

東京工業大学 正会員 福岡捷二
埼玉大学 正会員 山坂昌成

1. 水衝部の定義と指標

水衝部とは、側岸に対して水が集中してぶつかる位置と解釈することができる。交互砂州が水面上に現れるほど流量が少ないときには、水衝点は明確であるが、交互砂州が水面下に没する場合にもその上の流れは弱い蛇行を呈し、側岸に水衝部が形成される。

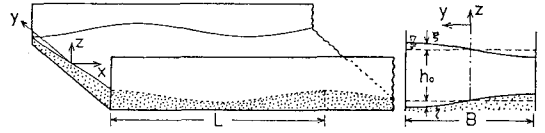


図-1 記号の定義

河岸が浸食性材料で構成されている場合には、水衝部の河岸浸食が盛んとなるので、河岸浸食の最も盛んな地点を水衝点と定義する。水衝位置が流路形態およびこれに支配される流路内の流れにどのように関連づけられるかをまず考える。側岸に作用する力には、圧力とせん断力がある。これらを直接的に規定する流路形態の指標には (1) 流路法線の曲率、(2) 河床の横断勾配 があげられる。つぎに、流路形態に支配される流れにもとづく水衝部の指標には (3) 側岸部の水位上昇 (4) 側岸付近の流速 (5) 側岸付近の流線の偏りがあある。ここに、交互砂州上の水深は場所的に異なるので (4) と (5) は異なる指標となる。(1), (2), (3) は側岸に作用する圧力に関する指標、(4) (5) はせん断力に関する指標である。

2. 直線流路における交互砂州に起因する水衝点の解析

上記の水衝部の指標値は、交互砂州上の流れを解析することによって得られる。用いる記号の定義を図-1 に示す。交互砂州の形状は実測値と対応する (1) 式を用いる。

$$\frac{\eta}{h_0} = a_1 \sin \frac{\pi y}{B} \cos \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) - a_2 \cos \frac{2\pi y}{B} \quad (1)$$

(1) 式の第2項は、縦断方向に一波長平均した河床の横断形状である。この河床形状に対する流れの非線形解析は、Perturbation 法により近似解まで着目²⁾によって求められよう。すなわち、変動流速、変動水位は、河床が平坦時の流速、水深を u_0, h_0 とすると、それぞれ

$$\begin{aligned} \frac{u'}{u_0} &= a_1 \sin \frac{\pi y}{B} \left\{ A_{111} \cos \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) + B_{111} \sin \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right\} + a_2 \cos \frac{2\pi y}{B} \left\{ u_{2202} + a_1^2 \left\{ u_{200} + A_{202} \cdot \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \cos 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) + B_{202} \sin 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right\} + \cos \frac{2\pi y}{B} \left\{ u_{2201} + A_{222} \cos 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) + B_{222} \sin 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right\} \right\} \\ \frac{v}{u_0} &= a_1 \cos \frac{\pi y}{B} \left\{ C_{111} \cos \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) + D_{111} \sin \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right\} + a_1^2 \sin \frac{2\pi y}{B} \left\{ v_{220} + C_{222} \cos 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right. \\ &\quad \left. + D_{222} \sin 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right\} \\ \frac{\xi}{h_0} &= a_1 \sin \frac{\pi y}{B} \left\{ E_{111} \cos \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) + F_{111} \sin \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right\} + a_1^2 \left\{ \xi_{200} + E_{202} \cos 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right. \\ &\quad \left. + F_{202} \sin 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) + \cos \frac{2\pi y}{B} \left\{ \xi_{220} + E_{222} \cos 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) + F_{222} \sin 2 \left(\frac{2\pi x}{L} - \phi \right) \right\} \right\} \end{aligned}$$

となる。各係数の添字は、最初のものが変動量のオーダーを示し、2番目が横断方向のモード、3番目が縦断方向のモードを示す。 u_{2201}, u_{2202} は4つの添字をもつが3番目までは上記と同じで4番目がこの流速分布

を生じさせる河床形状を表す。すなわち 1 は (1) 式の第一項の形状に起因する流れ、2 は第二項のほぼ二型形状に起因する流れであることを示す。これらの式により計算した流速分布形は交互砂州上の流れをよく表現する。図-2 は、左岸に矢端をもつ交互砂州の砂州先端における流速分布の実測値と計算値の比較を示す。4 つの指標にもとづく水衝点位置の計算結果を図3~5 に Δ 印で示す。計算条件は $Fr = 1.23$, $\zeta_0 = 0.02$, $\frac{2\pi h_0}{L} = 0.00292$, $\frac{\pi h_0}{B} = 0.117$, $a_1 = 0.99$, $a_2 = 0.41$ である。

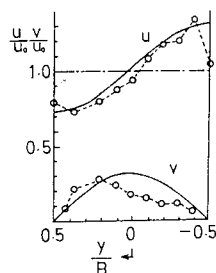


図-2 流速分布³⁾

図-3 は河床の縦・横断面勾配のベクトルを示す。側岸付近で横断面勾配最大となる位置は砂州先端から半波長について5割上流の対岸である。

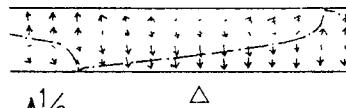


図-3 縦・横断面勾配ベクトル

図-4 は側岸水位の場地的変化を破線で示す。左岸・右岸位置より上側に描いた水位は平均水位より高いことを示す。側岸水位最大となる位置は砂州先端から半波長について約2/3割上流の対岸である。図-5 の流速ベクトル図では、最大流速点は砂州先端から半波長の1.5割上流の対岸となり、流線の側岸への最大偏倚は砂州先端から半波長の4割上流の対岸となっている。

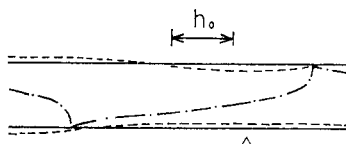


図-4 側岸水位の変化

以上 4 つの指標についてさらに考察する。まず側岸水位最大位置は必ずしも水衝点のよい指標とはなり得ない。なぜならば水深が大きく側岸に作用する圧力が大きくても水が停んでいる位置に水衝点とならないからである。つぎに側岸に作用するせん断力の指標としての最大流速と流線の側岸への偏倚を比較すると水衝部としては流速が大きく単位面積あたりのせん断力が大きい最大流速地点より側岸に作用する水深方向に積分したせん断力の総和が大きくなる流線の偏倚地点(側岸付近の単位幅流量最大位置)の方がふさわしい。実際の水衝部に側岸に作用する圧力とせん断力の両者を考慮して決定されるべきだが、図-5 に示すようにせん断力の総和が最大となる流線の最大偏倚位置付近では側岸水位がほぼ一定となっており(圧力がほぼ一定)、流線指標によって水衝部を予測できると思われる。

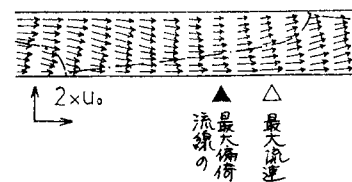


図-5 流速ベクトル

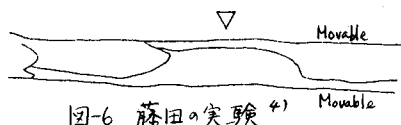


図-6 藤田の実験⁴⁾

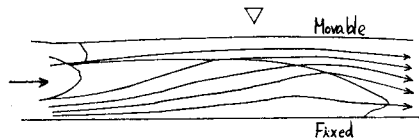


図-7 池田の実験⁵⁾

図6, 7 は側岸浸食を指標として定義した水衝点位置の検討結果を示す。側岸浸食と水衝部付近で始まっている、直線流路とみなせる段階に着目する。このとき水衝位置は砂州先端から半波長について4割上流の対岸に現れ、図-8 に示すように4つの指標のうち流線偏倚が最大となる位置との対応が最もよいといえる。

以上より河道計画上重要な水衝部の位置の予測法確立のための基礎を得たが、水衝部の発生量の定量化、河岸浸食量との関係、流量が変化するときの水衝位置の変化の仕方など検討すべき課題は多い。

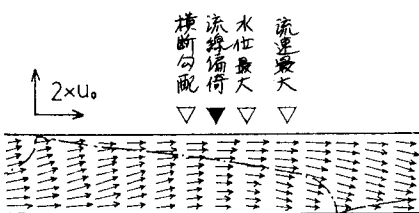


図-8 水衝部指標と実験の
水衝部との対応

1) 福岡・内島ら, 第27回水溝, 1983, 2) 山坂, 福岡ら, 第38回水溝, 1983年, 3) 井口ら, 第12回水溝 1968