

原発の耐震安全性を考える

柏崎の教訓を踏まえて

立石雅昭

(たていし まさあき)
新潟大学理学部教授

2007 年の中越沖地震で被災した柏崎刈羽原子力発電所。

それは世界で初めての、原発の地震被災であった。

多数の原子力発電所を抱える「地震国日本」。

原発の耐震安全性について、現状と課題を検証する。

1 柏崎で何が起きたのか

2007 年 7 月 16 日午前 10 時 13 分、東京電力（株）柏崎刈羽原子力発電所の各号機中央制御室の警報ランプが一斉に点灯し、警報がけたたましく鳴り響いた。新潟県中越（出雲崎町）沖の深さ 12km を震源とする M6.8 の中越沖地震である。この地震で、全 7 機のうち、点検中で停止していた 3 機とは別に、稼働していた 4 機は自動停止したが、炉水温度の 100 度までの冷却は手動で行わざるを得なかった。最終的に 4 号機が安全な水温に達したのは翌 17 日、午前 6 時 54 分であった。

一方、3 号機の外部変圧器が黒煙をあげ、燃えた。消防配管が寸断され、自前での消防ができない。地元消防署は市内の火災救援活動に追われるとともに、道路が寸断され、発電所の消火に簡単には駆けつけられない。黒煙を上げ続ける火災は 2 時間余に渡って放映され続けた。さらに夕刻 6 時過ぎになって、

6 号機の非管理区域にたまった水に放射性物質が含まれていることが明らかになり、海水中にも微量ながら漏れだしていることが確認された。緊急時に対策本部となる予定の施設は、扉がひずんで機能しなかった。

周辺地域の最大震度は 6 強であったが、発電所の震度は 7 に達していた。地震に伴い、原子炉が自動停止した例は、女川や志賀など、これまでも例はある。しかし、これらの例は 110 ガル前後の地震加速度を感知すると制御棒が働く仕組みで止まったのであるが、今中越沖地震では、原子炉建屋をはじめ各機器について、設計時に想定していた地震動をすべての周期で上回ったのである。

原子炉建屋の最下階（基礎版）での最大加速度は、6 号機で 680 ガルを記録していた。設計時の想定値の 2.5 倍にあたる。M6.8 という周辺地域での地震としてはありふれた規模の地震で、万全の地震対策を施しているはずの原子力発電所が、なぜこれほど大きなゆれに見舞われ、様々な設備・機器に損傷を被

ったのか。その検証は、地震被災を初めて被った原子力発電所ということで、世界的にも大きな注目を集めた。

爾来、2年余、改良型沸騰水型原子炉（ABWR）である7号機、ついで同型6号機が起動試験に入り、営業運転に移行しようとしている現在、柏崎刈羽原子力発電所の地震被災の教訓に改めて学び、地震国日本で稼働する原子力発電所の安全性を高めることが何より重要であろう。ここでは主として、原子力発電所の耐震安全性の指標となっている耐震設計審査指針との関わりで、電力事業者、原子力推進行政官庁による設置申請と、その審査・許可体制の現状をみてみたい。

2 経産省「調査・対策委員会」による安全性検証と提言

柏崎刈羽原子力発電所が想定を遥かに超える地震動を受けて被災したことを受けて、経済産業省原子力安全・保安院は「中越沖地震における原子力施設に関する調査・対策委員会」を2007年7月31日に設置し、その下部組織として、「自衛消防及び情報連絡・提供に関するワーキンググループ」と「運営管理・設備健全性評価ワーキンググループ」を設けるとともに、既設の「耐震・構造設計小委員会」と連携し、被災の実相解明と耐震安全性の確認に当たることとした。

翌2008年2月、自衛消防及び情報連絡・提供に関するワーキンググループは、「中越沖地震における原子力施設に関する自衛消防及び情報連絡・提供に関するWG報告書～中越沖地震を踏まえ、原子力施設に対する地域の安全・安心に向けて～」をまとめた。

その「報告」では、自衛消防のあり方に関

する要点が以下のようにまとめられている。

1. 初期消火体制の充実
2. 消火設備の信頼性の向上
消火設備の耐震性の確保、消火設備の多様化・多重化、消火設備の多様化に伴う組織体制の整備
3. 消防活動に不可欠な関連設備の信頼性の向上
4. 消防機関と連携した実践的な訓練等の実施と検証
5. 火災予防教育・対策の充実

報告を受け、安全・保安院は柏崎刈羽原子力発電所だけでなく、すべての電力事業者に対して、原子力発電所の自衛消防設備・体制を早急に改めるよう求め、各電力事業者もその求めに応じて自衛消防体制を強化した。しかし、柏崎刈羽原子力発電所では、自衛消防設備・体制を改善したにもかかわらず、以降、今日までに10回の火災事故が発生している。

火災が起こるたびに、東京電力は体制の点検、充実を口にするが、臨時的業者・労働者が多数従事するなかで、こうした業者・労働者に対する基礎的教育・訓練が行われていない。安全管理体制上で言えば、2009年9月30日から10月6日までの1週間で、労働安全上の人身事故が4件発生し、中には頭蓋骨折で重傷を負った労働者も含まれる。

自衛消防に関して何より解明されるべきであった重要な問題点は、地震被災前に地元消防本部から再三に渡って消防配管の耐震性不備を指摘されてきたにもかかわらず、東京電力が無視してきたという経緯と、その体質であった。寡占的独占企業、電力事業業界の体質への切り込み無くして、原子力発電所の安

全確保は机上の論理に終わるであろう。

「報告」では、もう一つの重要課題であった「迅速かつ的確な情報連絡・提供に向けた具体的方策」として、以下のように提案している。

1. 地元住民等に対する多様な手段を駆使した迅速な情報提供
2. 表現方法の工夫等による分かりやすい情報提供
3. 現地を中心とした国の情報連絡・提供体制の強化
4. 大規模な地震に備えた原子力事業者における情報通信設備や体制の整備
5. 実践的な訓練・研修等の実施

この提案は、中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災時に、東京電力や国からの県や地元自治体への情報提供が遅れ、当然、地元住民への広報も遅れをとった要因を分析し、改善策を提起するものであった。

2009年9月30日、国内の原子力施設で初めて放射能による死者を出した1999年の茨城県東海村のJCO臨界事故から10年を迎えた。この臨界事故では、地元自治体に情報が寄せられず、住民避難の判断が混乱した。この反省に立って、事故の2カ月半後に「原子力災害対策特別措置法（原災法）」が制定されたが、この仕組みが動き出すのは、原子力発電所から5マイクロシーベルトを超える放射性物質が漏れた時である。中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災では、新潟県の設置したモニターは作動しており、県の原子力安全対策課は周辺大気中に放射性物質が漏れていないことが分かっていたが、東京電力からの情報は途絶えていたし、国からの積極的指示

もなく、地元自治体・住民への情報提供、避難の要・不要の指示は行われなかった。

一方で、黒煙を上げて燃え続ける映像だけがテレビで流れている中で、正確な情報が地元自治体や住民に届かなかったのである。当初、「放射能漏れはない」との東京電力による広報も、数時間後に覆ることになる。それは、情報の収集・発信のシステムがほとんど機能しなかったことを意味している。

今回の「報告」に盛り込まれた提案が実効性を持つように、行政官庁、電力事業者、そして自治体は、提案の趣旨を真摯に受け止めて体制を抜本的に強化しなければならない。

新潟県は東京電力との「安全協定」に基づいて、2003年2月に「安全管理に関する技術委員会」を設けていたが、中越沖地震による被災を受け、2008年2月にこの技術委員会を拡充し、筆者もその委員の一人として任命された。その技術委員会の場で筆者は、県に対して、当時の原子力災害対策法の不備のもとでの地域防災計画の見直しを求めた。

県はこの意見も踏まえ、「新潟県複合災害等検討会」を8月に立ち上げ、「中越沖地震を踏まえた複合災害対応の検討」を行ってきた。2009年春には「報告」をとりまとめ、9月に「新潟県地域防災計画・原子力災害対策編」を改訂した。委員の一人によると、本計画は「実効的な原子力防災に向けた初めての切り込み」と評されるが、地震と原子力発電所のトラブルが重なる「複合災害」時の対応を示した章が新設されている。全国的にこうした計画は初めて、ということ自体、原子力発電所が地震で被災しても周辺に放射能漏れを引き起こすことはない、という「安全神話」への依存を示す以外の何ものでもない。

この新たな「新潟県地域防災計画・原子力

表 1 原子力関連施設の基準地震動

原発名	震源断層・地震名	新基準地震動	旧基準地震動
泊	震源を特定せず想定する地震	550	370
東通	〃	450	375
女川	宮城沖地震 (M8.2)	580	375
福島 1	敷地下方の断層 (M7.1)	600	370
福島 2	〃	600	370
柏崎刈羽	F-B断層	2300	450
浜岡	東海地震 (M8.0)	800	600
志賀	笹波沖断層 (M7.6)	600	490
美浜	C断層 (M6.9)	600	405
高浜	F0-A断層 (M6.9)	550	370
大飯	〃	600	405
島根	宍道断層 (M7.1)	600	456
伊方	中央構造線の一部 (M7.6)	570	473
玄海	震源を特定せず想定する地震	500	370
川内	〃	540	372
敦賀	浦底一内池見断層 (M6.9) など	650	532
東海 2	震源を特定せず想定する地震	600	380
もんじゅ	C断層 (M6.9)	600	466
六ヶ所再処理	出戸西方断層 (M6.5)	450	375

注) 2008 年 3 月、各電力事業者から新耐震設計審査指針ならびに中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災の教訓を受けて見直された報告。原子力発電所に最大の地震動をもたらす地震として、震源が特定して求められるものと特定せずに求められる 2 種類で計算することが求められており、より大きな地震動をもたらす方が採用されている。

災害対策編」は、初動時の情報の「空白」を埋めることを大きな目的としている。この計画をさらに実効性のあるものにするためには、道路が寸断され、家屋が倒壊もしくは倒壊の危険にさらされている時、避難態勢をどうするのかなど、今後検討すべき課題も多い。

3 原子力発電所の耐震設計に関する新たな課題

柏崎刈羽原子力発電所は、中越沖地震によって、想定していた地震動を遥かに上回る地震動を受け、3,100 件を超える不適合事象が発生した。東京電力は、この「想定」を遥かに超えた震動に見舞われた要因を解析するとともに、中越沖地震の 10 カ月前の 2006 年 9

月に改訂された国の「耐震設計審査指針」に沿って、改めて柏崎刈羽原子力発電所の耐震設計を再検討した。全国のほかの原子力関連施設についても、中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災の教訓と「新耐震設計審査指針」に沿って耐震設計を見直した結果が、2008 年 3 月末までに全電力事業者から報告された。これらの報告は、原子力安全・保安院と原子力安全委員会で、その内容のチェックが行われている。

原子力関連施設の耐震設計を行う際の基本となる地震動が基準地震動であり、これは原子力関連施設に最も影響を与えられられる断層や地震によって、施設の直下の仮想的な解放基盤面に入力される地震動である。この解放基盤面は、ふつうは横波の地震波伝搬

速度が概ね 700m/sec の岩盤に仮想される。

柏崎刈羽原子力発電所では、この解放基盤面は原子炉建屋の下 150m~180m と、かなり深い。このことは、柏崎刈羽原子力発電所が比較的軟弱な地盤の上に立地していることを意味し、解放基盤面に達した地震動はその上位の厚い軟弱な地層中で大きく減衰する。柏崎刈羽原子力発電所では、この深い解放基盤面でも、その地震波の伝搬速度がおおよそ 500m/sec と遅く、軟弱な地層が厚く分布している地域ということになる。

ほかの多くの原子力発電所では、横波伝搬速度 700m/sec の解放基盤面はせいぜい深さ 20m~30m である。中には数 m というものもある。すなわち、これらの施設では、解放基盤面から原子炉建屋最下階（基礎版）などに至る過程での減衰が小さいことを意味する。

原子炉建屋やタービン建屋、又各機器の耐震設計は、この解放基盤面に入力する基準地震動をもとに、原子炉建屋やタービン建屋の各階・各設備が受ける地震動を推定し、それに耐えうる設計を施すことになる。

2008 年 3 月にすべての電力事業者から出された耐震設計見直しの結果報告では、柏崎刈羽原子力発電所はもとより、すべての原子力発電所で、基準地震動を大幅に引き上げた（表 1）。しかし、これらの報告では、稼働している全原子力発電所について、古い基準地震動に従って設計されていた原子炉格納容器など重要施設の耐震安全性は、新しい基準地震動に照らしてもその許容値内に収まっているので安全だと主張している。一部、耐震補強するところもあるが、そのほとんどは、古い基準地震動であっても余裕を持って設計していたので、基準地震動が大きくなっても大丈夫だという結論を導いているのである。

しかし、これでは新しい耐震設計審査指針に基づく基準地震動とは何なのか、という原子力行政に対する国民の不信を増幅しかねないであろう。中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災の教訓を真摯に生かすという姿勢が欠落していると言わざるを得ない。

4 今なお不明な地下地質構造と地震動との関わり

柏崎刈羽原子力発電所を襲った中越沖地震の震源断層は、設置許可申請時には、その活動性が東京電力や国の審査で否定されていた、中越沖の海域から南東に傾き下がる F-B 断層と呼ばれていた断層とされる。東京電力は柏崎刈羽原子力発電所の再稼働に向けた耐震設計の見直しの過程で、敷地に最も大きな影響を与える地震を引き起こしうる断層として、この F-B 断層と、敷地の東方を南北に延びる越後平野西縁断層を選び、それらによる敷地解放基盤面への入力地震動を求め、その大きな方を基準地震動としている。

これらの震源断層の長さや幅に関する過小評価の可能性も含めて、地震国日本において原子力発電に頼るエネルギー政策の問題について、本誌の 2008 年 8 月号で石橋克彦氏が詳述している。ここでは、原子力発電所の耐震安全性に関して、その後生起している耐震安全性に関わる課題を指摘したい。

それは、柏崎刈羽原子力発電所の再稼働に関わる検討の中でも懸念材料の一つであった、一つの地震で同じ敷地内でも号機ごとに大きくゆれが異なる問題である。2009 年 8 月 11 日に発生した M6.5 の駿河湾地震により、中部電力（株）浜岡原子力発電所では、稼働している 3~5 号機のうち、5 号機が突出して

表 2 2009 年 8 月 11 日に発生した M6.5 の駿河湾地震による浜岡原子力発電所各号機の最大加速度と基準地震動との関係

プラント	南北方向			東西方向			上下方向		
	最大観測値	基準地震動		最大観測値	基準地震動		最大観測値	静的地震力	基準地震動 Ss
		S1/S2	Ss		S1/S2	Ss			
1 号機	73	441/578	—	110	458/588	—	51	-235	—
2 号機	73	407/602	—	112	425/586	—	38	-235	—
3 号機	74	418/603	741	153	441/595	734	72	-235	557
4 号機	110	438/566	733	178	430/563	719	77	-235	662
5 号機	219	425/583	701	439	445/582	702	177	-235	544

注) 中部電力資料から作成。最大観測値は原子炉建屋最下階での値。基準地震動は解放基盤面での推定値なので、本来は観測された最大値を解放基盤面での推定値（当然より大きくなる）と比較するべきであるが、まだ、公表されていない。基準地震動 S1、S2 は旧耐震設計時の値。上下方向については旧指針では東西方向のおよそ 1/2 の静的地震力でよいとされていた。基準地震動 Ss は新指針に基づいて推定された値。

表 3 柏崎刈羽原子力発電所における中越沖地震本震の地震動観測値、解放基盤面での推定値、ならびに新基準地震動 Ss とそれによる原子炉建屋の最下階（基礎版）での応答値

		1 号機	2 号機	3 号機	4 号機	5 号機	6 号機	7 号機
東西方向	観測値／基礎版	680	606	384	492	442	322	356
	推定波／解放基盤面	1,699	1,011	1,113	1,478	766	539	613
南北方向	観測値／基礎版	311	304	308	310	277	271	267
	推定波／解放基盤面	842	812	994	974	515	580	667
上下動	観測値／基礎版	408	282	311	337	205	488	355
	推定波／解放基盤面	591	545	618	749	262	422	460
新基準地震動 Ss-1	水平動	2,300				1,050		
	上下動	1,050				650		
Ss に対する基礎版での上下応答		△	△	△	△	△	775	775

注) なお、Ss は F-B 断層を 36km とした時の値であり、また、これに対する基礎版での上下動応答値は 1～5 号機についてはまだ公表されていない。

大きなゆれを記録し（表 2）、不適合事象（トラブル）も多数発生した。5 号機は 4 号機と 400m と離れていない。3、4 号機は機器と設備の点検が終わり再稼働しているが、5 号機はなぜこれほど大きな地震動を被ったのか、直下の地下地質構造の調査も含めて、改めて解析が求められている。

中越沖地震で被災した柏崎刈羽原子力発電所の各号機においても、1～4 号機と 5～7 号機とでは大きく異なる地震動を観測した（表 3）。柏崎刈羽原子力発電所におけるこの地震動の違いは、それぞれが立地する地下の地質構造の違いで説明されている。

すなわち、中越沖地震を引き起こした震源

断層の長さや幅、震源距離からすると、全体として、柏崎刈羽原子力発電所を襲った地震動は、通常地震動の発震と伝搬の過程に比してきわめて大きかった。その要因としては、発震機構の特性と、深部での地下地質構造の特異性によるものとされている。しかし、上記の号機によってゆれが大きく異なった要因としては、さらに浅い部分での地質構造の相違とされているのである。

水平動でより大きなゆれを記録した 1～4 号機は向斜構造の上に立地し、他方、やや小さい水平動を記録した 5～7 号機は背斜構造の上に立地していることによるとされている。

ただし、鉛直動では、必ずしも 1～4 号機側

と5～7号機側のゆれに差はなく、強いて言えば、5～7号機側が大きく揺れている(表3)。

こうした、実際に原子力発電所が受ける地震動の複雑なゆれの相違は、この中越沖地震で初めて明らかにされたのであり、従来の単純で平板な岩体・地層が重なっているとしてきた解釈では、到底事前に予測することはできなかった。

浜岡原子力発電所も向斜構造の上に立地しているので、その地質構造の影響を正しく勘案しないと、解放基盤面に入力される地震動は予測できないこととなる。さらに、駿河湾地震による浜岡原子力発電所5号機の突出したゆれの要因は、現時点ではまだ明らかにされていない。仮に震源断層を過小に評価することなく特定し得たとしても、この地震が伝搬し、増幅していく過程と、深部や浅部における地下地質構造との関わりを明確にしなければ、個々の原子力発電所の地震動を予測し、施設・設備の耐震設計を行うことは困難である。

中越沖地震と駿河湾地震は、原子力発電所の耐震設計に関する新たな課題を投げかけているといえる。東京電力は、柏崎刈羽原子力発電所の再稼働に向けて新しい基準地震動を2008年に策定し、その後、2009年に入って、原子力安全基盤機構・大学とも協力して、地震観測ネットワークの構築をもとに、柏崎地域における地震と地震動などの研究を進めるとしている。これはとりもなおさず、原子力発電所にとって地震・地震動に関する調査研究がなお深められる必要を認めていることを意味する。原子力関連施設の耐震安全性を高める上で、こうしたより詳細な調査研究が進められるべきであろう。

M6.5の駿河湾地震による浜岡原子力発電

所5号機の地震動は、近々必ず発生するとされるM8級の東海地震の震源断層の直上に立地する浜岡原子力発電所の安全性に重大な危惧をいだかせるものである。その安全性が検証されない限り、浜岡原子力発電所は停止されるべきである。

5 原子力行政の抜本的見直し ——推進機関と規制機関の分離こそ必要

東海村JCOの臨界事故10年を前に、元原子力安全委員会委員長代理の住田健二氏が、原子力行政の根幹に関わる提言を行われた(朝日新聞、2009年9月24日付)。その提言では、政府の原子力開発推進機関と規制機関の分離の必要性を強調されている。この推進機関と規制機関の分離は原子力行政の基本であり、国際的常識として、原子力安全条約締結主要国のほとんどが、すでにその体制を実現している。にもかかわらず、日本では未だに、安全審査や規制を行う原子力安全・保安院が、推進機関である経済産業省のもとにおかれている現状に対して、転換を訴えておられる。

この推進機関と規制機関の分離・独立は、長年に渡って、原子力関連施設の安全性に疑問・不安を抱く住民団体の強い要求であったが、中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災を受けて、原子力関連施設の立地自治体の首長の集まりや自治体議会の議長会議でも、政府への要望としてとりまとめられている。にもかかわらず、これまでの政府は一貫して、この要望を無視してきたのである。これが原子力行政に対する国民の不信の根幹にあることを銘記するべきであり、新政権における課題の一つであろう。