



第4回 原子力耐震安全研究委員会

深部地震動観測システム及び 柏崎地域でのアレー観測

平成24年3月2日

新潟工科大学 原子力耐震・構造研究センター



独立行政法人 原子力安全基盤機構

1





1.	背景と目的
2.	実施概要
3.	実施工程
4.	成果のまとめと活用
5.	今後の予定



柏崎深部地震動観測プロジェクトの背景

■背景 2007年新潟県中越沖地震の経験

柏崎刈羽原子力発電所の建屋基礎版上で観測された地震動が旧指針の下で設定された設計用 地震動を大きく上回り、また各号機間で最大加速度振幅が2倍近く異なった

- (1) 震源特性による影響
- (2) 柏崎刈羽サイトの地下深部の3次元的な不整形性による伝播効果
- (3) <u>深部地盤(厚さ5-7kmに達する堆積岩層)による増幅効果</u>
- →柏崎刈羽サイト周辺では、石油探査などの目的で既存の基礎試錐及び物理探査などのデータ が比較的豊富にあり、それらを基に3次元地下構造モデルを構築し、解析・検討を行った結果、 (1)の震源特性の影響に加えて、(2)、(3)のサイト周辺の地下構造の影響が大きいという分析結 果が得られた



柏崎深部地震動観測プロジェクトの目的 -3.11東北地方太平洋沖地震後の位置づけ-

nes 🔅





柏崎深部地震動観測プロジェクトの実施概要

新潟工科大学において地震基盤相当の岩盤に達する深さ3,000m級の大深度ボーリング調査ならびに深部地震動観測(鉛直ア レー地震動観測)を実施し、併せて稠密な水平アレー地震動観測、各種物理探査による総合的な深部地下構造調査を行う。 また、観測に必要な機器開発から設置までを一式とした深部地震動観測技術を整備する。



物理探査・地震動観測記録に基づく深部地盤におけるサイト特性の評価手法を確立する

柏崎刈羽原子力発電所において 東京電力が深度1000m、1700m

🍌 INES =

柏崎深部地震動観測プロジェクトの実施内容(その1)

(A)大深度ボーリング調査、鉛直アレー地震動観測

【参考】

■実施内容

【大深度ボーリング掘削・調査の実施と深部地震動観測システムの構築】 の^{深部地震動観測を計画} 〇深部地盤のサイト特性評価法を構築するための検証データの取得 〇観測に必要な機器開発から設置までを一式とした深部地震動観測技術の整理・標準化

【これまでの実施項目】

(1) <u>深度3000mのボーリング掘削工事及び調査・試験の実施</u>

- ・コア採取:3深度(上部寺泊層、下部寺泊層、先新第三系)
- ・カッティングス採取(10m程度毎)
- PS検層(弾性波速度)、Q値測定(減衰定数)、密度検層、
 比抵抗検層など
- ・コア室内試験(三軸試験、超音波速度測定など)

(2) 深部地震動が観測できる地震計の開発と試験、設置の実施

- 多連式地震計(単一観測井における多深度地震動観測)
- ·高温·高圧耐性
- ・幅広い測定レンジ(微動(10µ gal)~強震動(1000gal))
- ・地震計の設置と観測システムの構築(作業中)



深部地震動観測システム



柏崎深部地震動観測プロジェクトの実施内容(その2)

(B)物理探査、水平アレー地震動観測

【参考】 長岡平野西縁断層帯周辺に40点 の地震観測点を東京電力が設置

■実施内容

【広域地下構造探査とサイト近傍地下構造探査の実施】 〇深部地盤のサイト特性評価法を構築するための地下構造データの取得





新潟工科大学内における地震動観測点の位置図(全13箇所)





柏崎深部地震動観測プロジェクトの実施工程

																				IJ	君	E		
			2	2010호	ŧ							201	1年								2	012	2年~	
		8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		3	4 📭	
	ボーリング掘削・調査		敷地造	<mark>りしての</mark> の しての しての しての しての していていていていていていていていていていています。 していていていていていていていていていていていていていていていていていていてい	グ 設 】	ヾーリ	ング排	副削∙	試験		リグ 撤去	敷地	復旧											
沙 克 立 [地質調査·解析											ボー	リンク	「 「コア」	地層	区分							地質	構造対比
沐司	地震計開発·製作·設置	2010年 地震	҈1月~ <mark>計開</mark>	 発・討	〕 〕 〕							製作					;	山 世震言	 	<u></u> ∃∙調	整			
	深部地震動観測																					試駁	<u> </u>	2012年6月~ <mark>」本観測</mark>
	自然地震観測										崔	見測準	⊑備 <mark>圤</mark>	也震都	₹測・ 〕	F [*] -9[可収		解析					
	GPS観測											쥩	見測準	└ └ 「 「	iPS街	刺・テ	·´ータ[回収	解析	i i				
広域	地震探査											探査	準備	<mark>地震</mark>	探査	解	析						解釈	
	電磁気探査													探査	準備	電磁	<mark>気探</mark>	查魚	解析	解釈				
	水平アレー地震動観測														崔	見測準	┋ □	│ 式験観	】 〕 〕	本観	測		角	析
近傍	微動アレー探査															微	動観波	 則 f	解析					
	重力探査															重	力測定	 定 f	解析					
<u>L</u>	1	1	1					1					L	1	1		1	1	1				I	



【成果①】 深度3000mのボーリング掘削工事及び調査・試験

基準地震動の評価に必要な浅部~深部地盤(地震基盤)にいたるS波速度構造、減衰(Qs値)構造を取得



【成果】 地震基盤相当の岩盤に達する深さ3000mのボーリング掘削、地質調査、各種検層(PS検層、密度検層など)を実施し、深部地盤のサイト特性評価法を構築するための検証データを取得した



ボーリング掘削・調査の状況



10



【成果②】深部地震動が観測できる地震計の開発と試験、設置



11



深部地震動観測システム概念図①





深部地震動観測システム概念図②





地震計の設置作業の状況





深部地震動観測システム波形表示例【開発中】

茨城県北部の地震(2012.2.19、14:54、M5.1)



深部地震動観測 (深度0、100、550、1500、3000m) 水平アレー地震動観測 (地表28箇所)



成果のまとめと活用

■成果のまとめ

- 〇ボーリング掘削・調査の完了
 - ・地震基盤相当の岩盤に達する深度3000mのボーリング掘削、地質調査、各種検層(PS検層、 密度検層など)を実施し、深部地盤のサイト特性評価法を構築するための検証データを取得 した

〇深部地震動観測技術の確立

- ・深度3000mのボーリング孔底で使用可能な耐高温・耐高圧型で高精度な地震計(温度150度、400気圧、観測精度約10µgal)を開発し、耐久試験や実地震動観測によりその性能を 検証した
- ・開発した高精度の地震計を多連でボーリング孔へ設置する技術を考案して、深度3000mの ボーリング孔へ地震計を設置完了し、世界的に類のない深部地震動観測技術を確立した
- ⇒ 観測に必要な機器開発から設置までを一式とした深部地震動観測技術の整理・標準化

■成果の活用

- 〇ボーリング調査データや観測データを各発電所の基準地震動の安全審査におけるサイト特 性の評価や検証に活用する
- Oサイト特性の評価技術や評価手法、各種の観測データをIAEA・新EBPへ活用する(確立した 深部地震動観測技術はIAEAのTechnical documentへ反映し、これらを原子力新興国の技術 支援に活用する)



深部地震動観測の今後の予定

■地震観測データの公開に向けて

- ・地震計の制御装置の調整(キャリブレーション)、データ通信システムの構築を平成24年3月 中に実施する
- ・観測データの品質チェックを平成24年5月中に実施する(品質チェックに2ヶ月要)
 ⇒ 具体的には、自然地震を10地震程度観測して波動伝播解析及び地盤同定解析等を行い、 波形の確認(地震計の方位、感度、S/N比、周波数特性、フィルター処理等の確認)を行う

・地震観測データの公開は平成24年6月を想定



補足説明資料

独立行政法人 原子力安全基盤機構

S INES

柏崎深部地震動観測プロジェクトに係る観測記録の分析・評価

1次元地下構造の分析

- ○鉛直アレー地震観測記録による各波動の伝播状況の分析、スペクト ルやコヒーレンス等の統計的分析、伝達関数によるサイト(減衰)特 性の分析
- 〇複数手法の地盤同定解析による地盤物性の同定(特に減衰特性の 把握)、不均質媒質モデルによる数値シミュレーション(速度データに よる相関距離の推定、理論散乱減衰の推定など)

〇水平アレー地震観測記録による各種解析(H/Vスペクトル、レシーバ ーファンクション、地震波干渉法など)にもとづく地下構造の推定

〇地震基盤波及び解放基盤波の分析、はぎとり解析手法の検討

〇耐専スペクトル(Vs2.2km/sの妥当性)の増幅率の検討

期待成果

- ・JNES柏崎地下構造モデルの検証
- ・浅部地盤~解放基盤ならびに地震基盤までの地下構造 特性、サイト特性の設定方法の標準化
- ・地震基盤波の推定結果の不確実さの把握
- ・耐専スペクトルの増幅率の検証
- ・硬質地盤における減衰メカニズムの解明

〇震源特性(fmaxなど)の分析

|--|

 ・振動数50Hz程度まで信頼できる高精度地震観測記録に もとづく震源特性(fmax)の評価
 ・fmax起源(震源オリジンorサイトオリジン)の解明

2次元・3次元地下構造の分析

- ○最深部の地震観測記録を基準にした鉛直/水平アレー地震観測記録、KiK-net・K-NET地震記録等によるスペクトルインバージョン解析等にもとづく、各サイト(観測点)のサイト特性の評価
- OJNES柏崎地下構造モデル(数値モデル)を用いた、鉛直アレー地震 記録の入力による地震動シミュレーションにもとづく地震動の再現、 地下構造モデルの修正(高度化)、地震波トモグラフィー解析

〇地震動の空間変動や地域性の分析など



プロジェクトの期待成果

◎新潟工科大学において、地下深部に関する適用可能な調査・観測法を 総動員して深部地下構造調査・評価に関する「事例研究」を行い、他の 周辺成果等と合わせて、それらの結果を原子力の安全規制上の観点か ら総合評価し、今後の安全審査において参照が可能な基準地震動(サイ ト特性)の妥当性評価の際の根拠資料(評価技術、手法)を整備する

◎サイト特性の評価技術や評価手法、各種の観測データをIAEA・新EBPへ 活用して原子力新興国の技術支援に資する

— 🏷 INES —

柏崎深部地震動観測プロジェクトにおける深部地下構造モデル作成とサイト特性評価





大深度ボーリング掘削・調査の計画策定



大深度ボーリングの際の様々な条件・制約を勘案しつつ、深部地震動観測プロジェクト の目的を最大限達成できるよう計画を立案



【計画の策定】掘削サイトの選定条件及び技術的要件

【掘削サイトの選定条件】

(1) 柏崎刈羽原子力発電所と深部地下構造の特徴が類似していること

(2)可能な限り掘削深度が浅くて地震基盤に達する可能性があり、且つ地下温度 が150°C以下であること

(3)大深度ボーリングに可能な広範囲のスペースが確保できること

【技術的要件】

(1)石油掘削技術を適用すること

(2)コントロールボーリングにより鉛直に掘削すること

独立行政法人 原子力安全基盤機構

【計画の策定】 事前検討(地下構造モデルの作成)

ঌ INES



既往の地質図、石油探査データ(掘削井柱状図、反射法弾性波探査断面図)等をコン パイルし、3次元地下構造モデルを作成

【計画の策定】 事前検討(地下構造モデルの作成)

NES -



深部地盤構造データの各地層上面深度のコンター図

🏷 INES 🗕

3次元地下構造モデルの例







【計画の策定】掘削サイトの選定



新潟工科大学を中心とする3次元S波速度構造モデルの南北及び東西断面図

大深度ボーリングの掘削地点として新潟工科大学を選定



【計画の策定】 掘削深度の決定 130 135 ※新潟県中越地域で推定される温度勾配 ⇒ 3~5°C/100 m(矢野ほか, 1999) ※大深度ボーリングから約2km離れた既存坑井の温度勾配 ⇒ 4.3°C/100 m(田中ほか, 2004) 地震基盤面の深さ3,300m位置で予想される地下温度は 160℃以上となる(深部地震動観測不可) 柏崎地域 深さ3,000m位置を想定した場合、予想される地下温度は 150℃程度となる(深部地震動観測可) 大深度ボーリングの掘削深度を3.000mに設定 【掘削サイトの選定条件】 (1) 柏崎刈羽原子力発電所と深部地下構造の特徴が類似していること (2)可能な限り掘削深度が浅くて地震基盤に達する可能性があり、且つ地下温度 が150℃以下であること 130 135 140 (3)大深度ボーリングに可能な広範囲のスペースが確保できること (矢野ほか、1999) 100 地温勾配 [°C/km]

日本列島における地温勾配図(矢野ほか,1999に加筆)

大深度ボーリングの掘削深度を3,000m(地震基盤面相当位置)に設定