

電源開発(株) 正会員 和田滋郎 田中堅太郎 黒田孝 大面外明 村上元
清水建設(株) 正会員 久富 洋 磯畑 修 田中伸幸

1. 弾性解析

模型体がプレストレスを受けた状態および設計圧時の状態(設計圧 4.3 kg/cm^2 , およびプレストレス)における変形, ひずみを調べるため, 有限要素法による弾性解析を行った。模型体は軸対称回転体として扱い, 若干の非軸対称部分に対しては解析上の配慮および別途行った予備実験によりその影響の処理, 補正を行った。

解析は3角形リング要素で6節点で構成される変位ひずみ要素を用いるもの(解析A₁)と同じく3節点構成の変位ひずみ要素を用いるもの(解析A₂)の2ケースについて行なった。解析A₁では要素数298, 節点数659, 解析A₂では要素数909, 節点数527である。また, 連立方程式の解法はA₁が Conjugate Gradient 法, A₂が繰返し法の Block Successive Over-Relaxation 法である。また要素の体積積分はA₁では解析的手法, A₂ではガウス積分によっている。

各部分の解析条件は, 次のとおりである。

1) トップスラブ; 模型体のトップスラブにはスタンドパイプも模擬した直径 76.3 mm , 肉厚 4.2 mm の鋼製パイプ100本の開孔部がある。このスラブも軸対称回転体として解析するため, Z軸方向に異方性を有する直交異方性体も考えた。この仮定の下で2次元有限要素解析を行い, 次のヤング率およびポアソン比を得た。

$$Z \text{ 方向}; E_1 = 0.707 E_c, \quad \nu_1 = 1.329 \nu_c$$

$$r\theta \text{ 方向}; E_2 = 0.655 E_c, \quad \nu_2 = \nu_c$$

(E_c, ν_c はそれぞれ一般部コンクリートの値)

2) ライナー; ライナーの剛性効果は, PCPV の設計上は考慮しないのが通常であるが, 縮み模型の場合はライナーの効果が表れることが予想されるため解析A₁においてはライナー剛性も考慮した場合をも合わせて計算した。

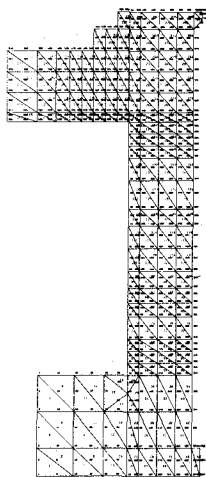


図-1 要素分割図

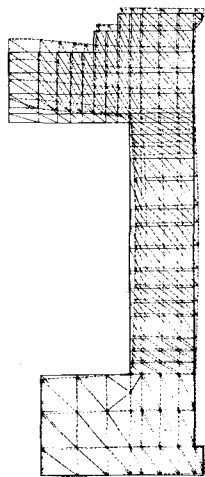


図-2 内圧時変形図

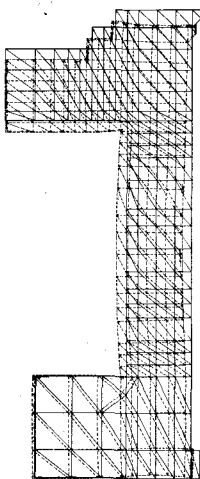


図-3 プレストレス時変形図

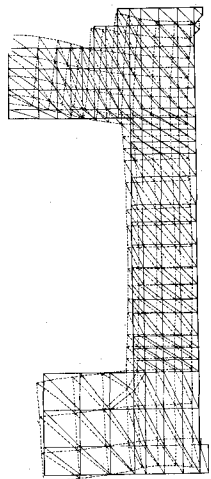


図-4 変形図
内圧+プレストレス

3) パネトレーション；模型体の壁下部には8ヶの鋼製パネトレーションがあるが、これによる剛性低下については、局部的解析で行うこととし、本解析では影響が小さいとして無視した。

4) テンドンシース；シースによるコンクリートの断面欠損は、シース材の肉厚によって補ない、見かけのヤング係数は不変となるようにした。

5) テンドン；内圧による模型体変形はテンドン緊張力を増加させるが、平橋解析の結果、この増加率は約1%であり、各テンドン緊張力の測定誤差内であるため無視した。

6) 支持方法；模型体はネオアレン板を介して4本のコンクリート諸鋼管で支えられているが、解析上はこれも連続したリング状支持も考えて処理した。

7) プレストレスカの分布；テンドンとシース間の摩擦係数は、実験結果を基に $\mu = 0.125$ とし、摩擦ロスにはテンドン中央で最大、両端で0となるように分布させ、Z方向成分は、定着部節長に集中するものとした。

解析A1に対する要素分割、各応力状態での変位図を図1～4に、ライナー剛性算入の有無による代表的な応力分布比較図を図5.6に示す。以上の解析の結果、ライナー剛性も考慮することにより一般に変位が10%内外少なくなっているが必ずしも一様ではない。また解析上の特異点には少なからず影響があることが確認された。これ等の値の取り扱いは一考も要すると思われる。

2. 設計圧テスト

加圧方法は水圧によるもので、複胴型電動ポンプを用いて、精度 0.1 kg/cm^2 で昇降圧を行った。加圧

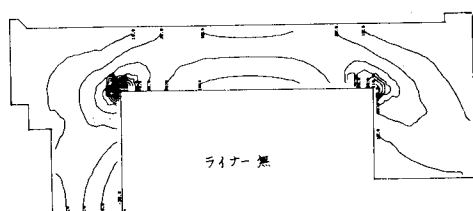


図-5 内圧時主応力線図

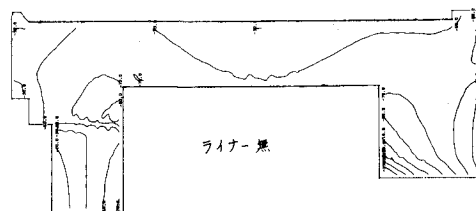
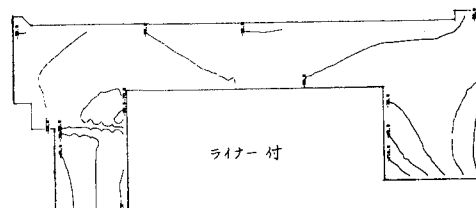
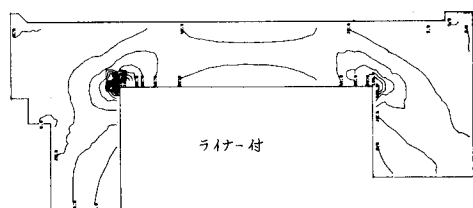


図-6 内圧+プレストレスト方向応力線図



ステップは、 5 kg/cm^2 単位で、各段階毎に測定も行いつつ 43 kg/cm^2 まで昇圧後、5段階で降圧した。

加圧速度は、往復共 $2 \sim 2.5 \text{ kg/cm}^2$ であり、計測に要した時間は、各段階で3～5分である。実験は前後8回にわたって行ったが、1回の実験に要した所要時間は70～90分であった。実験室、模型体各部、測定フレーム等の温度変動は、1回の実験につき 0.2°C 程度で、測定結果に影響はないと考えられる。

3. 実験結果

変形に関する実験結果のうち、X-Yレコーダーで記録した トップスラブ中央部の圧力-変位曲線を図7に、模型体外装面の設計圧時 (43 kg/cm^2) の変位分布を図9～11にそれぞれ示す。これ等の結果より解析A1とA2および8回の測定結果は、たがいに良い一致を示しており、実験中剛性低下、残留ひずみ増大などの特性値の変動は認められない。

コンクリートのひずみについては、定量的な値を表1に、上部隅角部分の分布状態を図8に示した。表1より解析A1の方がA2よりやや実測値に近いこともまた、図8より、解析値も2組の実測値がよい一致性を示していることが判る。解析値は、A1(変位ひずみ要素)によるものが、A2(定ひずみ要素)のそれよりも、変位で3～4%、ひずみで10%程度大きめに出ているが、定性的な面ではいずれも良い一致を示している。

トップスラブについては、変位に関しては良い一致を示しているが、ひずみに関しては開孔口の局部的な影響も受けて、若干の差異を生じている。側壁の変位に関しては、上部で実験値が小さめに出ているが、これはトップスラブの面内剛性、ヤング率、PS系、ライナー強度等の影響と考えられる。

模型体の均一性ないしは対称性については、図8に見られるとおりであり、満足できるものである。

計測に使用した3種類の埋設ゲージの指示値はそれぞれ若干のばらつきが認められる。これは、別途実施した1軸試験により、表面ゲージに比べて、モールドゲージは約20%少なく、カールソンおよびバイブレーションゲージは、10%程度大きい指示値を手えることが確かわれており、実験値もほぼ同じ傾向を示すこともおよび埋設個所の不均一性によるものとして説明できる。

テンドンの応力は、定着部ロードセルで測定し、設計圧時で0.5%程度の増大も測定した。

4. 結び

8回の実験を通して、模型体の挙動は弾性的であり、剛性低下は認められていない。また解析も実験との対比も満足できるものであり、軸対称回転体の有限要素解析手法、実験技術ともにその妥当性

10⁻⁶ ストレイン

ゲージ位置		実測値	計算値A1	計算値A2
側壁内部	C-72 Z (225°)	145	161	144
	V-72 Z (45°)	165		
	M-72 Z (135°)	115		
	C-72 θ (225°)	165	173	159
	V-72 θ (45°)	180		
	M-72 θ (135°)	90		
	C-74 Z (225°)	-10	-24	-30
	V-74 Z (45°)	25		
	M-74 Z (135°)	0		
	C-74 θ (225°)	300	294	279
	V-74 θ (45°)	285		
内縁部	C-23 Z (225°)	30	19	16
	M-23 Z (135°)	20		
	C-23 θ (225°)	40		
	V-23 θ (45°)	50	49	46
	M-23 θ (135°)	25		
	V-23 R (45°)	-35		
	M-23 R (135°)	-25	-29	-22
トップスラブ	C-27 R	200	216	171
	M-27 R	155		
	M-37 R	35	52	26
	V-47 R	-60	-110	-114
	M-47 R	-70		
表面	S-71 Z	173	188	172
	S-71 θ	130	164	159
	S-61 Z	-21	-11	-10
	S-61 θ	40	57	56

E = 308,000 kg/cm²

ゲージ位置は(その1)参照

表-1 設計圧時ひずみ測定結果

も確認し得たも考えている。なお、本実験は電機開発院も清水建設院も共同で行われたもので、この後、さらに昇圧して実験を行い、PCPVの安全性の実証も行う計画も実施中であり、追ってその成果も報告する予定である。（技術協力：英国、McAlpine 社）

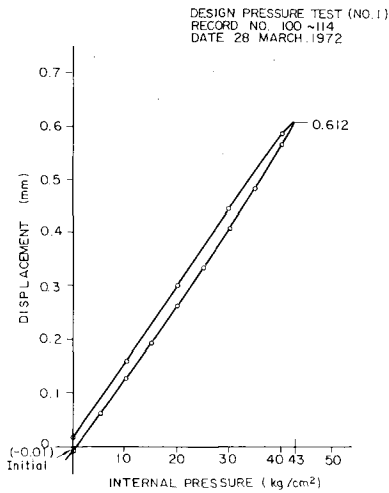


図 7 PRESSURE-DEFLECTION CURVE OF TOP SLAB CENTER

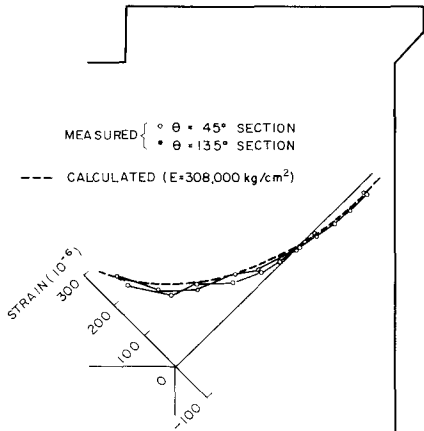


図 8 STRAIN DISTRIBUTION IN TOP CORNER

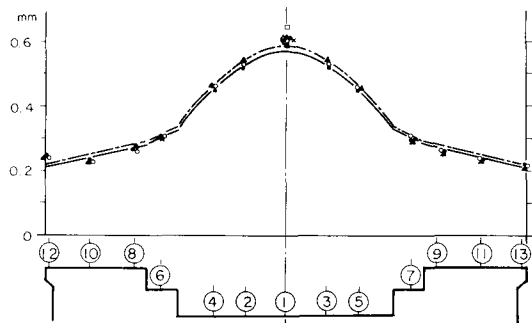


図 9 VERTICAL DEFLECTION OF TOP SLAB

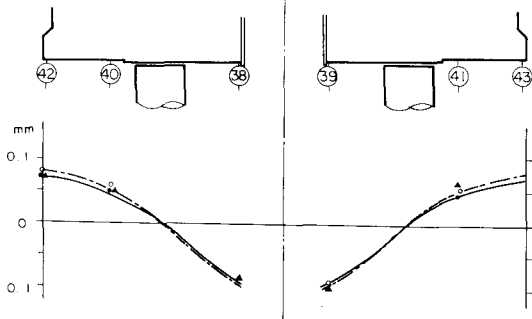


図 10 VERTICAL DEFLECTION OF BOTTOM SLAB

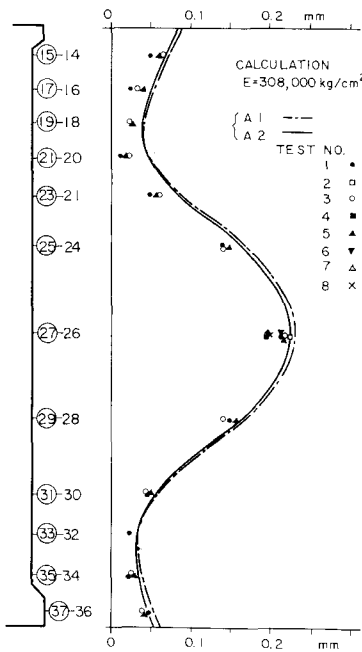


図 11 OUTWARD DEFLECTION OF WALL