

II-108 超高速流の内部構造に関する実験的研究（主に流れのパターンを中心として）

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 ○津田 宏

1. はじめに

急勾配水路や急斜面を流下する薄層流は、フルード数がほぼ2を越えると（超高速流）自動的に発生する転波列を伴う。これらは土砂輸送や水路設計に関係し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、高速流であり、しかも水面変動が激しいため、これらの実測はかなり難しく、転波列を伴う薄層流の流速および流速・水面変動を同時に測定した例はまだないようである。

著者らはこれまで、転波列を伴う薄層流の波速・流速特性について、いわばみかけの平均流特性を認識するといった視座から、種々検討を重ね、2.3の知見を得た。^{3), 4)} それは転波列を伴う流れといえどもある意味で非常に安定しており、波速の伝播形式は kinematic wave の取扱いが可能であり、波頂部の波速がその流速にほぼ等しいといったことから転波列と言うより転列流とした方が良く、また薄層流内部のみかけの平均流速分布が対数則分布に近似していることなどであった。

本研究では、上述の平均流速場的な議論から、さらに検討を進め、若干流れの内部構造を認識する上で有効な2.3の知見が得られたのでそれを報告する。

2. 実験方法と整理

実験は図-1に示す長さ5m、幅20cmの亚克力製可変勾配水路（最大1/6.7まで可能）を用い、原則的には5勾配、3流量で実験を行った。

実験測定位置は水路の上流端より3.75m下流とし、この地点で水位・流速測定を行い、流速については薄層流れの水深方向に上層、中層、下層の3点と一部については波頂部付近での計測を行った。また、波速はビデオ観測より求めた。図-2に実験に使用した転波列の諸元および実験流速測定位置を示す。実験は、流れが数mmオーダーの激しく変動する浅い水深、そして1mオーダーの高速流であることから、非接触計を用いる必要があり、このため、転波列による水面変動は超音波水位計を、そして流速および流速変動は、1次元レーザー・ドップラー流速計を用いて測定した。

また、今回の実験条件を表-1に示す。

3. 実験結果と検討

(1) 薄層流内部の平均流速特性 図-3に薄層流内部の上、中、下層の3点で測定したすべての実験で得られた平均流速分布の基準化した無次元表示を示す。縦軸に（水路床から測定位置までの距離）/（水路床から上層測定位置） h/h_s を、横軸には実測流速を上層流速で割った $\bar{u}/\bar{u}_s$ をとってある。図中の曲線は、今回の実験の中位条件と言える流量1(1/sec)、水路勾配(1/14.8)での対数則分布曲線である。この図から、今回の実験範囲では、薄層流内部のみかけの流速分布は、完全に発達した乱流の対数則分布を示していることがよく判る。これは、転波列を伴

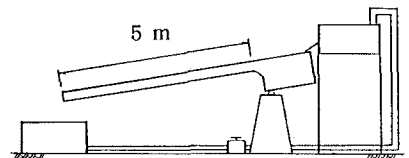
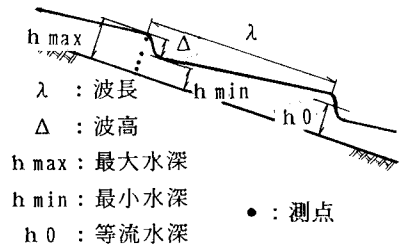


図-1 実験水路



$$[\Delta = (h_{\max} + h_{\min}) / 2]$$

図-2 転波列の概略図

表-1 実験条件

水路勾配 S	流量 Q(l/s)	等流水深 h ₀ (mm)	Froude数 Fr	Reynolds'数 Re
1/6.7	1.505	5.76	5.5	6400
1/10.3	0.504	3.40	4.1	2000
	0.996	5.11	4.3	3900
	1.505	6.55	4.5	5900
1/14.8	0.517	3.85	3.5	2000
	1.022	5.79	3.7	4000
	1.601	7.58	3.9	6300
1/21.0	0.561	4.49	3.0	2300
	1.003	6.36	3.2	4200
	1.497	8.09	3.3	6200
1/25.3	0.971	6.60	2.9	3900

う流れといえどもみかけ上対数則流速分布が出現する平均流速場が形成されることを示しており、平均的には開水路定常流と同様の取扱いが可能であることを示唆している。このことは逆にこの平均流速場のまわりに転波列が出現していることを窺わせ、流れと転波列の関係を暗示しているものと思われる。

(2) 水深特性 図-4には、縦軸に(最大水深)/(最小水深)の比 $h_{\max}/h_{\min}$ とフルード数 Fr の関係を示した。これから概略的ではあるが、本実験での転波列の水深方向スケールが窺われる。 Fr の増加に伴い $h_{\max}/h_{\min}$ は単調的に増加し1.5倍から3倍程度にまで及ぶことが判る。こうしたスケールにもかかわらず前述した流下方向の薄層部流速スケールがみかけ上安定した結果を示すのは興味深い。

(3) 水深位相と流速の関係 図-5は、波頂部・上・中・下層の各測定位置での個々の実測流速データとそのときの水深の関係を示したものである。ここでは、一例として流量1(l/sec),水路勾配(1/21.0)の場合の実験結果を示している。縦軸は(水路床から測定位置までの距離) h を(そのときの水深) H で割った h/H を、横軸には個々の実測流速 u をこの実験条件での最大流速 $u_{\max}$ で割った $u/u_{\max}$ をとってある。図中对角線は層流の流速分布直線、曲線は最大水深に相当した対数則分布曲線にそれぞれ対応している。この図から転波列を伴う流れの大ざっぱな枠組みが想定できる。つまり、流れは層・遷移流から最大水深に対応する滑面乱流場までの枠内で水深と共に変化する。そして、測定位置は固定されていることから、たとえば図中solid-markで示された中層に着目すると h/H の大きな所(最小水深)ではほぼ層流状態で流れていると考えられ、 h/H の減少(水深増大)に伴い、ほぼ直線的に流速が増大し最大水深規模の対数則に対応する流速までになる。

4. 結語

本研究では、次の知見が得られた。薄層流内部のみかけの平均流速分布は、たぶん最大水深規模の流れの寄与のため、ほぼ対数則分布と言えるが、水深位相と個々の流速の関係といった流れの構造は、層・遷移流から乱流構造へと明確なパターン変化をしていることが判った。今後は、レイノルズ数を変化させる実験も含めて広範囲の実験を行い、転波列前面フロント部の詳細な機構を明らかにしていきたいと考えている。尚、実験遂行に際し(当時卒研生)竹中信喜君の熱心な協力を得た。ここに記して謝意を表す。(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
- 3) 室田, 宮島, 矢野: 超高速流の内部構造に関する実験的研究(その1), 関西支部年講, 1991年 5月
- 4) 室田, 宮島, 津田: 超高速流の内部構造に関する実験的研究(その2), 関西支部年講, 1992年 5月(投稿中)

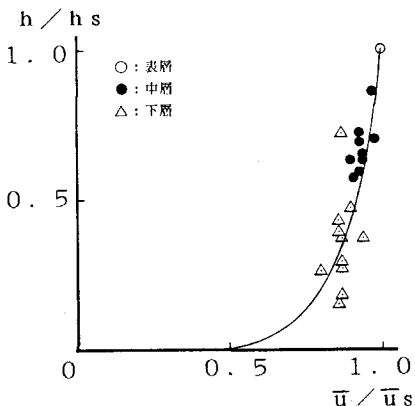


図-3 流速分布

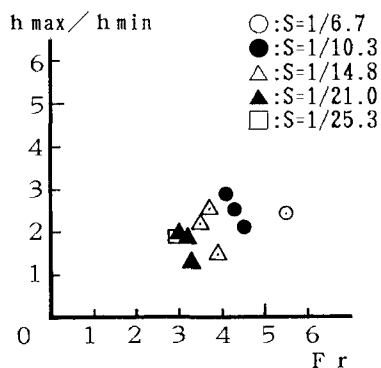


図-4 最大・最小水深比とフルード数

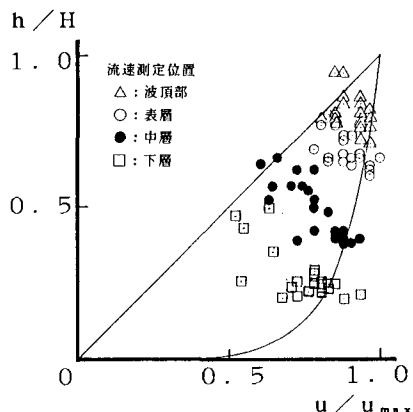


図-5 水深位相と流速の関係