

## 日本弓の運動解析

東海林創<sup>\*1</sup>, 橋本眞也<sup>\*2</sup>, 櫻井俊明<sup>\*2</sup>, 日比野郁夫<sup>\*3</sup>

### Motion Analysis of the Japanese Bow for Archery

Hajime Shoji<sup>\*1</sup>, Shinya HASHIMOTO, Toshiaki SAKURAI and Ikuo HIBINO

<sup>\*1</sup> Graduate Student of Iwaki Meisei Univ.

5-5-1 Chuodai Iino, Iwaki, Fukushima, 970-8551 Japan

This paper describes the motion analysis of the Japanese bow made from carbon fibers with the linen string for archery. The final target of this study is to establish the realistic relationship between human body and the bow with the string in giving instruction and to propose a suitable text book for players to keep healthy. In this case, a vibration characteristic of the bow with the string is noticed due to experiments and calculations by the Rigid Motion Analysis. The calculation model consists of rigid bodies and rotational springs. When the string of the bow is drawn and released, displacements and vibration characteristics of the upper and lower of the bow are measured by video-camera and calculated by computer. A good coloration between experiments and calculations is taken. It is considered in the next step to make human body models with some kinds of the skeleton.

**Key Words** : Mechanical Engineering, Vibration, Japanese Bow, Rigid Motion Analysis

### 1. 結 言

日本の文化では使用者と道具の親和性が重要視される。このことは使用者の健康を害さない道具でなければことを意味する。さらにその指導法はその極意に沿って教授されねばならない。しかし一般的な指導法ではあまりにも伝統的な作法や律儀ともいべき仕草に肩入れしすぎ、人の体形に合った、過程や進捗に見合った指導法がなされていない場合が多い。このような時、理論的で人の体形や進度に応じた指導法があれば健康を考慮したより良いスポーツへと繋がるものと考えられる。このような観点から、ここでは日本弓による指導法を例として取り上げる。これまで紹介された日本弓の研究には、指導法を取り扱った例は見当たらず、むしろ弓本体の振動解析や大変形解析<sup>(1)(2)</sup>、人体の手首の運動<sup>(3)</sup>、弓本体や弦の材料や材質、複合材などの材料に関する研究報告<sup>(4)</sup>は多いが、弓を道具とし使用者との親和性、あるいは教授法に関して論じた報告は少ないようである。実際弓の達人領域にある人であれば、矢を放つときには弓把箇所は力学的な曲げや捩じりを生じ、振動するものと推測されるが、全くそこには振動が生じないとも言われ、その境地に達するには弓と人間の運動の両面を考察して解析することが重要になる。

本論文では、人間と道具の親和性を適切に確立し、それに基づく新たな教授法の提案を最終目的とし、今回は先ず弓本体の振動特性を実験と計算から議論することにする。今回対象とした弓は基本的には日本弓で本体がカーボンファイバーで弦が麻繊維で構成されている。実験は台上試験で実施し、計算には弦や弓本体は剛体モデルとして取り扱う剛体運動解析手法を用いる。すなわち対象物を剛体部位に分割し、各剛体要素同士の結合部には

<sup>\*1</sup> 学生員, いわき明星大学理工学研究科修士課程1年(〒970-8551 福島県いわき市中央台飯野5-5-1)

<sup>\*2</sup> 正員, いわき明星大学科学技術学部, <sup>\*3</sup> 会員外, 元アルプス電気㈱

E-mail: sakurait@iwakimu.ac.jp

回転ばねを挿入し結合するものである。従って計算に必要な物理量は回転ばね定数、減衰定数および密度である。この結果、実験と計算はよい一致を示すことが分った。今後は引き続き材料を変え、人体の標準骨格計算モデルを構築し、それらとの融合を図り、理想的な教授法を提案するものである。

## 2. 方 法

**2・1 実験手法** 実験に使用した日本弓本体はカーボンファイバー製で、弦は麻繊維である。弓本体と弦とは使用状況を対象としているので初期形状は弦を張った状態とする。先ず使用する弓の形状寸法を定盤上で実測する。この場合、弦を垂直にして設置しその座標を  $y$  座標とする。弦からの垂直方向を  $x$  座標とする。原点は  $x$  軸が弓把中心を通り、 $y$  軸との交点とする。次に弓本体の運動解析には人が弓把を持ち、弦を引くことを想定するので、弓把は弓把断面形状に沿った長さ×高さ×幅 (120×35×20)、板厚 3mm のアルミ製長方形角パイプを外側に介して万力に固定される。弦と弓把の距離は正の方向へ 150mm である。その初期位置から反対方向、すなわち  $x$  軸負方向へ平行に弓把から 700mm まで弦を引いた時でこの時の水平力は 300N である。この時点で弦を射離した時の弓本体の上端と下端の変形量と、弓本体の上端と下端の振動の様子をビデオカメラ観察により計測する。

**2・2 計算手法** 計算には汎用運動解析プログラム RecurDyn を用いる。今回基本的には対象物を剛体とみなし、分割された剛体要素間に回転ばねで結合し、解析する手法である。従って、振動解析では回転ばね定数、減衰係数および密度に関する物理量が必要である。モデル化に際し、弓本体は断面の変化の大きさなどを考慮して 18 分割要素、弦は 3 分割要素とする。弓本体の断面形状は長方形であるが、各分割要素によりその大きさは異なる。弦の断面形状は円であるが、各分割要素で径は異なる。実験手法と同じく、計算に際し、初期位置から  $x$  軸負方向へ平行に弦から 700mm、従って弓把から 850mm まで弦を引いた時の弓本体の上端と下端の変形量を計測する。さらにその位置での振動を求める。

使用した弦および弓本体モデルの代表的な物理量を表 1 に示す。

Table 1 Physical characteristics of calculation model

	String	Bow
Rotational spring constant [kNm/rad]	—	500
Damping constant [-]	—	70
Density $\times 10^{-6}$ [kg/mm <sup>3</sup> ]	1.4	1.8

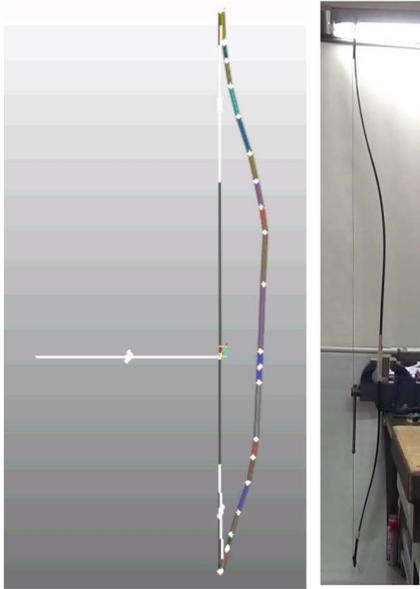
## 3. 実験 および 計算結果

### 3・1 実験結果および計算結果

図 1(a) に弓本体上に白く分割領域が見える個所のように 18 分割要素の弓本体と色が違っているように 3 分割要素の弦の計算時における計算モデルと、図 1(b) 弓本体と弦を、アルミ製角パイプを外側に介して万力に装着した実験時の様子を示す。実験時の状態から分かるように計算モデルにおいても弓本体は幾何学的に上下で非対称であることが分かる。

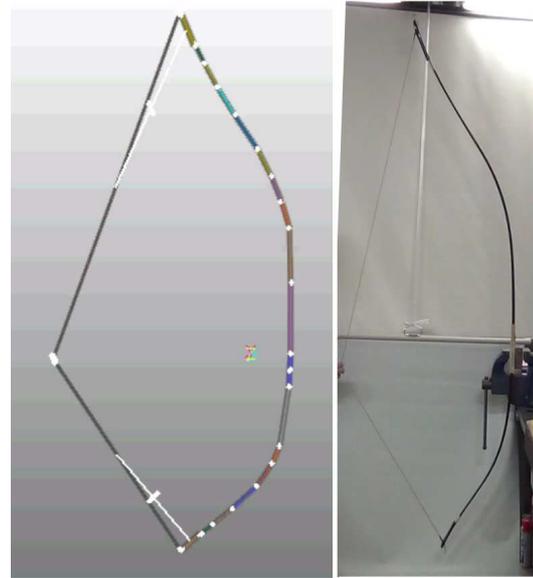
図 2(a), (b) に矢を放つ直前の計算および実験状況を示す。弦と弓把の距離は 150mm なのでその初期位置から  $x$  軸負方向へ平行に弓把から 850mm である。計算時の弓本体の上下端は図中、白い一部の直線部分で示すようにわずかに  $x$  軸負方向に 変位していることがわかる。実験では初期位置の目印として図中に示すように座標軸を設置している。

実験と計算による弓本体の上端と下端の変位を測定した結果を表 2 に示す。実験と計算を比較すると、弓本体の上端部は比較的良好に合うが、下端では小さな誤差があった。



(a) Calculation model (b) Experiment

Figure 1 Initial conditions before experiment and calculation



(a) Calculation (b) Experiment

Figure 2 Conditions just before actions

Table 2 Experiment and calculation results of the displacement of the upper and lower parts of the bow

	Experiment	Calculation
Upper part (mm)	240	230
Lower part (mm)	180	220

実験における弦を引き離れた時からの弓本体の上端と下端の変位と時間に関する振動現象を図3に示す。

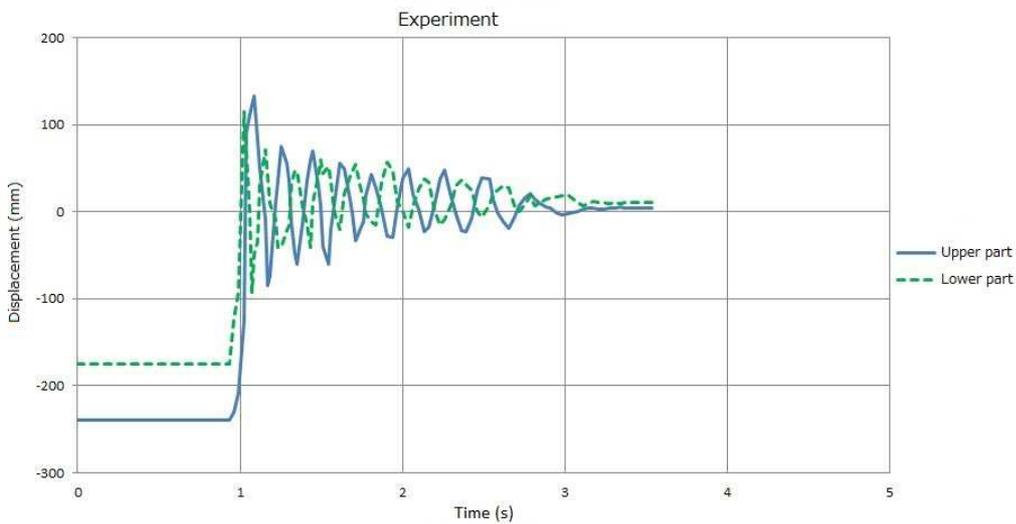


Figure 3 Experimental results of the displacement vs. time

表2および図3から、射離される前の変形は上端部が約240mm、下端部のそれは約180mmであり、上端部の初期変形量の方が下端部よりも大きい。初期変形はこのように異なるが、振動のそれぞれの変位は同等程度である。一方、位相は上端部の方が下端部に比べ遅れて減衰していく傾向にあり、3秒後には同じく変動は止んでいる。図4に図3に対応する計算結果を示す。

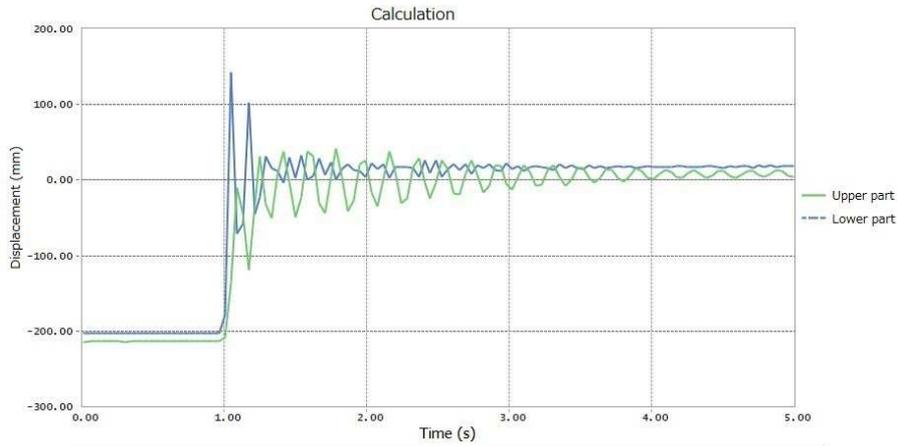


Figure 4 Calculation results of the displacement vs. time

表 2 および図 4 から、初期変位は計算値で上下端部とも約 220mm 程度である。射離し後、下端部は時間とともに大きな変位から小さな変位と減衰するが、一方上端部は最初から大きな変位をせず、時間と共に減衰するものの小さな振動が継続している。

図 5 および図 6 に弓本体の上端と下端における実験と計算の比較を示す

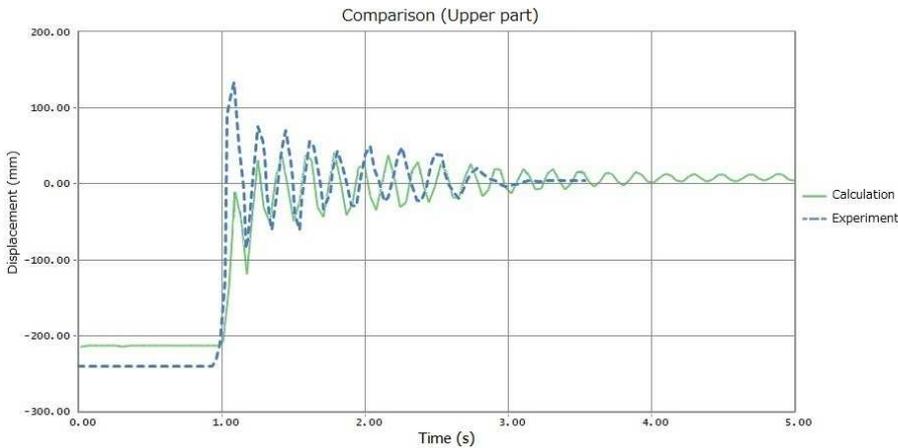


Figure 5 Comparison of the experiment and calculation at the upper part

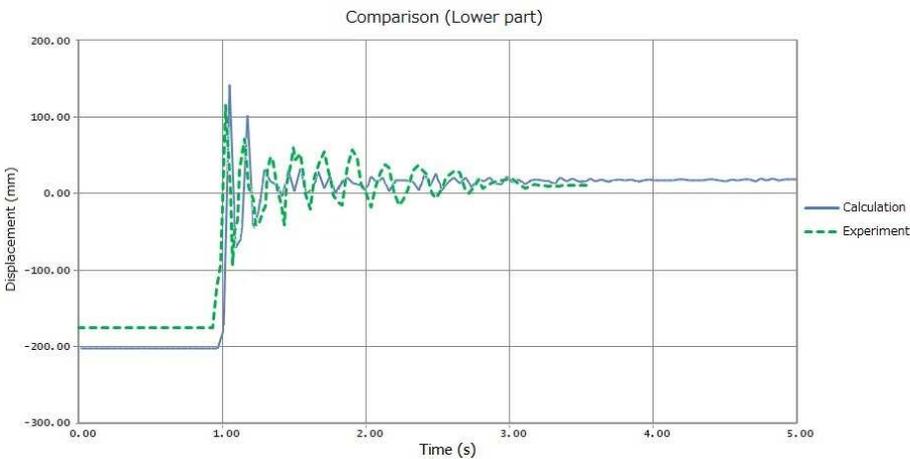


Figure 6 Comparison of the experiment and calculation at the lower part

実験および計算結果の比較から分かるように上端部の位相モードは比較的あっているが、初期振動が異なる。一方、下端部の初期振幅は同じような傾向を示すが、位相が異なる。

#### 4. 考察 および 結論

今回、カーボンファイバー製弓本体および麻繊維の弦を材料とした日本弓を対象にした。実験時、弓把をアルミ合金製の各パイプで介して万力に固定した。そのアルミ合金製のパイプの弓本体長手方向に120mmとしたが、長さの妥当性、弓本体との隙間などそれらの接触状態に関しては詳しく検討していない。また計算における特性を決定づける分割要素の適正化に関して多く検討してはなく、また回転ばね定数に関しても精密な定数の検討が必要である。以上のような条件下での実験と計算結果から、次のことが結論できる。

- (1) 実験での再現性は良い結果が得られた。
- (2) 実験における上端部と下端部の変位に差異が見られた。なお実際の弓を射離した場合の方向を確認する。
- (3) 計算では剛体と回転ばね定数でのモデル化でそれ相当の計算結果を得ることができる。今後、適切な分割と相当の回転ばね定数を選別する。
- (4) 実験と計算との比較では上端と下端で計算が実験を再現できている事象と異なる事象が生じた。今後モデル化や物理定数を確認しながら進める必要がある。

#### 文 献

- (1) 田中禎一, 谷口浩平, 高橋良明, 高橋辰郎 “弓の振動に関する研究”, 熊本高騰専門学校研究紀要 第3号(2011), pp.714.
- (2) 大槻敦巳, 山中俊二, “和弓における大変形特性の理論解析”, 日本機械学会第14回計算力学講演会講演論文集, No.01-10(2001), pp.39-40.
- (3) 柴田勘十郎, 秀熊佑哉, ほか, “京弓での弓引き動作時の筋活動(左右非対称構造の影響)”, 日本機械学会 No.08-14(2008 CD-ROM 論文集).
- (4) 細谷聡, 宮地力, 岡田守彦, “和弓の弦の素材の違いが発射現象に及ぼす影響”, 日本機械学会論文集C編, Vol. 64, No. 623 (1998), pp. 101-106.