



大地測量課程

精密水準測量 (Precise Levelling)

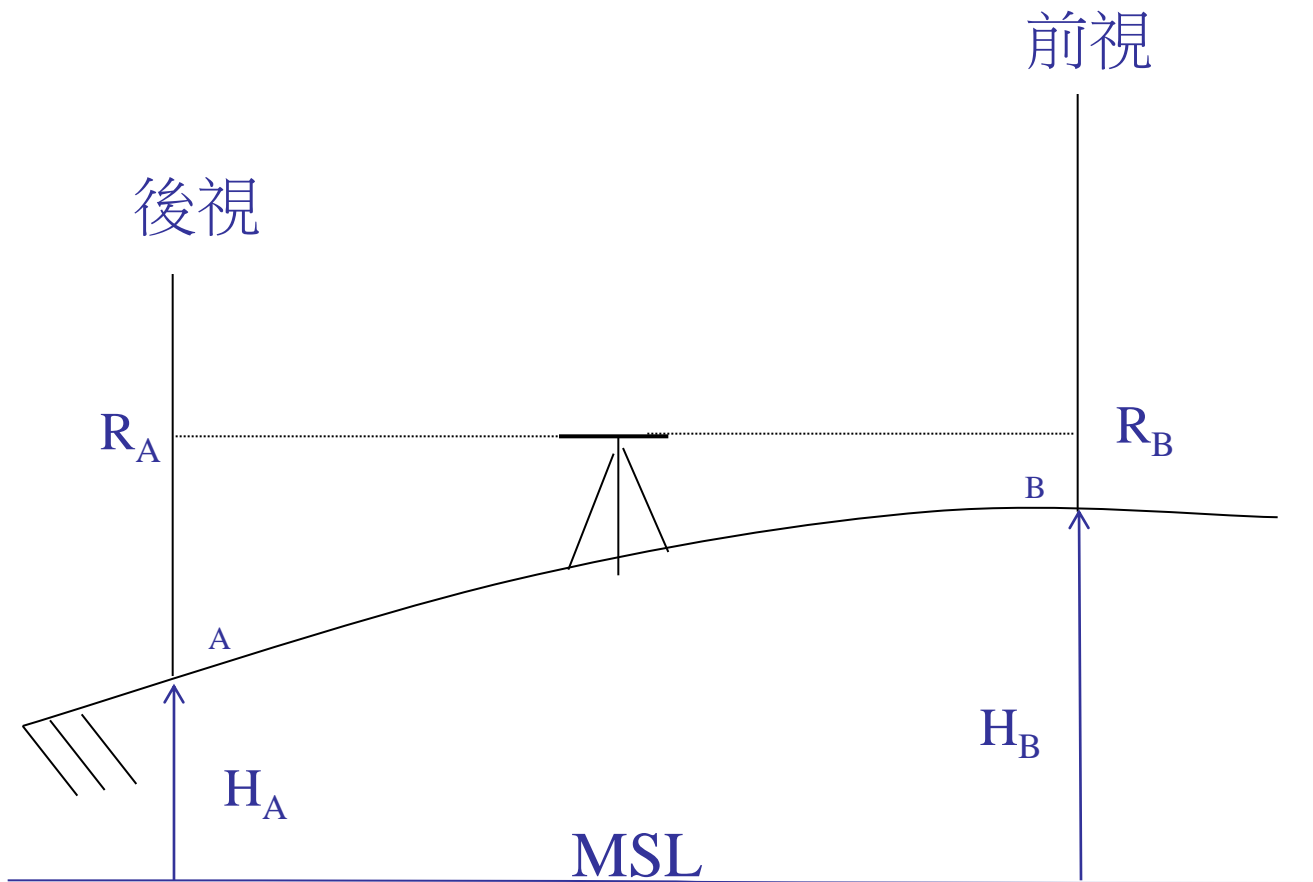
張嘉強

健行科技大學
應用空間資訊系





水準測量基本原理



$$\Delta H = H_B - H_A = R_A - R_B$$

$$H_B = H_A + \Delta H$$





精密水準作業



Image/product copyright Leica GeoSystems





與工程水準測量比較

- 施測的範圍大小不同
- 使用的儀器精度不同
- 施加的改正模式不同
- 要求的成果精度不同
- 運用的領域範疇不同





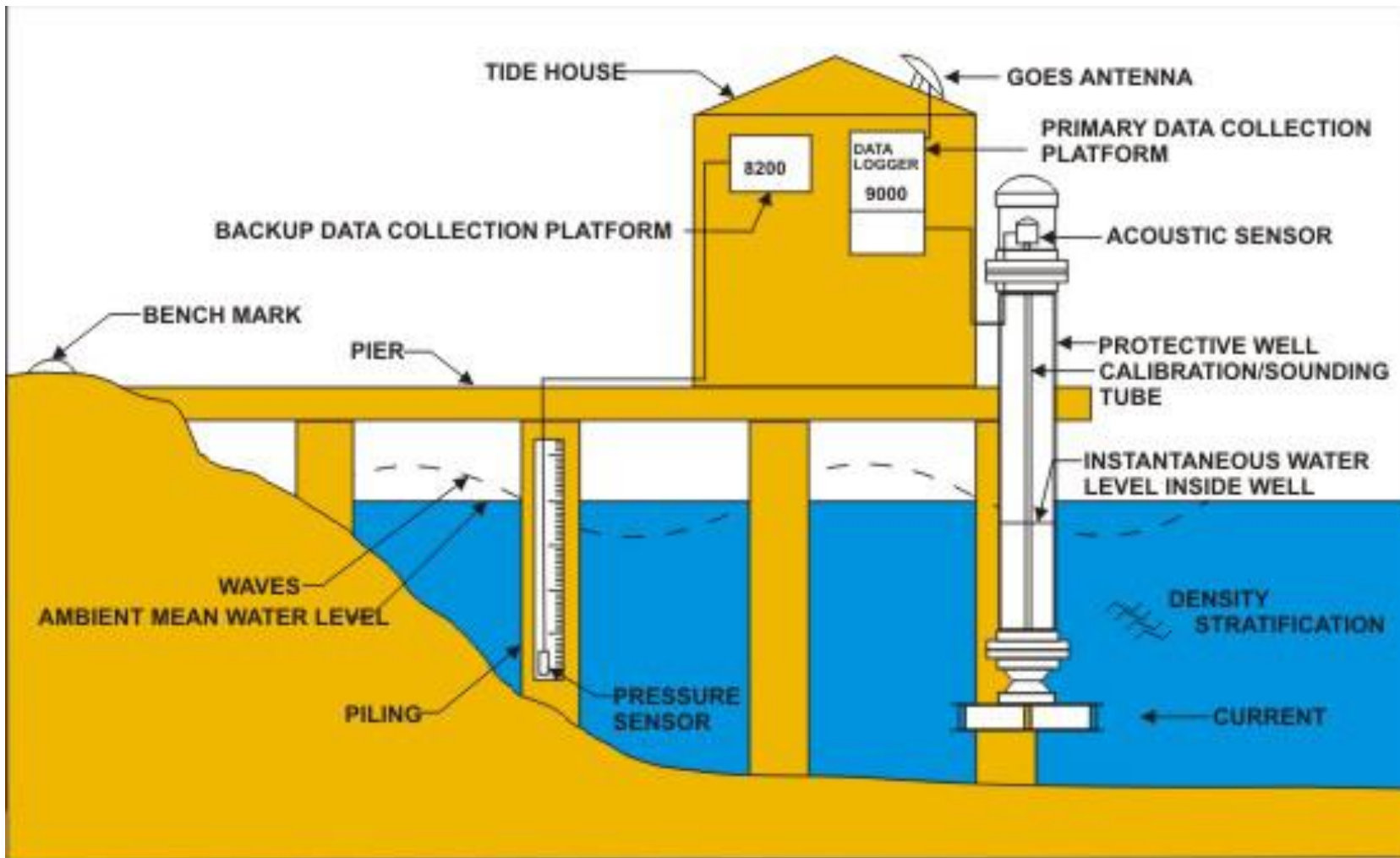
高程基準

- 按基本測量實施規則第7條第1項規定，中央主管機關應選定潮位站及水準原點作為高程基準，並將其測量成果作為訂定高程系統之依據
- 現行臺灣本島高程基準之內涵可包含：潮位站、水準原點及高程基準網
- 潮位站：民國81年交通部於基隆港西岸33號碼頭旁（光華塔西側）建置之潮位站。





潮位(驗潮)站





水準原點-1

- 水準原點K999：民國91年，內政部於基隆海門公園內新建「水準原點」
- 採雙水準原點設計，一為主點（點號：K999）以不銹鋼棒接續方式植入地下17.5公尺；另一為副點（點號：K998）以花崗石埋設
- 民國103年「水準原點」遷移重建後，本點位不再作為水準原點，改為高程基準網之高程基準點使用





水準原點-2

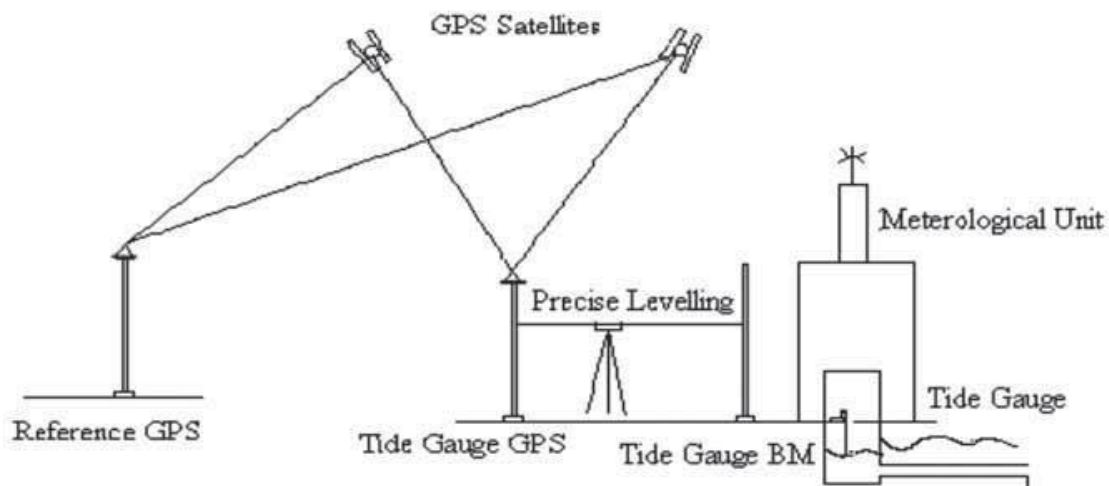
- 水準原點K997：民國103年，內政部依國土測繪法第12條第1項規定，同意配合交通部新建道路工程需要，於基隆國立海洋科技博物館附近基隆市「原點公園」內重建「水準原點」
- 新點位亦採雙水準原點設計，一為主點（點號：K997）以不銹鋼棒接續方式植入地下14.6公尺；另一為副點（點號：K996）以花崗石埋設於地面，便利各界引測





高程基準網

- 建置作為聯繫潮位站、水準原點（正、副點）之高精度水準點觀測網，以確定潮位站附近區域地殼的穩定





高程系統

- TWVD2001 (TaiWan Vertical Datum 2001) 屬正高系統，係以平均海水面作為高程起算之參考基準面
- 現行臺灣本島之平均海水面，係定義在1990年1月1日標準大氣環境情況下，並採用基隆潮位站1957年至1991年之潮汐資料化算而得





精密(一等)水準施測精度

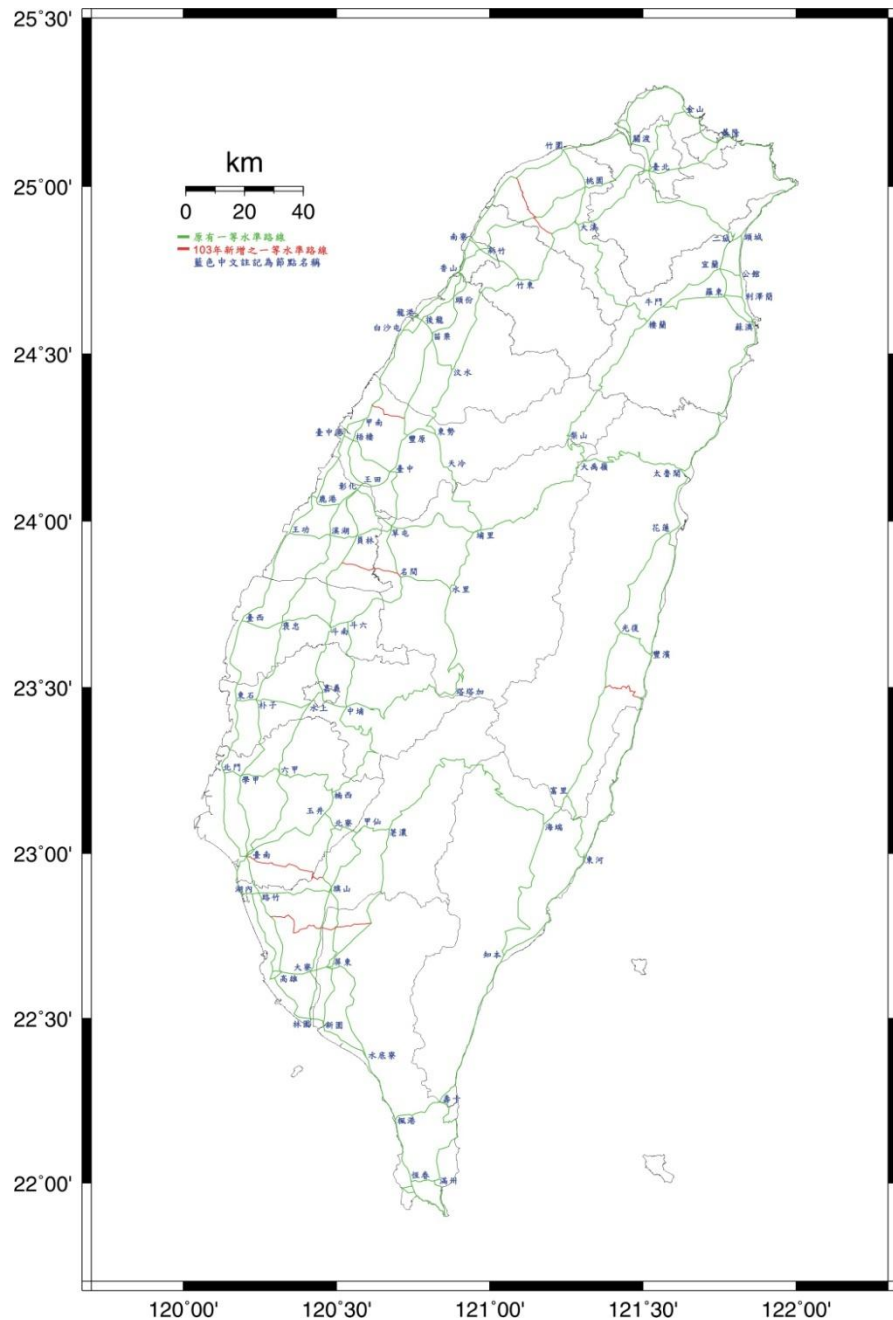
項 目 \ 等 級	一 等 水 準 測 量
系統誤差改正 ^{註1} 前每測段往返最大閉合差	$2.5^{\text{mm}} \sqrt{K}$
系統誤差改正後水準環線最大閉合差	$2.5^{\text{mm}} \sqrt{F}$
成果精度	<p>一、權單位中誤差須通過95%信心區間的卡方測試。</p> <p>二、觀測量粗差偵錯須通過95%信心區間的Tau測試。</p>





一等水準路線圖

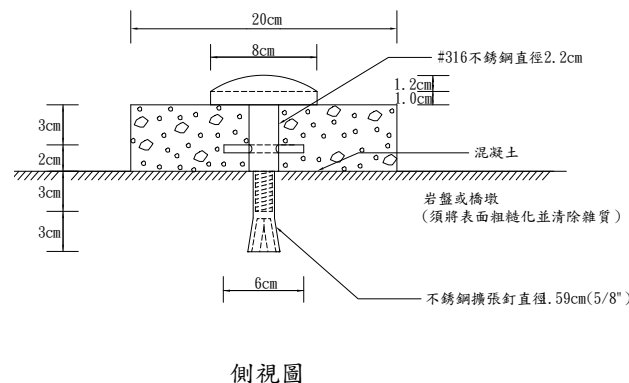
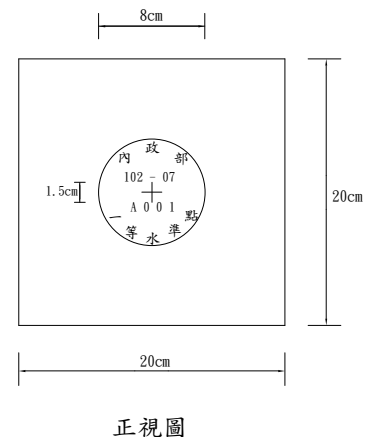
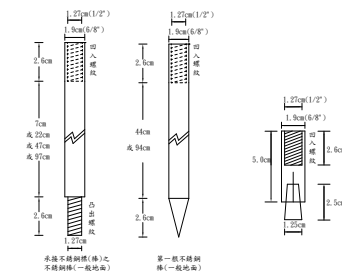
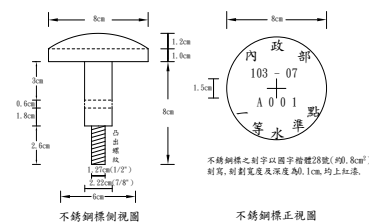
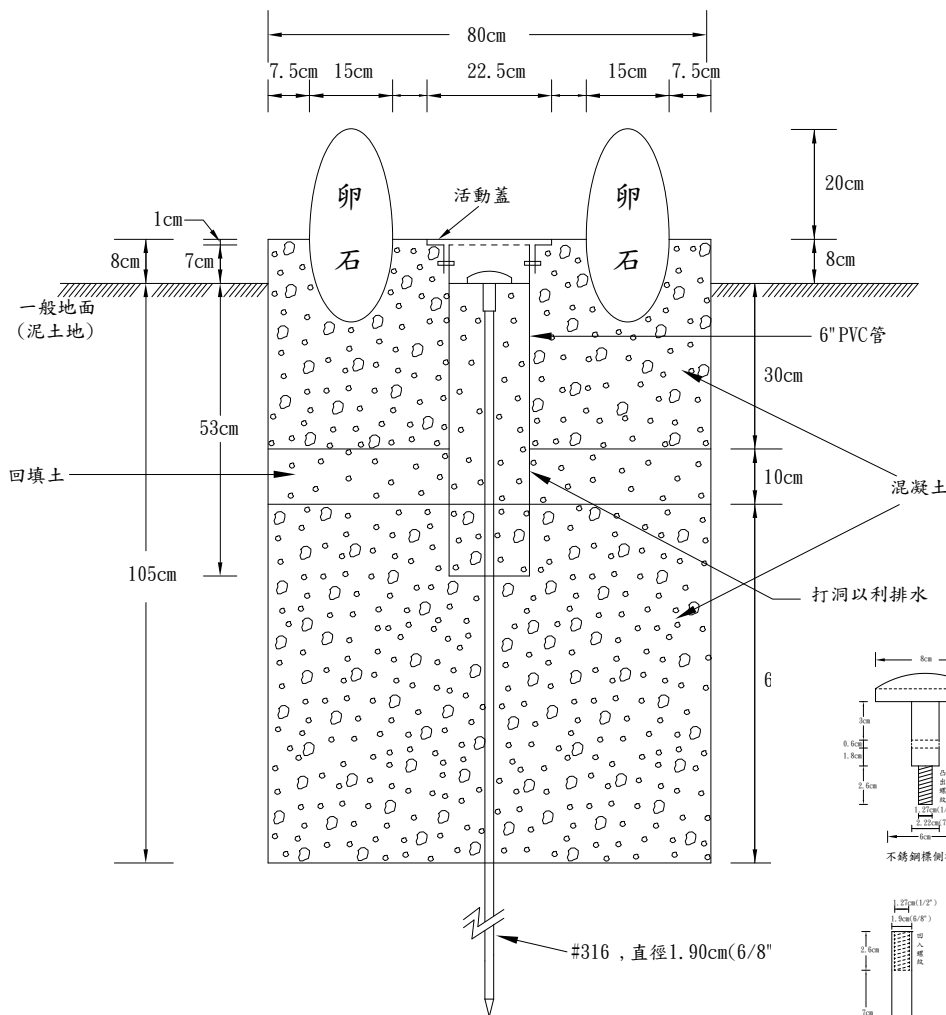
- 一等水準點沿主要公路(如省道、縣道)規劃水準路線布設，且以外環道路為優先
- 水準路線由測段組成測線，測線閉合成環，並構成網狀
- 水準點以沿水準路線平均每2km設置一點為原則





埋點

新埋設之點位須等待3個月以上，才可施測



一般地面

岩盤(橋梁)





觀測儀器

- 精密水準儀1部（含保護箱）
- 同廠牌鈹鋼水準尺2支（含保護箱）及尺架
- 尺墊（每個尺墊重量不得輕於2.5kg）2個
- 不可伸縮之木質三腳架1只
- 溫度計（含感應器及顯示器）及溫度計架2套
- 地錨式測量標樁及工具（埋設臨時轉點使用）
- 測傘
- 電子記錄器
- 工程車





儀器規格

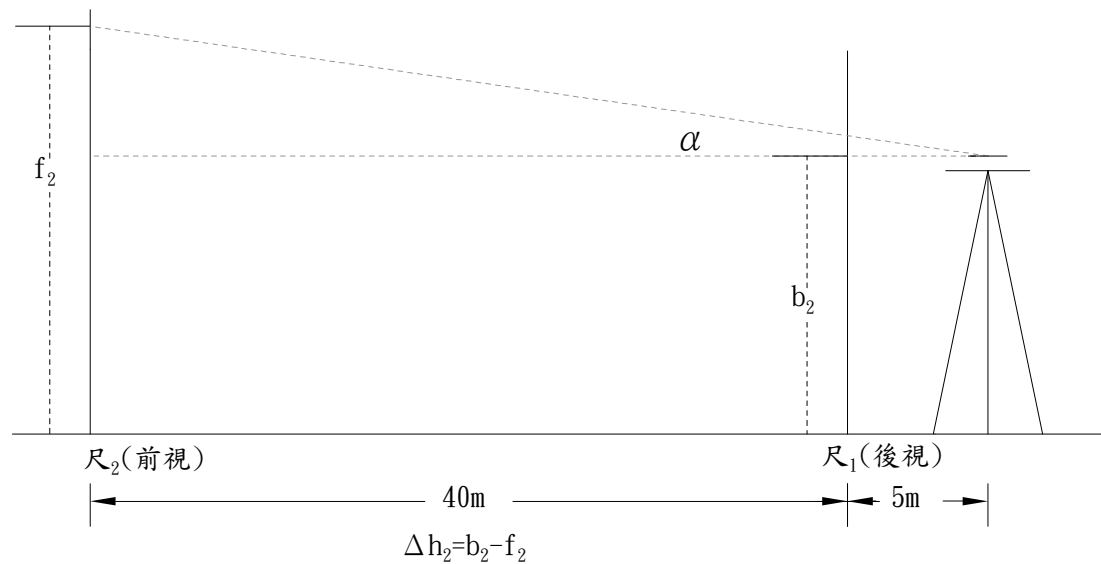
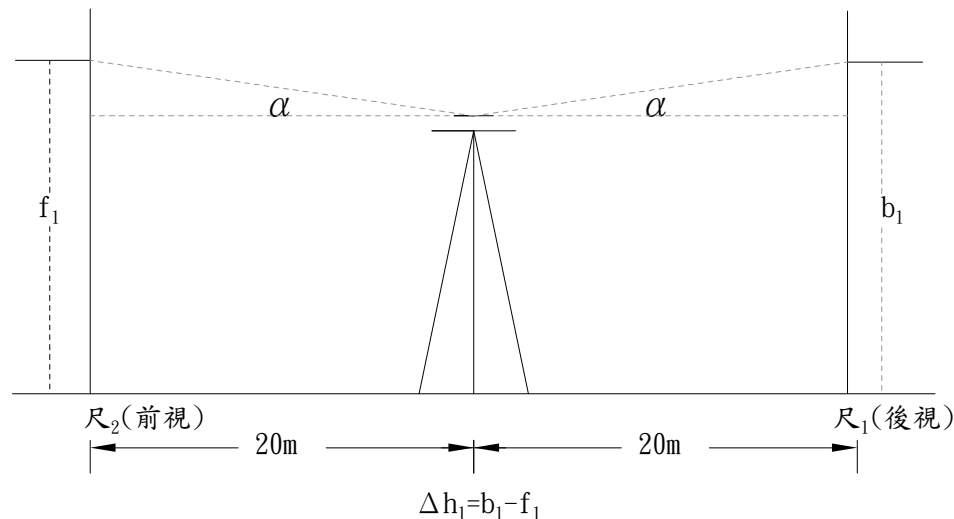
- 精密水準儀：
 - 最小讀數在0.1mm以下
 - 最小估讀（顯示）讀數在0.01mm以下
- 鈹鋼水準尺：
 - 刻劃校準精度在0.05mm以內
 - 同廠牌鈹鋼水準尺配對使用
- 溫度計：
 - 量測精度在0.2°C以內
 - 最小讀數在0.1°C以下。
 - 置於遮陽罩中，離地約0.5m及2.5m之高度處





定樁法檢校

- 每日實施
- 檢驗視準軸誤差是否超過 0.05mm/m 之容許值





作業規定-1

- 同一測段之往返觀測，應由同一觀測者使用同一類型之儀器及設備，沿同一路線進行
- 施測外業應儘量於夜間進行。若於日間施測，則同一測段之往測與返測應分別在上午及下午進行
- 水準觀測不得在每日上午10：00至下午14：00為原則，惟氣溫低於 25°C 以下時不受此限
- 每一往（或返）測任意兩測站氣溫差達 10°C 以上時，水準尺與水準儀不能穩定時，不得觀測
- 觀測前10分鐘，應將水準儀、水準尺及溫度計從保護箱取出（若保護箱內外溫差大於 5°C 以上，則需提早20分鐘）





作業規定-2

- 在連續各測站上安置水準儀之三角架時，應使其中兩腳與水準路線之方向平行，而第三腳輪換置於路線進行方向之左側與右側
- 往測與返測之二水準尺須互換其位置，即往測終點所豎之水準尺為甲尺，則返測起點所豎之水準尺為乙尺
- 施測時，由水準儀測得之所有讀數不得小於30cm，不得大於270cm
- 施測時，每一測站之前後視距差不得大於0.5m。
◦ 且同一測段內，任一測站（即所有測站）上前後視距差之累積值，不得大於2m





作業規定-3

- 每一測段之往測與返測，其測站數均應為偶數。
◦ 由往測轉向返測時，除應互換水準尺外，並應重新整置儀器
- 施測時，應儘量避免隨意設置臨時點，惟得依實際需要，於二水準點之間設置一個臨時點。但遇長橋樑及隧道，可於二水準點間設置數個臨時點，切成數個小測段分組同時施測





施測 允許 誤差

項目	等級	一等
一、最長視距		
(一) 光學精密水準儀		50m
(二) 電子精密水準儀		50m
二、最大前後視距差		
(一) 每一測站		0.5m
(二) 同一測段於任一測站上前後視距差累積		2m
三、原始數據之高程差，須符合下列要件：		
(一) 每測站二次高程差之最大較差		0.40mm
(二) 小於200m測段往返最大閉合差		1.10mm
(三) 大於200 m測段往返最大閉合差 (K為公里數)		2.50 ^{mm}





系統誤差改正

- 與儀器相關：
 - 視準軸誤差改正(水準儀)
 - 水準尺溫度改正(水準尺)
 - 水準尺刻劃改正(水準尺)
- 與自然環境相關：
 - 折射誤差改正(大氣)
 - 地球曲率改正(地球)
 - 正高改正(地球)





視準軸誤差改正

- 視準軸誤差係數C即是代表視準軸偏離水平方向所造成每單位視距長度偏離的誤差
- 當前後視距相等時，在計算高差時，這誤差會互相抵消
- 視準軸誤差改正 = $-C \times \Delta S$

其中C為視準軸誤差係數，單位：mm / m

ΔS 為前後視距差， $\Delta S = S_B - S_F$ ； S_B 為後視視距， S_F 為前視視距，單位：m





水準尺溫度改正

- 水準尺在使用時，其環境溫度與刻蝕時不同，因此每單位刻劃之長度會因而膨脹收縮
- 精密水準尺都以膨脹係數較小的鈹鋼來製作。鈹鋼是在鋼中加入鎳，其係數大約在 $1\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 左右
- 一般水準尺刻劃是在標準溫度（ 20°C ）之環境下製作
- 水準尺溫度改正 = $K \times (t - t_s) \times \Delta H$

其中K為一對水準尺的平均膨脹係數，單位： $\text{ppm}/^\circ\text{C}$

t為測站水準尺平均溫度，單位： $^\circ\text{C}$

t_s 為水準尺長度檢定溫度（ 20°C ），單位： $^\circ\text{C}$

ΔH 為測站（setup）高差，單位：m





水準尺刻劃改正

- 水準尺的刻劃是儘量使每一刻劃等距離，但事實仍會有微小的偏差，以每對尺的平均變形比例 e 來做改正

- 水準尺刻劃改正 $=e \times \Delta H$

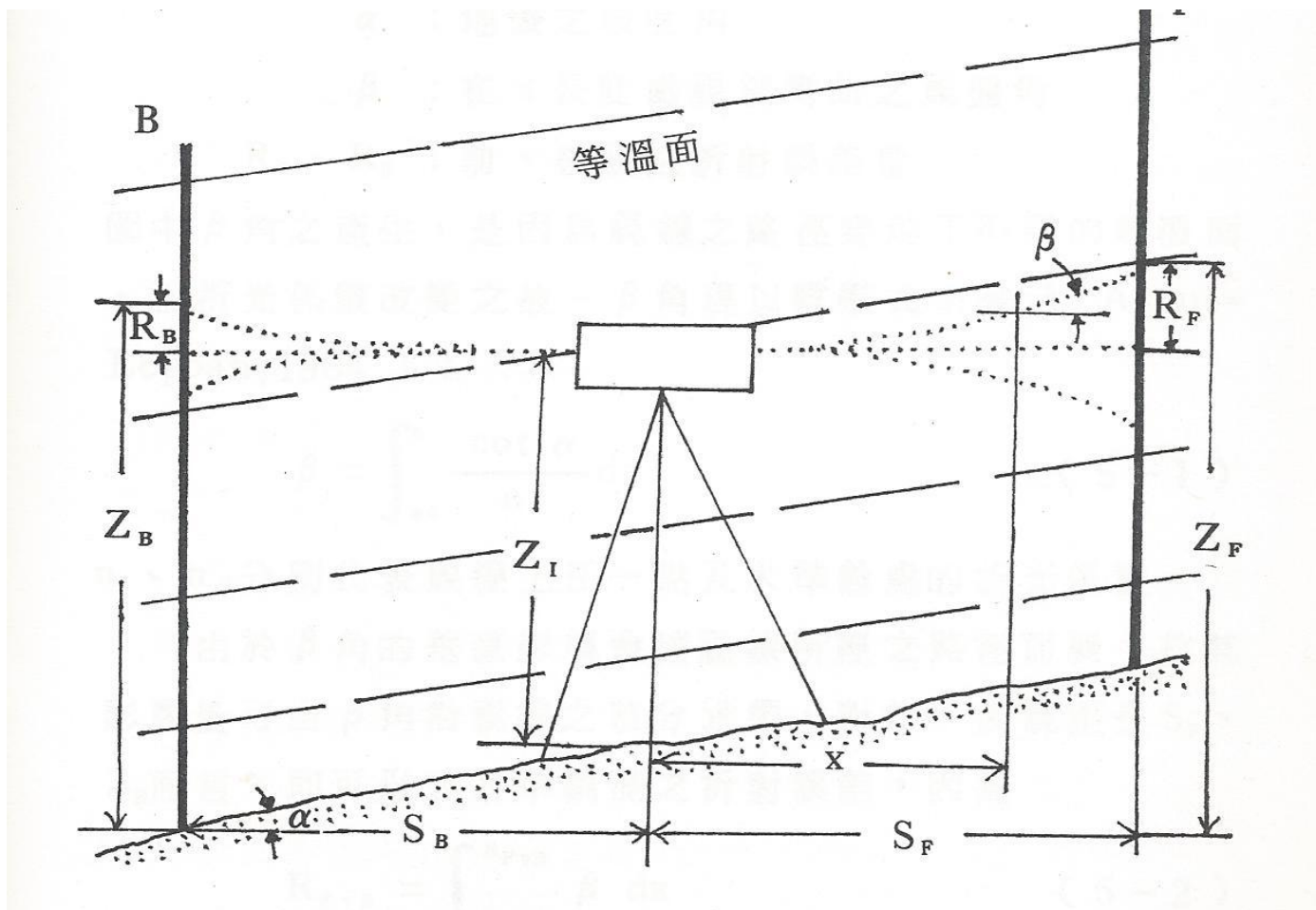
其中 e 為每對尺的平均變形比例，單位：mm/m

ΔH 為測站（setup）高差，單位：m





折射誤差原理



坡地施測時，若前後視距相等，亦無法抵消





折射誤差改正

- 光線經過不同密度的空氣，會使視準軸產生折射的現象，而造成誤差
- 依照 Kükkämäki 的折射誤差改正公式，再配合適用於臺灣地區之折射常數
- 折射改正公式： $R = K \times L^2 \times \Delta T \times \Delta H$

其中 $K = -6.0 \times 10^{-8}$ (光學水準儀)， $K = -6.7 \times 10^{-8}$ (電子水準儀)，單位： $/m^2 \cdot ^\circ C$

L 為前後視之平均視距，單位： m

T 為 2.5m 與 0.5m 高度處之溫度差， $\Delta T = T_{2.5} - T_{0.5}$ ；T 單位： $^\circ C$

H 為測站 (setup) 高差，單位： m





地球曲率改正

- 大地水準面是一個曲面，在每次觀測時，平面與曲面之間將會引進一個微小的系統誤差

- 地球曲率改正 = $-(\sum S_B^2 - \sum S_F^2) / 2r$

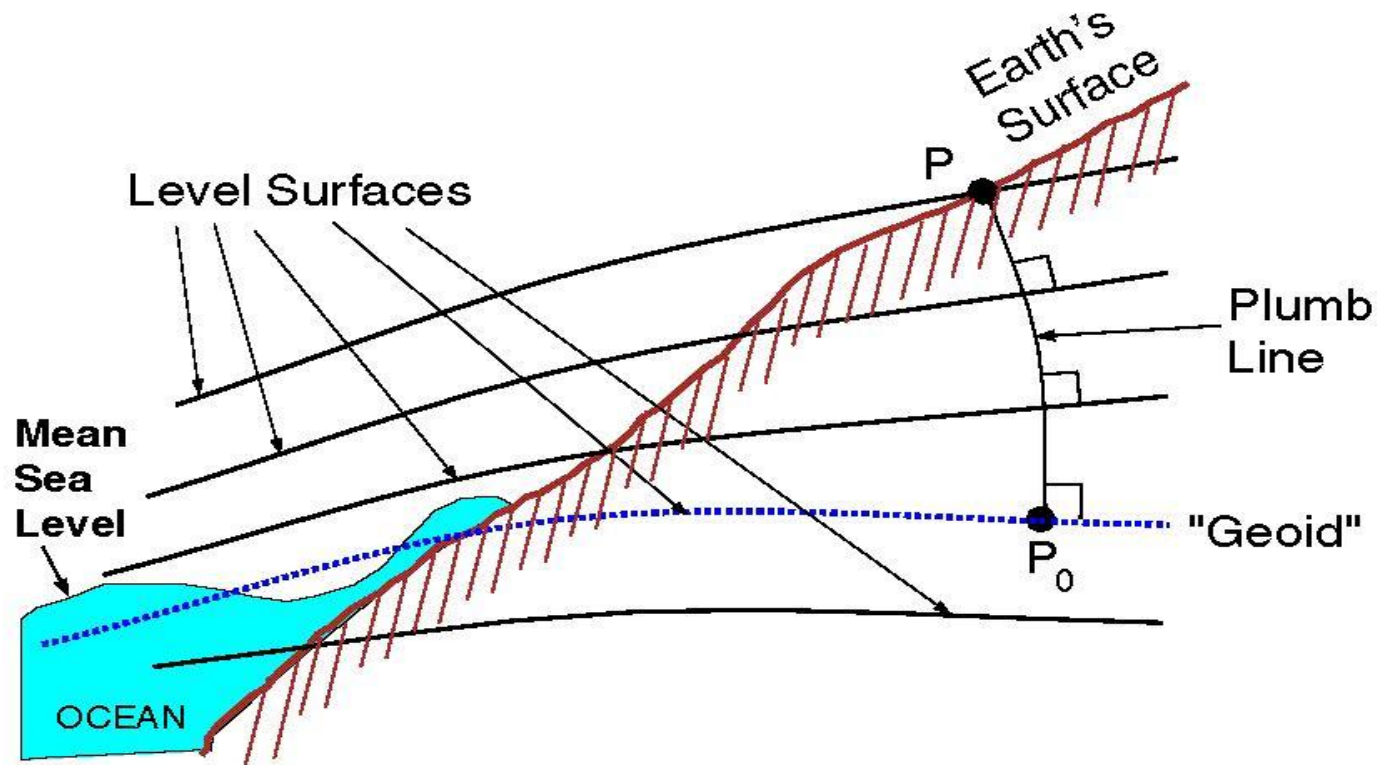
其中 S_B 為後視視距， S_F 為前視視距，單位：m

r 為地球之平均半徑，單位：m





正高改正原理



Level Surface = Equipotential Surface

H (Orthometric Height) = Distance along Plumb line (P_0 to P)

問題: (1)水準高差是否即是正高差?

(2)水準閉合環線之觀測閉合差是否為零?





正高改正

- 由於地球重力場所定義之等位面通常不是平面，且不一定互相平行，所測得的水準高差也將會因路徑之不同，而測到不同的結果
- 正高改正 =
$$\frac{1}{g_0} \left[H_A (\overline{g_A} - \overline{g_B}) + \Delta H (g_{AB} - \overline{g_B}) \right]$$

其中

$$\overline{g_A} = g_A + 0.0424H_A$$

$$\overline{g_B} = g_B + 0.0424H_B$$

$$g_{AB} = \frac{1}{2}(g_A + g_B)$$

$\overline{g_A}$ 為 A 點沿著垂線到 Geoid 路徑上的平均重力

g_A 與 g_B 分別為 A 與 B 點之重力值

g_0 為臺灣地區之平均重力值





高程現代化

$$H \approx h - N$$

