

2. 風の影響補正のための風向・風速の観測について

一般財団法人河川情報センター

本永良樹

【講演】

<スライド1>

河川情報センターの本永です。よろしくお願いします。今日は「風の影響補正のための風向・風速の観測について」というタイトルで話をさせていただきます。

<スライド2>

なぜこのようなことをしているかという前置きのような話で申し訳ありません。FRICSの会社の中に調査開発基金というものがあまして、そこで私は「非接触型流速計測法の現場実装の推進」というプロジェクトを立ち上げて、採用されたため、活動しているところです。このプロジェクトでは何をしたいかというと、私は仕事柄、非接触型流速計測法、画像処理型流速測定法（以降、画像と呼ぶ。）や電波流速計法（以降、電波と呼ぶ。）のデータの照査や、そのデータを見て、うまく取れていないと思われる場合には、観測環境の改善提案をする機会が多いです。それをやっていく中で、ここにいる皆さんの共通認識として、浮子を続けるのは困難であろうから、どんどん非接触に変えていこうと、全国的に号令が出ているような感じではありますが、実際に非接触のデータを取り扱う仕事をしていると、言っているわりには現場の実装があまり進んでいるようには見えな気がします。遅いな、という感じがします。

それはなぜかと考えた時に、一番下ですが、まだ現場が自信を持って導入できるほどには技術が確立されていないのではないかと感じました。よい言葉が思い浮かばなかったために技術と書きましたが、大それたものではありません。先ほどの井上さんの **velocity dip** といった難しい話ではなくて、本当に簡単な工夫が確立されていないために、なかなか進んでいないのではないかと感じています。ですから、そういったものをやっていきたいと思っています。

<スライド3>

具体的にはパッと思い付くものが3つくらいあります。非接触型流速計測法の手引きには、表面流速係数の使い方や風の影響補正のやり方など、いろいろなやり方が載っています。例えば表面流速係数は、いろいろ議論されていると思いますが、本当に0.85でいいのか。風の影響補正では左のほうに書いてある式の α を実際にどのくらい取ればいいのか、もっと言うと、結局、風向・風速計はどこに設置すればいいのだろうかといった話が、まだはっきりと根拠を示して確定していない気がします。水位を測る時も、浮子などでは、今は高水時の水位は現場へ行って水位表を目で見えて読んでいるわけですが、非接触に置き換えた場合は、非接触は無人ですからどうしたらいいかといった話も決まっていません。簡単と言うと失礼ですが、こういった理論的に難しくはないところで、まだモヤモヤとしているところがあり、皆さんがなかなか手を出せないのではないかと思います。そういったことを実際に現場で測りながら答えが出せないかということで、この「非接触型流速計測法の現場実装の推進」というプロジェクトを立ち上げました。

ちょうど立ち上げた時くらいに、手計先生に土木学会の小委員会と合同流観と一緒にやらないかと声を掛けていただいたので、ぜひお願いしますということで、本当にこの分野の超一流の皆さんがそろっている場ですので、私はあまり理論的なものが得意ではないものですから、取ったデータなどを皆さんにも見ていただいてアドバイスをもらえるとうれしいと思い、参加させていただいています。よろしくお願いします。

<スライド 4>

その中で今日お話しするのは、先ほども言いましたが、結局、風向・風速計をどこに設置すればいいのかということのを少しやってみました。非接触で表面の流速を測るため、風の影響を補正しなければいけないので風向・風速計を設置しますが、『非接触型流速計測法の手引き（案）』には、設置する場所として、「機器を設置している近傍に風向・風速計を設置することを標準とする」と書いてあります。その結果、画像の場合は固定式のカメラが堤防の天端、川の横から測るような形でカメラが取り付けられていますが、そのカメラのすぐ横に風向・風速計が取り付けられています。本省主催の次世代流量観測検討会に全国の画像解析データが集まってきて、そこで現場の写真を見ますが、画像に関してはほぼ全てこのような感じです。堤防の天端にカメラと一緒に設置されているようなものが多いです。

<スライド 5>

これは手引きにそう書いてあるのでこれでいいのですが、単純な直観的なイメージでいうと、平面図で見た時に川の端よりも真ん中のほうが風が強いのではないかというのがあります。

あとは鉛直方向でも対数分布則の話があります。当然、下のほうと上のほうで風速は違うはずですが、川の中の風速といっても、場所によって違っていて、補正する時にどれを使えばいいのかが、実はまだよく分かっていないのではないかと思います。非接触の手引きにも、堤防に風向・風速計をしてもいいという根拠については特に示していなかったような気がするので、具体的に川の中の 3 次元的な風の状況を調べてみようと思い、先ほど井上さんから根小屋橋の現場の状況をご紹介いただきましたが、3 台の風向・風速計をやってみました。

<スライド 6>

一つは橋の上に付ける風向・風速計です。上から見た図で、橋の上がここです。そこから少し離れたところ、実際のカメラに取り付けられている風速計をイメージしていますが、堤防の天端に取り付けました。もう一つは ADCP で定点観測をしています。そのリバーボートの上に、このように風向・風速計を取り付けて、同じ測線上で、同じ地点で上（橋上）と下（水面上）で風速を測り、どのような差が生じているかを見てみました。高さの風速の違いをやっている研究は幾つかありますが、川の中ではなく、高いところは橋上で測るのは同じですが、低いところは高水敷上で風速を測っているものが多かったのもので、このようなものをやったらどうかと思ってやってみました。それで 3 つの風向・風速を比較

して、どちらで測るのがいいのだろうかというのをやっています。

<スライド 7><スライド 8>

これはそれぞれで計測した風速の、河川の流下方向成分の 1 秒データの時系列図です。去年の 8 月 26～27 日のものです。オレンジが橋の上で測った風速、紺色が堤防天端で測った風速、緑が船の上で測った風速です。横軸は全部で 3 時間です。縦軸は、正の方向（上向き）が河川の流下方向、負の方向（下向き）が逆流向きの方向です。まず橋の上（オレンジ）と堤防（紺）の風速を比べた場合に、微妙に違っているところがありますが、おおむね橋の上と堤防の上の風速は、傾向も値も大体一致しています。一方で、水面付近（緑）についてみると、風が小さい時に、こちら（8/26 13:30 頃）やこちら（8/26 17:30 頃）のように、高いところ（橋上、堤防天端上）では上流に向く風が吹いているけれども、低いところ（水面の付近）では、逆に下流に向かう順流方向の風速、要は上と下で風速・風向が違う構造になっているのが見られました。それを全比較して 3 時間ごとに見ていますが、風速が大きくなると 3 つとも一致してくる傾向があるような気がします。

<スライド 9><スライド 10>

今度は今年 4 月の時系列図ですが、この時は昨年よりも風速が大きく、比較すると橋上の風速の振動が大きいけれども、挙動としては堤防上の風速と似たような挙動を示すのではないかと。この時に水面上の風速も大体同じくらいですが、一部では水面付近の風速のほうが橋上や堤防上よりも速くなっているところもあり、一概に対数分布則のような形になっていないというのがありました。

<スライド 11>～<スライド 18>

ここから風向と風速の時系列の比較図です。上図が流下方向風速の時系列図で、下図は風向の時系列図です。上図、下図の横軸のタイムスケールは合わせています。風向は、河川の上流向きを 0 度として、そこから時計回りに何度という表し方をしています。つまり、0 度と 360 度が河川流れの順流向き、180 度が逆流です。なぜこのようなことをやっているかという、先ほど見た、高いところと低いところで風向が逆になっている（例えば 8/26 13:30 頃）のは、実は川の横断方向に風が吹いているのだけれども、高いところと低いところで微妙に方向が違う、つまり、高いところでは河川横断方向に対してほんの少し風向が上流側にずれていた、低いところでは逆に少しだけ風向が下流側にずれていた、高いところと低いところで逆方向の風速になっていたのではないか、と思いやってみました。しかしながら実際に見てみると、高いところと低いところで風向が違うところは、実際にそれぞれ上流側、逆流側という反対方向に風が吹いていることがわかりました。

同じような感じで、風の上流向き、下流向きについては同じでも高いところと低いところで同じ（例えば 4/14 13:30 頃）で、低いところが風速があるところも、微妙な角度の違いで低いところが高いところよりも少し速くなったりしているのではないかと思います。この時は風向は全て同じで、対数分布則にはなっていないらしいということが分かりました。

<スライド 19>

1 秒データの時系列では分かりにくかったので、1 分ごとの平均値を比較してみました。左図が橋上の風速と堤防上の風速の比較、右図が橋上の風速と船上の風速の比較です。堤防と橋上は、平均風速が最大でも平均 4m くらいで、大したことはありませんが、何となく 1 対 1 で対応しているのではないかと思います。船上の風速は、根小屋橋の特徴かもしれませんが、何となく船上のほうが速いような傾向が出て、理由は分かりませんが、そういったデータが出ていました。

<スライド 20>

今ので対数分布則になっていないことは分かりましたが、このような研究をされている方は皆さん必ず実際に対数分布則で水面付近の風速を算出されているので、私も対数分布則で計算した水面上の風速と観測値が合っているかを調べてみたのがこれです。

<スライド 21>

横軸が船上で測った観測値で、縦軸が同じ高さにおける対数分布則による算出値です。合っていないといえば合っていないかもしれませんが、傾向がないわけでもありません。対数分布則にはなっていませんが、わりと合っているのではないかという、ここはかなりぼんやりとした話です。何かというと、要は、今考えているところとしては、橋上、堤防天端、水面のどちらで測ったらよいかを考えた時に、どこでも大して差はないのではないかと、見ていて思いました。

<スライド 22>

これは表面流速の ΔU (ADCP データから推定した表面流速値と電波式流速計で計測した表面流速の差) と、橋上で測った風速と船上で測った風速を比べてみて、どちらが相関が高いかを調べてみた図です。 ΔU が大きくマイナスなる、つまり電波式流速計による流速値が ADCP よりも異様に大きくなる場所があり、この理由はわからないのですが、これは不自然に感じます。ただ、こういった不自然なところを除くと、大体似たような傾向を示していると思います。ですから、橋の上で測っても、船の上で測っても、傾向が違い、得られる値も違いますが、それでも 1 分単位のボンヤリとした平均的な感じで見ると、どちらでも行けているのではないかという感じがしました。

<スライド 23>

結論で、ただ単に風のデータを比較して直感的に話を出しているだけで申し訳ありませんが、根小屋橋は風の吹き方が空間的に複雑であることは分かりました。このような研究をされている群馬大学の鶴崎先生や、前にパシフィックコンサルタンツにいた裴さんのご発表された論文を見ていると、河川で風を観測した結果、対数分布則になっていたというご報告がほとんどですが、そうでないところも実際にありました。

あとは、橋上と堤防天端の風速計は、わりと簡単な相関式が成立しているようです。多分、川が蛇行しているなどの影響があると思いますが、根小屋橋では風速の鉛直分布は対数則分布に一致していません。 ΔU 、風の影響と風速の相関は、橋の上で測った風速でも、

船上の風速でも、相関関係に大きな差異はありません。

以上のことから考えると、このデータから示すところでは、3つのどこで測っても、風の影響を補正するというのでは大して変わらないのではないかと思います。

しかし、一つは、平均的に見ると堤防と橋の上はそこまで差はありませんでしたが、1秒単位の時系列で見ると、風が大きい時に橋の上のほうが風速の振動幅が大きかったので、そういった意味では橋の上に設置するのがよいのではないかと思います。

もう一つ、橋の上で測るのか、水面で測るのかという話では、もちろん水面で測るのは出水の時には事実上不可能なので論外ではありますが、仮にできたとしても、そこまで差はないのではないかと思います。堤防の風速計も、橋の上で測るのが望ましいと申し上げましたが、先ほど見たように、非常に簡単な相関式が成り立つのではないかと思います。今、『非接触型流速計測法の手引き（案）』に書いてある、機器と一緒に設置する、そして結果としてはカメラと同じ位置に風向・風速計が設置されていることは、一定期間、橋の上でも並行観測して関係を調べることはやったほうが良いと思いますが、妥当なのではないかというのが今回やってみて感じたところです。先ほども言いましたとおり、平均の風速が最大 4m くらいなので、もっと速い時のデータを見てみたいとは思いますが、今のところ何となくこのような感じです。以上です。

風の影響補正のための風向・風速の観測について

2025年河川観測高度化シンポジウム

2025年6月21日

中央大学後楽園キャンパス5号館3階5333教室

本永良樹
一般財団法人河川情報センター
河川情報研究所 研究第2部
上席主任研究員

FRICS調査開発基金プロジェクト 非接触型流速計測法の現場実装の推進

従来通り、浮子測法を継続するのは困難だろうという共通認識



非接触型流速計測法への移行に向けての取り組みが進められている。



でも実際には非接触型流速計測法の現場への実装が進んでいるようには見えない。

「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」において、令和7年度までに103観測所で非接触へ切り替えることになっている。



次世代流量観測検討会で審議された観測所数

令和5年度 8観測所 (うち、非接触への移行が承認されたのは6観測所)

令和6年度 10観測所 (うち、非接触への移行が承認されたのは6観測所)

⇒令和5年度に非接触への移行が承認された観測所のうち、実際に浮子測法から完全に切り替えたのは0。



現場が自信をもって導入できるほどには未だ技術が確立されていないのでは？

FRICS調査開発基金プロジェクト 非接触型流速計測法の現場実装の推進

現場が自信をもって導入できるほどには未だ技術が確立されていないのでは？

例えば・・・

事項(例)	「非接触型流速計測法の手引き(案)」 内容	考えること
適切な表面流速係数 断面平均流速 ＝河川表面係数 ×表面流速係数	各観測所における適切な値を設定することが望ましいが、やむを得ない場合は暫定的に0.85としてよい。 過去に検討された表面流速係数の事例(0.75～0.95)が紹介されている。	本当に0.85でいいのだろうか？
風の影響補正 $U=U(\text{観測})-U(\text{風速})\times\alpha$	観測機器は現場(橋梁上または堤防上)に設置する。 過去に検討された風の影響補正方法の事例(主に補正係数 α)が紹介されている。	結局、どこに設置すればいいのだろうか？ 補正係数はどうすればいいのだろうか？
水位	流量算出断面に水位計や水位標を設置する。	非接触流速計測法の場合、現場に人はいないがどうするのか？



実際の観測データを基に議論したい。

2

5.3 風向風速観測の位置

<標準>

風が水表面流速に及ぼす影響を評価するための観測を行う風向風速計の設置位置は以下のよう
に設定する。ただし、必要に応じて、観測地点の風の空間分布把握のための観測を実施し、
流速計測区間の水表面に作用する風を評価可能な地点を検討する。

■固定式流速計測機器を用いる場合

機器を設置している近傍に風向・風速計を設置することを標準とする。

■可搬式流速計測機器を用いる場合

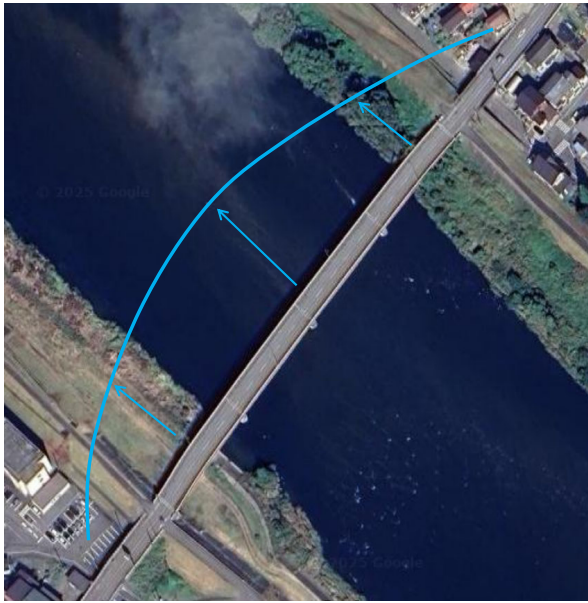
観測時に観測を行う橋梁や堤防上で風向・風速計を用いて観測を行う。ただし、歩道等が
なく観測の安全面に課題がある、あるいは車両等の通行の影響を受ける場合はこの限りでは
ない。

風向・風速(あるいは風速のみ)を計測する横断位置は、流況の主流部と同じ位置が望ま
しい。安全面等で観測に課題がある場合は、この限りではない。

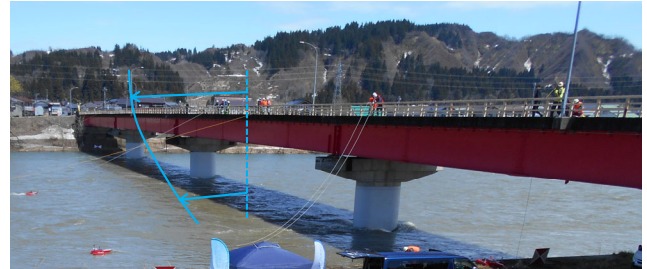


堤防天端上に取り付けられたカメラの近くに設置されていることが多い。

3

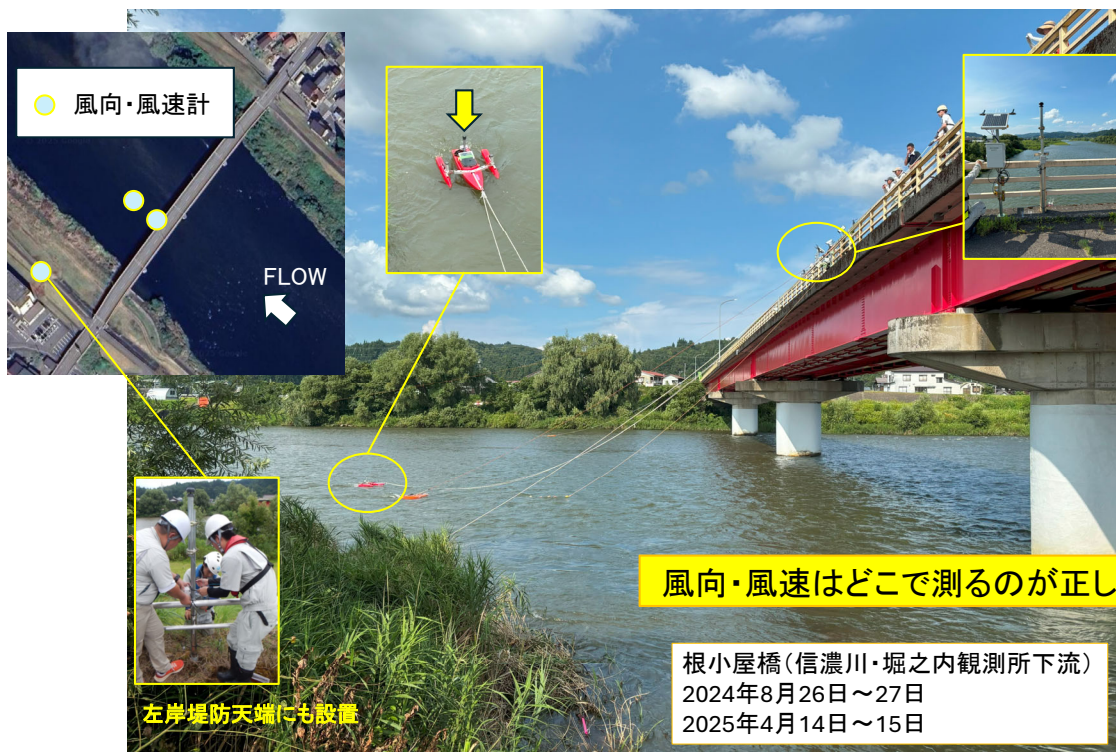


河道の中央付近の方が風が強いイメージはないですか？

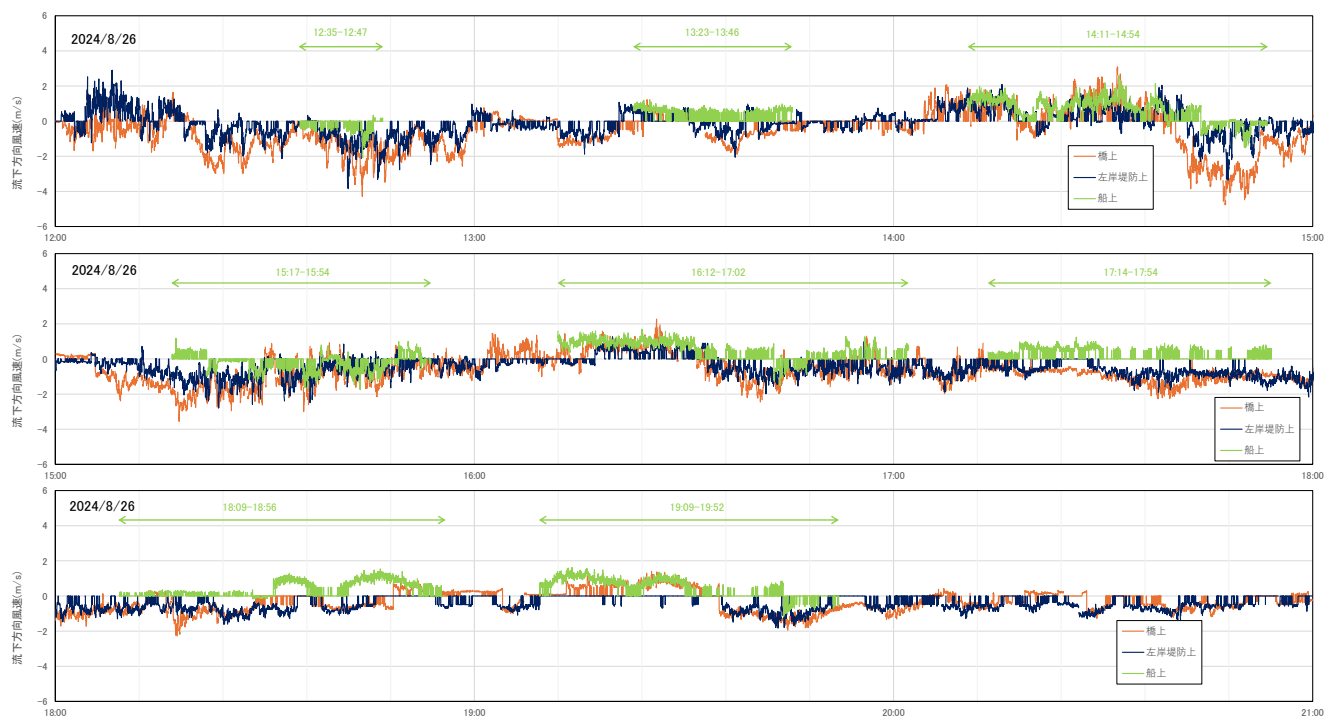


同じ地点でも高さによって風速が違うイメージはないですか？

4

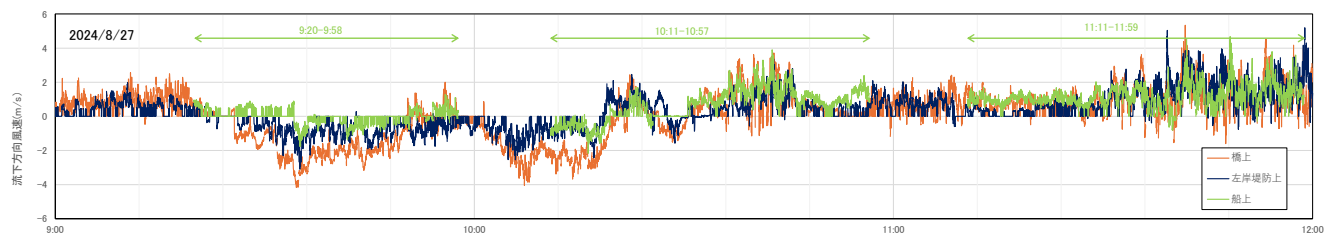


5



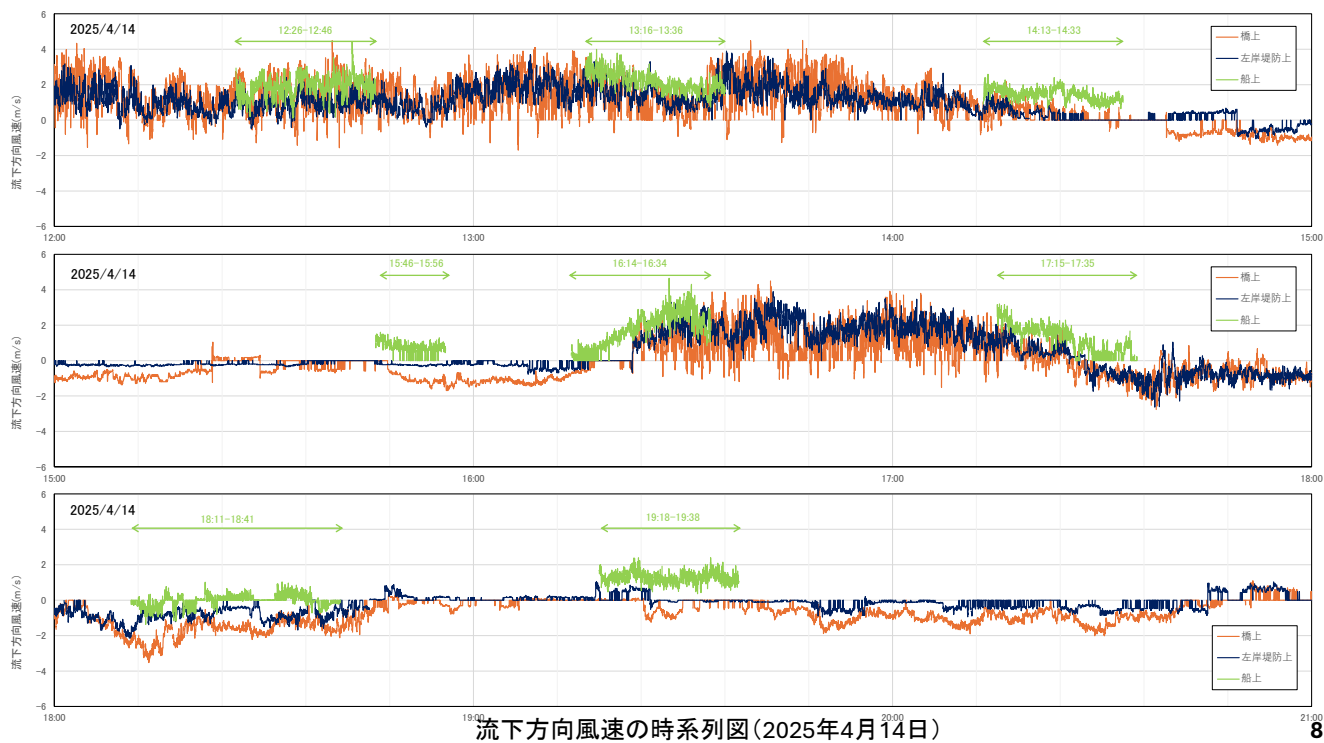
流下方向風速の時系列図(2024年8月26日)

6

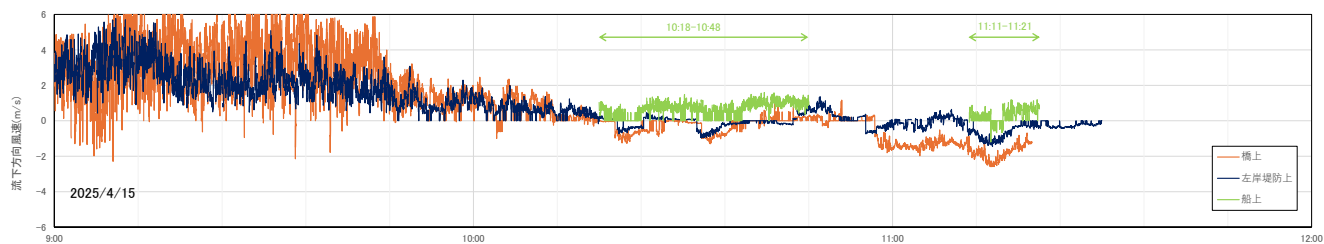


流下方向風速の時系列図(2024年8月27日)

7



8



9



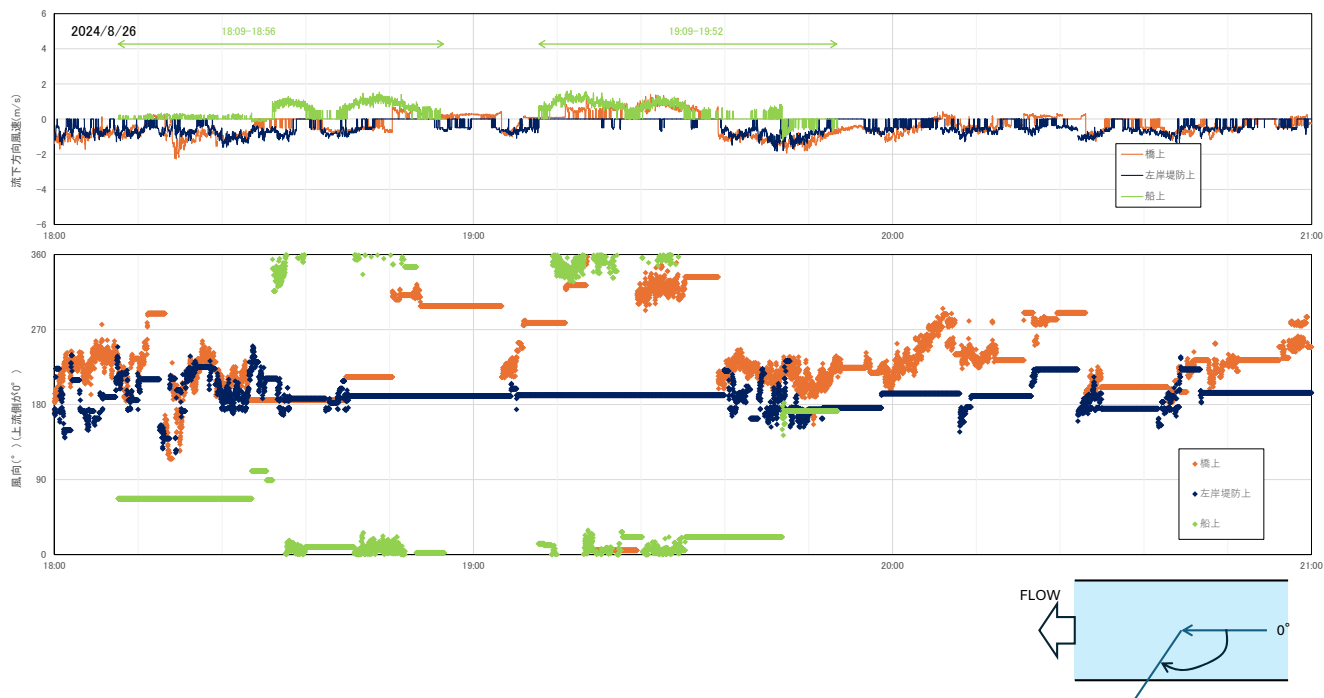
流下方向風速および風向の時系列図(2024年8月26日 12:00～15:00)

10



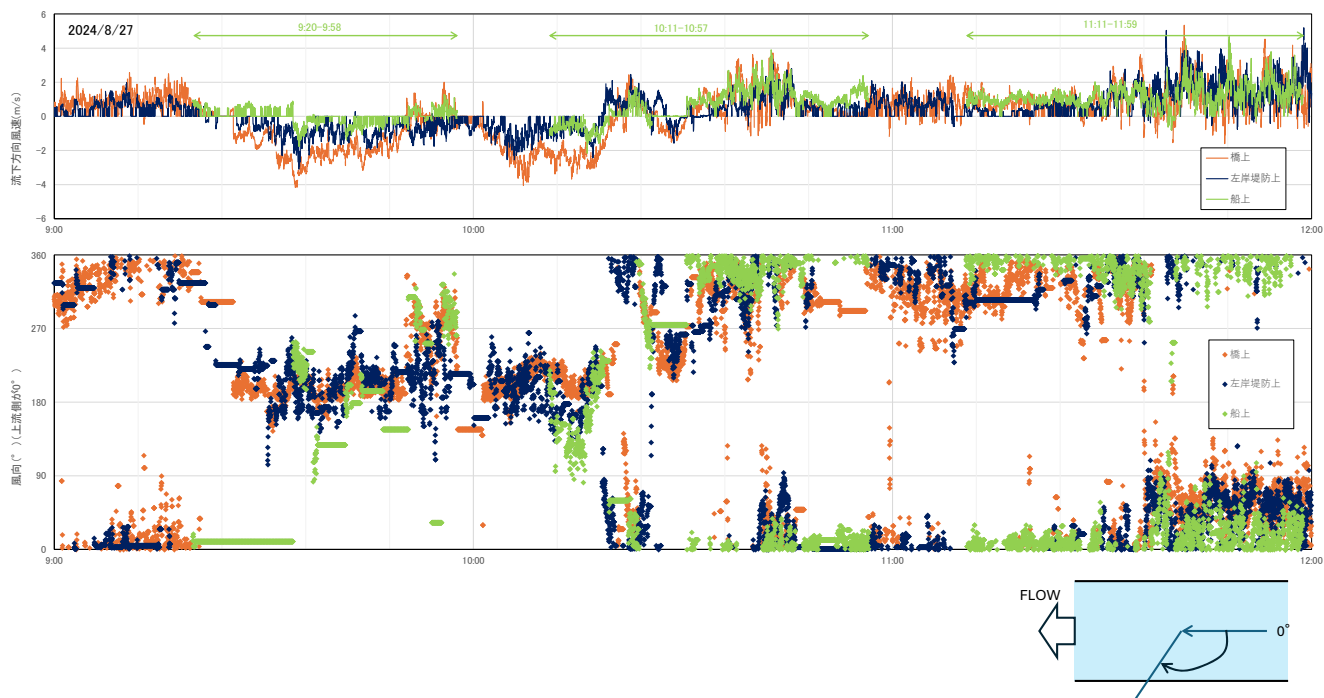
流下方向風速および風向の時系列図(2024年8月26日 15:00～18:00)

11



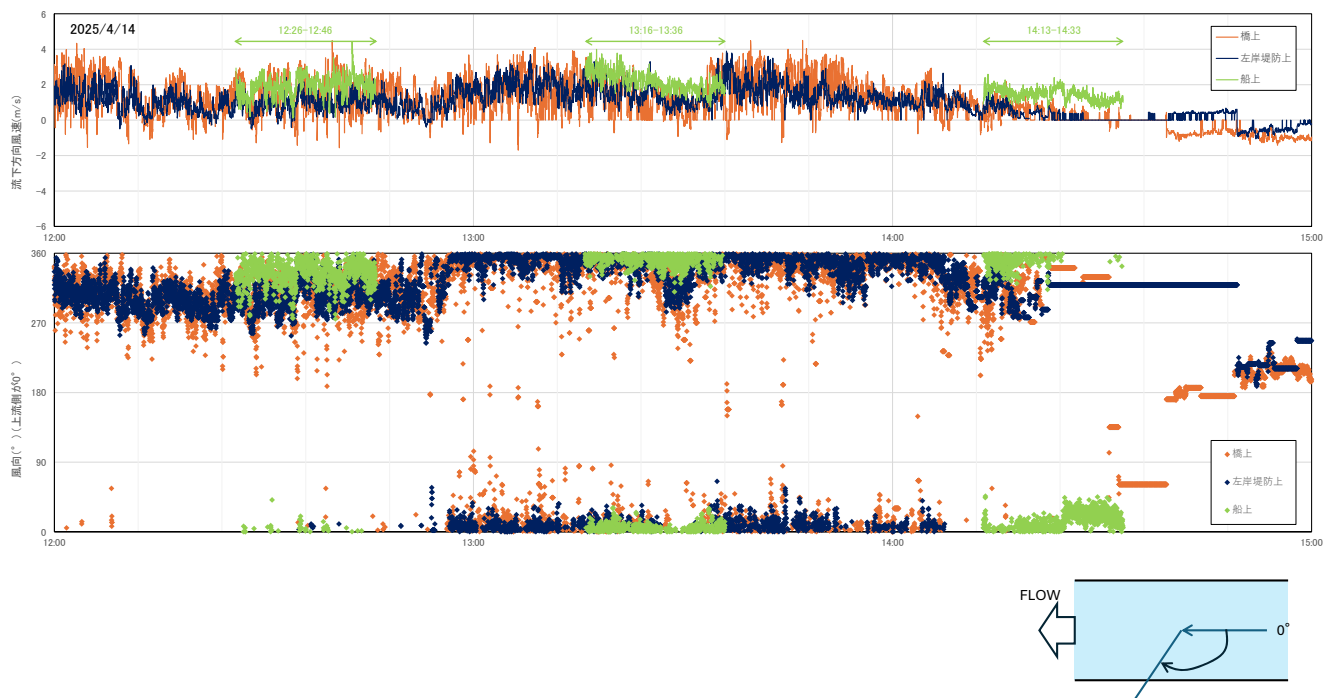
流下方向風速および風向の時系列図(2024年8月26日 18:00~21:00)

12



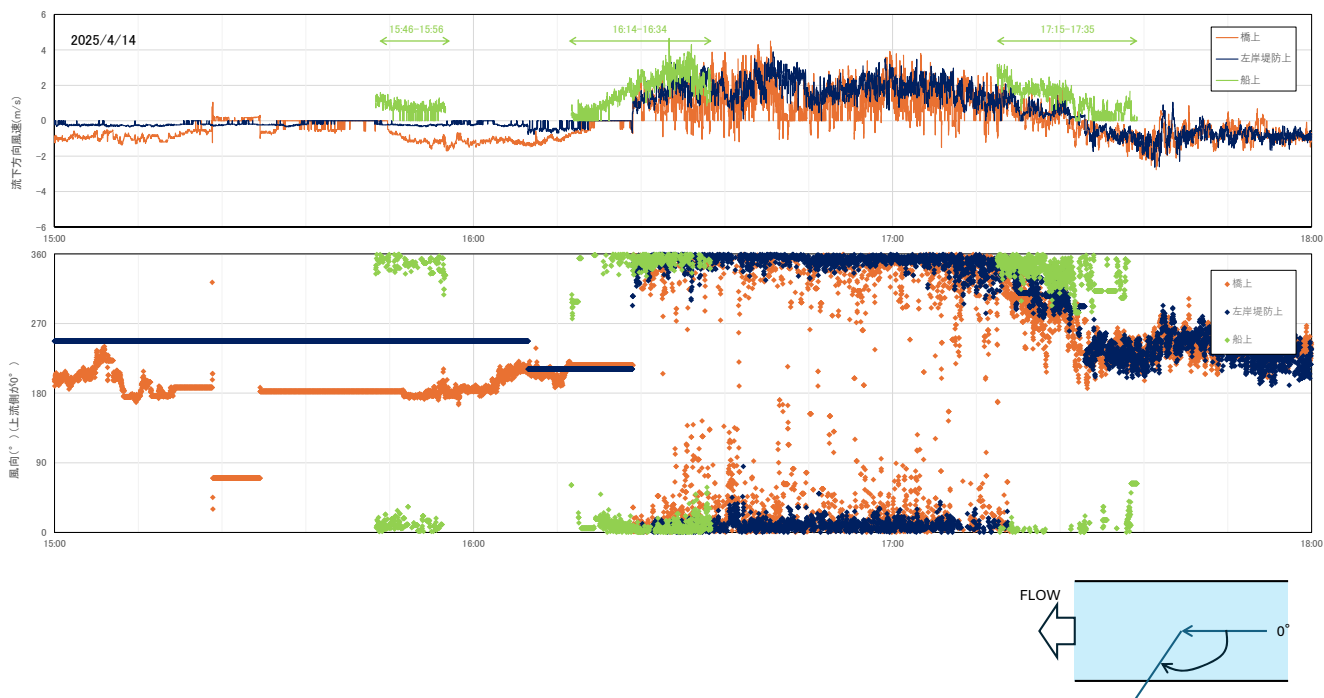
流下方向風速および風向の時系列図(2024年8月27日 9:00~12:00)

13



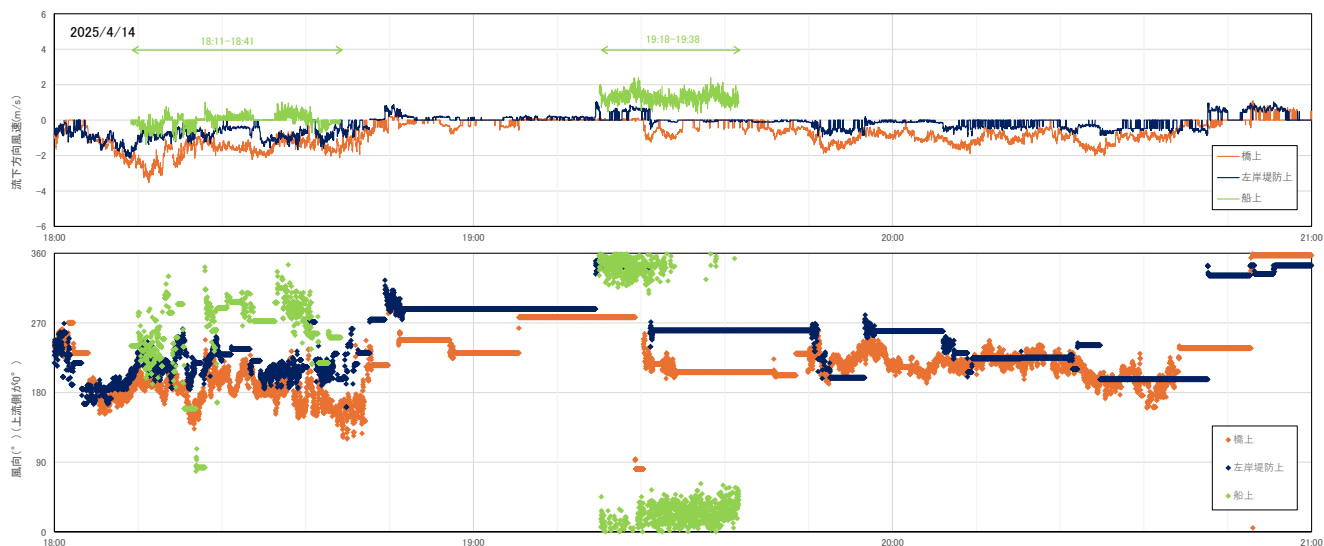
流下方向風速および風向の時系列図 (2025年4月14日 12:00～15:00)

14



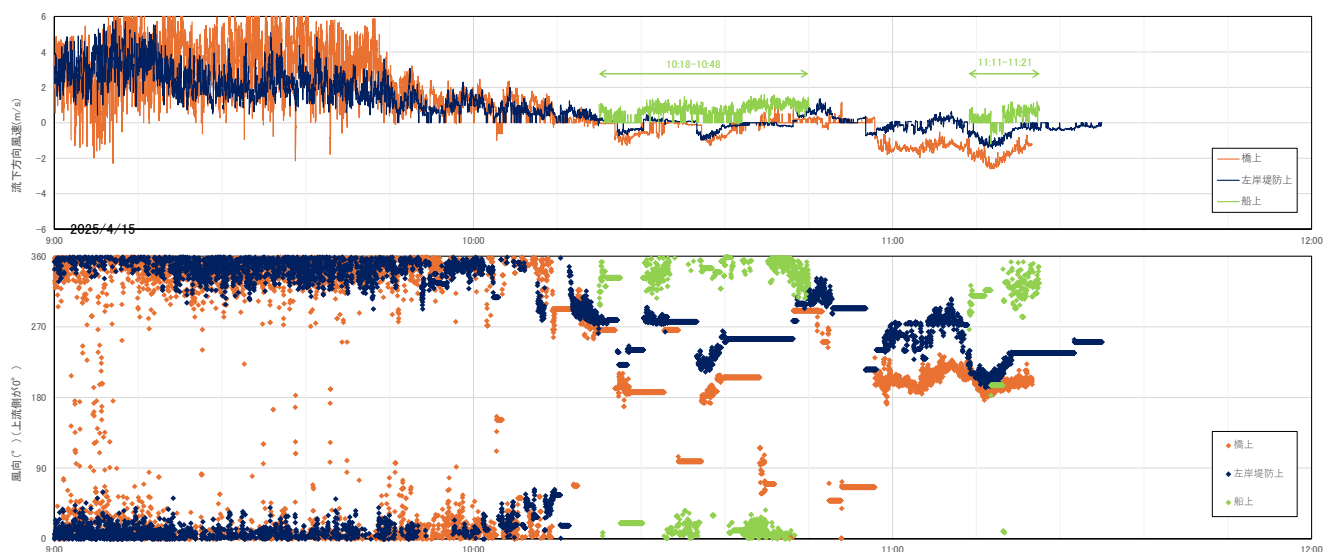
流下方向風速および風向の時系列図 (2025年4月14日 15:00～18:00)

15



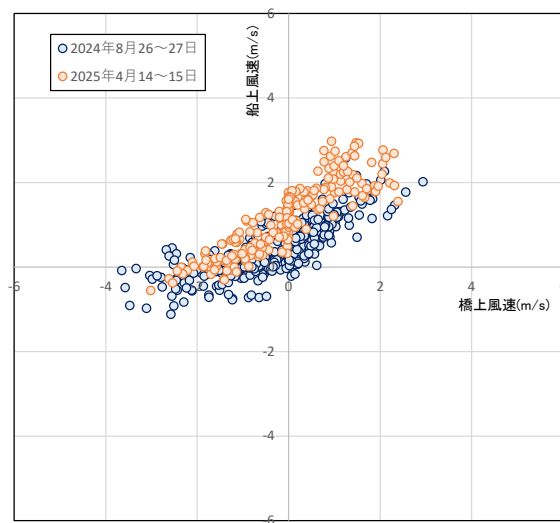
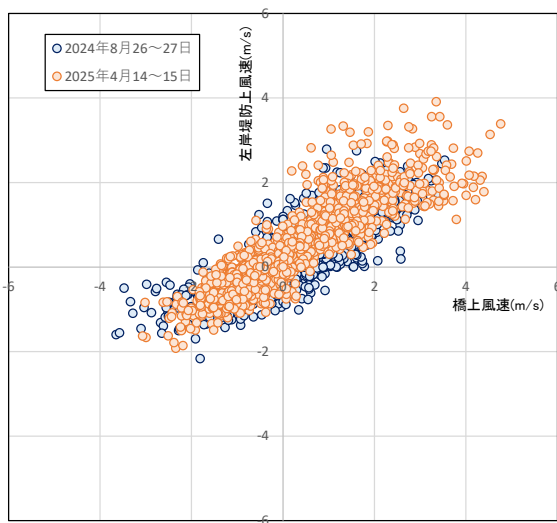
流下方向風速および風向の時系列図(2025年4月14日 18:00~21:00)

16



流下方向風速および風向の時系列図(2025年4月15日 9:00~12:00)

17



流下方向風速(1分平均)の相関図

18

風速の鉛直分布は対数分布になっているか？

$$\frac{U}{u_*} = \frac{2.3026}{\kappa} \log \frac{z}{z_0}$$

$$u_* = \frac{0.4U_a}{\log z_a/z_0}$$

z_0 : 水面粗度(m), ここでは0.065 u_* : 摩擦速度(m/s) κ : カルマン定数(=0.4)

U_a : 橋上風速観測値(m/s)

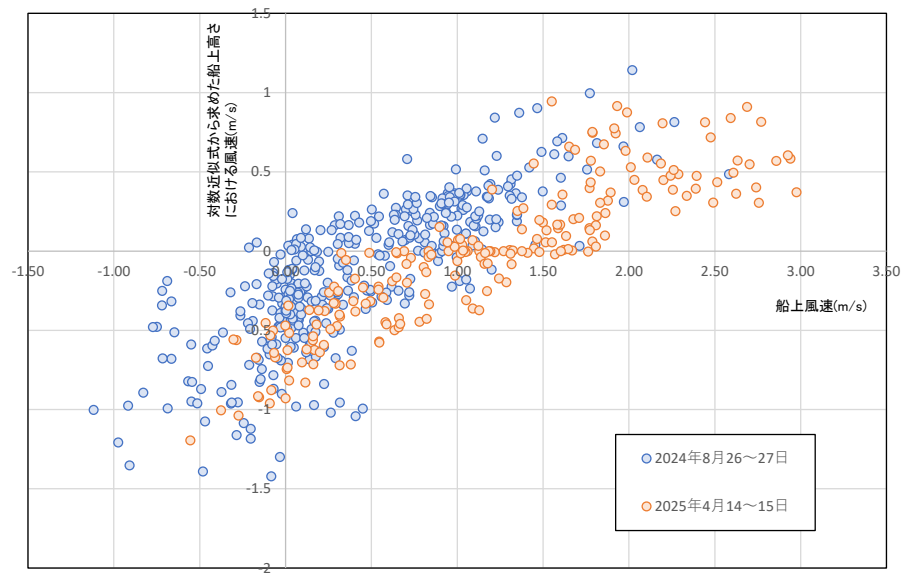
z_a : 風向風速計の水面からの高さ

※観測期間においては、11.5～12.2m。

U : 風速値(m/s)

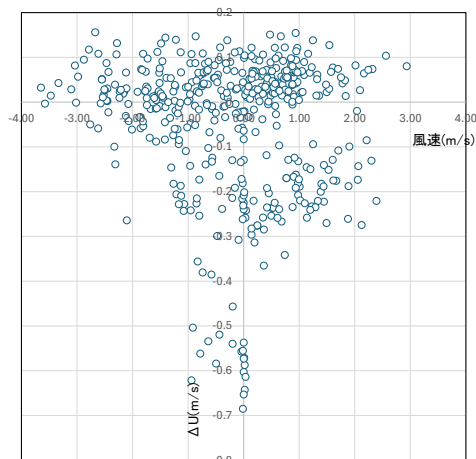
z : 水面からの高さ(m)

19

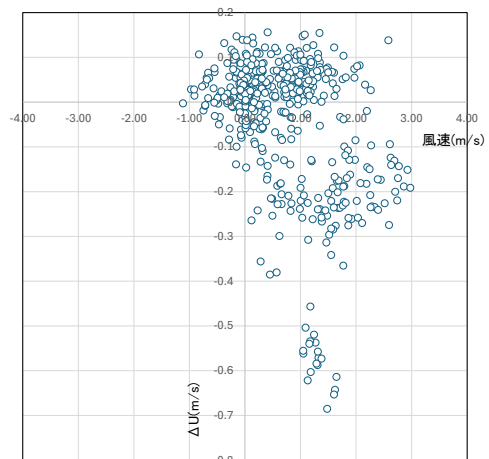


船上高さ(z=0.5m)における風速観測値と対数近似式による風速算出値

20



橋上(z=11.5~12.2m)



船上(z=0.5m)

ΔUと風速(橋上、船上)の相関

ΔU=表層流速(ADCPによる推定値)－電波流速計値

第1層セルの計測値を表層流速としている。

◆ 電波流速計データは中央大学より提供していただきました。

21

まとめ

- 根小屋橋では、風の吹き方が空間的に複雑である。
- 橋上風速と堤防天端上風速の間には簡単な相関式が成立する。
- 根小屋橋では風速の鉛直分布は対数則分布に一致していない。
(蛇行の影響など。)
- 風の影響(ΔU)と風速の相関は、橋上風速でも船上風速でも大きな差異はない。
- 風向・風速計は橋上に設置するのが望ましい。
- 堤防天端上(カメラと同じ位置)に設置することも可能。ただし、一定期間、橋上でも並行して風向・風速計を設置する必要がある。

★確信するためには、もっと風速のある時の観測データが必要。

【質疑・応答】

【岐阜大学 吉村】私も風のことは見ているので、幾つかコメントというか質問をさせてください。

こういった風の影響の分布を見て計測するのは非常に大事で、貴重なデータが得られていると思っていますが、一方で、分析としては結構いい加減ではないかと思って見えます。風の影響を入れて補正しなければいけないと手引きではなっていて、それを入れると、結局は浮子との整合性に合うか合わないかという微妙なところがずれていく可能性もある中で、きっちりと現象を見た上で風の補正の必要性を議論していくべきだと思っています。それに対して出ている結果は、その場所で観測された結果としてはそうなのかもしれませんが、結局わりと多くは皆さん最後にお茶を濁して結論をきっちりと saying していません。そうすると、最初の目的に挙げた現場の実装があまり進まないという解決になっていない気がします。その辺りをどのように考えているのか、今後どのようにしていくべきと考えているのかを、少しご意見を伺いたいというところです。

【河川情報センター 本永】明確な方向性ははっきりしていないのが正直なところではありますが、一方では、理論的に絶対に確かに言えることを追求する方向性と、もう一つは、とにかく現場でそれらしい値が得られれば、もうそれでいいのではないかということです。要は、突き詰めていくと、結局先ほど言ったようになかなか現場で使いづらいことが出てくるかもしれません。

【岐阜大学 吉村】これをどのように現場で使おうと考えられているのでしょうか。

【河川情報センター 本永】今のところどちらでもいいというか。

【岐阜大学 吉村】それは皆を惑わすので、やはりどちらでもいいというのは無責任です。

【河川情報センター 本永】この結果をもとに僕が言うとしたら、今の手引きに載っている堤防の上で測るのがいいですと、それで行きましょうという言い方になると思います。本当にそれが理論的にいいのかということは、並行してやっていくしかないと思います。

【岐阜大学 吉村】それであれば逃げです。お茶を濁しているようにしか聞こえません。理論的に正しいかどうか分からないということを書いていて、曖昧にしています。曖昧性をいかになくしていくかは現場の人はできないので、学や FRICS さんなどがもう少し詰めてやっていく必要があるのではないのでしょうか。

【河川情報センター 本永】そこは十分感じていますので、ぜひ先生のお知恵も拝借したいと思っています。よろしくお願いします。

【東京理科大学 柏田】私も風はとても大事だと思っていながら何もできていない中で、本永さんがある意味で無骨というか、体当たりで観測をされたのは、非常に素晴らしいと思っています。

ご説明の中で、橋の上で測るというのが、私自身もやっていますし、広く一般に特に電波式流速計を使う時に行うやり方だと思いますが、それを一部、推奨されている書き方が見受けられて、僕はそこは全く同意できないところが実はあります。8ページを出していただきたいのですが、これを見た時に、単純に流下方向成分だけを見て議論するのはどうかと私自身も思います。オレンジが橋上でしょうか。

マイナスの成分になっているのは、下流から上流に向かって風が吹いているのでしょうか。順風がプラスで、逆風のほうは比較的安定していて、順風のほうがとても振動するように私には見えています。今回は橋の下流側に置いていたと思いますが、その状況で風が上流・下流方向に吹いた時に、下流から吹いてくる風はそれなりに多分きちんと測れますが、上流から吹いてきた風は、橋のところで風が剥離した渦の中に入っているので、多分まともに計測ができないのだらうと思っています。

その結果が如実に表れているのではないかと、これを拝見していました。そうであれば、どこで測ればいいのかという話になってしまいますが、堤防の上であれば大丈夫かと言われると、そのようなこともないのですが、橋の上を推奨するというのは、この結果だけを見ても少し違うのではないかと私は思いました。ご意見があれば教えていただきたいです。

【河川情報センター 本永】この時は、風向・風速計を付けたのが、大体私の身長よりも少し高いところで、橋の欄干がこのくらいだったので、それくらいの高さでもやはりそのような影響が出ます。

【東京理科大学 柏田】いわゆる橋の桁がこのようにあって、こちらから吹いているところにこうあれば多分問題はありませんが、上流から吹いてきた風に対して、ここでいわゆる剥離渦が、剥離すると思いますが、多分 2m くらいであれば剥離している中に入ってしまうと思います。道路の人などがよくそのようなシミュレーションをしていると思いますが、それを見ていると、平気で車の高さを超えて、剥離したところで車がよろけてしまうことはよくあると思います。そのような影響が橋の上ではどうしても出てしまうのが気になるところです。

【河川情報センター 本永】ますます難しくなってきた、どのようにしたらいいかと思ったところです。

【土木研究所 萬矢】 本永さんを守るわけではありませんが、行政的なプラクティカルのコメントからすると、これは風を測らなければいけないという状況がルールになっている以上は測るわけですが、実際に何かということが皆さんほとんど分かっていなくて、大体どのようなところがいいのかさえも分かっていません。ですから、このような、柏田さんの言葉を借りると体当たりの研究を取っていただいたのは、大変ありがたいということが、まず第一の私のコメントです。

それから、全く回答にはなっていませんが、北海道開発局は「風補正を入れたらプラス20%の流量になってしまいました」といった現状です。そうすると、今、流量値、浮子から新型に移行するといった時に、20%が風補正を入ただけで変わってしまったというと、理論がボロボロになってしまいます。そのくらい重要なことです。皆さんも重要だと分かっていると思いますが、これはものすごく重要な課題の一つかと思っているので、今後も皆さんご議論続けていただけると大変ありがたいと思います。

【東京理科大学 柏田】 この風をどのように補正するかは、とても大事だと僕も思っています。ただやはり「こうすればいい」「こうやって測って、こうやって補正すればいい」という、その両方の答えを全て出すことはとても難しいです。難しいと言って僕たちが終えてしまっははいけませんが、一つはどこから信頼性を失うのかというところを見定めるのが、その前にあるのではないかと考えています。「これ以上風が吹いたら使っははいけません」と言うほうが、まずはスタート地点としてはいいのではないかと考えています。その数をどこでどのように測るのかの議論は当然必要で、どのように補正するかは大事ですが、その一歩手前の研究がもしかしたらあるのかもしれない。多分そのように言うと逃げだという話にしまうかもしれませんが、現場を考えるとそのようなこともあるのではないかと考えています。

