

淺談橡皮壩受損現象及原因

林 隆 寬

台北市水利技師公會第七屆理事長

王 振 宏

台灣省水利技師公會總幹事

摘 要

橡皮壩依其材質特性存有比一般混凝土結構受損高之風險，但因橡皮壩為簡易性阻擋水流之水利建造物，橡皮壩跨距大、墩座少，洪氾時自動倒伏渲洩對水道上下游水位差變化較小，壩基條件要求較低、造價相對低廉、施工期間迅速、操作、維護簡單、阻水性佳、耐震性能強及可修補性等優點。如不以堰壩角度評論橡皮壩而以閘門角度視之，長跨距閘門是一般傳統閘門較難製造之技術也是其優點，但流量調節控制有其操作性的困難度。橡皮壩如能依其材質特性，抬高水位需求較低、慎選河道平順、水流穩定及河川砂石量較少等條件之水道興建，不失為一種良好水利建造物。善用橡皮壩的優點，於設計、製造、施工及維護操作均能確實掌握，利用監測系統掌握袋體氣壓、廊道排水量脈絡及早發現橡皮壩受損之處避免受損擴大，可增長橡皮壩的使用年限，相信以現在技術橡皮壩期齡應可維持至少 20 年。

一、橡皮壩特性

國內在閘壩構築將橡皮壩歸類為傾倒式閘門，依壩體內填料可分為充氣型、充水型及水氣混合型橡皮壩三類。台灣因考量地形、地質、流量、含沙量、環境影響以及技術、操作速度與管理……等等的因素，幾乎發展與使用以充氣式橡皮壩為主。

充氣橡皮壩與混凝土結構的堰壩比較，興建成本及堰壩位址地形、地質限制等之要求相較均較低。充氣橡皮壩具有耐震性能強、施工期短與簡易性阻擋水流結構，對水道上下游水位差變化較小之優點。但合成橡膠與合成纖維膠結組成之薄壁壩體，存在有河道砂石衝擊、漂流物劃破及磨損而損壞之風險，使用期齡較混凝土結構堰壩短，且壩袋高度工程技術上有其限制等缺點。

由於充氣橡皮壩為充氣袋體，容易因碰擊而震動傳遞，故充氣橡皮壩適宜建置於河道上下游均有一定長度的水流之河道平直段，流速平緩避免水躍及折衝水流以降低壩袋震動與磨損，為其環境條件之限制。

二、國內常見橡皮壩型式

橡皮壩結構由於受薄壁材料、氣壓、變形等等因素壩高與壩長組合有所等限制，國內壩長40m以上壩高2.5m以上組合技術已是挑戰。橡皮壩國內實務應用以農田灌溉渠道截流控制、下水道分流、截流控制等單跨橡皮壩為大宗，較高較長之堰壩工程(例如高屏溪攔河堰、羅東堰、碧潭攔河堰.....等等)，則採開墩分段之壩體組合方式，一則造價經濟二則運轉操作多元化。

台灣橡皮袋體應用於傾倒式閘門以直接袋體控制最為廣泛，而橡皮壩袋體型式以固定方式可區分為上游單排固定與上下游雙排固定型式，上游單排固定方式乃是以橡皮壩體對折方式，利用夾具將壩袋固定於混凝土壩基上及兩側壩袋配合壩墩斜率與壩袋充氣、倒伏幾何形狀伏貼，利用夾具固定於壩墩上(圖1)。此類型結構形式適用於壩址下游底床較低且與壩基高差較大者，且下游無迴流現象、感潮逆朔或是雙向操作問題者。如有下游迴流問題者橡皮壩袋如採用單排固定，可能因固定夾具、進排氣口或氣壓監測管等等固定於壩基位置，袋體受水流浮力抬升影響，將會造成袋體部分應力集中而造成壩袋撕裂問題。目前解決上述問題則採上下游雙排固定型式(圖2)因應，此方式為於壩基壩袋下游位置增加一排固定夾具，可將進排氣孔置於上下游夾具中間，利用下游整排固定夾具承受因下游水位造成袋體上舉力量，避免形成局部應力集中袋體撕裂問題，但此方式袋體開墩夾具固定方式因受上下游水為高差不同，充氣、倒伏袋體沒入水中流向變化差異等問題，設計單位尚需個案仔細因應。

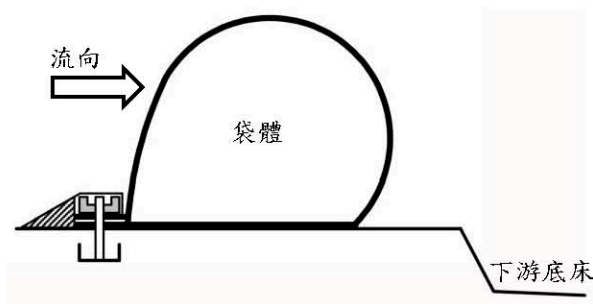


圖1 橡皮壩單排固定示意圖

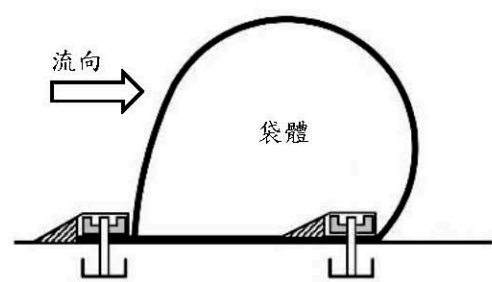


圖2 橡皮壩雙排固定示意圖

三、橡皮壩受損原因探討

此篇幅初淺探討橡皮壩受損原因，乃指橡皮壩設計、製造、安裝及運轉等發生問題時，致使橡皮壩功能降低或影響操作之因素，分類說明如下：

(一) 袋體製程問題

橡皮壩薄壁袋體製造廠商一般依照設計規範要求以合成橡膠與合成纖維，經高壓、高溫、硫化等技術膠結，由於橡皮壩為求平順應力均衡，避免組合厚度差異瑕疵產生，故袋體以要求為單片式結構體，而對製造廠商而言，常因製造機具規模影響造成加壓、加溫不均問題，或是必需多片膠結組合問題，此因素可能造成以下幾種袋體受損情形：

1. 材質不均質

橡皮壩薄壁袋體乃由合成橡膠與合成纖維膠合而成，如合成橡膠生產過程有拌合、硫化不均現象，合成纖維材質排列不勻情事或加壓加溫不均勻情形，當袋體充氣時大部分袋體承受相同張力，當水流衝擊震動或地震突波時，不均勻材質處將容易造成應力集中現象。雖然複合多層材料可避免怵然破裂，但在彈性材質上該處惡化程度容易加速。另由於材質瑕疵容易造成孔隙，當孔隙連貫即可能形成洩氣路徑(圖3)，此狀況往往於安裝多時後才會顯現。

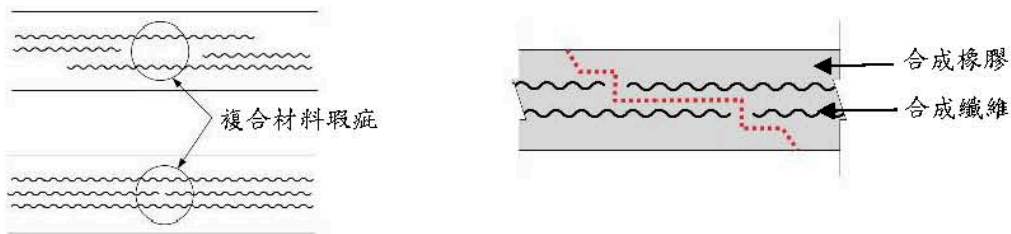


圖3 橡皮壩材質瑕疵示意圖

2. 膠結強度降低

袋體既為多層組合必有其膠結面結合問題，結合面避免雜質殘留容易注意，但加壓、加溫工作機具是否因中間與邊緣因環境條件有所差異影響？膠結過程水氣與空氣包覆殘留容易形成結合層孔隙問題(圖4)，事後對袋體結構強度將有所影響。此現象可能為個體事件，袋體受環境曝曬氣溫高升突出，且容易造成局部磨損。

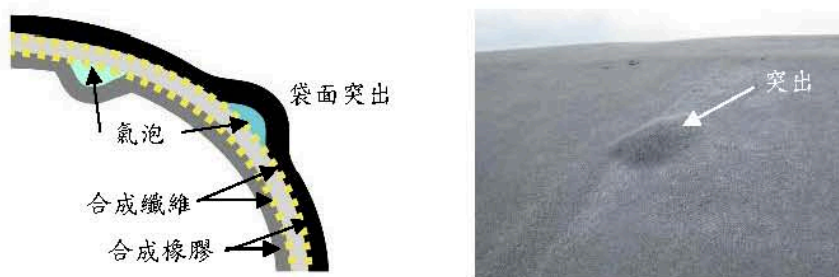


圖4 複合材料膠結瑕疵

3. 袋體劣化

薄壁袋體為最表層為合成橡膠材質，紫外線是橡膠劣化主要原因之一，橡皮壩無論充氣或倒伏，壩袋於壩墩處皺褶特別明顯，當紫外線照射容易讓橡膠體硬化、脆化，壩面皺褶處開始產生表層裂痕(圖5)，經年累月裂縫加劇可能深入纖維層，纖維層主要承受經向、緯向應力，氣密及水密效果不及合成橡膠，一但橡膠層裂縫深入纖維層時，除表層防護降低外，容易造成外水入滲膠結層，溫差、水分氣化膨脹等對袋體膠結都是不好狀況，致使壩袋承受強度降低。

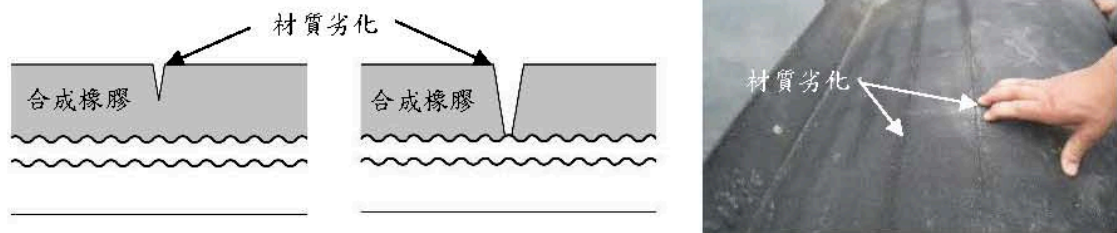


圖5 橡皮壩袋體表層劣化情形

4. 袋體結合瑕疵

較長寬之橡皮壩面受生產器具寬度限制常會有橫向或縱向拼接之結合，畢竟橡皮袋體經化學作用形成後為不可逆特性，所以袋體結合是一個成品與另一個成品的黏結，為保持壩袋均厚情形下，一般採用階梯式膠結方式，黏結長度與黏著材料、技術考驗製造廠商能力與保固承諾。此類瑕疵易發生於老舊袋體，往往由搭接處受壓瞬間產生接縫崩裂(圖6)，破壞規模較大，袋體迅速洩壓水體流失，較難有預警時效不得不慎。

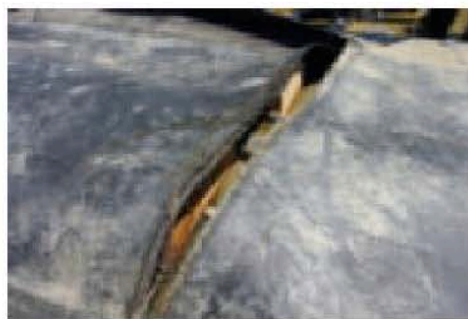


圖6 袋體接縫破裂情形

(二) 固定夾具處氣體洩漏

固定夾具處氣體洩漏應屬人為疏失成分較大，此現象不致造成壩袋安全，漏氣現象嚴重時可以從氣壓監控反映或廊道排水管排水量察覺，其問題大致可歸類以下狀況：

1. 螺桿孔隙洩漏

固定夾具大多採波浪型式以增加袋體握裹力及水密性，固定夾具底座設計一般為預埋方式，夾具螺桿脫落機會甚低，且一個夾片多採多根螺栓固定，夾具且為金屬製品損壞不易。固定器上夾具與下夾具固定與迫緊是利用螺桿、墊片與螺絲(或螺帽)，螺桿之螺牙本身即是氣體孔隙(圖7)。在安裝過程應以填縫劑充填螺桿周圍孔隙(圖8)即可避免漏氣。



圖7 夾具固定螺桿孔隙



圖8 安裝時螺桿周圍施打填縫劑

2. 螺絲扭力不足

橡皮壩袋體屬彈性材料，固定夾具除固定袋體不虞脫離功能之外，兼負袋體閉合、氣密及水密性功能，袋體為彈性材料即有彈性疲乏效應，當螺絲迫緊不足且時日較久彈性疲乏效應產生，滲漏孔隙則可能形成，因此於安裝時嚴格要求各固定器螺絲以扭力扳手檢核扭力值(圖10)。



圖9 安裝時利用設備迫緊夾具



圖10 扭力扳手檢核螺栓扭力值

3. 袋體夾具固定孔擴孔

橡皮壩袋體為保障穩固於壩基上，袋體多配合固定夾具之螺桿位置、孔徑，於袋體開孔穿掛，再以夾具鎖緊固定方式。因螺桿為整組預埋方式施工準確性很高，而袋體螺桿孔位開孔如於工廠施工且經假安裝，孔位因偏移擴孔機率甚低。但如施工不良或現地開孔組合，袋體組合時常會發生孔位變形(圖11)或孔位偏移需擴孔之情形(圖12)，此狀況如不審慎處理亦可能造成洩氣路徑。

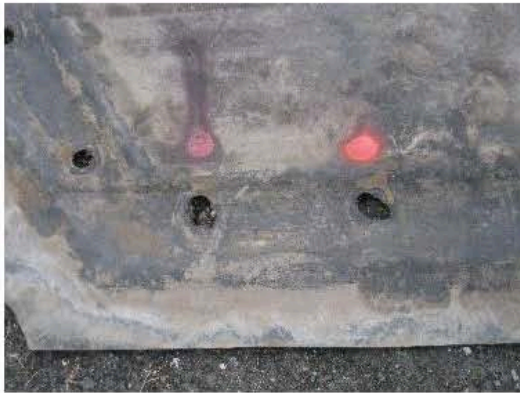


圖11 應力造成壩袋開孔變形



圖12 孔位不符擴孔情形

4. 法蘭安裝工序錯誤

空氣是一微小分子，進排氣管、洩水管法蘭(圖13)安裝夾具施工如輕忽不慎加以注意，可能造成夾具工序錯誤釀成洩漏。實務上曾發生因華司(墊片)非直接作用於固定器上，而迫緊於橡膠墊上，橡膠經年累月後產生疲乏孔位變形，造成壩體滲水及洩氣之案例(圖14)。

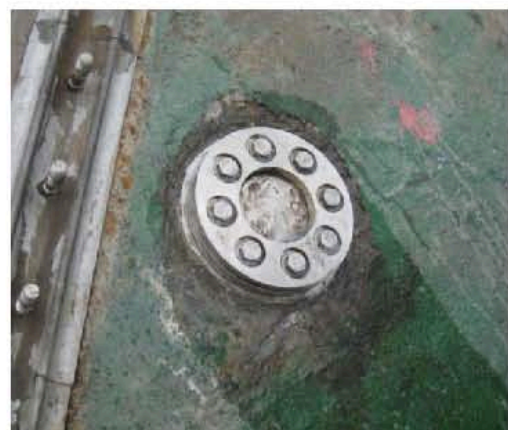


圖13 進排氣管、洩水管法蘭型式

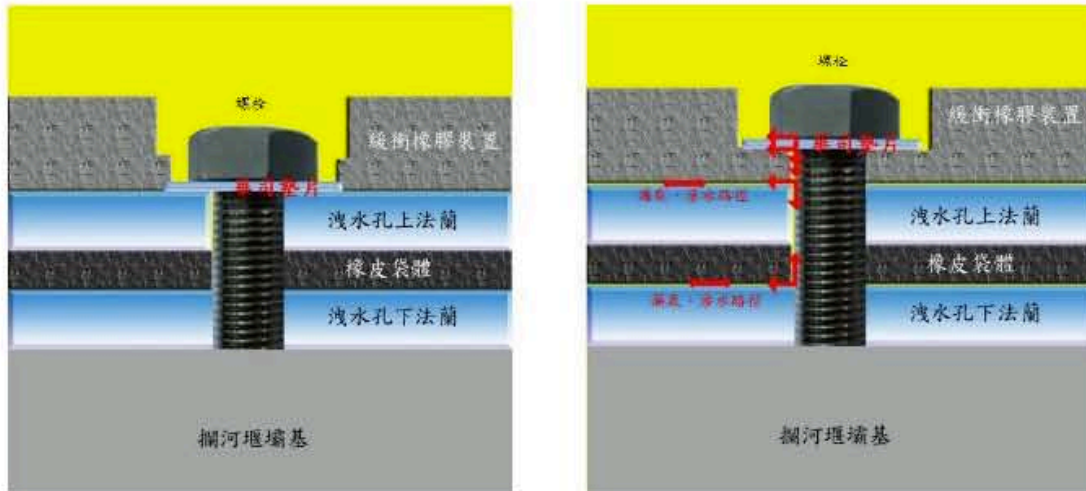


圖14 洩水孔法蘭安裝工序錯誤案例

(三) 外力損傷

橡皮壩薄壁對水流剪力作用尚可應付，但水流如夾帶尖銳流木、金屬將直接沖擊袋體，對橡皮壩體造成損壞機率相當高。洪水期間橡皮壩體倒伏於壩基護坦，不單單洪水帶來的雜物威脅壩體，壩體也有滾動跳躍的石塊。所以洪災之後常常造成橡皮壩的損傷(圖15)。目前對於倒伏的橡皮壩避免塊石碰擊壩袋，直接作用於堅硬的固定夾具或護坦而造成損傷的方法，即是在固定夾具加保護蓋及袋體內部黏附緩衝墊以削減衝擊能量減少傷害，對於足以穿刺或割劃橡皮壩之不明物體則難予預測。



圖15 洪水期間無法預期的災損

(四) 壩體下游護坦磨損

一般水道設置橡皮壩常有川流水溢流情況，當壩袋充氣時溢流水線會沖擊到下游護坦(圖16)，長時間水流沖擊護坦將會破壞護坦平整性，一旦袋體倒伏於護坦上穿流水體造成袋體振動容易摩擦傷害，在例行維護工作需檢視護坦受損情形予以維護。另因上游帶來之尖銳浮木或雜物溢流後有機會殘留於護坦上，當壩體倒伏尖銳浮木或雜物將覆蓋於壩體下方，袋體自重或水流穿越可能致使其物穿刺壩體造成袋體破損。對於下游迴水引進砂石滯留於護坦，亦會造成護坦不平整加劇壩體倒伏時對壩面摩擦傷害，建議例行維護對下游護坦注意雜物清理與平整維護。

圖片來源：網路



圖16 橡皮壩溢流水體沖擊護坦情形

(五) 振動磨損

橡皮壩一般在充氣起立期間受水流、水躍、折沖水流等衝擊會產生振動，水道水體溢流壩體時也會造成壩體振動，故橡皮壩溢流面常設計有破波板(擾流板)，以減少水流造成壩體振動，以避免壩體振動造成壩袋與結構體之摩擦或鬆脫。當橡皮壩倒伏護坦期間水流穿越是否會造成袋體與護坦間之磨損？國內案例中確曾因壩袋沒於水中且護坦不平整，上部波動水流其側向水流作用下造成振動以致袋體與護坦間形成摩擦而受損(圖17)。

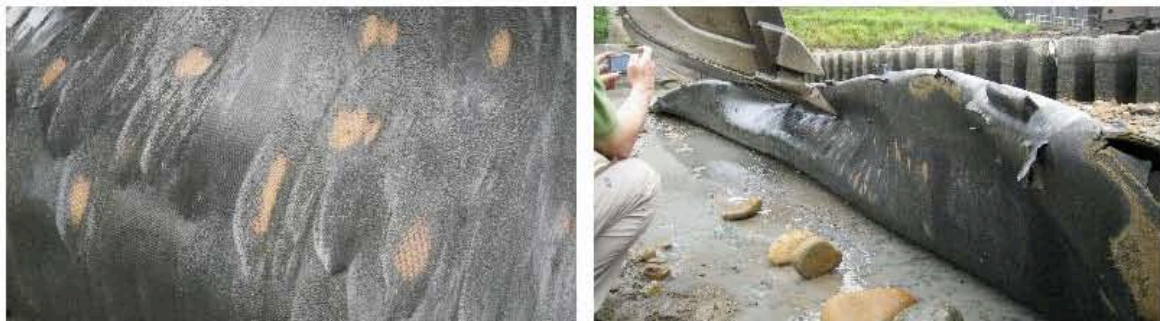


圖17 水流躍動衝擊袋體摩擦護坦破損案例

四、結論與建議

結論

小規模水體控管之水利建造物，橡皮壩挾其築壩條件要求較低、造價低廉、施工迅速、操作、維護簡單、阻水性佳、耐震性能強及可修補性等優點，扮演著重要角色。橡皮壩受其材質特性存有受損高風險之缺點，但因橡皮壩為簡易性阻擋水流設施，其跨距大、墩座少，洪氾時自動倒伏渲洩對水道上下游水位差變化較小之洪災影響，乃是其對水利環境的衝擊影響優勢。

如能在平順河道、水流穩定及河川砂石量較少、水位抬高需求較低等條件下，考量橡皮壩材質特性，善用橡皮壩優點，於設計、製造、施工及維護操作均能確實掌握，橡皮壩不失為一水利建造物規劃選項。

橡皮壩平時營運可利用監測系統，掌握袋體氣壓變化、廊道排水量規則脈絡及早發現橡皮壩受損之處避免受損擴大，應可增長橡皮壩的使用年限。

建議

1. 建立橡皮壩長期氣壓及排水廊道排水量監測記錄與警示機制，以及早發現橡皮壩破損徵兆。
2. 發現氣壓與排水量異常徵兆，建議立即尋找原因並解決，以避免瑕疵問題擴大。
3. 橡皮壩下游增設即時水位觀測設備，以掌握橡皮壩上下游水位差異，予以適當因應。
4. 橡皮壩如喪失功能，應盡速拆除以避免造成二次傷害。

參考文獻：

1. ム引布製起伏堰及び鋼製起伏堰(ゴム袋体支持式)のゴム袋体に関する技術資料，一般財団法人国土技術研究センター，平成28年1月(民國105年1月)。
2. 橡皮壩規劃、設計、施工及維護管理基準(草案)，財團法人農業工程研究中心，民國74年8月。
3. 水利技師公會歷年橡皮壩相關之鑑定報告。

投稿 106.04.21
校稿 106.04.24
定稿 106.04.26