

# 破壊力学による砂防工材の強度解析 (IV)

— コンクリートの強度におよぼすき裂の寸法効果とその修正方法 —

林業試験場九州支場 陶山 正憲

## 1. はじめに

コンクリートのようなセメント硬化体の破壊は“割れ”の形態をとり、材質的には空隙や微小き裂のような、き裂または力学的にき裂と等価と見なされる潜在性欠陥を含む“脆性材料”であるので、その強度評価には、“平滑材”としての強度とともに“き裂材”としての強度を合わせ考える必要がある。このようなき裂材強度の評価には、破壊力学が極めて有効なアプローチであることが一般には認められているものの、コンクリートへの適用例はまだ極く少ない。既報<sup>1)~3)</sup>では、まず破壊力学のコンクリートへの適用の方法、限界、精度などについての検討を行った結果、その適用の有効性が十分認められたが、適用精度などの点でおお若干の問題点が残されていたので、本報ではコンクリートの強度におよぼすき裂の寸法効果とその修正方法について、破壊力学的検討を行う。

## 2. 破壊靱性試験の方法および実験の結果

コンクリートの破壊靱性試験法はまだ確立されていないので、前報<sup>3)</sup>と同様にASTM規準の平面ひずみ破壊靱性試験法を準用して、図-1に示す片側切欠き梁によるコンクリートの3点曲げ試験を行った。なお、“切欠き+疲労き裂”の代わりに“人工き裂”をつけた。

試験片の形状と寸法はASTM規準に従って、試験の高さ $W = 8\text{ cm}$ 、板厚 $B = W/2$ 、支桌間距離 $S = 4W$ の矩形梁に切欠き長さ $a$ をつけた3点曲げ片側切欠き梁で、標準試験片には $a/W = 0.5$ 、標準外試験片には $a/W = 0.3, 0.1$ の人工き裂をつけた。これとは別に、同一形状・寸法の無き裂試験片を作製し、各種き裂試験片との比較に便ならしめた。

供試材は早強ポルトランドセメント、豊浦標準砂、粗骨材(最大粒径 $10\text{ mm}$ 、粗粒率 $5.8$ )の重量配合比が $1:2:2$ 、水セメント比が $60\%$ のコンクリートである。なお、試験時の材令は全て21日に統一したが、打ち込み方法、養生方法などはいずれも別報<sup>3)</sup>と同様である。

破壊靱性試験では、破壊の進行にともなうき裂開口変位量( $\delta$ )の変化をき裂端の開口部で測定し、荷重( $P$ )との関係を $P\sim\delta$ 曲線で示し、この曲線の初期勾配から破壊開始時の荷重 $P_0$ を決定する。しかしながらコンクリートの場合には、最大荷重 $P_M \approx P_0$ の関係が認められたので、 $P_M$ を用いて

$$K_I = 6YM\sqrt{a}/BW^2 \quad ; \quad M = PS/4 \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 $Y = 1.93 - 3.07(a/W) + 14.53(a/W)^2 - 25.11(a/W)^3 + 25.80(a/W)^4$

の式で $K_M$ を計算した。

曲げによるコンクリートの破壊靱性試験の結果を、 $P$ 基準強度と $K$ 基準強度で整理したのが図-2である。

## 3. コンクリートの基準強度に及ぼすき裂の寸法効果

き裂の寸法を変えると、図-2のようにコンクリートの荷重基準強度 $P_M$ は $a/W$ 比にともなって著しく変動するが、 $K$ 基準強度 $K_M$ は $a/W$ 比にかかわらず大きな

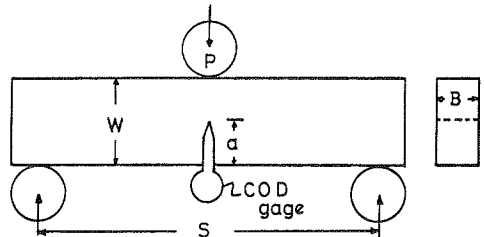


図-1. 片側切欠き梁による破壊靱性試験法

変動はみられない。従って、コンクリートの材料定数としての強度値としては、 $P_M$ より $K_M$ の方が格段に優れていることが結論できる。

次に、 $K_M$ を一定とした時の $P_M$ の推定値を図-2に曲線で示し、 $P_M$ の実験値と比較すれば、 $K$ 基準強度の有用性が一層明らかに確認される。

なお、コンクリートのように材料の一様性や均質性の劣る場合でさえも、同一条件の試験で得られた $P_M$ ,  $K_M$ の値には比較的ばらつきが少ない事実から、上記の傾向は実験のばらつきによるものではなく、この結果から得られた結論は非常に安定したものであると考えられる。

ただし、き裂が特に浅い場合 ( $a/W = 0.1$ ) には、 $K$ 値が多少低下する傾向がうかがわれるので、この点については以下に若干の検討を行う。

#### 4. 有効き裂の概念による破壊靱性値の修正方法

標準外試験片でき裂が特に浅い場合には、前述のように  $K_M$ 値が若干低下する傾向が指摘される。そこで、コンクリートの材質的特殊性を考慮して、次のような修正を行った。今、コンクリートを多くの微小欠陥を含む連続体と仮定し、微小欠陥群と等価な長さ $x$ の微小き裂が、人工的につけた実き裂長さ $a$ に附加されるものと考えれば、修正後の有効き裂長 $A$ は、 $A = a + x$ 、で表わされる。このような有効き裂の概念を導入して、コンクリートの曲げ試験片の等価き裂長さ $x$ を求めてみよう。まず前提条件として、き裂材の材料定数としての破壊靱性値 $K_M$ は、理論的には $a/W$ 比によって変化しないはずである。しかしながら現実には、図-2のように、 $a/W = 0.5$ の場合の $K_M$ の平均値は $K_M(5) = 58.9$ となるのに対し、 $a/W = 0.1$ の場合には $K_M(1) = 51.1$ となり前提条件と矛盾する。従って、式(1)の $a$ に有効き裂長 $A$ を代入して、 $K_M(5) = K_M(1)$ とおき、 $x/W$ について整理すると $x/W$ の9次方程式が得られる。しかしながら $x/W < 1$ の範囲では、この方程式には解がないので、 $|K_M(5) - K_M(1)|$ の最小値を求めてみると、図-3の曲線を得る。

結果として、 $K_M(1)$ が $K_M(5)$ に最も接近するのは $x = \frac{|K_M(5) - K_M(1)|}{K_M(5)}$  3.3 (mm) の時であり、これを用いて $a/W = 0.1$ の場合の破壊靱性値を修正すると $K'_M(1) = 60.1$ となり、 $K_M(5)$ とほぼ等しくなる。従って、有効き裂の概念を導入すれば、コンクリートの標準外試験片の破壊靱性値の推定も可能となる。

#### 引用文献

- 1) 北川英夫・陶山正憲：土木学会30周年次講，1975
- 2) 陶山正憲・金相哲・北川英夫：ICM-II，1976
- 3) 陶山正憲：新砂防 No.101，1976

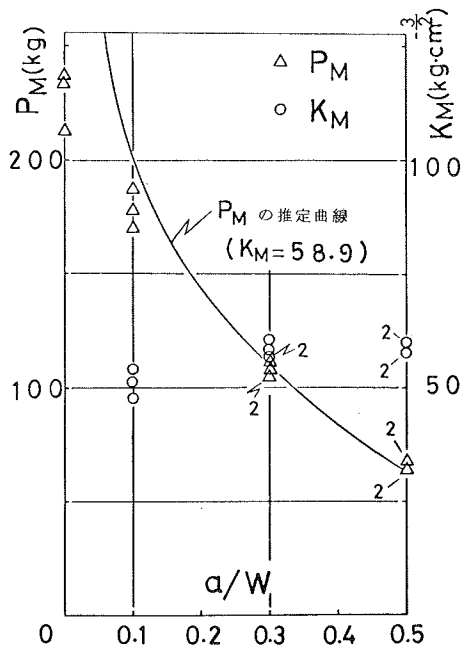


図-2. コンクリートの $P_M, K_M$ 基準強度の比較

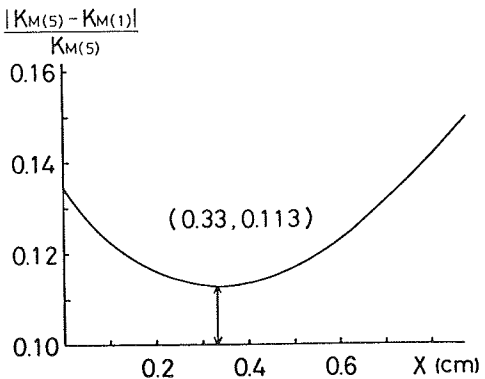


図-3. 等価き裂長に対する $K_M(5) - K_M(1)$ の変化