

広範囲の含水比における粘土の高温保存に基づく長期強度特性の評価（その3）

信州大学工学部 正会員 梅崎健夫, 正会員 河村 隆
信州大学大学院 学生会員○山本 穂

1. はじめに 既往の研究¹⁾では粘土の物理・強度特性に関する基礎的研究の端緒として、シキソトロピーによる長期的な粘土の粘性やゼリー強度の変化について検討した。その結果、広範囲の含水比 ($w_0/w_L=0.8, 1.2, 2.0$) における高温保存下 ($T=50, 60, 70^\circ\text{C}$) でのゼリー強度の経時的変化を測定するとともに、 $w_0/w_L=0.8$ の粘土に対してアレニウスプロットを用いて長期強度特性を評価した。

本文では、長期強度特性を評価する手法として、実測値の重回帰分析によるラーソンミラー法の適用^{2),3)}と同様にアレニウス法に援用した手法を用いて、常温における長期強度特性を評価した。

2. 試験方法と評価手法の概要

(1) **試料**：試料には、NSF(C)粘土（液性限界 $w_L=57.5\%$ ，塑性限界 $w_P=35.7\%$ ，収縮限界 $w_S=37.6\%$ ）を用いた。

(2) **ゼリー強度試験**：粘土の長期強度特性と高温促進の影響を評価するために、初期含水比 ($w_0/w_L=0.8, 1.2, 2.0$) の異なる粘土に対して、保存温度 T と保存時間 t を変えて、ゼリー強度試験（JIS K 6503 に準拠）を実施した（写真-1）。試験の詳細は文献1)を参照されたい。



写真-1 ゼリー強度試験の概要

図-1 は、 $w_0/w_L=0.8$ の粘土におけるゼリー強度比 J/J_0 の経時変化である¹⁾。いずれの温度においても $t=100$ 時間程度までは一旦増加した強度が減少し、その後はシキソトロピーによる単調な強度増加の傾向が確認できる。

(3) **温度 T （絶対温度）と時間 t をパラメータとした長期強度の予測手法**：川瀬ら^{2),3)}は、ラーソンミラー法の基礎式；(1)式に基づいて、目的関数 P （実測値）の重回帰分析により、基礎式の係数 a, b, c を決定し、マスターカーブ；(2)式を決定する手法を提示している。

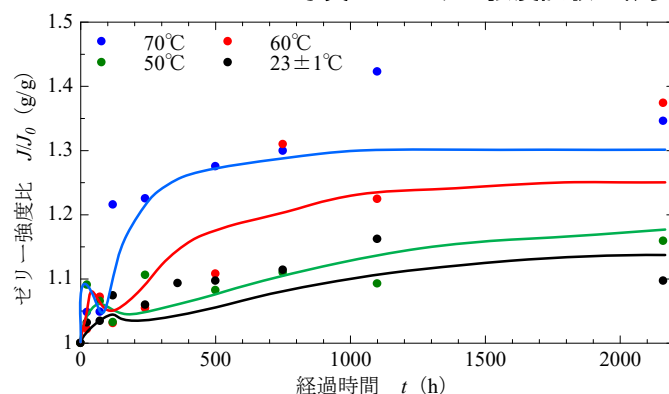


図-1 ゼリー強度比の経時変化 ($w_0/w_L=0.8$)¹⁾

本文では、目的関数 P （実測値）をゼリー強度比 J/J_0 として、川瀬らの手法を適用するとともに、アレニウス法の基礎式；(3)式からマスターカーブ；(4)式を求めて、同様の手法を援用することを試みた。

(a) ラーソンミラー法（重回帰分析）

$$\text{基礎式：} \quad P = J/J_0 = aT \log t + bT + c \quad (1)$$

$$\text{マスターカーブ式：} \quad P = J/J_0 = aT(\log t + b/a) + c \quad (2)$$

(b) アレニウス法（重回帰分析）

$$\text{基礎式：} \quad P = J/J_0 = a/T + blnt + c \quad (3)$$

$$\text{マスターカーブ式：} \quad P = J/J_0 = a(1/T + (b/a)lnt) + c \quad (4)$$

3. 試験結果および考察 図-2、図-3は、それぞれ、重回帰分析により決定されたラーソンミラー法とアレニウス法のマスターカーブである。また、(5)～(8)式は、それぞれ、重回帰分析により決定された基礎式とマスターカーブ式である。なお、重回帰分析において、両法とともに高温保存下 ($T=50, 60, 70^\circ\text{C}$) のみの実測値を用いた場合（(5)式、(7)式）と、さらに常温 ($T=23\pm 1^\circ\text{C}$) の実測値を加えた場合（(6)式、(8)式）の2通りの方法を検討した。なお重回帰分析には強度比の傾向が単調増加である $t=72\text{h}$ 以降の結果を用いた。

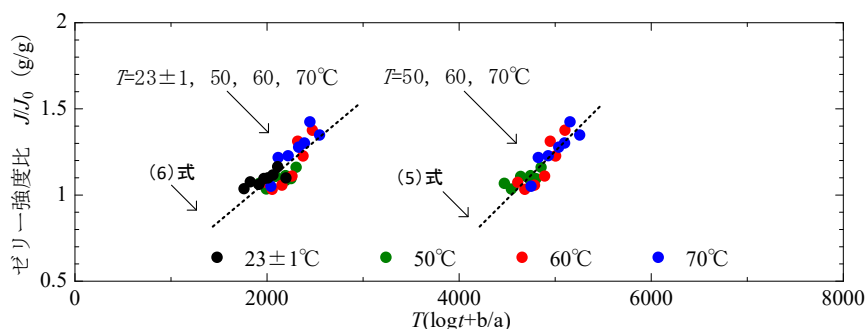


図-2 ラーソンミラー法（重回帰分析）のマスターカーブ

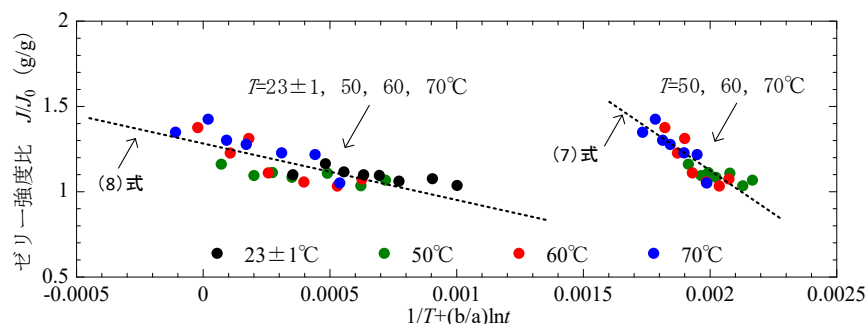


図-3 アレニウス法（重回帰分析）のマスターカーブ

(a) ラーソンミラー法（重回帰分析）のマスターカーブ式

(i) $T=50, 60, 70^{\circ}\text{C}$: $J/J_0 = 0.000527T \log t + 0.006319T - 1.3827$, $R^2=0.766316$ (5)

(ii) $T=23\pm 1, 50, 60, 70^{\circ}\text{C}$: $J/J_0 = 0.000469T \log t + 0.001924T + 0.138472$, $R^2=0.647331$ (6)

(b) アレニウス法（重回帰分析）のマスターカーブ式

(i) $T=50, 60, 70^{\circ}\text{C}$: $J/J_0 = -936.481/T + 0.069651 \ln t + 2998994$, $R^2=0.731649$ (7)

(ii) $T=23\pm 1, 50, 60, 70^{\circ}\text{C}$: $J/J_0 = -307.451/T + 0.05858 \ln t + 1.275199$, $R^2=0.56724$ (8)

ここで、 R^2 は決定係数である。

図-4に、常温 ($T=23\pm 1^{\circ}\text{C}$) におけるゼリー強度比 J/J_0 の実測値の経時変化と上記の(5)~(8)式に基づく予測値を比較したものである。常温 ($T=23\pm 1^{\circ}\text{C}$) における J/J_0 の実測値の経時変化は非常に遅く、データの取得に長時間が必要である。しかし、予測精度においては、マスターカーブ式の R^2 はいずれも(ii)の方が低くなっているが、この場合の方が適合性は高くなる。したがって、予測したい温度やできるだけ近い温度の実測値を用いることが肝要である。本文の結果においては、ラーソンミラー法とアレニウス法の適合性の比較はできないが、アレニウス法の方がラーソンミラー法よりもゼリー強度比 J/J_0 の変化を大きく予測している。

4.まとめ NSF(C)粘土 ($w_0/w_L=0.8$) のシキソトロピーによる長期強度特性の予測に対して、重回帰分析によるラーソンミラー法とアレニウス法を適用し、その有効性を示した。ただし、できるだけ予測したい温度に近い実測値を用いることが肝要である。

【参考文献】 1)梅崎健夫, 河村 隆, 山本 穂, 野崎裕也: 広範囲の含水比における粘土の高温保存に基づく長期強度特性の評価(その2), 第57回地盤工学研究発表会, 2022. 2)川瀬豊生: プラスチック材料・製品の寿命予測ならびに劣化加速条件の設定方法, 成形加工, Vol.33, No.8, pp276-281, 2021. 3)川瀬豊生: 現場で役立つ 重回帰分析による高分子材料の寿命予測法 最終回 寿命予測式の把握と活用法(2), 工業材料, Vol68, No.12, pp74-76, 2020.

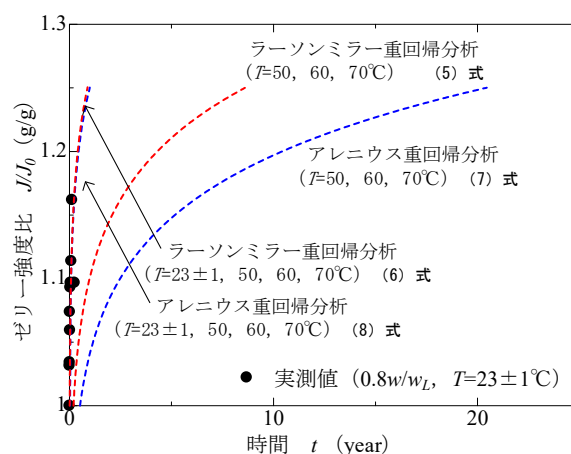


図-4 ゼリー強度の実測結果と経時変化の予測