

中和線通風豎井冰凍工法應用實例

黃南輝

亞新工程顧問股份有限公司

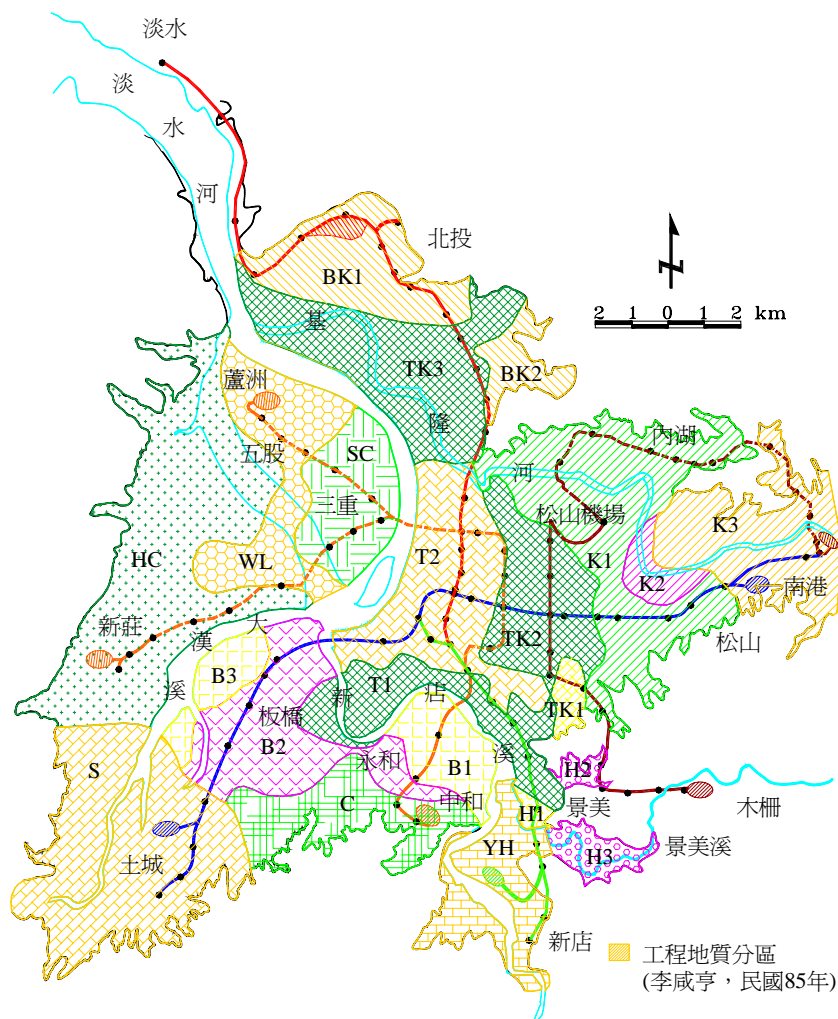
副總經理

第一章 前言

一般而言，捷運工程都會有相當長的路段是在地下興建，而且工程內容包含深開挖、隧道及各式基礎，所以是大地工程師可以發揮長才之地。而由於大多數的都會區都是位於沖積層之上，地質軟弱，地下水位高，所以風險相當地高。在台北捷運初期路網興建期間，名列前茅的幾個大災變都是因為來自景美層的地下水大量湧入開挖區或地下結構物所致。其中中和線通風豎井〔古亭站至頂溪站之間〕及板橋線通風豎井B〔龍山寺站至江子翠站之間〕的兩起災變尤其嚴重。這兩起災變都導致豎井內大量積水以及隧道環片的破壞。為抽乾豎井內積水以及替換受損環片，承商採用冰凍工法成功地封住水路，這在國內尚屬創舉，值得研究。由於篇幅有限，本文僅對中和線一例進行探討。

第二章 台北盆地地質狀況

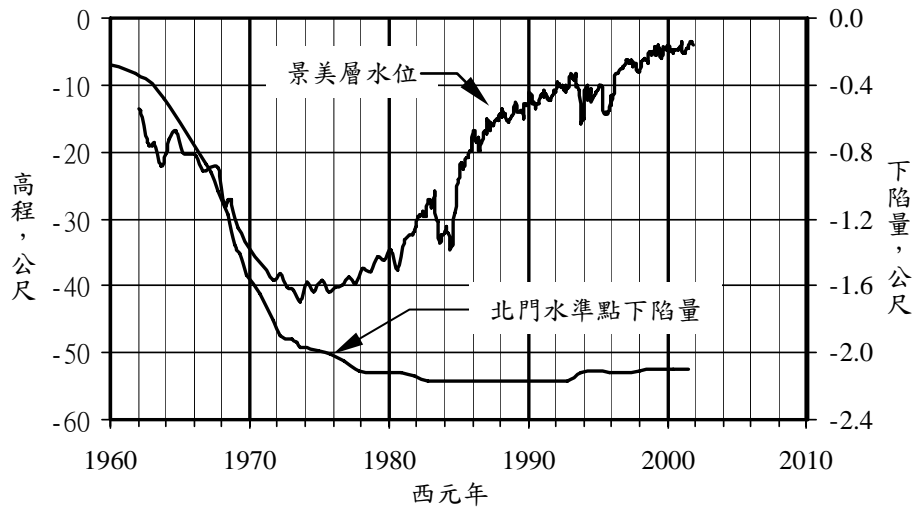
介紹台北盆地地質狀況的文章可說是汗牛充棟，相信大多數的讀者對台北盆地的地質狀況也都耳熟能詳，但為了本文的完整以及讀者的方便，在此仍對台北盆地的地質狀況略為介紹。台北盆地在四、五千年前還是一個大湖，其後因為海平面下降、湖底顯現而成為一個盆地。在盆地的表面是一層厚約 50 公尺的沉積層，稱為松山層，松山層有六個次層，李咸亨教授根據這六個次層的分布，將台北盆地分為 22 區〔李咸亨，1996〕，其分布情形與已完成的捷運初期路網以及已核定的長期路網表示於圖一。松山層之下是景美礫石層，再下是新莊層。地質學家對景美



圖一 台北捷運路網與台北盆地地質分區

層與新莊層界面的認定尚乏共識，所以景美層的厚度並無定論。以工程眼光而言，因為景美層是一個很好的承載層，樁基礎貫入景美層的深度很少超過 10 公尺，所以景美層的厚度無關緊要。而事實上，因為在礫石層中施作樁基礎相當困難，要想貫入再深，既不容易也不經濟。

特別值得一提的是，景美層是一個含水量極為充沛的貯水層，在 70 年代以前，自來水尚未普及，景美層是台北市民民生用水以及工、農業用水重要的水源。由於超抽，水頭不斷下降，總量竟達 40 公尺之多。自翡翠水庫完成後，自來水供水日漸普及，而政府也立法禁止抽取地下水，景美層的水頭才日漸回升，目前已回升了 35 公尺左右，而且在繼續回升中〔參考圖二〕。景美層水頭的回升對深開挖的影響極為深遠，以北門

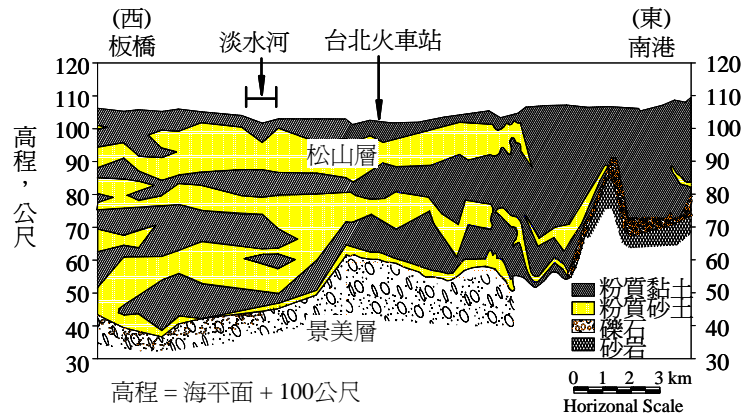


圖二 台北市區景美層水位變化及地表沉陷

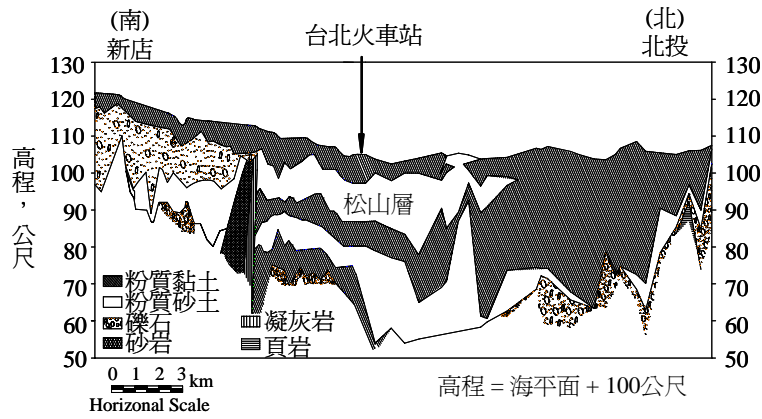
地區〔T2區〕而言，抵抗土湧及管湧的安全係數已大為降低，以抵抗土湧安全係數 1.25 而言，安全開挖深度至少減少了 20 公尺，不可不慎。而事實上，捷運工程施工期間發生的幾次大型災變，景美層都是禍首。雖然在設計時，即曾對景美層特別注意而充分考量，但在施工時仍無法防範意外的發生。

早年台北市的發展大都集中於台北車站附近，所以該地區之地質資料最為豐富。近二十年來，都市發展逐漸東移，沿仁愛路及忠孝東路延伸到敦化南、北路，以及市政府所在的信義計畫區。沿途超高大樓林立，而這些大樓的地下室越挖越深，工址調查也因此日益受到重視。加上木柵線、淡水線、南港線以及新店線的施工，淡水河以東的地質狀況已為工程界研究透徹。至於淡水河以西的地質資料，由於捷運板橋線、新莊/蘆洲線在規畫、設計及施工期間所進行的地質調查，也日趨完備，於是工程界對整個台北盆地的地質狀況已可充分掌握。

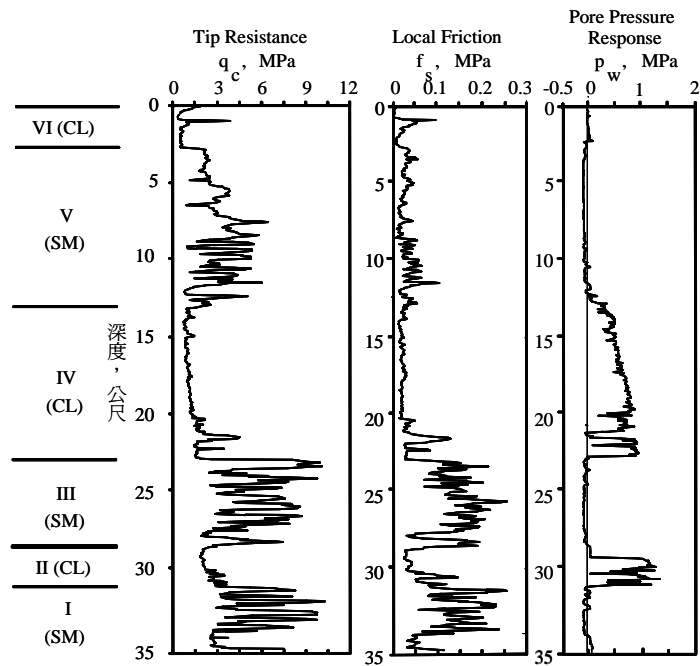
台北盆地的東西向及南北向地質剖面圖見圖三及圖四。如前所述，松山層有六個次層，這六個次層在市中心台北車站附近〔T2區〕層次最為分明。這六個次層由下而上排序，其中I、III、V三層屬砂性土壤，II、IV、VI三層屬粘性土壤。圖五的水壓錐〔荷蘭錐〕試驗結果，頗能代表T2區的地質狀況及各次層之強度。由該圖可見，孔隙水壓之反應在粘土層及砂土層有明顯的差異，所以水壓錐是一個用以判斷次層以及次層中之夾層的理想工具。



圖三 台北盆地東西向地層剖面圖



圖四 台北盆地南北向地層剖面圖



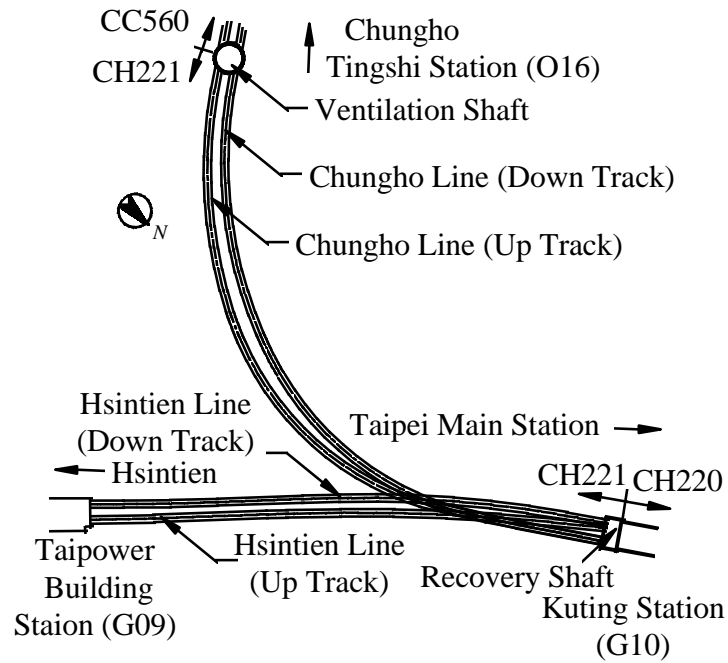
圖五 台北市區水壓錐試驗結果

由於台北盆地是由湖泊沖積而成，所以松山層中有大量浮木存在〔朱旭等，1997〕，幸好在設計時即曾在施工規範中要求承商採取因應措施，而新式潛盾機的切刀足夠堅硬，也有足夠的馬力切過浮木，所以在台北捷運施工時並未造成過多的困擾。只有中和線CC277 標的潛盾機自頂溪站〔O16〕出發，在鑽掘至永安市場站〔O17〕前方 150 公尺處時，被浮木卡住不能動彈，在改良機首前方的土壤後，工作人員方能出到機首前方排除障礙，潛盾機也才能繼續前進。與這相似的另一個案例發生在新店線CH218 標，上行隧道的潛盾機自台大醫院站〔R12〕出發，在前進約 50 公尺後，遭遇到一根早年地質鑽探完成後遺留下的鑽桿，雖然潛盾機切過這鑽桿，但是碎片卡住螺旋輸送機，以至無法出土，最後也是以灌漿改良盾首前方的土體，以封閉土倉，再由工作人員進入土倉排除障礙。

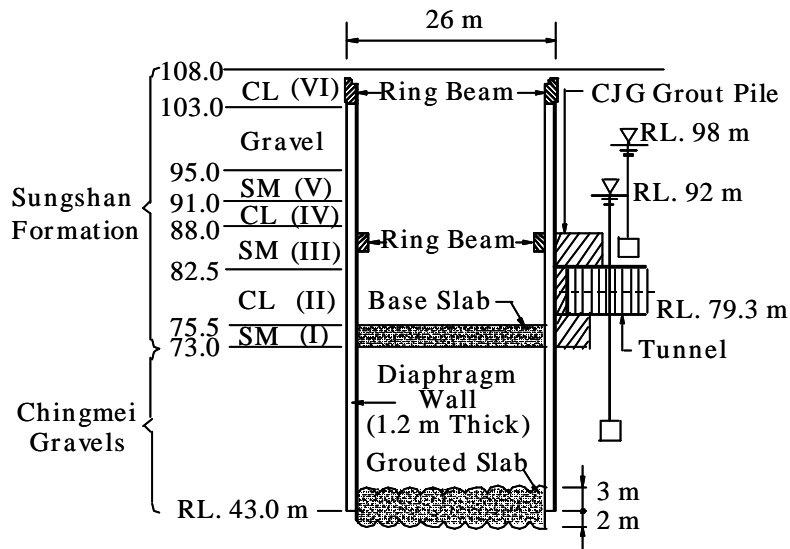
松山層中尚有沼氣的存在，其量不大，而且零星分布〔胡逸舟等，1996；朱介平等，1997〕。由於在發現有沼氣的地區，施工規範已要求增加隧道中之換氣率以稀釋沼氣濃度，所以施工期間並無沼氣為害之案例。但據報導，倫敦地鐵某車站在營運期間曾因沼氣在密閉空間累積至臨界濃度而爆炸之情事，可惜目前手邊無相關資料，無法瞭解其細節。

第三章 災變記要

中和線通風豎井位於古亭站與頂溪站之間〔參考圖六〕，是一圓形結構體，其外徑為 26 公尺，採用挖覆蓋順打工法施作。由於是個圓形結構，有環效應，所以除了有兩道環支撐外，無其他內撐。其擋土結構是由 16 片連續壁所組成，其長度達 65 公尺〔參考圖七〕。因為開挖面位於地面下 35 公尺，臨近景美層頂部，地下水水壓甚大，所以連續壁貫入景美層達 30 公尺以阻水，由於景美層含大量礫石，連續壁施工甚為不易，耗費相當時日才能完成。此外，由於開挖面即位於景美層頂部，可以想見地下水將會自開挖底部大量湧入開挖區，所以承商在連續壁底部灌漿以形成一 5 公尺厚的封層，其上的土體成為土栓，以抵抗水壓。其效果甚佳，在開挖期間滲入開挖區的地下水有限，並未造成任何困擾。



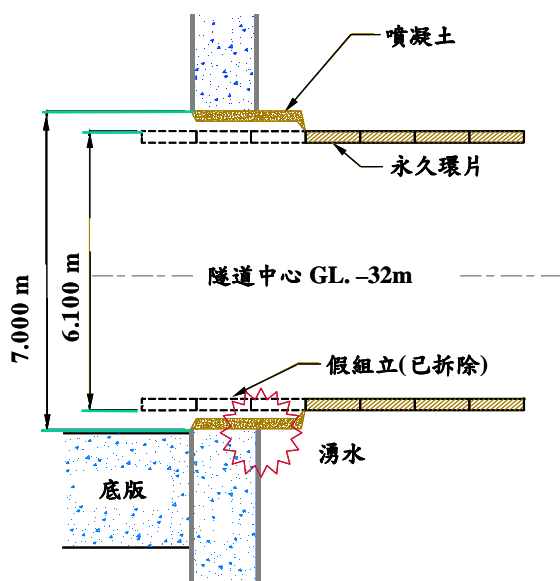
圖六 中和線通風豎井位置圖



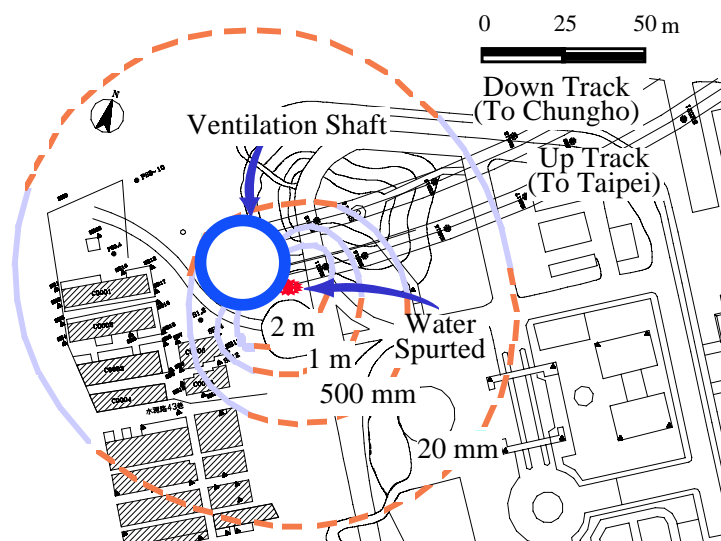
圖七 中和線通風豎井縱剖面圖

開挖過程一切順利，在打完大底完成臨時結構後，新店線CH221 標的兩部泥水加壓式潛盾機也順利地由這通風豎井出發，完成上、下行兩條隧道的掘進。在兩條隧道與豎井的交接處有柔性接頭的設計〔圖八〕，在地震時容許隧道與豎井相對位移，以避免應力集中而破壞。在

施作這柔性接頭時，必須將假組立拆除，並自隧道內向外擴孔，以便安裝柔性接頭。在這過程中，上行隧道洞口處產生湧水現象，承包商試圖以化學灌漿以止水，但效果不大，情況越來越嚴重，數小時後終於宣告棄守，放棄搶救，人員機具撤離。此時豎井周遭地表已經嚴重沉陷，形成一個 3000 立方公尺的大坑洞，影響範圍達 50 公尺〔圖九〕，其旁兒童交通公園的部份附屬設備受損，鄰近的林口社區數棟建築成為危樓，居民搬遷到安全處所。這社區原為三層樓房，在民國 92 年初才改建完成為 13 層新式高樓。



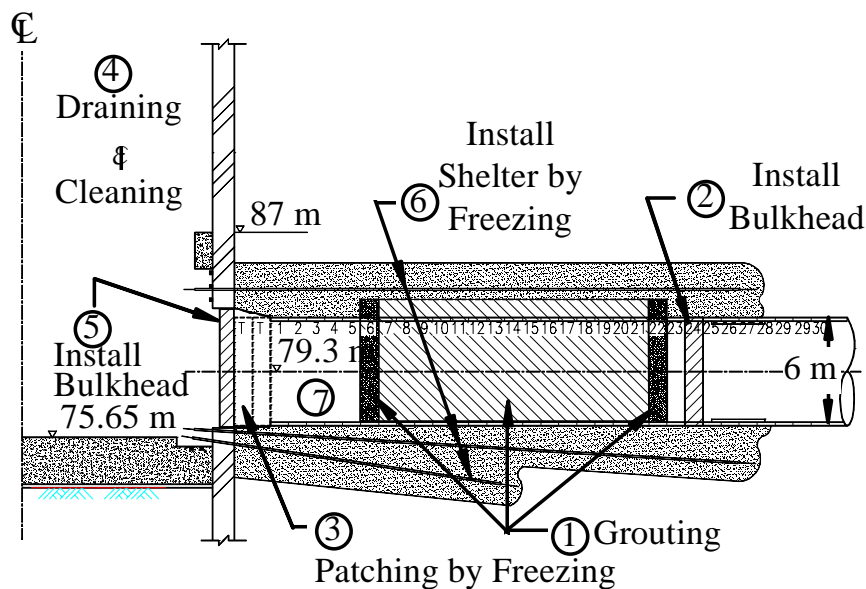
圖八 柔性接頭與擴孔



圖九 災變所致地表沉陷

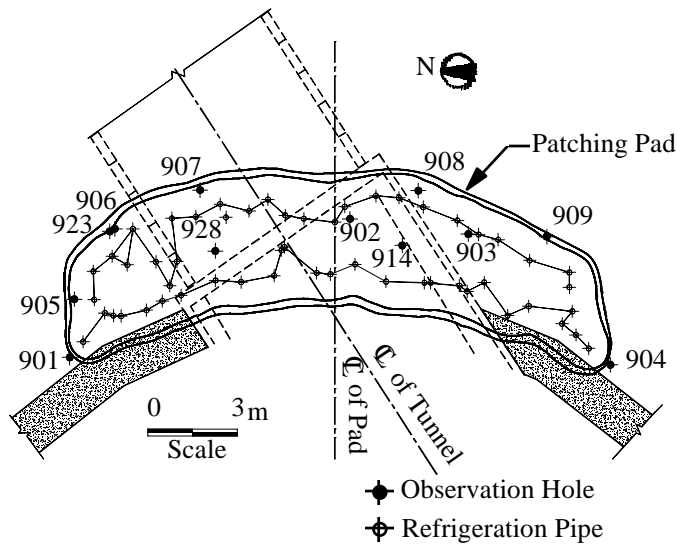
第四章 復舊作業

災變後地下水持續湧入豎井之內，豎井內外的水壓最後終於達到平衡。承商由地表進行探勘，發現上行隧道有 23 環環片受損，其中第 12 環的沉陷達 1.5 公尺，幸好下行隧道安然無恙，絲毫未受損。在進行地盤改良以穩定周遭土體後，首先要將豎井內之積水抽盡才能進行復舊工作，但是如果不將水路封閉，也無法進行抽水，所以在進行抽水之前必先封住水路。由於隧道已經存在，自地面進行灌漿以封閉水路有其困難，如有瑕疵將導致二次災變。經過審慎評估，承商決定採用冰凍工法以封閉水路。圖十表示復舊所採的七個步驟，說明如下：



圖十 復舊作業

- 步驟一：以灌漿將受損的區域固結，以便抽乾隧道內積水自隧道的另一端進入隧道以清理未受損的隧道
- 步驟二：進內隧道以在固結區的尾端裝置鋼版隔艙〔圖中之 Bulkhead〕
- 步驟三：自地表安裝垂直冰凍管，進行第一階段冰凍作業以固結洞口周遭土壤形成冰凍隔艙〔以下簡稱冰封，Patching Pad，參考圖十一〕，封住洞口，以便將豎井內積水抽乾以清理豎井並進行後續復舊作業



圖十一 冰封平面圖及冰凍管與溫度量測管位置圖

步驟四：清理豎井並在洞口貼冰凍片〔Refrigeration Plate，參考圖十二〕進行冰凍以補強洞口之冰封

步驟五：在洞口安裝鋼版隔艙以策萬全，在此隔艙安裝完成後，第一階段的冰凍作業隨即結束

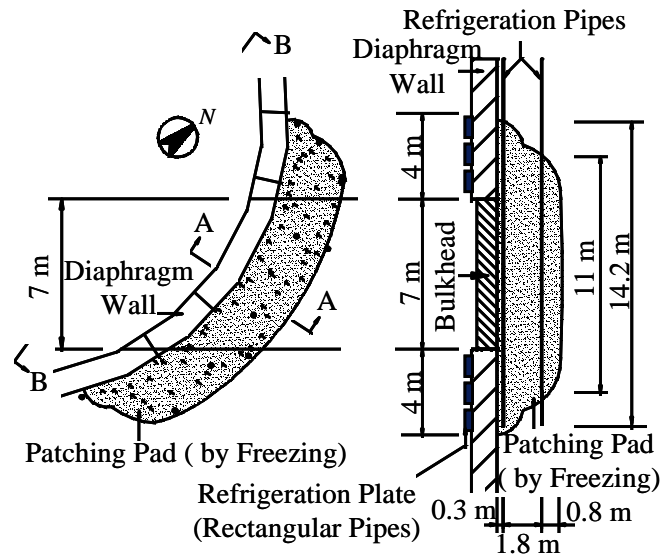
步驟六：自豎井底部安裝水平冰凍管以及自地面沿隧道南側安裝垂直冰凍管，進行第二階段冰凍作業以完全包裹受損之隧道

步驟七：在冰凍作業成功地形成一個圓形中空冰窖〔圖中之 Shelter〕，受損隧道四周的水路完封閉後，打開兩端隔艙，進行環片置換作業

災變發生於民國 83 年 4 月 1 日，直到 84 年 10 月底復舊工作才告完成，歷時 19 個月，可謂艱辛。

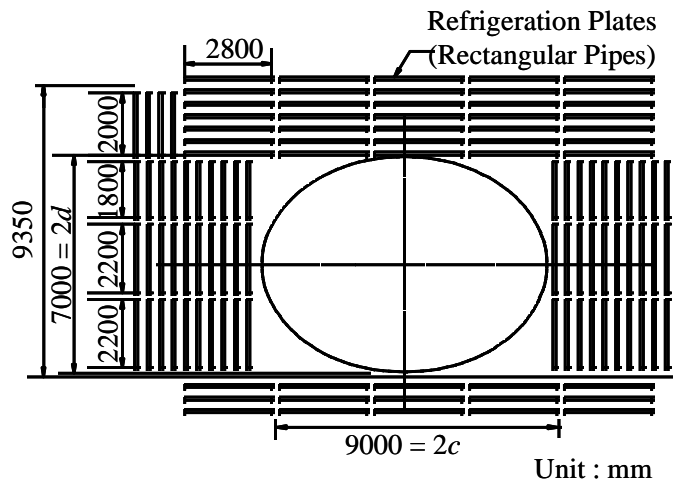
第五章 第一階段冰凍作業

第一階段冰凍作業是自地面安裝冰凍管，以冷凍液循環將洞口周遭土壤之溫度降至冰點以下形成一大冰塊以封住洞口。如圖十一及圖十二所示，冰凍管共有兩排，每排各有 27 隻冰凍管，延伸至洞口下方 4 公尺之處。在洞口上下四公尺範圍之冰凍區內，冰凍區內冰凍管並無絕熱被護，其餘部份有絕熱被護，以節省能源。根據經驗，假設冰塊的溫度能



(a) Plan

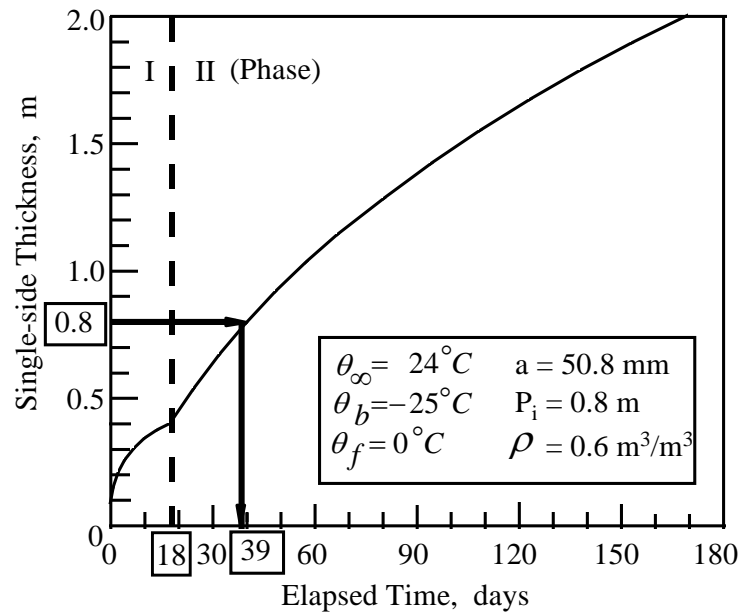
(b) Section A-A



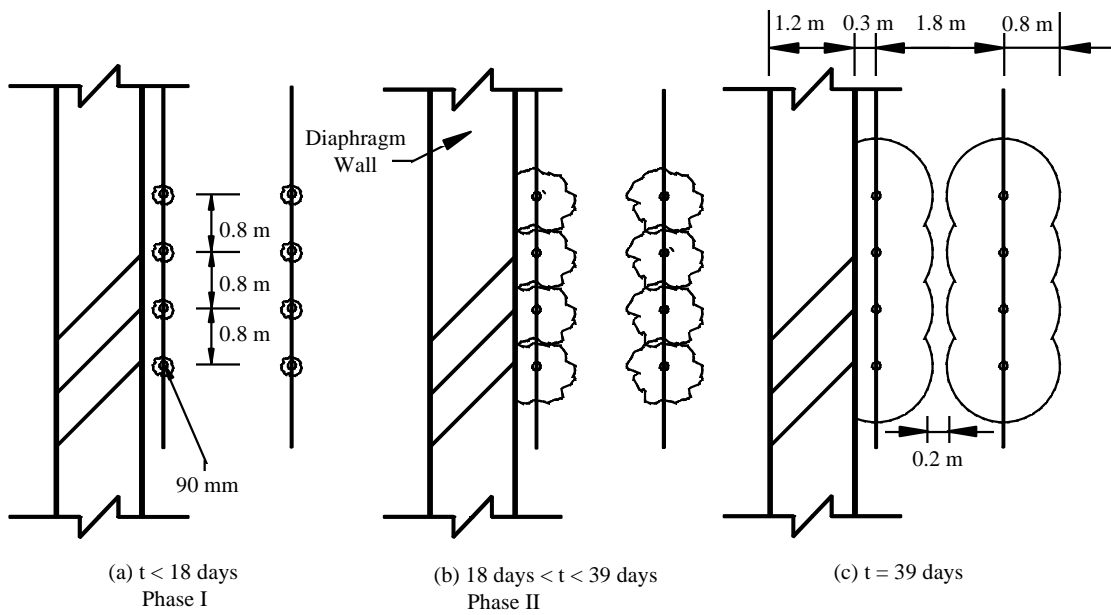
(c) Section B-B

圖十二 冰封剖面圖及洞口冰凍貼片布置圖

降到攝氏零下 10 度，則冰塊的抗張力強度及抵抗彎矩的強度可達 1.8Mpa。分析結果顯示，冰凍封層的厚度應達 2.7 公尺才能抵抗來自隧道方之土水壓。假設容許 0.2 公尺的誤差，冰封的厚於是定為 2.9 公尺。如圖十三及圖十四所示，在冰凍初期，冰凍管周遭的土壤先結凍成柱狀，估計在 18 天之內，冰凍的範圍可達 0.4 公尺，也就是說每支冰凍管將形成直徑為 0.8 公尺的冰柱，由於管與管間距約為 0.8 公尺，這時冰柱相互相連而成片狀，而冰凍的機制進入第二期。依據理論在 39 天之內，冰凍範圍可達 0.8 公尺，也就是說冰片的厚度將達 1.6 公尺。由於兩排冰凍管



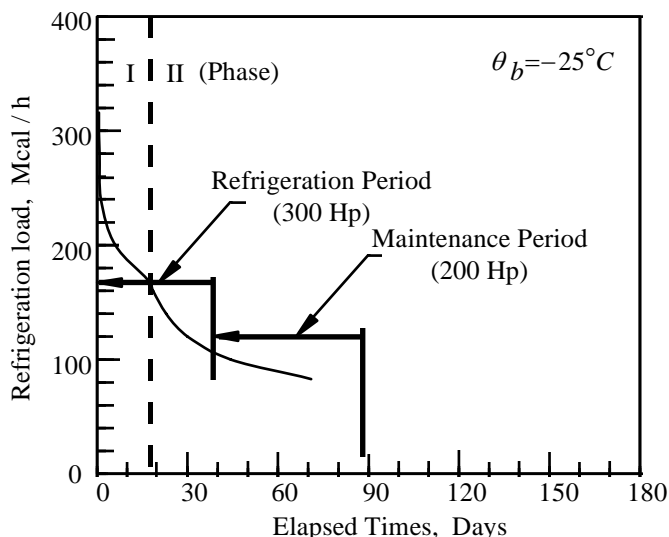
圖十三 第一階段冰凍作業之單管冰凍效應



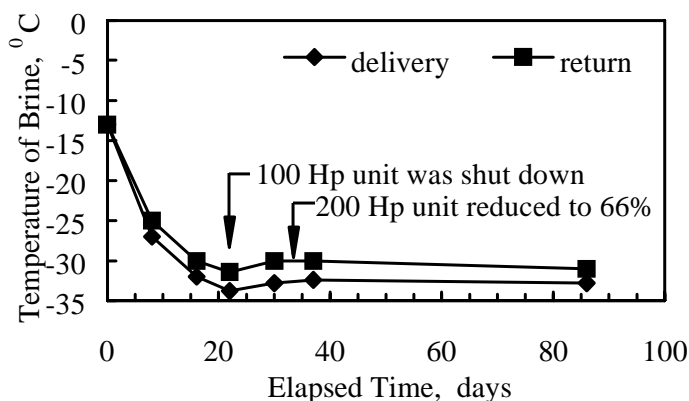
圖十四 冰凍效應示意圖 (平面圖)

的間距是 1.8 公尺，理論上，冰片與冰片之間仍有 0.2 公尺的距離。但圖十三所示的第一期冰凍效果是假設單管的情形，而事實上，每排一共有 27 支冰凍管，相互間有增強冰凍效果的作用。同理，該圖中所示第二期的冰凍效應，是假設只有單片冰凍版的情形，而事實上有兩片冰凍版，相互間也有增強作用，所以冰凍效果會更好，到第 39 天預期兩片冰片已結成一片，這點由現地量測結果得到驗證。

全部 54 支冰凍管的全長為 1,858 公尺，其中 1,178 公尺有絕熱被護，680 公尺沒有絕熱被護，與土壤相接觸。根據計算，各期所需冷凍能量如圖十五所示。初期所需冷凍能力為 170Mcal/h，相當於 300 匹馬力，現場使用兩部冷凍機，一部有 200 匹馬力，另一部是 100 匹馬力。39 天後，所需冰凍能力降到 100 Mcal/h 以下，只要第一部機組即可，第二部機就可停用。該圖的基本假設是冷凍液保持在 -25°C 恒溫，而事實上，如圖十六所示，冷凍液的溫度在第 18 天已經降到 -30°C 以下，第二部機就已提早停機，而在第 34 天，第一部機的功率更調降到 66%，以節省能源，其後供應管冷凍液的溫度一直維持在 -32°C 左右，而回流管冷凍液的溫度約為 -30°C ，兩管的溫差為 2°C ，這是因為自土壤吸取熱量之故。



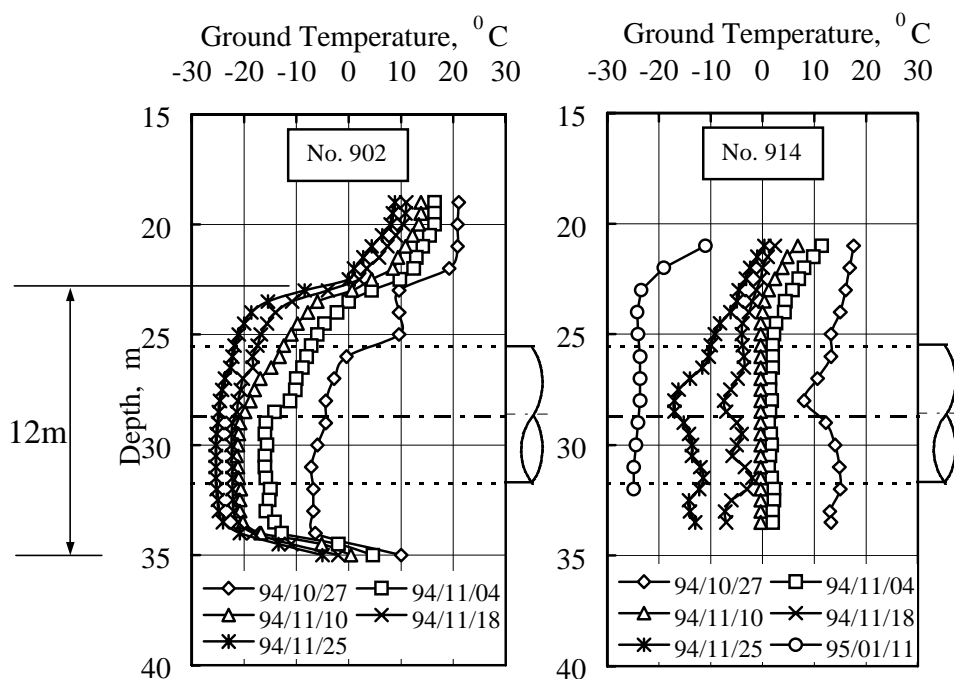
圖十五 第一階段冰凍作業所需冷凍能



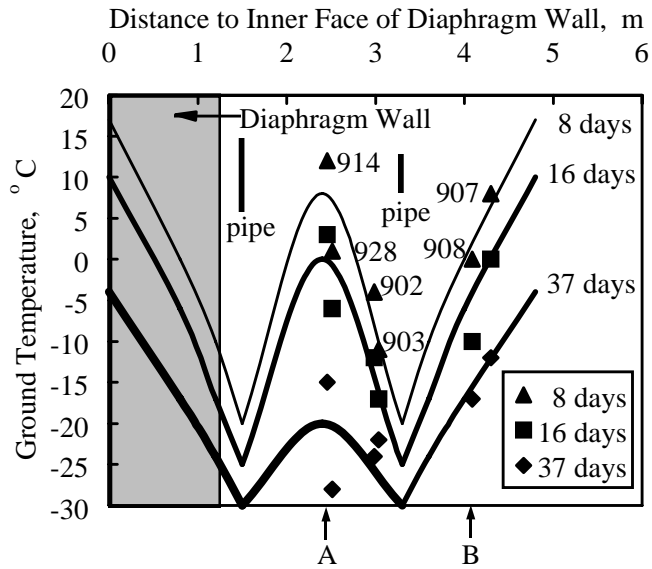
圖十六 第一階段冰凍作業冷凍液溫度變化

冰凍區內裝有 12 支溫度量測管，其位置如圖十一所示。每支溫度測量管中各有多達 40 支溫度計埋設於不同深度。圖十七表示其中兩管〔902 及 914〕所量測的結果，這兩管位於洞口正前方，距中心不遠處。冰凍的起始日為 1994 年 10 月 19 日，902 溫度計顯示，在 8 天之內〔10 月 27 日〕洞口部位的溫度已降到零度以下，也就是說已經開始結冰，在兩週內〔11 月 4 日〕，冰封的縱向長度已達 12 公尺。由於位置不同，914 所示結果與 902 略有不同，其周圍土壤到 11 月 4 日才結冰，但冰封的長度較長，超過 14 公尺。

沿隧道軸向的土壤溫度分布表示於圖十八，現就兩組溫度計的量測結果探討兩排冰凍管的互制作用。A 組包括 914 與 928 兩支溫度管，位於兩排冰凍管之間，與兩排冰凍管之距離約略相等，各約 0.9 公尺，該組溫度計受兩排冰凍管之影響。B 組包括 907 與 908 兩支溫度管，位於外側冰凍管之外，距外側冰凍管也約為 0.9 公尺，該組溫度計只受外側冰凍管之影響。由該圖可見，在冰凍開始後第 8 天，A 組溫度計量得的土壤溫度為 $+8^{\circ}\text{C}$ ，與 B 組所量得的土壤溫度相當，可見此時兩排冰凍管相互間並無影響。在第 16 天，兩組所量得的土壤溫度都是零度，可見兩排冰凍管間的互制作用仍不顯著，但此時兩排冰柱已經相接觸而結成一大冰塊，而

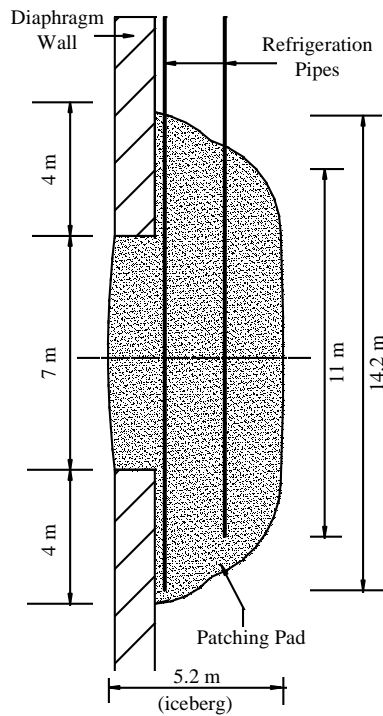


圖十七 冰封縱向溫度分布圖



圖十八 冰封軸向溫度分布圖

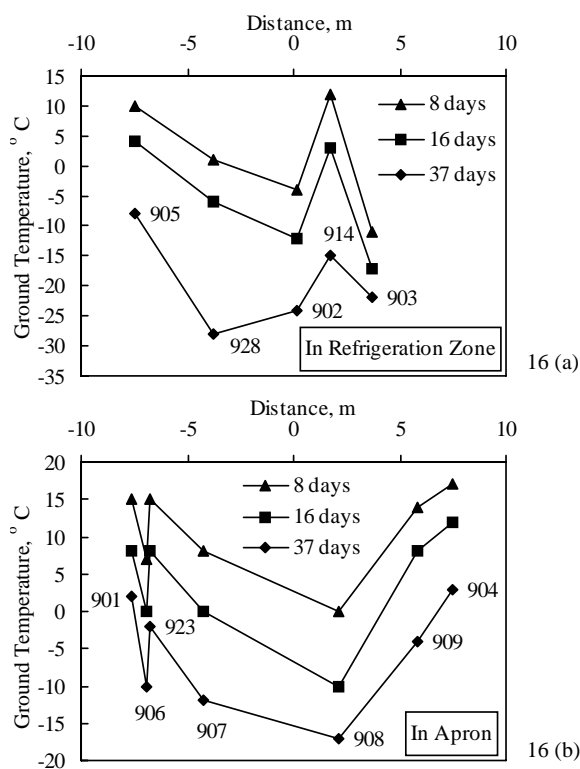
圖十三及圖十四顯示在第 39 天兩片冰片之間仍有 0.2 公尺的間距，証實冰凍效果遠較預期為佳。到第 37 天時，A 組所量得的土壤溫度已降到 -22°C ，而 B 組所量得的土壤溫度約為 -15°C ，可見兩排冰凍管相互間影響顯著。第 37 天時的冰封的厚度估計已達 5.2 公尺。綜合圖十七及圖十八之結果，理想化的冰封縱剖面表示於圖十九。



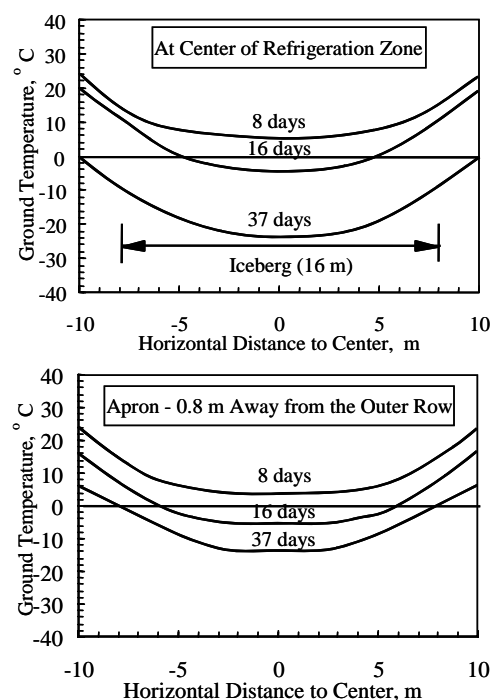
圖十九 冰封理想化縱剖面圖

在洞口中心高程冰封水平剖面的各溫度計量測結果表示於圖廿，並理想化於圖廿一。同樣的，在兩排冰凍管之間的土壤溫度下降較快，在冰凍管外側的土壤溫度下降較慢，顯示兩排冰凍管的確有互制作用，而此互制作用在第 16 天尚不顯著，但到第 37 天則頗為明顯。但除了冰封外側兩端〔901 及 904 兩溫度管之外〕之外，其餘部位在 37 天之內都已結冰〔即溫度下降至零度之下〕。由圖廿一推斷，冰封的寬度至少有 20 公尺。由於隧道與豎井不是正交，所以洞口呈橢圓形〔參考圖十二〕，橫軸較縱軸為長，冰凍管配置到洞口邊緣外側 4 公尺之處，所以冰封的寬度於是遠較其長度為長。

實際量測冰凍效果較理論為佳的原因不只是互制作用。圖十三的基本假設是冰凍液的溫度為 -25°C ，而且是恒溫，而如圖十六所示，實際量測的冰凍液溫度開始為 -14°C ，在一星期內迅速降到 -25°C ，到兩星期時更下降至 -30°C 之下，但此溫度變化甚難納入理論分析。除此之外，圖十三的其他假設，包括土壤空隙率為 0.6，環境溫度為 24°C ，都可能與現地狀況不同。尤其是在受擾動之後，土壤孔隙率必然大增，影響土體的導熱係數。無論如何，由以上結果看來，圖十三的實用性得到充分證明。



圖廿十 冰封橫向溫度分布圖

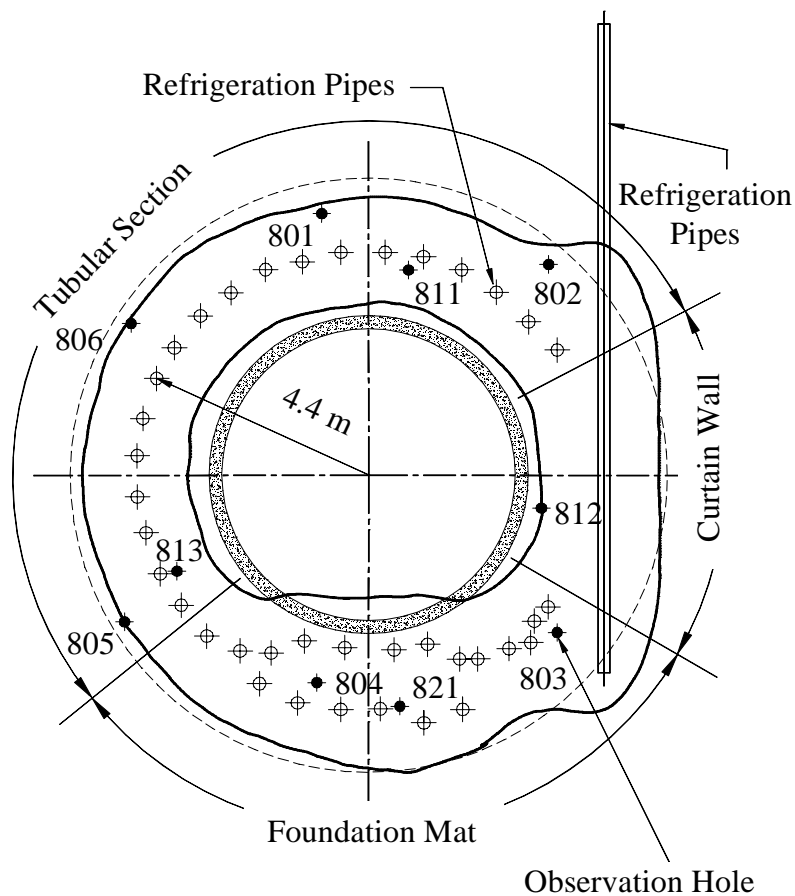


圖廿一 冰封橫向理想化溫度分布圖

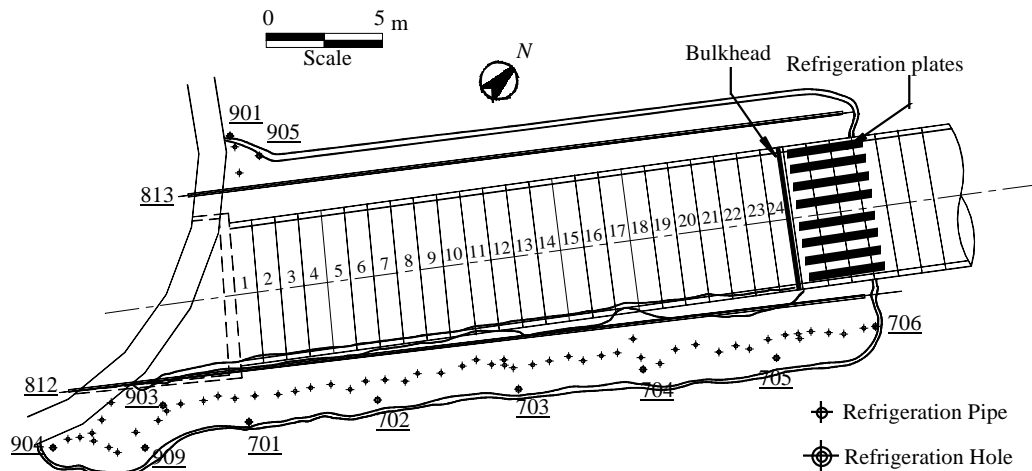
第六章 第二階段冰凍作業

洞口冰封後，如第四章步驟四所述，在排除積水、清理豎井之同時，如圖十二所示，在洞口四周連續壁上置放 34 片冰凍貼片以補強冰封效果。這是因為之後在洞口嵌入鋼版隔艙時，有必要將冰封外側削掉，冰封變薄，而且冰封受日曬之影響，溫度會升高，此外，鋼版隔艙的安裝會使用電焊，也會使冰封的溫度升高。這些冰凍貼片事實上是 100mm×50mm 矩形鐵管，其內有冷凍液迴路。在豎井清理完畢，在洞口安裝鋼版隔艙，安全無慮後，第一階段的冰凍作業即告結束。

第二階段的冰凍作業於 1995 年 2 月 14 日開始，自豎井底部施作。如圖廿二及廿三所示，在洞口四周 8 點至 2 點鐘方向一共安裝了 19 支水平冰凍管以形成一個半圓護罩 (Tublar Section)，在底部自 8 點鐘至 4 點鐘方向也置放了 19 支水平冰凍管以形成底墊 (Foundation Mat)。如



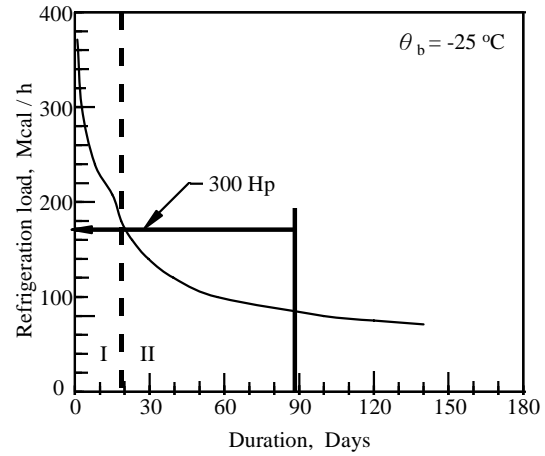
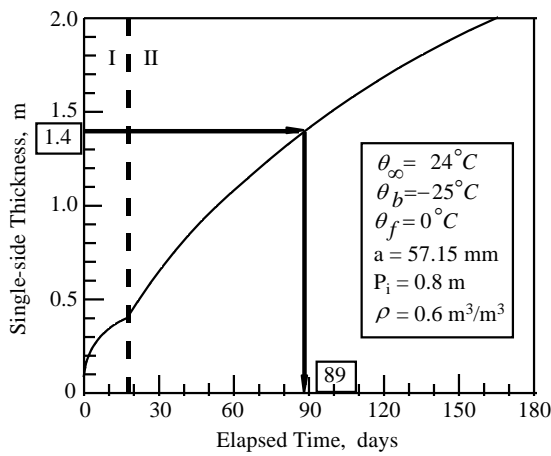
圖廿二 洞口立面圖及冰凍管與溫度量測管位置圖



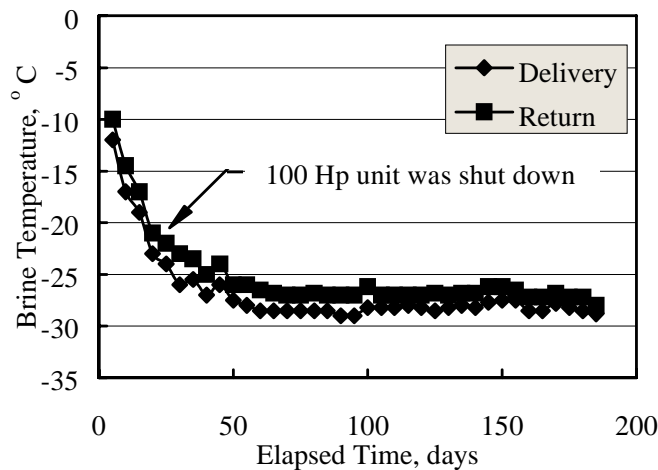
圖廿三 隧道橫剖面及冰凍管與溫度量測管位置圖

圖十所示，在底墊的水平管其實並非水平，而是以兩個不同俯角安裝以增加底墊的厚度。這是因為隧道底部接近景美層，而湧水來自景美層，所以該位置的土體受損最嚴重，風險也最大之故。如圖廿三所示，在隧道的南側，由於連續壁的限制，空間不足以安放鑽孔機具，無法安裝水平冰凍管，所以自地面置放了 42 支垂直冰凍管以形成側壁〔圖廿二：Curtain Wall〕。半圓護罩、底墊、加上側壁將隧道四周的土壤固結，形成一個圓形空心的冰窖，將受損的隧道團團裹住。在第一階段冰凍作業時，洞口原有 54 支垂直冰凍管，大部份因為會阻礙水平管的置放，所以予以拔除，仍剩 13 支仍繼續使用，作為洞口補強之用。在冰窖尾端的環片上也貼有 62 片冰凍貼片以補強。

第二階段所安裝的冰凍管間距仍為 0.8 公尺，如圖廿四所示，預計在 89 天之內，冰凍的範圍可達 1.4 公尺，也就是說半圓護罩及側壁的厚度可以達到 2.8 公尺。此厚度足以抵抗隧道四周的土水壓。底墊因為有兩排冰凍管以不同俯角安裝，所以會較厚〔參考圖十〕。圖廿四與圖十不同之處在於冰凍管的管徑，在第一階段所用的冰凍管半徑為 50.8mm，而第二階段所用的冰凍管半徑為 57.2mm。比較兩圖，可見差異甚小。作業所需的冷凍能力表示於圖廿五，由於冰凍的土體遠較第一階段〔參考圖十五〕為大，在作業初期，除了原有的一部 200 匹馬力以及一部 100 匹馬力冷凍機外，還加了一部 50 匹馬力的冰凍機專供冰凍貼片之用。但如圖廿六所示，在一個月後，冷凍液的温度已降到 -22°C ，100 匹馬力的冷凍機即予停機。

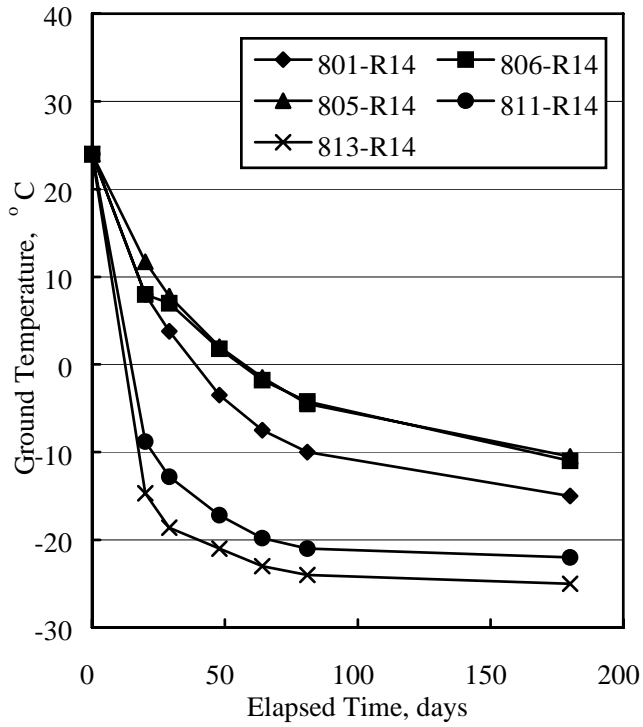


圖廿四 第二階段冰凍作業之單管 圖廿五 第二階段冰凍作業所需冷
冰凍效應 凍能

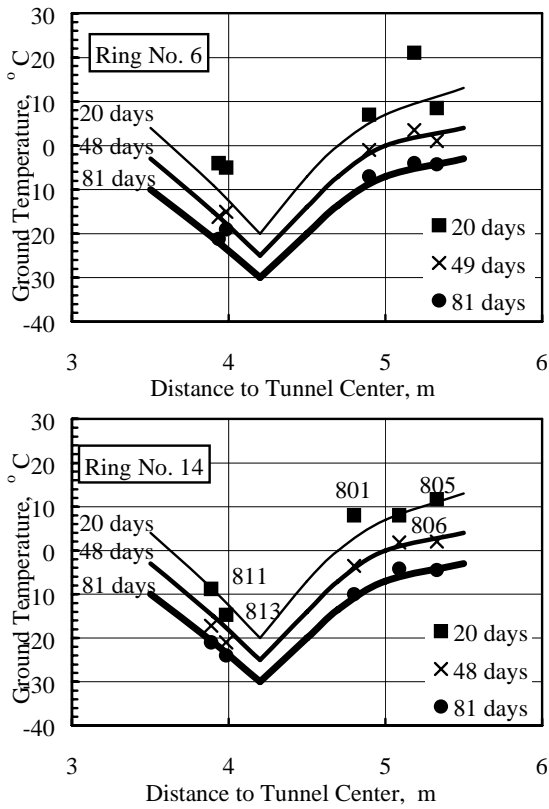


圖廿六 第二階段冰凍作業冷凍液溫度變化

在第二階段，一共有 21 支溫度測量管以量測土壤溫度，包括第一階段所保留下來的 5 支垂直管，半圓護罩上新裝 6 支水平管，底墊上新裝 3 支水平管，側壁上新裝 6 支垂直管以及 1 支水平管，其位置見圖廿二及圖廿三。每支溫度量測管中有數十個溫度計以量測不同位置的土壤溫度。圖廿七表示在第 14 環附近半圓護罩中所量到的土壤溫度，由該圖可知在 60 天內，所有量得的土壤溫度都已降至冰點以下。由於 801, 805 及 806 等三支溫度量測管是位於距管幕 1.4 公尺處，可見冰凍效果較圖廿四所預期為佳。圖廿八表示在該環位置以及在第 6 環位置的土壤溫度分布。由該圖推斷，在第 81 天，半圓護罩的厚度超過預期的 2.8 公尺。沿隧道軸向的溫度分布表示於圖廿九，由該圖可見，在第 81 天，除了近洞口有



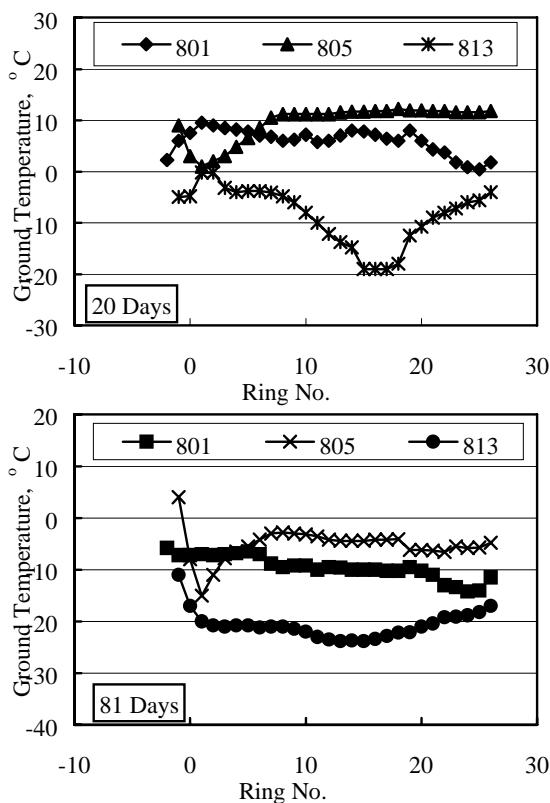
圖廿七 第 14 環周邊土壤溫度變化



圖廿八 半圓冰凍護罩環面之溫度變化

一點的溫度未達冰點之外，所有的溫度都在冰點之下，顯示凍結效果超過預期。

以上僅針對結冰的速率進行討論，但設計的基本假設是冰體的溫度應達 -10°C ，其抗張力強度及抵抗彎矩的強度方能達到設計值 1.8Mpa 。由圖廿七及圖廿八觀之，靠近管幕的土壤〔以811及813為代表〕溫度約在10天之內由 0°C 迅速下降至 -10°C ，而在邊緣的土壤〔以805及806為代表〕溫度下降較為緩慢，要90天才能從 0°C 降至 -10°C ，這點在施工時不容忽略。



圖廿九 半圓冰凍護罩軸向之溫度變化

第七章 結語

雖然基本假設與現地狀況不盡相同，量測結果顯示凍結效果與理論所預期相接近，驗證了理論之實用性。而復舊工作得以順利進行顯示冰凍工法為正確之選擇。

冰凍工法雖然已有不算短的歷史，但實際應用案例並不多見，相關文獻稀少，這是因為該工法遠較灌漿工法昂貴之故。但在特殊狀況下，冰凍工法有其難以取代的優點。在本案例中，由於有隧道之存在形成障礙，灌漿難以周全，而且地下水充沛，水壓極高，風險極大。只要冰凍管的安裝得宜，位置準確，冰凍工法可以確保冰體內無縫隙，不致再度湧水造成二次災變。

隧道洞口最易發生災變，台北捷運初期路網施工過程中所發生的數次大災變都發生在洞口，而在這些洞口都曾以灌漿工法進行地盤改良，而且在潛盾機出發或到達時也曾進行試水及止水灌漿。災變的發生足証灌漿工法並非萬全，而降水工法可能導致地盤沉陷造成鄰損。雖然冰凍工法較為昂貴，但在風險較高之處，如近貯水層或位於河底，或者貼近鄰房，冰凍工法不失為最佳選擇。

第八章 誌謝

本文所引用之資料皆取自承商所提送之計畫書及報告，此外，亞新工程顧問公司有幸受命為台北捷運初期路網之大地工程專業顧問，筆者亦有幸領導亞新捷運專案同仁參與初期路網各線之設計審查與施工諮詢，長達 8 年，其間承蒙捷運工程局各級長官照顧，使整個團隊工作順利，專業上也受益良多，在此謹申謝忱。

參考文獻

- 朱介平、崔澎生、高蔚明、虞尚仁〔1997〕“捷運中和線二七五標過新店溪潛盾施工”，台北捷運局十週年局慶工程研討會，九月，第 310~338 頁
- 朱旭、宮能文、段紹緯〔1997〕“台北盆地流木分佈對地下工程之影響”，第七屆大地工程學術研究討論會，八月，金山，第 1041~1048 頁
- 李咸亨〔1996〕“台北市區工程地質分區”，土工技術，第 54 期，四月，pp.25~34
- 胡逸舟、秦中天、劉泉枝〔1996〕“台北盆地大地工程相關特性之探討”，土工技術，第 54 期，第 5~14 頁