

IV-87 測量観測精度と風力に関する実験的研究 (1)

福井工業大学 正会員 長 浜 友 治

1. まえがき

測角、水準測量観測精度の風力による変動について試験観測を行ったので、その結果を報告する。基本測量においては、観測手筈に天候、気象の記録として風力階級を記し、観測値の重さの参考としている。公共測量等においても風は観測誤差を増大せしめるものであるが、どのような影響を与えるかは明らかでない。雨が降れば直ちに観測を中止するが、精度に影響を及ぼすと思われる相当の強風下でも、観測作業が行われているのが実情である。今回の試験観測では、水平角観測は Wild T-2 Theodolite, 水準観測については Nikon S2 準一等水準儀を用いて精密測量に対する試験観測を行ったが、引き続き普通測量精度のトランシット、水準儀に対する実験を予定している。

2. 水平角観測

観測器械は Wild TZ 15cm Universal Theodolite であり、目標の見えの良否、変動、光の横屈折等の影響を避けるため、約60mの近距離において視準釘を設け、三対回観測を一組とし連続観測を行った。風力は氣象庁検定三極風程式風速計により、地上0.5mの10分間平均地表面風速を測定した。

1) 観測値の差の分散

3対回観測、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_6$ を一組とする各風力階級における観測角を求めた。表-1は例えは $v=3 \sim 6 \text{ m/s}$ における観測値である。但し秒位のみを示す。各組から $\delta\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$ を求め、各母集団の不偏分散 u^2 の変化を解析した。 u^2 には Sighting error の分散 u_s^2 と Micro-value reading error の分散 u_m^2 が含まれており $u^2 = u_s^2 + u_m^2$ となる。 θ_i, θ_j の観測時刻を t_i, t_j とすると、 $\tau = t_j - t_i$ であり、全観測の平均より求めた。 $\overline{\delta\theta_{ij}}$ は $\delta\theta_{ij}$ の平均値であり、 N は標本数である。表2、表3、

表4にそれぞれ各風力階級における解析の結果を与える。図1は経過時間 τ と分散 u^2 の関係を示すものである。 $v=0 \sim 3 \text{ m/s}$ の分散のF検定を行つてみる。

$$F_0 = 3.478 / 1.664 = 2.09$$

$$F(8.17; 0.025) = 3.06$$

$$F(8.17; 0.005) = 4.39$$

$$F_0 < F(8.17; 0.025)$$

表-1

$v \text{ m/s} \backslash \theta''$	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6
3.45	53.3	49.7	53.1	52.9	52.4	49.9
3.06	53.3	53.2	52.3	54.4	53.4	55.5
3.18	44.5	44.9	42.5	47.6	44.4	42.8
4.93	23.7	24.9	28.1	23.5	26.1	25.3
4.74	42.2	41.9	45.8	44.0	44.0	43.6
5.14	43.5	41.1	42.4	43.8	41.5	42.3
5.42	42.8	41.6	44.3	45.0	41.0	43.8
5.83	42.0	40.2	43.4	39.5	41.1	39.9
5.69	40.8	41.0	42.6	44.7	40.6	44.6

表-2 $v=0 \sim 3 \text{ m/s}$

$\delta\theta_{ij}$	$\delta\theta_{12}, \delta\theta_{23}, \delta\theta_{34}, \delta\theta_{45}, \delta\theta_{56}$	$\delta\theta_{13}, \delta\theta_{24}, \delta\theta_{35}, \delta\theta_{46}$	$\delta\theta_{14}, \delta\theta_{25}, \delta\theta_{36}$	$\delta\theta_{15}, \delta\theta_{26}$	$\delta\theta_{16}$
$\tau \text{ (min)}$	2.0	4.1	6.0	8.2	10.1
$\overline{\delta\theta_{ij}}$	-0.020	+0.006	+0.007	+0.017	-0.100
N	45	36	27	18	9
u^2	2.864	2.742	2.658	1.664	3.478

万検定の結果、 $v=0\sim3\text{m/s}$ の分散には各時間間隔によるバラツキに差があるとう有意性は認められない。即ち、風の影響を受けない場合、分散には変化がないと考えるのである。

表-3 $v=3\sim6\text{m/s}$

$\delta\theta_{ij}$	$\delta\theta_{12}, \delta\theta_{23}$ $\delta\theta_{34}, \delta\theta_{45}$ $\delta\theta_{56}$	$\delta\theta_{12}, \delta\theta_{24}$ $\delta\theta_{35}, \delta\theta_{46}$	$\delta\theta_{14}, \delta\theta_{25}$ $\delta\theta_{36}$	$\delta\theta_{15}, \delta\theta_{26}$	$\delta\theta_{16}$
$\tau(\text{min})$	2.1	4.5	6.6	9.0	11.0
$\overline{\delta\theta_{ij}}$	-0.209	-0.211	-0.314	-0.417	-0.178
N	45	36	27	18	9
σ^2	6.014	5.052	3.828	2.755	5.609

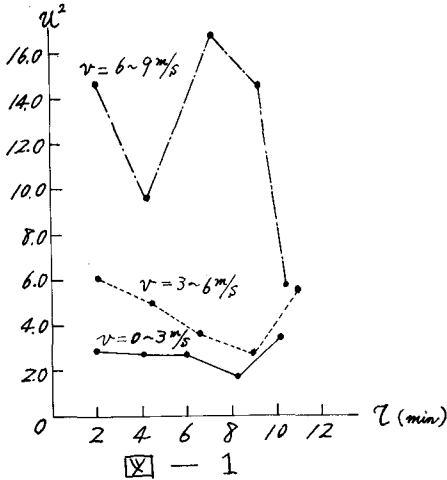


表-4 $v=6\sim9\text{m/s}$

$\delta\theta_{ij}$	$\delta\theta_{12}, \delta\theta_{23}$ $\delta\theta_{34}, \delta\theta_{45}$ $\delta\theta_{56}$	$\delta\theta_{12}, \delta\theta_{24}$ $\delta\theta_{35}, \delta\theta_{46}$	$\delta\theta_{14}, \delta\theta_{25}$ $\delta\theta_{36}$	$\delta\theta_{15}, \delta\theta_{26}$	$\delta\theta_{16}$
$\tau(\text{min})$	2.0	4.2	7.2	9.2	10.3
$\overline{\delta\theta_{ij}}$	+0.135	-0.653	-0.633	-1.306	+0.675
N	40	32	24	16	8
σ^2	14.796	9.606	16.807	14.541	5.776

ii) 最確値の分散

n 回観測における最確値の分散の理論値は

$$m_0^2 = \sum (v_s^2 + v_m^2) / n$$

$$v_s: \text{Sighting error} = \varphi = \varphi_0 / M = 1.4''$$

$$v_m: \text{Micro-value reading error} = \frac{B}{\sqrt{2}} = 0.7''$$

φ : 望遠鏡の分解能

φ_0 : 肉眼の分解能 = $40''$

M : 望遠鏡の倍率 = 28 倍

B : 最小読定値 = $1''$

n : 6 回

よって m_0^2 は $0.82''$ となる。各組の最確値の分散

$m^2 = \sum (\theta_i - \bar{\theta})^2 / n(n-1)$ を求め、各風力階級において $m_0^2 = 0.82''$ を越えた比率を調べると、 $v=0\sim3\text{m/s}$

においては、0%， $v=3\sim6\text{m/s}$ においては 15%， $v=6\sim9\text{m/s}$ では 42.9% となる。図 2 に $m^2 - v$ の相関図を示す。 $v=3\text{m/s}$ 近きまでは m^2 は正理分布する事が予想され、 $v=3\sim5.5\text{m/s}$ において減少し再び増加の傾向を示している。

iii) 観測差

n 回における観測差 μ'' の max error $M(r-e)_n$ は

$M(r-e)_n = \pm 2\sqrt{n(v_s^2 + v_m^2)}$ で表わされ計算の結果 $\pm 5.4''$ となる。観測データより max error $5.4''$ を越えたものは $v=0\sim3\text{m/s}$ において 0%， $v=3\sim6\text{m/s}$ において 15%， $v=6\sim9\text{m/s}$ では 42.9%

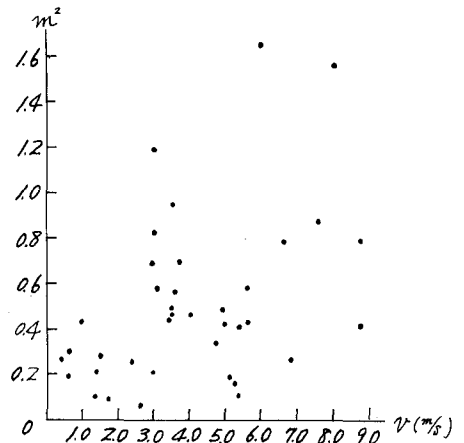
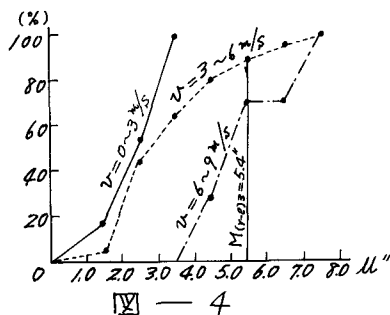
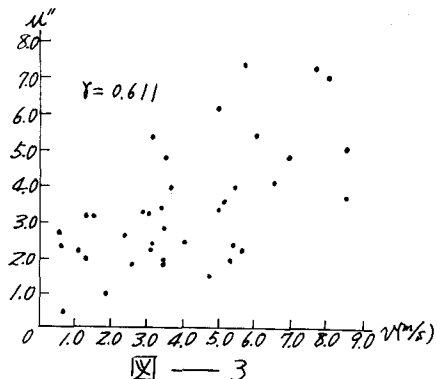


図-2

となり最確値の分散の場合と全く一致する。高低角差の max error は $M(\text{err}) = \pm 2\sqrt{n}(\sigma_y^2 + \sigma_z^2) \pm 2\sigma_y\sqrt{n}$
 $= \pm 12.3''$ であり、概したものはない。図3に $\mu - \nu$ 相関図を示す。相関係数 r を求めると



$$r = S(XY) / \sqrt{S(XX)S(YY)}$$

$$\text{但し } S(XX) = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left\{ \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 / n \right\} \quad S(YY) = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left\{ \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 / n \right\}$$

$$S(XY) = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left\{ \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) / n \right\}$$

計算の結果、 $r = 0.611$ となる。r 検定 ($P \neq 0$) を行ってみると

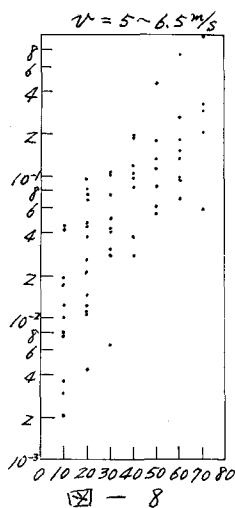
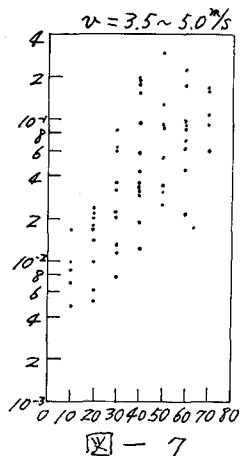
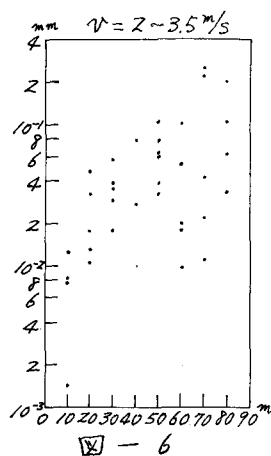
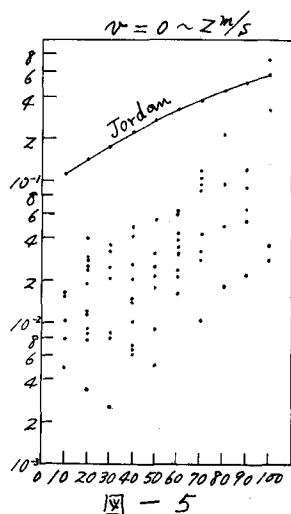
$$r(\phi, P) = r(PS, 0.01) = 0.4182 \quad |r| > r(\phi, P) \quad \text{高度に有意である。}$$

又母相関係数 ρ の区間推定値は、5% の危険率で、 $\rho_0 = 0.778$, $\rho_u = 0.362$ となる。

図4に観測差 μ'' の各風力階級における累積度数曲線図を示す。

3. 水準観測

観測器械は Nikon S2 準一等水準儀を用い、10m ~ 100m まで 10m 毎の視準距離に対し、 $f_1, f_2, f_3, \dots, f_8$ の 8 個の測定値を一组とした。各回毎に標尺を鉛直に立て直し、Level は水平を調整し、マイクロメータにより $1/100$ mm を目測した。



Level の観測誤差 μ は Level の設置に対する自乗平均誤差 λ と、標尺の読取りに対する自乗平均誤差 m で表わされる。即ち $\mu^2 = \lambda^2 + m^2$ となる。

Jordan 式

$$\mu^2 = (0.0185 \frac{1}{V^2} + 0.000000/94A) S^2 + 0.00794 \frac{T}{V} S + 0.00085 T^2$$

V : 望遠鏡の倍率 A : Level の感度

T : 標尺の目盛間隔 S : Level から標尺までの距離

観測誤差 μ^2 は一定の Level と標尺を用いると、 V, A, T は一定値となり、Level と標尺との距離 S のみにより変化する。Nikon S2 の場合、 $V=30$ 倍、 $A=10^\circ$ 、 $T=10^m$ を代入すると、Jordan 式は

$$\mu^2 = 0.00002249 S^2 + 0.00264666 S + 0.085 \quad \text{となる。}$$

観測値各組の測定値の分散 $\sigma^2 = \sum (f_i - \bar{f})^2 / n - 1$ を求め各風力階級における分散と視準距離の関係を示すと図5～図8の如くなる。

$v=0 \sim 2 m/s$ の場合実測値は Jordan 式より小さい値を示している。又、 $v=5 m/s$ 位までは 20^m までの近距離においては、風の影響が殆どなく、そのあと視準距離の増加に伴い観測誤差は急激に増大すると思われる。

図9に測定値の各組の同一視準距離に対する分散の平均 $\bar{\sigma}^2$ と視準距離 S の相関図を与え、図10に各組の分散(観測誤差)の分散 σ^2 と視準距離 S の関係を示す。

参考文献

- 1) A Note on the Variation of the Lateral Refraction at Night ---- T. Harada (Sokuchi Gakkaishi Vol 2 1956)
- 2) 「基準変測量の実際」 斎藤 暢夫

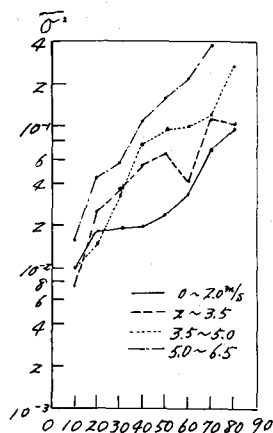


図 - 9

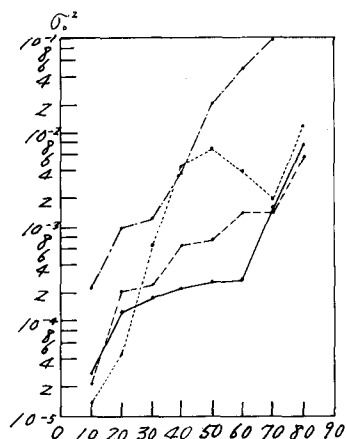


図 - 10