

粘着性河川底泥の性状と粘着特性について

福島工業高等専門学校 正会員 ○橋本 孝一

同 上

伊藤 宏

1. はじめに

福島県いわき近海では、海水水質の悪化が懸念されているが、その要因の一つとして、河川から流送される汚濁物質による負荷が考えられる。特に、半閉鎖性水域となっている小名浜港での富栄養化は著しい。¹⁾

海域等の河川下流端への汚濁物質流出量を正當に評価するためには、低水流量時だけでなく、掃流力の大きくなる洪水時の挙動についての評価が不可欠である。下水道が未整備の都市を貫流する河川の河床には、有機物質を含む底泥が堆積しており、それらは、いわゆる“底泥分解 (benthic decomposition)”²⁾を受けつつ、その性状を変えており、その影響は底泥の物理化学的挙動に及んで、底泥の掃流抵抗性にも反映する。

有機物質等を含む河川底泥の掃流抵抗性は、底泥表面の凹凸・含水率・微細粒子の含有率・有機物含有率などの因子に左右されるものと考えられる。底泥の掃流抵抗性に関する研究は、これまでも数多くなされているが、まだそれらの現象を充分に解明しきっていないのが現状であろう。

我々は、これまで種々の観点から現地調査を重ねて、河川底泥の性状を把握すると共に、河川底泥中の有機物と生物活動およびそれらと粘着性との関連に注目した室内実験を行ってきたが、それらを通じて得られた若干の知見について報告する。

2. 河川底泥の現地調査

昭和55年度から3ヶ年間にわたって、福島県いわき地区を中心として、次のような観点から、現地河川底泥の採取・分析を行なった。(図2-1)

①表層水の異なる河川では、その性状の違いが底泥の性状にどのように反映しているかを確認する。

②泥察によって底泥の性状がどのように変化しているかを確認する。

③同一水系において、表層水と底泥との相関性を検討する。

以下、これらの結果について報告する。

2-1 河川の違いによる底泥の性状の相異

流域の土地利用の違いは、河川表流水および河川底泥の質にも反映するが、底泥の物理化学的特徴を確認するため、9水系10河川を対象に、各河川下流部の底泥を採取し、分類化を試みた。

(1) 調査方法

底泥の採取方法は、 $\phi 35\text{mm}$ のアクリル製の円筒を河床中に20cm押し込み、5cm毎に切断し、各々ビニール袋に入れ、同一地点で5~7ヶ所の底泥のコンポジットサンプルとした。

分析項目は、表2-1の通りで、各採取点における流域面積・表流水のBODの概略値は、表2-2の通りである。

(2) 分析結果と考察

分析項目間の相関は、表2-3のようであった。

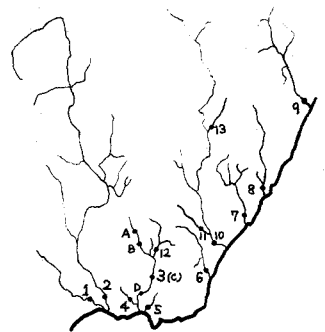


図2-1 調査対象河川

測定項目間で相関性の高いCOD、T-C、T-N、T-P、炭素減量(T-R)について、表式水の水质も考慮しながら、底泥から見た河川の類型化を検討する。Ballinger等は、底泥中の有機性炭素および有機性窒素の含有割合から、底泥を類型化している。³⁾ 本調査では、Ballinger等の考え方を拡張し、無機成分も含むT-C、T-Nを座標軸としてプロットすると、図2-2のようである。調査対象河川をタイプ別に示すと、『タイプⅠ……河川②、⑧、⑩』・タイプⅡ……河川①、④～⑦、⑨』となるが、それぞれの底泥の特徴として、次のような点が指摘できる。

(i) 粒径と炭素減量との関連では、タイプⅠ(→非有機性または安定した底泥)では、小粒径で炭素減量が多く、タイプⅡ(→分解性の高い汚泥)では、粒径の大きい部分でも炭素減量が多くなっている。(図2-3)

(ii) T-P量がタイプⅠでは少なく、タイプⅡでは多くなっている。

図2-2からも指摘しうのように、CN比だけでは、底泥の特徴を明らかにすることはできない。

2-2 泥深による底泥の性状の推移

泥深による底泥の性状がどのように変化しているかを確かめるため、前節の10河川のほかに、新たに3河川(河川⑪～⑬)を加えて調査を行った。河川⑪において、表層より10cm柱状に採泥し、それを2cm毎に切断し、粒度・比重等の物理化学的性状の推移を調べたが、結果は図2-4に示した。泥深が大きくなるにつれて、比重が大きくなると共に、炭素減量割合は下層に行くにつれて少なくなっている。このことは、河川⑪における流域内の土地利用の変化の少ないことを併せ考えると、底泥の堆積時間の進行と共に粒子の分級がよび有機物の分解が進んでいることを示すものと思われる。河川⑪～⑬の泥深毎の粒度分布についても同様な分級作用の傾向が認められた。泥深によるCOD、T-P、炭素減量、CN比の推移を見るため、表層部(0～5cm)の値を1としてプロットしたのが図2-5である。これらの結果からは、必ずしも明瞭な傾向は見られないが、CN比は泥深と共にやや大きくなる傾向を見せている。

2-3 同一水系での底泥の性状の推移

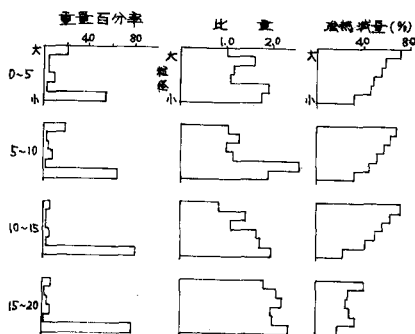


図2-4 河川⑪の泥深毎の推移

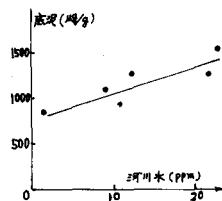


図2-7 リン酸イオンの相関

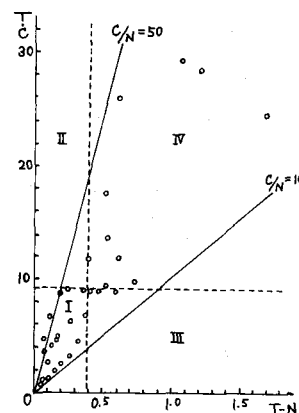


図2-2 底泥のT-C、T-N

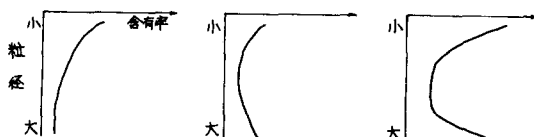


図2-3 各粒度中の炭素減量割合の分布

表2-1 分析項目

分析項目	分析方法
粒度分布	土質試験法
pH	ガラス電極法
一級COD	下水試験法
ORP	白金電極法
COD	アルカリ法
T-C	CNコーダー
T-N	—
T-P	モリブデン酸法
T-R	下水試験法

表2-2 河川概況

河川名	流域面積	BOD
1 淀田川	35 km ²	7.0 ppm
2 歌川	601	1.2
3 藤原川	106	4.0
4 宝来川	5	9.5
5 小名川	4.8	41.0
6 清津川	26	1.8
7 木井川	64	1.3
8 大久川	27	1.9
9 木戸川	240	1.5
10 豊井川	705	1.5
11 新川	32	9.0
12 湯本川	11	23
13 江田川	13	0.5

表2-3 分析項目間の相関

	pH	一級 ORP	COD	T-C	T-N	T-P	T-R	
pH	1.00							
一級 ORP	-0.36	1.00						
ORP	0.04	0.18	1.00					
COD	-0.23	-0.22	-0.39	1.00				
T-C	-0.19	-0.21	-0.40	0.78	1.00			
T-N	0.05	-0.06	-0.34	0.73	0.77	1.00		
T-P	-0.39	-0.17	-0.62	0.70	0.66	0.80	1.00	
T-R	-0.19	-0.21	-0.35	0.78	0.99	0.74	0.61	1.00

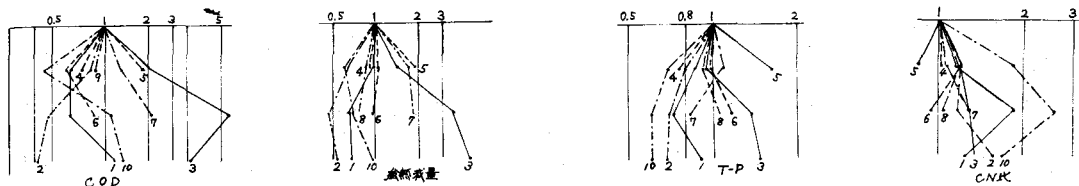


図2-5 泥系による推移

表2-4 採泥点の特徴

特徴	
A	農産排水あり、 BOD 3.3 ppm
B	1 尿処理場の排水 が流入
C	市街地からの排水 BOD 6.3 ppm
D	貯留池、底泥から の臭気あり

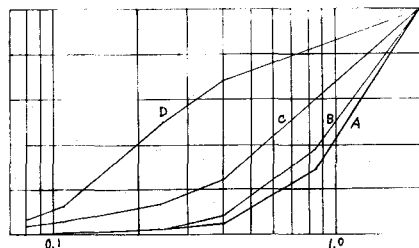
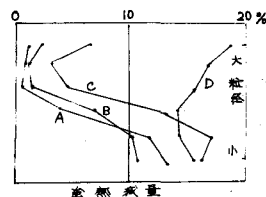


図2-6 上流へ下流の粒度分布の推移



河川③の本川に沿って、夏・秋・冬のそれぞれ1回ずつ、4地点(図2-1のA・B・C・D地点)において採泥した。採泥の方法は、20cm採取したものを半分は切断し、表層泥・下層泥として分析した。4地点の特徴と代表的な水質は表2-4のようである。粒度分布のうち、秋に採取した表層泥の分布を示したのが図2-6であるが、下流に行くにつれて細粒化しているのがわかる。この傾向は、夏・冬についても認められた。底泥減量についてみると、粒度分布のタイプが、下流に行くにつれて、(2-1)で明らかにしたような弱汚染型から底泥汚染型の分布へと推移している。

河川表流水と底泥の分析項目間の相関では、COD・ PO_4^{3-} に大きな相関が認められた(図2-7には PO_4^{3-} の場合と例示した。)

3. 現地河川底泥を用いての室内実験

これまで、種々の河川を対象に底泥の物理化学的性質を主体に分析を進めてきた。これらの調査結果を基に、有機物含有量・粒度分布の異なる河川底泥を混合し、それらの粘性および生物化学的性質の時間的推移を中心に検討した。

3-1 実験方法

河川③と河川④の底泥を大量に採取し、2mmのフルイを通した泥を適当な割合で混合して有機物割合等を調整し、均一にした後、500mlのビーカーに底泥を300ml入れて、特別製作のコテで平滑にした後、塩素分のない水道水を上層水として加え、25℃にセットした恒温水槽に浸漬し、水道水を流通させて(循環時間は2日間)、28日間観察した。

分析項目および分析方法は、表3-1に示す通りである。分析試料は、各々のビーカーの表層部・中層部・下層部に分けて行った。

実験は、Run I ~ Run IIIに分けて行ったが、それぞれの初期条件は、表3-2の通りである。

表3-1 分析項目

分析項目	分析方法
pH	ガラス電極法(塩素と3倍希釈)
ORP	白金電極法
BOD	下水試験法
COD	アルカリ法 ⁴⁾
底泥減量	下水試験法
粒度分布	土質 ⁵⁾
T-N・T-C	CNコグ- (柳本製MT-500)
一般細菌	田中英樹らの方法 ⁵⁾
TTC	同上
粘度	回転粘度計(東京計器B型粘度計)

表3-2 実験開始時の条件

	初期条件		
	Run I	Run II	Run III
底泥減量	9.3 %	6.2	9.2
含水率	46 %	37	43
COD	5.0 mg/l	5.6	3.6
pH	6.6	7.0	7.2
ORP	+520 mV	+240	+250

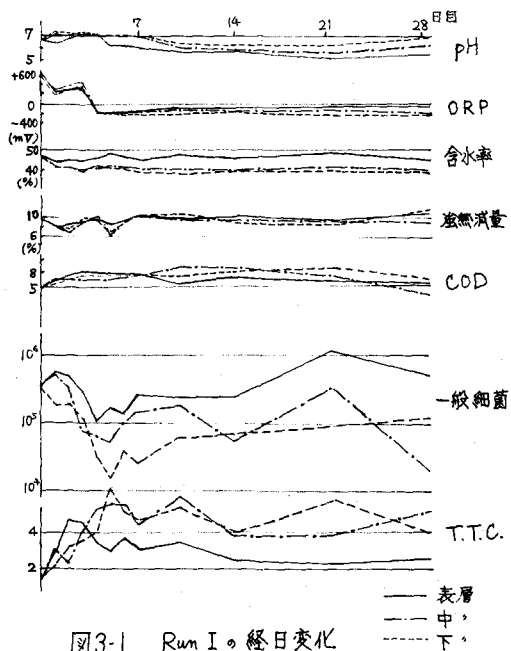


図3-1 Run I. 経日変化

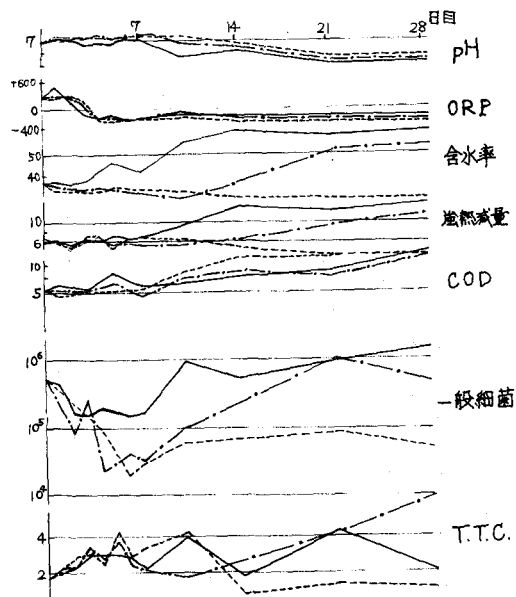


図3-2 Run II. 経日変化

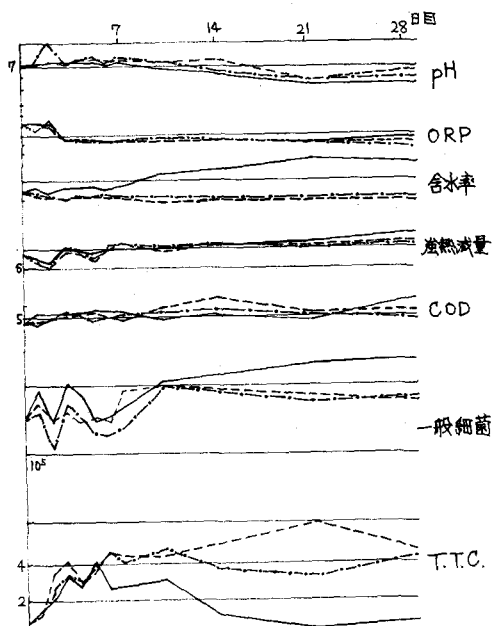


図3-3 Run III. 経日変化

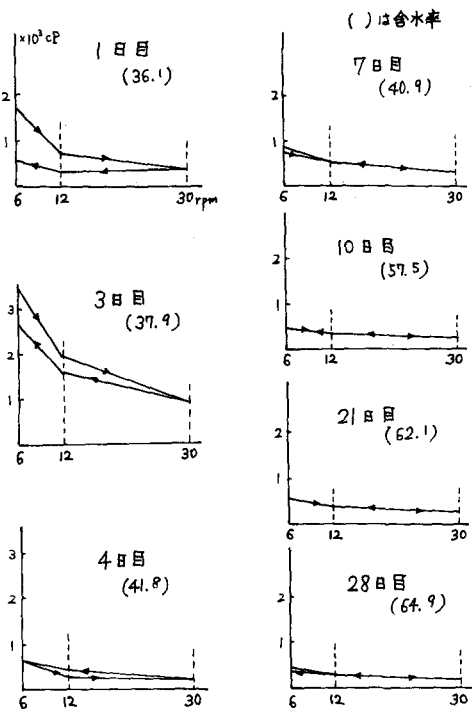


図3-4 底泥表層部の粘性の推移 (Run II)

3-2 実験結果と考察

Run I ~ Run III の 28 日間の観察結果は、図 3-1 ~ 図 3-3 に示す通りであった。

(1) 一般的傾向について概括すると、① pH ----- 弱アルカリ性の状態から次第に弱酸性に至るに至り、泥の表層部の方が低い pH 値を示している。② ORP ----- 実験開始後 3 ~ 4 日目で正から負に逆転し、以後わずかに電位を回復させている。③ 含水率 ----- 表層部の値が不安定で、時間の経過と共に大きくなってきている。④ COD ----- 実験開始後 7 日目以降、表層部より中・下層部の値が大きくなっている。⑤ 細菌学的指標 ----- 一般細菌は、表層部に多いが、脱氮素硝化活性 (TTC) は、下層部で大きな値を示している。

(2) 生物化学的な観点からの考察

底水中に浸漬されたビーガー中の底泥は、反応が泥層方向に大々規制された 1 次元反応モデルと考えられるので、その意味から泥層方向の挙動に注目する必要がある。そこで、表層部と下層部と推移に注目して考察する。pH、ORP の変動状況から底泥層は、4 ~ 7 日目で、実験条件下で一定の安定した状態に達したものと考えられる。不断の微生物活動によって有機物質が分解し、有機酸などの分解生成物は、上部へ拡散し (表層部では下層部に比べて pH 値が低く、熱熱重量が次第に大きくなっている)、それらが栄養源として、底層部の一般細菌の活動が持続されているものと考えられる。Fair 等は、河川底泥の分解過程を 3 つの段階に分けて示しているが²⁾、本実験では、才 1 段階、急激な発酵期から才 2 段階の安定期までを再現したことに相当する。

TTC は、表層部より下層部の方が大きな値を示しており、下層部でも TTC 反応が活発であることが伺え、一般細菌の増減とはむしろ逆の相関を示しているが、その内容を明らかにしえなかった。

(3) 物理化学的な観点からの考察

底泥表層部の生物化学的反応過程の蓄積が、粘性等の物理化学的性状にどのように影響するかを知ることは、底泥の揮発抵抗性の観点からも重要なテーマであると考えられる。

底泥表層部の粘性の実測値の一例を図 3-4 に示した。底泥は非ニュートン流体としての挙動を示し、回転粘度計の指度も必ずしも安定しないが、読みとりは、約 20 回前後の回転時の安定した指度から見かけ粘度とした。同一試料でも粘性は含水率によって著しく異なってくる (図 3-5 参照)。

実験経過日数と粘性との関係に注目すると、それらに關与する因子としては、含水率の変動のほか、底泥中の生物化学的環境の推移や土粒子の分級作用による粒度分布の変化が考えられる。

土粒子の分級効果については、実験開始時に均一であったものが、28 日経過時には、かなり分級が進んでいることが確認された。(図 3-6)

前項で確認されたように底泥表層部では、活発な一般細菌の活動が見られるが、そのことが粘性にどのような影響を与えているかを推定するため上昇流動曲線と降下流動曲線間の面積を測定し、その面積と含水率との関係を図 3-7 である。この図によれば、含水率 50% 以上では、底泥は擬塑性流体として扱うことができるようであ

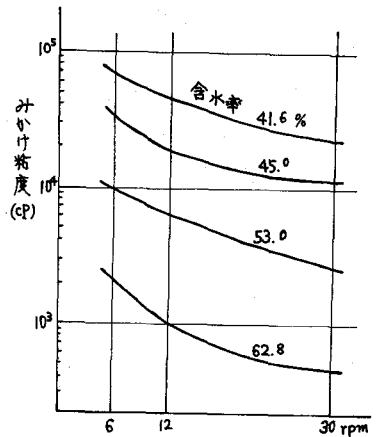


図 3-5 含水率と粘性

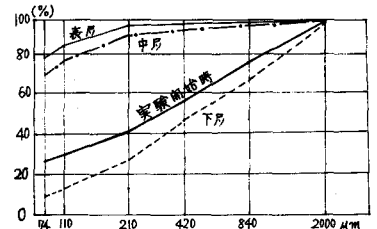


図 3-6 泥深毎粒度加積曲線

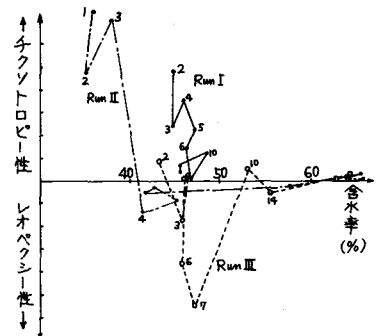


図 3-7 含水率と粘性

る。また、含水率39%から45%の間のRim Iの推移を見ると、同一含水率でも、経過日数と共にチフソトリピー性が小さくなり擬塑性を示すに至っている。この事は、生物化学的反応および粒子の分級作用に伴う底泥表層部の細粒化などの作用により、一定の底泥環境の下に安定化しつつあることを示すものと思われる。換言すれば、安定した環境の下での底泥は、擬塑性体としての挙動を示すものと考えられる。

4. まとめ

13の中小河川を対象に底泥の現地調査を行なった結果、次のような点が明らかになった。

- ①底泥中のT-C, T-Nの含有量から河川汚濁の特徴を推定することが可能である。
- ②底泥の粒度毎の燃熱減量の含有割合から、清浄な河川と汚濁された河川のタイプが推定しうる。
- ③底泥中では、粒子の分級作用が働いている。

また、室内実験を通して、底泥中の生物化学的性状の推移を確認し、底泥表層部での生物化学的反応および粒子の分級化などの影響により、底泥が次第に安定化していく過程を追跡した。底泥は、安定した環境下では、擬塑性体として取扱うことができる。

今後は、生物化学的反応過程が粘性にどのように関係しているのかについて、さらに定量化していきたい。

末筆ながら本調査研究に対して終始御協力いただいた福島高専工業化学科舟山義一氏、同土木工学科鈴木善四郎氏、江尻勝紀氏はじめ、卒業研究生の方々に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 伊藤玄, 橋本孝一, 舟山義一: 小名浜港の水質汚濁機構解析, 文部省特定研究報告書, 1983. 3.
- 2) G. M. Fair, E. W. Moore, H. A. Thomas: The Natural Purification Of River Muds And Pollutational Sediments, Sewage Works Journal, March 1941
- 3) D. G. Ballinger, G. D. McKee: Chemical Characterization Of Bottom Sediments, J. WPCF, Feb. 1971
- 4) 松江吉行編: 水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣 (1965)
- 5) 田中英樹, 畑田太美子, 北村弘行: 公共用水域における生物学的浄化機能に関する研究Ⅳ, 兵庫県公害研究所報告, 第8号 (1976)