

徳山湾のヘドロ浚渫について

中 西 弘*

1. まえがき

工場排水によってもたらされた水銀による環境汚染は、水俣湾をはじめとして、今なお各地で深刻な後遺症を残している。徳山湾においても、2つのソーダ工場より排出された水銀により底泥や魚介類が汚染されており、その抜本的な対策としてつきの対策が打ち出された。

- 1) 水銀法食塩電解工場排水のクローズド化
- 2) 水銀マットのコンクリート固化および遮断埋立て
- 3) 水銀法（食塩電解）による苛性ソーダ製造の廃止と隔膜法またはイオン交換膜法への変換
- 4) 水銀汚染底泥の除去（埋立てまたは浚渫による）
- 5) 水銀汚染魚の駆除

水銀法電解工場排水のクローズド化は、昭和48年7月に完成しており、排水中の水銀はすべて5 ppb以下となっている。水銀マットのコンクリート固化および遮断埋立ては昭和46年9月より行われている。また、水銀法の転換は昭和52年度末完成の予定であるが、イオン交換樹脂膜法の開発のおくれもあって、現在なお、水銀法による苛性ソーダの製造は一部で続けられている。魚介類の水銀規制値、総水銀0.4 ppm、有機水銀0.3 ppmを越えるアイナメ、ウミタナゴ、クロダイ、スズキ、メバルの5魚種については、現在は買上げ方

式で処分されており、その他の魚種については昭和51年11月より漁業が再開された。

水銀汚染底質の除去に関しては、徳山湾の場合には暫定除去基準は15 ppmと決められ、埋立ておよび浚渫によって処分されることとなった。（昭和48年11月9日、環境庁水銀汚染調査検討委員会環境調査分科会）

この報告では、徳山湾における15 ppm以上の水銀を含む底質の除去工事について述べる。

2. 徳山湾の水銀汚染底質処分 基本計画

昭和48年度に行われた環境庁および山口県の徳山湾底質調査において、421地点、上層、中層、低層を含めて988検体が検査され、総水銀最高31.59 ppm、最低0.04 ppm、平均4.21 ppmが検出された。（図1参照）15 ppm以上の暫定除去基準値を越える地点は西の島北部と仙島周辺海域の一部であり、やはり工場排水口（旧排水口を含む）前方の海域底質の水銀濃度が高い。なお底泥中のアルキル水銀はすべての地点で検出されていない。¹⁾

環境庁の環境調査分科会の判定を基にして山口県PCB、水銀対策本部が決定した徳山湾の底質処理基本計画および施工計画は次のとおりである。²⁾

1) 基本計画

(1) 汚泥処理の基本方針

徳山湾において最も底質の水銀濃度が高く、かつ広範囲の部分は、西の島北部海域にみられる。また、15～20 ppmの箇所は上記のほか

* 本協会理事

山口大学工学部教授、工博

に9か所に散在している。この汚染の現況と水銀汚染土砂をできるだけ動かさないことを前提にした結果、西の島北部水域は埋立てによる封じ込め、その他の水域は2次汚染防止を前提として浚渫を行なう。

埋立地および浚渫土砂の処理地の決定にあたって、環境保全、港湾計画および廃棄物処理計画を配慮する。

浚渫層厚については、これまでの調査結果より50cmで十分であることが確認できた。

以上の結果より、図2に示すT-8号地およびN-6号地が埋立て予定地であり、浚渫土は東工区ではT-8号地に、西工区ではN-6号地に投入されることとなった。また、浚渫土厚さは施工性や余掘などを勘案して1mとする。

(2) 事業の概要

水銀汚染底質処理面積	約57万m ²
処理容積	〃 57万m ³
	(処理土厚 1m)
封じ込め面積	23万m ²
浚渫土量	約34万m ³
事業者	徳山ソーダ株式会社および東洋ソーダ株式会社
事業費	約83億(昭和49年7月見積り)

(3) 事業の内容

新南陽市側(N6号埋立地)

面積	450,000m ²
埋立高さ	11~12m
締切堤	1,645m
内締切堤	300m
沈澱池	150m
浚渫	202,000m ³

徳山市側(T8号埋立地)

面積	300,000m ²
埋立高さ	16m

締切堤	900m
内締切堤	190m
沈澱池	150m
浚渫	138,000m ³

2) 施工計画

(1) 封じ込め

封じ込めのための締切堤は、内部の水銀汚染土の封じ込め、および浚渫土の土捨場として利用するため、水密構造とする。

(2) 浚渫

(a) 浚渫にあたって2次公害の発生を避けるため、できるだけ底泥を乱さない工法が必要である。また、余水処理を容易にするため、ニューマポンプのような特殊浚渫工法を採用する。

(b) 浚渫工事の実施に先立ち、試験浚渫を実施し、浚渫箇所の周辺や余水吐等での安全を確認したうえで、本工事に着手する。

(c) 浚渫土の運搬に対して、必要に応じ密閉土運搬船の利用を考慮する。

(d) 監視地点、観測項目、回数などについて、あらかじめ山口県が定めた監視計画に基づいてチェックを行ない、安全性を確認しながら工事を実施する。

(e) 浚渫か所周辺には汚濁防止膜を設置し、浚渫工事に伴う拡散を防止する。

(f) 浚渫期間中汚染魚の移動を制御するため、魚網の設置等を検討する。

(3) 余水対策

(a) 浚渫土の沈降を促進するため、有効な沈降剤を使用する。

(b) 土捨場内に透水防止の中締切堤を設置し、沈澱池を建設する。沈澱池は十分な安全率を有するものとする。

(c) 沈澱池における水質の監視は、余水吐前面で実施し、余水吐から排出する余水の水質は別に定める基準値以下とする。(基準値は水質汚濁防止法の排水基準値以下の数

値を検討)

(d) 水質の監視は水銀について実施するが、あらかじめSSと水銀との相関を求める、SSを中心とした監視体制により測定回数の増加と結果の早期検出に努める。

(e) 工事施行に際し、万一所定の基準値以上の数値を検出した場合は、直ちに余水口を閉鎖した後、工事実施方法の変更、沈殿池内余水の再処理を行ない、規定の数値以下になった事を確認したうえで放流する。

(f) 締切堤内、余水吐周辺、在来堤防との接続点周辺に検査孔を設け、水質の監視

等を行う。

1) 埋立地の利用計画

埋立地は、水銀汚泥の封じ込めと浚渫水銀汚泥の処分地として利用する以外に、地元の不燃性の無害な一般廃棄物および産業廃棄物の処分地として利用する。廃棄物の受入れ容量は徳山T8号埋立地413万m³、新南陽N6号埋立地547万m³である。

埋立造成後の土地は事業主体所属と公共団体所属とに分割使用し、埠頭用地、公園緑地用地および厚生施設用地として利用する。

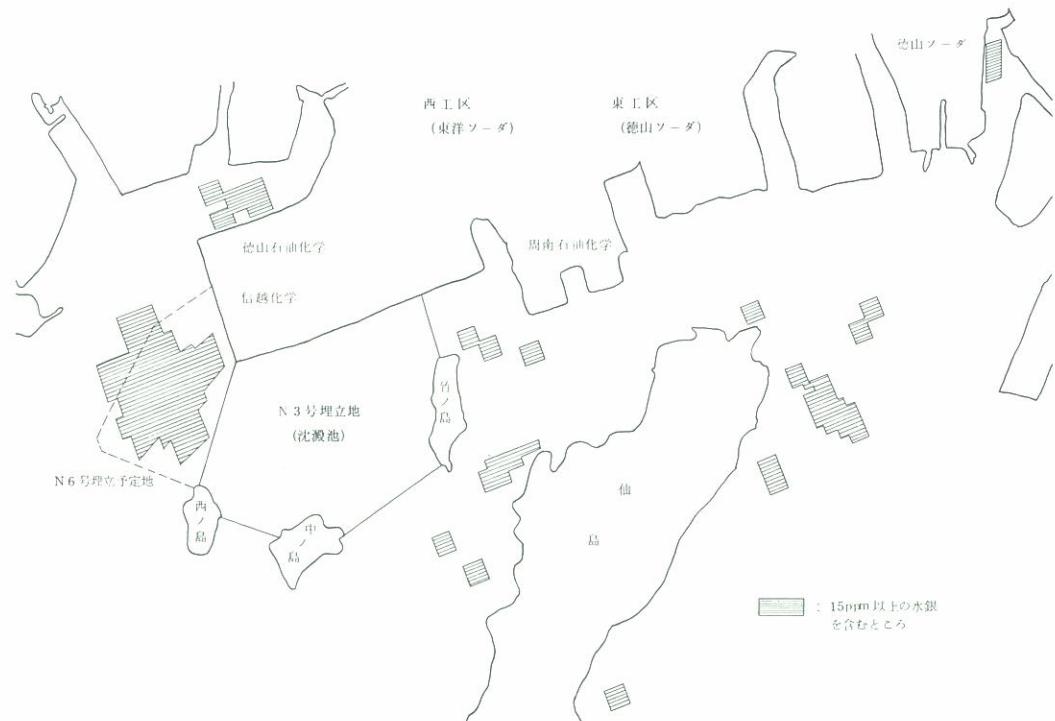


図1 徳山湾底質水銀汚染分布図(表層)(山口県調査)

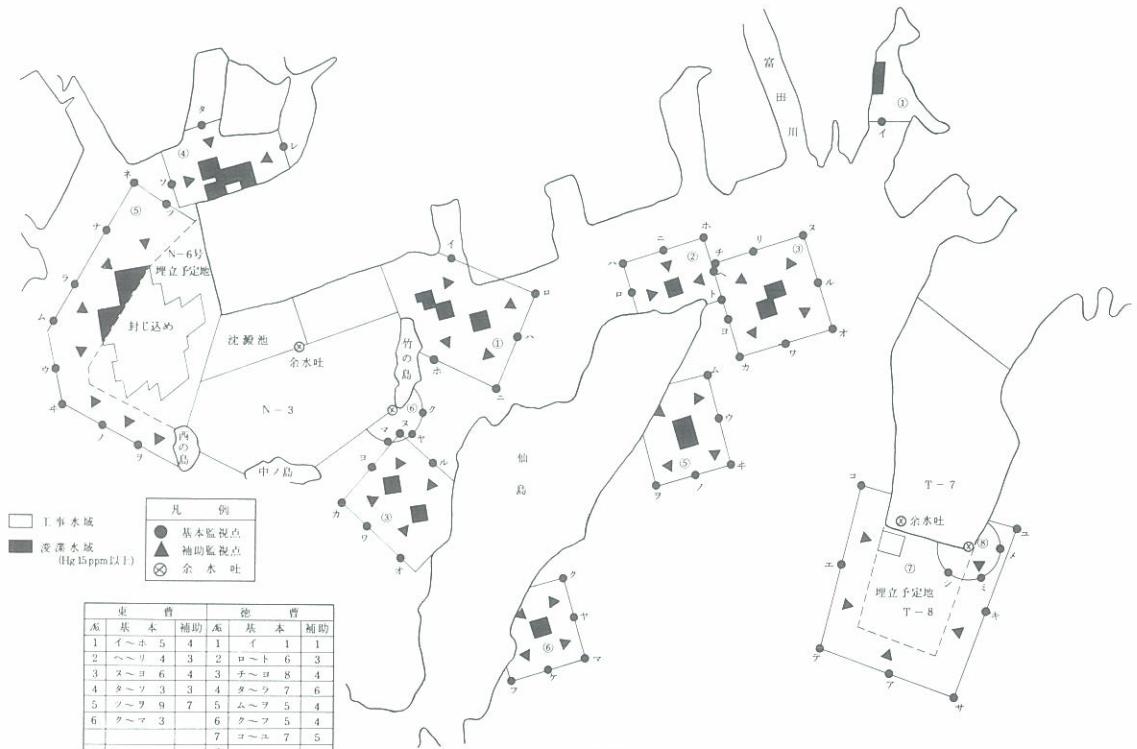


図2 基本監視点および補助監視点の設定図

B 護岸標準断面図 S=1:600

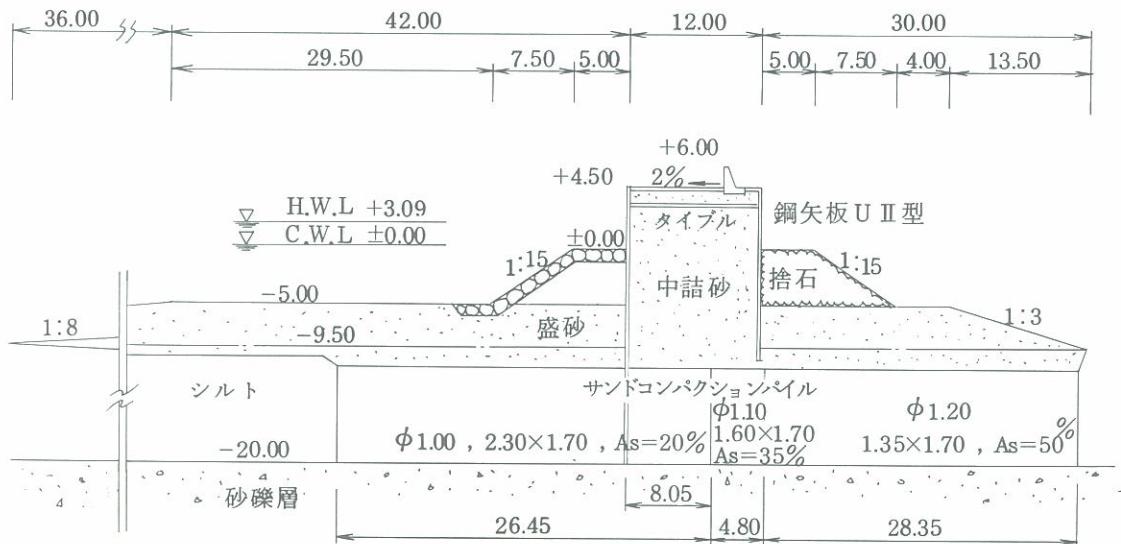


図3 T 8号水銀底質処理場締切堤標準断面図

なお、水銀汚泥の封じ込めと浚渫との選択にあたって、底質の性状が検討された結果、除去すべき15～31.5 ppm の水銀汚泥が約30万m³が集中しており、底質がヘドロ質であり、沈降性が悪く、かつ、けん濁させた場合の水銀含有量の高い水域は埋立てによる封じ込めとなった。また、水銀汚泥が散在しており、かつ、底質が砂質であり、比較的沈降性の良い汚泥の部分は浚渫することとなった。山口県公害センターの調査では、底質けん濁物質100 ppm の水銀濃度は封じ込め水域で0.005 ppm、浚渫水域で0.0008～0.015 ppmとなっている。³⁾

3. 水銀底質処分に伴なう監視 計画

環境庁によって示された「底質の処理処分に関する暫定指針（昭和49年6月）」に基づき、山口県PCB、水銀対策本部では次のような監視計画が樹てられ、実行に移された。⁴⁾

1) 目的

徳山湾の水銀底質の処理にあたって二次公害が発生しないように監視基準、監視方法を定め、環境の保全を図る。

2) 監視業務の実施主体

処理工事に伴なう環境の監視は企業が行ない、山口県はこれを指導、監督する。

3) 監視に伴なう設定事項

(1) 工事水域の設定

当該水域の潮流は0.2～0.3ノットで比較的ゆるく、かつ浚渫土の底質の性状は砂泥質である。また、底質拡散の少ない浚渫工法を採用されるため、二次汚染の影響は比較的狭い範囲である。これらの諸点を考慮して工事水域は図2に示すように工事地点外縁より200 mを限む12工事水域とする。

(2) 基本監視点の設定

工事水域と一般水域との境界線上に500 m

以下の間かくで、72地点とする。

(3) 補助監視点の設定

基本監視地点の水質を予測する目的として潮流等を勘案し、工事地点外縁からおおむね100 mの地点とし、基本監視点との中間に適宜定めた48地点とする。

4) 事前の水質調査

一般調査として、工事水域内の代表的な基本監視点および環境基準測定点18地点を選び、pH、COD、DO、油分、濁度および水銀を、工事を実施しうる時間帯で同一地点で延べ20回測定する（1日4回5日間）。なお採水にあたって表層0.5 mと中層2 mの試料を混合し、1検体とする。

連続調査として、代表的な基本監視点11地点で、12時間の連続観測（1時間間かく）を行なう。

試験浚渫汚濁調査として、試験浚渫を行なう場合に工事地点よりの濁度の調査を行ない、監視点の妥当性を検証する。

5) 工事中の監視

(1) 基本監視点において次の測定を行なう。

調査項目：pH、COD、DO、油分、濁度、水銀

試料採取：表層および中層試料を等量混合し、1検体とする。

調査回数：1日1回

監視基準値：環境基準値を原則とする。

ただし、暫定監視基準値としてB海域、C海域の中間的な値を設ける。pH 7.8～8.6、COD 4.5 ppm以下、DO 5.0 ppm以上、油分 0.38 ppm以下。ただし、総水銀は環境基準値（0.5 ppb）以下である。

(2) 補助監視では、工事水域周辺の水質の状態の予知と工事継続の適否の早急な判断

を目的として、工事水域にかかる監視点において1日4回、濁度を測定する。濁度の監視基準値は15度(ppm)とする。

(3) 余吐水については、pH、濁度、水銀およびその他の有害物の測定を行う。濁度は自動連続測定とし、水銀は1日1回測定する。濁度の排水基準は30度(ppm)とする。また、水銀の排水基準は、第1余吐水で5ppb、第2余吐水(公共水域に出るところ)で0.5ppbとする。

(4) 監視結果が暫定監視基準値に適合しない場合については、基本監視点および余水吐において水銀が基準値を越えた場合には、直ちに、工事や余水の放流を中断する。その他の水質項目にあっては、監視を強化し原因を究明するとともに、必要に応じて工事を減速するとか中断するとか、基準を達成するような措置をとる。

6) 工事完了後の調査

底質の除去効果を確かめるために、浚渫実施区域内の底質の水銀調査を行う。また、工事に伴なう水質の影響度合を調査するために事前水質調査地点18地点の水質調査を行う。水質調査項目はpH、COD、DO、油分、濁度、および水銀である。

監視計画については、ある意味では必要以上の詳しい測定となっている。しかし、水銀汚染機構の究明といった意味で欠けている面も多くある。行政目的からすれば十分な監視計画であるといえよう。

4. 水質底質処理工法

水質底質処理工法について山口県が指示した事項のうち、二次公害発生防止に特に留意した事項は次の通りである。⁵⁾

1) 処分地

底質の封じ込め及び処分地の締め切りは、封じ込められた底質中の有害物質の流出又は

滲出するおそれのない構造とする。そのため、外郭締切堤の本体については、二重鋼矢板または鋼矢板セル構造とし、透水量の減少を図るために二重鋼矢板の一方または鋼矢板セルの前面壁部分を安定地盤まで延長させる。

サンドコンパクションパイル、サンドドレン工法等の基礎改良工法の設計にあたっては、盛上り、打込み等に伴なう汚濁の発生、二次公害防止を図るために砂層の上置きを計画すること。

処分地の容積は、十分な余裕をもたし浚渫土量の約2倍以上を確保すること。

水銀汚泥投手後、必要に応じて表面処理を計画すること。

2) 浚 濶

浚渫方式は、ニューマポンプ工法を中心とし、浚渫時の汚濁等に関する資料の集収を行なった後、最適と思われる機種を選定すること。

浚渫機種選定にあたっては、現地試験浚渫を行なった後決定する。

3) 余水処理

余水処理にあたっては、余水の安全性を高めるために十分な配慮を払い、必要に応じて凝集剤の添加、沈殿、ろ過などの処理を加えること。

なお、締切堤の標準断面図を図3に示す。

5. 濁度、けん濁物質、総水銀の相関

徳山湾の濁度、けん濁物質と総水銀の相関については山口県公害センターの守田、重田の報告³⁾があるが、その結果によると総水銀と濁度およびけん濁物質との間にほぼ直線関係の相関が認められる。(総水銀ppm)/(濁度ppm)比は地点によって異なるが(2.1~4.9)×10⁻⁵、(総水銀ppm)/(けん濁

物質)比は($1.3 \sim 2.9$) $\times 10^{-5}$ の関係があり、総水銀0.5 ppb以下になる濁度は10度(ppm)以下としている。(表1, 図4参照)

表1 濁度、けん濁物質と総水銀との関係

1) 試料の性質

地点	東-1	東-2	東-3	東-6	西-1	西-2
総水銀(ppm)	11.9	3.3	11.6	11.3	15.6	15.4
水分(%)	61.7	52.5	70.3	67.7	77.4	74.4

2) 総水銀と濁度の関係

地点	東-1	東-2	東-3	東-6	西-1	西-2
総水銀(ppm) 濁度(ppm)	4.7×10^{-5} 4.9	2.1×10^{-5} 2.5	2.1×10^{-5} 2.2	2.3×10^{-5} 2.7	3.2×10^{-5} 3.3	4.6×10^{-5} 4.9

3) 総水銀とけん濁物質の関係

地点	東-1	東-2	東-3	東-6	西-1	西-2
総水銀(ppm) けん濁物質(ppm)	2.9×10^{-5}	1.3×10^{-5}	1.4×10^{-5}	1.7×10^{-5}	2.1×10^{-5}	2.7×10^{-5}

4) けん濁物質と濁度の関係

地点	東-1	東-2	東-3	東-6	西-1	西-2
けん濁物質(ppm) 濁度(ppm)	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5

5) 総水銀0.0005 ppm以下になる濁度

地点	東-1	東-2	東-3	東-6	西-1	西-2
濁度(ppm)	10以下	20以下	22以下	17以下	15以下	10以下

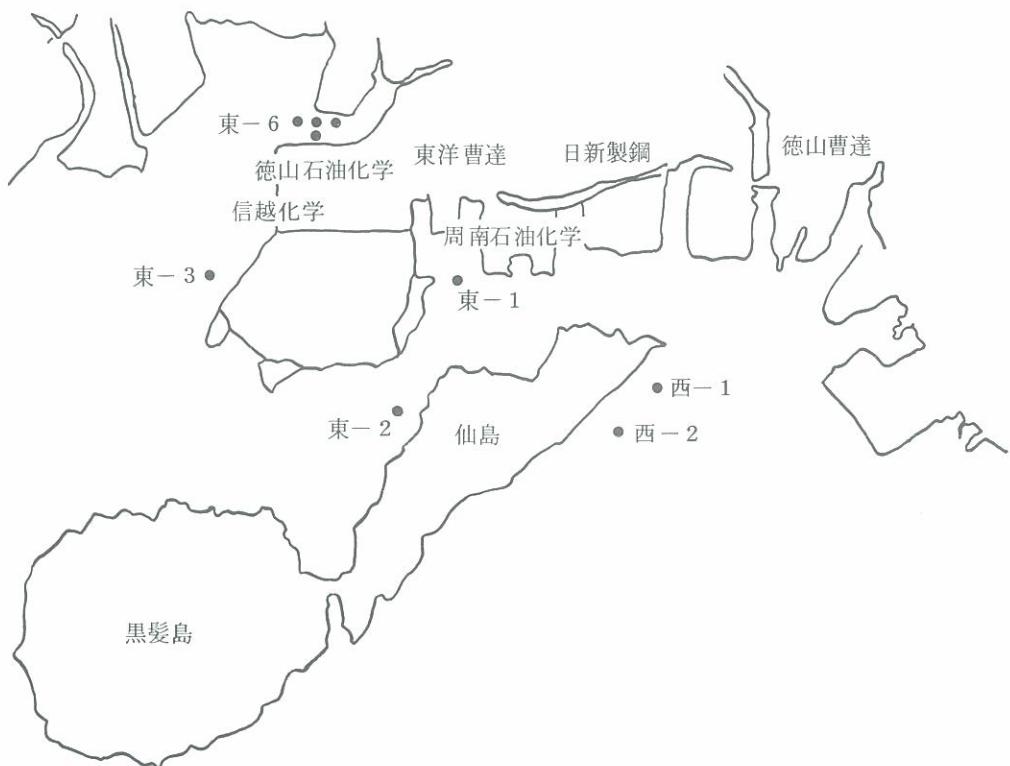


図4 試料採取地点

6. 水銀底質処理事業の施行

1) 事業経過

徳山湾の底質処理事業は、東工区（徳山ソ

ーダT-8号埋立地）と西工区（東洋ソーダN-6号埋立地）とに分けられ、事業経過は表2のとおりである。なお、事業の監督指導機関として山口県徳山湾底質処理監視事務所

表2 事業経過

区分	東工区（徳山ソT-8号）	西工区（東洋ソN-6号）
汚染面積（封じ込め面積）	145,000m ²	451,375m ² (247.625m ²)
公有水面埋立認可（運輸大臣）	50年5月29日	50年7月11日
公有埋立免許（知事）	50年6月2日	50年7月31日
公有水面埋立工事実施設計認可（知事）	50年6月11日	50年8月8日
工事着工	50年7月7日	50年9月4日
処分地完成	51年8月5日	51年12月6日
浚渫工事着工	51年8月8日	51年12月13日
工事完了	51年11月28日	52年3月末日（予定）

が設置され、所長以下9名（兼務2名）で、水質、漁業、工事の監視にあたっている。

2) 水質監視

監視計画に基づき所定の水質検査が行われており、昭和51年11月末までに合計27,975地点の水質調査が行なわれたが、基本監視点（工事地点より200m）の平均値はpH 8.3, DO 8.0 ppm, COD 2.7 ppm, 油分 ND (0.5 ppm以下)であり、総水銀はすべてND (0.5 ppm以下)となっている。また、補助監視点（工事地点より100m）では、測定合計は表層23,929地点、中層23,928地点であり、濁度は表層平均3.3 ppm、中層平均3.0 ppmであり、監視基準値15 ppmを大きく下回っている。また東工区の余水吐の水質は濁度0.1～11.4 ppm（測定日数71日）、総水銀はすべてND (5 ppb以下)であり、監視基準値濁度30 ppm、総水銀5 ppbを十分に満足している（表3）。

3) 浚渫作業

浚渫作業はシルシーポンプ船（ニューマティックポンプ、水圧吸泥空気圧送型）で作業されたが、後に工期を早めるためにリボンスクリュー式の渦巻ポンプ型の浚渫船も利用されている。後者についても試験浚渫について異常は認められなかった。

4) 余水処理

東工区では、余水処理のための沈澱池は、水銀濃度の目標値を2 ppbとし、それに相当する濁度は20 ppmとなり、水深1mとして50時間の滞留時間が必要となる。沈澱池は半径72.5mの円形沈澱池であり、計画流入水量 $275\text{ m}^3/\text{hr}$ に対して、水深2mで80時間の滞留時間となっている。沈澱池を経た余水は砂ろ過を経て、さらに隣接の大型沈澱池（T-7号池）に移される。砂ろ過を経た位置で余水の監視がなされ、もし基準に達しない場合には最初の沈澱池に返送される。

西工区でも、水銀濃度の目標値を2 ppbとし、それに相当する濁度は20 ppmである。西工区の場合には水深10mの沈澱池において水深2mまでのけん濁物質を20 ppmとする場合には、沈降実験からみて96時間の滞留時間が必要となる。西工区の平均滞留時間は8,500時間程度あり、十二分の余裕がある。

7. むすび

徳山湾の魚介類の水銀汚染のメカニズムについてはまだ不明な点も多い。しかし、水銀汚染底質の処理事業に対する対策は二次汚染を防ぐ意味からの対策は十二分に行われているものと考えられる。この工事結果が二次公害のおそれのない埋立や浚渫工法の参考になれば幸いである。なお、本資料はすべて山口県で報告された資料を利用させてもらった。このことについて感謝します。

引用文献

1. 山口県公害局(1973)；徳山湾水銀調査結果報告書（水質、底質）昭48.9.22
2. 徳山下松港港湾管理者(1974)；徳山下松港港湾計画資料 昭49.7
3. 守田史郎、重田道正(1974)；濁度、けん濁物質、総水銀の相関，水，18(12) 29-35
4. 山口県(1974)；徳山湾の水銀底質処分に伴う監視計画 昭49.12
5. 山口県(1974)；徳山湾の水銀底質処理事業に関する指示事項 昭49.12

表3 水質監視結果(山口県)

昭和51年11月30日現在

監視等区分 監視期間		補助監視点(100m)		基 本 監視点		(200m)		備 考	
		部位	濁 度 (ppm)	濁 度 (ppm)	pH	DQ(ppm)	COD(ppm)		
東工区	処分池工事	S.50.6 表層	9,210	3.3	1,451	3.1	1,434	ND	監視測定延地点数 10,661
	処分池工事	S.51.8 中層	9,210	3.1	1,451	2.9	8.1	2.5	
西工区	浚渫工事	S.51.8 表層	2,049	3.1	375	2.7	375	ND	監視測定延地点数 2,424
	浚渫工事	S.51.11 中層	2,048	2.8	375	2.5	8.2	7.1	
	処分池工事	S.50.9 表層	12,670	3.3	2,220	3.3	2,207	ND	監視測定延地点数 14,890
	処分池工事	S.51.11 中層	12,670	2.9	2,220	2.9	8.3	2.9	
	計	表層	23,929	3.3	4,046	3.2	4,016	ND	監視測定延地点数 27,975
		中層	23,928	3.0	4,046	2.9	8.3	2.7	
監視基準値		1.5 ppm 以下	—	—	7.8~8.6 ppm 以上	5.0 ppm 以上	4.5 ppm 以下	検出されない 亦しくは0.5 ppm 未満 0.0005 ppm 以下	
東工区	余水吐	S.51.8 延日数	濁 度 (ppm)	T-Hg (ppm)	範 囲				
		S.51.11 71	0.1~11.4	71	範 囲				
監視基準値		30 ppm 以下	0.005 ppm 以下	—	範 围				