

竹中技術研究所 正 員 ○ 米 沢 敏 男

竹中技術研究所 岡 田 克 也

竹中技術研究所 正 員 吉 岡 保 彦

1. ま え が き

プレストレスコンクリートを用いた原子炉格納容器 (pccv) の建設が近年わが国においても計画されるようになった。pccv に導入されるプレストレスは、膜力として設計内圧とバランスするように導入されるが、壁体内における応力の分布は、いくつかの要因による拘束応力によって、プレストレス導入時の分布とは異ってることが予測される。ここでは底版およびドーム部からの外的な拘束を受けない円筒壁の一般部を簡単なモデルに近似して pccv の建設後約 27 年間の応力の変化をクリープ解析し、乾燥収縮応力と原子炉の運転開始による熱応力が壁内のプレストレスの分布に及ぼす影響について検討を加えた。

2. 円筒壁一般部の解析モデル 円筒壁の一般部は、フープ方向および鉛直方向のテンドンによって導入されたプレストレスによる二次元の応力状態になっているが、ここではフープ方向の一次元状態に近似したプレストレスと拘束応力について考える。これは、図-1に示すように(a)の円筒壁の一般部から(b)の状態を取り出したものに相当する。円筒壁に膨張収縮が生じた場合の変形は一般部では一様な形状変形のみであるから壁の厚さ方向の実歪の変化は等しく、図-1(c)に示すような解析モデルを設定できる。このモデルではコンクリート壁体の厚さ方向の自由歪の差による拘束応力を求めるために、コンクリート部はいくつかの要素に分割されている。またコンクリート各要素の実歪を等しくするために端部には剛体が設けられている。テンドンは図に示したバネで表現されており、プレストレスは、このバネに収縮歪を与えることによって導入される。壁内面のライナーと鉄筋はクリープをしないという特性を与えた要素によって表現されている。

3. モデルの解析法 ここで示した解析モデルは、マスコンクリートの水和熱応力を解析するために第34回年次講演会で筆者らが提案したモデルと等しいためモデルのクリープ解析法の説明はここでは省く。クリープ解析に用いるクリープ係数は第34回年次講演会で報告したように CEB-FIP の指針を基本的に用いている。

4. 解析対象とした P C 格納容器の円筒壁 円筒壁一般部の壁厚 = 1.3 m, テンドン量 = 144 cm²/m, 鉄筋量 = 133.8 cm²/m, ライナー = 60 cm²/m とした。プレストレス導入時の材令は、180日と360日の二つの場合について解析した。原子炉の運転開始時の材令は770日とし、これによる熱負荷はライナー側45℃, 外表面15℃の直線分布とした。熱負荷がある場合のプレストレス導入の材令は180日とした。またプレストレスは鉄筋とライナーを含めて、 $\sum_{k=1}^n A_k \sigma_k / \sum_{k=1}^n A_k = 100\%$ となるように導入した。 $A_k \sigma_k$ はモデルの各要素の断面積とプレストレスによる応力である。ここでは、図-1(c)に示したように厚さ1.3mの円筒壁を六つの要素に分割して解析した。

5. 円筒壁の乾燥収縮量の推定

コンクリート部材内の乾燥収縮は主として内部の湿分拡散に起因するものであり、この湿分拡散は厳密には必ずしも線形ではなく温度条件、材令等に依存した非線形の挙動を示すものと考えられるが、ここでは近似的に湿分の拡散が線形の拡散方程式によって表現されまた部材内の乾燥収縮量は湿分の変化に比例するものとした。湿分拡散係数としては、文献(2)の実験による値、 $7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{hr}$ を用いた。

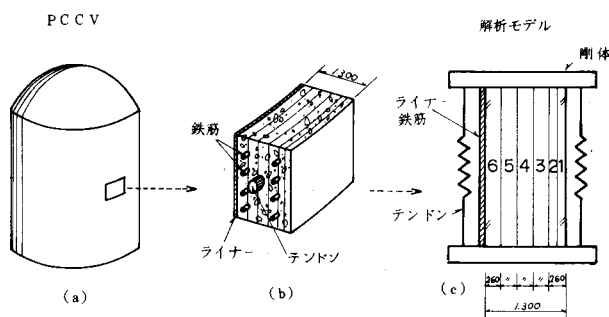


図-1 PCCV円筒壁一般部の解析モデル

境界条件としてはライナー側で湿分勾配ゼロ、外表面で外気湿度60%に一致するものとした。以上の条件で解析した各要素の平均湿度の変化を図-2に示す。図の横軸は乾燥開始後の材令であり、乾燥の開始は材令20日とした。また湿度1%の変化に対する乾燥収縮量を文献(2)の実験値を用いて 14×10^{-6} とした。

6. 解析結果および考察

図-3、図-4に材令180日および360日でプレストレスを導入した場合の各要素の応力の変化を示す。また図-5には原子炉の運転開始による熱負荷がある場合の各要素の応力の変化を示す。図-6には材令180日でプレストレスを導入し、熱負荷のない場合とある場合の壁内の応力分布の変化を示す。図-3~6に示すように表面部から徐々に進行する乾燥収縮による自己拘束応力のためプレストレス導入前に既に表面部ではある程度の引張応力が生じておりプレストレス導入直後の応力も一様には分布していない。乾燥収縮による外表面部の引張応力はプレストレス導入後も徐々に内部に進行している。そのため導入されたプレストレスによる圧縮応力は外表面から徐々に減退している。逆にライナー側はわずかに圧縮応力が増加している。図-6に示した応力分布によれば、10年後には壁の断面の半分くらいで、かなりのプレストレスが失われていることがわかる。図-5、6から、原子炉の運転が開始された場合、外表面部では、ひびわれを発生し得る程度の引張応力が生じることがわかる。しかしこの応力は、ひびわれによる応力解放がないとしてもクリープにより急速に緩和されていくようであり、10000日の応力分布では、熱応力の負荷がない場合とあまり差はないようである。

7. あとがき ここで行った解析にはいくつかの仮定が含まれており実験的な検証が必要な点もあるが、壁内の応力分布はプレストレス導入時の状態とは、かなり異なってくるのがわかった。乾燥収縮や熱による拘束応力は、内圧作用時にひびわれが発生すれば、かなり解放されるものと考えられるが、この種の応力の存在により内圧作用時のひびわれ荷重の低下等が予測され、今後の検討が必要なものと考えられる。

＜参考文献＞ 1) 米沢, 吉岡, 神山, 「内外の拘束を受けるマスコンクリート部材の水和熱応力解析」第34回年次講演会

2) 椎 名「コンクリートの内部湿度と変形」コンクリートジャーナル 1969 年6月

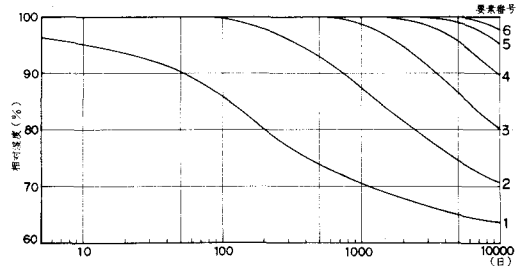


図-2 湿分拡散の解析結果

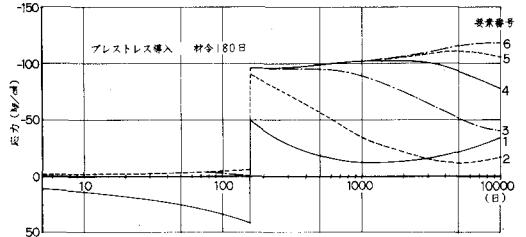


図-3 要素応力の経時変化 (P/S導入 180日)

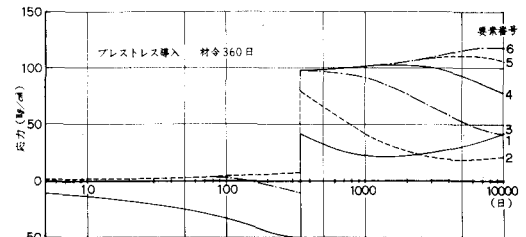


図-4 要素応力の経時変化 (P/S導入 360日)

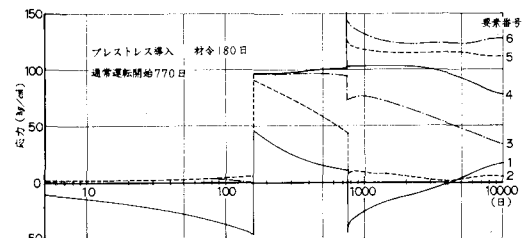


図-5 要素応力の経時変化 (熱負荷 770日)

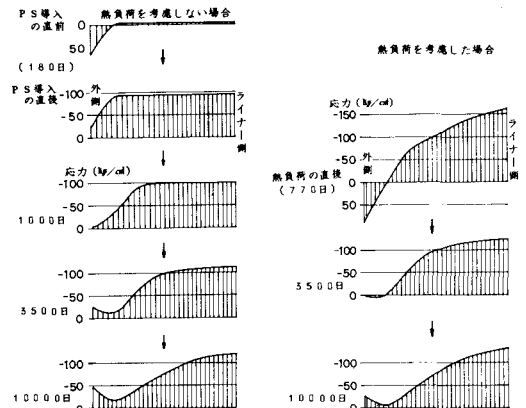


図-6 壁内応力分布の変化 (P/S導入 180日)