

洪水時における H-ADCP 有効計測範囲決定法の提案

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科
埼玉県杉戸県土整備事務所

学生員 ○岩本演崇
正会員 二瓶泰雄
非会員 谷古宇洋介

1. はじめに

ゲリラ豪雨に代表される降雨形態の変化や水利用の高度化を踏まえると、高精度化・省力化・無人化・高効率化を可能とし、低水時から大出水時までをオールインワンでカバーする河川流量モニタリング手法の整備は急務の課題である。その要望を可能とする手法の一つとして、一台で流速横断分布計測を可能とする水平設置型超音波ドップラー流速分布計(H-ADCP)計測技術と数値計算技術を統合した次世代型流量モニタリングシステムが構築され、幾つかの河川において運用されている^{1), 2)}。本システムは、低水時から出水時まで高精度でロバストな手法であることが検証されているが、洪水時における高濁度状態ではH-ADCPの計測範囲が著しく減少しており、大きな課題の一つとして残されている。本研究では、従来まで不明確な洪水時におけるH-ADCPの有効計測範囲を定量的に明らかにすることを目的とする。そのため、江戸川・隅田川・荒川における洪水時観測を通して、水中における超音波の伝播・減衰特性に対する浮遊物質の量(濁度, SS)や質(粒径分布)の影響を把握し、浮遊物質条件や計測機器条件に対する有効計測範囲を明示する。さらに、数値計算においてデータ同化範囲を変化させて、有効計測範囲に関する検討を行う。

2. 研究方法

現地観測サイトは、順流域の江戸川・野田橋(河口から+39km)と感潮域の隅田川・白鬚橋(+10km)、荒川・西新井橋(+14km)である(図1)。各地点では、H-ADCPによる流速及び超音波の反射強度に関する横断分布、光学式濁度計(Compact-CLW, JFEアレック株製)により濁度を連続観測するとともに、出水時には自動採水機(6712型ウォーターサンプラー, Teledyne ISCO製)による採水観測を行い、SSや浮遊土砂粒径分析を行った。H-ADCP(Teledyne RDI製)は、野田橋と白鬚橋には周波数600kHz、西新井橋には300kHzを設置した。これらの観測は野田橋では2006年6月6日、白鬚橋では2007年7月12日、西新井では2008年7月2日から開始し、現在も継続している。

また、本システムにおける数値モデル(DIEX-f法, DIEX-n法)³⁾を用いて、同化範囲 Y_{max} を変えた感度分析を行い、同化範囲(すなわち有効計測範囲)が流量推定精度に及ぼす影響を調べた。

3. 結果と考察

(1) 超音波反射強度の横断分布モデル

流速計測範囲を決める超音波反射強度の減衰特性を定量的に評価するために、反射強度 I の横断分布に対する次の指数関数を近似式として適用する。

$$I(y) = Ce^{-ay} \quad (1)$$

ここで C , a は係数であり、特に a は反射強度の減衰を表すパラメータ(反射強度の減衰係数)である。反射強度 I と減衰係数 a の関係としては、基本的には濁度の増加とともに減衰係数 a も増加するが、同一濁度においては減衰係数 a が増水期と減水期で異なる結果が得られた(図2の観測値)。このため、濁

キーワード: 流量計測, H-ADCP, 超音波減衰, 反射強度, DIEX法

連絡先: 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL: 04-7124-1501(内線 4069) FAX: 04-7123-9766



図1 観測地点

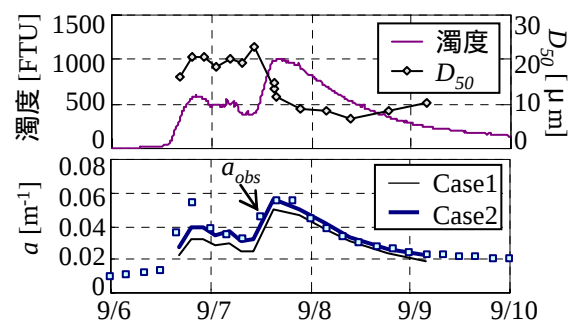


図2 江戸川・野田橋における濁度と中央粒径 D_{50} の観測値及び減衰係数 a の観測値と推定値の時間変化(台風0709号)

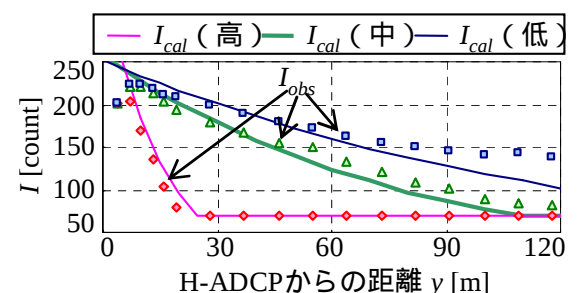


図3 濁度別反射強度横断分布モデルの結果(隅田川・白鬚橋, 台風0709号時)

度と減衰係数 a の相関式 ($a = 4.0 \times 10^{-5} \text{Turb} + 0.0032$) では、出水時における減衰係数 a の時間変化を良好に推定できない (図2中の Case1)。そこで、同図に示される浮遊土砂中央粒径 D_{50} が増水期と減水期に異なることに着目し、かつ、H-ADCP の計測層厚 δ が違う江戸川と隅田川の結果を統一的に説明するために、濁度 Turb 、中央粒径 D_{50} 及び計測層厚 δ を説明変数として減衰係数 a と C に関する重回帰分析を行ったところ、次式が得られた。

$$a = 4.40 \times 10^{-5} \text{Turb} + 2.85 \times 10^{-4} D_{50} - 2.71 \times 10^{-3} \delta + 0.0099$$

$$C = 7.72 \times 10^{-2} \text{Turb} + 1.03 D_{50} + 14.96 \delta + 191.80 \quad (2)$$

ここでの単位は、濁度 Turb は FTU、中央粒径 D_{50} は μm 、計測層厚 δ は m である。この式(2)に基づく反射強度モデルによる a の推定結果 (Case2) は概ね観測値と一致し、その一致度合いは濁度のみを考慮した Case1 よりも高い。また、超音波反射強度の横断分布の推定値 (式(2)使用) と観測値の一例を図3に示す。これより、本モデルの推定値は観測値と概ね一致している。以上より、式(2)に基づく超音波反射強度モデルの精度は概ね良好であることが示された。

(2) H-ADCP の有効計測範囲

本反射強度モデルに基づいて、様々な濁度や浮遊土砂中央粒径、計測層厚条件下での計測範囲を算出した。ここでは、超音波反射強度 I が 90count 以上の部分を有効計測範囲と見なした時の一例として、計測層厚 $\delta = 0.5\text{m}$ (野田橋における H-ADCP の設定層厚) における有効計測範囲を図4に示す。これより、計測層厚 δ が 0.5m と小さく、河川水の濁度が高い場合 (100FTU 以上) には、600kHz の H-ADCP が計測可能とされている計測レンジ 100m に到底及ばないという結果が得られた。

(3) 様々な同化範囲条件における DIEX 法の流量推定結果

図5は、台風0709号時・江戸川における DIEX- n 法により算出した流量推定結果 Q_{cal} と別途検証用観測として行った ADCP 移動観測の結果を示す。ここでは3つの同化範囲 Y_{max} の結果を示す。また、図6は、様々な同化範囲条件下における流量推定誤差を示す。解析対象は、江戸川の台風0709号出水であり、この時の濁度、中央粒径 D_{50} はそれぞれ、約 500~1000FTU、6~15 μm となるため有効計測範囲は、図4より 20~30m である。図5、6より、同化範囲が 20~30m の間で最も流量推定精度が良いことが分かる。これは図7に示すように、H-ADCP から離れるほど流速計測値が乱れ、大きな誤差を含んだデータを同化することになるためである。以上より、式(1)、(2)による H-ADCP の反射強度横断分布モデルは妥当であることが数値計算上においても示された。

参考文献：1) 二瓶泰雄・木水啓，土木学会論文集 B，Vol.63，No.4，pp.295-310，2007 2) Y, Nihei and A, Kimizu, Water Resources Research, Vol.44, W00D20, 2008. 3) 岩本演崇・二瓶泰雄，水工学論文集，Vol.53，pp.1009-1014，2009。

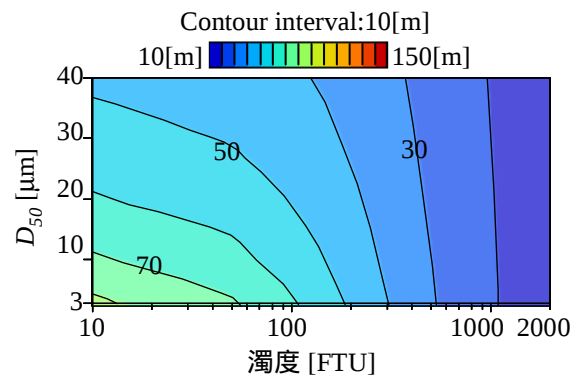


図4 H-ADCP の有効計測範囲コンター ($\delta = 0.5\text{m}$)

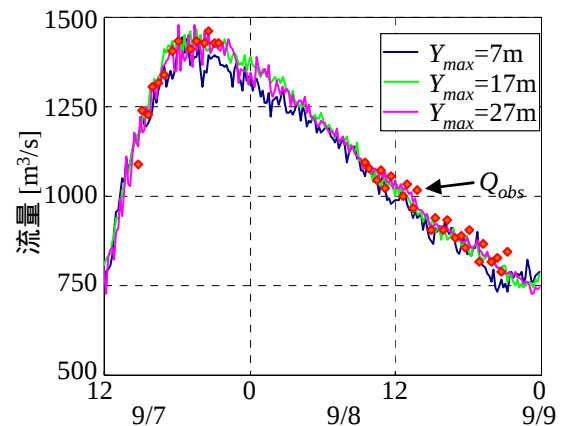


図5 DIEX- n 法による流量推定結果 (台風0709号時，江戸川)

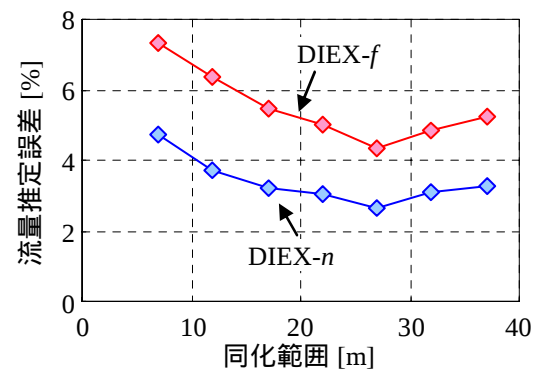


図6 様々な同化範囲における流量推定精度 (台風0709号時，江戸川)

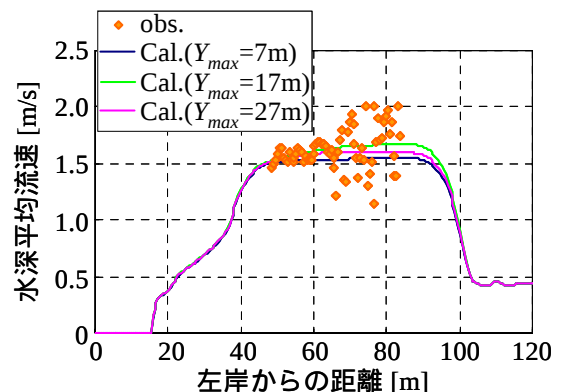


図7 DIEX- n 法の流速分布推定結果 (江戸川低水路のみ，台風0709号時，2007/9/7 16:30)