

V-62 大煙突の現況調査

名古屋大学工学部 正員 島田静雄
名古屋大学工学部 学生員 ○平田康男
日本鋳業 正員 松本公典

1. まえがき

調査を行なった煙突は、日本鋳業佐賀関精錬所のもので、設計および施工は米国の Weber Chimney Co. によるものである。竣工は大正5年で現在54年経過しており、昭和43年2月の日向灘地震の際、頂部8.4mが折損したため、その耐久性が懸念され耐久性の調査が計画された。台風時や地震時に倒壊するものとするれば、基礎を含めた全体の構造系に左右されるため、振動特性を知ることが1つの手掛りになるので振動測定を行なうこととし、また折損落下した部分が材料試体を提供する形となった。

2. 構造および設計諸元

煙突は鉄筋コンクリート構造で、鉄筋は1辺 29, 25, 22, 19, 16, 13, 9 mm の正方形断面の異形鉄筋と頂部付近にはさらにφ19の丸鋼が使用されている。基礎上 45.7 m まではライニング層があり、これには 30 cm 間隔の軸方向鉄筋とこれに直角に 15 cm 間隔にリング状に配筋されている。ライニング層がある部分の煙突本体は肉厚内外に召わせて軸方向鉄筋が配置されていて、その間隔は 10 cm である。ライニング層から上部では、軸方向鉄筋はすべて煙突外周に召っており間隔は 15 cm である。円周方向の鉄筋もその間隔は 15 cm であり、呼びはすべて 8 cm である。

設計諸元

基礎の寸法： 直径 29.0 m 深さ 5.2 m

煙突の高さ： 基礎上 167.6 m

煙突外径： 底部 13.0 m 頂部 8.4 m

煙突肉厚： 底部 0.75 m 頂部 0.18 m

ライニング： 基礎上 45.7 m 肉厚 0.13 m 内壁との間隔 0.10 m

設計風荷重： 146 kg/m² (単位投影面積当り) 設計震度： $\alpha = 0.122$

3. コンクリートの中性化と材料強度

コンクリートの中性化については、それがコンクリートの強度にいかなる影響を及ぼすかはよく知られていないが、4つの試験体の圧縮試験の結果は 147~324 kg/cm² の値を与えているので、この煙突では軸力の最大が 49 kg/cm² に抑えられているため、強度低下がありうるとしても、現在は問題にならなうと考えられる。問題は中性化に伴って始まる鉄筋の腐食による強度の低下にある。中性化の進行に関する式としては、 $t = \alpha x^2$ (t : 年数, x : 中性化進行長さ, $\alpha = 7.2$) なる式が、浜田実博士によって提唱されているが、過去の実測データによると比例定数は 7.2 以下で、経過年数が大であるほど急激に小さくなってゆく傾向がある。また煙突の内側は外側に比して、中性化速度がかなり速いのもデータにより明らかであるが、これは亜硫酸ガスや二酸化炭素などの影響によるものと

考えられる。さて茂田博士の実測データのうち17年経過のもの α の値を使用して中性化進行長さを算出すると、内側と外側においてそれぞれ22cm, 13cmとなり、大煙突は基礎の直上でも半分は中性化しており、頂部付近では全体が中性化していることが予測されるころであったが、実際には頂部付近でも中性化している部分もあり、中性化に関する式については、他の多数の要素を含めて検討する必要がある。

次に鉄筋についてであるが、折損して2年余風雨に曝され表面は腐食していたが、中性化以後長年にわたって腐食が継続してきた形跡はなかった。鉄筋は2種類の断面のものが用いられているが、正方形断面のほうは試験の結果SS55を上回る引張強度があり、おそらく外国製のものであろう。丸鋼は強度の異った2種類のものが使用してあるようである。

4. 振動特性

大正5年12月、つまり竣工直後に大森房吉博士が大森式地震計を用いて行なった振動測定の結果をみると、風速のいかにかわらず周期2.55秒前後の自由振動を行なっている。これはライニング層頂部を剛結実と考えた片持ち梁で、ヤング率 $2.2 \times 10^8 \text{ t/cm}^2$ 、鉄筋による断面2次モーメントの増分7.5%としたときの理論計算による自由振動周期と一致する。さて円柱に対してその周囲に平行流の存在するとき、カルマン渦列が発生しそれによって強制振動が与えられることが知られている。1秒間毎に発生する渦の組数を f 、円柱直径 D 、流速 V とすれば $f = 0.2 V/D$ なる式が与えられている。 f が自由振動周期に一致するとタリミが大きくなり内部応力が増し、好しくなり状態になるが、大煙突の場合 $f = 2.55$ であるから $V = 16.1 \text{ m/s}$ であり、平行流がこの流速のときタリミは最大となる。大森博士の測定で風速35mでは7mのときと比して、タリミが1000倍になっているのはカルマン渦による共振現象によるものであろう。

今回の振動測定においては、振動計として発電型速度計、カールソンメータ、4ゲージ型加速度計を使用した。測定位置は煙突頂部付近のところが理想的であるが、梯子その他の装置がなく、頂部での測定は非常に困難であったので、煙道の取付点付近で常時微動を観察し、それを相関解析、スペクトル分析する手段をとらざるを得なかった。測定当日、強風による起振を期待したが、まれに見る快晴無風の状態となり高感度の振動計を使用したにもかかわらず、ほとんど起振の状態を示さなかった。そして解析結果は、相関函数は周期性を見出しにくく、スペクトル函数はピークを多数持っており、原データがランダム波に近いことを示していた。しかしスペクトル函数のピークを与える周波数には理論計算値による2.5, 7.0 cpsの2, 3次のものが見出される。したがって、測定値に2, 3次のものが卓越してあらわれており、それが大体計算値に一致しているので、現在のところ強度的に特に懸念するところはなく、かなりの長期間使用に耐え得ると考えられる。ただし、1次の固有振動数を観察することが出来なかったため、確実な決定を下すことができず、再度振動測定を行なうことを計画している。さて昭和43年2月の折損事故についてであるが、施工当時完成間近にあってある事情で施工が中止され、その後しばらく日本人のみによって施工されたといわれている個所で折損しており、数年前には折損箇所より煙がもれているのが観察されており、したがって事故は、打ち継目付近の施工の不備により、長年の間にコンクリートが風化し、地震時の加速度が 188 cm/s^2 と設計加速度よりも大きくなったために生じたものと推定される。