

## VI-123

### 大規模大深度ケーソンに「ヘリウム混合ガス併用無人掘削工法」で挑む

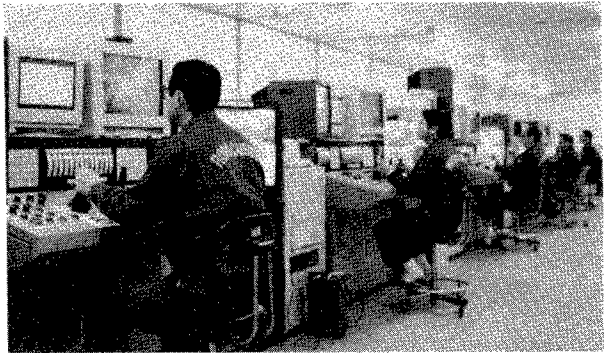
(株)熊谷組 正会員 松浦幸三  
日本道路公団 正会員 佐久間智  
日本道路公団 前川利聡  
(株)大本組 木山雅文

#### 1. はじめに

日本道路公団名港西大橋二期線は、すでに共用されている一期線に併設する大型斜張橋梁である。その主塔p2ピアケーソン基礎工を、ヘリウム混合ガスシステムを併用しての無人掘削工法で施工した。掘削深度は水深45m、最大作用圧気は $4.3\text{kgf/cm}^2$ であつた。斯界初めての「ヘリウム混合ガス併用無人掘削工法」は、掘削作業員の高気圧暴露を最少にすることおよび窒素酔い防止などで、ケーソン掘削作業の労働環境を大幅に改善するものである。

#### 2. 新工法

今回建設するケーソン基礎は、10余年前に構築した一期線基礎との離れが13.4mである。この離隔で圧気圧低減を計るための深井戸による揚水を行うと、周辺地盤の水圧低下によって一期線基礎が沈下変形をおこす可能性があると考えられた。本件のような高水圧下のケーソン工事に補助工法として一般的に用いられる減圧工法はとるべきでないということになった。そこで最大理論圧気圧 $4.5\text{kgf/cm}^2$ を克服する工法を検討することになった。



中央管理室での地上遠隔操作状況

カギとなる第一の技術は函内無人掘削に關するものである。これは地上でモニターを見ながらケーソン作業室の掘削機器群を遠隔操

作する方法と、作業室の中に耐圧の操作室（カプセル）を設けて、そこから目視で掘削機器群を遠隔操作する方法に大別される。函内無人掘削工法は、作業員を圧気環境から開放するので、高気圧障害と無縁になるだけでなく、1班の掘削時間が通常の労働なみにとれる（圧気下ではその圧力におうじての作業時間しかとれない）ので、掘削作業従事者あたりの仕事量は有人掘削に較べてはるかに多い。設備費等は割り高であるが、深度が深くなるに従ってさきに述べたメリットのほうが設備費等のデメリットを上回るようになる。それで規模が大きくて比較的深度の深いケーソン工事に無人掘削工法の適用事例が相当数ある。

しかし主体作業を無人化しても、函内機器の点検あるいは修理、地耐力試験および機器の解体搬出には、今のところ、人が作業室にはいって高圧気暴露での作業になる。高気圧障害回避のためには最大圧気を $3\text{kgf/cm}^2$ 以下とする必要があつて、大深度ケーソン工事では無人掘削工法採用であっても減圧工法を必要としていた。

第二の技術は、この $3\text{kgf/cm}^2$ を越える圧気環境での高気圧障害防止方法に關するものである。高圧縮空気を呼吸することによる諸問題、すなわち窒素過剰摂取によって起きる窒素酔い、酸素過剰摂取での酸素中毒および空気密度増大での



作業室で稼働する無人掘削機

呼吸困難等を解決しようとするものである。これについては、建設工事におけるヘリウム混合ガス（三種混合ガス）システムの開発という方向で、労働省や民間のグループにおいて積極的な検討が重ねられ、その成果がまとめられつつあった。

本工事では、無人掘削技術を改良強化し、加えてヘリウム混合ガスシステムを一挙に実用化することで、つまり「ヘリウム混合ガス併用無人掘削工法」によって、最大理論圧気 4.5kgf/cm<sup>2</sup> の高圧気ケーソン工事を水圧低下なしで施工したのである。

### 3. ヘリウム混合ガス

窒素酔い防止、呼吸抵抗低減という観点からすれば窒素の含有をゼロにしたヘリウム酸素ガスが最もよい。しかし、ヘリウムガス量が多いと、音声歪みコミュニケーションが不明瞭になる、体が冷える、コストがかさむとの短所があるので、本件では窒素を一部ヘリウムに置き換えたヘリウム、窒素、酸素の三種混合ガスを用いた。ガスは混合ガスマンロックを経由してパイプラインで供給した。ガス組成設計は酸素中毒についても考慮した。作業室の環境空気は普通の圧縮空気、呼吸だけがヘリウム混合ガスである。呼吸マスクは潜水用のものを改良した。減圧表は今回用に開発したヘリウム混合ガス減圧表（日本初）である。また、初めてのことで、専門医師が現場に常駐して、安全を確認した。

### 4. 掘削設備と補助工法

p2 ケーソン工での掘削設備と補助工法を表1に比較した。有人掘削での遮水壁、ディープウエルに係わる費用がヘリウム混合ガスシステムあるいは遠隔操作機器設備費等に変わる。

### 5. 段階施工

掘削を3パターンにした。第一は水深12mから20mまでで、通常の有人掘削である。この程度の圧気では有人掘削が有利である。第二はその後30mまでで、掘削は無人（地上遠隔）、メンテナンス等の函内作業は普通の空気（作業室環境の圧縮空気）を呼吸した。この区間でヘリウム混合ガス併用無人掘削工法の訓練と確認をおこなった。そして、水深30mから45mまでがヘリウム混合ガス併用無人掘削工法である。

### 6. 結果

- (1) 作業員の安全と健康面にはまったく問題はなかった。
- (2) ヘリウム混合ガスシステムでは、最初のうちマスク装着にてこずったりしたが、次第に慣れてきた。機器に細かい改良点が残ったが、総じて計画通りであった。
- (3) 掘削期間は当初計画（減圧工法、有人掘削工法）より短縮できた。
- (4) 近接一期線基礎への影響は無かった。

### 7. 終わりに

「ヘリウム混合ガス併用無人掘削工法」での施工は満足いくものであった。今回は、近接基礎への影響回避から新工法採用にふみきったわけであるが、本工法は高圧気環境から掘削作業員を開放するという「人に優しい工法」だけでなく、工期短縮メリットをもたらす工法でもある。今後の大規模大深度ケーソン工事の主軸になっていくものと考えている。

表1 掘削設備と補助工法の相違

| 設備項目         | ヘリウム混合ガス併用無人掘削工法                                    | 有人掘削のとき                    |
|--------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| 掘削機          | 函内遠隔操作掘削機<br>遮水壁内監視カメラ<br>2基                        | 天井走行式掘削機<br>5基             |
| 排土           | スクレーパー<br>土砂積み替え装置<br>4基                            | スクレーパー<br>4基               |
| 積装           | マテリアルロック<br>マンロック<br>遮水壁内監視カメラ<br>土砂積替装置用シャフト<br>4基 | マテリアルロック<br>マンロック<br>4基    |
| シャフト数        | 11本                                                 | 6本                         |
| 送気           | 定置式コンプレッサー<br>(ヘリウム混合ガスシステム)<br>1式                  | 定置式コンプレッサー<br>1式           |
| 救急           | オキシゲノメーター<br>混合ガスオキシゲノメーター<br>1基                    | オキシゲノメーター<br>1基            |
| ヘリウム混合ガスシステム | 1式                                                  | なし                         |
| 補助工法         | なし                                                  | 遮水壁（地盤改良）<br>ディープウエル<br>1式 |



ヘリウム混合ガスマスクを装着しての点検作業