



# 勾配及び摩擦抵抗を考慮した超波速流の研究

(著者 嶋 祐之；土木学会誌 38 卷 11 号所載)

## 巾の拡がる水路における衝撃波について

(著者 嶋 祐之・堀川清司；土木学会誌 38 卷 12 号所載)

准員 石 原 安 雄\*

嶋、堀川の両氏はこの2つの論文において、巾の拡がる水路における超波速流を取り扱い、巧妙に解析せられたことは敬服の至りである。これらの論文を拝読して感じた二、三の点を列挙し、著者のお考えを承りたい。

まず、はじめの論文において、

1. 運動量の法則を適用して得られる運動方程式に (4) 式の連続の条件を用いると、

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = gi - \frac{c^2}{h} \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{f'q^2}{2h} \cos \theta$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{c^2}{h} \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{f'q^2}{2h} \sin \theta$$

.....(a)

が得られる。さらに、(a) 式と (3) 及び (4) 式より (5) 式が得られる。従つて (5) 式は廻転運動、非廻転運動のいずれの場合にも成立する。しかるに、(2) 式は (a) 式に (6) 式の非廻転運動の条件を用いてはじめて得られるものである。この点運動方程式を誘導する際の条件に明確を欠くものがあると考えられる。

2. Kármán の方法に従う解法に用いられている運動量方程式は、**図-6** を参照すると水深が底面に垂直でなく鉛直に測られているから、次のようになる。

$$\rho h_1 v_{n1} \cos i_n \cdot v_{n1} + \frac{\rho g h_1^2}{2} \cos^2 i_n$$

$$= \rho h_2 v_{n2} \cos i_n \cdot v_{n2} + \frac{\rho g h_2^2}{2} \cos^2 i_n$$

$$+ \left( \tau_n - \rho g \frac{h_1 + h_2}{2} \sin i_n \cdot \cos i_n \right) d n \quad \dots\dots(b)$$

3. (18) の第2式は (13) 式より計算すると、

$$ds = \frac{\sec^2 \theta \cdot d\theta}{n(n-1) a x^{n-2}} \dots\dots(c)$$

となり、(19) 式以下が異なってくる。

4. 側壁面に沿う水深は、Kármán の求めた値に (25) 式の第2項で補正を行えば、非常に簡単な計算によつて求められると述べられているが、第2項中の  $F$  が  $\bar{h}$  従つて  $\theta$  の函数であるから (25) 式を計算するには逐次近似法によるのが普通であると思う。著者が行われた補正の方法を承りたい。

5. 限界勾配  $i_c$  の値として、ちょうど  $x=0$  の位置に control section が現われる勾配を実験的に求め、その値すなわち 1/135 を用いているが、この論文では、限界勾配  $i_c$  は (22) 式により、

$$i_c = g/c^2 \quad \dots\dots(d)$$

で定義されており、さらに  $c$  の値は一般に勾配と流量の函数である。従つて各勾配及び流量に対して  $c$  の値を実測し、その結果から限界勾配  $i_c$  を計算すべきであると思う。

次に巾の拡がる水路における衝撃波についての論文において、

1. (10) 式の右辺及び (11) 式の左辺にそれぞれ次の項を加えなければならないと思う。

$$-\frac{\tau}{g} h_3 v_3^2 \cos(\beta - \theta) \sin \theta \cos \beta$$

及び  $h_3 v_3 \sin(\beta - \theta) \cos \theta$

2. 巾の拡がる水路の下流端を堰上げたときに生ずる衝撃波の波角が、この場合に生ずる剥離面(渦面)に側壁を挿入したときに現われる波高よりも、いかなる場合にも大きいことが実験的にわかり、この事実が (13) 式によつて予想されるように記されている。しかし (1) 及び (13) 式の  $h_2/h_1$  の値は両者の場合に必ずしも等しくなるとは限らないから、両式を比較してただちに結論を導き出すことができないと思う。

3. 3 節の理論によると、実測した  $h_2/h_1$  を用いて (1) 及び (13) 式より波角  $\beta$  の値を計算したとすると、当然後者の方が大きくなり、かつ測定値とよく合うべきである。しかし **図-3** をよくみると、実測の波角  $\beta$  の値は (1) 式より求めた値に等しいかまたは少し小さいと考えられる。この点についてのお考えを承りたい。

4. 跳水の位置を求めるために、Laval 管についての簡単な理論を利用されている。しかし (19) 式以下に述べられている理論は、軸に垂直な断面全体にわたつて一様な流れで、いわゆる normal shock を生ずるような場合にはよいが、この場合のように剥離面が現われ、斜めの衝撃波をとまらぬ複雑な流れにそのまま適用することは無理なように思われる。

\*神戸大学講師，工学部土木教室

著者 嶋 祐之・堀川清司

詳細な御討議をいただき、種々不注意だった点の御指摘並びに御教示を得たことを感謝するとともに以下御返事に代えようと思う。

1. 運動方程式 (2) を誘導するとき、あらかじめ非廻転の流れを取扱うことを予想し便宜上 Bernoulli の方程式を用いたので厳密には御指摘のごとく Euler の方程式から (a) を得ると書くべきであつた。ただし (a) と (3), (4) より導かれる (5) 式は同時に (2) と (3), (4) より導かれるものと全く同一であり数学的には条件の重複はない。

2. 拙文では従来通常不等流の計算等の際行う仮定の範囲内での緩勾配水路を取扱うもので、それと同じく簡単に考えた。急勾配水路ではもちろん静水圧分布の仮定や、 $4n$  区間の体積等に対する修正を施した (b) 式を用いるのは当然である。従つて上記の修正を省略すればとことわれば誤解はないものと思う。

3. 側壁の条件は正に御指摘のごとくであり (13) より  $ds = \frac{\sec^2\theta \cdot d\theta}{na}$  としたのは誤りで次のごとく訂正する。

側壁の曲線は  $y = ax^2 + b$  ..... (13)

$$ds = \frac{\sec^2\theta \cdot d\theta}{2a}$$
 ..... (18)

$$\kappa = \frac{i}{2aH_0}$$
 ..... (22)

実は実験水路が  $x = ax^2 + b$  で示され  $n=2$  のためそのように書いてしまった点筆者の不注意を謝する。

4. 単単波の領域での側壁に沿う水深を計算するだけでも精度を要求すれば拙文で述べたごとき逐次近似法を行う必要があるが、筆者の行つた実験の範囲内では (25) 式の第 1, 第 2 式を用い  $F$  を一応常数として補正をしたものが 図-10 である。

5. 実験は最も簡略化した (25) 式に対し一つの物理的解釈が可能であることを主張する意味で、その裏付けを主とするため行つたものである。従つて超波速流の問題を詳細に比較検討する意味からは単に  $i_c$  の値をくわしく求めるだけではなくさらに厳密な特有曲線法より求めた解と実測値とを比較せねばならぬと思う。また実験値との比較は  $\theta = 20^\circ$  まででこの程度より大きくなるとまた別の特性が現われるので、これ等の事項に関しては後日、特有曲線法による数値計算例を発表したいと思う。

次に巾の拡がる水路における衝撃波について、

1. 御指摘のごとくで筆者の不注意であつた。なお土木学会第 8 回年次学術講演会講演概要には異なつた

符号を用いてあるが、この項を入れて計算している。

2.3. 渦面を壁でおきかえた場合と、そうでない場合とは、御説のごとく  $h_2/h_1$  の値がはたして同じであるか否か疑わしいと思う。この点について詳細な実験資料を持ち合わせずまことに遺憾に思っている。さて石原氏の論文(土木学会誌第 38 卷 11 号)によると、衝撃を受けた後における実際の水圧と静水圧との比  $K$  を導入し、これが Froude 数によつて変化することを示し、かつ  $F_1=6$  くらいまでは  $K=1$  とみなしうるように書いておられる。筆者らが最近巾の狭まる水路において測定した結果 図-1 のごとくなり、 $K$  の値はかなり大きな変動を示し明瞭ではないが、 $F_1 < 6$  においても  $K$  は 1 以下であることが多く、 $K=1$  と

図-1

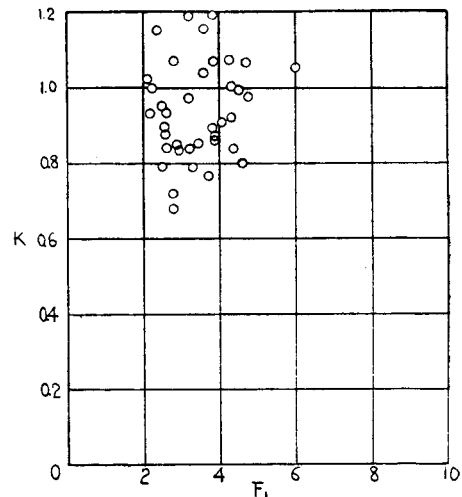


図-2

