

マフコタワー撤去工事における 潜水作業等の安全対策について

若島 宏治¹・古川 知弥¹

¹新潟港湾空港・整備事務所 第二建設管理官室 (〒950-3101 新潟市北区太郎代381)

新潟港沖の水中浮体式波浪観測装置（通称：マフコタワー）は2022年に撤去工事を実施したが、大水深での潜水作業となったことから、施工上の課題とその安全対策について報告する。

キーワード 波浪観測装置、マフコタワー、大水深、潜水作業、撤去工事

1. はじめに

港湾の設計や維持管理には、港湾構造物に作用する外力（波力）の把握が必要であり、新潟港では、1989年から新潟港沖約4km沖合に波浪観測装置（以下：マフコタワー）を設置し、波浪を常時観測している。マフコタワーは、全長約50m（水上部15m・水中部35m）のタワー状の水中浮体式構造物で、水深35mの位置に基礎（載荷ブロック）を設置し、浮力のあるマフコタワーを固定している。（図-1、2）

現在のマフコタワーは、設置から30年以上経過し、老朽化により維持管理に多額の費用が予想されるため、波浪観測方式を海底に設置した海象計で観測することとし、マフコタワー方式を廃止・撤去することとなった。

本報告は、撤去に伴い実施した、大水深における潜水作業に対する課題と対策・工夫について報告する。

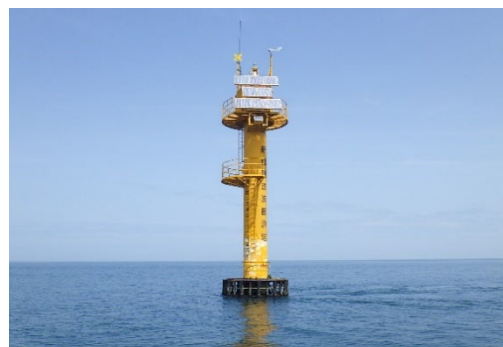


写真2 マフコタワー（水上部15m）



写真1 位置図

2. 撤去における課題と対策

マフコタワーの撤去には、載荷ブロックとマフコタワー本体の切り離し等の大水深での潜水作業が伴ってくる。新潟港で実施している潜水作業は、最大でも水深25m前後での作業であり、本工事で行われた水深35mでの大水深での作業は事例があまり無い状況であった。

潜水作業は、高気圧作業安全衛生規則（以下、高圧則）において、潜水作業で定めるべき事項として、①潜水作業者に送気やボンベに充填する気体の成分組成、②潜降の開始時から浮上の開始時までの時間、③潜水業務での最高の水深の圧力、④潜降と浮上の速度、⑤浮上停止水深圧力とその圧力下の浮上停止時間と規定されている。本工事においても、潜水作業における課題を抽出・検討して安全対策を行うこととした。

(1)潜水作業に対する課題と安全対策

a) 水中部調査

効率的な作業を行うため、タワー・シンカーの水中部の状況（堆積砂等の状況、潮流・濁り状況、等）を調査し、作業計画の立案・安全衛生管理の対策を図ることとした。

水中部調査は、時間・費用がかかる潜水士による調査ではなく水中ドローンを活用し調査を実施した（写真-3）。

その結果、塔体・ジョイント部について撤去作業の際に支障となる損傷や腐食等がないこと、また、シンカーブロック及び载荷ブロックの吊り金具の状況についても健全であることを確認できた。



写真-3 水中ドローン・ユニバーサル部

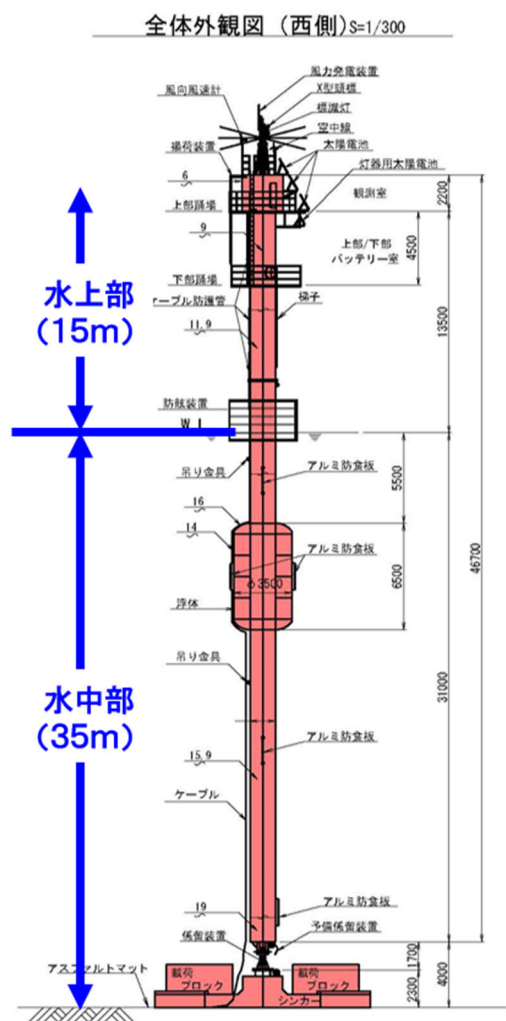


図-1 マフコタワー全体外観図

(2)潜水作業における課題の抽出

本工事の潜水作業における課題を以下とした。

- ・大水深での作業であること
- ・水中作業に時間がかかること
- ・潜水士に負担をかけないこと
- ・塔体撤去を含めた想定される事故が発生した場合の対応を取る

以上の課題が考えられるため、潜水作業に対する対策と塔体撤去に対する対策に分けて記載する。

a) 潜水作業に対する対策

① 大水深作業における留意事項

水深35mでの潜水作業は、減圧症対策として潜水士の作業時間が約30分と限られ、血液中に溶け込んだ吸気ガス成分（窒素）を体外に排出するため、浮上段階時においても一定の水深に一定の時間留まること（減圧停止）、及び一定の速度での浮上が必要となる。また、同じ潜水士が再作業（繰り返し潜水）するためには6時間の休養が必要となると同時に、減圧停止スケジュールも変わり、より潜水作業にかかる時間が少なくなる。

② 潜水作業計画の立案

- ・潜水作業者に送気やボンベに充填する気体の成分組成
- ・潜降の開始時から浮上の開始時までの時間
- ・潜降と浮上の速度
- ・潜水業務での最高の水深の圧力
- ・浮上停止水深圧力とその圧力下の浮上停止時間

〔潜水方法・吸気ガスの選定〕

通常の空気潜水は高圧則第15条により潜水深度40m迄に制限されている。本工事は水深35mであったが、潮位と波浪を考慮して最大深度を39mに設定するとともに、重量シャックル止め等の重労働作業を伴うことを鑑みて安全を考慮して吸気ガスには混合ガスを使用した。

今回は、混合ガスの中よりヘリオックス（ヘリウム81%酸素19%）を選定して、潜水器具はフーカ式を採用した。潜水時間の設定は潜降から浮上開始までを30分、浮上時間を47分とし、繰り返し潜水は行わない事とした（表-1）。

表-1 潜水時間と浮上時間

深度 (-m)	潜水時間 (分)	浮上時間 (分)	潜水業務 時間(分)
35~39	潜水開始～浮上開始 30	浮上開始～船上 47	計 77

〔水深と圧力の関係・減圧〕

水圧は水深10mごとに1気圧増加する。水深10mでは圧力は大気圧1気圧+水圧1気圧で合計2気圧と

なるため、水深 39m の場合およそ 5 気圧となる。

潜水病は水深 8m 以上潜水すると発症する恐れがある。潜水病とは高圧環境下で血液や組織中に溶けていた窒素が、減圧に伴い気泡をつくる状態であり、気泡によって肺毛細血管を塞栓することによる重篤な肺減圧症、息切れや呼吸困難などの症状が発生し、死に至る場合もある。そのため、浮上する際に減圧という作業を行う必要がある。

〔減圧方法〕

減圧は表-2 のとおり一定時間（計 47 分）水中停止を行い、空気減圧と体内の不活性ガスを大幅に促進させ減圧時間を短縮することが出来る酸素減圧を行った。

表-2 深度と水中停止時間

深度 (m)	35~39m	18m	15m	12m	9m			9~0m	浮上時間 (分)
呼吸ガス	混合ガス・空気	空気	空気	空気	酸素	空気	酸素	酸素	計
時間 (分)	3	1	3	4	25	5	5	1	47

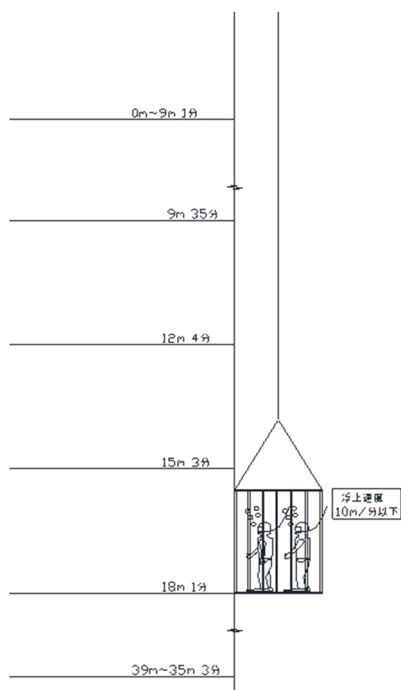


図-2 減圧における水中停止時間

・減圧ステージの設置

潜水作業は、潜水士が自ら水面から海底面まで潜水を行い、作業終了後に自ら減圧停止を行いながら浮上することとなる。本工事では潜水士の負担軽減を図るため減圧ステージ（写真-4）により潜降・浮上を行った。

潜降時に減圧ステージに乗り自動で移動することにより、水中海流による流されや潜水速度を気にせずに潜水可能となり、浮上時も減圧ステージに乗り自動浮上が可能であり、減圧停止位置及び時間の管理も船上のオペレータが行い、潜水士の水中作業の負担軽減を図った。



写真-4 減圧ステージ

〔潜水チームの編成〕

潜水作業中の事故防止及び負担軽減対策として、潜水作業は 2 名/パーティーで行うこととし、作業時間を考慮して 3 パーティーの潜水士を用意して、緊急時としてスタンバイダイバーを 2 名待機させた。それらの条件により混合ガスの使用量を算定して、予備・緊急時の治療分も加えて搬入量を決定した（表-3）。

表-3 潜水作業計画表

潜水作業計画表・実施																			
潜水士				潜水時間				減圧時間				浮上時間				潜水士			
氏名	性別	年齢	経験年数	潜水時間	減圧時間	浮上時間	合計	潜水時間	減圧時間	浮上時間	合計	潜水時間	減圧時間	浮上時間	合計	氏名	性別	年齢	経験年数
山本 太郎	男	35	5	20	5	5	30	20	5	5	30	20	5	5	30	山本 太郎	男	35	5
佐藤 一郎	男	38	3	15	4	4	23	15	4	4	23	15	4	4	23	佐藤 一郎	男	38	3
鈴木 健二	男	40	2	10	3	3	16	10	3	3	16	10	3	3	16	鈴木 健二	男	40	2
田中 三郎	男	42	1	5	2	2	9	5	2	2	9	5	2	2	9	田中 三郎	男	42	1
合計				50	14	14	78	50	14	14	78	50	14	14	78				

③安全対策

・緊急時の対応

緊急時に備えて潜水士には予備ボンベ（混合ガスヘリオックス）（写真-5, 6）を携帯させ作業に従事させた。



写真-5 混合ガス



写真6 ガスコントロールパネル

・再圧タンクの設置と手順の確認

水深 35mでの潜水作業であり重篤な災害の恐れもあるため緊急用として作業船上に再圧タンク（写真-7）を設置し、緊急時の処置として直ちに酸素減圧を行える様に使用手順の確認を行った。



写真7 再圧タンク

・減圧症（潜水病）発生時の対応可能な病院の確認

減圧症が発生した場合は、重症度に応じて治療方針が決定され、重傷の場合には、高気圧酸素治療法と呼ばれる再加圧療法が必要となる。初期搬送の病院として新潟市民病院、潜水病専門病院として新潟県立燕労災病院と定めて、予め担当病院と連絡を取り工事内容を説明して担当医と確認した。さらに、千葉県の担当医とも連携を図り潜水病の対処法、再加圧治療等の指導を依頼し承諾を得た。

・潜水士の健康管理

潜水病の発症は体調に左右されやすいため作業前後に健康状態に異常が無いかの確認を行った。

・サメに対する対策

日本近海はサメと遭遇する可能性があるため、潜水作業時にはシャークバンズ（写真-8）という特殊な磁気を発生させサメからの攻撃を阻止する道具を潜水士に着用させた。当現場でのサメの出現はなかったが、作業員の安全意識向上につながった。



写真8 サメ対策（シャークバンズ）

b)塔体撤去作業に対する対策

塔体（全長 50m）の撤去方法

・「a)潜水作業に対する対策 ①状況の把握」の結果、シンカーブロックの吊り金具が土砂で埋没しており、玉掛けができない状態なので土砂撤去の必要が生じた。撤去方法として、水中ジェットポンプを使用し、ポンプで吸い込んだ土砂を水中移動させることとしたが、経年により土砂は密な状態で蓄積しており、少量の土量にも関わらず作業に手間取った。

・マフコタワーの主な重量

シンカー：約 182.5t(気中重量)

塔体本体：約 50.5t(気中重量)

海底面に設置された状態の塔体は、塔体重量より大きな浮力が作用している。この状態でシンカーブロックと塔体を分離すると塔体が浮力で飛び上がる危険性がある。よってシンカーブロック及び塔体を海面まで連結した状態で引き上げる。その際塔体を直立した状態で引き上げることはできないのでシンカーブロックの吊り上げに合わせて塔体を引き船で引っ張りながら海面に横倒しにする（図-3、写真-9）。この状態でユニバーサルジョイントを切断してシンカーブロックと塔体を別々に作業船に積み込む。

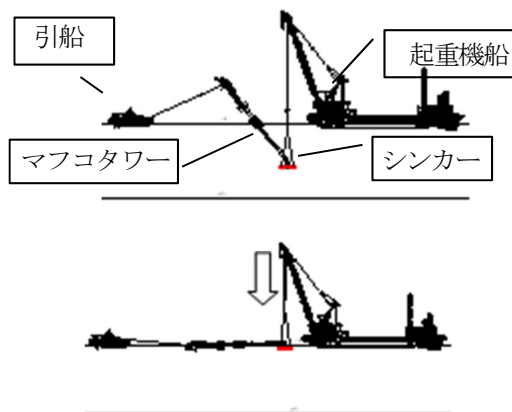


図-3 シンカーブロック吊り上げ図



写真-9 タワーとシンカーの切り離し

3. まとめ

本工事は沖合に設置されたマフコタワーの撤去という大水深下での特殊な潜水作業、シンカーブロック吊り上げに合わせて塔体を横倒しにするための引船との連携作業、本体撤去の事前準備として塔体内にある取り扱いに注意が必要な観測用の鉛蓄電池(70 kg/個)18個を狭隘部から搬出するなどの付属機器の撤去作業など、希な作業の連続だった。これら全体の作業の手順をふまえた詳細な施工計画と潜水作業のタイムスケジュール管理などの安全対策を入念に検討し、無事故で工事を終わらせることが出来た。

4. 終わりに

マフコタワーの撤去を2022年度に行いましたが、2019年に海象計を設置してマフコタワーと海象計の切替を行い海象データの欠測が無いようデータを得ることとした。

最後に、本工事にご協力してくれた皆様・作業に従事して頂いた皆様に感謝して報告を終わります。