

プレストレスト コンクリート圧力容器に関する 国際会議に出席して

猪 股 俊 司*

1. はじめに

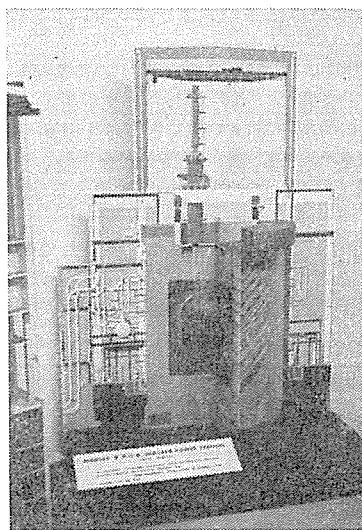
1967年3月13日～17日にわたってロンドンにおいて表記の会議が開催された。世界各国からの出席者総数約450名に達する大会議となり、PC圧力容器が現在いかに注目されているかを証明するものであった。もちろんプレストレスト コンクリートを用いた圧力容器（以下PCPVと呼ぶ）は、ヨーロッパ特にイギリス、フランスでの原子力発電において発展したものであって、アメリカ流の軽水炉では余り考慮されていなかったものである。しかしアメリカからの出席者も非常に多く、アメリカでもPCPVが注目されていることを表わしていた。

以下本会議において論ぜられた所について論文をまとめて報告することとする。

2. 圧力容器の形状について

シリンダー形式と球形式とがすでに建設されている。シリンダー形式を採用しているものとしては、Oldbury炉（300 MW）、Dungeness B 炉（600 MW）、Chinon 3 炉（480 MW）、St. Laurent 炉（480 MW）、Bugey 炉（500 MW）であり、球形式採用は Wylfa 炉（590 MW）

写真-1 Hinkley “B” PCPV 模型



の一基のみである。この PCPV 形状に関する論議を要約すると、

シリンダー形式は容器内外プラント配置の点で有利であり、結果的には経済的である。また建設は球に比較して容易であり、その建設費は減少する。すなわち型わく、PC鋼材配置、コンクリート施工、現場作業の簡易化、等について非常に有利であって、材料的には球よりも多量とはなるが、全体的には経済的となるとしている（写真-1, 2, 3）。

また球ではPC鋼材はすべて荷重による断面力方向に配置されるので、破壊に対する安全度の余裕が大きくな

写真-2 Oldbury 発電所 PCPV 模型

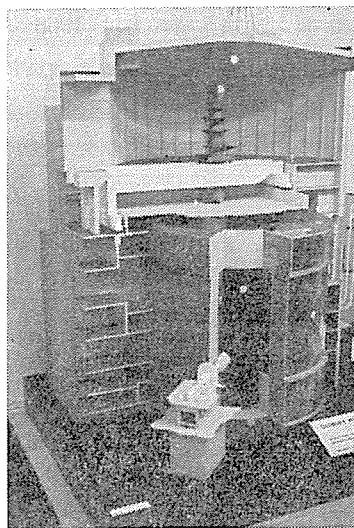
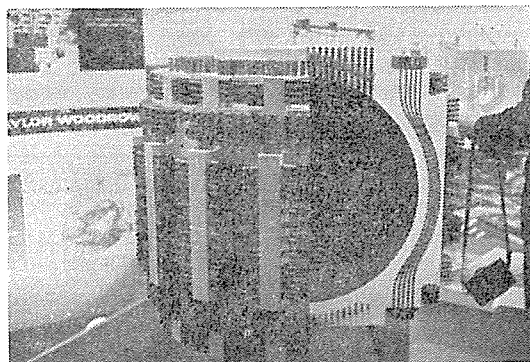


写真-3 Wylfa 発電所 PCPV 模型



* 協会誌編集委員長，(株)日本構造橋梁研究所

るといわれるが、実際にはPCケーブル定着のためのリブがあり応力の乱れを生じ、また壁には曲げも作用すると、シリンダーを主張するグループは論じている。

これに対して球形を採用したグループは、容器寸法が大きく、内圧も大きいので、球の方が経済的であり、かつ外形は球とは異なるが構造物の挙動を球の場合と非常に良く似たものとするのが可能であると反論している。

以上のようにPCPVの形状に関する意見は必ずしも一致していない。

シリンダー形式を用いる場合、あるプレストレッシング工法、容器寸法に対して工費は近似的に次式で表わされることが試算の結果明らかとなっている。

$$C = k_p d^2 \sqrt{h}$$

C: 全工費

k: 定数

p: 圧縮時ガス圧力

d: シリンダー内径

h: シリンダー内高

上式によると与えられた内容積について高さの高いPCPVが、高さの低い直径の大きいPCPVより有利となることがわかる。しかしイギリスとフランスではこのシリンダー内径dと内高hとの比は全く異なったものとなっている。

例えばイギリスのOld-bury, Dungeness Bでは $d/h = 1.1 \sim 1.3$ 、フランスSt. Laurent, Bugeyでは $d/h = 0.45 \sim 0.53$ であって、イギリスは直径の大きい高さの低いシリンダーを、フランスは直径の小さい高さの高いシリンダーをそれぞれ利用している。この理由の第一はPCPV内でのプラント配置方法に大きく影響されているからである。

すなわち、イギリスでは原子炉を中心にその周囲に原子炉を取りまいて熱交換機を配置するプラント配置を採用しているのに対し、フランスではPCPV内で原子炉を上方にその下に熱交換機を配置するプラント配置方法を採用する結果、直径に比して高さの高いPCPVを用いなければならなくなるのである。したがって、単にPCPVの工費の面からのみ論ずることはできず、プラント全体の配置方法の安全性、経済性から、同じシリンダーといえども、 d/h の非常に大きい相違が認められる結果となるのである。

3. 設計方針

PCPVの設計方針として(1)各種設計荷重の組合せ、冷間試験圧力、を受たとき弾性的挙動を示すこと。すなわちこの状態では定められた許容応力度を越えないこ

と。(2)大きい圧力を受けて破壊を生ずるときには次第に大きい変形を生じ、容易に危険性が認められるものであること。(3)破壊に対する圧力は設計圧力に対してある安全率を乗じた値以上であること。

以上の三原則については意見はいずれも一致しているようである。

許容応力度については各国での現行のPC規定を採用しているようであるが、PCPVは二軸または三軸応力状態にあるから、圧縮応力度については現行のほとんど一軸応力状態しか考えられない構造物に対する規準の値より大きい値を許容してもよいのではないかと、との論議がなされた。

引張りについては次第に引張応力度を許容する傾向にあると思われる。ただし、この場合良好な付着のある鉄筋を十分配置する必要のあることは当然である。このようにして引張ひずみがある限度以下におさえるのが経済的設計となるであろうことは、もちろんである。

第二の破壊が急激に生じてならないことは当然であって、ひびわれが次第に進行するようにし、せん断による破壊をおこさないように設計上十分注意しなければならない。

破壊荷重係数は当初は3.0程度としていたが、現在はこれを次第に減少させ2.5程度としている。しかしこの数値は理論的に定めることはなかなか困難で、ある程度は任意的なものである。PCPV破壊による結果は非常に重大であるから、設計は詳細にかつ注意深く実施されてはいるが、なお荷重係数は大きくとっている。PCPVには十分信頼できる圧力弁がつけてあって、圧力の異状な上昇はほとんど考えられないのである。したがって、荷重係数を考えて設計することは不測の圧力増加に対して安全を確保するというのではなく、その炉の耐用期間中圧力容器は十分安全であるという保証をするものであるという考え方に立っている。

確率的に安全度を考えるものとして、各種限界状態を考慮するという提案もあるが、これら各種応力のばらつきに対する知識が十分でない現在ただちに利用することは無理であると考えられる。

PCケーブルに対するグラウト必要性の有無に関する論議がさかんであって、グラウトを実施する場合(フランス)としない場合(イギリス)とは全く対照的である。

グラウトを実施する場合の利点として、

- a) ケーブル保証強度まで最少限の定着具強度で確保できケーブル配置にあたって構造的に有利である。
- b) 定着具破壊または滑動破壊を避けることができる。
- c) ひびわれ分散に役立つ。

- d) さびの発生を防止できる。
- e) 縮直しをするような場合、これを可能ならしめるギャラリーのような特別設備を必要とし、プラント配置上困難がある。

これに対してグラウト実施を不要とする理由として、

- a) グラウチング技術に対する不信。
- b) グラウト実施によるひびわれ分散可能性が大きい PCPV についてもあるかどうかの疑問。ひびわれ断面での P C 鋼材応力度の急激な増加による危険。

c) 縮直しや取りかえの容易。

以上それぞれの理由をあげ、イギリスではグラウトを現在のところ実施しない方針であるが、将来各種資料が集まれば、グラウトを実施する方向に傾いているようである。

4. コンクリートの性質

コンクリートに必要な性質は表-1のようにまとめられる。

表-1 コンクリートの品質について

望ましい性質	理 由
常温、高温ともに圧縮強度の大きいこと	壁厚を減少でき、また許容圧縮応力度も増加できる。
ウォーカビリチーの良好なこと	締固めが十分行なわれるため。特に鉄筋やシースの混んでいる部分で大切。
密度の大きいこと	中性子、ガンマー線に対して十分なしゃへいが可能となるため。
クリープ変形、弾性変形の小さいこと	圧力変化、温度サイクルを受けたときの変形および応力再分布を減少させるため。またプレストレスの減少を小さくするため。
乾燥収縮の小さいこと	容器変形を小さくするため、また熱応力を減少させるため。
温度膨張係数の小さいこと	容器変形を小さくさせるため。また熱応力を減少させるため。
熱衝撃に対して抵抗力の大きいこと	急激な温度上昇、たとえば蒸気パイプ近傍などの部分で構造物に損傷のおこらないこと。
熱伝導率の良好なこと	PCPV コンクリート温度を許容温度に保つために必要な冷却装置を小さくするため。
放射線により損傷をうけないこと	放射線をいちじるしくうける部分のコンクリートの品質変化を小さくするため。

(1) コンクリート圧縮強度

二軸または三軸応力状態のコンクリート強度が大切であって、図-1 に二軸応力状態でのコンクリート圧縮強度の試験結果を示してある。供試体寸法 $10'' \times 10'' \times 4''$, $w/c=0.55$, $a/c=4.5$ のコンクリートを試験前 27~29 日水中養生したものである。図中限界応力度と示してある曲線は、持続応力のもとでは短時間載荷試験による強度の 70% 程度で破壊することを考えて求めた限界であ

図-1 二軸応力を受けるコンクリート強度

コンクリート配合 $a/c=4.5$ $w/c=0.55$
 試験時材令 27~29日, 水中養生
 供試体寸法 $25.4 \times 25.4 \times 10.2$ cm

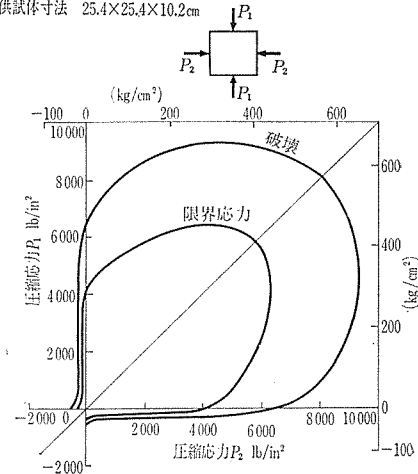
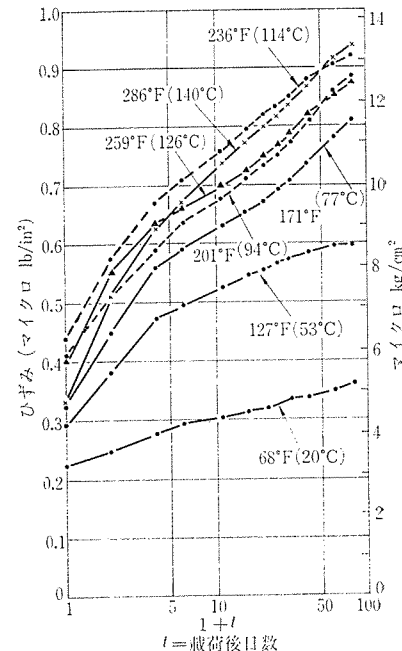


図-2 温度と一軸応力によるコンクリート圧縮ひずみ変化



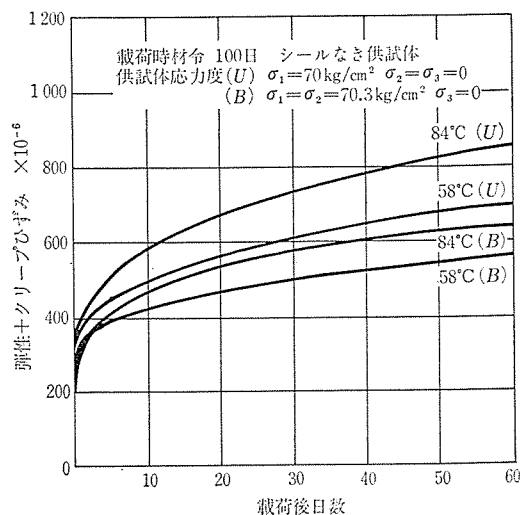
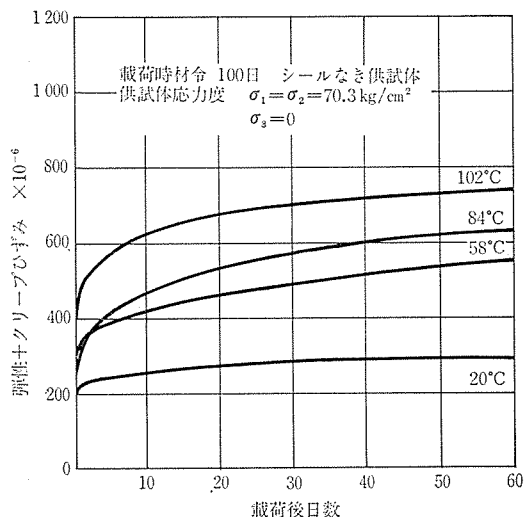
持続応力 70.3 kg/cm^2
 コンクリート配合 $a/c=6.6$ $w/c=0.45$
 供試体は 3 日間水中養生、その後材令 10 日
 シール状態で試験するまで 17°C 、湿度 90% で養生

って、設計にあたっては、短時間載荷一軸試験結果をもととしないで、これと同時に限界応力をも考慮するのがより合理的であると考えられている。

a) クリープ 多軸応力状態でのクリープを明らかにすることとともに各種温度をうけた状態でのクリープ性状を明らかにする必要がある。

図-2 には Wylfa 炉の場合の一軸クリープと温度との関係を示してある。圧縮応力 70.3 kg/cm^2 , $a/c=6.0$, $w/c=0.45$, 材令 3 日まで水中養生、その後 17°C , 90% 湿度で 10 日目にシールされた状態で載荷試験するまで保たれた。一般にクリープひずみと $\log(\text{載荷時間})$ と

図-3 クリープひずみ, 単位クリープ



の関係は一定である。

関係式はつぎのようである。

$$\epsilon = f(\kappa\theta) + f'(\kappa\theta)\log(1+t)$$

ここに、

ϵ : 単位ひずみ

κ : 温度と応力をうけたときの材令

t : 載荷後日数

θ : コンクリート温度

$f(\kappa\theta)$: 実験で定まる定数, ひずみ $\sim\log(1+t)$ 図でy軸との交点で求まる。

$f'(\kappa\theta)$: 同上ひずみ $\sim\log(1+t)$ 線の傾斜

図-3 には同じく各種温度での一軸クリープひずみ, 単位応力度に対する各種温度でのクリープひずみ, 2種の温度における単位クリープひずみとクリープひずみ

図-4 クリープ試験結果

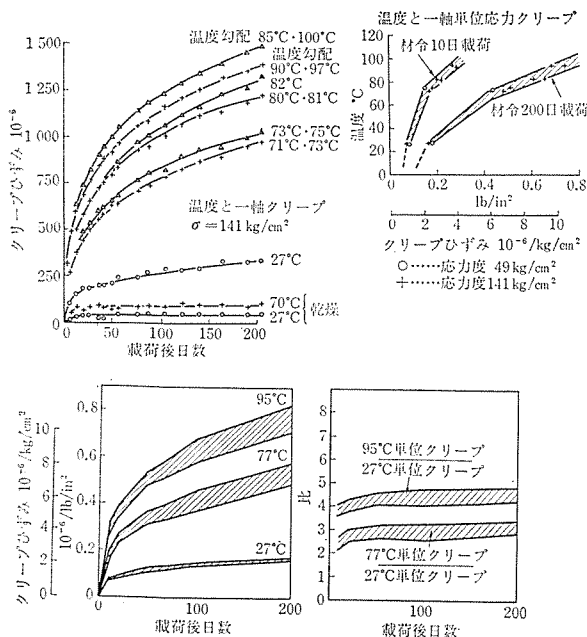
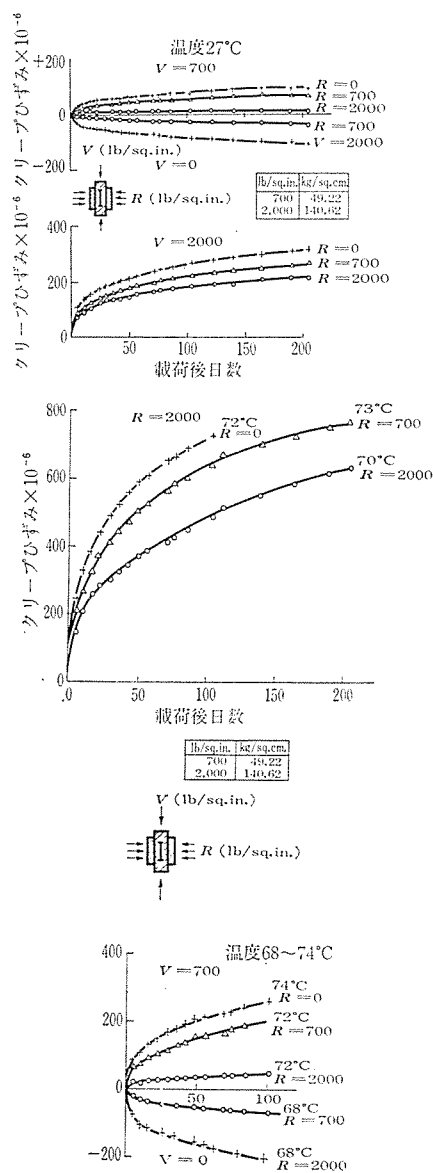


図-5 二軸クリープ



比, 等を示してある。

図-4, 5 には一軸応力および多軸応力状態でのクリープひずみ変化を示している。

これらから, つぎのことが明らかである。

a) 一軸クリープはこれと直角方向応力によって減少する。

b) クリープひずみの減少量は作用させた横方向応力度に大体比例する。

c) 一様な三軸圧縮を受ける場合でもコンクリートにはクリープひずみを生ずる。

d) 一軸方向のみの応力を受けた場合のクリープひずみ測定結果から, 多軸応力状態でのクリープひずみは次式で求められる。

$$C_{\max} = C_x \left[1 - \nu \left(\frac{\sigma_y + \sigma_z}{\sigma_x} \right) \right]$$

ここに, C_x は一軸応力 σ_x を受けた場合の x 軸方向クリープ, σ_y, σ_z は y, z 軸方向応力度, ν はポアソン比, 温度とクリープひずみの関係では $20 \sim 90^\circ\text{C}$ 間では温度とともにクリープひずみは増加し, それ以上の温度ではその増加率は小さくばらつきが大きくなっている。

図-5 にも 2 次応力状態でのクリープを示してある。

b) 放射線の影響 放射線のうち高速および中速中性子は熱中性子とともにコンクリートに吸収されるが, コンクリートを加熱するとともにガンマー線を出す。そのため原子炉からのものとともに重いコンクリート原子によって吸収され熱を発生する。コンクリートの熱伝導率が小さいのでコンクリート温度が上昇し, 局部的に温度勾配が大となり熱応力度も大きくなるものである。

Harwell での試験によると約 50°C で $7 \times 10^{19} \text{ n.u.t.}$ の熱中性子の照射を受けたコンクリートの曲げ引張強度は約 40% 減少している。これらに関する研究は現在のところ少ないので, 将来さらに検討を進める必要がある。現状では内部シールドによって放射線は PCPV に対して保護されるため, コンクリート中のエネルギーはそれほど大きくはないが, 将来高価な内部シールドを用いないようにするため, この方面の研究が望まれるのである。

c) 熱拡散, 湿度変化 コンクリートの熱拡散は冷却装置, 熱応力度の面から重要である。これらは熱伝導率 κ および熱拡散率 D に関係がある。比熱は放射線によるコンクリート温度上昇について大切な問題である。

熱伝導は湿度に関係があり, 湿度が小さいと κ も小さい。湿度と κ とは直線関係にある。PCPV では κ が大きいことが望まれるから, w/c の小さい骨材/セメント比の大きい, 石英質骨材のコンクリートが望まれる。

熱応力の計算にあたってコンクリート各部の湿度分布を求めておくことが大切である。このため一般には Fick

の拡散論を用いている。

すなわち, 次式で計算する。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = k \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

c : 自由水の集中度

k : 拡散係数

t : 拡散開始からの時間 x : 露出面からの距離

5. PC 鋼材の性質

PC 鋼材の問題は, 放射線を受けたときと高温時の性質とがある。

PC 鋼材に対する照射実験の例は非常に少なく, 2.5 mm PC 鋼線に $2 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ の照射をしてレラクセーションを測定したが, 照射の影響はほとんど認められていない。

PC 鋼材は高温時レラクセーションがいちじるしく大きくなるものであって, PC 鋼線 (0.201~0.277 in), PC 鋼より線 (3/8~0.6 in) に, 保証引張強度の 70~75% の初引張応力を与えて 100°C までのクリープ試験を 10 000 時間程度まで実施し, $\log(d\epsilon/dt)$ と $\log t$ とが直線関係にあることを確かめている。

各種温度についてのレラクセーション百分率は 10° 時間で, 温度 $20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 100^\circ\text{C}$ について, それぞれ 2.5%, 5%, 8%, 15% が推定されている。

イギリスでは Stabilize という処理を PC 鋼材にほどこすことによってレラクセーションがいちじるしく小さくできることを強調している。従来の stress-relieve の比較して 1 000 時間試験で, すでに stabilize 線の 30 年後のレラクセーション推定値の 2 倍となっている。

6. プレストレッシング工法

PC 圧力容器コストの 60~70% までがプレストレッシング用材料, 器材 および労力のためのものであるから, より経済的な工法を開発する必要がある。

ある与えられた圧力容器に対してプレストレッシング工法を選定するにあたっては, コンクリート施工が安全確実に実施できるように十分なシース間隔および定着具配置間隔がえられるようにするため, なるべく 1 本のケーブル緊張力の大きいものがよい。PC ケーブル間隔を 3 ft にするには 500~800 t の PC ケーブルが適当であると考えられるが, 115~215 t 程度の引張力を与える PC ケーブルを用いている例もある。

イギリス CEBG の規定では, ケーブルにグラウト注入をしないことになっているので, プレストレッシング工法に要求されている事項としては,

a) 破断時一定の強度とひずみとを発揮できるものであること。

b) 圧力容器耐用年限にわたって有効に作用できるものであること。

c) 十分信頼でき安全確実でかつ締直したりゆるめたりできるものであること。

一般の設計では保証引張強度の百分率でケーブルの効率を示し、最少値として 90~95% が規定されているが、実際に用いられているものは保証強度の 100~120% の効率を有している。したがって保証強度の 90% は実際強度の 75~90% となり、ひずみは 0.9~2.5% の範囲にある。したがって、最少ひずみを規定する必要がある。圧力容器が十分大きい変形を破壊前に示すことができるようにするには、破壊時ケーブルひずみは 1.5% 以上でなければならない。

曲線部分での引張強度および破断伸びはいずれも減少するものであって、この点についてはさらに将来の研究が望まれる。

7. 圧力容器の設計

弾性計算にあたってはつぎの各種の方法が利用されている。

- 1) Finite Difference Equations
- 2) Dynamic Relaxation
- 3) Finite Element Method
- 4) 弾性方程式

Finite Difference Equations を用いる場合つぎのつり合い方程式を、半径方向および対称軸に平行な変位 u および w の項で表わしている。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \rho \mathcal{L}_r &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \rho \mathcal{L}_z &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$(1-\nu) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2} \right) + \frac{1}{2} (1-2\nu) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial r \partial z}$$

$$= -\frac{1}{2G} (1-2\nu) \rho \mathcal{L}_r + \alpha (1+\nu) \frac{\partial T}{\partial r}$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial z} + \frac{1}{2r} \frac{\partial u}{\partial z} + (1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{1}{2} (1-2\nu) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} \right)$$

$$= -\frac{1}{2G} (1-2\nu) \rho \mathcal{L}_z + \alpha (1+\nu) \frac{\partial T}{\partial z}$$

同様に境界条件も u, w の項で表わされる。これらの方程式を有限差方程式で表わし連立方程式を電算によって解く。

Dynamic Relaxation は 1 次有限差を用いた Relaxation で、ダンピングのモードを選定して振動が急速に安

定するようにするものである。この方法では弾性係数の変化を考慮に入れることが可能で、クリープの影響、スタンドパイプなどによる容器の不規則性を考慮に入れることも可能となる。しかし時間間隔は弾性係数最大値に関係し、この弾性係数が変化する場合には余りレラクセーション法は有効とはならない。

Finite Element Method はすでに広く各種構造物の解析に利用されてきている。大きい貫通孔が存在し、かつ鉄筋、PC ケーブル非対称配置などにより応力度は三軸であること、弾性体としての仮定が成立しないこと、などによって一般的解析は困難なものである。それで第一近似として弾性体、回転軸対称を仮定して圧力容器寸法、鉄筋、PC ケーブル等を決定する。第二近似として三軸応力状態となる区間について三軸弾性解析をする。第三近似としてクリープの影響を考慮に入れた解を求めるのである。

熱応力度の計算にあたっては、コンクリートのクリープの影響を考慮に入れる必要がある。コンクリートのクリープは、温度によっていちじるしく変化するものであり、応力変化と温度変化が断面内に起ると、クリープと温度との組合せによって応力再分布が起る。この応力分布の変化は不静定力が時間とともに変化するように作用する。

数値計算によってつぎつぎに計算すると定常状態になる応力変化の状況を求めることも可能である。

任意時間での応力分布を求めるには載荷時からのコンクリート応力履歴を求める必要がある。これには rate of creep 法を用いて短時間における応力~ひずみつり合い条件を用いて解を求める。すなわち、各短時間内での応力変化はつぎのようにして求められる。第 n 番目の短時間間隔の終りでの維応力度を第一近似として σ_n' で表わす。第二近似および最終値を σ_n'' および σ_n''' で表わす。

区間 n の終りにおける応力の第一近似値はそのときの温度とコンクリートヤング係数に関係する熱応力だけである。これは断面内でのつり合い条件で求められる。この時間内でのクリープ速度を B とすると、ひずみ変化は

$$\Delta \epsilon_c = B \bar{\sigma} \Delta t$$

$$\text{ここに、} \bar{\sigma} = (\sigma_{n-1}''' + \sigma_n') / 2$$

この $\Delta \epsilon_c$ とこの時間の始めの全ひずみ ϵ_c とを加算してつり合い式から第二近似応力 σ_n'' を求め

$$\bar{\sigma} = (\sigma_{n-1}'' + \sigma_n'') / 2$$

を用いて $\Delta \epsilon_c$ を求める。

以下同様につり合い条件式を用いて σ_n''' が求められる。

以上の計算を各位置および各時間ごとに実施すればよい。最初は $\sigma_n''' = 0$ から出発する。

クリープひずみについては

$$\epsilon_T = \frac{\sigma}{E} + \sigma F(k) \log(1+t)$$

クリープ速度は

$$\epsilon_c = \frac{\sigma F(k)}{1+t}$$

として finite element method を用いて応力計算をする。あるいは当初は弾性解を用い、短時間内ではこの応力がそのまま一定であるとし、各断面での応力分布および温度分布を考慮して各点に生ずるクリープひずみを求める。この場合、応力に変化がおこらないものとするクリープひずみによるひずみは、ひずみつり合い条件が満足されないこととなる。よってこの短時間の終りに新しい応力分布を加算してひずみつり合い条件が満足できるようにする。このようくり返し計算

によって任意時の応力分布が求められるのである。

PC 圧力容器では、原子炉運転中に Shut-down があると圧力容器の応力状態は弾性理論で求められたものとは全く異なったものとなるので、このような計算が大切である。同時に圧力容器の変形を知るためにも必要である。

図-6 は応力変化と運転方法との関係を計算した一例である。

8. そ の 他

以上のほかに模型試験—理論と試験結果との比較、応力集中、ライナー—等についての報告も多数なされた。

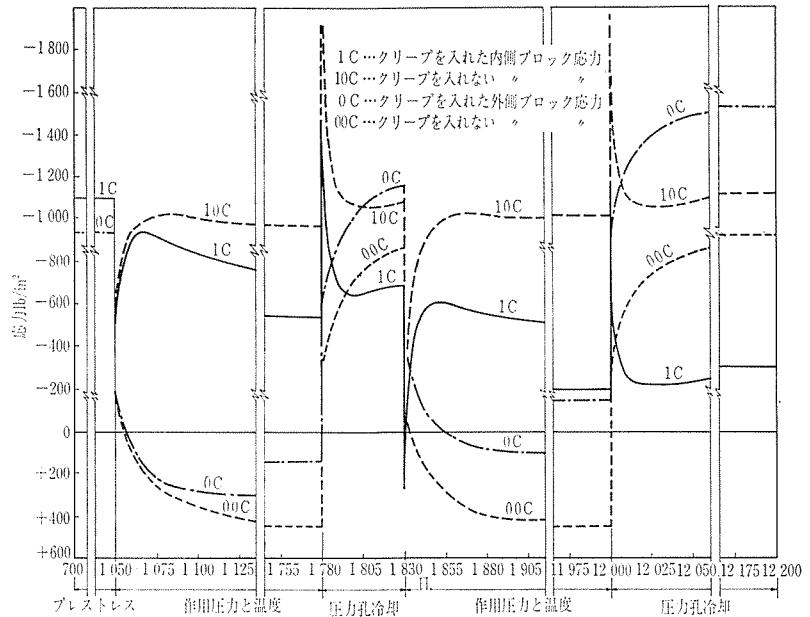
これらのうち模型試験結果、各種測定結果は短時間載荷試験の場合には弾性理論解と良く一致することが多数の試験で明らかにされている。したがって、電算による応力計算法の発展の結果、弾性範囲内での模型試験は余りにも不経済であるとされている。

模型試験の第一の目的は、破壊時容器の挙動を検討するためのものであるから、小さい模型で十分であるとされている。

応力集中は主として圧力容器壁の各種貫通孔周囲でのもの、および PC 鋼材定着具付近でのものが取扱われている。

貫通孔周囲の応力集中も平板についての Savin の解はそのまま成立せず内外両面で異なる集中係数となることを計算している論文もある。しかしこれらの集中応力度もごく局部的なものであること、コンクリートのクリープによって減少させられること、などを考慮に入れて、許容圧縮応力度は普通の部分の 100% 増しとした例

図-6 炉運転による応力度変化 (球型 PCPV 側壁と下版応力)



もある。この応力集中による引張応力については 40 kg/cm² までは鉄筋配置で十分抵抗できるものとしている。

PC 定着具付近の応力集中問題は、従来は桁の場合のみが取扱われてきていたが、圧力容器では二軸または三軸方向応力を受ける部分に定着具が配置されるような場合もあるので、この点についての試験報告がなされている。

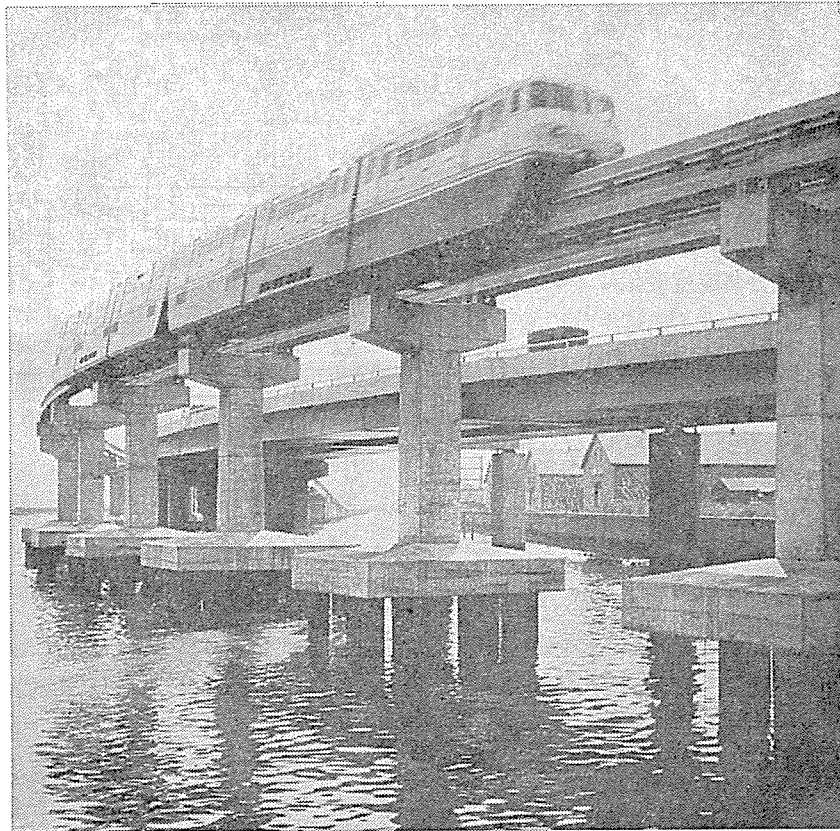
ライナー関係は主として low cycle fatigue が問題となっている。またコンクリートのクリープによってライナーは大きい圧縮応力を受けることにもなるので、バックリングも大問題であり、コンクリート壁体との結合方法が大切である。

以上のように PC 圧力容器設計に関する多方面の諸問題について広範な研究がなされており、非常な発展に驚かされたというのが率直な感じである。日本では PC 圧力容器を利用しようとする方向に今までなかったため、この方面についての研究は、ほとんど皆無の状態であった。その間にヨーロッパでは驚くべき発展がなされてしまったのである。しかしながら現在日本でアメリカから輸入されている軽水型原子炉について、すでにアメリカにおいては PC の利用が考えられており、比較設計も進められている。日本の現況から判断すれば、いずれ日本でも原子力発電における PC の利用が話題になると考えられる。そのときになっても日本としての研究がないのでは安全性の検討にあたって非常に困ることと思われるので、PC の新しい応用分野として原子力発電方面に対して深い関心を持つべきであろう。

1967.7.14・受付

NCS-PCパイプ

プレテンション方式 NCS溶接継手



NCS-PCパイプの特長

- ① 継手—全強であるから支持力の低減がいらぬ。
- ② 耐撃性—頭部が耐撃的であるため確実に打止りが得られる。よつて支持力に全材強を活用できる。
- ③ 曲げ剛性—プレストレスの効果によつて曲げ剛性が大きい。よつてパイプ施工中の安全はもちろん、くい基礎の経済設計ができる。



日本コンクリート工業株式会社

本社	東京都港区新橋1丁目8番3号(住友新橋ビル)	東京(573)大代表0361番
営業所	大阪市阿倍野区天王寺町南2の66 名古屋市中村区下広井町1丁目66番地(三建設備工業ビル)	大阪(718)1881~5番 名古屋(58)代表9706番
工場	川島(茨城県下館市)	下館代表2181番
	鈴鹿(三重県鈴鹿市)	鈴鹿(8)代表1155番
研究所	茨城県下館市川島工場内	下館3942番