

長方形水路の乱れ特性と水面変動との関連について

日本大学大学院 学生員 及川 寿一郎

日本大学工学部 正 員 長林 久夫

日本大学工学部 正 員 木村 喜代治

1. はじめに・本研究は 自由水面が水路流れにおける乱れの抵抗則にどのような影響を及ぼすかを調べることを目的としており、その手始めとして長方形水路における水路幅 水深比 B/H の比較的小さな流れを対象として、乱れ特性と水面変動の関連について乱れの測定を行い、従来の二次元セン断乱流と比較検討とした。

2. 実験装置及び方法：本実験には長さ 8 m、幅 10 cm のアクリル製可変勾配水路を用い、水路勾配は $1/400$ (Case A), $1/600$ (Case B, E) の 2 種類である。計測は、水路上流端から約 5.6 m 地点の水路断面中央部について行った。乱れの測定には、定温度型熱線流速計に円錐型のプローブを用いて主流方向の変動流速を測定し、水面変動の測定には、カーボ式水位計を用いて行った。解析には、熱線流速計及び水位計の出力電圧をカセット式データレコーダに収録した後、波処理装置で処理したものをを用いて行った。

表-1 測定水理量

Case	H (cm)	B/H	U _m (cm/s)	I	Re = U _m B/μ	Fr = U _m /√gH	γ (%)
A-1	10.11	0.984	54.7	0.00248	1.64×10 ⁴	0.556	16.8
A-2	9.08	1.23	52.1	0.00243	1.50×10 ⁴	0.548	17.6
A-3	6.04	1.65	46.6	0.00203	1.20×10 ⁴	0.501	17.8
A-4	4.34	2.01	46.8	0.00289	1.10×10 ⁴	0.550	18.0
A-5	3.90	2.55	43.8	0.00282	8.99×10 ³	0.547	17.8
A-6	2.86	3.48	40.1	0.00240	6.92×10 ³	0.950	18.2
A-7	1.89	5.26	31.9	0.00245	4.14×10 ³	0.871	18.0
A-8	1.07	9.30	20.7	0.00250	1.69×10 ³	0.704	17.0
B-1	10.08	0.987	42.9	0.00158	1.37×10 ⁴	0.751	16.7
B-2	7.99	1.25	41.4	0.00152	1.19×10 ⁴	0.765	17.5
B-3	6.03	1.65	41.7	0.00183	1.02×10 ⁴	0.808	15.8
B-4	5.20	1.91	37.1	0.00167	8.61×10 ³	0.744	17.5
B-5	4.02	2.48	35.0	0.00165	7.29×10 ³	0.750	17.6
B-6	2.92	3.41	31.3	0.00155	5.15×10 ³	0.738	16.0
B-7	2.00	4.98	28.6	0.00170	3.60×10 ³	0.713	18.1
B-8	1.21	8.22	20.6	0.00162	1.83×10 ³	0.876	16.2
E-1	10.14	0.981	47.3	0.00180	1.69×10 ⁴	0.827	23.2
E-2	7.97	1.25	45.3	0.00163	1.54×10 ⁴	0.828	24.9
E-3	6.03	1.65	41.7	0.00178	1.15×10 ⁴	0.808	22.3
E-4	4.00	2.49	35.2	0.00163	7.93×10 ³	0.755	21.0
E-5	2.06	4.83	26.6	0.00182	3.73×10 ³	0.705	18.7

3. 実験結果及び考察

(1) 水面変動特性：図-1 は 水面変動とフルード数の関係を示したものである。

これより、フルード数の増加に伴い水面変動も増加する傾向が見られるようであるが、本測定の対象とした B/H が比較的小さなものであるために、水面変動は極めて小さく、水深オーダーの約 0.1~0.2% 程度である。

(2) 水面変動と流体運動との相関について：図-2, 3 は 水面変動と流体運動の相関 (位相差) について示したものである。図-3 より、 B/H の比較的大きな二次元的状態に近い流れにおいては、水路底面付近で位相時間が長く、水面側に向うに従って短くなる傾向が見られる。これより B/H の大きな流れにおいては、流下方向に傾いた渦の流が考えられる。これは、今本¹⁾による研究報告と一致するようである。しかし、図-2 におけるような B/H の比較的小さな流れにおいては、時間的ズレのピークが多数認められ、 B/H の大きな流れにおけるような明確な傾向は認められないようである。

(3) 流体運動と水面変動のスペクトル分布について：図-4, 5 は、縦軸に一次元波数スペクトル $S(k)$ に波数 k を乗じて示し、横軸に波数 k を表わしている。図-4 は B/H の比較的小さな流れにおける水路中央部に対する経直分布を示したものである。この

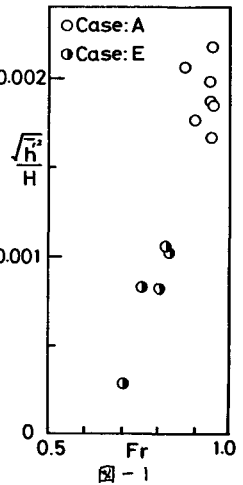


図-1

図より、水路底面から離れるにしたがい高波数側のエネルギーが減少し、相対水深が約 0.8 付近から水面側において再び高波数側のエネルギーが増加する傾向を示している。この現象は B/H の大きな流れにおいては見られないものであり、自由水面

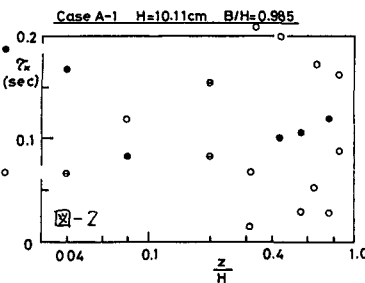


図-2

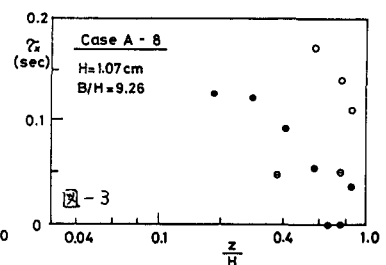


図-3

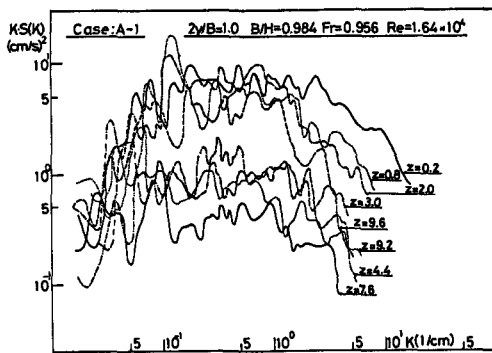


図-4

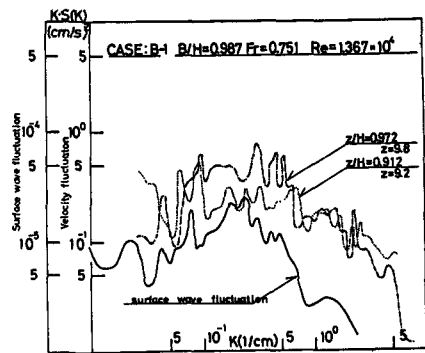


図-5

からのエネルギーの伝達によるものと考えられる。次に図-5は、水面変動のスペクトルと水面付近における流速変動のスペクトル分布を示したものである。この図より、水面変動と流速変動とはほぼ同様な分布傾向を示し、特に伝達数側においては良く一致するようである。これより、本研究における水面変動は、流体運動に起因するものと考えられる。

(4) 流速分布に対する水面の影響について：B/Hの小さな流れにおいては、最大流速位置が水面より降下する傾向があり、Prandtl-Kármánの対数法則を流れ全体に適用するのは困難となる。従って本報においては、この対数法則を底面から最大流速位置まで適用し、底面摩擦速度を逆算して求めた。ここで、この対数法則が水面から最大流速位置までにも適用できないか検討した結果が図-6である。これより、B/Hの比較的小さな流れにおいて適用できる部分が認められる。従って、自由水面を一種の移動壁面として取扱えるのではないかと考えられる。また、硬水面付近において対数法則からはずれ、ほぼ一定となるのは、この領域が水面変動による混合領域となるためによるものと考えられる。

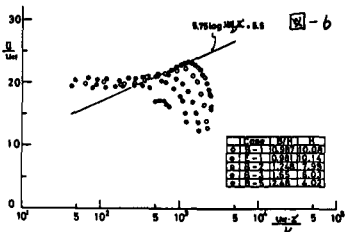


図-6

(5) 乱れ強さに対する水面の影響について：図-7は、乱れ強さの関数表示を示したものであり、図中における実線は今本による普遍関数表示を示している。これより、B/Hの小さな流れでは、 z/H が約0.6以上において関数表示と異なり上昇する傾向が見られ、その傾向はB/Hの小さなものほど顕著である。次に図-8、9は、水路底面及び水面から最大流速位置までを水深として乱れ強さの関数表示を示したものである。これより、従来の関数表示とはほぼ同様な傾向を示すようであり、B/Hの小さな流れにおいては、自由水面を移動壁面として扱うことが可能であると考えられる。

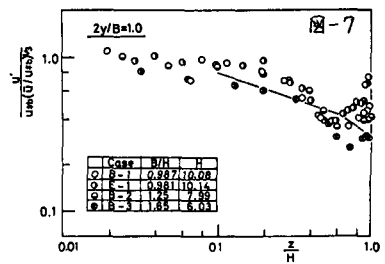


図-7

B/Hの小さな流れにおいては、自由水面を移動壁面として扱うことが可能であると考えられる。

4. おわりに：以上のことから、本研究の対象となったB/Hが1.0付近の流れにおいては、自由水面付近を移動壁面として考えられそうであるが、今後は水面変動特性及び水面変動と流体運動との関係について、二次流・側壁などの影響をも考慮して検討をしていきたい。

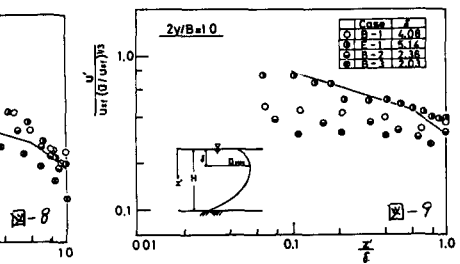
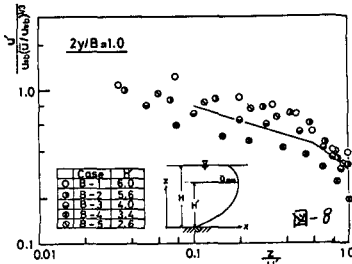


図-8

図-9

- (参考文献) ① 今本 博徳「開水路流れの空間相関特性および乱流構造モデル」34回土木学会年講 JS4-10
 ② 長林 木村・及川「水路幅・水深比を変化させた流れの乱れ特性について」34回土木学会年講 JS4-10
 ③ 今本 博徳「開水路流れにおける乱れの基本的特性について」土木学会論文集 No 197 1972-1