

土石壩品質檢驗之試驗與探討一 以湖山水庫為例

蔡宗翰／經濟部水利署水利規劃試驗所工程員

湖山水庫工程為國內重大工程，大壩土方檢驗工作極為重要，亦是影響未來大壩是否安定的重要因素，因此檢測的方法及成果顯得相當重要。本文即以湖山水庫為例，針對主要試驗項目「土壤壓實度快速控制法試驗」及「相對密度試驗」進行說明，並對現場可能造成不合格之成因初步探討，作為施工管控的參考。

湖山水庫背景資料

湖山水庫之壩址位於雲林縣斗六市東南方約十公里處，由竹山鎮桶頭攔河堰左岸取水，屬於離槽式水庫，並與集集攔河堰聯合運用，以增供雲林、南投地區之公共用水，蓄水模擬圖如圖 1。其壩型係採用中

央黏土心層分區型滾壓式土石壩；壩頂標高為 216 公尺，壩頂寬為 10 公尺，壩頂長度湖山主壩 578 公尺、湖山副壩 334 公尺、湖南壩 609 公尺；上游擋水壩標高為 170 公尺；壩體最大高度為 75 公尺；壩上下游坡度為上游坡度 $V:H = 1:3$ 、下游坡度 $V:H = 1:2.5$ ，大壩標準斷面圖如圖 2；壩體體積為 1,279 萬立方公尺，總蓄水量約 5,218 萬立方公尺，與苗栗鯉魚潭水庫相比較（壩體體積 356 萬立方公尺，總蓄水量 1 億 2 千 6 百萬立方公尺），可發現壩體體積湖山水庫約為鯉魚潭水庫之四倍，但其總蓄水量卻無鯉魚潭水庫之一半，可見目前台灣適合築壩之地形地質條件越來越少，同時凸顯湖山水庫壩體體積之大，因此其品質檢驗相當重要，大壩現場填築情形如照片 1。

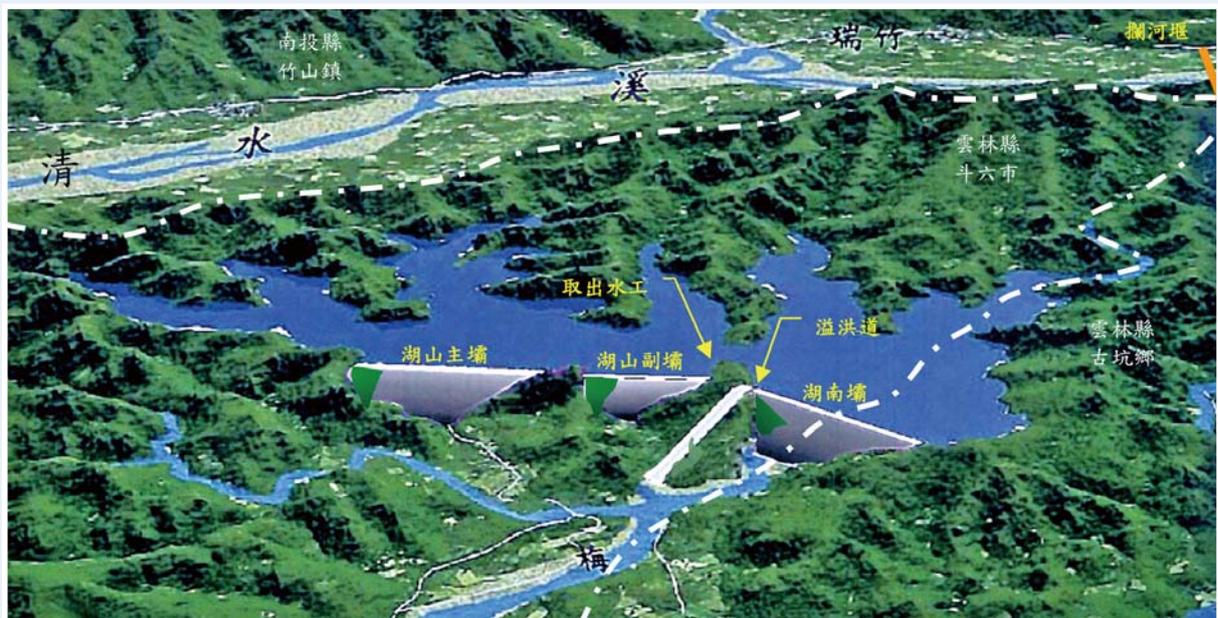


圖 1 湖山水庫蓄水模擬圖（資料來源：<http://www3.wracb.gov.tw>）

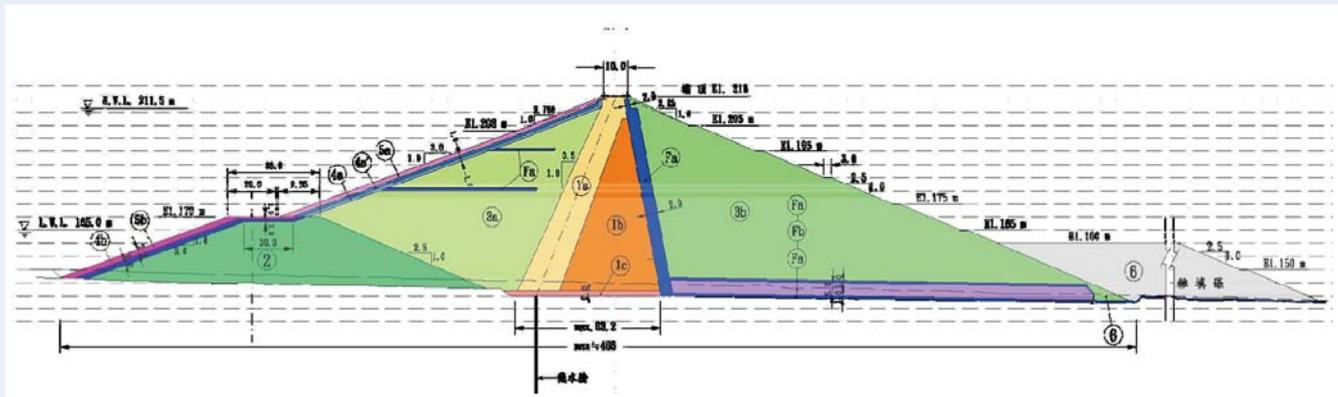


圖 2 湖山水庫大壩標準斷面圖



照片 1 大壩現場填築情形 (100 年度上旬進度, 改繪自 <http://www3.wracb.gov.tw>)

品質檢驗標準與方法

大壩主體以土方填築為主，含水量控制為主要因素。施工含水量的管制界限為使填土性質合乎設計考慮的安定條件之施工範圍，若大壩不透水層之施工含水量過高，則隨填方高度之增加而產生很高的孔隙水壓，此項孔隙水壓減少土壤顆料間的有效壓力，影響填方安定。故應訂定施工含水量之上、下限，以合乎施工之安定。依據經濟部中區水資源局 97 年 6 月湖山水庫工程計畫大壩工程「施工規範（上冊）」第 2 篇 02314 章，摘錄整理其各品質控制如表 1。

依表 1 湖山水庫大壩填築分區檢驗標準，主要試驗項目為「土壤壓實度快速控制法試驗」及「相對密度試驗」。其中「土壤壓實度快速控制法試驗」，係針對心層、特別輾壓層、殼層及雜填區之土方檢驗部份，為參考美國墾務局 USBR 大壩填築經驗所採用之試驗

方法，其優點為迅速可求得含水量差值及密度值，對於趕工之輾壓工程，無需等待隔日含水量值，當日就可算出壓實度 D 值及含水量差值 $w_o - w_f$ ，不會耽誤升層的現場進度，可提供現場品管即時控管，試驗流程及施作過程如圖 3 與照片 2；「相對密度試驗」即一般所謂之最大最小指標試驗，係針對濾層、排水層及墊層之粒料檢驗，其中部分墊層料為最大粒徑 2" 以上之級配料，現場密度值因尺度問題，無法以傳統砂錐法進行，因此需配合大尺寸工地密度（充水法）施作，相關施作過程如照片 3。

檢測成果綜合探討

以統計 100 年度湖山水庫申驗之試驗報告為例，大壩各分區檢驗成果不合格率成因統計，如圖 4。

其中土方部份，以「壓實度不足」、「含水量偏濕

表 1 湖山水庫大壩填築分區檢驗標準

填方(區)	填方量(m³)	借土區	含水量	規定壓實度	控制試驗與方法
1a	903,551	THR2、THR3選挖泥岩	OMC-1.5%~OMC+2.5%(輾壓試驗後決定)	.+4#,0~20%,D≥98%,平均D≥100%	1.夯壓：ASTM D698(Γd,max) 2.現地密度： USBR 7205-89(Γdt-sand cone) USBR 7220-89(rdt-pouring device) USBR 7240-89(rdt-Rapid control) 3. 2000m³(1a、1b、2、3a、3b)或每昇層或每工班至少一次，每150m³一次(1c)
1b	949,187	THR2、THR3、(THR4)及壩基開挖表土與風化岩		.+4#,20~40%,D≥95%,平均D≥98%	
1c	145,035	外購	OMC~OMC+3%	.+4#,40~60%,D≥93%,平均D≥95% 容許最大標準偏差≤2%	
2	1,089,208	THR2、THR3、及導水明渠開挖取水工上游山脊開挖料	OMC-2.5%~OMC+2.0%	.+4#,0~20%,D≥100%,平均D≥101%	
3a	3,021,575	THR2、THR3、(THR4)及壩基開挖料庫區挖軟岩料及取自大壩基礎開挖暫置料		.+4#,20~40%,D≥97%, .+4#,40~60%,D≥95%, 平均D≥96%;容許最大標準偏差≤2%	
3b	5,028,083	THR2、THR3、(THR4)及壩基開挖庫區開挖之軟岩		同Zone 1a	
4a	191,965	外購	充分濕潤(但不影響填築及重機械之行走為限)	1.Dd≥75% 2.Dd≥80%(20次平均)	1.每3000m³或每昇層至少一次相對密度試驗，並辦理-200#檢驗1次/1000m³(初期) 2.級配分析檢驗：1次/1000m³(初期)，俟施工程度再放寬於密度試驗時3000m³篩分析時同時辦理。 3.洛杉磯磨損與健性試驗：1次/9000m³。 4.相對密度：依USBR 7250-89(Dr) USBR 7220-89(Γdt-sand replacement) USBR 7221-89(rdt-water replacement) USBR 5525-89(rd,min) USBR 5330-89(rd,max)
4a'	194,835	外購			
4b	99,891	庫區河床料篩選			
4c	723,550	外購			
Fa	723,550	外購			1.每2000m³或每層至少一次相對密度。 2.-200#篩及篩分析檢驗，配合密度試驗辦理。 3.洛杉磯磨損試驗(Fa)，健性、洛杉磯磨損試驗(Fb)為每一不同價購料源一次，同一料累積10,000m³填築體積時檢驗一次。
Fb	153,303	外購			
5a	324,830	外購			抗壓強度、健性、洛杉磯磨損試驗為每一不同價購料源一次，同一料累積10,000m³一次。
5b	1,083,808	庫區河床料篩選φ>15cm			抗壓強度、健性、洛杉磯磨損試驗為每一不同價購料源一次，同一料累積10,000m³一次。
6	1,669,173	一般結構、基礎開挖	OMC±3%	.+4#,0~20%,D≥95%,平均D≥98% .+4#,20~40%,D≥95%,平均D≥98% .+4#,40~60%,D≥93%,平均D≥95% 容許最大標準偏差≤3%	同Zone 3b，但每3000m³檢驗一次。
2	133,708	壩區開挖所產生之不適宜填壩材料		D≥90%	每5000m³至少一次壓實度試驗

側」、「含水量偏乾側」、「壓實度及含水量皆不合格」進行分析討論，心層(1a、1b)及殼層料(3a及3b)，明顯以「含水量偏乾側」(加水量不足)之比例居多，

加水量之問題，原因大致可歸類於水車噴灑方式、噴水動線、料源加水後之處理(是否先至借土區處理至合宜含水量再回填)、機具輾壓過程等等，甚至是現場

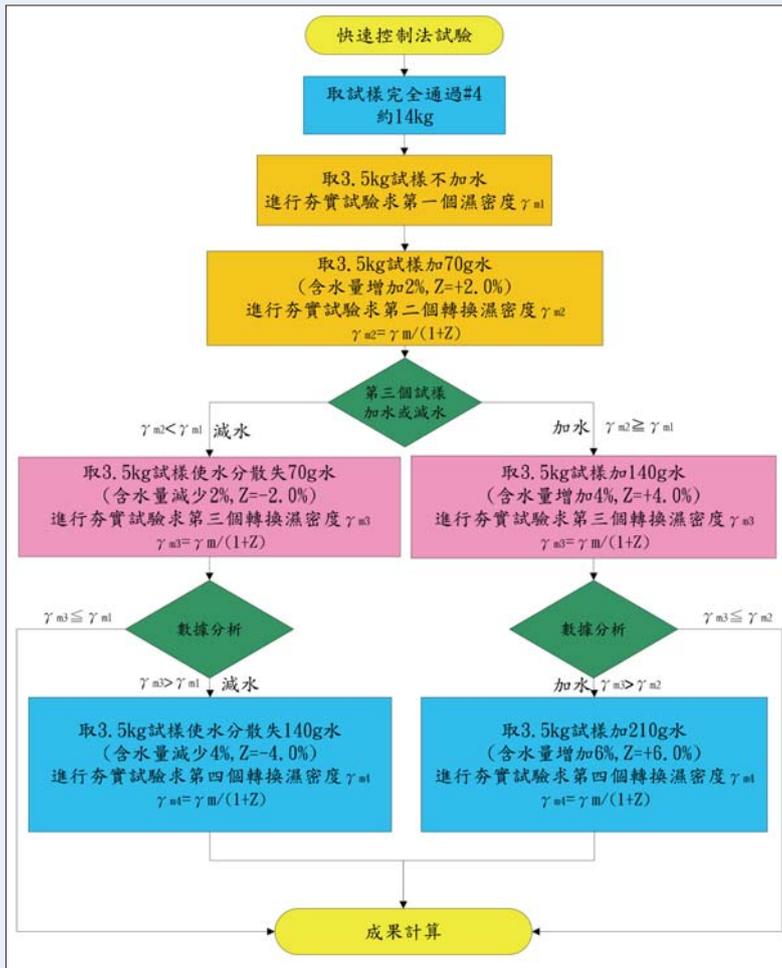
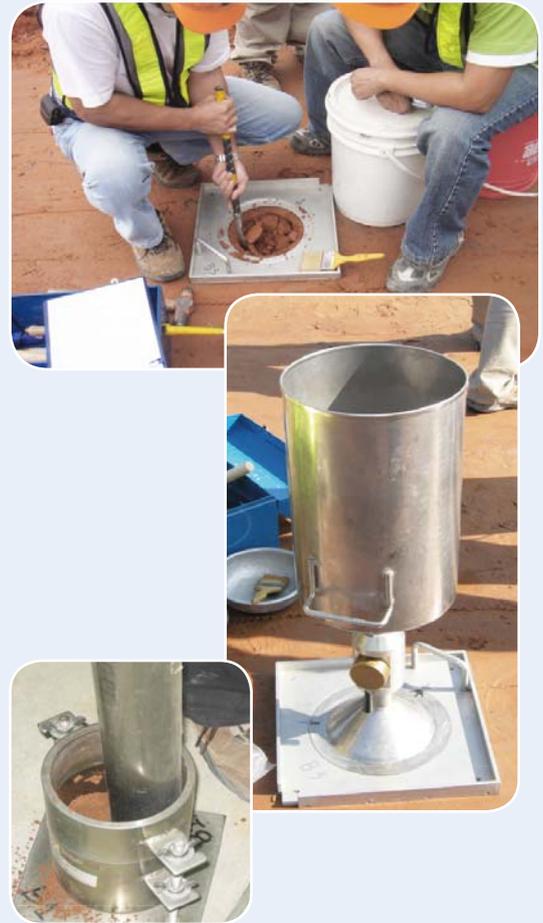


圖 3 土壤壓實度快速控制法試驗試驗流程



照片 2 土壤壓實度快速控制法試驗施作情形



照片 3 相對密度試驗施作情形

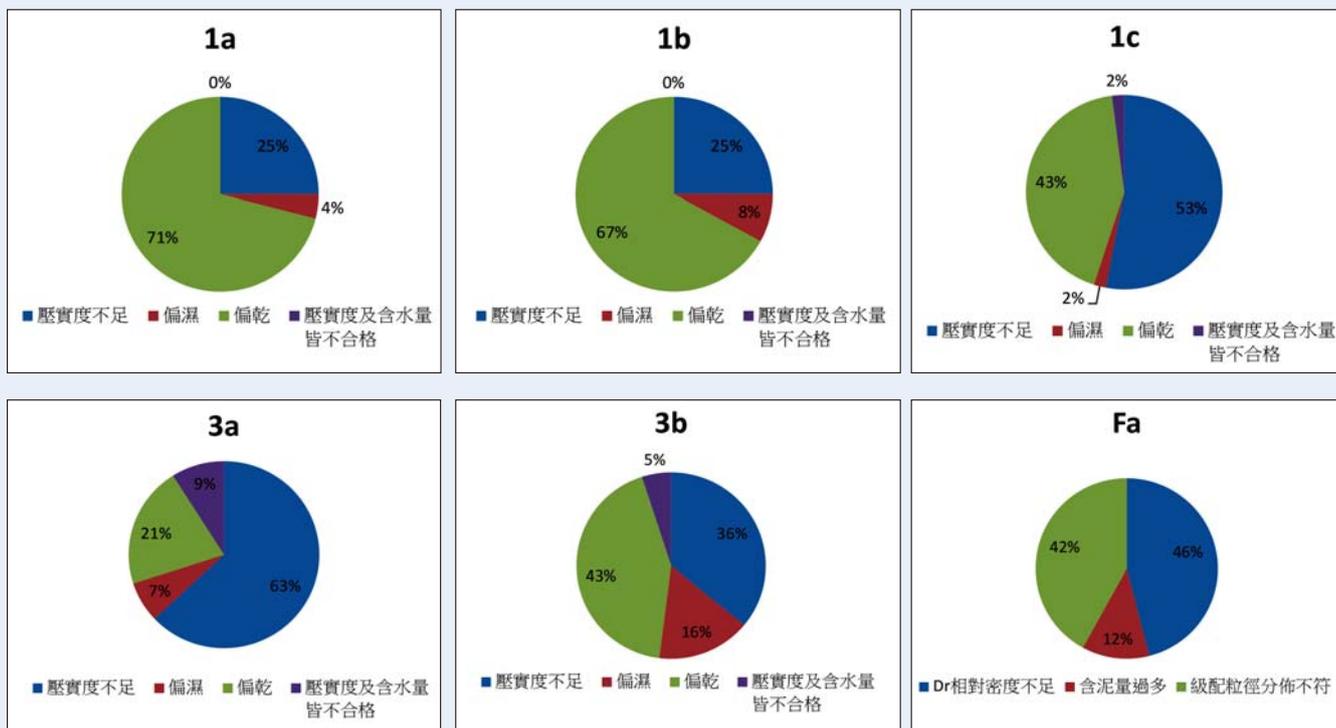


圖 4 大壩各分區檢驗成果不合格率成因統計

開挖之庫區岩材（岩性屬砂頁岩互層），因砂泥質比例不均，材料性質不同亦會影響加水後之均勻性等等。特別輾壓料（1c）除含水量問題外，「壓實度不足」亦佔有一定比例，推判受限土壤本身特性，為PI值較高之塑性土樣較難掌握、含水量變化程度難控制、部分現場施工條件差（與山脊岩盤交界處），不易輾壓等因素造成。

其中粒料部份，以「Dr相對密度不足」、「含泥量過多」、「級配不符」進行分析討論，以濾層料（Fa）而言，上述三種因素皆互有，推測因濾層料屬於外購料，其料源來源不一，有些骨材其形狀較不平滑，受輾壓後會造成骨材顆粒破碎，產生小於200號材料大幅增加，導致含泥量偏高大於5%，影響密度、含泥量、級配變動。

檢驗報告・應具公正性

■ 各工項試驗檢驗項目出具之報告，應符合TAF認證基金會認可，並透過認證制度以確保檢驗之公正性及品質保證。

- 現場監造單位可透過成果統計分析，針對較常發生異常偏高之分區，進一步瞭解其現場施作方式，並加以改善追蹤。
- 施工單位、監造單位及實驗室間，建議可不定期討論，各施工經驗與檢驗可互相回饋分享，以提升整體施工首次合格率與施工進度。

參考文獻

1. 經濟部水利署中區水資源局，「湖山水庫工程計畫大壩築壩材料輾壓試驗成果報告」，1998。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所湖山水庫工地實驗室，「土壤壓實度快速控制法標準測試程序」，經濟部水利署水利規劃試驗所，2011。
3. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「湖山水庫工地實驗室設置及品質試驗（100年度）工作成果報告」，2013。
4. 經濟部水利署中區水資源局湖山水庫工程計畫網頁，<http://www3.wracb.gov.tw/index.asp>。