

4) 永代橋下部工事の高圧室内作業時間設定要領

工事開始前に設定した作業気圧と作業時間はニューヨークの規定^{注-1)}より緩和した表 2-5 であったが、永代橋第 1 号ケーソン^{注-2)}以外は表 2-6 の体制^{注-1)}とした。

第 2 項 2) で紹介した原文「釘宮所長竝ニ森田技師長ト最初ニ於テ壓搾空気内労働時間ニ付キ協議」では加圧と減圧に要した時間の取り扱い

が明記されていない。しかしながら、「圧力 30psi を超える作業は「極少時間」と推測されたので、「これ以上は出入りの時間に由りて在函時間を短縮し、作業の進捗を妨げざるよう実行せられたり。」と記述していることから、

「加減圧時間+純掘削時間」を「在函時間」＝「壓搾空気内労働時間」と考えていたことが推測される。

注-1) この工事の施工は米国人技師の指導を受けたので、ニューヨーク州制定の高気圧作業法律を適用した。

注-2) 圧力 30psi クラスでも作業の都合から 8 時間労働を行わざるを得なかったことと、最初の高気圧作業で加減圧への不慣れやエアロックの不具合等で減圧症が多発した。休憩時間は守口氏他の論文（内科学会誌 17 巻 8 号を参考）

表 2-5 工事開始前の計画

作業気圧	作業時間	休憩時間
0～18psi	8 時間	1 時間
18～26psi	6 "	3 "
26～31psi	4 "	3 "
31～39psi	3 "	3 "

表 2-6 第 2 号潜函以降の体制

作業気圧	作業時間	休憩時間
0～22psi	8 時間	1 時間
22～30psi	6 "	3 "

5) 医務室、休養所設備及びそれらの使用状況等

健康診断は大学施設で行い（大正 13 年 11 月～翌年 4 月）、守口武次、酒井由夫と渡邊 晟の 3 名、看護婦 2 名と助手 1 名が昼夜交代で現場に設置した医務室に詰めた。休養所は移動可能な台船上 2 階建て木構造（平面寸法 5.85×17.25m）の部屋を設け、階下に「ホスピタルロック（病間）」（原文のまま）と更衣室を設置し、階上は職員、事務員控え室、給湯室、浴室、トイレや作業員休憩所とした。潜函夫（原文のまま）は時間前に来て更衣し、時間がくれば工夫長に先導されて入函する。交代して出函した潜函夫は最初に入浴し、次いで温かいコーヒーを飲みながら雑談休養 90 分の後に離場する。圧力 22psi を超えた場合の中間休憩 3 時間中の潜函夫はワラ布団を敷いて睡眠をとった。

6) 加減圧状況

加圧速度記載は論説から脱落している。減圧方法は階段式で図 2-3 に示す方法としていたが、永代橋・第 1 号ケーソンは米国人技師が急激減圧を頻々に行った（幸いにも圧力が低くて潜函病者がでなかった）ので耳痛をおこす者が続出した。さらに、2 基あるエアロックのうち 1 基はエアロック下ドアの閉鎖が不全で減圧の初めに下ドアがエアロック内側フランジに密着しないため、規定の方式による減圧が行われず多数の潜函病者がでた。

7) 潜函従業員に対する注意

- ① 潜函夫は 2 ヶ月毎また新潜函夫は前半後に医員の診察を受けること。
- ② 2 日以上欠勤者及び病氣全快後の者は入函前に受診すること。
- ③ 休養所ならびに潜函内において飲酒しないこと。
- ④ 潜函内にて喫煙しないこと。
- ⑤ 入函前の注意

⑤—1 入函前に必ず排便しておくこと。

⑤—2 下記に示す徴候のある者は医員に申し出ること。

- * 風邪気味、* 胃腸の調子が不調、* 疲労感、* 興奮時、* 過飲、宿酔あるとき、
- * 咳嗽（がいそう）、鼻汁、咽頭痛、* 身体の違和感

⑥ 潜函内における心得

⑥—1 尿は備え付けの便器を用い、用便後は必ず閉栓。排尿は出函後に行うこと。

⑥—2 潜函内での違和感は直ちに監督に申し出ること。

⑦ 出函時の心得

⑦—1 エアロック内での減圧中止持（減圧停止時？）に軽く身体各部の運動を行い、深呼吸をすること。

⑦—2 出函後は休養所に直行し、入浴と身体摩擦励行。

⑦—3 入浴後は温かいコーヒーを飲み、1時間半以上休養し、3時間経過後から遠出可能。

8) 日常の注意

- ① 何事も過度を慎むこと。
- ② なるべく飲酒を慎み、特に入函前8時間は決して飲酒しないこと。
- ③ 脂肪の多いものを食さないこと。
- ④ 空腹または満腹で入函しないこと。
- ⑤ 便通を整えること。
- ⑥ 7時間以上の睡眠をとること。
- ⑦ 入函前は労働しないこと。

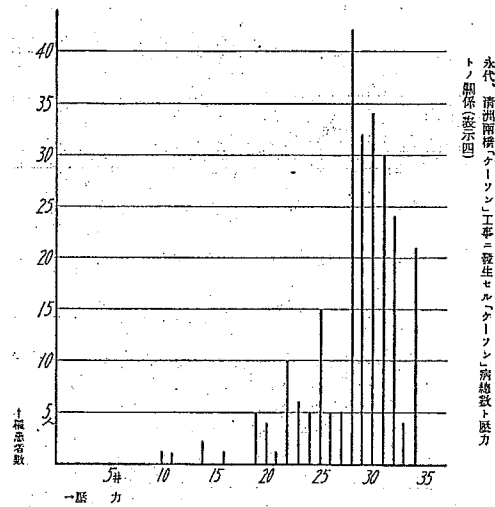


図 2-4 永代、清洲両工事の減圧症発症数

9) 減圧症発症統計

図 2-4 に示す。

10) - 1 守口論文

表 2-7 は守口論文 2 に紹介された永代、清洲両工事における減圧症発症件数と作業圧力との関係を整理した表である。また、図 2-4 はそれらをグラフ化した図である。圧力 14.7psi(0.1MPa)以下の高気圧作業でも減圧症が僅かに発症している。

表 2-7 永代、清洲両工事における減圧症発症件数と作業圧力との関係

項目	壓力 (MPa)																			
	10	11	14	16	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Bends																				
永代橋	1		2		4	3		4	5	4	14		3	26	5	25	11			
清洲橋					1		1	5				5	2	12	24	7	17	23	4	21
總 数	1		2		5	3	1	9	5	4	14	5	5	38	29	32	28	23	4	21
Bends 以外ノ「ケーソン」病																				
永代橋		1				1		1		1	1				2	1	2			
清洲橋					1				1						2	2		2	1	
總 数		1			1		1	1	1	1	1				4	3	2	2	1	

11) -2 永代橋などの減圧症発症データ

表 2-8 は永代橋工事以降の3～4年で実施されたニューマチックケーソン工事における減圧症発症記録である。

表 2-8 1925～1930年のニューマチックケーソン工事における減圧症発症記録

第 1 表 潜函 病 罹 病 数

管内 気 圧 井/口	1-15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	不 明
橋 梁 名																												
永 代 橋 隅 田 川	4			4	4	5	5	5	15			3	28	6	27	11												
清 洲 橋 "	4	1		1	1	5	6				5	2	14	26	7	19	24	4	31									
吾 妻 橋 "								1	3		5	4	16	6	8			13										
十 三 橋 新 湊 川					2						5	1	6	5	8	19	32	5	17	9	6							2
揖 斐 長 良 橋									1		11		1	1	12													
木 曾 川 鐵 道 橋			1							1	7	1	7	2	5	1	2											
	3 替 代							4 替 代							6 替 代				8 替 代									

出典：我国に於ける圧搾空気作業・正子重三・土木学会誌・Vol. 20, No. 12(昭和9年12月)

(3) その他：潜函作業員が携帯した ID カード

減圧を終えて宿舎に帰る途中などで減圧症が発症して路傍に倒れ、病院に運ばれることも想定して作業所の監督員は作業員それぞれに図 2-5 に示す身分証明書（今でいう ID カード）を携帯させた。1979年に日本のゼネコンが香港地下鉄工事を施工した際も中国人・高圧室内作業員に同様の ID カード（英語と中国語併記）を携帯させたことがあった。図 2-6 にそのコピーを示す。

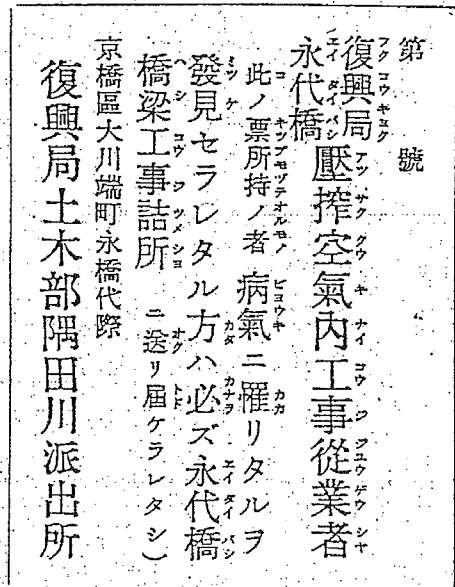


図 2-5 永代橋工事(1925)の身分証明書
出典：永代橋基礎工事概要・釘宮 磐・森田三郎
土木学会誌、Vol.13, No.5 (昭和2年10月)

Figure 1 Identity card and emergency card (the face and back). Workers must carry their identity and emergency cards at all times.

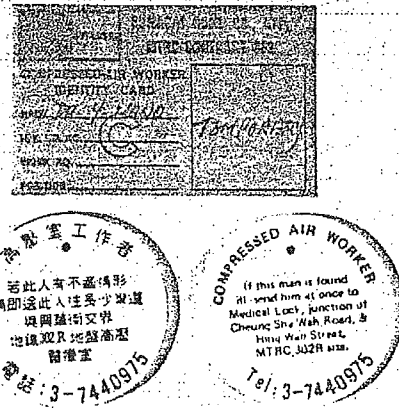


図 2-6 香港地下鉄工場の ID カードの表と裏
出典：Decompression sickness using the Blackpool Table during Hong Kong subway construction, Y. Mano et al. Proceedings of the sixth Meeting of the UJNR Panel on Diving Physiology and Technology, Oct. 1981, pp139

2-1-6 十三橋潜函工事

- 出典：十三橋潜函工事報告書・昭5・8月、
大阪府十工営所（非売：日光写真）
- * 施工期間：昭和5年3月～同年6月・
1930年3月～同年6月
 - * 潜函基数：6基
 - * 最高作業圧力：43psi (≒0.293MPa)
 - * 加減圧要領：図2-7参照

注) 圧力25psiからの減圧要領は永代橋工事の減圧要領に似ている。25psiからの減圧を経過時間30分目から実施するとすれば、大気圧帰還までの所要時間は47分-30=27分となり、この数字が永代橋工事の減圧プロフィールの横軸の値に似ている。

* 労働時間と休憩時間：表2-10&2-11参照

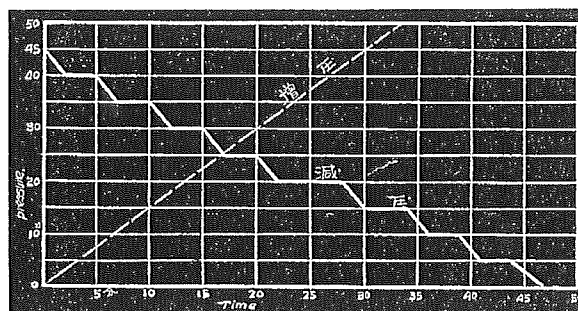


図2-7 十三橋潜函工事の標準加減圧要領

出典：十三橋潜函工事報告書・昭5・8月、
大阪府十工営所

表2-9 計画時の労働時間と休憩時間

圧力範囲 (psi)	就業時間
0～20psi	就業8時間
20～28psi	6
28～32psi	4
32～39psi	3
39～44psi	2

表2-10 実施時の労働時間と休憩時間

気圧	休憩時間	就業時間	賃金
2～21.5psi	30分	7時間30分	1.0人
2～26.5psi	40分	7時間15分	1.1
27～40psi	60分	7時間0分	1.2

注) この勤務体制は作業員の調達面から採用した。

2-1-7 高徳線吉野川橋梁基礎潜函工事

出典：高徳線吉野川橋梁基礎潜函工事並びに構桁架設工事誌
(鉄道省岡山建設事務所・昭和10年8月)

- * 潜函工事（橋台基礎2基、橋脚基礎13基）の実施は
昭和7年11月～昭和8年5月
- * 最高作業気圧：徳島方から3基目のNo.11橋脚基礎45psi
- * 加減圧表は添付されていない。

表2-11 吉野川・作業気圧と作業時間

作業気圧区分	作業時間
20psiまでは	実働7時間
25	6
30	5
33	4
36	3
39	2

工事誌より引用：

『 実働時間6時間とは3交代なる故8時間の内を最初に1時間休み、3時間働き、途中1時間休憩した後3時間働くというようにしたが、他の場合も同様に休憩を延長するのみで交代は変更しなかった。

本工事の潜函夫は皆経験者であったからこの規定以上に少し位長く働いても肉体的には別に疲労を増すようには見受けなかった。しかし監督は容易でなかった。気圧が高くなると空気閘の出入りに長時間を要し作業時間が短くなり工率が低下するわけである。示方書による函内労働時間も比較的気圧の低い間は遵守されるが、気圧が高くなると作業時間が短くなる故、乱しがちになる。とくに第11号橋脚潜函の如く気圧が高くなると函内で作業する実働時間が殆どなくなるのだから無理もないと思う。潜函病の発生するのは26psi以上の気圧で、それ以下には殆どないようである。今までの工事においても26psi以上になって発生して居る者が多いようである。

本工事の潜函夫の潜函病罹病者数22名であるが、何れも皆26psi以上で罹って居る。また、第11号橋脚潜函の地盤耐圧試験に入函した者は6名全部罹病したがこの時の滞留時間は6時間30分であった。潜函病罹病者は療養気閘の中で療養するのであるが、最大24時間で完全に治癒した。』

注) 26psi≒0.177MPa

2-1-8 関西火力発電所揚炭機基礎（昭和8年：1934年）の再圧治療例

7月30日に作業圧力26psi（0.17MPa）で発症した潜函工（33才）の減圧症再圧治療図を図2-8に示す。減圧は漸降式を採用していた。この工事は最高気圧38psiであったが、この発症以外9件は30psiを超えた段階で発症（潜函工総数不明）している。報告書執筆者・鈴木美英氏（本邦初の潜函工事請負会社・東京潜函基礎工業社・創業者）は永代橋工事をを担当した技術者であったので、永代橋工事の減圧症治療もこの要領で実施されたと推測する。

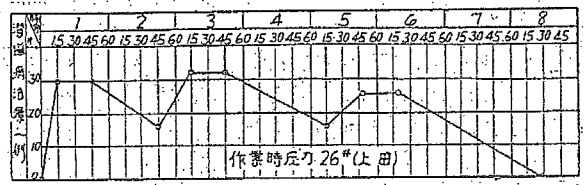


図2-8 昭和8年の再圧記録
出典：土木学会誌昭和9年7月11ページ

2-1-9 丹那トンネル（1927年：最高圧力23psi=23/14.7≒1.56kgf/cm²）

出典：丹那隧道工事誌（鉄道省熱海建設事務所編纂・昭和11年11月 土木学会）

(1) 工事概要：報告書凡例欄には単位フィート（ft.）ポンド（p.）を主として用いたことを断っている。大正7（1918）年着工の東海道本線・丹那トンネル（複線断面、延長25,603ft.：約7.7km）は昭和9年に完成した。本報文は、その工事途中において実施された圧気掘削（1927～1928年）での減圧要領を中心に紹介する。なお、当工事事務所所長として故・平山復次郎氏^註が昭和6年に赴任していた。

注）平山復次郎：戦後、満州から引き上げて白石基礎工事㈱に在籍し、パシフィックコンサルタント㈱社長、土木学会会長、日本技術士会会長を歴任した。白石基礎工事㈱（現・㈱白石）創業者：故・白石多士良氏と小学校、中学校、高等学校から大学まで同級生で、著書の一部、「地底に基礎を掘る—日本におけるニューマチックケーソン工法の歴史—」は白石氏への追悼文でもあった。

大正15年11月に熱海坑口のシールド（盾構）工事（径）で温泉余土を圧気掘削で行っており、圧気工事設備設計はニューヨーク市交通協会（New York Transit Commission）の示方書を参考にしていた。例えば、ホスピタルロック（φ7ft.、長さ24ft.、其中主室長さ15ft.、ベッド5床）の設計は供用最高圧45psi、試験60psi、設計75psiであった。

前年には、西口坑門より7008呎（ft. 約2100m、1ft.≒0.3m）地点の底設導坑（西側から東側に掘進）で集塊岩の爆破と同時に大湧水が発生（大正14年5月8日：1925年）していた。その後の調査結果により、切羽より前方に含水砂層が存在することが判明したので、この湧水帯を突破するために圧気掘削工法を用いた水抜き導坑掘進工法（本線の両側北側先行、南側後続に平行した導坑）を選択した。その設備を西坑口に移設して施工した。予想作業気圧は45psiとしていたが、23psi程度に収まった。導坑断面形状は馬蹄形で、エアロック正面の断面は幅16ft.

（約4.8m）、高さ15ft.（約4.5m）、延長23ft.（約6.9m）であった。坑口方から見たエアロック正面に向かって右側にマンロック（幅2呎≒0.6m、高さ約5ft.10インチ≒1.75m、通常の2枚扉と異なり、万に備えて3枚扉とし切羽側を常時開放した）を設け、左側にマテリアルロック（幅4ft.2インチ≒1.25m、高さ約4ft.6インチ≒1.35m）を設けた。後続施工となった南側エアロックは本線施工基面に置き水抜き坑より上方に設けたので、排気の便がよかった。

表2-12 丹那トンネル工事の高気圧作業

作業気圧	高圧下滞在	労働者時間構成
20psiまで	7時間	3.5h+休憩1.0h+3.5h= 8時間
26psiまで	6時間	3.0h+休憩1.5h+3.0h=7.5時間
30psiまで	5時間	以下の圧力での作業体制記述なし
33psiまで	4時間	
36psiまで	3時間	
39psiまで	2時間	

(2) 作業時間、減圧要領と減圧症発症率

最高作業圧力は 23psi ($23/14.7 \approx 1.56 \text{kgf/cm}^2 \approx 0.16 \text{MPa}$) であった。工事誌には表 2-12 に要約される作業時間と図 2-9 に示すような作業気圧 45psi までの加圧時間と減圧表グラフが記載されている。減圧要領は階段方式減圧法であったことが窺える。減圧症治療用に永代橋工事の経験がある東京帝国大学附属病院・眞鍋内科の 3 名を嘱託として招聘した。延べ作業人員 12,696 人に対して罹病者は 9 人で、発症率は 0.07%、症状はいずれも軽微であった。

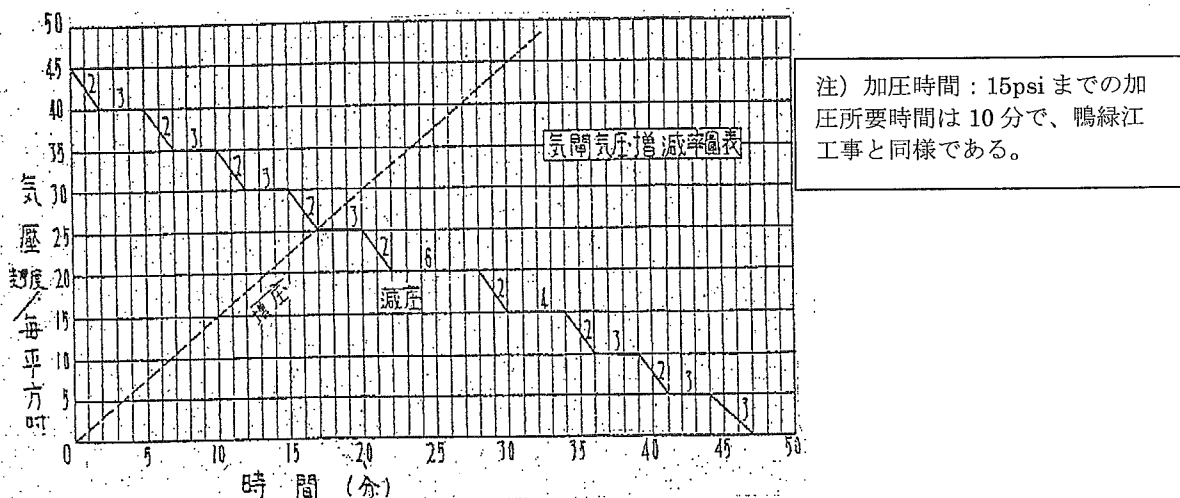


図 2-9 丹那トンネル工事の加減圧要領

2-1-10 法制定前に設立されたニューマチックケーソン施工会社の減圧要領

官庁の直営工事から高気圧作業の減圧管理も民間の建設会社に委ねられてきた。

1930 年（昭和 5 年）創業の東京潜函基礎工業社が採用していた減圧要領記載資料は未収集であるが、再圧要領の一端（2-1-6 紹介済み）は、圧力 30psi^{注)} までの加圧時間 15 分、直線漸降式の減圧を紹介していた。会社の創業者が永代橋工事を担当した技術者であったので、通常業務における減圧要領は同工事の減圧表転用であったと推測する。

注) psi (ポンド/inch²) : $14.7 \text{psi} \approx 0.1 \text{MPa}$ 、14.7 は海水圧相当値 $\cdot 14.22 \times 1.03 \approx 14.7$

米国海軍は気圧換算として 1.0 気圧 $\approx 14.7 \text{psi}$ に統一している。この換算値が使われている。

1933 年（昭和 8 年）創業の白石基礎工業合資会社は創業開始直後の工事報告書を残存していなかった。昭和 12 年代初期の東京渋谷・玉電ビル、東京放送会館、第一生命ビルなどの工事報告書は残存していたが、減圧要領などの記載はなかった。また、「45 年誌」白石基礎工事[※]（昭和 53 年）]記載の当時の回顧記録でも創業開始直後の減圧要領に言及していなかった。創業開始時の一部社員は永代橋工事やその後の一連の官庁直轄ニューマチックケーソン工事に従事していたので、そこで修得した減圧要領等を適用したものと推測する。

2-1 のまとめ

- ①高気圧作業は 1 日 2 回の交替勤務（スプリットシフト）体制であった。
- ②減圧要領：永代橋以前は漸降方式でそれ以降は米国・ニューヨーク州の階段方式であった。
- ③減圧症は作業気圧 14.7psi(0.1MPa)以下でも発症していた。

2-2 最初の高気圧作業関連の法規制施行（1937年・昭和12年）

2-2-1 まえがき

1902年に始まった横浜税関岸壁工事での移動式潜水函は、日本国内における本格的な圧気工事であった。日本人技術者が初めて担当したニューマチックケーソン工事は中国大陸における鴨緑江橋梁下部工事（1909年）であり、国内では東京隅田川・永代橋下部工事であった。この工法の国内普及と専門工事会社の活躍にしたがい高気圧作業の法制定施行が1937年（昭和12年）になされた。本説は、わが国最初の高気圧作業関連法とその施行後の減圧に伴う減圧症発症状況を公開された工事報告書のデータから抜粋して紹介している。

2-2-2 我が国で最初に制定施行（1937年11月）された圧気工事関連の法律

内務省令 第41号・土木建築場安全及衛生規則・昭和12年（1937年）9月30日発令

この省令の第3条～第28条は各条毎に地山掘削災害防止、落盤防止等を規制し、第29条のみが高気圧作業要領を以下のように規制していた。減圧要領は「徐々に行うこと」の一行で制定され、文章の解釈から「漸降方式」であったことがうかがえる。

条項の一部には、継続事業を対象に事業終了までの法規制適用除外特例措置が設けられたが、第29条は特例対象外であった。また、1回の作業時間設定と1日につき2回の作業を容認したものの作業間に設ける休憩時間（高気圧作業ではガス圧減少時間）についての規定はなく、施工者判断に委ねられた。この時間短縮を図ることは、施工者ノウハウに依存することと減圧症発症要因を秘めることになった。

注）原文が縦書きの漢字カタカナ混じり文語調で記述されているので、下に紹介する条文では国語調に改めるとともに横書きにしたので、「左記」という表現などを「下記」と改めた。

第29条 事業主は高気圧（「ゲージ」圧力1 kg/cm²以上）内の作業に関しては下記各号の規定を遵守すること。

1. 医師の診断により作業に適せずと認められた者を従事させないこと。
2. 労働者を1日につき2回を越えて作業させないこと。
3. 労働者の出入りのためにする気閘内の加圧及び減圧は徐々に行うこと。
4. 1回の作業時間（前号の加圧及び減圧の時間を除く）及び前号の減圧時間は下記によること。

5. 労働者1人につき1時間40m³以上の割合で新鮮な空気を送ること。

6. 気閘扉の開閉のため十分な経験を経験を有する気閘係をおくこと。

7. 再圧治療函を設けその取り扱いに十分な知識を有する係員をおくこと。

8. 高気圧内の作業に因る疾病の治療にあたらせるため適当な医師に囑託して置くこと。

9. 「ゲージ」圧力3.0 kg/cm²以上の時は十分な経験を経験を有する医師を置き、その指揮監督のもとに作業を行わせること。

ゲージ圧力	1回の作業時間	減圧の時間
1.6 kg/cm ² 以下	3時間40分以内	15分以上
2.2 kg/cm ² 以下	3時間00分以内	20分以上
2.6 kg/cm ² 以下	2時間0分以内	30分以上
3.0 kg/cm ² 以下	1時間00分以内	45分以上
上記を超えた場合	45分以内	1時間以上

2-2-3 法制定後の減圧の実際：関門隧道（1938年）の漸降式減圧要領

(1) 工事概要

関門隧道は門司と下関を連結する海底鉄道トンネル（上り線延長 3604.63m、下り線延長 3614.04m）で、昭和 11 年 9 月着工、下り線が同・17 年 6 月 11 日運転開始、上り線が同・19 年 9 月 9 日に運転を開始した。この工事では、山岳トンネル工法区間、シールド工法区間、トンネル潜函区間などで圧気工法（1938 年施工）が採用された。この節は、当該工事の工事誌^{註)} から減圧要領関連の報告を要約抽出して当時の状況を紹介する。

注) 出典：関門隧道・昭和 24 年 6 月、運輸省下関施設部

永代橋基礎潜函工事所長を担当し、土木学会誌論説報告「永代橋基礎工事概要」（昭和 2 年 10 月）の共著者・釘宮 磐氏は関門隧道工事事務所初代所長（昭和 16 年退陣）として当該工事を監督した。関門隧道工事誌編纂委員には同氏の他に石田富雄氏も名を連ねていた。戦後、白石基礎工事^附[現・^附白石]に在籍した両氏が出典文献を同社に寄贈し、それが今回の眞野らの調査に提供された。

(2) 門司方立坑潜函工事（昭和 13 年 1 月～13 年 12 月：1938 年）の減圧要領

1) 工事概要： 門司方の土被り厚さ小のトンネル潜函区間とシールドトンネル区間の境界に平面形状が矩形で平面寸法 11.0×12.0m、躯体長 23.88m のニューマチックケーソンが地表面下 26.0m まで最高作業気圧 35psi（約 0.246MPa）で沈設された。

2) 減圧症発症状況と減圧要領

工事誌 269 ページ：掘削は 11 名を 1 組とし、1 日 3 交代とした。当初は全然潜函病の発生をみなかったが、函内気圧 28psi（0.19MPa）に至ってようやく発生するようになった。函内気圧が大となれば、連続作業をするためには 4 交代制以上にせねばならぬが、労務員不足のため最後まで 3 交代制を余儀なくされ、したがって作業に切間ができるのは止むをえなかった。なお、作業後 1 時間は休憩所で休養させた。潜函出入りの圧力の加減は、大体、丹那隧道の例^{註)}にならひ、加圧は 1.5psi/min、減圧は 1.0psi/min の直線変化を採用した。

注) 突発湧水に遭遇し、圧気掘削で掘進を再開した。前章参照。

工事誌 273 ページ：工事中潜函病の発生したのは大体 28psi 以上の気圧で、それ以下では発生をみなかった。症状も四肢関節の疼痛のみで、その他の障害者は 1 人もいなかった。潜函病罹病者数は計 27 名で腕関節 14 回、膝関節 31 回計 45 回であった。そのうち 1 回の罹病者 14 名、2 回 10 名、3 回 2 名、5 回 1 名であった。

(3) 門司方トンネル潜函工事（昭和 15 年 6 月～17 年 2 月）

図 2-10 のような 7 基のニューマチックケーソンを路線方向に沈設（神戸起点より 512k100m 付近の約 200m 区間）し、ケーソンを相互連結した後、隣り合ったケーソン間の側壁（木製土留め）を外してトンネルをつくった。加減圧要領や減圧症発症件数及び再圧要領についてこの工

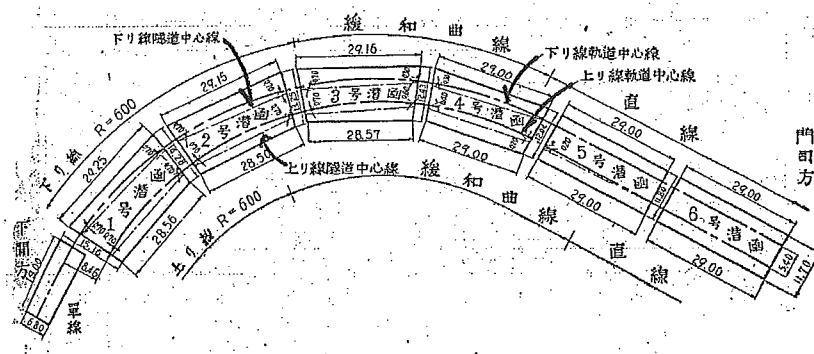


図 2-10 門司方トンネル・潜函工事のニューマチックケーソン配置図

出典：関門隧道・293 ページ・昭和 24 年 6 月、運輸省下関施設部

事報告では節を設けていない。減圧症発症件数は工事誌巻末にシールド工法の高気圧作業と一緒にまとめて報告しているの、本報ではこれを別章で紹介する。加減圧や再圧要領は(4)シールド工法区間で紹介している要領と同じと推測する。

(4) シールド工法区間：工事誌・第四編 下り線隧道、331～428 ページ

1) 工事概要

施工区間は神戸起点 511k870m から延長 725m (平面曲線の最小半径は 600m) で、施工時期は昭和 14 年 6 月～16 年 4 月に及んだ。トンネルの縦断勾配が 20/1000 のため、作業気圧は掘進開始時が 18psi で、湧水量が多くなった貫通間際には 37psi (約 0.25MPa) となった。円断面シールドセグメントは鋳鉄製 (厚さ 22cm) と鉄筋コンクリート製 (厚さ 35cm) の外径 7.0m、円周 12 分割で、1 リング長 0.8m であった。ボルト止水パッキングは野洲麻を使用していた。掘削は先行した頂部の切広げに続き、頂部直下の掘削とその両側掘削と順次円形断面の下方に向った。最高作業気圧 37psi 時を示すと、海面とトンネル中心 (円形セグメント中心) より上方 1.95m 位置の距離を水柱と考え、その値を圧力に換算すると円形断面下部掘削時の湧水も少ないこともあった。作業気圧はこのような状態を維持しながら適宜調整した。なお、エアロックはマテリアル (材料) ロック、マンロック、非常用マンロックの 3 基を備えていた。

2) 高気圧作業時間

圧気工事を対象にした最大作業時間は、施工時点前の昭和 12 年 (1937) 9 月 30 日に内務省令として規定されていたので、当該工事における労働時間はこれにしたがうとともに、鉄道省において手当て支給上制定した時間も参考にして下の表 2-13 のように設定した。現場で採用した圧力と時間の関係は、減圧症発症が圧力 26psi (0.18MPa) を超えると急増することに配慮したと説明している。なお、勤務時間は 1 日の合計で、休憩をはさんで 2 回に分けて作業に従事させた。マンロックの規模は 40 人収容可の φ 1.78m、長さ 7.8m であった。

表 2-13 関門トンネルの作業気圧と作業時間

内務省規定最大勤務時間		鉄道省手当て支給上規定時間		当現場採用勤務時間	
気圧 (psi)	勤務時間	気圧 (psi)	勤務時間	気圧 (psi)	勤務時間
0～23	7	0～20	7	0～22.5	7
23～31	6	20～26	6	22.5～26.5	6
		26～30	5	26.5～31.5	5
31～37	4	30～33	4	31.5～34.5	4
		33～36	3	34.5～37.5	3
37～42	2	36～39	2	37.5～40.5	2
		39～42	1.5	40.5～42.5	1.5
42～45	1.5	42～45	1	42.5～45.0	1

3) 加圧速度

加圧は急激に行ってもまず差し支えないが、35 人程度が一時に加圧するので風邪気味で体調を崩している者へ配慮して 3 psi/分とした。なお、滞在圧力が 2.65psi を超える場合は加圧時間の途中で加圧停止 15 分程度の時間を設けた。設けた理由は「2 基のエアロック使用面から採用^{注)}した。」と報告しているのみである。減圧時も同規模の停止時間を同じ理由で設けている。注) 設置したマンロックは 1 基で、その設計は、円形断面両側に腰掛け (1 人当たり 0.35m の延長) を設け、中央部を通路としていた。以下は筆者の推測である。

腰掛けの長さ 1 人当たり 0.35m は窮屈である。それで非常用マンロックも常用したものの、配置された加減圧要員 (本来の使用目的外使用のため増員なし) は 2 基の加減圧操作を行うことになった。全員 (35 名) がそろって作業開始をするための調整時間が要求された。減圧理論にしたがった方式ではない。

4) 減圧速度、減圧方式と時間

減圧速度と減圧方法は、高圧下滞在気圧が 26.5psi 未満の場合、1.33psi/分の漸降方式であった。なお、この範囲で 10~20psi/分程度の急激減圧を行っても減圧症は発症しなかった。

参考①：圧力 26.5psi (≒0.18MPa) 滞在 3 時間 (例えば午前の第 1 回目作業) では、 $26.5/1.33 \approx 20$ 分となる。

②：現在の高圧則別表第 1 では、第 1 減圧停止圧 0.06MPa で 5 分停止
第 2 減圧停止圧 0.03MPa で 20 分停止

高圧下滞在気圧が 26psi 以上では、1 psi/分の漸降方式であった。

参考①：圧力 37.5psi (≒0.26MPa) 滞在 3 時間では約 38 分の減圧時間となる。

②：現在の高圧則別表第 1 では、第 1 減圧停止圧 0.09MPa で 6 分停止
第 2 減圧停止圧 0.06MPa で 35 分停止
第 3 減圧停止圧 0.03MPa で 50 分停止

5) 減圧方式

減圧時の減圧停止は高圧下滞在気圧が 26.5psi を超えた段階で採用していたが、2 基のエアロック使用面から採用したと報告している。

参考：当時の市販図書に見る減圧要領

昭和 11 年 9 月発刊 (1936 年)「土木工学ポケットブック：山海堂」1190 ページに 131。

予防法

(減圧症の) の節が設けられており平等減圧法 (漸降式) と梯形減圧法 (段階式) があることが紹介されている。梯形減圧法の例が紹介されているが、時間軸の数字が記入されていない。また、132.作業夫衛生、133.潜函内作業時間 (永代橋工事の表と同じ)、134.治療法の節がある。しかしながら再圧表の記載はない。特筆すべきことは、「水面下 35m 以上は人体として入函不可能に属する。」の記述があり、当時の圧気作業への一般的な認識状況が覗える。

6) 減圧症発症状況

当該工区の減圧症発症件数の記載はない。本報文では関門トンネル工事全体の発症件数等を別項 (7) で紹介する。

(5) ホスピタルロック

ホスピタルロックは 1 基当たり、2 室構造、直径 2.26m、長さ 7.32m で、それを 2 基設置した。

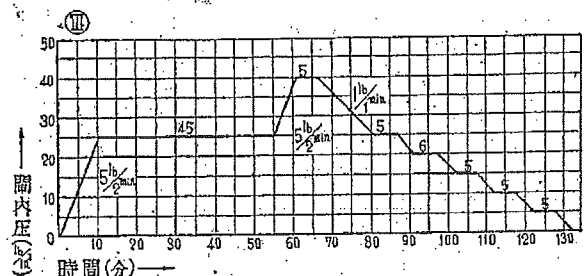
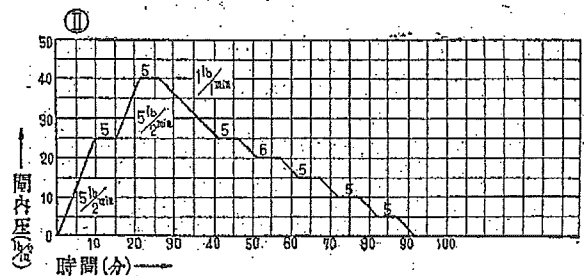
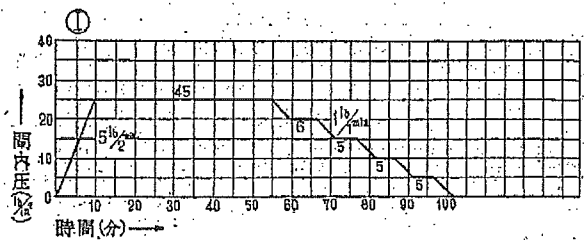
(6) 再圧要領

再圧治療は図 2-10 (工事誌 609 ページ参照) のような 5psi 刻みの階段方式減圧を採用していた。再圧時の加圧速度は 5 psi/2 分であった。

再圧・I：坑内圧まで再圧し、一定時間を保持した後に徐々に減圧する方法で、途中で減圧停止圧力を設け、一定時間滞在して次の減圧停止圧力まで徐々に減圧する。これらの繰り返して大気圧まで帰還する。

再圧・II：坑内圧より 10~15psi 程度高い圧力まで再圧して、再圧・I と同じ手順で大気圧まで帰還する。

再圧・III：再圧・I と再圧・II の混合方法。



(註 5 1/2 psi/2 分間 = 5 1/2 psi 揚圧スルコトアル)

図 2-11 関門トンネル工事の再圧法

出典：関門トンネル・608 頁：運輸省下関地方施設部 1949

(7) 関門トンネル工事全体の減圧症発症状況

原本には減圧症発症データが報告されているが、圧気作業従事者数は記載されていない^(注)。

注) 工事誌の「序」で「終戦当時の混雑に、作業人員の関係書類を一部紛失して、この部門の正確な統計を纏め得なかったのは遺憾であった。」と断っている事項に該当すると推測する。

減圧症は出閘後1時間以内に発症するとの認識で、1時間の居残り後帰宅させる管理を行った。圧気作業期間の1939年6月～1944年3月の58ヶ月間で総計1359人が罹患した。30分以内で67%、1時間以内13%であった。

また、工事中の一期間に限って減圧症発症状況を調査したことが報告されているが、そこでも圧気作業従事者数が記載されていない。発症傾向として、圧力26psiを超える作業に従事した後の発症頻度が急増したことを報告している。表2-14は工事誌609ページ記載の潜函病発生と内圧との関係を示した表の転載である。

表 2-14 作業圧力と減圧症発症数

調査期間	昭和14年6月	16.2
坑内圧 psi	～16.1	～17.5
10～14	0人	1人
15～20	11	8
21～25	22	
26～30	31	20
31～35	27	112
36以上	178	41
計	369	182

参考：出典明記外・25psi≒0.176MPa
35psi≒0.238MPa

2-2-4 土木技術者が 1941 年に認識していた減圧症

出典：潜函病について・山崎匡輔（東京帝国大学教授・工学博士）、
土木学会誌、Vol.37、No.5（昭和 16 年 5 月）

この文献の著者は 1928 年に減圧症を認識していたが、メモ紛失と再発見で 1941 年に知見を発表した。このことは、本邦高気圧作業が実施されて以降、このような解説が土木学会でも行われてこなかったことを意味する。

彙

報

第 37 卷 第 5 号

昭和 16 年 5 月

土木学会誌

第 37 卷 第 5 号 昭和 16 年 5 月

潜 函 病 に 就 て

正會員 工学博士 山 崎 匡 輔*

はしがき 1928 年の夏、私は歐洲からの歸路、再びニューヨーク市を訪れ、フルトン・ストリートに於てイースト・リヴァー河底隧道工事の現場を見學することを得た。

當時、その隧道内の気壓は 18 ポンド程度のものであつたが、其の見學に先立つて所負人の事務所請のライオン博士の診察を受けた。其の診察は私の身體の全部を丸裸にして仔細に點檢し、勿論腕にゴム帶を捲き付けて翌の如く血壓を測べたりした。その診察が了つてからライオン博士は親しみ深い物腰で日本に於ける同種の工事の模様を訊ねたりしながら同氏著のパンフレットを贈られた。私は歸りの船の中で、それを讀みながら心覺えに日本語でノートに書きつけて置いたのである。最近私は氣壓 87 ポンドの中に進入する機会を得て、その書物の中の記事に就て翻々傾かされる節が多いことを思つたので、書物中を探したのであるがどうしても其のパンフレットを見付出来なかつた。それは餘り薄い書物であつたからかも知れない。

ところが、例の私の書いた心覺えの日本語が出て来たのである。それを一應整理して其の道の參考に資したいと思つて書き直したものがこれである。凡此の際原文と對照出来ないことを遺憾に思ふのであるが其のまゝに掲げることにした。

1. 概説 一般普通の病氣を化學的合成物に譬へるならば、茲に説明する潜函病なるものは、物理的合成物とでも云ふべきものである。併し、甚しいものになると、神經筋の纖維組織の有機的變化をも見るのである。凡そ人體中の血液も、水と同様に壓力が加はれば、それだけ多量の空氣を其の中に溶解する。同時に血壓も外氣壓が高まれば、それだけ高まるものである。

人が低氣壓空氣の中に進入すれば、直に脈搏の數や、その強さが増すことに先づ氣が付く。併し、それも暫くすると常態に戻るものである。若し高氣壓に對して血壓が上昇しないとすれば、血管の一部は押潰される傾向が生ずる様になる。假令血管が或る程度押潰されたとしても、事實血液の循環には何等の支障がないのである。此の事は凡そ毎平方吋當り 42 ポンドの氣壓の下に於て、脈搏の數も、其の性質も、亦その強さも、其の氣壓の中に進入つて少時すると常時と變りがないと云ふ實驗的事實があるので、循環系統は周圍の氣壓に順應し得る性能を持つて居る事が證明されてゐる。

夫れ故に潜函病に關する問題は血液内に溶解した空氣と、増高された血壓との二つに歸着する。

前にも述べた様に、吾々が低氣壓空氣の中に進入し、少時すると脈搏の數も強さも常態に復し、その後は何の異狀も感ずることがなく普通の通り働くことが出来るのである。

若し高氣壓から常氣壓迄氣壓を低下させる際に充分に徐々に之れを行ふならば、血液中に過分に溶解してゐた空氣も徐々に肺を通じて體外に擲出され、高氣壓に順應した循環系統も、再び徐々に低下しつつある氣壓に順應しながら遂に常氣壓下の常態に戻ることになる。一言にして云へば、高氣壓から充分徐々に常氣壓に戻すならば、何も病的徵候を貽さないですむのである。

故に潜函病の原因は全く急激に高氣壓から常氣壓に戻すにある。ところが實際問題としては、漸く其の日の勞働が終つて歸途に就かうとする者は誰しも心拍的に寸秒を併ひ勝ちてあり、若し又何事か事故でも發生したとなると、一刻も早く其の場を見れば急激に氣壓を降げることは極めて起り勝ちなことである。

それでは若し急激に氣壓を降げたら、そこに居る人の身體にどんな影響を與へるか云ふと、先づ血管が膨脹する。此の事の原因は二つある。第一に血流内の空氣が溶解状態から氣泡状態となるために血管が膨脹する、第二

* 東京帝國大學教授

に循環系統が氣壓の變化に順應し得る速度より氣壓の降下速度が急速であれば、急降した體外の氣壓に對して血管内の血圧が高いことであるから其の結果からも血管は膨脹する。

血管は神経系統と非常に近接して居るから、血管が膨脹すると、血管は神経組織に壓迫を與へる。それは腦髓に於ても、又脊髓に於てもそうであつて、頸部や腰部の神経の肥大して居る部分では血管の位置が動搖することさへある。其の結果は病的症狀を惹起することになる。その軽い場合には痛みを伴ひ、神經炎の様な氣持を與へるし、重い場合には中風、麻痺状態に陥る。若し又血管が上昇した血圧に耐へ得ない程弱くなつてみれば、このために血管は破れて神経内に出血することもある。

大脳に及ぼす影響は、殆ど全く内耳の機械的變動によるものである。誰でも一度でも壓搾空氣の中に這入つたことのある者は、先づ其の最初の經驗として耳膜が緊き脹られることを感ずる。若し又逆に壓搾空氣の中に居る人が比較的急激に其の氣壓を降げて外に出て來ると、空氣が耳の内部のユースターキー氏管のどこかの屈曲部に残つて居て、それが急激に一塊となつて消え失せると、頭が何かで捲付けられた様な感覺がして眩暈を起すことが時々ある。此の種類の潛函病を「酔」と稱して酒による酔と同じ様な假候を呈するのである。

腦に及ぼす影響の中で、前に述べたものより一層ひどいものは、腦の血管の膨脹である。こうなると静脈も動脈も機械的變動(大きさ、位置の變化の意味)を惹起し、空氣泡が血流の中に現はれる。此の場合、健康な者が、血管の組織が頑丈な者が、若しくは、假令、異狀を起しても速に治療を受けることの出來た者ならば、血管を原狀に引戻すことが出来るから、血管の周壁を通じて神経組織の内に空氣を漏す様なことが無くて済むこともある。若し、そうなれば神経系統には少しも後々迄程の障害を留めることはない。併し、斯様な幸運のことは、寧ろ、極めて稀である。

一般普通の潛函病の症狀は心臓の右側が肥大することである。之れは血流内に發生した空氣泡が、血流に従つて、その一部が心室中に這入るためである。その小さな氣泡が次第に相集つて大きな空氣泡となり、右の心耳に集り、此の部分を非常に大きな形とする。腦の血管に於ては、之れ等の氣泡は血管の周壁を滲透して氣泡の形のまゝ腦の組織に密着して、之れに壓力を加へるのである。

然らば何故に壓搾空氣内の總ての勞働者がこの潛函病に罹らないか？又何故に外觀的に全く同様に見える2人の勞働者が、全く同一状態の下に在りながら一方は少しも病氣に罹らないで、他方は病氣に侵されるか？此等2人は同時に同様に同高の氣壓の下に於ては、各同じ關係量の空氣を夫々の血液中に溶解して居る筈である。従つて亦、高氣壓から常氣壓に氣壓を降す場合にも、等しく溶解状態の空氣から氣泡が發生することに變りのない事も疑の無いところである。其の差異の分るゝ所は、その2人の血管が外氣の壓力の變化一特にその壓力を低下させる場合に抵抗する性能に差異があるのに依るのである。

たとへ潛函病に侵されたことの無いものでも、壓搾空氣の中に這入つた者は尙病氣に罹る一つの要素は持つて居る、それは血流中に發生する小氣泡である。然し病氣に罹らない様な人の血管は特別餘力を持つて居るのであつて、特に目立つ程度には膨脹もしないし、又充分弾力があるから、血流に依つて空氣を肺に運び、そこから外に排出することが出来る。又血管の毛細部も潛函病に罹り易い人の様に混亂されることはない。

夫故に雇傭者側から云ふも、被傭者側から云ふも、壓搾空氣内の仕事に對しては、血管に充分餘力のあるものを採用し、此の尋常でない條件の下の勞働をして災厄を擲らしむる様に努力すべきである。

2. 潛函病の豫防法 勞働者の潛函病に罹ることを防ぐには、先づ第一に壓搾空氣内の勞働に耐へ得るものを選定すべきであり、第二には、それ等選ばれた勞働者が従業中病氣に罹らないための注意事項や取扱ひ方法をよく究めることが必要である。第一の勞働者の選定は醫師の身體検査に依らなければならない。其醫師も充分の學識があり、且つ常に漸新な治療法に遅れることのない様な有能の士でなければならない。その検査の結果、充分壓搾空氣内の勞働に耐へ得るものと認定された場合には、其者が壓搾空氣内の勞働を中絶しない限りは、一般に、其の1回の診断で、容に3箇月間は有効と考へられてゐる。併し其の間に假令、僅の期間でも壓搾空氣内の仕事を離れた

場合には再び醫師の身體検査を受けなければならないとされて居る。

然らば醫師の身體検査の標準となるべき事項は如何と云ふに大體次の通りである。

- (1) 一般普通以上の健康者であること。
- (2) 肥満した者より寧ろ瘦身の者の方を採ること。一般に肥満した者、又は脂肪過多性の者は採用しないのが通則である。
- (3) 年齢 40 歳以上の者は採用しない事。これは、一般に 40 歳位から血管が弾力性を失ひ始めるからである。
- (4) 心臓が健全であることが絶対必要條件であること。苟しくも心臓瓣膜症とか神氣亢進症の様な徴候のある者は断然採用してはならない。併し身體検査を受ける場合には、誰にしても幾分脈搏が速くなるものであるから、それだけの範囲は考に入れて置かなければならない。
- (5) 腎臓炎の徴候のある者は採用できない事。一般に尿の検査は實行しないけれども、外見上腎臓炎の徴候あるものは採用してはならない。
- (6) 酒呑みには危険がある事。一般に風來坊や大喰漢は同時に呑助が多い。

次に仕事の運用上からの注意としては、

- (1) 時間を制限して、毎日壓縮空氣内で一定時間以上労働せしめない事。
- (2) 此の制限時間は壓縮空氣の氣壓が高ければ高い程、短縮すべきものである。
- (3) 壓縮空氣内の空氣は、屢々之れを検査して其の炭酸瓦斯の含有量を排出し、常に之れを一定最大限度を超過せしめないやうに通風することが必要である。炭酸瓦斯は空氣より一層血液中に溶解し易いものであるから、従つて炭酸瓦斯の含有量が多い程、潛函病に罹る率が大きくなる。

(4) 氣筒の空氣弁(バルブ)の開閉手には充分權威を持たせ、經驗ある者をして之れに當らしめなければならぬ。之れは前にも述べた様に壓力を低下させる速度が適度以上に急速であれば、血液中に溶解してゐた瓦斯が氣泡として遊離する量を増すものであるから、氣筒の空氣弁の開閉は、特に共通に通じた者に掌らせ、各氣壓に應じて、その開閉の速度を加減せなければならぬ。一部の労働者は歸宅を急いだり、幾分でも速く開放な空氣中に出たいと云ふ情から空氣弁開閉手に督促して屢々餘に急速に氣壓を下げさせる事がある。それ故に空氣弁開閉手には充分權威を持たせて置いて、労働者の強迫又は督促に動かされぬやうにする必要がある。最後に重要なことは各労働者自身が各自衛生に注意し、各その最上の健康状態を保持するやうに心掛ければならぬ。此の潛函病の作業に對する一般衛生注意事項として次のやうな法則を設け、労働者にその勵行を求めることが必要である。

- (1) 決して空腹のまま壓縮空氣内に進入してはならない。
- (2) 酒類は餘り用ひない方がよいか特に悪い酒を用ひてはならない。
- (3) 壓縮空氣内から外氣に出た時には寒冷を覚えるから、餘分の衣服を用意して置いて、その時之れを纏はなければならない。
- (4) 壓縮空氣の空氣筒からは徐々に出ること。
- (5) 毎 24 時間に少くとも 7 時間は完全に睡眠をとること。
- (6) 毎日便通に注意すること。
- (7) 病氣又は少しでも健康に異状を認めた場合には直に醫師に報告すること。

3. 壓縮空氣内に於ける特徴 併て壓縮空氣の中では、どんな氣分がするであらうか、又どんな様子であらうかと云ふ事は、誰しも好奇心を持つ所のものである。經驗の無いものは壓縮空氣内に進入すると、先づ最初に耳に痛みを覚える。殊にユースタキー氏管にカタルを持つ者は特別に痛みを感じる。之れを防ぐには、中耳の中に自由に空氣を入れ、鼓膜の内外の壓力を平均させる事である。それには指で鼻を撮り、いきむことや、下顎を左右に水平に動かし、頰頰の部分に運動を與へる。斯の様にすれば、普通の人ならば直ぐ耳の痛みを無くすることが出来る。

此の事を空気筒の中で氣壓を上升させてある間、耳に痛みを覚える度毎に繰返へしさへすればよい。氣壓が高まると、音聲の調子（ピッチ）が幾分變る。又少し鼻聲になる。相當に氣壓が高い場合には、口笛を吹くことが難しくなる。前に述べたやうに最初は脈搏が速くなるが2、3分間もすれば、之れも常態に戻り、呼吸も少しも困難がなくなる。只呼吸は幾分淺くなるが、その回数は平常と變ることがない。

壓搾空氣内の溫度は、其の壓搾空氣にとち込められた空間の大きさや、周囲の土を通じて空氣が涌出することの有無又はその程度に依つても異なるが、一般には外氣より暖く普通華氏 65 度位である。若し壓搾空氣内に濕氣が多い時は、何か覆ひ被らせられるやうに感ずるものである。左もなければ普通の常氣壓の下で働くのと少しも變りはない。

又壓搾空氣の内では猿の伸び方が著しく速い。尙普通の所で働くよりも食欲が増進して大喰になる。之れ等の事實は壓搾空氣の中では酸素の量が多いから人體の組織の酸化作用が活潑に行はれることを示すものである。之れを言ひ更へれば、壓搾空氣の中では、總ての生活力が旺盛になるのである。併し其の程度は氣壓の上升に正比例すると云ふ程度に激しくはない。

一般に壓搾空氣内の労働者は便秘する傾向がある。併し中耳が漲れるやうな損は先づ少く、そんな場合は 0.1 パーセントも起らない位である。

此の種の工事に 2 年なり 3 年なり従事することが、其の者の壽命にどの位影響するかと云ふことは、今の所、之れを計數的に決定することは困難である。併し人體組織の酸化作用を増加する事、即ち生命の消耗が激しくなるために幾分でも其の壽命を短縮する傾向のあることは科學的に否めない。且つ循環系統が絶えず異常の緊張を受くるため幾分心臓も肥大する傾向があることも確であると言ひ得る。

4. 潜函病の二つの種類 潜函病には明瞭に二つの種類がある。即ち脊髓系の疾患と大脳系の疾患とである。この中、最も普通起るものは脊髓系の疾患である。

脊髓系疾患の輕症のものゝ特徴は、先づ脚部、殊に内股と腓の筋肉に激しい痛みを覚えることである。又時には腕や肩の筋肉の痛みである。之れ等の痛みは比較的大きな神經の樞軸の分布する所に起る。そして脈搏は次第に速くなり、身體は汗を浴びるやうになる。瞳孔の大きさには少しも影響は無いが、幾分その光澤が鈍くなる。一般に下腹部が痛むと思はれてゐるが、必ずしもそうではない。

脊髓系疾患で、も少し重症のものになると、輕症の場合よりも餘程早期に發病する、即ち氣壓が下がるや否や發病するのである。そして其れは又突發的である。その特徴は下半身不隨となることであるが、發病の初期には、きまつて極めて僅しか痛みがない。そのために、労働者が更衣室まで歩いて行つて、そこで急に脚がきかなくなつて倒れ全く手足の感覺を失つてしまうやうな事になる。併し之れに對してそれが潜函病でなくつて、神經にまつはる小さな血管が破れ、そこから絶えず且つ徐々に血液が漏れ出るために惹起される普通の下半身不隨は、潜函病の場合のやうに急激には發病するものではなく、段々に其の症狀を呈し、先づ其の前徴として痛みがあるのである。潜函病による下半身不隨症は、之れと異り、脊髓そのものが悪くなつたのではないから全然感覺を失ふとは限らない。時には片脚を動かす位の僅の力が貼ることもある。又頭腦は明晰になつてゐて、意識不明のやうな症狀を併發することはない。併し膝蓋骨（小皿）と膝を敲いても反射作用を興へない。瞳孔は幾分擴大し脈搏も速く、顔色は蒼白くなつたり又は黃味を帯びるやうな事もある。發病してから約 1 時間程してから下腹部に水腫帯が現はれ、つよく締めつけられるやうな氣持ちがする。之れは腰部の神經が腫れたために、脊髓神經に及ぼした影響である。斯う云ふ麻痺症の初期の間は大小便も從來通りであるが、段々に膀胱や直腸を制禦することが出来ない様になつて来る。この様に神經に壓迫を受けたり、神經内に出血したりした者は、全く治療の手に負へない患者となり最早立派な脊髓炎となつて、脊椎が毀れたと同様になる。

斯様にして若し 0 ヶ月を経過しても何等快方に向ふ徴候が見えないならば其の患者は何としても絶望と見るより他に途がない。

大脳系の疾患は前にも述べた通り極めて稀なもので、全體の患者数の 1 割位のものである。之れも亦、輕症のものゝ重症のものゝに區別することが出来る。

大脳系疾患の輕症のものゝ特徴は、肢聳や嘔氣を催すことである。普通痛みはないが、非常に耳鳴りがする。脈搏は次第に速くなり、顔色は蒼くなり、瞳孔が擴大する。そして全身發汗し體温は幾分降る。こうなつた者は再び壓搾空氣の中に入れても治療の途がない。併し放置して置くと普通の場合徐々に恢復するものである。

大脳系疾患の重症のものになると、一般に絶望とされてゐる。普通、深い昏睡状態に陥り、瞳孔は廣く擴大し、顔色は黄色味を帯び、歯を剥き出し、脈搏は 140 から 100; 呼吸の音が明瞭に聴取られ、全く無意識状態となる。斯様な患者でも若し手當が即刻行はれれば、少くとも一時的には治療の効果を擧げることが出来る。それには患者を手早く再び壓搾空氣の中に入れる。そうすると意識を恢復し、質問にも應答することが出来るだけには成るから、之れに依つて障害の程度を診斷することが出来る。併し多くの場合半身不隨となる。此の場合の半身不隨は一般大脳出血に依るものと異り、障害を受けた方の側に於て、極めて微弱ではあるが幾分身體を動かすだけの力を持つて居り、又多少なり下半身不隨の傾向があるのである。患者は障害を受けたと反對側の半面を一生懸命に擱まうとする。總ての感覺は極めて鈍く、うなされて居る様になつて、目では物の識別が付かないけれど明暗の區別はつき、脈搏の数は非常に多くなつて時には 200 位にもなる。旺に寢返りを打ち、身體はすっかり冷へて、肌は粘つて來、次第に深く無意識に陥り、呼吸は殆どわからない。口からは一種の粘つた泡を出し、多くは 48 時間以内に死亡するのである。

5. 潛函病治療法 併て潛函病の症狀に就て大略を記述したから、次に治療法の概略を述べることにする。但し治療は全然醫師に委せるのが原則であるが、潛函作業者が各々これを心得て置くことも必要である。

治療の最も肝要なことは、何はともあれ、出來得る限りの迅速さで患者を再び壓搾空氣の中に撥び入れることである。そして此の事が最も理想的の治療法である。従つて潛函作業場では必ず此の種の治療のために特に壓搾空氣室を設けるのである。之れをホスピタル・ロック又はメデイカル・ロック(治療用氣隔)と云ふ。之れは外部から内部の氣壓を自由に調節することが出来、又外部から内部の模様をもよく監視出来るやうになつてゐる。

先づホスピタル・ロックに患者を入れると、内部の氣壓を患者が發病前に働いてゐた時の氣壓の $\frac{2}{3}$ 迄に急激に高め、そのまま 2~3 分間放置して置く。この時間は症狀に依つて決める。若し麻痺症や、昏睡状態等の重症患者の場合には醫師も患者と共にホスピタル・ロックの中に這入り、所要な氣壓になるや否や、患者を督勵して起ち上げ、四肢を動かさせる。若し患者が單獨で歩行が出来ない時には、側から之れを援けて間断なく歩き續かせるやうに激勵しなければならぬ。若し患者が所要の氣壓に高めた後にも、尙どうしても歩行できない場合には、手足をマッサージしてやつたり、立つたまま、脚を屈伸するやうに援けてやつたり、或はストリキニーネ 1/80 瓦を毎時 1 回に分けて皮下に注射してやり、強い下劑例へば甘菜とか瀉劑を服用させる。

若し幸にして發病後、直にホスピタル・ロックに患者を入れることが出来れば入間後凡 15~20 分間にして、其の効果は頗る顯著となるのである。そして麻痺症狀が癒つたならば、直に氣壓を極めて徐々に低下し始める。それは徐々に低下すれば、それだけ結果がよい。輕症の場合には普通、氣壓 1 封度を低下するに 4 分間位の割合にする。従つて 15 封度低下するにも 1 時間位かゝることになる。重症の場合には更に徐々に氣壓を低下せしめなければならぬことは勿論である。この場合には普通氣壓 1 封度を低下するに 8~9 分間、時には 10 分間位をもかける。従つて氣壓を低下し終るのに 3 時間以上も要することが稀でない。

若し患者が一度工事場から歸つてから發病し、そのためにホスピタル・ロックからも遠く離れてゐるために、發病後、即時壓搾空氣の中に入る便宜がなかつた場合には如何にすべきかと云ふに、都合のよいことには、さういふ場合には餘り激しく病氣に侵されることが少く、只痛みを覚える程度位で、自然に放置しても次第に恢復するものである。ホスピタル・ロックに入れても一向に痛みが去れない時にはモルヒネ 1/4 瓦、甘菜と瀉劑 1/10 瓦×(甘菜と瀉劑とを等量と云ふ意)と共に服用させ、患者は腰をおろさないで歩行し續けることが必要である。

ホスピタル・ロツクに入ることが餘り遅れたために、下半身不随がどうしても癒らない時には、丁寧に又充分にマッサージをし、患者は一生懸命に歩行の繼續に努力しなければならない。必要の場合には 2 人の助手を附けて、兩側から之を援けて無理にも歩行をつづけさせるのである。患者が自ら脚の屈伸が出来なければ、それが出来る迄側から手で加減して援けて動かしてやらなければならない。

ライオン博士の経験では助手の援助を受けただけで殆ど連續的に前後 24 時間も歩行を持続させ、而かも一向に效驗が顯はれなかつた事も屢々あつたと云ふことである。

斯様にして此種の治療法には、随分注意を要し、又非常な忍耐力をも要するものである。特に膀胱と腸に注意し尿の排泄をよくし、下腹部の内臓の排泄をもよくしなければならぬ（大小便の排泄のこと）、脚を動かす力を恢復すると同時に括約筋の作用も恢復するものである。

ホスピタル・ロツクに入れても直に効果のないやうな麻痺症患者は多くの場合全快することは難しい。それは脊髄神経系が血管の膨脹による壓迫、若しくは血管から出血のため障害を受けたためである。一般に一方の脚が他方より早く恢復し、恢復しない方の脚を引きづつて歩く。其の歩調は痙攣的といふよりも寧ろ運動失調と云ふ具合である。筋肉の強さは次第に減衰し 2~3 週間の後には腓や上腿の衰弱が著しくなる。之れに對しては電氣療法が非常に宜しい。それに補助として規則正しく忠實にマッサージをしなければならない。斯様に麻痺症が次第に進む場合の治療法は脊髄炎に對するものと全く同様であつて水床を用ふ。若し斯様な治療法を盡しても尙 6 ヶ月以内に恢復しない場合には、恐らく其の患者は絶望である。併し稀には 2 ヶ月位少しも症状が改善しないのみながら、其の後次第に歩行が出来るやうになることもある。孰れにしても此種の患者は恢復することはあるが程度の問題で全快して仕舞うことは決して無い。

大脳系の潛函病で、眩暈、嘔氣又は吐瀉を特徴とする所謂輕症患者はホスピタル・ロツクに入れても効果がない。併しそこに這入ることは兎も角、血管中に残つてゐる氣泡を再び血液中に溶解して之れを體外に驅出するに役立つかも知れないと云ふところから、必ず一度はホスピタル・ロツクの中に入れる習慣となつてゐる。最も有效な治療法は暗い室内に安静状態にして軽い食物を嚼らして置くことである。斯様にすれば次第に效驗が顯はれて來て週間後には大分快方に向ふことになり、中耳の膨脹によるユースタキエ氏管の炎症も非常によくなる。

ホスピタル・ロツクが未だ發明されない頃は蓄電池によつて比較的強い電流を局部に掛け、内服薬として麥角及ストリキニーネを用ひ、同時に我儘の出来るだけ熱い湯に全身を浸したりして居つた。之れ等は輕症の場合ばかりに効果があつたに留まる。麥角は今日では全く使用しない。電氣も只慢性患者か麻痺症患者でホスピタル・ロツクに入れても效驗のなかつた者位には幾分有效と云ふ程度のものである。

一般に治療所に酸素瓦斯を準備して置くことを一つの必要條件として居るが、之れは重症の場合にも其の效果頗る疑問であり、又輕症の場合には全然其の必要を認めない。

一度激しく潛函病に罹つたものは壓搾空氣内の仕事に再採用は差控えた方がよい。併し、初心者には痛みを感じる程度の極く軽い潛函病に侵されることは有り勝ちのことであり、経験者も規則になれて之れを輕視して犯則したり又餘り大膽になり過ぎて、正規の時間以上壓搾空氣内に居續けることも有り勝ちであり努めて注意を要することである。

壓搾空氣中で働く者の壽命に就ては、何とも明言することは出来ないが、壓搾空氣内では普通の空氣の所よりも旺に組織の酸化が行はれるから、従つて消耗も速である筈である。壓搾空氣内の常時従業者の心臓は肥大はするがそれがために心臓鈍膜に故障が起ると云ふことはない。米國に於ける從來の統計の示すところによると、壓搾空氣内で連續従業する平均年限は 4 ヶ年となつてゐる。4 ヶ年位連續従業すると下腹部の周圍が幾分太くなつたり、勞働者としても次第に年嵩を増し、身體各部の組織がその反發を失ふやうになつたりして多くは自分から身の危険を感じて他に轉業するのが普通である。

2-3 法規制の改正と労働安全衛生規則施行 (1947年)

2-3-1 労働省令・第9号労働安全衛生規則第3章高気圧 第188条

1937年11月に施行された我が国で最初の圧気工事関連の法律「内務省令 第41号・土木建築場安全及衛生規則・昭和12年(1937年)9月30日発令 第29条」は、その後10年を経て、1947年10月 施行の労働省令・第9号労働安全衛生規則第3章高気圧 第188条に引き継がれた。表2-15はその一部抜粋である。重要な点は、1937年の法令に記載されていた総減圧所要時間への規制がないことである。このことが、減圧実施で混乱を招いた面もあると推察する(本節の後半で紹介)。

表 2-15 労働安全衛生規則 第3章高気圧			
第188条ゲージ圧力1キログラム平方センチメートル以上の気圧下において、労働者を就業させる場合には、左の各号によらなければならない。			
1. 医師の診断書により就業に適すると認められた者でなければ就業させないこと。			
2. 高圧室内においては、1日について2回を超えて作業させないこと。			
3. 加圧及び減圧を徐々に行うこと。			
4. 高圧室内における1回の作業時間(加圧及び減圧の時間を除く。)作業間の休憩時間及び減圧時間は次表により行うこと。			
ゲージ圧力	1回の作業時間	休憩時間	減圧時間
1.3kg/cm ² 以下	4時間以内	30分以上	圧力の1/2までは毎分0.3kg/cm ² の割合で減圧し残りは下記の割合で減圧すること。 1.05 kg/cm ² 以下は毎分0.2kg/cm ² 以下 1.4 kg/cm ² 以下は毎分0.15kg/cm ² 以下 2.1kg/cm ² 以下は毎分0.1kg/cm ² 以下 2.1 kg/cm ² 以上は毎分0.08kg/cm ² 以下
1.8kg/cm ² 以下	3時間以内	1時間以上	
2.3kg/cm ² 以下	2時間以内	2時間以上	
2.6kg/cm ² 以下	1.5時間以内	3時間以上	
3.0kg/cm ² 以下	1時間以内	4時間以上	
3.3kg/cm ² 以下	45分以内	5時間以上	
3.3kg/cm ² 以下	35分以内	6時間以上	
注) 条文が縦書きのため、横書きでは上記文中の「左」を「下記」と読み替えること。			

2-3-2 労働安全衛生規則 第3章高気圧の減圧要領由来を示唆する資料

次ページの表2-17は米国・ニューヨーク州の高気圧規則(1937)の紹介で、その邦訳が表2-18である。圧力単位はlb.(ポンド)を用いているので、るので、14.7lb.=14.7psi=1.0kg/cm²で換算すると下記の表2-16のゲージ圧力に近似した値が得られ、それらに対応する時間も表2-15に近似した値となっている。減圧時間の数値も近似しており、永代橋工事がニューヨーク州の法律を参考にしたこともあって労働安全衛生規則も、それを参考にしたと推測される。

注)表2-17は圧力をlb.表示しているが、潜水分野では圧力psi(pound per square inch:換算値14.7lb.=14.7psi=1.0kg/cm²)を用いている。

表 2-16 ニューヨーク州法の圧力換算 (psi から kg/cm²へ)

ゲージ圧 psi	0—18	18—26	26—33	33—38	38—43	43—48	48—50
同上換算 kg/cm ²	0—1.22	1.22—1.77	1.77—2.25	2.25—2.58	2.58—2.92	2.92—3.27	3.27—3.4
表 2-15 (kg/cm ²)	1.3 以下	1.8 以下	2.3 以下	2.6 以下	3.0 以下	3.3 以下	1/2
1 交替時間、最大	4	3	2	1+1/2	1	3/4	1
総時間、最大	8	6	4	3	2	1+1/2	6
休憩時間、最小	1/2	1	2	3	4	5	

労働安全衛生規則の減圧要領を規制する数値はニューヨーク州法に近似した値を採用しているが、減圧所要総時間を考慮していないので、それを無視した減圧が実施される可能性を秘めていた。例: 40psi≒2.7 kg/cm²の場合、2.7の半分1.35 kg/cm²を1.35/0.3≒4.5分で減圧し、残り1.35 kg/cm²を1.35/0.15≒9分で減圧。合計4.5+9=13分となる。ニューヨーク州の考え方を紹介した表2-17の『注・例の計算』は40分となっている。

表 2-17 米国の成書「Foundations of Bridges and Buildings 第 3 版 1941」
に見る高気圧作業に係るニューヨーク州の法律

10-19. Rules for Compressed-air Workers

The rules of New York State (1938) governing the time of decompression are considered to be quite satisfactory in protecting the workers. It is specified that decompression must give a drop of half the maximum gage pressure at the rate of 5 lb. per min., the remaining decompression being at a uniform rate of such value that total time will not be less than that required by the following table: ¹

Gage pressure, pounds per square inch	0-15	15-20	20-30	30 and up
Average rate, pounds per minute (not more)	3	2	1.5	1

For example, if the maximum gage pressure is 40 lb., the first 20 lb. may be dropped at the rate of 5 lb. per min., requiring 4 min.; hence the remaining 20 lb. drop will require 36 min., since the total required time is 40 min. Pressures in excess of 50 lb. may not be used except in case of an emergency.

The New York rules provide that the working time is any 24 hr. shall be divided into two shifts under compressed air and an interval in the open air, as follows:

Gage pressure, pounds	0-18	18-26	26-33	33-38	38-43	43-48	48-50
Time per shift, hours, maximum	4	3	2	1+ 1/2	1	3/4	1/2
Total time, hours, maximum	8	6	4	3	2	1+ 1/2	1
Rest interval, hours, minimum	1/2	1	2	3	4	5	6

¹ State of New York, Dept. Labor, Industrial Code Bull. 22.

出典：Foundations of Bridges and Buildings, pp358-359, H. S. Jacoby & R. P. Davis
第 3 版 1941, McGraw-Hill Book Co. Inc.

注・例の計算

ゲージ圧 40lb (ポンド) 滞在なので減圧割合は総時間が 40/1 分 = 40 分より少なくない減圧割合すなわち 40 分となる。最大気圧の 1/2 は 20lb なので、最初の半分 20lb の減圧所要時間は毎分 5 lb すなわち 20/5 = 4 分を要す。残り 40 - 20 = 20lb の減圧は 40 - 4 = 36 分となる。

表 2-18 表 2-20 の邦訳

10-19 高気圧作業員に対する規則

減圧時間を管理するニューヨーク州法(1937)は作業員を守るに十分であると思われる。減圧は毎分 5 ポンドの割合で最大ゲージ圧の半分を降下しなければならず、残りの減圧は総時間が次に示す表で必要とされるより少なくないように一定割合で行わなければならない¹ことが規定されている。

ゲージ圧 psi	0-15	15-20	20-30	30 以上
平均割合 ポンド/分 (超えない)	3	2	1.5	1

例：もしゲージ圧 40lb の場合、最初の 20lb を毎分 5lb の割合で降下、4 分を要し、総時間が 40 分なので、したがって残り 20lb の降下は 36 分を必要とする。作業気圧 50 lb (ゲージ圧 0.34MPa) を超える場合は緊急時以外使えない。

ニューヨーク州法は、どのような 24 時間でも高気圧下で 2 交替制と次のような大気圧待機を規定している。

ゲージ圧 psi	0-18	18-26	26-33	33-38	38-43	43-48	48-50
1 交替時間、最大	4	3	2	1+1/2	1	3/4	1/2
総時間、最大	8	6	4	3	2	1+1/2	1
休憩時間、最小	1/2	1	2	3	4	5	6

ニューヨーク州、労働局、工業規則公報 22

2-3-3 労働安全衛生規則(1947)適用の圧気工事における減圧症発症例

(1) 医学者が報告した症例

労働安全衛生規則が施行された当時は第二次世界大戦後の復興時期に重なり、工事記録に減圧症発症状況を医学者の目で整理した資料は少ない。下記は梨本一郎先生の報文(刊行・1959年)から抜粋した症例報告である。特筆すべきは 0.8 kg/cm^2 (症例10)及び 1.2 kg/cm^2 (症例5)での事例を紹介していることである。

出典：潜函病とその治療法・999~1000頁

梨本一郎・呼吸と循環、医学書院、

Vo.7, No.11, 1959

X. 症例

症例1 沼○正○ 31歳 2.8 kg/cm^2 の潜函作業後、左肩に軽い疼痛を覚え我慢したが強くなつたので2時間後、再圧治療を行なつた。 2 kg/cm^2 で疼痛が消失したので第1欄に従つて減圧した(酸素吸入使用)。 3 kg/cm^2 まで加圧し2時間51分の再圧治療後、全治。

症例2 鈴○誠○ 22歳 3 kg/cm^2 の潜函作業後、左膝関節痛発生し、30分後再圧治療を行う。 2 kg/cm^2 以下で疼痛消失、第1A欄に従つて治療を行なつた。治療時間6時間15分、全治。

症例3 柳○宏○郎 24歳 1.7 kg/cm^2 1時間の激しい潜函作業後、やや急速に減圧す。その後疲労感甚だしく、200m 離れている事務所にとどつき、意識不明となる。強心剤注射後、意識回復し、胸痛を訴えたので病院へ運び一般治療を行うが経過は良好にならず、著者の診療の結果 Choke と診断し、再圧治療を行う(発病後8時間経過)。 2 kg/cm^2 の再圧で呼吸困難、胸骨下痛消失、 2.8 kg/cm^2 30分再圧後第2A欄に準じ段階的に減圧、10時間30分後、出開、全治。

症例4 小○源○ 24歳 1.6 kg/cm^2 8時間作業後、両膝 Bend を起し、 2 kg/cm^2 再圧治療を行い一応治癒す。翌日、陸上作業を行つたとき、血尿を見た。2日目の陸上作業中、悪心、嘔吐ならびに左胸痛を訴える。左側腎炎の疑いあるも、一応再圧治療を行う。 2.5 kg/cm^2 1時間の再圧にて、疼痛軽減したので第1A欄に従つて減圧、再圧治療後、若干左胸痛、悪心、嘔吐の症状が残つたので、3日目2度目の再圧治療を行う。 2.8 kg/cm^2 30分に加圧後、第1A欄に準じ減圧、全治する。

症例5 奥○勇 35歳 1.2 kg/cm^2 4時間作業後、2~3分で減圧出函す。その直後、起立困難、嘔吐が起り、病院を訪れ、治療をうけたが良くなり、翌日 2.1 kg/cm^2 44時間の overnight soak 後24時間かかつて減圧す。総治療時間68時間、 2.1 kg/cm^2 3時間後に起立可能となつたが、両下肢の知覚異常が起り、また尿閉が現れたので4時間後に導尿、出開後眩暈がひどく歩行困難で坐骨神経の圧痛が著明。

非定型的メニエール氏症候ならびに、軽度の麻痺に対して再圧治療が不完全との想定の下にさらに発病後8日目から 3.8 kg/cm^2 に再加圧したくタンクの耐圧一ぱい

で)。加圧後両下肢に激しい疼痛が生じたが、やがて消失、10時間後に第4欄に準じて減圧した。 0.9 kg/cm^2 より酸素使用、出開後全治、治療時間合計50時間。

症例6 香○勤 20歳 3 kg/cm^2 の潜函作業に於て、梯子を墜落しかけ、胸部打撲、意識不明となり、直ちに減圧出函。診療の結果、胸部に異常はなかつたが、急速減圧のため、左肩、左中指に鈍痛がおこり、Bend の診断の下に再圧治療を行つた。このとき、加圧によつて左中指に劇痛が発生、この左中指は落下時、梯子にひつかけて体重を支える姿勢をとつたので骨折脱臼その他が予想されたが、外見上またレントゲン写真上でも異常はなかつた。しかし、骨髄に梗塞性傷害が発生し、加圧により Squeeze をおこすと推定し、他の部位、左肩、肘、腕関節部の Bend を治療するため、この中指を麻酔しながら再圧治療を行つた。最大圧 4 kg/cm^2 、第4欄に従つて減圧、最終段階で酸素吸入を行い、Bend は全治。ただ、左中指の疼痛は麻酔剤(キシロカイン)の作用が弱くなると、再圧中および再圧後も続いておこるので引き続き一般的治療を行つた。

症例7 谷○貝○幸 32歳 アクア・ラングを使用し45mの潜水にて10分後、空気の欠乏を感じ、急速に浮上した。船上にて装備を外す間、後頭痛および烈しい疲労感があつた。翌日左肩の痙攣がひどく、頭重感もあり、注意力散漫となり、仕事の遂行が困難になつた。4日目頃より、動悸が激しく疲労感もずつと続いた。7日目、高度4,000mにて作業したが、地上に帰つたとき疲労感がひどく仕事ができなくなつた。9日目再圧治療開始、 3.5 kg/cm^2 の再圧にて頭がはつきりする、握力が増す等、症状の回復が見られた。第2欄に従い酸素吸入を併用し、4時間の治療後全治した。

症例8 梅○正○ 22歳 3.2 kg/cm^2 7時間作業後、急速に減圧出函す。出函直後両膝ならびに両肩に Bend 発生、経験的な再圧治療法により Bend は消失したが減圧途中にて、起立不能、尿閉がおこり、減圧終了後、下半身の完全な麻痺が現われた。脊髄麻痺の診断の下に翌日 3.5 kg/cm^2 に再圧した。1.5時間後激しい腹痛が生じ、起坐して盛に腹をさすつた。12時間後、知覚鈍麻がやや軽くなり、19時間経つて、腹痛が消失し、両下肢の自発的運動が可能となり、排尿が見られ、知覚も殆ど回復したので以後、第4欄に準じて減圧し、60時間の後、出開した。この間、葡萄糖、 VB_1 、パパスコ等の注射を適宜行つた。なお、患者の再圧終了後の症状は歩行やや失調気味、Romberg (+) でその後整形外科的一般療法を行つた。本例は比較的早期に再圧治療が行えたので予後が良好であつたが、再圧治療室の耐圧がさらに高ければ減