

## 円筒 R C 構造物の温度ひび割れ挙動 (その3) ひび割れ進展計測への AE 技術の適用性

(株)日本パブリック 正会員 田仲正弘、菊山清児\*  
 (財)電力中央研究所 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、それを円筒形状の 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。コンクリートキャスク本体は、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ため、温度応力によるひび割れの発生等の把握が重要である。本報告では、切欠きを導入したコンクリート梁試験体の破壊靱性試験に対して AE 計測を実施し、ひび割れ進展状況を推定した。そして、ひび割れ進展の数値解析と比較検討を行い、ひび割れ進展計測の AE 技術への適用性を評価した。

## 2. 破壊靱性試験

## 2.1 試験体および試験方法

図-1 に、試験体の形状と荷重の負荷方法を示す。試験体は、幅 100mm×高さ 200mm×長さ 1,260mm のコンクリート梁とした。人工欠陥は、打設時に梁中央に金属製プレートを打設方向と平行に仕上げ面側に挿入した。人工欠陥の形状は、先端に 30 度の鋭角を有し、深さは 100mm、幅 3mm である。破壊靱性試験は、500kN 容量の電気油圧式サーボ型試験機を用いて、変位速度一定条件下で 4 点曲げ載荷により実施した。載荷スパンは 800mm、載荷治具のスパンは 100mm である。表-1 に、コンクリートの配合を示す。普通ポルトランドセメント(比重 3.16)を使用し、水セメント比は 60%、目標スランプは 10cm、目標空気量は 4.5% とした。また、混和剤には、ポソリス No.70 を使用した。

## 2.2 AE 測定

図-2 に、AE センサの配置図を示す。AE センサは共振周波数 150 kHz の圧電型(直径 8mm、高さ 12mm の円筒形)であり、切欠き先端からひび割れの進展方向に沿って 25mm 間隔で 6 個の AE センサを配置した。サンプリング間隔は 0.2 μ秒であり、ノイズレベルより高めに設定されたしきい値を超えた波形をプリアンプおよびシグナルコンディショナにより 80dB に増幅し、初動時刻や到着順位、最大振幅やエネルギー等を計測した。

## 3. AE 計測によるひび割れ進展解析

## 3.1 ひび割れ進展に伴う AE 発生状況

図-3 に、AE センサ 1 および 2 における発生率の経時変化を示す。図中に、載荷荷重及びクリップゲージで計測された切欠きの開口変位も合わせて示した。載荷荷重 2.3kN 付近からセンサ 1 での AE 発生が顕著になり、2.8kN 付近からセンサ 2 での AE 発生が顕著になっており、AE の発生震源がひび割れ

表-1 コンクリートの配合

W/C %	S/a %	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		C	W	G	S	混和剤
60	53.5	280	168	974	858	4.48

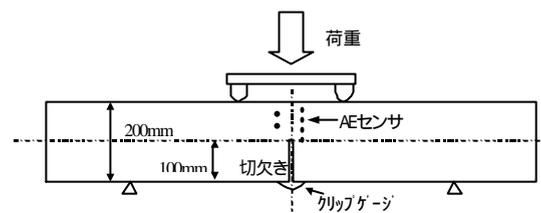


図-1 試験体の形状と荷重の負荷方法

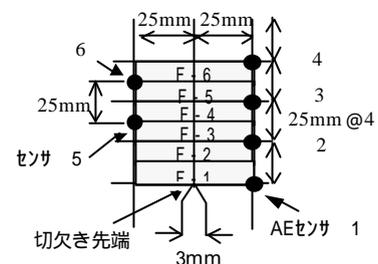


図-2 センサ配置と震源領域

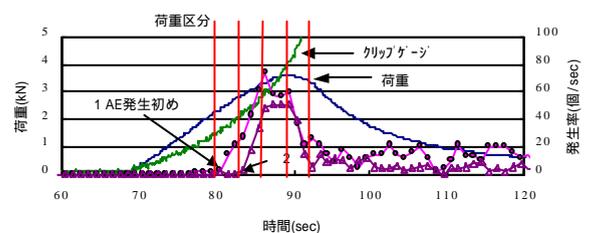


図-3 AE 計測結果

キーワード：コンクリート、破壊靱性、ひび割れ、AE、有限要素法

\* 〒270-1194 千葉県我孫子市緑 1-1-3

TEL 0471-81-2700 FAX 0471-81-8727

\*\* 〒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

の進展方向に移動していることが判る。特に、切欠き先端に最も近いセンサ 1 での AE 発生率の立ち上りは明瞭であり、破壊靱性値の決定の際に有力な情報となることが判る<sup>1)</sup>。

3.2 ひび割れ発生震源の決定方法

AE によるひび割れ発生の震源位置は、図-2 に示すセンサの位置関係より 6 領域 (F-1 ~ F-6) となり、震源の推定精度は 12.5mm である。各センサでの AE の到達順位は波形の初動時刻より決定され、到達順位がセンサ 1 ~ 6 の順であれば F-1 領域が、センサ 2 ~ 1 の順であれば F-2 領域が発生震源と決定される。

3.3 AE 発生頻度によるひび割れ進展の推定

図-4 に、荷重区分内における AE の到達順位より決定された発生震源の頻度分布を示す。表-2 に荷重区分を示すが、センサ 1 での AE 発生率の立ち上り時刻における載荷荷重 2.3kN から 3 秒毎に 4 分割している。区分 と (最大荷重の 90% 程度) では F-1 領域、区分 (最大荷重付近) では F-2 領域の発生震源の頻度が顕著となり、ピーク直後の区分 では F-3 領域での発生震源の頻度が顕著となっている。これらの結果より、最大荷重付近では、切欠きのひび割れは 25mm (F-2 領域) 程度進展しているものと推定される。

3.4 有限要素法によるひび割れ進展解析

AE 計測結果に基づくひび割れ進展予測の精度を検討するため、有限要素法によるひび割れ進展解析を行い、比較検討を行った。図-5 に、要素分割図と解析で使用した引張軟化曲線を示す。引張軟化曲線は、破壊靱性試験結果より多直線近似法<sup>2)</sup>により得られたものである。解析には、二次元有限要素法プログラム CRANCYL<sup>3)</sup>を用いた。解析条件は平面応力条件とし、要素数は 812、節点数は 3399 で、計算ステップ毎に荷重点に 50N の増分荷重を与えた。

図-6 に、AE 計測と FEM によるひび割れ進展予測の比較を示す。図中には、AE センサ位置と領域 F-1 から F-6 を表示した。

FEM の数値解析結果では、最大荷重の 85% 程度で 7mm (F-1 領域内)、ピークで 16mm (F-2 領域内) 進展する結果となっており、AE 計測による推定結果と良い一致を与えることが判る。

4. まとめ

破壊靱性試験における切り欠きからのひび割れ進展予測に AE 技術を適用した結果、簡易なひび割れ発生震源の同定方法により、最大荷重に達するまでのひび割れ進展量を評価できる見通しを得た。今後、高温状態における RC 構造物への適用方法の検討を行い、AE 計測による温度ひび割れ進展予測の精度向上を図る予定である。

参考文献

- 1) 例えば、勝山 邦久編・著：AE 技術の応用，アイピ - シ -
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書，2001.5.
- 3) M.Irobe and S.Y.Peng, Proceedings FRAMCOS-3, pp.1605-1614, 1997

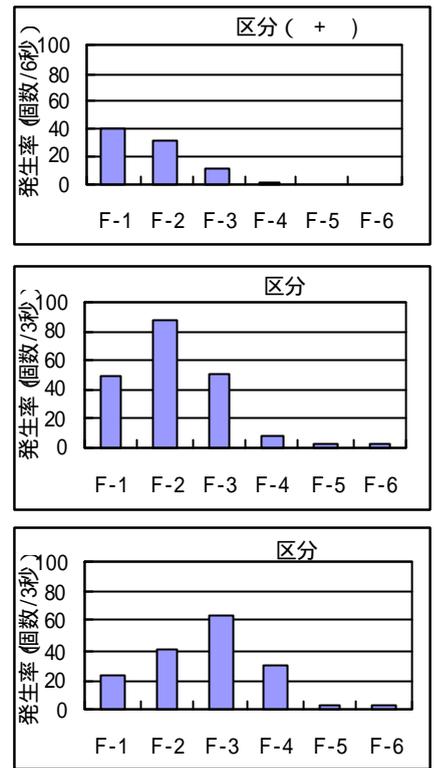


図-4 AE 発生震源の頻度分布

表-2 荷重区分

区分	経過時間 (秒)	荷重 (kN)	最大荷重からの割合 (%)
	80 ~ 82	2.3 ~ 2.8	63 ~ 79
	83 ~ 85	2.8 ~ 3.3	79 ~ 92
	86 ~ 88	3.3 ~ 3.6	92 ~ 100
	89 ~ 91	3.6 ~ 3.4	100 ~ 95

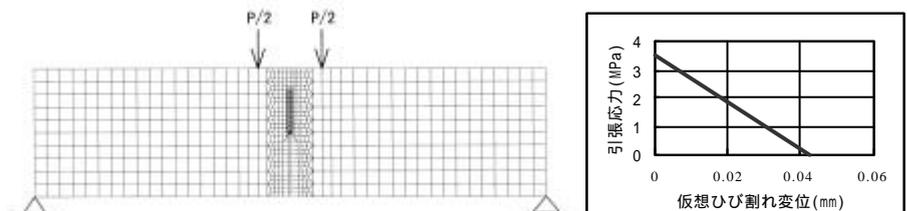


図-5 要素分割図と解析で使用した引張軟化曲線

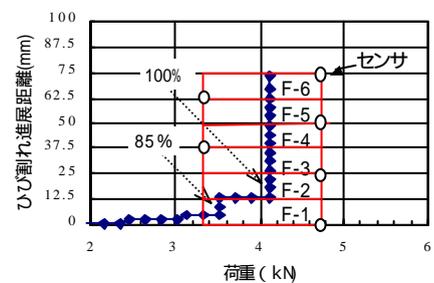


図-6 AE 計測と FEM によるひび割れ進展予測の比較