

表3-4 M値式に従って計算したHeのワークマンのM値 (msw)

T1/2 i	the dePth of the next decompression stop (msw)																						
	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6	j=7	j=8	j=9	j=10	j=11	j=12	j=13	j=14	j=15	j=16	j=17	j=18	j=19	j=20	j=21	j=22	j=23
3	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.66	0.69
5	30.6	35.1	39.6	44.1	48.6	53.1	57.6	62.1	66.6	71.1	75.6	80.1	84.6	89.1	93.6	98.1	102.6	107.1	111.6	116.1	120.6	125.1	129.6
10	26.6	30.8	35.0	39.2	43.4	47.6	51.8	56.0	60.2	64.4	68.6	72.8	77.0	81.2	85.4	89.6	93.8	98.0	102.2	106.4	110.6	114.8	119.0
20	23.9	27.8	31.7	35.6	39.5	43.4	47.3	51.2	55.1	59.0	62.9	66.8	70.7	74.6	78.5	82.4	86.3	90.2	94.1	98.0	101.9	105.8	109.7
40	21.8	25.4	29.0	32.6	36.2	39.8	43.4	47.0	50.6	54.2	57.8	61.4	65.0	68.6	72.2	75.8	79.4	83.0	86.6	90.2	93.8	97.4	101.0
80	20.6	24.2	27.6	31.4	35.0	38.6	42.2	45.8	49.4	53.0	56.6	60.2	63.8	67.4	71.0	74.6	78.2	81.8	85.4	89.0	92.6	96.2	99.8
120	20.0	23.6	27.2	30.8	34.4	38.0	41.6	45.2	48.8	52.4	56.0	59.6	63.2	66.8	70.4	74.0	77.6	81.2	84.8	88.4	92.0	95.6	99.2
160	19.7	23.0	26.3	29.6	32.9	36.2	39.5	42.8	46.1	49.4	52.7	56.0	59.3	62.6	65.9	69.2	72.5	75.8	79.1	82.4	85.7	89.0	92.3
200	19.4	22.7	26.0	29.3	32.6	35.9	39.2	42.5	45.6	49.1	52.4	55.7	59.0	62.3	65.6	68.9	72.2	75.5	78.6	82.1	85.4	88.7	92.0
240	19.1	22.1	25.1	28.1	31.1	34.1	37.1	40.1	43.1	46.1	49.1	52.1	55.1	58.1	61.1	64.1	67.1	70.1	73.1	76.1	79.1	82.1	85.1

#### 1-4-5 高圧則と新減圧表の考え方の相違

本業務で作成した減圧表を新減圧表と称することにする。現行の高圧則の減圧表と新減圧表の考え方を対比したものが表 3-5 である。

表 3-5 高圧則と新減圧表の考え方の相違

		高圧則	新減圧表
計算理論		Haldane の微分方程式とその解	同左
半飽和組織の数と種類		組織数 6, 最長 120 分	組織数 9, 最長 240 分
数 値 計 算	1) 適用範囲	$0 < P \leq 0.4 \text{Mpa}$ $P \leq 0.88 \text{MPa}$ (潜水作業)	$0 < P \leq 0.4 \text{Mpa}$
	2) 加圧・減圧速度	0.08MPa/分	同左
	3) 圧力刻み	0.03MPa	同左
減 圧 制 御	圧気と潜水の区分	別表 1, 別表 2 に分け	圧気・潜水同一減圧表
	1) 減圧停止圧力	減圧比 (=窒素分圧/環境圧力) $\approx 2.0 \sim 1.75$	Workman の M 値
	2) 酸素吸入(10m 超えて)	考えていない	0.12MPa から開始 25分酸素吸入、5分 AirBreak の繰り返し 減圧終了後も行う場合あり
	3) 最終減圧停止	0.03MPa	0.06MPa
4) 残存窒素分圧	減圧終了時 120分組織で 1.76atm 以下	翌日 7 時 30 分 240分組織で 0.80atm 以下	

## 2. 各種減圧表の試算

### 2-1. 空気減圧表

#### 2-1-1. まえがき

我が国の高圧則は、90msw,45分を限界とする空気潜水のみを認めている。しかし世界的には、大深度の場合、空気潜水ではなくヘリウムあるいは窒素の濃度を変えた混合ガスによる潜水が主流であり、空気潜水であっても、比較的浅い深度で酸素吸入を行うことで、減圧の負担を軽減する方法が主流である。こういった状況を踏まえて12msw以浅で酸素吸入を行う空気潜水について、基本的な圧力、及び滞在時間での $PN_2$ 、酸素耐性単位OTUを考慮し、標準的な圧気作業の一日の作業時間(休憩含め510分)の枠内に収まる減圧プロセスの試算を行うー試算A~C。また、酸素吸入が不可能となった緊急時の減圧過程の検討ー試算D、さらに、現場で要求されることの多い1日2回作業(スプリットシフト)についての実際的な検討ー試算E、連日作業に関わる翌日の窒素分圧値の算出ー試算Fも行うことで、要求されるさまざまな条件に対してフレキシブルに対応できる減圧表の作成への素案となることを目指している。

#### 2-1-2. 試算条件

- (1) 深度Dの範囲は、 $10m < D \leq 40m$  とする。
- (2) 空気の組成は、酸素21%・窒素79%とする。
- (3) 酸素減圧を必ず行うこととし、その開始深度は12m以浅の第1減圧停止深度とする。なお、第1減圧停止深度が15m以深の場合、酸素減圧開始深度は12mとする。
- (4) 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。
- (5) 酸素減圧で吸入するガスの組成は、酸素80%・窒素20%とする。
- (6) 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。
- (7) 酸素減圧を行う場合、最も浅い減圧停止深度は6mとする。
- (8) 不測の事態で酸素減圧ができない場合、最も浅い減圧停止深度は3mとする。
- (9) 加圧速度、および減圧速度は8m/分とする。
- (10) 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。
- (11) 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。
- (12) 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。
- (13) 上記条件の下先述のワークマン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。

### 2-1-3. 空気減圧表試算 A ～40msw 滞在時

試算Aでは、空気呼吸潜水の限界深度と限界作業時間をOTU(酸素耐性単位)も考慮しながら、停止圧毎のPN<sub>2</sub>と停止時間の計算結果で構成した。作業時間としては180分、120分、90分、60分を検討し、特に180分については詳細な計算過程をレポートした。残りの試算については、紙面の問題を考慮し、停止圧毎のPN<sub>2</sub>とM値の比較、停止時間、OTUの簡略な記述に留めた。

#### (1). 空気減圧表試算例 A-1 (40msw,180分滞在)

##### ① 滞底時～第1減圧停止圧選択まで

次ページ、表3-7は、保圧時～最初の減圧停止想定までの約5分間の窒素分圧(以後PN<sub>2</sub>と略述)の計算結果と対照するM値を併記した表である。そこで平均圧15msw程度までの一様減圧で第1減圧停止圧を考えた。計算の結果、40,80分組織の15mswの分圧が次の減圧区間12mswのM値まで減圧できない値であることが分かる(表3-6太字)。ここで、15mswにおける減圧停止が決まる。下表3-7に減圧停止時間を計算すると、40分組織において13.789分となり、小数点以下を切り上げて14分とした。

表3-6 空気減圧PN<sub>2</sub>計算表 (40msw,180分)

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	組織の半飽和時間										評価と判定
				5	10	20	40	80	120	160	200	240		
0.0	0.0	0.0	0.000	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	
0.0～	40.0	20.0	-40.0	5.000	15.799	12.527	10.413	9.211	8.570	8.350	8.238	8.171	8.126	
40.0	40.0	0.0	175.000	39.500	39.500	39.432	38.039	32.708	28.162	24.850	22.416	20.572		
40.0～	37.0	38.5	3.0	0.375	39.440	39.469	39.418	38.041	32.726	28.184	24.872	22.436	20.591	
37.0～	33.0	35.0	4.0	0.500	39.180	39.336	39.351	38.020	32.738	28.205	24.895	22.459	20.613	
33.0～	30.0	31.5	3.0	0.375	38.856	39.168	39.267	37.986	32.738	28.215	24.908	22.473	20.626	
30.0～	27.0	28.5	3.0	0.375	38.428	38.943	39.152	37.937	32.731	28.219	24.917	22.483	20.636	
27.0～	24.0	25.5	3.0	0.375	37.902	38.664	39.009	37.873	32.715	28.219	24.922	22.490	20.644	
24.0～	21.0	22.5	3.0	0.375	37.283	38.331	38.837	37.794	32.693	28.214	24.923	22.494	20.650	
21.0～	18.0	19.5	3.0	0.375	36.575	37.945	38.636	37.700	32.662	28.203	24.921	22.495	20.653	
18.0～	15.0	16.5	3.0	0.375	35.783	37.509	38.408	37.591	32.624	28.187	24.914	22.493	20.653	
15.0～	12.0	13.5	3.0	0.375	34.911	37.023	38.152	<b>37.468</b>	<b>32.579</b>	28.166	24.904	22.488	20.651	40,80分組織が不適
M値 ( 15.0 msw)					58.500	50.700	44.300	38.000	35.900	33.800	33.500	32.000	31.700	
M値 ( 12.0 msw)					53.100	45.900	39.800	<b>33.800</b>	<b>32.000</b>	30.200	29.900	28.700	28.400	

窒素濃度	79%	酸素濃度	21%	PN <sub>2</sub> 計算式	$PN_2 = P_0 + (P_a - P_0) \{1 - e^{-(0.693 \cdot t / T_{1/2})}\}$
------	-----	------	-----	---------------------	---

表3-7 空気減圧停止時間計算表 (40msw,180分)

T1/2	Pt	Po	Pa	計算上の停止時間 t	停止時間	t 計算式
20	39.800	38.408	19.750	(2.077)	14	$t = \text{Ln}\{1 - (Pt - P_0) / (P_a - P_0)\} \times T_{1/2} / (-0.693)$
40	33.800	37.591	19.750	13.789		
80	32.000	32.624	19.750	5.737		
120	30.200	28.187	19.750	(37.048)		
160	29.900	24.914	19.750	—		
200	28.700	22.493	19.750	—		
240	28.400	20.653	19.750	—		

② 第1減圧停止圧終了時のPN<sub>2</sub>の計算～第2減圧停止時間計算まで

15mswでの14分滞在後に、作業員は次の(減圧)停止圧12mswへ減圧(浮上)できる。呼吸ガスは12mswで停止するまで空気、それ以降は窒素20%、酸素80%である。15mswで14分滞在後、15msw～12msw間のPN<sub>2</sub>変動も考慮したP<sub>0</sub>を表3-8に示す。Paは4.4msw、t式のPtは9mswでのM値である。上記P<sub>0</sub>を表3-3から表3-8に抽出した9mswのM値と対比すると、P<sub>0</sub>>M値となる半飽和時間40,80,120分組織(太字)で減圧は制御される。15mswにおける正確な停止時間は、13.815分(表3-9)であるため第2停止時間は14分(小数点以下切上)、減圧時間total=31.5分となる。なお停止時間が25分以下のため、エアブレイクは加味しない。

表3-8 空気減圧PN<sub>2</sub>計算表 (40msw,180分)

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	組織の半飽和時間										評価と判定
				5	10	20	40	80	120	160	200	240		
18.0～	15.0	16.5	3.0	0.375	35.783	37.509	38.408	37.591	32.624	28.187	24.914	22.493	20.653	
	15.0	15.0	3.0	14.000	22.053	26.481	31.236	33.749	31.154	27.532	24.610	22.363	20.617	
15.0～	12.0	13.5	3.0	0.375	21.876	26.278	31.073	33.650	31.113	27.513	24.601	22.358	20.615	
12.0～	9.0	10.5	3.0	0.375	20.976	25.709	30.725	<b>33.459</b>	<b>31.025</b>	<b>27.462</b>	24.567	22.335	20.597	40, 80, 120分組織が不適
M値 ( 9.0 msw)					47.700	41.100	35.300	<b>29.600</b>	<b>28.100</b>	<b>26.600</b>	26.300	25.400	25.100	

窒素濃度	79% (～30msw未満, AB時) 20% (30msw以下～)	酸素濃度	21% (～30msw未満, AB時) 80% (30msw以下～)	PN <sub>2</sub> 計算式	$PN_2 = P_0 + (P_a - P_0) \{1 - e^{-(0.693 \cdot t / T_{1/2})}\}$
------	------------------------------------	------	------------------------------------	---------------------	---

表3-9 空気減圧停止時間計算表 (40msw,180分)

T1/2	Pt	Po	Pa	計算上の停止時間 t	停止時間	t 計算式
20	35.300	31.073	4.400	(4.246)	14	$t = \text{Ln}\{1 - (Pt - Po) / (Pa - Po)\} \times T1/2 / (-0.693)$
40	29.600	33.650	4.400	8.603		
80	28.100	31.113	4.400	13.815		
120	26.600	27.513	4.400	6.975		
160	26.300	24.601	4.400	(18.650)		
200	25.400	22.358	4.400	(45.156)		
240	25.100	20.615	4.400	(84.570)		

③ 第2減圧停止圧終了時のPN<sub>2</sub>の計算～第3減圧停止時間計算まで

12mswでの14分滞在後に、作業員は次の(減圧)停止圧12mswへ減圧(浮上)できる。呼吸ガスは窒素20%、酸素80%である。12mswで滞在後、12msw～9msw間のPN<sub>2</sub>変動も考慮したP<sub>o</sub>を表3-10に示す。Paは3.8msw、t式のPtは6mswでのM値である。上記P<sub>o</sub>を表3-3から表3-10に抽出した45mswのM値と対比すると、P<sub>o</sub>>M値となる半飽和時間40,80分組織(太字)で減圧は制御される。9mswにおける正確な停止時間は、22.552分(表3-11)であるため第3停止時間は23分(小数点以下切上)、エアブレイク一回加味し、減圧時間total=35.250分となる。

表3-10 空気減圧PN<sub>2</sub>計算表 (40msw,180分) ※ABはエアブレイクの略

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	組織の半飽和時間								評価と判定	
				5	10	20	40	80	120	160	200		240
15.0 ~ 12.0	13.5	3.0	0.375	21.876	26.278	31.073	33.650	31.113	27.513	24.601	22.358	20.615	
12	12.0	0.0	14.000	6.910	12.692	20.821	27.351	28.062	25.717	23.412	21.508	19.973	
AB12	12.0	0.0	0.000	6.910	12.692	20.821	27.351	28.062	25.717	23.412	21.508	19.973	
12.0 ~ 9.0	10.5	3.0	0.375	6.768	12.471	20.605	27.200	27.984	25.671	23.381	21.485	19.955	
9.0 ~ 6.0	7.5	3.0	0.375	6.603	12.241	20.384	27.047	27.905	25.623	23.348	21.462	19.938	40,80分組織が不適
M値 (6.0msw)				42.300	36.300	30.800	25.400	24.200	23.000	22.700	22.100	21.800	

窒素濃度	79% (~30msw未満, AB時) 20% (30msw以下~)	酸素濃度	21% (~30msw未満, AB時) 80% (30msw以下~)	PN <sub>2</sub> 計算式	$PN_2 = P_o + (Pa - P_o) \{1 - e^{-(0.693 \cdot t / T1/2)}\}$
------	---------------------------------------	------	---------------------------------------	---------------------	---

表3-11 空気減圧停止時間計算表 (40msw,180分)

T1/2	Pt	Po	Pa	計算上の停止時間 t	停止時間	t 計算式
20	30.800	20.605	3.800	(13.684)	23	$t = \text{Ln}\{1 - (Pt - Po) / (Pa - Po)\} \times T1/2 / (-0.693)$
40	25.400	27.200	3.800	4.620		
80	24.200	27.984	3.800	19.645		
120	23.000	25.671	3.800	22.552		
160	22.700	23.381	3.800	8.169		
200	22.100	21.485	3.800	(9.859)		
240	21.800	19.955	3.800	(37.443)		

④ 第3減圧停止圧終了時のPN<sub>2</sub>の計算～第4(最終)減圧停止時間計算まで

9 mswでの23分滞在後に、作業員は次の(減圧)停止圧6mswへ減圧(浮上)できる。呼吸ガスは窒素20%,酸素80%である。9mswで滞在後、9msw～6 msw間のPN<sub>2</sub>変動も考慮したP<sub>0</sub>を表A-1-8に示す。Paは3.2 msw、t式のPtは0mswでのM値である。上記P<sub>0</sub>を表3-2から表3-12に抽出した0mswのM値と対比すると、P<sub>0</sub>>M値となる半飽和時間40～240分組織(太字)で減圧は制御される。6mswにおける正確な停止時間は、91.853分(表3-13)であるため第4停止時間は92分(5分切上)、エアブレイク4回加味で、減圧時間total=173分となる。

表3-12 空気減圧PN<sub>2</sub>計算表(40msw,180分) ※ABはエアブレイクの略

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	組織の半飽和時間										評価と判定
				5	10	20	40	80	120	160	200	240		
12.0 ~ 9.0	10.5	3.0	0.375	6.768	12.471	20.605	27.200	27.984	25.671	23.381	21.485	19.955		
9	9.0	0.0	23.000	3.922	5.561	11.374	19.509	23.616	22.950	21.524	20.131	18.917		
AB9	9.0	0.0	5.000	9.465	8.328	11.952	19.136	23.251	22.724	21.385	20.043	18.861		
9.0 ~ 6.0	7.5	3.0	0.375	9.163	8.205	11.843	19.035	23.187	22.683	21.356	20.021	18.845		
6.0 ~ 3.0	4.5	3.0	0.375	8.846	8.068	11.728	18.930	23.121	22.640	21.326	19.999	18.827	40～240分不適	
M値(0.0 msw)				31.500	26.700	21.800	17.000	16.400	15.800	15.500	15.500	15.200		

窒素濃度	79% (~30msw未満, AB時) 20% (30msw以下~)	酸素濃度	21% (~30msw未満, AB時) 80% (30msw以下~)	PN <sub>2</sub> 計算式	$PN_2 = P_0 + (P_a - P_0) \{ 1 - e^{-(0.693 \cdot t / T_{1/2})} \}$
------	------------------------------------	------	------------------------------------	---------------------	---

表3-13 空気減圧停止時間計算表(40msw,180分) ※ABはエアブレイクの略

T1/2	Pt	Po	Pa	計算上の停止時間 t	停止時間	t 計算式
20	21.800	11.843	3.200	(22.118)	92	$t = \text{Ln} \{ 1 - (Pt - Po) / (Pa - Po) \} \times T_{1/2} / (-0.693)$
40	17.000	19.035	3.200	7.939		
80	16.400	23.187	3.200	47.891		
120	15.800	22.683	3.200	75.469		
160	15.500	21.356	3.200	89.899		
200	15.500	20.021	3.200	90.344		
240	15.200	18.845	3.200	91.853		

⑤ 第4(最終)減圧停止圧終了時のPN<sub>2</sub>の計算～大気帰還後のPN<sub>2</sub>まで

6mswでの92分滞在後に、作業員は大気圧へ減圧(浮上)できる。このときのP<sub>0</sub>を表3-3から表3-14に抽出した0mswのM値と対比すると、P<sub>0</sub>>M値となる半飽和時間はなく、十分に低いPN<sub>2</sub>となっていることがわかる。また翌日作業も考慮し、一日の作業スケジュールに沿ったPN<sub>2</sub>の変動を表A3-15に計算した。これによると、翌日作業開始30分前までに、全組織で必要な初期分圧(8.0msw)以下まで体内PN<sub>2</sub>が低下させるためには、192分の酸素吸入が必要で、エアブレイクを含めると622分の拘束時間となる。これは標準作業時間510分(休憩を除くと450分)を超えているため通常作業の範疇ではない。結論としては40msw,180分の空気減圧による潜水は連日作業は許容されない。

表3-14 空気減圧PN<sub>2</sub>計算表(40msw,180分) ※ABはエアブレイクの略

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	組織の半飽和時間								評価と判定	
				5	10	20	40	80	120	160	200		240
9.0 ~ 6.0	7.5	3.0	0.375	9.163	8.205	11.843	19.035	23.187	22.683	21.356	20.021	18.845	
6	6.0	0.0	92.000	3.200	3.209	3.557	6.417	12.208	14.653	15.389	15.430	15.195	全てM=0以下
AB6	6.0	0.0	20.000	12.050	10.281	8.098	8.239	12.277	14.433	15.161	15.243	15.052	
M値(0.0msw)				31.500	26.700	21.800	17.000	16.400	15.800	15.500	15.500	15.200	
6.0 ~ 0.0	3.0	6.0	0.750	11.117	9.892	7.957	8.166	12.214	14.382	15.120	15.210	15.025	

表3-15 空気減圧停止時間計算表(40msw,180分)

	区間時間 (分)	組織の半飽和時間								評価と判定	
		5	10	20	40	80	120	160	200		240
大気帰還後60分休憩後のPN <sub>2</sub>	60.000	7.901	7.931	7.907	7.994	10.465	12.484	13.468	13.838	13.891	
酸素吸入後のPN <sub>2</sub>	192.000	2.000	2.000	2.008	2.215	3.604	5.459	6.992	8.086	8.831	
翌日7:30のPN <sub>2</sub>	775.000	7.900	7.900	7.900	7.900	7.895	7.872	7.868	7.913	7.999	全て8以下

窒素濃度	79% (~30msw未満, AB時) 20% (30msw以下~)	酸素濃度	21% (~30msw未満, AB時) 80% (30msw以下~)	PN <sub>2</sub> 計算式	$PN_2 = P_0 + (P_a - P_0) \{ 1 - e^{-(0.693 \cdot t / T_{1/2})} \}$
------	---------------------------------------	------	---------------------------------------	---------------------	---



⑥ 試算プロセスの総括

酸素減圧表試算A-1 (40msw,180分滞在) の試算プロセス全体を図3-2 と次ページ以降に示す表3-16に総括した(表中ABはエアブレイクの略称)。高圧下滞在を含めた滞在の総積算時間は、353分となった。

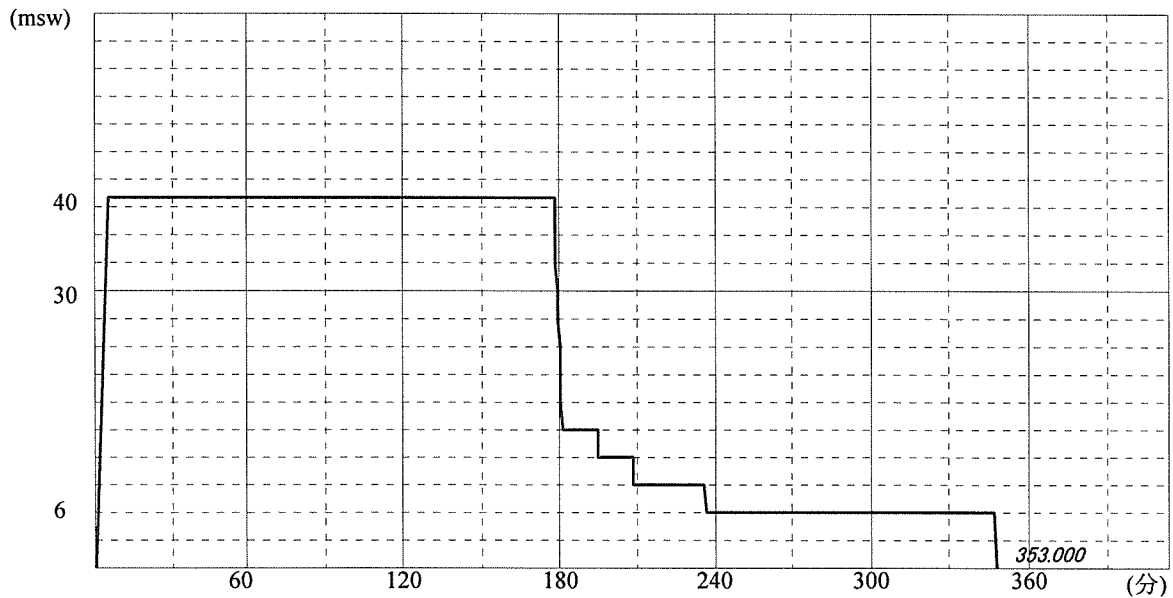


図 3-2 空気減圧過程図 (40msw,180 分)

現場 入場	減 圧 開 始	高 圧 下 時 間	減 圧 過 程 I	減 圧 過 程 II	減 圧 完 了	休 憩 時 間	吸 入 開 始	酸 素 吸 入	現場 退 場
	空 気	空 気	空 気	酸 素 (AB25分)	60分	1 5 : 2 3	1 6 : 2 3	217分 (AB21分) 超過時間 120分	
8 : 0 0	8 : 3 0	180分(40msw)	17.5分	155.5分 (AB25分)					1 9 : 0 0
総減圧時間 353分									

図3-3 試算A-1の減圧スケジュール

またこの減圧スケジュールが 1 日の標準作業時間に当てはまるか否かを示したものが図 3-3 である。図示のように、試算 A-1 の場合は、120 分の超過となるので、標準作業ではないことが分かる。

表3-16 空気減圧表 - まとめ(40msw,180分) ※ABはエアブレイクの略

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	窒素濃度 (%)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	組織の半飽和時間									
							5.000	10.000	20.000	40.000	80.000	120.000	160.000	200.000	240.000	
0.0	0.0	0.0	79.000	0.000	0.000		7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900	7.900		
0.0 ~ 40.0	20.0	3.0	79.000	5.000	5.000		15.799	12.527	10.413	9.211	8.570	8.350	8.238	8.171	8.126	
40.0	40.0	0.0	79.000	175.000	180.000		39.500	39.500	39.432	38.039	32.708	28.162	24.850	22.416	20.572	
40.0 ~ 36.0	38.0	4.0	79.000	0.500	180.500		39.394	39.446	39.406	38.038	32.730	28.190	24.879	22.443	20.597	
36.0 ~ 33.0	34.5	3.0	79.000	0.375	180.875		39.180	39.336	39.351	38.020	32.738	28.205	24.895	22.459	20.613	
33.0	33.0	0.0	79.000	0.000	180.875		39.180	39.336	39.351	38.020	32.738	28.205	24.895	22.459	20.613	
M値 ( 30.0 msw)							85.500	74.700	66.800	59.000	55.400	51.800	51.500	48.500	48.200	
33.0 ~ 30.0	31.5	3.0	79.000	0.375	181.250		38.856	39.168	39.267	37.986	32.738	28.215	24.908	22.473	20.626	
30.0	30.0	0.0	79.000	0.000	181.250		38.856	39.168	39.267	37.986	32.738	28.215	24.908	22.473	20.626	
M値 ( 27.0 msw)							80.100	69.900	62.300	54.800	51.500	48.200	47.900	45.200	44.900	
30.0 ~ 27.0	28.5	3.0	79.000	0.375	181.625		38.428	38.943	39.152	37.937	32.731	28.219	24.917	22.483	20.636	
27.0	27.0	0.0	79.000	0.000	181.625		38.428	38.943	39.152	37.937	32.731	28.219	24.917	22.483	20.636	
M値 ( 24.0 msw)							74.700	65.100	57.800	50.600	47.600	44.600	44.300	41.900	41.600	
27.0 ~ 24.0	25.5	3.0	79.000	0.375	182.000		37.902	38.664	39.009	37.873	32.715	28.219	24.922	22.490	20.644	
24.0	24.0	0.0	79.000	0.000	182.000		37.902	38.664	39.009	37.873	32.715	28.219	24.922	22.490	20.644	
M値 ( 21.0 msw)							79.000	69.300	60.300	53.000	46.400	43.700	41.000	40.700	38.600	38.300
24.0 ~ 21.0	22.5	3.0	79.000	0.375	182.375		37.283	38.331	38.837	37.794	32.693	28.214	24.923	22.494	20.650	
21.0	21.0	0.0	79.000	0.000	182.375		37.283	38.331	38.837	37.794	32.693	28.214	24.923	22.494	20.650	
M値 ( 18.0 msw)							63.900	55.500	48.800	42.200	39.800	37.400	37.100	35.300	35.000	
21.0 ~ 18.0	19.5	3.0	79.000	0.375	182.750		36.575	37.945	38.636	37.700	32.662	28.203	24.921	22.495	20.653	
18.0	18.0	0.0	79.000	0.000	182.750		36.575	37.945	38.636	37.700	32.662	28.203	24.921	22.495	20.653	
M値 ( 15.0 msw)							58.500	50.700	44.300	38.000	35.900	33.800	33.500	32.000	31.700	
18.0 ~ 15.0	16.5	3.0	79.000	0.375	183.125		35.783	37.509	38.406	37.591	32.624	28.187	24.914	22.493	20.653	
15.0	15.0	0.0	79.000	14.000	197.125		22.053	26.481	31.236	33.749	31.154	27.532	24.610	22.363	20.617	
M値 ( 12.0 msw)							53.100	45.900	39.800	33.800	32.000	30.200	29.900	28.700	28.400	
15.0 ~ 12.0	13.5	3.0	79.000	0.375	197.500		21.876	26.278	31.073	33.650	31.113	27.513	24.601	22.358	20.615	
12.0	12.0	0.0	20.000	14.000	211.500		6.910	12.692	20.821	27.351	28.062	25.717	23.412	21.508	19.973	
12.0	12.0	0.0	79.000	0.000	211.500	0	6.910	12.692	20.821	27.351	28.062	25.717	23.412	21.508	19.973	
M値 ( 9.0 msw)							47.700	41.100	35.300	29.600	28.100	26.600	26.300	25.400	25.100	
12.0 ~ 9.0	10.5	3.0	20.000	0.375	211.875		6.768	12.471	20.605	27.200	27.984	25.671	23.381	21.485	19.955	
9.0	9.0	0.0	20.000	23.000	234.875		3.922	5.561	11.374	19.509	23.616	22.950	21.524	20.131	18.917	
9.0	9.0	0.0	79.000	5.000	239.875	1	9.465	8.328	11.952	19.136	23.251	22.724	21.385	20.043	18.861	
M値 ( 6.0 msw)							42.300	36.300	30.800	25.400	24.200	23.000	22.700	22.100	21.800	
9.0 ~ 6.0	7.5	3.0	20.000	0.375	240.250		9.163	8.205	11.843	19.035	23.187	22.683	21.356	20.021	18.845	
6.0	6.0	0.0	20.000	92.000	332.250		3.200	3.209	3.557	6.417	12.208	14.653	15.389	15.430	15.195	
6.0	6.0	0.0	79.000	20.000	352.250	4	12.050	10.281	8.098	8.239	12.277	14.433	15.161	15.243	15.052	
M値 ( 0.0 msw)							31.500	26.700	21.800	17.000	16.400	15.800	15.500	15.500	15.200	
6.0 ~ 0.0	3.0	6.0	20.000	0.750	353.000		11.117	9.892	7.957	8.166	12.214	14.382	15.120	15.210	15.025	

⑦ OTU(酸素耐性単位) 計算

OTUは、表3-16の空気減圧表で計算された停止時間および減圧時間をもとにして計算した。空気吸入時は21%O<sub>2</sub>、酸素吸入時は100%O<sub>2</sub>で考えた。PO<sub>2</sub>計算例：12mswで1.0×(10+12)／10=2.2atm 表A-3-17は計算結果で、総OTUは684.613 unitとなった。この値は1日の酸素暴露管理としては許容範囲内であるが、連日作業は許容できない値である。この結果より、高圧下の空気呼吸時は、体内PN<sub>2</sub>分圧自体よりも酸素暴露量がネックになってくると考えられる。

表3-17 OTU積算表 (40msw,180分)

時間	到達平均深度	酸素濃度	PO <sub>2</sub>	OTU
0.000	0.0	21%O <sub>2</sub>	0.210	0.000
5.000	20.0	21%O <sub>2</sub>	0.630	1.635
175.000	40.0	21%O <sub>2</sub>	1.050	189.406
3.125	27.5	21%O <sub>2</sub>	0.788	1.974
14.000	15.0	21%O <sub>2</sub>	0.525	0.000
0.375	13.5	21%O <sub>2</sub>	0.494	0.000
14.000	12.0	100%O <sub>2</sub>	2.200	38.659
0.000	12.0	21%O <sub>2</sub>	0.462	0.000
0.375	10.5	100%O <sub>2</sub>	2.050	0.959
23.000	9.0	100%O <sub>2</sub>	1.900	54.059
5.000	9.0	21%O <sub>2</sub>	0.399	0.000
0.375	7.5	100%O <sub>2</sub>	1.750	0.802
92.000	6.0	100%O <sub>2</sub>	1.600	177.010
20.000	6.0	21%O <sub>2</sub>	0.336	0.000
0.750	3.0	100%O <sub>2</sub>	1.300	1.108
219.000	0.0	100%O <sub>2</sub>	1.000	219.000
OTU 合計				684.613

(2)空気減圧表試算 A ~40msw 滞在時 - まとめ

空気減圧表試算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。同時に、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。

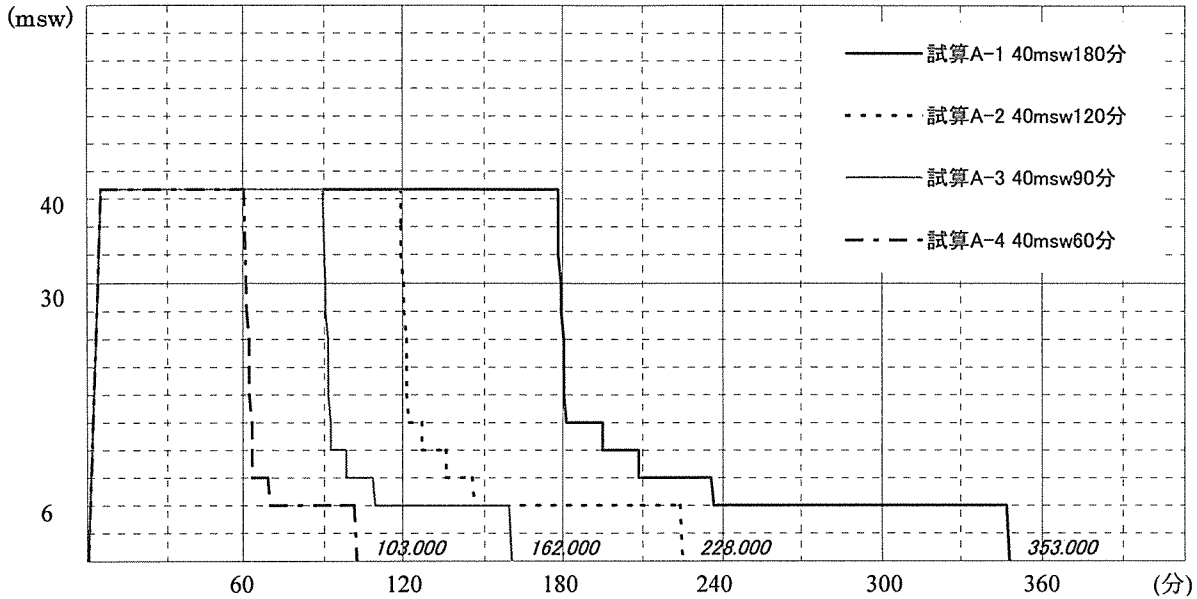


図3-4 空気減圧過程図 (40msw)-まとめ

表3-18 空気減圧表 (40msw) ※ABはエアブレイクの略

空気 40msw		ボトムガス N <sub>2</sub> =79% O <sub>2</sub> =21%											酸素 N <sub>2</sub> =20% O <sub>2</sub> =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	9	6						3				
ボ ト ム タ イ ム	60																6			6		
	AB																104.00		120.00	138.7	○	
	90										6	10	41	-			88			6		
	AB															162.00	15	265.00	304.5	○		
	120											5	9	10	64	-			138			5
	AB															228.00	25	391.00	440.9	○		
	180											14	14	23	92	-			192			1
	AB															353.00	25	530.00	684.6	×		

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	減圧過程 I	減圧過程 II	減圧完了	休憩時間	吸入開始	酸素吸入	現場退場
	高圧下時間 空気 180分(40msw)	空気 17.5分	酸素 155.5分 (AB25分)					
8:00			総減圧時間 353分	14:23		15:23		19:00
							超過時間 120分	

図3-6 試算A-1の減圧スケジュール

現場 入場	減圧開始	減圧過程 I	減圧過程 II	減圧完了	休憩時間	吸入開始	酸素吸入	吸入完了	現場退場
	高圧下時間 空気 120分(40msw)	空気 8.5分	酸素 99.5分 (AB15分)						
8:00			総減圧時間 228分	12:08		13:08		17:01	

図3-7 試算A-2の減圧スケジュール

現場 入場	減圧開始	減圧過程 I	減圧過程 II	減圧完了	休憩時間	吸入開始	酸素吸入	吸入完了 余剰時間	現場退場
	高圧下時間 空気 90分(40msw)	空気 3.5分	酸素 68.5分 (AB10分)						
8:00			総減圧時間 162分	11:02		12:02		13:15	

図3-8 試算A-3の減圧スケジュール

現場 入場	減圧開始	減圧過程 I	減圧過程 II	減圧完了	休憩時間	吸入開始	酸素吸入	吸入完了 余剰時間	現場退場
	高圧下時間 空気 60分(40msw)	空気 3.875分	酸素 40.125分 (AB5分)						
8:00			総減圧時間 104分	10:04		10:44		11:20	

図3-9 試算A-4の減圧スケジュール

空気減圧表試算Aの結果は、滞在時間180分以外は、OTU、PN<sub>2</sub>の両面で、連日作業可能という結果となった。長時間潜水以外は、40mswにおける潜水は、酸素吸入を伴う空気潜水で十分対応できる結果となった。なお、同じ空気潜水でも、酸素吸入を行っているため、高圧則やU.S.N.との比較は行わなかった。この比較は、酸素吸入を行えない想定 of 空気減圧表試算Dで行う。

### 2-1-4. 空気減圧表試算 B ～30msw 滞在時

空気減圧表試算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。同時に、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。

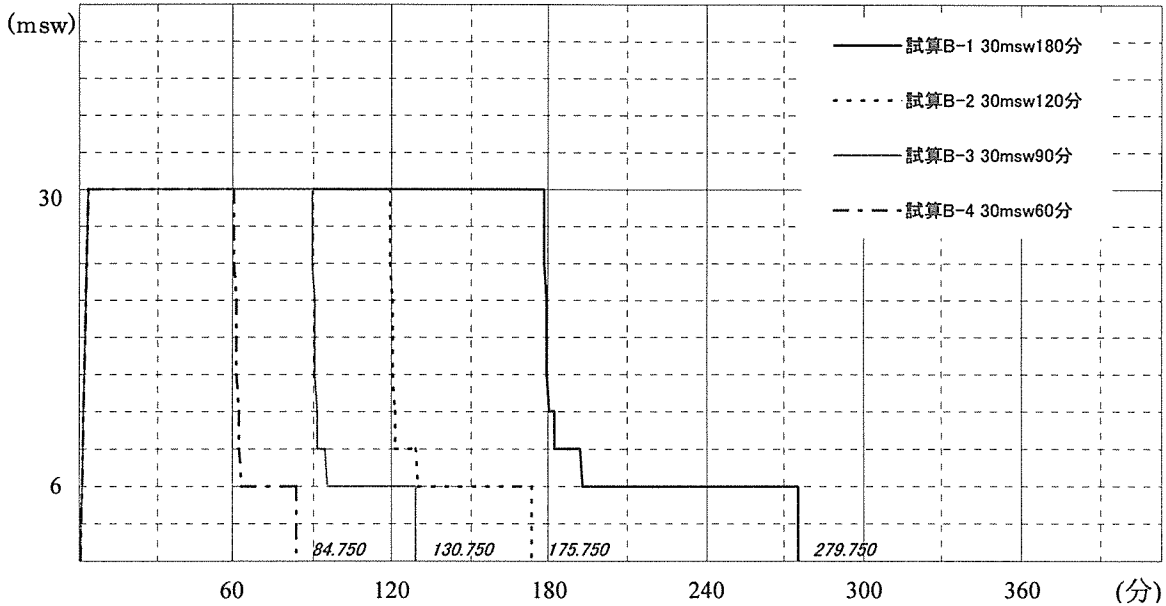


図3-10空気減圧過程図(30msw)-まとめ

表3-19 空気減圧表 (30msw) ※ABはエアブレイクの略

空気 30msw		ボトムガス N <sub>2</sub> =79% O <sub>2</sub> =21%										酸素 N <sub>2</sub> =20% O <sub>2</sub> =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			
		27	24	21	18	15	12	9	6	3									
ボ ト ム タ イ ム	60															0		6	
	AB													84.75		84.75	82.3	○	
	90															39		6	
	AB													130.75	5	174.75	166.9	○	
	120															94		6	
	AB														175.75	15	284.75	274.3	○
	180															160		5	
AB														279.75	25	464.75	452.8	×	

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。

現場 入場 8 :0 0	減圧開始	減圧過程 I	減圧過程 II	減圧完了	休憩時間	減圧完了	酸素吸入 185分 (AB25分)	超過時間 15分	現場 退場 17 :4 5
	高圧下時間 空気 180分(30msw)	空気 2.25分	酸素 97.5分 (AB20分)	13:40		60分			
			総減圧時間 279.75分						

図3-11 試算B-1の減圧スケジュール

現場 入場 8 :0 0	減圧開始	減圧過程 I	減圧過程 II	減圧完了	休憩時間	吸入開始	酸素吸入 109分 (AB15分)	吸入完了 余剰時間 13:45 195分	現場 退場 17 :0 0
	高圧下時間 空気 120分(30msw)	空気 2.625分	酸素 53.125分 (AB5分)	11:26		60分			
			総減圧時間 175.75分						

図3-12 試算B-2の減圧スケジュール

現場 入場 8 :0 0	減圧開始	減圧過程 I	減圧過程 II	減圧完了	休憩時間	吸入開始	酸素吸入 44分 (AB5分)	吸入完了 余剰時間 12:25 275分	現場 退場 17 :0 0
	高圧下時間 空気 90分(30msw)	空気 2.25分	酸素 38.5分 (AB5分)	10:41		60分			
			総減圧時間 130.75分						

図3-13 試算B-3の減圧スケジュール

現場 入場 8 :0 0	減圧開始	減圧過程 I	減圧過程 II	減圧完了	休憩時間	余剰時間 365分	現場 退場 17 :0 0
	高圧下時間 空気 60分(30msw)	空気 3分	酸素 21.75分 (AB0分)	9:55			
			総減圧時間 84.75分				

図3-14 試算B-4の減圧スケジュール

空気減圧表試算Bの結果は、滞在時間180分で標準作業時間を超える以外は、OTU、PN<sub>2</sub>の両面で、連日作業可能という結果となった。30mswにおける高気圧作業は、酸素吸入を伴う空気呼吸で図3-11から180分弱の作業が可能という結果となった。

### 2-1-5. 空気減圧表試算 C ~20msw 滞在時

空気減圧表試算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。同時に、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。

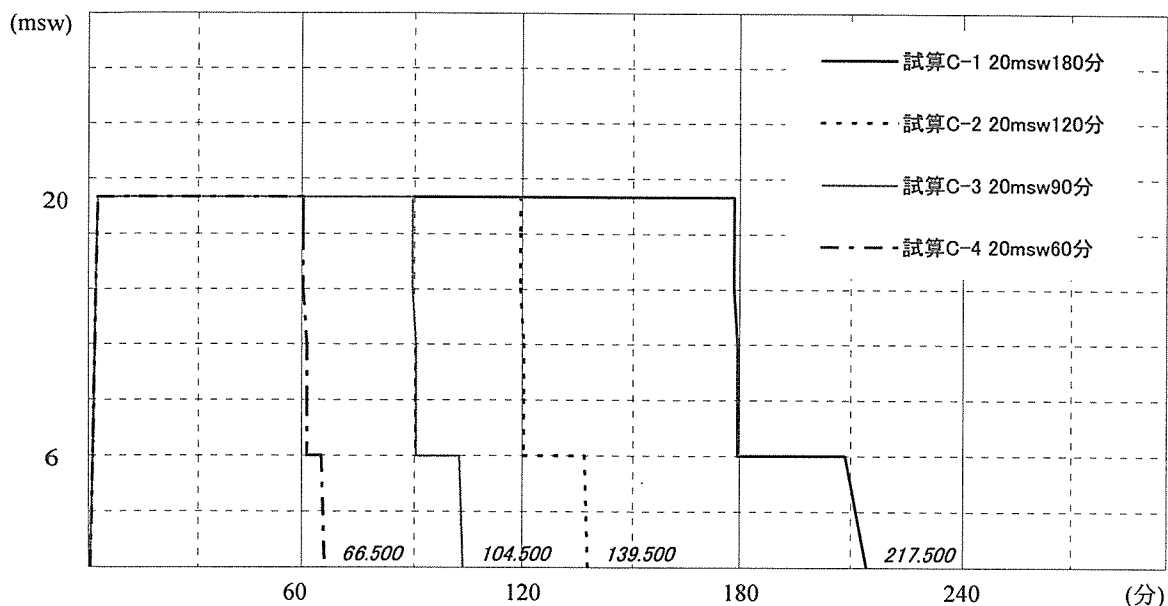


図3-15 空気減圧過程図 (20msw)-まとめ

表3-20 空気減圧表 (20msw) ※ABはエアブレイクの略

空気																
ボトムガス N <sub>2</sub> =79% O <sub>2</sub> =21%							酸素 N <sub>2</sub> =20% O <sub>2</sub> =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	
	18	15	12	9	6	3										
ボ ト ム タ イ ム	60												0			6
	AB											66.50		67.50	28.4	○
	90												12			6
	AB											104.50		116.50	66.7	○
	120												28.5			6
	AB											139.50	5	168.00	100.7	○
	180												109			6
	AB											217.50	20	346.50	224.9	○

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。



現場 入場 8:00	減圧開始	減圧開始	減圧開始	減圧完了	吸入完了	酸素吸入	吸入開始	現場 退場 17:00
	高圧下時間 空気 180分(20msw)	減圧過程Ⅰ 空気 1.75分	減圧過程Ⅱ 酸素 35.75分 (AB5分)	休憩時間 60分		129分 (AB20分)	余剰時間 103分	
	総減圧時間 217.5分							

図3-16 試算C-1の減圧スケジュール

現場 入場 8:00	減圧開始	減圧開始	減圧開始	減圧完了	吸入開始	酸素吸入	吸入完了	現場 退場 17:00
	高圧下時間 空気 120分(30msw)	減圧過程Ⅰ 空気 1.75分	減圧過程Ⅱ 酸素 17.75分 (AB0分)	休憩時間 60分		28.5分 (AB5分)	余剰時間 281分	
	総減圧時間 139.5分							

図3-17 試算C-2の減圧スケジュール

現場 入場 8:00	減圧開始	減圧開始	減圧開始	減圧完了	吸入開始	酸素吸入	吸入完了	現場 退場 17:00
	高圧下時間 空気 90分(30msw)	減圧過程Ⅰ 空気 1.75分	減圧過程Ⅱ 酸素 13.25分 (AB0分)	休憩時間 60分		12分 (AB0分)	余剰時間 333分	
	総減圧時間 105分							

図3-18 試算C-3の減圧スケジュール

現場 入場 8:00	減圧開始	減圧開始	減圧開始	減圧完了	休憩時間	余剰時間	現場 退場 17:00
	高圧下時間 空気 60分(20msw)	減圧過程Ⅰ 空気 1.75分	減圧過程Ⅱ 酸素 5.75分 (AB0分)	60分	382分		
	総減圧時間 67.5分						

図3-19 試算C-4の減圧スケジュール

空気減圧表試算Bの結果は、全ての滞在時間で、OTU、PN<sub>2</sub>の両面で、連日作業可能という結果となった。20mswにおける高気圧作業は、酸素呼吸を伴う空気潜水で180分作業まで対応できる結果となった。なお図3-16から180分を超える作業も可能だと推定できる。

### 2-1-6. 空気減圧表試算D ～40msw90分滞在、緊急時

試算Dでは、空気呼吸潜水、40msw,90分滞在で酸素減圧ができなくなったと仮定したときの試算を行った。なお、類似例としてU.S.N.および我が国の高圧則との比較を行った。

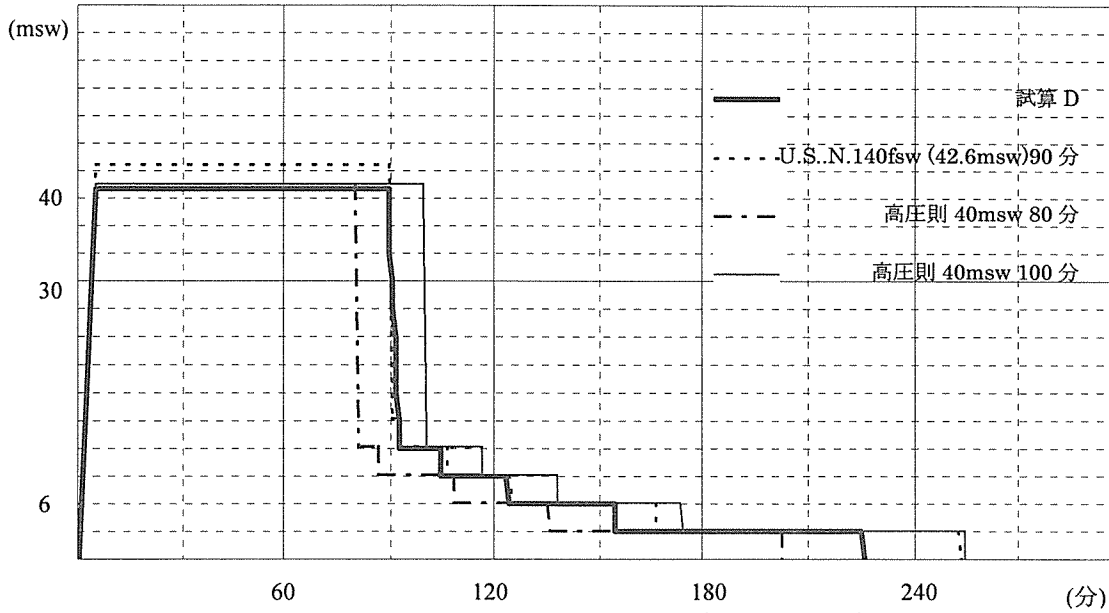


図3-20 空気減圧過程図(40msw,90分)

減圧過程については、図3-20 から読みとれるようにU.S.N.2001、140fsw(=42.6msw)、90分と途中までは重なり、我が国の高圧則における、40msw 80分、100分の空気減圧表の中間の値をとっている。※高圧則には90分の欄がないため近似の値で比較した。

現場 入場	減圧開始	減圧過程 I	減圧完了	休憩時間	吸入開始	酸素吸入	吸入開始	余剰時間	現場 退場
	高圧下時間 空気 90分(40msw)								

図3-21 試算Dの減圧スケジュール

高圧下の時間も含めた総減圧時間は、229分となり、標準的な一日の作業時間である510分を下回っている。また、図3-21に示すように酸素吸入107分+エアブレイク4回×5分=127分を行えば、大気帰還後のPN<sub>2</sub>を翌朝7時30分には8以下に収めることができる。

### 2-1-7. 空気減圧表試算 E ～20msw 以浅におけるスプリットシフトに関する試算

試算Eでは、圧気工法の作業過程において、比較的要請の多いスプリットシフト（1日2回作業）について、20msw以浅での深度、作業時間の限界についてPN<sub>2</sub>、OTUの試算を試みた。

まず、スプリットシフト作業の条件設定は、0msw ≤ 深度 ≤ 20msw，作業時間 ≥ 90分，で1日2回高压下作業を行う。1回目と2回目の間には120分の休憩時間を設ける。翌朝7時30分のPN<sub>2</sub>を8msw未満にするよう2回目作業終了後酸素吸入を行う。これらの条件で、解探索を繰返した結果、図3-22のグラフに示す解を得た。

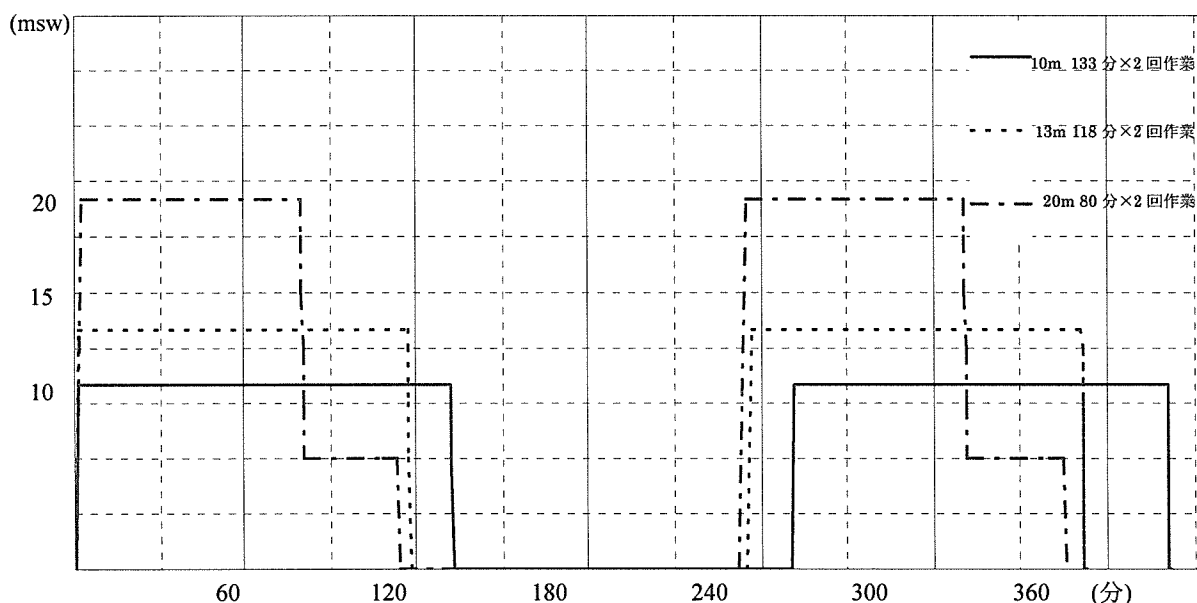


図3-22 空気減圧過程図(40msw,90分)

作業時間を最大化した場合、圧力10mswで133分×2回作業が可能である。またその際100.6分(+エアブレイク20分)の酸素吸入が必要となる。試算E-a

作業圧力を最大化した場合、圧力20mswで80分×2回作業が可能である。またその際102.6分(+エアブレイク20分)の酸素吸入が必要となる。試算E-b

作業時間×作業圧力を最大化した場合(あるいは大気帰還後の240分組織のPN<sub>2</sub>分圧を最大化した場合)、圧力13mswで118分×2回作業が可能である。またその際124.5分(+エアブレイク20分)の酸素吸入が必要となる。試算E-c

これらの結果から、PN<sub>2</sub>とOTUの観点から、1日2回作業が許容範囲内にあり、かつ連日作業も可能であることが確認できた。次頁に、各試算毎の具体的な現場でのスケジュール例を提示する。

現場 入場	減圧開始	減圧完了	休憩 時間	減圧開始	減圧完了	酸素吸入	現場 退場
	高圧下時間 I	減圧過程 I		高圧下時間 II	減圧過程 II		
8	空気	空気	120	空気	空気	120.5分	17:00
3	133分(10msw)	1.25分	分	2	133分(10msw)	(AB20分)	0
0				4	総減圧時間 269分		0
0				5			0

図3-23 試算E-aの減圧スケジュール

現場 入場	減圧開始	減圧完了	休憩 時間	減圧開始	減圧完了	酸素吸入	吸入完了 余剰時間	現場 退場
	高圧下時間 I	減圧過程 I		高圧下時間 II	減圧過程 II			
8	空気	空気	120	空気	空気	122.5分	16:35	
3	80分(20msw)	35.5分	分	2	80分(20msw)	(AB20分)	2分	
0				2	総減圧時間 232分		5	
0				6			0	

図3-24 試算E-bの減圧スケジュール

現場 入場	減圧開始	減圧完了	休憩 時間	減圧開始	減圧完了	酸素吸入	吸入完了 余剰時間	現場 退場
	高圧下時間 I	減圧過程 I		高圧下時間 II	減圧過程 II			
8	空気	空気	120	空気	空気	144.5分	16:06	
3	118分(10msw)	2分	分	2	118分(10msw)	(AB20分)	6分	
0				3	総減圧時間 238.5分		4	
0				0			0	

図3-25 試算E-cの減圧スケジュール