

超高速流の内部構造に関する実験的研究(その1)

大阪産業大学工学部 正員 室田 明
 大阪産業大学工学部 正員 宮島 昌弘
 大阪産業大学大学院 学生員 ○矢野 弘樹

1. はじめに

急勾配水路や急斜面を流下する非常に水深が浅い流れは、フルード数がほぼ2以上になると自動的に発生する転波列を伴う。これらは、法面侵食や土砂輸送あるいは水路設計に関連づけられて、種々論じられている。^{1), 2)} しかしながら水深が非常に浅く流れが高速であることから基本的な物理量である流速を実際に測定した例はまだないようである。本研究は、この転波列を伴う流れの挙動をレーザードップラー流速計(FLV)を用いて測定し、その内部機構を明らかにすることを目的としている。

本文では、1次元FLVを用いて得られた、転波列を伴う流れの平均的な流速特性についての2, 3の結果について報告する。

2. 実験装置及び方法

実験は長さ5m, 幅20cmの亚克力製可変勾配水路(最大1/5まで可能)で行った。(図-1) 実験は水路勾配を一定にし流量を6種類変化させた。実験条件を表-1に示す。(レイノルズ数の範囲は2000~5000程度) 実験流量は水道供給とし、上流部に設置した45°の越流堰により測定した。実験測定位置は水路上流端より3.25m下流の位置とし、この地点で水位・流速測定を行った。尚、流速については薄層流の水深方向に上層, 中層, 下層に区分して3点で計測した。また転波列を伴う流れの状況を把握するためにビデオ観測を行い、これから波速を測定した。

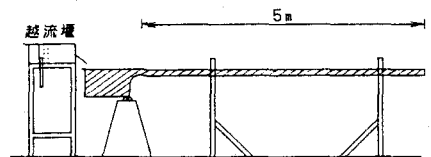


図-1 実験水路模式図

表-1 実験条件

No.	水路勾配 I	流量 Q (l/s)	等流水深 h(mm)	フルード数 Fr
1	1/25	0.591	5.0	2.64
2	〃	0.601	5.1	2.65
3	〃	0.673	5.4	2.68
4	〃	1.222	7.8	2.85
5	〃	1.382	8.4	2.88
6	〃	1.438	8.6	2.89

3. 実験結果と検討

(1) 転波列の概要

1) 実験結果より転波列の波動としての伝播形式の分類を試みると水深が非常に浅いために水深・波長比(浅水比)が1/100の程度となり今回の実験水路勾配1/25に比して小さくなり転波列はkinematic waveとなることが考えられる。そこで、図-2には、縦軸に、波速(c)/等流流速(V0)と横軸にフルード数(Fr)の関係を示した。これからわかるように今回の実験範囲内においては、転波列の波速がV0のほぼ1.5倍となっており、このことからkinematic waveであることが推察される。

2) また、波高の測定結果から、層流・遷移流の流れにおいては波高(H)/等流水深(h0)のオーダーが1/2, 乱流においては1/4オーダーとなっており比較的顕著な差が見られた。

(2) 平均流速特性

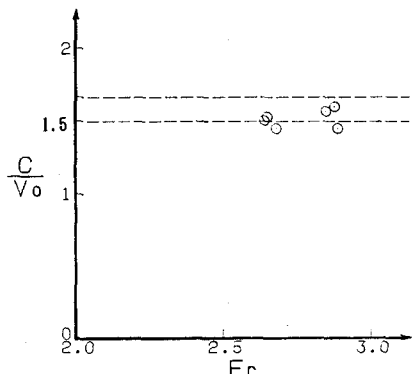


図-2 無次元波速とフルード数

Akira MUROTA, Masahiro MIYAJIMA, Hiroki YANO

今回の流速測定実験結果の流速確率密度分布の一例を図-3に、実験範囲全体についての乱流強度と流速の関係を図-4に示す。

1) 図-3から流速のモードが2つあることがよくわかる。これは実験結果全体を通じて言えることで、転波列を伴う流れの特徴をよく表しているものと思われる。

2) また図-4では、乱流強度と平均流速の比である相対乱流強度が、グラフの傾きの 0.18 程度を示している。しかも散布図がこの回帰直線を長軸とする楕円型で表されており、回帰線回りに閉じた系を示していることは示唆的である。つまり転波列を伴う流れと言えども流れの平均流速場と言ったものが形成され、その流速の変動がその転波列をも含めて平均回りに出現するのである。そしてこのことは、転波列を伴う流れの見かけの平均化が可能であることを示しており、流れを平均流的な立場から見る限り疑似等流化の取扱いができることを示しているように思われる。

3) 図-5では、縦軸に乱流領域での乱流強度を摩擦速度で無次元化したものと横軸に測定流速を等流流速で無次元化した相対流速で表した一例を示す。この図では、いわゆる見かけの平均流速場である等流流速に対して、それより遅い流速と早い流速の2つの流速場が出現しており、図-3で示されたものの無次元化表現とも言えるものである。ここでは、遅い流速は薄層流れに、早い流速は転波列の波速に対応していることがうかがえる。

4. 結語

本実験は、フルード数範囲が限定されており、しかも3以下で行った結果であるため、顕著で卓越した転波列というよりは、むしろどちらかと言えば転波列発生条件に近い、比較的小さな転波列を伴う流れを対象とした実験を行ったものである。これらの結果から、転波列の波速は V_0 の約 1.5 倍程度となりこれらの流れは kinematic wave の取扱いができることを示しているようである。そして等流流速を軸としてそれより遅い流れと早い流れの顕著な流速場が出現することが示された。そしてそれぞれ薄層流れ、転波列の波速に対応していることがうかがわれた。今後は、水路勾配を変化させ様々な流速規模の実験を行い、広範なフルード数の領域での実験を行い、特に比較的卓越した転波列を伴う大きなフルード数での実験を行い、一般的な転波列を伴う薄層流れの特性を明らかにして行きたいと考えている。

(参考文献)

- 1) 石原, 岩垣, 岩佐: 急斜面上の層流における転波列の理論, 土木学会論文集, 第19号, 昭和29年
- 2) 岩垣, 岩佐: 転波列の水理学的特性について, 土木学会誌40-1, 昭和30年

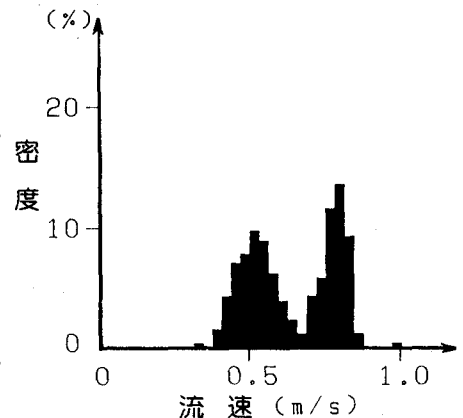


図-3 流速密度分布の一例

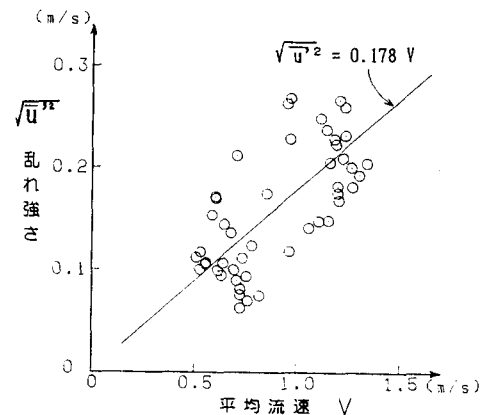


図-4 平均流速と乱れ強さの関係

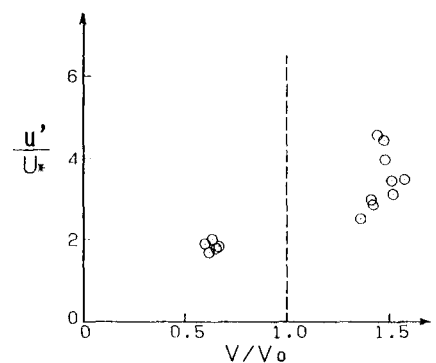


図-5 無次元乱流強度と相対流速の関係