内部を加熱したコンクリート有限円筒構造物の温度応力クリープ解析

北海道大学大学院工学研究科	学生員	有海	洋平
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	大沼	博志
(財)電力中央研究所	正員	上野	学

1.はじめに

本研究では、内部に放射性物質を収納する鉄筋コンクリー ト中空円筒構造物を対象とする。この構造物は、放射性物質 の崩壊熱によって内側から加熱される。また、放射線を遮蔽 するために、鋼ライナーを設置した厚肉の鉄筋コンクリート である。コンクリートにひび割れが発生すると遮蔽性能が低 下するために、構造物の安全性評価に際しては、ひび割れ発 生の有無、あるいはひび割れが発生する場合にはひび割れ幅 の算定を行うことが必要である。そのため、本論文では最初 の段階として、温度応力による鉄筋コンクリート中空円筒の ひび割れ発生を解析的に予測する方法を検討した。

2.中空円筒試験体の加熱試験

2.1 試験体および使用した材料

試験体の形状を図 - 1 に示す。コンクリートには、普通ポ ルトランドセメントを使用した。コンクリートの配合を表 -1 に示す。解析に使用した鋼ライナーのヤング係数 E_s 、ポ アソン比 _s、線膨張係数 _sは、それぞれ 2.11 × 10⁵N/mm²、 0.293、11.8 × 10⁻⁶/ である。また、加熱試験時のコンクリ ートの圧縮強度、引張強度、ヤング率 E_c 、ポアソン比 _c、 線膨張係数 _cは、それぞれ 39.6N/mm²、2.51N/mm²、 3.17 × 10⁴N/mm²、0.187 および 8.51 × 10⁻⁶/ であった。

また、ひずみを測定するために試験体外表面には歪み ゲージ(長さ120mm)を貼り、温度分布を測定するた めに試験体内部および表面に熱電対を取り付けた。

2.2 加熱試験方法

恒温槽内に試験体を設置し、試験体および恒温槽内の雰囲気温度を一様に 38 とした。温度 38 は、この種の構造物の設計基準に規定された通常運転時の外気温である。その後、雰囲気温度を 38 に保ったまま、試験体内側の温度が 90 になるまで加熱ヒーターによって昇温した。その後一定時間この状態を維持した後、自然冷却した。加熱試験中の温度とひずみ量を測定し、また試験後に試験体表面のひび割れを観察した。

2.3 加熱試験の結果

加熱試験で得られた代表的なひずみ履歴と温度履歴をそれぞれ図-2と図-3に示す。図-2のひずみ履歴か ら明らかなように、ヒーターによって加熱約60時間後に試験体上端部にひび割れが発生した。温度履歴から求 めた試験体厚さ方向の温度分布はほとんど定常状態にあり、この試験体は厚肉の中空円筒であるので下に凸な分 布であることが示された。また、ひび割れ発生時における試験体内部の平均温度は53 に達していた。

キーワード 温度応力、クリープ、有限要素法、有限円筒、有効弾性係数法 連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 極限環境材料学分野 TEL 011-706-7276



表-1 コンクリートの配合

W/C(%)	S/a(%)	単位質量 (Kg/m ³)				
		С	W	G	S	混和剤
55	53.4	305	168	960	850	3.47



3.温度応力によるひび割れのクリープ解析

コンクリート試験体に発生する温度応力は、温度勾配による応力および鋼ライナーとコンクリートの膨張率の 相違により発生する応力の2つであると考えた。この2応力の円周方向の和が、コンクリートの引張強度に達し たときに、コンクリートにひび割れが発生するものとした。

3.1 有限要素法による温度応力の算定

温度勾配による温度応力および鋼ライナーによる応力は、図-4 に示すように上下対称の軸対称構造物として有限要素法を用いて算 出した。節点数と要素数はそれぞれ 187 および 320 である。

3.2 クリープの解析方法

コンクリートの単位クリープ曲線は、既往の研究¹⁾から双曲線と 対数式によるものを用いた。また、コンクリート試験体は温度が高 くなることから、クリープに及ぼす温度の影響を考慮した。クリー プ解析法には、クリープによってコンクリートの見かけのヤング係 数が減少するという、有効弾性係数法を用いクリープによる応力の 緩和量を算出した。

4.解析結果およびひび割れ発生条件の評価

試験体のひび割れ発生時における外表面、高さ方向の 円周方向応力の分布を図-5に示す。有限要素法による 温度応力の弾性解析結果から、無限円筒の弾性解と比較 して、試験体端部の応力が相当に増加することが認めら れた。また、クリープ解析法から試験体は高温であるた め、クリープによる応力の緩和が大きいことも確認され た。この図から、加熱試験において試験体にひび割れが 発生した時(60時間後)のクリープを考慮した温度応 力は2.45N/mm²であり、この値はコンクリートの引張 強度2.51N/mm²にほぼ等しいことが示された。



図-4 メッシュ図



図 - 5 外表面における円周方向応力図

5.まとめ

鉄筋コンクリート有限円筒構造物の温度応力は、端部に最大引張応力が発生することが分かった。また、温度 応力評価に当たっては、端面効果およびクリープを考慮することが重要であり、それによってひび割れ発生を予 測できることが明らかにされた。

参考文献 1)大沼博志ほか:膨張コンクリートの圧縮および引張クリープ特性、セメント技術年報、第39巻