

(財)電力中央研究所 正会員 遠藤達巳
(財)電力中央研究所 正会員 金津 努
(財)電力中央研究所 正会員 石田博彰
電源開発株式会社 伊藤真澄

1. はじめに

現在設計が進められている新型転換炉(ATR)実証炉では、中央に円形の開口を有する鉄筋コンクリート厚肉床版により原子炉本体が支持される構造となっている。この支持床は定常的に高温・低湿度状態(60℃、相対湿度5~10%)に置かれる。設計に際しては、このような環境条件下でのクリープならびに乾燥収縮による支持床の塑性変形を予測し、機器配管の機能が保持されることを確認しておく必要がある。本研究は、1/5縮尺模型の長期荷重実験ならびにその数値シミュレーションを実施し、原子炉支持床の長期変形状の予測を行うための解析手法の適用性について検討したものである。

2. 実験概要

8体の大型1/5スケールの実験を実施している。変化したパラメータは、温度(60℃と20℃の2種類)、形状(実際の支持床のA短辺方向モデルとB長辺方向モデルの2種類)および試験体表面の乾燥条件である。試験体の形状ならびに荷重形態を図1に示す。試験体の種類とその条件を表1に示す。実際の原子炉に相当する荷重を荷重し、それを長期間保持している。ここでは、荷重後430日までの結果を報告する。荷重実験中は、変形量、荷重、コンクリートおよび鉄筋ひずみを測定した。

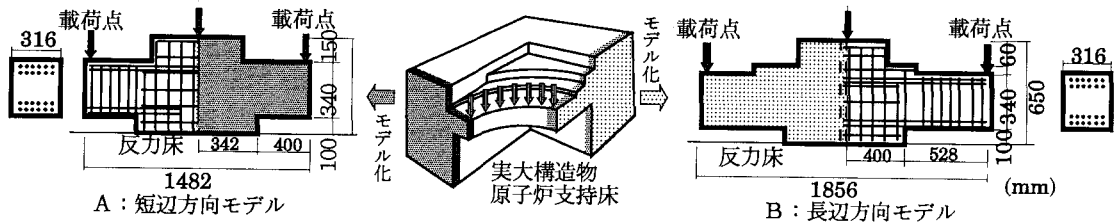


図1 構造のモデル化概念(試験体の形状寸法)

表1 試験体の種類と実験条件

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
試験体名	ANS	ANUS	AHS	AHUS	BNS	BNUS	BHS	BHUS
温度	20℃	20℃	60℃	60℃	20℃	20℃	60℃	60℃
試験体形状*)	A	A	A	A	B	B	B	B
乾燥条件	樹脂塗装	塗装無	樹脂塗装	塗装無	樹脂塗装	塗装無	樹脂塗装	塗装無

*) A:短辺モデル、B:長辺モデル

3. 解析概要

本研究で用いた解析手法は、クリープおよび乾燥収縮による塑性変形量を計算するために開発したもので、4節点アイソパラメトリック要素を用いた2次元FEM解析である。

クリープ変位はひずみ硬化法に基づいて算定しており、単位応力当たりのクリープひずみ ϵ_c は

$$\epsilon_c = 1/E_i + F \cdot \ln(t+1)$$

表2 解析に用いた諸物性

温度	塗装条件	乾燥収縮解析		クリープ解析		弾性係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²	ポアソン比
		水分拡散係数 cm ³ /day	水分伝達係数 cm ² /day	1/E _i ×10 ⁻⁶ 1/kgf/cm ²	F 10 ⁻⁶ /kgf/cm ²		
20℃	樹脂塗装	0.0025	0.001	2.71	0.383	3.69	0.167
	塗装無		0.025	2.93	0.733	3.41	
60℃	樹脂塗装	0.23	0.8	3.36	0.929	2.98	
	塗装無		0.03	3.76	0.970	2.66	
空気中の水分量 20℃ 9.42 × 10 ⁻⁶ g/cm ³ 、60℃ 10.94 × 10 ⁻⁶ g/cm ³							
水分逸散による収縮量 20℃ 11500 × 10 ⁻⁶ 、60℃ 3980 × 10 ⁻⁶ 1/(g/cm ³)							

単位応力当たりのクリープひずみ: $\epsilon_c = 1/E_i + F \cdot \ln(t+1)$

(E_t :瞬間弾性係数、 F :クリープ係数、 t :載荷後材令)を使用した。乾燥収縮解析は、拡散方程式に基づいた水分拡散解析を行った後、水分逸散量と収縮ひずみの関係から乾燥収縮変形量を計算する。別途材料実験の数値シミュレーションを実施した結果、材料レベルでの本解析法の適用性は確認できている[文献]。

4. 応力分布

図2には乾燥収縮による応力分布の解析結果の一例を示した。図2(a)は、コンクリートの全要素の剛性を一定値(表2参照)にした結果である。表層部に最大 250kgf/cm^2 の引張応力が発生しており、変形予測の精度を低下させる一因となる。これは、表層部のみが急激に乾燥し、過大な拘束応力が計算されたためと考えられる。実際の現象を考えると、表層部は高温下で乾燥するため、微細なひびわれが発生し、剛性が低下していると考えられる。この表層部のひびわれを模擬するために、表層部の弾性係数を載荷開始時の1/10に低下させた場合の応力解析結果を図2(b)に示した。図からも判るように、表層部の引張応力は最大でも 40kgf/cm^2 となり、剛性低下という簡便な仮定で実際の現象を模擬できることが示された。

5. 変形状

図3には、典型的な荷重点付近の鉛直変形量と載荷後材令の関係を示している。図には、実験値および解析値(クリープと乾燥収縮による変形量およびその和)を示している。解析値と実験値はほぼ一致している。ただし、その増加傾向に若干の差異が認められる。実験値は、明らかに下に凸の曲線となっている。それに対して、解析ではその傾向が小さい。実験値との差異は、解析に用いたクリープ関数と実際のそれとが相違していることが原因であると思われる。

図4は、載荷後430日の時点での荷重点付近の変形量の解析値と実験値の相関を示したものである。図からわかるように、表面のひびわれによる剛性低下を考慮した方が、精度良く実験と一致している。全体的には、実験値を小さ目に評価している。これは、材料レベルでのクリープ関数の近似精度に起因するものと思われる。

6. まとめ

以上の結果より、本解析手法はATR実証炉支持床の長期変形状の予測に適用可能であることが明らかとなった。今後、継続中の実験結果を基に、ひびわれを考慮した乾燥収縮による厳密な応力分布の算定、クリープ特性の高精度化およびクリープと乾燥収縮の相互作用を取り込んだ解析手法の適用について検討していく。[文献]石田博彰他：高温・低湿度下でのコンクリートのクリープ・乾燥収縮特性、第48回土木学会年次講演会、1993

