

コースロープの消波性能

The Efficiency of Lane Marker Disks to Eliminate Waves

佐藤陽平*・宮下充正**・藤島実***・木下健*

Yohei SATO, Mitsumasa MIYASHITA, Minoru FUJISHIMA and Takeshi KINOSHITA

1. はじめに

競泳競技におけるコースロープは100分の1秒を競う選手の記録を左右するため、重要な役割を果たしている。しかしながら、従来は、波の立ち具合による選手の泳ぎやすさが判断基準で評価は感覚的であり、どのようなコースロープが好記録を生みやすいかという観点で測定されたことはなかった。従来のように主観のみに頼っているのは、被験者による評価の差が問題となり、客観的な評価を下すことはできない。そこで今回、コースロープの消波性能について波高計を用いて実験を行った。ここではその解析方法ならびに結果について報告する。

2. コースロープの性能について

まず、はじめにコースロープの性能について考えてみたい。いわゆる「優れた」コースロープは、泳者に波の存在を感じさせないコースロープであるといえる。そのためには、(1)泳者が通過することにより発生する波をすばやく減衰させることと、(2)隣接コースに発生した波を伝播しないことが重要である。一面でこの二つの性能は相反するものであると考えられる。すなわち、隣接コースに波を伝播させないためには可能な限り壁に近い密に詰まった形状がよいと思われるが、形状があまり密に詰まるとコースロープに当たった波がそのまま反射するため長時間波が残留する。このようなコースロープでは、ターン時に選手が自ら発生した波の影響が大きく出るとされる。逆に、コースロープのフロートが疎らである場合は、発生する波を隣のコースに伝播させることができるため自らのコースの波の減衰は大きくなるが、隣接する競技者への影

響は大きい。

以上のことを考慮すると、優れたコースロープとは2つの相反する性質、すなわち、波を透過させないことと、反射させないことを両立するものであるといえる。そのためには、コースロープフロート内でエネルギーを大きく吸収する必要がある。

3. 実施方法

これらの観点に立ち、性能評価を行った。測定は東京大学第2食堂地下の25m公認室内プールにて実施した。1つのコース(図1のLane 2)にて競技者が25mスタートダッシュを行うことにより波を発生させ、波高計を用いることにより波の過渡応答特性を記録した。これにより、コースロープの透過率および減衰率を計算した。算定法については、次節で述べる。

3.1 コースロープ形状

4種類のコースロープに対し測定を行った。各コースロープのフロート形状は写真1~4の通りである。

3.2 透過率、減衰率、収束率試験

3.2.1 測定条件

波高計の設置位置を図1に示す。測定対象のコースロープをロープ位置ⅡとⅢに設置し α 、 β の2箇所、波高計を設置した。 α は競技者より発生しコースロープへと進行する入射波とコースロープおよびプール壁面からの反射波、 β はコースロープⅡを通過しLane 1へ進行する透過波とコースロープおよびプール壁面からの反射波を、それぞれ測定すると考えた。

3.2.2 波高の測定

Lane 2のセンターライン上を競技者が25mのスタートダッシュを行ない α 、 β での波高を0.01秒単位で測定した。各コースロープに対し、3名の競技者が最大努力で5回づつ、合計15回のスタートダッシュを行い測定した。競技者

*東京大学生産技術研究所 第2部

**東洋英和女学院大学

***東京大学大規模集積システム設計教育研究センター

別の12.5 m~20 m の平均速度, 25 m 平均タイム, および平均ピッチは表1の通りである.

表1 水泳結果

Name	M. M.	S. T.	T. A.
style	Butterfly	Free Style	Free Style
speed(m/s)	1. 60	1. 76	1. 67
time(sec)	13. 6	12. 7	13. 4
pitch(rpm)	56. 1	136. 2	119. 1

4. 試験結果の解析

波の周波数特性 競泳選手が発生する波, およびコースロープを透過した波の周波数特性を調べるために, 波高計にて測定されたデータに対し, FFT アルゴリズムを用い周波数分析を行った. 分析対象時間は, 第一波より10秒間とした(図3). なお, この10秒間に α および β で観測された波には, Rope No. I, II, III, IV およびプール壁面の反射波等含まれている.

水波のパワー 不規則波の単位面積当たりのパワー P ($J/s \cdot m^2$) は, 以下のように表される.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1} \rho g \int_{T_1}^{T_2} h(t)^2 dt \quad (1)$$

ただし, ρ は水の密度 (kg/m^3), g は重力加速度 ($9.8 m/s^2$), $h(t)$ は時刻 t における波高値 (m) である.

時刻 T における平均パワー $\bar{P}(T)$ を Δt を用いて, 以下のように定めた.

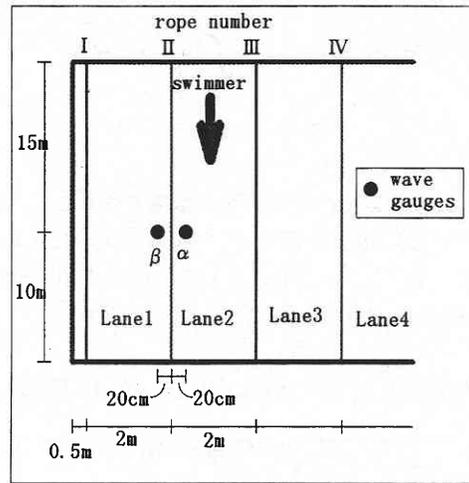


図1 波高計設置点

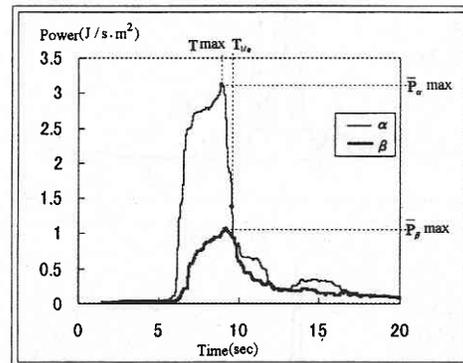


図2 単位面積当たりの波のパワーの過渡応答特性

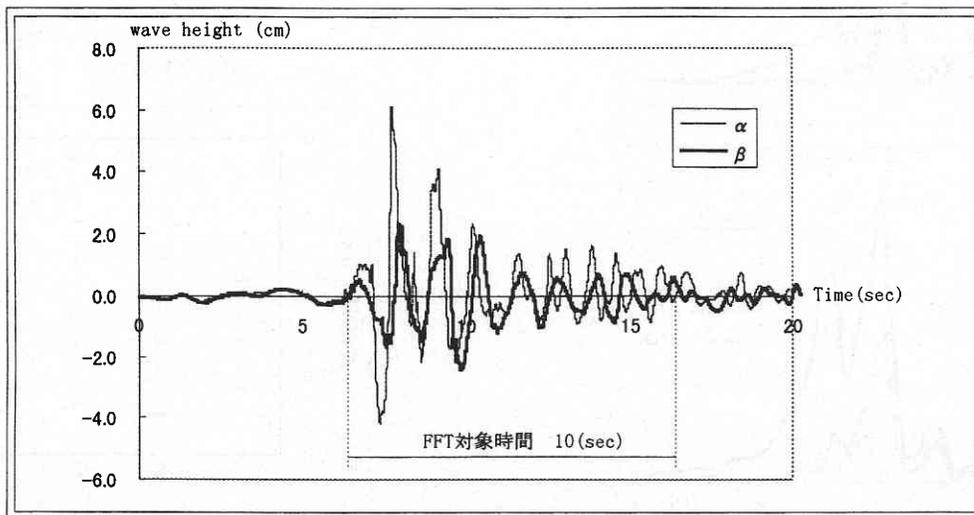


図3 波の過渡応答特性

研究速報

$$\bar{P}(P) \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\Delta t} \rho g \int_{T-\frac{\Delta t}{2}}^{T+\frac{\Delta t}{2}} h(t)^2 dt \quad (2)$$

$\Delta t = 3.00 \text{ (sec)}$

これは、3秒以上の周期の波が極稀であることに着目し、時刻 T の前後1.50秒の平均パワーを表すように定めた。

またここで、 α 、 β におけるパワーの最大値をそれぞれ、 $\bar{P}_{\alpha \max}$ 、 $\bar{P}_{\beta \max}$ とする(図2)。

パワーの透過率 パワーの透過率 TR を、以下の式で定め

る。すなわち、競技者の泳ぎを乱す第1、第2波のパワーの強い波の透過率に着目するために、 α 、 β のパワーの最大値を用いている。

$$TR = \frac{\bar{P}_{\beta \max}}{\bar{P}_{\alpha \max}} \quad (3)$$

パワーの減衰必要時間 $\bar{P}_{\alpha \max}$ の時刻を T_{\max} とする。また、時刻 T_{\max} 後にパワーが減衰し $\bar{P}_{\alpha \max}$ の $\frac{1}{e}$ ($\approx 36.8\%$) となる時刻を $T_{1/e}$ とする(図2)。このとき、減衰時間 T_{decrease} を以下のように定めた。

$$T_{\text{decrease}} = T_{1/e} - T_{\max} \quad (4)$$

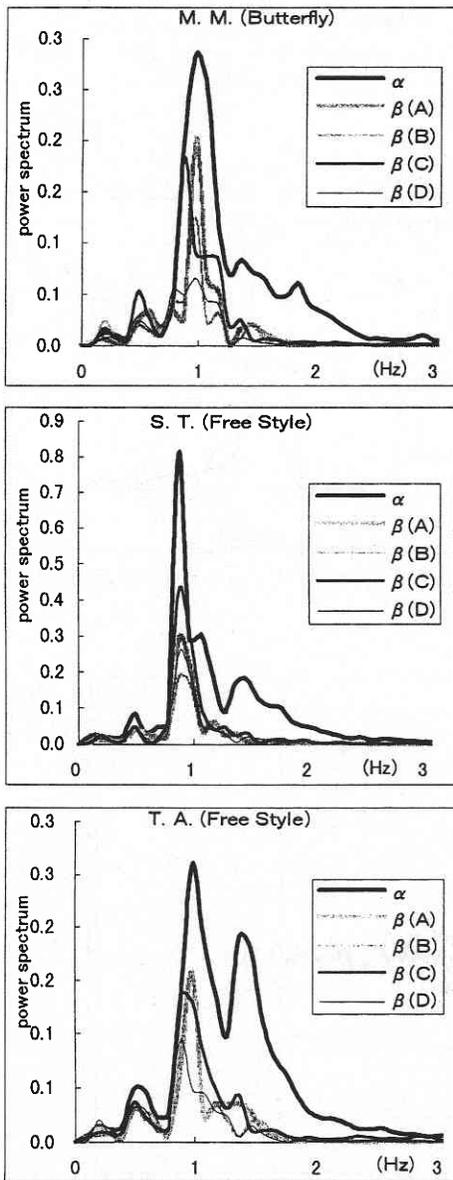


図4 競技者別周波数特性

5. 測定結果

以下、波の周波数特性、透過率、および減衰時間の測定結果を示す。

波の周波数特性 コースロープごとの β 点での5回平均パワースペクトルと、その時の α 点での20回平均スペクトル

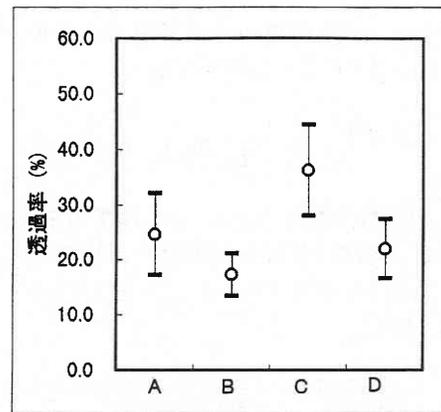


図5 波の透過率

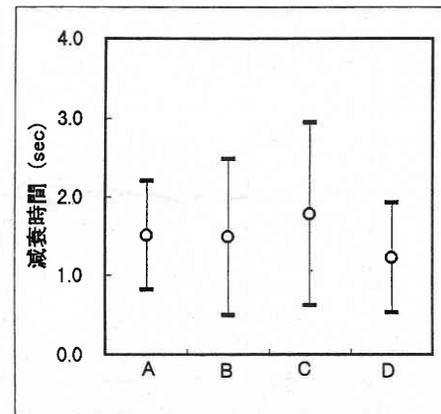


図6 波の減衰時間

ルを、競技者別に図4に示す。

波の透過率および減衰時間 コースロープの15回の透過率の平均と標準偏差を図5に示す。また、減衰時間の平均と標準偏差を図6に示す。なお、透過率、減衰時間ともに値が小さいほどコースロープの理想に近い。

6. 考 察

周波数特性 競泳競技者が発生する波は、3 Hz 以下に集中していることが判明した。また、1 Hz 付近に高いピークを持っている。ピーク値は、Kelvin Wave の理論値 (例、競技者 S.T. の泳ぐ速度を 1.60 m/s とし、競技者後方を 0° とした場合、15.5° の地点で TRANSVERSE WAVE が 0.94 Hz, DIVERGING WAVE が 1.57 Hz) とほぼ一致している。

同じ種目 Free style でも、選手によって周波数特性が違ってくるのが分かった。

コースロープを透過する波は、1 Hz 以下の周波数のほうが 1 Hz 以上の周波数帯に比べ、入射波に対して多い。

これは、コースロープが 1 Hz 以上の高い周波数帯の波は反射または吸収しているが、1 Hz 以下の周波数帯の波はほぼ透過していることを示している。

なお、1 Hz の周期の波は、微小振幅波の分散関係式 (5) より、1.5 m の波長を有している。

$$\omega^2 = g \cdot k \cdot \tanh(kh) \quad (5)$$

ただし、 ω は角速度、 k は波数、 h は水深 (m) を示す。波高計設置点での水深は、2.02 m である。

波の透過率および減衰時間 透過率が最も低いコースロープは、試験体 B であることが判明した。試験体 B は、試験体 C とほぼ同じフロート形状ではあるが、フロート間隔が狭いため透過率が低い。透過率の高いコースロープは隣接コースへ波のエネルギーをより多く透過させることから減衰時間が短くなると思われるが、B と C では必ずしもそのような結果となっていない。おそらく、フロート内に水を蓄積させる効果がより高い構造が波のエネルギーを渦エネルギーに変化させ、反射率および波の減衰時間を低下させているものと思われる。

なお、測定条件が等しくなるよう実験では配慮しているが、実験データのばらつきが大きいことから、より厳密な比較が必要な場合は、機械を用いた曳航試験を行うなど、実験方法を検討する必要があると思われる。

7. ま と め

今回、競泳選手がプール内で発生する波の特性、および

コースロープのフロート形状による消波性能の相違を測定することができた。各コースロープの性能には著しい差は見られないものの、優劣を判断できる可能性があることを示唆した。今後、これらの測定結果が好記録を生み出すためのコースロープの開発に参考となれば幸いである。

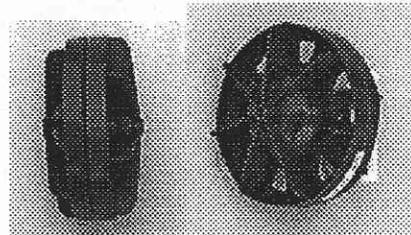


写真1 試験体A (フロート直径150 mm)

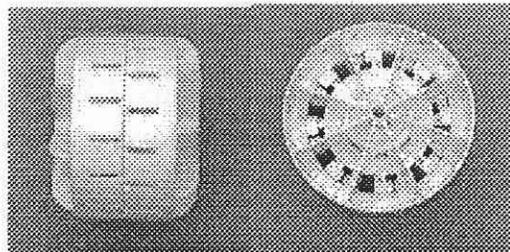


写真2 試験体B (フロート直径150 mm)

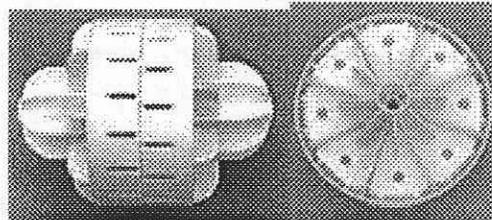


写真3 試験体C (フロート直径150 mm)

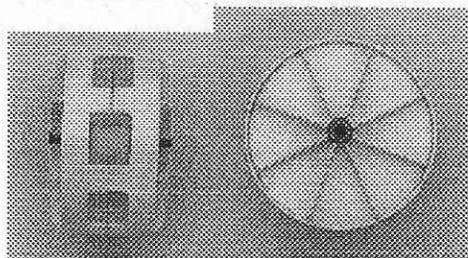


写真4 試験体D (フロート直径150 mm)

注：試験体BとCは、コースロープのフロート基礎部分は同じで、CはBに付加部品を取り付け、フロート間隔を広くしている。

(1997年4月10日受理)

参 考 文 献

- 1) Newman, Marine Hydrodynamics.