

近三十年間臺灣基樁工程在工程實務與學術研究上重要發展與未來展望

張德文 淡江大學土木工程學系 / 教授、大地技師

徐明志 富國技術工程股份有限公司 / 總經理、大地技師

施志鴻 同豐營造工程股份有限公司 / 副總、大地技師

邱俊翔 臺灣大學土木工程學系 / 教授、大地技師

張有恒 台安工程技術顧問股份有限公司 / 副董事長

周永川 台灣世曦工程顧問股份有限公司 / 協理

江政恩 中興工程顧問股份有限公司 / 協理、大地技師

曾孝欽 亞新工程顧問股份有限公司 / 專案副理、大地技師

鄭世豪 臺灣科技大學臺灣建築科技中心 / 專案助理教授

摘要

本文旨在回顧整理臺灣近三十年有關基樁工程的技術應用和學術研究發展狀態，文中以基樁施工技術方法的演進為主軸，說明預鑄樁、場鑄樁，乃至海域基樁施工技術的進步與突破，同時簡要介紹各式檢測與監測技術的應用；學術研究內容則蒐集樁載重試驗數據演繹、數值分析評估應用、以及樁基礎規範修訂與增補之相關論文資料，說明相關研究貢獻；文末提出相關技術應用之未來展望，供各界人士參考。

一、前言

基樁工程技術在臺灣的大量應用可追溯至 1970 年代十大建設，隨後廣泛地用於各項公共工程與民生工程中，為我國大地工程中之重要技術。鑒於大地工程公會創建三十年，本文擬整理樁基工程技術近期發展，以基樁種類和施工技術演變為主軸，說明近各項技術相關案例，同時也闡述不同施工技術中所引用的各項檢測技術和監測技術作法；在學術研究方面，本文以基樁載重試驗的數據演繹為主，簡述代表性研究論點，同時整理和檢測和監測技術有關的學研發展；在基樁與樁基礎變形分析部分，論文介紹從簡易分析

到多維度數值方法的發展，並討論如何將相關分析乃至試驗數據成果應用於規範修編與制定上。最後由施工、檢測、監測、分析和規範等提供未來發展的可能方向。

二、基樁施工技術之發展與應用

2.1 預力混凝土樁

回顧 1990 年代，當時台灣經濟快速成長，各地重大工程建設蓬勃發展，工業區、發電廠、高速公路等重大工程遍地開花，對基礎工程之需求日漸提升，於當時的時空背景、技術、機具，

並不如現今成熟且多樣化，因此打擊式基樁這種具備經濟、快速且技術成熟之基方式，使其成為最為普遍的基樁工法，其中又以預力混凝土樁（PC 樁）最為大宗。PC 樁製造係於專業工廠裡完成，經鋼筋籠組立、設置端版施加預力、混凝土投料、高壓蒸氣養護等步驟後，送至現場以柴油氣動、振動、液壓或重力錘方式反覆敲擊或振動，以將樁身貫入地盤之方式完成基礎，詳可參閱胡邵敏（2009）。

打擊式基樁大量應用於中大型廠房建物、橋梁基礎、碼頭等設施，其樁徑多為直徑小於 1 m 的小口徑基樁，於台灣南部火力發電廠、中鋼煉鋼廠、台塑六輕、台北港廠房（圖 1）等案場，皆有使用打擊式 PC 樁之案例（胡邵敏，2004）；於塔山電廠碼頭設施基礎工程有使用鋼管樁配合鑿擊鑽掘工法，成功將基樁打設於花崗岩之案例（杜振宗等，2003），其他亦有使用木樁、鋼管樁、H 型鋼樁或雷蒙樁打設之案例，係早期大型建設常見的基礎型式，相關施工、品質管理與常見問題可參閱林永光等（1995）。

隨都市發展日漸完善，土地日益稀缺，傳統大型打樁設備難以進入狹小工程基地施作，打樁施工所造成的振動與噪音亦對都市生活品質產生衝擊，引致工程與民生之紛擾不斷，在機具與環境的雙重打擊下，植入式基樁工法從日本被引入國內。植入式基樁起源可參考王傳奇等（1995），於日本 1960 年代，因應環境保護相關



圖 1 台北港鋼鐵廠房基礎—打擊式 PC 樁施工（曾孝欽攝）

法令，日本工程界發展出植入式基樁，其施工低公害之特性，使其逐漸取代打擊式基樁，成為基樁工程較主流施工方式，打擊式基樁僅在偏遠、腹地廣大、低施工公害之工程現場使用。

植入樁之施工與案例參考王傳奇等（1995），施工方式可分為預鑽孔式、中掘式、旋轉壓入式等方式將預鑄樁植入，同時配合底部注漿強化、機械式擴座注漿強化、高壓噴射灌漿擴座、最後打擊等樁底處理，使基樁承载力符合設計要求，於高雄大林埔與林園地區之石化廠、再生水廠、大漢溪與新店溪之防洪工程等工程皆有使用案例。

設計作業方面，早期基樁檢核要點包含承载力、拉拔力、沉陷量等，其中以承载力最為重要，實務上多透過計算或現地樁載重試驗求取基樁承载力，段紹緯等（1991）於南部、中部發電廠案例中，以電子錐推估打擊式 PC 樁承载力，為求取基樁承载力提供了另一種方法。1999 年集集地震發生後，工程界開始大量關注耐震設計與土壤液化問題，樁基礎檢核逐漸導入地震反應、側向位移與樁土互制等設計觀念，時至今日，基樁設計已逐漸導向性能設計，使基樁設計於不同載重情況下能夠安全且兼具經濟性。

隨時代更迭，機具與技術有所進步，場鑄樁之品質與樁底處理較早期早已今非昔比，現今工程現場以鑽掘樁、壁樁等為工程主流。綜觀基樁工程於三十年間之演進，早期樁基礎設計追求「快速與經濟」，以應對重大建設發展需求，PC 樁之優勢契合，故成為市場主流；後因震災與都市化之因素，樁基礎設計考量更加重視「安全、耐震與環境友善」，場鑄樁、植入樁等施工公害較小工法逐漸取代打擊式 PC 樁，現今場鑄樁品質可有效控制，進而成為樁基礎之大宗；如今，樁基礎設計考量將「性能設計」納入考量，後續隨著學術研究日漸完善，基樁工程亦將持續精進，以因應未來複雜的都市建設需求。

2.2 鑽掘場鑄混凝土樁

現代動力機械進步帶動場鑄樁鑽挖技術發展，上個世紀初即有反循環鑽掘、旋挖土鑽、套管鑽掘等施工法應用於基礎工程。

反循環鑽掘係利用轉盤帶動空心鑽桿與鑽頭，將地層中土岩體與穩定液混合成泥水或切削成岩屑，並經空心鑽桿吸出沉澱後將泥砂棄運。台灣在 1960 年代引進反循環設備使用於台北大直橋、華江橋等樁基礎（林永光等，1987；陳泊鈞等，2025）；而 1970 年代橋梁基礎有新生北路高架橋、文昌橋、永福橋等案採用，建案基礎則有環亞大樓採用。1980 年代反循環樁大量使用，橋梁有迪化橋、永福橋、重陽橋、中興橋等；建案基礎有世界貿易中心國際貿易大樓、中正紀念公園二期工程、國家音樂廳及國家戲劇院等；此年代末開始興建的超高層建築新光站前大樓，建物基礎採深達 50 m 進入景美礫石層的大尺寸反循環樁（林三賢和廖振程，2019；何樹根，2019；張清森和林景文，1984）。

因 1980 年代施工業者回饋帶動機具性能大幅進步，國內機械廠將桁架、轉盤、離心泵浦與柴油動力等機械元件附加於平底或履帶底座，組裝成標稱排水管徑 12 吋高效排泥之 S-500 機型；1986 年為再增效率與吸取大顆礫石訂製標稱排水管徑 14 英吋平底式 S-600 機型，1989 年履帶式 S-600 機型問世，至今國內廠商仍多採此類台製機型（圖 2；施志鴻，2023）。早年反循



圖 2 履帶式 S-600 反循環機施工（同豐營造提供）

環鑽掘常採皂土穩定液，國內基礎業者於 1992 年始使用主要成分為聚丙烯醯胺之高分子穩定液並獲良好品質（盧怡志，2023）。高效抽泥水反循環鑽機搭配泥砂可快速沉澱之高分子穩定液，使得水中混凝土澆置可靠度與鑽掘速率均大幅提升。1998 年，臺北國際金融中心案（今稱「台北 101」）開始施作基樁，隔年 7 月施工完成，其塔樓由 380 支直徑 1.5 m 之群樁作為超高層建築基礎，其樁深 61.6 m 至 80.6 m，並貫入砂頁岩最深達 30 m，大部分樁採反循環工法完成（陳斗生，2004）。

旋挖土鑽係以旋鑽機轉盤帶動延伸鑽桿，其底部具刃翼之鑽掘桶切削地層並使土岩碎屑進入桶內及取出。1980 年代引進施作北投焚化廠樁基礎（黃俊鴻，2019），在 1990 年代國內較小尺寸基樁或擋土排樁多有使用。其藉桁架及鋼索快速升降鑽桿，在黏土、砂土、礫石或軟岩等地層中鑽掘效率均佳，然因伸縮鑽桿延伸後勁度不足、鑽桿接合處誤差，在遭遇傾斜或堅硬岩盤或岩塊時鑽掘垂直精度較差。部分旋鑽機型可裝置連接器驅動套管下壓，或選配搖管機驅動套管，除可為易坍地層之孔壁保護，亦可改善垂直精度。

早年深度淺或直徑小之基樁，業者常用振動夾將套管打入作為孔壁保護；但較大較深基樁，或者需貫入岩盤、大岩塊或礫石等堅硬地層，則需藉套管機作為鑽掘設備。除前述附掛套管連接器之旋鑽機外，有引進專以帶動套管搖動或轉動之搖管機或全迴機作為套管機。「全套管工法」指基樁全部鑽挖深度均採具切削齒與套管銜接、可重複使用之圓形鋼套管（制式套管）貫入地層並作為孔壁保護，管內土方、岩體或泥水可用錘式抓斗（俗稱鯊魚頭）、取泥水桶、伸縮鑽桿附掛取土桶或螺旋鑽等取出。制式套管不僅切削地層亦作為孔壁保護，在混凝土具良好流動性時須及時取出，故在樁體澆置時需先舉昇部分套管再續行澆置。一般而言，全套管工法因孔壁有套管保護而不需穩定液，但為避免鑽至砂層後

因套管內外水頭差引起砂湧，必要時可於套管內補水藉以提高水壓。1984 年台北榮總醫療大樓案用義製旋鑽機帶動直徑 1 m 套管施作擋土排樁；1988 年引進德製旋鑽機附掛短軸搖管機施作通霄電廠之全套管樁（林三賢等，2019）。1990 年代施作的北二高碧潭橋係採樁徑 2 m 之全套管樁，樁長平均 37 m，施工方式兼採兩種：(1) 旋鑽機配合延伸鑽桿及鑽掘桶與 (2) 搖管機配合錘式抓斗（樊成，1995）。此時期搖管機配合錘式抓斗之全套管機組，由於適合台灣本島各類地層條件而日漸增加。

在 2000 年代初期大跨度跨河橋梁構造與 921 強震後耐震設計需求、極端氣候河川沖刷、施工安全與可靠等因素驅動下而有大尺寸場鑄樁之設計需求，其帶動搖管機、錘式抓斗與制式套管等設備製造本土化，相關維修與零件備品供應鏈發展出規模經濟，因工法適用性高且成本降低使搖管機組大量被採用，此時期業界亦開始在大型橋梁與建築案採直徑 2.5 m 與 3 m 之套管鑽掘，臺 64 線八里新店線（二重疏洪道南岸）大量採直徑 2.5 m 全套管樁，最深達 101 m（陳泊鈞等，2025）；2006 年臺北捷運 CK570G 標為移除既有壁樁始有直徑 3 m 制式套管之製作，之後直徑 2.5 m 與 3 m 之大尺寸套管鑽掘樁常應用於都會區之逆打建案。相反地，因有國內旋鑽機業者退出市場或策略轉進鄰國使設備損壞維修困難，旋挖土鑽工法則較少採用。

沉積砂土或黏土地層為主之台北、高雄、台南等都會區，2000 年代初期之建築樁基礎施工仍普遍使用反循環鑽掘；而台灣高鐵在嘉南平原與高雄路段之高架橋或站體建築基礎亦多採用。然而，反循環鑽掘抽出沉澱後之廢土，因其含水量高常致直接棄土困難且成本高，在遭遇大礫石、卵石、岩塊地層時容易異物卡管或孔壁坍塌，近年多數橋梁港灣等公共工程常採較能適合各類地層之全套管樁；惟在都會區具深開挖且地下室採逆打工法之建築案，因基樁施作時需固定逆打鋼柱而常採與連續壁相同挖掘設備之壁樁設

計並施作，或以圓形油壓抓斗施作大尺寸圓樁取代，近二十年來反循環機組及專業技術人力正逐漸減少。2009 年曾對國內套管機設備數量進行訪查（何泰源等，2011），可知當時搖管機已達 90 組，全迴機亦達 20 組，大部分機組可施作樁徑達 2 m，5 組可達 3 m。淡江大橋主橋塔基樁是近年大尺寸深樁施作代表，其位於淡水河口深槽區，主橋塔基礎有 58 支直徑 2.5 m、實樁長 65 m，其施工場地採鋼管樁圍堰於背側止水灌漿後抽乾圍堰內河水並填土，再進行全套管樁施工，套管鑽挖至樁底，其深達 85 m（李榮瑞和江政恩，2022；圖 3）。近年旋挖土鑽工法在亞太鄰近國家大量使用，大廠亦就近建廠組裝旋鑽機並打造零件供應鏈，大尺寸樁已普遍運用，其樁徑可達 2.5 m 以上。2018 年後，國內業者陸續引進並投入大型建案與捷運站體基礎施工（圖 4）。

另外，海上深水環境施作場鑄樁以金門大橋深槽區為代表，樁徑 2.5 m 並貫入花崗岩之堅硬岩盤，採用複合工法，鑽挖優先使用錘式抓斗、三翼鑽頭等鑽挖，遭遇中度至輕度風化岩盤或新鮮岩體時則改以多個鑲嵌碳化鎢硬質合金滾輪鑽齒附掛於反循環平底鑽頭進行岩盤切削（陳泊鈞等，2025；陳聰海等，2025），該工程於 2018 年引進韓製反循環機組，其轉盤可安裝於套管上並與動力單元分離以適合海上鑽掘作業（圖 5）。



圖 3 淡江大橋主橋塔之全套管樁施工（江政恩攝）

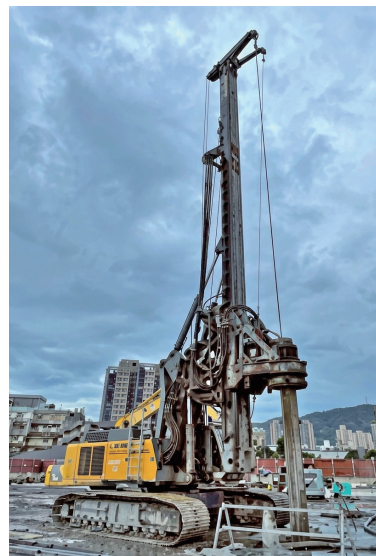


圖 4 旋鑽機施工 (同豐營造提供)



圖 5 分離式反循環機 (吳添貴攝)



圖 6 雙滾輪鑽掘機 (同豐營造提供)

壁樁 (或稱壁式基樁、矩形樁) 係指採連續壁挖掘機具施工，形狀為單一矩形單元或多個矩形單元組成者 (胡邵敏，2004)。1985 年台北市仁愛路國泰人壽大樓，地下開挖約 21.8 m，其樁基礎首創 H 型壁樁；1990 年高雄 85 大樓採「版狀摩擦樁」結合地中連續壁與筏基形成框格式基礎；1999 年台北市京華城購物中心，地下開挖 7 層約 32.5 m，基礎工程除採厚 1.5 m 連續壁與樁徑 2.4 ~ 3.0 m 反循環樁，另在球體結構下方採四支巨型柱，而支撐巨型柱之樁基礎則以三道壁厚 1.5 m、深達 82 m 之壁樁並排組合 (俞清瀚等，2013)。國道三號高屏溪斜張橋之主橋塔與 P1 橋台等兩處，採隔牆箱壁式基礎，壁厚 1.2 m，深度 37 m，19 m × 15.8 m 閉合箱，箱內尚有三道隔牆 (凌凱，1999)。國內早期使用機械式抓斗，1980 年代大量引進日製 MHL 系列油壓抓斗成為連續壁槽溝挖掘主要設備，其適合深度 55 m 以內、厚 0.5 至 1.5 m、一般砂土或黏土地層掘削，但是遭遇完整岩盤、緊密礫石、較大崩積岩塊等地層時效率極差，業者常輔以螺旋鑽、反循環或套管鑽掘等引孔後再挖掘，惟槽溝開挖放置時間較長、穩定液不易控制或遭遇地層因素可能造成大規模坍塌；2000 年後有業者改用國內自行製造之抓斗，可挖掘深達 80 m。因挖掘

深度限制與入岩困難問題因國內業者自製抓斗改善，且高層建築荷重增加、地下室逆打施作需單柱單樁並置入鋼柱，故壁樁大量運用於北高都會區建築工程。高雄遠雄 THE ONE 採用壁厚 1.8 m、深度 75 m，寬度 5.5 ~ 13 m，置逆打柱之壁樁 (何樹根等，2023)。另外，早年在高雄美麗島站連續壁施工即有採反循環抽取泥水之雙滾輪鑽掘機，2024 年業者引進新型雙滾輪鑽掘機以克服岩盤地層之施工困難 (圖 6)。

由於場鑄基樁施工不可避免擾動及造成樁底地層解壓，而且有孔底沉泥較難清除乾淨問題，實務上常於場鑄基樁成樁後通過預埋在樁身的灌漿管與裝置，利用壓力將固結的漿液注入樁底藉以提高樁底承载力或減少基樁的沉陷量。國內工程較常使用之樁底灌漿工法包括 U 型管、Flat Jack 及樁底高壓沖洗灌漿三種 (高秋振等，2008)，由於各種工法之原理及機制不同，而且灌漿成效視沉泥清除與灌漿品質有所差異，因此各工程視基地條件、基樁施工方式及成效需求，評估採用合適之灌漿工法。

2.3 海上基樁工程技術

海上基礎工程近年在臺灣逐漸受到重視，從跨海橋梁到離岸風力發電，基樁已不只是單純

將載重傳入地層的構件，而是需要同時面對海象、地質不確定性、施工平台、動態載重與耐久性等多重挑戰。相較於一般陸上基樁，海上基樁的困難不只在「做得深」，更在於調查不易、施工受限，且一旦判斷錯誤，後續修正成本極高。因此，海上基礎工程的核心，往往不是單靠設計公式，而是要結合完整地質調查、施工中即時回饋與適當的規範選用。

民國 111 年通車的金門大橋為連接大金門與小金門的重要跨海工程，橋梁段長約 4.77 km，下部結構包含 73 座墩柱及 532 支大口徑基樁，基樁直徑約 1.5 m 至 2.5 m，工程環境同時受到深水、強流、潮差及季風影響，屬典型大型海上深基礎工程 (陳聰海等，2025)。本案最值得注意的是，金門大橋橋址雖以花崗岩及花崗片麻岩為基盤，但深槽區之岩盤面起伏劇烈，風化程度高度不均，從完全風化岩體至新鮮岩盤均可能出現。甚至同一橋墩範圍內，不同鑽孔間的岩盤高程與風化程度也可能差異很大。換言之，花崗岩雖常被視為堅硬可靠，但實際工程上仍可能因風化、夾層、破碎帶及傾斜岩盤面，造成承載層判斷困難。面對高變異性的海底地質，基樁設計時不能只依賴設計階段少量鑽孔推估承載層位置，而須在施工階段透過「逐墩補充鑽探」，取得接近各基樁位置的岩心資料。金門大橋即由地質專業人員判釋岩性、風化程度與岩盤高程後，回饋

設計單位修正入岩深度及承載層位置，以確保基樁確實落於可靠岩盤。岩床面及強度的高變異性，除了影響承載層的判斷外，也讓基樁鑽掘時遭遇進尺效率低、傾斜岩面、坍孔及孔內回淤等問題，初期每支基樁耗時逾 30 天，發生坍孔 73 次、外套管拔除重打 10 餘次。後續透過判釋出水、出渣情形，掌握地層變化調整壓降速率，配合「慢削、慢磨」、水中混凝土整平孔底、套管保護及清孔續鑽等方式，逐步改善進尺效率，最終將工期縮短至每支約 7 天。由此可見，海上基樁的施工和設計，無不仰賴現場判釋、施工回饋與工法的靈活修正 (詳圖 7、圖 8)。

由離岸風力發電，則可看見海上基樁的另一種發展方向。離岸風機水下基礎常採大口徑鋼管樁，與陸域常見的鑽掘式或場鑄基樁不同；其基礎除承受自重與一般環境載重外，還須長期面對風、浪、流及機組運轉造成的反覆作用。因此，設計上需納入大量載重組合、打樁動力分析 (PDA)、疲勞壽命、自然頻率及樁土互制等課題。施工時若海床表層阻抗過弱，鋼管樁亦可能發生「拖樁」風險，這些都是陸上基樁較少強調的面向。

打樁動力分析係於打樁過程中量測樁身受力與應力波反應，用以推估基樁承载力、打擊能量傳遞及樁身完整性。其可即時反映打樁阻抗、偏心打擊、拉壓應力與可能損傷情形，適合應用於海上大型鋼管樁等靜載重試驗不易施作之工

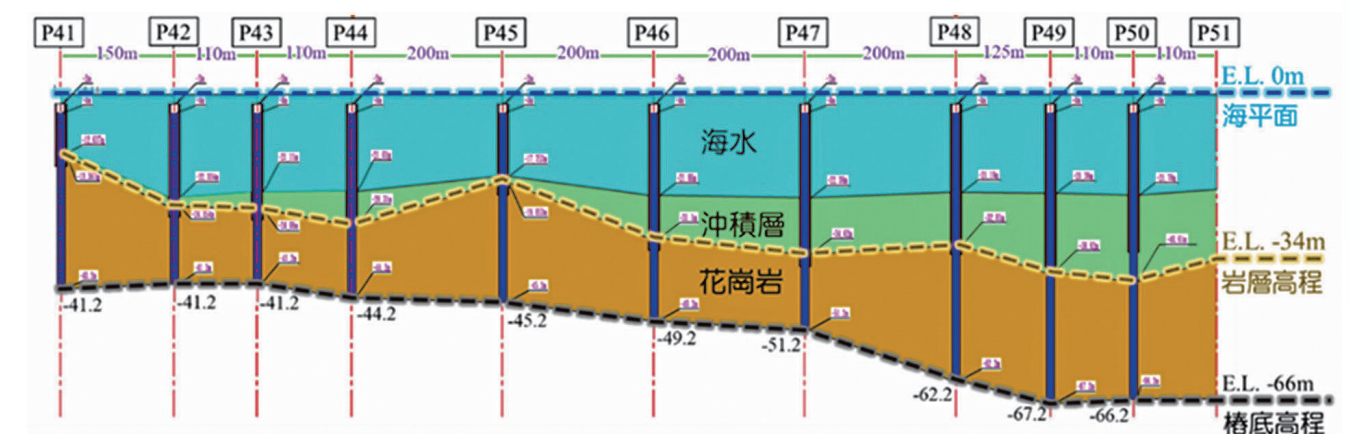


圖 7 金門大橋深槽區基樁入岩剖面圖 (CECI 提供)

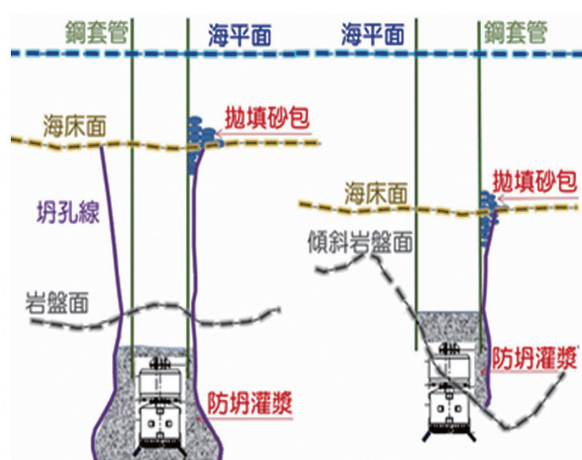


圖 8 岩床變化劇烈致使坍孔或鑽桿歪斜變形 (CECI 提供)

程。實務上亦可搭配 GRLWEAP 等軟體進行打樁可行性與施工控制模擬，惟模型參數、土壤阻尼及錘擊能量等設定仍高度仰賴經驗，需透過試打、監測與案例回饋逐步校正 (張有恆, 1995)。

在規範與調查方法上，由於國內離岸風電本土案例仍有限，設計多參考國外海工經驗，尤其是歐洲 DNV 相關規範 (詹穎裕等, 2026)。其中一項關鍵差異，在於地質參數的取得與使用。海上鑽探成本高，實務上常以探勘船進行圓錐貫入試驗 (CPT)，並利用錐尖阻抗、袖套摩擦及孔隙水壓作為基樁承載力分析依據，相較於

國內較熟悉的 SPT-N 值評估，CPT 能更敏感反映海床地層變化。然而，CPT 承載力分析並非單一方法，除國內規範有提及之 LCPC，另有 ICP-05、UWA-13...等模式，各自對砂土、黏土、開口鋼管樁及樁端阻抗的處理方式不同。因此，實務上仍須依個案地層條件、基樁型式及試驗資料比較選用，並透過試樁、施工監測與案例回饋，逐步累積臺灣海床條件下的驗證經驗 (圖 9)。

離岸風場由近岸發展至遠岸，對應之水深由淺水區進入深水區，水深為決定離岸風機基礎型式之主要選擇，下部結構基礎於淺水區 (水深 20 ~ 30 m) 採用單樁式基礎 (Monopile)，深水區則採用套筒式桁架基礎 (Jacket Pile) (圖 10)，由於都是直接在海面施工，須採用大型的施工船機與設備，包含重型吊桿船、駁船、氣泡幕船、清樁船、灌漿作業船，以及其他輔助船如鯨豚觀察船、警戒船、拖船、人員運輸船等 (圖 11)，主要之施工船須具有動態自動定位系統確認打樁之位置，上述船隊組成會根據風機基礎採用 Monopile 或者是 Jacket Pile 而有所調整。

Monopile 直徑至少 5 m 以上，打設前先用大型吊機將鋼管樁吊起垂直放入海中，定位後配合抱樁器以液壓打樁機將基樁打入預定深度

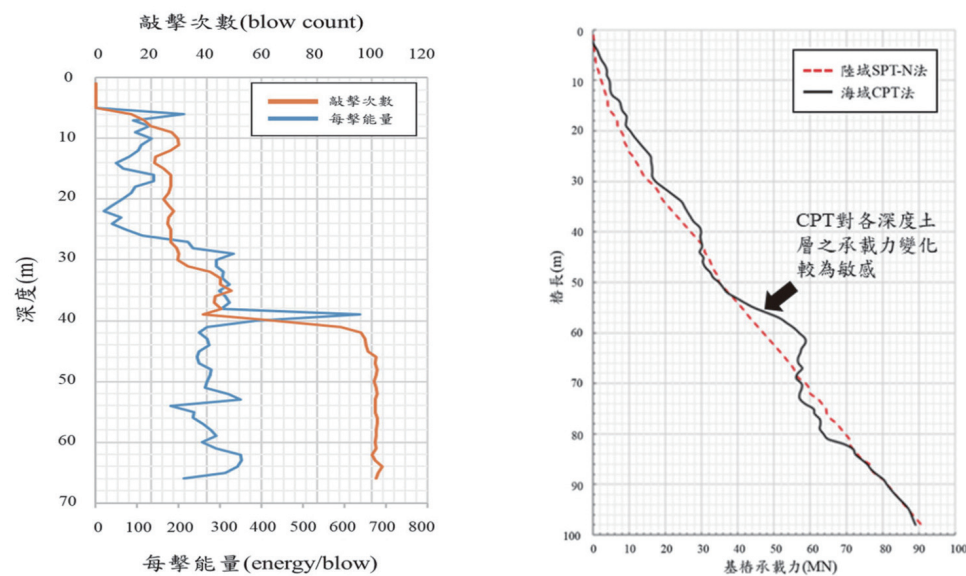


圖 9 SPT-CPT 承載力比較 (左)、打樁動力分析 (右) (CECI 提供)

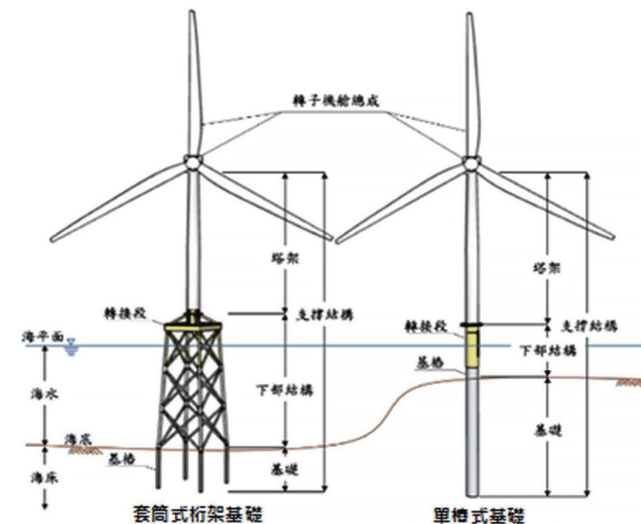


圖 10 離岸風機基礎示意圖 (摘自標檢局，中興顧問提供)



圖 11 海上打樁 (Jacket Pile) 施工團隊 (摘自 JDN，中興顧問提供)

(圖 12)。Jacket Pile 通常一座風機設置 3 ~ 4 支，樁徑約 2 ~ 4 m 左右，打設前須先將樣架放置於預定打設位置，再依序配合樣架控制位置與傾斜進行基樁打設 (圖 13)。

為避免打樁過程影響周邊生態 (如鯨豚等)，打樁前須配合氣泡幕船於樁周打設氣泡幕以隔離打樁所產生之噪音 (圖 14)，依據規定於距離打樁地點 750 m 處，必須將噪音降低至 180 分貝，以減輕噪音對鯨豚的干擾。另外由於台灣西部彰濱外海海床下主要以粉土質砂及粉土質黏土相互交疊所組成，淺層強度較低，採液壓樁錘 (Hydraulic Hammer) 打樁過程中倘控制不佳，



圖 12 Monopile 施工船機 (摘自 Sapura，中興顧問提供)

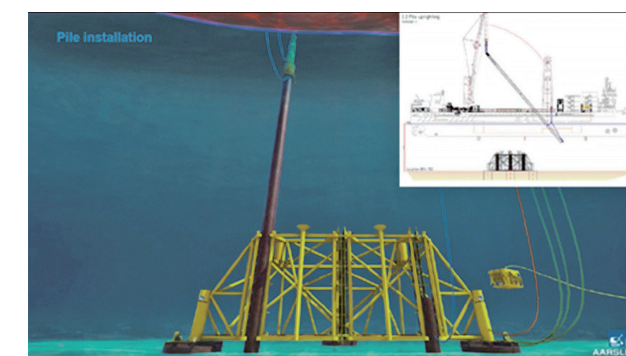


圖 13 Jacket Pile 施工 (摘自 AARSLEFF，中興顧問提供)



圖 14 氣泡幕船 (摘自大地技師期刊)

將產生「滑樁」，除了控制打樁速率外，亦可採用低噪音、低震動傳導之震動樁錘 (Vibro Hammer) 以降低滑樁風險 (江政恩, 2026)。「拖樁」和「滑樁」差異在於前者樁將帶動土壤向下移動。

三、不同施工方式之基樁載重試驗與檢測／監測

隨著麥寮六輕建廠（1996）、台北市捷運系統（1991）、台灣高鐵（1997）、台北 101（1998）、台南科學園區（1997）等大型工程陸續推出，為滿足設計需求及基樁施工方法不同，基樁之品質控制方式（完整性檢測、載重試驗／監測），開始有明顯的進步及多樣化。

3.1 基樁完整性試驗

基樁檢測試驗（Pile Integrity and Non-Destructive Testing）是基樁工程中不可或缺的品質控制與施工驗證手段。由於基樁深埋於土層且具備「不可重複性」（受損後難以拔除重置），其品質控管顯得尤為重要。試驗之核心目的在於確認樁體完整性、幾何尺寸及混凝土均質性，藉此識別斷樁、縮頸、夾泥、離析及樁底沉渣等缺陷，確保基礎安全並提供後續載重行為分析之依據。

3.1.1 孔壁完整性試驗

為了解鑽掘樁孔壁品質，超音波孔壁檢測儀（日本海上電機，已停產多年），首次應用於台北市新生北路高架工程，目前，所有鑽掘圓樁／壁樁均必須先行孔壁檢測，確保孔壁及垂直度後品質無虞後才可進行後續混凝土澆置，使用於壁樁尤其是載重試驗主樁，一般基樁廠商僅測短向，建議應加測長向，對試樁結果分析將有很大幫助。一旦孔壁發生嚴重坍孔，極有可能造成混凝土品質異常，因此，需要進行完整性試驗確認樁體品質。

3.1.2 樁體完整性試驗

1. 低應變檢測法（Low Strain Integrity Test）

台灣最早引進荷蘭 TNO-BOUW 之 SIT 檢測系統，後期則進美國 PDI PIT 檢測系統，本試驗方法因為無法檢測樁底沉泥、僅能測出第一個瑕疵位置、超過 30 m 長樁無樁尖反射、試驗樁頂

須打除弱質等限制，工程上應用受限；大部份用於樁長較短之 PC 樁或 PVC 檢測管遭到塞管之鑽掘樁，國內較大規模檢測案例為社子島堤防加高之 PC 樁長度檢測（圖 15），檢測數量高達 1,251 支，試驗結果顯示有極高比例之基樁長度遠低於設計樁長。

2. 跨孔超音波法（Cross-hole Sonic Logging Integrity Test）

紀錄方式從最早的拍立得照片進步到筆式記錄器再到現行的數位式檔案，國內檢測最深基樁長度為 96 m，最大檢測樁徑則為 3 m。因為本項試驗費用占比很小，一般業主均將該項目含於基樁廠商承包範圍，如果業主能直接發包給第三者檢測廠商，將更能掌握基樁之實際施工品質。高樓大廈之基樁屬於高承載樁，由於數量不多，建議所有基樁均應全面埋設 PVC 檢測管，完整性試驗占比可依施工紀錄提高至 100% 全面檢測。



圖 15 PC 樁低應變完整性試驗防潮堤加高工程（1991，台安技術提供）

3.2 基樁載重試驗

3.2.1 靜載重試驗

1. 呆重直接加載法

只需打設試驗主樁，反力系統設備容量須為試驗載重之 110% 以上，包括 H300 × 300 型鋼載重平台、混凝土塊／鋼板／鋼胚／鋼材、反力梁、承壓箱梁等，除求得基樁承載力以外，國內

已有工程案例，為求得礫石層變形模數，於主樁周圍設置地層變位計、應變計；打設 12 × 12 m ($t = 30$ cm) RC 版；除進行傳統的呆重壓力載重試驗外，特於每一層呆重塊吊裝完成及拆除階段同步自動化密集量測地層、RC 版變位／變形及主樁樁身軸向應力／變位，呆重壓力系統全景詳圖 16。

2. 反力樁法

早期為節省費用，有使用連續壁體及永久結構樁為反力系統，隨著高承載樁試驗載重需求逐步提高，反力樁大部份為另行打設或利用基地內之扶壁，壓力試驗使用兩支或四支反力錨樁，拉力則以兩支基樁為反力系統。目前國內最大壓力及拉力試驗案例詳圖 17 及圖 18。



圖 16 呆重試樁及礫石層變形模數試驗（2025，台安技術提供）

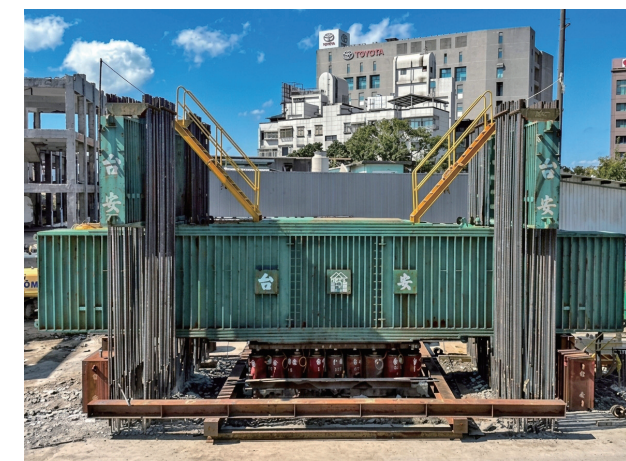


圖 17 壁樁 8257T 壓力載重試驗（2024，台安技術提供）



圖 18 壁樁 4800T 拉力載重試驗（2026，台安技術提供）

3. 雙向加壓法（Bi-Directional Static Load Test，BDSLT）

透過預先埋入基樁樁身或靠近樁底的液壓千斤頂進先後加壓行載重試驗，Single Level Test 將基樁向上頂升與向下推擠，Multi Level Test 則需先加壓樁底千斤頂後再加壓樁身千斤頂，藉此量測樁身極限承載力，惟本方法無法像傳統下壓方式直接量測樁頂及基礎開挖底面的沉陷量，而是經由併入彈性壓縮量的相關計算方式間接求得等效樁頂位移曲線（Equivalent Top Load-Settlement Curve），台灣大部份都是屬於長樁，樁身均配置兩個千斤頂（Multi Level Test），基樁之變形行為將更為複雜，國內對本試驗方法的接受度呈現分歧現象。BDSLT 樁身千斤頂安裝詳圖 19。

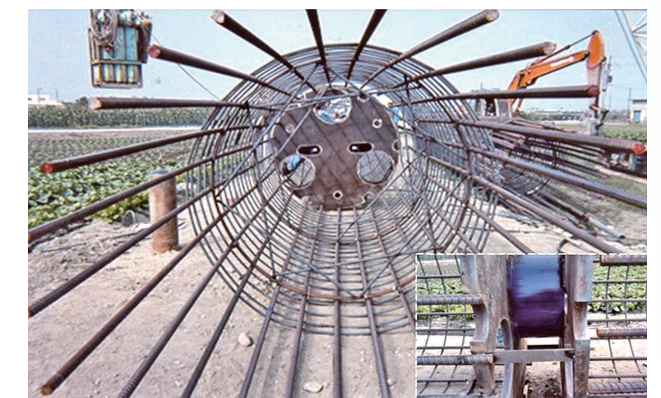


圖 19 雙向加壓靜載試驗（BDSLT）油壓千斤頂安裝（2001，高鐵工程，台安技術提供）

BDSL T 會對基樁產生極大位移，樁周摩擦力及樁端底承力極可能在雙向加壓後達到極限破壞並產生斷樁，如果應用於永久結構樁，位於平衡點對應千斤頂位置將因無鋼筋連續及千斤頂埋設位置灌漿成效與其強度難以驗證，此外，永久結構樁經過雙向加壓法後，土壤點承力／摩擦力已接近或達到極限破壞值加上樁體也已經造成斷樁，將會影響基樁之永久性，日後也可能因此產生差異沉陷問題，台灣位處地震帶，永久結構樁採用 BDSLT 的適用性，建議應審慎評估；建築物基礎構造設計規範 5.7.4 節【解說】第 3 項已有明文規定：『基樁載重試驗之加壓方式須與將來結構物所承受之荷載或外力方向相同，以符合基樁之實際受載行為，同時針對永久結構樁之載重試驗須以不破壞樁體結構為原則』。

4. 側向載重試驗

(1) 單樁側向載重試驗

側向試驗則以兩支基樁或呆重塊為反力系統，國內試驗大部份屬於「樁頂自由 (Free Head)」方式配置，以「樁頂旋轉束制 (Fixed Head)」方式之首例為觀音工業區杜邦 Ti-Pure Plant (1991)，詳圖 20。為模擬離岸鋼管樁承受波浪推擠時的側向力行為，選擇一處地質條件相似之陸地進行反覆載重試驗 (2015)，在 180T 載重時，與第 1 次相較，因加載次數之增加而使位移量相對增加之比例分別為 18.81% (20 次)、



圖 20 台灣首例「樁頂旋轉束制」側向載重試驗 (1991, 台安技術提供)

30.02% (100 次)、48.64% (500 次)，其側向試驗配置詳圖 21。

(2) 群樁側向載重試驗

高鐵橋樑基礎最佳化研究案 (以下簡稱高鐵研究案) 完成了國際上罕見的 2000T 容量 (Target Test Load = 1500T) 之群樁側向試驗，在鑽掘式群樁 (3 × 2 支) 樁帽與打擊式 PHC 群樁 (3 × 2 支) 樁帽之間設置 5 支型鋼，兩端各配置 5 只 500T 容量油壓千斤頂同步兩側樁帽施加側向荷重 (圖 22)。



圖 21 側向反覆 (500 次) 加載試驗 (2015, 台安技術提供)



圖 22 2000T 群樁側向載重試驗全景 (1997, 高鐵研究案, 台安技術提供)

3.2.1.1 靜載重試驗加壓程序

國內壓力載重試驗最原始規範為 CNS12460，國外則為 ASTM D1143，加壓程序有 7 種，公共工程大部分採用標準加載程序，試樁時間約 3 ~ 4 天，一般民間工程則採用快速加載程序，試樁時間約 7 ~ 8 小時，ASTM

D1143M-07 版本將 Procedure A: Quick Test 視為默認程序，其他 6 種則改為選項 (Optional)，D1143M-20 版本則改成 3 種加載程序，仍以 Procedure A: Quick Test 為主，以試驗載重之 5% 為增量加載至最大載重，解壓則分 5 階段，每個加載階段持壓 4 ~ 15 分鐘。ASTM D3689M-22 拉力試驗加載程序與壓力試驗內容相似。

ASTM D3966M-22 側向載重試驗規範所列示之加載方法共計 8 種，國內均採用默認之加載程序 Procedure A: Standard Loading；為模擬離岸風場 (Offshore Wind Farm) 鋼管樁，承受波浪反覆推擠之力學行為，加載程序採用正向、反向來回反覆加載，試驗結果顯示在同一試驗載重經過最多 500 次反覆載重後，水平位移會有明顯增加。

3.2.1.2 靜載重試驗成果分析演進

藉助於完整的先期基樁載重試驗規劃及善用樁身監測儀器，先期基樁極限載重試驗已漸漸成為整個建案價值工程中一個重要角色，業主依據試樁成果、回饋基樁設計參數、優化永久結構樁尺寸，除了可以省下基樁施工費用亦可縮短工期。

先期基樁極限載重試驗分析成果報告的由基本的第 1 項內容漸漸擴增至第 4 項。

1. 荷重 vs. 沉陷／上拔量位移曲線；極限 & 降伏承載力／拉拔力分析
2. 軸向荷重、樁周摩擦應力及樁底點承應力分佈
3. 樁周 $t-z$ 曲線 (摩擦應力 vs. 位移)、樁底 $Q-w$ 曲線 (點承應力 vs. 位移)
4. 回饋分析 (基樁設計參數建議、垂直地盤反力係數、不同基樁尺寸容許承載力／拉拔力分析、基樁長度建議、基樁施工建議等)

3.2.2 靜動試樁法 (Statnamic Loading Test)

只需打設試驗主樁，係利用燃料產生氣體的壓力加載於樁頂，因能產生 20g 的加速度，反力塊總重僅需試驗載重的 5%，國內於 1997 年於

北投垃圾焚化廠進行首度試驗、台北 101 則於 1997 年創世界首例在基礎開挖底面 (GL-21.8m) 進行試樁，另於 2015 年完成金門大橋海上試樁 (詳圖 23)。



圖 23 海上靜動壓力載重試驗 (2015, 金門大橋, 台安技術提供)

3.2.3 高應變動力載重試驗 (High-Strain Dynamic Load Test, DLT)

高應變動力載重試驗依試驗目的可分為：

1. 於初打階段 (上樁) 同步進行打樁動力分析 (Pile Driving Analysis, PDA)，其目的在求得樁身之壓應力、張應力、完整性、傳輸能量、打擊土壤阻抗。
2. 基樁打設完成且待地層特性回復後，再進行 Restrike DLT 並以 CAPWAP 求得該基樁之靜承載力與推估其荷重 - 沉陷曲線。

PDA & DLT 廣泛的使用於工業區廠房、港灣、碼頭、資源回收 (焚化) 廠等 PHC 樁或鋼管樁工程，圖 24 為海上打樁船針對斜樁進行 DLT 紀錄照片。鑽掘樁由於樁錘能量較難以打動基樁，國內試樁數量相對較少，圖 25 為高鐵 C291 標所使用地自由落錘 (44.6T) DLT 系統。水下 DLT 應變計及加速度儀產品已經相當成熟，防水深度可達 300 m (1 個月) 及 900 m (2 周)，離岸風場鋼管樁因為靜力試樁方式成本及困難度都很高，DLT 試驗方式應該是可以考量的選項。

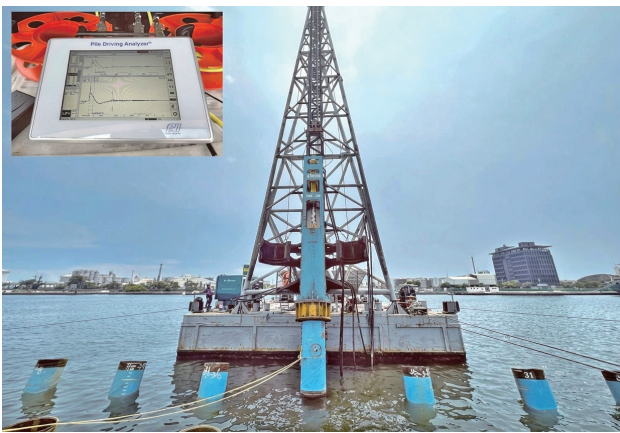


圖 24 海上打樁船以油壓樁錘進行斜樁 DLT 試驗
(2025, 台安技術提供)



圖 25 使用 44.6T 落錘進行鑽掘樁 DLT 試驗
(2000, 高鐵 C291 標, 台安技術提供)

3.3 樁體監測儀器

試樁監測儀器除了樁頂位移計荷重計外，於樁體配置鋼筋應力計、鋼柱應變計、鋼管樁應變計、混凝土應變計、樁體變位計、樁底電子荷重計、傾斜管、樁頭電子傾度儀等，樁體外地層則有安裝孔隙水壓計（臺北捷運 CT207A、高鐵研究案）、土中傾斜管（高鐵研究案）及地層變位計／應力計（某大工程呆重試樁 + 礫石層變形模數研究案，2025）

樁身軸向荷重量測儀器以鋼筋應力計最為普遍，惟其應力所求得之傳遞荷重可能會因彈性模數及基樁實際施工斷面積影響分析荷重大小，如果以電子荷重計直接量測最為可靠，因此，早期臺北捷運新北投支線（1991）、北投焚化廠（1994）及高鐵研究案（1997）先期試燕基樁均在樁底安裝電子荷重計。

植入式 PC 樁亦曾在樁身及樁底設置電子荷重計（高鐵 S295 車站，2002），均成功的直接測得各監測斷面之軸向荷重。側向試驗之樁身撓曲變形，傳統上使用傾斜管（Inclinometer），惟使用人工量測往往耗時 10 分鐘以上，與樁頭之位移及荷重無法同步，陣列式位移計（SAA）則提供了即時／同步的量測數據，台灣第一次採用反覆加載試驗（500 次），便是在樁身設置 SAA 才得以立即同步量測到撓曲變形曲線。

四、基樁載重試驗結果判釋和基樁檢測試驗

隨著基樁技術的應用與發展，樁載重試驗數據的判釋和基樁檢測成為近三十年學術研究的重要課題。

4.1 基樁載重試驗結果判釋

載重試驗是樁基礎工程中最重要且直接的現地驗證方法，主要目的在於評估基樁承載能力、位移特性與樁－土互制行為，並作為校核設計參數與驗證施工品質的重要依據。依受力方向與性質，可區分為垂直壓力載重試驗、基樁拉拔試驗與側向載重試驗三大類。垂直壓力試驗主要用於評估軸向極限承載力、位移沉陷行為及荷重傳遞機制；拉拔試驗則針對抗拉拔樁評估其極限抗拉力；側向載重試驗則著重於水平荷重下的位移反應、彎矩分布與土壤反力特性（李建中，1984；李咸亨和李慶福，1988；李咸亨，1990；陳逸駿和張崇義，2000；俞清翰等，2023）。

在垂直壓力載重試驗方面，台灣工程界廣泛採用荷重－位移（ $P-S$ ）曲線進行判釋，常見判釋法包含：Davisson 法、Chin 法、Brinch Hansen 80% 法、De Beer 法、Terzaghi 法及 Fuller & Hoy 法等（張德文等，2005）。黃俊鴻和楊志文（2000）針對高速鐵路嘉義太保試樁計畫結果得到 Terzaghi 法

（即以樁頭位移達 0.1D 作為準則）在物理意義、一致性與實務性上最具代表性，建議作為判定極限承載力的標準方法。此外，該研究亦建議以 $P-S$ 拐點法作為判定降伏承載力的最佳方法。在基樁拉拔試驗方面，陳逸駿和張崇義（2000）認為荷重與位移關係與垂直壓力試驗類似，但其達到極限抗拉力所需的位移量與樁徑無關，常用判釋法包括曲線法、切線法和總沉陷量法等，其中，切線法的判釋結果最接近平均值且變異性最小，是相對適中的判釋方法；反之，曲線法的判釋結果通常較為樂觀。在側向載重試驗方面，基樁行為深受土壤非線性及樁身勁度影響，國內常採用「位移準則法」，並以 Pyke 提出的 5% 樁徑位移法所判釋之承載力最接近統計平均值（偏差僅約 6%），結果較為折衷且具可靠性。相較之下，傳統規範常用的容許位移（如 1 cm 或 1%D）立場較為保守。此外，隨著分析技術進步， $p-y$ 曲線分析已成為模擬樁身位移與地盤反力關係的主流工具（陳逸駿和李志成，2000；張德文等，2005）。為

解決雙向載重試驗數據演繹問題，林三賢等已建議更為周延的解讀方法，詳見 Lin *et al.*, (2024, 2026)、Doan *et al.*, (2026) 研究成果。

過去三十年間，台灣累積了大量現地試樁資料，並逐步由傳統經驗法轉向性能導向（Performance-Based Design, PBD）與可靠度設計（Reliability-Based Design, RBD）。如圖 26，在本地化資料庫的建立，讓工程師能透過模型因子（model factors）分析，量化預測模型與實際量測值之間的誤差（bias）與變異（dispersion）。在分析技術上，除了結合波動方程分析 $t-z$ 、 $Q-w$ 和 $p-y$ 曲線模擬外，近年更導入了人工神經網路（Artificial Neural Network, ANN）等人工智慧技術結合雙曲線擬合法，能根據樁身幾何與地質參數，精準預測完整的荷重－位移曲線，其預測結果與現地試驗資料具有高度一致性，代表著台灣基樁載重試驗結果判釋已邁向數據驅動、高精度分析與智慧化決策的新階段（Hsiao *et al.*, 2025；Chen *et al.*, 2026）。

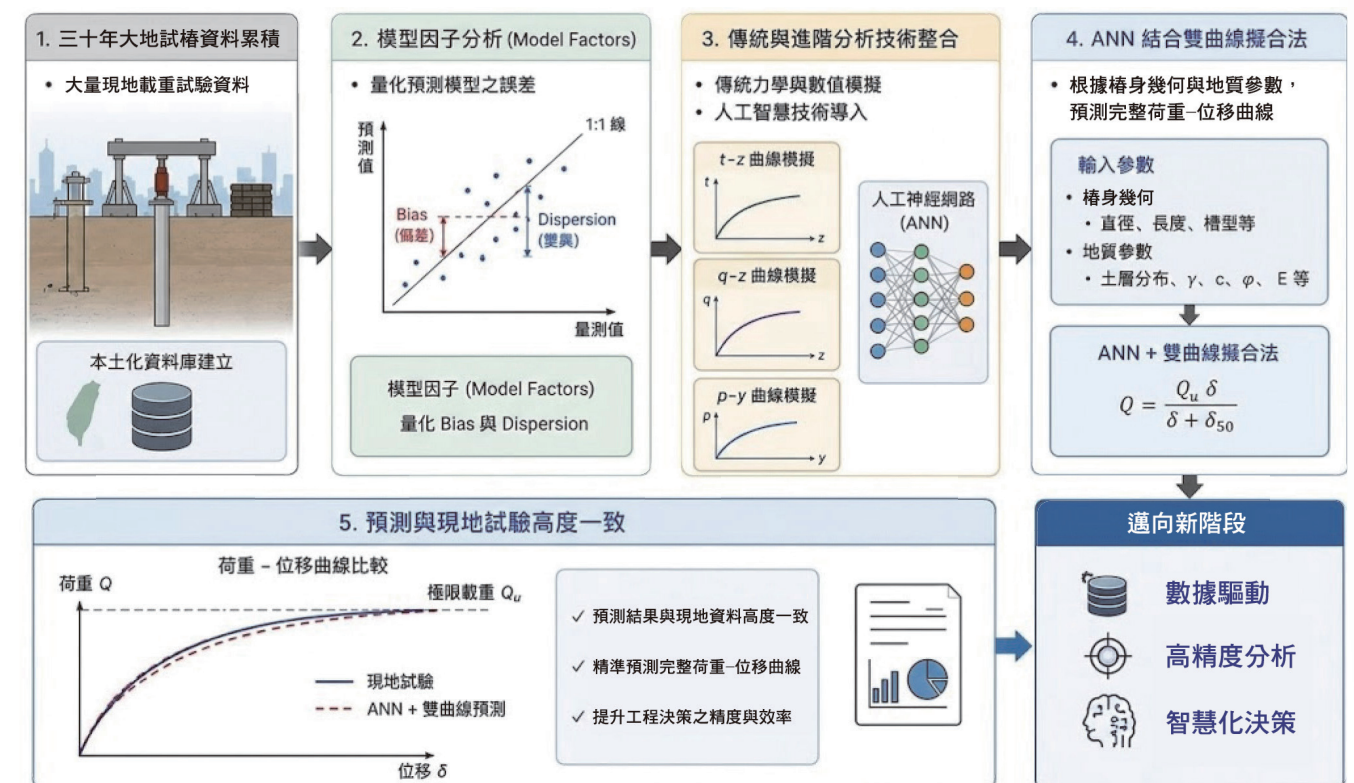


圖 26 未來台灣基樁載重試驗結果判釋邁向數據驅動和智慧化決策的過程（鄭世豪提供）

4.2 基樁檢測試驗

一般在學術研究上，基樁完整性檢測可分為「簡易式」（如反射震測法、跨孔音波、平行震測）與「動力式」（如振動試驗、應力波分析法）兩大類。台灣工程界常用之方法包含低應變反射法（Pile Integrity Testing, PIT）、高應變動力試驗（Pile Dynamic Analyzer, PDA）、跨孔聲波檢測（或 Cross-Hole Sonic Logging Test, CSL）及針對既有結構的平行震測法（Parallel Seismic Method, PS）與鑽心取樣等（倪勝火，1995；楊清源，1995；林廷芳等，2014）。

在簡易完整性檢測中，低應變反射法（PIT）利用樁頭輕擊產生的應力波傳遞特性，判斷樁長與缺陷，具備快速且低成本之優勢。然而，其對局部微小缺陷辨識力有限，且訊號易受樁周土阻抗與樁帽邊界效應干擾，需配合其他方法綜合判讀。對於大型鑽掘樁，跨孔聲波檢測（CSL）已成為主流，透過預埋於鋼筋籠內的聲測管傳遞超音波，分析波速與能量衰減，相關研究指出壓力波波速在 4,570 m/sec 以上代表混凝土品質優良，若低於 3,050 m/sec 則屬不佳（林廷芳等，2014）。高應變動力試驗（PDA）則屬於動力完整性檢測，透過重錘撞擊產生高應變波，結合波動方程理論與 CAPWAP 訊號回饋分析，除能檢核完整性外，更可估算基樁之極限承載力與荷重傳遞模型，此技術已廣泛應用於橋梁、高鐵及離岸風電基礎等重大建設（楊清源，1995；張德文等，2005；Yu *et al.*, 2022）。

過去三十年間，台灣已累積大量基樁檢測案例與資料庫，並逐漸建立本土化之訊號判讀與缺陷評估方法。1990 年代初期國內學者引進應力波理論，成功將非破壞檢測（Nondestructive Testing, NDT）制度化並納入公共工程施工規範，之後，隨著高鐵與西部濱海高架橋梁的動工，面對台灣多變的沖積層、卵礫石層及軟弱岩盤，工程界逐步修正了國外原廠軟體在阻抗分析上的盲區，發展出考量特殊地質的應力波衰減參數。近年基樁檢測標的更由「新設樁之品質品

管」延伸至「既有老舊結構物與危老重建之地下既有樁長勘驗」，平行震測法（Parallel Seismic, PS）與孔內物探技術之結合，填補了都市更新中舊有基礎資料遺失的技術空白（張嘉峰和廖惠菁，2023）。這段歷程讓台灣的基樁 NDT 技術，由「驗收」轉變為具備高度現地適應性的「診斷」，而且，隨著數值分析與智慧監測技術快速發展，台灣基樁檢測也由經驗判讀轉向數據化與智慧化分析（Yang and Ni, 2019），可有效過濾現地背景雜訊，提升缺陷辨識精度與判讀之一致性。此外光纖感測器、分散式應變量測（Distributed Fiber Optic Sensing, DFOS）及無線監測系統逐漸應用於大型基礎工程，未來應用在監測樁身應變、溫度與變形行為可期，如圖 27 可提供基樁生命週期管理與性能化設計之重要依據，為高風險地質與超深基礎工程提供更具韌性的安全保障（Ni and Lehmann, 2012；Yang and Ni, 2019；Liao *et al.*, 2021；余志鵬和洪偉庭，2025）。

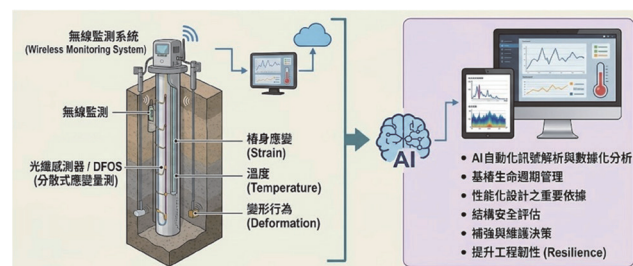


圖 27 基於韌性設計之智慧基樁檢／監測發展示意圖（鄭世豪提供）

五、數值分析相關研究發展

除載重試驗和基樁檢測數據分析外，樁基礎力學行為模擬亦是重要課題。單樁受力可類比於梁受力行為，倘若基樁周身地質條件簡單，吾人可配合假設邊界條件以解析方式求解（黃俊鴻和鍾明劍，2006）；倘若地質條件複雜，則須以數值解方式進行分析。

單樁常用數值解以有限差分法為主，APILE 和 LPILE 等程式均為基樁簡易靜態力學分析代表，配合基樁周身土壤的 t - z 、 Q - w 和 p - y 曲線，此

類分析經常用於模擬基樁承載力；Hsiung *et al.*, (1997, 2003, 2006) 亦曾建議基樁受水平力作用的簡易解供分析使用。為處理動態基樁受行為，張德文等（2003, 2005）曾開發基樁受動態軸力和側力的有限差分程式，並將該等分析用於地震力分析，開發 EQWEAP 程式（Chang *et al.*, 2014）。此分析參考黃俊鴻（2000）建議以力法和位移法考慮地震影響，在選擇基樁周身土壤彈簧（或反力係數）和阻尼係數時須特別注意；為克服阻尼係數選取，Chang *et al.*, (1999, 2000) 曾建議用於基樁反應分析時域之轉換阻尼模式供動態分析使用。

傳統上，橋梁或一般建築物樁基礎之樁帽（或筏基）可視為剛體，分析時以中心點位移和旋轉角為基準，配合基礎幾何條件即可計算筏基任意點的位移量，GROUP 分析即如是。若筏基具柔度，且無偏心垂直靜態荷重作用時，筏基中心處沉陷量最大，角隅沉陷量低；角隅荷重最大，中心或中間樁承重最少，上述現象將因土壤種類、筏基大小和筏基埋深而改變（Chang *et al.*, 2022, 2024, 2025a, 2025b）。若承受穩態（steady-state）振動或暫態（transient）荷重（如來自上構之慣性地震力影響）時，各樁所承受力量將隨作用頻率而產生變化。若以水平向荷重為例，Chang *et al.*, (2009) 曾以基樁間互制公式以及鏡面假設分析剛性樁帽受側力的分配特性，並和物理模型試驗比較印證，研究發現在各樁若在暫態衝擊力作用下（地盤地震影響），各樁受力將相仿；反之若隨上構慣性力作用時，各樁力量仍將有所不同，此現象說明力源不同將造成基礎不同反應。林三賢等人（2005, 2009）曾討論地盤側潰之耦合和非耦合分析對樁基礎所產生的影響。將樁應用於擋土亦常見於開挖和坡地工程，相關文獻可見於林三賢與葉樹機（2001）、張睦雄等（2010）、林德貴等（2015）、黃御恩和馮正一（2025）。

隨著建築物維度和載重攀升，近年樁筏基礎設計觀念亦受到重視，樁筏基礎中，筏基底部土壤支承力是節能減碳重要手段。以一維或二維筏基構造配合土壤彈簧和基樁彈簧進行樁筏基礎

分析可見於 Poulos、Randolph（靜態）、Matsumoto（靜態／動態）等人研究成果。此類離散式結構系統無法完全掌握樁－筏基－土壤間的互制行為，樁筏基礎分析仍以具連體特性之有限元素法或高階有限差分法為最佳數值解法。

鑒於地工軟體發展益趨成熟，採用數值軟體模擬基樁行為的研究亦日益增多，陳正興和曾駿杰（2003）、陳正興和莊淳堯（2003）曾分別以 FLAC 和 ABAQUS 軟體模擬南科園區基樁振動試驗，馮正一等（2005）則採用 FLAC 分析基樁靜動載重試驗；採 PLAXIS 分析進行基樁靜動態載重試驗之研究亦可見於林三賢和倪敏倉（2006）。Chang *et al.* (2019, 2021) 曾採用 Midas 分析模擬壁樁承受垂直荷重以及側向推力之行為，討論樁身摩擦力和樁底反力乃至壁樁長短和其側力作用方向的關係；此外，也曾以 Midas 分析探討黏土層和砂土層垂直地盤反力係數以及基樁反力係數隨土壤勁度、筏基尺寸、荷重大小改變而產生的變化（Chang *et al.*, 2024, 2025a）。嚴謹的二維或三維有限元素分析可用於判定地工設計參數，土壤應變量範圍須注意，經驗上，靜態試驗所得的土壤參數遠較動態試驗或現場地球物理試驗波傳法所得者低 1/3 ~ 1/2，表 1 為使用有限元素分析樁筏基礎之黏土和砂土地盤反力係數 K_v 值。

近期針對液化地盤中基樁行為，採有限元素法或有限差分法進行各式樁基礎耐震行為分析的研究如：盧之偉等（2010, 2013）、盧志杰等（2018）、徐明志（2024）、徐煜淳等（2024）、張德文和鄭世豪（2024）、黃郁惟（2025）等，採用 FLAC、PLAXIS、DBLEAVES、ABAQUS、MIDAS、OPENSEES、DEEPSOIL 等軟體進行分析；若以有效應力分析（ESA），UBCSand 和 PM4Sand 係許多商用軟體的常用土壤模式；建物群互制影響、上構慣性互制影響、近斷層效應、地震力組合、二維三維分析差異、液化土壤壓縮沉陷機制等均為探討議題。翁作新和陳家漢（2009）、李崇正等（2013, 2015）、張文忠和陳家漢（2023）、黃俊鴻（2024）等則透過振動台和離

表 1 樁筏基礎在黏土層和砂土層的垂直向地盤反力係數值 (K_v) (單位: kN/m^3)

黏土層 ($V_s = 120 \text{ m/s}$ 、 $E_s = 82 \text{ MPa}$ 、 $S_u = 41 \text{ kPa}$)											
筏基埋深 (m)	連續壁深 (m)	荷重比值 (註)	筏基寬 (B)								
			$B = 16 \text{ m}$			$B = 26 \text{ m}$			$B = 36 \text{ m}$		
			中間	邊緣	角隅	中間	邊緣	角隅	中間	邊緣	角隅
8	16	1	9821	13743	13898	5062	8472	8638	3683	6746	7100
12	24	1	11020	17451	17538	5324	10398	10331	3851	8115	8277
8	20	1	10211	15021	15254	5124	9132	9214	3733	7190	7428
12	30	1	11869	19948	20128	5528	11656	11731	3900	8939	9169
8	16	1.5	6129	7577	7095	3258	4492	3988	2280	3412	3026
12	24	1.5	6629	9121	8634	3145	5023	4430	2129	3627	3170
8	20	1.5	6368	8200	7824	3276	4868	4249	2319	3659	3135
12	30	1.5	7339	10316	10042	3317	5538	5113	2161	3955	3513
砂土層 ($V_s = 150 \text{ m/s}$ 、 $E_s = 119 \text{ MPa}$ 、 $\text{SPT-N} = 7$ 、 $\phi' = 31^\circ$)											
筏基埋深 (m)	連續壁深 (m)	荷重比值 (註)	筏基寬 (B)								
			$B = 16 \text{ m}$			$B = 26 \text{ m}$			$B = 36 \text{ m}$		
			中間	邊緣	角隅	中間	邊緣	角隅	中間	邊緣	角隅
8	16	1	15607	23877	24589	7985	13920	14423	5757	10511	11288
12	24	1	16554	28168	29032	8006	16492	16717	5652	12468	12728
8	20	1	16231	26118	27037	8153	15195	15515	5829	11417	11929
12	30	1	17644	32257	33550	8284	18649	19011	5759	14068	14190
8	16	1.5	13276	16717	16418	7461	9975	9715	5428	7568	7651
12	24	1.5	14149	19790	19550	7588	11737	11252	5430	8882	8611
8	20	1.5	13828	18454	18014	7596	10883	10478	5489	8250	8090
12	30	1.5	15013	22747	22490	7851	13336	12737	5544	10020	9586

註：荷重比值 = 基礎荷重 / 挖方土重

心機的物理模型試驗探討單樁以及樁基礎的各式力學行為，對於基樁行為分析具有啟迪之影響。

隨著性能設計的推展，基樁耐震性能設計也是近年研究的重點之一，林宏達（2003, 2006）曾推動 LRFD 設計法在場鑄基樁的應用；陳正興等（2009）、陳正興和邱俊翔（2012）、陳正興等（2015）、陳正興和黃俊鴻（2016）曾針對地工性能設計原則和方向進行討論；基樁韌性設計之性能函數相關研究可參考邱俊翔等（2008, 2009, 2014, 2024, 2026）的建議。近日柯永彥等（2026）針對 2023 年版規範內容展示樁基礎設計範例。

六、樁基礎設計方法進展與規範沿革

國內基礎設計常參考「建築物基礎構造設計規範」，其最早版本可追溯至民國 77 年，過去三十年間已於民國 90 年及 112 年歷經兩次大幅修訂。樁基礎設計主要包括垂直樁、側向樁及群樁三大面向。

在垂直樁設計方面，主要考量為垂直承載力。早期規範主要針對打入式與鑽掘式基樁，利

用標準貫入試驗（SPT） N 值及圓錐貫入試驗（CPT）推估樁周摩擦力與樁底承載力。隨著國內許多大型工程（如雲林麥寮地區抽砂回填人工島、高速鐵路工程）推展，累積了大量樁載重試驗資料（陳正興等，2000），以及植入式基樁之廣泛應用（王傳奇等，1995），90 年版規範除更新以 N 值推估承載力之經驗式外，亦將相關公式直接納入主條文，並增列植入式基樁之承載力經驗式。在安全係數方面，90 版規範以前，係以單一安全係數除總極限承載力以求得樁之容許承載力；不過由於樁周摩擦力與樁底承載力的發展機制不同，112 年版規範提出針對二部分分別採用不同安全係數，基於樁周摩擦力相較於樁底承載力較早發揮，建議採用較大之安全係數。此修訂期能改善以往工程界重樁底承載力而輕摩擦力的思維。另外，樁在地盤下陷地層常面臨棘手的負摩擦力問題，因樁大部分位於負摩擦力區，導致部分案例難以設計。由於規範建議的中立點深度未考慮結構載重，Chiou and Wei（2021）透過有限元素分析探討樁頭載重對負摩擦力之影響，結

果顯示樁頭載重可降低負摩擦力效應，且摩擦點承樁的表現優於摩擦樁。基於實際樁頭均承受結構載重，建議於負摩擦力設計中納入其影響。

在側向樁設計方面，相較於垂直樁，樁受側向力作用時之破壞型態主要為樁體破壞及側向位移過大，因此設計上以樁頭變位作為主要控制指標。在側向位移分析方面，90 年版規範參考日本規範（日本建築學會，1988），提供以彈性基礎梁理論為基礎之張氏法（Chang, 1937）相關公式。該方法係假設土壤行為為線彈性，其關鍵參數為水平地盤反力係數。由於張氏法主要適用於線彈性土壤，112 年版規範進一步考量土壤非線性行為，建議可採用 p - y 曲線法進行非線性分析。此外，針對完全彈塑性土壤條件，Hsiung（2006）及陳正興和黃俊鴻（2016）亦曾提出相關理論解，並已納入規範解說供設計者參考。

在群樁設計方面，與單樁不同，尚須考慮樁間應力場及承載區重疊所造成之群樁效應，其可能導致位移增加與承載力降低。目前規範主要針對承載力降低進行考量，但在位移分析方面，尚未提供群樁效應之相關修正方法。對於側向受力群樁，一般多採用 p 修正法修正 p - y 曲線之土壤反力（ p 值），或類似日本規範以地盤反力係數折減方式處理群樁效應。范嘉程（1998）提出模數修正係數法，藉由修正單樁 p - y 曲線的模數以推求群樁之 p - y 曲線；邱俊翔和陳正興（2006）則進一步考量不同位移階段之群樁互制機制差異，提出二階段修正方法：於小位移階段採用位移放大因子（ γ 修正），而於大位移階段則採用地盤反力折減因子（ p 修正），以更合理反映群樁之側向互制行為。

112 年版規範的重要修訂之一，係導入性能設計概念，並增列極限限界狀態下之載重條件與相關檢核規定。然而，目前規範中有關性能設計之內容尚未完全建構完備。性能設計係以性能要求為中心，如圖 28 所示，共包含三個部分，依序為目的、性能要求及性能規定與驗證，其中為確實達到各項性能要求，設計重點在於性能規定

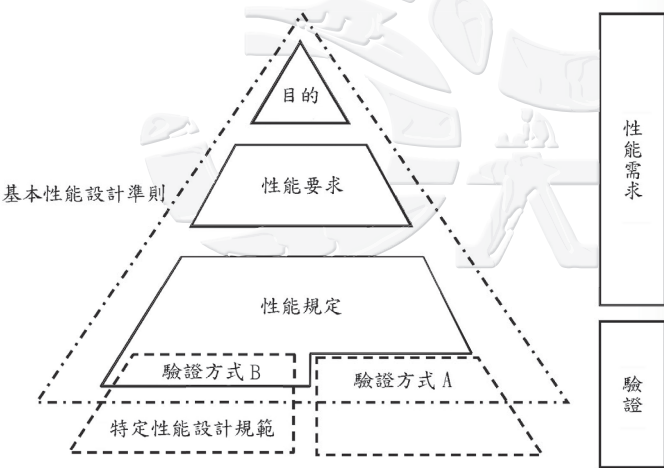


圖 28 性能設計規範階層圖（Honjo, 2003）

與驗證（邱俊翔，2023）。若未來欲進一步朝向性能設計發展，則有必要建立完整之非線性分析方法，並配合明確之性能檢核準則。目前日本規範已全面邁入性能設計階段（邱俊翔，2019），不僅側向樁須進行位移檢核，垂直樁之設計承載力亦考量所容許之變位。因此，除側向樁可採用 p - y 曲線法模擬土壤側向反力與位移外，垂直樁亦可分別採用 t - z 曲線與 q - z （或 Q - w ）曲線，以模擬樁身摩擦力 變位行為及樁底壓力 變位行為，以進行非線性分析。

有關非線性分析所採用之 t - z 、 q - z 與 p - y 曲線，其原始發展背景係用於海事工程中的鋼管樁，相關模式最初由美國石油協會（American Petroleum Institute，簡稱 API）提出。雖然目前國內顧問公司亦常應用相關模式，但其參數與適用條件未必能完全反映國內地盤特性。取得上述曲線最直接的方法，為透過試樁資料進行回饋分析。其中， t - z 與 q - z 曲線可藉由樁身軸力變化與樁身、樁底變位關係建立。然而，在推求樁身軸力時，需透過樁斷面模數將鋼筋計量測之應變轉換為軸力，不同之斷面模數假設（如線性或非線性）將導致所得曲線有所差異（林三賢和廖振程，2019）。相較於 t - z 與 q - z 曲線， p - y 曲線之推求則更為困難，因此一般試樁報告多未提供相關結果。其主要困難在於土壤反力 p 值之計算通常需透過微分運算求得，亦即由傾度管量測之位

移資料進行四次微分以反算 p 值；然而，多次微分會大幅放大測量誤差，進而產生不合理之土壤反力結果。有鑑於此，邱俊翔和陳正興（2000）發展一套可減少微分次數之分析方法，得以推求合理可靠的 p - y 曲線。

如前所述，側向樁設計主要以位移控制與樁體結構破壞為設計考量。然而，目前多數分析仍假設樁體為彈性行為，尚未充分納入樁之非線性反應。傳統耐震設計多採彈性樁設計，因此在一般情況下，此假設尚屬合理；然而，在某些特殊情況下，例如壁式基礎或液化地盤中，若仍強制要求樁體維持彈性，往往會導致過於保守甚至不合理之設計結果。因此，若能將樁基礎視為具韌性之構件進行設計，將可使設計更為合理可行。為進行樁基礎韌性設計，可透過側推分析（pushover analysis）評估樁基礎之韌性容量（Chiou *et al.*, 2011；邱俊翔等，2026）。而在側推分析中，必須考量樁體之塑性行為。結構分析中常採用塑鉸模式，於構件受力最大處設置塑鉸，以模擬降伏後形成之塑性區。然而，對於深埋於地中的樁基礎，其塑性區位置與發展範圍通常難以事先確定，因此傳統單一塑鉸模式並不適用。為此，Chiou *et al.*, (2009) 提出分布塑鉸模式（distributed plastic hinge model），於樁身可能產生塑性之區域配置多個塑鉸。此方法不僅可避免事先精確決定塑性區位置，亦可依據實際發生作用之塑鉸範圍，自動判定塑性區之發展範圍。其後，Chiou and Lin (2022) 進一步發展可自動考量軸力變化之塑鉸模式，適用於群樁系統分析，以反映受載重作用過程中軸力變化對樁斷面塑鉸性質之影響。

近年來，隨著國內離岸風電工程之發展，風機樁基礎施工與設計亦帶動一系列離岸樁基礎相關研究。有關離岸風機基礎設計，目前主要參考 DNVGL-RP-C212 (2021) 與 ISO 19901-4 (2025) 等國際規範。不同於國內陸域樁基礎設計多以 SPT 參數為主，離岸樁基礎之垂直承载力設計主要係依據 CPT 參數進行評估。王俊翔與黃俊鴻

(2022) 曾針對不同設計方法所得之樁垂直承载力差異進行比較分析。此外，側向受力行為亦為離岸風機樁基礎設計之重要課題。由於離岸風機常採用大口徑單樁基礎，近年有許多研究探討傳統 p - y 曲線分析法於大口徑單樁設計中的適用性，以及反覆載重對基礎側向行為之影響（Martin Achmus 和郭玉樹，2014；Chiou *et al.*, 2018）。

七、未來展望

綜上所述，除了各項課題的精進與既有問題之解決外，隨著資訊科技（IT）與人工智慧（AI）的進步、永續工程（SDGs and ESG）議題備受社會所重視，以及未來世代人力短缺的進展，樁基技術未來發展方向大致如下：

1. 有助於基樁和樁基礎之設計、施工、營運的智能輔助性（自動化）工具開發與應用；
2. 在自然力或人為力等作用下，對於基礎更為精確即時的監測和監控技術，以及主動控制減災的技術開發；
3. 優化設計減少碳排放量；採高階數值分析掌握土壤結構互制行為；重視性能設計之不確定性分析、以及控制結構體變形量，並改善相關分析的準確性；
4. 在離岸風電基礎、地熱、洋流等新能源工程議題中，基樁和樁基礎所能扮演的角色和技術開發與應用。

八、結語

基樁技術在臺灣的大量應用始於 1970 年代的十大建設，迄今，基樁技術已成為大型建築工程和橋樑工程中的關鍵項目。本文整理臺灣迄今（2026 年）近三十年的基樁工程技術之實務應用與學術研究重要發展，嘗試說明基樁技術之施工與試驗、檢測與監測、分析與設計等各項課題的進程，盼能拋磚引玉、啟發未來相關工程技術之精進與突破；由於樁基工程課題廣博，本文尚有未盡處，尚祈各界指正，以臻完備。

誌謝

本文內容甚為廣泛，承蒙富國技術工程俞清瀚董事長協助成立共筆小組，惠請富國徐明志總經理、同豐工程施志鴻副總、台大邱俊翔教授、台安技術張有恒副董事長、台灣世曦周永川協理、中興工程江政恩協理、亞新工程曾孝欽專案副理、台科大鄭世豪博士等地工先進協力合著；眾人分別於 2026 年 4 月 26 日和 5 月 11 日於富國技術工程股份有限公司召開會議，確定論文架構與分工和撰寫方式，眾志成城，順利完成並使文章豐富精實，筆者謹申最大謝忱。

參考文獻

1. Chang, D.W. and Yeh S.H. (1999). Time-domain wave equation analysis of single piles utilizing transformed radiation damping, *Soils and Foundations*, JGS, 39(2), 31-44.
2. Chang, D.W., Lin, B.S. and Cheng, S.H. (2009). Lateral load distributions on grouped piles from dynamic pile-to-pile interaction factors, *Int. J. for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 33(2), 173-191.
3. Chang, D.W., Cheng, S.H. and Wang, Y.L. (2014). One-dimensional wave equation analyses for pile responses subjected to seismic horizontal ground motions, *Soils and Foundations*, JGS, 54(3), 313-328.
4. Chang, D.W., Cheng, S.H., Chiu, M.C. and Ge, L. (2025a). A study on subsoil and pile reactions of embedded piled raft foundations in loose sands under vertical loads, *KSCE Journal of Civil Engineering*, March 10023.
5. Chang, D.W., Huang, D.W., Lin, Y.K., Lu, F.C., Kuo, C.J. and Zhussupbekov, A. (2021). Length influences on lateral performance of barrette from three-dimensional finite element analysis, *J. of Applied Science and Engineering*, 25(4), 577-591.
6. Chang, D.W., Lin, C., Wang, T., Lin, Y.K., Lu, F.C. and Kuo, C.J. (2019). Three-dimensional finite element analyses of barrette piles under compression and uplift loads with field data assessments, *Geotechnical Engineering, SEAGS & AGSSEA Journal*, 50(3), 58-73.
7. Chang, D.W., Lin, J.H., Cheng, S.H. and Ge, L. (2024). Dimensionless reaction coefficients for embedded piled raft foundations in soft clays under vertical loads, *Int. J. of Geomechanics*, ASCE, 24(4).
8. Chang, D.W., Lu, C. W., Tu, Y.J. and Cheng, S.H. (2022). Settlements and subgrade reactions of surface raft foundations subjected to vertically uniform load, *Applied Sciences*, 12(11), 5484.
9. Chang, D.W., Roesset, J.M. and C.H. Wen (2000). A Time-domain viscous damping model based on frequency-dependent damping ratios, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier Science Ltd. 19, 551-558.
10. Chang, D.W., Zheng, W.C., Cheng, S.H., Tseng, C.Y. and Ge, L. (2025b). Serviceability performance of piled raft foundations under vertical loads in clayey and sandy soils, *Soils and Foundations*, JGS, 65(4), Aug. 101650.
11. Chang, Y.H. (2004). Statnamic loading test on instrumented bored pile in Taiwan, *Proc. of the 7th Int. Conf. on the Application of Stress Wave Theory to the Piles*, Kuala Lumpur, Malaysia.
12. Chang, Y.L. (1937). Discussion on "Lateral Pile-Loading Tests" by L.B. Feagin, *Trans., ASCE*, 102, 272~278.
13. Chen, Y.J., Wang, K., Phoon, K.K., Guo, M. and Jos, M.A. (2026). Pre-bored PC pile capacity prediction in drained soils using artificial neural network. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems*, Part A: Civil Engineering, 12(2), 04026007.
14. Chiou, J.S. and Lin, Y.S. (2022). Axial force dependent pushover analysis model for laterally loaded piles. *Journal of GeoEngineering*, 17(2), 59-71.
15. Chiou, J.S. and Wei, W.T. (2021). Numerical investigation of pile-head load effects on the negative skin friction development of a single pile in consolidating ground. *Acta Geotechnica*, 16(6), 1867-1878.
16. Chiou, J.S., Chiang, C.H., Yang, H.H. and Hsu, S.Y. (2011). Developing the fragility curves for a pile-supported wharf. *Soil Dynamics and Earth-*

- quake Engineering, 31(5-6), 830-840.
17. Chiou, J.S., Xu, Z.W., Tsai, C.C., and Hwang, J.H. (2018). Lateral cyclic response of an aluminum model pile in sand. *Marine Georesources & Geotechnology*, 36(5), 554-563.
 18. Chiou, J.S., Yang, H.H. and Chen, C.H. (2009). Use of plastic hinge model in nonlinear pushover analysis of a pile, *J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 135(9), 1341-1346.
 19. DNVGL-RP-C212 (2021). Offshore Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, DNV, September 2021.
 20. Doan, M.T., Lu, C.W., Lin, S.S., and Nguyen, V.D. (2026). Advanced framework for interpretation bi-directional pile load tests using nonlinear load transfer models and metaheuristic optimization, *Ocean Engineering*, 349, 123981,
 21. Honjo, Y. (2003). Comprehensive design codes development in Japan: Geo-code 21 ver. 3 and code PLATFORM ver. 1, LSD2003: International Workshop on Limit State Design in Geotechnical Engineering Practice.
 22. Hsiao, M.H., Chen, Y.J., Phoon, K.K. and Jos, M.A. (2025). Statistical evaluation of pre-bored PC pile behavior under axial compression. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 1-44.
 23. Hsiung, Y.M., Chen, S.S. and Chou, Y.C. (2006). Analytical solution for piles supporting combined lateral loads. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(10), 1315-1324.
 24. Hsiung, Y. M. (2003). Theoretical elastic-plastic solution for laterally loaded piles, *J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 129(6), 475-480.
 25. Hsiung, Y.M. and Chen, Y. L. (1997). Simplified method for analyzing laterally loaded single piles in clays, *Journal of Geotech. and Geoenvironmental. Engr.*, ASCE, 123(11), 1018-1029.
 26. ISO 19901-4 (2025). Oil and Gas Industries Including Lower Cabin Energy – Specific Requirements for Offshore Structures, Part 4: Geotechnical Design Considerations, Edition 3.
 27. Liao, S.T., Yu, C.P., Tong, J.H., Lai, J. and Chang, C.T. (2021). Improved sonic echo method with multiple receivers and amplifier to evaluate the length of capped piles, *International Journal of Applied Science and Engineering*, 18(3), 1-12.
 28. Lin, S.S., Nguyen, V.D., Doan, M.T., Lu, C.W., and Chiang, C.E. (2026). Back analysis of bi-directional pile load tests of drilled shaft socketed in weak rock, *Proc. of the Institution of Civil Engineers- Geotechnical Engineering* (Accepted and in press)
 29. Lin, S.S., Su, C.Y., Chiang, C.E., and Wang, C.H. (2024). Interpretation of bi-directional pile load tests using instrumented gauge data, *Journal of the Chinese Institute of Engineer*, 47(1), 96-107.
 30. Ni, S.H. and Lehmann, L. (2012). Defect identification of bored piles using cross-hole sonic logging tomographic imaging, *Structural Health Monitoring*, 11(6), 685-696.
 31. Yang, Y.Z. and Ni, S.H. (2019). Applicability of complex wavelet transform to evaluate the integrity of commonly used pile types, *Journal of Geotechnical Engineering*, 14(1), 21-32.
 32. Yu, C.P., Liao, S.T. and Kallivokas, L.F. (2022). An extension of the mobility analysis of the impulse response method for coupled pile-soil integrity testing, *Journal of Earthquake Engineering*, 26(7), 3703-3723.
 33. Martin Achmus、郭玉樹 (2014), 「離岸風機大口徑單樁基礎地工設計考量」, 地工技術, 第 142 期, 第 25-35 頁。
 34. 內政部 (2023), 「建築物基礎構造設計規範」, 內政部 112.06.20 台內營字第 1120807974 號令修正發布。
 35. 日本建築學會 (1988), 「建築基礎構造設計指針」。
 36. 王俊翔、黃俊鴻 (2022), 「離岸風機基樁軸向承載力計算方法之比較研究：(II) 海底土層」。地工技術, 第 174 期, 第 85-94 頁。
 37. 王傳奇、徐建一、余明山 (1995), 「植入式基樁及其施工品管管制」, 地工技術, 第 52 期, 第 27-34 頁。
 38. 江政恩 (2026), 海上基樁施工, 技術分享, 中興工程顧問股份有限公司。
 39. 何泰源、吳文隆、蕭秋安、蔡立盛 (2011), 「臺灣河川橋樑基礎問題與案例介紹」, 地工技術, 第 127 期, 第 29-40 頁。
 40. 何樹根 (2023), 「臺灣高樓基礎之發展」, 地工 40 大地工程技術發展專刊 第三冊 專業技術發展史, 第 III-97- -122 頁。
 41. 余志鵬、洪偉庭 (2025), 「基樁完整性試驗之實例應用探討—以市政路延伸工程為例」, 研究成果, 國立中興大學土木工程學系。
 42. 李成亨、李慶福 (1988), 「垂直基樁載重試驗結果詮釋法在台灣地區之適用性探討地工技術」, 第 24 期, 第 49-59 頁。
 43. 李成亨 (1990), 「基樁載重試驗規範和資料建檔之研究營建工程技術」第 13 期 第 75-82 頁。
 44. 李建中 (1984), 「試樁加載過程及結果詮釋之探討地工技術」, 第十卷, 第五期, 第 3-16 頁。
 45. 李崇正、洪汶宜、蔡晨暉、涂亦峻 (2013), 「離心模型試驗技術 (1)」, 國家地震工程研究中心技術報告, NCREE-13-048。
 46. 李崇正、許尚逸、洪汶宜、邱俊翔、楊宗翰 (2015), 「離心模型樁動態試驗」, NCREE 簡訊, 第 93 期。
 47. 李榮瑞、江政恩 (2022), 「淡江大橋主橋基礎基樁自體平衡試樁」, 第十九屆大地工程學術研討會暨科技部成果發表會, 台北。
 48. 杜振宗、丁金彪、張富吉、賴文三、范弘芳 (2003), 「塔山電廠碼頭設施基礎工程之設計與施工艱困檢討」, 地工技術叢書之六：大地工程困難案例, 第 98-104 頁。
 49. 林三賢、倪敏倉 (2006), 「應用 PLAXIS 程式於靜動樁載重試驗分析研究」, 研究成果, 國立台灣海洋大學河海工程學系。
 50. 林三賢、張德文、盧之偉 (2009), 「地盤側向滑移對樁基礎影響之研究」, 地工技術, 第 121 期, 第 19-26 頁。
 51. 林三賢、曾玉如、江承家、李維峰 (2005), 「液化土層產生側潰對基樁之影響分析」, 地工技術, 第 103 期, 第 43-52 頁。
 52. 林三賢、葉樹機 (2001), 「擋土排樁側向土壓力計算法簡介」, 地工技術, 第 85 期, 第 75-80 頁。
 53. 林三賢、廖振程 (2019), 「鑽掘樁之工程實務及載重試驗與分析」, 地工叢書之十二, 地工技術研究發展基金會。
 54. 林永光、呂芳熾、程日晟 (1995), 「打擊式預力混凝土基樁施工及品管簡介」, 地工技術, 第 52 期, 第 5-14 頁。
 55. 林永光、高聰忠 (1987), 「樁基礎型式與施工機械」, 地工技術, 第 18 期, 第 4-7 頁。
 56. 林宏達 (2003), 「場鑄基樁載重阻抗係數 (LRFD) 設計方法之探討」, 地工技術, 第 97 期, 第 67-76 頁。
 57. 林宏達、郭紘志 (2006), 「濱海地層中 PC 樁 LRFD 設計法之阻抗與載重係數分析」, 地工技術, 第 109 期, 第 63-72 頁。
 58. 林廷芳、高穆賓、黃智暉 (2014), 「3D 成像技術在跟孔式超音波完整性檢測之應用」, 三聯技術, 第 94 期, 第 2-7 頁。
 59. 林德貴、陳威翔、王勝賢 (2015), 「擋土止滑樁穩定邊坡之力學行為三維數值分析」, 中華水土保持學報, 第 46 卷, 第 4 期, 第 205-212 頁。
 60. 邱俊翔 (2024), 「液化地盤基樁非線性側推分析」, 土壤液化防治工程技術研討會暨國科會液化防災成果發表會, 10/31-11/1, 國家地震工程研究中心, 台灣 台北。
 61. 邱俊翔 (2019), 「日本鐵路基礎構造物設計規範簡介與橋梁群樁基礎耐震性能分析示範例」, 地工技術, 第 160 期, 第 5-14 頁。
 62. 邱俊翔 (2023), 「大地工程設計現況與展望」, 地工技術, 第 177 期, 第 27-33 頁。
 63. 邱俊翔、陳正興、楊鶴雄 (2008), 「樁基礎非線性側推分析之樁材塑鉸設定方法」, 國家地震工程研究中心, 報告編號: NCREE-08-012。
 64. 邱俊翔、何政恩、王筱妝 (2026), 「液化地盤樁基礎非線性側推分析」, 地工技術, 第 187 期, 第 35-42 頁。
 65. 邱俊翔、柯永彥、黃俊鴻、陳正興 (2014), 「剛性基腳之旋轉性能曲線與工程設計考量」, 地工技術, 第 140 期, 第 79-86 頁。
 66. 邱俊翔、陳正興 (2000), 「側向載重樁非線性變形反應之回歸分析」, 中國土木水利工程學刊, 第 12 卷, 第 3 期, 第 455-464 頁。

- 67.邱俊翔、陳正興（2006），「側向荷載群樁之 p-y 曲線修正方法」，中國土木水利工程學刊，第 18 卷，第 3 期，第 325-335 頁。
- 68.俞清翰、張有恒、何應璋、高秋振、徐明志（2023），「試樁工法及應用之演進與展望與應用」，地工技術，第 177 期，第 13-24 頁。
- 69.俞清瀚、徐明志、簡進龍（2013），「台灣壁式基樁之應用發展與案例介紹」，2013 海峽兩岸地工技術 / 岩土工程交流研討會，台北。
- 70.俞清瀚、張有恒、何應璋、高秋振、徐明志（2023），「試樁工法及應用之演進與展望」，地工技術，第 177 期，第 7-12 頁。
- 71.施志鴻（2023），「場鑄鑽掘樁及大型載重試驗之設備與技術發展」，地工 40 大地工程技術發展專刊第三冊專業技術發展史，第 III-253-266 頁。
- 72.柯永彥、何金益、蔡祁欽、陳厚銘、廖振程（2026），「基於 2023 年版《建築物基礎構造設計規範》之樁基礎設計示範例」，地工技術，第 187 期，第 25-34 頁。
- 73.段紹緯、王瑞芳、王劍虹（1991），「電子錐在推估打擊式基樁承載力上之應用—一案例介紹」，地工技術，第 36 期，第 6~19 頁。
- 74.胡邵敏（2004），「台灣樁基工程的回顧、現況與展望」，地工技術，第 100 期，第 23~40 頁。
- 75.胡邵敏（2009），「樁基工程（增訂一版）」，地工技術叢書之九：樁基工程（增訂一版）附錄二。
- 76.范嘉程（1998），「承受橫向力之群樁分析」，地工技術，第 66 期，第 85-96 頁。
- 77.倪勝火（1995），「基樁之非破壞性檢測與案例」，地工技術，第 52 期，第 49-62 頁。
- 78.凌凱（1999），「高屏溪斜張橋連續壁基礎施工」，地工技術，第 72 期，第 55-66 頁。
- 79.徐明志（2024），「既設建築物採用格子狀地盤改良抗液化設計案例介紹」，土壤液化防治工程技術研討會暨國科會液化防災成果發表會，10/31-11/1，國家地震工程研究中心，台灣 台北。
- 80.徐煜淳、章順強、江政恩（2024），「離岸風機之土壤液化評估」，土壤液化防治工程技術研討會暨國科會液化防災成果發表會，10/31-11/1，國家地震工程研究中心，台灣 台北。
- 81.翁作新、陳家漢（2009），「振動台試驗探討土壤液化與樁土互制作用」，地工技術，第 121 期，第 55-62 頁。
- 82.高秋振、徐明志、何樹根（2008），「樁底高壓沖洗灌漿工法之介紹」，陳斗生博士紀念論文集，第 197-220 頁。
- 83.張文忠、陳家漢（2023），「近斷層地震橋梁防災工程技術研究—本土土壤近斷層液化特性與樁基礎液化折減因子探討（子計畫五）（III）」，國科會專題研究計畫報告，MOST 110-2625-M-006-012。
- 84.張有恒（1995），「淺談基樁之承載力試驗」，地工技術，第 52 期，第 71-83 頁。
- 85.張有恒（1999），「打擊式基樁之 PDA/DLT 動力試樁」，土木技術期刊。
- 86.張有恒（2000），「基樁品質檢驗方法之比較與適用性之探討」，地工技術，第 80 期，第 51-66 頁。
- 87.張有恒、施志鴻、謝謹至、駱志能（2011），「壁樁之施工與承載力試驗」，地工技術，第 128 期，第 47-58 頁。
- 88.張清森、林景文（1984），「中正紀念公園二期反循環樁施工控制與試樁」，地工技術，第 5 期，第 33-42 頁。
- 89.張睦雄、張俊隆、陳建華、蔡魏勇、蔡宗成（2010），「公路邊坡抗滑排樁現地土壓力之量測與判釋」，台灣公路工程，36(1)，第 2-19 頁。
- 90.張嘉峰、廖惠菁（2023），「建物基樁長度檢測與探討」，營建知訊，第 480 期，第 34-48 頁。
- 91.張德文、林伯勳、林冠吾（2005），「波動方程解於層狀土壤樁基承載力之應用與分析」，中國土木水利工程學刊，第 17 卷，第 1 期，第 19-30 頁。
- 92.張德文、林伯勳（2003），「含樁帽及互制影響之波動方程分析」，地工技術，第 95 期，第 49-60 頁。
- 93.張德文、林伯勳、林冠吾（2005），「詮釋基樁承載力之波動方程分析與應用」，岩土工程學報，第 27 卷，第 1 期，第 30-37 頁。
- 94.張德文、鄭世豪（2024），「液化地盤之樁筏基礎性能研究」，土壤液化防治工程技術研討會暨國科會液化防災成果發表會，10/31-11/1，國家地震工程研究中心，台灣 台北。
- 95.陳斗生（2004），「臺北國際金融中心大樓岩土工程簡介」，2004 海峽兩岸地工技術交流研討會，第 15-30 頁，台北。
- 96.陳正興、邱俊翔（2012），「國內性能設計規範之基本架構與公路橋梁耐震性能設計規範之基礎設計」，地工技術，第 132 期，第 7-14 頁。
- 97.陳正興、莊淳堯（2003），「南科園區基樁振動試驗與 ABAQUS 模擬分析」，研究成果，國立台灣大學土木工程學系。
- 98.陳正興、曾駿杰（2003），「南科園區基樁振動試驗與 FLAC 模擬分析」，研究成果，國立台灣大學土木工程學系。
- 99.陳正興、黃俊鴻（2016），「基礎性能分析」，地工叢書之十一，地工技術研究發展基金會。
- 100.陳正興、黃俊鴻、邱俊翔、柯永彥、吳文隆、曾駿杰（2015），「大地工程性能設計之架構與基礎性能分析」，中華技術，第 105 期，第 98-106 頁。
- 101.陳正興、黃俊鴻、彭祖德、張龍騰（2000），「台灣西部海埔地預力混凝土基樁載重試驗資料之分析」，中國土木水利工程學刊，第 12 卷，第 1 期，第 51-62 頁。
- 102.陳正興、黃俊鴻、鄧崇任（2009），「公共工程性能設計準則之研究」，行政院公共工程委員會專案研究計畫。
- 103.陳泊鈞、何泰源、周永川、施志鴻（2025），「國內橋梁深基礎之演進及困難施工挑戰」，地工技術，第 185 期，第 7-16 頁。
- 104.陳逸駿、李志成（2000），「場鑄樁側向載重試驗詮釋法之探討」，地工技術，第 80 期，第 39-50 頁。
- 105.陳逸駿、張崇義（2000），「基樁拉拔試驗詮釋法之探討」，地工技術，第 80 期，第 27-38 頁。
- 106.陳聰海、周坤賢、林宜修、蕭秋安（2025），「金門大橋海上基礎設計與施工探討」，地工技術，第 185 期，第 31-40 頁。
- 107.馮正一、李俊男、蔡佩勳（2005），「靜動樁載重試驗之數值分析」，第十一屆大地工程學術研討會，台灣，萬里，E29-1~5。
- 108.黃俊鴻（2000），「液化地盤中樁基礎之耐震設計」，地工技術，第 82 期，第 65-78 頁。
- 109.黃俊鴻（2019），「基樁施工學」，科技圖書，台灣。
- 110.黃俊鴻（2024），「微型樁抗液化對策—離心機試驗」，土壤液化防治工程技術研討會暨國科會液化防災成果發表會，10/31-11/1，國家地震工程研究中心，台灣 台北。
- 111.黃俊鴻、楊志文（2000），「基樁載重試驗承載力判釋方法之探討與建議」，地工技術，第 80 期，第 5-16 頁。
- 112.黃俊鴻、鍾明劍（2006），「液化流動壓作用下側向樁之簡化解析解」，中國土木水利工程學刊，第 18 卷，第 4 期，第 465-474 頁。
- 113.黃郁惟（2025），「建築物群於近斷層可液化與改良地盤上的受震行為」，2025 抗液化技術精進與研發成果交流會 09/26，台灣 台北。
- 114.黃御恩、馮政一（2025），「道路邊坡擋土排樁設計之應力分析與參數研究」，中華水土保持學報，第 56 卷，第 1 期，第 13-19 頁。
- 115.楊清源（1995），「基樁完整性檢測」，地工技術，第 52 期，第 103-105 頁。
- 116.詹穎裕、張永杰、周永川（2026），「各國規範風力發電設計—調查及承載力」，地工技術，第 188 期，第 109-112 頁。
- 117.樊成（1995），「全套管式基樁施工與品管」，地工技術，第 52 期，第 37-48 頁。
- 118.盧之偉、林家興、彭楷翔（2013），「以三維有效應力分析法分析群樁動態試驗研究」，岩土工程學報，第 35 卷，第 2 期，第 974-981 頁。
- 119.盧之偉、洪璋億、賴信成（2010），「以有效應力法探討因大地震所引起土壤液化造成樁基礎破壞之實例分析」，地工技術，第 123 期，第 59-68 頁。
- 120.盧志杰、黃郁惟、黃俊鴻（2018），「低矮建物與液化基礎土層互制 為之簡化分析模式」，國家地震工程研究中心研究成果報告，第 106 期，第 33-36 頁。
- 121.盧怡志（2023），「穩定液使用現況與展望」，地工技術，第 177 期，第 7-12 頁。