

(財) 電力中央研究所 正会員 白井 孝治
 (財) 電力中央研究所 正会員 伊藤 千浩
 (財) 電力中央研究所 上野 学

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 (図 1 参照) 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、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材料については、通常時 65 (一般部) 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、材料強度のパラメータ (破壊靱性値) 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、三つの変形モードに対する破壊靱性値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 50%、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 試験体

図 2 に、試験体の形状を示す。試験体は、幅 B 100mm × 深さ W 200mm × 長さ L 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入射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 は試験片高さ W の 1/2、幅 3mm である。

2.3 試験方法

荷重は、500kN 容量の電気油圧式サーボ型試験機を用いて、変位速度一定の条件下で静的に载荷し、温度は R.T. と 65 の 2 温度とした。65 の試験では、試験体を自動温度制御恒温槽内 (湿度 65%) で養生し、水中取出重量から養生中の重量変化率がほぼ一定となった時点 (温度養生期間約 5 週間) で試験に供した。図 3 に、各破壊モード試験 (K_{Ic} , K_{IIc} , K_{IIIc}) における負荷方法を示す。モード I 試験では 4 点曲げ負荷、モード II 並びにモード III 試験では面内並びに面外の 4 点せん断試験として実施した。各試験における試験体数は 6 体とした。

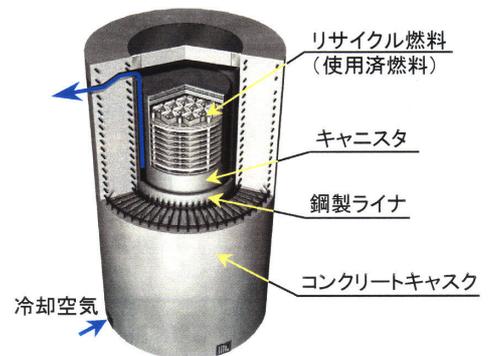


図 1 コンクリートキャスクの概念

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
50	53.4	336	168	950	837	5.38

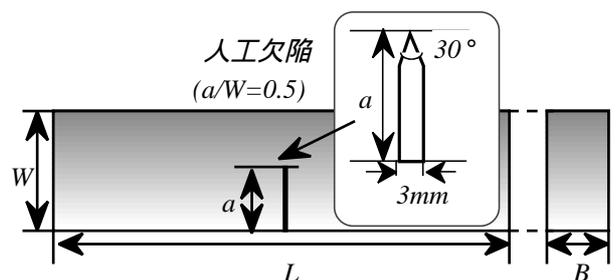


図 2 試験体の形状

2.4 試験結果

図 4 に、試験体破面の外観を示す。モード I の試験では、切欠き先端から直線的に破壊が進み、切欠きの反対面での破線も直線である。モード II の試験では、破壊が切り欠きに対して約 45° 方向に進行し、切欠きの反対面の破線も直線であり、破壊の進展は最大主応力に垂直な面で発生している。モード III の試験では、面外の約 45° 方向に進行し、切欠きの反対面では破線が約 45° 方向に発生している。破壊の進展は、モード I の試験と同様に最大主応力に垂直な面で発生している。

2.5 破壊靱性値 (K 値) の算出

試験時の負荷力 切欠き端変位から立ち上がりの勾配より 5% 少ない勾配を持つ直線の交点から荷重 P_Q を求め、式(1)~式(3)³⁾に従い、各モード毎に K_Q 値を算出した。ここで、 $K_Q = a / \sqrt{V}$ である。

$$K_{IQ} = \frac{3P_Q S}{BW^2} \sqrt{a} F_I(\alpha) \quad (1)$$

$$F_I(\alpha) = 1.122 - 1.121 \alpha + 3.740 \alpha^2 + 3.873 \alpha^3 - 19.05 \alpha^4 + 22.55 \alpha^5$$

$$K_{IIQ} = \frac{3P_Q}{3WB} \sqrt{a} F_{II}(\alpha) \quad (2)$$

$$F_{II}(\alpha) = -0.2915 + 6.3229 \alpha - 9.1199 \alpha^2 + 6.0567 \alpha^3$$

$$K_{IIIQ} = \frac{3P_Q}{3WB} \sqrt{a} F_{III}(\alpha) \quad (3)$$

$$F_{III}(\alpha) = 1.286$$

K_Q 値については、ASTM 規格 E399-90 を参照し、 $P_{max} / P_Q \geq 1.10$ と $B/a \geq 2.5(K_Q / \sigma_0)^2$ の 2 式が成立する場合に有効な K_C 値とみなすことができる。 σ_0 については、 K_{IQ} 値では引張強度、 K_{IIQ} 、 K_{IIIQ} 値ではせん断強度となる。しかしながら、コンクリート材料の場合、これらの小規模降伏条件を満足しないため、荷重 切欠き端変位曲線下の面積を求めた後、荷重 切欠き端変位曲線下の直線部を延長して、直線下の面積が荷重 切欠き端変位曲線下の面積と等しくなる等価荷重 P_{max} を求め、式(1)~式(3)に従い等価破壊靱性値 K_C を算出した。

2.6 破壊靱性値の温度依存性

図 5 に、 K_C の温度依存性を示す。モード I 負荷による K_{IC} 値が最大で、モード II 負荷による K_{IIIC} 値が最小であり、モード III 負荷による K_{IIIC} 値が中間の値を示す。また、いずれの破壊モードにおいても、65℃ に比べて室温における破壊靱性値が小さくなる傾向にある。

3. まとめ

円筒形状のコンクリート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、普通コンクリートを対象に、室温と 65℃ 環境下における破壊靱性試験を実施し、破壊靱性値の温度依存性に関する基礎的なデータを取得した。

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) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N (第二版)、1991。
- 3) 例えば、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., Vol.58, No.5, 1985。

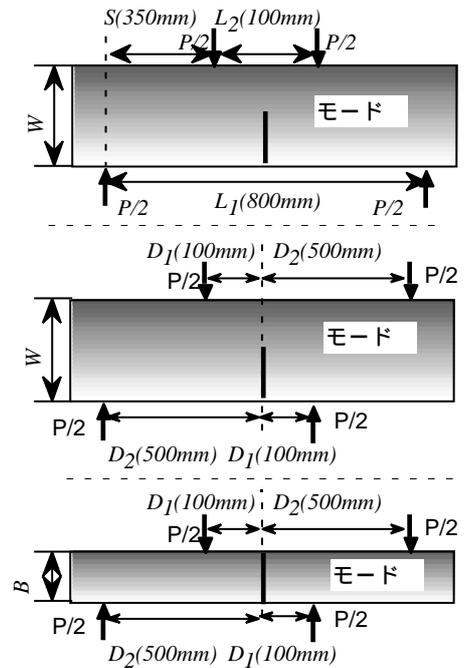


図 3 荷重の負荷方法



(モード I) (モード II) (モード III)

図 4 各破壊モード試験後の状況

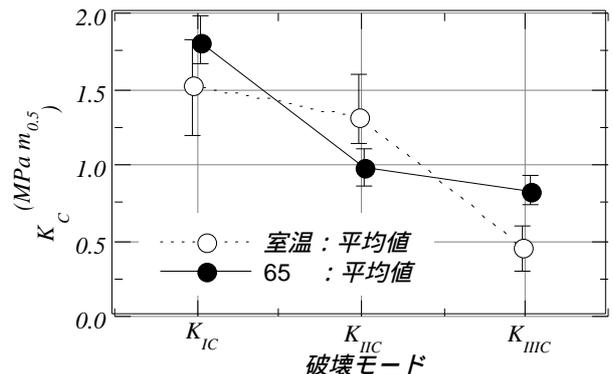


図 5 K_C の温度依存性