

1-4 現実性のための補正

1-4-1 補正の必要性

計算プロセスのトレースについては、本章2節以降の空気減圧表において詳述するが、ビュールマンモデルを用いた減圧表は、特に空気減圧表において著しく減圧時間が長くなる傾向(ホールデンの尻尾)があり、そのため、圧気土木作業などの現実に見合わない可能性が出てきた。ここで、安全性の基準として、長年、圧気土木で使用され、数多くの臨床データで安全性が保障されたブラックプール表をレファランスとすると、12m 以浅の240分超の組織の評価を外すことで、それに近い減圧停止時間が得られることが明らかになったため、それに倣う方向で補正を行うこととした。

なお、文献Cにも取り上げられているようにビュールマンモデルのみならず、現在の減圧表計算には Conservatism(慎重さ)というファクターあるいはパーセントM値が組み込まれ、使用者のリスク管理をコントロールする慣例があるが、實際上、どのように Conservatism(慎重さ)やパーセントM値を計算中に組み込むことが有効であるかの結論を得ることがこれまでのところ出来ていない。これについては非常にデリケートな部分があり、微妙な設定差によって、異常値が発生したり、値の転倒が発生したり、試算過程は試行錯誤の連続となった。その結果、慎重さ要素の組み込みを断念し、ビュールマン ZH-L16 モデルの「自然な」計算結果に対して、ブラックプール表に近似する形に減圧停止時間を補正することとした。そのために次ページからブラックプール表とビュールマンの比較対照と補正方針を述べることとする。

1-4-2 補正の方向性と補正式の導出

まず各圧力について滞底時間の増加に関する比較グラフをあげる

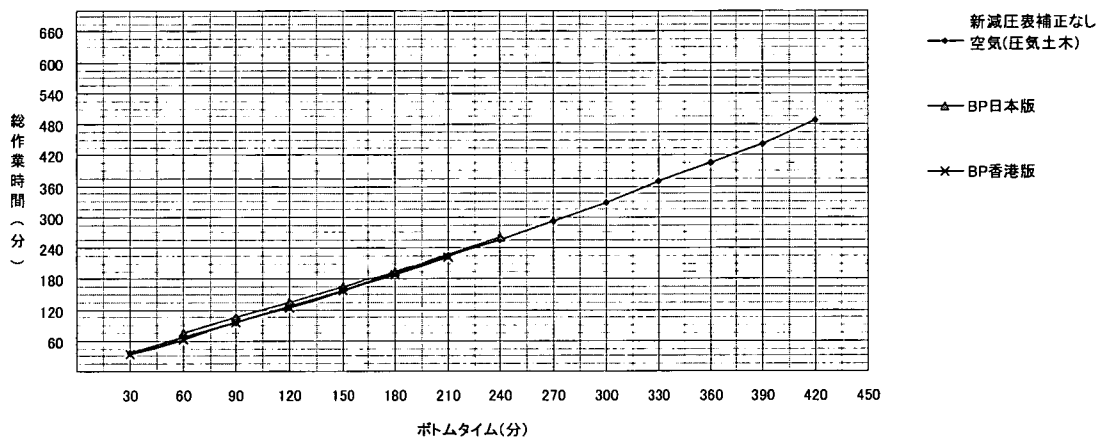


図 4-1 10msw における 新減圧表補正なし-空気(圧気土木), 高圧則, B プール表の ボトムタイムに関する 総作業時間の比較

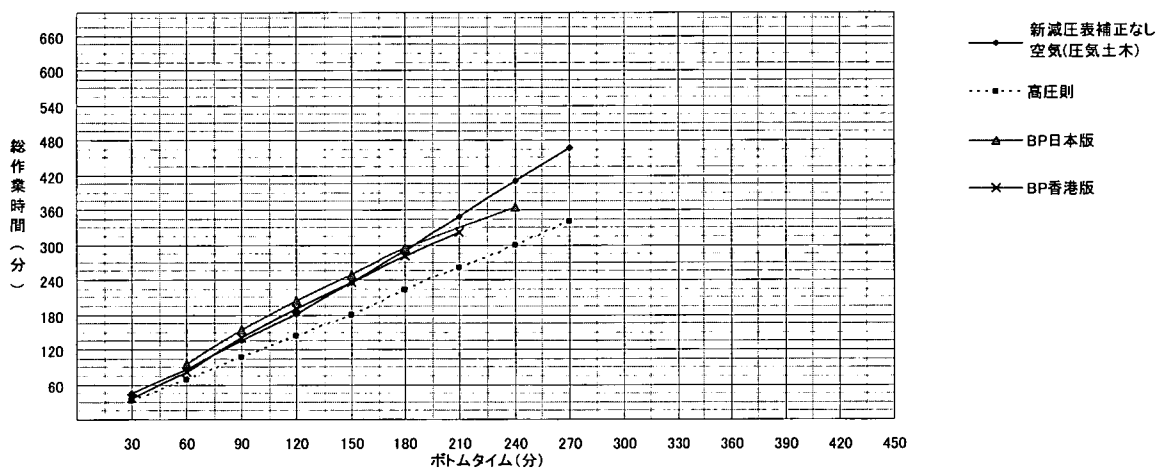


図 4-2 20msw における 新減圧表補正なし-空気(圧気土木), 高圧則, B プール表の ボトムタイムに関する 総作業時間の比較

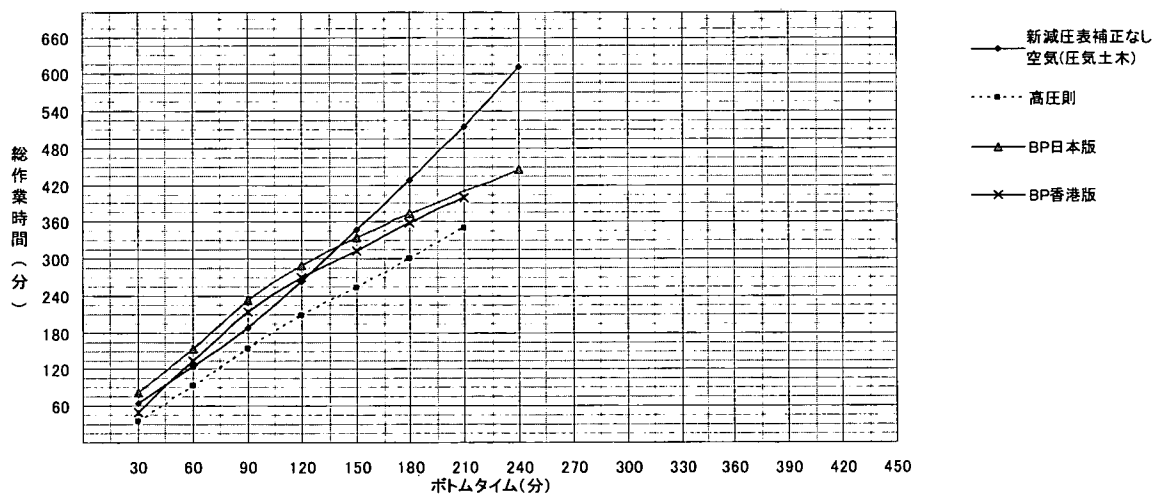


図 4-3 30msw における 新減圧表補正なし-空気(圧気土木), 高圧則, B プール表の ボトムタイムに関する 総作業時間の比較

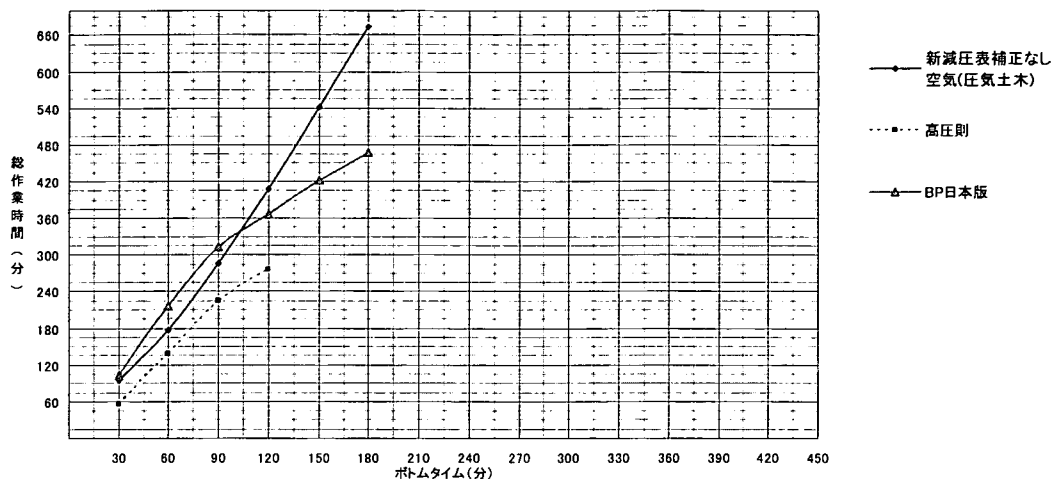


図 4-4 40msw における 新減圧表補正なし-空気(圧気土木), 高圧則, B プール表の ボトムタイムに関する 総作業時間の比較

上記の一連のグラフから明らかなことは、ボトムタイムが増えるほど、減圧時間含めた総作業時間についてブラックプール表との差が増えていく傾向にあり、その傾向は滞底圧力が増えるほど顕著になる。一方、ボトムタイム 120 分より短い場合はブラックプール表と同程度かむしろ総作業時間が短くなり、120 分を超えると急激に総作業時間がブラックプール表よりも長くなってゆく傾向があることが分かる。

次に滞底時間（ボトムタイム）について滞底圧力の増加に関する比較グラフをあげる

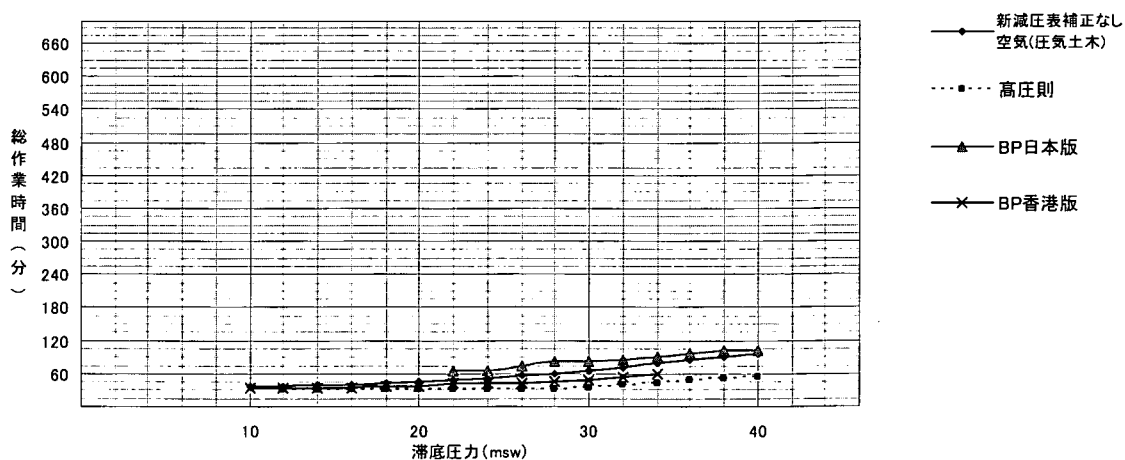


図 4-5 30 分における 新減圧表補正なし-空気(圧気土木), 高圧則, B プール表の 滞底圧力に関する 総作業時間の比較

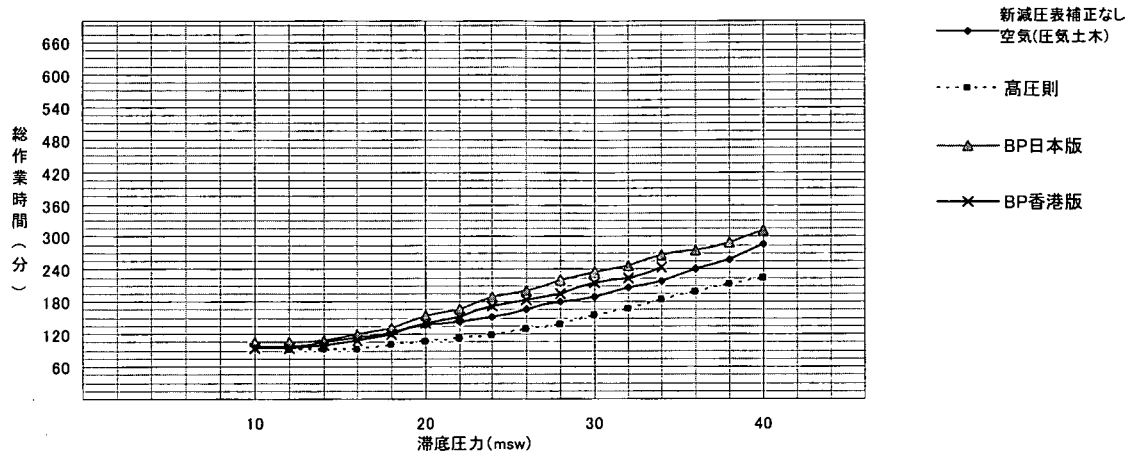


図 4-6 90 分における 新減圧表補正なし-空気(圧気土木), 高圧則, B プール表の 滞底圧力に関する 総作業時間の比較

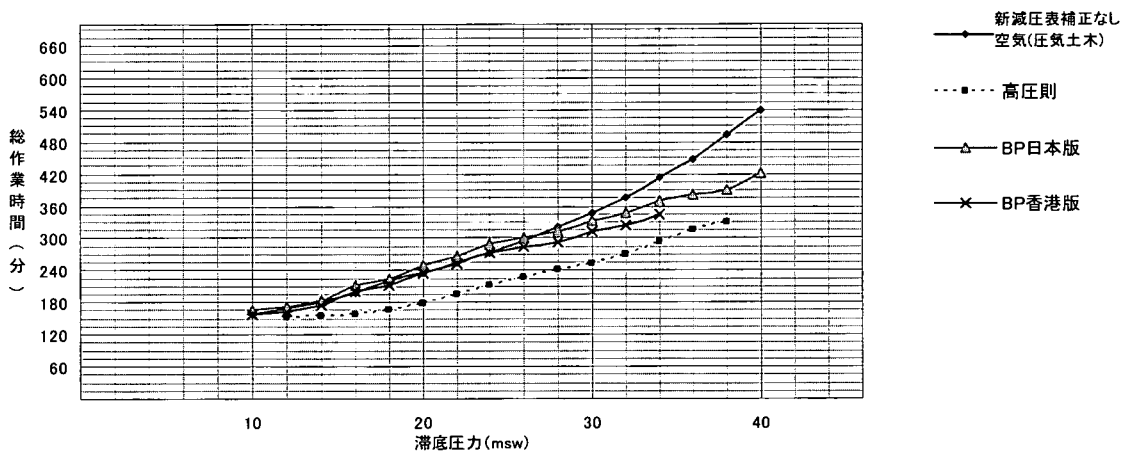


図 4-7 150 分における 新減圧表補正なし-空気(圧気土木), 高圧則, B プール表の 滞底圧力に関する 総作業時間の比較

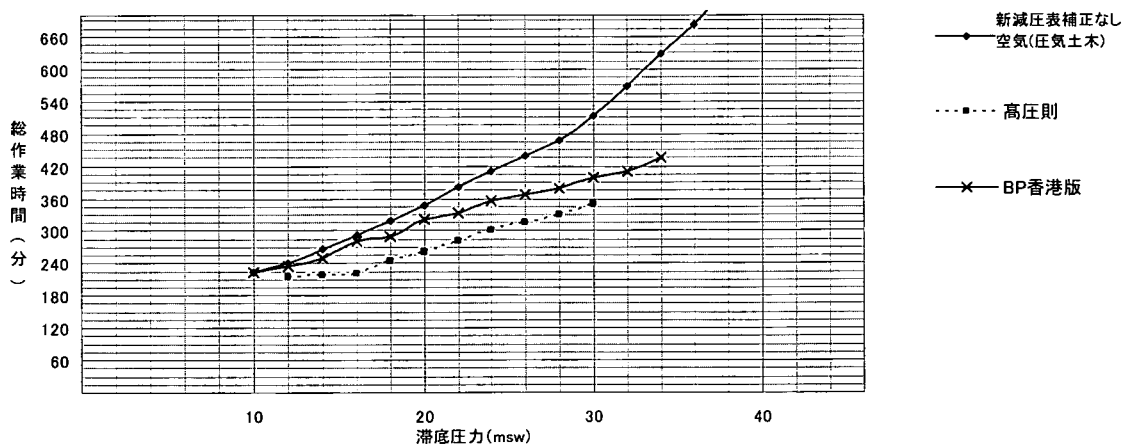


図 4-8 210 分における 新減圧表補正なし-空気(圧気土木), 高圧則, B プール表の 滞底圧力に関する 総作業時間の比較

ここから読み取れることは、滞底時間の長い 180 分、210 分を除けば、圧力変動については大きな隔たりなく変動する点である。つまり、補正を行う対象はボトムタイムに対して重点的に行う方が効果的であることがわかる。また凹型の特性となっているグラフを凸型に補正するような、対数関数に基づいた補正を行うことが有効であることが考えられる。通常こういった補正は対象とする関数に対する相関係数を上げるように補正係数を決定するが、この場合ブラックプール表との総減圧時間の差の値については非線形な形をとるため厳密な一致は困難である。そして個々の減圧停止時間の値の転倒を発生させないように、試行錯誤的に値を決定せざるを得なかった。その結果導かれた式とその係数が以下のものである。

空気減圧停止時間補正式 式 G

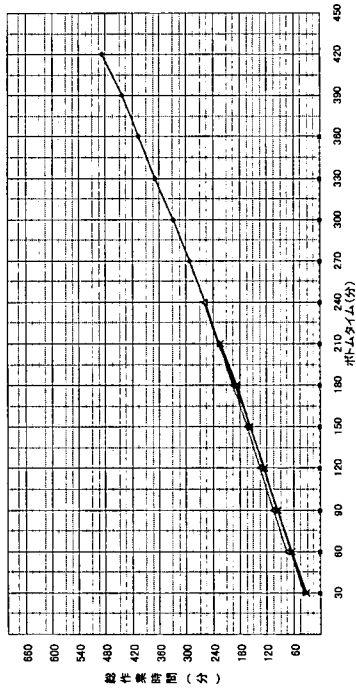
$$\text{補正停止時間} = (\text{勾配 } G * \text{LN(ボトムタイム } T) + \text{切片 } C) * \text{減圧停止時間 } t$$

※勾配 $G = -0.5875$ 、切片 $C = 3.87$ と設定

1-4-3 補正結果の検証

次ページより先ほど列挙したビュールマン ZH-L16 モデルによる標準的な計算と比較対照し補正の効果を検証する。

補正なし



補正あり

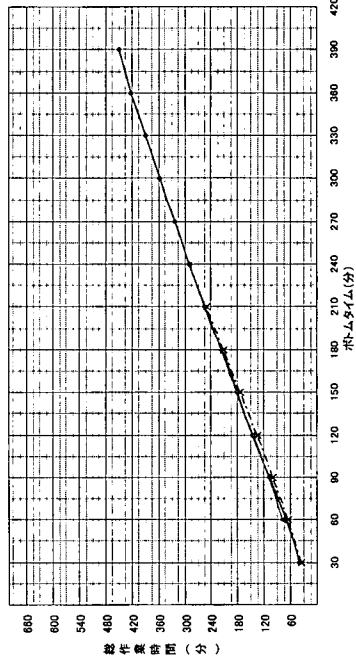
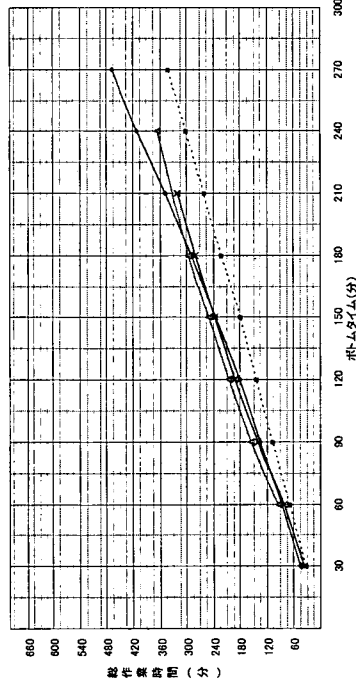


図 4-9 10msw における 新減圧表-空気(圧気土木)、高圧則、B プール表の ボトムタイムに関する 補正なし/補正ありの総作業時間の比較

補正なし



補正あり

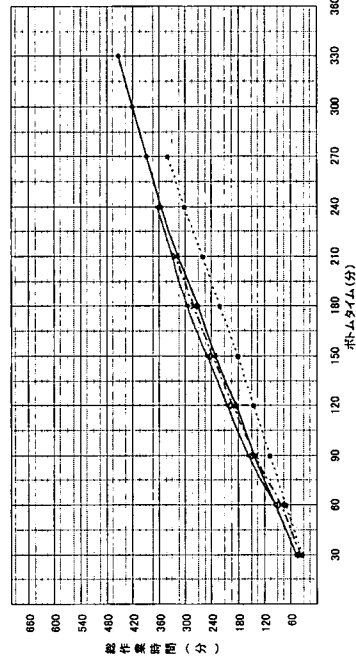
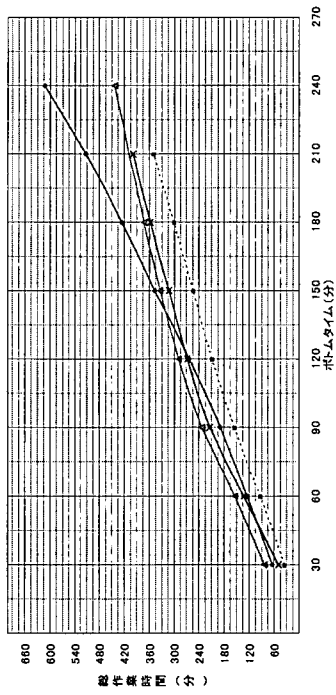


図 4-10 20msw における 新減圧表-空気(圧気土木)、高圧則、B プール表の ボトムタイムに関する 補正なし/補正ありの総作業時間の比較

補正なし



補正あり

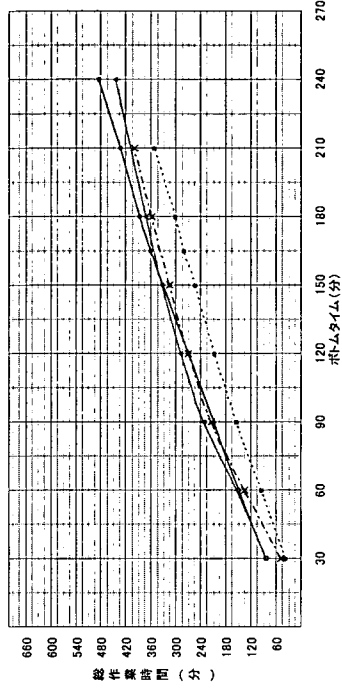
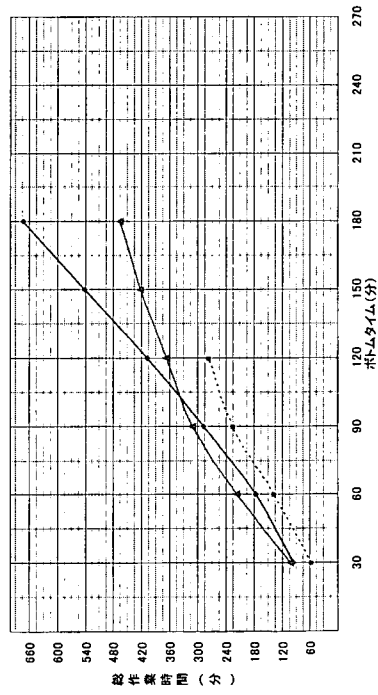


図 4-11 30msw における 新減圧表-空気(圧気土木)、高圧則、B プール表の ボトムタイムに関する 補正なし/補正ありの総作業時間の比較

補正なし



補正あり

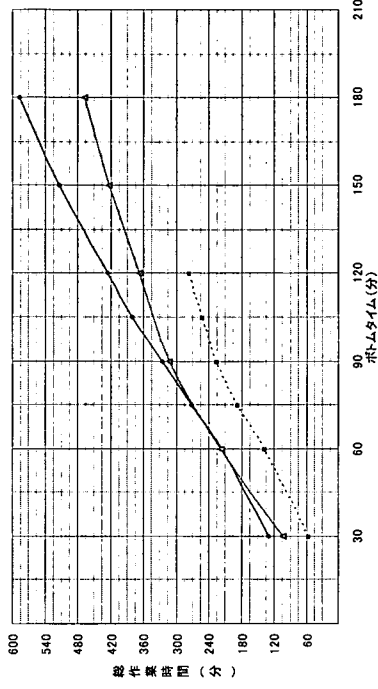


図 4-12 40msw における 新減圧表-空気(圧気土木)、高圧則、B プール表の ボトムタイムに関する 補正なし/補正ありの総作業時間の比較

上記のグラフに見られるように、すべての圧力帯にわたって、長すぎる総作業時間が補正され、ブラックプール表に近い値になっていることがわかる。下記**式 G**で勾配Gをあげることによって作業時間をより圧縮することは可能であるが、そうした場合、それぞれの減圧停止において、圧力や時間の増加に比例しない、つまり高い圧力や長い滞底時間であるのに、各停止時間が短くなるという「転倒現象」が発生してしまう。数多くの試行の結果得られた適正値が以下の値（勾配G=-0.5875、切片C=3.87）である。また、滞底圧力についても補正関数を考えることも試みたが、ボトムタイムに比すと、作業時間の増加の度合いが少ない点と、2関数による補正がより頻繁な停止時間の「転倒現象」を生む点から、ボトムタイムによる補正に留めた。

空気減圧停止時間補正式 式 G

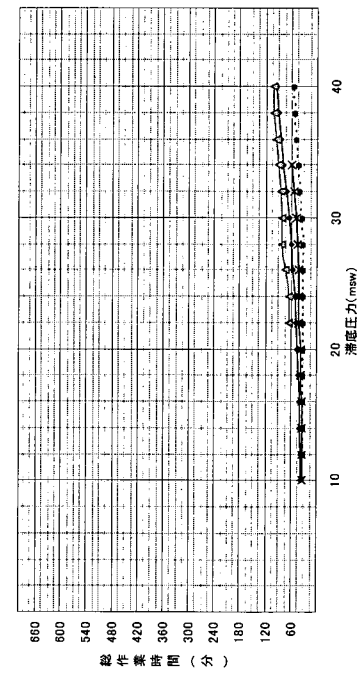
$$\text{補正停止時間} = (\text{勾配 G} * \text{LN}(\text{ボトムタイム T}) + \text{切片 C}) * \text{減圧停止時間 t}$$

※勾配 G=-0.5875、切片 C=3.87 と設定

文献 A 参照

次に、圧力変化に関しての補正効果を次ページからのグラフで検証してみる。

補正なし



補正あり

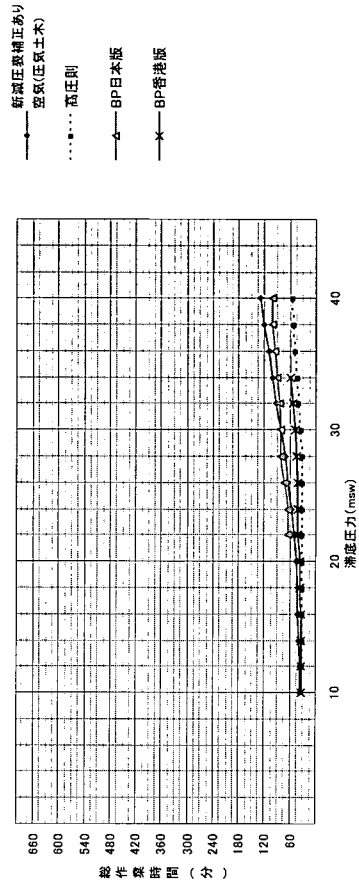
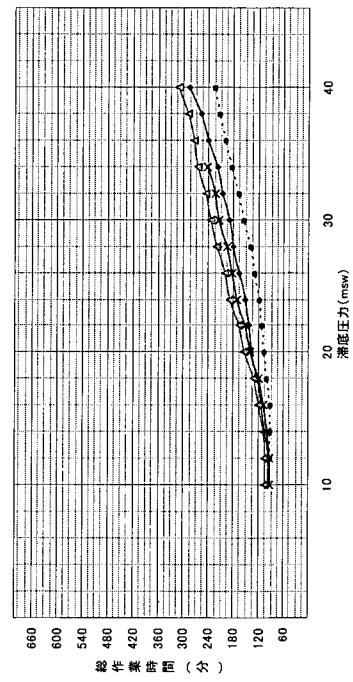


図 4-13 30分における 新減圧表-空気(圧気土木)、高圧則、Bプールの総作業時間の比較

補正なし



補正あり

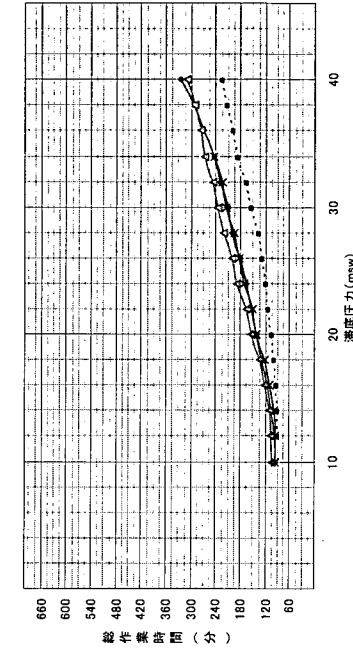
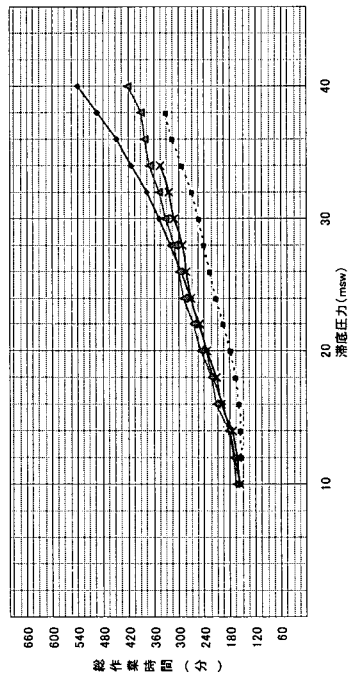


図 4-14 90分における 新減圧表-空気(圧気土木)、高圧則、Bプールの総作業時間の比較

補正なし



補正あり

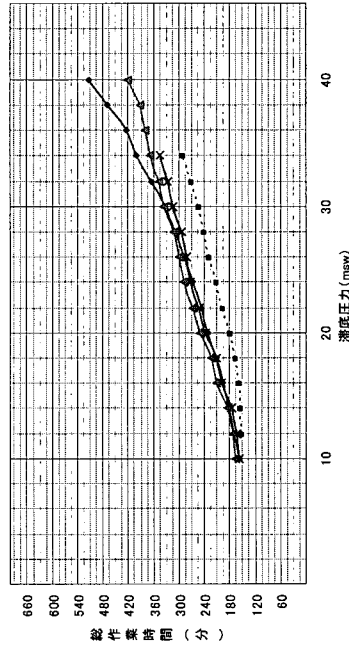
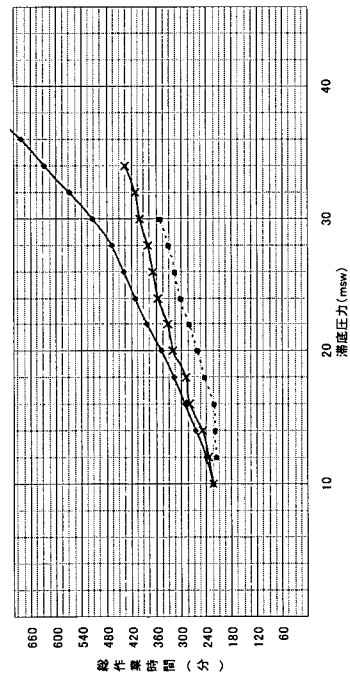


図 4-15 150 分における 新減圧表-空気(圧気土木)、高圧則、Bプールの 漸底圧力に関する 補正なし/補正ありの総作業時間の比較

補正なし



補正あり

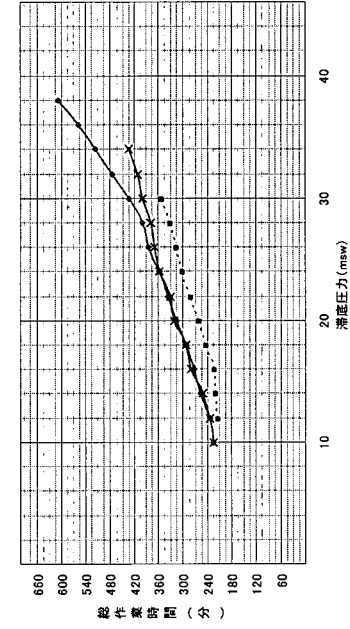


図 4-16 210 分における 新減圧表-空気(圧気土木)、高圧則、Bプールの 漸底圧力に関する 補正なし/補正ありの総作業時間の比較

上記のグラフに見られるように、すべての時間帯にわたって、長すぎる総作業時間が補正され、ブラックプール表に近い値になっていることが明らかになる。圧力に相關した補正は行っていないが、圧力増加による極端な作業時間の増加もかなりの程度抑えられていることが明白である。これらを検証として、空気減圧については式 G による補正を適用し、次章より減圧表計算を行うべくこととする。

2. 空気減圧表（圧気土木用）

2-1 空気減圧表（圧気土木用）試算条件

- (1) 深度 D の範囲は、 $8\text{m} < D \leq 40\text{m}$ とする。
- (2) 空気の組成は、酸素 21%・窒素 79%とする。ただし、初期分圧である大気圧は水蒸気圧 (0.567msw) を差し引いたものとする。
- (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、計算上酸素 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) 加圧速度は $10\text{m}/\text{分}$ 以下、および減圧速度は $1.5\text{m}/\text{分}$ 以下とする。
- (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、上述の湿度を加味し、窒素分圧 $0.79 \times (10 - 0.567) = 7.452\text{atm}$ 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。休憩時間を除く合計作業時間(加圧開始から減圧完了までの時間)は 450 分以内とする。
- (12) 上記条件の下、先述のビュールマン a, b 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。
- (13) 一定の減圧計算終了後、減圧停止時間にボトムタイムに応じた実用上の補正が加えられる。

2-2 空気減圧表計算プロセス（補正なし）

前項の試算条件にしたがってボトムタイム 150 分 最大圧力 36m_{sw} のプロファイルについて試算プロセスを詳説する。

2-2-1 STEP0 初期条件

表 4-1 150 分 36m_{sw} における酸素濃度およびビュールマン a,b 値の設定

滞底時間	最大圧力	大気圧	N濃度 I	N濃度 II
150.000	36.000	9.433	0.790	0.200
加圧速度	減圧速度A	減圧速度B	酸素濃度 I	酸素濃度 II
8.000	1.500	0.000	0.210	1.000

半飽和時間	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
N2a値	12.6885	10.9185	9.4381	8.2446	7.3918	6.3153	5.6483	5.1133	4.8246	4.3709	4.0774	3.8680	3.4463	3.3161	3.0765	2.9284
N2b値	0.5578	0.6514	0.7222	0.7825	0.8126	0.8434	0.8693	0.8910	0.9092	0.9222	0.9319	0.9403	0.9477	0.9544	0.9602	0.9653

上記に初期条件とビュールマン 16 の半飽和組織（ 5, 8, 12.6, 18.5, 21, 38.3, 54.3, 77, 109, 146, 187, 239, 305, 390, 498, 635 ）の a 値と b 値が与えられている。これは 文献 C を参照し、M 値変換式 **式 D** によって変換したものである。また計算フローは、前節 4-1-3 で詳説した計算フロー B である。

2-2-2 STEP1 大気圧～ボトムタイム～第一減圧停止圧前まで

表 4-2 大気圧～ボトムタイム～第一減圧停止圧前までの組織別体内酸素分圧 1

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	適用式	深さ深度 (%) 停止時間(分)×式	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635	
01	30.000	0.000	0.0	0.0000	0.0000	A	79.000	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452	7.452
02	30.000	0.000	0.0	0.0000	0.0000	A	79.000	24.923	24.923	17.022	14.133	14.136	10.804	8.844	9.140	8.958	8.958	8.958	8.958	8.958	8.958	8.958	8.958	8.958
03	36.000	0.000	0.000	145.5000	150.0000	C	79.000	35.892	35.892	35.896	35.799	35.325	34.090	31.828	28.675	25.095	22.091	19.719	17.606	15.771	14.195	12.883	11.807	
04	36.000	0.000	0.000	152.0000	157.0000	A	79.000	36.818	35.709	36.796	36.724	35.295	34.112	31.899	28.786	25.674	22.610	19.690	17.004	15.857	14.268	12.944	11.857	
05	33.000	0.000	0.000	152.0000	157.0000	C	79.000	35.618	35.709	35.765	35.721	35.295	34.112	31.899	28.786	25.674	22.610	19.690	17.004	15.857	14.268	12.944	11.857	
06	36.000	0.000	0.000	152.0000	157.0000	B	79.000	35.211	33.020	35.432	35.942	37.172	34.278	32.481	30.513	28.218	25.237	22.487	20.888	19.531	18.102	16.703	15.333	
07	36.000	0.000	0.000	152.0000	157.0000	B	79.000	23.120	33.389	47.896	66.356	100.923	196.764											
08	33.000	0.000	0.000	154.0000	154.0000	A	79.000	34.837	35.178	35.407	35.478	35.147	34.049	31.910	29.846	27.907	26.005	24.230	22.566	21.093	19.798	18.563	17.372	
09	30.000	0.000	0.000	154.0000	154.0000	C	79.000	34.837	35.178	35.407	35.478	35.147	34.049	31.910	29.846	27.907	26.005	24.230	22.566	21.093	19.798	18.563	17.372	
10	36.000	0.000	0.000	154.0000	154.0000	B	79.000	34.837	35.178	35.407	35.478	35.147	34.049	31.910	29.846	27.907	26.005	24.230	22.566	21.093	19.798	18.563	17.372	
11	36.000	0.000	0.000	154.0000	154.0000	B	79.000	34.837	35.178	35.407	35.478	35.147	34.049	31.910	29.846	27.907	26.005	24.230	22.566	21.093	19.798	18.563	17.372	
12	30.000	0.000	0.000	156.0000	156.0000	A	79.000	33.671	34.354	34.838	35.081	34.838	33.804	31.881	29.866	27.874	25.914	24.087	22.392	20.827	19.397	18.000	16.635	
13	27.000	0.000	0.000	156.0000	156.0000	C	79.000	33.671	34.354	34.838	35.081	34.838	33.804	31.881	29.866	27.874	25.914	24.087	22.392	20.827	19.397	18.000	16.635	
14	36.000	0.000	0.000	156.0000	156.0000	B	79.000	33.671	34.354	34.838	35.081	34.838	33.804	31.881	29.866	27.874	25.914	24.087	22.392	20.827	19.397	18.000	16.635	
15	36.000	0.000	0.000	156.0000	156.0000	B	79.000	33.671	34.354	34.838	35.081	34.838	33.804	31.881	29.866	27.874	25.914	24.087	22.392	20.827	19.397	18.000	16.635	

表 4-3 大気圧～ボトムタイム～第一減圧停止圧前までの組織別体内酸素分圧 2

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	適用式	深さ深度 (%) 停止時間(分)×式	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
16	27.000	0.000	0.000	158.0000	158.0000	A	79.000	32.247	33.283	34.081	34.342	34.524	33.886	31.754	29.847	27.994	26.227	24.551	22.958	21.447	20.000	18.618	17.294
17	24.000	0.000	0.000	158.0000	158.0000	C	79.000	32.247	33.283	34.081	34.342	34.524	33.886	31.754	29.847	27.994	26.227	24.551	22.958	21.447	20.000	18.618	17.294
18	24.000	0.000	0.000	158.0000	158.0000	B	79.000	32.247	33.283	34.081	34.342	34.524	33.886	31.754	29.847	27.994	26.227	24.551	22.958	21.447	20.000	18.618	17.294
19	24.000	0.000	0.000	158.0000	158.0000	B	79.000	32.247	33.283	34.081	34.342	34.524	33.886	31.754	29.847	27.994	26.227	24.551	22.958	21.447	20.000	18.618	17.294
20	24.000	0.000	0.000	160.0000	160.0000	A	79.000	30.535	32.008	33.153	33.870	34.059	33.380	31.588	29.779	28.000	26.254	24.544	22.868	21.235	19.646	18.100	16.594
21	21.000	0.000	0.000	160.0000	160.0000	C	79.000	30.535	32.008	33.153	33.870	34.059	33.380	31.588	29.779	28.000	26.254	24.544	22.868	21.235	19.646	18.100	16.594
22	24.000	0.000	0.000	160.0000	160.0000	B	79.000	30.535	32.008	33.153	33.870	34.059	33.380	31.588	29.779	28.000	26.254	24.544	22.868	21.235	19.646	18.100	16.594
23	24.000	0.000	0.000	160.0000	160.0000	B	79.000	30.535	32.008	33.153	33.870	34.059	33.380	31.588	29.779	28.000	26.254	24.544	22.868	21.235	19.646	18.100	16.594

- 02行：まず大気圧～36msw までの加圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。
- 03行：次に、36msw で 145 分(加圧時間を除いている)滞在時の組織分圧 PN2 の変動を式 B によって算出する。
- 04行：次に、36msw～33msw までの減圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。
- 06行：次の降下圧 30msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、すべて下回っていると確認。
- 07行：停止時間はなし。
- 05行：これに基づき停止時間 0 とする。

- 08 行：次に、33msw～30msw までの減圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。
- 10 行：次の降下圧 27msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、すべて下回っていると確認。
- 11 行：停止時間はなし。
- 09 行：これに基づき停止時間 0 とする。
- 12 行：次に、30msw～27msw までの減圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。
- 14 行：次の降下圧 24msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、すべて下回っていると確認。
- 15 行：停止時間はなし。
- 13 行：これに基づき停止時間 0 とする。
- 16 行：次に、27msw～24msw までの減圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。
- 18 行：次の降下圧 21msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、すべて下回っていると確認。
- 19 行：停止時間はなし。
- 17 行：これに基づき停止時間 0 とする。
- 20 行：次に、24msw～21msw までの減圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。
- 22 行：次の降下圧 18msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、すべて下回っていると確認。
- 23 行：停止時間はなし。
- 21 行：これに基づき停止時間 0 とする。

2-2-3 STEP2 第一減圧停止まで

表 4-4 第一減圧停止までの組織別体内窒素分圧

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	適用式	窒素濃度 (%) 停止時間(分・太字)	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
24 18.000 ~ 21.000	19.000	3.0	2.0000	162.0000	A	A	79.000	24.088	30.588	32.075	33.076	33.458	33.006	31.385	28.073	25.360	22.456	20.711	17.987	16.121	14.502	13.137	12.028
25 18.000 ~ 18.000	18.000	0.000	1.0000	163.000	C	C	79.000	27.781	29.820	31.514	32.657	33.199	32.803	31.246	28.611	25.337	22.454	20.117	17.987	16.133	14.515	13.158	12.038
26 18.000 ~ 18.000	18.000	0.000	1.0000	164.000	B	B	1.000	26.941	46.364	40.566	35.348	35.020	32.897	31.477	30.344	29.590	28.734	27.785	27.087	26.991	26.697	26.195	25.195
27 18.000 ~ 18.000	18.000	0.000	1.0000	165.000	B	B	1.000	-10.779	-11.330	-10.725	-7.785	-4.716	0.339	-0.867	-23.352	-118.748	-452.048						
各組織別停止時間計算																							

24行：次に、21msw～18msw までの減圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。

26行：次の降下圧 15msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、38.3 分組織がクリティカルと分かる(太字)。

27行：ここで式 B により停止時間計算を行うと太字の値となり、切り上げにより 1 分。

25行：この停止時間に基づき式 C により組織分圧計算を行う。

2-2-4 STEP3 第二減圧停止まで

表 4-5 第二減圧停止までの組織別体内窒素分圧

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	適用式	窒素濃度 (%) 停止時間(分・太字)	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
28 18.000 ~ 15.000	16.500	3.0	2.0000	166.0000	A	A	79.000	26.028	28.431	30.288	31.724	32.444	32.885	32.925	28.446	24.225	20.045	16.326	14.010	12.127	10.749	9.524	8.484
29 15.000 ~ 15.000	15.000	0.000	23.0000	189.000	C	C	79.000	18.579	20.534	22.330	24.573	26.650	27.917	28.005	26.752	24.463	22.111	20.053	18.095	16.313	14.727	13.372	12.206
30 15.000 ~ 15.000	15.000	0.000	23.0000	212.000	B	B	23.000	14.992	40.778	36.473	33.709	34.429	34.229	28.280	26.226	24.244	22.108	20.053	18.095	16.313	14.727	13.372	12.206
31 15.000 ~ 15.000	15.000	0.000	23.0000	235.000	B	B	23.000	-10.355	-9.990	-7.834	-2.694	3.805	14.338	22.814	20.167	-23.086	-142.058	-521.379					
各組織別停止時間計算																							

28行：次に、18msw～15msw までの加圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。

30行：次の降下圧 12msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、27, 38.3, 54.3, 77 分組織がクリティカルと分かる。

31行：ここで式 B により停止時間計算を行うと太字の値となり、切り上げにより 23 分。

29行：この停止時間に基づき式 C により組織分圧計算を行う。

2-2-5 STEP4 第三減圧停止まで

表 4-6 第三減圧停止までの組織別体内酸素分圧

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	適用式	酸素濃度 (%) 停止時間(分・太字)	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
32 15.000 ~	12.000	3.000	3.0000	109.0000	0	A	79.000	10.200	20.105	31.041	37.038	27.589	27.186	22.074	20.109	24.383	22.074	20.109	16.065	16.223	14.237	13.205	12.245
33 12.000 ~	12.000	0.000	17.0000	207.000	0	C	20.000	5.703	7.924	11.166	14.770	18.465	21.403	23.178	23.432	22.303	20.694	19.077	17.431	15.666	14.428	13.172	12.103
34 12.000 ~	12.000	0.000	0	207.000	0	C	29.000	5.703	7.924	11.166	14.770	18.465	21.403	23.178	23.432	22.303	20.694	19.077	17.431	15.666	14.428	13.172	12.103
35 12.000 ~	12.000	0.000	0	207.000	0	C	29.000	5.703	7.924	11.166	14.770	18.465	21.403	23.178	23.432	22.303	20.694	19.077	17.431	15.666	14.428	13.172	12.103
36 12.000 ~	12.000	0.000	0	207.000	0	C	29.000	5.703	7.924	11.166	14.770	18.465	21.403	23.178	23.432	22.303	20.694	19.077	17.431	15.666	14.428	13.172	12.103
36 各組織別停止時間計算						B	17.000	-5.109	-8.065	-8.271	-6.178	-2.434	4.309	14.411	16.159	14.890	-1.626	-27.546	-13.279	-139.376	-248.866	-402.113	-621.058

32行：次に、15msw～12msw までの減圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。

35行：次の降下圧 9msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、38.3, 54.3, 77, 109 分組織がクリティカルと分かる(太字)。

36行：ここで式 B により停止時間計算を行う。この停止より酸素減圧となり (PN2 79%→20%) これにしたがって計算すると太字の値となり、切り上げにより 17 分。

33行：この停止時間に基づき式 C により組織分圧計算を行う。

34行：この停止より酸素減圧となり (PN2 79%→20%)、停止時間が 25 分以上の場合はエアブレイク 5 分を考慮するが、この場合発生しない。

2-2-6 STEP5 第四減圧停止まで

表 4-7 第四減圧停止までの組織別体内酸素分圧

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	適用式	酸素濃度 (%) 停止時間(分・太字)	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
37 12.000 ~	9.000	3.000	3.0000	209.0000	0	A	20.000	5.294	7.289	10.743	14.782	17.743	20.781	22.384	23.086	22.382	20.577	18.965	17.352	15.742	14.391	13.147	12.085
38 9.000 ~	9.000	0.000	23.0000	232.000	0	C	20.000	3.153	4.179	5.565	6.040	11.474	14.963	17.858	19.457	19.887	18.794	17.717	16.471	15.194	13.962	12.849	11.877
39 9.000 ~	9.000	0.000	0	232.000	0	C	79.000	9.167	7.830	7.744	9.164	11.646	14.928	17.654	19.242	19.430	18.694	17.659	16.411	15.187	13.968	12.890	11.891
40 9.000 ~	9.000	0.000	5	237.000	1	C	79.000	9.167	7.830	7.744	9.164	11.646	14.928	17.654	19.242	19.430	18.694	17.659	16.411	15.187	13.968	12.890	11.891
40 各組織別停止時間計算						B	23.000	-21.839	-23.586	-23.222	-14.245	-4.591	6.756	17.816	22.671	20.715	-20.123	-61.831	-139.833	-250.097	-412.029		

37行：次に、12msw～9msw までの減圧過程による組織分圧 PN2 の変動を式 A によって算出する。

40行：次の降下圧 9msw の各組織の M 値と計算上の組織分圧 PN2 を比較すると、54.3, 77, 109, 146, 187 分組織がクリティカルと分かる(太字)。

41行：ここで式 B により停止時間計算を行う。この停止は酸素減圧であり (PN2 20%) これにしたがって計算すると太字の値となり、切り上げにより 23 分。

38行：この停止時間に基づき**式C**により組織分圧計算を行う。

39行：この停止は酸素減圧であり、停止時間が25分以上の場合はエアブレイク5分を考慮するが、この場合5分(1回)となり、その分の停止時間を**式C**により計算する。

2-2-6 STEP6 第五減圧停止～大気帰還まで

表 4-8 第5減圧停止までの組織別体内窒素分圧

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	通片式	減圧率 (%)	停止時間(分,太字)	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
42 9.000	6.000	7.5	3.0	2.0000	238.0000	A	20.000	20.000	7.753	7.124	7.297	8.728	11.422	14.518	17.235	18.859	19.227	16.550	17.553	16.368	15.133	13.930	12.834	11.873
43 6.000	6.000	0.000	169.0000	498.0000		C	20.000	20.000	3.087	3.087	3.087	3.097	3.155	3.623	4.730	6.533	8.597	10.018	10.819	11.222	11.282	11.117	10.781	10.393
44 6.000	6.000	0.000	35	443.0000	7	C	78.000	78.000	13.121	11.753	10.885	9.741	8.829	7.844	7.419	6.877	6.314	6.031	6.086	6.116	6.160	6.182	6.189	6.190
45 6.000	6.000	0.000	35	443.0000	7	D	168.000	168.000	28.049	27.539	26.959	26.404	25.877	25.377	24.900	24.445	24.009	23.592	23.194	22.814	22.451	22.104	21.773	21.456
46 6.000	6.000	0.000	4.0000	447.0000	8	B	168.000	168.000	11.478	18.040	24.859	25.481	19.710	2.980	19.095	47.069	76.318	106.620	128.419	146.004	168.025	188.465	164.712	137.841
47 6.000	6.000	0.000	4.0000	447.0000	8	E	20.000	20.000	9.009	9.218	9.734	10.734	12.460	14.284	16.173	18.123	20.137	22.216	24.361	26.574	28.857	31.201	33.605	36.069

42行：次に、9msw～6mswまでの減圧過程による組織分圧PN2の変動を**式A**によって算出する。

45行：次の降下圧0mswの各組織のM値と計算上の組織分圧PN2を比較すると、54.3, 77, 109, 146, 187, 239, 305, 390, 498, 635分組織がク
リテイカルと分かる(太字)。

46行：ここで**式B**により停止時間計算を行う。この停止は酸素減圧であり (PN2 20%) これにしたがって計算すると太字の値となり、
切り上げにより169分。

43行：この停止時間に基づき**式C**により組織分圧計算を行う。

44行：この停止は酸素減圧であり、停止時間が25分以上の場合はエアブレイク5分を考慮するが、この場合35分(7回)となり、その分の停止時間を**式C**により計算する。

47行：最後に6msw～0mswまでの減圧過程による組織分圧PN2の変動を**式A**によって算出する。

これが、標準的な空気減圧計算プロセスであるが、先述したように、圧気土木などにおいて実用性が低いことが判明したため、計算した減圧表全体に補正関数を導入し、減圧停止時間を抑える計算を行っている。次項でその計算について述べる。

2-3 空気減圧表計算プロセス (補正あり)

2-2-1 空気減圧表補正式

空気減圧表の補正は、前述の通り 日本版と香港版のブラックプール減圧表に基づいて、行われており、その補正関数は滞底時間(ボトムタイム)についての対数関数となっている。具体的には以下の**式 G**となる。

空気減圧停止時間補正式 式 G

$$\text{補正停止時間} = (\text{勾配 } G * \text{LN}(\text{ボトムタイム } T) + \text{切片 } C) * \text{減圧停止時間 } t \quad \text{※勾配 } G = -0.5875, \text{切片 } C = 3.87 \text{ と設定}$$

文献 A 参照

2-2-2 空気減圧表補正結果の検証

この結果に従い停止時間が補正されるが、その場合の組織分圧値について下記に検証を行う。

表 4-9 補正後の体内組織分圧の推移

圧力区分 (msv)	平均圧 (msv)	圧力降下 (msv)	区間時間 (分)	積算時間 (分)	AB (回)	適用式	減算数値 (%) 停止時間(分)×本字	5	8	12.5	18.5	27	38.3	54.3	77	109	146	187	239	305	390	498	635
24 21.000 ~	18.000	3.000	2.0000	168.0000	A	19.000	49.889	20.850	32.474	30.497	34.988	28.679	24.986	22.456	20.314	17.997	16.134	14.515	13.158	12.000	11.000	10.000	9.000
25 18.000 ~	15.000	3.000	1.0000	163.0000	C	19.000	27.781	29.820	31.614	32.657	32.803	31.246	28.611	25.337	22.454	20.117	17.997	16.133	14.515	13.158	12.000	11.000	10.000
26 15.000 ~	12.000	3.000	1.0000	163.0000	D	19.000	52.931	46.387	40.538	35.021	32.677	31.427	30.311	29.520	28.718	28.131	27.746	27.138	26.441	25.689	24.897	24.065	23.199
27 18.000 ~	15.000	3.000	2.0000	168.0000	A	19.000	26.108	28.441	30.454	31.779	32.484	30.965	28.496	25.975	23.435	20.890	18.341	15.791	13.241	10.691	8.141	5.591	3.041
28 15.000 ~	12.000	3.000	2.0000	168.0000	C	19.000	19.668	20.765	22.753	24.883	27.037	28.235	28.230	26.887	24.529	21.138	17.747	14.356	10.965	7.574	4.183	0.792	-1.618
29 12.000 ~	9.000	3.000	1.0000	163.0000	B	19.000	43.260	40.734	36.473	33.104	31.289	29.780	28.405	26.344	23.523	20.859	18.341	15.791	13.241	10.691	8.141	5.591	3.041
30 15.000 ~	12.000	3.000	2.0000	168.0000	A	19.000	19.306	20.357	22.268	24.088	25.797	27.476	27.925	26.721	24.648	22.600	20.599	18.628	16.688	14.775	12.888	11.025	9.188
31 12.000 ~	9.000	3.000	1.0000	159.0000	C	19.000	7.555	10.480	14.057	17.685	21.194	23.617	24.872	24.615	23.086	21.194	19.415	17.685	16.011	14.521	13.230	12.139	11.100
32 12.000 ~	9.000	3.000	0.0000	159.0000	C	19.000	7.555	10.480	14.057	17.685	21.194	23.617	24.872	24.615	23.086	21.194	19.415	17.685	16.011	14.521	13.230	12.139	11.100
33 9.000 ~	6.000	3.000	1.0000	159.0000	B	19.000	42.184	40.176	37.219	35.270	33.588	32.021	30.575	29.248	27.927	26.702	25.581	24.561	23.641	22.821	22.101	21.481	20.961
34 9.000 ~	6.000	3.000	2.0000	207.0000	A	19.000	6.695	9.447	12.674	16.674	20.347	23.690	24.346	24.247	22.444	20.701	19.385	18.132	16.957	15.847	14.844	13.906	13.021
35 9.000 ~	6.000	3.000	2.0000	222.0000	C	19.000	3.850	4.621	5.593	6.621	7.846	9.261	10.846	12.581	14.466	16.491	18.656	20.961	23.406	25.991	28.716	31.581	34.591
36 9.000 ~	6.000	3.000	0.0000	227.0000	C	19.000	9.208	8.116	8.823	10.449	13.492	16.642	19.183	20.435	20.265	19.272	18.096	16.723	15.376	14.094	12.942	11.944	11.000
37 6.000 ~	3.000	3.000	1.0000	159.0000	D	19.000	36.805	31.572	28.052	25.138	22.948	22.365	21.124	20.311	19.631	19.028	18.513	18.074	17.714	17.411	17.161	16.961	16.821
38 6.000 ~	3.000	3.000	2.0000	223.0000	A	19.000	7.468	7.988	8.498	9.098	9.788	10.468	11.148	11.828	12.508	13.188	13.868	14.548	15.228	15.908	16.588	17.268	17.948
39 6.000 ~	3.000	3.000	0.0000	395.0000	C	19.000	3.087	3.087	3.087	3.262	3.450	3.642	3.838	4.038	4.242	4.450	4.662	4.878	5.098	5.322	5.550	5.782	6.018
40 6.000 ~	3.000	3.000	0.0000	415.0000	6	19.000	12.050	11.515	10.987	9.238	8.058	7.345	7.426	8.408	9.834	11.480	13.348	15.438	17.758	20.318	23.018	25.848	28.808
41 6.000 ~	3.000	3.000	0.0000	415.0000	6	19.000	12.050	11.515	10.987	9.238	8.058	7.345	7.426	8.408	9.834	11.480	13.348	15.438	17.758	20.318	23.018	25.848	28.808
42 6.000 ~	3.000	3.000	4.0000	420	A	19.000	8.003	8.881	9.884	10.922	12.000	13.115	14.268	15.460	16.692	17.964	19.276	20.628	22.020	23.452	24.924	26.436	27.988

24行までは補正のない計算と同一で、その後補正された停止時間を代入し組織分圧計算を行った結果、太字で示した39~40行の305, 390, 498組織のみがわずかにM値を上回っている。これによりブラックプール表と同程度に補正を行うことが240分以上の組織についてわずかながら、ビュールマンにおける設定M値を上回るようになる。これについてはブラックプール表の統計的な信頼性に準拠するものとする。

2-4 CPTD 試算表 (補正あり)

表 4-10 減圧停止毎の UPTD および積算 UPTD(CPTD) 計算表

圧力区分 (msw)	平均圧 (msw)	圧力降下 (msw)	区間時間 (分)	酸素濃度 (%)	PO2	CPTD (unit)
0.000	0.0	0.0	0.0000	21.000%	0.198	0.000
0.000 ~ 36.000	18.0	36.0	4.5000	21.000%	0.576	0.943
36.000 ~ 36.000	36.000	0.000	145.5000	21.000%	0.954	134.322
36.000 ~ 33.000	34.5	3.0	2.0000	21.000%	0.923	1.739
33.000 ~ 30.000	31.5	3.0	2.0000	21.000%	0.860	1.521
30.000 ~ 27.000	28.5	3.0	2.0000	21.000%	0.797	1.297
27.000 ~ 24.000	25.5	3.0	2.0000	21.000%	0.734	1.063
24.000 ~ 21.000	22.5	3.0	2.0000	21.000%	0.671	0.819
21.000 ~ 18.000	19.5	3.0	2.0000	21.000%	0.608	0.559
18.000 ~ 18.000	18.000	0.000	1.0000	21.000%	0.576	0.194
18.000 ~ 15.000	16.5	3.0	2.0000	21.000%	0.545	0.269
15.000 ~ 15.000	15.000	0.000	21.0000	21.000%	0.513	1.036
15.000 ~ 12.000	13.5	3.0	2.0000	21.000%	0.482	0.000
12.000 ~ 12.000	12.000	0.000	16.0000	100.000%	2.143	42.274
12.000 ~ 12.000	12.000	0.000	0	21.000%	0.450	0.000
12.000 ~ 9.000	10.5	3.0	2.0000	100.000%	1.993	4.959
9.000 ~ 9.000	9.000	0.000	21.0000	100.000%	1.843	48.353
9.000 ~ 9.000	9.000	0.000	5	21.000%	0.387	0.000
9.000 ~ 6.000	7.5	3.0	2.0000	100.000%	1.693	4.117
6.000 ~ 6.000	6.000	0.000	157.0000	100.000%	1.543	288.237
6.000 ~ 6.000	6.000	0.000	35	21.000%	0.324	0.000
6.000 ~ 0.000	3.0	6.0	4.0000	100.000%	1.243	5.559
積算CPTD						537.294

減圧停止計算と並行して積算 CPTD の計算を行っている。なお、試算本体と同様に大気圧は水蒸気圧を除いた値とし、酸素減圧時の酸素濃度は 100%、とみなして計算を行っている。計算式は以下の式 H である

UPTD 計算式 式 H

$$UPTD = \text{区間時間} * (\text{酸素濃度} * (\text{区間平均圧} + \text{大気圧}) / 10 - 0.5)^{0.83} / 0.5$$

このケースの場合の計算結果であるが、537unit となり、これは 6 日連日作業における一日の最大値 416unit を超えている。一週間の暴露量の最大値は 2500unit であるため、4 日までの連日作業は可能である。