

写真 4 糸目調製

と荷重が落下し、転倒網を引くので気球の天頂が下に引かれ気球はまっさかさまになり、排気口を上にし、水素を排出しながら荷重とともに降下してくる。気球と荷重とがまったく絶縁される場合には荷重の静かな降下および回収のために荷重の上に落下傘をつけるのが普通である。この荷重は前記したように数十 kg 以上になると気球の糸目の取り付けが非常に難しくなるので、この荷重を気球全体に分布するために、糸目網の延長の意味で、

軽くて丈夫で薄く、取りつけやすいテープを気球に貼りつける。テープの材料としてはタテのみ強いナイロン布あるいは米国ではガラス布を用いている。その幅は約 1 吋位で接合線上に粘着剤を用いて貼りつけるか、あるいはポリエチレン・フィルムのカバーを被せその両側を溶接で止めて固定する（写真 4 の気球の左側にこの補強テープの列が見えている）。

以上のほか、ポリエチレン・テープを気球の要所に補強のために貼ることもある。荷重が種々の計器であったり、あるいはその取り付け方法が特異なものである場合には、気球本体にかなり思い切った特殊部品を取りつける場合もあり、またこの懸吊法が特殊のため索具を気球内部に取りつけるような場合もある。ただ従来の気球類にあるもので全然用いてないものは引裂弁と放電線のみである。引裂弁は急速放気の際気球の上部を切り裂いて放気するためのものであり、放電線は排気弁付近から金房による先端放電を行なわせ、静電気による事故を防ぐために用いたものである。（1960. 1. 20）

## ロクーン用気球の強さに関する二三の問題について

大井光四郎・浅野六郎

1. はしがき 現在日本で試みられている観測用の大型気球には、ロケットを 20km 程度の高さまで持ち上げて発射する目的のものと、写真乾板を 40~50km 持ち上げてなるべく長時間浮遊させる目的のものとの 2 種類がある。20km の高さにおける大気密度は地上のその約 1/20 であるので、単位体積当たりの浮力もこの割合で減少する。40km の高さになると密度はさらに 1/20 になって浮力は 1m<sup>3</sup> 当たり 2gr 程度になってしまう。それゆえたとえ 100kg の荷物を持ち上げるとしても後者の場合には気球の容積は膨大なものになって、また気球の自重も極度に切りつめなければならない。同程度の荷物を 20km まで持ち上げるのはこれに比べるとずっと容易なわけであるが、なおしばしば上空で気球が割れることがあるのはなぜであろうか。

気球が破れる原因として、いろいろなことが想像される。ポリエチレンの膜の欠陥、ポリエチレン膜の溶接技術の問題、製作の際に必ずしも理想的な形に仕上がらないために生ずる気球膜の部分的な引きつれ、ポリエチレンの上空における紫外線等による劣化、上空における突風による衝撃、上昇速度と排風速度との不調和等が最初に考えられた原因の主なものであった。これらの原因は単独に働くものではなく、重なり合って作用するものであろうが、そのなかでも一番決定的な地位をしめるものは何であろうか。あるいはほかの重大な原因が見落とされているのではないであろうか。この問題を解くために

は気球に関して組織だった研究が必要であるが、ここに述べる報告は決して組織的な研究結果ではなく、断片的な結果の寄せ集めにしか過ぎない。しかし気球の強度上の問題点はかなり明らかになってきたと思う。

2. 気球について 説明の便宜上最初に現在用いられている気球について簡単に述べる。気球の主な材料は厚さ 35~50 μ のポリエチレン膜である。膜は一定の幅の長いシートとして製造される。これを適当に裁断して、溶接して気球の形にする。溶接線は念のためにナイロン・テープをはりつけて補強してある。このテープは吊っている荷物の重量を気球全体に伝える役目もする。

放球するときには気球の下半分は折りたたんだ状態で中頃の部分をローラにはさんで、上半分に所定の浮力になるまで水素を入れる。

たとえば 20km まで上げたいときには必要な水素の量は全容積の 1/20 の程度である。このとき水素は気球の頭部に集っている。ローラを外すと気球は上昇し始める。外気の圧力が減少するにつれて水素は膨張する。浮力は水素の重量と同体積の外気の重量との差で与えられるから、水素の温度が外気のそれと等しければ浮力は上昇中一定である。気球が上昇して満膨張に達し、さらに上昇を続けると気球の下端にある排気口から水素の放出が行なわれて浮力が減少して、浮力と重量とが平衡して浮遊状態に入り、やがて水素の拡散により浮力が失なわれて気球は次第に下降する。

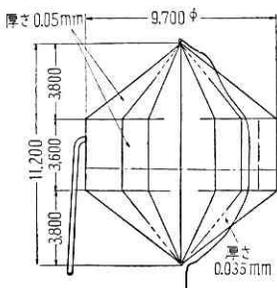
簡単に考えると、気球の一生のうち生命の危機が三度ある。すなわち地上で水素を入れたとき浮力が頭部に集中して、そこが破れる危険があること。次に放球時のショック、最後に満膨張に達したときに、排気速度が上昇速度に追いつかず、気球内の圧力が過大になることである。第1の問題は気球の頭部には特に厚い膜を使用することにより解決し、第2の問題に対しては気球と荷物との間にダンパを入れ、第3の問題に対しては排気口の面積を十分に大きくすることによって解決しうる。

**3. ポリエチレン膜について** ポリエチレンの膜の強度試験は JIS にその方法が定められている。これにしたがって引張試験を行なうと、引張強さは  $1 \text{ kg/mm}^2$  以上で、常温では伸びが  $600\sim 800\%$  に達する。第1表はこの結果の1例である。しかし円形の膜に圧力を加えて二次元的な引張りを与えると引張り強さは、 $0.97 \text{ kg/mm}^2$  程度で多少弱くなる程度であるが、伸びは  $20\%$  しかなくなる。これは気球をいびつな形に作っては危険であることを意味する。低温にあつては、この傾向はさらに激しくなると思われる。現在の日本の技術

第1表 ポリエチレン膜の強さの例

試験片 No	厚さ mm	幅 mm	引張強さ $\text{kg/mm}^2$	
			タテ	ヨコ
1	0.035	10.0	1.28	1.28
2	"	"	1.60	1.26
3	"	"	1.57	1.17
4	"	"	1.71	1.51
5	"	"	1.31	1.28
6	"	"	1.57	1.37
7	"	"	1.37	1.06
8	"	"	1.77	1.23
9	"	"	1.57	1.26
平均	0.035	10.0	1.53	1.27

では溶接線を曲線にすることは困難なので、容積はさまざまであるが形としては第1図のように直線をつなぎ合わせた形の気球を製作している。それゆえ上空において低温の状態でも満膨張に達するときのことを考えると、低温における膜の伸びは特に大切な性質である。この点は今後さらに検討する必要がある。



第1図 地上破壊試験用気球  $450\text{m}^3$

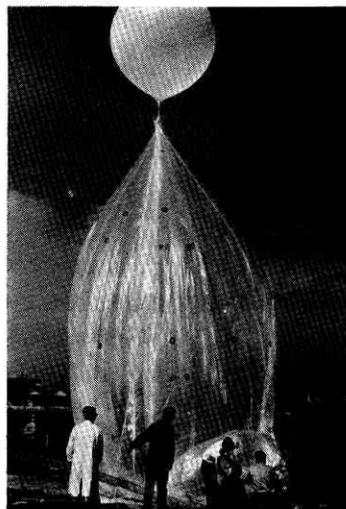
**4. 地上における気球の破壊試験** 前に述べた通り、ポリエチレンの気球は普通水素を全容積の数十分の一度入れて放球するので、満膨張に達した姿を見る機会はほとんどない。したがって、気球がいびつでなく作られているか、膜の伸びがどの程度あるものか、またどこから破れるのかよく判っていない。そこで空気を入れて地上で破壊試験を行なうことになった。この試験は実験主任平尾教授以下平尾研究室・植村研究室・大井研究室が参加して、昭和34年5月7、8の両日にわたって実施

した。第1日は予備試験として試験方法の検討を行なったが、風が強くて気球が横転して実験は困難を極めたが、風が弱ければ試験が可能であるという見通しを得た。第2日は本実験を行なったがこの日はほとんど無風状態で、好結果を取めた。

気球には伸びを測定するために、



第2図

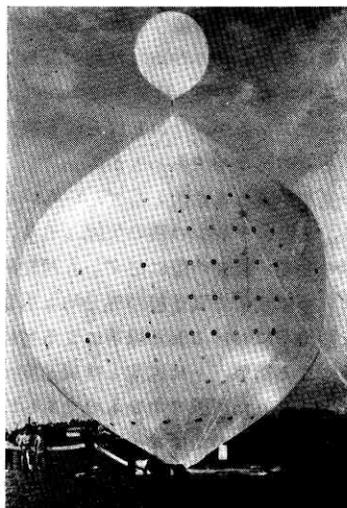


第3図

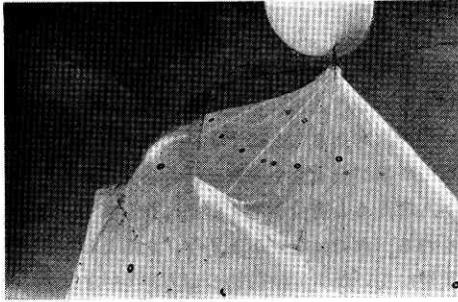
あらかじめマークをつけておき気球重量の殆ど浮力を持つゴム気球で頭部を吊るし予熱した空気を送って気球を膨張させた。三方向に固定カメラを置き、次第に膨張して行く様子を刻々撮影し、一方気球内の圧力は傾斜マンオメータによって測定した。

第2~4図はこの状態で、第4図の直後、水柱  $7.8 \text{ mm}$  の圧力で気球の頭部付近で膜が縦にさけて破れた(第5図)。

気球の頭部は厚さ  $50\mu$ 、底部は  $35\mu$  の膜を使つてある。送入した空気の温度は  $40^\circ\text{C}$  であるが、送入時間に約  $25$  分を要し



第4図



第 5 図

たので、気球内の空気の温度は不明である。それゆえ温暖な空気による浮力は判らないので、一応内圧はすべて水柱 7.8mm として計算する。気球は少し伸びて膨張したから直径を 10m とする。縦方向の引張応力を  $\sigma_1$ 、横方向のそれを  $\sigma_2$  とすると、気球の形を円筒部分と円錐部分から成るものとすれば、

円筒部分に対しては

$$\sigma_1 = \frac{pR}{2t}, \quad \sigma_2 = \frac{pR}{t}$$

ここに  $p$  は内圧、 $R$  は半径、 $t$  は厚さである。

円錐部分は場所によって応力は異なっているが、最大応力は

$$\sigma_1' = \frac{pR}{2t} \frac{1}{\cos \alpha}, \quad \sigma_2' = \frac{pR}{t} \frac{1}{\cos \alpha}$$

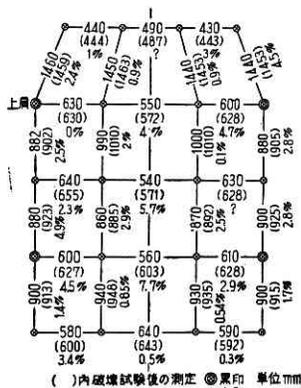
ここに  $\alpha$  は円錐の半頂角である。

$t=50\mu$ ,  $p=7.8 \text{ mm aq}$ ,  $R=m$ ,  $2=52^\circ$  とすれば

$$\sigma_1 = 0.195 \text{ kg/mm}^2, \quad \sigma_2 = 0.39 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_1' = 0.32 \text{ kg/mm}^2, \quad \sigma_2' = 0.63 \text{ kg/mm}^2$$

となる。 $t=35\mu$  の場合はこれより 50/35 の割合で高くなり、最大応力はほぼ  $1 \text{ kg/mm}^2$  になる。実際には温暖な空気のために浮力があり、頭部の方は上記の値よりも



第 6 図 気球膜の伸び

**5. 水模型による試験** 地上において気球の頭部に水素を入れたときに、気球の生命にとって最初の危機がおとずれることは先に述べた。このときには単位体積当たりの浮力が大きいので、特に危険なわけである。この場

合に対する強度の試験をするために、いわゆる水模型による試験を行なうことがある。すなわち実物と同質の膜を用いて頭部の模型を作り、逆に吊るして水を入れて破壊試験を行なうわけである(第 7 図)。このときには水の重量が水素の浮力を代表するわけであるが、この場合にも僅かであるが、空気の浮力が作用している。模型の寸法を次の式によって定めると実物と模型との相似性が成り立つ。

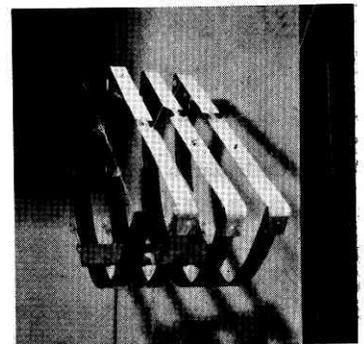
(模型の寸法) : (実物の寸法)

$$= \sqrt{(\text{空気の密度} - \text{水素の密度}) : (\text{水の密度} - \text{空気の密度})}$$

この寸法にしたがった模型について実験を行なうと、実物についてある高さまで水素を満たした場合と、それに比例した高さまで水を入れた場合と膜の応力が等しくなる。本誌の八木氏の報告中に図面が載っている気球について水模型を作り試験を行なった結果、計算上膜の最高応力が約  $0.7 \text{ kg/mm}^2$  のときに水もれが始まった。これは実物についても十分な強さを与えるものである。しかし実物は模型よりもはるかに大きいので、特別に弱い点を持つ可能性が多いことも考えに入れてなければならない。

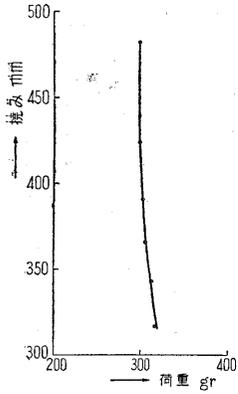
**6. 上空における膜の劣化** 上空において紫外線およびオゾンによって膜が劣化することが気球の破損の原因ではないかという問題に対して次のような実験を行なった。ばね鋼製の弓を作り、その弦に相当する所にポリエチレン膜の引張試験片を張って、一定の張力を与えてこれを気球に吊るして上空に飛ばせる。試験片が切れると弓がはねて電気接点を切って、その信号を地上に送ってくる仕掛けになっている。気球は 2 個上げる予定であったから、最初に膜の引張強さの  $\frac{1}{2}$  の引張力を与えて試験し次に  $\frac{3}{4}$  の力によって試験をする予定であったが、都合により最初のものだけしか実験ができなかった。それによれば、 $50\mu$  および  $35\mu$  の膜から縦方向および横方向に取った試験片は、引張強さの  $\frac{1}{2}$  の力では 1 本も切れなかった。この実験は昭和 34 年 7 月 21 日に行なわれたロクーン予備実験の際に行なったもので、飛しょう時間その他は別の報告を参照されたい。

実験に用いた弓は第 7 図のようなもので、中央部を反対にそ



第 7 図

らせてあるのは、試験片が伸びても引張力がほとんど変わらないようにするためである。弓の伸びと引張力との関係の 1 例を第 8 図に記す。



第8図 引形の引張力と伸びとの関係

ポリエチレン膜の試験片を作る際に刃物で切り抜くことは、JIS では禁じられていて、必ず型で打ち抜くことが要求されている。これは刃物を使って、もし周辺に傷をつけると、そこから割れ目が生長することを恐れてである。そのために本実験でも JIS にしたがった試験片を用い、これを弓に張るためには気球補強用のナイロン・テープを試験片の両端に接着した。このための接着剤には気球製作の際に用いるものを試験したところ、長時間張っているうちに、突然はがれてしまうことを経験した。二三の別の接着剤を検討してセメダイン No-1200 を使用することにした。このための条件として、弓に張った状態で常温で一昼夜はがれないこと、およびドライアイス・アルコールのふっとうしている液中で2時間ははがれないことを要件とした。ナイロン・テープまたはこれに相当するものは気球製作上に入用であるから、接着剤の再検討の必要性を痛感した。

なお膜の温度は強度上重要な問題であるので、別の担当者が気球にごまつぶほどのサーミスタをはりつけて測定を行なったが、厚さ 35 $\mu$ の透明な気球が太陽の輻射にさらされている場合、サーミスタの指示がそのまま膜の温度をあらわしているか否か疑問であるので、ポリエチレン膜を黒く塗って、2枚を合わせてはりつけてその間にサーミスタをはきんで温度の測定を行なったところ、前者は -30 $^{\circ}$ C、後者は -28 $^{\circ}$ C の値を示した。

7. むすび 以上で昭和 34 年度中に気球の強度の問

題について筆者が関係した実験の概要を述べたが、それに関連して気づいたことを二三述べる。気球は要求される高度が 20km であるか 40 km であるかにより質を異にしているものと考えられるが、ここでは 20km 級の気球についてのみ考えることにする。

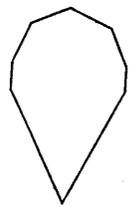
気球の破損が全実験を失敗に終わらせる可能性が多い現状から考えると重量が増すことは許してもっと丈夫な気球を作るべきではないかと思う。たとえば前記の飛ばし実験に用いた気球は荷物の目方が 84 kg であるのに対し、気球の自重は 25.3 kg であった。この場合気球の自重を 2 倍にしても全重量は 2 割程度の増加に止まるので大勢には影響なく、確実性にははるかに増大する。

また気球は経験的に上昇速度を増すと破損することが多くなるといわれているが、これは何を意味するものであろうか。上昇速度を増すとそれと排風速度との調和が破れることも考えられるが、実際には計算上十分な面積の排風口を設けてあってもなお破損している。上空における突風の影響は上昇速度とは無関係であろう。この問題に光明を与えるのは別の論文で報告されるはずの排風速度の測定である。これによれば上昇速度が高くなると

気球が衝撃的にもまれていくことがわかる。これは上昇にもなっていない渦のようなものが原因ではないかと思われる。そのため気球の形を変えて第9図のようにするのも一案であろう。このようにすることは水模型によって試験するような静的な強さには不利であるが、それは気球の自重の増加および頭部の形状の改善(第10図)によっても補うことができるであろう。(1960.1.23)



第9図



第10図

4 月 号 予 告

自動制御特集号

Optimization (特別寄稿) .....	高	橋	安	人
電動巻取機の張力制御 .....	沢	井	善	三
熱交換器の動特性 .....	増	淵	正	美
高速油圧サーボ .....	富	成		裏
デジタル技術による和文モノタイプの自動化 .....	森	政	弘	中川 弘
工作機械の数値制御 .....	大	島	康	次
自動制御を実施する場合の心構え .....	沢	井	善	三
			森	政