

●特集・非飽和混合ガス潜水の現状と将来

混合ガス潜函のハードウェアとその安全確保

山見信夫* 眞野喜洋* 芝山正治** 中山晴美*
石井通夫*** 阿部慎太郎*** 高橋正好****

はじめに

空気ポンプの発明は、1841年には潜函作業（ケーソン作業）を可能にさせ、トンネル工事や橋の基礎工事など、浸水を防ぐための高気圧環境をつくることに応用された。1870年代初期には、多くの死亡者と減圧症患者を出したセントルイス橋やブルックリン橋などの架橋工事が有名であるが、現在までの百数十年の間、ケーソン内の作業者が呼吸する呼吸ガスは常に加圧された空気であった。今回私たちは名古屋港の入口にかけられた名港西大橋の東側架橋工事（下部工工事期間：1993年11月10日から1996年8月25日、混合ガス使用による潜函：1995年8月から10月）において、減圧症の予防、窒素酔いの予防、および作業中の呼吸抵抗の減少を目的として、ヘリウム混合ガスを使用して安全に工事を終了させることができたので、その現場を例に取って説明する。最初にケーソン作業とはどういうものかについて説明し、その後に混合ガス潜函およびそのハードウェアについて説明する。

ケーソン工事のながれ（名港西大橋の架橋工事の場合）

今回のケーソン工事は、水深12mの地点に、海面下40mまで鋼殻ケーソンと呼ばれる橋の基礎を設置するために行われた。まず軟弱な土砂を掘削して海底の上部を碎石で置き換える（図1）。次に仮設栈橋を設置し大型フローティングクレーンでジャケッットを曳航して目的の地点に据えつける

（図2）。その後、橋脚の基礎となる鋼殻ケーソンを曳航してきてジャケッットの内側に据えつけ、自重で海底に定着をさせる（図3）。次の作業工程としてケーソン内の掘削が行われるが、ケーソンショベルは天井走行式となっており、大気圧に保たれているカプセルの中から肉眼でショベルを見ながら掘削する方法をとっている（図4）。一方掘削した土砂はベルトコンベアーを介して排土用のバスケットに入れられ、その後マテリアルロックで大気圧まで減圧され、地上まで運ばれる過程をふむ（図5）。目的の深度にケーソンを据えつけることができたなら中詰コンクリートを打ち基礎工事を終える（図6）。

従来から行われていた空気呼吸で行うケーソン作業のデメリットと混合ガス潜函のメリット

従来ではケーソン内作業は空気呼吸で行われていたが、高い圧力下で作業をする場合には空気呼吸では窒素酔いや呼吸抵抗が増加するという欠点がある。また減圧症にならないためには長時間の減圧が必要となってしまう。そこで安全性と作業効率を高めるために窒素分圧をおさえたヘリウム混合ガスを使用してこれらの問題に対処した。実際にはケーソン内圧力が絶対4気圧未満では従来通りの空気呼吸で行われ、絶対4気圧以上の場合にヘリウム混合ガスを使用した。

混合ガス潜函のハードウェアとそのシステム

（1）理論的に考えられる混合ガスの使用方法
高気圧環境内で混合ガスを使用する方法として考えられるものは、ケーソン内をヘリウムで満たす方法、または呼吸装置を使用して混合ガスを呼吸しながら作業者が掘削する方法などが考えられる。しかしこれらの方法では技術的にも経済的に

*東京医科歯科大学医学部保健衛生学科

**駒沢女子大学

***（株）白石

****資源環境技術総合研究所安全工学部

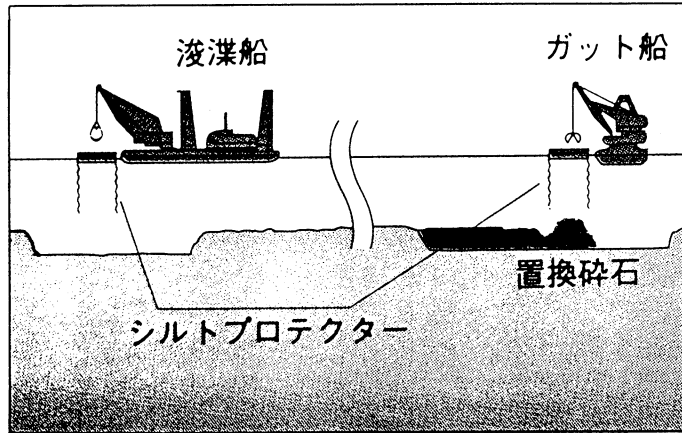


図1 置換碎石

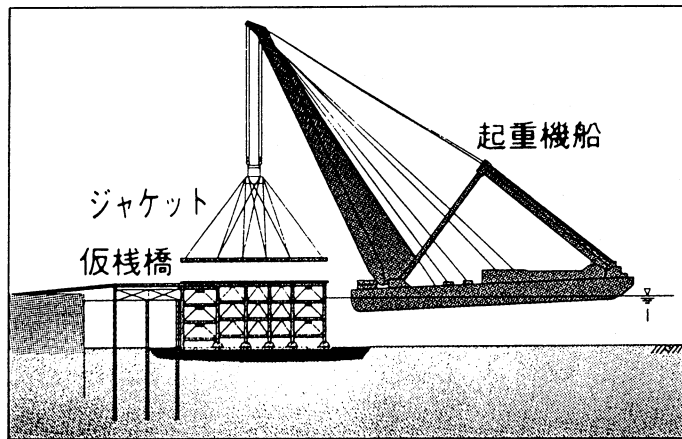


図2 ジャケットの据えつけ

も非常に難しい。そのため今回使用した方法、すなわち掘削するためのケーソンショベルを大気圧に保たれた大気圧カプセル(図5)から遠隔操作して無人掘削する無人ケーソン工法という方法を取り、機械のメンテナンス、掘削機械などの解体作業などで作業者がケーソン内に入る時にだけ呼吸器具を装着して混合ガスを使用する方法とした。

(2) ケーソン内作業者の装備

図7は混合ガスを使用するためのケーソン内作業者の装備であるが、レギュレーターまでは環境

圧より7気圧高い圧力になっており、レギュレーターからマスクまでは環境圧より50mmH₂Oだけ高い圧力が保たれている。作業者が吸気すると呼吸用の混合ガスが蛇管を通して供給され、呼気はケーソン内に排出される。またコミュニケーションはイヤホンを使用して行われ、マイクもイヤホンが兼ねている。

混合ガスを呼吸する作業者の作業のながれ(図4, 5)

作業者は地上にあるヘリウムロックBから入室

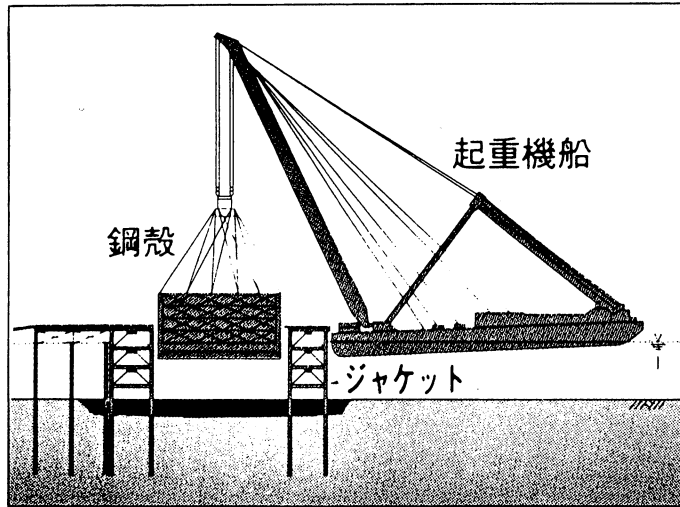


図3 鋼殻ケーソンの据えつけ

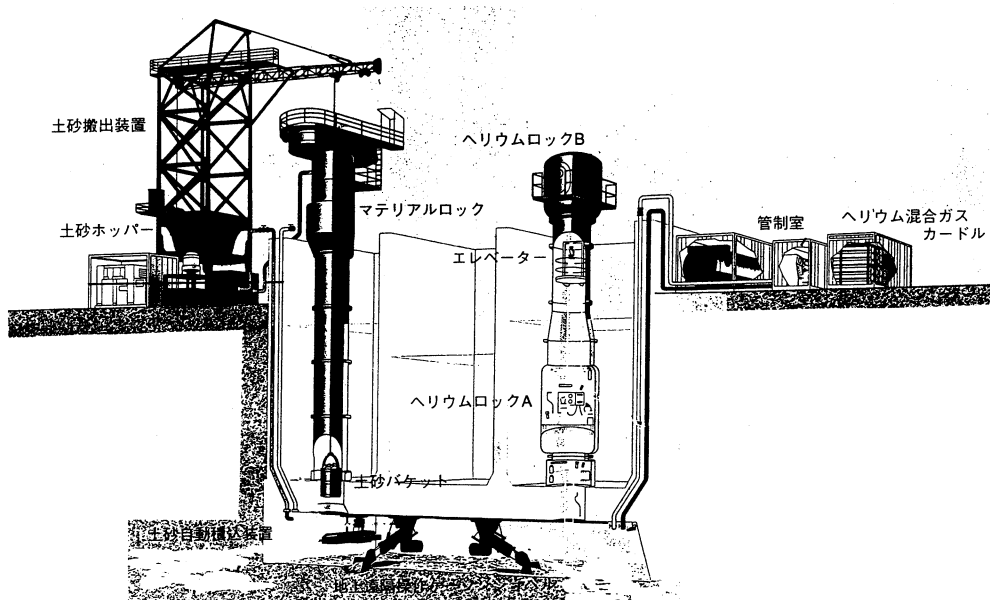


図4 ニューマチックケーソン工法の概略図 I

して、エレベーターを使用して大気圧のまま地下のヘリウムロックAに移動する。ヘリウムロックAで作業者は空気加圧され絶対4気圧に達した時点からマスクを使用してヘリウム混合ガスを呼吸

する。さらにヘリウムロックAが作業室内と同等圧になると、作業者はハッチを開いてケーソン内に入る。また作業者はケーソン内に入ってから設置されているエアラインホースから引き続き混

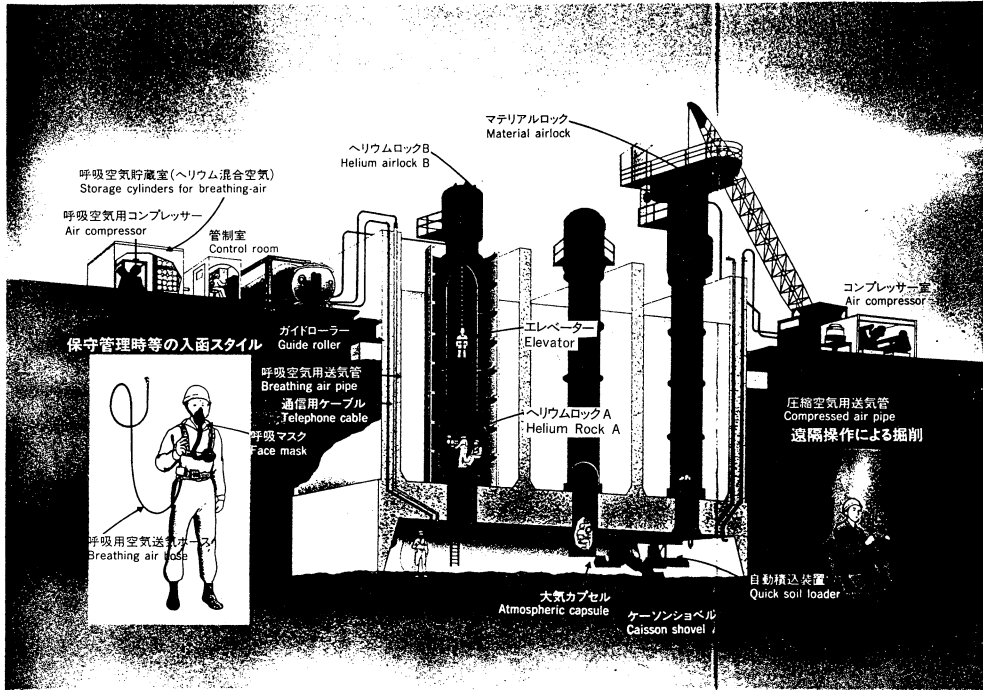


図5 ニューマチックケーソン工法の概略図 II

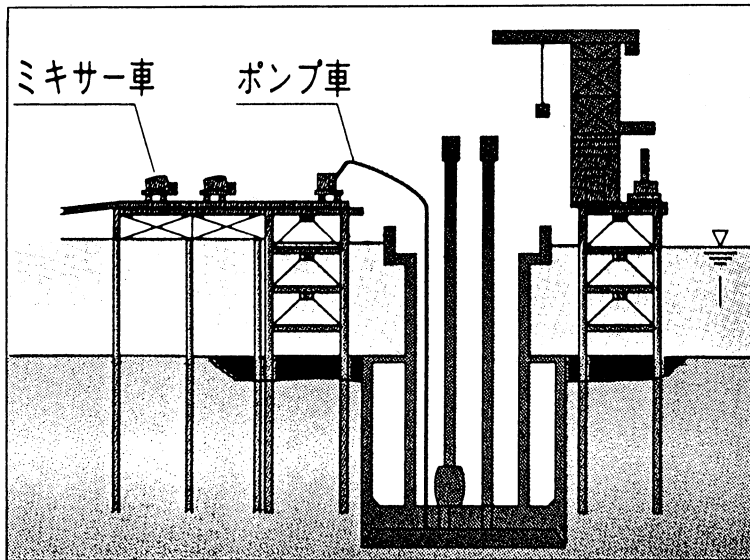


図6 中詰コンクリートの施工

合ガスを呼吸して作業が続けられる。作業が終了すると再びヘリウムロックAに入室して減圧される。作業者は絶対4気圧にまで減圧されたところでマスクをはずし、エレベーターに乗り込んでヘリウムロックBまで上がり、その後の減圧はヘリウムロックBで行われる。

作業者の安全確保のための機器類 (図4, 5)

管制室においてケーソン内の作業人や、加圧および減圧中の作業者の状況は、カメラによって常に監視されている。またケーソン内、ヘリウムロック、およびマテリアルロックの圧力の調節、作業者に送られている呼吸ガスの管理、呼吸ガスの交換の指示も管制室で行なわれている。

リモートコントロールルーム(地上遠隔操作室)や計測集中管理室では、ケーソンの傾斜および深度について、常にモニターにより画面に表示されており、ケーソンの沈下については1mm単位で記録されている。

また安全性を高めるためのバックアップ機能としては、呼吸ガスライン、函内への送気ライン、管制室の操作盤などについては、すべて2重の設備がなされている。また作業者の減圧時には、減圧テーブル通りに正確に行うために、自動減圧装置によって制御され、減圧過程を管制員がチェックするという方法をとっている。



図7 函内作業者の装備

ま と め

名港西大橋の基礎工事は、1993年11月から1996年8月までの約3年間をかけて終了した。混合ガスを呼吸した絶対4.00気圧から絶対4.75気圧には延べ524名が入室しているが、減圧症の発症は1例もなく、今回使用したヘリウム混合ガス潜函のハードウェアは安全に使用できるものと考えられた。