

浅野工学専門学校 正会員 高橋 茂男
防衛大学校 正会員 加藤 清志

1. まえがき

前報¹⁾で現存する歴史的建造物である塔婆の水平と高低差偏位量を実測により求めたが(写真-1), それらが理論値と対応しての信頼性を検討すべき必要性を感じた。本報告は一部前報²⁾で発表した²⁾が, その後さらに観測角と基線長の誤差の影響を解析し, 精度向上のための最適観測条件を明らかにしたものである。

2. 観測方向(図-1, 2参照)

塔婆柱面に対して平行なX, Y軸を作り, 交点Oにトランシット

(S社製, 水平・鉛直とも最小読定値20")をセットしX, Y軸上にA, B, C, D点を取り基線長(L_x, L_y)を測定し, A, …… Dの各測点から各観測点(P_n)の水平角(α, β), 鉛直角(θ, φ)を測定する。

3. 水平距離および高低差式

前報²⁾で誘導された, 水平距離Yと高低差Hは次式のとおりである。

$$Y = L_x \frac{\sin \alpha_x \cdot \sin \beta_x}{\sin(\alpha_x - \beta_x)} \quad \dots (1)$$

$$H = L_x \frac{\sin \alpha_x \cdot \tan \phi_x}{\sin(\alpha_x - \beta_x)} \quad \dots (2)$$

4. 誤差伝播式の誘導

ここではとくにX軸方向の場合

について示すと, 観測角 α_x, β_x, φ_x および基線長 L_x 等のそれぞれの測定誤差を dα_x, dβ_x, dφ_x, dL_x とすると, 水平距離誤差 dY および高低差誤差 dH は次式で与えられる。

$$dY = -L_x \frac{\sin^2 \beta_x}{\sin^2(\alpha_x - \beta_x)} d\alpha_x + L_x \frac{\sin^2 \alpha_x}{\sin^2(\alpha_x - \beta_x)} d\beta_x + \frac{\sin \alpha_x \cdot \sin \beta_x}{\sin(\alpha_x - \beta_x)} dL_x \quad \dots (3)$$

$$dH = -L_x \cdot \tan \phi_x \frac{\sin \beta_x}{\sin^2(\alpha_x - \beta_x)} d\alpha_x + L_x \cdot \tan \phi_x \cdot \sin \alpha_x \frac{\cos(\alpha_x - \beta_x)}{\sin^2(\alpha_x - \beta_x)} d\beta_x + \frac{\sin \alpha_x \cdot \tan \phi_x}{\sin(\alpha_x - \beta_x)} dL_x + L_x \frac{\sin \alpha_x}{\sin(\alpha_x - \beta_x) \cdot \cos^2 \phi_x} d\phi_x \quad \dots (4)$$

5. 最適観測条件の一般化

いま, 測定誤差として観測角については10", 基線長については1mmとした場合, 任意の観測角と基線長に対し, 水平距離誤差1mm以内, 高低差誤差1mm以内の最適観測条件はそれぞれ図-3, 4に示される。

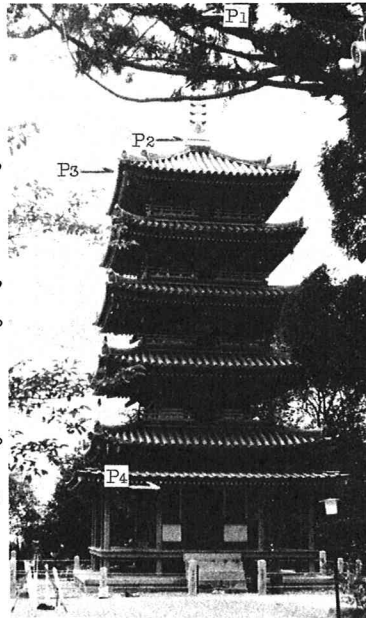


写真-1 海住山寺五重塔(京都)
の環境条件と観測点

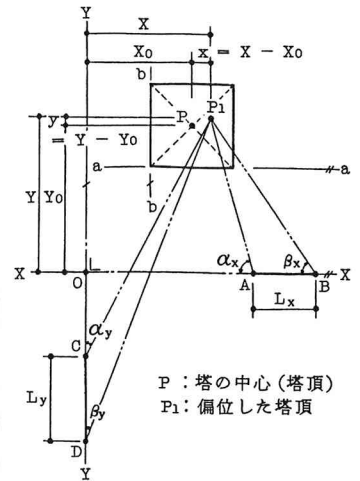


図-1 測点の平面配置状況

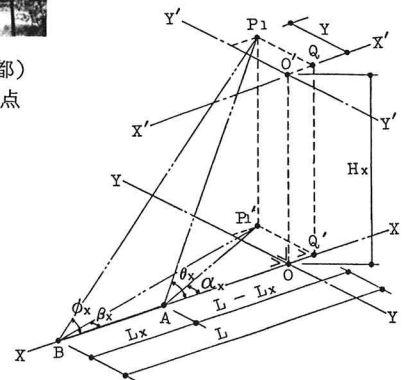


図-2 X軸についての立面配置状況

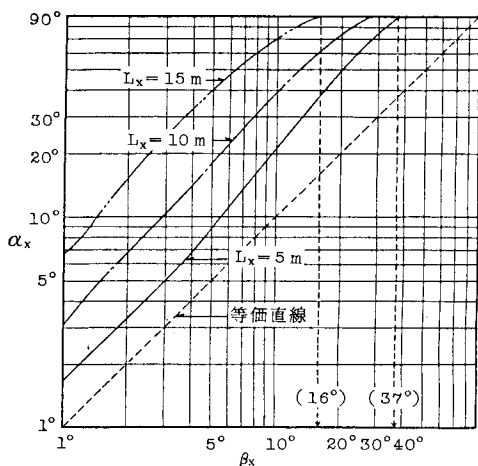


図-3 水平距離誤差1mm以内の観測角と基線長との関係

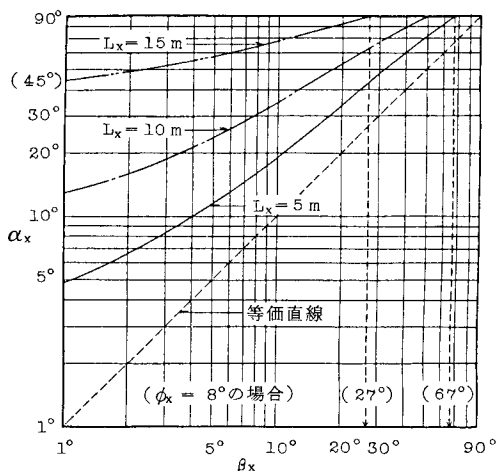


図-4 高低差誤差1mm以内の観測角と基線長との関係

図-3より、 $L_x = 5\text{ m}$ では α_x が 90° 近くで β_x が 37° であったものが、 $L_x = 15\text{ m}$ と大きくなると β_x の範囲は 16° と半減し、最適観測条件の範囲は狭くなる。図-4より、水平距離誤差と同傾向ではあるが、 β_x の範囲は拡大するものの α_x の範囲は減少し、 $L_x = 15\text{ m}$ では α_x が 45° 以上でなければならない。さらに ϕ_x が大きくなるにしたがい、最適観測範囲も狭くなることが確認できた。以上より、誤差1mm以内はかなり厳しいものであることがわかる。また、誤差条件が2, 3, 5mm以内と緩和されるにしたがい究極的には $\alpha = \beta$ の等価直線に漸近する。

表-1 海住山寺五重塔(国宝、1214年建立)の観測値

	α_x	β_x	ϕ_x	L_x	α_y	β_y	ϕ_y	L_y
最大値	46°01'30"	31°42'40"	32°06'20"	9.2560 m	43°36'20"	21°48'40"	27°37'00"	11.3330 m
最小値	30°25'50"	19°18'20"	2°35'30"		5°29'40"	3°41'20"	0°45'30"	9.5076 m

6. 実塔婆に関するケース・スタディー

前報¹⁾で示した実例の一つとして、京都府 海住山寺五重塔での観測値は表-1であるが、これら観測値を上述の最適観測条件図にプロットしたものが、水平距離誤差については図-5で2~3mmに、また高低差誤差については図-6で2~5mmに集中していた。以上より、かなり厳しい誤差1mm以内に納まる範囲でなく、当初考えていたより総合誤差が比較的大きくなっていることがわかった。

7. むすび

これらの最適観測条件図に誤差条件を与え、図解で観測角、基線長の最適範囲が容易に求められるので、実測の信頼性と確保と作業能率向上に活用できると考える。実測を行なう場合には塔婆の環境

によっては最適条件を満たすことは困難な場合もあるが、極力この条件に近づけるべきである。

<謝辞> 本研究には、防大 山田 均事務官の助力を受けた。付記して謝意を表する。
<参考文献> 1) 高橋茂男：塔婆の傾きに関する研究，建築学会 関東支部昭和51年研究発表会研究報告集，昭51.7., pp.325~328. 2) 高橋茂男，加藤清志：塔婆の偏位観測に関する研究，土木学会 第12回関東支部技術研究発表会講演概要集，昭60.3., pp.159~160.

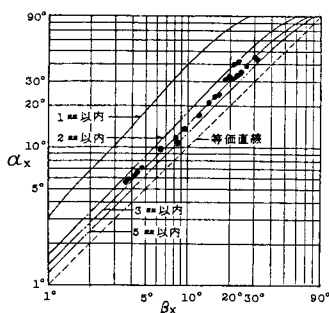


図-5 基線長10mの場合の観測角と水平距離誤差との関係

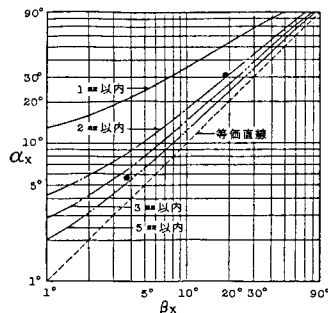


図-6 基線長10mの場合の観測角と高低差誤差との関係 ($\phi_x = 8^\circ$ の場合)