

## 新耐震指針に基づく柏崎刈羽原子力発電所7号機の施設健全性について

21安委決第6号  
平成21年2月18日  
原子力安全委員会決定

発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（新耐震指針）は、設計に当たっての基準地震動について、敷地の地質・地盤に関する地域特性や地盤特性を詳細に調査・分析した上、調査データ等に関わる不確かさも考慮するなど、原子炉の安全を重視しつつ厳密に評価することを求めている。

原子力安全委員会は、また、同指針に基づく審査等、実際の耐震安全性の確保に係る検討にあたっては、基準地震動自体の適切性ばかりでなく、その基準地震動に基づく原子炉建屋など、重要構造物を設計する際の建屋基礎下における入力地震動の妥当性についての視点が、実質的耐震安全確保の観点から重要であることを指摘している。

耐震安全に係る施設の健全性は、その入力地震動の下に設計される建屋内の機器・配管等の構造強度によって評価され、その際にも、適切な安全余裕を見込むことの重要性を、当原子力安全委員会は、併せて、指摘してきている。

東京電力株式会社（以下「東京電力」という。）柏崎刈羽原子力発電所7号機（以下「7号機」という。）に関する耐震安全上の施設健全性についても、当委員会のこの考え方に基づいて審議された。すなわち、基準地震動そのものの適切性については、柏崎刈羽原子力発電所に共通的な地震に基づく地震動評価を行った上、荒浜側（1～4号機）と大湊側（5～7号機）のそれぞれについて、新耐震指針に基づき東京電力によって再評価された基準地震動に関する原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）の確認結果について、耐震安全性評価特別委員会の場で厳正に審議した上、その結果は適切であることを、平成20年12月11日に委員会決定した。

今回の7号機に係る報告は、同基準地震動の下に評価された、建屋基礎下の入力地震動及び、それに基づく機器・配管系の構造強度等に関する東京電力の評価結果について保安院が検討した結果に対する当委員会の見解をまとめたものである。

まとめるに当たっては、柏崎刈羽原子力発電所が新潟県中越沖地震により想定を超える大きな地震動を受けたという事実に鑑み、東京電力の評価及び保安院の検討結果と同地震による地震動の影響との関連に留意するとともに、基準地震動に基づく耐震評価の信頼性を補強する観点から新耐震指針に盛り込まれている弾性設計用地震動による評価結果との関連性に関する説明をとくに求めつつ、施設健全性評価委員会及び耐震安全性評価特別委員会において審議した。また、新潟県中越沖地震によって敷地の地盤が不等沈下し、またそのために変圧器の火災が発生するという想定外の現象が起きたことを踏まえ、耐震設計上重要な建屋基礎地盤の支持性能等についても慎重に審議した。

建屋基礎下の入力地震動については、解放基盤表面で設定された基準地震動  $S_s$  及び解放基盤表面から上部の地盤モデルをもとに、1次元波動論により建屋の地震応答解析モデルの側面ばね及び底面ばねの位置における地震動を算定して、これを設定している。同算定において、新潟県中越沖地震による解放基盤表面相当上の地震動から同モデルを用いて算出される基礎版上の応答が観測記録と整合的であることを確認した。これは、耐震安全性に係る本再確認に当たっては、新潟県中越沖地震によって得られた知見を最大限で活用することという当委員会の要請に照らして適切と考える。

当委員会は、この入力地震動に関し、旧耐震指針と新耐震指針による評価結果を比較して示すよう、保安院を通じ東京電力に指示していたところ、保安院報告書別添6に、その一部が示されている。その結果によれば、たとえば建屋底面における入力地震動(水平)について比較すると、新耐震指針の  $S_s-1,2,3$  による入力地震動は、すべての周期帯で旧耐震指針の  $S_2$  による入力地震動を上回っており、新耐震指針の  $S_s-4,5$  による入力地震動は、 $S_2$  による入力地震動とほぼ同程度であることが示されている。 $S_s-1$  について言えば、その値は、旧耐震指針の約2倍であり、新耐震指針による耐震性強化に関するこの点での確認がなされた。

なお、新潟県中越沖地震によって観測された地震動に関し、新耐震指針による地震動評価との比較を行うことは、国民への説明責任の観点から極めて重要と考えられ、保安院の報告書をもとにその比較を行った。その結果、7号機基礎版上最大加速度についてみると、参考1に示すよう、地震時観測値の水平356gal,鉛直355galに対し、新耐震指針による評価値は、水平740gal,鉛直775galであり、いずれも地震時の値を約2倍程度上回っている。

次に、建屋内に設置される機器・配管系について、当委員会は、新耐震指針に基づく弾性設計用地震動  $S_d$  による評価を、主要かつ代表的な機器・配管系に関し行って示すよう、保安院を通じ東京電力に求めた。その結果は、保安院報告書添付 8 に掲載させている。それによれば、参考 2 に示すように、それぞれ、基本的安全機能である「止める」「冷やす」「閉じ込める」に関わる代表的機器・配管系である、炉心支持構造物、残留熱除去系、原子炉压力容器、主蒸気系配管、原子炉格納容器についてみると、いずれも、弾性設計用基準地震動  $S_d$  によるまでもなく、基準地震動  $S_s$  による評価値において、弾性限界条件(III<sub>A</sub>S)を満足していることが示されており、その点から、新耐震指針によって十分な安全余裕のあることが確認されている。

主要大型機器の地震応答荷重について言えば、構造強度の面から原子炉施設の健全性にとって基本となる、原子炉压力容器、遮へい壁、原子炉本体基礎の地震応答荷重が示されている。新耐震指針と旧耐震指針に基づく応答荷重とを比較してみると、水平方向について、例えば新耐震指針の  $S_s$  に対する値は、旧耐震指針の  $S_2$  に対する値に比べ、おおよそ 2 倍以上になっている。また、 $S_s$  に対する荷重は、いずれも地震時の荷重を十分に上回っている。これらのことから、評価結果は、新耐震指針による耐震安全強化を反映しており、妥当と判断される。なお、新耐震指針の  $S_d$  に対する応答荷重が、地震時の値と同程度に評価されていることは、同地震の原子炉施設に対する地震動が、いわば  $S_d$  並だったことを示唆しているとも考えられる。

ほとんどの耐震設計上重要な機器・配管系は、原子炉建屋内に設置されている。これら機器・配管系の健全性を評価するため原子炉建屋各階における最大の応答加速度が評価され、その値を震度に換算し評価用震度として示されている。それによれば、新耐震指針の  $S_s$  による評価震度は、旧耐震指針の  $S_2$  による震度に比べ、2 ないし 3 倍程度、大きくなっている。また、地震時の最大応答加速度に対しおおよそ 2 倍大きな値になっている。これらのことから、新耐震指針による耐震安全性強化の考え方は適切に反映されているものと判断される。

上記の荷重条件及び評価用震度に基づく主要設備の耐震性評価結果は以下のように要約されている。「止める」機能に係る炉心支持構造物についてはシュラウドサポート、「冷やす」機能に係る残留熱除去系については基礎ボルト及び配管、「閉じ込める」機能に係る原子炉压力容器、主蒸気系配管、原子炉格納容器に関し、それぞれ、基礎ボルト、配管、サプレッションチェンバ出入口につい

て、示されており、いずれにおいても、新耐震指針の  $S_s$  に対する応答応力は、弾性設計評価基準である弾性限の  $III_{AS}$  以下に収っており、直接的基準である安全機能評価基準の  $IV_{AS}$  は十分に満足している。

このうち、配管系については、耐震安全裕度向上の観点から耐震強化工事が実施されており、評価結果は、その強化工事後の値として示されている。耐震強化工事は、新耐震指針の  $S_s$  が確定する前から、東京電力によって自主的になされており、その際、強化工事用の地震動について、その最大加速度が新潟県中越沖地震による最大加速度のおおよそ 1.5 倍を目安に決められている。このため、参考 2 の表 3 には、参考までに、同耐震強化工事用地震動に対する評価結果も示されているが、それによれば、安全裕度向上の観点から、いずれも、 $S_s$  に対する値より大きくなっているうえ、安全機能評価基準の  $IV_{AS}$  を満足する結果になっている。

施設健全性評価委員会においては、強化工事後の結果を示すだけでなく、強化工事前の値との比較も示すことが重要と指摘され、東京電力は、対象となる残留熱除去系配管及び主蒸気系配管について、弾性設計用地震動の  $S_d$  に関して比較した結果を、同委員会に提示した。その結果は参考 3 に示されている。同結果によれば、弾性限基準の  $III_{AS}$  に対する余裕は、残留熱除去系配管について、数%から 50%程度まで、主蒸気系配管について、30%弱から 40%強まで、強化されていることが示されている。

最後に、新耐震指針で要求されている地盤の支持性能及び地震随件事象の評価に加えて、新潟県中越沖地震の知見を踏まえつつ、敷地近傍における耐震設計上考慮する活断層の変位に伴う敷地基礎地盤の変形の影響についても評価された点に触れておきたい。敷地基礎地盤の変形の影響評価は、新潟県中越沖地震による地盤変動量の解析値と測定値との違いについて、評価結果が厳しくなるように補正して得られる傾斜にさらに地震後の現在の傾斜を加えて評価していることなどから妥当と判断された。地盤の支持性能については、地震応答解析の結果、原子炉建屋基礎地盤及びマンメイドロックには建屋や地震動による荷重によって局所的には破壊は生じても支持性能上支障となる連続した破壊面は形成されないことなどから、評価結果は適切と判断された。

注：新耐震指針にもとづき策定されている基準地震動の  $Ss-1,2,3,4,5$  とは以下のとおり。

$Ss-1$ ：F-B 断層を震源とする地震動の応答スペクトル法に基づく基準地震動

$Ss-2$ ：F-B 断層を震源とする地震動の断層モデルに基づく基準地震動

$Ss-3$ ：長岡平野西縁断層帯を震源とする地震動の応答スペクトル法に基づく基準地震動

Ss-4 : 長岡平野西縁断層帯を震源とする地震動の断層モデルAに基づく基準地震動

Ss-5 : 長岡平野西縁断層帯を震源とする地震動の断層モデルBに基づく基準地震動

断層モデルAは応力降下量、Bは断層傾斜角の不確かさを、それぞれ考慮したモデル。

参考1：原子炉建屋基礎版上最大加速度について

新潟県中越沖地震においては、同地震によって観測された地震動が設計時の想定を大幅に超えた事実が、原子炉建屋基礎版上での観測値と設計値とを比較することにより象徴的に示された。新耐震指針に基づく耐震安全性に関する再確認によるその点の評価結果について、以下に示す。

表：7号機原子炉建屋基礎版上最大加速度

水平				鉛直			
旧耐震指針	地震時	新耐震指針	強化用	旧耐震指針	地震時	新耐震指針	強化用
263	356	740	～1,000	(235)	355	775	～730

単位：gal

- 注1. 旧耐震指針は、当初設計時。ただし、鉛直の動的評価要求は旧耐震指針にはなかったため、ここでは、参考までに、Aクラス施設への静的地震力要求からの静的鉛直震度である0.24Gの値を示してある。
- 注2. 地震時は、実際の観測値。水平の356galはEW成分の値。NS成分は267gal。
- 注3. 新耐震指針は、新耐震指針による基準地震動Ssにもとづいて評価された値。この値が新耐震指針によって要求される条件。水平の740galはSs-2に対応するEW成分、鉛直の775galはSs-1に対応する値で、Ss-1,2,3,4,5に対応する各加速度値の内の最大値。
- 注4. 強化用は、事業者が、Ssの評価とは別に、耐震安全に係る裕度確保の観点から、耐震強化工事をする際に当たって想定した加速度値である。この想定値がSs評価に基づく値より小さい場合は、Ssに基づく加速度値に対する裕度確認をあらためて行うことになる。

上記表に示すように、新耐震指針にもとづき評価された最大加速度は、地震時に観測された値を上回るように設定されている。

また、新耐震指針に基づく同最大加速度を耐震強化用の地震動と比較すると、水平については、強化用が新耐震指針の最大加速度を上回っているのに対し、鉛直については、新耐震指針による最大加速度の方が若干、大きな値になっている。しかしながら、規制行政庁による確認は、新耐震指針に基づく最大加速度をもとに行われるので、この点が、新耐震指針の充足性に問題を生じることにはならない。

なお、言うまでもなく、上記最大加速度は、耐震安全性に関連する要素の一つであって、この点だけで、耐震安全性が議論されるわけではない。

参考 2 : 新耐震指針に基づく施設健全性に係る耐震安全性評価結果

1. 主要大型機器の地震応答荷重

表 1 は、主要大型機器に関する水平方向の地震応答荷重の評価結果である。原子炉圧力容器、遮へい壁、原子炉本体基礎は、構造強度の面から、原子炉施設の施設健全性の基本となる大型機器であり、新耐震指針に基づく、これら機器に関する評価結果は、旧耐震指針による評価結果、新潟県中越沖地震時の評価結果に照らして、適切と考えられる。

旧耐震指針による評価結果において、どちらかという、AS クラス評価値(S2)にくらべ、A クラス評価値((S1))の方が大きな値を示しているが、当初設計時において動的地震力に対し静的地震力が相対的に大きくなっているため、柏崎刈羽原子力発電所の特殊事情と考えられる。

表 1 : 主要大型機器に関する水平方向の地震応答荷重の評価結果

機器	水平方向加重	Ss	Sd	S2	(S1)	So
圧力容器	モーメント(kN・m)	98,800	52,800	44,130	50,112	57,500
	せん断力 (kN)	19,200	10,100	7,188	9,248	9,520
遮へい壁	モーメント(kN・m)	67,800	36,000	27,753	27,262	36,000
	せん断力 (kN)	13,500	7,160	5,502	5,580	7,050
原子炉基礎	モーメント(kN・m)	1,070,000	463,000	518,772	583,496	482,000
	せん断力 (kN)	57,300	25,600	26,380	30,106	27,200

注 1) Ss は、新耐震指針に基づく基準地震動に対する応答荷重で、弾性解析による評価値

注 2) Sd は、新耐震指針に基づく弾性設計用地震動(0.5Ss)に対する応答荷重で、弾性解析による評価値

注 3) S2 は、旧耐震指針に基づく As クラス基準地震動に対する応答荷重で、弾性解析による評価値

注 4) (S1)は、旧耐震指針に基づく A クラス基準地震動 S1 による地震力と静的地震力の大きい方の地震力に対する応答荷重で、弾性解析による評価値

注 5) So は、新潟県中越沖地震時に観測された地震動に対する応答荷重で、弾性解析による評価値

## 2. 原子炉建屋設置機器の評価用震度

表 2 は、ほとんどの耐震設計上重要な機器等が設置されている原子炉建屋内において、それら機器等の構造強度等、耐震安全性を評価する上で基本となる、原子炉建屋各階における最大加速度（震度 G に換算）に関し、新耐震指針にもとづいて評価した結果である。

新耐震指針基準地震動である Ss による震度は、各階とも、耐震強化用地震動による震度を下回っており、設置される機器等の基準地震動に対する耐震安全は確保されていると考えられる。また、その値は、各階とも、新潟県中越沖地震時の震度を上回っている。

新耐震指針に基づく弾性設計用地震動 Sd による震度に対する発生応力が実際に弾性範囲にあることは設置される機器ごとに確認する必要があるが、表 3 に示すように、主要機器・配管系は弾性範囲にある。また、Sd に対応する震度が新潟県中越沖地震時の震度と同程度であることは同地震による影響が弾性範囲に収まっていたことを暗に示している。

なお、旧耐震指針における、S2 と(S1)に対応する震度をみると、(S1)に対応する震度の方が地上階ではいずれも上回っているが、これは設計時の静的地震動がとくに大きいという柏崎刈羽原子力発電所の特殊事情と考えられる。

表 2：新耐震指針による原子炉建屋各階における地震動評価結果（単位：G(=980gal)）

標高 (m)	Ss	Sd	S2	(S1)	So	Sr
49.7	2.10	1.18	0.97	0.91	0.94	2.47
38.2	1.56	0.81	0.67	0.78	0.75	1.78
31.7	1.31	0.65	0.58	0.69	0.64	1.51
23.5	1.16	0.59	0.51	0.62	0.54	1.35
18.1	1.11	0.55	0.47	0.58	0.59	1.31
12.3	1.07	0.54	0.42	0.44	0.57	1.30
4.8	0.97	0.50	0.34	0.36	0.52	1.31
- 1.7	1.00	0.45	0.33	0.29	0.48	1.34
- 8.2	0.91	0.38	0.33	0.25	0.44	1.25

注 1) Ss は、新耐震指針に基づく基準地震動に対応する評価震度

注 2) Sd は、新耐震指針に基づく弾性設計用地震動(0.5Ss)に対応する評価震度

注 3) S2 は、旧耐震指針に基づく As クラス基準地震動に対応する評価震度

注 4) (S1)は、旧耐震指針に基づく A クラス基準地震動 S1 による地震力と静的地震力の大きい方に対応する評価震度

注 5) So は、新潟県中越沖地震時に観測された地震動に対応する評価震度

注 6) Sr は、耐震強化用地震動に対する評価震度

### 3. 弾性設計用地震動による主要設備の耐震性評価結果

表 3：主要機器・配管の弾性設計用地震動による耐震性評価結果（単位：MPa(=N/mm<sup>2</sup>)）

機能	設備/評価部位	弾性設計評価		安全機能評価		
		発生値(Sd)	評価基準(III <sub>A</sub> S)	発生値(Ss)	発生値(Sr)	評価基準(IV <sub>A</sub> S)
止める	炉心支持構造物/ シュラウドサポート	50	246	60	72	334
冷やす	残留熱除去ポンプ/ 基礎ボルト	10	350	14	15	350
	残留熱除去系/ 配管	135	274	206	339	364
	原子炉圧力容器/ 基礎ボルト	140	499	215	254	499
閉じ 込める	主蒸気系配管/ 配管	158	281	217	279	374
	原子炉格納容器/ Sup.Ch.出入口	14	137	(30)	29	164

注 1) シュラウドポートは、前記表 1 の荷重条件からの一次応力・一般膜応力について評価

注 2) 残留熱除去ポンプ/基礎ボルトは、前記表 2 の震度からせん断応力について評価

注 3) 残留熱除去系配管は、原子炉建屋や大型機器の地震応答解析から得られる床応答スペクトルにもとづき一次応力について、耐震強化後の値を評価

注 4) 原子炉圧力容器/基礎ボルトは、表 1 の荷重条件から引張応力について評価

注 5) 主蒸気系配管は、原子炉建屋や大型機器の地震応答解析から得られる床応答スペクトルにもとづき一次応力について、耐震強化後の値を評価

注 6) 原子炉格納容器/サブプレッションチェンバ(Sup.Ch.)出入口は、表 2 の震度からせん断応力について評価。なお、Ss 欄の(30MPa)は、事故時荷重との組み合わせ地震動である弾性設計用地震動 Sd による評価結果で、Ss による評価結果の 24MPa を上回る。

参考3：補強工事後と補強工事前の構造強度安全裕度の比較

1. 残留熱除去系配管

表1：残留熱除去系配管の耐震強化工事前と工事後の構造強度安全裕度の比較

	強化工事前			強化工事後
	建設時((S1))	地震時	Sd 評価	Sd 評価
a.発生応力 (MPa)	98	(239)	264	135
b.弾性限 IIIAS (MPa)	274	274	274	274
c.安全裕度 ((b-a)/b) (%)	~64	~13	~4	~51

注1) 建設時((S1))は、静的地震力または旧耐震指針 S1 による地震力

注2) 地震時は、新潟県中越沖地震時での代表評価値で、評価対象部位が建設時((S1))の評価部位と異なる場合がある。

2. 主蒸気系配管

表1：主蒸気系系配管の耐震強化工事前と工事後の構造強度安全裕度の比較

	強化工事前			強化工事後
	建設時((S1))	地震時	Sd 評価	Sd 評価
a.発生応力 (MPa)	146	(136)	202	158
b.弾性限 IIIAS (MPa)	281	281	281	281
c.安全裕度 ((b-a)/b) (%)	~48	~52	~28	~44

注1) 建設時((S1))は、静的地震力または旧耐震指針 S1 による地震力

注2) 地震時は、新潟県中越沖地震時での代表評価値で、評価対象部位が建設時((S1))の評価部位と異なる場合がある。