

V-7 破壊力学によるセメントペーストおよびモルタルの破壊じん性評価に関する基礎的研究

国 士 館 大 学 ○ 正 会 員 小 畑 富 雄
東京理工専門学校 正 会 員 森 田 興 司

1. まえがき

線形破壊力学は、クラックあるいは鋭い切り欠きをもつ部材や構造物の強度や変形を、線形弾性論から得られた結果を基礎として取り扱う分野である。クラックおよびそれに類似な欠陥を対象とし、クラック先端の力学的環境条件として、応力やひずみではなく、応力拡大係数あるいは、これと一対一対応のあるエネルギー解放率というパラメータを用いる。これらは、材料が線形弾性体であるとひとまず近似し、弾性論によって求められるものである。

すでに前報^{1),2)}までにおいて、応力拡大係数 (K_{Ic} , $kgf \cdot cm^{-1.5}$) の概念によるコンクリート材料の破壊じん性評価の有効性について報告してきた。しかし、コンクリート材料のような非均質材料の破壊じん性値は、線形破壊力学をそのままの形で適用するのは多少無理があり、修正の要がある。

本報告は、切り欠き深さ比 (a/W) の影響を受ける K_{Ic} 値の算定法の修正、および限界クラック長 (a_c) を用いた供試体強度の算定法などについてまとめたものである。

2. 使用材料および実験方法

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は標準砂、川砂 (最大寸法 5 mm, 2.5 mm の 2 種類) を用いた。供試体は $4 \times 4 \times 16$ cm と $10 \times 10 \times 40$ cm の 2 種類を用い、表-1 に代表的使用配合を示した。

切り欠きは、打ち込み時に硬質ビニール製仕切り板 (厚さ 0.5 mm) を用い、脱型時にはずして所定の切り欠きを導入した。供試体は 28 日間標準養生をおこなったのち、3 等分点載荷法により曲げ載荷した。

3. 実験結果および考察

1) K_{Ic} 値の算定

純曲げの場合、 K_{Ic} 値の算定は(1)式によりおこなわれている³⁾。

$$K_{Ic} = \frac{6 M \sqrt{a}}{B W^2} \cdot Y, \quad Y = 1.99 - 2.47 (a/W) + 12.97 (a/W)^2 - 23.17 (a/W)^3 + 24.80 (a/W)^4 \cdots (1)$$

ただし、 M : 切り欠き部の曲げモーメント B, W : 供試体幅、高さ a : 切り欠き深さ
図-1 に(1)式を用いて算定した K_{Ic} と a/W との関係を示す。本実験に用いたすべての配合において、ほぼ同様な傾向を示し、 $a/W \approx 0.15$ 付近以下では K_{Ic} 値は低下し、 0.15 付近以上の切り欠きに対しては比較的安定した値を示した。また、 $a/W \approx 0.15$ 付近以上の安定した値から求めた K_{Ic} の平均値を表-1 に併記した。

2) 実効き裂長さ (a_0) の算定

K_{Ic} 値は本来、 a/W に影響を受けず一定値をとることがのぞましく、本実験においては $a/W \approx 0.15$ 付近以下の切り欠きに対し、実効き裂長さの概念⁴⁾を用いて修正を加えた。 a_0 はコンクリート材料特有の潜在欠陥群のうち、上記 K_{Ic} 値を得るために必要な a/W の増分を(1)式を用いて求めた。表-1 に、 a_0/W を定数とした場合、 a/W の 1 次関数とした場合についてそれぞれ併記した。また、 a_0/W と a/W との関係の一例を図-2 に示す。 a_0/W (定数) によると、標準砂モルタルおよび川砂モルタルは、セメントペーストのそれぞれ約 3 倍、4 倍程度の値を示し、細骨材の混入による潜在欠陥群の増加による影響と思われる。

3) a_0 を考慮した場合の K_{Ic} 値および最大荷重 (P_{max}) の算定

a_0/W を a/W の1次関数とし、(1)式における a を $a+a_0$ として求めた K_{Ic} と a/W との関係の一例を図-3に示す。図-1に比べ、 a/W に影響されずば一定の値を示すことがわかる。また、 K_{Ic} 値を用いた P_{max} の推定値と a/W の関係を図-4に示す。修正値を用いた P_{max} の推定値は実測値とよく一致した値を示すことがわかる。

4) 限界切り欠き深さ (a_c) の算定および P_{max} の推定

無き裂材の P_{max} および K_{Ic} 値を用いて(1)式より求めた限界切り欠き深さ比 (a_c/W)の値を表-1に併記した。 a_c を用いることにより、純曲げの場合(2)式により無き裂材の強度の推定が可能である。

$$P_{max} = \frac{BW^2}{\ell\sqrt{a_c}} Y \cdot \overline{K_{Ic}} \quad \text{ただし} \quad \ell: \text{スパン} \quad B, W, Y: \text{前述} \quad \dots (2)$$

なお、本実験における 無き裂材の P_{max} の推定値の一例を図-4に併記した。

4. あとがき

実在の材料においては、クラック先端付近で応力とひずみの関係が線形ではなくなり、降伏などによる非線形変形をした領域が出現する。この領域の大きさが、クラックの長さなどに比べて十分小さい場合を、小規模降伏状態とよんでいるが、この状態に対しては、弾性論を基にした線形破壊力学が、若干の補正をしたうえで適用可能であるとされている。コンクリート材料においても、切り欠き先端の塑性域の問題は重要であり、今後の課題としたい。

表-1 使用配合(重量配合比)および諸特性値

配合番号	セメント	標準砂	川砂 (5混)	川砂 (2.5混)	水セメント比	フロー値 (mm)	圧縮強度 (kgf/cm^2)	K_{Ic} ($kgf\cdot cm^{1.5}$)	a_0/W		a_c/W
									定数	1次関数 (相関係数)	
1	1	—	—	—	30	164	654	53.1	0.014	$0.029 - 0.315 (a/W)$ (0.89)	0.037
2	1	—	—	—	40	230	504	43.4	0.012	$0.021 - 0.133 (a/W)$ (0.68)	0.027
3	1	2	—	—	65	225	325	50.1	0.037	$0.046 - 0.160 (a/W)$ (0.75)	0.037
4	1	—	2	—	65	268	249	45.7	0.050	$0.068 - 0.265 (a/W)$ (0.73)	0.036
5	1	—	—	2	65	258	247	44.9	0.046	$0.068 - 0.250 (a/W)$ (0.83)	0.037

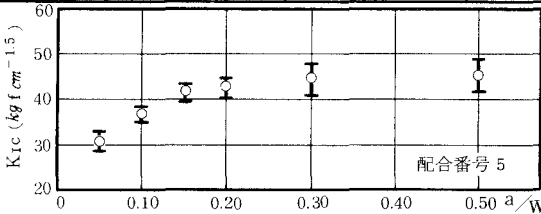


図-1 K_{Ic} と a/W との関係

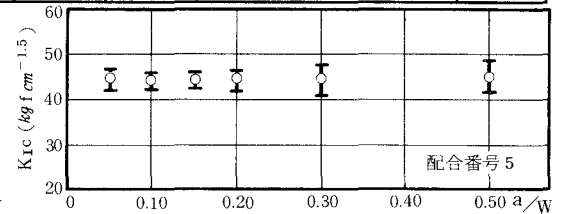


図-3 K_{Ic} と a/W との関係

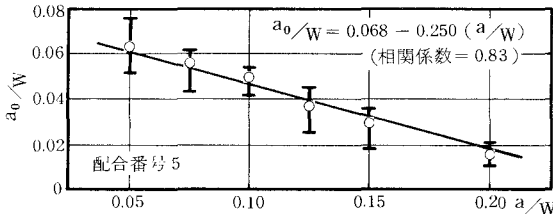


図-2 a_0/W と a/W との関係

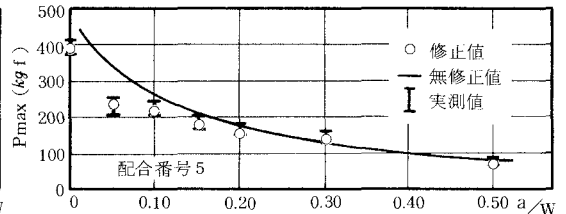


図-4 P_{max} と a/W との関係

<参考文献> 1) 森田・加藤:セメント技術年報32,昭和53年12月,pp.268~271. 2) 森田:セメント技術年報34,昭和55年12月,pp.246~249. 3) Brown,W.F. et al.:ASTM STP No. 410, 1966. 4) Waddoups,M.E. et al.:J-Comp-Mat.,5, 1971,pp.446~456.