

円筒 R C 構造物の温度ひび割れ挙動 (その2) ひび割れ幅評価手法の検討

(財)電力中央研究所 正会員 上野 学、正会員 白井孝治、亘 真澄*
(株)電力計算センター 丸山成人**

1. はじめに

電力中央研究所では、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 R C 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。コンクリート製貯蔵容器は、その供用期間中、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 (通常運転時) という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把握が重要である。そこで、円筒 R C 構造物の伝熱試験を実施し、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てきた²⁾。本報告では、切り欠きを導入した試験体を用いて伝熱試験を行い、切り欠き導入部の開口変位を測定し、解析と比較した。

2. コンクリートの伝熱試験

2.1 試験体および試験方法

外径 1200×内径 590×高さ 1000mm の円筒試験体を用い、伝熱試験を実施した。試験体は、内面に厚さ 9.5mm の鋼製ライナプレートを設置し、コンクリートとの拘束を緩和するために、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。また、試験体には、幅 10mm、高さ 20mm のくさび型の切り欠きを導入した。表 1 にコンクリートの配合を、図 1 に試験体形状寸法を示す。切り欠き開口部にクリップゲージを取り付け試験中の開口変位を測定した。また、試験体表面にはひずみゲージおよび熱電対を、試験体内部には熱電対を取り付け、応力状態や温度分布を測定した。

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 38℃ まで加熱した。雰囲気温度を 38℃ に保持したまま、試験体内面の温度が 90℃ になるまで加熱ヒータによって昇温した。この時の昇温速度は、約 2℃/h とした。その後、一定時間保持した後、自然冷却した。この間の切り欠きの開口変位、ひずみおよび温度データを取得するとともに試験後の試験体のひび割れ状況を記録した。

2.2 試験結果

最初のひび割れは、切り欠き部で約 190 時間後に発生しており、下まで達していた。その時の温度差は約 7℃ であった。また、試験中の切り欠き先端でのひび割れ幅は最大 0.2mm であった。図 2 に試験後の試験体のひび割れ状況を示す。切り欠き以外でも端部にはひび割れが発生し、上面ではライナプレートまで貫通するものも発生していた。これらのひび割れはほぼ縦筋の位置に発生していた。

キーワード：円筒構造物、コンクリート、温度応力、ひび割れ、有限要素法

* 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 0471-82-1181 FAX 0471-83-2962

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

表 1 コンクリートの配合

W/C %	S/a %	単位量 (kg/m ³)				
		C	W	G	S	混和剤
55	53.4	305	168	850	960	3.47

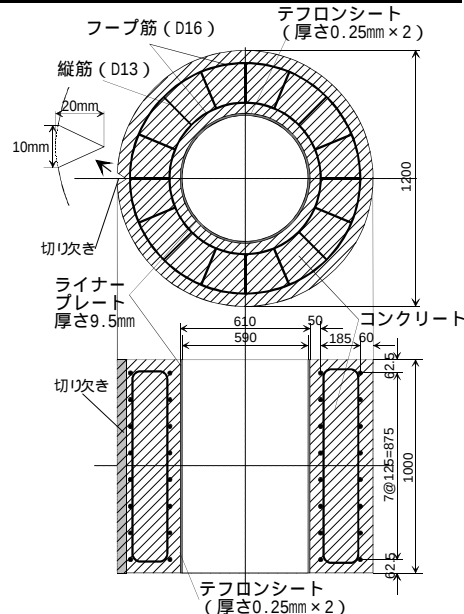


図 1 試験体形状寸法

3. 温度ひび割れ解析

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 CRAN³⁾ 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評価できる。解析条件は、平面ひずみ条件（板厚 1mm）とし、周方向に 90 分割、半径方向に 10 分割し、要素数は 900、節点数は 3782 で、計算は 1 ステップ 1 時間とした。鉄筋については、鉄筋部の要素の物性値を等価剛性とし、ひび割れが発生後にはひび割れ面に接触バネを負荷し、鉄筋の引き抜きをモデル化した。図 3 に使用した開口変位とバネ軸力の関係を示す。解析にはコンクリートの引張強度、破壊靱性値等の物性値⁴⁾および境界条件の温度データは実測値を用いた。また、ライナプレートは拘束を緩和させるテフロンシートの効果を導入するために、線膨張係数をコンクリートと同じ値を用いた。なお、弾性係数、引張強度、破壊靱性値は、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 4 にひび割れが進展する際の応力分布を示す。ひび割れは、199 時間後に切り欠き先端で最初に発生し（温度差 11℃）215 時間後に貫通した。また、その他、3ヶ所でひび割れが発生した。図 5 に切り欠き先端でのひび割れ幅を測定値と比較したものを示す。ひび割れの進展状況は（ひび割れの発生時刻等）比較的良く一致しているが、最大ひび割れ幅では、測定値の 0.2mm に対し、解析値では 0.32mm と 1.5 倍程度の値となった。

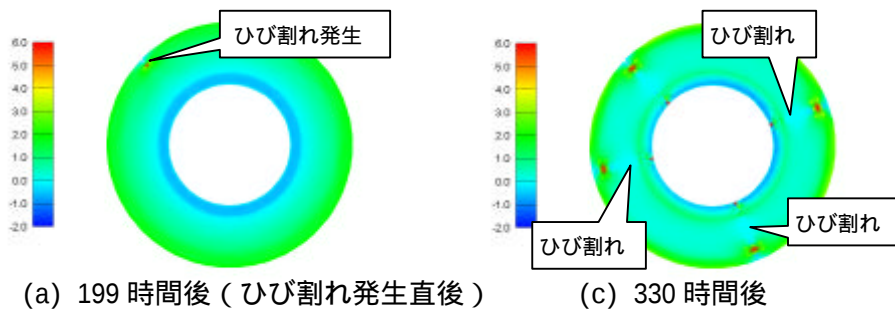


図 4 ひび割れが進展する際の応力分布

4. まとめ

円筒 R C 構造物の温度ひび割れ挙動を評価するため、切り欠き入り円筒 R C 試験体を用いた伝熱試験を行い、ひび割れ進展解析と比較した結果、その進展状況について定性的には良い一致が見られた。また、ひび割れ幅については、引張軟化特性や温度依存性を解析コードに導入し、さらに精度の向上を図る予定である。

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) 伊藤他 土木学会 第 55 回年次学術講演会 発表番号 V-296
- 3) M.Irobe and S.Y.Peng, Proceedings FRAMCOS-3, pp.1605-1614, 1997
- 4) 白井他 土木学会 第 55 回年次学術講演会 発表番号 V-295 など

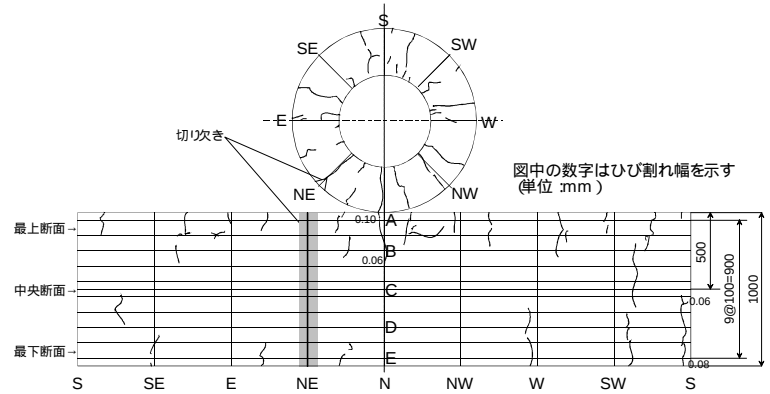


図 2 試験後の試験体のひび割れ状況

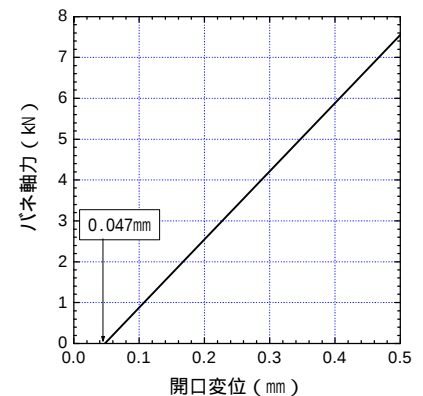


図 3 開口変位とバネ軸力の関係

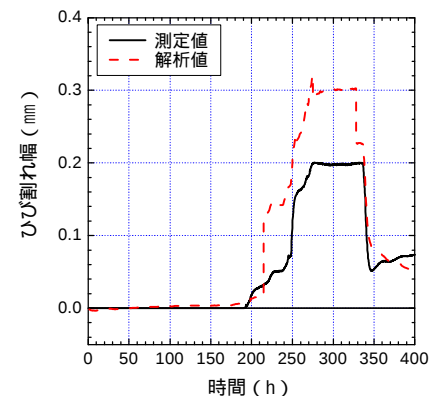


図 5 試験結果と解析結果の比較