸域観測点の地盤増幅特性との関係を検討。

【地下構造調査結果の分析】
（S波低速度層の影響範囲の検討）
○ S波低速度層の分布に基づき、地震波のレイトレーシング解析を行い、S波低速度層の影響範囲を検討。

【地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定】
○観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無（地震観測記録の分析）に基づき、S波低速度層の分布及び影響範囲（地下構造調査結果の分析）も踏まえて、地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域を設定。

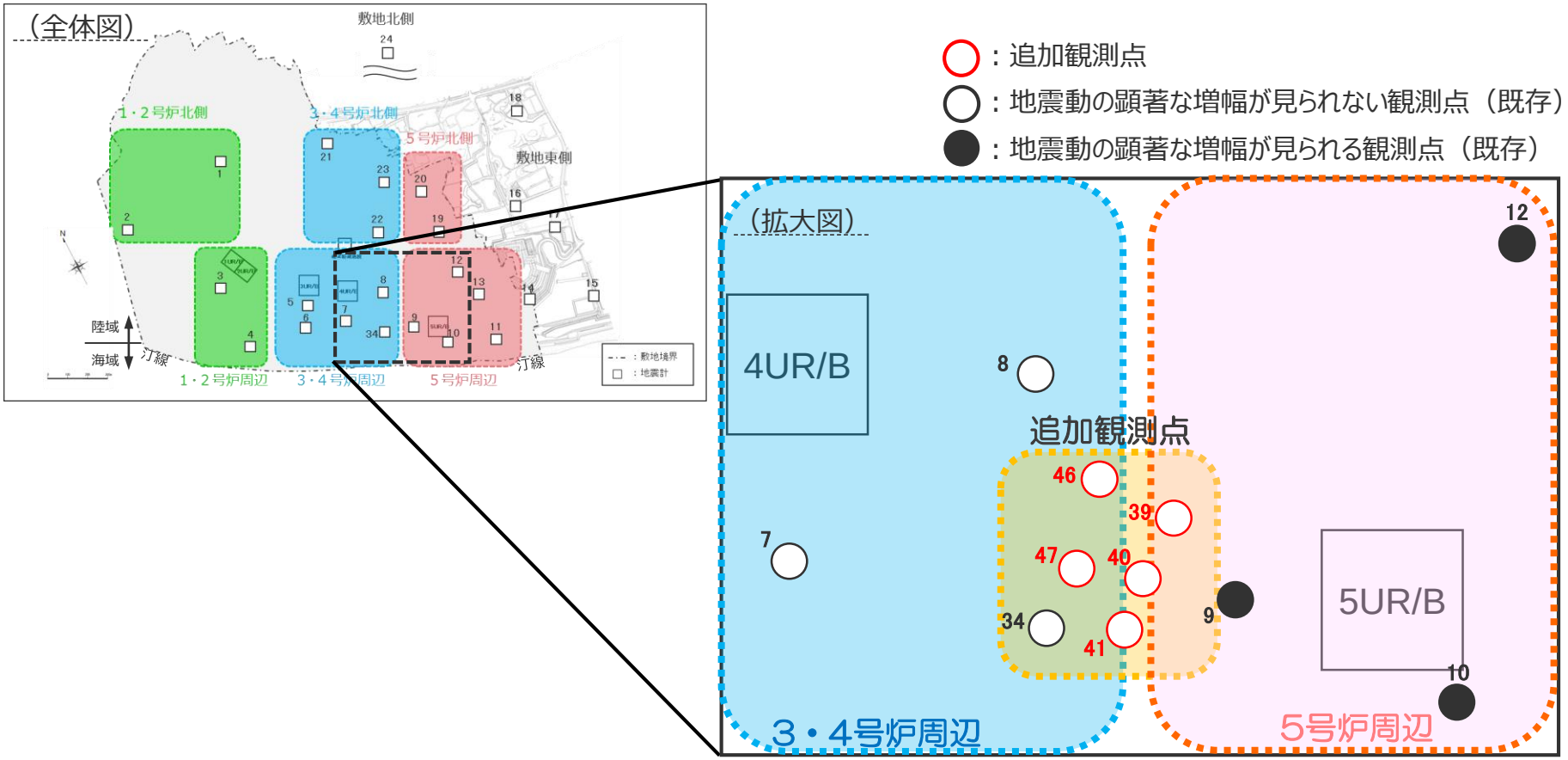
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

第532回
資料1-2 p.23一部修正

地震観測記録（多点連続観測）の分析
（４号炉周辺と５号炉周辺の間の領域の地盤増幅特性）

○地震動の顕著な増幅が見られない４号炉周辺と地震動の顕著な増幅が見られる５号炉周辺の間において、追加観測点を５箇所設置し、地盤増幅特性を検討する。



<追加観測点の配置>
（観測分析期間：2013年7月1日～2017年3月30日）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。
・敷地図を変更。
・拡大図からNo.7$_T$観測点を削除。

<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

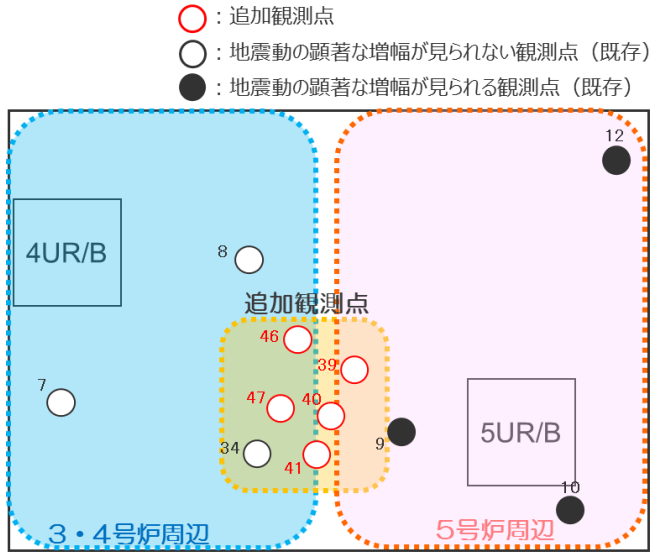
第532回
資料1-2 p.24一部修正

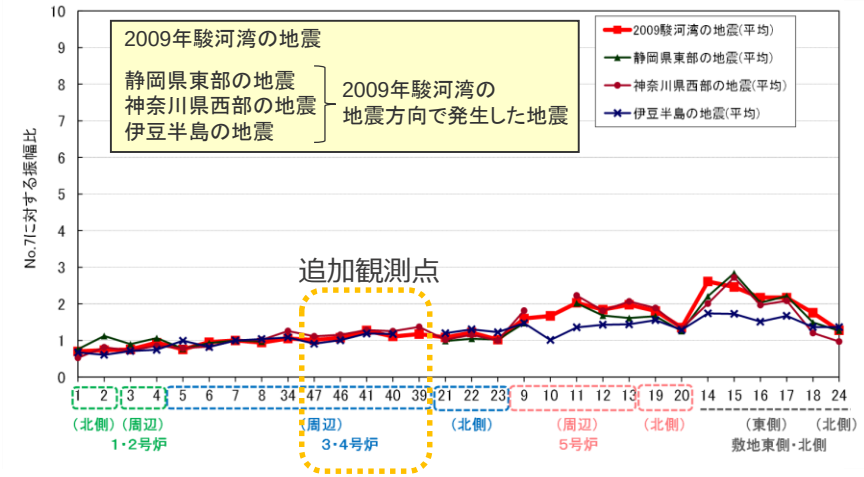
地震観測記録（多点連続観測）の分析
（４号炉周辺と５号炉周辺の間の領域の地盤増幅特性）

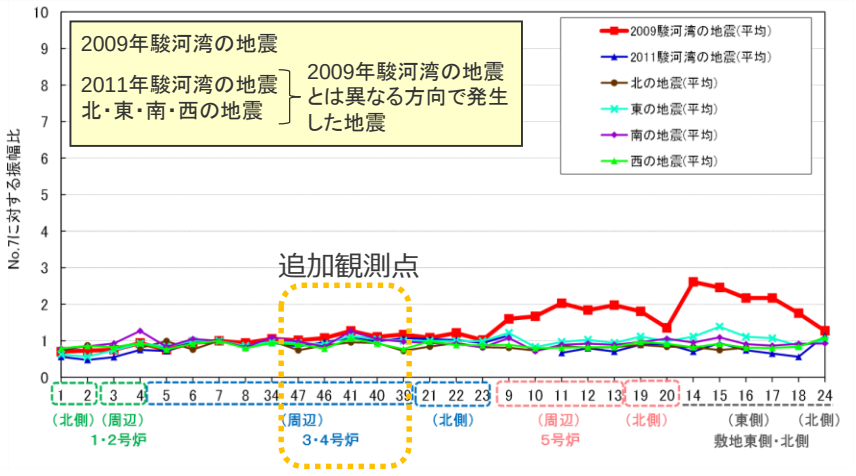
○地震波到来方向毎に地震をグルーピングして、追加観測点の振幅比（No.7基準）を算出。

⇒追加観測点では、１～４号炉周辺を含むその他の観測点と同様、いずれの地震のグループにおいても振幅比が１程度であり、地震動の顕著な増幅は見られない。

・自然地震のフーリエスペクトル比及びボーリングデータを用いて表層地盤を推定し、地表で得られた観測記録からはぎとり波を推定する。
・推定したはぎとり波について、No.7に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
・振幅比の算出は、はぎとり波に対し2009年駿河湾の地震で５号炉周辺の顕著な増幅が見られた周期0.2～0.5秒のバンドパスフィルターを施し、時刻歴波形のS波主要動部付近の最大値（水平2方向の平均値）を対象とする。







<各地震グループにおける各観測点の振幅比（No.7基準）（水平平均）>
（観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日（既存観測点），2013年7月1日～2017年3月30日（追加観測点））

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。
・敷地図を変更。
・観測点の配置図からNo.7$_T$観測点を削除。

<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

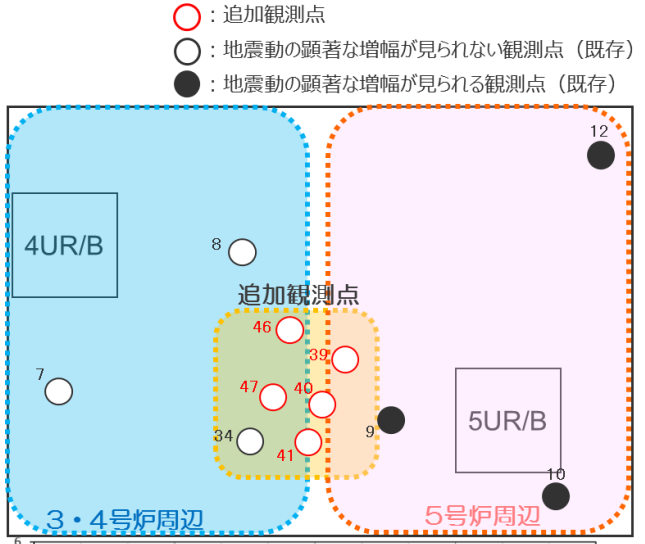
第532回
資料1-2 p.25一部修正

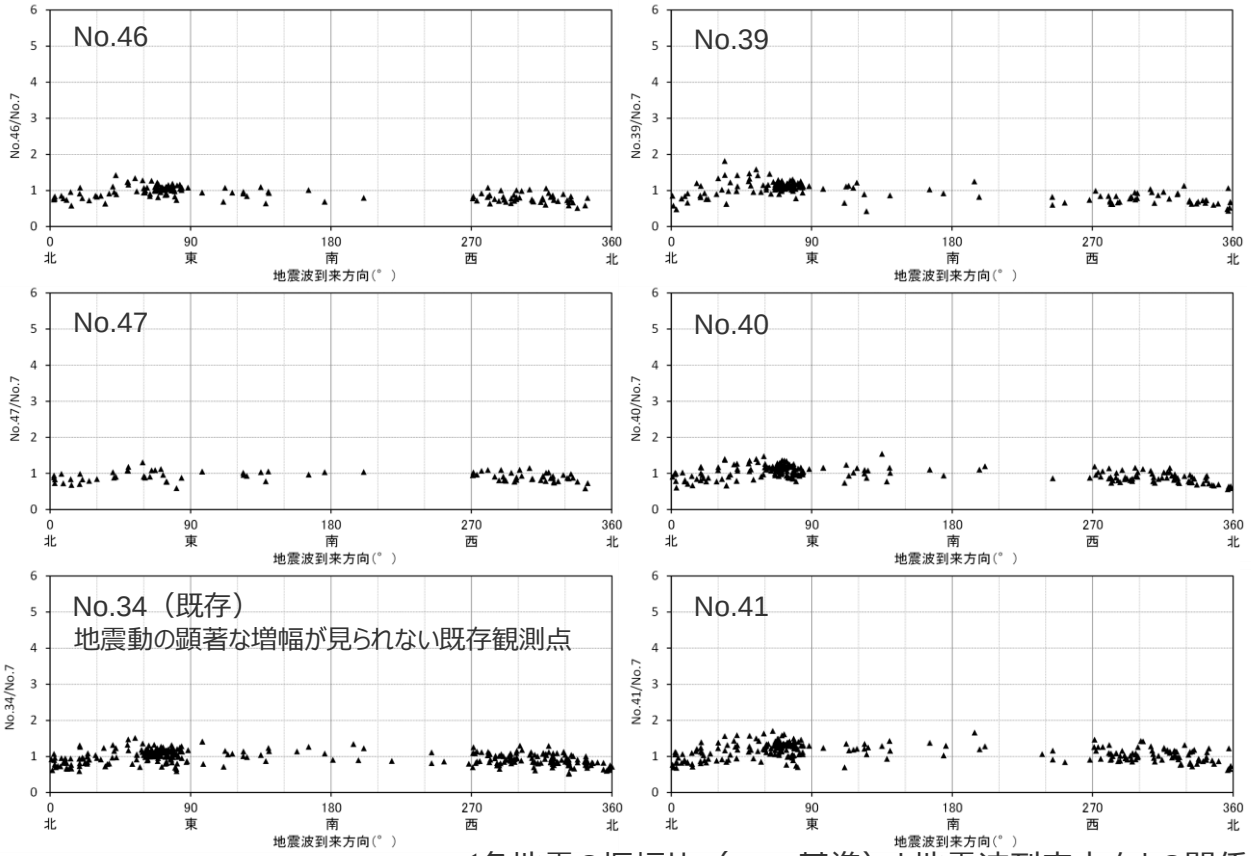
地震観測記録（多点連続観測）の分析

（４号炉周辺と５号炉周辺の間の領域の地盤増幅特性）

○追加観測点について、地震波到来方向毎に各地震の振幅比（No.7基準）を算出。

⇒追加観測点では、若干のばらつきはあるものの、いずれの地震波到来方向の地震でも振幅比は１程度であり、地震動の顕著な増幅は見られない。





＜各地震の振幅比（No.7基準）と地震波到来方向との関係（水平平均）＞

（観測分析期間：2009年9月20日～2014年7月26日（既存観測点），2013年7月1日～2017年3月30日（追加観測点））

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。
・敷地図を変更。
・観測点の配置図からNo.7$_T$観測点を削除。

<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

第532回
資料1-2 p.26一部修正

地震観測記録（海底試掘トンネル観測）の分析
（陸域観測点の地盤増幅特性との関係）

既往検討

○海底試掘トンネルについては、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討し、地震動の顕著な増幅が見られないことを確認している。この結果はベイケーブル探査及び海域オフセットVSP探査において、５号炉周辺の増幅要因であるS波低速度層が海側に認められないことと整合している。

追加検討

○海底試掘トンネル観測点（G.L.-37m）について、陸域観測点の地盤増幅特性との関係を検討し、海底試掘トンネルで地震動の顕著な増幅が見られないことを確認する。観測記録の分析方法は以下のとおり。

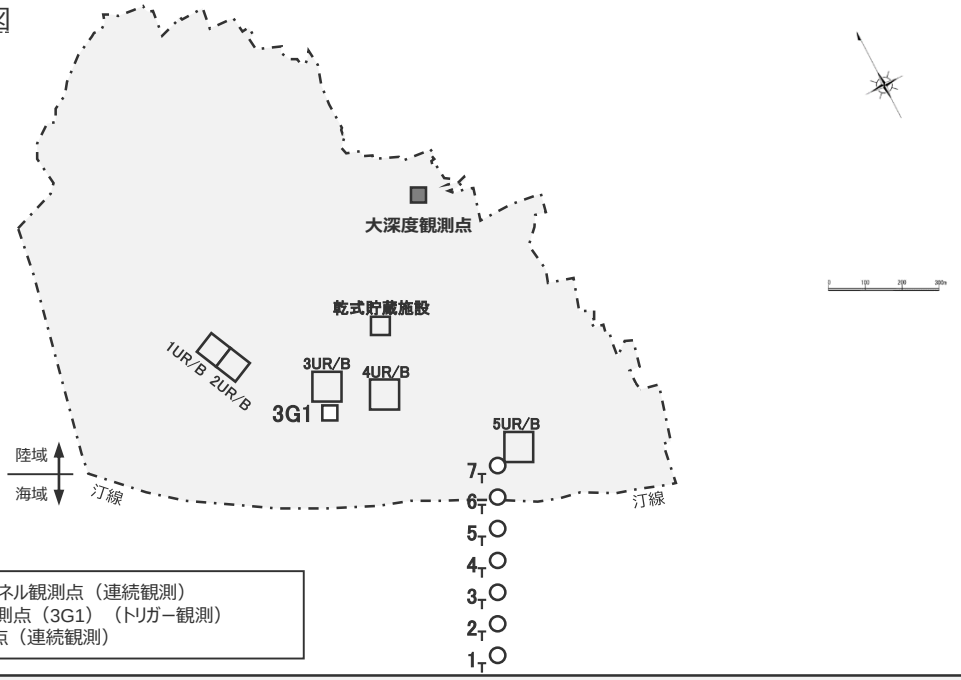
【陸域観測点】

・検討対象とする陸域観測点は、地震動の顕著な増幅が見られない観測点である鉛直アレイ観測点3G1（G.L.-25m）及び大深度観測点（G.L.-30m）とする。いずれの観測点も、海底試掘トンネル観測点と同様、S波速度が700m/s以上の岩盤部に位置する。

【分析方法】

・陸域観測点に対する海底試掘トンネル各観測点の振幅比として、地震波到来方向毎に各地震の振幅比を算出する。
なお、海底試掘トンネル観測点と陸域観測点では設置状況（設置深さ、土被り状況、S波速度等）が異なるため、分析にあたっては、地震波到来方向毎に振幅比の傾向が一定であることを確認する。

地震計配置図

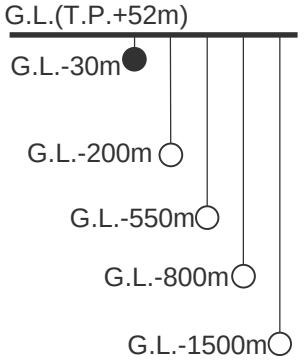


鉛直アレイ観測点（3G1）

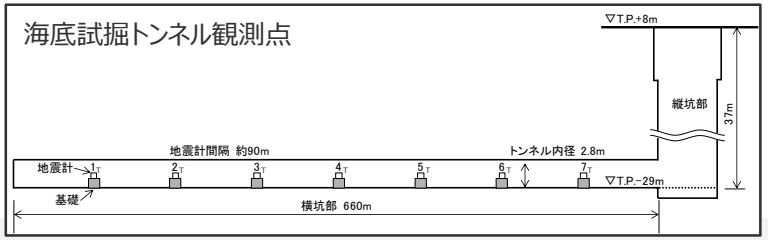


※解放基盤表面付近

大深度観測点



海底試掘トンネル観測点



Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（　）は、一部修正箇所を示す。　・敷地図を変更。
・鉛直アレイ観測点・大深度観測点の鉛直方向における配置図及び海底試掘トンネル観測点の断面図を追加。

<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

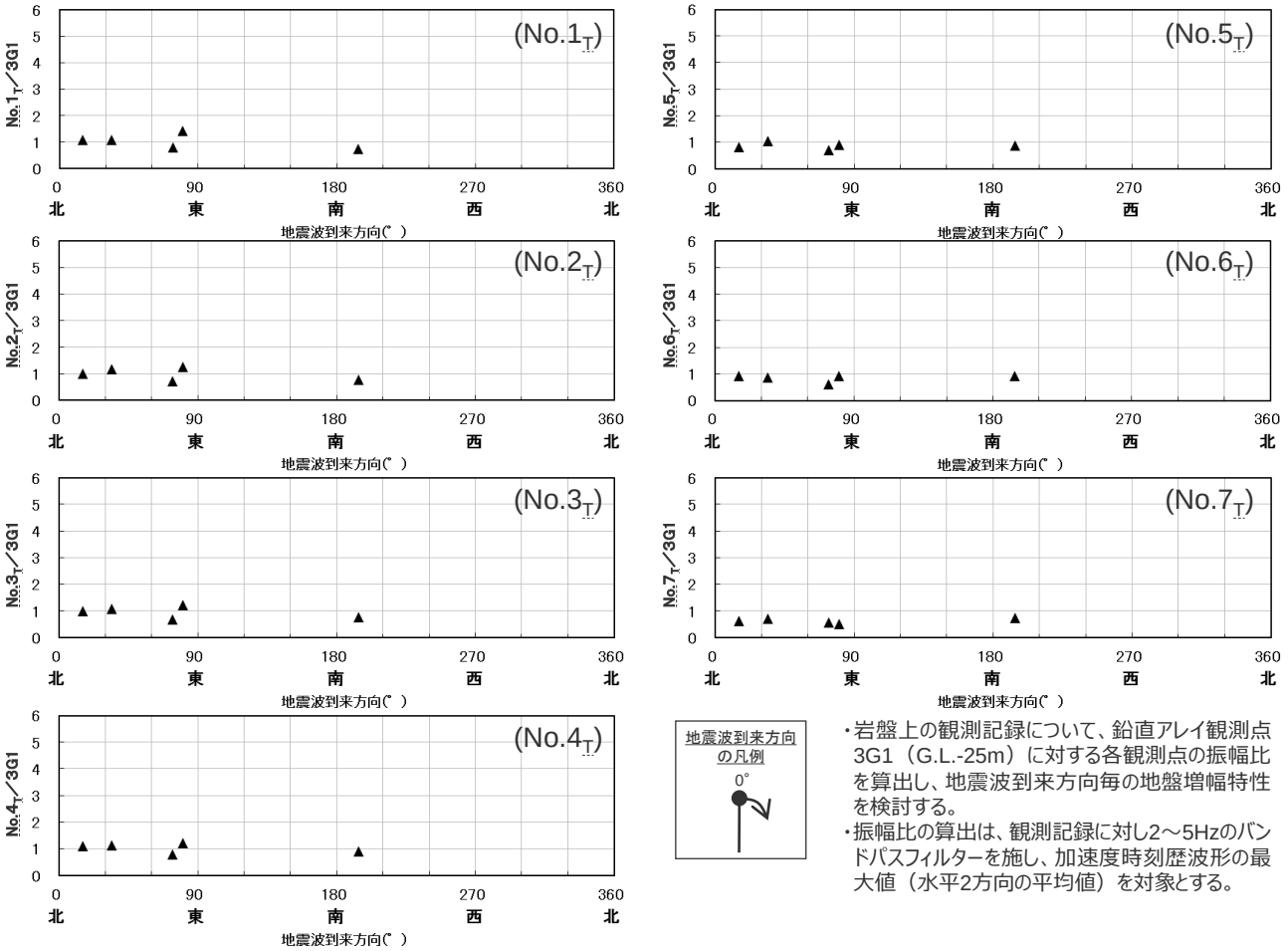
第532回
資料1-2 p.27一部修正

地震観測記録（海底試掘トンネル観測）の分析

（陸域観測点の地盤増幅特性との関係（3G1観測点における地震観測記録を用いた分析））

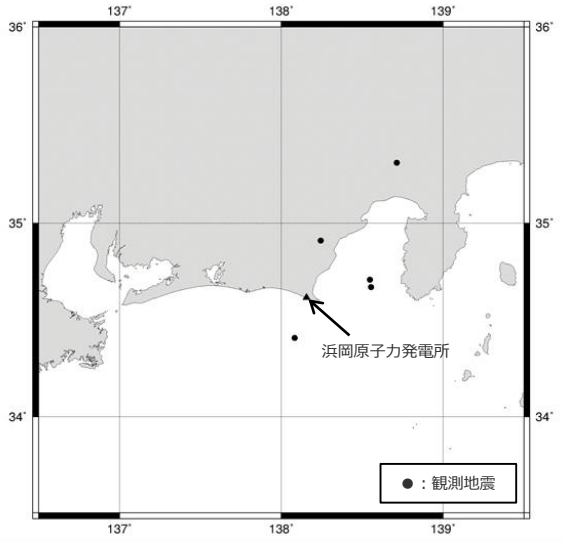
○鉛直アレイ観測点3G1（G.L.-25m）について、海底試掘トンネル観測点と共通して観測された記録を抽出し、振幅比を算出した。

⇒数は少ないが、観測された地震は、いずれの地震波到来方向でも、振幅比は一定である。



<各地震の振幅比と地震波到来方向との関係（水平平均）>
（観測分析期間：2010年12月5日～2012年10月8日）

・岩盤上の観測記録について、鉛直アレイ観測点3G1（G.L.-25m）に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
・振幅比の算出は、観測記録に対し2～5Hzのバンドパスフィルターを施し、加速度時刻歴波形の最大値（水平2方向の平均値）を対象とする。



<各地震の震央分布>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

第532回
資料1-2 p.28一部修正

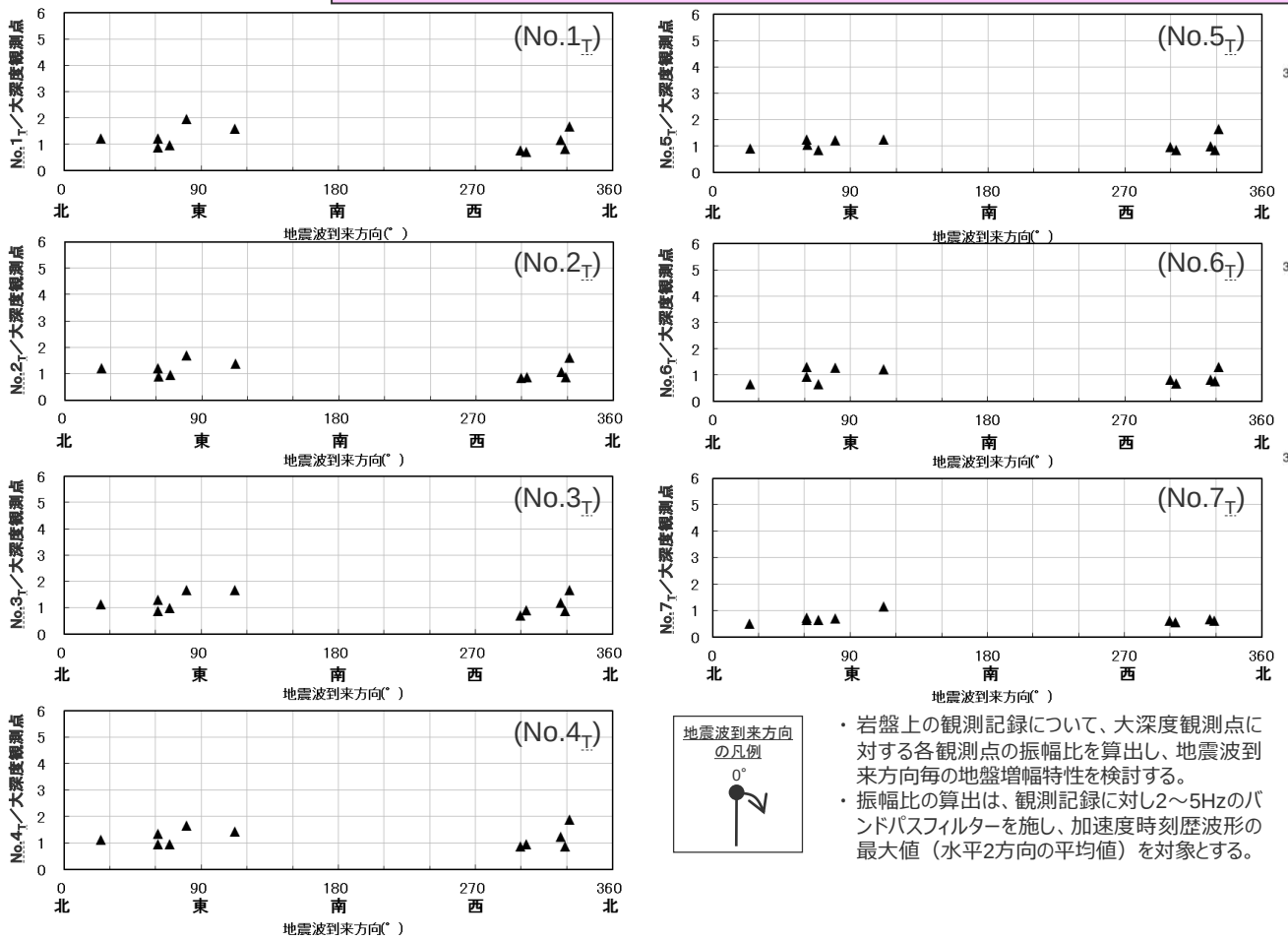
地震観測記録（海底試掘トンネル観測）の分析

（陸域観測点の地盤増幅特性との関係（大深度観測点における地震観測記録を用いた分析））

○大深度観測点（G.L.-30m）について、海底試掘トンネル観測点と共通して観測された記録を抽出し、振幅比を算出した。

⇒設置状況が異なること等から若干のばらつきはあるが、2009年駿河湾の地震の到来方向を含めて、いずれの地震波到来方向でも、振幅比は一定である。

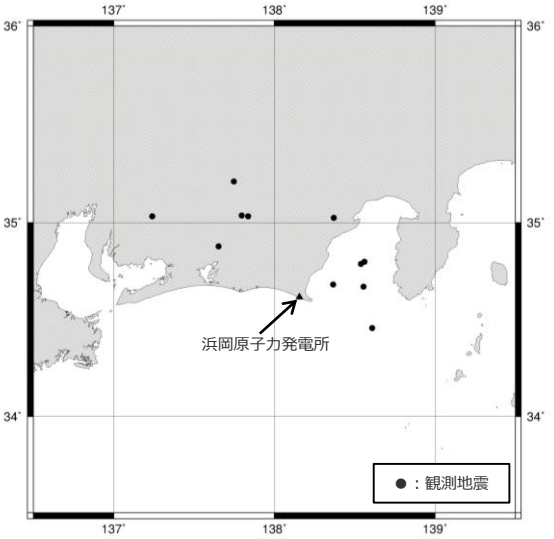
以上の検討から、海底試掘トンネルでは地震動の顕著な増幅が見られないことを確認した。



地震波到来方向の凡例

0°

・岩盤上の観測記録について、大深度観測点に対する各観測点の振幅比を算出し、地震波到来方向毎の地盤増幅特性を検討する。
・振幅比の算出は、観測記録に対し2～5Hzのバンドパスフィルターを施し、加速度時刻歴波形の最大値（水平2方向の平均値）を対象とする。



<各地震の震央分布>

<各地震の振幅比と地震波到来方向との関係（水平平均）>（観測分析期間：2010年12月5日～2012年10月8日）

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・下線（＿）は、一部修正箇所を示す。

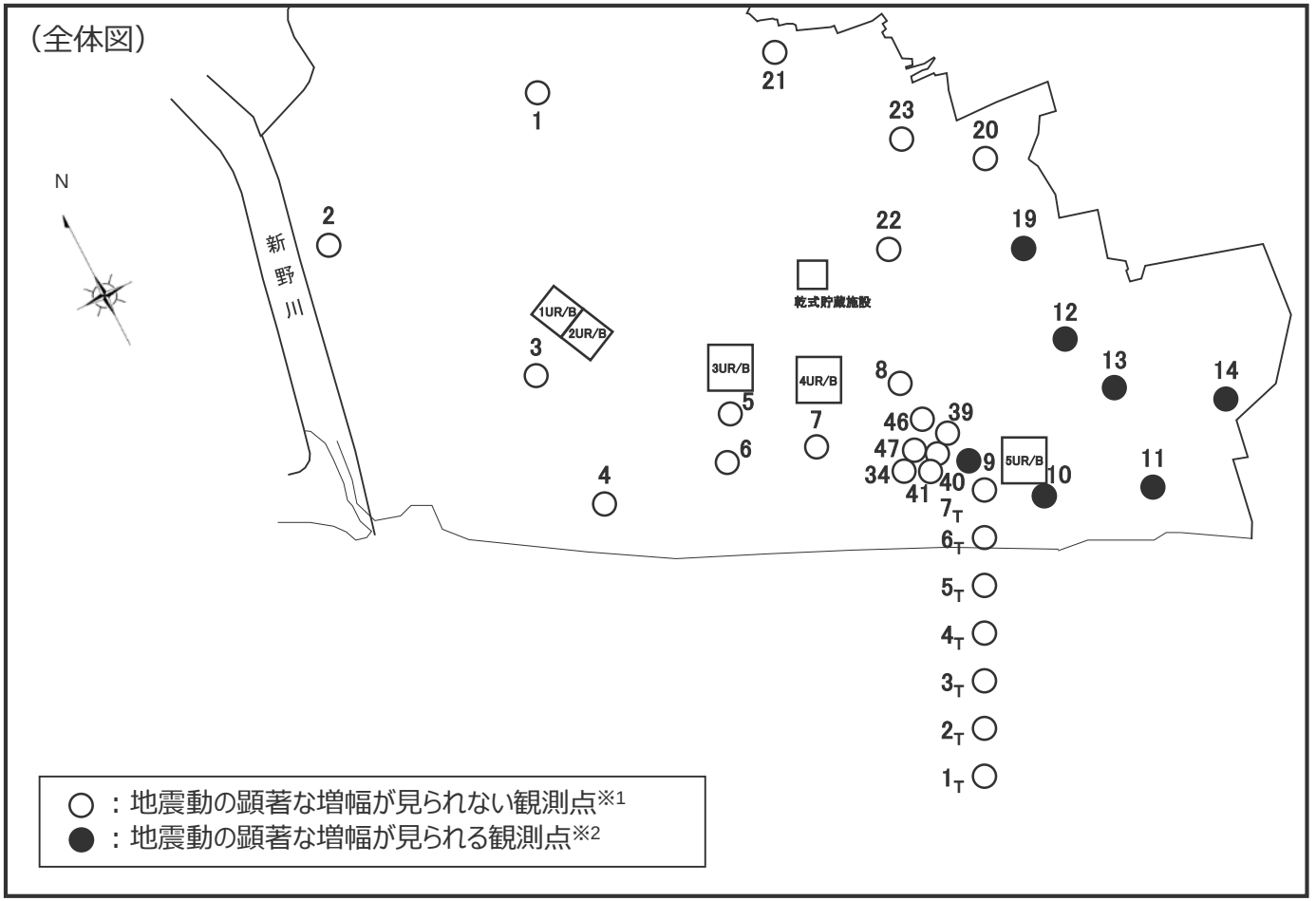
<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

第532回
資料1-2 p.21一部修正

地震観測記録の分析
（小括（敷地における地盤増幅特性））

○S波低速度層による影響の有無によって地震動の増幅特性が異なることにより、敷地の地震観測点は、2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近のみ地震動の顕著な増幅が見られる観測点（地震動の顕著な増幅が見られる観測点）といずれの地震波到来方向でも地震動の顕著な増幅が見られない観測点（地震動の顕著な増幅が見られない観測点）に分かれ、**<u>４号炉周辺の観測点は地震動の顕著な増幅が見られない観測点に相当</u>**し、**<u>５号炉周辺の観測点は地震動の顕著な増幅が見られる観測点に相当</u>**する。

（全体図）



※1： 2009年駿河湾の地震の地震波到来方向を含め、いずれの地震波到来方向でも顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同様である。
※2： 2009年駿河湾の地震の地震波到来方向付近（N30E～N70E）では顕著な増幅が見られるが、その他の地震波到来方向では顕著な増幅は見られず、周辺観測点の地盤増幅特性と同様である。

・敷地図を変更。
・４号周辺と５号周辺に追加で設置した観測点（多点連続観測）を追記。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

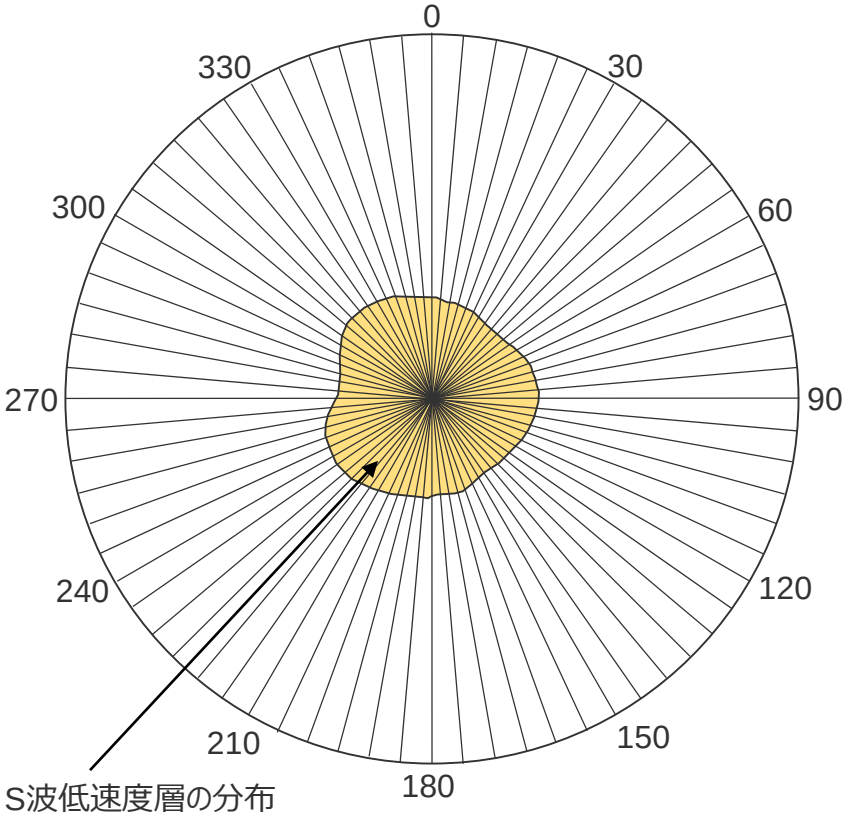
<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

第532回
資料1-2 p.29一部修正

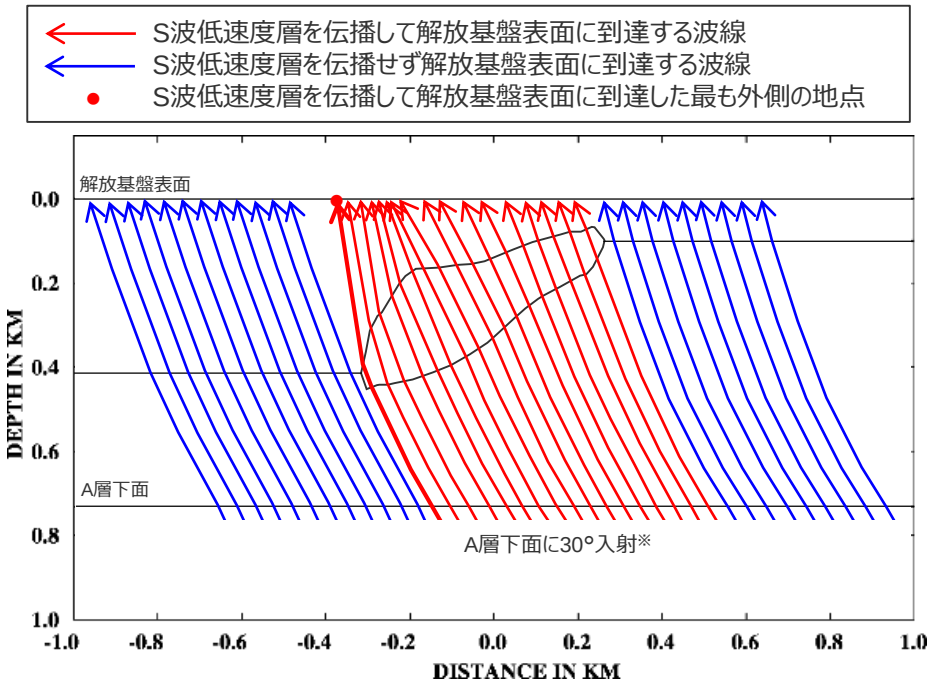
地下構造調査結果の分析
（S波低速度層の影響範囲の検討）

○ S波低速度層による地震動の顕著な増幅は、地震波がS波低速度層を伝播して敷地に到達することで生じると考えられるため、S波低速度層の分布に基づき、地震波のレイトレーシング解析を行うことで、S波低速度層の影響範囲を検討する。
○ 具体的には、S波低速度層の中心を通る全方位（5°刻み）の2次元断面を用いて、A層下面における入射を30度※としたレイトレーシング解析を行い、各測線において波線がS波低速度層を伝播して解放基盤表面に到達した最も外側の地点を結んだ範囲を、S波低速度層の影響範囲とする。

※多点連続地震観測における観測地震及び内閣府(2012)によるプレート境界面の震源を対象としたレイトレーシング解析に基づく（補足説明資料①-10参照）。



（S波低速度層と検討対象方位の関係）



（断面図イメージ（レイトレーシング解析））

<検討内容模式図>

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

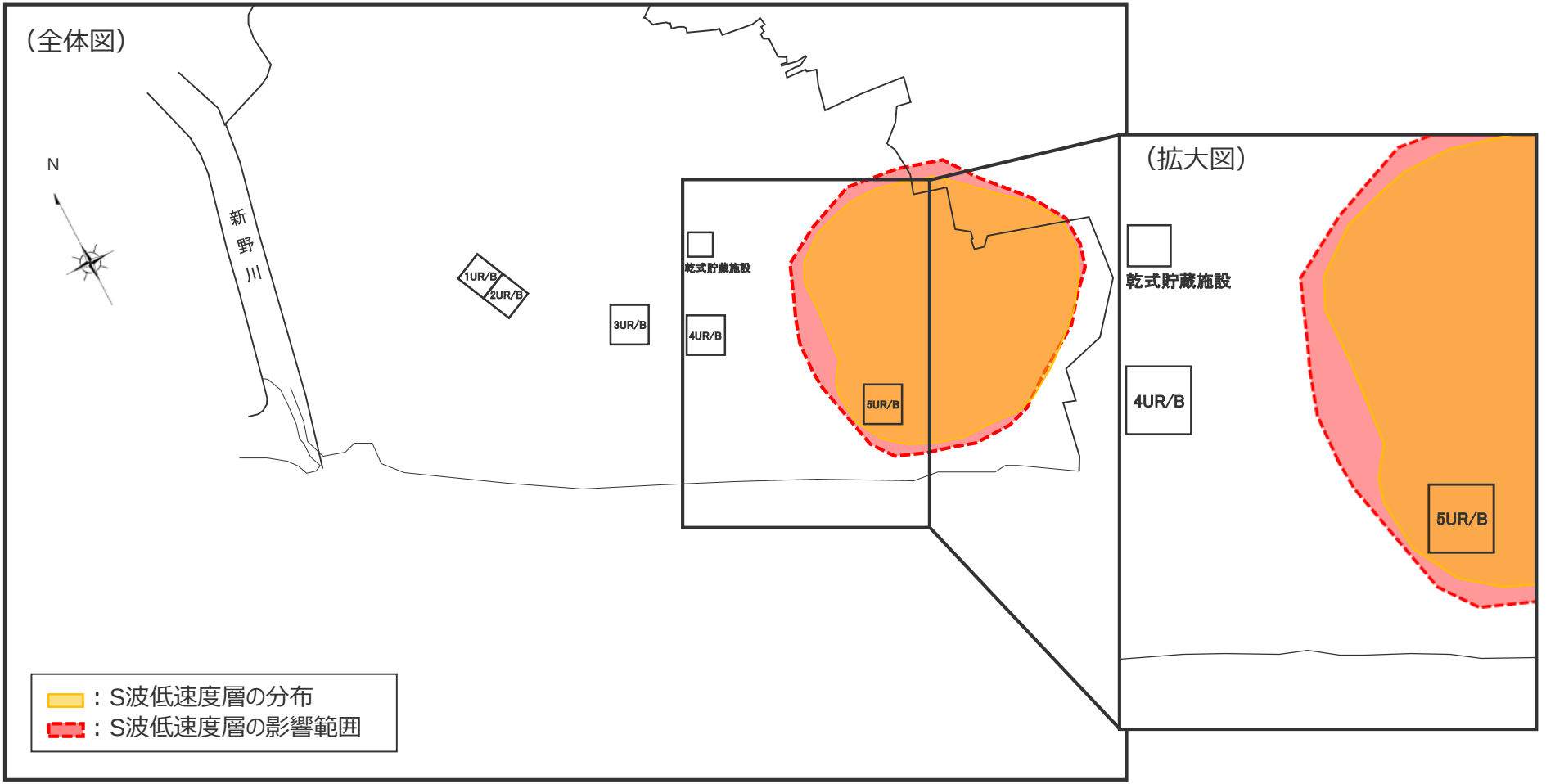
・下線（＿＿）は、一部修正箇所を示す。

<補足説明資料①-13 地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域の設定>

第532回
資料1-2 p.30一部修正

地下構造調査結果の分析
（S波低速度層の影響範囲の検討）

○レイトレーシング解析に基づくS波低速度層の影響範囲は、S波低速度層の分布範囲と大きく変わらない。
○その理由として、下方から伝播する地震波がS波低速度層を伝播することで、S波低速度層の上部付近で地震波が集中して増幅するフォーカシング現象が増幅メカニズムであるためと考えられる。



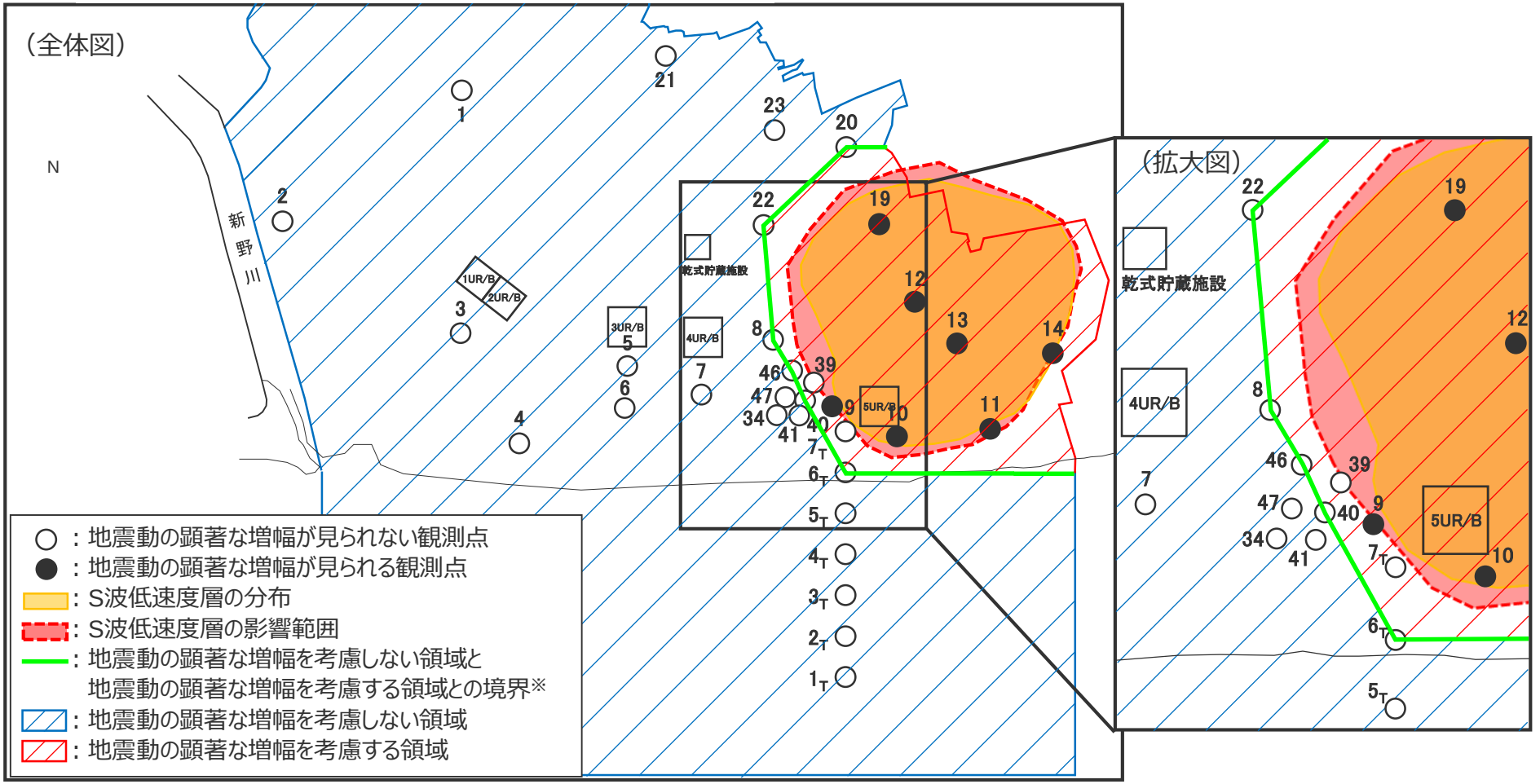
Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・敷地図を変更。
・注記（※）を削除。

第940回
資料2 p.2一部修正

まとめ

○観測点毎の地震動の顕著な増幅の有無（地震観測記録の分析）に基づき、S波低速度層の分布及び影響範囲（地下構造調査結果の分析）も踏まえて、地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域を設定。



※「地震動の顕著な増幅を考慮しない領域と地震動の顕著な増幅を考慮する領域との境界」は、主に地震動の顕著な増幅が見られない観測点に基づき設定することとし、当該境界により設定される地震動の顕著な増幅を考慮する領域が、地震動の顕著な増幅が見られる観測点及びS波低速度層の分布・影響範囲を包絡することを確認。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

・敷地図を修正。

参考文献

・参考文献は、本資料参照。

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

余 白

Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.



Copyright © Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.