

新店溪過河隧道工程案例探討  
**CASE STUDY ON TUNNEL ENGINEERING  
THROUGH SHIN-DIAN RIVER**

蘇森豪，蘇鼎鈞，王劍虹，尚新民  
S. H. Tsai, T. C. Su, C. H. Wang and S. M. San

原著載於第一屆海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會論文集  
1999年8月10~13日，第1017~1022頁

*Reprinted from Proceedings of The First Cross-Strait  
Symposium on Tunneling and Underground Construction  
Taiyuan, Shansi, China  
August 10~13, 1999, pp.1017~1022*

# 新店溪過河隧道工程案例探討

蔡森豪

(榮民工程股份有限公司 台灣)

蘇鼎鈞 王劍虹

(亞新工程顧問股份有限公司 台灣)

尚新民

(駿馳工程有限公司 台灣)

**摘要** 新店溪過河隧道工程係台北市區鐵路地下化之一環，路線穿越新店溪河床下方。隧道沿線另有三座鐵路橋梁與本工程衝突或緊鄰，其中兩座因老舊已予停用，新築之第三座則火車行駛頻繁，故施工時須特別考量並確保其穩定與安全。本工程在設計和施工時所面臨之重要課題包括河床之穩定性、施工法之選擇、施工對鄰近鐵路橋安全之影響及處置對策等問題，均在工程師之通力合作下一一克服。此外施工期間數度遭颱風侵襲，圍堰開挖區內更兩度遭洪水淹沒，惟因設計考量得宜，施工要求得當，故未造成工程災害。本工程堪稱萬華一板橋地鐵工程中最具挑戰性之工程之一，故摘錄期間之重大課題和實際工程經驗與工程界先進共享，並為後續類似工程之參考。

**關鍵詞** 過河隧道，沉埋管工法，圍堰工法，切削式排樁

## 1 前言

本工程為台灣省台北市區鐵路地下化工程萬華一板橋段之一環，萬華一板橋路線全長 15.3 公里，路線須穿越寬約 200 公尺之新店溪。新店溪兩岸堤距約 520 公尺，故取此 520 公尺長為一獨立之過河隧道工程標段，有關新店溪過河隧道段之平面示意圖詳圖一。

本過河隧道為一四軌雙孔之箱涵式隧道，全寬 24 公尺，全高 14 公尺。鑑於工程內容複雜性與風險性較高，故採統包方式辦理本工程，施工期約 43 個月，主體工程目前已全部完工，總工程費約新台幣 28 億元。

由於縱坡設計受到標段前後高程控制之限制，因此隧道穿越河道時，只能維持 2.5 公尺的覆土厚度。在此條件下，傳統鑽掘式工法及潛盾工法均不適用，必須另選適當之工法。此外，為綜合考慮洪泛風險及河床施工之問題與困難，本工程堪稱萬華一板橋地鐵工程中最具有挑戰性工程之一。

## 2 工址概要

### 2.1 地形與既有結構物

本隧道所穿越之新店溪寬約 200 公尺，堤距 520 公尺，高灘地之高程介於 EL. +3.5 公尺至+4.5 公尺之間，河床平均高程為 EL. -5 公尺，河道區平均水深

約 5 公尺。隧道計畫路線上有既存之 3 座鐵路橋(如圖二)：其中 1 號及 2 號橋建於 70 年前，因老舊已予停用，火車改於新築之 3 號橋行駛。由於其基礎距離隧道外牆僅約 16 公尺，因此隧道工程施工前後須特別注意維持 3 號橋之穩定與安全。

1 號及 2 號兩座舊橋為沈箱基礎，沈箱約 2.5 公尺×6 公尺，深 15 公尺。沈箱底部約有 2 公尺與隧道結構相衝突而須予以清除，另考慮其對排洪之阻礙影響，乃決定於本工程中一併將 1 號及 2 號橋拆除。

施工前，沿新店溪兩岸構築完成之堤防尚不完整，且鐵路係以路堤方式伸入行水區中，對排洪影響較大，故路堤預定配合 1 號及 2 號橋拆除，並俟隧道完工後於堤防位置一併施築防洪堤防。由於本隧道覆土層較淺，故堤防勢必須與隧道共構。

### 2.2 土層狀況

根據現場之鑽探資料顯示，本工程沿線之土層分佈，在河床上覆有一層淤泥，其下則為粉質砂土和粉質粘土依序交互出現之松山層，約至高程 EL. -45.0 公尺左右，方遇到屬極緊密程度之景美礫石層，沿線之土層剖面圖詳圖三，設計採用之簡化土層及土壤參數詳表一所示。

另據現場地下水位和水壓觀測結果顯示，本工程沿線附近區域之地下水位約位於高程 EL. +0.0 公尺~+1.7 公尺之間，而地下水壓在高程 EL. -11.5 公尺以上大致呈靜態分佈，在高程 EL. -11.5 公尺以下則呈低於靜態水壓分佈之情形，研判主要係受早期大台北

盆地長期之地下水抽水所致，目前抽水已受管制，故水壓有逐年回升之跡象。

表一 設計採用之簡化土層及土壤參數

高程 EL. m	深度 EL. m	平均厚度 m	土層類型	N blows/ft	$\gamma_t$ t/m <sup>3</sup>	$\omega_n$ %	$s_u$ t/m <sup>2</sup>	c t/m <sup>2</sup>	$\phi$ deg	Cc	備註
-4.5		1.5	淤泥	-	1.85	29.6	-	-	-	-	山
-6.0	1.5										層
-13.0	8.5	7.0	粉質細砂	11	2.03	21.8	-	0	30	-	
-18.9	14.4	5.9	粉質粘土與粘 質粉土互層	9	1.92	30.5	4.0	0	30	0.25	
-35.6	31.1	16.7	粉質細砂	16	1.97	26.2	-	0	32	-	
-44.3	39.8	8.7	粉質粘土	15	1.96	28.2	10.0	0	32	0.17	
-	-	-	礫石層	>100	2.25	8.9	-	0	45	-	

### 2.3 水文環境

新店溪於本工址處尚為感潮河段，常流時高潮水位平均為 EL. +1.2 公尺~1.5 公尺，低潮水位平均為 EL. -1.0 公尺~-1.2 公尺。

台灣地區夏季(6-10 月)受颱風影響常導致暴雨及洪水，依推算本工址不同迴歸週期之洪水位如表二。

由於工區完全暴露於洪水威脅之下，故洪泛之處置為施築本隧道之最主要考慮因素之一。

### 2.4 河底障礙物

由於既有之 1 號及 2 號兩座橋歷史已有七十多年之久，歷年來多次橋墩防護工作已在橋墩週邊佈滿混凝土塊或蛇籠橋墩保護工，因受洪水沖刷之影響，保護工已移位散佈於附近區域，對施工可能造成嚴重阻礙。經由水中震測之探查，顯示障礙物主要分佈於 EL. -4.5 公尺至-7.0 公尺之間，部份區域則分佈深至 EL. -11 公尺。

表二 本工址不同迴歸週期之洪水位

迴歸週期	5年	10年	20年	50年	100年	200年
水位(EL.+m)	3.61	4.30	4.95	6.12	7.04	8.06

## 3 特殊課題

### 3.1 河床之穩定性

由於本隧道頂部覆土層較薄，為安全計，乃另行專案進行河床變化及沖刷深度之研究。依數次水工模型試驗結果顯示，計畫洪水(200 年迴歸期洪水)發生時確有可能刷深河床之虞，致使隧道結構暴露並危及 3 號鐵路橋。因此定案計畫中於隧道頂部又加鋪一層 1.5 公尺厚之拋石保護層。

### 3.2 施工法之選擇

於工法評估之初期，曾納入考慮之工法包括管幕工法、冰凍工法、地盤改良後配合 NATM 工法、沈埋管工法及圍堰工法等。

考慮本過河隧道工址具有下列特性：

- (1) 工作腹地狹窄，常水位河川水道狹窄。
- (2) 交通動線不佳。

(3) 既有鐵路新橋須留意保護。

(4) 河床散佈菱形混凝土塊影響施工；上空且有高壓線穿越。

(5) 感潮河段平時高低潮差約 2.0 公尺，流速為 0.18~0.12 公尺/秒。

(6) 暴雨導致水位暴漲之洪泛威脅。

(7) 工法選擇牽涉省、市水利主管機關之意見。

(8) 河床沖淤不穩定。

(9) 棄土區及臨時棄土區之尋找不易。

(10) 乾旱季節河川水流量不充沛。

(11) 河川航行之可能性低，須先疏浚。

經初步研析後，以沉埋管工法及圍堰工法較為適宜。惟經進一步之評估並考慮下列因素(有關兩工法之詳細比較詳表三)，最後決定採用圍堰工法。其中主要之考慮因素包括：

(1) 施工技術：圍堰工法較單純。

(2) 成本及工期：圍堰工法成本較低，工期則兩者相近。

(3) 防洪安全：兩者的風險相當。

(4) 工址工作性：河道狹窄，不利沈埋管作業，圍堰工法之施工腹地需求較小。

(5) 長期之安全性：圍堰工法多一層擋土牆，安全性較佳。

(6) 既有橋樑拆除：圍堰工法較易作業。

圍堰工法係分兩階段進行施工，每階段雖阻斷約 35% 之常流通水斷面，但對 200 年計畫洪水之通水斷面而言，因本工程清除了既有路堤反而增加通水斷面，因此對排洪功能之實質影響相當有限。有關圍堰工法之標準斷面圖詳圖四，河中段圍堰中之擋土開挖施工程序圖詳圖五。

表三 圍堰工法與沉埋管工法之比較表(摘自李全濟等, 1996)

項目	圍堰工法	沉埋管工法
1. 腹地需求	約30,000m <sup>2</sup>	約73,000m <sup>2</sup> ~69,000m <sup>2</sup>
2. 洪水影響	影響小	影響大
3. 舊橋之配合拆除	較單純	須拆除15m深之沉箱
4. 施工機具	可進出，數量機種少	進出困難(尤其水上作業船隻機具)數量多，機種船機複雜。
5. 工程費	較沉埋管工法略低	較高
6. 施工作業	熟練	不熟練
7. 土方開挖量	較少(560,000m <sup>3</sup> )	較多(670,000m <sup>3</sup> )
8. 土層防止液化改良	較易	較困難
9. 工址河道淤積或改道	工址河道局部改道(約250,000m <sup>3</sup> )	大規模疏浚(約550,000m <sup>3</sup> )
10. 隧道之保護	2.5m覆蓋層+擋土層	僅2.5m覆蓋層
11. 水上作業	甚少	頻繁，影響鄰近橋梁工程
12. 碼頭工程規模	小	極大
13. 對兩岸地區所增加之洪災風險	小	大

### 3.3 圍堰高度

圍堰設施為本隧道工程重要之臨時工程。圍堰施工期間高程訂定對隧道施工有甚大之影響，高程太低

將造成圍堰常遭洪水溢頂灌水之虞，過高則除增加工程成本外，亦因減低洪流之通水斷面，易對河道兩岸居民的生命財產安全造成威脅。

圍堰高度決定時所涉及的問題包括工程費、防洪安全性、及對兩岸的衝擊等。其中前兩項所考慮對象為施工者本身，且可以量化其成本，故以系統分析方法評估不同高度的圍堰後，決定出最適當之方案。依工址洪水頻率特性所分析之最佳圍堰高程為 EL. +4.5 公尺。

惟考慮第一階段圍堰施工時，板橋地區防洪牆尚未施工，圍堰高度乃酌予降低至 EL. +3.5 公尺，以避免造成附近居民之不安。

### 3.4 液化潛能分析

由於本工程過河隧道段穿越之土層主要屬於粉質砂土層，為瞭解設計地震來臨時該土層產生液化之潛能及其對本隧道主體結構之影響，設計時即以 Seed (1983) 等人所提出之簡易分析法進行土層液化潛能之評估，分析結果顯示，考慮設計地震之水平地表最大加速度為 0.18g，地震規模為 7.5 之情況下，本隧道段穿越之粉質砂土層，其抵抗液化安全係數均大於 1.25，研判本隧道下方土層產生液化之可能性不高。

### 3.5 擋土工法之選擇

本工程沿線之河床平均高程約 EL. -5.0 公尺，而新店溪之高水位平均高程約 +1.35 公尺，有關過河隧道以圍堰工法進行施工時，其標準斷面詳圖二。考慮堰頂高程為 +4.5 公尺時，圍堰內隧道體最深將開挖至高程 EL. -22.0 公尺，即最大之開挖深度約為 26.5 公尺。由於本工程深開挖位於河川地且屬感潮河段，地下水水位變化大，再加上河床底潛存有拋石、異物等問題，故在擋土工法之選擇上有其特殊之局限性。有關擋土工法之選擇，於設計時係針對高勁度鋼版樁、鋼管樁、連續壁和切削式排樁 (SECANT PILE WALL) 等四種工法分別進行評估，評估之重點包括施工之熟練程度，成本、機具之普遍性，工期、安全性和止水性等，綜合之評估結果詳表四，顯示以切削式排樁最為適合，故本工程即以此工法進行設計，有關切削排樁之平面配置詳圖六。

## 4 施工階段之重要處置措施

### 4.1 隧道開挖對鄰近鐵路橋安全之影響

由於本工程過河隧道段沿線與新鐵路橋平行，為瞭解本工程進行開挖施工時對鄰近鐵路橋樑基礎之影響，故於設計時即採用較高勁度之擋土結構，以減少開挖造成之側向位移，降低對橋樑基礎之影響並確保鐵路橋樑結構之安全。另為進一步瞭解橋樑實際之變位行為，達到事先預警之功效，於施工時即於每根橋

柱上均設計傾斜計和沉陷點等，並以自動監測儀器串聯之方式，期獲得立即之資料並及早反應，以確保人車之安全。

表四 擋土工法選擇之綜合評估表

	工法	施工性	成本 NT\$/m <sup>2</sup>	機具	材料	工期 m/日	安定性	止水性	打除
1	高勁度鋼版樁	不熟練	13,200	有困難	有困難	3	預期困難較多	需以補助灌漿止水	成本,時間均高
2	鋼管樁	不熟練	14,000	有困難	有困難	2~3	預期困難較多	需以補助灌漿止水	成本,時間均高
3	連續壁	熟練	14,200	普通	易處理	2~3	預期困難較多	佳	配合其他工法
4	切削式排樁	尚可	16,000	普通	易處理	1~2	注意套管拔除	佳	配合其他工法

### 4.2 切削式排樁之施作與清除

隧道完成並回填後，經過河道長約 200 公尺之切削式排樁擋土牆須打除 EL. +3.5 公尺~EL. -5.0 公尺之部份，以恢復原河道之通水斷面。為利於打除作業，擋土牆於 EL. -5.0 公尺以上採下列之特殊設計及施作：

- (1) 混凝土採用低強度混凝土， $f_c' = 30\text{kg/cm}^2$ 。
- (2) 不用鋼筋籠，彎距承受由間隔設置之工字型鋼提供。

(3) 工字型鋼表面塗以特殊塗料，期能由低強度混凝土中抽拔回收，以利混凝土打除作業。

另切削式排樁施作期間，曾遭遇後行樁切削不易、進度落後、甚至發生後行樁施工時切削到先行樁中植入之工字型鋼等問題，惟經施工人員之通力檢討改進，並加強垂直精度等品質之控制，以及趕工作業等措施，終於如期完成。

### 4.3 圍堰溢頂因應計畫

圍堰設施若因洪水浸沒，將造成堰內短期間無法施工，且對堰內施工設施及機具造成一定程度的損害，是以於動工之初即備有因應計畫及防範不利施工安全之措施，以便儘速復工並確保施工品質。有關因應對策包括：

(1) 抽水：圍堰遭洪水浸沒時，須於退水後立即予以抽水，以便儘速復工。以第一階段圍堰為例，堰內因溢流充滿之河水體積約為 4030 立方公尺，若同時使用 4 台 5" 口徑、15Hp 之抽水機，預估可於 12 小時內抽完，而現場施工時之抽水機配置，原則上係以 24 小時內將積水全部抽完為目標。

(2) 清理：由於圍堰頂至河床間之高差約有 7.5 公尺，當洪水溢頂時，雖不致夾帶大顆粒異物進入堰內，但仍會夾雜部份淤泥及懸浮物，故抽水後仍須作清理工作。首先即以抽泥機將淤泥抽除，次引河水清洗附於擋土支撐等設施上之淤泥後再予抽除，最後以清水洗淨並繼續施工。

(3) 冷接縫防止：為避免因洪水溢頂而導致混凝土澆築作業突然中止，造成冷接縫弱面，故施工中均確實掌握洪泛訊息，遇有颱風豪雨警報即暫停混凝土澆置，以防洪水來襲時緊急中斷澆置而造成冷接縫之產生。

(4) 支撐安全：洪水溢頂時，將造成洪流衝擊支撐桿件，倘若水平支撐因強度不足而倒塌，則將造成圍堰之破壞，嚴重影響工程進度，故於設計支撐桿件強度時，即對此衝擊力作一詳細評估，以維護工程之安全。

(5) 對既成隧道之保護：為防止溢頂洪水沿已完成之隧道竄流而擴大災情，各階段隧道主體完工後即預留止水隔牆，俟下一階段隧道完工且安置另一端止水牆完畢後始予拆除。

本工程施工过程中曾數度遭遇颱風洪水，而圍堰開挖區內亦曾兩度遭洪水淹沒。由於支撐系統設計時已考量洪水衝擊因素，故洪水淹沒對支撐及擋土結構均未造成損害，圍堰本身也未因洪流衝擊受損，此外由於堰頂高於河床約 7.5 公尺之故，隨洪水溢流進入開挖區之沈澱物均屬細顆粒者，故亦未構成清除的困難及後遺問題。

有關工程施工中現場之代表性照片請詳照片一～照片三。

## 5 結 論

新店溪過河隧道工程為台北市區鐵路地下化萬華一板橋段之一環，由於施工期間受到天候及河川洪汎等多項不確定因素之影響，且尚須顧及 3 號鐵路橋之通車安全以及河床冲刷等問題，其複雜性和風險性堪稱台北市區鐵路地下化工程中最具挑戰性之工程之一。此外，本工程雖曾兩度遭遇洪水淹沒等困境，均因工程師們處置得宜，故未造成重大災害。本工程面臨之問題雖複雜，承擔之風險雖甚高，但在設計、施工和監造等單位之通力合作之下，以及台北市區地下鐵路工程處和相關主管單位之鼎力支持和充分配合下，終於一一克服重重難關。目前本工程之主體結構已全部完成，故摘錄期間之重大課題與施工經驗與工程界先進共享，期為後續類似工程之參考。

誌謝 本工程施工期間，曾蒙台北市區鐵路地下化工程處之鼎力支持與協助，本文撰寫過程中，亦蒙亞新工程顧問公司莫若楫總經理之鼓勵與指正，特此一併申謝。

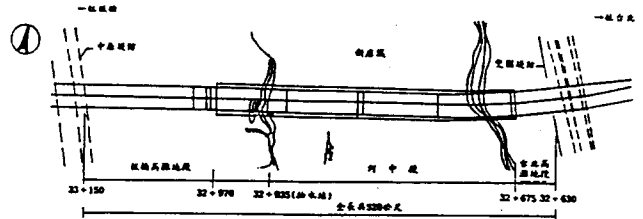
## 參考文獻

1 歐德培，黎偉榮．新店溪過河隧道工程有關施工採用圍堰

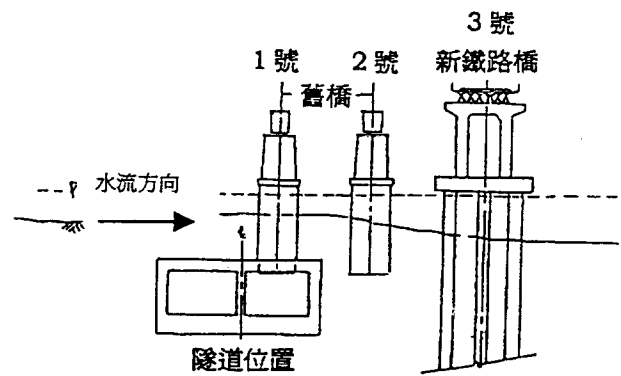
工法之研究報告．中華技術，1993，(19)：57～66

2 李全清，許文貴．鐵路地下化新店溪河底隧道施工介紹．地工技術，1996，(58)：43～54

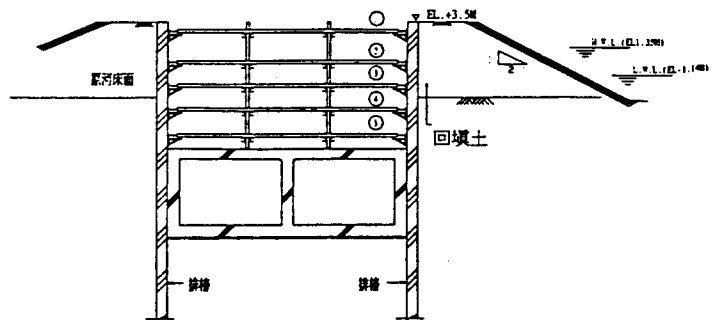
3 Seed H B, Idriss I M, Arango I. Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1983, 109(3): 458～482



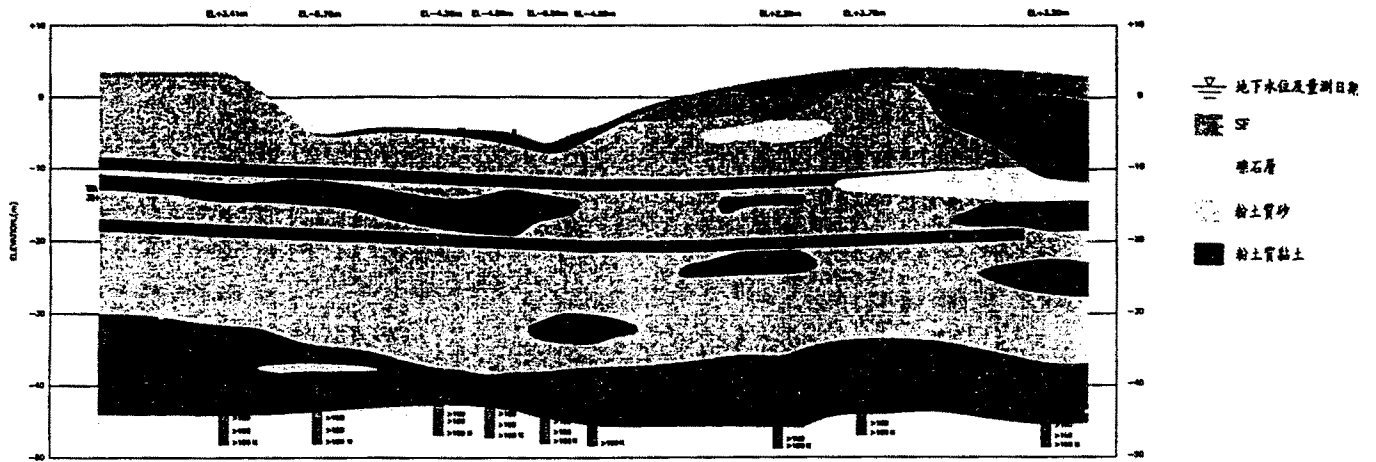
圖一 新店溪過河隧道平面示意圖  
(摘自李全清等, 1986)



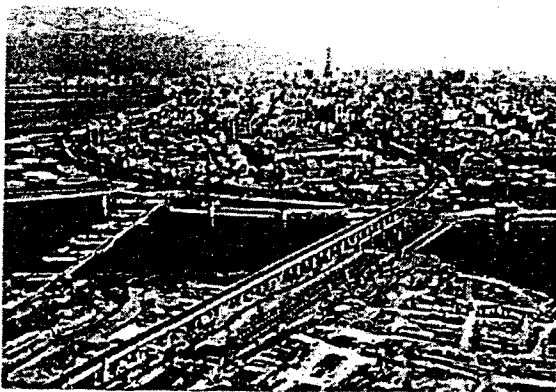
圖二 河底隧道與鐵路橋關係位置圖  
(摘自李全清等, 1986)



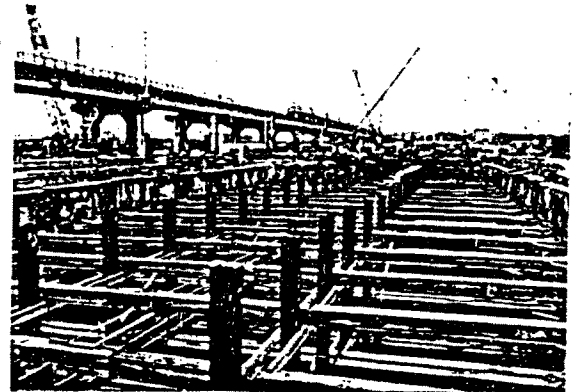
圖四 圍堰標準斷面圖



圖三 沿線土層剖面圖



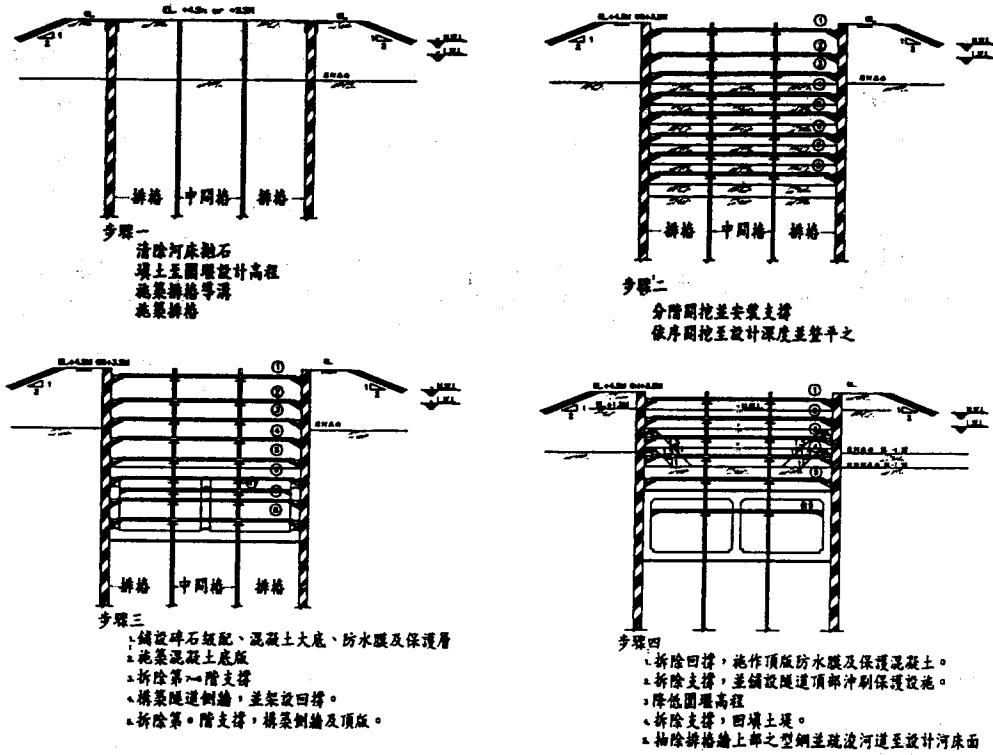
照片一 空中鳥瞰新店溪過河隧道工程全貌  
(榮工公司提供)



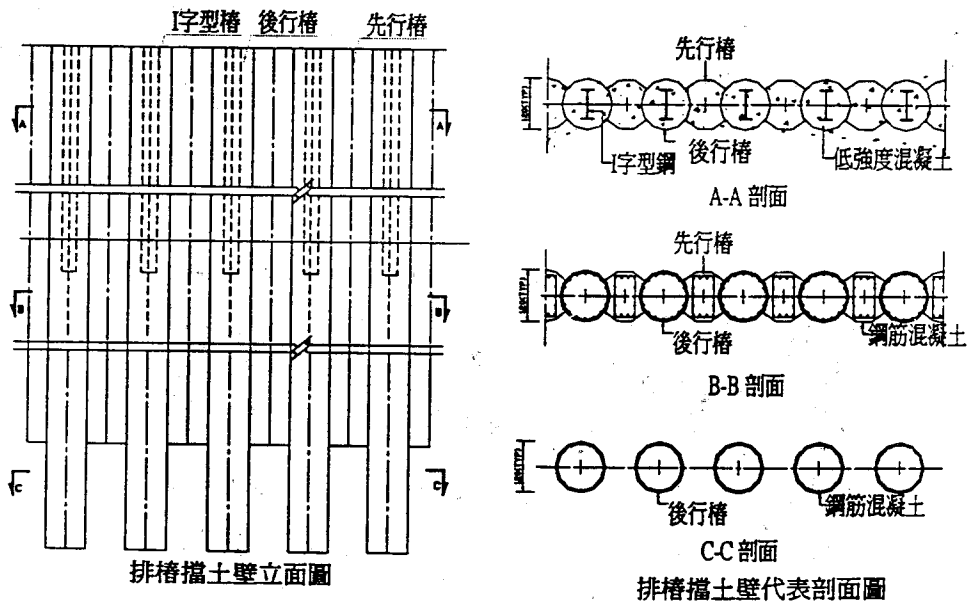
照片二 圍堰中之擋土開挖施工作業  
(榮工公司提供)



照片三 夜間施工之一景  
(榮工公司提供)



圖五 河中段圍堰中之開挖施工程序圖



圖六 切削式排樁立面示意圖