

1. 総論

森 宣 制*

1. Introduction

by Y. Mori*

The pneumatic caisson method has a history of about 50 years in Japan. As the caisson method or shield method is recently employed in many construction works, various sorts of labour accident occur as follows:

- (a) poisoning by carbon monoxide occurring unexpectedly in compressed air supplying system;
- (b) fire caused by gas cutting torch under compressed air atmosphere;
- (c) sudden sinking of caisson by air leakage caused by fracture of bolt joining caisson shafts.

A object of safety in pneumatic construction method was only the disease by high pressure atmosphere hitherto, but it is necessary to establish urgent counter-measures against accidents as mentioned above.

The following studies, therefore, have been carried out in our research institute for safety in pneumatic construction method;

- (1) study on gas evolution from lubricating oil heated in compressed air;
- (2) study on the combustion hazard of combustible materials under compressed air atmosphere;
- (3) study on the optimum dimensions of vertical fixed ladder;
- (4) study on the reliability of compressed air supplying system;
- (5) study on the strength of bolt joining caisson shafts.

The report of these studies appears from next chapter to chapt. 6.

1.1 はじめに

最近、地中深く又は水底下に、建造物の基礎やトンネル等を建設する場合、圧気を用いる潜函工法やシールド工法が多用されている。

これらの工法は、掘削面からの地下水の浸入を圧気で防ぎながら掘削を進めてゆく工法であるが、この場合における作業空間の確保と気密保持のために使用するかこいを、垂直掘進の場合に潜函、水平掘進の場合にシールドと称している。

このようにこれらの工法は、圧気下の隔離密閉された空間内で作業者を働かせるため、種々の危険性が予測される工法であるが、中でも高気圧障害についてはとくに認識され、その防止のための対策も既に樹立されており、少なくとも急性の高気圧障害に対しては、その予防や治療に大いに効果を挙げている。しかるにこれらの工法が多用され、その規模が拡大され、施工速度が増大されるに伴い、内在する種々の危険性が露呈され、次のような重大災害が発生するに至っている。

- (1) 送気設備から異常発生して来た CO による中毒
- (2) 圧気室内におけるガス切断用ホース等の燃焼による火災及び中毒
- (3) 潜函シャフトの継手ボルトの破損に起因する急激沈下による被災

これらの災害の概要は本文末の附録に掲載してあるので参照して頂くと、それから明らかなように、これらの災害は決して多発性ではないが、一旦事故が生ずると悲惨な結果を招くものであって、めったに起きないからと云って決して放置できる性質のものではない。

又これらの災害は思いがけない色々な原因によって生じており、圧気工法特に潜函工法がわが国において既に50年有余の歴史を経ているからと云って、安全面からみて必ずしも、システムの完成されたものでないことを物語っている。

以上のように、これらの工法が多用されるようになった現在、これらの工法に対する安全性の再検討も必要であると考えられる。

1.2 安全性の再検討

1.2.1 起こり得ると考えられる災害

ではこのような工法ではどのような災害が起こり得るか、又その災害がどのような原因に起因するかを述べてみたい。

そのために先ず、災害の背景としてどのような条件が存在するか、あるいはこれらの工法を特徴付ける機械・設備、環境、作業等は何であるかを考えてみたい。

- イ. 送気設備
- ロ. ずり、材料の運搬設備
- ハ. 昇浄設備（潜函工法ではシャフト内、シールド工法では立坑内）
- ニ. 掘削機、削岩機（潜函工法のみ）
- ホ. 推進装置（シールド工法のみ）、セグメント立込み装置（シールド工法のみ）
- ヘ. 狭隘、薄暗い、圧気下、多湿等の環境条件
- ト. 手掘り、土砂積込み、削岩（潜函工法のみ）
- チ. 玉掛け（潜函工法のみ）、トロ押し（シールド工法のみ）

リ. ロック扉の開閉、ロック内圧力の増減操作
以上のような条件を考慮に入れ、起りそうと思われる災害及びその原因を抽出すると次のようになる。

- (1) 異常沈下又は異常出水
 - a. 地盤の破壊によるもの
 - b. 潜函、シャフト等の破損にもとづく函内気圧の急激な低下によるもの
 - c. 送気システムの破損、故障にもとづく函内気圧の急激な低下によるもの
- (2) ガス中毒、酸素欠乏症等
 - a. 送気システムの異常時に発生した CO 等の有害ガスによるもの
 - b. 地層より湧出する H₂S 等の有害ガスあるいは酸欠空気によるもの
 - c. 発破のあとガスによるもの
 - d. 火災によるもの（次項を参照のこと）
- (3) 爆発、火災
 - a. ガス切断用ホースの引火によるもの
 - b. 地層より湧出する CH₄ の爆発によるもの
 - c. 不発発破の暴発によるもの
 - d. 漏電による電線等の発火によるもの
- (4) 高気圧障害
 - a. 退函時のロック内における減圧速度の不適性によるもの
 - b. 函内気圧の急激低下によるもの
 - c. 作業者の不適性によるもの

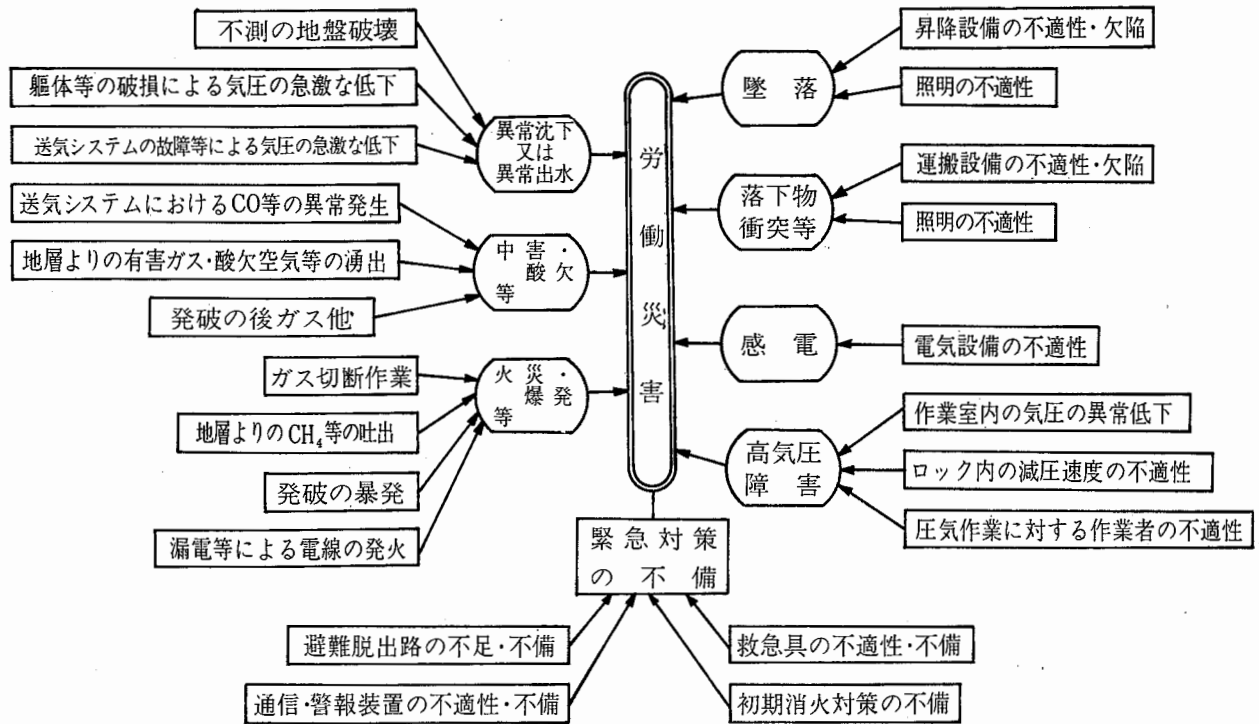


Fig. 1-1 Causalities of occupational accident in caisson and other pneumatic construction works
ケーソン等圧気工法における労働災害の発生原因

(注) aはその背後にある誘因として、減圧に伴うロック内温度の降下が挙げられる。温度降下が著しいと、寒さに耐えられないため、減圧速度を速めることが多いからである。

- (5) 昇降設備からの墜落
- (6) 搬出中のずりの落下
- (7) 電気設備からの感電

以上の災害のうち、(1)~(4)は、一旦事故が発生すると一時に多数の者が被災するいわゆる重大災害になる可能性が多い。

以上の災害とその原因との関係を図示したものが、Fig1-1である。

1.2.2 対策樹立のため研究を必要とする問題点

前節で述べたような起こるかもしれない労働災害に対しその対策を樹立するためには、次に述べるように、研究を必要とするいくつかの問題点が存在する。

- (1) 異常沈下又は異常出水に対する予防対策
 - a. 送気システムの信頼性の評価方法ならびに信頼性向上
 - b. 送気システムにおける送気の異常を検出警報

するシステムの開発

- c. シャフト、ロックドア等の安全性の向上
- d. 急激沈下の予知技術の開発
- (2) 中毒、酸欠等に対する予防対策
 - a. 空気の圧縮、冷却及び清浄化工程の無害化
 - b. 送気システム及び函内における有害ガスを検知警報するシステムの開発
 - c. 函内の適性換気法の確立
 - d. 函内で使用するガス切断機の安全化
- (3) 爆発、火災に対する予防対策
 - a. 函内で使用するガス切断機の安全化 ((2)の d と同じ)
 - b. 函内へ持込む可燃物の制限の設定
 - c. 地層より湧出する CH₄ 等を検知警報するシステムの開発
 - d. 函内の適性換気法の確立 ((2)の c と同じ)
 - e. 函内における発破作業の安全化
- (4) 墜落防止対策
 - a. シャフト内梯子の安全化・
 - b. シャフト内エレベータの開発
 - c. 昇降路の照明の適正化

- (5) 物の落下防止対策
 - a. 土砂の連続搬出システムの開発
 - b. 函内照明の適性化
- (6) 高気圧障害に対する予防対策
 - a. 減圧時におけるロック内の暖房方法
 - b. ロックにおける減圧の自動化
- (7) 緊急対策
 - a. 函内外の連絡通信設備の信頼性向上
 - b. 昇降設備の避難脱出路としての適応性とその適正配置
 - c. 圧気下における空気マスクの信頼性向上
 - d. 圧気下における消火器の有効性

以上のように総合的安全対策を樹立するために研究しなければならない問題点は、かなり広範囲に亘るものと考えられる。

1.3 当研究所で実施した特別研究

前節で述べたように、これらの工法の安全性に関して再検討すべき問題点は多方面に亘るが、その中で近年の重大災害発生の例に鑑み、特に行政当局よりその対応策を緊急に樹立するよう要請された課題について、当研究所でこれを昭和52年度の特別研究として実施することになった。その研究とは次に述べる通りである。

(1) 加圧下における潤滑油等の燃焼ガスに関する研究

この研究は、送気システムで異常発生したCO等による中毒の予防をするため、空気の圧縮、冷却及び清浄化の各工程を無害化する(1.2.2の(2)のa)研究の一環をなすものである。

一般に工業的に圧縮空気を製造する場合、空気は圧縮に伴って高温になり、又潤滑油の飛沫により汚染されるので、これを呼吸用として使用するためには、冷却し清浄化する必要がある。そのため送気システムには、必ず冷却と清浄化の工程が含まれるのであるが、その冷却が充分に行われないと、高温・高圧のため潤滑油、濾過剤などが燃焼しCO等の有害ガスが発生することになるのである。

本研究は、このような有害ガスの異常発生現象——即ち温度条件及び気圧条件、錆による触媒作用、発生ガスの種類と量——を解明するための実験的研究であって、爾後の対策研究のための基礎

をなすものである。

なお爾後の問題としては、異常温度の検知警報システム及び有害ガスの検知警報システムの開発、冷却工程の信頼性向上、ならびに根本的な対策として無給油式空気圧縮機の実用化などが挙げられる。

(2) 加圧下における可燃物の燃焼危険性に関する研究

この研究は、一般に大気中より物が燃え易いとされている加圧下の函内、あるいはロック内における火災の予防を目的とした研究の一環であって、函内へ持込む可燃物の制限を設定するための研究である(1.2.2の(3)のb)。

即ち、現実に函内に持込まれている衣類、油類等について、種々の気圧条件下で、着火温度、火炎の伝播速度等を測定して、燃焼危険性の評価を行い、持込み品の制限を設けようとするものである。

(註) 本研究は、その結果として函内への持込み品の制限を厳重に行わなければならなくなった場合、持込み品に対し現場で容易に行える燃焼性評価試験方法を確立しなければならないと思われたのであるが、第3章に述べられているように、それ程厳重にする必要性が認められなかったため、評価試験方法の研究は行わないことにしたものである。

(3) 垂直固定梯子の最適寸法に関する研究

この研究は、人荷共用のシャフト内に設けられる昇降用梯子からの墜落防止を目的とした研究である(1.2.2の(4)のa)。

もし人専用のシャフトを設備することが可能であれば、その中に螺旋階段を設置することができるので、墜落に対して余り問題はないことになる。しかし人荷共用のシャフトしか設備できない場合には、その中に設けられる垂直固定梯子が唯一の昇降路となり、それを多数の作業者が頻繁に使用することになるので、墜落防止に対する配慮が必要となるわけである。本研究は以上のような立場に立って、梯子の各部の寸法及び墜落防止用ケージの寸法の人間工学的最適化を図るために行った実験的研究である。

なお昇降設備に関する問題としては梯子以外に螺旋階段、エレベータなどの実用化があり、さら

に緊急時における避難脱出路としての適応性なども爾後の問題として残されている。

(4) 送気システムの信頼性に関する研究

この研究は、送気システムの異常にもとづく各種災害——即ち異常発生したCOによる中毒、送気中断による酸素の欠乏、急激な減圧による異常沈下などの災害——の予防を目的とするものである。本研究は以上の目的に対し、送気システムの信頼性を評価する技法を確立し、さらにその信頼性の向上を図るために、どの点に対しどのような対策を施せば最も効果的であるかを研究するものである(1.2.2の(1)のa)。

圧気工法にとり送気システムは生命線と云うべきものであるにもかかわらず、従来その信頼性を系統的に検討されることが殆ど無かったので、本研究はその嚆矢を為すものと思われる。

(5) 潜函シャフト接合用ボルトの強度に関する研究

この研究は、シャフトの接合部の破損に起因する急激な減圧による異常沈下や異常出水を予防す

る目的のもので(1.2.2の(1)のc)、現場で実際に使用されている新品及び中古品のボルトについて、引張強度、疲労強度及び腐蝕、亀裂の状況を測定し、ボルトの購入、使用、廃棄など、管理上の基準作成の根拠を与えるために行うものである。

なおシャフト接合部の破損防止のためには、ボルトの強度のみならず、接合部に作用する振動荷重を把握することも必要であるが、この問題は爾後の研究に俟たなければならないと思われる。

以上が当研究所で実施した特別研究の概要と、安全対策上におけるその位置付けである。

これらの研究の結果は、第2章以下を参照して頂ければお分りのように、必ずしも研究結果がそのまま対策となるものばかりではないが、少なくとも対策の方向は明示されており、又従来不明確であった問題に有用な情報が提供されており、必ずやこれらの工法の安全性確保に努力しておられる現場技術者各位のお役に立ち得るものと思われる。