

2-4. 船上（空気）減圧表試算

2-4-1. ま え が き

現状の日本における高圧則では、潜水時の酸素吸入は認められていない。しかし酸素吸入が、窒素分圧の低下に効果的であることは欧米等の運用例を見ると明らかである。また、土木における圧気作業と異なり、潜水時に呼吸ガスの切換えを円滑かつ適切に行うことは、実用上難しい面もあり、欧米では、設定された圧力(約9msw)までの減圧を行った後、大気中に浮上し、船上の減圧室内で酸素吸入を行う方法が一般的に行われている。ここでは、そういった船上の減圧室内での酸素吸入を前提とした減圧過程について、欧米での運用事例に倣って試算を行う。

2-4-2. 試 算 条 件

- (1) 深度Dの範囲は、 $10\text{m} < D \leq 40\text{m}$ とする。
- (2) 空気の組成は、酸素21%・窒素79%とする。
- (3) 船上減圧手順は以下のとおりとする。
 - ① 第1減圧停止が9m以浅の場合：
水面まで一気に浮上し、船上の高圧タンクに入り、水面に出てから5分以内に12mまで加圧し、酸素吸入を行う。高圧タンクの減圧は、12mから大気圧まで一気にいき、途中の減圧停止は設定しない。
 - ② 第1減圧停止が12m以深(12mを含む)の場合：
水中で減圧上必要な深度(12m以深)での減圧停止を行ってから、一気に浮上し、船上の高圧タンクに入り、水面に出てから5分以内に12mまで加圧し、酸素吸入を行う。水中での12mの停止時には酸素吸入は行わない。高圧タンクの減圧は、12mから大気圧まで一気にいき、途中の減圧停止は設定しない。
- (4) 12mで滞在後、12msw～0msw～12msw(高圧タンク)間の PN_2 変動は本試算では考慮しない。
- (5) 酸素減圧は、25分の酸素吸入と 5分の空気吸入(エアブレイク)を減圧完了まで繰り返すものである。
- (6) 酸素減圧で吸入するガスの組成は、酸素80%・窒素20%とする。
- (7) エアブレイク中に吸入する空気の組成は、酸素21%・窒素79%とする。
- (8) 加圧速度、および減圧速度は 8m/分とする。
- (9) 減圧停止時間は、少数第1位を切り上げ、1分単位に丸める。
- (10) 圧気作業開始(加圧開始)直前で、全ての半飽和時間組織は、窒素分圧 0.79atmで飽和されている。
- (11) 現場入場 8時00分、圧気作業(加圧)開始 8時30分、圧気作業(減圧)完了後60分の休憩、現場退場 17時00分。圧気作業を行った翌朝 7時30分に、全ての半飽和時間組織中の窒素分圧が

0.8atm以下とする。このため、必要に応じて減圧完了後に休憩を60分取った後、大気圧中で酸素吸入を行う。

(12) 上記条件の下にワークマンM値とホールデン理論の微分方程式解を基に減圧試算を行う。

2-4-3. 船上（空気）減圧表試算 A ～40msw 滞在時

船上減圧表試算A～40msw滞在時の試算結果を下記にまとめた。まず減圧過程をグラフにより比較対照する。また、90分滞在におけるU.S.N. 及び普通の空気減圧との比較グラフを示す。次にOTU計算や連日作業の可否判定を含んだ減圧表という形で総括する。最後に、具体的な現場でのスケジュール例を各試算ごとに提示する。

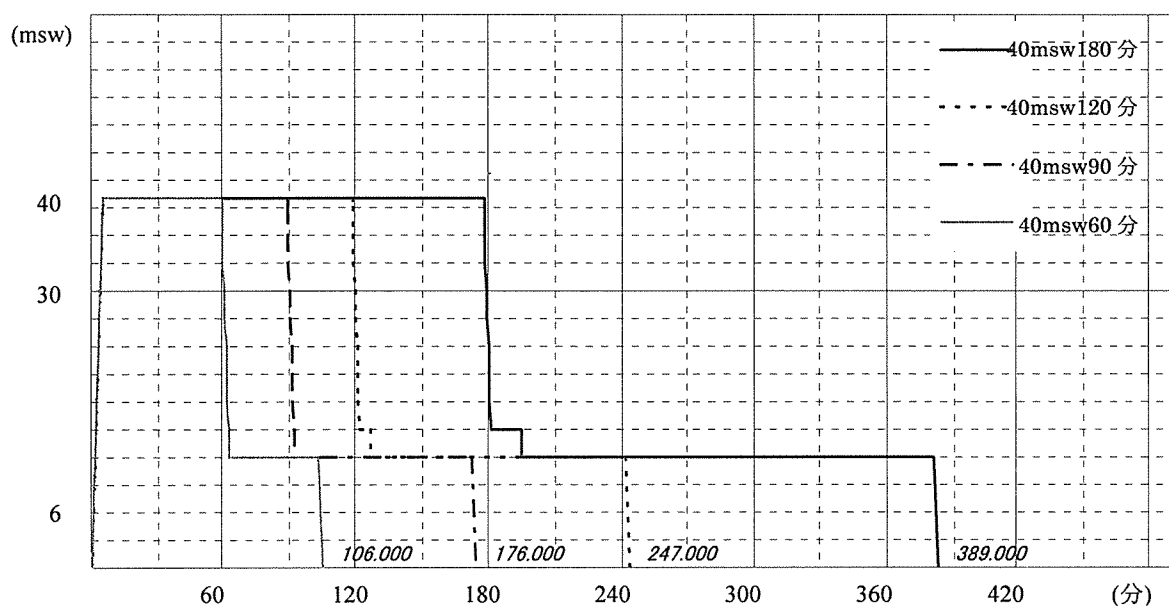


図2-55 船上減圧過程図 (40msw,90分)

図2-55に船上減圧表試算Aの結果をまとめた、全体のうち180分滞在のものだけが、減圧時間、連日作業のOTU値両面で超過している。これは一日限定で、時間外労働を行う場合にのみ許容される。120分滞在は、減圧時間は標準スケジュールに収まるが、OTU値から週4日までの連日作業に制限される。他は標準作業スケジュールおよび6日連日作業時のOTU値の両方が基準以下に収まる試算結果となった。

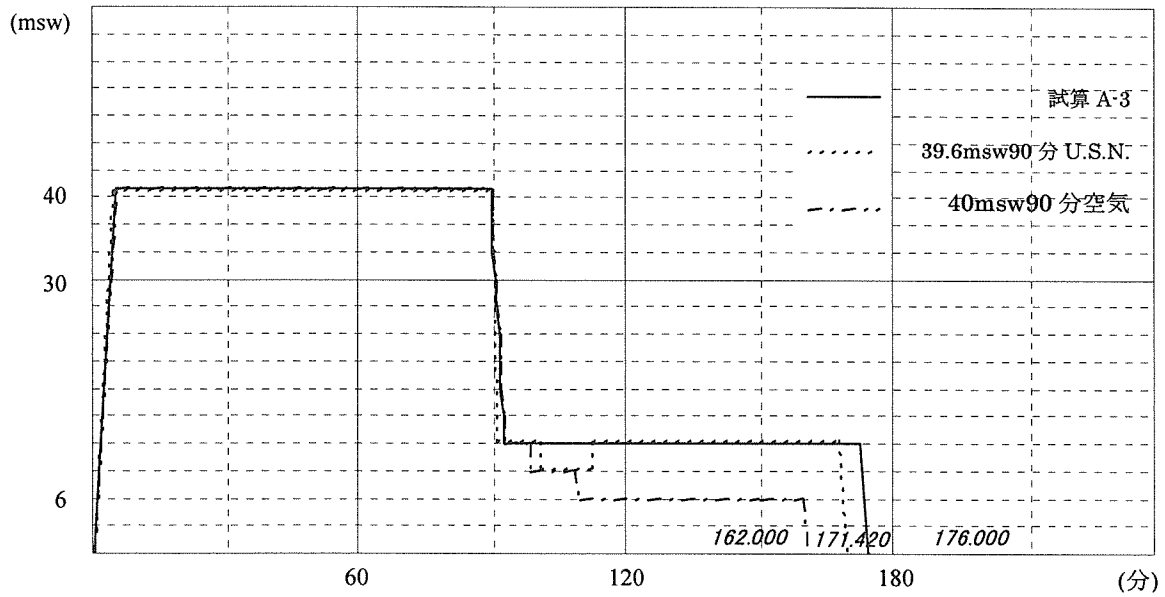


図2-56 船上減圧過程図 (40msw,90分)

図2-56から船上減圧30msw,90分の減圧過程は、U.S.N.及び通常の空気減圧(酸素吸入有り)と5から15分程度長い結果となった。

表2-27 船上(空気)減圧表 (40msw) ※ABはエアブレイクの略

船上 (空気) 40msw																					
ボトムガス N ₂ =79% O ₂ =21%										浮上酸素 N ₂ =20% O ₂ =80%											
		停止圧力 (msw)												TOTAL TIME	酸素吸入時間	酸素吸入後の TOTAL TIME	積算 OTU	連日作業*1 標準内*2			
		36	33	30	27	24	21	18	15	12	12	船上									
ボ ト ム タ イ ム	60													3.5	36		14			6	
	AB														5	106.00		120.00	179.4	○	
	90													12	59		104			6	
	AB														10	176.00	20	300.00	365.37	○	
	120												5	17	85		155			4	
	AB														15	247.00	35	437.00	521.1	○	
	180													14	29	136		197			1
	AB														25	389.00	35	581.00	777.3	×	

注) *1 連日作業可能な日数/週を示す。

*2 標準内の記号○は標準作業時間内、×は標準作業時間外、△は休憩等が標準作業外になる場合をそれぞれ示す。

通常現場退場時間 17:00 ▼

現場 入場 8:00	減圧開始	減圧完了	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	余剰時間	現場退場
	高圧下時間 (空気) 180分(40msw)	減圧過程 I (空気) 46.5分							

図2-57 試算A-1の減圧スケジュール

現場 入場 8:00	減圧開始	減圧完了	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	余剰時間	現場退場
	高圧下時間 (空気) 120分(40msw)	減圧過程 I (空気) 25分							

図2-58 試算A-1の減圧スケジュール

現場 入場 8:00	減圧開始	減圧完了	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	余剰時間	現場退場
	高圧下時間 (空気) 90分(40msw)	減圧過程 I (空気) 15.5分							

図2-59 試算A-3の減圧スケジュール

現場 入場 8:00	減圧開始	減圧完了	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	余剰時間	現場退場
	高圧下時間 (空気) 60分(40msw)	減圧過程 I (空気) 3.5分							

図2-60 試算A-4の減圧スケジュール

2-4-4. 船上（空気）減圧表試算 B ～30msw 滞在時

船上減圧表試算B～30msw滞在時の試算結果を下記にまとめた。まず減圧過程をグラフにより比較対照する。また、OTU計算や連日作業の可否判定を含む減圧表という形で総括する。最後に、具体的な現場でのスケジュール例を各試算ごとに提示する。

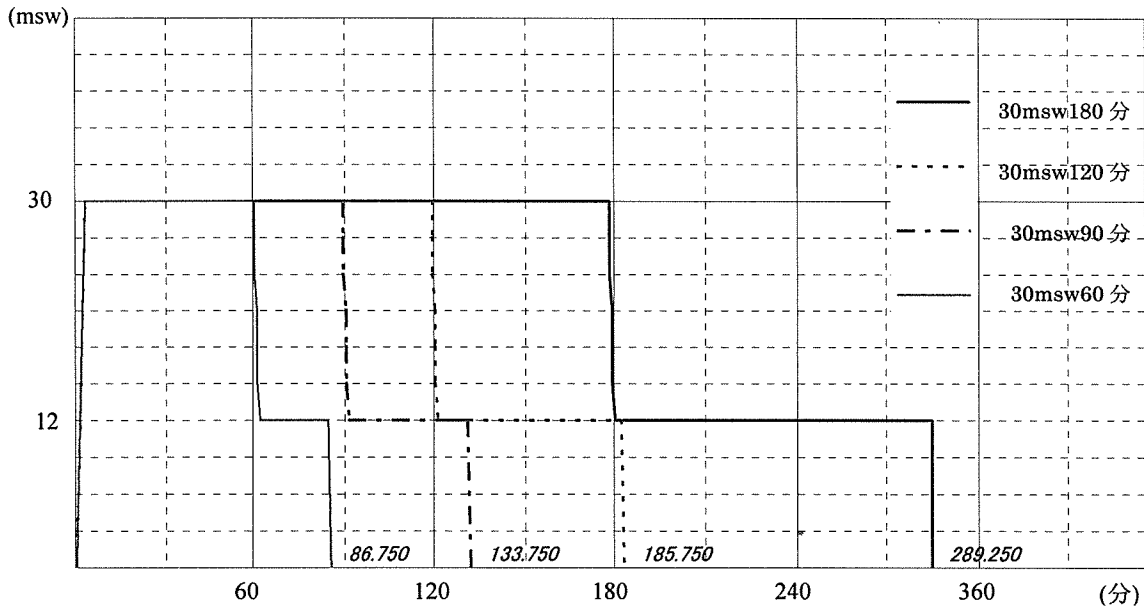


図2-61 船上減圧過程図 (30msw)-まとめ

上図2-61に船上減圧表試算Bの結果をまとめた、全体のうち180分滞在のものだけが、減圧時間、6日連日作業時のOTU値両面で超過しているが、他は1日の標準作業スケジュールおよび6日連日作業時のOTU値の両方が基準以下に収まる試算結果となった。

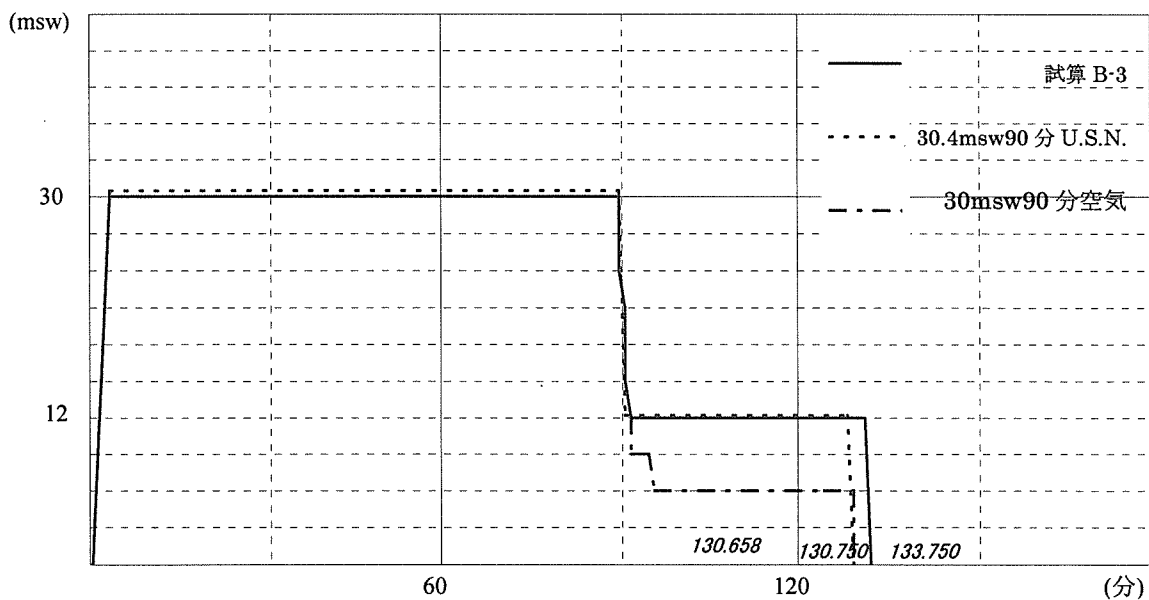


図2-62 船上減圧過程比較図 (30msw,90分)

前頁図2-62から船上減圧30msw,90分の減圧過程は、ほぼU.S.N.及び通常の空気減圧(酸素吸入有り)と同じ結果となった。

表2-28 船上(空気)減圧表 (30msw) ※ABはエアブレイクの略

船上 (空気) 30msw																						
ボトムガス N ₂ =79% O ₂ =21%											浮上酸素 N ₂ =20% O ₂ =80%											
		停止圧力 (msw)													TOTAL TIME	酸素吸入時間	酸素吸入後の TOTAL TIME	積算 OTU	連日作業*1 標準内*2			
ボ ト ム タ イ ム	60																23		0			6
	AB																	86.75		86.75	108.3	○
	90																	35	44			6
	AB																	5	5	182.75	207.3	○
	120																	52	103			6
	AB																	10	20	308.75	335.0	○
	180																	4	88			4
AB																	15	30	488.00	544.0	×	

注) *1 連日作業可能な日数/週を示す。

*2 標準内の記号○は標準作業時間内、×は標準作業時間外、△は休憩等が標準作業外になる場合をそれぞれ示す。

通常現場退場時間 17:00 ▼

現場 入場	減圧開始	減圧完了	移行過程	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	現場 退場
	高圧下時間 (空気) 180分(30msw)	減圧過程 I (空気) 6.25分		急速浮上後5分 ≒8分程度	減圧過程 II (船上) (酸素) 104.5分 (AB20分)		60分	酸素 吸入 169分 AB 30分	
8:00	8:30	1:36		1:44	2:49		1:17	1:35	17:00
総減圧時間 290.75分									

図2-63 試算B-1の減圧スケジュール

現場 入場	減圧開始	減圧完了	移行過程	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	現場 退場
	高圧下時間 (空気) 120分(30msw)	減圧過程 I (空気) 2.25分		急速浮上後5分 ≒8分程度	減圧過程 II (船上) (酸素) 63.25分 (AB10分)		60分	酸素 吸入 103分 AB無	
8:00	8:30	1:32		1:40	2:40		1:17	1:32	17:00
総減圧時間 185.5分									

図2-64 試算B-2の減圧スケジュール

現場 入場	減圧開始	減圧完了	移行過程	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	現場 退場
	高圧下時間 (空気) 90分(30msw)	減圧過程 I (空気) 2.25分		急速浮上後5分 ≒8分程度	減圧過程 II (船上) (酸素) 41.5分 (AB5分)		60分	酸素 吸入 44分 AB 5分	
8:00	8:30	1:02		1:10	2:10		1:17	1:22	17:00
総減圧時間 133.75分									

図2-65 試算B-3の減圧スケジュール

現場 入場	減圧開始	減圧完了	移行過程	移行完了	減圧完了	休憩	余剰時間		現場 退場
	高圧下時間 (空気) 60分(30msw)	減圧過程 I (空気) 2.25分		急速浮上後5分 ≒8分程度	減圧過程 II (船上) (酸素) 24.5分 (ABなし)		60分	355分	
8:00	8:30	9:32		9:40	10:40				17:00
総減圧時間 86.75分									

図2-66 試算B-4の減圧スケジュール

2-4-5. 船上（空気）減圧表試算 C ～20msw 滞在時

船上減圧表試算C～20msw滞在時の試算結果を下記にまとめた。まず減圧過程をグラフにより比較対照する。また、OTU計算や連日作業の可否判定を含む減圧表という形で総括する。最後に、具体的な現場でのスケジュール例を各試算ごとに提示する。

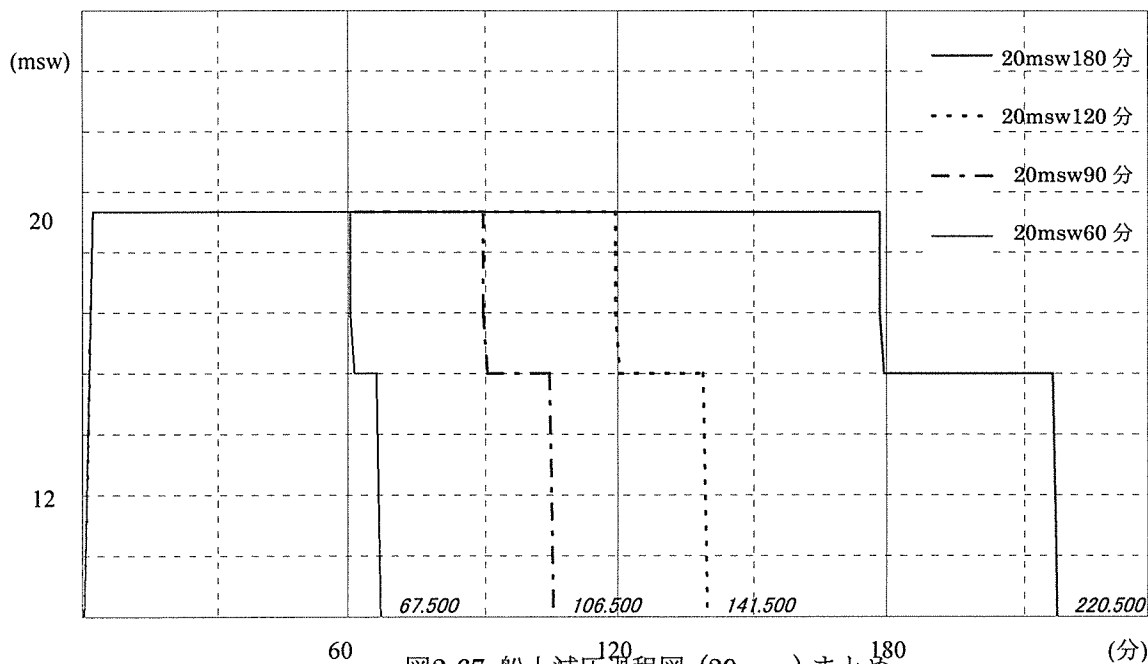


図2-67 船上減圧過程図 (20msw)-まとめ

上図2-67に船上減圧表試算Cの結果をまとめた、このケースC全体を通して作業時間、OTU値両面で1日の標準的作業スケジュールに収まる試算結果となった。

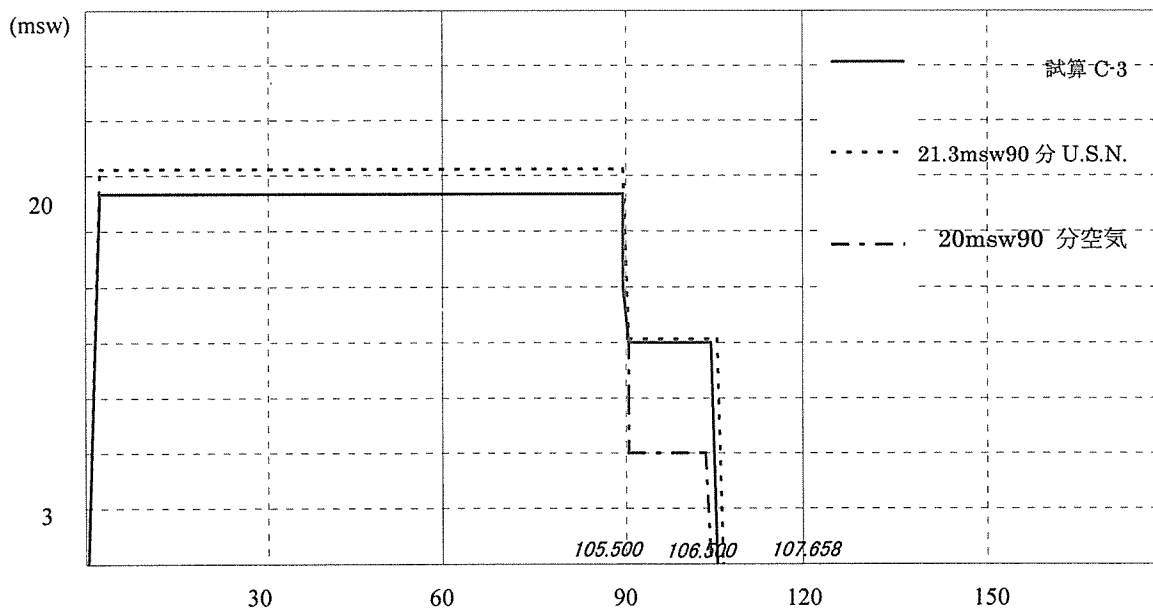


図2-68 船上減圧過程比較図 (20msw,90分)

前頁図2-68から船上減圧20msw,90分の減圧過程は、ほぼU.S.N.及び通常の空気減圧(酸素吸入有り)と同じ結果となった。下記に減圧表を示す。

表2-29 船上(空気)減圧表 (20msw)

船上 (空気) 20msw																			
ボトムガス N ₂ =79% O ₂ =21%												浮上酸素 N ₂ =20% O ₂ =80%							
		停止圧力 (msw)												TOTAL TIME	酸素吸入時間	酸素吸入後の TOTAL TIME	積算 OTU	連日作業 標準内	
ボ ト ム タ イ ム	60													5		0		6	
	AB														67.50		67.50	35.6	○
	90													14		0		6	
	AB														106.50		106.50	70.3	○
	120													19		29		6	
	AB														141.50	5	175.50	122.9	○
	180													33		112		6	
	AB													5	220.50	20	352.50	264.5	○

現場 入場 8 : 0 0	減圧開始	減圧完了	移行過程	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	余剰時間	現場退場 1 7 : 0 0
	高圧下時間 (空気) 180分(20msw)	減圧過程Ⅰ (空気) 1.00分		急速浮上後5分 ≒8分程度	減圧過程Ⅱ(船上) (酸素) 39分 (AB5分)		60分	吸入 182分 AB20分		

図2-69 試算C-1の減圧スケジュール

現場 入場 8 : 0 0	減圧開始	減圧完了	移行過程	移行完了	減圧完了	休憩	吸入開始	吸入終了	余剰時間	現場退場 1 7 : 0 0
	高圧下時間 (空気) 120分(20msw)	減圧過程Ⅰ (空気) 1.00分		急速浮上後5分 ≒8分程度	減圧過程Ⅱ(船上) (酸素) 20.5分 (ABなし)		60分	吸入 34分 AB5分		

図2-70 試算C-2の減圧スケジュール

現場 入場 8 : 0 0	減圧開始	減圧完了	移行過程	移行完了	減圧完了	休憩	余剰時間		現場退場 1 7 : 0 0
	高圧下時間 (空気) 90分(20msw)	減圧過程Ⅰ (空気) 1.00分		急速浮上後5分 ≒8分程度	減圧過程Ⅱ(船上) (酸素) 15.5分 (ABなし)		60分	343分	

図2-71 試算C-3の減圧スケジュール

現場 入場 8 : 0 0	減圧開始	減圧完了	移行過程	移行完了	減圧完了	休憩	余剰時間		現場退場 1 7 : 0 0
	高圧下時間 空気 60分(20msw)	減圧過程Ⅰ (空気) 1.00分		急速浮上後5分 ≒8分程度	減圧過程Ⅱ(船上) (酸素) 6.5分 (ABなし)		60分	375分	

図2-72 試算C-4の減圧スケジュール

2-4-6. 船上（空気） 減圧表試算のまとめ

本節では、欧米で一般的に試みられている、船上の減圧室内での酸素吸入による減圧法について試算を試みた。

まず、本試算とU.S.N.2001版減圧表(値があるもののみ)とを比較すると、誤差10分以内で近似していることが分かる。U.S.N. は本試算と違い9mswまでを停止圧にしているため、この値の差が生じていると推測される。また、U.S.N.は40msw以深の高圧下では90分を超える滞在の表を用意していないことから、比較的浅い深度で、短時間潜ることを前提とした減圧方式と考えているようである。参考として40msw,90分滞在時の図2-56を再掲する。

次に、本試算内で、一般的な空気減圧と比べてどのような違いがあるかを比べてみる。基本的には、一般的な空気減圧に比べ減圧時間が長くなる傾向がある。そして高圧下滞在時間が長くなるほど、その差は広がっていく傾向にある。実際には、12mswからの浮上～減圧室へ移動のプロセスがあるため、より長くなると考えてよい。しかし、酸素吸気自体は、海中に比べ確実に安定した圧力で行えるため、その点の信頼性は高いと推測される。最終浮上～船上高圧タンクへの移動の際の身体組織への影響が検討課題であろう。

最後に、高圧下時間と総減圧時間との相関関係を図2-73にグラフ化した。これを見ると、減圧過程自体がシンプルであるせいか、相関が正比例関係となっていることが明確に分かる。



図2-56 船上減圧過程図 (40msw,90分,再掲)

総減圧時間(分)

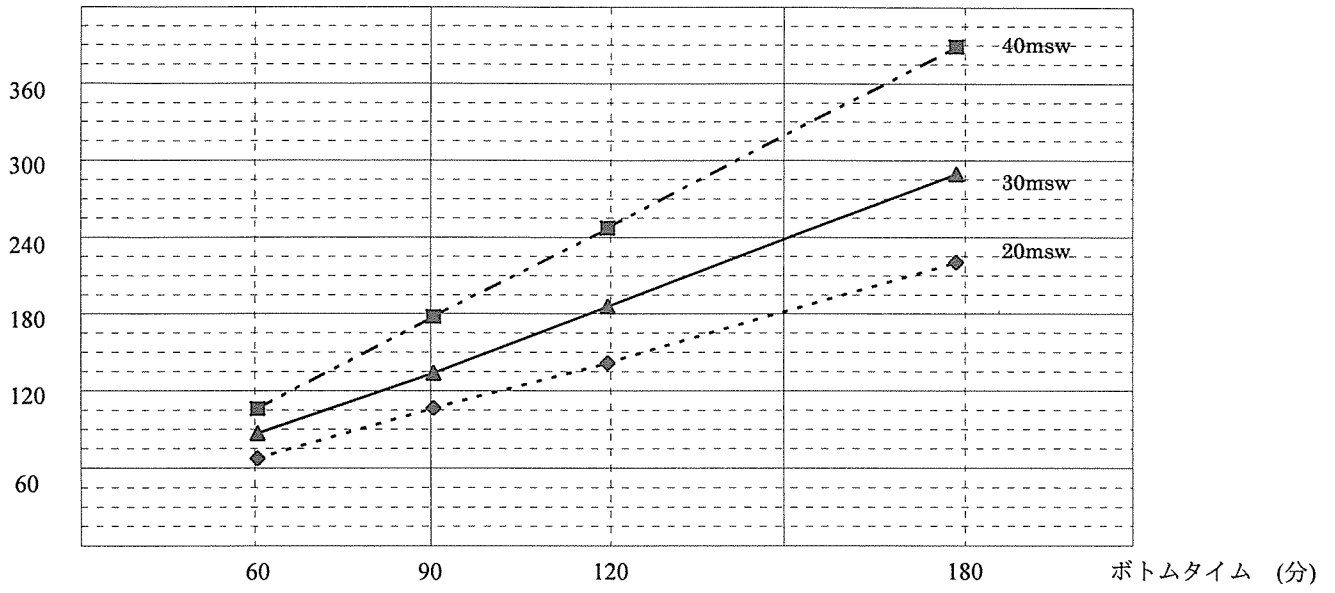


図2-73 船上減圧における減圧時間の比較

2-5. 各種減圧表試算の総括と分析

2-5-1. 空気・ナイトロックス・ヘリオックス減圧の比較分析

ここでは、空気・ヘリオックス・ナイトロックスについて現実に減圧に用いられる可能性のある圧力（40msw,120分）でその特徴をグラフ化し比較検討した。

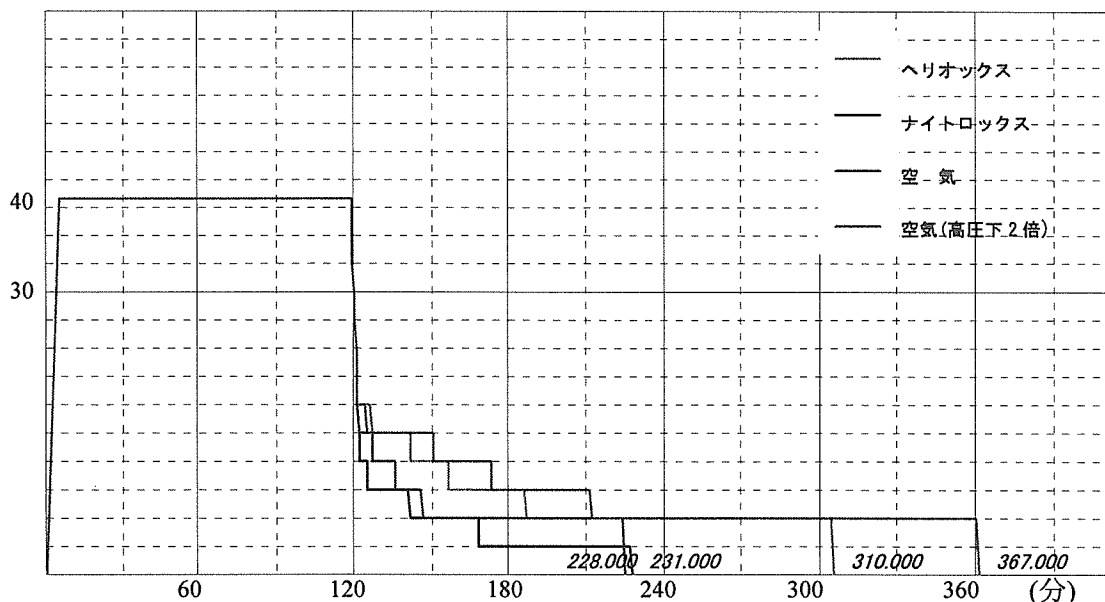


図2-74 空気・ナイトロックス・ヘリオックス減圧過程の比較 (40msw,120分)

図2-74より分かるのは、ヘリオックスの減圧時間が他の減圧過程に比して長くなる傾向があることである。これは、ヘリオックスの減圧計算において、高圧下時間を2倍にするというU.S.N等で行われてきた慣例に従っているためである。同表中に～空気(高圧下2倍)～として示したように、空気減圧でも同様の高圧下時間2倍の試算を行うと、ヘリオックスよりも長い減圧時間となる。本来、この高圧下時間を2倍にする慣例は、通常よりも激しい労働をすることによる呼吸の増大を考慮したものである。これらのことから圧気作業等の作業状況によっては、高圧下時間を2倍にする考え方についての再考が求められる。ここで、ヘリオックス減圧の利点を考えると、他の呼吸ガスが、連日作業を可能にするには体内不活性ガス分圧を十分に下げる必要があるため、大気帰還後も酸素吸入等を必要とするのに比べ、それが全く必要ない点である。この点を考えて、総拘束時間（高圧下時間+減圧時間+大気帰還後の酸素吸入時間）でヘリオックスと他のガスを比較すると下記 表2-29のようになる。

表2-29 40msw,120分のときの各呼吸ガスによる総拘束時間

ヘリオックス	ナイトロックス	空気	空気 (高圧下 2倍)
310 分	393 分	392 分	615 分

これから分かるように、連日作業を前提とした拘束時間では、高圧下時間を2倍と考えても、最も短い拘束時間となっている。この事実がヘリオックスによる高圧下作業の優位性を証明している。引き続きより高圧下で長時間滞在（70msw - 120分）での通常の空気減圧(酸素併用)、そして空気減圧について高圧下時間を2倍にしたものとの比較を試みる。

図2-75より分かるのは、やはり高圧下時間2倍したことにより、ヘリオックスのほうが空気より長くなるということである。しかし空気においても高圧下時間を2倍と考えると、ヘリオックスよりはるかに長い減圧時間となる。前項と同じ結論であるが、圧力が高く長い滞在時間では、より減圧時間の差が大きくなる傾向がある。このことから、高圧下の時間をどのように考えるかがこれからのヘリオックス減圧における大きな検討課題である。

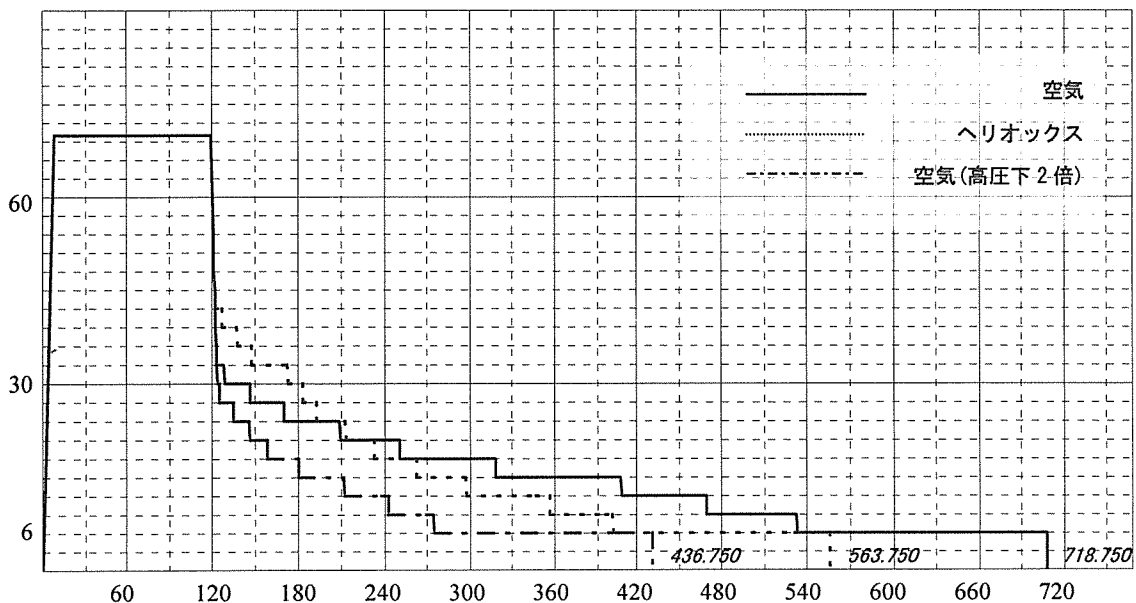


図2-75 空気・高圧下2倍空気・ヘリオックス減圧過程の比較（70msw,120分）

2-5-2. 各減圧方式の特徴

各種減圧表試算のまとめとして、呼吸ガス別の特徴を簡略に示した。

空気減圧の特徴は、比較的シンプルな減圧過程で減圧可能な点である。40msw以浅において40msw, 180分作業以外では、連日作業が可能である。酸素吸入時の、マスク内の窒素及び酸素量の評価についてはより臨床的研究が求められるが、酸素吸入の導入により、作業員にとってより安全で負担の少ない減圧方法となると考えられる。

ヘリオックス減圧の特徴は、高圧下の時間2倍という計算上の前提のため、減圧過程自体が長時間となる点である。しかし、帰還後の酸素吸入を必要とせず、かなりの高圧下でもOTUの値は比較的低い。また減圧中12msw以浅の酸素吸入時の計算上の仮定をPHe20%としており、酸素減圧の効果が表れにくくなっているため、今後、酸素吸入効果について適正な臨床的補正がなされることが望まれる。以上の点を改善すれば、高圧下で連日作業を行う際の呼吸法としては、最も優れていると考えられる。

ナイトロックス減圧は、空気減圧とヘリオックス減圧の中間的な方法であるが、双方にない特徴がある。それは、減圧中の呼吸ガスの切り換えが無いために、水中潜水時にも容易に導入できる点である。連日作業への対応も、空気減圧より優れている。

船上減圧は、荒天のため減圧中の一定水深の確保が困難な浅い水深の酸素吸入を、船上の高圧タンク内で行うものである。この際の急浮上の減圧の評価が曖昧なまま残されている。方法としては通常の酸素減圧より、全体的に若干長い時間で高圧タンク内の減圧が可能のため、潜水時の減圧としては選択肢の一つとなる。

3. 繰返し潜水表

3-1. 繰返し潜水表の提案：～0.08MPa以下の管理要領（潜水深度8m以浅）

3-1-1. まえがき

高圧則は作業気圧0.1MPa以下の高圧下滞在あるいは潜水深度10 m以浅の潜水作業に対して減圧停止時間を要求していない。この範囲では両者の滞在時間や繰返し滞在回数に対する制約も設定してない。それを超えると圧力0.03MPaでの減圧停止時間あるいは深度3.0mでの浮上停止時間を要求している。なぜ、このようになるのか？という疑問への解答を説明する資料も見当たらない。

この報告書は、上記疑問に対する解答案を提供する目的で作成した。ここで述べた考え方は米国やカナダの潜水で採用されている「繰返し潜水要領」を踏襲している。それらは圧力0.1MPa(33 fsw \equiv 10 msw)以下の滞底時間と窒素分圧との関係を「繰返し潜水表」や「繰返しグループ指標」に整理して、適用要領が公開されている。

本邦既往高気圧作業において、ゲージ圧0.085MPa(\equiv 8.5 msw)程度で減圧症が発症した事例報告や骨壊死発症事例があることから本邦高気圧作業に「繰返し潜水表」等を適用する範囲として、圧力0.08MPa (\equiv 8.0 msw)までの滞底時間と窒素分圧の関係を評価し、この圧力を超える高気圧作業において1日1回作業の減圧停止と減圧停止時間を設けることとした。ここで提案した考え方は、当然ながら本邦の潜水作業にも応用できるが、その要領は別の機会に検討する。さらには労働作業に限らず、レジャーダイビングなどの指導にも活用できると考える。このようにして、本邦高気圧作業と潜水作業における減圧の考え方が整合できる。

3-1-2. 繰返しグループ指標とその意味

減圧の通説として圧力0.1MPa(10 msw)以下に長時間滞在した後に、急速減圧しても減圧症発症率は低く、高圧則は減圧停止不要範囲に区分している。0.1MPaを超える作業になると突然、減圧停止時間が要求される。その理由は詳らかにされていない。一方、本邦既往高気圧作業において、ゲージ圧0.085MPa(\equiv 8.5 msw)程度で減圧症が発症した事例報告や骨壊死発症事例があった。これらのことから、眞野らは0.1MPa付近の高気圧作業要領を定量的に解説し、この程度の規模の高気圧作業に減圧停止時間設定を提起することにした。

最初に、減圧停止不要の高気圧作業を圧力0.08MPa(\equiv 8.0 msw)以下の作業に想定することにして、この範囲における体内溶存窒素分圧を表2-30で表わすことにした。圧力範囲をアルファベット表示の指標で区分し、呼吸する高圧空気の窒素分圧範囲を表2-1のPN₂換算欄に示している。これらの値は当該圧力範囲に長時間滞在したときの体内溶存飽和窒素分圧と見做してよく、急速減圧しても減圧症発症が少ないと判断する。圧力0.08MPaを超える作業であっても、表2-30の指標が示す範囲の窒素分圧段階に窒素分圧増加がとどまっていれば急速減圧を行っても減圧症発症は極めて少なく、将来の骨壊死発症軽減に寄与すると判断する。すなわち繰返し作業を行っても、この範囲の窒素分圧増大であれば急速減圧と繰返し作業が可能と言える。

表2-30 繰返しグループ指標の定義

指標	絶対圧 D (m) $D = dg + 10$	PN ₂ 換算 (atm) $0.79 \times (D/10.038)$
A	10.3 < D ≤ 10.6 (0.3)	0.81 < PN ₂ ≤ 0.83
B	10.6 < D ≤ 11.0 (0.4)	0.83 < PN ₂ ≤ 0.87
C	11.0 < D ≤ 11.5 (0.5)	0.87 < PN ₂ ≤ 0.91
D	11.5 < D ≤ 12.0 (0.5)	0.91 < PN ₂ ≤ 0.94
E	12.0 < D ≤ 12.5 (0.5)	0.94 < PN ₂ ≤ 0.98
F	12.5 < D ≤ 13.0 (0.5)	0.98 < PN ₂ ≤ 1.02
G	13.5 < D ≤ 14.0 (0.5)	1.02 < PN ₂ ≤ 1.10
H	14.0 < D ≤ 14.5 (0.5)	1.10 < PN ₂ ≤ 1.14
I	14.5 < D ≤ 15.0 (0.5)	1.14 < PN ₂ ≤ 1.18
J	15.0 < D ≤ 15.5 (0.5)	1.18 < PN ₂ ≤ 1.22
K	15.5 < D ≤ 16.0 (0.5)	1.22 < PN ₂ ≤ 1.26
L	16.0 < D ≤ 16.5 (0.5)	1.26 < PN ₂ ≤ 1.30
M	16.5 < D ≤ 17.0 (0.5)	1.30 < PN ₂ ≤ 1.34
N	17.0 < D ≤ 17.5 (0.5)	1.34 < PN ₂ ≤ 1.38
O	17.5 < D ≤ 18.0 (0.5)	1.38 < PN ₂ ≤ 1.42

3-1-3. 日本版・繰返し指標の提案：U.S.N.と提案値の対比

① Haldane定律から2絶対気圧以下の潜水は減圧停止不要潜水なので、ゲージ水深d=0.3mから8.0mの範囲の潜水における窒素分圧を管理値に設定した。なお、この範囲であれば深度区分を任意に選択できる。この深度区分に「繰返し潜水グループ指標」という名前をつけて深度d及びその深度における飽和窒素分圧を代表させることにした。表2-31は日本版・繰返しグループ指標の定義とU.S.N.との対比表である。深度値は空気成分（例えば0.79）を乗じて窒素分圧に換算できるので、「窒素分圧」と読み替えてもよいことにする。なお、この名前は米国海軍の呼称「Repetitive Group Designation」の直訳である。高気圧作業と潜水の両者に共通する用語が要求される。今後の課題とする。

② 指標A,Bを除いて0.5m間隔を中心にして深度dを区分している。

③ 米国海軍は浮上後12時間経過以内の再潜水を繰返し潜水と定義している。翌日の潜水可能な条件として前日の浮上から12時間経過時点の窒素分圧を0.80atmに抑えている。このことと整合性を図るために、日本版繰返し指標における低位の窒素分圧も浮上後12時間経過時点（翌日の潜水開始時）で0.80atmに抑えることにした。

④ 減圧停止不要潜水の限界は絶対気圧深度18.0msw(ゲージ圧約0.08MPa)の飽和窒素分圧1.42atm(14.2msw)とした。

表2-31 日本版・繰返しグループ指標とU.S.Nの比較

区分	U.S.N.潜水教範 (Lesson20、1981 : 「原著」と略称)				提 案	
	原著より	提案者による原著数値の換算				
指標	D (fsw)	D の fsw から msw への換算案 ()内は間隔(m)	PN ₂ 換算 (fsw) 0.79×D	PN ₂ 換算 (atm) 0.79D/33.07	D (m) ()内は区間気圧	PN ₂ 換算 (atm) 0.79×(D/10.038)
A	34.0~34.9	10.36~10.64 (0.28)	26.86~27.57	0.812~0.834	10.3<D≤10.6 (0.3)	0.811<PN ₂ ≤0.834
B	35.0~36.9	10.67~11.24 (0.57)	27.65~29.15	0.836~0.881	10.6<D≤11.0 (0.4)	0.834<PN ₂ ≤0.866
C	37.0~38.9	11.28~11.85 (0.57)	29.23~30.73	0.884~0.929	11.0<D≤11.5 (0.5)	0.866<PN ₂ ≤0.905
D	39.0~40.9	11.89~12.47 (0.58)	30.81~32.31	0.932~0.977	11.5<D≤12.0 (0.5)	0.905<PN ₂ ≤0.944
E	41.0~42.9	12.49~13.08 (0.59)	32.39~33.89	0.979~1.025	12.0<D≤12.5 (0.5)	0.944<PN ₂ ≤0.984
F	43.0~44.9	13.11~13.69 (0.58)	33.97~35.47	1.027~1.073	12.5<D≤13.0 (0.5)	0.984<PN ₂ ≤1.023
G	45.0~46.9	13.72~14.29 (0.57)	35.55~37.05	1.075~1.120	13.5<D≤14.0 (0.5)	1.023<PN ₂ ≤1.102
H	47.0~48.9	14.33~14.90 (0.57)	37.13~38.63	1.123~1.168	14.0<D≤14.5 (0.5)	1.102<PN ₂ ≤1.141
I	49.0~50.9	14.94~15.51 (0.57)	38.71~40.21	1.171~1.216	14.5<D≤15.0 (0.5)	1.141<PN ₂ ≤1.181
J	51.0~52.9	15.54~16.12 (0.58)	40.29~41.79	1.218~1.263	15.0<D≤15.5 (0.5)	1.181<PN ₂ ≤1.220
K	53.0~54.9	16.15~16.73 (0.58)	41.87~43.37	1.266~1.311	15.5<D≤16.0 (0.5)	1.220<PN ₂ ≤1.259
L	55.0~56.9	16.76~17.34 (0.58)	43.45~44.95	1.314~1.359	16.0<D≤16.5 (0.5)	1.259<PN ₂ ≤1.299
M	57.0~58.9	17.37~17.95 (0.58)	45.03~46.53	1.362~1.407	16.5<D≤17.0 (0.5)	1.299<PN ₂ ≤1.338
N	59.0~60.9	17.98~18.56 (0.58)	46.61~48.11	1.409~1.455	17.0<D≤17.5 (0.5)	1.338<PN ₂ ≤1.377
O	61.0~62.9	18.59~19.17 (0.58)	48.19~49.69	1.457~1.502	17.5<D≤18.0 (0.5)	1.377<PN ₂ ≤1.417
P						
Q						
Z	63.0~64.0	19.20~19.51 (0.31)	49.77~50.56	1.505~1.529		

※120分組織の窒素M値は大気圧帰還（水面浮上）可能な窒素分圧15.8 mswを設定している。

3-1-4. 減圧停止不要高気圧作業の実作業気圧区分と作業時間

表2-32は潜水教範1981・Table2の日本版で「減圧停止不要作業管理表」と名づけることにした。先に設定した繰返しグループ指標が示す窒素分圧の範囲に収まる潜水であれば減圧停止不要潜水と言える。すなわち実潜水深度が30mであっても潜水時間が短くて水面浮上時までには体内窒素分圧が繰返しグループ指標が示す窒素分圧以下に収まっていればということである。

米国海軍は、このような深度を最深190fsw(59.9m)、5分の滞底（水面浮上まで）を許容している。潜水では、海底や水中の状況把握のためにこの程度の潜水も要求されるが、高気圧作業では、短すぎる。ニューマチックケーソンの高気圧作業用には、エアロックと作業室間の昇降時間に作業室で要求される作業時間も加味しなければならない。さらには、高気圧環境に連日暴露される作業員以外の特殊作業員例えば電気技術者の入函なども考えられるので、作業時間には余裕をもたせたい。窒素酔い対策も配慮しなければならない。以上を勘案して、高気圧作業用の減圧停止不要範囲は作業気圧0.30MPa（水深換算dg=100fsw≒30.5m）を限界に設定する。なお、米国海軍はこの規模で25分の減圧停止不要潜水を容認している。最小作業気圧は0.03MPaとする。これらに高圧則が設定している圧力区分を踏襲して表2-32の左端のような減圧停止不要高気圧作業の気圧Dを提案する。表2-32の作業可能時間は1981・Table2の再現試算と同じ要領で作成できる。表2-32では用紙の都合で数値の一部のみを計算している。

表2-32 減圧停止不要作業管理表

気圧 dg(m) MPa		減圧停止不要限界 〈分〉	グループ指標																								
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	Z							
3	0.03	限界無し																									
6	0.06	限界無し																									
9	0.09						49.8								240		342										
12	0.12																										
15	0.15						28.1																				
18	0.18																										
21	0.21																										
24	0.24																										
27	0.27																										
30	0.30																										

$$\begin{aligned}
 \text{計算式： } t &= \ln\{1 - (P_{tis} - P_0) / (P_a - P_0)\} \times T_{1/2} / (-0.693) \\
 &= \ln\{1 - (D - 10) / (dg + 10 - 10)\} \times 120 / (-0.693) = \ln\{1 - (D - 10) / dg\} \times 120 / (-0.693)
 \end{aligned}$$

注) 上式は空気の窒素成分79%あるいは80%を約分して表示している。計算式tはその真数{1 - (D-10)/Dg}が正となる時成立する。

$$\{1 - (D - 10) / Dg\} > 0 \text{ より } Dg + 10 > D$$

計算要領：Dは繰返しグループ指標が示す区間気圧の中間値を選択する。

計算例(1) dg=9(m)の場合、

①指標Eまで作業が可能な時間tEはEの中間値をD=12.25として

$$tE = \ln\{1 - (D - 10) / Dg\} \times 120 / (-0.693) = \ln\{1 - (12.25 - 10) / 9\} \times 120 / (-0.693) = 49.8 \text{ 分}$$

高圧時には、この範囲の管理基準がなく、新たな管理基準の候補になる。なお、この値は米国海軍の1981・Table3に示される値75分より小さく、より安全側の時間となっている。

②指標Mまで作業が可能な時間tMはMの中間値をD=16.75としてtM=240分

$$tO = \ln\{1 - (17.75 - 10) / 9\} \times 120 / (-0.693) = 342 \text{ 分}$$

高圧時には、この範囲の管理基準がなく、新たな管理基準の候補になる。なお、この値は米国海軍の1981・Table3に示される値344分より小さく、より安全側の時間となっている。

計算例(2) dg=15(m)の場合、

指標Eまで作業が可能な時間tEはEの中間値D=を12.25として

$$tE = \ln\{1 - (D - 10) / Dg\} \times 120 / (-0.693) = \ln\{1 - (12.25 - 10) / 15\} \times 120 / (-0.693) = 28.1 \text{ 分}$$

この値は米国海軍の1981・Table3に示される値30分より小さく、より安全側の時間となる

が、高圧則・別表第1では0.03MPaで減圧停止1分となっている。この計算結果（減圧停止不要）と高圧則を調整することが要求される。高圧則との整合を考え、さらに安全な作業可能時間を設定するためには指標F以上の窒素分圧となる作業は設定できない。

表2-32の活用方法： $d_g=9(m)$ で240分（4時間）作業を行い、大気圧に瞬間的に戻ったと仮定すれば、体内窒素分圧はグループ指標Mに属する。このMが大気圧待機開始時の窒素分圧を支配し、経過時間例えば60分経過で再加圧時の窒素分圧範囲としてのグループ指標を教えてください。

3-1-5. 繰返し高気圧作業管理表

この管理表は1981・Table3の日本版（案）である。第1回目の高気圧作業を終えて次の高気圧作業に着手するために、大気圧待機時間に応じて次の高気圧作業可能時間を設定する。潜水における管理では第1回目と第2回目の作業気圧が異なることが予想されるので、そのような状況でも対応できる管理表になっている。1日2回作業に限定するニューマチックケーソン工事やシールドトンネル工事の作業気圧は極端に異なることはない。この点が両者で異なる。最初に、大気圧での待機を経て再加圧するときの指標を指示する上段表を提案する。表2-34がその枠組みで、数値の一部を記入している。

表2-34 繰返し高気圧作業管理表（上段）

																				A
																				B
																				C
																				D
																				E
																				F
																				G
																				H
																				I 中間値 14.75
																				J 中間値 15.25
																				K
																				L
																				M 中間値 16.75
																				~44
																				45~61
																				N
																				O
																				P
																				Q
																				Z
																				Z Q P O N
																				M L K
																				J
																				I H G F E D C B A