

東京理科大学 土木工学科 正員 西村 可

正員 大西 外明

1. はじめに

大規模地域開発の進展に伴い海中構造物が自然の潮流や渦などの分布に及ぼす影響を適切に評価することが大きな社会的要請となつてきている。本報告では、渦の問題に注目し、現実の問題として、鳴門海峡の渦を念頭においている。この種の渦についての従来の研究は、(i) カルマン渦列の安定性についてのポテンシャル流れの解析、(ii) 渦の発生過程についてのナビエ-ストークス方程式の数値解析、(iii) 障害物後流および Jet 中の渦の低波数成分に着目した実験研究の3種に分類される。一方我々の対象とする渦は (i) 自由水面を持つ、(ii) 海底海岸地形の影響により2次元取扱いが困難である、(iii) レイノルズ数が $10^6 \sim 10^7$ と大きい、(iv) 現場における実測が困難である。等の特徴を有している。我々は研究対象を、この種の渦として代表的な存在であるこの鳴門の渦におき、(i) 渦の特性を review するために従来より、性状がある程度明らかにされている、自由水面を持つカルマン渦列の実験、(ii) 1/500 鳴門海峡海底地形水理模型実験の2種類の実験を併行して進めつつあり、現在まで得られた結果を報告する。

2. 自由水面を持つカルマン渦列の実験

(1) 目的・方法 自由水面を持つ渦はその中央部が、凹むという性質を持つ。その凹み量 Δh は、渦の強さ（渦のまわりの循環 Γ により表わす）と関係を持つ。従つて Δh を測定することにより Γ の評価が可能である。ここでは (i) 渦の凹み Δh からランキン渦モデルにより Γ を求める方法の適否、(ii) 渦の大きさ、フルード相似則を満足するかどうか、の2点を検討する目的で、基礎的な実験として、平板の後流中のカルマン渦の測定を行った。実験は図-1の様に幅 1m の水平固定床水路内に厚さ 9mm、幅 10cm、20cm の2種類の板を設置し、連続写真撮影により、渦の配列、 a, b 発生周期、渦列の位相速度 C 等を、図-1の点線上に設置した波高計により、渦の凹み量 Δh を測定した。各実験の水理条件及び測定結果を表-1に示した。水理条件はフルード数および水深と障害物との形状比 H/B を念頭において水深、流量を調整しつつ設定した。

(2) 渦の強さ Γ の計算 渦の強さを評価する方法として、

以下3つの方法を検討した。

(i) 個々の渦にランキン渦モデルを適用すれば、循環 Γ_1 は

$$\Gamma_1 = 2\pi R \sqrt{g \Delta h} \quad \text{--- ①}$$

(ii) 強さ Γ_2 の渦を適宜配置することによりカルマン渦列を形成したとすれば、渦列の位相速度 C はポテンシャル流れの解析から、

$$C = \frac{\Gamma_2}{2b} \tanh \frac{\pi a}{b} \quad \text{--- ②}$$

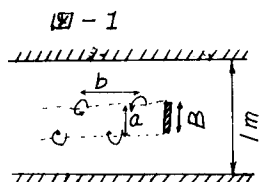
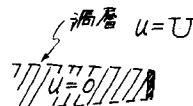


図-2



$$\text{従って } \Gamma_2 = \frac{2bC}{\tanh \pi a} \quad \text{--- ③}$$

(iii) 図-1のカルマン渦の状態の抽象化として図-2のような死水モデルを考えれば、図-2の破線 σ を示す渦層の強さは単位長さあたり U である。従ってこの2本の渦層が図-1に示すような各々間隔 b をなす同じ強さのdiscreteな渦の集まりにあきかわったと考えると、このdiscreteな渦1個あたりの強さは Γ_3 は

$$\Gamma_3 = U \cdot b \quad \text{--- ④}$$

以上の結果をもとにして我々はまず個々の渦の形状の測定から Γ_2 を求め、その結果を、その個々の渦の集合によって形成されるカルマン渦列の位相速度から解析的に求められる Γ_3 、及び個々の渦は、渦層の集合したものであるとの考えにたって求めた Γ_3 と比較することによって①式による評価方法の適否を検討しようとした。計算の結果、表-1に示すように

$$\Gamma_1 \sim 5 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}, \Gamma_2 \sim 10^2 \text{ cm}^2/\text{sec}, \Gamma_3 \sim 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec} \quad \text{--- ⑤}$$

を得た。一応オーダーは合っているが、より良い精度を得るための測定手法が必要である。

(3) フィールド相似について レイノルズ数は、高馬門の渦に対して、 10^8 、実験室においては、 10^5 のオーダーであるが、ここに対象とする様な大径の渦の考慮に関しては粘性力は直接には作用を及ぼさないと判断した。渦の縦断形状をフィールド数で整理したものが図-3、図-4である。両図よりほぼフィールド相似がなりたつことがわかる。渦の発生頻度については表-1よりストロハル数 $S=0.2=\text{const}$ の結果を得るが、これはフィールド相似と両立する。

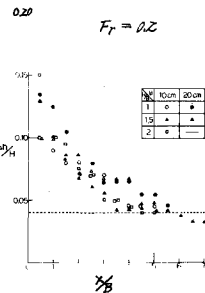
3 高馬門の渦の強さ

高馬門の渦は、南流最強時において、潮流流速9ノット、水深50m、渦の凹み2m、渦の直径10m、渦の間隔60m程度である。この時フィールド数は $0.2 \Delta h/H=0.04$ であり、図-2に点線 σ を示す値となっている。今高馬門の渦にランキン渦モデルを適用すると、 $\Gamma_p=140 \text{ m}^2/\text{sec}$ 、9ノットの潮流速度とよみ域との潮目を形成する単位長さあたり強さ9ノットの渦層が集合したと考えれば $\Gamma_p=300 \text{ m}^2/\text{sec}$ の値を得る。この渦をフィールド相似により1/50に縮めると、渦の強さは、 $\Gamma_m=4,000 \sim 8,485 \text{ cm}^2/\text{sec}$ となり⑤式とcomparableとなる。1/500地形模型実験については、講演時に述べる。

表-1

RUN	A							B				備考
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(1)	(2)	(3)	(4)	
B cm	10	"	"	"	"	"	"	20	"	"	"	校 幅
H cm	10	15	20	10	15	10	15	20	30	20	20	水 深
Q cm ³ /sec	19.8	29.2	28.0	29.7	36.3	37.6	48.5	28.0	34.3	40.0	56.0	平均流速
f sec ⁻¹	0.40	0.40	0.52	0.56	0.64	0.70	—	0.32	0.36	0.44	0.65	固定数
$F_r = \frac{U}{\sqrt{gH}}$	0.2	"	"	0.3	"	0.4	"	0.2	"	0.3	0.4	フィールド数
H/B	1	1.5	2	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1	地形比率
$S = \frac{fB}{U}$	0.20	0.18	0.19	0.19	0.18	0.18	—	0.23	0.21	0.22	0.23	ストロハル数
a cm	9	10	11	10	7	—	—	15	—	—	—	渦の横間隔
b cm	58	52	52	47	52	—	—	78	—	—	—	"縦間隔"
$V_r \text{ cm}^2/\text{sec}$	21.5	22.5	34.1	28.8	41	—	—	27	—	—	—	"速度"
a/b	0.15	0.19	0.21	0.21	0.13	—	—	0.19	—	—	—	円形値0.28
Δh cm	0.7	1.1	1.4	1.4	1.65	1.4	—	1.5	1.8	2.8	—	渦の凹み
R cm	28.4	29.7	13.7	22.4	19.7	—	—	19.4	—	—	—	半径
$\Gamma_1 \text{ cm}^2/\text{sec}$	4171	6108	3186	5210	4999	—	—	4671	—	—	—	ランキン渦モデルによる渦の強さ
$U = \frac{100}{m-B}$	22	26.9	31	33	40.3	44	54	35	40	52.5	70	一樣流速
$C = U - V_r$	0.5	4.4	3.1	4.2	4.7	—	—	8	—	—	—	渦の位相速度
$\Gamma_2 \text{ cm}^2/\text{sec}$	32	284	—	483	—	—	—	2334	—	—	—	カルマン渦モデルによる渦の強さ
$\Gamma_3 \text{ cm}^2/\text{sec}$	1276	1398	1612	1551	2095	—	—	2730	—	—	—	死水モデルによる渦の強さ

図-3



x は
平板からの
流下距離

図-4

