

## 4. 潜函作業における気泡形成に関する研究

芝山正治\* 真野喜洋\* 柏倉章男\*  
大串貫太郎\* 松井征男\* 湯川尚美\*  
前田 博\*

### Research of bubble formation at an actual caisson work

Tokyo Medical & Dental University Department of Public Health

M. Shibayama, Y. Mano, K. Ohgushi, A. Kashiwakura, Y. Matsui, N. Yukawa and H. Maeda

There is a standard decompression schedule by the Ministry of Labor in Japan, and it is said that its bends incidence is about 0.5% according to the schedule.

Agarose gels were exposed at an actual caisson work of which pressure was from 0.1 to 3.0kg/cm<sup>2</sup>.

The bubble could be counted after the decompression of 0.3kg/cm<sup>2</sup> work. The bubbles number became 5.6±1.6 after 0.9kg/cm<sup>2</sup>, increased gradually, and became 18.5±2.4 after the decompression of 1.7kg/cm<sup>2</sup> work. It was due to the shorter decompression time than the standard decompression schedule.

So the number of bubbles decreased to 8.3±1.9 after 1.9kg/cm<sup>2</sup> work according to the prolonged decompression. Eventually we could prevent bends through the caisson work except one itch.

It would be safe against bends if the bubble number is within 6.0 after a compressed air work and an itch patient was pointed out at 19.8±1.0 of bubbles number after 2.7kg/cm<sup>2</sup> work.

The bubble counting method of agarose gels could be recognized to be useful to prevent bends in this actual caisson work.

減圧症を予防するため、労働省では高気圧作業安全衛生規則中の別表第1によつて作業時間、減

圧方法を定めている。別表第1は潜函作業やシールド作業に使用され、この規則を守っても減圧症発症率が約0.5%といわれているが、実際は0.5%以上ともいわれ、作業圧力、作業時間によって一定していない。そこで本研究は、実際の圧気作業での減圧方法ならびに、減圧症の発症とアガロースによる気泡計測法との関連性を性べるため、潜函作業用に考案されたアガロース・セルを使用して圧気労働者と共に圧暴露させることにより、実際の圧気作業における気泡形成と減圧症の発症について、圧気作業現場と実験室の双方で気泡形成実験を行い両者の関係を検討した。

### 方 法

考案されたアガロース・セル(図1)は各セルの大きさが10×10×25mmのプラスチックで8検体を1ユニット(図2)とし、lot # 16320の0.5%アガロースを用い、セル中の0.30ml単位あたりに形成される気泡数の平均とS・Dとを求めた。1ユニットのアガロース・ケースは、加圧から減圧終了まで作業者が携行したので同一の圧変化を受けた。

### 結 果

作業期間は、12月4日より3月5日までで、作業圧力は0.1~3.0kg/m<sup>2</sup>Gであった。作業は、内径15.10×11.70mのケーソンを地表より34.3mの地中へ固定する掘削作業である。作業形態は、2.4kg/m<sup>2</sup>Gまで8人の作業者が午前、午後の1日2回作業、2.5kg/cm<sup>2</sup>Gより3.0kg/cm<sup>2</sup>Gまでは4人1組で1日1回作業であった。(図3)気泡が形成され始めたのは、2回目作業後の0.3kg/cm<sup>2</sup>G(1.0±0.8)からであり、0.7kg/cm<sup>2</sup>Gまでほぼ均一な

\*東京医科歯科大学医学部公衆衛生学教室

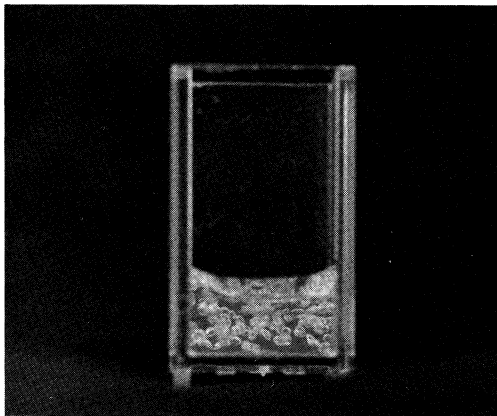


図1 10×10×20mm の潜函用カウンティング・セル

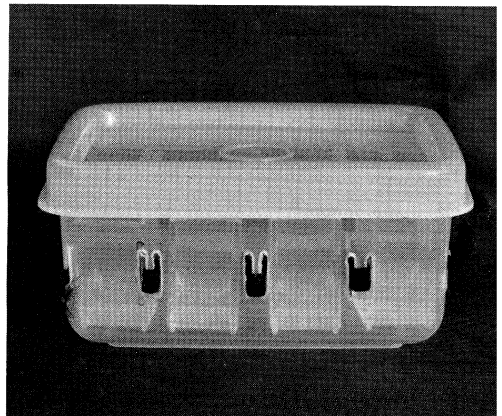


図2 8検体を1ユニットとした潜函用カウンティング・ケース

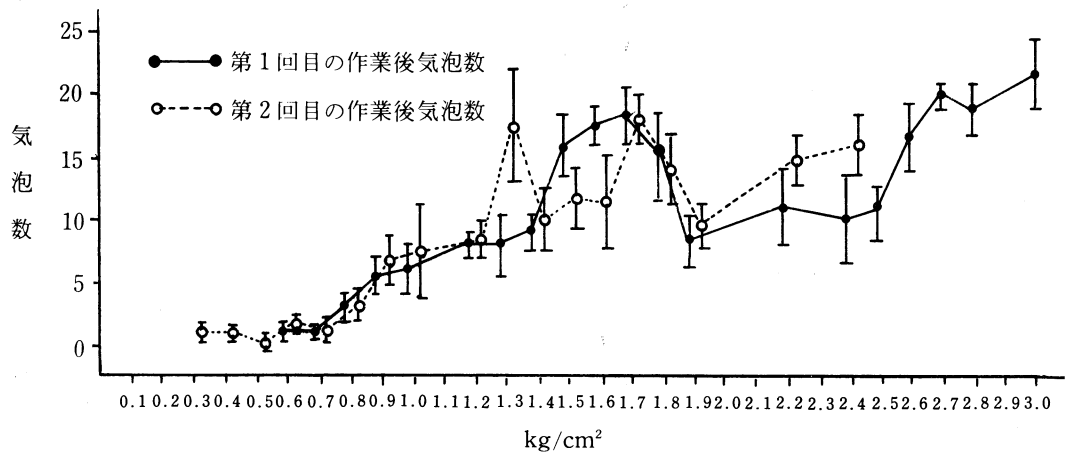


図3 圧作業後のアガローゼ気泡数

形成で、その間の最高気泡数が、 $0.6\text{kg/cm}^2\text{G}$  の  $1.8 \pm 0.7$  であった。その後徐々に増加していくが、 $1.0\text{kg/cm}^2\text{G}$  で1回目作業後に  $6.0 \pm 1.9$ 、2回目作業後に  $7.6 \pm 3.7$  であった。(表1)  $1.7\text{kg/cm}^2\text{G}$  で規則に準じない作業形態を行っていることが判明し、気泡数も増加し、1回目で  $17.9 \pm 2.1$ 、2回目で  $18.5 \pm 2.4$  となったため注意を喚起したところ気泡数は減少した。しかし、作業圧力が高くなるにつれ、気泡数もまた増加し、 $2.4\text{kg/cm}^2\text{G}$  で1回目  $10.0 \pm 3.5$ 、2回目  $15.9 \pm 2.6$  となった。そこで、 $2.5\text{kg/cm}^2\text{G}$  より1人1日1回作業に切り替えたが、作業圧力が高いため、その後の気泡数の減少は見られなく、最終圧力の  $3.0\text{kg/cm}^2\text{G}$  の気泡数は  $21.6 \pm 2.8$  となった。減圧症発症は、作業圧力  $2.7\text{kg/cm}^2\text{G}$ 、気泡数  $19.8 \pm 1.0$  で右肩 Itch を

1例認めたが再圧治療を要する事例は無かった。

### 考 察

全期間を通じて、 $0.3\text{kg/cm}^2\text{G}$  より気泡が形成されているが、1回目作業時間が240分の場合は0個で、2回目の合計作業時間480分後に気泡形成が見られた。この現象は、 $0.5\text{kg/cm}^2\text{G}$  の作業まで同じ傾向であった。1回目作業後より気泡形成が認められるようになったのは、 $0.6\text{kg/cm}^2\text{G}$  からその時の気泡数は  $1.1 \pm 0.8$  である。 $1.0\text{kg/cm}^2\text{G}$  の作業圧力では、1回目作業後気泡数は、 $6.0 \pm 1.9$  であり、作業時間は205~240分間であった。2回目作業後気泡数は、 $7.6 \pm 3.7$  で合計作業時間が438~511分となり、2回目より多く気泡形成されている。この値は、実験室における  $1.0\text{kg/cm}^2\text{G}$  の

表1 実作業における状況と規則および気泡数との関係

作業圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	実作業		規則		減 圧		規則		実作業		減 圧		規則		実作業		規則	
	1回目 作業 時間 (分)	1回目 高圧下 最高 時間 (分)	規則 圧 停止時間 (kg/cm <sup>2</sup> =分)	合 計 時間 実作業 規則 (分)	体内 ガス 圧係 数	アガローゼ 気泡数 X±S.D.	休 憩 時 間 実作業 規則 最低 (分)	2回目 高圧下 最高 時間 (分)	規則	修正 時間 (分)	2回目 作 業 時間 (分)	実作業 +規則 2回目 作業+ 修正時 間合計 (分)	規 則 圧 停止時間 (kg/cm <sup>2</sup> =分)	合 計 時間 実作業 規則 (分)	体内 ガス 圧係 数	アガローゼ 気泡数 X±S.D.	実作業	規則
1.2	208	360	0.3= 4	$\frac{10}{6}$	1.9	8.0±1.1	$\frac{92}{60}$	230	88	108	196	0.3= 4	$\frac{10}{6}$	1.9	8.5±2.4			
1.3	210	330	0.3= 8	$\frac{15}{10}$	2.0	8.0±2.8	$\frac{77}{60}$	210	120	127	247	0.3=10	$\frac{16}{12}$	2.1	17.6±4.6			
1.4	227	330	0.3=10	$\frac{16}{12}$	2.0	8.9±1.7	$\frac{77}{60}$	210	110	130	240	0.3=10	$\frac{18}{12}$	2.0	10.0±2.5			
1.5	210	300	0.3=11	$\frac{15}{13}$	2.1	16.1±2.4	$\frac{79}{90}$	210	110	*214	*324	0.3=23	$\frac{26}{25}$	2.2	11.7±2.6			
1.6	196	300	0.3=11	$\frac{15}{13}$	2.1	17.4±1.6	$\frac{73}{90}$	210	105	*274	*379	0.3=23	$\frac{45}{25}$	2.2	11.5±3.7			
1.7	167	300	0.6= 5 0.3=20	$\frac{22}{28}$	2.1	18.5±2.4	$\frac{133}{90}$	205	62	*294	*356	0.6=17 0.3=35	$\frac{44}{55}$	2.2	17.9±2.1			
1.8	252	300	0.6=10 0.3=35	$\frac{48}{48}$	2.2	14.9±3.6	$\frac{60}{150}$	75	110	140	250	0.6=10 0.3=35	$\frac{43}{48}$	2.2	14.1±2.7			
1.9	170	270	0.6=11 0.3=30	$\frac{51}{44}$	2.1	8.3±1.9	$\frac{131}{90}$	170	56	160	216	0.6=20 0.3=40	$\frac{72}{63}$	2.2	9.5±1.8			
2.2	153	270	0.6=23 0.3=40	$\frac{66}{66}$	2.1	11.1±3.0	$\frac{150}{90}$	145	42	109	151	0.6=23 0.3=40	$\frac{65}{66}$	2.1	14.8±2.1			
2.4	132	240	0.6=26 0.3=35	$\frac{64}{64}$	2.1	10.0±3.5	$\frac{94}{120}$	135	54	80	134	0.6=23 0.3=35	$\frac{106}{61}$	2.1	15.9±2.6			
2.5	不明	240	不明	不明	不明	12.9±2.2												
2.6	不明	240	不明	不明	不明	16.5±2.8												
2.7	203	210	0.9=21 0.6=40 0.3=60	$\frac{116}{125}$	2.2	19.8±1.0												
2.8	152	210	0.9=16 0.6=35 0.3=55	$\frac{108}{110}$	2.2	18.8±1.9												
3.0	200	210	0.9=26 0.6=40 0.3=75	$\frac{122}{145}$	2.2	21.6±2.8												

\* 規則に基づく許容作業制限時間および制限減圧時間を厳守して  
いない箇所を示す

飽和暴露後の急速減圧で形成された気泡数6.6±1.6とほぼ一致している。1日2回の繰り返し圧作業では、気泡数が増加されるけれども、このように作業圧力が1.0kg/cm<sup>2</sup>G 以内の場合の減圧時間は共に無減圧であった。その後、1.5kg/cm<sup>2</sup>G より規則に準じない作業形態が認められ、気泡数も多くなった。1.7kg/cm<sup>2</sup>G で減圧時間を短縮されたため注意を喚起したところ1.8kg/cm<sup>2</sup>G で2回目作業後の気泡数は14.1±2.7、1.9kg/cm<sup>2</sup>G では同9.5±1.8となった。作業圧2.5および2.6kg/cm<sup>2</sup>G において自記記録計の故障が生じ、作業形態および減圧方法が不明となったが、2.7kg/cm<sup>2</sup>G で圧力が増加した分だけ気泡数も増加し(19.8±1.0)右肩 Itch の減圧症発症を見た。しかし、以後2.8kg/cm<sup>2</sup>G 18.8±1.9、3.0kg/cm<sup>2</sup>G 21.6±2.8となったけれども、Itch 以外に減圧症発症を認めなかった。

以上のことから、気泡数平均が6.6±1.6個以内は安全であり、気泡数平均が19.8±1.0個以上はItch の発症危険があると思われた。

【参 考 文 献】

- 1) Yourt, D.E. and Strauss, R.H. : Bubble formation in gelatin; A model for decompression sickness. J. Appl. Physics, 47: 5081-5089, 1976
- 2) Le Messurier, D.H., Smith, T.N. and Wood, W.R. : Diffusion and nucleation of gas in gel and some implications for the development of decompression procedures. Undersea Biomedical Research, 6: 175-188, 1979
- 3) D'Arrigo, J.S. and Mano, Y. : Bubble production in agarose gels subjected to different decompression schedules. Undersea Biomedical Research, 6 (1): 93-98, 1979
- 4) 真野喜洋, 芝山正治ら: 減圧症と気泡に関する実験的研究. 日本高気圧環境医学会雑誌, 13: 25-26, 1978
- 5) 労働省労働基準局安全衛生部: 高気圧作業安全衛生の手引. 建設業労働災害防止協会, 東京, 1979