

鋼製タワーの耐風安全性に関する研究

大阪大学工学部 正 員 小松定夫
 大阪大学工学部 正 員 小林紘士
 ○大阪大学大学院 学生員 中山隆弘

1. まえがき

塔状構造物の設計に際して、風荷重が大きなウェイトを占めることは、いうまでもない。現在は、許容応力度設計法に基づく静的設計計算を基本としているが、動的荷重を導入し、合理的な設計方法と確立することが、今後、ますます重要になってくるであろう。しかし、塔状構造物の風による振動現象は、非常に複雑で、特に、高風速領域における振動性状に關しては、いまだ明確でない点が多々ある。本研究では、風洞実験によって、高風速領域における鋼製円形タワーの振動性状を考察し、併せて、暴風時におけるタワーの破壊確率を計算して、安全性を検討した。

2. 模型実験

研究対象としたタワーの一般形状は、図1に示す通りであり、高さ80m、外径3mの全溶接鋼製円形塔である。塔体には、客室と昇降させるガイドレールが2本設けられ、また、風向直角方向の振動を抑制するための、3角形状の防振ヒレが取付けられている。

全体模型は、縮尺を1/30とし、相似則を満たすよう考慮した上、アルミ材で製作した。風速はマノメーターで測定し、頂部の風向方向、及び、風向直角方向の加速度、変位を、それぞれ、加速度計、変位計によって測定した。両者は共に、データレコーダーと電磁オシロに記録した。

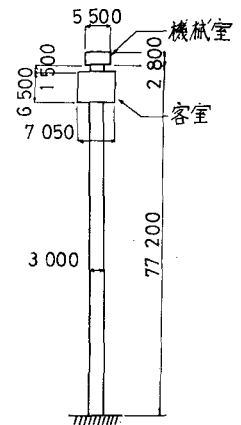


図1 一般図

3. 頂部風向直角方向変位

頂部風向直角方向の振巾が、風速により、どのように変化するかということについては、相異なる説がある。すなわち、1つは、振巾は、風速の増加と共に単調増加するという説であり、他の1つは、振巾は、その構造物に特定の風速域(極値)を越すという説である。

図2に、風速と、ある測定時間内に生ずる振巾の中の最大値との関係を示した。振巾は、傾向としては、風速と共に増大するが、風向によっては、一応、極値が存在するようである。ま

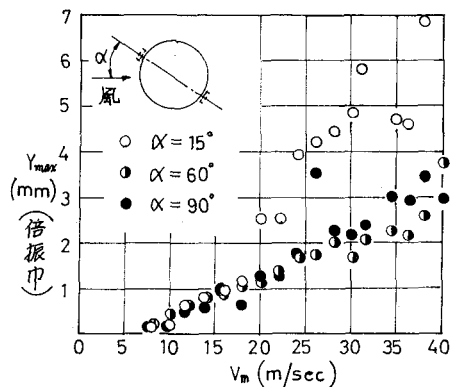


図2 頂部風向直角方向変位

た、同図より、迎角 α （ガイドレールと風向とのなす角）が、振中に非常に強く影響することが、明瞭に分かる。たとえば、 $\alpha = 15^\circ$ と、 $\alpha = 60^\circ$ とを比較するとき、風速が20 m/secを越えると、前者は後者の、約2.5倍の振巾を生じさせている。

4. 風速、及び、迎角による振動の不規則性の変化

Supercritical range では、振動は周期性を失い、不規則な振動性状を呈する。このときの変動の平均値や、分布型を知ることは、確率統計的に変動を処理してゆく上で重要なことである。

一般に、ある変動量 y を考えると、一定の測定時間中に生ずる最大値 y_{max} と、測定時間内の2乗平均 $\sqrt{\overline{y^2(t)}}$ との間には、次式のような関係がある。

$$y_{max} = k \sqrt{\overline{y^2(t)}} \quad (1)$$

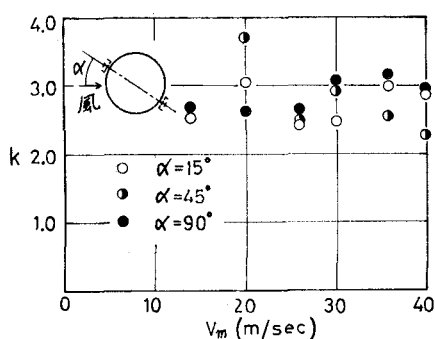


図3 風速による k の変化

式中の k は、振動の性状によって決定される常数で、調和振動の場合は $\sqrt{2}$ 、ビートしている場合は $\sqrt{2}$ 、正規分布するような不規則振動の場合には3となる。風向直角方向の振動を解析し、(1)式によって求めた k を、図3に示す。風速が14 m/sec (Re 数 $\approx 10^5$)を越えると、 k は大体2.5から3.0の間の値をとるようになる。すなわち、高風速時における風向直角方向の振動は不規則なものであり、また、 k が3に近い値を示すことから、振巾の分布は、ほぼ正規分布に近い形状を示すものと思われる。

5. 風向直角方向の振動に対するスペクトル解析

タワー頂部の風向直角方向の加速度振動記録を0.02 sec 間隔で8秒間読み取り、Tukeyの方法によって、加速度及び空気力パワースペクトルを求めた。(図4、図5)

図4より、風速にかかわらず、加速度パワースペクトルのピークが、ほぼ12.5 c/secであることが分かる。模型の1次固有振動数が、11.5 c/secであることを考えると、上述の

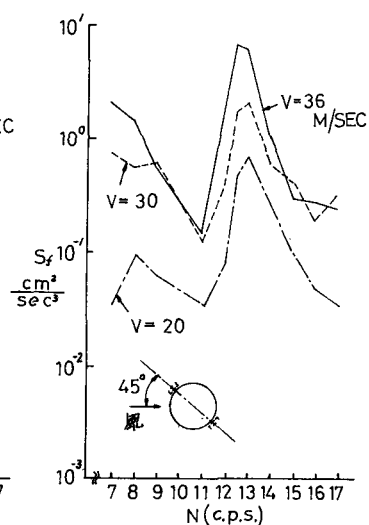
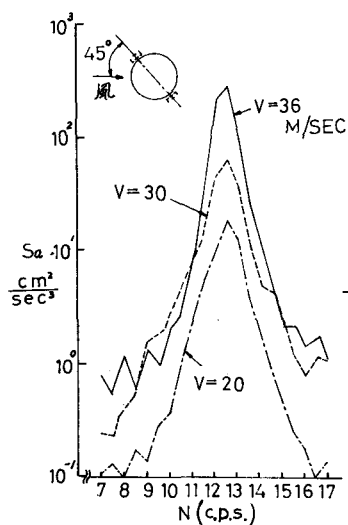


図4 加速度パワースペクトル 図5 空気力パワースペクトル

事實は、塔体表面から不規則に発生する渦の中、固有振動数付近の周波数で発生する渦の作用によって模型は振動するという、遅延共振説の妥当性を示しているといえる。また、風速の増加と共に、パワーが増大することは予想されることであるが、10～15 g/sec の間のパワーの分布形状は、各風速間でかなりの相似性を示している。

6. 突物タワーの耐風安全性

A. M. Freudenthal 等が提唱している統計的概念を導入し、タワーの暴風時における破壊の確率を計算し、タワーの安全性を検討した。

いま、鋼材(SS41)の降伏点強度、及び、タワー基部に生ずる風向方向の曲げ応力の確率密度関数を、それぞれ $f(S)$, $f(A)$ とするとき、破壊確率は次式のように表わせる。¹⁾

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} f(S) \left[\int_S^{\infty} f(A) dA \right] dS \quad (2)$$

$f(S)$ は、既往のデータ²⁾を用いて、次式のような、対数正規分布の形で表わせる。

$$f(S) = \frac{1}{0.0297\sqrt{2\pi}S} \exp. \left[-\frac{1}{2} \frac{(\log S - 7.981)^2}{0.0297^2} \right] \quad (3)$$

基部の曲げ応力は、静的応力 A_0 と動的応力 A_d の和として表わることができる。タワーに高さ方向に一樣に風が作用するものとして A_0 を計算し、 A_d は、風洞実験の結果を外挿して求めた。実験によれば、 A_d の分布は、風速によらず、ほぼ正規分布し、また、平均値、標準偏差は共に、ほぼ風速に比例して増加することが分った。再現期間50年の年最大風速期待値(10分間平均)を40 m/sec と仮定し、さらに高度補正³⁾を施し、また、破壊が最大瞬間風速をとるときに生起するとし、設計風速は75 m/sec とした。風向は、受圧面積が最大になる、 $\alpha = 90^\circ$ の場合を想定した。このとき、 $f(A)$ は次式のようになる。

$$f(A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}190.0} \exp. \left[-\frac{1}{2} \frac{(A - 2421.7)^2}{190.0^2} \right] \quad (4)$$

(3), (4) 式を(2)式へ代入し、 $Q = 0.0078$ が得られた。

すなわち、設計風速を75 m/sec とするとき、耐用年数50年の間に、タワーが風により破壊する確率は、0.0078であり、慣用の設計による場合、破壊確率が $10^{-2} \sim 10^{-5}$ であることを考えれば、タワーの安全性は十分確保されるものと思われる。

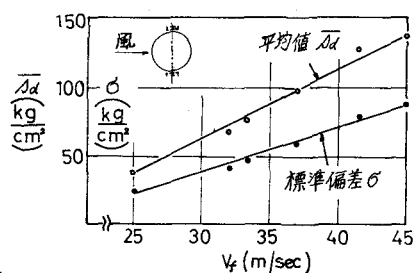


図6 風向方向基部変動曲げ応力の平均値と標準偏差

- 参考文献 1) E. B. Hugen: Probabilistic approaches to design, John Wiley 1968
 2) 池田哲人: 構造物の安全率と破壊の確率, 土木学会誌 昭和30年5月
 3) 土木学会: 本州四国連絡橋技術調査報告書 付属資料1 昭和42年7月