

## II-483

## 波状跳水に於ける流れの3次元構造

北海道大学工学部 正 員 浜中建一郎

北見工業大学工学部 正 員 佐藤 幸雄

## 1. はじめに

跳水は水理現象の中では最も古くから調べられてきた現象のひとつであり、段波との関連から海岸工学上も興味ある現象といえる。特に上流側フルード数が1に近い時に生ずる波状跳水は、波動論との関連に於いても論じられてきており興味深い。しかしながら、これらの研究の大部分では、跳水の峰方向に様な断面2次元流れとして取り扱われており、その3次元流れの構造についてはあまり良く知られていない。一方、空気流に於ける衝撃波は側壁境界層と相互干渉を起こし、フロントを折り曲げ、いわゆるラムダフットを形成し、さらに剝離を伴った新たな境界層を発達させることが良く知られている。従って本研究の目的は、第一に、水面波形の観測から、波状跳水の水面形の一般形を調べ、側壁境界層との相互作用の存在を確かめること。第二に、染料による流れの可視化によりフロント近傍の側壁及び底面での剝離の存在を確かめ、流れの3次元構造を調べること。第三に、空気流に於ける衝撃波と側壁境界層の相互作用と、跳水に於けるそれとの相似性について調べることとする。

## 2. 波状跳水の一般的形状

実験に用いた水路は、長さ10m、幅30cm、高さ40cmの傾斜水路で、下流端にせきを設置して水路中央部に跳水を発生させた。水路勾配は0.0017~0.0054の間で5種類選び、上流側水深は0.5cm~4.0cm、断面平均流速は35cm/sec~120cm/sec、フルード数は1.2~2.5である。これらの水理条件の基で、全ケースに於いてフロントでの明確なローラや碎波は見られず、波状跳水となった。フロントから下流に向かって、水面波形の一般形を調べるため、波高、波長、水深等の測定を行った。又、空気流の衝撃波と同様、フロントは側壁近傍で上流に向かって楔上に折れ曲がるため(以下楔型フロントと呼ぶ)、この楔型フロントの幅及び角度を測定した。さらに流れの3次元構造を調べるため、染料の注入による可視化を行い、フロント近傍での側壁及び底面での逆流と剝離の存在を確かめた。

以下、波状跳水の波形の一般的性質を述べる。

- (1) 図1は典型的な波状跳水の模式図である。第一波目の前面(フロント)は流れに垂直な中央部分と、その両端から上流側に折れ曲がった楔型部分に分けられる。写真1は典型的なフロントの例である。
- (2) 流れの中央部分は下流に向かって波状を呈するが、その振幅は徐々に減ずる。また、フロント近くの波形は比較的安定しているが、下流部では不安定となりゆらぎ始め、さらに分裂・合体する様になり、ついにはランダムな水面となり、最後に減衰して平水面となる。
- (3) 上流側フルード数が増加し、跳水の規模が大きくなると、両側の楔型フロントは発達し、ついには水路中央でつながる。この時横断波形はきれいな三角形状をなし、下流方向には一連の三角波が生ずる。この現象は実河川の洪水時に見られる三角波を再現したものと考えられる。
- (4) 上に述べた一般的特長は堰の近傍を除き、堰の形状に依存しない。すなわち、越流堰であっても、橋脚であっても、流れを適当に阻害すれば、大局的には同じ波形が表れる。

## 3. 跳水と側壁境界層との相互作用及び流れの3次元性

染料による可視化から得られた流れの3次元構造を以下にまとめる。

- (1) 全ての場合で、フロント近傍の両側壁で逆流が見られ、楔型フロントの先端部で剝離が生じていることが確かめられた。従って楔型フロントの下流に特別な境界層が生じていることが分かる。
- (2) 図2は、楔型境界層の厚さを単純跳水で求まる下流側水深で無次元化した値を上流側フルード数でプロットしたものである。いずれの場合も無次元厚さは1を越えている。

このことは跳水と側壁境界層の相互作用を表す。何故なら、もし相互作用がなければ、側壁境界層の厚さはほぼ水深程度となるべきだからであり、又(1)で述べた剝離も生じない。

(3) 図3は楔型フロントと側壁とのなす角である。図中実線はマッハ角を示す。明らかにマッハ角とは異なり、フルード数に依存せずほぼ一定値 $40^\circ$ となっている。しかしながら何故その様な一定値をとるのかは現在のところ分らない。

(4) 今回の実験条件では、約半数が、水路中央部、フロント近傍の底面上で剝離が観測された。図4の○印は剝離の生じた場合で×印は生じない場合である。この結果からは底面剝離を系統的に論ずることは出来ないが、これも流れの3次元構造を作っている。

(5) 図5は楔型境界層の厚さを上流側レイノルズ数に対しプロットしたものである。空気流の場合の衝撃波と境界層との相互作用で生ずる剝離の規模と同様レイノルズ数の増加と共に減少する<sup>(1)</sup>。又、空気流の場合の疑似衝撃波は波状跳水の水面波形と類似のパターンを持ち<sup>(2)</sup>、ふたつの現象に力学的類似性がある。

4. 結論  
今回の実験により、波状跳水の流れは強い3次元構造を持つことが分かった。しかしながら、側壁境界層との相互作用によって生ずる楔型境界層や、側壁・底面で生ずる剝離についての力学的構造の解明は今後の課題である。

#### 4. 結論

今回の実験により、波状跳水の流れは強い3次元構造を持つことが分かった。しかしながら、側壁境界層との相互作用によって生ずる楔型境界層や、側壁・底面で生ずる剝離についての力学的構造の解明は今後の課題である。

#### <参考文献>

- (1) Kooi, J.W. (1978): Influence of free-stream Mach number on transonic shock-wave boundary-layer interaction, NLR MP 78013 U
- (2) Nakayama, Y (1984): Nagare, Maruzen (in Japanese)

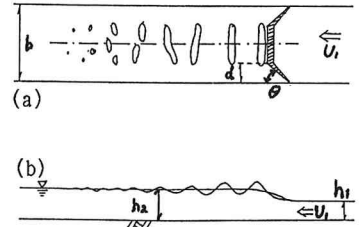


図1 波状跳水の模式図  
(a)平面形 (b)断面形

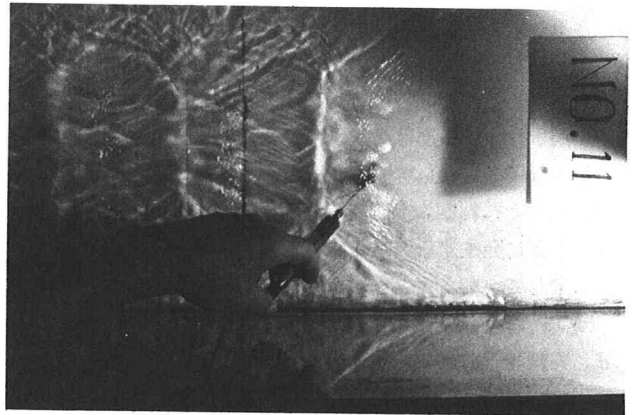


写真1 楔型フロント

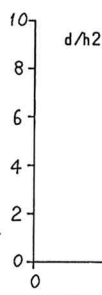


図2 楔型境界層の厚さ

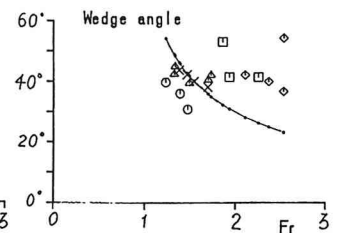


図3 楔型フロントの角

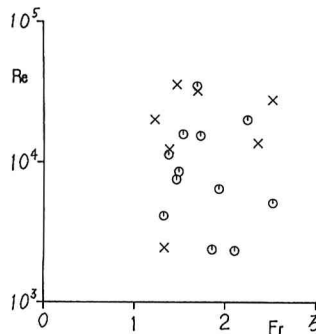


図4 底面での剝離

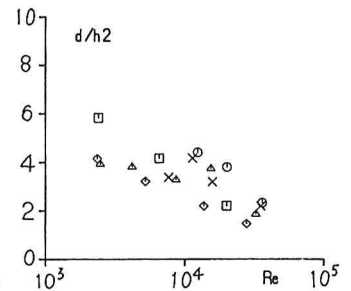


図5 楔型境界層の厚さ