

# 新天輪水力發電計畫頭水隧道 F 3 斷層 災變施工處理

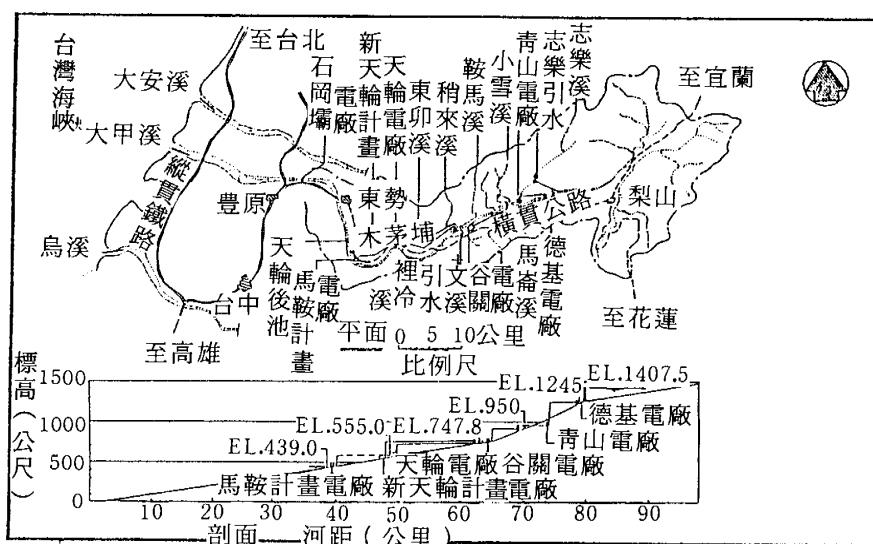
蘇定縱\*馮世墩\*\*

## 一、前言

新天輪水力發電計畫位於台中縣和平鄉境內，跨大甲溪中、下游段，進水口設於現有天輪壩上游約 100 公尺之大甲溪右岸（圖一），引進谷關電廠洩放之尾水，經一條約 10,566 公尺之壓力隧道至天輪電廠下游約 200 公尺新建之地下電廠發電，發電尾水再放回大甲溪。整體工程設施包括：（一）進水口。（二）頭水隧道。（三）平壓塔。（四）壓力鋼管。（五）地下廠房。（六）尾水隧道。（七）尾水出口

。（八）廠房通道。（九）施工橫坑四條。（十）開關場。（十一）永久性機電設備。（十二）天輪後池改善工程等十二項。其施工佈置詳如圖二。

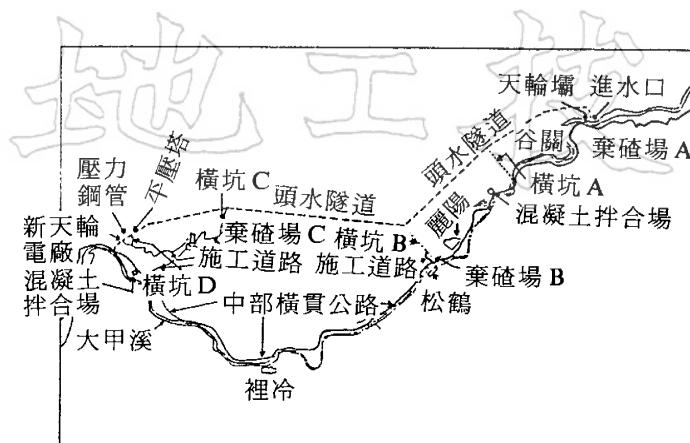
本計畫所處位置地質相當複雜，有數處斷層通過。民國 79 年 8 月 29 日發生災變之頭水隧道，即係位於橫坑 B，C 間之 F 3 大斷層（圖三）。本文將針對災變前異常現象處理方式，抽心發生經過，災害造成原因，復舊方案選擇，以及實際復舊方法等逐項作一探討。



圖一 大甲溪流域水力開發圖

\*中華工程公司技術中心副理

\*\*中華工程公司技術中心土木研究課助理研究員



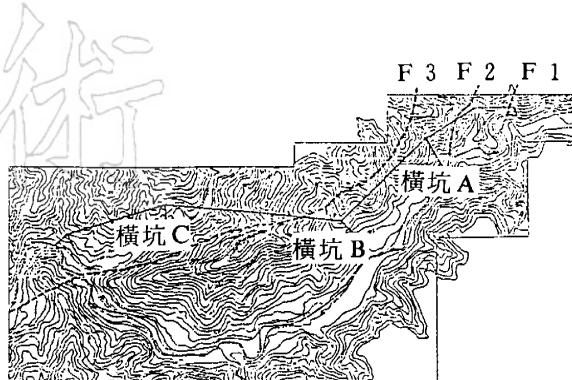
圖二 新天輪水力發電工程施工佈置平面圖

## 二、地質概述

由圖三知，本區主要山脊呈東北—西南走向，東南坡雖稍緩，但坡度仍大多在45度以上，西北坡則甚陡，近山脊部份常形成垂直陡崖，主要係受堅硬石英砂岩傾角所控制。

本區岩層依其岩性主要可分為變質砂岩層及變質砂岩與板岩互層兩大類，變質砂岩以白色、粗粒、中至厚層堅硬變質砂岩為主，其中亦夾有厚層或中層板岩與硬頁岩，並偶而夾有煤頁岩及礫岩，主要分佈在東卯山脊線之東側。變質砂岩與板岩互層含有較高比例之板岩與硬頁岩，呈深灰色厚2~8公尺，並偶夾有較多的煤頁岩。主要分佈在東卯溪與沙蓮溪之間，呈帶狀向東北延伸。

岩層之走向，自東而西，由 N 40° E 漸轉為 N 80° E，傾角多陡峻，自東南傾斜 60° 至 80°。區內褶皺除東卯溪背斜外，多屬局部小規模之波狀起伏，褶皺軸延展性不大，且常發生在斷層附近，故本區地質構造以斷層為主，且多屬與岩層走向略為一致之斷層。推估之主要斷層有三條，由東而西依序為 F1、F2、F3，參閱附圖三。



圖三 頭水隧道及其附近之地形、斷層  
位置圖

### 三、災變前 F3 斷層異常現象 處理過程

依據地質特性，F 3 斷層可區分為斷層帶（Fault Zone）及剪裂帶（Shear Zone）兩段（圖四）。剪裂帶屬於較破碎的岩層，但仍保留完整的岩盤；而斷層帶則屬泥化的地質。約40年前舊天輪電廠也有處理斷層之慘痛經驗，因此工程人員面對F 3 斷層即顯得格外小心。首先由 ST. 5k + 143.5 處開始即加強支撐系統架設第一對鋼支保，至 ST. 5k + 260.1 止共架設 98 對鋼支保，並於 ST. 5k + 145.5 ~ ST. 5k + 204 間先後各施鑽二次 30 公尺之 NX 地質探查孔。由於地質狀況較預期為佳，故自 ST. 5k + 201.3 起，改於開挖前利用鑽堡施鑽深 5 公尺之探查孔，先行了解地質，據以採取因應對策。ST. 5k + 143.5 ~ ST. 5k + 260.1 段開挖支撐尚稱順利，平均進度每日約 2 公尺。

由79年6月3日架設#98鋼支保(5k+260.1)開始進入斷層破碎帶起至#133鋼支保(5k+297.7)止，所採取的補強措施詳見表一。

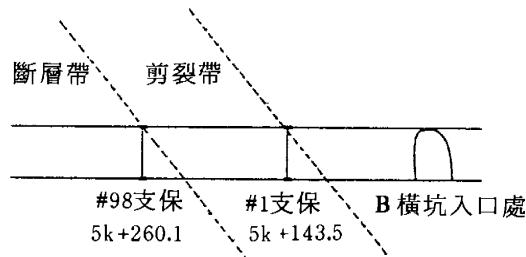
## 四、抽心發生經過

由地質紀錄顯示，自第75對鋼支保開始地質情況即較惡劣，岩體指數Q值約在1.0至0.001之間，初始階段開挖後，經加強支撐系統，再經收斂儀觀測結果發現情況趨於穩定，故通過剪裂帶（#1～#98支保）時，仍以全斷面開挖方式施工。直至79年8月3日推進至#135鋼支保（5k+299.9）時，地下水水量大增且發生抽心，於是立即二度封面，並進行NX孔鑽孔排水。8月5日當NX鑽至7.5公尺深時，開挖面發現有移動現象，於是暫停鑽孔，並於開挖面加噴四層8cm厚噴凝土且佈設排水孔，然而開挖面左側仍然崩裂，白色泥漿不斷湧出，壓彎套管，鑽設機遂撤退，暫停施工。次日開挖面持續惡化，大量泥漿將封面向外推擠約1公尺至#134鋼支保處，左側封面破碎泥漿不斷湧出，兩側底部大量湧水，情況開始惡化，此時施工單位以2支8公尺H型鋼、米糠包及木材封堵開挖面。其後陸續發生之狀況及應變措施如表二。

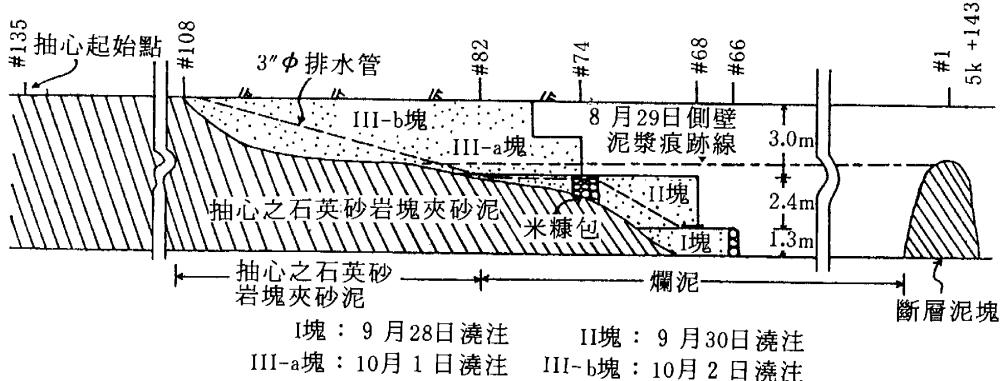
由於崩洩數量龐大，側壁留下泥漿痕跡高達4公尺，泥漿於#1支保處之深度約2公尺，#112支保處因工作人員無法到達

，情況不明，估計總泥漿量約4公尺×6公尺×140公尺=3360立方公尺。至9月4日下午勘察現場，自#82～#113支保間為抽心之石英砂岩塊夾砂泥，#1～#82支保間為爛泥漿，但深度由4公尺之原有泥痕高度漸漸降至約2.5公尺深，亦即其抽心之泥漿間含水部分逐漸消失。泥漿段終點為一寬約5公尺之未軟化之斷層泥塊阻擋。為防止抽心段繼續擴大，根據中興工程顧問社提出的補強措施，並由中華工程進行施作（圖五）：

1. 清除較泥漿部份之坍方碴料至#75鋼支保（5k+235.9）處，並於該處築一臨時擋牆，以維持碴坡之穩定。
2. 由#66鋼支保（5k+225.1）起，以階梯狀方式，施作隧道內空之回填混凝土，並配合排水設施，以降低水壓。



圖四 F3斷層帶縱面示意圖



圖五 F3斷層抽心碴料堆積狀況及施工處理狀況圖

表一 災變前 #98~#133支保間異常現象處理經過

時 間	位置(支保號)	異 常 現 象	採 取 對 象	結 果
79.6.4	#90~#94 (5k+251.6 ~ 5k+255.7)	於 5k+260.1 (#98) 關炸後發現此處左側壁起拱線附近支保彎曲變形	於 #92 附近裝設收斂釘監測。 並於 6 月 5 日起開始採取補強措施	收斂釘水平變位速率達 1.18 公分/天。
79.6.5~ 79.6.19			開挖部份 (#1~#98 間) 的補強措施： 1. #1~#98 間起拱線以下加噴噴凝土至支保外緣 4 公分，仰拱噴凝土 8 公分分二施噴，中含鋼線網一層。 2. #90~#94 間起拱線以下以鋼筋平行隧道前進方向補強。 3. #86~#98 間起拱線以上加噴 8 公分噴凝土，並加鋼線網一層，另加設 H150×150 橫撐，做為臨時仰拱。	#92 附近之變位已穩定，繼續採取全斷面施工。
79.7.9 (開挖面位置： #120)	#120(5k+284.3)	開挖面左側起拱線以上發生局部抽心，坍落約 87 立方公尺渣料。	暫將前進面封面，並進行抽心坍落部份之回填灌漿。	灌漿完畢後，於 7 月 10 日再度進行開挖，但拆除封面後，前進面左側起拱線上方又立即發生抽心(約 118 立方公尺)，不得不再度封面，再次實施回填灌漿。
79.7.10  79.7.12  79.7.15 79.7.17	#105~#118 (5k+267.8~ 5k+282.1) #109~#110 (5k+ 272.2~5k+273.3)	鋼支保間噴凝土發生裂縫。  拱頂右側 45 度左右之排水孔湧出大量泥水。	抽心位置全面噴凝土加裝兩層鋼線網。 抽心位置灌漿。 #80~#120 左側支保裝設 5mm $\phi$ 排水管 42 支； #98~#116 支保仰拱清理並裝設 H150×150 底撐。	
74.7.24	#121(5k+285.4) #125(5k+289.3)	開挖面左上方抽心。	改採上半斷面開挖。掛鋼線網噴凝土搶救，並於 #120 支保起兩壁加焊長 5 公尺，平行隧道前進方向之槽鐵補強。	經補強措施後漸趨穩定。
79.8.2	#135(5k+299.9)  #134~#135 (5k+298.8~ 5k+299.9)  #121(5k+285.4)  #127(5k+291.3)  #128(5k+292.3)  #130(5k+294.4)	開挖至此，地下水量日益增加。 左側頂拱發生湧水及少量抽心。  支保左側出現裂縫。  支保右上角出現裂縫。  支保左側至頂拱及右下角出現裂縫。  支保左下角等出現裂縫。	施噴 16 公分厚噴凝土，內含鋼線網二層封住抽心部份。 並加鑽排水孔排水。 於 #128~#135 支保間左側加焊平行隧道前進方向之槽鐵兩支。	

表二 F3斷層抽心發生及處理經過

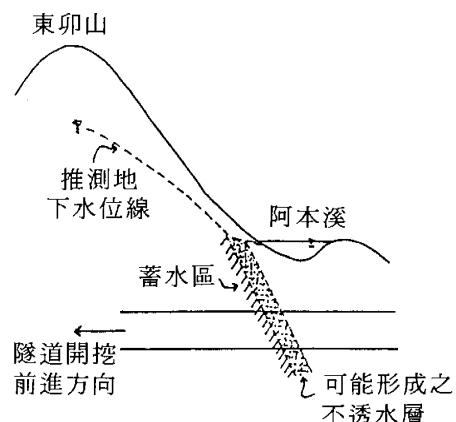
時 間	位置(支保號)	異 常 現 象	採 取 對 象	結 果
79.8.6 76.8.11	#127～#133 (5k+291.3～5k+297.7) #131～#132 (5k+295.5～296.6) #116 (5k+279.9) #115～#118 (5k+278.8～282.1) #115～#120	右側壁噴凝土出現開口大裂縫。 噴凝土剝落。 滲出地下水，拱頂左側出現新裂縫，封面斜撐亦呈現彎曲。 排水孔排出泥水噴凝土剝落。 出現多條裂縫。	開挖面加噴16公分噴凝土，並以H型鋼斜撐補強。 #119～#133支保 (ST.5k+283.2～ST.5k+297.7) 以12公分噴凝土補強(含8mm $\phi$ 鋼線網一層)。 開挖面加噴50公分噴凝土封堵	
79.8.14 79.8.15 79.8.16	#115～#116 (5k+278.8～279.9) #116～#118 #116～#117 #115～#117 #112～#120	裂縫間滲出大量泥漿水。 頂拱左側受壓下彎。 裂縫湧出大量泥水。 頂拱左側，噴凝土被大量泥水沖破。 頂拱凹陷。	#120～#133間進行B/C灌漿處理(灌漿壓力4～5公斤/平方公分)。 #112～#120支保加噴12公分噴凝土(含8mm $\phi$ 鋼線網一層)。 加噴噴凝土封堵。 先完成此段之臨時仰拱，並於頂拱加噴噴凝土，仰拱亦加噴40公分噴凝土。	由現場判斷，灌漿時支撐有受壓現象，故停止灌漿。  泥漿水被封堵成功。  斷面閉合。
79.8.22 79.8.23	#115～#119 (5k+278.8～283.2)	8英吋 $\phi$ 排水管間歇湧出泥漿，管內被細料阻塞造成此段支保頂拱受壓下陷彎曲變形，噴凝土破裂，泥漿再度間歇湧出。		
79.8.25 79.8.26 79.8.27	#115～#118 #115～#116 #113～#120 #115～#117	H型鋼支撐彎曲變形，噴凝土全部破壞。  H型鋼嚴重彎曲	架設16支 H型鋼支架及16公分噴凝土補強(含鋼線網二層) 灌漿改由此處頂拱空洞灌入 L.W.灌漿	無法抑止變形，H型鋼支架乃繼續彎曲變形，噴凝土破裂坍落。 灌漿失敗  繼續有大量泥漿湧出，#113～#120間之補強H型鋼彎曲變形。
79.8.28 18:00～22:00 22:10	#113～#120 #112	H型鋼變形情形繼續惡化，泥漿不斷湧出。	以鑽桿工法試灌L.W. 擬改以模板封面，全面施灌混凝土將隧道全部堵塞，以免發生崩潰。 泡沫砂漿機具及人員抵達工地。	效果不彰
79.8.29 7:00-11.00 9:00 11:00 13:30 14:10	#113～#120 #113～#120	臨時支撐上方有泥漿流動聲。 部份頂拱型鋼擠壓變形已漸抵達仰拱面。 隧道右側大量泥漿湧出。洞內轟然巨響，大量泥漿湧出至5k+100處，二名工程人員受傷送醫。	灌注泡沫砂漿，約128包水泥。  灌漿停止，機具人員撤退。	

## 五、災害原因分析

欲探討本次災害的原因，首先須了解斷層位置的區域特徵。由地形圖（圖三）可約略估算在斷層附近其覆土厚度差幾近250公尺（圖六），又阿本溪溪谷位於東卯山右側，地形的高差大約600公尺因而形成高水壓。依據現場目視及試驗結果，坍落段之地盤主要由下列二種材料組成：

1. 擠碎之石英砂岩及硬頁岩：由粒徑分析圖顯示其成份屬於級配良好之GM~SM，由礫石、砂及少部份篩#200以下之細粒組成，透水性不良，解壓後遇水崩解，強度大幅降低。
2. 斷層泥：為低塑性之沉泥質粘土，透水性極低，斷層泥呈帶狀分佈，阻斷了地下水路，導致地盤整體之力學行為及透水性變異甚大。

因此本區域可說是由高水力坡降及斷層而形成的不透水帶。尤其高山區的隧道，多蘊藏豐富地下水。而斷層帶破碎岩盤泡水後已先呈軟化，若未能事先採取地盤改良措施即逕行開挖容易造成岩盤解壓，擾動原岩盤結構，使岩盤喪失支持力，終至支撐系統無法承擔而造成坍方。



圖六 F 3 斷層現場相關示意圖

為提供今後施工之參考，根據前述的區域特徵及開挖施工過程，研判F 3斷層坍方之原因如下：

1. 由ST.5k+143.5至ST.5k+260.1段的地質，為易挖且乾燥的岩盤，由於情況比預期為佳，因此施工時便失去警覺心，亦為工進，而以較大膽的開挖速率掘進，以期儘早通過斷層。
2. F 3 斷層之原岩層為石英砂岩，偶夾頁岩，在受地殼強烈擠壓作用後，變質為含15%細料之泥，在地壓作用下原先極為緊密（約2.5噸/立方公尺），孔隙率極小，透水性亦極低，一旦開挖解壓即逐漸破壞岩盤之自持力，此時發生小抽心即應及時補救，才不致發生解壓、滲水、泥漿化、抽心等連鎖效應。在7月6日及18日在#118支保附近陸續發生兩次小抽心（抽方分別為81及118立方公尺）後，推斷此段上方已形成一空洞。雖經回填灌漿，但由其後泥漿大量湧出處（在#113~#120支保之間）支保變形形狀（呈M形，推測係支保回填上方有巨大岩壓所致）判斷，灌漿前隧道周圍之斷層帶已擴大，限於現場設備及時間緊迫未及時回填，致無法確實回填及地質改良，或多或少種下日後大抽心的禍因。
3. 於九月六日勘察現場時，發現隧道內滲流水約為180~300升/分。而九月十日颱風過境豪雨成災後，隧道內流水未見增加，顯示隧道上方250公尺之阿本溪溪水並無顯著滲入隧道跡象。所以地下水係局限在地層與斷層交接處之地下水櫃。而此高地下水位，於排水管濾水功能不良時，未能堅持及時以各種可能方法改善排水方式，以有效消除斷層背後高水壓，致使開挖解壓後高壓地下水循解壓裂隙滲入斷層泥更形成超額孔隙水壓。

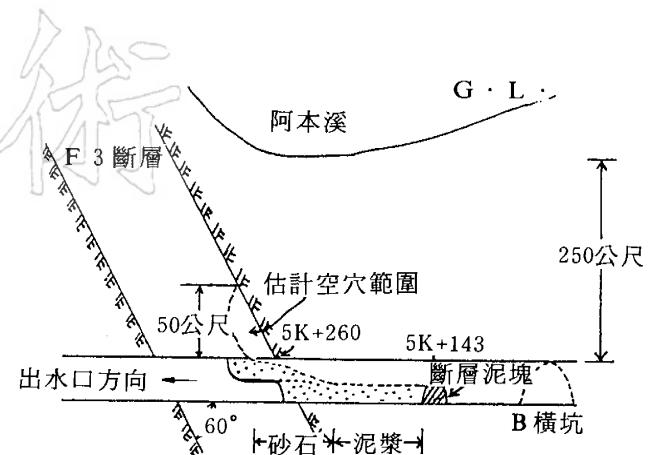
，土壤斷層泥有效應力降低，乃至於泥漿化；另於隧道在斷層中施工部份，噴凝土背後鬆軟泥層被滲流水淘洗帶入隧道，終於導致泥層中出現空洞加速解壓與空洞擴張，亦屬破壞支撐應力環，引發應力集中之禍首。

4.由抽心碴料量可推估空洞大小，並估算填滿空洞的灌漿量，灌漿效果可由單位體積進漿量推估，灌漿距離與壓力應妥善規劃，嚴格監控。且高壓水須於灌漿同時引流解壓。若必須提高灌漿壓力時，必須密切注意是否會發生擾動原有結構凝聚力的現象，因為此舉可能導致應力集中與支保變形，甚至於造成支撐系統無法承擔而造成坍方。

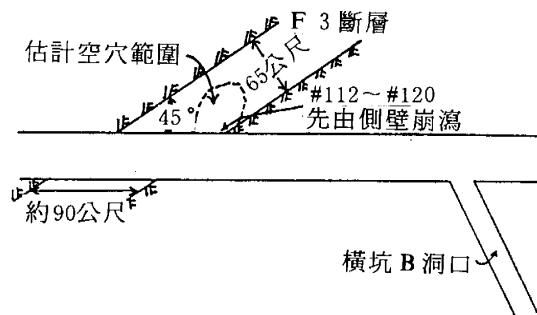
## 六、復舊方案分析

根據隧道內斷層泥出現位置，斷層與隧道約 $30^\circ$ 之交角以及隧道之高程等資料推算，隧道抽心位置在B橫坑旁阿本溪溪谷的正下方，該處隧道頂覆蓋層厚約250公尺，與斷層露頭最短距離約450公尺。隧道方向之斷層視傾角約 $45^\circ$ ，但隧道右壁方向之斷層真傾角約 $60^\circ$ 。綜合上所述各種層態數據資料，可繪製沿頭水隧道縱斷面圖及頭水隧道與F3斷層相交縱斷面圖與平面圖，如圖七及圖八。而由斷層材料之特性及現場情況研判，抽心段具有下列特色：

1. 坍落之碴料係由碎石、細砂、粘土及水組成，目前雖已穩定，但依其坍落時形成只有約 $7.5^\circ$ 之自然坡度加以判斷，碴料受擾動後極可能再度流動，因而排水，固結灌漿改善其強度為先期工作。
2. 抽心處目前仍有泥水間歇流出，排出的泥水顏色混濁，推斷該處上方空洞持續有間歇性的坍方發生。



圖七 頭水隧道縱斷面圖



圖八 頭水隧道與F3斷層相交平面圖

為防止再次坍方，危及人員安全並影響工期，在進行復舊施工時，必須先確立下列原則：

1. 良好之排水系統：由上節之探討，可知水是導致岩石強度弱化及引發超額孔隙水壓之主因，而局限在地層與斷層交接處有一地下水櫃，因此在處理坍塌段時須儘可能將此地下水排導掉。
2. 碴堆之固結：因碴堆為鬆散之堆積材料，強度不高且受擾動後，幾全變為泥漿，因此為安全起見，除排水外，應對部份碴料進行固結灌漿，提高其強度，以避免造成二度坍方。

### 3. 抽心空洞之回填及附近地盤之固結灌漿處理

處理：為防止抽心處上方空洞繼續擴大，危及鄰近支保，須對該空穴進行回填灌漿以提高空洞周圍地盤之強度。

### 4. 施工能力、機具之考量：鑽堡施工長度最長 20 公尺，而崩塌段長度超過 60 公尺，因此須分段進行固結灌漿。事實上以階梯混凝土塊作補強措施（圖六），而挖掘碴料坡角時，即會發現碴料再次抽動。因此機具的施工能力必須仔細考量。

依據上述之基本原則，業主、顧問公司、施工單位針對此次災變復舊工作，研提了三個方案：（一）甲案—逐段地質改良推進法。（二）乙案—甲案輔以排水導坑法。（三）丙案—隧道改線。以下分別就各方案討論之。

#### （一）甲案：逐段地質改良推進方案（圖九）。

處理步驟如下：

步驟 1：自 # 66 至 # 88 支保在已澆置完成之階梯混凝土面上鑽孔進行坍塌泥漿之固結及隧道周圍岩體之改良，灌漿完成後，鑽設排水孔。  
(其環數，長度及間距視實際情形調整)

步驟 2：於步驟 1 固結灌漿達到預期強度後，開始向前 5 公尺開挖隧道內之回填混凝土及固結後之碴料，然後以噴凝土封面。

步驟 3：再進行次一段 (# 87 ~ # 92 支保) 隧道內碴料固結及周圍岩體改良。並鑽設排水孔。

步驟 4：重覆步驟 2，3 之工作。往前推進至距離抽心處 15 公尺 (# 97 支保) 改採分二階梯封面。

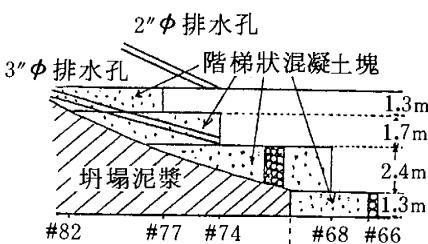
註：前進面之前，至少保持 10 公

尺以上之已處理地盤。

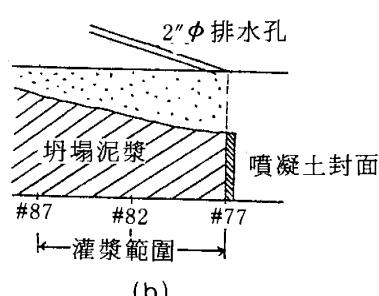
步驟 5：開挖前進至 # 120 支保時，改採上半部開挖並輔以鋼矢板工法，通過抽心段。

步驟 6：重覆步驟 5，採上半部開挖並輔以鋼矢板工法。

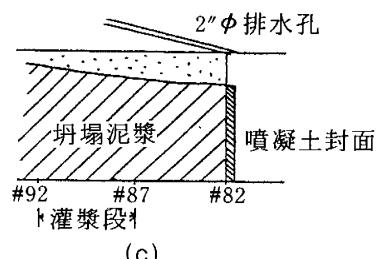
步驟 7：依上列灌漿、開挖順序，循序漸進至斷層帶全部通過為止。



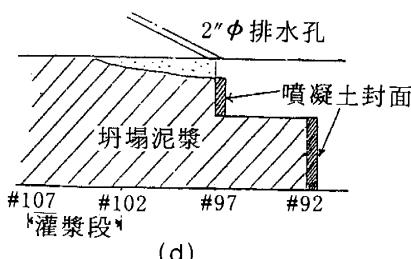
(a)



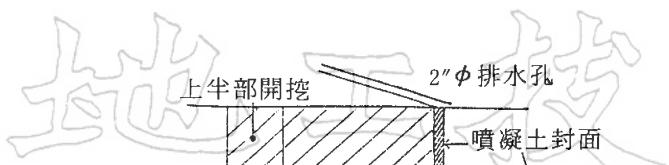
(b)



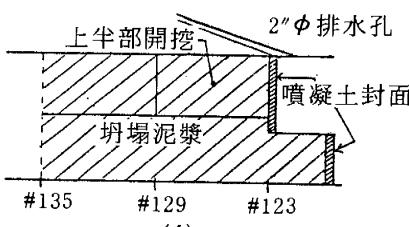
(c)



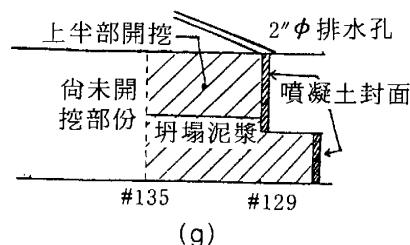
(d)



(e)



(f)



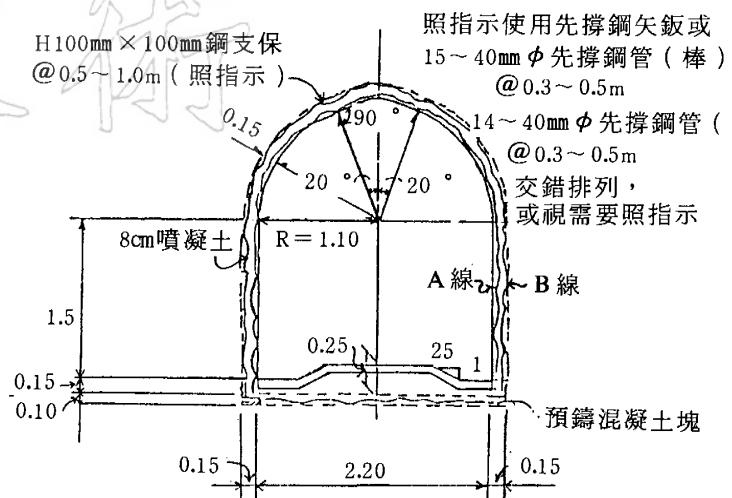
(g)

圖九 逐段地質改良施工步驟圖

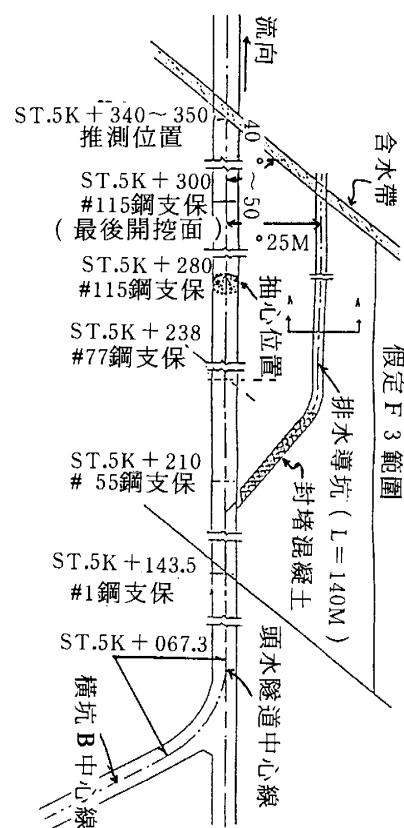
## (二) 乙案：甲案輔以排水導坑法

採取迂迴導坑的方式，由鄰近 F 3 斷層帶前段之堅硬岩盤地區，（約 # 1 ~ # 50 鋼支保間）在頭水隧道左側或右側（視地下水情況再作決定），開挖一條與頭水隧道平行的排水導坑，跨過頭水隧道上方推進至頭水隧道抽場處，尋找斷層帶後方的含水帶，有效地將地下水導出，導坑的斷面尺寸約 2.5M × 2.5M。（圖十）。

排水導坑的功用除可以減輕頭水隧道所受的水壓外，尚有預先探查前方斷層地質狀況的功能，並可由上向下灌漿改良地盤或處理抽心部份之回填灌漿。排水導坑之施工在接近抽心段時要輔以鋼矢鋸工法，施作斷面如圖十一。



圖十 側排水導坑平面佈置圖



圖十一 抽心段復舊之工作斷面圖

## (三)丙案：隧道改線

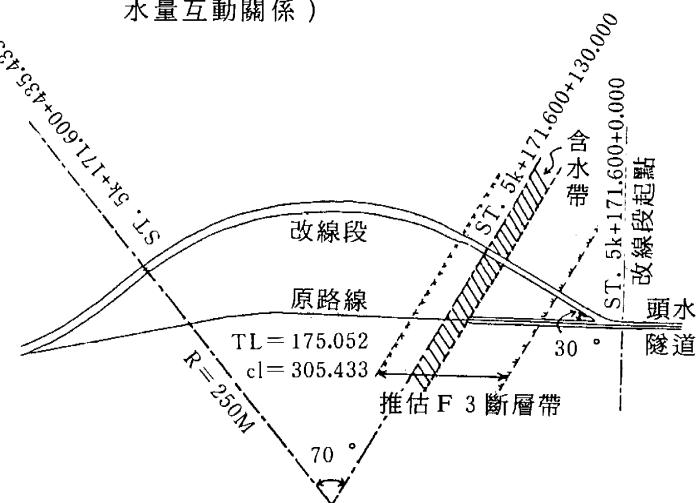
原有頭水隧道先以階梯混凝土塊將崩塌泥漿加以穩固，防止其繼續崩塌。另外選取兩個改線方案：其中丙一案將改線隧道口退回至原B橫坑入口處，以直線穿越斷層帶。丙二案將改線入口處選於#37～#55鋼支保之間，以非直線方式穿越斷層帶（圖十二）。

## 七、復舊段施工

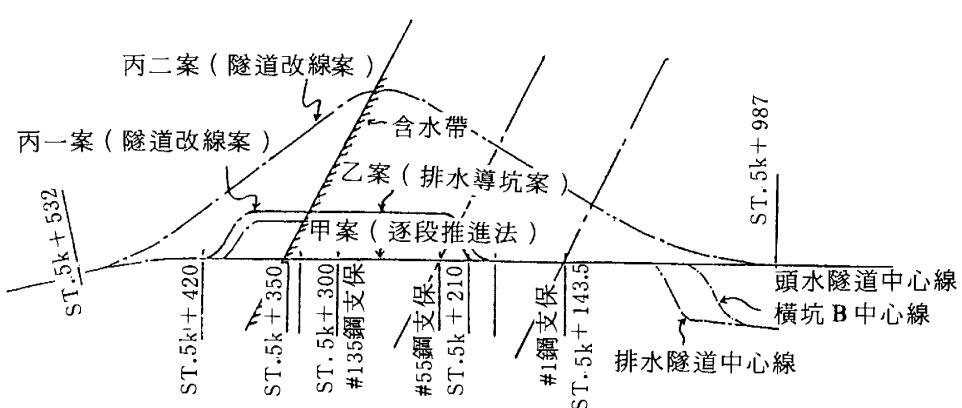
頭水隧道 ST.5k+277～ST.5k+284間自79年8月29日發生約3360立方公尺大抽心後，經過三次檢討會，於79年10月16日決定採取隧道改線。由於處理斷層段之工程費用較一般段高出近十倍，基於成本之考量乃由山側改線並採直線穿越斷層帶（圖十三），與上節所提丙一案之路線有所不同，於改線段開挖之前，先於改線分歧段施作固結灌漿，並在原隧道右側澆置混凝土側牆，以穩定分歧段之地盤結構（此工程耗時一個月）。於79年12月3日正式進行改線段開挖，在ST.5k+171.6+101處進入斷層帶，經謹慎開挖，於80年6月6日前進至ST.5k+171.6+122處，終於順利通過F3斷

層帶。在進入F3斷層前，即先行基礎處理，其工作如下：

- 一：18M探查孔
- 二：前進排水管
- 三：後續排水管
- 四：收斂計測
- 五：1M填充灌漿
- 六：6M固結灌漿
- 七：地下水滲流監視、研判（包括開挖面、廢棄段與改線段之間出水位置與出水量互動關係）



圖十三 改線隧道道路線圖



圖十二 隧道處理各方案平面示意圖

在進入 F 3 斷層後其開挖程序如下：

- 步驟一：打先撐鋼管幕（管幕灌漿）
- 步驟二：爆破鑽孔
- 步驟三：裝藥開炸
- 步驟四：通風出碴
- 步驟五：組立支保
- 步驟六：掛網
- 步驟七：噴混凝土
- 步驟八：打岩釘

雖然已順利通過原先預估之 F 3 斷層帶，而繼續前進開挖，但於 80 年 8 月 19 日及 80 年 9 月 7 日又先後發生兩次抽心災變。為與 F 3 斷層有所區別，將此破碎帶稱之為 F 3' 斷層。至於為何通過 F 3 斷層後又發生抽心，F 3 斷層與 F 3' 斷層是否有相關性，本篇不作討論。

## 八、結論與建議

本次斷層災變，最後以改線落幕，是否為最佳方案？由於不可能有其他方案同時進行，因此無從比較，但改線路線之選擇仍留下一些可以討論的空間：

(1) 入口處之選擇：改線段之起點選擇於 ST. 5k+171 處，在改線之前為了改善入口開挖面附近之岩盤，即花費一個月的時間於分歧段澆置側牆混凝土及實施岩盤固結灌漿。而且在 ST. 5k+171 附近架有鋼支保，開挖施工較為麻煩。若改線入口處里程選擇在 ST. 5k+143.5 之前，雖然改線隧道長度約長了 30 公尺，但在里程 ST. 5k+143.5 處以前之岩盤良好，無需改良岩盤即可逕行開挖，且無修改鋼支保造成施工開挖之困擾，或許較為有利。

(2) 路線曲率之選擇：本隧道襯砌使用的簪樑式 (Needle-Beam Type) 鋼模，每模

長 12 公尺，若隧道道路線曲率變化頻繁，則須於曲率半徑變化處重新拆除、組立鋼模，若其曲率半徑太小，則所得之襯砌面將超出規範之施工公差，必須另行組立長度較短之鋼模，如此將增加鋼模之費用，且鋼模長度愈短，施工輪進模數越多，亦將延長工期。而且就整體工程效益而言，曲率半徑愈大其水頭損失愈小；當然曲率半徑太大，可能造成路線太長，兩者必須有一平衡點。

(3) 新改路線與原路線之距離：若兩路線相距太近，雖改線隧道長度較短，但易受原頭水隧道抽心段空洞的影響；但若相距太遠，則改線隧道長度較長，增加成本工期，且舊有隧道之地質經驗較難對比在新路線上，並且地下水滲流監測效果可能降低，如何抉擇，就有賴工程師作智慧的判斷了。

地質在隧道工程上扮演極重要的角色已是無庸置疑的事，但在國內地質師似乎僅在定線階段受重視，因此在施工階段才屢生災變。事實上災變發生後處理所花的代價，遠比事前採取必要的措施來得高，這點有賴業主、監造、和施工單位取得共識；事前作小的投資才能防止事發後付出更大的代價。基於屢次慘痛的經驗，為地質師建立權威，實是刻不容緩的事。

## 誌謝

本文承蒙施工單位中華工程公司新天輪施工所倪肇明工程師提供詳盡的資料和解說分析，及中華工程公司技術中心李一民先生協助整理文稿，使本文得以順利完成，特別在此致謝。

## 參考文獻

臺灣電力公司（民國 70 年）“新天輪水力發電計畫可行性規畫研究報告”修訂本。

中興工程顧問社（民國 79 年）“頭水隧道 F 3 斷層抽心探討及對策報告”。

中華工程公司（民國 79 年）“新天輪水力發電計畫頭水隧道橫坑 B 下口抽心調查報告”

中華工程公司新天輪施工所（民國 79、80 年）“民國 79.7 至 80.9 施工日誌”。