

振れによる正方形断面の等剪断応力線の石けん膜写真の例。

石けん膜の実験に用いる液について

池 田 健・古 田 敏 康

石けん膜は表面張力だけで形を保っており曲げの剛性は全くないという面白い性質があるので、相似実験によって工学の基礎的な問題を解くのに石けん膜がかなり利用される。その際は石けん膜の寿命はできるだけ長いものが便利である。本論は数十時間以上も寿命のある石けん膜の成分とその表面張力を確かめたものである。

1. ま え が き

薄膜の撓みはこれを数式で表わすと次のような Poisson の微分方程式となることはよく知られている。

$$\partial^2 w / \partial x^2 + \partial^2 w / \partial y^2 = -p/T$$

ここで w は薄膜の撓み量、 T は薄膜の張力、 P は薄膜に加わる圧力で薄膜の撓まないときの面を x, y 面としている。この式は右辺が零となるような特別な場合はいわゆる Laplace の微分方程式となる。

ところが工学上の基礎的な重要な諸問題には Poisson や Laplace 式であらわされる現象がかなり多い。例えば種々の断面形の棒の振りの際に生ずる応力分布を薄膜の相似実験によって求める方法は Prandtl による発見以来有名である(カット参照)、その他流体、電気または熱伝導に関する問題で Laplace の式で表わされる現象はかなり多いから、これらも薄膜の相似実験が利用されるわけである。

このような実験に利用される薄膜としてはその面内で一様な張力だけが働き膜の曲げの剛性は全くないものが

理想である。その点で薄いゴムの膜も利用されるが寿命の長い石けん膜が最も適している。

また最近では相似現象として以上の原理とは異なるが、液面に無数の石けん泡を配列することにより結晶構造の相似実験も行われている。また相似現象の利用ではないが石けん球にガスを封入して着火することによるガスの爆発を調べる実験も行われている。このように寿命の長い強い石けん膜の利用ははかなり要望されている。

そこでわれわれは従来利用されている石けん液の中からこのような実験に最も適するものを求め、また、その溶液の物理的性質として重要な表面張力を調べようとしたわけである。その結果最適と思われる液の成分が確かめられ、また、その液の良否を実験する合理的な方法も判った。

さて石けん膜による振り応力測定装置において従来は市販石けん液及びオレイン酸ソーダ液²⁾等を使用して来たが、いずれも石けん膜の寿命は少く測定に不便を感

第 6 卷

生産研究 2 月号 目次

第 2 号

表 紙

市街地模型による通風実験

—風洞口径 3 m・東大理工研—

研究解説

石けん膜の実験に用いる液について……………

池 田 健 …… 1
古 田 敏 康

粉粒固体供給機…………… 桑 井 源 禎 …… 5
井 出 哲 夫

溶液放射能の測定とそのジオメトリー……………

加 藤 正 夫 …… 10
武 谷 清 昭

旅 行 記

国際写真会議に出席して…………… 菊 池 真 一 …… 14

アメリカの航空工業

(滞米メモから第 4 回)…………… 糸 川 英 夫 …… 21

研究速報

市街地における風圧係数

に関する模型実験…………… 勝 田 高 司 …… 18
後 藤 滋

有機酸と金属を用いる

アセナフテンの塩素化…………… 後 藤 信 行 …… 19
永 井 芳 男

ブラウン管オシログラフの

多段掃引法について…………… 糸 川 英 夫 …… 20
秋 葉 鏡 二 郎

生研ニュース

実航航走時の強度試験……………

国際電子顕微鏡学会準備委員選出……………

部 外 活 動 ……………

筆 者 紹 介 ……………

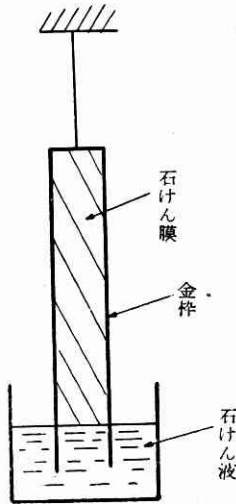
じて来た。ところが最近上に述べた結晶構造の解析に泡模型⁹⁾の方法が利用されている。そこでその目的に W. L. Bragg 及び J. F. Nye. が用いた石けん液の調査をいろいろと変え試験してみた。

薄膜の寿命の試験方法は従来各種の方法で行われて来たが、測定の時間が長時間に亘り常に監視する必要があり、また、その間にいろいろな影響が入り実験データがまばらになる欠点がある。しかし膜の破壊に対する強さが大きいもの程石けん膜の寿命が大きい傾向が明らかであるから直接寿命を測定する代りに膜の破壊実験を行った。これにより短時間に、また比較的正確なデータが得られたばかりでなくそのついでに表面張力の測定もできた。

以上により得られた最適の石けん液はオレイン酸 6cc に蒸溜水 20cc (23%) を加えよく混合し、それに 10% の tri-ethanolamine 液 29cc を前記の混合液に加えよく振りまぜて完全に混合させてから純グリセリン 45cc を加えてよく混合させたもので前記 W. L. Bragg 氏等の処方が大体よいことが判った。

2. 従来の石けん液の寿命の測定

以上のように我々は Bragg 等の石けん液を中心としてその処方を変えて実験した。まずオレイン酸に蒸溜水を容積で 6 対 20 の割合で加え即ち 23% の溶液とし、それに 10% tri-ethanolamine を 50%, 52.5%, 55% 57.5% となるような混合液をつくりよく振りまぜ、この 4 種類の液に対し更に純グリセリンを 35%~55%迄割合を変えて種々な石けん液を作り、その時の膜の寿命を測定してみた。膜の寿命の測定は従来よく行われている方法として第 1 図に示す方法をまず行って見た、図にお



第 1 図

いて金属棒は 0.6mm の銅線で幅 2 cm, 長さ 20cm の矩形棒で、これを液に入れ静かに持ち上げると棒に薄膜に張られる、それを一定の高さに保って、膜の破れるまでの時間をはかることにより寿命を測定する方法である。これによると湿度、外気の影響等を受けやすく同じ液でも湿度の少い時には 1 時間、湿度の多い時には 3 時間位の寿命を示したこれは膜の表面の蒸発によりその寿命が低下するものと考えられる。また測定中にドアの開閉等によりしばしば膜が破れることがありそのデータに非常にむらが多く正確な値が得られ

なかった。

そこで湿度及び外気の乱れの影響を除くためにガラス製容器の中に水を入れたコップと共に内径 50mm の円筒の端面に薄膜をはったものを入れて密閉した、これはガラス容器内を絶えず 100%の湿度とし空気の乱れも防がれた状態を保つためである。これで寿命を測ったところ第 1 表のような結果を得た。あとで判るように石けん球の強さが大きい程寿命が長いことが明らかである。しかしこの方法も膜が破れるまでの時間が長く、常に監視

第 1 表

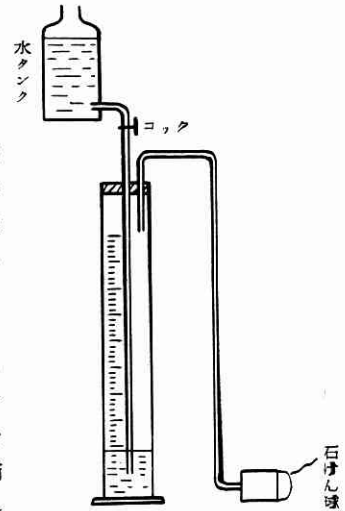
10% tri-ethanolamine の割合	持続時間
22.5%	約 20 時間
23.6%	” 30 ”
24.7%	” 23.5 ”

(各液ともグリセリンの割合は 50%)

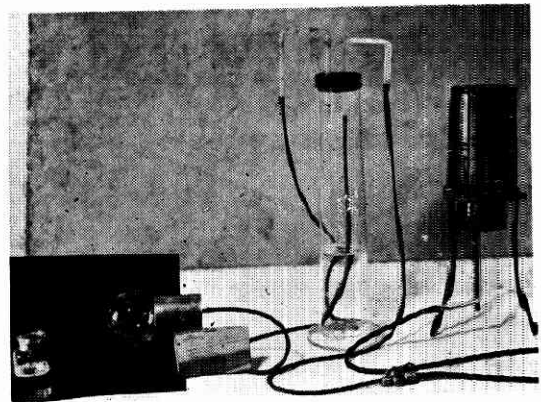
することができず、精確な測定は困難であった。そこで次のような石けん球の破壊するまでの球内の空気の体積を測定することにより膜の寿命の長いものを探手段とした。

3. 石けん球による実験

前述の各石けん液に対し第 2 図及び写真に示す装置で測定を行った。図において水タンクからコップを通じて 1000cc 用のメスシリンダーに水を通じ、メスシリンダー内の空気をゴム管を通じて円筒内に送るようにした。円筒は直径 50



第 2 図

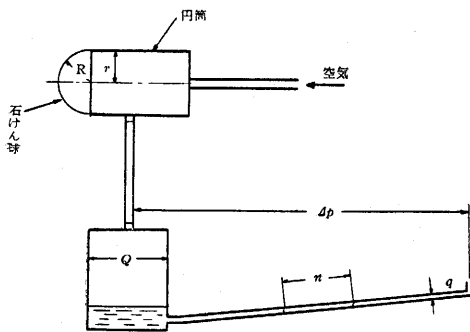


実験装置

mm の一方は開放してある。水タンクを一定の所 (メ
スシリンダーより約 50cm 上方) に置き、コックをし
め、円筒の端に石けん膜を張り、一定時間放置後円筒の
側壁に吸着した余分の液を取除き、それからコックを開
き、メスシリンダー中に水を送る。この時の速さは一分
間に 100cc の極く遅い割合とした。するとメスシリン
ダー中の空気は円筒内に送られ円筒面にはった膜はふくら
み始め遂に破裂する。このとき直ちにコックをしめメス
シリンダーの目盛で石けん球の体積を測り膜の強さ、ま
たは寿命の長いものを表わす一つのものさしとした。こ
の場合後述のように球内の圧力は非常に小さく空気の圧
縮は無視してもよいから、メスシリンダー中の水の体積
を球内の空気の体積とみなしてもよい。またこの実験法
によって次節に示すように表面張力の測定もできた。

4. 表面張力測定

表面張力の測定法は毛細管上昇法、最大泡圧法、液滴
法、輪環法等があるが、我々は簡単な石けん球による方
法をついでに利用した。第 3 図に示すように球の曲率半



第 3 図

径を R 、そのときの球内の圧力を p 、膜の張力を T と
すると、力の平衡によって

$$\pi R^2 p = 2 \pi R T$$

すなわち $p = 2T/R$ となる

これより球の曲率半径 R と球内の圧力 p を測定すれ
ば表面張力は求められる。この場合膜は表裏両面を有す
るから T の 2 倍となる。

すなわち $p = 4r/R$ (但し r は膜の片側に於ける表
面張力)

ここにおいて圧力 p と R の測定であるが、圧力 p は
曲率半径 R に逆比例するから、最大圧力 P は曲率半径
 R の最小値の時に得られる。しかるに曲率半径 R の最
小値は円筒の半径 r と一致したときであるから、表面張
力は球をふくらませたときの最大圧力 P と円筒半径 r
を測定すれば求められる。

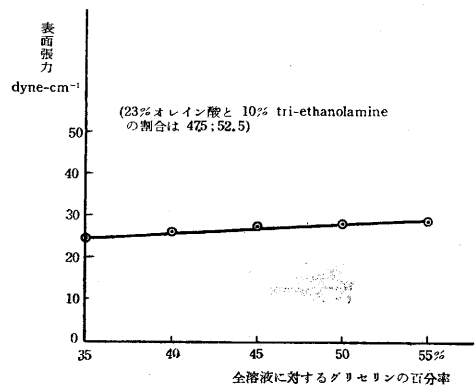
すなわち $r = Pr/4$ となる

そこで最大圧力 P の測定であるが、圧力は非常に小
さいと予想されたので、第 3 図のような Recknagel の

微圧計を造り測定した。

すなわち両管の断面積を Q, q とし、 $Q/q=1300$
とし、 q の管を水平線に対して軽く僅か傾けておく。こ
のとき両管の間に圧力差 Δp が働いたときに両管の液面
の差 h は、 q の管のメニスカスの移動距離 n を読むこ
とにより予め較正した値より知ることができる。われわ
れの装置の倍率は $n/h=31$ である。また円筒の半径は
24mm である。

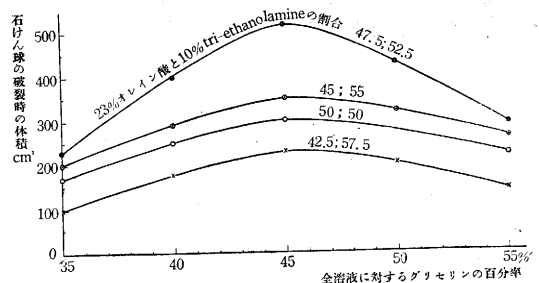
以上のようにして最大圧力 P を求めたところ圧力は
非常に小さく、球の曲率半径 24mm において大体 41~
48 dyne-cm⁻² (水柱の高さで表わすと約 0.42~0.49mm
である) となった。液の成分を変えて表面張力を求めた
ものを第 4 図に示す。この表面張力は水の 1/3 位であ
る。なおこの時の温度は 18°C である。



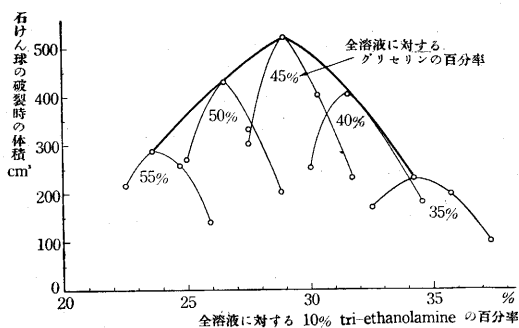
第 4 図

5. 最適の液の成分

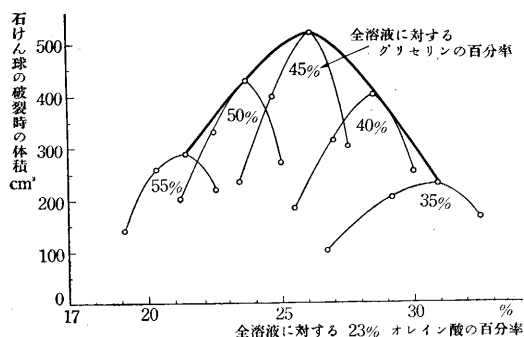
球の破裂によりその強さを求めたものを第 5 図~第 7
図に示す。第 5 図において縦軸に球の破裂時の体積、横
軸に全溶液に対するグリセリンの量の百分率、曲線上の
数値は 23% オレイン酸に対する 10% tri-ethanolamine
の割合を示す。ここにおいてグリセリンの割合は各液と
も 45% のところで最大の値を示している。次に第 6 図
では横軸に全溶液に対する 10% tri-ethanolamine の量
の百分率を、曲線上の数値はグリセリンの割合を示す。
各頂点を結んだものがこの線図で、10% tri-ethanol-
amine の割合は 28.9% のところで最大値を示す。次に



第 5 図



第 6 図



第 7 図

第7図は横軸に全溶液に対する 23% オレイン酸の量の百分率を、曲線上の数値はグリセリンの量の割合を示す。その頂点を結ぶと 23% オレイン酸の割合は 26.1% のところで最大値を示す。

以上の傾向を見ると膜の強さまたは寿命に対し tri-ethanolamine の量はかなり敏感に影響するが、グリセリンの量はそれ程敏感には効かない。恐らくグリセリンは石けん液の水分の蒸発による際の破裂を防ぐという二次的な役割をしているものと思われる。

ここで実験したものは膜の膨脹による強さであるが、第1表の結果から、この実験で強い石けん液はやはり寿命も長いことが判る。この寿命実験は最適の成分の場合については長時間かかるので行わなかつたが、この実験から推察して内径 50mm 程度の孔に張られる膜の寿命は数十時間以上に及ぶものと思われる。また液をかき混ぜた際にできる泡は数日後に至っても消えることはない。以上で最適の薄膜の液は結局 23% オレイン酸は 26.1%、10% tri-ethanolamine は 28.9%、グリセリンは 45% のものを使用すればよいことが判った。

次に膜の強さは表面張力にもある関係があるだろうと想像されたが第4図と比較して判るように膜の強さとはあまり関連はないようである。もちろん表面張力が余り強かったり、また余り弱い場合には膜の寿命は低下するといえるかも知れない。

6. 結 び

以上は Bragg 等の示した液を中心として最もよい成分の割合を見出したものである。これによって各種の石けん膜実験において従来膜の寿命が短か過ぎるとされた欠点が取除かれた。将来或はここで取扱った系統と異なる成分の液が考えられるかも知れないが、その際もその良否を検定する方法とし本論で示したやり方が最も便利と思われる。なお注意を要することはオレイン酸の純度で、市販のものは不純物が多く、たとえば 80% も不純物を含む場合もあるからそのままでは余りよい石けん液は得られない。市販のオレイン酸は必ず蒸溜精製した上で用いなければならない。またグリセリンも特級品を使用した方がよいことを念のため附記する。(1953. 12. 10)

文 献

- 1) 池田健: ねじりの応力を石けん膜によって測る方法, 生産研究, 3巻, 10号
及び
同上: 石けん膜によるねじり応力の測定: 機械学会誌, 54巻, 391号
- 2) 青木洋, 平沢秀雄: 石けん球中のアセチレン空気混合気の燃焼, 応用物理, VOL. 20, No. 1, 1951
- 3) Bragg, W. L. & Nye, J. F.: Proc. Roy. Soc. A190 (1940), 474
及び
福島栄之助: 泡模型による結晶構造, 応用物理, Vol. 22, No. 7~8, 1953

次 号 予 告 (3月号)

高速度写真特集

口 絵 アート8頁に本所で行つた高速度写真関係の研究を紹介

研究解説

高速度写真撮影におけるフィルムの感光度と増感処理…………… 菊池 真一 榎井 明
干渉計瞬間写真…………… 玉木 章夫
高速度写真技術の工業界への応用…………… 植村 恒義

研究速報

鈷物の湯口と湯流れについて…………… 千々岩健児
表面膜沸騰における液温度の影…………… 橋 藤雄 響 (焼入歪の研究) ……………… 榎井 資夫
フルフラールとアミンとの反応による界面活性剤の合成…………… 浅原照三他

ニュース, 部外活動 その他