【一般論文/Transaction】

組紐作製時のおもりバランスが組紐の外観と 力学的特性に与える影響

松梨久仁子^{*1, #}・多田 真純^{*2}・坂西まこと^{*1}・中島由綺子^{*1}・奥脇菜那子^{*1}

^{*1}日本女子大学 家政学部

^{*2}京都工芸繊維大学大学院 先端ファイブ科学部門

Influences of Bobbin-Counter Weight Mass Balance on the Appearance and Mechanical Properties of Braids

*Kuniko Matsunashi^{*1, #}, Masumi Tada^{*2}, Makoto Sakanishi^{*1},
Yukiko Nakasima^{*1}, and Nanako Okuwaki^{*1}*

^{*1}Faculty of Human Sciences and Design, Japan Women's University, 2-8-1, Mejirodai, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8681, Japan

^{*2}Department of Advanced Fibro-Science, Graduate School of Kyoto Institute of Technology,
Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto 606-8585, Japan

Abstract: The purpose of this study is to examine the effects of balance between bobbin weight and counter weight on the appearance and mechanical characteristics of the braid. The thickness of the braid showed thinnest when the counter weight mass was 40% of the total masses of bobbins and became thicker as the balance was lost, and the braiding angle of the braid became sharper when the counter weight mass became larger than 40%.

Regarding the bending characteristics, the amount of deflection of the braid increased as the weight balance increased, and the braid became softer. Regarding the tensile properties, the elongation under a 100 N tensile load tended to decrease and the elongation elastic modulus increased as the weight balance increased. It became clear that these mechanical properties had close relationships with the axial crimp as well as the thickness and the braiding angle of the braid.

During the production of the braid, a horizontal force due to the weight bobbins and a vertical downward force due to the counter weight that forms the length are applied and tightened. Since the thickness of the sample formed with a weight balance of 40% showed thinnest and was an intermediate value for the other measurement values, a horizontal force by the weight bobbins and a vertical force by the counter weight affects the structure of the braid, and when this balance of forces was optimal, compaction of the braid and length formation became efficient and a thin and uniform braid was formed. The empirical knowledge of the conventional skilled craftsmen that the weight balance at the time of braiding should be approx. 40% was confirmed.

(Received 16 January, 2020; Accepted 19 June, 2020)

1. 緒 言

組紐は長い時を経て、実用性に加えて高い審美性も伴いながら発展してきた[1-3]。組紐は帯締めとして使用される印象が強いが靴紐やブラインドの紐、電気コードの被覆材料、スポーツ用品、産業資材など様々な用途がある[2, 3]。組紐はその構造に由来する優れた力学的特性を持つことから、近年、繊維強化複合材料としても利用されている[2, 3]。筆者らは伝統工芸

としての手組の組紐に着目し、組紐作製条件が組紐に与える影響について明らかにしたいと考えた。手組の組紐に関する研究は、丸組と角組の組紐について紐の締めやすさ、結びやすさ、締め心地と深く関係するとの観点から、伸長特性と応力緩和特性の検討が行われている[4, 5]。また、平組組紐については、力学的特性および肌触り、こし、締めやすさ、結びやすさに関する官能評価を行った研究[6]、圧縮特性と表面特性および肌触りに関する研究[7]、応力緩和特性に関す

corresponding author: Kuniko Matsunashi (E-mail: matunasi@fc.jwu.ac.jp)

る研究[8]が行われている。これらの一連の研究は組み組織や繊維素材の違いに着目して検討している。

組紐の作製には丸台、角台、綾竹台、高台などの道具が使われる。いずれの台もおもりを糸に吊るすことにより、糸に張力をかけて引き締めながら組紐は作製される。手組の組紐作製は、職人の長年の経験と勘によるところが大きい。組紐作製時の糸の張力はおもりの重量により決定され、当然、組紐の仕上がりに密接に関係する。

最もポピュラーな手組用の道具は丸台(Fig. 1)である。ここで、簡単に丸台の概要を説明する。丸台は円盤状の板(鏡という)に足が付いた形態をしており、鏡の中央に穴(鏡穴)が開いている。束にした組糸をこの中央の穴に上から差し入れ、この糸束を必要な本数の束に分けて鏡の上に放射状に配置する。「おもり玉」は放射状に置いた組糸を巻いて丸台の外周に下げるものである。「吊りおもり」は鏡穴の下に組まれた組紐を組み下げていくためのおもりで、分銅などを袋に入れて用いる。つまり、組紐の作製時には、おもり玉に起因する矢印で示す放射状に組糸を引張る力と、吊りおもりによる黄色の矢印で示す垂直下方向への力の二つの力が常にかかっている。この二つの力で組糸を引き締めながら組紐が形成されていく。この組糸の引き締め操作を、本論文では「組み締め」と称することにする。

丸台におけるおもり玉と吊りおもりのバランスは、通常、鏡の周りに下がっているおもり玉の総重量に対して吊りおもりの重量を40%前後に設定するのが最適とされており、組紐作製に関する一般書籍[9-12]にも、おもり玉の総重量に対して吊りおもりの重量の設定は30~50%の範囲で記載されている。しかし、なぜこのおもりバランスが良いのかについての確固たるエビデンスはない。いわゆる“職人の経験と勘”が数値化できれば、後継者不足が問題となっている伝統工芸としての組紐作製技術の継承にも有益といえる。加えて、

Fig. 1 Name of Maru-Dai parts

手組組紐の基礎的研究は、機械組の組紐作製においても有用な知見となると考えられる。おもりバランスが組紐の様々な特性に及ぼす影響については、円筒状(中空)組紐の江戸八つ組に関する研究[13]の他にはあまりみられず、十分に検討されているとは言えない。そこで、製造パラメータである糸への張力(おもりバランス)と組紐の仕上がりの関係を検討することによって、より一般性のある知見が得られると考えた。

本研究では丸台で作製される組紐に着目し、中実組紐(組紐内部が空洞ではなく組糸が詰まった形状の組紐)の基本的組織である八つ金剛組について、おもり玉と吊りおもりのバランスが組紐の外観と力学的特性に与える影響について検討した。おもり玉の重量はあらかじめ決めて作られており、重量を変化させることが難しい。それに対し、吊りおもりは袋に様々な重量のおもりを入れて重量を調整する。そのため、今回は比較的容易に重量調整が可能な吊りおもりの重量のみを変えることで、おもり玉と吊りおもりのバランスを変化させることにした。

2. 実験

2.1 道具について

組紐作製には Fig. 1 に示す丸台を使用した。本研究で用いた丸台各部の寸法は、鏡の直径は275 mm、鏡中央部の穴の直径は40 mm、鏡の厚さは30 mmである。

2.2 試料

組糸には295 texの白色とピンク色の木綿糸を選出した。本研究で木綿糸を使用したのは、初心者でも扱いやすいと判断したためである。糸は3 mに裁断し、3本取りでおもり玉に巻き付けた。また、組み上がりの長さを測定するために各色2玉について3本取りのうち1本にサインペンで100 mmごとに、あらかじめ印をつけた。

2.3 組紐作製条件

組織は八つ金剛組(Zスパイラル)とした。八つ金剛組の糸の動きを Fig. 2 に示す。おもりは1玉260 gのおもり玉8個(総重量20.4 N)と、吊りおもりには巾着袋に入れた分銅を使用した。おもり玉の総重量に対する吊りおもりの重量の割合を「おもりバランス」と称することとし、おもりバランスはTable 1に示すように0%, 20%, 40%(標準条件), 60%, 80%の重量に設定した。

組紐作製の経験が組紐の仕上がりに影響を及ぼすかどうかを確認するため、組紐の作製者は初心者1名、熟練者2名とした。初心者は本実験で初めて丸台組紐を作製した者で、熟練者はそれぞれ20年以上の作製経験があり、組紐作家や組紐指導者として活躍している者を指す。

Fig. 2 Production procedure of the Yatsu-Kongo method

2.4 外観形状の測定

デジタルマイクロスコープ (KEYENCE: VHX-500F) を用いて、各試料の外観を 30 か所撮影した。撮影した各画像から、組紐の節の最もふくらみのある部分 d (mm) を見かけの太さとして測定し、組糸のなす角度 $\theta(^{\circ})$ を測定した (Fig. 3)。以下、組糸の軸に対する角度を「交錯角度」と称することにする。

d : Apparent Thickness (mm)
 θ : Braiding Angle ($^{\circ}$)

Fig. 3 Measurement of apparent thickness of braid and braiding angle

組紐の太さに関しては、見かけの太さに加えて測厚器を用いて軸方向に直角の一定圧力 2.35 N/cm^2 (織物測定の場合と同様) の下での太さも測定した。

本研究において、一定の長さの糸で仕上がる組紐の

長さを「組み上がり長さ」と定義する。組む前に 100 mm 間隔で組糸に付けた印から、作製後の印間の距離すなわち組み上がり長さ L (mm) を組紐の長さ方向の軸に沿った直線上で 40 か所測定し、(1) 式から組み上がり率 $C_a(\%)$ を算出した。

$$C_a = L/100 \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

2.5 力学的特性の評価

組紐の曲げ特性はスライド法 [14] により測定した。測定方法を Fig. 4 に示す。試験機と移動台の上限を一致させ、その上に組紐試料を 100 mm の長さを突き出して置き、ウェイトで固定する。次に静かにハンドルを回して移動台を降下させ、組紐試料の端が移動台から離れる時のたわみ量 δ (mm) を組紐の曲げ特性値とした。 δ が大きいほど曲げ柔らかいことを意味する。繰り返しは 3 回とした。

δ : Amount of Deflection (mm)

Fig. 4 Measurement of flexibility

引張特性については、テンシロン万能試験機 (株式会社オリエンテック: RTC-1150A) を用いて引張試験より評価した。試験条件は、試料長 100 mm、試験速度 50 mm/min., 最大荷重 100N となるまで引き伸ばし、次に同速度で荷重を取り除いた。また、引張初期の伸びの情報は重要と考え、初期荷重は 0 とした [15, 16]。繰り返しは 3 回とした。

得られた引き伸ばし時と回復時の荷重-伸長曲線から、100N 引張荷重下における伸び e_{100} (mm) と残留伸び e_r (mm) を測定し、伸び率 (%) 及び (2) 式より弾性回復率 $E_r(\%)$ を算出した [17, 18]。この E_r は外力を取り除いた瞬間のひずみの回復であり、瞬間弾性回復率

Table 1 Production conditions

Condition of Weight Mass Balance (%)	Total Weight of Bobbin (N)	Center Weight (N)
0	20.4	0.0
20		4.1
40(Control)		8.2
60		12.2
80		16.3

Fig. 5 Appearance of the specimens (by the Beginner)

と称することにする[17, 18].

$$E_t(\%) = (e_{100} - e_r) / e_{100} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

また、計測後の試料を平らな状態で静置させ、1日後、3日後、5日後におけるその長さを測定した。その結果、3日後と5日後の長さにはほとんど変化が見られなかったため、引張試験5日後における長さから試験長100mmを減じて残留伸び e_r (mm)とし、(2)式により E_t を算出した。5日後の E_t は時間の経過に伴って進む回復であり、遅れ弾性回復を表す値である[17, 18].

3. 結果および考察

3.1 おもりバランスの変化に伴う外観変化

初心者により作製された組紐の外観写真を Fig. 5 に示す。写真からおもりバランスの変化により、見かけの太さと交錯角度が変化していくことがわかる。組紐の見かけの太さはおもり標準条件のおもりバランス40%が最も細く、おもりバランスが大きくなる、あるいは小さくなるにつれて太くなり、組糸の交錯角度はおもりバランスが大きくなるにつれて角度は鋭角に、そして、図中の両矢印で示すように表面に露出する組糸の長さが長くなっていくことが視覚的に認められる。熟練者の結果も同様であった。

組み作業を進めていく際、吊りおもりの重さの違い(おもりバランス)によって組糸の交錯する位置が異なることが認められた。そこで、この組糸が交錯する位置を組成点と定義し、各おもりバランスにおける鏡の上面からの組成点の位置を確認した。Fig. 6 に示すよ

うに、鏡の上面と組成点との距離を Δ (mm)として、曲尺を用いて測定した。Table 2 に各おもりバランスにおける組成点の状態を写真と、 Δ の測定結果を示す。また、Table 2 には見かけの太さと組糸の交錯角度の測定結果についても併せて示す。おもりバランス0%の Δ は0mmで、組糸が鏡上部でまっすぐに張った状態になっている。おもりバランスが増すにしたがって、つまり、吊りおもりの重量が重くなるにしたがって、組紐を下に引き下げる力が增大するため、 Δ の値も増加していくことがわかった。

Δ : Distances from the Kagami top to the braiding point (mm)

Fig. 6 Measurement of distances from the Kagami top to the braiding point

Fig. 7 に組紐の見かけの太さの測定結果を示す。白抜きが初心者、斜線が熟練者 A、ドットが熟練者 B の結果である。エラーバーは標準偏差を示す。グラフから被験者間の差が認められ、おもりバランスが大きい条件下で、熟練者 A は太く組み、熟練者 B は細く組む傾向がある。しかし、いずれの被験者においても、おもりバランス40%(標準条件)が最も見かけの太さが細く、おもりバランスが大きくなる、あるいは小さ

Table 2 Results of measurement

Weight Mass Balance		0%	20%	40%(Control)	60%	80%
Photographs at Braiding Point						
Δ (mm)		0.0	10.5	20.5	24.5	30.0
Apparent Thickness(mm)	Beginner	6.8	6.0	5.6	5.9	6.8
	Expert A	7.2	6.2	5.8	6.5	7.4
	Expert B	7.1	6.1	5.5	5.5	6.3
Braiding Angle (°)	Beginner	52.2	44.1	31.2	25.0	19.5
	Expert A	57.1	46.2	32.2	20.6	15.8
	Expert B	56.4	49.8	35.5	26.3	21.0

Fig. 7 Relation between apparent thickness and weight mass balance

くなるにつれて、みかけの太さが増加することがわかった。

Table 2 の写真と緒言で示した Fig. 1 からわかるように、作製中の組紐には、おもり玉に起因する水平方向に放射状にかかる力と、吊りおもりによる垂直下方向へかかる力が常にかかっている。この時、水平方向にかかる力は組成点で交錯した組糸を引張る力となり組糸を組み締めていく。また、垂直方向への力は組紐を下方に引張る力となり組紐の長さを形成していく。そして、これら二つの力の均衡がとれた条件の時、組紐が効率的に組み締められながら長さが形成され、細い組紐が作製されることが考えられる。今回設定した作製条件においては、標準条件のおもりバランス 40% がその均衡がとれた条件に該当するといえる。

3.2 組み上がり率と組紐の外観について

おもりバランスが小さい条件は吊りおもりの重量が小さいため、水平方向にかかる力が大きくなり組紐の組み締めがきつくなると同時に長さを形成する垂直方向の力が弱くなり、同一の長さを組むには組糸の移動回数が多くなる。したがって、組紐の単位長さ当たりの組糸の量が多くなる。一方、おもりバランスが大きくなると、組紐を下方に引張る垂直方向への力が大きくなるため、組紐の単位長さ当たりに含まれる組糸の長さは減少する。そのため、おもりバランスは組み上がり率に影響を及ぼすといえる。組み上がり率の測定結果を Fig. 8 に示す。エラーバーは標準偏差を示す。作製者間に違いはあるものの、おもりバランスが大きくなるにしたがっていずれの作製者も組み上がり率は増加している。ここで、組糸のクリンプについて考えてみたい。クリンプとは繊維の捲縮や織物において経糸と緯糸の交錯によって生ずる糸の屈曲をいう。組紐に関しても組糸が交錯することにより組糸はクリンプを生ずる。組み上がり率が小さい組紐は、単位長さ当たりの組紐中に含まれる糸量が多くなるため、組糸の屈曲すなわちクリンプが大きくなる。つまり、組み上がり率は組糸のクリンプの程度を反映する値であり、組紐の軸方向におけるクリンプに関連付けられるので、図のラベルは Axial crimp と表記した。

Fig. 8 Relation between axial crimp and weight mass balance

上述のように、組み上がり率は組紐内の糸量とクリンプすなわち糸の屈曲の程度を反映している値であるため、組紐の太さや交錯角度に影響を及ぼすと考えられる。そこで、Table 2 及び Fig. 7 で示した組紐の見かけの太さと組み上がり率の関係を Fig. 9 に示す。組み上がり率が大きい範囲(おもりバランスが大きい条件)においては、Fig. 7 でも述べたように、作製者間でかなりのばらつきが認められる。

Fig. 9 Relation between apparent thickness and axial crimp

次に、組紐の側面に対する 2.35 N/cm^2 下での太さの測定結果を Fig. 10 に示す。加圧の影響を受けて見かけの太さより細くなり、組み上がり率が約 55% 以上(おもりバランス 40% 以上)になると 2.35 N/cm^2 下での太さはほぼ一定の値(約 5 mm)を示した。このように組み上がり率が約 55% 以上の領域において、一定圧力下での太さが変化しなくなる要因について述べ

Fig. 10 Relation between thickness under 2.35 N/cm^2 load and axial crimp

る。組み上がり率が大きい組紐(おもりバランスが大きい条件)は組み上がり率の小さい条件と比較して、組紐作製時には垂直方向にかかる力が大きいため、下に強く引張られながら組まれるが、組み上がった後、おもりをはずし組糸にかかる張力が0となった時点で組糸に緩みが生じる。そのため、組み上がり率の大きい組紐は緩い地合いとなるため、圧がかかれば、容易に圧縮されると推察できる。組み上がり率が小さい組紐は、前述のように組紐の単位長さ辺りの組糸の量が多く、しっかり組み締められているため、加圧による影響をあまり受けない。

組糸の交錯角度については、Fig.5の画像から明らかにおもりバランスが0%から大きくなるに従い、角度は鋭角になっていく。Table 2で示した交錯角度の測定結果を、組み上がり率に対してプロットしFig.11に示す。組み上がり率の増加(おもりバランスの増加)に伴い角度は小さくなっていくことがわかった。これは、前述のように吊りおもりが重くなることで、作製過程の組紐に加わる垂直下方向への力が大きくなり、組糸がより下方に引き下げられながら組まれていくためと考えられる。

Fig. 11 Relation between braiding angle and axial crimp

組紐は実用性と共に高い審美性・装飾性を兼ね備えている。この点において、おもりバランスの変化に伴う組糸の交錯角度は組紐表面に表れる模様(柄)と関係することから、同一組織でも組紐表面の外観を変化させることにより、審美性・装飾性に広がりを与えうるといえる。したがって、組紐の物性や性能を無視すれば、おもりバランスの設定により組紐の外観の操作が可能であることがわかった。

ここで、組紐作製の経験が組紐の仕上がりに与える影響についてまとめる。おもりバランスの変化に伴う組紐の外観および組み上がり率の変化傾向は、3人の作製者ともに一致していた。しかし、測定値自体には個人差が認められ、特に熟練者の結果にその差が大きく表れていた。熟練者Aは太く、熟練者Bは細く組む傾向があり、その結果として、交錯角度については熟練者Aは小さく、熟練者Bは大きくなっていった。組

上がり率に関しては初心者も含め個人の傾向が明確でない。仮説として、初心者と熟練者との経験の差でそれぞれの特徴が現れるのではないかと予想していたが、本研究においては個人差があることが確認できるとどまった。熟練者の結果には多くの作品を作る中で培われた自分の好みや癖が組紐の仕上がりに影響したことも考えられるが、なぜこのような差異が生じたのかは、今後、作製者が実際に組む作業時の動作等を観察して検証する必要がある。

以上みてきたように、おもりバランスの変化は組紐の組み締めの程度に大きく影響し、組み上がり率を決定する大きな要因であることが明らかとなった。そして、この組み上がり率は見かけの太さおよび2.35 N/cm²下での太さや交錯角度といった組紐の外観に大きく影響することがわかった。

また、組み上がり率は決められた長さの組糸でどのくらいの長さの組紐が作製できるかの指標ともいえ、おもりバランスと組み上がり率の関係を明きらかにできれば、組糸の必要消費長をあらかじめ算出することができる。さらに、おもり玉を動かす手の動きがどのおもりバランスにおいても一定であるとするれば、長さ形成にかかる手順の数からおおよその作製時間も予想できると思われる。このように組み上がり率は組紐の外観や特性値に影響を及ぼすだけでなく、想定した仕上がりに必要な組糸の消費長や作業効率を考えるうえでも重要なファクターといえよう。

3.3 組み上がり率と組紐の力学的特性の関係

3.3.1 曲げ特性について

おもりバランスが大きくなるにつれて紐のたわみ量 δ は大きくなり、曲げ柔らかくなっていくことが示された。これは水平方向の組み締め力が大きいと組糸同士の自由度が低くなり曲げ変形しにくくなるのに対し、垂直方向の力の方が大きくなることにより組み締め力が弱くなり組糸同士の地合いがゆるみ、曲げ柔らかくなると考えられる。このことから、組紐の曲げ特性は組み上がり率と密接に関係していることが予想される。そこで、組紐の曲げ特性を表すたわみ量 δ と組み上がり率の関係をFig.12に示す。

組み上がり率の増加に伴い、たわみ量 δ も大きくなり曲げ柔らかくなることがわかる。組み上がり率が大きい領域の組紐は単位長さ当たりの組糸の量が少ないため糸同士の拘束が緩み、柔らかくたわみやすくなるといえる。反対に組み上がり率の小さい組紐は、同一長さ当たりに組み込まれている糸量が多いため糸同士の拘束がきつくなり、かたい紐になる。このように、組紐の曲げ特性には組紐内の組糸の拘束の度合いが影響することがわかった。

以上述べたようにおもりバランスを種々変化させることにより組み上がり率が変化し、それと対応して、組紐の曲げ特性は大きく変化することがわかった。曲

Fig. 12 Relation between amount of deflection δ and axial crimp

げ特性は実用性に関連する性質であるが、おもりバランスと組紐の曲げ特性の関係から、用途に応じた組紐の柔らかさのコントロールが可能であるといえる。

3.3.2 引張特性について

引張試験により得られた荷重－伸長曲線の一例(初心者)を Fig. 13 に示す。引張荷重 100N 下における組紐の伸び率はおもりバランス 0% の試料が最も大きく、おもりバランスが大きくなると伸び率は低下した。その変化はおもりバランス 40% と 80% では、0% と 40% と比較して軽微であった。熟練者 A および熟練者 B においても同様の結果が得られた。

Fig. 13 Load-elongation curve

組紐の引張特性は曲げ特性と同様、組み上がり率の影響を受けていると思われる。Fig. 14 に引張荷重 100N 下での伸び率と組み上がり率の関係を示す。Fig. 14 より引張荷重 100N 下での伸度は組み上がり率の増加に伴い、伸び率は非線形で低下し、組み上がり率 55% 以上(おもりバランス 40~80% に相当)になると伸度は 40% 程度で変化しなくなった。ここで、Fig. 13 で示した荷重－伸長曲線を再度確認すると、おもりバランス 40% の引張荷重 100N 下の伸び率は 40% 程度、おもりバランス 80% の伸び率は 38% 程度でほぼ同じで、おもりバランスが 40% 以上になると伸び率が変化しなくなることが示されている。これは、先にも述べたように、おもりバランスが大きい条件で作製された組紐は、下方へ引張る力が大きいため、

Fig. 14 Relation between elongation under 100N load and axial crimp

おもりが外されて張力が 0 になることにより組糸に緩みが生ずるからである。おもりバランス 80% と 60% の組紐の伸び率がおもりバランス 40% の伸び率と同じ程度になるのは、組糸の“緩み”が影響していると考えられる。以上、組紐の引張荷重 100N 下における伸度は、組み上がり率だけでなく、おもりバランスの大きい組紐については組紐内の“緩み”の影響を受けることが明らかとなった。

また、Fig. 13 において初期引張に着目すると、おもりバランス 0% の試料は上に凸の曲線となっている。図には示していないが、おもりバランス 20% も同様に上に凸の曲線となっていた。これは、組糸の交錯回数が多く組糸間の自由度が低いいため、組糸間の摩擦の影響によるものではないかと考えられる。おもりバランス 40% 以上になると下に凸の曲線となるが、これは組糸のクリンプが伸びきるまでは低荷重になるためであり、おもりバランス 80% の立ち上がりの角度がさらに小さくなるのは組糸の“緩み”が伸びて消失した後に、クリンプが伸ばされるためである。このような糸のクリンプや組織のゆるみが伸ばされる時点での立ち上がりの接線の傾きを見かけのヤング率という[19]。チャート形状から、おもりバランスは引張初期における見かけのヤング率にも影響を及ぼすことがわかった。

組紐を結ぶ際には紐を引っ張って結び目を締めるが、締め終わった後は手を放す。その除荷時の長さ方向の戻り、つまり引張に対する回復性も組紐の用途から考えて重要な特性といえる。そこで、Fig. 15 に引張荷重 100N 下の伸び率に対して残留伸びをプロットして示す。白抜きのマーカー(Day0)は除荷後すぐの残留伸びで、黒色のマーカー(Day5)は 5 日後の残留伸びである。いずれの残留伸びも伸び率との間には直線関係がみられた。引張直後と 5 日後の結果を比較すると、残留伸びは時間の経過とともに遅れ弾性回復が起こり低下することが認められ、5 日後の残留伸びは引張荷重 100N 下での伸び率の小さい範囲ではかなり伸びが回復することがわかった。

次に、引張荷重 100N 下での伸びと残留伸びから(2)

Fig. 15 Relation between residual elongation and elongation under 100N load

式により弾性回復率を算出し、組み上がり率に対してプロットして Fig. 16 に示す。白抜きのマーカーは除荷後すぐの残留伸びから算出した瞬間弾性回復率、黒色のマーカーは5日後の弾性回復率である。白抜きの瞬間弾性回復率は組み上がり率に対して直線的に増加している。5日後の弾性回復率は時間経過により白抜きの瞬間弾性回復率よりもいずれの条件でも高くなることが認められる。その回復の傾向は、組み上がり率60%あたりまでは弾性回復率は増加するが、80%で弾性回復率は低下に転じた。グラフ中におもりバランス80%の試料を↑マークで示す。5日後の弾性回復率に関してはすべての作製者でおもりバランス60%が一番高く、80%になると弾性回復率は低くなった。おもりバランス80%の5日後における弾性回復率が低いのは、組紐作製時の引き下げ張力が影響しているためであり、この結果はおもり玉と吊りおもりのバランスの重要性を示している。本研究においては一定荷重下での引張特性について検討したが、組紐の伸張性と伸長回復特性をさらに明確にしていくためには、今後は一定伸長下における弾性回復からの検討が必要である。

以上、組紐の力学的特性について、曲げ特性と引張特性について検討したが、いずれの特性も組み上がり率

Fig. 16 Relation between elongation elastic modulus under 100N load and axial crimp (Arrows are the specimens with a weight mass balance of 80%).

と密接な関係があることが明らかとなった。組み上がり率はおもりバランスにより決まることはすでに述べた。おもりバランスは組み上がり率を決定し、その結果、組紐の力学的特性に大きく影響することが明らかとなった。

4. 結 言

本研究は、組紐の基本的な組み方の一つである八つ金剛組紐を対象とし、おもり玉と吊りおもりのバランスが組紐の外観と力学的特性値に与える影響について検討したものである。

組紐の見かけの太さはおもりバランス40%が最も細く、バランスが大きくなったり、小さくなったりするにつれて太くなり、組糸の交錯角度はおもりバランスが大きくなるにつれて角度は鋭角になることがわかった。力学的特性については、曲げ特性はおもりバランスが大きくなるにつれて紐のたわみ量が大きくなり、組紐は曲げ柔らかくなる。引張特性については、引張荷重100N下における伸度は、おもりバランスが大きくなるにつれて低下する傾向が認められた。以上のように、おもりバランスの大小は、組み紐の外観特性と力学的特性に影響を及ぼすことがわかった。そして、このおもりバランスと組紐の各特性との関係には、組紐の構造的ファクターである組み上がり率が介在していることが明らかとなった。

組み上がり率は組紐内の組糸の量や組糸のクリンプを反映した値である。このことから、組み上がり率をおもりバランスから推定できれば、組紐作製に必要な組糸の消費長や作製する組紐の外観や力学的特性を予測することが可能になると考えられる。本研究においては吊りおもりの重量のみを変化させて実験を行ったが、今後は、吊りおもりだけでなくおもり玉の変化も加え、おもりバランスを系統的に変化させ、より実用的で有用なデータを構築していきたいと考えている。

おもりバランス40%で組まれた組紐は、各測定値に関して中間的な値を取ることから、おもり玉による水平方向の力と吊りおもりによる垂直方向への力の二つの力が組紐の構成に影響を与え、この力の均衡が最適である時、組み締めと長さ形成が効率よく行われることがわかった。熟練の職人の経験から組紐作製時のおもりバランスは40%前後が良いとされているが、この経験則の妥当性が確かめられた。

また、おもりバランスは、実際に手を動かして作業をする際の組みやすさ、組みにくさとも関係していた。吊りおもりが無い状態(おもりバランス0%)ではおもり玉がずれやすく、組成部を鏡の中心部に位置させるのが難しくなる。また、反対に吊りおもりが重すぎる(おもりバランス80%)と吊りおもりが揺れた時に強く引っ張られたり、すぐに吊りおもりが地面につ

いてしまったりして、組み作業を困難にしていた。このように、組み作業のしやすさの点でも、おもりバランス 40% が最適であることがわかった。

参考文献

1. M. Tada, *Sen'i Gakkaishi*, **58**, p. 15 (2002).
2. M. Tada, *Sen'i Gakkaishi*, **56**, p. 110 (2004).
3. M. Tada, *Journal of Home Economics of Japan*, **61**, p. 177 (2010).
4. T. Mori, M. Iwasa, *Bulletin of Gifu Women's University*, **11**, p. 97 (1982).
5. T. Mori and M. Iwasa, *Journal of Home Economics of Japan*, **36**(5), p. 305 (1985).
6. T. Mori, C. Ito and M. Iwasa, *Journal of Home Economics of Japan*, **44**(8), p. 655 (1993).
7. H. Kato, T. Mori and M. Iwasa, *Dyeing & Finishing*, **44**(9), p. 420 (1992).
8. H. Kato, T. Mori and M. Iwasa, *Dyeing & Finishing*, **46**(9), p. 428 (1994).
9. C. Utsunomiya, "Kumihimo", Tairyusha., p. 81, p. 99 (1975).
10. I. Yamaoka, "Domyo no kumihimo", Shufunotomo Co., p. 35 (1975).
11. M. Harano, "Dento no kumihimo", Makosha., p. 36, p. 94 (1976).
12. M. Tada, "Comprehensive Treatise of Braids I: Maru-dai braids", Texte, Inc., p. 20 (2008).
13. M. Iwasa, *Bulletin of Gifu Women's University*, **8**, p. 35 (1979).
14. Japanese Industrial Standards Committee, "Testing methods for woven fabrics, JIS L 1096", p. 42 (2010).
15. M. Hanada, T. Nishiwaki, A. Nakai and H. Hamada, *SEN'I GAKKAISHI*, **60**, p. 44 (2004).
16. M. Hanada and T. Nishiwaki, *Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses*, **45**, p. 766 (2004).
17. T. Nakajima, E. Kaneko, H. Shimizu, H. Gocho and M. Muta, "Sginko Hifukuzairyougaku -Gaisetu to jikkenn-", p. 178 (2010).
18. K. Shimazaki, T. Danno, M. Hayashi and T. Mori, "Izairyou no Kagaku", p. 105 (2017).
19. N. Naruse, "Kiso Hifukuzairyougaku", p. 105 (2001).