

地 工程地質研討會 術

土工技術工程地質研討會(28)~湖山水庫大壩工程 與會報導

詹佩臻* 黃柏鈞** 賴建名*** 朱晃葵**** 丁 禕*****

一、活動行程與內容

台灣水庫的建設已經有百年的歷史，其功能包括調洪、灌溉、給水、發電、觀光等目標，較著名的水庫如石門水庫(1964)、曾文水庫(1973)、寶山水庫(1985)、翡翠水庫(1987)、南化水庫(1993)等，在生態與環境議題下，新水庫的建設漸縮，而湖山水庫為調蓄集集共同引水工程之供水能力，「雲林縣湖山水庫工程計畫」於 1995 年完成可行性規劃，隨後通過環保署環境影響評估暨經濟部水資源審議委員會之審查，於 2001 年 1 月 30 日奉行政院台八十九 37096 號函核定實施。

土工技術研究發展基金會特地於蓄水前舉辦工程地質研討會(28)~湖山水庫大壩工程，本次活動於 2015 年 7 月 3 日舉辦，由前經濟部中央地質調查所副所長賴典章先生擔任領隊，及國立中央大學地球科學系林殿順教授進行解說，參與學員一行共 50 人。活動行程包含壩頂眺望、溢洪道及庫容區地層觀察，在主辦單位充分準備及協辦單位的協助，進入庫容區觀察庫底地層為本次活動最大的特色，配合解說老師精闢的講解下，參加學員不僅體會大壩建設的壯闊，並飽覽庫容區內地質地貌，行後收穫豐富。

本次考察活動，首先於湖山水庫工務所聽水利署中區水資源局對湖山水庫工程計畫簡報，透過緣由及主要工程說明拉開序幕，下午分別前往湖南壩頂全覽壩體與集水區、湖山主壩討論塑性混凝土連續壁與溢洪道、壩頂道路眺望借土區地層分布、庫容區內觀察地層露頭。本次研討會詳細行程請參考表一，停駐點位置如圖一所示。

二、地形地貌

湖山水庫壩址位於雲林縣斗六市東南方約 10 公里的斗六丘陵處北港溪上游之梅林溪水系上(詳圖二)，由清水河流域建置桶頭攔河堰越域引水以為挹注。水庫工程完成之後與集集攔河堰聯合運用，每日最高可提供約 69.4 萬噸地表水源，除可作為民生用水之替代水源以減抽地下水，緩和地層下陷及提升民生用水品質。

斗六丘陵為濁水溪與八掌溪間之丘陵地帶(不含濁水溪支流清水溪以東之竹山丘陵)，大致呈南-北走向，北端為刀尖形之觸口山脈，南北長約 14 公里，東西寬約 4~5 公里，分水嶺偏東，全區為 500 公尺以下之低

表一 湖山水庫大壩工程考察行程

日期	停駐點	地點	考察及討論重點
7/3 (五)	1	湖山水庫工務所	簡報與安全告知
	2	湖南壩頂	壩區全覽壩體與集水區
	3	湖山主壩	主壩頂眺望塑性混凝土連續壁與溢洪道
	4	湖山壩頂	眺望借土區地層觀察
	5	庫容區	庫容區的地質特性



圖一 行程停駐點及Google衛星影像

地工技術



圖二 湖山水庫位置圖(中興工程顧問公司，2014)

平丘陵。湖山水庫庫區位於前述斗六丘陵西坡之順向谷-棧仔坑上游，僅集水區聯外道路隧道東洞口附近屬斗六丘陵東坡，兩者間之分水嶺標高約 300 公尺，分水嶺東側較陡，西側較緩，至壩址附近溪床標高約 140~150 公尺，而丘陵西緣與沖積層平原交界處附近標高僅約 100 公尺。

水庫壩體包括湖山主壩、湖山副壩及湖南壩等三部份，分別位於北港溪支流梅林溪上游之北勢坑溪支流土地公坑溪、中坑溪及南勢坑溪主流上。梅林溪及其支流為鬥六丘陵西坡之順向河流，受地質構造影響，水系大致呈格子狀，溪流兩側臺地地形普遍，大致可分為標高 145 公尺及 155 公尺二階，谷地下游出丘陵處沖積扇甚為發達。

水庫所在之溪流發育地形屬順向河，因侵蝕基準面之下降而形成今日之水系；水庫區域之水系發育大致呈格子狀，惟因受地質條件之影響，略帶有樹枝狀水系型態。另因岩層傾角向東逐漸傾斜，因此支流向西面之邊坡甚為陡峭，為標準之逆向坡地形特徵，而向東之邊坡則為順向坡地形，坡面相當平緩。

三、區域地質

依據經濟部中央地質調查所出版之雲林圖幅(劉，1998)顯示，水庫區附近出露岩層

(以第三紀中新世晚期至第四紀更新世之沈積岩為主)由老至新依序為桂竹林層(包括關刀山砂岩、十六分頁岩及大窩砂岩)、卓蘭層、頭崙山層(包括香山砂岩及火炎山礫岩)、階地堆積層和現代沖積層(表二)。庫區周邊約 10 公里內出露之主要地質構造由西向東為桐樹湖斷層、內林背斜、內磅斷層及大尖山斷層等(區域地質及地質剖面詳圖三)，茲將庫區附近地層及地質構造詳述如下。

湖山水庫庫區主要地質構造為以北北東走向貫穿湖南壩之內林背斜，庫區地層為卓蘭層與頭崙山層，該等岩層均為膠結較差之年輕地層。卓蘭層是庫區內出露的最老地層，主要分布在湖南壩附近內林背斜軸部一帶(圖四)。卓蘭層主要以淺灰色至灰色細粒至粉砂質層狀砂岩為主，風化後常呈黃棕色。砂岩多純淨，僅局部含泥質。頭崙山層可依主要岩性分為以砂岩為主之香山段，以及以礫岩為主之火炎山段。水庫淹沒區內主要以香山段砂岩為主，由淡青灰色至淡灰色塊狀中至細粒砂岩和砂岩與頁岩或泥岩之互層所組成，具交錯層、波痕、球狀或枕狀等原生沉積構造。砂岩中常夾有青灰色或灰色頁岩互層，除在含有頁岩夾層處外，砂岩層理多不顯著。砂岩膠結相當疏鬆，風化後成黃棕色，膠結物主要為黏土。火炎山礫岩主

要分布於水庫淹沒區上游尾端附近至清水溪兩岸，岩性以巨厚之礫岩為主，常形成陡崖和鋸齒狀山嶺。

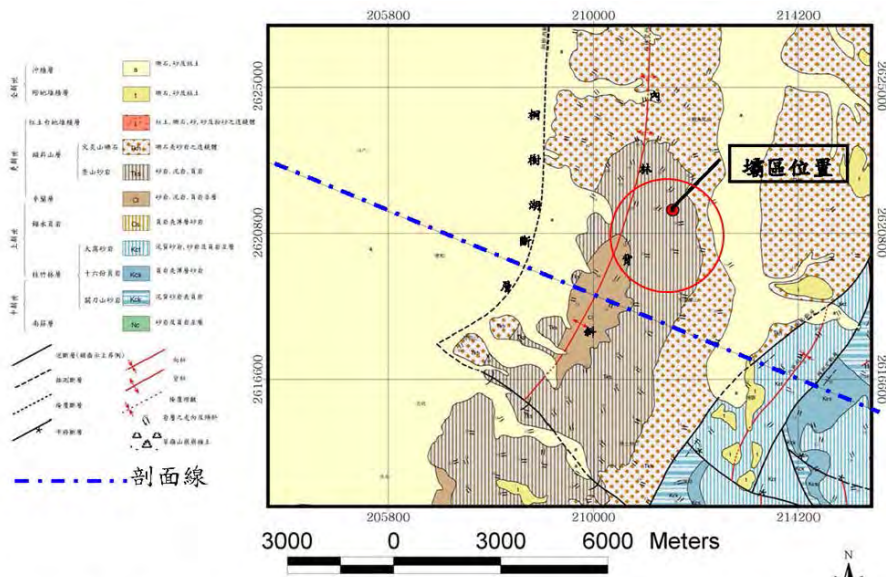
內林背斜為不對稱褶皺，西翼較陡，傾角約 50 至 80 度；東翼較緩，傾角約 10 至 40 度。軸部附近常出現近南北向之高角度張裂節理、小型正斷層、逆衝斷層與局部之層間滑動。背斜軸部在庫區內之走向約呈北偏東

20 度，向北傾沒約 20 度。

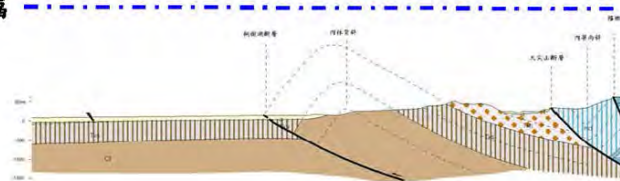
桐樹湖斷層為壩址附近之主要區域性斷層，依據「雲林圖幅」(含說明書)等地質文獻資料顯示，桐樹湖斷層為一盲斷層，潛伏於斗六丘陵西緣之沖積平原下，可能於壩址西方(下游)約 2 至 3 公里處通過。推測本斷層在接近地表附近為傾角約 30 度之低角度逆斷層。

表二 雲林圖幅地層表

時間	地層	柱狀圖	特 性	厚度 (公尺)	化 石
全新世	沖積層		礫石、砂及泥土。	0-20	
更新世	階地堆積層		礫石、砂及泥土。	0-20	
	紅土礫石層		頂部為紅土，主體為礫砂及泥土。	20-30	
	頭嵛山層		礫岩、夾疏鬆塊狀砂層。	400+	
	香山砂頁岩		疏鬆層狀或塊狀細粒砂岩，夾青灰色薄層頁岩及薄帶狀砂岩頁岩互層，有時夾薄層礫岩、石灰質砂岩及漂木。	1,000+	有孔蟲及貝類
	卓蘭層		細粒淺灰層狀或塊狀純淨砂岩，並不緻密，夾薄層頁岩及砂岩頁岩互層。部分砂岩為石灰質。	1,000+	有孔蟲及貝類
上新世	錦水頁岩		上部及下部為青灰色至暗灰色厚層塊狀頁岩；中部為砂岩及頁岩互層。	150±	有孔蟲貝類蟹類及單體珊瑚
	大窩砂岩		淺灰細粒至粉砂質層狀或塊狀純淨砂岩，相當堅硬緻密。夾薄層頁岩。	1050±	有孔蟲貝類及海膽
	十六份頁岩		青灰至暗灰色厚層塊狀砂質頁岩，洋蔥狀節理發達，夾薄層砂岩。	200±	有孔蟲貝類蟹類
中新世	關刀山砂岩		灰色細粒至粉砂質厚層塊狀泥質砂岩，層理不顯明。	900±	有孔蟲
	南莊層		淺灰細粒純淨砂岩與青灰至暗灰色頁岩之互層；砂岩薄層至厚層塊狀；層理良好，堅硬緻密。	1,200+	



資料來源：五萬分之一
台灣地質圖說明書-圖幅
第三十八號-雲林圖幅
經濟部地質調查所
1998年



圖三 區域地質及地質剖面圖(摘錄劉，1998)

地工技術

四、湖南壩頂-湖山水庫壩體與集水區

湖山水庫集水面積約為 6.58 平方公里，滿水位標高 EL.211.5m，呆水位標高 EL.165m，設計總蓄水量約 5,347 萬立方公尺，有效蓄水量約 5,218 萬立方公尺。湖山水庫整體工程內容可分為水庫工程、引水工程及配合工程三大類，相關工程數據整理如后：

1. 主要工程：結構物包括大壩(中央心層分區型滾壓式土石壩)壩頂標高 EL.216m、溢洪道(馬蹄形溢流堰頂 EL.211.50m)、導水隧道、取出水工(斜依式及直立式取水塔、輸水隧道及閘閘室)；

2. 引水工程：包括桶頭攔河堰、引水工(進水口、沉砂池、引水隧道等)、下游連接管路、穩壓池及連接管路等土木及水工機械設施；

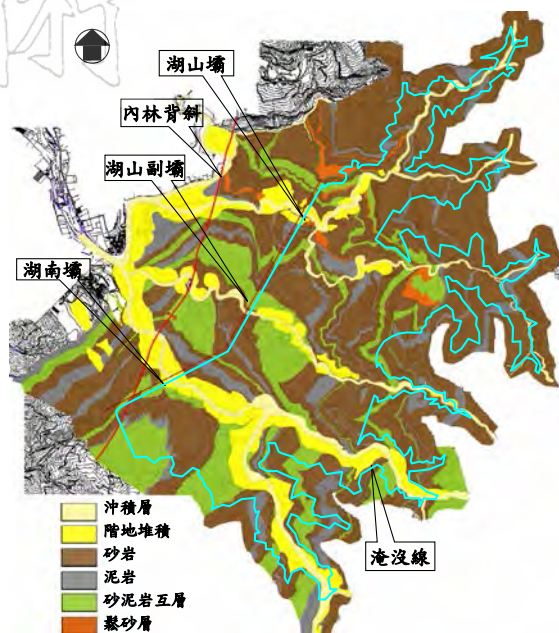
3. 配合工程：左岸遷建道路與聯外道路、下游、下游橋梁改建與河道整治等。

五、壩頂眺望-湖山壩頂

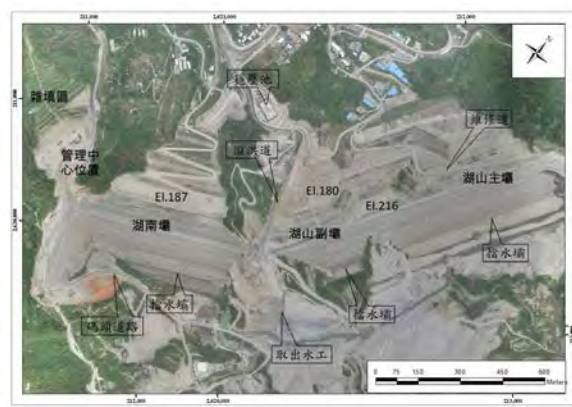
湖山水庫大壩包括湖山主壩、湖山副壩及湖南壩等三座，平面位置如圖五，壩頂高程 216.0m，壩頂寬度 10m，壩軸長度分別為 578m、334m 及 609m，最大壩高分別為 75m、62m 及 75 m，壩體填方分別為 554 萬 2,858m³、195 萬 7,464m³ 及 529 萬 7,035m³ (含上游擋水壩，不計大壩下游雜填區填方)，合計為 1,279 萬 7,357 m³。壩體標準斷面、分區體積及材料利用詳如圖六。

而湖山水庫於施工期間所面臨的挑戰，包括充份利用庫區內材料，降低工程對環境的衝擊、滿足近斷層效應之壩體耐震設計、掌握壩址基礎岩盤特性，首創塑性混凝土截水牆，分項克服如后(中興工程顧問股份有限公司，2014)：

1. 湖山水庫大壩為台灣壩軸最長，填方體積最大之土石方，為減少土石採取與運輸對環境造成過度衝擊，經深入檢討與分析，使得建壩所需之大部分材料由庫區內採取，減少工程對環境衝擊。



圖四 湖山水庫庫區平面地質圖(中興工程顧問公司，2006)

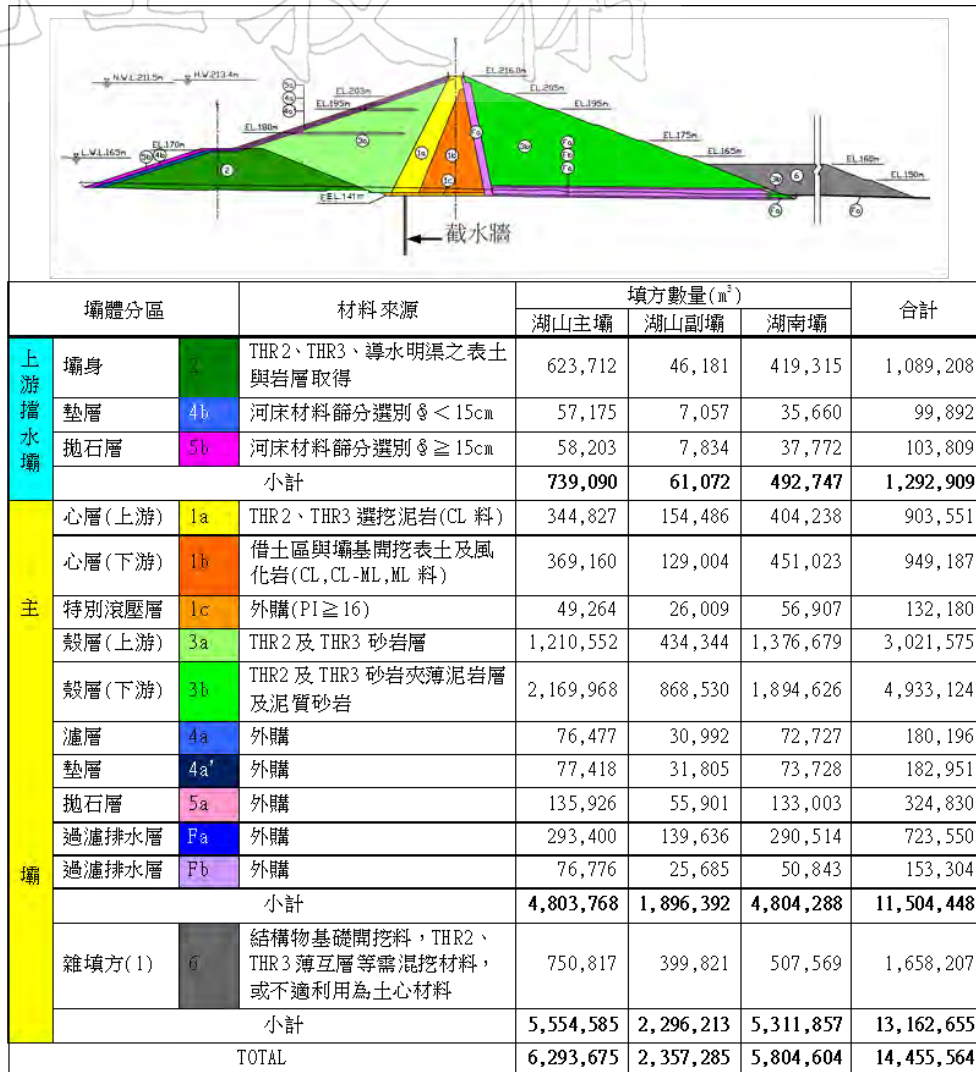


圖五 湖山水庫大壩平面圖

2. 台灣位於地震帶，大壩耐震設計為水庫工程重要課題。湖山水庫大壩為 921 地震後首座設計之土石壩，壩體耐震設計充份考量地震力、地震特性與預估之地變形等，符合 921 地震所獲得之近斷層效應與撕裂斷層知識與觀念，為全臺灣耐震考量最高之土石壩。

3. 湖山水庫壩址為軟岩地質，因應地層特性，大壩基礎截水採用國內首次使用之塑性混凝土截水牆，其應用深度與施作面積亦屬世界上少見。為充份瞭解塑性混凝土性質與掌握適當配比，在細部規劃階段辦理完整檢討、分析與配比試驗，使得後續施工得以順利完成。

地工技術



圖六 湖山水庫大壩標準剖面圖

由現地勘查結果顯示，湖山水庫大壩及溢洪道等附屬結構物陸續完工，地表已不復見大範圍岩盤出露，惟周邊尚保留少許露頭可供追蹤研判，以及湖山水庫庫區邊坡開挖出露大範圍完整岩盤(圖七)，岩性屬砂岩與泥岩及其互層，地層位態均一，略朝北傾斜，節理不發達。

溢洪道下游左岸施工道路旁出露青灰色砂岩(圖八)，膠結程度不良，無明顯層理及節理弱面。湖南壩右壩座上游側近導水隧道入口處出露青灰色砂岩於灰色泥岩互層，坡面植生良好(圖九)。湖山副壩斜依式取水塔邊坡開挖岩盤出露，岩性屬青灰色砂岩與淡灰色泥岩互層為主(圖十)，層理略朝北傾斜，節理不發達。

因湖山主壩及湖山副壩之大壩填築範圍涵蓋大部分之山脊邊坡，完工後僅出露上游側東南向之小型山脊，於湖山主壩左壩座呈順向坡地形，湖山副壩右壩座呈逆向坡地形(圖十一)，因地層層面連續性極佳，傾角平緩，節理弱面不發達，且大壩填築範圍涵蓋大部分坡面保護邊坡，水庫蓄水後應不致產生大規模邊坡坍塌，惟須注意因蓄水後岩層因泡水軟化後強度降低造成局部小型崩塌情形。

庫容區觀察沉積構造、化石與沉積環境庫容區砂岩地層膠結情形不佳，相當鬆散，徒手就能剝下組成岩體的顆粒(圖十二)。層理面清晰，沉積構造相當發達，因地形起伏而容易誤判層面位態(圖十三)，常見交錯層

地工技術

與波痕(圖十四)。本層中常出現的化石包含
碳化漂木、貝類、海膽、單體珊瑚、有孔
蟲，皆以淺海、河口或潮間帶環境的生物為
主(圖十五)。



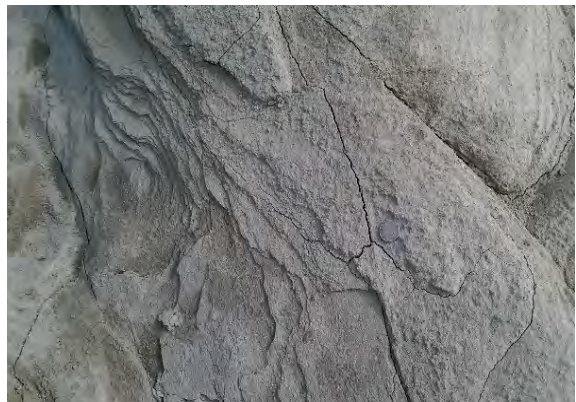
圖七 湖山水庫大壩上游邊坡開挖現況，砂岩、泥岩及其互層出露情形



圖十一 湖山主副壩間山脊現況



圖八 溢洪道下游左岸出露砂岩



圖十二 庫容區地層膠結鬆散易剝落(高憲彰攝影)



圖九 湖南壩右壩座上游出露砂岩泥岩互層



圖十三 層理清晰(詹佩臻攝影)



圖十 取水塔上邊坡出露砂岩及泥岩



圖十四 具清晰交錯層(何樹根攝影)

地工技術



圖十五 地層中的化石帶(何樹根攝影)



圖十六 沉積構造(詹佩臻攝影)

除此之外，地層中還夾有明顯的沉積構造(圖十六)，由林殿順老師提出發想，推測可能為成岩過程中有外力擾動，如遠域的地震，使得砂泥層產生崩移現象，出露地表後因抗風化能力不同，而有似卵礫石外型。

六、結語

本次研討會以大壩工程為主軸，輔以區域地質討論，切合主辦單位對工程地質薪傳概念，鑒於湖山水庫尚未蓄水，因此可以就近觀察良好的地層分布，其露頭長達 500 公尺，是地質調查者可遇不可求的裸露面，有鑑於此，於參訪時程安排上也增加停留時間，與會人員也進行熱烈的討論。

最後感謝地工技術基金會、經濟部水利署中區水資源局及與會人員的熱情付出，承蒙何樹根先生、賴典章先生、林殿順教授協助預跑與活動手冊編修，透過現場的討論與解說，使得學員對大壩工程及區域地質有更直接的體認。與會活動之大合照如圖十七。

參考文獻

中興工程顧問股份有限公司(2006)，「湖山水庫工程計畫大壩工程細部規劃報告」，經濟部水利署中區水資源局委託研究報告。

中興工程顧問股份有限公司 (2014)，「湖山水庫大壩工程」，大地工程學會大地工程技術獎報告。

劉桓吉(1998)，「五萬分之一臺灣地質圖·雲林」，圖幅第三十八號，經濟部中央地質調查所。

謝世傑、林進榮、馮文明、石建裕、江憲宗、黃崇仁(2010)，「湖山水庫大壩工程規劃設計主要課題與對策」，地工技術，第 126 期，63-72 頁。



照片十一 活動與會人員合照