

多軸応力下における岩石の破壊に関する一考察

京都大学工学部 正員 赤井 浩一

京都大学工学部 正員 山本 和夫

京都大学大学院 学生員 森 寛昭

1. 序 モルタル、岩石などの単圧で脆性を示す材料の破壊に関して多くの破壊理論が唱えられてきたが、これらを2つに大別すると、破壊が中間主応力に影響を受けないとする仮説と、受けるという仮説とに分類できる。前者は Tresca や Mohr-Coulomb らによって唱えられた理論とか、micro crack の統計的な取扱いから展開した Griffith の破壊理論であり、後者は von Mises, Nadai, Johansen らの破壊理論などである。前者の場合、破壊時の応力状態は最大・最小主応力方向と軸とする平面内に一本の直線(または曲線)として表示できるのであるが、後者の場合、組合せ応力を三次元の応力空間内にプロットして破壊包絡面を規定するのであるが、一般には正八面体平面またはその傾斜した平面内に表示せねばならない。実験結果が中間主応力の影響を受けているか否かについては、簡単に見分けられるものではなく、種々の座標上にデータをプロットして総合的に検討を加え、はじめて中間主応力の影響を見出せるものである。ここでは一辺5.5 cm立方のモルタル供試体(表-1参照)を用いた三軸圧縮試験(供試体数150個)を行なった結果について中間主応力の強度に及ぼす影響と、Johansen の唱えた軽重率について考察を加えた。この実験は岩石の破壊に関する研究の一環であり、真の岩石(和泉砂岩)の実験結果については講演時に述べる。

水セメント比 $W/C = 60\%$	セメント砂比 $C/S = 50\%$
養生: 水中養生 ($20 \pm 2^\circ C$)	材令: 4週 28日
練り混ぜ: 電動式モルタルミキサー	

表-1.

負荷能力	上下軸 200, 100, 50, 20, 10 ton
	水平軸 100, 50, 25, 10 ton
負荷方式	油圧駆動対向シンガー
負荷速度	0 ~ 20 mm/min
圧盤の寸法	正方形一辺 20, 10, 5 cm

表-2

2. 三軸試験機と試験方法 本試験機は岩石、コンクリートなどの高強度の材料の力学的性質を調べる目的で製作されたもので、円筒形供試体を用いる一般の軸対称三軸圧縮試験機とは異なり、立方体供試体を用いて各軸方向にそれぞれ任意の圧力を加えることができる試験機である。したがって $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ の状態を一定に保ったまま σ_1 を増加させて破壊させることもできるし、 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ を一定に保ちながら材料を破壊させることもできる。試験機の性能は表-2のとおりである。本実験では、応力空間内で破壊包絡面を見つめねばならないので、種々の σ_3 レベルに対して中間主応力 σ_2 を変化させ破壊時の σ_1 を測定した。図中に出てくる V-3-3, V-6-3, ... などは供試体に $P_3 (P_3 = \sigma_3 \times 100 \text{ kg/cm}^2) = 3000 \text{ kg}$, $P_2 = 3000 \text{ kg}$, 6000 kg ... と載荷した状態で P_1 を増加させて破壊させたものである。実験にあたっては、供試体と圧盤との間の摩擦力を少なくするため、減摩剤(片面にシリコングリースを塗った厚さ0.23 mmのラバー)を使用した。その時の摩擦係数は $f = 0.01 \sim 0.02$ であり減摩剤を用いない場合は $f = 0.5$ であった。

3. 実験結果および考察 実験結果を三次元の応力空間にプロットする前に $\sigma_3 = \text{一定}$ の面内にプロットしたので図-1である。図において $0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ はそれぞれ σ_3/σ_c が $0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6$ の面と Space diagonal とが交わった点である。比較のため $\sigma_3/\sigma_c = 0$ の面と

応力空間内に表示された von Mises, Mohr-Coulomb, Tresca の破壊包絡曲面との交線を図に示してある。図-2 はデータを Rendulic の面にプロットしたものであり、この平面で切断された破壊包絡線は Space diagonal 上の一稜から出る二つの直線として表わされる。Rendulic の面を Space diagonal を軸として回転させたとき、破壊包絡曲面の断面がすべて直線になることは図3を見ればわかる。すなわち図-4で図示した θ の値が一定である稜と接する線がすべて直線となり、1 稜に含めるからである。つぎに正八面体平面上での破壊包絡線は図4に示すように Mohr-Coulomb の破壊規準より少しふくらんだ形となる。Space diagonal を含む平面上の破壊包絡線が直線であることから、このふくらみが中間主応力による強度増加であることがわかる。強度に反比例する中間主応力の影響度を調べるため、Johansen が唱えた中間主応力軽重率 α ¹⁾ と 0.20, 0.30, 0.40, と変えた場合の $\tau_c/\sigma_c \sim \sigma_2/\sigma_c$ 表示を行なったところ、 $\alpha=0.30$ の場合 データは一本の直線として表わせた (σ_2, τ_c については図-5参照)。中間主応力によって最大主応力 σ_1 が変化した場合 τ_c/σ_c は $(2+\alpha^2)/2$ の勾配で変動するが、その直線は $-(\frac{\alpha^2}{2}(\sigma_2/\sigma_c) + \sigma_2/\sigma_c)$ だけ τ_c/σ_c 方向に平行移動する (図-5中 α (2) 式を参照)。

したがって α の値を適当に選ぶことにより、それらのデータで $\tau_c = f(\sigma_2)$ として表わせるのである。この結論として言えることは、強度は中間主応力の影響をわずかながら受け、この中間主応力 α 軽重率 $\alpha=0.30$ とした場合、破壊規準は τ_c/σ_c と σ_2/σ_c の直線関係式として図-5中の (3) 式として表わせることととなる。

1) M.T. Hvorslev: Proc. ASCE Research Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, 1960, P. 253.

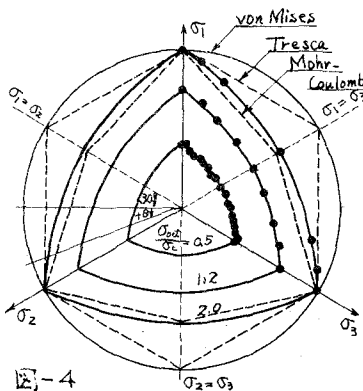


図-4

