台中火力電廠灰塘擠壓砂樁工法改良成效評估

黃俊鴻 葉品毅 呂昱達 國立中央大學土木工程系

林茂榮

郭麗雯

台灣電力公司核火工處

台灣電力公司綜合研究所

摘 要

本文報告以擠壓砂樁工法改良台中火力電廠灰塘煤灰之成效,探討改良過程中,煤灰地盤所激 發之超額孔隙水壓行為與側向地盤變形。改良成效以標準貫入試驗、震測錐貫入試驗以及打樁貫入 地層之打擊數來評估。試驗結果顯示,除了地下水位以上較淺層之煤灰層外,擠壓砂樁改良工法對 於灰塘具有一定之改良成效。圓錐貫入試驗非常適合用於評估地盤改良成效。

關鍵字:擠壓砂樁、煤灰、超額孔隙水壓、側向變形、液化、地盤改良。

Assessing Improvement Effect of Sand Compaction Pile in the Ash Pond of Taichung Thermal Power Plant

Jin-Hung, Hwang Pin-Yi Yeh Yu-Da Lyu

Department of Civil Engineering, National Central University

Mao-Jung Lin

Department of Nuclear and Fossil Power Projects, Taiwan Power Company

Lih-Wen Quo

Power Research Institute, Taiwan Power Company

Abstract

This paper presents the ground responses during installing sand compaction pile (SCP) in the ash pond of Taichung Thermal Power Plant. The responses include the excess pore pressure change and lateral ground deformation. Improvement effect of SCP is accurately evaluated by SPT and SCPT investigation methods and blow count number during pile driving through a careful planning and execution. All the results of different methods are highly consistent with each other and the corresponding ground response behavior. The results show that the effect of using SCP to improve coal ash deposit is significant except for the shallow layer above the ground water level owing to its low confining stress. The CPT investigation has the highest resolution to identify the improvement effect and is highly recommended to be used in engineering practice.

Key Words : sand compaction pile (SCP); coal ash; pore pressure; lateral deformation; liquefaction; ground improvement.

電力是現代生活不可或缺的一項重要能源, 而台灣電力大多以火力發電作為主要電力來源。 台中火力發電廠是世界最大之火力發電廠,每年

所發的電量約5780MW(台灣電力公司99年年 報,2010),約佔台灣總電力的14%。而台灣的火 力發電廠每年發電過程所產生的煤灰就有173萬 噸(台灣電力公司永續報告書,2010),如何處置這 些煤灰是火力發電廠重要的課題。目前國內處置 煤灰的方式主要是將其作為混凝土添加劑或以 水力回填方式於鄰近發電廠之海邊築造灰塘,灰 塘所填築的煤灰新生地可做為擴建廠區的用地。 由於1999年集集地震台中火力電廠灰塘區之煤 灰疑似有發生液化現象,所以灰塘區煤灰的大地 工程性質與抗液化潛能是灰塘區設計建造土木 結構物之重要參考資料。

Toth et al. (1988)採取加拿大安大略省電廠 的F級煤灰進行物理與力學性質試驗,研究結果 指出飛灰比重平均約為2.5,底灰比重約為2.7。 由現地變水頭試獲得飛灰滲透係數約10-4~10-7 cm/s,底灰滲透係數約3.4×10·3~4.8×10·3 cm/s。 室內壓密試驗獲得飛灰的壓縮指數(Cc)約介於 0.05~0.37之間,再壓指數(Cr)約介於0.006~0.04 之間。該研究將煤灰作為填土材料於現地夯實後 ,進行短期與長期的平鈑載重試驗,短期平鈑試 驗使用直徑30 cm與60 cm的圓形平鈑,長期平鈑 載重試驗使用邊寬60 cm之方形平鈑,試驗結果 顯示長期平鈑載重試驗於加載後一小時已完成 所有的沉陷。

林資凱 (2001)探討台中火力電廠早期灰塘 區煤灰在擠壓砂樁工法改良前後,以不同取樣方 式所得試體與重模試體之三軸動態強度試驗,求 得各種煤灰試體之液化強度曲線與超額孔隙水 **壓激發特性。研究結果顯示,現地煤灰之土壤動態** 強度較一般液化地區的砂土為高;煤灰土層的動態 強度隨著粗顆粒爐底灰含量的增加而降低;經擠壓 砂樁改良過之煤灰土層,其液化強度有明顯的增加 ;粗顆粒煤灰受剪液化後,會產生顆粒破碎的情形; 煤灰土壤受動態反覆應力作用時,其超額孔隙水壓 比上升曲線分佈在一窄小的帶寬內;煤灰土壤受震 液化後,其再壓密之體積應變量約為1%,較一般 砂土為低;隨著煤灰所承受之最大剪應變增加, 試體的再壓密體積應變量越大。

Kim et al.(2005)將美國印第安那州兩座電 廠的飛灰與底灰混合為三種試體,飛灰混合的百 分比為50%、75%以及100%,將此三種試體進行 相關的物理與力學性質試驗,探討煤灰是否適合 用於高速公路路堤之填土,試驗包含粒徑分析、 比重、滲透性、夯實、單向度壓密試驗與三軸壓 密排水試驗。試驗結果顯示,當底灰之比例增加 時,其粒徑分佈曲線之級配越好。比重約分佈在 2.30~2.81的範圍,比重分佈範圍較廣的原因主 要為(1)本身的化學成分(2)飛灰的顆粒為中空狀 與底灰顆粒具有孔隙或氣泡的結構。夯實試驗結 果顯示,當飛灰含量增加時(由50%增加到100%) ,其最大乾單位重減少。滲透試驗結果顯示飛灰 含量由 50%~100%, 其滲透係數範圍 1×10-7~3×10-8 m/s,其分佈範圍與細砂-粉土混合 或粉土之滲透係數範圍接近。單向度壓密試驗結果 顯示,當底灰含量增加時會使試體容易壓縮,主要 原因為(1)底灰顆粒的多角與多孔的結構,(2)底灰 顆粒在壓縮過程中破碎。飛灰含量為75%與100% 的三軸壓密排水試驗結果顯示,試體在相對夯實度 95%時,其應力應變與體積變化之行為與緊密砂土 行為(剪脹)相似,在飛灰含量較少時(75%)試體的 尖峰強度增加,臨界摩擦角介於28°~35°,且臨界 摩擦角隨著飛灰含量增加而減少。表一為上述參 考文獻研究之煤灰基本物理性質整理,顯示各地 電廠煤灰性質有相當大的差異。

簡志榮 (2007)於擠壓砂樁工法改良後的煤 灰層,探討全套管鑽掘樁的軸向基樁載重試驗結 果與擠壓砂樁工法之改良成效,研究場址位於高 雄興達火力發電廠,研究結果顯示,採用改良率 As=0.342改良細粒料含量於50~90%之煤灰層, 其改良後之SPT-N值有明顯增加。將試樁結果與 基樁承載力經驗計算公式比較,以日本鐵道綜合 技術研究所 (2000)之場鑄鑽掘式基樁經驗公式 預估值較為接近實際量測值, O'neill & Reese (1999)提出之基樁摩擦阻抗估算法之計算值小於 實際試樁的結果。

衣一 國內外保護基本物理性負敗						
地點	作者	煤灰種類	比重(G _s)	均匀係數(Cu)	曲率係數(C _d)	滲透係數K(cm/s)
加拿大安大略省	Toth et al.	飛灰	2.5	-	-	10-4~10-7
	(1988)	底灰	2.7	-	-	$3.4 \times 10^{.3} \sim 4.8 \times 10^{.3}$
美國印第安那州	Kim et al.	飛灰	2.30	10.3	1.01	3×10-6
Wabash River Plant	(2005)	底灰	2.32	17.1	0.61	-
美國印第安那州	Kim et al. (2005)	飛灰	2.81	36.5	2.98	6×10-6
A. B. Brown Plant		底灰	2.62	17.4	1.09	-
	黃俊鴻等人	飛灰	2.28	69.46	18.64	1.47×10^{-5}
	(2010)	底灰	2.27	27.13	2.30	8.27×10^{-4}

Kim與Prezzi (2008)針對美國印第安那州 三座電廠F級飛灰進行力學性質試驗,試驗包含 夯實試驗、單向度壓密試驗、直剪試驗與三軸壓 密排水試驗。試驗結果顯示在相同的相對夯實度 條件下,飛灰比砂土具有較高的壓縮性。在乾側 煤灰之剪力強度稍微高於濕側煤灰的剪力強度, 摩擦角約多1°~2°。飛灰之應力應變關係與體積 變化行為主要是受相對夯實度與圍壓影響,當圍 壓增加時,相對夯實度95%之試體剪脹的趨勢減 少,相對夯實度90%之試體剪縮的趨勢增加。相 對 夯 實 度 95% 的 試 體 之 尖 峰 摩 擦 角 在 33.5°~47.1°的範圍,而相對夯實度90%的試體尖 峰摩擦角在27.9°~37.9°的範圍。

由於台灣用電量需求增加,台中火力發電廠 曾在所築造的早期灰塘地盤,擴建第9、10號發 電機組。依照過去台中火力發電廠第9、10號機 組煤灰場址以擠壓砂樁工法改良疏鬆飽和煤灰 地層之經驗,顯示採用打設砂樁以擠壓周圍煤灰 地層之方式,改良效果不足,離預定改良目標差 距尚大。若加密砂樁之間距,提高置換率,是否 能夠提高煤灰地層之改良成效,達到預期改良目 標,實在還有很大的疑慮。

為釐清上述問題,並提供改良後煤灰之基本 工程性質。本研究利用台中火力電廠一期灰塘區 地質改良及溢流口改善工程,規劃執行煤灰土層 改良前後之現地探查試驗,包含改良前、後之 SCPT、SPT-N等貫入試驗。並於改良前之煤灰 地盤預埋水壓計與傾度管,監測擠壓砂樁施工時 煤灰地盤之反應。本文依據這些探查結果與監測 資料,探討擠壓砂樁施工過程對煤灰地層的影響 與及施工後之地盤改良成效。

二、試驗區現況與現地探查試驗 規劃

2.1 試驗區現況

本研究計畫之試驗地點位於台中火力發電 廠一期灰塘區,此灰塘區係由火力發電末端之殘 餘底灰與飛灰,以水力沖填方式進行填海造地而 成,其造地示意如圖一所示,現地水力回填之現 地情形如圖二所示,本研究試驗工作地理位置空 照圖如圖三所示。現地試驗區位置位於台中火力 發電廠外圍的第一期灰塘區。本研究先進行改良 前之SCPT、SPT-N與薄管取樣等工作。先於未 改良區各進行一組SCPT與SPT試驗,然後再進 行鑽孔薄管取樣,各孔深度皆為15 m。現地之 SPT結果如圖四所示。



圖一 灰塘區煤灰水力回填造地示意圖



圖二 灰塘區現地水力回填狀況



圖三 本研究試驗場址之地理位置概況

由SPT試驗結果可知現地土層主要分為三層 次,依次為煤灰層夾細砂(G.L.0.0 m~-7.3 m)、 軟弱煤灰層(G.L.-7.3 m~-10.3 m)以及原地層之 粉土質砂層(G.L.-10.3 m~-15.0 m),地下水位深 度約在地表下1.5 m~1.8 m處,其中在地表下4 m 深處有一堅硬夾層。改良區土層剖面與未改良區 土層類似,依次為灰層夾砂礫石(G.L.0.0 m~-10.60 m)以及原地層之粉土質砂層 (G.L.-10.60 m~-15.0 m),地下水位深度約1.10 m。



圖四 未改良之煤灰地層分佈

2.2 現地探查試驗規劃

現地探查與試驗工作計畫之內容與流程如 圖五所示,整個工作分為四個階段,第一階段為 地盤改良前需進行之地質探查、取樣與試驗量測 儀器之安裝;第二階段為地盤改良や,各種量測 儀器之監測;第三階段為地盤改良後需進行之地 質探查、取樣與試驗量測;第四階段綜合比較改 良前後貫入試驗值之變化,試驗儀器量測結果, 以及實驗室測試改良前、後煤灰土壤之物理指數 性質、力學性質與液化強度等指標之變化,以評 估擠壓砂樁於煤灰地層之改良成效。

2.2.1地盤改良前之現地探查

選定試驗區位置並放樣,放樣位置包含:改 良前後SCPT試驗、SPT試驗、傾度管與水壓計 埋設、鑽探取樣之位置,詳細位置如圖六所示。



圖五 現地探查試驗之工作流程

放樣完成後進行改良前的SPT試驗與SCPT 試驗,並於現地進行薄管與劈管取樣,地盤改良 前現地探查試驗配置如圖七所示。本研究之擠壓 砂樁樁長分為10 m與14 m,樁徑(d_{sp})70 cm,採 用梅花形佈置,砂樁中心距1.15 m,改良率 A_s=0.34。

2.2.2 改良中之監測

由預先埋設於數個樁位中間的傾度管與水 壓計,可監測打設擠壓砂樁過程中對煤灰地盤的 擠壓情形,包括超額孔隙水壓反應與及傾度管側 向位移擠壓程度,可即時反應擠壓過程中煤灰地 層之變化行為,評估擠壓改良的機制與可能之效 果。

本研究區之砂樁預計擠壓10 m深,電子式水 壓計於試驗過程,全程採自動量測,量測前需先 進行校核,並進行初始值量測。傾度管為人工量 測,於每根砂樁貫入前與每天開工前進行初始值 量測,砂管貫入到孔底過程需至少需量測一次, 開始擠壓後,每次停機填砂時刻,均需進行量測, 直到擠壓完成。

2.2.3 地盤改良後之現地探查

於改良後之地盤進行SPT試驗與SCPT試驗,並進行薄管與劈管取樣,地盤改良後現地探查

試驗配置如圖八所示。由改良前、後SPT-N與 CPT-q。之差異可評估擠壓砂樁改良之成效,並可 以用改良前之SPT-N、CPT試驗與傾度管資料相 互比對堅硬與軟弱煤灰土層之改良行為。另外 SCPT之下孔式震測獲得之波速也可以用來評估 煤灰地盤之改良效果。





33



圖八 改良後現地探杳試驗配置

地盤改良後 (b) 擠壓砂樁間距、現地探查孔與量測儀器剖面配置

三、現地探查試驗結果比較

3.1 標準貫入試驗值 (SPT-N)之比較

標準貫入試驗係以63.5 kg之夯錘於76 cm 落距自由落下,夯擊劈管取樣器入土約45 cm時, 每貫入15 cm記錄一次打擊數,最後兩次的打擊 數相加為SPT-N值。SPT-N試驗是以人力控制落 錘落下,此種狀況下容易造成貫入能量因人員施 作而有所不同,故本研究採用自動落錘進行 SPT-N試驗以確保有較固定之打擊能量,自由落 錘是落錘與上方接頭用卡榫連接,當落錘上升至 76 cm會因機械原理自由落下。由試驗得知,改 良前由地表至地表下7m處N值約2~4,惟地表下 4 m處有一尖硬夾層N=12, 地表下7 m至地表下 10 m處N值小於1,地表下10 m後為原沖積土層 N值約在12~15。改良後煤灰土層N值約8~21, 原土層N值約21~25。圖九為改良前、後SPT-N 值的比較,上層煤灰夾砂層SPT-N值之增加,N 值約增加5~7下,下層軟弱煤灰層N值約增加10 下,N值約增加10下。試驗結果顯示經擠壓砂樁 改良後,煤灰土層SPT-N值有明顯增加的情形, 尤其軟弱煤灰層SPT-N增加甚多。



3.2 錐尖阻貫值 (CPT-q_c)之試驗結果

本研究使用之圓錐貫入試驗儀器,為美國 Hogentoier& Co., Inc.製造之VOLVO FL-10型 25噸級直接貫入試驗車(Direct Push Car)及10 噸級五頻道型電子錐,錐內含可感應圓錐貫入阻 抗(Q_c)、套管摩擦力(F_s)、動態水壓(P_w)、震測(V_s) 及錐身傾斜度(I)之感應計。圖十為改良前、後 CPT-q。隨深度之比較,可看出改良後CPT-q。有明 顯增加的情形。試驗結果顯示改良前之上層煤灰 層圓錐貫入阻抗q。分佈約在10~70 kg/cm²,平均 約在40 kg/cm²,惟在地表下4 m處有一尖硬夾層 值qc約為314 kg/cm²,與SPT-N試驗在地表下4 m處有較大N值相同,推測此處含較多底灰且有 明顯固結現象,所以有較高的圓錐阻抗值(q_c)與 SPT-N值。下層軟弱煤灰層q。分佈約在10 kg/cm² 左右;原地層之粉土質砂層qc分佈約在12~78 kg/cm²,平均約為60 kg/cm²。

改良後之上部煤灰土層圓錐貫入阻抗q。分佈約在20~124 kg/cm²,地表至1.8 m深,改良效果 不顯著,1.8 m~7.0 m深有顯著的增加,其平均 qc約為60~100 kg/cm²。下部軟弱煤灰層在 7.5~8.5 m深,由原先10 kg/cm²提高至20 kg/cm² ,改良效果有限,在8.5~10 m深則由原先10 kg/cm²提高至50 kg/cm²以上,改良效果顯著。 原地層之粉土質砂層qc分佈約在60~140 kg/cm² ,亦有明顯之改良效果。

3.3 下孔式震測波速之比較

圖十一為改良前、後地盤下孔式剪力波速之 比較,可以看出大致上改良後之剪力波速有增加 的趨勢。試驗結果顯示,改良前煤灰層之V_s約在 52 m/sec~218 m/sec,原土層之V_s約在155 m/sec~197 m/sec。改良後之煤灰層約在18 m/sec~250 m/sec,原土層之V_s約在176 m/sec~213 m/sec。在地表至1.8 m範圍,無改良 成效;地表下1.8 m~7.0 m範圍,改良效果剪力 波速增加約20 m/sec~30 m/sec;在地表下7.0 m~10.0 m範圍之軟弱煤灰層,改良效果顯著, 剪力波速增加約40 m/sec~70 m/sec;至於原地 層 亦顯示改良成效,剪力波速增加約20 m/sec~40 m/sec。







3.4 砂樁擠壓引致之水壓變化

本研究在試驗區砂樁所擠壓之地盤中鑽孔 安裝水壓計,並在擠壓砂樁施工時進行水壓之即 時量測,其目的是量測擠壓砂樁施工所激發的超

額孔隙水壓,觀察施工過程中土壤受到擠壓的程 度,以及是否會發生土壤液化的現象。並可依水 壓計與擠壓砂樁之距離遠近,觀察砂樁施工對水 壓反應的影響範圍。圖六顯示擠壓砂樁打設位置 、打設順序與擠壓砂樁距離水壓計之位置。本研 究總共量測16支擠壓砂樁打設時之孔隙水壓紀 錄,水壓計埋設於改良前SPT試驗之鑽孔中,兩 支水壓計埋設深度距離地表4m及8m,水壓計紀 錄方式是以電腦連續記錄試驗期間砂樁開始打 設到打設完畢為止之水壓反應。由水壓隨時間變 化配合現地施工之時間記錄,可量測整個擠壓砂 樁施工過程所激發之超額孔隙水壓反應,如圖十 二所示。可以發現砂樁打設機將鋼管貫入至預定 深度,土壤所激發之超額孔隙水壓最大,且由於 煤灰層透水性良好,故每支砂樁施工結束後,一 個小時內,超額孔隙水壓已幾乎都回復至現地原 來之靜水壓力。砂樁編號T105-5、T105-6、 T104-8、T104-9、T103-6、T103-7、T103-8、 T103-9、T102-9、T101-8之水壓紀錄因配合傾 度管量测,砂樁打設至地表下5m、7m時,打樁 機需停機後待傾度管量測完畢後再開始打設砂 樁,砂樁停機後水壓快速消散,重新開機後由於 反覆擠壓砂樁,又會激發超額孔隙水壓,故會有 二至三個水壓尖峰值產生。T104-6與T104-7之水 壓記錄與其他水壓記錄不同,是因打設過程鋼纜 線斷裂,砂樁機更換鋼纜煞車皮與調整砂樁機鋼 纜所致。本研究將超額孔隙水壓之尖峰值除以埋

設水壓計位置之有效應力與各砂樁距離水壓計 之距離除以砂樁直徑(正規化距離),可得一正規 化超額孔隙水壓比與打樁距離之圖形,圖十三為 8m水壓計之尖峰孔隙水壓比值與砂樁距水壓計 之距離的正規化圖形,由此圖可發現,打設距離 越近所激發之尖峰水壓比值越大,其中以鋼管貫 入至預定深度時最大,其比值^{Δu}由最近水壓計位 置(一倍砂樁距離)之3.5,隨距離越大,逐漸減小 至2.0(七至八倍砂樁距離)。砂樁由底部成形,往 $\frac{\Delta u}{\sigma}$ 之比值會較小, 上擠壓擴大砂樁直徑的過程, 擠壓至地表處,一倍砂樁距離處之 $\frac{\Delta u}{\alpha}$ = 2.3,隨距 離越大,很快降至 $\frac{\Delta u}{\sigma'_{v}} = 1.6 \cdot \frac{\Delta u}{\sigma'_{v}}$ 超額孔隙水壓 與有效應力之比值,其值大於1.0,對於無凝聚性 顆粒土壤,代表土壤在液化狀態。表示打設砂樁 過程,煤灰土層皆在液化狀態,但是尖峰反應只 是某些瞬間值且地下水位上有一層不飽和之堅 硬表層,因此不會有液化噴發現象。圖十四為4m 水壓計之尖峰孔隙水壓比值與砂樁距水壓計之 距離的正規化圖形,由此圖可發現,打設距離越 近所激發之尖峰水壓比值稍高,其中以鋼管貫入 至預定深度時最大。4 m水壓計 $\frac{\Delta u}{\sigma'_n}$ 尖峰值隨打設 距離減少的現象不明顯,其益值都在1.0~2.3之間 。推判可能是地表下4 m深度有一堅硬夾層所導 致。



圖十二 擠壓砂樁施工過程孔隙水壓記錄



圖十四 4m水壓計之水壓激發與各砂樁距離正規化關係圖

依據上述量測孔隙水壓的反應,打設擠壓砂樁時 ,煤灰層都會瞬時產生液化現象,這是鋼管擠壓 煤灰地盤所造成之瞬時反應,液化現象可以由改 良時煤灰漿液由鋼管貫入孔側大量噴出之現象 證實,如圖十五所示。

3.5 擠壓砂樁引致之傾度管變化

傾度管之埋設主要是為了監測擠壓砂樁施 工中土壤受側向推擠的情形,包括傾度管變位與 土層軟硬以及打設距離之關係。擠壓砂樁打設位 置、打設順序與擠壓砂樁距離傾度管之位置分佈 如圖六所示。圖十六為現地傾度管緊鄰打樁機之 量測情形,因距離很近,非常辛苦,最近距離約0.6 m,曾擔心會損害傾度管,結果顯示可成功地量 測近距離側傾管之變形行為。圖十七為擠壓砂樁 施工中傾度管變形隨深度之變化,圖中顯示傾



圖十五 打設砂樁煤灰漿液之噴出情形

度管側向擠壓變形,隨距離遠近與土層類別有很 大差別,剛開始距離較遠,變形量較小,隨著距 離越近,累積多次擠壓效應,其變形量越大。由 此圖對比前述之SPT-N與CPT-q。隨深度分佈之 剖面,可發現地表下4 m處,SPT與CPT探查皆 有一尖硬夾層,因此圖十七可以看出在4 m處其 受擠壓之側向變位量明顯較小。由SPT與CPT探 查結果,一致顯示地表下7 m~10 m之間,存在 軟弱煤灰層,因此在圖十七可看出該深度範圍內 砂樁打設時土層受擠壓之變位量較大。圖十八為 最大擠壓側向變位隨打設砂樁距離之關係,顯示 隨打設砂樁距離增加,側向擠壓變位減小,大約 超過4.5 m以後,擠壓變位甚小,可以忽略。可 總結為打設砂樁之距離越近,傾度管之變位量越



圖十六 擠壓砂樁施工中之極近距離傾度管監測情形

A軸(南北向)



大,且土層越軟變位量越大。對於軟弱煤灰層深度,最大傾度管變位量達4 cm,係由於打設砂樁時,擠壓煤灰層產生液化,由液化煤灰之流動壓擠壓傾度管所致。



四、改良前後鋼管樁貫入打擊數 之比較

本研究在改良前與改良後地盤各打設3支鋼 管樁,詳細記錄各鋼管樁打樁時每貫入1 m的打 擊數,貫入的打擊數可反應地盤的軟硬程度。圖 十九為鋼管樁現場打設之情形;圖二十為6根鋼 管樁貫入打擊數隨深度的變化。圖中顯示改良後 鋼管樁貫入打擊數都比改良前貫入打擊數為高, 尤其在7 m~10 m軟弱煤灰層範圍內,改良後基 樁貫入打擊數明顯增高許多。這顯示擠壓砂樁工 法具有相當的改良成效。

五、結論與建議

依據上述現地探查結果比較與及觀察施工 中水壓計與傾度管量測結果,可得到以下幾點主 要結論與建議,供參考。

 由水壓計量測結果顯示打設砂樁過程 煤灰地層受到嚴重之擠壓擾動,產生瞬時液化現 象。超額孔隙水壓快速消散,於1小時內恢復至 原地下靜態水壓。

2. 擠壓砂樁施工引致傾度管側向變位大



圖十九 鋼管樁現場打設之情形



小與煤灰層之軟硬以及砂樁打設距離有關。最大 的側向變位發生於下部軟弱煤灰層,係由液化軟 弱煤灰層之流動壓力擠壓傾度管所致。

3. 依據SPT-N, CPT-q。以及震測V。之調 查結果,擠壓砂樁對於地表1.8m以下的煤灰層有 顯著的改良效果。對於淺層圍束效應較小的煤灰 地層沒有改良效果。不同現地探查試驗方法有一 致的調查結果。

4. 在上述現地探查方法中,CPT-q。對於 改良效果的驗證具有最高的解析度,加上CPT-q。 調查法比其他方法快速、經濟與機動性佳,建議 工程實務上評估擠壓砂樁改良效果,應以CPT-q。 為主要調查方法。

致 謝

本研究承蒙台灣電力公司綜合技術研究所 提供研究經費特此致謝。台中火力發電廠提供試 驗場地以及宏華營造公司配合提供擠壓砂樁施 工,謹致衷心感謝。台安公司全力配合本研究, 盡心盡力於現場量測工作,獲得成功的量測結果 ,謹致真誠之謝意。

參考文獻

- 台灣電力股份有限公司 (2010),台灣電力公司99年年報,台 北。
- 台灣電力股份有限公司 (2010),台灣電力公司永續報告書,台 北。
- Toth P. S., Chan H. T., and Cragg C. B. (1988), "Coal Ash as Structural Fill, with Special Reference to Ontario Experience." Canadian Geotechnical Journal, 25, 694-704.
- 林資凱 (2001),「水力回填煤灰之動態性質」,碩士論文,國 立中央大學土木工程學系,中壢。
- Kim B., Prezzi M., and Salgado R. (2005), "Geotechnical Properties of Fly and Bottom Ash Mixtures for Use in Highway Embankments." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 131, No. 7, 914-924.
- 簡志榮 (2007),「埋置改良煤灰層之鑽掘樁摩擦阻抗研究」, 碩士論文,國立臺灣海洋大學,河海工程學系,基隆。
- 國土交通省鉄道局監修、鉄道総合技術研究所編(2000)、SI版, 鉄道構造物等設計標準●同解說-基礎構造物●抗土 構造 物,丸善(株)出版事業部,東京,第222-232頁。
- O'Neill, M. W., and Reese, L. C. (1999), "Drilled shafts: construction procedures and design methods." Publication No. FHWA-IF-99-025, U.S. Department

of Transportation, Federal Highway Administraion, Washington, D.C., U.S.A.

- Kim B., and Prezzi M. (2008), "Evaluation of the mechanical properties of class-F fly ash." Waste Management, Vol. 28, Issue 3, 649-659.
- 李淑芬 (2010),「水力回填煤灰之大地工程性質」,碩士論文, 國立中央大學土木工程學系,中壢。
- 台安工程技術顧問股份有限公司(2010),「台灣電力股份有限 公司台中電廠一期灰塘區地質改良及溢流口改善工程-砂 樁打設前鑽探報告書」,台北。
- 台安工程技術顧問股份有限公司 (2010),「台灣電力股份有限 公司台中電廠一期灰塘區地質改良及溢流口改善工程-砂 樁打設後鑽探報告書」,台北。
- 台安工程技術顧問股份有限公司(2010),「台灣電力股份有限 公司台中電廠一期灰塘區地質改良及溢流口改善工程-煤 灰地層基樁研究試驗工程電子式震測圓錐貫入試驗地質 改良前試驗報告」,台北。
- 台安工程技術顧問股份有限公司(2010),「台灣電力股份有限 公司台中電廠一期灰塘區地質改良及溢流口改善工程-煤 灰地層基樁研究試驗工程電子式震測圓錐貫入試驗地質 改良後試驗報告」,台北。