

II-125

死水域・主流界面の大規模渦と水面振動の相互作用

東京電力 正員 安永 良 和歌山高専 正員 木村 一郎
 京都大学工学部 正員 細田 尚 京都大学工学部 正員 村本 嘉雄

1. はじめに 開水路主流・死水域界面に発生する大規模渦と死水域内の自由水面振動（セイシュ）との共鳴現象は、周期的な流体振動を励起し、物質交換現象等に影響を与える。このような相互作用による流体振動のフルード数依存特性について、水理実験と簡易モデルにより検討を試みた。

2. 水理実験による検討

(1) 水面振動とフルード数の関係：側岸に図1に示すような死水域を設けた開水路において、流量一定として下流端水深を調節することによりフルード数を変化させ、図1の点Aにおける水面振動をサーボ式水位計により計測した。図2は実験における水面振動のr.m.s.の無次元量（平均水深で無次元化）とフルード数の関係を示したものである。Fr=0.75, 0.4付近で極小、Fr=0.65, 0.3付近で極大となっている。また、○はセイシュ（死水域中央に節を有する主流方向のセイシュ）の周期で振動している場合、●はセイシュの2倍の周期で振動している場合を示し、それぞれの振動の時系列の例を図3, 4に示した。セイシュの2倍周期の発生は渦列の不安定性に起因すると思われるが、Fr=0.6～0.7付近でのみセイシュの2倍周期の振動が発生する原因は不明である。

表1 水面振動特性に関する実験条件

Run	h-1	h-2	h-3	h-4	h-5	h-6	h-7	h-8	h-9	h-10	h-11
平均水深(cm)	4.26	3.47	3.03	2.64	2.34	2.02	1.89	1.81	1.73	1.69	1.62
フルード数	0.20	0.27	0.33	0.40	0.48	0.60	0.66	0.71	0.76	0.79	0.84

単位幅流量: 54.1(cm²/s), レイノルズ数: 4925, 水温: 16.5(°C), 水路床勾配: 1/300

(2) 交換速度とフルード数の関係：水面振動は死水域・主流間

の物質交換現象に関係すると考えられるため交換速度についても実験を行った。この実験では、細かい紙片を死水域内に均等にまき、上方からビデオ撮影を行い、紙片の数の時間的変化から交換速度を求めた。表2は交換速度に関する実験の条件である。図5はフルード数と無次元交換速度 $k' = k/u_0$ (u_0 : 主流平均流速) の関係を示す。極大、極小の位置は図2とほぼ一致しており、交換現象が水面振動と密接な関係にあることがわかる。ただし、図2と異なり、フルード数の小さい領域で交換速度が比較的大きな値を示している。

これは、この領域ではセイシュや大規模渦等の非定常現象の影響が小さく、死水域内の循環流等の定常的な現象が交換現象を支配するためと考えられる。

表2 物質交換係数に関する実験条件

Run	k-1	k-2	k-3	k-4	k-5	k-6	k-7	k-8	k-9	k-10
平均水深(cm)	4.43	3.45	2.92	2.46	2.23	2.02	1.90	1.76	1.67	1.58
フルード数	0.18	0.26	0.34	0.43	0.50	0.59	0.64	0.72	0.78	0.84

単位幅流量: 52.4(cm²/s), レイノルズ数: 4775, 水温: 16.5(°C), 水路床勾配: 1/300

3. 簡易モデルによる検討 フルード数と水面振動の関係について、次に示す簡易モデル[1]により検討してみよう。まず、次の3つの仮定をおく。(1) 大規模渦の進行速度は主流流速の0.5倍とする。(時間に関する安定解析結果に対応。)(2) 大規模渦は主流方向に増幅しないとする。(3) セイシュは節を1つ有する主流方向の振動のみを考え、大規模渦の発生周期はセイシュの周期に一致するものとする。これらの仮定により、大規模渦の空間的な間隔(Λ)は、

$$\Lambda = U_0/2 \cdot T = L \cdot Fr \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここに、 U_0 : 主流流速、 T : セイシュの周期、 Fr : フルード数である。次に、渦とともに移動する界面の横断方向の流速分布を次のように正弦曲線分布で近似する。

$$v(x) = \alpha U_0 \sin\{2\pi(x - X)/\Lambda\} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 α : 振幅、 x : 空間座標（死水域中央を原点とし、主

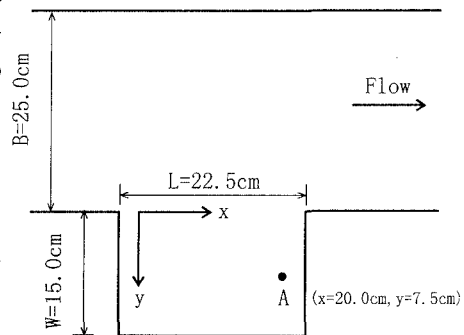


図1 対象とした死水域

流方向を正とした。）、 X ：渦の位置である。死水域下流側半分での界面横断流量（瞬間流量） $q(t)$ を求めるため、以下のよう積分を行う。

$$q(t) = h_0 \int_0^{L/2} v(x) dx \dots\dots\dots (3)$$

時間0～ t の流入量 $Q(t)$ は次式で表される。

$$Q(t) = \int_0^t q(t') dt' \dots\dots\dots (4)$$

水面振動量 $h(t)$ は $Q(t)$ を死水域半分の面積で割り、

$$h(t) = Q(t)/(WL/2) \dots\dots\dots (5)$$

となる。さらに、これを平均水深 h_0 で無次元化することにより次式が得られる。

$$h'(t) = \frac{2A}{\pi^2} \frac{L}{W} Fr^2 (1 + \beta Fr \Theta) \Theta \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + \phi \right) \dots\dots (6)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{1 - \cos \theta}, \quad \theta = \frac{\pi}{Fr}, \quad Fr = \frac{U_0}{\sqrt{gh_0}}$$

$$T = \frac{2L}{\sqrt{gh_0}}, \quad \Theta = \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}}, \quad A, \beta : const.$$

上式では、渦とセイシュとの共鳴効果を考慮して、式(2)中の α を次式で表している。

$$\alpha = A(1 + \beta Fr \Theta) \dots\dots\dots (7)$$

図6は式(6)による、フルード数と水面振動の関係を示したものである。この図には図2にみられる $Fr=0.7$ 付近の凹凸がみられない。これは、簡易モデルではセイシュの2倍周期の発生を考慮していないためと考えられる。この点を除けば、本簡易モデルは図2の特性をほぼ再現していると思われる。

4. おわりに 死水域における水面振動、物質交換現象とフルード数の関係について、実験と簡易モデルにより考察した。今後、他の水理パラメータ（レイノルズ数や死水域のアスペクト比等）の影響についても検討を行ってきたい。

参考文献 [1] 木村一郎・細田尚・村本嘉雄・安永良：開水路流れにおける死水域内の流体振動に及ぼす水理パラメータの効果，水工学論文集，第39巻，pp.779-784，1995。

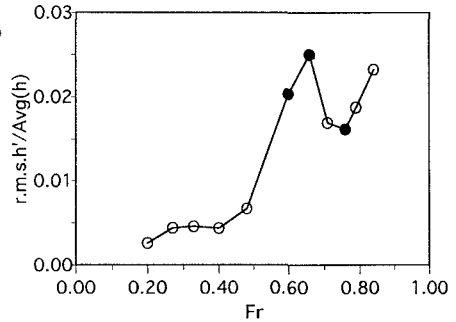


図2 Fr数と水面振動の関係

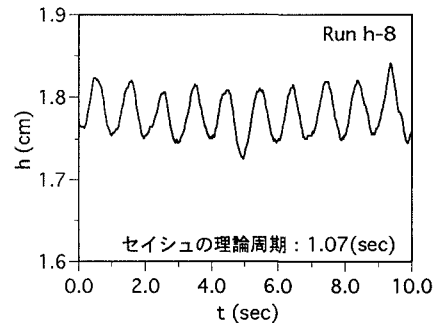


図3 セイシュの周期の振動

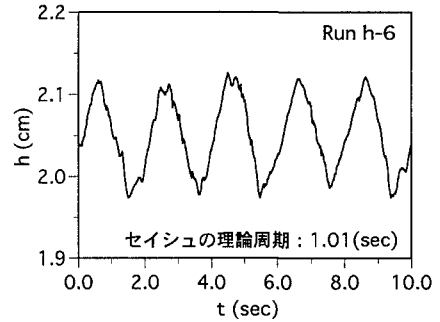


図4 セイシュの2倍周期の振動

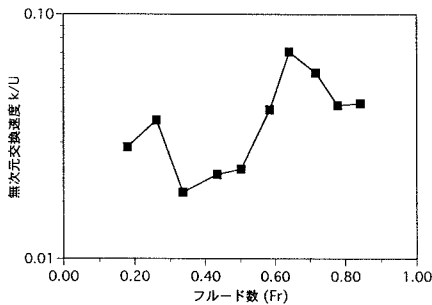


図5 Fr数と交換速度の関係

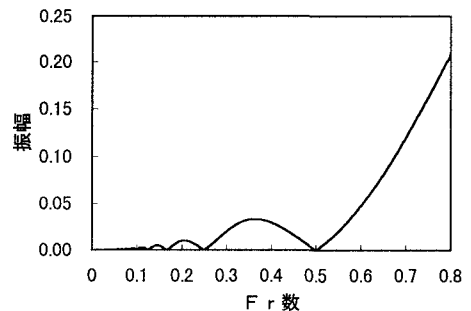


図6 簡易モデルによるFr数と水面振動の関係