

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

(裝訂線)

實習「高壓噴射灌漿應用於壩基礎剪裂帶處理技術」

服務機關：台灣電力公司

出國人職稱：主管水路

姓名：廖向民

出國地區：日本

出國日期：九十一年十二月十二~二十三日

報告日期：九十二年二月十四日

64/c09200250

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：高壓噴射灌漿應用於壩基礎剪裂帶處理技術

頁數 30 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司人事處/陳德隆/二三六六七六八五

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

廖向民/台灣電力公司/營建處/主管水路 /二三六六六九七〇

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：91.12.12~23

出國地區：日本

報告日期：92.2.14

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

經多年來不斷研發改良，高壓噴射灌漿工法已廣泛應用到基礎改良、隧道軟弱地層開挖等，為非常重要且具潛力之新興工法。壩基礎為土質地層時，應用高壓噴射灌漿工法以強化基礎之承载力與達成基礎之止水性，於近十年已多有成功案例，且本工法亦可應用於水庫周邊風化嚴重山脊以形成止水幕。至於壩基礎為岩層地質（含剪裂帶）時，則至目前為止仍未有真正使用之案例，本報告提供既有工程實例，就高壓噴射灌漿工法於設計上與施工實務上可能遭遇困難，深入分析原因，以做為本公司日後研究與類似工程之參考。另為求個別工程之適合性與較確定成果，建議仍需進行現地試驗。

本報告另亦蒐集與簡介高壓噴射灌漿工法於壩工以外之工程應用。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

# 高壓噴射灌漿應用於壩基礎剪裂帶處理技術

前言	2
第一章 土層地質之改良	
一、土層地質改良工法之選擇	3
二、土層地質改良工法之分類	3
三、固結類改良工法之說明	3
第二章 高壓噴射灌漿工法	
一、高壓噴射灌漿之發展	5
二、高壓噴射灌漿原理	5
三、高壓噴射灌漿說明	6
四、高壓噴射灌漿工法之選擇	10
第三章 高壓噴射灌漿設計參數訂定	
一、設計參數訂定步驟	11
二、高壓噴射灌漿設計參數參考值及參考成果	14
第四章 高壓噴射灌漿應用於壩基礎	
一、灌漿基本配置	16
二、壩基礎為土質地層	16
三、壩基礎為岩質地層（含剪裂帶）	19
第五章 高壓噴射灌漿工法於其他工程應用	22~24
第六章 感想與建議	25~26
附錄一	27~30

## 前言

高壓噴射灌漿係在 1950 年代末期由英國構想出來的地質改良工法，直到 1970 年代初期，日本進一步發展後，才成功地應用到砂土層之改良處理，多年來不斷研發改良機具設備之性能，噴射壓力從最初之  $200\text{kg}/\text{cm}^2$  發展至  $400\text{kg}/\text{cm}^2$  甚而可達到  $700\text{kg}/\text{cm}^2$ ，噴射灌漿所形成之柱體直徑已擴大、效果亦已改善，設計及施工案例大為增加。高壓噴射灌漿工法已成為基礎改良，甚而廣泛應用到隧道軟弱地層開挖，為非常重要且具潛力之新興工法。

本次至高壓噴射灌漿工法之重要發源地—日本，並以執日本水力發電牛耳之 EPDC 為研習目的地，透過與專家研討及資料蒐集方式吸取新知，並參考國內之新進研究與應用成果，整理出本報告供本公司往後運用該工法之參考。雖然 EPDC 未對此短天期之研習收取費用，但該公司之熱心接待及認真說明令人印象深刻。

研習期間 EPDC 並曾安排一整天時間，至其所屬之水力發電廠機組擴充工地—奧只見發電所—見習，該發電所於原設置之三部（各 12 萬 KW）水力機組外，另增加一部 20 萬 KW 大型水力機組。為保護該區保育類動物—金鷹（Golden Eagle）—之生育、繁殖不受工程施工之影響，工地每年之主要土木工程施工期間均限制於 7~10 月間，此種環保要求之心態令人佩服。本報告亦將該機組擴充工程之相關土木工程新技術簡明敘述併入附錄內，以作為本公司未來有類似需求時之參考。

## 第一章 土層地質之改良

長久以來，改良土層地質之力學特性，在基礎工程領域內都是極重要的課題，特別是應用於新建或既有建物之荷重土層、深層土層地質之止水及隧道不良地質之通過等。

由於土層地質之工程特性差異很大，即使同一工址之基礎土層，亦常隨區域、深度而有不同配比（砂性土、黏性土、礫石顆粒）、不同緊密度、不同地下水情況等，而基礎土層改良之主要目的及其欲達到之標準又隨建物設施之需求而異。是故，改良工法之選擇應多所考量，而為達設計功能常需採用一種以上之工法方可達成目的。

### 一、土層地質改良工法之選擇

於諸多土層地質改良工法中，如何選擇適合工法（或酌予修改）進行地質改良，其主要考量因素大致如下：

- 1、基礎土層種類、力學特性及改良前之工程條件
- 2、改良後之需求標準：改良後土層之工程性質需求（強度、止水性、壓縮性等）
- 3、改良深度與面積
- 4、施工技術與經驗之水準
- 5、施工機械及設備之供應
- 6、對環境之可能衝擊
- 7、工期與成本
- 8、施工品質控制之難易

### 二、土層地質改良工法之分類

土層地質改良工法大致可分為壓密、夯實、置換及固結四大類別：

- 1、壓密類：適用於黏性土，如排水預壓（排水系統加預壓系統）
- 2、夯實類：適用於砂性土，如動力壓密、擠壓工法
- 3、置換類：適用於黏性土及砂性土，如挖除置換或強制置換
- 4、固結類：適用於黏性土及砂性土，如攪拌工法、灌漿工法

### 三、固結類改良工法之說明

本次研習之「高壓噴射灌漿工法」係屬前述固結類別之改良工法，故該類別之工法（攪拌工法—「機械攪拌」及「高壓噴射灌漿」；灌漿工法—「滲透灌漿」、「壓密灌漿」及「擠入灌漿」）簡述如下以茲區別：

## 1、攪拌工法

本工法於地層中以機具直接或間接攪拌土層並注入硬化劑，使土層與硬化劑混合膠結成固結體。

### (1)、機械攪拌：

係以重型大扭力之履帶型鑽機，利用前端附有攪拌翼之複式中空鑽桿，攪拌翼之直徑與樁徑相當（常用 60CM），配合水壓沖洗而鑽至設計深度後，提昇鑽桿同時以適當壓力（80~150kg/cm<sup>2</sup>）噴出硬化劑，將水泥漿液與被改良範圍土體攪拌混合形成固結樁體。

### (2)、高壓噴射灌漿（High Pressure Jet Grouting）：

本工法亦有人將之分類於後述灌漿工法。係利用裝有朝下噴嘴之噴射管，鑽挖至設計深度後提昇噴射管，改用水平噴嘴，以高壓噴射方式對地層產生切削作用，使周圍一定距離內土層顆粒就地充分與硬化劑結合成固結體。

## 2、灌漿工法

### (1)、滲透灌漿（Permeation Grouting）：

在不明顯改變砂土層結構及體積情況下，以低壓將漿液灌入砂土層，以滲透方式填充土層空隙，視砂土層之滲透率而選用不同漿材。

$K > 10^{-2}$ cm/sec	使用水泥漿
$10^{-2}$ cm/sec $> K > 10^{-4}$ cm/sec	使用水泥與矽酸鈉溶液混合漿 (即 LW 漿)
$10^{-5}$ cm/sec	使用樹脂漿
$K < 10^{-6}$ cm/sec	不適用滲透灌漿

### (2)、壓密灌漿（Compact Grouting）：

將內摩擦力高且粘滯性大之濃水泥砂漿灌入可壓密之砂土層中，同時由鑽孔徑向排擠壓密周圍之砂土層，進而達到土體實質的密實。

### (3)、擠入灌漿（Squeeze Grouting）：

水泥漿在高壓下灌入砂土層中，砂土層因水力擠裂所生裂縫為漿液填滿，型成楔狀作用，因而增加砂土層內應力及強度，且填充不連續空隙，使砂土層形成密實固結體。

## 第二章 高壓噴射灌漿工法

### 一、高壓噴射灌漿之發展

基本上，高壓噴射灌漿工法均源自幾乎同時（1970）於日本發展出來之兩種工法：CCP（Chemical Churning Pile）系統與 CJG（Column Jet Grout）系統。前者由日產冷凍公司之 Nakanishi 提出；後者由 Kajima 之 Yahiro 提出，又稱為 Kajima Method。

CCP 於比薩斜塔穩定工程之國際選案評比中得獎而初露鋒芒，該源自日本之工法原係噴灌化學漿，後來亦開始使用高壓力水泥漿直接攪動鑽孔周圍土體，漿液係經過單管噴出。CJG 則以壓縮空氣伴著高壓噴水攪動周圍土體，空氣之包裹高壓水增加土體攪動範圍，再由空氣—水噴嘴下方 10~15cm 噴嘴噴出水泥漿，拌合經空氣—水之切割淨化（細顆粒土被帶出）後土體。CJG 噴漿管由三支同心管組成，外管供給空氣、中間管供給水流，內管則供給水泥漿。

Nakanishi 後來又提出 JSG（Jumbo Special Grout）系統，係將噴出之水泥漿液以壓縮空氣包裹，以加強其效果，正如同 CJG 以壓縮空氣包裹噴出之水。JSG 噴漿管由兩支同心管組成，外管供給空氣、內管則供給水泥漿。

前述三系統（CCP 系統—單重管、JSG 系統—雙重管及 CJG 系統—三重管）經許多國際專業公司於機具研發及工程實務不斷改良，使高壓噴射灌漿工法今日蓬勃發展。惟此工法最初僅以約  $200\text{kg}/\text{cm}^2$  噴射壓力、慢轉速、低提昇速率及定量噴漿，在垂直地表方向進行改善土層強度及進行止水之一種灌漿方法。其後為擴大效果及柱體直徑，改良機具設備性能，而發展至  $400\text{kg}/\text{cm}^2$  噴射壓力，甚而更有  $700$  噴射壓力。歐洲應用此工法較日本晚十年，但先發展出水平噴射灌漿，對隧道軟弱地質預先改良支撐保護，以利後開挖之安全。

### 二、高壓噴射灌漿原理

一般傳統灌漿係以低於  $100\text{kg}/\text{cm}^2$  之壓力，將膠結用之漿液由灌漿孔灌入岩盤空隙或土質地層孔隙內，漿液僅能填實有限流徑。而高壓噴射灌漿則係藉由旋轉及提昇噴漿管，使高動能之流體衝擊與切削周圍土質地層，擾動與破壞原有土層結構，再以膠結漿液灌入或置換，就地重行結合土質地層，而達到強化鑽孔周圍土質地層之力學性質、改良水密性、增加承載能力等目的。

不論土質地層之種類、透水性及顆粒及配，高壓噴射灌漿均可應用，理論上，只本工法適用於所有種類土質地層，從軟弱黏土、粉土、砂、礫石均可達成一定效果。實務上，水泥漿為最常用之硬化劑，而在止水為目的之土質地層改良，水泥漿加膨脹土（bentonite）經常被混合使用。

### 三、高壓噴射灌漿工法說明：

#### 1、CCP系統（單重管）

- a、使用水、空氣、硬化劑等做為沖挖介質，以旋轉或旋轉衝擊方式鑽挖至預定深度。
- b、關閉鑽桿（以鋼珠導入塞住底部）沖挖部分，以高壓（ $200\sim 600\text{kg/cm}^2$ ）使漿液自一組噴嘴（略高於鑽頭部分）噴出。
- c、漿液射入土體之同時，漿鑽桿旋轉及緩緩提起。旋轉速率約 $10\sim 20\text{rpm}$ ；提起速率約 $20\sim 50\text{cm/min}$ 。
- d、本系統處理範圍 $50\sim 100\text{cm}$ 。
- e、本系統具多用途，可應用於傾斜方式，故適合於既有結構之基礎加固及施工場地受限之隧道中。
- f、本系統組合容易，施工時間相對較短，且具有便宜、乾淨及噪音小等優點。
- g、本系統單重噴漿管之噴口及漿液噴灌方式如圖 2.1
- h、本系統主要設備如圖 2.4。  
包括旋轉衝擊式履帶鑽機  
高壓及高流量 pump（ $200\sim 600\text{ kg/cm}^2$ ， $300\text{ l/min}$ ）  
適當計時器，以準確控制兼鑽桿之噴漿管分級提昇  
高效能拌漿設備

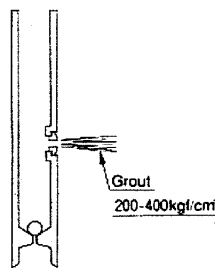


圖 2.1（單重管噴嘴）



## 2、JSG 系統 (雙重管)

- a、本系統係源自 CCP 系統，但增加使用壓縮空氣以使硬化劑（膠結漿液）處理範圍擴大。
- b、壓縮空氣與硬化劑分別經由同軸雙通路管噴漿管，送至鑽頭附近之噴口，硬化劑經壓縮空氣“包裹”後噴出。
- c、本系統處理範圍 80~200cm。
- d、本系統除增加壓縮空氣設備及採用同軸之雙重噴漿管（圖 2.2）外，主要設備（圖 2.5）與 CCP 系統相同。

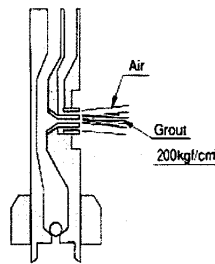


圖 2.2  
(雙重管噴嘴)

## 3、CJG 系統 (三重管)

- a、本系統一般而言，使用不同之鑽桿與噴漿管。
- b、自噴漿管噴嘴以高壓水切削、攪動土體，不同於前兩系統係以膠結漿液為之，而壓縮空氣亦被使用。註：壓縮空氣有雙重功用：  
※增加高壓水之切削、攪動效果。  
※經由鑽桿與孔壁環狀間隙，將剩餘水及細粒土送至地表。
- c、同時，由高壓水與壓縮空氣下方之噴口，噴出（約  $50 \text{ kg/cm}^2$ ）水泥漿等硬化劑進入周圍之土水混合體。
- d、本系統處理範圍 150~300cm。
- e、當土質地層鑽孔不易，需盡量少鑽孔時，本系統具有優勢。
- f、本系統較為複雜，需具備較多設備，且噴灌同時大量石粉土削由鑽孔中冒出，須予抽除運棄。
- g、於施工空間有限及透水性不良土層，本系統費用昂貴又使用不便。
- h、本系統三重噴漿管之噴口及漿液噴灌方式如圖 2.3。

i、本系統主要設備如圖 2.6。

包括旋轉衝擊式履帶鑽機

高壓及高流量 pump (  $700 \text{ kg/cm}^2$ ,  $300 \text{ l/min}$  )

低壓 pump (  $100 \text{ kg/cm}^2$ ,  $1000 \text{ l/min}$  )

適當計時器，以準確控制兼鑽桿之噴漿管分級提昇

高效能拌漿設備

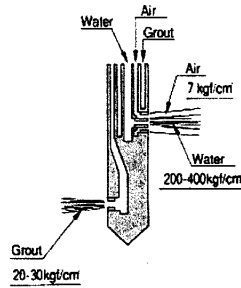


圖 2.3

(三重管噴嘴)

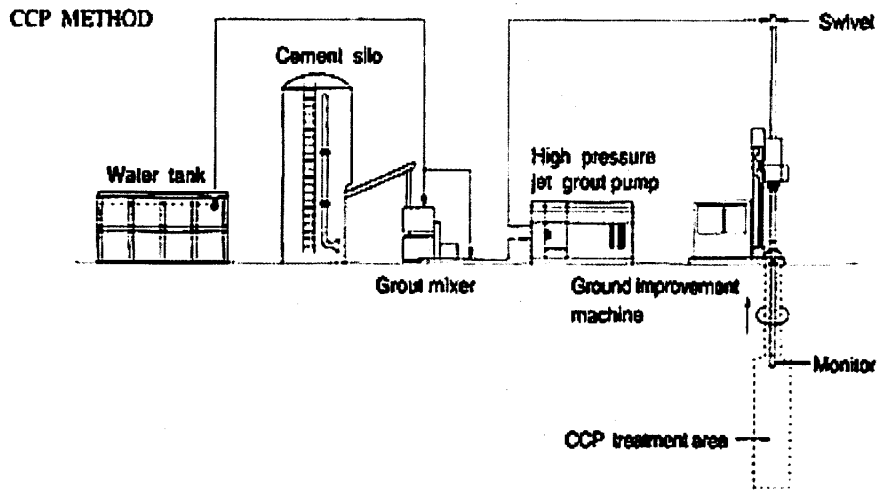


圖 2.4

(CCP 系統主要設備佈置)

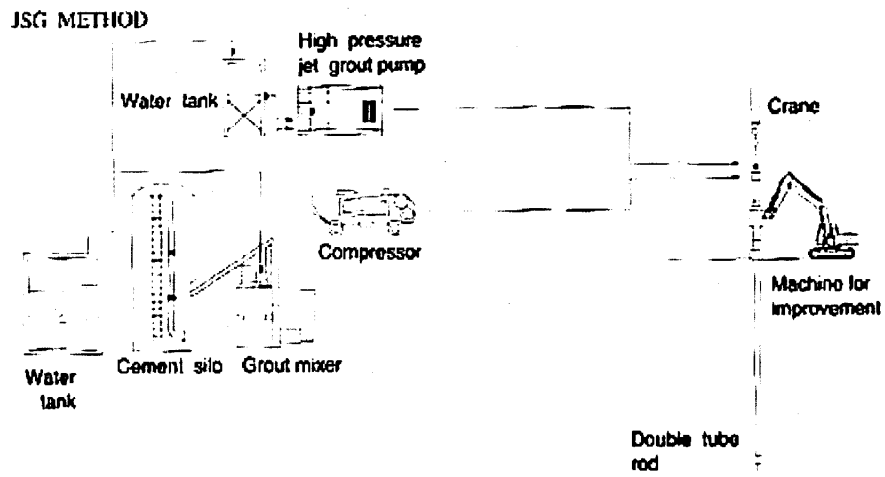


圖 2.5  
(JSG 系統主要設備佈置)

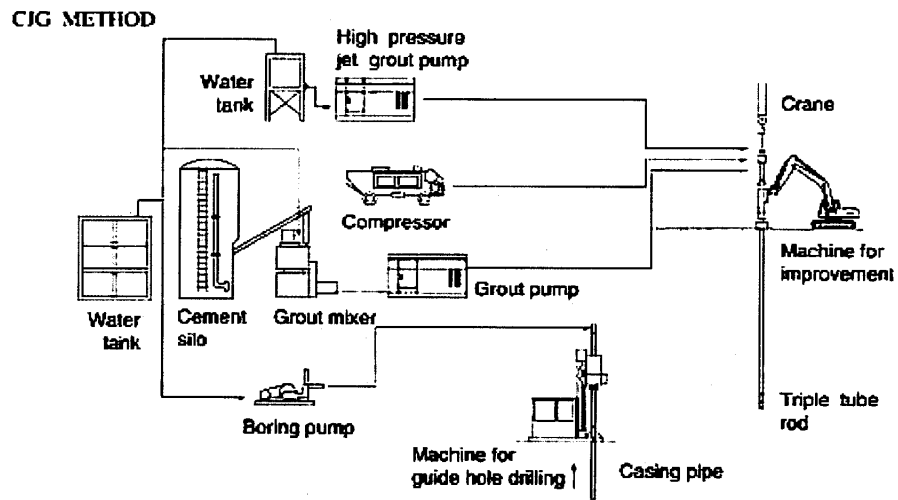
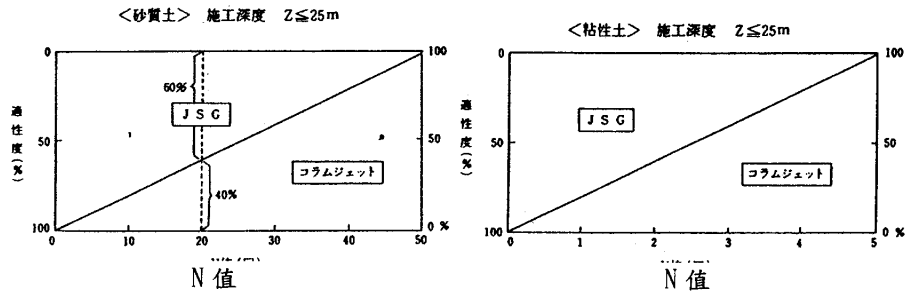


圖 2.6  
(CJG 系統主要設備佈置)

#### 四、高壓噴射灌漿工法之選擇：

下圖（圖 2.7）摘自日本 EPDC 之「高壓噴射灌漿工法之設計與施工」，對於灌漿深度小於 25M 工址，提出 JSG 工法與 CJG 工法之適合度圖表供參考。至於深度大於 25m 時，砂質土 N 值於 50~200，粘性土 N 值於 5~10，仍建議採用 CJG 工法。



### 第三章、高壓噴射灌漿設計參數訂定

#### 一、設計參數訂定步驟

為了獲得適合於工址地質、促進工進、降低經費與增大噴灌效果，承包商在施工前均需完成許多試驗，以建立計算公式，進而幫助決定施工過程使用之各有關參數。由於各大型承包商均視此為商業機密，大都不願意透露其豐富之經驗與各種地質之詳細試驗結果，致許多噴灌參數均無法引用。雖然如此，工程師仍有一些公認的準則，以計算各種不同土質地層使用之初始設計參數。

不論如何，對於特地工地所選用之設計參數，均應進行現地試驗，以確認所選之設計參數符合設計與施工要求。

對於工址土質地層之種類及情況應先進行了解，而影響高壓噴射灌漿效果之主要因素：土質地層種類、密實度〈SPT，標準貫入試驗打擊數〉、假密度〈Bulk Density〉、粒徑分布、含水量及阿太保限度等。

**STEP 1**、第一步需先選定處理後之需求最終強度，再參考下圖（圖 3.1）定出每立方公尺土體需使用多少水泥量，方可達到需求強度。

§、施工經驗豐富後，更能簡單而正確決定此參數。

§、如果使用水泥以外之漿材時，必須再做現地試驗或試驗室實驗以定之。

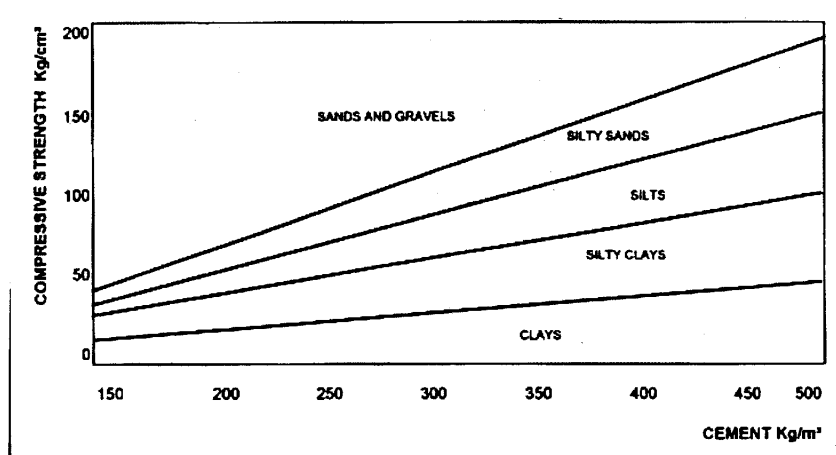


圖 3.1 噴灌柱體抗壓強度 vs. 灌漿量

〈不同之土質地層〉

**STEP 2**、選擇處理土質地層所要噴漿柱直徑，並估算每公尺柱體噴灌所需水泥量。

**STEP 3**、選擇漿材組成比例：漿材必須具有可 pump 特性，就水泥漿而言，水泥與水的配比會影響漿材之可 pump 特性，亦會影響噴漿柱強度。水灰比越高則水泥將之可 pump 性越佳，但噴漿柱之最終強度隨之降低。

◆水泥漿配比亦需考量下述地層條件：土質特性、粒徑分布、滲透率及含水量等。

◆於透水之砂礫層，現地所含水及漿液含水可從地層中逸去，故漿液可使用較高水灰比。反之，具黏滯性、低滲透率之土層，因排水不易而需用較低水灰比，以獲得較佳強度。

(在高滲透性土質地層且強度為次要考量時，漿液中可加入膨脹土，以減低處理地層之透水效果。

(通常，漿液使用之水灰為比 1.0~1.5，但是理想的漿液配比是從現地試驗中取得。

**STEP 4**：從前述三步驟計算出每公尺長灌漿柱所需噴漿總量。

**STEP 5**：選擇噴灌壓力（通常 200~600kg/cm<sup>2</sup>），但理想之噴灌壓力係依據過去之經驗累積和現地試驗而得。這一參數與高壓 pump 之能力以及土質地層之特性有關，噴灌的壓力越高、噴漿的動能越大，造成土質地層結構之破壞能力也越高。

(認為噴漿壓力越大，則處理之噴漿柱體之直徑越大，是一種迷思。

噴漿柱體之直徑主控於在某一定區段漿液持續噴灌之時間長短。

**STEP 6**：選擇適合鑽桿之噴嘴大小及數量，以及從下方之〈壓力/流量〉圖（圖 3.2）中決定漿液流量。

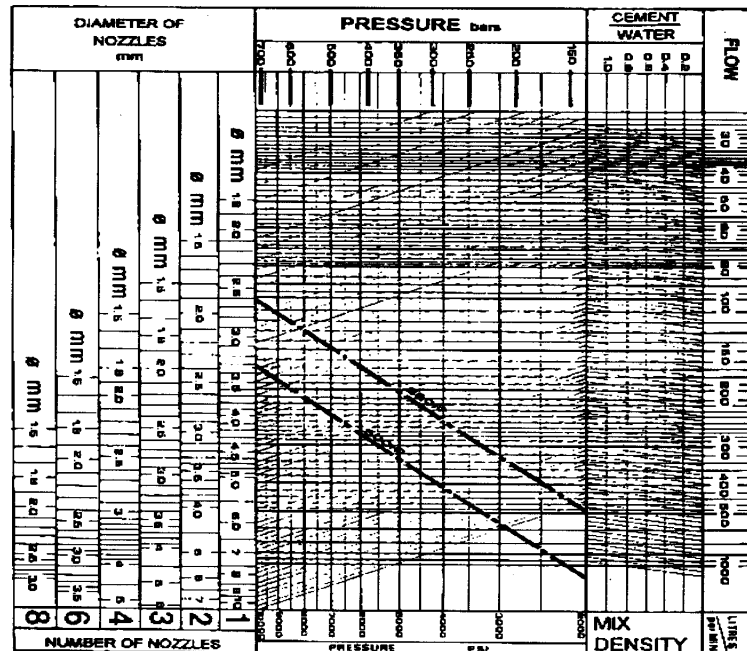


圖 3.2

STEP 7：從步驟 4 及步驟 6 計算每公尺噴漿柱之噴灌時間。

STEP 8：選擇提昇級距（通常為 3~8cm），並且計算每級預定漿量之噴灌時間。

STEP 9：選擇鑽桿之選轉速率，每提昇級距應旋轉一至兩圈。

使用上述九步驟所得設計參數，並據以執行一系列之現地試驗。試驗時，每組三支噴漿柱，施做四組或更多組數，每組採不同之漿液混合比、流量及每級時間。

於固結強度達成後，應開挖檢查坑以檢核噴漿柱直徑、強度。於較深處之噴漿柱開挖不易，則以鑽取岩心方式檢視，並可以滲漏試驗檢核其止水效果。最後，從上述試驗之結果修正設計參數，以求得適合工址之理想參數。下圖為現地試驗（圖 3.3）及試坑開挖（圖 3.4）之情形。

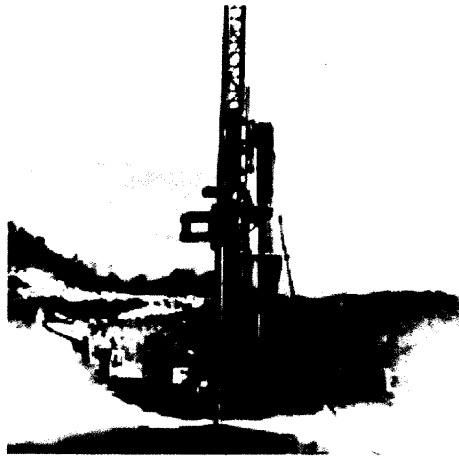


圖 3.3



圖 3.4

## 二、高壓噴射灌漿設計參數參考值及參考成果

### (一)、美國加州 Hennessy International 之建議設計參數

噴灌系統	CCP	JSG	CJG	
噴灌液	膠結漿液	膠結漿液/空氣	水/空氣	膠結漿液
壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )	200~400	200	400	20~30
流量 (l/min)	60~100	60	70	180~200
噴嘴直徑 (mm)	2.0~3.0	2.0~3.5	2.0~3.5	
噴漿管種類	單重管	雙重管	三重管	
空氣— 壓力 (kg/cm <sup>2</sup> ) 流量 (m <sup>3</sup> /min)	不使用空氣	7 1.2~4	7 1~3	
噴漿管轉速 (rpm)	10~20	5~10	5	
適用土質及範圍	N<10 黏性土 N<15 砂性土	N<10 黏性土 N<40 砂性土	N<10 黏性土 N<50 砂性土	
固結樁直徑 (cm)	50~100	80~150	150~300	
固結樁強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	25~30 30~40	20 40~100	10~50 50~150	
噴漿管昇速 m/min)	3~5	6~20	20	
噴灌系統特性	1、噴灌設備與使用於化學漿者大致相同 2、設備體積小且簡單 3、鑽桿亦兼噴漿管 4、不置換土體中之石屑與泥粉	1、具高機動性 2、施工安全、穩定 3、固結樁直徑加大 4、固結樁強度增加 5、土體中之石屑與泥粉部分被置換	1、噴灌設備體積大且複雜 2、鑽孔 (dia. 135mm) 作業須先進行 3、置換土體中石屑與泥粉以得到滿意結果 4、固結樁直徑與強度加大許多 5、需有處理石屑與泥粉之設備	



(二)、義大利 Casagrande Co. 之建議設計參數

噴射灌漿參數	CCP		JSG		CJG	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
膠結漿噴灌壓力	200	600	300	600	30	70
膠結漿流量	40	120	70	150	70	150
空氣壓力	-	-	6	12	6	12
空氣流量	-	-	2000	6000	2000	6000
水噴射壓力	-	-	-	-	200	500
水流量	-	-	-	-	70	150
膠結漿噴嘴直徑	1.5	3	1.5	3	4	8
水噴嘴直徑	-	-	-	-	1.5	3
空氣噴嘴直徑	-	-	1	2	1	2
旋轉速率	10	25	5	10	5	10
提昇速率	10	50	7	30	5	30

## 第四章 高壓噴射灌漿應用於壩基礎

不同壩型、不同壩高、不同壩址地形、甚至不同安全要求，壩基之地質需求條件並不盡相同，但均有一定程度標準。

對於土質基礎（沖積層或高度風化層）一般均視為較軟弱地層，建壩時常考慮將其移除以達深層之較佳地質。惟沖積層或高度風化層具相當厚度時，若採移除方式之施工困難且土方量相當驚人，此時，則應考量以高壓噴射灌漿就地改善其承载力及止水性之可能。

對於岩質基礎，由於硬度太高並不適合施做高壓噴射灌漿，惟若岩質基礎具剪裂帶時，該剪裂地質弱帶可否以高壓噴射灌漿方式達成壩工基礎之承载力需求及止水需求？亦將於本章加以探討。

### 一、灌漿基本配置

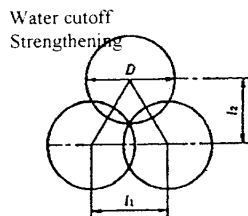


圖 4.1 止水及強化型

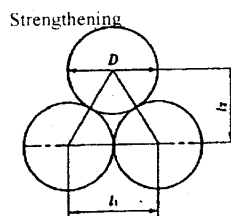


圖 4.2 強化型

### 二、壩基礎為土質地層

高壓噴射灌漿應用於壩基礎土質地層(包含砂質土、黏質土、礫石，或其混合體)之案例，於近十年逐漸增多，本公司之士林壩即為於河床沖積層上建壩，並以高壓噴射灌漿工法完成左右岸重要結構基礎強化之成功案例。為求多方借鏡他人長處，本報告亦另蒐集兩座以高壓噴射灌漿工法處理止水幕之案例，並以圖示說明。

#### (一) 士林壩

位於大安溪中游之士林壩壩址，河床中間段基岩上之砂礫層平均厚度達 47m，透水係數達  $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{cm/sec}$ 。砂礫層組成特性：深度 27m 以上，大於 10cm 礫石（22~25%）比例低，且粒徑變化小；深度 27m 以下，大於 10cm 礫石（33~54%）比例較高，尤其在基岩面上方為明顯較大礫石富集帶。

施工單位對於壩體及左右岸重要結構物（進水口、魚道、排砂道、側溢道等）下方基礎之承载力強化及止水處理，曾就施工難易度、成本與工進綜合研判，認為高壓噴射灌漿工法應優於導管式灌漿工法。

- 1、士林壩高壓噴射灌漿工法試驗簡介：
  - a、試驗佈置：河床中央施做兩組（每組三孔）試驗，採三角型佈置，孔距分別為 1.0m&1.2m。第一組施噴水泥漿；第二組則攙入飛灰。
  - b、鑽孔：採用 133mm $\phi$  之套管及 73mm $\phi$  內鑽桿，為避免坍孔採上而下之分級鑽孔（每級 10~15m），鑽至預定深度先拔出內鑽桿，接著拔出外套管同時注入膨土液保護孔壁。
  - c、灌漿前透水試驗：每組第一孔，每隔 5m 拔起外套管 1m 施做定水頭試驗以了解灌漿前之透水情形。
  - d、噴漿：義大利製 C-8 型履帶灌漿鑽機配以雙重灌漿管（屬 JSG 方式）施做，雙重管之底端裝設兩個側向噴嘴，以 400kg/cm<sup>2</sup> 灌漿壓力及 7~10 kg/cm<sup>2</sup> 壓縮空氣，5~10min/m 提昇速率，5~8 r.p.m. 旋轉速率，直至每級灌漿完成。
  - e、檢查孔：同組三孔中心點施鑽檢查孔，鑽取 HX 岩心檢視水泥漿膠結情形，並以 3~5m 為一級施做滲漏試驗。
  - f、檢查坑：檢查孔完成後，開挖檢查坑以檢視噴漿柱成形狀況、樁徑大小及水泥漿膠結充填情形。
- 2、士林壩高壓噴射灌漿工法成果：
  - a、一般而言，噴灌過程會受粒徑大小、級配、緊密狀況影響，但由施灌過程之末束管及冒漿狀況，本試驗區不同深度礫石組成特性，對高壓噴射灌漿可灌度影響不大。
  - b、不計少數特殊孔段處理後透水狀況（第一組 40~45m 為 29 Lugeon；第二組 37~42m 為 21 Lugeon、42~44 為 42 Lugeon），第一組平均約 5Lugeon，第二組約 10 Lugeon。
  - c、經開挖後檢視噴漿柱直徑（每組）：第一組為 2.2~2.5m；第二組為 2.6m。經換算每孔噴漿柱直徑：第一組為 1.2m；第二組為 1.4m。上述噴漿柱直徑符合 JSG 工法之期望值=0.8~1.5m。
  - d、雖未見 HX 岩心強度試驗，惟噴漿柱強度依經驗判斷可大於 50kg/cm<sup>2</sup>。
- 3、士林壩定案設計檢討：
  - a、依設計要求，於灌漿處理後，岩盤透水率應在 5Lugeon 以下，河床沖積層應在 10Lugeon 以下。可能擔心沖積層之近基岩部份孔隙較大，噴灌效果並無把握達止水要求，故仍採導管式灌漿工法完成三排六序組之灌漿隔幕。（註：筆者以為滲漏試驗特殊孔段應係遭遇較大孔隙區域，可以補噴灌方式處理，高壓噴射灌漿工法應亦可達設計止水幕要求。）
  - b、高壓噴射灌漿係應用於士林壩左右岸沉箱與基岩間之沖積層全面處理，使能補強地質結構增加其承载力。規劃佈置為排孔間距 1m，同排孔間距亦為 1m，相臨兩排孔交錯排列。（註：筆者以為於沖積

層中鑽孔不易，耗費大量工時，且鑽孔費用約整體高壓噴射灌漿之 1/4，又噴灌部份位於沉箱之下方，深度較大，故應可考慮採三重管之 CJG 方式以加大噴漿柱直徑——加大孔、排距，同時固結樁強度亦可期望較高。）

## (二) 馬來西亞 Kuala Yong Dam

本壩之壩高 67m，壩頂長度 700m，水庫蓄水量約 6 億方，為一座具有黏土心層之傳統土石壩，上、下游均設有階梯式平台，上游面並有拋石保護。

壩體之基礎設置於岩層上，其上之沖積層及風化層均被移除，壩體本身下方之止水幕係採傳統之壓力灌漿方式，完成深度為 20m。

本壩之右鞍部風化地質約有 40~60m 深，若以開挖方式設置止水幕之風險高。高壓噴射灌漿之施做係直接在鞍部上（鞍部略經整理）鋪上軌道，完成範圍則通過整個風化層。高壓噴射灌漿止水幕下方岩層之止水，則仍採傳統壓力灌漿。

右鞍部地質由上而下依次為花崗岩之風化粉土與砂、小礫石及大礫石，大礫石較常出現於近岩盤處，最大直徑約為 5m，其外層亦風化嚴重。設計噴射柱直徑為 1~1.5m，以達成止水幕最小厚度 80cm 要求。

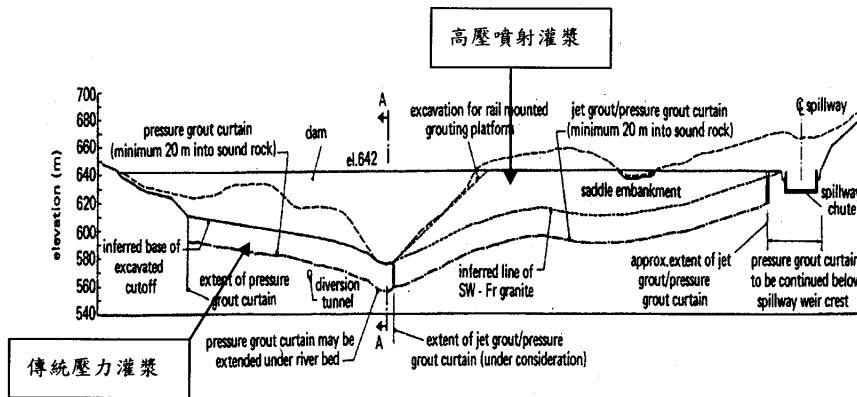


圖 4.3 Kuala Yong Dam 高壓噴射灌漿與傳統壓力灌漿範圍

(三)、肯亞 Thika Dam 是以高壓噴射灌漿在火山殘留砂土層壩基施做案例。該壩標高約 2000m，為一壩高 65m、壩長 500m 之土石壩，壩基淺層由高度風化凝灰岩間夾硬火成岩及殘餘砂土層組成，厚度約 35m；深層 35~70m 則為新鮮至輕度風化岩盤。

本壩止水幕由上、下兩部分組成，上部止水幕係以 CJG

(三種流體)之高壓噴射灌漿方式完成；下部止水幕則以單排傳統滲透灌漿施做。

上部止水幕之噴灌孔距為 0.8m，噴灌柱直徑為 1.2m，深度為 35m。噴灌參數隨地層不同於施工期間略做調整，期使上部止水幕均可達到設計要求。

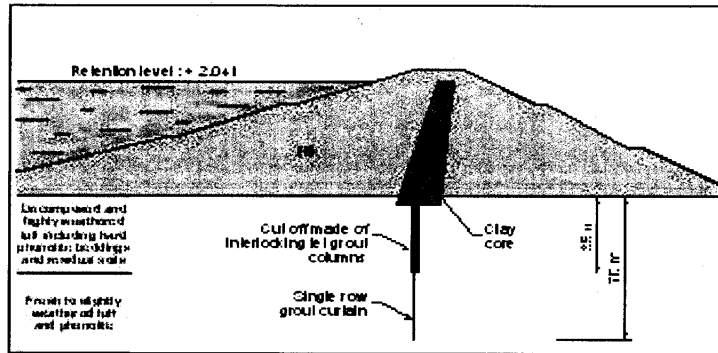


圖 4.4 Thika Dam 剖面

### 三、壩基礎為岩質地層（含剪裂帶）

#### (一)、一般說明：

基本上，壩基礎為堅硬之岩質地層時，工程實務上係以傳統之滲透性灌漿設置止水幕，高壓噴射灌漿並不適用。但壩基若含斷層或剪裂帶時，因該種軟弱地質不具壩基礎所需之承载力及（或）止水性，以往均採表面挖除一定深度之斷層或剪裂帶方式，以接合其兩側岩盤達成橋跨作用，俾利壩基礎之承载力傳遞，避免過大之基處差異沉陷，同時亦可達止水效果。至於較深層之剪裂帶止水性需求，則常採行傳統灌漿方式達成。

理論上，只要斷層或剪裂帶材料之黏著性不致太高，致高壓噴射灌漿工法無法攪動土體以混入膠結漿液，則該工法應可適用於壩基剪裂帶處理。本次研習之 EPDC 土木專家告知，曾多方洽詢及上網查詢，惟遍尋不得高壓噴射灌漿工法應用於壩基剪裂帶之案例。筆者究其原因應大致如下：

- 1、剪裂帶之寬度不致太大，一般均小於 10~12m。若為連續止水幕僅施做於壩軸位置之小範圍，則施做高壓噴射灌漿之各項機具運搬及施做單位成本太高；若為強化剪裂帶材料，由於施做範圍擴大，則單位成本可降低或可考慮，惟仍需考量河道施工空間是否充分、強化後之剪裂帶材料強度與變形模數是否足為壩體基礎（需以數值模式推算）？以及後述兩點實際施做時之困難。

2、剪裂帶常具三度空間變化，且於剪裂帶兩側與堅實岩盤間，常具不等寬度之高度風化破碎帶亦需加以補強，除非將其明挖檢視，否則無法確知需噴灌範圍。

3、即使探知剪裂帶空間變化，亦難系統化以筆直之貫灌漿柱接合其兩側岩盤達成橋跨作用，復達成止水效果。

(註：經網路查詢，中國大陸之龍羊峽拱壩上游之 G4 剪裂帶，考量水庫蓄水後，該剪裂帶受剪力及張力將產生滲漏路徑，不利左壩座之穩定與變形。因此，採混凝土封堵裂隙口，並以高壓噴射灌漿固結剪裂帶材料，達成所需止水效果，然進一步資料暫無法取得。)

本報告彙整青山壩及大觀下池壩之壩基礎剪裂帶處理方式供參考。

(二)、青山壩之壩基礎剪裂帶處理：

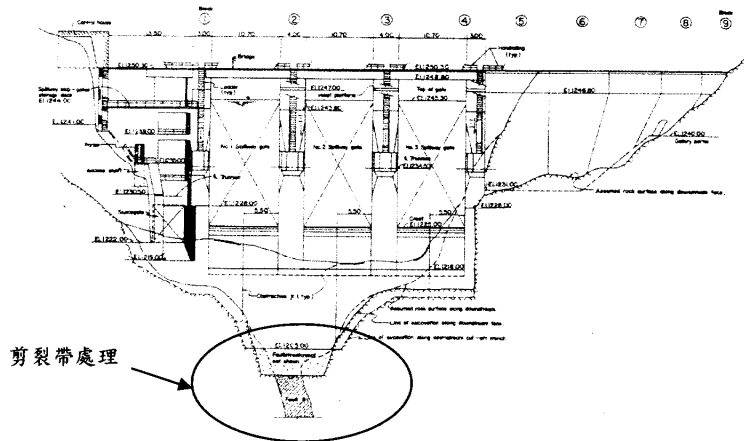


圖 4.5 青山壩下游立面圖

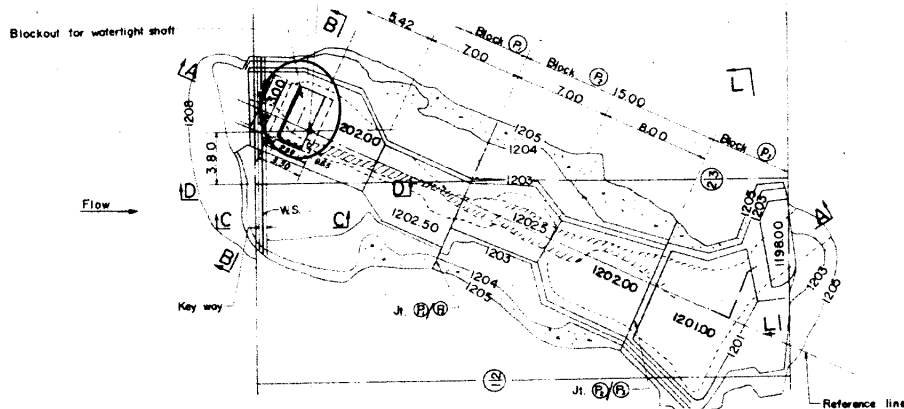


圖 4.6 青山壩 B<sub>1</sub> 剪裂帶處理範圍平面圖 (黃色區域為剪裂帶；紅色區域為風化破碎帶)

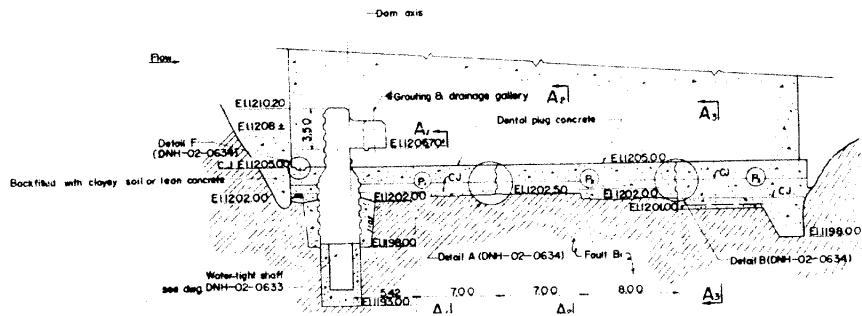


圖 4.7 青山壩 B1 剪裂帶處理範圍剖面圖

青山壩 B1 剪裂帶處理說明：

- 1、壩上、下游面之範圍間，於壩基混凝土下方位置，依“USBR” Treatise on Dams” 回填數公尺厚混凝土（詳見圖 4.7），以達成兩側岩盤之橋跨做用。
  - 2、經於斷層取樣六組，可灌性參數  $N=D15/d85$  僅兩組大於 20，故該斷層難完全以灌漿方式克服止水要求。
  - 3、設計於壩軸位置之剪裂帶施做止水直井（約 12m 深，至 EL. 1193），且於封堵底版混凝土面施做滲透灌漿至 EL1176。復於止水直井兩側牆方向施做灌漿，以閉合整體灌漿隔幕，直井側壁與岩盤間施做回填灌漿，直井上下游方向斷層材料施做固結灌漿，確實封堵滲水路徑，以防蓄水後之滲漏與管湧。
  - 4、沿剪裂帶走向，於 Dental Concrete 上方設置一斷層處理廊道：
    - ①、進行 Dental Concrete 下方及兩側接觸灌漿與固結灌漿。
    - ②、於 Dental Concrete 兩旁鑽設排水孔，以消除不平衡水壓力。
- (三)、大觀下池壩之壩基礎剪裂帶處理：(本壩斷層剪裂帶均以混凝土置換，且規模相當龐大，由於離本報告主題—高壓噴射灌漿—較遠，故不多說明。)

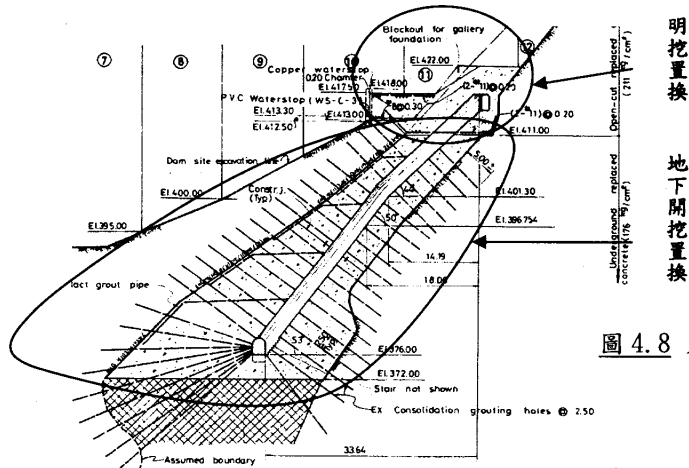
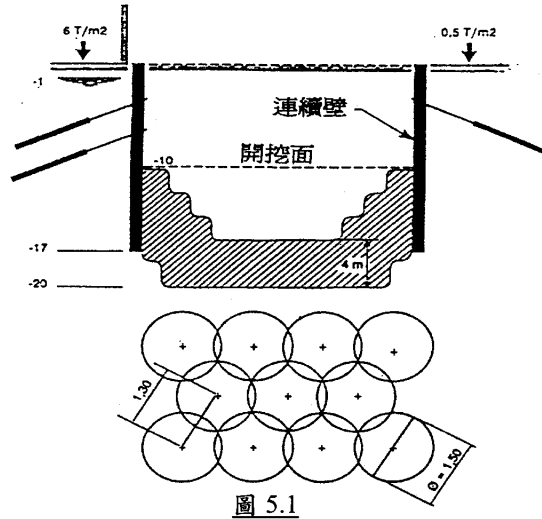


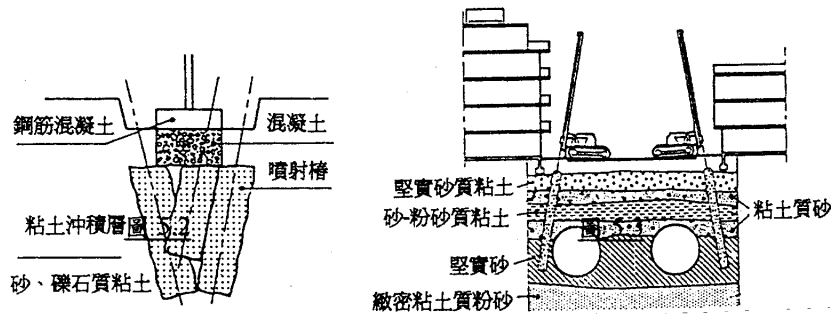
圖 4.8 大觀下池壩 A 斷層處理剖面圖

## 第五章 高壓噴射灌漿工法於其他工程應用

### 一、結構物基礎止水



### 二、基礎承載樁





### 三、都市隧道開挖及建築支撐

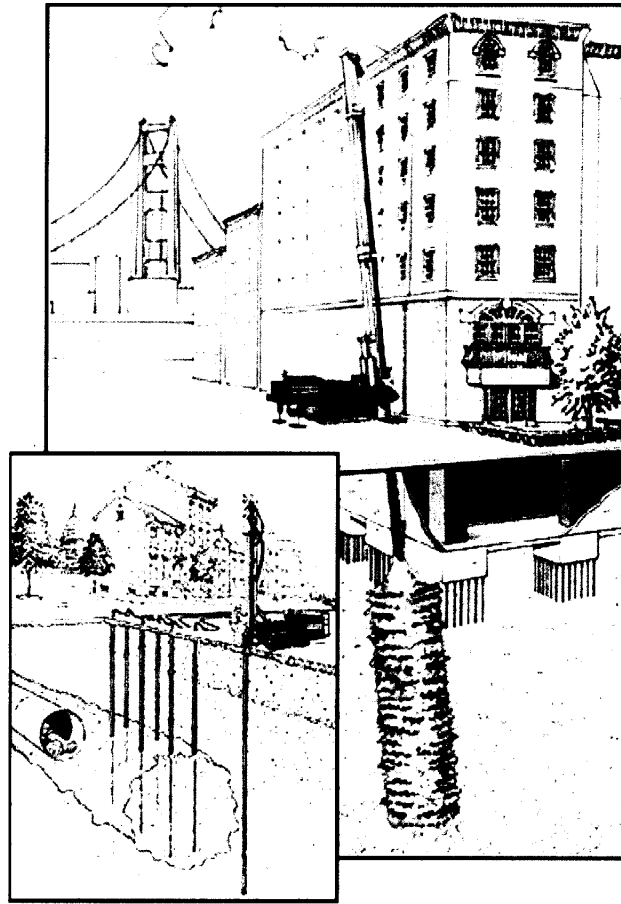


圖 5.4

### 四、碼頭基礎

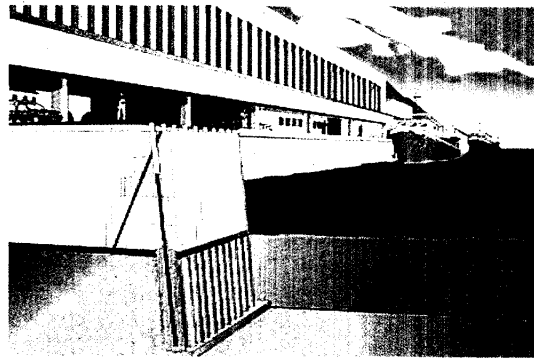


圖 5.5

## 五、地下車站開挖

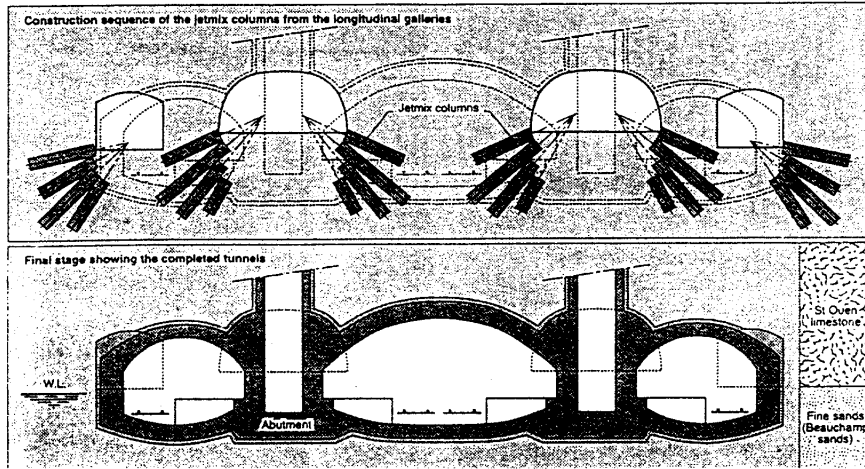


圖 5.6

## 六、隧道困難地質支撐

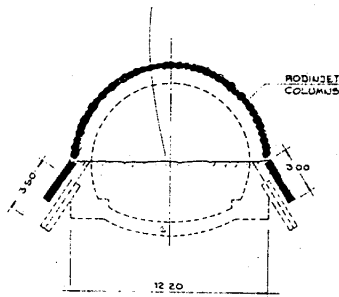


圖 5.7 隧道斷面

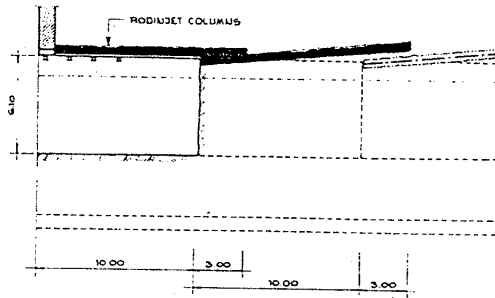


圖 5.8 隧道縱剖面

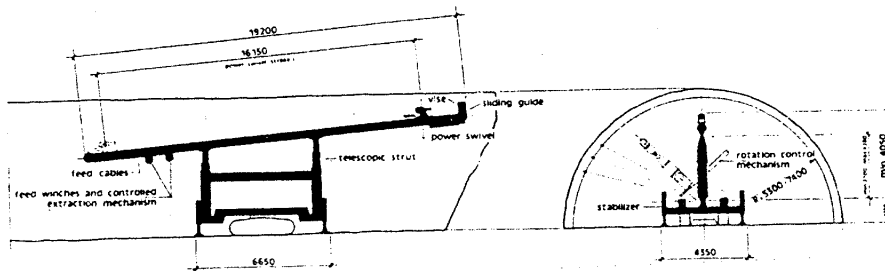


圖 5.9

圖 5.10

旋轉衝擊式水平噴射灌漿機 (義大利 SR-500)

## 第六章 感想與建議

本次至高壓噴射灌漿工法發源地（日本）實習，雖然 EPDC 未對此短天期之專題實習收取費用，但該公司人員之熱心接待、提供資料及認真研討與講解說明，令人印象深刻。以下是幾點實習之感想與建議：

- 一、近年來，經許多國際專業公司之機具研發及工程實務改進，高壓噴射灌漿工法三系統（CCP、JSG 及 CJG）今日被已廣泛應用。此種工法藉高動能流體衝擊與切削周圍土質地層，再以膠結漿液灌入或置換，達到就地強化土質地層力學性質與改良水密性等目的，實為今日土木工程師處理各種工程地質與基礎改良不可或缺之有效工法。
- 二、高壓噴射灌漿應用於壩基礎為土質地層（包含砂質土、黏質土、礫石，或其混合體）之案例，於近十年逐漸增多。
  - （一）、強化基礎方面：本公司之士林壩即為河床沖積層上建壩，並以高壓噴射灌漿工法完成左右岸重要結構基礎強化之成功案例。惟若能以三重管之 CJG 方式替代所採行之兩重管 JSG 系統規劃佈置，則應可加大噴漿柱直徑，同時固結樁強度亦可期望較高，另對於河床沖積層難鑽孔而易坍孔所造成之費時耗資，亦可大幅改善。
  - （二）、灌漿隔幕方面：兩壩工案例（Kuala Yong Dam & Thika Dam）中，一為高壓噴射灌漿直接施做在右鞍部風化地質（鞍部略經整理並鋪上軌道便利施做）形成灌漿隔幕，惟止水幕下方岩層之止水，則仍採傳統壓力灌漿，並與壩體基礎之灌漿隔幕形成整體止水隔幕。另一為在火山殘留砂土層壩基之施做案例，惟深層之新鮮至輕度風化岩盤，仍採單排傳統滲透灌漿施做。
- 三、高壓噴射灌漿應用於壩基礎為岩層地質（含剪裂帶）方面，目前除中國大陸龍羊峽拱壩上游之 G4 剪裂帶（並非壩基礎）滲漏處理曾經使用過，似未有剪裂帶真正使用之案例，經究其原因大致為：
  - （一）強化基礎方面（強化剪裂帶材料）：
    - 1、具岩層地質之河道大都位於中、上游地區，狹小河道施工空間似難以施展機具，且一般剪裂帶之尺寸大小難具一定規模。
    - 2、強化後之剪裂帶材料強度與變形模數似不易達到壩體基礎需求（本公司將興建之南溪壩數值模式分析結果）。
    - 3、剪裂帶常具三度空間變化，除非明挖檢視否則無法確知需噴灌範圍。

4、即使探知剪裂帶空間變化，亦難系統化以筆直之貫灌漿柱接合其兩側堅實岩盤達成橋跨作用。

(二) 灌漿隔幕方面：(封堵壩軸下方剪裂帶)

1、僅施做於壩軸位置之小範圍，單位成本太高。

2、同前(一)、3&4之原因，止水效果似難令人滿意。

3、可有其它簡單方式，如青山壩設計止水直井(約12m深)，且於直井封堵底板混凝土面施17m深之滲透灌漿，復於止水直井兩側牆方向施做灌漿，以閉合整體灌漿隔幕，確實封堵滲水路徑。

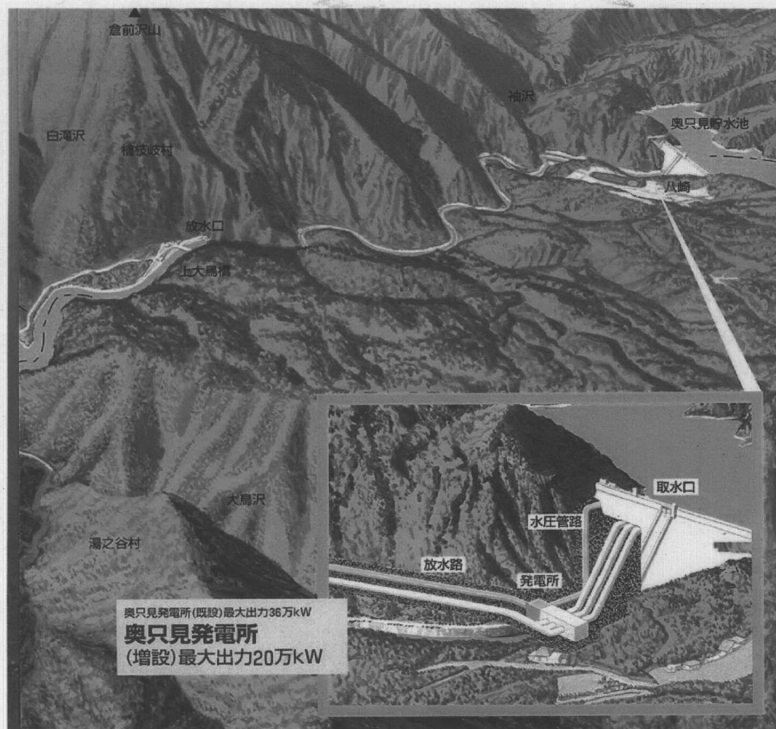
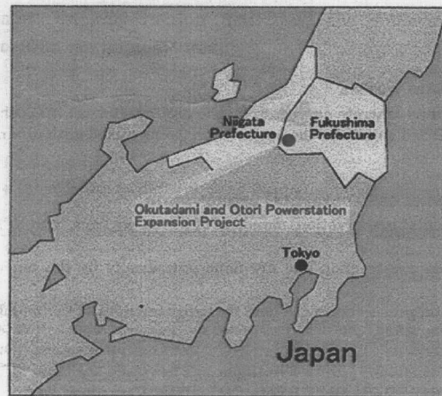
四、高壓噴射灌漿工法 CCP、JSG 及 CJG 等三系統之設計參數及預期成果，已有統計之參考值(詳第三章第二節)，惟為求個別工程之適合性，建議仍需進行現地試驗。

五、研習期間曾安排至水力發電廠機組擴充工地見習，該工程為保護該區域保育類動物—金鷹(Golden Eagle)—之生育、繁殖不受工程施工之影響，工地每年之主要土木工程施工期間均限制於7~10月間，此種環保要求之心態令人佩服。

## 附錄一 日本福島縣—奧只見發電廠機組擴建工程

### 一、工程位置

本擴建工程位於日本福島與新潟交界之群山區之中，原有奧只見發電廠建置於四十餘年前，裝置有三部各12萬KW機組，合計36萬KW。到達壩址需穿過二十公里通達隧道（其中最長一條約為12公里），發電廠直接設置於157m高之重力式大壩下游右側，該水庫集水區為595.1km<sup>2</sup>，目前仍為日本境內最大水庫，總蓄水量為601百萬立方，有效蓄水量約458百萬立方。



## 二、 増設工程之工期與工程數據

由於本工程位於國家公園內，有許多受保育動、植物種，尤其壩區附近更有瀕臨絕種之 Golden Eagle 築巢，為避免影響其生育與繁殖，本擴建工程中，可能對 Golden Eagle 產生影響之工作，均限定於每年之 7~11（四個月）內進行。計畫工期及既設與新設工程數據詳下表。

### ● 計畫概要 ●

全体工程

奥只見発電所(4号機増設)

	11年度	12年度	13年度	14年度	15年度
水 路	取水口	■	■	■	■
	水圧管路	■	■	■	■
	放水路	■	■	■	■
	放水口	■	■	■	■
発 電 所	土木工事	■	■	■	■
	建築工事			■	■
	電気機器			■	■
	試験				■
河川維持流量放流設備	■	■	■	■	

運転開始予定 平成15年6月

注) ■ は貴重鳥類の営巣期間(11月～翌年6月)

---

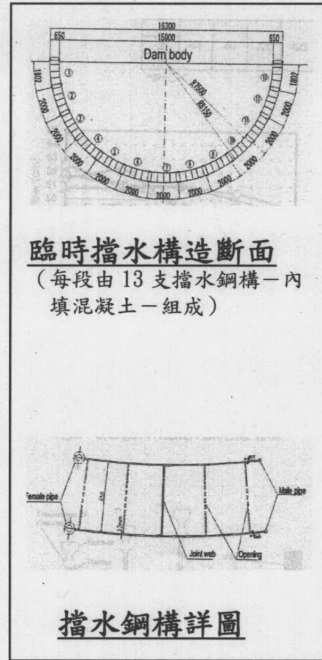
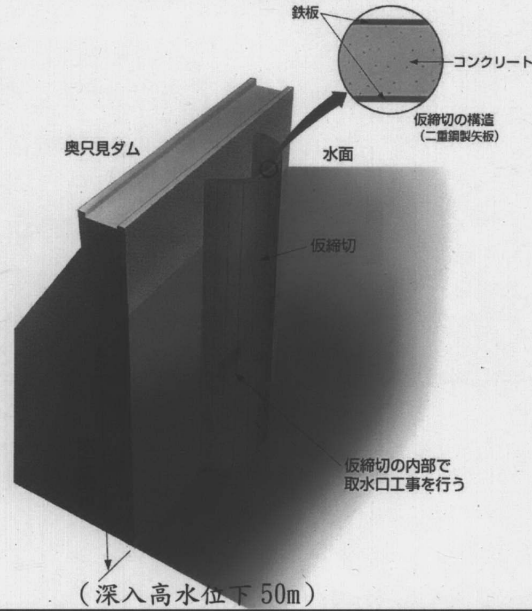
計畫概要

奥只見発電所

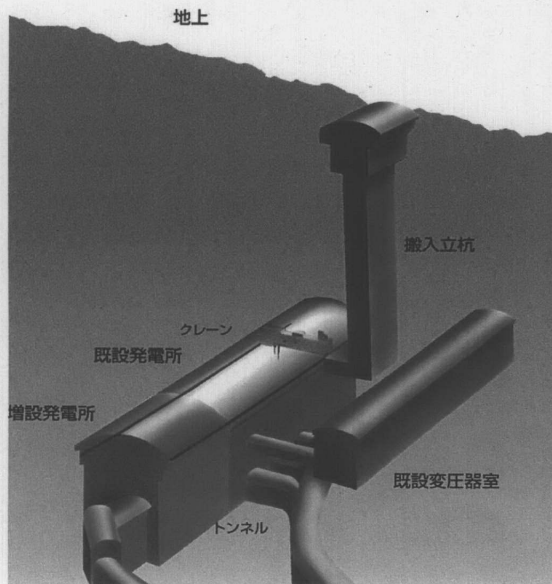
項目	既 設	増 設
河 川 名	阿賀野川水系只見川	
ダム・貯水池	奥只見貯水池(既設)	
	高さ 157m	
	堤 長 480m	
	総貯水量 601×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	
	有効貯水量 458×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	
所在地	福島県南会津郡楡枝村字駒ヶ岳	
発電方式	ダム水路式	ダム水路式
最大出力	36万kW(3台)	20万kW(1台)
最大使用水量	249.00m <sup>3</sup> /s	138.00m <sup>3</sup> /s
有効落差	170.00m	164.20m
発 電 所	(型式) 地下式鉄筋コンクリート造り (高さ) 37.80m (幅) 18.50m (長さ) 87.60m (水車) 立軸フランシス水車 (発電機容量) 133,000kVA/1台	(型式) 地下式鉄筋コンクリート造り (高さ) 39.20m (幅) 17.90m (長さ) 45.00m (水車) 立軸フランシス水車 (発電機容量) 223,000kVA/1台

### 三、工程方法與特色

#### (一)、臨時擋水以增設取水口



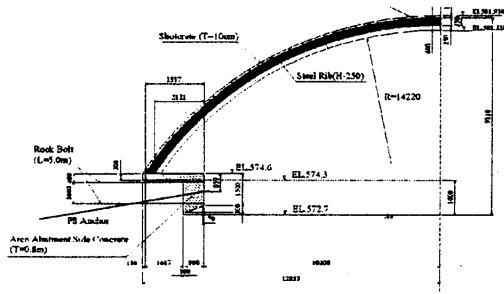
#### (二)、廠房擴挖以增設機組



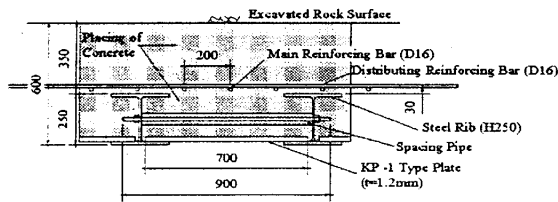
擴建機組三D示意圖

- 一、廠房空間增加 46(L) x20 (W) x41 (H)，以增設 20 萬 KW 機組一部。
- 二、壩體直接挖設進水口，其後連接一增設壓力鋼管至廠房之增設機組。
- 三、另增設重力式尾水隧道一條導引發電尾水。
- 四、既設機組之廠房通道、搬運直井、吊車等，均可利用於擴建工程。

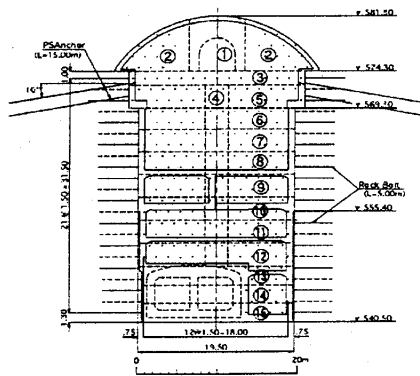
### (三)、SRC 廠房頂拱



廠房 SRC 頂拱剖面



廠房 SRC 頂拱詳圖



廠房開挖順序圖



廠房 SRC 頂拱完成照片

#### SRC 廠房頂拱說明：

- 一、預先由鑽孔量測廠房（覆蓋層 180m）之三軸主應力  $< 39-50\text{kg/cm}^2$ 。
- 二、廠房頂拱採用僅 0.6m 厚之 SRC 結構（混凝土以鋼筋及 H 型鋼加強）。
- 三、由於簡化鋼筋之佈設及省掉模板，工期縮短一個月（原預計 2 各月）。
- 四、廠房擴挖（約 46m）縱方向大致分為四個區塊，最靠近既有機組區塊又細分為八區塊，以使開炸時既設機組之震動速度符合小於 2 (cm/sec) 之要求。
- 五、廠房施工順序係先完成頂拱後，向下以階梯方式降挖（每階三公尺）。廠房週緣以系統岩釘支撐，並於拱座部分以預力鋼鍵加強。
- 六、為避免影響 7-42 公尺外之機組正常運轉，不採電器雷管引爆，而採一條信號線之安全與可信賴方式。