

断面河道合流部の流れの現地研究

鹿島建設 正会員 ○新井奈々絵
 岡山大学 正会員 赤穂 良輔
 東京工業大学 フェロー 石川 忠晴
 東京工業大学 正会員 中村 恭志

1. はじめに

沖積低地における河道改修では、洪水時の河道容量を確保しつつ低水時の流れを安定させる目的で、複断面河道化が行われることが多い。しかし複断面河道の合流部では、流量条件によって流線が低水路河岸線に一致しないことがあり、河道設計の中でも難しい点の一つとなっている。そこで種々の水理条件のもとで数値シミュレーションを行い最適な形状を決定することが考えられるが、現地データによるモデルの検証事例はほとんどない。本研究では、利根川と渡良瀬川の合流部を対象に準三次元浅水流モデルを適用し、その妥当性を1981年8月洪水時に撮影された航空写真のステレオ解析結果と比較した。

2. 研究対象領域

図-1の左側に研究対象領域のモザイク写真を示す。利根川は写真の左から右に向かって流れ、渡良瀬川は

写真の上から約45°の角度で合流している。高水敷は牧草地として使用されているが、葦群落や樹木群も低水路河岸沿いに残されている。図-1の右側には3断面における横断面形を示している。KPは、利根川では河口からの距離を、渡良瀬川では合流点からの距離を表している。図中のHWLは計画高水位を、FWLは後述する洪水航空写真撮影時の水位を示している。

3. 洪水航空写真解析

1981年8月洪水時に、利根川河道の軸線沿いに上流から下流に向けて一連の航空写真が撮影された。飛行高度は1460m、撮影時間間隔は7秒、オーバーラップ率は70%であった。図-2の左側に本研究で解析に使用した航空写真(A, B, C, D, E)の撮影範囲を示す。図-2の右側に洪水ハイドログラフと航空写真撮影時刻を示す。航空写真はほぼ洪水ピーク時に撮影されている。

箕浦ら¹⁾の提案した方法により、水面流速ベクトルを

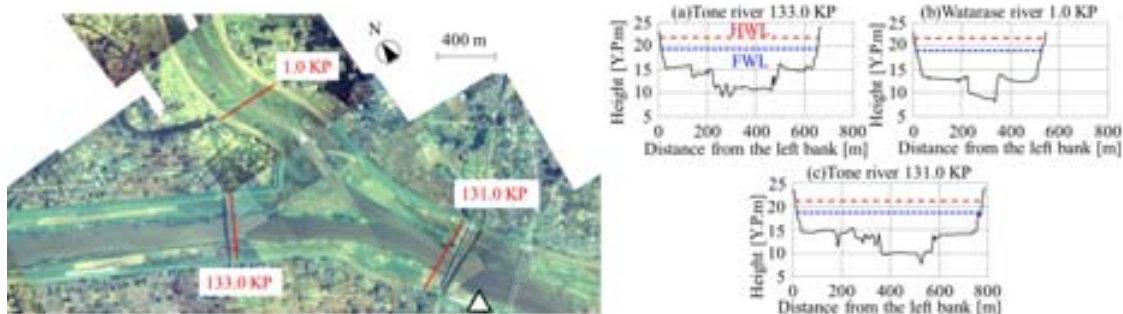


図-1 研究対象領域。左：航空写真モザイク，右：横断面形

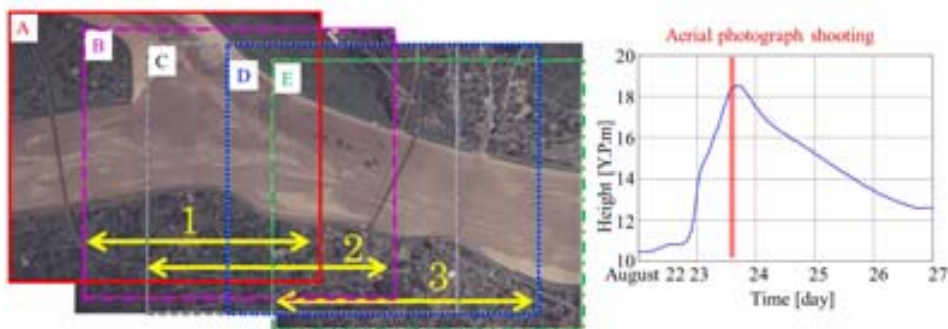


図-2 洪水航空写真。左：各写真の撮影範囲，右：洪水ハイドログラフと航空写真撮影時刻

キーワード : 複断面水路, 合流部, 航空写真解析, 準三次元モデル, 樹木抵抗

連絡先 : 〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259 G5-3 石川研究室 Tel: 045-924-5504

求めた。写真上には水面を流れる濁りや泡による細かな模様が多数見られる。まず連続する2つの画像に画像相関法を適用し、模様の位置のずれから流速ベクトルを求めるが、写真上には類似のパターンが多いため、時には“錯誤”が発生する。そこで画像解析結果を水平に置いたPC画面上で元画像に重ね、画面上に設置した実体鏡を通しカメラン効果を利用して人間が錯誤を修正する。

図-3に水面流速ベクトルの解析結果を示す。赤、青、緑のベクトルの色は、図-2に示した写真の組み合わせのAとB、BとC、CとDに対応する。図-3の側線(a)と(b)における2つの解析結果を図-4に比較する。それぞれはほぼ一致していることがわかる。一致しない部分は解析誤差の他に、撮影時刻差(7秒)の間の流速変動によると思われる。

4. 数値シミュレーション

基礎方程式は静水圧・非圧縮条件の浅水流方程式である。流水抵抗として、Manning 則を用いた摩擦の他に、樹木の立体的抗力の抗力係数を新井²⁾に基づき以下のように設定した。

$$C_D = \begin{cases} 0.02 & z < 0.98 \\ -0.011z^2 + 0.064z - 0.058 & 0.98 \leq z \leq 4.0 \\ 0.0 & z > 4.0 \end{cases} \quad (1)$$

速度分布を次式のように仮定した。未知数は h, u_0, u_1, v_0, v_1 の5つである。重み関数を1と $f(z/h)$ として鉛直方向に Galerkin 積分を適用し、3本の基礎方程式から5本の方程式を導いた。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \end{pmatrix} \cdot f\left(\frac{z}{h}\right), \quad f\left(\frac{z}{h}\right) = \frac{z}{h} - \frac{1}{2} \quad (2)$$

図-5に計算された表面流速ベクトルを示す。図-3と比較すると、以下に示す特徴が再現されている。(a) 利根川低水路流は左岸向きに発散し、両河川間の高水敷に広がり、渡良瀬川低水路に流れ込む。(b) 合流点前で右岸側に分岐した流れが右岸堤防沿いに高速流を発生させる。(c) 渡良瀬川低水路の流れは上流側で左岸に寄っている。(d) 渡良瀬川低水路流は両河川間の高水敷からの流入により加速される。(e) 左岸高水敷の流れは合流点後の樹木群により分岐する。

図-6に計算から求められた水面流線(黒)と底面流線(赤)を示す。両者はほぼ一致しているが、印を付けた場所で異なっている。(a) 高水敷から渡良瀬川低水路に流入した表層水は左岸側に寄り、底層水は右岸側

を流れる。(b) 利根川低水路の底層水が右岸高水敷に乗り上げ、右岸堤防沿いに流れの集中を生じさせる。(c) 底層水が左岸高水敷に乗り上げ、樹林帯に流入する。

このように準三次元モデルは航空写真解析とある程度一致した結果を示し、流れの三次元性に関する情報ももたらす。このことから、複断面河道合流部の設計において航空写真解析と準三次元数値シミュレーションの組み合わせによる検討が有効であると考えられる。

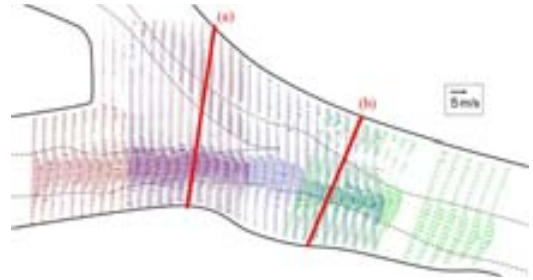


図-3 計測された水面流速ベクトル

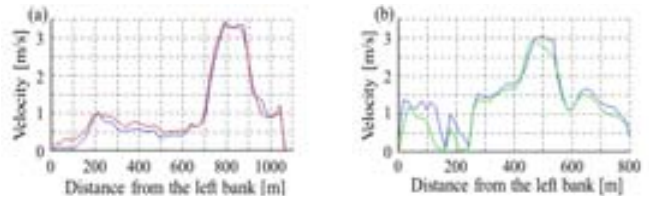


図-4 連続する写真組からの解析結果の比較

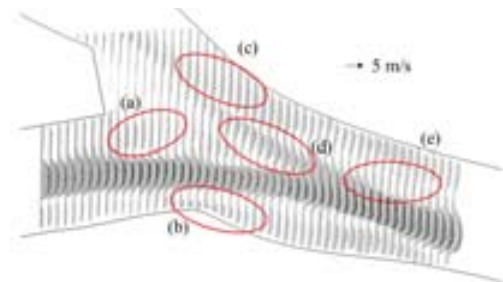


図-5 計算された水面流速ベクトル

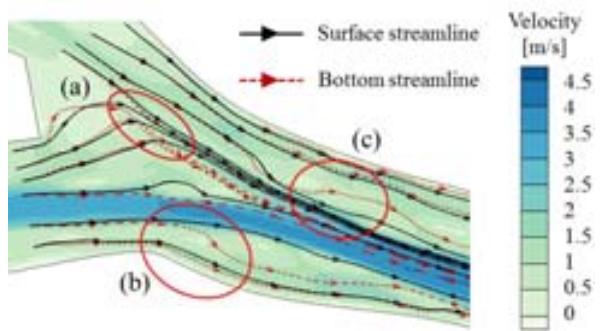


図-6 水面と底面の流線

謝辞：本研究は JSPS KAKENHI Grant Number24560618 の助成を受けている。

参考文献

- 1) 箕浦靖久ほか：16th IAHR-APD, 2008.
- 2) 新井奈々絵：東工大修士論文, 2014.