

傾斜した層をもつ供試体の圧縮強度について

東北大学工学部 正員 佐武 正雄
 , 正員 伊藤 駿
 , 学生員 山崎 芳徳

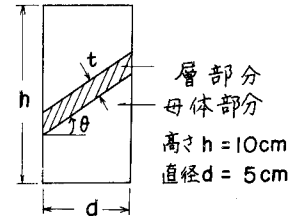
1. ま え か き

岩盤を模擬した一つの基礎実験として、石膏と珪藻土を用い傾斜した中間層を夹む円柱供試体を作成し、一軸圧縮試験を行った。中間層の厚さや傾斜角が供試体全体の強度にどんな影響を及ぼすかを調べ考察したのでその概要を述べる。

2. 供 試 体

2.1 供試体の種類 (図-1)

- (a) 層厚 (t cm) を一定にし、中間層の傾斜角 (θ) を変化させた供試体 ($t = 1$ cm に対し、 $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の5種類)
- (b) 一定の θ に対し、 t を変化させた供試体 ($\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の4通りに対し、 $t = 0.5 \sim 4.0$ cm)
- (c) 母体部材の供試体と層部材の供試体



<図-1>

2.2 材 料

供試体の母材はβ-半水石膏と水を1:0.6(重量比)で混合し、層材はβ-半水石膏と珪藻土と水を1:0.1:1の割合で混合したものである。

2.3 作成要領

練り混ぜ時間を1分、流し込み時間を30秒とし、層部及び母体部をそれぞれ別個の型枠にて作成し1時間後に脱型し、これらを所定の角度に所削した後、工業用セメンタインで接着させた。気乾養生は流し込み時より5日間とした。

3. 実 験 結 果

供試体を圧縮試験機 (MIS216, 2t) により荷重速度を $0.15 \sim 0.20$ kg/cm²/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結果、次のことがわかった。

3.1 各傾斜角に対する応力-圧縮量の関係と破壊機構

(a) の供試体について実験を行っ

た。以下、図中の記号は、

σ_1 : 圧縮応力

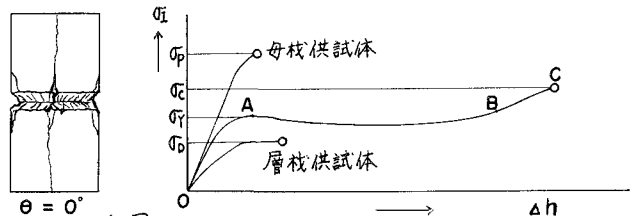
σ_c : 供試体全体の破壊強度

σ_r : 層部が破壊し始める時の強度

σ_p : 母材供試体の強度

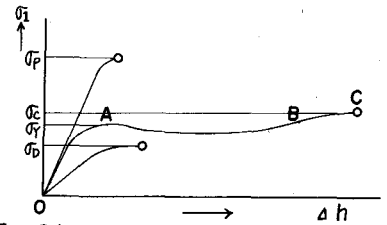
σ_b : 層材供試体の強度

Δh : 供試体の圧縮量



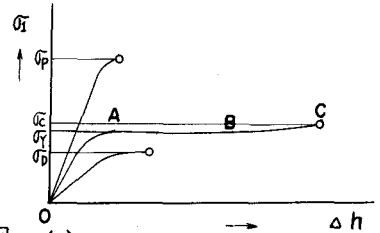
<図-2>

(i) $\theta = 0^\circ$ (図-2) 層部はA点で破壊し始めB点まで進展し、破片は外へはみ出る。B点より母体部に亀裂が入り図示のように軸方向に伸びC点で破壊する。



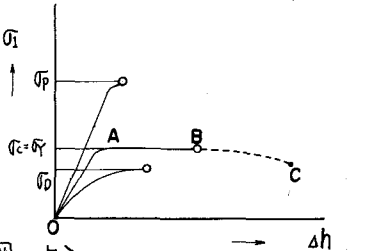
<図-3>

(ii) $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ (図-3, 図-4) 破壊の過程は $\theta = 0^\circ$ の場合に類似しているが、スケッチで示したようにB点より層部内に大きな亀裂が生じ、これが接着面に突き当たって母体部に亀裂が発生する。



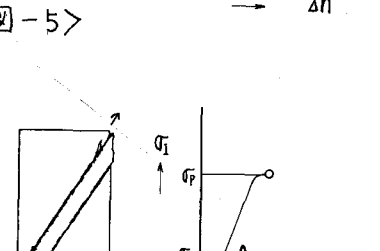
<図-4>

(iii) $\theta = 45^\circ$ (図-5) 層部がA点で破壊した後、上りが生じC点で母体部に亀裂が入る。C点近くでは応力が減少するので最大強度は図中B点となる。



<図-5>

(iv) $\theta = 60^\circ$ (図-6) 層部が破壊する前に接着面に沿って突然上りが生ずる。



<図-6>

以上の破壊現象は大体次の3種類に分類できる。

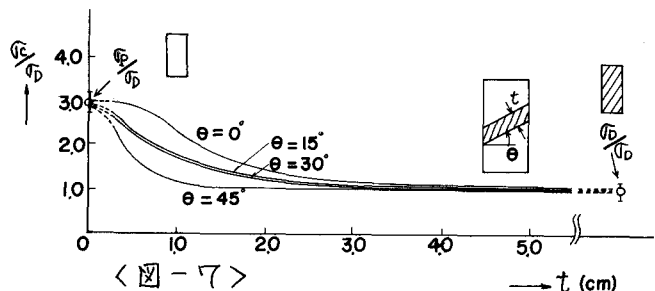
- I. $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ の場合、層部が破壊しても供試体全体は破壊せず、母体部に亀裂が次第に生長して破壊する。
- II. 45° の場合、 $\sigma_p = \sigma_c$ となり層部内で上り破壊が起こる。
- III. 60° の場合、接着面で破壊が起こり、全体の強度は接着強度によって定まる。

3.2 σ_c に対する層厚 t の影響

(b)の供試体について実験し、 σ_c/σ_0 と t の関係を示せば図-7となる。この図より σ_c は σ_p と σ_0 の間にあり t が小さければ σ_p に、大きければ σ_0 に近づく。又、 θ が大きい場合は t が小さくても σ_0 に速かに漸近することがわかる。

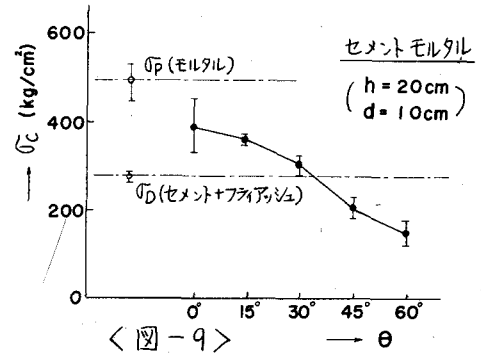
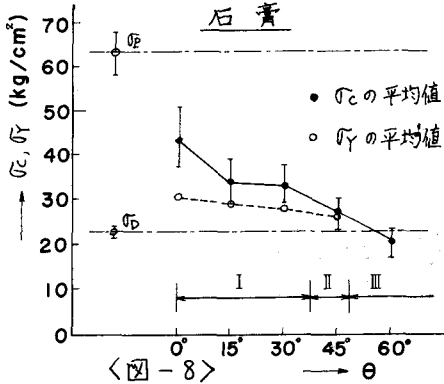
3.3 σ_c に対する傾斜角 θ の影響

(a)の供試体について実験し σ_c と θ との関係を図示すれば図-8となる。又、中間層にセメントとフライアッシュの混合材料を用い、母体部材料としてモルタルを用いた実験¹⁾では図-9のようになった。破壊機構は前述のように3種類に分類され強度はI→II→IIIの順に小さくなっている。又、 σ_p の値は θ によってわずかに変化しているが σ_c と σ_p の差は $\theta = 0^\circ$ でかなり大きく、 θ が大きくなるに従



<図-7>

ってその差は次第に減少し、 $\theta = 45^\circ$ でほぼ一致する。



3.4 接着強度の検討

接着強度について調べるため、表-1に示すような供試体を作成して実験を行った。 σ_c が σ_D (174 ~ 266 kg/cm²)より小さい場合、殆んどが接着面に沿

供試体の種類	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 60^\circ$	直接せん断
σ_c の範囲(平均値)kg/cm ²	168~232(200)	146~234(204)	131~200(151)	—
τ の範囲(平均値)kg/cm ²	73~100(87)	73~117(102)	57~87(65)	28~35(32)

τ : 接着面のせん断応力 <表-1>

って切り起している。 $\theta = 30^\circ$ では、大部分、層部材料が先に破壊を起した。

4. 考察

4.1 理論的考察

層部材料供試体の三軸圧縮試験の結果、Mohrの破壊限界線は $\tau = \tau_0$ (const.)となったので、最大せん断応力説が成り立つものとして扱い、以下破壊に対していくつかの理論的考察を行う。

① 層と同じ傾斜角 θ の面でのせん断応力 τ が τ_0 に達した時に破壊する考える方法(図-10)

角度 θ の面に沿くせん断応力は一軸圧縮応力を

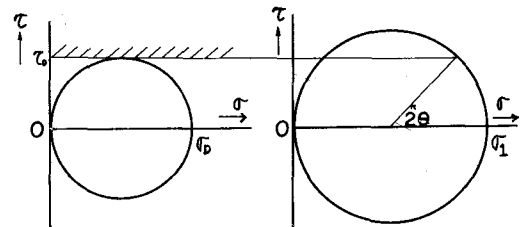
σ_1 とすると、図-10より

$$\tau = \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\theta \quad \text{--- (1)}$$

また

$$\tau_0 = \frac{1}{2} \sigma_D \quad \text{--- (2)}$$

$$\therefore \sigma_1 = \frac{\sigma_D}{\sin 2\theta} \quad \text{--- (3)}$$



<図-10>

② 層部の横方向変形に対する上下接着面の拘束を考慮して σ_2 を求める方法

層部においては一軸圧縮応力 σ_1 の他に上記の拘束のため他の主応力 $\sigma_2 = \sigma_3$ が効くと考えれば、

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E_D} (\sigma_1 - \nu_D \sigma_2) \quad \text{--- (4)}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E_D} (\sigma_2 - \nu_D \sigma_2 - \nu_D \sigma_1) \quad \text{--- (5)}$$

ここに、

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$: 層部の σ_1, σ_2 方向の歪

E_0, ν_0 : 層部材料のヤング率及びポアソン比

ε_2 は接着面近くの母体部の歪 ε'_2 に等しいと考えられるので、実験では $\varepsilon_1, \varepsilon'_2$ を実測すれば、 σ_1 と σ_2 の関係は、(4), (5) 式より、

$$\sigma_2 = k \sigma_1 \quad (0 < k = \frac{\alpha + \nu_0}{1 - \nu_0 - 2\nu_0\alpha} < 1, \quad \alpha = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon'_2}) \quad \text{--- (6)}$$

となる。図-11より、

$$\sigma_Y = \sigma_1 = \frac{\sigma_0}{1 - k} > \sigma_0 \quad \text{--- (7)}$$

③ 接着強度を Griffith 理論より考察する方法

今 2次元 Griffith クラックが接着面に沿う角度で並んでいるとし、クラック周辺に効く引張応力が接着面の一軸引張強度 σ_1 になった時破壊起ると考えると、一軸圧縮応力状態では、

$$\sigma_1 = \frac{-4\sigma_c}{2\sqrt{\frac{1}{2}(1+\cos 2\theta)} - (1+\cos 2\theta)} \quad \text{--- (8)}$$

となり、 $\theta = 60^\circ$ で $\sigma_1 = -8\sigma_c$, $\theta = 45^\circ$ で $\sigma_1 = -9.74\sigma_c$ 。また直接せん断応力状態では $\sigma_d = -2\sigma_c$ となる。表-1 の $\theta = 60^\circ$ の実験値より σ_c を逆算し、これから σ_d 及び $\theta = 45^\circ$ の場合の σ_1 を計算すると $\sigma_d = 3.3 \sim 5.0$ (3.8), $\theta = 45^\circ$ の $\sigma_1 = 15.9 \sim 24.4$ (18.4) となり、実験値とほぼ一致していることがわかる。

4.2 理論値と実験値との比較

前述の3つの計算方法による値と実験値とを比較し図示すると図-12となる。 σ_Y について見ると、 σ_0 より大きく②の理論値に近くなっているが、 θ が增大すると次第に減少し σ_0 に近づいている。 σ_c も θ と共に減少しているが、①③の理論値の傾向(ハッチ部分)と類似している。理論値の方が実験値より小さくなっているのは②で説明した σ_2 の影響を無視

しているためで、これを考慮すれば実験値に近いものになるとと思われる。

5. 結 び

以上、傾斜した層をもつ供試体について行った実験とその考察を述べた。層をもつ供試体の破壊機構は複雑であり、応力分布も一様と考えられないので、光弾性実験による応力解析や亀裂の伝播についての理論的考察等を今後進めたいと考えている。

文献1) 伊藤；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，p.43. 2, p.91

