III-172　圧縮強度の確率モデルとそのパラメーターに関する一考察

日本大学工学部　正員○田野久貴
東北大学工学部　正員　佐武正雄

1　緒言

岩盤・岩石に内在する不均質さは，その力学的挙動に大きな影響を及ぼすが，これらの中には節理等の比較的大きなオーダーのものと，母材本来のクラックのような小さなオーダーのものがあると考えられる。後者に関して，その不均質さを確率論的に扱うことは一つの有効な手段であると考え，いわゆる最弱リンクモデルが材料の強度を説明するために提案されている。しかし，この考えのみでは，圧縮強度の寸法効果を十分説明できない点があり，筆者らは並列システムをも加えた複合モデルをすでに提案[1]している。そして，このモデルにより，圧縮強度の寸法効果における現象を定性的に説明し得ることを実験によって示した。これは主として，強度に主眼をおいたものであるが，本文ではそこで用いられた確率論的なパラメーターと材料の構造特性の一つである細長比との相互関係を考察するものである。

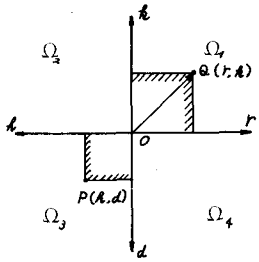
2．確率モデルと細長比に関する一般的考察

前報において複合モデルを提案した。すなわち，r個のリンクより構成される鎖をk本並列したモデルである。rは材料の底辺または直径dと，またkはその高さhに関係すると考えて次のような結果を得ている。すなわち，（A）断面を一定とし高さhを増加させると，強度は増加する。（B）高さを一定とし断面を増加させると，強度の低下は従来の最弱リンクによる式と全く同一となり，最もその低下が大きい。（C）細長比$R = h/d$を一定とした体積増加のもとでの強度低下は，（B）の場合よりも小さい。これらの結果は石膏を用いた実験によって傾向的に一致することが確認された。

材料	構造	並列構造	直列構造
材料	パラメーター	d（直径）	h（高さ）
確率モデル	モデル	直　列	並　列
確率モデル	パラメーター	r （リンク数）	k （並列数）

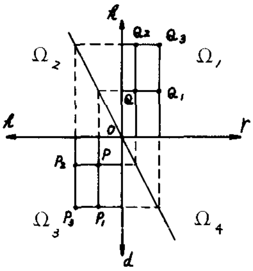
表―1

これらの議論に際しては，リンク数rと底辺もしくは半径dと，また鎖の並列数kと材料の高さhとをそれぞれ対応させた。これらはそれぞれ確率論的パラメーター（r，k）と構造的なパラメーター（d，h）であると考えられる。表－1は，これらのパラメーター間の対応関係を考察するためのものである。すなわち，確率モデルにおいては，rとkは互に直交関係にあることは明らかであろう。また，構造的には底辺（半径）dと高さhの関係も同様である。一方，確率モデルと構造（細長比）との関係では，rとd及びkとhとをそれぞれ対応させるためには，これらが互いに直交関係にあると考えた方が都合がよい。以上の相互関係を満足するように座標軸をそれぞれとると図－1のようになる。直交した二軸をとり，原点Oを中心とし，第1象限の横軸より反時計まわりにr，k，h及びdをとると，これらの相互関係は，表－1を満足していることがわかる。$r-h$軸はモデル及び材料の直列軸を，$k-d$軸はこれらの並列軸と対応している。

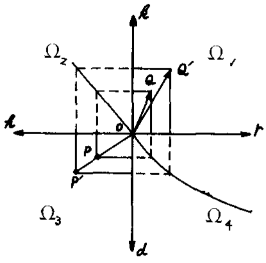


図－1

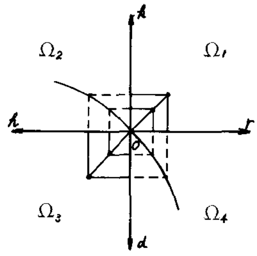
第1象限よりそれぞれの平面を$\Omega_1 \sim \Omega_4$とすると



図－2

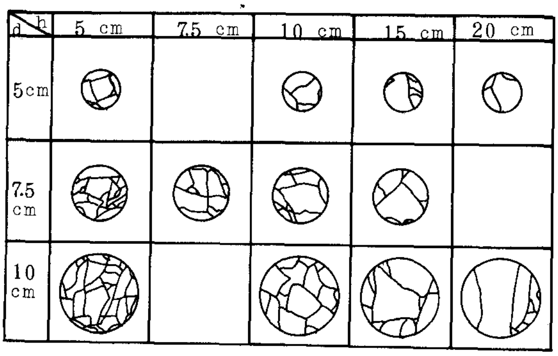


図－3

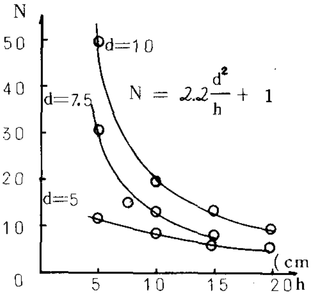


図－4

Ω_3平面上の一点PはΩ_1平面上の一点Qに対応している。斜線部の面積は材料の体積Vと確率モデルのリンク総数に相当している。rは直列システムのリンク数であるから，Ω_1上のベクトルとr軸のなす角度が小さいほど強度は低下することになる。一方，Ω_2及びΩ_4面は材料の寸法と確率モデルのパラメーター（r，k）との関係が示される平面である．rがdと，kがhに比例するとした前者は，図－2に示すようにΩ_2，Ω_4面において，それぞれ直線を仮定したことに相当する。材料の体積VあるいはR細長比Rが変化した場合，Ω_3上の点P_1，P_2，P_3は，Ω_1面上でそれぞれQ_1，Q_2，Q_3と対応することになる．したがって，Ω_3上の一点がΩ_1上のどの点と対応するかはΩ_2，Ω_4上に示される関係で決定され，その関係は材料によって異なると考えられる。ここで，Ω_2，Ω_4面上の直（曲）線の性質と，たとえば細長比一定とした場合の寸法効果について考えてみよう。図－2に示すように，共に直線で示される場合は，一定の寸法効果が生じると思われる．この場合，二本の直線の傾きによって，それが強度低下かあるいは増加が決定される．一方，図－3のような場合には，常に強度は低下する。また，図－4の場合には体積の小さいうちは強度低下による寸法効果が現われるが，ある程度体積が増加すると強度が一定になると考えられる。



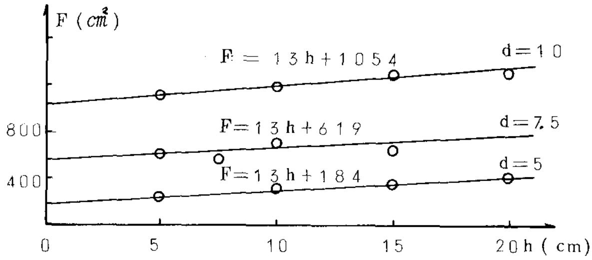
図－5



図－6

3．試験片の破壊状態と各パラメーター間の関係

前節で一般的に論じた細長比と確率モデルとを結びつけるΩ_2，Ω_4面上の関係式をやや具体的に論じてみよう。材料によると考えられるこれらの関係を求めることは実際問題としてなかなか困難な問題であるが，本文ではリンク数rと並列度数kは，従来の概念と同様に材料内のクラックと対応させて考える．本文では，rは断面と，kは高さと対応させているから，破壊時の供試体の横断面内のクラックの状態と縦断方向の破面に一応注目した．図－5は細長比を種々に変化させた円柱供試体の最大荷重直径の破壊状況である。供試体中央部分を切断し観察したものである．破壊状況は多様であるが，各種類とも平均的なパターンを示してある。同一高さhにおいては，直径dが増加すると破壊個数は増加しているが，同一直径では高さの増加にともなって減少している。一方，図－6及び7は平均破壊個数Nと直径との関係及び破壊面積Fと高さとの関係をそれぞれ示したものである．概略的な実験式を図に示してあるが，N及びFとも必ずしもdあるいはhのみの関数ではないことがわかる。したがって，rとNをまた，kとFとを対応させて考えるならば，rはdのみの，またkはhのみの関数ではないことになり，Ω_2(k，r) Ω_4(d，k)面上ではこれらはそれぞれd及びhをパラメーターとして表わされることになる．これらの点についてはさらに詳細な検討を加えている。



図－7

1) 田野久貴，佐武正雄；脆性材料の寸法効果に関する実験とその考察．土木学会第12回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要，116～120 (1979)