

名古屋大学 王会夏 川本勝男

名古屋大学 王会夏 岡田英生

概説

一般に、ダムや地下構造物を建設する際の基盤となる岩盤は、多くの地質学的分離面や不連続性を有しているのが常であり、これらの特性は基盤の強さの算定に関して多くの問題を提起している。

本実験は、規則的に配列されたクラックにより上記の特性の一部を表すものとし、弾性実験によるクラック周辺の応力状態の解析と、モルタル及び石膏円盤供試体による圧裂試験を行う、クラックを含む脆性材料の破壊特性とクラックの方向性、頻度及び大小の観測から考察したものである。

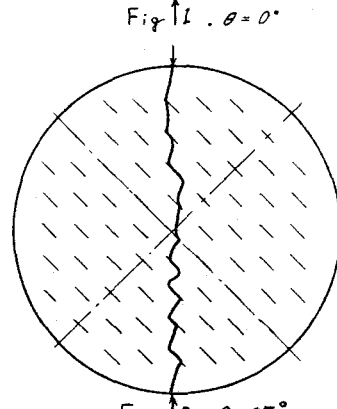
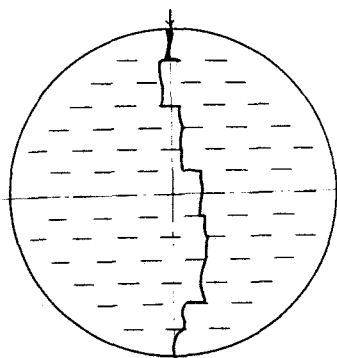
供試体及び実験方法

供試体製作に当っては、コンクリート標準示す書の「セメントの強さ試験」(JIS.R.5201)に基く配合(水:338cc, セメント:520g, 標準砂:1040g, 水セメント比 $w/c = 65\%$)を採用し、形状は直径15cm, 厚さ4cmの円盤と、 $4 \times 4 \times 15$ cmの角柱の2種類とした。また供試体にクラックを生ぜしめるために、規則的な配列をなしたはがね板(厚さ0.1mm, 巾10mm及び5mm)を差し込み、打設後約2時間半で抜きとった。実験方法は28日強度を採用し、クラックの方向と荷重方向を 15° おきに変化させながら、圧裂試験及び1軸圧縮試験を行った。

破壊形状

一般に、圧裂によって破壊された円盤やシリンダーは、その載荷直径面内の引張りによってほぼ等しい2の半円に分割されるが、本実験で用いたような方向性を有する脆性材料においては、荷重方向に対するクラックの方向によって、その方向特有の破壊形状を示す。以下、弾性実験によって求められた応力分布の端界と対比しながら、各供試体の破壊形状について述べる。

クラックの方向が荷重方向と一致する場合には、一般の圧裂試験とほぼ同様な破壊を示すが、クラックの方向が荷重方向と直交する場合には、Fig.1にみられるような複雑な破壊を示す。この破壊形状は載荷直径面内の引張りが破壊の起因となるよりも、むしろ載荷垂直下での集中圧縮応力と、載荷直径面外に存在するクラック先端に生じた引張り応力が同時に作用したためのものである。またこの破壊は弾性実験の結果からも予想されるものである。すなわち、載荷直径面と直交するクラックの中央部には、ほぼ帯状の引張り応力が分布するが、クラックが荷重方向とある傾きをもって存在する場合には比較的大きな引張り応力がクラックの先端に集中することから、破壊面は載荷直径面内のクラックを横切るよりも載荷直径面近傍に存在する数本のクラック先端



を強ぶものと思われる。したがってクラックが荷重方向とある程度の傾き ($30^\circ \sim 60^\circ$) をもつ場合の階段状破壊も、上記と同じ原因のしのであるう。(Fig. 2, 3) しかしこれらの破壊特性は円盤中央付近においてよくみられるが、荷重接近端においては局部的な大きな圧縮応力のため顕著でない場合が多い。角柱状試体においても、クラックが荷重方向とある程度の傾きをなす場合には、円盤の場合とほぼ同様な傾向を示すが、1次的な引張り破壊が2次的な滑り破壊を生ぜしめ、その後さらに3次的な引張り破壊を起すという特異な破壊形状を呈する。(Fig. 4)

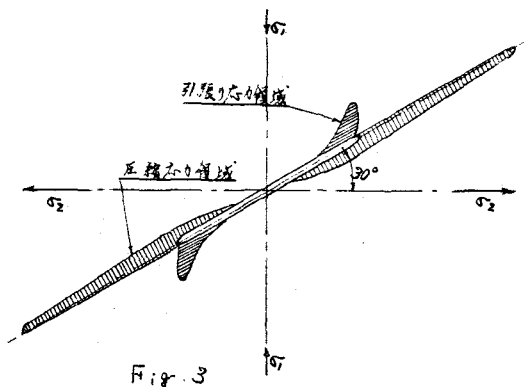


Fig. 3

クラックの頻度や大きさから破壊形状を観察すると、一般的に言えることは、クラックが大きく頻度が低い場合は、クラックが効果的に作用し破壊面は単純で複数の破壊面を生ずるが、クラックが小さく頻度が高い場合には破壊面は複雑であり荷重直交面とはずれることが多い。したがって後者の場合には荷重直交面内の引張りは破壊開始に大きな影響を与えるものでないと思われる。

反裂試験において円盤中心の応力状態は圧縮 (σ_1) と引張り (σ_2) を示す。今 σ_2 を単位にとって、クラックを長軸 a 、短軸 b の楕円とみなした場合、主応力比 σ_1/σ_2 の変化によるクラック周辺の応力状態は次式によって与えられる。

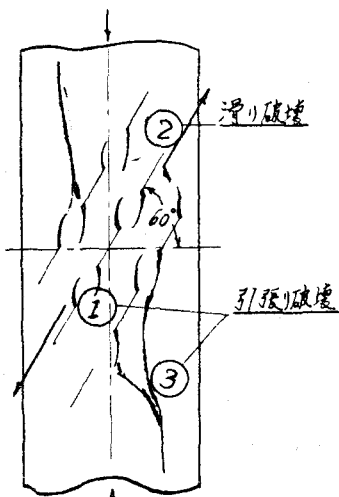


Fig. 4

$$\begin{aligned} (\sigma_1)_{\eta=\xi_0} = & \frac{\sigma_2}{\cosh 2\xi_0 - \cos 2\eta} \cdot \left\{ (n+1) \sinh 2\xi_0 \right. \\ & + (n-1) \cdot (e^{2\xi_0} \cos 2\eta - 1) \cdot \cos 2\theta \\ & \left. + (n-1) \cdot e^{2\xi_0} \sin 2\eta \sin 2\theta \right\} \end{aligned}$$

上式で η は楕円座標を表わし、 $\xi = \xi_0$ は1つの楕円境界を与えており、直角座標 (x, y) と次の関係がある。

$$\begin{aligned} x &= C \cdot \cosh \xi \cdot \cos \eta \\ y &= C \cdot \sinh \xi \cdot \cos \eta \end{aligned}$$

また、

$$a = C \cdot \cosh \xi_0, \quad b = C \cdot \sinh \xi_0$$

	A	B	C	D
d	10	10	5	5
l	10	20	10	5

(mm)

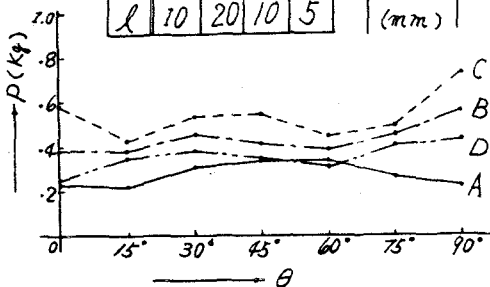


Fig. 6

$$\therefore \xi_0 = \coth^{-1} \left(\frac{a}{b} \right)$$

で、楕円の長短軸と ξ_0 との関係が与えられる。Cは楕円の焦点間の距離である。さきに楕円上の各点の位置はりて表わされ、x軸からの角度 φ によ

$$\eta = \tan^{-1}(\tan \varphi / \tanh \xi_0)$$

って与えられる。Fig. 6は主応力 σ_1 が θ ($0^\circ \sim 90^\circ$) 傾いた長短半径比 $a/b=5.0$ の楕円の先端($\varphi=0^\circ$)の応力集中の変化を示したものである。クラックが荷重方向と直交する場合には、主応力比の大小に関係なくクラック先端には大きな圧縮応力が生じ、特に主応力比が大きな所、すなわち載荷直交時のクラック先端には著しい応力集中を生ずる。クラックが荷重方向に対して 60° 以上の傾きをもつ場合には、逆に載荷直交時でもわずかながらの引張り応力を生ずるが、集中圧縮応力の大きさと比較すると小さなものである。したがってこの計算例からも円盤の破壊要因が一様でなことがわかる。

破壊強度

Fig. 5はクラックの傾度及び大きさによる破壊強度の変化を、その方向に関して表わしたものである。全般的に、クラックの傾度の低い場合は高い場合に比べて破壊強度は大きく、クラックが小さい場合は大きい場合に比べて小さい。しかし各ケースごとにクラックの方向による破壊強度の変化をみると、各ケースの供試体に共通した傾向はなく、強度の差も顕著なものはいふれない。

一般に、脆性材料が異方性を示す場合、その異方性の方向やその程度の大小が圧縮強度やせん断強度に影響することは実験的に確かめられているが、本実験のような圧裂試験の場合には、荷重状態とクラックの入り具合のわずかな差異で、載荷直交面内の引張りがあるいは載荷直下での圧縮のつづれかがクラックからの破壊の進行の第1の要因として作用するものと考えられ、その結果、さまざまな破壊の様式が観察され、強度特性を厳密に着察することが不可能であった。したがって圧裂試験によって、異方性の脆性材料の引張り強度特性を知ろうとする場合には、まず円盤中心附近の引張り応力で破壊を生ずるような荷重状態を作り、その部分にのみクラックによる異方特性をもたすような実験を行なう必要があることがわかった。

参考文献

- 1). P.S.B. Colback: An analysis of brittle fracture initiation and propagation in the Brazilian test.
- 2). Fred.A. Donath: Strength Variation and Deformational Behavior in Anisotropic Rock.

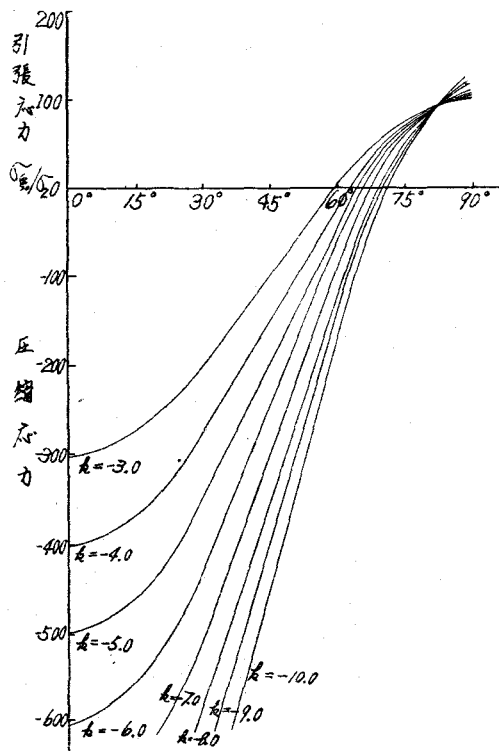


Fig. 5