

### (31) 破壊力学による砂防工材の強度解析 (I) —モルタルの曲げ破壊靱性試験について—

農林省林業試験場防災部 陶山正憲

#### 1. はじめに

砂防用構造材料、特にダム工材としては、現在コンクリートが最も多く使用されている。コンクリートは、いわゆる“セメント硬化体”の一種で、母材としてのセメントモルタルと骨格素材としての粗骨材とからなる二相複合材料と考えられる。このような構造材料の強度と破壊の問題は非常に複雑で、従来の公称応力基準のみではこれを十分に評価できない。現在それを解決できる唯一の方法論として、破壊力学的手法の適用が考えられる。

破壊力学は欠陥の存在またはその発生が予期される材料、構造物を強度上安全に使用するための工学的な方法論であり、その方法論については既に詳細な解説や示方書があるが、この場合は要するにセメント硬化体の強度判定基準として、公称応力の代わりに力学的境界条件をより多く含む応力拡大係数 (Stress Intensity Factor,  $K$ ) などの破壊力学的パラメータを使用するのである。

ここでは、コンクリートのマトリックスとしてのセメントモルタルを例にとり、①同一寸法の試験片で欠陥の大きさが材料の強度におよぼす影響、②試験体の寸法効果に対する  $K$  基準強度の有効性などについて検討する。

#### 2. 曲げによる破壊靱性試験の方法

セメント硬化体の破壊靱性試験法は未だ確立されていないので、ASTMで規定された金属材の平面ひずみ破壊靱性試験法をセメント硬化体に初めて準用し、図-1のような3点曲げ片側切欠き梁の曲げ試験を行った。

試験片の寸法はASTM試験法の規準に従って表-1のような9種類の試験片を作成した。なお試験片の寸法測定は、同規準の許容公差の範囲内におさめるように工夫した。

試験片の材料は、材質の均一化、養生期間の短縮化などを考慮して、早強ポルトランドセメント、豊浦標準砂、水を重量配合比で1:2:0.6に混合したセメントモルタルを採用したが、試験時の材令は21日に統一した。

さて破壊靱性試験では、破壊開始時の荷重を精度よく測定する必要がある。そのため破壊の進行に伴うき裂開口変位量の変化を、図-2に示す特殊なリング状のき裂開口変位計を用いて計測した。得られた荷重-き裂開口変位量曲線 ( $P-\delta$  曲線) の一例を図-3に示す。

#### 3. 破壊靱性試験の結果と $K$ の計算方法

破壊靱性試験では通常、破壊開始荷重  $P_Q$  を図-3のような  $P-\delta$  曲線から決定し、これを用いて破壊靱性値  $K_{IC}$  を計算することになっているが、ここでは便宜上、最大荷重  $R_M$  を採用し、これに対する最大応力拡大係数  $K_M$  を次式で計算した。

$$K_I = 6 Y M \sqrt{a/BW^2}$$

ここで  $Y$  は  $a/W$  比のみで決まる無次元補正係数であり、 $M$  はき裂部における曲げモーメントで  $P_M$  を用いて計算する。

結果として、モルタルの欠陥寸法に対する  $P$  基準強度と  $K$  基準強度を図-4に示す。

#### 4. 試験結果に対する破壊力学的検討

欠陥の寸法を変えると、モルタルの荷重基準の強度  $P_M$  は  $a/W$  比に従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変動はみられない。従って欠陥材の材料強度値としては  $P_M$  より  $K_M$  の方が格段に優れていることがわかる。また  $K_M$  を一定 ( $45 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3/2}$ ) としたときの  $P_M$  の推定値を図-4に曲線で示し、 $P_M$  の実験点と比較すれば、 $K$  基準強度の有効性が一層明らかに認められる。

次に、セメント硬化体の強度におよぼす試験片の寸法効果をみるために、寸法のみ異なる3種類の相似試験片についてモルタルの破壊条件を整理すれば図-5になる。ここで試みに  $K_M$  を一定 ( $50 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3/2}$ ) として、試験片の代表寸法  $W$  に対する破壊荷重  $P_M$  を計算し、その曲線を描くと、曲線と実験値とは実用上十分な一致が得られる。従って、寸法効果を考慮した破壊荷重の推定が可能であると言える。

表-1. 試験寸法

試験片種別	高さ W (mm)	板厚 B (mm)	き裂長 a (mm)	試験片長 (mm)
840	80	40	0	400
841			8	
843			24	
845			40	
643	60	30	20	
630			0	
635			30	
440	40	40	0	
425		20	20	

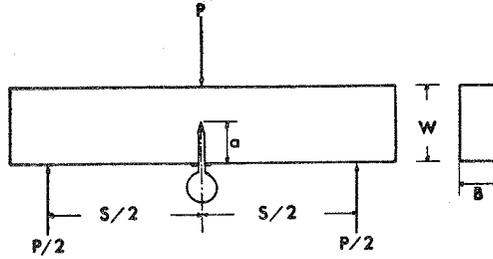


図-1. 単-縁き裂をもつ3点曲げ試験片

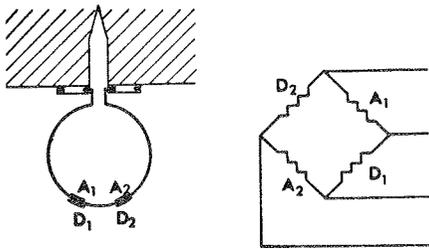


図-2. き裂開口変位計

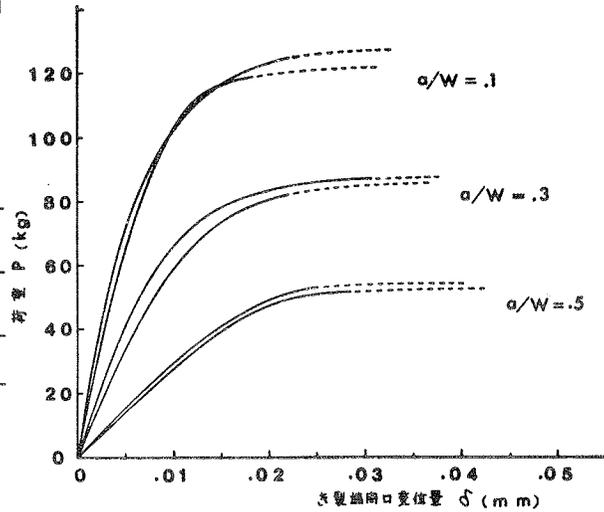


図-3. モルタルの荷重～き裂開口変位量曲線

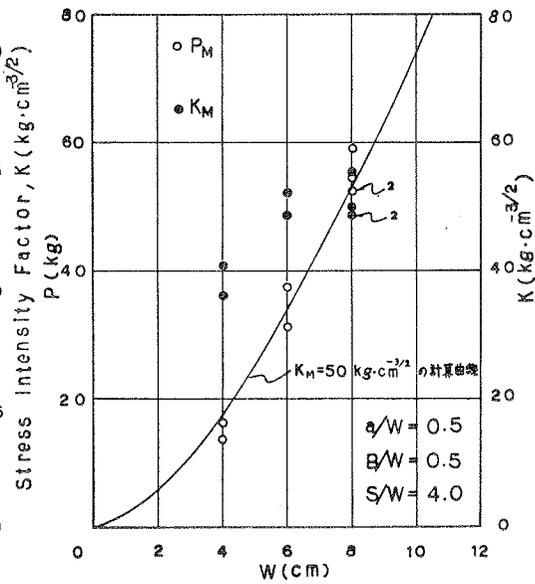
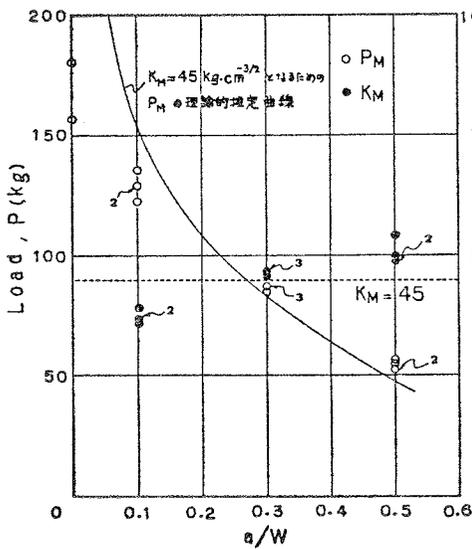


図-4. モルタルのP基準強度とK基準強度の比較, 図-5. 相似試験片によるPの計算値と実験値