

導体の振動と風の構造

酒井長武*

1. 緒言

導体の振動は多様であるが、ここでは微風振動と乱流振動について、敦賀試験線で実測から得た結果¹⁾を整理し、上記、2種類の振動について風の構造が、いかに異なるかについて述べる。

2. 実測の日時

実測の日時は、下記の通りである。

AV-T : 昭和47年12月23日、11時00分～11時30分

AV(1) : 昭和50年5月8日、11時10分～11時40分

AV(2) : 昭和52年3月16日、20時13分～20時43分

ただし、AV-Tは乱流振動、AVは微風振動をあらわす。

3. 実測結果

実測結果を第1表～第3表に示す。10秒毎に各1々のサンプリングを行ない、連続10分間を1回の単位として、平均風速 \bar{V} 、最大風速 V_{max} 、変動風速の2乗平均値 $\sqrt{u^2}$ 、突風率 $G = V_{max}/\bar{V}$ 、乱れの強さ $I = \sqrt{u^2}/\bar{V}$ 、および AV-T については振動中の2乗平均値 $\sqrt{A^2}$ をも求めた。表中の時刻 11:05 とあるのは、11時00分～11時10分の10分間の記録を整理したものである。

*さかい おさむ 工学博士 相談役

第1表 実測結果 AV-T

時刻	\bar{V}	V_{max}	$\sqrt{\bar{u}^2}$	$\sqrt{\bar{A}^2}$	G	I
11.05	7.75	11.0	1.227	4.43	1.42	0.1583
11.10	7.89	11.2	1.301	4.59	1.42	0.1649
11.15	8.08	11.2	1.297	5.02	1.39	0.1605
11.20	7.85	10.4	1.385	5.17	1.32	0.1764
11.25	7.18	9.6	1.209	4.63	1.34	0.1684
平均	\bar{U} =7.75				\bar{G} =1.38	\bar{I} =0.1657

第2表 実測結果AV(1)

時刻	\bar{V}	V_{max}	$\sqrt{\bar{u}^2}$	G	I
11.15	11.76	15.7	1.723	1.34	0.1465
11.20	12.16	14.8	1.677	1.22	0.1379
11.25	11.76	15.7	1.662	1.34	0.1413
11.30	11.41	15.7	1.516	1.38	0.1329
11.35	11.54	15.1	1.311	1.31	0.1136
平均	\bar{U} =11.73			\bar{G} =1.32	\bar{I} =0.1344

第3表 実測結果 AV(2)

時刻	\bar{V}	V_{max}	$\sqrt{\bar{u}^2}$	G	I
20.18	7.98	9.6	0.649	1.20	0.0813
20.23	8.03	10.3	0.781	1.28	0.0973
20.28	7.95	10.3	0.703	1.30	0.0884
20.33	7.80	8.9	0.549	1.14	0.0704
20.38	8.02	8.9	0.542	1.11	0.0676
平均	\bar{U} =7.96			\bar{G} =1.21	\bar{I} =0.0810

4. 地表の粗度係数および風速分布の指数

Davenport のデータに従えば、地表の表面粗度係数 K の値に従って、地上高に関する風速分布の指数 a は、

$$\left. \begin{array}{ll} \text{領域 A : } (K \leq 0.0022) & a = 0.17K^{0.97} \\ \text{領域 B : } (0.0022 < K \leq 0.014) & a = 2.3K^{0.5} \\ \text{領域 C : } (0.014 < K) & a = K^{0.3} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

となり⁽²⁾、任意の地上高 Z (m) における乱れの強さ I は、

$$I = 2.45\sqrt{K} \cdot \left(\frac{Z_1}{Z}\right)^a \quad Z_1 = 10 \dots\dots\dots(2)$$

で与えられるから、乱れの強さ I から(1)、(2)式によって、 K および a が一義的に求められ、その結果は第4表のごとくなる。

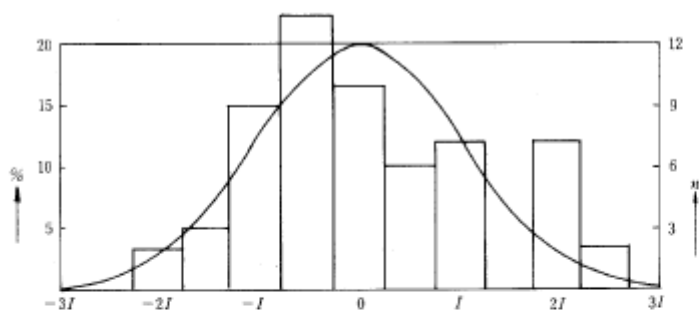
ただし、測定点の高さ Z を 30m とした。

第4表 地表の粗度係数および風速分布の指数

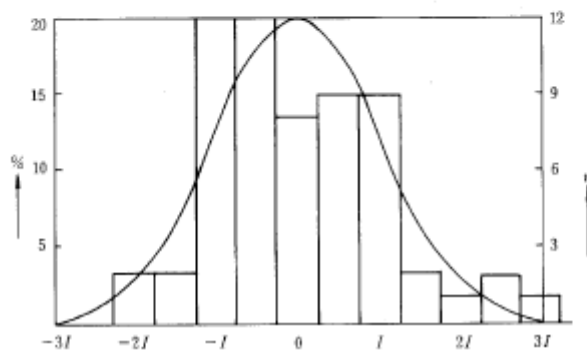
	\bar{U}	\bar{I}	K	a
AV-T	7.75	0.1657	0.00698	0.1921
AV(1)	11.73	0.1344	0.00417	0.1485
AV(2)	7.96	0.0810	0.00139	0.1073

5. 風速頻度⁽³⁾

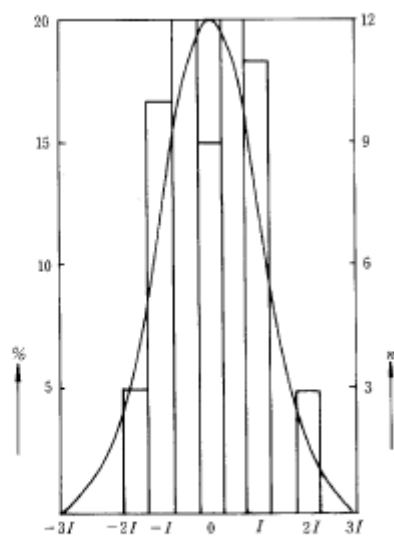
AV-T, AV(1), AV(2) の比較のために風速 V を平均風速 \bar{V} で除して無次元化し、それぞれの乱れの強さ I が平均の強さ \bar{I} に近い10分間のデータについての頻度分布を求めた。この場合、 $V \rightarrow V/\bar{V}$ とすれば、 $\sqrt{u^2} \rightarrow \sqrt{u^2}/\bar{V} = I$ となるので、標準偏差は乱れの強さ I で表示される。第1図 (A), (B), (C) にその分布を示している。図は、度数分布の積分値が紙面上で等しい面積となるよう描いてあるので、図を一見して、乱れの強さ I の大小が判明するようになっている。



(A) AV-T
 $\bar{V} = 7.89$
 $I = 0.1649$



(B) AV(1)
 $\bar{V} = 11.41$
 $I = 0.1329$

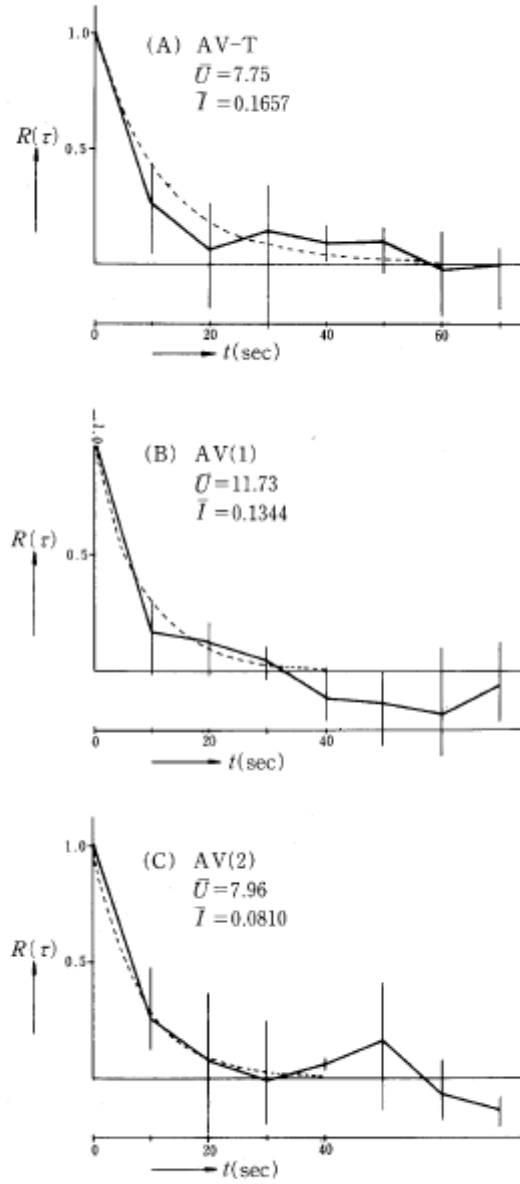


(C) AV(2)
 $\bar{V} = 7.98$
 $I = 0.0813$

第1図 風速頻度分布

6. 自己相関関数

第2図 (A), (B), (C) は AV-T, AV(1), AV(2), に関する自己相関関数を描いたものである。



第2図 自己相関特性

第2図は、第1、2、3表にある各々5ケースについての平均を求めたもので、曲線上のタテの直線は、それぞれのケースのパラツキを示す。自己相関関数の積分値 $\int_0^\infty R(\tau) dt$ は、第5表のごとくなる。

もし、 $R(\tau)$ を $e^{-c\tau}$ で表示すれば、

$$\int_0^\infty R(\tau) dt = \int_0^\infty e^{-c\tau} dt = \frac{1}{c} \dots\dots\dots(3)$$

となる。第5表に c の値を示し、第2図には参考のために $e^{-c\tau}$ の曲線も加えてある。

次に、乱れの尺度 L_R は、

$$L_R = \bar{V} \int_0^\infty R(\tau) dt \dots\dots\dots(4)$$

で表示され、その計算結果は第5表に示してある。一般に乱れの尺度 L_R は乱れの強さを代表するものとされているが、(1)式の3つの領域によって

領域(A)、(C)..... I の大なる程 L_R は大

領域(B)..... I の大なる程 L_R は小

となる。ただし、 L_R は次に述べる乱れの大きさ L に比例するものと考えている。

第5表 乱れの尺度と乱れの大きさ

	$\int_0^\infty R(\tau) dt$	c	L_R	L	$\xi = L/L_R$
AV-T	11.3	0.0885	87.6 m	1017 m	11.61
AV(1)	8.1	0.1235	95.0	1174	12.36
AV(2)	8.2	0.1220	65.3	681	10.43

7. 乱れの大きさ

乱れの大きさ L は、シノザキー-Levy にしたがえば、パワースペクトル $S(n)$ に関する下式⁽²⁾

$$\frac{nS(n)}{\sigma^2} = 0.475 \frac{X}{(1+X^2)^{5/6}} \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 $X = Ln/\bar{V}$

$$L = 52.8 (I/\alpha)^3 Z$$

n : 周波数

σ : 風速の標準偏差

によって与えられる。したがって、 L は第5表に与える値となる。 L は、パワースペクトルの

概略の模様を与える。また、第5表に与えた ξ の値、 $\xi = L/L_0$ の平均は $\bar{\xi} = 11.47$ となり、 $|\xi| < (1 \pm 0.1)|\bar{\xi}|$ となっている。すなわち、 L の値から L_0 の大よりの値を推定できる。

8. 高さに対する乱れの強さと乱れの大きさ

測定点の地上高 Z に対する乱れの強さ I 、乱れの大きさ L を知れば、任意の高さ Z_x に対する I_x 、 L_x は下式から求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} I_x &= I \left(\frac{Z}{Z_x} \right)^\alpha \\ L_x &= L \left(\frac{Z_x}{Z} \right)^{1-\alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

したがって、 $Z_x = Z_1 = 10\text{m}$ においては第6表のごとくなる。

第6表 高さ $Z = 10\text{m}$ における乱れの強さ I_1 と乱れの大きさ L_1

	I	I_1	L	L_1
AV-T	0.1657	0.2046	1017	639
AV(1)	0.1344	0.1582	1174	638
AV(2)	0.0810	0.0911	681	323

9. 実測結果の検討

(1) {AV-T, AV(1), AV(2)} の実測結果を見るに、風の乱れの強さ I は測定された5ケースを通じて、AV-Tの方が大となっており、その平均値は {0.1657, 0.1344, 0.0810} となっている。{AV-T, AV(2)} の風速 \bar{V} は {7.75, 7.96} となっていて両者は、ほとんど等しいので各特性の比較に便利である。AV(1)の \bar{V} は 11.73とやや高い。ちなみにAV(2)の I は、0.0810とかなり小さいが、この場合地表は積雪でおおわれていた。

(2) 上記の \bar{V} に対応して、地表の粗度係数 K は、{0.00698, 0.00417, 0.00139} を与え風速分布の指数 α の値もこれに対応して、AV-T, AV(1), AV(2)の順に小さくなっている。 $K=0.001$ は開けた海面のそれを示し、 $K=0.007$ は多少、障害物のある平らな開けた地形のそれを代表している。なお、突風率も {1.38, 1.32, 1.21} となってAV-Tの時の方が大きい。

(3) 風の度数分布曲線、相関関数を見てもAV-Tの方がAV(1), AV(2)よりも乱れの強さ I が大きいことが知れる。特に風速のほとんどが等しいAV-T, AV(2)の比較では、その差が著しい。

(4) 自己相関係数の積分から得られる風の乱れの尺度 L_R は {87.6, 95.0, 65.3} となっている。AV(2) が(1)式のA領域に該当するのに対して、AV-T, AV(1)はB領域にあることを考慮に入れなければ、 L_R の数値のみから乱れの強さを判定することはできない。

(5) 風のパワースペクトル $S(n)$ を与える乱れの大きさ L によっても、 L_R と同様に領域の相違を考慮しなければならない。本文の例では L/L_R の比は10%以内の誤差で 11.47 となっている。

(6) 第1表に示したように AV-T では、乱れの強さ I が大きい程その振巾の2乗平均値も、また大きくなる傾向にある。このような現象は、微風振動では見られない所である。

(7) かくて、AV-T は AV に比し地形による表面粗度係数 K の大なる状態で発生し、乱れの強さ I は大であって、これに伴って風速の頻度曲線、自己相関関数も明らかに異なる様態を示す。その振巾は乱れの強さ I の増大とともに大きくなる傾向にある。

10. 結 言

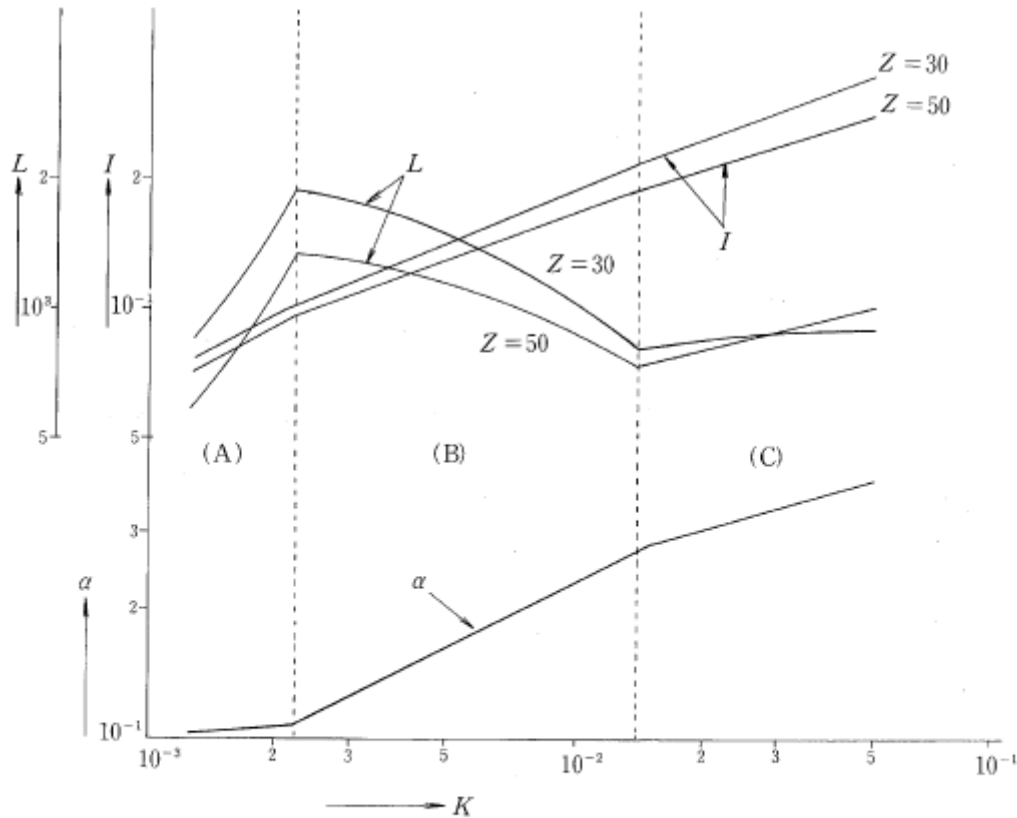
本文に実験結果を示し、検討の項で要約したごとく、乱流振動は微風振動に比し、風の乱れの強さが大なる時に生じる。その振巾は乱れの強さの大なる程、大となる傾向にある。これは、数例の実測結果から得られたものであり、なお、多くの実例によって、本文の結果が確かめられることが望ましい。

文 献

- (1) 敦賀試験線による大容量多導体送電線の実証研究 (総合報告書)
敦賀試験線共同研究グループ (昭和52年11月 関電総研資料)
- (2) 別文 “風の乱れの強さ I および乱れの大きさ L ”
- (3) 別文 “風速の度数分布曲線について”
- (4) A.G. Davenport “The Relationship of Wind Structure to Wind Loading”
Wind Effects on Building and Structures, Vol 1 H.M.S.O (1963)

K と α の関係

Davenportは地表の粗度係数 K と地上高に関する風速分布を与える指数 α との関数を図示している。⁽⁹⁾同氏が与えた K と α との関係を log-log 紙にプロットすると第3図を得る。すなわち、本文の(1)式に該当する関係が得られて、明らかに3つの領域に分割される。乱れの強さ I は、本文(2)式のごとく表示されるから標高 Z によって異なる値を与え、第3図にプロットしたように、 K の大なる程、大となる。しかるに、乱れの大きさ L は本文の(5)式が示すように α によって左右され、その値は第3図のごとく、3つの領域によって異なる傾向を示すことになる。



第3図 地表の粗度係数と風速分布の指数との関係(Davenportによる)