

多摩川河口沿岸域における底泥の堆積分布特性の把握に関する現地調査

Field Observations of Sedimentary Characteristics of Muddy Sediment around Tama River Mouth

中川康之¹・有路隆一²・松坂省一³・諸星一信⁴・八木 宏⁵
灘岡和夫⁶・古殿太郎⁷・大野幸正⁸・島崎哲也⁹

Yasuyuki NAKAGAWA, Ryuuichi ARIJI, Shouichi MATSUZAKA, Kazunobu MOROHOSHI, Hiroshi YAGI
Kazuo NADAOKA, Taro FURUTONO, Yukimasa OHNO and Tetsuya SHIMAZAKI

Field observations were carried out to investigate sedimentary characteristics at the estuarine area of Tama river, where a national project for future extension of Haneda international airport is undergoing. The survey includes sediment core samplings and acoustic sub-bottom profilings of the site. Based on the analysis of the core samples, spatial distribution of thickness of fluid mud layer has been obtained and it develops to the off shore from mouth of the river. Acoustic images have clearly shown the difference of the sedimentary structures between shallower monitoring point inside the river and offshore point with higher mud content. The images were evaluated by comparison with analysis data, such as water content, of bottom sediment samples.

1. はじめに

内湾域に流入する河川の河口域の海底では、河川を通じて供給される土砂の堆積や、海域での基礎生産に起因する有機懸濁物の堆積が生じるなど、様々な供給源により堆積物は構成される。粒度分布をはじめとする底質組成の空間的な分布は、河口沿岸域では洪水流、潮流流や波浪などの多様な外力作用に応じて、時間的にも変化が生じるものと考えられる。底生生物の生息域が粒度分布などの底質条件に依存することや、夏期には底泥による酸素消費を通じた貧酸素水塊が発生することを考慮すると、底質条件の時空間的な変動は沿岸域の水質や生態環境の変化を予測するうえできわめて重要な因子である。

ここで対象とする東京湾奥西部の多摩川河口部では、将来的な航空需要の増大に備えた東京国際空港（羽田空港）の新滑走路の建設工事が進みつつある。当該工事に伴う現在の空港沖合部の埋め立て等による、周辺海域での将来的な環境変化の動向を評価していくためには、対

象水域の環境特性を事前に十分把握しておくことが重要である。そこで本研究では、上述のとおり沿岸域での環境変動を支配する重要な要素の一つである底質、特に底泥の堆積特性に注目し、同海域での堆積状態の把握と、音響機器を利用した堆積環境の効率的なモニタリング手法の確立にむけて検討を行った。

当該海域では事業実施に伴う環境影響評価手続きにより、種々の環境調査が実施されており、底質項目についてもデータが取得され公開されている（国土交通省、2006）。これらの底質調査ではグラブ式採泥器を基本とするのに対し、本調査においては堆積環境の変動を評価するために必要な堆積物の鉛直構造を把握するため、コアサンプルの採取とそれらをスライスした試料の分析を行い、特にシルトや粘土の泥質物の堆積状況について検討した。一方、音響機器による底質調査としては、音響測深器の反射信号の解析を通じて、堆積物表層の含水比等の物性特性の評価を試みたものはこれまでもいくつかある（たとえば、岡田・古川、2005）。これに対し、泥質堆積物においては侵食強度のきわめて低い流動層が底泥表層に存在する場合がある（上野ら、2000；中川ら、2004）ことや、堆積後の履歴に応じて深さ方向に侵食強度が変化するなど、底泥の輸送を評価する際には鉛直方向の堆積構造の把握が重要である。本研究では堆積物中の層構造の把握を目的として、音波探査機による測定結果とコアサンプル分析結果との対比等を通じて泥質堆積物の鉛直構造の評価方法の確立を試みた。

2. 調査の概要

（1）流動泥分布の把握調査

底質試料の採取は 2006 年 5 月 30 日～6 月 10 日の間

1 正 会 員	工修	(独法) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部
2 正 会 員		国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所東京湾環境情報センター係長
3		国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所東京湾環境情報センター課長
4 正 会 員	工修	国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所 所長
5 正 会 員	工博	東京工業大学大学院 環境情報学専攻 助教授
6 フェロー	工博	東京工業大学大学院 環境情報学専攻 教授
7	修(理)	(株) いであ
8		(株) いであ
9	理修	(株) 海洋先端技術研究所 (元・(株) 三洋テクノマリン)

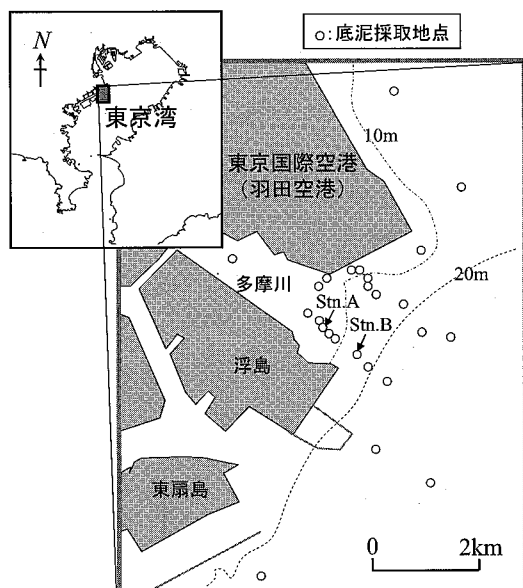
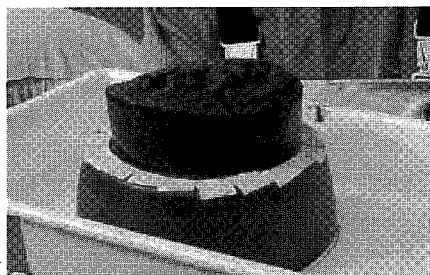


図-1 調査対象海域と採泥地点



(a) 流動泥



(b) 自立泥

写真-1 採取試料の流動状態の評価の例

に、多摩川河道内および河口部周辺にて行い、ここでは図-1中の白丸で示す河口周辺域での調査点(全25地点)から得られた試料の分析結果についてとりまとめた。堆積物のサンプルは、内径10.5cmの亚克力筒を用い、深さ約50cm程度をダイバー作業により採取した。採取したサンプルは、陸上に搬送したのち表層から30cm以内を4層(0-1cm, 1-5cm, 5-15cm, 15-30cm)にスライスするのを基本として、各試料は粒度、含水比、強熱減量、硫化物含有量等の分析にそれぞれ供した。

堆積物試料の強度特性を簡便に評価することを目的として、スライス作業時にコアサンプラーから試料を押し出した際の溢出状況に応じて、コア枠外に溢れ出る場合を「流動泥」、そうでない場合は「自立泥」とする(写真-1)評価方法を採用した。また、採取したコアサンプル3本のうち1本を用いて、トルクメータを改良したハンドペーン(誠研舎・FTD2CN-S)により、試料強度の鉛直分布の測定を試みた。強度試験に使用したブレードは、幅7.5mmおよび高さ30mmであり、底質の深さ方向に20mmピッチで測定した。

(2) 音波探査機による底泥堆積層の把握調査

堆積物の層構造をモニターする方法として、たとえば沿岸海域における軟泥の堆積に対しては、200kHz前後と数十kHzの2周波の音響機器を組み合わせた音波探査装置が活用され、東京湾を対象とした観測例もある(五十嵐・佐々木, 2004)。本調査では、2周波の音響機器のうち、堆積層構造の探査機能を受け持つことになる低周波側の装置については、音波の周波数を4~24kHzの間で変化させて探査精度の向上を図ったチャープ式音波探査

装置(EdgeTeck社製探査システム3100-G)を用いた。また、音波探査により得られる音響測定結果の評価のため、計測位置の直下から採取したコアサンプルによる試料分析結果との比較・検討も行った。なお、これら音響機器を用いた観測と、比較のためのサンプル採取は2006年10月30日および31日に実施した。

3. 観測結果と考察

(1) 流動泥の分布について

前章に示した評価方法により「流動泥」と判定された試料の厚さと試料採取地点の水深との関係を図-2に示す。同図によると、水深が10mよりも深くなると流動泥の厚い地点が増加することがわかる。これら流動泥の厚さについて、平面的な分布を示したものが図-3であ

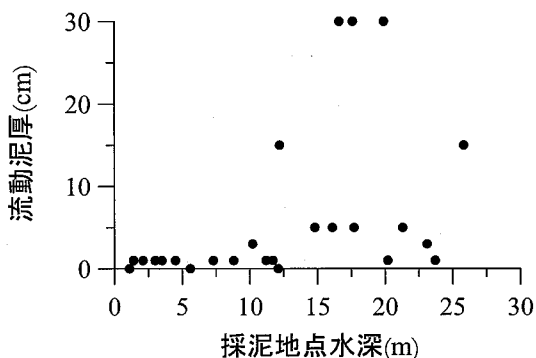
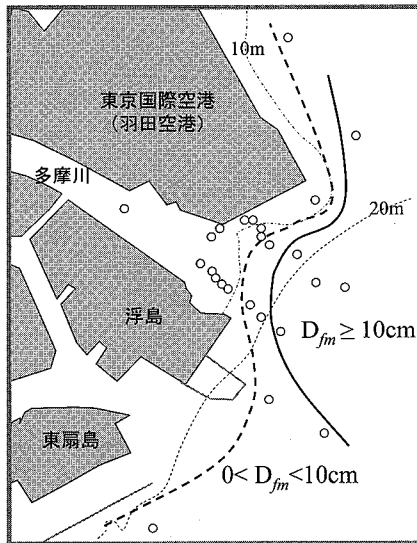


図-2 流動泥厚さと試料採取水深の関係

図-3 流動泥厚さ (D_{fm}) の空間分布

る。当海域では多摩川河道内の浅海部から東京湾側に向かって水深が急激に変化する前置斜面があり、さらに沖側で水深が20m程度にまで達すると比較的勾配が緩やかな海底地形となっている。堆積物性状の空間分布も河口部でのこのような急な地形変化に対応しており、河口部から沖合に向かう水深の増大とともに流動泥厚さも増大し、前置斜面の沖合部の海域では流動泥厚が10cm以上となる地点が多く見られる。さらに沖合の湾央部でも、後述するように流動泥に相当する含水比300～400%の軟泥が表層から50cm近くまで堆積している観測結果も見られ(五明, 2001)、東京湾央部でみられる軟泥堆積域の縁辺部に、本調査では注目していることになる。

(2) 流動および強度特性と含水比の関係

ここで用いた指標である「流動泥」および「自立泥」に対して、同一試料の分析から得られた含水比との関係を示したものが図-4である。同図によると、含水比が300%を超えると、自立泥としては存在できないことがわかる。なお、それよりも低い含水比においても流動泥と判断された試料が存在する。これは比較的低含水比の試料においても、試料の押し出し量が10cmを超えるような場合には、自重に耐えきれずに崩壊し流動泥と判断される場合があったためである。したがって、今回の調査では作業の制約上スライス厚さを不等間隔としたが、試料の破壊のタイミングが試料の押し出し量に依存することから、本指標をより定量的に用いるためには、流動状態の判定時における押し出し量を統一することが必要である。

一方、強度特性の簡便な把握方法として導入したハンドベーンによる測定結果と含水比試験の結果を比較したものが図-5である。今回の測定対象には含水比が600

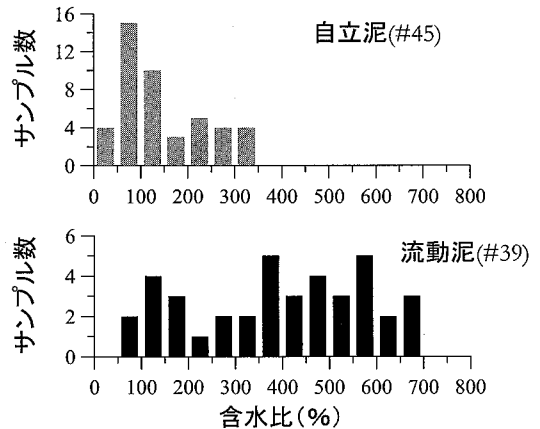


図-4 自立泥および流動泥の含水比の分布

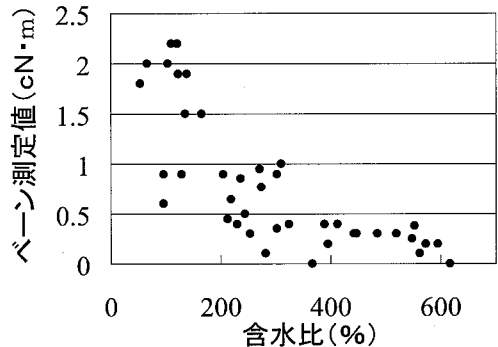


図-5 ベーン測定値と含水比の関係

%と極めて高い軟泥も含まれており、ここでの測定結果は底泥の流動限界(降伏値)に相当するものとなる(鶴谷ら, 1989)。これによるとベーンの測定値は、含水比が300%以上ではほとんどゼロに近く、含水比がそれよりも小さくなるとベーン測定値も有意に増加し、せん断抵抗が増すことがわかる。このような強度特性の特徴は、図-4で自立泥の存在限界が含水比300%程度にあることと一致している。また、含水比300%は土粒子の乾燥重量を 2.6 g/cm^3 とすると湿潤密度が約 1.2 g/cm^3 となる。これは、軟泥が堆積する場合の航路水深の評価方法として、船舶の航行に支障を及ぼすか否かの軟泥の湿潤密度の限界値(PIANC, 1983)とも一致する。

(3) 音波探査による堆積層把握調査

音波探査の調査では、音波の送受波器を調査船の舷側に取り付け、測定ラインを曳航する航走調査と、調査点(図-2中、Sta.AおよびSta.B)において船をアンカーにより固定して測定した定点調査との2種類の測定を行った。

まず、定点観測点Sta.AおよびSta.Bをそのライン上に含む、多摩川河口から沖合に向かう測線での音波探査結果を図-6に示す。同図では色の濃い部分ほど強い音

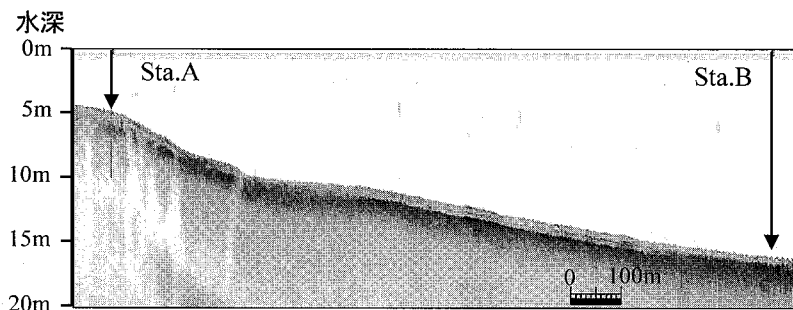


図-6 音波探査結果

響反射信号が捉えられていることを示している。これによると、前置斜面の頂部に位置する Sta.A の斜面下部で水深 10 m あたりから沖合に向かって、堆積層内部で強い反射がみられる箇所が存在する。

このような音波探査データの空間的な変動特性について評価するため、定点での音波探査データとその直下から採取した底泥試料による分析結果との比較を行った。まず、Sta.A および Sta.B のそれぞれの地点で、調査船を固定して測定した音波探査記録を図-7 に示す。同図によると、Sta.A においては、海底面表層付近で強い反射を示し、泥の深さ方向に徐々にその強度は減少していくのに対し、Sta.B の結果では比較的強度の低い層が約 80 cm 存在し、その下層に強い反射が捉えられており、両地点での音波探査結果には差異が見られる。一方、それぞれの地点において採取されたコアサンプルの分析を基に、含水比および底泥の湿潤密度に関する鉛直分布を図-8 に示す。Sta.A では堆積物表層でも含水比は 150 % 以下、湿潤

密度は約 1.4 g/cm^3 であり、深さ方向の変化は比較的小さい。これに対し Sta.B においては、底泥表層では含水比が 400 % 近くあり、前章の評価方法における流動泥の状態であり、また含水比は測定最深部の泥深 75 cm 付近では 100 % 程度にまで減少しており、鉛直方向に大きな変化を示している。なお、粒度分析の結果によると、Sta.A では砂分が 10 % 含まれた砂泥質であり、Sta.B については約 98 % がシルトおよび粘土分に占められた泥質となっ

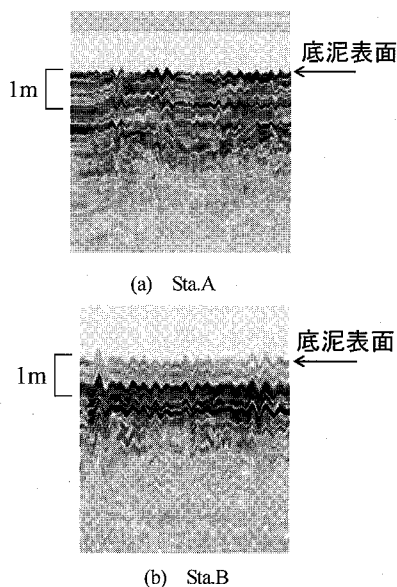


図-7 固定点観測による音波探査結果

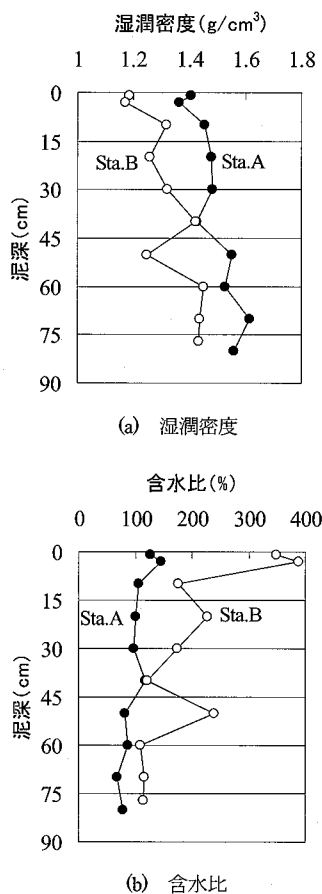


図-8 固定点観測点の採泥分析の結果

ており、ともに泥分を主体とするものの、上述のような性状の異なる2地点であることがわかる。

これら定点観測による音波探査結果とコアサンプル分析結果との対比から、図-7に示された音波探査の結果の違いは、底質性状の差異に基づくものと考えられ、表層に高含水比の流動泥が存在する場合には、それらの層付近では音波探査における反射強度が低く、その下層で高強度層が現れ、底泥表面直近から強度の高い砂泥質の場合との違いが明瞭に示されている。

なお、図-7に示した底泥表面位置については、音波探査機と同時に音波周波数 200 kHz の音響測深器（千電機社製、PDR-130）により海底面を識別し、その高さとの対比から音波探査結果における海底面位置を確認している。また、流動泥が存在する高含水比の泥層を対象とした Sta.B では、音響測深機により認識される海底面高さを確認するため、ダイバーにより流動泥の表層部に相当する界面位置にステンレス製の反射板を置き、反射板の高さを音響測深機で測定した結果と、反射板がない場合の結果とを比較した（図-9）。これによると両者にはほとんど差が見られず、すなわち流動泥が存在する場合でも音響測深結果は、流動泥の表層部を海底面として認識していることが確認でき、既往の知見とも一致する結果（たとえば、奥村・梅原, 1978）となった。

4. おわりに

東京湾奥部の多摩川河口域を対象として、主に泥質堆積物の空間的な堆積分布特性の把握を目的とした現地データの解析を行った。採取直後の泥の流動特性を簡便に記録する方法を用いて、コアサンプラーから試料を押し出した際の流動状態に応じて底泥状態の分類を行った。含水比試験結果との対比によると、ここで分類された「流動泥」は含水比 300 % 以上の軟泥にほぼ相当し、河口部において水深約 10 m を境に水深が深い海域にむかって流動泥の層厚が増していくことがわかった。

これら底泥の堆積構造の効率的なモニタリング手法の確立を目的として、高精度音波探査機を導入した堆積層の測定と、さらにコアサンプル分析結果との対比を通じて音響測定結果の評価を行った。その結果、流動泥が存在する場合には、音波探査結果における底泥層内での反射強度の鉛直分布が砂泥質の場合とは明らかに異なるものとなった。ただし、流動泥層が存在する場合に見られた泥層内での反射強度の急激な上昇の原因については、今のところ含水比等の底泥物性値との明確な対応関係は確認できていない。これについては、底泥中に含有するガス類による音波散乱の影響も考えられることから、それらの影響も含めて今後の検討課題としたい。

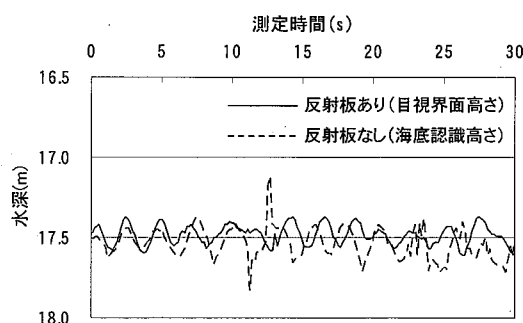


図-9 音響測深機（200 kHz）による流動泥表面（目視界面）高さと水深測定結果の比較

謝辞：本調査は国土交通省主催の羽田周辺水域環境調査研究委員会（委員長・風呂田東邦大学教授）での活動の一部をとりまとめたものである。当委員会委員諸氏より有益な助言を頂いたことを付記する。また、底泥の流動状態の評価に関する簡便法の実施に際しては日本 NUS・佐藤光昭氏に協力を、ハンドベーン試験機の導入に際しては港湾空港技術研究所土質研究室、渡部長官および佐々主任研究官より助言を得たことを付記し、謝意を表する次第である。

参考文献

- 五十嵐学・佐々木淳(2004)：東京湾奥部における浮泥堆積層厚の空間分布特性，海岸工学論文集，第 51 巻，pp. 981-985.
- 上野誠三・灘岡和夫・片倉徳男・勝井秀博・山田二久次(2000)：英虞湾の真珠養殖漁場における底泥の汚濁流動層に関する現地調査，海岸工学論文集，第 47 巻，pp. 1046-1050.
- 岡田知也・古川恵太(2005)：音響底質識別装置を用いた東京湾沿岸域の底質分布図の作成，海洋開発論文集，第 21 巻，pp. 749-754.
- 奥村樹郎・梅原靖文(1978)：海底浮泥の基本的性質，土と基礎，26-1(239)，pp. 25-32.
- 国土交通省関東地方整備局・国土交通省東京航空局(2006)：東京国際空港再拡張事業に係る環境影響評価書，第一分冊
- 五明美智男(2001)：衝撃現象を考慮した覆砂工法の体系化に関する研究，東亜建設工業株式会社技術研究所，水理環境研究室論文集別冊，第 1 集，162 p.
- 鶴谷広一・江口秀二・鷹濱潤(1989)：ベーン試験とスランプ試験による軟らかい粘土の流動限界の検討－回転粘土計との比較－，港湾技術資料，No.655，21 p.
- 中川康之・渡邊和重・谷川晴一・黒田祐一(2004)：海底面近傍における底泥密度の鉛直分布特性の把握，海岸工学論文集，第 51 巻，pp. 986-990.
- Parmanent International Association of Navigation Congresses (PIANC) Working Group 03 (1983)：Navigation in muddy areas, PIANC Maritime Navigation Commission, Supplement to Bulletin nr. 43, pp. 21-28.