

時空間相関の計測による開水路乱流構造の研究

神戸大学工学部 正員 松梨順三郎
長野県 正員 ○伊藤 直喜

1. まえがき 乱れの場の解明には、流れの時間的および空間的変動特性の解明が必要である。本研究は、従来より行なってきた開水路段落ち流れの乱流構造の解明においてその時空間特性を知るために、まず開水路等流の時空間構造をつかみ、つぎに、段落ち流れの特性の実験的検討を行なったものである。また、同時に、水素気泡による段落ち流れの可視化も試みた。

2. 実験装置および方法 実験水路は、開水路等流については長さ6m、巾30cmの長方形断面直線水路で下流端に4cmのせきを設けた。段落ち流れについては、長さ6.6m、巾20cmの直線水路で、上流端から3.6mの地点に4cmの段落ちを設け、せきの高さは8cmである。時空間相関の計測にはZ台の熱線流速計を用い、上流側を固定点、下流側を移動点とした。(図1)。なお、サンプリング間隔1/80 sec、データ数各2000、Zのデータの最大ずらし数200である。

一オ、可視化実験は上記と同一水理条件の下で、陰極としてキンワ(折線)型白金線を水路に鉛直に張り、撮影には毎秒4コマ撮りのドライヴカメラを用いた。なお、使用された水理条件は表1に示されるようである。

3. 実験結果および考察 (1) 開水路等流 図2は、同一流れ方向軸上の2点間距離 X_1 をパラメータとした時空間相関係数 $R_{11}(t; X_1, 0, 0)$ を示す。その値は、ある遅れ時間(最適遅れ時間) t_{opt} で最大値を示し、 X_1 の増加と共に t_{opt} は増加し最大値は減少している。また、その包絡線は路床面に近い程その減少のしおは早い。このことは路床近傍の乱れの変形の大きいことを示す。図3・4は、この R_{11} 等相関曲線を表わしたのである。図中の太線は $R_{11}(t; X_1, 0, 0)$ を結んだものであるが t_{opt} と X_1 の間に線型性の存在するこがうかがわれる。相関の分布はこの太線に対しほぼ対称であるが、自由表面側ほど大きな値が長く維持され、減少のしおも時空間にわたるや

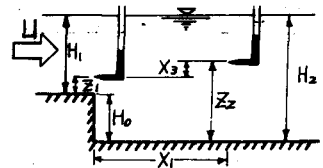


図-1 実験水路

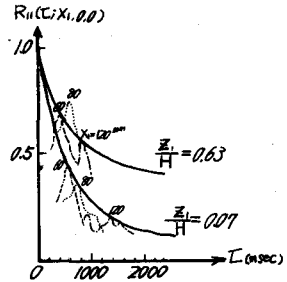


図-2 流方向の時空間相関係数

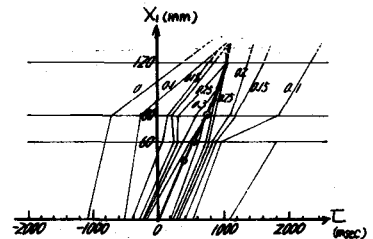


図-3 等相関曲線 ($Z/H=5\text{mm}$)

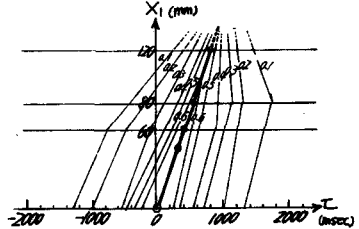


図-4 等相関曲線 ($Z/H=45\text{mm}$)

	流量 $Q (\text{cm}^3/\text{s})$	水深 $H (\text{cm})$	床面勾配 I	断面平均流速 $U (\text{cm/s})$
開水路等流	2.9×10^3	7.2	1/5,000	13.4
開水路段落ち	1.5×10^3	6.9 (上流側)	1/5,000	11.2 (上流側)

表1 水理条件

かである。従って、乱れの変形に関して時空間的に極端な乱れは生じないものの、路床の存在が大きな影響を持つことがわかる。図5は、流速速度 $U_c (=X_2/t_{opt})$ をその点の局所平均流速で無次元化したものである。 $Z_1/H=0.28$ を除きほぼ一定の値となるが、今本らの実験結果¹⁾と異なりその値は1より大きい。乱れ周波数成分と関係があるかもしれない。

2) 開水路段落ち 図6は $Z_1=5mm$ の時の時空間相関の実測例である。開水路等流に比べ非常に複雑な挙動をしており、その値にはいくつかのピークが見られる。このようなピークの表われ方は段落ち流れの特徴である。また、この遅れ時間を考えると低周波成分の大スケール渦の存在することがわかる。さらに、 $X_3=-7.5mm$ の時の相関が最も強く、上流側の河床付近、乱れが死水域に広がることわかる。図7は、同一流れ方向軸上の時空間相関係数 $R_{11}(t; X_1, 0, 0)$ を示す。その包絡線は、開水路等流に比べ非常に早く減少し、時に路床に近いほどその傾向が強い。ただ、段落ちにおける相関のピークはいくつも存在することから、実際の減少はより複雑であると考えらる必要がある。 $Z_1=20mm$ の時には、相関係数の分布に $Z_1=5mm$ の時に比べ目立、たピークの存在が見られたが、その等相関曲線を示したものが図8である。 X_1 と遅れ時間 t_{opt} の間には線型性の存在はあまり見られないが、太線に対してほぼ対称な分布をし、かつその値は時空間に急激に減少することから、段落ちの存在により水面に近い部分では乱れの広がりはいずれも大きくならないことがわかる。

3) 可視化 図9は、段落ち断面に白金線と鉦直に張った時の流脈を示す。死水部と平均流部との渦の存在が明らかに認められる。すなわち、段落ち部直下で死水域と接する部分で、間欠的に、横断方向に軸を持つ反時計回りの渦を生じて死水部に入り込み、下流に行くに従いそのスケールを増すと共に混合領域を広げるようである。従って、時空間相関の計測において、 $Z_1=5mm$ でのピークがある時間間隔でいくつか表われること、 $Z_1=20mm$ では、流れが自由表面近くでは段落ちの存在にかかわらずその性質を失ないにくいことが理解される。

4. あとがき 今後、時空間相関と可視化を結びつけた研究方向がより望ましいと思われる。

<参考文献> 1. 本・浅野 第29回年講 II-77 1974

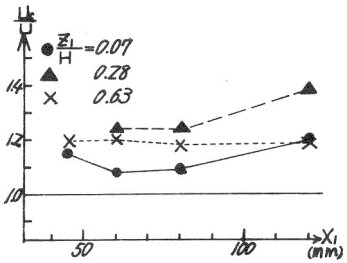


図-5 流速速度

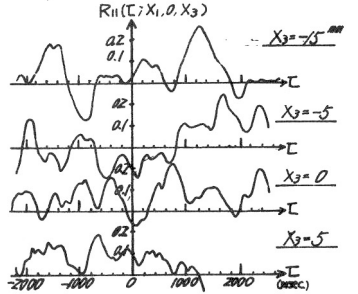


図-6 時空間相関係数 ($Z_1=5mm$)

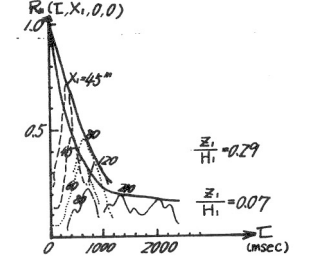


図-7 流れ方向の時空間相関係数

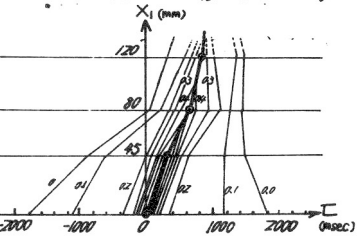


図-8 等相関曲線 ($Z_1=20mm$)

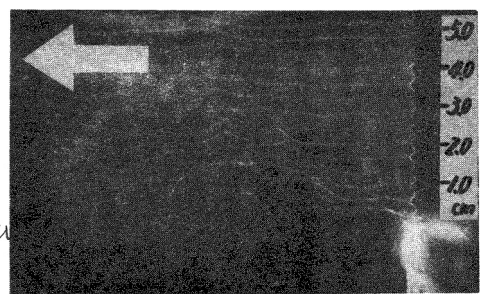


図-9 段落ち部の水素気泡による可視化