淡水紅毛城園區透地雷達探測計畫

結案報告書

計畫主持人：蔡道賜
協同主持人：黃富郎

指導單位：行政院文化建設委員會中部辦公室
提案單位：臺北縣立淡水古蹟博物館
執行單位：三合技術工程有限公司
中華民國九十六年九月二十日

新北市立淡水古蹟博物館
003237
淡水紅毛城園區透地雷達探測計

「淡水紅毛城園區透地雷達探測計畫」

結案報告書

計畫主持人：蔡道賜

協同主持人：黃富郎

指導單位：行政院文化建設委員會中部辦公室

提案單位：臺北縣立淡水古蹟博物館

執行單位：三合技術工程有限公司

中華民國九十六年九月二十日

目　錄

頁次

目　錄 1
圖目錄 2
第一章　前言 4
1.1　計畫依據 4
1.2　工作服務範圍之認知 5
第二章　探測區域簡介 6
2.1　位置與交通 6
2.2　探測範圍 6
2.3　地質概況 6
2.4　歷史概要 7
第三章　透地雷達探測 8
3.1　探測原理 8
3.2　探測儀器 9
3.3　現場執行 10
3.4　探測成果 11
第四章　地電阻影像剖面法 38
4.1　探測原理 38
4.2　探測儀器 38
4.3　現場執行 39
4.4　探測成果 41
第五章　磁力探測 48
5.1　探測原理 48
5.2　探測儀器 48
5.3　現場執行 48
5.4　探測成果 50
第六章　結論與建議 53
6.1　探測成果綜合評估 53
6.2　建議事項 54
附錄 A　審查意見回覆表　附錄 B　現場探測紀錄照片

圖目錄

頁次

圖 1.1　工程範圍示意圖 4
圖 3.1　透地雷達施測原理圖 9
圖 3.2　透地雷達探測系統 10
圖 3.3　透地雷達探測測線位置分布圖（A、B、C 區，270MHZ 天線） 14
圖 3.4　透地雷達探測測線位置分布圖（A、B、C 區，400MHZ 天線） 15
圖 3.5　A 區透地雷達探測成果圖（A-1 至 A-5） 16
圖 3.6　A 區透地雷達探測成果圖（A-6 至 A-9） 17
圖 3.7　A 區透地雷達探測成果圖（A-10 至 A-15） 18
圖 3.8　A 區透地雷達探測成果圖（A-16 至 A-19） 19
圖 3.9　A 區透地雷達探測成果圖（A-20 至 A-26） 20
圖 3.10　A 區透地雷達探測成果圖（A-26） 21
圖 3.11　A 區透地雷達探測成果圖（A-27 至 A-31） 22
圖 3.12　A 區透地雷達探測成果圖（A-32 至 A-36） 23
圖 3.13　A 區透地雷達探測成果圖（A-37 至 A-40） 24
圖 3.14　B 區透地雷達探測成果圖（B-1 至 B-4） 27
圖 3.15　B 區透地雷達探測成果圖（B-5 至 B-9） 28
圖 3.16　B 區透地雷達探測成果圖（B-10 至 B-14） 29
圖 3.17　C 區透地雷達探測成果圖（C-1 至 C-7） 30
圖 3.18　C 區透地雷達探測成果圖（C-8 至 C-9） 31
圖 3.19　C 區透地雷達探測成果圖（C-10 至 C-20） 32
圖 3.20　透地雷達探測測線位置分布圖（D 區） 33
圖 3.21　D 區透地雷達探測成果圖（D-1 至 D-20） 34
圖 3.22　透地雷達探測測線位置分布圖（E 區） 35

圖 3.23 E 區透地雷達探測成果圖（E-1 至 E-15）.....36
圖 3.24 E 區透地雷達探測成果圖（E-15 至 E-20）.....37
圖 4.1 地電阻影像剖面法探測電極排列方式示意圖.....38
圖 4.2 地電阻探測儀（廠牌：SUPERSTING R8/IP RESISTIVITY /IP METER）.....39
圖 4.3 地電阻影像剖面探測測線位置分布圖.....40
圖 4.4 2DRIP-1 地電阻影像剖面探測成果圖.....42
圖 4.5 3DRIP-1 地電阻影像剖面探測成果圖（三維立體圖）.....44
圖 4.6 3DRIP-1 地電阻影像剖面探測成果圖（橫切面）.....45
圖 4.7 3DRIP-2 地電阻影像剖面探測成果圖（三維立體圖）.....46
圖 4.8 3DRIP-2 地電阻影像剖面探測成果圖（橫切面）.....47
圖 5.1 磁力探測儀（廠牌：GEM GSM-19 MAGNETOMETERS）.....49
圖 5.2 磁力探測測區分布圖.....49
圖 5.3 磁力探測測點分布圖.....50
圖 5.4 磁力探測成果圖（磁場強度）.....51
圖 5.5 磁力探測成果圖（磁場梯度）.....52
圖 6.1 紅毛城園區探測成果圖.....55

第一章　前言

1.1　計畫依據

淡水紅毛城創建於明朝（1629 年），為臺灣地區現存最古老的建築之一，被列為臺閩地區第一級古蹟，為國家重要之文化資產，淡水紅毛城園區前清英國領事官邸前方邊坡，因不明原因造成邊坡下陷及產生地面坑洞，考量遊客安全及古蹟之保全，依文建會 95 年 12 月 18 日現勘會議結論辦理本案。本調查案工程範圍包含淡水紅毛城全區，總面積約 14,484 平方公尺調查範圍如圖 1.1 所示。

本公司於 96 年 6 月 21 日參加評審會議，獲選為第一優勝廠商，並於 96 年 6 月 22 日完成議價及契約簽訂手續，契約簽訂後隨即進行現地勘查及瞭解現場探測作業之限制,擬定全案工作計畫及時程，報請核定後依工作計畫執行現場探測作業，於 96 年 8 月 6 日前依契約規定提送工作成果報告書如后。

圖 1.1　工程範圍示意圖

1.2 工作服務範圍之認知

1.2.1 計畫目標

根據招標文件內委託專業服務內容草案要求，本計畫之主要目的包括下列各項：

1.確認淡水紅毛城圈區範圍內地下地層及結構物分佈情形，藉以評估邊坡下陷形成原因，並作為分析評估未來因應措施之參考。

2.應用透地雷達探測法，調查分析遺址及地下結構物之可能位置，提供博物館進行未來考古發掘、保存、維護及展示教育方式之評估。

1.2.2 委託服務工作項目

根據招標文件內委託專業服務內容草案要求及本公司提送之服務建議書內容，本計畫之服務工作項目包含透地雷達探測、地電阻影像剖面探測與磁力探測三種探查方式，此三種探測方式均為非破壞性檢測技術，主要著眼於調查區域為臺閩地區第一級古蹟，對於園區內各項古老建築物絕不可使用破壞性檢測方式，且園區內遊客絡繹不絕，故於施測過程中需非常注意，以避免危及遊客安全及破壞古蹟之完整性。

1.2.3 預期成果

根據招標文件內委託專業服務內容草案要求及本公司提送之服務建議書內容，本公司將按所擬定之期限內提送成果報告，其內容將涵蓋下列諸項。

1.計畫前言。

2.透地雷達探測、地電阻影像剖面探測與磁力探測等三種非破壞性檢測方法之原理介紹。

3.量測範圍說明。

4.資料分析結果與建議事項。

第二章　探測區域簡介

2.1　位置與交通

本工址位於台北縣淡水鎮西北側，淡水往沙崙之途中，園區西南側為淡水河，東側為現有道路通往真理大學，西側為台灣家畜衛生試驗所之進出道路。本調查區位處熱門風景區之沿線，聯絡道路主要靠台 2 乙線，交通非常便利。

2.2　探測範圍

本計畫之調查探測區域涵蓋整個紅毛城園區，紅毛城園區大致成東北-西南走向，園區範圍大致呈正方形長寬約 110 公尺左右，地形屬緩丘地形區，於安東尼堡及前清英國領事官邸周圍地表平坦，其下則為一高低起伏較大之斜坡，至辦公室及遊客服務中心，又成為一地形平坦之區域，各項探測方法之探測範圍與探測位置圖分別描述於於後續章節中。

2.3　地質概況

本計畫案所在位置屬台灣北部火山區之大屯山火山群，大屯山火山群位於台灣島之最北端，其火山岩分布所及之範圍東起崁腳斷層，西至淡水海岸，南至士林，北至富貴角。依經濟部中央地質調查所出版之五萬分之一”林口”圖幅記載，顯示基地附近地層屬更新世火山岩類之凝灰角礫岩（tb），凝灰角礫岩為火山碎屑堆積，由略帶稜角，大小不一之安山岩碎塊，以及顆粒較細之凝灰岩、泥砂等夾雜混合構成，一般膠結良好。

與本基地最接近之地質構造為基地東南方約 6 公里之新莊斷層；新莊斷層（又名金山斷層）為一逆移斷層，呈東北走向（市川雄一，1931）。斷層由北海岸的金山向西南延伸，經大屯火山群、台北盆地至山子腳西北方塔寮坑，長約 34 公里，黃鑑水等（1991）調查指出在金山、北投地區斷層上盤為五指山層，斷層下盤在金山、關渡地區則出露桂竹林層及南莊層，層位落差在 2,600 公尺以上；並認為斷層之初次活動應在大屯火山群噴發之前，顯示六十萬年以來斷層似未再活動過。。

本區的火山多屬層狀火山，各主要火山體中常有火山碎屑岩夾於火山熔岩之中，園區內之地質狀態，依據「淡水紅毛城修復及再利用工程工作報告書」，顯示本基地內（最深至 24 公尺）之地層由上而下可概分為二個主要層次，第一層為覆土層，位於地表至地表下 15.7 公尺間厚度不一，主要由棕黃色黏土及砂土夾礫石及岩塊等組成；第二層為凝灰角礫岩層，主要由凝灰角礫岩夾少量安山岩塊組成，標準貫入 N 值試驗 50 下，沉陷量均小於 15 公分，凝灰角礫岩為火山碎屑之堆積，唯整體而言岩層完整性較差，鑽孔深度內 RQD 值大都小於 40。

2.4 歷史概要

荷蘭聯合東印度公司於西元 1623 年，在福爾摩沙南部海邊一處稱為大員（今日的台南市安平）建立據點，並持續擴張，此舉令西班牙人憂心他們在澳門、日本及菲律賓之鉅額貿易會受到影響，1626 年與 1629 年，西班牙為爭取亞洲貿易權入侵雞籠（今基隆）與淡水並興建碉堡，1629 年西班牙人於淡水地區建造聖多明哥城，其材料主要為土塊、蘆葦與竹木，1636 年淡水原住民攻毀聖多明哥城，西班牙人又在原址建立石造聖多明哥城，1642 年荷蘭人將西班牙人逐出台灣，此座城堡已殘破不堪，荷蘭人便以磚、石和石灰重新建造一座正方形城堡，並以當時巴達維亞城總督之名取名為安東尼堡，於 1646 年完工。

明鄭時期，紅毛城曾經重修，但因鞭長莫及以致荒廢了很長一段期間，1724 年淡水廳重修此城增設城牆及四個城門，1863 年主樓租給英國成為淡水英國領事館及官邸，於 1877 年於紅毛城主樓左側增建一棟一層樓木造英國官邸，1891 年領事官邸改建成二層紅磚建築，1905 年官邸紅磚建築兩側增建左右廊道，1930 年英國領事官邸增建車庫完工，1934 年職員宿舍增建完成，1980 年 6 月 30 日產權移轉至中華民國政府，1983 年 12 月 28 日公告指定為台閩地區第一級古蹟，1984 年完成古蹟修復並對外開放，於 2004 年 3 月 1 日封園，進行古蹟修復及再利用工程，於 2005 年 11 月再度開園，供民眾參觀。

第三章　透地雷達探測

3.1　探測原理

透地雷達(Ground Penetrating Radar, GPR)適用於探測地表至淺地層之地質構造，且其探測深度易受到地層之組成材料所影響，其施測原理如圖 3.2所示。震源乃是使用高頻率的電磁波源。簡而言之，可利用控制發射天線，將 80MHz～2.5GHz 之電磁波發射至欲探測的位置，使電磁波以 Vm 之波速在介質中傳遞。 Vm 之推算公式如下：

$$V_m=C/(\varepsilon_r)^{0.5}$$

其中 C 為光速(數值為 2.998×10^8m/s)，ε_r 為介電常數(dielectric constant)，為電磁波相對空氣之容電率(dielectric permittivity)。當電磁波碰到介電常數劇烈變化的界面會發生部份反射能量，會使接收天線出現反射訊號。對於空洞、金屬管線、地層界面、水層等反射係數大的界面反應尤為明顯。反射係數如下：

$$R=[(\varepsilon_1)^{0.5}-(\varepsilon_2)^{0.5}]/[(\varepsilon_1)^{0.5}+(\varepsilon_2)^{0.5}]$$

ε_1 為第 1 層之介電常數，ε_2 為第 2 層之介電常數。當發射天線沿著地表連續掃描，並將所得資料跡線排列累積成距離與時間的關係圖，則可以得到地層之連續剖面。當地表下方地下管線或空洞現象與鄰近地層(或填土層)的介電常數差異性頗大時，所獲得的反射訊號最為明確。

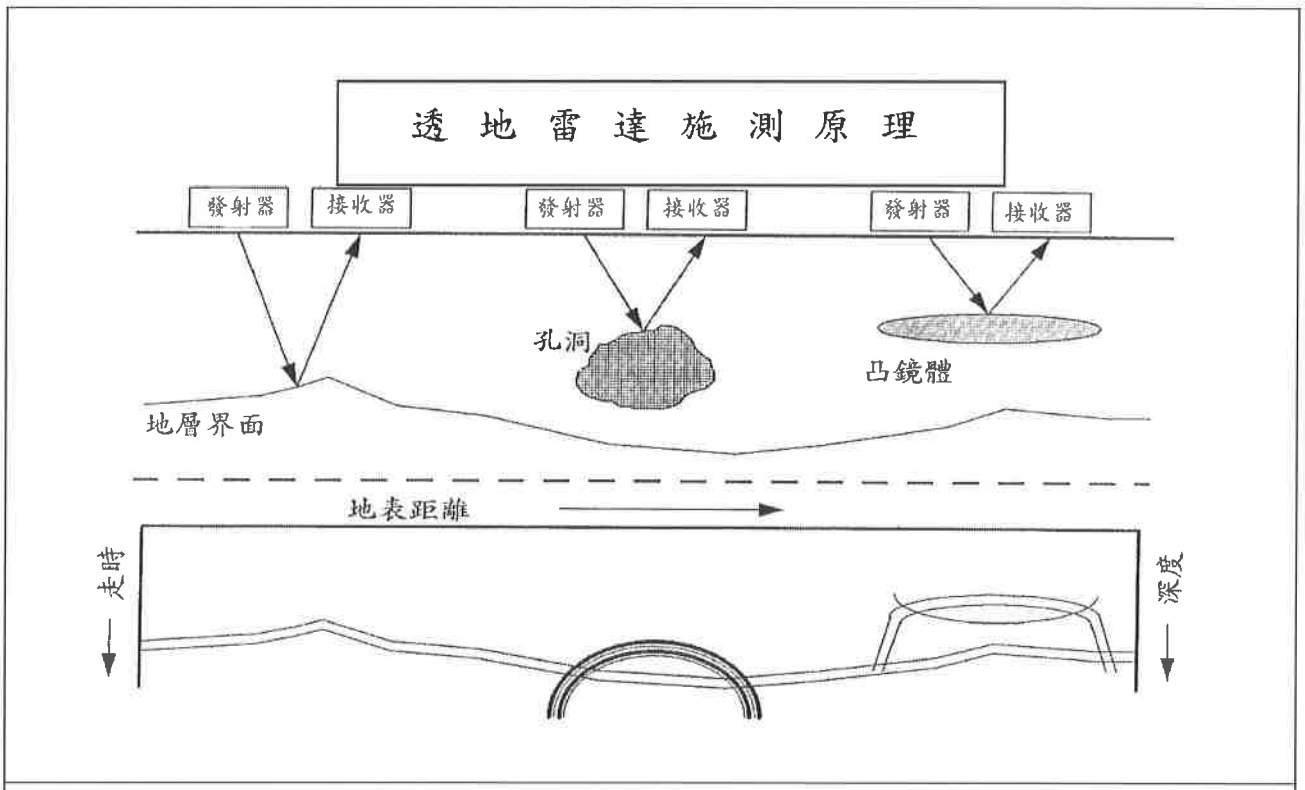


圖 3.2　透地雷達施測原理圖

3.2.　探測儀器

本探測使用美國 GSSI 公司生產之 SIR3000 透地雷達儀器(見圖 3.2)，此系統之設計相當有彈性，發射之電磁波頻率及紀錄儀器之操作範圍相當廣，可適用於不同探測目的及探測場地之施測工作，其組件分為主機、天線罩及電源供應器三個部分，各組件之功能說明如下：

1. 透地雷達主機：主要在控制天線罩之發射信號及接收信號，內含數值轉換器、影像顯示器、掃描資料儲存設備等等。儀器輕巧防水可方便在各種不同環境底下施測。儀器之解析能力可達 16 位元，紀錄之動態範圍為 24 位元，並具有資料重合之功能，可重複疊加訊號，加強訊號之能量。此外主機內含 400MB 的硬式磁碟，方便現場工作資料之儲存。

2. 天線罩：天線罩中包含發射天線及接收天線，本計畫預計使用之天線罩頻率為 270MHZ 與 400MHZ 二種，其探測有效深度初步推估可達 5 公尺左右。

3. 電源供應器：一般之 12V 車用電池即可。

圖 3.2　透地雷達探測系統

3.3 現場執行

本次透地雷達探測工作搭配使用 270 與 400MHZ 之天線，以期能對探測區域底下由淺至深之狀態皆能掌握，透地雷達掃描紀錄時間分別為 298 與 77nS(10^{-9} sec)，每條描線(trace)取樣 1024 點，探測時首先進行測距輪之矯正工作，矯正完成後，依據服務計畫書之測線位置就定位後，進行儀器狀況檢視、設定施測參數等相關步驟後，確定一切狀況良好後開始進行現場測試，然後檢視現場測試之資料品質，確定各項參數設定符合現地狀況後開始施測。

透地雷達探測區域由沿著前清英國領事官邸南側邊坡下陷區域為中心佈設，沿著主要遊園路線、古蹟建築物周圍進行探測，原先規劃佈置之測線以能涵蓋園區主要區域為原則，經現場實際施測考量增加探測之完整性，將探測區域分為 A、B、C、D、E 五個區塊，其中 A 區塊包含：園區邊坡區域、辦公室、遊客中心及簡報室，B 區塊之範圍位於安東尼古堡與前清英國領事官邸間之草地上，C 區塊之範圍位於安東尼古堡周圍及古堡北側鋪設卵石之空間，D 區塊之範圍位於安東尼古堡之內部，E 區塊之範圍位於前清英國領事官邸內部，另於古蹟主體內部，於不影響破壞古蹟內部各項擺設及附屬設施之前提下，於可供施測之處進行透地雷達探測。

3.4 探測成果

探測分析成果以探測深度為縱軸，以距離為橫軸，橫軸上標示對應施測距離，於橫軸上每隔 2 公尺做一標記。茲將透地雷達探測結果依區塊順序分述如下：

A 區塊

A 區塊共計施測 40 條測線，測線編號為 A-1～A-40，A-1～A-26 測線使用 270MHZ 之天線，A-27～A-40 使用 400MHZ 之天線，其中 400MHZ 之天線探測深度較淺，但對淺部地層解析度較高，主要係針對磁力及地電阻影像剖面探測出之異常區加以探測，測線位置分布圖如圖 3.3、圖 3.4 所示，透地雷達探測成果圖如圖 3.5 至圖 3.13 所示。

A-1、A-2 與 A-3 測線，黃色箭頭標示之異常區為排水溝之效應。A-4 紅色箭頭標示之異常處研判應為地下淺層管線。A-5 與 A-6 測線位於辦公室周圍之草地與走廊，於透地雷達探測成果剖面圖上可發現部分較明顯之異常訊號，如黃色箭頭標示區域，研判應與辦公室周圍之建築設

施有關。A-7 至 A-11 測線位於辦公室與遊客中心間之草地，於透地雷達探測成果剖面圖上並未發現有因地下空洞或坑道存在所造成之異常繞射訊號，部分異常訊號如紅色箭頭標示區域，研判應為地下淺層之管線，如電力設施或灑水系統，另於 A-10 與 A-11 測線尾端，紅色箭頭標示區域為測線跨過步道旁之矮牆所造成。A-12 至 A-15 測線位於入口往安東尼堡道路下方邊坡上，於透地雷達探測成果剖面圖上並未發現有因地下空洞或坑道存在所造成之異常繞射訊號，部分異常訊號如紅色箭頭標示區域，研判應為地下淺層之管線，如電力設施或灑水系統。A-16 至 A-26 測線，位於入口往安東尼堡及前清英國領事官邸園區主要道路涵蓋之三角形邊坡區域，區內包含簡報室及新發現之圓形沉陷處，於透地雷達探測成果剖面圖上並未顯示因地下空洞或坑道存在所造成之異常繞射訊號，僅於 A-16 測線位置 72 至 82 公尺、A-17 測線位置 2.5 至 7 公尺區段與 A-21 測線位置 2 至 5 公尺區段有局部擾動區，另部分異常訊號如紅色箭頭標示區域，研判應為地下淺層之管線所造成，於簡報室周圍測線之異常訊號為建物設施所造成。

A-27～A-31 測線位於領事官邸南側園區道路及邊坡草地，測線分布如圖 3.4 所示，由透地雷達剖面上所顯示之異常現象可分為地下管線、水平反射面及擾動區等三類，由 A-27～A-29 三條平行測線發現於測線位置 23 公尺與 26～27 公尺範圍，有地下管線通過，且於管線通過區域約有 5～7 公尺範圍之擾動帶，如圖上黃色方框標示處，依據「淡水紅毛城邊坡下陷考古試掘計畫」成果研判，此擾動區應與當初進行地下管線施工，於復原過程埋入工程廢料有關，於地下 25～30 公分深之不規則水平反射面，研判應與紅毛城修復暨再利用工程有關，A-30 測線於 0～10 公尺位置，深約 30～40 公分處有一弧形反射面，此反射面與週遭不規則反射面有異，是否為早期活動之遺跡則有待進一步之確認，12～17 公尺之擾動區，研判應與近期

之修復工程有關。

A-32～A-40 測線位於紀念品販賣部與新建辦公室間之草地上，測線分布如圖 3.4 所示，由透地雷達剖面上所顯示之異常現象可分為地下管線、水平反射面及局部強反射區等三類，地下管線位置如紅色箭頭標示處，水平反射面位置約位於地下 30 公分處，此界面是否為早期之活動面，需配合相關資料作進一步之確認，於 A-34～A-36 測線約 18～23 公尺範圍存在一異常之擾動區，是否為早期活動遺跡，需配合相關資料作進一步之確認，於 A-36 與 A-37 測線位置 27 公尺處，地下約 30 公分有一明顯強反射界面存在，是否為埋藏物或與紅毛城修復暨再利用工程設施有關，需作進一步之確認。

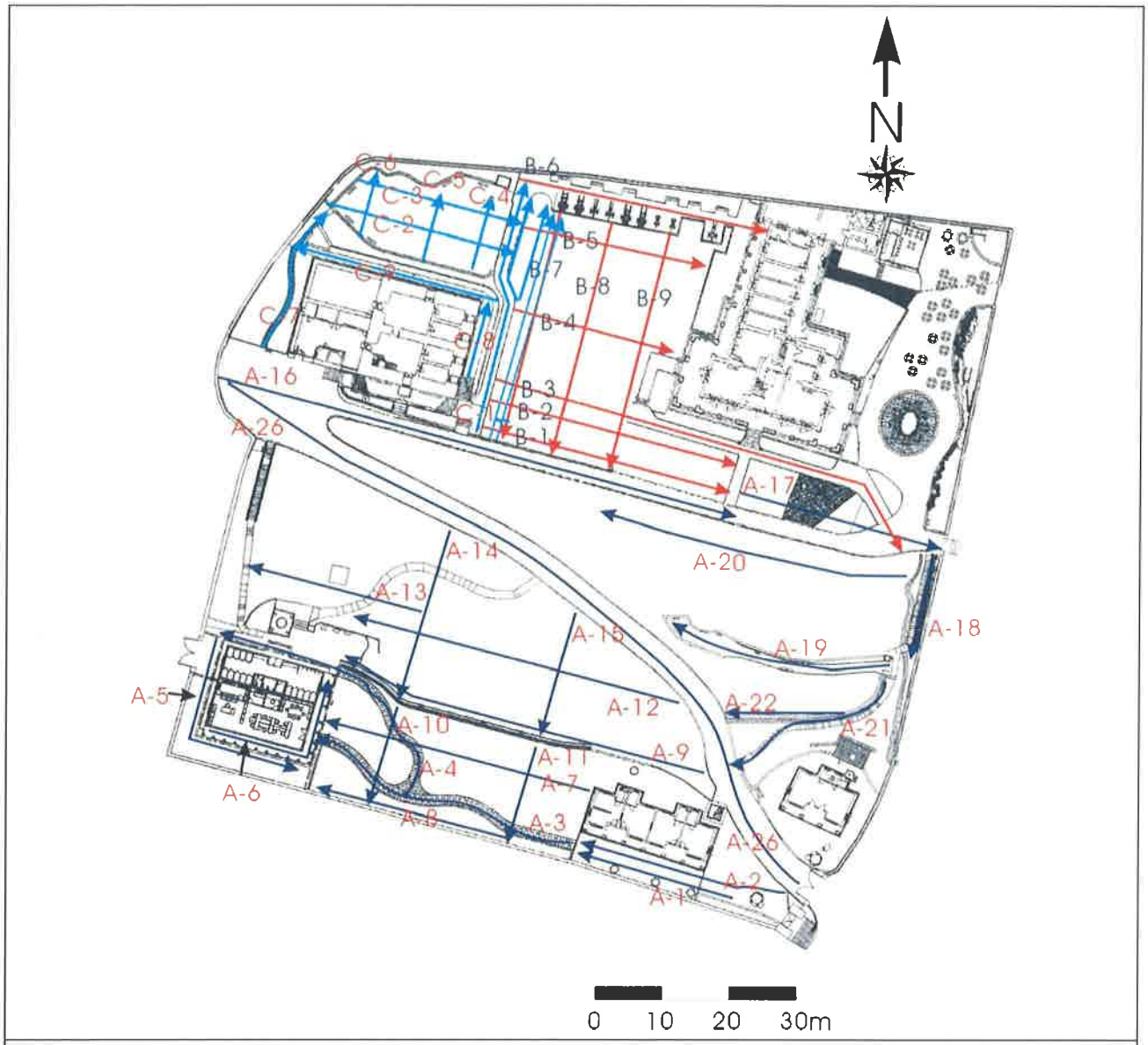


圖 3.3 透地雷達探測測線位置分布圖（A、B、C 區，270MHZ 天線）

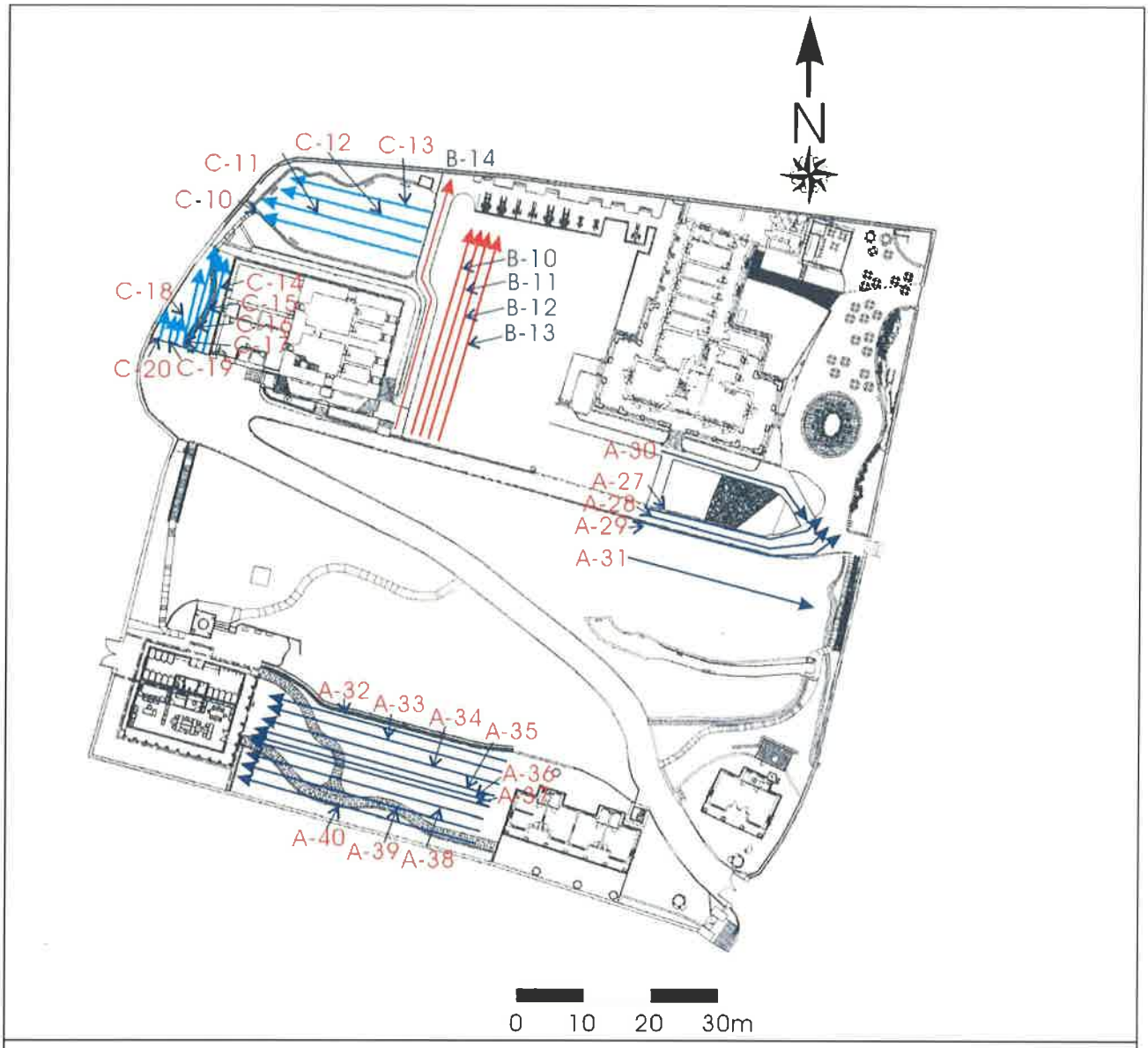


圖 3.4 透地雷達探測測線位置分布圖（A、B、C 區，400MHZ 天線）

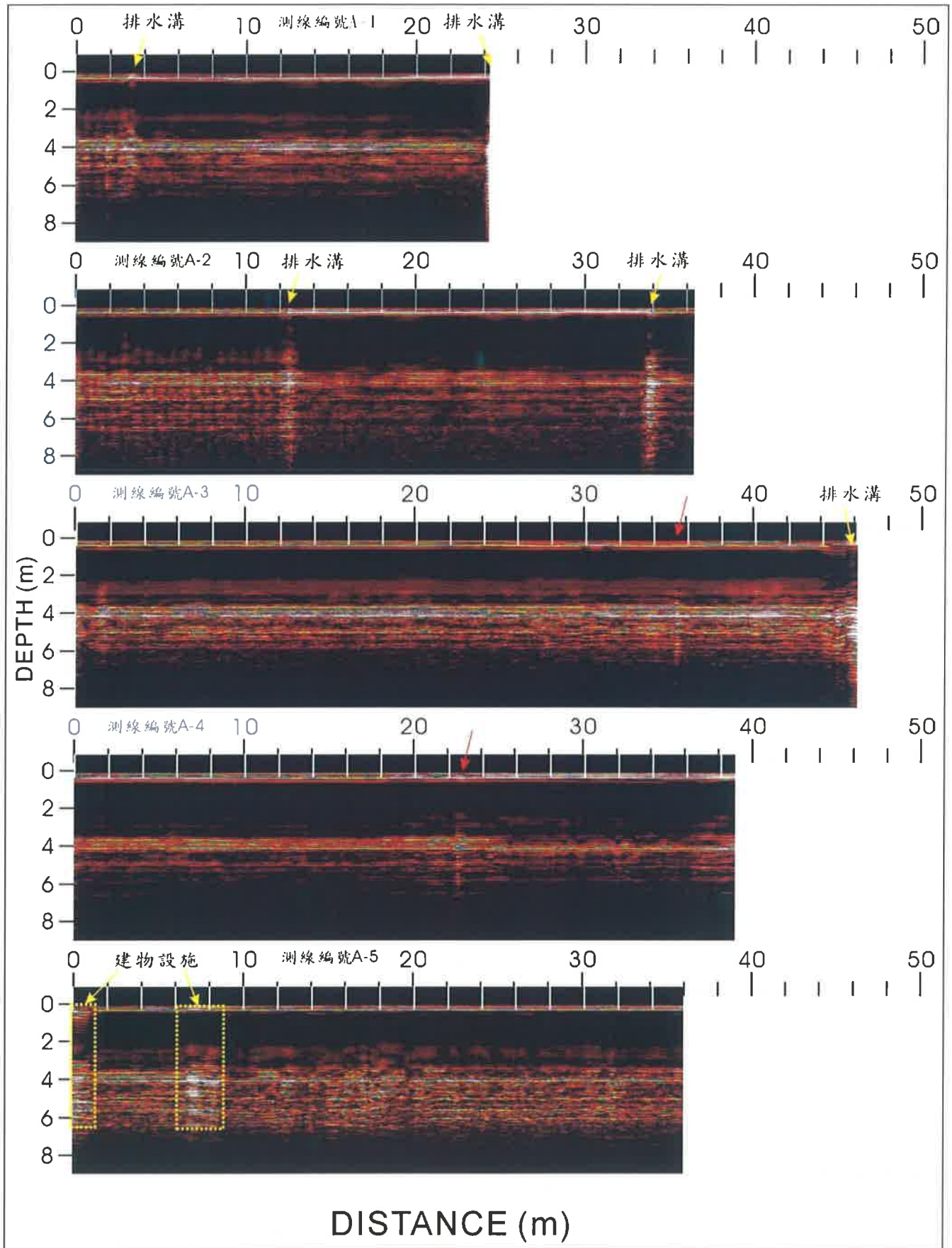


圖 3.5　A 區透地雷達探測成果圖（A-1 至 A-5）

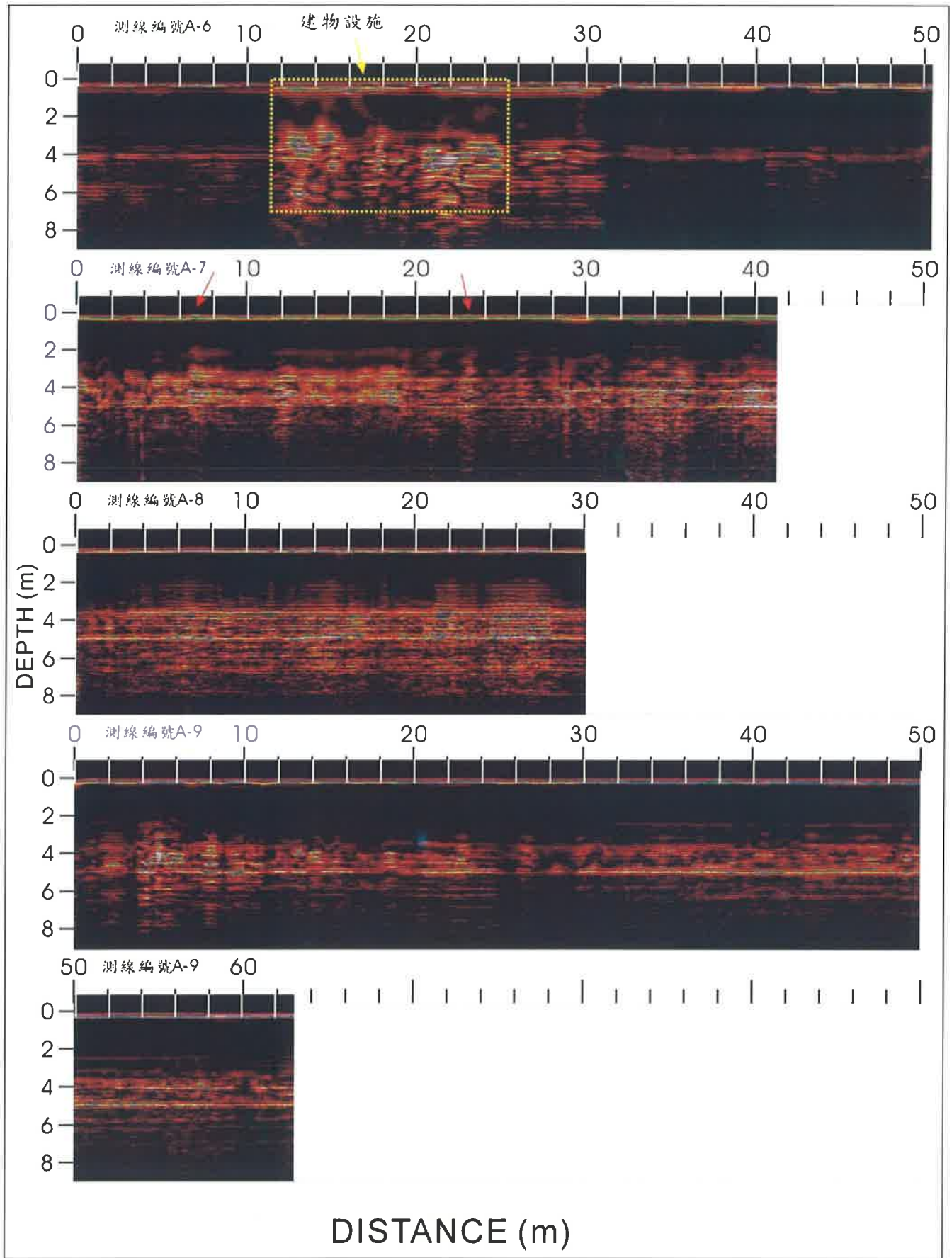


圖 3.6　A 區透地雷達探測成果圖（A-6 至 A-9）

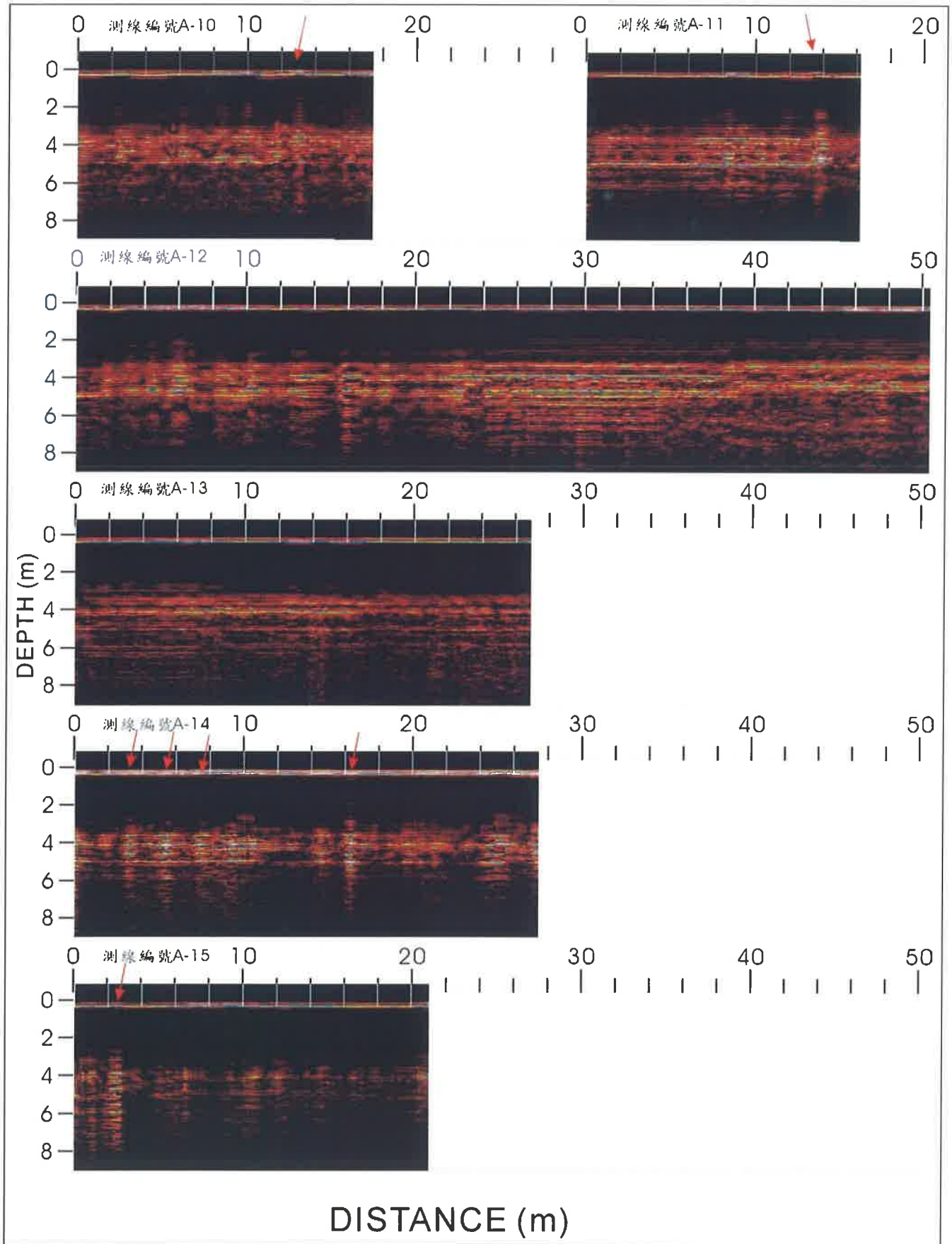


圖 3.7　A 區透地雷達探測成果圖（A-10 至 A-15）

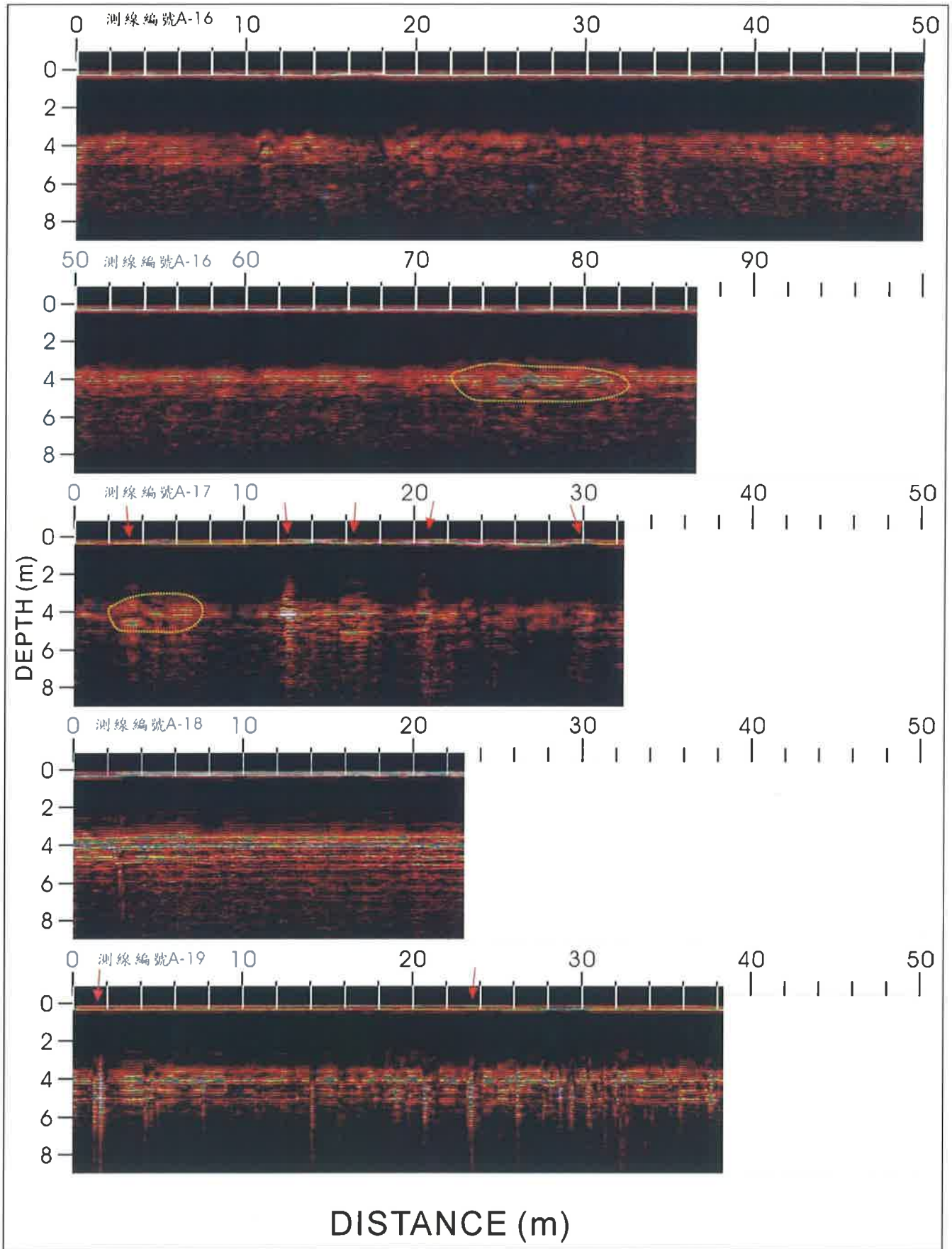


圖 3.8　A 區透地雷達探測成果圖（A-16 至 A-19）

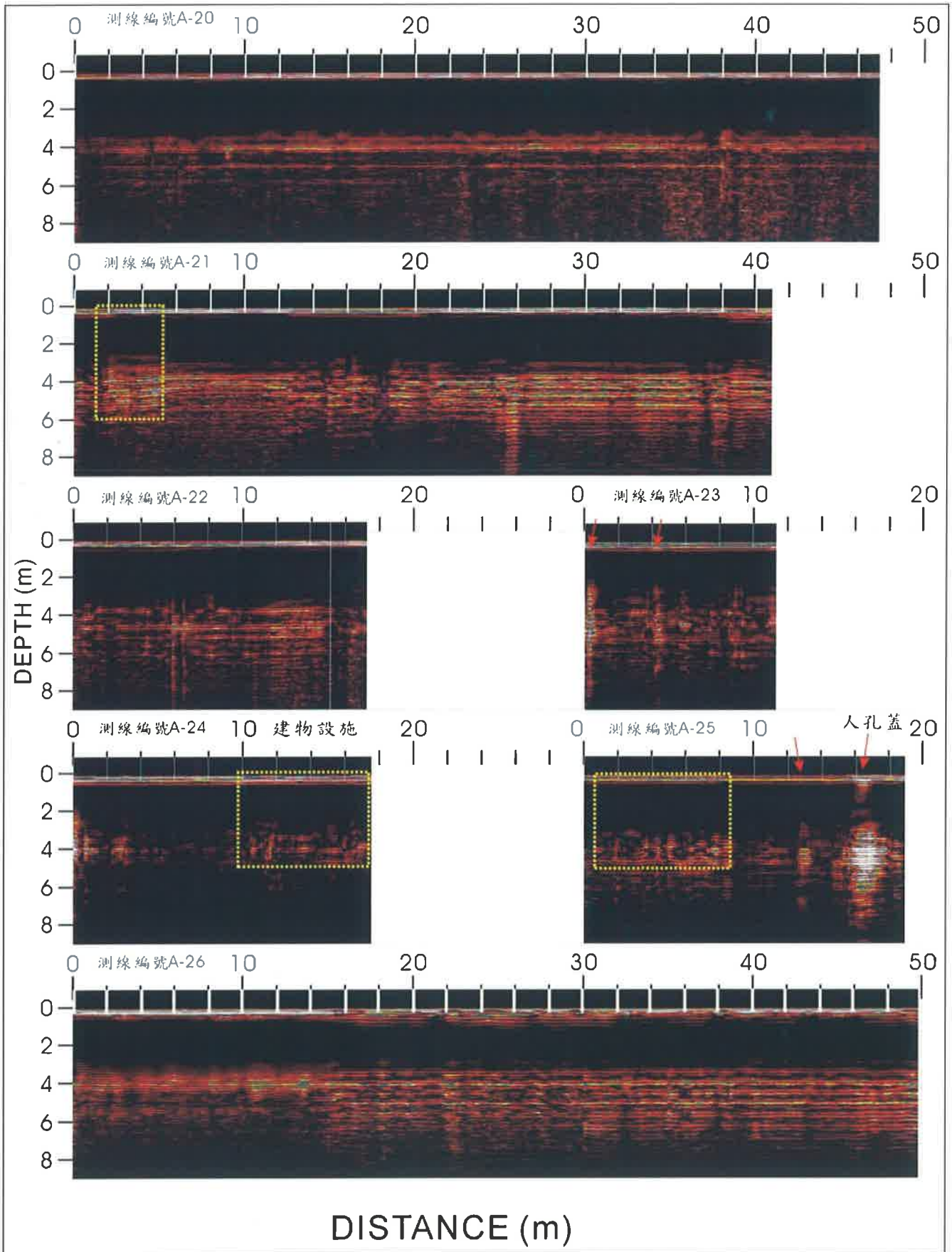


圖 3.9　A 區透地雷達探測成果圖（A-20 至 A-26）

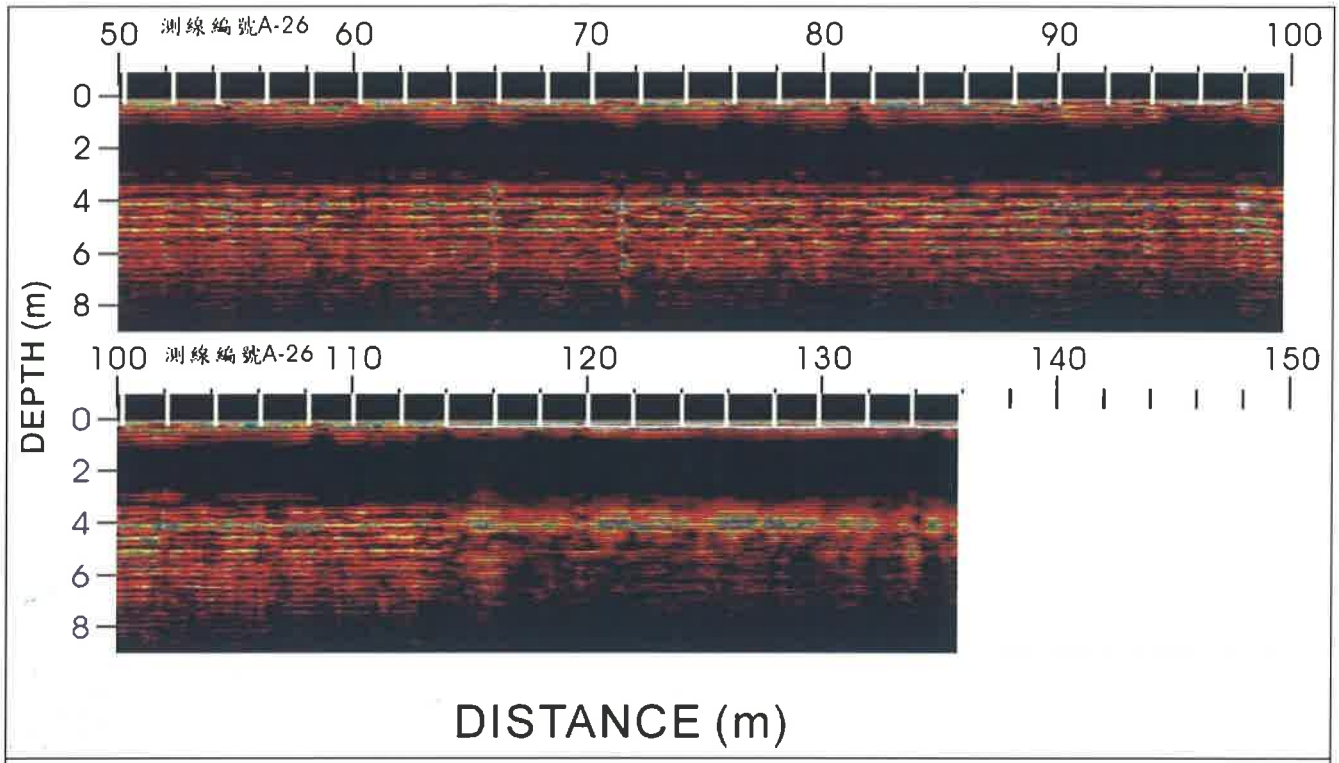


圖 3.10　A 區透地雷達探測成果圖（A-26）

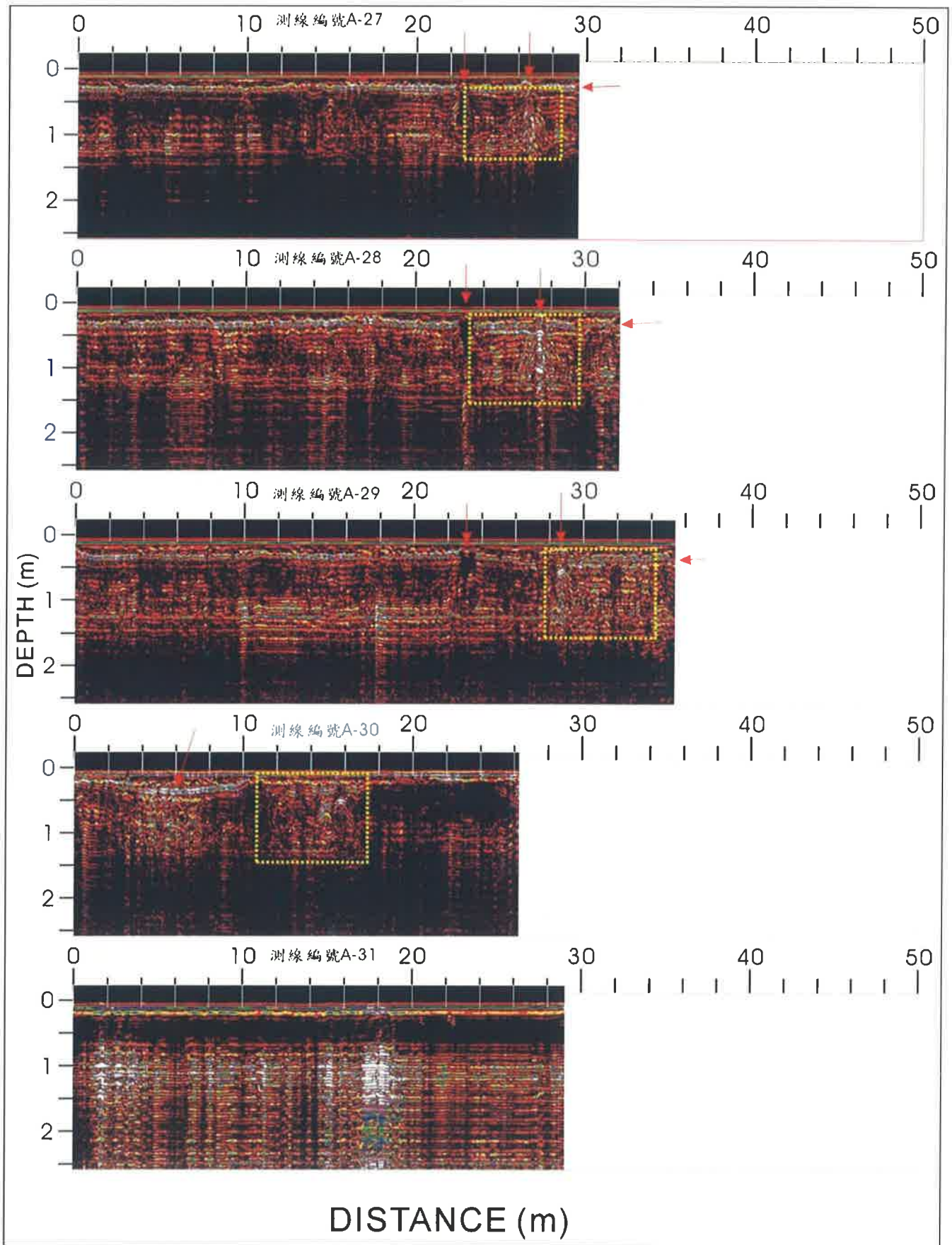


圖 3.11　A 區透地雷達探測成果圖（A-27 至 A-31）

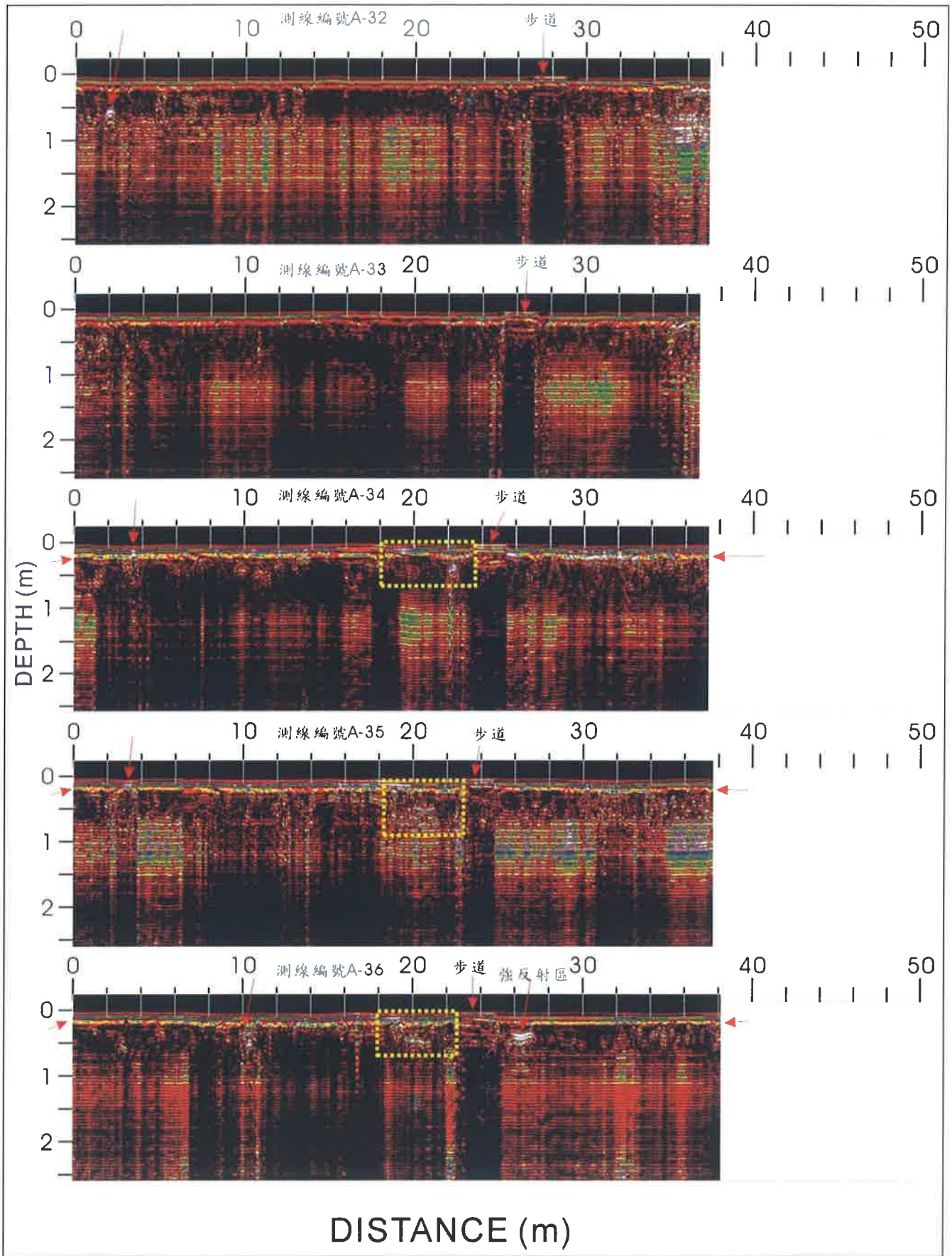


圖 3.12　A 區透地雷達探測成果圖（A-32 至 A-36）

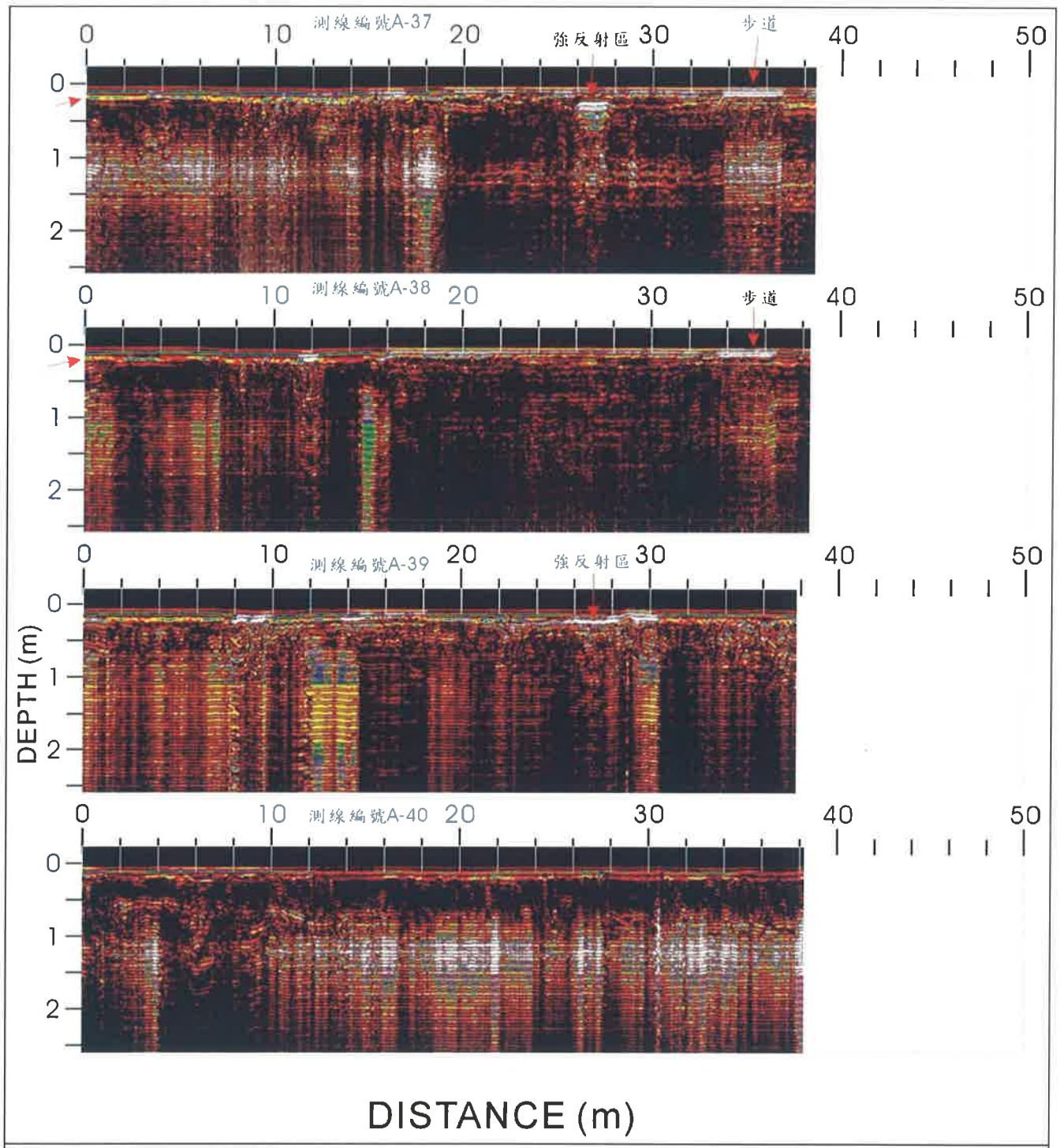


圖 3.13　A 區透地雷達探測成果圖（A-37 至 A-40）

B 區塊

B 區塊共計施測 14 條測線，測線編號為 B-1～B-14，B-1～B-9 測線使用 270MHZ 之天線，B-10～B-14 使用 400MHZ 之天線，其中 400MHZ 之天線探測深度較淺，但對淺部地層解析度較高，主要係針對磁力及地電阻影像剖面探測出之異常區加以探測，測線位置分布圖如圖 3.3、圖 3.4 所示，透地雷達探測成果圖如圖 3.14～圖 3.16 所示。

B-1 至 B-9 測線透地雷達探測剖面，未發現有因地下空洞或坑道存在所造成之異常繞射訊號，主要之異常訊號如紅色箭頭標示區域，研判應為地下淺層之管線，如電力設施或灑水系統。

B-10 至 B-14 測線透地雷達探測剖面，發現有許多地下管線所造成之異常繞射訊號，研判此地下管線應為照明系統及灑水系統，如紅色箭頭標示區域，於 B-10 測線 10～16 公尺處與 B-11 測線 14～16 公尺存在一擾動區，此擾動區與磁力探測之異常區接近，但擾動區地下物體之性質不明，需做進一步之確認。

C 區塊

C 區塊共計施測 20 條測線，測線編號為 C-1～C-20， C-1～C-9 測線使用 270MHZ 之天線，C-10～C-20 使用 400MHZ 之天線，其中 400MHZ 之天線探測深度較淺，但對淺部地層解析度較高，主要係針對磁力及地電阻影像剖面探測出之異常區加以探測，測線位置分布圖如圖 3.3、圖 3.4 所示，透地雷達探測成果圖如圖 3.17～圖 3.19 所示。

C-1 至 C-9 測線透地雷達探測剖面，未發現有因地下空洞或坑道存在所造成之異常繞射訊號，於 C-1 測線 0～2 公尺、C-2 測線 5 公尺、C-3 測線 0～3 公尺及 C-4 測線 0～1 公尺與 10.5 公尺處，存在局部異常擾動帶，如黃色箭頭標示區域，另紅色箭頭標示區域，研判應為地下淺層之管線，如電力設施或灑水系統。

C-10 至 C-13 測線透地雷達探測剖面，於 C-10 測線 10～16 公尺處與 C-13 測線 11～19 公尺存在一輕微擾動區，此擾動區與周圍物質有不連續之情形，C-14 至 C-20 測線透地雷達探測剖面，於 C-15 測線 10～14.5 公尺處與 C-16 測線 10～16 公尺存在一擾動區，此擾動區接近磁力探測之異常區，其形成之原因不明，需做進一步之確認。

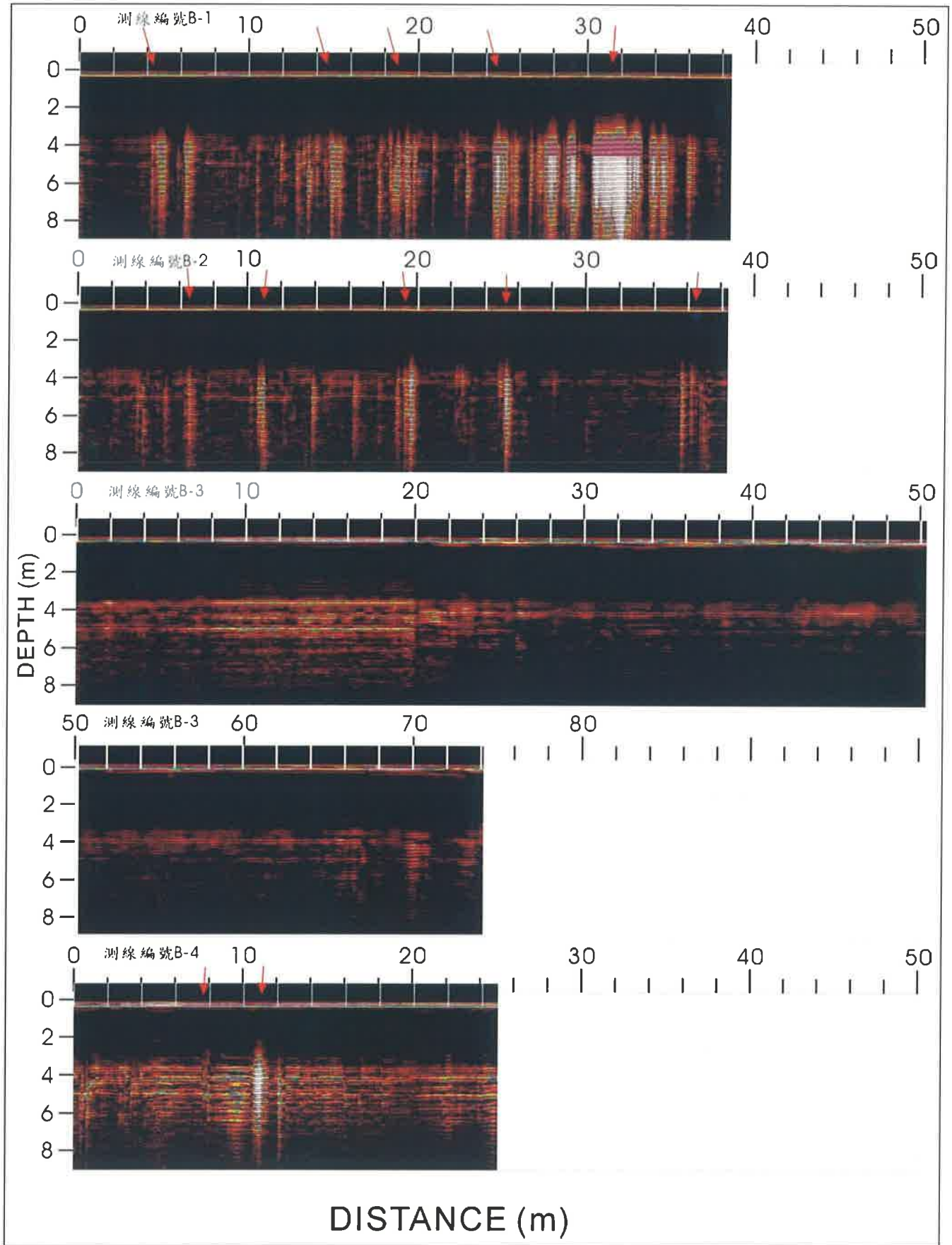


圖 3.14　B 區透地雷達探測成果圖（B-1 至 B-4）

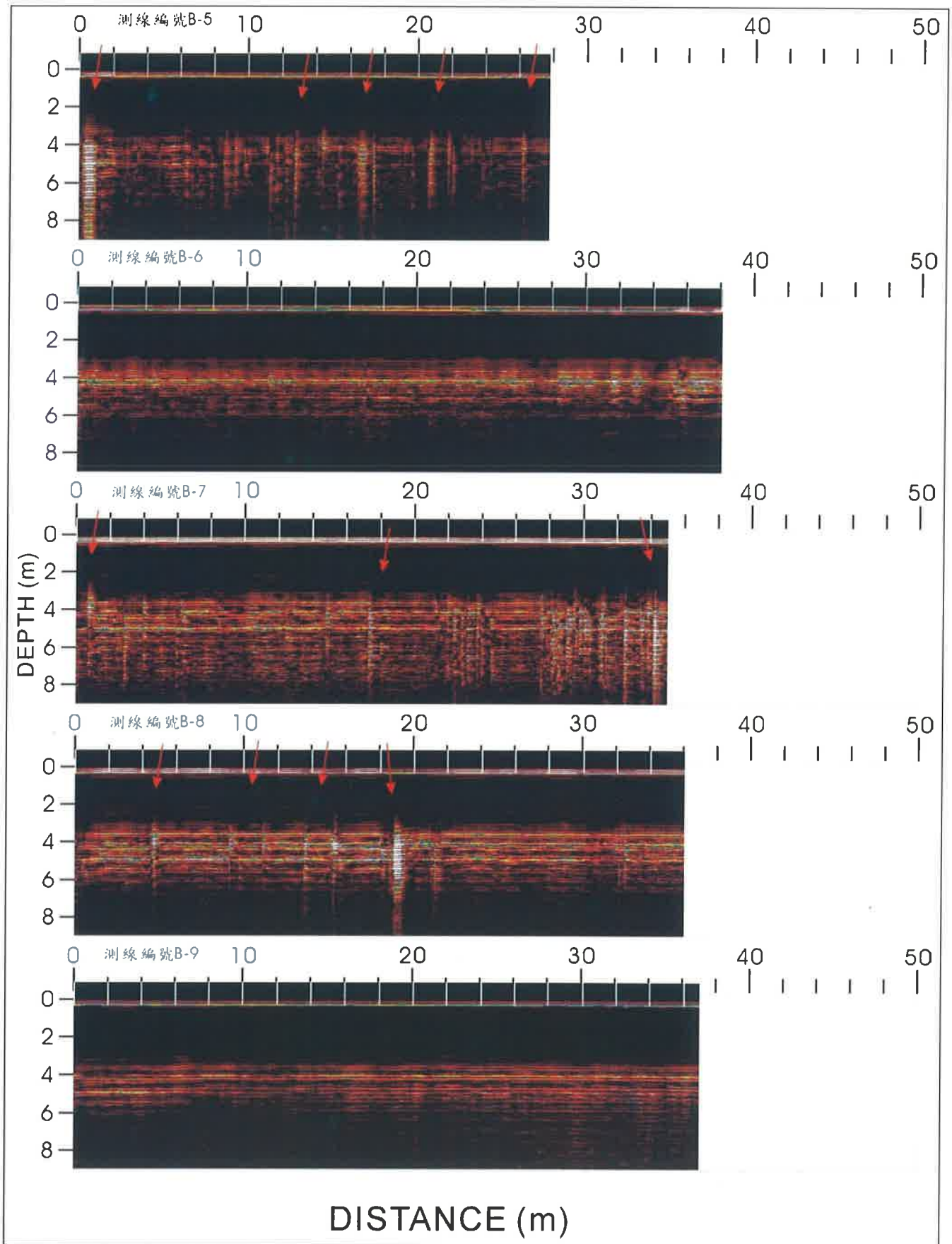


圖 3.15　B 區透地雷達探測成果圖（B-5 至 B-9）

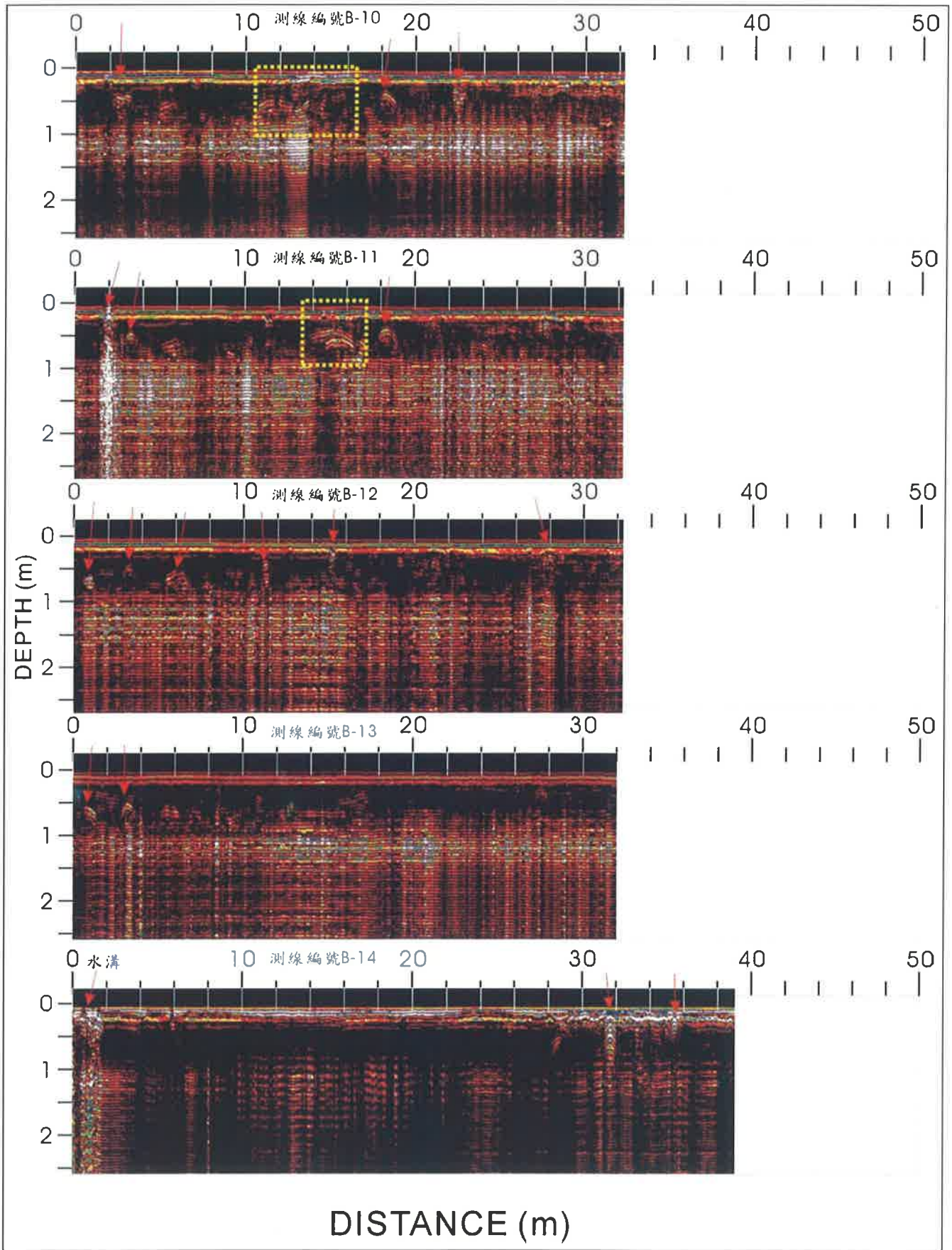


圖 3.16　B 區透地雷達探測成果圖（B-10 至 B-14）

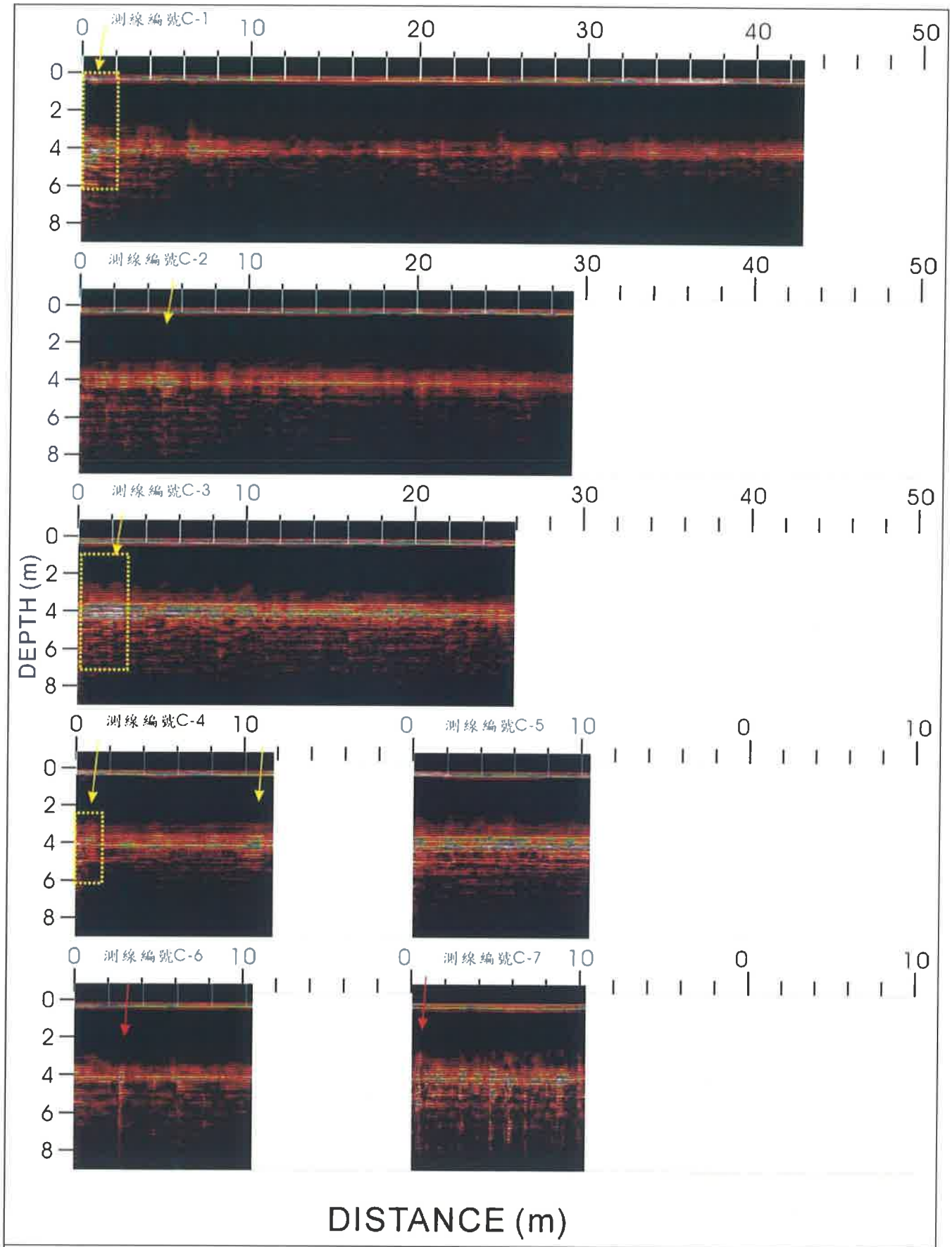


圖 3.17　C 區透地雷達探測成果圖（C-1 至 C-7）

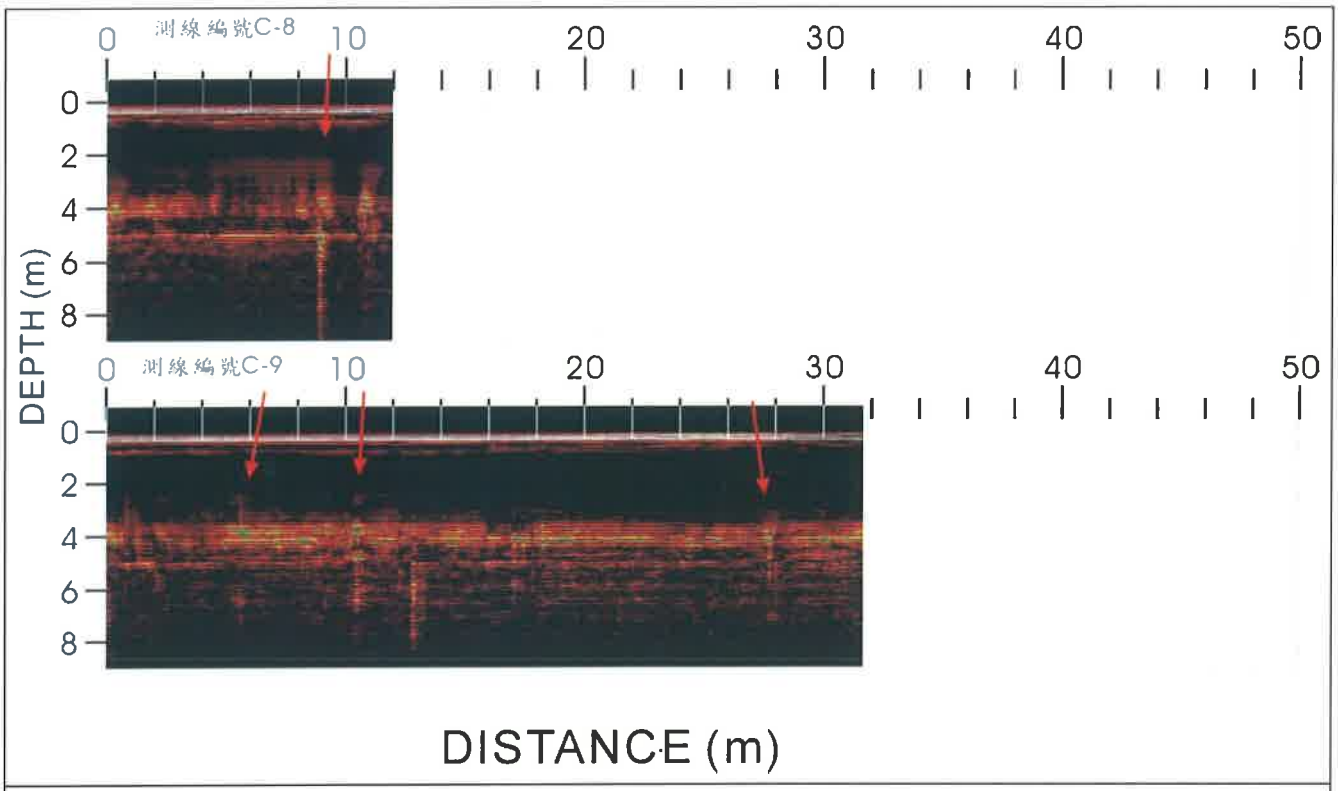


圖 3.18　C 區透地雷達探測成果圖（C-8 至 C-9）

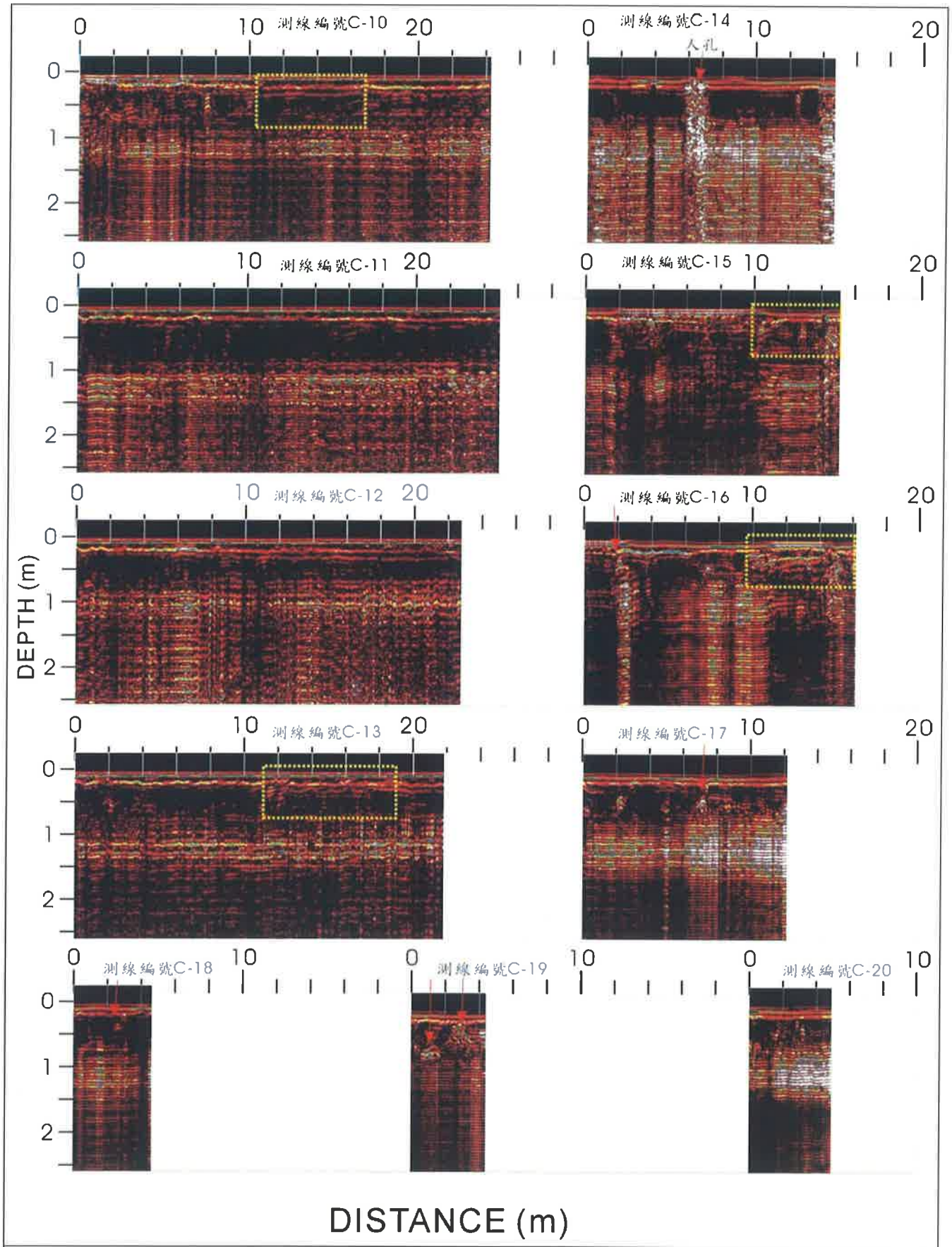


圖 3.19　C 區透地雷達探測成果圖（C-10 至 C-20）

D 區塊

D 區塊測線位置分布圖如圖 3.20 所示，透地雷達探測成果圖如圖 3.21 所示。

D 區塊共佈置 D-1 至 D-20 共 20 條測線，由透地雷達探測剖面上並未發現有因地下空洞或坑道存在所造成之異常繞射訊號，於 D-3 測線 1 至 7 公尺、D-4 測線 2 至 4.5 公尺、D-5 測線 1 至 9 公尺、D-6 測線 0 至 1.5 公尺、D-11 測線 1 至 6 公尺及 D-12 測線 1 至 6 公尺，於淺層部分存在局部水平反強反射區，如黃色箭頭標示區域，研判應為地板結構差異所造成。

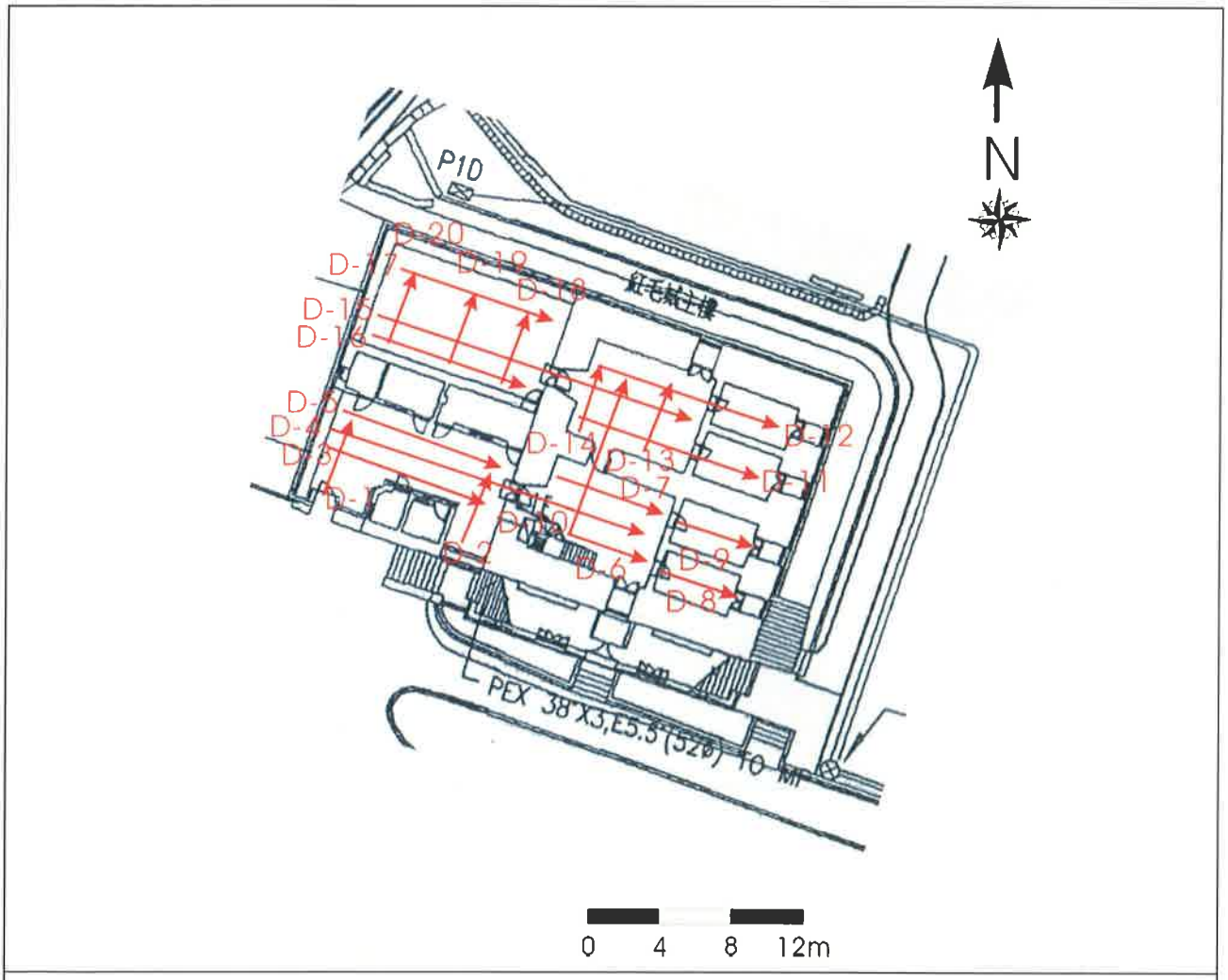


圖 3.20 透地雷達探測測線位置分布圖（D 區）

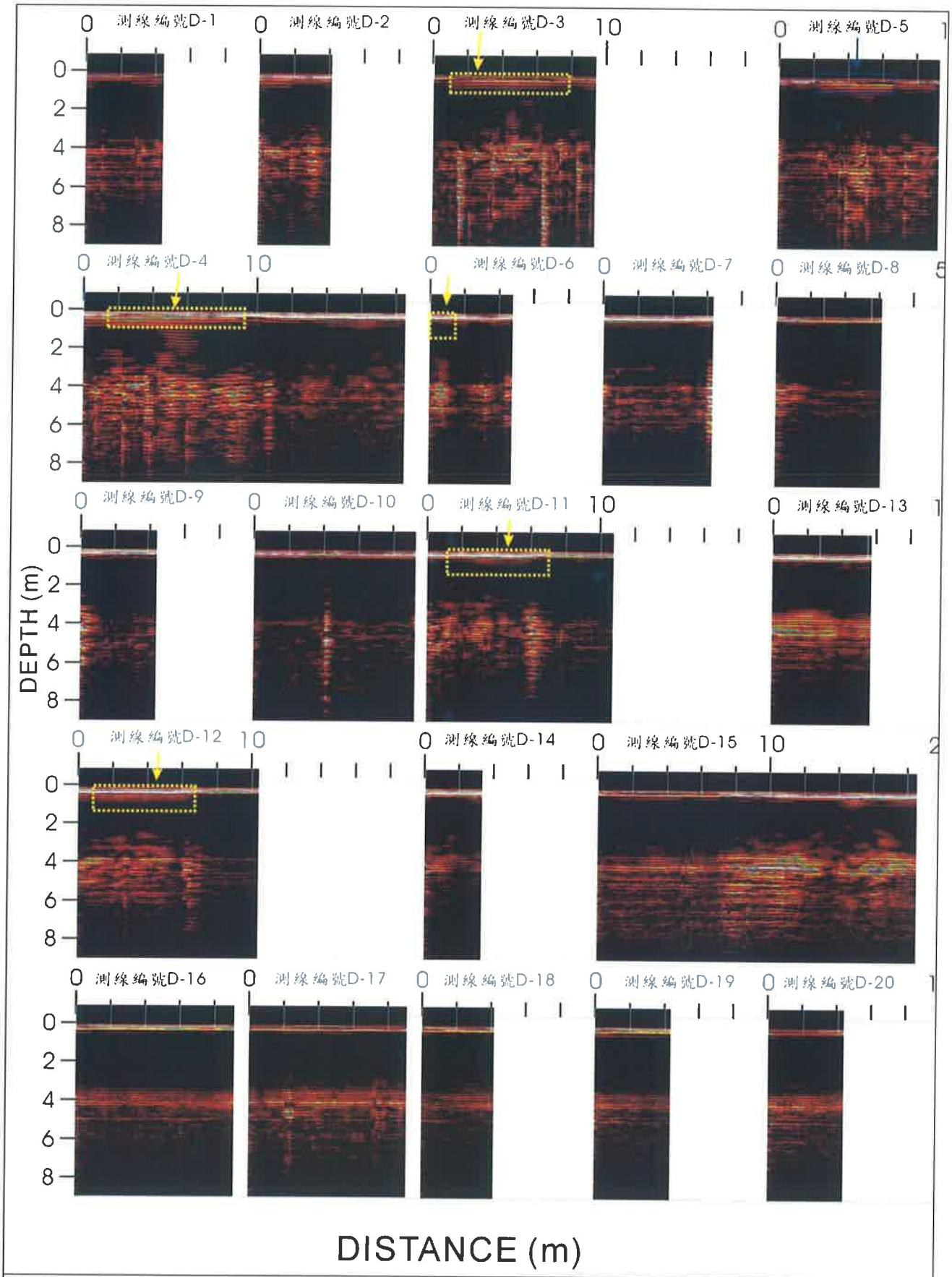


圖 3.21　D 區透地雷達探測成果圖（D-1 至 D-20）

E 區塊

E 區塊測線位置分布圖如圖 3.22 所示，透地雷達探測成果圖如圖 3.23 至圖 3.24 所示。

E 區塊共佈置 E-1 至 E-20 二十條測線，於 E-10 測線 8 公尺處有一強烈之反射，依據測線旁有一封閉之地窖入口研判此訊號應為地窖之效應，其餘位置之異常反射信號，應為建築物底下基礎結構不同所造成。

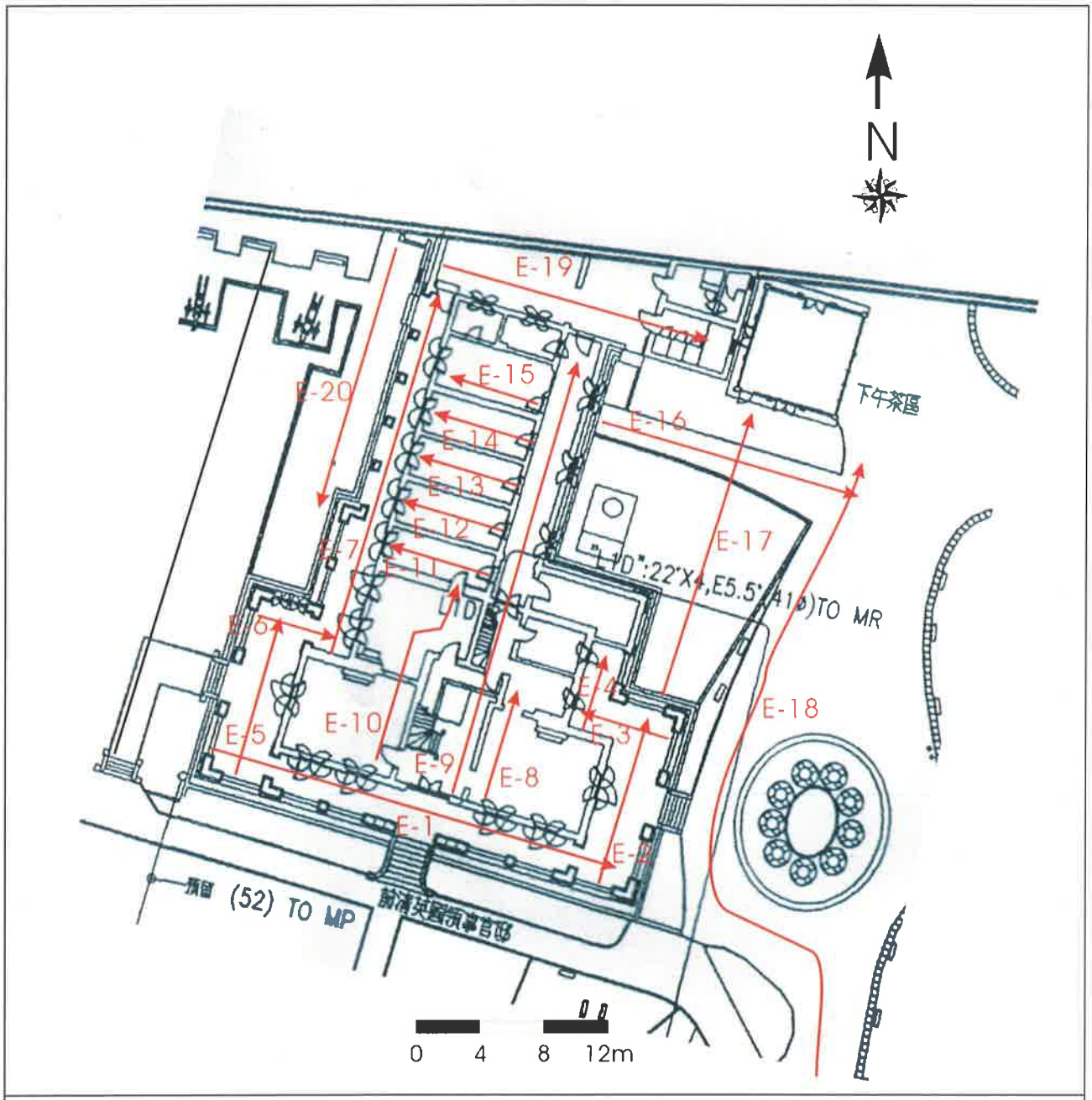


圖 3.22 透地雷達探測測線位置分布圖（E 區）

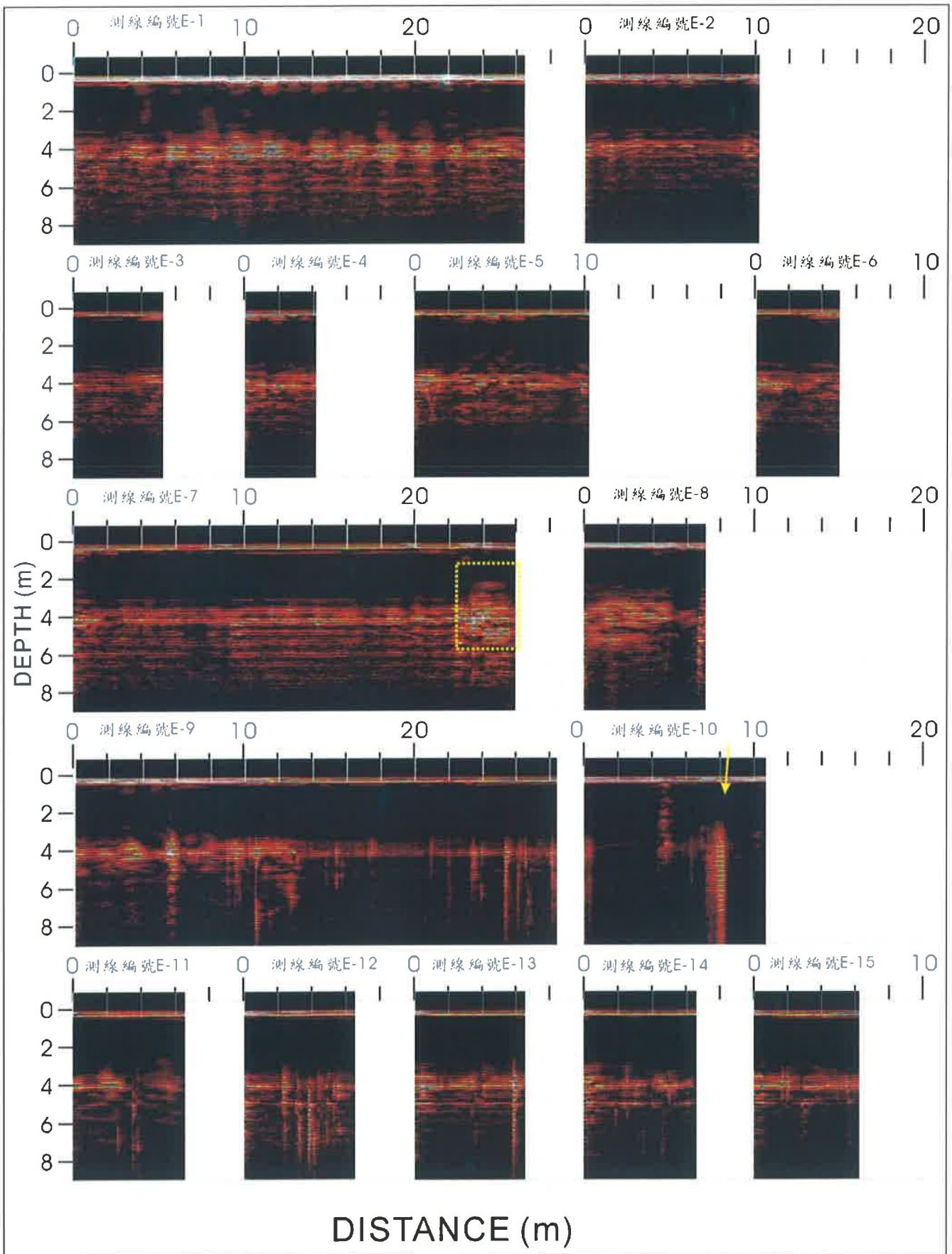


圖 3.23　E 區透地雷達探測成果圖（E-1 至 E-15）

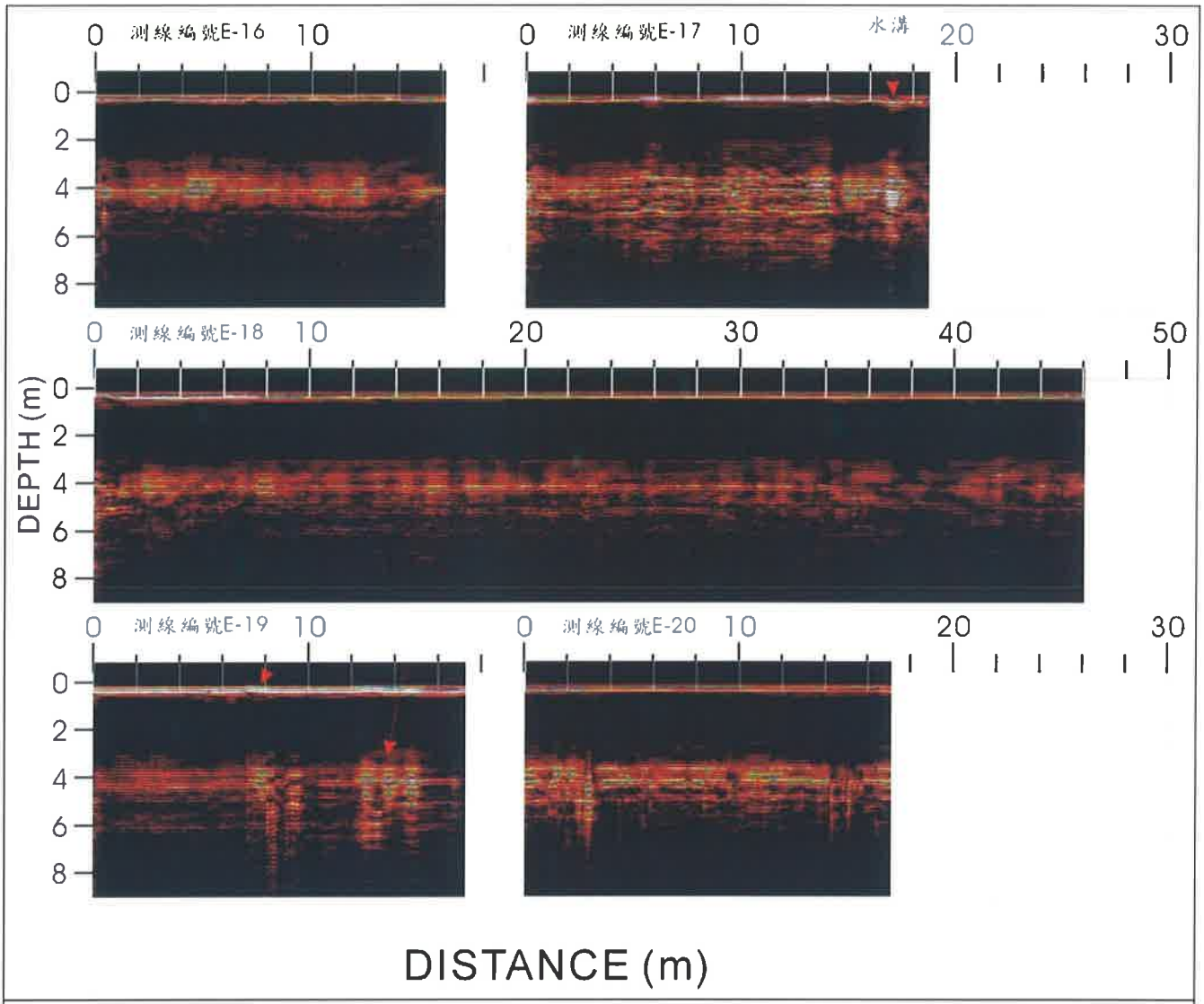
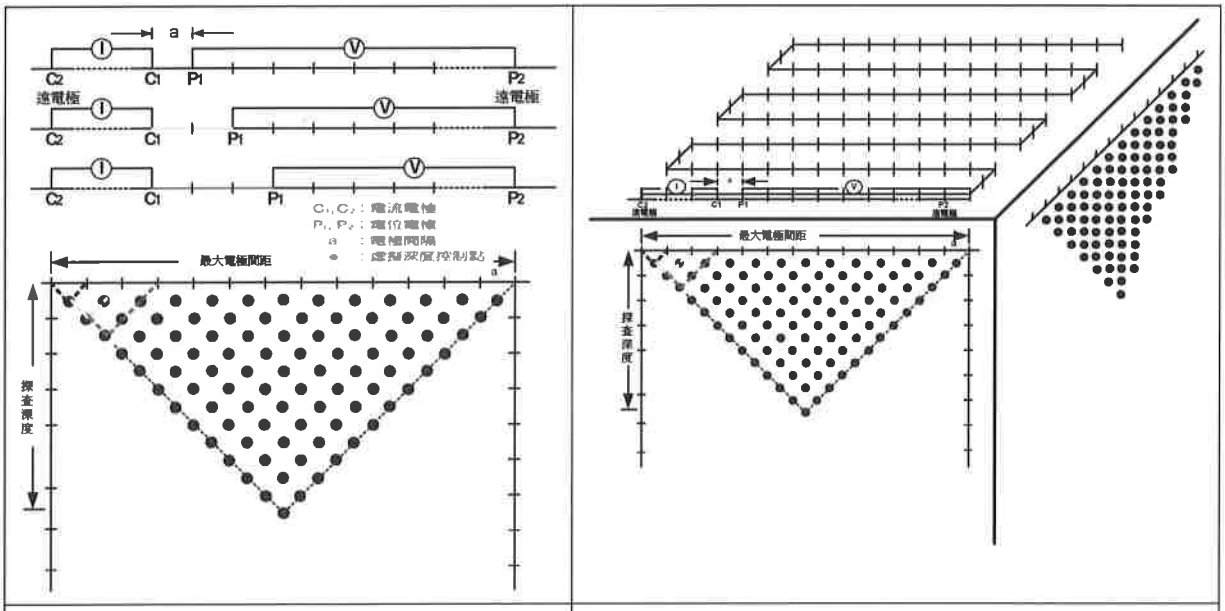


圖 3.24　E 區透地雷達探測成果圖（E-16 至 E-20）

第四章　地電阻影像剖面法

4.1　探測原理

地電阻影像剖面法，電極排列利用雙極法 (pole-pole array)。此種探勘方法其原理主要將直流電藉由插於地表之一對電極(電流極)通入地下，電流流經地層造成人工電場，由地表上之另一對電極(電位極)量測此電場之電位差，此電位差因地層之導電性及兩個探測孔間異常物質之不同而有異常不均之分佈。由通入地下之電流強度、量測得之電位差及電流極間之相對位置，依歐姆定律求出地層之視電阻值及電性地層之構造，進而推估調查區域底下異常帶之分布狀況，地表二維和三維地電阻影像剖面法探測電極排列方式示意圖詳圖 4.1。



(a)二維地表探測示意圖　　(b)三維地表探測示意圖

圖 4.1　地電阻影像剖面法探測電極排列方式示意圖

4.2　探測儀器

本試驗所用之儀器為美國 AGI 電探儀微電腦，如圖 4.2 所示。地電阻探測全套設備共計包括電阻探測儀、孔內探測電纜，不銹鋼電極棒、皮尺、電線等，其中電阻探測儀有信號疊加及貯存等功能。

4.3 現場執行

本次地電阻影像剖面探測工作，電極排列使用二維與三維兩種排列方式，預計於邊坡圓形坍陷區域佈設一組三維地電阻影像剖面探測，另於垂直邊坡方向佈設一組二維地電阻影像剖面探測，另本公司於接獲此探測計畫後，再進行進一步之現勘，依據相關資料及現場考古研究人員之指引，發現於古砲區前方草坪有數處圓形塌陷，故計畫於此區域再增加一組三維地電阻影像剖面探測，以確認此塌陷區域下方之狀態。測線位置如圖 4.3 上淺藍色標線及圖框位置所示。

地電阻影像剖面探測，探測時首先進行測點放樣工作，依據探測位置之範圍大小，安排電極間距及電極數目、放樣完成後開始進行電極棒及電纜設置、設定施測參數等相關步驟後，確定一切狀況良好後開始進行現場測試，然後檢視現場測試之資料品質，確定各項參數設定符合現地狀況後開始施測。

a.輸出電流：可達 2A b.輸出電壓：可達 800V c.輸出功率：200W d. 量測解析度：可達 30nV	

圖 4.2　地電阻探測儀

（廠牌：SuperSting R8/IP resistivity /IP meter）

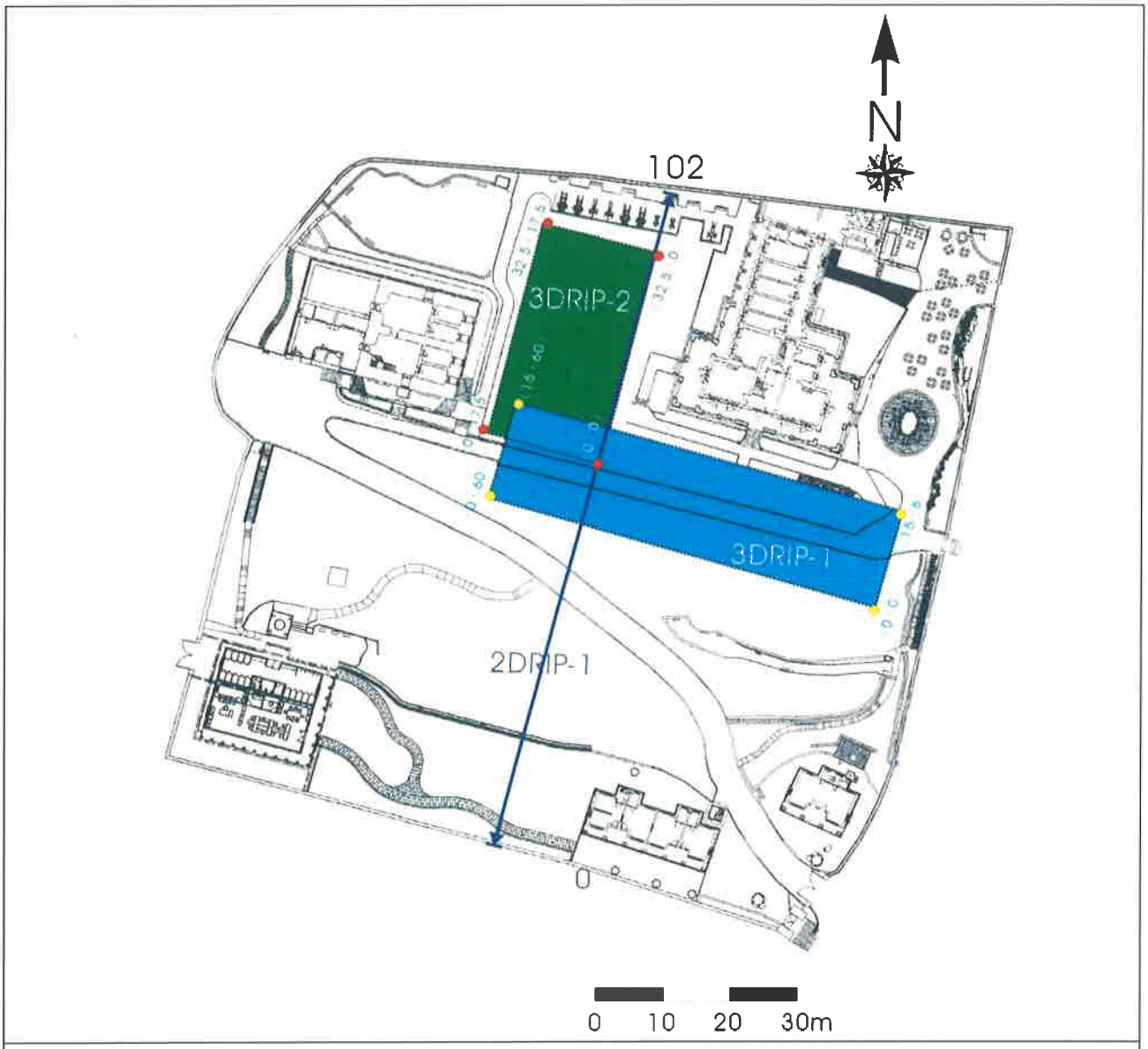


圖 4.3 地電阻影像剖面探測測線位置分布圖

4.4 探測成果

探測分析成果以二維及三維方式展示。茲將地電阻影像剖面探測結果依測線編號順序分述如下：

4.4.1 二維地電阻影像剖面探測

二維地電阻影像剖面探測，測線編號為 2DRIP-1，測線長度為 102 公尺，探測成果圖如圖 4.4 所示。

圖上標示鋼管微形樁之概略位置、地下水包、潛在滑動面及地層軟弱帶之位置。依探測結果研判測線底下有二個主要地下水聚集之處，其中心分別位於鋼管微形樁及測線位置 68 公尺處，潛在滑動面之深度於鋼管微形樁之下方約可到達 18 公尺，於測線位置 90 公尺處約為 6 公尺，於測線位置約 32 公尺至 66 公尺區段存在一高角度之低電阻帶，研判應為一地層強度相對軟弱之區域或與地層組成材料有關，造成低電阻區。

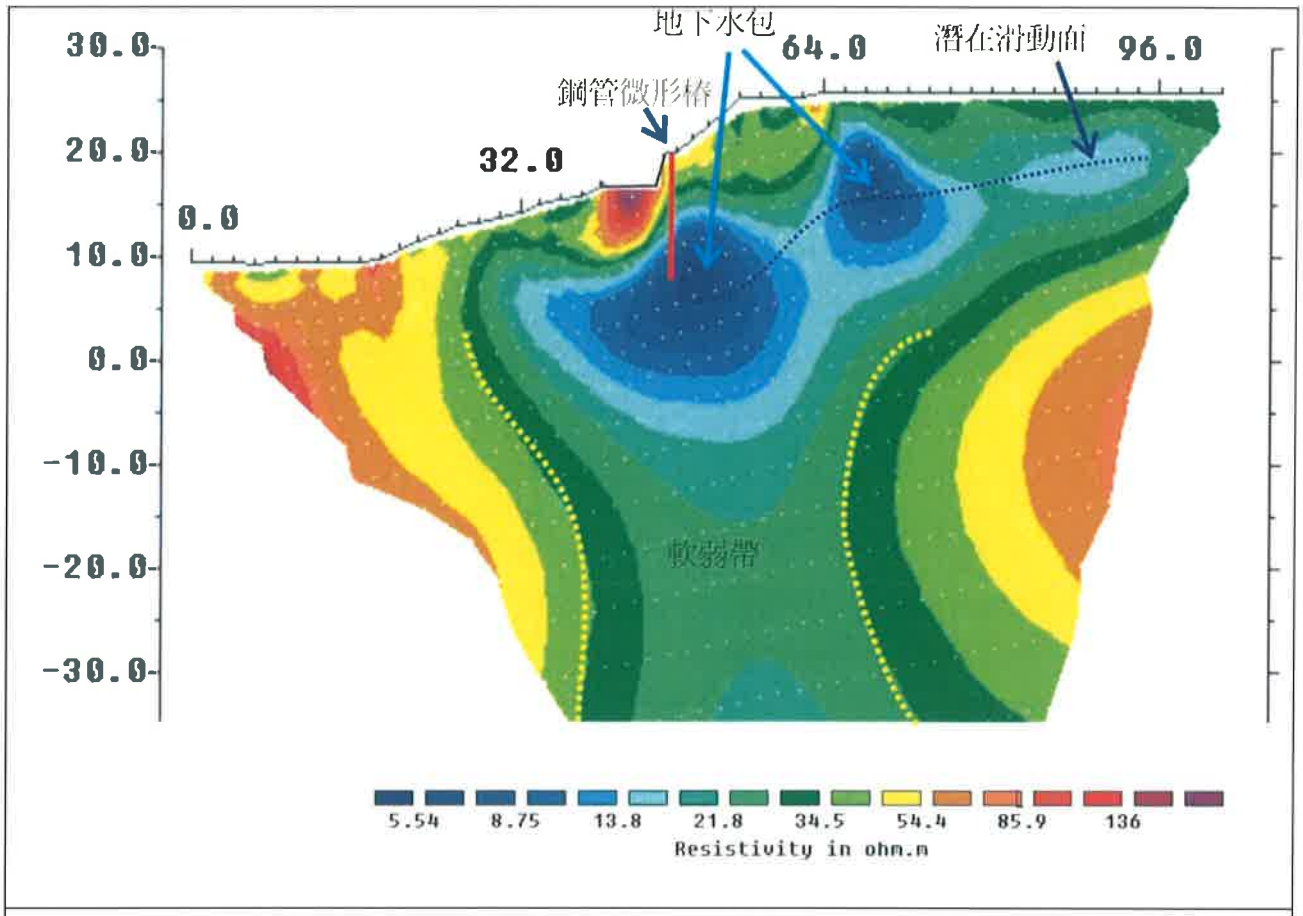


圖 4.4 2DRIP-1 地電阻影像剖面探測成果圖

4.4.2 三維地電阻影像剖面探測

三維地電阻影像剖面探測，測線編號為 3DRIP-1 與 3DRIP-2，3DRIP-1 設置 4 條平行測線，電極間距為 2 公尺，每條測線共設置 28 個電極，測線長度 54 公尺，測線間隔 5 公尺，探測成果圖如圖 4.5 至圖 4.6 所示，3DRIP-2 設置 8 條平行測線，電極間距為 2.5 公尺，每條測線共設置 14 個電極，測線長度 32.5 公尺，測線間隔 2.5 公尺，探測成果圖如圖 4.7 至圖 4.8 所示。

由 3DRIP-1 探測成果顯示，於 3DRIP-1 測線範圍內新形成之圓形坍陷區域，並沒有向下延伸之趨勢，意即圓形坍陷區域底下應無地下坑道，但於成果圖上可發現二個相對地電阻高區，第一個位置位於 Y 軸方向 3 至 12.5 公尺，第二個位置位於 Y 軸方向 50 至 55 公尺之範圍，此二個區域之分布深度約可到達地下 6 公尺與 4 公尺，研判上述相對地電阻高區，應與紅毛城修復及再利用工程施工或與早年紅毛城之歷史活動軌跡有關，但其真正原因則須配合相關史跡做進一步之確認。

由 3DRIP-2 探測成果顯示，於 3DRIP-2 測線範圍內新形成之圓形坍陷區域，並沒有向下延伸之趨勢，意即圓形坍陷區域底下應無地下坑道，但於成果圖上可發現於淺部地層存在部分相對地電阻高區，但其分布大致位於人行步道旁，研判應為人行步道施工所造成，另於測區左側前端位置，深度約地下 4 公尺至 9 公尺範圍，有一低電阻區，研判應為地下水聚集之處，此結果與 2DRIP-1 探測成果互相吻合。

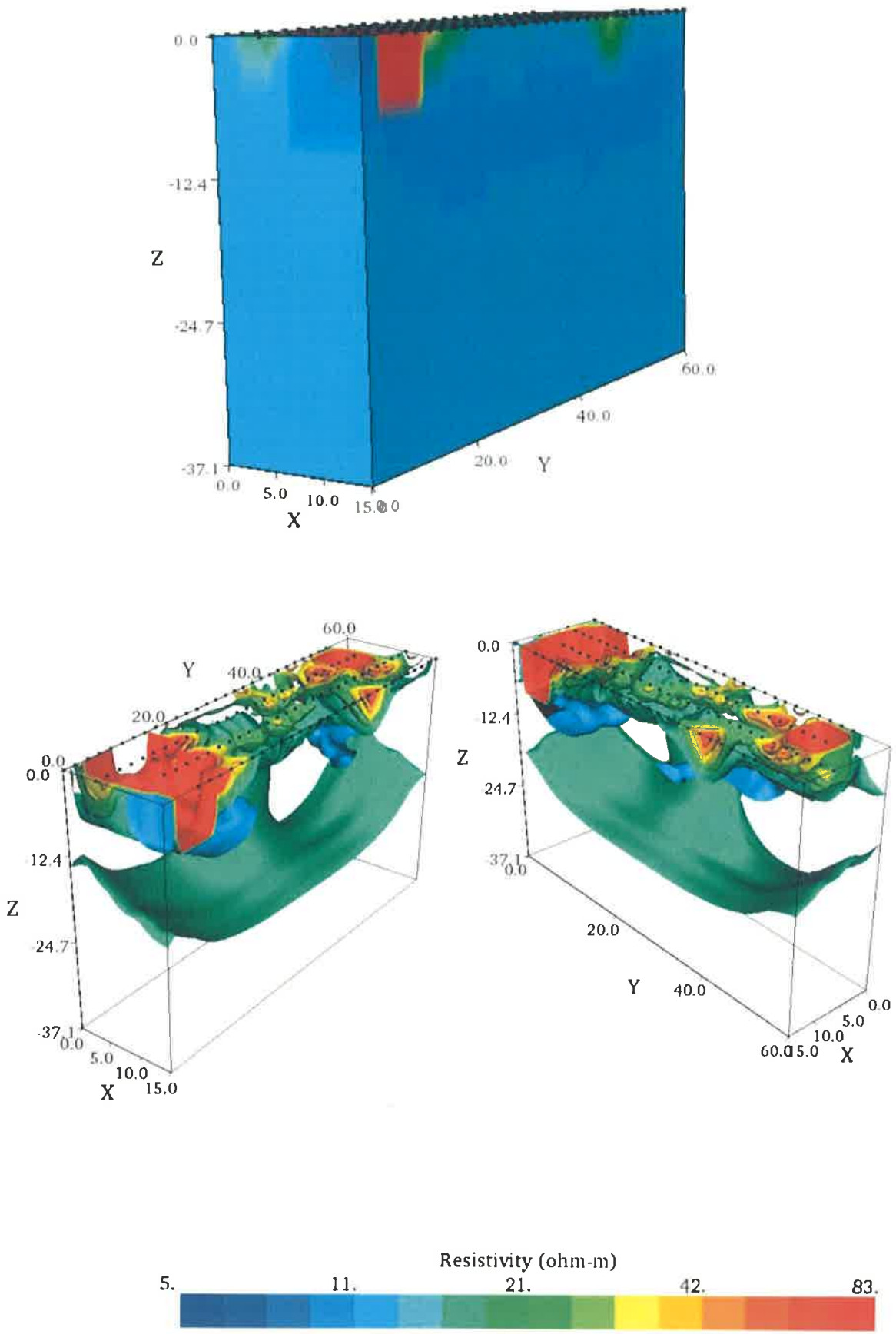


圖 4.5 3DRIP-1 地電阻影像剖面探測成果圖（三維立體圖）

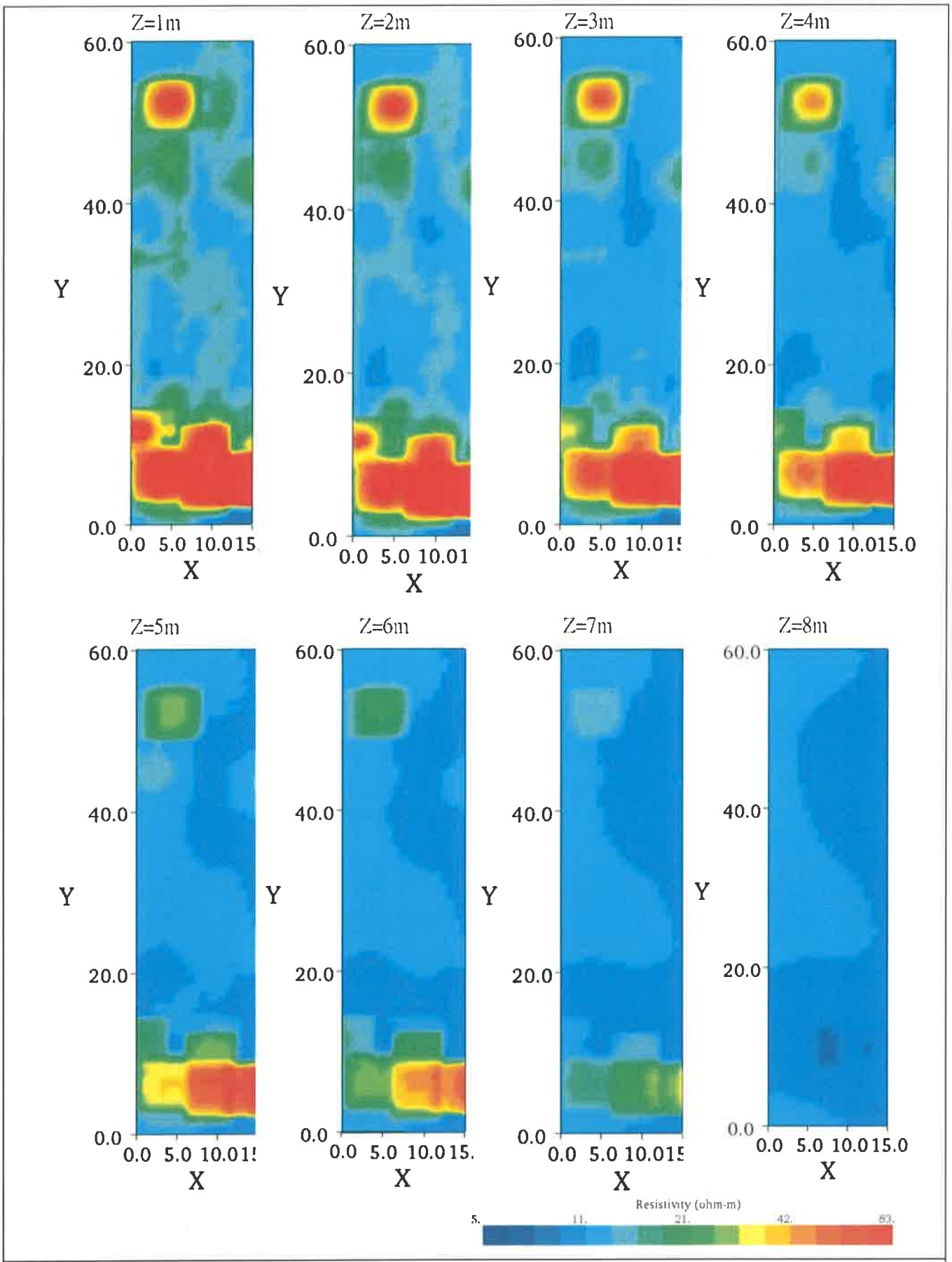


圖 4.6 3DRIP-1 地電阻影像剖面探測成果圖（橫切面）

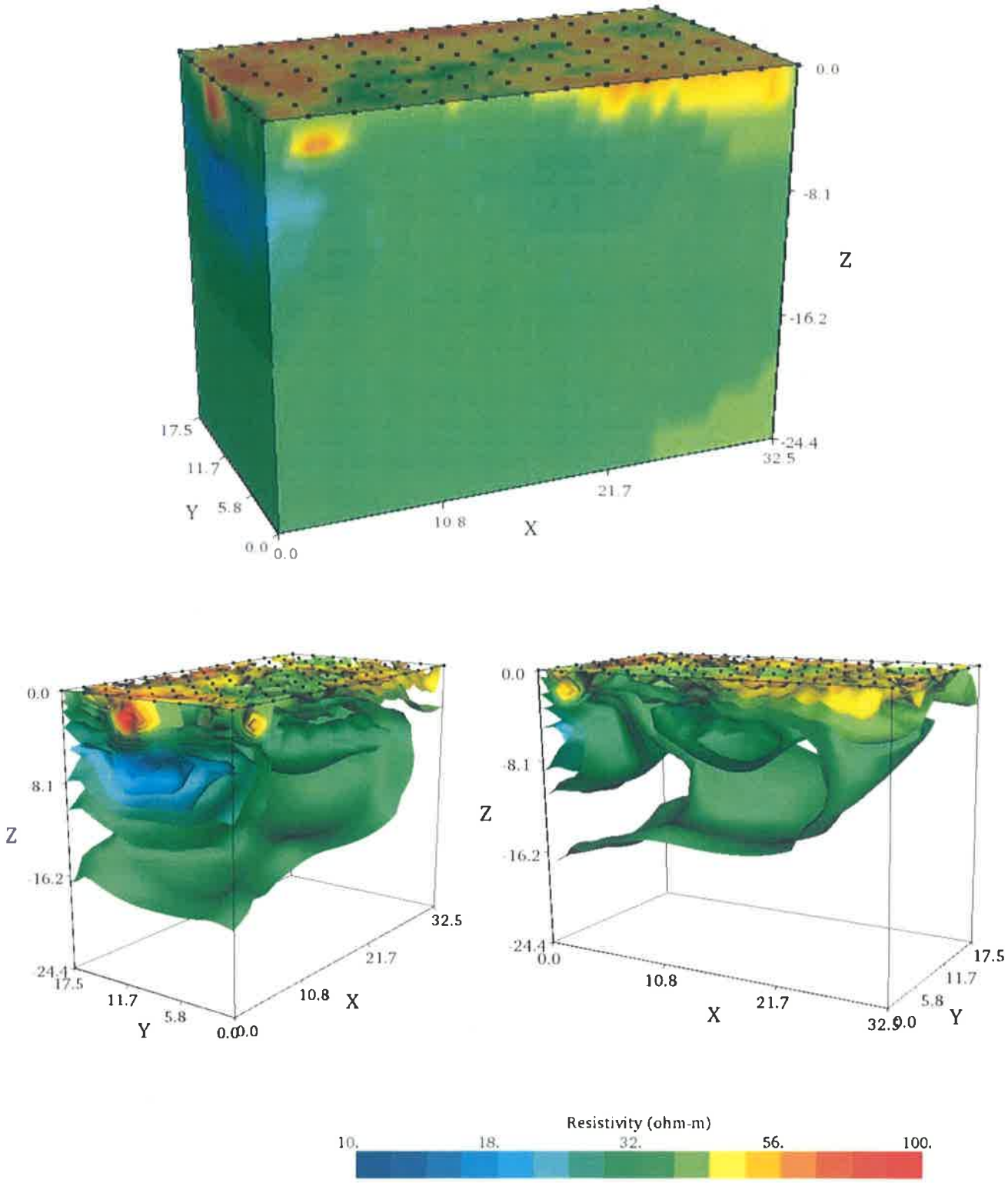


圖 4.7 3DRIP-2 地電阻影像剖面探測成果圖（三維立體圖）

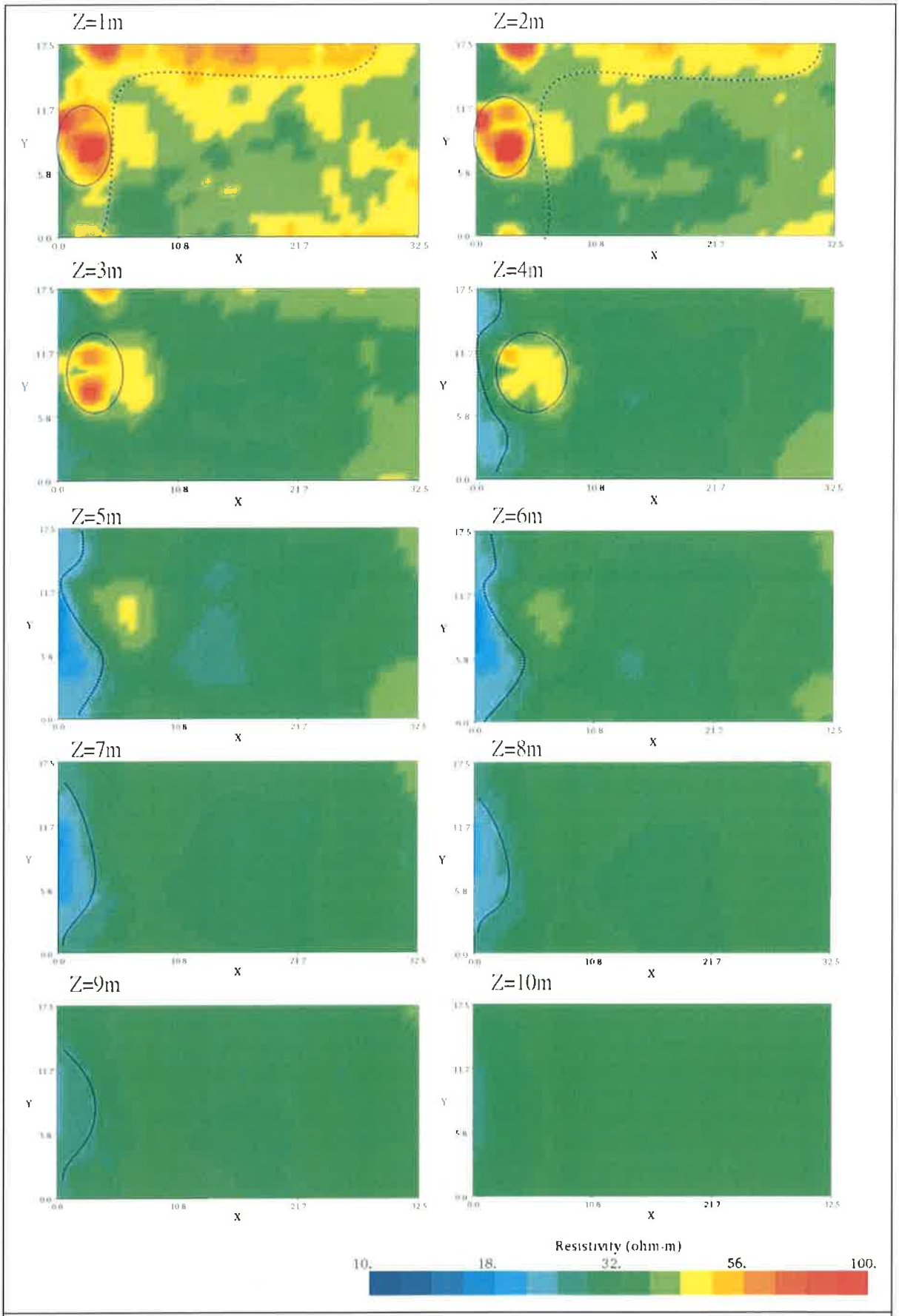


圖 4.8 3DRIP-2 地電阻影像剖面探測成果圖（橫切面）

第五章　磁力探測

5.1　探測原理

地球磁場本身除因時間及空間域磁變化外，另外因為地球內部組成物質、分布以及地球內部構造及運動方式，也對地球表面之磁場造成了影響，形成所謂磁力異常現象，地殼內由於磁性礦體分佈的不平均或後期因人類活動進行地下結構物修建、地下埋藏物等因素，當我們由磁力觀測紀錄中剔除時間變化因素後，常會發現於一個區域內有磁力高低區之分佈，磁力探測法為測定磁性物質如鐵質構造物於地球磁場，產生磁異常變化之分佈，求出地下之磁性構造物位置，主要應用於地下埋藏物、地下構造物、地下管線調查方面。磁力法雖可確定磁性物質之埋藏位置，然其埋藏深度不易計算準確又施測時應避開輸電線之磁場干擾。

5.2　探測儀器

本試驗所用之儀器為加拿大 GEM 公司生產之 GSM-19 磁力探測儀，如圖 5.1 所示。磁力探測儀全套設備共計包括磁力測讀儀、磁力感應器二個，訊號線、衛星定位系統等，其中磁力探測儀紀錄速度最高可到達 5Hz，且可同時紀錄二組磁力感應器之訊號，作為磁力梯度計使用。

5.3 現場執行

本次磁力探測工作，同時量測磁場強度與磁力梯度，現場探測除建築物內部會受到干擾及無法進行衛星定位無法進入施測，其餘位置於地形因素允許之狀態皆進行探測工作，探測時首先進行進行儀器狀況檢視、設定施測參數等相關步驟後開始量測，本次量測大致將整個園區分成 8 個小區塊分別量測，量測完成後整資料整合一併處理

與解釋，本次磁力探測共量測 15707 個測點，測區與測點位置分布圖如圖 5.2 與 5.3 所示

a.量測頻率：可到達 5Hz

b.記憶體容量：32Mega

c.量測功能：可量測磁力梯度及搭配超低頻量測(VLF)

d. 量測解析度：可達 0.01 nTesla

圖 5.1　GEM GSM-19 Magnetometers

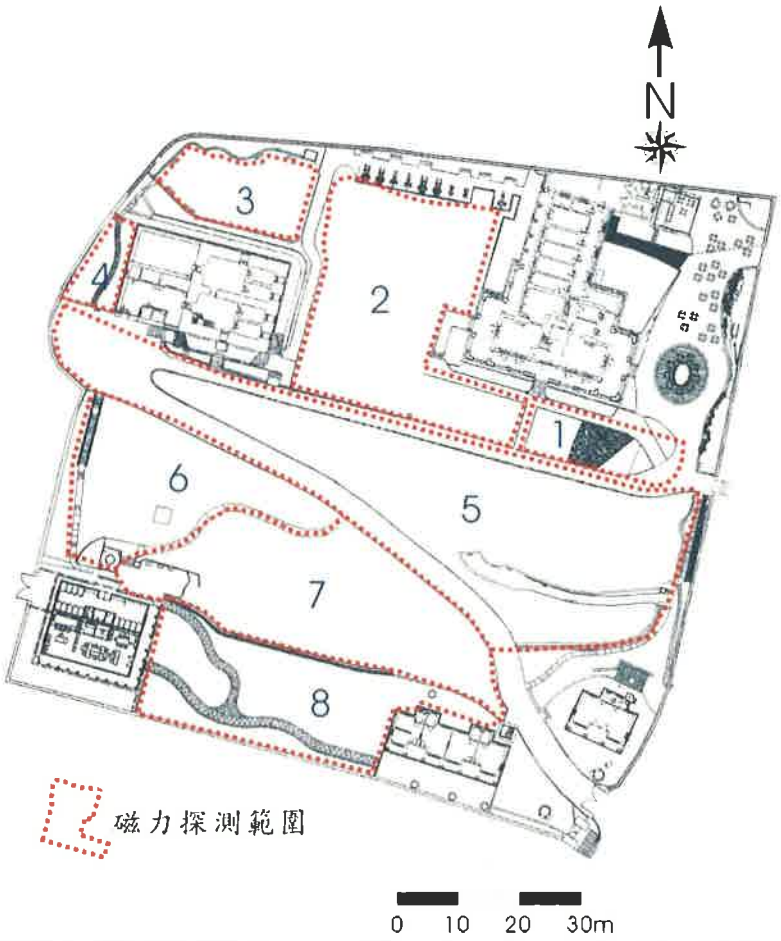


圖 5.2 磁力探測儀（廠牌：GEM GSM-19 Magnetometers）

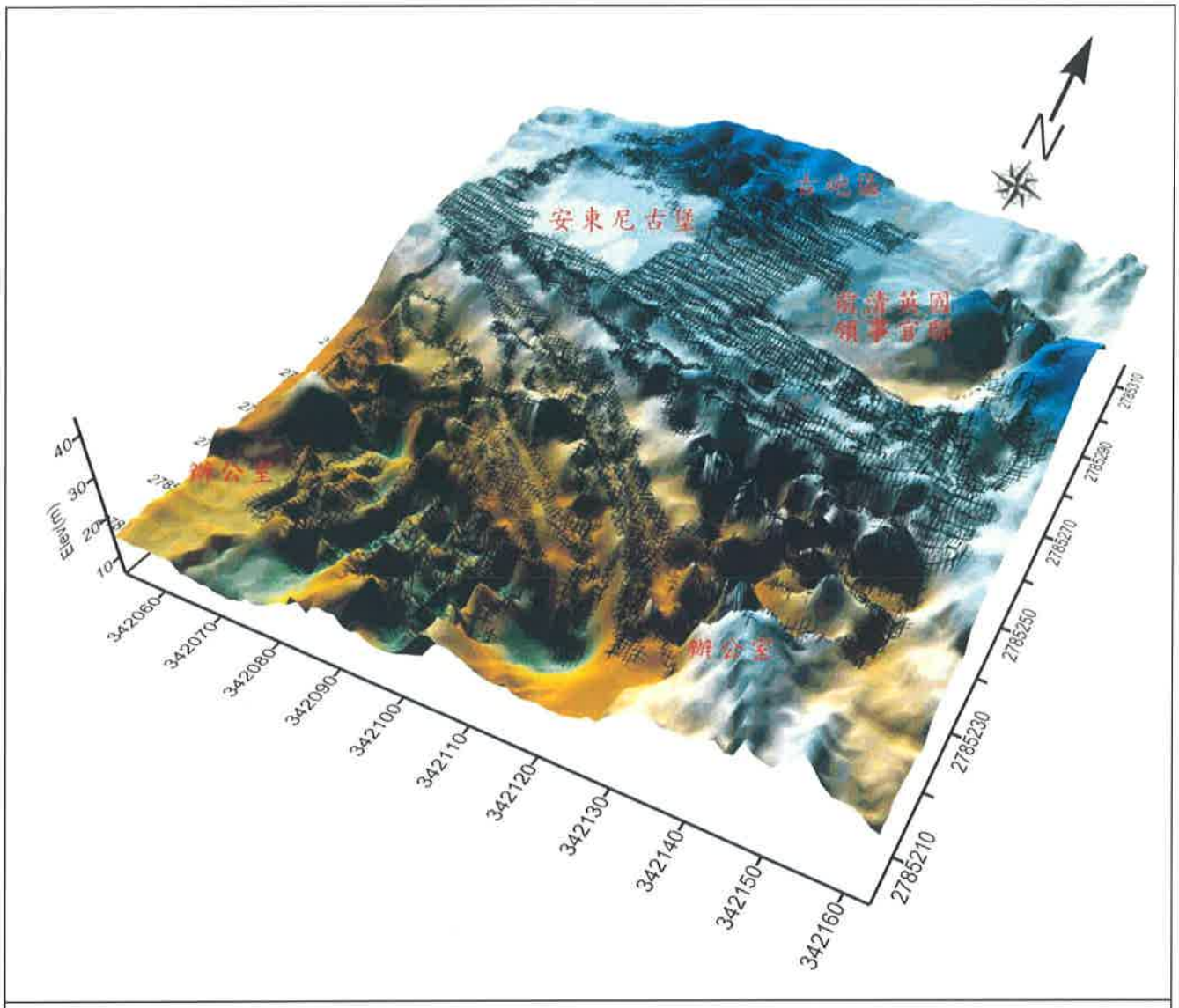


圖 5.3 磁力探測測點分布圖

5.4 探測成果

磁力探測成果分為磁場強度與磁場梯度兩種方式展示。茲將磁力探測結果敘述如下：

於園區內新產生之圓形坍陷區域，磁力探測成果均未顯示明顯之異常訊號，主要磁力異常區位於鋼管微形樁區域、古砲區及建築物周圍，如圖上標示之區域，上述異常區域鄰近均有明顯之標的物，但於安東尼古堡東側、北側與西側之空地，有六個大致呈半圓形排列之異常區，顯示於此區域地底下應存在有鐵磁性之物質，但此鐵磁性物質為何物，則須配合相關史跡做進一步之確認。

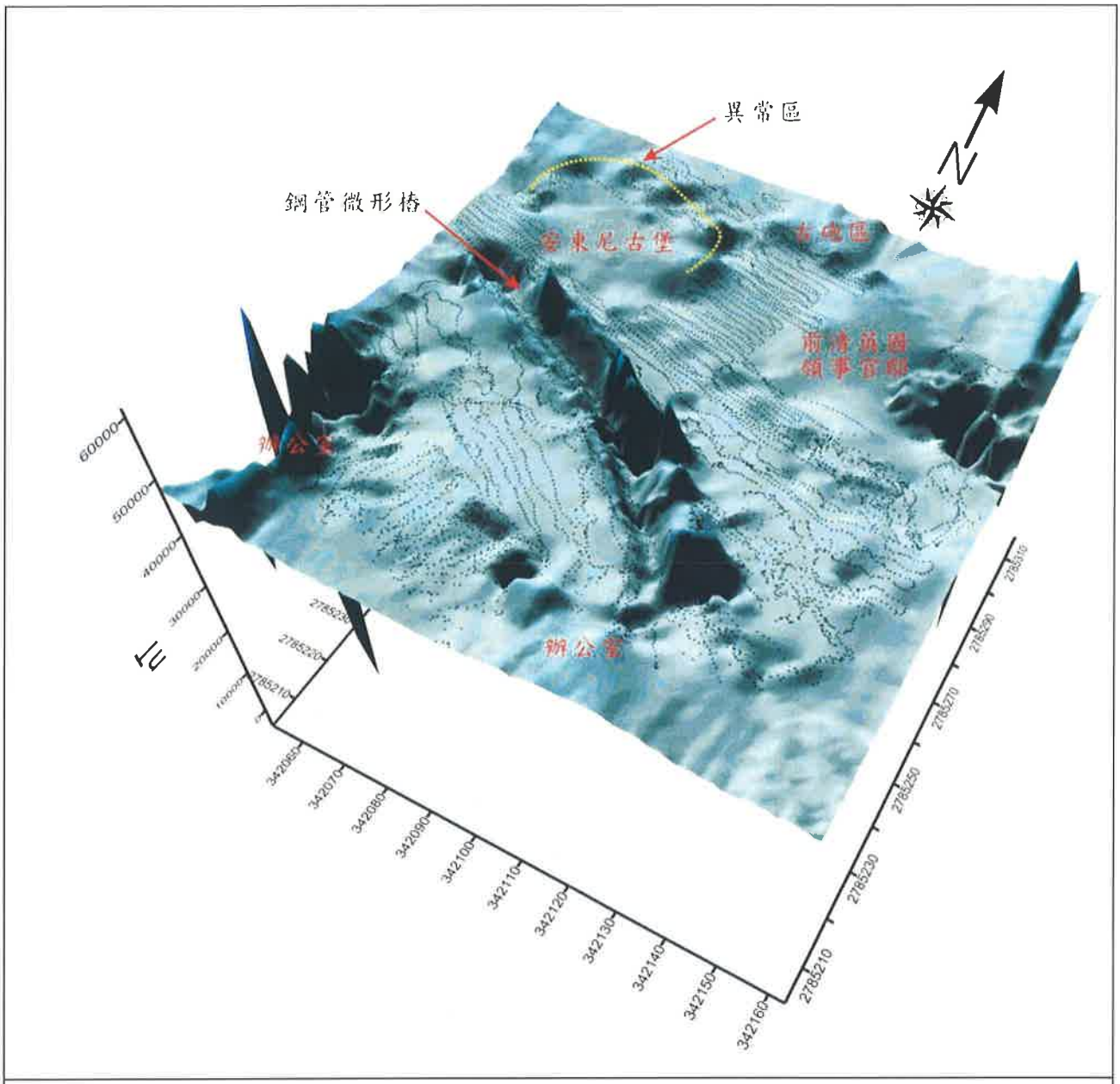


圖 5.4 磁力探測成果圖（磁場強度）

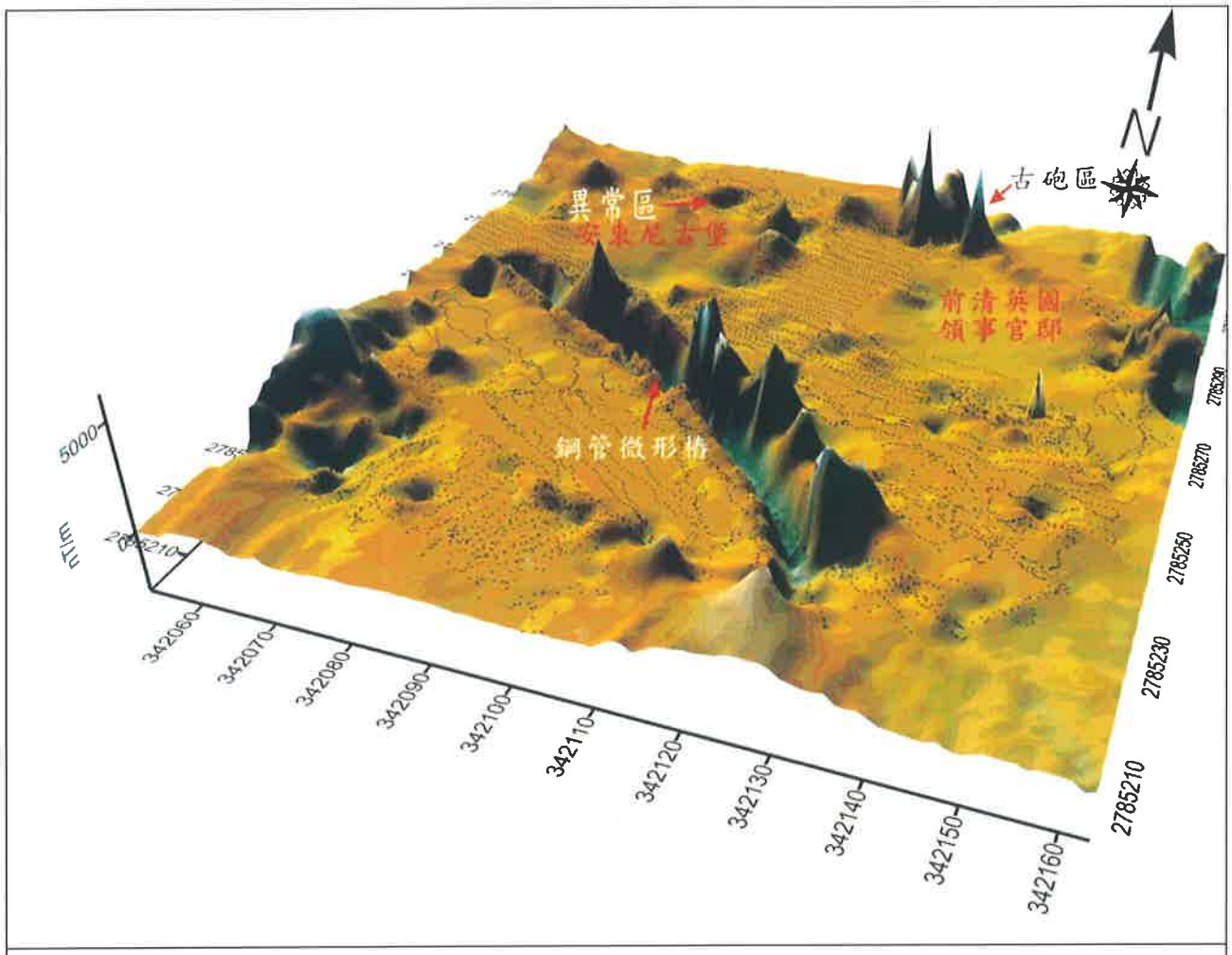


圖 5.5 磁力探測成果圖（磁場梯度）

第六章　結論與建議

6.1　探測成果綜合評估

本計畫案共計進行透地雷達探測、地電阻影像剖面探測及磁力探測等三種非破壞性地球物理探測方法，主要為了解淡水紅毛城邊坡下陷形成原因及地下地層結構物分布情形，以作為分析評估未來因應措施之參考，經綜合研判將本次探查成果之主要異常區域標示於圖 6.1。

茲將探測成果整理歸納如下：

- 透地雷達探測

依據透地雷達探測結果顯示，於坍陷區域附近之測線，未顯現出因地下坑洞所造成之異常訊號，主要之異常訊號，研判大都為地下埋藏之管線設施、灑水系統或建築物本身結構所造成，另於磁力探測與地電阻影像探測探測出之異常區域，利用探測深度較淺解析度較高之天線進行施測，發現於淺部地層部份存在部份異常區，且部份異常區與磁力探測與地電阻影像探測探測出之異常區域可相互對應。

- 地電阻影像剖面探測

依據地電阻影像剖面探測結果顯示，於坍陷區域之空洞未向下延伸，研判新形成之圓形坍陷區域應與地下坑道沒有關聯，但可於測區內發現地層電阻異常分布區，於 3DRIP-1 測區 Y 軸方向 3 至 12.5 公尺與 50 至 55 公尺之範圍，此二個區域之分布深度約可到達地下 6 公尺與 4 公尺，研判此相對地電阻高區，應與紅毛城修復及再利用工程施工或與早年紅毛城之歷史活動軌跡有關，但其真正原因則須配合相關史跡做進一步之確認。另於 3DRIP-2 測區及 2DRIP-1 測線發現之低電阻區，研判應與地下水之聚集有

關。

- 磁力探測

依據磁力探測結果顯示，於園區內新產生之圓形坍陷區域，磁力探測成果均未顯示明顯之異常訊號，主要磁力異常區位於鋼管微形樁區域、古砲區及建築物周圍，但於安東尼古堡東側、北側與西側之空地，有六個異常點大致呈半圓形排列之異常區，顯示於此區域地底下應存在有鐵磁性之物質，由於磁力探測僅能了解鐵磁性物質於空間上之分布，對於其埋藏深度無法得知，但由磁力強度變化研判，應不會太深，此鐵磁性物質為何物，則須配合相關史跡做進一步之確認。

6.2 建議事項

依據本計畫之探測成果，顯示於調查區域範圍地下並無明顯之地下空洞或坑道，但於安東尼古堡東側、北側與西側之空地及領事官邸前方邊坡，發現呈半圓形鐵磁性物質之分布及部份高電阻異常區，是否為尚未發掘的古蹟遺址，則須透過具有考古研究之專業人員，配合相關史實綜合研判，進行進一步之確認。於地下地層狀態部分，依地電阻影像剖面法探測成果顯示，園區區域底下之地層電阻率大致為中低電阻範圍，研判園區於表土層底下主要為火山碎屑岩塊所組，且於 2DRIP-1 測線位置 32～66 公尺區段在一高角度之低電阻帶及地下水包，研判應為一地層強度相對軟弱之區域，而砌石護坡與鋼管微形樁恰好坐落於此區域，建議砌石護坡之排水設施應保持良好，以免過大之地下水壓損壞護坡，另需密切注意園區之地表狀態，如邊坡或草地上裂縫之發展情形，避免於颱風季節或豪大雨期間，雨水透過裂縫進入地下，蓄積於地層中，造成護坡之側向壓力並造成損壞，並透過如地電阻影像剖面法，進行邊坡之地下水監測，以作為邊坡穩定性評估之參考依據。

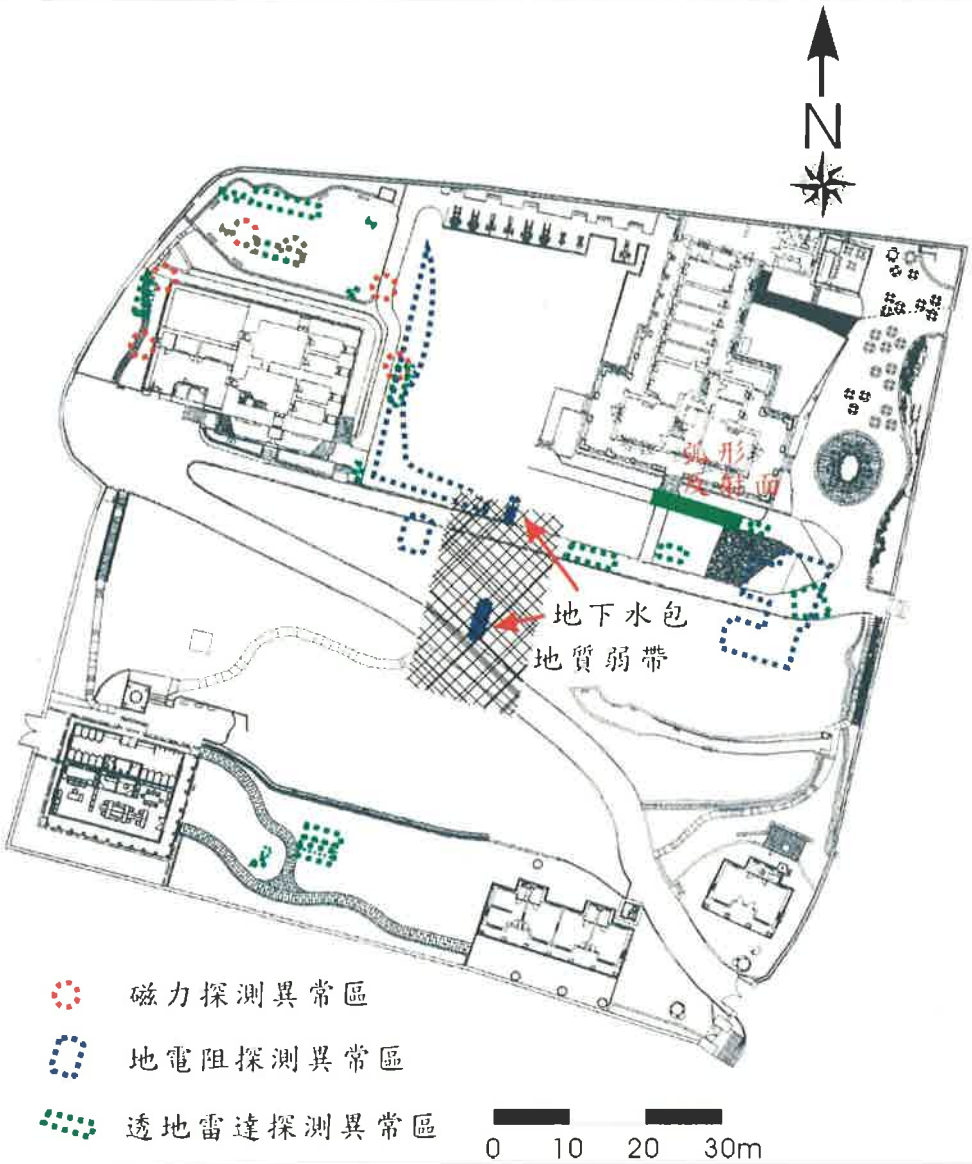


圖 6.1 紅毛城園區探測成果圖，圖上標示地質弱帶區域為一高角度構造。於安東尼古堡東側、北側與西側之空地，磁力探測異常點附近，透地雷達探測亦顯示為擾動區，研判底下應有鐵磁性物質存在。領事官邸南側園區道路及邊坡草地，透地雷達探測出之擾動區研判應與紅毛城修復暨再利用工程有關，領事官邸南側深約 30～40 公分之弧形反射面、紀念品販賣部與新建辦公室間之草地上，地下 30 公分處之反射面，是否為早期之活動面，需配合相關資料作進一步之確認，新建辦公室東側草地上之異常擾動及強反射區，是否為埋藏物或與紅毛城修復暨再利用工程設施有關，需作進一步之確認。地電阻影像剖面探測出相對地電阻高區，研判應與紅毛城修復及再利用工程施工或與早年紅毛城之歷史活動軌跡有關，但其真正原因則須配合相關史跡做進一步之確認。

附錄 A 審查意見回覆表

「淡水紅毛城園區透地雷達探測計畫」審查意見及回覆表

委員意見	意見回覆
一、薛琴　委員	
1.對於紅毛城四周的環境，包括地形、地質過去相關鑽探資料，宜作一初步之敘述。	遵照辦理。
2.過去的歷史在幾次研討會或相關歷史資料中都有討論，本報告應作一具體之了解。	遵照辦理。於期末報告補充。
3.透地雷達掃描之密度，應多集中在室外部份。（室內部份即使有異常亦無法處理）	針對室外異常區，進行補充探測。
4.探測成果圖在水平向的比例可否一致，俾便利相對位置的判讀。	遵照辦理。
5.建議對園區的整體地質狀況做一推斷。	遵照辦理。
二、方建能　委員	
1.計畫書中之圖示應有方向及比例尺，顏色標示應能清楚區別。	遵照辦理。
2.地質概況應重新撰寫，語句應清楚。	遵照辦理。
3.計畫報告書可申請 ISBN 等，正式列為可查詢之出版品。	遵照辦理。
4.異常訊號區域應由館方或文史專家參與解釋可事半功倍。	遵照辦理。
5.地下水累積問題可能造成未來邊坡穩定，館方應重視。	建議館方進行後續監測計畫。
6.異常訊號區域應加強描述形狀、大小、尺寸等資料。	遵照辦理。
7.P.3、P.39 及 P.49 之圖 4.2、5.1 圖說應有中文翻譯。	遵照辦理。

附錄 B 現場探測紀錄照片

圖 B-1 透地雷達現場施測-1

圖 B-2 透地雷達現場施測-2

圖 B-3 透地雷達現場施測-3

圖 B-4 透地雷達現場施測-4

圖 B-5 磁力探測現場施測-1

圖 B-6 磁力探測現場施測-2

圖 B-7 磁力探測現場施測-3

圖 B-8 磁力探測現場施測-4

圖 B-9 三維地電阻影像剖面探測現場施測-1

圖 B-10 三維地電阻影像剖面探現場施測-2

圖 B-11 三維地電阻影像剖面探測現場施測-3

圖 B-12 三維地電阻影像剖面探測現場施測-4

國家圖書館出版品預行編目資料

『淡水紅毛城園區透地雷達探測計畫』結案報告書 / 蔡道賜計畫主持.---- 臺北縣淡水鎮 : 北縣淡水古蹟博物館, 2007.09
60 面 ; 21x29.7 公分
ISBN 978-986-01-0944-3 (平裝)
1. 探勘學 2. 雷達 3. 磁力 4.地球物理 5. 臺北縣淡水鎮

353.9　　96018192

「淡水紅毛城園區透地雷達探測計畫」結案報告書

出版者：臺北縣立淡水古蹟博物館
發行者：張寶釧
地址：臺北縣淡水鎮中正路 28 巷 1 號
電話：(02) 26231001
傳真：(02) 26231116
網址：http://www.tsha.tpc.gov.tw

指導單位：行政院文化建設委員會中部辦公室
提案單位：臺北縣立淡水古蹟博物館
執行單位：三合技術工程有限公司
計畫主持人：蔡道賜
協同主持人：黃富郎

出版日期：2007 年 9 月
GPN：1009602496
ISBN：978-986-01-0944-3

版權所有　未經授權請勿任用
Tamsui Historic Sites, Taipei County © Copyright 2007