



Kobe University Repository : Kernel

タイトル Title	競技用ヤリの設計・開発に関する研究(A Study on Design and Development for Javelin)
著者 Author(s)	前田, 正登
掲載誌・巻号・ページ Citation	スポーツ産業学研究 = Japan journal of sports industry,10(2):1-9
刊行日 Issue date	2000-09
資源タイプ Resource Type	Journal Article / 学術雑誌論文
版区分 Resource Version	publisher
権利 Rights	
DOI	
URL	http://www.lib.kobe-u.ac.jp/handle_kernel/90001660

Create Date: 2017-12-20



研究資料

競技用ヤリの設計・開発に関する研究†

前田 正 登*

A Study on Design and Development for Javelin

Masato MAEDA*

Abstract

This paper reports on the development of a javelin using a new process which simulates its characteristics before it is manufactured. For ease of design, the javelin was divided into 150 pipe elements, along the longitudinal axis. The construction of the javelin was designed by changing the mass and thickness of each element. Characteristics of moment of inertia, natural frequency, mode shape, and others were simulated. In the model of javelin which was chosen, the characteristics were the same as in ordinary javelins and it was actually manufactured. The characteristics of the developed javelin were estimated before its manufacture. Thus it was demonstrated that a javelin could be developed according to the characteristics planned by the designer. For the future, the need was suggested for estimating the indispensable characteristics for a javelin, with the aim of designing a new type of javelin.

Key words : Javelin, Design for Sport Article, Simulation of Characteristics

1. 緒 言

やり投げが他のスポーツ種目と異なるのはヤリを媒体としていることにある。競技用ヤリには規格があり、長さや重さ、最大直径、各部分の直径などが定められているが、競技成績の向上を目的とするならば、ヤリそのものを研究対象にすることは有意義であると考えられる。しかしながら、ヤリそのものに注目した研究はさほど多くない。

1985年に男子の競技用ヤリに関する規格が改訂された後、Terauds¹⁵⁾や菅原¹³⁾が競技用ヤリの諸特性を1例のみについて、それぞれ報告している。また、前田らは、競技用ヤリの諸特性に

ついて詳細に検討して、短軸まわりの慣性モーメントと1次の共振周波数が負の相関関係にある⁶⁾ことを明らかにし、1次モードのコンプライアンスでヤリの硬さを評価することを提案⁹⁾している。そして、これらの諸特性はヤリの構造によって大きく変わり得る⁷⁾⁹⁾こと、また、規格改訂のように構造変更を余儀なくされると競技に大きな影響を与える⁸⁾ことも指摘している。

ところで、本研究で取り上げる競技用ヤリなどのスポーツ用具に関する研究は、その開発を主目的とするようになって、近年、スポーツ工学の領域を中心に大きく発展してきている。テニスラケット⁴⁾や野球バット¹¹⁾、ゴルフクラブ¹⁴⁾などでは、用具の性能を予め予測し、実際に製

†原稿受付 2000年4月19日

*神戸大学発達科学部 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲3-11

*Faculty of Human Development, Kobe University, 3-11, Tsurukabuto, Nada, Kobe, Hyogo, Japan (657-8501)

品を作らずに、より高性能なスポーツ用具の開発が進められている。一方、同じスポーツ用具でありながら、競技用ヤリの場合は性能の予想をするようなことはなく、試作品を実際に競技者に使用させてみて、その結果を次の試作に反映させるという試行錯誤の方法を未だに行っているようである。競技用ヤリは、テニスラケットやゴルフクラブなどのように複雑な構造をしているわけではない⁸⁾ので、設計段階でその性能を予想することや、試作品の製作を行うことなく特徴的なヤリを開発することが可能であると考えられる。

本研究では、競技用ヤリを設計し、その諸特性を推定した後、実際に製作したヤリの諸特性を測定・評価するまでの開発事例を報告する。

2. 設 計

2. 1 設計方針

競技用ヤリはヤリ本体とヤリ先で構成され、ヤリ本体のグリップ部にあたる位置には、質量及び重心位置を微調整するためのおもり(鉛片)が貼り付けられ、紐が巻かれている。ヤリ先及びヤリ本体は規格上金属製であり、その製作には、円柱の中を抜いた筒状の管(原管という)を絞り込み、それぞれの形状に圧縮成型する(スウェーピング加工¹⁾という)工程をたどる。本研究では、競技用ヤリとしての部品構成やそれぞれを製作する工程は、従来どおりとして考える。

ヤリを設計するには、まず、目安となる各部分の寸法や質量、素材などを決定する必要がある。従来の製品を参考に、本研究では各部分の寸法、質量を表1のように設定した。また、ヤリ先とヤリ本体の素材には、Duralumin(密度 $2.72 \times 10^{-3} \text{g/mm}^3$)を採用した。ヤリ先及びヤリ本体にDuraluminを用いたのは、従来の製品もDuraluminを用いていることと、密度の大きい素材(例えば、Steel)を使うと原管の肉厚が薄くなり、管壁を部分的に切削して肉厚分布に変化をつけるような加工が困難となるが、密度が小さい素材ならば全体に渡って肉厚にすることができ、部分的に切削して肉厚に変化をつける

表1 設定した各部分の長さ、質量

	Length (mm)	Mass (g)
ヤリ先	323	160
ヤリ本体(インサート部80mm)	2370	604
グリップ紐	—	28
おもり(重心位置など調節用)	—	6
塗装, 接着剤など	—	10
ヤリ全体	2613	808

ことが容易になるからである。

次に、ヤリ先及びヤリ本体の形状の設定である。従来、ヤリは規格に適合するようにしつつ、空気力学的によく飛ぶように製作されてきた¹⁵⁾。そのために、形状の開発が主流となり飛行性能が優先されてきたが、近年は形状に関する規格の制限も多く、形状開発による著しい性能向上は困難となっている⁸⁾ようである。このことから、本研究ではヤリの形状を、現行の規格に適合している製品を基に、若干の変更を加えた1種類のみとした。

重心位置については、従来の製品が規格(先端からの距離が900~1060mm)の範囲内で最後方付近に設定している⁵⁾ことから、本研究では先端から1059mmの位置に設定した。

以上のような設定条件を踏まえ、規格に適合したヤリを設計・開発していく。特に、肉厚分布に変化をつけることが容易であることを生かして、肉厚分布に特徴を持つ、異なる多種類のヤリを設計する。

2. 2 ヤリの設計

設計にあたっては、図1に示すように原管を長さ20mmのパイプ要素に分けて考える。図1のように、ヤリ先はパイプ要素16個で最後部のみが23mmの寸法となり、ヤリ本体は長さ20mmのパイプ要素118個と最後部の長さ10mmのパイプ要素1個で構成される。ここで、全体質量を維持したままで、重心位置が設定どおりに先端から1059mmの位置になるように各パイプ要素の質量を変更していく。ただし、隣り合うパイプ要素の質

量が極端に異なることは現実的ではないことを考慮に入れておく。さらに、肉厚が1mmを下回ると耐久性に問題が生じると言われていることから、1mmを肉厚の下限値とし、これを下回らないようにした。また、耐久性向上のため、従来の製品と同様に、ヤリ先の先端には鋼鉄製の石突きと呼ばれる部分を設けた。

これらの設定で、設計の方針に合うように各要素の質量を変更していき、設計モデルを構築する。本研究で設計したモデルのヤリ本体の質量分布を図2に、肉厚分布を図3に示す。設計したモデルは、重心位置付近の肉厚が厚く、質量をできるだけ重心位置近くに配分した Model-1、各パイプ要素の質量をほぼ均等にし、重心位置付近の肉厚を薄くした Model-3、及びそれら

の中間として位置付けた Model-2 の3種類である。なお、本研究ではヤリ本体の設計に重点を置いたので、これらの設計モデルに用いたヤリ先のモデルは1種類のみとしている。

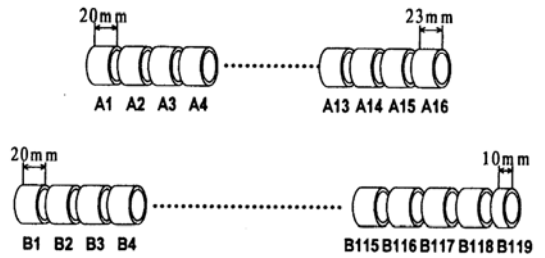


図1 ヤリ設計のために分割されたパイプ要素 (ヤリ先:上, ヤリ本体:下)

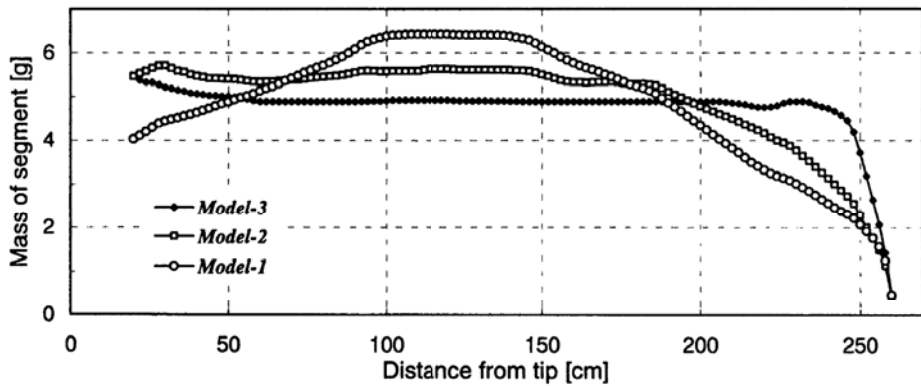


図2 設計モデルの質量分布

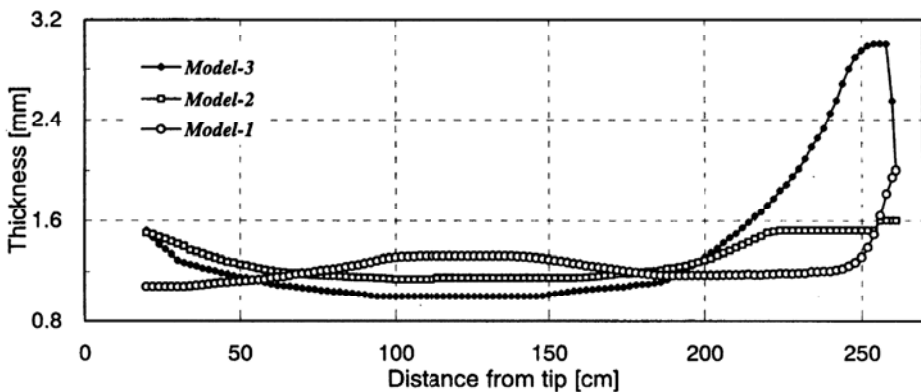


図3 設計モデルの肉厚分布

3. 設計したヤリの特性予測

3.1 静特性

これまでに競技用ヤリの静特性として、形状や質量、重心位置の他に慣性モーメントが報告されている⁵⁾¹³⁾¹⁵⁾。表2に示すように、設計した各モデルの寸法や質量、重心位置は、すべて規格³⁾の許容範囲に入っている。

慣性モーメントは、回転のしにくさを示す物理量であるが、競技用ヤリのように寸法や質量、最大径に制限がある物体においては、質量分布すなわち肉厚分布と材質の密度に依存すると考えられる⁵⁾。重心の短軸まわりの慣性モーメント I_G は、次のように表わされる。

$$I_G = \sum_i m_i r_i^2$$

m_i : i 番目のセグメントの質量

r_i : i 番目のセグメントの質点と回転軸との距離

本研究では、ヤリをパイプ要素に分けて設計しているので、上式から慣性モーメントが計算できる。設計した各モデルの計算結果を表2に示す。表2には参考として、通常の競技用ヤリの測定値⁵⁾についても示している。

設計モデルの中では、*Model 1* が最も小さいが、通常の競技用ヤリの中で最も小さい SUPER よりは大きい値を示している。これには、ヤリ先の素材の違いが影響しているものと推察される。すなわち、SUPER のヤリ先はステンレス製で、ヤリ先が軽量になっているが、ヤリ全体の質量と重心位置には大きな差がないので、相対的に SUPER は重心位置寄りに質量が配分されていることになる。また、設計モデルの中で最も大きいのは、*Model 3* であり、通常の競技用ヤリの中で最も大きい CHAMPION より大きな値を示した。

3.2 動特性

ヤリを投げるとき、はりの曲げ振動モードが励起される²⁾⁶⁾と考えられている。この曲げ振動に対して、伝達マトリクス法¹²⁾により解析する。

本研究で設計の際に用いたパイプ要素に分割する方法は、伝達マトリクス法で振動解析するには都合が良い。図4のようにヤリを130個のパイプ要素に分割し、その要素内では外径 D_i と肉厚 t_i が一定のパイプとする。ここでは、解析モデルを20mmのパイプ要素 ($A_2 \sim A_{130}$) と10mmのパイプ要素 (A_1) 及び1つの質量要素 (M)、石

表2 設計モデルと競技用ヤリの特性

	Length (mm)	Mass (g)	Center of gravity (mm)	Moment of inertia (gm ²)	Material
<i>Model 1</i>	2613	807.4	1059	3.88×10^2	<i>Duralumin</i>
<i>Model 2</i>	2613	807.3	1059	4.20×10^2	<i>Duralumin</i>
<i>Model 3</i>	2613	807.1	1059	4.91×10^2	<i>Duralumin</i>
CHAMPION	2612	808.5	1060	4.70×10^2	<i>Steel</i>
SUPREME	2611	806.7	1056	3.70×10^2	<i>Duralumin</i>
SUPER	2618	806.7	1050	3.59×10^2	<i>Duralumin</i>

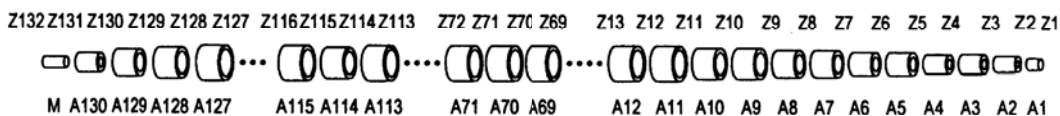


図4 伝達マトリクス法による解析のために分割されたパイプ要素

突き部分)に分割する。なお、ヤリ先とヤリ本体が重なる部分、すなわち、ヤリ本体のインサート部分は一体化したものとみなした。

まず、 i 番目のパイプ要素に関して次のような関係式が得られる。(ただし、横振動を面内振動とした。)

$$Z_i = A_i \cdot Z_{i+1}$$

ここで、 Z_i は i 点の状態ベクトルであり、 L :全

長、 D :外径、 t :肉厚、 m :質量、 ρ :密度、 A :断面積、 E :ヤング率、 I :断面2次モーメント、 X :軸方向変位、 Y :横たわみ、 ϕ :たわみ角、 M :曲げモーメント、 F :せん断力、 N :軸力、 ω :角振動数、とすると、

$$Z_i = [X, Y, \phi, M, F, N, 1]^T_i$$

と表される。 A_i は、はりの伝達マトリクスであり、

$$A_i = \begin{bmatrix} P & 0 & 0 & 0 & 0 & Q & 0 \\ 0 & S & -T/\lambda & U/(EI\lambda^2) & -V/(EI\lambda^3) & 0 & 0 \\ 0 & -\lambda V & S & -T/(EI\lambda) & U/(EI\lambda^2) & 0 & 0 \\ 0 & EI\lambda^2 U & -EI\lambda V & S & -T/\lambda & 0 & 0 \\ 0 & -EI\lambda^3 T & EI\lambda^2 U & -\lambda V & S & 0 & f_{in} \\ R & 0 & 0 & 0 & 0 & P & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_i$$

$$\begin{aligned} \lambda_i^4 &= m_i \omega^2 (EI_i L_i), \quad m_i = \rho A_i L_i, \quad I_i = \pi \{D_i^4 - (D_i - 2t_i)^4\} / 64, \quad \beta_i = \omega \sqrt{m_i / k_i}, \\ k_i &= EA_i / L_i, \quad A_i = \pi \left[(D_i / 2)^2 - \{(D_i / 2) - t_i\}^2 \right], \quad S_i = \{ \cosh(\lambda_i L_i) + \cos(\lambda_i L_i) \} / 2, \\ T_i &= \{ \sinh(\lambda_i L_i) + \sin(\lambda_i L_i) \} / 2, \quad U_i = \{ \cosh(\lambda_i L_i) - \cos(\lambda_i L_i) \} / 2, \\ V_i &= \{ \sinh(\lambda_i L_i) - \sin(\lambda_i L_i) \} / 2, \quad P_i = L_i \cos(\beta_i), \quad Q_i = (L_i / \beta_i) \sin(\beta_i), \quad R_i = -\beta_i L_i \sin(\beta_i) \end{aligned}$$

である。なお、 f_{in} は入力点のみ1で、他は0の値をとることになり、ここではグリップ後端にあたる A_{70} を加振位置とみなし入力点とした。

次に、ヤリ先の石突き部分の質量を m_e とすれば、石突き部分の質量マトリクス M は、

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -m_e \omega^2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

と表される。

伝達マトリクス法により各節点の状態ベクトルは、次の演算により求めることができる。

$$\begin{aligned} Z_{131} &= B_{131} Z_{132}, \quad Z_{130} = B_{130} Z_{132}, \\ \dots \quad Z_2 &= B_2 Z_{132}, \quad Z_1 = B_1 Z_{132} \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned} B_{131} &= M, \quad B_{130} = A_{130} B_{131}, \quad B_{129} = A_{129} B_{130}, \quad \dots, \\ B_2 &= A_2 B_3, \quad B_1 = A_1 B_2 \end{aligned}$$

であり、境界条件は、両端自由(力とモーメントが0)つまり状態ベクトルは

$$Z_{132} = [X, Y, \phi, 0, 0, 0, 1]^T_{132}$$

$$Z_1 = [X, Y, \phi, 0, 0, 0, 1]^T_1$$

として計算する。ただし、計算には減衰は含んでいない。

伝達マトリクス法による周波数は、ヤリをパイプ要素に分割して考えていることや石突き部分を質点とみなしていること、インサート部分を一体化したものとみなしていることなどから誤差が生じることが予想される。そこで、イン

パルス応答法による実測値と伝達マトリクス法による計算値を比較する。

競技用ヤリ3本について、本研究の伝達マトリクス法による計算値と実測値⁷⁾を表3の下段に示す。これによると、伝達マトリクス法による計算値の方が実測値よりも最大5%高くなることわかる。すなわち、本研究の伝達マトリクス法により算出される値は、実際よりも最大5%高くなることを考慮しておく必要があることになるが、算出された値は設計上の目安にするためのものであるため、実用上は十分な精度であると判断した。

伝達マトリクス法により求められた各モデルの固有振動数を表3に示す。設計モデルの中で最も高い値を示したのはModel 1であり、通常の競技用ヤリの中で最も高い値を示しているSUPERよりは低いものの、通常の競技用ヤリの

範囲内であった。また、設計モデルの中で最も低い値を示したModel 3は、通常の競技用ヤリの中で最も低い値を示しているELITEよりさらに低かった。これまで競技用ヤリとして最も低い振動数で23Hzを下回る値は報告されていない。したがって、Model 3が設計方針どおりに製作されれば、従来になかった特徴的なヤリになることが予想される。

設計モデルの振動モードに関して、1次のモード形を図5に示す。先端から中央付近では各モデルに大差は認められないが、中央から末端にかけては節 (node) の位置やコンプライアンスに違いが認められた。設計モデルの中で末端部のコンプライアンスが最も大きかったのはModel 1で、後ろの節の位置も設計モデルの中で最も前方になっていた。一方、後ろの節の位置が設計モデルの中で最も後方になっていたModel 3は、末端部のコンプライアンスが最も小さく、グリップ部に相当する中央付近のコンプライアンスが大きかった。

4. 競技用ヤリの製作・開発

4.1 製作モデルの選定

3つの設計モデルはそれぞれに特徴を有しているが、この中から実際に試作段階に入るモデル1種類を選定する。

設計モデルのうち、Model 3は、これまでに

	計算値 (Hz)	実測値 (Hz)	誤差 (%)
Model 1	26.4	—	—
Model 2	25.4	—	—
Model 3	23.4	—	—
ELITE	25.6	24.4	4.9
SUPER	27.4	26.6	3.0
SUPER II	27.2	25.9	5.0

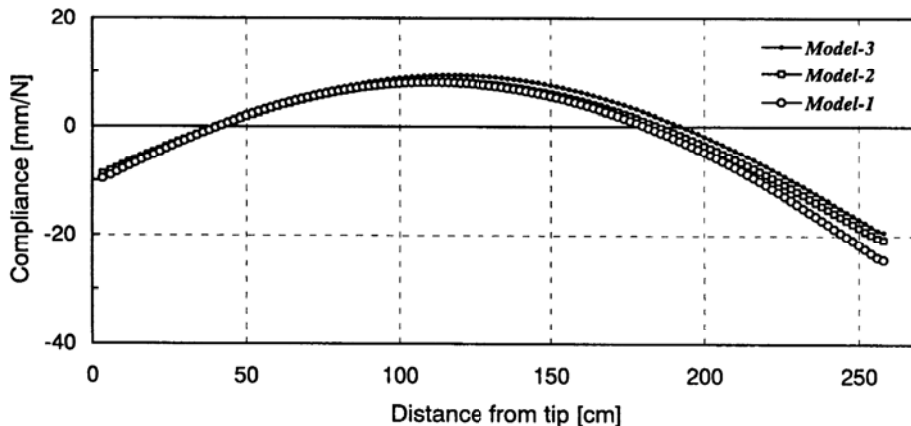


図5 設計モデルの振動形 (1次モード)

報告されている競技用ヤリよりも慣性モーメントにおいてやや大きく、固有振動数が著しく低くなると予測されており、競技者には“軟らかいヤリ”という印象を強く与えることが予想される。剛性の低いヤリの方が好記録が出やすいという報告⁶⁾があるものの、ヤリの剛性が競技成績に及ぼす影響が検証されているわけではない。したがって、試作するモデルは、*Model 3* とは対照的な特性を有し、諸特性が通常の競技用ヤリの範囲内に位置する *Model 1* とした。

4. 2 製作モデルの試作

初期に試作されたヤリについて、肉厚分布と設計時の肉厚分布をともに図6に示す。試作されたヤリ (*Sample*) は全体的に肉厚になっているものの、概ね設計 (*Model 1*) に沿った肉厚分布になっている。先端からの距離が200cm付近や240cm付近の後方部で、設計よりもやや大きくなっている(最大で0.27mm)箇所が認められる。ヤリの製作は、肉厚調整をするための切削とスウェーピング加工を繰り返すことになるが、ヤリの後方部は、原管から設定の形状に成型する

までかなりの量を削り落とし、絞り込まなければならぬ箇所である。したがって、肉厚を設定の値に合わせる事が製作工程上難しい箇所でもあり、この部分を精度よく設計に合わせる事が製作上の課題になるであろう。

4. 3 製作された競技用ヤリの諸特性

数回の試作を繰り返し、製品として完成したヤリ (*Model 1*) の諸特性を表4に、1次モードの振動形を図7に、通常の競技用ヤリとともに示す。

製作された競技用ヤリは表4に示される、寸法や質量、重心位置のほか、形状に関する規格のすべてに準拠していた。製作されたヤリは、設計よりも質量が1.6g軽く、重心位置が2mm先端寄りであったものの、これらの特性に関しては設計どおりに製作されていると考えられる。

慣性モーメントは $4.27 \times 10^2 \text{ gm}^2$ であり、設計時の予測 ($3.88 \times 10^2 \text{ gm}^2$: 表2) より大きな値になっていた。初期の試作において、ヤリの後方部の肉厚が最大で0.27mm大きくなっていたこと、重心位置が設計時の予測と2mmの差でしか

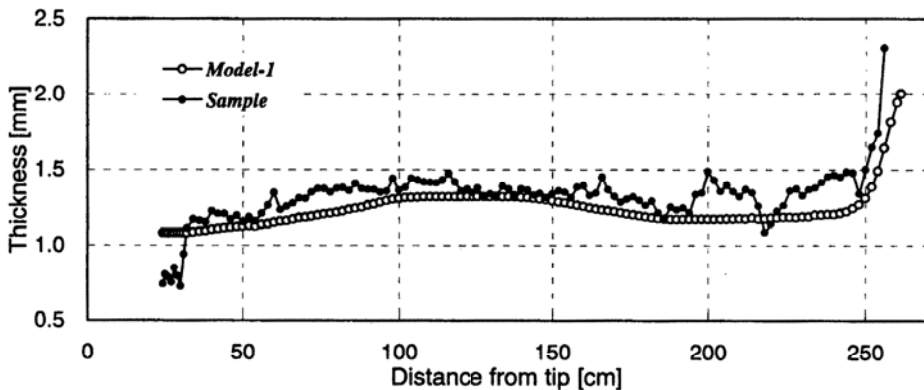


図6 試作されたヤリと設計モデルの肉厚分布

表4 製作されたヤリの諸特性

	Length (mm)	Mass (g)	Center of gravity (mm)	Moment of inertia (gm^2)	Resonant frequency [†] (Hz)	Compliance at grip [†] (mm/N)
<i>Model 1</i>	2613	805.8	1057	4.27×10^2	24.4	12.2

[†] first mode

なかったことなどから、製作されたヤリにおいても、相対的に設計時よりも両端部に質量が配分された結果であろうと推察される。それでもなお、製作されたヤリの慣性モーメントは通常の競技用ヤリ（例えば、表2のCHAMPION： $4.70 \times 10^2 \text{ gm}^2$ ）と比較しても大きくはなく、設計方針とは大きく異なるものと考えられる。

製作されたヤリの共振周波数は24.4Hzで、設計時の予測（26.4Hz：表3）より小さい値になっていたが、前述のように本研究で用いた計算方法では実験による測定値よりも最大で5%大きくなる可能性があることや、製作されたヤリが設計時よりも両端部に質量が配分されていると考えられることなどから、妥当な結果と言える。また、製作されたヤリの共振周波数は通常のヤリの中でも低い方になるが、素材がDuraluminでありながらSteel製と同程度の共振周波数を実現できたことで、Duraluminであっても構造次第で共振周波数を低くできることが実証されたことになる。このように、競技用ヤリの設計にあたっては素材の選定もさることながら、肉厚分布や質量分布のような構造も重要視する必要性が示唆される。

競技者やメーカーでは、ヤリの硬さが問題にされており⁸⁾、競技者やコーチの中には、静的に硬いヤリが上級者向きであるというような解釈¹⁶⁾をしているものも多いという。しかし、競技の場面を考慮するならば、ヤリの硬さは加振点で

あるグリップ後端におけるコンプライアンスで評価するのが妥当であろう⁸⁾。

図7を見ると、製作されたヤリのコンプライアンスは、全体的に他のDuralumin製のヤリ（SUPERとSUPREME）よりもやや大きい程度であまり変わらないことがわかる。しかし、Steel製のヤリ（CHAMPION）と比較すると、製作されたヤリの方が中央部付近のコンプライアンスが小さく、後方の節の位置も中央部寄りになっていた。すなわち競技者には、製作されたヤリは、例示されているDuralumin製のヤリよりは少し軟らかく、Steel製のヤリよりはやや硬い印象を与えるのではないかと推測される。

5. 結 言

本研究では、競技用ヤリを設計し、諸特性を予測した上で実際に製作・開発した。開発されたヤリの諸特性は、企画されたとおりに製作できており、競技用ヤリにおいてもその特性に特徴をもたせることが可能であることを示した。また、設計から製作までの過程を経て、今後の競技用ヤリの開発に向けて、以下のような課題が明らかとなった。

- (1)設計段階で、正確に製作後の特性を推測できる方法を確立する。
- (2)ヤリ本体の後方部の成型方法を技術的に改善し、精度を向上させる。
- (3)競技用ヤリとしての必要特性を明らかにする。

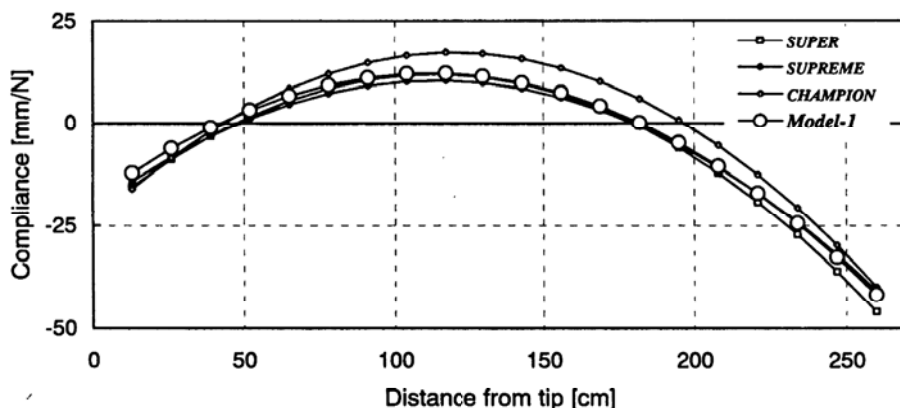


図7 開発されたヤリと通常のヤリの振動形（1次モード）

競技用ヤリの構造は複雑なものではない。したがって、設計も難しいものではないが、競技用ヤリの開発にはやりとしての必要特性が十分に明らかになっていないことが支障になっている。選手がどのようにヤりに力を加えているか¹⁰⁾、それが飛距離にどう影響するのか、これらの点を究明することが、選手本位のヤリを開発するためには急務である。

なお、本研究で設計・開発された競技用ヤリは、1998年4月から商品化され、実際の競技会で使用されている。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、御協力頂いた株式会社ニシ・スポーツに御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 林敬次郎；新素材の応用によるスポーツ用品, 冬樹社, 1989.
- 2) Hubbard, M. & Laporte, S. ; Damping of javelin vibrations in flight, *Journal of Applied Biomechanics*, 13(3), pp.269-286, 1997.
- 3) I.A.A.F.; HANDBOOK1998-1999, 1998.
- 4) 川副嘉彦；テニスラケットの動力学とコンピュータ援用設計—モード特性に及ぼす諸因子の影響と設計への指針—, 日本機械学会論文集 (C編) 56 (526), pp.167-173, 1990.
- 5) 前田正登, 他；「やり」の静的特性—形状と慣性モーメント—, 陸上競技研究, (2), pp.18-28, 1990.
- 6) 前田正登, 他；ヤリの動特性と競技成績, *スポーツ産業学研究*, 3(2), pp.15-20, 1991.
- 7) 前田正登, 他；競技用ヤリの減衰振動, 動きとスポーツの科学, pp.456-461, 1992.
- 8) 前田正登；やり投げにおけるヤリの振動特性と競技成績, *バイオメカニズム学会誌*, 16(2), pp.85-92, 1992.
- 9) 前田正登, 他；競技用ヤリの動特性, *Jpn. J. of Sports Sci.*, 12(2), pp.130-136, 1993.
- 10) 前田正登, 他；ヤリの弾性を考慮に入れたやり投げの力学的解析, *体育学研究*, 42(4), pp.270-282, 1997.
- 11) 鳴尾丈司, 他；FRPバットの打撃時のしびれに関する研究, *スポーツ産業学研究*, 3(2), pp.27-33, 1993.
- 12) 背戸一登, 山下繁生；人に優しいバットの開発, *D&D シンポジウム講演論文集*, pp.192-195, 1992.
- 13) 菅原秀二；槍の規格変更にもなう特性と投技術, およびそのトレーニングに関する研究—槍の静特性の変化について—, 昭和60年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 日本体育協会, pp.357-363, 1986.
- 14) 田代進；ゴルフクラブ設計 CAE 技術の開発, *スポーツ工学シンポジウム1995講演論文集*, pp.75-78, 1995.
- 15) Terauds, J. ; BIOMECHANICS OF THE JAVELIN THROW. ACADEMIC PUBLISHERS : California, 1985.
- 16) 吉田雅美；やり投げ, 最新陸上競技入門シリーズ9, ベースボールマガジン社：東京, 1993.