

51. ニューマチックケーソン工法における無人掘削・自動排土技術の開発

(株)大本組： 平田 忠積，小林 豊
*小滝 勝美

1. まえがき

近年、ニューマチックケーソン工法は大深度化の傾向が著しく、これに伴い函内作業気圧が高くなり作業員にとっては常に高気圧障害（潜函病）の危険に曝された、非常に厳しい環境下での労働を強いられてきた。一方、建設業就業者の高齢化や熟練労働者の減少等の問題が深刻化し、土木・建設施工現場の苦渋作業や危険作業から労働者を開放することが望まれてきた。

このような背景を基に、本技術においてはニューマチックケーソン工事における掘削・排土作業の無人化を行うため、函内作業の主な工種となる沈下掘削と排土工の施工改善を行うとともに、掘削土の函外への排土作業を自動化することにより、省人化・高効率化並びに安全性の向上を行ったものである。

なお、本技術の開発によりケーソン作業室内に作業員が入って掘削作業を行う必要はなくなったものの、函内設備機器の点検整備・維持補修のために作業員が函内に入ることは、現状技術では避けられない状況にある。

函内の作業気圧が 392kPa (4.0kgf/cm^2) 以下であれば従来法規に則った加圧・減圧による施工が可能であるものの、 294kPa (3.0kgf/cm^2) を越えると窒素酔いなどの高気圧障害の危険性が徐々に増大することとなり、 392kPa (4.0kgf/cm^2) 以上の大深度になると有人作業はほとんど不可能とされていた。

このため、より深いケーソンの施工に対応すべく、従来より深海潜水で用いられてきているものとして、空気に代わり麻酔作用の少ないヘリウムを含む混合ガスを応用し、安全衛生に十分配慮したメンテナンス（バックアップ）システムの構築を行うべく研究開発を進めてきた。

本稿においては、本技術を採用して施工された日本道路公団発注の伊勢湾岸道路名港西大橋（下部工）西工事における施工実績を中心に、各設備とシステムの紹介を行うとともに、今回、同工事においてニューマチックケーソン工事としては世界でも初めて実施工に適用された、混合ガスを用いてのメンテナンス作業の実績について報告するものである。

2. 技術の概要

本技術は有線遠隔操作方式による函内掘削機を中心とした函内掘削システム、掘削・排土効率を高めるために開発された、自動制御による土砂積替えシステム並びにスケータクレーンを中心とした土砂排土システムにより構成されている。また、掘削深度が 40m （地下水面下）を越えるような大深度ケーソンにおいては、函内機械設備のメンテナンスシステムが採用される。以下に名港西大橋（下部工）西工事において配備された各設備の概要を示す。

（1） 函内掘削システム

掘削機は作業室天井に取り付けられた走行レールに沿って、懸垂状態で走行する天井走行掘削機を採

用しており、油圧式制御バルブを用いた有線遠隔操作方式である。掘削機のブーム先端には旋回軸受けを介してバケットを取り付け、地上の遠隔操作盤からショベル掘削・バックホウ掘削、あるいは任意の角度での掘削を可能とし、刃口さらえ作業にも対応できる構造となっている。また、本掘削機には自動運転機能も装備されており、掘削作業から走行移動と土砂の積込作業を、中央管理室に設置された遠隔操作盤のボタン操作により自動運転される機構となっている。表-1に掘削機の自動制御機能の一覧表を、写真-1には稼働中の掘削機を示す。

表-1 自動制御機能一覧表

機能	内容
自動掘削・積込機能	指定された位置より地面を掘削し、設定された排土位置まで移動し、掘削した土砂を排土し元の位置まで戻る機能
深さ制限監視機能	手動での掘削に際し、掘削バケット先端の深さを監視し、管理値を越えるとオペレータに警告
複数台制御・衝突防止機能	隣接する2台の掘削機が近接した場合に警告音を発すると共に自動停止を行う機能



写真-1 稼働中の掘削機

(2) 土砂積替えシステム

土砂積替えシステムは、従来は函内作業員が行っていた土砂バケットの交換作業を無くし、函内の無人化を行うために開発されたものであり、本システムを用いることにより、掘削土砂を土砂バケットに積み込む時間を短縮することができ、掘削・排土効率の向上を図ったものである。

本システムの作動は、シーケンス制御による自動運転で行い、中央管理室において掘削機オペレータが制御盤上の操作ボタンを押すことにより行われる。また、オペレータは函内及び同装置内に配備された監視カメラの映像によりモニタリングを行う。

(3) 土砂排土システム

本技術においては、安全性と作業効率の向上並びに省人化を行うため、土砂積替えを行った後のマテリアルシャフト内での土砂バケットの上昇作業、マテリアルロックの扉の開閉作業、マテリアルロック

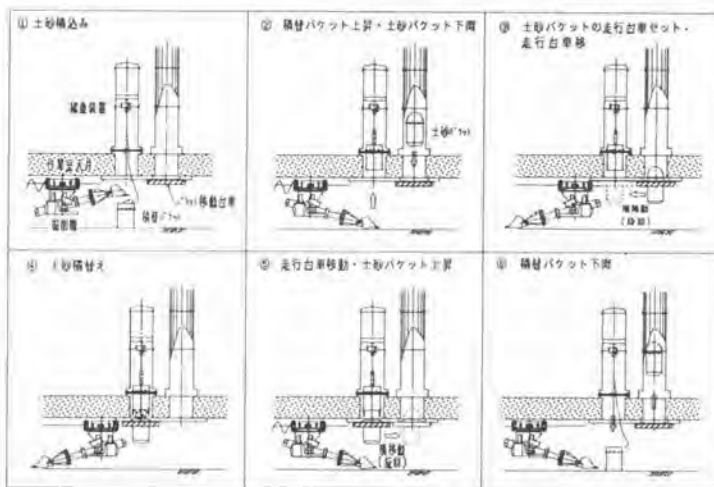


図-1 土砂積替え施工手順

(4) 制御・監視システム

中央管理室における制御・監視システムは、掘削機及び土砂積替え装置並びに自動排土装置の操作機器、監視機器、躯体の挙動やケーソン作業室内環境(気圧、酸素濃度、有害ガス)の自動計測システムからなる。図-3に本技術における標準的な制御・監視機器の配置例を示す。また、写真-2には名港西大橋(下部工)西工事における中央管理室の状況を示す。



番号	名称	数量	設置位置	備
①	掘削機遠隔制御・操作盤	1	1.8×1.2×1.8	
②	液晶モニタテレビ	1	28インチ	
③	監視モニタテレビ	1	25インチ	
④	操作モニタテレビ	1	28インチ	
⑤	掘削機専用パソコン	1	PC-9821	
⑥	液晶モニタ	1	PC-6012FD	
⑦	掘削機制御コンピュータ	1	PC-6512FD	
⑧	掘削機制御ホストパソコン	1	PC-9821	
⑨	室内監視テレビカメラ	複数	CCTVカメラ	
⑩	土砂積替え装置制御盤	1	400×300方式	

注1: 表中の数量は、掘削機1台分の数です。
注2: 掘削機1台につき、掘削機専用パソコン1台が1台あります。



図-3 制御監視機器配置図

写真-2 中央管理室における掘削状況

(5) メンテナンスシステム

地上からの遠隔操作により掘削機及び土砂排土装置を運転することにより、函内の無人化が図られ作業員は高気圧下の作業環境から開放されることとなったが、完全な無人化には至っておらず、作業室内の有人作業は皆無とは言えない。函内有人となる主な作業は以下のとおりである。

- ①掘削機などの定期点検・整備作業
- ②掘削機などの故障時の修理作業
- ③掘削機などの解体・回収作業
- ④地耐力試験作業
- ⑤中埋めコンクリート打設管理作業
- ⑥非常時作業

このような作業室内作業において、作業者が空気呼吸により作業を行う場合、作業室内圧力の上昇とともに、呼吸抵抗の増大や窒素酔いのため作業効率の低下のみならず、災害を招く危険性が高い。

このような大深度潜函での諸問題を解決するため、空気に替えてヘリウム・窒素・酸素(Trimix: トライミックス)の三種混合ガスを用いたメンテナンスシステムの開発を行った。

開発に当たっては、埼玉医科大学衛生学教室の梨本教授を座長とする”大深度潜函混合ガス利用研究会”を組織し、大深度潜函でのトライミックスの妥当性、特に減圧症罹患リスクについての安全性を評価するために、高圧チャンバでのシュミレーション試験等を行い、トライミックス利用に関するハード及びソフトの両面から検討した結果、実用化への目処がたてられた。

名港西大橋(下部工)西工事においては、函内気圧が294kPa(3.0kgf/cm²)を越えた時点で、メンテナンスシステムの採用を行った。

函内に入る技術者、補助作業員は写真-3に示す混合ガスマンロックを経由して出入りした。

入函者はマンシャフト内を昇降するエレベータで混合ガスマンロックまで降り、上部トランク、副室を介して主室に入り、主室天井のハッチを開けて加圧を開始する。加圧は写真-4に示す混合ガス管理室の係員の監視・制御の下に行われる。

圧力が294kPa(3.0kgf/cm²)に達したら、混合ガスマンロック内に備えてあるホース式の全面型トライミックスマスクを装着し、正常に呼吸できることを確認した上で、作業気圧まで加圧する。

作業室との圧力が平衡すれば床側のハッチを開き、作業室へ降りて掘削機の点検・整備など予定の作業に従事する。(写真-5参照) 予定の作業が完了すると、混合ガスマンロックの主室に戻り、ホースのリールを巻き取った後、ハッチを閉めて地上の混合ガス管理者に連絡し減圧を開始する。

減圧が始まり第1減圧点に到達するとトライミックスマスクを外しマンロック内の空気を呼吸する。その後、減圧段階では管理者の指示に従い、備え付けの酸素呼吸器で純酸素を呼吸する。減圧が終了すると天井側ハッチを開きエレベータで地上へ戻ることとなる。

本システムを用いての減圧スケジュールの安全性は、作業を完了し地上に戻った技術者や作業補助員の体内気泡の出現状況により客観的に評価を行った。超音波ドプラー法とエコー法による気泡検査を減圧終了後2時間以内に観察するため、また、万一減圧症が発生した場合の対処を兼ね、潜水・高圧医学の専門家である医師が工事終了まで常駐した。(写真-6参照)



写真-3 混合ガスマンロック(中央)と混合ガス再圧室(左下)



写真-4 混合管理室



写真-5 トライミックスマスクを装着しての作業状況

1995年6月中旬にメンテナンスシステムが稼働を初めてから、約4ヶ月半411kPa(4.2kgf/cm²)に上昇した11月末までに、本システムを利用した入函者数は約1000名に達したが、減圧症は一例も発症しなかった。

しかしながら、サイレントバブルと呼ばれる無症状気泡の出現する例を少なからず認めており、減圧に関してさらに調整が必要かどうか今後の研究課題として検討していく必要があるものと考えられる。

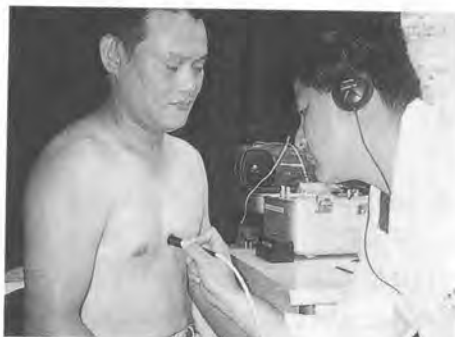


写真-6 体内気泡検査状況

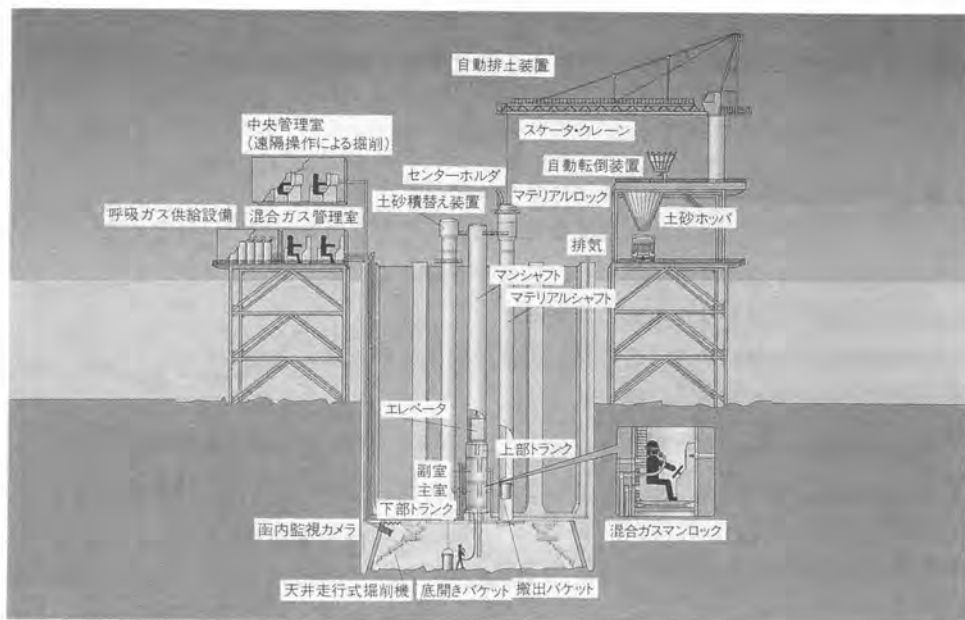


図-4 バックアップシステムを有する無人化掘削工法概念図

3. おわりに

ニューマチックケーソン工事においては、潜函病をはじめとする高気圧障害をいかに克服するかが安全衛生上の大きな課題であった。本技術では遠隔操作により掘削・排土を行い、これらの問題を一挙に解決し、作業不可能とされてきた大深度ケーソン工事を可能とした。また、函内設備機器のメンテナンスには最小限の作業者が入函する必要があり、今回、名港西大橋(下部工)西工事にメンテナンスシステムが採用され、確実な施工実績を挙げたことは、今後の大深度潜函工事の問題の解決に大いに役立つものと考えられる。