

フライラインの力学*

(手首固定条件におけるキャスト実験)

渡邊 鉄也^{*1}, 田中 基八郎^{*1}, 細矢 直基^{*1}

Dynamics of a Fly Line

(Casting Experiment with Fixed Wrist)

Tetsuya WATANABE^{*2}, Kihachiro TANAKA and Naoki HOSOYA

^{*2} Department of Mechanical Engineering, Saitama University,
255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

This study uses experimental and computational analysis to investigate the dynamic behavior of a fly line. Fly-casting is one of the most significant issues in fly-fishing. In order to cast a lightweight fly, the weight of a fly line is utilized. 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. In this paper, the fly-casting process is investigated experimentally in the case of wrist fixed.

Key Words: Fly Line, Fly Rod, Fly-casting, Flexible Structure, Casting Experiment

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ト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、中でもキャストの占める割合は極めて大きい。キャスト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、スポーツ工学、人間工学の観点から最適なキャスト方法やラインなどの柔軟構造物の動的な実験を行う場合、その測定方法が難しい。そこで、動的挙動を正確に測定する方法も同時に確立することを目的としている。

本研究の目的を以下に列挙する。

- 1) ロッド、ラインなど、柔軟大変形構造物の運動を測定する方法の確立
- 2) ロッド、フライラインの運動の観測およびその挙動の解明
- 3) ロッド・ラインのモデル化および妥当性検証
- 4) ロッドの最適剛性、ラインの最適形状の推定

フライラインあるいはひも状構造物の動的挙動に関する研究はさまざまあるが⁽¹⁾⁻⁽¹¹⁾、実験的な検討はなされていない。そこで、本報告ではフライラインの飛行モードを実験的に解明する。前報⁽¹²⁾ではラインループ形状の把握のみであり、定量的な評価を行っていなかったが、ここでは、高速度カメラを用い、画像処理データから腕、ロッド、ラインの挙動を定量的に評価する。

2. フライフィッシングについて

2.1 フライフィッシングの原理

フライフィッシングは15世紀頃に英国で始まり、現在のようなスタイルになったのは19世紀後半から20世紀始めである⁽¹³⁾。そして、昭和の初期に日本に伝わってきたといわれている。フライはトラウトが捕食するカゲロウ、カワゲラあるいはトビケラなどの水生昆虫を模擬した

* 原稿受付 2003年3月3日。

*1 正員、埼玉大学工学部 (☎ 338-8570) さいたま市桜区下大久保 255)。

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

疑似餌であるため、小さく軽いものである。このような軽量物を飛ばす場合、軽量物自体の重さを利用して飛距離が短い。そこで、ラインの重さを利用して軽量物を飛ばす方法が考え出された。日本古来の漁法としてテンカラがあり、この釣りもラインの重さを利用して毛鉤を投げるが、テンカラの場合、フォルスキャスト時にラインを伸ばすことが出来ない点で、フライフィッシングと決定的に異なる。フライラインは当初、鯨のひげや馬の毛で作られていたが、現在のフライラインはフローティングの場合、気泡を含んだビニールで出来ており、飛距離が出るようにテーパが付けれられるなど工夫がなされている。テーパの付け方や表面のコーティングは各メーカーによって異なっている。

フライフィッシング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

らすにはラインの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、しわ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。キャスト時のラインのループは図1(a)のようにロッドチップが直線上を運動するようにするとループの幅が狭くなり、空気抵抗が少なくラインコントロールが容易である。これに対し、図1(b)ではループの幅が広がるため、抵抗が大きく、ラインスピードが遅いので、コントロールは困難であるが、ソフトプレゼンテーションが行える。状況によってループ形状を変化させる必要があるが、通常はループ幅が狭くラインスピードが速い図1(a)が望ましいと考えられる^{(14),(15)}。そこで、本実験では、図1(a)のループになるようにラインコントロールを行った。図1(c)はロッドの変形量が大きく、ラインに力が伝わりにくい状態である。図1(d)はロッドの回転速度が遅いため、ラインがループを描かないで落下する場合である。

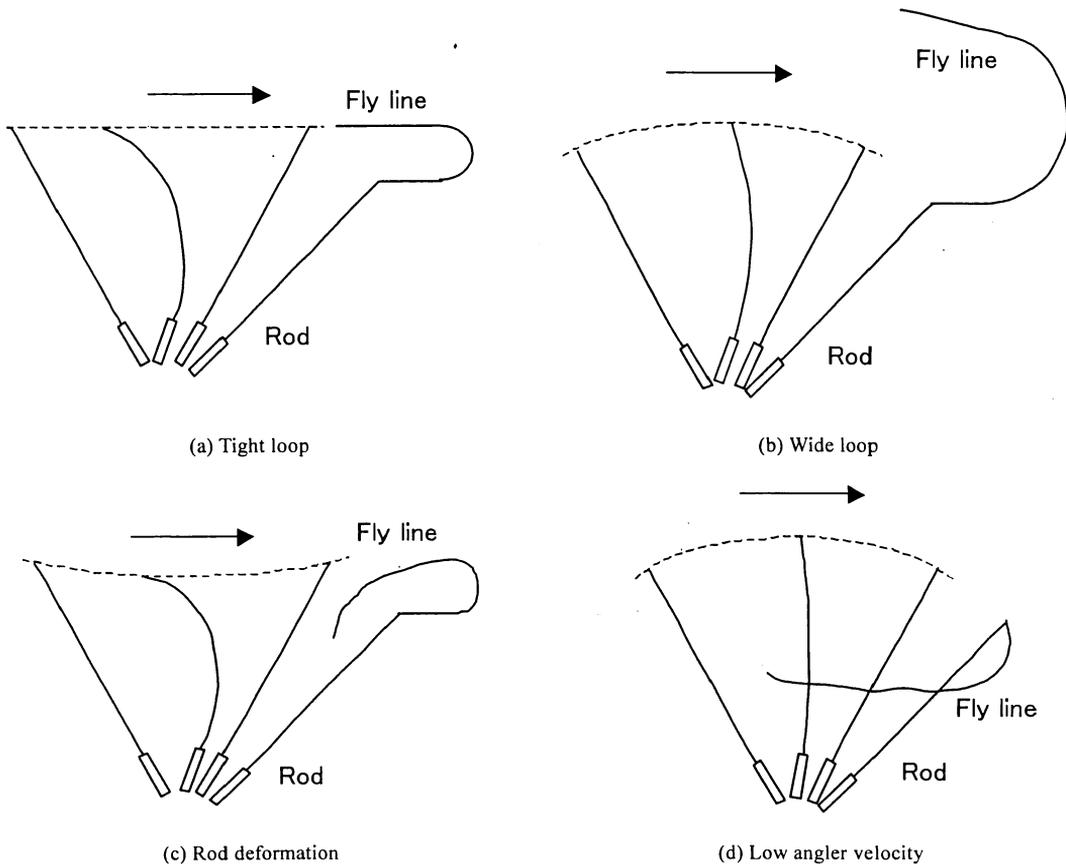


Fig.1 Casting mechanisms

2・2 ロッド・フライラインの構造

2・2・1 ロッドの構造 図2にロッドの形状を示す。今回用いたロッドは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219.7 cm、総重量は61.4 g、密度は1540 kg/m³である。ロッドをリンク構造にモデル化した場合の回転ばね定数を算出するために、図2に示すような寸法を測定した。

2・2・2 フライラインの構造 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⁽¹⁶⁾。また、ライン形状は代表的なものとして、ダブルテーパー、ウェイトフォワード、シューティングテーパーなどがあり、フィールドや対象魚によって使い分けられる^{(16), (17)}。

1) ダブルテーパー：DT

両端にテーパーがあり、溪流などの比較的短い距離に繊細にフライを落とすのに向いている形状のフライライン。片側の先端が消耗したらもう片側を使えるので経済的である。

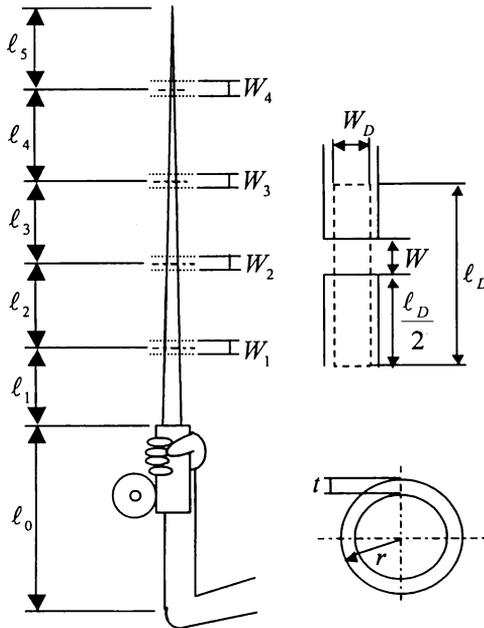


Fig.2 Rod specimen

2) ウェイトフォワード：WF

ダブルテーパーラインよりも遠投向きで、ラインの重量が前方に集中している。ラインの先端が太くその分重量も大きくなる。ウェイトフォワードラインは用途によって形状の異なるものもいくつかある。

3) シューティングテーパー：ST

ロングキャスト用のフライラインである。形状はウェイトフォワードラインの先端部と同じであるが、後端に径の小さいレベルラインをつないで使用する。

フライラインはAFTMA (American Fishing Tackle Manufactures Association) によって規格化されている。ライン先端30ftの重さで#0から#15までの番号が付けられており、番号が小さいほど重いラインになる。この番号に対応してロッドを選択する。

フライラインは図3に示すように、コア部とそれを覆うコーティング部の2層構造になっており、コア部はナイロンやポリエステル等を編んだものであり、コーティング部は塩化ビニールやポリウレタンなどで、フローティングラインの場合には内部に気泡をもうけ、シンキングラインの場合には、鉛やタングステンを混入させて比重を大きくしている。フローティングラインの場合、比重は0.7~0.9程度で、約0.9が一般的である。

実験で使用するフライラインは#5のダブルテーパー、フローティングラインで3M Ultra³, DT5Fを用いた。図4に一般的なDTラインの寸法を示す⁽¹⁷⁾。

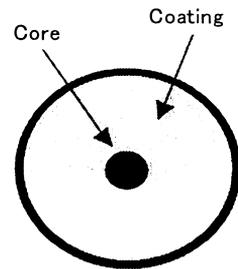


Fig.3 A section of a fly line

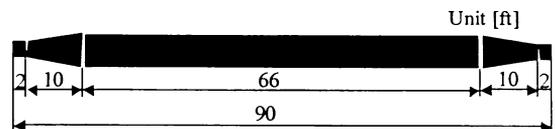


Fig.4 Fly line specimen (DT line)

3. ロッドとラインの挙動

3・1 キャスティング実験 筆者らが行った過去の実験では、ロッドのバット部に圧電型の加速度計や歪型の加速度計を設置してロッドあるいは腕の角加速度を測定したが、圧電型の加速度計の場合にはロッドの弾性変形による荷重を測定してしまう、あるいは、低周波の運動の測定が困難であった。また、歪型の加速度計の場合には、重力の影響が生じてしまい、補正をしなければならないなどの問題があった。そこで、本研究では、画像情報からキャスティング運動を解明する。

ロッドとラインの動的挙動を把握するとともに、数値計算における入力データを得るために、キャスティング時の腕、ロッド、ラインの挙動を高速カメラ (Photron Fastcam-PCI 512×480 Pixel) を用い、秒間30コマで撮影した。ラインの長さは5m, 7m, 9mとした。ラインの長さとはロッドの先端からの長さである。また、数値計算における計算の簡略化のため、手首は回転しないようにロッドのグリップと腕をひもで結んだ。また、ひじはテーブルの上に置き、回転以外の運動は極力しないようにした。

図5に実験装置の概略図を示す。キャスティングデータは経験者から採取し、風の影響を極力軽減するために体育館で実験を行った。

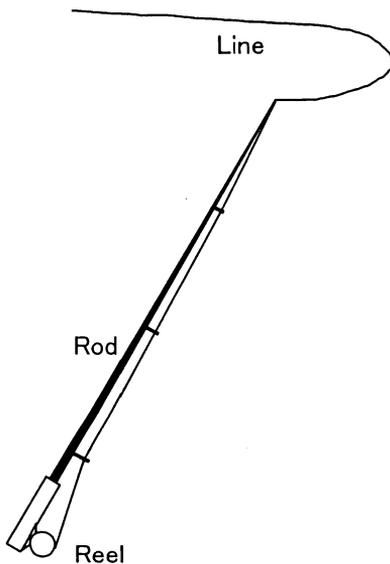
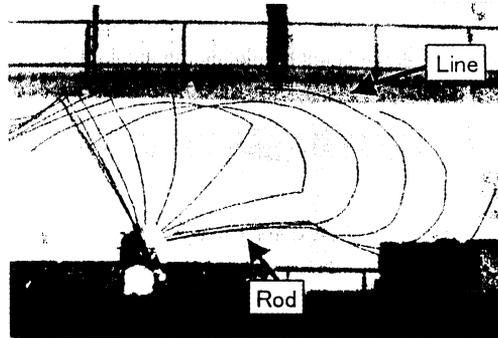
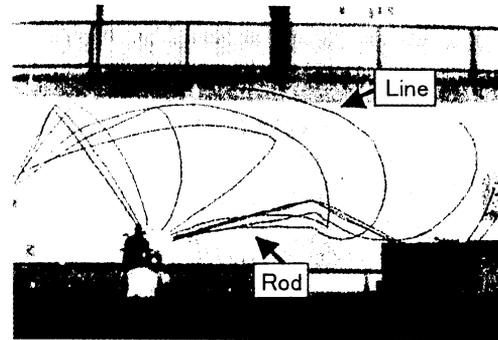


Fig.5 Testing equipment

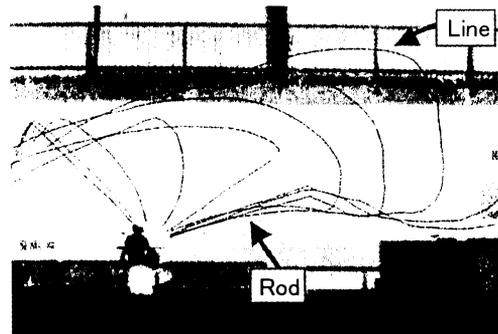
3・2 ロッド・ラインの運動軌跡 図6 (a), (b), (c) にそれぞれライン長さが5m, 7m, 9mの場合のキャスティング実験結果を示す。これらの図はフォワードキャストをしたときのロッドおよびラインの軌跡を0.1秒間隔で示したものである。ライン長さによるループ形状、ロッド形状の違いを把握することができる。以降の節において画像処理データから定量的に腕、ロッド、ラインの挙動を解明する。



(a) Line length 5m



(b) Line length 7m



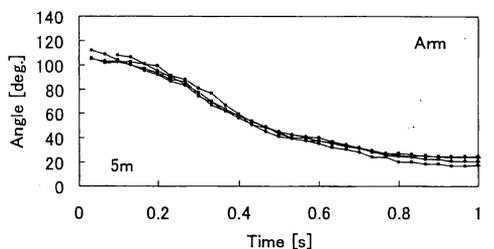
(c) Line length 9m

Fig.6 Casting experiment of forward cast

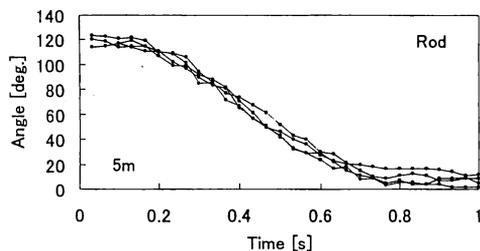
3・3 腕・ロッドの角度および角速度 図7, 図8にそれぞれライン長さが5m, 9mの場合の腕・ロッドの回転角および角速度の時刻歴挙動を示す。(a)は腕の角度, (b)はロッドの角度, (c)は腕の角速度, (d)はロッドの角速度である。腕の角度はひじと手首の2点間の座標から算出し, ロッドの角度はグリップ部の2点間の座標から算出した。角速度は角度を微分して

求めた。ライン長さが5mの場合には4回のフォワードキャストデータをプロットした。ライン長さが9mの場合には, 高速度カメラの撮影時間の制限より, 3回のデータをプロットした。

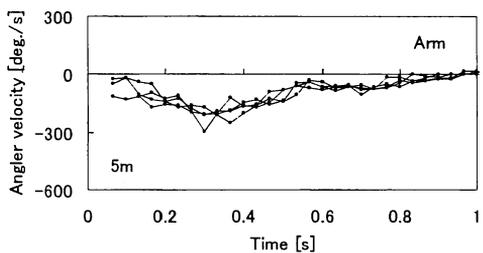
まず, 図7, 図8の角度に注目すると, 腕およびロッドの角度には再現性があることがわかる。また, ライン長さが5mの場合にはロッドを振り終わるまでに約



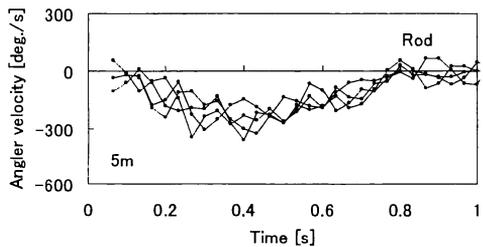
(a) Angle of arm



(b) Angle of rod

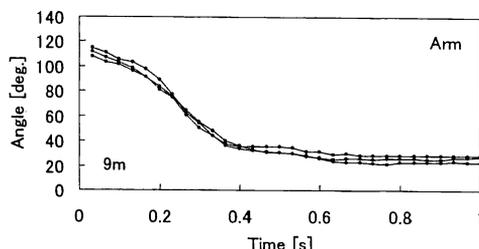


(c) Angler velocity of arm

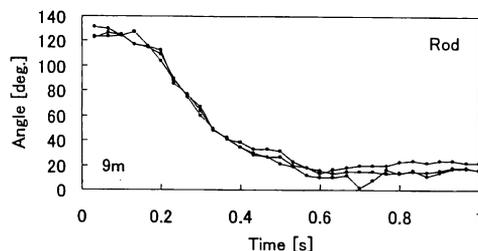


(d) Angler velocity of rod

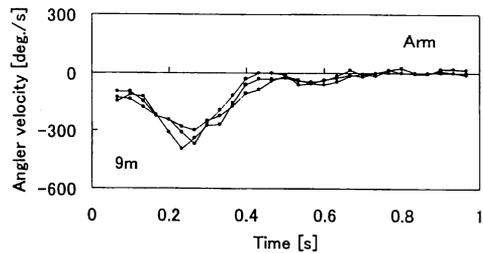
Fig.7 Angle and angler velocity (5m)



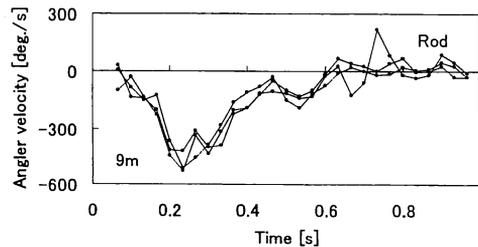
(a) Angle of arm



(b) Angle of rod



(c) Angler velocity of arm



(d) Angler velocity of rod

Fig.8 Angle and angler velocity (9m)

0.7 秒かかるのに対し、9 m の場合には約 0.4 秒である。また、曲線の勾配は 9 m の方が大きい。ロッドの初期角度に注目すると、5 m の場合には約 120 度であるのに対し、9 m では約 130 度であり、9 m の方が大きいことがわかる。次に、角速度に注目すると、腕およびロッドの角速度はラインが 9 m の方が速いことがわかる。

次に図 9、図 10 にライン長さによる最大角度、最大角速度を示す。図 9 は腕およびロッドの最大、最小角度である。最大角度はキャスト開始時の初期角度を意味し、最小角度はキャスト終了時の角度を意味する。図 10 は腕およびロッドの最大角速度である。ロッドのグリップ部を腕にひもで結んでいるので、理想としては腕とロッドの角度および角速度は等しくなるが、実際には手首が若干回転してしまうので、腕とロッドの角度、角速度には差が生じてしまう。しかし、これらの図から以下のことがわかる。

- 1) 初期角度はラインが長いほど大きく、腕よりロッドの角度の方が大きい。

2) 終了角度はラインが長いほど大きく、ロッドより腕の角度の方が大きい。

3) 最大角速度はラインが長いほど大きく、腕よりロッドの角速度の方が大きい。

したがって、キャストするときの腕の角度変化量（終了角度 - 初期角度）よりロッドの角度変化量の方が大きく、角速度もロッドの方が大きいことがわかる。

3・4 ロッド先端およびラインループ先端の速度

前節では腕およびロッドの運動に注目したが、この節ではロッド先端およびラインループ先端の運動を解明する。ラインループ先端とはロッド先端の x 座標よりラインの x 座標が大きくなる部位が生じた時間以降でラインの x 座標が最大となる部位とした。その時間におけるロッドとラインの状態を図 11 に示す。

図 12、図 13 にそれぞれ 5 m、9 m の場合のロッド先端、ループ先端の挙動を示す。(a) はロッドおよびループ先端の軌跡、(b) は x 方向速度、(c) は y 方向速度であり、3 回の実験データをプロットした。

(a) の軌跡に注目すると 5 m、9 m とともにロッド先端の軌跡には再現性があることがわかる。ループ先端は 9 m の場合には再現性があるが、5 m の場合にはばらつきが生じた。これは、ロッド先端の軌跡からもわかるように 9 m の場合に比較して 5 m の場合には軌跡が弧を描いており、2・1 節で示したように、ラインの運動エネルギーを増加させることができず、コントロール性能が低下したことによると考えられる。

(b)、(c) の速度に注目すると、ロッド先端の速度には再現性があることがわかる。また、ロッド先端、ループ先端ともに 9 m の方が速いことがわかる。x 方向と y 方向の速度を比較すると、x 方向速度が最大に達した後に y 方向速度が変動し始め、ループ先端が生じたときに最大となっている。ただし、ループ先端が生じた後のロッド先端の軌跡は測定していないので、ここではループ先端が生じる時間までのロッド先端速度に限定される。

次に、図 14 にライン長さによるロッド先端、ライン先端の x 方向最大速度を示す。ロッド先端に注目すると、9 m より 7 m の方が若干大きな値となったが、ラインが長くなるほど最大速度は速くなる傾向にある。また、ループ先端に注目すると、ラインが長くなるほど最大速度は速くなることがわかる。両者を比較すると、ロッド先端の方が最大速度は速いことがわかる。

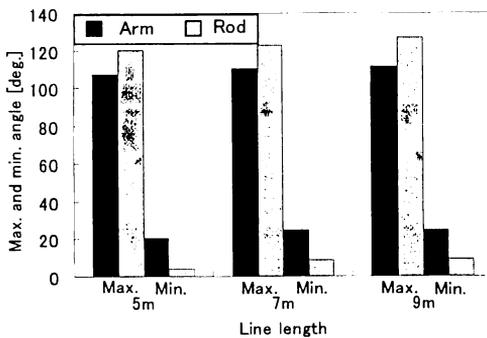


Fig.9 Max. and Min. angle

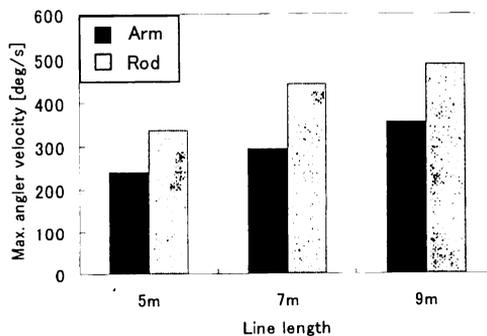


Fig.10 Max. angler velocity

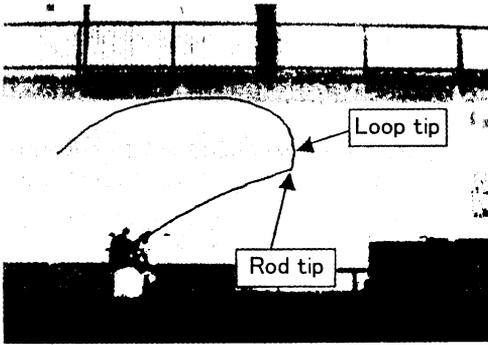


Fig.11 Rod tip and Loop tip

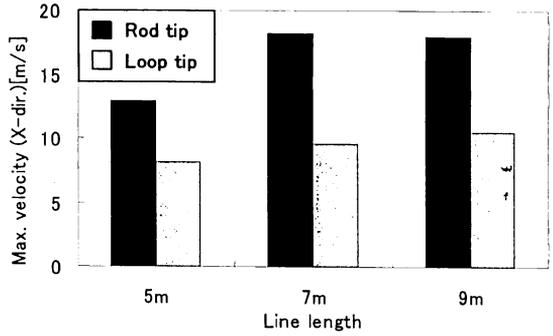
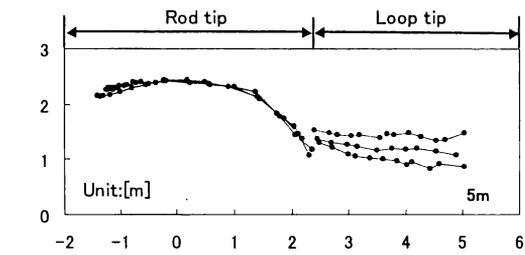
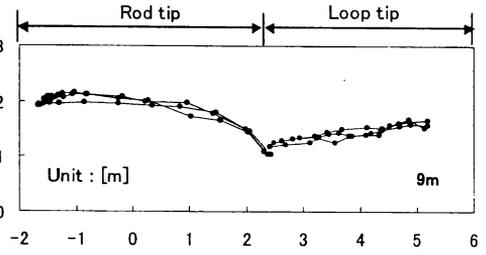


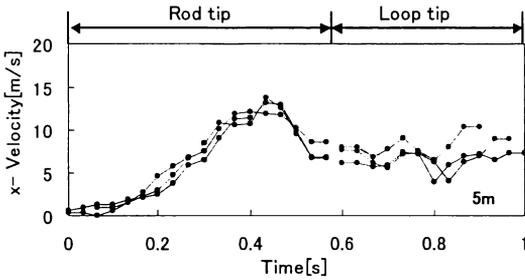
Fig.14 Max. velocity (x-direction)



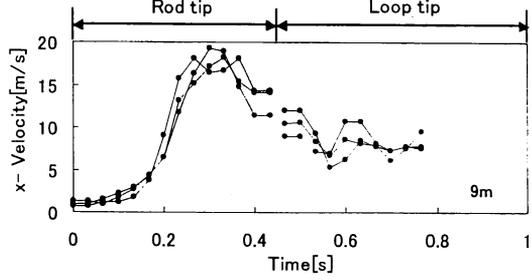
(a) Trace of rod tip and loop tip



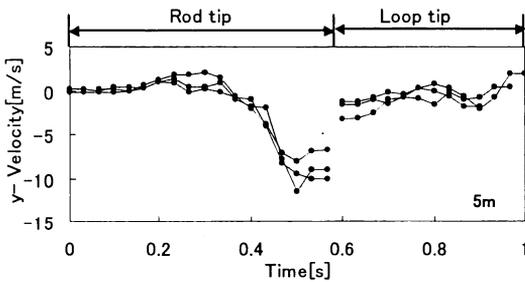
(a) Trace of rod tip and loop tip



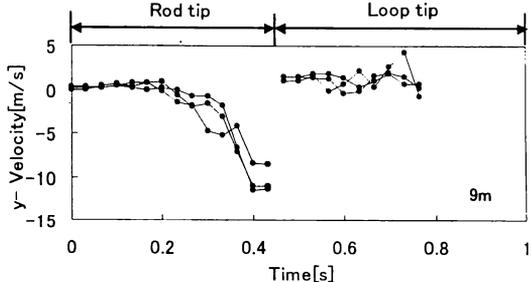
(b) Velocity of x-direction



(b) Velocity of x-direction



(c) Velocity of y-direction



(c) Velocity of y-direction

Fig.12 Behavior of rod tip and loop tip (5m)

Fig.13 Behavior of rod tip and loop tip (9m)

4. 結 言

本研究ではフライラインのキャストについて人間工学、スポーツ工学の観点から実験的な検討を行い、本実験の範囲内において以下の結果が得られた。

[1] ロッド・ラインの運動軌跡

- 1) 高速度カメラを用いた動画測定により、ロッドおよびラインの挙動を視覚的に把握することができた。
- 2) ライン長さによるループ形状、ロッド形状の違いを把握することができた。

[2] 腕・ロッドの角度および角速度

- 1) 腕およびロッドの角度には再現性があることがわかった。
- 2) キャスティングの初期角度はラインが長いほど大きく、腕よりロッドの角度の方が大きいことがわかった。
- 3) キャスティングの終了角度はラインが長いほど大きく、ロッドより腕の角度の方が大きいことがわかった。
- 4) 最大角速度はラインが長いほど大きく、腕よりロッドの角速度の方が大きいことがわかった。
- 5) キャストするときの腕の角度変化量よりもロッドの角度変化量の方が大きく、角速度もロッドの方が大きいことがわかった。

[3] ロッド先端およびラインループ先端の速度

- 1) ロッド先端の軌跡、速度には再現性があることがわかった。
- 2) ロッド先端の軌跡が弧を描くとラインに加わる運動エネルギーが減少し、ラインコントロール性能が低減するという、フライフィッシングの原理を実証できた。
- 3) ラインが長いほどロッド先端、ループ先端の速度が速くなることがわかった。
- 4) ループ先端の速度よりライン先端の速度の方が速いことがわかった。

参 考 文 献

- (1) Graig A. Spolek, The mechanics of flycasting: The flyline, American Association of Physics Teachers, 54(9), (1986), 832-836.
- (2) John M. Robson, The physics of fly casting, American Association of Physics Teachers, 58(3), (1990), 234-240.
- (3) 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.
- (4) J.J. Burgess, Bending stiffness in a simulation of undersea cable deployment, International Journal of Offshore and Engineering, 3-3, (1993), 197-204.
- (5) 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.
- (6) J.A. Hoffmann and Matthew R. Hooper, Fly rod performance and line selection, Proceedings of DETC'97, 1-8.
- (7) J.A. Hoffmann and M.R. Hooper, Fly rod response, Journal of Sound and Vibration 209(3), (1998), 537-541.
- (8) S. Lingard, Note on the aerodynamics of a flyline, Am. J. Phys., 56-8, (1998), 756-757.
- (9) 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.
- (10) 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.
- (11) M.A. Hendry and M. Hubbard, Effect of rod taper on fly casting performance, The engineering of SPORT4, (2002), Blackwell publishing.
- (12) 渡邊鉄也・田中基八郎, フライラインの力学 (モデル化および解析), 機論, 69-680, C(2003), 1065-1071.
- (13) 椎名重明, 英国のフライフィッシング史, (1999), つり人社
- (14) Charles Ritz 著, 柴野邦彦訳, A FLY FISHER'S LIFE, (1997), ティムコ
- (15) Mel Krieger 著, 東知憲訳, The Essence of Flycasting, (1995), つり人社.
- (16) 増沢信二, フライフィッシング・マニュアル, (2000), 山と溪谷社.
- (17) S・アンダーソン・田渕義雄, フライフィッシング教書, (1984), 晶文社