

PCRVに関する開発研究 (その1) — 光弾性実験およびプラスチック模型実験 —

東京電力株式会社

神谷 美郎

鹿島建設技術研究所

正員 野尻 陽一

同

正員 夏目 忠彦

同

〇正員 赤井 哲次郎

I. まえがき

プレスレストコンクリート原子炉压力容器(PCRV)は欧米に於ては原子力発電プラントに数多く導入されており、わが国においても近い将来この技術を実際に利用することが予想される。

本研究はこのような勢に備えPCRVの確立を促すための資料を得るために行なつたもので、次のような目的を持つものである。

すなわち、PCRVの設計に於て必要不可欠である三次元応力解析法の確立とその適用性の検討、およびその実験段階が必要とされている模型実験のための手法、いわゆるモデルテックの開発である。

以上の目的に対し、光弾性実験、プラスチック模型実験、コンクリート模型実験および有限要素法による応力解析等の一連の研究を行なった。ここに述べる研究は、そのうち光弾性実験およびプラスチック模型実験によるものであり、コンクリート模型による破壊実験、温度応力実験についてはPCRVに関する開発研究(その2)において述べる。

II. 光弾性実験

1. 試験体

試験体の形状は压力容器の基本となる形として、厚肉円筒形を取り上げ、その寸法は実験の精度と難易度とを考慮し決定した。

試験体はアラルダイトAとハードナーHT401とを重量比100:25の割合で120℃で混合したものを円柱形鋳型に鋳型し、約2週間にわたって加熱硬化せしめたものを所定の寸法に機械加工して仕上げたものである。試験体は2体製作した。このうち1体は内圧による応力測定用

(M-1)とし、他の1体はプレスレストを与えたときの応力測定用(M-2)に用いた。図-1にM-2試験体の形状および寸法を示す。M-1試験体はM-2試験体と同じ形状、寸法であるがプレスレスト導入のための孔を設けていない。

2. 負荷方法

本実験では三次元光弾性実験を行なうために応力凍結法を使用した。この応力凍結には試験体の大

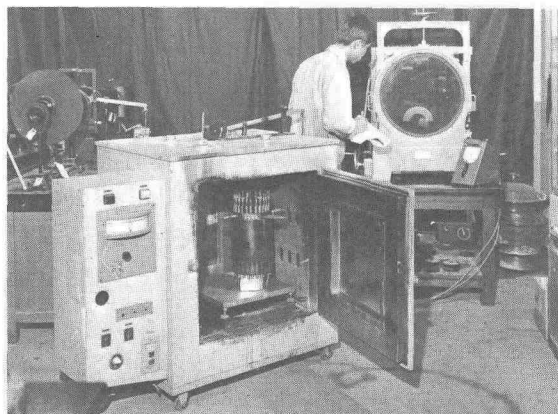


写真-1 光弾性実験状況

きと考慮し、温度 $10\pm 5^{\circ}\text{C}$ で負荷後約10時間一定に保ち、温度降下は $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ で常温まで徐冷した後、負荷を徐減し約150時間で凍結を完了させた。なお内圧の負荷には空気をしゅう、プレストレスの負荷にはスプリングと利用した治具を用いた。各荷重の大きさは弾性範囲をこえず所要の繰り数を取得しようとした。プレストレスの大きさは内圧実験から得られた結果と有限要素法によるプレストレスの解析結果をもとにし、フルプレストレスとなるように決定した。表-1に各荷重の大きさを示す。

3. 応力解析法

三次元光弾性実験ではよく知られているように、求め得る情報は二次主応力差を示す等色線と二次主応力の傾角を示す等傾角線の二つである。各スライスからの二つの情報と試験体材料の光弾性感度より境界応力分布、内部応力分布は得られたが、内部応力については内部応力を求めたい断面の応力状態に依りせん断応力差積分法、極座標による積分法、主応力線による積分法等の解析法を用いて解析した。

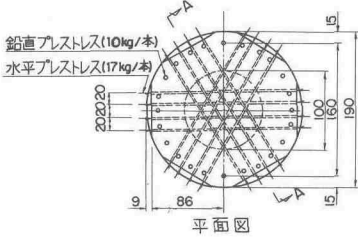


図-1 光弾性模型(M-2)の構造図

表-1 荷重条件

荷重 試験体	内 圧	水平プレストレス	鉛直プレストレス	円周プレストレス
M-1	2 kg/cm^2	—	—	—
M-2	—	17 kg/本	10 kg/本	20 kg/本

Ⅳ. プラスチック模型実験

1. 試験体

試験体の形状は光弾性実験に使用した試験体の形状と同様厚肉円筒を取り上げ、その寸法は実験の精度と試験体の製作および負荷装置の容量等を考慮して決定した。なお下部スラブは試験体の製作上および試験体内表面の計器取り付け作業上の都合により厚さ 40 mm の鋼板を使用した。

この試験体はアラルダイトCY230とハードナー951との重量比100:10の割合で混合したものを用いた型わくに層厚 1.5 cm ずつ注入し、試験体を44層に分割し注入し20日間にはわたって製作した。図-2に試験体の構造を示す。

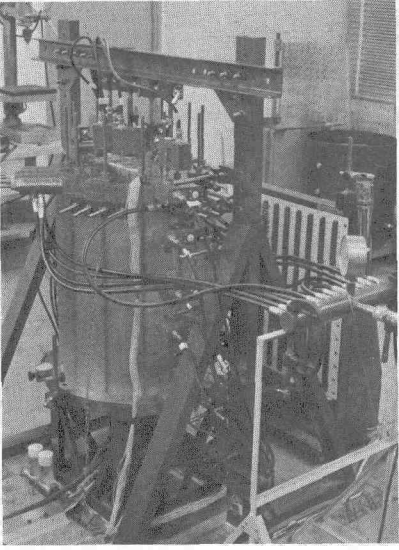


写真-2 プラスチック模型実験状況

2. 負荷方法

この実験では一つの試験体で何度も実験が行なえるため、各プレストレスの応力分布も別々に求めることが出来る。鉛直方向および水平方向プレストレッシング力は12連のセンターボールジャッキを用い模型内部を貫通したPC鋼棒を用いて加えた。円周方向プレストレッシング力はアーバック

と称する装置を用い、模型外周に面圧として加えた。この装置は模型外周を鋼製円筒で作り、この円筒と模型外周との間に設けたゴム膜を空圧で膨張させることにより、模型外周に面圧を作用させることが出来るようにしたものである。内圧は空圧により加えた。

3. 計測方法

この実験で使用した各種ワイヤストレテンゲージおよび変換器は表-2に示すとおりである。これらの計器は全てデジタル自動ひずみ測定装置により測定した。

表-2 使用計器一覧表

種別	使用目的	使用計器	数量
ひずみ計	模型表面のひずみ測定	抵抗線ひずみ計(箔ゲージ)	109
	模型内部のひずみ測定	特殊埋込み型抵抗線の計	62
変位計	模型の変位の測定	ひずみ出力型変位計	15
		デジタルゲージ	15
張力計	鋼棒張力測定	抵抗線ひずみ計利用	24
圧力変換器	気圧、油圧の測定	シ	2

$\Sigma = 227$

Ⅳ 理論解析

ここに実施した応力解析は有限要素法によるものであり、解析モデルと軸対称平面ひずみ問題として取扱った弾性応力解析である。解析にあたっては対称性を考え、模型の1/2部分を取り出して解析した。プラスチック模型の場合のモデル化を図-2に示す。

Ⅴ 実験結果と解析結果との比較

今回の模型は軸対称応力状態であるため、図-2に示す断面の応力分布により全体の応力分布を示すことが出来る。図-4に内圧による主応力線図を示す。これは光弾性実験の等傾線より描いた図である。図-5～6は光弾性実験結果と解析結果とを比較した一例である。図-7～9はプラスチック模型実験結果と解析結果とを比較した一例である。

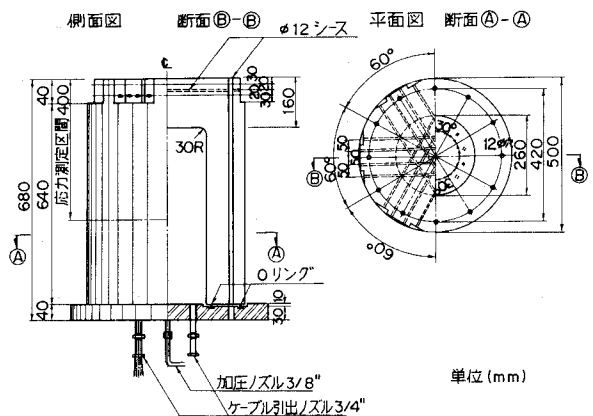


図-2 プラスチック模型の構造図

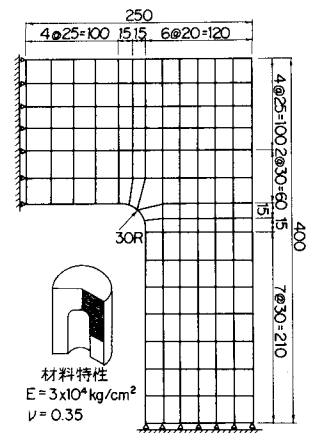


図-3 プラスチック模型のモデル化

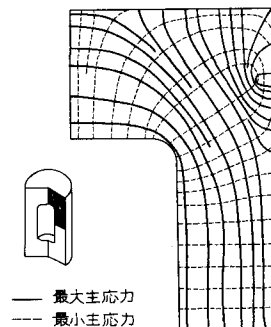


図-4 主応力線図(内圧)

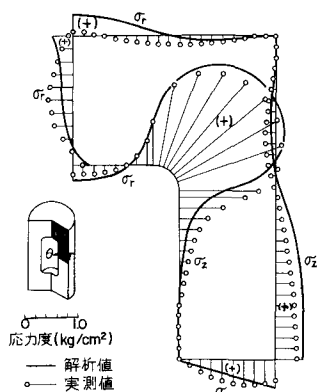


図-5 材軸方向応力分布 (内圧1kg/cm²)

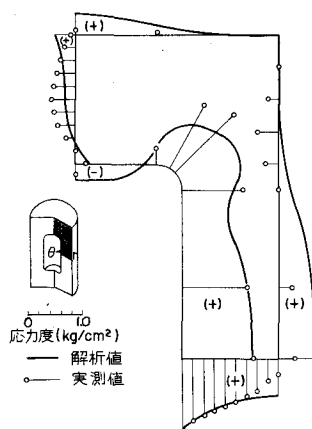


図-6 円周方向応力分布 (内圧1kg/cm²)

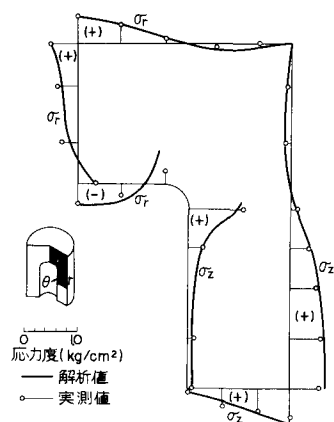


図-7 材軸方向応力分布 (内圧1kg/cm²)

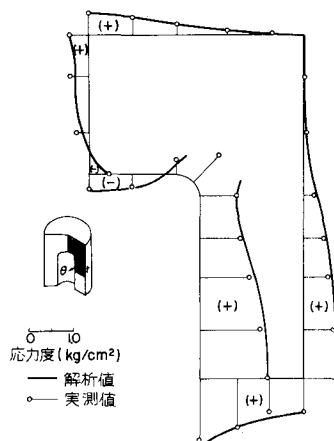


図-8 円周方向応力分布 (内圧1kg/cm²)

Ⅶ. おそび

以上の研究により次の事項が言えると考えられる。

- α) 光弾性実験により、全体の応力の流れや応力集中等について定性的な把握ができた。
- β) プラスチック模型実験結果と解析値とは非常によく対応している。したがって、この実験の精度からみれば、この解析が有効であると考えられる。

なお、この研究は東京電力(株)、鹿島建設(株)が共同して行なったものである。

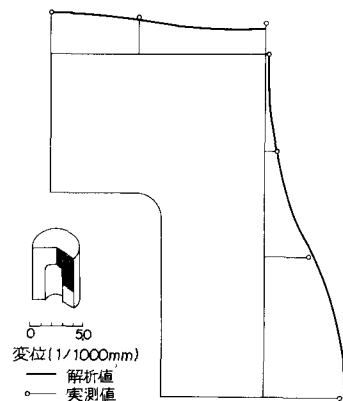


図-9 変位分布 (内圧1kg/cm²)