

“Wild N 3” レベルの測定誤差について

佐 藤 一 彦*

要 旨 “Wild N 3” レベルを用いた水準測量における測定誤差について、視準距離と視準誤差、気泡の合致誤差および地盤変動による誤差等を実験的に求め、個人誤差、各視準距離における閉そく誤差および重みについて検討した。

実験は経緯儀台（野外）にレベルをすえつけ、1本あるいは2本の標尺を20~70 mの距離の標尺台上に3本の布縄で固定して実施した。“Wild N 3”の性能を表-1に示した。

表-1 Technical Data of “Wild N 3”⁽¹⁾

Accuracy in mm, 1 km levelling run	±0.25
Telescope power	42×
Free objective glass diameter	50 mm 2.0 in 2.0 m
Shortest focussing distance	6 1/2 feet
Largest aiming distance for centimeter readings	450 m
Largest aiming distance for mm evaluation	200 m
Largest distance for 0.01 ft. reading	580 ft
Leveling accuracy	0.2 "
Diameter of field, at a distance of 100 m	18 m
Multiplication constant	100
Addition constant	-20 cm 295 mm
Length of telescope	11.61 in 3.5 kg
Weight of instrument	7.7 lbs 2.5 kg
Weight of metal case	5.5 lbs
Detailed description in booklet	N 145 e N 78 e

1. 気泡の合致誤差

(1) 感 度 測 定

40 m と 39 m の視準距離において tilting 1 目盛に対するレベルの感度を測定した。各測定結果を図-1, 2に示す。

レベルの感度を V 秒とすると次の関係が成立つ。

図-1 Tilting とレベル感度の関係

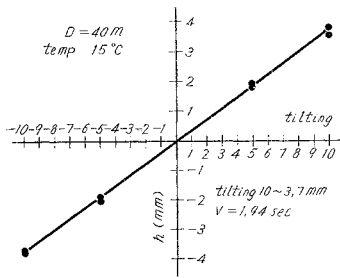
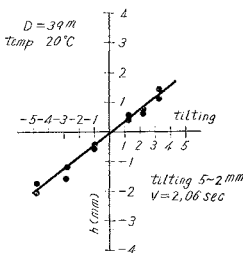


図-2 Tilting とレベル感度の関係



正員 海上保安庁水路部測量課, 測量計画係長

$$V = \frac{Q}{n} = 206\,265 \frac{h^2}{nD} \dots\dots\dots (1)$$

h : 標尺の読みの差 (mm)

D : 標尺までの距離 (mm)

n : tilting の移動量

2回の実験によれば、tilting 1 目盛に対し V はそれぞれ 1.94 秒、2.06 秒で平均 2 秒となり表-1に示した性能と一致する。

(2) 気泡の合致誤差

気泡の合致誤差すなわち tilting の合わせ方による平均自乗誤差 (m_t) は

$$m_t = \frac{1\,000\,V}{\sqrt{3}\,206\,265}\,nD \dots\dots\dots (2)$$

である。tilting は 1/10 目盛まで合致できるので (2) 式は次のごとくになる。

$$m_t = 0.000\,532\,D \dots\dots\dots (3)$$

m_t : 1/100 mm, D : m

各準視準距離における m_t を表-2に示す。

表-2

D (m)	20	30	40	50	60
a (1/100 mm)	1.1	1.7	2.2	2.8	3.4

マイクロメーターの読定は 1/100 mm の単位は目測であるので、その読定誤差を 3/100 mm とすると平均自乗誤差は 1.7/100 mm となる。

2. 視準距離 D と視準誤差 m_s との関係

マイクロメーターの読定を x_k , $k=1, 2, \dots, n$, その平均値を \bar{x} とすると、視準の平均自乗誤差 m_e は

$$m_e = \sqrt{\frac{\sum_k (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (4)$$

である。また hair と標尺マークの合致に関する平均自乗誤差を m_s , tilting の合致の平均自乗誤差を m_t , マイクロメーターの読定の平均自乗誤差を m_r および地盤の変動による沈下量の平均自乗誤差 m_d の間には次の関係がある。

$$m_e^2 = m_s^2 + m_t^2 + m_r^2 + m_d^2 \dots\dots\dots (5)$$

一般に、レベルをすえつけたとき、気泡は安定せず、時間とともに変動するが、その tilting と標尺の読定との間の関係は例えば図-3に示すごとくであり、tilting と沈下量との間には linear な関係が認められるようである。

図-3 Tilting と標尺の読定 (沈下量) との関係

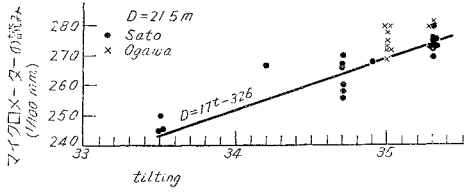


表-3

D (m)	測者	m_e (1/100 mm)		m_s (1/100 mm)		備考	
		m_t	m_p	m_s	m_s		
22	佐藤	4.7	14	1.2	1.7	4.2	hair と標尺マークの合致方式A型 (図-5)
22	小川	4.1	8	1.2	"	3.5	"
37	"	8.3	10	2.1	"	7.9	"
37	瀬尾	6.8	7	2.1	"	6.2	"
47	佐藤	3.2	5	2.6	"	0	"
47	"	8.9	8	2.6	"	8.3	"
35	"	5.6	4	1.9	"	4.9	"
39	小川	4.0	4	2.2	"	2.8	"
39	佐藤	5.5	5	2.2	"	4.7	"
58	"	6.2	15	3.2	"	5.0	"
58	小川	10.8	12	3.2	"	10.2	"
69	佐藤	14.5	8	3.8	"	13.9	"
22	小川	10	13	1.2	"	9.8	hair と標尺マークの合致方式B型 (図-5)

tilting が一定のときには沈下量が省略できると考えられるゆえ, tilting 一定のときの m_e および m_s を視準距離 D の関数と考えて求めた各人の結果を表-3, および図-4 に示す。

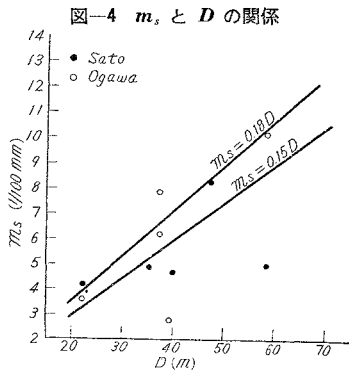


図-4 m_s と D の関係

上記測定より決定された D と m_s との関係は次のごとくである*。

$$m_s = 0.15 D \quad (\text{佐藤}) \dots\dots\dots (6)$$

$$20 \text{ m} < D < 70 \text{ m}$$

$$m_s = 0.18 D \quad (\text{小川}) \dots\dots\dots (6')$$

ここに D は m 単位, m_s は 1/100 mm 単位である。

(6), (6') 式なる視準距離 D と hair 標尺マークの合致の誤差 m_s との関係は parallax の影響はわずかと考えられるから主として人間の眼の分解能および望遠鏡の倍率により決定されるものと考えられる。

すなわち, いま

$$\text{人間の眼の分解能} \quad x'$$

* この関係は, 通例のごとく最小自乗法により求められた。ただし観測数による重さを考慮に入れるために, $\sum Ni(m_s^2 - a^2 D_i^2) = \min$ なる関係を用いた。

とすれば, 望遠鏡で視準して分解できる能力 $\sim \frac{60''x}{42} \sim 1.4x''$ である。従って, 例えば, 視準距離 $D=10 \text{ m}$ においての分解能力による視準の誤差は,

$$10^6 \times \frac{1.4x}{57 \times 60 \times 60} \sim 6.8x \quad (\text{単位 } 1/100 \text{ mm})$$

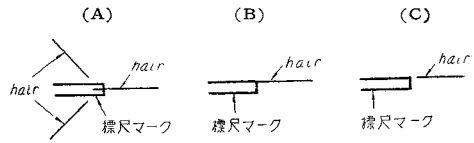
従ってその平均自乗誤差は,

$$\text{平均自乗誤差} \sim \frac{6.8x}{\sqrt{3}} \sim 3.9x \quad (\text{単位 } 1/100 \text{ mm})$$

である。

われわれは hair の合致方式として図-5 に示すA型を用いたが, B型およびC型を用いたとき, 何の程度の差があるかを調べると次のごとくなる。

図-5 hair と標尺の合致方式



$$m_s(\text{C型})/m_s(\text{A型}) \sim 2.3 \quad (D=22 \text{ m}, \text{小川測定})$$

$$m_s(\text{C型})/m_s(\text{B型}) \sim 2 \quad (D=22 \text{ m}, \text{佐藤測定})$$

以上の諸結果よりC型による合致を行なう場合の目の分解能を求めれば,

$$m_s(\text{C型})/m_s(\text{A型}) \sim 3.9x/1.8 \sim 2.3$$

$$\therefore x \sim 1' \quad (\text{小川測定})$$

この x の値は大約点の分解能を示す値に一致している。またB型とC型との比は大約線分解能と点分解能の比に一致している。

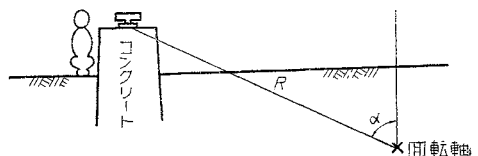
以上より, A型による合致方式はすぐれた方法であり, C型による合致方法を数回行なった結果と同等であることがわかる。また m_s と D との関係は視準距離 20~70 m の範囲に関する限り, 眼の分解能, hair と標尺マークのバランスの感覚および望遠鏡の倍率により決定されるものと思われる。

3. 測定にさいしての地盤の変動

水準測量を行なうにあたって, 地盤の人間の体重による変動は高感度のレベルにおいては, 常に経験されることであるが, これは本実験において使用した経緯儀台についても認められる。

すなわち, 図-6 に示すごとく, 測者が一測標に対し測定を継続するにつれて, tilting が変動し, これにとも

図-6



ない、地盤の沈下あるいは隆起が認められる。そしてその傾向は主として人間の体重に依存し、例えば重体重の測者の後に軽体重の測者が測定を継続するときは、前者において認められた沈下は、後者において隆起すなわち復元の傾向に逆転する。この沈下および隆起の傾向は tilting の変動にともなうものであり、tilting の変動 1 に対し沈下は 10/100 mm 程度である。これを 図-6 に示すごとく回転軸のまわりの回転運動と考えて回転半径 R および垂直軸に対する傾斜角 α を求めると、 $R \sim 10$ m, $\sin \alpha \sim 1$ の order となる。すなわち、地盤の変動は水平の次元が少なくとも 10~20 m, 深さ数メートル程度の規模にわたって、行なわれているのではないかと思われる。

かくのごとく、測定にさいしての地盤変動は避けられないものであり、前視、後視による 2 点間の高低差決定にさいしてもこの影響はまぬかれない（この影響を少なくするために測定は敏速でなければならないことは明らかである）。これを例示すれば、 $D=20$ m で $2D$ 間の高低差決定を佐藤、小川によって行なった結果、測定の誤差の平均自乗誤差はそれぞれ次のごとくであった。

$m_e = 9.1$ (佐藤) 測定 10 回

$m_e = 6.6$ (小川) 測定 10 回 (単位 1/100 mm)

関係式 (5) によって、前視、後視それぞれ当りの沈下量の平均自乗誤差を求めれば*

$m_d \sim 5.0$ (佐藤)

$m_d \sim 2.2$ (小川) (単位 1/100 mm)

となる。すなわち軽体重である方が沈下量の平均自乗誤差の値はわずかであり、またこの値は 2/100~6/100 mm 程度であることがわかる。実際に測量を行なうに当っては、その土地の性質にもよるけれども 10/100~20/100 mm 程度ではないかと思われる。

4. 測定にさいしての個人誤差

測定にさいしての個人誤差は主として、視準誤差、沈下量に表われる。

視準誤差の個人誤差を示すものは表-3、図-4 である。これを決定するものは、前述のごとく個人の眼の分解能および hair と標尺マークとのバランスの感覚に起因するものである。図-4 からいえることは、視準誤差に関しては小川より佐藤の方が良効であるが、むしろ二者共同程度であり、個人誤差は認められない。

* 前視および後視のさいの沈下量をそれぞれ x_1, x_2 とすればその差は

$$\Delta x = x_1 - x_2 = \bar{x}_1 + \delta x_1 - \bar{x}_2 - \delta x_2$$

である。

$\bar{x}_1 \approx \bar{x}_2$ と考えられるゆえ

$$\Delta x = \delta x_1 - \delta x_2$$

従って

$$\Delta \bar{x}_2 = 2 \delta \bar{x}_2 \quad (\delta \bar{x}_1 = \delta \bar{x}_2 \text{ と仮定})$$

ゆえに m_d^2 は $m_d^2 = \delta \bar{x}_2^2$ として表わされる。

沈下量に関しては、3. に示したごとく一例のみであるが、軽体重の方が精度がよいといえるのではないかと思われるが、その差はわずかである。敏速に測定を行なった場合は、さらにその差は少なく二者共同程度である。

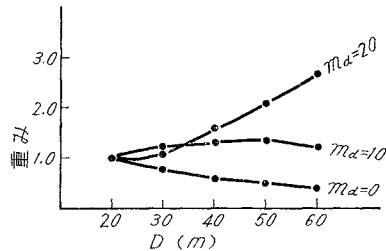
5. 規準距離と閉そく誤差および重みとの関係

レベルのすえつけ 1 回の誤差は (4) 式より次のごとく表わされる。

$$m_e^2 = 2 m_s^2 + 2 m_t^2 + 2 m_r^2 + m_d^2 \dots \dots \dots (7)$$

前・後視の視準距離を等しくし、 $D=20 \sim 60$ m における m_e の値を 図-7 に示した。図-7 より視準距離が大きくなるほど、また m_d が大なるほど、 m_e が大なることがわかる。

図-7 すえつけ 1 回の誤差



1 km を前・後視の視準距離を等しくして測量するものとする、そのすえつけ回数は $1000/2D$ である。1 km の閉そく誤差 M およびその重み p^3 は次のごとくである。

$$M = \sqrt{\frac{1000}{2D}} m_e \dots \dots \dots (8)$$

$$p = \frac{1}{M^2} \dots \dots \dots (9)$$

$m_d=0, 10, 20$ (1/100 mm) の場合の各視準距離に対する M および p を、それぞれ 図-8, 9 に示す。

図-8 1 km の誤差

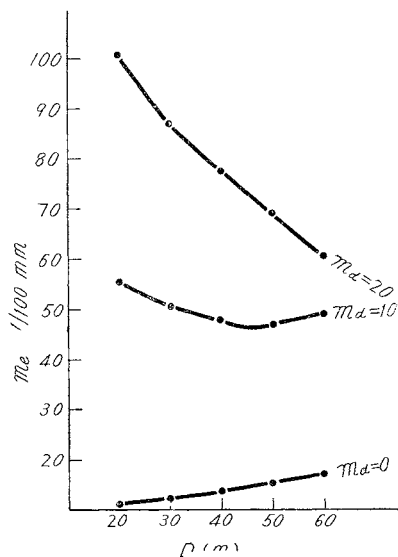
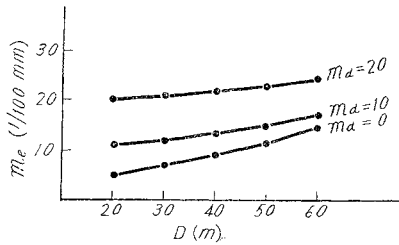


図-9 1 km の重み



1 km の閉そく誤差を $D=20\sim 60$ m についてみるに、 $m_a=0$ の場合は D を増すに従い M は漸次大きくなり、 $m_a=10$ の場合は $D=47.56$ m のときが最も精度がよく $M=\frac{46.4}{100}$ mm である。また $m_a=20$ の場合は D を増すに従いかい M は漸次減小する。

1 km の水準測量についての各視準距離における重みは $D=20$ m を 1 として表わした。

図-8, 9 より m_a が大きいほど D が大になることがわかる。一等水準測量における 1 km の閉そく誤差は 1.5 mm であるから $m_a=20/100$ の場合でも十分制限誤差内にある。

本年 4 月に筆者等 4 名によって行なった水準測量の結果より、400 m の各人別閉そく誤差を検討すると、水路部構内においては $m_a \approx 5/100 \sim 20/100$ mm 程度である。

6. あとがき

Wild N3 レベルを使用した水準測量における測定誤差は主として視準誤差すなわち hair を合致させる誤差、および地盤沈下による誤差である。

気泡感度は非常によく tilting 1 目盛あたり 2 秒程度であり気泡合致誤差は 60 m の視準距離で 3.4/100 mm である。

個人誤差は主として視準誤差および地盤沈下量によるものと思われるが、視準距離 60 m における視準誤差の差は 1.7/100 mm で、 $D=20$ m における地盤沈下による誤差の差は 2.8/100 mm であり、ほとんど同程度である。

field における測量の場合は地盤沈下による影響を 10/100 \sim 20/100 mm とすると十分に一等水準測量の精度にある。

炎陽等の影響を考慮すると視準距離を約 50 m とした場合が最も高い精度が得られると思われる。

本研究に当り海上保安庁水路部 松田 啓測量課長より種々御指導を賜わり、また同測量課 小川喜平治氏には実験ならびに資料の整理に御協力を頂いた。ここに深く謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) “Wild N3” レベルカタログ
- 2) 岡積 満：水準・スタジア・平板測量
- 3) 岡積 満：“水準測量の重みについて”，第 13 回土木学会年次学術講演会講演概要

(原稿受付：1960.5.26)

書 評

最新土木施工法講座 22

施工用土木機械

中 岡 二 郎 著 山 海 堂 刊

近年建設工事において機械化は着々と進められており、規模の大きいものを短期間に完成させることができるようになっただけでなく、技術的にも機械を使用することによりはじめて可能となった分野が多い。したがって設計、監督、施工のいずれの業務に属するを問わず、土木技術者として建設機械を認識するの必要にせまられている。それも単に機械のメカニズムを知るだけでなく、施工の目的に合うよう機械をいかに合理的に使いこなすかということが大切になってきている。その観点に立って土木機械の選択および使用上の注意事項に重点をおいて記されたのが本書である。

内容は、I. 総論では、機械施工の本質、機械の構造、運転、整備、選択、分類について述べられ、II. 各論は、土工用、岩石工用、基礎工用、骨材製造用、コンクリート工用、舗装工用、作業船、

輸送車両、クレーン、コンプレッサー、ポンプ、原動機と全種類をもうらざれている。III. 機械の要素には、機械を構成している基本的なものとしてシャフト、ベアリング、スプリング等について説明されており、最後の IV. 完成部品で、ワイヤーロープ、タイヤ、電池、燃料等、機械運営上重要な資材について記されている。

総じて、広範囲にわたり、大はブルドーザーより、小はジャックハンマーに至るまで、しかも最近実用化されたものまであらゆる土木機械が収録されており、豊富な写真と図面は理解を非常に容易ならしめている。また機械を使用する工事にさいして心得ておくべき事項についても書かれてあるので、失敗を未然に防ぐのに役立つことも多いと思われる。建設機械発達年代誌の抄録により、この部門の歴史が紹介されているのも興味ぶ

か。

なおさらに望まれるのは、各機種について代表的な大きさとその諸元、性能、特質を一覧表にまとめ、価格、運転経費等の概略が示されることにより、経済性の検討に便ならしめること、一部の写真がより鮮明であって欲しいこと、図解の説明不足のものを無くすることなどである。

多数の資料を集め整理された筆者の努力に深く敬意を表するとともに、実用的価値の高い参考書としてひろく愛読されることが期待できよう。

著者：正員 工博 武蔵工大教授
A5判 416 ページ、定価 700 円、
昭. 35. 6. 15 発行。
山海堂：東京都新宿区細工町 15
Tel (331) 9019・9058・9063・
振替東京 194982 番