

開水路合流部についての基礎研究

川 端 猛*

The fundamental study for the confluence in open channel

by Takeshi KAWABATA

1. 諸 言

河川改修工事を行なう場合に水路の合流する地点での処理方法にはいろいろと困難な点が多い。互いに河状が異って一方の水路の洪水が他方に逆流して洪水時間が長くなったり、他方の水路の水深を高めたり、互いの水路の掃流力の差異によって合流部に土砂の堆積が生じたりすることがあるためである。

建設省河川砂防技術基準(案)では「支川の合流点の形状は原則として本川になめらかに合流する形状とする。支川の計画高水流量が本川に比して極めて小さく、本川に対する合流の影響が小さい場合にはこの限りではない。」と規定しているが、合流点は合流河川の流出土砂量、流量、流速、合流角度などの影響を受けて性格が異なってくるので処理方法は合流河川の性格を十分に考慮して行なうのが普通である。一般的原則としては①合流河川の河状を同一になるようにする。②合流角度をなるべく鋭角にして、平行に近く合流させる。などが挙げられる。処理工法としては、①背割堤を長くして急勾配の河川を緩勾配にする。②急勾配の河川には合流点近くで階段状の落差工を設ける。③合流点上流部に土砂扞止ダムを設けて流出土砂を防ぐ。④逆流堤を設けて他の河川の背水の影響を防ぐ。⑤河川を付替えて下流で合流させる。⑥合流後の幅員を状況により増大させる。などが実施されている。

このような現況にある開水路合流部についての流れの機構に関する研究は現象が複雑な様相をしているために容易に進捗していない。少ない研究の中でも E. H. Taylor, N. B. Bruton, 噴流理論を適用した板倉忠興等の研究が有意義と考えられる。

当研究では開水路合流部に関する模型実験により基礎的資料を入手し、現象の把握を第一義として解析を試みる。

2. 実験装置と計測

実験に使用した水路は幅 0.4 m, 高さ 0.4 m, 長さ 12.0 m の木製開水路で水路中央部右岸より幅 0.1 m, 高さ 0.4 m, 長さ 4.0 m の支川が合流するようになっている。河床勾配は共に $i_0=0$ である。(図-1 参照)

* 理工学部土木工学科助教授 水理学 測量学

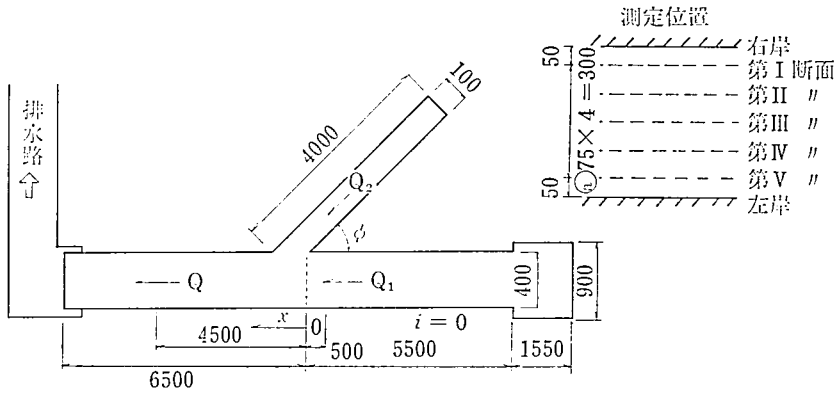


図-1 実験装置

本川と支川の合流角度 ϕ は $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の4種類とした。本川流量 Q_1 と支川流量 Q_2 の比 $m=Q_2/Q_1$ は $0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ の5種類である。水深及び流速の計測位置は合流点上流端を原点として、下流方向に 2.5 cm 間隔に19点、上流方向に5点、さらにそれ以上の区間では 25 cm 間隔に、下流方向は 4 m まで、上流方向は 1 m までとした。横方向は各地点で5点とした。支川では合流部の中心より 1 cm 間隔に10点、さらに 50 cm 地点で測定した。流量の測定はアミューバ流量計を使用した。流速については超小型流速計及び流向流速計（共に最小読取值 0.1 cm/sec ）を、水深については砂面測定器（最小読取值 0.1 mm ）を使用した。

流れの様子を観察するためにカオリン（白陶土）をトレーサーとして流し、写真撮影した。

3. 水面形について

河床勾配が一定な開水路での横からの流入のある場合の水面形は水深 h 、河床勾配 i_0 （傾き θ ）、本川平均流量 V 、径深 R 、合流角度 ϕ 、支川平均流速 U とすると、運動量方程式、連続方程式より

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i_0 - \frac{\tau}{wR} + \frac{q}{gA}(U \cos \phi - 2\beta V) - \frac{V^2}{g} \frac{d\beta}{dx}}{\cos \theta \left[K \left(1 + \frac{h}{D} \right) + h \frac{dK}{dh} \right] - \frac{\beta V^2}{gD}} \quad (1)$$

である。

ここに

- τ : 平均せん断応力
- β : 運動量補正係数
- K : 圧力補正係数
- q : 横からの単位長さ当り流入量
- $D = A/B$ A : 流積

本川、支川共に $\theta=0, \cos \theta=1, K(1+h/D)+h(dK/dh)=1, \beta=1.0$ として

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i_0 - \frac{\tau}{wR} + \frac{q}{gA}(U \cos \phi - 2V)}{1 - \frac{V^2}{gD}} \quad (2)$$

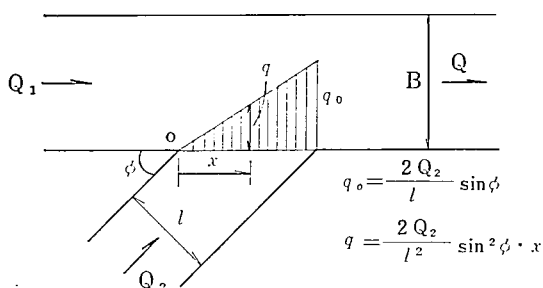


図-2 横からの流入量

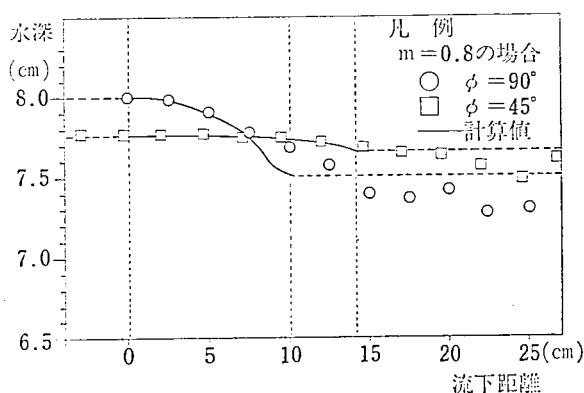


図-3 合流部における水面形

又,

$$\tau = i_0 \rho g R \cos^2 \theta = i_0 w R$$

$$q = \frac{2Q_2}{l^2} \sin^2 \phi \cdot x$$

$$Q = Q_1 + \frac{Q_2}{l^2} \sin^2 \phi \cdot x^2, \quad U = \frac{Q_2}{lh}$$

とすると

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2BC_1 \omega h \left[\frac{Q_2}{l} \cos \phi - \frac{2}{B} (Q_1 + C_1 \omega^2) \right]}{B^2 g h^3 - (Q_1 + C_1 \omega^2)^2} \quad (3)$$

$$C_1 = \frac{Q_2}{l^2} \sin^2 \phi$$

となる。

図-3では合流点近傍での実測値と計算値の比較をしているが両者は概略一致している。図では合流角度 $\phi = 30^\circ, 60^\circ$ の場合が省略されてあるが、細かくみると合流角度が小さい場合には計算値が実測値を上回るようである。実測資料では合流部を過ぎると、合流角度の大きい場合には水面が低下する傾向を示している。合流角度の大きい場合には支川の影響が大きいことを裏付けている。

図-4は合流後の水面形を全体的に示している。合流部上流では水面に変化が生じない

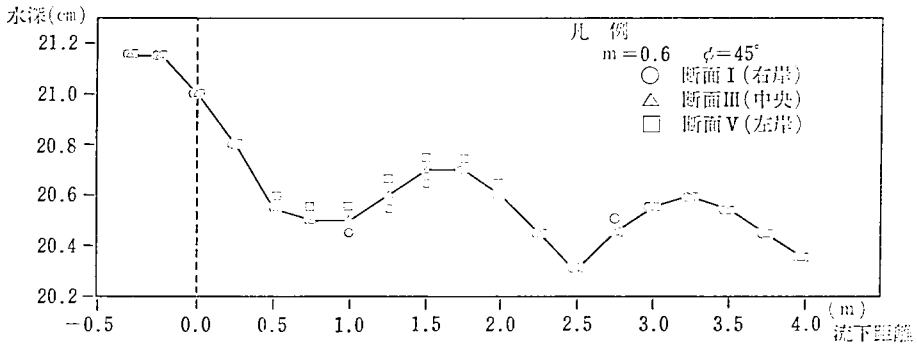
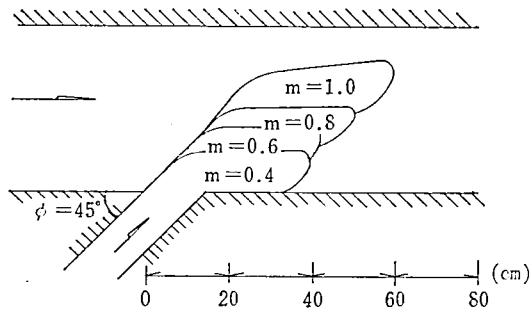


図-4 水面形の変化

図-5 支川よりトレーサーの流入 (10秒後)
(写真より判読)

が、合流部原点に達すると水面は低下し始めて、やがて極小値に達し、次に極大値になる。規模は小さくなっていくがこれを繰返して安定した水面になると考えられる。右岸、左岸の水深の差もはじめは大きい、うねりながら徐々に小さくなりやがては安定するようである。流量比 $m=0.2$ では水面の変動はほとんどないが $m=0.4$ になると少しずつ変動が生じ、流量比が大きくなるにつれ、又合流角度の大きくなる程波動も大きくなり、不安定な区間が長くなる傾向を示している。この事は図-5の支川より流入する流れの状況によっても裏付けられている。図では流量比が大きくなるにつれて支川の流入が対岸（左岸）に達し、本川全体が支川の影響を受けることを示している。逆に流量比の小さい場合には支川の流入は右岸に沿って流れる。

4. 流速について

流速は合流点近傍を除いては全体的に極端な変化が生じていないが、流心が左右に多少なりとも周期的に移動するようである。これは水面形が周期的に変動するのと同様な傾向ではないかと思える。支川からの流入により流れが対岸（左岸）に片寄る反動で右岸に戻され、やがては徐々に収束して安定した流速となる。この傾向は合流角度、流量比の大きい程顕著である。

図-6 は合流点近傍での流速の変化を示している。水深の変化は合流部上流には生じなかったが流速では上流部にも生じている。合流角度 $\phi=90^\circ$ の場合には合流部内右岸で最大流速に達し、急に降下して最少流速となり、流れがほとんど止ったようになる。合流部

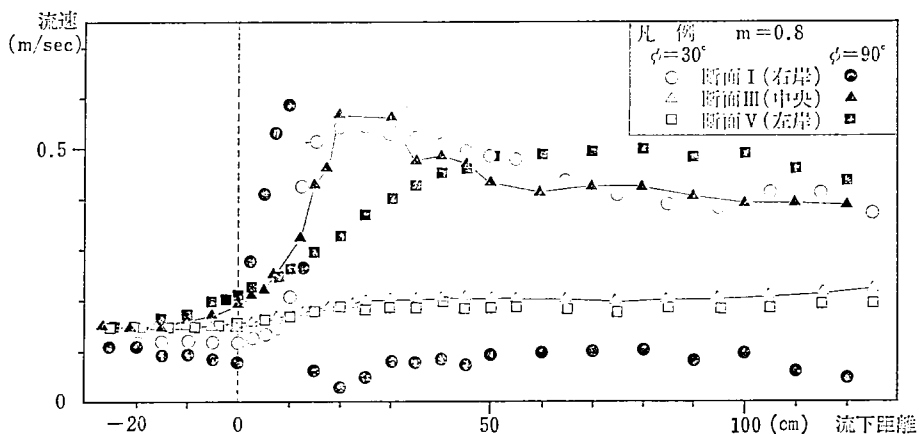


図-6 合流点近傍での流速変化

下流右岸では渦が発生し死水域が生ずる傾向となる。それに反し左岸（対岸）では徐々に流速が増してゆく。やがては少しずつ低下して流心が右岸に寄ってくるようである。本川中央部でも支川の流入の影響を相当に受けている。合流角度 $\phi=30^\circ$ の場合には対岸（左岸）は支川の流入の影響をほとんど受けずに安定した状況にある。本川中央部でも左岸とほとんど変わらない流れである。右岸では本川上流部流速の4倍程度の早い流れになっている。合流角度の影響は極度に流速に現われてくる。「合流角度をなるべく鋭角にし、平行に近く合流させる。」ことの意義はこの点にあるようである。

5. 支川内の変化

本川の流出土砂が多い場合には支川の流れは本川に流入しにくく、支川流域は排水不良となり、又本川流量が多くて支川流量が少ない場合にも本川に流入しにくくなる可能性があるだろう。このようなことから支川内部にも何らかの変化が生じているかも知れない。

④ 水面形

流量比、合流角度にあまり関係なく合流点に近づくにつれて、水面は徐々に低下して合流点水深に達している。変化量は数 mm であった。細かくみると流量比が大きい程、水面勾配は急のようである。

⑤ 流速

大体において流速は合流点に近づくにつれて大きくなるようである。流量比の小さい方が加速度は小さい。流量比 $m=0.2, 0.4$ ではほとんど変化しない。ただ逆に合流角度 $\phi=90^\circ$, $m=0.8, 1.0$ の場合には速度が低下している。

と云うような結果を得たが計測区間が短かくてはっきりと断定することはできないであろう。

6. むすび

現在実際に行なわれている合流部の処理方法を念頭において、水面形の変化、流速の変化に的を絞って合流部の水理的特性を把握することに務めた訳けであるが、合流角度、流量比の影響が重大であることを再認識した。支川よりの流入物質の拡散、河床変動に關す

る実験を継続中であり、両者を加味した資料が得られればさらに合流部の特色が把握できるものと思われる。

卒業研究生として実験に参加した高橋 徹，山崎美明，根本 謙の三君のご助力に敬意を表します。

参 考 文 献

Ben Chie Yen, Harry G. Wenzel, Jr.: Dynamic Equations for Steady Spatially Varied Flow. Proceeding of A.S.C.E., 1970

板倉忠興・他：河川合流点における流れの機構の研究，土木学会年講22～26回

河村三郎・他：水路合流点における水面形について，土木学会年講25回

神田 徹：合流部の流れの水理学的特性，土木学会年講32回

山本三郎編：河川工学，朝倉書店