



Title	バレイシヨの力学的性質に関する研究 : (第1報) 外力と変形特性について
Author(s)	伊藤, 道秋; ITO, Michiaki
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 14(3), 242-257
Issue Date	1985-03-18
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12022
Type	departmental bulletin paper
File Information	14(3)_p242-257.pdf



バレイシヨの力学的性質に関する研究

——(第1報) 外力と変形特性について——

伊藤道秋

(北海道大学農学部農業機械学講座)

(昭和59年9月25日受理)

Studies on the Mechanical Properties of Potatoes

I. On the Force-Deformation of Potatoes

Michiaki ITO

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

I. 緒言

バレイシヨが収穫から市場に至るまでの間に、損傷を誘発する外力は種々の形態と条件が考えられる。大きく分けて動的荷重と静的荷重であり、前者は機械による収穫や選別、さらに搬送作業等で起る衝撃的荷重であり、後者は特に貯蔵時の堆積等で受ける長時間の圧縮荷重である。前者については別に報告した⁶⁾ので、ここでは後者について実験と検討を行ったものを報告する。

静的圧縮荷重の荷重形態を荷重速度の観点から力学的に見た場合、一定荷重(死荷重)のもと、徐々に荷重が増し、やがて破壊に至るような場合とがある。ここでは前者を(1)静的荷重(死荷重)、後者を(2)準静的荷重とし、この2つの形態の異なる荷重を与えて、バレイシヨの変形および強度について実験を行い検討を行った。

一定重量の静的荷重をバレイシヨ塊茎に与えた場合、一定の変形量で止まらずに時間とともに変形量が増加する、いわゆるクリープ現象を呈する。荷重の瞬間に大きく変形し、その後変形の増加量を漸減しながら、やがて増加勾配が一定となる(クリープ平衡点)という経過をとる。短時間の測定においては、バレイシヨ塊茎では70~80秒でこのクリープ平衡点に達する。しかし、これを長期の貯蔵状態で観るとこの平衡状態も実は平衡しているのではなくて、漸減曲線となっている。数カ月のオーダで観察した場合、数10日を経てから平衡状態が認められる。貯蔵を考慮した長期の圧縮状態は生理的变化や貯蔵条件による性質の変化をとともなうから、前述

の極く短時間の荷重でのクリープ現象とは内容を異にするため、この両者を分けて扱う必要がある。本論での主題は、前述した破かい強度の他、貯蔵を考慮した長期間の静的荷重下の変形挙動を調べることにあつたが、供試バレイシヨの変形特性のパラッキをできるだけ少なくするために、事前に一定重量範囲(150g台)のバレイシヨを選びだし、さらに荷重直後の変形挙動ができるだけ類似したものを抜きとり供試した。その予措的試験の過程で、荷重時の極く短時間の変形挙動について貴重な資料を得たので、ここで一つの試験結果として合せて報告することとした。

II. 実験方法

1. 準静的圧縮とバレイシヨ強度

圧縮荷重に対する強度は、品種、肥培管理、収穫時期、塊茎の大きさ、貯蔵条件等の要因によって影響されることが予想される。本実験では、そのうちの品種についての3品種と収穫時期の異なるもの、および2カ月間貯蔵したものについて比較した。供試バレイシヨはホクレン農総研大曲実験場の3品種と北大農場(ダンジャク)のものである。

試料には一端がエッジを持つ円筒をバレイシヨの長軸に沿って貫入し、抜きとったテストピースを使用した。円筒内径は20mmφであり、抜きとったものを長さ40mmで切断して供試した。

実験装置は、土壌の直接せん断試験機を活用したものでFig. 1に示すようにプレート圧縮とした。荷重速度

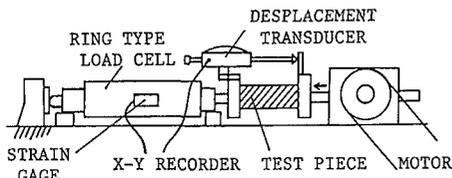


Fig. 1. Experimental apparatus for compression test.

(プレート速度)は6 mm/minで、圧縮力の測定はストレーンゲージを貼布したプルービングリングを使用し、変位計からの出力とをX-Yレコーダに変位-荷重曲線として記録させた。

2. 静的圧縮と変形量の測定

1) 載荷瞬時の変形量の測定

塊茎そのままに、定荷重を与えた時の変形挙動を測定した。Fig. 2に試作した載荷装置を示したが、レバーにより所定の荷重(20 kgで行った)を載荷できる。バレイショの厚さの相違によって上下の圧縮板の間隔を調整するために、下部板はジャッキにより可動できるようにした。変形量はダイヤルゲージ型の変位計(共和製DT-20 D)からの出力を記録計に書かせた。バレイショの圧縮方向は、長径、短径、厚さで表わすならば、厚さに相当する最も径の小さい部分である。載荷はおおよそ2分間とした。

2) 長期静的荷重下の変形量の測定

実態調査の中で露見された扁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、いくつかの条件下で塊茎に長期間の死荷重を与えて変形過程の計測を行った。実験条件としては、品種、載荷重、圧縮板の形状、載荷期間と環境(温度、湿度)条件等が上

げられる。これらの各条件について、多くの反復をとることは、恒温・恒湿室のスペース、装置の数量的制約および1測定に長期間を要するなど限定されたが、その内容を一括Table 1に示した。No. 1, 2の試験は5°C, 95%の湿度条件の下で、3品種に対して平板圧縮を行ったものである。No. 3以降は圧縮部に曲率を持つ球冠を用いて行った。そのうち、No. 4以降は、バレイショ塊茎の個体重量が150 g台のもので前項実験の載荷瞬時の変形挙動特性の類似したものを抜き出して供試している。

昭和55年収穫したものに対してFig. 3のような装置を用いて予備実験を行った後、56年11月25日に第1回

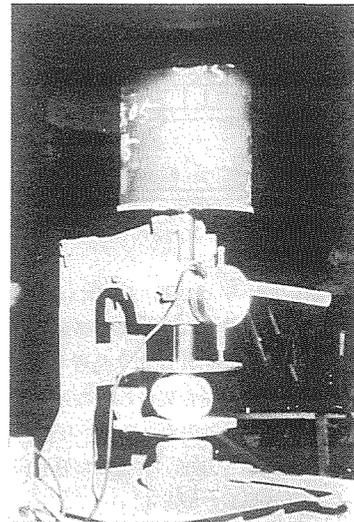


Fig. 2. Loading apparatus for creep test in short time.

Table 1. Testing term and conditions of creep test

test No.	term of test (days)	temperature, relative humidity	load kg	shape of press-plate	variety*
1	Nov. 25, 1981-Jan. 7, 1982 (43)	5°C, 95%	20, 26, 29	flat	D, T, N
2	Jan. 13, 1982-May 13, 1982 (199)	" , "	20, 23, 26, 29	"	" , " , "
3-1	Nov. 25, 1981-Jan. 12, 1982 (48)	" , "	10, 20	sphericity	D
3-2	Jan. 13, 1982-Mar. 4, 1982 (50)	" , "	15	"	D, T
3-3	Mar. 4, 1982-May 12, 1982 (69)	" , "	10, 20	"	T
4	Oct. 20, 1982-Apr. 25, 1983 (189)	" , 95, 75%	20, 25, 30	"	D (150 g class)
5	Oct. 20, 1982-Jan. 19, 1983 (91)	" , " , "	" , " , "	"	"
6	Jan. 31, 1983-Apr. 25, 1983 (85)	" , " , "	" , " , "	"	"

* D: Danshakuimo, T: Toyoshiro, N: Norin No. 1

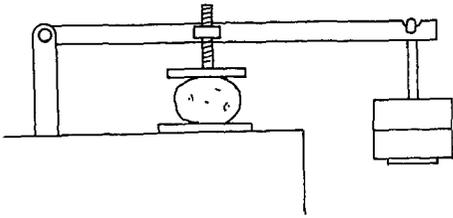


Fig. 3. Experimental apparatus in the first creep test.

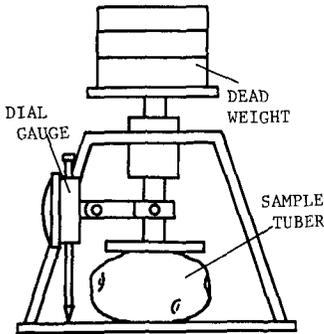


Fig. 4. Experimental apparatus for creep test.

目の実験を開始した。その結果、厳密には変形とともにアーム角度が変り一定荷重にならない等の不合理が生じ、第2回目以降には Fig. 4 に示す装置を試作し、実験に供した。ダイヤルゲージを装着したことにより、測定精度の向上と簡便化を計り得た。なお、圧縮方向は本実験項目に関して総て厚さ方向、すなわち最も径の小さい上下方向として行ったものである。

III. 実験結果と考察

1. 準静的圧縮時の変形特性とバレイシヨの強度

実験にはダンシャク、ユキジロ、トヨシロの3品種を使用した。等速で圧縮するといずれの場合も、Fig. 5 に1例を示した荷重-変位曲線とほぼ同じ経過をとった。工業材料に見られるような降伏点は見られなかった。また、多くは5~10%のひずみ付近までの勾配が強く(荷重増加に対して変形の増加が小さい)、それ以降勾配が緩み、25%付近から最大荷重まで再び上昇する傾向となった。ここで、圧縮ひずみ $\epsilon(\%)$ は

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

ここに、 L_0 : 圧縮前の長さ

で示され、圧縮ひずみ ϵ に対する供試体の断面積 A は

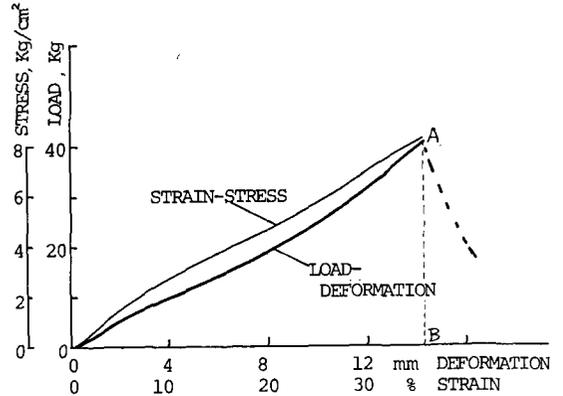


Fig. 5. Force-deformation curve.

$$A = \frac{A_0}{1 - \frac{\epsilon}{100}}$$

ただし、 A_0 : 圧縮前の断面積

によって求めた。そこで ϵ に対する圧縮応力 $\sigma (=P/A)$ を求めることによって、図に示す応力-ひずみ線図を求めることができる。また、荷重-変位曲線から図に示す面 OAB の面積から破かいエネルギー ($\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$) を求めた。

測定結果を一括して Table 2, 3 に示した。いずれの数値も、1条件に6~12個の測定を行った結果の平均値である。Table 2 は収穫時期を異にしたもので、大曲産の3品種と北大産のダンシャクについてである。

破かい時の最大変形量は、11.5~13 mm であり、ひずみにすると30%前後であった。およそ1カ月の収穫時期のずれおよび供試した品種の相異は、変形量、ひずみにおいて有意となる明確な差を示さなかった。また破かい荷重は、9月29日収穫の大曲産ダンシャクおよびトヨシロの結果を除くと33~36 kg となり、破かい応力で7.4~8.1 kg/cm^2 であったが、変形量と同様に注目される一定の関係は見い出せなかった。9月29日大曲産のダンシャクの変形量、破かい荷重が特に大きくなったが、北大産のものに収穫時期の影響がまったく認められないことから、特例として見ざるを得ない。

破かいエネルギーは、前記2条件を除くと測定値で20~22 $\text{kg}\cdot\text{cm}$ であり、単位体積当りでは1.6~1.7 $\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$ 程度となった。

以上のように、破かい時の変形量および応力において、収穫時期、品種の間に差が認められなかった。収穫時期の相違がバレイシヨ塊茎の周皮部に変化が大きいことが予想され、テストピースに供試した塊茎中部には強

Table 2. Destructive strength and energy for three varieties and various harvesting dates of potatoes

date and field of harvesting	date of testing	variety*	tuber weight (g)	test piece		destruction					required energy for destruction (kg·cm/cm ³)
				weight (g)	density (g/cm ³)	deformation (mm)	strength (kg)	strain (ε %)	stress (σ kg/cm ²)	σ/ε	
Sep. 2, 1982 (Omagari)	9, 14	D				11.82	33.92	29.55	7.60	0.257	1.51
		Y				12.80	35.58	32.00	7.70	0.241	1.65
		T				12.32	34.83	30.79	7.67	0.249	1.57
Sep. 16, 1982 (Omagari)	9, 30	D	219.2	13.13	1.045	11.85	35.43	29.63	7.93	0.268	1.77
		Y	209.0	12.83	1.021	11.75	35.65	29.38	8.00	0.272	1.62
		T	220.9	13.11	1.043	12.09	36.50	30.21	8.10	0.268	1.72
Sep. 29, 1982 (Omagari)	10, 15	D	166.0	13.14	1.046	13.37	42.50	33.42	8.96	0.268	2.18
		Y	160.8	13.10	1.042	12.00	35.47	30.00	7.87	0.262	1.66
		T	146.3	13.14	1.046	11.42	31.25	28.54	7.08	0.248	1.43
Sep. 6, 1982 (Hokudai)	9, 27	D				11.85	34.58	29.63	7.71	0.260	1.64
Sep. 16, 1982 (")	9, 30	"				12.11	33.74	30.29	7.47	0.247	1.63
Sep. 29, 1982 (")	10, 14	"	179.0	13.37	1.064	12.80	34.45	32.00	7.44	0.233	1.67
Oct. 13, 1982 (")	11, 4	"	205.7	13.23	1.053	12.42	34.37	31.04	7.54	0.243	1.64

Notes * D: Danshakuimo, Y: Yukiziro, T: Toyoshiro.

(1) Shape of test piece: dia. 20 mm φ, length 40 mm.

(2) Compressive speed: 0.1 mm/sec.

Table 3. Destructive strength of three varieties after storage 78 days

temperature and relative humidity during storage	variety*	tuber		test piece		destruction					required energy for destruction (kg·cm/cm ³)
		weight (g)	moisture (%)	weight (g)	density (g/cm ³)	deformation (mm)	strength (kg)	strain (ϵ %)	stress (σ kg/cm ²)	σ/ϵ	
5°C, 95%	D	210.8	78.3	13.06	1.039	12.96	40.60	32.40	8.74	0.270	2.00
	Y	196.8	78.9	13.00	1.035	11.88	36.50	29.70	8.17	0.275	1.68
	T	204.8	76.5	13.22	1.052	11.42	32.78	28.55	7.46	0.261	1.40
5°C, 75%	D	226.0	77.9	13.00	1.035	12.80	39.88	32.00	8.63	0.270	1.88
	Y	192.8	75.6	12.61	1.003	11.60	37.82	29.00	8.55	0.295	1.54
	T	183.5	75.5	13.14	1.046	12.05	36.40	30.13	8.10	0.269	1.57

* D: Danshakuimo, Y: Yukiziro, T: Toyoshiro.

(Used potatoes were harvested in Sep. 29, 1982 and stored during Oct. 20-Dec. 16, 1982 at 5°C).

Table 4. Deformation of three varieties under static load of 20 kg with spherical plate

(): S. D.

variety	shape of tuber (mm)			radius of curvature (mm)				creep*				
	longitudinal axis dia.	latitudinal axis dia.	thickness	weight (g)	upper surface	lower surface	mean	A (mm)	B (mm)	C (mm)	T (sec)	a ($\times 10^{-3}$)
Danshakuimo	71.6 (11.4)	68.3 (8.6)	55.6 (7.2)	165.2 (60.3)	45.0 (12.2)	62.1 (16.6)	53.6 (12.9)	3.65 (0.56)	4.27 (0.66)	4.32 (0.67)	55.7 (6.6)	0.968 (0.427)
Yukiziro	87.1 (12.8)	64.3 (7.6)	49.6 (5.9)	164.8 (71.9)	49.9 (15.0)	71.6 (20.5)	60.8 (16.0)	3.50 (0.60)	4.06 (0.64)	4.11 (0.65)	56.9 (6.7)	0.982 (0.434)
Toyoshiro	81.5 (9.0)	66.0 (6.9)	47.3 (4.2)	154.2 (44.5)	54.8 (14.3)	76.2 (19.3)	65.5 (14.7)	3.22 (0.48)	3.80 (0.58)	3.88 (0.58)	70.8 (11.5)	1.059 (0.159)

* A: momentary elastic deformation.

B: intersection of tangent line and Y-axis.

C: point of equilibrium.

T: time of equilibrium.

a: slope of tangent line.

度に影響する変化が現れなかったものと考えられる。

Table 3 は 9 月 29 日大曲産の 3 品種を、貯蔵時の湿度を 95% と 75% の 2 つの異なる条件で約 2 カ月間貯蔵後にその強度を測定した結果である。貯蔵湿度の相異は含水率、塊茎硬度に若干の影響が認められ、いずれも 75% の方が低くなった。Table 2 の 9 月 29 日の結果と比較すると、2 カ月の貯蔵期間は強度的に明確な変化をもたらさなかったと言える。貯蔵後のユキジロ、トヨシロの荷重、応力において若干増加傾向が見られること、ダンシャクおよびユキジロにおいて 75% 貯蔵が 95% 貯蔵のものに比べて破かいエネルギーが低下する傾向がわずかに認められるが、大きな差とはならなかった。

圧縮破かい時の供試体のその多くは、Fig. 6 に見られるような斜めの断面で滑りを生じ破かいした。この時の破かい面と水平面とのなす角を θ とすれば、摩擦角 ϕ は、

$$\phi = 2\theta - \frac{\pi}{2}$$

で推察される。今回の実験では $55 \sim 60^\circ$ の θ となり、 ϕ の平均角度は 26° であった。また、 $\tan \phi$ から摩擦係数 μ を求めると約 0.49 となる。

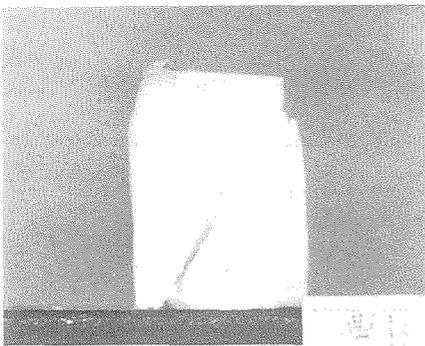


Fig. 6. Presentation of destroyed piece under quasi-static compression test.

2. 静的圧縮と変形挙動

1) 載荷瞬時の変形挙動について

Table 4 は同一圃場で収穫した 3 品種についての形状等の測定結果と載荷実験の記録波形から求めた結果である。供試バレイショは、収穫 (9 月 29 日) 後 1 週間室内放置したものから、S 級以下の小塊茎を除いて無作為に 50 個選択して供試した。表の数値はいずれも 50 個についての平均値である。曲率半径は、圧縮板の当たった位置について長軸方向およびその 90° 方向に沿って切断し、スタンプで形をとり計測したもので、両者の平均値で表わした。

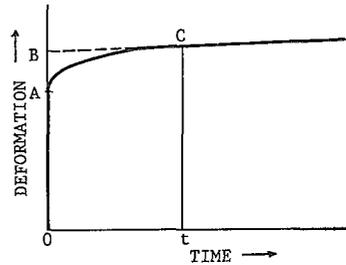


Fig. 7. Creep curve and this solution.

バレイショに載荷した瞬間、およびその後の変形挙動は Fig. 7 に示す OAC のようになる。A 点を瞬間的変形量、クリープが平衡する C 点およびその接線の Y 軸交点を B 点として表に示した。

供試バレイショの曲率半径は、ダンシャク、ユキジロ、トヨシロの順に大きくなった。瞬間的変形量、クリープ点接線交点および平衡点での変形量は曲率半径に反比例する形で、ダンシャク、ユキジロ、トヨシロの順に小さくなった。しかし、クリープ平衡時間 (t) および接線の勾配は曲率半径の大きき順にトヨシロが最も大きくなった。すなわち、瞬間的変形量は曲率半径の小さいダンシャクが最も大きく、ユキジロ、トヨシロの順になったが、その後の変形の進行および増加勾配は、トヨシロが最も大となり、ユキジロ、ダンシャクの順となった。

次に、本実験のもう一つの目的とした、長期の静的載荷実験に供する変形特性の類似した個体を選別するに当って、平板による圧縮と球冠による場合との変形挙動の相違を比較した。供試した塊茎はダンシャクの 150 g 台のものである。まず平板によって 20 kg の載荷を行い、変形特性を調べた後、十分な復元を確認してから球冠による載荷実験を実施した。Table 5 は供試した個体についての平板、球冠 (25 R) での結果を並列して示したものである。それによると、個体による若干のバラツキがあるものの、平板による瞬間的変形量の平均が 3.23 mm に対し、曲率半径 25 mm の球冠でのそれは 6.39 mm と前者の約 2 倍となった。同様に B 点、C 点での変形量比も 2 倍となった。またクリープ平衡時の接線勾配も 2.12 倍であり、変形増加の割合が球冠の場合は平板のそれに対して 2 倍と言うことができる。記録された変形曲線の平均値をとって比較したのが Fig. 8 である。

2) 長期静的荷重下の変形

(1) 平板圧縮について

Fig. 9 は 56 年 11 月 25 日 (第 1 回) 実験を開始し、57 年 1 月 7 日までの 43 日間圧縮した時の経過日数と変

Table 5. Characteristics of deformation under static load of 20 kg in case the shape of press-plates were flat (f) and sphericity (s)

(Danshakuimo)

tuber No.	shape of potato (mm)			weight (g)	plate	creep*				
	longitudinal axis dia.	latitudinal axis dia.	thickness			A (mm)	B (mm)	C (mm)	T (sec)	a ($\times 10^{-3}$)
1	70	70	50	150.6	f	3.22	3.68	3.71	70	0.429
					s	6.06	7.09	7.21	80	1.500
2	71	72	51	153.5	f	2.90	3.49	3.56	77	0.909
					s	6.69	7.94	8.09	80	1.875
3	70	69	53	151.5	f	3.02	3.45	3.50	68	0.735
					s	6.10	7.30	7.43	72	1.806
4	76	68	53	157.6	f	3.95	4.60	4.67	66	1.061
					s	6.29	7.41	7.57	70	2.286
5	68	68	54	150.0	f	2.77	3.30	3.39	71	1.268
					s	6.08	7.24	7.39	67	2.239
6	70	65	59	151.9	f	3.50	4.07	4.14	72	0.972
					s	7.11	8.38	8.52	82	1.707
mean	71	69	53	152.5	f	3.23	3.77	3.83	71	0.896
					s	6.39	7.56	7.70	75	1.902
s/f						1.98	2.01	2.01	1.1	2.12

* A : momentary elastic deformation. B : intersection of tangent line and Y-axis.

C : point of equilibrium. T : time of equilibrium. a : slope of tangent line.

Table 6. Factor of used tubers in test No. 1

variety	load (kg)	shape of tuber (mm)			weight of tuber (g)			moisture cont	
		longitudinal axis dia.	latitudinal axis dia.	thickness	initial of loading	final of loading	6 days after unloading	initial (%)	final (%)
Toyoshiro	20	93.7	67.0	48.9	185.82	184.43	183.50	79.84	79.59
	26	97.2	62.0	46.8	167.90	166.80	165.98		
	29	92.9	67.2	46.6	171.28	170.05	169.16		
Danshakuimo	20	87.0	68.8	51.8	183.45	182.81	182.32	80.48	80.34
	26	87.0	67.9	55.0	188.34	187.28	186.54		
	29	78.6	72.2	52.5	186.39	185.83	185.37		
Norin No. 1	20	66.0	60.6	43.0	109.53	108.69	108.15	79.63	78.37
	26	63.7	56.6	40.6	91.37	90.63	90.09		
	29	63.4	59.4	46.8	103.13	102.38	101.98		

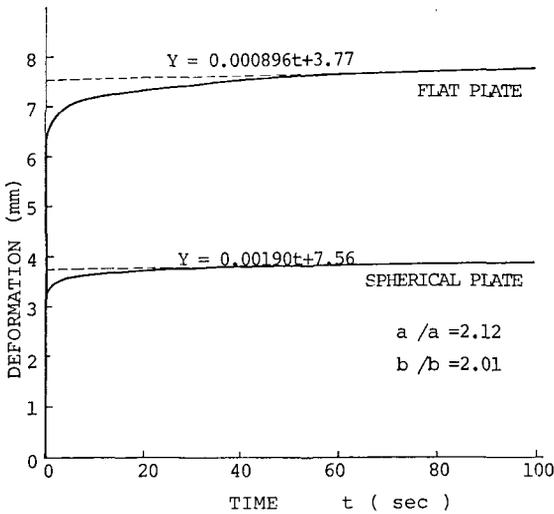


Fig. 8. Comparison of deformation between the two plates, flat plate and spherical plate. (Danshakuimo, Longitudinal axis dia.: 70.8 mm (mean), Latitudinal axis dia.: 68.7 mm (mean), Thickness: 53.3 mm (mean), Weight: 152.53 g (mean)).

形量の関係を示したものである。また、供試体の大きさによる影響を少なくするために、初期厚さ (L_0) に対する変形分 (L) の比である変形率 (歪) を求め、経過日数との関係で示したのが Fig. 10 である。これらによると、載荷後極く短期間で 2~4 mm 程度一挙に変形し、5日目ぐらいまで著しい変形量の増加が見られ、その後徐々に増加量が減少するクリープ現象を呈した。平板圧縮の場合、15日経過したところにクリープ平衡点に達し、増加勾配は緩やかな、かつ直線的な傾向になった。荷重の相違と変形の大きさには明確な差はあるものの、一定の関係とはならなかった。ダンシャクの変形が、農林1号、トヨシロに比べて小さく、この2品種の常に60~65%の変形にとどまった。この実験の範囲では農林1号、トヨシロはほぼ同じような傾向を示した。

43日経過した後の荷重除去後は急速に復元し、5日目ぐらいで荷重除去前の変形量の40~60%復元して、寸法上では残留変形はあるものの、平板圧縮の場合は外見的にほとんど見分けられないまでになった。

Fig. 11 は57年1月25日に載荷を開始し(第2回)、ほぼ120日間の圧縮変形を測定した結果であり、第1回目と同様の3品種について行ったものである。載荷初期の急激な変形やその後の漸減傾向等、変形曲線の特徴的傾向は第1回目と変りがないが、実験時期の遅い(収穫

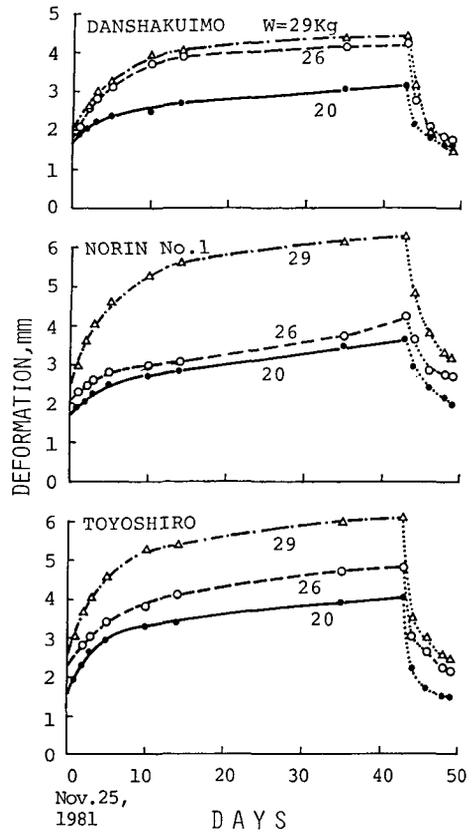


Fig. 9. Deformation of three varieties during load by flat plate and after unloading (Test No. 1).

後の2回目の変形量が、同一経過日数で比較すると第1回目よりも大きくなっている。3品種とも、変形量の大きさが載荷重の大きさの順になっておらず、個体差の要因がきわめて大きいことが示された。第1回目実験の約3倍の120日間の載荷期間であったが、変形は停止することなく確実に増加する結果となった。載荷直後の数時間内の変形を詳細に見るために細かに測定した結果を、一例としてダンシャクのグラフの図中に加えた。それによると、載荷直後に瞬間的に2.3~3.5 mmの変形が起っていたことが分かる。この初期の変形の大きさの相違が、その後の経過においても、その順序がほぼ変わりなく進行することが特徴的に現われた。このことは、実験法として短期間の静的載荷実験において荷重と変形の関係がほぼ推察できるのではないかという、重要な意味を示唆していると考えられる。

次に、荷重除去後の復元を見ると、1週間後で2~3 mm となっており、第1回目のそれと絶対量で同程度か若干

Table 7. Factor of used tubers in test No. 2

variety	load (kg)	shape of tuber (mm)			tuber weight (g)			moisture cont.	
		longitudinal axis dia.	latitudinal axis dia.	thickness	initial of loading	final of loading	7 days after unloading	initial (%)	final (%)
Toyoshiro	20	105.2	68.4	46.3	193.96	191.30	188.42	79.69	78.36
	23	87.9	64.1	46.3	150.64	147.80	145.34		
	26	107.9	73.0	50.4	236.83	210.47	207.46		
	29	104.4	68.7	45.1	197.88	195.26	192.17		
Danshakuimo	20	84.6	74.8	67.7	204.07	202.75	201.12	78.37	81.22
	23	87.5	74.8	61.9	214.38	212.89	211.43		
	26	73.3	67.2	52.2	164.35	163.23	161.56		
	29	74.4	62.2	52.3	145.68	144.39	143.24		
Norin No. 1	20	83.1	63.9	56.4	208.62	205.76	202.99	79.62	77.10
	23	70.0	69.3	56.1	162.05	159.25	157.34		
	26	73.1	67.7	48.9	143.83	140.41	138.56		
	29	68.4	63.1	50.8	136.66	134.77	132.50		

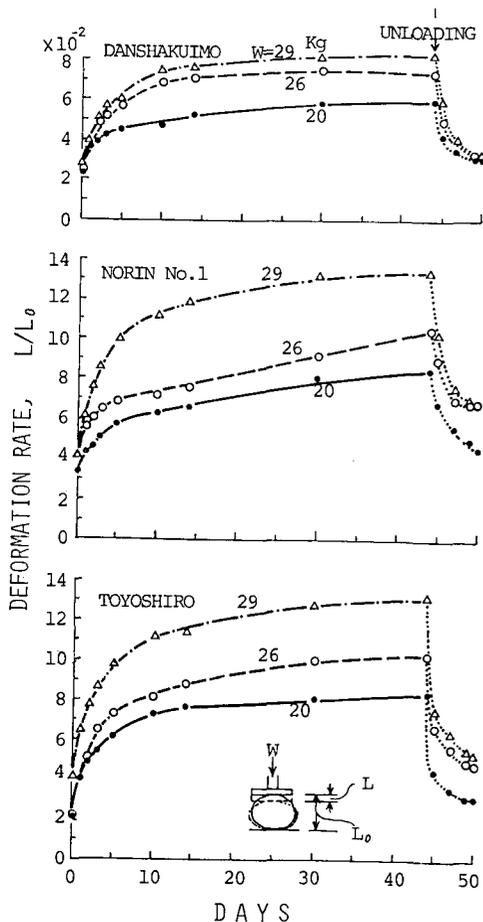


Fig. 10. Deformation rate on the potatoes of three varieties during load by plate and after unloading. (Temperature and humidity, loading: 5°C, 95%, after loading: 15°C, 75%).

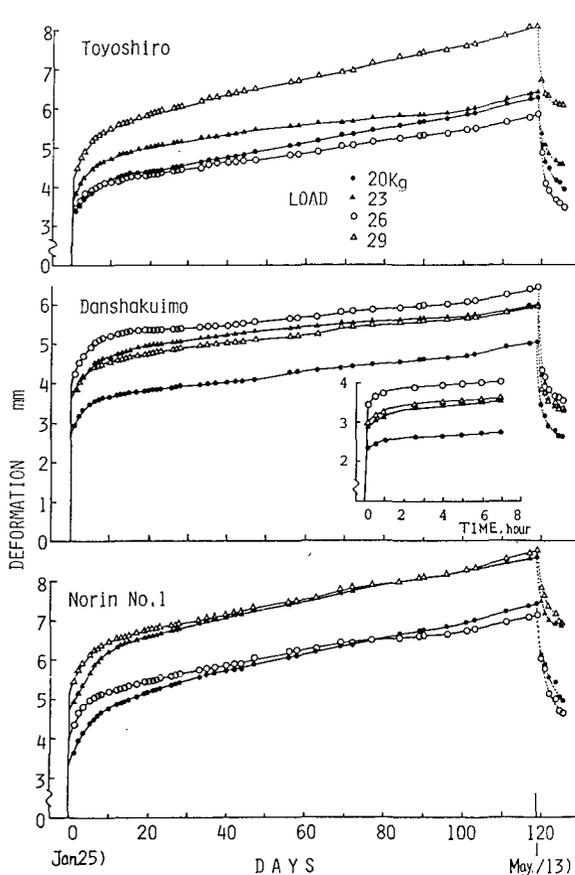


Fig. 11. Deformation curves of three varieties of the potato under static load with plate and recovery after unloading (Test No. 2).

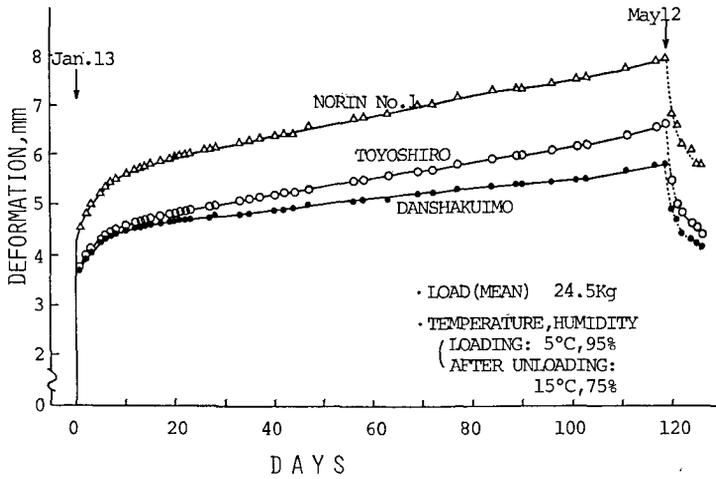


Fig. 12. Deformation of three varieties with flat plate (Test No. 2).

Table 8. Used tubers in creep test with spherical plate (Test No. 3)

variety	load (kg)	r of curved plate (mm)	shape of tuber (mm)			tuber weight (g)	
			longitudinal axis dia.	latitudinal axis dia.	thickness	initial of loading	final of loading
Danshakuimo	10	25.0	72.2	64.7	47.7	128.31	127.44
	15		79.0	65.0	53.4	167.36	166.73
	20		70.7	70.5	56.9	148.57	147.61
	10	37.5	75.7	69.3	60.7	163.61	162.52
	15		71.4	64.2	50.7	132.59	132.00
	20		77.1	67.2	57.1	176.50	175.47
	10	50.0	74.3	72.3	69.2	192.58	191.22
	15		75.8	66.9	52.4	149.23	148.62
	20		79.2	76.9	62.2	213.30	211.96
(mean)			75.0	68.9	56.7	163.56	162.62
Toyoshiro	10	25.0	84.7	63.8	44.9	143.98	142.67
	15		85.1	65.6	49.2	153.30	152.15
	20		97.4	57.9	39.2	135.74	134.23
	10	37.5	96.0	65.9	42.1	168.32	166.11
	15		87.3	68.6	51.7	174.58	173.20
	20		96.3	65.9	42.1	169.99	168.52
	10	50.0	95.7	63.3	44.6	165.92	164.29
	15		85.4	77.9	48.0	164.04	162.61
	20		95.2	63.8	43.0	159.18	157.36
(mean)			91.5	65.9	45.0	159.45	157.90

少なくなっている。すなわち、载荷期間が長く、変形量が大きくなった場合は残留変形量も大きくなると言える。

品種間の変形過程を比較するために、载荷重が異なる結果であるが単純に平均して示したのが Fig. 12 である。それによると、ダンシャクの変形量が他の2品種に比べて小さく、特に経過日数とともに増加する変形量の勾配が小さくなっている。このことは第1回目の結果と同様となった。なお、実験終了後、塊茎を切断して変形部分の内部断面を観察したが、変色、変質等は認められなかった。

(2) 球冠圧縮について

バレイショ同志の押し合いを想定して、圧縮板に取り付けた球冠をバレイショに当てて载荷し、経過日数と変形量の関係を測定した。56年収穫のダンシャク、トヨシロを供試して行った第3回実験 (Table 1) では球冠を片面

だけとし、接触部分の変形した深さ (最大深) を測定し、全体的な変形は度外視している。57年産ダンシャクを用いて行った4, 5, 6回目の実験は、上下同一の曲率を持つ球冠を押し当て、ダイヤルゲージによって全体の変形量を計測している。

Table 8 は第3回目実験に供したバレイショと载荷の条件を示したものである。両品種の形状を比較すると、トヨシロの方が長径が長く、厚みにおいては小さい扁平状である。実験前後の重量比をみると、同一環境条件にもかかわらず、トヨシロの重量減がダンシャクに比べ総ての個体で大きくなった。この点は後述する変形量の相違と相互に関係していることが推察される。Fig. 13 は両品種について、球冠の曲率半径および载荷重別に測定結果を示したものである。2品種を比較すると、トヨシロがダンシャクに比べて変形量は大きく、クリープ平衡点に達した後の変形増加勾配が明らかに大きいことが分

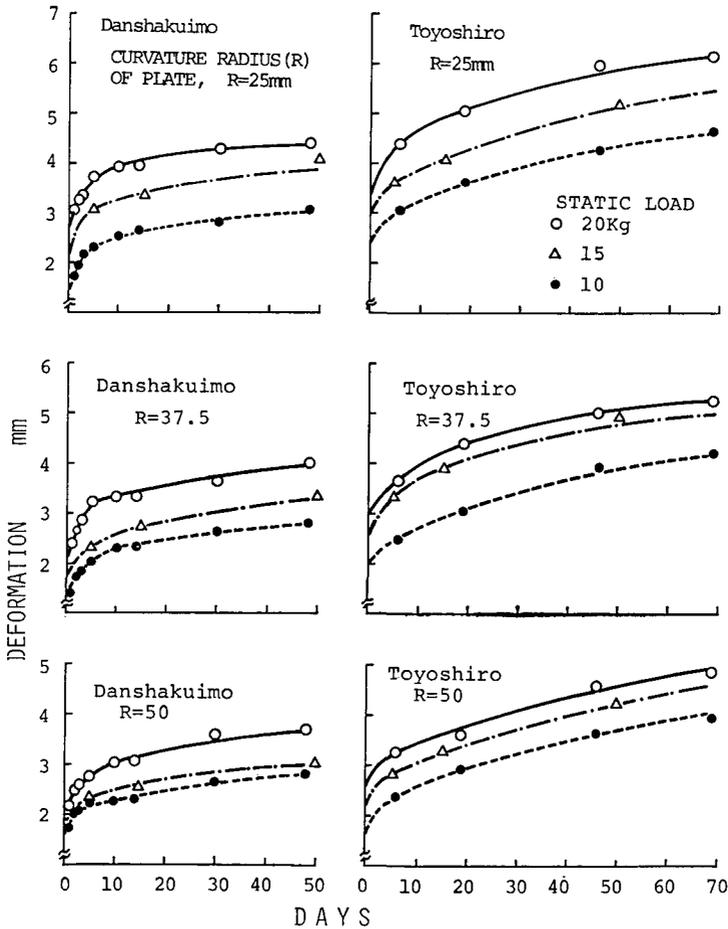


Fig. 13. Deformation under various static loads by spherical plate.

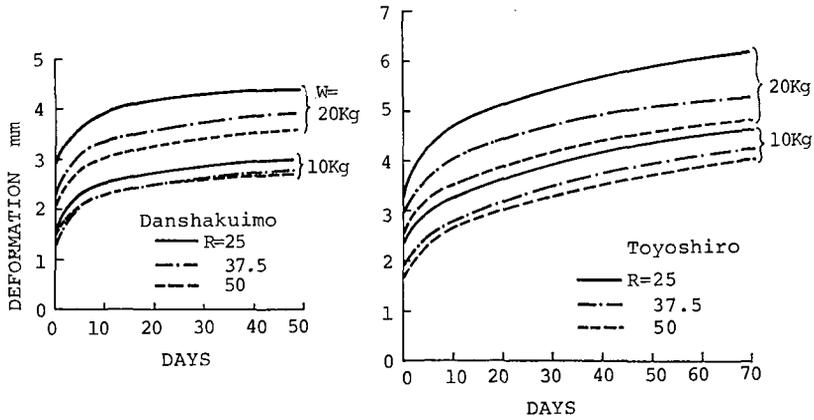


Fig. 14. Relationship between radius curvature of plate and deformation.

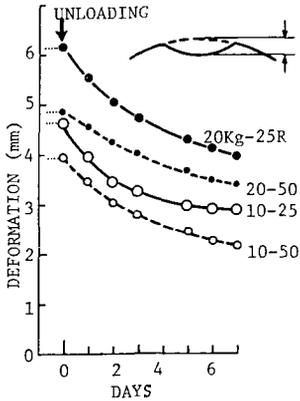


Fig. 15. Recovery after unloading at 15°C and 75% relative humidity.

った。この点は平板圧縮での結果と同一の傾向であり、貯蔵期間が長くなった場合の変形量の相違は大差を生むことになる。Fig. 14 は曲率半径の相違による特徴を見るために前図をならべ替えたものである。曲率半径が小さくなる程凹みが深く進行し、かつ荷重が大きくなる程曲率半径の相違による影響が大きく現れることが分った。Fig. 15 は荷重除去後の復元の測定結果であるが、プレートのときに比べて復元の進行は緩慢であった。変形を受けた部分は若干の変色が起こり、軟化し、実際の貯蔵庫で発生する圧損（フラットいも）にきわめて類似した症状を呈した。しかし、ここまでのプレート圧縮および球冠圧縮の両試験を通じて、詳細に観察したが皮下黒変（斑）の発生は見られず、圧損と皮下黒変（斑）の両者の因果関係をこの段階で見ると至らなかつた。以上のことから、荷重重、期間、湿度条件等を変えた実験の必要

から以降の実験を継続させた。

57年産ダンジャク（大曲ホクレン実験圃）を用いて貯蔵湿度条件、荷重期間、荷重重を変えて行ったのが、以下に述べる実験4、5、6である。個体間のバラツキを極力少なくするために、前述のごとく供試バレイショは収穫時に150g台のものを選別し、荷重（20kg）瞬時のプレート圧縮による変形特性の類似したものをさらに抜き出し供試した。供試個体の条件を実験条件と合せてTable 9に示した。実験番号6の供試バレイショ重量は収穫時には150g台であったが、実験開始の1月31日には150gをすでに割ったものもある。プレート圧縮での変形特性の似たものを選抜するのに、荷重10秒後の変形量で比較して行っており、表には変形指標として示した。Fig. 16は186日間の長期荷重実験による変形量の経過であり（第4回実験）、湿度条件と荷重別を示した。実験は2反復行ったものであるが、それによると、荷重重の違いは変形量の相違として明白に現れており、しかも荷重の相違による荷重瞬間の変形量の差はそれ以後拡大する傾向にあった。次に環境湿度の違いによる変形量への影響を見ると、75% R. H. で設定された低湿度条件の方は、変形量の増加勾配が95% R. H. に設定されたものに比べて明らかに大きく、荷重当初は同程度の変形量であったものも経過日数とともに大きな差となった。このことは、実態調査の中でも、加湿設備を有して湿度管理を適切に行っているか否かが変形損傷にとっていかに重要であるかを指摘したが、この点からも再度確認された。本実験は6カ月以上という長期に亘るもので、一般的な貯蔵においても最も長い期間に類するものと言えるが、130日付近（3月中旬）から変形の増加勾配がいずれの個体もさらに強まり、曲線的な変形量の上

Table 9. Used tubers in creep test with spherical plate (Test No. 4-6)

test No.	temperature, relative humidity	load (kg)	shape of tuber (mm)			tuber weight (g)		index of deformation* (mm)
			longitudinal axis dia.	latitudinal axis dia.	thickness	initial of loading	final of loading	
4 (Oct. 20, 1982- Apr. 25, 1983)	5°C, 95%	20	72	68	55	157.36	154.75	4.06
		"	77	68	55	159.86	157.27	4.15
		25	69	68	53	150.40	146.85	4.10
		"	71	71	58	157.20	151.75	4.10
		30	76	68	58	153.48	149.77	4.08
	"	66	66	58	152.51	145.21	4.14	
	5°C, 75%	20	74	64	54	155.56	147.67	4.10
		"	72	68	56	151.81	142.97	4.23
		25	72	68	57	157.44	148.70	4.10
		"	71	70	54	153.89	144.81	4.24
30		72	70	57	155.32	141.19	4.12	
"	66	70	55	155.34	140.32	4.19		
5 (Oct. 20, 1982- Jan. 19, 1983)	5°C, 95%	20	75	69	55	157.34	154.83	3.78
		25	71	68	56	155.94	153.44	3.87
		30	74	68	55	151.06	147.83	3.84
	5°C, 75%	20	69	66	55	158.15	153.93	3.93
		25	72	67	56	159.44	153.53	3.84
		30	69	68	57	153.10	142.42	3.85
6 (Jan. 31, 1983- Apr. 25, 1983)	5°C, 95%	20	71	70	53	151.17	149.22	3.65
		25	70	65	52	148.48	146.96	3.58
		30	69	70	54	150.15	146.97	3.60
	5°C, 75%	20	76	65	54	146.59	141.14	3.55
		25	69	67	55	149.68	144.11	3.60
		30	68	65	55	148.61	142.52	3.61

* Deformation at ten seconds after loading of 20 kg with flat plate.

昇がうかがえる。休眠明けにともなって、この時期になって生理的退化が進むものと考えられる。

Fig. 17 は載荷期間を前回実験の約半分の90日とした時の結果であり、そのうち第5回実験は第4回と同時に開始し、1月中旬まで、第6回実験は1月下旬(試料はその時まで5°C, 95% R. H. で貯蔵)から4月下旬まで行ったものである。両結果とも、湿度条件の相違が変形量増加の勾配の違いとして一層明確に現れている。また、載荷時期の違いを両グラフから見ると、初期の変形量か

らその後の変形量の増加傾向は基本的に大差はないが、前述したように3月中旬(40日以降)からの生理的退化現象と思われる影響によって変形量の増大を招いており、結果的に第6回実験の方が第5回よりも全体的に大きな変形量となった。

以上のようなことから、荷重を受けたバレイシヨの変形を左右する条件として、荷重の大きさ、載荷期間はもちろんのこと、湿度条件が大きいと言える。また、長期貯蔵の場合のバレイシヨ自身の生理的变化も大きな要因

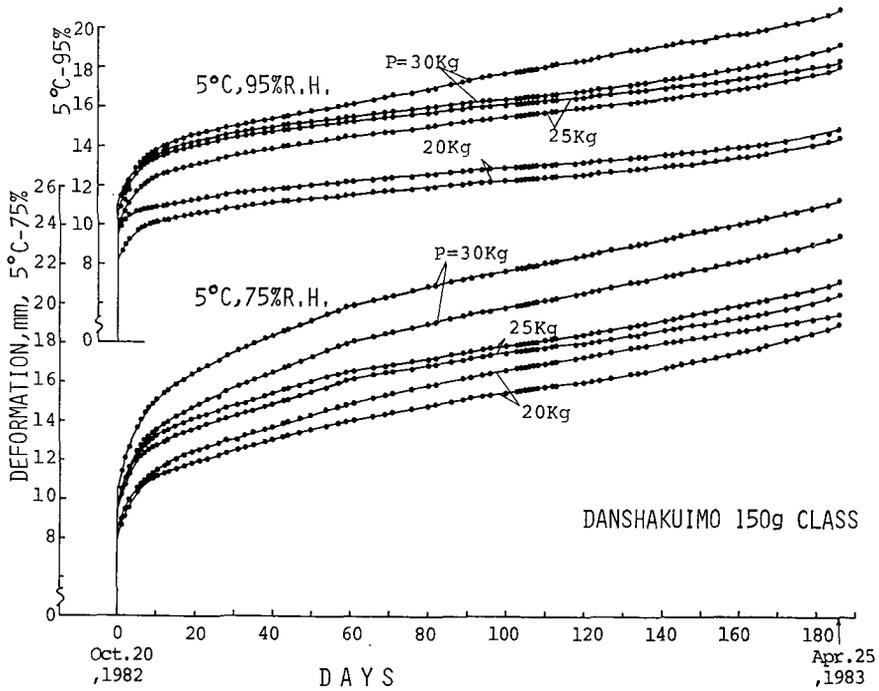


Fig. 16. Deformation of Danshakuimo under various static load for 186 days at humidity of 75% and 95% (Test No. 4).

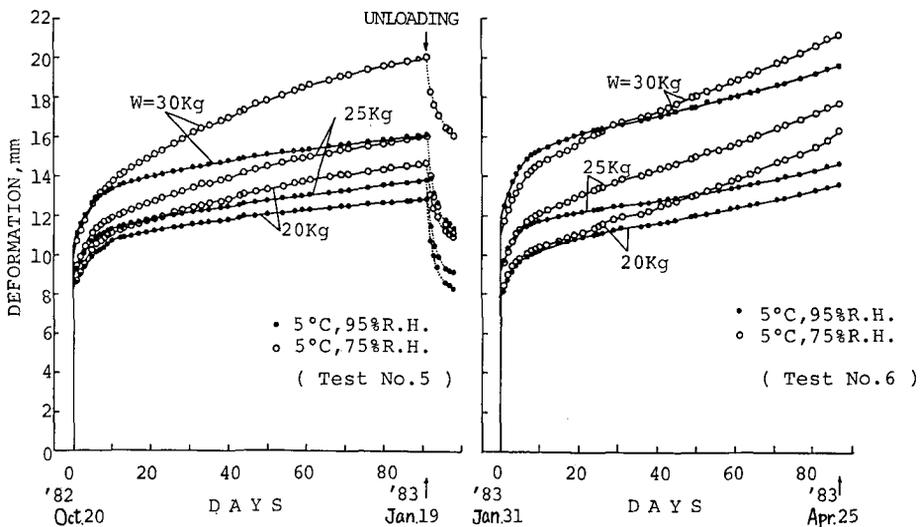


Fig. 17. Deformation of Danshakuimo under various static load at humidity of 75% and 95% (Test No. 5, 6).

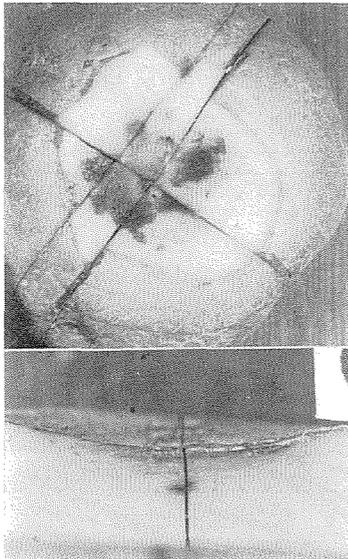
となることが考えられる。

次に質的变化についてである。長期貯蔵の中で強い圧損を受けたパレイシヨ内部の周皮近くに変色や変質を起している部分が発生することは実態調査の中で確認され

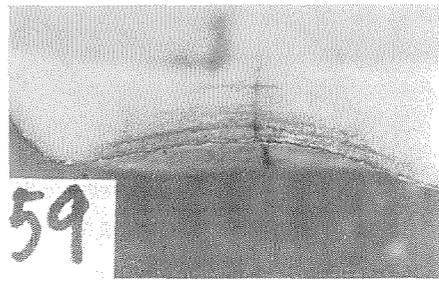
た。この载荷実験においても、そうした損傷部分の発生を調べるために、復元調査後のパレイシヨをカットし観察した。前述した実験1, 2の平板圧縮, 実験3の球冠圧縮(载荷重10~20kg, 期間約50日前後)では変質変色



a) Upper side; 5°C, 95%. Under side; 5°C, 75%.



b) 5°C, 75% 25 kg



c) 5°C, 75%, 30 kg

Fig. 18. Tubers and interior after the static load test (TestNo. 4, 188 days).

等の発生は認められなかった。しかし、載荷重を20～30 kgとした実験4, 5, 6では現地調査で見られた変質に類似するような損傷の発生が認められた。特に重荷重、低湿度条件(75% R. H. 設定)で損傷程度が大きくなった。Fig. 18は6カ月の長期載荷実験(4)を行い、復元期間(1週間)を経た後のバレイショの一例である。a)は外観上の圧損であり、残留変形の大きいことが認められる。b)はそのうちの75%湿度条件で25 kg載荷したものの断面と損傷部をピーリングしたものである。断面では層状に黒褐色の変色部と白く変質した部分が若干観られた。ピーリングすると茶褐色で、範囲は広く分布していた。c)は30 kg載荷のもので、b)で見られた状況

がさらに大きく、かつ黒色が強くなり、維管束に平行な層状の変色線がより明確になった。

IV. 摘 要

貯蔵時の堆積によって長時間受ける圧縮荷重と変形損傷について、品種や貯蔵環境条件等いくつかの要因との関係を実験的に明らかにしようと、死荷重を与えた静的載荷実験とテストピース(20φ×40 mm長)を用いてその破かい強度を求める準静的実験を行った。その中から得られた結果の概要は以下のとおりである。

1) ダンジャク、トヨシロ、ユキジロの3品種について準静的実験を行ったが、品種間、約1カ月の収穫時期

の相違、および2カ月間貯蔵したもの等の間には破かい強度、破かいエネルギーにおいて有意な差は認められなかった。収穫時期の相違がパレイシヨの周皮部分に変化が大きいことが予想され、テストピースに供試した塊茎中部には強度に影響する変化が現れなかったと考えられる。

2) パレイシヨ塊茎に静的荷重を与えたときの変形の過程はクリープ現象を呈する。載荷瞬間の変形量は塊茎の曲率半径の小さい程大きく、供試した3品種についてはダンシャクが最も大きく、ユキジロ、トヨシロの順となった。しかし、その後の変形量の増加勾配は、トヨシロが最も大きく、ユキジロ、ダンシャクの順となった。

3) 静的載荷において、同一パレイシヨに対しパレイシヨとの接触部を平板のものと25Rの曲率をもつ球冠(いずれも上下共)を用いたところ、瞬間的変形量およびクリープ平衡点の接線勾配は球冠の場合平板の約2倍の値となった。

4) 5°C、90~95%の関係湿度の環境条件下で、長期間平板による載荷実験を行ったところ、ダンシャクの変形が農林1号、トヨシロに比べて小さくなった。また、球冠圧縮においてもトヨシロに比べダンシャクの変形量は小さくなった。

5) 95%と75%の関係湿度の条件下で曲率球冠による長期載荷実験(90~180日)を行ったところ、いずれの場合も75%の方が95%に比べ、経過日数に対する変形量の増加勾配が大きく、その差は明確かつ大差となった。

引用文献

1. BISHOP, C. F. H. and MAUNDER, W. F.: Potato mechanization and storage, A Farming Press, 130-151. 1980
2. CARGILL, B. F.: The potato storage, Michigan State Univ., 1977
3. 堂腰 純: 馬鈴薯の皮下黒変に関する調査結果報告. 1980
4. 北海道澱粉工業会: ばれいしょの機械化栽培と貯蔵施設.
5. 北海道農務部畑作振興課: 北海道における馬鈴しょの概況. 1982
6. 伊藤道秋, 今野繁雄, 岡村俊民, 星久保正一, 中野正之, 佐藤雅紀: パレイシヨの損傷に関する研究. 農業機械学会北海道支部会報 23号, 91-97. 1982
7. 加工馬鈴薯品質研究会: 加工馬鈴薯の品質に関する試験成績(第2報). 1982
8. RASTOVSKI, A.: Storage of potatoes, 149-166. 1981
9. 田口啓作, 村山大記: 馬鈴薯, グリーンダイセン普

及会, 440-458. 1977

10. 十勝農業機械化懇話会: 農業機械化と生産物の品質, 1981

Summary

The static load tests with potato tubers under dead load as a clue to elucidate the relationship between varieties or storage condition and deformation which was caused by compressive load under storage pile and the quasi-static load tests with the test pieces for measure of destructive stress were conducted. The results obtained are summarized as follows:

1) According to the results of the quasi-static tests on Danshakuimo, Toyoshiro and Yukiziro, there was no significant difference of the destructive stress or energy between the three varieties.

There were no effects of different harvested time for a month and storage for two months too. It can be considered that difference of the harvesting time have not direct effects upon the strength of interior of the tubers.

2) Under the static load, the mechanics of the force-deformation relationship of the tuber was a creep phenomenon. On the deformation at the moment of loading, it of Danshakuimo was the most, next was Yukiziro and third was Toyoshiro. On the increased rate of deformation since then, Toyoshiro was the most value, next was Yukiziro and third was Danshakuimo.

3) Under the static load which was produced by a flat plate and spherical plate with radius of curvature 25 mm for same tuber, case of the spherical plate showed a value double as much as the flat plate on the deformation at the moment of loading and the tangent of equilibrated creep.

4) Under air condition of 5°C and 90~95% R. H., when loading by the flat plate for a long period (such as above three months), the deformation of Danshakuimo was small value comparing with Norin No. 1 or Toyoshiro.

Danshakuimo was smaller deformation than Toyoshiro in case of the spherical plate, too.

5) Under the air condition 95% R. H. and 75% R. H. (any 5°C), when loading by the spherical plate for 90~180 days, case of 75% R. H. was more value than 95% R. H. in all case on the rate of increase of deformation to the day elapsed and a large difference between the two cases was recognized.