

II-79 波状跳水におけるフロント部の形状について

北見工業大学工学部

正会員

佐藤 幸雄

北見工業大学工学部

正会員

鰐目 淑範

北見工業大学工学部

学生員

高橋 明良

北海道大学工学部

正会員

浜中 建一郎

1. はじめに

実河川あるいは水路において見られる跳水現象において、その跳水フロントの形状については、水路断面の方向に平行になることはなく、ほとんどの場合水路中央部を頂点とする三角形、すなわちV字形を呈する。また、このような場合は跳水フロントの上流側フルード数が大きく、フロント部も激しく乱れている状況であるが、フロント部がV字形を呈するのは、やはり側壁上に発達する境界層内の乱れが原因と考えられる。それは、上流側の射流部のフルード数を次第に小さくして行き、フロント部の乱れが生じない程度の穏やかな跳水になると、フロントの形状がV字形を形成する要因が側壁上の境界層によるくさび形部分であることが分かる。浜中・森(1991)は跳水フロント部の流れが2次的ではなく、側壁から水路中央へ向かう流れを伴った3次的構造を示すことを実験的に調べた。また、佐藤・浜中(1992)は波状跳水の場合のフロント部の形状が水路幅によって種々変化することを示唆している。

本研究では前年度の研究から鑑みて、さらに細かく水路幅を変化させた場合の弱い跳水(波状跳水)の跳水フロントの形状ならびに側壁近傍に発生するくさび部分について水路幅による影響を調べることにした。以下にその結果を述べることにする。

2. 実験要領

実験に用いた水路は主として合板による木製水路で表面は塗装してある。水路の一部に2mの観測区間を設け両側壁をアクリル製とした。また、跳水のフロント部が観測区間に位置するように、水路下流端にせき(高さ4.5cm)を設置した。実験条件を記すと、水路勾配は $i = 1/100$ で一定とした。水路幅は $B = 90, 80, 70, 60\text{cm}$ の4通りを用いた。各水路幅は水路の上流から下流までの合板により仕切り、水路幅を変化させた。

使用した流量はほぼ $Q = 3\text{ l/sec} \sim 13\text{ l/sec}$ 程度で跳水のフロントが滑らかな波状跳水の場合に限った。したがって、フロント部には乱れはない状態と考える。

このときの跳水フロント部直前の上流側射流部のフルード数は $Fr_0 = U_0 / \sqrt{gh_0} = 1.5 \sim 1.9$ 程度である。ここで、 U_0, h_0 はそれぞれ、射流部の平均流量及び水路中央部の水深である。

写真-1は波状跳水が発生している流況を示したものでフロント部(第1波目)の側壁近傍付近でく字状のくさび形部分が発生しているのが明確にみられる。

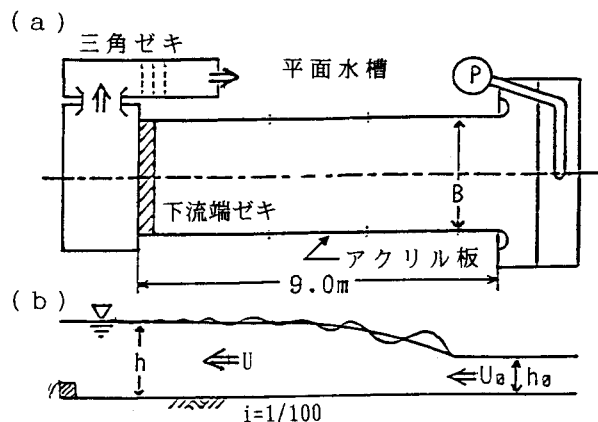


図-1 (a) 実験装置、(b) 跳水後の流況

Front shape in an undulated hydraulic jump

by Yukio SATO, Yoshinori YONOME, Akiyoshi TAKAHASHI and Ken-ichiro HAMANAKA

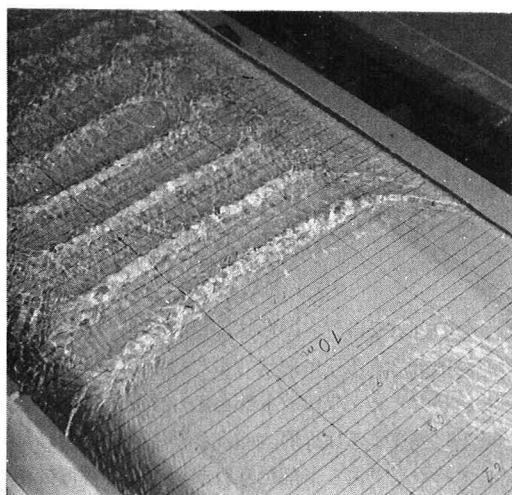


写真-1 幅: $B=80\text{cm}$, 流量: $Q=6.1691/\text{cm}^3$
フルード数: $Fr_0=1.851$

図-2は水路幅が $B=90\text{cm}$ から 60cm へと次第に狭くなるに従って跳水フロントの形状が変わる状況を模式的に示したのであり、水路幅が $B=90\text{cm}$ で広い時はフロントの形状は円弧状であるのに対して、水路幅が $B=80\text{cm}$ から 60cm へと狭くなると、側壁部に生ずるくさび状の部分が次第に明確なくの字を呈するようになる。そして、このフロントのくさび部分では側壁から水路中央部へフロントに沿った3次元の流れが発生している事も以前の実験から確かめられている。従ってくさび部分の長さが高い程水路中央部へ流量が集まる事が考えられる。図-3は跳水フロントの上流側射流水深 h_0 と下流側常流水深 h の関係を示し、

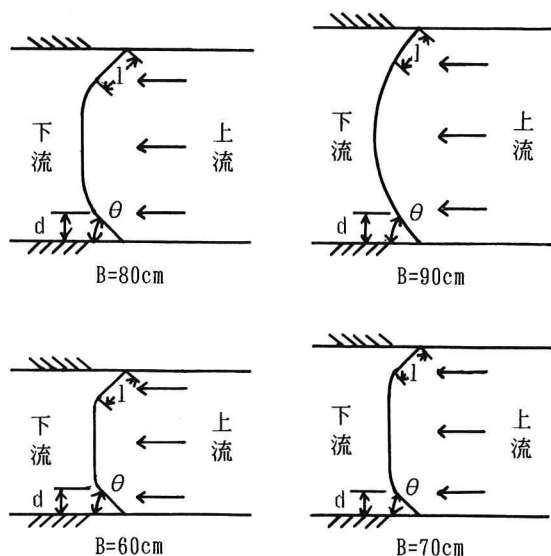


図-2 フロントの形状

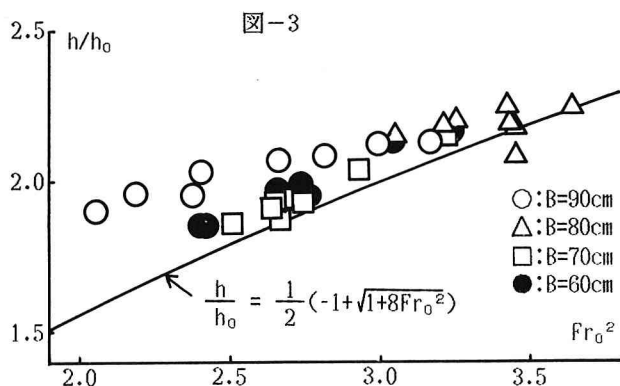


図-3

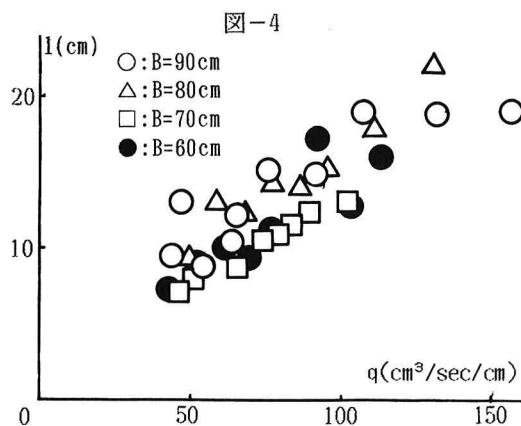


図-4

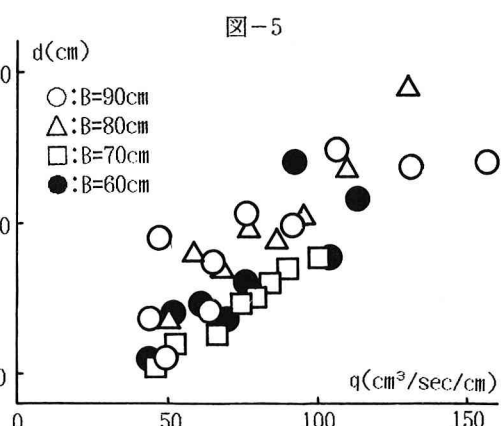


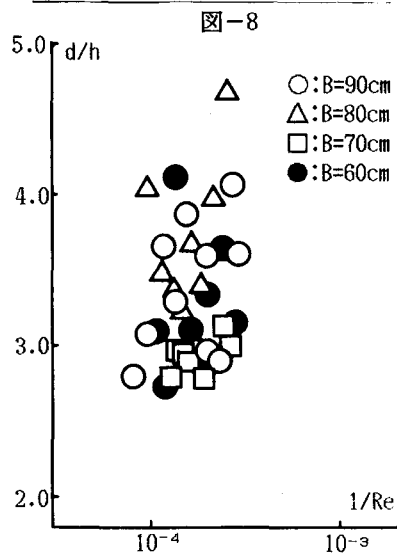
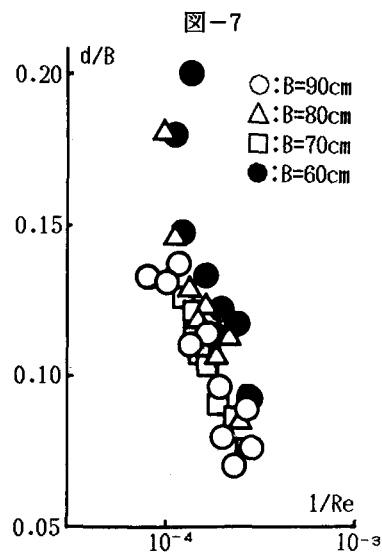
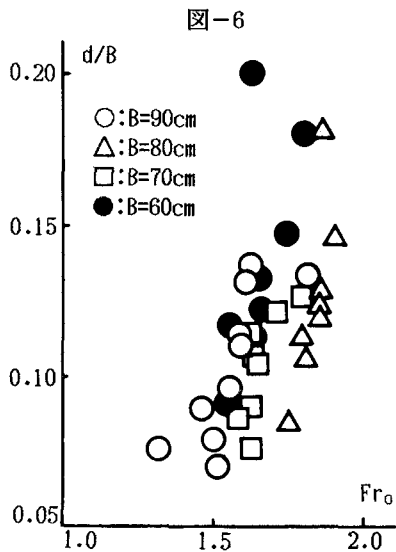
図-5

図中の直線は2次元流の強跳水の場合の共役水深 h を与える式である。フロントの上流側水深 h_0 と下流側水深 h は水路の中央部における測定値であるが、図より分かる事は、水路幅が、 $B=90\text{cm}$ で広い場合 Fr_0 の値が小さいところ、すなわち単位幅流量 q が小さいところで直線よりやや大きな値を示し、水路中央部の水深が高く現れる事を示している。この

ことは、図-2の説明でも述べたように、くさび部分に沿って側壁側から中央部へ向かう3次元の流れの影響があるものと考えられる。また、水路幅 B が狭くなるに従って直線の値に近づく2次元流の様相を示すものと思われる。しかし、なお測定値の水深が高い事から考え、上流側から運ばれたエネルギーはすべて波状を形成するために費やされ、エネルギー保存が成り立っているものと考えられる。

つぎに側壁近傍に生じるくさび部分の長さ l について示したものが図-4であり、単位幅流量 q が増すに従って、水路幅それぞれについて、くさび部分の長さ l は当然ではあるが長くなっている。また、 l の伸びは水路幅 B が広い程、長くなっていることが分かる。ここで、 l の値はスケールを使用して目視により測定した。同様にくさび部分の長さを側壁からの直線長さ(くさび部分の境界層厚さ) d で示したものが図-5であり、単位幅流量 q の増加と共に d の値も増加する傾向は l の値と同様の傾向となっている。つぎに、くさび部分の境界層厚さ d が水路幅 B に関係して増大することから、 d/B の値について図示すると横軸に Fr_0 を取った場合は図-6の様になり、また、 $1/Re$ を取った場合は図-7の様になる。ここで、 $Re = U_0 h_0 / \nu = U h / \nu = q / \nu$ ($\nu = 0.0125$; 動粘性係数)である。図-6において、 Fr_0 の増加は単位幅流量の増加と類似しているが、水路幅 B による d の増加の比率には十分関係深いとは云い難く、プロットした点に未だまとまりが見られない。むしろ図-7の $1/Re$ の場合の方がプロットした点が直線的にまとまって来るのが分かる。この事より水路幅の影響には Fr_0 の値より単位幅流量 q が強く関与するものと云える。図-8は d/h について示したものであるが、下流側水深 h は上流側 Fr_0 に規定される値であるため、 h を導入した d/h の値に關した図-8は結局図-6と同様な若干測定値にバラツキがある傾向を示していると云える。

つぎに、側壁上においてくさび部分と側壁面がなす角 $\theta (= \sin^{-1} d/l)$ について調べてみることにする。ここで、 θ の値はスケールにより目視で測った d, l の値を使用して、計算により求めた。



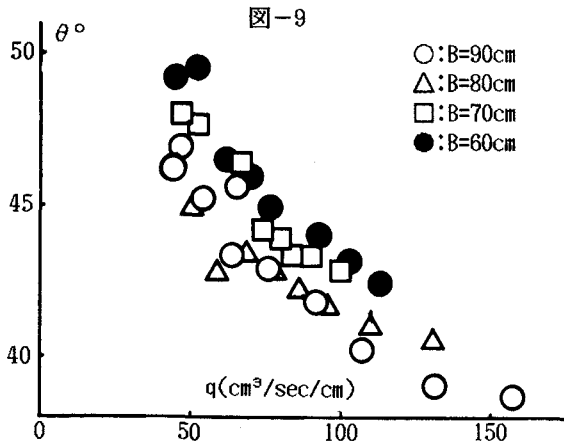
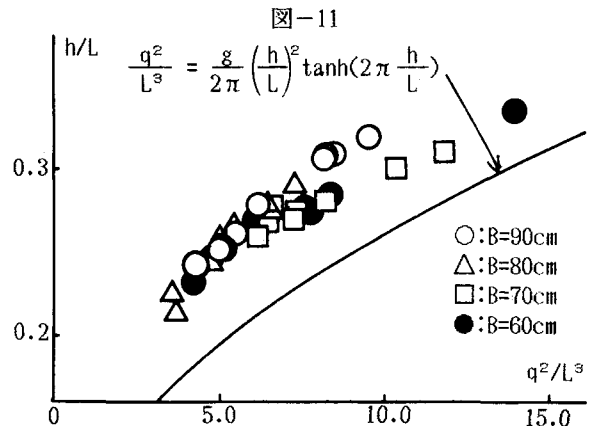
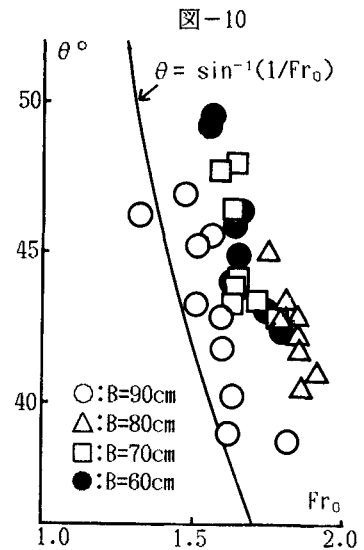


図-9は θ と単位幅流量 q との関係を示したものであるが、水路幅 B がいずれの場合も単位幅流量 q の増加に伴い次第に鋭角を示すことが分かる。また反対に水路幅 B が狭くなると徐々に θ は鈍角を示すようになる。すなわち水路幅が広い程くさびの長さ l は長く、 θ も鋭角になり、 B が小さくなると l は短く θ は鈍角となる。しかし、 d の値は一定ではなく、 B が大きくなるに従って少しずつ長くなる状況となっている。図-10は θ と Fr_0 の関係を示したもので、図中の実線は衝撃波の発生時におけるマッハ角 $\theta = \sin^{-1}(1/Fr_0)$ の値を示したものである。Wedge angleの測定値はマッハ角の値と平行に Fr_0 の増加に伴って次第に減少し、鋭角になって来るのが分かる。従って、Wedge angleは上流側フルード数 Fr_0 に依存して変化していると云える。しかし、Wedge angleの測定値は全体的に Fr_0 の値に対してマッハ角より大きく鈍角を示している。これはマッハ角の場合は跳水直後の流況を完全2次元流としているのに対してWedge angleの発生には側壁面上の境界層の発達により波状跳水後の流況に相違があるためと考えられる。



最後に、下流側に発生している波状跳水の波の性質の一つである波長 l の値について図示すると図-11の様になる。波長の測定値は波状のフロントから第5波までの平均波長である。また、図中の実線は微小振幅波の伝搬速度 C を使用して、 $C=U$ （下流側常流域の流速）として導いた式を示した。

図-11より波状跳水の測定値が微小振幅波の値（実線）より全体に大きい値を示しているが、傾向は良く類似している。また、図-3からも分かるように測定値の場合は下流側水深が計算値（実線）より高いことを考えると、おおよそ波状跳水は微小振幅波の性質を有していると考えられる。

今回は水路幅 B の変化によるフロント形状について定性的な検討を行ったが、今後はさらに実験を重ね、エネルギー保存則の問題も含めて、定量的な検討を加えて行わなければならない。

<参考文献>

浜中健一朗・森 明巨：弱い跳水に於ける流れの3次元構造、土木学会北海道支部 論文報告集 第47号 pp.307-312,1991