

# 柏崎深部地盤地震動観測プロジェクトについて

呉 長江

独立行政法人 原子力安全基盤機構(JNES)

## 1. 背景

世界的なエネルギー需要の増大、原油価格の高騰、そして地球温暖化問題への対応のため、ここ数年、原子力発電が再評価され、欧米を始め、中国やインドなど多くの国で新規の原子力発電所が建設されている。2009年の世界中の原子力発電による総発電電力量は、14%を占めている。日本の原子力発電による総発電電力量は、図1に示すように約3割占め、フランスは、実に7割を超えている。

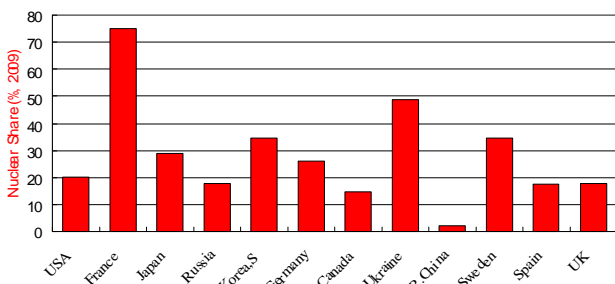


図1. 主要国の原子力発電が総発電電力量に占める割合(統計数字は <http://www.world-nuclear.org/info/nshare.html> に参照; 2009年度)

一方、図2に示した主要国の原子力発電所の設備稼働率を比べると、韓国や米国が9割の高い稼働率に達成しているが、日本の稼働率は6割程度に留まっている。2005年宮城沖地震、2007年中越沖地震、2009年駿河湾の地震による原子炉の停止・点検が低稼働率の原因の一つであると考えられる。特に、中越沖地震は、柏崎刈羽原子力発電所の近傍で発生し、発電所の原子炉建屋基礎において、旧耐震設計審査指針の基準地震動 S2 に対する設計応答の約2倍の加速度応答が観測され、解放基盤相当の地震動も S2 を大幅に超えた。

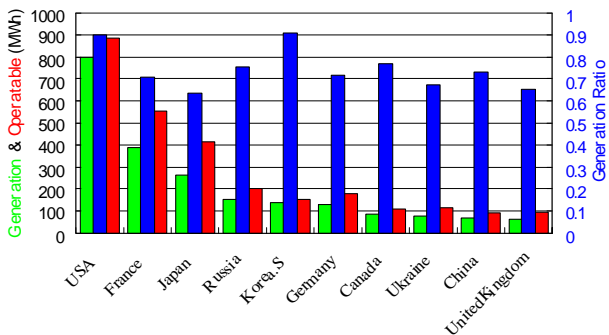


図2 2009年主要国の原子力発電電力量の比較(統計数字は <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html> に参照) 緑棒: 実発電電力量; 赤棒: 満額発電電力量; 青棒: 設備稼働率。

この影響を受け、同発電所では、全号機が停止し、地震発生から3年が経過しているが、まだ半数以上の原子炉が停止している。

中越沖地震による発電所の基礎版上観測された波形には、顕著な3つのパルス波が含まれている。JNESで、原子力発電所内での観測された地震動や研究機関で観測された地震動を分析した結果、発電所近傍で発生した地震の震源特性と、発電所周辺の地下構造の不整形性の影響によって、大きなパルス波が発生したことが明らかになった。こうした分析結果から、強震動予測において、特に深部地下構造を把握することが重要であることが分かった。

## 2. 深部地盤地震動観測プロジェクト

上記のような背景から、JNESでは、原子力施設の立地サイト付近において、厚い堆積層による地震動の増幅や岩盤における減衰特性等の深部地盤の地震動伝播特性を把握するため、軟岩及び硬岩の代表的なサイトにおいて、大深度ボーリングによる地震動観測井の構築を進めている。

### 2.1 ボーリング工事

図3の上図に示したように、発電所敷地周辺の地層は地表面から西山層、椎谷層、上部寺泊層、下部寺泊層、七谷層、グリーンタフおよび基盤岩の7層で構成され、背斜及び向斜を伴う複雑な褶曲構造を呈している。ボーリングサイトとして選定した新潟工科大学の周辺は、深部地盤の大局的な構造が柏崎・刈羽原子力発電所に類似しており、発電所と同様の伝播特性の検証が可能と推定した。また、新潟工科大学周辺の地震基盤は発電所周辺より浅く、深さ3000m程度で地震基盤付近に到達する見通しである。さらに、大学の協力で、構内には、掘削リグや掘削に必要な設備の設置が可能な敷地も確保できることとなった。

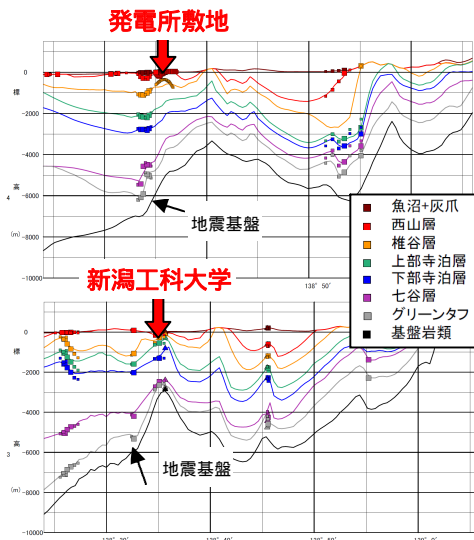


図3. 発電所敷地とボーリングサイト(新潟工科大学構内)での深部地盤構造の比較

ボーリング工事は、2010年8月から、敷地造成工事に着手し、2010年11月中旬から、掘削工事が開始されている。深度3000m(地震基盤)に達するまでに約6ヶ月掛る予定である。ボーリング孔掘削と同時に、原位置の速度構造や密度などの物性値の測定、カティングスやコア(地震計設置位置)の採取・分析による地質調査等を実施する。来年の夏ごろ、完成したボーリング孔の中に地震計を複数深度で設置して、鉛直アレーによる地震動観測を行う。

## 2.2 地震動観測システムの開発

深部地震動観測システムは、深部地盤構造(速度構造,減衰構造)に加え、震源特性(コーナー周波数,高周波低減特性等)を分析するため、強震動,中小地震,微小地震や常時微動等の観測波形データの取得を目的としている。これらの観測波形に対して良質なデータを得るために、周波数特性,測定レンジ,感度として、下表の基本性能を満たす観測システムを開発している。

また、柏崎地域は、地温勾配が4 /100m程度と高く、地震基盤に達する深度約3,000mのボーリング孔底に地震計を設置する場合、地震計ユニット(地震計3成分,振動検出回路,耐圧容器などで構成)やケーブル等には150°程度の温度と40Mpa程度の圧力が加わることが想定される。したがって、それらの耐温・耐圧性能を有する地震観測システムを開発した。

また、それらの耐温・耐圧性能を検証するため、まず、常温・常圧の環境下で、周波数特性,測定

表1 地震計の基本性能要件

	満たすべき性能
周波数特性	少なくとも0.1Hz~50Hzの範囲でフラット(感度差3dB以内)
測定レンジ	±2,000Gal以上
最小感度	1Hzにおいて10μGal以下(Hi-net仕様に準ずるレベル以上を目安)

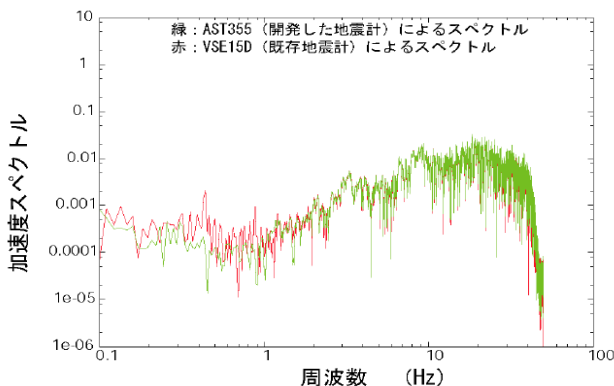


図4 開発した地震計(高温タイプ:APS-355)と既存地震計VSE150の微小地震観測記録の比較

レンジ,最小感度等の基本性能を確認した。さらに、大分の地熱生産施設の既設ボーリング孔を利用して、高温環境における地震計の耐久性を確認した(図4)。

さらに、単一観測井に多深度の地震計を設置するための地震計固定装置(途中深度用,図5)を開発し、地震計をボーリング孔中間の固定装置に設置した場合と孔底に設置した場合で、地震動観測データを比較検討した。その結果、上下動に有意な差が見られないこと、水平動では、20Hz以下周期帯には有意な影響はないものの、20Hz以上の周期帯でノイズが発生しているため、ノイズ低減のための固定装置の改良を進めている。

## 3. おわりに

今後、柏崎サイトで実施した掘削工事やボーリング調査の実績データ等を詳細に分析し、ドキュメントを作成する計画である。採取したコア等による各種地質調査や検層、Q値測定データ等を分析し、深部地盤の速度構造や減衰特性を把握することは重要な課題である。また、サイト周辺で水平アレーによる地震動観測や反射法地震探査を実施し、中越沖地震の地震動分析に用いた三次元深部地盤モデルを高度化し、三次元的な地震動の伝播特性も分析する計画である。

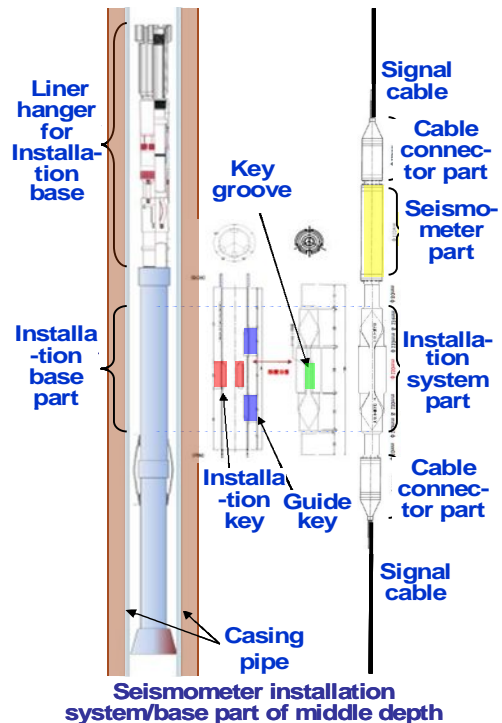


図5 開発した多深度の地震計固定装置