

中間層をもつ供試体の破壊機構について

東北大学工学部 正員 伊藤 駿

1 まえがき

岩盤の強度を規定する破壊機構は、岩盤の賦存状態やその材料力学的性質によるものと考えられる。ここでは岩盤を模擬した中間層をもつセメントモルタル及び石膏の供試体について、 θ の角度を5種類変化させて一軸圧縮試験を行い、これらの破壊様式を観察した。その結果について概要を述べる。

2 実験の概要

供試体に用いた材料の内容を表-1に示す。これらの供試体を耐圧試験機(アムスラー型, 50~200t)により荷重速度を一定(100 kg/cm²/min)にして破壊試験を行った。荷重針が停止した時破断が起ったと考えられるのでこの時の値を破断強と定めた。また降伏角は実験で得られた応力-ひずみ線図により求めた。

3 実験結果

表-1の供試体の応力-ひずみ線図の例を示せば図-

表 - 1

材 質	セメントモルタル	石 膏
寸 法(cm)	$\phi 10 \times 20$	$\phi 5 \times 10$
材料の配合 (重量比)	[母体部材料] セメント : 砂 : 水 1 : 1 : 0.4	[母体部材料] β -石膏 : 水 1 : 0.6
	[層部材料] セメント : フライッシュ : 水 1 : 1 : 0.6	[層部材料] β -石膏 : 珪藻土 : 水 1 : 0.1 : 1
供試体の種類	母体部材料の供試体, 層部材料の供試体 $\theta = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の中間層をもつ供試体	
中間層の厚さ(cm)	2	1
材 令	水中養生 1週間	気乾養生 5日間
作成要領	母体部材料を所定の角度に傾けた円筒型枠に入れ約3時間後、表面をブラシで削除し、この上に層部材料を注入、約4時間静置後、同様の作業を行い、この上に母体部材料を流し込む。24時間後に脱型、試料の両端面はカボランダムにて研磨、平直度を ± 0.15 mm以内に保った。	

図 - 1

セメントモルタル

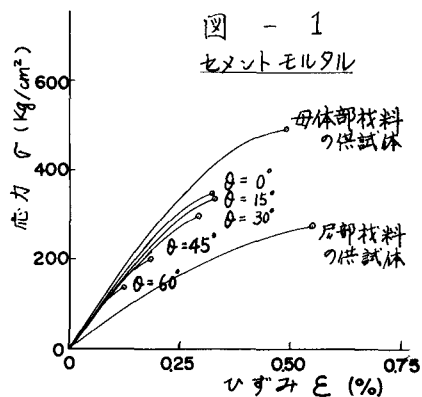
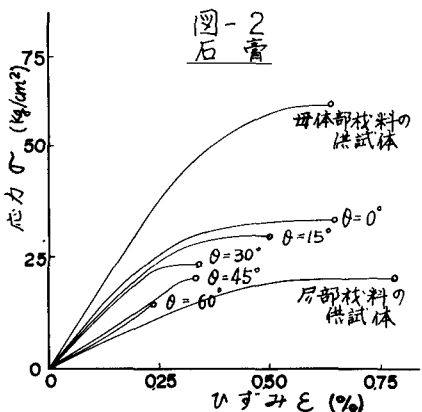


図-2
石 膏



1, 図-2 のようになる。ひずみ速度を一定にして応力との関係を示せば図-3 のようになりこの図より降伏点などを知らることが出来る。母材材料と母体部材材料の強度と比較してみるとセメントモルタルの場合約 $\frac{1}{2}$, 石膏の場合約 $\frac{1}{3}$ である。得られた実験値を中間層の傾斜角と破断強度 (σ_n) 及び最大ひずみ (ϵ_n) の関係を図示すれば, それぞれ図-4, 図-5 となる。圧縮試験によるセメントモルタルの破壊様式を示せば図-6 (a)~(g) のようになり, 供試体の種類によって大体の傾向をもっていることがわかる。なお石膏の場合もほぼ類似した形状を示すがセメントモルタルより細かく砕けることは少く破壊様式が明瞭に現われるようである。

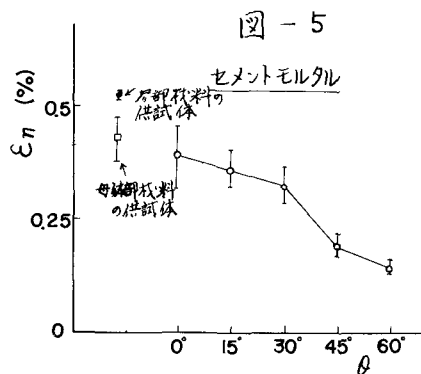
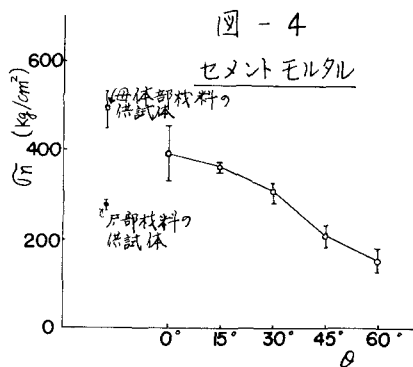
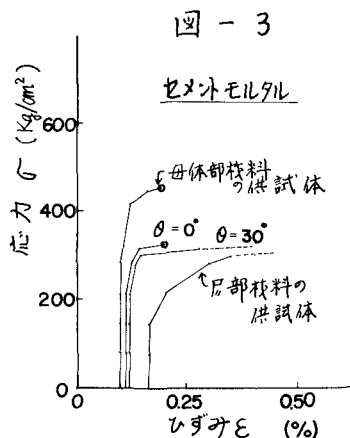


図-6 (a) 母体部材材料供試体

2つの対称な円錐形の状態となって破断する。割れ目は斜め方向に多いがこれと軸力方向の割れ目が重って現われ, 供試体中央部から横方向へ押し出される破片が生じる。



図-6 (c) θ = 0° の供試体

母材材料は横方向へ押し出されるようになって, いくつかに分割された四角錐状の破片となって現われる。次に割れ目は中間層との境界から母体部材材料に延びていく。破断はこの時に起こる。



図-6 (b) 母材材料供試体

(a) と大体同じタイプであるが, 割れ目は細かく現われる。破断後の円錐形状破片には, 規則的に円錐面に配列した波紋状の圧縮跡が現われる。



図-6 (d) θ = 15° の供試体

中間層の中央部にはほぼ一定角の破断面が現われて, 母材材料の境界面には小さな割れ目が発生し, 中間層の傾斜に沿う対角線方向と直交する方向とに分れて進展する。

図-6 (e) $\theta = 30^\circ$ の供試体



θ に沿う対角線の方に割れ目が多い。これは供試体中央部と中間層が変わるところに最も集中して現われる。この部分かはば一定角の破断面になると材料の境界ですべりが起こる。

図-6 (f) $\theta = 45^\circ$ の供試体



中間層を平行に二分する割れ目が現われてこれに沿ってすべりが起こる。この層の左右両端部には横方向へ押し出される破片が生じる。

図-6 (g) $\theta = 60^\circ$ の供試体



多量中間層に割れ目が発生するが、これは載荷端の近辺に限定されている。破断は両材料の境界で突然すべり出した時に起こる。

4 実験結果の考察

(i) 応力-ひずみと θ

応力-ひずみ線図(図-1, 図-2)をみると材質が異なっているものの傾向は大体類似している。しかしひずみ速度は材質によってかなり差が生じている。図-3に示したセメントモルタルによる応力

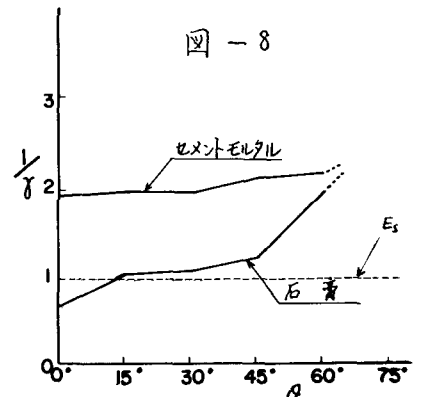
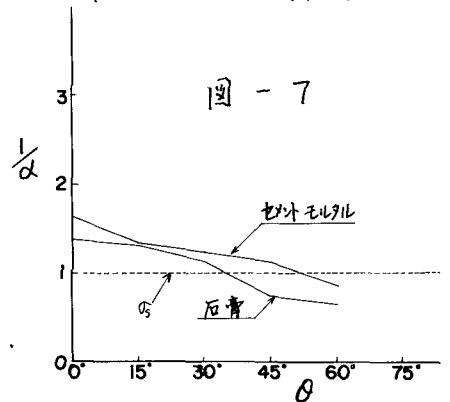
-ひずみの関係では層部材料に用いた供試体は母体部材料に用いた供試体よりも変化が激しく出ており、また θ によっても変化している。従って θ によってその変曲点の現われ方も特徴があり、破壊様式も応力-ひずみの変化によって大体推察できると思われる。図-4, 図-5にもみられるように $\theta = 60^\circ$ で応力-ひずみとも最小であり、 $\theta = 0^\circ$ で最も大きい。層部材料に用いた供試体の強度に連するものは $\theta > 30^\circ$ であり、応力-ひずみは θ によってある点から他の点へ移っていくものと思われる。

(ii) 無次元パラメータと θ

ここで用いた供試体のように、供試体の一部分が強度の弱い材料であると、最初の割れ目はこの弱い部分に生じ割れ目が次々に伝播して全体的な破壊に導くものと考えられるので、いま強度の弱い中間層に用いた材料の破断強度を σ_s 、最大ひずみを ε_s 、ヤング率を E_s とし、その供試体の全体的な値 σ_n 、 ε_n 、 E_n との関係は無次元パラメータで示し、(4.2) 式のようにおく。

$$\alpha = \frac{\sigma_s}{\sigma_n}, \quad \beta = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_n}, \quad \gamma = \frac{E_s}{E_n} \quad \dots (4.2)$$

α と θ の関係は供試体の強度を示すものと思われるこの関係を図示すれば図-7 のようになり、石膏の場合、 $\theta > 30^\circ$ で中間層に用いた供試体の強度よりも小さい値を示している。 $\alpha/\beta = \frac{1}{\gamma}$ は供試体の変形し易さを表すことができると思われるが、これと θ との関係を図示すれば図-8 のようになり、石膏の場合 $\theta > 45^\circ$ でかなり変形し易くなっている。



(iii) 破壊様式と θ

θ によって 応力 ひずみとも大体類似した傾向を保つことがわかったが、無次元パラメータで調べたように $\theta = 0^\circ$ で石膏の場合、中間層の材料や 付着状態などによってかなり変形に制限があったものと思われる。従って破壊様式は、 θ の値に対して

必ずしも定まったものではないが、 θ を変化させて全体的に観察すると、 θ の大きさによってある点から他の点へ移っていくところがある。供試体は、圧縮応力によって最大せん断応力の作用する面はひずみ変化により、実際は 45° より大きい方向に移っていくものと考えられる。破壊機構の限界条件を $\theta = 45^\circ$ とし、 θ の大きさによって2つに分類してみると、大体次のようである。破壊機構を段階毎に示すと、

(1) $\theta < 45^\circ$

第一段階、最大せん断応力面 ($\theta = 45^\circ$) の発生 (図-9)

母体部材料及び居部材料に用いた供試体は頂角が約 90° の円錐状の破断面を作成する。

第二段階；中間層を外周へ押し出す作用 (四角錐状の破片が発生、図-10)

第三段階；すべり作用と斜面両端での引張り性割れ目の発生 (図-11)

第四段階；全体的な強制破断面の発生 (図-12)

(2) $\theta \geq 45^\circ$

第一段階；中間層と平行に二分する分離面の発生 (図-13)

第二段階；分離面あるいは境界面でのすべり作用 ()

第三段階；斜面両端での引張り性割れ目の発生 (図-13, 図-11)

図-9

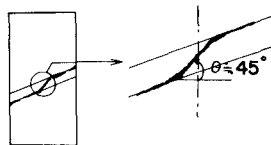


図-10

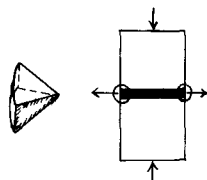


図-11

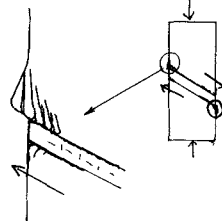
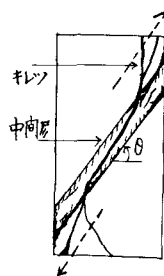


図-12



図-13



5. おまけ

一軸圧縮試験によるセメントモルタル及び石膏の中間層をもつ供試体の破壊機構について述べた。供試体はその一部に強度の弱いものがあるとその部分が破壊源となって全体的な破壊様式を決定するものと考えられ、 θ によって破壊様式がどんな風に変化するかは以上の実験結果によって大体推察することができると思う。現在はまだ試験段階の状態であり、追って数値計算等を行ってこの種の破壊機構を検討してみる必要があると思う。最後に東北大学工学部学生山崎芳徳君にお世話になったことと記す。