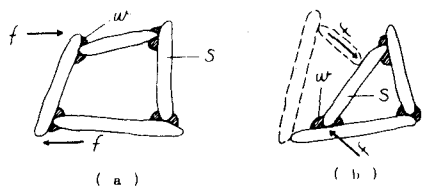


Ⅱ-30 粘土のレオロジー特性の確率論的考察

京都大学防災研究所 正員 村山 翔 郎

粘土骨格のレオロジー特性については、さきに柴田とともに考察を行い、特に破壊をとまねないときの変形特性についてはそれを示す力学的モデルを提案した。^① このモデルは実験ともよく合うが、その誘導の過程に一部検討の要があるよう思われたので、新たに本考察によってこれを解析しなおすとともに、これによってモデルの内容を一層明らかにし、未解の事項の解明に役立てるようにつとめた。解析には次の仮定または条件を用いた。

- (1) 粘土骨格はセグメントがカードハウス状に累積した構造からなるとし、各接点ではセグメントは edge-face contact 状に接し、セグメント間には吸着水膜がある。
- (2) 粘土にせん断応力を与えるとセグメント接点にはズレ力が発生するが、このズレ力によるセグメントの移動形式からセグメントを次の2つに分類できるものとする。(a) 弾性接点：図-1(a)に例示するようにセグメント(S)がズレ力Fをうけると吸着水膜(W)に包まれている接点にはセンジとして働き、セグメント間の接角は変化するが、接点の滑動はこらなない形式のものであって、接角の変化に応じて粒子間力の不平衡が生じ、変位に応じた回復力が発生するとみられるものである。(b) 粘弾性接点：図-1(b)のようにセグメント(S)は隣接セグメント上を滑動することによって接角を変化するので、弾性接点と同様の回復力のほかに接触面摩擦や抵抗と吸着水膜の粘性抵抗と同時に作用する接点。この接点ではズレ力Fが残留変位に起因する回復力と摩擦や抵抗の合力F₀に大きくならなければ滑動が生じない。これらの力は接点ごとに異なり区別があるから、粘弾性接点の一部が滑動するが、弾性接点のように一斉に運動することは一般に許されない。弾性接点と粘弾性接点の数の比率は外圧の大きさにかかわらず一定と仮定する。



- (3) 粘弾性接点に作用するズレ力ならびに摩擦や力の大きさの頻度分布については種々の形が考えられるが、ここではそれらの一つとしてそれぞれが正規分布をなすものと仮定して滑動接点の生起確率(滑動率と仮称)などを求めた。この仮定のもとに誘導した滑動率Pと平均ズレ力(m_1)との関係は図-2(c)のように正規分布の累積分布曲線Pで示される。この曲線の上下端付近は曲線部を重視すると中央部はほぼ直線で近似されるので、この近似直線をP₀とすれば、P₀は

$$P_0 = b(m_1 - f_0) \quad b: \text{係数}$$

この直線と水平軸との交点の値を f_0 とすれば f_0 はセグメントの滑動を生じさせないためのみかけの摩擦や抵抗であり、これとズレ力の下限値 f_0 ということになる。

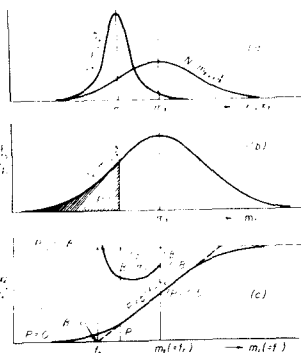


図-2

(4) 粘弾性接合の滑動に対する粘性抵抗は、接合に存在する吸着水の粘性によって生ずるものとし、この粘性は Eyring 粘性として求められるものとする。

(5) 弾性接合でも、粘弾性接合でも、接合はそれぞれ独立していて、それらの接合の諸力の状態は他の接合の変位の影響を受けないものとする。またどの形式の接合でも、1個の接合の微視的変位は粘上骨格に加えられる応力方向の巨視的せん断ヒズミに一定比例関係の奇号を与えるものとする。

以上の仮定のもとに計算し、結果次の連立方程式をうることができた。

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \delta_1 + \delta_2, & \delta_1 &= \tau / G_1 \\ \frac{d\delta_2}{dt} &= 2A_2 \cdot \tau_{20} \cdot \sinh \left\{ B_2 \frac{\tau_2}{\tau_{20}} \right\} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに} \quad \tau_2 &= \tau - \tau_0 - G_2 \delta_2 \\ \tau_{20} &= \tau - \tau_0 \end{aligned} \right\}$$

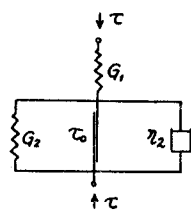


図 - 3

δ は粘上骨格に加えられるせん断応力によって生ずるせん断ヒズミ, A_2, B_2

G_1, G_2 は定数である。また τ_0 は f_0 から求められるみかけの内部摩擦抵抗で、下限降伏値といふことにする。 τ_{20} は τ_2 の初期値である。この連立方程式をみれば、これは容易に図-3のような既報のものと同一力学モデルで示されることが明らかである。

以上は、既報の力学モデルを若干の仮定のもとに確率論的な考慮によって誘導したが、モデル中の要素の内容が説明されたに次ぐような事項の説明や解析がでるようになった。

下限降伏値(τ_0)の意義: ここでは滑動率 P は正規関数の累積分布曲線の延距として求められたが、この関数を P_2 で示しに直線式で近似した結果、 τ_0 以下の滑動率が無視されることになり、 τ_0 以下ではクリーブ寄与が奇生しないことになる。しかし累積分布曲線が示すように τ_0 以下でも微かな滑動率が存在しているから、 τ_0 以下の応力を与えた実験ではわずかのクリーブが奇生する筈になる。Tan, T. K. ^② が τ_0 以下でも図-3のモデルで示されない微かなクリーブの存在を指摘しているのはこの辺に理由があると思われる。

応力緩和の特性式が誘導: 応力緩和の特性式は前記の連立方程式を $\delta = \delta_0$ (一定) のもとに解いたときの τ と時間の関係として与えられるが、いままでこの解は単純な形式として解かれたものはなかった。ここで先に考察により、 τ_{20} が τ_2 の初期値であることが説明されたために、その条件を適用して応力緩和の特性式を次式のように求めた。ここでは τ_0 が G_1, G_2 ならびに δ_0, G_2 に比して小さく無視するときの解を示せば、応力緩和の初期においては、

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{G_1 G_2}{G_1 + G_2} \left\{ 1 - \frac{G_1}{B_2 G_2} \log R \cdot t \right\} \delta_0 \\ R &= A_2 B_2 (G_1 + G_2) \end{aligned} \right\}$$

応力緩和が長時間経過すれば、 τ は次式に漸近する。

$$[\tau]_{t \rightarrow \infty} = \frac{G_1 \cdot G_2}{G_1 + G_2} \delta_0$$

引用文献 ① 村山翔郎; 柴田敏: 土木学会論文集 40号 (1956)
② Tan, T. K.: Proc. 5th ICSMEF vol III pp 141~143 (1961)