

# 超 高 煙 突

小 林 料\*

## 1. 高煙突の効果

### (1) 高煙突の必要性

煙突は本来、燃焼に必要な通気力を得るための設備であるが、現在ではむしろ、大気汚染防止のための設備として価値づけられている。

すなわち、排煙に含まれる汚染物質を希釈拡散して、地上への影響をできるだけ少なくするため、高煙突の採用がさかんになっている。

冬期を主として、大気中に発生する気温の逆転層の下側に排煙が放出されると、排煙は逆転層を突破し得ないで、地上付近に降下することがある(図-1)。

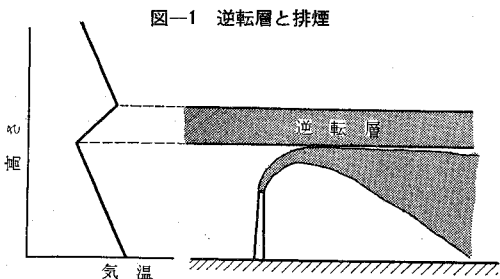


図-1 逆転層と排煙

また、一般に建造物の風下の負圧側には気流の乱流域を生ずるので、このような場所に煙が排出されるとやはり上昇せず、大気汚染の原因となりやすい。この現象をダウン ドラフト (down draught) という(図-2)。

このような現象を避け、排煙を大気の比較的安定した高空に希釈拡散して、排煙中に含まれる汚染物質の地上に到達する濃度を可能な限り小さくするために高煙突が採用される。

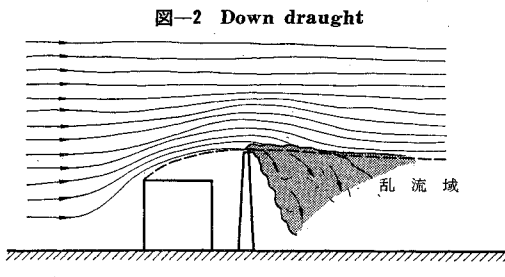


図-2 Down draught

### (2) 排煙の上昇と拡散

汚染物質の地上濃度は、煙の有効高さの2乗と風速にほぼ逆比例する。煙の有効高さは、煙突の高さと排煙の上昇高さの和である。いま、これらを計算するために用いられている式の一例を示す。

地上濃度の計算式としてよく用いられているのは、Sutton (イギリス, 1953 年) の式である。

$$x_{\max} = \frac{0.23 \cdot q \cdot 10^6}{U \cdot H_e^2} \left( \frac{C_z}{C_y} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$x_{\max}$ : 地上最大濃度 (ppm)

$q$ : 汚染物質放出量 (m<sup>3</sup>/sec)

$U$ : 平均風速 (m/sec)

$H_e$ : 煙突の有効高さ (m)

$C_z, C_y$ : 垂直および水平方向拡散係数

煙突の有効高さを求める式には、Bosanquet の式に基づく大気汚染防止法施行規則に定められた次式がある。

$$H_e = H_0 + 0.65(H_m + H_t) \dots\dots\dots (2)$$

$$H_m = \frac{0.795 \sqrt{Q \cdot V}}{1 + \frac{2.58}{V}}$$

$$H_t = 2.01 \times 10^{-3} Q (T - 288) (2.30 \log J - \frac{1}{J} - 1)$$

$$J = \frac{1}{\sqrt{QV}} \left( 1460 - 296 \times \frac{V}{T - 288} \right) + 1$$

$H_0$ : 煙突高さ (m)

$H_m$ : 排煙のモーメントによる上昇高さ (m)

$H_t$ : 排煙の温度による上昇高さ (m)

$Q$ : 15°C における排煙量 (m<sup>3</sup>/sec)

$V$ : 排煙の排出速度 (m/sec)

$T$ : 排煙温度 (°C abs)

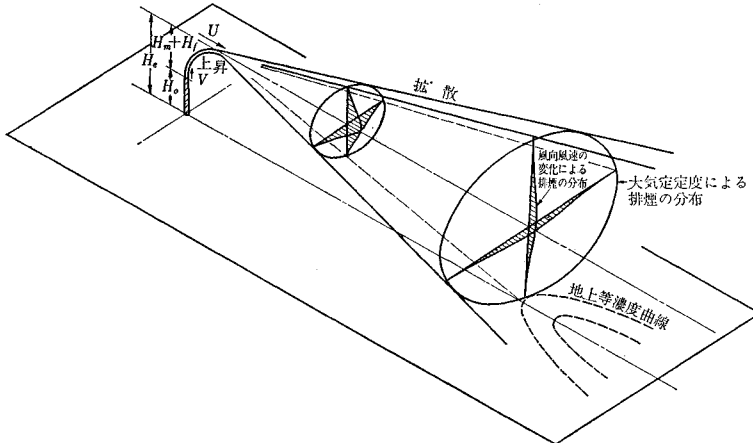
これらの式から明らかなように、地上濃度を小さくするには、煙突を高くするほかに

- ① 排煙量  $Q$  を大きくする……………煙突の集合化
- ② 排煙温度  $T$  を高くする
- ③ 排出速度  $V$  を大きくする……………煙突頂径を小にする
- ④ 汚染物質放出量  $q$  を小にする……………燃料良質化、排煙中の有害物質の除去

などの方策が効果があることとなる。

\* 正会員 東京電力(株) 公害対策部総括課長

図-3 高煙突による排煙の上昇と拡散の模式図



もちろん、上記の簡単な式で複雑な排煙の現象が解明されるわけではなく、前述の煙突周辺の地形、構造物の影響のほか、気象条件の変動などに支配されるので、実際の煙突の計画にあたっては、風洞実験の併用、電子計算機によるシミュレーション、既設の煙突による実測結果を参照するなどの方法がとられねばならない。

(3) 法規と煙突高さ

43 年施行された大気汚染防止法においては、すでに環境基準の設定されたいおう酸化物の排出を規制するため、煙突の「排出基準」を定めている。これは

$$q = K \times 10^{-3} H_e^2 \dots \dots \dots (3)$$

q: いおう酸化物の排出基準(Nm<sup>3</sup>/h)

K: 規制区域によって異なる係数 11.7, ないし 26.3

H<sub>e</sub>: 前出(2)

すなわち煙突ごとの排煙量、燃料のいおう含有率が定まれば規制区域別に煙突の最低有効高さが与えられる。

このような煙突高さの規制は外国でも行なわれているが、たとえば、イギリス(Clean Air Act)では、近接汚染源と潜在汚染を考慮し、SO<sub>2</sub>の排出量によりノモグラフを用いて煙突高さを試算し、付近の構造物の状況によって修正することとしているが、この修正にあたっては、煙突高さは近接する建物の高さの少なくとも 2.5 倍以上とすることとしている。

また、西ドイツ(Technischen Anleitung)では、理想的拡散状態のときに煙突内径、排煙濃度、排煙量、汚染物質質量、地上濃度管理値、平均風速等に基づき煙突高さを試算するノモグラフを与えている。

2. 高煙突の実例

(1) 高煙突の種類

高煙突は、その材料により、鉄筋コンクリート製、鋼製、コンクリート充てん二重鋼製などに分類され、荷重負担方法により、独立形式、筒身集合形式、鉄筋コンクリート筒支持形式、鉄構支持形式(煙突を鉄構の外側におく場合と内側におく場合がある)、鋼索支持形式などに分類される。

また、1カ所に集合する筒身の数によって、独立、2本集合、3本集合などにも分類される。

最近では、排煙の上昇力を増すため集合形式が多く、かつまた、台風、

地震等の苛酷な条件で設計しなければならないわが国では鋼製の高煙突が多く採用されている。

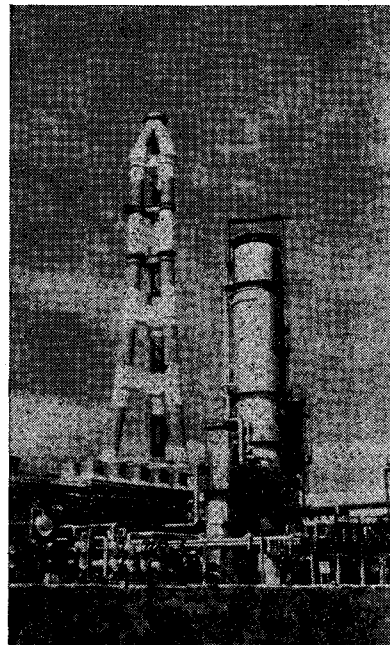
しかしながら、欧米では高煙突にはむしろ鉄筋コンクリート製高煙突が多くみられる。図-4 はイギリスの最高例であり、アメリカ Pittsburgh の Mittchel 発電所の 360 m 煙突(現在世界最高)も鉄筋コンクリート製である。

(2) 高煙突の設計

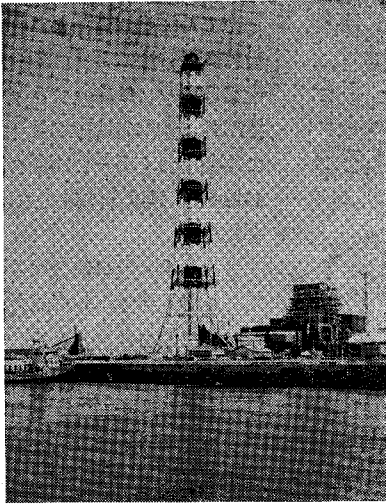
高煙突の主な設計条件は、風と地震である。東京電力が建設している例では、設計風速として、地上 15 m で 60 m/sec, 地震は水平震度 0.3 をとっている。

風力は風方向と直角方向を考慮する。風方向風力に対

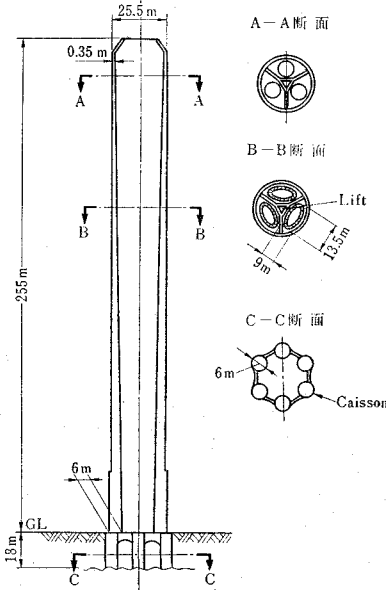
写真-1 鋼製筒身集合形式の例 (出光興産(株)千葉製油所・高さ 210 m)



写真一 鋼製鉄構支持形式の例  
(東京電力(株) 姉崎火力発電所・高さ 200 m)

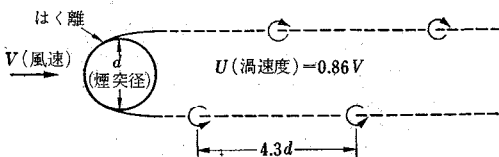


図一 鉄筋コンクリート製の例  
(Drax 発電所 (イギリス)・高さ 225 m)



しては煙突のたわみを考え、風直角方向風力に対して煙突の振動を検討する。この振動は、風によって煙突の両側から交番的に発生するカルマン渦に起因するものと考えられるが、鋼製の薄肉円筒はこの振動を生じやすい欠点がある。コンクリート製煙突や鉄構支持形式の場合は、カルマン渦による振動を生じにくい。

図一 カルマン渦



反対に、地震に対しては、フレキシブルで軽量の鋼製煙突の方が有利となる。特にわが国で高煙突が多く建設される地域は、基礎地盤の軟弱な海岸埋立地であるため、現状では超高煙突はすべて鋼製鉄構支持形式となっている。この構造の場合、一般に風力が支配的荷重となり、地震力に対して設計上チェックが行なわれることとなる。

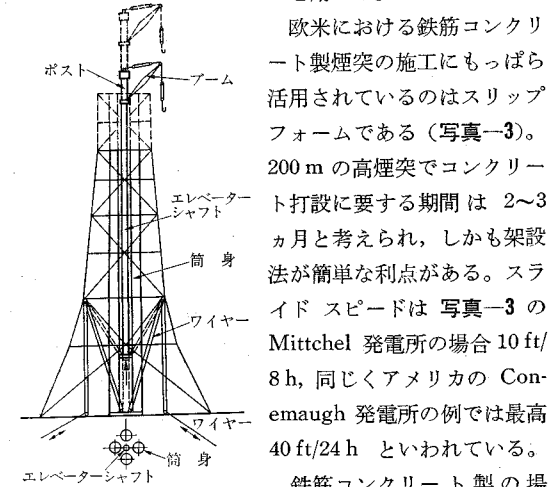
欧米各国の超高煙突に圧倒的に鉄筋コンクリート製が多いのは、設計上考慮される地震力がきわめて小さいこと、風力もわが国に比し小さくかつ基礎地盤の良好なことが理由であろう。欧米でも地震の多いアメリカの西海岸では、鋼製がみられる。

コンクリート製の場合には、設計上温度に対するコンクリートの劣化対策、温度応力に対する配筋などに慎重な配慮を要しよう。

### (3) 高煙突の現場施工

煙突の高層化とともに施工の迅速化・安全の問題などから、逐次新しい工法が研究開発されている。

鋼製・鉄構支持形式・集合高煙突の建方の一例として、東京電力姉崎火力で建設中の 200 m 高煙突を図一 6 に示す。これは、集合煙突の中央に設けられるエレベーターのシャフト上部をデリックのポストに利用するもので、回転・引き出しの可能なブームを取り付けている。図一 6 姉崎火力発電所高煙突 シャフトの押し上げはワイヤーの建て方



を用いる。

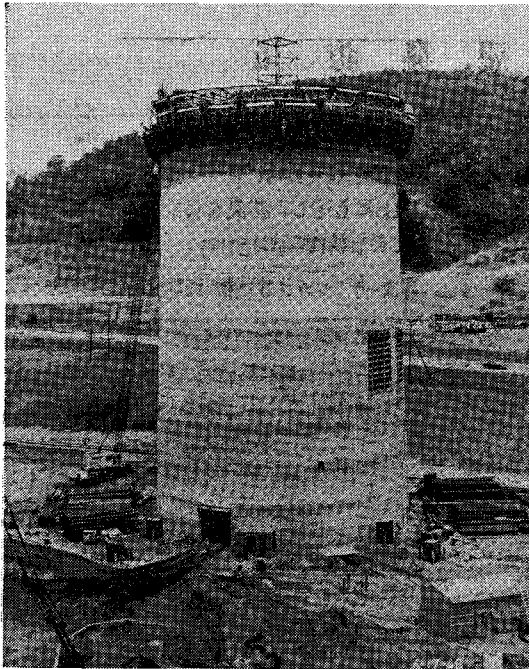
欧米における鉄筋コンクリート製煙突の施工にもっぱら活用されているのはスリップフォームである(写真一 3)。200 m の高煙突でコンクリート打設に要する期間は 2~3 ヶ月と考えられ、しかも架設法が簡単な利点がある。スライドスピードは写真一 3 の Mitchell 発電所の場合 10 ft/8 h、同じくアメリカの Conemaugh 発電所の例では最高 40 ft/24 h といわれている。

鉄筋コンクリート製の場

表一 世界の超高煙突の例

国名	発電所名	材料	高さ(m)	頂径(m)	完成年
アメリカ	ミッチェル	鉄・コ	360	11.6	1969
アメリカ	コネモフ	鉄・コ	305	10.3	1969
ソビエト	ウグレコール	鋼	320	7.8	建設中
イギリス	ドラクス	鉄・コ	259	25.4	1969
西ドイツ	シリング	鋼	220	3.2	1960
イタリア	ラ・スパチャ	鉄・コ	220	8.9	1968
日本	姉崎	鋼	200	4.2	1967

写真一 3 施工中のMittchel 発電所の煙突  
(アメリカ合衆国, 高さ 360 m, 三菱商事(株) 提供)



合, 施工中にコンクリートに所定強度が得られる以前に荷重が生じ, しかも施工中頂部に数十トンの操作台が載荷されるので, 完成時を上回る応力を生ずることもあるので注意を要する。

### 3. 高煙突の将来

狭少な国土の中で, 国民生活と産業の調和的発展向上をはからねばならないわが国において, 大気汚染の防除は将来とも大きな課題であろう。その解決には, 公害対策を十分考慮した総合開発計画がなければならないし, 基礎エネルギーのほとんどを輸入に頼っている事情から, 国家的観点よりする燃料の良質化への政策も必要であろう。しかし, これらと合せて, 企業がその設備増強にあたり, 万全の設備対策をとっていくことも今までより以上必要である。

このような観点からすると, 超高煙突の建設, さらにその高層化, 既設煙突の建替えなどは今後ますます盛んになるものと思われ, また, その効率的建設のためには, 従来わが国ではあまり採用されなかった鉄筋コンクリート製についても, 超高層ビル設計にみられる動的解析の発達を背景に十分な検討が行なわれるべきものとする。

#### ●明日を築く知性と技術

## 鹿島出版会

土木・都市・建設経営・施工管理

### ●地下水位低下工法

京大教授・松尾新一郎ほか著

A5・220頁 ¥1,800

### ●日本の経済空間

一過疎地帯の経済開発一

東京女子大教授・伊藤善市編

A5・470頁 ¥2,300

### ●やさしいFORTRAN

鹿島建設技研

電子計算機センター・海老沢成享著

A5・260頁 ¥2,300

#### 土木一般

- 土木年鑑1970……………¥3,500
- 現場技術者のための基礎工法 ¥3,200
- 薬液注入工法—指針と解説— ¥1,400
- 地盤注入……………¥2,600
- 土木工事ののり面保護工……………¥1,500
- 鉄筋コンクリートの耐久性……………¥430
- 基礎反力の解法……………¥800
- 高速道路計画論……………¥2,400
- 土木・建築の防錆防食……………¥1,200
- 現場技術者のための土質工学……………¥2,500
- 土地造成……………¥1,000

- トンネル施工の問題点と対策……………¥1,300
- 軟弱粘土の圧密……………¥800
- 軟弱地盤における建築の地下掘削工法……………¥590
- 井筒基礎……………¥450
- 簡易索道の計画と設計……………¥980
- 荷役・運搬の計画と設計……………¥1,200
- アースドリル基礎工法……………¥600
- 道路土工の調査から設計施工まで……………¥1,300
- シールド工法……………¥1,600
- 水底トンネル……………¥840
- 爆破一付ANFO爆薬……………¥900
- インターチェンジの計画と設計……………¥4,500
- 土木新技術選書〈全5巻〉……………¥1,000~1,400

#### 都市工学

- 増補 都市問題事典……………¥3,500
- 都市問題概説……………¥950
- 都市開発講座〈全3巻〉……………各¥980
- 駐車場の計画と設計……………¥2,500
- 新都市の計画……………¥2,500
- 都市の自動車交通……………¥5,300
- 新しい都市の未来像……………¥920
- フランスの都市計画……………¥900
- 都市の新しい運輸計画……………¥750
- オランダの総合開発計画……………¥2,000
- 東京2,000万都市の改造計画……………¥1,500
- 都市の土地利用計画……………¥3,200
- 国土と都市の造形……………¥5,600

- 高蔵寺ニュータウン計画……………¥2,700
- ランドスケープアーキテクチャ……………¥5,300
- 敷地計画の技法……………¥1,600
- 高速道路計画論……………¥2,400
- 都市のデザイン……………¥6,300
- 新しい都市理論……………¥1,200
- 前産業型都市……………¥1,200
- 地域再開発……………¥1,200
- 変動する大都市……………¥1,000
- 英国の都市計画法……………¥1,200
- 近畿圏—その人文・社会科学研究—……………¥5,700
- アメリカ大都市の死と生……………¥1,300
- 都市経済学序説……………¥1,700
- 都市と空間……………¥1,300
- 民間ディベロッパー……………¥1,100

#### 建設経営・施工管理

- 工事管理……………¥800
- 工事原価管理……………¥650
- わかりやすいPERT・CPM……………¥1,600
- 新しい工程管理……………¥1,300
- 建設業成功の秘訣……………¥680
- 新版ジョイント・ヴェンチュア……………¥480
- 国際ジョイント・ヴェンチュア……………¥1,500
- 工事入手から未収金回収まで……………¥480
- 建設経営入門……………¥750
- 道路経済学……………¥1,400
- 建設業経営選書〈全13巻〉……………¥700~1,500

鹿島研究所出版会

■ 東京都港区赤坂6丁目5-13 電話(582)2251 振替東京180883