

土工事における濁水処理に関する研究 (第5報)

—有害物質含有ヘドロの浚渫工事における濁水処理—

喜 田 大 三
辻 博 和

Studies of Muddy Water Treatment in Earthwork (Part 5) —Treatment of Muddy Water Containing Harmful Substances Produced by Dredging Work—

Daizo Kita
Hirokazu Tsuji

Abstract

Muddy water containing harmful substances is produced during dredging of “hedoro.” It is required for this muddy water to be reduced to a harmless state. Laboratory studies were therefore conducted to investigate the behaviors of harmful substances (for example, PCB, Hg) in muddy water and methods of removal. It was concluded that measures against harmful substances should consist basically of methods to eliminate suspended substances from muddy water. As a result, muddy water containing PCB produced by dredging work at a certain port was treated by a precipitation method by the use of inorganic flocculant (PAC) and organic flocculant (Panfloc), upon which the effluent was discharged into the port.

概 要

日本全国の港湾等に堆積した有害物質含有ヘドロの掘削除去工事が現在いそがれている。そしてこの種の工事中には、多くの場合排水基準値以上の有害物質を含んだ濁水が発生している。このような濁水による二次公害を防止するため、濁水は公害を引き起こさない清澄水に処理したのち放流する必要がある。そこで、まず室内実験において、PCBあるいは水銀を含むヘドロを対象に、濁水中の有害物質の挙動を明らかにし、その結果濁水中の有害物質を除去するためには、基本的に濁水中のSS成分を除去すればよいことを明らかにした。そして、この室内実験の結果にもとづいて、某化学工場の専用港に堆積したPCB含有ヘドロの浚渫工事で発生した浚渫濁水の処理を無機系凝集剤ポリ塩化アルミニウムと有機系高分子凝集剤パンフロックの併用添加による凝集沈殿方式によって施工した。その結果、処理水中の残留PCB濃度を排水基準以下に抑えることができ、余水を港内に放流することができた。

1. はじめに

日本全国の各地の港湾、河川等に、産業廃水中の水銀などの有害物質によって汚染されたヘドロ（有害ヘドロ）あるいは産業廃水、生活雑廃水などによって汚染された有機物質含有量の多いヘドロ（有機ヘドロ）が多量に堆積している。有害ヘドロは、魚介類の体内でヘドロ中の有害物質が蓄積する結果人間に健康被害を与え、有機ヘドロは、含有有機物が溶出して赤潮の原因になるとともに、人家の密集地近くに堆積してい

ると悪臭の発生源となる。

そこで、環境の浄化をはかるために、有害ヘドロあるいは有機ヘドロの掘削除去工事が各地で実施されている¹⁾。そして、現在までのところ、水銀とPCBを含有する有害ヘドロについてのみその除去基準が定められている。水銀については、その濃度が河川湖沼で25ppm、港湾等では基準式から地域ごとに算出し、たとえば水俣港、大牟田港で25ppm、酒田港で28ppmである。またPCBについては、河川、港湾とも一律10ppmと定められている。

これらの有害ヘドロの掘削除去工事の施工にあたっては、有害物質による二次汚染が発生しないように、慎重に配慮する必要がある。特に、工事に際しては、ヘドロの濁水が必ず発生しており、この濁水中には多くの場合、多量の有害物質が含まれており、そのまま工事区域外に放流することはできない。したがって、このような濁水による二次公害を防止するため、なんらかの濁水処理を行ない、水中の有害物質等の濃度を「排水基準を定める総理府令」による排水基準値以下にしたのち、工事区域外に放流する必要がある。

そこで、本報では、まず室内実験によって濁水中のPCBあるいは水銀の挙動を明らかにし、濁水中のこれら有害物質の除去方法の指針を得るとともに、この室内実験の結果にもとづいて行なった PCB 含有ヘドロの浚渫工事における濁水処理の具体例を紹介する。

2. 濁水中の有害物質の除去について

2.1. 供試ヘドロ

実験に用いた2種類のヘドロの性状を表-1に示す。ヘドロAは某化学工場からの産業廃水によってPCBで汚染されたヘドロで、工場専用港に堆積していた。このPCBの含有濃度は14.2~30.0ppmであった。また、ヘドロBは某カセイソーダ製造工場からの産業廃水によって水銀汚染されたヘドロで、某河川に堆積していた。この総水銀の含有濃度は94~655ppmであり、アルキル水銀は含まれなかった。

項目 試料名	堆積場所	化学的性質				物理的性質				
		COD mg/g	強熱 減量 %	硫化物 %	有害物質 PCB 14~30ppm	含水比 %	真比重	粒度分布		
							粘土 %	シルト %	砂 %	
ヘドロ A	某工場専用港 (海水条件下)	41.5	13.3	0.4	PCB 14~30ppm	200	2.36	32	40	28
ヘドロ B	某河川 (淡水条件下)	60.8	29.1	1.2	総水銀 94~655ppm	230	2.51	33	55	12

表-1 供試ヘドロの性質

2.2. 実験方法

ヘドロをミキサーで解膠して懸濁物質 (Suspended Solid) 濃度2%の濁水を作成した。その際、両者のヘドロの生成条件を考慮して、ヘドロAは海水条件 (NaCl 2.72%) で、ヘドロBは淡水条件 (水道水) でそれぞれ作成した。

この濁水を沈降管に採取し、Al系無機凝集剤、Ca系無機凝集剤、有機系高分子凝集剤をそれぞれ単独あるいは併用して添加し、攪拌したのち、一定時間静置後沈降管中の上水をサイホンで採取し、以下に示す項目について分析を行なった。(1)SS濃度 (2)水素イオン濃度指数 (pH) (3)総水銀濃度 (4)PCB濃度

2.3. 実験結果と考察

実験結果を表-2に示し、さらにヘドロAについてのSS濃度とPCB濃度との関係、およびヘドロBについてのSS濃度と総水銀濃度との関係を図-1に示す。

図から明らかなように、無処理濁水そして無機系凝集剤と有機系高分子凝集剤を単独あるいは併用添加処理した濁水のすべてについて、ヘドロAでは上水中のSS濃度の減少に対応してPCB濃度が、ヘドロBでは上水中のSS濃度の減少に対応して総水銀濃度が、それぞれ減少している。そして、SS濃度(対数値)とPCB濃度(対数値)およびSS濃度(対数値)と総水銀濃度(対数値)との間にそれぞれ直線関係が成立し、以下に示す関係式で表わすことができた。

ヘドロAについて

$$\log(\text{PCB濃度mg/l}) = 0.689 \log(\text{SS濃度 mg/l}) - 3.346$$

$$r(\text{相関係数}) = 0.968, n(\text{サンプリング数}) = 11$$

ヘドロBについて

$$\log(\text{総水銀濃度mg/l}) = 0.896 \log(\text{SS濃度mg/l}) - 2.876$$

$$r = 0.964, n = 14$$

上の2式に示した関係式における相関係数はヘドロAで0.968、ヘドロBで0.964と両者ともに非常に大きい値を示しており、濁水中のPCBあるいは総水銀の挙動は濁水中のSS成分の挙動と一致していると判定できる。すなわち、濁水中のPCBは濁水中のSS成分に吸着あるいは付着していると考えられる。

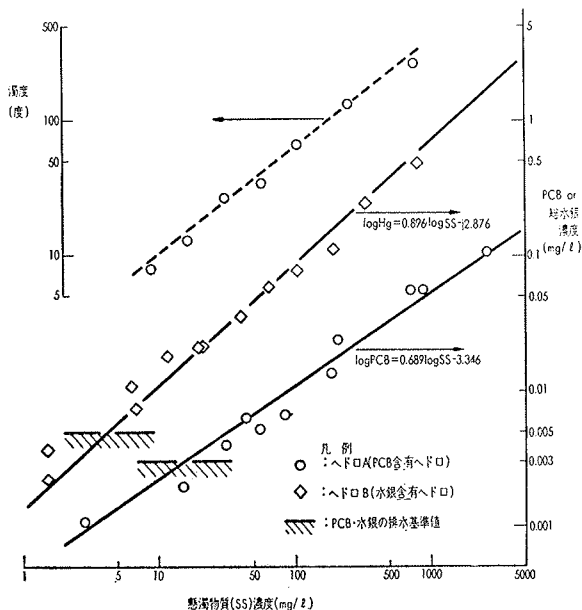
濁水の 種類	処理方法		上水の分析項目			
	薬品処理内容	静置時間	SS濃度 mg/l	PCBあるいは 総水銀濃度 mg/l	pH	
ヘドロA	無処理	5分	2,546	0.1116	7.4	
	"	30分	850	0.0570	"	
	"	45分	690	0.0580	"	
	"	24時間	30.0	0.0041	"	
	Ca(OH) ₂ 250ppm	30分	81.0	0.0069	8.6	
	" 1,000	"	54.0	0.0053	9.2	
	" 4,000	"	41.0	0.0067	11.5	
	パンフロック 2	"	200	0.0250	7.4	
	(PAC 25) パンフロック 2	"	180	0.0140	7.3	
	(PAC 50) パンフロック 2	"	14.5	0.0020	7.3	
	(PAC 100) パンフロック 2	"	2.7	0.0015	7.1	
	ヘドロB	無処理	0分	18,000	8.5	7.1
"		60分	812	0.48	"	
"		120分	346	0.24	"	
"		24時間	112	0.079	"	
PAC 100ppm		30分	200	0.11	6.9	
" "		60分	66.0	0.059	"	
" 500		30分	20.8	0.021	5.8	
" "		60分	6.8	0.011	"	
ダイアクリア-1		30分	22.3	0.021	7.1	
" 5		"	7.2	0.0072	"	
(PAC 100) ダイアクリア-0.2		"	42.0	0.036	6.9	
(PAC 500) ダイアクリア-0.5		"	12.0	0.018	5.8	
(PAC 500) ダイアクリア-1	"	1.6	0.0037	"		
(PAC 100) ダイアクリア-1	30分後ろ過	1.6	0.0022	6.9		

表-2 ヘドロAおよびヘドロBの実験結果

また、濁水中の総水銀は水に難溶性の形でやはり SS 成分に吸着あるいは付着していると考えられる。ところで、入鹿山らの報告³⁾によれば、水俣湾水銀含有ヘドロ中の無機水銀の主体は硫化水銀と酸化水銀と言われており、今回の濁水中の水銀も大部分はやはり上記の形態で存在し、SS成分の表面に分布していると予想される。さて、SS成分に吸着あるいは付着していると考えられる PCB あるいは総水銀が濁水中の全 SS 成分に均一に分布していると仮定すると、先に示した 2 式中の $\log(\text{SS濃度 mg/l})$ の係数は 1.0 を示すはずである。しかし、今回の濁水についてのそれはヘドロ A で 0.689、ヘドロ B で 0.896 であり、濁水中の PCB あるいは総水銀は全 SS 成分に均一に分布しているとは判断しがたい。すなわち、自然沈殿あるいは凝集沈殿処理によって処理しにくい粒子の細かい画分の SS 成分すなわち無機あるいは有機のコロイド分に、PCB あるいは総水銀が多く分布していると考えられる^{4), 5)}。特にその傾向はヘドロ A における PCB の分布において顕著である。

さて、以上のように、濁水中の PCB あるいは総水銀は濁水中の SS 成分に吸着あるいは付着し、SS 成分とともに挙動することが判明したので、濁水中の PCB あるいは総水銀を除去するためには、基本的に濁水中の SS 成分を除去すればよいと言える。

ところで、PCB および総水銀を含む水の排水基準は「排水基準を定める総理府令」により、それぞれ 0.003 mg/l 以下、0.005 mg/l 以下と定められており、これを満足せしめるためには、先の関係式から、ヘドロ A の



図一 1 ヘドロ A における SS 濃度～PCB 濃度およびヘドロ B における SS 濃度～総水銀濃度の関係

濁水については SS 濃度を 15mg/l 以下に、ヘドロ B の濁水については SS 濃度を 5mg/l 以下に処理する必要があると判定される。

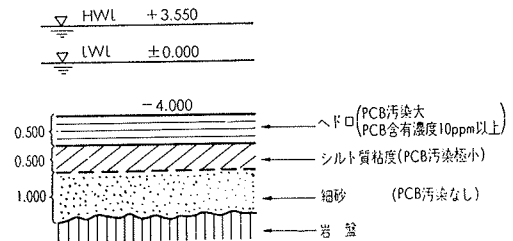
3. PCB 含有ヘドロの浚渫工事における濁水処理例

PCB 含有ヘドロは、「底質の暫定除去基準」によって、PCB を 10ppm 以上含むものについて掘削除去しそして封じ込め処分せねばならない。当社では、某化学工場の専用港に堆積した PCB 含有ヘドロの浚渫工事を施工し、工事による二次公害の発生を完全に防止して工事を終了している。

そこで、以下に、上記浚渫工事における濁水処理の施工例を紹介する。

3.1. 浚渫工事の概要

- (1) 施工期間 昭和48年5月～昭和49年7月
- (2) 浚渫場所 某化学工場の専用港全域
- (3) 浚渫面積 約 56,000m²
- (4) PCB汚染ヘドロの堆積状況 標準断面を図一 2 に示すように、浚渫ヘドロの層厚は約 50cm である。また、ヘドロの性状に関しては先掲表一 1 のヘドロ A について示した通りである。



図一 2 浚渫区域の土質標準断面図

- (5) 浚渫ヘドロ量 約 28,000m³
- (6) 浚渫船 浚渫船としては表一 3 に示す仕様の 2 船を用いた。

主機	揚水量	浚渫船舶体	送泥管	浚渫能力		浚渫濁水の性状
				深さ	巾	
90ps	280 m ³ /H	7.3m ^L ×2.5m ^W ×0.73m ^H	φ200%	8m	10m	含泥率 2～10% SS濃度 1～4%
270ps	820 m ³ /H	20.0m ^L ×6.7m ^W ×1.9m ^H	φ300%	8m	30m	

表一 3 浚渫船の仕様

3.2. 室内実験

3.2.1. 濁水中の PCB の除去 今回の浚渫濁水の処理を実施する上で最も重要な点は、処理後の排出水中に PCB が排水基準値 0.003mg/l 以上含まれてはいけないことであった。

この点に関しては、先の第 2 章で当工事区のヘドロ

を用いた実験において、濁水中の PCB を除去するためには基本的に濁水中の SS 成分を除去すればよいことが判明しており、さらに、処理水中の残留 PCB 濃度を 0.003mg/l 以下にするためには、処理水中の残留 SS 濃度を 15mg/l 以下にする必要があることも明らかになっている。また、前掲の図-1 中には、当該濁水における SS 濃度と濁度との関係も併記してあり、この図によれば SS 濃度 15mg/l は濁度で約15度と対応していた。したがって、浚渫濁水を処理し、処理水中の残留 PCB 濃度を排水基準以下にするための処理基準としては、残留濁度を15度以下と設定する必要があることが判明した。

3.2.2. 濁水中の SS 成分の除去 浚渫濁水中の SS 成分を沈殿除去し、先項 3.2.1. で判明した処理基準を満足せしめる凝集剤の組合せおよび添加濃度を決定すべく、各種濃度の濁水についてシリンダーテストを実施した。なお、処理基準の項目として、上記の凝集沈殿後の上水残留濁度に加えて、上水の pH さらにフロクの沈降速度を用いた。そして、pH としては海への排水基準値 5.0~9.0 を、フロクの沈降速度としては、今回の工事で造成可能な沈殿池の深さ、濁水の理論的滞留時間、沈殿池の容量効率を考慮して、20~30cm/min をそれぞれ処理基準値と設定した。

シリンダーテストの結果、上記の基準を満足し、かつ薬品価格の上からもっとも経済的な凝集剤の組合せは、無機系凝集剤の PAC (ポリ塩化アルミニウム・有効 Al₂O₃ 成分10%) と有機系高分子凝集剤パンフロック (ポリアクリルアמיד) の組合せであった。

そこで、各濃度の濁水における PAC とパンフロックの最適添加濃度を決定するため、凝集剤の添加濃度管理図を作成した。管理図の代表例として、2%濃度の

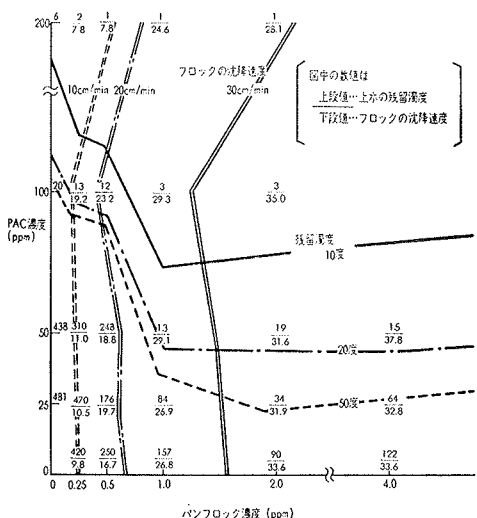


図-3 PACとパンフロックの添加濃度管理図 (2%濁水)

濁水についてのそれを図-3 に示す。さて、この管理図中の測定値はあくまでシリンダーテストによるもので攪拌条件・沈降条件等が十分な場合の値である。ところで実際の工事においては、攪拌条件、沈殿条件等が最適の状態で処理が行なわれることはむずかしく、凝集剤の処理効果は室内実験よりも低いと予想される。そこで、実際の工事における PAC とパンフロックの最適添加濃度を決定するにあたっては、その決定基準として上水残留濁度で10度以下・フロクの沈降速度で 30cm/min 以上と、先に示した処理基準と比較して厳しい値を採用した。この決定基準に基づいて、先に作成した管理図から、各濃度の濁水における PAC とパンフロックの最適添加濃度を表-4 に示すように決定した。なお、表中の組合せによって得られる上水の pH は約 7.0 であり、海への排水基準を満足していた。

凝集剤種	濁水濃度	1 %	2 %	4 %
無機系凝集剤 PAC		50ppm	100ppm	200ppm
有機系高分子凝集剤 パanflock		1 ppm	2 ppm	5 ppm

表-4 PACとパンフロックの最適添加濃度

3.3. 現場における濁水処理

3.3.1. 処理システムと処理結果 上述の室内実験の結果にもとづいて、図-4 に示す処理システムによって浚渫濁水を処理した。以下に処理システムとその処理結果を概説する。

浚渫船から管内輸送されてくる浚渫濁水の SS 濃度は 2~4%、そして PCB 濃度は 0.2~0.4mg/l であった。この浚渫濁水に対して、送泥管途中で無機系凝集剤 PAC を 100~200ppm、さらに有機系高分子凝集剤パンフロックを 2~5ppm 順次管内注入して (写真-1)、管内流速によって凝集剤と濁水とを混合攪拌した。そして生成したフロクを凝集沈殿池において沈殿除去した (写真-2)。なお、沈殿池としては、深さ 2.5~3.2m の池を 5 個設置し、その合計容量として

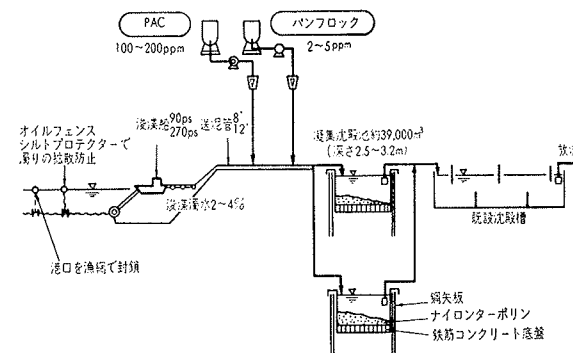
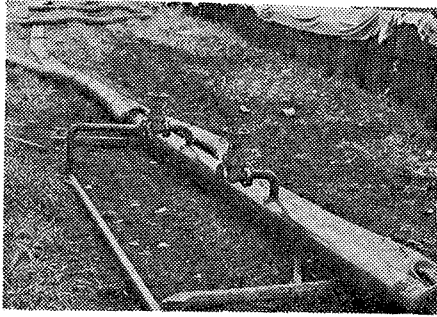
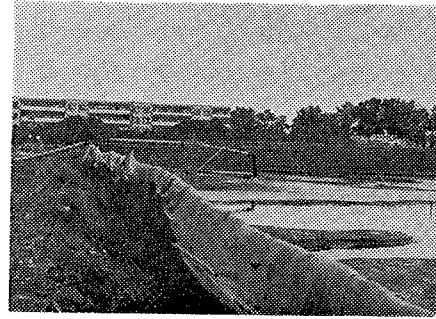


図-4 浚渫濁水の処理システム



写真一
無機系凝集剤(PAC)の管内注入口(手前は濁水のサンプリング用コック)



写真二
凝集沈殿池におけるヘドロの沈殿状況

約 39,000m³ を確保した。この 5 池を単独するいは並列使用し、浚渫濁水の理論的滞留時間を平常時で 3～6 時間以上、最悪時でも 1 時間以上になるように配慮した。この凝集沈殿池からの溢流水はさらに工場の産業廃水用の沈殿池を通過せしめたのち、余水を港に放流した。上記の処理によって、凝集沈殿池からの溢流水の濁度を 20 度以下に、港への放流水の濁度を 10 度以下かつ PCB の濃度を 0.003mg/l 以下にそれぞれ処理することができた。

3.3.2. 浚渫時の浚渫船周囲の二次汚染対策 浚渫にさいし、カッターヘッドで発生する濁りによる海水の二次汚染を最大限防止するため、カッター上部に拡設防止用カバーを装着し、かつ浚渫船周囲にはシルトプロテクターを設置した。

また、港口にはオイルフェンスを設置し、これに魚網を取り付けて魚の港内への出入を防止した。

3.3.3. 沈殿スラッジの処理 沈殿スラッジをそのまま凝集沈殿槽内に隔離封じ込め処分するために、凝集沈殿池は、環境庁通達にもとづいて以下に述べるように、不透水性材料による耐久性のある構造のものとした。すなわち、周辺は鋼鉄板で囲い、その内面をナイロンターポリン (t=0.4mm) で防水した。また、底面はまず真砂土を散均し、その上をナイロンターポリンで防水後、さらにその上に鉄筋コンクリート (t=150mm) を打設した。

そして、浚渫工事終了後、凝集沈殿池の上水を除去し約 6 ヶ月間沈殿スラッジを天日乾燥した。その後、沈殿スラッジを不透水性シートで覆い、さらにその上を 50～100cm 厚の良質土で被覆し、沈殿スラッジの封じ込め処分を完了させた。

4. まとめ

現在、人間環境の浄化をはかるために、有害ヘドロあるいは有機ヘドロを掘削除去し所定の場所に封じ込める工事がいそがれている。そして、有害ヘドロの掘削除去工事に際しては、多くの場合排水基準値以上の有害物質を含む濁水が発生している。したがって、このような濁水による二次公害を防止するため、濁水は

公害を引き起こさない清澄水に処理したのち放流する必要がある。

そこで、まず室内実験において、PCBを含む港内堆積ヘドロと水銀を含む河川堆積ヘドロを供試し、濁水中の PCB あるいは水銀の除去方法を検討した。その結果、濁水中の PCB あるいは水銀は濁水中の SS 成分に付着し、SS 成分とともに挙動することが判明し、濁水中の PCB あるいは水銀を除去するためには、基本的に濁水中の SS 成分を除去すればよいことが明らかとなった。

そして、この室内実験の結果にもとづいて、某化学工場の専用港に堆積した PCB 含有ヘドロの浚渫工事で発生した浚渫濁水 (SS 濃度 2～4%・PCB濃度 0.2～0.5mg/l) の処理を無機系凝集剤 ポリ塩化アルミニウム 100～200ppm と有機系高分子凝集剤パンフロック 2～5ppm の併用添加による凝集沈殿方式によって行なった。その結果、残留濁度 10 度以下、PCB 残留濃度 0.003mg/l 以下の処理水を得ることができ、排水基準を満足する余水を港内に放流することができた。

なお、本報告の現場における濁水処理の施工においては、広島支店某工事事務所の方々に負うところが大きかった。記して深い謝意を表します。

参考文献

- 1) 大谷博巳：港湾におけるヘドロ除去工事の概要と今後の課題、公害と対策、Vol. 11, No. 6, (1975)
- 2) 喜田大三：濁水の発生と処理の動向、施工技術、Vol. 8, No. 12, (1975)
- 3) 入鹿山ら：水俣湾泥土中の水銀、日本公衆衛生雑誌、Vol. 11, No. 9, (1965)
- 4) 石野紀元：水銀汚染水底沈殿物に関する考察、環境創造、No. 11, (1974)
- 5) 竹石、工藤：重金属類、PCB等を含むヘドロの処理、土木技術資料、Vol. 17, No. 2, (1975)
- 6) 喜田、辻：大林組技術研究所報、No. 10, No. 11, No. 12, (1974～1975)