

排気筒トップの性能解析

Analysis of the Chimney Cap's Performance

伊藤 克也* 森下 惣三* 南 一 成*
Katsuya Itô Sôzô Morishita Kazunari Minami

要 旨

排気筒トップは排気筒の頂部に取り付けて使用するもので、排気筒とともに燃焼機の燃焼性能を維持するのに必要な重要部品である。

現在、温水暖房、温風暖房のシステムを構成する部品として、その重要性のPRと指導が各機器メーカーで盛んであるが、日立製作所でも本来必要な性能を確保するため独自の構造のC形排気筒トップを開発し、この目的を果たしている。本論文は、このC形排気筒トップを中心に各種排気筒トップの性能解析を行なったものである。

1. 緒 言

燃焼装置には煙突は不可欠であり、煙突の良否は燃焼性能に著しく影響する。しかし従来、石炭、薪(まき)を燃料とする風呂釜(ふろがま)、ストーブなど、家庭用設備の煙突は単に煙の排出用としてしか扱われず、性能はとかく軽視されがちであった。灯油だきのストーブ、温風暖房機、温水ボイラの普及の当初はこのような認識の浅さに原因する燃焼不良が発生し、機器メーカーは煙突の重要性のPRと指導に努めてきた。その要旨は、安定した燃焼を維持するために変動幅の少ない一定の燃焼炉圧を維持することであり、具体的には、適度の直径の煙突を適度の高さを立て、かつ外部風により悪影響を受けない傘(かさ)を安全な位置に取り付けることである。この中で特に傘は、一般に陣笠(がさ)と呼ばれ、雨の侵入、外部風によるダウンドラフト、小鳥の侵入や巣造りなどの弊害のある形式のものが市場の大部分を占めており、H形、A形などすぐれた性能のものは価格面で不利であるところからほとんど利用されていない。したがって各メーカーとも、H形、A形の使用をすすめる一方、顧客に受け入れられやすい形状、価格の傘の開発に努めている。日立製作所でも煙突を「排気筒」、また傘を「排気筒トップ」と名付けてイメージの転換を図る一方、小形で性能の良い独自の構造の排気筒トップを開発し、製品化した。

本論文はこの排気筒トップに要求される機能を述べ、C形排気筒トップを中心に、性能の解析、特性の比較、使用条件などを実験的に探究した。

2. 排気筒トップの概要

燃焼機に良好な燃焼性能をもたせるためには、燃焼室内に燃焼に必要な一定量の空気を供給し(燃焼室内を一定範囲のガス圧力に維持し)、適当な燃焼ガスの流れを与え、燃焼室外へ導き出すことが必要で、一般に自然通風か、強制通風かによってこの流れを与えている。燃焼機に接続する排気筒は、燃焼の結果発生した燃焼ガスを大気へ導き出すという作用のほかに、この自然通風力を生み出す機能をもっている。すなわち、排気筒内の燃焼ガスと外気との温度差による比重差で、排気筒内部と外部とに圧力差を生じ、これが通風力(draft)となる。そしてこの通風力にのみ依存する方式が自然通風式であり、送風機を使用して機械的通風力を併用する方式または、自然通風には全く期待しない方式を強制通風式という。

このように強制通風か自然通風かの機構で生ずるドラフトは頂部にトップを付けなくても無風状態においては、良好な燃焼を促し、排気筒から排気ガスを排出するのになんら支障はない。しかし排気

筒頂部に風があたる場合は、風向きによって、あるいは頂部の位置によって排気筒の頂部から逆風が侵入し、いわゆるダウンドラフトとなって燃焼に悪影響を及ぼす場合がある。

排気筒の頂部に取り付けて使用する排気筒トップは、無風状態においては抵抗体となって通風力を弱める作用をするが、有風時の逆風(ダウンドラフト)を防ぐために、ぜひとも必要なものである。

排気筒トップに要求される機能を要約すると次のとおりである。

- (1) 排気ガスの排出に大きな抵抗とならないこと。
- (2) 排気筒頂部に吹きつけるあらゆる方向の風に対して逆風を生じないこと。
- (3) 外風の風向きおよび風力によるドラフト変動の幅が小さいこと。
- (4) 雨、雪の吹き込みのないこと。
- (5) 鳥類が排気筒内に侵入しない構造であること。
- (6) 排気筒先端部から取りはずし可能なこと。
- (7) 耐久性が高く体裁が良いこと。

ここで(3)は外風により生起するドラフトの幅が大きすぎると、燃焼室内のガス圧力が変動し、安定した燃焼が得られないので、安定した燃焼を得るために、(4)は雨雪の侵入を防いで燃焼機の損傷を避け、また異常燃焼や消火の原因となることを防止するために、(5)は排気ガスの排出を妨げないために、それぞれ必要な事項である。

3. 従来品排気筒トップの特性とその比較

排気筒トップとして一般に知られているものには、多翼形、H形、A形、T形、回転式、陣笠、通気筒、丸形などがある。これらのトップは前述の機能をすべて備えたものばかりではなく、ダウンドラフトにはならなくても吸引ドラフトの変動幅が大きい、雨雪が侵入しやすい、構造が複雑、鳥類が排気筒内に巣を造るなどの欠陥をもっている場合が多い。

外部風による性能の表示法として、外部風の吹きつけ角によって変化する排気筒内部風速を生起ドラフトの関数として利用することが多い。この方法で示している文献⁽¹⁾の中から多翼形、通気筒、陣笠を例にとって外風による性能をみると図1~3のようになる。これはトップに風速5 m/sの風を各角度から吹きつけて、排気筒の上端より約1 m下の位置における気流の速度、方向を調べたものである。図において下端の矢印は気流の方向を示し、数値はその速度をm/sで表わしたもので文献ではこれをドラフト指数と呼んでいる。数値が負であることは逆風を意味する。

図1の多翼形についてみると風向きに関係なく逆風になっていない。また風向別のドラフト変動の幅も0.2~1.2 mmAqでわずかで

* 日立製作所柳井工場

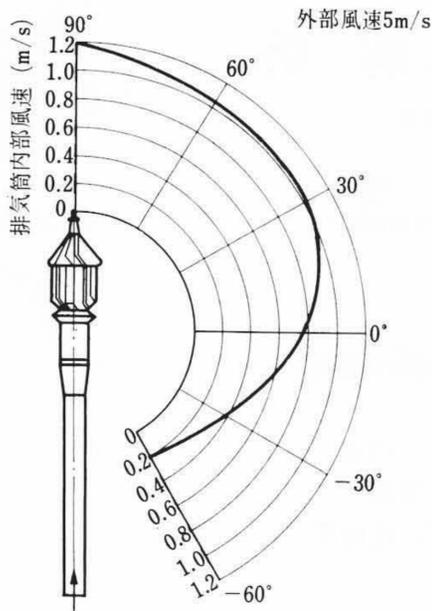


図1 多翼形トップの外風性能

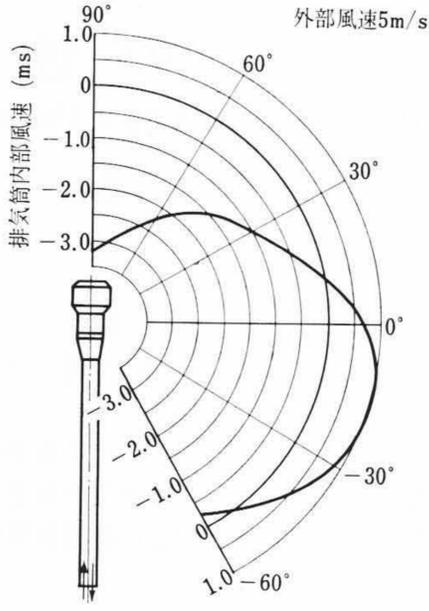


図2 通気筒の外風性能

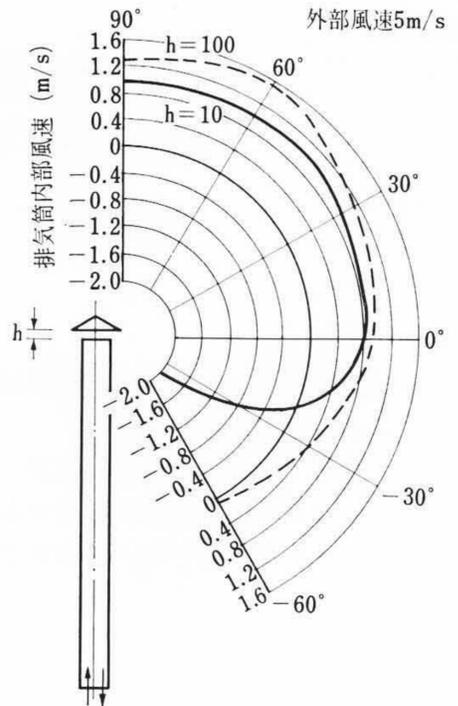


図3 陣笠の外風性能

ある。図2の通気筒では、一部の方向を除いて内部風速が負となる。(逆風となる)図3の陣笠の場合は陣笠の下端と排気筒先端部との距離によってその性能が異なり、適切な距離を選ぶと逆風にならないことがわかる。これらのデータはいずれも外部風速5m/sを例にとっているが、外部風速が高くなればこの内部風速も高くなる。しかし外部風速によって排気筒の気流の方向が変わることはない。

次にこれらトップのほかの性能についてみる。陣笠の場合は構造は簡単であるが、雨、雪が降り込みやすい、鳥類が排気筒内に巣を造るなどの欠点を有し、多翼形の場合も構造が複雑である、鳥類が巣を造るなどの欠点を指摘することができる。

以上述べたような観点から表1に現在使用が考えられる排気筒トップの特性比較を行なった。

ここで○印は性能良好なもの、△印は普通と考えられるもの、×印は欠点が明らかなものを示している。

これによると、これらの形式のトップには、要求される機能を完全に満たしているものはない。特に外風による性能の良好のものでも鳥の造巣に対する対策、構造の難易の点で問題となるものが多い。しかし外風に対する性能が良好であれば、そのほかの事項については比較的たやすく対策が可能であるため、鳥類の侵入を防止する構造となっていないことだけが欠点であるA形、H形、T形などは良好なトップとしての要素をじゅうぶん含んでいるといえる。

4. C形排気筒トップの開発

現在、使用が考えられる多翼形、A形、H形、T形などは、外法寸法が大きくなり構造上、体裁上難点がある。そこで日立製作所では、自社の温水ボイラ、温風暖房機に合わせて日立独特の排気筒トップを開発し、これをC形排気筒トップと名付けている。

以下このC形排気筒トップの特性、性能について述べる。

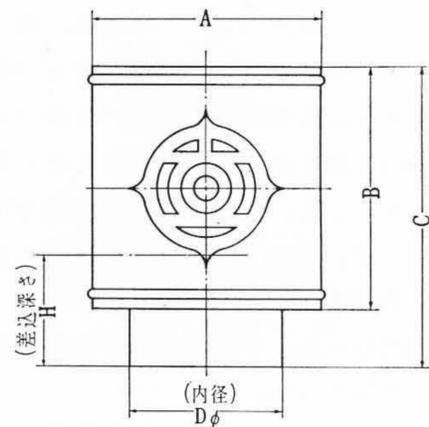
5. C形排気筒トップの構造と寸法

C形排気筒トップの外観と寸法は図4に、構造は図5に示すとおりである。C形トップは排気筒径別にシリーズ化され、現在、C-11、C-15、C-20、C-25の4機種が製品化されているが、より大口径の排気筒に対しても、実験値を無次元化して整理し、各部の寸法を算出できるようにしているため、製作が可能である。

小鳥の侵入防止のために上端をはめ込み式金網でふさぎ、外筒と防風板との空間に針金を丸く巻いたリングを置いた構造になっている。また笠は、外筒径に対し、雨の降り込みのない最小の径とし、笠の下端と内筒との距離は、できるだけ断面積変化の少ない大きさとしている。

表1 排気筒トップの形式別性能比較 (外部風速 5 m/s)

| トップの形式 | ドラフト指数 (m/s) | 雨雪の侵入対策 | 鳥の侵入対策 | 構造の難易 | 性能良否の順 |
|------------|--------------|---------|--------|-------|--------|
| 多翼形 | 0.7~1.8 | ○ | ○ | × | 1 |
| 傾斜付H形 (A形) | 0.2~1.6 | ○ | △ | × | 2 |
| H形 | 0~1.6 | ○ | △ | × | 3 |
| T形 | 0~1.6 | ○ | △ | × | 4 |
| 回転式 | 0.2~1.2 | ○ | ○ | × | 5 |
| 陣笠 | -2.4~1.6 | × | × | × | 6 |
| 通気筒 | -3.2~1.0 | × | ○ | × | 7 |



寸法表

| | D | H | A | B | C |
|-------|--------|-----|------|-----|-----|
| C-11形 | 108.5φ | 105 | 175φ | 190 | 255 |
| C-15形 | 153.5φ | 114 | 230φ | 245 | 305 |
| C-20形 | 200φ | 130 | 300φ | 320 | 380 |
| C-25形 | 250φ | 155 | 375φ | 400 | 460 |

図4 C形トップ外観と寸法

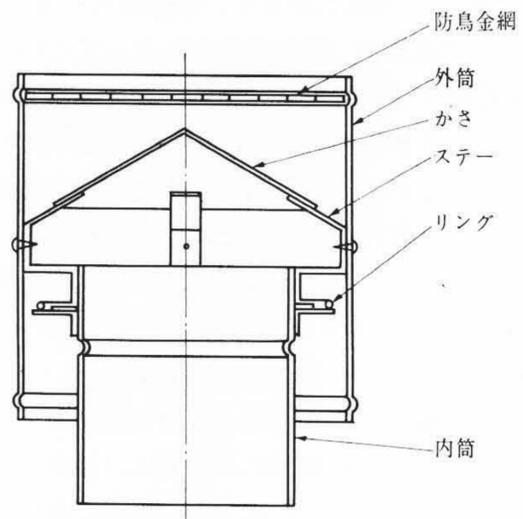


図5 C形トップの断面構造

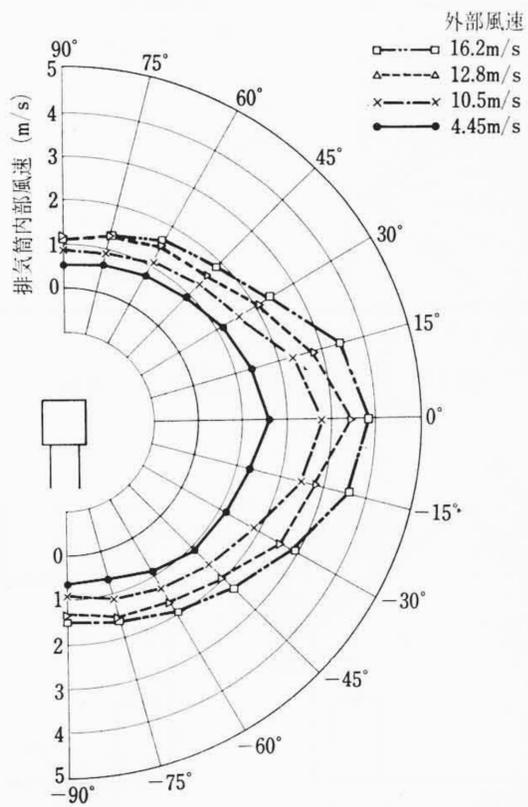


図6 C形トップの外風性能

6. C形排気筒トップの性能

6.1 外部風に対する性能線図

図6はC形排気筒トップの外風性能として、外部風速、風向により変動する排気筒内部風速を示すものである。外部風速が増すと外部風速にほぼ比例した内部風速増加の傾向が現われている。また風向きによって逆風にならず、外部風速、風向による内部風速の変動が小さくドラフトの変動幅が小さいことなどがわかる。

図7は、外部風速による排気筒内部風速の関係を風向別に示した線図である。一定風向きの場合、排気筒内部風速は外部風速にほぼ比例して増加している。また生起する内部風速は水平方向から吹く風に対して最も大きく、次いで-45度方向、+45度方向、-90度方向、+90度方向の順になっている。

図8は排気筒外部風速により生ずるドラフト内部風速の関係を示すものである。図によれば外風による生起ドラフトは、外部風速16.2 m/sのとき、最高-1.43 mmAqとなっている。また外部風速が16.2 m/sのとき風向きによるドラフト変動は-0.1 mmAq~-1.43 mmAqの範囲である。風向きが一定の場合、外部風速が5 m/s~16.2 m/sまで変化した時のドラフト変動は-0.16 mmAq~-1.43 mmAqの範囲である。また生起ドラフトに比例した大きさの内部風速が現われる。

6.2 排気ガスの排出機構

外風がトップに吹きつける場合、どんな風向きに対しても逆風となることなく、排気ガスの排出が正常に行なわれるか否かの確認のため、発煙体による排気ガス排出機構確認の実験を行なった。この場合外部風速5 m/sとしている。その結果からC形トップによる排気ガスの排出状態を図9に示した。ここでは無風状態と外風の風向きによる区別をしている。この構造の丸形トップでは、真下から吹きあげる風に対しても風がトップの内部にこもることなく円滑に通り抜けるのでダウンドラフトとなるのを防ぐことができる。また水平方向から吹く風に対する場合が最も多量の煙を吸いあげるということが確認された。

6.3 トップによる圧力損失

無風状態において排気筒内ガスの排出に対し、C形トップがどれだけの抵抗を示すかを知るためトップの抵抗係数を求めた。これに使用した試験結果は図10に示すとおりである。これは排気筒内ガ

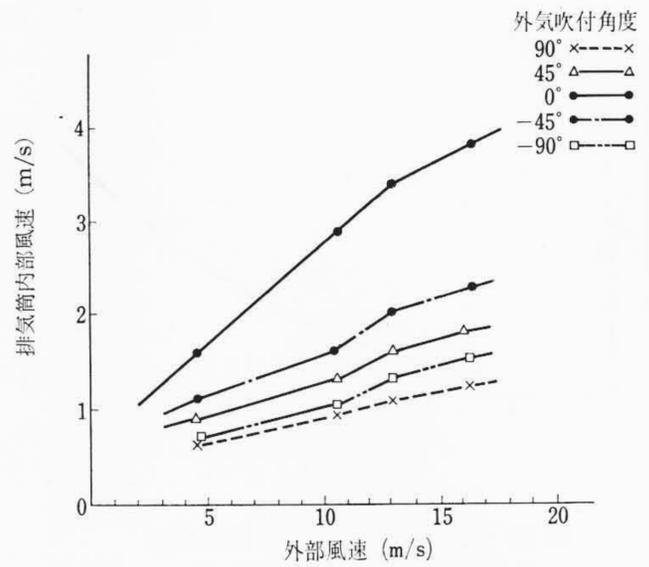


図7 外部風速による排気筒内部風速

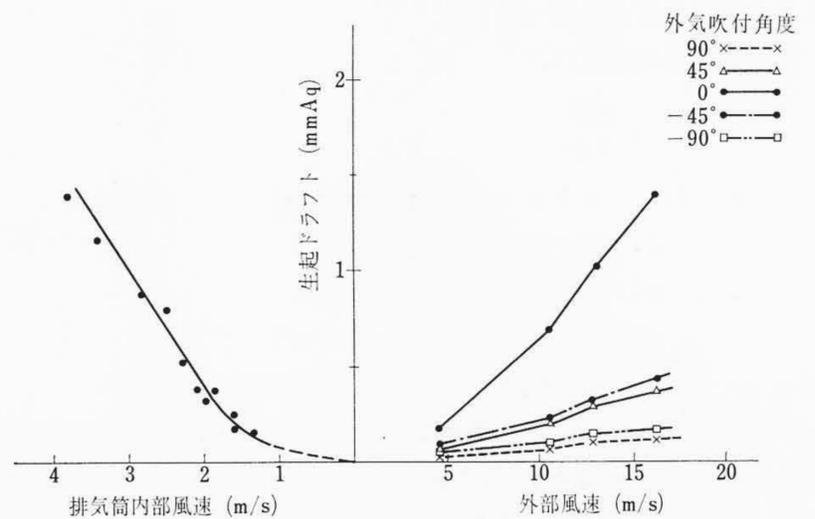


図8 排気筒外部風速により生ずるドラフトと内部風速

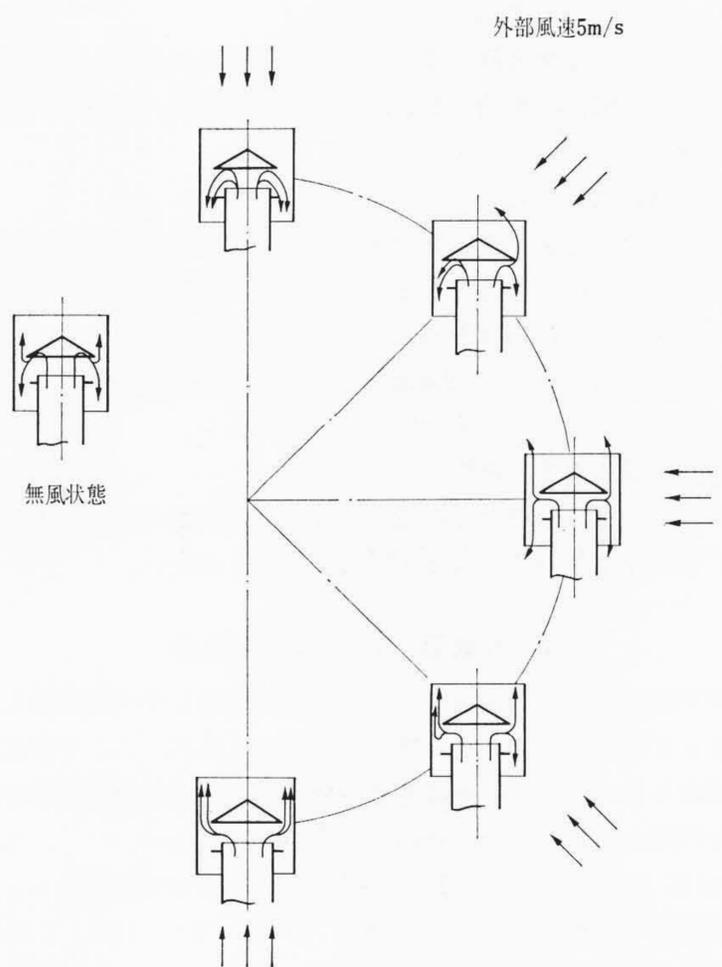


図9 外風による排気ガス排出機構

ス流速とトップによるドラフト減少（静圧の損失を意味する）の値の関係線図である。測定は排気筒内ガス流速の代わりに、常温の空気を送風機によって排気筒内に送り込み、風量を調節して変化させ

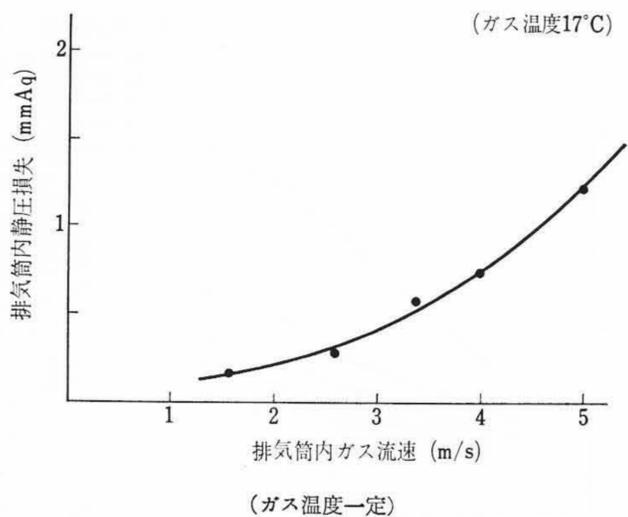


図10 C形トップによる静圧増加

る方式をとっており実際の燃焼機に取り付けて得たものではない。したがって実際の燃焼機のドラフト減少値を知るためには、トップによる抵抗係数が必要である。

局部抵抗の理論式は、

$$\Delta P = \zeta \frac{\gamma V^2}{2g}$$

ここに、 ΔP : ドラフト減少値 (mmAq)

ζ : 局部抵抗

g : 重力加速度 (m/s^2)

γ : 比重量 (kg/m^3)

V : 排気筒トップ根元部ガス流速 (m/s)

により代表される。これからC形トップの局部抵抗係数 ζ を求めてみると $\zeta=0.7$ となる。この値は実際の燃焼においてガス流速2.4 m/s, 排ガス温度350°Cの時のドラフト減少値が0.09 mmAqであることを示しており、ほとんど問題とならない抵抗である。

6.4 雨, 雪, 鳥類に対する考慮

(1) 雨に対する考慮

あらゆる角度から降りつける雨が排気筒内に侵入しないための傘径とその位置, 外筒の高さ, 防風板径を選び, シャワー試験で性能を確認した。

(2) 雪に対する考慮

燃焼開始のとき, トップの頂部に積雪がある場合, 雪が排気ガスの温度によってとけてしまうまでの間, 排気ガスの排出はおもにトップの下端から行なわれる。この時の抵抗係数は $\zeta=1.25$ (実験値)となり, ガス流速2.4 m/s, ガス温度350°Cの時のドラフト減少値は0.2 mmAqで大きな問題とならない。

(3) 鳥類に対する考慮

トップの上部に鳥などの侵入を許さない網目の金網と下部にリングを設けたために鳥などが侵入することがない。

7. 排気筒トップの使用条件

2項で述べた排気筒トップに要求される機能をすべて具備した排気筒トップが性能の良いトップであるといえるが, ここで注目しなければならないのは, いかにも性能の良いトップでもその使用を誤ると, その用をなさなくなるということである。

これは, 排気筒トップの具備すべき性能のうちで排気筒トップの構造的特性によるもの(2項の(1), (4), (5), (6), (7))は使用条件による変動はないが, 外部風による特性のみ(2項の(2), (3))トップの設置位置による影響を受けることを意味する。

具体的には, 排気筒の先端部(排気筒トップの取付位置)を建物の側面など外部風が通り抜けない位置に設けると風が建物にあたる場合, 風のもつ速度エネルギーが圧力に転換されるが, この圧力 P は比較的わずかな風で

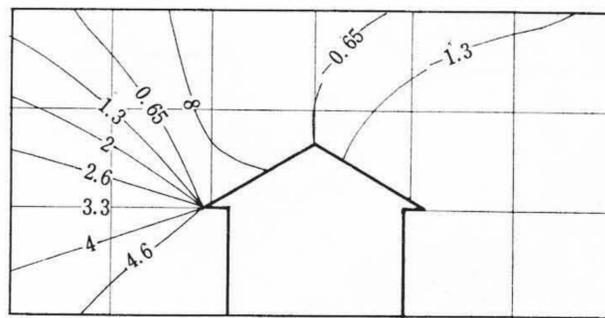


図11 建築物周囲空間等静圧曲線

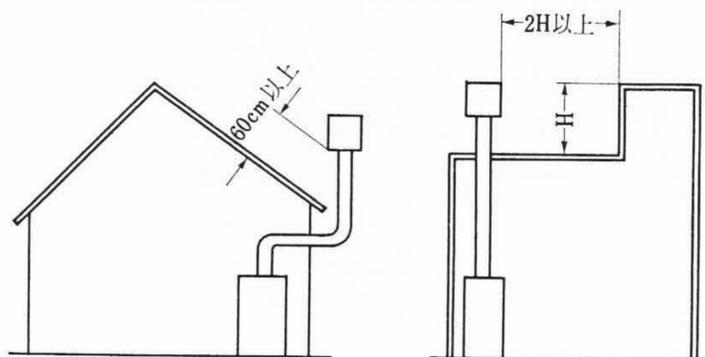


図12 排気筒トップの取付可能位置

$P >$ 室内圧力

となり, 排気筒内に逆流を生ずるようになってしまう(逆火, 消火, 不安定燃焼の原因)。したがって排気筒トップは, 建物の風がこもらない位置に設けなければならないということになる。

外風があたる場合, 家屋の周囲空間の静圧分布を模型的に調べたデータから代表的な一例をあげると, 図11のようになる。ここで排気筒内に逆流を生じない静圧値は, 燃焼状態の排気筒の温度によるドラフト値を考慮した正の値として求まるのであるから, 排気筒トップの適正取付位置は, この求めた静圧値以下の静圧分布域として選定できるということがわかる。

以上のことから一般的に, 排気筒トップの適正取付位置は, 図12に示すような位置となり, これはまた, 消防法の安全基準上にも合致した位置でもある。

8. 結 言

以上, 排気筒トップに関する概要を把握(はあく)し, 一般に使用されているトップの性能を比較するとともに, 開発したC形排気筒トップの性能, 構造的長などについて述べた。

C形トップは, 現在使用が考えられるトップの中でも, 特に小形で性能の良いトップである。C形トップの寸法に関する設計諸元を確立したので, 今後, 種々の口径に対する広範囲の使用が可能である。下記はC形トップの機能に関する特長の要約である。

- (1) 外部風速がある場合, 風速, 風向きによるダウンドラフトが生じない。
- (2) 外部風速がある場合, 風速, 風向きによるドラフト変動が小さく安定した燃焼が得られる。
- (3) 排気筒内に小鳥類が侵入しないような防護金網が設けてある。

参 考 文 献

- (1) 仲元達雄: ガス器具用排気筒の設計 (空気調和, 衛生工学 Vol. 36 No. 6)
- (2) 石原正雄: モニタールーフの換気性能 (Journal of the D. S. E Vol. 36 No. 2)
- (3) 勝田, 関根: 屋根モニターによる換気に及ぼす外部気流の影響 (日本建築学会論文報告書第68号)
- (4) 勝田, 関根: 換気筒による換気に及ぼす外部風の影響 (空気調和, 衛生工学 Vol. 36 No. 7)
- (5) 石原正雄: ベンチレーター性能 (日本機械学会論文報告書第67号)