表 4 マグネットストリクション装置と SQS-26
トランスジューサー装置の比較

要 因	マグネットストリクション装置	SQS-26 装 置
装置と試験片の大きさ	小	大
運 転 方 式	連 続	パルス性
水 の 種 類	真水または海水	真 水

2) 回転円板装置 (RDA) と高速ノズル装置 (HSNA) との比較は表 3 に示した。

3) マグネットストリクション装置および SQS-26 装置は、ともにコーティングの振動状態での耐キャビテーション・エロージョン性を相対的に評価するのに適している。

4) マグネットストリクション装置 (MA) と SQS-26 トランスジューサー装置 (SQSA) の比較は表 4 に示した。

** NF 134 : MIL-P-22299 の耐汚染性ゴム系塗料

引 用 文 献

- 1) P. Eisenberg : Mechanisms of Cavitation. Section 12. Handbook of Fluid Dynamics. V.L. Streeter, Ed. New York. McGraw-Hill, 1961
- 2) Lord Rayleigh : On the Pressure Developed in a Liquid During the Collapse of a Spherical Cavity. *Phil. Mag. (London)* 34, 94~98 (1917)
- 3) P. Eisenberg : On the Mechanisms and Prevention of Cavitation. David Taylor Model Basin Report 712, July 1950
- 4) C. F. Naudé & A. T. Ellis : On the Mechanisms of Cavitation Damage of non-Hemispherical Cavities Collapsing in Contact with a Solid Boundary. *Trans. ASME, J. Basic Eng.*, Dec. 1961, 648~656
- 5) D. J. Godfrey : Cavitation Damage-A Review of Present Knowledge. *Chemistry & Industry*, 23, 6 June 1957, 686~691
- 6) Hydronautics Inc. : Technical Report 233~8, March, 1955, Handbook of Cavitation Damage
- 7) NASL Project 9300~17. Final Report. 30 Sept. 1964. Cavitation Damage Design Handbook. J. Z. Lichtman and E. R. Weingram. AD 460524.
- 8) R. E. H. Rasmussen : Experiments on Flow with Cavitation in Water Mixed with Air. *Trans. Danish*

- Academy of Tech. Sci.* No.1, 1949
- 9) R. E. H. Rasmussen : Some Experiments on Cavitation Erosion in Water Mixed with Air. Proc. National Phys. Lab. Symp. on Cavitation in Hydrodynamics. London, HMSO. 1956
- 10) J. Z. Lichtman, D. H. Kallas, C. K. Chatten & E. P. Cochran, Jr. : Cavitation Erosion of Structural Materials and Coatings. *Corrosion*, 17, 497 t~505 t (1961) Oct.
- 11) D. H. Kallas, J. Z. Lichtman & C. K. Chatten : Cavitation Erosion Resistant Coatings. Proceedings Seventh Joint Army-Navy Force Conference on Elastomers Research and Development. ONR-13, Vol. 2, pp. 422~442, 1962
- 12) J. Z. Lichtman & E. R. Weingram : The Use of a Rotating Disk Apparatus in Determining Cavitation Erosion Resistance of Materials. Symposium on Cavitation Research Facilities and Techniques. New York. ASME, 1964, pp. 185~196
- 13) NASL Project 9300-41. Technical Memorandum No. 12 of 17 June 1966. Cavitation Erosion Resistance and Adhesion of Cured Sheet Elastomeric Coatings. J. Z. Lichtman
- 14) Anon : Testing Materials for Hydrofoils. Bull. of the Sea Horse Institute. May, 1963, Vol. 4, No. 1, p. 1
- 15) USNMEL. Report 72/64. The Corrosion of Metals as a Function of Sea-Water Velocity. J. L. Basil
- 16) NASL Project 9300-41, Technical Memorandum No. 13 of 17 Jun 1966. A Magnetostriction Apparatus for Cavitation Erosion Studies. J. Wolff and N. Fein
- 17) J. Z. Lichtman, D. H. Kallas, C. K. Chatten & E. P. Cochran, Jr. : Study of Corrosion and Cavitation-Erosion Damage. *Trans. ASME*, 80 (No. 8), Aug. 1958. 1325~1341.
- 18) NASL Projects 9300-43. Progress Report No. 1, of 31 Mar. 1966. New Facility and Test Procedure for Studying Protective Coatings in a Sonic Pulse Field. A. N. Savacchio and A. W. Cizek
- 19) J. C. Schuster : Discussion. *Trans. ASME*, 80, No. 8, Aug. 1958, p. 1340
- 20) National Engineering Lab. : Report No. 149. Apr. 1964 Vibratory Cavitation Erosion Testing. J. M. Hobbs
- 21) Handbook of Mechanical Wear. Charles Lipson and L. V. Colwell, Ed. Chap. 10, Accelerated Cavitation Research. William J. Rheingans. Ann Arbor. University of Michigan Press, 1961

ゴムライニングの進歩と弾性体の改質*

Daniel Nordstrom**

1. ま え が き

ライニング用材料としてゴム (弾性体) の需要がふえてきていることは、現地施工の仕事の規模が非常に大きくなったことからわかる。かつては 400 kl 程度の貯

槽の施工は非常に大きなものと考えられていたが、今日では 11,300 kl もの容量の貯槽にゴムライニングを施工している。

腐食環境が一層激しくなったこと、長期間の運転を予想して新しい大きな設備投資の支出の行なわれていること、汚染防止の規制、海水の淡水化計画および入手できる弾性体の改質などが耐食材料として弾性体の利用を促進している。

* 訳者：松見信・松永孝雄 (味の素株式会社 中央研究所)

** The Gates Rubber Co., Denver, Colo.

(原文) Up-grading Elastomerics Increases their Use, Developments in Rubber Linings. *Mater. Prot.*, Vol. 6, No. 9, 27~28 (1967) Sept.

弾性体には固有のたわみ性があるので、輸送を要したり、周期的にねじりまたは圧縮をうけたり、内部および外部より衝撃をうける構造物に適している。タンクを洗浄する際には作業員が中にはいって作業しなければならないのであるが、この作業にゴムライニングが耐えることは一般によく知られている。

ゴムライニング用材料として今日用いられている理由は、そのほかに取り扱える薬液の種類が多いこと、施工

図1 ポリマーの基本的な型

が容易なこと、未加硫状態で粘着性がすぐれていること、修理の率が低いことおよび現場での粗雑な取り扱いにある程度耐えることなどである。ゴムライニングはほとんど保守をしなくてもよい。しかし必要となって修理をするとき天然ゴムとネオプレンが最も現場修理がやりやすい。自然加硫および常温加硫型の天然ゴムおよびネオプレンの配合物を現地で裁断して破損した部分を、修理できる。

ゴムライニングは耐食性が大きく、多くの用途があるので原料のポリマーを変えて非常に汎用性の大きい弾性体生成物が開発されてきた。

高分子材料

高分子物の基本的な形は、弾性体、熱可塑性樹脂および熱硬化性樹脂の三つ（図1参照）である。熱可塑性樹脂および熱硬化性樹脂に関する解説は多い。これらのコーティングが広く用いられている大きな理由は、材料の入手が容易なことおよび施工装置の設備費が少なく初期価格が低いことである。一方弾性体または“ゴムライニング”では、最近までは80%は天然ゴムだけであった。

熱可塑性および熱硬化性樹脂のコーティングとゴムライニングとは厚さが異なることで区別される。コーティング

たとえば塗料は、塗装1回当たり0.025~0.30mmの厚さとなり、最終膜厚は0.025~2mmとなる。弾性体を厚さ3.2mm以下で使用することはまれで、防食、耐摩耗性を必要とするときには12.7mm以上の厚さを用いることもある。通常、単層で必要な厚さを得る。厚さによって弾性体ライニングの価格がきまる。

ゴムライニングの価格と性能

厚さの重要性

図2は37.9klの代表的な貯槽のゴムの厚さと価格の関係を示したものである。標準的な厚さ6.4mmのライニングを規準にとると、ゴムの厚さを3.2mmに減らしても価格は20%しか下がらず、一方ゴムの厚さを9.5mmまでふやしても、価格は20%しか上がらないことが図に示されている。耐食目的のゴムライニングを厚くする理由は他に透過の法則がある。一定の温度および圧力下ではガスの透過速度は、ライニングの厚さの2乗に反比例する*。したがってガス透過が一つの因子となっている厚さ3.2mmのライニングの寿命がわかっているときは、厚さ6.4mmのライニングの寿命はその4倍となる。液体の透過も同様な形で起こるが、透過は比較的小さい。

図2 ライニングの厚さと価格の関係

摩擦損失の低下

ゴムの摩擦係数は大きく、そのため圧力損失がかなり大きくなるので、ゴムライニング管を使用した流体輸送系では、これが一つの問題点と考えられていた。ゴムライニング管を用いるときは化工的立場から配管の太さを大きくして圧力の損失をおぎなわなければならない。しかし、今日正確な試験で新しい弾性体を測定する

* 訳者注：原文では“比例する”となっている。

表 1 ゴムライニング材料の特性比較

材 料 名 称	40 E	50 A	50 C	50 H	55 HFG	60 EFG	65 M	75 D	G	ポリバルコ
ポリマーの種類	天然ゴム NR	ネオプレン CR	ブ ナ NBR	ブチルゴム IIR	ブチルゴム IIR	天然ゴム NR	ハイパロン	硬質ゴム NR	塩化ビニル	ポリプロピレン
ASTM- SAE 名 称 (1)	R425BF ₂	SC515E ₁ E ₃ F ₁	SB620E ₁ E ₃ F ₁	R615F ₂	R615F ₂	R635F ₂	SC725	硬質ゴム	プラスチック	プラスチック
物 理 的 性 質 耐 摩 耗 性 抗 色	優 優 黒	良 良 黒	良 可 黒	可 良 黒	可 良 白	優 優 白	良 可 黒	不 可 不 可 黒	不 可 不 可 黒	可 一 良 不 可 白
無機酸、塩基および塩 に対する耐薬品性										
希 薄 溶 液 濃 厚 溶 液 炭化水素に対する耐薬品性	優 可一良 不 可	優 良 可一良	良 良 良一優	優 優 不 可	優 優 不 可	優 優 不 可	優 良 可	優 良一優 可	優 良 一 優 不 可	優 (3) 優 (3) 優 (4)
動、植物油に対する耐薬品性	不可一良	良	優	優	優	不可一良	可	可		
ガ ス 透 過 性	大	小	大	非常に小	非常に小	大	小	小一大	小	小
最 高 可 使 温 度 { 連 続 的 的	(℃) 66 82	93 121	93 121	93 121	93 121	66 82	93 121	93 121	66 77	110 121
価 格 比 (2)	1.0	1.55	1.85	1.25	2.0	1.2	2.3	1.1	2.5	6.5
主 要 用 途	一般耐食 耐摩耗用	中程度の 耐油性	大 き い 耐 油 性	一般耐食用	耐 食 用 食品取扱	耐 食 用 食品取扱	特 殊 な 耐 食 用	特 殊 な 耐 食 用	特殊な耐食用	特殊な耐食用

(1) ASTM 試験法に合わせて示してある

- B 圧縮永久歪
F₁ -40℃ で低温脆化
F₂ -55℃ で低温脆化
E₁ 耐油性 (ASTM #1 試験油)
E₃ 耐油性 (ASTM #3 試験油)

(2) 変わることがある。

大凡の指針として用いること。

(3) ハロゲンおよび酸化剤、たとえば発煙硝酸には不適

(4) 高温で膨潤軟化を起こすおそれのある芳香族および塩素化炭化水素を除く。

と、パイプ内面のゴムライニングの摩擦損失は、同じ寸法の新品の鋼管よりも小さい。

その結果、防食技術者または加工技術者は、ゴムライニング管を用いる配管系を設計する際、ライニングを施工してない管を用いる場合と全く同様に設計を行なえることが多く、配管系の摩擦損失による影響についてはまったく考える必要がない。

加硫罐中での加硫

ゴムライニングの進歩の例は、他に 150~380 kl の貯槽のゴムライニングを加硫罐中で加硫する方法である。これらの貯槽は自動車または鉄道では運搬できない大きさなので、2.4 m ずつの部分に分割して設計してゴムライニングを施工し、加硫罐中で加硫する。これら部品を使用場所に運び、ボルトでしめて組み立てる。部品の長さは 3~6 m まで可能であり、各辺のまわりにフランジがついている。円型や角型の貯槽に対してほとんどすべての弾性体を加硫罐加硫で施工できる。

耐 熱 性

新しい弾性体によってライニングの耐熱範囲が広がった。さらに、ポリプロピレンを表に、弾性体を裏ばり

にした積層品が開発され、ポリプロピレンを常温で鋼に接着できるようになって、ポリプロピレンのすぐれた耐薬品性を利用できるようになった。現在一般に用いられている 10 種の弾性体の物理的性質、耐熱性およびコストの差を比較して表 1 に示す。

む す び

高分子物の耐薬品性は非常に広いが、弾性体でライニングした機器を新しい薬液に適用するときは、時間、費用および装置の損失を防ぐために十分な調査が必要である。

弾性体のライニングの進歩が著しいため、防食技術者は長い間未解決であった問題に対して多種の解決方法がえられるようになった。さらに重要なことは、腐食、腐食と摩耗の組合せおよび汚染のむずかしい問題を解決するために、たわみ性のある弾性体の材質改良が行なわれ、新しい設計の可能性が生じたことである。現在、ゴム化学は将来の要求をみたすための特長ある高分子物を配合し、また次々に開発される高分子物を十分に使いこなすべく進展している。