資料No.１－１

福井県原子力安全専門委員会説明資料

「ふげん」原子炉補助建屋の構造健全性評価の概要

平成19年10月27日

日本原子力研究開発機構
敦賀本部
新型転換炉ふげん発電所

「ふげん」における高経年化研究

○「福井県における高経年化調査研究」

「ふげん」を活用した高経年化研究

ふげんの25年の運転実績、保全管理実務、事故トラブル情報、実機使用材料の劣化度データなどが活用できる。　（H18年度～　国ー原子力基盤機構から受託）

○高経年化安全性向上適用技術調査

実機高経年化材料及び構造物の劣化診断

約25年間運転した「ふげん」の配管、ケーブル等を用いて経年変化評価技術の開発等を実施

○原子力発電所コンクリート性状に関する研究

「ふげん」のコンクリートを用いて、熱や放射線の影響による経年劣化の状況調査や、高経年化評価に有効な検査・モニタリング技術の開発を実施

・コンクリートの物性調査

平成18年度実施内容

・放射線等の影響を受けない原子炉補助建屋コンクリートのボーリング調査を開始（H18年10月～）

予備調査として熱、放射線等の影響を受けていない原子炉補助建屋のコンクリートの調査を実施

原子炉補助建屋コンクリート壁が強度不足と報道（H19/2/10）

「ふげん」建屋コンクリートの強度に係る検討状況

平成19年
2月　4月　6月　8月　9月　10月　11月　12月

コンクリートデータの信頼性・妥当性の検討

・試料採取方法の調査
・圧縮強度試験方法に関する調査
・試料の化学分析　　など

信頼性・妥当性について、結論が得られず、さらに調査が必要

原子炉補助建屋コンクリート壁の試料採取・調査の実施を決定（8月31日公表）

10月3～6日
試料採取

データの信頼性・妥当性の調査
低強度に関する要因分析・調査
（12月中を目途にとりまとめ）

「ふげん」建屋健全性確認

・建屋設計図書や使用前検査記録の確認、
・建屋の外観観察　　など

・原子炉建屋や燃料貯蔵プール建屋の健全性を確認
・使用前検査対象外の壁が主体の原子炉補助建屋については調査が必要

9月4～11日
試料採取

構造健全性の評価

原子炉補助建屋の構造健全性評価をとりまとめ、公表（10月19日）

「ふげん」建屋の健全性確認が必要

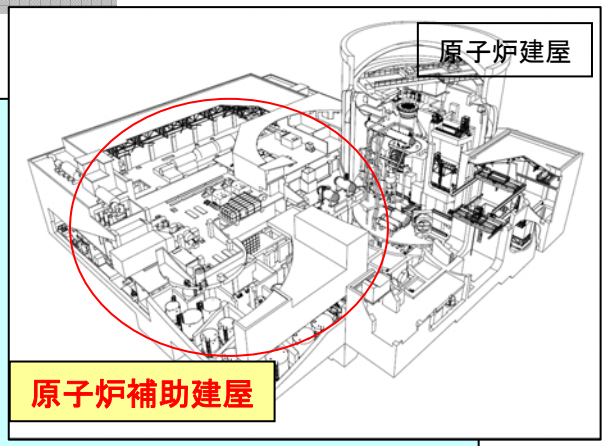
「ふげん」
第20回施設定期検査
（平成18年9月29日～）

「ふげん」
廃止措置計画認可申請中（平成18年11月7日）

定検期間延長（6／1公表）
（5月末終了→8月末終了）

定検期間延長（8／31公表）
（8月末終了→10月末終了）

原子炉補助建屋の健全性確認



原子炉補助建屋

・廃棄物処理設備や原子炉周辺設備などを設置している建屋
・地下階には、高線量の設備や重要な機器を配置しており、遮へい性能等を確保するため、厚い壁で構成されている。
・地上階については、原子炉の運転停止に伴い、比較的休止設備が多い。

【Bクラスの要求事項】

・静的地震力（建築基準法の水平地震力の1．5倍）に対して弾性範囲
・建築基準法に基づく保有水平耐力の裕度確認

建屋健全性確認手順

・国土交通省監修の「耐震診断基準」に基づき実施
・各階壁毎に試料採取の結果から代表的な壁の強度を求め、その強度が設計審査指針の耐震重要度Bクラスの要求事項を満足することを確認する

・採取場所
・数
・コアの形状
・打設時期
・壁の配置
・壁の厚さ

→ 採取コアの代表性
耐震診断の信頼性

→ 各壁3本以上
XY方向の壁
各階2～3箇所

→ コア採取・供試体への加工

→ コアの強度測定

→ 各階の推定強度算出

↓

Bクラスの規準と照合

第三者機関で実施

コア採取、圧縮強度試験

① コア採取

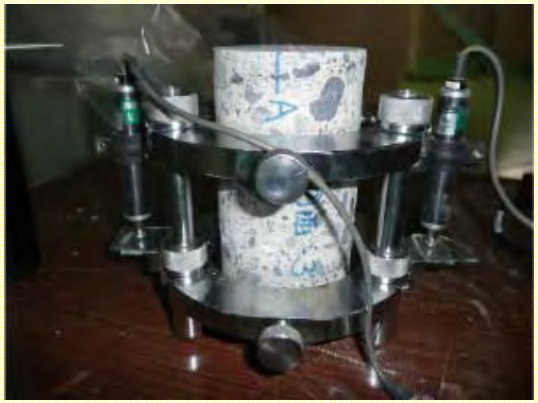
・平成19年9月4日～9月11日

・国土交通省監修の「耐震診断基準」に基づき主要な耐震壁を選定

・コア採取：12箇所×3本合計36本

・供試体の成形加工：直径10cm×長さ20cm

コアボーリングの状況



コアから成形した供試体

② 圧縮強度測定

・36本の試料のうち、26本は設計基準強度を満足

・地上階の一部の壁の圧縮強度が低いことを確認

・各階の圧縮強度の平均値は設計基準強度を満足

これらは、第三者機関である(財)日本建築総合試験所が実施

圧縮強度試験機

コアの圧縮強度測定結果

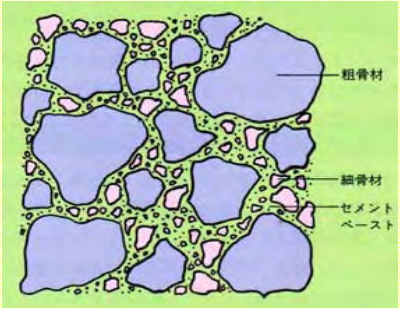
位置		壁厚（mm）	コア毎の圧縮強度（N／mm²）	壁毎の平均値 Xmean（N／mm²）	各階の平均値 Xmean（N／mm²）
地下2階	非常用電気室	1000	34.0	34.9	36.7
			36.4		
			34.2		
	給水加熱器室	1400	35.0	38.5	
			39.7		
			40.7		
地下1階	常用電気室	1500	25.8	29.3	27.5
			31.8		
			30.2		
	放射性廃棄物処理室及び貯蔵タンク室（遮へい壁）	1000	20.2	25.7	
			30.5		
			26.4		
地上1階	放射性廃棄物処理室及び貯蔵タンク室（遮へい壁）	1000	27.9	27.4	29.1
			26.9		
			27.3		
	原子炉補助建屋 タービンフロア	800	32.0	42.1	
			43.1		
			51.1		
	常用エアロック通路	400	15.3	17.9	
			12.9		
			25.4		
地上2階	原子炉補機室（蓄圧器近傍の壁）	400	19.2	19.0	22.3
			18.3		
			19.4		
	タービンフロア上部	750	25.9	25.7	
			27.7		
			23.4		
地上3階	外壁（1）	500	25.7	26.0	26.9
			21.3		
			30.9		
	ホット計器修理室	250	14.1	12.9	
			12.2		
			12.4		
	外壁（2）	1100	45.2	41.7	
			41.8		
			38.2		

：設計基準強度を下回ったもの

設計基準強度について

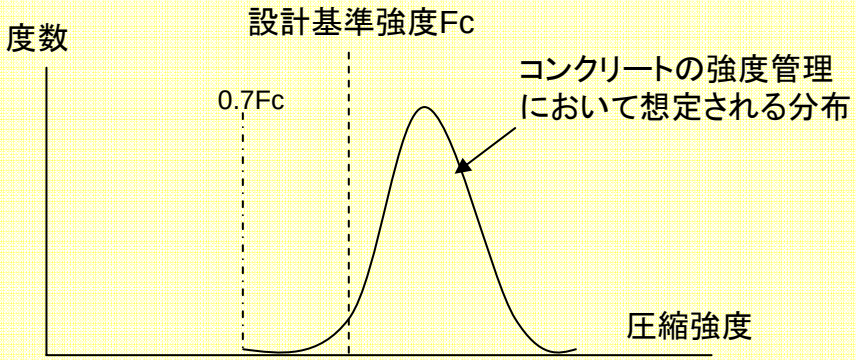
コンクリートとは

セメント
水
ペースト
細骨材（砂）
モルタル
粗骨材（砂利）
コンクリート



コンクリートは不均質なものを混ぜ合わせたものであり、施工時からばらつきがあり、強度は均一ではなく分布が生じる。

コンクリート強度の分布（イメージ）



当時のJISやJASS5では、コンクリートの品質について、不良率を約16%以下に抑えるとともに、強度が70%以下となる確率が限りなく0になるよう、施工管理することが求められている。

（注）JASS5：建築工事標準仕様書・同解説（鉄筋コンクリート工事）

設計時には、設計基準強度を用いて建屋の構造計算を実施

この施工管理については、

- 品質管理：ロット（150m³以下）ごとに3個の供試体作成
- 判定基準：3個の平均値が設計基準強度以上
  かつ個々の値が設計基準強度の70%以上

を満足するよう要求している。

コアの圧縮強度測定結果（まとめ）

①36本の試料のうち、26本は設計基準強度（22.06N/㎜²）を上回っていたが、残り10本については設計基準強度を下回った。

②試料を採取した12面の壁のうち、圧縮強度（各壁ごとの3本の試料の平均値）が設計基準強度を下回った壁は、地上階の3面であった。

③各階の圧縮強度の平均値については、全て設計基準強度を上回っていた。

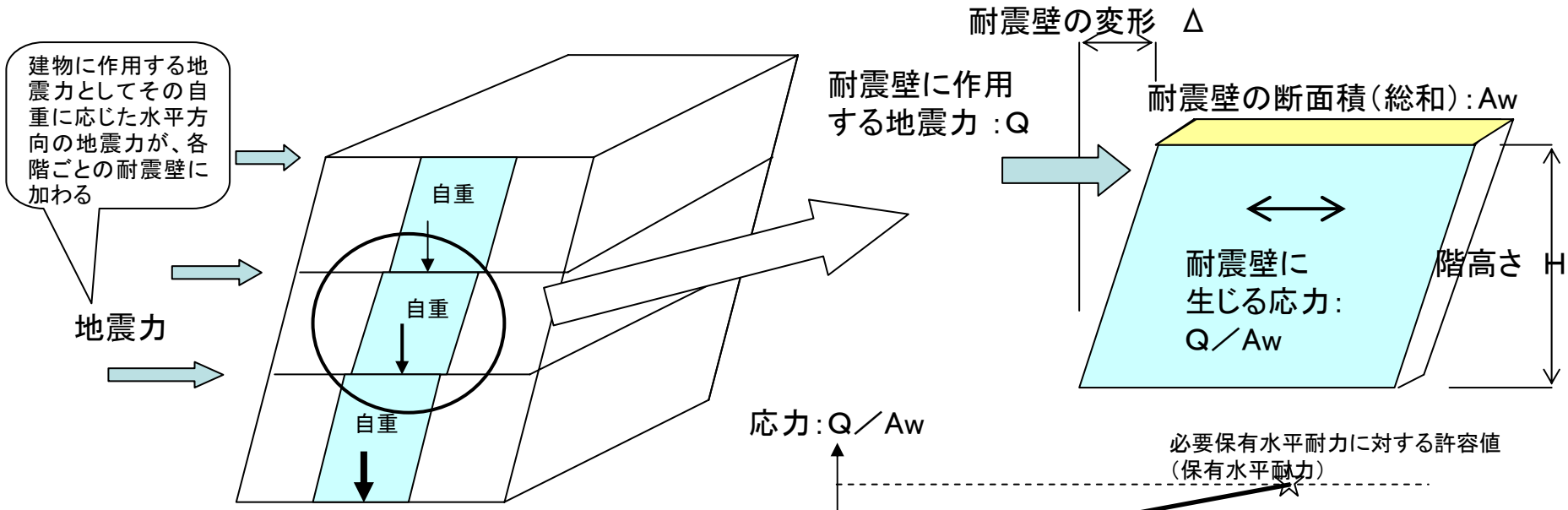
④使用前検査を実施した地下1階及び地上1階の遮へい壁毎のコア強度の平均値は、設計許容値（22.06N/㎜²）を満足し、使用前検査データと同程度であることを確認。使用前検査の信頼性を確認。

階	使用前検査時		今回調査（コア強度データ）	
	打設箇所	圧縮強度平均値（kg/cm²）	圧縮強度平均値（kg/cm²）	参考（N/㎜²換算）
地下1階	放射性廃棄物処理室及び貯蔵タンク室（遮へい壁）(s48.6.2打設)	266	262	25.7（20.2,30.5,26.4）*1
地上1階	放射性廃棄物処理室及び貯蔵タンク室（遮へい壁）(s48.10.25打設)	258	279	27.4（27.9,26.9,27.3）*1

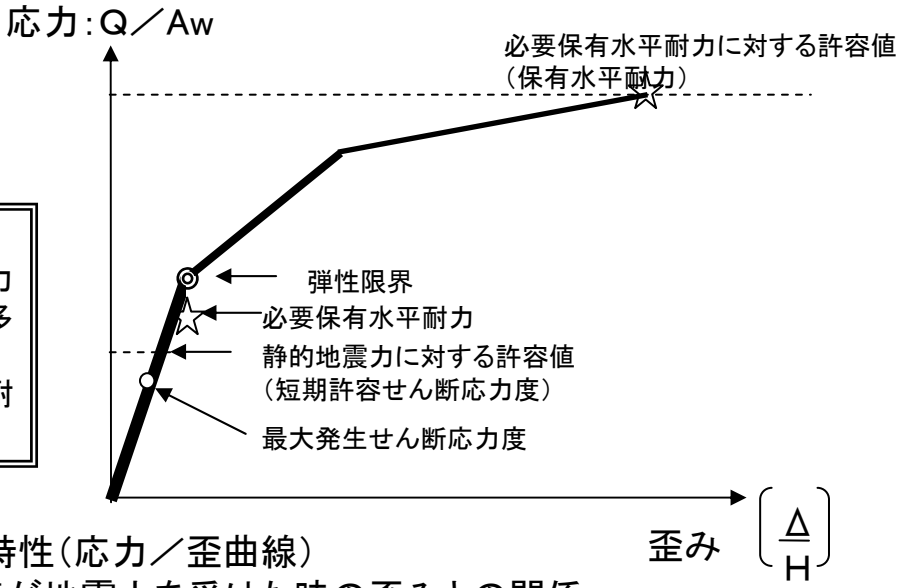
*1：今回のコンクリートコア毎の圧縮強度測定値

構造計算にあたっての評価の仕方（モデル）

各階の主要な壁の圧縮強度を測定し、データのばらつきを考慮して各階の壁の代表的な強度を算出。その結果をもとに、各階の壁の構造健全性を評価。



【評価の保守性】
・壁の断面積（Aw）の総和が大きいほど、各壁に生じる応力（Q／Aw）は小さくなる（壁に生じる応力が小さければ、壁の多い建屋は壁の強度が低くても健全性が確保できる）。
・地震力は100%耐震壁で受け持ち、柱や梁、代表性の無い耐震壁や雑壁の寄与は考慮しないこととした。



復元力特性（応力／歪曲線）
耐震壁が地震力を受けた時の歪みとの関係

評価に使用する推定強度の算出

「耐震診断基準」に基づき実施

（評価に使用する強度は、データのばらつきを考慮し保守的に評価）

【算出式】 各階の推定強度（σB）=各階の平均値（Xmean）－1/2×標準偏差（σ）

単位：N/mm^2

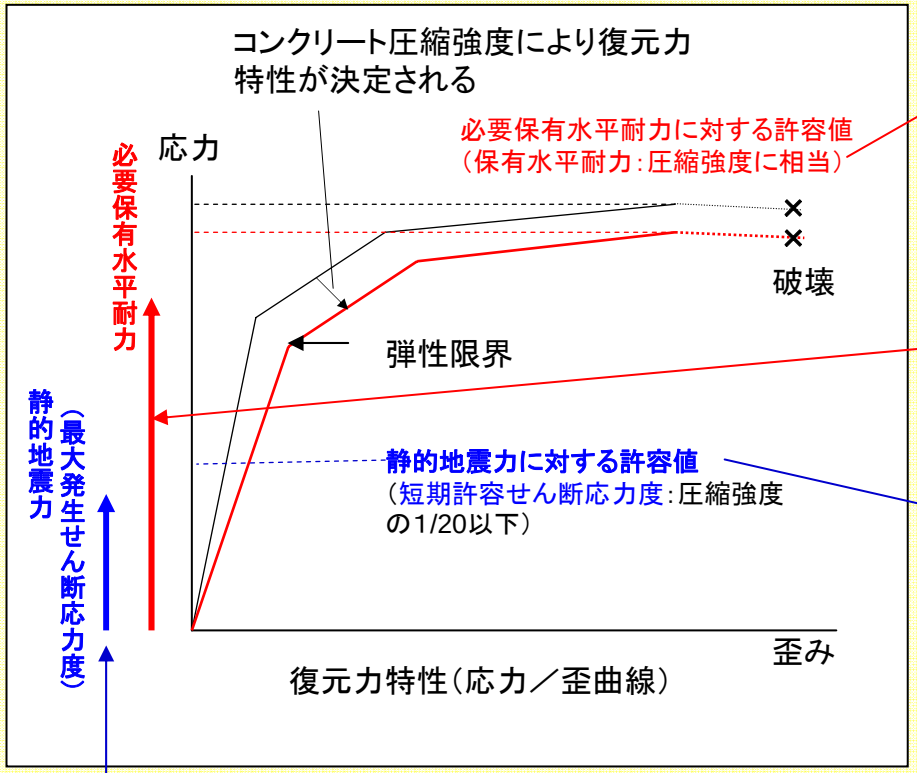
階	各階の平均値（Xmean）	評価に使用する強度（σB）
地下2階	36.7 （2.9）＊1	27.5 ＊2
地下1階	27.5 （4.3）＊1	25.3
地上1階	29.1 （12.0）＊1	23.1
地上2階	22.3 （3.9）＊1	20.4
地上3階	26.9 （12.9）＊1	20.4

＊1：（　）内の数値は各階圧縮強度の標準偏差（σ）を示す。

＊2：「耐震診断基準」に従い、30N/mm^{2}並びに設計基準強度（22.06N/mm^2）の1.25倍を超えない範囲で設定。

構造健全性の評価

原子炉補助建屋に求められる耐震Bクラスの性能を有しているかを確認するため、以下の評価を実施



必要保有水平耐力に対する評価

・作用する地震力が建物重量の1倍として、各階毎に算出される水平地震力（静的地震力の5倍）を想定

・この地震力に対して、コンクリートが破壊に至らないことを確認

静的地震力に対する評価

・作用する地震力が建物重量の1/5（0.2倍）として、各階毎に算出される水平地震力（建築基準法）の1.5倍の地震力を想定

・この地震力に対して、弾性範囲（変形が残らず元の形状に復元する）にあること

健全性評価結果

(1) 静的地震力

せん断応力度(kgf／cm²)

階	短期許容せん断応力度／最大発生せん断応力度	
	NS方向	EW方向
地上3階	10.40/4.73 （2.2）	10.40/5.91 （1.8）
地上2階	10.40/7.08 （1.5）	10.40/9.05 （1.1）
地上1階	11.03/5.95 （1.9）	11.03/7.43 （1.5）
地下1階	11.37/5.36 （2.1）	11.37/5.62 （2.0）
地下2階	11.71/7.60 （1.5）	11.71/6.97 （1.7）

(2) 必要保有水平耐力

保有水平耐力(tf)

階	保有水平耐力／必要保有水平耐力	
	NS方向	EW方向
地上3階	16690/4957 （3.4）	15260/6352 （2.4）
地上2階	24544/11589 （2.1）	21580/12130 （1.8）
地上1階	50727/24008 （2.1）	38627/18963 （2.0）
地下1階	79921/32008 （2.5）	72132/25813 （2.8）
地下2階	81495/45643 （1.8）	79271/37128 （2.1）

【評価結果】 静的地震力により発生する応力は許容値内にあり、保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して上回っていることから、耐震Bクラスの耐震性があることを確認した。

各階壁の推定強度の最低値を使用した評価

各階の最も強度の小さな壁の推定強度を、その階の強度と仮定して評価する。
（健全性確認に当たっては鉄筋の寄与を考慮）

(1)評価に使用する強度　　単位：N/mm^2

地下2階	地下1階	地上1階	地上2階	地上3階
22.06＊	22.06＊	14.5	18.7	12.4

＊：保守的な評価とするため、設計基準強度を採用

(2) 静的地震力　　せん断応力度(kgf／㎝^{2})

階	短期許容せん断応力度／最大発生せん断応力度	
	NS方向	EW方向
地上3階	9.53/4.93（1.9）	9.53/6.16（1.5）
地上2階	9.54/7.14（1.3）	9.54/9.04（1.1）
地上1階	9.53/5.95（1.6）	9.95/7.43（1.3）
地下1階	10.88/5.36（2.0）	10.88/5.62（1.9）
地下2階	10.88/7.60（1.4）	10.88/6.97（1.6）

(3) 必要保有水平耐力　　保有水平耐力(tf)

階	保有水平耐力／必要保有水平耐力	
	NS方向	EW方向
地上3階	14592/5174（2.8）	13396/6615（2.0）
地上2階	23958/11692（2.0）	21005/12121（1.7）
地上1階	44370/24008（1.8）	33705/18963（1.8）
地下1階	76458/32008（2.4）	68847/25813（2.7）
地下2階	76666/45643（1.7）	75210/37128（2.0）

【評価結果】 静的地震力により発生する応力は許容値内にあり、保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して上回っていることから、耐震Bクラスの耐震性があることを確認した。

評価結果のまとめ

○構造健全性について

・耐震診断基準に基づき評価した結果、耐震性能（耐震重要度分類Bクラス）を満足していることを確認した。

・第20回定期検査については、国の最終検査を受検し、今月末終了予定。

○データの信頼性・妥当性、要因分析について

・今回一部の壁から低い圧縮強度が得られたことの原因を含め、18年度に得られたデータの妥当性・信頼性に係る調査並びにその要因分析を、今後も引き続き実施する。

・得られた結果については、結果がまとまった段階（12月中目途）で公表する。