

# フライラインの力学 - リバウンド現象 -

## Dynamics of a Fly line - Effect of rebound -

渡邊鉄也\* , 田中基八郎\*

Tetsuya WATANABE and Kihachiro TANAKA

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. The rebound phenomenon occurs in the casting process. In this paper, the effect of rebound is investigated experimentally.

**Keywords: Fly line, Fly rod, Fly-casting, Rebound, Casting system**

### 1. 緒 言

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<sup>1)</sup>. 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. フライは魚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した疑似餌であるため, 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ばす距離が短い. 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, フォルスカ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. 現在, 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イ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, 中でもキャストイングの占める割合は極めて大きい. キャストイ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

\*埼玉大学 工学部 機械工学科

Department of mechanical engineering,  
Faculty of Engineering, Saitama University,  
255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama,  
Saitama, 338-8570, Japan

いほどよいとされている．したがって，キャストイ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，スポーツ工学，人間工学的な観点から最適なキャストイング方法を明らかにしていくことを目標としている．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<sup>2)・12)</sup>，実験的な検討はなされていないのが現状である．

筆者らは，フライキャストイングにおいて，リバウンド現象が生じることを発見した．これは，キャストイング後にロッドの角速度が再度増加する現象である．ここでは，特にリバウンドに着目し，現象およびキャストイングへの影響などを明らかにする．

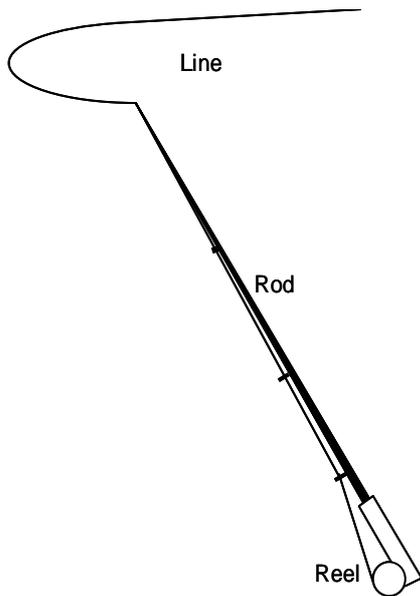


Fig.1 Tackle

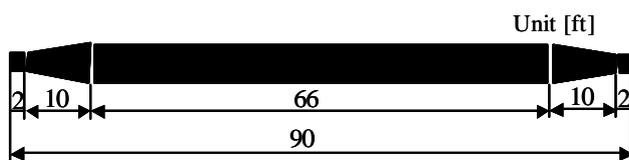


Fig.2 Fly line specimen (DT line)

## 2. ロッドとラインの挙動

### 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 219.7 cm，総重量は 61.4 g，密度は 1540 kg/m<sup>2</sup> である．図 1 にタックルを示す．

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>13)</sup>．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<sup>13),14)</sup>．実験で使用するフライラインは # 5 のダブルテーパー，フローティングインで 3 M Ultra3,DT5F である．図 2 に一般的な DT ラインの寸法を示す<sup>14)</sup>．ロッドの固有振動数はグリップ固定の場合，1次が 2.25Hz，2次が 7.25Hz，3次が 16.0Hz，4次が 29.8Hz である．

### 2.2 キャストイング実験

筆者らが行った過去の実験<sup>15)</sup>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ていた．また，高速度カメラ（Photron Fastcam-PCI 512 × 480 Pixel）により撮影したデータから，ロッドの角度や角速度を求めていたが<sup>16)</sup>，数値解析の入力データとして用いるには精度の面で問題があった．そこで，ここでは角速度計（Silicon Sensing Systems）を用いた．角速度計はブリップ部に設置し，200Hz のサンプリングでデータを集録した．同時に高速度カメラでライン挙動データを集録した．ラインの長さは 5 m，7 m，9 m，12 m 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．キャストイ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計測を行った．

### 2.3 ロッド・ラインの運動軌跡

図3にライン長さが5 mの場合のキャスト実験結果の一例を示す。こ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。

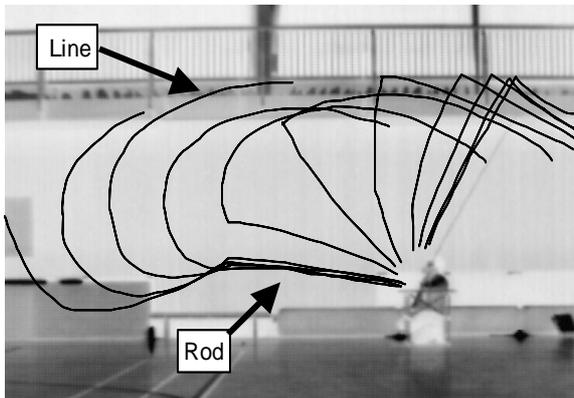


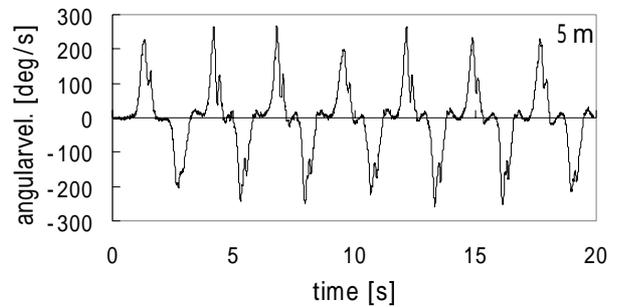
Fig.3 Casting experiment of forward cast

### 2.4 ロッドの角速度

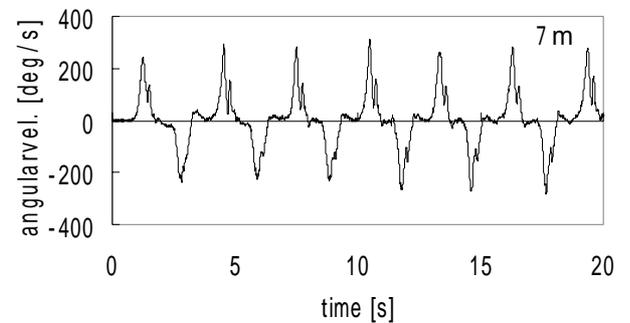
図4に角速度計から得られた時刻歴波形を示す。ラインの長さはそれぞれ5 m, 7 m, 9 m, 12 mである。図の正の部分がフォワードキャストで負の部分がバックキャストであり、フォルスキャストを繰り返したものである。これらのデータから繰り返しの周期や最大角速度、リバウンドについて解明していく。

角速度データには微振動が含まれており、数値解析において影響をおよぼす恐れがある。そこで、角速度データにローパスフィルタをかけ、その振動成分を調査した。図5にライン長さ5 mの場合のフォワードキャストの時刻歴波形とフィルタをかけた後の波形、そしてスペクトルを示す。フィルタ後の波形に注目すると、キャスト開始後、ロッドおよびラインに空気抵抗が作用し始めると微振動成分が発生し、時間とともに増加する波形となっている。そして、キャストが終了すると振動は減衰する傾向にある。振動数はラインが長くなると増加する傾向にあり、ラインが5 mの場合は5.99Hz, 7 mの場合は6.92Hz, 9 mの場合は7.65Hz, 12 mの場合は8.57Hzであった。グリップ

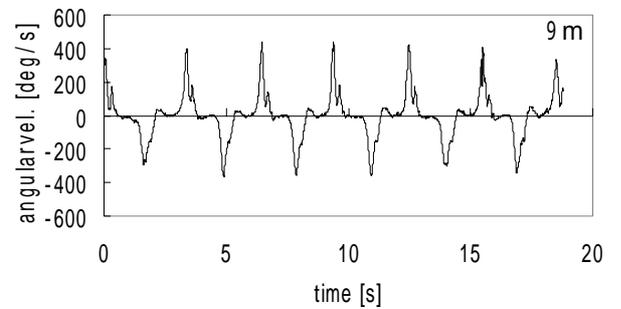
固定状態におけるロッドの2次の固有振動数が7.25Hzであることから、この振動はロッドの固有振動であり、空気抵抗などの外乱により励起されたものである。したがって、数値解析ではこの振動成分を除去した波形を用いる必要があることがわかった。



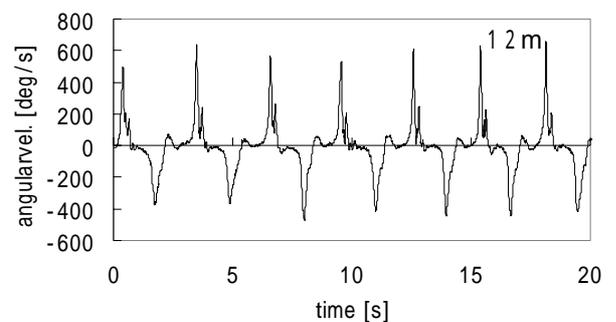
(a) line length 5m



(b) line length 7m



(c) line length 9m



(d) line length 12m

Fig.4 Angular velocity during false cast

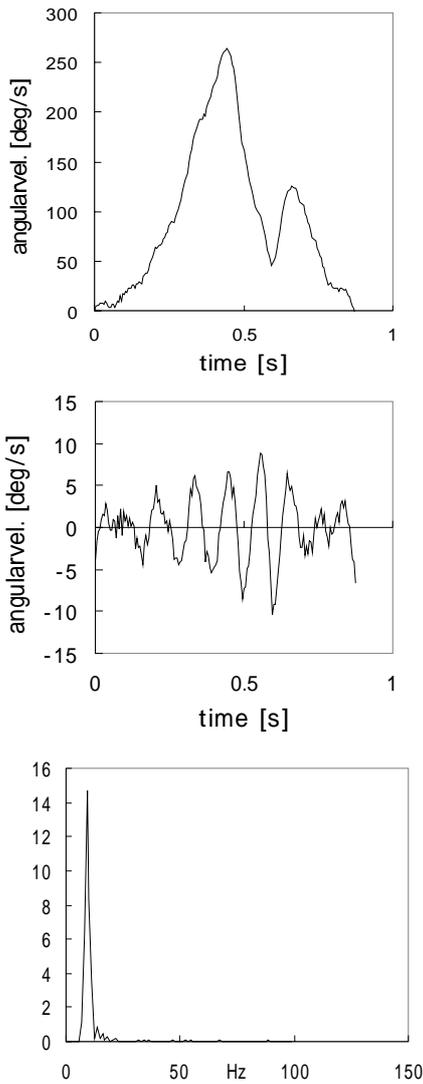


Fig.5 Forward cast wave with filter

図 6 にフォルスキャストの平均周期を示す .これは , フォワードキャストとバックキャストを 1 周期とし , その平均周期を求めたものである . この図から , ライン長さによる顕著な差は見られないことがわかる . フォルスキャストではラインが地面に接する前にピックアップしなくてはならないため , ラインがターンオーバーする前にキャストを開始しており , ラインが長くなっても周期は長くないことになる .

図 7 にライン長さによる最大角速度を示す . 最大角速度はラインが長くなるにしがたい , 速くなることわかる .

図 8 には最大角速度とライン長さの比を示す . この図から , ライン長さによる顕著な差は生じないことが

ら , 最大角速度はライン長さに比例して増加することがわかった .

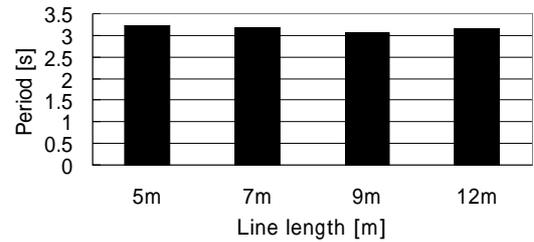


Fig.6 Period of false cast

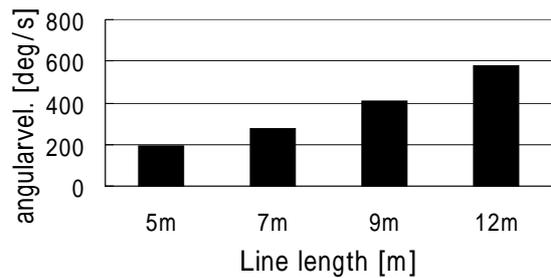


Fig.7 Max. angularvel. with respect to line length

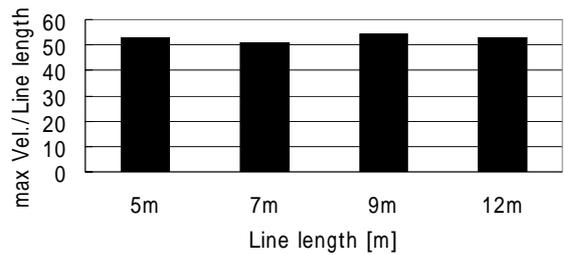


Fig.8 Ratio of max velocity and line length

### 3. リバウンド現象

角速度の時刻歴波形にはピークが 2 つあることがわかる . 1 つめのピークはキャスト中の最大角速度を示しており , 2 つめのピークはキャスト後に生じている . 図 9 の上図はライン長さ 5 m の場合のフォワードキャスト波形であり , 下図は上図を微分して求めた角加速度波形である . 角加速度波形に注目すると , 負の最大加速度が生じている時刻でロッドの振りを停止させている . この部位をロッドストップと呼ぶ . その後 , ロッド , 腕 , ラインの慣性により角速度は正の値となっているが減少する . その後 , 角速度が増加しピークを迎えて減少している . この現象をリバウンドと呼ぶ . 図 10 はキャスト中の状態を示したものである

が、ロッドストップの時にロッドは変形しており、その後リバウンド現象が生じている。この現象はラインやロッドの慣性力、空気抵抗によりロッドが変形し、その復元力やラインが前方に飛んだときのロッドを引く力によるものと考えられる。そこで、ロッドあるいはラインの有無によりリバウンド現象が生じるのか調査した。

図 1 1 にロッド、ラインの有無による角速度を示す。(a)はグリップのみ、(b)はロッドのみ、(c)はロッドに5 mのラインをつけてキャストした場合である。(a)に注目するとリバウンドが生じていないことがわかる。これに対し(b)、(c)にはリバウンドが生じていることから、ロッドが存在しないとリバウンドは生じないことがわ

かる。したがって、リバウンドは主にロッドが変形した後の復元力が腕に作用して生じている。また、最大速度から最大リバウンドまでの時間（以降、リバウンド間隔と呼ぶ）はラインがある方が長いことがわかる。これは、ラインの慣性力により、ロッドが復元する時間が長くなったためである。

図 1 2 にライン長さによる最大リバウンド速度を示す。この図から、ラインが長くなるにつれ、リバウンド速度も増加することがわかる。

図 1 3 にリバウンド間隔を示す。ライン長さによる顕著な差は見られないが、ラインが長くなると時間が短くなる傾向にある。これは、ラインが長いと最大角速度が速いため、ロッドの復元が速いことによる。

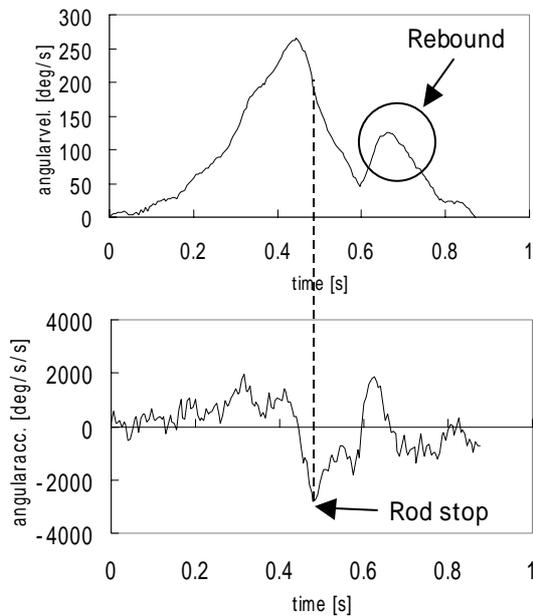


Fig.9 Rebound and Rod stop

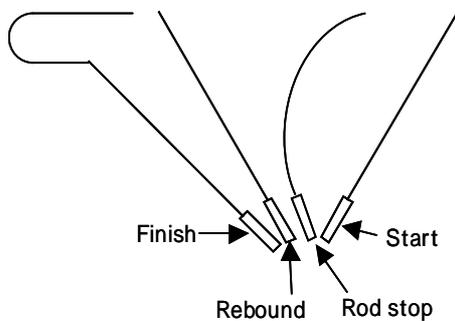
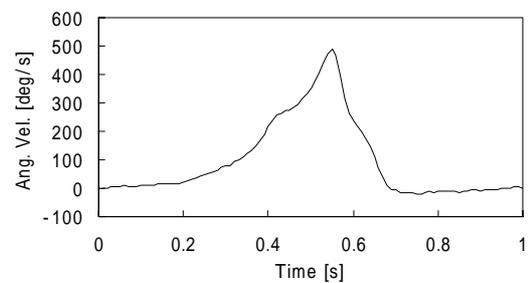
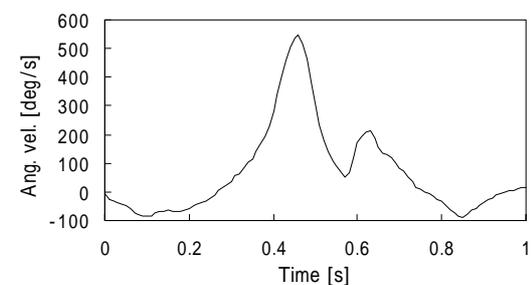


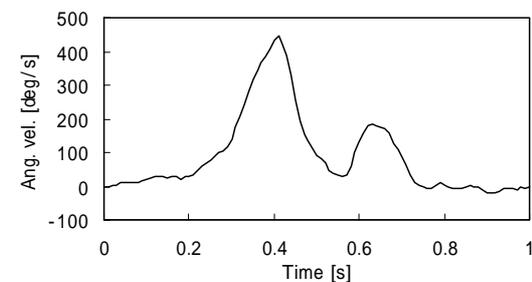
Fig.10 Casting condition



(a) Grip



(b) Rod



(c) Rod and line

Fig. 11 Rebound with respect to rod and line

図 1 3 に最大角速度と最大リバウンドの比を示す。ラインが長いほど、比は大きくなるのがわかる。ラインが 1 2 m の場合には最大角速度がリバウンドの 3 倍近くにもなっている。

#### 4. キャスティングシステムを用いた実験

##### 4.1 キャスティングシステム

キャストイングにおいて、人間の特性がライン挙動に及ぼす影響は少なくない。また、前章からリバウンド現象はロッドの復元力により生じるものであることがわかった。しかし、人間が意図的にリバウンドを無くすことは不可能である。ここではリバウンドの有無

による挙動の違いを解明するため、キャストイングシステムを製作した。

図 1 5 にキャストイングシステムの概略図を示す。このシステムは架台とモータ、アーム部、ロッド設置部から成っている。モータはハーモニックドライブシステムズ社製 FHA-17C を用いた。計測はロッドグリップ部に設置した角速度計と高速度カメラによりおこなった。ここでは、リバウンドが顕著に生じる 7 m と 9 m のラインについて実験を行った。

##### 4・2 リバウンドによるロッド先端挙動

図 1 6 にモータの入力角速度データを示す。(a)はリバウンドがある場合、(b)は無い場合であり、7 m ラインのものである。

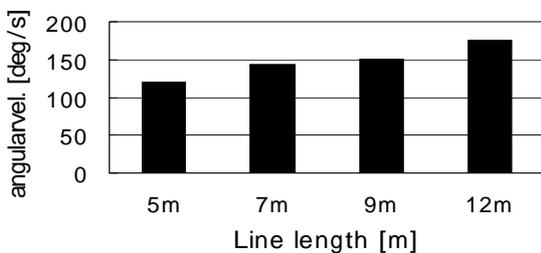


Fig.12 Max. rebound velocity

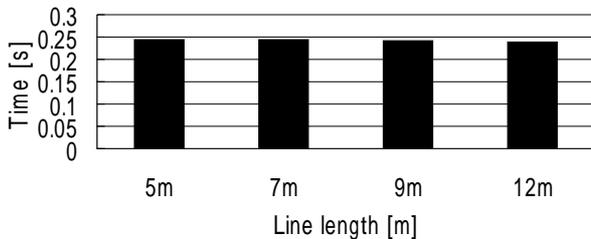


Fig.13 Time from max. vel. to max. rebound

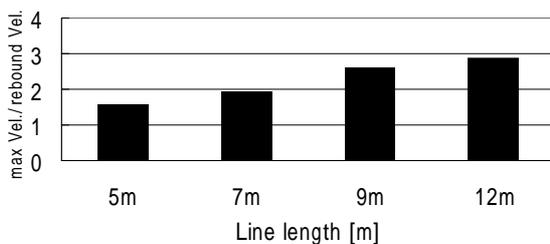


Fig.14 Ratio of max. vel. and max. rebound

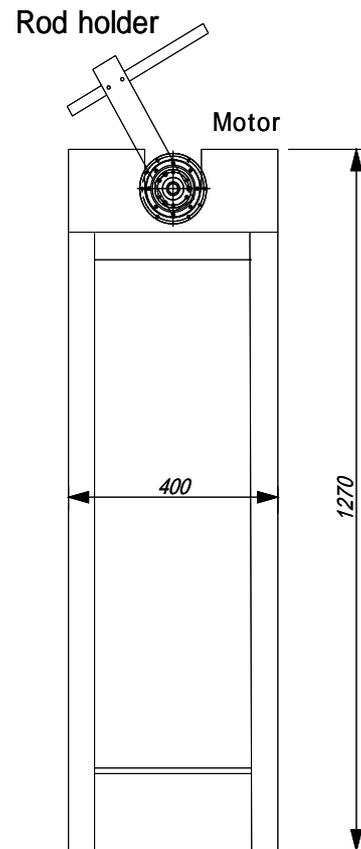
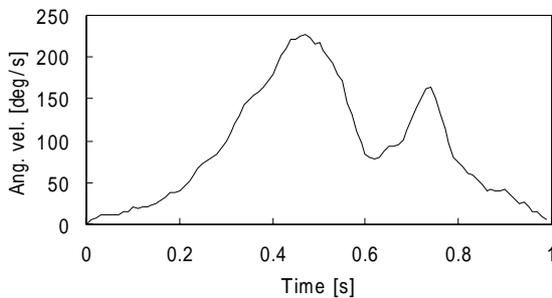
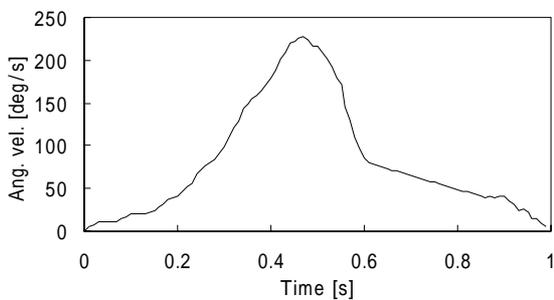


Fig.15 Casting system

図17にリバウンドの有無によるロッド先端の残留振動の振幅を示す。残留振動とは、キャスト後にロッドの復元により生じる振動であり、この振動振幅が小さいほど良いとされている。振幅が大きいと飛行時のラインに振動を与えるためにラインの挙動を悪化させるため、振動は極力低減するのが望ましい<sup>17),18)</sup>。図17から、リバウンドがあるとロッド先端の振動振幅は極端に低減していることがわかる。したがって、リバウンド現象はロッドの復元力により生じるものであるが、それと同時に残留振動を低減する効果があり、リバウンドが顕著に生じるキャストが良いことがわかる。



(a) With rebound



(b) Without rebound

Fig.16 Input ang. vel. data

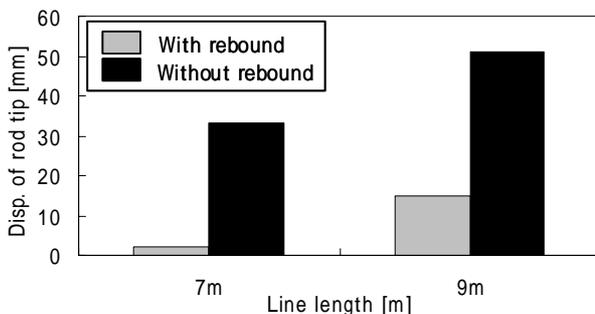


Fig.17 Disp. of rod tip with respect to rebound

## 5. 結 言

本研究では特にリバウンド現象に注目し、現象およびキャストへの影響などを実験的に明らかにすることを目的とし、以下の結果が得られた。

- 1) キャスト時の時刻歴角速度にリバウンド現象が生じるのがわかった。
- 2) フォルスキャストの周期はライン長さによる顕著な差は見られないことがわかった。
- 3) ロッドの最大角速度はライン長さに比例して速くなる傾向にあることがわかった。
- 4) リバウンド現象はロッドグリップのみでは生じないことがわかった。
- 5) リバウンド現象は主にロッドの復元力により生じることがわかった。
- 6) キャスティングシステムを用いて、リバウンドの有無によるロッド先端の挙動を調べた結果、リバウンドがあると、ロッドの残留振動が低減することがわかった。
- 7) キャスティングにおいてリバウンドが顕著に生じる方法が良いキャスト方法であることがわかった。

## 参 考 文 献

- 1) 椎名重明, 英国のフライフィッシング史, (1999), つり人社
- 2) Graig A. Spolek, The mechanics of flycasting: The flyline, American Association of Physics Teachers, 54(9), (1986), 832-836.
- 3) John M. Robson, The physics of fly casting, American Association of Physics Teachers, 58(3), (1990), 234-240.
- 4) 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.
- 5) J.J. Burgess, Bending stiffness in a simulation of

- undersea cable deployment, *International Journal of Offshore and Engineering*, 3-3,(1993),197-204.
- 6)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.
- 7)J.A.Hoffmann and Matthew R.Hooper, Fly rod performance and line selection, *Proceedings of DETC'97*, 1-8.
- 8)J.A.Hoffmann and M.R.Hooper, Fly rod response, *Journal of Sound and Vibration* 209(3),(1998), 537-541.
- 9)S.Lingard, Note on the aerodynamics of a flyline, *Am.J.Phys*, 56-8, (1998),756-757.
- 10)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.
- 11)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.
- 12)M.A.Hendry and M.Hubbard, Effect of rod taper on fly casting performance, *The engineering of SPORT4*, (2002), Blackwell publishing.
- 13)増沢信二,フライフィッシング・マニュアル,(2000),山と溪谷社.
- 14)S・アンダーソン・田淵義雄,フライフィッシング教書,(1984),晶文社
- 15)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.
- 16)渡邊鉄也,他,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),*機論*,70-690,C(2004),508-515.
- 17)Charles Ritz 著,柴野邦彦訳,A FLY FISHER S LIFE,(1997),ティムコ
- 18)Mel Krieger 著,東知憲訳,The Essence of Flycasting,(1995),つり人社.
-