

日本大学 正員 田野久貴
同 学生員 服部正巳
同 八重樫雅樹

1. 緒言

石コウや岩石等のゼイ性材料において、試験片寸法の増加に伴ってその強度が減少する、いわゆる寸法効果という現象が知られている。本文は、ゼイ性材料の一種である石コウを用いて圧裂及び圧縮試験を行ない、それぞれにおける寸法効果及びその相異について調べたものである。

2. 実験方法

材料として工業用石コウを用いた。石コウと水を1:0.6(重量比)の割合で混合し、コンクリート用型わく(円柱)に流し込み、脱模後定温乾燥器で一定重量になるまで乾燥させた。用いた試験片の種類を表-1に示す。圧裂試験片は高さ(h)を一定とし、圧縮試験片は高さ/直径(h/d)を一定(2)とした。圧裂試験においては、周知のように、二つの荷重点を結ぶ直径上においてこの直径方向に直角に最大引張応力が生じる(図-1)。従って、ゼイ性材料においてはこの直径上に沿って一瞬に破壊が生じるのが普通である。この場合の圧裂引張強度は次式で示される。

$$\sigma = \frac{2P}{\pi dh} \quad (1)$$

一方、圧縮試験においては、荷重方向にいくつかに分離して破壊が生じる。

3. 実験結果

それぞれの試験における破壊の様子は前述の如くであり、得られたヒストグラムを図-2~8に示す。これらの図から、実験結果はほぼ正規分布をなすことがわかる。また、圧裂及び圧縮強度の平均値を図-9、10に示す。圧裂及び圧縮強度とも、寸法が増すと低下する傾向にある。これらの分布は次に示すワイブル分布に従うとも考えることができる。

$$F(x) = e^{-\alpha x^m} \quad \alpha, m(\text{均一性係数}) : \text{定数} \quad (2)$$

本実験において、 $m=11.8$ (圧裂引張)及び9.3(圧縮)を得た。

4. 考察

4.1 圧裂引張強度と直列モデル(最弱リンクモデル)

圧裂引張における破壊は前述のように一瞬に生じる。これは、内在する欠陥をクラック状と仮定すると、引張応力下でこのクラックが急速に伝播するためと考えられる。そして、このGriffith理論の概念にもとづいた最弱リンクモデル(最小値確率論)³⁾が提案されている。すなわち、材料の破壊強度を図-11(a)に示す鎖の強度に例え、この鎖の強度は、これら

圧裂引張試験片	$\phi = 5, 7, 5, 10, 15 \text{ cm}$ $h = 5 \text{ cm (一定)}$
圧縮試験片	$\phi = 5, 7, 10 \text{ cm}$ $h / \phi = 2 \text{ (一定)}$
試験片数 各100個	

表-1 試験片の種類

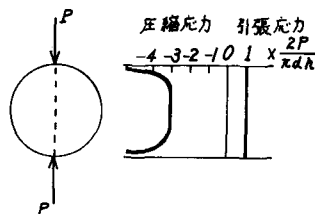


図-1 圧裂試験片の応力分布

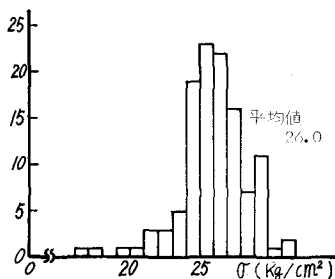


図-2 圧裂引張強度の分布 ($\phi=5\text{cm}$)

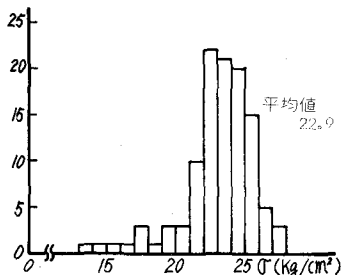


図-3 同 ($\phi=7.5\text{cm}$)

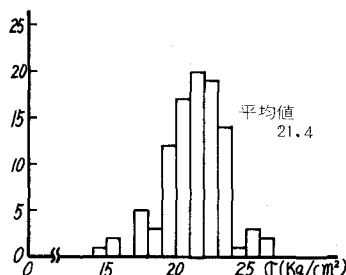


図-4 同 ($\phi=10\text{cm}$)

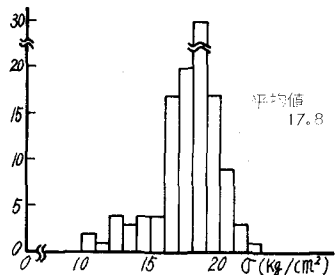


図-5 同 ($\phi=15\text{cm}$)

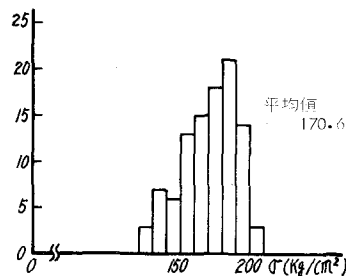


図-6 圧縮強度の分布 ($\phi=5\text{cm}$)

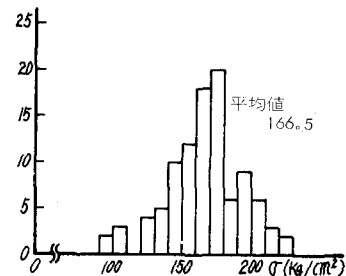


図-7 圧縮強度の分布 ($\phi=7.5\text{cm}$)

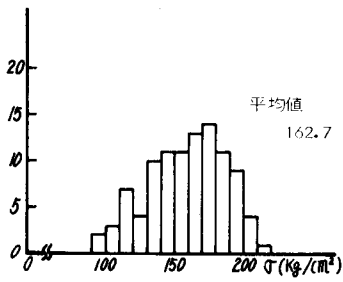


図-8 圧縮強度の分布(φ=10.5mm)

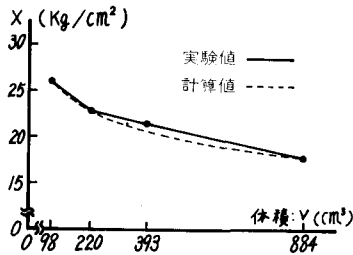


図-9 圧裂引張強度における寸法効果

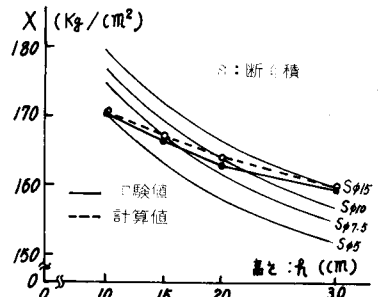


図-10 圧縮強度における寸法効果

n 個のリンクのうちの最弱なリンクの強度で決まると考えるものである。すなわち、リンク(クラック)の強度が x を越える確率として(2)式を仮定すると、 n 個のリンクより構成される鎖の破壊確率 $G_n(x)$ は(3)式で与えられ、強度を並数で表わすと(4)式を得る。

$$G_n(x) = 1 - \{e^{-\alpha x^m}\}^n \quad (3)$$

$$x = \left(\frac{m-1}{m}\right)^{1/m} \frac{1}{(\alpha n)^{1/m}} \quad (4)$$

従って、クラック数 n が寸法(たとえば体積 v)に比例して増加すると考えると、大きな試験片ほどその強度は小さいことになる。本実験では、(4)式にもとづき、 n と寸法の関係に種々のものを用いて計算した結果、実験値にかなり近いものとして次式を得た。

$$x_v/x_1 = \left(\frac{1}{V^2}\right)^{1/m} \quad (5)$$

(5)を用いて求めた計算値を図-9に破線で示す。従って、圧裂引張強度においては、試験片の体積の二乗に比例してクラックが増加するものと考えられる。

4. 2 圧縮強度と並列モデル

圧縮強度の確率モデルとしては、図-11(b)に示すような並列モデルを考える。すなわち、 n 個よりなる最弱リンクモデルが k 本並列に連結していると考えられる。圧縮強度として、破壊確率 $=0.5$ の時の x をとると(6)式を得る。

$$x = - \left\{ \frac{\log(1-0.5)^{1/k}}{n \alpha \log e} \right\}^{1/m} \quad (6)$$

ここで、 n は高さ(h)に、 k は断面積(S)に比例すると仮定している。(6)式を S をパラメーターとし、 h との関係で図-10(破線)で示す。実験値(実線)と比較すると、かなり両者は接近しているように思われる。

5. 結語

(1) 圧裂寸法効果にいわゆる最弱リンク(直列モデル)にもとづく確率論を適用した結果、材料中のクラックの長さを一定とすると、石コウを用いた本実験においては、クラックは体積(v)の二乗に比例して増加すると思われる。

(2) 圧縮強度には並列モデルを用い、それぞれの並列要素が先の最弱リンクよりなると考えて検討した結果(6)式、実験値との比較ではよい一致をみた(図-10)。

(3) (6)式は試験片の高さが増加すると圧縮強度は低下し、断面積が増加すると強度は増加することを示しており、これはいわゆる細長比の問題との関連をも表わしているが、本実験では細長比一定(=2)であるためこの点に関しては今後の問題である。

参考文献

- 1) Weibull, W. : A statistical distribution function of wide applicability, J. Appl. Mech. , 18, 293~297 (1951)
- 2) Epstein, B. : Statistical aspects of fracture problems, J. Appl. Phys. , 19, 140~147 (1948)
- 3) Griffith, A.A. : The phenomena of rupture and flow in solids, Phil. Trans. of Roy. Soc. , 221, 163~198 (1920)