

公共測量教程

測量 計算

三訂新版

飯塚修功・大滝三夫・中根勝見 共著

地理情報標準・
作業規程準則対応版

東洋書店

目 次

第1章 基礎事項	1
1-1 用語と記号	2
1-1-1 用語	2
1-1-2 用語と記号	10
1-2 楕円体/ジオイド/鉛直線偏差/投影法と展開法/高さ	13
1-2-1 地球楕円体の性質	13
1-2-1-1 幾何学的楕円体	13
1-2-1-2 物理学的楕円体	14
1-2-1-3 WGS84	14
1-2-2 ジオイド/日本のジオイド2000/世界のジオイド	15
1-2-2-1 ジオイドの定義	15
1-2-2-2 日本のジオイド2000	15
1-2-2-3 日本のジオイド高の計算	18
1-2-2-4 世界のジオイド(EGM96)	20
1-2-3 鉛直線偏差	21
1-2-3-1 天文鉛直線偏差と重力鉛直線偏差	21
1-2-3-2 鉛直線偏差の計算	23
1-2-4 投影法と展開法	25
1-2-4-1 距離測定値の処理	25
1-2-4-2 角度観測値の処理	28
1-2-4-3 GPS 観測値の処理	28
1-3 測地原子	29
1-3-1 日本測地系2000(JGD2000)	29
1-3-1-1 三角測量の限界	29
1-3-1-2 宇宙から地球を測る	30
1-3-1-3 日本の位置と世界測地網との結合	30

1-3-1-4 測地成果2000構築の概要	31
1-3-1-5 Tokyo97座標系	32
1-3-2 日本測地系	33
1-3-2-1 日本経緯度原点の誤差	33
1-3-2-2 日本測地系の準拠楕円体	35
1-3-2-3 楕円体の中心のずれ	36
1-3-2-4 日本の測地網の精度	38
1-3-2-5 日本測地系の基準点測量	39
1-3-2-6 日本測地系(海外)	42
1-3-3 各国の測地原子	44
1-3-3-1 世界の主な測地原子	44
1-3-3-2 主な地球楕円体	45
1-3-3-3 各国の測地原子の中心のずれ	46
第2章 位置を表す仕組み座標系	47
2-1 測量で使う各種座標系	48
2-1-1 座標系と座標	48
2-1-2 狭い範囲の座標系	50
2-1-2-1 任意座標系	50
2-1-2-2 平面直角座標系	50
参考: 県別平面直角座標系	53
2-1-3 楕円体面の座標系と天文座標系	55
2-1-3-1 楕円体面の座標系	55
2-1-3-2 天文座標系と局所天文座標系	56
2-1-4 地心直交座標系と局所測地座標系	57
2-1-4-1 地心直交座標系	57
2-1-4-2 局所測地座標系	58
2-2 座標系間の換算	59
2-2-1 楕円体面の座標系と平面直角座標系間の換算	60

2-2-1-1	経緯度 (ϕ, λ) から平面直角座標 (x, y) への換算 ..	61
2-2-1-2	平面直角座標 (x, y) から経緯度 (ϕ, λ) への換算	65
2-2-2	地心直交座標系と楕円体面の座標系間の換算	70
2-2-2-1	楕円体面の座標 (ϕ, λ, h) から地心直交座標 (X, Y, Z) への換算 ..	70
2-2-2-2	地心直交座標 (X, Y, Z) から楕円体面の座標 (ϕ, λ) への換算	71
2-2-3	地心直交座標系と局所測地座標系間の換算.....	75
2-3	各座標系における2点間の測地線長と方位角	77
2-3-1	測地学の逆問題と直接問題.....	77
2-3-1-1	測地学の逆問題.....	77
2-3-1-2	測地学の直接問題 (経緯度計算)	78
2-3-2	平面直角座標系の2点間の測地線長と方位角	80
2-3-3	地心直交座標系の2点間の測地線長と方位角	84
2-3-3-1	偏心点における局所測地座標の計算.....	85
2-3-3-2	偏心補正計算.....	85
2-4	楕円体面の計算式の補足.....	87
2-4-1	楕円体の性質.....	87
2-4-1-1	楕円体の基礎事項.....	87
2-4-1-2	楕円体の曲率半径.....	88
2-4-1-3	子午線弧長と平行圏弧長.....	90
2-4-1-4	測地線.....	90
2-4-2	楕円体面と平面の換算.....	92
2-5	変動する座標系.....	94
2-5-1	ダイナミックな原子.....	94
2-5-1-1	日本列島の地殻変動.....	95
2-5-1-2	日本のセミ・ダイナミック原子.....	97
2-5-2	ニュージーランドのセミ・ダイナミック原子	103
第3章	多角測量計算.....	105
3-1	多角測量の原理.....	106

3-1-1	TSによる多角測量	106
3-1-1-1	簡易処理と厳密処理.....	107
3-1-1-2	定型網 (条件方程式) と任意網 (観測方程式)	109
3-1-2	多角測量の方式.....	112
3-1-2-1	既知点の種類と既知点間距離.....	112
3-1-2-2	多角測量の方式.....	114
3-1-2-3	多角測量の作業方法.....	115
3-1-3	網の図形の強さ.....	119
3-1-3-1	水準測量.....	120
3-1-3-2	TSによる多角測量	121
3-1-3-3	GPSによる多角測量	122
3-1-3-4	GPS衛星のDOP.....	124
3-2	観測.....	125
3-2-1	角度の観測.....	125
3-2-1-1	水平角観測.....	127
3-2-1-2	鉛直角観測.....	132
3-2-1-3	角度観測値への補正.....	132
3-2-2	距離の測定.....	133
3-2-2-1	楕円体面への距離の補正.....	133
3-2-2-2	楕円体面から平面直角座標系への距離の補正	135
3-2-2-3	三次元網平均計算.....	135
3-2-3	TSによる観測	136
3-2-3-1	TS観測値の処理の流れ	136
3-2-3-2	各工程の処理.....	137
3-2-4	GPSによる観測	144
3-2-4-1	ジオイド高と楕円体高の差.....	146
3-2-4-2	スタティック法.....	146
3-2-4-3	ネットワーク型RTK-GPS法.....	152

3-3	多角路線の点検計算	153
3-3-1	TS 等観測の点検計算	153
3-3-1-1	多角測量の誤差式の誘導	153
3-3-1-2	余剰観測値数	154
3-3-1-3	閉合差についての考察	159
3-3-2	GPS 観測の点検計算	161
3-3-2-1	スタティック観測	161
3-3-2-2	ネットワーク型 RTK-GPS の観測	163
3-4	多角路線の網平均計算	164
第4章	水準測量	165
4-1	水準測量	166
4-1-1	高さの基準とその定義	166
4-1-1-1	高さの基準	166
4-1-1-2	測量で使う高さの定義	167
4-1-2	日本の骨格水準測量	168
4-1-2-1	直接水準測量の原理	168
4-1-2-2	一等水準測量網	169
4-1-2-3	間接水準測量 (三角法)	171
4-1-3	準則における水準測量	173
4-1-3-1	水準測量の要旨	173
4-1-3-2	観測	174
4-1-3-3	計算	177
4-1-4	渡海 (河) 水準測量	185
4-1-4-1	準則の規定	185
4-1-4-2	渡海 (河) 水準測量の方法	187
4-1-4-3	渡海 (河) 水準測量の精度評価	191
4-1-5	網平均計算	192
4-2	各種の高さとその計算例	193

4-2-1	各種の高さ	193
4-2-1-1	力学高 (dynamic height)	194
4-2-1-2	正標高 (orthometric height)	194
4-2-1-3	正規高 (normal height)	198
4-2-1-4	各種高さの関係	199
4-2-2	補正計算例	201
4-2-2-1	正標高補正計算	201
4-2-2-2	正規高補正計算	202
4-2-2-3	楕円補正計算	203
4-2-2-4	計算結果の考察	204
	参考: 水準測量におけるレフラクション誤差	211
第5章	データ処理	219
5-1	最小2乗法	220
5-1-1	最小2乗法の基礎事項	220
5-1-1-1	確率変数	220
5-1-1-2	最小2乗法の例題	222
5-1-2	観測方程式	226
5-1-2-1	観測方程式の基礎事項	226
5-1-2-2	線形の場合の観測方程式	227
5-1-2-3	非線形の場合の観測方程式 (TS)	229
5-1-2-4	非線形の場合の観測方程式 (GPS)	234
5-1-2-5	変数変換による観測方程式	237
5-1-2-6	混合モデル	238
5-1-2-7	条件方程式とその解	239
5-1-3	分散/重量	244
5-1-3-1	分散/標準偏差	244
5-1-3-2	重量	248
5-1-4	正規方程式とその解	254

5-1-4-1	最小2乗原理.....	254
5-1-4-2	標準正規分布に従う処理.....	256
5-1-4-3	反復改良計算.....	257
5-1-4-4	方程式と解の存在.....	260
5-1-4-5	測地網の位置の決定.....	263
5-2	網平均計算例.....	264
5-2-1	TS観測結果の網平均計算.....	264
5-2-1-1	国土地理院提供の水平網平均計算例.....	265
5-2-1-2	国土地理院が提供する高低網の計算例.....	269
5-2-2	GPS観測結果の網平均計算.....	272
5-2-2-1	仮定三次元網平均計算.....	272
5-2-2-2	三次元網平均計算.....	278
	参考：手計算によるx y網平均計算例.....	283
5-3	精度管理.....	290
5-3-1	推定量の分散.....	290
5-3-1-1	誤差伝播の法則.....	290
5-3-1-2	分散.....	292
5-3-2	測量結果の精度評価.....	296
5-3-2-1	標準偏差による観測値の精度評価.....	296
5-3-2-2	χ^2 検定.....	299
5-3-2-3	残差の検定.....	307
5-3-2-4	平面位置の精度評価.....	310
5-3-3	精度と正確度.....	313
5-3-3-1	精度と正確度の概念.....	313
5-3-3-2	精度と正確度の尺度.....	314
	参考文献.....	317
	索引.....	320

第1章 基礎事項