

# フライラインの力学\*

(上腕・前腕・手首の運動を考慮した解析)

渡邊鉄也<sup>\*1</sup>, 石田勝裕<sup>\*2</sup>, 田中基八郎<sup>\*3</sup>

## Dynamics of a Fly Line (Analysis Considering Arm Motion)

Tetsuya WATANABE<sup>\*4</sup>, Katsuhiro ISHIDA and Kihachiro TANAKA

<sup>\*4</sup> Division of Mechanical Engineering and Science, Saitama University,  
255 Shimo-Okubo, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

Lure fishing and fly-fishing have been positioned as sports deliberately different from the traditional Japanese fishing-style. In the case of fly-fishing, casting is the element which anglers must master in order to cast a fly, done so by using the weight of a line. This study uses experimental and computational analysis to investigate the dynamic behavior of a fly line. Fly-fishing constitutes various elements, but the importance that casting holds is extremely large. Fling speed, the casting process and the loop shape of the line while in flight are important for the proper presentation of flies. Moreover, the shape of a fly line is also important for a long cast or controlled cast. However, it is difficult to grasp the phenomenon or to make a numerical model because a fly line is an object of flexible string. Therefore, the most suitable casting method will be clarified from the viewpoint of sports engineering and human dynamics. In addition, measuring an angler performing movements with a flexible object such as a rod or a line is difficult. So establishing a method to measure the dynamic behavior precisely is also one of the purposes of this study. For the past study, motion of wrist and upper arm had been fixed to make a simple numerical model. However, upper arm, forearm and wrist move in the actual fishing field. In this paper, three input numerical model considering arm motion is established.

**Key Words:** Fly Line, Rod, Fly-casting, Arm Motion, Three Input Model

### 1. 緒 言

フライフィッシングは従来の日本のフィッシングスタイルとは異なる点でスポーツの1つとして位置づけられてきている。フライフィッシングではラインの重さで疑似餌となるフライを飛ばすという独特な方法をとっているため、フライフィッシングを行う上でキャスティングはマスターしなくてはならない事項である。フライフィッシングはさまざまな要素によって構成されているが、中でもキャスティングの占める割合は極めて大きい。キャスティングではラインの重さを利用して投げなくてはならないので、ラインを遠くへ飛ばすのは容易ではない。フライラインが簡単に飛ばない理由は2つある。1つは空気抵抗の影響であり、

もう1つは飛行中のラインの形状が時間変化するため、ライン全体に力を伝えるのが難しいことである。空気抵抗を減らすにはラインループをコンパクトにし前面投影面積を小さくすればよい。ラインに力を的確に伝えるにはラインが歪んでいたり、しづが寄っていたりしてはならない。進行方向にまっすぐであり、ループの幅が狭いほどよいとされている。したがって、キャスティングをするに当たりフライラインの動きを如何にすべきかということがとても大切なことである。しかし、フライラインは柔軟なひも状の構造物であるため、その運動は複雑なものとなり、現象の把握やモデル化などが困難である。そこで、本研究はキャスティングにおけるライン挙動を明らかにすることを目標としている。

筆者らが行ってきた過去の研究<sup>(1)-(2)</sup>では、モデル化を簡略化するために、手首は運動しないように固定し、肘をテーブル上において前腕のみでキャスティングし

\* 原稿受付 2007年2月1日。

\*1 正員、埼玉大学大学院理工学研究科(〒338-8570 さいたま市下大久保255)。

\*2 埼玉大学大学院理工学研究科。

\*3 正員、フェロー、埼玉大学大学院理工学研究科。

E-mail: watanabe@mech.saitama-u.ac.jp

ていた。したがって、数値解析では1入力の解析モデルでシミュレーションを行っていた。しかし、実際のフィッシングフィールドでは、上腕、前腕、手首を運動させてキャスティングを行っている。そこで、本研究では、上腕、前腕、手首の3入力モデルを構築し、ロッドおよびラインの挙動をシミュレートする。

## 2. 腕の運動を考慮したキャスティング実験

**2・1 ロッド・ラインの構造** 本研究で用いたロッドはDAIWA製Phantom Eliminatorで、5本継ぎのものである。ロッドは中空円筒構造で、全長219.7cm、総重量は61.4g、密度は1540kg/m<sup>3</sup>である。フライフィッシングのタックルは図1に示すように、リール、ロッド、ライン、リーダ、ティペット、フライの6要素で構成されている。

フライラインは水面に浮くタイプ（フローティングライン）と沈むタイプ（シンキングライン）に大別でき、その中間に位置するシンク・ティップやユニフォーム・シンクなどがある<sup>(3)</sup>。また、ライン形状は代表的なものとして、ダブルテーパ、ウェイトフォワード、シューティングテーパなどがあり、フィールドや対象魚によって使い分けられる<sup>(3),(4)</sup>。キャスティング実験で用いるラインは、5番（#5）のダブルテーパ（DT）、フローティングライン（F）で3M製Ultra<sup>3</sup>, DT5Fである。ラインの比重は0.902。テーパの最も太い部分の直径が1.15mm、最も細い部分の直径が0.88mmである。図2に一般的なダブルテーパラインの寸法を示す<sup>(4)</sup>。

## 2・2 キャスティング実験

上腕、前腕、ロッドのグリップ部に角速度計を設置し、フォワードキャストをしたときの時刻歴角速度を測定した。上腕の角速度計は肘から10cm、前腕の角速度計は手首から6cm、ロッドの角速度計は掌中央から6cmに設置した。掌とロッドは相対運動しないものとした。上腕、前腕の長さは25cm、24cm。手首からロッドまでの長さは5cmであった。角速度計はSilicon Sensing Systems製CRS03-11(max.±573deg/s)を用いた。風の影響を無くすため、測定は体育館で行い、経験者にキャストしてもらった。また、ラインの挙動を把握するため、リーダ、ティippet、フライは設置しなかった。ラインの長さは測定場所の制限から5m,7m,9mとした。それぞれの長さのキャスティングは1日3回とし、2日の実験を行った。被験者は直立不動とし、肩、肘、手首の関節のみが運動するようにした。キャスティングの初期条件として、ラインはロッド後方に一直線になるようにし、その状態からキャスティングを開始した。

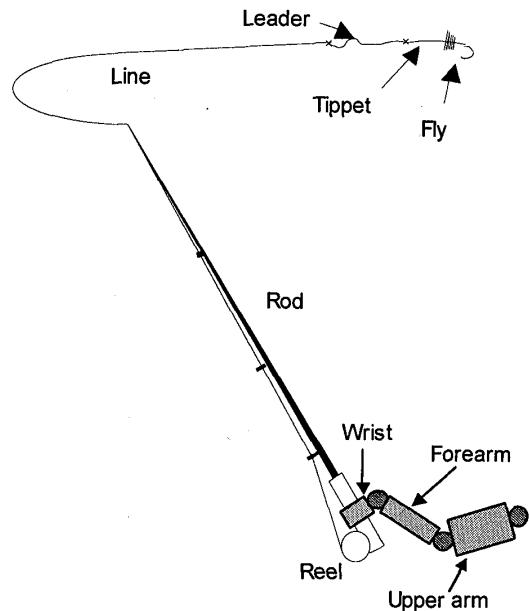


Fig.1 Tackle

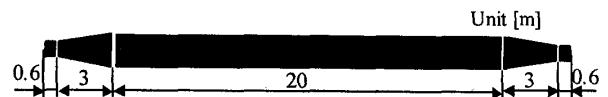


Fig.2 Fly line specimen (DT line)

## 2・3 上腕・前腕・手首の運動

図3、図4、図5にそれぞれ、ライン長さが、5m, 7m, 9mの場合の上腕、前腕、手首の時刻歴角速度を示す。これらの図から、最大加速度の発生する時間は上腕、前腕、手首の順であり、この順番でキャスティング動作が行われていることがわかる。また、リバウンド現象は手首に顕著に現れることがわかる。リバウンド現象はキャスト後のロッドの復元力により生じるものであり、復元力は手首には作用するが、前腕や上腕への作用は少ないことがわかる。次に、図6はラインの長さによる最大角速度であり、6回の実験の平均値である。この図から、上腕<前腕<手首の順に最大角速度が大きくなっていることがわかる。また、ラインの長さが7mと9mの最大角速度はほぼ等しく、5mは小さい値となっている。次に図7に手首の最大角速度が生じた時間とリバウンドの最大値が生じた時間の差（リバウンド間隔と称す）を示す。また、図8に手首の最大角速度とリバウンドの最大角速度の比（リバウンド比と称す）を示す。これらの図から、ライン長さによるリバウンド間隔、リバウンド比には顕著な差は生じないことがわかる。これは、今回の実験で用いたラインの長さが9mまであるため、ロッドの弾性変形量に顕著な差が生じなかつたためと考えられる。ラインが長くなると差が生じる可能性はある。

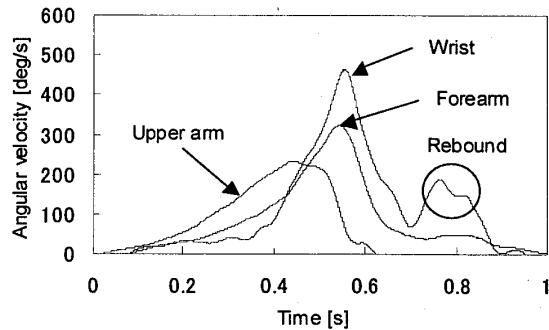


Fig.3 Angular velocity of line length 5m

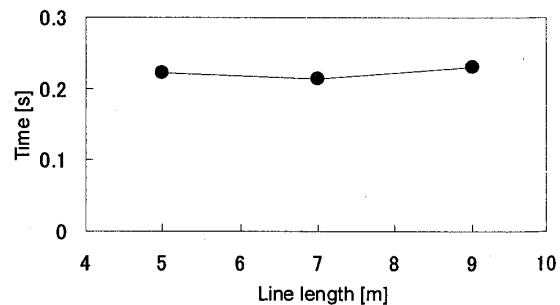


Fig.7 Rebound time from maximum velocity time

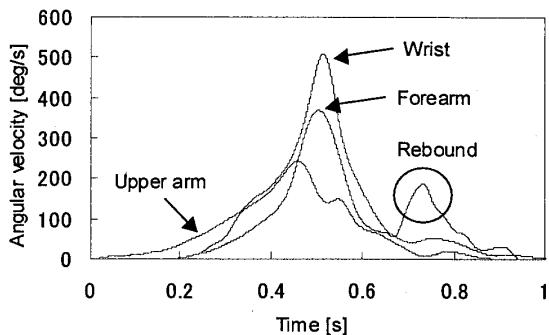


Fig.4 Angular velocity of line length 7m

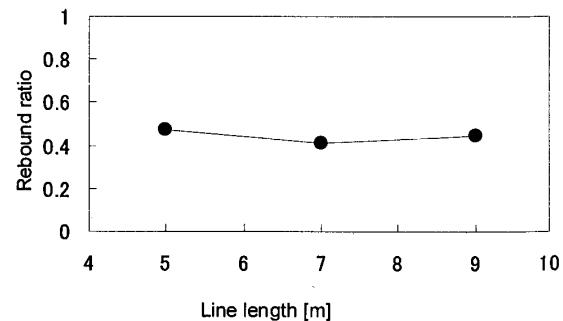


Fig.8 Rebound ratio for maximum velocity

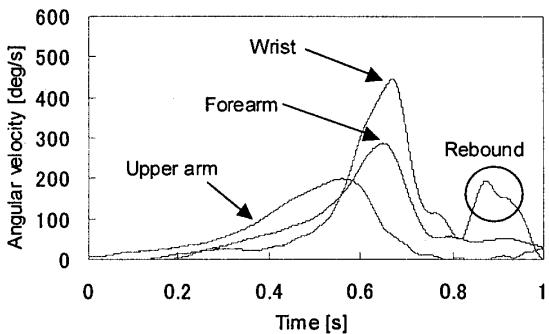


Fig.5 Angular velocity of line length 9m

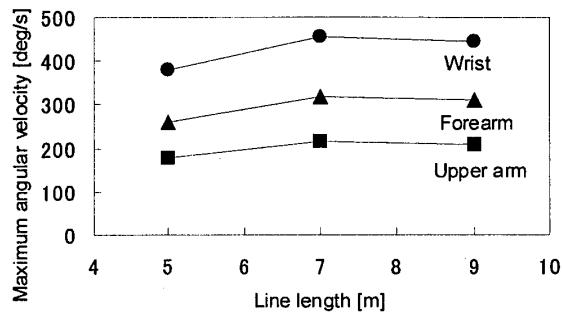


Fig.6 Maximum angular velocity respected to line length

### 3. ラインの挙動解析

**3・1 腕, ロッド, ラインのモデル化** 腕およびロッド, ラインは, 図9に示すように, 剛体要素を回転ばねと回転減衰要素で結合したモデルで近似した. 過去の研究<sup>(5)-(15)</sup>では, 上腕, 前腕, 手首の運動は考慮されておらず, ロッドの角速度のみを用いた解析がなされている. そこで, 本研究では, フィールドにおける実際のキャスティングをシミュレートするために, 腕の運動を考慮した3入力モデルを構築する. ただし, ロッドは回転運動のみとし, またラインの伸びは考慮しない. これらは今後の課題とする. ここでは, 過去の研究<sup>(1),(2)</sup>においてキャスティング実験と数値シミュレーションの比較検討により妥当性が確認されたモデルを参考にする. 図9では, ロッドが4分割, ラインが5分割となっているが, 実際の計算ではロッドおよびラインを約10cmごとの要素に分割した. ロッドおよびラインの綫弹性係数は過去の研究<sup>(16)</sup>に基づき, それぞれ51Gpa, 0.05Gpaとした. 各要素の減衰係数は実験により求めることが困難であるため, ここでは微小な値として $10^{-3}$ [Nms/rad]を用いた. 腕の長さは被験者を測定して得られた値を用いた.



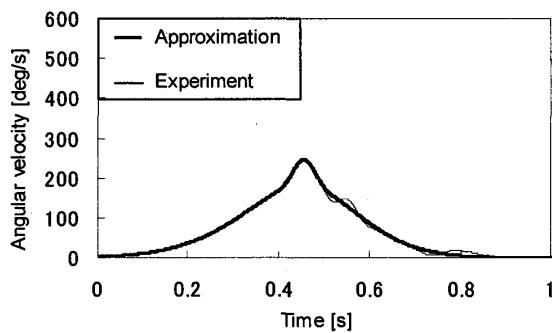


Fig.10 Approximation angular velocity of upper arm

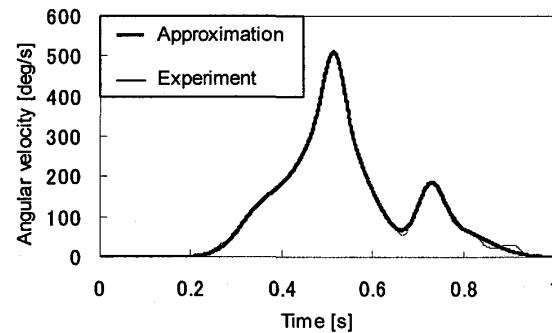


Fig.12 Approximation angular velocity of wrist

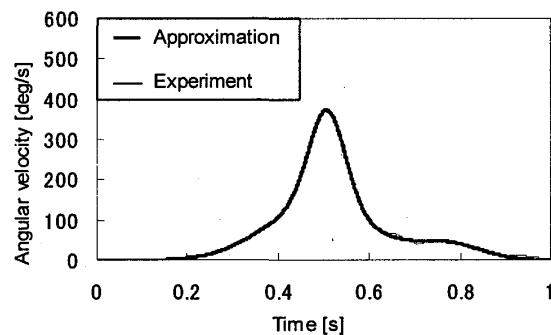


Fig.11 Approximation angular velocity of forearm

Table 1 Parameter  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  of wrist

i	$\beta_1^{(i)}$	$\beta_2^{(i)}$	$\beta_3^{(i)}$
1	0.73	$8.0 \times 10^{-4}$	9.4
2	0.51	$6.0 \times 10^{-3}$	64
3	0.79	$4.8 \times 10^{-3}$	11
4	0.35	$2.5 \times 10^{-3}$	11
5	0.51	$5.1 \times 10^{-4}$	10

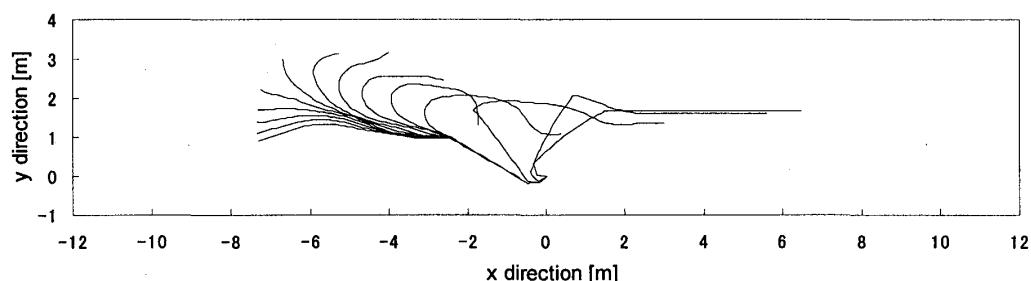


Fig.13 Behavior of arm, rod and line (line length 5m)

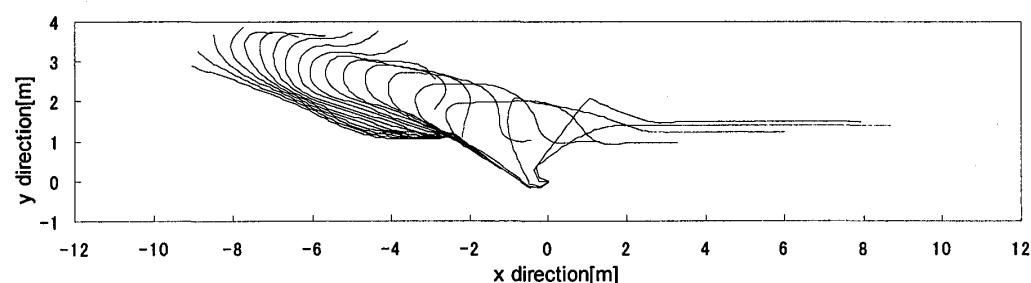


Fig.14 Behavior of arm, rod and line (line length 7m)

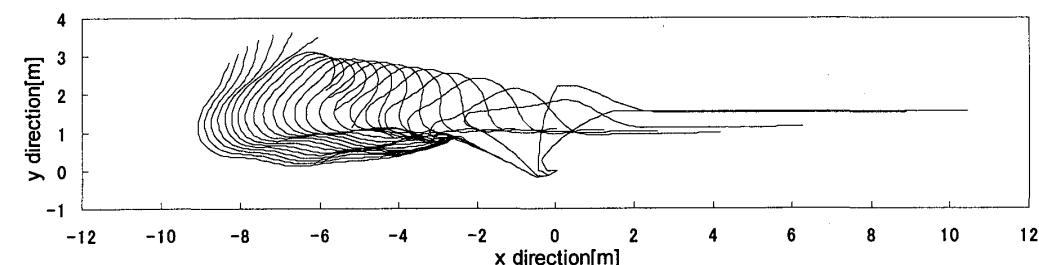


Fig.15 Behavior of arm, rod and line (line length 9m)

## 4. 結 言

本研究では、実際のフィッシングフィールドでのキャスティングを考え、上腕、前腕、手首の運動を考慮した実験およびシミュレーションを行うことを目的としている。本研究の範囲内において以下の結果が得られた。

- (1) 最大角速度は手首、前腕、上腕の順に大きい。
- (2) 最大加速度が生じる時間は上腕、前腕、手首の順である。
- (3) リバウンドが生じるのは主に手首である。
- (4) リバウンド間隔、リバウンド比は、ライン長さによる顕著な差は見られない。
- (5) 上腕、前腕、手首の時刻歴角速度の数式モデルを構築した。
- (6) 上腕、前腕、手首の運動を考慮した解析を行った結果、ロッドおよびラインの運動をシミュレートした。

## 参考文献

- (1) Watanabe,T., Tanaka,K., Dynamics of Fly line -Modelling and analysis-, Trans. of JSME, Series C, Vol.69, No.680(2003),pp.229-235.
- (2) Watanabe,T., Tanaka,K., Dynamics of Fly Line -Modelling a rod and a line with fixed wrist-, Trans. of JSME, Series C, Vol.70, No.690(2004), pp.516-522.
- (3) Masuzawa,S., Fly fishing manual,(2000), Yama-kei Publishers co.,Ltd.
- (4) S.Anderson,Tabuchi,Y., Fly fishing text,(1984), Shobunsha.
- (5) Graig A. Spolek, The mechanics of flycasting: The flyline, American Association of Physics Teachers, 54(9),(1986),832-836.
- (6) John M. Robson, The physics of fly casting, *American Association of Physics Teachers*, 58(3), (1990),234-240.
- (7) Christopher T.Howell, Numerical analysis of 2-D nonlinear cable equations with applications to Low-Tension Problems, *International Journal of Offshore and Engineering*, 2-2, (1992),110-113.
- (8) J.J.Burgess, Bending stiffness in a simulation of undersea cable deployment, *International Journal of Offshore and Engineering*, 3-3,(1993),197-204.
- (9) M.S.Triantafyllou and C.T.Howell, Dynamic response of cables under negative tension: an ill-posed problem, *Journal of sound and vibration*, 173(4), (1994), 433-447.
- (10) J.A.Hoffmann and Matthew R.Hooper, Fly rod performance and line selection, *Proceedings of DETC'97*, 1-8.
- (11) J.A.Hoffmann and M.R.Hooper, Fly rod response, *Journal of Sound and Vibration* 209(3),(1998), 537-541.
- (12) S.Lingard, Note on the aerodynamics of a flyline, *Am.J.Phys.*, 56-8, (1998),756-757.
- (13) M.A.Hendry and M.Hubbard, Dynamic finite element simulation of fly casting and its potential use in fly rod design, *The engineering of SPORT*, Research, Development and Innovation, (2000), Blackwell Science.
- (14) C.Gatti-Bono and N.C.Perkins, Physical and numerical modeling of the dynamic behavior of a fly line, *Journal of sound and vibration*, 225(3), (2001), 555-577.
- (15) M.A.Hendry and M.Hubbard, Effect of rod taper on fly casting performance, *The engineering of SPORT4*, (2002), Blackwell publishing.
- (16) Watanabe,T., Tanaka,K., Dynamics of Fly Line -Casting experiment with fixed wrist-, Trans. of JSME, Series C, Vol.70, No.690(2004),pp.508-515.
- (17) E.J.Haug, Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems, Taiga Shuppan,(1996),pp.203.