

# 捷運板橋線CP264標上行隧道修復工程案例

張建仁<sup>1</sup>、陳德和<sup>2</sup>、李家政<sup>3</sup>、衛逸群<sup>4</sup>

## 摘要

台北捷運板橋線位於板橋車站附近之潛盾隧道於掘進作業完成後，自87年7月20日起由隧道內之監測儀器顯示監測成果有明顯的突變，經現場勘查後係因受鄰近工程施工之影響導致隧道產生位移及變形。位移發生後，隧道之仰拱混凝土與環片產生分離並於隧道頂部發現裂縫。明顯地，隧道之位移已對隧道環片造成損害並改變原有環片的受力行為，由於潛盾隧道外土壤之擾動及隧道之損害情形難以清楚得知，為避免對隧道產生進一步的影響並確保潛盾隧道符合未來捷運通車後之結構安全標準，承商從88年11月開始於潛盾隧道內進行修復工作。

由監測儀器的資料顯示，潛盾隧道於移位變形後已經逐漸趨於穩定，如果對隧道外之土壤進行改良，可能對已受損之隧道造成進一步的沉陷，如何使隧道能夠不再位移並恢復應有的強度便成為修復工作必須考慮的因素之一。本工程隧道之修復方式經評估後，決定於隧道內增設鋼環片，以鋼環片之結構強度取代受損的環片。本文將對隧道之損害情形、修復方式選擇之考量因素及環片組立之施作過程加以敘述，期望能提供爾後工程界施工參考。

關鍵詞：隧道修復、鋼環片、隧道位移

1臺北市捷運工程局中區工程處 正工程司

2臺北市捷運工程局中區工程處 副工程司

3臺北市捷運工程局中區工程處 助理工程員

4臺北市捷運工程局中區工程處 聘用技術員

## 一、板橋線CP264標隧道工程概況介紹

### (一)位置與工程內容

本標隧道東端接新埔車站，西端則與CP265A標之板橋車站銜接，為兩平行之上下行隧道，其中下行線長1006公尺，上行線長1008公尺，總長2014公尺。兩條隧道中心線距離為13.7至15.4公尺，隧道上方覆土厚度則介於11至21公尺之間，隧道之縱坡在3%以內，沿線設有3處連絡通道，均在隧道施工前即先行完成地盤改良作業。

本工程採用潛盾工法進行隧道掘進，施工時除出發井、迴轉井需佔用地面外，其餘均於地下施工，而隧道掘進施工並未佔用地面，故對周遭環境及交通影響甚微。

出發井設於上行隧道與板橋車站界面處，隧道中心高程為90.74公尺（地表下17.56公尺），迴轉井則設於新埔車站內西端，隧道中心高程約為92公尺（地表下14.5公尺）。潛盾機自出發井沿上行線向東北方向掘進，至迴轉井原處轉向後，在沿下行線向西掘進至板橋車站東端處棄殼而完成隧道掘進作業，如圖一所示。本標隧道內徑為5.6公尺，襯砌採用25公分厚之預鑄混凝土環片，在潛盾機每完成一環環片之掘進作業後隨即進行環片組立。每環由3片A片，2片B片及1片K片共6小片組立而成，環片最重2.4公噸，最輕0.8公噸，寬度均為1公尺。另外連絡通道由於採新奧工法施工，除前述之地盤改良作業外，其銜接上下行隧道之開口部每側係由2片鋼製環片組立而成。

本標潛盾隧道係採用一部直徑6.24公尺、長度5.46公尺之土壓平衡式潛盾機進行施工，潛盾掘進時立即組立環片，並於環片背填孔立即進行背填灌漿，以減少盾尾空隙閉合所導致之地表沉陷。潛盾機於83年7月4日開始進行組立，並於84年11月9日全部隧道鑽掘完成。

### (二)地質條件

板橋線沿線土層為大漢溪與新店溪沖積而成，其地質分區屬於台北盆地松山層。依據地質調查報告資料顯示，係由粉質粘土（或粘質粉土）和粉質砂土（或砂質粉土）交互組成，大致可分為6個層次，總厚度約50餘公尺，下方則為景美礫石層，地表高程（參考高程）約105.5至106公尺左右。本標簡化土層參數及沿線土層狀況如圖二所示。本標隧道沿線穿越之土層為松山層之第5、4、3次層，由於距大漢溪與新店溪匯流處甚近，受河道變遷及沉積環境影響，地質變化較為複雜，且夾有數量不等之流木，造成施工之困擾。

### (三)鄰近工程

潛盾隧道完成掘進後，即陸續進行連絡通道和仰拱施工，唯捷運工區外，鄰近範圍另有兩個深開挖工程在隧道南側和西側先後動工，分別概述如下：

#### 1.南側地鐵新板橋車站深開挖工地

南側地鐵新板橋車站工地開挖區呈長方形，寬度為46m。地下室主體開挖深度達21m，擋土結構採用厚1.2 m、深35m之連續壁，北側有局部向外延伸，開挖深度8 m，擋土結構採用直徑60 cm，深度13m之預置樁。開挖自1996年8月開始，地下一層以上採順築工法，以下採逆築工法施工。南側工地施工承商為減少開挖引致之外側地盤變位，在開挖底面施作扶壁式地盤改良，如圖三所示，並於隧道內、外佈設多項監測儀器，包括土中傾度管、水壓計、水位觀測井、並於本標隧道內裝設變位觀測點、裂縫計及地面沉陷點等。

## 2. 西側捷運CP265A標板橋站深開挖工地

捷運板橋站工地開挖區為地下三層結構體，開挖區長度為288m，寬度26m，靠近本標隧道側因含出入口及通風井故漸變為31m，採順築工法並利用H型鋼支撐開挖施工，除兩端集水坑部份開挖深度約26m外，其餘開挖深度約23.5m，共分成七階開挖及架設六層支撐。擋土結構係採用厚度1.2m之連續壁，除位於東西兩側之連續壁深度達42m外，其餘皆為35m深。本工程連續壁係自1997年12月開始施作，於1998年5月間完程，隨後即進行中間樁打設，地下開挖則自1998年8月中旬展開。

## 二、上行隧道變位緣由及經過

### (一) 台鐵新板橋車站地鐵工程概況

#### 1. 台鐵車站與捷運隧道相關位置

捷運板橋車站位於地鐵車站之北側，其東端之捷運隧道係以 $R=280m$ 的平面曲線由東折向北，並以 $-2.1\%$ 縱坡向東北方向前進，捷運隧道與地鐵車站開挖擋土壁之淨距約由12公尺漸遠至24公尺，其最接近處之斷面關係如圖四所示。

#### 2. 地鐵車站施工情形

地鐵車站於85年7月1日動工，鄰捷運隧道區域則於85年8月開始挖掘，地鐵車站與捷運隧道U-1A層以下採逆打方式施工，U-1A層以上則配合U-1A以下之施工，採同步順打施工，施工至G+11層時暫緩，待U-3A層大底施工完成後再施工G+12層以上部份，U-1A層以下逆打部份分五階段開挖，開挖最大深度為地表下21.112公尺，較捷運隧道底（外緣）約低0.8公尺至約高0.5公尺。地鐵車站的詳細施工時程及其施工程序分塊等請詳附註資料。

### (二) 施工監測

#### 1. 地鐵於新板橋車站之監測配置

為監控南側地鐵車站工地開挖施工對鄰近潛盾隧道的影響，所裝設之監測儀器主要包括土壤中傾度管（編號SIS603~SIS608及SIS611~SIS612，計有8支），豎管式水壓計（編號SP603，SP604）及水位觀測井（編號OW603，OW604），隧道內變位觀測點（編號ST601~ST612）隧道環片裂縫計（編號CG1~CG12）等。

## 2. 本工程潛盾隧道段之監測配置

本標之監測儀器於受損隧道段上方之配置有環片收斂觀測點CP16個，地面沉陷點15個，連續壁傾度管SID1個，豎管水壓計1個。

## 3. 監測紀錄

(1) 土壤中傾度管：土壤中傾度管裝設深度均至地表下50m，並進入景美礫石層中數公尺，故傾度管底部應可視為不動點。依其配置情形可概分三列，第一列係距地鐵工地連續壁1m處，如SIS611及SIS612；第二列位於隧道上行線與地鐵工地間，其距離隧道結構外側僅約1.5~2m，包括SIS603、SIS605及SIS607三支；第三列則位於隧道上下行線中間，包括SIS604、SIS606及608等三支。

由監測資料顯示，靠近南側地鐵車站工地第一列傾度管SIS611及SIS612之最大側位移量發生於地表下20至25m間，分別約為53mm及50mm。由於此二支傾度管替補裝設完成並於86年6月10日開始量測時，南側地鐵工地已開挖至地表下8m，且於86年11月上旬受到連續壁接頭灌漿的影響，經參考監測資料的變化情形，推估其最大變位量可分別達到63mm和55mm。

第二列傾度管SIS603、SIS605及SIS607之觀測結果顯示，SIS603位移量較小，最大位移量約20mm且發生於淺層，可能是受到該傾度管與南側地鐵工地間有一淺開挖，多一道直徑60cm之預壘排樁，以及SIS603位於隧道上行線出發井外圍地盤改良區外側不遠的關係。而SIS605約略與SIS611位於同一斷面上，最大位移量發生在地表下17m，且至87年5月起即逐漸自31mm增加至87年11月底之53mm，累計變化量約22mm然SIS611之最大側位移量自87年5月26日至87年5月29日由29mm劇增至49mm，三日內增加20mm，而至87年11月底之累積最大變位量為53mm。比較SIS605與SIS611之結果，顯示南側地鐵工地之連續壁於87年5月下旬因為受開挖施工影響而產生明顯變化，但此後即趨於穩定相校遠處之SIS605卻顯示有遲滯反應現象，側向位移增加較緩。至於SIS607最大位移量僅約10mm，此可能是因為隧道曲線線形關係使得距離開挖區較遠。

位於上下行隧道間之第三列傾度管，在前二列傾度管和上行隧道發生位移期間，其歷時曲線均呈穩定，研判此一範圍土壤受南側地鐵工地施工造成之擾動不大，現地勘查亦未發現曾受到明顯之影響。

- (2)隧道變位觀測點：此項儀器之測讀結果於87年7月20日產生明顯而一致之變化後，其後續讀值尚屬穩定。
- (3)隧道內裂縫計：部分裂縫計其讀值於87年7月20日與隧道變位觀測點同步產生明顯變化後，以後則大致均呈持平現象，未持續擴大。
- (4)水位觀測井及水壓計：水位觀測井深度為8m，水壓計深度則為25m及40m，其測讀結果於隧道發生變位前後並無顯著變，其讀值自9月中旬起有明顯上升情形，研判係受到降雨影響，與隧道變位並無直接關連。
- (5)開挖中水位下降：南側地鐵工地於86年3月開挖至8m深時，可能是受到預累樁滲水影響而造成地下水位下降約3m，但由臺北市過去降水歷史與季節性水文變化幅度，以及隧道開挖之土壤歷史來看，水位下降3m對隧道的影響應可忽略。

由上述探討可知，本段隧道受損最主要原因乃在於南側地鐵車站工地開挖施工的影響，使地層受到擾動所造成。

#### 4. 上行隧道變位測量與裂縫現況

捷運隧道變位情況之勘查，除前述於地鐵車站施工期間之觀測紀錄以外，捷運施工承商於捷運上、下行線隧道84年12月全線隧道環片組立完成後，曾於85年1月進行隧道完成後之全線檢測，其上行線隧道檢測結果請參見表3所示。之後隧道仰拱混凝土之打設延至86年4月完成，地鐵車站之開挖於85年8月開始，至87年9月完成最下層之底版（採逆打方式）。

捷運局中工處及其承商對其隧道持續密切觀察而於87年7月20日發現上行隧道仰拱與環片間（地鐵車站側）有分離現象，範圍由第6環至70環，最大縫隙約為20mm。為瞭解發生此現象之原因與程度，87年10月19日捷運局中工處測量所乃進行隧道環片測量。發現上行線隧道中心線位置與85年1月之量測值比較後，向地鐵車站水平偏移最大達5.3公分，隨後於87年11、12月再行複測及實地勘查，發現隧道頂部B型環片有髮絲裂紋，發生範圍為11環至49環間，裂縫寬度從0.05mm至0.25mm不等，如表3所示，發生之置如圖8內所示。由隧道複測結果推估隧道變形及偏移量列於表4內，現地勘查發現變形最大之24環拱頂K型環片與相鄰環片約有10mm之突出，其環間填縫料有剝離下墜約5mm之現象，另5mm推測應係原組裝時誤差所致。

捷運局中工處及其承商此項觀測資料與地鐵車站施工監測取得之資料，雖未必相同，但其趨勢現象則屬相仿。

CP264標承包商達欣公司87年11月於環片裂紋上裝設五組裂縫計，由紀錄可得知迄88年3月19日環片縫隙並未增大。

達欣公司於87年11月於鄰新板橋車站開挖之潛盾隧道環片裝設23處收斂觀測點，自87.12.10日起觀測。除上行線第10~20環之收斂量較大，其中第10環之2-3

向收斂量達19.43 mm外，其餘收斂量均不大。其歷次觀測值間的變化量均不大於1mm，顯示潛盾隧道環片之變形已趨於穩定，惟須持續進行監測，以確認隧道環片之變形已穩定。

### 三、本工程上行隧道位移後相關措施

本標下行線隧道於87.11.09鑽掘完成，交通部地鐵處板橋車站於86.05.30召開「隧道內變位方式研討會」，決議，除地鐵板橋車站開挖周邊監測儀器佈設外，另於本標隧道內環片與環片間裂縫計安裝及量測相對變位並於每週提送地鐵工區與本標周邊界面監測資料予本局中區工程處土木第七工務所審查外，並由本所轉予本處細部設計顧問與大地專業顧問審查。

87.08.11 地鐵處板橋車站施工區提送監測資料，經本處細部設計與大地專業顧問審查該資料監測儀器裂縫計數值有異常變化，為利研判分析對本標隧道工程之安全性，於87.09.20本處召開「捷運板橋線CP264標與地鐵工程界面裂縫計觀測資料異常現場會勘」，會中請本處細部設計顧問立即進行隧道安全評估並要求地鐵增加 地鐵板橋車站周邊之監測儀器資料提送。87.11.05召開「捷運板橋線CP264標潛盾隧道工程位移討論會」，會中請本處細部設計顧問提出隧道影響評估報告。細部設計顧問於88.04.01提出評估報告，本處於88.04.19函請細部設計顧問，隧道影響評估報告尚有部份應行澄清，經過多次討論會澄清（88.06.16、88.06.22、88.07.15），細部設計顧問於88.10.25來函提送完整之隧道影響評估報告。

### 四、修復方法

根據潛盾隧道之損害情形，細部設計顧問初步提出之兩種修補方案。方案一，為考慮隧道內之裂縫及隧道外之地盤因位移而產生之鬆動，於隧道內以黏貼六層碳素纖維補強，並於隧道外做地盤改良來處理，方案二，經本局建議以鋼環片內襯方式取代受損環片強度方式，由細部設計顧問再提出以鋼環片完全取代原有R.C環片之設計，而不另外在環片外進行地盤改良。經過捷運局、中興工程顧問公司、達欣公司及亞新工程顧問公司等各單位討論後，對於此種方式之優缺點作一比較如表一。

方案一之碳素纖維黏貼因為對於隧道環片與碳素纖維之鍵結強度及其鍵結長度無法確定，對於防範隧道內裂縫進一步擴大之效果不容易確定，且隧道外之裂縫無法修補，如果裂縫深度超過保護層，時間稍長即容易因隧道環片鋼筋之腐蝕而使環片強度降低，進一步可能造成環片破壞。另外於隧道外灌漿是否會因土壤受到擾動，造成再一次的沉陷也必須納入考慮；方案二對於隧道之淨空問題需經詳細計算，於裝設鋼環片時亦需精確之調整，另外對於往後如再發生沉陷問題則易造成淨空不足影響行車安全，但是對於隧道補強後之成果及業主之驗收較無爭議。

經由監測儀器之量測結果顯示，隧道之變形於87年12月以後已逐漸趨於穩定，隧道外地盤改良的必要性降低，故方案二經比較後並依據上述之考量後認為應為較佳之

選擇。

## 五、上行隧道修復工程

### (一)前置作業

#### 1.淨空檢討與監測

首先欲採用鋼環片內襯之補強方式，最重要的就是需要有足夠的淨空讓捷運電連車能安全通過，由於本段曲線為內彎，因此其淨空控制於車輛中心之偏移，經過水平線型（ $R=280$ 公尺）及車輛之淨空動態包絡線計算，加設100mm之鋼環片在車輛之淨空考量上應屬可行，惟須將隧道之維修走道由550mm減為450mm。

##### (1)測量

本工程針對現有隧道淨寬是否足夠於新設之鋼環片之安裝及隧道線形之變化與修訂，均必須仰賴於施工期間，測量作業之配合；其主要之作業項目可分：

##### A.施工前測量：

其目的為檢測，近期中隧道環片是否新增異位變形，並推估隧道內部淨空，以作鋼環片製作加工之依據。

##### B.施工中測量：

- 1)於隧道仰拱打除之後，再次檢測環片變形狀況及淨空實測，並做鋼環片組裝型式之參考依據。
- 2)隧道中心線放樣：依測量結果定出軌道中心線後，量測隧道中心線，以作環片安裝基準線。

C.竣工之測量：新設鋼環片完成後，做最後竣工檢測。藉以評估原軌道線形是否需要修正，以及完工依據。其相關之測量程序，請參照原竣工測量計畫書。

##### (2)監測系統：

A.隧道內部增設監測儀器：於原R.C環片斷面上由第9環起，每5環擇選其中適當位置，增設裂縫計一組及收斂計一組，最後一組應超過第50環，並於仰拱打除及環片組裝期間，每日觀測應變情形，隧道收縮點以直徑變化5mm為警戒值。

B.隧道外圍監測系統：配合CP265A及地鐵介面工程之監測系統，於施工期間加強觀測，以瞭解相關地質變形情形。其監測頻率，以每三日測讀一次為原則；為掌握監測值之即時性，建議由承商（達欣工程）自行測讀。

#### 2.提送施工計畫書（含品質管制）審查

在選定隧道修復方式後，承商提送施工計畫書審查，經本局（處）暨細部

設計顧問審查修正後，定案之計畫即為本修復工程施工及品質管制之依據。

### 3. 修復工程前置作業

前置作業分成兩部份同時進行

(1) 材料檢驗 與鋼環片製造：材料之使用必須檢附合格之檢試驗證明文件

#### A. 材料之品質管制：

##### ① 鋼環片

- 1) 鋼材
- 2) 張力螺栓
- 3) 塗裝
  - a. Epoxy 鋅粉漆
  - b. Epoxy 面漆

##### ② 環片面漆修補

- 1) Epoxy 接著底劑
- 2) Epoxy 封塞劑

##### ③ 無收縮水泥灌漿：無收縮水泥

##### ④ 仰拱及走道R.C澆置

- 1) 鋼筋
- 2) 水泥

#### B. 鋼環片製造

鋼環片之製作，承商依業主提供之設計圖與施工規範來繪製施工廠圖，再依廠圖尺寸做放樣、切割，鑽孔、彎曲加工、焊接，表面處理塗裝、工廠儲存，運送至工地現場等步驟。

(2) 上行隧道工地現場前置作業

工地現場首要的工作，有一、運輸計劃，二、既有仰拱之敲除，三、環片內面裂縫處理，四、通風設備，五、照明設備，六、現有設備暫時拆除。

#### A. 運輸計劃

本工程施工地點，因位處環片#10 ~ #50環之間，離本標站體約1公里運輸行程，再加上站體設施幾近完工階段。部份設備均已進場安裝，大型吊裝設備無法到達，故運輸途徑更是困難。

設備、材料輸送及人員進出均由CP264標站體出入，目前CP 264標站體部份已無直接通往北上隧道口之吊料口；需藉由通風口X吊放，再藉用搬運車移至迴轉井北側隧道通風口，再利用單軌式吊車吊放至軌道層；接著由接泊搬運車運往施工地點。（如圖五和六所示）

為配合本動線需求，必須配合下列幾項措施：

- 1) 動線上空調管線組裝工作需暫時停工。
- 2) 迴轉井南側隧道通風口，需以型鋼封閉，並構築可承載運送機械行走

之動線。

- 3)迴轉井北側隧道通風口(吊料口),頂版需設置單軌式吊車,以利接泊吊料至軌道層。
- 4)軌道層設置載運材料道路及軌道兩用之專用搬運車。
- 5)加設通風設備,以排除搬運過程中,搬運車所產生之廢氣,及施工機具廢氣、粉塵等。

#### B.既有仰拱敲除

為避免因打除過程受振動而影響整體結構安全,仰拱之打除採用劈裂破除模式及鑽排孔拆除模式,其施工程序說明如下:

劈裂破除模式:

- 1)上層鋼筋切斷:利用道路切割機將預定劈裂區域之上層鋼筋切除。
- 2)劈裂線鑽孔:利用鑽孔機沿劈裂線每隔15cm鑽 38mm深約43mm劈裂孔,並聯成劈裂線。
- 3)自由面鑽孔:利用鑽孔機沿第10環及第5環橫斷裂連續鑽孔以開鑿一道劈裂自由面。
- 4)劈裂:利用C3型油壓劈裂機由第10環起先劈裂橫斷面,原則以每50cm為一劈裂距離,可依現場劈裂情形,調整劈裂孔距,橫向劈裂完全後,再依縱向循序劈裂。
- 5)混凝土塊取出:經劈裂完成之混凝土塊,由自由面端循序取出,若有部份混凝土塊銜接處無法全部斷裂或相互牽制,可利用小型破碎機小心將銜接處打除後再取出。
- 6)R.C面清理:混凝土塊取出後與R.C接觸面上若有細小混凝土渣可利用人工輕輕清理環片面上殘渣,最後再以高壓沖洗機清洗R.C環片乾淨並通風乾燥。
- 7)鄰接仰拱部份第9環及第51環打除至鋼筋層下方約5cm,其鋼筋外露部份以足夠鋼筋搭接長度( $L=40D$ )為原則。
- 8)為避免仰拱打除對隧道穩定性造成影響,本工程將每10~11環分成四接段施作,每接段打除須待前接段環片組裝完成後方可進行。

鑽排孔拆除說明:

- 1)原仰拱與R.C環片脫離現象,經以軟性鋼尺探測,其脫離面長達3m以上,若以鑽排孔模式,依40\*50及50\*50cm等區塊劃分線連續鑽孔取出鑽心,使各區塊均能產生獨立自由面。
- 2)以輕型機械由側邊施力方式,使底部未鑽斷之混凝土折裂後取出混凝土塊,再依此程序取出其他混凝土塊。
- 3)若有殘留細小混凝土渣,可利用人工輕輕清理環片面上殘渣,最後再以高壓沖洗機清洗R.C環片並通風乾燥。

### C.環片內面裂縫處理

- 1)表面清理：以空壓噴嘴、砂輪機和毛刷將待補強區域之粉塵及鬆動物質去除，再用水洗淨，並使其表面恢復乾燥。
- 2)漏水處理：環片接縫或環片面如有滲水或漏水，應依合約特定調款第02312章第3.22節規定將環片表面滲漏部份局部清理，灌注膨脹止水材予以止水，再以環氧樹脂封塞劑修補表面。
- 3)環片接縫處理：檢視鑿除後之預鑄混凝土環片接縫，更換修復損壞之止水條及填縫料。
- 4)裂縫修補：
  - a.已有裂紋之環片，以環氧樹脂接著底劑塗抹於環片之上，以增加補強材質，與混凝土面之效果。
  - b.將變性環氧樹脂填補材料，以批刀加以批平即可。（面層封塞批模厚度最少50 DFT）
  - c.清理現場時，須等變性環氧樹脂材料乾透後約24小時後才可作其他相關表面處理。
  - d.環氧樹脂依ASTM D695抗壓強度  $> 400\text{kg/cm}^2$ ，相關材質詳述附件。

D.通風設備：進排氣口安裝通風機、風管及簡易集塵設備。

### E.照明設備

- 1)固定式照明加設40W防水型日光燈，每5m臨時吊放於隧道環片上。
- 2)工作面照明，以聚光燈或鎢絲燈，視工作需要增設。

### F.現有設備暫時拆除

在現場施工範圍內已安裝之消防管路及電纜線槽等既有設備，予以拆除並集中放置於無礙於施工之區域。

## (二)上行隧道第10~50環現場施作

### 1.材料及成品運送作業

依前置作業中所擬之運輸計劃執行鋼環片及其他材料、設備至潛盾隧道現場。

### 2.鋼環片組裝

#### (1)放樣

由測量定出軌道中心線，依各線形偏移量放樣，隧道中心線於原R.C環片底部（a點），再依高程位置定出（b及g點）兩點於側面R.C環片上（如圖七）

#### (2)底拱鋼環片（A-1，A-2）安裝（如圖七）

- A.將A-1 & A-2兩片鋼環片吊放樣R.C環片底拱上。
- B.調整兩環片結合線，並列於隧道中心線上，初步固定結合螺栓檢視鋼環片底部高程，若底部高程不足時，輕輕吊起環片以墊片固定完成或以調整螺栓調整固定之。
- C.檢測二環片頂部高程（b）（g）及頂部淨寬（D），並以之可調式支撐架及調

整螺栓來調整及固定環片頂部。

D.為顧及下一環組裝時影響上一環位置；利用環片上預留螺栓孔固定零件暫時與R.C環片連結固定。

E.每組三環，新舊環片斷面上之間隙利用橡膠材質作為背填灌漿單元分割之填封。

### (3)上部鋼環片安裝

A.以堆高機加裝固定夾具方式移置A-3環片至安裝位置，先緊接底部螺栓以臨時支撐架支撐。

B.以同樣方式組立A-4環片（如圖八）。

C.增設高腳支撐架，以堆高機吊置A-5環片，緊接底部螺栓，再加臨時支撐撐住A-5環片。

D.以同樣方式組立B環片（如圖九）。

E.C環片之組立以側向推入，並以螺栓暫時緊接（如圖十）。

F.檢測環片左右淨空及隧道中心線，必要時以調整螺栓調整固定。

G.全部螺栓再檢查鎖定。

H.於第一環完成之時應藉原環片之螺栓孔位置加裝輔助固定桿，以防環片移動。

I.每三環片新舊環片斷面上之間隙利用橡膠材質作為背填灌漿單元分割之填封。

J.安裝程序如上述步驟各環之組裝作業。

K.為保持電氣連續性，增設之鋼環片每一片與片及環與環之間均以 5mm裸鋼線連接於環片加勁板上；並於前後兩環以70mm<sup>2</sup> LSFH被覆電線焊接環片與隧道乾式消防管上，做為接地用，以免鋼環片產生導電危險。

## 3.無收縮水泥砂漿灌注

### (1)本工程施工範圍

本工程施工範圍為鋼環片與R.C環片間隙背填灌漿，配合現場施工程序每階段環片組裝完成後灌注。

灌漿程序：

A.依序由下往上灌注之順序，打開鋼環片上預留之灌漿孔。

B.由A-1環片灌漿孔開始灌注，並利用上部灌漿孔作為透氣孔及觀察孔之用。

C.待漿液由A-3 & A-4灌漿孔流出時，封閉A-1孔再分別由A-3 & A-4灌漿孔往上灌注至滿為止。

D.依此程序灌注至頂拱餘滿為止，並封閉灌漿孔。

### (2)灌漿材料

A.水泥：符合標準技術規範第03300章規定之第I型水泥，水灰比為0.28~0.34。

B.水：符合標準技術規範第03300章規定之混凝土用水。

C.無收縮灌漿劑：為非金屬無氯化物含量之優質無收縮添加劑。

D.砂：天然淨砂，顆粒堅硬，不含鹽分或泥土。

(3)品質規格：

項目	規格值	試驗方試
初期體積收縮率	0.00 %	ASTM C827
硬化後體積收縮率	0.00 %	CRD C621
抗壓強度7天	350 kg/cm <sup>2</sup> 以上	ASTM C109

(4)施工機具：

A.無收縮性水泥砂漿攪拌機：全長95\*寬92\*高102cm，攪拌桶直徑86\*高33cm，馬達220V。

B.無收縮攪拌漏斗、附振動篩：全長110\*寬75\*高62cm攪拌容量120公升，主軸馬達220V、0.4KW\*4P，主軸攪拌轉速58次/分，振動篩馬達220V，0.1KW\*4P。

C.無收縮性水泥砂漿幫浦輸送機：吐出量7.5~30公升/分，最高1.8m<sup>3</sup>/小時，輸送能力（約）水平150公尺，垂直45公尺，馬達220V，1KW\*4P。

D.其他工具：鑽孔機、電鋸等手工機具。

(5)施工步驟：

A.材料品質：

- 1)水泥和藥劑是否有潮濕、風化的不良情況
- 2)砂子是否含有雜質
- 3)水質是否乾淨

倘若有上述情況之一發生，均應將不合格的材料予以更換，然後再依據使用說明書之配比正確計畫拌合。

B.接著表面處理：

原有混凝土面的雜質、污垢、碎屑等，應用適當器械清除，用水沖洗並潤濕之，但施工前須先排除積水。

C.現場環境：

灌漿完成後，漿料在初期的硬化過程中，須注意現場是否尚有其他工程施工，會造成振動，倘若有此情形發生，應立即停止施工，以免影響強度發展，進而損及工程品質。

D.漿料注入孔和透氣孔的設置：

於鋼環片上預留灌漿孔，依序以下方孔為注入孔，則其上方相鄰之一孔為透氣孔，得透氣孔溢出砂漿時，再改以此透氣孔為注入孔，而其上方相鄰之一孔為透氣孔，如此依序左右採用同時灌注，直至灌漿完成。

E.拌合：

將標準配比材放入攪拌機內，拌合時間共約2~3分鐘，洩至攪拌漏斗內再拌合1分鐘。

F. 灌注：

採用無段數擠壓機，以7.5~30公升/分鐘速度，一連續注入方式，從單一方向灌注，一次灌滿，直至漿料由透氣孔溢出為止。

G. 試體取樣（抗壓強度）：

無收縮水泥砂漿須於施工取樣，作5cm\*5cm\*5cm立方試體，分別測試7天的抗壓強度。

#### 4. 仰拱與安全步道混凝土澆置

##### (1) 仰拱復原

本次施工仰拱打除範圍在第9環~第51環間，施工總長度約42m，其混凝土澆置工作以一次澆置為原則，其施工步驟如下：

##### A. 施工流程

環片表面之清理 放樣 固定架裝設 裝設排水管 鋼筋組立 角鐵固定  
混凝土澆置 養護

##### B. 施工步驟說明

- 1) 環片表面清理：先以人工清理方式，將土砂集中於底層環片中，必要時以真空幫浦集塵方式吸取清除。
- 2) 測量放樣：
  - a. 軌道中心線
  - b. 仰拱混凝土高度、坡度
  - c. 排水管高度、坡度
  - d. 固定架裝設（工作筋），分別下列三種：
    - \* 200 PVC排水管（工作筋+鐵絲）
    - \* 鋼筋床之固定架
    - \* 集水坑之固定架
- 3) 裝設排水管：
  - a. 將200 PVC排水管安放在已裝設完成的工作筋上
  - b. 以鐵絲將其綁紮固定
- 4) 鋼筋組立：
  - a. 先將輔助筋固定在固定架預定高程上，作為鋼筋床組立時之支撐用。
  - b. 依次組立主筋與副筋，並注意保護層厚度。
  - c. 將25\*25mm之角鐵固定在預定高程及位置上焊接於工作筋上。
- 5) 混凝土澆置：
  - a. 混凝土輸送
    - \* 混凝土之輸送若可配合CP264A介面連續壁鑿除時程，則由CP265A

輸送，若無法配合則由CP264以加壓幫浦輸送，現場澆置。

\* 澆置時，澆置工作面應與地面幫浦車配接聯絡電話，以利控管。

b. 混凝土配比

\* 設計之混凝土為 $f'c=21\text{N/mm}^2$  TYPE I

c. 混凝土澆置

\* 由於混凝土幫浦輸送之混凝土以振動機搗實，須注意不可損壞固定於埋設混凝土內之管件。

d. 仰拱表面抹平定型

\* 在混凝土搗實完成後，人工沿固定角鐵抹平，因此混凝土澆置前，角鐵須設於所定之高度、位置。

6) 養護：

a. 在24小時後，混凝土表面以雙層麻布完成覆蓋，並隨時灑水保持濕潤。

b. 養護用水符合 AASHTO T26試驗規定之淡水；含有鹽份之水份不得用於混凝土養護。

(2) 安全步道混凝土澆置

因受內襯鋼環片影響，原電纜槽溝及安全步道之淨寬必須縮小尺寸（如圖十一）；安全步道之淨空隨軌道偏差量不同（如表二）所示；其中最小為第10環 $W'=0.474\text{m}$ 最大為第30環 $W'=0.516\text{m}$ 。

A. 施工流程

澆置區間與環片表面之清理 放樣 鋼筋組立含排水管套管安裝 鋼筋組立 鋼模安放固定 混凝土澆置 養護 拆模

B. 施工步驟說明

1) 澆置區間與環片表面清理：以人工清理方式清理。

2) 測量放樣：

a. 安全步道位置

b. 安全步道高度

3) 鋼筋組立：依次組立主筋與副筋，並注意保護層大小。

4) 模板組立：含排水管套管安裝，以3M為一組，先行組立，並同時安裝2-50 @3M PVC排水管與2-80 PVC管套管，並塗抹脫模劑，模板組立完成後，重新檢測中心及高程無誤再將鋼模固定。

5) 混凝土澆置：

a. 混凝土輸送計劃：詳前所述。

b. 混凝土配比：詳前所述。

c. 混凝土澆置：詳前所述。

6) 養護：詳前所述。

7)拆模：在混凝土強度到達規定設計強度之百分之二十五時，即可拆模。

5.原有設備復原

將已拆下來集中存放之消防管路及電纜線槽溝等設備安裝復原。

6.臨時設備拆除撤離

將修復工程所需之設備拆除撤離，並將工地清理恢復原狀。

## 六、結論

- (一) 鄰近捷運設施之工程施工，應對施工過程中可能對捷運結構體產生之影響做一徹底的分析評估，並於施工前採取有效之保護措施。
- (二) 對於監測值之反應，施工或設計單位應隨時做回饋分析，以瞭解變形之情形是否超出原設計之預估值，若有較預期為大之變形或沉陷發生，即應調整施工方式或步驟，以防止變形進一步加大。
- (三) 捷運隧道雖為柔性設計，但對於附近之土壤而言有一定的強度，對周邊之土壤鬆弛反應也並不一定呈緩慢增加的模式，有可能產生瞬間變形加大的情形。故對隧道附近之監測儀器如土壤中傾度管的反應情形，應確實評估並於適當時機採取補救措施，如低壓灌漿等。本案例即因土壤中傾度管達管理值後，施工承商未採取任何補強方式，以致發生變形。
- (四) 對鄰近工程之施工狀況，捷運主管單位很難確實掌握所有情況，而鄰近工程如發生類似連續壁漏水等施工不良情形，大部份之施工承商皆採隱瞞或自行補救的方式處理，捷運主管單位此時只能由監測儀器之反應推斷可能發生之事件。本案例中，鄰近工程監測資料傳遞至捷運主管單位的時程皆拖延甚久，因此捷運主管單位更難掌握鄰近施工的情形，亦無法做出適當的反應，延遲了事前補救的時機。
- (五) 監測儀器之佈設及量測應從連續壁施作前開始，如此才能切實掌握捷運隧道受影響之程度且針對捷運設施，最好由鄰近工程之施工承商出資由捷運主管單位出面聘請一獨立之監測承商，針對捷運設施之保護情形進形觀測，如此監測系統才能發揮事前施工控管及是後責任釐清之功能。
- (六) 捷運隧道之設計原本利用土拱效應抵抗四周均衡之土壓力，若有一方土壤產生鬆動的情形環片即容易因受力不均產生破壞，本案例即為開挖時造成土體鬆動解壓，進而產生變形移位，經由此一案例對未來鄰近捷運隧道施工，其監測儀器之管理值即容許之土壤及隧道之變形應更加謹慎來訂定。

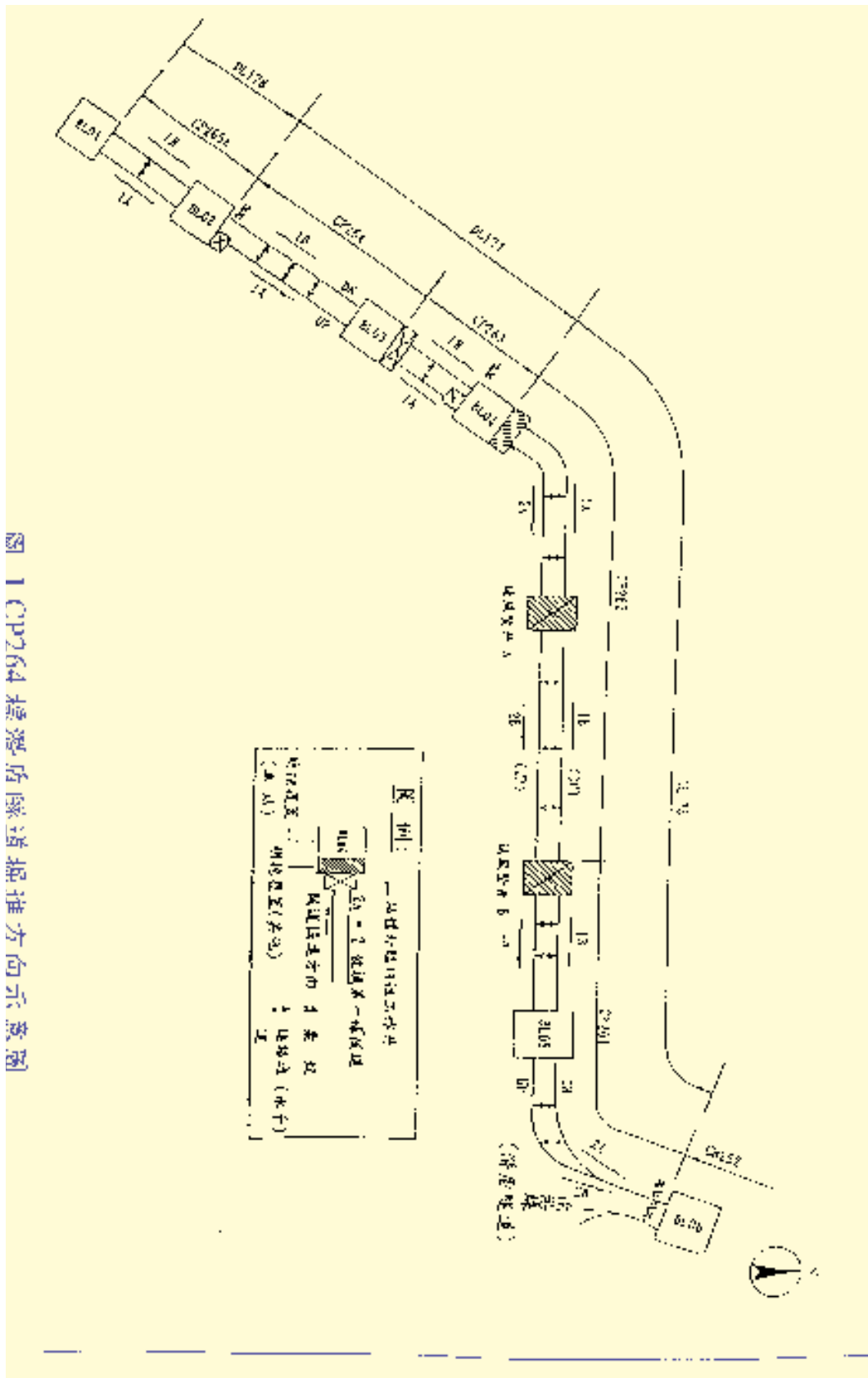
表一 隧道修復方式之優缺點比較表

優缺點比較	方案一 碳素纖維粘貼	方案二 鋼環片內襯	備註
工程經費	約 3600 萬	約 2000 萬	DDC 預估
工期	約 4 個月	約 6 個月	DDC 預估
施工可行性	較容易	較困難	環片搬運難易度
補強效果 (可靠度)	補強效果不易確定	補強效果較確定	

表二 安全走道之淨寬設計

表二 安全走道之淨寬設計值

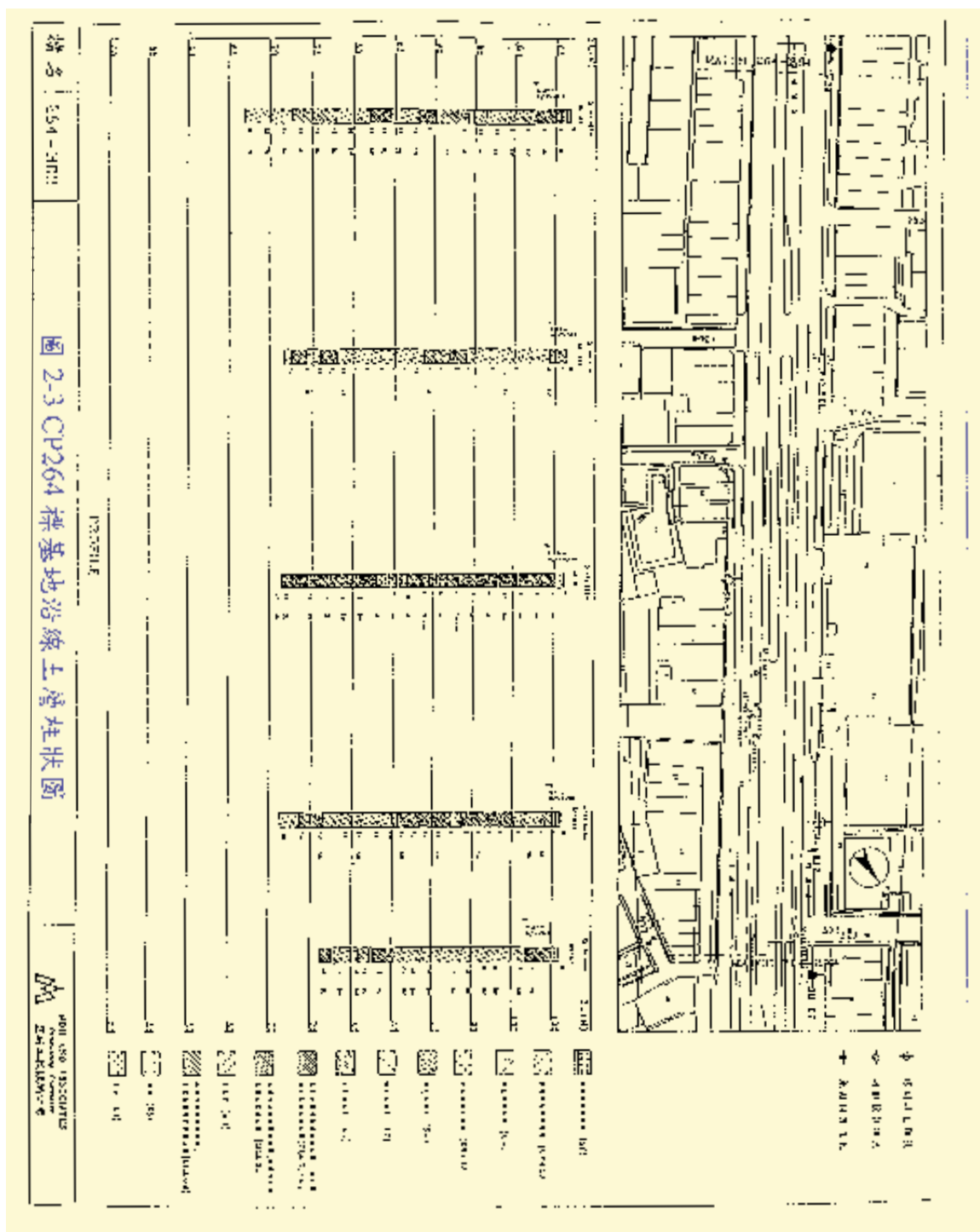
原號	補號	軌道中心與走道淨寬(D)	原R.C.環片走道淨寬(W)	新設鋼環片後走道淨寬(W)	備註
10S	0-177.875	2.388	0.619	1.474	
11S	0-178.377	2.033	1.821	0.470	
12S	0+170.680	2.088	0.621	0.478	
13S	0+180.679	2.088	0.625	0.43	
14S	0+181.661	2.087	0.627	0.482	
15S	0-182.887	2.387	0.63	0.485	
16S	0-183.034	2.089	1.842	0.487	
17S	0+184.693	2.089	0.64	0.489	
18S	0+185.698	2.089	0.636	0.481	
19S	0+186.700	2.088	0.638	0.483	
20S	0-187.783	2.385	0.64	1.435	
21S	0-188.712	2.084	1.842	0.497	
22S	0-189.709	2.084	0.644	0.499	
23S	0+190.717	2.083	0.647	0.502	
24S	0+191.721	2.083	0.649	0.504	
25S	0-192.718	2.082	0.651	0.503	
26S	0-193.722	2.082	1.853	0.508	
27S	0-194.722	2.081	0.655	0.51	
28S	0+195.730	2.081	0.657	0.512	
29S	0+196.733	2.381	0.658	1.514	
30S	0-197.740	2.08	0.861	0.516	
31C	0-198.733	2.08	1.851	0.516	
32C	0-199.636	2.38	0.66	1.515	
33C	0+200.750	2.08	0.669	0.514	
34C	0+201.749	2.08	0.666	1.513	
35C	0-202.752	2.08	0.857	0.512	
36C	0-203.757	2.08	1.853	0.51	
37C	0-204.759	2.38	0.664	0.509	
38C	0+205.762	2.08	0.663	0.508	
39C	0+206.769	2.08	0.662	1.507	
40C	0+207.775	2.08	0.851	0.506	
41C	0-208.775	2.08	0.65	0.505	
42C	0-209.780	2.38	0.649	0.504	
43C	0+210.781	2.08	0.647	0.502	
44C	0+211.789	2.08	0.646	1.501	
45C	0+212.788	2.08	0.645	1.5	
46C	0-213.783	2.08	1.844	0.499	
47C	0-214.794	2.08	0.643	0.498	
48C	0+215.797	2.38	0.642	0.497	
49C	0+216.801	2.08	0.641	0.496	
50C	0+217.804	2.08	0.64	1.495	



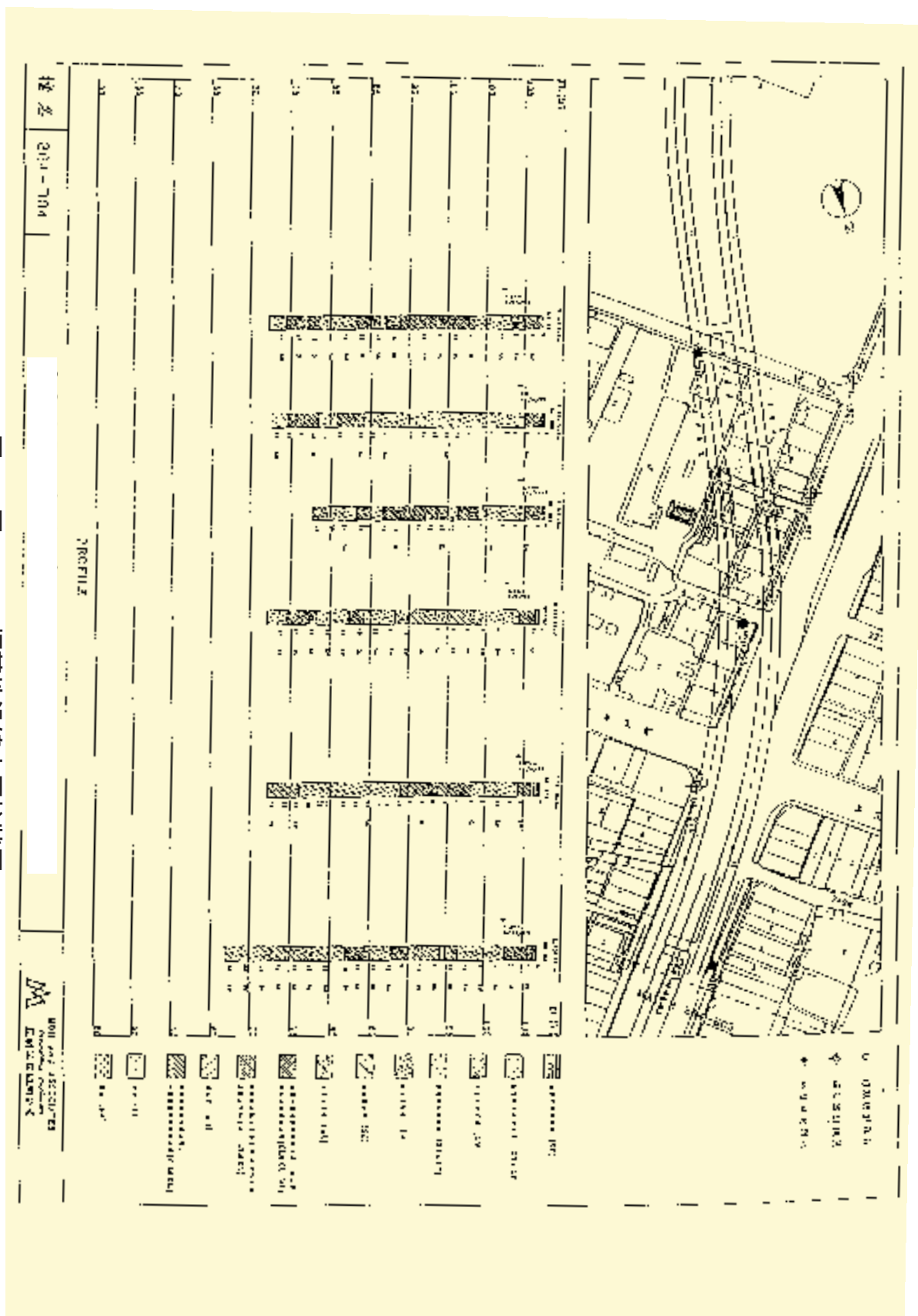
圖一 CP264標潛盾隧道掘進方向示意圖







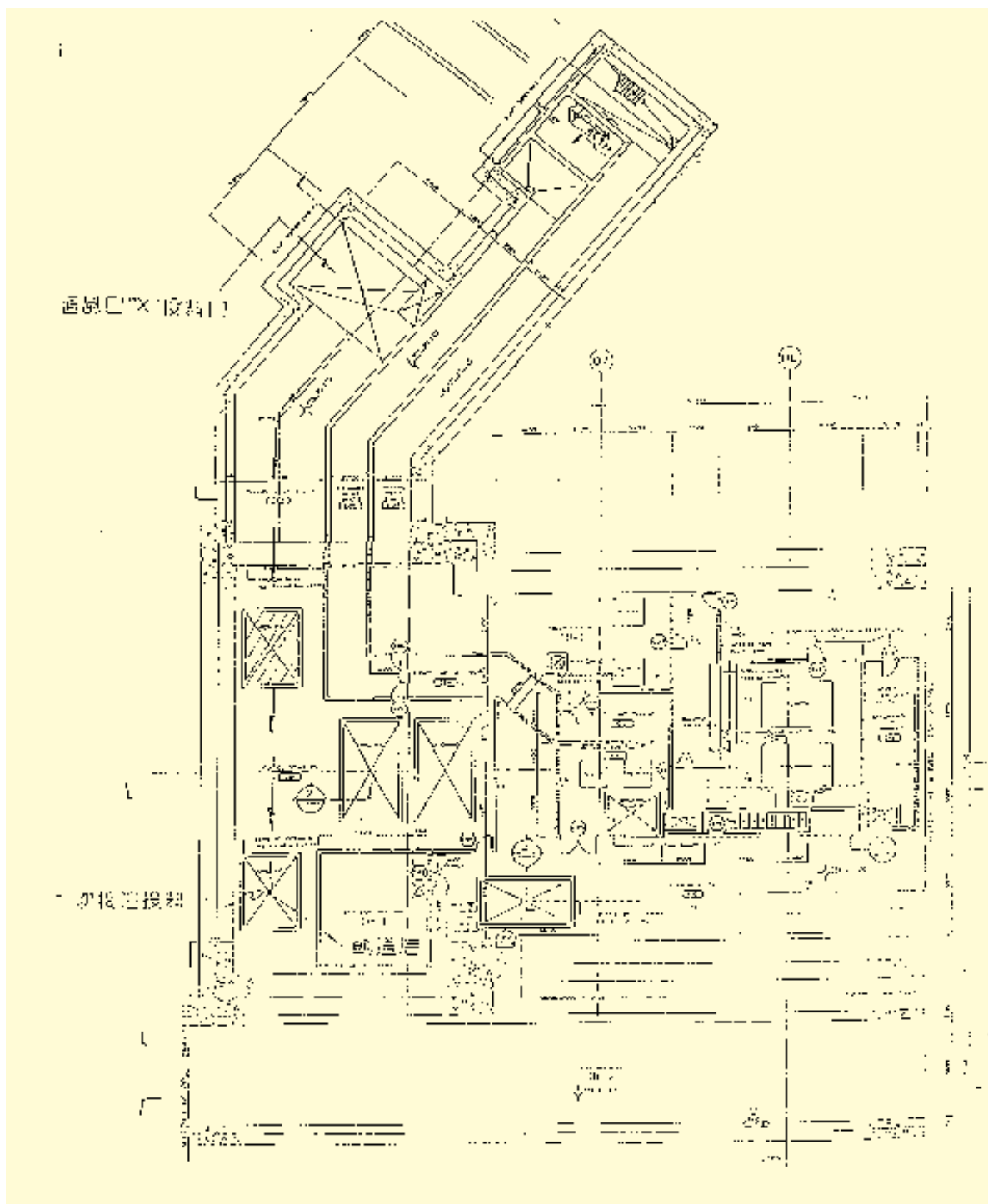
圖二 - 三 CP264標基地沿線土層柱狀圖



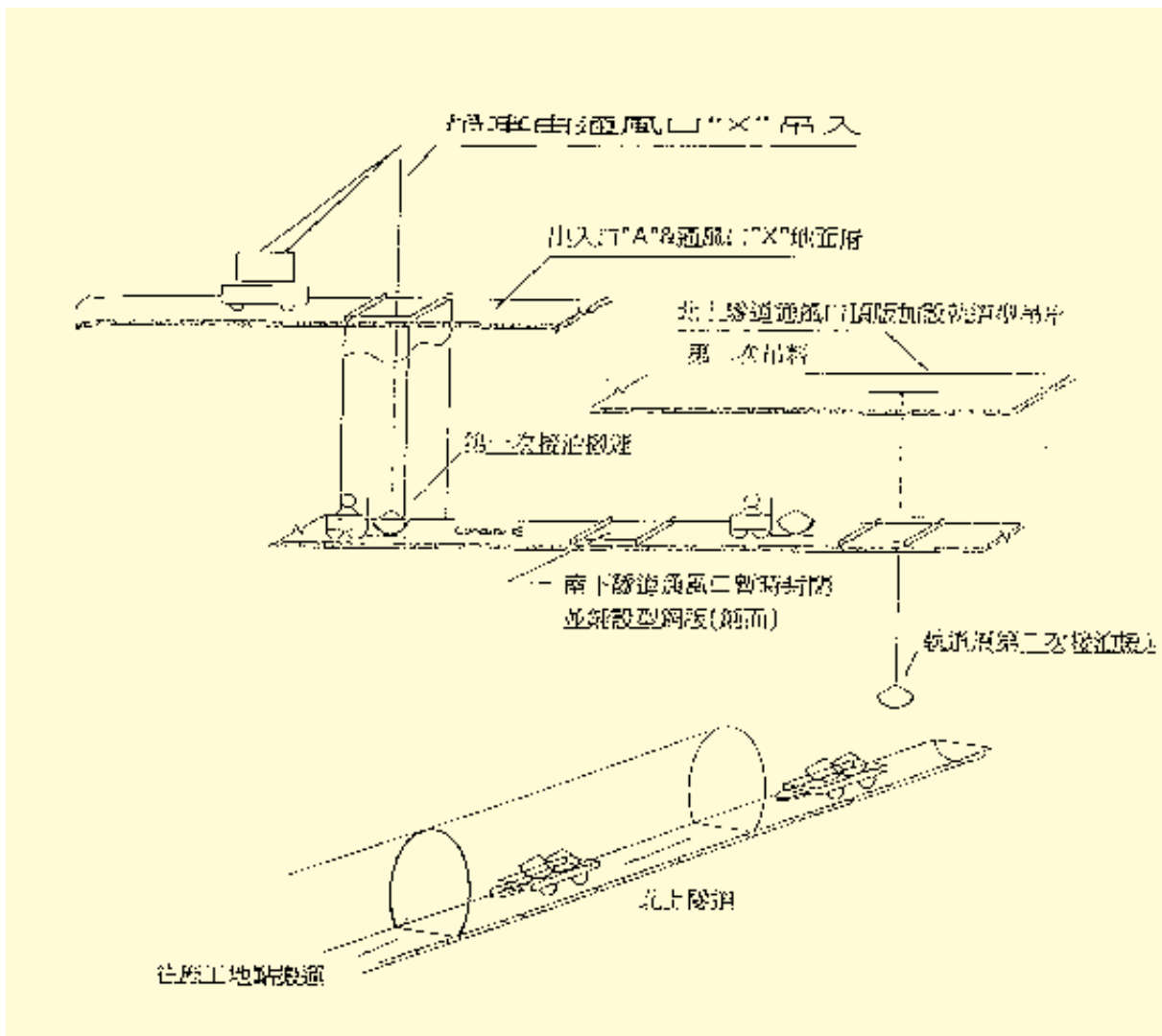
圖二-四 CP264標基地沿線土層柱狀圖



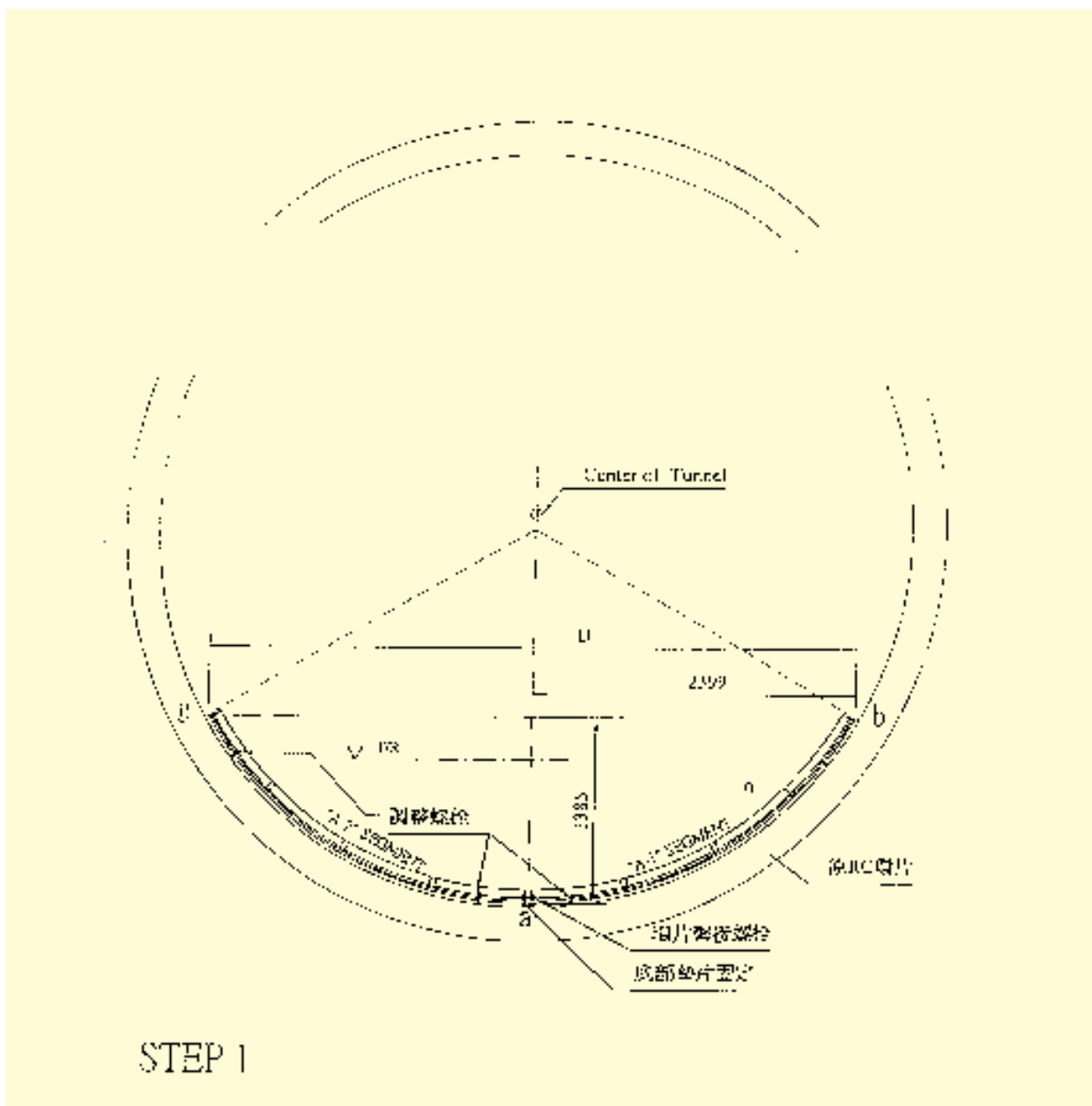




圖五 通風口X進出料平面示意圖



圖六 由CO264通風口X進出料動線示意圖



圖七 底拱A-1與A-2環片組裝示意圖







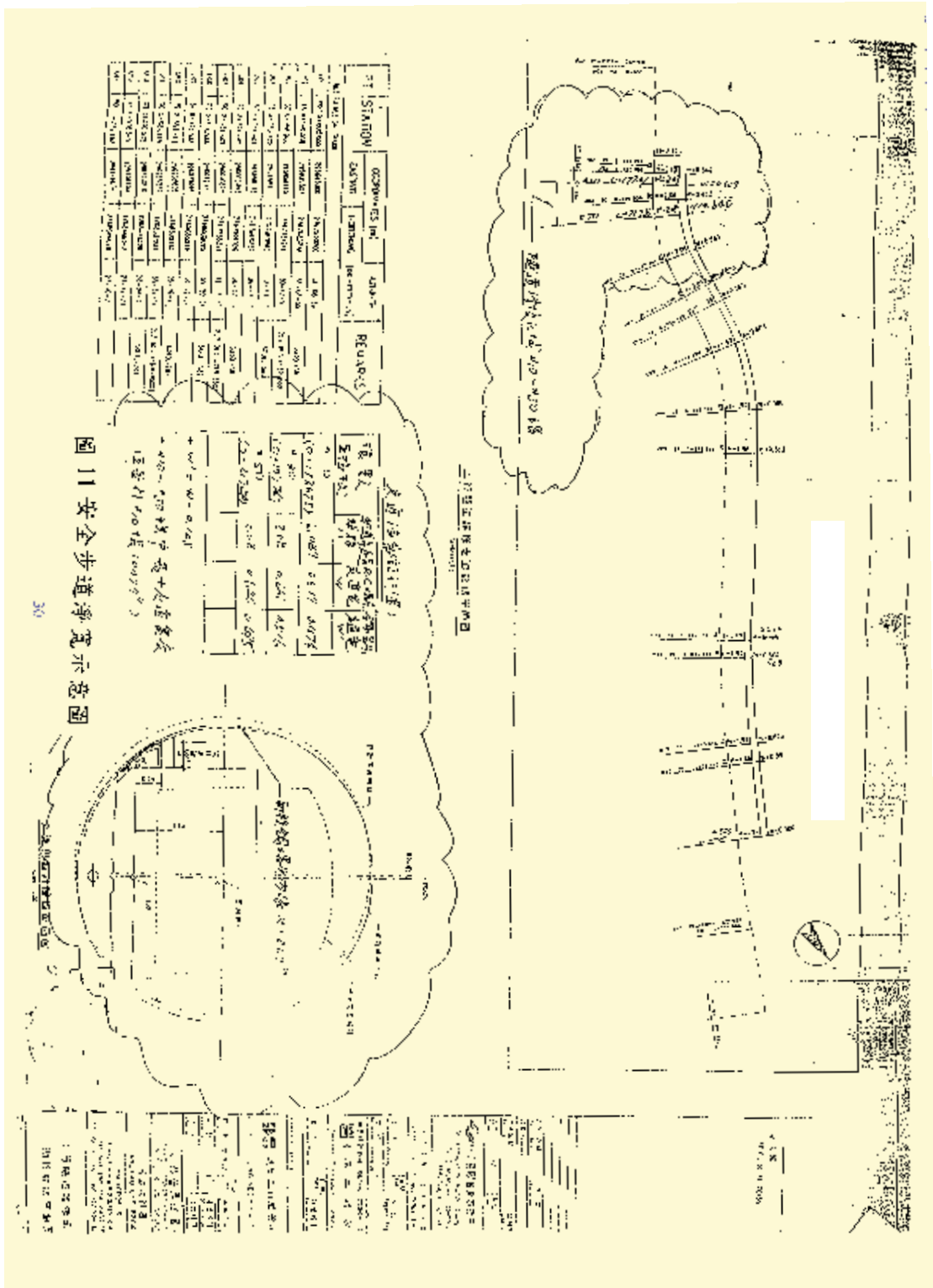


圖 11 安全步道淨寬示意圖

## ◇ 參考文獻 ◇

- 1.常岐德、孫介文、黃南輝、段紹偉，「捷運潛盾隧道因鄰近工程施工受損案例探討」，第二屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，民國89年。
- 2.中興工程顧問股份有限公司，「新板橋車站施工對相鄰捷運潛盾隧道之影響評估報告」，民國88年。
- 3.亞新工程顧問公司，「台北都會區捷運系統板橋線CP264標新埔站及新埔站至漢生路站間隧道工程大地工程專業顧問最終報告」，民國88年。
- 4.常岐德、王明俊、張建仁、孫介文，「捷運潛盾隧道位移修復工程案例」，第二屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，民國89年。
- 5.達欣工程股份有限公司，「捷運板橋線CP264標上行隧道修復施工計劃書」，民國88年。

## 附註（大事紀要）

- 83.07~84.03捷運潛盾上行線隧道掘進完成（隧道中心GL-17.5M）。
- 84.06~84.11捷運潛盾下行線隧道掘進完成（隧道中心GL-17.5M）。
- 85.08~86.02地鐵車站U-1A層版開挖及構築完成。
- 86.02~86.06地鐵車站U-1層版開挖及構築完成（開挖深度GL-8.012M）。
- 86.06~86.11地鐵車站U-2A層版開挖及構築完成（開挖深度GL-12.012M）。
- 86.10~87.01地鐵車站U-2層版開挖及構築完成（開挖深度GL-15.912M）。
- 87.01~87.09地鐵車站U-3A層版開挖及構築完成（開挖深度GL-21.112M）。
- 87.07.20捷運潛盾上行隧道內監測儀器顯示有異常現象。
- 87.07~87.10經由會勘及測量確認捷運潛盾上行隧道產生位移變形。
- 87.11~88.04於隧道之位移區加裝裂縫計進行觀測，確認隧道環片之變形已趨穩定。
- 87.09~88.10隧道位移影響評估、修復方案探討與計劃審查。
- 88.11~89.03隧道位移補強修復完成。