



### 3. 大深度ニューマチックケーソン工法

無人ケーソン工法 + ヘリウム混合ガス呼吸システム = 大深度ニューマチックケーソン工法

大深度ニューマチックケーソン工法は、これまで最大作業気圧4kgf/cm<sup>2</sup>程度を限度として施工されてきたニューマチックケーソン工法を、無人ケーソン工法を基本に、高気圧下での作業はヘリウム混合ガス呼吸システムを使用することにより大深度化を可能にする新工法である。工法の概念図を図-2に、地上設備の全景を写真-1に示す。

#### 1) 無人ケーソン工法

無人ケーソン工法は、掘削・排土作業の能率向上と労働環境の改善を目的として開発したもので、大気圧カプセル方式と地上遠隔操作方式がある。

大気圧カプセル方式は、ケーソンシヨベルによる掘削と自動積込装置による排土を、作業室内に設置した大気圧状態のカプセル内（大気圧カプセルという）から、オペレータが掘削状況等を目視により確認しながら操作を行うものである。また、カプセル内のオペレータ席から死角になる部分は、ケーソンシヨベルに取り付けられた補助カメラや作業室内に取付けられた監視カメラの映像を見ながら掘削機械を運転することになっている。作業室内の大気圧カプセルと無人掘削状況を写真-2に示す。

地上遠隔操作方式は、地上に設けた遠隔操作室（地上遠隔操作室という）から、ケーソンシヨベルに設置したテレビカメラの映像とコンピュータ・グラフィック表示を見ながら、掘削・排土を遠隔操作するもので、一部の作業についてコンピュータ制御の自動運転により省力化を図っている。地上遠隔操作室には、大気圧カプセルと同等の作業室内情報量を入力するように、ケーソンシヨベルに取り付けられた補助カメラ2台と作業室天井に取り付けられた監視カメラ5台（内3台は遠近と方向が自在なもの）による映像を14インチテレビモニター2台と32インチマルチビジョン（4分割）モニタに映し出した。



写真-1 地上設備全景



写真-2 無人掘削状況



写真-3 地上遠隔操作状況

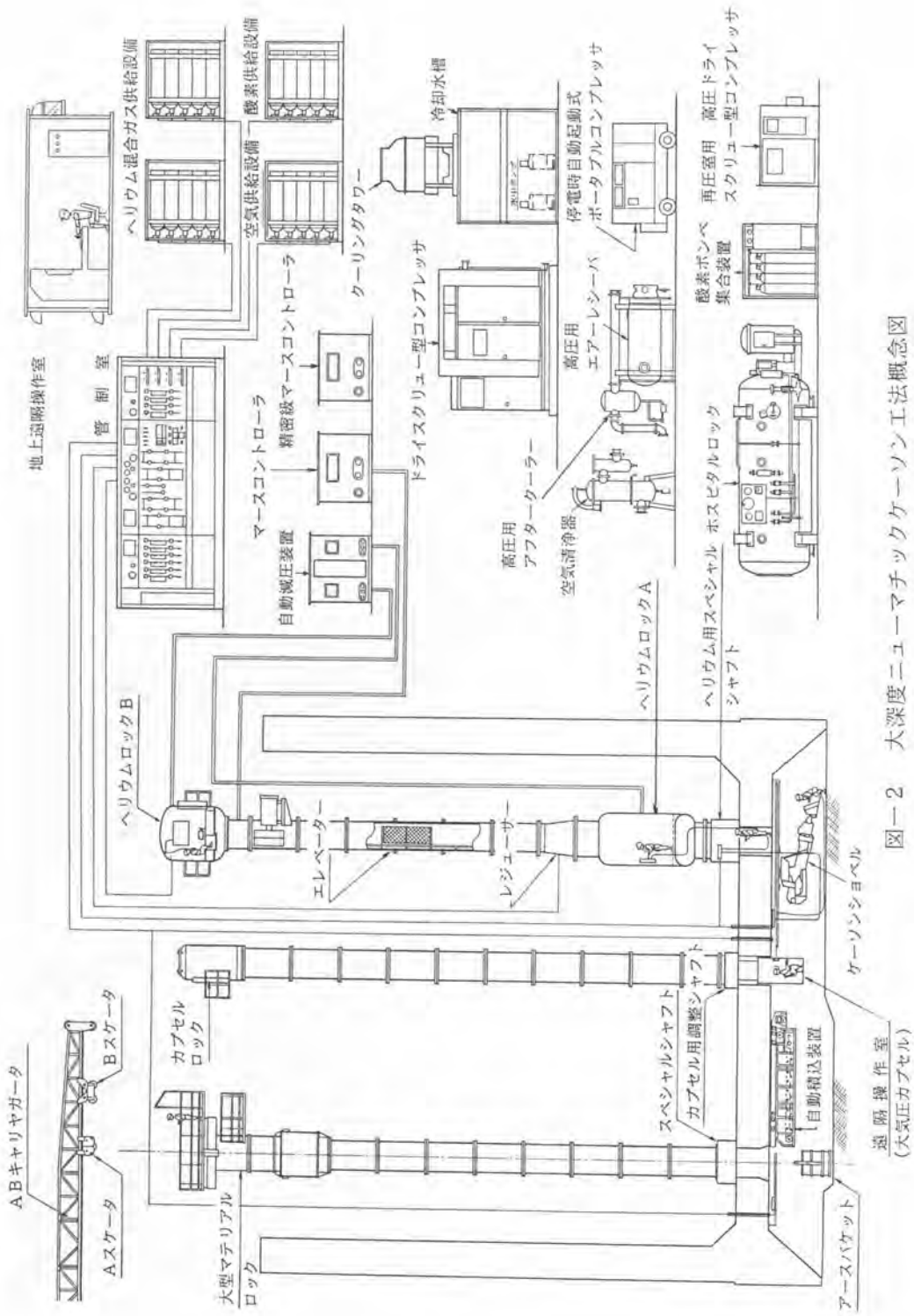


図-2 大深度ニューマチックケーソン工法概念図

また、ケーソンシヨベルの位置および姿勢、掘削深さ等自動運転に必要な情報を、ケーソンシヨベルに取り付けたセンサーからの信号をコンピュータ処理し、CRT画面にグラフィック表示した。地上遠隔操作室での掘削機械の操作状況を写真-3に示す。

無人ケーソン工法は、これまでに40数件の施工実績がある。通常、作業気圧が $2.0\text{kgf/cm}^2$ を越えると、一般的な有人掘削と掘削効率を比較した場合、無人掘削の方が有利となり、本工事では $2.0\text{kgf/cm}^2$ を越えた作業に採用した。

本工事では、大気圧カプセルを4基、地上遠隔操作室を1基設置し、ケーソンシヨベル ( $0.15\text{m}^3$ ) 6台、自動積込装置 (ベルトフィーダー式) 4台を遠隔操作し、掘削・排土作業を行った。

## 2) ヘリウム混合ガス呼吸システム

無人ケーソン工法とは言うものの、掘削機械などの維持管理や修理には、作業室に立入って行う高気圧作業が要求される。一方、作業気圧 $3\text{kgf/cm}^2$ を超えるような高気圧下では、「窒素酔い」、「減圧症発症率の急増」等の問題が生じる可能性が高くなる。これらの問題を解決するためには、呼吸ガス中の窒素をヘリウムに置き換えることが効果的であり、その概念は20世紀初期から提案されている。現実には深海潜水の分野ではヘリウム混合ガスの実用性が証明され、安全性も確立されている。

ヘリウムは、常温では無色、無臭、無味、無毒の極めて反応性に乏しいガスであり、窒素のような麻酔性もなく、分子量が窒素の1/7であることから呼吸抵抗も小さなガスであり、高気圧下での呼吸ガスの一成分としては理想的なガスである。

ヘリウム混合ガス呼吸システムは、深海潜水技術をニューマチックケーソンに応用したもので、酸素、窒素、ヘリウムを人工的に混合したヘリウム混合ガスを呼吸して、高気圧内作業を行うものである。

本工事のヘリウム混合ガス呼吸システムでは、ニューマチックケーソンの作業室内の環境ガスを、圧縮空気で満たすため、作業員は地上に設置されたガスカードルからホースで呼吸マスクに供給されるヘリウム混合ガスを呼吸した。呼吸マスクは、マスク内圧を外圧よりわずかに高く ( $0.005\text{kgf/cm}^2$ 程度) する揚圧型を採用して、環境空気の混入を防いでいる。マンロック内圧 $3\text{kgf/cm}^2$ までは空気を呼吸し、 $3\text{kgf/cm}^2$ を超えてから呼吸マスクを装着して、ヘリウム混合ガスを呼吸した。一方減圧時には体内にとけ込んだ窒素の排出を促進させるため、マンロック内圧 $1.5\text{kgf/cm}^2$ 以下で酸素吸入を併用した。表-1に加減圧の手順を表にしたものを示す。

システムの一連の操作は、作業室内技術員の負担を軽減するため、ヘリウム混合ガスの供給、ヘリウムロックの加減圧、作業員の監視や指示通話等は、すべて地上の管制室から行った。

表-1 加減圧の手順 (作業気圧= $4\text{kgf/cm}^2$ の場合)

作 業 場 所	加 圧		実 作 業	減 圧			
	ヘリウムロック A			ヘリウムロック A	エレベータ	ヘリウムロック B	
圧力( $\text{kgf/cm}^2$ )	0~3	3~4	4	4~3	3~2.7	2.7~P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> ~P <sub>2</sub> ~0
呼 吸 ガ ス	空 気	ヘリウム混合ガス		空 気		酸素or空気	
環 境 ガ ス	空 気						

ただしP<sub>1</sub>:エレベータによるヘリウムロックBへの移動完了時の圧力  $2.7 > P_1 > P_2$  ( $\text{kgf/cm}^2$ )

P<sub>2</sub>:第一減圧停止圧力  $1.5(\text{kgf/cm}^2)$

## ヘリウム混合ガス呼吸システム（上下分離配置型） 主な用語説明

ヘリウムロックA：下のマンロックのことで、内圧 $3\text{kgf/cm}^2$ でヘリウム混合ガスを供給する装置が付いている。

ヘリウムロックB：上のマンロックのことで、減圧時に酸素を供給する装置が付いている。また、ヘリウムロックAとの移動にはケーソンエレベータを使用する。写真-4にヘリウムロックB周辺の地上設備状況を示す。

ガスカードル： $7\text{m}^3$ 入りのガスボンベ（ヘリウム混合ガスおよび酸素）を25本一組の束にしたもの。

管制室：ヘリウムロックの加減圧の操作（減圧は自動減圧装置を使用する）、作業室内技術員のテレビモニタでの監視・通話、ヘリウム混合ガスの供給を行う場所で、コンテナハウスに収納されている。

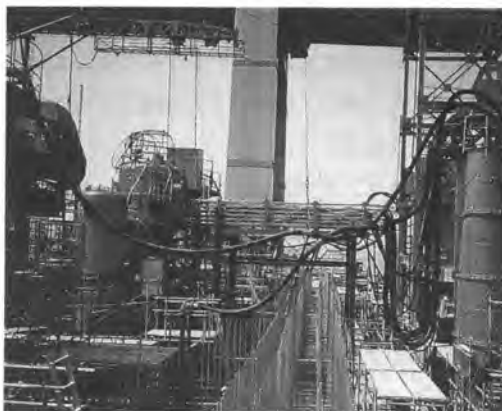


写真-4 ヘリウムロックB設備

## 4. ヘリウム混合ガス呼吸システムの実施

ヘリウム混合ガス呼吸システムでは、作業室内技術員を2～4人一組として、高圧下の時間は最大120分、緊急時を除き1日1回/人とした。写真-5に作業室内での掘削機械のメンテナンス状況、写真-6に管制室の操作状況を示す。作業室内技術員の主な作業内容は以下の通りである。

- 1) 掘削機械の定期点検および整備作業
- 2) 掘削機械の故障時の修理作業
- 3) 掘削機械その他の作業室内設備の解体および撤去作業
- 4) 地耐力試験作業
- 5) 中埋コンクリート打設状況の確認作業



写真-5 掘削機械メンテナンス状況



写真-6 管制室操作状況

本工事の施工のフロー図を図-3に示す。

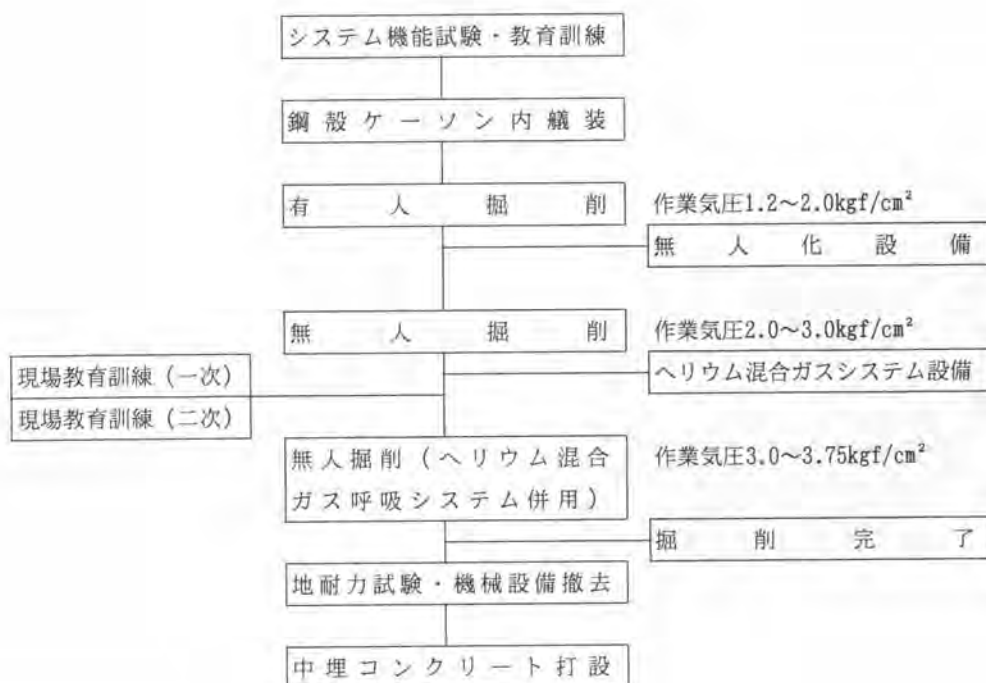


図-3 施工フロー図

本工事の施工結果は、作業気圧 $3.0\sim 3.75\text{kgf/cm}^2$ の高気圧下で、ヘリウム混合ガス呼吸システムを使用して、延べ143回の高気圧内の有人作業を行ったが、このシステムの異常はなかった。

また、ヘリウム混合ガス呼吸システムを使用した延べ524人の作業室内技術員において、高気圧障害の発症はなかった。

## 5. おわりに

大深度ニューマチックケーソン工法で施工したP3橋脚基礎は、新工法を採用することにより、無事トラブルなく、精度よく、安全に、早期完了することができた。

また、近接するI基線基礎への影響も動態観測の結果、異常はなかった。

ニューマチックケーソン工法は、地質や地層の変化に対応し、支持層を直接確認できる優れた工法で、名港三大橋をはじめ大型構造物の基礎として用いられている。しかし、現時点では無人ケーソン工法を用いても、一部の作業で高圧下に入函する必要があり、完全な無人化に至っていない。ヘリウム混合ガス呼吸システムは、作業員の健康管理を留意した施工法であるが、無人ケーソン工法をあくまでもバックアップするためのものであり、今後さらなる技術開発で、基礎構造物の大型化、大深度化に対応する21世紀を目指した工法となることを期待したい。