

(5) 都市河川の底泥および浮泥の水理・水質学的特性
— 淀川、神崎川、および神崎川に流入する支川の調査 —

岡山大学工学部 ○河原長美
関西大学工学部 山岡一三
建設省 西原 巧

1. 緒 言

都市河川には、生活排水、下水道放流水、工場排水等からの負荷のために、多量の有機物を含む底泥が堆積しており、このような底泥は水質に大きな影響を与えていると考えられる。

底泥の水系内における分布状態とそれが水質に与える影響を予知し評価するためには、底泥の原因物質が水系内へ流入する過程、底泥が水系内で輸送される過程、および各種の作用により底泥が変質する過程を検討する必要がある。ここでは主として輸送過程に焦点を絞り、底泥および浮泥の水理・水質学的特性について、現地調査の結果をもとに検討を加えた。

2. 調査地点および調査・分析方法

調査地点は、図-1 に示す各地点である。調査地点のうち、Y-1～4、A-1、2、およびa-1、2 は非感潮域に位置し、他の地点は感潮域に位置する。

調査は1978年10月から1980年1月にかけて行なった。調査項目は、水理調査項目としては水位、水深および流速を、水質調査項目としてはCOD(Mn) (アルカリ性直火5分間煮沸法)、BOD₅ (下水試験方法準拠)、SS (ガラスファイバー濾紙法と分光光度法との併用)、および塩素イオン (主として電気伝導度—塩素イオン検量線を用いて電気伝導度より算出) を、また底質調査項目としては粒度分布 (フルイ分け

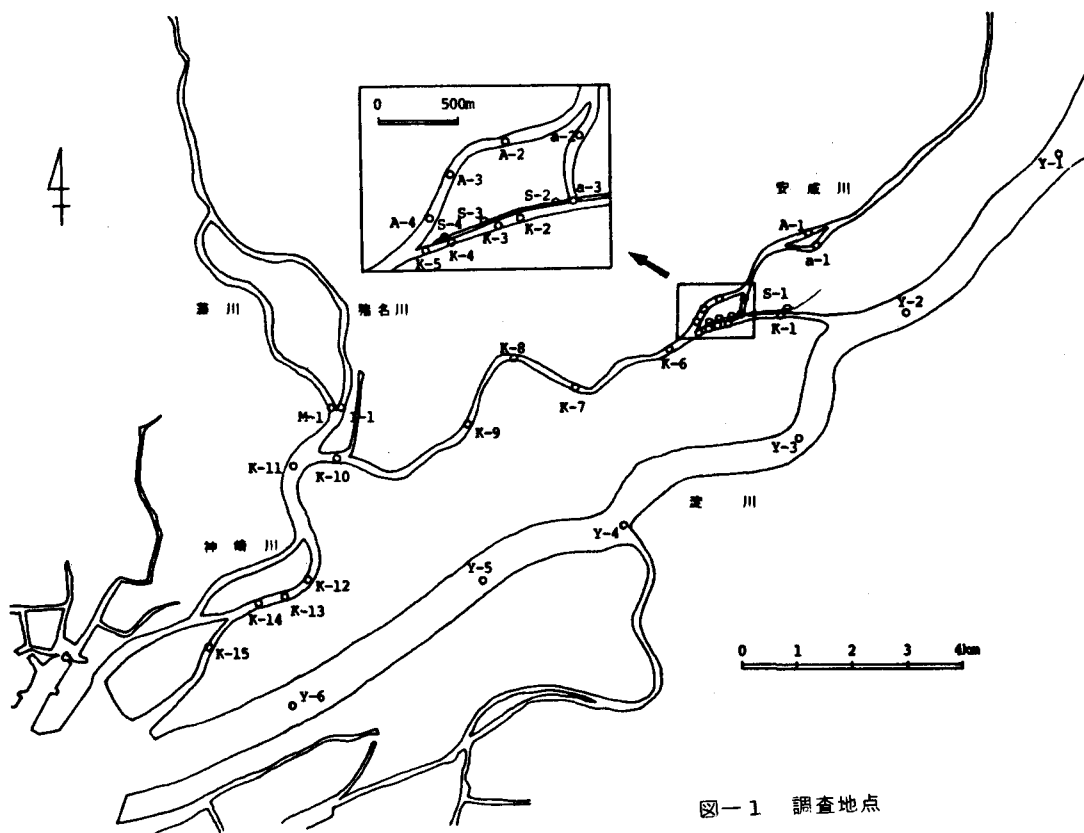


図-1 調査地点

法とピペット法の併用)と強熱減量とを測定した。

採水方法は、地点S-2~4については、水深が大きいときでも1mを少々越える程度であるので鉛直方向の各点での採水にはピペットを用いて、また分析の都合上採水量を多く必要とする場合は断面中央部で北原式採水器を用いて行なった。その他の地点の採水には、北原式採水器および写真-1に示す試作した採水器を用いた。

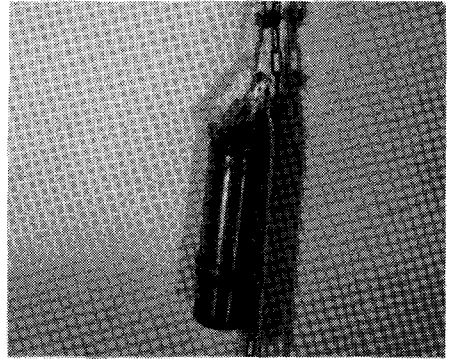


写真-1 試作した採水器

3. 調査結果と考察

3-1 底泥の特性

(1) 底泥の粒度分布

底泥の粒径加積曲線より粒径頻度分布曲線を描いたのが図-2である。図-2に示されるように、底泥の粒度分布は2種類に分類されるようである。すなわち、頻度分布曲線にピークが1個だけ現われる場合と、2個以上のピークが現われる場合とである。後者の極端な場合には、どの粒径の粒子も比較的均等に存在し、明確なピークが存在しない場合があるが、今回の調査ではこのような分布は得られなかった。

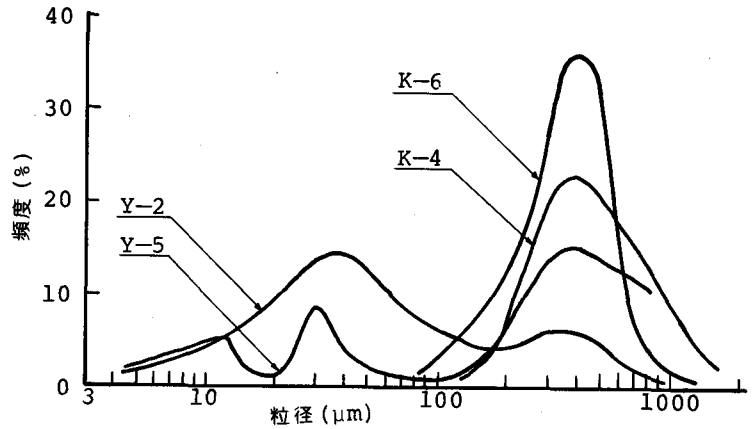


図-2 底泥の粒径頻度分布

以下においては、これらのピーク値に対応する粒径のうちで最も小さい粒径を最小ピーク粒径と呼ぶことにする。最小ピーク粒径という呼び方は正規なものではないが、底泥の粒径特性を代表する1つの指標と考えてよい。すなわち、堆積する底泥の粒径は出水時と平常時とは大きく異なり、粒径の大きい側のピークは出水時と関係が深く、最小ピーク粒径は平常時に堆積する底泥の代表粒径を表わしていると考えられる。なお、底泥によっては中央粒径近傍の粒径を有する粒子がほとんど存在しない場合があり、代表値としてよく用いられる中央粒径が必ずしも粒径特性を表わす指標として適切でない場合がある。

表-1に分析結果を示す。中央粒径は、神崎川下流部(K-10~15)を除けば200~800μmであり、地点間の差はさほど大きくない。神崎川下流部については、中央粒径は12~112μmであり小さくなっている。最小ピーク粒径については、淀川下流部(Y-3~5)および神崎川下流部が極めて小さく13~50μm程度である。特にY-3~5およびK-15では中央粒径に比して極端に小さく

表-1 底泥の粒径と強熱減量

地点	昭和53年12月, 昭和54年1月			昭和54年9月		
	最小ピーク粒径(μm)	中央粒径(μm)	強熱減量(%)	最小ピーク粒径(μm)	中央粒径(μm)	強熱減量(%)
Y-1				380	480	0.65
Y-2	35	37	7.05	310	330	1.36
Y-3	17	700	4.61	25	220	3.92
Y-4	9	240	4.77	50	420	0.81
Y-5	12	260	3.88	20	340	5.76
Y-6				20	-	10.65
K-1	400	400	0.41			
K-2	400	600	0.84	185	200	1.92
K-3	550	600	0.02			
K-4	400	420	0.77			
K-5	750	600	0.19			
K-6	400	300	1.56	350	280	1.83
K-7	400	320	2.74	-	-	10.21
K-8				350	320	1.31
K-9				335	300	2.02
K-10				50	47	18.28
K-11				8	23	12.69
K-12				14	13	20.32
K-13				14	12	21.50
K-14				13	14	23.87
K-15				15	112	20.65
A-1	850	-	0.47			
A-2	580	500	0.60			
A-3	420	550	0.89	650	680	0.70
A-4	400	400	0.95			
a-1	350	660	0.79			
a-2	850	1100	0.54			
a-3	370	600	3.09			
s-1	700	800	0.17			
s-2	450	750	1.69			
s-3	580	800	1.11			
s-4	400	420	1.19			
M-1				-	-	6.30
I-1				600	600	1.02

っている。

なお、淀川の一部 (Y-2 ~ 5), 神崎川の一部 (K-2, 6), および安威川のA-3地点については、採泥年月日の異なる2種類のデータが示されているが、これらのデータを比較してみると、同一地点であっても採泥時期によって底泥の粒度分布がかなり変化することがうかがえる。これには、出水からの経過日数が関与しているものと推定される。

(2) 底泥の強熱減量

淀川のY-6地点および神崎川下流部 (K-10 ~ 15) の強熱減量は他の地点と比較して高く、10 ~ 23 %を示す。とりわけ神崎川の下流部は18 ~ 23 %で著しく高い値を示す (表-1)。

図-3, 4に強熱減量と中央粒径および最小ピーク粒径との関係を示す。粒径が小さくなるほど強熱減量は大きくなる傾向を示している。採泥時期によって強熱減量が著しく異なる場合も認められるが、これらの地点では粒径も同様の傾向が認められており、粒径と強熱減量との相関が高いことを示している。

これらの図において、中央粒径あるいは最小ピーク粒径がほとんど現われない粒径範囲 (図-3では100 ~ 200 μm , 図-4では50 ~ 300 μm) が存在しており、各粒径がこの範囲より大きな底泥の群と小さな底泥の群とでは強熱減量の値

に大きな差が認められる。

すなわち、最小ピーク粒径を例にとると、その値が

300 μm 以上の底泥では強熱減量はたかだか3 %程度であり、有機物質がほとんど堆積していないと判断されるのに対し、50 μm 以下の底泥の強熱減量は極端に高い値を示している。

また、各地点の強熱減量の大小は上流部からの汚濁物質の供給量にも依存するものであり、神崎川は淀川に比して強熱減量が大きくなっている。

(3) 底泥の粒径と摩擦速度

河川底泥の粒径は河床底面に作用する摩擦力と密接な関係があると考えられる。

図-5, 6は、それぞれ中央粒径もしくは最小ピーク粒径と摩擦速度との関係を示している。ここで摩擦速度は粗面水路における流速の対数分布式を用いて、鉛直方向の流速分布より算出

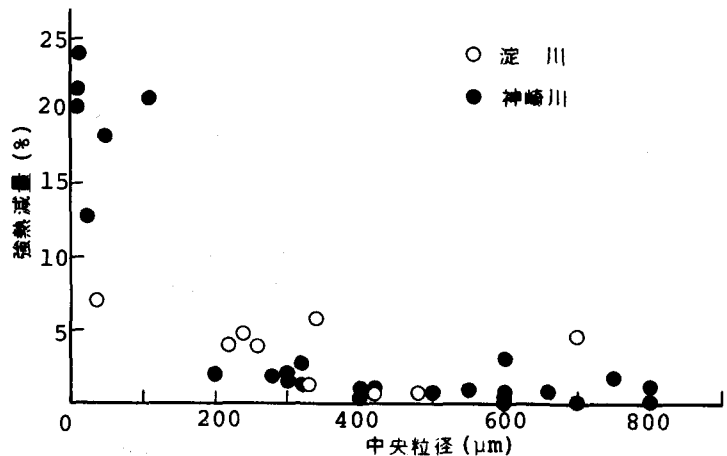


図-3 底泥の中央粒径と強熱減量

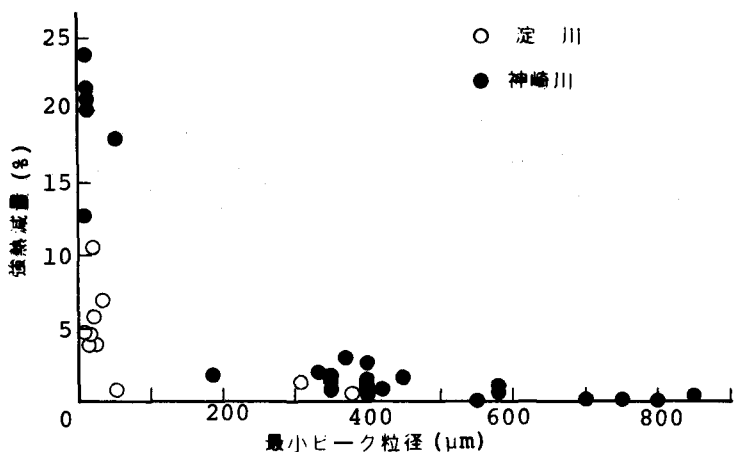


図-4 底泥の最小ピーク粒径と強熱減量

した。

図-5, 6より, 摩擦速度と粒径との間には必ずしも明確な関係をみいだしがたいが, 非感潮部においては摩擦速度が1cm/sec以下になれば50 μ m以下の微細な粒子が堆積する傾向がみられる。感潮部においては, 上述のような関係は認められず, 摩擦速度が1cm/sec以上でも微細な粒子が堆積していたり, また逆の場合もみられる。これには, 感潮部の摩擦力の評価の仕方にも問題があるが, その他にも海水による凝集作用も複雑に影響していると考えられる。

3-2 浮泥の特性

(1) 浮泥の鉛直分布と粒径

図-7に浮泥の鉛直分布の例を流速分布とともに示す。村岡¹⁾が示した方法を用いて, 浮泥の鉛直分布を次式で表わされるRouseの式で近似し, 沈降速度および粒径を算出した。

$$C = C_0 + C_s$$

$$\frac{C_s}{C_{sa}} = \left(\frac{h-z}{z} \frac{a}{h-a} \right)^Z$$

$$Z = w / \kappa u^*$$

ここに, Cは全浮泥濃度, C₀はWash load的な浮泥濃度, C_sはRouse分布に従う浮泥濃度, C_{sa}はRouse分布に従う浮泥濃度の $z=a$ における値, z は水路床からの距離, w はRouse分布に従う浮泥の沈降速度 κ はKarman定数である。

今回調査の対象としている地点は

感潮域であり, 等流状態を仮定

するRouseの式は厳密には適用

しえないが, 近似的にRouseの

濃度分布式に従う場合について

Rouseの式と浮泥濃度とよりZ

を求め, あらかじめ得られている

摩擦速度を用いて, 沈降速度

および浮泥の粒径を算出した。

なお, 粒径を算出する際には, -40

底泥の密度とStokesの式を用い

ている。

計算結果は表-2に示される

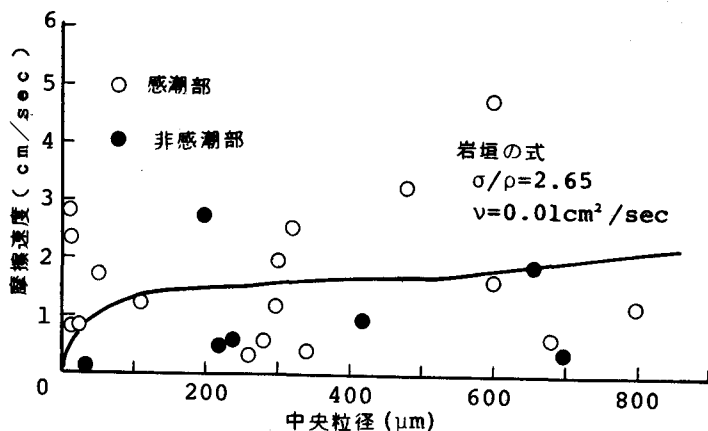


図-5 底泥の中央粒径と摩擦速度

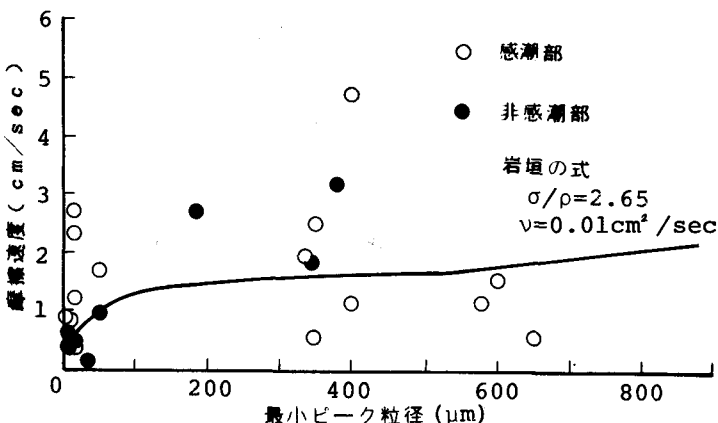


図-6 底泥の最小ピーク粒径と摩擦速度

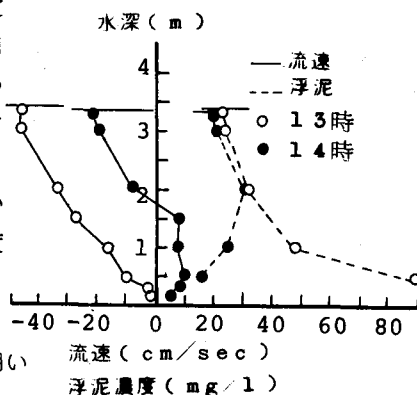


図-7 浮泥と流速の鉛直分布

表-2 浮泥の沈降速度と粒径

地点	時刻	W (cm/sec)	d (μm)	底泥の粒径 (μm)
S-2	13	0.094	33	$d_{50}=750$ $d_{10}=270$
	14	0.090	32	
	17	0.146	41	
	18	0.124	38	
S-3	12	0.302	43	$d_{50}=800$ $d_{10}=240$
	13	0.142	40	
	14	0.168	44	
	18	0.124	38	
	19	0.082	31	
	20	0.124	38	
S-4	12	0.064	27	$d_{50}=420$ $d_{10}=190$
	13	0.133	39	
K-12	9	1.02	140	$d_{50}=13$
	14	0.272	72	
	15	0.303	76	
	18	0.916	130	
K-13	11	0.709	120	$d_{50}=12$
K-14	13	0.987	140	$d_{50}=14$
	15	0.339	84	

とおりである。S-2~4 地点においては、粒径は $30 \sim 40 \mu m$ 程度であり、K-12~14 地点では $70 \sim 140 \mu m$ 程度を示している。図-8 は、S-3 地点において浮泥を収集して得た沈降速度分布である。この図より重量百分率で 50% に相当する沈降速度は $0.028 cm/sec$ であり、また、頻度分布を考慮して $\int_0^{\infty} wp(w) dw$ により平均沈降速度を算出すると約 $0.07 cm/sec$ となる。ここに、 $p(w)$ は、沈降速度 w の粒子の頻度分布関数である。後者の値は、表-2 における S-2~4 地点の浮泥の沈降速度の下限値程度である。

算出された粒径は推定の域を越えるものではないが、ここで得られた浮泥の粒径と底泥の粒径とを対比すると次のようなことが言えるようだ。

S-2~4 地点については、浮泥の粒径は通過重量百分率の数%程度の底泥の粒径に相当する。このことは、底泥の主要な部分は、底泥のおかれている水理条件下ではまき上げられることはないと言えよう。なお、羽田²⁾は wash load に近い S S の粒径を測定しているが、これと比較すると、今回示された浮泥の粒径は通過重量百分率 90% 以上の粒径に相当している。

K-12~14 地点については、底泥の中央粒径は $12 \sim 14 \mu m$ であり、浮泥の粒径のほうがはるかに大きな値を示している。このような差の原因の一つには次のような点が考えられよう。すなわち、底泥の分析の際には、底泥をミキサーで分解し分散剤を用いて凝集を防止して測定しているのに対し、浮泥の粒径算定の際には、海水による凝集作用を受けて存在する浮泥³⁾について粒径を算定していることである。

なお、S-2~4 の塩素イオン濃度は、 $200 \sim 300 mg/l$ 程度であり、K-12~14 の塩素イオン濃度は河床付近で $8 \sim 12 g/l$ 程度、表面で $3 \sim 8 g/l$ 程度であった。

(2) 浮泥の COD(Mn) と BOD

浮泥の COD(Mn) および BOD の測定結果を図-9~12 に示す。S-2~4 地点の浮泥と K-13 地点の浮泥とは性状が異なるので 2 つに分けて検討を加える。

まず、S-2~4 地点における浮泥の COD(Mn) については、図-10 にみられるように、浮泥濃度が小さい段階と大きい段階とでは、単位量の浮泥の増加に伴う COD(Mn) 増加量が異なっている。すなわち、浮泥濃度が低い段階では増加率は $0.2 \sim 0.3$ 程度であるが、高濃度になると $1/4 \sim 1/5$ 程度に減少している。この原因としては、浮泥濃度が低い段階では底泥表面に堆積している植物の細片等がまき上げられているが、浮泥濃度が高い段階では質量に比して有機物量の少ない底泥本体の一部もまき上げられていることによるものではないかと推定される。また、BOD については、浮泥濃度が低い段階の試料について、 $BOD = 0.777 (\text{浮泥})$ という関係が得られている(図-9)。

K-13 地点については、図-11, 12 に示されるように、COD(Mn), BOD ともに浮泥濃度との間には明確な関係は認めがたいが、COD

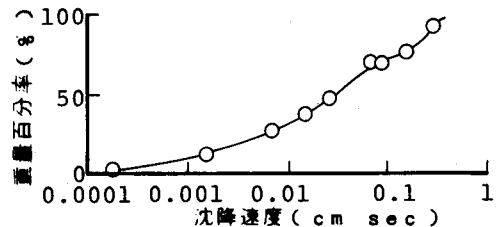


図-8 浮泥の沈降速度分布

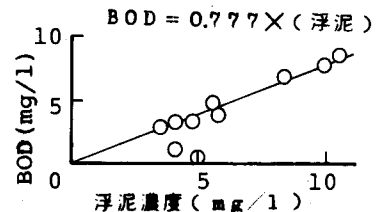


図-9 S-3 地点の浮泥の BOD

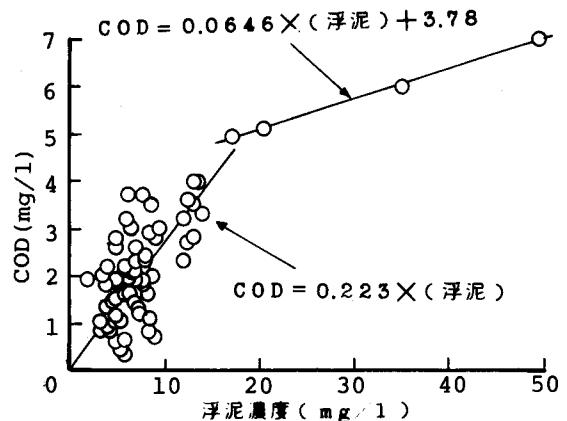


図-10 S-2~4 地点の浮泥の COD

(Mn) と浮泥との関係は、S-2~4 地点における高濃度段階の傾きに近いようである。

4. 結 言

本研究では、河川の底泥および浮泥の水理・水質学的特性について、淀川および神崎川を対象とした現地調査の結果をもとに検討を加えた。その結果明らかにされた事項を列挙すると次のとおりである。

(1) 都市河川底泥の粒度分布には、頻度分布曲線に1つのピークが現われるタイプと2つ以上のピークが現われるタイプとが存在し、最小ピーク粒径は上流部では200~800 μm であり、河口部では13~15 μm であった。

(2) 底泥の強熱減量と粒径との間には負の相関があり、最小ピーク粒径が300 μm 以上の場合は強熱減量はたかだか3%程度であり、逆に50 μm 以下の場合は強熱減量は極端に大きな値を示す。

(3) 底泥の粒径と摩擦速度との関係については、非感潮部で摩擦速度が1cm/sec程度以下の地点には50 μm 以下の微細な粒子が堆積しているが、感潮部については必ずしも明確な関係が得られていない。

(4) 浮泥の鉛直分布よりRouseの式に従うとして算出した浮

泥の粒径は、海水の混入がほとんどないと考えられる神崎川上流部では、底泥には数%程度しか存在しない粒径であり、海水の混入率が高い神崎川下流部では、底泥の中央粒径より大きな値を示した。

(5) 浮泥のBODおよびCODは地点によって必ずしも同じ傾向を示さなかったが、神崎川上流部のS-2~4については、浮泥濃度の0.78倍がBODとして測定され、またCOD(Mn)については浮泥濃度が20ppm程度までは浮泥濃度の0.2~0.3倍がCOD(Mn)として測定され、浮泥濃度が高くなるとこの倍率は小さくなる傾向を示している。

なお、感潮部での摩擦力の評価の問題、まき上げを考慮した輸送量の問題、浮泥の凝集性の問題、底泥の粒度組成の経時変化の問題など、十分に検討を加えることができなかった課題について今後検討を加える予定である。

最後に本研究を進めるにあたって、岡山大学工学部名合宏之教授には御指導をいただき、関西大学工学部西形達明助手ならびに同研究室学生諸氏、および岡山大学工学部土木工学科衛生工学研究室の学生諸氏には調査の協力を得たことを記し謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 村岡：流れによる底泥浮上と水質との関連，第18回水理講演会講演集，p.p.181~186，(1974)
- (2) 羽田：雄物川における浮遊物質の挙動について，第8回環境問題シンポジウム講演論文集，p.p.111~117，(1980)。
- (3) 楠田，古賀，栗谷：塩水中における粘土粒子の凝集，用水と廃水，Vol.20，No.3 p.p.31~36 (1978)。
- (4) 河原，山岡，福永：浮泥の水理・水質学的特性，土木学会第35回年次学術講演会講演概要集，p.p.776~777，(1980)。

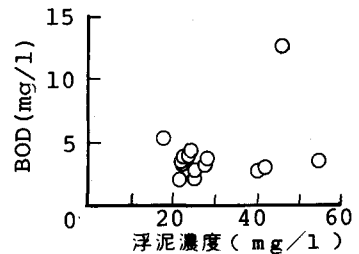


図-1 1 K-1 3 地点の
浮泥の BOD

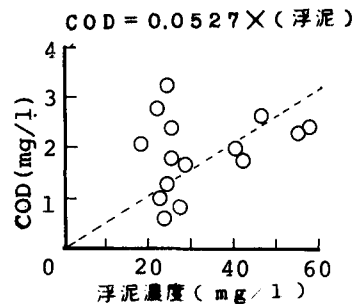


図-1 2 K-1 3 地点の
浮泥の COD