

# 平成25年度実績概要

## 「格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術開発」 (補修(止水)の部)

平成26年7月31日  
技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

無断複製・転載禁止 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構  
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

### 1. 本研究(PCV補修)の実施内容

1

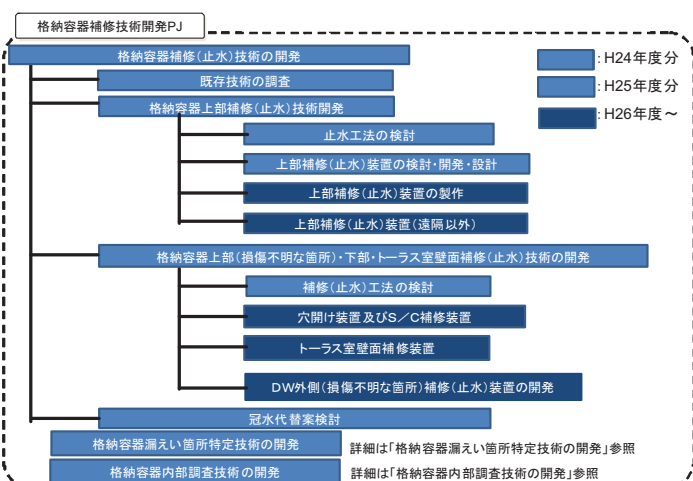
#### 平成25年度の実施内容

- 課題
  - ・高線量・狭隘・水中環境において、格納容器冠水のための補修工法と装置を開発する必要がある。
- 格納容器下部補修(止水)装置の開発
  - ・ベント管やサプレッションチェンバなどでバウンダリ構成するための補修(止水)装置の開発を行う。
  - ・補修(止水)装置の設計・製作に向けて補修(止水)工法の詳細検討(止水材の詳細検討、閉止材の最適化検討など)を行う。
- 格納容器上部補修(止水)装置の開発
  - ・損傷の可能性が高い箇所(ハッチフランジ、貫通部ベローズ、電気ペネ)に適用する補修(止水)装置の開発を行う。
  - ・損傷の可能性が高い箇所に適用する補修(止水)装置製作のための止水材詳細検討と詳細設計を実施する。

#### 取組方針

- 中長期的な人材育成
  - 関連技術の学会や分科会、セミナー等にて、大学、研究機関や関連素材、部品メーカー等企業に所属する若手を対象に実施計画や技術課題を紹介することにより、関心を持ってもらう(啓発活動)とともに、大学・研究機関との共同研究等について検討する。
  - また補助事業者所属の若手技術者や研究者には、国内外の関連技術調査、国内外の学会等における評価や成果発表、討議を経験させてスキルアップを図る。
- 国内外の叡智の活用
  - 装置開発に必要な技術の一部では、国内外の叡智を反映して作成した技術カタログを活用して一般競争入札等を行い、国内外からベンダーを選定する。

#### 実施体制



#### 工程表

事項/年度	第1期			第2期			
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.補修工法 検討・装置設計 (下部用)	[Progress Bar]			[Progress Bar]			
2.補修装置 製作・改良 (下部用)	[Progress Bar]			[Progress Bar]			
3.補修工法 検討・装置設計 (上部用)	[Progress Bar]			[Progress Bar]			
4.補修装置 製作・改良 (上部用)	[Progress Bar]			[Progress Bar]			
5.代替工法の検討	[Progress Bar]			[Progress Bar]			

### 3. 格納容器補修技術の開発(補修対象箇所)

RPV  
PCV  
D/W  
S/C  
PCV 上部  
PCV 下部

貫通部  
ケーブルコネクタ  
シール部  
接続箱  
電気配線貫通部

保護カバー  
ベネスリーブ  
ベローズ  
配管貫通部ベローズ

PCV上部の補修対象箇所

PCV下部の補修対象箇所

ドライウェル(D/W)  
真空破壊ライン(1号機のみ)  
ベント管  
サブプレッションチェンバ(S/C)  
クエンチャ  
主蒸気逃がし安全弁排気管  
→ 滞留水の経路  
止水対象箇所

フランジ  
格納容器壁  
機器ハッチ

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### PCV下部補修工法の概念

ベント管  
止水材  
閉止補助材

ベント管部止水工法

クエンチャ部止水工法(H25年度は計画範囲外)

真空破壊ライン部止水工法(1F-1特有)

サブプレッションチェンバの補強

シール  
ガイドパイプ  
グラウト材  
シール

滞留水の経路  
止水対象箇所

真空破壊ライン(1号機のみ)  
ベント管  
サブプレッションチェンバ(S/C)  
クエンチャ

H24年度の成果(例)

マニピュレータ

格納容器下部補修装置概念

側面  
ベント管部止水材要素試験

閉止補助材要素試験

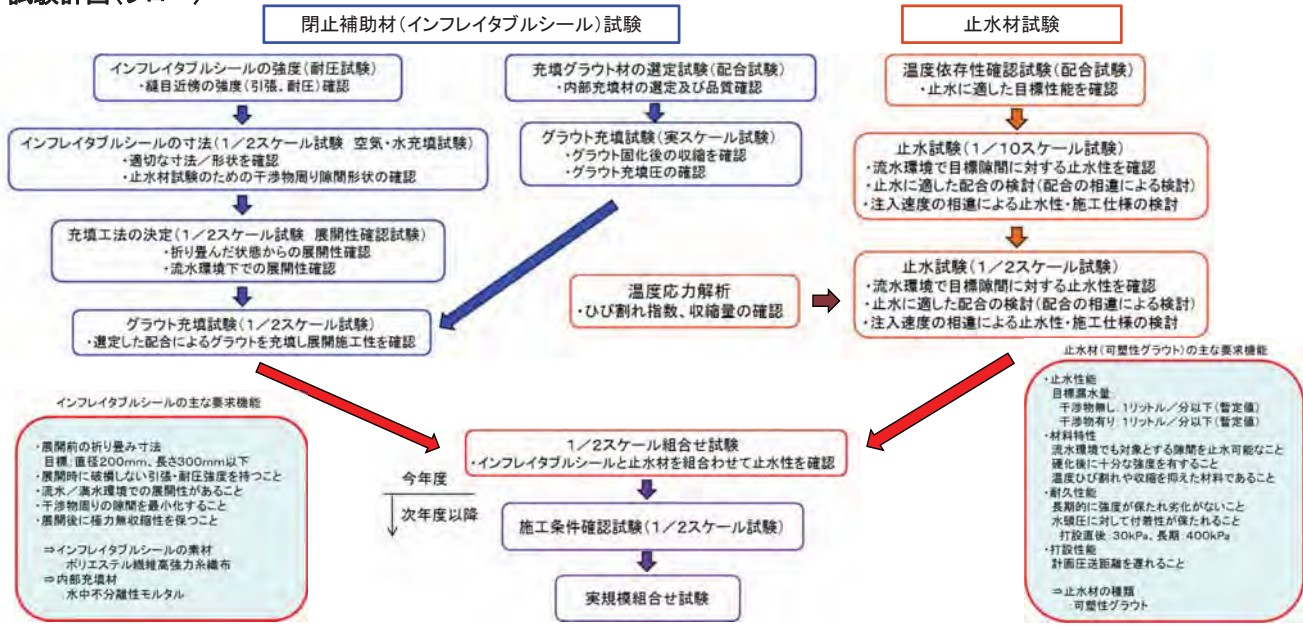
### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### ベント管内埋設による止水工法

【補修工法概略】

- ① Tクエンチャーを止水
- ② ベント管内(8本)の先端部分に閉止補助材(インフレイタブルシール)を設置し、暫定的に水の流路を堰き止める
- ③ 閉止補助材の上流側に止水材(グラウト材等)を充填して止水
- ④ S/CをPCVバウンダリから切り離し

#### 試験計画(フロー)



### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 閉止補助材(インフレイタブルシール)・・・引張強度試験

##### 試験目的

- 閉止補助材の縫目を模擬した試験片を用いて引張試験を実施し、得られた縫目の引張強度と布自体の引張強度(メーカーカタログ値)を比較し、縫目部の強度低下を定量的に把握する。

##### 試験結果

- 縫目のない原布の引張強度は、布の厚さにほぼ比例し、#2の0.5mmの布が一番強い結果であった。
- 引張強度は原布に対し約20%~45%であったが、縫目形状パターンの違いよりも、縫い糸の強度に依存していることが分かった。
- 布材は強い方が良いが、なるべく折り畳んで小さくしたいことや、展開性を考慮すると薄くて伸び率が大きい方が望ましいため、耐圧試験(次頁)の結果と合わせて評価し、#3の布材を採用することとした。

表5-2 引張試験結果

布材	縫目形状	縫目角度別の試験結果							
		ケース1		ケース2		ケース3		ケース4	
		最大強度(N/cm)	伸び(%)	最大強度(N/cm)	伸び(%)	最大強度(N/cm)	伸び(%)	最大強度(N/cm)	伸び(%)
#1	原布	622	30.5	604	30.3	-	-	-	-
	パターン1	266	27.0	219	26.0	433	32.4	409	29.7
	パターン2	397	30.5	279	23.6	479	31.1	460	28.6
#2	原布	1074	22.9	848	40.5	-	-	-	-
	パターン1	207	10.2	568	19.4	360	18.2	314	33.2
	パターン2	265	9.9	191	23.6	568	19.4	479	37.2
#3	原布	946	42.0	888	51.1	-	-	-	-
	パターン1	196	26.9	220	40.7	332	39.8	266	47.2
	パターン2	358	34.3	267	45.3	554	38.4	511	51.8



写真5-1 引張試験装置 (JIS L 1096 ストリップ法準拠)

表5-1 布材の諸元

布材	厚さ(mm)	材質	用途	コーティング	引張強度(N/cm)
#1	0.3	6.6ナイロン	エアバッグ	シリコン	縦 670 <sub>※1</sub>
				横 722 <sub>※1</sub>	
#2	0.5	6.ナイロン	エアバッグ	シリコン	縦 1016 <sub>※1</sub>
				横 1029 <sub>※1</sub>	
#3	0.4	ポリエステル	土木用	シリコン	縦 830 <sub>※2</sub>
				横 830 <sub>※2</sub>	

※1 メーカー実験値  
※2 カタログ値



引張後



写真5-2 引張試験結果の例 (#3・原布・ケース1)

ケース1: 縫目と縦糸の角度90°、ケース2: 縫目と横糸の角度90°  
ケース3: 縫目と縦糸の角度45°、ケース4: 縫目と横糸の角度45°

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 閉止補助材(インフレイタブルシール)・・・**耐圧試験**

##### 試験目的

・ベント管を模擬した500Aの配管内に設置した閉止補助材の内部に水を充填し、破損に至るまで加圧させることで、圧力と強度の関係を測定する。

##### 試験結果

- ・試験で測定された破損圧力は、理論値よりも約20%~40%であり、強度の低い縫目を起点に破損が生じていることに起因するものと判断した。
- ・試験での破損圧力は縫製パターンに因らず、**#3の布材の強度が比較的高いことが分かった。**
- ・引張強度試験(前頁)の結果と合わせて、**#3の布材を採用して、以降の試験を実施することとした。**
- ・本試験から実スケールでの耐圧強度は、約0.05MPaと想定され、内部に充填材を注入した際の圧力約0.04MPaに対して余裕がないことが分かったため、**縫目の改善を実施して強度向上を行うことが必要と判断した。**

表6-2 引張試験結果

No.	布材			縫製パターン	破損圧力 (MPa) 試験での 測定値	破損想定 圧力 (MPa) 理論値
	布材No.	厚さ (mm)	材質			
1	#1	0.3	6-6 ナイロン	①直線2分割	0.17	0.54
2	#2	0.5	6 ナイロン		0.17	0.81
3	#3	0.4	ポリエステル	②直線3分割	0.16	0.66
4				③放射状4分割	0.22	0.66
5				④縫目無し	0.25	0.66
6						



写真6-1 耐圧試験装置全景

※ 理論値は布材の強度低下や縫製による強度低下が無いとして計算したもの。

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 閉止補助材(インフレイタブルシール)・・・**1/2スケール 空気・水充填試験** **1/2スケール 展開性確認試験**

ベント管: 1/2  
干渉物: 1/2

##### 試験目的

- ・閉止補助材のサイズを変え、ベント管内の展開状況(特にベント管**8本のうち1本**に存在する基準容器等の干渉物への周り込み状況とその隙間形成状況)を確認し、最適なサイズを選定する。
- ・閉止補助材内部に水を充填させ、折り畳み方法や方位性の違いによる設置性及び展開性を確認する。

##### 試験結果

- ・干渉物が無いベント管: ベント管内に閉止補助材が密着し、**ほぼ隙間なく展開が可能であった。**
- ・干渉物があるベント管: 干渉物周りで目標隙間には至らなかったが、**周り込んでいく状況は確認できた。**
- ・干渉物周りの展開性に課題が残るが、**ベント管の周長に対し約120~130%程度の大きさが最適な形状だと判断した。**

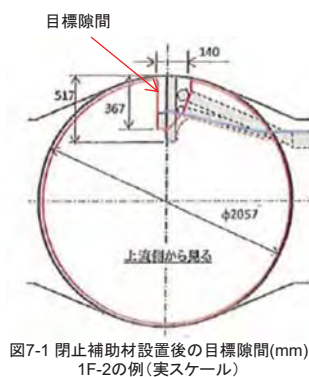


図7-1 閉止補助材設置後の目標隙間(mm) 1F-2の例(実スケール)



写真7-1 試験初期状態 (D/W側からベント管内を見る)



写真7-1 試験初期状態 (ベントヘッド側から見る)



写真7-2 展開状況 (干渉物なし)

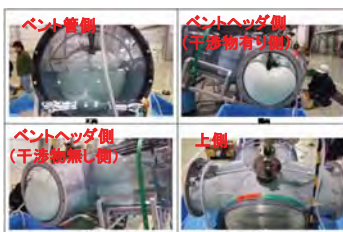


写真7-3 展開状況 (干渉物あり: 1F-2の例)

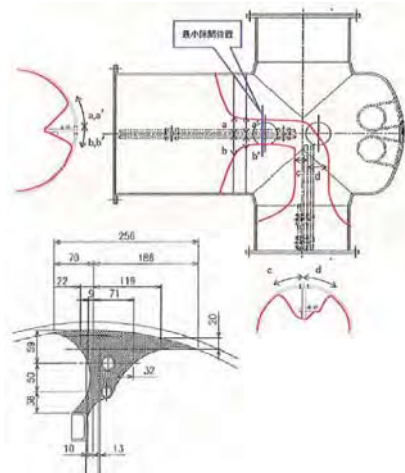


図7-2 隙間計測・形状 (1F-2干渉物有りの例) 1/2スケールでの計測値

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 閉止補助材(インフレイタブルシール)・・・充填グラウト材選定試験

##### 試験目的

- 閉止補助材の内部に充填するグラウト材の使用材料及び示方配合を決定する。

##### 試験結果

- 各種品質確認試験を実施し、各目標管理値を達成できた下記の材料を候補材とした。  
水中不分離性・無収縮グラウト(水和熱抑制タイプ)

表8-1 内部充填材に求められる性能

目標性能
1. 閉止補助材ない(気中、水中)で分離することなく充填されること。
2. 所定量(約10m <sup>3</sup> )がポンプによって閉塞なく、最大100m圧送できること。
3. 温度40℃、水中または湿度100%の環境で十分に固化すること。
4. 硬化反応に伴って収縮しないこと。
5. 400kPaの水頭圧により破損しない圧縮強度を持つこと。



写真8-1 品質確認試験の例  
(グラウトの静置フロー)

表8-2 試験項目と目標管理値

品質管理項目	性能	試験項目	管理項目	暫定的な目標値	
				気中打設	水中打設
流動性	初期性状	フロー試験 (JIS R 5201)	静置フロー <sup>※1</sup> [mm]	—	300±70
		J <sub>14</sub> 漏斗試験 (JSCE-F 541)	流下時間 [秒]	8±2	—
硬化性状	圧縮強度	圧縮強度試験 <sup>※2</sup> (JSCE-G 505)	1E強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	≥0.86	
			7E強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	≥1.075	

※1)：フローコーンを引き上げ後、15回落下打撃なしで静置した際の値  
※2)：強度試験用 TP は、2m 落下(気中 or 水中)させた試料より採取

表8-3 材料性能確認項目

試験項目	管理項目	高流動型・蒸気縮グラウト (気中打設)	水中不分離性・無収縮 グラウト (水中打設)
凝結時間試験 (JIS A 1147)	始発時間 [時間]	≥1	≥1
	終結時間 [時間]	≤10	≤24
水中不分離度試験 (JSCE-D 104)	被検水の pH	—	≤12
	懸濁物質濃度 [mg/l]	—	≤500
拘束膨張試験 (JIS A 6202)	膨張ひずみ [×10 <sup>-4</sup> ]	≥150	

□: 常温(20℃)条件下, □: 高温(40℃)条件下

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 閉止補助材(インフレイタブルシール)・・・実スケールグラウト充填試験

ベント管: 1/1  
干渉物: 1/1

##### 試験目的

- 閉止補助材が展開した時のグラウト充填圧を確認し、今後の試験や施工計画に資する。

##### 試験結果

- グラウト注入ラインの閉塞により充填量が不十分であったため、最終的なグラウト充填圧と隙間寸法の関係を確認することができなかった。
- グラウト自体の重みで布材が上から押さえつけられる状態となり、皺が残って上部への展開が不十分であった。

⇒施工法の見直し等が必要であり、今後対策の検討を実施。

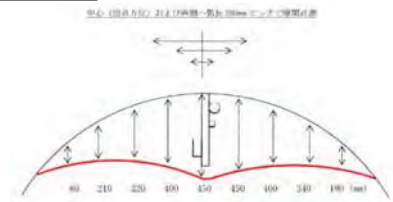


図9-1 展開後の上部隙間



上流側より見る



上部隙間詳細(ベント管〜ベントヘッド)



上部隙間詳細(ベント管)

図9-2 ベント管上流側から見た展開状況



左側ベントヘッド

右側ベントヘッド

図9-3 ベントヘッド側から見た展開状況

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

閉止補助材(インフレイタブルシール)・・・1/2スケール グラウト充填試験

ベント管: 1/2  
干渉物: 1/2

#### 試験目的

- 流水/満水環境にて閉止補助材を折り畳んだ状態からグラウト充填で展開させ、展開後の隙間寸法を計測し、展開性確認試験における結果と比較し、充填材の違いによる影響を把握する。
- 得られた隙間寸法を元に、隙間を狭くする方策等の検討に資する。

#### 試験結果

- 上部への展開性改善のために、空気を充填させてからグラウトを注入する計画とした。
- 空気で展開後、グラウト充填することでベント管上部まで展開した。
- 水充填時と比較してベント管上部の隙間は大きくなったが、ベントヘッダ部の隙間は小さくなった。
- 目標隙間よりも隙間が大きくなるため、副閉止補助材を設置したところ、隙間を狭くする見込みが見ついた。
- ⇒施工法の見直し等が必要であり、今後対策の検討を実施。
- 干渉物の無いベントヘッダ側は良好に密着した。

エアによるインフレイタブルシール展開

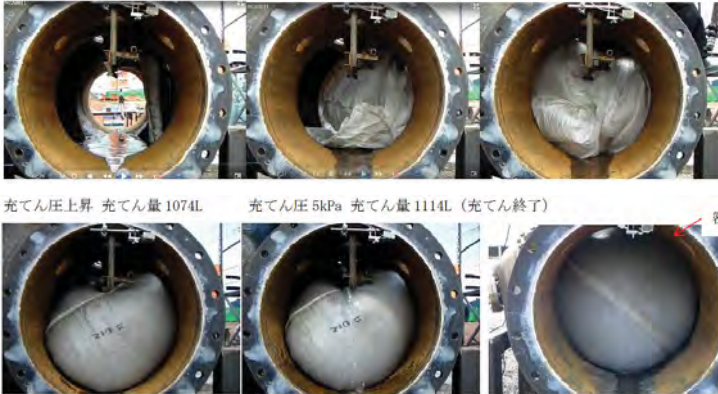


図10-1 ベントヘッダ側から見た展開状況



※試験では土嚢袋を使用して、グラウト充填し、隙間部に設置した。

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

止水材(可塑性グラウト)・・・1/10スケール 止水試験

ベント管: 1/10  
干渉物による隙間: 幅約1/1、高さ200mm

#### 試験目的

目標隙間に対する可塑性グラウトの止水性能及び打設直後の耐水圧性能を確認し、止水材の配合検討を行う。

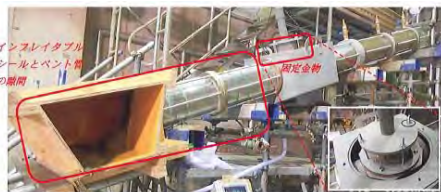
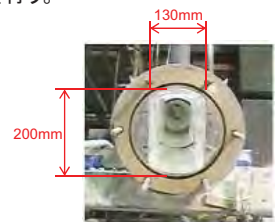


写真11-1 試験装置全景

表11-1 可塑性グラウトの配合

主材(850G)				可塑性材(150G)				水	水	水	水	水	水
セメント	フライアッシュ	水	水	可塑性材A	水	可塑性材B	B/C						
kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
400	396	545	179	3	72	24~32	6~10	64~67	0.11	64~69	69~70		
300	503	529	165			18~24		64~69					
230	566	523	160			14~18		69~70					

※ 可塑性材A: 流水環境下での水中不分離性を高める  
 可塑性材B: セメントと反応させて、急結性を高める  
 B/C: セメント量に対する可塑性材Bの割合



隙間全体断面

#### 試験結果

- 止水可であったケースはJISフローが100mm~115mm程度。
- これを満足するためにはB/Cが8~10%、グラウト注入速度が100リットル/分以上(今回の試験で上限値は取得できていない)とすることが望ましいとの結果を得た。



1/2スケール止水試験は  
 B/C: 10%、グラウト注入速度300リットル/分  
 を条件とする

B/Cと注入速度の関係  
(C=400kg/m<sup>3</sup>, 圧送ホース径2inchi)

評価  
 ○: 漏水量1リットル/分以下(止水後30kPa作用)  
 ×: 止水不可または漏水量1リットル/分以上(止水後)

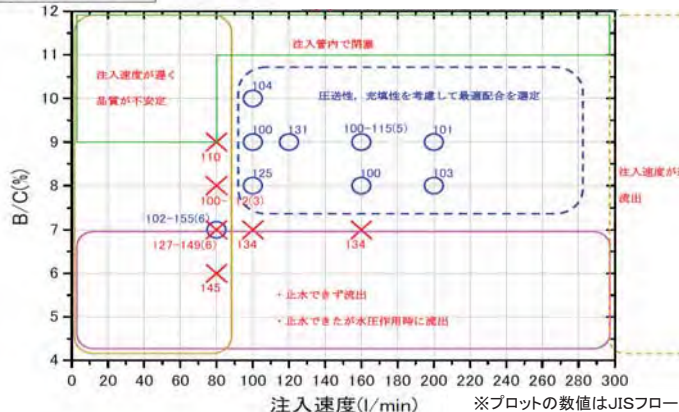


図11-1 B/Cとグラウト注入速度の関係における試験結果

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 止水材(可塑性グラウト)・・・1/2スケール 止水試験

ベント管:1/2  
干渉物による隙間:1/1

##### 試験目的

目標隙間に対する可塑性グラウトの止水性能及び打設直後の耐水圧性能を確認する。

##### 試験結果

- 3ケース実施し、2ケースについて止水(目標漏水量:1 $\frac{1}{2}$ 分以下)が達成できた。
- ベント管と閉止補助材との境界に隙間があると、水みちが生じ易くなり、止水材が積み上がらない。  
(1ケース目:閉止補助材模擬スペーサーとベント管との境界に隙間有り、2/3ケース目:目標隙間以外の隙間はコーキング処理)
- 充填時に未充填部が観察されたが、安定した止水材であれば流出することなく、止水が可能であった。

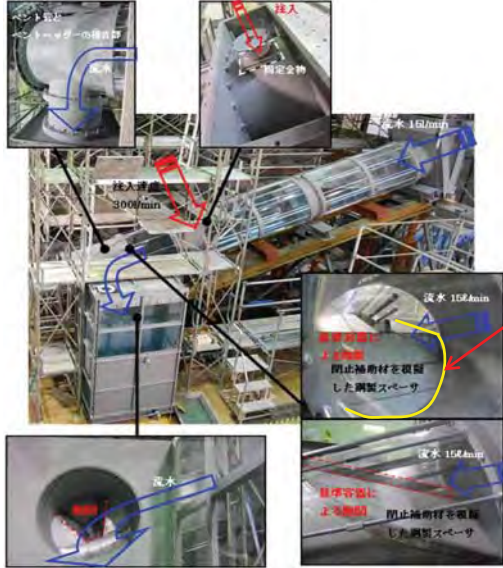


写真12-1 試験体の概要

表12-1 止水材の配合と注入仕様

セメント	フライアッシュ	配合(kg/m <sup>3</sup> )			注入仕様		
		可塑性材 A	可塑性材 B	B/C (%)	注入ルート	注入速度 (L/min)	注入量 (Q)
400	396	3	40	10	※	300	3000

※1/10試験と同様のルート



写真12-2 止水材の充填状況

製作上の制約から、ベント管径よりも模擬スペーサーを若干小さめにしているため、境界部に隙間が生じている。1ケース目はこの状態で試験を実施。2/3ケース目は当該部分をコーキングして実施。

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 止水材(可塑性グラウト)・・・温度応力解析

##### 試験目的

ベント管と閉止補助材及び止水材をモデル化した温度応力解析を実施し、止水材の水和熱に起因するひび割れ影響を把握する。

##### 試験結果

- 止水材中心部の最高温度が99.8℃となった。
- ひび割れ指数が1.85を下回る(ひび割れ発生確率5%以上となる)箇所は局所的であり、ほとんどの部位でひび割れが発生する確率が小さい結果であった。なお、最小ひび割れ指数は1.08であった。

単位セメント量400kg/m<sup>3</sup>、  
B/C=10%

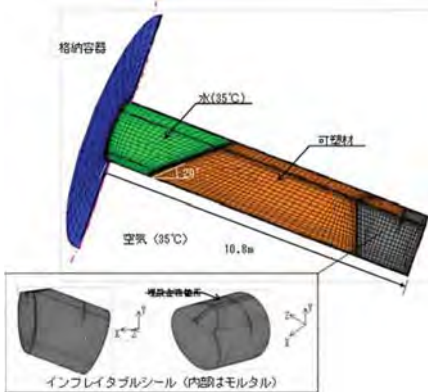


図13-1 モデル図(ベント管内面)

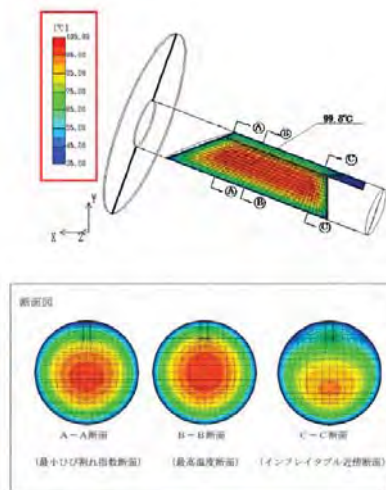


図13-1 ベント管内面及び各断面の温度分布

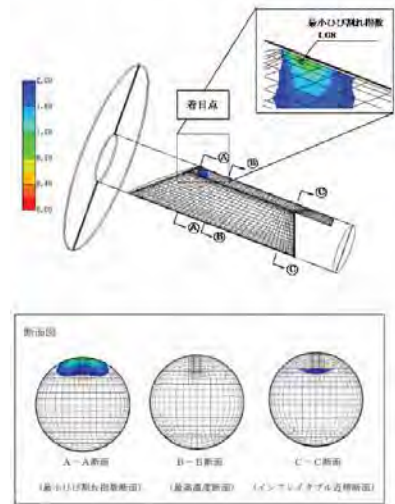


図13-1 ベント管内面及び各断面のひび割れ指数分布

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 1/2スケール 閉止補助材と止水材の組合せ試験

ベント管: 1/2  
干渉物: 1/2

#### 試験目的

- ・ベント管内埋設による止水工法の成立性を確認する。
- ・施工手順を確認し、課題の抽出及び対策検討を行い、今後の試験計画に反映させる

#### 試験結果

##### ①閉止補助材の設置状況、隙間寸法計測結果(ベント管側)

閉止補助材設置後の上部の隙間は目標隙間を大きく上回ったため、副閉止補助材を設置した。  
副閉止補助材設置後の隙間寸法は、開口面積で約 $1.5 \times 10^4$ (mm<sup>2</sup>)となり、1/2スケールでの目標隙間面積 $1.28 \times 10^4$ (mm<sup>2</sup>)を約20%上回る結果となった。

##### ②閉止補助材の設置状況、隙間寸法計測結果(ベントヘッダー側)

当初計画では干渉物無し側のベントヘッダー側は、これまでの試験結果から閉止補助材設置により開口部が確実に密着して塞がることを想定していたが、今回の試験においては閉止補助材が干渉物有り側のベントヘッダー側に大きく展開し、干渉物無し側のベントヘッダーへの展開が不十分となって隙間(水の流路)が左右に残る結果となった。  
⇒施工法の見直し等が必要であり、今後対策の検討を実施。



図14-1 閉止補助材設置後の隙間寸法と面積

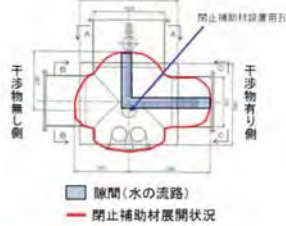


図5-1 当初想定隙間(水の流路)  
図14-1 当初想定隙間(水の流路)

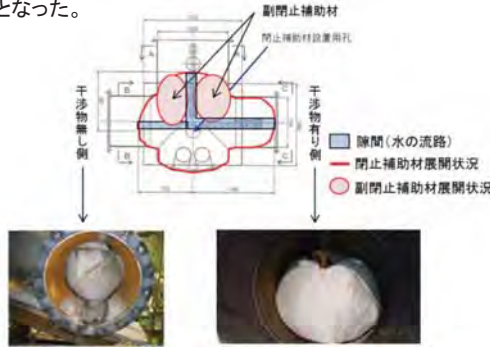


図14-2 閉止補助材設置後の隙間(水の流路)

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### 試験結果

##### ③止水試験

###### (1)止水材打設直後

- ・グラウトの充填とともに漏水量が減少し、約1.0ℓ/minまで減少した。
- ・その後のベント管内水位上昇により、再び漏水量が増加し、水頭が3.0m(30kPa)では、約2.0ℓ/minの漏水量になったが、充填されたグラウトが押し流される現象は生じなかった。また、漏水量は干渉物の無いベントヘッダー側からが多くなっていった。
- ・固定金物からは水位を3.0mまで上昇させても漏水は確認されなかった。

###### (2)止水材打設後の耐圧試験

- ・水圧の上昇に伴い漏水量が増加したが、約120kPaまでは目標漏水量である1ℓ/min以下を達成できた。
- ・130kPa以上では、満足できなかったが、止水材は破壊・流出することなく留まり、形状を保持していたため、止水材としての適性を有していると判断できた。
- ・特に、ベントヘッダー右側(干渉物無し側)については、250kPa付近までは漏水量と水圧がほぼ線形関係を保持したが、それ以上の水圧の作用下では線形関係を保持できず、漏水量がより増加した。
- ・固定金物および注入管からの漏水は見られなかった。
- ・作用する水圧を一旦降下させた後に、再度上昇させた場合、1回目の水圧上昇過程よりも漏水量が増加する結果が得られた。これは、1回目の昇圧でできた水みちが閉じることなく残ったためと考えられる。

#### 今後の対応

- ・上記の結果を受け、閉止補助材の密着性改善、ベント管内の干渉物撤去装置の導入による閉止補助材の展開性向上を検討する。
- ・また、閉止補助材とベント管との間に隙間ができた場合であっても目詰り材の導入や副閉止補助材を展開して隙間を減少させる方を詰めていく。
- ・この検討により、ベント管閉止を確実なものに仕上げる。



写真15-1 試験体と漏水計測箇所

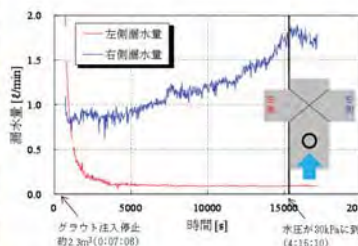


図15-1 打設直後の漏水量

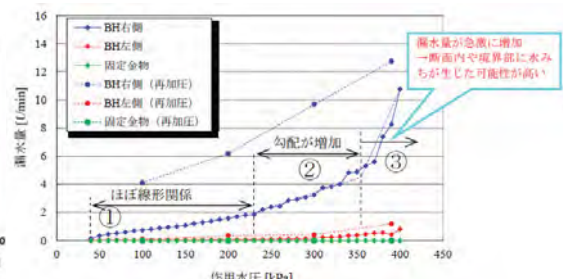


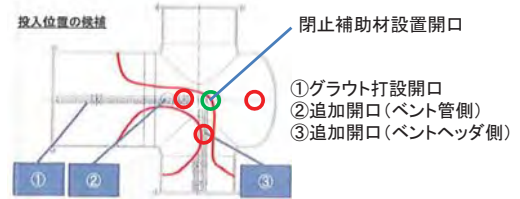
図15-2 固化後耐圧試験時の漏水量

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

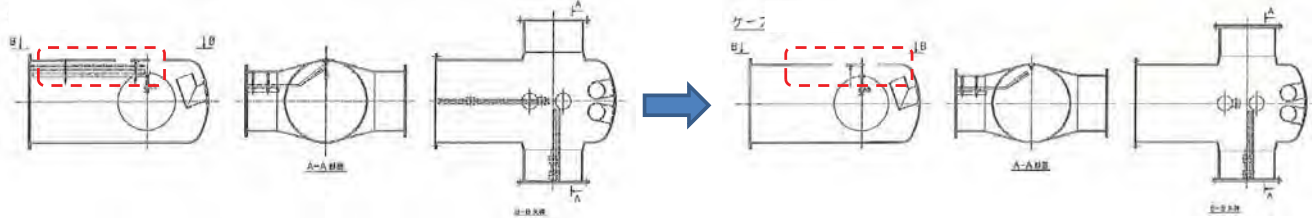
#### 参考:閉止補助材設置後の隙間について

閉止補助材設置後の隙間を縮小するために、以下の方法を検討していく。

下記の方法には、右図にあるように既存計画の開口や新規に追加開口を設けるなどを検討する必要がある。



1. **干渉物の撤去**:補修装置(マニピュレータ)により干渉物を撤去し、閉止補助材が良好に展開できるようにする。



2. **目詰め材の投入**:グラウト打設開口から固形材料や吸水膨張材、その他硬化材料などを投入して隙間を縮小する。

固形材料(浮力あり):スーパーボール、発泡スチロール、おがくずなど  
固形材料(浮力なし):砂、砂利、セラミックボール、鉄球など  
固形材料(その他):鉄板、木材、樹脂など

吸水膨張材:吸水ポリマー、圧縮スポンジなど

硬化材料:グラウト、水ガラス、発泡剤など

3. **副閉止補助材の設置**:追加で袋を投入し、隙間を縮小する。

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### ベント管止水試験用 実規模試験体の製作

H26年度以降に実施計画している実規模試験向けに、試験体の製作を行った。

##### 【製作物】

- 1F-1用 ベント管試験体:1体  
1F-2/3用 ベント管試験体:1体

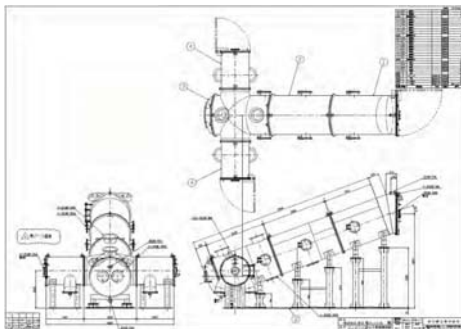


図17-1 試験体製作図(例)



写真17-1 試験体の全景①



写真17-2 試験体の全景②



写真17-3 試験体内部

### 3. 1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### ■ サプレッション・チェンバ(S/C)の補強に向けた技術開発

S/Cの耐震性の強化, 将来的な腐食への対応として, S/Cの補強方法を検討。

#### 工法の概要

- 1階床面から高い流動性を持つ補強材(水中不分離モルタル)を打設, 支持脚を含むS/C下部を埋設して補強。
- 既存設備の干渉から打設可能な箇所が限定される。
- 補強材はS/Cの片側から打設し, S/C下部を経て反対側に立ち上がる必要がある。また平面的に最大15m程度の流動が必要。

○ 想定打設箇所(案)

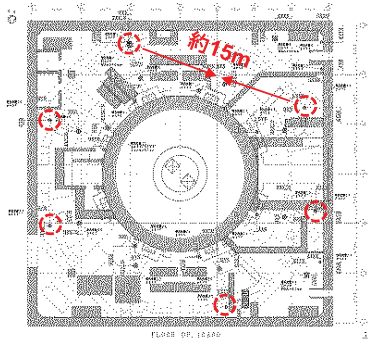


図18-1 1F平面図 (O.P.10200)

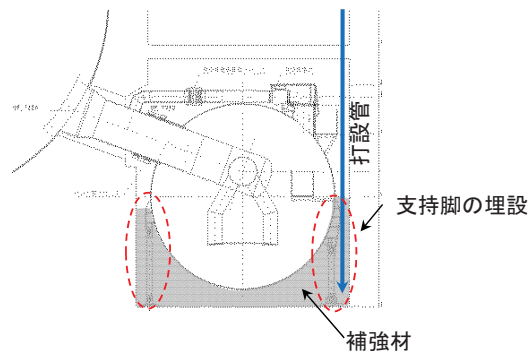


図18-2 S/C補強概念

### 3. 1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### ■ 長距離流動性確認試験の概要

S/Cを1/2スケールで部分的に模擬した試験体に補強材を打設。

- 広大な空間での補強材の流動状況, 立ち上がり状況
- 補強材硬化後の材料品質(圧縮強度)の分布
- S/C支持脚周囲への補強材充填状況

#### ■ 長距離流動性確認試験の成果と今後の課題

- S/C下部や支持脚周囲に密実に充填できたことを確認。
- 補強材天端はほぼフラット(1/167~1/500)に仕上がることを確認。
- 単位体積質量は流動後の材料品質のばらつきが小さいことが確認できた。
- 圧縮強度については、流動後に打設位置と一番離れた位置での比が0.7となった。
- 今後, RPV/PCV健全性評価と合わせて材料の必要強度や打設範囲の見極めが必要。

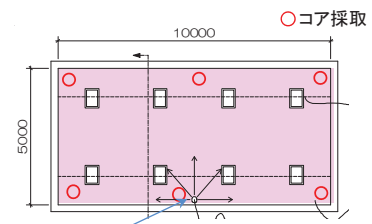


図19-1 試験体平面図

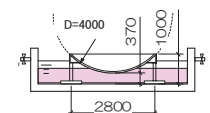
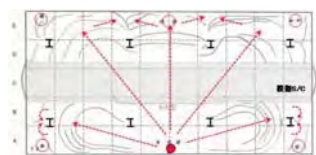


図19-2 試験体断面図

52cm(▲3cm) 1.865t/m <sup>3</sup> (0.98) 10.4N/mm <sup>2</sup> (0.70)	54cm(▲1cm) 1.848t/m <sup>3</sup> (0.97) 12.9N/mm <sup>2</sup> (0.87)	53cm(▲2cm) 1.850t/m <sup>3</sup> (0.97) 10.9N/mm <sup>2</sup> (0.73)
--	--	--



【凡例】  
 打上げ高さ  
 単位体積質量  
 圧縮強度

52cm(▲3cm) 1.870t/m <sup>3</sup> (0.98) 11.8N/mm <sup>2</sup> (0.79)	55cm(±0cm) 1.905t/m <sup>3</sup> (1.00) 14.9N/mm <sup>2</sup> (1.00)	52cm(▲3cm) 1.855t/m <sup>3</sup> (0.97) 11.2N/mm <sup>2</sup> (0.75)
--	--	--



写真19-1 試験装置全景 写真19-2 支持脚周囲の充填 写真19-3 S/C下部の充填

図19-3 補強材の品質分布

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### ■真空破壊装置の補修技術開発

- 1号機の固有設備である真空破壊装置について、想定漏えい箇所であるベローズ及び真空破壊弁からの漏えいを防止する工法を検討。

#### 工法の概要

- 1階床面から真空破壊装置を削孔しパッカーを挿入して仮止水。その後止水材(水中不分離モルタル)にて管内を充填。
- 真空破壊装置内が満水の場合、削孔時にPCV保有水の漏えいが考えられるため、事前にガイドパイプを設置しその中で削孔する概念を考案。ガイドパイプの概念検討を合わせて実施。

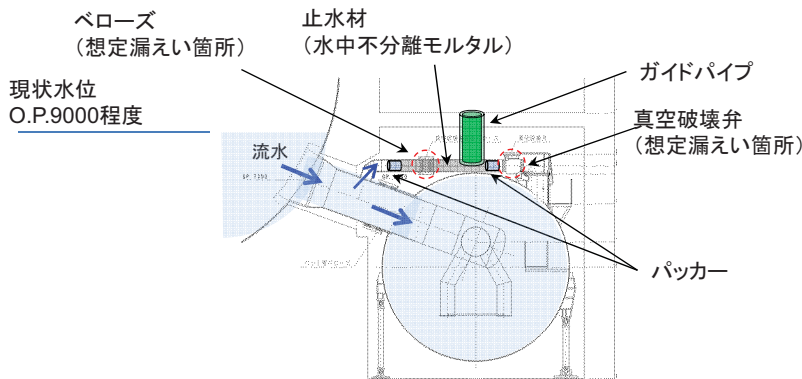


図20-1 真空破壊装置の補修概念

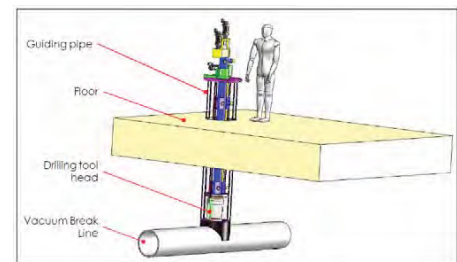


図20-2 ガイドパイプの概要

### 3.1 格納容器補修技術の開発(格納容器下部)

#### ■真空破壊装置閉止試験の概要と実施結果

真空破壊装置を模擬(径はフルスケール)した試験体にて、パッカーによる仮止水性の検証、及びその後本止水材打設による止水効果の検証を実施。

- 実機での施工を模擬し、模擬試験体の上部からパッカーを挿入。その後パッカー展開のための水中不分離モルタルの打設を実施。
- 布パッカーは流水中で展開すると、管内で滑ることがあった。
- 布パッカーの展開により、上流からの流量は大幅(55l/min→0.67l/min)に低下。その後本止水材の打設を実施した。
- 本止水材の硬化後、管内最上部に空隙が残り完全な止水性を得ることができなかった。これは布パッカーからのわずかな漏水が管内に滞留し、管上部まで本止水材を充填することができなかったためと考えられる。
- 今後、布パッカーのすべりを抑え、仮止水性を高める構造の検討が必要。

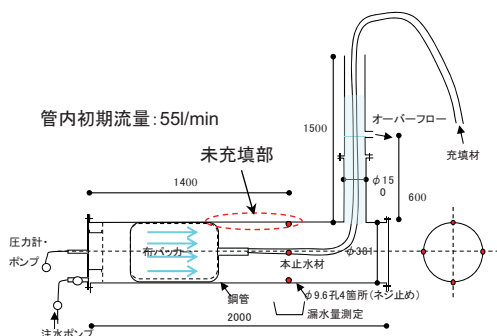


図21-1 試験装置概要



写真21-1 試験装置組立て状況



写真21-2 布パッカー概要

### 3.2 格納容器補修技術の開発(格納容器上部)

#### PCV上部補修工法の概念

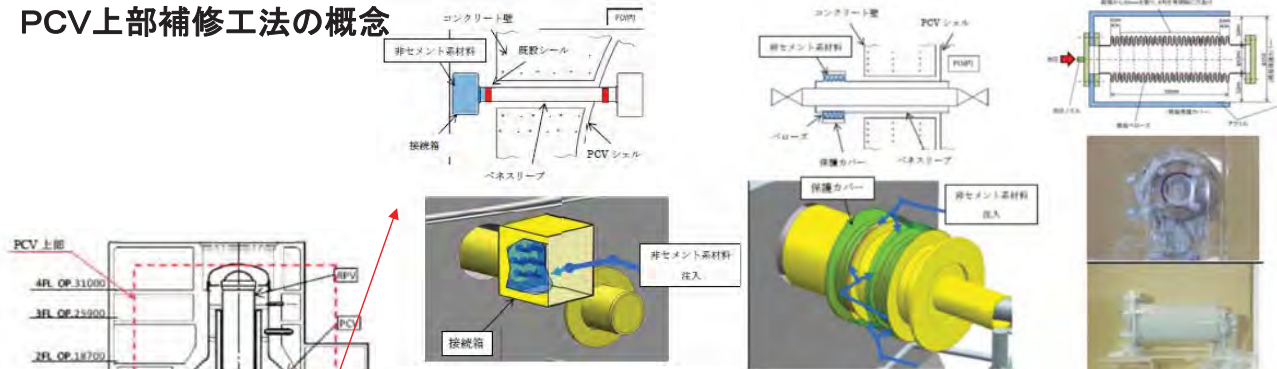


図22-1 D/W外側開放部補修工法

図22-2 D/W外側開放部止水材要素試験

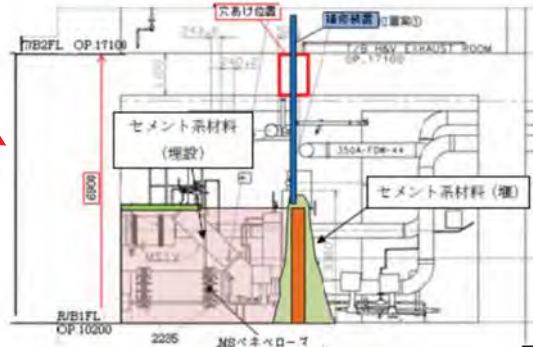
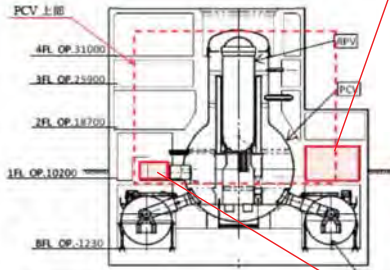


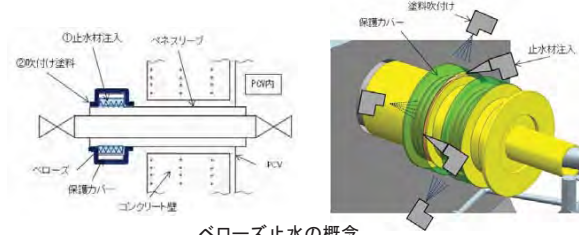
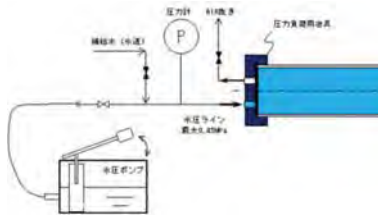
図22-3 D/W外側開放部補修工法

図22-4 D/W外側開放部止水材要素試験

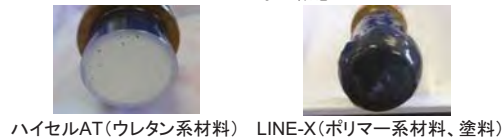
### 3.2 格納容器補修技術の開発(格納容器上部)

#### PCV上部貫通部(開放部)の止水材の調査と絞込み

非セメント系材料(シリコン系、発泡ウレタン系、エポキシ系、ゴム系、無機系、ポリマー系)から止水材の候補をリストアップし、Φ50の鋼管に止水材を充填した試験体で耐水圧試験(0.45MPa(30m相当の水頭圧の1.5倍)、 $10^4$ Gyの照射試験を実施し、発泡ウレタンのハイセルAT、ポリマー系の塗料のLINE-Xを候補材として選定。



ベローズ止水の概念

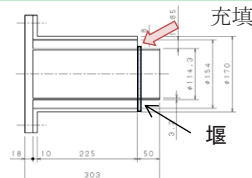


ハイセルAT(ウレタン系材料) LINE-X(ポリマー系材料、塗料)

#### 充填性、耐水圧性試験

代表的なベロー付ペネトレーションを模擬した試験体で止水材の注入性(充填性)、耐水圧性を確認。

- ・発泡ウレタン(ハイセルAT)を注入すると保護カバーの開放部から漏れて充填できないので、充填するためには漏れを防止する堰が必要。
- ・ベローズの形状によっては、奥側に空気溜りができて完全には充填ができないので、空気抜きが必要。
- ・ハイセルATは耐水圧性は良好であったが、LINE-Xについては一部漏れが確認された。
- ・発泡ウレタンを充填するための堰の構築方法の検討が必要。
- ・グリースや錆等の汚れがあると発泡ウレタンの付着が弱くなり、水圧に耐えられなくなるので、対策の検討が必要。



小規模試験体による充填性試験



汚れの影響確認試験(付着力低下)



LINE-Xでの漏れ

遠隔で止水を実施するためには、上に示したように課題が多く、止水工法の再検討が必要である。

### 3. 2 格納容器補修技術の開発(格納容器上部)

#### ■ 機器ハッチの補修技術開発

- 機器ハッチについて、想定漏えい箇所であるガスケット部からの漏えいを防止する工法を検討。

#### 工法の概要

- コンクリート遮蔽体に穴あけを実施し、そこから止水材(セメント系材料)を注入・充填して止水する。
- 止水材の充填の際にPCVと生体遮蔽のギャップから止水材の漏えいを防ぐために、発泡ウレタンで目止めを実施する。

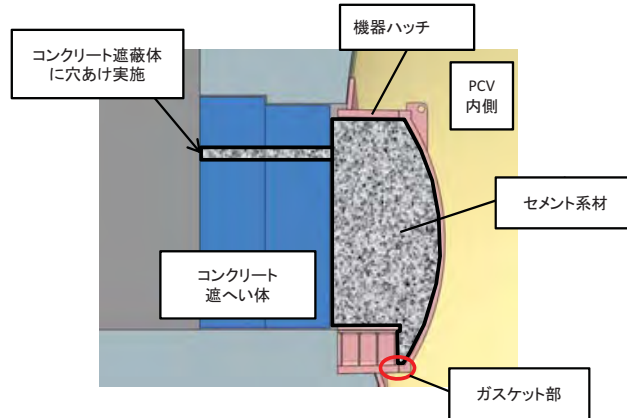


図24-1 機器ハッチの止水概念

### 3. 2 格納容器補修技術の開発(格納容器上部)

#### ■ 機器ハッチ止水試験の概要と実施結果

機器ハッチを模擬したスケール試験体にて、止水材(セメント系材料)を充填して止水試験、発泡ウレタンによる止水材の漏えい防止効果の確認試験を実施。

- 機器ハッチのフランジ間のギャップ1mmを模擬した1/15スケールの模擬試験体に止水材を充填して、0.30MPa(30m相当の水頭圧)で1週間、0.45MPa(30m相当の水頭圧の1.5倍)で1時間加圧して漏えいがないことを確認。
- PCVと生体遮蔽のギャップを模擬した試験体のギャップを発泡ウレタンで埋めた後、60kPa(止水材を充填したときの側圧)で加圧し、漏えいがないことを確認。
- スケールアップした試験体を使用した止水試験での止水性能の確認と、発泡ウレタンによる目止めの施工方法の検討が必要。

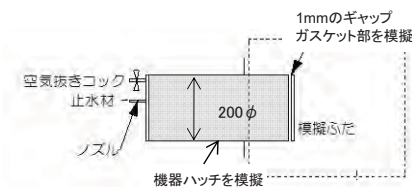


図25-1 止水試験試験体

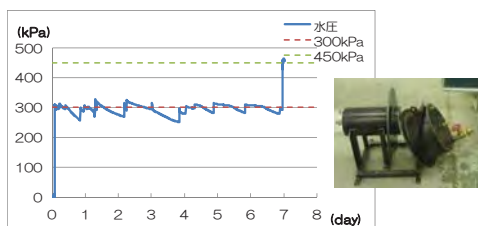


図25-4 加圧試験結果

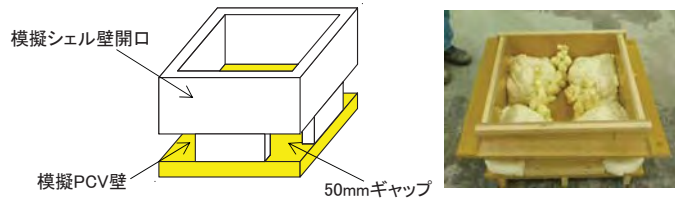


図25-3 漏えい防止効果の確認試験用試験体

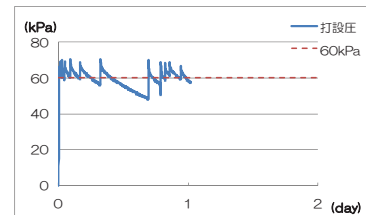
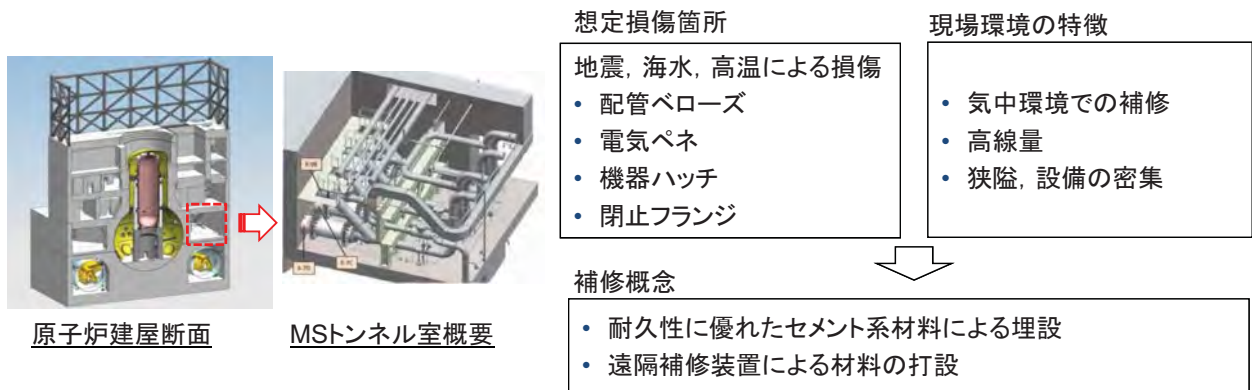


図25-5 加圧試験結果

■実施概要

- 1～3号機原子炉建屋の上部PCV(ドライウェル)を対象に、想定漏えい箇所の補修方法に関する技術開発を実施。
- 線量環境等の現場環境から、補修対象箇所を小部屋内と開放部に大別。それぞれの環境に合わせた補修技術を開発。
- 小部屋内の補修では、セメント系材料による埋設工法を念頭に、施工上必要となる補修装置、及び補修材料の開発を実施。



■工法概念

- 配管ペローズや電気ペネ等の想定漏えい箇所を確実に埋設するため、止水材(セメント系材料)は高い流動性を持つものを開発。
- 埋設する範囲を最小化するため、部分的に堰を構築。
- 堰の構築は、遠隔補修装置の適用や狭隘部での施工環境を考慮し、吹付けモルタルを選定。

■施工計画の検討

- 想定される現場状況に応じて、施工対象の部屋ごとに具体的な施工計画の作成を実施。

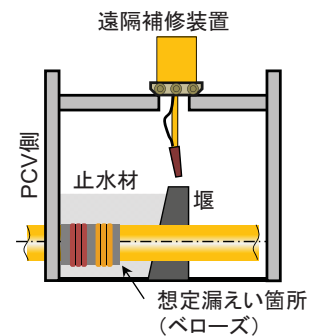


図27-2 小部屋内の補修概念

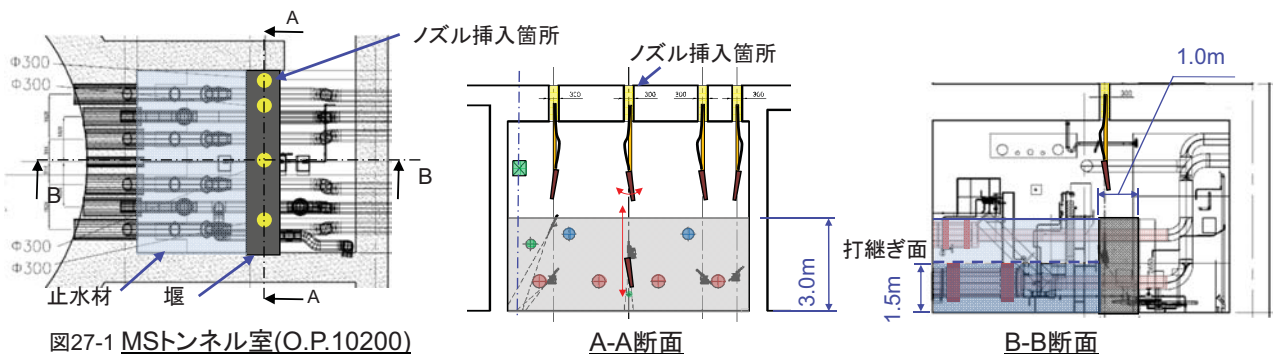


図27-1 MSTトンネル室(O.P.10200)

A-A断面

B-B断面

### 3.2 格納容器補修技術の開発(格納容器上部)

#### ■ 遠隔補修装置の仕様と要素試作

現場環境、及び施工計画に基づき遠隔補修装置の仕様策定と要素試作を実施

##### 1) 環境条件

温度：最高 40°C，最低 0°C

湿度：最大 80%程度

瞬間線量率：3Sv/h（数分間程度の短時間）

集積線量：200Sv(耐放射線性の劣る部品は、定期交換で対応するものとする)

##### 2) 装置構成

止水材を注入するためのノズルを小部屋内に挿入する打設装置(1番機)と、ホースを引き回すホース巻取り装置(2番機)で構成される。

##### 3) 軸構成

下表参照。

表28-1 遠隔補修装置の軸構成

No.	軸	ストローク
1	ノズル昇降	6600mm
2	ノズル回転前後 (1番機の進行方向が前)	前: +75° 後: -60°
3	ノズル回転左右 (1番機の進行方向に対して右側に回転)	0~30°

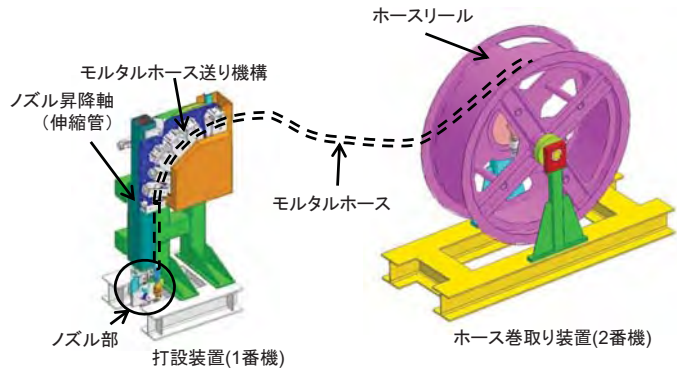


図28-1 遠隔補修装置要素試作品の概要

### 3.2 格納容器補修技術の開発(格納容器上部)

#### ■ 実機適用性試験の概要

下記の検証を目的に、実機環境を模擬した試験設備、及び遠隔補修装置の要素試作品による施工試験を実施。

- 堰施工技術の成立性
- 遠隔補修装置の成立性
- 止水材の耐圧性能

#### ■ 試験条件

- 実機施工規模の模擬
- 施工計画にて設定した堰(h=3.0m, w=1.2m)の構築
- 施工計画から抽出した障害物(MS配管等)と、ノズル昇降軸の配置
- 模擬漏水配管から300kPaの加圧



写真29-1 試験体全景

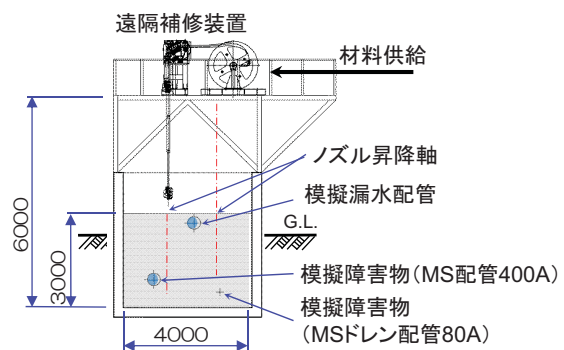


図29-1 試験体断面図

### 3.2 格納容器補修技術の開発(格納容器上部)

#### ■ 試験結果

- 遠隔補修装置により、計画通りの堰を成形、また止水材の打設を完了。
- 止水材打設時に堰からの止水材流出、及び堰の変位や転倒は無く、堰としての機能を果たしていることを確認した。
- 止水材の耐圧性能試験では水圧による止水材の破壊や目視可能な漏えいは無かった。(但し漏水箇所付近のひび割れを通じた止水材内部への浸透が観測された。)

堰施工技術の成立性、遠隔補修装置の成立性、止水材の耐圧性を確認できた

#### ■ 今後の課題

- 実機施工時に、ノズル揺動(ハンドリング)のために必要となる視機能(モニタリング装置, センサー類)の検討が必要。
- 止水材打設時のひび割れ抑制策検討。
- 施工箇所、及び施工箇所上部の現地調査と施工計画への反映。



写真30-1 配管周囲の堰構築

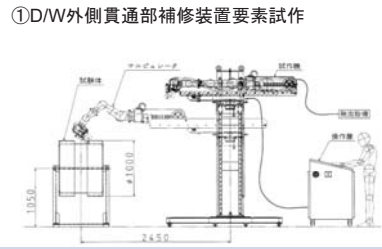
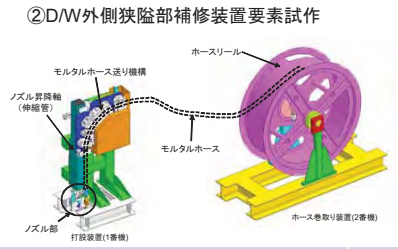


写真30-2 堰一般部の構築

写真30-3 堰の構築完了

写真30-4 止水材の打設

写真30-5 止水材の打設完了

### 4. 年度ごとの実施計画(1)

技術開発項目	H24年度	H25年度	H26年度以降
D/W外側補修装置	D/W外側の損傷の可能性が高い箇所について、補修対象箇所毎に補修装置の基本設計を実施  ①D/W外側貫通部補修装置要素試作 	止水材試験結果を踏まえて設計の見直しを実施 補修装置の要素試作/試験を実施  ②D/W外側狭隘部補修装置要素試作 	原子炉建屋内の状況等を踏まえて、補修工法の検討を継続実施
D/W外側止水材	PCV上部貫通部の局部補修に用いる非セメント系止水材の要素試験を実施 D/W外側狭隘部の貫通部の埋設補修に用いるセメント系止水材の要素試験を実施  非セメント系止水材  セメント系止水材 	・非セメント系材料の止水材の調査と耐水圧試験による止水材の絞り込みを実施。 ・H24年度に検討した工法概念について、実機での施工計画の検討、補修装置の要素試作を経て、工法の成立性を検証する実機適用性試験を実施。	・セメント系止水材の特性把握(ひび割れ管理、温度依存性の確認) ・モニタリング方法の具体化
損傷不明箇所の補修工法検討・装置開発			PCV調査の結果、漏えいが確認された箇所の補修工法検討・装置開発

## 4. 年度ごとの実施計画(2)

技術開発項目	H24年度	H25年度	H26年度以降
①ベント管止水 止水材	1/2スケール試験体での止水試験 	1/2スケール試験体での止水試験(配合・打設位置の最適化)を実施。 1/4スケール試験体での閉止補助材との組合せ試験を実施。 実規模試験体の製作完了。	・1/2スケールによる試験データ拡充 ・実規模試験 ・施工監視技術の開発 ・加振試験、照射試験
②ベント管止水 閉止補助材	1/4スケール試験体での成立性確認試験 	1/2スケール試験体での展開性、モルタル充填による隙間寸法の確認試験を実施。	・1/2スケールによる試験データ拡充 ・副閉止補助材の検討 ・実規模試験 ・施工監視技術の開発
③ベント管止水 補修装置	工法概念・装置概念の検討 	工法検討・装置仕様の検討を実施。	・干渉物撤去の検討 ・補修装置の設計・製作・工場試験・モックアップ
④真空破壊ライン止水		仮止水材(布パッカー)と本止水材(水中不分離モルタル)による止水工法の成立性確認試験を実施。	・仮止水材設置方法の具体的な検討(機械的補助治具の開発検討など) ・モニタリング方法の具体化
⑤トラス室埋設	流動性経時変化、水中不分離性確認試験 	広大な空間に補強材(水中不分離モルタル)を打設した際の品質分布を見極める試験を実施。	・材料供給設備や止水材打設条件などの施工計画の検討 ・モニタリング方法の具体化
⑥クエンチャ止水	小規模試験体による止水試験 	—	・クエンチャ、ストレーナ、ダウンカメラ止水試験 ・加振試験、照射試験。 ・実規模試験(流動性、障害物による影響の確認)

## 5. 今後の課題

## 【格納容器補修(止水)の開発】

## ○共通

- (1) 水張り時の系統バウンダリの構成、循環冷却設備の構成が必要
- (2) 止水作業完了の判定基準制定、作業後の検査方法の検討が必要
- (3) 止水箇所からの漏水に対する対策を予め検討しておくことが必要
- (4) 水張り水位等を含めた補修の全体シナリオをIRID、他PJと連携・協議しながら検討を進めていくことが必要
- (5) 止水箇所の耐震性・長期健全性を他PJと連携しながら検討していくことが必要

## ○格納容器下部

- (1) 閉止補助材、仮止水材(パッカー)について、より高い止水性能を持つ構造の検討が引き続き必要。ベント管止水については、管内の干渉物撤去等の工法の検討が必要。
- (2) フルスケール試験により止水材の適用性を確認していくことが必要。
- (3) 検討した止水工法を実現するための装置化の検討、工場内設備を用いての装置の対象部へのアクセス性等の実機適用性を確認していくことが必要。

## ○格納容器上部

- (1) 非セメント系材料については、空気抜き等の充填性改善、汚れへの対策の検討が必要。
- (2) セメント系材料については、実施工時の視機能、ひびわれ抑制策の検討が必要。
- (3) 工場内設備を用いての各装置の対象部へのアクセス性等、の実機適用性を確認していくことが必要。

## 6. その他の取り組み状況

### 【国内外叡智、人材育成の具体的取組】

国際・連携協力部と連携し、DOE技術の導入に関する委託を契約し、DOEによるコンサルテーション業務を開始できた。

PCV下部調査装置の支援装置には技術カタログに応募のあった海外メーカを採用した。ICONE等での成果報告、福島ワークショップでの発表を行うことにより、参加された研究機関と活発にコミュニケーションを取り、課題について国内外の叡智をより結集することができた。