

競泳用低抵抗水着に関する研究

茨城大学 富樫 泰一
(共同研究者) 筑波大学 野村 武男
株式会社 デサント 藤本 昌則

A Study of Low Resistance Swimming Suit for Competitive Swimming

by

Taiichi Togashi

Ibaraki University, Faculty of General Education

Takeo Nomura

*Tsukuba University, Institute of Health
and Sports Sciences*

Masanori Fujimoto

DESCENTE LTD. Research Laboratories

ABSTRACT

This study investigate the effects of size, extention and thickness of nine types competitive swimming suits, and of polyethylene oxide upon the resistance by using a same scale human model.

The resistance increased from 4.22 to 10.55%. The average increment was 7.54% with the swimming suits than without suits. There was no significant relationship between size or thickness of swimming suits and resistance.

However, between the ratio of extention were obtained. It was clearly intensified swimming suit has the lower resistance. The polyethylene oxide reduced about 16% resistance using the human model without suit, and with swimming suit reduced about 6% resistance. The effects of polyethylene oxide was very short period that were only from 2 to 4 minutes.

1. 緒 言

水泳は空気中で行なう他の運動と異なり、密度の大きい水を媒体として行なう特殊環境下の運動であるため、水中を運動する物体は水によって様々な力を被る。特に競泳でよい成績を上げるためには、それらの影響を明らかにすることが必須である。水泳中に水から受ける抵抗に関する研究は数多く報告されている^{1-3,10-14)}。

人体を用いて索引抵抗測定をする場合、迎え角や姿勢の変化に伴い、測定値も変動する。Karpovich⁴⁾は、低速域における姿勢維持のためフロートを使用した。高速域においては迎え角の変化無しでは測定できなかった。また、頭部水中姿勢と頭部水上姿勢といった姿勢を変えての抵抗の計測を鞆田ら¹⁴⁾や角田ら¹¹⁾が行なっているが、迎え角と抵抗の関係については言及されていない。

田古里ら^{8,9)}は、剛体等身大模型を用いて、人体回りの流れを可視化するとともに抵抗を計測する実験を行なった。模型を頭部及び脚のふくらはぎ部分で固定することにより、流速の変化による模型の姿勢の変化なしに測定を行い、迎え角一定時の没水深度（静止水面に対する頭頂の高さ）と抵抗との関係を求めた。その結果、没水深度が水面上 50mm から 100mm の間で抵抗が最大となるようであった。また富樫ら¹²⁾は、各流速における迎え角と揚力及び抗力の関係を、縮尺が人体の4分の1で形状が扁平楕円体の人体模型を用いた実験により明らかにした。その結果、最大の揚抗比が得られるのは、いずれの流速においても迎え角 20°付近であった。ただし、この実験は、模型が水表面の波や渦の影響を受けない十分に深いところで測定が行なわれたので実際の水泳とは異なる条件であった。

同じく富樫ら¹³⁾は、剛体等身大人体模型を用いて、迎え角を変化させたときの、流速と抵抗の関係について調べ、2 m/sec で泳ぐときの人体姿勢

は、迎え角 5° に近く、実際の競泳における流速域 (1.6~1.8m/sec) が最も造波及び造渦の影響を受け易く、かつ深度 50mm 付近では急激な抗力の変化が起こり易いことを明らかにした。

競泳の世界記録は平均速度 2 m/sec を越え、100分の1秒を争う競技となってきたが、高速水泳時の水の抵抗は想像以上に大きく、2 m/sec ではおよそ 15-20kg となることが知られている。高速水泳時の泳者のエネルギーのほとんどは、この抵抗に打ち勝つために費やされることから、記録向上のためにはより抵抗の少ない姿勢・身体運動・着衣の研究が必須である。

そこで、本研究は競泳用水着の、デザインや素材の違いによる抵抗、特に流速 2.0m/sec 付近の問題について比較研究することを目的とする。またポリエチレンオキサイドを人体模型および水着に塗布した場合の抵抗減少効果について実験し、新しい水着の素材の可能性についても調べる。

2. 実験方法

9種類の競泳用水着の抵抗について、水着のサイズ、素材（厚さ、伸びやすさ）の違いによる影響を、人体模型を用いて調べた。また、ポリエチレンオキサイド（分子量 400万、以降ポリマーと略）を人体模型に塗布した場合、および水着に塗布した場合の抵抗減少効果を調べた。

2.1 回流水槽

筑波大学実験用回流水槽（五十嵐工業製、垂直循環型、79001）を用いた。

2.2 人体模型

人体模型は男子水泳選手（筑波大学水泳部所属、自由形短距離、競技歴10年）をモデルとしてFRP製の剛体等身大模型を自作した。人体模型の主要目は表1に示した。

今回作成した模型はけのび姿勢としたが、水泳時の腕は連続的に激しく動き、推進力の大部分を生み出していることから、腕は肩関節で切断した

表1 人体模型の主要目

全 長	1,982mm
胸 囲	935mm
ウエスト	703mm
ヒ ッ プ	873mm
体 積	$63 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

形とした。模型内部は空洞で、実験時には模型内部に水を満たし、必要な深さまで模型を沈めた。後頭部と両ふくらはぎに、模型を抵抗検出機につりさげるためのアルミ金具を取り付けた。

2.3 抵抗の検出方法

抵抗を検出するため、共和電業製ロードセル(LT-50KF)を用いた。レバー(ステンレス製平板)の上端にロードセルを、下端に人体模型を固定した(図1)。レバーの支点の位置は、ロードセル取り付け位置と支点間の距離が450mm、人体模型後頭部固定位置と支点間の距離が900mmとした。従ってレバー比は1:2となり、人体模型の抵抗の2倍の値がロードセルに検出されるようにした。

人体模型後頭部に取り付けた金具に、鉛直におろした上記レバーの下端をボルトで固定した(図1-a)。脚部の固定には鉄製の平板とアングルを用いて、流れ方向に可動性をもたせ、抵抗の検出を可能にしたうえで、一定迎え角および没水深度を保った(図1-b)。

2.4 記録・解析

ロードセルの出力は、ストレインアンプ(共和電業製, DPM-210A)で増幅し、ペンレコーダー(渡辺測機製, SR-6510-UM1)に記録すると同時に、データレコーダー(TEAC製, R-81)に収録した。収録したデータは後日A/Dコンバータ(カノープス電子製, アナログプロI)を介し、マイクロコンピュータ(NEC製, PC-9801VM)に取り込み、記録波形を平均化して必要な抵抗を求めた。

2.5 測定条件

迎え角を、模型の基準線(人体模型の肩峰と外果を結ぶ線)と静止水面とのなす角度と定義し、その角度を 5° とした(図1-c)。これは筆者ら

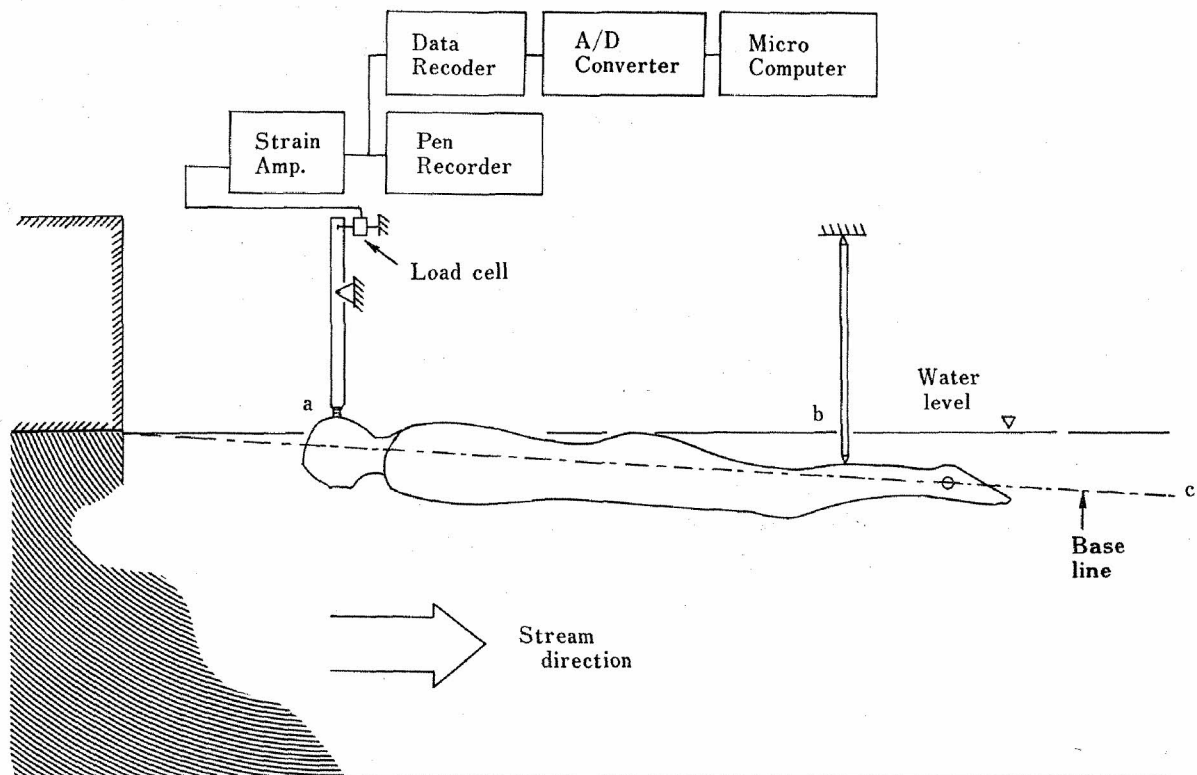


図1 人体模型と抵抗計測装置

が以前行なった研究¹³⁾より，秒速 2 m 前後の最高速度での水泳時に近い迎え角である。

没水深度は 後頭部が静止水面から 20mm となるよう調整した。このとき，模型の肩や肩胛骨の一部が水面上に現れた。この没水深度は，トップレベルのスイマーが最高スピードで泳ぐときのポジションに近いものである。比較的ゆっくりと泳ぐ時のポジションに比べると，没水深度が浅い状態である。

流速は，1.0m/sec から 2.0m/sec までとし，合計11段階の流速における抵抗を測定した。流速の校正には，三光精密工業製小型流速計・同カウンター (SV-101, C-501AP) を用いた。実験中流速計を人体模型頭部前方の水深 20cm におき，常時流速をモニターした。

実験に使用した水着の詳細は表 2 に示した。すべて競泳用水着で，胸部のデザインはほぼ同一である。

伸び率の計測は，次のように行なった。100 g の重りを水着の股下に下げた状態で，水着の肩ひもと股下の長さを基準長 (l) とし，さらに 1kg の重りを股下に下げたときに伸びた長さを (dl) とした。次に， dl/l に 100 を掛けて，伸び率とした。

水着の厚さは，縫目のない腹部の生地を 8 枚にたたんだ状態で，その厚さを厚み計で一定の圧力

をかけながら計測した値を 8 で割り，生地 1 枚の厚さを求めた。

ポリマーは分子量 400 万のものをを用いた。ポリマーを人体模型に直接塗り込み，しばらく乾燥したのち，水着の抵抗実験と同様な手順で抵抗を測定した。水着にポリマーを直接塗り込んだ場合，人体模型にその水着をきせるまでのあいだに，ポリマーがどんどん溶けだすので，できる限り急いで着せた。

3. 実験結果および考察

3.1 水着が抵抗に及ぼす影響

人体模型裸および水着着用時の抵抗を図 2～4 に示した。

その結果流速 1.0～1.5m/sec では際だった差がみられなかった。しかし，1.5m/sec を越えると，裸と水着着用の違いが顕著にみられた。

人体模型裸と水着着用時の抵抗については，田古里ら^{8,15)}の報告に詳しい。しかし，実際の競泳時の最高速度である 2.0m/sec については報告されていない。本実験では流速 2.0m/sec 付近での抵抗について明らかにした。

流速 2.04m/sec における裸に対する水着着用による抵抗増は，最小 0.28kg から最大 0.69kg であった。抵抗増加率で表わすと，4.22—10.55%，平均7.54%増であった。

表 2 水着の諸性質

番号	水着の種類	サイズ	メーカー	色	材 質	伸び率 (%)	厚さ (mm)
A-S	I	S	A	黒	ナイロン80%，ポリウレタン20%	12.86	0.56
A-M	I	M	A	黒	ナイロン80%，ポリウレタン20%	11.15	0.56
A-L	I	L	A	黒	ナイロン80%，ポリウレタン20%	12.16	0.56
B-S	II	S	A	黒	ナイロン80%，ポリウレタン20%	14.64	0.63
B-M	II	M	A	黒	ナイロン80%，ポリウレタン20%	13.54	0.63
B-L	II	L	A	黒	ナイロン80%，ポリウレタン20%	14.33	0.63
C	III	7S	B	紺	ナイロン80%，ポリウレタン20%	11.81	0.27
D	IV	M	C	紺	ナイロン80%，ポリウレタン20%	19.34	0.44
DIMPLE	V	M	C	紺	ナイロン80%，ポリウレタン20%	16.72	0.70

I：背部くり抜き型，II：背部閉鎖型，III：背部閉鎖型，IV：背部閉鎖型，V：背部閉鎖型

A：デサント製 B, C：他社品

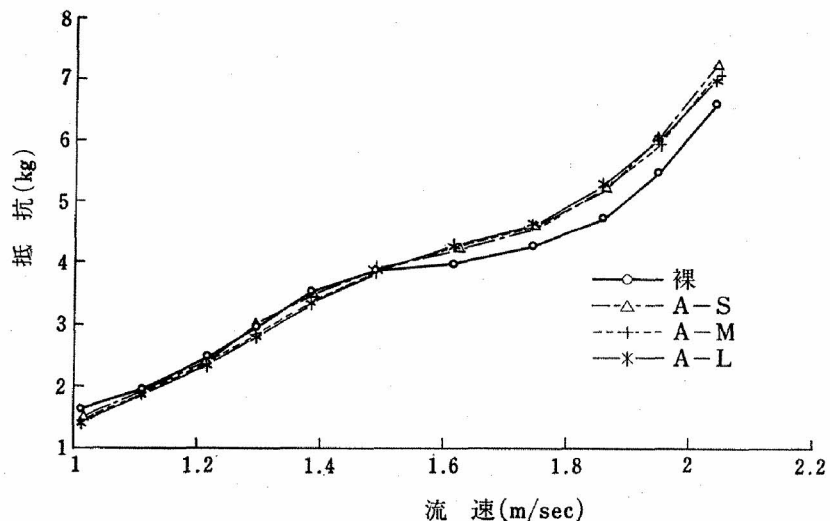


図2 流速と抵抗の関係 (水着A)

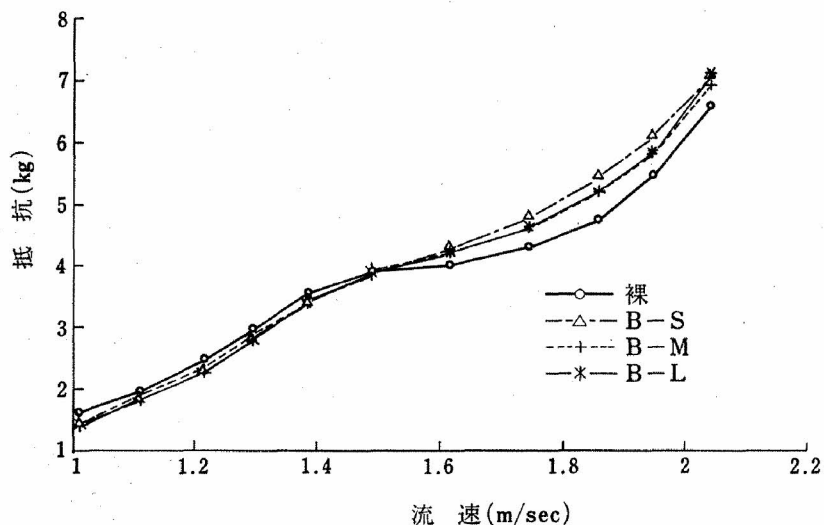


図3 流速と抵抗の関係 (水着B)

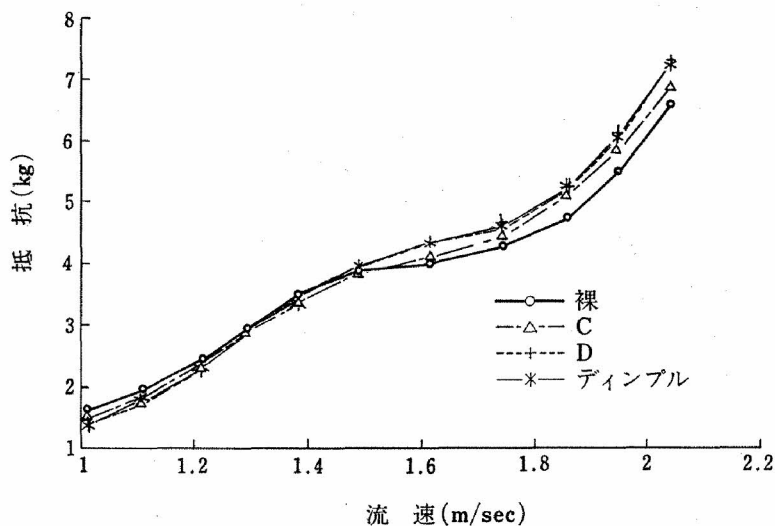


図4 流速と抵抗の関係 (水着 C, D, DIMPLE)

抵抗の少ない水着でも4%強、大きいもので10%を越える抵抗増は、明らかに競技成績に大きな影響を及ぼす。低抵抗の水着の開発により、競技成績の改善が示唆された。

3.2 水着の各条件が抵抗に及ぼす影響

3.2.1 サイズ

図2は競泳競技用モデル(A)、図3は競泳一般モデル(B)について、同一メーカーの同一デザインの水着、3サイズ(S, M, L)を比較したものである。その結果、Aモデルでは流速1.5m/sec以上の各流速において、サイズS, M, Lの順で低抵抗の傾向が見られたが、その差は有意ではなかった。一方Bモデルでは、同一流速域において、サイズSが最も抵抗が大きく、サイズMとLはほとんど同じであった。以上の結果から、サイズの違いによる抵抗に与える影響は少ないと考えられる。ただし、明らかに体型に合わずに、だぶだぶした水着については論外である。

3.2.2 伸び率

水着の伸びやすさが抵抗に及ぼす影響について調べた(図5)。その結果水着の伸び率と抵抗の間に有意な関係がみられ、伸び率による抵抗減の2次回帰式、

$$y = .293 - .015x - .00192x^2$$

$$(r = .856, p < .001)$$

が得られた。すなわち、水着の伸びが少ない方が抵抗が少ないということが明らかになった。

伸びにくい水着ははためきや水のすいこみが少なく、体型の補正効果が高く、流れの乱れを起こしにくいと考えられる¹⁵⁾。しかし、本実験の結果は、剛体人体模型での結果であることから、柔軟な表面をもつ人体でも同様なことがいえるかは不明であるが、水着着用時に、水着の縁が肌に食い込んで肉が盛りあがるような、体型の著しい変化をきたすような水着でない限り、伸びにくい水着のほうが抵抗が少ないことが示唆された。

3.2.3 生地 thickness

競泳選手が練習時に抵抗を増す目的で水着を重ね着する習慣がある。水着生地の厚さが抵抗に及ぼす影響について、図6に示した。

その結果生地の厚さと抵抗の関係は有意ではなかった。本実験は競泳用水着に限ったが、スクール水着のようなさらに厚い生地の水着については明らかではない。

3.3 ポリエチレンオキサイド溶液塗布

人体模型にポリエチレンオキサイド濃厚溶液

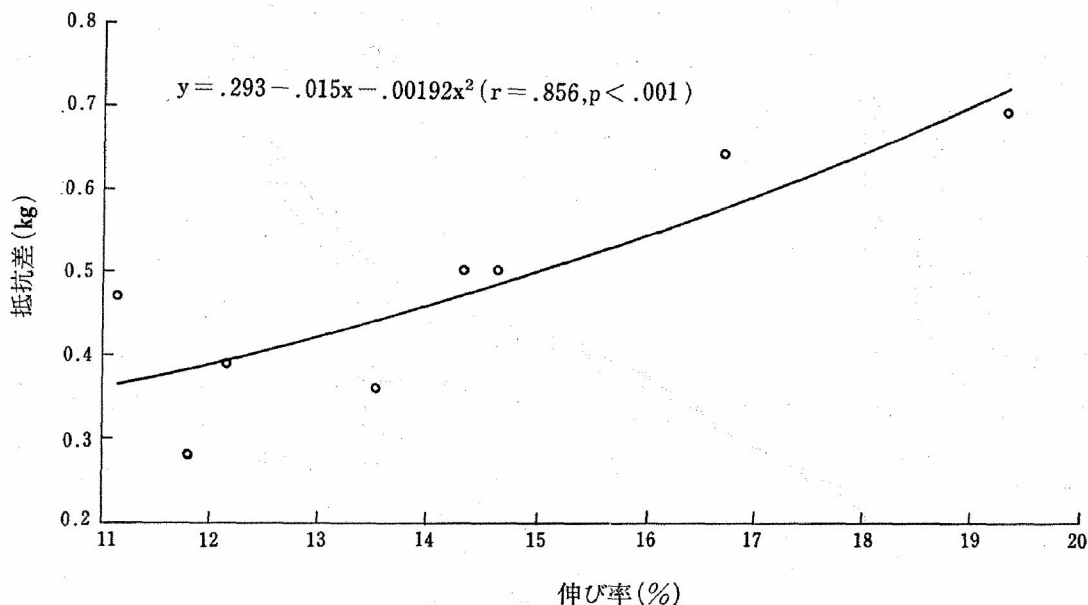


図5 水着の伸び率と抵抗差の関係

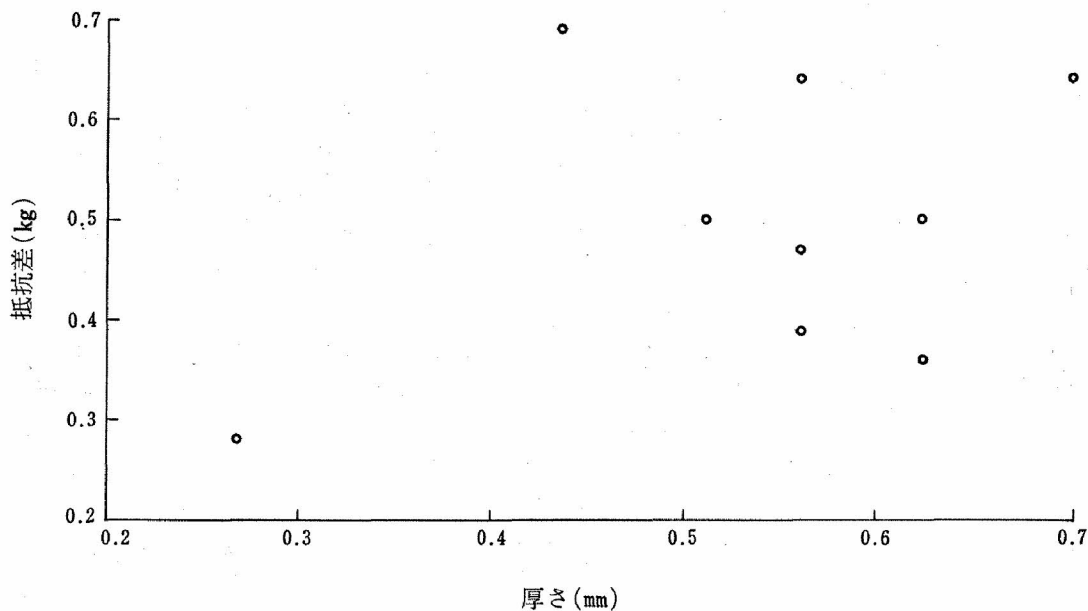


図6 水着の厚さと抵抗差の関係

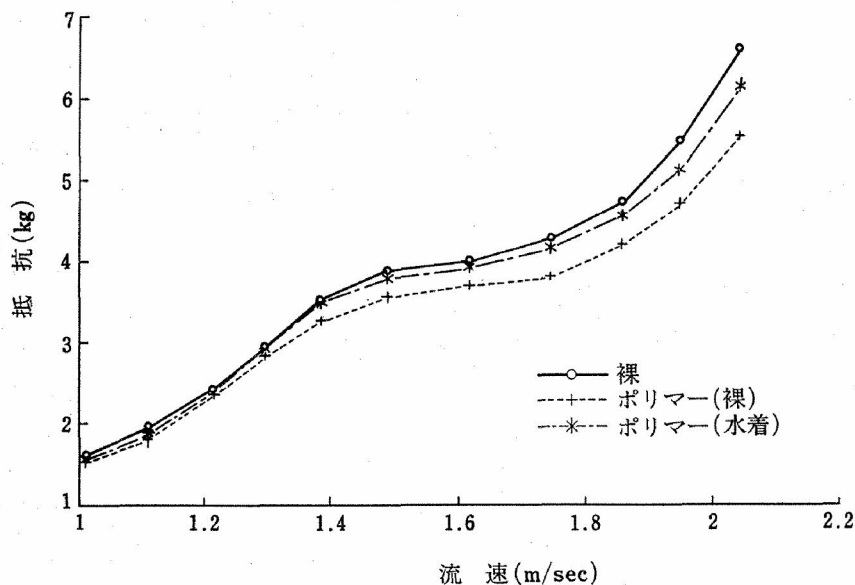


図7 流速と抵抗の関係 (ポリマー)

(分子量 400万) を直接塗布し、水着の実験と同様の手順で抵抗計測を行なった (図7)。

水着の実験同様、流速が 1.3m/sec までは抵抗減少効果ははっきりしなかったものの、1.5m/sec を越え、1.8m/sec から 2.0m/sec 付近で明らかな抵抗減少が見られた。流速 2.04m/sec における抵抗減少率は16%であった。

また、塗布したポリマーの残留度を調べるため、本実験の最高流速を維持したまま数分間継続

した。その結果、人体模型を水槽に入れ始めた時から約4分後には、抵抗減少効果がなくなることがわかった。

そこで、水着に同様のポリマー溶液を浸み込ませた実験も行なった。しかし、人体模型に直接塗布したときよりも抵抗減少効果は低く、流速2.04 m/sec で約 6%であった。実験終了直後(約2分)のポリマー残留度は、直接人体模型に塗布したときよりもさらにすくなく、ポリマーの残留は

ほとんどなかった。

田古里⁵⁻⁷⁾は、木製の魚模型や剛体模型に粘液を塗ったいくつかの抵抗実験について紹介しているが、いずれも抵抗減少効果がみられなかったとしている。しかし、ポリマー濃厚溶液を平板に塗布した実験で、約30%の抵抗減少をえたとしている。

田古里が指摘するように、競泳時のポリマー塗布による抵抗減少効果は明らかであるが、残留時間が短いためと環境を汚染する可能性があることから、現実的ではない。

本実験の結果、より伸びにくく、ポリマーと同様の効果を発揮する水着生地の開発により、抵抗減少が期待できることが示唆された。

4. ま と め

9種類の競泳用水着について、水着のサイズ・素材（厚さ、伸びやすさ）の違いが抵抗におよぼす影響を、人体模型を用いて調べた。また、ポリエチレンオキサイド（分子量400万）を人体模型および水着に塗布した場合の抵抗減少効果を調べた。

その結果、裸に比べて水着着用時の抵抗増は4.22-10.55%で平均7.54%であった。水着のサイズおよび生地の厚さと抵抗の関係は、有意ではなかった。水着の伸び率と抵抗の間には有意な関係がみられた。同一ボディの場合、伸び量は生地の伸度と水着のサイズで異なってくる。今回の条件では、伸びが少ないほど抵抗が少ないことが明らかになった。ポリエチレンオキサイドの人体模型への塗布により16%、水着への塗布により6%の抵抗減少がみられた。しかし、効果の持続時間が短く2~4分間で消失した。

文 献

- 1) Alley. L.E.; An analysis of water resistance and propulsion in Swimming the crawl stroke., *Res. Q.*, **23**, 253-270 (1952)
- 2) Bathls. K.M.; The mechanics for body propulsion in swimming., In *Swimming 3*, J. Terauda and E.W. Bedingfield (Edc)., University Park Press., Baltimore., pp. 45-54 (1979)
- 3) Clarys J.P. et al.; Total resistance in water and its relation to body form. In: *Biomechanics 4*. R.C. Nelson and C.A. Morehouse (Edc). University Park Press. Baltimore. pp. 187-196 (1974)
- 4) Karpovich P.V.; Water Resistance in swimming., *Res. Q.*, **4**, 21-28 (1933)
- 5) 田古里哲夫; 魚と抵抗減少と船, 中国塗料, Vol. 15-3, No.57 (1981)
- 6) 田古里哲夫; 魚と抵抗減少と船, 中国塗料, Vol. 15-4, No.58 (1981)
- 7) 田古里哲夫; 魚と抵抗減少と船, 中国塗料, Vol. 16-1, No.59 (1982)
- 8) 田古里哲夫ほか; 水泳における人体回りの水流および水着の影響の実験的研究, デサントスポーツ科学 Vol. 5 (1984)
- 9) 田古里哲夫; 水泳における利用回流水槽セミナー, 一回流水槽の実験技術と利用- (1985)
- 10) 種子田定俊; スポーツと抵抗, 数理科学, No. 181, July, pp.5-9 (1978)
- 11) 角田俊幸ほか; 人体水抵抗に関する研究, 昭和56年度体協報告書 (1975)
- 12) 富樫泰一, 黒川隆志, 高橋伍郎; 人体模型による水泳時の揚力と抗力, 第7回バイオメカニクス学会大会論集 (1984)
- 13) 富樫泰一, 野村武男; 人体模型を用いた水泳時の揚力及び抗力に関する研究, 筑波大学体育科学系運動学研究 (1987)
- 14) 鞆田幸徳ほか; 人体水抵抗に関する研究, 昭和39年度体協報告書 (1964)
- 15) 流れの可視化学会編; ブルーボックス, 流れのファンタジー, 講談社 (1986)