

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 英考

1. まえがき

筆者等は徳島県の協力の下に、昭和47年以来、徳島県鳴門市の小鳴門橋において、自然風と橋梁の耐風応答の観測と続けて来た。前回の報告⁽¹⁾では、予備観測の段階での台風観測結果を発表したが、以後現在に至るまでに、台風を対象とした強風観測の機会が訪れていない。今回才ニ報として報告するのは、1973年11月および1974年1月の冬期季節風に因するものである。この観測データの分析結果から判断すると、小鳴門橋の耐風応答を推定する場合には、従来の10分間という評価時間では不十分であり、より短時間のデータを用いなければ、変動風と応答の間に有意な相関を見出すことが困難であるということが推察された。なお測定法は、予備観測の結果新にSec B, Sec Dにおいて風速と加速度応答を測定することになった(図-1)。

2. 季節風および応答の統計的性質

上述の2種の季節風のうち前者は、車輛と全面通行止めにした折の測定結果であり、以下の応答に関する諸量はすべてこの観測の結果得られたものである。後者は変動風の定量的な分布を知る目的で行われ、風速のみを測定した。なお風向は前者が北東、後者が東北東であり、橋軸にほぼ直角方向であった。データ長(T)は10分間として分析された統計量のうち、季節風に特有の現象と予測させるものがいくつか認められたが、要約すれば以下の通りである。

(i) 平均風速(5~15 m/sec)の分布が図-2に示すように台風時とはかなり異っており、高さ方向の変動も少ない。この結果、乱れの強さについても、塔頂部と橋梁部とで同程度のものとなっている。小鳴門橋は海面上25mにあり、周囲の山陵が、これより高い位置にあるために、このような現象が見られたものと思われる。

(ii) 台風時の乱れの構造は、一様な乱れに近い性質を示していたが、季節風の乱れは、一様性乱れと、いわゆる気象学的なレベルのスケールと有する周期性の変動成分とによって構成されている。

(iii) 季節風の乱れのスケールは、台風のそれと同程度の数十mのオーダーのもの他に、上記周期成分に対応する数百mのものが重畳された形となっている。季節風の場合には平均風速が小さく、乱れの拡散エネルギーが台風の場合より小さいと考えられ、上空の変動の影響が残っているものと思われる。

(iv) 各観測点間の風速のクロススペクトルから判断すれば、

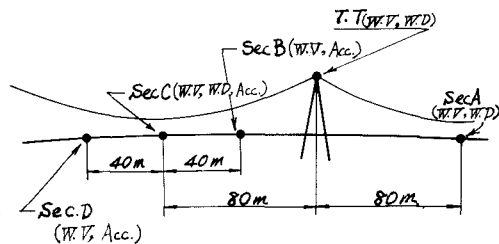


Fig.1 Observation-Position on the Bridge

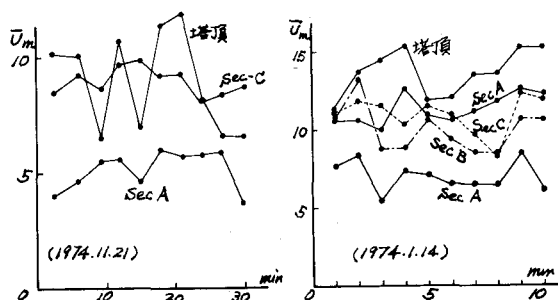


Fig.2 Fluctuations of Mean Wind Velocity

Table 1. Wind Data of Typhoon + Monsoon (T=10min)

Position	Date	$\bar{U}$	$\sqrt{\bar{U}^2}$	$\sqrt{\bar{U}^2}/\bar{U}$	L (scale)
Sec C	72.9.16	15.2 m/s	2.29 m/s	0.15	30.0 m
	73.11.21-a	10.8	1.44	0.13	122.6
	73.11.21-b	9.3	1.28	0.14	99.6
	74.1.14	10.8	1.17	0.11	80.0
T.T	72.9.16	25.2	6.30	0.25	44.0
	73.11.21-a	12.9	4.61	0.36	50.0
	73.11.21-b	9.1	4.15	0.46	59.3
	74.1.14	13.6	2.40	0.18	60.0
Sec A	74.1.14	11.3	1.94	0.18	58.0
Sec B	"	9.9	1.49	0.15	76.0
Sec D	"	7.0	1.01	0.15	44.0

0.3c/sec以上の変動成分に対しては相関はほぼゼロであり、0.03~0.06c/secの付近でピークを有している。これは前述の弱い周期性(波長150~300m)の変動成分の存在と考慮すれば妥当な結果であると言える。

(4)観測された応答量は最大振幅で3cm以下であり、応答のパワースペクトルも台風時のそれの半~右程度の値を示し、常時車輦によって生じる振動と同レベルであった。本実における加速度記録から、対称1次、非対称1次モードの存在が認められたが、全体的に台風時に比べて出現する応答モードは複雑であり明確な分離が困難な場合もあった。応答は風の時間、空間の変動の下での不規則外力による強振振動の様相を示している。

3. 統計量の評価時間について

上述の分析は全て10分間の評価時間に対して行われた。これらのデータに基づき、Davenportの方法⁽²⁾によって応答量を推定すると、応答スペクトルの形状は比較的良好一致するが、定量的には非常に大きく異ってくる。この原因の一つとして風速の空間分布に関するパラメータ入の値が実測値と異っていることが指摘されている。しかし、小鳴内橋付近では、この空間分布も局所的に大きく変動しており、10分間の平均値は、このような非定常的な風速の変動あるいは小鳴内橋の応答の変動等の性質と適確に捉え得ないとも考えられる。このため、定常確率過程の分析手法は適用できる範囲で、且つ分析誤差が有意水準以下になるような、短時間のデータ長を、Run Testと相関関数分析の誤差理論によって求め、この結果、80秒程度のデータによって統計的な処理を行いうると推定した。ここでは10分間データを便宜上10等分して、各1分間毎の統計量を求めてみた。

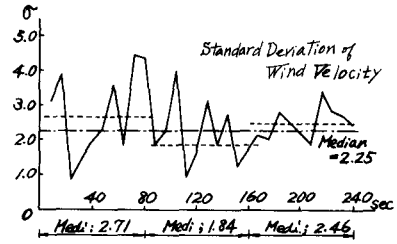


Fig.3 Run Test for Stationarity

図-4は風速の自己相関関数であるが、10分間データに対するものは大抵指数関数表示が可能な形状であるが、短時間データを見るとこの結果が周期的な成分の平均的な値として現れたものであることが推定される。図-5は応答の自己相関であり基本モードと高次モードによる振動が別の時間帯に現れていることを示している。図-6は流れのスケールの時間的・空間的変動を示すものである。このような短時間データより応答と風速変動の相関を求めると10分間データでは認められなかった有意な相関の存在が明らかになる(図-7)。

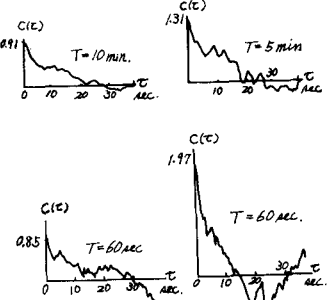


Fig.4. Auto correlation of Wind Velocity at Sec. C (1973.11)

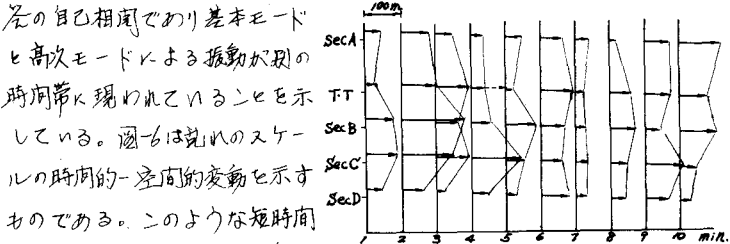


Fig.6 Scale of Turbulence in each One-minute (1974.1)

4. おまけ
複雑な流れ(局所的な流れ)に対しては、従来用いられている10分間よりも、さらに短いデータによって統計量を推定する方が妥当な推論を行えることを示唆した。短時間データ長の決定には、今後さらに厳密な検討が必要であるが、ここでは2.3の必要条件のみで考察を行っている。

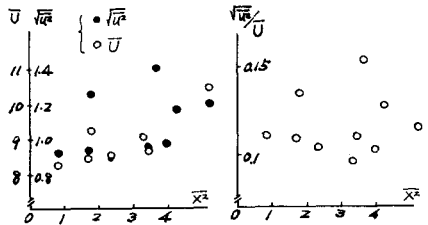


Fig.7 Correlatogram (Wind and Response) 1973.11

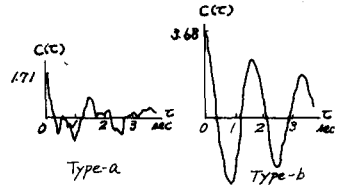


Fig.5 Typical Auto Correlation of Acceleration at Sec. C (1973.11)

(参考文献) (1) 小西,昭彦,教授; 小鳴内橋の対風応答について; 第28回年次学術講演会概要集 (昭49年)
(2) A.G. Davenport; A Statistical approach to the treatment of wind loading on tall masts and suspension bridges, PhD Diss. Univ. of Bristol.