

当社原子力発電所における配管の構造強度評価結果の一部誤りに関する  
再評価結果および原因と再発防止対策の概要

1. 経緯および指示文書への対応

(1) 経緯

- ・ 当社は、平成 19 年 7 月 16 日に発生した新潟県中越沖地震を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所における各設備の点検・評価を実施しているが、同発電所 7 号機における配管の構造強度評価結果の一部が誤っていることを確認した。
- ・ 構造強度評価結果が誤っていた原因は、解析を実施したメーカーの計算機プログラムの一部に問題があったものである。このため、プログラムのデータ処理を修正したうえで、配管の構造強度を再評価した結果、誤りの影響は小さく、許容値を十分満足していることを確認した。
- ・ このたびの事象を踏まえ、本年 4 月 10 日、原子力安全・保安院から、当該メーカーが過去に実施した構造強度評価に関して、問題のあった計算機プログラムのデータ処理を修正したうえで、構造強度の再評価を実施し報告すること、ならびに根本的な原因究明と再発防止対策について併せて報告を求める旨の指示文書を受領した。

(2) 影響範囲

今回の不適合事象に係る影響範囲は以下のとおりである。

- ・ 昭和 55 年に旧告示 501 号が制定された以降のクラス 1 配管（旧告示第 1 種管）の分岐部を含む応力評価  
〔旧告示制定により、クラス 1 配管（旧告示第 1 種管）の分岐部の応力算定について、モーメントの符号の扱いについて規定された。〕
- ・ 平成 6 年に旧告示 501 号が改正された以降のクラス 2 配管（旧告示第 3 種管）の分岐部を含む応力評価  
〔旧告示改正により、クラス 2 配管（旧告示第 3 種管）の分岐部の応力算定について、モーメントの符号の扱いについて規定された。〕

(3) 指示文書への対応

- ・ 原子力安全・保安院からの指示に基づき、当該メーカーが上記影響範囲において実施した 7 プラントの構造強度評価における次の資料について、構造強度の再評価を実施した。
  - a. 工事計画書における配管分岐部の応力評価
  - b. 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成 18 年 9 月 19 日改訂）等の改訂に伴う耐震安全性評価結果中間報告書における配管分岐部の応力評価
  - c. 高経年化技術評価等報告書における配管分岐部の応力評価（平成 20 年 5 月 30 日までに報告予定）
- ・ 根本的な原因究明を行い、再発防止対策の検討を実施した。

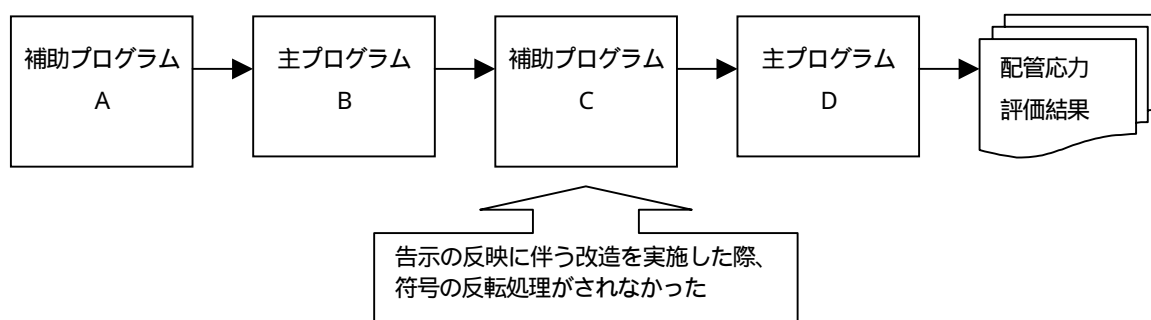
## 2. 再評価結果

再評価を実施した結果は、いずれも最大応力発生点における応力値が許容値を満足しており、安全上の問題がないことを確認した。（別紙参照）

## 3. 原因

### (1) 当該メーカーにおける調査結果

- ・ 昭和 50 年に現在の配管の応力評価を行う計算機プログラムが作られた。このプログラムは、複数の主プログラムとその主プログラム間のデータ授受のための補助プログラムから構成されている。（下図参照）
- ・ 昭和 55 年に旧告示 501 号が制定され、配管分岐部の評価式が新たに規定されたことから、主プログラム D の必要な改造を実施した。その際、同告示の規定を反映するために、補助プログラム C に符号を反転させる処理が必要であったが、処理されなかった。
- ・ 主プログラム D の改造後の検証作業においても、符号を反転させる処理が抜けていることを確認できなかった。



### (2) 当社における調査結果

- ・ 昭和 55 年の計算機プログラムが改造された当時、当社は当該メーカーに対して、現在行っているような、メーカーに対する計算機プログラムの検証の要求や、その検証結果を確認する行為を行っていなかった。
- ・ その後、当社は、過去に経験した解析に係る不適合の対応として、解析業務の品質に係るマニュアル等の整備を実施しており、解析メーカーに対して、解析業務の管理に関する要求を行い、解析実施毎に行う調査の中でそれらを確認している。
- ・ 柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の設備健全性に係る配管の構造強度の解析においては、平成 20 年 3 月に当該メーカーに対する解析実施状況調査を実施した。当該計算機プログラムについて、これまでの十分な実績を持って妥当としており、補助プログラム C の一部の誤りを確認できなかった。

### (3) 根本的な原因究明の結果

当該メーカーにおける以下の対応が不十分であった。

- ・ 計算機プログラム作成業務において、プログラム間の受け渡しデータの仕様（単位、桁数、符号等）を明確にして、整合性を確認する具体的な要領が不明確であった。
- ・ 告示等の応力評価の考え方や計算式が変更された時の計算機プログラムに対する影響評価、検討が不十分であった。
- ・ プログラム検証において、プログラム間の受け渡しデータの整合性確認の方法・結果に対する検討が不十分であった。

#### 4. 再発防止対策

##### (1) 当該メーカーにおける再発防止対策

- ・ 今後の計算機プログラムの作成・検証においては、「受け渡しデータの整合性チェックシート」を運用すること、プログラム間での入出力データを比較照合すること等の具体的な要領を社内規定に定めて実施する。

なお、今回の当該計算機プログラムで誤りのあった補助プログラムCについては、受け渡しデータの整合性チェックシートにより、符号の反転処理以外に不整合がないことを確認するとともに、その他の主プログラムB、D、補助プログラムAに問題のないことを確認した。

- ・ 平成11年以降、告示等が変更された時の計算機プログラムに対する影響評価、プログラム改造に伴う検証作業においては、専門的な知識を有する技術者による評価会議にて検討することを、社内規定に定め運用するとともに、必要に応じて強化を行っている。この仕組みを引き続き実施し、許認可解析の品質向上を図っていく。

##### (2) 当社における再発防止対策

- ・ 現在の許認可に伴う解析においては、受注者に対して、発注仕様書の中で解析業務の管理に関する要求を行い、解析実施状況調査によりその要求事項が正しく行われていることを確認することで、品質向上を図っており、引き続きこれらの活動を確実に実施する。
- ・ 今後、当該メーカーにおいて実施される上記の再発防止対策が適切に行われていることを確認していくことを当社マニュアルに定め、解析実施状況調査によりその実施状況を確認していく。
- ・ 今回の対応として、過去に作成・改造された計算機プログラムについては、十分な実績を持って妥当とし、メーカーの検証内容を確認していなかったことから、当該メーカーが作成・改造した許認可解析に用いている主プログラム及び補助プログラムについて、当該メーカーが適切な方法で検証していることを確認した。また、今後、当該メーカー以外が作成・改造した計算機プログラムについても、適切な方法で検証されていることを確認していく。

##### (3) 本不適合の情報共有

- ・ 本不適合については、原子力施設情報公開ライブラリー(NUCIA)に登録・公開し、産官学における情報共有を行う。
- ・ 許認可解析においては、これまでも入力ミスやプログラム作成ミス等が確認される都度、改善を図っているが、今後も引き続き、信頼性の一層の向上に努めていくこととする。

以上

(別紙)

### 配管の構造強度の再評価結果

(1) 福島第一原子力発電所1号機 工事計画書

表1 福島第一原子力発電所1号機 配管の構造強度の再評価結果<sup>1</sup>

系統	一次応力評価 <sup>2</sup> (発生応力)			一次応力+二次応力評価 <sup>3</sup> (発生応力)			疲労評価 <sup>4</sup> (疲れ累積係数)		
	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (-)	プログラム 修正後 (-)	許容値 (-)
原子炉再循環系(クラス1)	220	220	310	453	453	414	0.1637	0.1637	1
	113	113	235	452	452	414	0.0179	0.0179	1
格納容器スプレイ冷却系 (クラス2)	27	27	154	-	5				
	24	47	154						
原子炉格納容器スプレイ系 (クラス2)	36	36	154						
	40	40	154						
原子炉停止時冷却系 (クラス2)	41	51	154						
	42	45	154						
高圧注水系(クラス2)	63	63	183						

- 1: 個々の評価項目において最大値を示した評価点を記載している。
- 2: 一次応力評価では、クラス1配管およびクラス2配管の配管分岐部の応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。
- 3: 一次応力+二次応力評価では、クラス1配管の配管分岐部のみ応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。クラス2配管の配管分岐部については、モーメントの符号を考慮することは要求されていない。
- 4: 一次応力+二次応力が許容値を超過した場合においても、疲労評価の結果が許容値を満足していれば、設備は健全である。
- 5: クラス2配管においては、モーメントの符号を考慮することは要求されていないことから再評価対象外。

(2) 福島第一原子力発電所4号機 工事計画書

表2 福島第一原子力発電所4号機 配管の構造強度の再評価結果<sup>1</sup>

系統	一次応力評価 <sup>2</sup> (発生応力)			一次応力+二次応力評価 <sup>3</sup> (発生応力)			疲労評価 <sup>4</sup> (疲れ累積係数)		
	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (-)	プログラム 修正後 (-)	許容値 (-)
原子炉再循環系(クラス1)	96	99	235	248	248	357	0.0054	0.0054	1
	94	99	235	258	257	357	0.0057	0.0057	1
原子炉隔離時冷却系 (クラス2)	29	29	154						
	44	44	154						
	20	20	154						
	22	22	154						
残留熱除去系(クラス2)	71	95	150						
	45	63	150						
	127	148	154						
	72	72	154						
	146	106	150						
	46	56	150						
炉心スプレイ系(クラス2)	26	34	150						
	36	51	150						

- 5

- 1 : 個々の評価項目において最大値を示した評価点を記載している。
- 2 : 一次応力評価では、クラス1配管およびクラス2配管の配管分岐部の応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。
- 3 : 一次応力+二次応力評価では、クラス1配管の配管分岐部のみ応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。クラス2配管の配管分岐部については、モーメントの符号を考慮することは要求されていない。
- 4 : 一次応力+二次応力が許容値を超過した場合においても、疲労評価の結果が許容値を満足していれば、設備は健全である。
- 5 : クラス2配管においては、モーメントの符号を考慮することは要求されていないことから再評価対象外。

( 3 ) 福島第二原子力発電所 2号機 工事計画書

表3 福島第二原子力発電所 2号機 配管の構造強度の再評価結果<sup>1</sup>

系統	一次応力評価 <sup>2</sup> (発生応力)			一次応力+二次応力評価 <sup>3</sup> (発生応力)			疲労評価 <sup>4</sup> (疲れ累積係数)		
	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (-)	プログラム 修正後 (-)	許容値 (-)
原子炉再循環系(クラス1)	99	110	260	467	467	354	0.0075	0.0103	1
	101	112	260	468	468	354	0.0080	0.0152	1
原子炉隔離時冷却系 (クラス2)	31	52	154						
	15	15	154						
残留熱除去系(クラス2)	66	66	154						
	51	51	154						
	58	57	154						
	36	36	154						
	53	59	150						
	68	68	150						
高圧炉心スプレイ系 (クラス2)	82	66	150						
低圧炉心スプレイ系 (クラス2)	44	72	189						

- 1 : 個々の評価項目において最大値を示した評価点を記載している。  
 2 : 一次応力評価では、クラス1配管およびクラス2配管の配管分岐部の応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。  
 3 : 一次応力+二次応力評価では、クラス1配管の配管分岐部のみ応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。クラス2配管の配管分岐部については、モーメントの符号を考慮することは要求されていない。  
 4 : 一次応力+二次応力が許容値を超過した場合においても、疲労評価の結果が許容値を満足していれば、設備は健全である。  
 5 : クラス2配管においては、モーメントの符号を考慮することは要求されていないことから再評価対象外。

(4) 福島第二原子力発電所4号機 工事計画書

表4 福島第二原子力発電所4号機 配管の構造強度の再評価結果<sup>1</sup>

系統	一次応力評価 <sup>2</sup> (発生応力)			一次応力+二次応力評価 <sup>3</sup> (発生応力)			疲労評価 <sup>4</sup> (疲れ累積係数)		
	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (-)	プログラム 修正後 (-)	許容値 (-)
主蒸気系(クラス1)	172	180	374	417	445	375	0.1417	0.2187	1
	160	165	374	312	366	375	0.0406	0.0760	1
	303	305	374	517	517	375	0.0626	0.1988	1
	254	260	374	440	471	375	0.1901	0.3067	1
	186	186	364	487	487	366	0.0500	0.0630	1
給水系(クラス1)	72	72	310	390	426	375	0.0646	0.0804	1
	72	72	310	390	426	375	0.0646	0.0804	1
原子炉再循環系(クラス1)	70	89	260	201	275	354	0.0110	0.0110	1
	101	101	364	343	343	354	0.0146	0.0159	1
原子炉隔離時冷却系 (クラス2)	27	57	154	5					
残留熱除去系(クラス2)	64	64	154						
	57	57	154						
	49	49	154						
	36	36	154						
高圧炉心スプレイ系 (クラス2)	66	66	150						

1: 個々の評価項目において最大値を示した評価点を記載している。

2: 一次応力評価では、クラス1配管およびクラス2配管の配管分岐部の応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。

3: 一次応力+二次応力評価では、クラス1配管の配管分岐部のみ応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。クラス2配管の配管分岐部については、モーメントの符号を考慮することは要求されていない。

4: 一次応力+二次応力が許容値を超過した場合においても、疲労評価の結果が許容値を満足していれば、設備は健全である。

5: クラス2配管においては、モーメントの符号を考慮することは要求されていないことから再評価対象外。

( 5 ) 柏崎刈羽原子力発電所 4 号機 工事計画書

表 5 柏崎刈羽原子力発電所 4 号機 配管の構造強度の再評価結果 <sup>1</sup>

系統	一次応力評価 <sup>2</sup> (発生応力)			一次応力 + 二次応力評価 <sup>3</sup> (発生応力)			疲労評価 <sup>4</sup> (疲れ累積係数)		
	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 ( - )	プログラム 修正後 ( - )	許容値 ( - )
主蒸気系 (クラス 1)	135	140	281	385	399	375	0.0927	0.1833	1
	131	133	281	328	370	375	0.0467	0.0688	1
	145	146	281	362	402	375	0.0692	0.1968	1
	144	149	281	407	422	375	0.1438	0.1906	1
給水系 (クラス 1)	81	81	310	549	589	375	0.2384	0.3267	1
	81	81	310	549	589	375	0.2384	0.3267	1
原子炉再循環系 (クラス 1)	63	78	234	284	303	354	0.0146	0.0146	1
	169	169	364	518	518	366	0.0533	0.0740	1

1 : 個々の評価項目において最大値を示した評価点を記載している。

2 : 一次応力評価では、クラス 1 配管およびクラス 2 配管の配管分岐部の応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。

3 : 一次応力 + 二次応力評価では、クラス 1 配管の配管分岐部のみ応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。クラス 2 配管の配管分岐部については、モーメントの符号を考慮することは要求されていない。

4 : 一次応力 + 二次応力が許容値を超過した場合においても、疲労評価の結果が許容値を満足していれば、設備は健全である。



( 6 ) 柏崎刈羽原子力発電所 5 号機 工事計画書

表 6 柏崎刈羽原子力発電所 5 号機 配管の構造強度の再評価結果 <sup>1</sup>

系統	一次応力評価 <sup>2</sup> (発生応力)			一次応力 + 二次応力評価 <sup>3</sup> (発生応力)			疲労評価 <sup>4</sup> (疲れ累積係数)		
	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 ( - )	プログラム 修正後 ( - )	許容値 ( - )
主蒸気系 (クラス 1)	150	155	374	395	419	375	0.1317	0.1945	1
	167	169	374	382	411	375	0.1161	0.2657	1
	265	268	374	449	479	375	0.3313	0.4296	1
	150	154	374	375	394	375	0.0814	0.1358	1
給水系 (クラス 1)	82	82	310	507	546	375	0.1654	0.2377	1
	82	82	310	507	546	375	0.1654	0.2377	1
原子炉再循環系 (クラス 1)	74	91	260	192	281	354	0.0341	0.0341	1
	306	306	364	724	724	366	0.2012	0.2127	1
低圧炉心スプレイ系 (クラス 2)	82	82	150	- 5					
残留熱除去系 (クラス 2)	99	110	150						
	114	114	154						
	51	51	150						
高圧炉心スプレイ系 (クラス 2)	144	144	150						

- 1 : 個々の評価項目において最大値を示した評価点を記載している。
- 2 : 一次応力評価では、クラス 1 配管およびクラス 2 配管の配管分岐部の応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。
- 3 : 一次応力 + 二次応力評価では、クラス 1 配管の配管分岐部のみ応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。クラス 2 配管の配管分岐部については、モーメントの符号を考慮することは要求されていない。
- 4 : 一次応力 + 二次応力が許容値を超過した場合においても、疲労評価の結果が許容値を満足していれば、設備は健全である。
- 5 : クラス 2 配管においては、モーメントの符号を考慮することは要求されていないことから再評価対象外。

(7) 柏崎刈羽原子力発電所7号機 工事計画書

表7 柏崎刈羽原子力発電所7号機 配管の構造強度の再評価結果<sup>1</sup>

系統	一次応力評価 <sup>2</sup> (発生応力)			一次応力+二次応力評価 <sup>3</sup> (発生応力)			疲労評価 <sup>4</sup> (疲れ累積係数)		
	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (-)	プログラム 修正後 (-)	許容値 (-)
主蒸気系(クラス1)	206	209	374	414	468	375	0.0583	0.1849	1
	309	311	374	549	549	375	0.1268	0.1984	1
	201	203	374	400	452	375	0.0543	0.1478	1
	201	203	374	400	455	375	0.0561	0.1667	1
残留熱除去系(クラス1)	155	196	364	531	531	366	0.0712	0.0712	1
給水系(クラス1)	73	101	374	366	348	375	0.0920	0.0869	1
	79	109	374	351	335	375	0.0735	0.0710	1
ほう酸水注入系(クラス1)	56	55	187	169	200	282	0.0005	0.0007	1
	40	40	187	98	137	282	0.0003	0.0003	1

1: 個々の評価項目において最大値を示した評価点を記載している。

2: 一次応力評価では、クラス1配管およびクラス2配管の配管分岐部の応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。

3: 一次応力+二次応力評価では、クラス1配管の配管分岐部のみ応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。クラス2配管の配管分岐部については、モーメントの符号を考慮することは要求されていない。

4: 一次応力+二次応力が許容値を超過した場合においても、疲労評価の結果が許容値を満足していれば、設備は健全である。

( 8 ) 福島第二原子力発電所 4 号機 耐震安全性評価結果中間報告書

表 8 福島第二原子力発電所 4 号機 耐震安全性評価結果中間報告書

系統	一次応力評価 <sup>1</sup> (発生応力)			一次応力 + 二次応力評価 (発生応力)			疲労評価 (疲れ累積係数)			
	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 (MPa)	プログラム 修正後 (MPa)	許容値 (MPa)	プログラム 修正前 ( - )	プログラム 修正後 ( - )	許容値 ( - )	
主蒸気系 (クラス 1)	157	157	309	-						2

1 : 一次応力評価では、クラス 1 配管およびクラス 2 配管の配管分岐部の応力を算出する際に主管・分岐管のモーメントの符号を考慮して計算することが規定されている。

2 : 耐震安全性評価においては、一次応力評価のみを実施している。

< 応力評価について >

一次応力：内圧等により機器・配管等に加わる荷重によって発生する応力。過大な一次応力が発生すると延性破壊を引き起こす恐れがある。

二次応力：材料が熱膨張しようとする際に支持金具で拘束されることによって生じる応力のように、自由な変形が拘束されることにより生じる応力。二次応力は、発生した応力により変形や歪みが生じるとその応力が低減することから、二次応力のみによって機器が延性破壊を起こすことはないが、一次応力に加えて二次応力が繰り返して発生する場合には、疲労破壊を引き起こす恐れがある。

疲労評価：二次応力による疲労破壊防止のため、規格に基づいた疲労解析を用いた疲労評価を行うことが定められている。疲労評価は、作用する応力の繰り返し回数と許容繰り返し回数との比を運転条件毎に加え、その総和（疲労累積係数）を確認する。