

(財)電力中央研究所 正会員 伊藤 千浩、上野 学、亘 真澄、正会員 白井孝治*

(株)電力計算センター 丸山成人**

1. はじめに

当所では、使用済燃料対策のコストダウンの一方策として、原子力発電所から発生する使用済燃料をキャニスタと呼ばれる金属製の密封容器に収納し、円筒形状の RC 構造物で貯蔵するコンクリートキャスク貯蔵の実用化を目指している。

コンクリートキャスク本体は、約数十年程度の供用期間中、使用済燃料の発熱により高温環境下にさらされる。我が国では、原子力用コンクリート材料について、一般部 65、局部 90 という温度制限値が設けられており¹⁾、これらの温度条件下での温度応力によるひび割れの発生等の予測が必要とされている。そこで、円筒形 RC 構造物の耐熱試験を実施し、そのひび割れ幅等を解析的に評価する手法について検討した。

2. コンクリートの耐熱試験

表 - 1 コンクリートの配合

2.1 試験体及び試験方法

外径 1200×内径 590×高さ 1000mm の円筒形試験体を用い、耐熱試験を行った。試験体は、内面に厚さ 9.5mm の鉄製ライナープレートを設置し、コンクリートとの拘束をできるだけ無くするために、間に厚さ約 0.25mm のグリスを塗布したテフロンシートを 2 枚挿入した。鉄筋はフープ筋に D16、縦筋に D13 を用い、鉄筋比が周方向で 1.07%、軸方向で 0.48%とした。表 - 1 にコンクリートの配合を、図 - 1 に試験体概要を示す。応力状態を測定するために試験体表面には歪みゲージを張り付け、また温度分布を測定するために試験体内部及び表面に熱電対を取り付けた。

雰囲気温度を 38 に保持した恒温槽に試験体を設置し、加熱ヒータにより試験体内側の温度を約 90 まで加熱した後(昇温速度 2 /h) 約 60 時間、定常状態を保った後、自然冷却した。この間の歪み及び温度データを取得するとともに試験後の試験体の表面を観察した。

2.2 試験結果

図 - 2 に試験後の試験体の観察結果を示す。ひび割れは上端部に集中しており、一部は内側のライナープレートまで達するひび割れになっており、それらのひび割れはほぼ縦筋の位置に発生していた。ひび割れは約 150 時間後に発生しており、その時の内外温度差は約 22 であった。また、試験後にひび割れ幅を測定したところ 0.1mm 以下であった。

3. 温度応力ひび割れ解析

3.1 解析方法

解析には二次元有限要素法プログラム CRANCYL を用いた。CRANCYL は、重力ダム のひび割れ解析プログラム CRAN²⁾をベースに改良したもので、線形弾性体のみを取り扱っており、線形破壊力学に基づく離散ひび割れモデルを適用し、ひび割れの発生や進展を考慮している。解析に使用したコンクリートの引張強度、破壊靱性値等の物性値及び境界条件の温度データは実測値を用いた。解析条件は平面歪み条件(板厚 1cm)

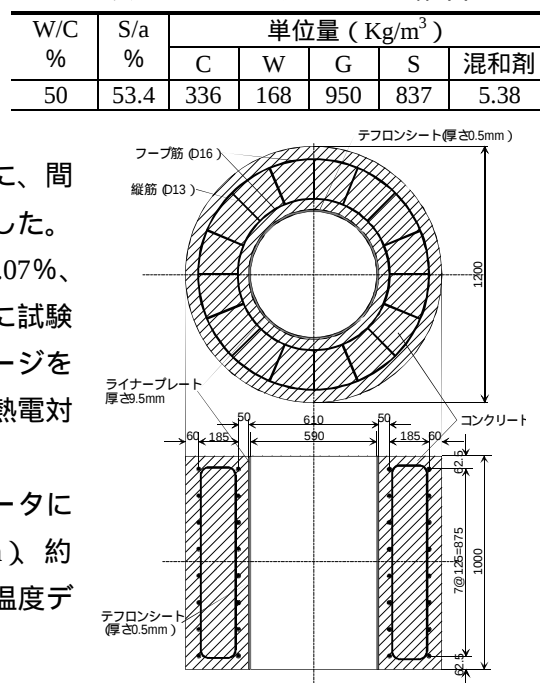


図 - 1 試験体概要

キーワード：円筒構造物、コンクリート、温度応力、ひびわれ、有限要素法

*〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 0471-82-1181 FAX 0471-82-5934

**〒270-1165 千葉県我孫子市並木 9-19-14 TEL 0471-84-2785 FAX 0471-84-2751

とし、周方向に90分割、半径方向に9分割し、要素数は810、節点数は3420で、計算は1ステップを5時間とした。なお、解析モデルでは鉄筋を考慮しておらず、ライナープレートとコンクリートは完全付着とした。また、弾性係数、引張強度、破壊靱性値については、ばらつきを考慮し、正規分布（変動係数0.1）に従うものとした。

3.2 解析結果

図-3に、ひび割れ幅について、解析結果と実測推定値を比較して示す。実測推定値は、耐熱試験でひび割れが発生した部位での歪みの計測値に歪みゲージの長さに乗じて換算したものである。試験と解析を比較すると、ひび割れの発生時刻がほぼ一致していることがわかる。また、今回の解析結果からは、無筋コンクリートの場合、コンクリート表面で最大0.5mmのひび割れの発生が予想される。図-4にひび割れが進展する際の応力分布図を示す。本解析では、中心側では圧縮応力域が存在するにもかかわらず、ひび割れの発生とともに、引張応力の集中部（ひび割れ先端）が内側のライナーまで到達し、1ステップ内にひび割れが進展した。

4. まとめ

円筒形コンクリート構造物の温度応力挙動として、温度応力ひび割れについて試験と解析を比較したところ、ほぼ同様な結果が得られ、温度応力ひび割れ評価手法の見通しを得た。今後、鉄筋を考慮した解析を進めるとともに、ひび割れの発生や進展の抑制方法としてプレストレスの導入等を検討していく。

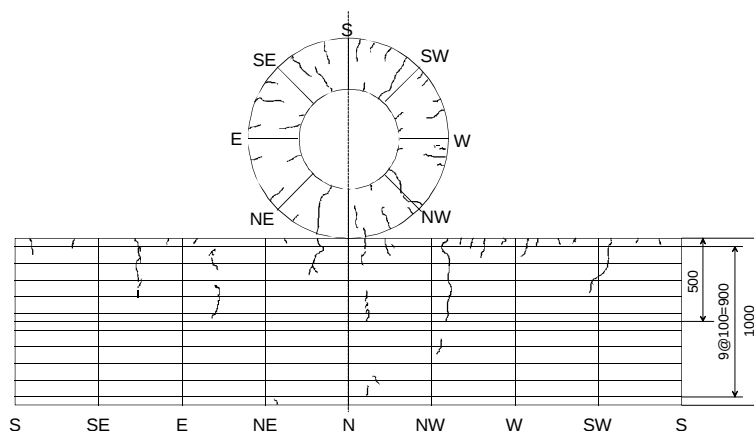


図-2 試験後の試験体のひび割れ状況

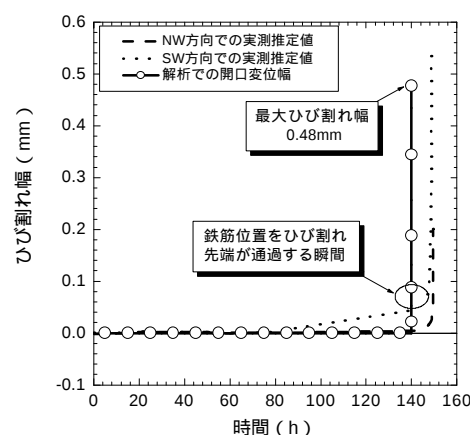


図-3 ひび割れ幅の試験と解析での比較

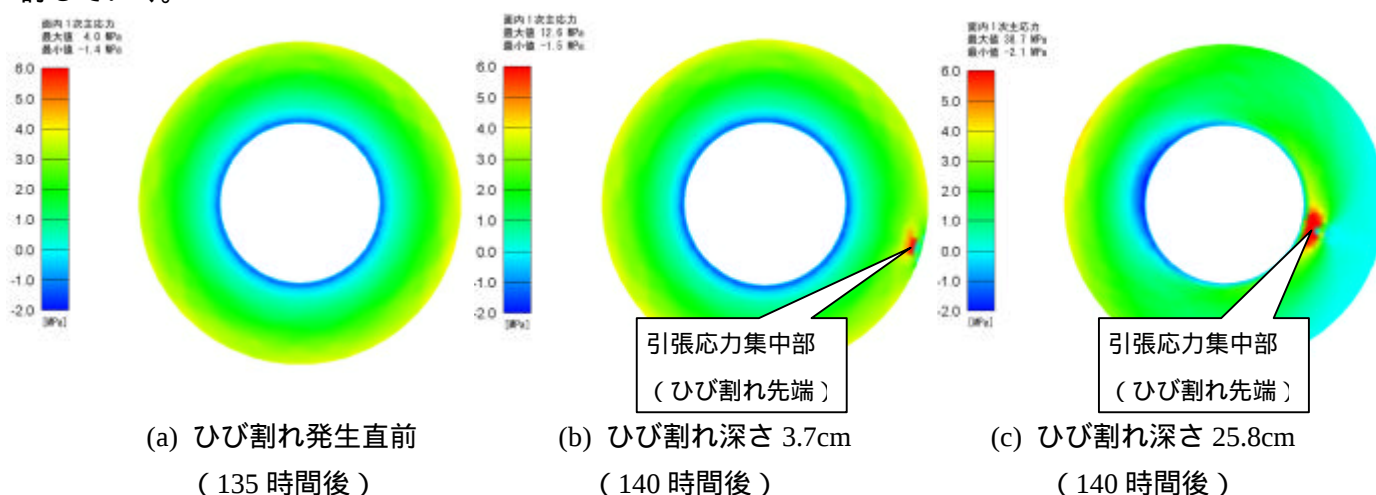


図-4 ひび割れが進展する際の応力分布

参考文献

- 1) 日本建築学会 原子力用コンクリート格納容器 設計指針案・同解説 丸善 1978
- 2) M. Irobe and Peng, S.Y.: Finite element analysis of thermal crack in gravity dam caused by annually oscillating environmental temperature, Proceedings FRAMCOS-3, pp.1605-1614, 1997