

大阪湾南港付近における自然強風の2,3の統計的解析

● 京大工学部 正員 白石 成人 京大大学院 学生員 ○田中 洋
京大工学部 正員 松本 勝 京大大学院 学生員 岸本良孝

1. まえがき

1961年カナダの A.G. Davenport が、長大吊橋の耐風性の評価に自然風の乱れを導入し、統計的手法により吊橋の補剛桁の不規則応答を求めた研究を発表して以来、構造物の耐風性の立場からみた自然強風のもつ乱れに関する問題がクローズアップされてきた。しかしながら、これらの研究において入力となる自然強風の乱れについては、従来より報告されている気象観測データを用いており、実橋あるいはまた実物構造物の置かれている周囲の影響（自然風の有する局地性）が考慮されていない。このことは現在構造物の耐風性に関する研究に残されている大きな問題点である。本研究では、その第1段階として現在建設中である南港連絡橋付近の大阪港湾合同庁舎屋上に設置された成分 Gill 風速計（高度、52.4m）の自然強風観測記録により求められているいくつかの統計量とその意義について述べると共に、その解析手法を示し 2,3 の結果を示すものとする。

2. データ解析方法について

本研究で解析を行なった統計量とその定義は Table-1 に示されるようである。なお自然強風時における変動風速は、磁気テープに電気変動量（電圧変化）のアナログ量として記録されており、その統計解析に際して従来よりよく用いられる方法、つまり、電気アナログ量を一旦デジタル量に変換して、電子計算機により計算を行なった。計算手順は Fig. 1 にブロック図として示した。（京都大学大型電子計算機センターの FACOM-230-75 により計算を実行）

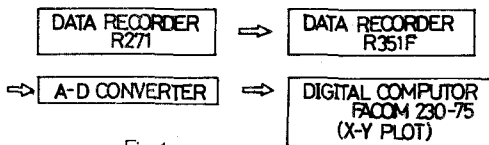


Fig. 1

3. 解析結果と考察

① 変動風速 Fig. 2 に U 成分が示されているが、同様な図が V, W 成分でも得られ、ほぼ不規則変動量であることがわかる。

① 変動風速 評価時間 T において 一定時間間隔 Δt で風 速を読みとる。[sec]	⑥ Power Spectral Density ²⁾ (Tukey の法) $V_r = [C_0 + 2 \sum_{j=1}^{m-1} C_j \cos \frac{2\pi r j}{m} + C_m \cos r\pi] \Delta t$ Hanning's Window $U_0 = \frac{1}{2} (V_0 + V_1)$ $U_r = \frac{1}{4} V_{r-1} + \frac{1}{2} V_r + \frac{1}{4} V_{r+1} \quad 1 \leq r \leq m-1$ $U_r = \frac{1}{2} V_{m-1} + \frac{1}{2} V_m$ Cr: 自己相関関数
② 平均風速 評価時間 T のベクトル量 としての平均風速 $\bar{U}_i = \frac{1}{T} \int_0^T U_i(t) dt \quad (i=1,2,3)$ $\bar{U}_0 = \sqrt{\bar{U}_1^2 + \bar{U}_2^2 + \bar{U}_3^2} \text{ [m/sec]}$	⑦ 乱れのスケール $\bar{\theta}_{ij} = \arctan \frac{\bar{U}_j}{\bar{U}_i} \quad (ij=1,2,3)$ [degree]
③ 平均迎角, 平均水平迎角 $\bar{\theta}_{ij} = \arctan \frac{\bar{U}_j}{\bar{U}_i} \quad (ij=1,2,3)$ [degree]	⑧ 乱れの分散 $G F_i = \frac{U_i(t)_{\max}}{\bar{U}_i} \quad (i=1,2,3)$ $u_i = U_i - \bar{U}_i$ $\langle \bar{u}_i^2 \rangle, \langle \bar{u}_i \rangle$: 時間平均
④ Gust factor $G F_i = \frac{U_i(t)_{\max}}{\bar{U}_i} \quad (i=1,2,3)$	⑨ 乱れの Intensity $R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T U_i(t) U_i(t+\tau) dt / \langle \bar{u}_i^2 \rangle$ $U_i(T+\tau) = U_i(t)$ $\langle \bar{u}_i \rangle$ は ⑧ で定義 注 i=1,2,3 は U, V, W に対応

Table-1

U, V, Wの平均値まわりの変動量を相関確率分析器 (Signal Analysis Industries Corporation社製) で確率密度と確率分布を求めると Fig. 3 で示されるように正規分布に近い形をなしている。(V, Wも同様)

②平均風速…風速は、ある時間内の平均値によ、て表わされ、現在気象庁では標準の風速値として10分間平均を採用しているが、構造物の設計風速を検討する場合には、より短い評価時間の風速が必要との議論もある。今回は、約60~250秒間の平均風速を数種類にわたり解析を行な、た。Gill風速計の方向が固定されているので、U成分は(南(S)→北(N))を正、V成分は(西(W)→東(E))を正、W成分は(水平面)鉛直上向き方向)を正とするベクトル量として測定されている。よ、て評価時間中に主流方向の変化が生じると平均風速は低下する傾向にある。なお、現在までに解析された自然風の平均風速 $\bar{U}$ は約1.0~15.0 m/secで、幾分低風速であった。

③平均迎え角, 平均水平迎え角

構造物に作用する静的空気力の算定基準となると共に動的には不安定な振動現象(風琴振動、ギャロピング振動、ストールフラッター振動、連成振動等)の限界風速の変化特性の検討に役立つものである。Fig. 4 のように表現し検討を行な、たが、平均迎え角については、約3°~15°の分布をなしており、従来の報告例より大きな値となっている。

④ Gust factor

Gust factorは、評価時間T内における平均風速に対する最大風速の比で表わされる値であり、構造物の耐風信頼解析において重要である。観測時間、評価時間および高さの他に地表粗度や平均風速の影響を受けるとされている。解析結果では、約1.2~5.0を得ており、かなり大きな値が低風速では求められた。これらの原因については、評価時間Tが短いことと測定設置点の条件に起因しているものと思われる。さらには、ノイズ等が記録に含まれている可能性もあり、検討を要する事項である。

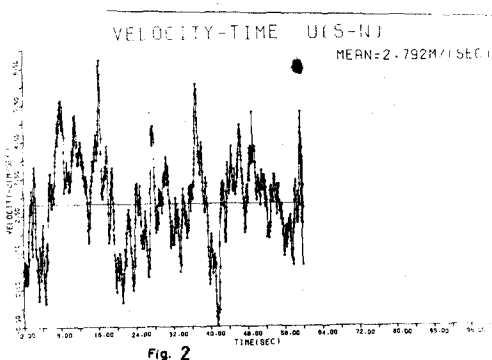


Fig. 2

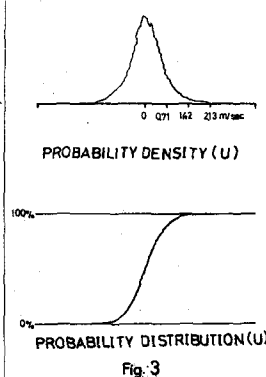


Fig. 3

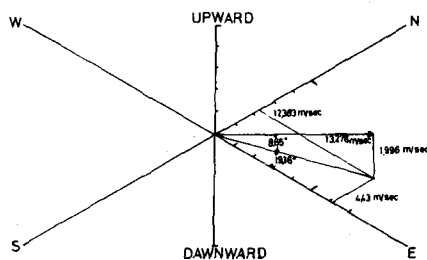


Fig. 4

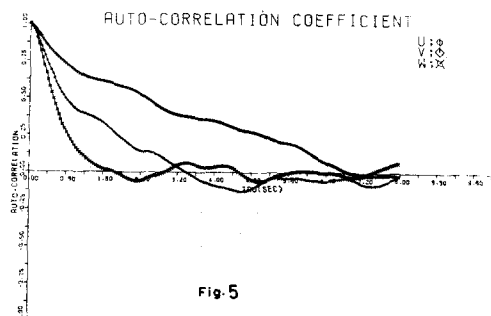


Fig. 5

⑤ 自己相関係数

Fig. 5 に一例が示されているように、W 成分の自己相関係数は、U、V 成分に比べはやく零に近づき、塩谷の指摘と一致する傾向がみられる。しかし、塩谷が草地上で自己相関係数を求め、それより自己相関係数は、指数関数によりての広い範囲を近似できるとの傾向とは異なり、ゼロクロッシングの後には、減衰振動状の様相を呈するようと思われる。なお、これらの傾向は、風速方向、平均風速、地形因子等により変化するものと考えられる。

⑥ Power Spectral Density

数値計算上の自由度が約 5~20 の範囲で解析しており、信頼度が多少低い。Fig. 6 に示されるように、ワイドバンドのなだらかな形状をしており、0.1~1 Hz の範囲では、ほぼ $-\frac{5}{3}$ 乗則に従って減少している。鉛直方向のパワースペクトルについては、Panofsky および McCormick の提案した式と比較しているが、形状はほぼ一致するが我々の解析結果の方がパワーがやや大きく、よって乱れが大きいことが注目される点である。

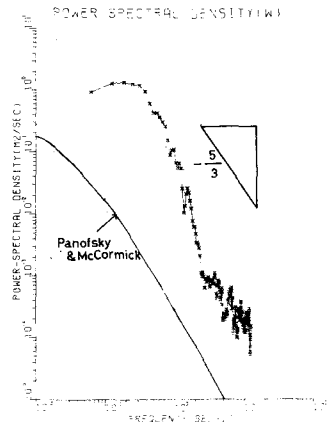


Fig. 6

⑦⑧⑨ 乱れのスケール及び分散、乱れの Intensity

乱れのスケールについては、W 成分は U、V 成分に比べ小さい傾向がある。乱れの分散及び乱れの Intensity については、従来の報告より大巾に大きい値もみられ、測定方法、解析方法によつて、その量は変動し、また地形因子の影響も考慮する必要があると思われる。

4. あとがき

今回の解析結果の傾向として、乱れに関する値が大きいのが特徴であり、局地的な地形因子が原因であるのか、三成分 Gill 風速計が設置された場所がビルの屋上であり、周辺部にもビルが隣接していることに起因するのかが判定しにくいところである。よつて現在、風速計の設置された地点の $1/200$ スケールの模型を作り、風洞実験を行ない検討中である。今後の研究課題として (i) 測定点を複数以上とし、空間相関の解明を行なうこと (ii) 構造物の応答計算に実際利用すること (iii) 確率論的方法の導入にともなう数値計算上の問題点の究明を行なうこと (iv) 今回は往風速の記録が多かつたが台風等の強風時の測定と解析を行なうこと等が残されており継続して研究の予定である。なお、解析結果の一部を Table-2 に紹介する。

測定日 (1973.10.17)	データ数 (Log 数)	自由度	測定時間 (sec)	平均風速 (m/sec)	Gust factor	乱れスケール (m)	乱れ Intensity	平均傾角
9:3 AM 中	1500 (200)	15	250.5	$\bar{U}_0 = 7.383$	$GF_U = 1.51$ $GF_V = 1.42$ $GF_W = 2.39$	$U = 17.08$ $V = 50.19$ $W = 0.98$	$U = 0.233$ $V = 0.202$ $W = 0.377$	95°
12:6 PM 5:30 12:7 PM 2:00	500 (200)	5	80	$\bar{U}_0 = 13.276$ [Fig. 4]	$GF_U = 1.84$ $GF_V = 1.78$ $GF_W = 2.85$	$U = 3.23$ $V = 2.45$ $W = 0.75$	$U = 0.381$ $V = 0.246$ $W = 0.440$	86°
12:27 AM 1:00 1:7 AM 1:00	1500 (200)	15	60	$\bar{U}_0 = 6.721$ [Fig. 2.3.5.6]	$GF_U = 2.34$ $GF_V = 1.77$ $GF_W = 2.53$	$U = 2.18$ $V = 14.40$ $W = 0.89$	$U = 0.430$ $V = 0.321$ $W = 0.512$	143°

Table-2

詳しくは、当日発表の
際述べることとする。
参考文献)
1) 石見光男: スペクトル計算法の制限及び
工数数 九大応用工学研究所報
No. 38 昭和 48 年
2) R.B. Blackman & T. Tukey
The Measurement of Power Spectra
: Dover
3) 土木学会他
耐風設計指針(1964)解説など