

円筒 RC 構造物の温度ひび割れ挙動 (その1) 破壊力学パラメータの温度依存性

(財)電力中央研究所 正会員 白井 孝治 *

石川島播磨重工業(株) 正会員 柳下 拓也**

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 RC 構造物で貯蔵するコンクリートキャスク貯蔵(図-1 参照)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。このため、温度応力により、外周部に潜在的に存在する微小欠陥に起因するひび割れの発生が想定される。一方、我が国の重要な原子力施設のコンクリート構造一般部については、通常運転時 65、事故時 175 という温度制限値¹⁾が設定されており、温度応力に対するひび割れ進展の評価においては、材料強度パラメータの温度依存性の把握が重要である。そこで、普通コンクリートを対象に、温度範囲(R.T. ~ 150)における破壊力学パラメータの温度依存性に関する基礎的なデータを取得した。

2. 破壊靱性試験

2.1 使用材料

試験では、普通ポルトランドセメント(比重 3.16)を使用した。表-1 に、使用した骨材の物理特性を示す。骨材は、JASS5N²⁾で規定される仕様を満足する材料とした。表-2 に、コンクリートの配合を示す。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、ボソリス No.70 を使用した。

2.2 試験体

図-2 に、試験体の形状を示す。試験体は、幅 B100mm × 高さ W200mm × 長さ L1,260mm 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に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 a は高さ W の 1/2、幅 3mm である。

2.3 試験方法

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 点曲げ载荷により破壊靱性試験を実施した。载荷スパン S は 800mm、载荷治具のスパン S_1 は 100mm である。試験温度は 20, 65, 90, 120, 150 の 5 温度とし、試験体を恒温槽(20, 65, 90 では湿度 65%RH)で養生し、水中取出重量に対する養生中の重量変化率が一定となった時点(温度養生期間: 約 5 週間)で試験に供した。試験体数は、各試験温度につき 6 体とした。

3. 試験結果

3.1 破壊靱性値 K_{IC} の算出

ASTM の手順を参照し、試験時の载荷力-開口変位(CMOD)から立ち上がりの勾配より 5%少ない勾配を持つ
キーワード: コンクリート、破壊靱性値、破壊エネルギー、ひび割れ軟化、温度依存性

*〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1696 0471-82-1181 FAX0471-83-2962

**〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区中原新町 1 045-759-2596 FAX045-759-2886

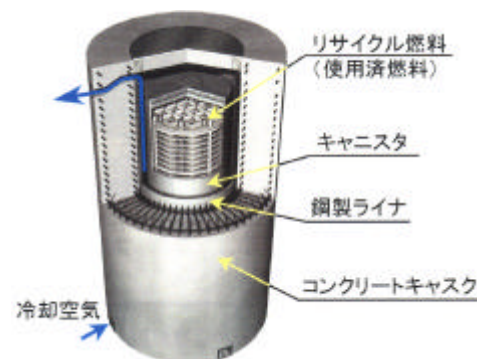


図-1 コンクリートキャスクの概念

表-1 骨材の物理特性

	細骨材	粗骨材
産 地	大井川水系川砂	大井川水系川砂利
表乾比重	2.61	2.64
吸 水 率	1.56%	0.77%
最大寸法	5mm	20mm
粗 粒 率	2.63	6.63

表-2 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
60	53.5	280	168	974	858	4.48

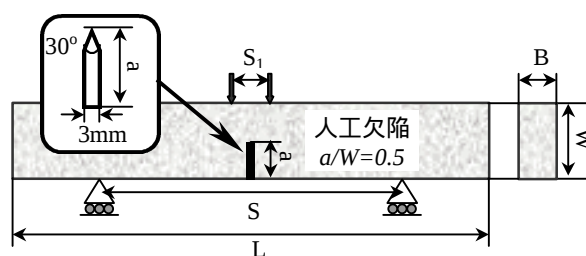


図-2 試験体の形状と荷重負荷方法

直線の交点から荷重 P_C を求め、式(1)に従い K_{IC} 値を算出した³⁾。ここで、 $a = a/W$ である。

$$K_{IC} = 3P_C S / BW^2 \cdot \sqrt{p a} \cdot F_I(a), \quad F_I(a) = 1.122 - 1.121a + 3.740a^2 + 3.873a^3 - 19.05a^4 + 22.55a^5 \quad (1)$$

3.2 破壊エネルギー G_F の算出

破壊エネルギー G_F は、式(2)に従い算出した⁴⁾。

$$G_F = (0.75W_0 + W_1) / A_{ig} \quad (2)$$

ここで、 W_0 は試験体が破断するまでの荷重—CMOD 曲線下の面積、 $W_1 = 0.75(S/L m_1 + 2m_2)g \cdot CMOD_c$ は試験体の自重及び載荷治具がなす仕事、 A_{ig} はリガメントの面積、 m_1 は試験体の質量、 m_2 は載荷治具の質量、 S は載荷スパン、 L は試験体長さ、 g は重力加速度、 $CMOD_c$ は破断時のひび割れ開口変位である。

3.3 破壊靱性値及び破壊エネルギーの温度依存性

図-3 に、破壊靱性値 K_{IC} と破壊エネルギー G_F の温度依存性を示す。

K_{IC} は 65 まではほぼ一定値であるが、90 で減少後、温度の上昇に伴い大きくなる傾向にある。一方、 G_F は 65 までは温度の上昇に伴い大きくなるが、90 で若干減少後、温度の上昇に伴い大きくなる傾向にある。コンクリート材料は、65～90 付近において熱の影響により鉱物組成が変化することが指摘されており⁵⁾、破壊力学パラメータも鉱物組成の変化に伴い大きく変動することが推察される。

3.4 引張軟化特性の温度依存性

破壊靱性試験で得られた荷重—CMOD 曲線より、日本コンクリート工学協会から提案されている多直線近似法⁴⁾を用いて、引張軟化特性を推定した。図-4 に、引張軟化特性の温度依存性を示す。90 までは、温度上昇に伴い引張強度が漸減し、限界仮想ひび割れ幅も大きくなる傾向にある。一方、120～150 では、引張強度がやや回復し、限界仮想ひび割れ幅も室温に比べ増加する傾向にある。

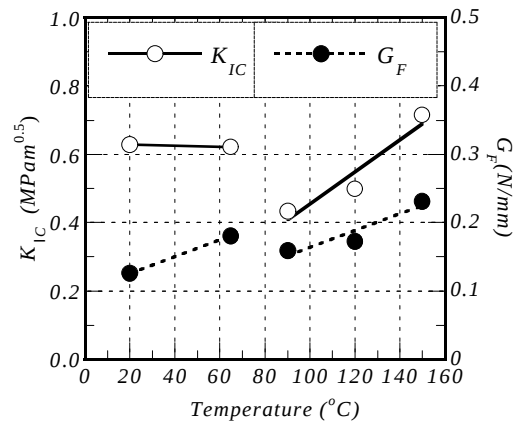


図-3 K_{IC} と G_F の温度依存性

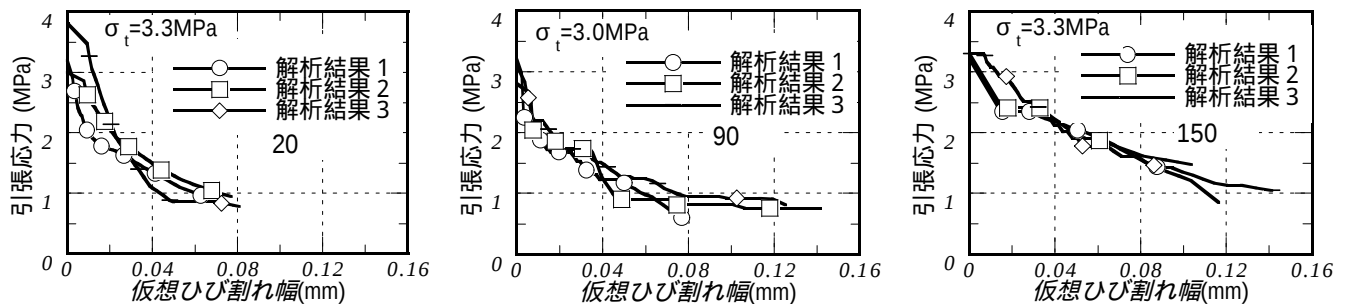


図-4 引張軟化特性の温度依存性

4. まとめ

円筒 RC 構造物に発生する温度応力に対するひび割れ進展を破壊力学的な観点から評価するため、JASS5N で規定される普通コンクリートを対象に、R.T.～150 の環境下における破壊靱性試験を実施した。その結果、温度上昇に伴い破壊靱性値 K_{IC} と破壊エネルギー G_F は増加し、延性的な挙動を示すことが理解される。また、65～90 付近では鉱物組成が熱影響により変化するため、これらパラメータが大きく変動することが明らかとなった。

5. 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，昭和 53 年 8 月
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N(第二版)，1991
- 3) H. Nishitani and Mori, K.: Influence of supporting conditions on stress intensity factors for single-edge-cracked specimens under bending, Tech. Reports of the Kyushu Univ., No.5, 1985.
- 4) 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.
- 5) A. Atkinson and J. A. Hearne, "The hydrothermal Chemistry of Portland Cement and its Relevance to Radioactive Waste Disposal", UK Nirex Ltd. Report, NSS/R187, 1989.