

バイндаの研究(第3報)： 稲わらの圧縮性と復元性

松尾, 昌樹
九州大学農学部農業機械学教室

守島, 正太郎
九州大学農学部農業機械学教室

<https://doi.org/10.15017/23133>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 27 (3/4), pp.123-132, 1973-07. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：



バインダの研究(第3報)

稲わらの圧縮性と復元性*

松尾昌樹・守島正太郎

九州大学農学部農業機械学教室

(1972年9月5日受理)

The Studies on Grain Binder

III. The Characteristics of Compression and Restoration of Rice Straws

MASAKI MATSUO and SYOTARO MORISHIMA

Laboratory of Farm Machinery, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka

I. 緒言

バインダに関する各部所要動力の実測結果から(1970 a, 1970 b), 結束部の所要動力, 特に結束時のそれは全所要動力の半分以上を占め, かつその変動が極めて激しいこと, その主因がパッカーやニードルによるわらの圧縮にあることなどが判明した。また, その結束部の機構は複雑で故障も多く, 改良の余地があると思われた。

結束時におけるパッカー, ニードルによるわら押しつけにおいて, 既製の機構が適正か否か, すなわち, 結んだわら束から, わらが抜けにくい最小締付力(復元力)を得るに必要な圧縮率の最小値を見出すことを目的として, まず稲わら束の圧縮性, 復元性などに関する基礎実験を行なった。

結束部での結束時を想定したわら類の圧縮性については, 江崎・入江(1960)は, わら束になわかひをもひと巻きして荷重をかけたときと, 除去後の周長変化から縮み率と復元率を求めており, また須藤ら(1962)は, 稲束のゆるみとして, 束を3kgで圧縮したときの束の表面と結束ひもとの間隙で表わしているが, ここではバインダでの結束時の動作が, パッカー, ニードル, ドアなど金属片による圧縮であることと, 結束機構からみて, わら束の圧縮性と復元性を異なつた観

点から考察すべく, 結束部の構造によつて変化する束の横断面形状を, 円, 三角, 四角の3種とし, 円形のみその大きさを変えた金属製加圧容器を用い, 加圧速度, 含水率なども変えて実験した。

本文をまとめるにあたり, 御協力いただいた当時の学生西山博雄君, 器具製作と供試わらの入手に御便宜をいただいた久保田鉄工KKと勝山工作所に深く感謝する。

II. 実験装置と方法

1. 圧縮試験機

使用した加圧機は東洋測器社製テンシロン UTM 7型で, 最大圧縮容量は100 kg, 加圧速度は15~60cm/minで, 中央移動板チャックに圧縮用ロードセルを取りつけ, さらにその下部に後記の加圧板をねじ止めた。上下停止位置はあらかじめ設定可能で, 移動距離と圧力が自記できる。

2. 圧縮容器

Fig. 1のような下部受器と上部加圧板からなり, 上記テンシロンの底台上に固定した受器は, 厚さ4mmの鉄板製で, 三角, 四角, 小円, 大円の4種を用いた。受器の奥行きはいずれも200mm, 加圧板の幅は40mmで, 三角型では中央に幅40mmの切欠きをはば深さの半分まで切り込んだ。

* 昭和46年4月農業機械学会第30回総会で一部発表。

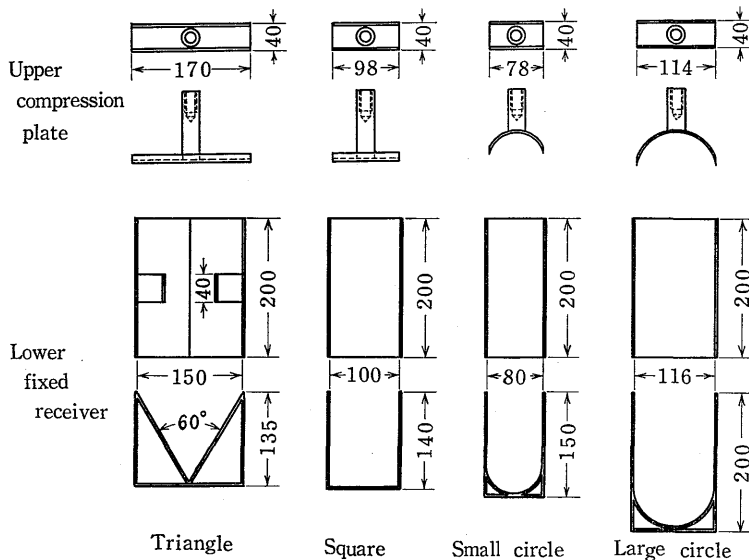


Fig. 1. Four types of compression vessel.

3. 供試材料

稲の品種はホウヨクで、福岡県中間市砂山において刈取適期より約6日後のものを手刈りしたあと、すぐ脱穀し、刈取直後(含水率68.9%), 1日後(65.0%), 5日後(14.4%)の3段階のものを供試した。バインダでの結束位置が地上高15~20cmであることから、その付近に圧縮箇所を設定するため、地上約10cmのところで刈取り、地上高30cmのところで切断し、わらの長さを20cmに揃えて供試した。また同一実験日中での含水率変化を防ぐためビニール袋を用いた。

4. 実験方法

わらを受器の奥行方向に均一に揃えて、圧縮前の横断面積を三角、四角、小円では100 cm²、大円では200 cm²になるよう、かつ、わらの上表面を水平にして横たえた。このため、あらかじめ受器の側壁にマークをつけた。この際、初期条件を一定にする意味で、重量を一定にするとか、本数を一定にするなどの方法も考えられるが、いずれも横断面積との間にはかなりのバラツキがあり、結局、断面積を一定にする方法を採用した。

次に加圧板の圧縮速度(加圧板下降速度) v は15, 30, 45, 60 cm/minの4種に変え、わらの軸線に直角な方向に加圧し、そのときの圧縮応力の変化と最大圧縮応力を求めた。市販バインダのニードルの周速度は、最高が約4.8 m/sec、作用中の平均速度は約2.23 m/sec とかなりの高速であるため、それらの速度近

辺で実測するのが实际的であろうが、テンシロンの能力上の制限から、前述のような低速を用いざるを得なかった。

次に、圧縮速度を45 cm/minに一定し、圧縮率を12.5% (圧縮比で1.25), 25.0% (1.50), 37.5% (1.75), 50.0% (2.00)の4段に変えて、そのときの最大圧縮応力、圧縮曲線と応力緩和曲線、緩和弾性率、復元力、復元強度などの変化を含水率変化(経日変化)、横断面の形状と大きさなどとの関連で比較検討した。

ここに圧縮率および圧縮比とは、

$$\text{圧縮率}(c) = \frac{\text{圧縮断面積}(A_1)}{\text{初期断面積}(A_0)} \times 100 = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \times 100(\%) \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{圧縮比}(c_r) = \frac{\text{初期断面積}(A_0)}{\text{残留断面積}(A_2)} = \frac{A_1 + A_2}{A_2} \quad \dots\dots (2)$$

ここで圧縮断面積とは圧縮量のこと、圧縮率50%とは、100 cm²の断面積の束なら半分の50 cm²まで圧縮することを意味する。

ある条件のもとに加圧板を下降し圧縮して、ある所定の圧縮率になる点で停止させ、そのまま圧縮力変化を記録する。さらに、ある所定の圧縮率を与える点まで加圧板を下降させたのち、直ちに同一速度で、ある距離まで上昇させ停止させたときの応力の変化をみた。なお、供試わらは実験ごとに新しいものを用いて行なった。

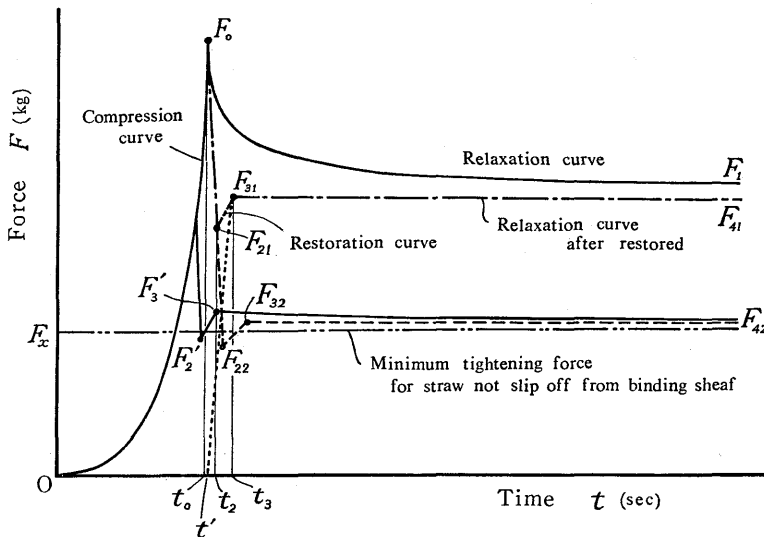


Fig. 2. Changes of each force at compression, restoration and relaxation of rice straws.

- F_0 : Compression force at a desired compression point.
 F_2 : Pushing force of straws to the compression upper plate when it returned from the point F_0 to a desired halfway point with lower returning speed than the restoring speed of straw and stopped at the point.
 F_3 : Initial force of relaxation curve after restoration, that is, pushing force of straws to the plate when the influence of relaxation to the restoration action of straws began.
 F_4 : Pushing force after one minute from point F_2 .

III. 実験結果と考察

1. 理論的アプローチ

ある条件下で上記の加圧板上下移動に伴う力（または応力）の変化を例示すると Fig. 2 のようになる。すなわち、加圧板をわら束に接した時点 O から、ある所定の圧縮率のところまで下降圧縮させると、圧縮力 F は急増し、圧縮曲線を書いて最大圧縮力 F_0 に達する。その点で停止を続けると、加圧板を押上げる力は、わらのレオロジカルな性質により急減後漸減して $F_0 \sim F_1$ のような緩和曲線を書く。一方、 F_0 に達すると同時に、直ちに加圧板を圧縮速度と同一の速度で、ある所定の復元率の距離まで上昇させるに従い、時間 t_0 から t_2 間に力は F_0 から F_{21} まで急降下（沿直でなく急傾斜をもつ）し、上昇を停止すると同時に、 F_{21} から力は増加し（ $F_{21} \sim F_{31}$ 間を復元曲線と呼ぶ）、ある点 F_{31} にいたると応力緩和の方が復元力より優位になり、結果的に F_{31} を境として以後 F_{41} までゆるい傾斜ではば直線状の減少曲線を書く（これを

復元後の緩和曲線と呼ぶ）。

ここで復元率とは、

$$\text{復元率}(\eta) = \frac{\text{戻し断面積}(A_3)}{\text{圧縮断面積}(A_1)} \times 100 (\%) \quad \dots\dots (3)$$

また復元強度（復元力増加速度）を次のごとく定義する。

$$\text{復元強度}(V_R) = \frac{F_{31} - F_{21}}{t_3 - t_2} \text{ (kg/sec)} \quad \dots\dots (4)$$

本実験においては圧縮率も小さく、加圧板移動速度 v がわら束の復元（膨脹）速度 v_R より遅いため、加圧板の上昇中、常にわら束がわずかに板を押上げていて、上記のような $F_0 \sim F_{21}$ 直線を描いたが、 $v > v_R$ であれば、応力は F_0 から垂直に降下し（ $F_0 t_0$ 直線を描き）ゼロとなる。上部へ先行して待っている加圧板にわら束が追いつくまでの時間（ $t' - t_0$ ）秒後に、力はゼロから増加しはじめ、 $t' \sim F_{31}$ なる復元曲線を示すであろう。

ここで復元速度は、

$$\text{復元速度}(v_R) = \frac{\text{戻し行程}(H)}{t' - t_0} \text{ (cm/sec)}$$

..... (5)

いま、わら束結束後脱穀完了までに、わらが引抜かれないための最小締付力を F_x とすると、 F_x はわらの条件（品種、熟度、経日変化に伴う材質や含水率の変化、からみなど）により幾分異なるであろう。一方、バインダ結束においては、圧縮後にビル、ホルダでひもを結ぶが、結束後のゆるみによりわらは膨脹復元する。そのゆるみ量（復元率）はできるだけ少ないことが望ましいが、そのための最小限の締付力低下 $\bar{F}$ は避けられない。脱穀完了までのある日数間の復元後の緩曲線の最終締付力値 F_{42} が常に

$$F_{42} > F_x \quad \text{..... (6)}$$

であることが必要条件であり、これより、逆に復元曲線と復元後の緩曲線の交点 F_3' および復元曲線の始点 F_2' が実験の結果から推定できれば、

$$F_0' - F_2' \geq \bar{F} \quad \text{..... (7)}$$

なる条件式を満足するような F_0' 点を最大圧縮力とする圧縮率の最小値が求められ、わら束を必要以上に圧縮することによる動力の損失と復元力の減退を防止することができる。すなわち、必要な締付力 F_{42} を得るために F_0 まで必要以上に強く圧縮した場合、

$$F_0 - F_{22} > \bar{F} \quad \text{..... (8)}$$

であり、かなりの無駄があることがわかる。

2. 最大圧縮力

加圧速度 v を 45 cm/min に一定とし、刈取直後のわらにつき圧縮率を 4 段に変え、束形状と断面積の違いによる最大圧縮応力 $\sigma_{\max}$ の変化を示すと Fig. 3 のようになる。これより断面積同一の場合、 $\sigma_{\max}$ の大小は、

三角形 > 四角形 > 円形

となる。本試験法と現用バインダとの圧縮形態が同一であるとはいえないので、速断はできないが、市販品のなかにみられる三角状断面のものは不合理なことが推察できる。ただし、圧縮率小のときは四角形の方が円形より小となるのは、どの場合も最初にわら表面を水平に揃えたために、円形では不均一な変形が起るためと考えられる。

また、同じ円形で断面積 A を 2 倍にした場合に $\sigma_{\max}$ が幾分増加するのは、 $F_{\max}$ の増加に対し、断面積が 2 倍なら加圧板の水平面投影面積 a は 1.45 倍しかならず、従って相対的に断面積の大きい方が、次式で表わされる $\sigma_{\max}$ は幾分増加するにすぎないからである。

$$\sigma_{\max} = F_{\max}/a \quad \text{..... (9)}$$

ここに $F_{\max}$ は最大圧縮力。

一般に束形状、面積とも同一の場合は、いずれも圧縮率 c の増大に対し $\sigma_{\max}$ は指数関数的に増加する。

次に、圧縮速度を変えた場合の最大圧縮応力におよ

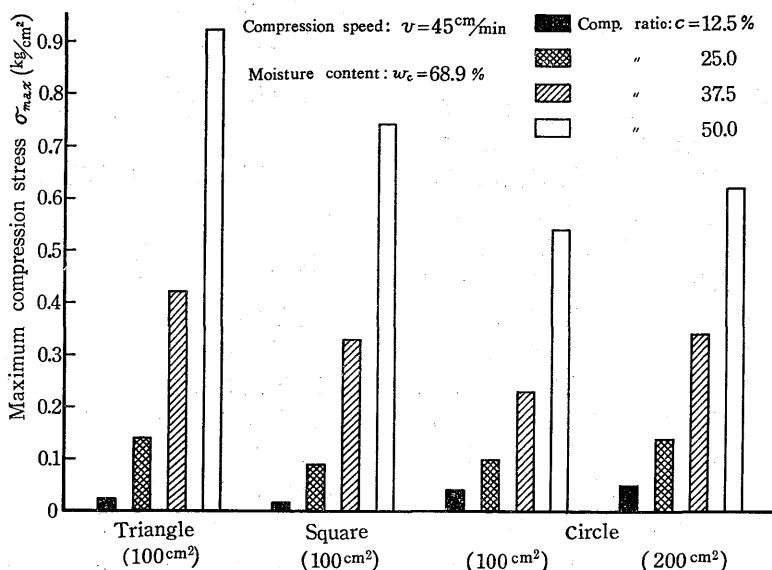


Fig. 3. Effect of shape and area of sheaf section and compression ratio on the maximum compression stress.

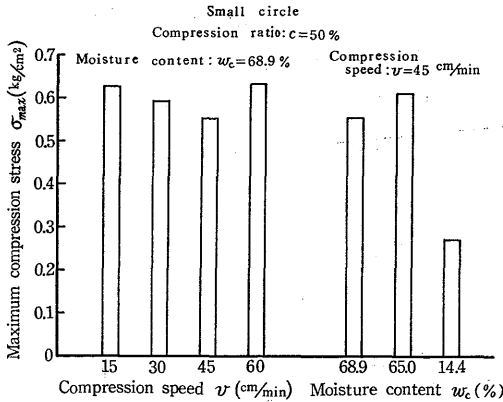


Fig. 4. Left: Effect of compression speed on the maximum compression stress.

Fig. 5. Right: Effect of moisture content of straw on the maximum compression stress.

ばす影響をみると、Fig. 4 のように、本実験条件のような微小変速範囲内では大差がないことがわかる。

次に、刈取後の日数変化による影響をみると、Fig. 5 のように、刈取直後（含水率 68.9 %）より 1 日後（65.0 %）の方が $\sigma_{\max}$ は大きく、さらに 5 日後（14.4 %）になると含水率とともに $\sigma_{\max}$ は急減（約半減）することがわかる。

3. 圧縮曲線

刈取直後に圧縮速度 $v = 45 \text{ cm/min}$ に一定として、断面形状や面積を変えた場合の各圧縮曲線（Fig. 2 の $O-F_c$ 曲線）の特性を調べるため、横軸に経過時間 $t(\text{sec})$ を、縦軸に各時間ごとの圧縮力 F_c の対数をとると、Fig. 6 のように直線となり、次式で表わされる。

$$F_c = \alpha \exp \beta t \quad \dots\dots(10)$$

ここで α は y 切片、 β は勾配を示す常数で、各圧縮率での $\sigma_{\max}$ の平均値も図示してある。四角形を例にとり、各測定値のバラツキを示すと小点の如くで、他の形状の場合もほぼ同様なバラツキがあった。

4. 応力緩和曲線

刈取直後の各断面形状と面積での緩和曲線の特性をみるため、横軸に経過時間 t 、縦軸に応力 σ のそれぞれ対数をとって図示すると、Fig. 7 のように両対数グラフで減少の直線となり、

$$\sigma = at_i^{-b} \quad \dots\dots(11)$$

なる式で表わされる（Table 1 参照）。

束形状、大きさ、圧縮比（率）が変わっても常数 b は常に同一で、 b は供試わらに固有のレオロジカルな特

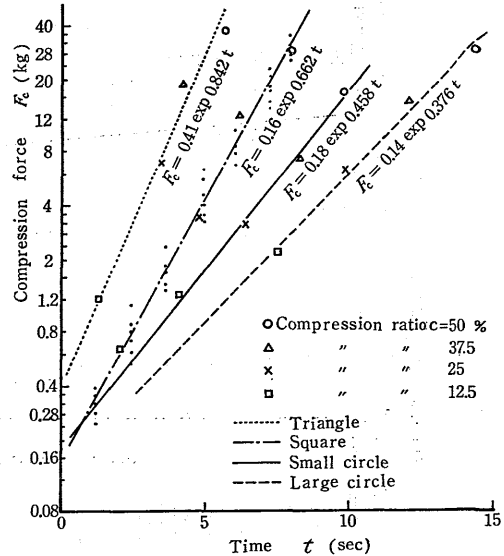


Fig. 6. Characteristic diagram of compression curves of straw sheaf.

Table 1. The a values of curves in Fig. 7.

Section form	ϵ_0	a	Section form	ϵ_0	a
Triangle	0.125	0.021	Small circle	0.125	0.05
	0.25	0.11		0.25	0.088
	0.375	0.31		0.375	0.19
	0.50	0.63		0.50	0.44
Square	0.125	0.016	Large circle	0.125	0.046
	0.25	0.082		0.25	0.125
	0.375	0.28		0.375	0.28
	0.50	0.60		0.50	0.52

$$\sigma = at_i^{-b}, \quad b = 0.075 \text{ (const.)}$$

性を示す値であることがわかる。 a は形状や圧縮率によって決定されるが、圧縮率 c の大なるほど大きい。

さらに、小円形で圧縮率 50 %（圧縮歪 0.5）の場合の経日変化（含水率変化）による影響をみると、Fig. 8 のごとくで、刈取 1 日後では b 値は直後と同一値を示し、そのレオロジカルな特性は変化しないが、5 日後になると傾斜が変ってゆるやかになり、その力学的特性が変わることがわかる。また、 y 切片 a の値は Fig. 5 と同様に 1 日後の方が直後より少し大きく、5 日後になると急減し、その剛さが急減することがわかる。

5. 緩和弾性率

わらのような粘弾性体においては、歪 ϵ を一定に保つに必要な応力 σ は時間とともに減少する傾向を示し、それを表示するのに弾性率 E を時間の連続減少

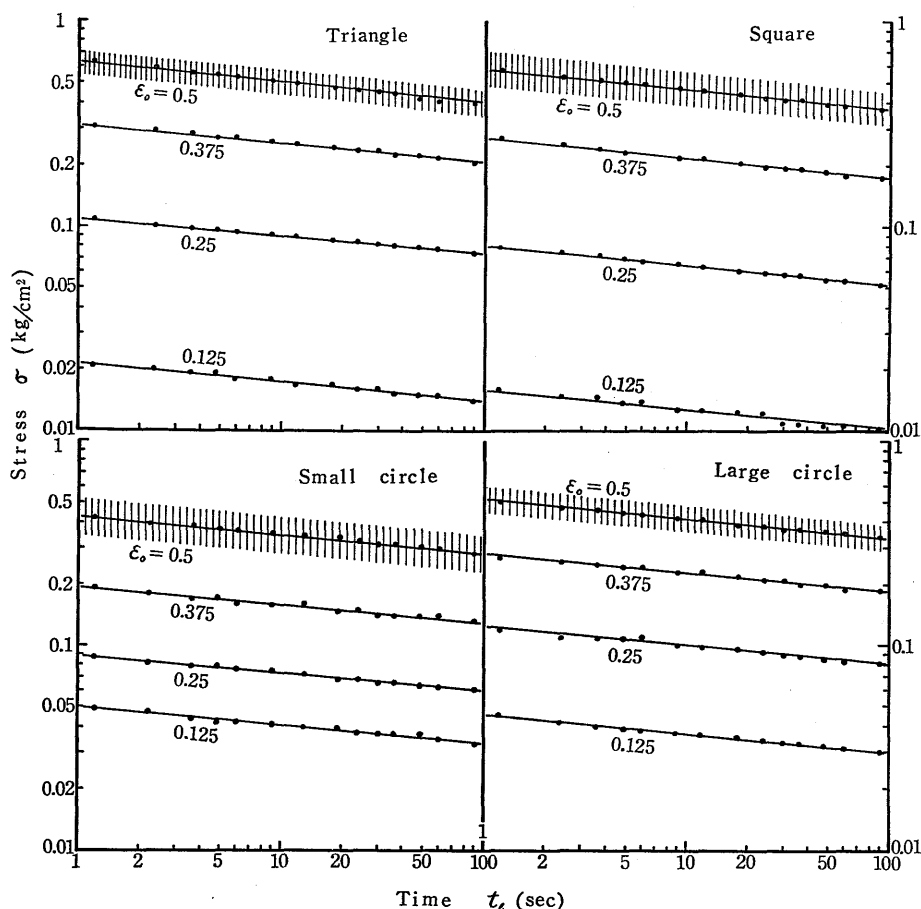


Fig. 7. Characteristic diagram of relaxation curves of four section shapes when moisture content of straw was 68.9 percents.

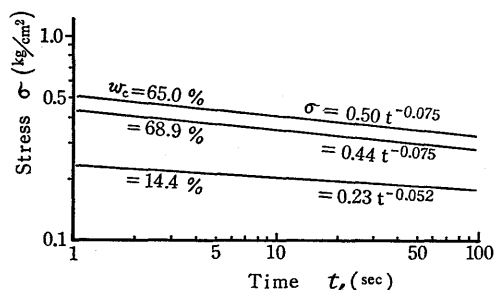


Fig. 8. The relation between the relaxation stress and lapse time when the moisture content of straw was changed.

関数とする。すなわち、初期歪 ε_0 を一定とすると、

$$\sigma(t) = E(t) \cdot \varepsilon_0 \quad \dots\dots(12)$$

ここで $E(t)$ は緩和弾性率で、時間のみの関数である。ゆえに $E(t)$ は (11), (12) 式から

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = \frac{a}{\varepsilon_0} t_i^{-b} = a' t_i^{-b} \quad \dots\dots(13)$$

刈取直後の各種断面の圧縮歪を変えた場合の緩和弾性率（ここでは b が一定ゆえ a' の値）を示すと、Fig. 9 のような増加曲線となる。これより、わらの $E(t)$ は初期歪 ε_0 が増すほど増加し（ただし小円では ε_0 の小なるところで逆）、束断面は三角や四角の方が増加率が大となることがわかる。

6. 復元率と復元強度

Fig. 10 は小円形の横断面図で、右側外方に各圧縮率での上部加圧板下端の位置を数字で、また右側内方のローマ字は圧縮率 50% 時の復元率がそれぞれ 6.25 (A), 12.5 (B), 18.75 (C), 25 (D), 37.5 (E), 50 (F) % の場合の上昇停止点を示す。

いま、加圧板の下降および上昇速度をともに 45 cm/min に一定とし、小円形のみにつき四つの圧縮率に

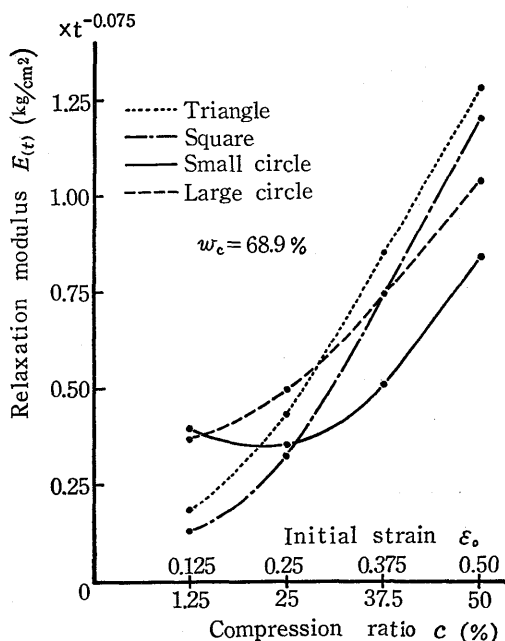


Fig. 9. Effects of initial stress and sheaf section form on the relaxation modulus.

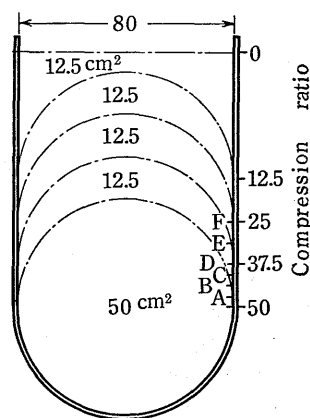


Fig. 10. The positions of compression plate-end at every compression ratio and restoration ratio of small circle section.

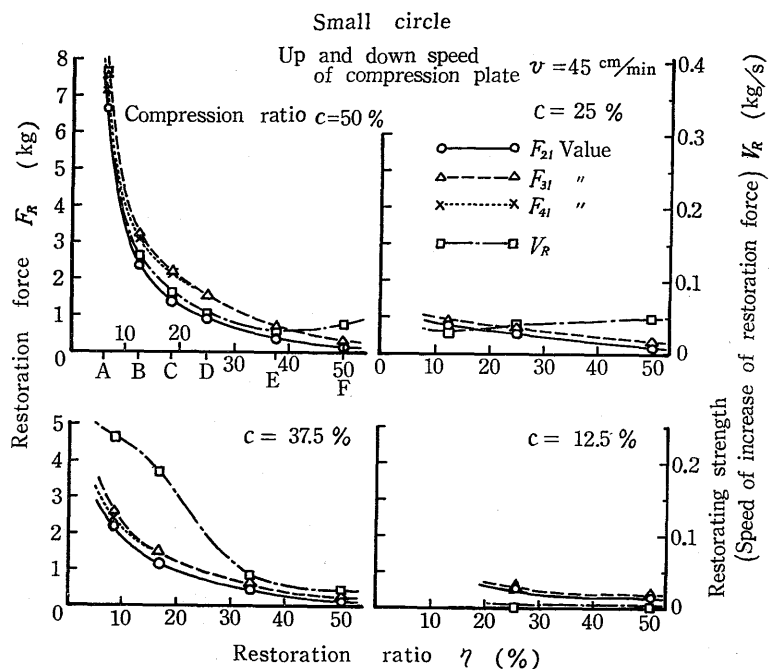


Fig. 11. The relations between the restoration force or restoring strength and restoration ratio of small circle section.

おける各復元率ごとの復元力値 (Fig. 2 の F_2 , F_3 , F_4 の値) と, さらに前記 (4) 式で示した復元強度 V_R をプロットすると, Fig. 11 を得る. ただし F_4 の値は F_2 より 1 分後の値をとった.

これらの図よりわかることは, ① F_2 , F_3 , F_4 値および F_3-F_2 : 増加復元力の値は, いずれも圧縮率 c の大なるほど, また復元率 η の小なるほど大となる. ② F_3 と復元後の応力緩和 1 分後の F_4 の値には, ほとんど差がなく, c が大で η が小なるときに F_4 はわずかに減少する程度である. ③ V_R の値は一般に c の大なるほど大となるが, η の大小による影響は c の値によつて一定せず, c の大なる範囲では η の小なるほど V_R は大となるが, c の小なる場合は η に無関係にほぼ一定で, 明確な傾向は示さない.

いま仮に, わらの最小締付力 F_x が 1 kg でバインダによる結束後の束のゆるみ量 (復元率) が 10 % であったと仮定する. F_4 (または F_3) の値が復元力 $F_R = 1 \text{ kg}$, $\eta = 10 \%$ の交点より上にあれば, わらの引抜け現象が起らないと仮定すると, 本実験例では圧縮率 $c = 25 \%$ 強程度の圧縮でよく, それ以上の c では無駄な圧縮を行なっていることがわかる.

7. 今後の課題

圧縮機構や方式, 復元時の状態などは本実験と実用機では多少の相違があり, それがいかにわらの圧縮復元性に影響するかの検証をなす必要がある. さらに上記最小締付力 F_x の各種条件下での値およびその平均値, また, ゆるみ量 (復元率) の各種条件下の値およびその平均値などを実際に求める必要がある. 復元率は機械の改良と相まって次第に減少すべき性質のものであるので, F_x が一定であると仮定し, ある設定値を与えれば将来とも常に安全側にある.

IV. 要 結

既製バインダの結束部の設計と構造の適否, すなわち, 稲わらが束から抜けにくい最小締付力 (復元力) を得るための圧縮率の最小値を見出すことを目的として, 稲わら束の圧縮性, 復元性につき基礎実験を行なった.

束圧縮断面形状を三角, 四角, 円の 3 種, 圧縮前の面積は 100 cm^2 (小) で, 円のみ 200 cm^2 (大) も加え, 加圧容器にわらを並べ, 圧縮率を 12.5 から 50 % まで 4 段階, 圧縮速度を 15 から 60 cm/min まで 4 段階, 経日変化を刈取直後 (含水率 68.9 %), 1 日後 (65.0 %), 5 日後 (14.4 %) の 3 段階にわけ, 最大圧縮応力, 圧縮曲線と緩和曲線の特性, 緩和弾性率,

復元力, 復元強度などを測つた結果, 次のことがわかった.

1. 最大圧縮応力 $\sigma_{\max}$ は圧縮率 c の大なるほど, いずれも指数関数的に増大し, c の大なるときの $\sigma_{\max}$ の大きさは, 三角 > 四角 > 円となり, また大円 > 小円となる.

2. 本実験の圧縮速度 v の範囲内では, v が変わっても $\sigma_{\max}$ はほとんど変わらない.

3. 経日変化では $\sigma_{\max}$ は刈取 1 日後が刈取直後よりやや大きく, 5 日後になると約半減する.

4. 圧縮曲線の特性をみるに, 経過時間 t と圧縮力 F_c との間には片対数グラフで直線となり,

$$F_c = \alpha \exp \beta t$$

なる関係式が得られ, 直線の傾斜は三角 > 四角 > 小円 > 大円となる.

以上の各項から束断面形状は従来型に多い三角形より円形に圧縮するのが妥当である.

5. 応力緩和曲線の特性をみるに, 圧縮完了後からの停止時間 t_i と緩和応力 σ とは両対数グラフで直線となり,

$$\sigma = at_i^{-b}$$

なる関係式が得られ, わら材料が同一なら, 束断面や圧縮率に関係なく常に勾配 b 値は同一である.

6. 経日変化の応力緩和曲線に対する影響をみるに, 刈取直後と 1 日後では直線勾配 b 値は同一であるが, 5 日後では傾斜が変化しゆるくなる.

これらより, b 値はわらのレオロジカルな特性を示す値であることがわかる.

7. 緩和弾性率 $E(t)$ は初期歪 ε_0 (圧縮率 c) の増加につれ増加し, 円では傾斜がゆるく, 小円では特に顕著である.

8. 三つの各復元力値 F_2 , F_3 , F_4 と増加復元力値 F_3-F_2 は, ともに圧縮率 c の大なるほど, また復元率 η の小なるほど大となる. 復元後の緩和曲線の初期値 F_3 と 1 分後の値 F_4 にはほとんど差がなく, c が大で η の小なるときにわずかに F_4 は減少する程度である.

9. 復元強度 V_R は一般に c の大なるほど大となるが, η の大小による影響は c の値によつて一定せず, 明確な傾向は示さない.

以上のことより, わらの最小締付力と束のゆるみ量 (復元率) が既製のバインダで明確になれば, 最小圧縮率が求められ, 不要の圧縮による動力の節減と, 過度の圧縮による弾性や復元力の減退を防ぐことができる.

参 考 文 献

- 江崎春雄・入江道男 1960 収穫機の研究 (25) 稲・麦
桿の束の圧縮性について. 農機学会誌, 21(4):
146-148
- 松尾昌樹・牧園晴充・太田善三郎 1970 a バインダの
研究 (第1報) 麦刈取時の各部所要動力. 農機学
会誌, 32(1): 36-42
- 松尾昌樹・牧園晴充・太田善三郎 1970 b バインダの
研究 (第2報) イネ刈取時の各部所要動力. 農機
学会誌, 32(2): 123-128
- 須藤允・施志勲・A. H. Kamaruddin 1969 バイン
ダで結束したイネ束のゆるみについて. 農機学会
誌, 31(3): 220-225

Summary

By use of four compression vessels of triangle, square, circle and large circle, the characteristics of the maximum compression stress, the compression force, the relaxation modulus, the restoration force and the restoring strength of rice straw sheaf by changing conditions of straw were determined.

The results were obtained as follows;

(1) The maximum compression stress σ_{max} increased exponentially with increase of compression ratio c .

The order of each maximum compression stress of these section shapes at high compression ratio was as follow,

triangle > square > circle,

and large circle > small circle.

(2) At the range of experimental speed (15~60 cm/min), the maximum compression stress was almost constant without regard to the compression speed.

(3) The maximum compression stress at the next day after harvest was slightly larger than that at harvest day, but that for a period of five days after harvest decreased by about half of that at harvest day.

(4) On the characteristics of compression curves, the relation between compression force F_c and time t was expressed in the form

$$F_c = \alpha \exp \beta t,$$

and the order of inclination of straightlines on the semilogarithmic coordinate was as follow,

triangle > square > small circle > large circle.

From the above facts, it was considered that the circular section is desirable than that of triangle or square.

(5) On the characteristics of relaxation curves, the relation between relaxation stress σ and lapse time t_i after compression was expressed as in the equation

$$\sigma = at_i^{-b},$$

and all the slopes b of straightlines on the logarithmic coordinates were found to be equal without regard to the section or the compression ratio if the straws were the same.

(6) The b values at the next day were equal to those at harvest day, but those for a period of five days after harvest decreased slightly.

From the above facts, it became clear that the b value indicates the rheological characteristics of straw.

(7) The relaxation moduli $E(t)$ increased with the increase of the compression ratio c , whereas the slope for circular section especially for smaller circle was found to be gradual.

(8) In Fig. 11, three restoration forces (F_2, F_3, F_4) and the increase restoration force ($F_3 - F_2$) were found to increase with the increase of compression ratio c and with the decrease of restoration ratio η (see Fig. 2 also).

There was almost no difference between the initial value F_3 of relaxation curve after

restoration and the value F_4 after one minute, but F_4 value was slightly decreased from F_3 value when the compression ratio is large and restoration ratio is small.

(9) Generally speaking the restoring strength V_R seemed to have a tendency to increase with the increase of compression ratio, but in reality the influence of restoration ratio on V_R does not seem to have a constant tendency due to variation of compression ratio.

From the above results, it was expected that the minimum compression ratio would be obtained, the unavailable power for compression would be reduced and the reduction of restoration force depending upon the excessive compression would also be defended, if the minimum force to pull straw from a binding sheaf and the slack of sheaf (restoration ratio) on the marketed grain binders become known.