427 へら釣り上げ時の解析と釣竿の評価

Analysis and evaluation of crucian fishing rod under fishing

○正 岩壺 卓三 (関西大) 学 峯松 孝太 (関西大)

Takuzo IWATSUBO, Kansai University, Yamate 3-3-35, Suita, Osaka 564-8680
Kouta MINEMATSU, Kansai University

This paper dealt with the analysis and evaluation of crucian fishing rod under fishing. At first, simulation software is constructed by using multi-body dynamics technique. Then fishing force when the crucian is fished is measured in real fishing in order to obtain the input data of the simulation. Next a fishing, that is, fishing rod-line-float-weight and fish system, is constructed for simulation and it is certified by some simulations. Then three fishing rods which are designed by feeling object oriented optimum design are simulated for throwing up motion and rod-line-weight-float and fish system and the fishing rods are evaluated from view point of feeling.

Key Words: Fishing, Fishing rod, Simulation of fishing, Measurement of fish force, Optimum design considered feeling

A1. まえがき

釣りは、青少年から高齢者までの幅広い年齢層にわたって楽しまれているスポーツである。釣具メーカーでは、様々な釣りの形態や年齢層を対象にして、多種多様な商品の開発を進めている。特にへら釣りは手軽にできる釣りのひとつとして人気がある。へら釣りは他の種類の釣りに比べて釣竿の微妙な操作を必要とするため、竿の性能が特に重要となる。よって、へら釣竿の設計の際には様々な条件の下で研究し、結果を考慮する必要があると考えられる。現在、動力学の観点からのへら釣りに関する研究として、釣竿や釣糸を扱ったフライキャスト中の竿と糸の挙動の解析に関するものがある⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかし、それは空中での釣竿の挙動を解析する研究であり、水中の魚を釣り上げる際の研究はされていない。これでは、釣りをしている最中で最も竿に影響を与えると考えられる魚の力、水の抵抗、浮力といった要素を考慮した釣竿の評価ができない。

そこで本研究では、異なる特性を有したへら釣竿を設計し、それぞれに対し水中での竿-糸-浮き-魚の挙動を解析することにより、釣竿の評価を行う。

まず、釣竿の動的解析手法をマルチボディダイナミクスによりモデル化し、構築する。

次に魚の引張力の測定を行うため、竿の先端にストレインゲージをつけ、その先に魚を引っ掛け泳がせ、その時のストレインゲージの歪みを測定し、魚の引張力とする。

次に、竿・糸・浮き・魚の引張力を入力して計算する。最後に異なる感性評価に基づいた釣竿を設計し、市販されている竿を加えて、合計4種類の竿について魚の釣り上げ時の性能についてシミュレーションにより比較を行う。

A2. 釣竿の動的解析モデルのマルチボディダイナミクスによる定式化

A3. 魚の引張力の測定

竿-糸-浮き-魚の挙動の解析のために、ヘラブナの引張力の測定を以下の方法で行う。

A4. へら釣り上げ時のシミュレーション

図7の体長25、30、40cmの魚の結果を見ると竿が湾曲していて、水面到達時間が長くなっていることがわかる。これらは魚の引張力が錘にかかる力より大きく、さらに右下方方向に作用しているからであり、解析へ魚の引張力が考慮された結果であると考えられる。竿-糸-浮き-魚系の解析システムの妥当性が確認された。

A5. ヘラブナの釣り上げ

本章では目的を定めた工学的評価方法に基づいた設計を行い、それらの釣竿と市販の釣竿に対して、空中での「振り上げ」と魚の引張力を入力した水中での「釣り上げ」の2種類の解析を行い評価する。

Fig.A1 Simulation of fishing

Fig.A2 Throwing up simulation of rod

A6. あとがき

本研究では、へら釣竿の動的解析をマルチボディダイナミクスを用いて、リンクモデルにより解析を行うシステムを構築した。

次に、魚の引張力を測定し、その引張力を解析システムに入力することにより竿-糸-浮き-魚系のモデルによるへら釣り上げ時のシミュレーションを行った。これにより、竿及び糸全体の挙動を正しく計算できることが確認できた。

続いて、感性評価と物性値の間の関係を導き出すことで構築された工学的評価方法に基づき、「軟らかい竿」「重い竿」「止まり具合の良い竿」の設計を行った。釣竿の全長・各ピースに用いる材料(密度、ヤング率)・釣竿の先端と後端の外径は固定したまま径を変更することにより、性能の異なる3種類の釣竿を設計することができた。

最後に、新たに設計された釣竿と基準の竿を用い「振り上げ」及び「釣り上げ」時における挙動を解析することにより、釣竿の評価を行った。その結果、「振り上げ」に関しては先端の反応速度が最も速い「止まり具合の良い竿」が設計されていて、「釣り上げ」に関しては魚の水面到達時間が最も短い「基準の竿」であることがわかり、それぞれ設計通りに作られていることが確認できた。

1. まえがき

釣りは、青少年から高齢者までの幅広い年齢層にわたって楽しんでいるスポーツである。釣具メーカーでは、様々な釣りの形態や年齢層を対象にして、多種多様な商品の開発を進めている。特にへら釣りは手軽にできる釣りのひとつとして人気がある。へら釣りは他の種類の釣りに比べて釣竿の微妙な操作を必要とするため、竿の性能が特に重要となる。よって、へら釣竿の設計の際には様々な条件の下で研究し、結果を考慮する必要があると考えられる。現在、動力学の観点からのへら釣りに関する研究として、釣竿や釣糸を扱ったフライキャスト中の竿と糸の挙動の解析に関するものがある⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかし、それは空中での釣竿の挙動を解析する研究であり、水中の魚を釣り上げる際の釣竿の研究はされていない。つまり、釣竿の評価を空中だけで行っているのである。これでは、釣りをしている最中で最も竿に影響を与えと考えられる魚の力、水の抵抗、浮力といった要素を考慮した釣竿の評価ができない。

そこで本研究では、異なる特性を有したへら釣竿を設計し、それぞれに対し水中での竿・糸・浮き・魚の挙動を解析することにより、釣竿の評価を行う。

まず、釣竿の動的解析手法をマルチボディダイナミクスによりモデル化し、構築する。

次に魚の引張力の測定を行うため、竿の先端にストレインゲージをつけ、その先に魚を引っ掛けて泳がせ、その時のストレインゲージの歪みを測定し、魚の引張力とする。

次に、竿・糸・浮き・魚の引張力を入力して計算する。最後に異なる感性評価に基づいた釣竿を設計し、市販されている竿を加えて、合計4種類の竿について魚の釣り上げ時の性能についてシミュレーションにより比較を行う。

2. 釣竿の動的解析モデルのマルチボディダイナミクスによる定式化

本方法については文献(1)で詳しく述べられているのでここでは考え方だけ述べる。

図1に示すように釣竿を n 個の剛体リンクと回転ばねからなる集合体であると仮定する。 i 番目の剛体の重心位置を (x_i, y_i) 、回転角を θ_i として、一般化座標を次のように定める。

$$\mathbf{q} = \{x_1 \ y_1 \ \theta_1 \ \cdots \ x_n \ y_n \ \theta_n\}^T \cdots (1)$$

釣竿が運動する間、この系には運動学的な拘束条件と外乱を表す駆動条件はそれぞれ

$$\Phi^K_{i(i+1)}(\mathbf{q}) = \begin{Bmatrix} (x_i + l_i \cos \theta_i) - (x_{i+1} - l_{i+1} \cos \theta_{i+1}) \\ (y_i + l_i \sin \theta_i) - (y_{i+1} - l_{i+1} \sin \theta_{i+1}) \end{Bmatrix} = \mathbf{0} \cdots (2)$$

および

$$\Phi^D(\mathbf{q}, t) = \mathbf{0} \cdots (3)$$

となり、これらの拘束条件をまとめて、

$$\Phi(\mathbf{q}, t) = \begin{Bmatrix} \Phi^K(\mathbf{q}) \\ \Phi^D(\mathbf{q}, t) \end{Bmatrix} = \mathbf{0} \cdots (4)$$

と表す。

Fig.1 Rigid link-rotary spring model of a rod

式(4)の両辺を時間で微分することで、速度方程式および加速度方程式を求め、仮想仕事の原理およびラグランジュの乗数ベクトル法を用いて

$$\hat{\mathbf{M}}\ddot{\mathbf{\theta}} = \hat{\mathbf{Q}} \cdots \cdots \cdots (5)$$

運動方程式を得る。この微分方程式を時間積分することで、時々刻々の角変位を求める。

次に剛体リンク-回転ばねモデルおよび回転減衰モデルを釣竿に合わせてモデル化する。

3. 魚の引張力の測定

竿・糸・浮き・魚の挙動の解析のために、ヘラブナの引張力の測定を以下で行う。

測定は図2に示すようにへら釣竿、糸、ヘラブナによって構成される系について行う。

測定には竿の先端にストレインゲージをつけ、そこから糸を垂らし、その先に魚を引っ掛けて泳がせる。その時のストレインゲージの歪みによる電気信号をデータレコーダで記録する。また糸にはマークをつけ、マークをビデオカメラで撮影し、マークの動きから魚の移動角を測定する。なお、魚は3次元の動きをするが、ここでは水平、鉛直方向の二次元でデータ処理を行っている。解析後、力の大きさと方向を時間的にシンクロさせることによって魚の引張力とする。また魚の引張力を測定する魚は実際に釣りを行って測定すると、魚が釣れるとは限らないことおよび、測定器具の電源がないことなどの問題があるため、一度捕獲したヘラブナに針を引っ掛けて泳がせて測定した。魚の引張力の測定は表1に示す3種類の大きさの魚を用いて行った。測定結果は魚の引張力と角度の時間変化を図3に示す。

今回の測定において、25cm、30cm、40cmの魚の引張力を比較すると、最大値では30cmの魚が一番大きな値を示している。しかし、平均値を見るとサイズが増加するに従って増加していることがわかる。よって、魚の体調の良し悪しがあるにしても、ある程度のサイズ差があれば引張力は増加するのではないかと考えられる。

この測定は一度捕獲したヘラブナに針を引っ掛けて泳がせて測定したので、アタリの力は測定できていない。しかし、アタリの力はその魚の最大の力と考えられるので、引張力の測定結果の最大値で代用できるのではないかと考えられる。

Fig.2 Measurement of fishing force

Table1 Length and weight of crucian

	Length (cm)	Weight (g)
Fish(1)	25	500
Fish(2)	30	600
Fish(3)	45	800

Fig.3 Force and angle of fish

この測定は一度捕獲したヘラブナに針を引っ掛け泳がせて測定したので、アタリの力は測定できていない。しかし、アタリの力はその魚の最大の力と考えられるので、引張力の測定結果の最大値で代用できるのではないかと考えられる。

4.へら釣り上げ時のシミュレーション

4-1 構成要素の諸元

解析モデルを構成する要素の諸元を表2から表5に示す。表2、3は竿に関するもので、竿は3ピースで構成されており、ピースとピースの間にはピース1と2および2と3の間にそれぞれ65、70 (mm) の合わせ部がある。解析に当り、リンク数は49とした。そして糸の竿に近いリンクは竿から大きな影響を受けると考えられるので、表4に示すように前半のリンクを短くした。浮き、錘、魚は一つの要素とし、その諸元を表5に示している。

Table2 Data of reference fishing rod

	Piece1 (root)	Piece2	Piece3 (top)
Length of piece [mm]	900	835	840
Density [kg/m ³]	1680	1680	1700
Yang modulus [tf/mm ²]	5.7	6.6	7.8

Table3 Diameters of fishing rod

	Piece1		Piece2		Piece3	
	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top
Outer dia [mm]	7.90	6.82	5.45	3.83	3.25	1.14
Inner dia [mm]	5.30	5.45	3.60	3.25	1.80	0.64

Table4 Calculation data of line

Link	7
Length [m]	3.00
1-2 link length [m]	0.2500
3-7 link length [m]	0.50
Diameter [m]	0.2×10^{-3}
Weight [g]	0.12
Density [kg/m ³]	1237
Yang modulus [Gpa]	5.28

Table5 Dimension of each link

	Float	Sinker	Fish(1)	Fish(2)	Fish(3)
Length [m]	0.15	0.05	0.25	0.30	0.40
Diameter [m]	0.01	0.05	0.06	0.08	0.10
Density [kg/m ³]	420	1528	707	398	255
Weight [g]	4.95	150	500	600	800

4-2 釣り上げ動作入力

釣り上げ動作として、釣竿にはグリップ端を回転軸とし、グリップ部に外乱として回転運動を加える。実際のへら釣りにおいて魚の釣り上げには数秒から数十秒時間かかるので、ここではまず緩やかな入力を考え、その時の加速度、速度、変位を図4に示す。このときの駆動拘束条件式(3)は次式のようになる。

$$\Phi^D(q, t) = \ddot{\theta}_1 - a(t) = 0 \dots \dots \dots (6)$$

ここで $\ddot{\theta}_1$ は釣竿の第1要素(=グリップ部)の角加速度、 $a(t)$ は釣竿に与えられる角加速度入力である。

Fig.4 Input acceleration, velocity and angle

4-3 へら釣り上げ時の解析

糸は水面を境界条件として空気中のリンクには空気抵抗、水中のリンクには水抵抗、浮力が作用する。空気抵抗、水抵抗に関して、運動中の釣糸にはその速度に応じた抗力及び揚力が作用すると考えられるため、これらの力を以下のようにして求める。図5に示すように円柱に対して角度 α だけ傾いた流れを考えると、抗力係数と揚力係数は文献(11)を参考にし、

$$C_D = C_{Dbasic} \sin^3 \alpha \dots \dots \dots (7)$$

$$C_L = C_{Dbasic} \sin^2 \alpha \cos \alpha \dots \dots \dots (8)$$

となる。ここで C_{Dbasic} は流れに垂直に置かれた円柱の抗力係数であり、図6で示される値を用いる。なお、釣糸の径はその長さに対して非常に小さいため、 $l/d = \infty$ とみなし、そのときの抗力係数を考えるものとする。

今、 i 番目の糸要素の x 方向の運動について考えると、その速度 V_{ix} は、

$$V_{ix} = -\sum_{k=1}^{i-1} (l_k \dot{\theta}_k \sin \theta_k) - \frac{1}{2} l_i \dot{\theta}_i \sin \theta_i \cdots \cdots (9)$$

となる。よって、釣糸の x 方向の運動に対して生じる抗力 F_{Dx} 、揚力 F_{Lx} は、

$$F_{Dx} = \frac{1}{2} C_D \rho_{Air} d_i l_i V_{ix}^2 = \frac{1}{2} C_{Dbasic} \rho_{Air} d_i l_i V_{ix}^2 \sin^3 \theta_i \cdots \cdots (10)$$

$$F_{Lx} = \frac{1}{2} C_D \rho_{Air} d_i l_i V_{ix}^2 = \frac{1}{2} C_{Dbasic} \rho_{Air} d_i l_i V_{ix}^2 \sin^2 \theta_i \cos \theta_i \cdots \cdots (11)$$

となる。同様に y 方向の運動に対して生じる抗力 F_{Dy} 、揚力 F_{Ly} も計算できる。このようにして計算される空気抵抗と水抵抗を釣糸に作用させるものとする。

魚が最大の力を発揮するのはアタリの瞬間であると考えられ、その後、引張りに大きな増減があるものが現実的と考えられる。そこで 25cm の場合 136.7sec で 94.9g、30cm の場合 18.5sec で 162.3g、40cm の場合 26.5sec で 139.3g を初期値として入力する。実際のヘラブナは平たい形をしているが、水の抵抗は投影面積に対してかかるため、ここでは側面からの投影面積が一定となる円柱の形をしていると仮定する。この魚の場合、 $l/d \approx 4$ とする。図 6 においてレイノルズ数 $Re = 0.9 \times 10^5$ のとき抗力係数はおよそ $C_{Dbasic} \approx 0.75$ であり、 $Re = 400 \sim 4 \times 10^5$ において一様に小さい値を示す。この値を用い抗力係数を考えるものとする。これを用い浮きと魚に水中では水抵抗、空中では空気抵抗がかかり、糸には常に空気抵抗がかかるものとする。グリップ端への入力とは図 4 の緩やかな角加速度とする。しかし、ここでは初期状態でグリップ端の位置を上げ、角度を下向きに 10 度傾けて解析を始める。なお、魚が水面に達したとき解析終了とする。

図 7 に体長 25cm の魚のシミュレーション結果を示す。この結果を見ると竿が湾曲して、水面到達時間が長いかか

Fig.5 Force of line

Fig.6 Drag coefficient of column in air

っていることがわかる。これらは魚の引張力が錘にかかる力より大きく、さらに右下方向に作用しているからであり、解析へ魚の引張力が考慮された結果である考えられる。

以上により、竿一糸一浮き一魚系の解析システムの妥当性が確認された。

Fig.7 Simulation of fishing

5.ヘラブナの釣り上げ

文献(1)でヘラブナの感性評価と物性値の間の関係を導き出すことで工学的評価方法を構築した。本章では目的を定めた工学的評価方法に基づいた設計を行い、それらの釣竿と市販の釣竿に対して、空中での「振り上げ」と魚の引張力を入力した水中での「釣り上げ」の2種類の解析を行い評価する。

「振り上げ」での評価は角加速度入力に対する先端の反応速度の速さで行い、「釣り上げ」での評価は魚の水面到達時間の早さで行う。

5-1 釣竿の設計

表 2、3 に示す基準のヘラブナの主成分得点は表 6 のようなので、これを基準として「軟らかい竿」「重い竿」「止まり具合の良い竿」を設計する。それぞれ表 6 に示す主成分得点を目標値とし、最適化問題を解くと竿の径変更前後のヘラブナの軸方向に沿った断面は図 8 となる。また物性値は表 7 のように変更された。なお、表 7 中の節の位置は根元から節までの距離を竿の全長に対する割合で表している。

「軟らかい竿」に関して、図 8(a) の径の変化及び表 7 の物性値の変化をみると、第 2 ピースの厚さが増加し、第 1 ピースの厚さが減少しているのがわかる。この径変更により 1 次固有振動数を小さくすることで第 1 主成分「硬さ・強さ」を下げている。表 7 の物性値をみると節の位置が全体的にグリップ端寄りになっている。これは質量分布がグリップ端側へ移動し竿全体がしなやかに曲がるようになったためであると考えられる。

「重い竿」に関して、第 2 主成分の「重さ」は持ち重り感の静的な重さと振り重り感の動的な重さを含んでいるため、単に全質量を大きくするだけでは重さの効果的な上昇にはつながらない。図 8(c) の径の変化及び表 7 の物性値の変化をみると、全体的に厚さが増加しているが、特に第三ピースと第二ピースの先端側の厚さが増加していることがわかる。これが効果的に回転慣性を大きくし、如いては動的な重さの上昇につながっていると考えられる。表 7 の物性値をみると節の位置が全体的に先端寄りになっている。これは質量分布が先端側へ移動したためであると考えられる。

「止まり具合の良い竿」に関して、図 8(d) の径の変化及び表 7 の物性値の変化をみると、第 2 ピース先端の厚さを増加させていることがわかる。これによりピース質量差を大きく

することで目標値を達成している。表 7 の物性値 5 のモード形状をみると 4 次モードの節の位置がグリップ端寄りになっている。これによって即応性が増したのではないかと考えられる。

このように釣竿の全長、各ピースに用いる材料(密度、ヤング率)、釣竿の先端と後端の外径は固定したまま径を変更することにより、性能の異なる 3 種類の釣竿を設計することができた。

Table6 Principal component of fishing rod

Rods	Commercial	Flexibility	Heavy	Top stop
1 st	1.72	-2.00	1.72	1.72
2 nd	-0.84	-0.84	2.00	-0.84
3 rd	0.25	0.25	0.25	2.00

Table7 Physical value used independent variable of multiple regression analysis

Rods	Commercial	Flexibility	Heavy	Top stop
Total length[m]	2.71	2.71	2.71	2.71
Total weight[g]	49.30	49.40	61.70	49.30
Moment of inertia at grip point[g · m ²]	69.41	68.41	82.24	68.83
Moment at grip point[g · m]	39.52	39.41	49.26	39.45
Center of gravity[mm]	801.10	798.00	797.90	801.10
Difference between bottom and top of the piece	6.88	7.84	10.90	7.43
1st eigen frequency[Hz]	2.10	1.83	2.02	2.11
2nd eigen frequency[Hz]	5.91	5.35	4.76	6.22
3rd eigen frequency[Hz]	11.50	11.23	9.74	12.41
4th eigen frequency[Hz]	21.99	20.74	17.84	22.58
Modal position of the 2nd mode	0.77	0.73	0.80	0.75
Modal position of the 3rd mode(bottom)	0.59	0.56	0.61	0.56
(top)	0.88	0.88	0.89	0.87
Modal position of the 4th mode(bottom)	0.45	0.42	0.47	0.44
(middle)	0.74	0.72	0.74	0.72
(top)	0.93	0.93	0.93	0.93

Fig.8 Fishing rod designed by feeling objected design

5-2 リンクモデルによる設計後解析

前節で設計された「軟らかい竿」「重い竿」「止まり具合の良い竿」の 3 種類及び、市販品であり初期値として用いた「基準の竿」の計 4 種類の釣竿が実際のへら釣りにおいてどのような挙動を示すかということを確認し比較するためにリンクモデルによる解析を行う。ここでは「振り上げ」と「釣り上げ」の 2 種類を解析し、それぞれの竿の評価を行う。グリップ端への入力角加速度、速度、角変位は図 11 に示すような値に設定する。このときの駆動拘束条件式(3)は次式のようになる。

$$\Phi^D(q, t) = \ddot{\theta}_1 - a(t) = 0 \dots \dots \dots (12)$$

5-2-1 振り上げ

ここでは釣竿のみの挙動を解析し評価する。竿のみでの振り上げに図 9 の 0 から 0.25 秒間の角加速度を入力し、4 種類の竿を用いて解析を行う。また角度入力を見てわかるように、解析開始直後に瞬間的に角度を増加させ竿を振り上げている。これはアタリに合わせて魚に針を引っ掛けるときに行う動作である。図 10 に解析結果を示す。

Fig.9 Input acceleration, velocity and angle

Fig.10 Throwing up simulation of rod

5-2-2 釣り上げ

本節では表 4、5 に示す諸元を有した糸、浮き、魚を用いて解析を行う。魚の引張力の初期値は 26.5sec、139.3g とする。これは 40cm の魚の最大の引張力ではないが、最大に近い値であり、26.5sec 後の引張力に大きな増減が確認出来るため、この時刻の引張力を初期値として入力する。これが魚のアタリの力となる。グリップ端への入力図 9 に示す角加速度とする。そして、初期状態でグリップ端の位置を上げ、角度を下向きに 10 度傾けて解析を始める。図を見てわかるように、解析開始直後にアタリに合わせて瞬間的に角度を増

Fig.11 Simulation of fishing for the different rods

加させ竿を振り上げている。しかし、この振り上げにより竿が大きく湾曲したまま魚を引き上げると竿が折れてしまう危険性があるため、その後魚が水面に上がってくるまで魚の様子を見ながら一定の微小な角速度を入力するように設定する。以上の条件の下で既存の竿を含め4種類の釣竿の応答を計算し、それぞれの挙動を解析する。図11に解析結果を示す。考察は5-3章で述べる。

5-3 釣竿の評価

図10を見ると「基準の竿」は先端の反応速度としなり、ともに4本の中で中間の結果が出ている。これは、この竿が万人向けに設計されているためであると考えられる。「軟らかい竿」は一見硬くはなっていないように見えるが、実際根元が軟らかいためグリップ端からの力で根元が大きくしなり、それより先の部分がしなっていないと考えられる。そして、根元がしなることにより先端の反応速度が低下している。

「重い竿」は先端側が特に重いため回転慣性が大きくなり最もしなっている。これにより先端が遅れて動いている。

「止まり具合の良い竿」は先端が最も早く反応し、時刻0.20秒、0.25秒において最も高い位置にある。アタリに合わせ竿を振り上げるとき、角加速度入力に対する先端の反応速度が速いほど良い竿とされている。したがって、アタリに合わせるための瞬間的な振り上げに関しては「止まり具合の良い竿」が最適な竿である。

図11(a)～(d)を比較する。竿を見ると、「重い竿」以外の竿には大差ないが「重い竿」は非常に湾曲している。これは振り上げと同様の結果である。浮きと魚を見ると、それぞれの竿に対して異なる挙動を示している。これは竿の性能、物性値の違いによるものであると考えられる。水面到達時間を見ると「基準の竿」が19.12秒と最も早くになっている。本研究での「釣り上げ」に関する評価を魚の水面到達時間の早さで行うとすれば、「基準の竿」が最適な竿である。なお、「基準の竿」は既存の竿であるが、本研究で用いた工学的評価方

法に基づく設計手法はあくまで自分にあった性質を有する竿を設計するための手法であり、水面到達時間を早くするための設計手法ではないので、この結果も妥当であると考えられる。そして、この結果を設計にフィードバックすることにより、感性和、魚の水面到達時間の早さを含めた設計手法の構築が可能ではないかと考えられる。

6. あとがき

本研究では、へら釣竿の動的解析をマルチボディーダイナミックスを用いて、リンクモデルにより解析を行うシステムを構築した。

次に、魚の引張力を測定し、その引張力を解析システムに入力することにより竿-糸-浮き-魚系のモデルによるへら釣り上げ時のシミュレーションを行った。これにより、竿及び糸全体の挙動を正しく計算できることが確認できた。

続いて、感性評価と物性値の間の関係を導き出すことで構築された工学的評価方法に基づき、「軟らかい竿」「重い竿」「止まり具合の良い竿」の設計を行った。釣竿の全長・各ピースに用いる材料(密度、ヤング率)・釣竿の先端と後端の外径は固定したまま径を変更することにより、性能の異なる3種類の釣竿を設計することができた。

最後に、新たに設計された釣竿と基準の竿を用い「振り上げ」及び「釣り上げ」時における挙動を解析することにより、釣竿の評価を行った。その結果、「振り上げ」に関しては先端の反応速度が最も速い「止まり具合の良い竿」が設計されていて、「釣り上げ」に関しては魚の水面到達時間が最も短い「基準の竿」であることがわかり、それぞれ設計通りに作られていることが確認できた。

参考文献

- (1) 越野、感性評価に着目した釣竿の動的最適化手法に関する研究、(2003)神戸大学修士論文
- (2) J. A. Hoffmann, and M. R. Hooper., *Proc. of DETC' 97 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences, CETC97/VIB-4070*, Sep. 14-17, (1997), Sacramento, California, 1-8
- (3) J. M. Robson., *The physics of fly casting*, Am. J. Phys. 58(3), Mar. (1990), American Association of Physics Teachers, 234-240.
- (4) 遠山、機械のダイナミクス —マルチボディーダイナミクス—, (1993), 17-37, 84-89, コロナ社.
- (5) 山本、パソコンで学ぶ非線型機械力学シミュレーション、(1996), 75-80, 日刊工業新聞.
- (6) G. A. Spolek., *The mechanics of fly casting: The flyline*, Am. J. Phys. 54(9), Sep. (1986), American Association of Physics Teachers, 832-836.
- (7) L. Meirovitch, *Elements of Vibration Analysis*, 2nd edition, (1986), 300-328, McGraw-Hill Book Co.
- (8) E. J. Haug, *Computer Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems*, (1989), Allyn and Bacon, 224.
- (9) 杉山・小林、マルチボディーダイナミックスを用いたスパゲッティプロブレムの解析、機論、65(631)C, (1999-3), 910-915.
- (9) 日本科学技術連盟官能検査委員会 編、官能検査ハンドブック (1973)、日科技連出版社.
- (10) 奥野ほか、多変量解析法、(1971)、25-157, 159-257, 362-364, 日科技連出版社.
- (11) Hoerner, S. F., *Fluid-Dynamic Drag*, (1958), 3-11.