

泡流出防止を考慮した温排水放流施設の設計と施工

岩瀬 浩二* ・ 今井 貫爾**・ 岩村 栄世***
相河 清実***・ 細川 茂夫***

1. 緒 言

臨海に立地する発電所や工場から放流される海水に大量の泡が混入し、放水口周辺海域が非常に広い範囲にわたって白濁する現象が多く報告されている。これは、取水された海水がポンプによって高い位置に揚げられた後に放水系に流されるため、自由落下・跳水・噴流・合流・急縮急拡・シャワーなどの空気の連行を伴う水流の大きな乱れによって発生するものである。また、海水は淡水と異なって粘性が高いため、泡が出来安く、一旦出来ると消えにくいという性質を持っている。さらに、海水の泡の粒径は数mm以下と非常に細かなものであるため、浮上速度が小さい。大量の泡によって海面が広い範囲で白濁する現象は、景観上好ましくないばかりでなく、泡が安定して海面上に堆積すると、風によって吹きちぎられた泡が飛散し構造物に付着して金属部分の腐食や漏電等の一種の塩害と見なされる実害をもたらす可能性もある。

海水の泡の特性に関する基礎的な研究は、阿部(1984)が先駆的に行っており、基本的な物理特性が把握されている。泡の発生防止や発生した泡の流出防止に関しては、福原(1991)が空気管付管路放水水路を提案している。ところが、海泡に関する系統的な研究はあまり行われておらず、放流構造物の設計においても標準的な泡の発生防止と流出防止法が十分検討されているとは言えない。

今回、内湾に位置する工場の温排水の放流構造物を新設する際、計画段階において、泡流出防止を主眼とし、さらに放水口での流速の一樣化と放流水による船舶への影響評価まで含めた全体の放流システムを考案した。次に水理模型実験によって適用性を検討して設計に反映させた。さらに構造物の竣工後に現地観測を行って、泡流出防止を含めた所期の水理機能の実証を行った。

本報では、泡流出防止の観点から、今回の放流システムを紹介するとともに、一連の水理模型実験と現地観測

によって得られた結果について報告する。

2. 放水システム

従来の放流は、開水路から約4m下方の護岸前面の海面までの自由落下で行っていた。このため、写真-1に示すように護岸前面海域が広い範囲にわたって泡で白濁し、オイルフェンスを用いて泡の広がりを防いでいた。

放流構造物の新設時の温排水の計画流量は、常時44,000 m³/hr、最大時70,000 m³/hrである。泡流出防止を主なねらいとして考案した放流システムを図-1に示す。放流システムは以下の構造物より形成される。

① 切り廻し水路

既設排水路(開渠)から集水榦まで海水を切り廻す。

② 集水榦

泡の発生を最小限にするため落差を小さくした状態で、一旦海水を落とし込む。

③ 放流ピット

各集水榦から暗渠を通ってきた泡混じりの海水を集めて、ゲートの上流部で泡を蓄積させる。

④ 放水路

放流ピットから、2分割された暗渠により放水口まで約100mを安定して流下させる。

⑤ 放水口

護岸方向に拡幅された空間内に曲線の隔壁を設けて流速の低減と流れの一樣化を図り、横放流方式により放流する。

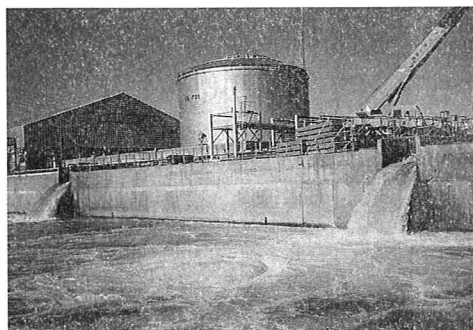
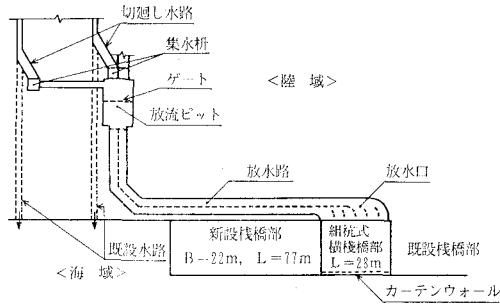
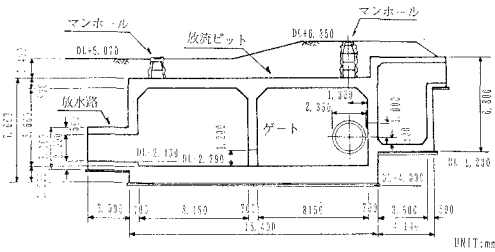


写真-1 施工前の放流

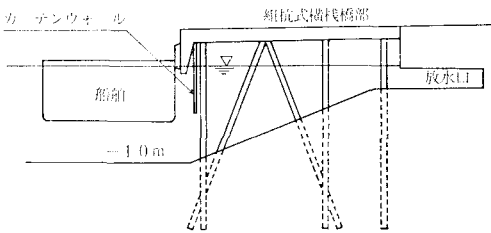
* 正会員 鹿島建設(株) 技術研究所
** 正会員 Ph.D. 鹿島建設(株) 技術研究所
*** 正会員 鹿島建設(株) 建設総事業本部



(a) 全体レイアウト



(b) 放流ピット



(c) 放流口

図-1 放流システム

⑥ カーテンウォール

組杭式横棧橋の前面に水深の約半分の深さまで遮断壁を設け、最終的に泡の流出を完全に遮断する。

本システムを用いた泡の流出防止の考え方を図-2 に示す。まず、泡の発生を最小限にとどめるため、できるだけ上流部の水位差の小さくなった集水柵で、一旦海水を落とし込む。集水柵から暗渠を通ってきた泡を含む海水は、比較的大きな遊水部を有する放流ピットにまともて流入する。放流ピットの中間にはゲートを設けて、比較的水流の乱れの小さいゲート上流部で、泡の浮上とゲートによる泡の捕捉を図る。ほとんどすべての泡は放

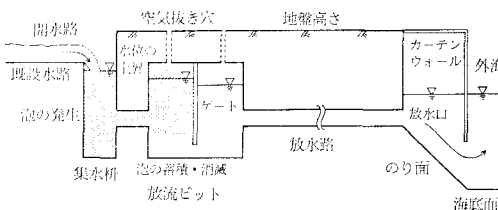


図-2 泡流出防止の概念

流ピットのゲート上流部に蓄積され、泡の上層部が自然に消滅することを期待して常にほぼ一定量の泡が存在する状態になる。なお、放流ピットの上流部と下流部の天井には空気抜き用の穴を設けて圧力を解放する。放流ピットから放水口までの約 100 m の放水路は、2 分割の水平暗渠とし、安定して流下させ泡を再発生させないようにする。放水口は常に海水中になるように設置し、ここでも泡が再発生しないように水中放流とする。カーテンウォールを放水口レベルより下まで伸ばして、ここで放流ピットでも捕捉できなかった少量の泡を最終的に完全に遮断する。

4. 水理模型実験

前述した放流システムの設計段階において、要求品質、①泡の流出がないこと、②これまでより大きな流量の通水に支障がないこと、③放水口の流速を低減・一様化すること、④放流水が係留船舶及び接岸する船舶に与える影響が小さいこと、を満足する放流施設の配置、形状、寸法を決定するため、水理模型実験を行った。

(1) 実験内容

縮尺は 1/50 とし、フルードの相似則に従って実験を行った。再現範囲は現地の陸域と海域を含めた 200 m × 200 m の領域である。図-3 に実験模型を示す。

実験では港内の潮位と常時流量、最大流量とを組み合わせで行った。

泡の挙動に関しては、適量の洗剤を 1 次タンク内に投入した水を流下させて、泡の発生と捕捉状況を観察した。これは、落差で生じる泡や、壁との衝突によって生

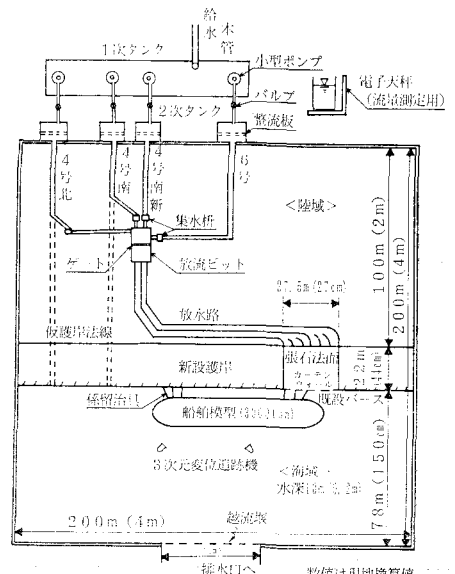


図-3 実験模型

じる泡は水流に取り込まれて移動するため、泡の定量的な評価は出来なくても、泡の発生と捕捉・流下現象はおおまかに捉えられると判断したためである。

放水口形状は、流速分布を計って決定し、船舶の動揺はステレオビデオトラッカーによって測定した。

(2) 実験結果

実験の結果、以下のことが明らかになった。

① 泡は、写真—2 に示すように集水枡のみで発生する。集水枡での落差が大きいほど大量の泡が発生した。集水枡で発生した泡は、写真—3 に示すように放流ピットのゲート上流部にはほとんどすべて蓄積され、ゲートの下部をくぐり抜けていく泡は認められなかった。カーテンウォールの内側には、ゴミが漂うのみで泡の蓄積は見られなかった。したがって、泡の流出防止効果が定性的

に検証された。

② 放流ピットのゲートの開度を1mとすれば、集水枡での水の落下高さ小さくし、しかも安定した通水が可能となる。

③ 放水口の断面を放水路の4.5倍とし、曲線の隔壁を適当に配置して6分割とすれば、写真—4 に示すように常時流量の場合カーテンウォール部での流速は約20 cm/sec 低減でき、さらに流向・流況も安定している。

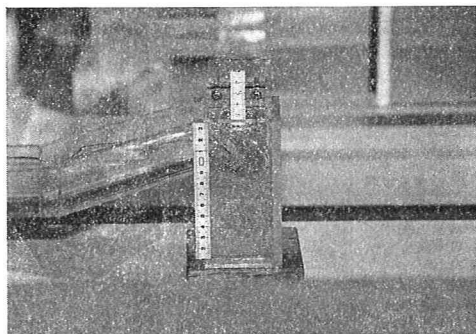
④ 放流水による係留された船舶への影響は極めて小さく、また船舶の接岸に与える影響も小さい。

4. 現地観測

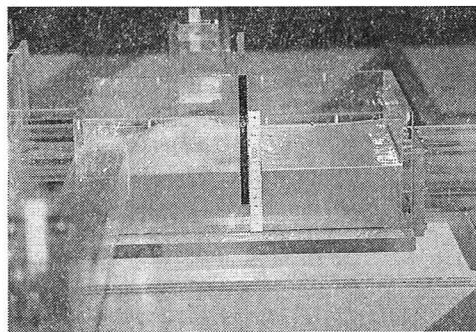
放流構造物の竣工後、1991年6月に泡流出防止を主眼とする所期の機能が実機で満足されていることを実証するために、現地観測を行った。

(1) 現地観測概要

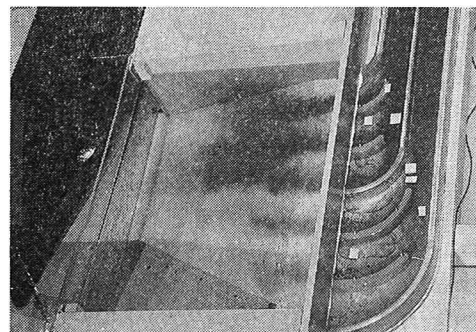
現地観測は流量が約 $46,000 \text{ m}^3/\text{hr}$ の時、干潮と満潮の2回、陸域部の水位・流速・泡の発生状況および放水口近傍の海域の流速分布と温度分布を測定した。陸域の泡の挙動については、集水枡への流入状況、集水枡周囲での泡の発生状況、カーテンウォール内の泡の発生状況、カーテンウォール外の流水の流出状況を写真撮影した。海域の測定では、図—4 に示す $50 \text{ m} \times 60 \text{ m}$ (10 m メッシュ) の範囲の42測点、および放水口とカーテンウォールとの間7測点に作業船を停泊させ、流向流速計および水温計で流向、流速、水温を測定した。図—5 に水温・流速調査方法を示す。写真—5 に水温と流速の測定状況を示す。



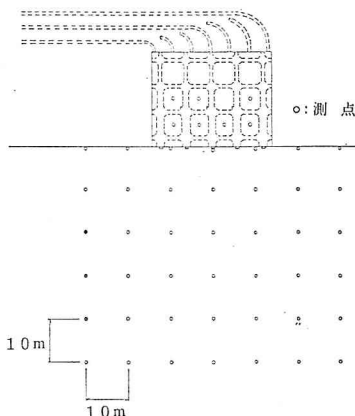
写真—2 集水枡で発生する泡



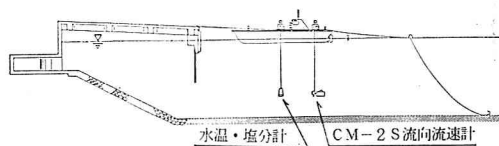
写真—3 放流ピット上流部に蓄積する泡



写真—4 放水口の流況



図—4 測点分布



図—5 流速・水温調査方法

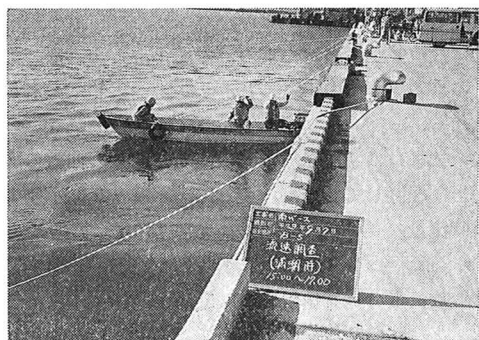


写真-5 流速と水温の測定状況

(2) 現地観測結果

a) 泡の流出防止効果

切り廻し水路, 集水槽で発生し, 放流ピット内に集積している泡の状況は, 写真-6, 7 に示す通りであり, 放流ピットのゲート上流側にほとんどの泡が蓄積されていた。ゲート下流側にも若干の泡の集積が認められた。しかしながら, 放水路を通りカーテンウォール内に達する泡はまったく認められなかった (写真-8)。これらの結果は, 水理模型実験で想定されていた状況とほぼ同様であった。

b) 流速と温度分布

図-6 に, 干潮時, 海面下 0.5 m 層の水平流速と水温

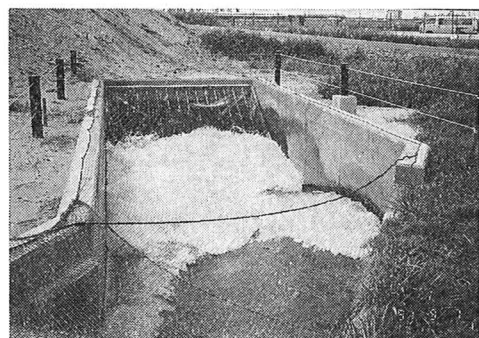


写真-6 切り廻し水路で発生する泡

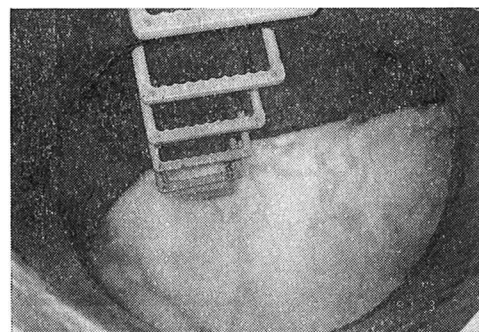


写真-7 放流ピットに集積している泡

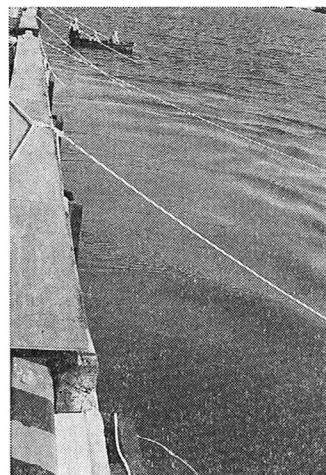


写真-8 カーテンウォール前面の水流の状況

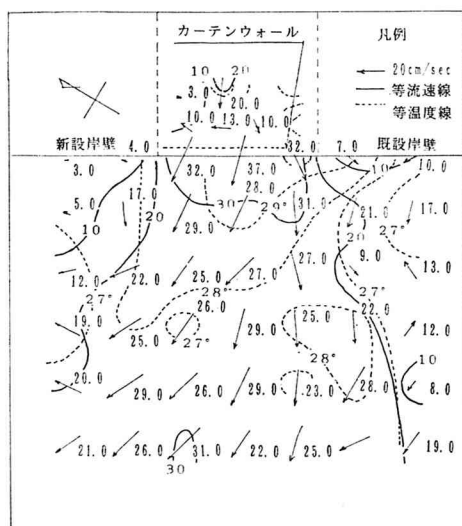


図-6 流速と水温分布 (干潮時, 0.5 m 水深)

の測定結果を示す。同図から, カーテンウォール部の流速は最大で 37 cm/sec であることが分かり, またカーテンウォールから離れるに従って流速が小さくなり, 調査範囲の境界部では 20 cm/sec 以下の流速であることが分かる。流向は, やや右回りの偏流があるものの, カーテンウォールを中心として, ほぼ左右対称な分布を示しており, ほぼ様な流況が得られたと考えられる。海面下 2.5 m 層の流速は概ね 15 cm/sec 以下で全体的に右回りの偏流となっており, 海面下 5.0 m 層および海底面上 1.0 m 層では流速が 10 cm/sec 以下の弱い流れで, 流向にも方向性が見られなかった。満潮時の流速・流向も干潮時とほぼ同様の結果が得られた。流速については, 表層のみが流れている状態で, 海面 1 m 下以深では温排水の流れとは別の流況を呈していた。

水温分布に関しては, カーテンウォール部と表層では

温度低減が小さいが、海面1m下以深ではほぼ環境水温に近い温度となっていた。なお、環境水温と温排水の温度差は約 17° である。

上述した流速分布と水温分布から判断すると、温排水の温度が環境水温に比べ比較的高いことと、カーテンウォール下部の流速が小さいことから、カーテンウォール付近に冷水くさびが存在すると考えられる。したがって、放流された温排水は、カーテンウォールの下部を出た後すぐに上方へプルーム状になって浮かび上がり、海表面に達した後は、表層のみを滑るように拡散しているものと考えられる。図-7はカーテンウォール近くの温排水の挙動を表したものである。

現地観測を通じて、水理模型実験によって設定した項目、つまり、集水柵、放流ビットの配置、放流ビットのゲート開度、構築レベル、放水路を常に海水面下のレベルにしたこと、放水口の形状、等が妥当であったことが実証された。

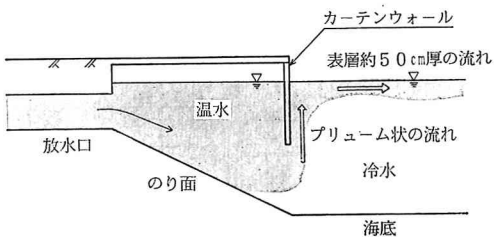


図-7 カーテンウォール近くの温排水の動き

結 語

内湾に立地する工場において、温排水の放流設備を新設する際、泡流出防止を主眼とする放流システムを考案し、水理模型実験によって基本形状を決定した。これを基に設計・施工を行った結果、海域への泡の流出が防止され、所期の要求品質を十分満足する温排水放流設備の構築が達成された（写真-9）。本報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

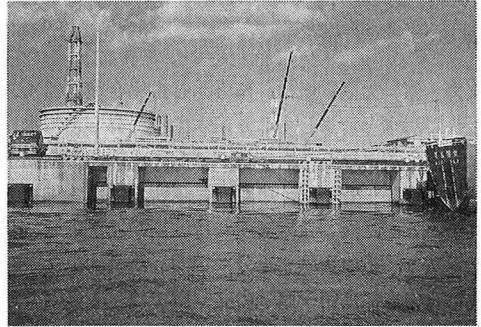


写真-9 施工後の放流状況

参 考 文 献

- 阿部友三郎 (1984): あわの科学, 地人書館, 204 p.
 福原華一 (1991): 復水器冷却水路系の発泡防止対策, 海洋開発論文集, Vol. 7, pp. 341-346.