

# 排ガス上昇高の測定と計算式の比較について

中 浦 久 雄 岩 崎 好 陽 谷 川 昇  
石 黒 辰 吉

## 1 はじめに

煙突から出た排ガスは上向きの運動量と熱浮力の作用により上昇する。この排ガス上昇高に実煙突高を加えたものを有効煙突高と呼んでいる。

排ガス上昇高を実測する方法はセオドライトを使った目視観測、写真撮影による方法、レーザレダによる方法等がある<sup>1), 2), 3)</sup>。

一方、排ガス上昇高を推定する計算式は数多く提案されている。そのうち一般的に用いられている計算式はK値規制でBosanguet I式、総量規制、環境影響評価制度でMoses & Carson式、CONCAWE式、Briggs式である。しかしこれらの計算式は気象条件、煙源規模により評価が異なる。Bosanguet I式では風速が弱いと排ガス上昇高を過大評価する傾向にあるため風速6m/sで計算されている。またMoses & Carson式、CONCAWE式はそれぞれ大規模煙源、中小規模煙源に適用されている。このような計算式の評価を行うにはさまざまな煙源、気象条件で多くの実測データが必要である。

筆者らは写真撮影による方法でボイラ煙突について排ガス上昇高の測定を行い、計算式との比較検討を行ったので、その結果について報告する。

## 2 調査内容

### (1) 測定日

1981年5月19日～21日

### (2) 測定対象煙突

ボイラ煙突 (静岡県富士市)

煙突高度 122 m, 煙突直径 2.7 m, 調査時の排ガス量 約46 N<sup>m</sup>/s (36～53 N<sup>m</sup>/s), 排出熱量 約560 kcal/s (420～560 kcal/s), 排ガス温度 約56℃ (55～58℃)であった。なお、定格の排ガス量

は70 N<sup>m</sup>/sである。

### (3) 測定場所

排ガス上昇高の測定はNNEの方向(A地点)とそれに約90°離れたWNWの方向(B地点)の2地点で行った。

A地点……地上41 m, 煙突からの距離1,800 m

B地点……地上18 m, 煙突からの距離1,930 m

### (4) 測定方法

#### ア 排ガスの観測

写真撮影は35mmカメラを用い2分間隔で行った。使用したカメラはニコンF2データバック(80～200mmズームレンズ)で時刻が同時にプリントされ、さらにモータードライブ、インターバルメータで自動的に2分間隔で撮影できるものである。

#### イ 風向, 風速

風向風速計をA地点(地上52m)に設置して測定した。なお、20日16時30分以降についてはチャートの中からみにより欠測のため富士市常時測定室(富士保健所地上12m)のデータを使用した。

#### ウ 位置の測定

セオドライトにより写真に写る目標物の角度を測定した。

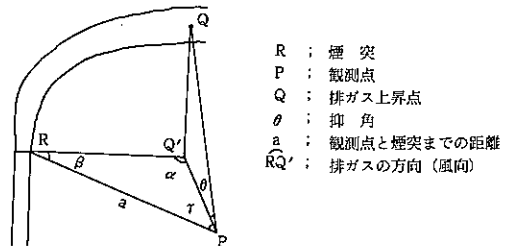


図1 排ガス上昇高の計算図

(5) 測定結果の求め方

ア 排ガス上昇高

2点観測で行ったが主風向がほとんどS成分であり煙がA地点の方向に向うことが多く2点で同時に観測された値が少なかったため、1点観測値で結果を求めた。

なお、排ガス上昇高の測定点は排ガスが煙突出口より上昇し煙軸が水平になった点とした。

図1より仰角( $\theta$ )と煙突から排ガス上昇点(Q)までの角度( $\tau$ )および風向角( $\beta$ )を求め風下距離、排ガス上昇高を次式より求めた。

風下距離(水平距離)

$$X = \frac{a \sin \tau}{\sin(\beta + \tau)}$$

排ガス上昇高

$$\Delta H = a \tan \theta \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \tau)}$$

イ 上空の風向風速

風速は煙突出口高度での測定が不可能なため、地上風から次式で求めた。なお、風向は地上データを使用した。

$$U = U_s (Z/Z_s)^p$$

U: 求める高度Zでの風速 (m/s)

$U_s$ : 地上風測定高度 $Z_s$ での風速 (m/s)

p: 大気安定度によって変わるが、昼間の値として一般的に用いられている  $p = 0.25$  を用いた。

(6) 排ガス上昇高計算式

表1に示す15式について検討した<sup>4), 5)</sup>。

大気安定度については中立における式を採用した。

3 結 果

排ガス上昇高の測定値は343個得られ最小5m, 最大178mであった。煙突から排ガス上昇高測定点までの風下距離は31~436mで平均153mであった。

表1 排ガス上昇高計算式

① Lucas I (Lucas-Moore-Spurr) $\Delta H = 135 \cdot Q_H^{0.25} / U$	⑩ CONCAWE $\Delta H = 0.175 \cdot (1000 \cdot Q_H)^{0.5} / U^{0.75}$
② Lucas II (Stone-Clark) $\Delta H = (104.2 + 0.171 \cdot H_s) \cdot Q_H^{0.25} / U$	⑪ Moses & Carson $\Delta H = 0.35 \frac{V_s \cdot D}{U} + 5.41 \frac{Q_H^{0.5}}{U}$
③ Csanady $\Delta H = 9.5 \cdot Q_H / U^3$	⑫ Bosanquet I $\Delta H = \frac{4.77 \cdot (Q_v \cdot V_s)^{0.5}}{(1 + 0.43 \cdot U / V_s) \cdot U}$
④ Optimized Csanady $\Delta H = 137 \cdot (0.038 \cdot Q_H / U^3)^{0.27}$	⑬ $J = \frac{U^2}{\sqrt{Q_v \cdot V_s}} \left\{ 0.43 \sqrt{\frac{T_a}{g \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta z}} - \frac{0.28 \cdot V_s \cdot T_a}{g \cdot (T_s - T_a)}} \right\} + 1.0$
⑤ T. V. A $\Delta H = 1.6 \cdot \{114 \cdot (0.038 \cdot Q_H)^{0.333} / U\}$	
⑥ Rauch $\Delta H = 47.2 \cdot Q_H^{0.25} / U$	⑭ Holland $\Delta H = (1.5 \cdot V_s \cdot D + 0.04 \cdot Q_H) / U$
⑦ Stümke $\Delta H = \left\{ 1.5 \cdot V_s \cdot D + 65 \cdot D^{1.5} \cdot \left( \frac{T_s - T_a}{T_s} \right)^{0.25} \right\} / U$	⑮ Bryant-Davidson $\Delta H = D \left( \frac{V_s}{U} \right)^{1.4} \cdot \left( 1.0 + \frac{T_s - T_a}{T_s} \right)$
⑧ C. C. R. L. $\Delta H = 66.4 \cdot Q_H^{0.25} / U$	⑯ Andreev $\Delta H = 1.9 \cdot D \cdot V_s / U$
⑨ Briggs $\Delta H = 0.784 \cdot Q_H^{0.5} \cdot H_s^{0.4} / U$	

$\Delta H$ : 排ガス上昇高 (m)	U: 煙突高の風速 (m/s)
$H_s$ : 煙突高 (m)	$V_s$ : 排出速度 (m/s)
D: 煙突の直径 (m)	$\Delta \theta / \Delta z$ : 温位勾配 ( $^{\circ}K/m$ )
$g$ : 重力加速度 ( $m/s^2$ )	$Q_H = \rho \cdot Q_v \cdot C_p \cdot \Delta T$
$Q_H$ : 排出熱量 ( $kcal/s$ )	$\rho$ : $1.225 \times 10^3$ g/m <sup>3</sup> (15℃の排ガス密度)
$Q_v$ : 排ガス量 ( $Nm^3/s$ )	$C_p$ : $0.24 kcal/g^{\circ}K$ (定圧比熱)
$T_a$ : 周囲大気温度 ( $^{\circ}K$ )	
$T_s$ : 排ガス温度 ( $^{\circ}K$ )	

図2に排ガス上昇高の実測値と計算値との散布図を示す。なお、この値は10分間平均値(81個)である。この図から計算値が実測値より比較的高い式はLucas I式, Lucas II式, Csanady式, Optimized Csanady式, T.V.A式, C.C.R.L式の6式で計算値がわずかに高い式はRauch式, Stümke式, Briggs式, Bosanquet I式の4式であった。実測値と計算値がほぼ一致している式はCONCAWE式, Moses & Carson式の2式であり、実測値が計算値より低い式はHolland式, Bryant-Davidson式, Andreey式の3式であった。なお、風速が弱いと排ガス上昇高の計算値が過大となり図中に一部プロットが入らなかった。図の範囲外に出たプロット数はLucas I式が27点, Csanady式が16点, Lucas II式が15点, TVA式が8点, さらにOptimized Csanady式, C. C. R. L式, Bosanquet I式がそれぞれ4点であった。

排ガス上昇高は気象条件、特に風速に大きく影響されるが、測定期間中の煙突高度での風速は1.2~9.7 m/sであった。また、風向は昼間はS成分、早朝夜間はN成分が主風向であった。排ガス上昇高の実測値と風速の関係(図3参照)はばらつきがあるものの風速が弱くなるにつれて排ガス上昇高の値は大きくなる傾向にある。各計算式における風速の影響について図4に計算値と実測値の比と風速の関係を示した。ここでは実測値と計算値と対応のよい式について検討し、代表的な3式について図示した。一般的に風速が弱い程計算値と実測値の比率が大きくなりばらつきも大きい。特にCsanady式は風速5 m/s以下では急激に比率も大きくなっている。CONCAWE式は5 m/s以下ではばらつきがあるものの5 m/s以上ではほとんど比率が1であった。このタイプとして他にRauch式, Stümke式, Briggs式がある。また、ほとんどこのタイプと同じであるが、風速5 m/s以上で比率が1以下になっているのはMoses & Carson式, Bosanquet I式であった。

#### 4 ま と め

写真撮影により排ガス上昇高の実測を行い、計算式(15式)と適合性の検討をした。その結果CONCAWE式が実測値と比較的よい対応を示した。

#### 5 お わ り に

今回の結論は1つの煙源について求められたものであり、他の大規模煙源等に適用できるとは限らない。また、写真撮影による排ガス上昇高の測定は目で見ることのできる煙源に限られてしまうが、目で見ることのできる排ガスも数多くある。今後これらの煙源を測定する方法について検討する必要がある。

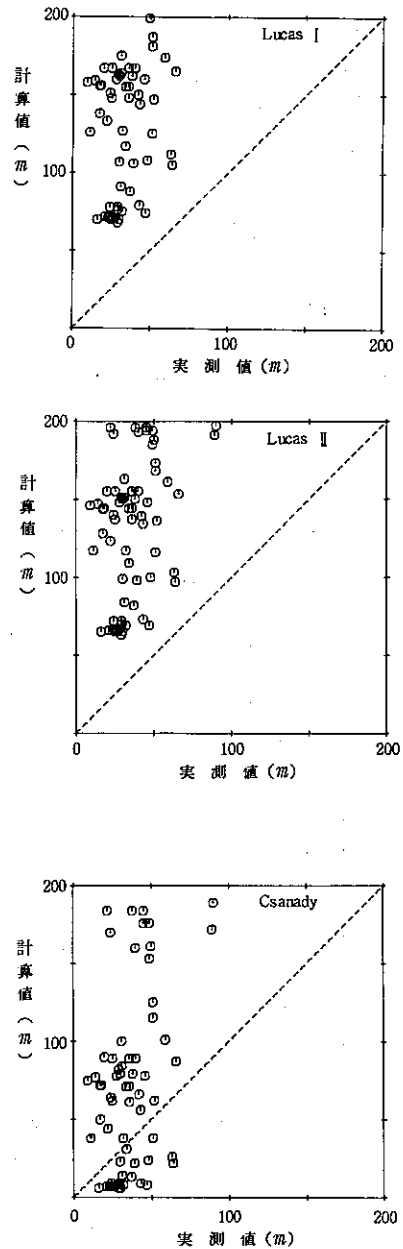


図2 排ガス上昇高の実測値と計算値の比較(1)

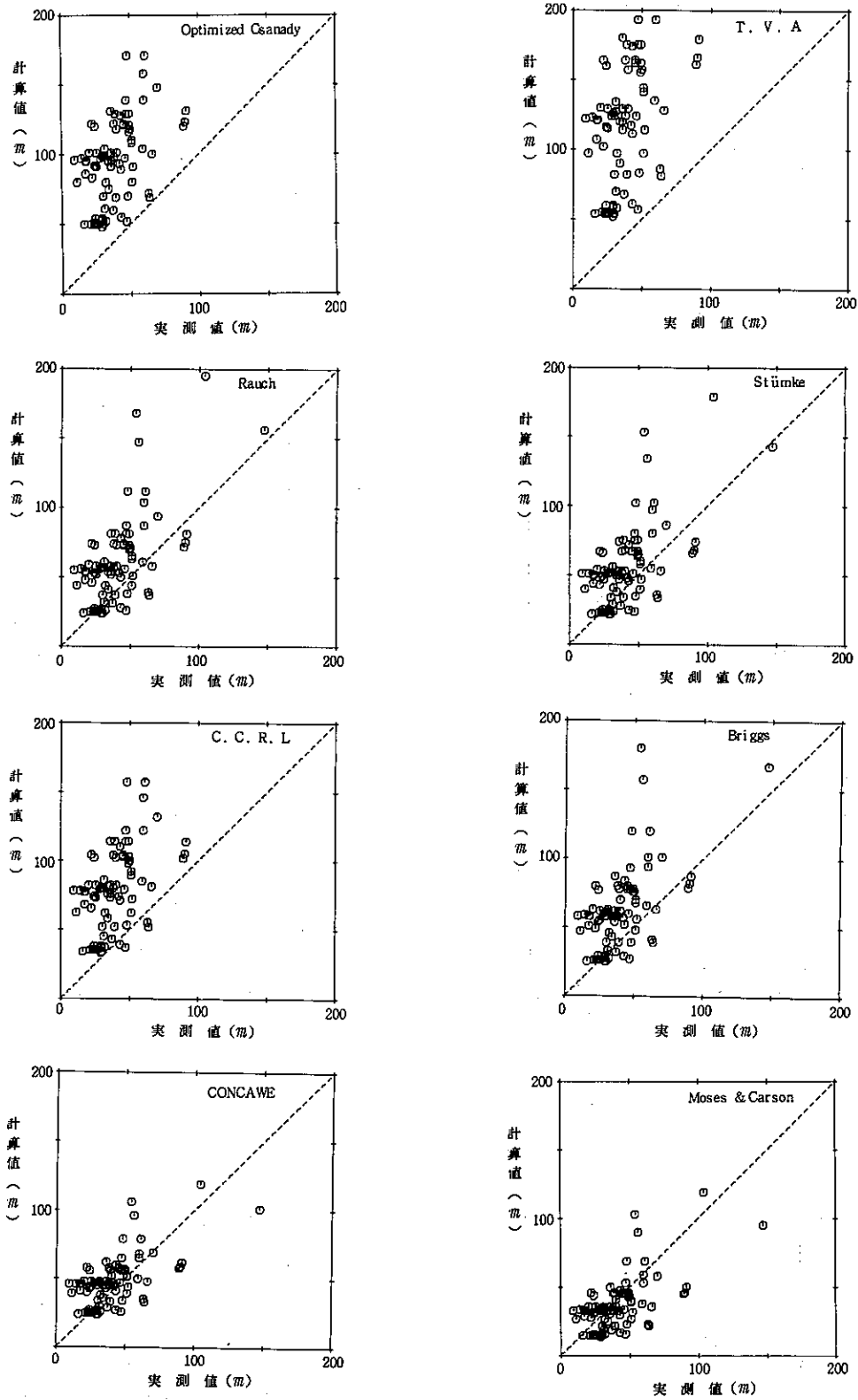


図2 排ガス上昇高の実測値と計算値の比較(2)

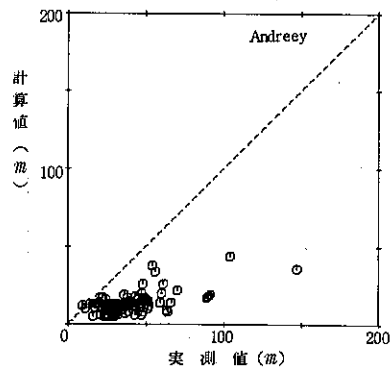
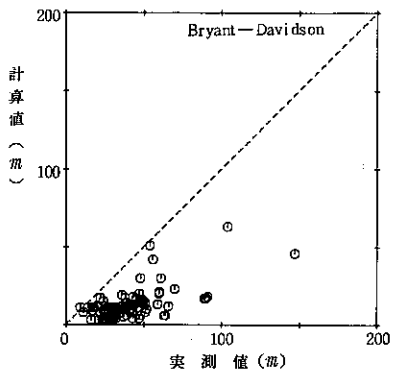
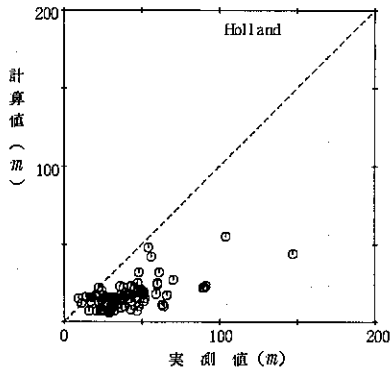
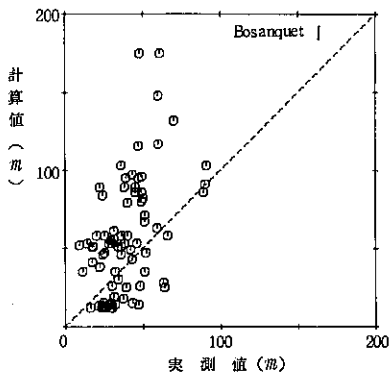


図2 排ガス上昇高の実測値と計算値の比較(3)

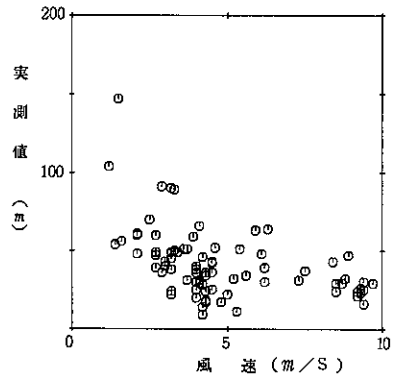


図3 排ガス上昇高実測値と風速の関係

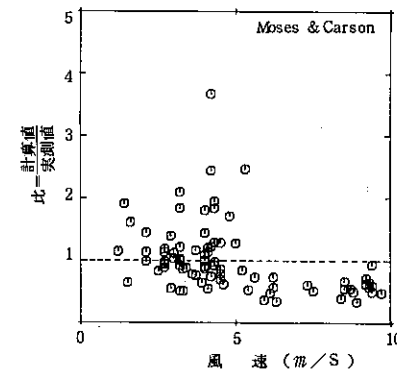
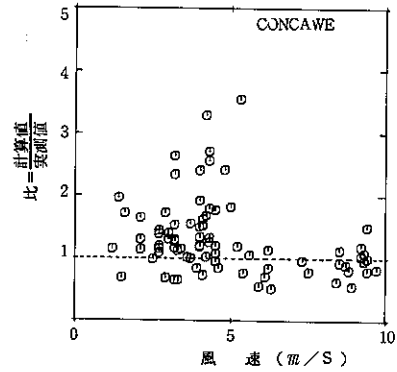
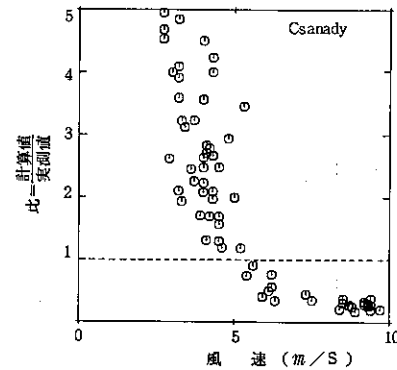


図4 排ガス上昇高の計算値と実測値の比と風速の関係

参 考 文 献

- 1) 鈴木正勝ほか：火力発電所からの排煙上昇高さ，  
電力中央研究所研究報告，(1975)。
- 2) 石崎健二：煙突から出た煙の運動と接地気層の乱  
れの構造，天気，24，229，(1977)。
- 3) Halitsky, J. : Single - Camera measurement  
of smoke plumes, Int. J. Air and water poll.,  
4, 185, (1961).
- 4) 岡本真一ほか：排ガス上昇高さ計算式の比較と評  
価，大気汚染研究，12，26，(1977)。
- 5) J. E. Carson, H. Moses : The validity of  
several Plume rise formulas, J. of Air polli-  
ution control Association, 19, 862 (1969)。