

【第40回総会シンポジウム1：日本の潜水の問題点について】

圧気潜函工法における問題点について

眞野喜洋，山見信夫，柳下和慶，中山 徹，芝山正治，外川誠一郎
中山晴美，小宮正久，岡崎史紘，塚田敏之

東京医科歯科大学医学部付属病院高気圧治療部

Subjects on compressed air works

Y. Mano, N. Yamami, K. Yagishita, T. Nakayama, M. Shibayama
S. Togawa, H. Nakayama, M. Komiya, F. Okazaki, T. Tsukada

Hyperbaric Medical Center
Tokyo Medical & Dental University Hospital

圧気潜函工法は国土の狭い地震国という我が国の特殊な地勢にマッチした土木工法として、今日では橋梁基礎，地下貯水ポンプ場，トンネル立坑，等のコンクリート躯体を沈下させて構築する幅広い地下構造物（図1）工事に欠かせない作業職種と言え、土木工学上からみて安全，確実でかつ安価な技法であるが故に近年ではその工事内容の難度が高く，より高い圧力下の作業をカバーする傾向にある。この結果，安衛法に基づく高気圧障害防止規則で定める圧気土木作業後の減圧は標準減圧表（別表1）に定められた方式で減圧されるがその許容最大作業圧力は0.4 MPa未満であるにもかかわらず，現実での要求される作業圧力は0.6 MPaに近づこうとしているし，将来計画が検討されている作業圧力は更に高くなるとも言われている。

このような高気圧作業に対しては現行法規では十分に対応できない場合が生じることも想定されるが，そのような場合には厚生労働省は大臣審査の特例による特別管理体制によって高気圧作業の安全を維持できるように対策が取られている¹⁾。

このような現状にあって，現在考えられる圧気土木作業に係わる代表的な問題点を列記すると

- 1) 作業後の安全な減圧表が規定されていない。
- 2) 空気による減圧管理はリスクが大き過ぎて使え

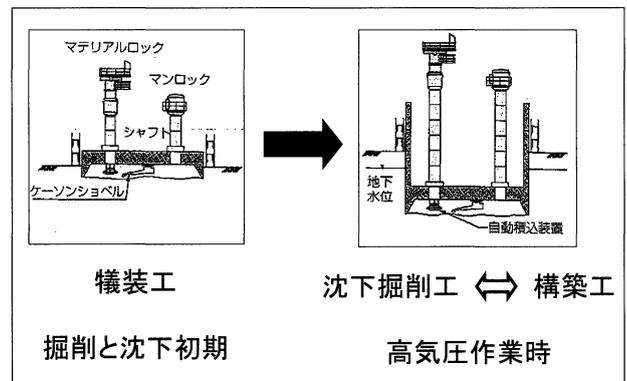


図1 潜函施行状況図

ない。

- 3) 酸素減圧を行うことが標準化されていない。
- 4) Heliox または Trimix gas 等の混合ガス利用が規定されていない。
- 5) 昇降用エレベーター利用等の安全管理対策が標準装備化されていない。
- 6) 健康診断項目等が改正されておらず，十分とはいえない。
- 7) 衛生管理に係わる作業員への一次予防対策等の配慮が欠落している。
- 8) 現場における問題の多い空気による救急再圧員制度をいまだに容認している。
- 9) その他

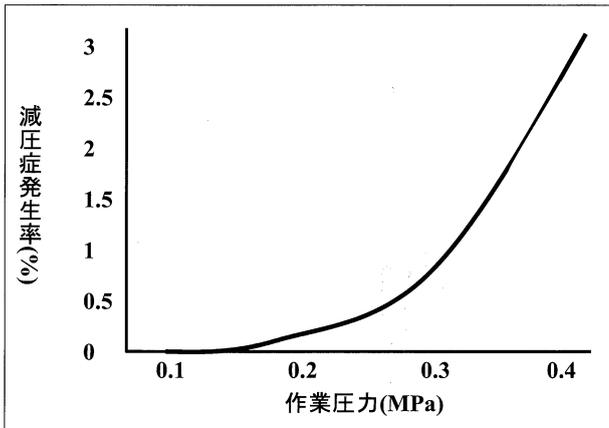


図2 作業圧力別減圧症発症率

以上の内容について現在改善進行中のことも含めてその対応策はどのようにあるべきかについて考え方の一例を簡述したい。

1. 作業後の安全な減圧表が規定されていない

我が国の圧気土木用の標準減圧表は〈別表1〉として公表されているが作業気圧が0.1～0.4 MPaまでしかなく、「その圧力を超えた場合には潜水用の〈別表2〉を使用するように」という誤った指導が一部でなされているとも聞く。圧気潜函工法での減圧表が存在しない0.4 MPa以上の場合には標準減圧表を国が用意しなければならないかという否であろう。そもそも現行の如くに「厚労省がわざわざ標準減圧表を定めてこれに従いなさい。その上で健康問題が生じた場合には国が労災で保証いたします。」などという親切すぎることをしている国は日本以外に存在しない。そもそも、安全な減圧表は企業が自助努力でそれを造り、安全を売り物にして仕事を取るべきで国は減圧症を含む事故や災害を引き起こしたならばそれを論じ、安全作業を営めるように指導するのが責任であろう。減圧表を国が用意する必要は全くないし、自由競争の原則に余り口出しすべきではない。しかし、今までの行き掛りから減圧表を含む行政指導をせざるを得ないのであれば実用性の伴う作業圧力まで示すべきであろう。潜水の場合には水深90 mまで表示していることを考えると圧気土木でも0.9 MPa位までをカバーしなければなら

らないのではなかろうか。中途半端は良くなく、全く用意しないか、するなら十分にカバーすべきであろう。

その場合の整合性を取るためには圧気土木では0.3 MPa以上の作業圧力が行政指導されていて大臣審査対象となっていることより、0.3 MPaを超えた段階から利用できるより安全な減圧表を提示しなければならない。つまり、ある一定レベルの安全な作業を保証できる根拠は現行法規則とマッチしていなければならないし、従来の安全についての概念も踏襲していなければならないまい。これらを満たす検討項目が以下の2～5の項目となる。

2. 空気による減圧管理はリスクが大き過ぎて使えない

潜水の場合における水深90 mまで表示されている標準減圧表〈別表2〉は危険すぎて安全作業を目指す作業ダイバーなら誰一人利用しない。一定の理論と数式によって導かれる減圧表は作業負荷圧力が高くなるほど、かつ作業時間が長くなるほど減圧症発症頻度は高くなる。つまり、体内に窒素ガスの蓄積が増し、空気による圧気作業では一般的には図2に示すように0.3 MPa前後くらいから急激に減圧症発症率がアップする²⁾。これは現在のあらゆる減圧表に共通している問題であり、同一数式理論に依って導かれた減圧表における宿命とも言える。つまり、減圧症の発症率は指数関数的に圧力に応じて増大するので0.2 MPa程度までは緩いカーブで減圧症が発症するがそれを超えて0.3 MPa前後からは急激に増えてゆくと考えることが常識である。

これを防ぐためには酸素による窒素ガスの洗い出しが必要であり、最優先で考えられる減圧症予防対策と言える。

3. 酸素減圧を行うことが標準化されていない

欧米では当たり前のように圧気作業に於ける酸素吸入による減圧管理が標準適応であり、ECでは空気による減圧を禁止することで減圧症予防効果に絶大な効力を発揮している(図3)。つまり空気減圧は20世紀の遺



図3 酸素減圧(酸素吸入)

物であり先進諸国において空気減圧を行っているのは日本だけであると言っても過言ではない。日本では何故空気減圧に拘るのであろうか。「日本人は喫煙習慣が強く酸素の利用は火災発生の危険がある。」「酸素は薬物であって一般人が酸素吸入することは薬事法違反である。」これらが何と誤解に満ちた、説得力の無い響きであるかは自明であろう。日本人はそれほど無知蒙昧な人種なのだろうか？ 我が国において40年以上前に和歌山県における或る圧気ケーソン作業場で酸素減圧中にマンロック内で喫煙し呼気ガスに引火した結果、火災により6名が死亡する災害が発生した³⁾。これによって世界中の減圧中に於ける酸素吸入が禁止されてしまい、欧米人から学会に行く度に我々が張本人の日本人であったが故に散々非難を浴びてずいぶん肩身の狭い思いをした。しかし、火災の危険は人為的に十分予防できることであり、酸素の有効性、“酸素窓効果”^{4,5)}なくして減圧症予防を確実にできない事実に立脚して1980年代から欧米の圧気土木でも潜水と同様に酸素減圧に踏み切るようになり、今日では酸素減圧なくして圧気土木は語れないと言う時代に至っている。火災問題を心配しなければ酸素減圧できないような企業は高気圧作業を行う資格がない。

4. Heliox または Trimix gas 等の混合ガス利用が規定されていない

空気吸入による圧気土木作業では0.3 MPa 前後から窒素酔い現象が生じるリスクがあると共に 0.7 MPa 前

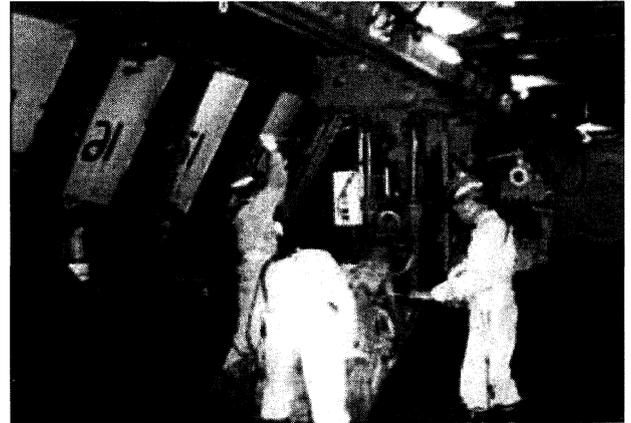


図4 Trimix作業中のケーソン内部(呼吸ラインをつけて作業している)

後くらいから酸素毒性のリスクが生じると考えて良い。酸素毒性については安静状態か、激しい労作業中か、あるいは湿式か乾式か等々で差があるがこれらの要因も減圧症発症予防と共に考慮されなければならない。また、呼吸生理学的にも高分圧空気の呼吸に伴う機械的抵抗は暴露圧力に比例して非常に大きくなるので空気による高気圧作業はリスクが大き過ぎて使えない。これらをカバーできる解決策が、Heliox または Trimix gas 等の混合ガス利用であろう^{2,4)}。潜水においては更に水素 gas も実用に利用されており、仏では既に水深 500 m での利用を可能にしているし、米国 Duke 大学のグループは 685 m までの高気圧暴露実験に成功している。圧気土木への利用は我が国が先陣を走っており、既に大阪の淀川河口にて 0.56 MPa の Trimix gas による圧気土木作業が1名の減圧症患者も出さずに成功しており、現在までに作業圧力は 0.36 ~ 0.56 MPa までの間で既に20カ所以上の作業場にてこれら混合ガス利用によるケーソン作業が完了している(図4)。

第1項、2項で触れたように空気による圧気作業の上限は従来の規定を生かすと 0.4 MPa となるのかも知れないが、0.4 MPa は高すぎるように思われる。もし、規制を設けるのであれば 0.35 ± 0.05 MPa とし、0.3 MPa を超える場合には混合ガス利用が望ましく、0.35 MPa 以上を標準装備とし、止むを得ない場合には 0.4 MPa まで許容すると言うような幅を持たした方が現実

作業圧力 (m 相当圧)	患者数	肩	腕	腰	左膝	右膝	他
17 ≤ 圧力 < 20	17	1	0	1	11	6	0
20 ≤ 圧力 < 22	74	7	2	1	22	45	フォークス3 メニール型1
22 ≤ 圧力 < 24	38	4	5	1	25	19	フォークス3
24 ≤ 圧力 < 26	51	2	0	1	35	28	0
26 ≤ 圧力 < 29	26	1	0	0	13	18	0
計	206 (人)	15 (件)	7 (件)	4 (件)	106 (件)	116 (件)	7
発症率(%)		6.05	2.28	1.61	42.74	46.78	89.5

表1 ベンズ発症部位

的かも知れない。

5. 昇降用エレベーター利用等の安全管理対策が標準装備化されていない

圧気土木作業では地上の開口部と切り端と呼ばれるケーソン底部との間は、一般的には螺旋階段で繋がれており、直径 1.2 m の螺旋階段を昇降する。上部開口部は通常地表面より数メートル以上上空にあり、また地下のケーソン底部は作業気圧による理論深度より 2 ~ 3 m 以上は深いので 0.3MPa の作業が行われる場合にはケーソン底部から地上に出るまで約 40m 位は螺旋階段を登らなければならない。圧気土木作業における減圧症の中 90% 以上は bends と呼ばれる関節筋肉痛であり、複数箇所にも同時多発することも多いが螺旋階段が長くなると、そのうちの 90% は膝関節に集中してしまう(表1)⁴⁾。これは圧気土木の実労働作業が原因というのではなく減圧直前の螺旋階段を登ることによる労作負担と言っても良い。この減圧症発症予防の立場から 0.3 MPa を超えるような圧気作業においてはこの図 5 で示されるヘリウム混合ガスシステムに限らず、原則的に昇降用エレベーターを設置してその利用によって下肢への負担を取るべきであろう。

6. 健康診断項目等が改正されておらず、十分とはいえない

高気圧作業安全衛生規則の第38条(健康診断)にて圧気業務についている場合には 6 ヶ月毎に特殊検診と呼ばれている項目の健康診断を受け、かつ更に医師

が必要と認めた場合の追加診断項目を規定している。

しかし、従来の規則に基づく標準的健康診断はそれが発見された時には既に手遅れと思われる慢性減圧症も含まれており、チェック方法を根本から見直す必要がある。

7. 衛生管理に係わる作業員への一次予防対策等の配慮が欠落している

我が国の健康に係わる法規制は安全面を重視し、衛生管理面まではまだ十分に配慮されるには至っていないのが現状であろう。20世紀末頃からようやく日本人の働く人々の健康促進運動と相まって「健康日本21」が叫ばれ、「長寿は美德」の考え方から次第に健康寿命「DALE計画」⁶⁾を追求するように移ってきたが圧気作業を含む我が国の建設業で働く人々への健康への配慮はまだ不十分でそこまでは到達していないといえる。圧気作業期間中の職業起因性疾患の予防だけではなく、数ヶ月に及ぶ長い作業期間中において作業員が高いQOLを維持できるための工夫が必要ではなからうか。つまり、生活習慣の改善を含む総合的な衛生対策を行うと共に日常生活面へ介入し、より良い生活習慣を守りながら過ごせることで職業基因性疾患の発生を減ずることが可能なことは周知の事実であり⁷⁾、そのような行政面での配慮も重要ではなからうか。建設業ではこのことが全産業の中でも最も遅れており、特に圧気土木業種はその谷間に位置していると危惧される。

8. 現場における問題の多い空気による救急再圧員制度をいまだに容認している

海外における圧気工法では減圧を行う場合には酸素減圧設備を標準化し、より安全な減圧管理を行うことが以前から推奨されているし、万一、減圧症が発生した場合の再圧治療表からは、〈表1, 2, 3〉が既に廃棄されており、空気再圧治療は原則的に禁止されている。〈表4〉については患者が酸素中毒を発症させた場合の例外的利用法として残されているが基本的にはもはや酸素再圧法のみを利用すべきであって空気に

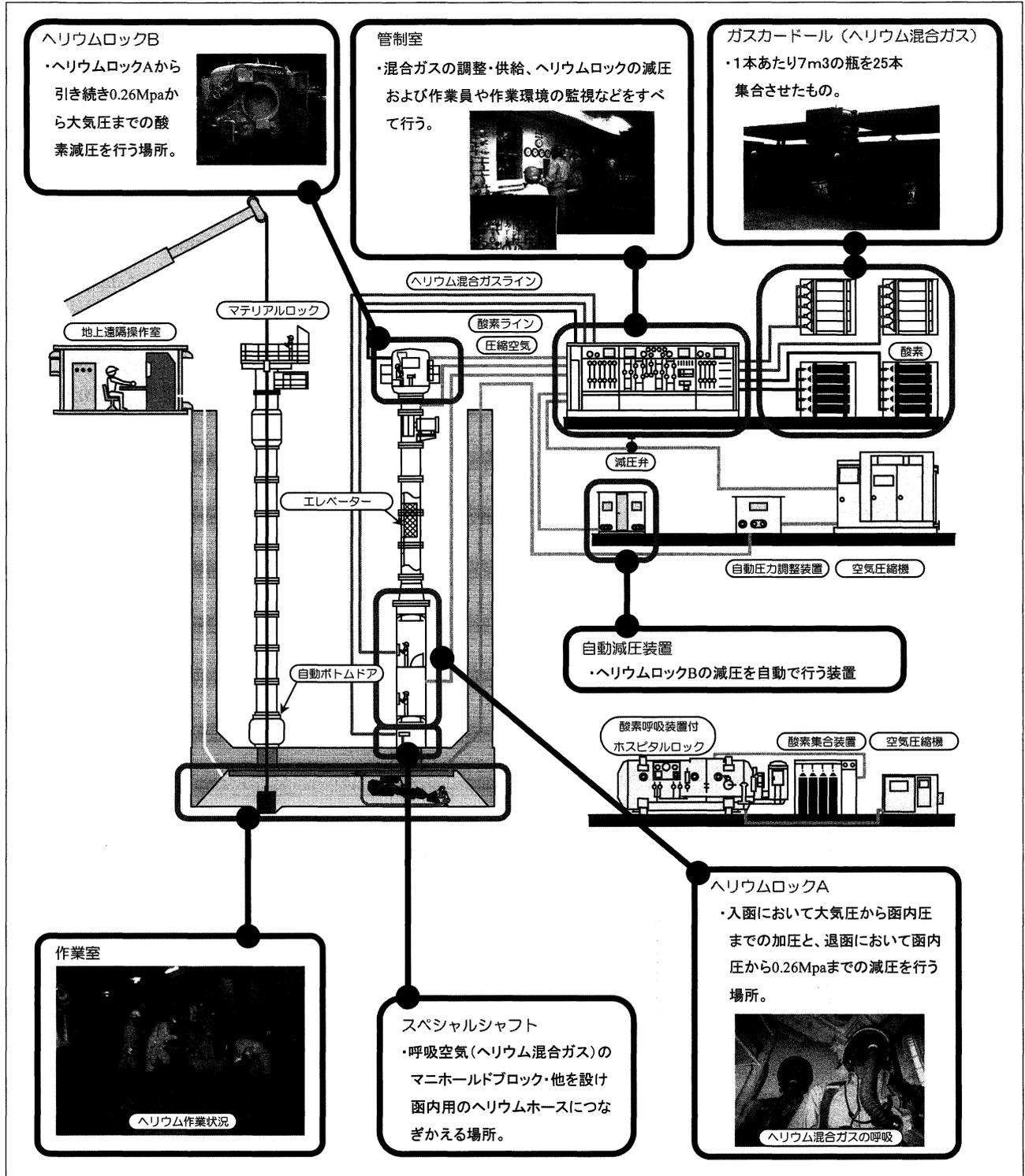


図5 ヘリウム混合ガスシステム

よる救急再圧制度は廃止すべきであろう⁵⁾。

我が国内で圧気作業が行われる場合には全国的に再圧治療を行える第2種装置を有する病院が52ヵ所に点在しているので作業開始する前に作業場から交通事情を考えて少なくとも数時間以内で再圧治療を行える病院と連絡を取っておくべきである。そして現場では原則的に減圧症治療を行わない。病院へ酸素吸入(10ℓ/min以上)させながら救急車等にて搬送する。従って第2種装置を有する病院では減圧症患者を忌み嫌わずに積極的に受け入れるべきで当学会所属医師としては率先して治療に当たるべきであろう。意識のある患者の場合の病状発症からHBOまでのgolden timeは5時間以内であるので相当の遠距離からでも搬送出来る。勿論航空機使用や標高400m以上の高所移動時には第1種の移動用タンクで搬送すべきであり、出来たら酸素(すぐ用意出来なければ空気で可)で1.3ATAへ与圧しながら再圧治療のラインに5時間以内にのせることであろう。酸素再圧(表6)或いはその延長表使用開始が検査等で遅れてはならないので再圧を優先する。その場合には神経学的検査等を再圧室内で行うべきであろう。大事なことは圧気作業場の再圧室で空気による救急再圧をスタートさせないことであり、病院での再圧治療を確保出来ず、かつ現場においても医師立ち会いの上で(表6)を行う手段が見つからない場合の最悪事態の選択として空気による救急再圧を位置づけるべきである。

参考文献

- 1) 厚生労働省：労働安全衛生規則，第89条の2，安衛法便覧，2004
- 2) 眞野喜洋：圧気作業下での潜函病とその対策，基礎工，30-37,1992
- 3) I. Nashimoto：Decompression of compressed air workers in civil engineering, In, Proceeding of an international working party held at the Ciba Foundation, 217-218, London,1965
- 4) 眞野喜洋(編著)：潜水医学，147-157, 194-199. 朝倉書店，1992
- 5) 眞野喜洋，山見信夫，芝山正治：高気圧作業に伴う標準減圧表の安全性評価のための疫学的調査に関する研究，厚生労働科学研究費：公募課題H-16-労働-9, 2005
- 6) 眞野喜洋：健康の概念，スタンダード公衆衛生学(眞野喜洋，編)1-3, 文光堂，2002
- 7) Rie Tomonoh：Health guidance intervention for fisherman divers：Measuring the effect on lifestyle and health status. (潜水漁業者に対する保健指導方法に関する研究)，平成16年度東京医科歯科大学大学院保健衛生学研究科博士(前期)課程学位論文集，17, 1-7. 2005