

都市深開挖擋土壁體遇障礙之施工 方案研析與作業管理探討

The Case Study and Construction Management on Deep Excavation Slurry Wall in downtown city

鄭慶武

Ching-Wu Cheng

摘要

都市深開挖作業隨著人口密度的增加，在交通運輸需求考量下，配合現有交通路網於地下進行隧道工程作業，其中車站主體部份一般在規劃設計階段，考量生活機能所需而設置出入口，而其座落位置所面臨管線穿越工區或人行路橋橫越等問題，使得傳統之擋土壁體開挖工法作業之困難度增加許多，本研究中亦即針對上述施工問題，研擬國內目前所採取的幾種可行方案，並就其作業過程所涉及的施工管理問題，及於作業進度、品質、成本以及安衛部份進行討論，以提供給國內都市深開挖作業施工之參考。

關鍵詞：深開挖、擋土壁

ABSTRACT

The deep excavation slurry wall cases in Taiwan down district related to increase of population and transportation needs. In the planning stage, we concerned the standard of living is located under the ground with tunnel sign and Mass Rapid Transit Stations. The construction will be bothered when piping crack endanger public nuisance. In consideration of the potential problems of construction procedures, the study will force on construction management in several ways to discuss the schedule, quality, cost etc. and supply for domestic experiences and references of deep excavations.

Keywords : deep excavation, slurry wall

一、前言

綜觀國內深開挖基礎中，在擋土壁體結構，一般均考量止水性佳且結構勁度強的連續壁工法來進行其基礎開挖的擋土作業，截至目前為止連續壁作業在國內的施工經驗少說也有數十年以上，然而檢討其施工技術卻未能有所提昇，一樣的工法及施工機具並未因施工經驗的累積而有所改善。所不同的是斷面尺寸增大，由 60cm 寬度加寬至 150cm，開挖深度由 25m 加深至 100m 左右，然而在都市土木中，在進行基礎開挖中所可能必須面臨的施工障礙問題，諸如開挖區域橫越行人天橋或重要管線，且其地面位置在未能進行管線遷移時，加上寬度超過 2.5m 以上，以至利用傳統連續壁開挖機具

MASAGO 亦無法克服開挖作業的困難。而在面對該工區擋土壁之單元分割、壁體開挖以及完成後鋼筋籠的吊放等問題，對其施工品質的維持造成許多困擾，然在探討相關的施工法中文獻中記錄並不多，也因此在本研究中即針對都市土木深開挖擋土壁體作業，在遇到施工障礙時如何提出因應措施，以使工程進度順利進行。

二、文獻探討

國內在深開挖基礎作業中，考量經濟成本效益、環境衝擊以及施工安全性等，在擋土壁體開挖的型式種類中，一般有如表一所示的評估選擇方式。

表一 深基礎擋土工法施工條件比較

地質條件 工法型式	砂層地質	軟弱粘土層	砂礫石層	岩層	開挖深度	壁體結構勁度	環境衝擊	成本單價
連續壁工法 MASAGO	適用	適用	適用	不適用	較深可至85m	斷面大,結構強	較小	可作為結構體用,成本高
連續壁工法 ICOS	適用	適用	適用	不適用	較淺一般30m左右	斷面較小,結構稍弱	較小	可作為結構體用,成本稍低
預壘排樁	適用	適用	不適用	不適用	較淺一般25m左右	斷面較小,結構強度低	小	不可作為建築結構體,僅為臨時支撐,成本低
SMW 排樁工法	適用	適用	適用	不適用	較淺一般20m左右	斷面較小,結構強度低	小	同上
鋼軌樁/主樁橫版條工法	適用	適用	較不適用	不適用	較淺一般10m左右	斷面小,僅用於小型擋土	小	為淺開挖臨時支撐,作業成本低
鋼版樁	適用	適用	較不適用	不適用	較淺一般15m左右	斷面小,僅用於小型擋土	小	為淺開挖臨時支撐,作業成本低
反循環基樁排樁	適用	適用	適用	不適用	深可達100m以上	斷面大,摩擦阻力大,支承能力強	大	限於斷面,一般用於坡地擋土排樁與橋樑墩座基樁,較少用於建築擋土排樁,成本高
全套管基樁排樁	適用	適用	適用	適用	深可達73m	斷面大,施工品質好,支承能力強	大	
PC 植入排樁	適用	適用	較不適用	不適用	約10m左右	必須配合施預力方可增加結構勁度	較小	作業成本低



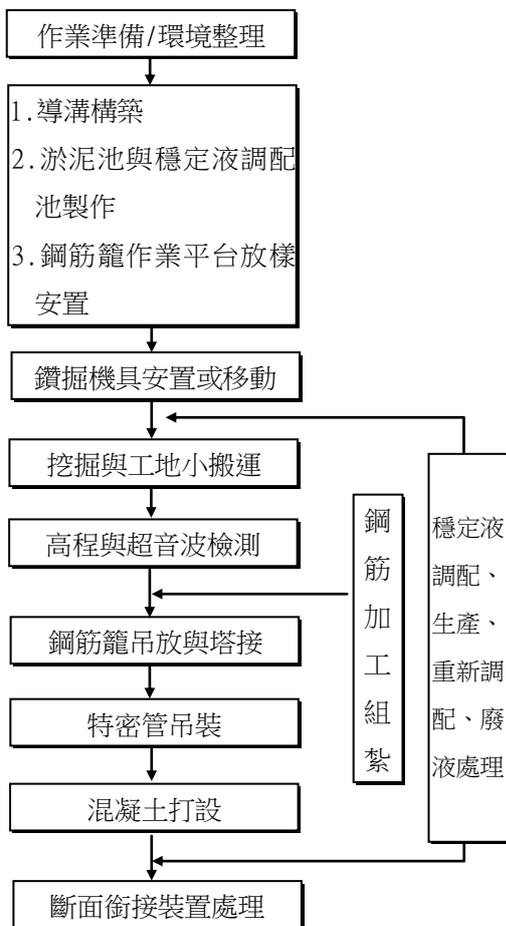
圖一 L型機作業吊放安置

然而，當因作業工區在淨空方面以及有管線橫越工區，而造成擋土壁體在分割單元無法完全避開障礙，加上如人行天橋以及超高壓電纜線之作業淨空不足時，甚至有 161KV 管線或光籤電纜線橫越擋土壁體等問題，往往造成傳統施工機具在作業環境要求下無法順利進行。在相關文獻中與本文內容有關之探討文章不多，以李魁士與劉慶豐先生所發表的淺談深開挖工程規劃設計之地工考量論文中[1]，對此部份施工障礙克服問題較有相

關。此外，在 1993 左右由台北捷運局 CH221 標，當時承攬車站擋土壁體開挖的展毅公司，由日本青木公司引進國內的二部 L 型機(如圖一所示)，當時也是因應都市土水管線問題所需而將其施工技術帶進國內，在本文中亦即將自己於當年參與該工程進行所整理的施工經驗作一整理，希望對國內的連續壁工程經驗多一貢獻。

三、研究過程討論

3-1 深開挖工法之選擇



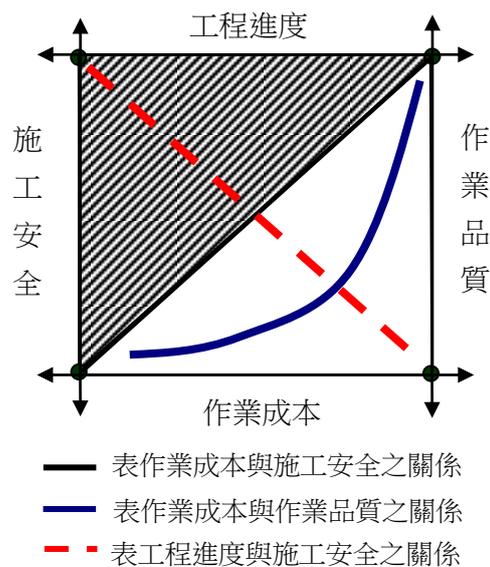
圖二 連續壁工法作業流程

在本研究內容中，在開挖工法部份選擇以國內土木建築工程地下擋土作業機具中最常見的 MASAGO 之 MHL 型連續壁挖掘機為討論重點。一般連續壁作業的施工流程如圖二所示。而其施工規劃的要點如表二所示。

表二 連續壁施工規劃重點

項目	規劃考量重點
作業環境需求	1. 施工機具之迴轉半徑以及行進動線安排 2. 臨近建築物與工區之有效間距與干擾空間 3. 用水與用電需求
導溝製作	1. 導溝深度至原土層 2. 考量地下埋設管線，採平行方式避開，並利用混凝土保護，避免勾損破壞 3. 配合穩定液調配，預埋水位感應裝置，用以控制導溝皂土液水位高程
鋼筋籠單元分割要領	1. 在考量轉角斷面尺寸之結構安全後，評估整體斷面長度，以減少公母單元數為主要考量（避免交合處之止水灌漿作業增加成本） 2. 若限斷面尺寸重量，考量鋼筋籠塔接作業時間，避免時間太長造成壁體坍塌 3. 考量施工機具挖掘滿刀與洗刀次數規劃
施工機具選擇	1. 考量連續壁單元尺寸（寬與深）以及鋼筋斷面尺寸，以決定使用之不同作能量機型 2. 配合工區作業環境之平面與立面淨空尺寸，考量迴轉半徑與移位有效空間 3. 機具租用成本
鋼筋籠製作於吊放	1. 作業平台／軌道枕上配筋位置點畫噴漆 2. 開挖內外側及斷面底層與頂層處之配筋斷面間距尺寸確認 3. 預埋樑、柱筋位置之尺寸、高程及夾板防護措施確認 4. 護耳間距與埋設位置，搭接長度尺寸以及端版處之不織布／帆布固定 5. 吊放點位置斷面尺寸加強以及三點吊放位置確認，避免吊放過程變形及脫落

混 凝 土 澆 置	1.特密管位置分配/均分，且交互灌漿 2.特密管於混凝土中之深度，約 1.5m ~2m 左右，避免斷樁影響結構強度 3.灌漿速度控制，避免太快造成鋼筋籠上浮情形 4.灌漿高程量測，檢測灌漿以研判是否漏漿或坍孔
施 工 品 質 確 保	1.超音波檢測，檢視壁體垂直度及可能有坍孔處之防患措施，避免日後開挖影響支撐壁體不平整之鑿除成本 2.壁體完整性測試，檢視是否斷樁 3.對灌漿混凝土進行坍度試驗，檢測品質強度 4.進行氯離子檢測 5.對皂土液、CMC 或超泥漿之比重檢測，以及皂液之 PH 值、含砂量等之規範要求 6.對鋼筋籠端版處之污泥附著之沖刷，避免泥塊附著造成開挖後滲水情形



圖三 作業管理要素關連

國內在都市發展長期規劃方面，於共同管溝設立之電纜線地下化及下水道管線位置規劃等，往往因管線汰舊換新，或管線穿孔及維修等作業，及因人孔設立在路中而造成交通阻礙與施工干擾。

以都市土木公共工程之捷運車站主體開挖而言，對管線與人孔座落位置之吊掛作業與沈陷監測等所耗費之作業成本許多，若為考量作業之順利進行而必須先行邀集各管線單位，諸如自來水公司、電力公司、電信公司、瓦斯公司、軍警單位以及目前民間固網公司等參與現場會勘，在會勘過程往往因需辦理管線遷移及日後復原等作業，期間對成本的負擔及相關之配合措施均有許多不同看法，往往對工進有所影響。

一般來說在進行都市土木深開挖作業所可能面臨的施工困難因素有以下幾點說明：

- 1.依公共工程在現有道路施工中，所面臨因管線群橫越工區，其因辦理管線遷移之作業時間的延誤，謹次於用地取得所造成公共工程延誤的第二大主因，如圖四所示。

3-2 作業環境衝擊與需求分析

在連續壁作業實務中發現對整體作業之成本、進度、品質及安全等因素中，其作業環境的基本需求與上述條件有如圖三所示的關連性。

如圖三中所示在連續壁作業實務中的作業管理需求中有下述幾項要點：

- 1.工程進度與施工作業品質成反比，亦即跳脫養護與品質檢測過程，其進度雖可趕快，但品質缺失之機會越高。
- 2.作業成本隨著施工安全的提高而增加，相對於施工品質也可確保，與作業進度亦成正比例關係。
- 3.成本與進度，成本與品質，品質與進度三者間是互相衝突的，因此在作業規劃要點應著在事先的防範與事後的協調關係，避免因解決工程障礙而延誤工期造成成本增加的情形。

3-3 都市土木開挖所潛在的施工困難原因分析



圖四 管線橫越開挖工區現況

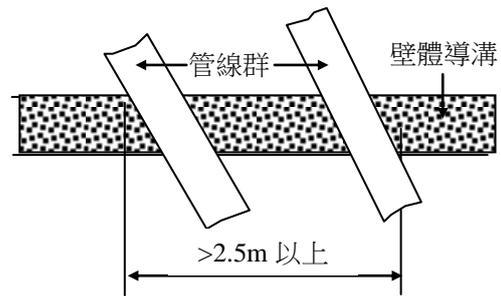
- 2.管線埋設基本資料不足，對制止閥位置未能掌握，往往因施工不當造成水管破裂出水時，砂層擾動溢出地面造成地表沈陷等工安事故。
- 3.對連續壁施工機具施工之高度淨空一般均需 13m 左右，然對人行天橋或超高壓電線等橫跨工區單元時，可能對機具開挖及鋼筋籠吊放產生困難。
- 4.管線之共同管溝未能全面規劃，且管所屬單位甚多，對管線埋設資料(管理埋置位置、尺寸型式、深度等)尚未建立完成，部份交織於都市電塔及電線桿，對施工機具之對空淨空可能碰觸造成感電，以及因資料錯誤造成鑽孔誤鑽等問題。

3-4 管線橫越壁體單元之施工規劃

- 1.對作業工區內之管線與人孔之吊掛作業，必須事前詳細評估其正確位置以及重量，用提供捷運工程明挖覆蓋段中間樁打設間距及覆工版下之型鋼斷面安置時一同處理。
- 2.橫越連續壁體單元部份進行就地保護，於旁並註明其管線種類及電力與連絡單位，並與導溝作一適當結合，避免開挖時破壞外露導電等情形。
- 3.對地下原有超高壓電線在事前進行管線試挖時

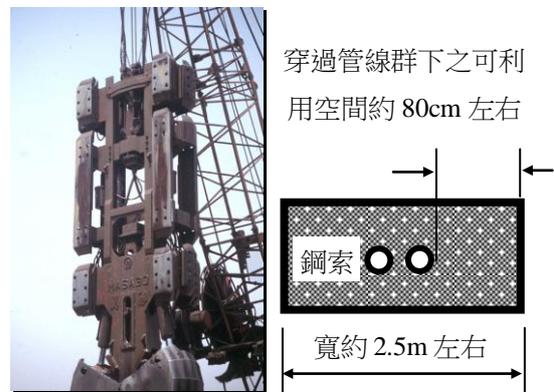
確定其所在位置，在構築導溝時儘可能避開或就地保護，以不影響作業施工為原則。

- 4.對一般 MASAGO 之 MHL 型連續壁挖掘機之對空淨空所需 13m 高之空間，若有高架超高壓電線橫越時（一般高度為 7~8m 左右），或人行天橋（一般高度為 4~5m 左右），可採機型較小之施工機具挖掘，而鋼筋籠斷面配合淨空亦必須分斷面搭接，唯如此其作業時間甚長，作業的風險也提高，若在考量無法變更及遷移之條件下亦可參考下述方式進行。



圖五 單元連續壁管線群限制示意

3-5 克服障礙工法作業研析



圖六 MASAGO 機具橫斷面尺寸空間

首先如圖五所示之作業現地障礙條件示意，一般在都市土木中以 MASAGO 之 MHL 型連續壁挖掘其寬度一般約 2.5m 左右如圖六所示，因此當橫越導溝之就地保護後之管線斷面尺寸不大時，可利用頂部於鋼索左右約 1.5m 寬予以交替開挖，然若管線的寬度超過 2m 以上時則無法作業。

對此則必須考量以 L 型機（如圖一所示）進行障礙區之土層開挖，唯在開挖過程中所可能面臨之施工注意事項許多，說明如下：

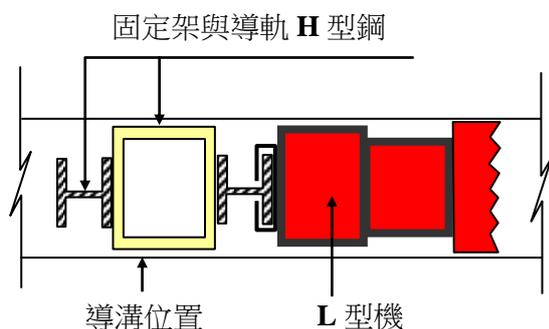
- 1.於有限之淨空間中,如何使管線下之土層確實挖除,並確保其開挖斷面符合施工規範要求。
- 2.對開挖完成後之單元,鋼筋籠如何吊放及塔接作業如何進行,以確保壁體作業之垂直度,避免底部鋼筋籠開叉造成日後開挖後漏水流砂等危險。
- 3.於障礙區之作業時間與成本、施工品質等之要求於合約規範中是否另有訂定,補強措施如何進行?
- 4.對可能因鋼筋籠吊放傾斜而造成障礙區單元兩側超挖區之施工斷面改變問題,可能因應措施?

3-6 施工實務研析

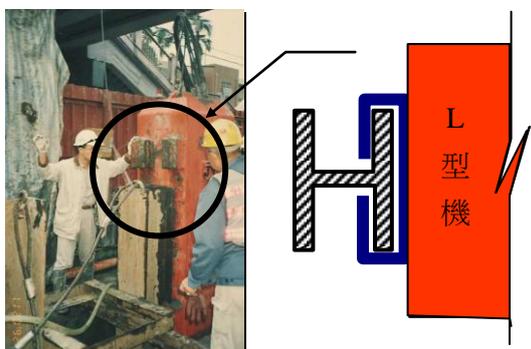
以下即針對 L 型機配合 MASAGO 工法於導溝障礙區施工過程所可能面臨的施工作業步驟流程細節作一說明：

一、場地配置：

如圖六所示,在進行 L 型機作業時,所要考量的場地環境要求有以下幾項說明如下：



圖七 L 型機於導溝內作業位置示意



圖八 L 型機與 H 型鋼接合細部

- (1)利用 H 型鋼提供 L 型機吊放時之滑軌,以為 L 型機進行上下取土之支承,實務作業如圖七、

八、九所示。

圖十中所示之固定支撐架為配合管線障礙區寬度而作調整,一般為確保 H 型鋼吊放時能穩固,均會在 H 型鋼上加焊二端托架以導溝當支承,其目的在於當 L 型機由吊車吊放上下移動時可能產生振動,其對開挖面之垂直度可能產生影響。



圖九 L 型機吊放於 H 型鋼作業實務

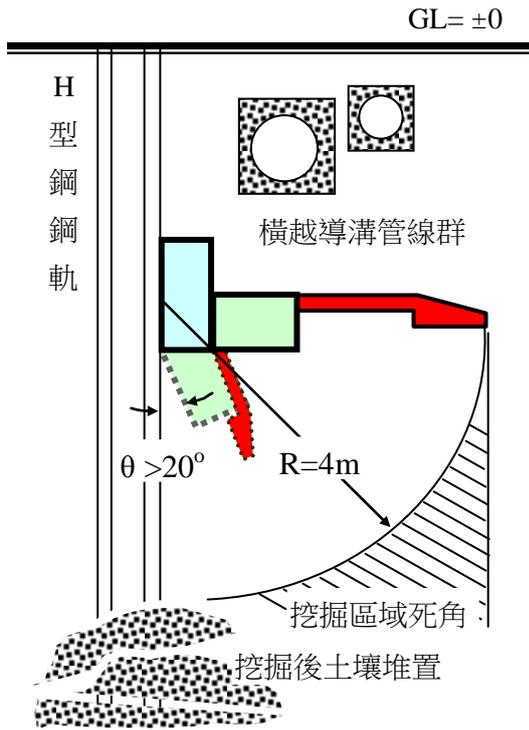


圖十 L 型機之 H 型鋼托架

- (2)考量管線橫越工區寬度,一般 H 型鋼吊放位置在不影響取土作業下,以儘可能靠近障礙區以提供更多取土空間,其作業之剖面如圖七所示。
- (3)如圖七、九中所示,作業中限於導溝中管線淨空間, L 型機除提供 90° 之延伸長度外,在吊放至導溝中其橫向手臂亦必須能提供 $\theta > 20^\circ$ 之放入角度。
- (4) L 型機斷面為能提供放入角度及開挖取土之手臂延伸長度,在主機內亦利用油壓千斤頂作長度修長及力臂動力,以為上下剷除管線下之土層,如圖十一所示。

二、L 型機開挖作業流程

- 1.作業前準備:如 H 型鋼構/托架、吊車、油壓控制系統機組測試等之安置,如圖一、十三所示。



圖十一 L型機於管線上作業剖視



圖十一 L型機之放入角度

2. 於管線阻礙區兩側先行利用MASAGO抓斗超挖出一空間以利H型鋼架吊放安置，如圖九、十四所示。



圖十三 油壓系統機組測試



圖十四 H型鋼托架放置

- 3.L型機吊放與放入角度修正，如圖十一所示。
- 4.進行挖土作業，如圖十、十五所示。



圖十五 L型機挖掘作業實務

- 5.當L型機挖掘管線下方之土層至一定深度後，必須停止繼續挖掘，以避免因覆土太高而造成H型鋼架被埋而無法拔起，因此下一步驟即利用吊車將H型鋼架拔起，如圖十六所示。



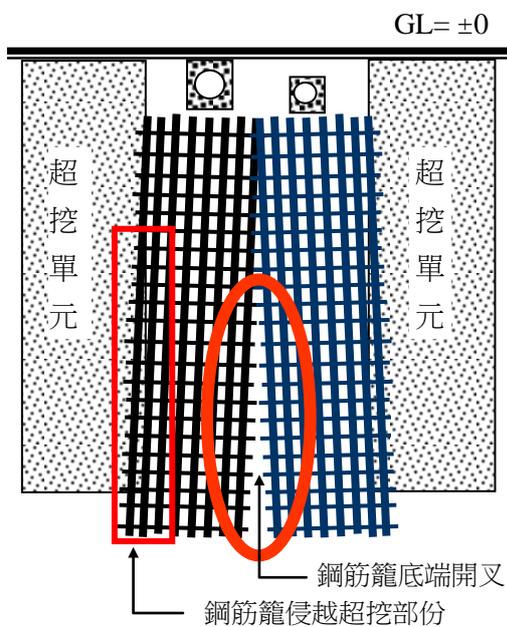
圖十六 H型鋼架拔起

- 6.將MASAGO機身移至H型鋼架拔起位置，將原有超挖部份因L型機於管線下方之淤泥土層取出棄置。

7.再將 H 型鋼架放置原來位置，以重覆前述動作直至挖掘至設計深度後止；再以超音波檢視管線下方之壁體開挖垂直度，以為下一階段吊放鋼筋籠時之參考。

三、作業過程討論

在利用 L 型機進行導溝下地下管線下土壤開挖作業，除去進度與成本考量外，就工法本身所可能存在的施工問題應以如何確保土層開挖之作業品質了，由於在操作 L 型機時，並無監控儀器可作垂直與水平方向的監控，完成是憑操作手的經驗以作 L 型機手臂半徑的挖掘作業（如圖十一所示），至於開挖的死角則必須經由 L 型機於 H 型鋼導軌上下弧形式的挖掘，而後即再利用超音波作整斷面的檢視，以確保壁體斷面是否坍塌凹陷。



圖十七 鋼筋籠吊放底部缺失示意

此外，在整體作業過程亦有以下幾點需詳加規劃，說明如下：

- 1.在連續壁單元分割時，於管線障礙處應避開公母單元分割，以避免於端版處無法進行淤泥清除，造成日後滲水情形。
- 2.在該區作業時，考量連續壁單元斷面深度，於吊放鋼筋籠時亦受限淨空，因此可能造成基礎下方鋼筋籠無法完全閉合，導致開叉而影響強度，雖屬開挖面下部，但顧及結構強度仍必須加強 CCP 止水灌漿與地盤固化的結構性加強，如圖十七所

示。

- 3.對因鋼筋籠於吊放時之傾斜，而可能影響於兩側超挖部份之開挖與鋼筋籠下放工作，因此在完成障礙區之灌漿作業後，於兩側端版處亦必須再進行超音波檢視，以為左右兩單元鋼筋籠斷面之修正參考。

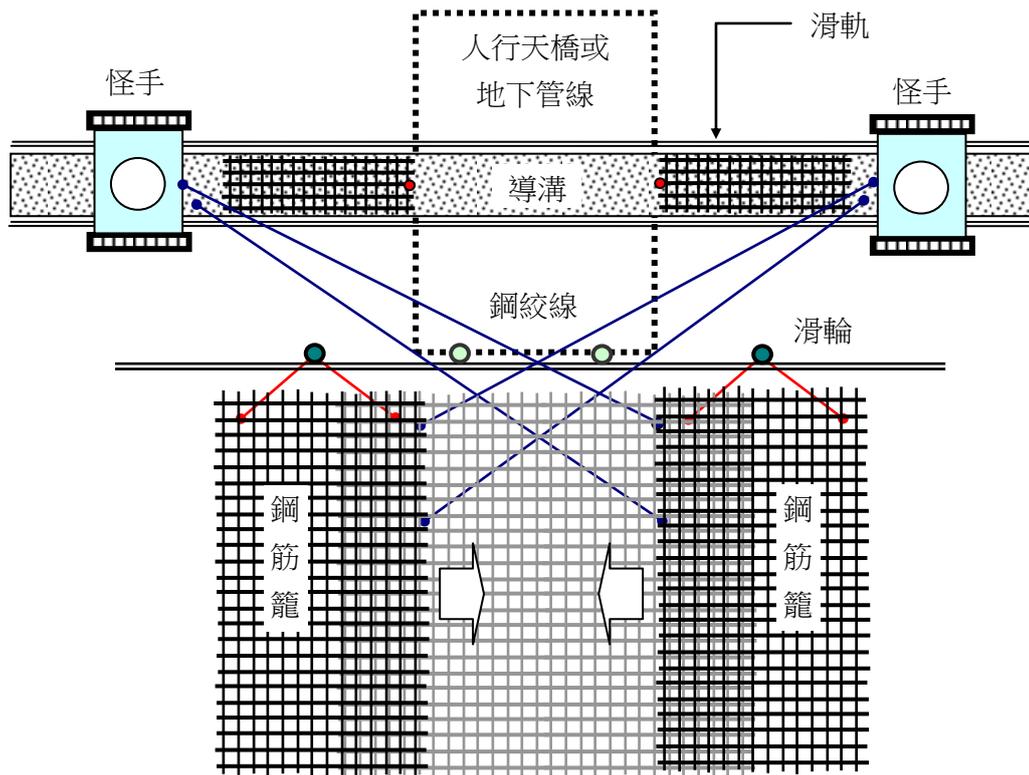
3-7 單元施工品質確保

接續前面所談有關鋼筋籠在吊放過程所可能潛在的施工品質問題包括有：

- 1.如何讓鋼筋籠的斷面分最少數搭接，並維持鋼筋籠下放的垂直度？
- 2.在管線障礙區未能直接吊放鋼筋籠，如何之作業方法可完成該單元施工品質？
- 3.受限管線阻礙，若單元分割中端版處恰位於管線下端，如何清除淤泥附著？
- 4.對實施 L 型機開挖時，因受限作業空間，於管線底端下之淤泥無法以 MASAGO 抓斗取出，對沈泥所可能對連續壁體之強度之影響如何？

針對上述問題的討論，首先必須先了解在實務作業中，是如何將鋼筋籠在有限的空間中，將其放置於設計的位置，至於其它施工品質部份在控制上原比無障礙區之單元不易，因此在作業過程也僅可能小心並確實記錄所有 L 型機作業時之出土狀況外，也僅於事後再針對該單元作更多的補強措施了。以下即針對鋼筋籠吊放過程作一示意圖解說，如圖十八所示。

在圖中可以看出在進行鋼筋籠吊放時是利用導溝兩側裝置滑軌（如圖十九所示），並於鋼筋籠頂端部份以鋼軌橫穿，並架於兩側滑軌之滑輪上，考量滑輪原理讓兩側之鋼筋籠頂部與下方約 3m 左右安置滑輪，以鋼索牽引套於兩側怪手臂上，之後再指揮怪手同步或交互對拉，在速度的控制下讓兩側之鋼筋籠逐漸向中閉合，以完成鋼筋籠的吊放作業。



圖十八 障礙區連續壁單元鋼筋籠吊放示意



圖十九 鋼筋籠吊放位移滑輪組

在進行鋼筋籠吊放位移過程必須注意以下幾點作業要項:

1. 當連續壁單元深度超過 30m 以上時，特別是以捷運工程車站主體部份，一般深度均維持在 50m 上下，如此對圖十七中之鋼索固定於鋼筋籠位置深度，並不足以於施拉過程將鋼筋籠確實閉合，可能於底部造成如圖十六所示中之開叉情形，因此如何控制施拉的速度與力量應視實際狀況作修正調整。
2. 在以怪手控制拉力時應避免鋼筋籠於位移時碰

觸壁體，造成坍孔泥塊附著於鋼筋籠上或導致灌漿時於局部區域形成斷樁情形。且在施拉力量時為能讓左右兩側單元鋼筋籠能確實於斷面中央閉合，也應避免鋼索交叉時造成鋼筋籠變形而影響垂直度的控制。

3. 對管線障礙區單元兩側因要配合 L 型機開挖及鋼筋籠搭接吊放，因此在皂土液配比及底部沈泥抽取之作業應配合土層性質詳加規劃計算。

四、結論與建議

都市土木工程隨著人口快速的成長所帶來的交通需求量日益增加，因此捷運工程在都會區中國內也正積極規劃執行，而其中對車站主體開挖部由於係屬明挖覆蓋段，因此考慮以 MASAGO 之連續壁工法作為擋土措施在國內目前仍最被常所施作。

然在進行都市土木開挖過程所可能面臨因地下管線問題，以及作業工區內之人行天橋、高架超高壓電線等，對施工機具基本的淨空作業空間來說必然會造成許多工程進度的延誤，對此如何在規劃之初先行研擬有效的施工方案，以及協調各管線單

位辦理遷移等會勘作業，實有賴主管機關好好規劃，並能於捷運工程開發的同時，將老舊管線汰舊換新，甚至移至人行步道區之共同管溝處，以避免在日後進行管線維持時又必須再次造成交通道安問題。

五、參考文獻

- [1].李魁士、劉慶豐，「淺談深開挖工程規劃設計之地工考量（上）」，<http://www.arch.net.tw>