旧蛇行通水時における堰の越流条件を考慮した分岐流量配分比

北海道大学大学院　学生員　○ 藤田　将輝
北海道大学大学院　正　員　長谷川和義
(独) 北海道開発土木研究所　正　員　渡邊　康玄
北海道開発局　空閑　健

1. はじめに

現在，標津川の一部区間を対象として，かつて直線化された現河道に蛇行を復元させようという試みが進められている．その際，有力となっているのが直線河道とその付近に三日月湖状に残っていた旧川蛇行部とを接合し，その両河道に通水することで蛇行復元を達成するという手法である．この時，蛇行部の流れを確保するため，分岐部下流に低堰を設けることが必要となるが，その水理的状態はかなり複雑である．

本研究は，このようなケースにおいて堰での越流条件として完全越流，潜り越流を仮定し，それぞれの場合について，流量の本川・旧川配分比を堰の高さと関連付け，理論的な検討を行うとともに，模型実験及び現地通水試験の結果と比較し，その妥当性を判定することを目的とする．

2. 理論解析

まず，直線河道と蛇行河道の流量分岐のメカニズムを1次元運動量方程式により明らかにする．以下に計算に用いた基礎方程式を示す．

(1)　運動方程式および連続式

本研究では分岐部周辺を**図－1**のようにモデル化している．図中の破線で示す検査断面を設け，分離流線を仮定し，検査領域を①，②に分割した後，それぞれについての運動量方程式および連続式を立てた．この際，底面せん断力は重力の流下方向成分と釣り合うものと考えた．

a)　①領域

x 方向運動量方程式

$$\beta_b \rho r Q U_b \cos\theta - \beta_a \rho r Q U_a = \frac{1}{2}\rho g h_a^2 r B_a - \frac{1}{2}\rho g h_p^2 r B_a \quad (1)$$

y 方向運動量方程式

$$\beta_b \rho r Q U_b \sin\theta = -\frac{1}{2}\rho g h_b^2 \frac{B_b}{\sin\theta} + \frac{1}{2}\rho g h_p^2 \frac{B_b}{\sin\theta} \quad (2)$$

連続式

$$rQ = U_a h_a r B_a = U_b h_b B_b \quad (3)$$

b)　②領域

x 方向運動量方程式

$$\beta_d \rho (1-r) Q U_d - \beta_a \rho (1-r) Q U_a = \frac{1}{2}\rho g h_a^2 (1-r) B_a + \frac{1}{2}\rho g h_p^2 r B_a - \frac{1}{2}\rho g h_d^2 B_a \quad (4)$$

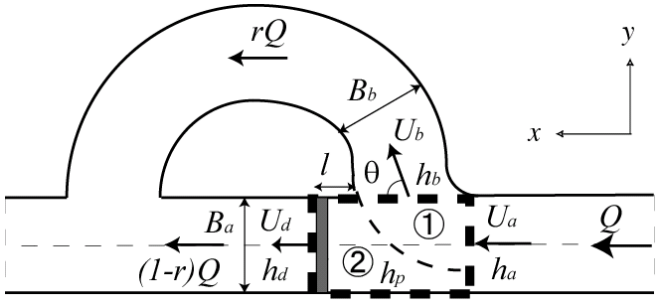

図 -1　堰周辺の概念図

y 方向運動量方程式

$$0 = \frac{1}{2}\rho g\left(\frac{h_a + h_d}{2}\right)^2\left(\frac{B_b}{\sin\theta} + l\right) - \frac{1}{2}\rho g\left(\frac{h_p + h_d}{2}\right)^2 l - \frac{1}{2}\rho g h_p^2 \frac{B_b}{\sin\theta} \quad (5)$$

連続式

$$(1-r)Q = U_a h_a (1-r) B_a = U_d h_d B_a \quad (6)$$

(2)　分岐部周辺の各種水深

分岐部周辺の水深 h_a，h_b についてはマニング則による等流水深を採用し，分離流線上の水深 h_p については式(1)の変形より誘導した．

$$h_a = \left(\frac{n_a^2 Q^2}{B_a^2 I_a}\right)^{\frac{3}{10}} \quad (7) \qquad h_b = \left(\frac{n_b^2 r^2 Q^2}{B_b^2 I_b}\right)^{\frac{3}{10}} \quad (8)$$

$$h_p = h_a\sqrt{1 - 2F_a^2\left\{\beta_b \frac{B_a}{B_b}\frac{h_a}{h_b} r\cos\theta - \beta_a\right\}} \quad (9)$$

ここで，Q：総流量，U_a：分岐直前の本川流速，U_b：旧川流入部での流速，U_d：堰での流速，h_a：分岐直前の本川水深，h_b：旧川流入部での水深，h_d：堰での水深，h_p：分離流線上での水深，r：流量配分比，B_a：本川の川幅，B_b：旧川の川幅，l：旧川流入部左岸より堰までの距離，θ：本川と旧川の分岐角，ρ：水の密度，g：重力加速度，I_a：本川の河床勾配，n_a：本川の粗度係数，β：運動量補正係数 (サフィックスは検査断面を表す)

(3)　堰での越流条件

堰で規定される水深 h_d を求めるにあたっては，堰での状態として完全越流，潜り越流状態を仮定し，それぞれの場合について h_d を誘導した．

キーワード　蛇行復元，流量配分比，運動量方程式，完全越流，潜り越流
連絡先　〒060-8628　札幌市北区北13条西8丁目　北海道大学大学院工学研究科　環境資源工学専攻

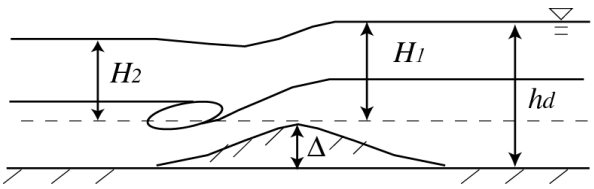

図 -2　堰周辺の概念図

完全および潜り越流状態での比エネルギーを考えると，h_d は次式で与えられる．

$$h_d = \Delta + H_1 = \Delta + K\sqrt[3]{\frac{1}{g}\left\{\frac{(1-r)Q}{B_a}\right\}^2} \qquad (10)$$

$$\begin{cases} K = 48/35 & (\text{完全越流}) \\ K = c^{-\frac{2}{3}} - \dfrac{c^{\frac{4}{3}}}{2(1-c^2)} \quad c = \left(\dfrac{H_2}{E_1}\right)\sqrt{2\left\{1-\left(\dfrac{H_2}{E_1}\right)\right\}} & (\text{潜り越流}) \end{cases}$$

E_1：越流前の比エネルギー，H_1：堰頂から越流前水面までの距離，H_2：堰頂から越流後水面までの距離，Δ：平均河床位からの堰高

(4)　流量配分比 r の計算

以上，これまでに導いた式を用いて流量配分比 r を計算する．まず，式(4)の変形より式(11)が得られる．

$$(1-r)h_a^2 + rh_p^2 - h_d^2 = 2F_a^2 h_a^2 (1-r)\left\{\beta_d \frac{h_a}{h_d}(1-r) - \beta_a\right\} \qquad (11)$$

上式にこれまでに導いた各種水深を代入することで数値計算により配分比 r が求められる．

3．　理論解析の検討

流量配分比 r と堰高 Δ の関係をフルード数をパラメーターに取り，グラフ化したものが**図 -3** である．図中の実線は堰で完全越流状態を，破線は潜り越流条件を仮定して得られた理論曲線を示している．堰での状態に関わらず Δ/h_a の増加に伴い配分比 r が増加し，やがて 1 に漸近していくことが伺える．

また，完全越流，潜り越流条件による水深が，同一フルード数，同一 Δ/h_a でも，共に存在している領域があることがわかる．このことから，流れには完全越流状態と潜り越流状態の二価性があり，一度潜り越流を生ずると，その後，流量が減少して完全越流が生じる条件となっても，潜り状態を維持し続ける場合があると考えられる．

4．　模型実験および現地通水試験との比較

現地の 1/125 スケールで作成された歪なし模型を用いた固定床試験[1]及び現地通水試験より得られた流量配分比の実測値を理論値と比較したものが**図 - 4** 及び**図 - 5** である．図からは，いずれのケースにおいても理論値が実測値とよく一致することが確認された．

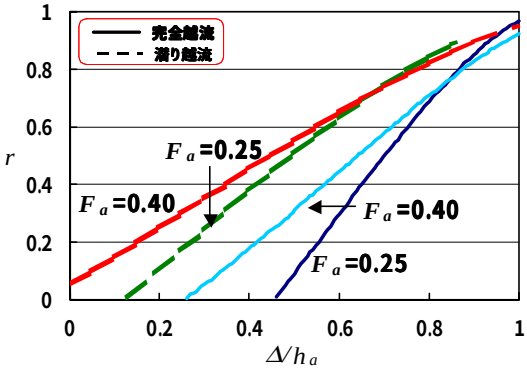

図 -3　$r-\Delta/h_a$ 曲線

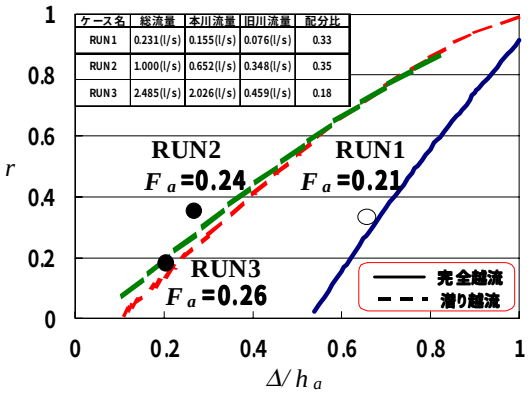

図 -4　実験値との比較

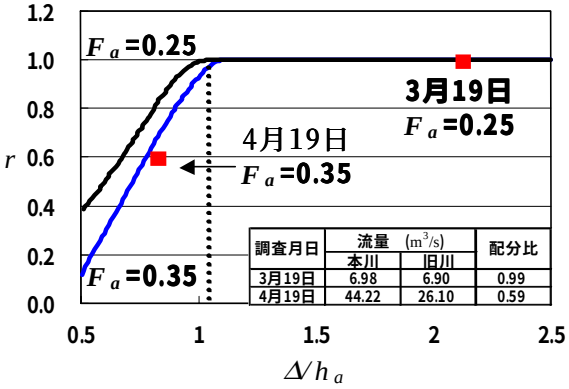

図 -5　現地通水試験

5．　まとめ

(1) 堰において，完全越流，潜り越流を仮定し，それぞれの場合について流量配分比のもつ性質を明らかにした．

(2) 固定床実験及び現地通水試験より得られた流量配分比は，完全越流，潜り越流状態共に理論値とよく一致した．

(3) しかし，同一のフルード数に対しても完全越流，及び潜り越流が共に起こりうる領域が存在し，越流条件の選択を誤ると，結果に大きな差異を生ずることとなるため，堰での状態に注意を払う必要がある．

参考文献

1) 北海道開発土木研究所，株式会社水工リサーチ：平成 13 年度施工蛇行復元部における砂州の影響実験検討業務　報告書 2001