

## 京金網の物性

### —針金断面の硬さ試験—

辻 賢一 (金網つじ, tsujiken@kanaamitsuji.com)

高井 由佳 (大阪産業大学 デザイン工学部, takai@ise.osaka-sandai.ac.jp)

後藤 彰彦 (大阪産業大学 デザイン工学部, gotoh@ise.osaka-sandai.ac.jp)

濱田 泰以 (京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科, hhamda@kit.ac.jp)

### Mechanical property of Kyoto-style wire mesh:

#### Hardness test for wire cross-section

Ken-ichi Tsuji (Kana-ami Tsuji, Japan)

Yuka Takai (Department of Information Systems Engineering, Osaka Sangyo University, Japan)

Akihiko Goto (Department of Information Systems Engineering, Osaka Sangyo University, Japan)

Hiroyuki Hamada (Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology, Japan)

#### 要約

京都で作製される金網は京金網と呼ばれ、京都の文化や産業を支える道具や建築物に使用されてきた。しかし現在、京金網の工房は京都市内に5軒のみとなっており、京金網製作の技術のコツやカンの解明し後世に伝えることが急務となっている。これまで筆者らは亀甲網の製作における熟練者と非熟練者の手指の動きの解析を行ってきた。この結果、亀甲網を製作する際の針金を「ねじる」動作中の示指の遠位指節間関節の移動速度変化が、熟練者と非熟練者とでは異なることが明らかとなっている。熟練者においてはねじり作業開始から増加→減少→増加と変化していたのに対し、非熟練者は何度も増減を繰り返していた。手指の移動速度の変化が何度も起きている場合、針金に何度も負荷が加えられている可能性が高く、加工硬化への影響が大きくなると考えられる。そこで本研究では、熟練者と非熟練者が製作した亀甲網の「ねじれ部」の針金断面の硬さ試験を行い、金網作製の経験年数が針金の加工硬化におよぼす影響を明らかにした。熟練者および非熟練者に亀甲網の作製を指示した。亀甲は2本の針金を2回ねじることで作製される。このため、1回目のねじれ部、2回目のねじれ部、1回目と2回目のねじれ部の境界にて針金を切り出し試料とした。また、比較試料として未使用の針金を準備した。これらの試料に対して、ビッカース硬さ試験をおこなった。この結果、未使用の針金と比較し、熟練者、非熟練者とも加工硬化が生じていた。非熟練者の針金断面の硬度は熟練者よりも高く、熟練者は必要最低限の力を針金に加えながら金網を編んでいることが示唆された。

#### キーワード

加工硬化, 京金網, 熟練職人, 伝統工芸, ビッカース硬さ試験

#### 1. 緒言

金網は、古くはお寺のハト避けや香炉水屋に用いられるなど私達に身近な製品として存在してきた。その作り方は主に手編みであったが、機械編みの技術が導入されて以降、フェンスなど大型の金網を始め、多くの製品が機械加工へと移っていった(西川, 2000)。近年では手編みによる製品は減少し、図1に示す豆腐すくいや餅焼き網、茶漉しなど“伝統工芸品”としてのみ残っている。

京都で作製される金網は京金網と呼ばれ、京料理を支える道具として、なくてはならない網や漉し器を作ってきた。また、社寺仏閣に使用される網や蔵に使用される網など、京都の建築物には欠かせないものであった。しかし現在、京金網の工房は京都市内に5軒のみとなっている。京金網だけではなく、多くの伝統工芸品は後継者の減少などの問題により衰退の一途を辿っている。この問題を解決するため、伝統工芸に関する研究報告がなされている。宗澤ら(2007)は備中神楽面の制作作業における動作の分析を行っている。伊東ら(2009)は截金における熟練者と非熟練者の筋電、呼吸を明



図1：豆腐すくい

確化している。これらの研究のように、伝統工芸品の製造における身体活動の数値化、加えて製品の評価が非常に有益であると考え、我々はこれまで、京金網(田中他, 2007; Tsuji et al., 2012a; 2012b)、京壁(小田原他, 2009; 塩野他, 2010)、京弓(柴田他, 2009; 2011)、京瓦(Asada et al., 2011a; 2011b)等における研究を進めてきた。京金網については、熟練者、非

熟練者の動きや完成した製品の比較を行うことで、熟練者の技の特徴を明らかにしてきた(田中他, 2007; Tsuji et al., 2012a; 2012b)。これらの研究において、亀甲金網を製作する際の針金を「ねじる」動作中の示指の遠位指節間関節の移動速度変化が、熟練者と非熟練者とは異なることが明らかとなっている(Tsuji et al., 2012a)。熟練者はねじり作業開始から増加→減少→増加と変化していたのに対し、非熟練者は何度も増減を繰り返していた。手指の移動速度の変化が何度も起きている場合、針金に何度も負荷が加えられている可能性が高く、加工硬化への影響が大きくなると考えられる。そこで本研究では、熟練者と非熟練者が製作した亀甲金網の「ねじれ部」の針金断面の硬さ試験を行い、金網作製の経験年数が針金の加工硬化におよぼす影響を明らかにした。

## 2. 測定方法

### 2.1 金網の作製条件

金網の製作者には豆腐すくいの作製を指示した。豆腐すくいのすくい面は亀甲金網である。図2に亀甲金網の製作手順を示す。亀甲金網を構成する亀甲は、2本の針金を2回ねじることで作製される。1つの亀甲には「ねじれ部」が2辺存在する。亀甲金網を作製する針金は直径0.3 mmのステンレス線(SUS306)とした。製作者は、熟練者として金網製作歴44年、60歳の男性および、非熟練者として金網製作歴のない20歳の男子大学生とした。

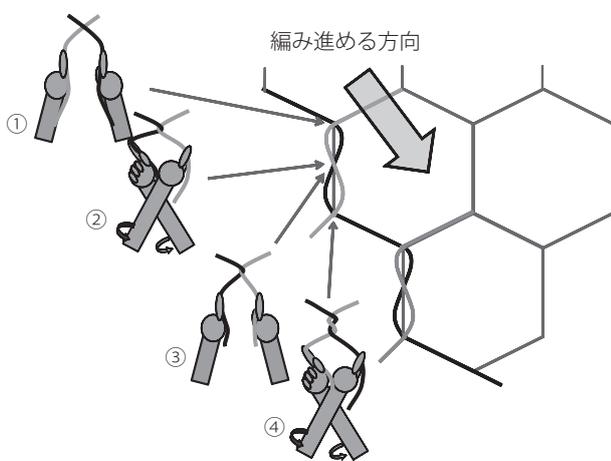


図2：亀甲金網の製作手順

### 2.2 針金の硬さ試験

亀甲金網の「ねじれ部」における加工硬化について検証するために、ビッカース硬さ試験をおこなった。ビッカース硬さとは、押し込み硬さの1種であり、工業用の硬さを表す尺度の一つである。ビッカース硬さ試験の模式図を図3に示す。

ビッカース硬さ試験は、ビッカース圧子で試料に対して荷重を加え図4のような圧痕を残し、圧痕の対角線長さを測定することにより、硬度を求める。ビッカース硬さ試験のための試料として、熟練者および非熟練者が作製した亀甲金網から切り出した針金を用いた。針金の切り出し位置を図5および図6に示す。

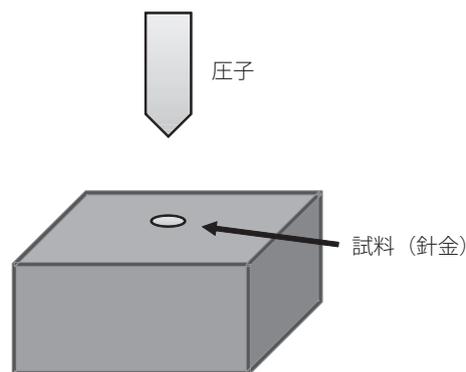


図3：ビッカース硬さ試験の模式図

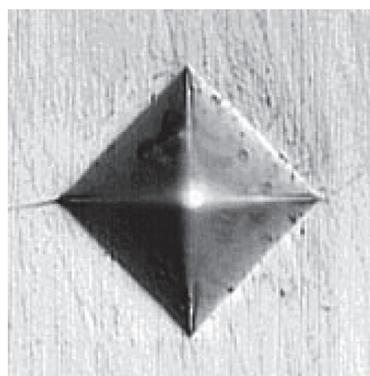


図4：圧痕

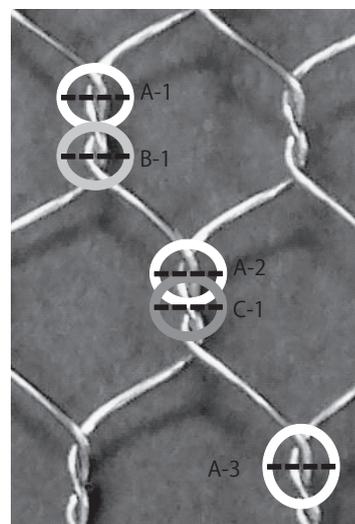


図5：亀甲編みにおける測定位置

亀甲編みは針金を2回ねじることで作製されるため、測定位置Aは1つ目の「ねじれ部」の中央、測定位置Bは2つ目の「ねじれ部」の中央、測定位置Cは1つ目と2つ目の「ねじれ部」の境界とした。測定位置Aは異なる亀甲3か所から切り出しをおこなった。また、比較試料として未使用の針金を準備した。これらの針金はエポキシ樹脂に包埋し、研磨をおこない、平面を作製した。これらの針金断面においてビッカース硬さ試験を実施した。試験機は株式会社島津製作所製 HMV-2000微

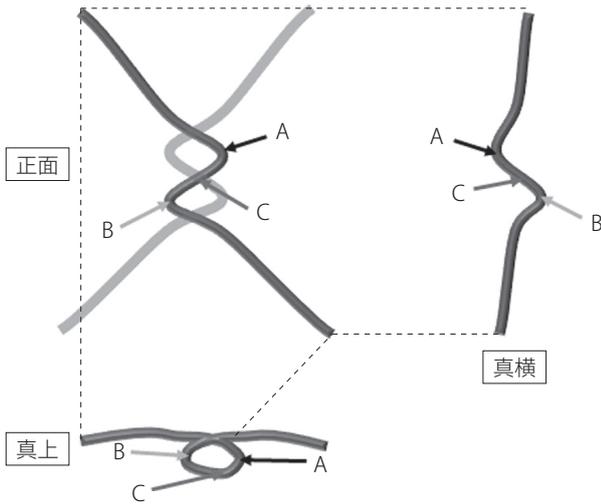


図6：測定位置の模式図

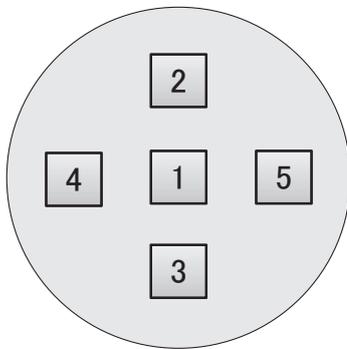


図7：針金断面の圧子の接触位置

小硬度計を使用した。試験条件は、荷重値を980.7 mN、負荷時間は15秒とした。図7に針金断面の圧子接触箇所を示す。圧子の接触箇所は、測定位置の金網を輪切りにした断面の5箇所とした。いずれの針金断面も図4の正面から見た場合、観察者の手前に接触箇所3が位置するように測定方向を定めた。つまり、測定位置Aにおいては接触箇所4で、測定位置Bにおいては接触箇所5で、測定位置Cにおいては接触箇所2で、針金の曲率が最も大きくなっていった。

### 3. 結果

未使用の針金の硬度を図8に示す。針金は未使用でも接触箇所により硬度のばらつきが見られた。熟練者が作製した金網の針金の硬度を表1に示す。未使用の針金と比較し、全ての測定位置における平均硬度が高い値を示した。金網作製後の硬度を未使用の硬度で除した値である硬度の増加率は測定位置Aでは125%、測定位置Bでは135%、測定位置Cでは139%であった。また、測定位置で比較をすると、測定位置C、B、Aの順で高い平均硬度を示した。測定位置Aでは、亀甲の製作場所に関わらず、接触箇所4、5、3、2、1の順で高い硬度を示した。測定位置Bでも同様に、接触箇所4、5、3、2、1の順で高い硬度を示した。測定位置Cでは、接触箇所3、5、2、4、1の順で高い硬度を示した。

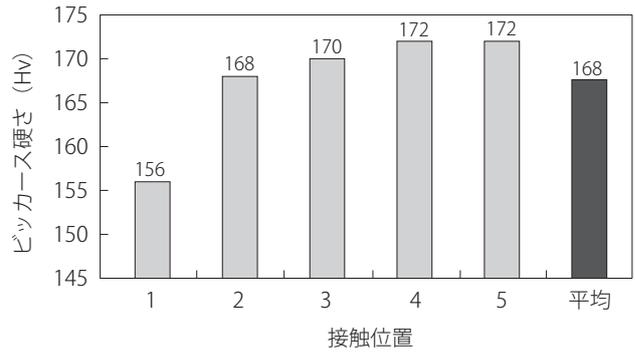


図8：未使用の針金の硬度

表1：熟練者が作製した金網の針金の硬度

接触位置	ビッカース硬度 (Hv)				
	A-1	A-2	A-3	B-1	C-1
1	152	171	170	180	187
2	191	208	220	220	237
3	205	211	240	240	280
4	240	237	247	247	217
5	231	235	245	245	242
平均	204	212	226	226	233

非熟練者が作製した金網の針金の硬度を表2に示す。未使用の針金と比較し、全ての測定位置における平均硬度が高い値を示した。硬度の増加率は測定位置Aでは156%、測定位置Bでは157%、測定位置Cでは148%であった。また、測定位置で比較をすると、測定位置B、A、Cの順で高い平均硬度を示した。測定位置Aでは、亀甲の製作場所が変化すると最大硬度を示す接触箇所が変化した。硬度が最も高いのは接触箇所4または5、次いで高いのは接触箇所2または3、最も低いのは接触箇所1であった。測定位置Bは、接触箇所4、5、3、1、2の順で高い硬度を示した。測定位置Cでは、接触箇所4、2、5、3、1の順で高い硬度を示した。

表2：非熟練者が作製した金網の針金の硬度

接触位置	ビッカース硬度 (Hv)				
	A-1	A-2	A-3	B-1	C-1
1	199	240	219	234	198
2	237	272	252	229	264
3	247	261	263	254	245
4	276	263	326	297	272
5	254	321	291	299	261
平均	242	271	270	263	248

#### 4. 考察

熟練者、非熟練者とも未使用の針金よりも金網作製後の硬度が高くなっていったことから、金網作製により、加工硬化が生じていることが明らかとなった。

各測定位置における硬度は熟練者が $C > B > A$ 、非熟練者が $B > A > C$ の順で高い値を示していた。針金を2回連続してねじる際、2つのねじりの位置は大変近いので、ねじり部分だけでなく、その周辺にも負荷が加えられることが推察される。熟練者はねじりに対して針金に負荷を加えないように編んでいると仮定した場合、1回目のねじりと2回目のねじりの双方の負荷が加わる測定位置Cの硬度が最も高くなったと考えられる。一方、非熟練者はねじり部において硬度が高くなったことから、針金への負荷を考慮せず編んでいたことが推察された。

熟練者の金網は、亀甲の場所に関わらず、測定位置Aにおいては、接触箇所4において最も硬度が高くなるという、接触位置と硬度の関係が一致しており、作業の再現性の高さが伺えた。一方、非熟練者では熟練者のような傾向が見られなかった。

測定位置Aにおける硬度が最も高い接触位置は、熟練者では4、非熟練者では4または5であり、針金の曲率が最も大きくなる接触位置4とほぼ一致していた。測定位置Bにおける針金の曲率が最も大きくなる接触位置は4であり、硬度が最も高い接触位置は、熟練者では4、非熟練者では5であった。測定位置Cにおける針金の曲率が最も大きくなる接触位置は2であり、硬度が最も高い接触位置は、熟練者では3、非熟練者では4であった。これらことから、金網を編むことにより針金の曲率が変化した場合、曲率が大きくなる圧縮側もしくはその逆の引張側において硬度が高くなっており、針金の曲率の変化は加工硬化を高める要因の一つであることが示唆された。また、非熟練者の硬度が最も高い接触位置が熟練者とは一致しなかったのは、非熟練者の手指の移動速度が何度も増減を繰り返すなど、熟練者と比較し無駄な動きが多いことにより、針金を広範囲に劣化させているためであると考えられる。

さらに、熟練者の金網は非熟練者に比べ、硬度が低い傾向を示したことから、熟練者は必要最低限の力を針金に負荷することで金網を編んでいると考えられる。このことが、針金表面へのクラックの発生や内部応力の発生を抑制し、熟練者の作った金網は長期間建築物に残存している根拠を証明する一つの理由となりうる可能性を持つ。

#### 5. 結言

本研究では、京金網の製作時に針金に起こっている加工硬化を明らかにするため、熟練者と非熟練者が作製した金網の「ねじれ部」の針金断面の硬さ試験を行った。未使用の針金と比較し、熟練者、非熟練者とも加工硬化が生じていた。非熟練者の針金断面の硬度は熟練者よりも高く、熟練者は必要最低限の力を針金に加えながら金網を編んでいることが示唆された。

#### 引用文献

Asada, M., Sakata, M., Shiono, T., Koshino, T., Yoshikawa, T., Takai,

Y., Goto, A. and Hamada, H. (2011a). Characteristics of motion during plaster model stuffing. *Proceedings of 12th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition*, POS-5, 1-6.

Asada, M., Sakata, M., Shiono, T., Takai, Y. and Goto, A. (2011b). Observation of surface structure of KYO-KAWARA (Ceramic material for roof component) fabricated by traditional skillful technique. *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Vol. 3, 655-659.

伊東里香・檜山敦・並木秀俊・宮下真理子・谷川智洋・宮廻正明・廣瀬通孝(2009). 技能の定量化に関する研究:第1報, 動作部位の3軸回転角度からみた動きの分析手法. 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 33, No. 21, 123-127.

小田原晶子・佐藤ひろゆき・杉江朋彦・森迫 清貴・塩野剛司・北島佐紀人・仲井朝美・濱田泰以(2009). 複合材料としての京壁. 日本複合材料学会誌, Vol. 35, No. 1, 27-32.

塩野剛司・佐藤ひろゆき・森谷幸紀・岡本泰則(2010). 土壁の調湿特性に及ぼす土の寝かしの影響. 材料, Vol. 59, No. 6, 409-412.

柴田勘十郎・仲井朝美・榎本晃朗・後藤彰彦・濱田泰以(2011). 京弓作製時における材料の見極めに関する研究. 日本材料学会学術講演会講演論文集, Vol. 60, 49-50.

柴田勘十郎・奈須慎一・久米雅・仲井朝美・濱田泰以(2009). 接着剤の違いにおける京弓の変形挙動と弓力の関係. *Dynamics & Design Conference 2009*, "422-1"-422-4".

田中辰憲・大西明宏・白土男女幸・久米雅・仲井朝美・辻賢一・後藤彰彦・芳田哲也(2007). "金網"製作に用いる編む技術の動作解析. *スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス2007講演論文集*, 258-261.

Tsuji, K., Takai, Y., Goto, A., Sasaki, G., Ohta, T. and Hamada, H. (2012a). Human Motion of Weaving "Kana-ami" Technique by Biomechanical Analysis. *Advances in Ergonomics in Manufacturing*, CRC Press, Chap. 19, 178-186.

Tsuji, K., Narita, C., Endo, A., Takai, Y., Goto, A., Sasaki, G., Ohta, T. and Hamada, H. (2012b). Motion analysis of weaving "KANAMI" technique with different years of experience. *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, IMECE2012-88809, 1-6.

西川茂(2000). 金網業界のあゆみ—金網の加工法と製品用途—. 日本金網団体連合会.

宗澤良臣・梶原康博・大崎紘一(2007). 伝統技法における技能伝達のための暗黙知抽出に関する研究. 日本経営工学会論文誌, Vol. 58, No. 1, 17-28.

(受稿:2013年6月8日 受理:2013年6月13日)