

京都大学工学部 正員 小西 一郎  
 京都大学工学部 正員 白石 成人  
 徳島大学工学部 正員 宇都宮英彦

1. まえがき

つり橋等の長大構造物の耐風安定性を、可能な限り自然の状態に近い形で論じようとする傾向が、近年顕著に及びつつある。このための風洞実験も、定常的な流れの中での応答解析から、Davenportの研究<sup>(1)</sup>を契機として、その中心は人為的に作られた境界層内での乱流中の応答解析という形態に移行しつつあるようである。これらの研究の遂行上の主要な障害の一つとして、強風下での実橋の応答観測データの不足があげられる。このための筆者等は、徳島県鳴門市の小嶋門橋において、台風時における強風の特性および橋梁の応答特性を調査し、耐風性解析のための基礎資料を収集した。今回報告するデータは昭和47年9月16日、紀伊半島東部を通過した台風20号に関する観測結果である。唯一度の台風に対し、十分満足すべきデータを集めることはできなかったが、応答に関連して、2.3興味ある現象が把握されたので、一報としてここに報告する。

2. 観測地点、測定点および測定装置

小嶋門橋は徳島県鳴門市にあり、大毛島と桑島と南北に跨ぶ、全長441.4mの2スパン連続4径間の小規模なつり橋である。橋軸方向北方には海抜200m程度の大毛島のピークがあり、水路は東西に伸びている。南西部は丘陵地帯、南東部は市街地である。

橋梁上の測定点は、塔頂およびSec A ~ Sec Cの4点が選ばれ、各点に設置された検出装置とともに図-1に示されている。発振部からの信号は南岸アンカー部に設けられた観測室に導かれ、すべてデータレコーダによって記録された。

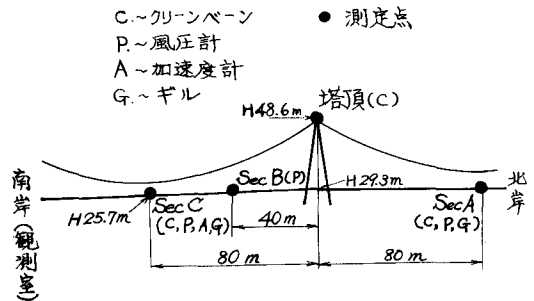


図-1 測定点 見取図

3. 小嶋門橋架設地点における自然風の特性について

台風20号による強風の統計的性質として、一般的に求められる諸量は以下の通りである。ここでは風圧記録がデータ不良のため、分析の対象から外されている。

- ・平均風速、最大風速およびガストファクター

図-2は3つの観点における平均風速(評価時間10分)および塔頂の最大風速の記録である。最大風速の変化の様子は平均風速のそれと必ずしも一致していない。

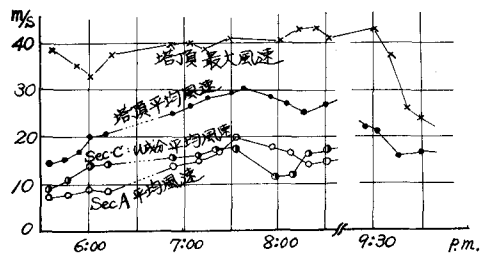


図-2 平均風速、最大風速の推移

高さ方向の分布に対するPower Law<sup>(2)</sup>を適用して、地表粗度の影響を調べると、 $V_z = V_0 (z/10)^\alpha$  に対する $\alpha$ の値は風速および風向の変動に対して、0.16 ~ 0.25であった。ガストファクターについては、評価時間の種々の値に対するものを図-3に示している。ここは同様に、風速の変動値の頻度分布曲線と正規分布に近いものとして、RiceおよびLonguet-Higginsの理論<sup>(3)</sup>による推定値をも示されている。すなわち、ガストファクター $G$ は、変動風のパワースペクトル $F_u(n)$ 、評価時間 $T$ および平均風速 $\bar{U}$ により、つぎのよう求められる。

$$G = 1 + \left[ \int_0^{\infty} F_u(n) dn \right]^{\frac{1}{2}} (\sqrt{2 \ln V u T} + 0.577 / \sqrt{2 \ln V u T}) / U$$

$$V u = \left[ \int_0^{\infty} n^2 F_u(n) dn / \int_0^{\infty} F_u(n) dn \right]^{\frac{1}{2}}$$

○ 自己相関およびパワー スペクトル

相関確率分析器およびパワー スペクトルアナライザーによる分析結果を図-4、図-5に示す。前者は、Sec Cのギルによる成分に対するものである。U、Vに比べW成分はホワイトノイズ状であることが目立つ。乱風のスケールはエルゴード性の仮定の下で、C(τ)に基づいて計算された。すなわち

$$L_x = U \int_0^{\infty} C_u(\tau) d\tau$$

Kによれば、塔頂で最大60m、Sec. Aで40mを、予想よりはるかに小さい値を示している。

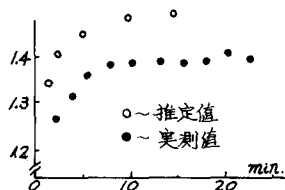


図-3 カストファクター

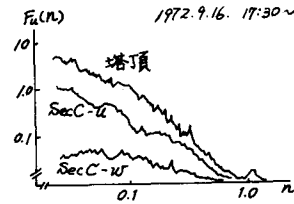


図-5 風速のパワー スペクトル

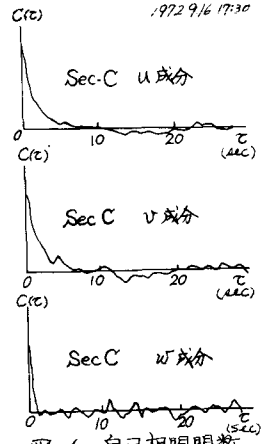


図-4 自己相関関数

4. 小島門橋の応答

Sec Cに設置された加速度計によれば、台風通過中に記録された最大にわみ振幅は倍振幅で約7cmであった。観測された応答加速度に対する自己相関係数およびパワー スペクトルの一例は図-6のようである。第一のピークはにわみ型、第二のピークはねじり型に対応している。この結果は、いわゆる周波数応答関数に相当する成分が際立っていて、この時点で、連成振動は強く認められていない。図-7は塔頂風速と、スパン中点(Sec. C)の応答加速度に関して、ゲイン特性を求めたものである。すなわち両者のクロススペクトルの実部、虚部をそれぞれ  $\Re$ ,  $\Im$  とすると、ゲイン特性  $|A_g|$  は

$$|A_g| = \sqrt{\Re^2 + \Im^2}$$

Kによって求めたものである。風速のスペクトルに際立った特徴がなく、応答スペクトルの形状によって支配されているようである。乱風のスケールから推定して、両者の相関が低いことは予め考えられることである。観測された応答記録によれば、応答曲線は数十秒程度で大きく変化しており、風も含めてその統計量の許容時間を長く取りすぎると、推定の精度が落ちることが考えられる。

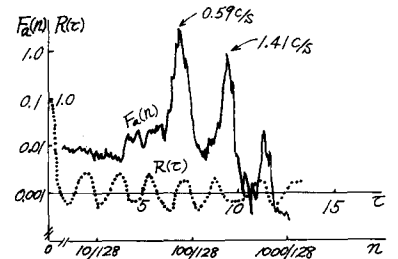


図-6 応答の自己相関&パワー スペクトル



図-7 ゲイン特性(塔頂風速-応答加速度)

5. おわりに

今回の観測は予備観測の域と出す。収集されたデータも多くの欠陥が認められ、架設地点の地形的な特徴によって、風の性質は異常性の低いものであることが予想された。風の空間的な分布を推定できなかったため、橋梁の応答の推定は不十分なものとなった。乱風のスケールの小ささ、応答観測時間等から判断して、従来の5~10分間隔と単位とする統計量では、母集団が大きすぎると思われる。今後さらに観定の精度を高め、これらの点を明らかにしてゆく予定である。

(参考文献) (1) A.G. Davenport: A Statistical Approach to the treatment of wind loading on tall masts and suspension bridges, Ph.D. Discer. Univ. of Bristol.  
 (2) 土木学会; 第四連続橋耐風設計指針, p.30  
 (3) S.U. Rice: Bell Sys. Tech. J., Vol.24, 1945,