



Title	バレイシヨの力学的性質に関する研究：（第2報）静的荷重下での力学的性質
Author(s)	伊藤, 道秋
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 14(3), 264-269
Issue Date	1985-03-18
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/12024">http://hdl.handle.net/2115/12024</a>
Type	bulletin (article)
File Information	14(3)_p264-269.pdf



[Instructions for use](#)

# バレイシヨの力学的性質に関する研究

(第2報) 静荷重下での力学的性質

伊藤道秋

(北海道大学農学部農業機械学教室)

(昭和59年10月1日受理)

## Studies on the Mechanical Properties of Potatoes

### II. On the mechanical properties under the static load

Michiaki ITO

(Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

#### I. 緒言

バレイシヨの堆積貯蔵での偏平化いもの実験室的再現と荷重-変形関係の力学的挙動を調べるために、静荷重を与えて変形過程の計測を行い、その結果について第1報で報告した。

静荷重を与えたときの時間と変形の関係は、石橋・小島らはトマトで、中馬らはミカンについて行った実験から、粘弾性体のうち四要素模型のクリープ現象に酷似していることを報告している<sup>1),2)</sup>。静荷重下でのバレイシヨの変形量を経過日数で見た場合、前二者の実験でもそうであるように、塊茎のままで行った実験であるため厳密には一定応力状態でないまでも、現象的にはクリープ現象の経過をとることは前報で述べたとおりである。た

だし、前二者の実験ではハンドリングや流通過程を対象とした数時間もしくは数日間の載荷期間を扱っているのに対して、本研究では長期貯蔵を想定した数箇月を対象としている。そこで、そうした長期間の載荷条件下でのバレイシヨの変形特性が粘弾性の力学的模型のうち、四要素模型でこのクリープ挙動を表わし得るかどうか検討を試みた。こうした試みは、変形を構成する要素のパラメータを求めることで、変形の形態、大きさ等を左右する品種、載荷重、載荷期間、環境条件等の各種要因との関係で適格に数量的に比較する上で有効と考えるからである。

#### II. 四要素模型について

Fig. 1は今回検討の対象とした四要素模型とその場合

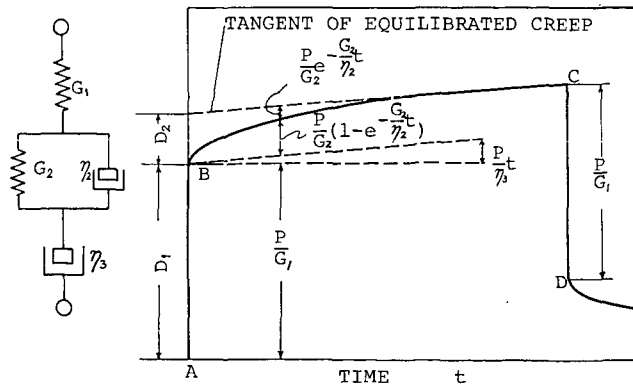


Fig. 1. The best known 4-element rheological model and graphical method for determination of parameters of this model.

の時間-変形曲線の関係を示したものである。模型は、バネとダッシュポットの組合せで、 $G_1, \eta_3$ のマックスウェル要素 (Maxwell-element) に  $G_2, \eta_2$ のフォークト要素 (Voigt-element) を直列に結合したものである。載荷後の変形曲線は

$$D = \frac{P}{G_1} + \frac{P}{G_2}(1 - e^{-\frac{G_2}{\eta_2}t}) + \frac{P}{\eta_3}t \quad (1)$$

$t < t_1$

ここに、 $D$ : 変形量 (mm),  $P$ : 荷重 (kg),  $G_1, G_2$ : バネ定数 (kg/mm),  $\eta_2, \eta_3$ : 粘性係数 (kg·h/mm),  $t$ : 時間 (h),  $t_1$ : 荷重除去までの経過時間 (h) で、また荷重除去後の回復曲線は

$$D = \frac{P}{G_2}(1 - e^{-\frac{G_2}{\eta_2}t_1})e^{-\frac{G_2}{\eta_2}(t-t_1)} + \frac{P}{\eta_3}t_1 \quad (2)$$

$t > t_1$

で表わされる。式(1)の右辺第1項は瞬間的弾性変形であり、第2項は遅延弾性変形および第3項は粘性流動である。それぞれの模型定数 (model constant)  $G_1, G_2, \eta_2, \eta_3$ を求めるに当っては、まず時間-変形曲線において十分時間が経った点の接線の勾配 ( $P/\eta_3$ ) から  $\eta_3$  を求め得る。次いで、曲線のその接線からの差である  $\frac{P}{G_2}e^{-\frac{G_2}{\eta_2}t}$  なる指数関数から  $G_2, \eta_2$  を求めることができる。また、 $\frac{P}{G_2}(1 - e^{-\frac{G_2}{\eta_2}t})$  の  $t=0$  における  $Y$  軸切片から  $G_1$  を求めた。

ここで、バレイショの貯蔵を考えた場合、何箇月という長時間のオーダーとなり、式中の  $t$  を時間 (h) で表わすと  $t$  も  $\eta$  も非常に大きな数字になることと、時間で見ることあまり意味を持たないので、ここでは  $t$  を日数として扱うほうがより実際的であると判断し、 $t$  を経過日数とした。

### III. 試算結果と適合性及びその考察

上記のような考えに立って、前報で既述した長期静荷重下の変形過程の実測値から、式(1)に示された各定数

の値を求めた結果を Table 1 および Table 2 に示した。Table 1 は3品種に対して平板で圧縮した結果であるが、載荷重を 20~29 kg に変えて行った結果を平均したものである。また、これらの定数を用いて計算したものが Fig. 2 の実線で示す曲線であり、プロットしたのが実測値である。それによると、3品種とも計算値による変形曲線に対するバラツキは、変形初期に若干見られるもののきわめて小さいとすることができる。3品種間の特性は前報で述べたとおり、ダンシヤクが最も変形量が小さく農林1号が大きくなった。瞬間弾性変形は品種間の差もあろうが、供試バレイショの形状による影響も大きいことが予想される。しかし、その後の変形増加の勾配は品種によって明らかに異なる傾向を示し、パラメータ  $\eta_3$  の値の違いに起因している。

Table 2 はダンシヤクを供試して、上下とも曲率球冠により圧迫した場合について求めた結果であり、貯蔵中の湿度条件、載荷重量別に示した。いずれのパラメータについても、バラツキは大きい条件別に見ると明確な差が認められる。載荷瞬間の変形は、単純な弾性変形ならばその弾性率  $G_1$  は荷重や貯蔵環境とは無関係であり、供試体の条件や載荷 (板) 接触面の形状によって異なるものである。Fig. 3 は荷重と  $G_1$  の関係を示したものであるが、載荷重の増加に対して  $G_1$  もわずかではあるが増加する傾向が見られた。載荷時には弾性変形の他に細胞破かい等によるすべりも予想されるが、その場合はこの傾向と逆現象になるから、その点はこの不明確である。むしろこの場合、球冠による圧迫であること、供試体自身が曲率を有することから、載荷重の相違によって接触面積、圧迫体積が異なることになる。すなわち荷重が大きくなると接触面の面積が増大することから、その結果荷重増に対して  $G_1$  の値が大きくなったものと推察される。

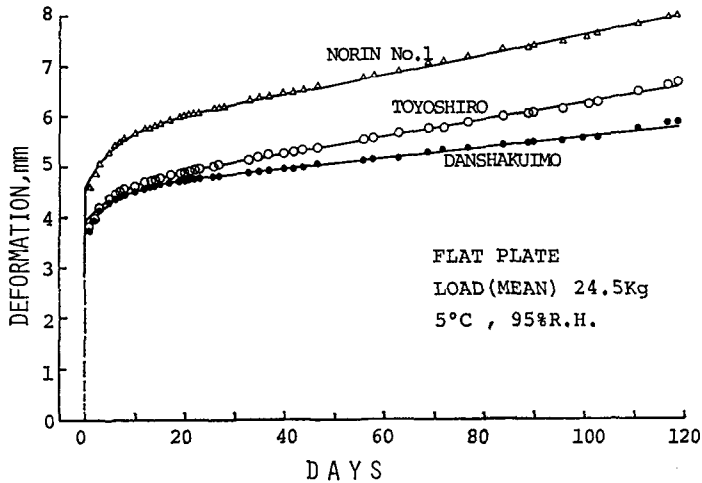
(1)式第2項で示される遅延弾性変形に係る  $G_2$  は、貯蔵時の湿度条件によって大きな相違が生じ、95% R. H. のものに対して 75% R. H. の場合、約 60% 程度の値と

Table 1. Determined model constant in the test used flat plate for investigation of parameters in 4 elements rheological model (load during 119 days)

variety	temperature, relative humidity	load (kg)	$G_1$ (kg/mm)	$G_2$ (kg/mm)	$\eta_2$ (kg·day/mm)	$\eta_3$ (kg·day/mm)	index of correlation
Danshakuimo	5°C, 95%	24.5	6.43	33.43	195.61	2406.7	0.995
Toyoshiro	" , "	"	6.28	36.22	227.23	1471.5	0.998
Norin No. 1	" , "	"	5.32	23.69	145.32	1251.3	0.999

**Table 2.** Determined model constant in the used spherical plate for investigation of parameters in 4 elements rheological model (Danshakuimo)

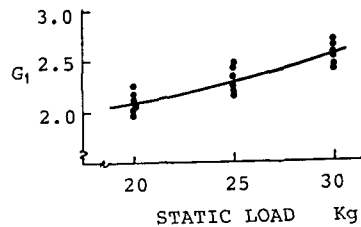
loading term	temperature, relative humidity	load (kg)	$G_1$ (kg/mm)	$G_2$ (kg/mm)	$\eta_2$ (kg·day/mm)	$\eta_3$ (kg·day/mm)	index of correlation
Oct. 20, 1982 -Jan. 19, 1983 (91 days)	5°C, 95%	20	2.12	11.36	154.73	1081.1	0.983
		25	2.48	17.17	200.82	992.1	0.983
		30	2.56	13.71	160.18	1229.5	0.991
	5°C, 75%	20	2.11	8.43	140.06	639.0	0.989
		25	2.45	9.85	165.83	683.1	0.993
		30	2.71	7.03	119.28	565.0	0.998
Oct. 20, 1982 -Apr. 25, 1983 (189 days)	5°C, 95%	20	2.11	14.50	159.66	1183.4	0.994
		25	2.24	10.82	119.98	1089.3	0.996
		30	2.49	14.70	141.37	1018.7	0.996
	5°C, 75%	20	2.03	7.52	175.14	575.5	0.997
		25	2.20	7.92	186.77	805.2	0.996
		30	2.52	6.31	138.10	742.6	0.998



**Fig. 2.** Comparison of the experimental results with calculated results by 4-element model on three varieties. (Test No. 2)

なり、変形の増加割合が低湿度程大きいことを示している。

粘性流動を示す第3項における粘性係数  $\eta_3$  も75% R. H. の場合95% R. H. に比べ大幅に小さく、経過日数に対して変形の増加勾配が大きいことを示している。これらの計算結果を曲線にしたのが Fig. 4~7 であり、実線が計算値を示し、プロットした点が各測定値である。Fig. 4, 5 は91日間(3カ月) 静荷重を与えたもので、前者が95% R. H., 後者が75% R. H. の環境(5°C) で実験



**Fig. 3.** Relationship between static load and elastic modulus.

を行った結果である。また、Fig. 6, 7 は 186 日間 (6 月) の長期貯蔵を想定して行った実験で、同様に 95% と 75% の結果である。それらを見ると、載荷後約 5 日間の実験初期と長期実験においては、約 160 日を経た後 (4 月以降) に計算値と実測値との間にずれが見られる以外は、両者はきわめてよく合致していると言えよう。長期実験での約 160 日以降のずれは、いずれも計算値より変形量

が大きい方へずれが進行する状態となることから、この時期に至ると粘弾性変形として表わし得ない、細胞破かきや、すべりおよび生理的变化を起していることが推察される。

四要素模型の変形式として示した (1) 式による計算値の実測値に対する適合性を見るために両者の相関指数を求めた結果を前掲の Table 1, 2 の右欄に示した。それ

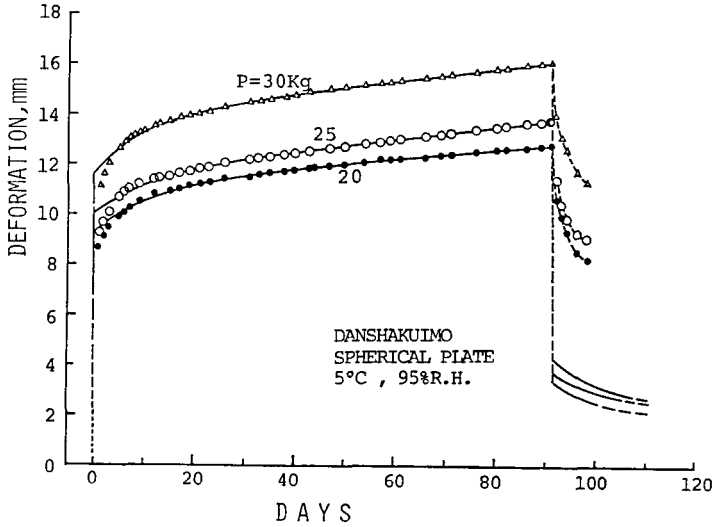


Fig. 4. Comparison of the experimental results with calculated results by 4-element model. (Test No. 5, Oct. 20, 1982-Jan. 19, 1983)

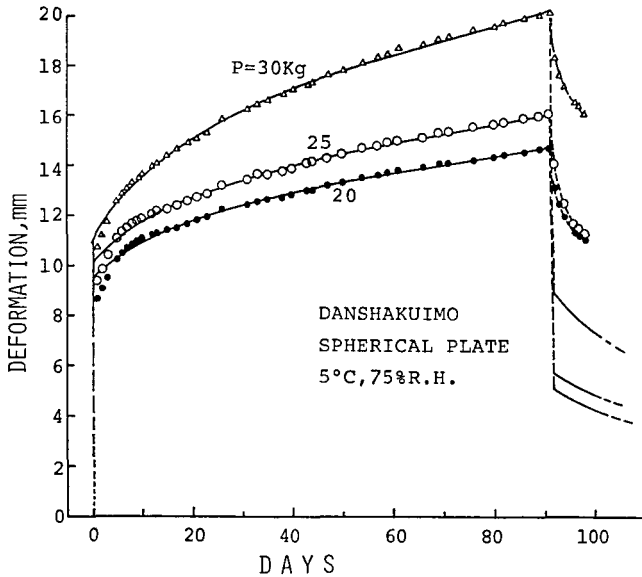


Fig. 5. Comparison of the experimental results with calculated results by 4-element model. (Test No. 5, Oct. 20, 1982-Jan. 19, 1983)

によると、いずれもきわめて高い値を示し、品種、大きさ、形状等のバレイシヨの条件と貯蔵環境条件別に多くの測定を重ねて、各パラメータの値が得られるならばこうした計算値によって変形特性を十分表わし得ることを確信した。

次に荷重除去後の回復特性であるが、(1)、(2)式からわかるように四要素模型では載荷時の瞬間弾性変形と荷重除去後の瞬間的回復は、いずれも  $G_1$  によるもので両者

の大きさは等しいことになる。また、荷重除去後の回復期間を経ると最終的には式(1)の第3項の  $\eta_3$  の大きさによって決まる永久変形が残ることになる。Fig. 4, 5の右側に91日目以降の荷重除去後について(2)式により求めた計算値(実線)と実測値を示した。それによると、瞬間的回復の大きさは瞬間的変形に比べてはるかに小さく、両者の間に大きな差を生じた。すなわち、こうした長期間貯蔵の場合、前述のように粘弾性的変形だけでは

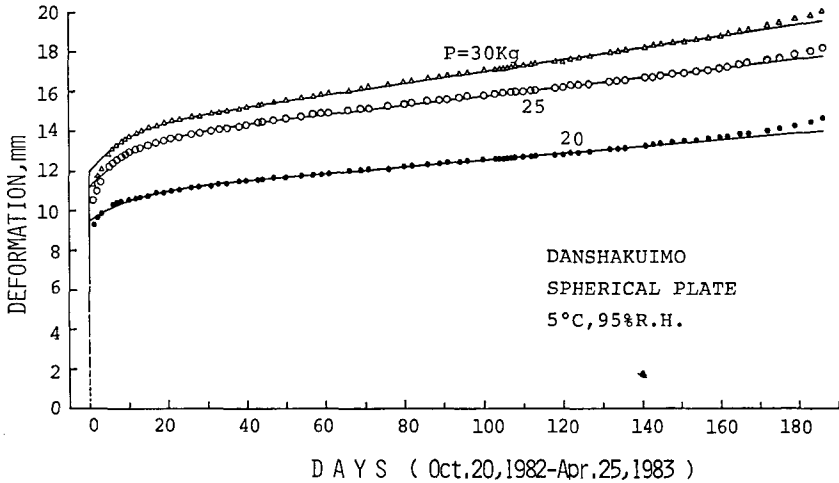


Fig. 6. Comparison of the experimental results with calculated results by 4-element model. (Test No. 4)

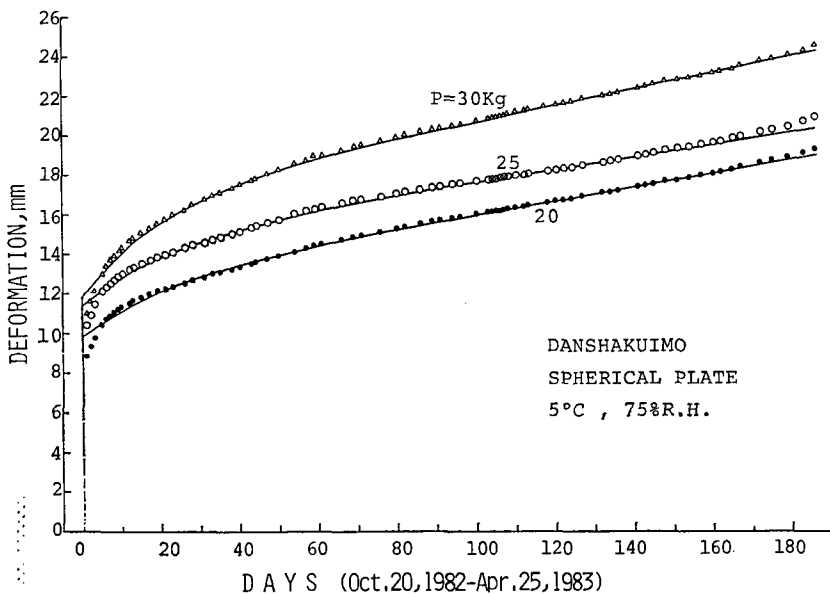


Fig. 7. Comparison of the experimental results with calculated results by 4-element model. (Test No. 4)

く内部破かひや、すべり、生理的变化が累積されていると考えられる。また、載荷初期に計算値にずれが見られたことなどから、 $G_1$ のとりかたにさらに検討が必要であると考ええる。

以上、変形過程においてはこうした模型で十分表現し得ると判断されるから、モデル式から得られたパラメータに入るべき各種の条件との関係でデータの蓄積を進め、品質保持を目的とした品種の選定、栽培管理、貯蔵条件の指標を得る必要があると考える。

#### IV. 摘 要

パレイショの変形特性が粘弾性の力学的模型のうち、マックスウェル要素とフォークト要素を直列に結合した四要素模型で、その挙動を表わし得るか否かの検討を試みた。その結果、載荷による変形過程においてはこうした模型式で十分表わし得ると判断され、今回行った実験結果から載荷条件、湿度条件別にパラメータの値を得ることができた。今後、各種の条件との関係からデータの蓄積を進めるならば、品質保持を目的とした品種の選定、栽培管理、貯蔵条件の指標値となり得ると考える。しかし、載荷除去後の回復過程においては、この模型式から得られた計算値との差が大きく、その適合性が不十分であり、さらに検討が必要である。

#### 引用文献

1. 中馬 豊・岩元睦夫・志賀 徹：温州みかんの流通技術改善に関する研究（第3報），農機誌，33巻3号，304-311. 1971
2. 石橋貞人・小島孝之：農産食品の力学的性質に関する研究（第2報），農機誌，32巻1号，59-64. 1970

3. 小島孝之：園芸農産物の物性に関する研究（第1報），農機誌，36巻4号，549-554. 1975
4. 中川鶴太郎：レオロジー第2版，岩波全書. 1978
5. ROSS, I. J. and ISAACS, G. W.: Forces acting in stacks of granular materials (Part 1). Trans. of the ASAE, 92-96. 1961
6. SCHAPER, L. A. and YAEGER, E. C.: Horizontal and vertical pressure patterns of stored potatoes. Trans. of the ASAE, 1982

#### Summary

For a fitting express of deformation characteristics of the potato tuber under static load four-element model which was arranged in a series the Maxwell-element and the Voigt-element was investigated from within the mechanical models of visco-elasticity.

In the result, it was concluded that the four-element model express enough the creep curve of tuber under static load and the model constants were obtained on several conditions of press-plate, load and humidity from the results of the first volume (part 1).

If the data relating to several conditions are collected, those will be to a technical guiding principle cope with selection of cultivar, management practices, storage and the like.

It is necessary to investigation on the process of creep recovery after unloading because a large difference between the measured deformation and the calculated value by this model equation is recognized.