

## 39. 地下連續壁 (Slurry Wall or Diaphragm Wall)

吳 偉 特\*

地下連續壁係指在地層中開挖某一長度之深槽 (Trench)，然後在深槽內插入鋼筋籠 (Caged Reinforcement)，並灌注預拌之混凝土，使該深槽構築成一連串之鋼筋混凝土牆壁。

因此地下連續壁亦可稱之為連續地中壁，一般簡稱為連續壁或地中壁；日本大多稱之為地下連續壁，或連續地中壁；我國第一次採用並引進係為民國60年台北榮華大樓地下室之施工，自此國內皆以「地下連續壁」稱之，並帶動國內之營造建築業使用地下連續壁施工方法之高潮；根據目前非正式之統計，台灣地區使用連續壁之密度，已成為全世界之冠。

地下連續壁之英文名稱有二，其中之一為「Concrete Diaphragm Wall」，直譯為混凝土隔膜牆，此因溝槽挖掘時，溝內之泥漿在溝壁土壤面上，形成一層薄膜，此薄膜具有相當強度，除承受張力外，亦可防止地下水與泥漿之滲透，可確保溝壁安全之故。

地下連續壁之另外一個英文名字為「Slurry Wall」，直譯為泥漿牆，此因在挖掘溝槽時，壁溝內須充滿特別調製之泥漿，用以保持壁溝之穩定，使能挖掘到相當深度後仍不會發生場陷之故。

由上述得知，地下連續壁之壁溝於挖掘時皆充滿著穩定液，此種使用穩定液來穩定地層開挖之技術，最早起源於鑽井之工程中。

古代即知採用泥漿注入鑽孔井，來防止井孔場陷；大約於西元1500年中國人就會利用這種技術方法鑽取深度600公尺之深井；而於西元1845年法國利用水流經由中空心管之循環裝置，鑽探挖掘到170公尺之深井，此為今日迴轉式鑽掘機之先驅。

1932年開始將穩定液使用在營建工程之中；1954年歐洲國家最早將連續壁施工方法應用於大廈之地下室周圍牆壁；遂後1960年美國與加拿大開始引進。

1950年至1960年十年間，地下連續壁可說發展甚為顯著，其中德國柏林大學與格拉沃大學，與義大利之ICOS等專門公司，共同研究完成第一個之試驗性地下連續壁，自此義大利ICOS公司開始將這種施工方法推展應用到各種不同工程領域；1968年美國紐約曼哈頓世界貿易中心大樓之地下室周邊牆壁，即採用地下連續壁施工方法。

國內於民國60年首先由榮工處引進使用於榮華大樓，此後台中港新建港灣工程，亦採用地下連續壁作為港區工作船渠之防波堤之用，此外台北市迪化街污水處理廠之大型水池，亦採用地下連續壁施工，從此國內諸大工程與高樓基礎採用地下連續壁之頻率，日益增加遂逐漸成為全世界採用連續壁單位面積密度之最高者。

地下連續壁之所以會廣受營造建築工程界所歡迎，係有下列諸多之優點：

\*國立台灣大學土木工程學系教授

(1)地下連續壁可作為永久之土木建築結構物；可使用於地下道、地下鐵、大樓地下室周牆、擋水牆、橋墩、油槽及水池、土壤與堤防之截水牆等。

(2)施工時噪音與震動皆甚小；施工範圍可達基地境界線，並可適應任意幾何形狀之場地邊界；亦可適於任何土層土壤，且壁體澆築混凝土時不須模板。

(3)由於壁厚及配筋皆不受限制，故可設計抵抗任何側力，亦可達較深之深度，國內已有深達50公尺之記錄；建築物地下室採用連續壁，其止水效果良好，可免除抽取地下水而造成鄰近道路或房子基礎之下陷；且地下連續壁與樑、柱之結合，可採用多角基礎之施工方法。

有關採用地下連續壁之缺點與限制，如下列所述：

(1)開挖機具屬於大型，須有移動性空間且開挖作業時間較長；整個施工程序較一般結構物施工複雜，與傳統之混凝土施工方法不盡相同，其品質要求與工地管理須有特別要求；尤其須要有經驗熟練之工人相互配合，才能有良好品質符合要求之連續壁。

(2)整個施工過程與施工後之穩定液處理，須有妥當處理，否則會對地盤與地下水造成環境污染。

(3)工程單價較一般施工方法為高，若能與連續壁之許多優點合併一齊考慮整體經濟效益，應較其他工法更具有經濟性。

(4)由於地盤構成狀態而產生不可預料之逸水或地下水滲入，仍可能產生開挖溝槽之崩坍情形，故須要細密之地盤調查，良好之穩定液管理于適當之開挖方法，是連續壁安全施工之前提必要條件。

一般進行連續壁施工，為避免施工中發生問題與困難，應事先訂立詳細考慮之施工計劃；有關施工計劃之項目如下：

- (1)工地調查；最重要者為土壤之性質，土壤之軟硬程度，地下水狀況等。
- (2)根據土壤、土地狀況與連續壁用途，選定適宜之鑽掘機具。
- (3)訂定土地機具設備配置計劃。
- (4)作業研究及工人編組。
- (5)壁體分割、施工順序及施工進度圖。
- (6)穩定液配製標準及廢液廢土處理計劃。
- (7)鋼筋加工、搬運及鋼筋籠製作計劃與圖樣。
- (8)混凝土澆灌計劃。
- (9)安全防護措施。
- (10)施工品質管理計劃。
- (11)施工給水與排水計劃。
- (12)供電與配電計劃。

## 40. 穩定液 (Stabilizing Fluid)

穩定液係指一種高黏滯性之溶液，使用於連續壁開挖之深槽溝中，無論是開挖中或開挖完成後，吊放鋼筋籠與灌注預拌混凝土時，皆必須完善地保護深槽溝，以防止崩坍之現象發生。

穩定溶液之分子，由於水壓帶有負電，而產生電化學作用，於是能使穩定液滲入槽溝壁面內形成一層泥漿膜黏附於壁面上；該泥漿膜具有相當之強度，能支撐側向壓力，並防止穩定液繼續滲入地層中，並亦能阻止地下水湧出。

因此穩定液之功能，除滲入壁面形成膠質狀與土粒結合，強化壁面以防止溝壁坍塌

外，穩定液亦可使挖掘過程中產生之泥屑懸浮於穩定液中，不致沈澱，如此可使灌注混凝土時容易予以排除。

為達到上述之功能，穩定液之品質須符合特定之要求；穩定液一般係由液體（水）、皂土、CMC 輔助劑、FCL 分散劑與其他添加劑組成；其混合方法一般係以下列之範圍比率混合之（比率以重量表示之）：

水為 100、皂土為 2~8、CMC 輔助劑為 0.05~0.20、FCL 分散劑為 0.01~0.30。

(1)液體：主要使用水為材料，以未含雜質之清水最適宜；若使用之水之含鹽濃度在 1000PPM 以上，含鈣離子濃度在 200PPM 以

上或鈉離子在500PPM以上，則會降低穩定液皂土之膨脹率，亦對穩定液有不良影響。

因此一般若使用海水、河水、湖水及地下水時，皆應事先作水質檢驗分析。

(2) 皂土：為穩定液之主要材料，係為黏土礦物，其英文名為“Bentonite”，此為1888年美國人 Nite 在懷俄明州之 Bento 層下，發現一種由火山灰風化而形成之黏土礦物，是淺灰色粉末，故以後皆以 Bentonite 稱之，中文譯名為皂土。

皂土之主要成份為蒙脫土 (Montmorillonite Clay)，一般商用之皂土係由蒙脫土加以精煉製成，呈粉末狀。

皂土主要是由含氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ )，與氧化鋁 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 之結晶所組成，為一種富有膨潤性之黏土質礦物，能吸收大量水份而膨脹，體積可增加 5 至 10 倍，而具有強大之黏糊性。

皂土溶液之特性即為會擠入土壤孔隙中，擠壓孔隙水而取代其空隙，呈靜止狀態。產生沉降壓縮促使土壤粒子相互結合，而最後在開挖之壁面上形成一層不透水之薄膜，可防止崩坍；此外皂土溶液可以循環流體來防止微細土粒之沉澱；由上述得知，穩定液之性質受皂土有相當大之影響，使用時須經試驗來決定之。

(3) 添加劑—由於穩定液須長期重複使用，同時使用時由於挖土之砂粒混入，皆會降低其機能；此外在混凝土澆置時，其接觸面會受到污染而呈膠化物，亦使穩定液不能發揮機能；因此為求防止穩定液品質之惡化，並謀求回復之機能，一般須配合使用適當之添加劑可達到目的。

(i) 增黏劑—亦稱脫水減少劑，一般常用者為 CMC，係為 Sodium Carboxymethyl Cellulose 之簡稱；為澱粉狀白色粉末，溶於水後狀如糖漿；此添加劑能提高穩定液之黏性，增加保護膜形成能力，亦能增強與土壤粒子結合之作用；此外亦可減少皂土之使用量，並可防止機能降低。

(ii) 分散劑—亦稱黏性減少劑，一般常用者為 FCL，係為 Sodium Ferrochrome

Lignosulphonate 之簡稱；為褐色粉末；添加此劑可防止穩定液之過度膠化作用，亦可防止塩份或水泥所產生之污染，並可再回復其原有機能，增加地盤之崩坍防止作用，並提高開挖土砂之分離性。

(iii) 加重劑—添加此劑可使穩定液之比重增加，使其維持在 1.03~1.07 之間，如此穩定液才能保持開挖面之穩定；一般對於地下水壓較高，地質情況較差（土壤較弱），土壓力較大之情況下，添加此劑可達到增加穩定液比重之效果；一般常用者為重晶石 (Baryte)，呈灰白色細粉末狀。

(iv) 逸水防止劑—為防止開挖中穩定液急速往地盤中空隙或透水層流出之逸水現象，添加此劑可堵塞地盤中流出路線之空隙；一般常用者為蛭石細粉末，珍珠岩骨材、紙漿纖維、雲田粉末、鋸屑等。

為達到穩定液應有之品質要求，各成份配比之範圍，視不同地層土壤情況，地下水壓與地下水成份而有不同，一般配合妥當之穩定液重量比為 1.02 左右。

穩定液品質之控制，須進行黏性，比重、濾過度、泥漿膜、酸鹼度與含砂量之測定試驗；有關各項測定試驗之方法與要求，可參考一般之參考書籍。

大體而言，剛拌合後之穩定液之黏性應在 28 至 52 秒之間；比重除非穩定液以 CMC 或其他物質為主要成份，其值應在 1.03~1.07 之間；PH 值應保持在 7~11 間，使具有微鹼性；濾過度要求為在 30 分鐘內，施加壓力  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  時穩定液 300cc 之濾過水量，以少於 20cc 為準，其值愈少愈好；泥漿膜之要求，則在濾過度試驗完畢後，將容器內穩定液倒掉，所黏附在濾紙上之泥漿膜厚度，須小於 2mm (或為 1.5mm)；至於含砂量則最好保持在 5% 以內。

## 參 考 文 獻

- 林耀煌 (1979) “高層建築基礎開挖施工法與設計實例” 長松出版社，民國 68 年。
- 王茂興 (1979) “地下連續壁施工法理論與實務” 大事業出版社，民國 68 年。