

超音波を用いた底泥層厚測定技術と 都市河川下流域における底泥の分布特性について

MEASUREMENTS OF SLUDGE SEDIMENT THICKNESS BY SUPERSONIC WAVE AND ITS
LATERAL AND LONGITUDINAL DISTRIBUTION IN URBAN RIVERS

吉本 健太郎¹・志村 光一²・布村 明彦³・山田 正⁴・吉川 秀夫⁵

Kentarow YOSHIMOTO, Koichi SHIMURA, Akihiko NUNOMURA, Tadashi YAMADA and Hideo, KIKKAWA

¹ 学生員 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

² 正会員 工修 中央大学技術員 理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

³ 正会員 工修 建設省 元荒川下流工事事務所長 (〒100-8944 東京都千代田区霞が関 2-1-3)

⁴ 正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

⁵ 正会員 工博 (財)河川環境管理財団 顧問 (〒104-0042 東京都中央区入船 1-9-12)

The purpose of the present study is to confirm the validity of the measurement method of sludge sediment thickness on the riverbed using a supersonic wave and to investigate the distribution of the sludge sediment in the lower reaches in urban rivers. We measured the vertical profile of the echo intensity of supersonic wave in the Kanda River, the Ara River and other rivers. From the vertical profile of echo intensity, we found the sludge sediment thickness and its longitudinal and lateral distribution. It was found that the measurement method proposed here is useful to estimate the distribution of sludge sediment easily. In curved channel, thickness of sludge sediment is rather thicker inside than outside. And it was found that total phosphorus and total nitrogen in sludge sediment decreased after flush flood in the Ara River and the other rivers.

Key Words : Sludge sediment, echo sounder, supersonic wave, echo intensity

1.はじめに

近年,都市排水の増加に伴い河川水が富栄養化され,多くの都市河川下流域では河床がヘドロ化されている。近年の研究¹⁾²⁾により河床のヘドロ化はリンなどの栄養塩類を溶出させるだけではなく,リンを溶出する際に河川水の溶存酸素を消費し河川水の貧酸素化を引き起こす要因の1つであることがわかっている。河川水の水質・生態系保全のために河川下流域に堆積している底泥の堆積分布を把握することが急務となっている。本研究では著者らが考案した超音波(魚群探知機)を用いた底泥層厚測定手法によって底泥層厚を測定しその測定値と実測値を比較することでその実用性と有用性を検証した。また,河川下流域における底泥の分布特性,河床材料と縦断河床形状の関係,超音波(魚群探知機)を用いた流速分布の測定についても考察を行う。

2.観測概要

現地観測は河床がコンクリートである神田川(隅田川との合流部から 500m 上流の区間)と自然に近い河床を持つ荒川(河口～測点①(河口から 35km 上流)の区間),隅田川(荒川との合流部付近)において行った。観測に用いた魚群探知機は(株)本田電子製 HE-570-2F,及び DGPS(高精度衛星測位機能)内臓の HE-6711GP の2種類である。また,著者らは魚群探知機のデータおよび DGPS データをパソコンに取り込み一括処理のできるようにシステムプログラムを開発した。観測に用いた超音波の周波数は 50,107,200,400kHz の4種類である。河床材料と底質の測定にはエクマンバージ式の採泥機による採泥を行い底質に関しては底泥の含有する全リン,全窒素,強熱減量を分析した。底泥層厚の測定には本研究で提案した超音波による底泥測

定装置と著者らが作成した十分に長い鉄製の棒に底泥が付着することのできる綿製の白いロープを沿うように張り付けた測定棒を用いた。

3. 超音波(魚群探知機)による底泥測定結果

図-1 は神田川の流域図と観測区間および観測点を示したものである。河床がコンクリート床版でできている神田川では、ヘドロがコンクリート床版の直上に堆積している。図-2 は神田川の測点①における3つの周波数(50,107,200kHz)の超音波それぞれの反射強度の鉛直分布と超音波による映像である。超音波の反射強度から以下のように底泥層厚を測定した。媒質中を進行する超音波の反射強度は密度差や水中のプランクトンなどの浮遊物質で反射しその反射強度は密度差が大きいほど大きい値を示すという関係がある。この関係より図-2の図中a点のように反射強度が急激に増加す

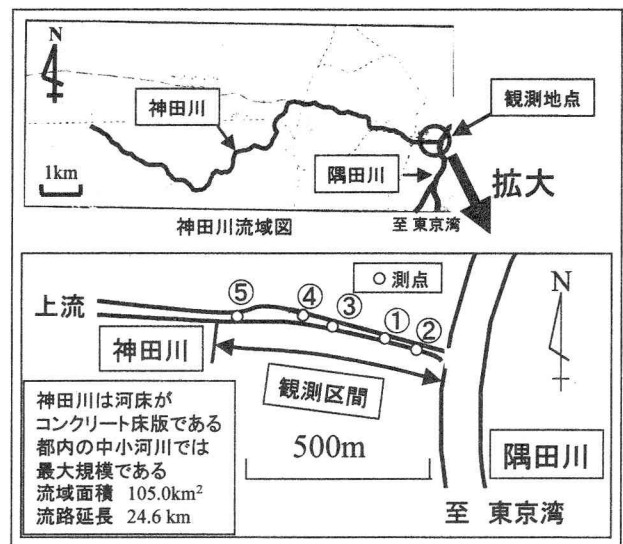


図-1 神田川の流域図と観測区間および観測点

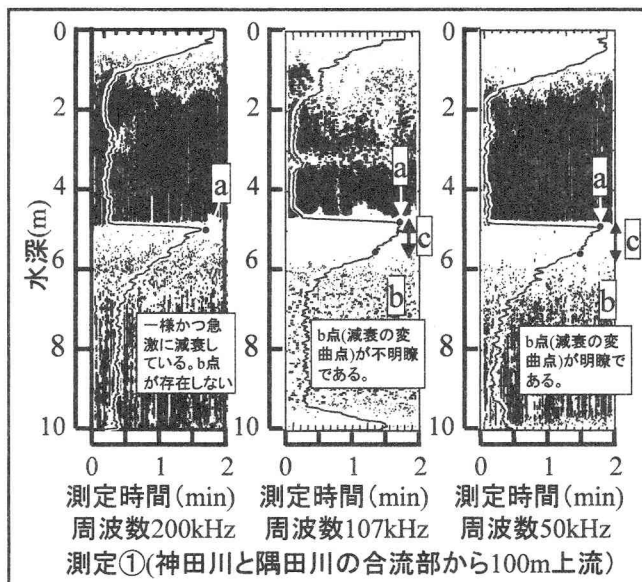


図-2 周波数の異なる(200,107,400kHz)超音波による反射強度の鉛直分布の比較(神田川(測点①))

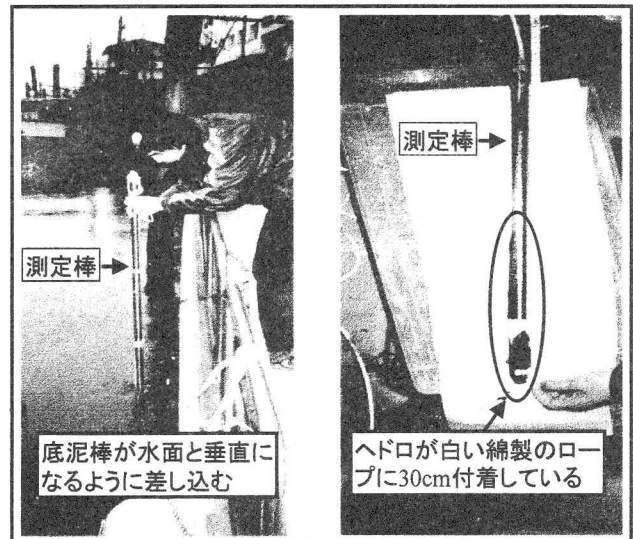


図-3(a)測定棒を用いてヘドロ層厚を測定している様子(左)

図-3(b)測定棒にヘドロが付着している様子(右)

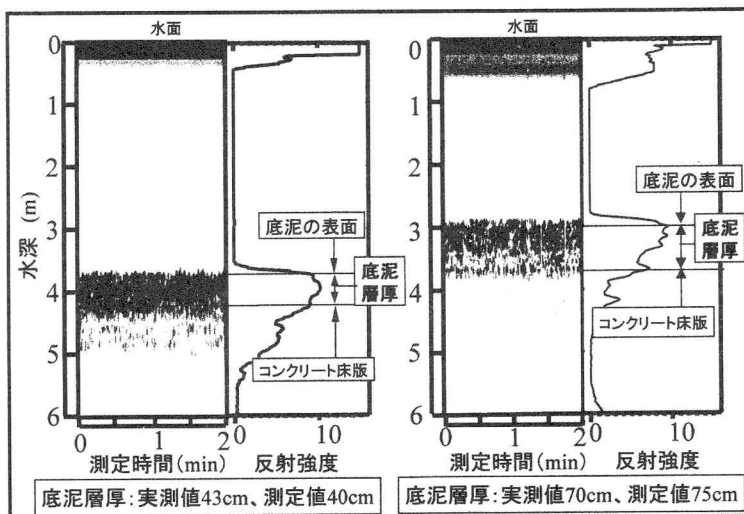


図-4 ヘドロがコンクリート床版の直上に堆積している神田川での超音波(魚群探知機)の反射強度の鉛直分布と超音波による映像

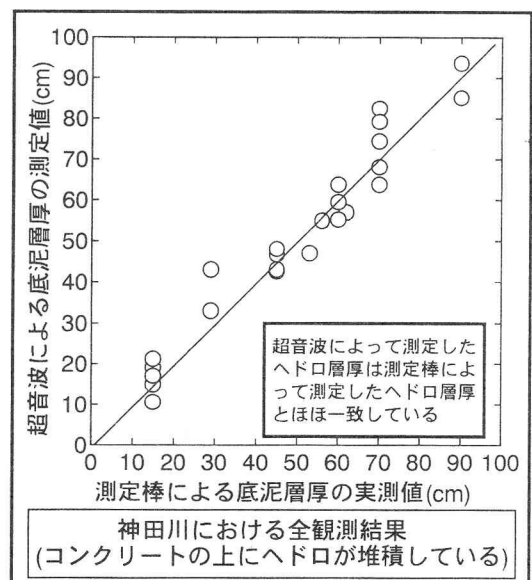


図-5 超音波によるヘドロの測定値と実測値の比較

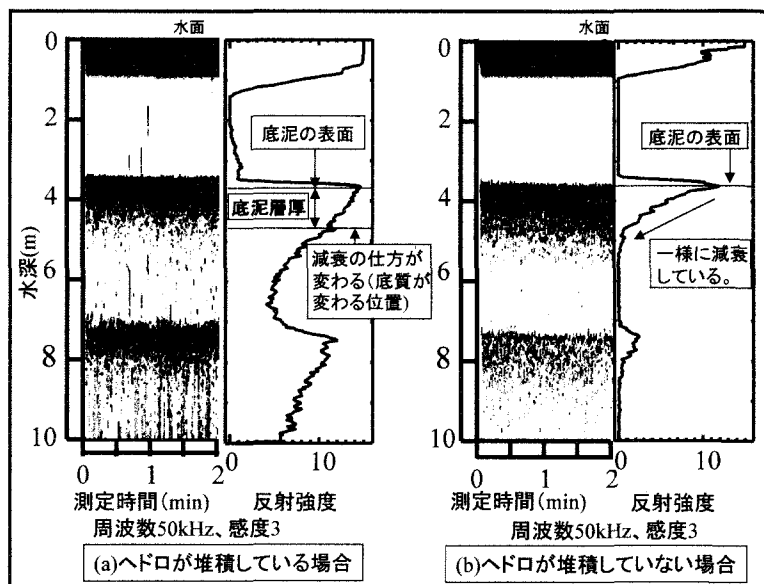


図-6(a),(b) ヘドロ・粘土が砂層の上に堆積している荒川での超音波の反射強度と超音波による映像

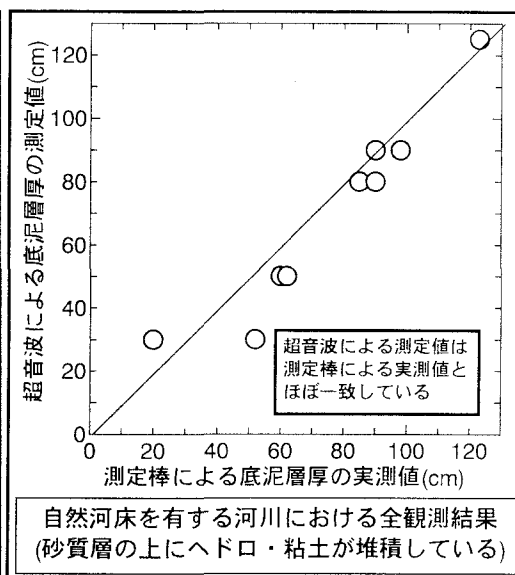


図-7 超音波によるヘドロの測定値と実測値の比較

る位置を底泥の表面とした。超音波の吸収減衰は媒質の性質によって異なることから図-2の図中b点のように反射強度が著しく減衰する位置(反射強度の減衰部位の変曲点)をコンクリート床版または底泥と底泥ではない媒質との境界とした。これらより、図-2のc区間(a点からb点の間)が底泥層厚である。図-2より周波数200,107kHzの弱い超音波では反射強度の減衰がほぼ一様でかつ急激に生じてしまいb点(反射強度の減衰の変曲点)を見つけ出すことができず、底泥層厚を測定できないことがあった。本研究で用いた4つの周波数(50,107,200,400kHz)の中でb点を見つけやすい周波数は50kHzであり、底泥層厚を測定するのに最も適している超音波は周波数50kHzの超音波であることがわかった。超音波による底泥層厚の測定値と比較する実測値の測定には著者らが作成した十分に長い鉄製の棒にヘドロが付着することのできる綿製の白いロープを沿うように張り付けた測定棒を用いた。図-3(a),(b)はこの測定棒を用いて底泥層厚を測定している様子を示した写真および測定棒の付着したヘドロの様子を示した写真である。図3(a)の写真に示すように測定棒を河床に垂直に差し込んで白いロープに底泥が付着した長さを実測値とした(図3(b)の写真)。図-4は河床がコンクリートである神田川における超音波の反射強度の鉛直分布と超音波による映像である。図-5は神田川における超音波による底泥層厚の測定値と実測値の関係を示す。これより、超音波による底泥層厚の測定値が実測値とほぼ一致していることがわかる。底泥層厚の実測値と超音波による測定値のずれは測定しているポイントが多少ずれていたためであると思われる。図-8の左上の図は自然に近い河床を持つ荒川における観測区間と測定点を示したものである。図-6(a),(b)は荒川における超音波の反射強度の鉛直分布と超音波

の映像である。図-6(a)はヘドロが堆積している場合であり、図-6(b)はヘドロが堆積していない場合である。図-6(a),(b)を比較すると図-6(a)は反射強度の減衰が著しく変化する変曲点が明瞭であり、図-6(b)は不明瞭であることがわかる。このようにヘドロが堆積していない場合は超音波の反射強度の減衰が著しく変化する変曲点が見られないことがわかった。図-7は自然に近い河床を有する荒川および自然河床を有する河川における底泥の推定値と実測値を示したのものである。超音波により推定した底泥層厚の推定値が実測値とほぼ一致していることがわかる。

4. 底泥の横断・縦断分布特性

図-8は荒川の河口から34,31,28,23km上流の測点①,②,③,④及び新河岸川と隅田川の測点⑤,⑥において河川の横断方向に左岸,流心,右岸の3点で底泥層厚を測定した結果と各測点における横断河床形状を示す。図-8より湾曲部である測点②,③,⑦,⑧,⑨,⑩における河床形状は外岸掘れを形成していることがわかる。また、緩やかな河川の湾曲部(測点②,③)でも堆積している底泥層厚は河川の湾曲の影響を受けて外岸側よりも内岸側の方が大きいことがわかった。これより河川の湾曲が底泥層厚に影響を与えることがわかる。図-8より隅田川(測点⑤)内岸での堆積厚は200cmであり荒川での堆積厚に比べると非常に厚いことがわかる。これは、隅田川は荒川に比べ流速が非常に小さく流れが停滞していることから土砂が堆積しやすかつ富栄養化が促進しやすいためと考えられる。図-8より荒川の測点③での底泥の堆積厚はその上・下流の測点①,②よりも大きく底泥層厚は河川の(上流・下流という)縦断的な位置に影響を受けるものではないことがわかった。

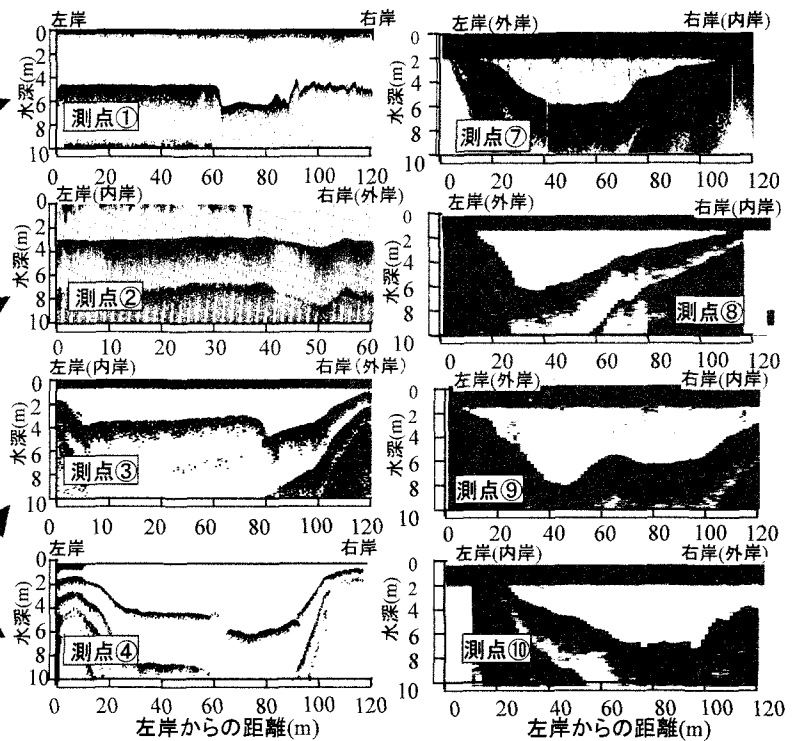


図-8 荒川における測定点を示す観測位置図と各側線における横断河床形状および底泥層厚
(底泥層厚は外岸側よりも内岸側で大きな値を示している)

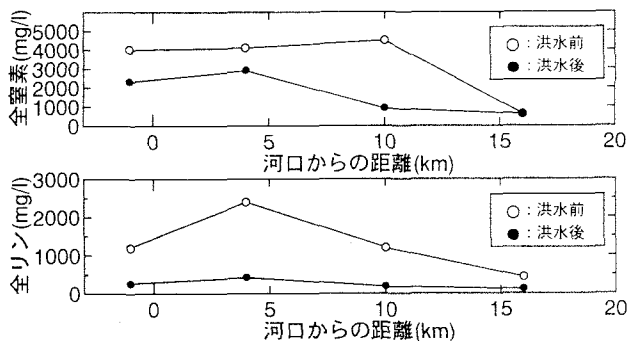


図-9 洪水前後の荒川下流域における底泥に含まれる全窒素、全リンの縦断分布図

5. 洪水前後における全リン、全窒素の変化

図-9 は荒川における洪水前後の底泥に含まれる全リン、全窒素の縦断分布である(洪水前:1998/8/24/9:00～15:00,洪水後:1998/9/8/10:30～16:00)。図-9 より洪水後の荒川の底泥に含まれる全リン、全窒素は洪水前に比べて減少したことがわかる。河口から10km上流の地点では全窒素が4000mg/lから1000mg/lまで減少したことがわかった。これらより、洪水によって河床に堆積していた底泥が吐き出されたことがわかった。図-9 の全リンの縦断分布より河口部と上流部(河口から15kmの地点)では洪水前、洪水後の両方において600mg/l以下の低い値を示しており、河口部と上流部(河口から15km上流の位置)との間にある2測点(河口から5,10km上流の地点)では1000mg/l以上の高い値を示していることがわかる。これは河口付近や上流部

などの流れの急変部や常に流れのある位置では河床の富栄養化が生じにくいのに対し潮汐の影響によって流れが停滞する位置(ここでは河口から5,10km上流の地点)では河床の富栄養化が促進されやすいものと考えられる。

6. 砂質河床の区間での縦断河床形状

図-10 は荒川の河口から35km上流の秋ヶ瀬取水堰(測点①)の800m下流から900m下流の区間における魚群探知機による縦断河床形状の映像である。図-10 より河床形状が規則的な凹凸になっていることがわかる。また、上流側では河床材料が粒径0.2mm程度の砂のみであるのに対し下流側では河床材料は粘土混じりの砂(粒径0.2mm)となっており、下流側ほど粘土が多く含まれていることがわかった。図-11(a),(b)は図-10 の口の範囲を拡大したものである。図-11(a),(b)より河床の凹凸の高さは30～70cm程度であり、波長は0.5～2m程度であることがわかる。この河床形状の凹凸は河床材料が粘土層である下流側では見られなかったことから小規模河床波であると考えられる。また、図-10 より河床において強い反射強度を示す層厚が上流側よりも下流側のほうが大きくなっている。これは前述のとおり超音波の反射強度の減衰は超音波が透過す媒質によって異なることから上流から下流にかけて徐々に河床材料が砂質から粘土質のものへ変化していることを示していると思われる。

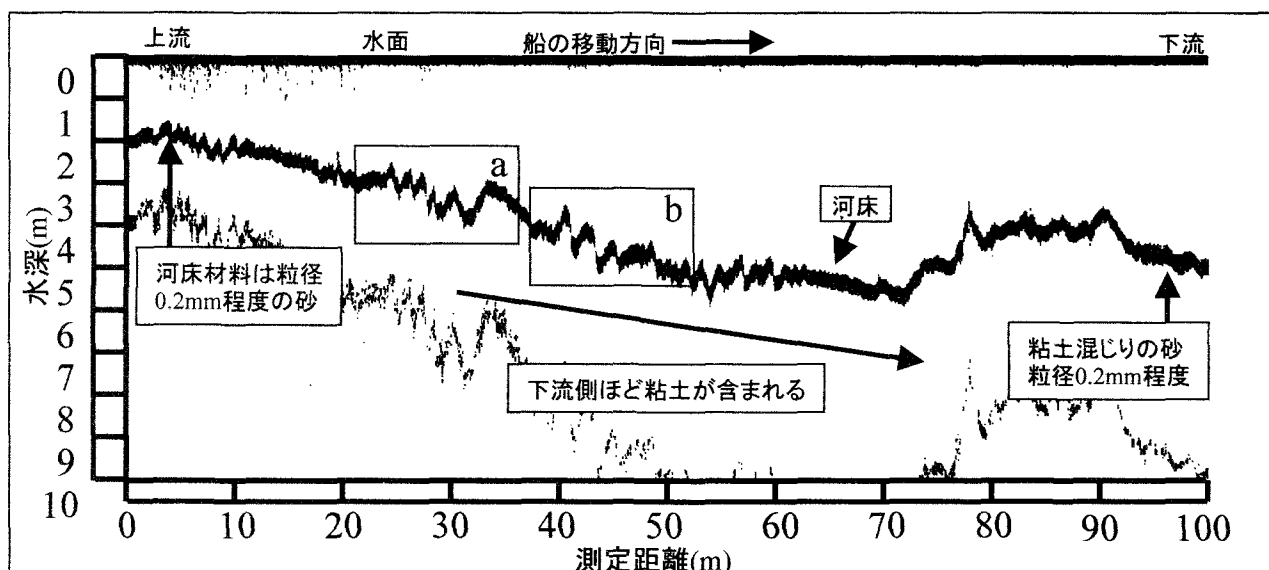


図-10 測点①(秋ヶ瀬取水堰の800~900m下流:荒川河口から35km上流)における縦断河床形状
(河床形状が小規模河床波のような規則的な凹凸をなしている。)

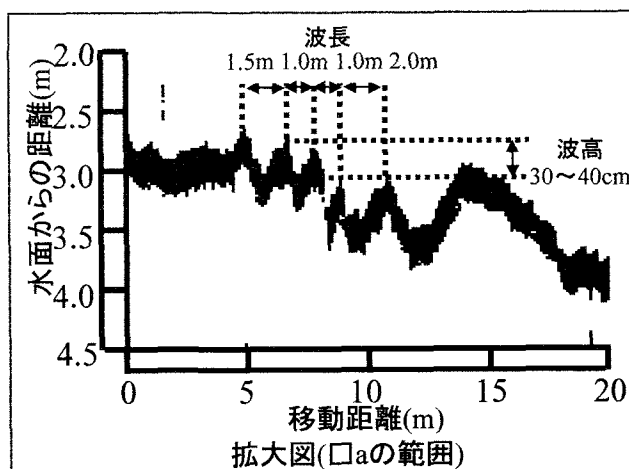


図-11(a) 図-10の□aの範囲の拡大図

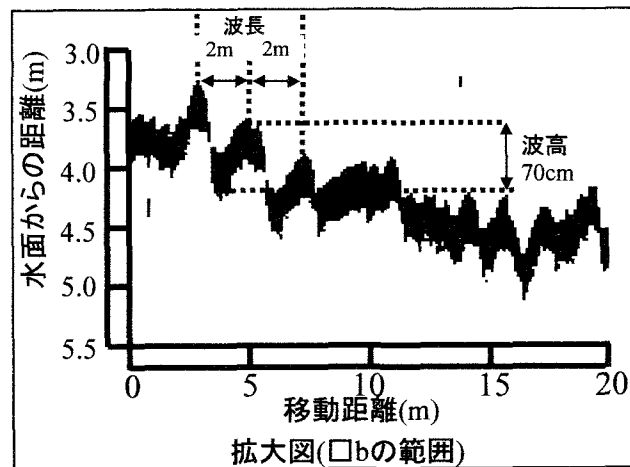


図-11(b) 図-10の□bの範囲の拡大図

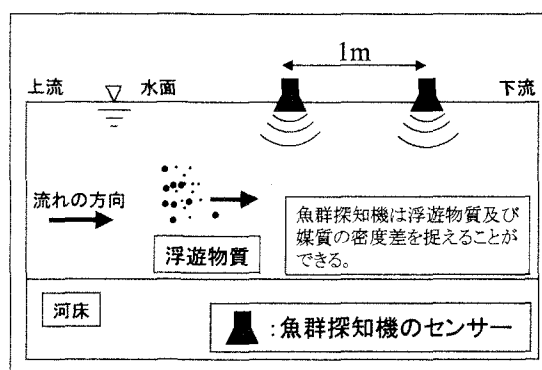


図-12 河川内流速鉛直分布の測定方法の概要

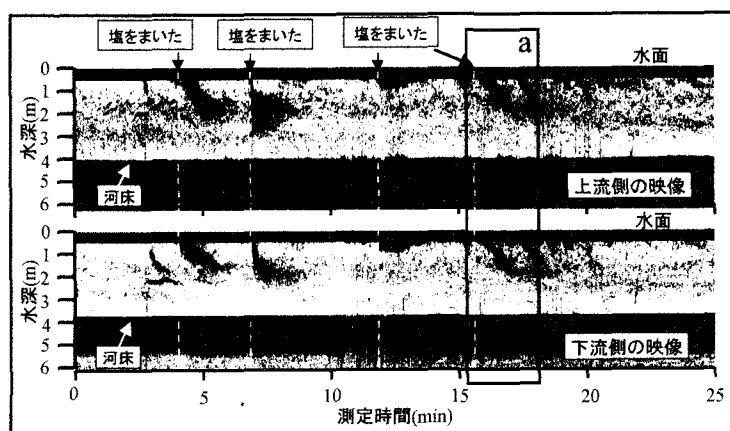


図-13 上流側と下流側に設置した2台の魚群探知機(超音波)による映像

7. 魚群探知機とPIV 画像処理を用いた流速分布の測定

魚群超音波の反射強度により上流から下流へ流下する河川内の浮遊物質や懸濁物質及びその濃度差を捉えることができる。そこで、著者らは流木等の流下及び

流速が大きいことなどから測定が困難である洪水時に流速分布を測定できる流速測定システムの構築した。構築した測定システムは魚群探知機とPIV画像処理によって簡易に流速分布を測定できる新技術である。図-12は魚群探知機の設置状況を示した模式図である。図-12のように2台の魚群探知機を上流側と下流側に

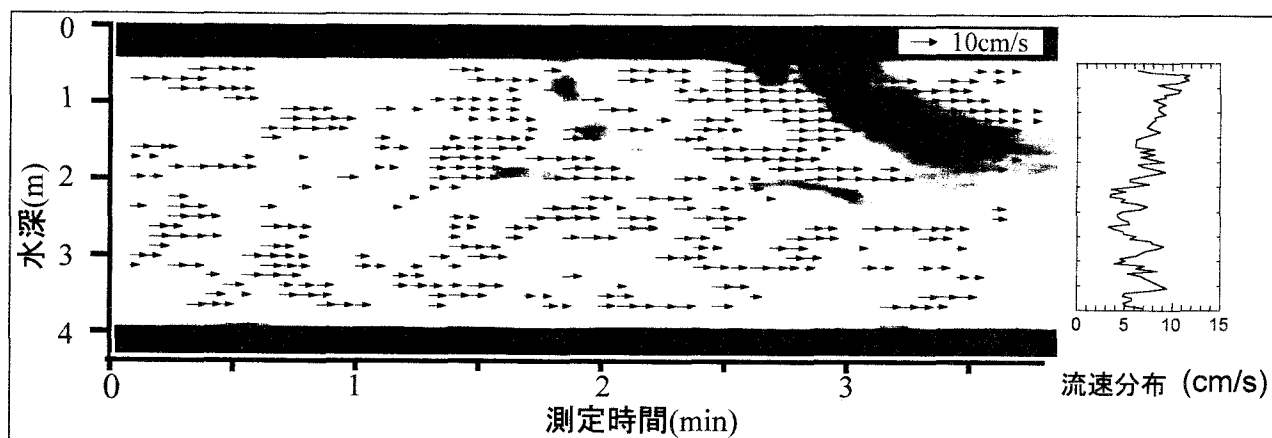


図-14 図-13□aの範囲の2枚の画像をPIV画像処理を行ことで求めた各水深における流速ベクトルと鉛直流速分布
(図中の色の濃い部分は反射強度の高い部分(塩を巻いて強制的に密度差を生じさせた部分)であり、超音波の反射強度が強いことを示している。強い反射強度を示す部分で精度の高い流速ベクトルが得られる。)

1mの間隔で設置し測定を行った。現地観測は図-1に示す神田川の下流部(測点①)で行った。図-13は上流側と下流側の2台の魚群探知機によって得られた水面下を可視化した映像である。なお、測定時には洪水時を想定し魚群探知機のセンサーの上流から4度にわたり食塩を水面から投入し強制的に密度差を生じさせた。図-13より強い反射強度を示す時間が上流側より下流側の方が遅いことがわかる。これより超音波(魚群探知機)によって上流から下流へ流下する浮遊物質および水温や濁度の変化による密度差をトレーサの役割として用いることが可能であることがわかる。図-14は上流側と下流側の2台の魚群探知機から得られた2枚の映像をPIV画像処理することで求めた各水深ごとの流速ベクトルとこれらを各水深ごとに算術平均して求めた鉛直流速分布である。図-14よりPIV画像処理により強い反射強度を示す位置において多くの流速ベクトルを得ることができる。これより洪水時には上流から多くの浮遊物質、懸濁物質が流下してくることから本研究の測定手法を用いれば洪水時の流速分布を測定できるものと考えられる。

8. まとめ

- (1)コンクリートの直上にヘドロが堆積している神田川における観測結果より超音波によって測定した底泥層厚は実測値とほぼ一致したことから著者らが考案した超音波(魚群探知機)による底泥層厚の測定手法の有用性を確認できた。
- (2)超音波の反射強度の減衰が著しく変化する位置(減衰の変曲点)が見られない測定点ではヘドロが堆積していないことがわかった。
- (3)本研究で使用した4つの超音波(魚群探知機)の周波

- 数(50,107,200,400kHz)の中では50kHzの周波数がか最も反射強度の減衰の変曲点を明瞭に示すことができ、底泥層厚を測定するのに最も適していた。
- (4)河川の湾曲部における底泥の堆積層厚は外岸側よりも内岸側の方が数倍～数十倍大きく、河川の湾曲が底泥の堆積層厚に大きく影響を与えることがわかった。
- (5)荒川の河口から35km上流付近の縦断河床形状は小規模河床波に似た(波高0.5～2.0m、波長0～40cm)形状をなしていた。
- (6)著者が考案した魚群探知機とPIV画像処理を用いた流速分布測定手法は洪水時の流速分布を測定できる可能性を十分に有していることがわかった。

謝辞:本研究を行うに際し平成9年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(c)(1))および河川整備基金より助成を受けたこと、および現地観測の際には建設省荒川下流工事事務所に様々な便宜を計っていただいたことをここに記し、関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1)細川恭史・三好英一・堀江毅:栄養塩溶出速度の温度・D O存在性について港研資料,NO.0405 堀江毅 細川恭史 1981.12.
- 2)海域底泥中のリンの挙動モデルについて,港研報告 VOL.023 NO.02 1984.06.
- 3)布村明彦・吉川秀夫・柴田正和:感潮河川の水質特性(1)-水環境管理を目指して-,河川環境総合研究所報告書第2号,pp.29-61,1996.

(1999.4.26 受付)