



佐野武・嘉納成男・蔡成浩 著

建築測量

基本と実践



彰国社

佐野武・嘉納成男・蔡成浩 著

建築測量

基本と実践

まえがき	003
------	-----

1 概論

1.1 測量の分類	008
1.2 測量技術の変遷	014
1.3 測量の基準	018
1.4 測量における位置の表し方	022
1.5 測量に使用する基本的な三角関数	025

2 距離（長さ）測量

2.1 使用機器	028
2.2 巻尺による距離測量	028
2.3 光波距離計による距離測定	032

3 水準（高さ）測量

3.1 使用機器	038
3.2 レベルによる水準測量	039

4 角度測量

4.1 使用機器	050
4.2 セオドライトによる角度測量	052

5 三次元測量

5.1 使用機器	066
5.2 トータルステーションによる三次元測量	067
5.3 GPSによる三次元測量	070
5.4 ステレオカメラによる三次元測量	072
5.5 レーザースキャナーによる三次元測量	074

6 建築工事における測量の実践

6.1 建築工事測量の分類	078
6.2 施工計画	079
6.3 基準点測量	080
6.4 墨出し作業	085
6.5 杭工事	089
6.6 土工事	093
6.7 鉄筋コンクリート工事	098
6.8 鉄骨工事	105
6.9 仕上げ工事	108
6.10 施工精度	115

7 実習課題

7.1 距離測量	122
7.2 水準測量	125
7.3 角度測量	129
7.4 三次元測量	133

参考文献	137
------	-----

索引	138
----	-----

測量とは2点間の距離、高低差および2つの方向の間の角度を測定し、絶対的な位置または相対的な位置を決めるとともに、図面や数値で表された位置を地上に測定し、再現する技術をいう。本章では、測量の分類、測量技術の歴史の変遷、測量の基準、測量における位置の表し方、測量に使用する基本的な三角関数について述べる。

1.1 測量の分類

測量は、その規模、目的、計測対象および使用する機器、測量法による分類ができる。

1.1.1 規模による分類

(1) 大地測量

地球全体を対象範囲とし、地球が回転楕円体または球体である前提で地表面を測量する。その位置関係は三次元で表す。測地学的測量ともいう。

(2) 平面測量

地球上の一部を対象範囲とし、地表面が平面である前提で測量する。国土地理院が行う基本測量、工事に伴うすべての測量が含まれる。局地測量ともいう。

1.1.2 目的による分類

(1) 基本測量

測量の基礎となるもので、既存の基準点（三角点）、水準点の確認や新設点を定めるために、国土地理院が行う。

(2) 地形測量

土地の平面的な形状と高低起伏を表す地形図を作成するために行う。

(3) 応用測量

道路、河川、港湾、トンネル、農地、山林、市街地などの計画、調査、実施設計、用地取得、管理などに必要な図面、資料を得るために行う。土木測量ともいう。

(4) 地籍測量

土地の寸法、面積を精密に定め所有関係を確認するために行う。

(5) 工事測量

建築工事に必要な、事前調査、工事を進めるための墨出し、精度管理、安全管理のために行う。

1.1.3 計測対象および使用する機器による分類

(1) 距離測量

測点間の水平距離、垂直距離、斜距離を巻尺、光波距離計などを

用いて計測する。

(2) 水準測量

基準となる高さに対する測点の高低差をレベル、水準器などを用いて計測する。

(3) 角度測量

測点間が成す水平角、鉛直角、磁北に対する方位角（方向角）をセオドライトなどを用いて計測する。

(4) 三次元測量

器械点から測点Aまでの水平距離、水平角、天頂角を計測し、図1.1のように、三次元の座標をトータルステーション、レーザースキャナーなどを用いて計測する。

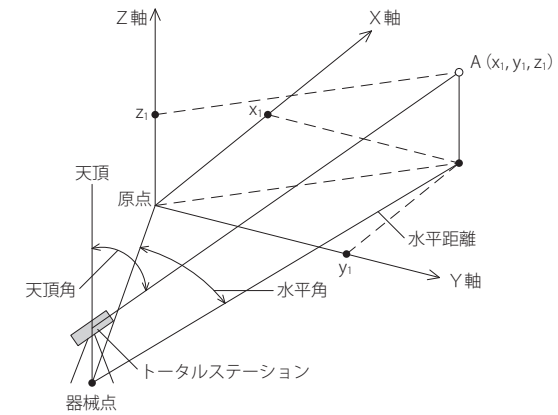


図1.1 トータルステーションを用いた三次元座標の測定

(5) 平板測量

アリダードを水平に設置した図板を用いて測点A、B、C、Dを視準し、その方向線を図板上に描き、測点までの距離を測定し、図1.2のA'、B'、C'、D'のように縮尺図を描く方法である。応用測量などに利用されるが精度は低い。

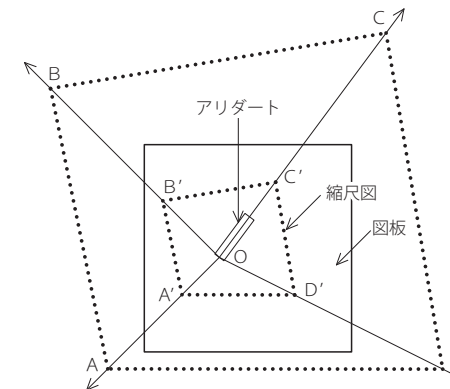
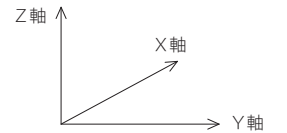


図1.2 平板による縮尺図の作成

ポイント

測量における座標系：X軸は原点において真北を（+）とし、Y軸は原点において真東を（+）とする。



ポイント

国土地理院：地理空間情報の整備・更新・提供を行う国土交通省の特別機関である。



写真1.1 図板とアリダード

ポイント

アリダード：図板上に置いて前後の視準板を見通して目標物までの方向線を引くための道具である。図板の水平度確かめる水準器や定規がついている。

距離の測量は、2つの測点間の距離を測るものであり、鋼製巻尺、光波距離計などを用いて行う。本章では、距離測量に使用する機器の説明とともに、鋼製巻尺と光波距離計を用いた距離の測定方法について述べる。

2.1 使用機器

距離測量には鋼製巻尺、光波距離計または光波距離計が内蔵されたトータルステーションが使われる。測定条件を考慮し、表2.1で示した各機器の特徴に合わせて、どの機器を使用するかを決める。

表2.1 主な距離測量用の機器の特徴

測定機器	特徴
鋼製巻尺	<ul style="list-style-type: none"> 大型部材の寸法計測に使用(5~50m) 使用には検定が必要 器差、張力、温度、たるみの補正が必要 不整地な場所での使用時、長距離での使用時は誤差が出やすい
コンベックスルール	<ul style="list-style-type: none"> 測定長さが10m以下の測定 携帯しやすく、簡便に使える
光波距離計 (トータルステーション)	<ul style="list-style-type: none"> 測定できる距離の長い(200m程度) 高低差のある場所、不整地で水平距離を求めることができる 温度、気圧の補正が必要 コンピューターによるデータ管理が可能 トータルステーションの距離測定機能として内蔵されることが多い



写真2.1 鋼製巻尺



写真2.2 コンベックスルール



写真2.3 光波距離計

2.2 巻尺による距離測定

2.2.1 巻尺の種類

巻尺は、その材料により鋼製巻尺と繊維系巻尺に分類できる。繊維系巻尺は張力による伸びが大きく測定精度が低いため、鋼製巻尺が使用されることが多い。市販されている巻尺には、表2.2のように、

表2.2 巻尺の種類ごとの長さの許容差

種類	呼び寸法	長さの許容差 (mm)
鋼製巻尺 (広幅)	5 ~ 200m (5mの整数倍)	1級 ± (0.2+0.1L) 2級 ± (0.25+0.15L)
コンベックスルール	0.5 ~ 10m (整数倍)	1級 ± (0.2+0.1L) 2級 ± (0.25+0.15L)
繊維系巻尺1種 (線目盛)	0.5 ~ 9m (または5mの整数倍)	1級 ± (0.6+0.4L) 2級 ± (1.2+0.8L)
繊維系巻尺2種 (境目盛)	0.5 ~ 9m (または5mの整数倍)	1級 ± (1.2+0.8L) 2級 ± (2.4+1.5L)

注) Lは、測定距離をメートルで表した数値であって、単位をもたない(1未満の端数は、切り上げて整数値とする)

ポイント

鋼製巻尺とコンベックスルールの JIS 規格 : JIS B 7512-2005
繊維系巻尺の JIS 規格 : JIS B 7522-2005

JIS 規格で定められた長さの許容差により1級と2級がある。

2.2.2 測定方法

巻尺を用いた測定作業では、精度が要求される場合には鋼製巻尺を選定して行う。測定作業後には、測定値の補正を行い、測定結果をまとめる。

(1) 鋼製巻尺の選定

- JIS (1級) の表示がある鋼製巻尺を使用する。
- JIS (1級) 品であっても、複数使用する場合は、測定誤差のパラッキが同一傾向のものを使用する。現場では、同一傾向の誤差をもった検査成績書付きの巻尺をメーカーから数本購入し、そのうち1本を基準巻尺として保管する。
- 計測距離より短い巻尺は測定誤差が累加されるため、使わない。

(2) 測定作業

- 温度変化が激しいときや強風時は測定誤差が出やすく、気象条件が比較的安定する早朝や夕方に測定を行うように計画をする。
- 測定時の温度は、巻尺を伸ばし外気温と同一にした後に直接に巻尺の温度を測定して求める。
- 測定点間の直線距離が測定できるように見通し線上に巻尺を設置する。
- 巻尺の目盛誤差を防ぐため、巻尺を数回ずらし測定する。

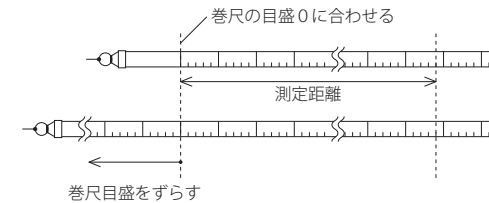


図2.1 巻尺目盛をずらした測定

- 目盛の読取り係の合図を徹底し、張力をかけた巻尺の位置ずれがないよう同時に目盛を読み取る。
- 個人の読取り誤差を防ぐため、読取り係を交替して測定する。

(3) 測定値の補正

鋼製巻尺は平坦面上において、所定の温度で、軸線方向に加えた所定の張力を標準測定条件とし、測定値がJIS規格で決められた長さの許容差内に収まるように製作されている。したがって上記の標準測定条件以外で測定を行った場合は、測定値の補正を行う。補正には、定数補正、温度補正、張力補正、たるみ補正の4つの項目がある。

①定数補正

個々の巻尺がもつ製造時の誤差を補正する。標準測定条件での測定値と正しい長さとの差を補正の定数として使用する。定数補正値の計算方法を式2.1に示す。補正の定数は、下記の書類で確認する

ことができる。

- a) 比較検査成績表（巻尺メーカーの製品管理用基準巻尺との比較検査）
- b) 検査証明書（(社) 日本測量協会での発行）
- c) 比較検査証明書（計量研究所での発行）
- d) 計量法に基づく検査合格印（検定所で比較検定により発行）

$$C_0 = L \times \frac{\Delta L}{L_a} \quad \dots\dots\dots \text{式 2.1}$$

- L : 測定値 (m)
- C₀ : 定数補正值 (m)
- L_a : 使用する巻尺の全長 (m)
- ΔL : 使用する巻尺の補正の定数 (m)

計算例

定数が + 5.2mm の 50m 巻尺で、測定値が 30m の場合の定数補正值は？

$$30 \times \frac{0.0052}{50} = 0.00312 \text{ (m)}$$

定数補正值 : 0.0031m (小数点第 5 位以下を切捨て)

②温度補正

鋼製巻尺は温度の変化によって伸縮するため、標準測定条件での温度と測定時の温度が異なる場合は温度補正を行う。温度補正值の計算方法を式 2.2 に示す。

$$C_t = a \times L \times (T - T_0) \quad \dots\dots\dots \text{式 2.2}$$

- L : 測定値 (m)
- C_t : 温度補正值 (m)
- a : 線膨張係数 (1/°C)
- T : 測定時の温度 (°C)
- T₀ : 標準測定条件での温度 (°C)

計算例

測定時の温度が 30°C、測定値が 30m の場合の温度補正值は？
(線膨張係数は 11.5 × 10⁻⁶/°C、標準測定条件での温度は 20°C)

$$11.5 \times 10^{-6} \times 30 \times (30 - 20) = 0.00345 \text{ (m)}$$

温度補正值 : 0.0034m (小数点第 5 位以下を切捨て)

③張力補正

鋼製巻尺に張力を加えると応力に比例してひずみが生じ伸縮するため、標準測定条件の張力と測定時の張力が異なる場合には張力補正を行う。張力補正值を用いた補正を式 2.3 に示す。

$$C_p = L \times \frac{(P - P_0)}{A \times E} \quad \dots\dots\dots \text{式 2.3}$$

- L : 測定値 (m)
- C_p : 張力補正值 (m)
- P : 測定時の張力 (N)
- A : 巻尺の断面積 (mm²)
- P₀ : 標準測定条件での張力 (N)
- E : ヤング率 (N/mm²)

計算例

測定時の張力が 30N、測定値が 30m の場合の張力補正值は？
(巻尺の断面積は 2.8mm²、ヤング率は 20.68 × 10⁴N/mm²、標準測定条件での張力は 20N)

$$30 \times \frac{(30 - 20)}{2.8 \times 20.68 \times 10^4} = 0.000518 \text{ (m)}$$

張力補正值 : 0.0005m (小数点第 5 位以下を切捨て)

④たるみ補正

鋼製巻尺を両端で支持、空中に吊した状態にすると鋼製巻尺の自重でたるみが生じ、実際の水平距離より長く計測される。たるみ補正值の計算方法を式 2.4 に示す。

$$C_s = - \frac{(m \times g)^2 \times L^3}{24 \times P^2} \quad \dots\dots\dots \text{式 2.4}$$

- L : 測定値 (m)
- C_s : たるみ補正值 (m)
- m : 巻尺の単位長さ当たりの重量 (kg/m)
- g : 重力加速度 (N/kg)
- P : 測定時の張力 (N)

ポイント

たるみ補正における式はカタナリー曲線式からの近似値である。

5.3.1 GPSの構成

(1) GPS衛星群

GPS 専用に取り上げられた人工衛星（地上約 2 万 km を周回）で 6 個の軌道上に 4 個ずつ合計 24 個配置され、地球上のどこからでも最低 4 個の衛星からの電波を受信できるようになっている。GPS 衛星には測位のための送信機、電子時計などが搭載されている。

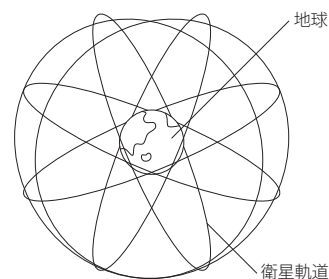


図5.7 GPS衛星の軌道

(2) 地上支援局

GPS の機能を維持するための施設であり、衛星の軌道追跡や解析を行うセンターが日本国内の場合 4 カ所ある。衛星情報、原子時計の更新などを行っている。

(3) GPS受信装置

人工衛星から送られてくる測位用の電波は、電離層による影響を消去するため L₁ 帯 (1,575.42MHz)、L₂ 帯 (1,227.60MHz) の周波数の異なる 2 種類の電波が使われている。これらの電波には民間用に開放された C/A コードと、軍事機密で原則、一般には開放されていない P コードの 2 種類があり、P コードのほうが高精度の測位が可能である。市販されている受信機の中には 2 つのコードの電波を受信できるものもある。

電波には個々の衛星の軌道情報、衛星時計の補正值、電離層の補正係数、衛星の機器状態がメッセージとして送られ、受信機で受信、解析し測位計算に利用している。

5.3.2 測定方法

地球上の三次元位置は、理論的には 3 個の人工衛星からの電波で測定できるが、電波のノイズによる誤差を補正するためには、合計 4 個の人工衛星からの電波を用いて測定する。したがって GPS 受信装置で測位を行うには同時に 4 個以上の人工衛星の電波を受信しなければならない。GPS による測定には 1 台の受信機で観測する単独測位法と 2 台の受信機で観測する相対測位法がある。

(1) 単独測位法

1 台の受信装置で 4 個の人工衛星からの電波を受信し、個々の衛星までの距離を求め、位置を求める方法である。衛星などの位置の誤差が直接影響するため、10 ~ 100m の誤差精度をもつ。船舶、航空機、自動車のナビゲーションとして利用されている。

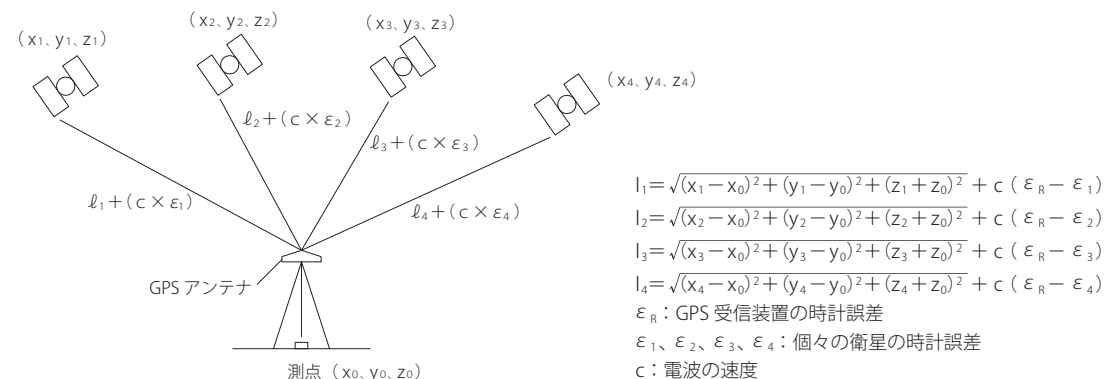


図5.8 単独測位法による位置測定

(2) 相対測位法

相対測位法にはディファレンシャル法 (D-GPS 法) と干渉測位法がある。

ディファレンシャル法は基準局と移動局が同時刻に互いに単独測位を行い、基準局は既知の位置から誤差を無線で発信する。移動局は誤差を受信して、値を補正して位置を測定する方法である。誤差が 0.5 ~ 5m と大きいため建築の測量には向いていない。船舶などには採用されている。

干渉測位法は基準局と移動局が人工衛星からの電波を同時受信し、人工衛星までの距離を電波の位相差から求め、基準局から移動局までの基線ベクトルを決定する方法である。測定精度が mm 単位であり、現在、地殻変動測量、基準点測量、造成工事などの工事測量に採用されている。

干渉測位は、その測定時間によりスタティック法、キネマティック法の 2 つの方法に分類できる。

①スタティック法

長時間に基準局と移動局の測定を同時に行い、衛星の時間的変位を利用して誤差を補正する方法である。測定には 30 ~ 60 分の時間を要するが、高精度の測定ができる。

②キネマティック法

基準局と移動局間に無線 LAN などを利用して測定データの更新を行い、リアルタイムで誤差を補正する方法である。リアルタイムで比較的高精度 (数 cm の誤差) に位置を決定でき、各種の測量作業を効率化させるほか、建設機械の無人運転など幅広い分野で利用されている。