

切り欠き先端からの爆破によるクラックの発生について

山口大学工学部 正会員 ○ 中川 浩二
 山口大学工学部 正会員 三浦 房紀
 北海道大学大学院 学生員 山本 広祐

1. はじめに

NATMにおける採算性の悪化が論じられ、その一つの原因として発破における余堀りが問題とされることが多い。余堀りを小さくするための方法としてスムーズプラスティング（以下SB）は以前より種々の方法が提案されている。そのなかでSB孔に破断予定方向に切り欠きを設け、発破によるクラックの発達を制御する方法がある。近年高压の water jet の発達により切り欠きを設けることが困難でなくなり、実工事に用いられることも現実的となってきた。

この切り欠きを用いて発破クラックの発生を制御する方法は古くから知れており、制御の可能性については破壊力学的な立場からの説明もみられる¹⁾。しかし、その実際の岩石への適用については明らかではない。

そこで、本研究では切り欠きを設けた発破孔からの破壊を限界応力拡大係数の立場から検討した。

2. 研究の目的と手法

研究の目的は次の2つの限界応力拡大係数 K_{IC} を比較することである。

①切り欠きを有するはりのにおける K_{IC} ②発破孔の切り欠き先端における K_{IC}

そのためセメントモルタルで作った切り欠きを有するはりの曲げ試験および切り欠きのついた発破孔を有する供試体の発破による破壊に必要な荷重から限界応力拡大係数を求めた。限界応力拡大係数の算出には算出式および簡略化された有限要素法によった。

すなわち、切り欠きを有するはりの曲げ試験を行い静的に載荷された場合の限界応力拡大係数を求めた。続いて有限要素法を用いてこの方法による K_{IC} が前述の結果とほぼ一致することを確認した。さらに、モデル供試体の発破実験を行い、供試体が破砕される場合のガス圧を求め、これにより切り欠き先端に作用する応力状態から発破時の K_{IC} を算出した。

3. 実験

3-1. 切り欠きを有するはりの曲げ試験

はりの曲げ試験から静的に載荷された場合の K_{IC} を求めた。供試体の形状と載荷の概要は図-1に示すとおりである。供試体はセメントモルタル製であり、材料の配合はC:S:W=1:3:0.45とし、早強セメントと海砂を用いている。14日間水中養生、2日間気中養生の後、実験に供している。

切り欠き幅は2mm、深さは2mm、4mm、8mmの3種類であり、限界応力拡大係数は次式からもとめている。

$$K_{IC} = \frac{3PL_2\sqrt{c}}{2BW^2} Y$$

$$Y = 1.93 - 3.08(c/w) + 14.53(c/w)^2 - 25.13(c/w)^3 + 25.82(c/w)^4$$

3-2. 発破実験

発破実験における限界応力拡大係数を求めた。供試体材料ははりの曲げの場合と同じであり、湿潤養生とした。供試体の形状は図-2に示すとおりであり、孔径は15mm、切り欠きは、はりの場合と同じである。

爆薬等は、①6号雷管+導爆線、②点火具+コンクリート破砕器の2種類について、それぞれ薬量を変化させ供試体を破砕するのに必要な薬量を求めた。

4. 数値計算法

有限要素法を用いて応力拡大係数を求めるための方法は種々提案されてきているが、ここでは動的問題への拡張を考慮して取扱いが容易である和田らにより提案された方法²⁾を用いた。すなわち、図-3のようなき裂先端の応力拡大係数の算定において図-4に示す定応力三角形要素による要素分割を行い、図中の①、②の要素の応力から応力拡大係数を近似的に求めている。

5. 実験結果と検討

表-1に切り欠きを有するはりの曲げ試験から求められた K_{IC} を示す。すでに発表されている多くのデータと比較してほぼ同程度の値が得られているといえよう²⁾。また、式(1)による結果と有限要素近似による結果との差はわずかである。

表-2に発破により載荷した場合の実験結果の一部を示す。 K_{IC} の計算は内圧が孔内に静的に作用したとして求めている。表からみられるように求められた K_{IC} の値は静的な値とくらべて著しく大きい。特に6号雷管と導爆線(薬量はPETN 10.7g/m)を用いた場合にその差は大きくなっている。この点に関しては火薬の力の計算方法やモルタル、岩盤の動的限界応力拡大係数の求め方などを含めて検討する必要がある。

(参考文献)

1. Fourney, W.L. in Rock Fracture Mechanics 1983
2. 和田 他 機械学会論文集 1982
3. 森田 他 セメント技術年報 1982

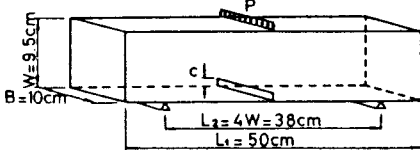


図-1 切り欠きを有するはりの曲げ試験

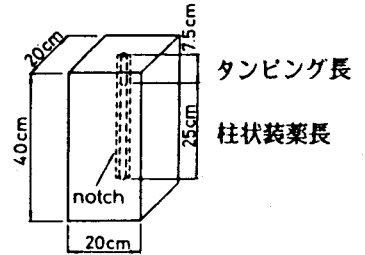


図-2 発破供試体寸法

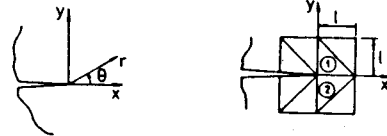


図-3 き裂先端の座標系 図-4 き裂先端の三角形要素分割

装薬の種類	装薬×体積 (kg/cm³)	切り欠き (mm)	装薬部の体積 (cm³)	装薬部の爆圧 (kgf/cm²)	K_{IC} (N mm ^{3/2})	供試体が破断した確率
6号ED + D.F. 2.5cm	9.60	0	44.2	217.3	—	0/1
		2	46.2	207.9	102.0	0/3
		4	48.2	199.3	105.3	1/3
		8	52.2	181.0	111.6	1/3
6号ED + D.F. 3.5cm	11.05	0	44.2	250.1	—	1/1
		2	46.2	239.3	117.3	1/2
		4	48.2	229.3	121.1	1/2
		8	52.2	211.7	128.5	0/2
6号ED + D.F. 5.0cm	13.19	0	44.2	298.6	—	2/2
		2	46.2	285.6	140.1	2/3
		4	48.2	273.8	144.6	3/3
		8	52.2	252.8	153.3	3/3
点火具 + C.B. 1.5g	5.91	0	44.2	133.8	—	0/1
		2	46.2	128.0	62.8	1/2
		4	48.2	122.7	64.8	0/2
		8	52.2	113.3	68.7	0/2
点火具 + C.B. 3.0g	9.46	0	44.2	214.0	—	1/1
		2	46.2	204.8	100.4	1/1
		4	48.2	196.3	103.7	0/2
		8	52.2	181.2	109.9	1/2
点火具 + C.B. 4.5g	14.45	0	44.2	327.0	—	2/2
		2	46.2	312.8	153.4	2/2
		4	48.2	299.8	158.4	2/2
		8	52.2	276.9	167.9	2/2

表-2 K_{IC} の計算

切り欠き長 (mm)	破壊時の荷重 (kgf)	平均値 (kgf)	式(1)による K_{IC} (N mm ^{3/2})	FEMによる K_{IC} (N mm ^{3/2})
0	764 736 748 702 785	747	—	—
2	556 478 560 612 534	548	9.32	9.10
4	555 488 476 430 504	491	11.58	11.14
8	518 507 430 498 490	487	15.92	15.38

表-1 静的破壊じん性試験結果