

深度50 m級のニューマチックケーソン施工における安全対策

中野 敏彦・吉川 清

伏木富山港新湊地区において2002年11月に着工した臨港道路富山新港東西線は、航路により分断された東西の地区を結ぶもので、港口部は複合斜長橋である。A型形状の主塔（高さ127 m）2本で吊った中央径間（360 m）が鋼桁、側径間がPC桁の複合構造である。主塔基礎にはニューマチックケーソン工法を採用し、橋梁基礎としては国内最深のCDL-47 mの圧気工事となった（2005年1月現在）。ここでは主塔（P22）基礎工事（以下、当工事）で取組んだ高気圧障害防止のための各種の安全対策を紹介する。

キーワード：ニューマチックケーソン、高気圧障害、無人化、遠隔操作、酸素減圧、ヘリウム混合ガス

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法は、1929年に我が国に導入されて以来、技術向上につれ大規模、大深度掘削を可能にしてきた。しかし、圧気工法であるがゆえに作業従事者は高気圧障害（減圧症）の危険と常に隣合わせであった。高気圧障害の危険を低減するために業界各社は技術躍進に取り組んでいるが、臨港道路富山新港東西線の港口部の複合斜長橋の主塔（P22）基礎工事（図-1）では、

- ・ケーソン内作業の無人化及び酸素減圧
- ・ヘリウム混合ガスの使用など技術的・医学的安全対策

を実施したことにより減圧症の発生ゼロを実現した。



図-1 臨港道路富山新港東西線完成イメージ

2. 減圧症とは

減圧症とは、一般に高気圧環境下において体内に溶解した窒素ガスが、減圧速度が速すぎるといった原因で肺からの排出が間に合わず、ビールの栓を抜いたときのごとく気泡化し、神経や組織を圧迫したり血流を遮断することで、疼痛、感覚異常、麻痺、発疹などの症状を呈し、極端な場合は死に至るものである。

通常、減圧症の発症は作業圧力が高くなるほど、また同一圧力でも作業時間が長くなるほど発生率は増加

表-1 作業圧力別減圧症発症率の比較

作業圧力 (kg/cm ²)	1980~1985年			1986~1990年		
	延べ 作業員数	減圧症 発症数	発症率 (%)	延べ 作業員数	減圧症 発症数	発症率 (%)
~1.0	10,208	0		2,675	0	
~1.2	2,032	2		657	0	
~1.4	2,768	2	0.16	741	0	0.13
~1.6	2,152	5	(15/9,649)	1,341	1	(7/5,310)
~1.8	1,714	4		1,355	1	
~2.0	983	2		1,216	5	
~2.2	743	9		2,947	12	
~2.4	489	16		2,348	12	
~2.6	665	9	1.37	2,023	21	0.83
~2.8	1,287	11	(49/3,586)	4,326	13	(195/23,470)
~3.0	402	4		11,826	137	
~3.2	212	9		287	6	
~3.4	57	0		16	1	
~3.6	25	0	3.06	36	2	2.86
~3.8	0	0	(9/294)	11	0	(11/384)
~4.0	0	0		34	2	
4.1~	0	0		77	1	1.30 (1/77)
総計	23,737	73	0.31	31,916	214	0.67
kg/cm ² 以上	13,529	73	0.54	29,241	214	0.73

注) 1 kg/cm²=0.098 MPa

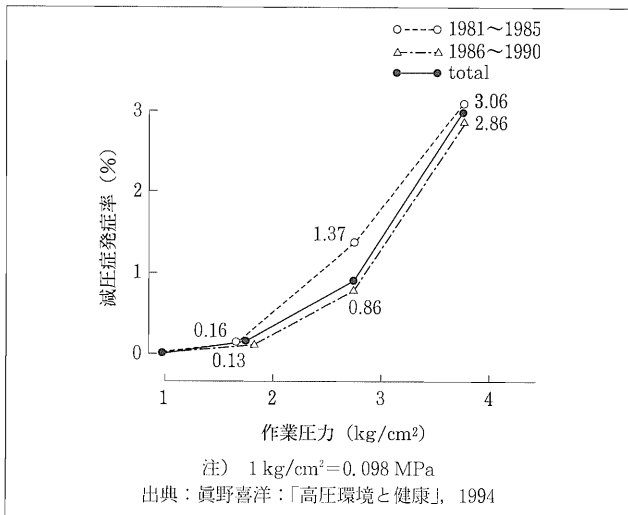


図-2 作業圧力別減圧症発症率の比較

する。統計的に作業圧力が 0.2 MPa 以下では発症率はごく低いが、0.2 MPa を超えると発症率は急増する (表-1, 図-2)。

3. 安全対策

当工事では、高気圧障害防止のため、作業気圧の増加に伴い下記①~③の対策を実施した (図-3)。

ケーソン内圧力が、

- ① 0.18 MPa より遠隔操作による函内無人掘削。

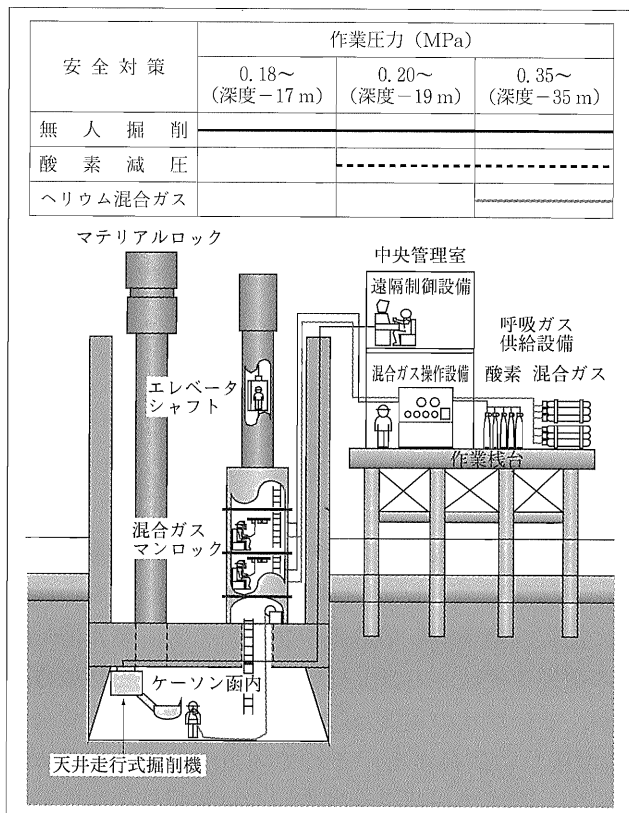


図-3 安全対策設備概要図

さらにその後の函内作業に関しては、

- ② 0.20 MPa より減圧時に酸素減圧。
- ③ 0.35 MPa よりヘリウム混合ガス呼吸による函内作業と酸素減圧。

(1) 函内無人掘削

沈下掘削は 3 台の天井走行式掘削機 (0.25 m³) で行い、作業圧力 0.18 MPa までは、高気圧障害の危険が少なく作業効率が良いためオペレータが函内で直接作業する有人掘削で行った。0.18 MPa 以降は、天井走行式掘削機 (図-4) を手動から遠隔操作に切換え、作業桟台上の遠隔操作室に操作場所を移した。

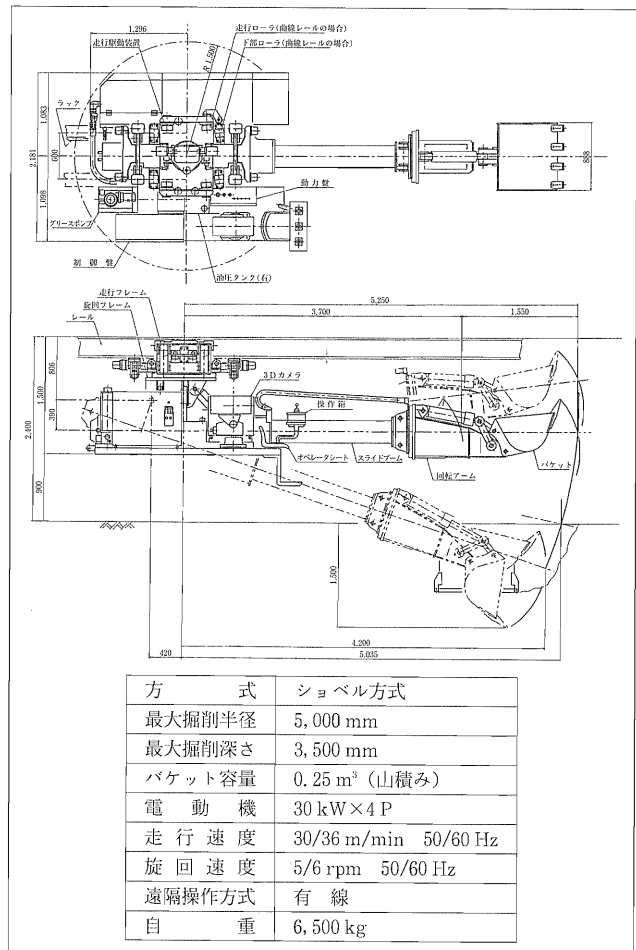


図-4 天井走行式掘削機の仕様

オペレータは、掘削機に搭載したテレビカメラと函内監視テレビカメラから送られてくるモニタ画面を見ながら遠隔操作盤により操作を行った (写真-1)。

掘削機に搭載されたテレビカメラにより常に掘削箇所を監視することができ、正確な掘削を行うことができる。また掘削機の過掘防止および掘削機同士の衝突防止などの制御・監視システムを備えている。

これにより、作業員を高気圧環境に暴露させることなく沈下掘削作業を行うことができた (写真-2)。



写真-1 函内掘削機遠隔操作状況



写真-3 酸素減圧状況 (混合ガスマンロック内)

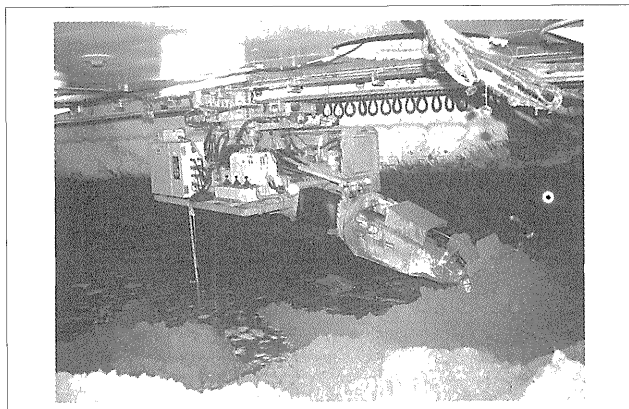


写真-2 函内掘削状況

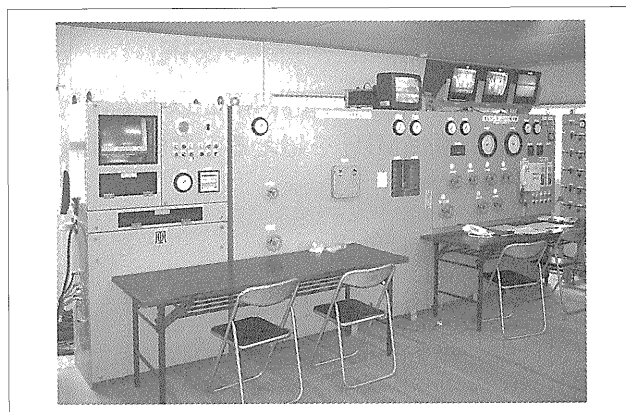


写真-4 混合ガスマンロック送排気操作設備

(2) 酸素減圧

沈下掘削の函内作業無人化においても、函内掘削設備のメンテナンス、解体撤去、支持地盤の地耐力試験など、少人数の作業員が短時間函内に入ることは避けられない。そこで作業圧力が0.20 MPaを超える減圧時には酸素減圧を行った。

酸素減圧とは、酸素の性質で過剰な酸素は「酸素窓効果」により体内窒素の洗出し効果が大きいことを利用したもので、減圧の際に一部純酸素を利用し減圧症発症を予防するものである。酸素減圧で使用した減圧表は、現場指導医師である東京医科歯科大学医学部附属病院高気圧治療部・眞野喜洋博士がイギリスのブラックプール減圧表を参考にして一部改訂したもので安全性の向上が図られている。

酸素減圧は混合ガスマンロック内で行い(写真-3)、ロック内圧力や純酸素呼吸時間などの減圧スケジュール管理は中央管理室(写真-4)で行った。純酸素呼吸は、減圧時間内で0.12 MPa以下の停止圧力から減圧完了まで安静状態で酸素呼吸25分-空気呼吸5分を繰り返すことを基本としている。また、0.12 MPa以上の圧力下では絶対に酸素呼吸をしないことを遵守した。これは、中枢神経系酸素中毒を防止するため、

約1,823 hPa以上の酸素分圧に暴露した時、個人の体質にもよるが数分から数十分以内で発症し、最終的には全身に痙攣が起こることに依る。

図-5に酸素減圧のスケジュール例を示す。

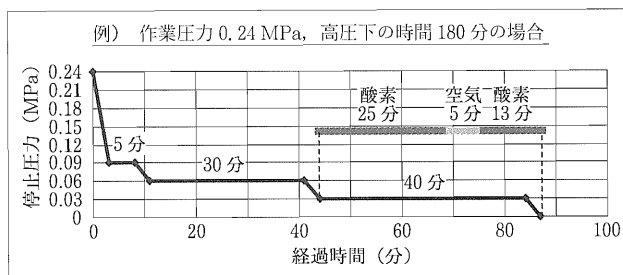


図-5 酸素減圧のスケジュール

(3) ヘリウム混合ガス呼吸による函内作業

作業気圧が0.3 MPaを超える高気圧になると減圧症に加え、窒素酔いの危険が生じてくる。窒素酔いはその徴候や症状がしばしばアルコール酔いと比較されるが、その症状の程度は呼吸している空気の窒素分圧(環境圧)に依存する。そこで高気圧下での呼吸ガスとして、窒素の一部を麻酔作用や呼吸抵抗の少ないヘリウムと置換えたヘリウム混合ガスを使用した。混合

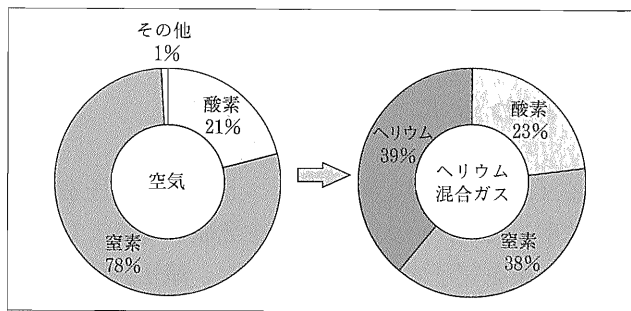


図-6 混合ガス成分比

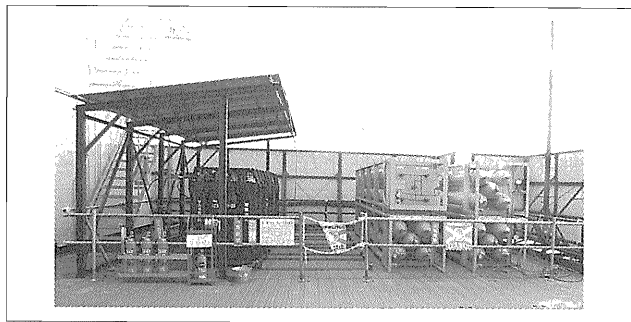


写真-5 呼吸ガス供給設備 (㊸酸素, ㊹混合ガス)



写真-6 ヘリウム混合ガス呼吸による函内作業状況

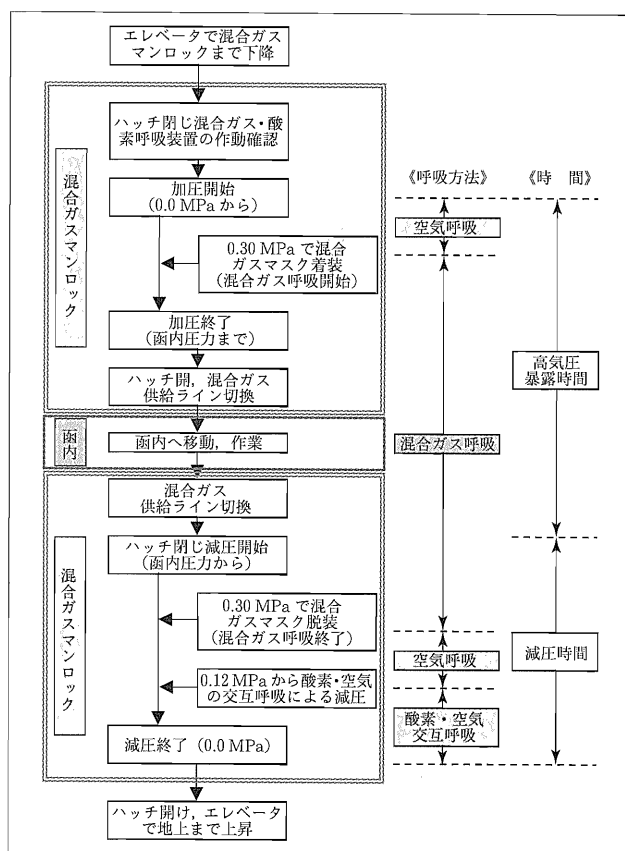


図-7 混合ガス使用函内業務フロー

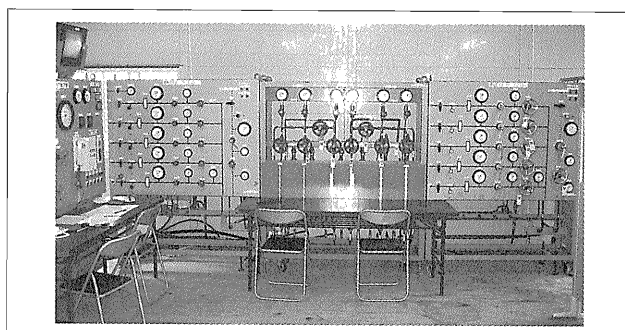


写真-7 混合ガス・酸素コントロール設備

ガス（図-6）は正確な組成を確保するためガス製造メーカーで混合したものを搬入した（写真-5㊸）。

呼吸ガスとしてヘリウム混合ガスを使用した函内業務は1日1回作業を厳守した（写真-6）。図-7に作業フローを示す。

混合ガスマンロックは、上から上部トランク、副室（主室の予備）、主室、下部トランクの4室で構成され最大収容人数は5名である。加圧・減圧は主室（副室）で行い、上部トランクには炭酸ガスや酸素ガスの分析計などの機器を設置し、下部トランクには混合ガスマスクの函内作業用延長ホースリールを設置している。主室・副室には CCD カメラやインターホン、電話機を備え、加圧・減圧時の状態を中央管理室で常に監視できるようになっている（写真-7）。また、シャフト

内の螺旋階段を昇降することが減圧症のリスクを大きくするため、0.2 MPa より混合ガスマンロックへの昇降用エレベータを設置し、作業員の身体的負担を軽減した（図-3）。

（4）緊急時の対策

これまで述べてきた対策にもかかわらず、減圧症が発症した場合の救急設備として、現場内にホスピタルロックを設置した（写真-8）。

ホスピタルロックは減圧症治療のため再加圧を行う再圧室で減圧症の初期対策として使用する。最大定員は6名で酸素再圧にも対応している。

減圧症発症時の対応は、現場指導医師の眞野博士の指導のもとで実施するものとした。図-8に減圧症発

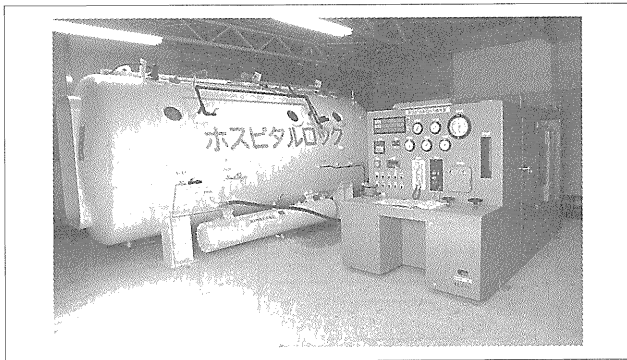


写真-8 ホスピタルロック

症時のフローを示す。

4. おわりに

主塔（P 22）基礎工事では延べ 525 人が高圧室内業務に従事したが、一人も減圧症を発症することなく沈下掘削工事を完了することができた。減圧症防止に尽力された関係各位に深く感謝する。

今回紹介した無人化掘削，酸素減圧，ヘリウム混合ガス呼吸などの高気圧障害防止対策はニューマチックケーソン工法において主流になってきているが，高圧環境下で作業する限り減圧症の発症率をゼロにすることはできない。函内掘削設備のメンテナンスフリー化や掘削機解体作業の自動化などの一層の技術開発とともに，いかに高圧気下業務を減らせられるかが引き続き重要と考えられる。

JICMA

《参考文献》

- 1) 眞野喜洋：「高圧環境と健康」，1994年9月
- 2) 日本圧気技術協会：「圧気工事の安全施工マニュアル」，2003年8月

〔筆者紹介〕

中野 敏彦（なかの としひこ）
 国土交通省
 北陸地方整備局
 伏木富山港湾事務所
 所長



吉川 清（よしかわ きよし）
 五洋建設株式会社
 北陸支店
 新湊橋梁工事事務所
 所長

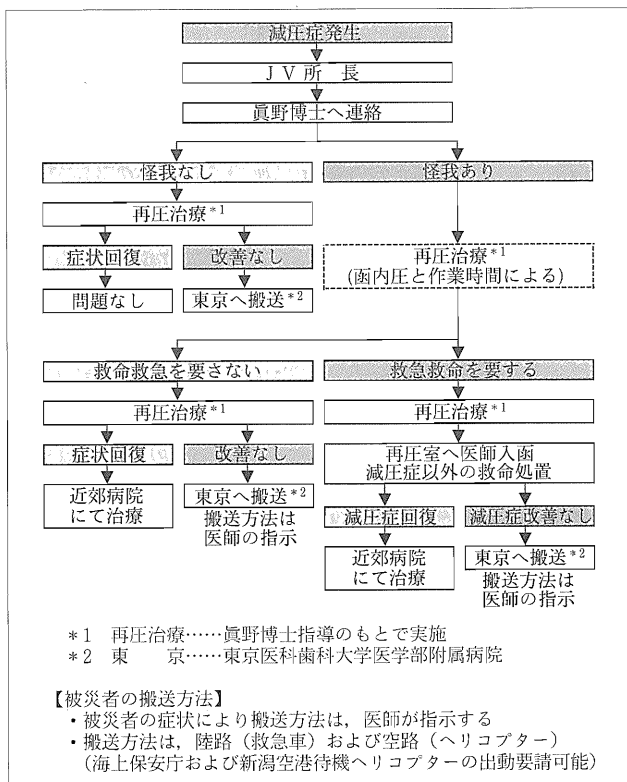


図-8 減圧症発症時フロー