

構造物の風による振動について

—鉄骨トラス型テレビ塔の振動—

石 崎 潑 雄 ・ 室 田 達 郎

許 昌 九 ・ 成 仁 煥

ON THE VIBRATION OF A STEEL TRUSS TV TOWER IN WIND

By *Hatsuo ISHIZAKI, Tatsuo MUROTA, Changoo HUH and Inhwon SUNG*

Synopsis

An observation of wind pressure and response was made on a steel truss TV tower of 160 m height, in a wind of Typhoon 6909. Some interesting feature of the tower vibration were obtained. (1) Amplitudes of the vibration were far larger than static displacement. (2) Response spectrum were calculated by the Tukey's method and a clear energy peak was found at the frequency of 0.15 1/sec in addition to that at the fundamental frequency of the tower (0.7 1/sec).

1. ま え が き

構造物の自然風中での振動は、最近の構造物の長大化あるいは軽量化にともない、明らかにしなければならない重要な問題である。この問題は自然風の乱れた性質のために、統計的な方法を用いて研究することが必要とされ、これに関しては Davenport の研究¹⁾が代表的なものである。これは自然風のスペクトルから、構造物の空気力学的性質を考慮して、構造物に加わる外力のスペクトルを求め、それから構造系の応答特性に対応した応答スペクトルを得るものである。このような方法は、通信システムの研究や構造物の地震応答の研究などにおいて、既に早くから用いられているものである。しかしながら、この方法は現状ではきわめて単純な場合についてしか実用的ではなく、実物実験による資料を収集することが求められている。

このため筆者等は1968年の夏から、大阪市福島区にある地上160 mのテレビ塔およびそれに近接する地上22階建のホテルにおいて、それらに加わる風圧およびそれによる応答について観測を行なっている²⁾。1969本年8月にわが国南岸を襲った台風9号が紀伊半島を通過した際、ここで塔の応答の記録が得られ、その解析を行なった。その結果テレビ塔の振動に関して興味ある現象がみられたので以下に述べてみたい。

2. 観 測 の 概 要

2. 1 観測点の位置

観測点は Fig. 1 に示した大阪タワーと呼ばれるテレビ塔で、大阪市福島区にあり、国鉄大阪駅の約1 km 北西にあたる。この塔の周辺には地上22階建のホテルプラザと6階建（1部9階建）のABCセンターの建物が極く接近して建っている他は、特に高い建物は少ない。

Fig. 2 は大阪タワーとそれに近接するホテルプラザおよびABCセンターの位置関係を示している。ホテルの屋上は地上77 mで、タワーと水平距離で約15 mしか離れていないから西風の場合以外は塔にあたる風に大きな影響を与える。

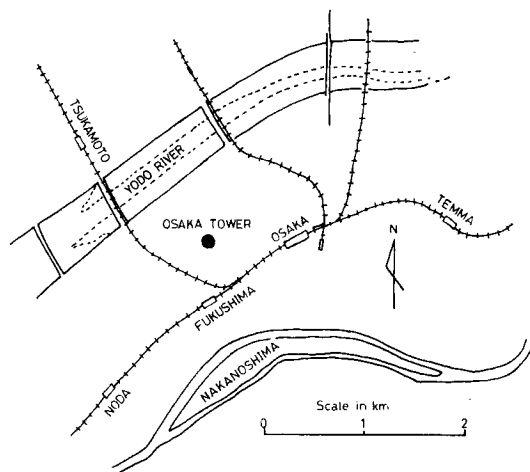


Fig. 1 City map of area around Osaka Tower.

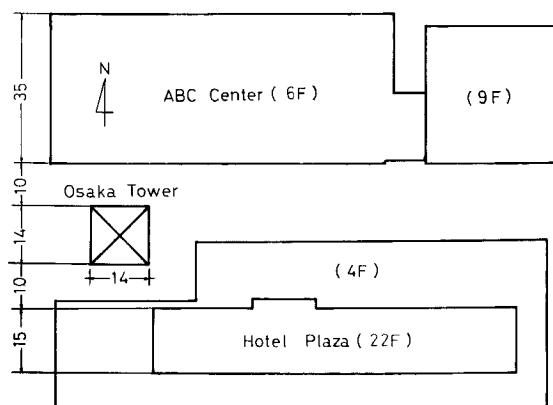


Fig. 2 Site plan of area near Osaka Tower (unit: m).

2.2 大阪タワーの構造

大阪タワーは Fig. 3 に示すような形状で、地上20 m までは鉄骨鉄筋コンクリート造、地上20m以上は鉄骨造で、地上100 m までは $14\text{ m} \times 14\text{ m}$ 、地上 140 m までは $4.2\text{ m} \times 4.2\text{ m}$ の4角形断面である。垂直面内の斜材は Fig. 2 の平面図に示したように4角形断面の対角線方向に配置されているだけで、側面はラーメン構造になっている。

2.3 測器の配置

観測には多数の測器を使用しているが、今回得られた観測記録に関係する測器についてのみ説明する。用いた測器はピトー管型風圧計1台と傾斜計2台（測機舎製 ML 型）である。風圧計は矢羽根によって常に風向方向に向く。Photos 1, 2 はそれらの写真である。

これらはいずれも大阪タワー上に設置され、Fig. 3 に示したように、風圧計は地上 120 m の所に西側に約 70 m 突出して設置され、2台の傾斜計は地上 75 m の位置にある水平材に載せてある。傾斜計は設置位置における塔の断面の水平面に対する傾角のNS成分およびEW成分を検出する。

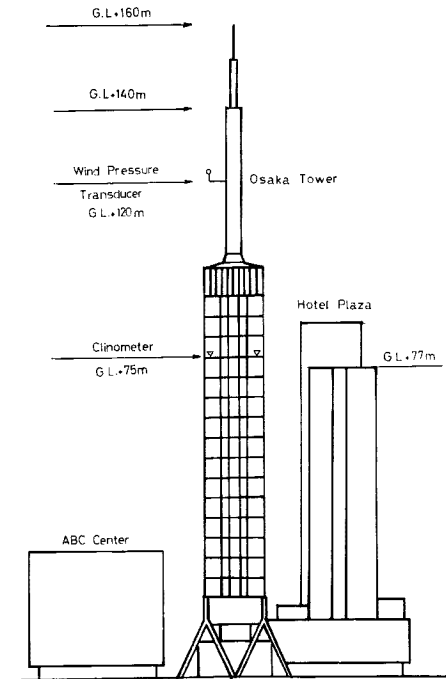


Fig. 3 West view of Osaka Tower and the arrangement of instruments.

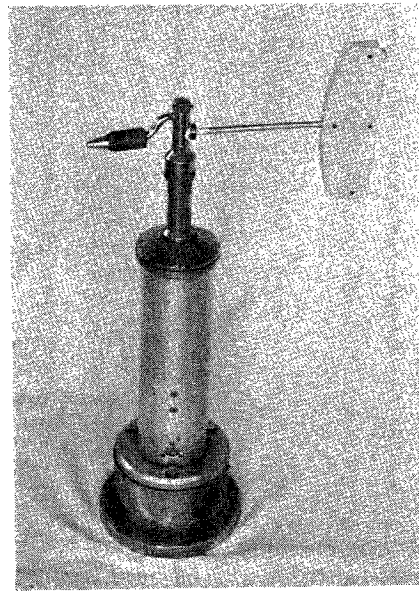


Photo. 1 Wind pressure transducer.

なお、記録はデータレコーダーによって行なった。

2.4 観測条件

今回の観測は台風9号が紀伊半島を横断して伊勢湾付近にあった8月22日早朝に行なったもので、この時の風は風向W、塔上の風圧の記録から求めた5分間平均最大風速は約18 m/secであった。

3. 観測結果

Fig. 4は観測記録の一部である。以下にのべる結果はこのよな記録を前述の最大風速を生じた5分間につ

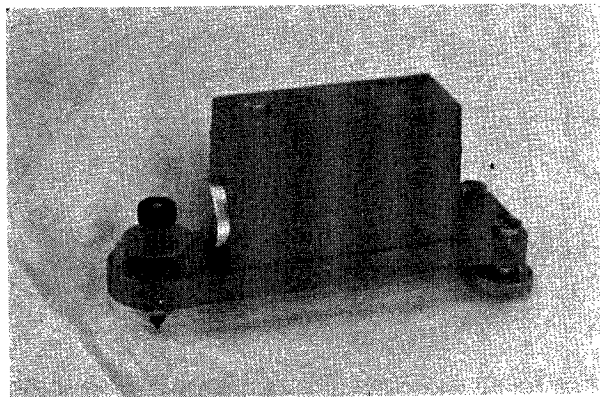


Photo. 2 Clinometer

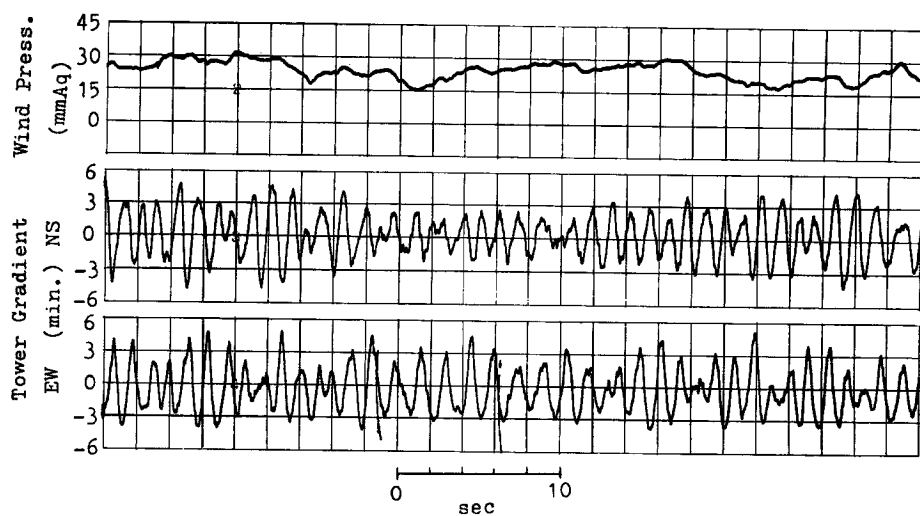


Fig. 4 Oscillograms of wind pressure and tower gradients.

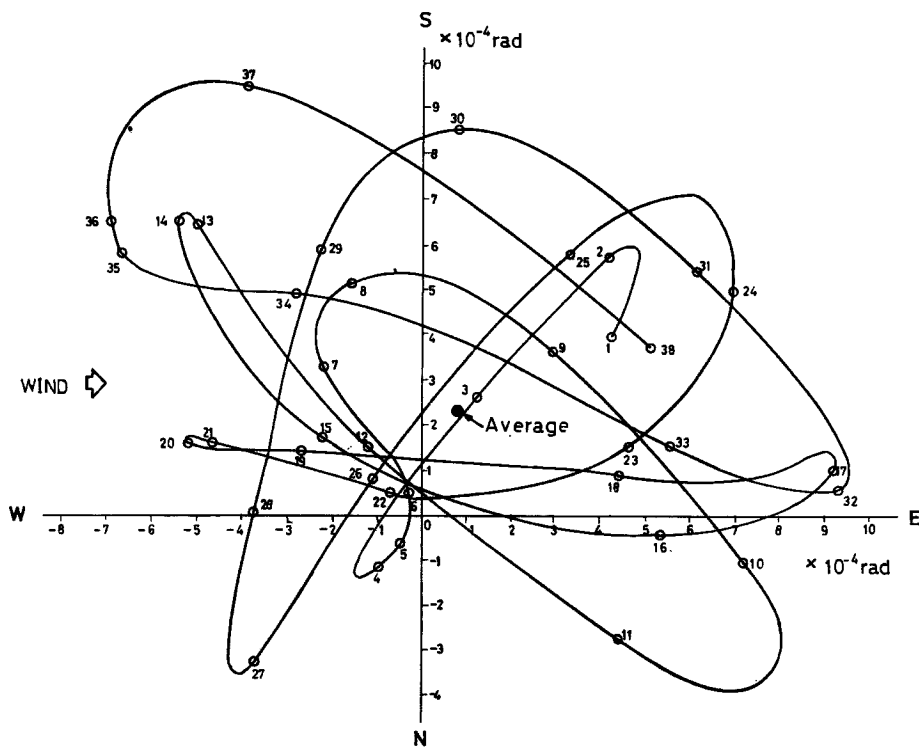


Fig. 5 Gradient motion of Osaka Tower in wind at 75 m above the ground. Gradients are numbered in course of 0.2 seconds.

いて 0.2 秒毎に読み取ったデータを解析して得たものである。

3.1 塔の振動

Fig. 5 は傾斜角度を、横軸に NW 成分、縦軸に NS 成分をとって 0.2 秒毎に約 7 秒間分をプロットしたものである。座標の単位は 10^{-4} radian であり、横軸の正の値は西側が上り東側が下る、つまり風下へ塔が傾斜する場合であり、縦軸の正は、南側が上り北側が下る場合である。塔が剛体であるとする 1×10^{-4} rad. は、地上 100 m で 1 cm の水平変位に相当するが、実際の変位は塔が剛体ではないためにこれより小さい。いずれにしても、この傾斜角度と実際の変位とはほぼ比例関係にあるから、この傾斜角度の変化を近似的に塔の運動とみなすことができる。

これによるとこの塔の振動は非常に複雑である。なお、各ループの周期は約 1.4 秒である。

この図に示した時間を含んだ 5 分間の傾斜角度の平均値は EW 成分が 0.78×10^{-4} rad., NS 成分が 2.75×10^{-4} rad. であって **Fig. 5** の黒点がそれである。この値は変動成分（最大値は NS, EW 成分とも約 18×10^{-4} rad.）にくらべて非常に小さく、風による構造物の振動が風向方向に静的に変位した状態を中心にして、静的な変位と高々同程度の振巾をもつという常識とは非常に異っている。

3.2 応答スペクトル

Fig. 6 は傾斜計の応答から Tukey の方法によって塔の応答スペクトルを求めたもので、横軸が周波数、縦軸が傾斜角度のパワースペクトルである。NS 成分、EW 成分ともきわめて良く似たスペクトルになっており、いずれも約 0.15 および 0.7 1/sec の所で顕著なピークが見られるのが特徴である。0.05 1/sec 以下の低周波数域の部分は、風による強制振動によるものであり、後述の地上 120 m で観測した風圧のパワースペクトルの勾配と良く一致している。2つの顕著なピークのうち、0.7 1/sec の所にあるものは、この塔の曲げ 1 次振動によるものと思われ、無風時に測定した 0.65 1/sec の曲げ 1 次固有振動に対応している。0.15 1/sec におけるピークは、塔の固有振動または外力による強制振動のいずれかに関係していると思われるが、前者については現在の所資料不足であるので、後者について検討してみよう。

Fig. 7 は G.L.+120 m において観測した速度圧のパワースペクトルで、横軸は周波数である。この点の風は多少は塔の影響を受けていると思われるが、近似的に塔にあたる前の風を代表していると考えられる。この図によれば特に 0.15 1/sec の周波数成分が卓越している様子はない。また **Fig. 8** はこの風圧と傾斜の EW 成分との coherence を表わしたものであるが、これによると 0.15 1/sec 付近ではむしろその周辺より相関が低い。したがって、風上側の風と 0.15 1/sec の振動との関係はあまりないことがわかる。

この他に強制振動を起こす外力としては、塔自身が作る乱れが考えられる。もしもカルマン渦が発生しているとする、その発生周波数 N 、風速 V 、塔の見付巾 D およびストローハル数 S との間には、

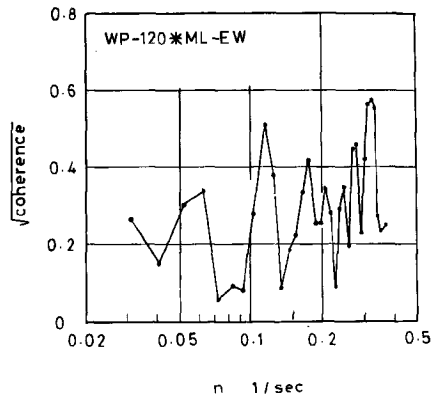


Fig. 8 Coherence between velocity pressure and tower gradient EW component.

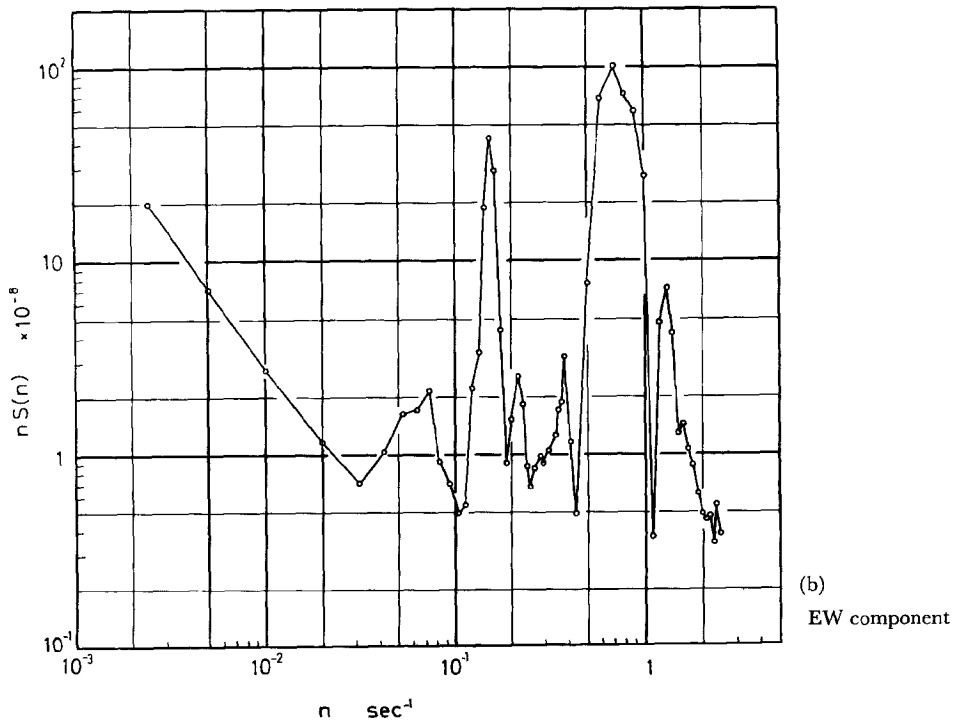
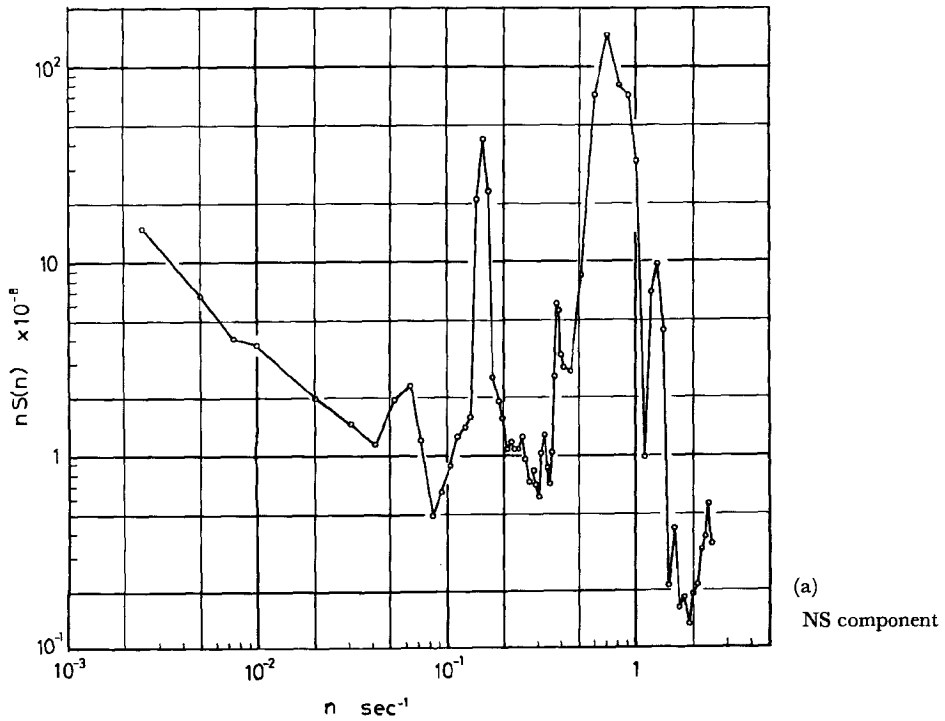


Fig. 6 Response spectrum of Osaka Tower.

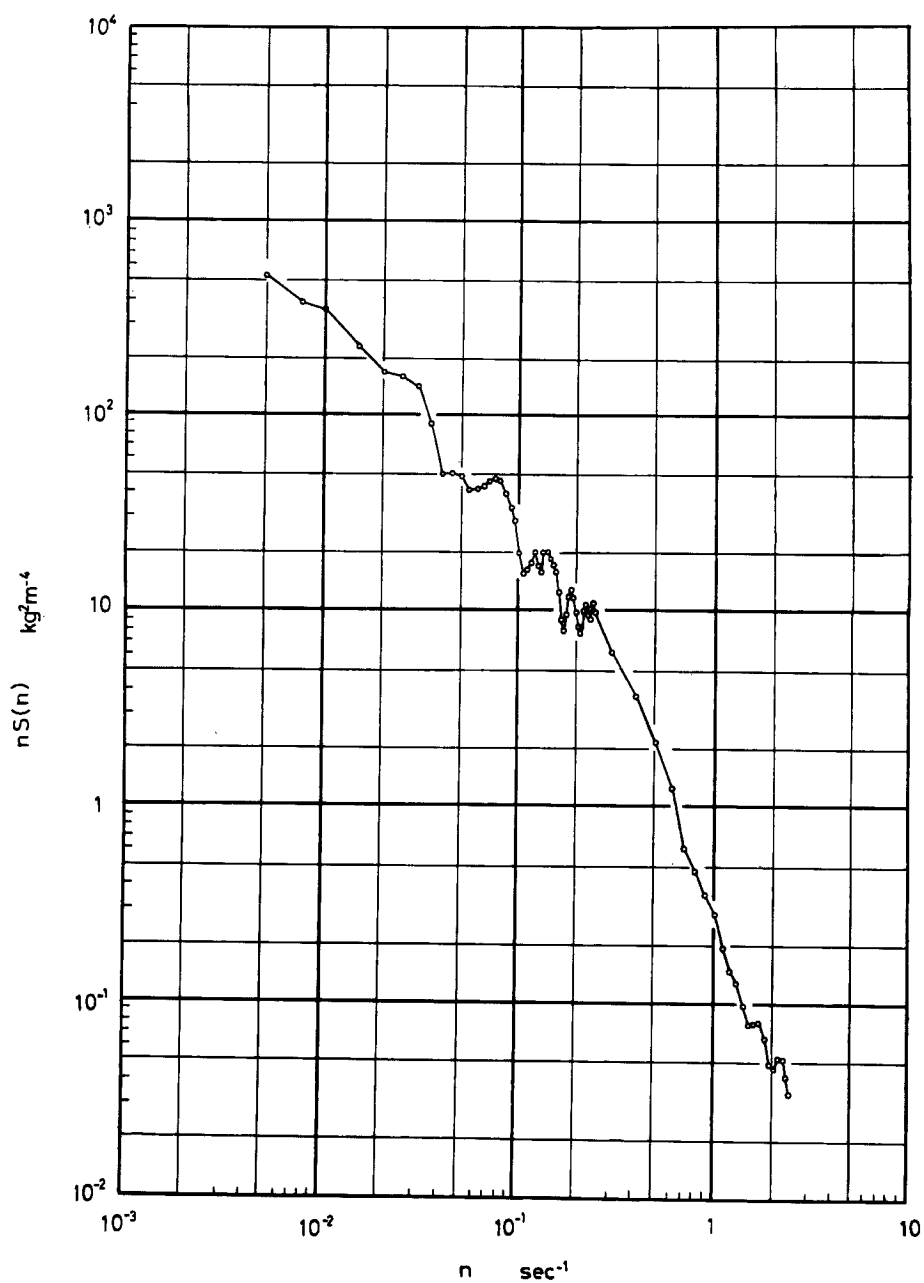


Fig. 7 Power spectrum of velocity pressure at 120 m above the ground.

$$S = \frac{ND}{V}$$

なる関係がある。S は円柱や 4 角柱などでは、0.1 程度である。今、 $S=0.1$, $V=18 \text{ m/sec}$, $D=14 \text{ m}$ としてカルマン渦の発生振動数をもとめると $N=0.13 \text{ 1/sec}$ となる。これは 0.15 1/sec に近い値であり、 0.15 1/sec の振動がカルマン渦による強制振動である可能性が考えられる。しかしながら、自然風のように乱れた風の中でトラス鉄塔のような構造物に規則的な渦が発生するかどうかは異論のある所であり、今後の観測によってより詳細に検討しなければならない。

4. む す び

従来、風による実物構造物の応答の観測は種々行なわれてきたが、応答スペクトルが求められた例は少ない。今回、大阪タワーで風に対する応答のスペクトルの 1 例を求めることができた。

その結果、風によるこの塔の振動振巾が、静的な変位にくらべて非常に大きいこと、応答スペクトルに 1 次の固有振動周波数よりも低い周波数の所に顕著なエネルギーのピークがあらわれることがあることなどの興味ある現象が見出された。

しかし、この現象の説明は今のところできておらず、今後の研究によって、解明されなければならない。

謝 辞

本観測は朝日放送株式会社、株式会社ホテルプラザおよび大阪タワー株式会社の施設を使用して行なったものであり、施設の使用を許され観測に多くの便宜を与えられた上記各社に御礼申し上げる。

また、日本板硝子株式会社および大成建設株式会社には、観測器具その他を貸与され、また、測器の設置に多大の御援助を賜った。ここに深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) Davenport, A.G.: たとえば, Gust Loading Factors. J. ST Div., Proc. A.S.C.E., ST3, June 1967, pp. 11~34.
- 2) 石崎澁雄他 3 名: 市街地の強風災害に関する研究 (その 1), 第 6 回災害科学総合シンポジウム講演論文集, 文部省特定研究, 災害科学総合研究班, 1969, pp. 5~8.