

軽量な可撓性材料を用いた排気施設（ソフトチムニー）の提案

THE SOFT CHIMNEY FOR EXHAUST GAS DISPERSION —AN IDEA OF A LIGHTWEIGHT CHIMNEY OF FLEXIBLE MATERIAL—

清水 浩*・森口祐一**・内藤正明***

By Hiroshi SHIMIZU, Yuichi MORIGUCHI and Masaaki NAITO

A chimney whose body is made of light-weight and flexible material is proposed. In order to maintain the shape of the chimney, 3 types of supporting methods are proposed. The one is to use a kytoon, the second is to utilize the pressure difference between inside and outside the chimney and the third is to exploit pressure of the air enclosed inside the twofold wall itself. One of the most useful application of the chimney is to liftup and diffuse pollutant gases emitted from automobiles on a road side. Suppose that the chimney of 100 m height and 2 m in diameter is made, the weights of the body material of each three supporting methods are estimated as 285 kg, 400 kg and 4 545 kg, respectively, in case that the wind velocity is 30 m/s.

Keywords: chimney, flexible material, exhaust gas, dispersion, complex material

1. はじめに

建物や橋などの建造物にはこれまで、主に鉄やコンクリート等が構造材として使われており、建設業はいわゆる重厚長大型の産業の1つであった。ところが最近、東京ドームに代表されるように、可撓性のある軽い材料を用いて大きな建築物を作る技術も実用化に至っている。このような建築物をここでは“軽薄長大型”建築物とよぶことにしたい。軽薄長大型建築物の特長はいうまでもなく、巨大な建築物が安い経費と短い時間で建設でき、しかも土台や足場に経費や空間をとる必要のないことである。

ところで、工場やボイラー等の煙突や排気塔も従来は重厚長大型の建築物の1つであった。だが、これらは重力と横風に対してその形状が内部を排気が通過するのに差し支えない程度に保たれておれば機能を果たすことが可能であり、軽薄長大型的な考え方を適用するにふさわしい対象の1つである。

このような観点から本文では、可撓性のある軽い材料

* 正会員 工博 国立公害研究所総合解析部地域計画研究室室長 (〒305 つくば市小野川16-2)

** 正会員 国立公害研究所総合解析部地域計画研究室研究員 (同上)

*** 正会員 工博 国立公害研究所総合解析部部長 (同上)

すなわちソフトな材料を用いて、大型の煙突や排気塔を構成することの可能性について検討する。なお、このような煙突や排気塔をここでは“ソフトチムニー”とよぶことにする。

2. ソフトチムニーの基本的概念

一般に煙突や排気塔は上空に排気を運ぶための筒部と、これを支える土台、点検用のハシゴから成る。また、排気の温度が大気温と同程度で、排気の大気中での浮力が小さい場合には、これを上空に押し上げるためのプロアが取り付けられる。

本提案は筒部をソフトな材料とすることにより軽薄長大の目的を達することが趣旨である。ソフトな材料の条件としては引張り強度が強いこと、気体を容易には通さない（気密性が高い）こと、高温の排気を通す場合には耐熱性があること等である。繊維材料として一般に用いられているナイロン、ポリエステル、カーボンファイバー等は引張り強度は強いがこれらの繊維のみで布地としても高い気密性は得られないため、これらの材料にポリビニール等をラミネートした複合材料が本目的に適合する材料といえる。このような材料で作られる筒は自重や横風で自由に変形するため、煙突や排気塔の筒部として使用するには、何らかの方法でその形状を保持する必要がある。

ある。その方法として、ここでは3種類を検討する。

(1) 繫留気球を利用する方法 (繫留気球法)

繫留気球は上空の気象状態を測定すること等の目的で利用されるが、図-1に示すように、飛行船と類似の形状の気球にHeガスを充填し、浮力を得る。この気球は横風に対しては揚力をもつ形状となっており、その風力が気球を上方に押し上げるため、横風によって、気球が大きく横に押し流されることはないという特徴をもっている。繫留気球はアラミド繊維等の強力な繊維に空気気密性をもたせた材料で作られており、これまで作られている気球の例では、容積1m³当たり400g程度の重量となっている。Heの浮力は1m³当たり約1kgであるから、繫留気球の浮力は容積1m³当たり約600gが得られる。

繫留気球の浮力と横風に対する揚力を利用して、これを図-1のようにソフトチムニーの上端に取り付け、その上端を上方に引張ることにより無風時には筒の形状を鉛直に保持することが可能となる。また、横風のある場合には、筒部は横に傾くが、同時に繫留気球の横風による揚力により上方に引張られ、筒の傾き角は適当な角度に維持される。この方法をここでは繫留気球法とよぶことにする。

繫留気球法の力のつり合いについて検討する。まず、無風時には筒部の重力と繫留気球の浮力がつり合いの条件となる。筒部の外周の半径を r_c 、長さ(高さ)を l_c 、筒部の材料の厚さを d_c 、密度を ρ_c とすると、筒部の重量 F_{CG} は、 d_c が r_c に比べ十分に小さいとして、

$$F_{CG} = 2\pi\rho_c r_c d_c l_c \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。また繫留気球の浮力 F_{KF} は、

$$F_{KF} = f_k V_k \dots\dots\dots (2)$$

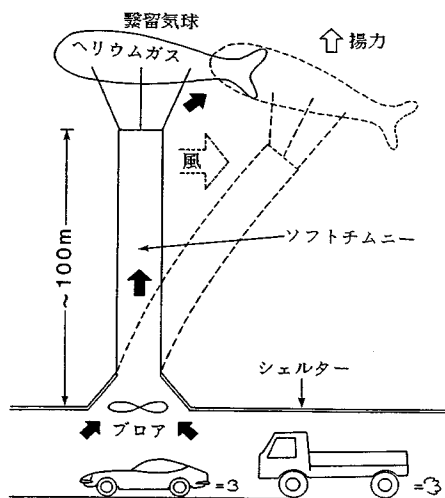


図-1 繫留気球法によるソフトチムニーの概念図

である。ここで、 f_k は繫留気球の単位体積当たりの浮力、 V_k は体積である。したがって、つり合いの条件は、

$$F_{CG} \leq F_{KF} \dots\dots\dots (3)$$

となる。

横風時には、無風時の力のつり合いに加えて、風による筒部および繫留気球への横力と、繫留気球の揚力を考慮する必要がある。

筒部への横力 F_{CW} は次式で表わされる¹⁾。

$$F_{CW} = \frac{2C_{ac} r_c l_c \rho_A v_w^2 \sin \theta}{2g} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 C_{ac} は筒部の空気抵抗係数、 ρ_A は空気密度(kg/m³)、 g は重力加速度、 θ は筒部の底と先端を結ぶ直線と水平面とのなす角、 v_w は横風の風速である。なお、ここでは風速は上下方向に一定であるとする。また、横風と自重により筒部の形状はたわむため、式(4)の θ は高度により変化するが、ここでは近似的に一定と仮定した。

繫留気球の横力 F_{KR} は、

$$F_{KR} = \frac{C_{ak} S_k \rho_A v_w^2}{2g} \dots\dots\dots (5)$$

で表わされ、揚力 F_{KL} は、

$$F_{KL} = \gamma_k F_{KR} \dots\dots\dots (6)$$

である。ここで C_{ak} は繫留気球の空気抵抗係数、 S_k は前面投影面積、 γ_k は揚抗比である。 F_{CG} および F_{CW} は分布荷重であるが、筒部の中心にかかる集中荷重であると近似すると、式(1)~(6)より、筒部の傾き角は、

$$\tan \theta = \frac{F_{KL} + F_{KF} - F_{CG}/2}{F_{CW}/2 + F_{KR}} \dots\dots\dots (7)$$

で与えられる。

また、横風時には筒部は、

$$F_{CT} = \sqrt{(F_{KL} + F_{KF})^2 + F_{KR}^2} \dots\dots\dots (8)$$

の合力で傾き角 θ の方向に引張られるが、この引張り力と筒部の引張り強度との関係は次式で与えられる。

$$F_{CT} = 2\pi r_c d_c \sigma_c / \kappa_c \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 σ_c は筒部の引張り強度、 κ_c は安全率である。

(2) 筒部の内外の圧力差を利用する方法 (絞り法)

図-2のように、排気の出口を入口に比べて面積を小さく絞った筒部を考え、ここに流速をもった排気を通わせると、筒部の内外に気圧差ができる。この気圧差を利用すれば、可撓性のある材料で作った筒部でも形状を保持することができる。ここでは、このように絞りを設ける方法を絞り法とよぶことにする。

絞り法の力のつり合いを検討する。まず、無風時には、上向き引張り力は筒部の内外の気圧差と絞り面積の積と、筒部の重量がつり合いの条件になる。図-2において、筒部の下部の排気の入口の面積を S_0 、上部の絞りの面積を S_1 、入口での煙の速度を v_1 、絞りでの

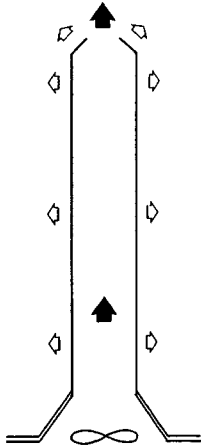


図-2 絞り法によるソフトチムニーの概念図

速度を v_0 とするとき、筒部と外気の気圧差 P_A は、

$$P_A = K \frac{v_0^2 \rho_A}{2g} \dots\dots\dots (10)$$

で与えられる²⁾。ここで、 K は S_i と S_o との比で決まる定数である。式 (10) より、この気圧差が支えられる重力は、

$$F_{cc} = P_A (S_i - S_o) \dots\dots\dots (11)$$

となる。

横風時の筒部のたわみの理論的な扱いは、材料が空気圧により張力を受ける効果と、中空パイプに相当するほうが荷重を受ける場合の効果³⁾の双方を考慮する必要がある。しかし、前者が後者に比べて影響をもつのは気圧差が数気圧を越すような高圧の場合であり、ここでの取扱いは、近似的に後者のみを考慮すれば十分である。

この場合、分布荷重の大きさは式 (4) を l_c で割って、

$$f_{cw} = F_{cw} / l_c \dots\dots\dots (12)$$

となる。式 (12) を用いて、筒部の先端のたわみは、座屈や折れ曲りが生じないという条件で、

$$w_B = \frac{f_{cw} l_c^3}{8 E_c I_z} \dots\dots\dots (13)$$

で表わされる。ここで E_c は材料のヤング率、 I_z は断面二次モーメントである。筒部が円筒形をしているとすると、 I_z は、

$$I_z = \frac{\pi (D_o^4 - D_{ci}^4)}{64} \dots\dots\dots (14)$$

で与えられる。ここで D_o 、 D_{ci} はそれぞれ筒部の外周と内周の直径である。

式 (13) より、 θ は、

$$\sin \theta = \frac{v_B}{l_c} \dots\dots\dots (15)$$

で表わされる。

(3) 内部に充填した気体により形状を支える方法 (内圧法)

図-3 に示すように両端を密閉したパイプに気体を充填して内外に気圧差をもたせると、このパイプの材料が可撓性のある材料でつくられていたとしても、柱としての形状を保つことができる。このようなパイプを図-4 に示すように筒状に組み合わせればソフトチムニーの筒部として使用することができる。ここではこの方法を内圧法とよぶことになる。

内圧法の横風がない場合の力のつり合いを考える。図-3 のパイプの半径を r_p 、ここに充填する気体の圧力と外気との差を P_p とすると、このパイプは長手方向に、

$$F_p = \pi r_p^2 P_p \dots\dots\dots (16)$$

の張力をもつ。

この張力によって支えることのできるパイプの重量は、

$$F_g = 2 \pi \rho_p r_p d_p l_p \dots\dots\dots (17)$$

で表わされる。ここで ρ_p はパイプの材料の密度、 d_p は厚さ、 l_p はパイプの長さを示す。したがって重力と気圧によるつり合いの条件は、

$$F_p \geq F_g \dots\dots\dots (18)$$

となる。なお、ここではパイプの両端の蓋の重量は無視した。

このパイプの材料の引張り強度と、外気との圧力差とのつり合いの条件は、

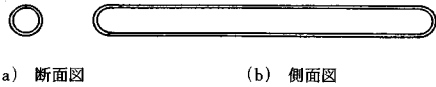


図-3 内圧法を実現するための両端を密閉したパイプ

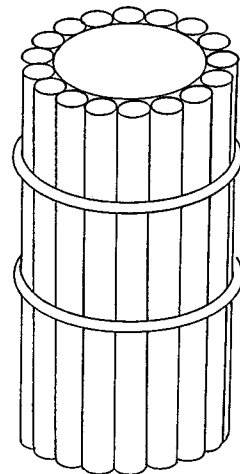


図-4 内圧法によるソフトチムニーの概念図

$$P_p \leq d_p \sigma_p / \kappa_p r_p \dots \dots \dots (19)$$

である。ここで σ_p はパイプの引張り強度、 κ_p は安全率である。

式 (16)~(19) を結合すると、密度 P_p 、引張り強度 δ_p の材料で作ることができる最長の煙筒の筒部の高さは、

$$l_p = \frac{\sigma_p}{2 \rho_p \delta_p} \dots \dots \dots (20)$$

と与えられる。

横風時のたわみについての取扱いは、絞り法に比べてはるかに複雑である。最も簡単なモデルを考えて、材料の厚さが $2 d_p$ という条件で絞り法と同様の扱いで近似をした場合、この近似で得られるたわみの大きさは正確な取扱いに比べて大きい。したがって安全側に立って本文ではこの近似を用いることとする。

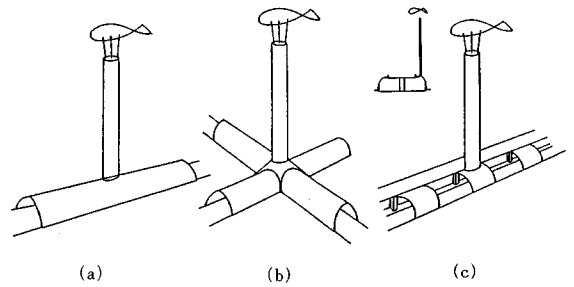
3. ソフトチムニーの応用とその概略設計

ソフトチムニーの考え方は工場等に設置されている大型の煙突として、もちろん利用可能である。ここではソフトチムニーが最も適する対象の1つと考えられる新しい応用領域として、道路沿道の大気汚染濃度を積極的に低減させる目的で、沿道大気を上空高く拡散させるための排気塔として使用することを提案する。このような排気塔の有効性はすでに報告されている⁴⁾が、その設置は道路上あるいは交差点上となるわけで、これを従来のような鉄やコンクリートを用いて作る場合、施工上の大きな問題が生ずる。ところがソフトチムニーでは、設置のために強固な土台がいらない、大きな足場も必要としない、施工が短時間で言うことができることなどの理由から、より実用的といえる。

ソフトチムニーを道路排ガスの排気塔として用いる場合、図—5 に示すようないくつかの構成法が考えられる。図—5 (a) は道路を簡単なシェルターのようなもので覆い、その天井部にソフトチムニーを設置するものである。図—5 (b) は交差点で特に高濃度が発生するため、交差点付近にシェルターを設け、交差点の中央部にソフトチムニーを設置する例である。図—5 (c) は一般道路の上に高架道路のある二層構造の場合、高架道路が蓋をした形となることにより、一般道路からの排気ガスの拡散が阻害されて高濃度が発生している状況に対応するもので、一般道路上に覆いをした上で、ソフトチムニーを構成する例である。

ここでは、このような応用を想定して、ソフトチムニーの簡単な設計を行う。

まず、設置する道路は幹線道路を仮定し、その条件として1時間当たりの自動車の交通量が4000台で、そのうち大型ディーゼル車の混入率を20%、平均時速は60



図—5 ソフトチムニーを道路排ガスの排気塔として用いる場合の構成法

km/時以下とする。また、道路はシェルター状のもので覆い、1 km 間隔でソフトチムニーを設置するものとする。このような条件のもとで、ソフトチムニーによる排気量を定める目安としては、日本道路協会トンネル委員会換気分科会によって定められている、道路トンネル技術基準(換気編)⁵⁾を参考にすることができる。同基準によると、平地で標高が400 m 以下の場合、排気量 Q (m^3/h) の基準は、

$$Q = q_0 N_t L_t \dots \dots \dots (21)$$

$$q_0 = 0.00303 r_D + 0.00667 \dots \dots \dots (22)$$

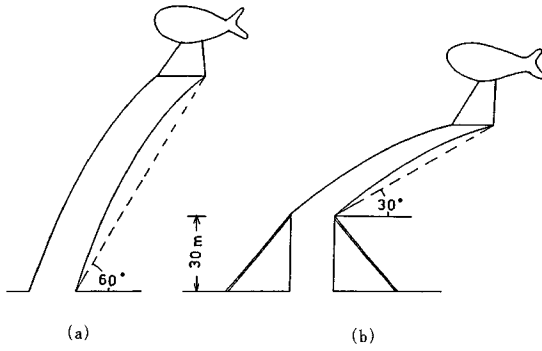
と定められている。ここで N_t は交通量(台/h)、 L_t はトンネル長(km)、 r_D はディーゼル車混入率(%)である。式(21)、(22)は道路の条件を代入すると、排気量は $75 m^3/s$ となる。

各方式について共通の条件は表—1 に示す。同表において、高さ l_c はまわりの建物の高さの3倍を目安にして100 m とした。有効直径 D_{or} は施工上の扱いやすさ等から2 m を例として取り上げた。このとき、ソフトチムニー内の排気速度 v_i は $23.9 m/s$ となる。材料の性質についてはポリエステル繊維にポリビニールを貼り合わせた複合材料の一般的な値を用いている。この材料の引張り強度 σ_c は $17 kg/mm^2$ 、密度 ρ_c は $0.85 g/cm^3$ 、ヤング率 E_c は $2000 kg/mm^2$ とする。

ソフトチムニーの設計においては横風の条件が大きく影響を与える。ここでは、最大風速 $30 m/s$ まで耐えられることを1つの条件とするが、この横風によるソフト

表—1 ソフトチムニーの設計条件

高さ	100m
有効直径	2m
最大横風風速	30m/sec
安全率	3
円柱の空気抵抗係数	0.98
材料の密度	0.85g/cm ³
材料の引張り強度	17kg/mm ²
材料のヤング率	2000kg/mm ²



図—6 ソフトチムニーの定格を計算するための条件

チムニーのたわみの条件は以下の2つを設定する。

- ケース1 横風により図—6 (a) のように、最大 60° までたわむ場合
- ケース2 図—6 (b) のように地上 30m のところをロープで支えた形状とし、この高さから上が横風により、最大 30° までたわむ場合

横風の影響を計算するにあたって、材料の安全率 λ_c は3とした。円柱の空気抵抗係数 C_{ac} は長さや直径の比が40の場合に0.98であるので⁶⁾、ここではこの値を採用した。

(1) 繫留気球法

繫留気球の条件として、単位体積当たりの浮力 f_k を 0.6 kg とする。また、繫留気球の概略の形を図—1 に示すようなものと仮定し、正面からみた半径を r_k とするとき、容積は $V_k = 5\pi r_k^3$ 、空気抵抗係数を $C_{ak} = 0.5$ 、揚抗比は $\gamma_k = 8$ と定める。このような条件の下では、繫留気球の浮力は $F_{KF} = 9.4 r_k^3$ 、空気抵抗は $F_{KR} = 88.3 r_k^2$ 、揚力は $F_{KL} = 706 r_k^2$ となる。

a) ケース 1

横風力 F_{CW} は式 (4) より 9548 kg となる。一般にソフトチムニーの材料の重さは F_{CW} 等に比べて無視できるほどであるので、横風力に対する F_{CW} , F_{KF} , F_{KR} , F_{KL} のつり合いの条件は傾き角が 60° のとき、

$$F_{KF} + F_{KL} = \sqrt{3} (F_{CW} + F_{KR}) \dots\dots\dots (23)$$

となる。式 (23) は r_k のみの関数となるため、 r_k について式 (23) を解くと $r_k = 5.2 \text{ m}$ となり、 $V_k = 2208 \text{ m}^3$ 、 $F_{KF} = 1324 \text{ kg}$ という大きな値となる。

式(23)の力のバランスに対して必要なソフトチムニーの材料の厚さは、

$$d_c = \lambda_c F_{CW} / \pi r_c \sigma_c \dots\dots\dots (24)$$

から求められ、 $d_c = 0.53 \text{ mm}$ となる。また、ソフトチムニー全体の重量は、式 (1) より、 $F_{CG} = 285 \text{ kg}$ となる。ここで得られた F_{CG} は浮力 F_{KF} よりはるかに小さく、横風の条件を満たす繫留気球は無風時にソフトチムニー

の形状を保持するのに十分な浮力を有していることになる。

このソフトチムニーで $Q = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ の排気を行うために必要なパワーは、排気を $l_c = 100 \text{ m}$ まで持ち上げるための位置エネルギー、排気に速度を与えるための運動エネルギー、および、ソフトチムニーの内壁での摩擦の3つの要因の和となる。

単位時間当たりの位置エネルギー、運動エネルギー、摩擦エネルギーはそれぞれ次式で与えられる。

$$U_P = \rho_a Q g l_c \dots\dots\dots (25)$$

$$U_k = \frac{1}{2} \rho_a Q v_0^2 \dots\dots\dots (26)$$

$$U_F = \left(\lambda_c \frac{l_c}{D_c} \right) \frac{\rho_a Q}{2} v_0^2 \dots\dots\dots (27)$$

ここで、 λ は壁面の摩擦損失係数、 D_c はソフトチムニーの直径である。したがって、排気を行うのに必要なパワーは、

$$P_c = \rho_a Q g l_c + \frac{1}{2} \rho_a Q v_0^2 + \frac{1}{2} \frac{\lambda_c l_c}{D} \rho_a Q v_0^2 \dots\dots\dots (28)$$

となる。一般に $\lambda = 0.02$ 程度が仮定できるから、式 (28) は第1項が 88.2 kW、第2項が、25.7 kW、第3項も 25.7 kW となり、必要パワーは総計 140 kW である。

b) ケース 2

式 (23) に相当するつり合いの条件は、

$$F_{KF} + F_{KL} = \frac{1}{\sqrt{3}} (F_{CW} + F_{KR}) \dots\dots\dots (29)$$

となり、横風力 F_{CW} は 3859 kg となるため、繫留気球の半径 r_k について式 (29) を解くと、 $r_k = 1.8 \text{ m}$ で、繫留気球の体積と浮力はそれぞれ $V_k = 91.6 \text{ m}^3$ 、 $F_{KF} = 55 \text{ kg}$ となる。式 (29) の力のバランスに必要なソフトチムニーの材料の厚さは式 (24) より、 $d_c = 0.125 \text{ mm}$ 、筒部の重さは式 (1) より $F_{CG} = 66 \text{ kg}$ となる。この場合、 F_{CG} は F_{KF} より大きくなり、式 (3) のつり合いの条件は満足できない。そのため r_k の大きさを 6% 大きく取り、 $r_k = 1.9 \text{ m}$ とすればつり合いの条件は満たされる。半径が 1.9 m 程度の繫留気球はこれまでも作られた例はあり、ケース 2 の条件であれば比較的実用的といえる。

また、この場合に必要なパワーはケース 1 の場合と等しい。

(2) 絞り法

横風に対する筒部のたわみを条件の範囲内に納めるために必要な筒部の材料の厚さ d_c は式 (13) に安全率 λ_c をかけ、式 (14) と組み合わせることにより、

$$D_{ci} = \sqrt[4]{D_c^4 - \frac{8 \lambda_c f_{cw} l_c^2}{\pi E_c w_B}} \dots\dots\dots (30)$$

より、

$$d_c = (D_c - D_{cn})/2 \dots \dots \dots (31)$$

で求められる。

a) ケース 1

式 (30) において、 $f_{cw} = 110 \text{ kg/m}$ 、 $l_c = 100(\sqrt{3}/2) \text{ m}$ 、 $v_b = 100/2 \text{ m}$ であり、安全率 κ_c を 3 とすれば、 $d_c = 7.5 \text{ mm}$ が得られる。このときのソフトチムニーの重さは $F_{cc} = 4004 \text{ kg}$ となる。

上部の排ガスの出口の面積は式 (10)、(11) を総合して、

$$K \frac{S_i - S_o}{S_o^2} = F_{cc} \left(\frac{2g}{\rho_s} \right) \left(\frac{1}{v_i^2 S_i^2} \right) \dots \dots \dots (32)$$

で得られる。ここで S_i と S_o の面積比で決まる定数 K は、

$$K = -\frac{1}{2} \left(\frac{S_o}{S_i} \right) + 0.5 \dots \dots \dots (33)$$

でほぼ近似できる。式 (32) にそれぞれの値を代入すると $S_o = 0.32 \text{ m}^2$ が得られる。また、このときのソフトチムニーの出口での排煙の速度は $v_o = 235 \text{ m/s}$ にもなる。

この場合に必要となるパワーは、位置エネルギーと壁面での摩擦による分は 3. (1) の場合と同じであるが、運動エネルギーに関する部分は排気の出口での速度が 235 m/s にもなることによって $U_k = 2475 \text{ kW}$ になる。また、出口を小さくしてソフトチムニーを支えるために必要なパワーは、

$$U_o = F_{cc} g v_i = 937 \text{ kW} \dots \dots \dots (34)$$

となる。これらを総合すると、必要パワーは $P_c = 3526 \text{ kW}$ となる。

b) ケース 2

式 (30) において、 $l_c = 70/2 \text{ m}$ 、 $v_b = 70(\sqrt{3}/2) \text{ m}$ であるから、 $d_c = 0.16 \text{ mm}$ が得られ、ソフトチムニーの重さ F_{cc} は 80 kg となる。

式 (32) にこれらの値を代入すると、 $S_o = 1.5 \text{ m}^2$ となる。このとき必要なパワーは運動エネルギーに関して $U_k = 113 \text{ kW}$ 、ソフトチムニーを支えることに必要なパワーは $U_o = 18.8 \text{ kW}$ となり、全パワーは 246 kW となる。

(3) 内 圧 法

ここではソフトチムニーの内径を直径 2 m とし、直径 20 cm のパイプ 33 本を用いてソフトチムニーを構成するものとする。

a) ケース 1

横風に対するたわみについて 2. (3) で述べたような近似を使うとすると、パイプの材料の厚さは、3. (2) のケース 1 と同様の計算を行い、かつ得られる材料の厚さを半分として $d_p = 2.58 \text{ mm}$ が得られ、ソフトチムニーの総重量 F_{cc} は 4545 kg 、パイプ 1 本当たりの重量 F_{cp}

表一2 ソフトチムニーの概略設計値

繫留気球法

		ケース 1	ケース 2
繫留気球の	半径	5.2 m	1.9 m
	容積	2208 m ³	108 m ³
ソフトチムニーの材料の	厚さ	0.53 mm	0.125 mm
	重さ	285 kg	66 kg
送風パワー		140 kW	140 kW

絞り法

		ケース 1	ケース 2
ソフトチムニーの出口の	面積	0.32 m ²	1.5 m ²
	排出速度	235 m/sec	50 m/sec
ソフトチムニーの材料の	厚さ	7.5 mm	0.16 mm
	重さ	4004 kg	80 kg
送風パワー		3530 kW	250 kW

内圧法

		ケース 1	ケース 2
パイプの内圧		0.44 kg/cm ²	0.01 kg/cm ²
ソフトチムニー(パイプ)の材料の厚さ		2.58 mm	0.06 mm
	重さ	4545 kg	100 kg
送風パワー		140 kw	140 kW

を支えるには、

$$P_{Pi} = F_{ccp} / 2 \pi r_p^2 = 0.44 \text{ kg/cm}^2 \dots \dots \dots (35)$$

の内圧があればよい。

式 (19) より、 $d_p = 2.58 \text{ mm}$ の厚さの材料が耐えられる内圧は $P_i = 14 \text{ kg/cm}^2$ であるので、 P_{Pi} は P_i に比べてはるかに余裕がある。

この場合の排気に必要なエネルギーは 3. (1) の例と等しい。

b) ケース 2

3. (2) の b) と同様の計算から、材料の厚さは $d_p = 0.06 \text{ mm}$ で、ソフトチムニーの材料の重量 F_{cc} は 100 kg 、パイプ 1 本当たりの重量 F_{cp} は 3 kg で、必要な内圧は $P_{Pi} = 0.01 \text{ kg/cm}^2$ となる。この場合の材料の耐圧 P_p は式 (35) より 0.34 kg/cm^2 であるから P_p は P_{Pi} に比べて十分に余裕がある。

また、この場合の排気に必要なエネルギーは本方式ケース 1 と同様である。

以上の概略設計の計算の結果を表一2 にまとめて示す。同表から明らかなおり、高さ 100 m 、直径 2 m のかなり巨大な煙突を作るのに、いずれの方式を用いても筒部の重さは高々 4.5 トン で間に合う。特にケース 2 の条件の場合には、その重さが最大でも 100 kg に過ぎない。また、送風に要するパワーは絞り法のケース 1 では 3500 kW にもなり現実的ではないが、他の条件では 140 kW から 250 kW であり十分実用的である。

構造的に最も簡単な方式は絞り法であるが、もし、設

置場所が十分に広くケース2の条件で使用可能であれば、この方式が最も実現性が高いといえる。

4. ま と め

本文では、ソフトチムニーの概念を提案するとともに、実現可能な形態として3種類を検討した。また、ソフトチムニーの応用例として、道路近傍の高濃度排出ガスの拡散装置を取り上げ、定量的な実現可能性を検討した。その結果、支えを張らないケース1においては、繫留気球法と絞り法については繫留気球形状や排気に必要なエネルギー等から現実的でない場合があるが、支えを張るケース2や内圧法においては、材料の強度や使用するパワーの観点から実用性が認められる。

今後はこの検討に基づいて実験を行い、その実用性を検討していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 比良二郎・滝沢英一：流体力学の基礎と演習，広川書店，p. 31, 1971.
- 3) 化学工学協会関西支部編：初歩化学工学（新版），いずみ書房，pp. 70～80, 1971.
- 3) 樋口盛一・斉藤秀雄：弾性および材料力学，養賢堂，pp. 85～94, 1967.
- 4) 北林興二：市街地交差点における大気環境改善のための風洞実験の利用，公害，Vol. 23, pt. 1, pp. 71～80, 1988.
- 5) 道路トンネル技術基準（換気編）・同解説，日本道路協会，pp. 46～54, 1985.
- 6) 西山哲男：流体力学（Ⅱ），日刊工業新聞社，p. 99, 1972.

（1989. 3. 20・受付）