

散分析をおこない、いずれの推定値とも1%の危険率をもって有意であることが知れた。

7. むすび

以上のように、対象地内の崩壊は傾斜ならびに谷密度との相関が高いものと表現されたが、周囲にある比

較的高令の天然生広葉樹林内には、ほとんど崩壊は発生していないので、崩壊多発の大きな原因は、シラスがその主体をなす急傾斜地の広葉樹林を、皆伐作業によって急激に針葉樹に林種転換を計ったことによるものと考えられる。

115. 土のレオロジー的特性について (2)

九 大 大 学 院 下 川 悦 郎

1. はじめに

定常ヒズミ速度 $\dot{\epsilon}_s$ とクリープ破壊所要時間 t_f の間に $\dot{\epsilon}_s \cdot t_f = C$ (C は定数) の関係があることは、現在、土だけでなく、他の材料、例えば、金属、ビニール等にも認められており^{2),3),4)}、この法則を用いて、斉藤、上沢¹⁾は斜面崩壊発生時期の予知方法を提案した。この法則を含めて、土のクリープ特性に対する研究は国内では村山、柴田⁵⁾、斉藤¹⁾、外国では Mitchell^{6),7),8)}、Singh^{7),8)}等によっておこなわれている。その共通するところは土のクリープ現象を Eyring の空孔理論にもとづき説明しようとしていることである。村山、柴田⁵⁾は Eyring の空孔理論を拡張することによって、土のクリープ特性を理論的に説明した。Mitchell^{6),7),8)}、Singh^{7),8)}も同様の理論を用いて、土のせん断抵抗、クリープ破壊について定性的な説明をおこなっている。

しかし、土の上限降伏値以上の応力状態でのクリープ現象、すなわち、クリープ破壊現象については、まだ定量的な説明はおこなわれておらず、現象論的段階においても、あいまいな見解がある。

したがって、ここではそれらの事項を考慮にいれながら、Mitchell、Singh の現象論的理論を用いて、破壊ヒズミの問題、応力、ヒズミ速度、クリープ破壊所要時間、破壊ヒズミの関係および、それと分子論的考察との関連を考察した。

2. Mitchell, Singh のクリープ破壊についての理論

Mitchell, Singh は土のクリープ特性を現象論的に次式

$$\dot{\epsilon} = Ae^{\alpha D} \left(\frac{t}{t_1} \right)^m \tag{1}$$

で表わされるとした。ここに $\dot{\epsilon}$ はヒズミ速度、 A は時間 t_1 、応力 $D=0$ でのヒズミ速度、 α は D に対する $\dot{\epsilon}$ (対数) のこう配、 t_1 は単位時間および m は時間 t にたいする $\dot{\epsilon}$ (対数) のこう配である。クリープ破壊の場合は $m < 1$ である。(1) 式を $t=0$ の時、 $\dot{\epsilon} = \epsilon_1$ (ϵ_1 は定数) の条件のもとで積分すると次式

$$\epsilon = \epsilon_1 - \frac{1}{1-m} Ae^{\alpha D} t_1^m + \frac{1}{1-m} Ae^{\alpha D} t_1^m \cdot t^{1-m} \tag{2}$$

$$\epsilon = a + \frac{1}{1-m} Ae^{\alpha D} t_1^m t^{1-m} \tag{3}$$

を得る。ここに $a = \epsilon_1 - \frac{1}{1-m} Ae^{\alpha D} t_1^m$ (定数) である。

3. ヒズミ速度、クリープ破壊所要時間、応力および破壊ヒズミの関係

(3) 式を軸差応力 D について整理すると、

$$D = \frac{1}{\alpha} \log(\epsilon - a) - \frac{1}{\alpha} \log A - \frac{1}{\alpha} \log \frac{1}{1-m} t_1^m t^{1-m} \tag{4}$$

が得られる。 D はクリープ破壊を生じる応力であるから、その応力における破壊時間を t_f 、その時のヒズミを ϵ_f (加速クリープに移るときのヒズミ) とすると(4) 式は

$$D = \frac{1}{\alpha} \log(\epsilon_f - a) - \frac{1}{\alpha} \log A - \frac{1}{\alpha} \log \frac{1}{1-m} t_1^m t_f^{1-m} \tag{5}$$

または

$$\log(\epsilon_f - a) = \alpha D + \log \frac{1}{1-m} t_1^m t_f^{1-m} \quad (6)$$

となり、(5)、(6)式は応力、破壊ヒズミ、クリープ破壊所要時間を表わす式である。(6)式によれば、 D が増加すると t_f は減少するから、 $\log \frac{1}{1-m} t_1^m t_f^{1-m}$ は小さくなり、 $\log(\epsilon_f - a)$ はほぼ一定であると考えられる。

一方、(1)式は対数をとって、 D について整理すると

$$D = \frac{1}{\alpha} \log \epsilon - \frac{1}{\alpha} \log A - \frac{1}{\alpha} \log \left(\frac{t_1}{t} \right)^m \quad (7)$$

を得る。(5)、(7)式から

$$t_f = \left(\frac{\left(\frac{1}{t} \right)^m (\epsilon_f - a)(1-m)}{\dot{\epsilon}} \right) \frac{1}{1-m} \quad (8)$$

が求められ、(8)式は $\dot{\epsilon}$ 、 t_f 、 ϵ_f 、 t の関係式である。定常ヒズミ領域においては $t = t_s$ 、 $\epsilon = \epsilon_s$ とおくと(8)式は

$$t_f = \left(\frac{\left(\frac{1}{t_s} \right)^m (\epsilon_f - a)(1-m)}{\dot{\epsilon}_s} \right) \frac{1}{1-m} \quad (9)$$

となる。

4. 分子論的考え方との関連性

(5)式を t_f について整理すると

$$\log t_f = \frac{1}{1-m} [\log(\epsilon_f - a) - \log A t_1^m - \alpha D] \quad (10)$$

$$\log t_f = \frac{1}{1-m} (C_2 - \alpha D) \quad (11)$$

ここに、 $C_2 = \log(\epsilon_f - a) - \log A t_1^m$ である。

ところで、村山、柴田は破壊についての Eyring-Tobolsky の分子論的理論を拡張して次式

$$\log t_f = \log \frac{h}{kT} + \frac{E_0}{kT} - \frac{\lambda \sigma}{2N_{b0} kT} \quad (12)$$

を得た。ここに k は Boltzmann の常数、 h はプランクの常数、 T は絶対温度、 E_0 は活性エネルギー、 λ は粒子間距離および N_{b0} は初期結合粒子数である。(11)、(12)式を対比すると、

$$\frac{1}{1-m} C_2 = \log \frac{h}{kT} + \frac{E_0}{kT} \quad (13)$$

$$\frac{\alpha}{1-m} = \frac{\lambda}{2N_{b0} kT} \quad (14)$$

となり、実験式から、 m 、 C_2 、 α が求められれば、 E_0 、 N_{b0} が求まる。

5. むすび

Mitchell, Singh のクリープ破壊についての現象論的理論を用いて、斎藤、上沢によって発見された法則を証明すると同時に破壊ヒズミ ϵ_f の一定性の問題、および応力、ヒズミ速度、クリープ破壊所要時間、破壊ヒズミ、時間の関連を考察した。しかし、これらの問題の説明はまだ、現象論の域を出ておらず、村山、栗原等も指摘⁹⁾しているように、単に上限降伏値以下の領域のクリープ理論を延長するだけでは説明できない。筆者は別に成果をもってはいるが、さらに検討を加え、後日報告したい。

参考文献

- 1) Saito, M. and Uezawa, H. Failure of Soil Due to Creep, S. M. F. E., 1961.
- 2) Garofalo, F., Whitmore, R. W., Domts, W. F. and Gemmingen, F., Creep Rupture Relationships in an Austenitic Stainless Steel, Trans. A. I. M. E., Vol. 221, 1961, pp310~319
- 3) Monkan, F. C. and Grant, N. J., An Empirical Relationships between Rupture Life and Minimum Creep Rate in Creep-Rupture Tests, Proc. H. S. T. M., vol. 56, 1956 pp93~620
- 4) 中川有三他、硬質ビニールのクリープ特性とクリープ破断特性の関係, 材料, 第12巻, 第117号
- 5) 村上朔郎, 柴田徹, 粘土のレオロジー的特性について, 土木学会論文集, 第40号, 昭和31年12月
- 6) Mitchell, J. K., Shearing Resistance of Soils as a Rate of Process, Journal of A. S. C. E., 1964.
- 7) Singh, A. and Mitchell, J. K. General Stress-Strain-Time Function for Soils, A. S. C. E., 1961
- 8) Mitchell, J. K. and Singh, A. Creep Potential Creep Rupture of Soils, Proceedings of the 7th. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1969, pp379~384
- 9) 村上朔郎, 栗原則夫, 関口秀雄, 粘土のクリープ破壊について, 京大防災研年報, 第13号, 昭和45年