

台灣中油公司九十六年安全衛生觀摩研討會

透地雷達應用於加油站 地下地層掏空傾斜之研究

李焜發¹ 簡俊揚² 劉世強³

1.台灣中油探採研究所

2.台灣中油油銷部台北營業處

摘 要

屈尺加油站位於台北縣烏來新店溪水源取水保護區旁(圖一)，為公司油銷部台北營業處所管轄之直營站。由於該站站長對於該站建物及設備有維護安全之責，在長期對該站屋建築觀察存疑有傾斜現象，是否為地下地層掏空所致，恐會因此危及工作人員及公司財產設備，進而向處陳報要求進行相關檢測。在營業處工務組翁組長、安環組簡組長與組員劉世強前往會勘後，為了解站屋地下地層是否確有掏空現象與更正確掌握地層結構，以預防站屋不會因掏空而傾斜、下陷致使建築物遭受倒塌。在向上級請示後隨即發函，委請探研所進行透地雷達檢測，以避免造成公司企業不良形象及站屋損壞之虞。

經透地雷達施測與解釋後得知：

- (1)加油站站屋有向辦公室門左側樓梯之角落，往後傾斜約3~5度左右。
- (2)雖有凹陷掏空處，但均是排水箱涵。而站屋右側座落其上，由透地雷達剖面看起來，站屋座落於緻密岩盤約3/4，故不至影響站屋之傾斜。

此次透地雷達之檢測，經後續與鑽探結果驗證相當吻合，唯日後仍須繼續追蹤以確保加油站站屋之安全。對於透地雷達檢測證實可做為公司日後在一些非破壞性檢測(如：過河段管線、污染範圍檢測...等等)上之可信之檢測工具，其在探研所已有技術創新之實際案例可參考。

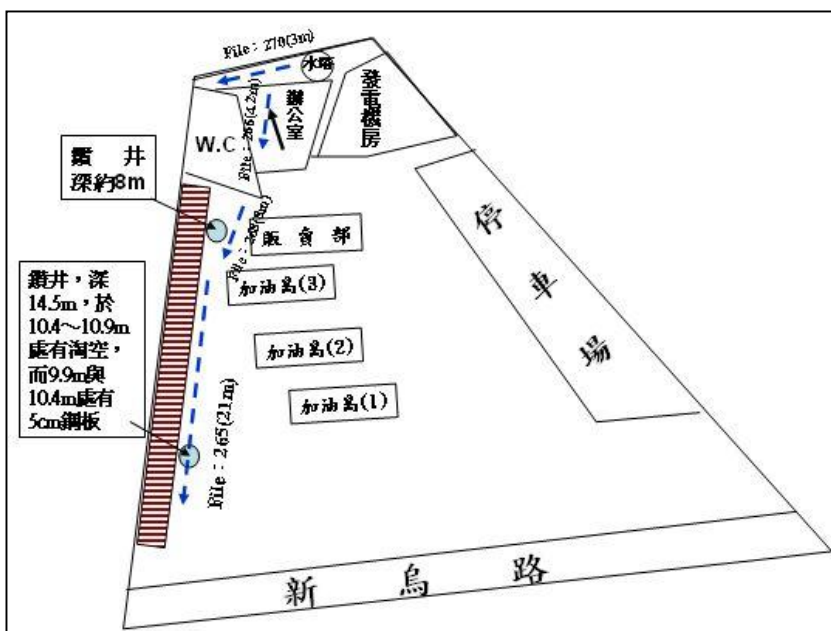
【關鍵詞】透地雷達、掏空、傾斜、下陷

一、前言

油品行銷事業部台北營業處，為其管轄之台北縣烏來鄉屈尺加油站，疑地下地層有掏空下陷，形成加油站建築物傾斜(圖一)，外包『鹿島工程技術顧問股份有限公司』進行地質鑽探。為更加了解是否危急加油站站屋建築，委託探採研究所地球物理組進行透地雷達管線檢測，檢測該加油站站屋建築地層掏空、走向與深度。



圖一：加油站站屋建築傾斜照片



圖二：透地雷達施測示意圖

(一)透地雷達簡介

透地雷達(Ground Penetrating Radar)簡稱 GPR，主要的概念是藉著發射雷達波訊號(頻率範圍自 10~3000MHz，歷時為 10^{-9} sec(ns))射入地下或建築結構體內，雷達波入射經地下具不同電性物質的界面、埋藏體、管線、空洞及結構體內鋼筋等物體，產生反射現象分析反射波來回所需要的時間、波形、振幅等特徵，來判別反射體(例如：管線、地層、空洞等)與位置等資訊。

(1)透地雷達法在偵測上深有下列特性：

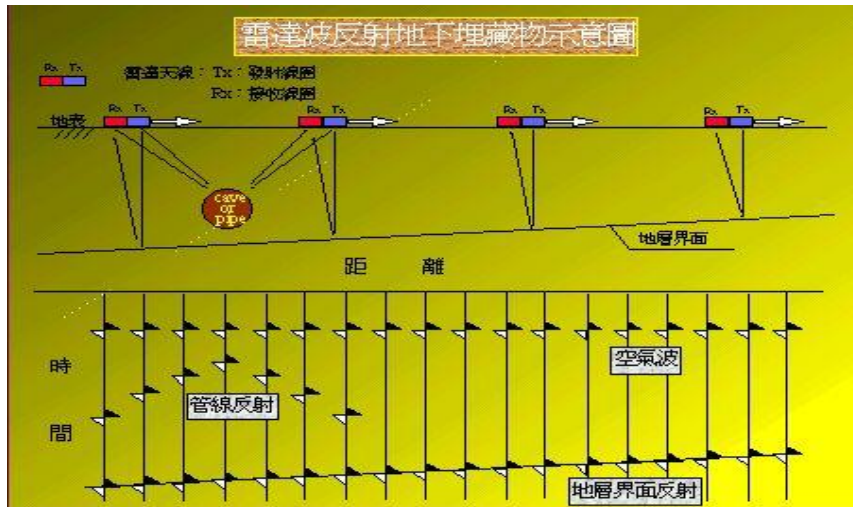
- A.具非破壞性
- B.資料收集迅速
- C.解析度高
- D.連續性剖面
- E.即時輸出
- F.即時資料處理
- G.位置及深度精確
- H.可測金屬管及非金屬管
- I.儀器輕便操作方便。

此次所使用的透地雷達為 Geophysical Survey Systems, Inc. (GSSI) 公司所生產之 SIR-3000 主機與 High Power 100MHz 天線(照片一)。



照片一：SIR-3000 主機及 100MHz 天線

(二)GPR 探測地下管線的原理



圖三：透地雷達原理施測示意圖

(三)GPR 透地雷達的概念

上圖三 Tx 代表發射天線 Rx 為接收天線

- (1).GPR 沿地表移動時發射波貫穿地層到下方介面(interface)，產生反射波回到地面被接收天線接收，產生如下圖影像與介面的形狀。
- (2).當發射波碰到空洞(或管線)時，若空洞(或管線)不大以及表面為圓弧狀影像。
- (3).當天線經過地層中夾雜的一片透鏡狀黏土層時，會在黏土層的邊緣產生弧狀的繞射波，而在平坦表面則產生與黏土相同的水平影像。

表一：GSSI 天線測深

Center Frequency (MHz)	Sample Applications	Depth (m)	Typical Range (ns)
80	Geologic	5 - 30	400 - 700
MLF 16 - 80	Geologic	5 - 30+	300 - 800
100	Geologic, Environmental	4 - 25	300 - 500
200	"	1 - 10	70 - 300
300	Shallow Geology, Engineering, Environmental	1 - 9	70 - 300
400	"	.5 - 4	20 - 100
500	Shallow Geology, Engineering, Environmental, Archaeology	.5 - 3.5	20 - 80
900	Concrete, Soils, Archaeology, Bridges	0 - 1	10 - 20
1000, 1500, 2000	Concrete, Pavements, Bridge Decks	0 - .5	10 - 15

Geophysical Survey Systems, Inc.
SIR System Training Notes, 4/03

表二：一般常見物質的介電常數值

介質	介電常數(F/m)	導電度(S/m)	波速(m/ns)	衰減係數(dB/m)
空氣	1	0	0.3	0
純水	81	0.5	0.033	0.1
海水	81	30000	0.01	1000
冰雪	1.4	0.001-0.01	0.25	-
冰凍土	4-8	0.01-10	0.12	-
花崗岩	4-6	0.01-1	0.13	0.01
玄武岩	8	10	0.11	-
乾石灰岩	4-8	0.5-2	0.12	0.04
濕石灰岩	8	25	0.11	-
頁岩	5-15	1-100	0.09	1-100
砂岩	6	40	0.12	-
乾鹽	5-6	0.01-1	0.13	0.01
乾砂	3-5	0.01	0.15	0.01
濕砂	20-30	0.1-1	0.06	0.03
黏土	5-40	2-1000	0.06	1-300
沈泥粉土	5-30	1-100	0.07	1-100
砂質乾土	2.6	0.14	0.19	-
砂質濕土	25	6.9	0.06	-
壤土乾土	2.5	0.11	0.19	-
壤土濕土	19	21	0.07	-
黏土乾土	2.4	0.27	0.19	-
黏土濕土	15	50	0.08	-
混凝土	6-11	-	0.10	-
瀝青	3-6	-	0.12	-

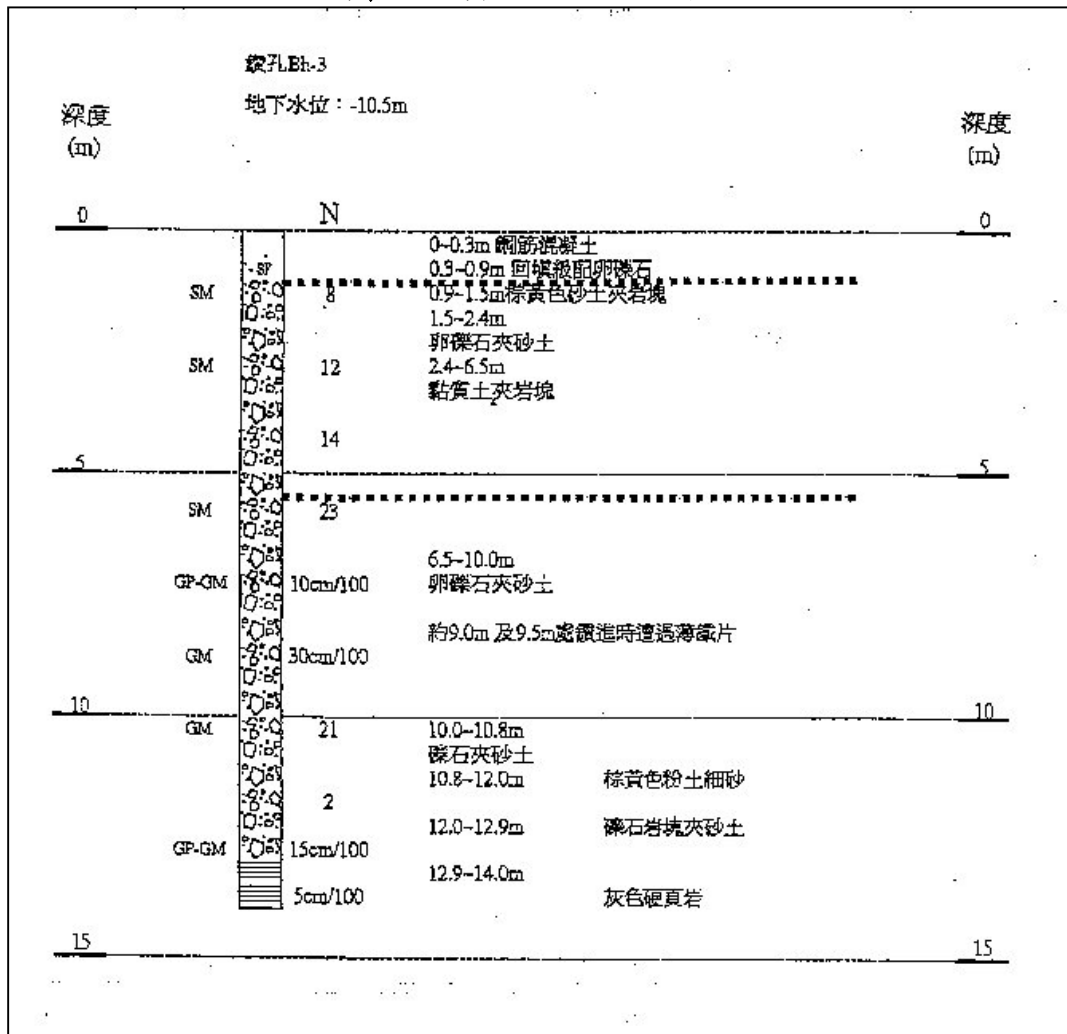
二、目地

油品行銷事業部台北營業處，因所管轄台北縣烏來鄉屈尺加油站站屋(圖四)，因加油站建築物外觀有傾斜現象，疑地下地層有掏空下陷所造成，而委託『鹿島工程技術顧問股份有限公司』進行地質鑽探(圖五&圖六)，以檢驗站屋地下地層是否有掏空現象，經該公司檢驗出確實有掏空(約在九米以下)。為更正確掌握掏空範圍，緊急委託探採研究所地球物理組，進行透地雷達管線檢測。以避免屈尺加油站之

地下地層，因掏空下陷和建築物逐漸傾斜而倒塌，造成重大損失之虞。



圖四：屈尺加油站站屋



圖五：地質剖面示意圖-1(鹿島工程公司提供)

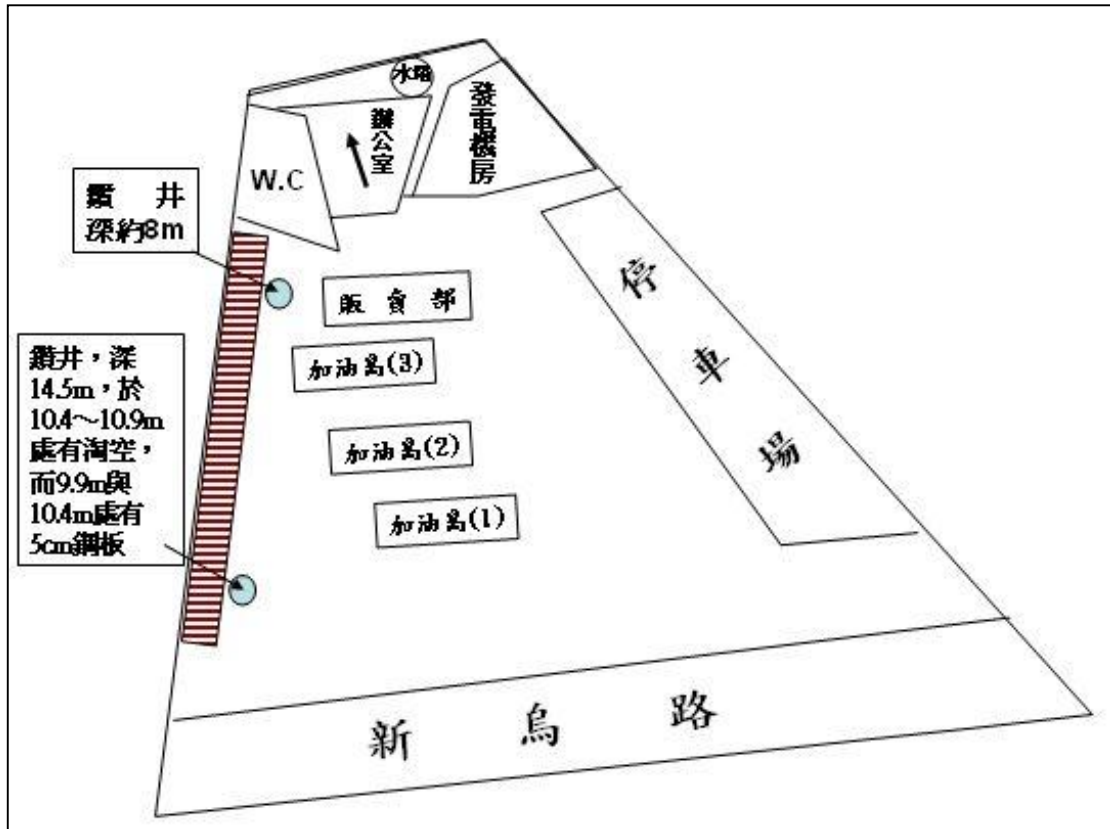
嘉進地質大地技師事務所		地質調查區劃及鑽探綜合設計工作 地質勘探報告										孔號：BH-3				
高程：-		地下水位：10.5m		鑽探日期：95.12.12-95.12.19										頁 1 共		
深 度	樣 品 號	N值	地質描述	平均 單位 重 %	RQD	柱 狀 圖	分類	顆粒分析 %				含水量 % 總量	總位 重 % m ³	液限 % 性質	塑指 % 性質	比 重 G _s
								砂	粉	粘	粒					
1	S1	6	0-0.3m 細砂泥炭土 0.3-0.9m 中-粗砂泥炭土	-	-	SM	37	39	18	6	18.16	2.119	-	NP	2.66	
2			0.9-1.5m 棕黃色砂土夾岩塊	-	-	SM	25	47	23	5	19.72	2.087	-	NP	2.66	
3	S2	12	1.5-2.4m 卵礫石夾砂土 2.4-5.5m 粘質土夾礫塊	-	-	SM	25	47	23	5	19.72	2.087	-	NP	2.66	
4	S2-1	14		-	-											
5				-	-											
6	S3	23		-	-	SM	25	40	25	8	19.64	2.087	-	NP	2.67	
7	S4	10cm/100	6.5-10.0m 卵礫石夾砂土	-	-	GP-GM	64	25	9	2	7.751	2.25	-	NP	2.66	
8				-	-											
9	S5	33cm/100		-	-	GM	44	36	17	3	8.892	2.26	-	NP	2.66	
10	S6	21	純9.0m 及9.5m處 探地時發現薄砂片 10.0-10.8m	-	-	GM	48	36	16	0	20.22	1.975	-	NP	2.66	
11			礫石夾砂土 10.8-12.0m	-	-	GM	48	36	16	0	20.22	1.975	-	NP	2.66	
12	S7	2	棕黃色粉土細砂 12.0-12.9m	-	-											
13	S8	15cm/100	礫石夾砂土及砂土 12.5-14.0m	-	-	GP-GM	76	19	5	0	5.114	2.3	-	NP	2.65	
14	S5	5cm/100	灰土夾頁岩 14.0m	98	90											
15			鑽探終止													
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																

圖六：地質剖面示意圖-2(鹿島工程公司提供)

三、內容

以透地雷達檢測該加油站站屋建築之：

- (1)地層掏空範圍
- (2)掏空走向與深度(圖七)。



圖七：鑽孔判斷資料圖(鹿島工程公司提供)

四、方法

現場施測考量工安問題，商請台北營業處劉世強先生與該站站長全程配合此次施測。以透地雷達 SIR-2000 主機為主，所使用天線頻率為 High Power 100MHz，探測深度設定為 1~25 公尺範圍施測。

(1)施測測線統計如下：

表三：透地雷達施測測線統計表

編號	檔案	測線長度(m)	探測深度(m)	備註
1	265	21	25	
2	268	8	25	
3	266	4.2	25	
4	270	3	25	

(2)透地雷達現場施測測線圖：



圖八：透地雷達室外現場施測示意圖



圖九：透地雷達販賣室與廁所現場施測示意圖

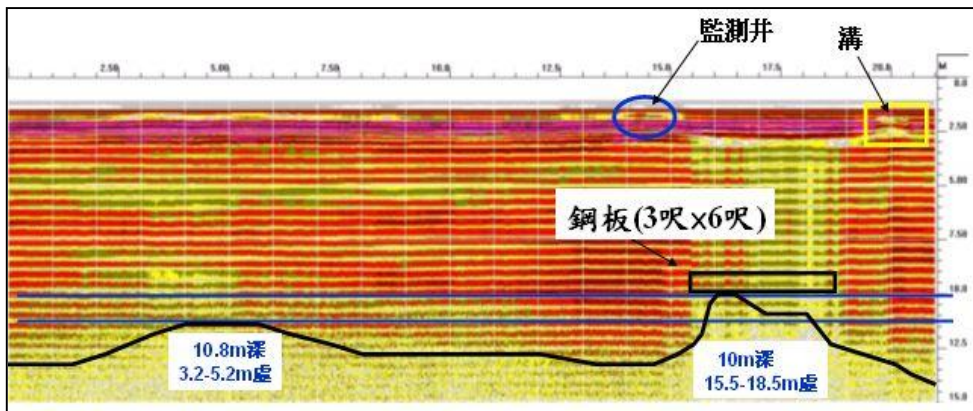


圖十：透地雷達辦公室現場施測示意圖

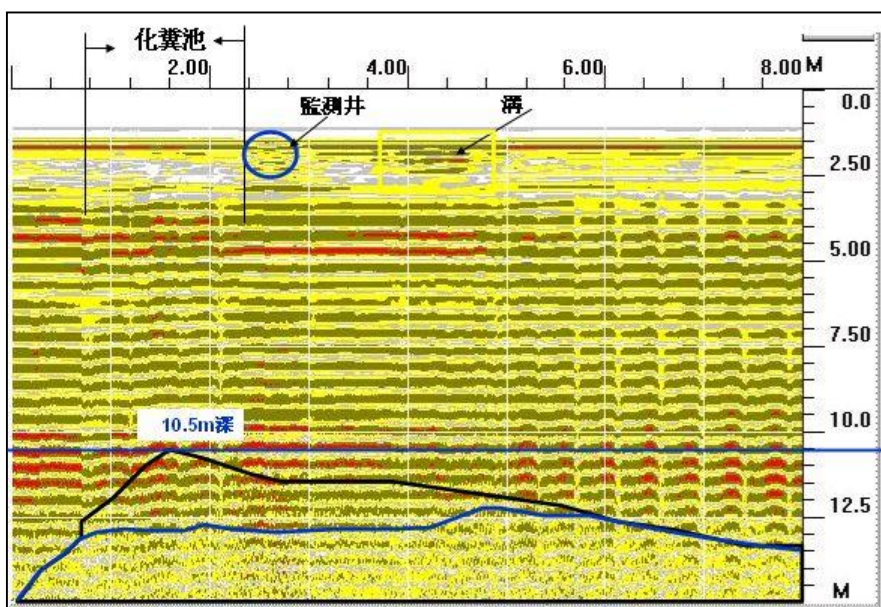


圖十一：透地雷達辦公室後面現場施測示意圖

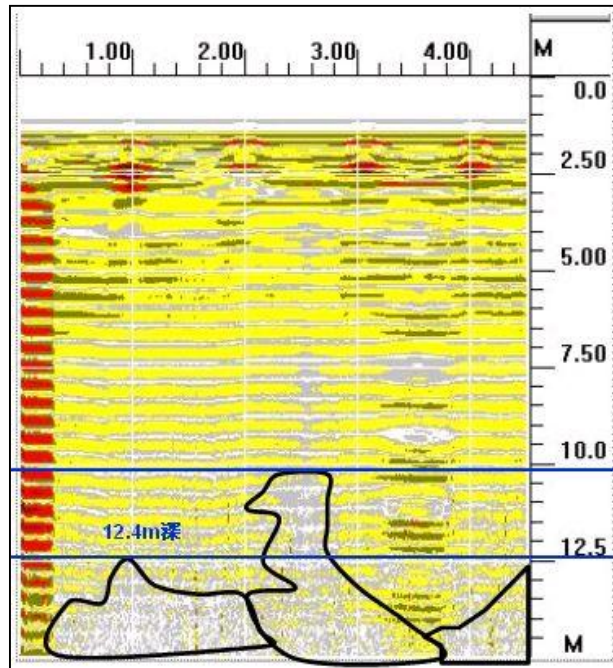
(3)透地雷達現場施測資料處理結果圖：



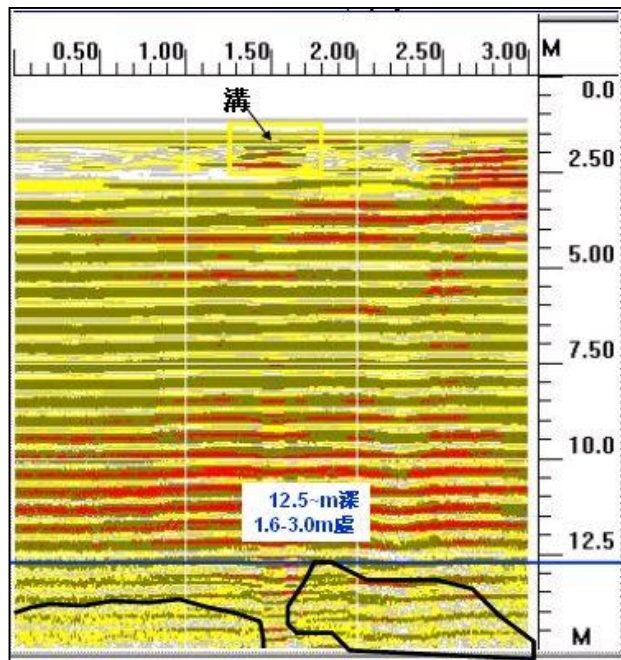
圖十二：檔案 265 透地雷達測線剖面圖



圖十三：檔案 268 透地雷達測線剖面圖



圖十四：檔案 266 透地雷達測線剖面圖



圖十五：檔案 270 透地雷達測線剖面圖

五、分析、解釋

(1).地質鑽探

由鹿島工程技術顧問股份有限公司，地質鑽探報告書(圖八)結論與建議，提及：

A.在回填卵礫石岩塊砂層(圖五)：

深度自 0.9m 至地表 12.9m 處，為級配不良之礫石岩塊砂土，

其 SPT-N 值非常不均勻，且在 BH-3 孔之 11.5~12.0m 深之 N 值非常低(N=1.5)，但在 7.0~9.0m 之 N 值卻達 100 以上。

B.在灰色頁岩層(圖六)：

出露地表 12.9m~14.0m 處 N 值大於 100。

C.BH3 鑽孔約於 9.0m 及 9.5m 遇薄鐵片，且 11.5m~12.0m 深度 N 值低至 1.5。

(2).透地雷達

本次透地雷達所進行該加油站站屋建築地層掏空、走向與深度之屈尺加油站線檢測工程在資料處理上，以濾波(Filter)、增益(Gain)、移位(Migration)、解迴旋(deconvolution)處理。結果剖面資料所呈現均可清楚表現掏空所在位置。茲分析解釋如下：

a.經由透地雷達檢測之剖面資料所示與標示，分析解釋如下：

File265 檔案(圖十三)：

(A)測距：總長 21m

(B)位置：位在約 3.2~5.2m 與 15.5~18.5m 兩處

(C)深度：深度約 10m 與 10.8m

由剖面可看出有兩個掏空點，深度從約 10m 至 10.8m 向下延伸到販賣處地面呈現平坦，該處有化糞池(約 2.5m 長寬)，但在洗手檯前約 1m 處有向下墜情形。此測區地面由測線方向有內傾斜(約 5~10 度)。在 15.5~18.5m 處有一 3 呎×6 呎厚約 5 分之鋼板阻隔。

File268 檔案(圖十四)：

(A)測距：總長 8m

(B)位置：位在約 3m

(C)深度：深度約 10.5m

此為 File265 檔案之延伸，其深度由 File265 至此 268 檔案可看出其深度延伸變化，從約 10.8m 至 10.5m，此可能是地面地形變化所致，尤其接近辦公室地方幾乎水平走向再下墜。

File266 檔案(圖十五)：

(A)測距：總長 4m

(B)位置：位在約 1m

(C)深度：深度約 12.4m

此為 File268 檔案之延伸，其深度由 File268 至此 266 檔案可看出其深度延伸變化，從約 10.5m 至 12.4m，此可能是地下地層掏空最嚴重變化所致，尤其辦公室後面地方幾乎向下墜。

File270 檔案(圖十六)：

(A)測距：總長 4.2m

(B)位置：位在約 3m

(C)深度：深度約 12.4m

此為 File266 檔案之延伸，其深度由 File266 至此 270 檔案可看出其深度延伸變化，從約 12.4m 至 12.5m，此可能是地下地層受河道水沖刷切蝕造成掏空、下陷和後傾斜(約 3~5 度)最後變化呈現穩定現象。

六、結論與建議：

(1).結論：

從上述所得圖示與數據顯示，得到下列之結論：

A.與鹿島工程技術顧問股份有限公司所鑽探報告大致吻合。

B.透地雷達在探測地下地層下陷、掏空，實有其可採信之精確度，可做為日後工程上之檢測驗證之工具。

(2).建議：

本次屈尺加油站站屋檢測工程，雖經鹿島工程技術顧問股份有限公司鑽探與本所之透地雷達檢測結果，站屋目前安全上尚且無慮，但依建築安全規定仍需加以注意。

建議每半年再檢測評估後呈報公司，確保站屋安全和避免站屋倒塌影響公司業務。

目前本所在非破壞性檢測之透地雷達應用工程成果上有：

(1)管線調查

(a)一般街道管線：瓦斯、電力、電信、自來水、油.....等等。

(b)過河段管線：埋設在溪流之河床下管線。

(2)污染調查

(a)污染調查：範圍、深度。

(b)污染源調查：掩藏排放污染源之源頭。

(c)廢棄物調查。

(3)鋪面厚度品質、混凝土構造與道路地基下陷掏空調查。

(4)壩體、防洪道裂縫調查。

(5)地下水位的深度、走向變化調查。

(6)地下地層風化層之厚度調查。

(7)河床、湖底地形描繪調查。

(8)隧道工程之調查。

(9)鋼筋檢測之調查。

(10)地下埋設物(遺址、古蹟、古物)的調查。