

〔原著〕 松本歯学 17: 167~171, 1991

key words: 寒天印象材 — 粘弾性挙動 — クリープ解析

複模型用寒天印象材の粘弾性挙動 — クリープ解析 —

村上 弘, 村上浩子

愛知臨床歯科学研究所 (主任 村上 弘)

Viscoelastic Behavior of Duplicating Hydrocolloids Analysis of Creep

HIROSHI MURAKAMI and HIROKO MURAKAMI

Aichi Clinical Dental Laboratory
(Chief: Hiroshi Murakami)

Summary

In order to accumulate the fundamental data for discussing the viscoelastic behavior of duplicating hydrocolloids, their creep was measured by the parallel plate plastometer.

The results are summarized as follows: It was shown that creep curves of all duplicating hydrocolloids can be approximated by the six-element Voigt model (V-model).

In discussing each element of the V-model, Gelidium Hydrocolloid (Ge) and Levogel (L) were largest, with regard to the values of Young's modulus in the instantaneous region. As for the values of the coefficient of viscosity in the viscosity region, Gracilaria hydrocolloid (Gr) and L were smallest. As to the creep recovery, Ready-Mixed Duplicating Colloid (R) and L were fast while Ge and Gr were slow.

From there results, L is able to show that the viscoelastic behavior is very effective in clinical use.

緒 言

近年、鑄造床の使用頻度が増加しつつある中、この鑄造床の適合精度を向上させるため多くの研究¹⁻⁶⁾が行われてきた。しかし、鑄造床の製作過程はきわめて煩雑であり、また、鑄造床の形態が複雑であるため、その寸法変化、変形等が生じる場合も少なくない。特に、その煩雑な過程の中でも、

複模型の製作は鑄造床の適合精度に大きな影響を及ぼすと考えられる。したがって、複模型製作時の印象採得はきわめて重要である。

現在、複模型製作時の印象採得には、寒天印象材が多く使用されている。したがって、この複模型用寒天印象材の諸物性を研究し、より寸法安定性の優れた変形の少ない印象材を開発しなければならない。そこで著者らはその第一段階として、複模型用寒天印象材のクリープの測定を行うとともにその粘弾性挙動を解析し、興味ある知見を得

たので報告する。

材料および方法

実験材料

実験に使用した複模型用寒天印象材を Table 1 に示した。Ge はテングサ (Gelidium) を主成分とした寒天を使用した印象材で、Gr はオゴノリ (Gracilaria)⁷⁾ を主成分とした寒天を使用した印象材である。

R, L は市販のタイコニウムシステム⁸⁾, レボキッド⁹⁾の寒天印象材である。

実験方法

本実験では、中浜ら^{10,11)}の方法を採用した。すなわち、所定の方法でゾル化させた寒天印象材を約 20×20×20 cm のプラスチック箱に流し込み、蓋をして密閉した後、温度23℃、相対湿度60%の恒温恒湿室中で約2時間放置し、ゲル化させた。その寒天ゲル周囲の表面部分を避け、中心部付近より、2×2×2 cm の立方体試料を各印象材について5個ずつくりだし、測定まで湿度100%のデシケーター中に保存した。測定は上島製作所製平行平板プラストメーターを使用し、荷重1 kgf, クリープ時間8分間とし、温度23℃、湿度100%中で行った。

結果と考察

Fig. 1 は各印象材のクリープ曲線を示したものである。縦軸はひずみを%で示し、横軸は測定時間を分で示した。本実験では、これらのクリープ曲線を模型分析し、その粘弾性挙動を考察した。一般にクリープはひずみと応力の比であるクリープコンプライアンス (J (t)) によって表され、以下に示す Inokuchi¹²⁾の方法にしたがって求めた。

$$J(t) = J_0 + \sum J_i (1 - e^{-t/T_i}) + J_N$$

$J_0 = 1/E_0$: 瞬間コンプライアンス

(cm²/dyn)

E_0 : 瞬間弾性領域のヤング率 (dyn/cm²)

$J_i = 1/E_i$: 粘弾性コンプライアンス (cm²/dyn)

E_i : フォークト体のスプリングのヤング率 (dyn/cm²)

$T_i = \eta_i \cdot E_i$: 遅延時間 (sec)

η_i : フォークト体のダッシュポットの粘性係数 (P)

$J_N = t/\eta_N$: 粘性コンプライアンス (cm²/dyn · s)

η_N : 粘性領域の粘性係数 (P)

J_0 は瞬間コンプライアンスと呼ばれ、フックの法則に従う領域であり、Fig. 1のクリープ曲線中ではA-BおよびD-Eに相当する部分である。

J_i は粘弾性コンプライアンスと呼ばれ、時間依存性の遅延弾性領域に相当する。Fig. 1のクリープ曲線中ではB-Cに相当する部分で力学模型ではフォークト体で表される。

J_N は粘性コンプライアンスと呼ばれ、ニュートンの粘性法則に従う領域で、Fig. 1のクリープ曲線中ではC-Dに相当する部分である。なお、測定は、5回の繰り返し測定とした。ただし、以下に示す方程式の各要素はそれぞれ5つのクリープ曲線を解析した結果の代表値として、平均値を記した。

1) Ge

$$J(t) = 4.49 \times 10^{-7} + 6.75 \times 10^{-8} (1 - e^{-t/99.6}) + 4.32 \times 10^{-8} (1 - e^{-t/10.5}) + t/1.18 \times 10^9$$

2) Gr

$$J(t) = 2.69 \times 10^{-7} + 2.58 \times 10^{-8} (1 - e^{-t/105.0}) + 3.37 \times 10^{-8} (1 - e^{-t/13.3}) + t/4.90 \times 10^9$$

3) R

$$J(t) = 3.27 \times 10^{-7} + 3.51 \times 10^{-8} (1 - e^{-t/77.2}) + 3.85 \times 10^{-8} (1 - e^{-t/8.3}) + t/2.35 \times 10^9$$

Table 1: Duplicating hydrocolloid materials used in this study

Sample code	Name	Manufacturer
Ge	Gelidium	Sankei Gypsum Co., LTD
Gr	Gracilaria	
R	Ready-mixed duplicating colloid	Ticonium Co.
L	Levogel	Bayer Dental France

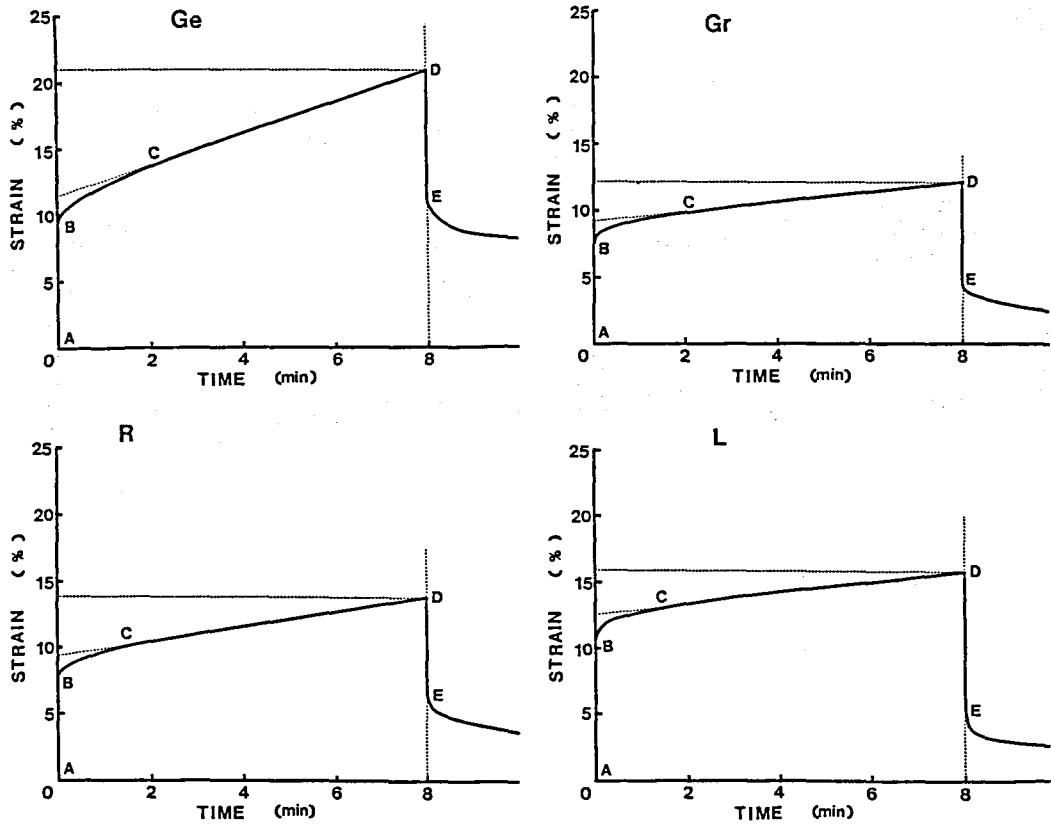


Fig. 1: Creep curves of duplicating hydrocolloid materials

4) L

$$J(t) = 4.55 \times 10^{-7} + 5.15 \times 10^{-8} (1 - e^{-t/77.5}) + 3.88 \times 10^{-8} (1 - e^{-t/5.4}) + t / 4.28 \times 10^9$$

これらの方程式より、4種の寒天印象材のクリープ曲線の遅延弾性領域は2組のフォークト体の直列型として近似的に対応できることが示唆されたので、これらのクリープ曲線は6要素の力学モデルの粘性挙動として解析した。(Fig. 2)

Table 2は力学モデルの各要素のヤング率、粘性係数、遅延時間を表に示したものである。また、Fig. 3は印象材の諸物性中、最も重要であると考えられる瞬間弾性領域のヤング率 (E_0) と粘性領域の粘性係数 (η_N) を棒グラフに示したものである。このグラフから明らかのように、 G_e は E_0 、 η_N が共に小さく、ひずみやすいので、弾性印象材の基本的性質である弾性ひずみ、永久ひずみが大きいと考えられ、 G_r は E_0 、 η_N が共に大きく、ひずみにくい印象材であると考えられる。Rは E_0 、 η_N が共に G_e 、 G_r の中間値を示した。また、Lは E_0 が

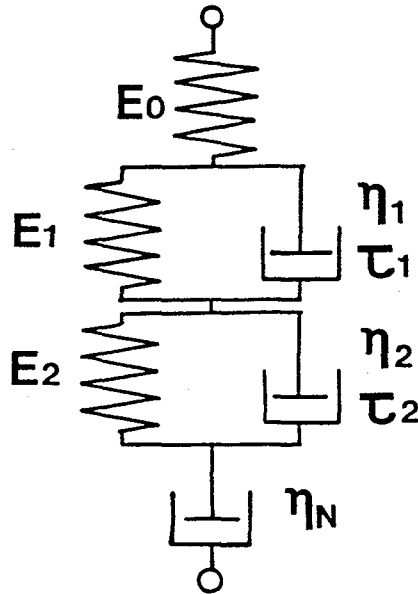


Fig. 2: Voigt model of duplicating hydrocolloid materials

小さく、 η_N が大きいため、弾性ひずみが大きく、永久ひずみが小さくなる傾向を示すと考えられる。

Fig. 4 は各力学模型の 2 組のフォークト体における遅延時間をグラフにしたもので、Fig. 5 は各々のフォークト体のスプリングのヤング率 (E_1, E_2) とダッシュポットの粘性係数 (η_1, η_2) をグラフに示したものである。

遅延時間はクリープが回復するとき、初期の変形の $1/e$ に回復するまでの時間で、フォークト体が弾性的か、粘性的かの指標となるものである。すなわち、遅延時間が短ければ弾性体に近く、クリープの回復が速い物質と考えられる。また、遅延時間が長ければ、粘性体に近く、クリープの回復に時間を要する物質と考えられる。

Fig. 4 のグラフから、Ge と Gr の遅延時間はほ

ぼ同じで、他の 2 種類の印象材より長く、粘性的であり、クリープの回復に時間を要することが示唆される。この現象をさらに詳細に検討すると Fig. 5 のグラフより、Ge のフォークト体はヤング率の小さいスプリングと粘性係数の小さいダッシュポットから構成されており、両者の釣り合いから、結果的にひずみに対するフォークト体全体の回復が遅れ、遅延時間が長くなっていると考えられる。また、Gr のフォークト体はヤング率の大きいスプリングと粘性係数の大きいダッシュポットから構成されており、Ge と同様にその釣り合いから、結果的に遅延時間が長くなっていると考えられる。それに対して、R と L は Ge、Gr に比較して遅延時間が短く、より弾性的な挙動を示しており、クリープの回復が速いことが判かる。この現象は、Fig. 5 のグラフより判かるように、Ge、Gr

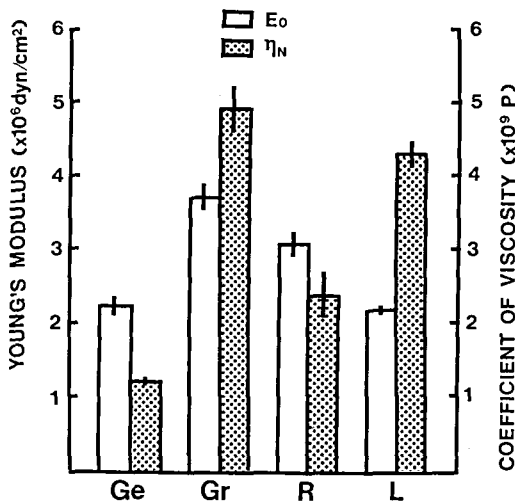


Fig. 3: Young's modulus and coefficient of viscosity of instantaneous and viscosity region

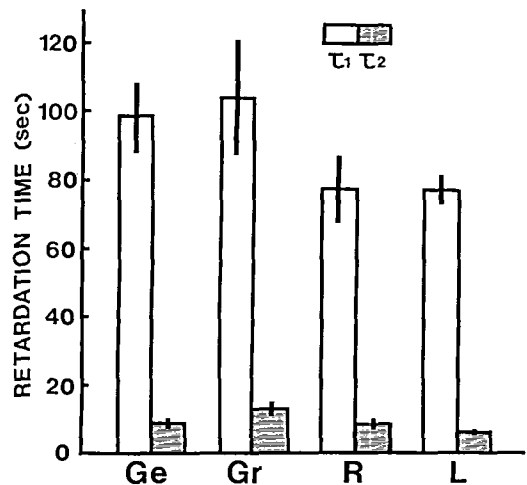


Fig. 4: Retardation time of duplicating hydrocolloid materials

Table 2: Viscoelastic constants of Voigt model of duplicating hydrocolloid materials

	E_0 $\times 10^6 \text{ dyn/cm}^2$	E_1 $\times 10^7 \text{ dyn/cm}^2$	η_1 $\times 10^6 \text{ P}$	τ_1 sec	E_2 $\times 10^7 \text{ dyn/cm}^2$	η_2 $\times 10^6 \text{ P}$	τ_2 sec	η_N $\times 10^6 \text{ P}$
Ge	2.23 (± 0.06)	1.48 (± 0.18)	1.47 (± 0.18)	99.6 (± 12.3)	2.32 (± 0.29)	2.43 (± 0.30)	10.5 (± 1.3)	1.18 (± 0.05)
Gr	3.71 (± 0.22)	3.88 (± 0.69)	4.08 (± 0.73)	105.0 (± 18.8)	2.97 (± 0.53)	3.94 (± 0.71)	13.3 (± 2.4)	4.90 (± 0.41)
R	3.06 (± 0.19)	2.85 (± 0.46)	2.20 (± 0.35)	77.2 (± 12.4)	2.60 (± 0.42)	2.17 (± 0.35)	8.3 (± 1.3)	2.35 (± 0.46)
L	2.20 (± 0.04)	1.94 (± 0.10)	1.50 (± 0.08)	77.5 (± 3.8)	2.58 (± 0.13)	1.40 (± 0.07)	5.4 (± 0.3)	4.28 (± 0.27)

() : SD

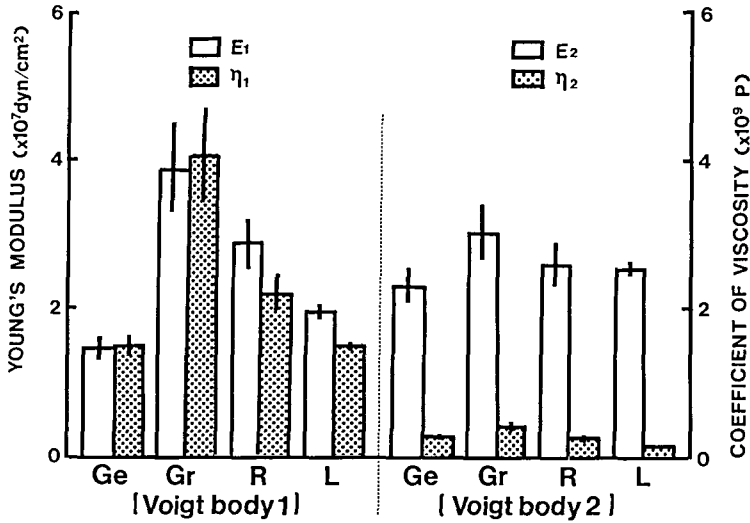


Fig. 5: Young's modulus and coefficient of viscosity of Voigt body 1 and 2

に比べ、フォークト体におけるスプリングの寄与が大きく、その結果、ひずみに対するフォークト体全体の回復が速く遅延時間が短くなったと考えられる。以上、力学模型の各要素の比較検討の結果を総括すると、4種類の寒天印象材の中ではLが臨床上、最も良好な粘弾性挙動を示すと考えられる。

結 論

4種類の複模型用寒天印象材のクリープ曲線を模型解析した結果、以下の結論を得た。

- 1) 4種類の複模型用寒天印象材のクリープ曲線はすべて6要素の力学模型の粘弾性挙動として解析できた。
- 2) 4種類の複模型用寒天印象材の力学模型の各要素を比較検討した結果、弾性ひずみはGe, Lが最も大きく、永久ひずみはGr, Lが最も小さいと考えられる。また、ひずみの回復はR, Lが速く、Ge, Grが遅いと考えられる。
- 3) 以上の結果を総合的に判断すると、Lが臨床上、最も良好な粘弾性挙動を示すと考えられる。

文 献

- 1) 太田克子 (1974) 寒天印象材中におけるリン酸塩埋没材の硬化時膨張について, 愛院大歯誌, 11: 231~243.
- 2) 長谷川幸洋 (1976) 鋳造床の適合性に関する研究—全部床について—, 補綴誌, 20: 423~447.
- 3) 松村晋也 (1978) 鋳造床の適合性に関する研究—部分床について—, 補綴誌, 22: 140~165.
- 4) 太田克子, 高橋好文, 寺井貞寿, 渡辺徹雄, 境谷栄 (1978) 鋳型材模型精度の測定, 歯理工誌, 19: 147~152.
- 5) 大久保忠博 (1982) 白金加金合金鋳造床の適合性に関する研究, 愛院大歯誌, 19: 57~78.
- 6) 林喜代治 (1984) 鋳造床型鋳造体の適合精度に関する研究, 愛院大歯誌, 22: 562~576.
- 7) 林 金雄 (1971) 寒天ハンドブック, 光琳書院.
- 8) Ticonium Company (1976) Technique Manual, New York.
- 9) Bayel Dental France: Levokit Manual.
- 10) 中浜信子 (1966) 寒天ゲルのレオロジー的研究, 家政学雑誌, 17 (4), 197~202.
- 11) 磯崎初恵, 赤羽ひろ, 中浜信子 (1976) 寒天ゲルの粘弾性, 農化, 50 (6), 265~272.
- 12) Sherman, P. (1970) Industrial Rheology, 12~17. Academic Press, London & New York.