水に対するシートガスケットの性能比較*

中 井 昇**

Sheet Gasket Performance Comparisons under Water Pressure

by Noboru Nakai

The maintenance factors (m values) and yield stresses (y values) of four gasket materials at four thicknesses each were determined under water pressures of 2.06 MPa and 0.014 MPa, respectively. The gaskets examined were made of PTFE, graphite, Technograph (trade name), and asbestos, each at thicknesses of 1.0, 1.5, 2.0, and 3.0 mm. The m values of asbestos gaskets decreased from 8.32 to 1.73 as thickness was increased, but values for the non-asbestos materials showed no regular change with thickness. The mean m values for PTFE, graphite, and Technograph gaskets were 0.81, 2.12, and 3.01, respectively. The performance of the non-asbestos gaskets was better than that of asbestos gaskets except 1.73 for the 3.0-mm thickness. The y values were much smaller than the m values, e.g. 2.06 MPa for the 1.0-mm thick asbestos gasket under N₂ gas, and showed no variation with thickness. The mean y values for PTFE, graphite, Technograph, and asbestos gaskets were 0.08, 0.16, 0.36, and 0.34. It is not realistic to use these values as the minimum effective seating stress, replacing design stress for these gaskets on piping. The non-asbestos sheet gaskets can be used in place of asbestos gaskets at normal temperatures.

1. はじめに

特殊な用途を除きIMOでも使用が禁じられているアスベストに替わりうる配管用ジョイントシートガスケット(石油学会規格JPI-7R-70-88, FR形)について性能の比較を行う実験を続けている。昨年までに、同じ内・外径のPTFE、膨張黒鉛およびアスベストを素材としたものについて、窒素ガスを流体とした場合の性能、すなわち、ガスケット係数(以下、m値という。)および最小設計締付け圧力(以下、y値という。)を求め、アスベストのそれらと比較・検討した結果を報告した¹⁾。今回、上記素材を用いたガスケットに、テクノグラフ(商品名の略称、素材:黒鉛+ゴム)を加えた4種類に

ついて、水を流体とした場合の上記と同様の性能を求めた。ノンアスベストのものとアスベストのものとは比較して結果を得たので報告する。なお、窒素ガスにおける値も参考のためにそれらの結果に併記した。

2. ガスケットの仕様

ガスケットは、内径 ϕ 106×外径 ϕ 157(幅25.5mm)とするシート状であって、厚さはそれぞれ1.0、1.5、2.0および3.0mmの4種類である。PTFE製は100%PTFEシートを打ち抜いたもの、膨張黒鉛製は、厚さ50 μ mのSUS-316の金属箔の両面にフェノール樹脂系の接着剤で膨張黒鉛シートを接着し、成形したものである。テクノグラフは、処理を行わない黒鉛そのものを、ゴムをバインダーとして固めて成形し、両面にフランジ面との固着防止用の繊維を張り付けたものである。ア

*原稿受付 平成16年1月26日

**正 会 員 神戸大学海事科学部(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

スベスト製は、ゴムをバインダーとしてアスベストを固めて成形したもので、一般に石綿ジョイントシートといわれる。いずれも多孔質のガスケットである。以下、ガスケットのここでの名称は、それぞれPTFE、グラファイト、テクノグラフおよびアスベストとし、あとに数値を付け、その数値は厚さを表すものとする。例えば、1.0mmのPTFE製のそれは、PTFE1.0で表す。それぞれの物性値を表1に示した。

表1 試料素材の物性値

	PTFE	膨張黒鉛	アスベスト
密度[g/cm ³]	0.6	0.8 ~ 1.3	2.5
引張り強さ[MPa]	25	2.5	3,763
熱伝導率[W/m・K]	0.035	140	0.029
比熱[kJ/kg・K]	0.96	0.71	0.83
融点[°C]	327 ~ 343	3,300 ~ 3,650	1,521
摩擦係数	0.2	0.05 ~ 0.2	0.43 ~ 0.75
圧縮強度[MPa]	20	167	—
弾性率[MPa]	392	1,400	142,000

3. 実験装置および方法

3.1 m値算出のための測定 フランジはASTM F586²⁾によって作製した。上・下フランジ(ANSI 600 Lb, 4B, 市販品加工)を動歪計内蔵の8本のボルト(W7/8, SCM435, 市販品加工)で段階をおって荷重を増す方向に締め付ける(図1)。座面形状はJIS B8273-1993の[表3-1a]に相当する。座面の粗度(R_z)は約10 μmである。対象のガスケットに対して流体圧が2.06MPaにおいて漏洩するときのボルト荷重を推定し、その前後数点のボルト

図1 フランジ組立図

ト荷重を目標値として定める。片締めを避けるためにフランジ面間を90°間隔で4点計測してずれを確認しながら締め付ける。実験開始時と終了時には、ガスケットの内・外径および厚さを計測する。目標値までボルトを締め付けた後、フランジ内部に完全に水を満たす。ハンドポンプによって0.05MPa間隔でゆっくり圧力を上げ、その間隔ごとにしばらく圧力降下の割合と漏洩の有無を観察し、0.001MPaの降下に10秒以上かかる場合はさらに圧力を高める。そして、漏洩を目視した点の流体圧を記録する。荷重と流体圧の関係を回帰分析して2.06MPaにおけるボルト荷重を推定する。水を流体とする場合には管の弾性が圧力保持に大きく影響するので、フレキシブル管等を用いない方がよい。圧力は上部フランジに取り付けられた圧力変換器(PG-50KU)から送られた信号を計装用コンデショナ(WGA-670A)にデジタル表示される。また、ボルト荷重はボルトに埋め込まれたゲージの歪みを制御ソフト付きセンサインタフェース(PCD-300A)で測定し、CRTに4チャンネルずつ表示させる。

膨張黒鉛やテクノグラフという黒鉛を素材とするガスケットについては圧力が大きく降下し始めてもある点まで下がると1日おいても漏洩が観察されなかった。開放してフランジを取り除くとガスケット全体に水を含み、使用前より重量が20%程度増加することがわかった。すなわち、水は外縁まで浸透していて、水の吸収による繊維の膨脹で面圧が高まって目詰まり状態となり押し出す力が粘性の抵抗と均衡しているものと推定される。水分が熱などで外部に蒸発すると圧力降下が生じるであろう。このように漏洩が観察できないグラファイトを素材とするものに対しては、「漏洩」と判定する基準を3秒以内に0.001MPa降下する点とした。

3.2 y値算出のための測定 各荷重ごとに漏洩時の流体圧をプロットし、近似式を求め、0.014MPaにおける荷重を推定する方法は上記と同じである。y値を算出する流体圧が0.014MPaと低いうえに水の動粘性係数[m²/s]がガスの約13倍あり漏れにくい。このため現用装置で最低のボルト荷重をかけても、アスベスト2.0および同3.0以外のものでは、漏洩が認められるときの流体圧が0.014MPaを大きく超過し、荷重の推定に大きく誤

差を生じることが解った。したがって、それらのものについてはガスケットの圧縮にボルトを使用せず、鉛製の平環状錘(各10kgとその1/4分割のもの)を用い上部フランジ面に積み上げ負荷をかけた。このとき上部フランジの質量も無視できないので加算する。ボルト締めの実験では20分程度をかけて順次2本おきに締め付けて目標値に到達した直後に計測する。これと条件を極力近づけるため、ガスケットの初期変形を考慮して錘静置の30分後に注水したのち計測を開始することとした。錘荷重では荷重直後に注水すると同時にいずれも漏水することが解っている。30分としたのはガスケットの応力緩和を扱った実験などで初期に急激に変化するものは30分～3時間以内と推定^{3), 4)}されているからである。

4. mおよびy値の計算

ボルト荷重を W_m として次式(JIS B8273-1993)からm値を求める。

$$W_m = \frac{\pi}{4} G^2 P + 2 \pi b G m P \dots\dots\dots (1)$$

ここで、P：流体圧MPa。

b：ガスケット座の有効幅mm，座面の形状から基本幅は、 $b_0 = \text{ガスケット実幅} / 2 > 6.35\text{mm}$ となるときは、 $b = 2.52\sqrt{b_0}$ とする。

G：(ガスケット接触面の外径-2b) mm。

上式の、右辺第1項は流体圧がフランジ内部(容器)に作用する力で、第2項目はガスケット締め付けによる圧縮力を示し、ガスケットにかかる面圧はmPで表される。

y値は、極めて低い流体圧(0.014MPa)をかけ、その漏れを止めるため締め付けに必要な最小ボルト(または錘)荷重を W_y Nとして、次式(JIS B 8273-1993)から求められる。

$$W_y = \pi b G y \dots\dots\dots (2)$$

ここで、b、Gは(1)式に同じである。

5. 実験結果

5.1 m値について 表2にPTFE2.0について流体の漏洩を目視したときのボルト荷重と流体圧力の測定例を示した。また、例として厚さ2.0mmの各種ガスケットについてのそれらの関係をグラフ化して表したものが図2である。これらより求められた流体を水としたときのガスケットのボルト荷重と性能を表3にまとめた。同表中にy値の結果と流体を N_2 ガスとしたときのmおよびy値も併記した。これをもとに水の場合の厚さによるm値の比較を図3に示した。

水を流体としたとき、アスベストを除いて厚さによる係数の変化は顕著ではなく、性能は厚さによってあまり変化はないといってよい。強いて言えば、それらにはある厚さより小さくなると傾向

表2 漏洩時のボルト荷重測定例
(PTFE2.0, m値の場合)

PTFE 2.0mm NO.1		測定日	室温	湿度	気圧	漏洩時流体圧	
		02.09.19	28.5℃	80%	1022hPa	2.55(MPa)	
テスト前	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値	
	内径	106.2	106.2	106.4	106.4	106.3	
	外径	156.6	157	156.7	156.6	156.73	
	厚さ	2	2	2	2	2	
テスト後	内径	105.9	105.6	104.5	106	105.5	
	外径	156.4	154.8	154.7	156	155.48	
	厚さ	1.8	1.9	1.9	1.9	1.875(mm)	
	ボルト締め付け荷重	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6 NO.7 NO.8
目標荷重(kN)		6.41	6.64	6.63	6.33	6.66	6.66 6.61 6.31
漏洩時ボルト荷重		7.27	6.64	6.22	6.33	7.5	7.91 7.85 7.57

NO.2		測定日	室温	湿度	気圧	漏洩時流体圧	
		02.09.19	29	80	1022	1.45(MPa)	
テスト前	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値	
	内径	106.3	106.4	106.2	106.5	106.35	
	外径	156.6	156.6	156.6	156.7	156.61	
	厚さ	2	2	2	2	2	
テスト後	内径	104.8	104.8	106.6	104.6	105.2	
	外径	154.2	155	155.2	153.8	154.55	
	厚さ	1.2	1.2	1.1	1.2	1.175(mm)	
	ボルト締め付け荷重	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6 NO.7 NO.8
目標荷重(kN)		3.85	3.73	3.32	3.8	3.33	3.75 3.3 3.78
漏洩時ボルト荷重		4.28	4.15	3.32	3.38	4.17	5 4.54 4.2

NO.3		測定日	室温	湿度	気圧	漏洩時流体圧	
		02.09.20	29	77	1019	1.35(MPa)	
テスト前	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値	
	内径	106	106.4	106.4	106.4	106.3	
	外径	157	156.6	156.7	156.7	156.75	
	厚さ	2	2	2	2	2	
テスト後	内径	105.6	105.8	105.4	105	105.45	
	外径	155	155.6	156	154.4	155.25	
	厚さ	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2(mm)	
	ボルト締め付け荷重	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6 NO.7 NO.8
目標荷重(kN)		3.42	3.32	3.32	2.95	3.33	2.89 3.36
漏洩時ボルト荷重		4.7	4.15	3.32	3.38	4.58	5.41 4.54 5.05

NO.4		測定日	室温	湿度	気圧	漏洩時流体圧	
		02.09.24	27	74	1017	2.2(MPa)	
テスト前	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値	
	内径	106.6	106.8	106.4	106.4	106.55	
	外径	156.2	156.4	156.2	156.2	156.25	
	厚さ	2	2	2	2	2	
テスト後	内径	105	105.2	105	105.4	105.15	
	外径	155	154.2	155	154	154.55	
	厚さ	1	1	1	1	1(mm)	
	ボルト締め付け荷重	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6 NO.7 NO.8
目標荷重(kN)		5.56	5.39	5.39	5.49	5.41	5 4.96 5.47
漏洩時ボルト荷重		5.99	5.81	5.8	5.91	6.25	6.25 6.2 6.31

図2 各ガスケットm値算出のための回帰分析

表3 各ガスケットの荷重およびm, y値

試料名	厚さ {mm}	荷重 {kN}	面圧 {MPa}	m 値		荷重 {kN}	y 値 {MPa}	
				水	N ₂ ガス		水	N ₂ ガス
PTFE	1.0	49.2	2.04	1.11	11.2	0.31	0.08	11.5
PTFE	1.5	36.5	0.84	0.33	9.7	0.30	0.08	12.4
PTFE	2.0	46.5	1.81	0.94	10.1	0.32	0.08	11.9
PTFE	3.0	45.7	1.61	0.89	14.6	0.29	0.07	17.9
黒鉛	1.0	79.5	3.42	2.98	25.0	0.70	0.18	2.3
黒鉛	1.5	58.0	2.84	1.65	22.8	0.59	0.15	2.8
黒鉛	2.0	60.4	3.07	1.80	24.3	0.55	0.14	2.7
黒鉛	3.0	64.5	3.15	2.05	20.9	0.62	0.16	6.4
テフノグラフ	1.0	84.0	4.20	3.26	-	0.27	0.07	-
テフノグラフ	1.5	71.7	3.73	2.50	-	1.27	0.32	-
テフノグラフ	2.0	77.3	4.64	2.84	-	1.24	0.32	-
テフノグラフ	3.0	87.4	5.60	3.47	-	1.31	0.33	-
アスベスト	1.0	166	16.8	8.32	14.1	0.85	0.22	20.6
アスベスト	1.5	112	7.73	4.95	18.3	0.52	0.14	9.3
アスベスト	2.0	88.0	5.58	3.50	9.2	1.60	0.41	9.7
アスベスト	3.0	59.3	2.45	1.73	14.6	2.37	0.60	5.7

図3 各ガスケットのm値

が反転して性能が低下する傾向が見える。アスベストでも、1.0mmでは極端にm値が大きくなる傾向がある。なお、前述の筆者の報告ではガスを流体とした場合には、グラファイトは明らかに厚い方が性能がよくなり、PTFEでは薄い方が性能が良くなるという結果が得られている。

P社のカタログによると、PTFE単体では、ガスケットについて、厚さ0.38、0.76および1.52mmのm値をすべて2としていた。本実験でもその付近では大きな変化はない。荻野⁵⁾はPTFEに対して、厚さによって値は変化するものとし、代表的な値として2をあげている。これらはいずれも流体は特定できないが、液体としたときの結果であると考えられる。ガスの場合の実験結果⁶⁾では、2mm程度までは変わらないが、3mmでは明らかにm値が大きくなっている。近森⁷⁾によればフランジ表面粗度が本実験と同程度におけるPTFE単体では、流体が液体のときm値を2.5、ガスでは15程度としている。これらよりPTFEに関しては、流体が液体の場合この厚さの付近ではm値にはあまり影響しないようである。また、いずれの例も著者らの実験結果のm値よりわずかに小さい。しかし、幅が大きくなればm値は小さくなるという報告もなされ単純に比較はできない。PTFEのようなソフトな素材の場合、本実験のようにボルトを順次締めつけてゆく方法では締め付けに要する時間がかかり、充分圧縮された後計測されたため小さいm値が得られたことと推定しているが、他の実験のガスケットの面積等の詳しいデータが不明であるので断定はできない。

グラファイトについて、荻野⁸⁾は金属箔入りの膨脹黒鉛のm値を2.0とし、本実験結果でも同じような結果を得ている。膨脹黒鉛はガスに比べて厚

さによる変化はなかった。新たに加えたテクノロジーについては、ゴムをバインダーとしているものの素材はグラファイトであって、実験の経過もグラファイトと同じような現象を示したことは興味深い。両者はm値と厚さの関係もほぼ同様な結果であった。わずかに性能が金属箔入りの膨脹黒鉛より劣るのは、内部の金属箔と接着剤の影響で実質の厚さが小さくなって水を吸収する速さが少なかったためと考えている。

アスベストにおいて、流体を水としたと推定されるJIS-B8243などでは、厚さ0.8、1.6および3.2mmのものに対してm値をそれぞれ3.5、2.75および2.0としている。薄い場合に本実験では性能が低くなっているが厚いものではほぼ一致している。参考までに、寸法は不明ではあるが同じような面圧および流体圧でm値を6.75としている例もある。3.0mmの結果からも明らかのように厚さが大きいほど性能がよくなる。薄くなるほど性能が低下する理由はずぎのように考える。アスベスト製ガスケットが硬いため圧縮量が小さく、接触面積が少ないので接触面からの漏洩が多くなる。一方、浸透や破壊による内部からの漏洩はほとんど変化がないことによる。人工的な繊維は細くてもせいぜい $3\mu\text{m}$ までで、アスベストの繊維は直径が $0.05\mu\text{m}$ であって、機械的強度は鋼と同じくらいある。したがって、浸透漏れに対してはゴムをバインダーとしているものの、他の素材からできたガスケットとは素材の密度が比較にならないくらい高く、ガスと異なり水のように粘度が大きい場合には、浸透による漏洩は接触面からのそれに比較して少ないことによると推定できる。y値の結果からも、当たり面が硬いテクノロジーとアスベストがやや大きな締め付け圧を必要とするようである。また、水を流体とするとき、ノンアスベスト素材のものが厚さによる値の変化が少ないのは、厚さが大きくなると、ガスケット内部への浸透による漏洩が相対的に大きくなるためであろう。近森ら⁹⁾はPTFEの2.0mm以下の厚さの試料で、幅が大きくなるほど性能がよくなるとしているので、水では厚さより幅が影響するようである。

5.2 y値について 表4にPTFE2.0について流体の漏洩を目視したときのと流体圧力の測定例を示した。また、例として厚さ2.0mmの各種ガスケ

ットについてのそれらの関係をグラフ化して表したものが図4である。求められたy値は前項の表3に示したとおりである。同表をもとに水および N_2 ガスの場合のy値の厚さによる比較を図5に示した。ガスを流体とした場合の値と比較して1/10～1/100の値であり、実際の使用状態を考慮すると実用性の乏しい極めて低い値となっている。したがって、ガスケットの種類および厚さによる密封性の良否についてはy値のみでは顕著な相違を判定することはできない。しかし、y値は接触面の漏洩が影響するといわれ、また、粘性の高い水を流体とするときには内部における浸透漏れは少ないということが推定できる。このことは、浸透漏れの評

表4 漏洩時の錘荷重測定例
(PTFE2.0, y値の場合)

PTFE2.0mm						
NO.1	測定日	室温	気圧	漏洩時流体圧 0.009MPa		
	03.05.23	24°C	1024hPa	荷重 0.2kN		
	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値
テスト前	内径	106	106.2	106.3	106.4	106.225
	外径	156.3	156.4	156.5	156.3	156.375
	厚さ	1.9	1.9	1.9	2	1.925
テスト後	内径	105.9	106	106.4	106.2	106.125
	外径	156.7	156.8	156.8	156.7	156.75
	厚さ	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
(mm)						
NO.2	測定日	室温	気圧	漏洩時流体圧 0.0098MPa		
	03.05.23	24	1024	荷重 0.25kN		
	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値
テスト前	内径	106.5	106.4	106.5	106.4	106.45
	外径	157.4	157.2	157	156.9	157.125
	厚さ	2	2	2	1.9	1.975
テスト後	内径	106.8	106.8	106.7	106.7	106.8
	外径	156.9	156.7	156.8	156.8	156.8
	厚さ	1.9	1.85	2	1.95	1.925
(mm)						
NO.3	測定日	室温	気圧	漏洩時流体圧 0.0176MPa		
	03.05.23	24	1025	荷重 0.4kN		
	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値
テスト前	内径	106.5	106.5	106.6	106.5	106.525
	外径	156.4	156.9	156.6	156.5	156.6
	厚さ	1.9	2	2	1.9	1.95
テスト後	内径	106.3	106.3	106.3	106.3	106.3
	外径	157	156.8	157.2	157	157
	厚さ	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
(mm)						
NO.4	測定日	室温	気圧	漏洩時流体圧 0.0157MPa		
	03.05.23	24	1025	荷重 0.35kN		
	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値
テスト前	内径	106.5	106.2	106.5	106.2	106.35
	外径	156.2	156.3	156.2	156.5	156.3
	厚さ	2	2	1.9	1.9	1.95
テスト後	内径	106.6	106	106.4	106.8	106.45
	外径	156.8	156.8	156.8	156.8	156.8
	厚さ	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
(mm)						
NO.5	測定日	室温	気圧	漏洩時流体圧 0.0131MPa		
	03.05.23	24	1025	荷重 0.3kN		
	測定部位	X1	X2	X3	X4	平均値
テスト前	内径	106.1	106.2	106.3	106.4	106.25
	外径	156.8	156.4	156.9	156.5	156.65
	厚さ	1.9	1.9	1.95	2	1.9375
テスト後	内径	106.2	106.2	106.3	106.3	106.25
	外径	156.7	156.7	156.7	156.7	156.7
	厚さ	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
(mm)

図4 各ガスケット y 値算出のための回帰分析

(a) 流体：水

(b) 流体：N2 ガス

図5 各ガスケット y 値

価に影響するm値においてグラファイトとテクノグラフが同じような性能をもっているのに対して、y値では接触面の物理的性質の類似したテクノグラフとアスベストが同じような性能の傾向を持つことから伺うことができる。ガスを流体としたときは逆にアスベストでは厚さが大きい程y値が小さいのは、水を流体としたとき締め付け圧力が小さいのでガスケットの圧縮において硬質のため変形が充分ではなく接触面の密着が増さないことによるものであろう。なお、黒鉛とテクノグラフについてm値のときのように漏洩が認められないという現象は見られなかった。

6. まとめ

常温での水を流体としたときにはノンアスベストのそれらはアスベストと遜色なく、むしろ薄い場合はアスベストより優れていることが明らかとなった。ただ、機械的な強さや熱に対する性能については、アスベストが優れているので、IMOでは特殊な用途についてはアスベストを用いてよいとしている。

N₂ガスを流体とした場合と比較して、アスベスト以外の素材を用いたガスケットでは、m値は厚さによって顕著な影響は見られないことがわかった。また、いずれも1.5mmを境に性能が逆の傾向を示す様子が伺え、薄いガスケットは低下するようである。これは、アスベストでも1.0mmのとき大きくm値が変化することでも理解できる傾向である。

本実験においてy値はN₂ガスのそれらと比較し極めて小さい値を示し、同値における各ガスケットの性能の差異が明らかであるとの判定をするには困難である。しかしながら、粘度の大きい水を流体とし、また、流体圧の低いところでの実験なのですべてのガスケットにおいて浸透漏れが極めて少ないと考えてよい。このことから、y値が接触面に大きく影響を受ける指標となることが明らかとなったことが収穫であった。最小設計締め付け圧力(y値)について、ガスケットの種類を問わず値の小さいものの例を挙げるとJIS (B8237-1993)によるガスケットの材料と接触面ゴムシート硬さ75未満において1.4MPa、各種腐食流体に対するガスケット適用表中の水に対するゴムシートガスケットでは0.1MPa¹⁰⁾などと規定したり推奨したりしている。本実験に使用した材質に関するそれらの値ははるかに高い値を示している。設計に当たって「そのような値」が要求されているといってもよい。また、メーカーの資料でもy値としての例はガスを対象としたものと考えられ、液体を使用する場合でもその値を掲げているようである。また、文献等では液体に関するm値の実験の例は多くあるがy値については見いだすことはできなかった。これらのことから、最小設計圧力にはガスを流体としたものを基本として値を示す方が現実的であるの

で本実験の結果は参照程度に見ていただければ幸いである。

最後に、試料およびご助言を賜った元日本ピラー工業(株)荻野耕三氏および日本ピラー工業(株)上田隆久氏には深謝いたします。また、実験に係わり協力をいただいた多くの元神戸商船大学卒論学生の諸氏に謝意を表します。

文 献

- 1) 中井, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 38-1, (2003.1), 11.
- 2) ANSI/ASTM F586-1979, Standard Test Method for leak rates versus y stresses and m factors for gaskets.
- 3) 荻野, STEP(日本ピラー工業誌), 1, (1988.4), 8.
- 4) 堀井, バルカーレビュー(日本バルカー工業誌), 29-10, (1985.10), 6.
- 5) 荻野, STEP(日本ピラー工業誌), 1, (1988.4), 5.
- 6) 1) に同じ, 12.
- 7) 近森, 基本パッキン技術, (1971.1), 252, 近代編集社.
- 8) 5) に同じ, 5.
- 9) 近森ほか1名, 密封装置, (1972.12), 107, 幸書房.
- 10) 赤岡ほか3名, シール技術, (1972.12), 161, 近代編集社.