

名古屋大学工学部 正会員 川本 勝石
 大阪市 ○ 正会員 榎本 泰孝
 名古屋大学大学院 学生員 竹田 直樹

岩質性材料は、拘束圧を受けることによって、ぜい性材料から延性材料へと転じる。一般に、この遷移をぜい性・延性遷移と言うが、一般の岩石では、拘束圧が数千気圧のもとでおきる。モルタルや石こう等の材料では、数十気圧でおきる。このように、拘束圧により材料の性質が変わるが、ここでは、水圧で $100\text{kg}/\text{cm}^2$ までの拘束圧をかけられる実験装置を用いて、ひずみ制御で載荷し、モルタルの種々の拘束圧のもとでの圧縮、破壊過程について考察する。供試体は重量配合比が水：セメント：砂＝ $0.65:1:2$ 、供試体寸法は $\phi=100\text{mm}$ 、高さ 200mm の円柱供試体で、27日間水中養生した後、14日間空中養生したものをを用いた。

§1 応力～ひずみ曲線

各拘束圧(G_3)のもとでの応力～ひずみ曲線は図-1のようになる。ここで $G_3=0.10\text{kg}/\text{cm}^2$ では、明瞭に強度破壊や崩壊現象が見られるが、 $G_3=30\text{kg}/\text{cm}^2$ では unstable な flow, $G_3=50\text{kg}/\text{cm}^2$ では plastic な flow, さらに $G_3=70\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上では stable な flow を示し、材料はひずみ硬化をおこなっている。また図-1 から明らかなように、この供試体での実験では、拘束圧が大きくなるにつれて、応力～ひずみ曲線の傾き(弾性係数)が小さくなっている。一般の材料では拘束圧が大きくなるにつれて、曲線の傾きは増大するか、あるいは一定であるのに対して、この材料では減少している。これは供試体表面は乾燥しているが内部は湿潤状態であり、また材料自体の間ゲキ比がかなり大きい($e=0.25$)ことから次のように考えられる。すなわち、低拘束圧のもとでは、材料内部の水はそのまま残り、モルタルマトリックスと共に、荷重に抵抗するのに対し、拘束圧が大きくなるにつれて、内部の水が供試体表面に押し出されてくるために、荷重に対し水の受けもつ剛性が小さくなり、モルタルマトリックスが変形しやすくなる。その結果材料自体の弾性係数が小さくなるものと考えられる。このように不飽和状態での材料は、拘束圧により強度ばかりでなく、変形も大きく影響を受ける。

§2 回復しないひずみ

くり返し載荷試験を行なうと、回復するひずみ ϵ_e と回復しないひずみ ϵ_p が生じる。ただし、くり返し載荷試験を行なっても、応力～ひずみ関係にはほとんど影響はないと考えられる。ここで図-2、図-3は、くり返し載荷試験の結果を ϵ と ϵ_e 、 ϵ_p 、 σ と ϵ_e 、 ϵ_p の関係で整理したものである。図では、縦軸、横軸の各々の内側、外側が対応づくようになっている。 $G_3=10\text{kg}/\text{cm}^2$ では、 ϵ ～ ϵ_e 、 ϵ_p の関係において次のような特徴がみられる。(1) ϵ_e の増分が大きい。(2) ϵ_p の増分が大きくなる。(3) ϵ_e の増分が0となる。(4) ϵ_e の増分が負になる。また、(2)と(3)の変わり目は、応力～ひずみ曲線において、強度破壊点に相当している。上記の特徴から、低拘束圧下での材料の圧縮過程を、弾性域(降伏点)～降伏域(強度破壊点)～ひずみ硬化域(崩壊)～残留強度、4段階に分けられるであろう。強度破壊後、材料の負荷は ϵ_p の増分のみでまかなわれている。残留強度は、 ϵ_e が減少する中で、モルタルマトリックスの破壊と考えられる。 $G_3=70\text{kg}/\text{cm}^2$ の場合も同様に、(1) ϵ_e の増分が大きい。(2) ϵ_p の増分が大きい。(3) ϵ_e の増分が0となる特徴が見られ、弾性域(降伏点)～降伏域～ひずみ硬化域の圧縮過程を表わしているものと考えられる。 $G_3=10\text{kg}/\text{cm}^2$ と比べると、(1)と(2)の変わり目(降伏点)ならびに(2)と(3)の変わり目の σ は、小さくなっている。また、弾性域、降伏域もかなり長くなっている。これらは拘束圧の増大によって生じる構造変化によって弾性変形が増大するものと解釈される。要するに骨格自体は変化を受けないとすれば、拘束圧の影響で、構造が密になることで、弾性挙動が大きくなり、またモルタルマトリックスの破壊が生じにくくなるものと考えられる。またいづれの場合も、弾性域で ϵ_p がかなり大きいのは、間ゲキ比がかなり大きいためであると考えられる。

§3 エネルギーバランス

図-4には、各ひずみレベルにおける回復するエネルギー W_e と、回復しないエネルギー W_p 、ならびに全ひずみエネルギー W が示してある。 W_p は構造の変化によるエネルギーや音、熱等に消費されるものであろう。 $\sigma_3 = 10 \text{ kg/cm}^2$ では、降伏点 ($\epsilon/\epsilon_c \approx 1.0$) で、 W_p は急激に増加し、 W_e の増加はゆるやかとなる。強度破壊点 ($\epsilon/\epsilon_c \approx 1.8$) で、 W_e は最大となる。崩壊点 ($\epsilon/\epsilon_c \approx 2.4$) では、減少してきた W_e はほぼ一定に落ちつく。 $\sigma_3 = 70 \text{ kg/cm}^2$ では、降伏域以後のひずみ硬化域で W_e はほぼ一定となる。このように強度破壊は、弾性ひずみエネルギーが最大になる現象であると考えられる。そして拘束圧が大きくなり、材料が延性的になるほど、弾性ひずみエネルギーが大きくなる。

§4 結論

モルタルはその受ける拘束圧によって、大きく影響を受けるが、その圧縮過程は主に次のようになる。

- 1) 弾性域から降伏域に移るときには E_p 、 W_p が急増する。
- 2) 強度破壊点では、 W_e が最大になり、 ϵ_c の増分は 0 であり、 ϵ_c は最大であり、崩壊後、 ϵ_c の増分は負となる。
- 3) ひずみ硬化域では、 ϵ_c の増分はなく、 W_e はほぼ一定である。

これらの結果は、不連続面を検討する実験で普遍的に出てきたもので、結果を述べるだけで終わっていることは、遺憾である。未筆ながら、当研究室の職員及び大学院生の関係諸氏に、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Jaeger, J. C.; "The Behavior of Closely Jointed Rock" Proc. 11th Symp. Rock Mech. 1969, PP. 83-103
- 2) 石井俊明; "三軸圧縮応力下における岩質材料の変形特性について" 名古屋大学修士論文, 1975
- 3) Goodman, R. E., and Ohnishi, Y.; "Undrained Shear Testing of Jointed Rock", Rock Mech. Vol. 5, 1970, PP. 129-149

