

傾斜した中間層をもつ供試体の一軸圧縮強度とその破壊機構について

東北大学工学部 佐武正雄

東北大学工学部 伊藤 駿

同 大学院 ○山崎芳徳

1 まえがき

低強度の薄い層をもつ脆性材料の強度やその破壊機構を知るために、中間層をもつ石膏供試体を数種類作成して一軸圧縮試験を行い、考察を加えた。実験結果の一部はすでに発表した^{0,2}が、本文では中間層の龜裂発生から全体の破壊に至るまでの経過に注目し、全体強度を決定する要因についての考察を中心にのべる。

2 実験の方法

(a) 供試体の形状と寸法

φ 5 cm × 10 cm の円柱供試体

(b) 供試体の種類 (図 1)

中間層の傾斜角は、0°, 15°, 30°, 45°, 60° の 5 種類。層厚 t は 0.5 cm ~ 4 cm。

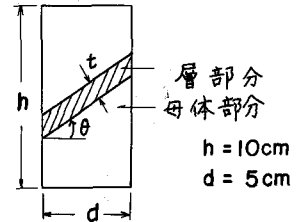


図 - 1

(c) 材料

母体部材料：石膏 + 水 (1 : 0.6) (以下母材と略記)

層部材料：石膏 + 硅藻土 + 水 (1 : 0.1 : 1) (以下層材と略記)

(d) 作成要領

層部及び母体部をそれぞれ別個の型枠に流し込んで脱型し、これらを所定の角度に研削した後、工業用セメダインで接着し供試体を作った。養生は気乾状態で行なった。

(e) 載荷法

供試体の作成より 5 日後に圧縮試験を行なった。荷重速度を $0.15 \sim 0.20 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ の範囲に保ち、供試体全体が破壊するまで荷重を加えた。

3 実験結果

3-1 各傾斜角に対する応力一圧縮量曲線

図 2 は応力と圧縮量の関係を示している。 θ が小さい場合は、降伏から全体の破壊まで変形量が著しく増大する。

図中の記号は

σ : 圧縮応力 (kg/cm^2)

σ_c : 供試体全体の破壊強度

σ_Y : 層部が降伏し始めるときの強度

σ_p : 母材供試体の強度

σ_b : 層材供試体の強度

Δh : 供試体の圧縮量 (cm)

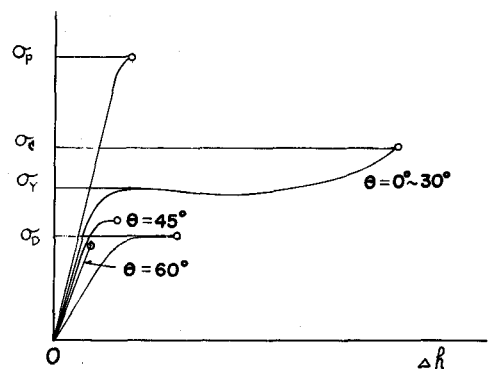


図 - 2

($t = 1 \text{ cm}$ の場合)

3-2 σ_c と t , θ との関係

図3は θ と σ_c の関係を、図4は t と σ_c の関係を示す。

図3の場合破壊機構にはほぼ3種類(I, II, III)あることが観察された。 $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ$ では層部の龜裂が母体部分に及んで全体の破壊が起り $\theta = 45^\circ$ では層部分の破壊が全体強度となり、又 $\theta = 60^\circ$ では層の境界面に沿って起るなり破壊が全体強度となる。

$\theta = 45^\circ$ の場合は層材強度より σ_c が予想でき、 $\theta = 60^\circ$ の場合は接着面の強度で説明できる²⁾ので $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ$ の場合について考察を行う。

図4について見ると2-2'より上の④⑤では母体部分の破壊が起り、下の⑥では層部分の破壊が全体強度となる。

3-3 破壊機構の観察

$\theta = 30^\circ$ の場合を例にとつて、破壊機構を説明する。前述の、母体部分が破壊する場合には更に④と⑤の種類があることが観察される。(図4でその境界を1-1'で示す。)

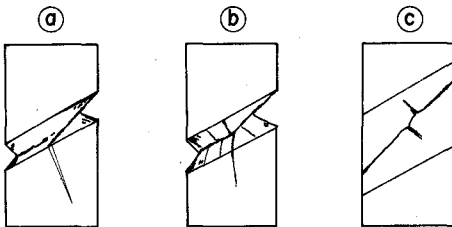


図-5

④の場合、層部分が降伏してなり線が発生し、それが次第にのびて母体部に達するとその点から龜裂が発生して、殆ど瞬間的に全体が破壊する。

⑤の場合、多数のなり線が生じ、層内で合流して母体部に龜裂がのびて破壊する。

⑥の場合は層の内部で図5のごとく破壊する。

図6は各々の場合の応力-圧縮量曲線である。又次頁の写真は⑥の場合の実例を示す。

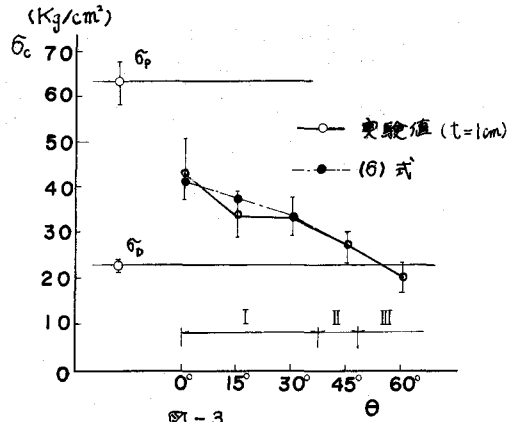


図-3

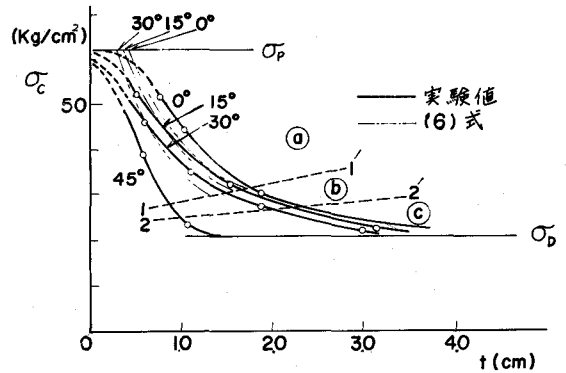


図-4

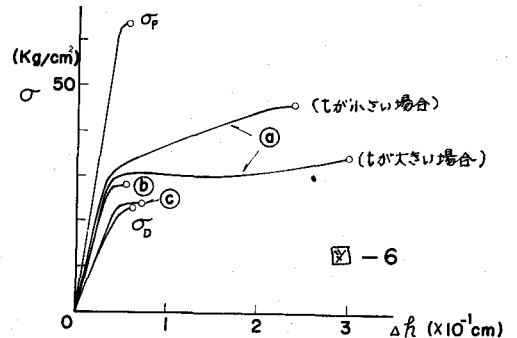
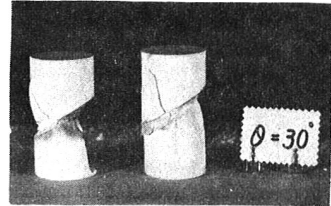
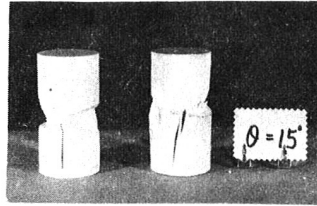
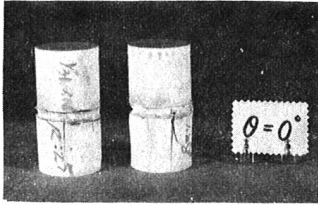


図-6



4 考察

一般的に中間層が無限に連続する場合を考えると、 $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ$ については㉑㉒の場合がなく㉓の場合に帰着すると考えられるから、特にこの場合について考察を行う。

㉓の場合の供試体全部について破壊機構を調査すると、図7のようにじり線の端部では母体部分に大きい強制変位(引張り)を生じさせ、ここで発生した亀裂が全体の破壊を起こすと考えられる。

一方図7で示すじり線の傾斜角 α は $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ$ の場合共通して 45° の値となることが観察された。以上により σ_c は L と密接な関連があると思われる。

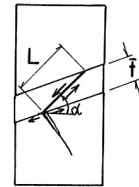


図 - 7

4-1 L と σ_c の関係

L は次式で与えられる

$$L = \frac{\bar{t}}{\sin(\frac{\pi}{4} - \theta)} \quad (1)$$

($\bar{t}$ は全体が破壊したときの中間層の厚さ)

L と σ_c の関係を両対数グラフで図示すると図8となる。図より次の実験式が導かれる。

$$\sigma_c = k(\theta) L^{-m} \quad (2)$$

$k(\theta)$ は角度によつて異なるが m は各角度にほぼ共通した値であることが分かる。

4-2 θ と $k(\theta)$ の関係

(2)式の $k(\theta)$ の関数形を求めるため $\cos 2\theta$ と $k(\theta) = \sigma_c L^m$ (m の平均値は0.57)のグラフを画く(図9)。図より

$$k(\theta) = K_0 (\cos 2\theta)^n \quad (3)$$

$$(K_0 = 40.4, \quad n = 0.58)$$

を得る。

以上の考察をまとめると、 σ_c は(2)式と(3)式より次の実験式で表わされる。

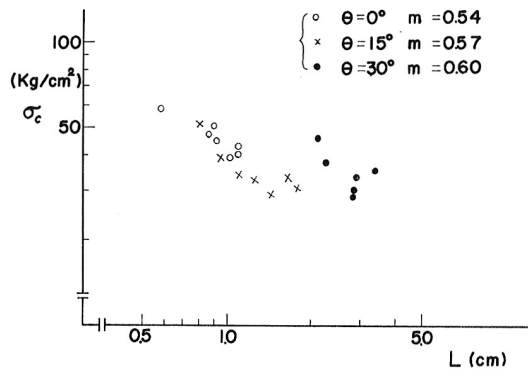


図 - 8

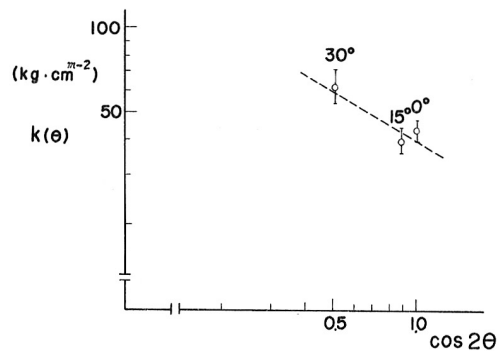


図 - 9

$$\sigma_c = \frac{K_0}{L^{0.57} (\cos 2\theta)^{0.58}} \quad (4)$$

物理的意味を考へ(4)式を更に

$$\sigma_c = \frac{K_0}{\sqrt{L} \cdot \cos 2\theta} \quad (5)$$

とおく。Lに(1)式を代入して整理すると(5)式は

$$\sigma_c = \frac{K}{\sqrt{\bar{t} \cdot \cos(\frac{\pi}{4} - \theta)}} \quad (6)$$

で表わされる。($K = K_0/\sqrt{L}$)

(6)式を図3, 図4にあてはめると(図中---線)実験値とほぼ一致することがわかる。図4の場合(6)式の値の上限は母材強度となる。

$\bar{t}$ は θ が一定なら t にほぼ比例するので, t, θ の関数であると考えられる。従つて σ_c は t, θ で表わされると考える。

5 結び

傾斜の小さい層の場合を中心に破壊機構の観察から全体強度を左右する要因を考へ、実験式を導いた。式を裏付ける供試体の形状が円柱であることや、実験個体数が少いので、今後は形状を角柱にして、更に検討を進めたいと考えている。

- 文献1) $\left\{ \begin{array}{l} \text{佐武正雄} \\ \text{伊藤 駿} \end{array} \right.$, 中間層をもつ供試体の破壊機構について, (土木学会)東北支部技術研究発表
会 講演概要, S43.2, P91
- 文献2) $\left\{ \begin{array}{l} \text{佐武正雄} \\ \text{伊藤 駿} \\ \text{山崎芳徳} \end{array} \right.$, 傾斜した層をもつ供試体の圧縮強度について, (土木学会)年次学術講演会
講演概要, S43.10, ■-117

Uniaxial Compressive Strength and Mechanism of Fracture of Specimens
with an Inclined Layer.

Masao SATAKE, Takeo ITO, and Yoshinori YAMAZAKI, Tohoku Univ.

An experimental study is carried out to investigate the uniaxial compressive strength and the mechanism of fracture of specimens with an inclined layer made by material of lower strength. The main part of specimens are made by plaster and the layer part by the mixed material of diatomaceous earth and plaster.

Through the experiments, it was observed that the mechanism of fracture was divided into three cases as following;

1) $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$

In this case, the first slip fracture appears in the layer part and the fracture of main part arises when the slip line of the layer part reaches at the boundary. (Fig. 5a, Fig. 7)

2) $\theta = 45^\circ$

The slip fracture of the layer part yields the fracture of the total body.

3) $\theta = 60^\circ$

The slip fracture appears at the boundary of two parts.

In this paper, the fracture of the case 1) is mainly dealt with, because this case seems the most important and practical in rock mechanics.

In this case, the strength seems to depend mainly on the length of the slip line L and the Fig. 8 shows the Equ. (2), and by some calculations, we have Equ. (5) or (6), in which σ_c denotes the strength of total body, t the thickness of the layer and K and K_0 constants.