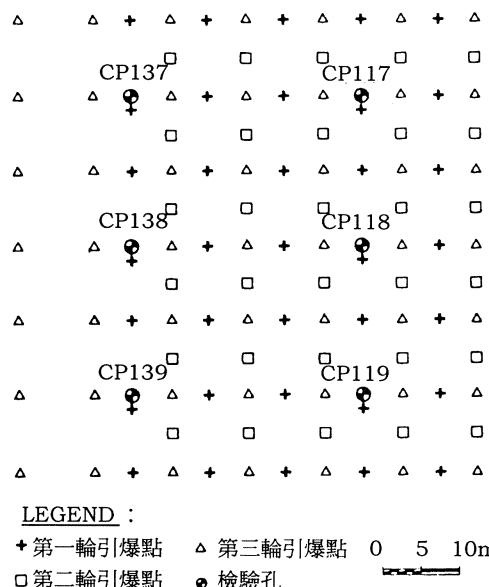


名詞解說

爆炸密實工法 (Blasting Densification)

馮道偉 *

爆炸密實工法一般以鑽孔鑽至欲改良土層深度內裝設炸藥，然後回填鑽孔，利用不同之炸點佈置、爆炸輪進及延時，以爆炸引起之震波使附近土層局部液化後，土壤顆粒重組，達到緊密效果之改良工法。由於爆炸引致之夯實效益與引爆點之覆蓋荷重成正比關係，此工法較適用於深層地盤之改良，爆炸過程中會激起相當大的超額孔隙水壓，所以本工法須配合設計適當之排水及監測措施。爆炸密實法並非新工法，在世界上已有許多工程案例，



圖一 奈及利亞Jebba Dam基礎改良爆炸密實輪進及點位佈置
(取自Solymar et. al., 1984)

曾使用本工法改良碼頭、道路、飛機場及土石壩等大面積基地深處之土壤，以提高其相對密度、降低液化潛能、減少沉陷量。圖一所示為典型之引爆點平面配置，該案例之改良深度為 30 公尺至 70 公尺。

爆炸密實工法對地下水位以下，粉土含量 5% 以下之飽和砂土層適用性極高，對不飽和之砂土層，則因表面張力所產生之外觀凝聚力之影響，將減低密實的效果。此外本工法曾被用來改良 Loess (風積黃土)，配合引水至土體內 (Prewetting) 使黃土之含水量超過液性限度，然後進行引爆，成功的加速密實發生。Hansbo (1983) 曾提出一以爆炸密實改良疏鬆砂的指導原則，詳如表一所列：

表一 爆炸密實改良疏鬆砂的指導原則
(Hansbo, 1983)

地盤改良工法	指 导 原 則
爆炸密實法	<ol style="list-style-type: none">炸藥安置於欲改良深度之 2/3 處 (不小於 1/4，通常 1/2~3/4)。相鄰炸孔之間距通常在 5~15m 之間。但應視試炸結果決定之。延遲爆炸優於同時爆炸。通常爆炸輪進數為 2~3。個別裝藥 1~12 公斤；或用藥量為 10~150 g/cm³。靠近地表之土壤需其它方法密實之。

本工法相較於其他深層改良工法雖有施工迅速與成本低廉等優點，但仍有下列之限制：

1. 炸藥在國內為管制品，取得及儲存甚為不便。

2. 若藥量使用錯誤，不僅無益於改良工作且將危及人畜生命及鄰近建物。

3. 對相對密度大於 70% 之土壤，使用本工法將無法產生密實之效果，反而會降低原有之緊密度。

4. 爆炸密實之效益受人為及地質條件影響極大，目前仍無可靠之方法預測改良結果。

目前國內並無採用本工法之案例，但依國外文獻紀錄，本工法在良好的施工計劃及執行下，可獲致不錯之密實效果，未來或有可能應用此法改良台灣西部填海造陸區之疏鬆砂層。有關爆炸密實工法其他細節，讀者可參閱下列文獻。

參考文獻

“Soil Improvement-A Ten Year Update,” (1987) Proceedings of a Symposium, J. P. Welsh, editor, Atlantic City, *Geotechnical Special Publication No.12, ASCE.*

MITCHELL, J. K. (1970) “In-Place Treatment of Foundation Soils,” *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 96, No. SM1*, pp.73-110.

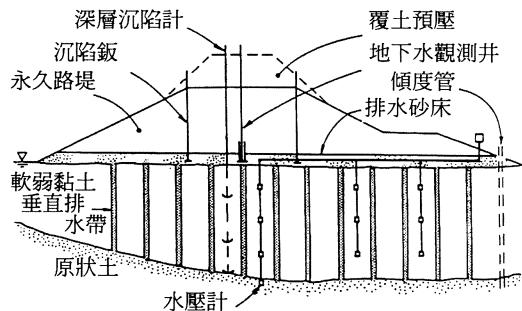
LYMAN, A. K. B. (1942) “Compaction of Cohesionless Foundation Soils by Explosives,” *Transactions, ASCE, Vol. 107*, pp.1330-1348.

SOLYMAR, Z. V., ILOABACHIE, B.C., GUPTA, R. C. AND WILLIAMS, L. R.(1984) “Earth Foundation Treatment at Jebba Dam Site,” *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 110, No.10*, pp.1415-1430.

HANSBO, S. (1983) “Technoeconomic Trend of Subsoil Improvement Methods in Foundation Engineering,” *A Special Lecture at the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.3, pp.1333-1343, Helsinki.*

垂直排水工法 (Vertical Drains)

垂直排水工法係以人工方式在土體內施築一排水網路，藉由置入之垂直向排水介質使低滲透性之土壤得以縮短排水路徑，加速壓密速率發生，增加土體之剪力強度。本工法一般均與預壓(Preloading)配合施工，如圖一所示。為監控預壓填土之速率，以及瞭解土層壓密之進行狀況，常佈設水壓計、沉陷錫、層別沉陷計及傾度管等監測儀器。在垂直排水介質上方則須鋪設一層由顆粒性土壤夯實而成之排水砂床(Drainage Blanket)，厚度一般在50公分至100公分之間，使土體在壓密開始時產生之超額孔隙水壓得以迅速消散，特別是在預壓施工階段常有大量的孔隙水排出。



圖一 垂直排水與配合預壓工法示意圖

垂直排水工法早在1930年代即被採用，隨排水介質不同可概分為三種工法即排水砂樁(Sand Drain)，砂袋(Fabric Stocking)及排水帶(Fabric Drain)，目前在台灣使用較普遍者為排水帶工法，茲將三種工法分述如下：

(1) 排水砂樁

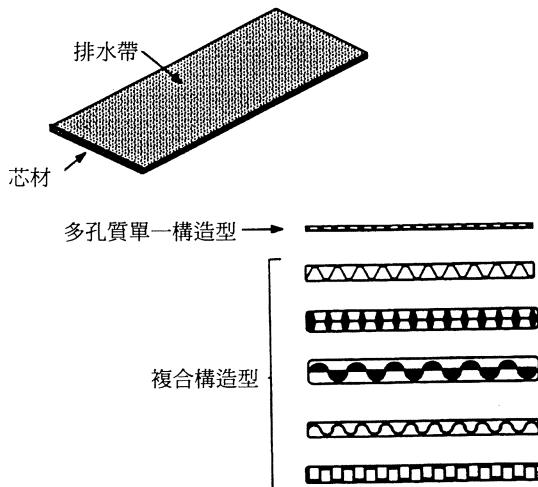
本工法利用水沖、鑽掘或振動方式將套管打入預定深度，經由中空套管內投入砂料後，拔出套管，形成砂柱，由於部份土壤被砂取代，砂樁本身具有某種程度之抗剪強度。在軟弱粘土層中砂樁常有粗細不均，折斷或扭曲等連續性不佳現象，此外回填砂料之細顆粒含量多寡及原土體與排水砂樁界面之排水性能均是影響砂樁排水效果之重要因素。

(2) 砂袋

本工法利用振動方式將中空之導桿貫入預定深度，放入化學合成網袋導桿，將網袋填滿砂拔出導桿，而砂袋則遺留在土壤中形成砂柱。一般砂袋的口徑比砂樁小，但因其施工過程可確保砂柱的連續性，排水效果較易控制。此外，成樁後的排水砂樁不致受剪力影響而斷樁，也較能確保排水效果。

(3) 排水帶

排水帶係以聚烯類材料製造之扁平帶狀型式排水材料，其型式分為多孔質單一構造型及複合構造型兩種，如圖二所示，多孔質單一構造型為表面具有透水孔隙，內具有排水核心一體成型之排水帶；複合構造型為扁平型排水核心及不織布濾層，以熱熔或纏繞方式裹於排水核心四周而成之複合材料。排水帶打設係在導桿下方裝置一錐頭與排水帶連接，藉導桿以油壓或振動方式將連同錐頭與排水帶打置預定深度後，錐頭與排水帶遺留在原



圖二 典型排水帶構造示意圖

地，拔除導桿，切斷排水帶後形成垂直排水通路。本工法具備材料性質穩定，耐酸鹼，能承受預壓產生後地層之側向變形而不破壞，施工快速且經濟等優點，有關垂直排水帶在國內應用之實例讀者可參閱地工技術51期蘇鼎鈞等所著“基隆河舊河道垂直排水帶現場試驗與成效評估”一文。

在打設排水介質時無論使用那一種工法，都將擾動土壤造成較低的滲透率(即 Smear Zone Effect)，此外預壓加載過程所引致之孔隙水壓也可能過大而使欲改良之土體產生剪力破壞，設計及施工時應特別注意。

一般而言，當預壓填土之面積較大時，由於填土面積中央位置之沉陷較四週為大，將使得由土層中排出之水聚積在排水砂床中，無法向四周排掉。此現象嚴重者將使預壓填土浸泡在水中，由於浮力的作用而減少預壓荷重(相當於解壓)。為避免現象發生，可在填土層中打設大口徑抽水井數口，深度至排水砂床，而以抽水的方式排除排水砂床中的水。

當預壓荷重等於永久荷重時，本工法之效益僅在於縮短主壓密完成之時間。對有機質粘土或泥炭土，或是永久荷重頗接近土壤之預壓密應力時，宜加大預壓荷重，在適當壓密時間後移除超載重(即預壓荷重減去永久荷重)，以降低長期沉陷量。

參考文獻

- HOLTZ, R. D., JAMIOLKOWSKI, M. B., LANCELLOTTA, R. AND PEDRONI, R. (1991) "Prefabricated Vertical Drains: Design and Performance," *CIRIA Ground Engineering Report*, 131pp.
- MESRI, G., LO, D. O. K. AND FENG, T. W. (1994) "Settlement of Embankment on Soft Clays,".
- HANSBO, S. (1981) "Consolidation of Fine-grained Soils by Prefabricated Drains," *Proc. of the 10th ICSMFE*, Vol.3, Stockholm, pp.677-682.