

# 日本原子力発電敦賀発電所 2号機原子炉格納容器の構造性能確認試験

武田 寿一      山口 恒雄  
中山 達雄

## Structural Integrity Test of PCCV for Tsuruga Unit No. 2 Nuclear Power Station of The Japan Atomic Power Company

Toshikazu Takeda      Tsuneo Yamaguchi  
Tatsuo Nakayama

### Abstract

A prestressed concrete nuclear containment vessel (PCCV) was adopted, for the first time in Japan, for Tsuruga Unit No. 2 Nuclear Power Station of The Japan Atomic Power Company which was completed in May 1986 at Tsuruga, Fukui Prefecture. After about three and a half years from start of construction, a structural integrity test of the PCCV was conducted in February 1986 with measurements of displacement, strain and temperature, and observations of concrete surface under test pressure ( $4.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ).

As a result, pressure-displacement and pressure-strain relationships were evaluated as being almost linear. The measured values of residual displacement at 24 hours after depressurization were less than 10 percent of the displacement at the test pressure. No structural cracks were observed in the concrete surface during the test except surface cracks due to shrinkage. Therefore, the structural integrity against test pressure of the first PCCV in Japan was assured. Also, it was shown by the good agreement of measurements and analyses that the design method was appropriate.

### 概 要

昭和61年5月、福井県敦賀に完成した日本原子力発電敦賀発電所2号機は、我が国で始めてプレストレストコンクリート原子炉格納容器(PCCV)を採用した。工事着工以来、約3年半経た昭和61年2月、試験圧力 ( $4.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ ) のもとで実機の変位、ひずみ、温度の測定およびコンクリート表面の観察を行ない、PCCVの構造性能確認試験を実施した。

その結果、圧力～変位関係、圧力～ひずみ関係はほぼ線形を保持し、減圧完了後さらに24時間経過した時点の残留変位は試験圧力時変位の10%以下であった。また、コンクリートの収縮ひずみなどに起因するものを除き、ひび割れは認められなかった。以上のことから、PCCV構造体は、試験圧力に対し、十分な構造健全性を有することが実証された。また、測定値と解析値の対応から、設計解析手法の妥当性も示された。

### 1. まえがき

我が国で始めてプレストレストコンクリート原子炉格納容器 (PCCV) を採用した日本原子力発電敦賀発電所2号機 (GTN-2) が、1986年5月、福井県敦賀市に完成した。PCCVは、耐圧性、耐漏洩性、耐震性に加え、遮へい機能を要求される重要な構造物であり、高度の安全性を確保しなければならない。このため、我が国へのPCCVの導入にあたっては、これまでに各種確認試験を

実施し<sup>1)</sup>、PCCVの構造性能の把握や設計の信頼性の確認を行ってきた。加えて、今回、実機PCCVの試験圧力のもとで変位、ひずみ、温度の測定およびコンクリート表面の観察を行ない、PCCVの構造健全性の確認を目的とする構造性能確認試験 (SIT) を実施した。

この報告は、耐圧試験 (機器系) および全体漏洩率試験 (ILRT) など各種試験と同一の加圧・減圧工程のなかで実施したPCCVのSITについて述べたものである。試験は1986年2月16日から25日までの10日間にわた

って行なわれた。

## 2. 原子炉格納容器の概要

GTN-2のPCCVはプレストレストコンクリートの半球ドーム(内径43.0m, 壁厚1.1m)と円筒シェル(内径43.0m, 高さ43.0m, 壁厚1.3m)および鉄筋コンクリートの基礎版(厚さ8.0m)から構成された構造体で, その内表面は鋼製ライナで内張りされている。基礎版には逆U tendon 定着用の tendon ギャラリーが, 円筒シェルと半球ドームにはフープ tendon 定着用の三つのバットレスが, それぞれ設けられている。PCCVの形状寸法概要を図-1に示す。

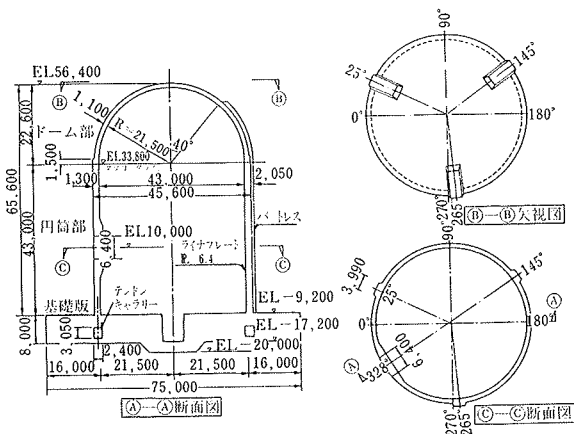


図-1 PCCVの形状寸法概要

## 3. 試験方法

### 3.1. 加圧方法

この試験は, 図-2に示す加圧・減圧工程に従って, 各種試験と同時に実施した。加圧速度は毎時0.1 kg/cm<sup>2</sup>Gで, おおよそ3日後に試験圧力4.5 kg/cm<sup>2</sup>G(設計圧力の1.125倍)に達した。加圧開始から試験圧力到達までの間(加圧時)はエアクーラーを通して加圧した。減圧速度は毎時0.2 kg/cm<sup>2</sup>Gである。

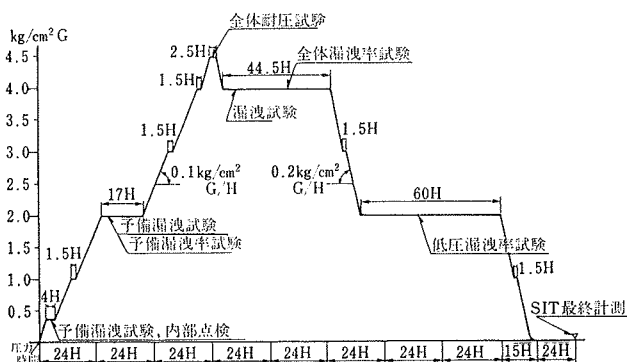


図-2 耐圧, 漏洩, 漏洩率試験の加圧・減圧工程

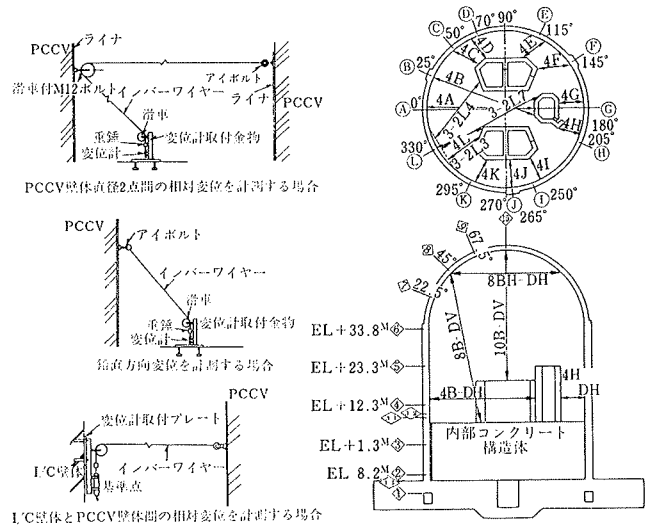


図-3 変位計測システム

図-4 インバーワイヤー配置例

### 3.2. 計測方法

この試験では, 変位, ひずみ, tendon 張力, 温度の計測とコンクリート表面の観察を行なった。

変位は, 測定区間に張られたインバーワイヤー先端に重錘を設置し, 一定張力を与えた状態で重錘の上下方向移動量を電気式変位計で求めたものである。変位計測システムの一例を図-3に示す。ひずみの測定は, 一つの測定位置で, 内側と外側の縦方向および横方向の4箇所で行なった。測定値は自由膨張ひずみを取り除いた応力ひずみである。Tendon 張力は両端に取付けたロードセルにより測定した。PCCV 断面内の温度は熱伝対によって求めた。PCCV 内部の雰囲気温度は ILRT で求めた多数の測定データを用いた。

### 3.3. 温度条件

図-5に, PCCV 内部の雰囲気温度および PCCV 全体断面内の全平均温度の経時変化を示す。両者とも, 加圧時ではほぼ一定の温度を保つが, 減圧時には温度が低下した。

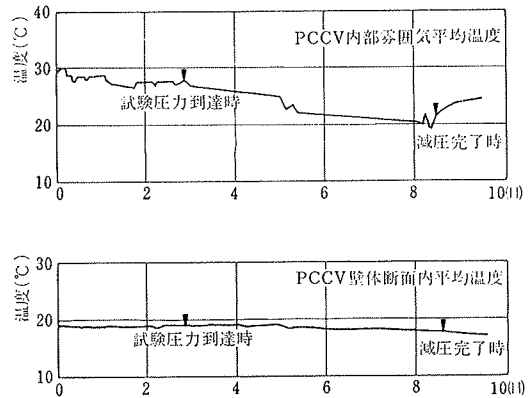
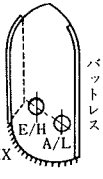
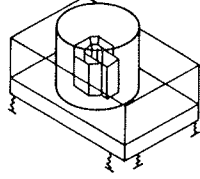
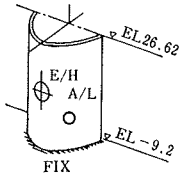


図-5 平均温度～時間関係

解析モデル名	180°モデル	360°モデル	E/Hモデル
対象部位	PCCVドーム部 およびシリンダー一般部	PCCV脚部 および基礎版	機器搬入口 およびエアロック回り
モデル化	 バットレス, E/H, A/L回りモデル化	 PCCVは円筒一般部のみモデル化	 E/H, A/L回りモデル化
材料定数	$E_c = 3.04 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ (設計値) $\nu = 0.17$ ただし, B/Mについては $E_c = 2.30 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$		
解析条件	内圧は分布荷重 脚部の境界条件は固定 両側面は対称拘束条件	内圧は分布荷重 円筒上部の境界は180°モデルによる応力結果から境界荷重として入力	内圧は分布荷重 脚部の境界条件は固定 両側面は対称拘束条件 円筒上部は360°モデルによる応力結果から境界荷重として入力

表一 解析モデルの概要

#### 4. 解析

##### 4.1. 設計解析手法の概要

PCCVの設計解析は、鉄筋、テンドン、ライナなどの鋼材およびテンドンダクトの影響を無視し、コンクリート全断面有効と仮定した3次元FEM弾性解析(BSAP, 米国Bectel社で実施)によった。表一に、各部位の設計解析に対応した解析モデルの概要を示す。“360°モデル”の解析結果は、基礎版の変形が変位測定値に及ぼす影響の検討に用いた。

##### 4.2. 設計予測値の修正

鉄筋、テンドン、ライナの剛性寄与およびテンドンダクトによる断面欠損を考慮した等価ヤング係数を用い、設計予測値を修正した。等価ヤング係数( $E_e$ )は下式で評価した。

$$\frac{E_e}{E_D} = \beta \{1 + (n-1)P\} \frac{E_c}{E_D} = 1.3$$

ここで、

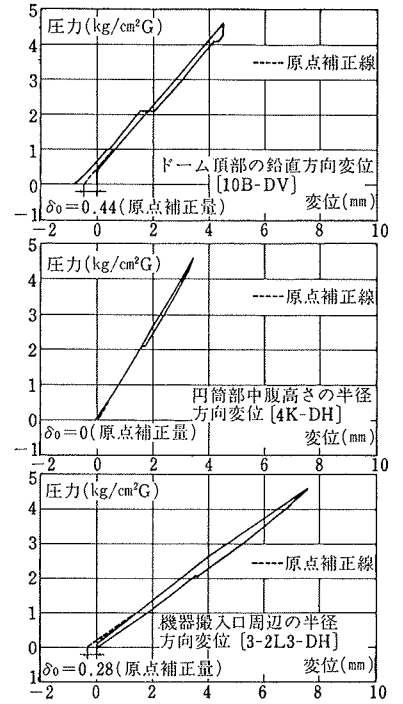
$E_D$ : コンクリートヤング係数設計値 ( $3.04 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )

$\beta$ : テンドンダクトの存在による剛性低下率 (0.9)

$n$ : コンクリートヤング係数材料試験値 ( $E_c = 3.95 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ) に対する鋼材のヤング係数 ( $2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ) の比 (5.1)

$P$ : 鉄筋、テンドン、ライナ断面積のコンクリート全断面積に対する比 (2.60%)

従って、変位およびひずみとも、設計予測値の1/1.3倍を解析値とした。また、各点の鉛直方向変位解析値は、



図一六 内圧～変位関係 (温度補正前)

PCCV脚部固定として求めた解析値に、“360°モデル”で得られる基礎版の鉛直方向変位成分(内部コンクリート位置のPCCV脚部に対する相対変位)として試験圧力時で0.6mmを加算した。

#### 5. 試験結果

##### 5.1. 変位

図一六に、内圧～変位関係の代表例を示す。変位は、変位計出力を鉛直または半径方向成分に変換したもので、温度補正を行っていない。

図に示すように、内圧～変位関係の加圧時の性状は弾性的挙動を示した。しかし、詳細にみると、加圧の初期段階での変位曲線の立ち上り現象および内圧が  $2 \text{ kg/cm}^2\text{G}$  を超える付近から僅かな非線形性が認められる。これらは、変位計測システムのなじみの問題、PCCV構造体とインバーワイヤーの熱変形および基準点を設けた内部コンクリート構造体(不動点)の熱変形などに影響されたと考える。

また、減圧時で圧力一定保持のとき、変位の戻り現象を示すものがあつた。これは温度変化の影響と考えられる。ドーム頂部の鉛直方向変位測定位置を対象に試算すると、PCCV内部の雰囲気温度  $1^\circ\text{C}$  の下降に対してインバーワイヤー ( $l=40 \text{ m}$ ) は  $0.03 \text{ mm}$  の収縮(従って、変位計の出力は増加)が生じ、PCCV壁体断面内温度  $1^\circ\text{C}$  の下降に対して構造体の熱変形はドーム頂部 ( $L=65 \text{ m}$ ) の変位で  $0.65 \text{ mm}$  程度の減少が生ずる。ちなみに、圧力  $4 \text{ kg/cm}^2\text{G}$  を保持している間の温度変化は、PCCV内部の雰囲気温度で  $1.75^\circ\text{C}$  の低下(PCCV壁体断面内全

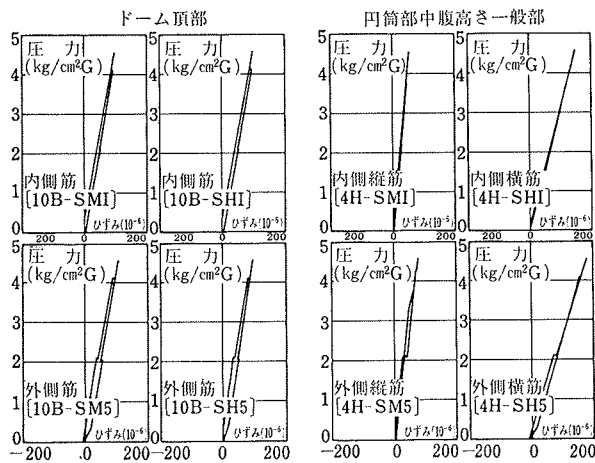


図-7 圧力～ひずみ関係

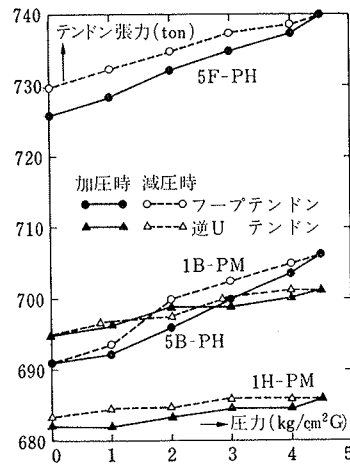


図-8 圧力～テンドン張力関係

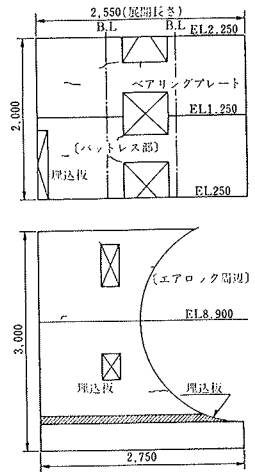


図-9 コンクリート表面の観察結果

平均温度で0.3℃の低下), 同様に圧力 2 kg/cm<sup>2</sup>G 保持のとき1.45℃の低下 (同0.8℃の低下) であった。圧力 4 kg/cm<sup>2</sup>G のときで 0.15 mm の, 圧力が 2 kg/cm<sup>2</sup>G のときで 0.48 mm の変位の戻りが現われることになる。一方, 変位の測定では, それぞれ 0.21 mm, 0.47 mm の変位の戻りがあった。温度変化の変位に及ぼす影響の大きいことが分かる。

### 5.2. ひずみ

図-7に, ドーム頂部(◇断面)および円筒部中腹高さ一般部(◇断面)位置の縦筋と横筋について, 内圧～ひずみ関係を内側と外側別に示した。PCCV 構造体の弾性挙動が, ひずみの測定結果からも認められる。

しかし, 変位の場合と同様に, 減圧時で圧力一定保持のとき, ひずみの変動が生じた。ドーム頂部を対象にすると, 圧力 4 kg/cm<sup>2</sup>G を保持している間のひずみの変動量は内側筋で  $5 \times 10^{-6}$  の増加 (外側筋で  $6 \times 10^{-6}$  の減少), 同様に, 圧力 2 kg/cm<sup>2</sup>G 保持のときで  $3 \times 10^{-6}$  の増加 (同  $5 \times 10^{-6}$  の減少) であった。このとき, ドーム頂部の内外表面の等価温度差  $\Delta T_e$  (非線形温度分布を線形に近似した温度分布の内外表面温度差)は, 圧力 4 kg/cm<sup>2</sup>G 保持のときで +1.74℃ (内表面温度<外表面温度), 内圧 2 kg/cm<sup>2</sup>G 保持のときで +0.87℃であった。断面内等価温度勾配によって熱応力ひずみを推定すると, 温度変化に伴うひずみ変動量は, 圧力 4 kg/cm<sup>2</sup>G 保持のとき内側筋で  $4 \times 10^{-6}$  の増加 (外側筋で  $7 \times 10^{-6}$  の減少), 同様に圧力 2 kg/cm<sup>2</sup>G 保持のとき  $2 \times 10^{-6}$  の増加 (同  $3 \times 10^{-6}$  の減少) となる。以上のことから, 減圧時の圧力一定保持のとき観られたひずみの変動は, 熱応力に起因するものとする。

### 5.3. テンドン張力

図-8に, 圧力～テンドン張力関係を示す。図に示すように, 圧力と張力の関係はほぼ線形を保持した。試験

圧力時の張力変動量は, フープテンドンで 13.9 t および 15.2 t, 逆Uテンドンで 3.8 t および 6.3 t を示し, テンドン両端で必ずしも一致しない。この値は加圧開始直前のテンドン張力に対して極めて小さい。測定値は, 構造体の変形量とテンドンの伸びが対応するものとして求めた計算値 (フープテンドンで 20.4 t, 逆Uテンドンで 13.2 t) に比べて小さい。これは, テンドンの摩擦による張力分布の問題やロードセルの精度 (容量 1,000 t に対して変動量が小さい) に原因があると考える。

### 5.4. コンクリート表面の観察

図-9に, コンクリート表面の観察結果の一例を示す。図は幅 0.2 mm 以上のひび割れを記録した。

図に示すように, 観察されたひび割れは, 長さ, 幅ともに非常に限定されたものである。それらは, コンクリートの収縮ひずみなどであらかじめ生じていたひび割れが加圧時に幅を広げたものである。他の観察領域でもほぼ同程度もしくはそれ以下であり, 構造的なひび割れは観察されない。加圧開始から試験圧力到達時の間のひび割れ幅の変動量は, 埋込金物周辺の局部的なものを含めても, 約 0.2 mm 以下であった。

## 6. 考察

### 6.1. 変位

6.1.1. 測定値の補正 試験時に PCCV 内部の雰囲気温度および PCCV 壁体断面内の温度が変化した。そのため, インバーワイヤーおよび PCCV 構造体の熱変形が変位計の出力 ( $\delta_{test}$ ) に含まれることになる。これらは, 内圧に直接対応しない性質のものなので, 変位の測定値から取り除くことにした。インバーワイヤーの熱変形 ( $\delta_{WT}$ ) および PCCV 構造体の熱変形 ( $\delta_{ST}$ ) を下式で評価した。

$$\delta_{WT} = \alpha_S \cdot \Delta T_E \cdot l$$

$$\delta_{ST} = \alpha_s \cdot \Delta T_s \cdot L$$

ここで、

$\alpha_s, \alpha_c$ : それぞれ、インバーワイヤーおよびコンクリートの線膨張係数 (0.67,  $1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ )

$\Delta T_B, \Delta T_s$ : それぞれ、PCCV 内部の雰囲気温度、および PCCV 壁体断面内平均温度の加圧開始直前に対する変化量

$l, L$ : それぞれ、インバーワイヤーの長さ、および PCCV 構造体の曲率半径または基礎版上面からの高さに相当する値

このようにして得られる熱変形、および原点移動量を考慮し、変位測定値の補正を下式によって行なった。

$$\delta_v(\delta_r) = \frac{1}{\cos \theta} (\delta_{test} + \delta_{WT}) + \delta_0 + \delta_{ST}$$

ここで、

$\delta_v$ : 温度および原点補正後の鉛直方向変位

$\delta_r$ : 温度および原点補正後の半径方向変位

$\delta_0$ : 原点移動量 (図-6 参照)

$\theta$ : 計測点と基準点を結ぶインバーワイヤーの考えている方向軸となす角度

試験圧力到達時の変位測定値(温度および原点補正後)に占める構造体の熱変形の割合は、[10B-DV] で 2.6%、[4K-DH] で 0.6%、[3-2L3-DH] で 0.3% である。加圧時の温度変化の影響は無視できる程度である。

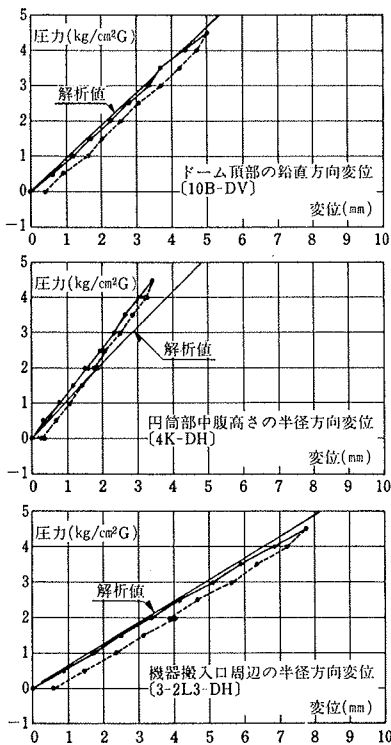


図-10 内圧～変位関係

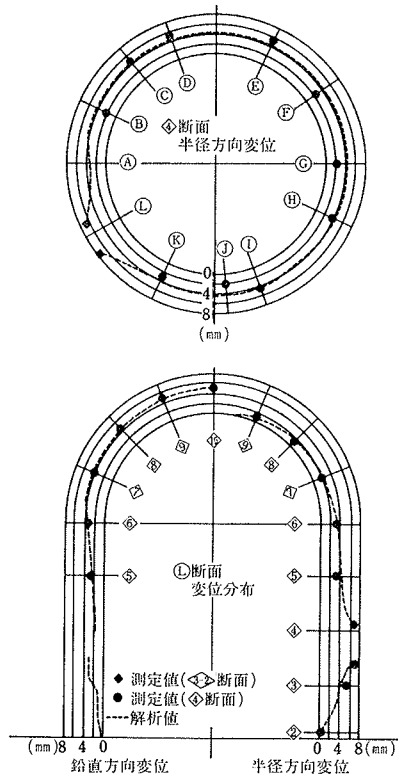


図-11 試験圧力時変位分布

### 6.1.2. 温度および原点補正後の変位と内圧との関係

熱変形および原点移動量を考慮した変位測定値と内圧との関係の代表例を図-10に示す。●印で示した測定値のうち、実線が加圧時を、破線が減圧時を表わす。また、解析値を実線のみで示した。図に示すように、内圧～変位関係はほぼ弾性挙動を示し、解析値と良く一致した。

6.1.3. 試験圧力時の変位分布 図-11は、機器搬入口を含む鉛直断面(①断面)および一般部水平断面(④断面)について試験圧力時変位分布を示したものである。④断面の変位分布図で②, ③, ④(バットレス部)を除けば、いずれも測定値と解析値とは比較的良く一致した。

6.1.4. 測定値と解析値との比較 表-2に、試験圧力到達時の変位の測定値と解析値との比較を示した。解析値に対する測定値の比は、[10B-DV] で 1.04, [4K-DH] で 0.79, [3-2L3-DH] で 1.05 であった。

6.1.5. 残留変位 減圧完了後さらに24時間経過した時点の残留変位測定値の試験圧力到達時の変位に対する比は、[10B-DV] で 9%, [4K-DH] で 10%, [3-2L3-DH] で 8% であり、おおよそ 90% 以上の変位の回復が認められた。

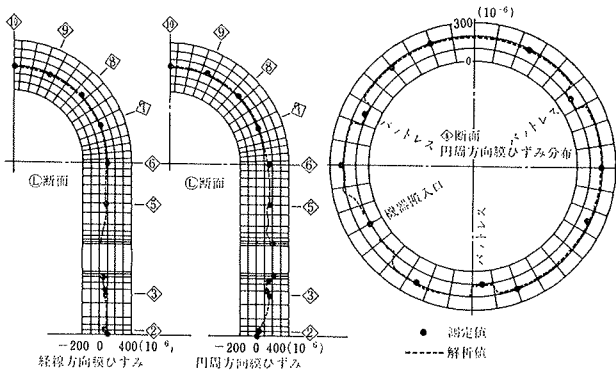
### 6.2. ひずみ

6.2.1. 試験圧力時膜ひずみ分布 内側鉄筋と外側鉄筋のひずみから、壁厚中心位置の膜ひずみを求めた。図-12に、①断面および④断面における膜ひずみ分布を

断面位置名称	計測点識別記号	変位方向成分	* 測定値 (mm)	解析値(mm)			測定値/解析値	
				①断面	②断面	③断面	①	②
④	10B-DV	鉛直	5.00	4.83	4.83	1.04	1.04	
			①	②	③	②	③	
④	9L-DV	鉛直	5.45	4.68	4.68	1.16	1.16	
			①	②	③	②	③	
④	9FL-DH	半径	1.05	0.89	0.89	1.18	1.18	
			①	②	③	②	③	
④	8B, 8H, 8L-DV	鉛直	4.81	4.59	4.59	1.05	1.05	
			①	②	③	②	③	
④	8BH, 8FL-DH	半径	1.27	1.46	1.46	0.87	0.87	
			①	②	③	②	③	
④	7L-DV	鉛直	3.92	3.94	3.94	0.99	0.99	
			①	②	③	②	③	
④	7FL-DH	半径	2.03	1.97	1.97	1.03	1.03	
			①	②	③	②	③	
④	6B, 6H, 6L-DV	鉛直	3.56	3.36	3.36	1.06	1.06	
			①	②	③	②	③	
④	6BH, 6FL-DH	半径	3.29	3.22	3.22	1.02	1.02	
			①	②	③	②	③	
④	5B, 5L-DV	鉛直	2.59	2.68	2.68	0.97	0.97	
			①	②	③	②	③	
④	5BH, 5FL-DH	半径	3.25	4.36	4.36	0.75	0.75	
			①	②	③	②	③	
④	4B-4K-DH	半径	3.73		4.43		0.84	
			①	②	③	②	③	
④	4L-DH	半径	6.83	7.39		0.92		
			①	②	③	②	③	
④	3-2L3-DH	半径	7.78	7.39		1.05		
			①	②	③	②	③	
④	3-2L10-DH	半径	7.75	7.39		1.05		
			①	②	③	②	③	
④	3B, 3H-DH	半径	3.89		4.36		0.89	
			①	②	③	②	③	
④	3L-DH	半径	5.71	4.90		1.17		
			①	②	③	②	③	
④	2H, 2L-DH	半径	0.49	0.42	0.42	1.17	1.17	
			①	②	③	②	③	

\* 測定値は計算点識別記号の棟に載せた計測点の平均値

表-2 試験圧力時の変位測定値と解析値との比較



図一12 膜ひずみ分布

示す。図中、解析値を破線で示した。一般部のみならず機器搬入口周辺およびバットレス部についても、測定値と解析値とは良く一致した。

6.2.2. ひずみ測定値と変位測定値との整合性 ひずみ測定値と変位測定値との整合性を検討した。表一3に、ひずみ測定値から算定した一般部の半径方向変位および鉛直方向変位と変位測定値との比較をした。表に示したひずみ測定値は、壁厚が変化する領域のバットレス部(Ⓔ断面)および機器搬入口周辺(Ⓘ断面)を除いた対称性のある位置での相加平均値である。それぞれ、円筒方向膜ひずみ  $\varepsilon_{m\theta}$ 、経線方向膜ひずみ  $\varepsilon_{m\phi}$  として表わした。これらの膜ひずみから、鉛直方向変位  $\delta_v$ 、半径方向変位  $\delta_r$  を下式で求めた。

$$\delta_v = L \cdot \varepsilon_{m\phi} + \delta_F$$

$$\delta_r = r \cdot \varepsilon_{m\theta}$$

ここで、

$\delta_F$ : 基礎版の鉛直方向変形成分(解析値)

r: 壁心位置の曲率半径

L: 基礎版上面から対象位置までの高さ

表に示すように、ひずみ測定値から求めた変位は、変位測定値の0.88~1.40(全平均で1.04)となった。両者

の整合性が認められる。

## 7. まとめ

プレストレストコンクリート格納容器の構造性能確認試験の結果、以下のことが明らかになった。

(1) PCCV 構造体の内圧~変位関係および内圧~ひずみ関係は、ほぼ線形を保持した。

(2) 試験圧力(4.5 kg/cm<sup>2</sup>G)時の変位測定値は、解析値と定量的に良く一致した。熱変形を考慮すると、ドーム頂部の鉛直方向変位(5.0 mm)、円筒部中腹高さの半径方向変位(4.26 mm)および機器搬入口周辺の半径方向変位(7.77 mm)は、解析値に対してそれぞれ1.04, 0.96, 1.05であった。

(3) 試験圧力時の膜ひずみは解析値と良く一致した。ひずみ測定値と変位測定値の対応は良い。

(4) 残留変位は全体的にかなり小さく、弾性的挙動を裏付けるものであった。

(5) テンドン張力変動量測定値は、フープテンドンおよび逆Uテンドンとも、構造体の変形量から単純に求めた計算値に比べ小さい。

(6) コンクリート表面の観察の結果、コンクリートの収縮ひずみなどに起因するものを除き、新たに生じたひび割れは認められない。

以上の結果から、PCCV 構造体は試験圧力(4.5 kg/cm<sup>2</sup>G)時において構造健全性を確保していると判断した。また、変位およびひずみ測定値が解析値(実際の剛性で設計予測値を補正)と一致することは、設計解析手法の妥当性を示している。なお、今回採用した計測方法(変位、ひずみ、温度)は良好であった。特に、大型構造物で変位を計測する場合、温度変化を受けるときでも、インバーワイヤー方式が有効であった。

## 謝 辞

実機 PCCV の計測という貴重な体験の機会を提供して戴きました日本原子力発電(株)、試験時に多くの便宜を図って下さいました三菱重工業(株)および原電敦賀建築共同企業体の関係各位に、心から感謝を申し上げます。また、計画からまとめに至る随所で多くのご協力を戴いた本社 原子力本部、建築本部 設計第四部の各位にお礼を申し上げます。

## 参考文献

小垣善一, 加藤宗明, 武田寿一: プレストレストコンクリート格納容器の1/8模型及び1/30模型による構造耐力実験, プレストレストコンクリート, Vol. 23, No. 1, (Jan. Feb. 1981), pp. 79~115

断面位置名	鉛直方向変位			半径方向変位			対象とする変位
	ひずみ測定値 <sup>1)</sup> ①/②	変位測定値 <sup>2)</sup> ③	②/③	ひずみ測定値 <sup>1)</sup> ④/⑤	変位測定値 <sup>2)</sup> ⑥	⑤/⑥	
Ⓘ	100	5.62 <sup>±2</sup>	5.00	1.12			10B DV
Ⓛ	83	5.46 <sup>±3</sup>	5.45	1.00	122	1.03	9L DV 9FL DH
Ⓚ	110	4.99 <sup>±3</sup>	4.81	1.04	111	1.73	8B, 8H, 8L DV 8BH, 8FL, 8L DH
Ⓜ	92	4.30 <sup>±3</sup>	3.92	1.10	101	2.06	7L DV 7FL DH
Ⓝ	99	3.48 <sup>±2</sup>	3.56	0.98	137	3.03	6B, 6H, 6L DV 6BH, 6FL, 6L DH
Ⓞ	78	2.78 <sup>±2</sup>	2.59	1.07	175	3.88	5B, 5L DV 5BH, 5FL, 5L DH
Ⓟ	63				194	4.30	4B~4K DH
Ⓠ	70				164	3.63	3B, 3H DH
Ⓡ	55				19	0.42	2H, 2L DH

注) \*1. ひずみ測定値は壁厚が変化する領域を除いた値の相加平均値  
\*2. ②~⑤までの平均ひずみ( $\varepsilon_{\phi} = 67 \times 10^{-6}$ )による $\delta_v$ の値に $\delta_F (= 0.6 \text{ mm})$ を加算  
\*3. ④~⑥の平均ひずみ( $\varepsilon_{\theta} = 97 \times 10^{-6}$ )より、r・ $\varepsilon_{\theta}$ で半径方向変位を求め、その鉛直方向成分と⑤の $\delta_v$ を加算

表一3 ひずみと変位の整合性(試験圧力時)