

台北自來水四期擴建後段新店溪虹吸管工程施工報告

Report on Construction of Hsintienchi Siphon, The 4th Stage Development, Taipei Regional Water Supply.

蘇瑞山 撰

一 前 言

新店溪虹吸管為北水四期後段工程清水輸水幹線之一段，位於直潭淨水廠與清水一號隧道之間，與新店溪直交。由於清水輸水幹線係利用重力流送水，淨水廠出水水位比新店溪供水位低，故無法以水管橋架空之方式越過新店溪，唯有由新店溪河床下以倒虹吸之方式穿過。倒虹吸管之施工方式有沈埋管法（水中施工）、潛盾工法、地層固結掘進法、隧道工法、連續壁圍堤法、排格圍堤法、沈箱圍堤工法等等，由於新店溪河床卵礫層厚達二十餘公尺，為使不影響民國73年7月通水之期限及顧及施工品質，幾經本處工程總隊、中興工程顧問社、榮民工程處等單位有關人員之研討，考量國內施工經驗、技術及機具設備等因素，決定採用沈箱圍堤工法，較易掌握工期與工程品質。此項工法在台灣尚屬首次採用，參與本工程之各單位均甚嚴謹及密切配合工作，使工程得以圓滿完成。

二 工程概述

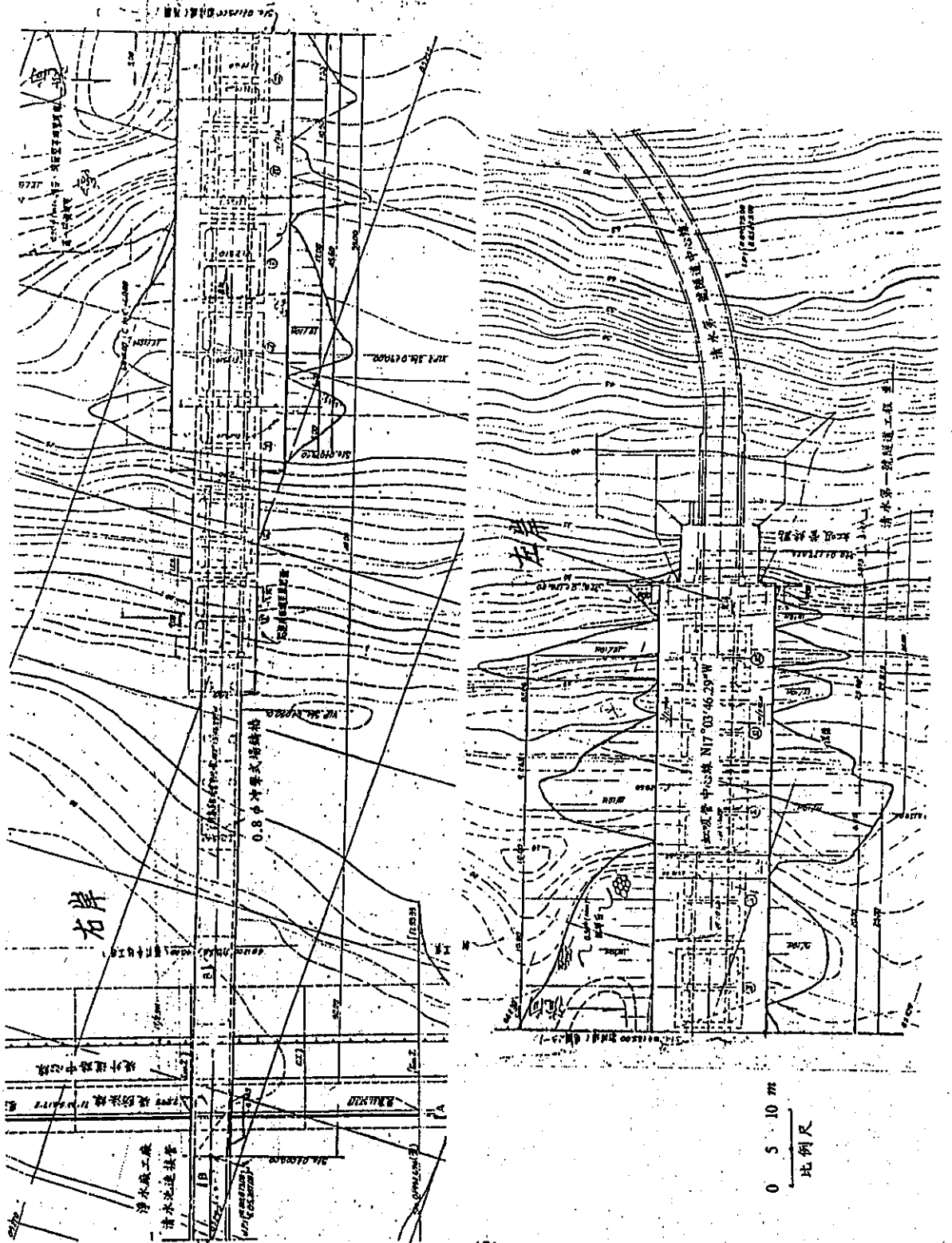
新店溪虹吸管全長183公尺，內徑3.4公尺，可輸送清水2,328,000日公噸。上游端接直潭淨水廠配水池之滙合井，下游端則銜接清水一號隧道。虹吸管由上游往下游分四段坡降穿過新店溪河床：第一段長50公尺，坡度0.95%下降；第二段長40公尺，坡度28%之斜降；第三段長60公尺為水平段，位於河槽下方；第四段長30公尺，坡度33.8%斜升。管體中心線之垂直交會點（VIP）高程分別為EL 27.0 m, EL 26.325 m, EL 15.325 m, EL 15.325 m, EL 25.625 m。詳見平面圖及縱剖面圖。

虹吸管位於新店溪常水位EL 22.4公尺以下部份，設沈箱圍水並兼作為管體基座共十二座沈箱，常水位以上部份為防止其發生不等沈陷，設80公分圓徑之場鑄樁作為管體基礎，樁長度漸變。位置於河槽部份之管體上方除以80公分厚之混凝土封蓋保護外，並拋卵石以防河水沖刷。管體設計厚度40公分，底板厚50公分並設施工縫及止水帶，管體縱向每10公尺設一道施工縫，在各折曲點之兩旁各設伸縮縫以防縱向變位，並設鋼片樹脂止水帶，各施工接縫均加設槽縫防水處理。為防混凝土澆置不均發生漏水，流水面全部塗刷0.6公厘厚環氧樹脂（Epoxy）防水膜。

三 施工步驟

本工程最大之特色為如何利用新店溪狹窄之空間，分邊而在其深厚之河床卵礫層建造沈箱連成一體，打通後成為一乾塢，以供管體能在乾燥無水之情況下施工，以確保工程品質及工期。沈箱之下沈精度、各沈箱間之固結止水灌漿及沈箱上端部份之打除等工作，均相當艱鉅，尤其新店溪河道寬度有限，須維持水流暢通，另一方面亦須嚴防水倒灌，以致施工過程倍加困難，茲將施工步驟臚列如下：

1. 築島、圍水及導水。
2. 鐵腳部沈箱下沈。
3. 沈箱混凝土澆置（含鐵件及灌漿管理設）。



虹 吸 管 平 面 图

0 5 10 m
比例尺

4. 沉箱下沉。
 5. 頂部沉箱混凝土澆置。
 6. 沉箱下沉至設計高度（無沉箱段施工場鑄格）。
 7. 第一次水中混凝土封底。
 8. 抽水。
 9. A組灌漿管灌漿。
 10. B組灌漿查漏及補灌 Aron-SR。
 11. 第二次封底混凝土施工。
 12. 沉箱側壁（虹吸管通過位置）打通。
 13. 檢查沉箱間縫隙漏水及補漏。
 14. 虹吸管體施工。
 15. 沉箱內砂石料或混凝土回填。
 16. 封頂混凝土施工。
 17. 沉箱頂部吊移。
 18. 築島土方挖除，恢復原河床面。
 19. 拋石護面施工。
- 詳如施工程序示意圖。

四、施工經過

本工程總工程費台幣 62,085,245.00 元，其中包工費 50,718,445 元，供給材料費 11,366,800 元。於 71 年 2 月 1 日開工至 73 年 4 月 30 日完工，總工期二年三個月。其施工經過按施工程序說明如下：

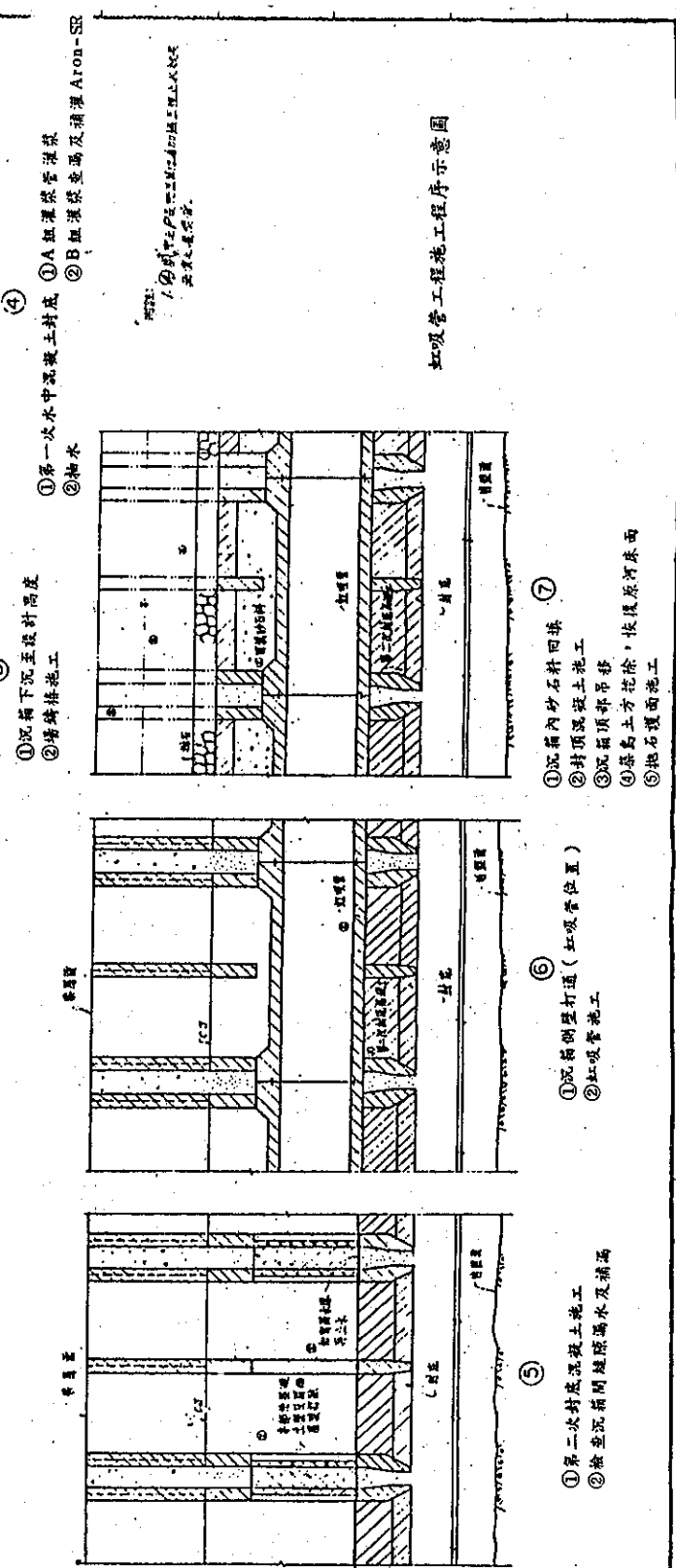
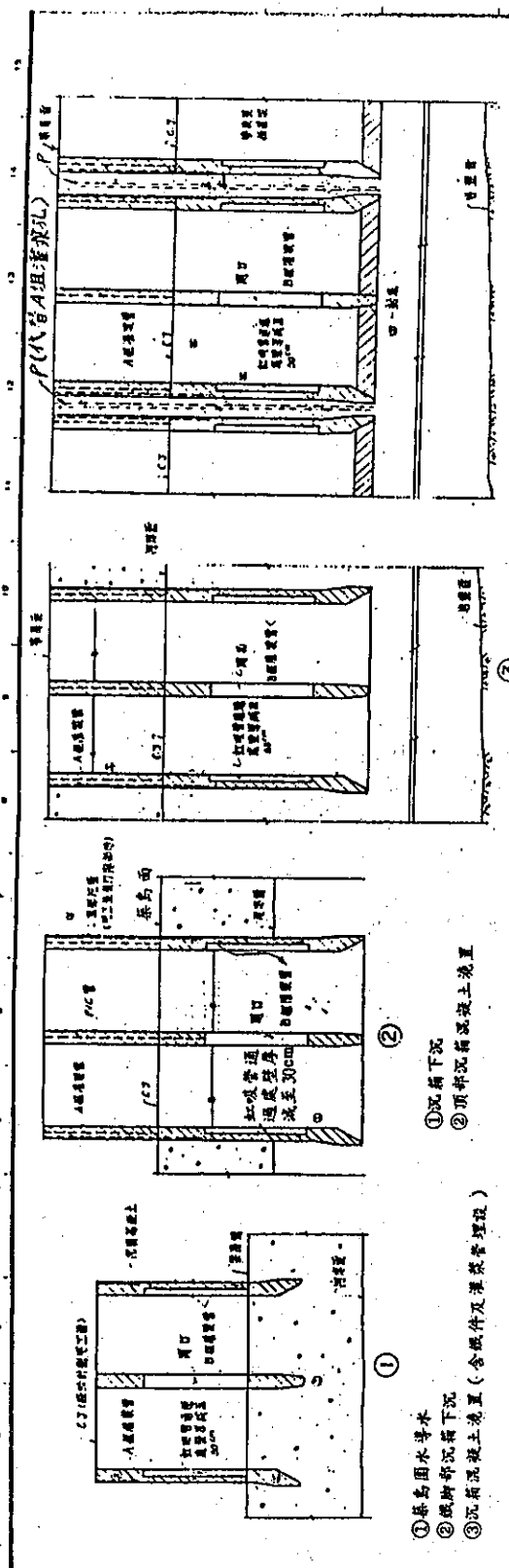
1. 築 島

為供沉箱製造及下沉之需，須於新店溪中築島，又為維持河道之暢通，只能單邊築島，俟管體完成後，再改道由他邊築島。本工程先由右岸築島，以避免影響清水一號隧道尖峯施工，築島台面標高為 23.7 公尺，比新店溪常水位 22.3 公尺尚高出 1.4 公尺。築島材料係就近利用河床砂礫料，以 D-7 堆土機由岸上往河中堆置，簡單易行。為防流水之冲刷，於島堤之三面臨水坡面，設置竹籠石塊保護。

2. 沉 箱

沉箱之結構體為鋼筋混凝土構造，四周牆及中間隔牆厚度均為 60 公分，虹吸管預定穿通之位置側壁厚度 30 公分，第 I 號至第 X 號沉箱斷面為 9.0 m（長）× 7.0 m（寬），第 XI 號及第 XII 號斷面為 7.5 m（長）× 7.0 m（寬），沉箱埋設深度，詳見附圖一，沉箱鐵腳高度 80 cm，以 8 mm 厚度鋼板焊接組立，中間隔牆鐵腳則以 6 mm 厚度鋼板焊接，鐵腳與箱體混凝土連結使用 $\phi 16$ mm 鋼筋（長 50 cm，@ 20 cm）焊接於鋼板，十二座沉箱混凝土量計 2,942 m³（4 - 210 kg/cm² 混凝土）。鋼筋量計 235.2 公噸，鐵筋鋼板用量計 53.2 公噸。

本工程之起點位置為 WP 1（N 88,873.00，E 85,287.00），中心線方向為 N 17° 03' 46.29" W。首先於築島上測定中心線及沉箱位置，71 年 2 月 17 日先放第 IV 及 V 號沉箱鐵腳，71 年 5 月 5 日再放置第 VI、III、II 號，第 I 號沉箱則因土地問題延至 71 年 9 月 1 日



始施工，至於左岸沉箱則於72年1月18日始陸續施工。鐵腳位置經校測後焊接連結鋼筋，第一次澆築混凝土（ $4 - 210 \text{ kg/cm}^2$ ）至鐵腳高度，其後每次澆築二升層後始進行箱內挖土之下沉作業。沉箱在下沉前，於外壁用油漆標示水平線、高度及垂直中心線，以便在下沉作業時可隨時校對是否傾斜或位置偏差，及時加以改正，並可作為下沉數量估驗之參考。

右岸Ⅲ號至Ⅵ號四座沉箱同時施工，下沉之挖土作業均以不分日夜施工。本工程使用二種機械挖掘箱內土石：深度小於五公尺時，用油壓鏟柄經改良加長二公尺之鋤土機，其挖土深度可達五公尺深，因操作靈活動作快，適合使用於水中砂礫料之挖掘，效果甚佳。但深度大於五公尺時，因鏟臂長度受限，而改用五葉蓮花抓斗，其抓斗可裝於捲揚機吊桿鋼索或挖泥機，此種抓斗在深水中施工效果頗佳。

沉箱下沉作業依編號次序，按相鄰之沉箱逐段下沉，每一座沉箱一次之下沉深度不宜超過二公尺半至三公公尺半，否則相鄰沉箱腳底被掏空重心不穩，將發生箱體傾斜或中心偏移，故必須相鄰逐段交替下沉。下沉過程及箱體澆置均經測量校對，下沉施工遇到岩層或大卵石，抓斗無法挖掘時，由潛水俠下水施以小量炸藥爆破後清除，沉箱之下沉由於有足夠自重，且地質均屬河川礫石層，無需再加壓重。抓斗在箱內挖掘土石料，箱底中央部份必形成碗狀下凹，同時周圍之地面，亦因被擾動細料流失，而形成約一公尺寬之陷溝。為使沉箱能確實落在設計深度位置，下沉將達到設計位置之五十公分左右時，即停止抓斗挖掘，由潛水俠潛入箱腳底部，使用高壓泵浦以噴嘴沖洗箱腳土石移填於中央低凹部份，此時沉箱會微量下沉，以此控制可準確落在設計位置。十二座沉箱當中，下沉最深者為第Ⅳ號至第Ⅸ號，深度 13.08 m ，其鐵腳標高為 10.62 m ，最淺的為第Ⅰ號沉箱，下沉深度 6.02 m ，標高為 17.68 m 。下沉施工數量如下：Ⅰ號至Ⅹ號下沉計 118.02 m ，Ⅺ號及Ⅻ號下沉共 18.29 m ，總計下沉長度 136.31 m 。

3. 沉箱封底

封底分為二次澆置混凝土，第一次使用 $4 - 245 \text{ kg/cm}^2$ 水中混凝土，澆置厚度 80 cm ，第二次封底使用 $4 - 140 \text{ kg/cm}^2$ 混凝土厚度 170 cm 。沉箱封底後必須將箱內之水排出抽乾，以便虹吸管體製造，如果封底工作不良，箱底大量漏水時，將使後續工作發生困難，故沉箱封底亦為本工程之重要工作之一。

封底前須將沉箱外側地面空隙部份先予回填夯實，箱內由潛水俠檢查箱底並應填平，再利用沉水抽水機或小型之真空抽水機，排除積存於箱底之淤泥，淤泥經徹底吸除後，使用直徑 200 mm 之特密管澆置水中混凝土，坍度 17 cm ，封底應達到不漏水，故灌注水中混凝土之作業要領甚重要。其施工順序應先由箱腳四周連續灌注混凝土，再灌注中央部位。特密管在一般情形應垂直不可偏斜，但灌注箱腳四周時，為使鐵腳與混凝土能夠緊密連結及充分填滿，特密管在水中末端須略為偏向鐵腳，潛水俠在水中隨時觀察水中混凝土灌入狀況，必要時及時改善。水中混凝土完成十天後，抽乾箱內積水再澆置第二次混凝土（ $4 - 140 \text{ kg/cm}^2$ ）封底。第Ⅵ號沉箱於71年10月16日最先封底，因灌注水中混凝土時不得要領，以致箱內積水無法抽乾，當水位越低時，漏水越大，其漏水位置均在箱角混凝土與鐵腳鋼板接合處，後來經鑽孔並灌注水泥砂漿補助止水，計鑽五孔灌漿後才達止漏，因封底不良，致增加施工上困難。本工程除Ⅵ號沉箱外，其他沉箱封底均甚順利完成。封底之水

中混凝土使用量計 506 m³，二次封底混凝土 1,421 m³。

4. 沉箱連結處理灌漿

原設計沉箱間之止水灌漿，係於沉箱之端牆預埋 $\phi 38\%$ 及 $\phi 50\%$ 黑鐵管做為灌漿管， $\phi 38\%$ 管及 $\phi 50\%$ 管分別編為 A 組孔及 B 組孔，並在每座沉箱之相鄰端牆各預埋 34 孔及 26 孔。A 組為沉箱封底後，由牆頂插入灌漿桿，施以灌漿作業，使相鄰沉箱之一公尺間隔之砂石料固結。而 B 組孔預留在虹吸管通過之端壁須打通部份之四圍，B 組孔可檢查 A 組孔之灌漿效果，兼做補助灌漿止漏，詳見附圖二。

沉箱之施工乃於每澆置混凝土二升層或三升層後，再挖土下沉，施工中雖盡量控制沉箱於垂直的狀態，但每階段下沉後難免略有偏度，預埋於端牆之 A 組垂直灌漿管亦須配合混凝土每升層逐層安裝，如此使實際施工後在每階段連接處略有折角，垂直向灌漿管上下無法成垂直線，同時預留連接下一升層之管端，雖裝有封蓋，但因露出牆頂，往往於下沉作業時被抓斗來回移動時所碰斷或小石塊掉入管內，致灌漿管無法順利插入管中，以致施行灌漿作業困難，第 IV、V、VI 號沉箱 A 組灌漿管發生前述問題後即加以改變 A 組灌漿管不預埋於端牆內，俟沉箱下沉至設計位置後，在其沉箱間隔中央鑽孔裝置灌漿管以代替 A 組管。先由鋤土機挖出三公尺深之礫石料，再裝設九支 $\phi 100\%$ 之塑膠管，管與管間隔為一公尺，並加以固定之，然後澆置水中混凝土，此段有埋置塑膠管之部份可不鑽孔，而上層填塞混凝土，具有封蓋之功效，使得灌漿時，漿液能充分填滿孔隙，不致因灌漿壓力而地面隆起或發生漏漿，詳見附圖三。

重新裝置之 $\phi 100$ PVC 其深度僅三公尺左右，須灌漿最深的部份達 12.5 m，故必須鑽孔至應灌漿深度，該處屬被擾動之礫石料，故以衝擊式鑽孔，鑽孔為使用 KH₂ 型油壓鑽機，鑽頭使用合金鑽頭及鑽石鑽頭，鑽孔同時放下 B x $\phi 2.5"$ 套管，鑽至預定深度後，插入 $\phi 1\frac{1}{2}"$ 灌漿導管 (Grouting Sleeve Pipe)，再將鑽孔套管拔出，導管為有孔之塑膠管，並於其管外捲附橡皮封帶 (利用腳踏車內胎)。

本項止水灌漿目的，是欲將二個相鄰沉箱一公尺寬間隔土石料加以固結，使與端牆連結，俾打通沉箱端壁後不致發生漏水，因直徑 3,400 mm 之虹吸管在水面下，灌漿止水如不確實有效，將發生漏水或大量湧水，而導致虹吸管施工困難。灌漿施工必須先瞭解現場實際地質狀況，由於沉箱周圍之地層為受嚴重擾動之礫石料，孔隙大且有河水流動，灌漿時須考慮到漿液能充分的注入預定範圍內之礫石層孔隙，防止漿液之被水稀釋或流失，故漿液材料必須使用液體快凝劑施以壓力灌注，一般快凝劑使用水玻璃液，但因水玻璃液經過一段時間後可能溶解，為使沉箱之連結能有持久性，在預定灌漿外圍以水泥砂漿系灌注，以獲得較長時間之固結效果，如附圖三，由 A 組 ① 之外側孔先灌注水泥砂漿，不使用水玻璃液，② 至 ⑤ 之中間孔依數字順序灌注水泥漿加水玻璃液，使用配比如下：

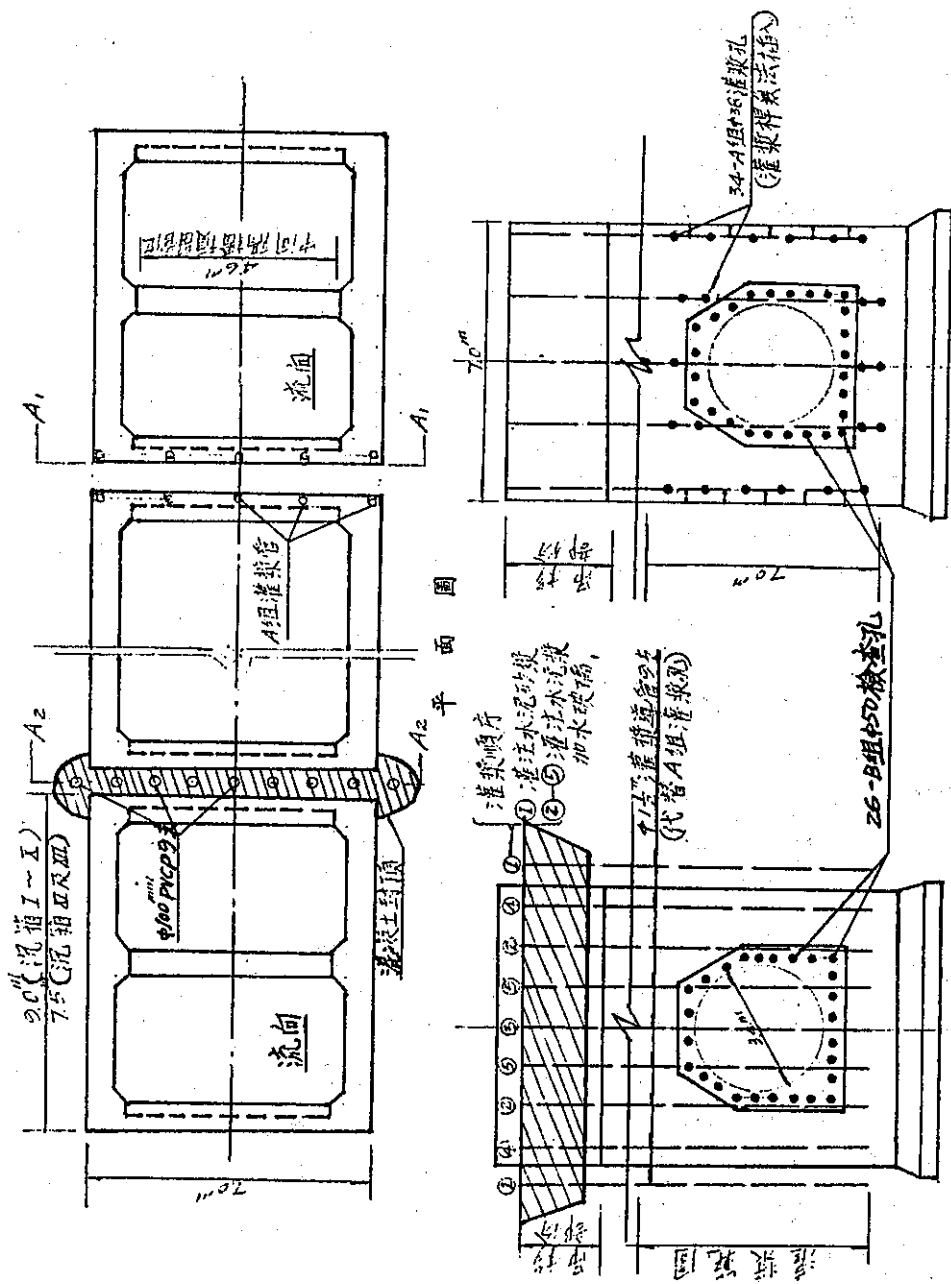
① 外側孔 (水泥砂漿配比)

C (水泥) : S (砂) : W (水) → 從 1 : 0.75 : 1 至 1 : 2.0 : 0.6

646 : 387 : 646 至 593 : 1186 : 356 → 1,000 ℓ，

視灌注情況而調整配比，另加 3% 白皂土及 2% 氯化鈣以利輸送及加速凝結，砂使用 2% 以下粒徑之細砂。

② 至 ⑤ 中間孔 (水泥漿加水玻璃液)



附圖二 (剖面 A₁-A₁)

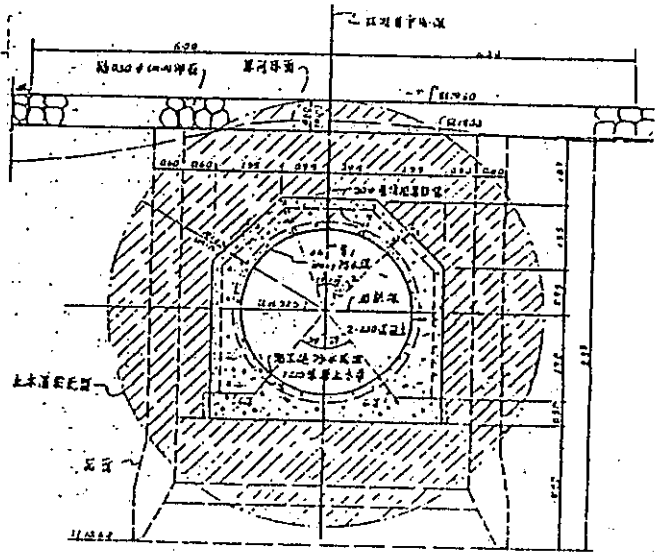
附圖三 (剖面 A₂-A₂)

水泥漿其灰水比為 1 : 1 → 水泥 150 kg + 水 150 ℓ 配成 200 ℓ 之水泥漿。
 水與水玻璃液之混合液配比為 1 : 1 → 水 100 ℓ + 水玻璃液 100 ℓ 合成 200 ℓ 溶液。
 灌漿溶液為水泥漿加水玻璃液配比 1 : 1 → 200 ℓ + 200 ℓ 合成 400 ℓ 溶液。
 其凝結時間 (G.T) 約 35" ~ 40"。

灌漿之操作不論是外側孔或中間孔，其方式均使用上昇式 (Back Step)，自孔底先灌。灌水泥砂漿時其灌漿設備用 1 Shot System 方式 (即一台灌漿泵壓送方法)，而灌水泥漿及水玻璃液時用 1.5 Shot System 方式 (即水泥漿及水玻璃液分別各由一台灌漿泵同時壓送，二條輸送管接在灌漿桿前端之 Y 型管，二種溶液合成灌入)。灌漿孔在施灌前先洗孔，以雙檢塞桿自孔底分段以壓力清水沖洗，盡量使淤泥排出，然後封堵灌漿孔與塑膠管間隙。外側孔在灌注水泥砂漿之前先以 C/W 1 : 1 之水泥漿約 500 ℓ 灌注，然後以預定配比之水泥砂漿連續灌注，視灌注壓力及吃漿率之情況而隨時調整配比，在孔底部份之壓力為 $1.5 \text{ kg/cm}^2 \sim 2.5 \text{ kg/cm}^2$ ，如果壓力偏低而進漿率大於 30 ℓ/min 時，即應調高配比濃度，灌注壓力逐漸升高而吃漿率小至 1 ℓ/min 時，可認為完成該段灌漿，將灌漿桿升高半公尺，繼續施灌。灌水泥砂漿及水泥漿加水玻璃液用單檢塞灌漿桿，在施灌時漿液有時會自鄰孔或附近地面漏漿，應設法堵塞，於灌漿將完成前，往往可發現自鄰近地下，湧出水泉，此即表示地下孔隙間之水被漿液所排出而取代，止水灌漿之理想範圍如附圖四。

止水灌漿完成後可將 B 組孔逐個打開，檢視是否完全止水，如有漏水再施以化學灌漿，其使用之配比如下：

- A 液：
 3 號水玻璃 100 ℓ + 水 100 ℓ → 200 ℓ，
 B 液：
 Aron-SR-B₂ (硬化劑) 12 kg + Aron-SR-B (急結劑) X + 水 → 200 ℓ。



附圖四 止水灌漿範圍

灌漿液為 A 液加 B 液之混合，其中 Aron-SR-B 之用量端視所需之凝結時間調整，在溫度 20°C 時 Aron-SR-B 使用 14.4 kg，凝結時間約為 37 秒。

沉箱連結灌漿使用材料量如下：止水灌漿水泥 7,308 包 (50kg/包)、淨砂 61,513 公噸、化學止水灌漿 276 m^3 、水玻璃液 383,800 公升。

5. 端壁打通

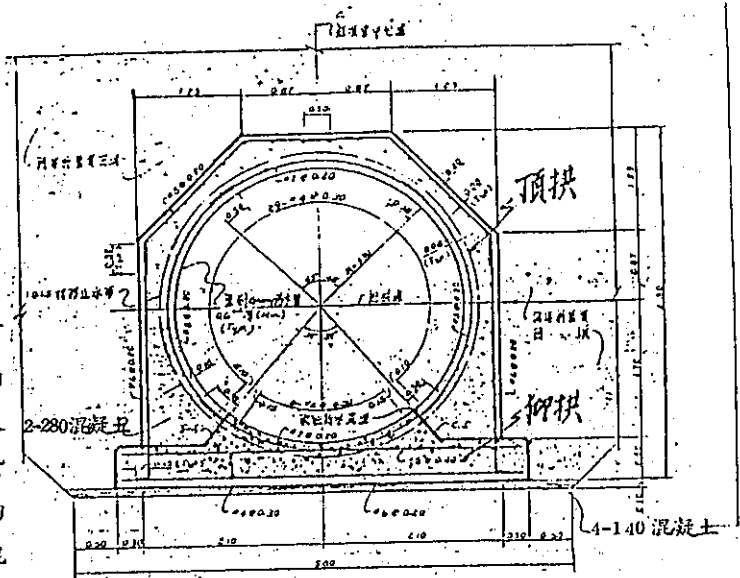
沉箱需要打通之部份為虹吸管通過之空間寬度為 4.6 m，高度分為 4.5 m、4.85 m 及 4.95 m 三種，惟該部份之壁厚僅 30 公分打除容易。

端壁之打除係以鋤土機卸下鏟斗，裝上撞擊鑽，然後利用吊車將其吊放沉箱內，沉箱內空間雖不大，但鋤土機鑽頭操作，整除30公分厚之鋼筋混凝土端壁毫無困難。每處打通二道端壁及一公尺寬之固結帶，包括鋼筋切除等工作須二天時間。由於止水灌漿效果甚佳，端壁打通後未發生大量漏水，偶而有小漏水時，於漏水之位置鑽孔，施以化學灌漿止漏。

6. 管體施工

虹吸管位於新店溪河床底下，完成通水後無機會維修，故對於管體之安全、品質、防水及完工面等要求特別嚴格。

虹吸管分為十九節計有七種不同之長度，詳見剖面圖，施工前做精確之放樣及水準測量，作為組模及排紮鋼筋之依據，每節虹吸管均分為仰拱及頂拱二次澆築混凝土如附圖五所示。



附圖五 剖面圖

(1) 模型板

虹吸管内徑為3.4 m之正圓形，仰拱弧長2.3 m，完工面使用型條控制，型條與型條之間距為二公尺，組立必須牢固而易於拆除，型條用二級柳安木斷面2"×4"之角材，其圓弧曲面做現寸後加以裁製。

內模以型板依弧長組成圓輪型，組立輪與輪間隔為90cm，然後以耐水夾板為清水模之襯料釘在面板，釘夾板必須自中間向兩側釘牢，以防翹起避免完成面不平順，內模面板均做高低縫相接，其使用材料如下：

型板：柳安木角材2"×4"×3'

面板：杉板1"×2"×3'

清水模襯料：3mm耐水夾板

外模為一般模板，均為平面，每塊外模尺寸為6'×6'及6'×3'，材料如下：

壁骨：柳安木角材2"×3"×6'

面板：杉木板1"×3"×6'

過牆螺絲 (She Bolt)：φ13mm中間加3cm徑止水鐵板，螺絲長度依安裝位置而定。

外模組立時在兩邊最低處均預留人孔，以便工人進入模內處理止水帶以防變形，拱頂斜面外模每隔90cm預留工作孔(30cm×30cm)，以便混凝土輸送管能垂直放入及使用振動機。

(2) 混凝土澆築

管體使用 $2 \sim 280 \text{ kg/cm}^2$ 混凝土，坍度 (Slump) 12 cm 不加附加劑，混凝土配比如附表，預拌場設在工地附近，混凝土品質易於控制，虹吸管體混凝土量每公尺為 8 m^3 (仰拱 $3.0 \text{ m}^3/\text{m}$ ，頂拱 $5.0 \text{ m}^3/\text{m}$)，每節虹吸管混凝土試驗 (抗壓) 均取四組，每組三個試體，試體經試壓結果均能達到規範要求。

鋼筋及模板依整定程序檢查合格後即行澆置施工，其主要機具設備如下：

混凝土預拌場容量 $1 \text{ m}^3/\text{次}$ (事先協調翡翠水庫預拌場待命支援)

長臂混凝土泵一部 (備用吊車漏斗)

預拌車五輛，容量 $5 \text{ m}^3/\text{車}$ (實裝 $4 \text{ m}^3/\text{車}$ ，備用一輛)

振動機三台 (備用一台)

混凝土泵在開始壓送混凝土前應先以與混凝土同配比之水泥砂漿 1 m^3 通過輸送管。仰拱混凝土澆置至完工面並經修飾後即可拆除型條，遺留溝槽須填滿混凝土同時修飾，仰拱完工面於混凝土凝結收水前必須再由技術優良之泥水工切實磨飾，方能達到規範要求。

頂拱澆置時泵車輸送管由預留工作孔放入模內適當高度灌置混凝土，左右兩側壁之混凝土以同速升高，以防止模型變形，兩側各使用一台振動機，每層次混凝土澈底振實完成後再澆置新層次混凝土。

內模經三天後即拆模，除第Ⅵ號沉箱之虹吸管因淹水完工面及施工縫特別處理外，其他部份拆模完工面均甚理想。

虹吸管工程混凝土配比表

Mix No	Max Size (mm)	S/A (%)	W/C	Air (%)	Slump (cm)	Mix proportion (kg/m ³)					fc' (kg/cm ²)	fcr (kg/cm ²)	備註	
						Water 水	Cement 水泥	Sand 砂	T.W.A 附加劑	G/min 5-25				G/min 5-40
4-140-8	40	43.7	0.79	1	8	178	225	836			1,085	140		無筋混凝土
4-210-8	40	36.0	0.54	1	8	173	318	649			1,185	210	242	沉箱及堤防
2-280-12	25	35.0	0.48	1.5	12	193	400	669		1,086		280	322	虹吸管
2-210-15	25	45.0	0.507	1.5	15	203	400	752		944		210	242	水中混凝土
2-245-15	40	35.0	1.49	1	15	183	374	614			1,172	245	282	場鑄格

砂細度模數： $2.6 \sim 3.0$ (F.M ≤ 0.3 時配比即調整)

(3) 防水處理

為防虹吸管漏水，共實施四項防水處理，即施工縫設止水帶、接縫表面設軟性防水處理，有滲水或龜裂之防水處理，管體流水面塗佈防水膜。

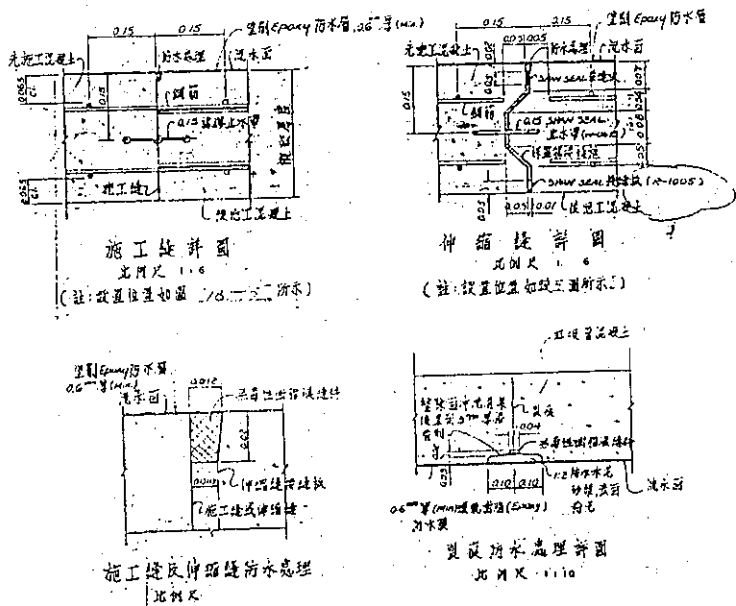
① 止水帶

每節虹吸管之仰拱兩側縱向施工縫及圓周施工縫分別埋設 15 公分及 20 公分橡膠止水帶，三節豎向曲管之圓周伸縮縫埋設鋼片樹脂止水帶 (Span Seal)，由於橡膠止水帶質軟，安裝後容易下垂，故必須使用鋼線繫緊支撐牢固，鋼片樹脂止水帶質硬外包之樹脂質軟，故安裝容易而堅固，可允許較大之變位。灌置混凝土時必須由專人

負責處理止水帶，防止變形保持正確位置。

②接縫軟性處理

不論施工縫或伸縮縫，其靠近流水面側均設凹槽，填塞無毒性之軟性樹脂填縫料，填料之前均將槽溝內清除乾淨，有水濕之處則用烘乾機烘乾，然後再填塞填縫料，否則填縫料未能與混凝土粘著緊密，將失去防水作用，詳見附圖六。



附圖六

③滲水或龜裂處之防水處理

虹吸管內摸拆除後，僅有局部之表面裂痕 (Hair Crack)，即加以鑿成溝槽，以鋼刷及水清洗沖洗乾淨後，首先以樹脂填縫料填塞，再以防水水泥砂漿表面粉光如附圖六所示。

④管體流水面塗佈防水膜

除上述之三種防水處理之外，於管內面全面塗佈 0.6 mm 厚之無毒性環氧樹脂防水膜，並可降低流水滲率係數，增加通水量。施工前特製一組四分之一圓周之標準型板，以逐段檢測虹吸管內徑之圓弧面，如有誤差使用磨光機磨平，並全面清洗乾淨，不得沾附油污石粉，潮濕處則烘乾，然後分三次均勻塗佈至規定厚度。

7. 虹吸管外頂部回填灌漿

因各沉箱端壁間打除後，澆置虹吸管時其頂部尚留有施工空間，故須將其灌滿，以利管體內壓之傳力。虹吸管混凝土完成 14 天後，其管頂之空隙施以回填灌漿，先以水泥漿配比自 2 : 1 之稀漿至 0.5 : 1.0 之濃漿灌注，而後再改用 1 : 2 : 0.4 之砂漿，視吃漿之情形調整配比，每處接頭之回填灌漿量大致相差不多，其材料使用量為：水泥 125 包 (50 kg/包)、淨砂 6,250 公噸。

8. 沉箱內回填及封頂

第Ⅷ、Ⅷ及Ⅸ號三座沉箱，因位於河道中央，管體頂覆蓋厚度不大，故全部以 4-140 kg/cm² 混凝土回填至高度 E.L. 190 m。第Ⅰ至Ⅲ號沉箱因在岸上，管體頂覆蓋厚度甚大，故僅回填砂石料。第Ⅳ至Ⅵ及Ⅹ至Ⅻ號六座沉箱回填砂石料外，並配合河床之原高度，以 4-140 kg/cm² 混凝土封頂，其厚度為 80 cm。

9. 沉箱頂部拆除

虹吸管完成後必須恢復至原來之河床地形，以利河水順利流通，故因施工所建之沉箱及築島，應將其突出部份拆除，沉箱拆除高度自 0.78 m 至 5.5 m，如附圖一之 h。

原設計雖將欲拆除之沉箱預留接縫以插筋連接及埋設炸除用塑膠管，拆除時必須使用破碎機及炸藥，惟恐鑿除時

發生振動

，虹吸管

可能受損

而發生漏

水。為避

免此缺點

，施工時

加以變更

，須拆除

部份之混

凝土牆，

高度一公

尺為一升

層澆築，

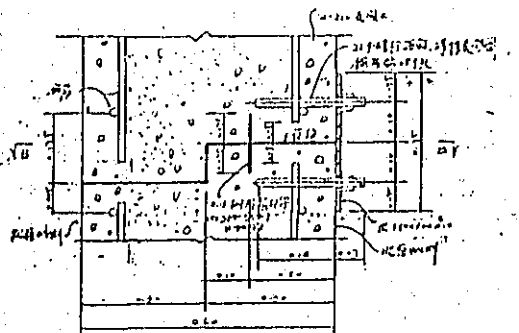
每層鋼筋

不連接，

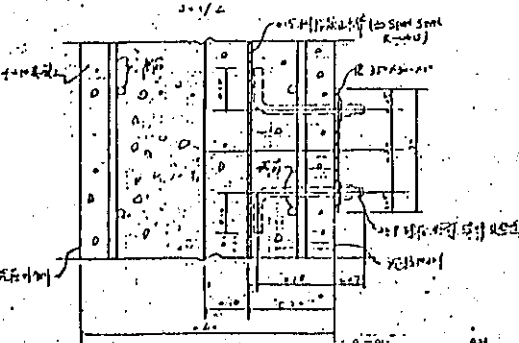
每升層施

工縫設階

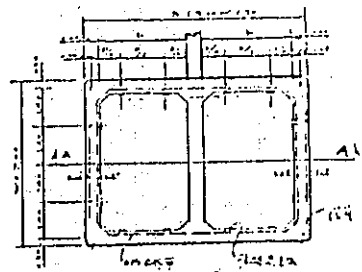
級接縫裝



詳圖 "A" (沉箱壁面剖面)

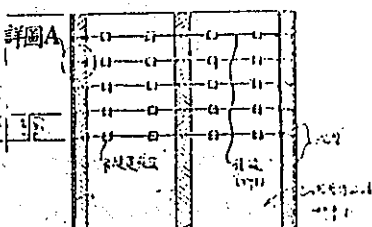


剖面 B-B



平面

沉箱頂部如虹吸管完成後拆除部份



詳圖 A

附圖七 沉箱圍水拆除部份

置 15 cm 樹脂止水帶，並塗柏油，以利整塊混凝土牆容易吊離並具有止水效果。為避免下沉作業時施工縫被拉開，再於牆內裝置螺栓，以鋼板做為上下層之連結板，詳見附圖七。每升層箱體重約 56 公噸，拆除前將連結鋼板拆開，以兩部 40 T 吊車合作起吊移開，並不困難，沉箱拆移之總長度計 40.1 公尺。

10. 築島挖除

築島土方挖除，恢復原河床面以下 30 cm，再拋卵石厚度 30 cm，拋石數量為 1,558 m³。

11. 場鑄樁施工

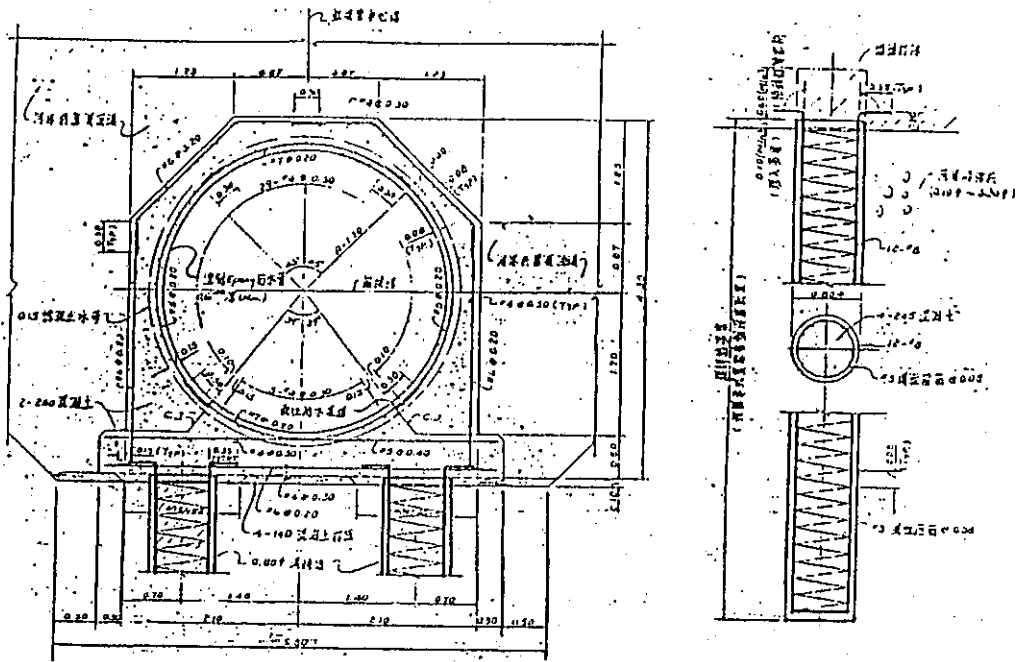
自滙合井起第四至第六等三節虹吸管以直徑 80 cm 之沖擊式場鑄樁，計 12 支，總長度 127 m，詳見附圖八。

12. 堤防部份工程

虹吸管通過之部份堤防長度 48 m，虹吸管完成並回填後再施工堤防（堤防主要部份另業工程辦理）。

五. 施工上遭遇的困難

本工程在施工技術方面，大致上均能克服，但因其工程位置在河道中，受河水影響甚大，颱風及梅雨季節，上游直潭壩之排放流量大於 150 CMS 時，施工用之過河臨時便道（涵管築



附圖八 沖擊式場鑄格詳圖

造)即淹水,不能通行,機具、材料等無法進場。流量大於200CMS時,洪水位超過沉箱築島高度,沉箱淹水,無法施工。

71年6月至同年8月間,安迪、西仕、肯恩等颱風帶來豪雨,河水高漲,此期間正是沉箱日夜連續下沉作業趕工階段,曾因河水臨時暴漲,以致模板、材料、機具等一時收拾不及,被洪水流失,施工單位損失不輕。

72年梅雨季提早來臨,自元月底至三月間因水位時常超過工作高度線,虹吸管施工受嚴重影響,尤其當年六月初五,第IV號沉箱之虹吸管體頂拱正在澆築混凝土時,因河水水位驟然上升,淹過沉箱頂,河水灌入,工作人員緊急撤出,被迫停止工作。沉箱進水後排水及清理相當費時,諸如澆置未完之混凝土體,模板及鋼筋等之檢查鑑定以及混凝土接縫之特別處理等等,善後工作增加不少困擾,而且使進度延緩。

施工地點河水水位之改變,直接受上游直潭壩放水之影響,為避免水位臨時暴漲,而危害到工程之進行及施工人員之安全,經協調直潭壩管理單位,在其上游自然進流量大於青潭壩最大取水量之期間,將直潭壩最高蓄水位44.7 m(平時均保持在最高水位)放低1.0 m,如此則上游進流量過大時,就有延緩放水之功能,並且於放水量要增加時,隨時與工務所連繫,謀施工人員有時間做防患準備。

本工程於施工之前則有繪製工程網狀圖,做為進度管理之參考,由於右岸沉箱多次遭受洪水侵襲,施工未能順利以及河中工作之種種問題,比預期還困難。71年10月工程進度即呈現落後情況,原計畫於73年4月底完工將成問題,可能無法配合直潭淨水廠73年6月出水之既定目標。為達於期限內完工,就本工程及下游工程(一號清水隧道)之現況加以檢討謀求改善,採取下列二項措施:

1. 協調在左岸之清水隧道直向坑口改為斜向,以避免虹吸管沉箱與隧道施工時,發生互相阻

碍與干擾。

2. 左岸第Ⅷ至第Ⅻ等六座沉箱，原計畫於72年3月1日起築島施工，加以修改施工計畫，第Ⅷ號沉箱提前於72年1月中施工，隧道坑口改為斜向坑口後，第Ⅹ至Ⅻ號沉箱亦提前施工。位置在河道中之第Ⅷ、Ⅸ號沉箱，為維持河水流通，配合右岸虹吸管完成恢復河道後逐座施工。本工程施工計畫經此修改，其後工程進度均在控制中進行。

六、檢 討

1. 本工程最深之沉箱底部靜水壓約 1.2 kg/cm^2 ，第Ⅵ號沉箱最先封底，箱內排水時以二部8吋之抽水機尚無法抽乾，其後再於漏水位置鑽孔灌注水泥砂漿，補助封底始止漏，其餘沉箱都能於第一次封底後達到無漏水。故沉箱封底要達無漏水，其最主要之工作為封底前應將積存箱底之水中淤泥完全清除，水中混凝土澆置時應使混凝土與鐵腳鋼板密實連結。
2. 由於沉箱下沉，側牆四周之土壤被擾動，礫石層形成較大孔隙，灌注水泥砂漿後，具有水中預壓混凝土功效。由於灌注兩側①號孔水泥砂漿時，不使用水玻璃液，因此沉箱連結有較佳之持久性。就整個止水灌漿作業時間來看，鑽孔時間約佔70~80%，而實際壓力灌注漿液的時間僅30~20%。
3. 本工程原發包之包工費為56,000,000元，完成後實做數量經核算包工費50,718,445元，節餘5,281,555元，主要是固結灌漿項目所節省，亦即灌漿數量僅使用設計量之三分之二強。
4. 本工程成敗之最大關鍵，在於沉箱間之礫石石料固結止水灌漿，如施工後未能止水，則虹吸管勢必無法施工，前功盡棄，須另謀其他施工法，而下沉之沉箱則處理困難，所幸設計單位（中興社）事先做周全之設計，而施工單位能確實認真施工，使止水固結灌漿之情況比預期更為樂觀，節省不少費用，本工法在本工程獲得信心，此後可多加應用。
5. 本工程總工程費計台幣62,085,245元，虹吸管全部長度183.074m，平均每公尺之造價為339,126元，而在同期施工之清水隧道（直徑3.4m）包括工料費每公尺亦不過100,000元左右，虹吸管工程費約為隧道之三倍多，其造價甚為昂貴。
6. 本工程是由榮民工程處承包施工，其施工機具設備十分齊全，且在現場設有混凝土預拌場及實驗室，便於管理，能夠確實維持混凝土品質，止水灌漿亦由榮工基礎隊負責施工，本工程施工本著品質及進度並重為原則，遇有困難問題時，三個單位人員（中興社、榮工、本處總隊）都能及時充分協調解決，使工程得以順利進行，其間在洪水期沉箱及虹吸管雖遭多次淹水，施工單位都不計損失，克服萬難趕工如期完成，並配合直潭淨水廠出水，於72年7月17日正式通水。