

河川流量調査を目的とした非接触型流速計に対する風の影響

1. 既往の知見に基づく風の影響モデルの構築

独立行政法人 土木研究所	正会員	○深見 和彦
同 上	正会員	東 高徳
同 上	正会員	吉谷 純一
(財) 土木研究センター	フェロー	田村 正秀

1. はじめに

非接触型流速計は、河川に非接触で河川表面の流速計測が可能であり、無人でのリアルタイム計測が可能のため、出水の早いタイミングや洪水時の流速・流下物等の面から条件の厳しい我が国の洪水流においても、安全・確実に河川流量を把握できるセンサとして期待されている。しかし、非接触型流速計は流水の表面流速を計測していることから、台風襲来時のように強風が吹いたときに、表面流速計測値及びそれに基づく河川流量観測値に系統的な誤差が生じる可能性がある。しかし、その実際の影響量は十分明らかになっていない。

非接触型流速計による河川流量観測データに影響を及ぼすと考えられる風の定量的な効果に関する研究の一環として、既往の知見を基盤としながら、風の影響を予測・評価するための物理的メカニズムを整理するとともに、別報に報告する室内水路実験結果¹⁾も踏まえ、今後の課題について考察を行ったので、ここに報告する。

2. 非接触型流速計が計測している流速成分に関する仮説

上記共同研究が対象とした非接触型流速計は、ドップラー方式と画像処理方式の2つに大別される。ドップラー方式は、電波もしくは超音波を水面上から流水方向に斜めに照射し、水面から反射してきた電波・超音波の周波数のドップラー効果による変化量を測定することにより、水面の表面流速を計測するタイプである。一方、画像処理方式は、あらかじめ画面内の位置評定を行ったカメラで水面の画像を撮影し、その画像上に写っている波・紋様あるいはトレーサ粒子等の移動量を測定することによって水面の表面流速を計測するタイプである。これらの非接触型流速計計測値（＝表面流速値）に深さ方向の流速分布を考慮するための更正係数を乗じることにより深さ方向平均流速が求められ、複数測線における流速値による区分流量を合算することにより河川流量を評価できる。

仮に河川水表面が限りなく滑らかな平面（鏡面状態）だったとすると、ドップラー方式では電波（音波）照射方向に反射波が生じ得ず、画像処理方式では水表面の紋様が存在しない（浮遊物や色分布がない場合）ことから、いずれも表面流速を計測することは不可能である。逆に言えば、水表面に存在する波が、これらのセンサの直接の計測対象であると言える。水表面に存在する様々な凹凸のうち、非接触型流速計測値に流速成分を生み出す波は、何らかの乱流擾乱（ボイル等）や風等を契機として発生し、水粒子自体の動き（表面流速）の上に載る形で水表面を伝播する微小振幅波であり、不規則波であると考えられる。したがって、風がない場合は、ある領域内の平均流速場を計測している非接触型流速計の計測値においては、様々な周波数・方向を持った不規則波成分は打ち消し合って表面流速成分が卓越して検出されるものと期待できる。しかし、そこに風が吹いた場合は、一律に風方向の成分波が発生し、その波速が非接触型流速計の計測値に影響を及ぼすことが考えられる。また、その波が載っている表面流速自体にも、風によって生じる吹送流がさらに重畳し、鉛直方向の流速分布に影響を与えているものと予測される。

上記の仮説（図1）に基づき、風がない場合の川の自流による表面流速 U_0 、風による吹送流 U_1 、静水時の風波（微小振幅波）自体の波速 C_0 、及び非接触型流速計の流速計測値 C （＝固定座標系からみた微小振幅波

キーワード 洪水流量観測、非接触型流速計、吹送流、風波

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所水工研究グループ水理水文チーム TEL 0298-79-6779

の波速)の各項の相互関係について、海岸工学分野における既往の知見をもとに以下整理する。

3. 河川水面上の微小振幅波の波速に対する風の影響モデル

風による吹送流 U_0 については、海洋上を前提とした既往の実験観測成果によると、

$$U_1 = \alpha \cdot U_{10} \quad (U_{10}: \text{地上 10m 風速、} \alpha: 0.03 \sim 0.04) \quad (1)$$

とされている²⁾。台風時には $U_1=50\text{cm/s}$ 程度以上になり得る計算である。

一方、流れのないときの微小振幅波の波速 C_0 は、表面張力も考慮に入れて一般に以下の式で表現される。

$$C_0 = \sqrt{[(g/k + T k / \rho) \tanh(kd)]} \quad (2)$$

ここに、 g :重力加速度、 k :波数 $=2\pi/L$ (L :波長)、 T :表面張力、 ρ :水の密度、 d :水深であり、この微小振幅波が、(河川のように)深さ方向に流速が変化し、かつ吹送流の影響を受けている水流の表面に発生した場合の波速を求めるためには、本来は全体の運動を定常流からの小さな摂動の一つとした境界値問題を解く必要があるが、深さ方向流速分布がべき乗分布で近似できる場合には解析解が求められ、 $L < 1.5\text{m}$ 程度以下の場合、

$$C = C_0 + (U_0 + U_1) \quad (\text{上流} \rightarrow \text{下流方向を正とする}) \quad (3)$$

で近似できることが示されている³⁾。式3は、流水上の波速についても、吹送流の影響を受けた表面流の上に静水時の微小振幅波が単純に載っていると考えて独立項の和として求めることができることを意味する。

以上の式1～3は、非接触型流速計計測値に対して、理論的に風が与え得る主要な影響を全て取り込んだものであり、風の影響を評価するための基本的な出発点と位置づけることができる。

ただし、河川においては、特に風の吹送距離が風波の発達に対して十分でない可能性があるため、式3は有効と期待できるにせよ、式1, 2による推算値が有効かどうかについては、既往の知見のみから示すことは困難であり、現実の河川条件を念頭にいた実験観測データを収集し検証する必要がある。

4. 室内実験成果¹⁾を踏まえた今後の課題

別報¹⁾に報告された室内実験では、吹送流は、風速に対する割合が約1.6%と小さかったが常に生じていると推察される一方、微小振幅波による波速の影響の有無は明確ではなかった。加藤ら⁴⁾の等価吹送距離を媒介とした無次元数プロットによると、その室内実験条件は実河川条件と相似であったと想定されるが、実験ケースが十分でないため、一般的な結論を導くことは現段階では困難である。様々な実河川条件を想定した実験・観測について追加実施し、非接触型流速計に対する風速影響の補正手法を確立することが必要と考えられる。

<謝辞>本研究は、土木研究所、(財)土木研究センター、小糸工業(株)、(株)横河電子機器、(株)拓和、アジア航測(株)、(株)東京建設コンサルタントによる「非接触型流速計測法の開発に関する共同研究」の成果の一部である。当研究にあたっては共同研究検討会委員である岐阜大学大学院小林智尚助教授の技術協力を得た。

<参考文献>

1)東ら(2002) 河川流量調査を目的とした非接触型流速計に対する風の影響 2. 室内水路実験、土木学会第57回年講第II部門(投稿中)。 2)鶴谷ら(1983)吹送流に関する風洞実験—吹送流の発生に及ぼす反流の効果—、港湾技術研究所報告、vol.22, No.2, pp.127-173。 3)加藤ら(1970)流れの中の風波についての実験的研究(1)、港湾技術研究所報告、

vol.9, No.3, pp.59-87。 4)加藤ら(1976)流れの中の風波についての実験的研究(2)、港湾技術研究所報告、vol.15, No.4, pp.3-48。

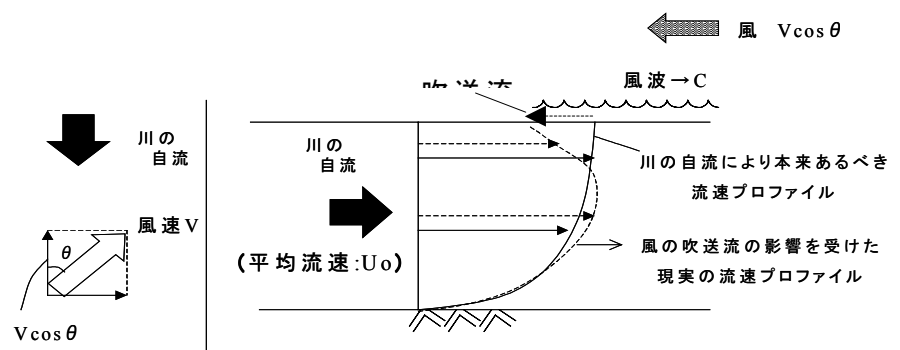


図1 流れに対する風の影響仮説の概念図(流れに対し逆風の場合。)