

岩石材料への破壊力学の適用に関する考察

徳島大学工学部 正員 藤井 清司
徳島大学大学院 学生員 藤井 重造

要文 岩石材料の強度評価を行う際、その内部に潜存するき裂等の欠陥を無視することはできない。そこで、き裂の挙動を定量的に把握するために線形破壊力学を導入し、第1段階としてその適用性について考察を施すために試験を行った。線形破壊力学は理想脆性体も対象とし線形弾性理論に基礎を置くものであるが、その二重き裂の強度定数として用いられている応力強度係数 (Stress Intensity Factor: K) も適用し、特に開口形のき裂変形に付する K 値である K_{II} に焦点を絞り、梁の曲げによる破壊靱性試験と円柱の圧縮引張による破壊靱性試験を行った。その結果について報告する。

試験片 使用した材料は普通ポルトランドセメントで、(1)細骨材の最大粒径が25mm、配合がC:S₁:W=1:2.90と、(2)細骨材の最大粒径が5.5mm、配合がC:S₂:W=1:3.05の2種類のセメントモルタルである。曲げ試験用の試験片の形状を図1に示す。これは片側1先を鋭くした線形の切欠きを入れた単純梁である。図2に圧縮引張試験用の中央にき裂を入れた円柱試験片の形状を示す。片側切欠き梁試験片の寸法は、 h - T 型で規定している標準試験片と参考として $W=10$ mmとし、 $h/W=0.5$ と $B/W=325, 050, 075, 100$ の4種類とし、 $h/W=0.5$ と $h/W=0.1, 0.3, 0.5$ の3種類とする。円柱試験片の寸法は $2W=10$ mm、 $L=20$ mmと $a/W=0.3, 0.5$ の2種類である。(1)の配合のセメントモルタルの場合、1日硬化時間後に脱型し、10日間の水中養生の後3日間空気中乾燥させたもので、(2)の配合の端部は1日硬化後に脱型し、その後の10日間水中養生させたものである。片側切欠き梁試験片は(1)と(2)の両者の配合で、円柱試験片は(2)の配合で上記要領により作製する。(1)、(2)の両者の材料力学的特性を表1に示す。

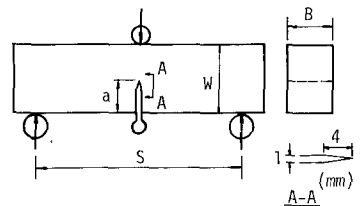


図1 片側切欠き梁試験片の形状 及び 三点曲げ試験法

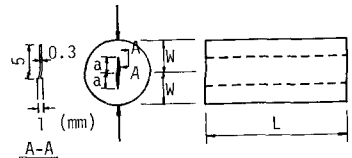


図2 中央き裂入り円柱試験片の形状 および 圧縮引張試験法

表1 使用セメントモルタルの力学特性

	圧縮強度 σ_c (kg/cm ²)	引張強度 σ_t (kg/cm ²)	弾性係数 $E \times 10^3$ (kg/cm ²)	ポアソン比 ν
C:S ₁ :W=1:2.06 材料1: 1週間	317	30.3	0.188	0.20
C:S ₂ :W=1:3.05 材料2: 2週間	264	23.5	0.212	0.19

試験方法 片側切欠き梁の試験は図1のような三点曲げ試験で、スパン長は $S=4W$ とし、中央截断点には厚20mmの鋼棒を用いる。載荷機はメクリュー・ジャッキ (最大載荷能力2t) を用い、荷重速度をほぼ一定 (150kg/mm) に保つ。荷重変化はロードセル (容量500kg) で測定する。き裂試験特有の量であるき裂開口変位量 (C と D) の測定のため、き裂開口端にクリップ型変位計を設置し、また、梁中央点のため量にはカンチレバー型変位計を用いて測定する。両変位計とロードセルの出力はアンプで増幅し、X-Yレコーダーに自記させる。円柱試験片の試験は図2のように、中央に入れたき裂と同方向に荷重を載荷する圧縮引張試験である。き裂開口変位量の測定は、き裂中央および先端位置に各クリップ型開口変位計を設置し行う。変位計はロードセル (容量10t) の出力は、三点曲げ試験の場合と同様にアンプで増幅しX-Yレコーダーに自記させる。試験にはラムスロー型万能試験機 (使用容量10t) を用い、荷重速度をほぼ一定 (2t/min) に保つ。

試験結果および K_{II} 値の計算 両破壊靱性試験より得られた荷重-き裂開口変位曲線の一例として、片側切欠き梁試験片の場合を図3に、中央き裂入り円柱試験片の場合を図4に示す。 K 値の計算には本来き裂進展開始時の荷重値を用いるべきであるが、セメントモルタルのように不均質な脆性材料ではその荷重値を明確に求める方法がないため、今回は荷重-変位曲線より得られる最大荷重を用いて計算する。片側切欠き梁に付する K_{II} 値の

計算には、ASTMの破壊靱性試験に準拠している次式の整理方程式を用いる。

$$K_{IM} = \frac{P_F S}{B W^{3/2}} \left[2.9 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} - 4.6 \left(\frac{a}{W} \right)^{3/2} + 21.8 \left(\frac{a}{W} \right)^{5/2} - 37.6 \left(\frac{a}{W} \right)^{7/2} + 38.7 \left(\frac{a}{W} \right)^{9/2} \right]$$

中央き裂入り四柱試験片に対する K_{IR} 値は、Libatskii, Yameraによる次式を用いて計算する。

$$K_{IR} = \{ P_F \sqrt{\pi a} / \pi W L \} F(a/W) \quad (二重, F(a/W)は参考文献による)$$

片側切欠き梁の二点曲げ試験の結果を、板厚比 B/W で整理したのが図らである。これを見ると、板厚比が大きくなるに従って K_{IM} の値は全ての板厚に対する一定の値 $K_{IM} = 52 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3/2}$ に収束する傾向がみられる。しかし、 K_{IM} 自体のはらつきもかなり減少している。これらの試験片の破断面を観察すると、板厚比が小さくなるにつれてせん断型の破面のため割欠が濃化しているもの比べて、板厚比の大きい $B/W=1.0$ では、その破面が典型的な割欠型の破面を形成しているのがみられる。また、(1)の材料とそれより工製方法が大きく異なる数多く、強度のはらつきの大きい(2)の材料を用いた片側切欠き梁の三点曲げ試験の結果も各々 a/W で整理したのが図ら、図7にある。 K_{IM} の値は a/W の変化にかかわらずほぼ一定した値として得られ、これに対する板厚の粗さの影響もみられない。一方、四柱試験片の圧縮試験の結果も a/W で整理したのが図らである。この場合も K_{IR} は a/W の変化の影響を受けず、三点曲げ試験よりさらに一定した値となる。ただし、その平均値 $K_{IR} = 53 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3/2}$ は同様の材料で作製した片側切欠き梁の平均値 $K_{IM} = 53 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3/2}$ と比べると異なり $K_{IR} < K_{IM}$ となった。以上の結果から、若干の修正を施せばより、岩石材料への破壊力学の適用は十分に可能である、き裂材に対する強度評価への応用法になると思われる。

最後に、実験の進行およびデータ整理に対する本学卒業生加村晴希(建築建設工学)、藤原博成(土木建設コンサルタント)の多大なる協力と支援に感謝する。ASTM, E 399-70T, 1970 (c) Hiroshi Tada, PC Paris and R Irwin, "The Stress Analysis of Cracks Handbook", Del Research Corporation, 1973

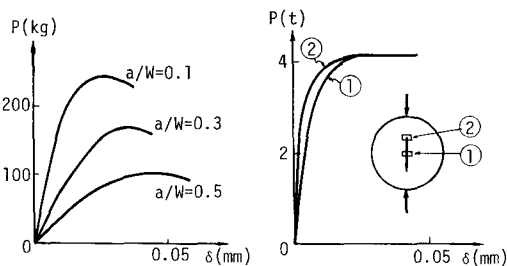


図3 片側切欠き梁の荷重-変位曲線

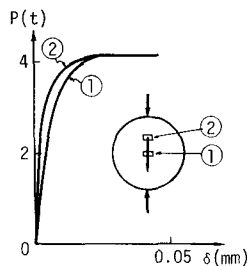


図4 中央き裂入り四柱の荷重-変位曲線(①、②はき裂開口変位計)

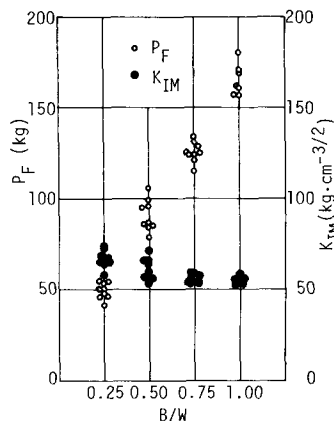


図5 片側切欠き梁の板厚比の変化に対する P_F と K_{IM} の比較($C:S:W=1:2:0.6$)

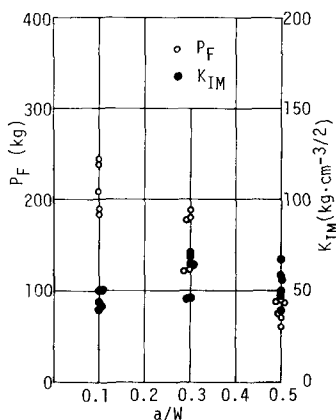


図6 片側切欠き梁の切欠き寸法変化に対する P_F と K_{IM} の比較($C:S:W=1:2:0.6$)

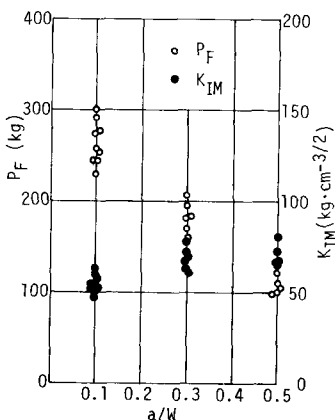


図7 片側切欠き梁の切欠き寸法変化に対する P_F と K_{IM} の比較($C:S:W=1:3:0.5$)

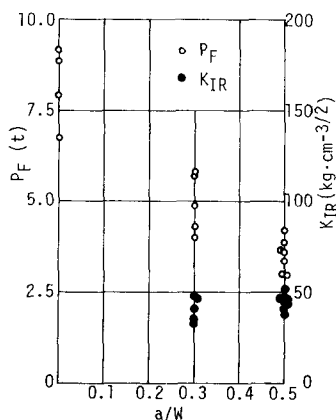


図8 中央き裂入り四柱の寸法変化に対する P_F と K_{IR} の比較($C:S:W=1:3:0.5$)