

清水建設 土木技術部 正員 山田正男

1. まえがき

粗れきを含む地盤も人工地盤凍結工法によって凍土構造物とする場合があるが、粗れきの最大粒径が、たとえば50粒程度の凍土の一軸圧縮クリープ試験を行なうためには、試料の再成、試料寸法、試験器の寸法と性能などが問題となるであろう。したがって、この問題解決の糸口として、まず始めに次のような仮想混れき土をとりあげる。1) 粗れきの占める空間以外の部分は細粒土によって一様に埋められている。2) 粗れきは大小さまざまなものが一様に散在している。3) 粗れき自体は弾性変形を示す。4) 混れき凍土内に空けきはない。このような仮想混れき凍土を対象とする場合、細粒凍土のクリープ試験結果と混れき率が与えられれば、混れき凍土のクリープが予測される方法について述べるものが本文である。

2. 弾・塑混合体の平均線ひずみ¹⁾

大きい弾・塑混合体の小領域を占める角柱をとり出し、高さ方向(z軸)の平均ひずみを求める。図-1のように角柱の高さをZ、断面方向の稜長をX、Yとする。角柱内に混合されている粒状物質が仮りに1個であれば、z軸方向の圧縮応力σが作用するため生じる微視的変形は、図示の矢線のような傾向で現われるであろう。

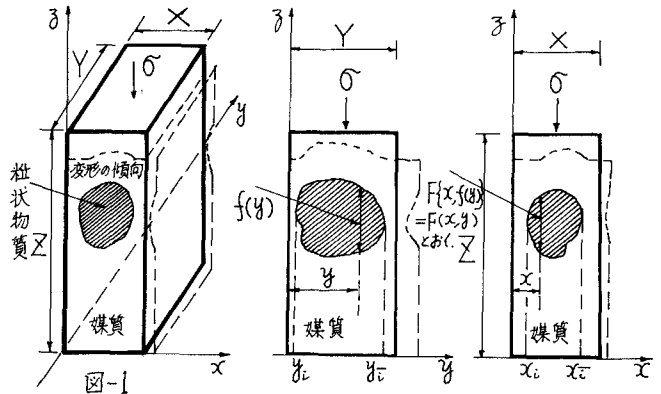


図-1

$f(y)$, $F(x, y)$ をそれぞれ y - z 面, x - z 面と平行な平面で粒状物質を切断するとき現われる長さとする。 z - x 断面での z 軸方向の変形量 (= 次元) Δz_x は、次式で表わされる。

$$\Delta z_x = \varepsilon_1 \left[Z \{ X - (x_c - x_i) \} + \int_{x_i}^{x_c} \{ Z - F(x, y) \} dx \right] + \varepsilon_2 \int_{x_i}^{x_c} F(x, y) dx \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 ε_1 , ε_2 はそれぞれ媒質、粒状物質 (混入物質) のひずみである。次に、全体の変形量 (= 次元) Δz_{xy} は

$$\Delta z_{xy} = \varepsilon_1 X Z \{ Y - (y_c - y_i) \} + \int_{y_i}^{y_c} \Delta z_x dy \\ = \varepsilon_1 \{ XYZ - XZ(y_c - y_i) \} + \varepsilon_1 \left[\int_{y_i}^{y_c} \{ XZ - Z(x_c - x_i) \} dy + \int_{y_i}^{y_c} \left\{ \int_{x_i}^{x_c} Z dx dy - \int_{y_i}^{y_c} \int_{x_i}^{x_c} F(x, y) dx dy \right\} + \varepsilon_2 \int_{y_i}^{y_c} \left\{ \int_{x_i}^{x_c} F(x, y) dx dy \right\} \right] \quad \text{----- (2)}$$

粒状物質が2個以上混合されている場合は、 $i, \bar{c}$ が 1, 2, 3, ... を表わすものとして x_i, x_c, y_i, y_c を用い、それらに対応する $F(x, y)$ を $F_i(x, y)$ として和を求めればよい。角柱の平均ひずみ $\bar{\varepsilon} = \Delta z_{xy} / XYZ$ は、

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_1 / XYZ \left[XYZ - XZ(y_c - y_i) + \int_{y_i}^{y_c} \{ XZ - Z(x_c - x_i) \} dy + \int_{y_i}^{y_c} \left\{ \int_{x_i}^{x_c} Z dx dy - \int_{y_i}^{y_c} \int_{x_i}^{x_c} F(x, y) dx dy \right\} + \varepsilon_2 / XYZ \int_{y_i}^{y_c} \left\{ \int_{x_i}^{x_c} F_i(x, y) dx dy \right\} \right] \quad \text{----- (3)}$$

ここで、 $\int_{y_i}^{y_c} \int_{x_i}^{x_c} F_i(x, y) dx dy = \sum I_i$ とおけば、 I_i は個々の粒状物質の体積を表わしているから、混れき率を ψ とすれば、 $\psi = \sum I_i / XYZ$ である。この ψ を式 (3) に代入すると弾・塑混合体の平均線ひずみ $\bar{\varepsilon}$ は

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_1 (1 - \psi) + \varepsilon_2 \psi = \varepsilon_1 \{ 1 - (1 - \varepsilon_2 / \varepsilon_1) \psi \} \quad \text{----- (4)}$$

式 (4) は弾・塑混合体の線ひずみを表わすものとも一致し、混入物質の位置に関係なく成立するものである。

3. 弾・塑混合体の平均線ひずみの混れき凍土のクリープひずみへの拡張

細粒土が砂である混れき土を人工地盤凍結工法で凍結させると凍結膨脹は無視されるほど小さいことは、これまでの現場経験から認められ、また -5°C 程度以下の凍結温度ならば、クリープ中の容積変化はほとんどないので混れき率 ψ は凍結、クリープによって変らないとすれば、式 (4) は、混れき凍土のクリープ表示式へと拡張される

ものと考えられる。いま、細粒土のみを対象とする凍土のクリープひずみを $\varepsilon_1(t)$ 、冷却されたるきのひずみを ε_2 とすれば、混れき凍土のクリープひずみ $\varepsilon(t)$ は式(4)により次式で表わされるであろう。

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_1(t) \left[1 - \left\{ 1 - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1(t)} \right\} \psi \right] \quad \text{----- (5)}$$

ここに、 t はクリープ時間である。いま、細粒土の載荷直後の瞬間ひずみ ε_0 は小さいものであるから省略すれば、細粒凍土の等時応力・ひずみ関係は、凍土が完全弾性体ではないので $\{\varepsilon(t)\}^m = \sigma/A(t)$ で表わされる。ここに、 m 、 $A(t)$ はそれぞれクリープ試験定数($0 < m < 1$)、 $A(t) = \omega(10t+1)^k / t^{\lambda^2}$ で与えられる。 ω 、 k 、 λ はそれぞれ凍土のクリープ試験定数であり、 θ は凍土の温度である。したがって、細粒凍土のクリープひずみ $\varepsilon_1(t)$ は、 $\left\{ \sigma t^{\lambda} / \omega(10t+1)^k \right\}^{\frac{1}{1-m}}$ で表わされる。粗れきのひずみ ε_2 は1.の仮定3)により σ/E_2 で表わされる。 E_2 は冷却されたるきの弾性係数である。この $\varepsilon_1(t)$ 、 ε_2 を式(5)に代入すれば、 σ が一定のときの $\varepsilon(t)$ は、

$$\varepsilon(t) = \left\{ \frac{\sigma t^{\lambda}}{\omega(10t+1)^k} \right\}^{\frac{1}{1-m}} \left[1 - \left[1 - \frac{\sigma}{E_2} \right] \left\{ \frac{\sigma t^{\lambda}}{\omega(10t+1)^k} \right\}^{\frac{1}{1-m}} \right] \psi \quad \text{----- (6)}$$

σ が一定でなければ、細粒凍土のクリープひずみ $\varepsilon_1(t)$ は、 $\left[\int_0^t \lambda(t-\nu)^{\lambda-1} / \omega(10t+1)^k \cdot \sigma(\nu) d\nu \right]^{\frac{1}{1-m}}$ 、粗れきのひずみ ε_2 は1.の仮定3)により $\sigma(t)/E_2$ で表わされるので、この $\varepsilon_1(t)$ 、 ε_2 を式(5)に代入すれば混れき凍土のクリープひずみが与えられる。ここに、 ν は任意時間である。

4. 数値計算例

式(6)の数値計算例に用いる細粒土は砂で、この砂の粒径加積曲線は図-2に示す。砂の単位体積重量は 1.800 t/m^3 、土粒子比重は2.700、含水比は18.3%であり、 -15°C に凍結すると、 $m=0.394$ 、 $\lambda=0.065$ 、 $\omega(10t+1)^k = 233 \text{ kg}^{0.065} / \text{cm}^2$ である³⁾。いま、れきの E_2 は $300,000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma = 61.6 \text{ kg/cm}^2$ のときの $\varepsilon(t)$ を $0 < \psi < 1$ を対象として試算する。図-3に示す $\psi=0$ の場合の○印は実測値、実線は実測値に基づく計算値である。

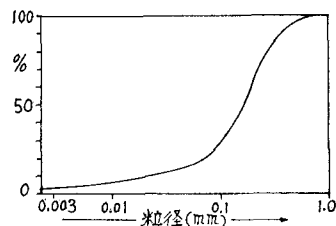


図-2 砂の粒径加積曲線

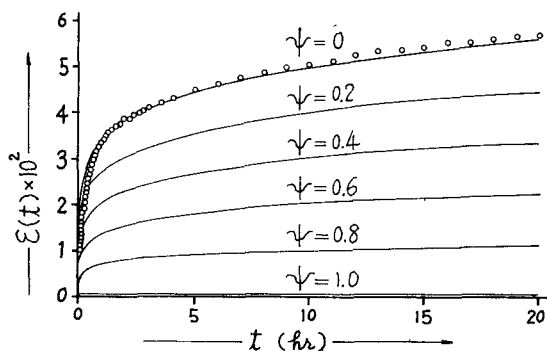


図-3 混れき凍土のクリープひずみ計算値

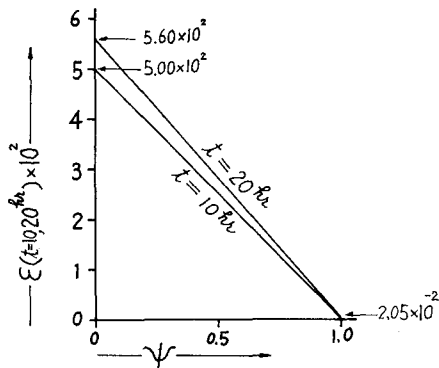


図-4 $\varepsilon(t=10, 20 \text{ hr})$ と ψ の関係

混れき率 ψ は、 $0 < \psi < 1$ としたが、実際には、混れき土の乾燥密度、粒径加積曲線上におけるれきの最小径の通過率、れきの平均比重などが与えられれば、 ψ の値は計算されるものである。

- 1) 山野隆康：粗しき交り土のせん断強さに関する研究，北海道南釐局土木試験所月報第135号，1964。
- 2) S.S. Vialov: The strength and creep calculation of the barriers made of frozen soil, proc. 2nd Asian R.C. 1963.
- 3) 山田正男：凍土の一軸圧縮，引張りおよび純粋曲げクリープ，土木技術 オ28巻2号