

水俣湾公害防止対策事業

MERCURY-CONTAMINATED SEDIMENT DISPOSAL WORK IN MINAMATA BAY

広瀬宗一*・山口晶敬**

By Munekazu HIROSE and Akiyoshi YAMAGUCHI

To root out Minamata disease, caused by the sewage accumulated in fish and shell fish, a large-scale sediment disposal work was conducted with a special care to prevent a new pollution. The basic approach to sediment disposal was to construct a highly watertight revetment for reclaiming the inner area of the Bay and then to confine sediment, dredged from the remaining contaminated area. Before sediment disposal, boundary nets were installed to enclose the work area to prevent the mixing of contaminated and non-contaminated fish. Dredging work was successfully done by using four cutterless suction dredgers, newly developed in advance for minimizing muddiness due to dredging work. Sediment, discharged into the reclamation area, keeping it under water, was covered with a sandproof membrane, particular volcanic ash earth with light weight, and mountain soil, successively.

Keywords: pollution, sediment disposal, suction dredger

1. はじめに

熊本県の南西端に位置する水俣市に、背後の水力発電と天然の良港である水俣港の存在を有力な条件として明治末に日本窒素肥料(株)(現チッソ(株))が立地し、操業を開始した。その後、昭和7年以来、チッソ(株)水俣工場のアセトアルデヒド酢酸設備内で触媒として用いられていた水銀から生成されるメチル水銀化合物が工場排水とともに水俣湾に排出されることとなり、公害病の原点ともいわれる“水俣病”が発生することとなった。この人類史上類をみない水俣病は、メチル水銀化合物を含む魚介類を大量かつ長期的に摂取することによって起こる中毒性中枢神経系疾患であり、昭和28年頃から発生しはじめ、チッソ(株)がアセトアルデヒドの製造を中止した昭和43年6月の3か月後には公害病と認定されるに至っている。水俣病の認定患者数はこれまでに2000人以上を数えている。

この水俣病から地域住民の健康を保護し、社会不安を解消するためには、水俣湾および排水路などに堆積する水銀を含む汚泥を早急に処理する必要があることから、

熊本県公害対策審議会において種々審議の結果、昭和48年8月に環境庁において定められた「水銀を含む底質の暫定除去基準」に基づき、総水銀濃度25ppm以上の汚泥を浚渫により除去し、湾奥に埋立地を造ってその中に封じ込めることとした。昭和49年3月には、水俣湾公害防止対策事業の実施に関して、環境庁長官、運輸大臣、熊本県知事の三者間で基本的合意がなされ、水俣港の港湾管理者である熊本県を事業主体とし、運輸省が主たる工事の施工を担当することとなった。

工事は昭和52年に着手されたが、その後直後工事の実施に伴う二次汚染を懸念した一部住民から工事の差止仮処分申請が出されて約2年半の中断があったものの、その後はきわめて順調に進み、平成元年度末には水俣湾の再生をかけた公害防止対策事業は無事完了しようとしている。

本論文は、水俣病の原因を根絶し、また社会不安を一掃することを目的として行われた環境復元のための歴史的大事業である水俣湾公害防止対策事業の工事概要を紹介するものである。

2. 事業概要

水俣湾では、チッソ(株)水俣工場から排出された70~150tとも、あるいはそれ以上ともいわれる水銀(大

* 正会員 工修 運輸省第四港湾建設局熊本港工事事務所所長(〒861-41 熊本市八幡町1259-7)

** 正会員 熊本県公害部次長(〒862 熊本市水前寺6-18-1)

部分は無機水銀化合物)が底質中に含まれ、総水銀濃度25 ppm以上の汚泥は、計画時における想定では水俣湾内の面積約209万 m^2 にわたり、量にして約151万 m^2 にもわたった。この大量かつ広範囲にわたる水銀汚泥を安全かつ速やかに浚渫により除去し、湾奥の水銀濃度の高い部分を締切ってできる埋立地(約58 ha)に封じ込める工事が主要な工事となったが、工事の実施にあたっては、二次公害の発生を防止し、かつ社会不安を増大させないように計画当初から細心の注意を払っている。

また、湾奥を締切って埋立地とするために使用不能となる水俣港の既存の公共施設(岸壁、物揚場、フェリー施設、船溜り)については、その代替施設を先行して施工する第1工区(昭和61年1月にみどり埠頭として供用開始)に整備することとし、将来予想される貨物量の増大を考慮して水俣の地域振興のために新たな係留施設を第2工区(明神地区)に整備することとした。図-1には、第1工区および第2工区の計画平面図を浚渫区域等の事業計画とともに示す。

本事業の実施上の特徴および留意した事項をとりまとめると以下のようになる。

(1) 仕切網および音響魚道制御装置の設置

一般海域の魚介類の安全を確保するために、工事の実施期間中工事水域と一般水域の境界に仕切網として二重に魚網を設置し、また航路部分となり仕切網を設置できない部分には魚の嫌う音波を発信する音響魚道制御装置を設置して魚介類の出入りを防止する措置を講ずること

とした(図-1参照)。

(2) 仮締切堤の設置

湾内流を停滞させ、浚渫に伴い発生するかもしれない浮泥の沈降を促進させるとともに、湾外への拡散防止のために流出入水の遮断機能を果たす仮締切堤を図-1中に示すように台形状に延長約433 mにわたって設置することとした。中央部の延長約332 mの部分はケーンと捨石の混成堤タイプ、両端は捨石上にブロック積とした。

これらの施工にあたっては、捨石の投入による濁りの発生を防止するために事前に海底に敷布を施工するとともに、捨石材料については極力土の付着していないものを使用するなど、濁り対策に万全を期すこととした。

(3) 環境監視

浚渫等の工事の実施に伴う底質の攪乱、拡散、および埋立処分地からの有害物質の流失等による二次公害の防止対策として、水質はもとより魚介類の汚染の綿密な監視を行うこととした。

水質については、図-2に示すように一般水域と工事水域の境界部に基本監視点を、また基本監視点と工事地点の間に補助監視点を設けて毎日の監視結果により水質の変化を常時把握し、これらの結果をただちに工事に反映させる体制としたほか、湾外にも参考調査点を設けて監視の参考とするなど二次公害の発生防止に努めている。それぞれの監視点での監視内容を表-1に示す。

また、工事による魚介類の汚染への影響を調査するた

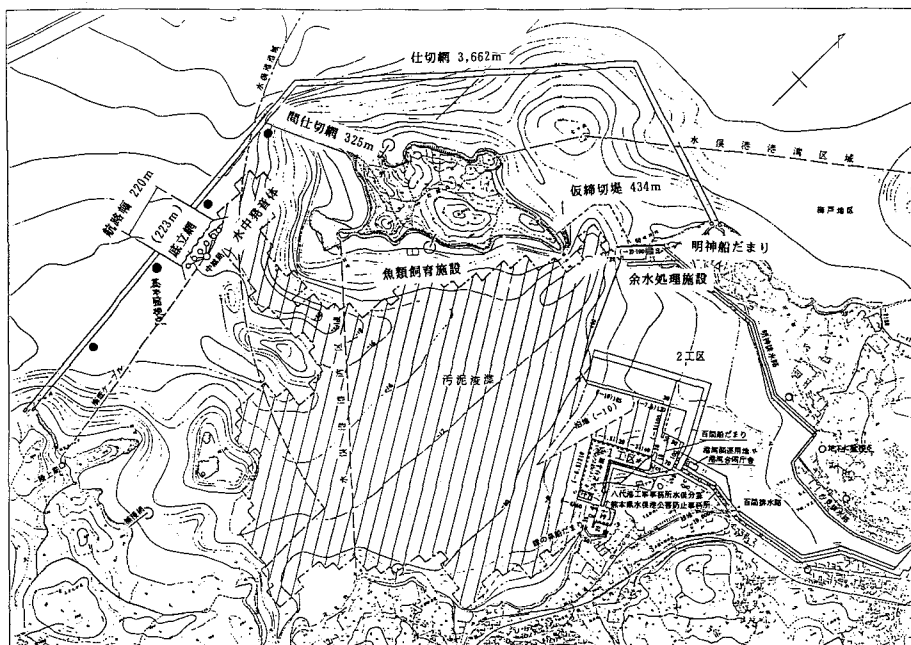


図-1 水俣湾汚泥浚渫処理事業計画平面図

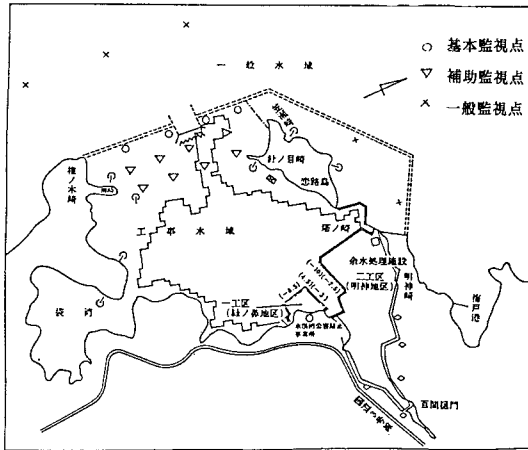


図-2 水質監視点等の位置図

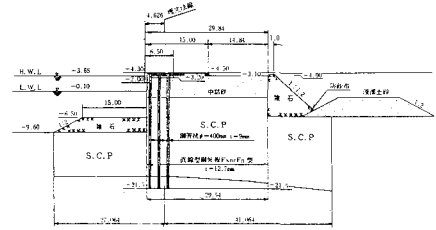


図-3 第1工区岸壁(-6.5m)標準断面図

化を監視している。表-2にこれら魚介類等の監視内容を示す。

以上の水質および魚介類等の監視結果は速やかに住民に公表するとともに、学識経験者、地元代表から成る監視委員会に諮り、監視基準に適合しない場合には工事中断などの措置を講ずることとした。

(4) 汚泥処理の施工概要

最も問題となる浚渫工事については施工に先立って現地で試験工事を実施して安全性および施工性等を確認していたが、大規模な鋼矢板セル護岸の安全性も含めて、先行的に施工する第1工区全体を試験工区的な位置付けとし、小規模ながらひとつおりの工事を経験することとした。この結果採用した基本的な施工法の概要は以下に示すとおりである。

a) 埋立護岸については、濁りの防止、止水性の確保、および急速施工の必要性から鋼矢板セル構造を採用することとした。また、建設海域には層厚約10mにわたって軟弱な粘土層が堆積しているため構造安定上これらを地盤改良することとし、基本的には係船岸部ではサンドコンパクションパイル工法を、護岸部ではサンドドレーン工法を採用することとした。図-3に第1工区(みどり埠頭)の岸壁(-6.5m)の標準断面図を参考のために示す。なお、サンドコンパクションパイルの打設に伴う盛り上り土については、濁り発生の抑制および急速施工等の観点から撤去せず、サンドドレーン工法で改良してそのまま基礎の一部として活用している。地盤改良工の施工にあたっては、工事に伴う海底汚泥の舞上りを極力防止するために事前に敷砂を施工することとし、敷砂の施工には水深に応じて上下調整できるトレミー管を備えた専用船を用いることとした。実際の施工にあたっては濁りの発生を防止するためにさまざまな対応はかっている。

鋼矢板セルは直径約30m、長さ約30mで、直線矢板232枚を湾内(海上)の基地で組み立て、1300t吊りの起重機船により48台のバイプロハンマーで一斉に打ち込むプレハブ鋼矢板セル工法を採用することとした。また、鋼矢板セルのサンドコンパクション改良地盤への打設実績がなかったため他の港で試験工事を実施し、事前

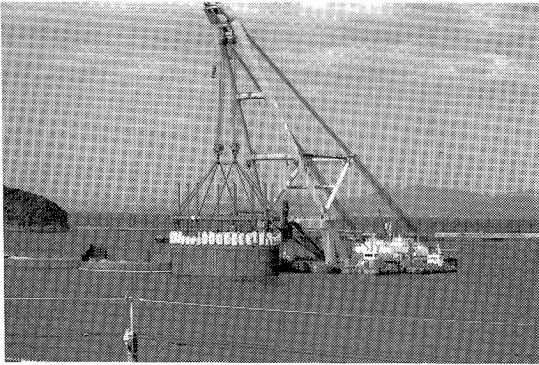
表-1 水質の監視内容

監視地点	監視地点名	調査項目及び調査回数	監視基準値	判定方法
基本監視点	518点	総水銀・深度 1日3回 (8時・13時・17時)	総水銀 0.0005ppm以下	1週間の平均値が監視基準値を超えないこと。
		生活環境項目 水素イオン 化学的酸素要求量 硝酸態窒素 ホルマリン 抽出物質 ひ素 鉛	水素イオン濃度 7.8~8.5 化学的酸素要求量 3ppm以下 硝酸態窒素 5ppm以上 ホルマリン・キサン抽出物質 検出されないこと 0.5ppm以下 (ひ素及び鉛については、監視の参考とする。)	(各監視点ごとに1週間の平均値を毎日算出して、これが監視基準値を超えないことをもって行う。)
補助監視点	7地点	濁度 1日5回(工事開始後2時間ごと) 監視船を配置し、異常な濁り等について監視する。	濁度 7 ppm以下	最高値が監視基準値を超えないこと。
工事地点周辺部				
地下水監視点	4地点	総水銀 硝酸イオン } 3ヵ月1回	総水銀 0.001ppm以下 (硝酸イオンについては監視の参考とする。)	最高値が監視基準値を超えないこと
参考調査-1	5地点	総水銀 1週1回 栄養塩類 1ヵ月2回		
参考調査-2	2地点	リン酸リン 平常時1回 硝酸態窒素 異常時の要 塩素イオン 日1回	補足的調査(監視の参考とする。)	

表-2 魚介類等の監視内容

監視内容	調査項目等	備考
魚介類遊出防止	仕切網 工事水域と一般水域の境界及び航路部航路ぞい側に設置。(航路開口部には底立網を設置。)	
	捕獲網 工事水域内に設置。(4カ所)	捕獲魚は廃棄槽に保管後適宜固処理し埋立地等に処分する。
魚介類の調査	音響装置 航路開口部に設置。	
	一般水域 主要魚種 総水銀 1年4回(春、夏、秋、冬)。(総水銀が0.4ppmを超える場合はメチル水銀の調査を行う。)	監視基準値。総水銀 0.4ppm 以下 メチル水銀 0.3ppm 以下。判定方法魚種毎に平均値が監視基準値を超えないこと。
	工事水域 主要魚種 総水銀 1ヵ月1回	事前調査の結果と対比しながら監視する。
プランクトンの調査	一般水域 動物プランクトン、植物プランクトン 工事水域 総水銀 1年6回	事前調査の結果と対比しながら監視する。
魚類の飼育調査	まだい、めじな、総水銀 1ヵ月3回 魚類飼育施設を設け、非汚染魚を飼育して10日おきに1尾取り揚げ調査する。	事前調査の結果と対比しながら監視する。

めに一般水域と工事水域の主要魚種を定期的に採捕して分析を行うほか、湾内に飼育施設を設けて魚を飼育したり、プランクトンを採捕して分析を行い、水銀濃度の変



写真一 起重機船によるセル打設状況

に施工の確実性を確認している。写真一に起重機船によるセルの打設状況を示す。

b) 護岸の最終締切の段階では護岸の内外で水位差が大きくなるため、この結果締切護岸の開口部付近では流れが速くなり、海底土の攪乱による汚濁の拡散が懸念される。水俣湾では潮位差が約3.75 mもあるためより慎重な対応が望まれた。最終締切の位置および延長については、作業船の必要水深、作業スペース、および通水断面の確保などを考慮して両側護岸の延長約225 mの区間とした。

最終締切に関する主要な検討項目は、アーク部付近の底面保護、護岸内外の水位差によるポイリングに対する保護、および締切の本体工である。

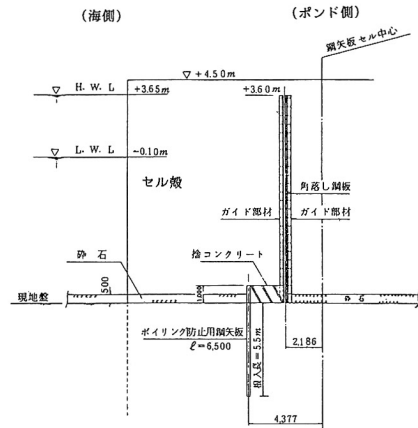
底面の保護については流れに対する安定、その後のアーク打設およびセル前面のポンプ浚渫の施工性などを考慮して、粒径30～50 cmの碎石を層厚50 cmで幅6 m、長さ60 m（護岸法線から内外にそれぞれ30 m）の範囲に施工することとした。

締切工はアークの打設に先行して当該部の仮締切工として施工されるものであり、大口径鋼管杭1本で締切る案、二重矢板構造とする案、および鋼板角落し案の三案を種々比較・検討した結果、施工の確実さ、容易さ、水密性に対する信頼性の観点から鋼板角落し案を採用することとした。なお、ひとたび仮締切工が施工されると内外で生じる水位差のためにポイリング現象が発生する可能性がある。これを防止するために、根入れ深度5.5 mの鋼矢板を仮締切工の前面に施工することとした。

以上に述べた最終締切工の断面図を図一4に示す。

c) 汚泥浚渫工事には汚泥を攪拌せず吸入力だけで汚泥を吸い上げる汚泥専用浚渫船（通称カッターレスポンプ浚渫船）を開発・採用し、二度にわたる試験浚渫を行って事前に工事の安全を確認した。

水俣湾の汚泥に含まれる水銀は大部分が無機水銀であるが、曝気されたり太陽光線の照射を受けたりすると危



図一4 最終締切工断面図

険なメチル水銀に変化する可能性が大きくなるため、埋立地内は常に湛水状態を保つこととし、送泥パイプの吐出口も特殊な形状とし水中に設けている。

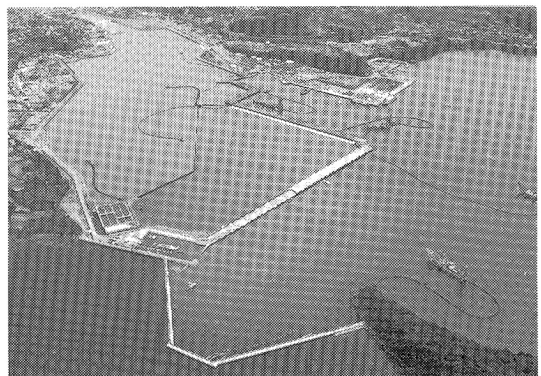
また、有害な汚泥を安全かつ迅速に除去するために各種の施工管理機器を搭載し、情報化施工を駆使した。

写真一2にはカッターレスポンプ浚渫船の作業状況を示す。

d) 水銀を含む有害土砂による埋立地に対しては、余水吐からの余水の排水基準として総理府令で総水銀濃度0.005 ppm以下と定められている。しかし、水銀濃度の分析には時間を要するため、常時即時監視が必要な水俣湾の埋立地の余水処理の監視には適用が不可能となった。しかし、水俣湾の汚泥中の水銀はそのほとんどが硫化水銀の形で汚泥と結合した状態で存在するため、事前に濁度と水銀濃度の相関関係を調査することとし、熊本県による湾内水を用いた室内試験の結果、余水の放流監視基準として濁度40 ppmを採用した。

余水処理計画立案のための留意事項は以下のとおり。

- (i) 埋立地内での自然沈降を促進する。
- (ii) 雨量については過去のデータから予測し、余水



写真二 カッターレスポンプ浚渫船の施工状況

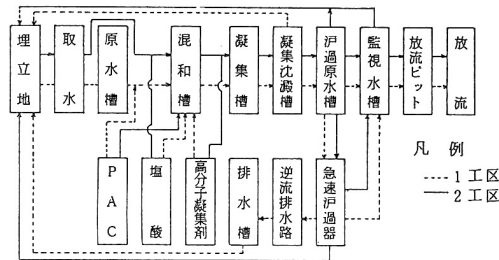


図-5 余水処理フロー

処理計画にとり入れる。

- (iii) 排出する前には必ず余水処理施設を経由する。
- (iv) 余水処理は浚渫と異なり夜間でも管理可能となるため、24時間運転を前提とする。

図-5には水俣湾汚泥浚渫処理工事で採用した余水処理のフローを示す。なお、余水処理にあたっては前述のように埋立地内を湛水状態に保っておく必要があるため、検討の結果汚泥表面から必ず50cm以上の水深を確保することとし、さらに余水処理の効率を良くするために既存の陸地と埋立地の境界部に側溝を設け、既存の陸地の雨水が埋立地内に流入しないように配慮した。

余水処理の具体的な手順は以下に示すとおりである。

- ① 埋立地内で沈降後の上澄水はまず水質試験され、凝集剤の添加の必要性の有無および必要な場合の添加量が決定される。
- ② 上澄水は混和槽で凝集剤と混合された後凝集槽に送られ、形成されたフロックを凝集沈殿槽で沈殿させる。余水は監視水槽に送られ、水質検査を受ける。
- ③ 水質検査の結果放流監視基準を上回る場合には急速浮上槽に送られ、確実に浄化することとした。

埋立護岸は止水性が高く、かつ湛水状態を保つ必要から、浚渫船の揚水量、余水処理能力、および埋立地内の水位などは浚渫工事の重要な施工管理項目ともなった。この余水処理施設は水俣湾の水銀汚泥の特性を勘案して独自に設計・製作したものである。

e) 埋立地内に投入された汚泥中の水銀は有害なメチル水銀に変化する可能性があるため、速やかに良質な山土等で覆土して封じ込める必要がある。しかし、埋立地に投入された汚泥は細粒分が多く、含水比が高いうえ、ポンプ浚渫による膨潤の影響もあってベーン試験も不可能なほど軟弱であるためこの上から直接覆土工事を行うことは困難である。このため、まず埋立地全域に防砂シートを敷設し、この上にシラス（地元で産出する火山灰質の単位体積重量の小さい土砂）を厚さ約80cmで水搬工法でまき出すこととした。そして、この後水を抜いて良質な山土をまき出し、汚泥を完全に封じ込めることとした。なお、上述の防砂シートの敷設およびシラスのま

き出しは湛水状態での施工となった。

第1工区では敷設材としてはロープネットとシートの組合せを採用したが、第2工区では埋立地面積、汚泥層厚、水深などからロープネットの使用は不可能となり、シラスの散布工法（マイクロポンプ水搬、サンドポンプ水搬、ジェットコンベア散布、空搬散布）も含めて、シートおよびネットの材質、および施工法について試験工事を実施することとした。この結果、第1工区より引張強度の大きいシートを採用することとし、工場加工のできる最大のシートである29m×50mを単位とし、シートの接続のため1mのラップ部を設けることとした。なお、汚泥の圧密に伴う発生水および降雨等の排水のために、合成樹脂製のフレキシブル透水管をドレーンパイプとして50mメッシュに設置している。

シラスの散布工法としては、施工面積が広く、搬送距離が長いうえに工期も限られていることから、マイクロポンプによる水搬工法を採用することとした。なお、この工法の採用に伴い必要な水位を確保するため、埋立地内に中仕切堤を設置するとともに土のうにより護岸のかさ上げを行った。

写真-3および写真-4にはそれぞれシートの敷設状況およびシラスの施工状況を示す。

以上、第1工区での経験をもとに種々検討の結果採用



写真-3 シートの敷設状況

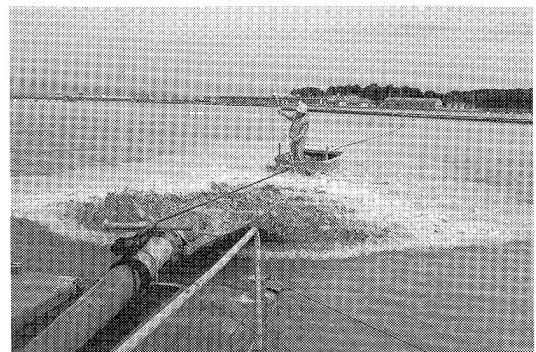


写真-4 シラスの施工状況

表-3 全体工事工程表

施設名	数量	52	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	摘要
1 工区													
岸壁 (-6.5m)	210m												
" (-4.5m)	120m												
物揚場 (-3.0m)	140m												
" (-4.0m)	60m												
" (-4.0m)	1式												
" (-2.0m)	64m												
防波堤 VA	35m												
" IB	90m												
船揚場	20m												
泊地 (-2.0m)	3,500㎡												
中仕切堤	42m												
余水処理施設	1式												
表面処理	21,000㎡												
2 工区													
護岸 VA	523m												
岸壁 (-10.0m)	185m												
" (-7.5m)	130m												
物揚場 (-3.0m)	100m												
" (-2.0m)	100m												
係船桟VA	138m												
" IB	26m												
船揚場	20m												
泊地 (-2.0m)	2,000㎡												
" (-1.0m)	1,150㎡												
中仕切堤	6327m												
余水処理施設	1式												
表面処理	450,000㎡												
仮締切堤	433m												
汚泥浚渫	180,000㎡												

した施工計画および施工法の概要を示した。

表-3には本工事に先立って行った仮締切堤および仕切網の設置を除く第1工区および第2工区の施工の全体工程を示す。表中、最上段の年度を示す欄で52から55に数字がとんでいるのは、先にも触れたように工事の着工直後一部住民による工事の差止仮処分申請が熊本地裁に出されたことによる工事の中断があったからである。

以下、水俣湾公害防止対策事業の中心的な工事となった汚泥浚渫工事についてその概要を報告する。

3. 汚泥浚渫工事の概要

(1) 汚泥の浚渫計画

a) 汚泥処理区域の設定

熊本県は、昭和48年3月に環境庁が示した「水銀を含む底質の暫定除去基準」および「底質調査方法」に基づいて、昭和48年度にエクマンパージ方式による採泥で水銀濃度の平面分布を、昭和49年度にアクリルパイプによる採泥で深さ方向の調査を行った。その後、工事の着工に先立ち、再度新たに設定した水俣湾座標系のメッシュを用いてアクリルパイプによる採泥調査を行った。

調査メッシュは基本的には200m間隔で設定することとし、汚泥処理区域の境界部付近、水銀濃度および海底地形の急変部など詳細な検討を要する部分については40m間隔で設定することとした。

以上の結果設定された水銀調査位置図を図-6に、汚泥処理区域を図-7に示す。なお、図-6中に示す水銀濃度25ppmのコンター付近においては、40mメッシュの各格子点4点のうち1点でも25ppmを越えた場合にはそのメッシュを処理区域とするとの基本方針のもとに図-7の区域設定がなされている。

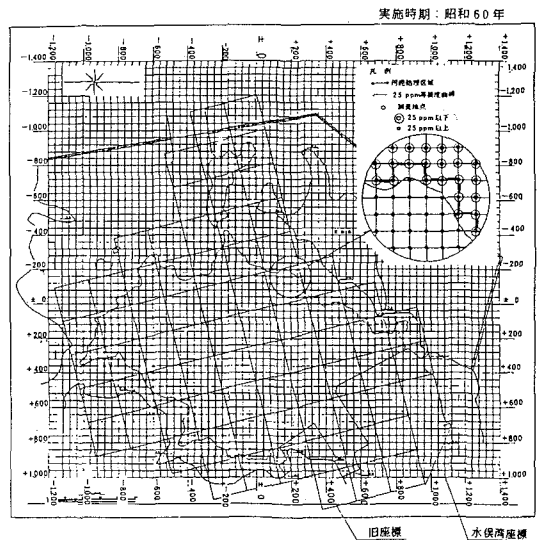


図-6 水銀調査位置図

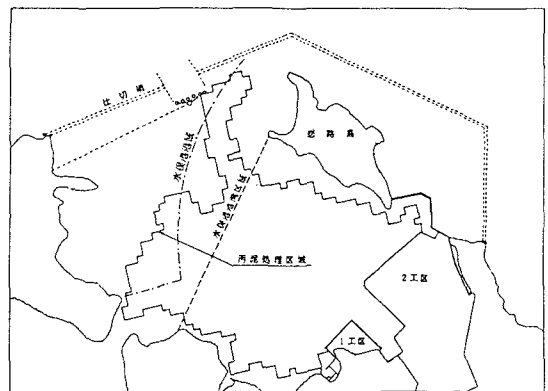


図-7 汚泥処理区域図

表一4 水俣湾底質調査結果表

地点 番号	座標 X	座標 Y	水銀分析結果 (ppm)										除去土厚 (cm)	
			0-10cm	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	100		120
540	240	680	83.8	85.8	289	424	349	306	174	52.8	2.36	0.145	170	
541	200	680	60.9	143	193	43.9	2.35	0.649					80	
542	160	680	19.3	9.74									0	
543	120	680	8.26										0	
544	240	720	34.6	86.1	103.3	31.6	4.4	1.97					50	
545	200	720	66.6	124	236	12.1	0.454	0.067					70	
546	160	720	22.8	22.5									0	
547	120	720	9.86										0	
548	240	760	63.1	72.2	80.3	27.8	22.9	15.5	1.2	0.062	0.059		130	
549	200	760	52.7	52.9	36.4	0.7	0.06						60	
550	160	760	14.5	6.1									0	

b) 浚渫形状の設定

浚渫形状の設定にあたっては対象とする汚泥を完全にかつ迅速に処理し、効率的な施工のために浚渫土量を最小限とすることを前提として以下に示す手順に従って検討することとした。

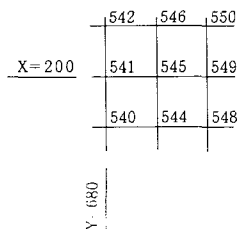
① 浚渫等深線図の設定

底質の水銀調査は各格子点で深度方向に10cm間隔で10cm厚の各土層を対象として行われ、たとえば図一8に示す各格子点に対して表一4に示すような水銀調査結果が得られる。除去土厚の設定にあたっては図一9のNo.549地点の例に示すように、各土層の水銀濃度が25ppm以下であり、かつ10cm間隔で隣り合う2つの土層の平均水銀濃度が25ppm以下になることを条件とした。

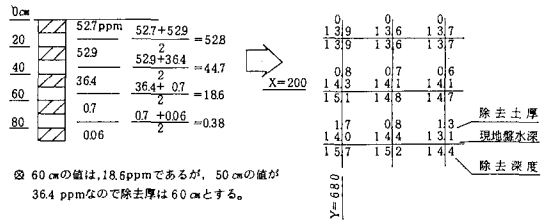
表一4には、このようにして得られる除去土厚も併せて示しているが、いずれも水銀濃度25ppm以上の汚泥は確実に除去されていることがわかる。このようにして得られた除去土厚をもとに、浚渫の除去深度の等深線図を図一10のように作成した。この等深線図は以下に述べる浚渫棚設定のための基本データとなる。

② 浚渫計画棚の設定

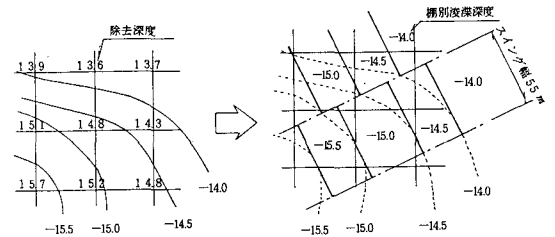
カッターレスポンプ浚渫船と称される船は昭和58年11月現在で国内に計12隻程度存在したが、そのほとんどが浚渫可能深さ、排送距離、および浚渫能力などの面で本事業の必要条件を満足していない。このため、在来船の能力向上のための改造を検討した結果、4隻が本事業に対する適種となり、これらの仕様をもとに浚渫棚の検討を行うこととした。



図一8 格子点図



図一9 除去土厚の決定例 (No.549地点)



図一10 除去深度等深線図および浚渫棚設定図

浚渫土量を必要最小限に抑えるためには、いわゆるリングの皮をむくような「等厚掘り」が望ましいが、海底の不陸、および施工管理の複雑さを勘案すると浚渫船の機構上きわめて困難であり、また対応できたとしても効率が悪くなる。このため、図一10中の右図に示すように一定区画を同一深度で浚渫する「等深掘り」で施工することとし、浚渫の単位となる棚を施工区域全体にわたって設定することとした。

棚の平面形状の要素である棚幅については、各浚渫船の有効スイング幅をもとに55mとし、施工を確実にするために両端の寄切部でそれぞれ2.5mラップさせることとした。

掘進方向の棚の切換高については、各浚渫船の負荷土厚(1スイング当たりの浚渫厚)を基本に検討したが、50cmとすると水銀汚泥以外のシルト質土まで過分に浚渫することとなるため、薄くすると施工管理は複雑になるが基本的には30cmと設定した。ただし、浚渫等深度線の密な部分については、30cmとすると棚が小さくなりすぎて出来形管理が難しくなるため、切換高を50cmとし、かつ掘進方向の長さについても施工性および出来形管理を考慮して最小長を20mと設定した。

なお、以上のように設定した棚については、再度各水銀調査地点ごとに設定した除去土厚との照合を行い、設定した棚の範囲に存在する調査点のいずれの除去土厚をも満足しているかどうかをチェックすることにより、有害汚泥除去の安全の確認および修正を行っている。

c) 試験浚渫による施工能力および施工精度の確認

試験浚渫においては、本工事における工事の安全を期すため、浚渫船の能力をはじめとして、施工上検討すべ

き項目についてはほぼすべてにわたって調査することとした。この結果各浚渫船の施工能力についてはほぼ確認されたが、それらのうち、施工および施工計画に重要な調査結果を以下に示す。

浚渫深度の許容範囲の設定にあたっては、本工事の浚渫が水俣湾に堆積する水銀汚泥を目標とする基準に従って安全・確実に除去することを目的としており、環境上特に大きな制約のない通常の航路、泊地、および床掘などと比較してより慎重な対応を余儀なくされた。

水俣湾における試験浚渫を含む全国的な施工実績の調査の結果、施工精度 ± 30 cmを満足しているのは大阪湾における試験調査の結果のみであった。しかし、水俣湾では有害な汚泥をできるだけ完全に除去する必要があること、埋立地の受け入れ土量と浚渫土量のバランス、さらには後述する運転および施工管理体制の高度化等を考慮して ± 30 cmを許容範囲とする厳密な施工を実現することとした。

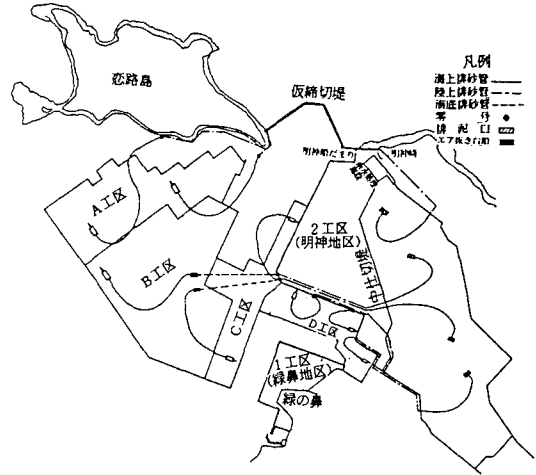
各浚渫船の負荷土厚はいずれも40～80 cm程度であるが、浚渫の等深度線が密な箇所では隣り合う浚渫棚の深度差が大きくなる可能性があり、この場合土質によってはのり面崩壊による濁りの発生、および既浚渫部への汚泥の流入などが予想される。このため、のり面の安定について別途検討を行い、浚渫効率も考慮して、互いに隣接する棚間の浚渫深度差は2.0 mを限度とした。

実際の浚渫工事にあたっては、効率的な配船計画、土砂処分計画を立案しなければならないが、このための目安の1つとなる各船の浚渫能力については、試験浚渫の結果によると約140～220 m³/hの範囲でばらついた。

(2) 浚渫土の処理・処分計画

汚泥の浚渫工事にあたっては、水銀濃度25 ppm以上の汚泥を確実に除去し、かつポンプ浚渫船同士および排砂管などの競合を避けるために、各浚渫船の能力および浚渫区域の土質条件などを加味して浚渫区域を4区域に分割し、それぞれを各浚渫船の分担区域とした。この結果、最も湾奥部となり構造物に囲まれた施工の困難な区域については、基本的にはスパッド方式を採用することとし、湾奥部では大部分片スイング浚渫となった。また、カッターレスポンプ浚渫船で施工ができない構造物近傍については、クラムシェルにより浚渫可能な位置まで海中を横持することとした。

第2工区の浚渫における排砂管ルートについては、すでに完成している第1工区の緑埠頭が供用されていたため、これらの施設を利用する船舶の航行安全、および経済性を考慮して決める必要がある。この結果、湾口部に近い区域については恋路島～仮締切堤を經由して埋立地に導くルートを採用することとし、3か所の零号を設けて切換えを行った。湾中央部の区域については一部海底管



図—11 排砂管ルート

を設けることとした。排砂管ルートを図—11に示す。

図—11中の中仕切堤は、工程上護岸の完成前に湾奥部から順次埋立を開始せざるを得なかったため設置したもので、汚泥の自然沈降を促進するように配置に工夫している。

(3) 埋立地管理

埋立地への土捨の天端高については、第1工区等における汚泥の膨潤率の実績（昭和60年度の施工実績では約1.34となったが、図—11中の中仕切堤よりも奥のポンドBでは安全をみて1.4とし、これより海側のポンドAではポンドBでの実績を加味して1.3とした）と投入汚泥量の関係から設定することとした。この結果、ポンドBでは土捨天端高は+1.95 mとなったが、余裕をみて+2.0 mとした。施工にあたっては、部分的な盛り上りを極力少なくし、汚泥天端が均等になるように、排泥口にウインチを取り付け、これを移動させながら常にレッド測量により土捨管理を行った。

管理水位は、セル護岸の安定計算からセル前面の床掘、置換、および背面の裏込雑石の投入完了までは+3.0 mとなる。しかし、異常降雨などによる急激な水位上昇の可能性を考慮して+2.7 mを上限とした。また、汚泥中に含まれる水銀のメチル水銀化を防止する目的から埋立地内を常に湛水状態に保つ必要がある。このため、管理水位の下限としては汚泥天端に0.5 mを加えた高さを採用することとした。

吐出口より排出される揚泥水量は1隻当たり約45 m³/分で、日光による照射を避けるために吐出口を水中に設けるとともに、流勢による汚泥の攪拌を防止するために特殊な形状に加工することとした。

(4) 施工管理

浚渫処理工事の実施にあたっては二次公害が発生しな

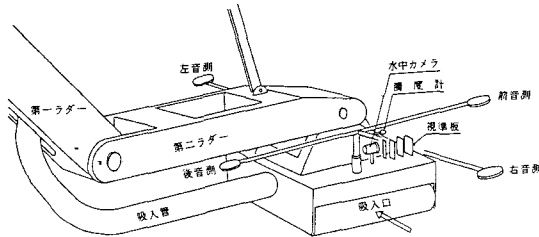


図-12 サクションヘッドの概要図

いように細心の注意を払う必要があるため、施工管理をより確実にするための浚渫船の改造を行った。改造にあたっての主要な留意点は以下のとおりである。

- ① 吸入口付近の濁りの状況を目視可能とする。
- ② 吸入口付近の濁度を測定する。
- ③ 揚泥水量を正確に把握する。
- ④ 海底地盤と吸入口の位置関係が目視可能とする。

このほかに、浚渫船の位置、浚渫深度の把握なども施工管理項目としているが、本工事においてはきわめて高精度な施工管理が要求されることから、最新の情報処理装置を用いた画期的な施工管理装置を開発・装備することとした。

a) 濁り監視システム

本システムは、濁度計により吸入口付近の濁りを常時測定するとともに、水中カメラにより直接濁りを監視するものである。図-12に示すようにポンプ浚渫船のサ

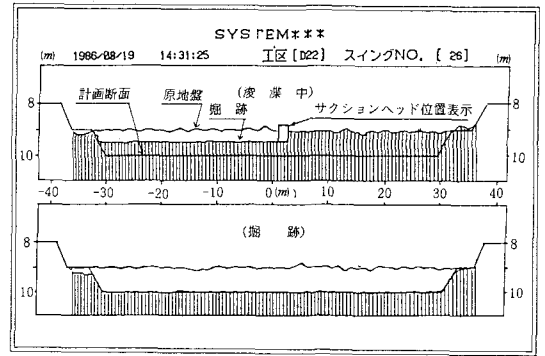


図-13 画面表示の一例

クションヘッドに連続濁度計を取り付けて操縦室に設けた表示器にデジタル表示するとともに、水中カメラによる映像を視準板とともにテレビ画面に映し出すこととした。なお、視準板の透視可能距離と濁度の相関については水槽実験により把握している。

b) 運転管理システム

本システムは、浚渫状況を画面表示することによってオペレータが視覚的に浚渫状況を把握し、直接運転操作に反映させることにより最適な運転制御が可能となるように開発・装備したものである。

基本システムには、浚渫情報として運転中のサクションヘッドの傾斜角と深度、サクションヘッドの前後左右の土厚、および潮位がリアルタイムで自動的に入力され、

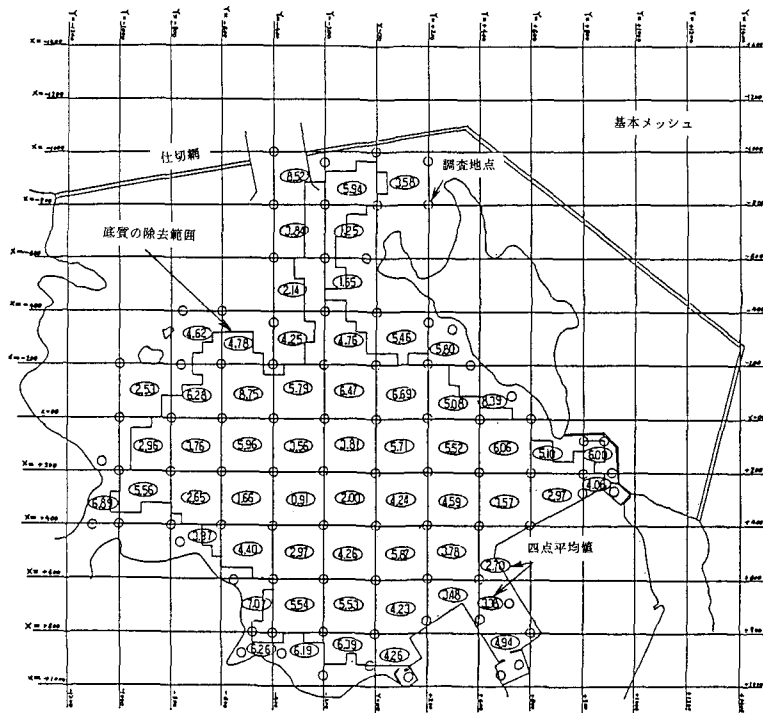


図-15 浚渫工事完了後の水銀調査結果 (ppm)



写真—5 埋立地の外観

これらのデータは、たとえばサクシオンヘッドの深度に潮位補正が加えられるなどのデータ間の処理・補正が行われたのちオペレータが直接読み取れる運転情報として表示される。これにより、オペレータは浚渫中のサクシオンヘッドの位置とスイング方向の土厚変化を直接目でみているように運転操作をすることが可能となる。図—13にはサクシオンヘッドの位置、掘削土厚等の画面表示の一例を示す。なお、画面にはその他各計測値についてもあわせて表示することとした。

(5) 水銀調査

本事業においては、環境庁が定めた「水銀を含む底質の暫定除去基準」に基づいて算定した総水銀 25 ppm 以上の汚泥を完全除去することを意図していたため、浚渫完了後自主確認による水銀調査を実施した。調査は汚泥処理区域内を 40 m メッシュに分割し、各格子点で採取された底泥に対してなされた。また、熊本県においても、別途正式に環境庁が定めた「底質調査方法」に基づいて 200 m メッシュで水銀調査を行った。この結果を図—14 に示す。この結果によると、各格子点の最高水銀濃度でも 12.0 ppm、最低水銀濃度で 0.06 ppm、平均水銀濃度は 4.9 ppm であった。また、底質判定基準に基づく各調査メッシュの 4 格子点の平均値によると、図—14 に示すように最高水銀濃度は 8.75 ppm、最低水銀濃度は 0.91 ppm、平均水銀濃度は 4.61 ppm であった。

以上に示す結果をふまえて、当初目標としていた総水

銀濃度 25 ppm 以上の汚泥の完全除去を達成したことが正式に確認され、汚泥浚渫工事の無事完了をみることとなった。

4. あとがき

水俣湾公害防止対策事業は昭和 52 年 10 月の仮締切堤工事の着工以来今年で 13 年目を迎える。工事の着工直後、一部住民による工事の差止仮処分申請が出され約 2 年半の中断があったものの、今年度末には本事業に関連する諸工事が無事完了の予定となっており、現在山土による最後の覆土工事が鋭意進められているところである。写真—5 には、最後の仕上げに入る前の昭和 63 年 9 月現在の埋立地の全体写真を示す。この広大な埋立地の活用方策については、水俣の再生を賭けて官民一体となった検討が始まった段階である。来る平成 4 年度には国際イベントの開催が予定されており、また一方では水俣湾の豊かな自然を生かしたウォーターフロント開発構想の 1 つである「マリントウプロジェクト」が計画されている。これらを通じ、水俣市が国際観光都市として今後ますます発展することを期待するものである。

また、本事業の中心となった汚泥浚渫工事においては、「二次公害を絶対に引き起こしてはならない」との共通認識のもと、カッターレスポンプ方式の特殊浚渫船を開発、使用したほか、施工の確実性、効率の向上のために画期的な施工管理装置を導入することなどにより無事目的を達成することができた。これらの開発にご尽力をいただいた関係各位に厚く御礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 大村哲夫：水俣湾堆積汚泥処理工事（第 1 工区），土木技術，Vol. 40, No. 9, pp. 44~51, 1985.
- 2) 山口晶敬：水俣湾の水銀汚泥処理事業，水，No. 30, pp. 18~24, 1988.
- 3) 山口晶敬・望月規行：水俣湾汚泥処理事業，土木学会誌，Vol. 74, No. 8, pp. 9~11, 1989.
- 4) 清原 淳：水俣湾汚泥浚渫工事，作業船，No. 183, 1989.
- 5) 高橋 誠・山口晶敬：水俣湾水銀汚泥処理事業，'89 日本沿岸域会議研究討論会講演概要集，No. 2, pp. 79~80, 1989.

(1990. 3. 14・受付)