

# 臺灣水準原點新址埋設檢測工作

## 工作報告

主辦機關：內政部國土測繪中心

承辦廠商：中興測量有限公司

中華民國九十九年十二月

## 目 錄

第一章 前言	1
§1-1 計畫概述	1
§1-2 工作內容與時程	2
第二章 水準原點埋設與衛星追蹤站鋼管式天線架設	3
§2-1 基地位置說明	3
§2-2 水準原點鑽探及埋設	5
§2-2-1 水準原點鑽探及埋設過程	5
§2-2-2 水準原點鑽井岩芯判讀	8
§2-3 衛星追蹤站鑽探及埋設	10
§2-3-1 衛星追蹤站鑽探及埋設過程	10
§2-3-2 衛星追蹤站鑽井岩芯判讀	11
第三章 潮位站位址探勘	13
§3-1 折射震測原理介紹	13
§3-2 測線規劃與準備	15
§3-2-1 使用設備	15
§3-2-2 測線規劃與作業方法	16
§3-3 折射震測結果	17
第四章 高程基準網檢測	21
§4-1 新設水準點埋設	21
§4-2 水準路線規劃	24
§4-3 水準外業測量	25
§4-3-1 水準外業測量流程	25
§4-3-2 水準儀視準軸校準	26
§4-3-3 水準外業測量	28
§4-4 水準測量資料計算與分析	30
§4-4-1 水準測量資料處理流程	30
§4-4-2 觀測資料處理與檢核	31
§4-4-3 系統誤差改正	33
§4-4-4 測段往返閉合差分析	35
§4-4-5 環線閉合差分析	36
§4-5 水準網平差計算分析	37
§4-6 高程基準網變動分析	39
§4-6-1 高程變動分析的方法	39
§4-6-2 高程基準網變動分析結果	41
第五章 討論與建議	43
參考文獻	44
附錄 A 單一測段各項系統誤差改正值	45
附錄 B 高程基準網點位變動分析	46

## 圖 目 錄

圖 1-1	計畫位置示意圖	1
圖 2-1	基地位址規劃示意圖	3
圖 2-2	基地附近地質圖	4
圖 2-3	架設鑽機	5
圖 2-4	PQ SIZE 鑽孔	5
圖 2-5	HQ SIZE 鑽孔	5
圖 2-6	置入不銹鋼管	5
圖 2-7	垂直度檢測	6
圖 2-8	NQ SIZE 鑽孔	6
圖 2-9	新水準原點施工完成相片	6
圖 2-10	水準原點埋設側視圖	7
圖 2-11	水準原點鑽探岩芯相片	9
圖 2-12	衛星追蹤站鑽孔完成相片	10
圖 2-13	衛星追蹤站施工完成相片	10
圖 2-14	衛星追蹤站鑽探岩芯相片	12
圖 3-1	折射震坡探測原理圖	14
圖 3-2	McSEIS SX 震測儀	15
圖 3-3	McSEIS-111 型受波器	15
圖 3-3	折射震測測線位置示意圖	16
圖 3-4	折射震測作業過程相片	17
圖 3-5	震坡 (P 波) 速度與地質間的關係	17
圖 3-6	L1 測線震測結果速度層剖面圖	18
圖 3-7	L2 測線震測結果速度層剖面圖	18
圖 3-8	L3 測線震測結果速度層剖面圖	19
圖 3-9	L4 測線震測結果速度層剖面圖	19
圖 3-10	潮位站位址建議設置位置圖	20
圖 4-1	水準點埋設作業流程圖	21
圖 4-2	人工開挖點位	22
圖 4-3	第一次混凝土灌漿	22
圖 4-4	回填 10 cm 土並夯實	23
圖 4-5	第二次混凝土灌漿	23
圖 4-6	水準點埋設完成相片	23
圖 4-7	高程基準網點位分布圖	24
圖 4-8	水準外業測量作業流程圖	25
圖 4-9	水準儀視準軸校準水準儀與水準尺之擺設位置圖	26
圖 4-10	視準軸校準每日 C 值變化圖	27
圖 4-11	外業測量作業過程相片	29
圖 4-12	水準資料處理流程圖	30
圖 4-13	標準化測段往返閉合差統計圖	35
圖 4-14	點位 K021 位置相片	42

## 圖 目 錄

圖 4-15 點位 K998 位置相片 . . . . .	42
圖 4-16 下陷點位分布圖 . . . . .	42

## 表 目 錄

表 2-1	水準原點地質鑽探紀錄表	8
表 2-2	衛星追蹤站地質鑽探紀錄表	11
表 4-1	高程基準網測線施測點位一覽表	24
表 4-2	折射與曲率誤差修正表	27
表 4-3	水準環線閉合差分析成果表	36
表 4-4	高程基準網點位歷次檢測情形一覽表	39
表 4-5	高程基準網點位變動速率一覽表	41

# 第一章 前言

## §1-1 計畫概述

內政部為配合交通部基隆港務局辦理「東岸聯外道路新建工程（北段標）」，依國土測繪法第 12 條第 1 項規定，同意遷移位於基隆市海門公園內之臺灣水準原點，並分別選定於「國立海洋科技博物館—大客車停車場區」及「正濱漁港專用區進出口東側岩岸」埋設臺灣水準原點及原點基準（潮位站），其位置參考圖 1-1。

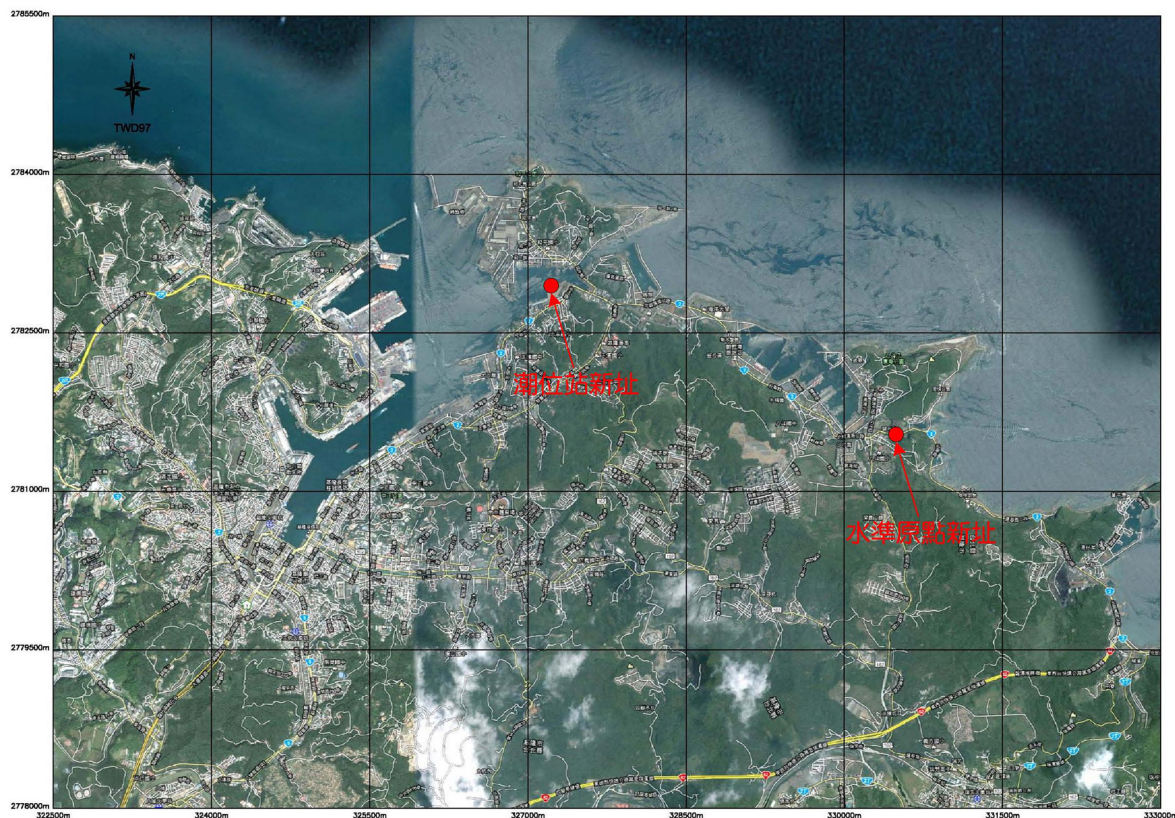


圖 1-1 計畫位置示意圖

有關水準原點新址位置的勘選，內政部國土測繪中心於 2009 年 4 月在預定地先行辦理「臺灣水準原點新設位址探勘工作」，利用地球物理震波探測方式，了解預定地附近岩盤深度及地層構造情形，並提供國立海洋科技博物館籌備處施工設計單位，配合整體景觀的設計，以決定最終埋設位址。

另配合新水準原點的設立，並擴展整個高程基準網的施測範圍，並進行高程基準網的檢測工作。此外，對於配合新水準原點所設立之潮位站，則於本計畫中辦理地球物理震波探測工作，以提供後續設置作業的基本資料。

## §1-2 工作內容與時程

依契約內容規定，本計畫主要辦理以下工作：

1. 水準點埋設
2. 潮位站位址探勘
3. 水準原點埋設
4. 衛星追蹤站鋼管式天線架設置
5. 水準測量及資料處理
6. 工作報告

工作期程與各階段應繳交內容如下：

1. 第一期（開工日起 45 日）
  - (1) 水準點埋石紀錄表及電子檔 2 份。
  - (2) 水準點點位調查表及電子檔 2 份。
  - (3) 潮位站位址探勘報告及電子檔（包括原始觀測資料）2 份。
  - (4) 水準原點鑽探及埋設報告及電子檔 2 份。
  - (5) 水準原點鑽探及埋設錄影檔 2 份。
  - (6) 衛星追蹤站鋼管式天線架設置報告 2 份。
  - (7) 衛星追蹤站鋼管式天線架設置錄影檔 2 份。
  - (8) 水準原點鑽探岩心箱 1 份。
  - (9) 衛星追蹤站鑽探岩心箱 1 份。
2. 第二期（開工日起 160 日）
  - (1) 一等水準測量原始觀測資料及標準格式電子檔 2 份。
  - (2) 系統誤差改正表及電子檔 2 份。
  - (3) 閉合差分析報表及電子檔 2 份。
  - (4) 最小約制平差成果計算報表及電子檔 2 份。
  - (5) 工作報告書初稿 10 份。
  - (6) 工作報告書 30 份及電子檔 2 份（經發文通知工作報告書初稿審查通過日起 14 日曆天內繳交）。

## 第二章 水準原點埋設與衛星追蹤站鋼管式天線架設

### §2-1 基地位置說明

本計畫中「水準原點埋設」與「衛星追蹤站鋼管式天線架設」兩項工作位置，均在「國立海洋科技博物館—大客車停車場區」預定地，約在北部濱海公路臺2線70K處，其基地位置規劃如圖2-1。

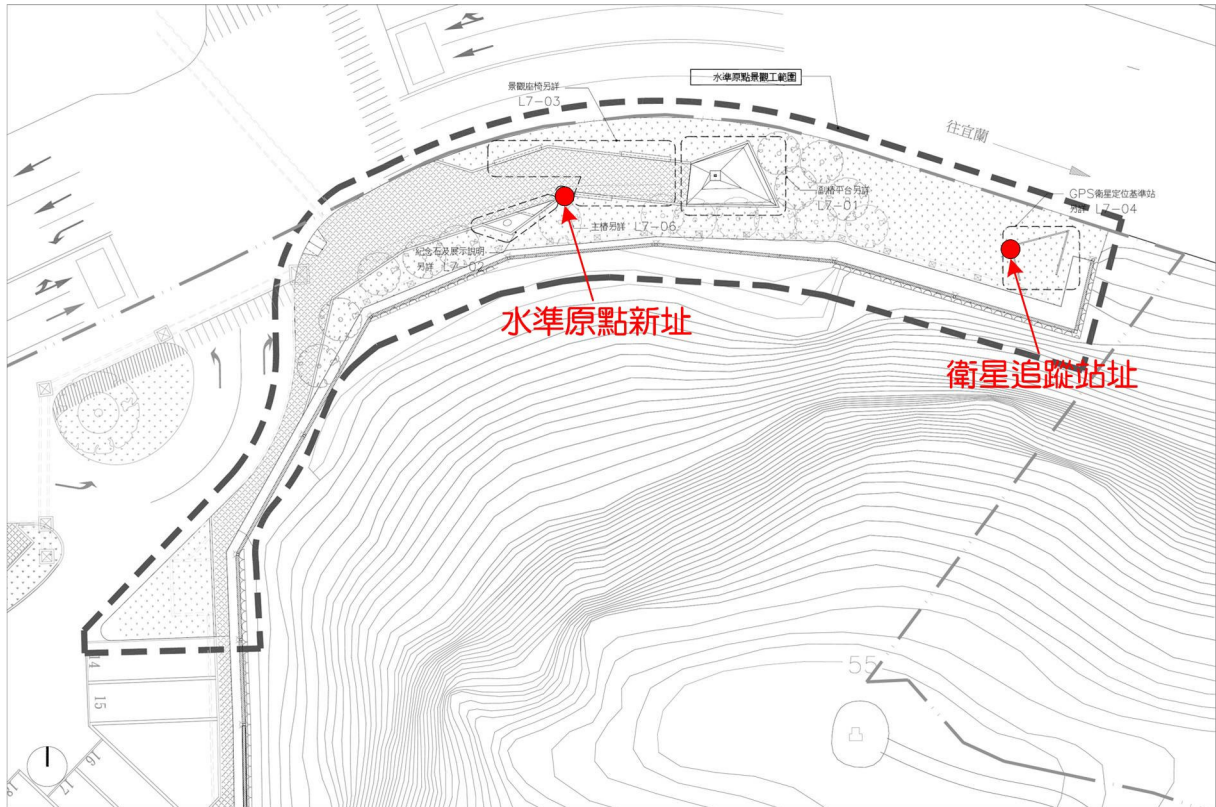


圖 2-1 基地位置規劃示意圖

基地位於八斗子區域附近，八斗子其實本來並不與臺灣本島相連，而是因為日據時代為了在這裡興建發電廠，而將分隔台灣島與八斗子島的海溝—長潭溝及廣大沙灘—砂仔園填成陸地，形成今日所見的陸連島景象，因此現在的八斗子主要範圍為東西指穿過海洋大學的北寧路起至與臺北縣瑞芳鎮交界的望巷，南北則指八斗子島至調和街。

八斗子主要由大寮層、石底層二種地層所形成(圖2-2)，包括水準原點新址及衛星追蹤站址地質簡單說明如下：

1. 水準原點：地表出露的覆蓋層是棕黃色泥質粉土夾風化塊石，其主要地層為大寮層，由灰色緻密細砂岩及灰黑色頁岩組成，有局部鐵染夾泥縫。
2. 衛星定位基準站：主要地層為大寮層，岩性以灰色細粒至中粒砂岩夾黑灰色或黑色頁岩而成條紋狀構造，其中砂岩層厚度大多約為10~40cm，本層之砂岩具有交錯層、波痕等沉積構造，屬於濱海相沉積物。



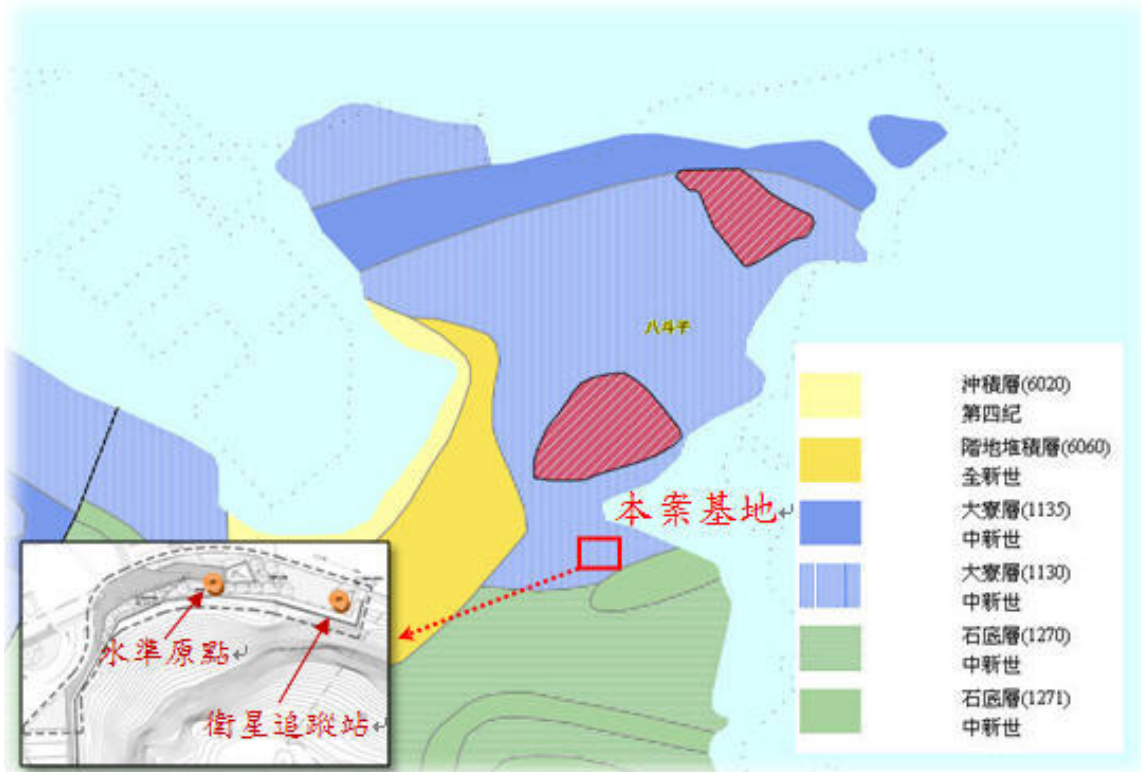


圖 2-2 基地附近地質圖

依據 2009 年 4 月於基地進行的地球物理震波探測結果，顯示鑽探工作應至地表 10 m 以下方可接觸岩層（內政部國土測繪中心，2009），因此後續工作均依此為基礎來加以進行。

## §2-2 水準原點鑽探及埋設

### §2-2-1 水準原點鑽探及埋設過程

為避開大雨季節，經過點位確認與機具架設後，水準原點鑽井工作於 2010 年 9 月 14 日開始岩鑽水準原點，於 20 日鑽井完成，然後整理現場，並完成水準原點鋼棒及鋼標頭部分，並進行地面保護不銹鋼蓋設置。埋設時依規定拍攝各步驟作業相片，採取岩芯，分析岩性，並全程錄影。其作業步驟概述如下：

- (1) 施工前將現場整平到所要的高度，並架設鑽機（圖 2-3）。



圖 2-3 架設鑽機



圖 2-4 PQ SIZE 鑽孔

- (2) 鑽探口徑（直徑）為 PQ SIZE（孔徑 4.5”，約 116 mm，如圖 2-3）鑽孔至深度 10 m 而未至岩盤，因此繼續鑽探至岩層 11.5 m（必須入岩盤）。
- (3) 以 HQ SIZE（孔徑 3.5”，約 89 mm，如圖 2-5）鑽孔至 14.28 m。
- (4) 清孔，放入外徑 89 mm 之 #304 不銹鋼管（如圖 2-6），以不收縮水泥高壓灌漿，使水泥結合不銹鋼管與岩壁。



圖 2-5 HQ SIZE 鑽孔



圖 2-6 置入不銹鋼管

- (5) 再次清孔，測量不銹鋼管之垂直度，利用精密孔內測量儀器 EZ-shot 量測（圖 2-7），垂直度為 89.9 度，垂直偏位量僅 0.1 度（0.17%），合乎 0.5% 偏差的極限。



圖 2-7 垂直度檢測



圖 2-8 NQ SIZE 鑽孔

- (6) 等凝卻後，清孔，再以 NQ SIZE（70 mm，如圖 2-8）鑽頭再往下鑽 2 m，放入少許不收縮水泥，再放入#316 不銹鋼棒，保持垂直，直至水泥乾涸。
- (7) 在孔中放入細砂。
- (8) 修繕地表環境，使合乎水準原點之基本要求（圖 2-9、圖 2-10）。



圖 2-9 新水準原點施工完成相片

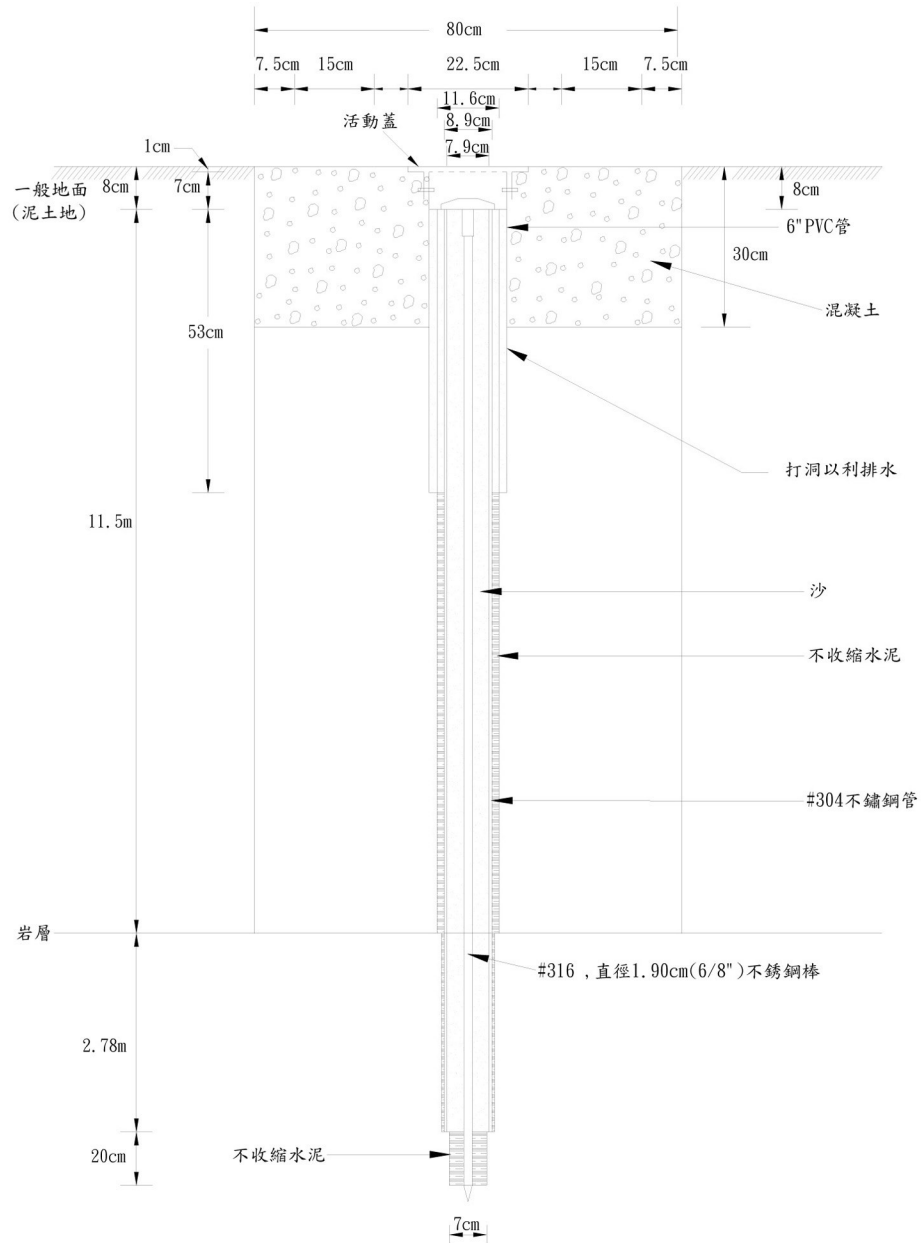


圖 2-10 水準原點埋設側視圖

### §2-2-2 水準原點鑽井岩芯判讀

本處地點原在震測結果判斷岩盤約在 10m 處，若再加上此處地勢略高，故以井口起算，鑽到 11.5m 處才看到岩盤，但較破碎，為了水準原點穩定度而言，故繼續鑽到 14.28m 處，以使水準原點鋼棒可以深入岩盤 1.28m，在這最後一段的岩盤相當完整，無明顯破裂現象。而各層說明如下（參照表 2-1 及圖 2-11）：

- (1) 0~1.5m：覆蓋土，棕黃色沙質粉土夾雜風化石塊。
- (2) 1.5~10.7m：棕黃色沙質粉土夾雜風化石塊。
- (3) 10.7~11.5m：棕黃色沙質粉土夾雜風化石塊。
- (4) 11.5~12.4m：砂頁岩互層，局部鐵染破碎。
- (5) 12.75~13.0m：破裂帶裂面鐵染。
- (6) 13.0~14.28m：砂頁岩互層砂頁岩互層。

表 2-1 水準原點地質鑽探紀錄表

自地表 下深度 m	岩心尺 寸	取樣深度		樣品 長度 cm	取 樣 率 %	>10cm 岩心長 度合計 CM	RQD %	柱 狀 圖	備 註	地質說明	
		自 m	至 m								
1	HQ	0.0	1.0	98	98	0	0			0~8.2m 覆蓋層：棕黃色泥質粉土夾風化石	
2		1.0	2.0	100	100	0	0				
3		2.0	3.0	100	100	0	0				
4		3.0	4.0	100	100	0	0				
5		4.0	5.0	100	100	0	0				
6		5.0	6.0	100	100	0	0				
7		6.0	7.0	100	100	0	0				
8		7.0	8.0	100	100	0	0				
9		8.0	9.0	70	70	0	0			8.2~11.6m棕黃色泥質粉土，高度風化，膠結鬆散，疑似海水入侵	
10		9.0	10.0	60	60	0	0				
11		10.0	11.0	75	75	0	0				
12		11.0	12.0	86	86	46	46				11.6~13m 砂頁互層，局部鐵染夾黃色的泥
13		12.0	13.0	100	100	65	65				
14		13.0	14.0	100	100	83	83				13~14.28m砂頁互層
15		14.0	14.28	0.28	100	0	0				

註：（一）取樣率 = (樣品長度 / 取樣深度) X 100%

（二）RQD岩心品質指標 = 大於或等於 4in (101.6mm) 岩心段長度之總和 / 鑽孔的長度

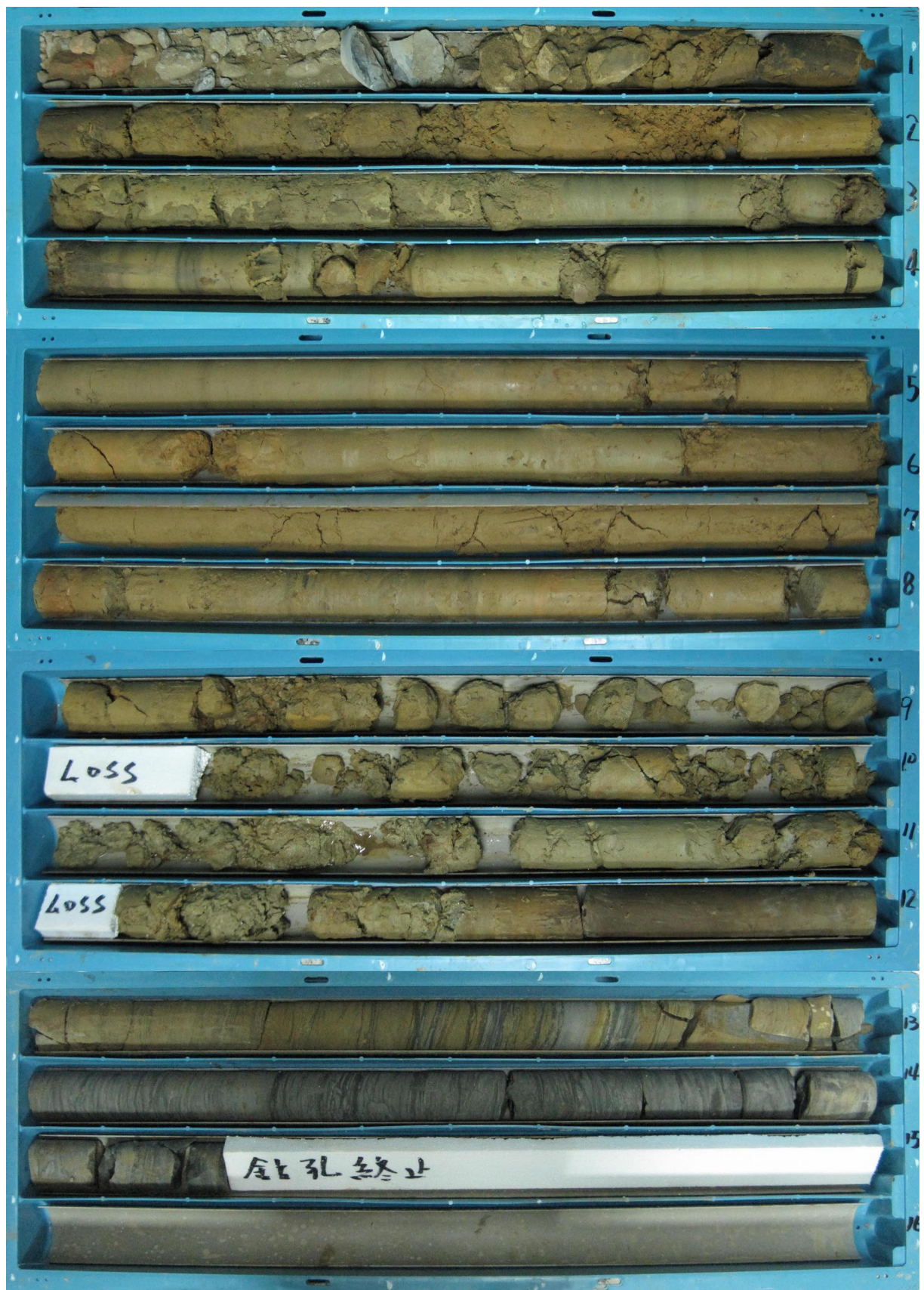


圖 2-11 水準原點鑽探岩芯相片

## §2-3 衛星追蹤站鑽探及埋設

### §2-3-1 衛星追蹤站鑽探及埋設過程

衛星追蹤站經過點位確認與機具架設後，本鑽井工作於 2010 年 9 月 10 日開始岩鑽水準原點，於 13 日鑽井完成，然後整理現場，並置入衛星追蹤站孔內不銹鋼柱，至高於地面 2.0m 為止，並完成地面復原工作。埋設時依規定拍攝各步驟作業相片，採取岩芯，分析岩性，並全程錄影，以清楚顯示各步驟作業重點及成果。其作業步驟如下：

- (1) 地整平到所要的高度。
- (2) 鑽探口徑(直徑)PQ SIZE 鑽孔至深度 1.9m 已至岩盤，繼續鑽探至岩層 10.0m。
- (3) 以 HQ SIZE 鑽孔至 12.0m。
- (4) 進行清孔工作後置入外徑 89mm ( $\pm 3mm$ )，厚度 5mm ( $\pm 0.2mm$ ) 之#304 不銹鋼管，以不收縮水泥高壓灌漿，使水泥與不銹鋼管及岩壁結合，#304 不銹鋼管長度以實際鑽孔深度至地表面為原則。
- (5) 再次清孔，測量不銹鋼管之垂直度，經精密孔內測量儀器 EZ-shot 量測，垂直度為 89.9 度，垂直篇未量僅 0.1 度 (0.17%)，合乎 0.5% 偏差的極限。
- (6) 地表上為#316 不銹鋼管，接續地表下#304 不銹鋼管，長度(含頂部套蓋)以 160cm ( $\pm 5cm$ ) 為原則，厚度 5mm ( $\pm 0.2mm$ )。地表上鋼管外壁應以光滑化處理，並於距鋼管頂端 20cm ( $\pm 3cm$ ) 及底端處各鑽一直徑 1.5" 之圓孔，做為該天線架收納天線電纜線導入及導出端口使用，至鑽孔位置以配合後續天線電纜線鋪設走向(圖 2-12、圖 2-13)。
- (7) 修繕地表環境，使合乎衛星追蹤站之基本要求。



圖 2-12 衛星追蹤站鑽孔完成相片



圖 2-13 衛星追蹤站施工完成相片

### §2-3-2 衛星追蹤站鑽井岩芯判讀

本處地點雖在震測地區之外，但因較靠近山壁岩盤裸露之處，結果約在 1.9m 處就已看到岩盤，但仍合約規定鑽到 12.0m，中間在 3.0~3.4m 處有破碎帶，但無特定方向，應該不是應力作用之結果。而各層說明如下（參照表 2-2 及圖 2-14）：

- (1) 0~0.15m：混泥土，膠結物以沙土為主。
- (2) 0.15~1.25m：灰色緻密細砂岩，膠結繁密。
- (3) 1.25~1.9m：強烈破碎帶，膠結物疏鬆，破碎帶夾棕黃色泥。
- (4) 1.9~2.0m：砂頁岩互層。
- (5) 2.0~3.0m：砂頁岩互層。
- (6) 3.0~3.4m：砂岩層，岩塊破碎面完整，但無固定方向。
- (7) 3.4~4.0m：砂質頁岩層。
- (8) 6.0~7.3m：砂質頁岩層。
- (9) 7.93~7.98m：砂岩層。
- (10) 8.2~8.55m：砂頁岩互層。
- (11) 8.55~8.6m：砂岩層。
- (12) 8.6~9.06m：砂質頁岩層。
- (13) 9.06~9.6m：砂岩層。
- (14) 9.6~12.0m：砂頁岩互層。

表 2-2 衛星追蹤站地質鑽探紀錄表

自地表 下深度 m	岩心尺 寸	取樣深度		岩心 長度 cm	取 樣 率 %	>10cm 岩心長 度合計 CM	RQD %	柱 狀 圖	備 註	地質說明
		自 m	至 m							
1	HQ	0.0	1.0	93	93	71	71			0-0.15m 混凝土膠結物以砂土為主
2		1.0	2.0	94	94	23	23			0.15~1.25m 灰色緻密細砂岩，膠結繁密
3		2.0	3.0	96	96	86	86			1.5~1.9 m 破碎帶，膠結物疏鬆破碎夾帶棕黃色泥
4		3.0	4.0	97	97	65	65			3~3.4m 砂岩層，岩塊破碎完整但無固定方向
5		4.0	5.0	96	96	96	96			1.25m~8.55m 砂頁互層
6		5.0	6.0	100	100	88	88			8.55~8.6m 砂岩層
7		6.0	7.0	95	95	80	80			8.6~12m 砂頁互層
8		7.0	8.0	100	100	94	94			
9		8.0	9.0	100	100	86	86			
10		9.0	10.0	98	98	92	92			
11		10.0	11.0	100	100	97	97			
12		11.0	12.0	97	97	93	93			

註：(一) 取樣率 = (樣品長度 / 取樣深度) X 100%  
 (二) RQD 岩心品質指標 = 大於或等於 4in (101.6mm) 岩心段長度之總和 / 鑽孔的長度





圖 2-14 衛星追蹤站鑽探岩芯相片

### 第三章 潮位站位址探勘

#### §3-1 折射震測原理介紹

折射震測法係藉炸藥爆炸(或重錘下落之衝擊力)產生人造震波,傳播於地下地層,因震波於地層間速度不同,依斯涅爾(Snell)定律發生折射現象返回地表,為埋設於地表之受波器接收,跟據其時間距離關係(通稱時距曲線),以求出地層之構造。一般來說折射震測法可經濟且準確地探測出地質構造形貌,且其探測出之地質構造是以震波速度大小表示之(通稱速度層),由理論上和實驗上均顯示岩石震波速度與岩石之彈性係數,以及對岩層的地質狀態都有直接關係,因此以折射震測法所探測出之速度層剖面圖,是工程設計及施工上之重要參考資料,且為應用於破碎帶及斷層之探測為工程地質調查中最有效的方法。

茲以基本模型來探討由時距曲線計算地層構造之原理,如圖 3-1 所示,設  $A$ 、 $B$  為炸點,  $R$  為受波點,  $\theta$  為臨界角,而於  $A$ 、 $B$ 、 $R$  各點距  $V_2$  層之垂距為  $Z_A$ 、 $Z_B$ 、 $Z_R$ ,利用延遲時間法(Delay time method)可求出地層的速度、深度及地層變化的形狀。假設由  $A$  點產生震波至  $R$  點接收之走時為  $T_{AR}$ ,由  $B$  點產生震波至  $R$  點之走時為  $T_{BR}$ ,而由  $A$  點產生震波至  $B$  點接收之走時為  $T_{AB}$ ;此三值可以下式表示之:

$$T_{AR} = \frac{Z_A \cos \theta}{V_1} + \frac{Z_R \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_A^R \frac{dx}{\cos \alpha} \quad (3-1)$$

$$T_{BR} = \frac{Z_B \cos \theta}{V_1} + \frac{Z_R \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_B^R \frac{dx}{\cos \alpha} \quad (3-2)$$

$$T_{AB} = \frac{Z_A \cos \theta}{V_1} + \frac{Z_B \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_A^B \frac{dx}{\cos \alpha} \quad (3-3)$$

其中  $\alpha$  為地層變化之傾角。

$$\text{假設: } Y = T_{AR} + T_{BR} - T_{AB}, \text{ 則 } Y = 2 \frac{Z_R \cos \theta}{V_1}, \quad Z_R = \frac{V_1 Y}{2 \cos \theta}$$

$$\text{又假設: } T_{AR'} = T_{AR} - \frac{Y}{2}, \quad T_{BR'} = T_{BR} - \frac{Y}{2}$$

則  $T_{AR'}$  及  $T_{BR'}$  可分別以 (3-4) 式及 (3-5) 式表示

$$T_{AR'} = \frac{Z_A \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_A^R \frac{dx}{\cos \alpha} \quad (3-4)$$

$$T_{BR'} = \frac{Z_B \cos \theta}{V_1} + \frac{1}{V_2} \int_B^R \frac{dx}{\cos \alpha} \quad (3-5)$$

除地層變化非常劇烈外，通常  $\cos\alpha \doteq 1$ ，則 (3-4) 式及 (3-5) 式可簡化為 (3-6) 式及 (3-7) 式：

$$T_{AR} = \frac{Z_A \cos\theta}{V_1} + \frac{X}{V_2} \quad (3-6)$$

$$T_{BR} = \frac{Z_B \cos\theta}{V_1} + \frac{AB - X}{V_2} \quad (3-7)$$

其中  $X$  為  $A$  點至  $R$  點的水平距離

$AB$  為  $A$  點至  $B$  點之水平距離

由 (3-6) 式及 (3-7) 式可知  $T_{AR}$  及  $T_{BR}$  之斜率為  $\frac{1}{V_2}$ ，因此由速度走時曲線上可求出  $V_2$  值，而每一測點  $R$  之第二層深度如 (3-8) 式，並藉此可求出第二層層面連續的剖面。

$$Z_R = \frac{V_1(T_{AR} - T_{AR'})}{\cos\theta} \quad (3-8)$$

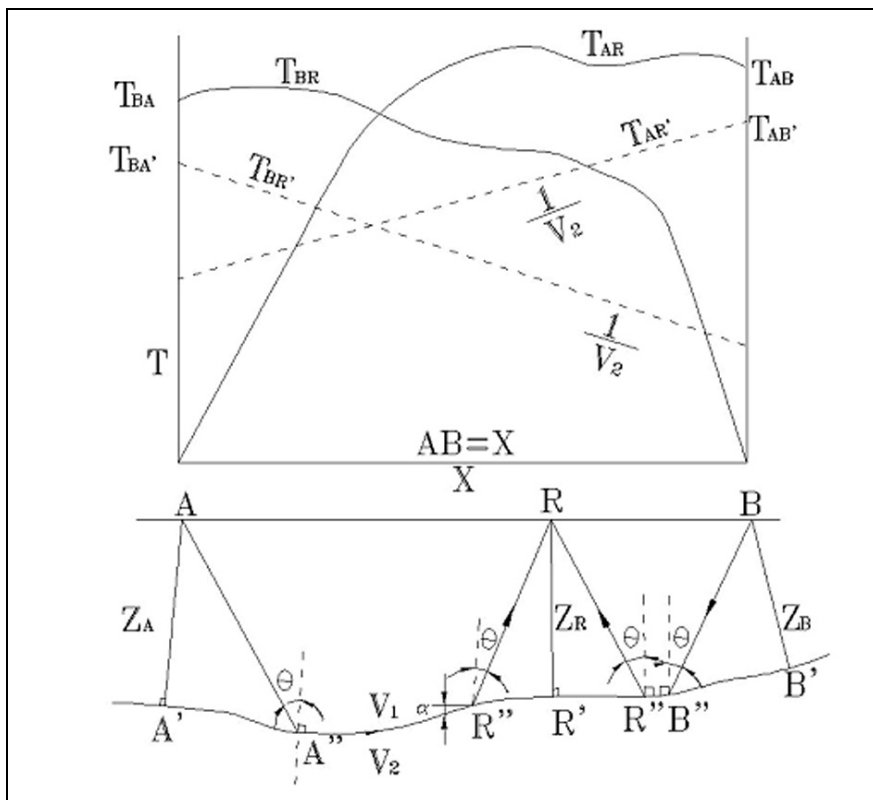


圖 3-1 折射震坡探測原理圖

## §3-2 測線規劃與準備

### §3-2-1 使用設備

本次作業地球物理震波探測使用之震測儀為日本 OYO 公司最新發展之 McSEIS SX 系統之 24 頻道折射震測儀；此系統包括放大器、震波疊加記憶器、震波顯示器、受波器等部份。茲簡述於下：

#### 1. McSEIS SX 震測儀（如圖 3-2）

為 24 波道放大器，每放大單元之最大放大倍率為  $90\text{dB}$ ，頻率響應在  $5\text{Hz}$  至  $200\text{Hz}$  間，同時含有低通濾波器，濾掉  $70\text{Hz}$  以上之高頻波，及鎖定濾波器以濾掉  $60\text{Hz}$  之干擾信號。

能處理 24 波道之震波信號，每波道之記憶容量為 1024 字元，疊加器內含有之微電腦能處理震波取樣速度及激發，延遲時間及震波時間刻度放大，震波走時等特殊處理，震波取樣速率可由  $25\ \mu\text{sec/sample}$  至  $5000\ \mu\text{sec/sample}$  間數段選擇，延遲時間可由 0 至  $990\text{msec}$  間任意選擇。

5.5 英吋之螢光幕能隨時顯示震波疊加記憶器內各波道所記憶之波形，另外有波形印表機，能印出震波疊加記憶器所記憶之各波道之波形，記錄紙為熱感式。其內之磁碟機能以 3.5 英吋之磁片儲存震波資料，以為震波資料處理用，而其內之微電腦則專司震波資料之處理儲存，另外有界面電路以與外界電腦連接，以便使外界電腦能直接取用磁片內震波資料而加以處理。

#### 2. 受波器（如圖 3-3）

為日本 OYO 公司於美國製造之 McSEIS-111 型自然震動頻率為  $28\text{Hz}$  之速度受波器，其靈敏度為  $0.285\ \text{volts/kine}$ ，若受波器安置垂直偏斜  $15$  度時，其頻率偏差亦不大於  $0.5\text{Hz}$ ，因此野外安置方便且可對較低頻之折射波產生較高之反應。



圖 3-2 McSEIS SX 震測儀



圖 3-3 McSEIS-111 型受波器

### §3-2-2 測線規劃與作業方法

此次於本計畫共設置 4 條折射震測線，各測線之展距為 L1 (65 m)、L2 (30 m)、L3 (30 m) 及 L4 (15 m) 測線總長 140m，受波器測點間距為 5m，其測線位置如圖 3-4 所示，震波探測時係以錘擊方式產生震源，每條測線各設置數個錘擊點，於測線設置數個錘擊點之目的是希望能夠詳細準確的測出淺層地層構造，免得深層構造的解釋因淺層局部構造複雜的影響而產生誤差，又可由不同距離的錘擊點震波資料相互驗證而求出正確地層構造。本次作業其步驟如下：

- (1) 使用剖面式折射震測，以錘擊方式產生震源。
- (2) 使用自然頻率 28 Hz 受波器，受波器間距定為 5 m 內，震波信號之取樣率需小於 0.5 msec。
- (3) 現場施測時各測線需量測各測點之相對位置及高程，以北寧路外側靠近長潭里漁港之路路面設為起始高程（高程為 0）。
- (4) 現場施測時於受波器安置前需清除地面雜草及鬆土，以求受波器對震波之真實反應。
- (5) 檢視各頻道錘擊記錄得之震波信號記錄品質，並作適當之信號疊加。
- (6) 完成震測工作後，現場工作需作適當之復原。

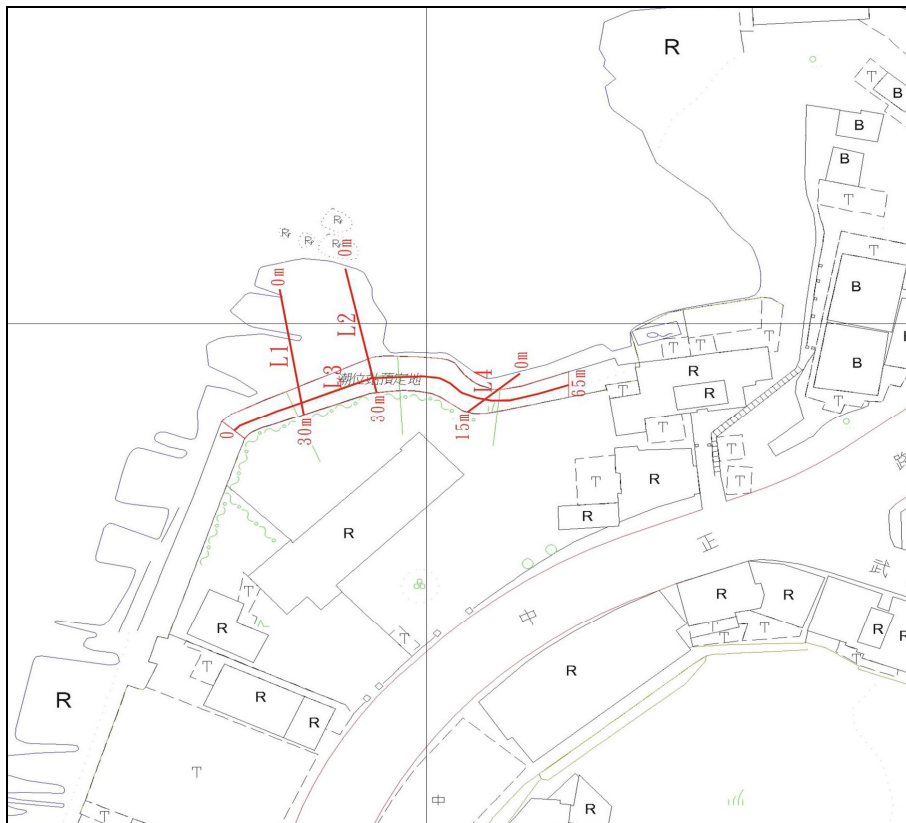


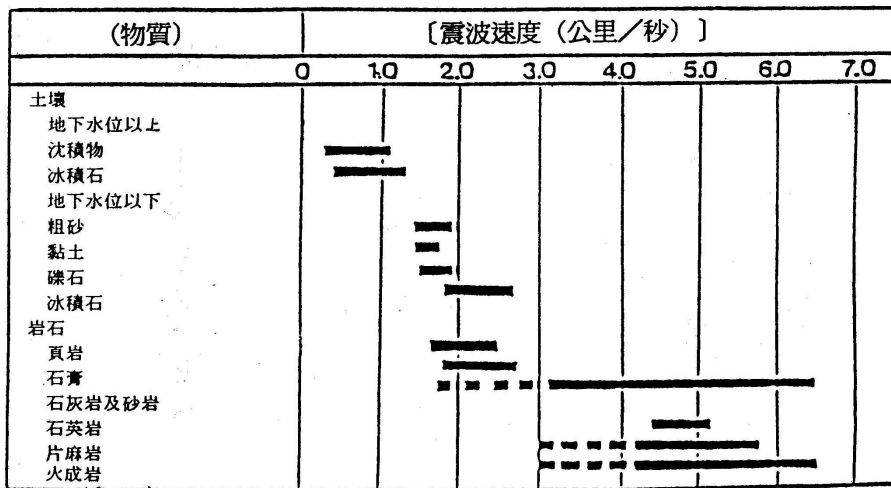
圖 3-3 折射震測測線位置示意圖

### §3-3 折射震測結果

本次震測作業時間為 2010 年 9 月 20 日(圖 3-4);將每一震測測線測得之震波記錄,研讀在不同鉋擊點情形下各測點之初達波走時,繪製成時距曲線,經延遲時間法處理計算,求出此測線速度時距曲線,由速度時距曲線可研判出各不同速度層之界線及低速度帶之界線位置,同時計算出各速度層之厚度及速度,並推估出各速度層可能對應之岩性(參照圖 3-5)。茲將此測線之速度層剖面結果敘述如下:



圖 3-4 折射震測作業過程相片



註: ■■■■ 表風化物質

圖 3-5 震坡 (P 波) 速度與地質間的關係

1. L1 測線速度層剖面如圖 3-6 所示，可分為三速度層：

- (1) 第一層堆積層：厚度介於 2.3~2.5m 間，震波速度 1.10 km/sec。
- (2) 第二層緊密堆積或風化岩層：厚度介於 0.2~2m 間，震波速度 1.25 km/sec。
- (3) 第三層（新鮮岩層）：測樁 0~30m；震波速度在 3.08 km/sec，為岩層。

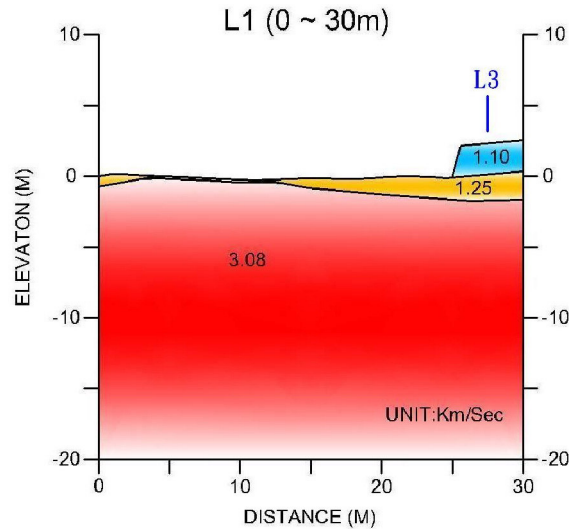


圖 3-6 L1 測線震測結果速度層剖面圖

2. L2 測線速度層剖面如圖 3-7 所示，可分為三速度層：

- (1) 第一層堆積層：厚度介於 2.3~2.5m 間，震波速度 0.96 km/sec。
- (2) 第二層緊密堆積或風化岩層：厚度介於 0.2~2.5m 間，震波速度 1.10 km/sec。
- (3) 第三層（新鮮岩層）：測樁 0~30m；震波速度在 3.08 km/sec，為岩層。

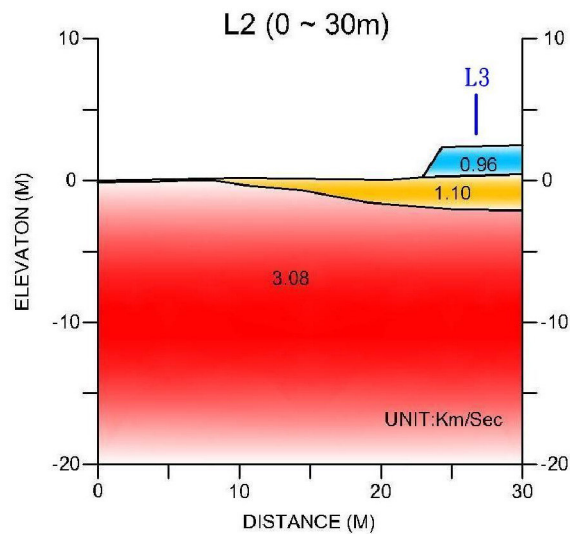


圖 3-7 L2 測線震測結果速度層剖面圖

3. L3 測線速度層剖面如圖 3-8 所示，可分為三速度層：

- (1) 第一層堆積層：厚度介於 2.3~2.5m 間，震波速度在 0.83~1.00 km/sec。
- (2) 第二層緊密堆積或風化岩層：厚度介於 0.2~4.5m 間，震波速度 1.25 km/sec。
- (3) 第三層（新鮮岩層）：測樁 0~65m；震波速度在 3.08 km/sec，為岩層。

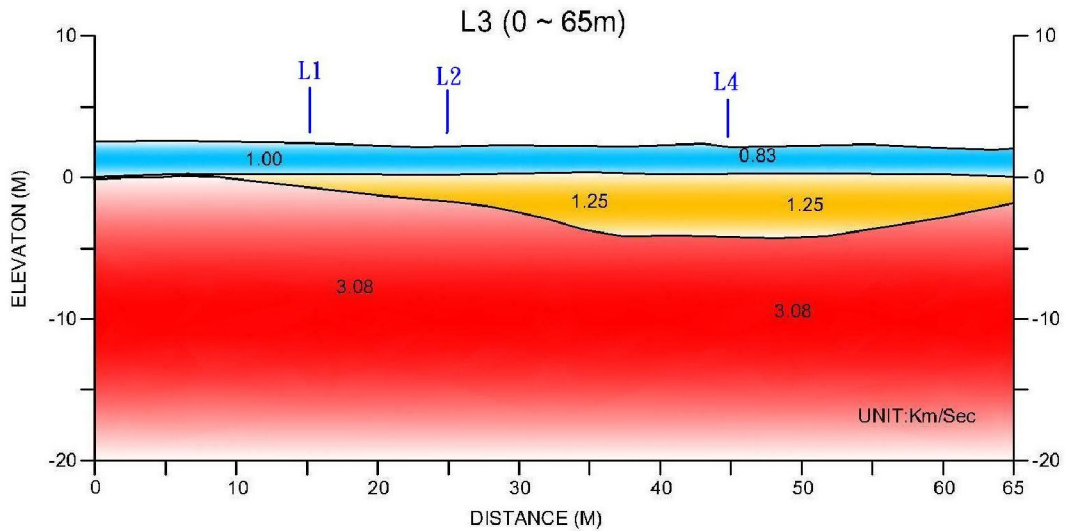


圖 3-8 L3 測線震測結果速度層剖面圖

4. L4 測線速度層剖面如圖 3-9 所示，可分為三速度層：

- (1) 第一層堆積層：厚度介於 2.3~2.5m 間，震波速度在 0.83 km/sec。
- (2) 第二層緊密堆積或風化岩層：厚度介於 1.5~2.5m 間，震波速度 1.25 km/sec。
- (3) 第三層（新鮮岩層）：測樁 0~30m；震波速度在 3.08 km/sec，為岩層。

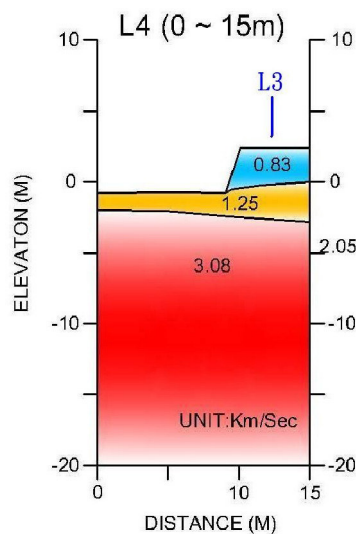


圖 3-9 L4 測線震測結果速度層剖面圖



依照前述震測分析結果，潮位站新址設置位置原則建議於 L1 至 L2 測線中間，或左右 10m 之內（圖 3-10 藍色範圍內），基本上這地區的岩盤都在水面下 2~3m 之內，容易從岩盤鑽起一個穩定井或穩定的支架。至於設置的細節，還要看所用的儀器型態，附近海底地形，以及潮差的大小來決定。

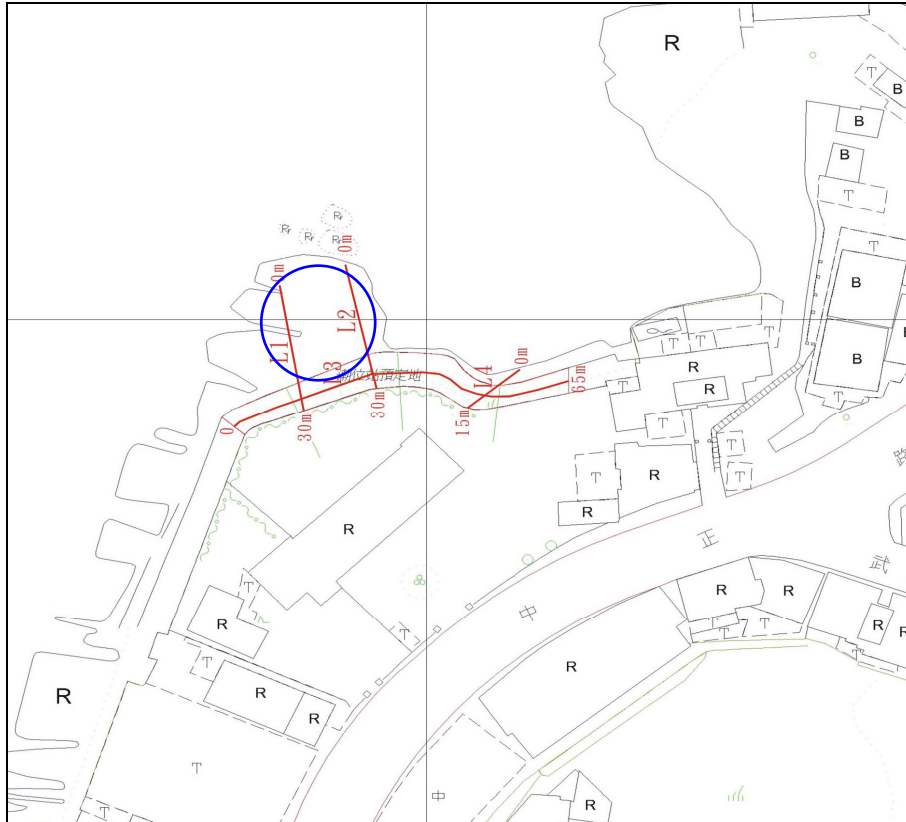


圖 3-10 潮位站位址建議設置位置圖

## 第四章 高程基準網檢測

### §4-1 新設水準點埋設

為配合新設立的水準原點，因此擴大原有的高程基準網，增加的點若非採用共用方式，則需進行水準點埋設工作；總計共需埋設 4 個點位，並依「一等水準測量作業規範」（內政部，2001），一般地面水準點位埋設方式進行，以增加點位保存性，但由於新設點位多位於公園、學校等地，因此均不加護石並使之與地面齊平。

埋設點位的作業流程，主要依照「一等水準測量作業規範」內容，及歷次進行一等水準點埋設的經驗，其作業流程如圖 4-1，而詳細的執行內容分述如下。

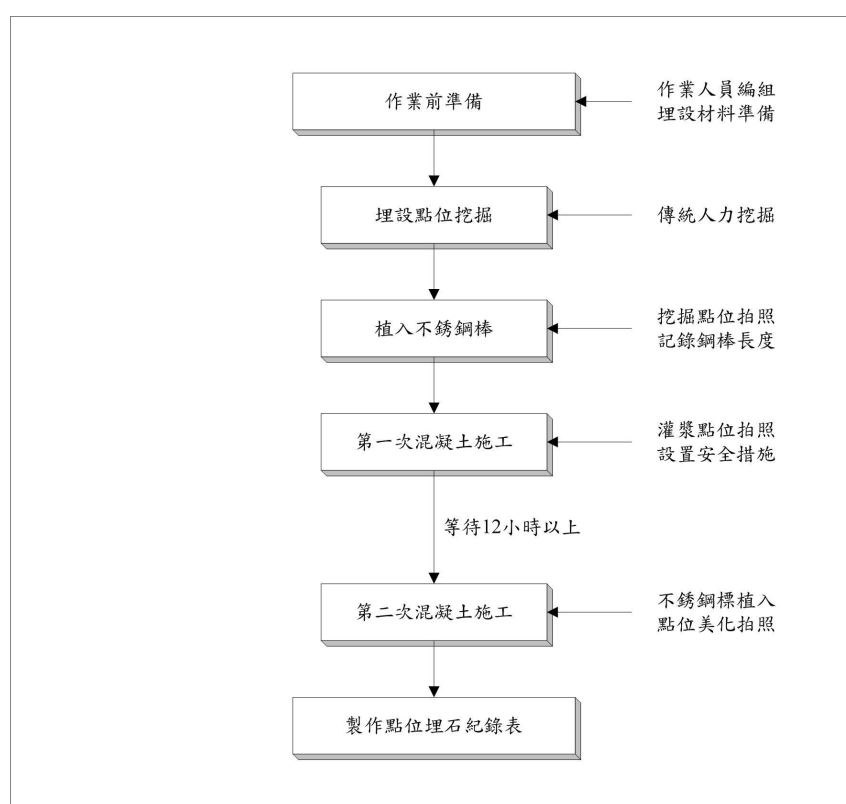


圖 4-1 水準點埋設作業流程圖

#### 1. 作業前準備

依照所需人員進行編組，並準備相關的施工材料，依照合約規範內容要求，埋設時需使用之材料主要包含不銹鋼標、不銹鋼棒（共分為 1m、50cm、25cm 及 10cm 等不同尺寸）及不銹鋼材質活動蓋。

#### 2. 利用人工方式進行點位挖掘

為避免破壞點位現場相關設施，本次計畫均採人工方式來進行點位挖掘，可使作業安全且能控制挖掘孔洞的大小，其開挖大小為 80×80×105cm（如圖 4-2）。



圖 4-2 人工開挖點位



圖 4-3 第一次混凝土灌漿

### 3. 植入不銹鋼棒與第一次混凝土施工

- (1) 完成點位挖掘後，即開始進行不銹鋼棒植入工作，由於無法預知會植入多深，因此先植入 1m 之不銹鋼棒開始。另為節省時間及減輕人員體力負擔，作業時先以電動打擊機進行第一根鋼棒植入工作，等到鋼棒快沒入地底時，再以第二根鋼棒連接，此時兩不銹鋼棒連接處須以植筋膠固定；以此步驟，重覆進行，直到電動打擊機無法將鋼棒再植入為止。
- (2) 接著丈量最後一根不銹鋼棒距地表面的距離，改用人力方式套上保護銅套以鐵鎚用力敲打，直至連續敲擊 10 次後不銹鋼棒均無法深入地層為止。再次丈量不銹鋼棒距地表面的距離，以較短尺寸之不銹鋼棒連接，使接上不銹鋼標後，能符合至不銹鋼材質與地面齊平的條件。
- (3) 於進行第一階段灌漿前，在孔洞底層往上 65 cm 之位置，貼上紅色貼布以為標記，做為第一次混凝土灌漿高度的依據；灌漿完成後，最後將不銹鋼材質活動蓋連同 PVC 管置入混凝土中，依規定預留不銹鋼材質活動蓋高度，將缺口朝北後以支架固定之（圖 4-3）。
- (4) 點位第一次混凝土灌漿完成後，須間隔 12 小時以上，才能進行第二次混凝土灌漿，依照規劃，除考慮排水之外，主要因素若採用以往僅以一次混凝土灌漿完成之施工方式，當遭受外力撞擊，導致混凝土移動時，會使不銹鋼棒底部隨之移動而造成點位偏斜。若採用二次施工法，由於兩次混凝土灌漿中間隔有 10 cm 之回填土，而變成兩塊獨立的混凝土，若點位遭受外力撞擊時，僅會影響上層之混凝土，降低對不銹鋼標的影響。
- (5) 在等待第二次混凝土灌漿的期間，因點位所挖掘的孔洞相當大，為避免造成人員跌落或車輛誤入，考量作業安全的情況下，以 120×120cm 之大型木板覆蓋在挖掘的孔洞上做為安全措施，以避免造成意外。

#### 4. 第二次混凝土灌漿及點位埋設完成

- (1) 在完成第一次混凝土灌漿並等候 12 小時以上，接著進行第二次混凝土灌漿；惟在灌漿前，為利於點位排水，須先回填土（約為 10cm 高）並夯實後（如圖 4-4），再灌漿至灌滿整個模具（可固定點位之尺寸大小及保持美觀）至約低於地表高度。
- (2) 再利用抹刀將混凝土表面整平並清理不銹鋼材質活動蓋表面，即完成第二次混凝土灌漿（如圖 4-5）。
- (3) 最後再將地表覆土或植被回填，並回覆原先地表狀態，表面僅可是不銹鋼活動蓋（圖 4-6）。



圖 4-4 回填 10cm 土並夯實



圖 4-5 第二次混凝土灌漿



圖 4-6 水準點埋設完成相片

## §4-2 水準路線規劃

本次高程基準網檢測工作，除了原有高程基準網路線外，另擴增至新水準原點 K997 周遭區域，合計共 30 點（包含新增點位 11 點），其範圍由基隆市中山區（基隆潮位站）經中正區至臺北縣瑞芳鎮止，其點位分布情況如圖 4-7。



圖 4-7 高程基準網點位分布圖

高程基準網測線主要呈單一線狀方式布設，以水準原點 K999 分向兩側施測（K1 及 K2 測線），另有 K999 出發之 23 測線與 K2 測線組成一小閉合圈，及額外分叉之 23 測線，各測線施測點位如表 4-1 所示。

表 4-1 高程基準網測線施測點位一覽表

測線編號	施測點號
K1	K999-K998-K002-BM06-BM11-2038-U7836-K001-K003-K004-BM10-K005-K006-K007-K008-K010-BM04-K021
K2	K999-K011-K012-K013-2041-K014-2042-K997-K015-2043
23	2037-U7836
24	K999-2039-2040-K013

### §4-3 水準外業測量

#### §4-3-1 水準外業測量流程

完成相關水準測量的規劃準備工作後，依照規劃的時程調派人員進行外業測量工作，參照「一等水準測量作業規範」，對於使用電子式水準儀而言，人員需求項目中之記錄員，因採自動記錄及夜間觀測方式，因此可省略 1 人員配置，因此實際上每 1 組均分配 4 名作業人員；在進行水準外業測量前，除整置各項預定使用的裝備器材外，並需依照規劃測線勘查今日預定作業測段，包括起、終點位，測量路徑等，並於施測路徑上預先標示施測時水準儀與水準尺將要擺設的概略位置。依實際外業測量之作業過程，規劃水準外業測量作業流程如圖 4-8，詳細作業內容分述如后。

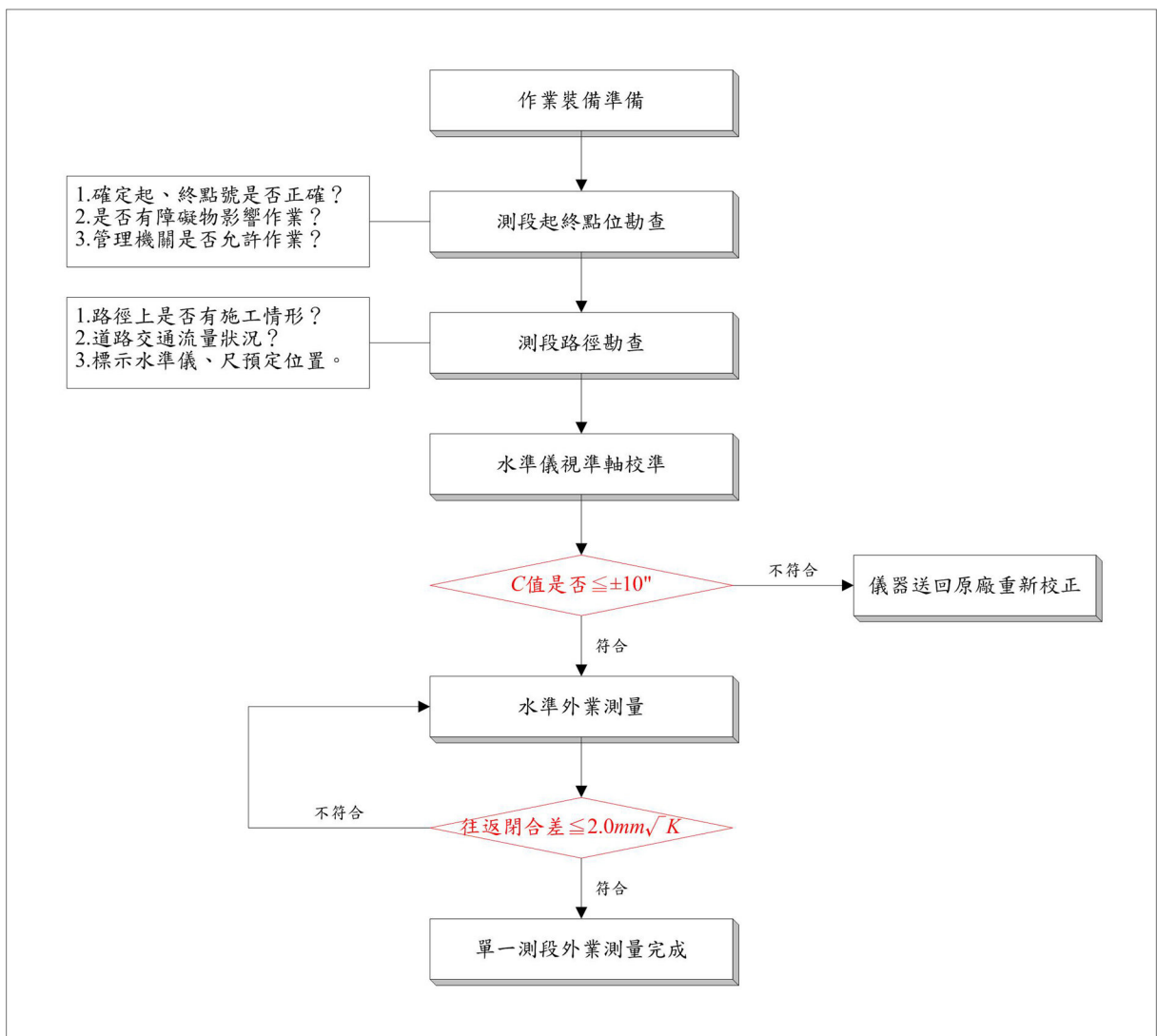


圖 4-8 水準外業測量作業流程圖

### §4-3-2 水準儀視準軸校準

在實際進行水準外業測量前，為確保水準儀本身之誤差值合於規範值內，並記錄當日水準儀的視準軸誤差值，做為系統誤差改正之依據，須於每日進行視準軸校準程序。進行水準儀視準軸校準時，其水準儀與水準尺之擺設位置如圖 4-9，校準過程說明如下。

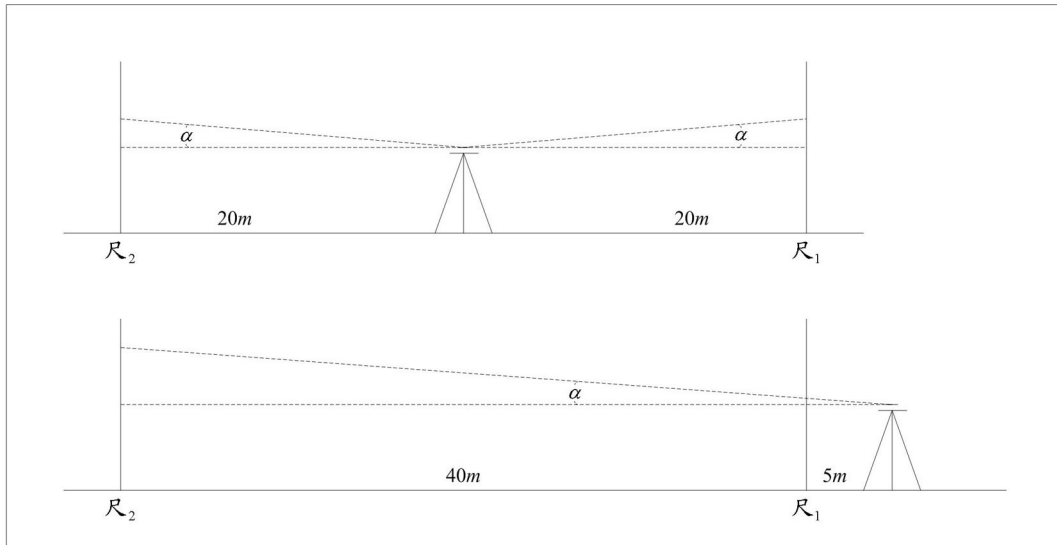


圖 4-9 水準儀視準軸校準水準儀與水準尺之擺設位置圖

依照圖 4-9 架設水準儀及擺放水準尺，並依照下列方法進行水準儀視準軸校正：

#### 1. 校正方法與步驟：

- (1) 於一平坦地精確的量取一段長 40m 之線段，兩端分置水準尺，水準儀須精確的整置於線段中央處（20m 處）。
- (2) 將水準儀及水準尺整平後，以尺<sub>1</sub>為後視，尺<sub>2</sub>為前視，依序讀取後視讀數、後視距離，前視讀數、前視距離，前視讀數、後視讀數；前後視距離讀數差不得超過 0.4m，計算高程差  $\Delta h_1$ 。
- (3) 將儀器移動至尺<sub>1</sub>後方 5m 處，仍以尺<sub>1</sub>為後視，尺<sub>2</sub>為前視，讀取後視讀數、後視距離，前視讀數、前視距離，前視讀數、後視讀數。
- (4) 計算高程差  $\Delta h_2$ 、前後視距離差  $\Delta s_2$ ，經查「一等水準測量作業規範」之折射與曲率誤差修正表（表 4-2），因此  $e_5 = 0$  及  $e_{45} = 0.1$ 。
- (5) 利用公式(4-1)計算視準軸誤差值( $C$ )，檢驗  $C$  值是否超過 10.0" (即 0.05 mm/m) 之容許值。

$$C = [\Delta h_1 - \Delta h_2 + (e_5 - e_{45})] / (-\Delta s_2) \quad (4-1)$$

- (6) 如果  $C$  值超過容許值，則必須將水準儀送交儀器廠商進行視準軸校正，才能繼續進行外業觀測。

表 4-2 折射與曲率誤差修正表（單向視線）

視距範圍，s(m)	折射與曲率誤差值，e(mm)
0~28	0.0
28~48	0.1
48~61	0.2
61~73	0.3
73~82	0.4
82~91	0.5
91~99	0.6

2. 校正注意事項：

- (1) 視準軸之校準應選擇坡度不超過 2% 之平坦地，並於外業測量作業前施行之。
- (2) 水準儀及水準尺從箱中取出至操作場所後，應先放置 5 分鐘以適應當地環境；若儀器與環境溫差太大，則須停留（溫差 $\times 2$ ）之分鐘數，以求環境與儀器溫度達至平衡。
- (3) 確定水準儀及水準尺的圓盒氣泡已事先校正完畢。
- (4) 由於採用電子式水準儀且僅單一測站，因此折射與曲率誤差改正可忽略不計。
- (5) 電子精密水準儀要先消除內部視準軸校正的功能。
- (6) 校正時應記錄日期、儀器編號、水準尺編號、時間及時間段、量測起始之溫度、風速及日照、操作及記錄人員。

依照前述校正方法進行水準儀視準軸校準作業，本次計畫使用的水準儀經每日檢核，其檢驗 C 值均能符合 10.0" (0.05 mm/m) 的要求，圖 4-10 顯示水準儀每日視準軸變化情形。

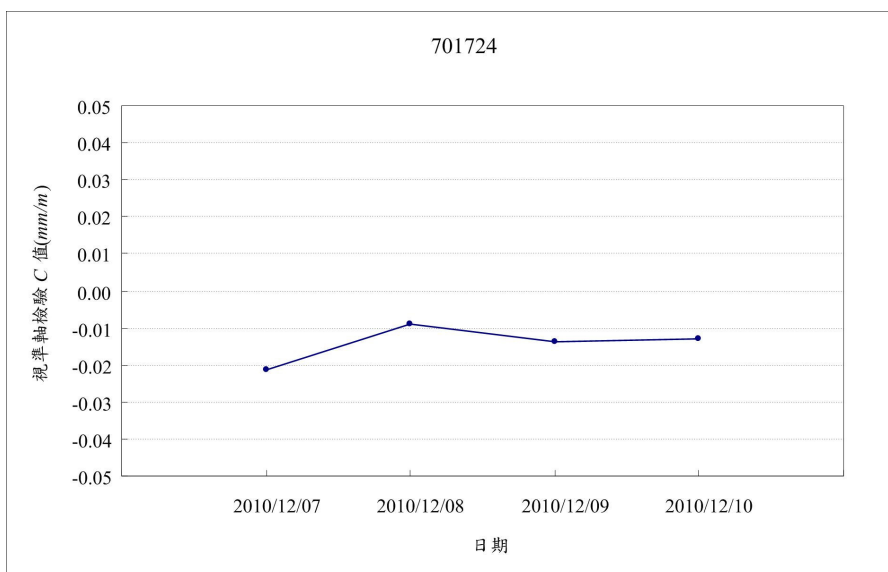


圖 4-10 視準軸校準每日 C 值變化圖



### §4-3-3 水準外業測量

#### 1. 水準測量觀測作業步驟

- (1) 記錄一等水準點測量紀錄表；包括測量日期及時間、水準測量編組成員姓名、測線編號、測段編號、測站數、儀器及設備之型號及序號、視準軸修正值、天氣狀況、雲量與風力、起點及終點之點名及點號、起點及終點之標石種類及號碼等資料。。
- (2) 豎立水準尺：將甲尺置於起點上，經由另一名引導員以水線實際量取前後視約相等距離後，引導乙尺置於尺墊上，調整水準尺上的氣泡，使其居中。
- (3) 將水準儀置於二根水準尺的中間（由引導員事先以噴漆於地上註記），調整儀器使氣泡居中後，於觀測前先透過無線電將甲、乙兩尺 0.5 m 及 2.5 m 位置之溫度分別記錄於儀器內；再觀測甲尺的讀數，每一次讀數設定讀取條碼式鈷鋼尺至少 3 次，其讀數標準差（ $\sigma$ ）不得大於 0.2 mm，記錄讀數。
- (4) 將水準儀轉向乙尺，不可轉動踵定螺旋，若氣泡偏離容許範圍，則儀器須重做檢定。若在容許範圍內，對準乙尺讀取讀數。並記錄讀數（相同程序與標準）。
- (5) 重新對乙尺讀數記錄之。對準甲尺讀數記錄之。比較甲乙兩尺二次讀數差的差值，是否在誤差範圍之內（不得大於 0.4 mm）。由於使用的儀器具有多種條件設定功能，假如二次讀數差的差值超出誤差範圍之外，儀器會於操作面板上顯示警告訊息。
- (6) 若(3)至(5)之差值不符合標準，應重新架設水準儀，重新依次輸入溫度及讀取讀數。直到符合誤差範圍之內為止。
- (7) 所有觀測量要記錄在適當位置，後視觀測記錄在後視的位置，前視則記錄在前視的位置，與甲、乙尺或觀測順序無關，以資辨識。
- (8) 記錄者下指令引導後視尺及儀器往進行方向移動，前視尺則轉動尺面，並確保尺墊位置不動，此時，前視尺變成後視尺，重覆(2)至(5)之步驟，直至甲尺再置於終點的水準點上。
- (9) 於接近終點時，調整前後視距離，使每一測段的測站數為偶數，即保證同一支尺（甲尺）放在起點與終點的點位上，如此可避免水準尺零點不在尺底部的誤差。
- (10) 施測時應於標尺的底部加設尺環，以使尺的支撐點置於標尺底部的中央，減少誤差。但當標尺置於水準點上時，務必要移除尺環，避免造成錯誤。

#### 2. 觀測中應遵守之事項

- (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，沿同一道路進行。
- (2) 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，另應配備較長遮陽罩，以減少雜散光之影響。

- (3) 水準觀測應在標尺分劃線成像清晰穩定時進行，下列情況不得進行觀測：(a)日出及日落前後 30 分鐘內。(b)太陽中天前後各約 2 小時內，惟於陰天或氣溫低於  $25^{\circ}\text{C}$  以下時，不受此限。(c)標尺分劃線之影像跳動而難以照準時。(d)一測段(二相鄰水準點間)中，每一往(或返)測任意兩測站氣溫差達  $10^{\circ}\text{C}$  以上時。(e)風力大於風力區分 5 級(含)以上而使水準尺與水準儀不能穩定時。
- (4) 觀測前 10 分鐘，應將水準儀、水準尺及溫度計從保護箱取出，置於露天陰影下，使儀器與外界氣溫趨於一致，若保護箱內之溫度與外界氣溫差異  $5^{\circ}\text{C}$  以上，則需提早 20 分鐘。
- (5) 施測時，扶尺員應隨時注意並確保水準尺與尺墊之垂直性及穩定性，如有必要，應增加監視水準尺傾斜之警示功能。
- (6) 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。
- (7) 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。第二測段起點所豎之水準尺應與第一測段終點之水準尺相同。
- (8) 除路線轉彎處，每一測站儀器與二水準尺之三個位置，應盡量成一直線。
- (9) 施測時，由水準儀測得之所有讀數不得小於  $30\text{ cm}$ ，不得大於  $270\text{ cm}$ 。
- (10) 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，應重新整置儀器。
- (11) 當觀測水準點時，須仔細查對該點之位置、編號及名稱是否相符。

本次高程基準網檢測工作自 2010 年 12 月 7 日起至 12 月 10 日止，計 4 個工作天完成；計檢測 30 個點位，合 30 個測段，約  $21.14\text{ km}$ 。



圖 4-11 外業測量作業過程相片

## §4-4 水準測量資料計算與分析

### §4-4-1 水準測量資料處理流程

於水準外業測量完成後，必須對觀測資料加以整理、檢查，以確定資料是否合乎規範要求，因此必須設計一套處理的流程，依照「一等水準測量作業規範」內容對資料進行檢核，以確保施測成果品質完善，並且製作各項成果圖表，及後續水準網平差計算與相關成果分析；圖 4-12 顯示本計畫水準資料處理的流程，後續將利用程式自動化處理各階段的工作，詳細內容如后說明。

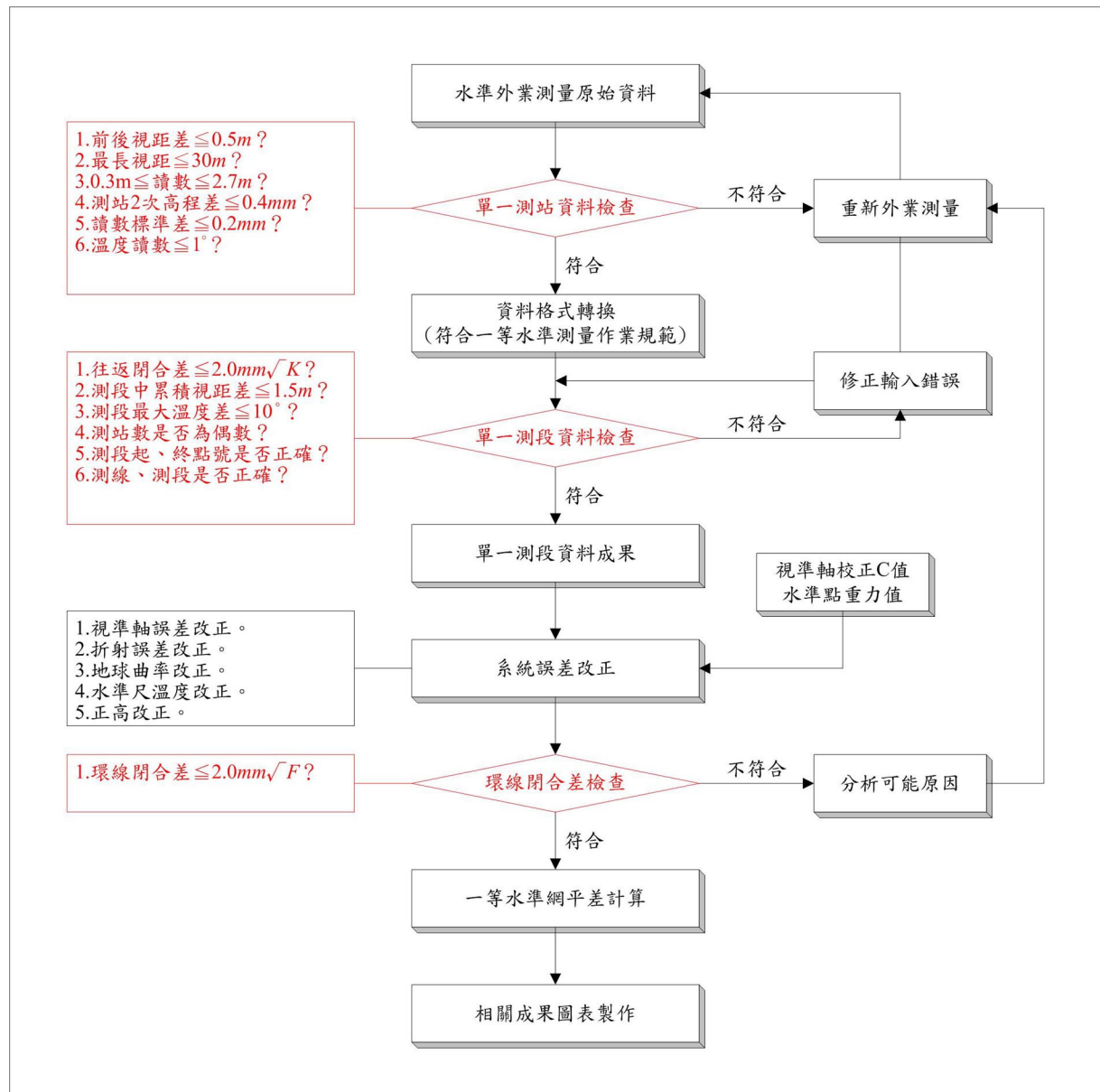


圖 4-12 水準資料處理流程圖

## §4-4-2 觀測資料處理與檢核

### 1. 觀測資料檢核

針對原始一等水準觀測資料的檢核，將每日每組的原始觀測資料下載後，便利用程式自動檢核每一測段的成果，主要分為如下二部分：

- (1) 檢查單一測站之觀測資料：內容包括前後視距差、最長視距、最低與最高讀數、測站二次讀數高差之差、前後視距累積差等項目；這些檢查項目中，大部分可直接於儀器內設定，在測量過程中隨時提出警告訊息，以避免重測而浪費時間。不過為了確定觀測資料之有效性，會利用程式自動對觀測資料進行檢查工作，若有不符合情形，會於輸出檔內出現警告訊息（以\*表示）。
- (2) 檢查單一測段之觀測資料：內容包括往返閉合差精度、測站數是否為偶數、測段中每測站之視距累積誤差、起終點號是否相符等項目，亦利用上述程式自動對單一測段往返觀測資料進行檢查工作，若有不符合情形，會於輸出檔內出現警告訊息（以\*表示）。

對於水準觀測資料的檢查，除了檢核出人工輸入造成的錯誤外，最重要的便是檢核原始觀測資料的品質；檢核品質的標準主要依照「一等水準測量作業規範」，其要點如下：

- (1) 前後視最長視距不得大於 30 m。
- (2) 每一測站前後視距差不得大於 0.5 m。
- (3) 同一測段中任一測站上前後視距差累積不得大於 1.5 m。
- (4) 每測站二次高程差之最大較差不得大於 0.4 mm。
- (5) 水準儀測得之所有水準尺讀數不得小於 30 cm，不得大於 270 cm。
- (6) 判斷溫度記錄是否有大錯誤：同一測站最大最小溫度差須小於較差小於 1°C，同一測段任兩測站間的溫度差須小於 10°C。
- (7) 同一測段之往返閉合差小於  $2.0\text{ mm}\sqrt{K}$ （ $K$  為單一測段長度之公里數）。

當原始資料檢查完成後，程式將自動輸出相關資料檔，其內容包括：

- (1) 測段單向每測站之前後視距離及原始高程差。
- (2) 測段單向每測站兩次前後視高程差之較差及平均值。
- (3) 單向測段之錯誤訊號（若無錯誤則為空白），以利後續修正原始檔案。
- (4) 測段單向起、終點點號、前後視距離總和、原始高程差值。

原始外業觀測資料經過上述兩階段的檢查後，若均符合工作規範及精度要求，程式即將資料轉換成標準資料儲存格式，以供後續利用。

## 2. 標準格式轉換與測線表製作

當完成每日單一測段觀測資料後，需進行資料儲存之標準格式轉換，水準觀測資料之標準儲存格式，需每一測段儲存一個檔案，每個檔案分為三部分，即檔頭、觀測資料與檔尾，其詳細格式內容說明如下：

- (1) 第一部分為檔頭，檔頭共占 2 列，共儲存 16 個欄位資料，每個欄位可儲存 10 個位元 (byte) 資料，全為文字記錄。第 1 列所儲存的資料依序為(a)測站數：以數字表示。(b)視準軸修正值：單位為  $mm$ 。(c)水準儀型號。(d)水準尺甲尺序號。(e)水準尺乙尺序號。(f)測段檔名：測段檔名之編碼方式以 9 碼為原則，第 1 及第 2 碼為測線編號，依據「臺灣本島一等水準網測線編號表」編之，第 3 至第 6 碼為西元曆年，以數字表示，第 7 及第 8 碼為該測線之第幾測段，以數字表示，第 9 碼為測段之往測或返測，以英文字母表示，A、C、E...表示往測，B、D、F...表示返測。(g)起點點號。(h)終點點號。第 2 列所儲存之資料依序為(a)年.月.日 (YYYY.MM.DD)：以西元曆表示，年月日以”.”區隔。(b)雲量與風力 (S.W)，雲量與風力以”.”區隔。(c)觀測者姓名。(d)記錄者姓名。(e)可反轉式補償器二視線之夾角。第 2 列剩餘 30 個位元保留未來使用。
- (2) 第二部分為觀測資料，電子精密水準儀觀測資料儲存格式分述如下：每一測站計有 7 個讀數，每個讀數占 11 個位元，7 個讀數合計 77 個位元，儲存成一列，其內容依序如下：(a)觀測時間與觀測溫度讀數 (hhmm.t25t05)：觀測時間記錄時 ( $hr$ )、分 ( $min$ )，觀測溫度分別紀錄溫度計離地面  $2.5 m$  (t25) 及  $0.5 m$  (t05) 之溫度，單位為  $0.1^{\circ}C$ ，觀測時間與觀測溫度以”.”區隔，如” 1415.176182”，表示觀測時間為 14 時 15 分， $2.5 m$  高之溫度為  $17.6^{\circ}C$ ， $0.5 m$  高之溫度為  $18.2^{\circ}C$ 。(b)後視視距第一次與第二次讀數之平均值及後視第一次與第二次讀數標準差 ( $\bar{L}_b \bar{L}_b \bar{L}_b \bar{L}_b . \sigma_b^1 \sigma_b^1 \sigma_b^2 \sigma_b^2 .$ )：視距讀數平均值單位為  $cm$ ，讀數標準差單位為  $0.01 mm$ ，讀數平均值與讀數標準差以”.”區隔，如” 2955.1516”，表示後視視距平均值為  $29.55 m$ ，後視第一次讀數之標準差為  $0.15 mm$ ，第二次讀數之標準差為  $0.16 mm$ 。(c)前視視距第一次與第二次讀數之平均值及前視第一次與第二次讀數標準差：與(b)同。(d)後視第一次讀數 ( $L_b^1 L_b^1 L_b^1 L_b^1 L_b^1 L_b^1$ )：單位為  $cm$ ，如” 174.145”，表示後視第一次讀數為  $174.145 cm$ 。(e)前視第一次讀數：與(d)同。(f)前視第二次讀數：與(d)同。(g)後視第二次讀數：與(d)同。有關本列資料之儲存，請對照表 4-2 電子精密水準儀觀測資料儲存之標準格式第三列資料。
- (3) 第三部分為檔尾，檔尾占一列，以-9999.00000 表示此檔案結束。

若前述資料檢核無誤後，除輸出觀測資料的標準格式檔外，並製作測線表，其內容包括：測線編號、測段編號、往返測高程差、測段前後視距離總合、往返閉合差、平均高程差、觀測日期、標準格式檔名等相關資訊。

### §4-4-3 系統誤差改正

系統誤差的處理方式，除了利用測量步驟來消弭部分外，最主要便是利用系統誤差改正模式來進行修正，主要包括視準軸誤差改正、折射誤差改正、地球曲率改正、水準尺溫度改正及正高改正等 5 項，各種誤差之說明如下，而修正結果參照附錄 A：

1. 視準軸誤差改正：利用每日外業測量前實測之視準軸校準值及測段前後視距差總和進行改正，由於「一等水準測量作業規範」訂定之標準須小於 1.5 m，因此就公式計算而言，此項改正值之影響量幾乎等於零。其公式如下：

$$C_{col} = -C \times \Sigma \Delta S \quad (4-2)$$

其中  $C_{col}$  為測段視準軸誤差改正量，單位為 mm。

$C$  為視準軸誤差改正值，單位為 mm/m。

$\Delta S$  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，單位為 m。

2. 折射誤差改正：於「一等水準測量作業規範」所訂之修正公式，主要是適用於光學式精密水準儀之觀測量，對電子式精密水準儀之觀測量而言，經由先前的測量結果分析中，電子式精密水準儀仍具有顯著的折射誤差，因此仍採用規範所使用的 Kukkamaki 的折射誤差修正公式 (Kukkamaki, 1980)，並配合適合臺灣地區的折射係數  $-6.7 \times 10^{-8} / m^2 \cdot ^\circ C$  (內政部, 2003) 來進行修正。其公式如下：

$$R = -6.7 \times 10^{-8} \times L^2 \times \Delta T \times \Delta H \quad (4-3)$$

其中  $-6.7 \times 10^{-8}$  為適合臺灣地區之折射常數，單位： $/m^2 \cdot ^\circ C$ 。

$L$  為前後視之平均視距，單位： $m$ 。

$\Delta T$  為 2.5 m 與 0.5 m 高度之溫度差，單位： $^\circ C$ 。

$\Delta H$  為測站 (setup) 高差，單位： $m$ 。

3. 地球曲率改正：此項改正主要的影響因素為測段前後視距總和之差值，按「一等水準測量作業規範」訂定之標準須小於 1.5 m，因此就公式計算而言，此項改正值之影響量幾乎等於零。其公式如 (4-3)，計算後地球曲率改正成果如圖 4-4。

$$l_{cur} = -(\Sigma S_B^2 - \Sigma S_F^2) / 2r \quad (4-4)$$

其中  $S_B$  為後視視距， $S_F$  為前視視距，單位為 m。

$r$  為地球之平均半徑，單位為 m。

4. 水準尺溫度改正：進行精密水準測量時皆使用膨脹係數較小之鈦鋼水準尺，以避免環境溫度的變化造成尺長的膨脹收縮，又本案外業測量時間大多於夜間時段進行，因此測站水準尺之平均溫度與標準溫度（20°C）差異不大，故對此項改正而言，唯一的影響因素為測站高差，這對於高海拔地區之影響較大。

$$C_{temp} = K \times (t - t_s) \times \Delta H \quad (4-5)$$

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

$t$  為測站水準尺平均溫度，單位： $^\circ C$ 。

$t_s$  為水準尺長度檢定溫度，單位： $^\circ C$ 。

$\Delta H$  為測站（steup）高差，單位： $m$ 。

5. 正高改正：由於計算正高改正值需每個點位之重力資料，本計畫中每一點位均由內政部國土測繪中心提供重力值，以求得每測段間之正高改正值。其公式如下：

$$OC_{AB} = \int_A^B \frac{g - g_0}{g_0} dH + \frac{\overline{g_A} - g_0}{g_0} H_A - \frac{\overline{g_B} - g_0}{g_0} H_B \quad (4-6)$$

其中  $\overline{g_A}$  為 A 點沿著垂線到大地水準面路徑上的平均重力，單位為  $gal(cm/sec^2)$ 。

$\overline{g_B}$  為 B 點沿著垂線到大地水準面路徑上的平均重力，單位為  $gal(cm/sec^2)$ 。

$g_0$  為臺灣地區之平均重力值。

$H_A$  與  $H_B$  分別為 A 與 B 點之高程值，單位為  $cm$ 。

一般而言，上述公式中  $\overline{g_A}$  與  $\overline{g_B}$  可以分別依 (4-7) 式及 (4-8) 式計算之：

$$\overline{g_A} = g_A - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \gamma}{\partial H} + 4\pi G \rho \right) H_A \quad (4-7)$$

$$\overline{g_B} = g_B - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \gamma}{\partial H} + 4\pi G \rho \right) H_B \quad (4-8)$$

其中  $\frac{\partial \gamma}{\partial H}$  為正常空間梯度，其值為  $-0.3086 mgal/m$ 。

$G$  為重力常數，其值為  $66.7 \times 10^{-9} cm^3/g \cdot sec^2$ 。

$\rho$  為岩層密度，其值為  $2.67 g/cm^3$ 。

$g_A$  與  $g_B$  分別為 A 與 B 點之重力值，單位為  $mgal$ 。

#### §4-4-4 測段往返閉合差分析

在水準測量中，利用規範每一測段往返閉合差的數值，為控制水準測量精度及檢核測量成果品質最有效及最直接的方法；本計畫依照「一等水準測量作業規範」規定，其測段往返閉合差應小於  $2.0\text{mm}\sqrt{K}$ （ $K$  為單一測段長度之公里數）。理論上，水準測量中，若沒有大錯誤及系統誤差存在，則各測段往返閉合差之均值期望值應等於零且趨於常態分布。

我們對於本次施測的 30 個測段進行測段往返閉合差分析，但由於這 30 個測段的距離長短不一，因此需對各測段進行標準化的動作，其目的在於計算出各測段每公里之往返閉合差值( $e$ )，使其不受測段長度之影響(陳國華,2004;內政部國土測繪中心,2008)。測段標準化的計算公式如下：

$$e = v / \sqrt{K} \quad (4-9)$$

其中  $v$  為測段的往返閉合差，單位為  $mm$ 。

$K$  為測段長度，單位為  $km$ 。

依照 (4-9) 式我們對所有測段的往返閉合差（經系統誤差改正後）進行計算後，顯示其成果如圖 4-13，但由於其樣本數過少，故僅做為參考使用。

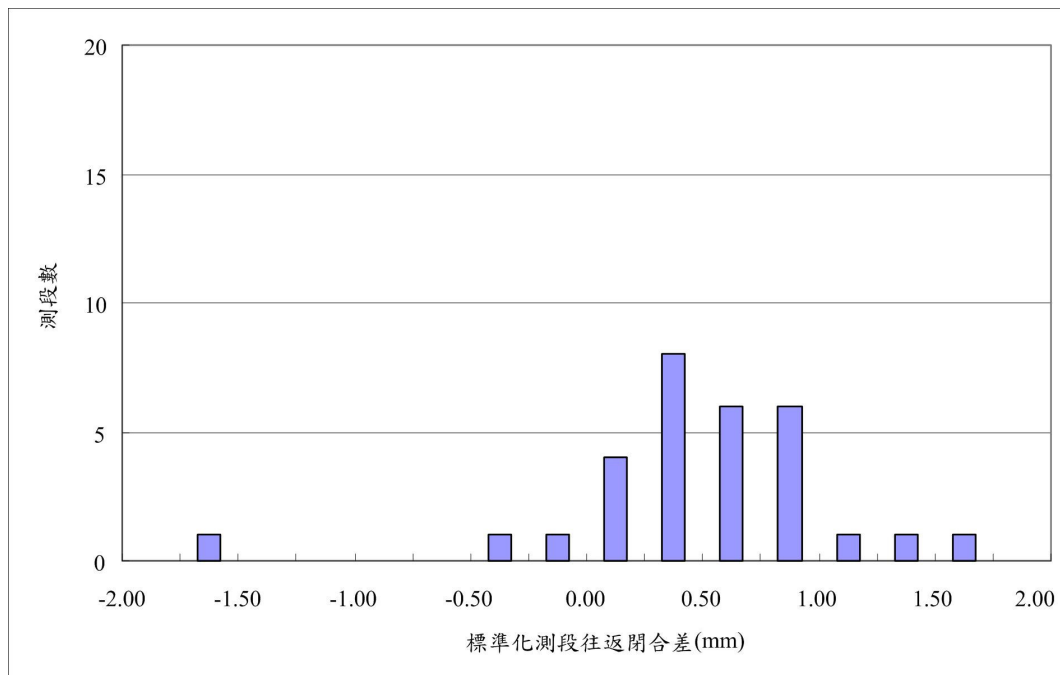


圖 4-13 標準化測段往返閉合差統計圖



#### §4-4-5 環線閉合差分析

每一測段觀測資料經過上述流程檢核後，再經系統誤差改正，理論上已經將每一測段資料的人為錯誤與系統誤差修正完畢，僅剩偶然誤差存在，則由其組成的環線閉合圈之閉合差理當為零，但每一條測段來說，由於施測先後的順序不同，各測段的觀測日期自無法相同，由於臺灣地區位處地殼活動頻繁的區域，西南沿海地區又有嚴重的地層下陷問題，因此當環線閉合圈各測段因觀測日期不同時，其環線閉合差自然不可能為零，因此必須界定環線閉合差的容許範圍，以避免因地殼變動或地層下陷造成誤差的累積，影響到後續的水準網平差計算。

針對水準的環線閉合差檢查，基本上除了可檢核組成環線的測段中，是否尚有人為的錯誤存在，如點號、測段方向或是缺失遺漏的測段等，或是前述因觀測日期的影響所產生非人為因素的偏差。對於環線閉合差 ( $\varepsilon_c$ ) 的容許範圍，主要依照「一等水準測量作業規範」，應符合 (4-10) 式的規定。

$$\varepsilon_c \leq 2.0\sqrt{F} \quad (4-10)$$

其中  $F$  為組成閉合圈水準環線之總長度，單位為  $km$ 。

在高程基準網中，僅能組成 1 個環線閉合圈，其分析成果如表 4-3。

表 4-3 水準環線閉合差分析成果表

環線路徑(測線)	環線總長(km)	系統誤差改正前環線閉合差(mm)	系統誤差改正後環線閉合差(mm)	規範值 $2.0\text{mm}\sqrt{F}$
K999~K011~K012~K013 ~2040~2039~K999	5.637	-0.71	-0.67	4.75

#### §4-5 水準網平差計算分析

觀測資料經過錯誤之剔除以及系統誤差改正後，並且確定高程基準後，即可進行水準網平差計算。水準網平差計算的目的，主要是將觀測量所剩餘的偶然誤差，藉由平差的手段及相關的統計模式，分散至各個觀測量，最後求得一組未知數的最佳近似解。一般而言，常用的平差方法是採最小二乘法平差模式，利用所有觀測量改正數的平方和為最小的理論，計算出最佳的平差成果。使用的平差模式即以 Gauss-Markoff Model(GMM) 求解各水準點的高程，利用每一個測段作為平差輸入的觀測量，則其觀測方程式如(4-11)式：

$$V_{ij} + \Delta H_{ij} = H_j - H_i; P_{ij} \quad (4-11)$$

其中若  $i$  為測段的起點， $j$  為測段的終點。

式中  $\Delta H_{ij}$  表示該測段之高程差，單位為  $m$ 。

$H_i$  表  $i$  點的高程， $H_j$  表  $j$  點的高程，單位為  $m$ 。

$V_{ij}$  表測段高程差的改正數，單位為  $m$ 。

$P_{ij}$  表該測段的權值，以測段距離（單位為  $km$ ）的倒數賦予。

因此我們可以將每一測段的高程差均依(4-11)式列一觀測方程式，若有  $n$  個測段的高程差，可組成  $n$  個觀測方程式，則觀測方程式可以矩陣方式表示如下：

$$V = AX - L \quad (4-12)$$

其中  $V$  為觀測量（測段高程差）改正數的向量矩陣。

$X$  為未知數（水準點高程）的向量矩陣。

$A$  為  $X$  的係數矩陣。

$L$  為觀測量的向量矩陣。

若假設各測段觀測量之間彼此獨立不相關，則權矩陣  $P$  中，各觀測量權值將依照其測段距離倒數賦予。

在上述的平差模式中，各水準點的高程為待求的未知數，這些未知數雖然均是函數獨立，但觀測方程式中若沒有任何已知點的高程值，則其非滿秩矩陣，法方程式會有無數個解。為了改變法方程式矩陣的奇異性，在水準網中需賦予一個已知起算點的高程，依其高程為基準，平差後得到的其他水準點高程值，則會是相對於此已知點的成果。因此我們必須對水準網賦予一個起算點的高程，採用的點位以 K999 為高程約制點，則平差後其他水準點的高程值均為相對於水準原點之高程，若果水準原點的起算高程改變，則其它水準點之高程亦會隨著變化（內政部，2003）。

在平差的過程中，對於水準測段因地理位置不同所產生的差異將不予考慮，對每一測段於平差時賦予每公里相同的觀測精度；因為每一測段均進行往返測，因此利用各測段的往返閉合差來估計每公里的觀測精度  $m_0$  (Lin and Stein, 1989；胡明城等，1993；Hodgkinson et al., 1996；Demoulin and Collignon, 2000；Kostoglodov et al., 2001；內政部國土測繪中心，2008)：

$$m_0 = \left( \frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n \frac{v_i^2}{L_i} \right)^{1/2} \quad (4-13)$$

其中  $n$  為測段數

$v_i$  為第  $i$  個測段的往返閉合差，單位： $mm$ 。

$L_i$  為第  $i$  個測段的長度，單位： $km$ 。

依 (4-13) 式計算，我們可以求得水準每公里的觀測精度為  $\pm 0.366 mm \sqrt{K}$ ，以此作為觀測量的先驗精度，進行後續的水準網平差計算，平差中各項相關數據包括：

- (1) 權矩陣  $P$ ：以測段距離（單位為  $km$ ）的倒數為權值。
- (2) 總測段數：30。
- (3) 水準點數：30。
- (4) 已知水準點數：1 (K999)。
- (5) 多餘觀測數：1。
- (6) 先驗權單位中誤差：1.000。

經由前述方式計算後，可得平差後的單位權中誤差為 0.760，無法通過 95% 的信心區間內的卡方 ( $\chi^2$ , chi-square) 測試，但由於高程基準網中，僅具一小閉合圈，多數點位 (24 個點) 均為開放獨立之點位，若欲調整其觀測精度以滿足卡方測試，並不具太大的意義，其觀測精度仍以 (4-13) 式所得較為可靠。

## §4-6 高程基準網變動分析

### §4-6-1 高程變動分析的方法

在經過前述的平差計算後，可以獲得本次計畫的施測結果，接著結合歷次高程基準網的檢測結果，進行點位高程變動分析，以求得高程基準網區域其地表變動的情形，並藉以作為後續相關計畫的參考依據，而高程基準網各點位歷次檢測時間如表 4-4 所示。

表 4-4 高程基準網點位歷次檢測情形一覽表

時間 點號	1998/10	1998/12	1999/06	1999/12	2001/07	2002/02	2002/12	2004/07	2004/11	2005/09	2005/12	2006/06	2006/10	2007/07	2007/11	2008/05	2008/09	2009/07	2010/12	累計次數
K021	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
BM04	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K010	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K008	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K007	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K006	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K005	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
BM10	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K004	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K003	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K001	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
U7836	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
2038																			◎	1
BM11	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
BM06	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K002	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K998						◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	14
K999	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	19
K011																			◎	1
K012																			◎	1
K013																			◎	1
2041					◎									◎					◎	3
K014																			◎	1
2042					◎									◎					◎	3
K997																			◎	1
K015																			◎	1
2043					◎									◎					◎	3
2037					◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	13
2039																			◎	1
2040														◎					◎	2

註：紅色字體部分表不加入後續速率估計。

對於高程變動分析的方法，後續主要採取如下方式進行，我們利用水準原點(K999)為基準，將歷次的水準點的高程利用最小二乘法估計其點位變動速率，以了解水準點每年高程變動的情形。此一方法最重要的假設，便是 K999 其高程變動速度為零。

假設某一水準點被觀測了  $n$  次，於是結合此  $n$  次之高程平差成果  $H_i$ ，即可以建立以下的觀測方程式：

$$H_i = H_0 + \Delta t_i \cdot V + \varepsilon_i, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4-14)$$

其中  $H_0$  為水準點選定參考時刻的高程值。

$\Delta t_i$  為第  $i$  次觀測時刻與參考時刻的間隔，單位為年。

$V$  為水準點高程年變動速率。

$\varepsilon_i$  為  $H_i$  的改正數。

則可將觀測方程式以矩陣形式表示如下，並以每次高程平差成果  $H_i$  的標準偏差平方的倒數作為觀測方程式的權：

$$y = A \cdot X + \varepsilon \quad (4-15)$$

其中  $y$  為  $n$  次高程值與  $H_0$  的高程差向量矩陣。

$X$  為未知數（水準點高程變動速率）的向量矩陣。

$A$  為  $X$  的係數矩陣。

$\varepsilon$  為  $y$  的改正數向量矩陣。

依照上述的計算方式，我們將可以求得高程基準網各點位相對於 K999 的變動速率。

#### §4-6-2 高程基準網變動分析結果

首先我們將各點位歷次檢測成果繪製每一個點位變動分析圖（參看附錄 B，每一點位以最早檢測時刻作為起始變動值 0），其中 K008 在 1999/12~2001/07 間有相當大的異常變化（約 2 cm），而 K021 在 1999/06~1999/12 也有相當大的變化（約 2 cm），顯示點位有非自然因素的改變，因此後續分析時將這 2 點於相關時間點前的資料捨棄不用，並不加入進行速率估計。

另外，在 2006/06~2006/10 間，BM10~K021 這 8 個點位間亦同時有較大的差異（約 5 mm），但由於這些點位在 2005/12~2009/07 間共 8 次的檢測結果，其跳動的幅度本身就較大，因此較難判定是外力因素的改變，亦或是觀測本身的誤差所產生的。

扣除僅觀測 1 次的 8 個點位及 K999 外，其餘 21 個點位的變動速率如表 4-5。

表 4-5 高程基準網點位變動速率一覽表

序號	點號	變動速率 (mm/year)	標準偏差 (mm)	序號	點號	變動速率 (mm/year)	標準偏差 (mm)
1	BM04	-0.07	0.05	12	BM06	0.01	0.01
2	K010	-1.86	0.07	13	K002	-0.14	0.01
3	K007	0.05	0.04	14	K021	-5.45	0.15
4	K006	0.17	0.04	15	K008	-1.15	0.09
5	K005	0.11	0.04	16	2041	-1.07	0.03
6	BM10	-0.15	0.04	17	2042	-0.86	0.06
7	K004	-0.09	0.03	18	2043	-0.29	0.01
8	K003	0.24	0.03	19	2037	-1.07	0.04
9	K001	-1.39	0.03	20	K998	-1.00	0.04
10	U7836	-1.11	0.02	21	2040	-1.59	0.00
11	BM11	-2.10	0.05				

對照表 4-5 及附錄 B，可以發現 K021 的變動速率最大，且其穩定性最差（標準偏差較大），應是受其點位位於基隆潮位站建築物本體上的影響（圖 4-14），造成點位高程因建築物下陷或其他人為因素而改變；而 K998 離 K999 最近確仍有穩定下陷的現象，應是受其點位直接設置於水準原點美化設施的影響（圖 4-15），因其僅貼附於景觀基台上，受標石本體重量的影響而逐漸下沉。



圖 4-14 點位 K021 位置相片



圖 4-15 點位 K998 位置相片

參照表 4-5 及圖 4-16，可發現包含 BM04、K007、K006、K005、BM10、K004、K003 及 BM06 等 8 個點相對於 K999 是十分穩定的，而有較明顯下陷的點位（圖 4-16 中紅色標記點位），扣除前面討論過的 K021 及 K998 等 2 點外，對於 2040、2041、2042 等 3 點由於檢測次數較少（僅 2~3 次），因此僅供參考，而其餘 6 個下陷的點位集中於兩個區域，顯示該兩區域相對於 K999 是明顯呈現下降的現象。

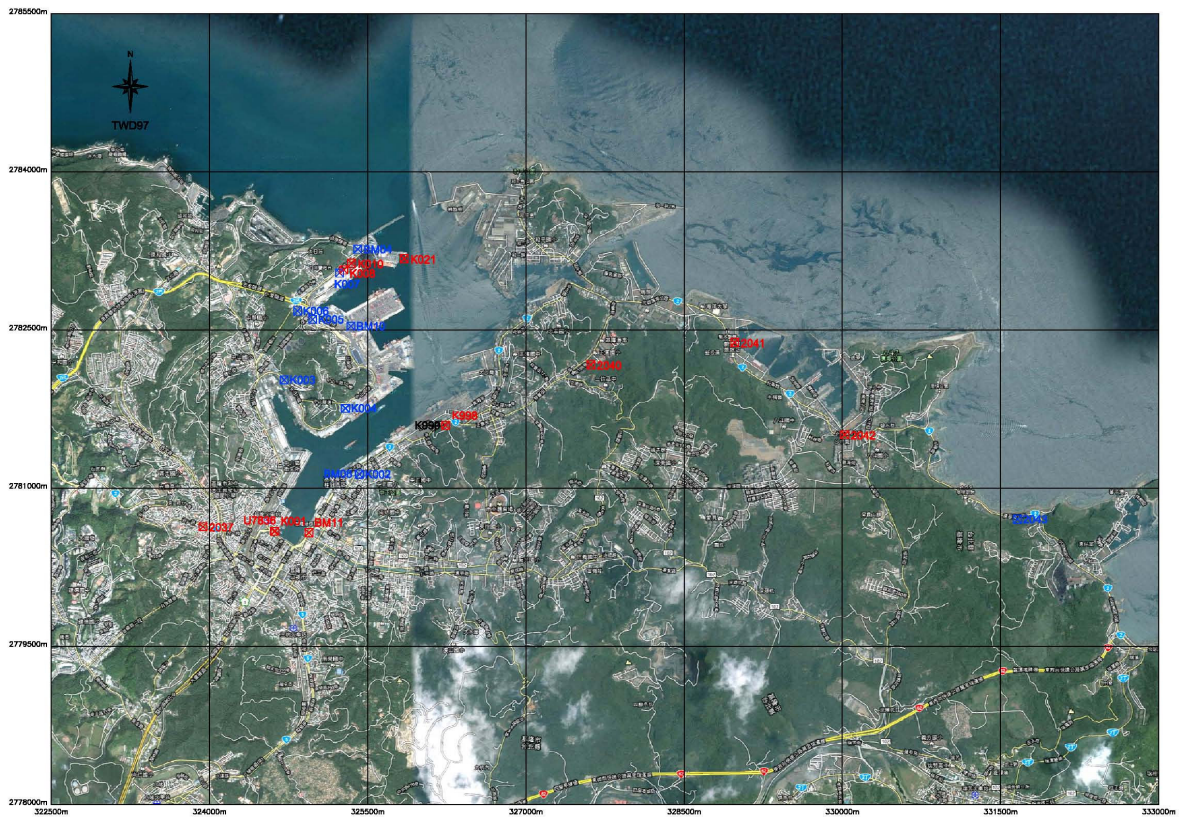


圖 4-16 下陷點位分布圖

## 第五章 討論與建議

由於本計畫主要建立新的臺灣水準原點，及探測新原點基準（潮位站）地質環境，根據執行的過程與結果，提出以下幾點建議供相關單位參考。

1. 雖然本計畫已建立了新水準原點（K997）及其附屬的追蹤站主體，兩項工作均深入地底 10 餘公尺已至岩盤，但由於現場目前仍有大型的土木工程施作當中，因此已完成的點位的穩定性與保存性仍無法預期，建議需持續嚴密的監控。
2. 由於水準原點 K999 現場已開始施工，因此若欲將高程基準簽移至新水準原點上，僅靠本計畫單一測量成果，將過於樂觀且輕率；基本上建議維持現今每年檢測 2 次的基礎上，監測 5 年後再行評估，假設有短期內遷移的需求，則應增加監測的頻率，至少每年 4~6 次左右，至少累積 2 年以上的監測成果後，方始進行評估。
3. 原有的高程基準網主要以 K999 為基礎，銜接基隆潮位站至 K999，本計畫雖將基準網延伸至新水準原點所在區域，基本上仍屬於線狀的分布，其基本上有兩者問題存在：
  - (1) 每次的檢測並無任何的檢核條件，因此較不易發現是否隱含有錯誤存在，造成歷次檢測成果可能呈現不穩定的狀態。
  - (2) 高程基準網主要沿海邊布設，在無法確切了解每一點位所在地質狀況下，有可能布設於回填區域，造成點位逐年下降的現象。因此建議高程基準網應以新、舊水準原點（K997 及 K999）為中心，改以網狀方式布設，以獲得較為良好的品質及完整的資訊。
4. 現有基隆潮位站水準點 K021 布設於潮位站內，建議應於潮位站外較為穩定的地點另設一潮位站水準點（建議應比照水準原點以鑽探方式埋設），因分析兩者與平均潮位間的相為關係，同樣的道理應用於新潮位站設置時，亦應考慮依照此一方式辦理。



## 參考文獻

- 內政部，2001，一等水準測量作業規範。
- 內政部，2003，一等二級水準網測量督導查核工作總報告書。
- 內政部，2008，國土測繪法規彙編。
- 內政部國土測繪中心，2008，95 年度一等水準點水準及衛星定位測量檢測工作—水準測量工作報告。
- 內政部國土測繪中心，2009，臺灣水準原點新設位址探勘工作報告。
- 胡明城、魯福，1993，現代大地測量學，上冊，測繪出版社。
- 陳國華，2004，整合 TWVD2001 水準及 GPS 資料改進臺灣區域性大地水準面模式以應用於 GPS 高程測量，國立成功大學測量及空間資訊學系博士論文。
- 劉啟清，1998，臺灣地區驗潮站長期監測資料之計算及高程基準網之建立工作報告。
- 劉啟清，2000，臺灣地區驗潮站及高程基準網之監測及計算工作報告。
- Demoulin A., and A. Collignon, 2000, Nature of the recent vertical ground movements inferred from high-precision leveling data in an intraplate setting: NE Ardenne, Belgium, *J. Geophys. Res.*, 105, 693-705.
- Hodgkinson, K. M., R. S. Stein, and G. Marshall, 1996, Geometry of the 1954 Fairview Peak-Dixie Valley earthquake sequence from a joint inversion of leveling and triangulation data, *J. Geophys. Res.*, 101, 25437-25457.
- Lin, J., and R. S. Stein, 1989, Coseismic folding, earthquake recurrence, and the 1987 source mechanism at Whittier Narrows, Los Angeles Basin, California, *J. Geophys. Res.*, 94, 9614-9632.
- Kostoglodov V., R. W. Valenzuela, A. Gorbatov, J. Mimiaga, S. I. Franco, J. A. Alvarado, and R. Pelaez, 2001, Deformation in the Guerrero seismic gap, Mexico, from leveling observations, *J. Geod.*, 75, 19-32.

**附錄 A 單一測段各項系統誤差改正值**

起點	終點	距離 (km)	觀測日期 (年、月、日)			各項系統誤差改正(mm)						
						尺刻劃	尺溫度	視準軸	地球曲率	折射誤差	正高改正	總計
23	2037	U7836	99	12	9	0.000	0.041	0.003	-0.001	-0.015	-0.004	0.024
23	U7836	2037	99	12	9	0.000	-0.039	-0.002	0.001	0.014	0.004	-0.021
24	K999	2039	99	12	8	0.000	0.002	0.003	-0.001	-0.002	-0.001	0.001
24	2039	K999	99	12	8	0.000	-0.003	-0.003	0.001	0.002	0.001	-0.002
24	2039	2040	99	12	8	0.000	-0.027	0.000	0.000	0.023	-0.008	-0.012
24	2040	2039	99	12	8	0.000	0.027	-0.002	0.001	-0.024	0.008	0.011
24	2040	K013	99	12	7	0.000	0.020	-0.002	0.000	-0.043	-0.019	-0.044
24	K013	2040	99	12	7	0.000	-0.015	0.005	-0.001	0.037	0.019	0.045
K1	K999	K998	99	12	8	0.000	-0.003	0.001	0.000	0.000	0.001	-0.002
K1	K998	K999	99	12	8	0.000	0.005	-0.001	0.000	0.000	-0.001	0.003
K1	K998	K002	99	12	8	0.000	0.025	0.003	-0.001	-0.025	0.002	0.004
K1	K002	K998	99	12	8	0.000	-0.035	0.000	-0.001	0.031	-0.002	-0.007
K1	K002	BM06	99	12	8	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
K1	BM06	K002	99	12	8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K1	BM06	BM11	99	12	8	0.000	-0.002	0.007	-0.003	0.006	0.001	0.008
K1	BM11	BM06	99	12	8	0.000	0.002	-0.004	0.002	-0.001	-0.001	-0.001
K1	BM11	2038	99	12	8	0.000	-0.003	0.001	0.000	0.013	0.001	0.012
K1	2038	BM11	99	12	8	0.000	0.003	0.000	0.000	-0.006	-0.001	-0.005
K1	2038	U7836	99	12	9	0.000	0.001	0.007	-0.002	0.003	0.002	0.010
K1	U7836	2038	99	12	9	0.000	-0.001	-0.001	0.000	-0.003	-0.002	-0.007
K1	U7836	K001	99	12	9	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000
K1	K001	U7836	99	12	9	0.000	-0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
K1	K001	K003	99	12	9	0.000	-0.008	0.003	-0.001	0.011	-0.004	0.001
K1	K003	K001	99	12	9	0.000	0.005	0.007	-0.002	-0.018	0.004	-0.004
K1	K003	K004	99	12	9	0.000	0.001	0.004	-0.001	-0.004	0.000	0.000
K1	K004	K003	99	12	9	0.000	-0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	-0.001
K1	K004	BM10	99	12	9	0.000	0.000	-0.001	0.001	-0.002	0.000	-0.002
K1	BM10	K004	99	12	9	0.000	0.000	-0.003	0.000	0.001	0.000	-0.001
K1	BM10	K005	99	12	9	0.000	-0.002	-0.002	0.000	0.004	0.000	-0.001
K1	K005	BM10	99	12	9	0.000	0.004	0.001	0.000	-0.004	0.000	0.000
K1	K005	K006	99	12	9	0.000	-0.002	0.001	0.000	0.008	0.000	0.007
K1	K006	K005	99	12	9	0.000	0.003	0.000	0.000	-0.008	0.000	-0.006
K1	K006	K007	99	12	9	0.000	-0.007	0.000	0.000	-0.007	-0.001	-0.015
K1	K007	K006	99	12	9	0.000	0.008	0.004	-0.001	0.007	0.001	0.019
K1	K007	K008	99	12	9	0.000	-0.012	0.001	0.000	0.002	-0.004	-0.012
K1	K008	K007	99	12	9	0.000	0.014	-0.001	0.000	-0.003	0.004	0.014
K1	K008	K010	99	12	9	0.000	-0.043	-0.005	0.000	0.007	-0.025	-0.066
K1	K010	K008	99	12	9	0.000	0.045	0.003	0.000	-0.006	0.025	0.067
K1	K010	BM04	99	12	10	0.000	0.106	0.008	0.000	-0.013	0.030	0.130
K1	BM04	K010	99	12	10	0.000	-0.103	-0.009	0.001	0.006	-0.030	-0.135
K1	BM04	K021	99	12	10	0.000	0.011	0.004	-0.001	-0.018	0.001	-0.004
K1	K021	BM04	99	12	10	0.000	-0.012	0.000	0.000	0.019	-0.001	0.006
K2	K999	K011	99	12	8	0.000	-0.008	0.012	-0.006	0.015	-0.010	0.003
K2	K011	K999	99	12	8	0.000	0.011	0.002	-0.001	-0.022	0.010	-0.001
K2	K011	K012	99	12	8	0.000	0.019	0.006	-0.002	-0.017	-0.010	-0.004
K2	K012	K011	99	12	8	0.000	-0.024	0.002	-0.002	0.020	0.010	0.006
K2	K012	K013	99	12	8	0.000	-0.017	0.006	-0.002	0.005	-0.001	-0.010
K2	K013	K012	99	12	8	0.000	0.019	0.003	-0.002	-0.015	0.001	0.006
K2	K013	2041	99	12	7	0.000	0.012	0.005	-0.001	-0.004	0.003	0.014
K2	2041	K013	99	12	7	0.000	-0.010	-0.013	0.003	0.010	-0.003	-0.013
K2	2041	K014	99	12	7	0.000	-0.008	0.006	-0.001	0.009	0.003	0.009
K2	K014	2041	99	12	7	0.000	0.006	-0.003	0.001	-0.009	-0.003	-0.008
K2	K014	2042	99	12	7	0.000	0.008	-0.009	0.002	-0.020	0.000	-0.020
K2	2042	K014	99	12	7	0.000	-0.013	0.018	-0.003	0.016	0.000	0.019
K2	2042	K997	99	12	7	0.000	-0.003	-0.002	0.001	-0.005	-0.001	-0.011
K2	K997	2042	99	12	7	0.000	0.005	0.009	-0.003	0.000	0.001	0.014
K2	K997	K015	99	12	7	0.000	-0.011	0.013	-0.002	0.008	-0.005	0.002
K2	K015	K997	99	12	7	0.000	0.015	-0.015	0.003	-0.015	0.005	-0.007
K2	K015	2043	99	12	7	0.000	0.003	0.021	-0.005	0.010	0.020	0.050
K2	2043	K015	99	12	7	0.000	-0.005	0.005	0.000	-0.007	-0.020	-0.026

## 附錄 B 高程基準網點位變動分析

