

二層材料の圧縮強度特性に関する一実験

金沢大学工学部 正 員 西田義親

金沢大学工学部 正 員 八木則男

金沢大学工学部 学生員 ○田村徳郎

1. はじめに

一般に岩盤は風化を受けて強固な部分と弱化した部分が混在している。このような岩盤の力学的性質を知るため、一モデルとしてパラフィンとワセリンを配合し、強度の異なる中間層を挟む円柱供試体を作製し、一軸圧縮強度試験を行ない、中間層の厚さや傾斜角が異なった場合の強度について考察した。

2. 供試体

供試体の作製方法は、パラフィンとワセリンの割合を種々変えて混合加熱熔融し、これを塩化ビニル管に流し込み、室温中に放置固化させる。層部分の作製は、二材料に加熱鉄板を挟み加圧附着し所定の大きさの供試体に成形する。供試体は図-1に示すような二層体で、その種類は次のようなものである。

(a) パラフィンとワセリン量の配合割合を変化させた供試体

(b) 配合割合の異なる二材料A、Bから成る供試体で各一定傾

斜角 θ に対して、中間層厚さ t を変化させた場合($\theta=0^\circ$,

$10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ のそれぞれに対して、 $t=0.5\sim$

4.0 cm とする) なお以下に用いる記号は次のとおりである

$d=3.5\text{ cm}$: 供試体直径 σ_c : 付着力

$h=7.5\text{ cm}$: 供試体高さ σ_u : 一軸圧縮強度

t : 中間層の厚さ θ : 傾斜角

μ : 摩擦係数 θ_c : 限界傾斜角

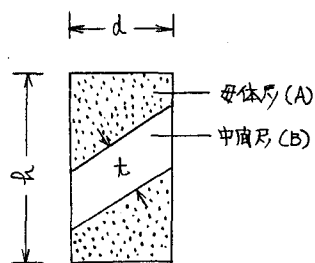


図-1

3. 実験内容および結果

まず材料A、Bを決定するため、パラフィンとワセリンの配合比を変化させたときの強度を調べ図-2に示す。図よりパラフィン量40～80%の部分がほぼ直線的になるため、この範囲で二材料を選んだ。パラフィン量80%を含む材料をA、40%を含む材料をBとした。

材料A、Bの各供試体の養生時間による強度変化は図-3に示すようであり、図から養生時間が2日以後になると強度が一定になるものと考えられる。材料A、Bの温度変化による強度変化は、図-4に示すようであり、図より材料A、Bの

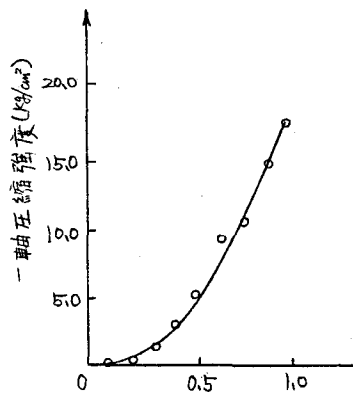


図-2

温度補正量を 1°C に対してそれぞれ 0.12 kg/cm^2 , 0.56 kg/cm^2 とした。実験は室温($14^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$)で行なわれたため、以下の実験結果は 15°C の値を基準に温度補正したものである。

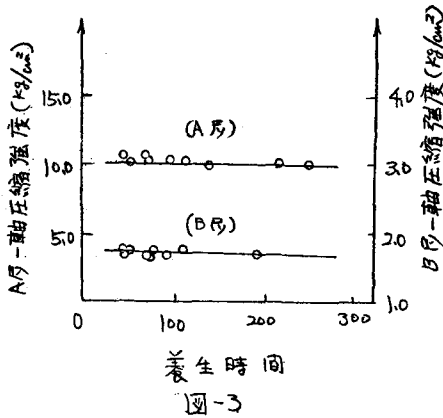


図-3

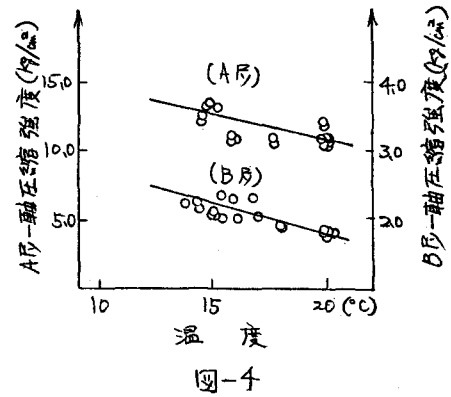


図-4

図-5は①中間層の各傾斜角 θ について、中間層厚さを变化させた場合、および②中間層の材料Bのみを一軸試験した場合の強度 R_u の変化を示している。図より θ がある値 θ_0 より大きくなると R_u はほぼ一定の値となり、 θ_0 より小さくなるに従って、 R_u が大きくなる傾向が認められる。この実験による供試体の破壊形式は一般に図-6のように三つの型に分類される。(A)の場合は中間層の厚さが供試体直径より大なる場合であり破壊線が供試体の両側面を通るため、強度 R_u が一定になるものと思われる。(B)、(C)の場合は中間層が供試体直径より小なる場合であって、破壊線が供試体の両側面内で起るため、付着面に端面摩擦による抱束力が働き、強度が大きくなるものと思われる。塑性理論での平面ひずみ

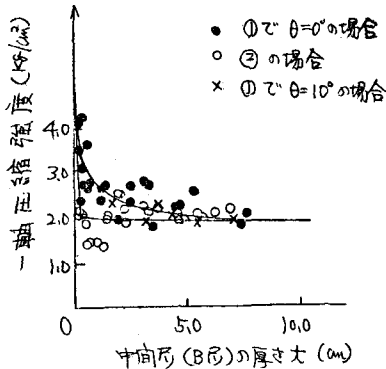


図-5

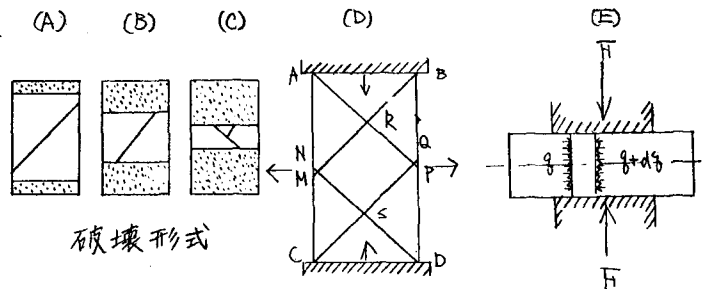


図-6

状態における圧縮を考えた場合、中間層厚さが直径より大なる場合は(D)のようになり、図の ABR と CDS は圧縮板に付着した剛体のように運動し試験片と載荷板の間に相対運動はなく接触面において $\mu \geq F_t/F_r (=0)$ の条件が満れる。したがって摩擦係数に関係なく、降伏点平均接触圧力 P_m は τ_0 即ち、なめらかな載荷板の場合と一致する。供試体高さが直径より小なる場合で摩擦の小さい場合は(E)において微小要素に作用する水平方向の応力 $\tau(>0)$ が一様分布するものとすれば、力の釣合から、 $\tau(\tau+d\tau)h - \tau\tau h = \tau\mu P d\tau$ --- (1) よって $h d\tau = \mu P d\tau$ (P : 接触圧力),

降伏条件として $P - \tau = \tau_0$ (τ_0 : セン断降伏応力) (1)に代入して $dP/dx = \mu P/h$, 境界条件より上式を解いて $P = \tau_0 e^{\mu x/h}$ ($0 \leq x \leq b$) となる。摩擦の大きい場合は $P = \tau_0/\mu (1 - e^{-\mu b/h}) + \tau_0 x/h$ となる⁽¹⁾。

摩擦の影響を補正した円柱の圧縮についての大きな近似式として、シールドによれば、摩擦が小的时候、接触圧力 P の分布とその平均値 P_m は、 $P = \tau_0 \{1 + \mu(d - 2r)/h\}$, $P_m = 4F/\pi d^2 = \tau_0 (1 + \mu d/3h)$ (r : 中心から測った半径座標, F : 荷重, τ_0 : 圧縮降伏応力)⁽²⁾ 一般に①の $\theta = 0^\circ$ の場合と②の場合はほぼ同じ結果を示すものと思われたが σ が σ_0 より小なる部分では異なつて観測された。異なる原因として載荷面の摩擦の影響などが考えられる。①②の場合の1つの実験値をもとにシールドの関係式を示したのが図-5の実線である。 μ の測定が困難なために、これらについての確証はない。

図-7は傾斜角 θ を一定として σ を変化させた場合の σ_u の変化を示している。 σ_u の特性は二材料の強度、付着力、中間層の厚さ、傾斜角、摩擦係数およびこのために生じる塑性流動による端面摩擦の抱束力⁽³⁾などの相互作用によるものと思われるが、実験によれば $\theta = 10^\circ$ で中間層が比較的小なる場合を除いて供試体が付着面で、すべて壊れたため θ に対する強度実験に期待した結果が得られなかった。これは付着面の付着力の弱さによるためである。しかし傾斜角 $\theta = 10^\circ$ のように、中間層が薄くなった場合、付着面で壊れることなく、中間層内で破壊しているのが認められた。これは仮に一定の σ に対して層のつき目ですべらずに破壊する傾斜角を限界傾斜角 θ_c とすれば、同じ σ_u に対して σ をもっと小さくすれば θ_c が大きくなることを意味している。すべての資料について、付着力はほぼ一定値 τ_0 を示すから、モールの円より強度 σ_u は θ の関数となり $\sigma_u = 2\tau_0/\sin 2\theta$ となる。この関係式に1つの実験値を代入して求めたものが図-7の点線である。 $\theta \rightarrow 0$ のとき理論的には $\sigma_u \rightarrow \infty$ となるが実際は材料強度で破壊する。 σ_u は連続量であるから $0 \sim \theta_c$ 間は一般に図の実線のようになると思われる。これらの資料については当然のことながらほぼ同一曲線上にある。

先にも述べたように、強度特性は傾斜角、層厚などの相互作用によるものと思われるが、この実験では付着力が弱いため傾斜角変化に対する明確な強度変化が得られなかった。ただ傾斜角 $\theta = 0^\circ \sim 10^\circ$ の間で中間層が比較的薄い場合、強度が大きくなる傾向が認められたため、以下シールドの関係式およびモールの関係式より $\mu, \theta, \tau_0, \sigma$ をパラメータとした場合の強度 σ_u の変化について考えて見る。

傾斜角 θ が一定の時 σ の値によって σ_u の強度が変り、 $\sigma \rightarrow$ 小な

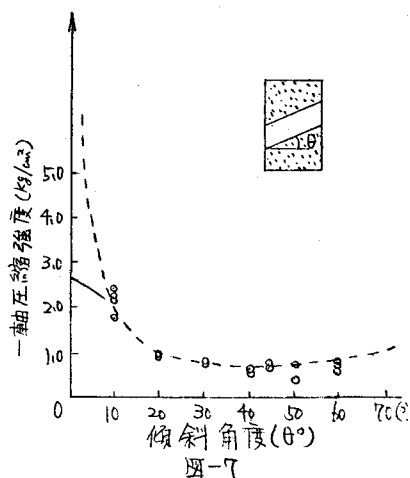


図-7

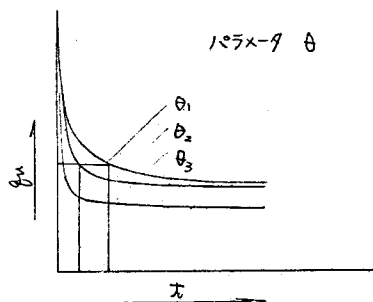


図-8

るとき一般に $g_u \rightarrow$ 大なる傾向があるから、 θ をパラメータとして図-8のような曲線群を考えることができる。したがってつぎ目ですべきことなく、中間層が破壊する限界傾斜角 θ_c は τ の値によって変化させることができる。図-9はシールドの関係式 $g_u = \gamma_c (1 + \mu d / 3h)$ より μ をパラメータとした曲線群を示している。 τ が零に近い場合、理論的には g_u は無限大になるが実際は材料強度に等しくなる。

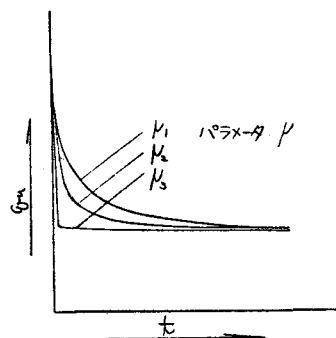


図-9

図-10は傾斜角 $\theta = 0^\circ, 10^\circ$ の場合の強度から推測して、 τ をパラメータとした曲線群を示している。曲線群が上に凸であるか凹であるかは不明であるが、限界傾斜角 θ_c において τ が小のとき g_u が大なるため、一般に上に凸なるものと思われる。同じ θ に対して τ が小さくなると g_u は大きくなり、又同じ g_u に対して τ が小になれば θ が大きくなる。図のQ点が限界傾斜角点であり、 $Q \rightarrow P \rightarrow C$ と傾斜角が小になるに従って端面摩擦による抱束力が大きくなるものと思われる。P点はその抱束力が全く働かない点であって、ここでは意味をもたない。

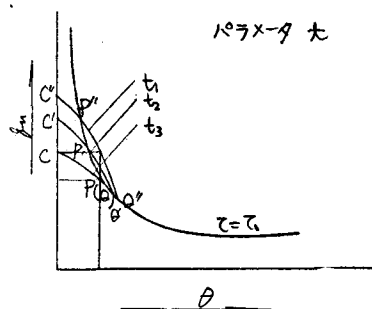


図-10

図-11は τ をパラメータとした曲線群を示している。同じ g_u に対して付着力が τ_2 から τ_1 になれば θ_c は θ'_c に移動する。又付着力 τ が増加すれば図-10の曲線群 $CQ, CQ' \dots$ はそれぞれ強度が増大して図-11の $EF, EF' \dots$ になるものと思われる。

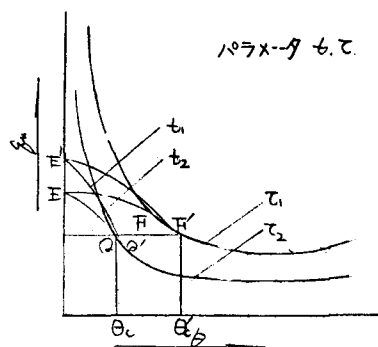


図-11

4. おわりに

以上の実験は二層材料から成る基礎実験であり、実際岩盤に応用するにはかなりの技術が必要とされるが、実岩石（ゲンゴ岩、ギョウカイ岩等）の一軸試験結果⁽⁴⁾とその強度特性および破壊形式がほぼ類似しているのが認められた。この実験から①材料の強度は温度の影響を受ける、②養生時間が長くなると強度変化が小さくなる、③供試体高さがある値（一般に直径）より小さくなるに従って強度が大きくなる、④限界傾斜角 θ_c は τ , μ などによって異なる、等として要約される。一般に異方性物質の実験はかなり困難であるが材料をうまく組み合わせることによって理論的考察の実験的裏付けなどに適用することも可能と思われる。

参考文献

1. 塑性学：山田嘉昭，中原益治郎共著
2. 同上
3. Soil Mechanics and Earth Structures：U. S. Navy, 1 October, 1953
4. 岩石強度試験における円筒供試体の形状寸法について：三谷健他，第三回岩のシンポジウム講演集 P.59, 1970