

大深度ニューマチックケーソン工法における 呼吸器の性能に基づく労作強度について

芝山 正治¹⁾, 小田 章治²⁾, 竹内純一郎²⁾, 池田 芳郎²⁾, 山村 行夫³⁾, 眞野 喜洋¹⁾

1) 東京医科歯科大学医学部公衆衛生学教室

2) 榊白石土木本部開発技術部

3) 聖マリアンナ医科大学公衆衛生学教室

Great Depth Pneumatic Caisson and its Load Work Involved with the Efficiency of Respiratory Protection

Masaharu SHIBAYAMA¹⁾, Shoji ODA²⁾, Jun-ichiro TAKEUCHI²⁾,
Yoshiro IKEDA²⁾, Ikuo YAMAMURA³⁾ and Yoshihiro MANO¹⁾

1) *Department of Public Health, School of Medicine, Tokyo Medical and Dental University, Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan*

2) *Technical Department Division, Civil Engineering Headquarters, Shiraishi Corporation, Iwamoto, Chiyoda-ku, Tokyo 101, Japan*

3) *Department of Public Health, St. Marianna University school of Medicine, Sugao, Miyamae, Kawasaki-shi, Kanagawa 213, Japan*

Neumatic caisson work in Japan has been come into operation since 1924. Afterward, this technique of compressed air work has been utilized in the constructions like as foundation works, the basements, and shafts of the bottom tunnel or shields for subway and so forth.

While, it means for people to be exposed to hyperbaric environment that they use compressed air work, this technique has risks to be suffered from not only decompression sickness (DCS) but toxicity of poisonous gas or oxygen deficiency. However, this technique is necessary for urban civil engineering and recent compressed air works over than 1.0kg/cm² has been increased in 1.5 times more than in 1970's and the higher compressed air work more than 4.0kg/cm² will be actually planned in near future.

So unmanned caisson work is considered as a better technique for such high pressure work, even though people must enter into hyperbaric working fields for maintenance or repair of unmanned operated machinery and materials.

This research is to establish the safety work under hyperbaric environment within 7kg/cm². It is necessary for us to establish the system not only to keep safety but to maintain working efficiency. According to obtain the purpose, the effect of respiratory protection has been investigated and work load under hyperbaric caisson work has also been studied.

Key words: Pneumatic caisson, Load work, Respiratory protection, Heliox gas, Decompression sickness (DCS)

日本におけるニューマチックケーソン作業は1924年 以来利用されるようになり、以後この圧気作業の技術

は基礎工事、地下室の建設、海底トンネルや地下鉄などの立坑に利用されている。

圧気作業を利用することは高圧環境へ暴露されることを意味し、減圧症や有害ガス、酸素欠乏症に罹患する危険がある。しかし、この技法は都市土木には不可欠で、最近の 1 kg/cm^2 を超える圧気作業は1970年代の1.5倍も増加している。さらに、 4 kg/cm^2 を超えるような高い圧力の圧気作業も実際に計画の段階にある。

そこで、無人ケーソン作業が、そのような高い圧力の作業により適した工法として考察されたが、やはり機械や材料の保守管理や修理のために人は高圧下に入らなければならない。

この研究は、 7 kg/cm^2 以内の高気圧環境下の安全作業を確立することが目的で、安全とともに作業効率を維持することが要求される。このため呼吸器の効果が研究され、高気圧下ケーソン作業の労作強度が検討された。

ニューマチックケーソン（以下、ケーソンと略す）工法とは、箱枠の最下端から2 mほど上に底ぶた（作業室天井スラブ）を設け、この下の空間（作業室）に

地下水圧とほぼ等しい圧力の圧縮空気を送り、空気環境下で掘削を行うことにより、主としてその自重によって地中に沈下させ、以下、鑿装（シャフトを継ぎ足すこと）、構築、掘削、沈下を繰り返し、所定の位置に構造物を形成する方法である（図1）。

ケーソン工法の始まりは、1841年フランスの M. Triger による炭坑の立坑築造工事である。日本における本格的なケーソン工法の使用は、1924年関東大震災後の復興事業の一環としての隅田川に架かる永代、清洲、言問の3橋の基礎工事に始まる（小田、1986；眞野と芝山、1987；矢野、1978）。

これ以来ケーソンは、他の工法による基礎と比較して剛性が大きく、広い支持面積が得られ、支持地盤を直接確認できるなど、多くの利点を持つ信頼性の高い基礎築造工法として高い評価を受けている。また、ビルの地下室、地下鉄、シールドトンネルの立坑など地下空間の築造にも広く用いられている。

さらに近年、設計法の発達、施工法の改良ならびに併用工法の進歩により、ケーソンの大型化、大深度化が進んでいる。また、いわゆるニューフロンティアの一つとして、地下空間の利用が叫ばれるようになって

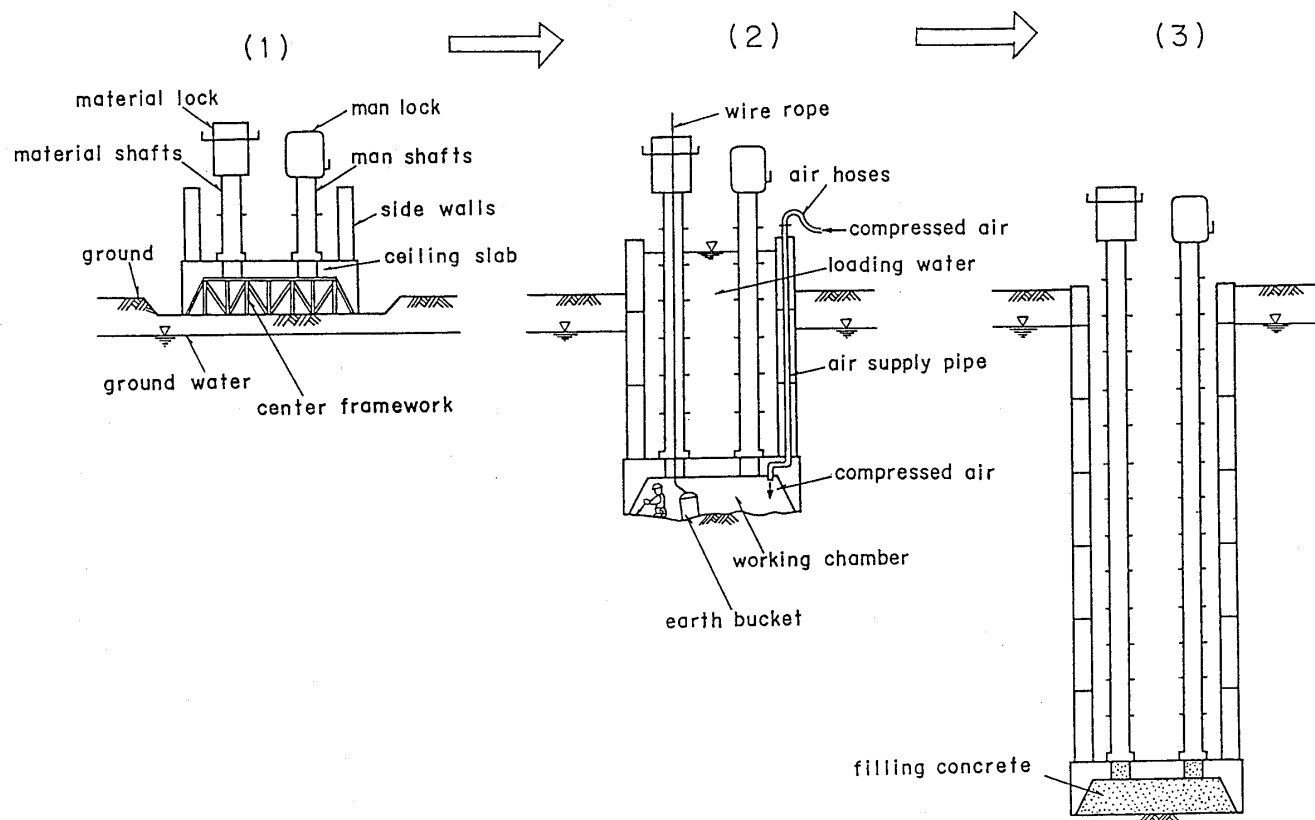


Fig. 1 Construction procedures of pneumatic caisson

きている。この場合の地下空間としては、既設構造物より深い地下50～70m程度が対象となる。

しかし、ケーソン工法は高気圧作業を伴うことから、一般に深度40m程度が限界とされており、労働安全衛生上の問題や作業時間の制約が課題となってくる（労働省労働基準局衛生課監修，1983）。

そこで本工法の利点を活かしながら、作業員が高気圧に暴露されることなく掘削作業が行える遠距離操作システムを利用したケーソン工法（無人ケーソン工法）が有利と判断される（川村ら，1986；前田ら，1986）。しかし、このシステムにおいても、掘削機械の修理などのために、作業員が高気圧へ暴露しなければならない状況が予想される。

この状況に対処するため、予想される作業気圧8 ATA（7 kg/cm²）の範囲において、安全衛生上満足でき、作業効率をあまり損なわずに行える方法が必要である。そこで前述の遠距離操作システムをベースとし、作業員は非常の場合のみ、短時間（最大90分）、ケーソンに入り、呼吸器（マスク）を介してヘリウム混合ガスを呼吸するという方法が有利である（前田ら，1986）。この方法を「大深度ニューマチックケーソン工法」と呼ぶ。

本研究は、大深度ニューマチックケーソン工法を成立させるために必須の高気圧下で用いる呼吸器の生理学面への影響やケーソン作業の労作強度に関する影響を調べたものである。

方 法

被検者として健康成人男子4名を選んだ。心肺機能を測定する目的で、自転車エルゴメーターを用いて運動負荷テスト（All out test）を行い、最大酸素摂取量

（ $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ）および最大換気量（ $\dot{V}_E \text{ max}$ ）などは呼吸代謝連続監視システム（ミナトレスピロモニター，RM200，ミナト社製）を用い、最大心拍数（HR max）はライフスコープ10（OEC-5201，日本光電社製）を用いて求めた（芝山ら，1986）。

また、ケーソン現場の労作負荷を調べるため、直梯子による作業室までの登り降り労作を行い、心拍数を測定した。

呼吸器としては、送気式タイプの4種類を用い（表1）、生体への実労作負荷の状態（50% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ）と手動ポンプによる人工肺を装着した状態とで呼吸抵抗（圧トランスジューサー，AP-600G，日本光電社製）を調べ、それぞれの性能を比較した（芝山ら，1986）。また、高圧ボンベから減圧されたガスは、湿度が著しく低く、乾燥ガスを作業員が吸入するため、2種類の加湿器を用い、人工呼吸器（RESPIRATOR B2，五十嵐医科学社製）により加湿効果を調べた。加湿器の仕様は、次の通りである。

Model 1 試作された加湿器

重量：140g

形状：170×60（mm）

Model 2 SCUBA 潜水用の既存加湿器を応用

重量：940g

形状：90×45（mm）

緊急時の呼吸器として非常用携帯ポンプを用いる。しかし、使用可能時間は、個体差や労作強度によって異なるため、非常用携帯ポンプを装着した状態で安静状態と労作負荷状態（% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の30%および50%の異なる条件）とのそれぞれの使用可能時間の変化を求めた。非常用携帯ポンプの特徴は、次の通りである。

6 l ポンベ用セット：12kg

（内ポンベ+バルブのみ=7.7kg）

4 l ポンベ用セット：10kg

Table 1 Different respiratory protections.

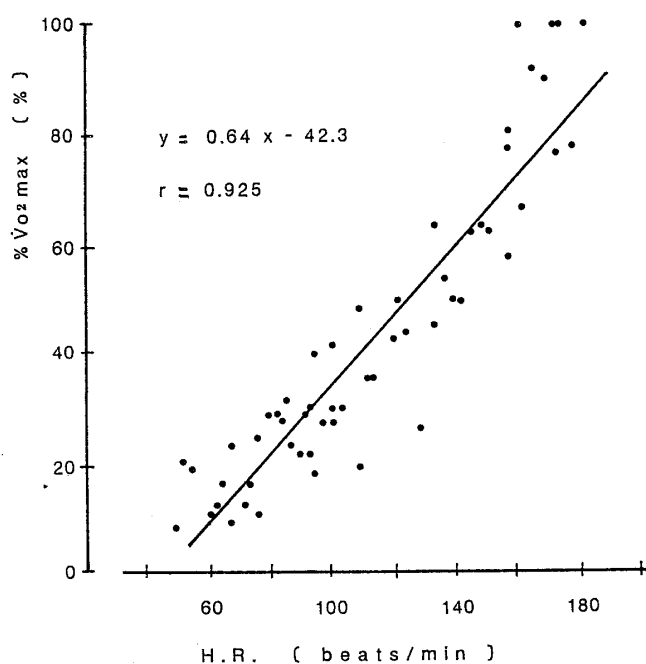
Mask	Type	pattern
A	LIFE GEM2P (AIR line System) face mask KAWASAKI SAFETY kk	
B	TR-60 (SCUBA Regulator) TABATA kk	mouthpiece
C	J-Valve (Exercise Type) MINATO kk	mouthpiece
D	Rudolph Mask (Exercise Type) oronasal mask Hans Rudolph kk	

Table 2 Physical characteristics of subjects.

Sub.	Age (ys)	Height (cm)	Weight (kg)	MVC (l)	%VC (%)	FEV1.0% (%)
S.O.	35	173	74	3.31	80.3	91.2
A.K.	27	169	65	4.13	99.2	82.5
K.A.	28	167	65	4.24	103.6	83.9
A.M.	25	164	58	4.13	100.9	85.2
Mean	28.8	168.3	65.5	3.95	96.0	85.7
±SD	4.3	3.8	6.6	0.43	10.6	3.8

Table 3 Cardio-respiratory function of submaximal work.

Subjects	HRmax (beats/min)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (l/min) (STPD)	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min) (STPD)	$\dot{V}_E\text{max}$ (l/min) (BTPS)	RR (breath/min)	V_T (l) (BTPS)
S.O.	191	3.31	44.7	105.9	49.4	2.15
A.K.	192	3.34	51.4	148.4	52.6	2.83
K.A.	179	3.08	47.4	128.0	83.3	1.54
A.M.	200	2.71	46.8	138.0	57.7	2.39
Mean	190.5	3.11	47.6	130.1	60.8	2.23
±SD	8.7	0.29	2.8	18.1	15.4	0.54

Fig. 2 Regression line between HR and $\% \dot{V}O_2\text{max}$.

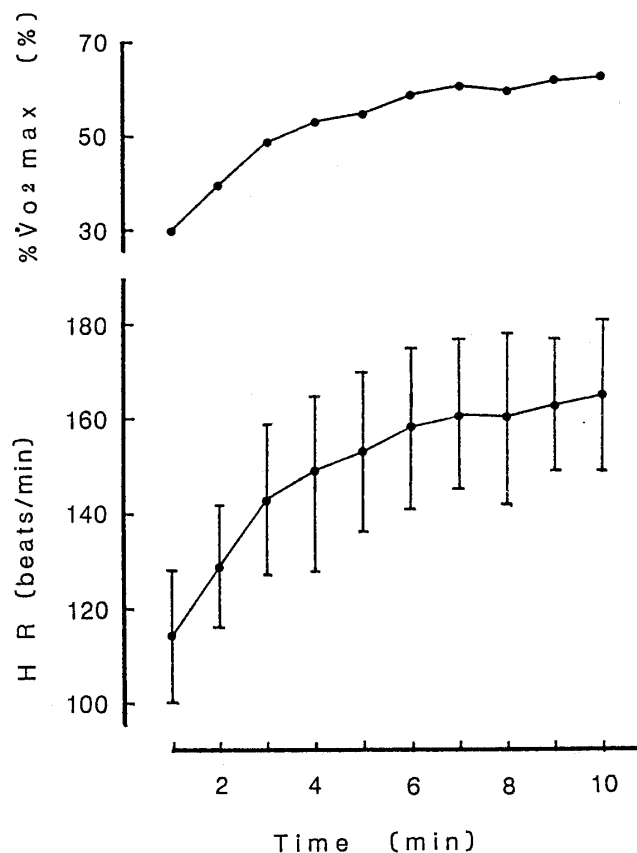
(内ポンベ+バルブのみ=5.6kg)

また、環境変化における作業能力の影響をみる目的で、田中B式知能検査およびタッピング検査を安静状態の1ATA及び6ATA環境下で行うと共に、呼吸器の装着による作業能力を求めた(野見山ら, 1984)。

結 果

被検者は圧気作業の経験者であり(表2), 最大運動時の心肺機能の結果は表3の通りである。各被検者の体重当たりの最大酸素摂取量(ml/kg/min)は, Laurence E. Morehouse(石井と宮下, 1979)の階級分けによると全員が平均よりもやや高い値であった。

最大酸素摂取率($\% \dot{V}O_2\text{max}$)とHRの平均回帰式は、相関係数が高く $r=0.925$ であった(図2)。ケーソン現場で求められた心拍数の結果は、図3の通りであ

Fig. 3 Heart rate and $\dot{V}O_2\text{max}$ by 10 min steps load in a caisson field.

る。この心拍数を $\% \dot{V}O_2\text{max}$ に置き換えると3分までの初期負荷量は、 $30 \sim 50\% \dot{V}O_2\text{max}$ で以後 $63\% \dot{V}O_2\text{max}$ まで上昇していた。したがって、それぞれの呼吸器を比較する目的で行った実験は、負荷運動量を $50\% \dot{V}O_2\text{max}$ の10分間の連続運動とした。それぞれの呼吸器の機能的呼吸抵抗は、安静状態ではマスクのタイプが $D < C < B < A$ (1ATA)の順で高い値を示し、吸気抵抗は、 $C < D < A < B$ の順で高い値を示したが、 $50\% \dot{V}O_2\text{max}$ の運動負荷においては、マスクCのみが低い値を示し、吸入ガスによる違いは認められなかった。

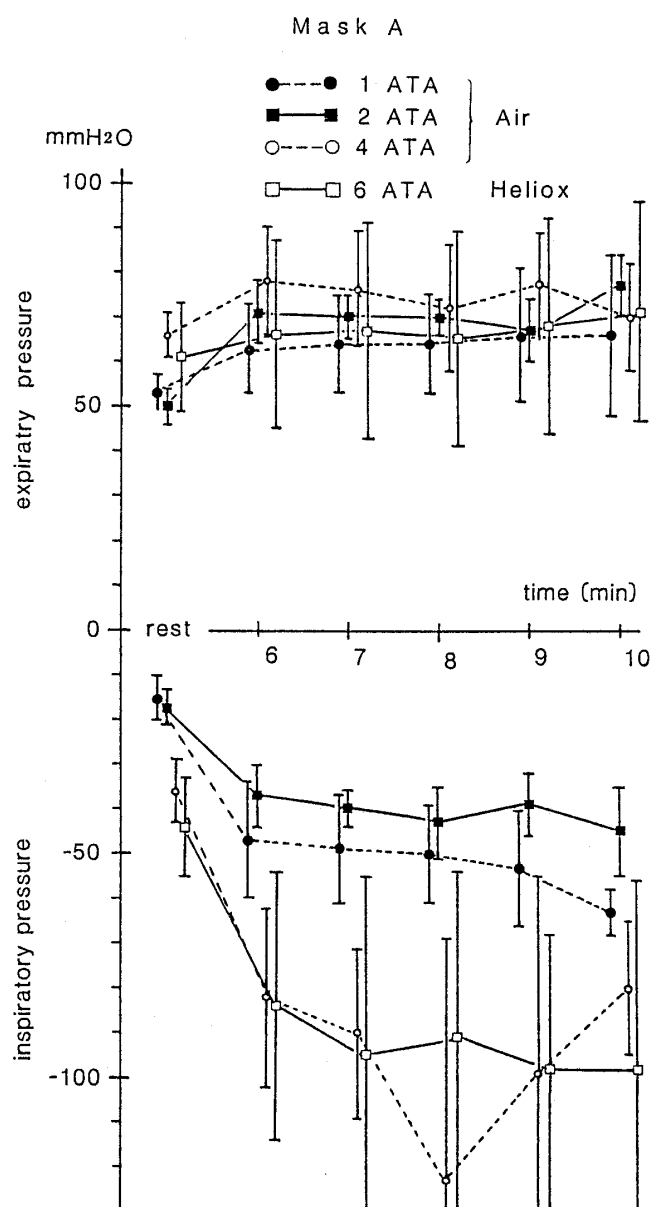


Fig. 4 Comparison of respiratory pressure resistance according to different atmospheres. (under 50% $\dot{V}_{O_2max}$)

環境圧力の変化による比較は、マスク A の場合、吸入ガスが1, 2, 4ATA を空気吸入とし、6ATA では、窒素酔いを予防するために He: N_2 : O_2 の3種混合ガスを用いた(図4)。呼気時には、それぞれの差を認めなかったが、吸気時において、1および2ATAと比較して4ATAにおける抵抗値が最も高いものと認められた($P < 0.01$)。6ATAのHe: N_2 : O_2 との比較では1ATAの空気吸入時にのみ有意の差を認めた($P < 0.01$)。マスク A は、プレッシャデマンド方式(陽圧呼吸)であるが、それぞれの呼吸器の機能を調べるため、陽圧および陰圧機能の変化を比較した。マスク B, C,

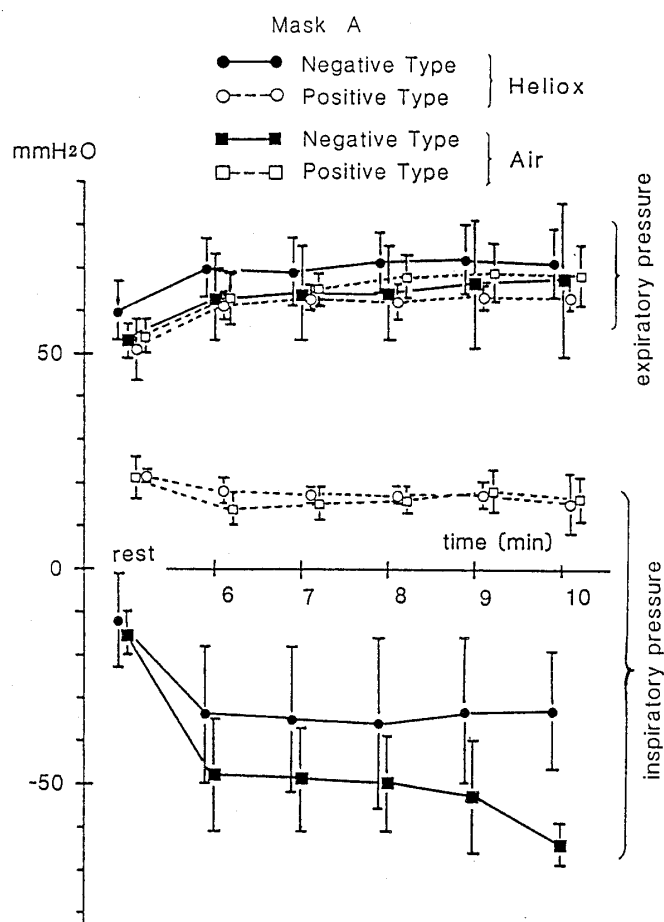


Fig. 5 Comparison of respiratory pressure resistance between negative and positive pressure type masks. (Data by Heliox were measured under 6 ATA)

D は、機能を陽圧にすると排気弁よりガスが排出してしまいその機能を果たせなく、マスク A のみを用いて He: N_2 : O_2 の3種混合と空気ガスで行った(図5)。呼気の値は、それぞれの差がなく、機能的に吸気が陽圧方式ではプラス16mm H_2O の値を示し、陰圧方式と比較して吸気時の抵抗が60~70mm H_2O 低いことが認められた($P < 0.001$)。手動ポンプを用いた環境圧力の変化に伴う吸気及び呼気抵抗は、マスク A による陽圧方式で、一回換気量を1 lおよび2 l、分換気回数を15, 30, 50回/分として大気圧より6ATAまでの環境で行った。それぞれの結果により求められた条件下の重回帰式は、次の通りである(図6)。

$$\text{呼気時 } P = 27.5 + 0.41RR + 0.24m + 11.5V_T \\ r = 0.901$$

$$\text{吸気時 } P = 76.3 - 0.92RR - 0.61m - 11.2V_T \\ r = 0.910$$

P: マスク内の圧力 (mm H_2O)

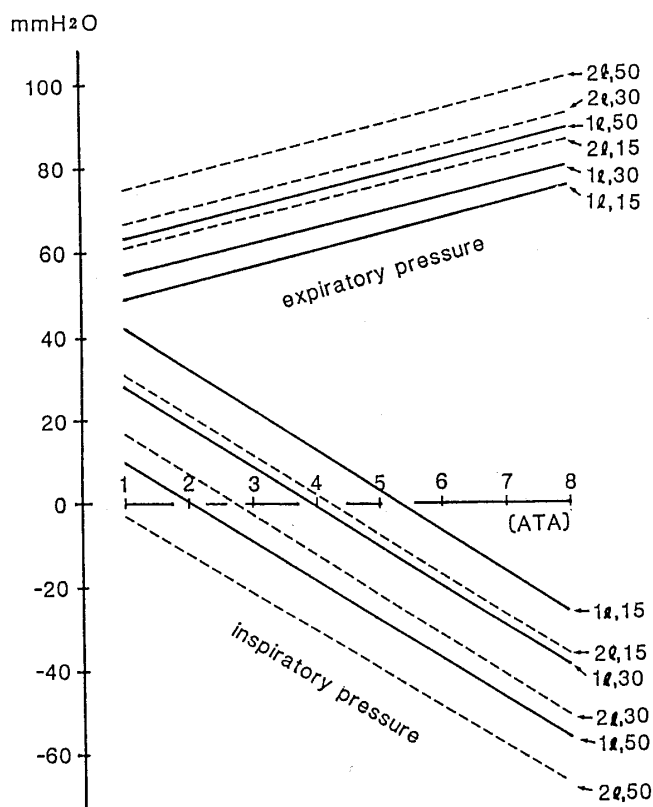


Fig. 6 Respiratory pressure resistance of mask A type under tri-mixed gas (He: O₂: N₂) by different $\dot{V}_T$ and RR.

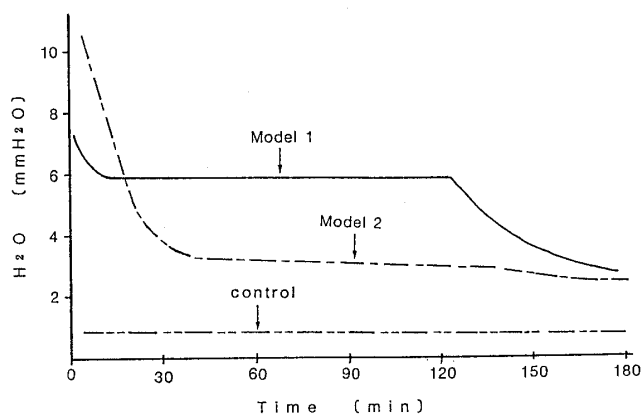


Fig. 7 Humidification effect by different humidifiers.

RR: 換気回数 (回/分)

m: 分子量 (g/mol)

$\dot{V}_T$: 一回換気量 (l)

換気回数を15回/分, 混合ガス (15.7g/mol) を用い, 一回換気量 2 l とすると, 8ATA 環境下における, 呼吸時の抵抗は86.8mm H₂O, 吸気時は36.5mm H₂O となった。

ポンベから呼出されるガス中の湿度は, 1 mmHg

Table 4 Inspiratory gas volume by different work loads.

Exercise	Mean	±SD
Rest	13.9	4.4
30% $\dot{V}_{O_2\max}$	34.0	10.7
50% $\dot{V}_{O_2\max}$	45.3	11.7

Table 5 Effect of nitrogen narcosis measured by Tanaka B type intelligence test.

	mean	±SD
1ATA (Air)	12.1	2.5
6ATA (Air)	10.6	1.6
6ATA (He)	11.6	2.2

Table 6 Result of tapping test scores. (working ability test)

	mean	±SD
1 ATA (Air)	60.4	3.6
6 ATA (Air)	56.0	6.6
Install Mask		
1 ATA (He)	57.5	5.9
6 ATA (He)	57.0	7.4

(1 ~ 3%) 程度の量である。Model 1 の加湿器は, 当初7.5mmHg の値であったが, 開始15分後に 6 mm Hg に低下し, 以後120分まで同じ値を示した。Model 2 では, 当初12mm Hg であったが, 以後直線的に低下し, 40分後に 3 mm Hg まで下がり, 開始から120分後まで同じ値を示した(図 7)。

非常用携帯ポンベを用いた使用可能時間は, それぞれの運動におけるガスの消費量が, 安静状態で平均14 l/min, 労作強度の30% $\dot{V}_{O_2\max}$ で34 l/min, 50% $\dot{V}_{O_2\max}$ で45 l/min であった(表 4)。したがって使用可能時間は, 6 l のポンベを用いて, 50% $\dot{V}_{O_2\max}$ の労作負荷とした場合, 次の通りとなる。

6 l のポンベのガス量は, 次の通りである。

$$V = 6^{(l)} \times 150^{(kg/cm^2)} \times 0.8^{(80\%)} = 720 \text{ l (1ATA)}$$

この場合, 環境圧が高くなると使用可能時間が次の通り短縮する。

1 分当たりの平均ガス消費量	45 l/min
ポンベ消費可能量	720 l
1ATA における使用可能時間	16分

6ATA における使用可能時間	2分40秒
7ATA における使用可能時間	2分17秒
8ATA における使用可能時間	2分

1ATA では16分の使用が可能であっても8ATA ではわずか2分間となる。

呼吸器を装着することによる作業能力の低下については、田中 B 式知能検査法を用いて習慣性が現われない項目のみを調べた。吸入ガスを空気とし、環境圧力が1ATA と6ATA の場合とを比較すると6ATA 環境圧力下の作業能力が有意に低下していた ($P<0.01$)。しかし、タッピング検査においては、トレーニング効果が働きそれぞれの差は認められなかった(表5, 6)。

考 察

深海潜水作業においては、呼吸時の機械的な気道抵抗を少なくし、作業効果を高め、かつ窒素酔いや減圧症を予防する対策として混合ガスを用いる非飽和潜水や飽和潜水の技法が実用面から要求され、綿密なライフ・サポート・システムに基づいてこれらの技法が積極的に利用されている(関沢, 1982; U.S. Navy, 1985)。また、わが国の潜水作業においては混合ガスを用いた飽和潜水技術による作業が導入され、実用に供されている(前原ら, 1988)。

しかし、ケーソン作業は、現行の高気圧作業安全衛生規則に基づき、作業圧力が、最大 4.0kg/cm^2 、作業時間が最大135分(労働省労働基準局衛生課監修, 1983)までの高気圧下作業が限界とされている。しかしここで、 4.0kg/cm^2 を超える作業圧力が出現した場合、適用する潜水作業(労働省労働衛生課編, 1986)では最大圧力 9.0kg/cm^2 の減圧表を用いることができ、作業圧力が 7kg/cm^2 の場合、最大作業時間は、60分まで許されることになるが、この減圧表は吸入ガスに空気を用いるので好ましくない。一方、日本の圧気作業上のニーズとして、作業時間が60分を超えるような 4.0kg/cm^2 以上のケーソン工法が今後要求されることは十分に考えられる。しかし、 4.0kg/cm^2 以上の圧気作業は、現行法規制上は許されず、別の対応が必要となる。また、作業圧力の上昇は減圧時間の延長を意味し、安全衛生上の立場からは、その圧力下における最大作業時間が更に短縮され、効率の低下を招くばかりか、減圧症罹患の危険率が増大し、窒素酔いなどの高気圧障害による危険性も高くなり、決して安全な作業とはいえない

(眞野と芝山, 1985; 眞野, 1987, 1987; 眞野と芝山, 1987; Mano et al., 1982; Sykes et al., 1986; Weathersby et al., 1984)。

これらのことから圧気工法で人が圧力環境下に入らない方法として、遠距離操作システムを用いたニューマチックケーソン工法がある(小田, 1986; 川村ら, 1986; 前田ら, 1986)。この方法は、作業室天井スラブから吊り降ろされた気密な円筒型カプセル(大気圧環境の遠隔操作室となっている)の中に人が入り、作業室を直視しながら、ショベルを遠隔操作し、土をバケットの中へ投入するシステムを用いた工法である。しかし、この工法を用いても、作業室内で駆動している機械を点検したり、故障などが起きたときに作業室内に人が短時間(最大90分)入ることが必要となってくる。この場合、ケーソン内は空気で加圧されている。安全性を考慮すると函内の空気を吸入するのではなく、ヘリウムをベースとした混合ガスを用いることの方がより安全であるといえる(図8)。

そこで、5ATA (4kg/cm^2) を超える最高圧力8ATA (7kg/cm^2) までの作業環境下において、90分を最大作業時間とし、作業効率が高く、コストが掛からず、かつ安全に作業に従事できる方法を検討した。

ケーソン作業での最大作業負荷は、ケーソンへのシャフト内の直梯子を登り降りする労作であり最大 $63\%\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ の高い値を認めた。深いケーソンの場合、50m~70m とマンロックから作業室までの距離が延長されることから、作業室への真上にマンロックを設置し、マンロックへの出入りはエレベーターを使用するシステムとすると直梯子を使う距離が5m程度となる(図8)。我々が行ったシールド内で自給気式呼吸器を装着し、700mの歩行を行った研究では $30\sim40\%\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ 程度の労作負荷であった(高橋ら, 1983)ことから、ケーソン作業での最大作業負荷は、直梯子の登り降りを含めても $50\%\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ 程度の労作であることが知れた。

作業中の条件として、呼吸器から混合ガスを吸入するシステムを採用するため、呼吸器の選択を行った。4種類の呼吸器の中でマスクDは、耳抜き動作および眼鏡を掛けての作業は良好に行えた。しかし、マスクを顔面に装着するベルトが弱く、強い力がマスクに加わると簡単に顔から外れてしまう欠点がある。マスクB, Cは、陽圧方式にすると排気弁よりガスが排出し

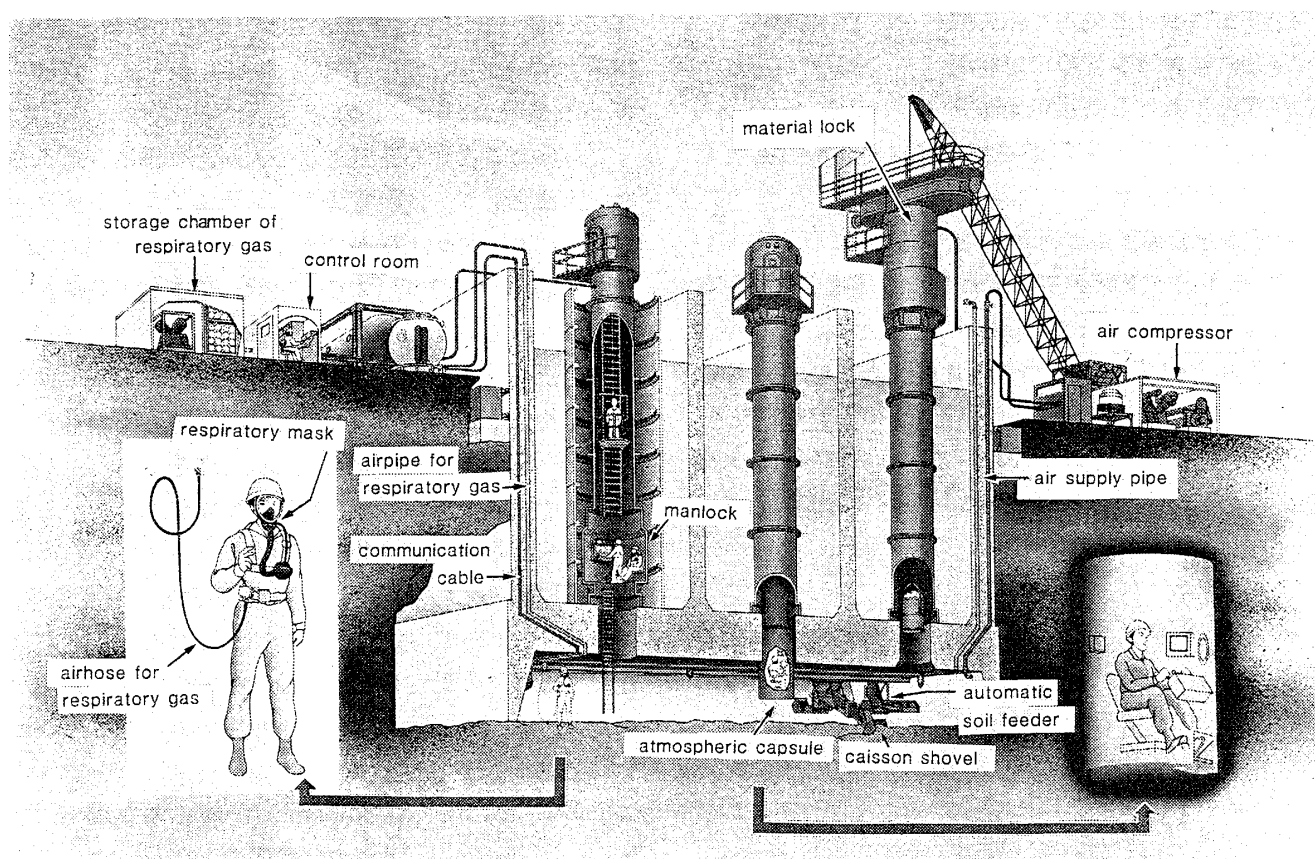


Fig. 8 Great depth pneumatic caisson.

ていまいその機能が果たせなくなる。また、呼吸抵抗についても、混合ガスを使用し、8ATA 環境下の中程度の作業負荷において、マスク A の呼気時の抵抗が87 mm H₂O、吸気時が37mm H₂Oであったのに対し、他のマスクは、吸気時で60~70mm H₂O も高く、呼吸抵抗が低く、安全性が優れているマスク A のプレッシャデマンド方式を用いることとした（図3，4，5）。

しかし、マスク A の欠点として、マスクを装着した状態で Valsalva 法による耳抜きが不可能なことである。しかし、この問題の解決法としてプレッシャデマンド方式の状態でマスク下部よりマスク内に手を挿入し、ガスをブローさせながら Valsalva 法による耳抜きを行うことが可能となりマスク A（ライフゼム K2 P）の実用が決定された。

送気方法は、圧力と時間から自給気式では供給量が不足するため、エアラインシステムとした。もし呼吸用エアラインのトラブルで非常用携帯ポンプを使用した場合、その労作負荷は最大で50% $\dot{V}O_2$ max と推定される。この対策として準備される非常用携帯ポンプの容量は6 l ポンプを用いたとするとその使用可能時

間は、1ATA 下では16分であるが、環境圧力の上昇とともに使用可能時間が短縮され8ATA 下では2分となる。しかし、本システムは、減圧用のマンロックが作業室の真上にあり（図8）緊急であっても短時間のうちに避難できると予想されるので緊急脱出用として有効である。

高圧ポンプから送られてくる吸入ガスの湿度は低く、呼吸器を装着し、例えば90分の吸入といえども作業者は乾燥感を訴える。本研究では、2種類の加湿器の性能を調べた。モデル1は加湿効果も加湿時間もモデル2より優れていたが、形状が大きく呼吸器への取り付けが困難であることから、モデル2の加湿器を呼吸器のジョイント部分に取り付け使用途中でも加湿用の水の補給が可能な方式を採用し、加湿効果を高めることとした。

減圧症や窒素酔いなどの高気圧障害を予防するため、作業環境圧力5ATA より8ATA の範囲においてヘリウム、窒素、酸素の混合ガスを吸入するものとし、その混合比を He: N₂: O₂=52.5: 40: 7.5%とした。

加圧減圧方法は、作業室の直上に設置されているマンロックまでエレベーターを使用して降り、マンロック内で加圧する。混合ガス呼吸を伴う呼吸器の脱装時点は、酸素7.5%の混合ガスを用いているため、酸素欠乏の危険および加圧時の耳抜きを考慮し、加圧時、減圧時とも4ATA (3 kg/cm²)とし、それ以下の圧力環境下では空気を呼吸することとした。減圧中の呼吸ガスとしては、2.5ATAより酸素を用いることが考えられる。酸素減圧は、減圧症の予防や減圧時間の短縮に利点がある。なお、現行の法律上は、医師の立ち合わない酸素減圧は認められていないため、実際のケーソン現場ではこのことへの配慮が必要である。

呼吸器を装着することによる作業能力の低下への影響は、3種混合ガスを吸入し、マスクAを装着した状態で、知能検査及びタッピング検査を行ったが、1ATAと6ATA環境下の比較では、とくに有為な差は認められなかった。しかし、吸入ガスに空気をを用いると6ATA環境下の作業が1ATA環境下作業よりも有意に作業能力が低下した。

まとめ

本研究により、従来では想定し得なかった8ATAまでのニューマチックケーソン工法が可能であるばかりか、作業効率、労作能力を損なうことなく、この範囲内の圧気作業を行う上での安全対策を十分に講ずることができよう。

実際にこのように高い圧気作業が出現した場合には、潜水で実施されている飽和潜水技法も存在するが、運用上高額になりすぎて、経済的でなく、ケーソン作業としては不適である。本研究で示された技法は、飽和潜水技法ではない、非飽和ヘリウム混合ガス潜水技法に類似したものといえる。この方法が採用されれば、将来の社会ニーズに基づき、さらに深いニューマチックケーソン工法が検討されても十分に対応することが可能であろうと示唆されるが、この場合には、呼吸器に関する機械的抵抗についての研究がさらに詳細に行われることが必要であろう。

文 献

石井喜八, 宮下充正監修, 1979: Laurence E. Morehouse, 運動生理学実験法, 有酸素的能力, 杏林書院, 東京, 227-238.

川村幸延, 小杉博孝, 伊崎田伸清, 1986: 無人掘削工法を用いたニューマチックケーソン工事. 土木施工, 27, 23-33.

前田弘, 川村幸延, 齊藤良太郎, 1986: 電力地中線土木工事で実施した無人化システムによるニューマチックケーソン工法. 土木学会論文集, 373, 12-20.

前原雅幸, 橋詰真, 田村幸史, 1988: 飽和潜水を採用した取水塔スクリーン取替工事の概要. 電力土木, 216: 1-10.

眞野喜洋, 芝山正治, 1987: 圧気土木作業場における作業環境からみた問題点. 産業医学, 29, 74-81.

眞野喜洋, 芝山正治, 1985: 気泡計測に基づく圧気作業の減圧管理と減圧症予防対策. 日災医誌, 33, 784-791.

眞野喜洋, 1987: 減圧症発症予防のためのアプローチ: 気泡計測法による減圧表(ブラックプール表)の評価. 日衛誌, 41, 926-937.

眞野喜洋, 1987: 減圧症発生要因としての気泡形成に及ぼす環境温の影響に関する研究. 日衛誌, 41, 938-944.

眞野喜洋, 芝山正治, 1987: スクーバ(SCUBA)潜水とスポーツ医学. 臨床スポーツ医学, 2, 369-374.

Mano, Y., Shibayama, M. and Maeda, H., 1982: Evaluation of different decompression schedules by an agarose gel bubble technique. Undersea Biomedical Research, 9, 45-57.

野見山一生, 大久保利晃, 野見山紘子, 1984: 長期観察による各種疲労検査法負荷前値の特徴の検討. 日衛誌, 39, 831-840.

小田章治, 1986: ニューマチックケーソン. 基礎工, 14, 68-75.

労働省労働衛生課編, 1986: 新版潜潜水士テキスト. 中央労働災害防止協会, 東京, 164-291.

労働省労働基準局衛生課監修, 1983: 高気圧作業安全衛生の手引. 建設業労働災害防止協会, 東京, 273-286.

芝山正治, 水野哲也, 古橋廣之進, 眞野喜洋, 1986: 潜水に伴う労作強度の検討. 日高圧医誌, 21, 139-145.

関邦博訳, 1982: 潜水学. マリン企画, 東京, (Berry P, Gavarry P, Hubert JP, et al. La Plongee et l'intervention Sousla Mer. ed Arthaud, 1977)

高橋茂樹, 眞野喜洋, 芝山正治, 石山明, 大串貫太郎,
柏倉章男, 前田博, 1983: 救護用呼吸具の研究—シールド内走行実験について—, 第56回日本産業衛生学会, 339.

Sykes, J.W., Hallenbeck, J.M. and Leitch, D.R.,
1986: Spinal cord decompression sickness: A Comparison of recompression therapies in an animal model, *Aviat. Space Environ. Med.*, 57, 561-568.

U.S. Navy, 1985: U.S. Navy Diving manual. Department of the Navy., Washington, D. C.,

Weathersby, P.K., Homer, L.D. and Flynn, E.T.,
1984: On the likelihood of decompression sickness, *J. Appl. Physiol.*, 57, 815-825.

矢野信太郎, 1978: シールド工法. 鹿島出版, 東京, 1-19.

(1989年 5 月20日受付)