

岩質材料の破壊パターン解析と考察

日本大学工学部 正 員 田野 久貴
同 上 学生員 塚崎 信幸

1. はじめに

比較的硬い岩石・モルタルあるいは石膏などの脆性材料の一軸圧縮下における破壊は、いわゆる分離破壊が顕著である。そこで本研究では、このような脆性材料のピーク強度以後のいわゆるPost-failure領域の荷重-変位関係のメカニズムを明らかにするための基礎的研究としてその破壊パターンのマイクロコンピュータによる解析を行った。

2. 実験方法

供試体は $6 \times 6 \times 6$ cmの石膏の角柱を使用し、圧縮時にロードセル及び変位計を用いて荷重-変位曲線をXYレコーダーで記録した(図-1)。また、加圧板による供試体の拘束を軽減するために、その間にシリコングリース・テフロンシートを用いた。

一定応力速度にて、圧縮変位量が所定の値(0.5, 1.0, 1.5 mm)に達した後除荷する。その後供試体中央を軸方向に直角に切断し、クラックの発生状態をスケッチした。この例を図-2に示す。このスケッチをもとにディジタイザーによりマイクロコンピュータに取り込み、すでに報告した破壊パターンに関する各パラメータについて解析を行った。

3. 結果及び考察

各変位量における各供試体の強度に関する実験結果を表-1ならびに、全供試体の平均荷重-変位曲線を図-3に示す。

次に、実験結果をもとにマイクロコンピュータで解析した結果を述べる。解析においては、クラック長平均、ラウンドネス(要素面積/周長)などいくつかの項目について行っているが、特にここでは要素面積と図心ベクトルとの関係を表-2に、要素形状別平均面積を表-3に、要素形状発生率を表-4に示す。

図-2を見ると、面積の小さい要素ほど外側に発生し、面積の大きい要素は中心に存在する傾向にあり、このことは表-2の値からも読み取ることができる。すなわち、表-2において“ME-Vector”とは要素面積と図心ベクトル(供試体中心から各要素の図心までの距離)との関係を表しているが、負の相関つまり、面積の小さい要素ほど図心ベクトルが大きく、供試体の外側に多く位置していることを示している。さらに表-3を見てみると全体的な傾向として、要素の形状(角数)が高次に

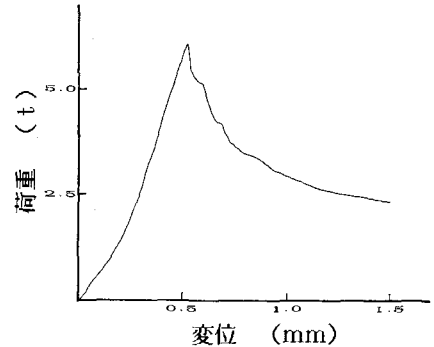


図-1 荷重-変位曲線

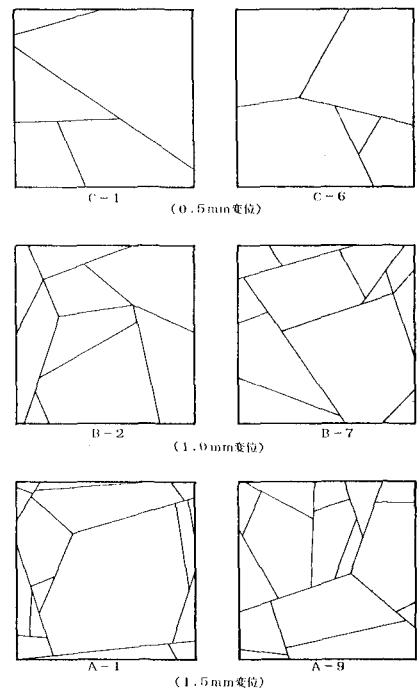


図-2 クラック発生状態の例

なると面積が大きくなっている。これらのことから、破壊が進行すると要素面積の小さい三角形や四角形は供試体端部に発生し、五角形、六角形といった高次の要素は供試体内部に発生すると考えられる。

次に実験より得た要素形状発生率と、本研究とは別に行われたシミュレーションの結果¹⁾との比較を行うと、表-4を見てわかるように、全体的にはシミュレーション結果と比べて三角形は少なめ四角形は多めの値となっているが、両者の和はシミュレーション結果と同等の値を示している。0.5mm変位については、三角形の発生率がシミュレーション結果の35%に対して実験結果は12.4%とかなり低い値を示しているが、この変位量はピーク荷重に達する前後の変位なので破壊があまり進行していない状態であり、断面の外周近傍における端面破壊による三角形の発生が少ないうのではないかと考えられる。

試体 No	断面 寸法 (mm)	最大荷重 P _{max} (kg)	ピーク変位 C _p (mm)	最大応力 P _{max} /C _p (kg/cm ²)	終局荷重 P _u (kg)	終局応力 P _u /C _p (kg/cm ²)	ヤング率 E ($\times 10^4$ kg/cm ²)
1	50	4100	45	111.0	3320	89.3	1.85
2	50	4200	41	113.6	3820	103.3	2.08
3	50	4340	41	122.6	3960	106.9	2.45
4	50	4300	42	116.6	4000	108.4	2.08
5	50	3400	40	91.8	3380	91.2	1.86
6	50	4550	48	124.4	4100	113.4	2.08
7	50	4780	46	129.7	3600	97.7	2.00
8	50	4050	46	109.8	3800	102.9	2.27
9	50	4380	46	119.3	3740	101.8	2.08
10	50	4940	46	134.1	2500	67.9	2.31
11	100	5950	40.5	182.0	3110	84.4	2.88
12	100	6080	39	184.7	2710	73.4	2.59
13	100	4820	59	118.6	3460	92.8	1.81
14	100	4390	70	118.0	3120	84.1	1.85
15	100	4620	55	124.0	3260	87.6	2.00
16	100	4580	72	122.8	3160	85.4	1.67
17	100	4280	61	118.0	3540	96.0	1.96
18	100	4750	66	128.6	2880	78.0	2.19
19	100	4500	71	121.7	4300	116.3	1.59
20	100	4820	71	131.0	3460	84.0	1.67
21	150	4850	40	191.6	2140	58.1	1.89
22	150	4730	56	127.9	2070	55.0	1.77
23	150	5580	59	161.0	2180	59.0	2.09
24	150	5360	59	145.0	2110	57.1	2.16
25	150	5770	58	153.7	2180	58.1	2.46
26	150	5550	52	174.3	2520	67.1	2.57
27	150	5780	48	156.1	2230	68.9	2.48
28	150	5740	60	155.2	2250	68.8	2.26
29	150	6020	49.5	161.0	1980	52.4	2.50
30	150	5900	52.5	159.1	2160	58.2	2.37

表-1 実験結果

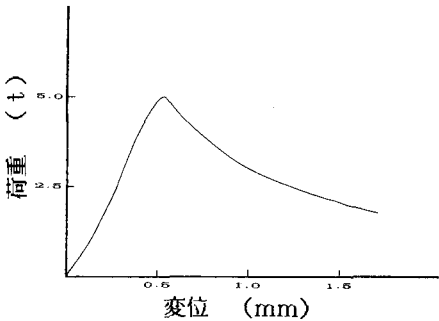


図-3 平均荷重-変位曲線

	相 関 係 数		
	変位量 0.5mm	変位量 1.0mm	変位量 1.5mm
ME-Z Vec 1	-0.752	-0.771	-0.762

表-2 要素面積と図心ベクトルとの相関

角形	変位量 0.5mm		変位量 1.0mm		変位量 1.5mm	
	平均面積 (cm ²)	変動係数 (%)	平均面積 (cm ²)	変動係数 (%)	平均面積 (cm ²)	変動係数 (%)
3	1.42	89.72	1.05	89.65	0.76	89.77
4	4.58	59.59	2.54	68.85	1.79	83.97
5	13.90	63.27	6.20	74.89	5.93	79.89
6	0.0	0.0	15.93	20.41	7.71	69.67
7	15.16	1.51	10.48	22.61	7.62	27.66
8	0.0	0.0	0.0	0.0	11.45	0.0

表-3 要素形状別平均面積

角形	変位量 0.5mm		変位量 1.0mm		変位量 1.5mm	
	発生率 シミュレーション結果 (%)	発生率 実験結果 (%)	発生率 シミュレーション結果 (%)	発生率 実験結果 (%)	発生率 シミュレーション結果 (%)	発生率 実験結果 (%)
3	12.4	35	31.5	37	34.9	38
4	88.9	40	41.2	30	39.0	35
5	26.3	18	23.8	16	18.0	19
6	0.0	0	1.7	8	4.3	6
7	2.4	2	1.8	1	2.8	2
8	0.0	0	0.0	0	1.0	0

表-4 要素形状発生率

4. まとめ

今回の実験・解析の結果を要約すると次のようである。

- 1) 破壊が進行するにしたがい三角形・四角形の発生は増えるが、その両者の発生率の和は70~80%を占め、シミュレーションによる予測とほぼ一致するが、三角形要素の割合はシミュレーションより小さい。
- 2) 破壊が進むにしたがって、偏平な要素が増える。
- 3) 要素面積の小さい三角形・四角形は外側に発生する。
- 4) 初期には比較的大きな要素が発生し、破壊が進むと小さな要素が増加する。

最後に本実験を行うにあたり、日本大学工学部学生、高梨、新妻及び藤田の諸氏の助力を得た。ここに謝意を表す。

＜参考文献＞

- 1) 田野 久貴: 破壊パターンのパーソナルコンピュータによるシミュレーション (その1)、(その2)
日本大学工学部第29回学術研究報告会講演要旨集、昭和61年