

● 経 験

空気潜水に於ける船上酸素空気減圧の一試み

矢 野 尚*

1980年の春に、沈船撤去サルベージ作業が日本サルヴェージ㈱によって水深約190ftの別府湾において実施された。363回の厳しい作業潜水が平均年齢32.5才の8名の職業ダイバーによって水面送気の空気潜水器を用いて行われた。U. S. Navy surface decompression table using airより深い深度で、より長い減圧時間(上昇速度: 7ft/min at 140-70ft, 1ft/min at 70-50ft)をもち、かつタンク内30ft減圧点で酸素呼吸を行う変更型船上酸素空気減圧表を使用した9例の減圧症が発生し、その発生率は2.48%で、44.4%の減圧症が水中減圧中に発生した。このサルベージ作業で得た経験ではUSN tableの妥当性に疑問を生じ、このような状態でのより安全な減圧のためには、変更減圧表にプログラムされているよりも遅い上昇速度とUSN tableよりも長い総減圧時間が必要であろう。

An Attempt of Surface Decompression Using Oxygen/Air for Air Diving

Hisashi Yano*

*The Nippon Salvage Company Ltd., Moji Branch

A wreck removal salvage operation was carried out by The Nippon Salvage Company Ltd., under water depth of approximately 190 feet at Beppu Bay, Japan, in the spring of 1980. The 363 severe working dives were performed by 8 professional divers with the mean age of 32.5, using surface supplied air gears. The modified surface decompression schedule using oxygen/air, designed based on U.S. Navy surface decompression table using air, which had longer decompression time at deeper depth (ascent rate: 7 ft/min at 140-70 ft, 1 ft/min at 70-50 ft) than those of USN table and had oxygen breathing at 30 feet decompression stop in chamber, was utilized. However, 9 cases of decompression sickness(DCS) occurred and its incidence was 2.48%. 44.4% of DCS was during water decompression period. The experience of this salvage yielded a doubt about the suitability of USN table, that is, the slower ascent rate than those programmed in this modified schedule and the longer total decompression time than those of USN table seemed to be required for safer decompression under these conditions.

結 言

一般的には、船上減圧(surface decompression)は昭和40年代の初めより主として九州方面の貝採取潜水漁業で採用され、その潜水作業効率を高める反面で多くの減圧症患者、特に重症患者を出したことで知られている。その理由としては減圧表の不備、機器の不備、ダイバー教育の不足等が考えられる。しかし、過去に日本の民間サルベージ会社が行った空気による実作業潜水について船上減圧に関する十分なデータが公表された事例を筆者は知らない。そこで日本サルヴェージ株式会社は昭和55年4月から約2か月間、大分県別府湾の水深57mの海域での沈没船撤去作業の間に船上酸素空気減圧(surface decompression using oxygen/air)の試みを行ったので、ここに報告する。

撤去作業

昭和55年2月1日、別府湾大分港沖で汽船“清洋丸”(650.75総ton, 長さ64.17m, 幅9.80m, 深さ5.0m)は汽船“明神丸”(192.07総ton)と衝突し、水深57mの海底に積荷の鉄材1529ton搭載のまま沈没した。船首方位は北で、船体左右傾斜は左

Keywords

surface decompression, salvage operation

*日本サルヴェージ㈱門司支店
北九州市門司区田野浦海岸15-73

約2度、前後傾斜は約15度前部で船首部は海底の泥に深く埋没していた。ダイバーにより積荷の鉄材の玉掛けを行い、約半量をクレーン船で吊り揚げ取り除いた後、海底の泥面より露出している船体部分を oxy-arc cutting で分断し、泥面上の船尾部分半（重量約350ton）を大型クレーン船で吊り揚げ撤去した。作業は昭和55年4月15日に開始、同年6月25日に完了した。

潜水装置

使用した船上減圧タンクは中村鉄工所製NH C 302型で、加圧用コンプレッサーは神戸製鋼株式会社製K S P 370型（常用吐出圧力7.0kg/cm²、吐出量10.5m³/min）を用いた。タンクは直径1,500mm、全長4,200mmの円筒複室型で、主室には純酸素呼吸マスク4個、副室には2個が設置してあった。

水温が10℃前後と低いのでウェットスーツは使用せずドライスーツを採用し、潜水器は水面送気のパンドマスクタイプ（KMB-10）またはメタルヘルメットタイプ（東亜潜水機株式会社製）を用いた。潜水用コンプレッサーは日立製作所製WT-I型（常用吐出圧力15kg/cm²、吐出量2.2m³/min）を用いた。

方法

船上減圧に関しては、我が国の高気圧作業安全衛生規則には浮上の特例等として、事故のための緊急時の浮上法としての記載はあるが、その具体的な減圧方法についての記載はない。よって、本潜水作業には基礎減圧表としてUSN table using air (U.S. Navy surface decompression table using air)¹⁾を採用した。当社が昭和50年6月から約2か月間にわたってUSN air table (U.S. Navy standard air decompression table,¹⁾USN air tableもUSN table using airも基本減圧は等しい)を使用して実施した14,358回の潜水統計²⁾では、長い滞底時間と激しい肉體労働が要求されるサルベージ潜水作業にはUSN air tableに記載の減圧よりも深い深度でより長い減圧時間が必要であると判断された。また、減圧中の純酸素呼吸は減圧の効果を高めるために明らかな有利性を持つと判断された。

したがって、本潜水減圧ではUSN table using

airに下記変更を加えたmodified schedule (surface decompression using oxygen/air)を使用した。

- 1) 水深140ftから70ftまでの間の上昇速度は7ft/min。
- 2) 水深70ftから50ft（第一減圧点）までの間の上昇速度は1ft/min。
（注：海底から水深140ftまでの上昇速度は60ft/min。）
- 3) タンク内の加圧水深は30ftと10ftとし、30ft加圧下で中間に5分間の空気呼吸インターバルを入れてUSN air tableの20ft減圧点の減圧時間マイナス5分間に等しい時間の純酸素呼吸をする。
- 4) タンク内の30ftより10ftへの減圧は純酸素呼吸を行いながら10分間かけて減圧する。
（注：初期において、30ftで純酸素呼吸終了後10ftに減圧する間に減圧症が出たのでこの方法を加えた。）

190FSW (feet sea water) × 60minutes 潜水のmodified schedule とUSN table using airの比較は図1に示される。

平均年齢32.5才の8名の職業ダイバーが本潜水作業を実施した。8名のうち4名はパンドマスクタイプを、残り4名はメタルヘルメットタイプの潜水器を使用した。通常は単独潜水の1日1回潜水で、天候が悪い日には潜水作業を中止した。船上の指揮者は有線電話装置で常時ダイバーと連絡を取り、上昇速度、減圧時間は船上の指揮者がコントロールした。ダイバーを水中より引き上げ、潜水器を取り外し、ドライスーツを脱ぎ、タンク内に揚集するまでのsurface interval（大気圧暴露時間）は2.5～3.0時間で20ft水中減圧点より上昇を開始してから、タンク内の30ft加圧終了までの時間は4.0分間を越えなかった。通常の滞底時間は表上、最長の60分間で、190ft潜水の場合は水中減圧時間127分間、タンク内減圧時間144分間の合計圧力暴露時間は約331分間であった。タンク内の純酸素呼吸時間は、30ftより10ftへの減圧中の10分間の呼吸時間を含めれば180FSW × 60min 潜水の場合は49分間、190FSW × 60min 潜水の場合は55分間、200FSW × 60min 潜水の場合は56分間であった。

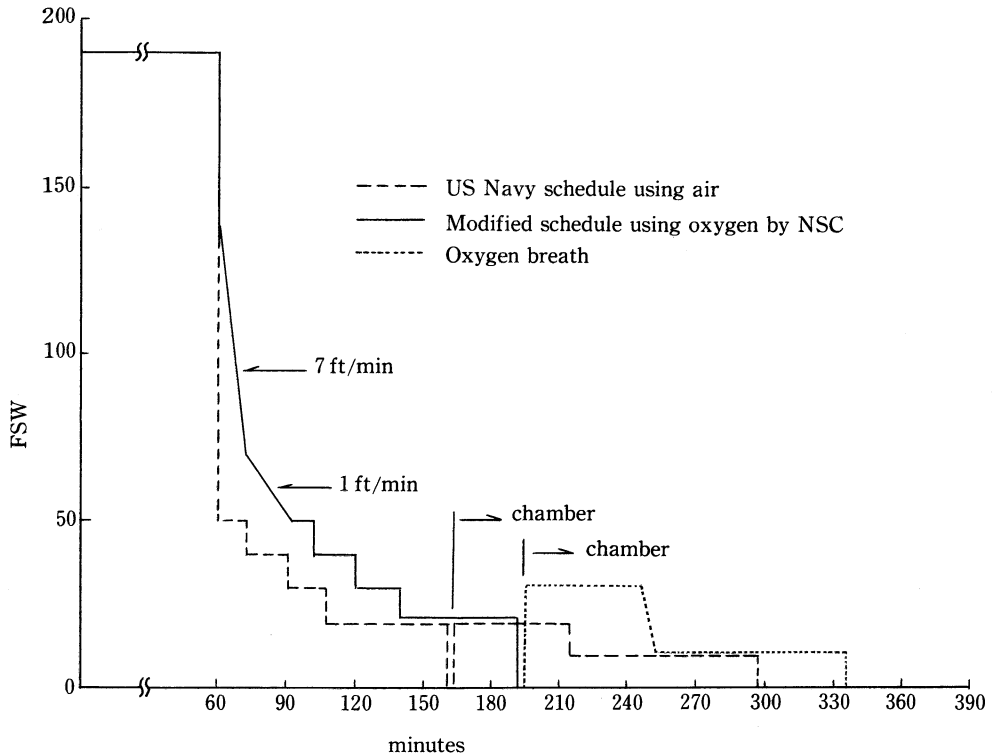


図1 Decompression Profile for 190 FSW × 60min dive

結果と考察

水深 180ft から 200ft の潜水を合計 363 回実施し、この間に減圧症が 9 例発生した。発生率（減圧症数／潜水回数）は 2.48% であった。9 例の内 1 例は、めまい、頭痛、悪感、脱力、窒息感を伴う中枢神経障害であった。これらの詳細は表 1 および表 2 に示した。

Modified schedule の上昇速度は USN table using air の 60ft/min（参考：高気圧安全衛生規則別表第 2 の減圧表の上昇速度は 10m/min=33 ft/min）と比較して、140—70ft の間は 7ft/min、70—50ft の間は 1ft/min とはるかに遅いにもかかわらず、表 3 に示されるように水中減圧中に発生した減圧症が発生減圧症の 44.4%（9 例中の 4 例）を占める。本作業のごとく深く長い、かつ重労働である潜水作業の減圧には USN table を基礎減圧表として使用する場合には上昇速度を modified schedule の上昇速度のごとく遅くして

も、安全な潜水減圧にはまだ上昇速度が速すぎる。すなわち、より深い深度でより長い減圧時間を必要とするのではないかという疑問が残る。

タンク内で純酸素呼吸を 49～56 分間実施しているにもかかわらず、表 3 に示されるごとく減圧終了後の発生も加えて、タンク入室以後の減圧症の発生は 4 例であり、発生減圧症の 44.4% を占める。タンク内での減圧症発生 2 例の内 1 例は 30ft より 10ft へ減圧中に発生し、他の 1 例は 10ft に減圧後発生した。タンク内の加圧下での純酸素呼吸は空気呼吸と比較して著しく高い減圧効果を持つことは明らかである。空気のみで純酸素を使用しない USN table using air は本作業のような状態で潜水作業を行う場合には総減圧時間そのものが不足するのではないかという疑問が生ずる。

また、modified schedule も減圧症発生率 2.48% を考慮すれば、本作業のような状態での潜水の減圧表としては安全な減圧表であるとはいえない。

表1 Incidence of Decompression Sickness

Depth of Water (feet)	Total No. of Dives	No. of D.S.	Incidence (%)
180	161	3	1.86
190	145	4	2.76
200	57	2	3.51
Total	363	9	2.48

表2 Incidence of Symptoms of Decompression Sickness

Symptoms	Bends			CNS	Total
	knee	elbow	shoulder		
No. of Patients	2	3	3	1	9
Incidence (%)	22.2	33.3	33.3	11.1	100

表3 Conditions at the Onset of Decompression Sickness

Under water	4 cases	44.4%
Between water & chamber	1 case	11.1%
In chamber	2 cases	22.2%
After decompression	2 cases	22.2%
Total	9 cases	100 %

結 語

船上減圧は安全な減圧表を適正に運用することができれば、ダイバーの水中減圧時間を短縮し、疲労を軽減し、タンク内での正確かつ安全な減圧を可能にし、潜水作業そのものの安全性を大いに高めることが可能である。残念ながら我が国にはこの船上減圧表が存在しない。USN table using air も本潜水作業のような深く長い、そして厳しい潜水の減圧表としては、安全な完成された減圧表というには疑問がある。よって十分な生理学的、医学的考察のなされた安全な船上減圧表の出現が望ましい。

[参 考 文 献]

- 1) U. S. Navy Department : U. S. Navy Diving Manual. Washington, D.C. USA. 1975. U.S. Government Printing Office
- 2) Yano, H., and E.L. Beckman : Safer air decompression schedules developed during a two-year salvage diving operation. Decompression Theory (The Seventeenth Undersea Medical Society Workshop). Bethesda, Maryland, USA. 1980. Undersea Medical Society, Inc.