

埼玉大学 理工学部 正会員 小野寺 達
大久保 俊治
○大 塚 康範

はじめに——本研究は、風化に伴う花崗岩の工学的性質の変化に関する研究の一環として特に強度と変形特性について三軸圧縮試験によって実験的に解析を試みたものである。試料は、本四連絡橋 今治—尾道ルート上の大島付近から採取した。採取にあたって対象としたのは肉眼的観察によって新鮮なものから整形可能な範囲内で風化した岩石までを包括するようにした。この実験に関連して一連の物理試験を行い実効間隙率 (net porosity)、超音波による動的弾性係数、動的せん断弾性係数、対数減衰率などの物性値と一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧裂引張試験等の結果とを総合的に関係づけようとするものである。尚今回の実験では、三軸圧縮試験において一次破壊が認められた後、拘束圧を上げて、さらに軸荷重を加えて二次的及び三次的な破壊を観察した。この二次以降の破壊を、ここでは二次、三次破壊と呼ぶことにする。

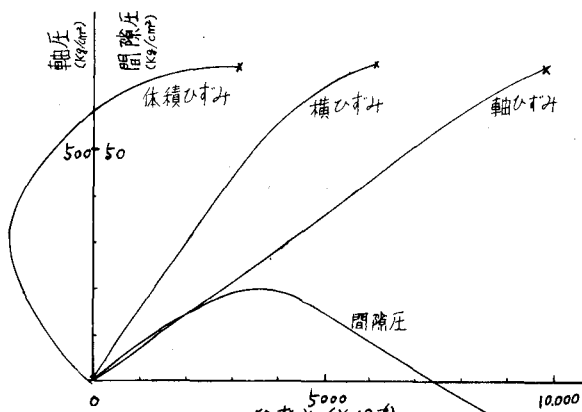


Fig. 1 岩石の応力-ひずみ関係 (1)
Ne5-1 ($he = 3.79\%$)

試料番号	実効間隙率 he	$Es \times 10^3$	$Ed \times 10^3$	弾性係数 $G \times 10^3$	減衰率 $\delta \times 10^{-2}$	引張強度 Kg/cm^2
1	3.79	0.48	1.44	2.54	2.58	6.62
2	3.31	0.57	1.24	2.53	2.57	6.62
3	4.94		0.97	2.50	2.55	7.41
4	3.37	0.71	1.57	2.55	2.59	8.13
5	3.80	0.43	1.55	2.55	2.59	6.49
6	3.62	0.75	1.43	2.54	2.58	7.30
7	4.65	1.00	0.91	2.53	2.58	7.14

Table 1

三軸圧縮試験について——供試体は $5 \times 10 \text{ cm}$ の円筒供試体とし、軸及びその直角方向に 20 mm の抵抗線ひずみゲージを接着させ一週間水浸させ試験前に真空ポンプで10時間程度脱気し飽和を促進させ飽和状態とみなした。このような供試体について最大 100 kg/cm^2 の拘束圧を作用させ非排水三軸圧縮試験を行った。載荷速度を $10 \text{ kg/cm}^2/\text{min}$ 前後に保ち発生する間隙圧をプレッシャーセルによって計測し、その最大を示す付近を体積歪の減少の最大と考えてその付近では荷重を極度に落としダイヤルゲージにより、ひずみを制御して破壊最大荷重まで到達させた。次に拘束圧を上げて同様の作業を繰り返した。尚拘束圧を上げる際、初期間隙圧にする為押し込んだ水の量から破壊時の間隙率の推定を合らせて試みた。

三軸圧縮試験の結果と考察——結果 Fig. 1 は大島花崗岩について三軸試験で得られた代表的な応力歪曲線である。これによると体積歪と間隙圧の挙動は独立でなく体積歪の減少につれて間隙圧は初期間隙圧に比べて増加し体積歪の減少の割合が小さくなると間隙圧の増加の割合も減少することが理解される。又間隙圧が最大を示した後、破壊最大強度を示す領域では、ひずみが

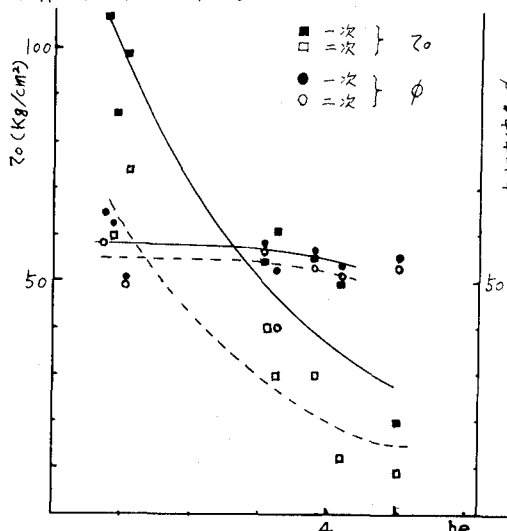


Fig. 2 実効間隙率及び内部摩擦角と ϕ の関係

Fig. 2 実効間隙率及び内部摩擦角と ϕ の関係

かなり進行することも確かめられた。

次に岩石個々についてモール円を描き、その包絡線から得られた結果について考察する。一次破壊について内部摩擦角 ϕ は $65^{\circ} \sim 50^{\circ}$ で実効間隙圧率 he に関係なく、ほぼ一定の値を示す。又切片 ρ がかなり急激に低下することがみられる。すなわち he が4%以下では殆どの場合では 50 kg/cm^2 以上であるが he が約5%になると

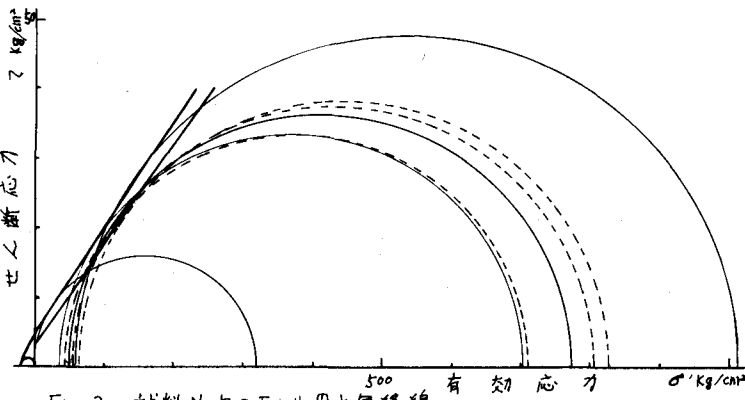


Fig 3 試料 No. 5 のモール円と包絡線

は 20 kg/cm^2 となり低下が著しい (Fig 2 参照)

二次破壊についても同様に二次破壊のモール円を描き包絡線を描くと Fig 3 の破線で示される様に内部摩擦角 ϕ の一次破壊からの減少はそれ程大きくなく、ほぼ一定である。しかし二次破壊における切片 ρ は一次破壊における ρ に比べ低下は著しい。二次破壊については ϕ は $42^{\circ} \sim 62^{\circ}$ と余り低下しないが ρ は $12 \sim 75 \text{ kg/cm}^2$ と低下している。この結果一次二次破壊を通じ ϕ の減少はそれ程大きくないのに反して ρ の減少は大きく he と相関する事が理解される。

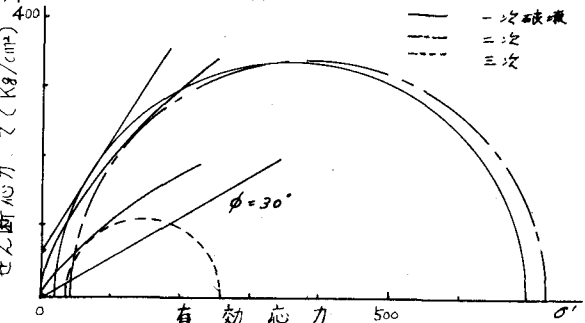


Fig 4 No. 5-1 ($he=3.79\%$) の一次、二次、三次破壊のモール円

考察— Fig 1 で示された一次破壊の応力歪曲線から破壊強度の領域ではひずみと体積増加がかなり進行しているのが分かる。

岩石の he の増減が殆ど岩石内部の microcrack の頻度に依存する事が明らかにされているから、この領域でのひずみの急増と間隙圧の減少は内部の亀裂の増加によるものと考えられる。故に一次破壊でも亀裂の増加によって he の増加が考えられるので Fig 2 で示される二次破壊の岩石で he が4%以下のものでも亀裂の増加により図の右側即ち he が全体的に増加するものと思われる。そこで一次破壊以後の領域まで粒子間の結合力を期待するのは無理と思われる。

一方において Fig 3 の様に二次破壊において一次破壊と殆ど変わらない位の見かけ上の ϕ が存在しても he 4%以上の岩石でも少なくとも $0 \sim 50 \text{ kg/cm}^2$ を持つ事実がある。これはやはり粒子間の結合力で説明できないもので Fig 5 の様に拘束圧の違いによって軸差応力の増減が見られな事を考え合わせると、一次破壊後の領域では粒子間相互の噛み合せによる構造的粘着力がかなり発揮されていると思われる。更に構造的粘着力が発揮できない程破壊が進むと ρ は0に近くなり、それに伴い ϕ も減少し岩石は面と面の接触摩擦角で代表されるせん断抵抗を示すものと考えられる (Fig 4)。その極限としては大島花崗岩の分離面に付し行つて F-面せん断試験結果から考えて 30° 程度の摩擦角に漸近するものと考えられる。

参考文献—

- 1) Z.T. Biriawski (1967) Mechanism of Brittle Fracture of Rock, Int. Rock. Mech. Min. Sci., vol. 4
- 2) 小野寺・吉中・小田 (1973) 花崗岩の間隙の性質と力学的性質の関連、第4回岩石の力学国内シンポジウム
- 3) 吉中・吉田・手島 (1974) 岩石分離面のせん断特性の測定と結果の利用、第29回土木学会年次講演会 III-40

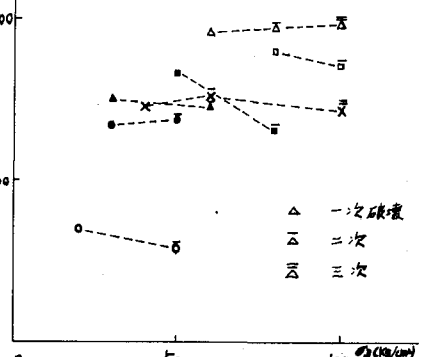


Fig 5 破壊時の軸差応力と拘束圧の関係