

本州四国連絡橋公団 正員 田中 淳之
 本州四国連絡橋公団 正員 山口 浩二
 川崎重工業(株) 正員 ○ 小川 一志

1. まえがき 本報告は、本州四国連絡橋・大鳴門橋4P主塔において実施した主塔架設時の実機強風応答観測の方法と、得られたデータの解析結果をまとめたものである。本報(その1)で述べたように、本主塔は架橋地点が強風地帯であることなどから、架設時耐風対策が重要となり、制振装置の設計にあたっては種々の検討が行なわれた。本観測は制振装置の効果を最終的に実機で確認し、さらに得られた結果を今後のこの種の主塔の耐風設計に資することを目的として、3P主塔と合わせて実施されたものである。

2. 観測方法 観測は、冬の季節風の強い昭和56年2月中旬から約1ヶ月間実施した。主塔は、13段(全高)架設完了して塔頂部にクレーンが取り付けられている状態であった。使用した計測器は①塔頂部の風向風速計(1台)、②塔頂部の橋軸方向加速度計(2台)、③制振ブロックの鉛直方向加速度計(2台)、④ケーブル張力計(2台)である。計測器の配置図を図1に示す。計測データは、現場詰所内に設置したデータレコーダとペンオシログラフに記録した。図2に計測例を示す。

3. 観測結果 (a) 気流特性 風速変動の標準偏差 σ と平均風速 $\bar{V}$ の関係を図3に示す。風向別に各データの平均をみると、 $-30^\circ < \bar{\theta} < 10^\circ$ (鳴門海峡に沿った風) のとき $\sigma = 0.075 \bar{V}$
 $-90^\circ < \bar{\theta} < -30^\circ$ (大毛島側からの風) のとき $\sigma = 0.118 \bar{V}$

上式より導かれる $\sigma/\bar{V} = 0.075, 0.118$ は乱れの強さを示す。また、上式は次のように表示できる。

$$-30^\circ < \bar{\theta} < 10^\circ \text{ のとき } \sigma^2 = 6 K_1 \bar{V}_{10}^2, \quad K_1 = 0.002$$

$$-90^\circ < \bar{\theta} < -30^\circ \text{ のとき } \sigma^2 = 6 K_2 \bar{V}_{10}^2, \quad K_2 = 0.005$$

ここで $\bar{V} = (147.5/10)^{1/4} \bar{V}_{10}$ 、 K_1, K_2 は表面摩擦係数である。

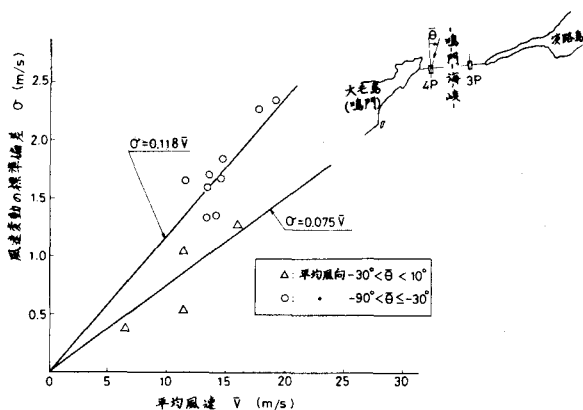


図3 風速変動の標準偏差と平均風速の関係

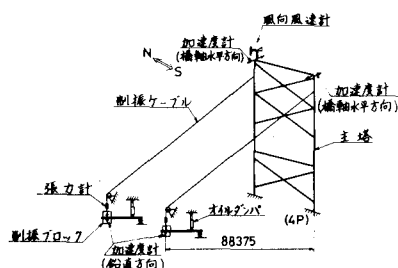


図1 計測器の配置図

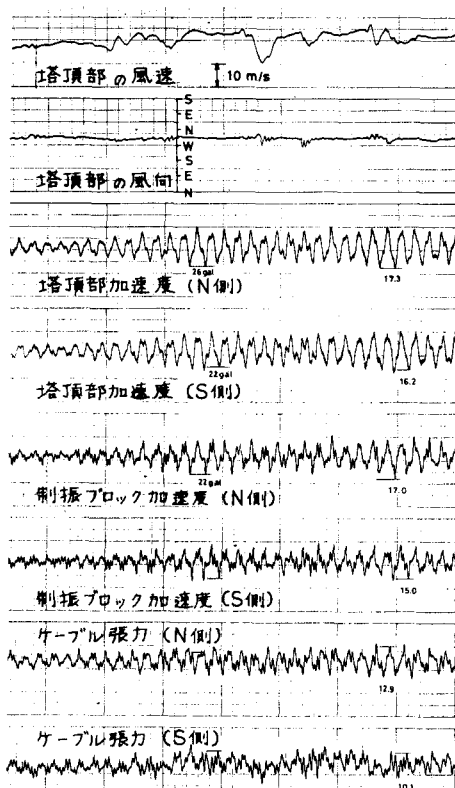


図2 強風時の応答データ(ペンオシログラフ記録)

(b) 振動特性 主塔と制振装置の振動特性を表1に示す。主塔の曲げ振動数については、設計値と実測値が共に0.29Hzでよく一致している。揺れ振動は設計値に比べて実測値の方が高くなっているが、これは、設計に用いたクリーパークレーンの拘束条件と実際の拘束度との違い等が微妙に影響しているものと思われる。主塔の構造減衰は、制振ケーブルをゆるめたときの人為的外乱による振動試験実測値から求めた。この場合、塔頂部にはクリーパークレーンが取り付けられているため、その影響が構造減衰の付加という形で含まれていることが推定される。

(c) 耐風応答 有風時の塔頂振幅を、風速との関係で風向別に図示したのが図4である。風向がNNW(橋軸直角方向)から60°以上ずれたWのとき、風速とともに塔頂振幅が大きくなっており、風の乱れによるバフティング振動が現れているものと思われる。それに対して、風向が橋軸直角方向に近いNWとNNWの場合、風速12 m/s 近辺から塔頂振幅が急に大きくなり、風洞試験から予想される渦励振(共振風速17 m/s)の特性を僅かに認めることができるが、風洞試験結果と明確に対比できるところまでに至っていない。

4. 制振装置の効果 大鳴門橋の制振装置は、塔の振動エネルギーをオイルダンパの減衰エネルギーに変換して、振動を減衰させる機構となっている。ダンパ減衰力の履歴曲線の1例を図5に示すが、曲線に囲まれた部分が減衰エネルギーとなる。実測された履歴曲線よりオイルダンパの減衰エネルギーを求めて計算値と比較したのが図6であり、オイルダンパは良好に作動したことがわかる。また、オイルダンパの減衰エネルギーから制振装置の付加減衰率 δ が次式より算出される。 $\delta = \Delta E / 2E$ ここで、 E は塔振動系の最大運動エネルギー、 ΔE はオイルダンパの減衰エネルギーである。その結果を図7に示すが、制振装置は観測時において、充分制振効果を発揮していたものと思われる。

5. あとがき 本観測では、渦励振が現れるような風速と風向の風にほとんど遭遇しなかった関係から、風洞試験との明確な対応づけはできなかったが、海峡部の気流特性、主塔の振動特性、制振装置の制振効果等に関して興味あるデータを得ることができた。これらのデータが、今後この種の主塔の耐風設計に少しでもお役に立てば幸せである。

最後に、本研究の実施にあたり御指導いただいた土木学会・本州四国連絡橋耐風研究小委員会幹事会の諸先生に深く感謝いたします。

表1 主塔と制振装置の振動特性

(a) 主塔の固有振動数

	設計値	実測値
曲げ振動	0.29	0.29
揺れ振動	0.68	0.72

(注) 主塔は13段(全高)架設完了し、塔頂部にはクリーパークレーンが取り付けられている。

(b) 主塔の対数減衰率

	設計値	実測値
曲げ振動	0.01	0.02±0.01
揺れ振動	0.01	0.01

(c) 制振ケーブルの固有振動数

	設計値	実測値
弦振動	0.46	0.49

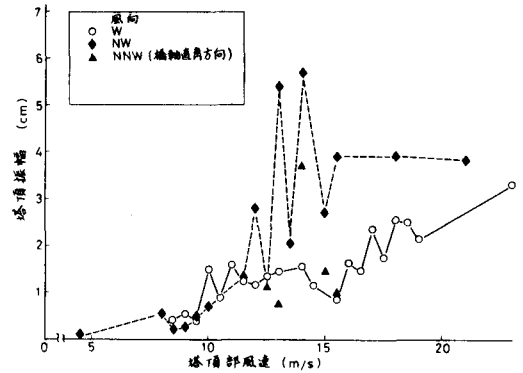


図4 主塔の耐風応答(塔頂振幅)

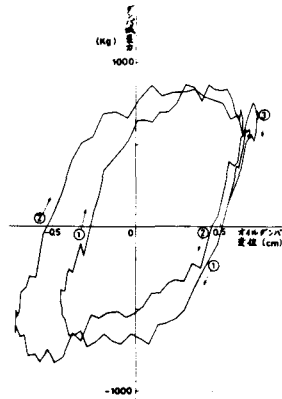


図5 ダンパ減衰力の履歴曲線

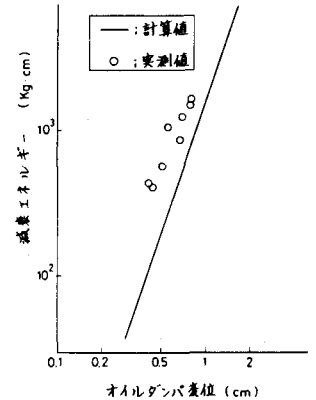


図6 オイルダンパの減衰エネルギー

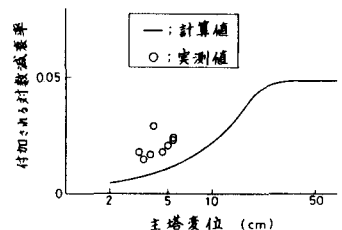


図7 制振装置による付加減衰率