



3D成像技術在跨孔式超音波完整性檢測之應用

三聯科技股份有限公司／林廷芳、高穆賓、黃智暉



摘要

基樁基礎型式大量廣泛運用於高層建築、大型結構物、邊坡穩定、橋樑架設及各項重要工程建設；用以抗壓、抗浮承載垂直荷重力並提供水平承力抵抗側向荷重力。

基樁因深埋於土層中甚至位於水面下，若樁體品質控制不佳常易造成莫大危險災害發生。基樁特有之不可重複性；暨受損後無法拔除並於原位置重置新樁，更突顯基樁施作品質管控之重要性。

國內對於鑽掘式基樁較常以跨孔式超音波檢測法（Crosshole Sonic Logging）來檢測其混凝土基樁之完整性。早期檢測常以波速曲線圖來顯示其檢測結果，近期由於科技高度發展推升演變至今改以音波瀑布圖判讀為主流。工程人員均已習慣以此作為基樁檢測品質和均質性之判讀依據。但總覺得現有2D檢測圖形，於判讀時尚需自行組合各個斷面圖形資料來想像基樁立體成形的畫面，若遇有較多檢測斷面時；常會產生不易綜合考量研判之掣肘。為彌補此一傳統的遺珠之憾；特採用TomoSonic 3D技術軟體結合現場檢測實作，應用了境況模擬技術彩色編碼的影像圖，將基樁作整體分析、非均質部份作各別斷面分析或將同基樁模型同時做各個不同角度顯示，以加強顯示非均質部份混

凝土與均質部份混凝土之間的關係及分佈範圍，來幫助工程人員能更簡易的評定樁身品質和精確定位缺陷位置。

一、前言

近年來公共工程不斷推陳出新；逢山鑿洞遇水架橋，民間大型、高層建築物新建工程亦顯見熱絡。台灣地幅狹小；為能有效節省用地面積並能承受更大設計負載承力，大口徑基樁及長基樁應運而生屢見不鮮；每每考驗著工程人的技術能力。

基樁基礎型式大量運用並深埋於各大重要工程建設地面下；舉凡高速鐵路、捷運系統、交通橋樑甚或住宅大樓經年使用而不受注目，但當有工程災害發生時；各媒體不斷重複報導的當下才驚覺原來基樁離我們這麼近，就杵在我們的生活當中。

基樁的品質優劣關係著普羅大眾長遠的生命與財產安全，而其特有之不可重複性；暨受損後無法拔除並於原位置重置新樁，更突顯基樁施作品質管控之重要性，又因其品質優劣無法直接目視檢驗；使得基樁混凝土非破壞檢測儼然成為基樁品質控制的重要環節，常於各施工圖說、規範明訂之。檢測方法及檢測儀器歷經數十載演進，隨著科技澎湃發展；世代斧

鑿如何使檢測方法更精確簡易、檢測儀器更輕便、更高的解析度及檢測結果判讀更迅速，亦有較明顯成效。

國內對於鑽掘式基樁較常以跨孔式超音波檢測法(Crosshole Sonic Logging)來檢測其基樁混凝土之完整性，並使用現有傳統2D檢測圖形來輔助判讀檢測結果，而此法對於樁身品質瑕疵位置定位及整體範圍判定總覺繁複且有不足之處，如何尋求更好的解決方案值得探討之。

二、儀器及檢測原理

2.1 儀器原理

超音波探頭(Probes)可發射超音波及接收超音波，外殼為塑膠或金屬材質；其核心採用陶瓷壓電材料製成之壓電晶片薄膜，若施加週期性電壓激勵可使材料產生變形振動；若將其連接發聲器則可產生週期性音波頻率。

2.2 檢測原理

在固定距離，無瑕疵之均質混凝土，其超音波傳遞速度約為一固定值K(m/sec)，若混凝土中含土壤、灰泥、蜂窩或其它品質瑕疵出現時，則其超音波之傳遞速度將降低甚或消散。

三、CSL跨孔式超音波檢測方法

檢測儀器使用脈波產生器(Impulse Generator)來激勵音波發射器(Transmitter)產生振動音波藉由測管孔中的液體介質(水)；並穿透固體的測管壁及混凝土傳遞至音波接收器(Receiver)，經由示波器(Oscilloscope)顯示檢測圖層；並將檢測之各深度(Depth)與超音波傳遞到達時間(Time)記錄儲存於檢測儀器之記憶體

中。當這些探頭在測管中提升或下降同時，它們逐點掃描樁身混凝土以獲得強度與時間/深度的關係曲線，沿整個樁身掃描每對檢測管，可偵測不同深度和剖面混凝土的品質和缺陷(圖1)。



▲ 圖1 現地檢測實況

3.1 預埋測管

基樁需預先埋設測管，測管長度係配合基樁之長度，至少高出樁頂30~50cm(視現場而定)，測管管底應高於鋼筋籠底端約20~30cm，避免測管底部損壞。測管不得有變形或損壞的情形，安裝時必須確實固定於鋼筋籠上，以避免有鬆動情形發生。澆置混凝土時必須特別注意，不得毀損測管。使用PVC測管於澆置混凝土前及超音波檢測時，測管內均須灌注水，以免測管遭擠壓損壞；並作為超音波傳遞介質。

測管材質目前國內普遍採用 $\phi 2''$ PVC管；國外以採用 $\phi 2''$ 鐵管為主(垂直度考量)。測管埋設數量依樁徑大小作適度調整，一般作法；樁徑 $< 1\text{M}$ 至少埋設3支測管(檢測3條測線)； $1\text{M} \leq \text{樁徑} \leq 2\text{M}$ 至少埋設4支測管(檢測6條

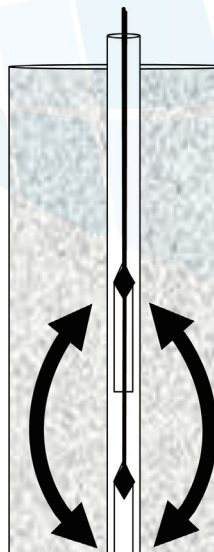


測線)；樁徑 $\geq 2\text{M}$ 至少埋設6支測管(檢測15條測線)，檢測完成後測管依規定灌漿填滿。

3.2 音波檢測方法種類

3.2.1 單管檢測法

用於檢測較小樁徑僅能預埋單一測管者；如預疊樁。檢測時將音波發射器與音波接收器上下分開固定，兩者距離約等同樁徑；同步由測管底端往上拉起檢測之(圖2)。



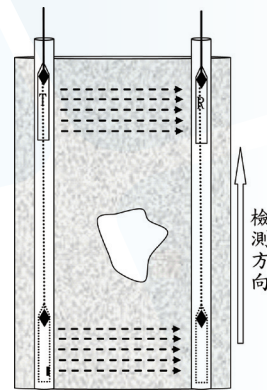
▲ 圖2 單管檢測法

3.2.2 雙管檢測法

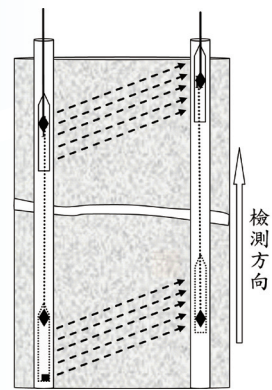
用於較大樁徑或連續壁可預埋兩支以上測管者，又因音波發射器與音波接受器擺放位置之不同又可細分為三：

(1)水平測法：音波發射器與音波接受器同步由測管底端往上拉(圖3)。(2)斜測法：藉以檢測厚度較薄的缺陷，音波發射器與音波接受器不在同一水平線上，保持高程差同步往上拉(圖4)。(3)扇形測法：藉以定位缺陷位置及範圍，將音波發射器置入A測管中之缺陷位置固定，

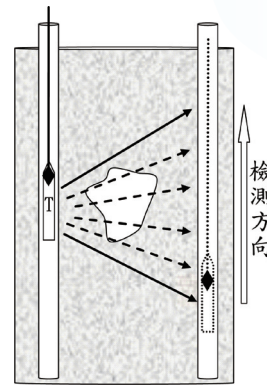
再將音波接收器置入B測管中之低於音波發射器高程之適當處緩步向上拉至高於音波發射器高程之適當處，形成一扇形檢測剖面。再將超音波探頭互換，將音波發射器置入B測管中之缺陷位置固定；音波接收器置入A測管中同上操作步驟檢測另一扇形檢測剖面(圖5~圖6)。



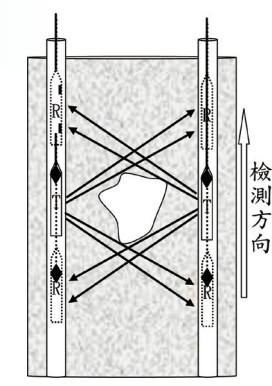
▲ 圖3 雙管水平測法測



▲ 圖4 雙管斜測法



▲ 圖5 雙管扇形測法法



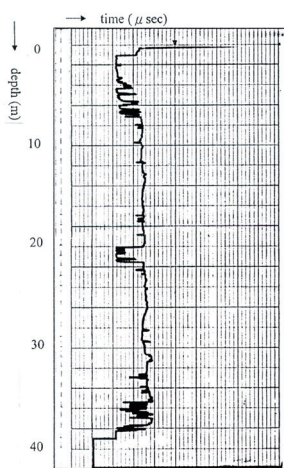
▲ 圖6 雙管扇形測法(互換)

四、檢測結果判讀

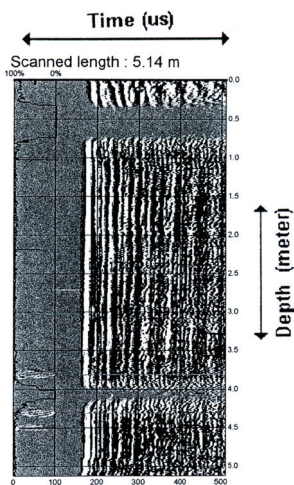
4.1 傳統2D檢測圖的演進

由於科技高度發展推升；檢測圖亦隨各型檢測儀器演進，早期檢測圖常以音波傳遞到達時間(X軸)與檢測深度(Y軸)直接繪製單一曲線圖來顯示檢測資料報表(圖7)，繼又以顯示波速/

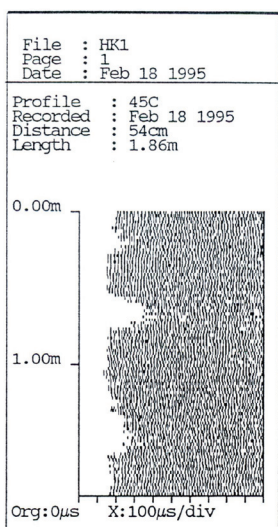
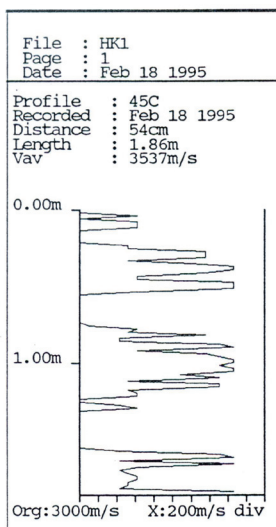
深度關係曲線的音波傳遞波速圖；結合時間/深度關係曲線的音波瀑布圖來顯示檢測資料報表(圖8)，為求較高畫質又有顯示信號強度/深度的關係曲線；結合時間/深度關係曲線的音波瀑布圖來顯示檢測資料報表(圖9)，近期為求判讀訊息完整又以同時顯示能量圖、首波到達時間圖(FAT)、波速圖及音波瀑布圖來顯示檢測資料報表(圖10)；畢其功於一役。



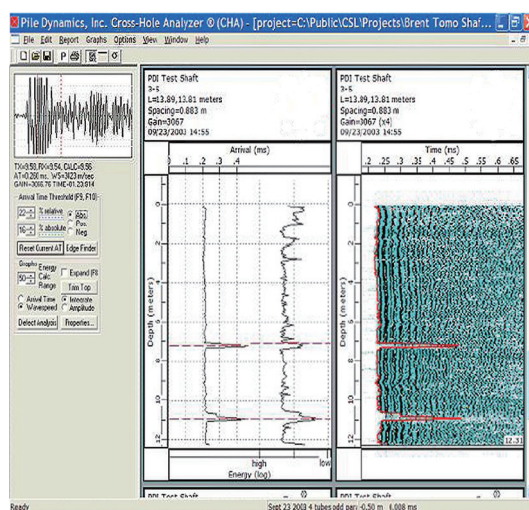
▲ 圖7 Time/Depth曲線



▲ 圖9 高畫質瀑布圖



▲ 圖8 波速&瀑布圖



▲ 圖10 綜合型檢測圖

4.2 結果判讀

目前國內並無定型化之規範及標準；本文謹提列一般常用參考如后，其基樁瑕疵是否危及結構安全或為廢樁之判定；仍需交由專業土木或大地工程技師研議。

4.2.1 壓力波速與混凝土品質之關係

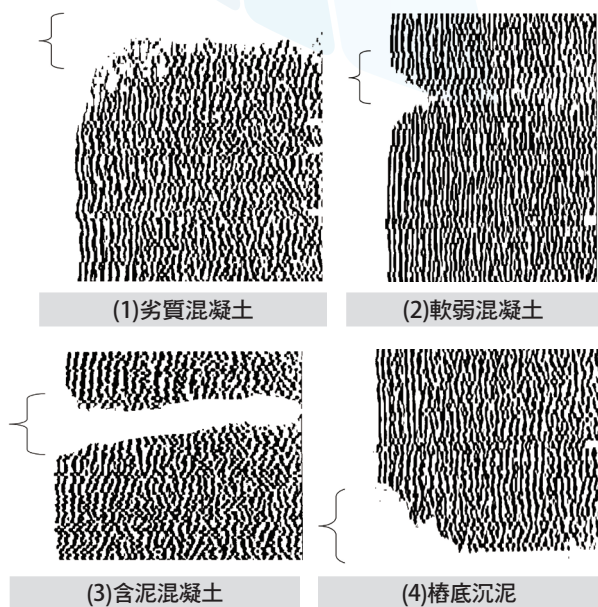
當場鑄混凝土結構物因現場施工不良而導致混凝土中含有土壤、礫石、皂土漿、骨材分離、離析、蜂窩等缺陷時，波傳速度也將因此降低或消散。根據Malhotra在愛荷大學使用超音對混凝土品質研究之結果，當壓力波波速在3660m/sec以上時表示混凝土品質良好，4570m/sec以上時表示混凝土品質優良；又依據Harrell等在德州大學之研究報告建議，若考慮壓力波在樁身為細長棒狀況下傳播時，Malhotra的研究試驗結果應折減10%，其結果見附表1內數字所示。

▼表1 壓力波速與混凝土品質之關係

壓力波傳播波速，m/sec (by Malhotra)	樁身為細長棒狀況下之壓力波傳播速，m/sec (by Harrell)	混凝土品質
>4570	>4120	優良
3660~4570	3300~4120	良好
3050~3660	2750~3300	不佳
2130~3050	1920~2750	差
<2130	<1920	劣

4.2.2 樁身混凝土品質瑕疵之類型

混凝土品質瑕疵不良可分類為：(1)劣質混凝土(2)軟弱混凝土(3)含泥混凝土(4)樁底沉泥，其超音波檢測結果標準圖形；如圖11所示。

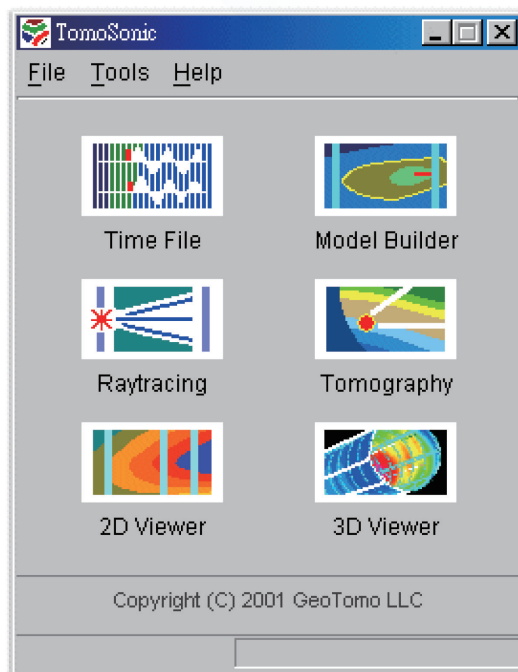


▲ 圖11 混凝土品質瑕疵類型(時間X軸/深度Y軸)

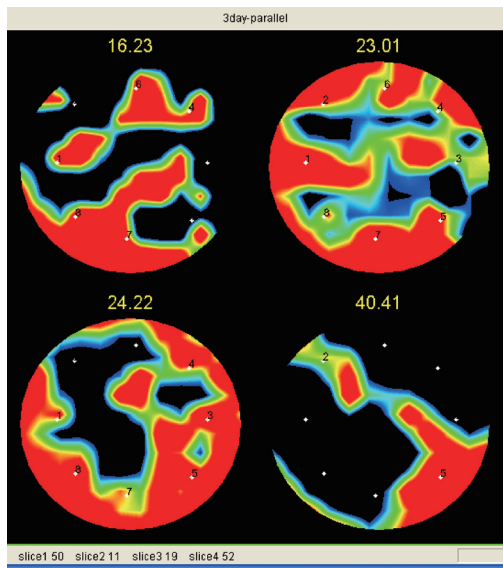
五、導入3D成像技術應用

樁身混凝土檢測有品質瑕疵時，基樁可作補強或廢樁判定；與缺陷發生所在位置及範圍大小有其絕對關係式。使用傳統2D檢測圖除基本水平測更需進一步運用斜測及扇形測方法重

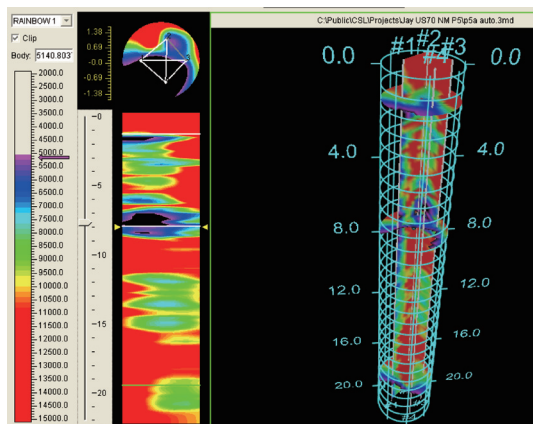
複量測來定位缺陷位置及測線剖面缺陷範圍大小；耗費時間與人力，且於判讀時尚需自行組合各個斷面圖形資料來想像基樁立體成形的畫面，若遇有較多檢測斷面時；常會產生不易綜合考量研判之掣肘。為彌補此一傳統的遺珠之憾；特採用TomoSonic 3D技術軟體結合現場檢測實作，使用檢測儀器主機將於樁體檢測所得類比(Analog)資料轉換為數位化(Digital)資料，再應用境況模擬技術；將數據轉換製成視覺立體彩色編碼的影像圖模型。可對基樁作整體分析、非均質部份作個別斷面分析或自由將同基樁模型同時做各個不同角度顯示，以加強顯示非均質部份混凝土與均質部份混凝土之間的關係及分佈範圍，來幫助工程人員能更簡易的評定樁身品質和精確定位缺陷位置。(圖12~圖15)



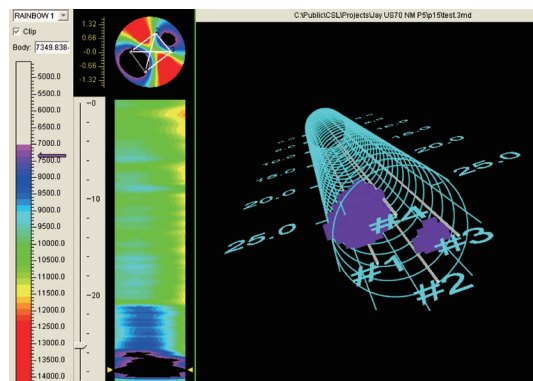
▲ 圖12 TomoSonic 3D操作畫面首頁



▲ 圖13 3D樁身橫切面俯視



▲ 圖14 3D樁身整體側視剖面



▲ 圖15 3D 360°自由旋轉檢視

六、結語

美國聯邦公路管理局建議：使用3D圖像來顯示音波檢測法的資料可以大大改進混凝土基樁完整性的描述。

CSL跨孔式超音波檢測主要目的，在於檢測基樁混凝土之完整性，並可對檢測後之不良部份做改善分析。爾今；在3D數位化資料處理軟體工具的輔助下，對於現場基樁已不單只做改善而已，更可針對整體群樁作有效綜合評估考量，除加強對弱點改善或補強，亦可節省部份補強工程費用對基樁基礎型式的安全照顧除了非破壞完整性檢測，尚可考量於樁體內預置埋入電子式監測儀器；對基樁實際承載受力後的混凝土應變及鋼應力作較長期的監控。

七、誌謝

本文承蒙三聯科技工程團隊攜手披荊斬棘及詳實完整記錄；才得以為文，謹此申謝。

☒ 參考文獻

1. 論文集

倪勝火、羅國峰、黃崧愷「基樁施工之品質檢測」，土木工程非破壞檢測技術研討會88年年會論文集，正修技術學院，高雄，1999，第25頁