



ヨットのセール形状に関する研究

山下, 和雄

(Citation)

神戸商船大学紀要. 第二類, 商船・理工学篇, 34:97-104

(Issue Date)

1986-07

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81004300>



ヨットのセール形状に関する研究

The Study of Sail Shape

山下 和 雄

Kazuo YAMASHITA

(昭和61年4月15日受理)

Abstract

The purpose of this paper is to find some sail shape evaluation methods. The measured sail setting is on closehaul for light wind (1 ~ 3m/s) condition, which is set up international 470 class on ground. Nine vatical cross sections (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9 from sail foot) in mainsail and 6 vatical cross sections (J1, J2, J3, J4, J5, J6 from sail foot) in jibsail were measured. The sail curve lines were approximated 2, 3 and 4 degree curve lines.

The maximal sail depth of each vatical cross sections were followings in mainsail : 26.0 (M1). 33.6 (M2). 36.9 (M3). 41.3 (M4). 41.2 (M5). 37.4 (M6). 28.8 (M7). 21.8 (M8). 12.4 (M9). (cm) In jibsail : 26.4 (J1). 26.7 (J2). 24.7 (J3). 19.1 (J4). 13.3 (J5). 6.8 (J6). (cm).

In this paper, approximated 3 degree sail curve line is more suitable than approximated 2 or 4 degree sail curve lines.

The moware sail picture, which are drawn using caluculated sail depth on all sailarea, are suitable for the sail valuation.

The 2 degree coefficient graph of approximate 2 degree sail curve line is suitable for the sail valuation.

(Received April 15, 1986)

研究目的

ヨット競技での競技者たちの関心のひとつに、ヨットのセールの形状がある。セールの役割は、風を利用して推進力を作り出すことであり、推進力の大きさはヨットの艇速に関係し、ヨットレースの勝敗に関係する大きな要因である。現在ではセールは柔軟な化学せんの布地をいくつかの部位に裁断し、それを縫製することで三角形で翼状断面をもった形に作られている。セールの形状はセールメーカーの違いや流行により変化してきている。また同一セールの使用においても、レース当日の風速、波の状態などの自然条件、選手自身の技術、体力などにより、セールの調節機構を使っていろいろな形に調整されている。

日本470級協会制作のビデオテープ「470 class SAILING TECHNIC・ぎ装とチューニング」編では、セール形状を変化させるチューニング及び操作箇所と

して次の項目を上げている。1. マストレイキ, 2. マストベンド, 3. スプレッダー, 4. リギンテンション, 5. カニングガムホール, 6. クルーアウトホール, 7. ブームバンク, 8. トラベラー。そしてそれらの調節量を記録することにより客観的で再現性の高いセーリングを行うことで、競技力の向上を計ろうとしている。この調節量の数字はセールの形状をあらわす間接的数字であり、選手間でも情報の交換が行われている。しかし数字のみに固守しセール全体の形の評価は勘にたよっているのが現状である。

本研究の目的は470級ヨットのセールを実際に計測し、その形状を客観的にあきらかにし、ヨットのセールを評価する方法を探ろうとするものである。

研究方法

1. 測定器具

測定器具は長さ 2700mm, 幅 50mm, 厚さ 10mm の木材に, 50mm 間隔で直径 2mm の穴をあけ, ひご状の木材を通し, 曲面を測ることができるものを制作した。

2. 測定方法

(1) メインセイル (図 1)

測定の基準面はセイルピークとクルー, そしてクルーの三点を頂点とする三角形の作る面とした。測定箇所はセイルピークより 600mm 間隔の 9 水平断面について行い, 各断面毎のセイルのラフからリーチまでを, 50mm から 200mm の間隔でセイルまでの距離を計測した。

(2) ジブセイル (図 1)

測定の基準面はジブセイルのピークとクルー, そしてタックの三点を頂点とする三角形の作る面とした。測定箇所はジブセイルのピークから 600mm 間隔の 6 水平断面について行い, 各断面毎のセイルのラフからリーチまでを, 50mm から 200mm の間隔でセイルまでの距離を計測した。

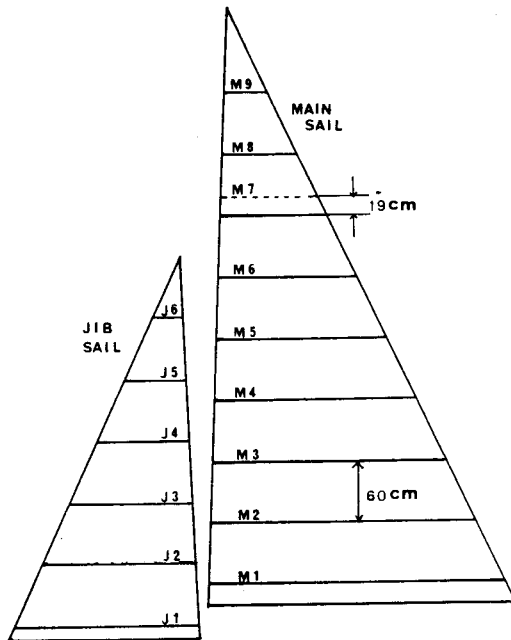


図1 測定箇所

3. 測定時のセイルについて

セイルの測定はクローズホールド時のセイルについ

て, 微風時 (1 ~ 3m/s) のセイルトリムについて行った。セイルのトリムは大学ヨット部 4 年生 2 名が行い, セイルはノースセイル社製の 470 クラス用のものを使用し, 陸上にヨットを固定して行った。

結果と考察

セイルを計測し形状を明らかにするために, セイルカーブを 2 次曲線, 3 次曲線, 4 次曲線, に近似し, セイルの最適近似曲線を求めた。それぞれの近似式の係数, 近似セイルカーブと計測値, 計測値と近似式の相関係数は次の通りである。

(1) 2 次曲線近似 ($Y=AX+BX^2$)

表 1 はメインセイルの, 表 2 はジブセイルの各水平断面毎のセイルカーブを 2 次曲線に近似した各次数項の係数をあらわしたものである。それによれば, M1 は $Y=0.4075X+(-0.001589)X^2$, 相関は 0.9908 であった。M2 は $Y=0.5589X+(-0.002310)X^2$, 相関は 0.9912 であった。M3 は $Y=0.6522X+(-0.002855)X^2$, 相関は 0.9893 であった。M4 は $Y=0.7938X+(-0.003762)X^2$, 相関は 0.9752 であった。M5 は $Y=0.8806X+(-0.004628)X^2$, 相関は 0.9913 であった。M6 は $Y=0.9019X+(-0.005312)X^2$, 相関は 0.9943 であった。M7 は $Y=0.9022X+(-0.006676)X^2$, 相関は 0.9941 であった。M8 は $Y=0.7651X+(-0.006468)X^2$, 相関は 0.9751 であった。M9 は $Y=0.8123X+(-0.01242)X^2$, 相関は 0.9821 であった。相関係数の平均は 0.9870 と高い相関を示した。また図 2 はメインセイル, 図 3 はジブセイルの近似式と計測値を図示したものである。全体的に相関は高いものの図からは, 実際の計測値と近似セイルカーブには微妙な差異がみられ, 特に M3, M4, M8 についてはセイルカーブを正しくあらわしているは言い難い。同様に J1 は $Y=0.6069X+(-0.003491)X^2$, 相関は 0.9912 であった。J2 は $Y=0.6867X+(-0.004396)X^2$, 相関は 0.9875 であった。J3 は $Y=0.7681X+(-0.005836)X^2$, 相関は 0.9910 であった。J4 は $Y=0.8175X+(-0.008691)X^2$, 相関は 0.9970 であった。J5 は $Y=0.7971X+(-0.011192)X^2$, 相関は 0.9917 であった。J6 は $Y=0.8397X+(-0.02544)X^2$, 相関は 0.9545 であった。相関係数の平均は 0.9855 であった。図についてはメインセイルと同じように高い相関を示すが, J1, J2 については近似の精度は不十分である。

(2) 3 次曲線近似 ($Y=AX+BX^2+CX^3$)

表 3 はメインセイルの, 表 4 はジブセイルのセイルカーブを 3 次曲線に近似した各次数項の係数をあらわ

表1 メーンセールの2次曲線近似式の各次数項の係数

	1 次の係数	2 次の係数
M 9	0.8122850000000	-0.0124248620000
M 8	0.7650685100000	-0.0064677747000
M 7	0.9022354400000	-0.0066758961000
M 6	0.9018880400000	-0.0053123132000
M 5	0.8806054700000	-0.0046278783000
M 4	0.7938458300000	-0.0037618682000
M 3	0.6521552100000	-0.0028552896000
M 2	0.5588711900000	-0.0023100430000
M 1	0.4074533100000	-0.0015887344000

表2 ジブセールの2次曲線近似式の各次数項の係数

	1 次の係数	2 次の係数
J 6	0.8396923300000	-0.0254442300000
J 5	0.7970941200000	-0.0119202520000
J 4	0.8175077100000	-0.0086912002000
J 3	0.7680524000000	-0.0058363362000
J 2	0.6866799400000	-0.0043961381000
J 1	0.6068567600000	-0.0034907356000

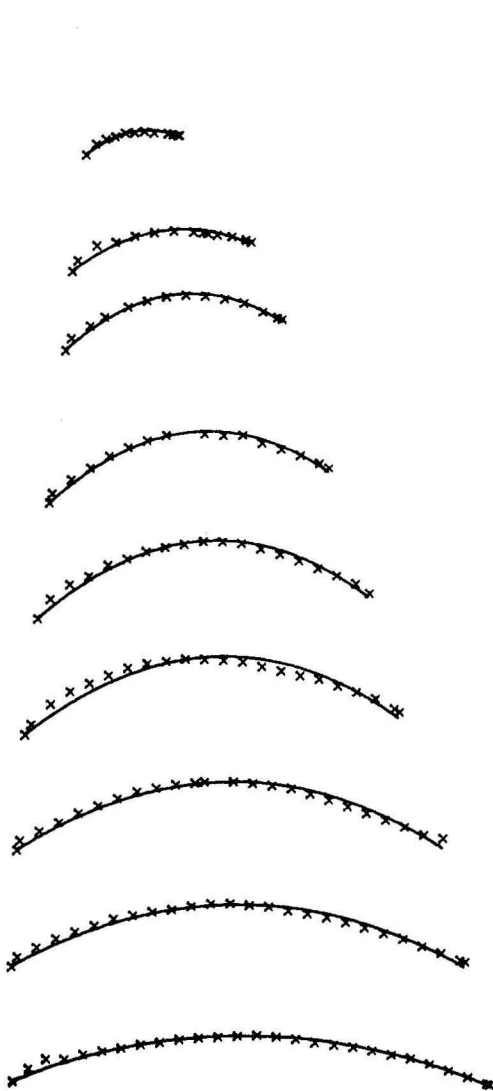


図2 2次曲線近似のメーンセールと測定値

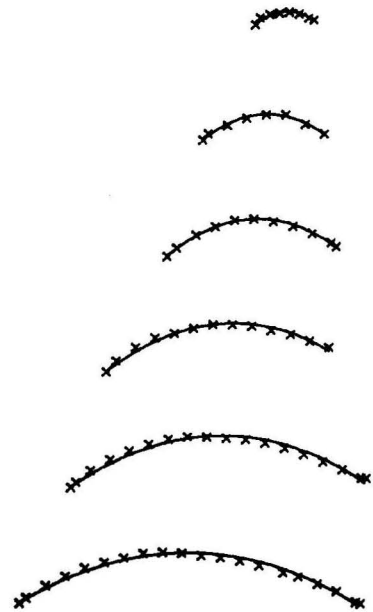


図3 2次曲線近似のジブセールと測定値

したものである。M1 は $Y = 0.4461X + (-0.002084)X^2 + 0.000001425X^3$ ，相関は 0.9911 であった。M2 は $Y = 0.6614X + (-0.003711)X^2 + 0.000004303X^3$ ，相関は 0.9972 であった。M3 は $Y = 0.7744X + (-0.004662)X^2 + 0.000005998X^3$ ，相関は 0.9960 であった。M4 は $Y = 1.043X + (-0.007853)X^2 + 0.00001506X^3$ ，相関は 0.9951 であった。M5 は $Y = 1.032X + (-0.007454)X^2 + 0.00001182X^3$ ，相関は 0.9947 であった。M6 は $Y = 1.043X + (-0.008413)X^2 + 0.00001528X^3$ ，相関は 0.9966 であった。M7 は $Y = 1.049X + (-0.01077)X^2 + 0.00002562X^3$ ，相関は 0.9952 であった。M8 は $Y = 1.033X + (-0.01522)X^2 + 0.00006597X^3$ ，相関は 0.9845 であった。M9 は $Y = 1.075X + (-0.02965)X^2 + 0.0002512X^3$ ，相関は

0.9956 であった。相関係数の平均は 0.9940 と 2 次曲線近似より高い相関を示した。図 4 はメーンセル、図 5 はジブセルの近似式と計測値を図示したものである。2 次の近似セルカーブよりセルカーブを適切にあらわしているといえる。同様に J1 は $Y = 0.7252X + (-0.005646)X^2 + 0.000008813X^3$ 、相関は 0.9992 であった。J2 は $Y = 0.8520X + (-0.007850)X^2 + 0.00001620X^3$ 、相関は 0.9992 であった。J3 は $Y = 0.9249X + (-0.01022)X^2 + 0.0000275X^3$ 、相関は 0.9971 であった。J4 は $Y = 0.9043X + (-0.01181)X^2 + 0.00002511X^3$ で、相関は 0.9991 であった。J5 は $Y = 0.7844X + (-0.01128)X^2 + (-0.000007201)X^3$ 、相関は 0.9919 であった。J6 は $Y = 1.111X + (-0.05387)X^2 + 0.0006671X^3$ 、相関は 0.9677 であった。相関係数の平均は 0.9924 と 2 次近似に比べて高い値となった。図からも計測値と近似セルカーブがうまく重なって滑らかなセルカーブをあらわしていると言える。

(3) 4 次曲線近似 ($Y = AX + BX^2 + CX^3 + DX^4$)

表 5 はメーンセル、表 6 はジブセルカーブを 4 次曲線に近似した各次教項の係数をあらわしたものである。M1 は $Y = 0.5048X + (-0.003451)X^2 + 0.00001069X^3 + (-0.00000001913)X^4$ 、相関は 0.9921 であった。M2 は $Y = 0.6797X + (-0.004166)$

$X^2 + 0.000007589X^3 + (-0.000000007231)X^4$ 、相関は 0.9972 であった。M3 は $Y = 0.7289X + (-0.003456)X^2 + (-0.000003326)X^3 + 0.00000002199X^4$ 、相関は 0.9968 であった。M4 は $Y = 1.210X + (-0.01281)X^2 + 0.00005808X^3 + (-0.0000001137)X^4$ 、相関は 0.9978 であった。M5 は $Y = 1.128X + (-0.01067)X^2 + 0.00004344X^3 + (-0.00000009458)X^4$ 、相関は 0.9950 であった。M6 は $Y = 1.078X + (-0.009816)X^2 + 0.00003162X^3 + (-0.00000005769)X^4$ 、相関は 0.9965 であった。M7 は $Y = 1.206X + (-0.01885)X^2 + 0.0001467X^3 + (-0.0000005514)X^4$ 、相関は 0.9960 であった。M8 は $Y = 1.368X + (-0.03574)X^2 + 0.0004318X^3 + (-0.000001995)X^4$ 、相関は 0.9898 であった。M9 は $Y = 1.196X + (-0.04413)X^2 + 0.0007570X^3 + (-0.000005375)X^4$ 、相関は 0.9966 であった。相関係数の平均は 0.9953 と 3 次近似よりも高い値を示した。図 6 はメーンセル、図 7 はジブセルの近似セルカーブと計測値を図示したものである。全体的には、3 次近似よりもさらによくセルカーブをあらわしていると考えられる。しかしまた、M8 のように計測誤差がそのまま近似セルカーブに反映され、適切にセルカーブをあらわしてはいないと考えられる場合も見られる。同様にジブセルにおいては、J1 は $Y = 0.7600X + (-0.006794)X^2 + 0.00001987X^3 +$

表3 メーンセルの3次曲線近似式の各次数項の係数

	1 次の係数	2 次の係数	3 次の係数
M 9	1.0752363000000	-0.0296517030000	0.0002511990900
M 8	1.0327009000000	-0.0152239120000	0.0000659739700
M 7	1.0488810000000	-0.0107670680000	0.0000256249740
M 6	1.0430559000000	-0.0084133118000	0.0000152763020
M 5	1.0324815000000	-0.0074543059000	0.0000118235800
M 4	1.0434504000000	-0.0078531336000	0.0000150632140
M 3	0.7743599200000	-0.0046616236000	0.0000059982556
M 2	0.6613966600000	-0.0037112472000	0.0000043031268
M 1	0.4460606800000	-0.0020835973000	0.0000014252819

表4 ジブセルの3次曲線近似式の各次数項の係数

	1 次の係数	2 次の係数	3 次の係数
J 6	1.1110402000000	-0.0538747280000	0.0006670907300
J 5	0.7843523400000	-0.0112811840000	-0.0000072014334
J 4	0.9043469400000	-0.0118111920000	0.0000251138940
J 3	0.9248710900000	-0.0102156020000	0.0000274990970
J 2	0.8519784300000	-0.0078500652000	0.0000161981030
J 1	0.7252266000000	-0.0056466786000	0.0000088132049

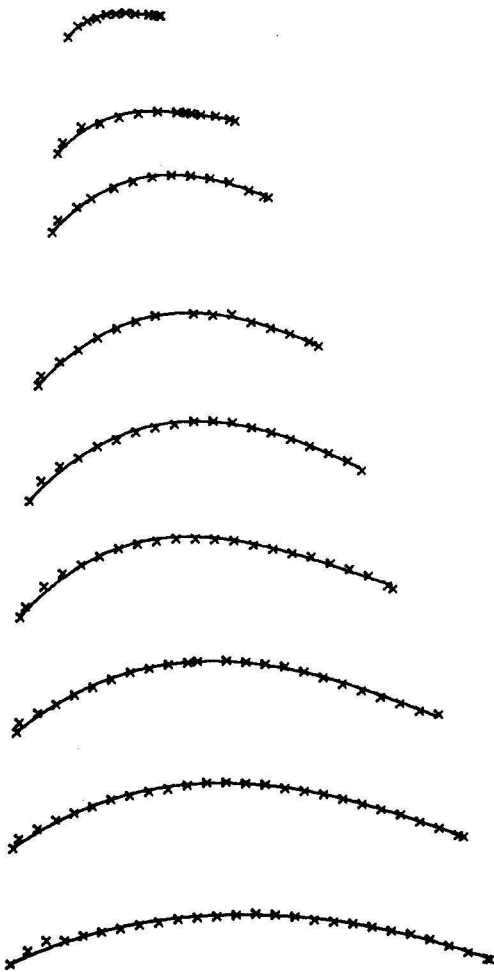


図4 3次曲線近似のメインセールと測定値

$(-0.00000003243)X^4$, 相関は 0.9994 であった。J2 は $Y = 0.8940X + (-0.009452)X^2 + 0.00003399X^3 + (-0.00000006012)X^4$, 相関は 0.9993 であった。J3 は $Y = 1.015X + (-0.01478)X^3 + 0.00009479X^3 + (-0.0000003018)X^4$, 相関は 0.9977 であった。J4 は $Y = 0.8898X + (-0.01085)X^2 + 0.000006535X^3 + 0.0000001087X^4$, 相関は 0.9992 であった。J5 は $Y = 0.7776X + (-0.01067)X^2 + (-0.00002352)X^3 + 0.0000001324X^4$, 相関は 0.9919 であった。J6 は $Y = 1.4482X + (-0.1190)X^2 + 0.004323X^3 + (-0.00006239)X^4$, 相関は 0.9760 であった。図については 3 次近似よりもセールカーブを適切にあらわしていると考えられる。

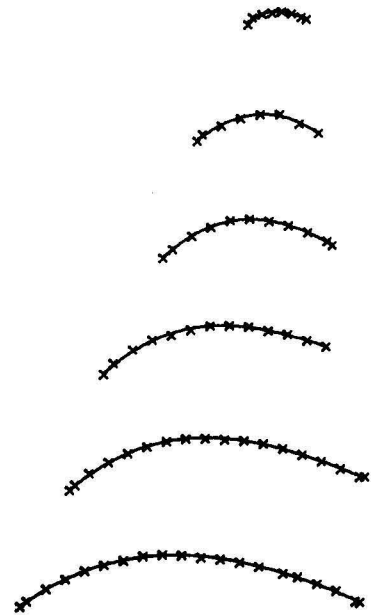


図5 3次曲線近似のジブセールと測定値

総じて近似の次数が高くなればなる程、計測値と近似セールカーブの相関は高くなる傾向を示す。しかしあまり高次数式への近似は、計測誤差へのフィルター効果を減少させセールカーブを適切にあらわさなくなるといえる。本研究では 2 次式, 3 次式, 4 次式について近似をおこなったが, 3 次式がセールカーブをあらわすのに適していると考えられた。

2. セールの最大深部の推移

図 8 は各水平断面における最もセールの深い部分の値の変化をあらわしたものである。なお考察は 3 次曲線セールカーブについて行うものとする。メインセールでは M1 の最大セール深部の値は 26.0, 以下 M2 では 33.6, M3 は 36.9, M4 は 41.3, M5 は 41.2, M6 は 37.4, M7 では 28.8, M8 は 21.8, M9 は 12.4 であった。最大値で 41.3cm のセールの厚みがあり, それが M4, M5 というセールの中心部分であるという一般的に知られている事実を裏付ける結果を得た。またジブセールにおいては J1 では 26.4 と最初はメインセールと同じ値ではじまるものの, 以下 J2 は 26.7, J3 は 24.7, J4 は 19.1, J5 は 13.3, J6 は 6.8 とメインセールに比べて全体的に浅いセールカーブをしているといえる結果を得た。

表5 メーンセールの4次曲線近似式の各次数項の係数

	1 次の係数	2 次の係数	3 次の係数	4 次の係数
M 9	1.1961652000000	-0.0441304440000	0.0007569831900	-0.0000053747327
M 8	1.3678026000000	-0.0357359860000	0.0004318340100	-0.0000019950951
M 7	1.2058007000000	-0.0188524950000	0.0001467231200	-0.0000005513739
M 6	1.0775882000000	-0.0098164390000	0.0000316193210	-0.0000000576903
M 5	1.1280013000000	-0.0106731830000	0.0000434392880	-0.0000000945751
M 4	1.2097393000000	-0.0128075150000	0.0000580774440	-0.0000001136994
M 3	0.7289218700000	-0.0034563557000	-0.0000033258503	0.0000000219853
M 2	0.6797342400000	-0.0041659378000	0.0000075889772	-0.0000000072307
M 1	0.5048450200000	-0.0034509040000	0.0000106934800	-0.0000000191297

表6 ジブセールの4次曲線近似式の各次数項の係数

	1 次の係数	2 次の係数	3 次の係数	4 次の係数
J 6	1.4481735000000	-0.1189875800000	0.0043226410000	-0.0000623872940
J 5	0.7776477700000	-0.0106688850000	-0.0000235166300	0.0000001323510
J 4	0.8897675400000	-0.0108462300000	0.0000065347697	0.0000001087380
J 3	1.0153008000000	-0.0147848990000	0.0000947853990	-0.0000003017533
J 2	0.8939500200000	-0.0094517313000	0.0000339885800	-0.0000000601184
J 1	0.7599603600000	-0.0067944285000	0.0000198677360	-0.0000000324263

表7 微風トリムのメインセールにおける、各水平断面毎の計測値と近似セール曲線の相関係数

	2次近似	3次近似	4次近似
M 9	.9821	.9956	.9966
M 8	.9751	.9845	.9898
M 7	.9941	.9952	.9960
M 6	.9943	.9966	.9965
M 5	.9913	.9947	.9950
M 4	.9752	.9951	.9978
M 3	.9893	.9960	.9968
M 2	.9912	.9972	.9972
M 1	.9908	.9911	.9921
平均	.9870	.9940	.9953

表8 微風トリムのジブセールにおける、各水平断面毎の計測値と近似セール曲線の相関係数

	2次近似	3次近似	4次近似
J 6	.9545	.9677	.9760
J 5	.9917	.9919	.9919
J 4	.9970	.9991	.9992
J 3	.9910	.9971	.9977
J 2	.9875	.9992	.9993
J 1	.9912	.9992	.9994
平均	.9855	.9924	.9939

セールの深さとその位置関係を見るために3次曲線近似式を用いて、計算より各部の深さを求めモワレ縞図を作成した。図9はメインセール、図10はジブセールのモワレ縞図である。

3. 2次曲線の係数による形状の評価

図11は2次曲線の係数の変化をあらわしたものである。2次曲線によるセールカーブの近似は、3次以上の曲線への近似に比べ相関が悪い結果をえたが、その相関はメインセールで0.9870、ジブセールで0.9855

という高い値をえたこと。そして2次の項の係数は曲率を代表していることから、セール形状の考察にもちいてみた。それぞれの値については先に述べたので省略するが、ジブセールの方がメインセールに比べ係数が小さくてセールカーブが浅いという結果を裏付けた。メインセールのM8の不連続はその付近に挿入されているバッチンの影響によるものと考えられる。

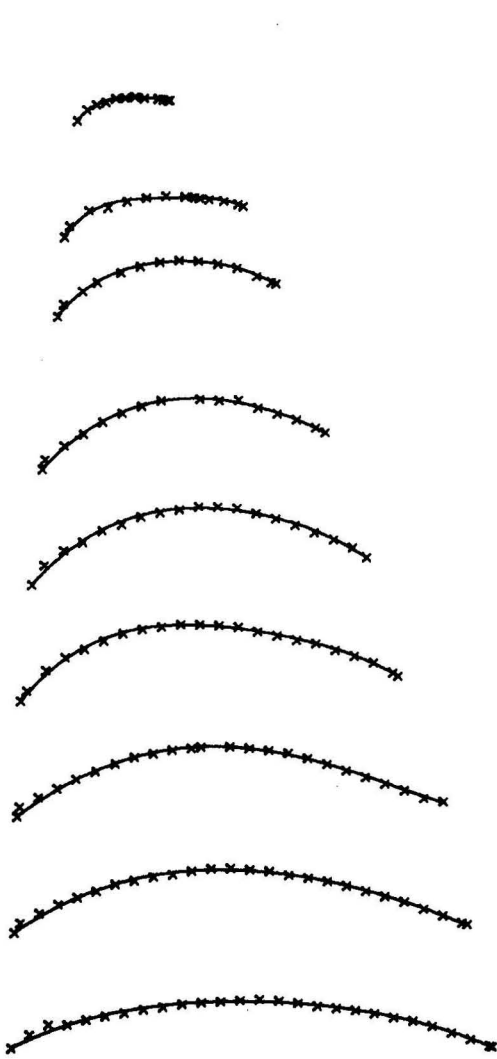


図6 4次曲線近似のメインセールと測定値

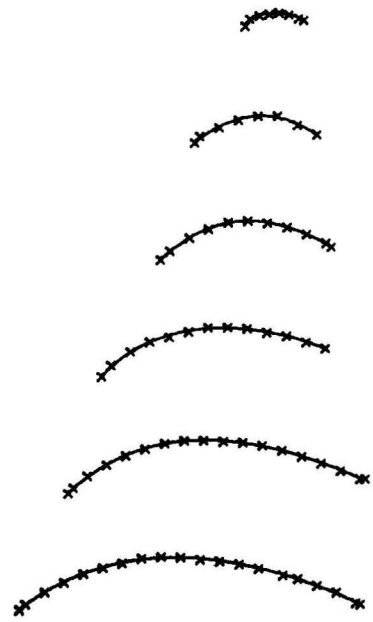


図7 4次曲線近似のジブセールと測定値

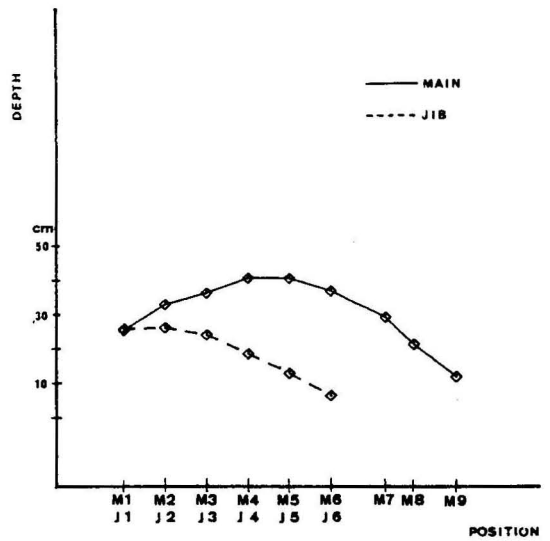


図8 セールの最大深部の変化



図9 モワレ稿によるメインセール

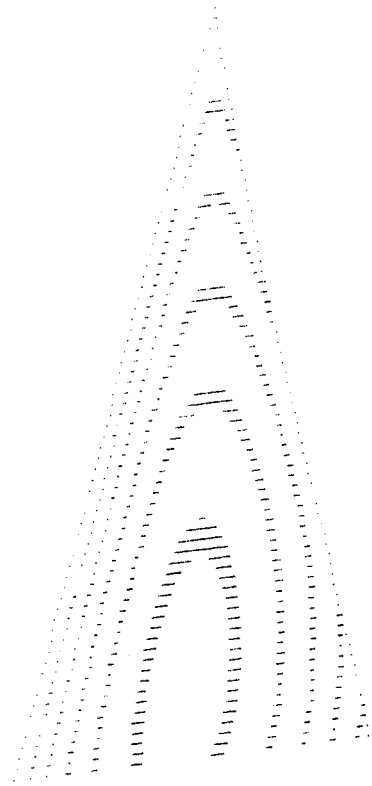


図10 モワレ稿によるジブセール

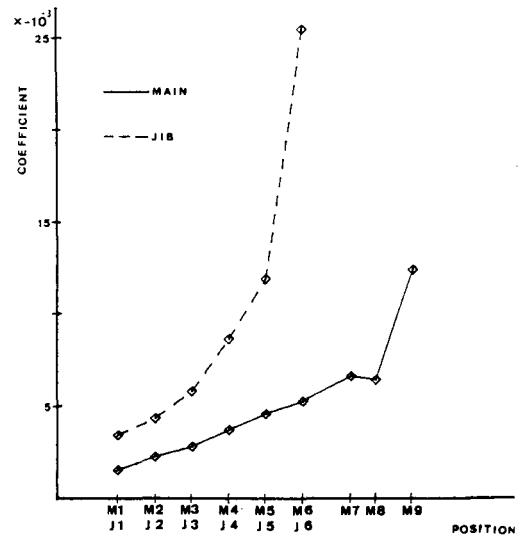


図11 2次曲線近似における2次の項の係数の変化