

行政院農業委員會

96 年度水工構造物施工與維護管理研討會

自動倒伏堰(橡皮壩)規劃設計

講師：鴻華化工 吳國鎮 工程師

鴻華化學工業股份有限公司

電話：02-23073131

地址：台北市西園路二段 203 號 4F

## 第一章 橡皮壩發展概況和展望

橡皮壩是用高強合成纖維織物做受力骨架，內外塗敷合成橡膠作粘結保護層，加工成橡膠布，按要求的尺寸，錨固在基礎底板上，用水或空氣的壓力充脹起來，形成擋水壩。不需要擋水時，洩空壩內的水或空氣，恢復原有河渠的斷面，其運用條件與水閘門相似，用於防洪、灌溉、發電、供水、航運、擋潮等工程中。橡皮壩具有造價低、結構簡單、施工期短、抗震性好、不阻礙水流和止水效果好等優點，且能在洪水期間自動倒伏渲洩洪水，防止攔河堰上游水位過高，形成洪水氾濫。對環境景觀衝擊小，又不破壞自然這一特點也利於生態環境的保護，故自從 1957 年世界上建成第一座橡皮壩至今，橡皮壩已在世界各國得到了廣泛的應用。

### 一、橡皮壩在國外的發展概況

橡皮壩是 1950 年代末，隨著高分子合成材料工業的發展而出現的一種新型的水工建築物。1957 年世界上首座橡皮壩誕生於美國洛杉磯河道上，系由美國杜邦公司，提供材料與美國燧石公司製造施工共同研發而成，壩高 1.52m，長 6.1m，膠布厚為 3mm，膠布強度為 90KN/m。自世界上首座橡皮壩在工程實踐中得到應用至今約半個世紀以來，許多國家都已興建過橡皮壩。世界各國興建橡皮壩的總數量現還無法確切統計，但僅日本一國，據稱已達 3000 多座(跨)。

在橡皮壩的早期發展階段，有不少國家對其進行了試驗研究，如美國對橡皮壩進行過較系統的試驗研究和理論計算；英國沃林弗德水力學研究室，對橡皮壩做過模型試驗和理論研究，提出充水(氣)橡皮壩在靜水壓力和動水壓力下的理論形狀，把橡皮壩的計算形狀和穩定性與模型試驗結果進行了對比。前蘇聯在對橡皮壩進行了試驗研究後於 1966 年也建成了一座橡皮壩。

近 10 年來，美國、澳大利亞等國家對橡皮壩進行了進一步的試驗研究，如美國弗吉尼亞綜合研究院和州立大學對橡皮壩的自由振動、三維振動、非線性振動、壩頂溢流等方面進行了試驗研究，並採用有限元方法對橡皮壩的壩袋形狀進行分析。澳大利亞昆士蘭大學土木工程系對橡皮壩的減振裝置如在壩面上設挑流總以減輕壩袋振動等方面進行了試驗和理論計算。

目前全球以日本橡皮壩的發展速度最快，至今已超過 3000 座(跨)，目前國際橡皮壩市場大都由日本公司所壟斷，究其原因，除日本橡膠工業發

達外，還是看準了橡皮壩的經濟和技術效益。日本以住友(SUMIGATE)和普利司通(BRIDGESTONE)兩家橡膠工廠為代表生產橡皮壩。據兩年前住友公司報告，僅其一家公司就已向美國出口了 700 多座(跨)橡皮壩。

在橡皮壩高度建設方面，日本住友公司幾年前施工的充氣壩壩高達 6 米，為世界上最高的充氣壩；普利司通公司為荷蘭建造的 Ramspol 橡皮壩高達 8 米，這是迄今為止世界上最高的橡皮壩。Ramspol 橡皮壩為水氣雙充，整個橡皮壩工程分 3 跨，每跨高度為 8 米，下底寬 60 米，上口寬 80 米，壩袋帆布層數達到 6 層，壩袋厚度 16 毫米，單跨重量 33 噸，壩袋使用年限 25 年。

日本國土開發技術研究中心於 1983 年 8 月修訂出版了《橡皮壩技術標準》，據初步查證，這是迄今為止國外唯一的一本有關橡皮壩的較全面的技術標準，日本仍在應用。該標準比較系統地總結了日本橡皮壩建設的工程實踐經驗，對包括設計、施工、運用管理等內容做出了詳實、適用的規定。

## 二、台灣橡皮壩歷史發展概況

據估計台灣目前已建成的橡皮壩約近百座，壩高最高為 4m，單跨長度最長為 60m，多跨長度最長的為高屏溪攔河堰，八座連結共 270m。民國八十八年完工的高屏溪攔河堰也是台灣首座自製的橡皮壩。

台灣的橡皮壩工程主要應用在民生用水、灌溉排洪、污水截流、防潮與遊憩等方面。較大型的橡皮壩工程有高屏溪攔河堰八座連結共 270m，曾文溪玉峰堰四座連結共 100m 及羅東溪攔河堰四座連結共 160m，這三個大型的橡皮壩工程皆應用在民生用水方面，且較令人驚艷的是這三個大型的橡皮壩工程皆由國內廠商獨立設計、製造、施工完成。

在灌溉排洪方面的橡皮壩應用，則大部分由各地農田水利會興建，其中以彰化農田水利會與苗栗農田水利會應用最多。較值得一提的是，南投水利會在台中霧峰興建的四德二號埤橡皮壩與宜蘭縣政府在頭城興建的侯洞溪攔河堰橡皮壩，其功能不僅具有灌溉、排洪，並配合當地景觀，將附近地形美化，使其具有休憩娛樂功能，形成當地著名的地標，值得各地借鏡。

近年經本土橡皮壩廠商的推廣，國內各設計單位開始了解橡皮壩建物，且漸漸應用在各地縣市政府廣設的污水截流站或抽水站內，其中較特別的是高雄永安北溝排水整治抽水站的橡皮壩工程，直接設在波浪襲擊的出海口，充分利用橡皮壩的柔性構造物具有抗震能力強及抗腐蝕等特性，是國內唯一設在海浪可襲擊的到的橡皮壩。

橡皮壩具有排洪時不阻礙水流，蓄水時抬高河川水位形成人工湖，充分利用自然，又不破壞自然的特點，利於生態環境保護，並兼具休閒、遊憩功能，可惜在國內應用並不多。碧潭攔河堰是三座連結共 120m 長的橡皮壩工程，是早期由日本住友(SUMIGATE)設計、施工，也是國內橡皮壩應用在遊憩方面之代表。

### 三、橡皮壩應用展望

世界橡皮壩的發展以及橡皮壩應用三十多年的具體實踐，橡皮壩不論在發達國家，還是在發展中國家都具有很強的實用價值和廣泛的可行性。與水閘相比橡皮壩結構簡單，利用自然，又不破壞自然，這一特點也利於生態環境的保護。

隨著科技水準的提高，橡皮壩技術將日臻完善，根據橡皮壩的特點，橡皮壩適用於低水頭、大跨度的閘壩工程，一般高度在 5m 以下。橡皮壩通常可以在以下幾個方面使用：用作灌溉系統的大型進水閘，分水閘等；灌區渠道的臨時引水壩；在多砂河流灌區上的擋砂水閘；代替河道上的水閘；加高水庫的溢洪道，增加蓄水量和發電水頭；代替船閘系統的閘門；擋潮堤壩；防浪堤；曬鹽場的擋水堤；自來水廠或污水處理廠的控制門；在河道上建橡皮壩形成人工湖，美化環境。

橡皮壩優點較多，用途廣泛，但在具體實踐中我們還有許多新的課題需待解決，如高度大於 5 米的橡皮壩工程設計和製造問題，壩袋防振動問題，充氣橡皮壩壩袋防振動裝置的應用開發問題，如何進一步提高壩袋強度如在壩袋膠布內加入鋼絲網問題，壩袋的耐老化和耐磨損問題，壩袋的修補和維護問題，橡皮壩的自動控制問題等等。

橡皮壩是隨著科學技術的發展而誕生的一種新型的水工建築物，它必將隨著科學技術的發展，從材料、設計、以及施工和管理等方面得到進一步的完善。

## 第二章 工程規劃

### 一、壩址選擇

1. 應根據橡皮壩特點和運用要求。綜合考慮地形、地質、水流、泥砂、環境影響等因素，經過技術經濟比較後確定壩址。
2. 壩址宜選在過壩水流流態平順及河床岸坡穩定的河段，這不僅避免發生波狀水躍和折沖水流、防止有害的沖刷和淤積，而且使過壩水流平穩，減輕壩袋振動及磨損，延長壩袋使用壽命。據調查和實際工程觀測在河流彎道附近建橡皮壩，過壩水流很不平穩，壩袋易發生振動，加劇壩袋磨損，影響壩袋使用壽命。如果在河床、岸坡不穩定的河段建壩，將增加維護費用。因此，在選擇壩址時，必須在壩址上、下游均有一定長度的平直段。同時，要充分考慮到河床或河岸的變化特點，要估計建壩後對於原有河道可能產生的影響。
3. 橡皮壩的特點之一是跨度大，一般可不設檢修閘門。壩址選擇要考慮建壩後檢修方便。基礎底板不宜低於河床，防止在倒壩洩洪時，壩袋被泥砂覆蓋，管理維修困難。因此，在滿足洩洪斷面的情況下，將基礎底板適當抬高是適宜的。壩址宜選擇在水流過壩後有一陡坡段，泥砂容易排泄，以減輕壩袋振動和磨損。
4. 壩址選擇應考慮施工導流、交通運輸、供水供電、運行管理、壩袋檢修等條件。
5. 壩址選擇應有利於樞紐工程總體佈置。重要工程應有水工模型試驗論證。

### 二、工程規模及樞紐佈置

橡皮壩整個工程結構是由三部分組成的：①基礎土建部分：包括基礎底板、側牆、中墩（多跨式）、上下游護坡、截水牆、下游消能池等；②壩體（即橡皮壩袋）。③控制和安全觀測系統：包括充氣和排氣的充排設備、安全及檢測裝置。在進行橡皮壩總體佈置時，除考慮一般水工建築物的要求外，還必須考慮橡皮壩本身的特點和使用條件，佈置型式有如下幾種：

1. 建在溢流堰或溢洪道上的橡皮壩，壩後緊接陡坡段，無下游回流頂托，無需佈置上游的防滲鋪蓋和下游的消能設備。如建在奧氏溢流堰頂上的

橡皮壩，基礎底板可呈曲面，不需改變原溢流堰頂的結構，由於堰頂寬度很窄，故宜採用充氣式橡皮壩。建在溢洪道上的橡皮壩運行情況是最好的。因為在洪水期，大量礫石已在水庫沉積，即使有漂流物過壩，因有過壩水層和堰頂急流，不容易產生磨損壩袋現象；枯水期，上下游均無水，有利於對壩袋的全面檢修。

2. 建在平原河道橡皮壩。平原河道水流比較平穩，河流斷面較寬，充分發揮橡皮壩跨度大、阻力小的優點。建在平原河道的橡皮壩，在運用時要注意過壩水流與下游水深的關係，認真佈置消能設施，防止河床和河岸的沖刷，盡可能避免產生壩袋振動磨損。當河道斷面很寬時，為了運用方便則可佈置中墩，使橡皮壩分成幾段。橡皮壩的閘墩長度和外形輪廓應使過壩水流平穩，減小側向收縮和避免產生漩渦。如果橡皮壩閘墩設計過短，使閘墩兩側形成很大旋渦，閘墩下游水流相互撞擊，回流衝擊壩袋，造成壩袋的振動磨損導致破壞。
3. 建在山區河道橡皮壩。山區河道的特點是坡陡流急，含大量礫石，水流過壩容易使壩袋產生衝擊，造成磨損破裂。佈置時要把基礎底板適當抬高，改善上下游水面的銜接，使過壩砂卵石不易隨水流捲入壩袋下面。一般在底板與下游河床之間常用 1:2~1:4 的陡坡段連接。對建在山區河道上的橡皮壩，不僅設計要精心，而且要加強對橡皮壩袋振動磨損的觀測，及時修補。
4. 壩長應與河(渠)寬度相適應，倒壩時應能滿足河道設計排洪要求，多跨時應考量流量的調節。如果流量較大時，必須加強下游消能防沖設施。考慮壩袋運輸安裝、檢修方便以及運行管理要求，單跨最大長度在 100m 以內為宜。對漂流物較多的河段，單跨在 20~30m 為宜。
5. 橡皮壩是薄壁柔性結構，由於壩袋內壓力變化及壩上下游水位變化等原因，引起壩體變形，壩高也隨著發生變化，在不同條件下，壩高概念是不一樣的。設計壩高，是指上游為設計水位，壩下游水位為零時的壩高。在設計壩高時的壩袋內壓為設計內壓。
6. 壩底板高程與運用要求及壩袋檢修有著密切的關係。壩底板高程定得低一些，可以加大排洪量，但壩袋高度增加，相應壩袋周長加長，工程經費亦增加，而且壩袋檢修條件差。因此，在不影響排洪量情況下，特別是在山區礫石較多的河道上，底板比河床略高較為有利，可防止過壩礫石泥砂隨水流捲入壩袋底部從而減輕壩袋的磨損，壩底板高程比上游河床地形平均高程適當抬高 0.2~0.4m。壩底板厚度應滿足進排氣管路及錨固結構佈置要求，底板厚度常採用 0.8m 以上。底板寬度應滿足壩袋倒伏線的寬度要求，並於上下游留足安裝檢修的交通道。若河道寬度太寬(超過 40m)，底板順水流方向設伸縮縫，縫距根據具體情況確定。底板前後兩端需設基腳，基腳深度一般為 0.5~2m。

7. 多跨橡皮壩應用中墩分開，墩厚不小於 0.5m，以便佈置壓力檢測管；墩高應大於壩頂溢流時的水頭；墩長大於壩袋工作狀態時的長度，但宜小於底板長度 0.5~1.0m。
8. 工程佈置宜包括土建、壩體、充排和安全觀測系統等。應做到佈局合理、結構簡單、安全可靠、運行方便、造型美觀。壩軸線應與壩址處河段水流方向相垂直。
9. 取水工程應保證進水口取水和防砂的可靠性。
10. 壩袋設計高度應根據工程規劃，滿足綜合用水要求確定。壩頂高程至少應高於取水位 0.1~0.2m。
11. 消能防沖設施的佈置，應根據地基情況、運行工況等因素確定。
12. 壩袋與兩岸連接佈置，應使過壩水流平順。上、下側牆兩端應與原有護岸平順連接，其順水流方向的長度應根據水流和地質條件確定。側牆頂高程應根據洪水位加高確定。
13. 壩袋充排控制設備及安全觀測裝置均應設在操作機房內，操作機房佈置應考慮運行管理方便。
14. 在枯水期流量較大河流上的橡皮壩工程，應考慮檢修時的導流方式。
15. 因應環保需求，可考慮增設魚道或魚梯。

## 第三章 工程設計

### 一、壩袋

1. 橡皮壩按充脹介質可分為充水式、充氣式。充水式橡皮壩在壩頂溢流時袋形比較平緩，過水均勻，對下游沖刷較小；由於氣體具有較大的壓縮性，充氣橡皮壩在壩頂溢流時，出現凹口現象，水流集中，對下游河道沖刷較強。在有冰凍的地區，充氣橡皮壩內的介質沒有冰凍問題；充水橡皮壩不具備這一優點。充氣橡皮壩氣密性要求高；充水橡皮壩這方面的要求相對低些。充氣橡皮壩比充水橡皮壩工程投資低。在選擇方案時應根據運用要求和工作條件，考慮上面的優缺點選擇適當壩型。
2. 橡皮壩經常在寬河道上使用，除經濟效益明顯，管理方便外，景觀優美，壯觀雄偉，也是一大優點。但單個壩袋過長會帶來一系列的問題，如加工不便，運輸困難，安裝难度大，不利檢修等。因而在寬河道或溢洪道上修建橡皮壩時，選擇過長壩袋要認真評估。
3. 設計內壓比  $\alpha = H_0/H_1$ ，其中  $H_0$  為壩袋內壓水頭， $H_1$  為設計壩高。根據調查，設計充水式橡皮壩採用的內壓比最低為 1.25，大多數選取的範圍是 1.3~1.6。充氣橡皮壩的內壓比選取的範圍為 0.75~1.10。從運用角度出發，在沒有特別要求時，內壓比無須選擇太大。從強度角度講，壩高較小時，強度的選擇基本不受材料限制，內壓比選擇幅度很大，為節省壩袋材料，可選取較大值。而高壩的強度選擇受材料限制很大，宜選取較小值。在內壓比選擇幅度較大時，內壓比的選擇應經技術經濟比較。壩袋強度設計安全係數為壩袋抗拉強度與壩袋設計張力之比。充氣式橡皮壩依日本規範橡皮壩強度設計安全係數的選取須大於 8.0，確定壩袋橫向強度設計安全係數的方法是一種經驗的和近似的方法。根據試驗結果分析，橡皮壩在側牆、邊坡採用壓板錨固時，橫向強度設計安全係數取用縱向強度設計安全係數的 2/3 倍。在確定壩袋強度安全係數時還應考慮下列因素：壩袋膠布材料加工製成膠布時強度損失一般達 15%~25% 左右，並且材料強度存在不均勻性；壩袋在使用過程中因老化所造成的強度損失，以及工程規模和重要性等。
4. 壩袋袋壁承受的縱向拉力應根據薄膜理論按平面問題計算。壩袋實際運行狀況有多種，但壩體張力於壩上游水深等於壩高，壩下游無水的狀況時，壩袋縱向所受拉力最大，故此種狀況作為設計狀況。
5. 橡皮壩袋應滿足下列構造要求：



- A. 壩袋膠布除必須滿足強度要求外，還應具有耐老化、耐腐蝕、耐磨損、抗衝擊、抗屈撓、耐水、耐寒等性能。
- B. 壩袋膠布的帆布層數以二至四層為宜。
- C. 在有礫石的河道上，壩袋宜考慮緩衝墊層設計。
- D. 壩袋膠布布幅間的搭接強度應大於壩袋橫向設計強度。搭接方法應與膠布製做廠家商定，搭接強度須經試驗驗證，並應保證壩袋錨固安裝有良好的止水效果。
- E. 充氣橡皮壩應設壓力監測設備監測充氣壓力。
- F. 壩袋與底板的連接可採用雙排錨固或單排錨固。
- G. 壩體縱斷面為梯形佈置時，兩端壩頂以略高於設計壩高為宜，兩端壩高可取設計壩高的 1.1-1.2 倍或壩高加 15cm。

## 二、錨固結構

1. 橡皮壩錨固的作用，是用錨固構件將壩袋膠布固定在承載底板和側牆上，形成一個封閉袋囊。因此，錨固是橡皮壩能否穩定起到擋水作用的關鍵部位，其構件必須滿足設計的強度和耐久性，達到牢固可靠和嚴密不透氣的要求。
2. 錨固構件必須滿足強度與耐久性的要求，包含螺栓的抗拉強度、螺栓與混凝土間的裹握強度、鉗具的抗拉強度。
3. 錨固線佈置分單排固定和雙排固定兩種。單排固定只有上游一條錨固線，錨線短，錨固件少，低壩和短壩多採用單線錨固。由於單線錨固僅在上游側錨固，壩袋可動範圍大，對壩袋防振防磨不利，尤其在壩頂溢流時，有可能在下游壩腳處產生負壓，將泥砂吸進壩袋底部，造成壩袋磨損。雙排固定是將膠布分別錨固於四周，錨線長，錨固件多，安裝工作量大相應地處理密封的工作量也大，但由於其四周錨固，壩袋可動範圍小，於壩袋防振防磨有利。在沿海潮區，由於河水位和海水位經常變動，可採用對稱雙排固定佈置。對有雙向擋水任務的橡皮壩，也宜雙排固定錨固佈置。
4. 橡皮壩的錨固是保證壩袋安全的重要環節，對於重要的橡皮壩工程，應做錨固結構試驗。
5. 錨固構件按使用的壓板材料分為不銹鋼、普通鋼、鑄鐵等，在污水河道或海邊，須特別考慮容易銹蝕問題。為防止銹蝕，螺栓應用不銹鋼材料，若用普通鋼應經過防銹蝕處理，如鍍鋅等。因細紋螺栓在運用中易於鬆脫，應採用粗紋較好。

6. 上游錨線在側牆上要延長一段，以便在壩袋充漲時減少橫向應力，經過試驗並根據工程經驗，壩端壩高一般可取 1.1~1.2 倍設計壩高或壩高加 15cm。

### 三、控制系統

1. 橡皮壩充、倒壩時間的選用應根據工程的具體運用條件確定。根據國內已建橡皮壩工程的統計，其充壩與倒壩時間宜介於 5~40 分鐘，時間太長與太短都不利於操作。另外，對建在行洪河道或溢洪道上的橡皮壩，由於有突發洪水的情況出現，如因排氣時間過長，不能及時倒壩，可能造成洪水漫灘或漫壩，由此帶來嚴重後果，其充、倒壩時間或運用方式應作專門研究。
2. 壩體需設置排水口，以防壩內積水。一般壩內積水的原因，有因溫差或壓差而產生之結露現象或壩體漏水，為使壩體每次倒伏過程能自動將壩體內積水排出，故排氣閥之位置需設置於管路最低之位置。
3. 壩袋的充氣方式採動力式，即壩袋的充氣完全利用鼓風機進行，動力設備的設計應根據工程情況、運用管理的可靠性、操作方便等因素，經濟合理地選用鼓風機的容量及台數。鼓風機的容量，由起立時間支配，按設定的起立時間來計算檢討外，吐出靜壓，吐出量均增加 20%的安全容量。
4. 重要的橡皮壩工程應配置備用動力設備，排氣方式利用水壓力壓縮壩袋自然排氣。
5. 充排系統的設計主要包括動力設備的選型、管線計算及進排氣口裝置。
  - A. 鼓風機選型：應根據壩袋的容積、設計內壓比及充壩時間計算確定鼓風機的額定風量。鼓風機的工作壓力根據橡皮壩的額定充氣壓力確定，工作壓力應大於額定充氣壓力。根據鼓風機的額定風量、額定充氣壓力參照鼓風機的樣本選用合適的鼓風機。
  - B. 管線選擇：管路設計應與充、排氣時間相適應，做到佈置合理、運行可靠及維修方便，具有足夠的充排能力。充氣過程管線中的氣體流速應在 20m/s 以下，充壩與倒壩時間宜介於 5~40 分鐘，依此原則設計管線管徑。
6. 進排氣口應有適當的護措施，避免管口被壩袋覆蓋。
7. 倒伏裝置：壩體之膨脹媒體排出使其倒伏的裝置，除手動排氣閥外，平常裝置與上流水位連動之自動倒伏裝置有兩種，機械式與電動式兩種。

機械式自動倒伏方式有浮筒式(float)與吊桶式(bucket)兩種。其原理由上流水位檢測管將河川水導入操作機房內，利用浮筒浮力或流入水桶水之重量，機械式開啟排氣閥。一般自動倒伏方式採用機械式作用之浮筒式、吊桶式較多。如這些裝置不可能使用時，檢討電動式自動倒伏裝置。

8. 操作機房之位置及構造之檢討：操作室儘可能可看壩之全部的位置。又其大小要檢修保養檢查容易的尺寸。其地下室之深度，要考慮進排氣管等能水平配管之深度。

#### 四、安全與觀測設備

##### 1. 安全設備設置應滿足下列要求：

- A. 充氣橡皮壩必須設置過壓防止裝置，防止因人為操作不當或機器故障引起之內壓過大使壩體損傷。另壩體自動倒伏裝置故障時，過壓防止裝置亦具有自動倒伏功能。本工程過壓防止裝置採用水封式型式。
- B. 橡皮壩必須設置機械式自動倒壩裝置，確保排洪及壩袋安全，亦可增設電子式自動倒壩裝置。

##### 2. 觀測裝置設置宜滿足下列要求：

- A. 為準確掌握橡皮壩上、下游水位及壩袋內壓情況，以便為控制運用及管理提供準確的依據，有條件時，宜設置上、下游水位及壩袋內壓觀測裝置。
- B. 橡皮壩上、下游水位觀測簡單的方法是採用水位尺規，也可採用連通管接至操作機房從玻璃管或塑膠管讀取，隨著水利事業管理水平的提高，一些橡皮壩工程已開始採用電腦自控系統，此時水位監測應採用自動水位感測器。
- C. 壩袋內壓力觀測設置，充氣壩可安裝壓力錶直接讀取，當採用電腦自控系統時，應採用壓力感測器自動監測。

#### 五、土建工程

1. 橡皮壩的土建工程設計與水閘基本相同，應根據壩的設計條件、水工佈置分別驗算建築物的強度及防滲、抗滑穩定。

2. 橡皮壩土建工程應包括基礎底板、側牆、中墩(多跨式)、上下游護坡、截水牆、下游消能池、護坦等。
3. 土建工程設計，應根據壩的設計條件，使建築物滿足強度、防滲及地基穩定的要求。
4. 作用在橡皮壩上的設計荷載可分為基本荷載和特殊荷載兩類。
  - A. 基本荷載：結構自重、水重、正常擋水位或壩頂溢流水位時的靜水壓力、揚壓力(包括浮托力和滲透壓力)、土壓力、泥砂壓力等。
  - B. 特殊荷載：地震荷載及溫度荷載等。
5. 壩底板、側牆(中墩)應根據地基條件、壩高及上、下游水位差等確定其地下輪廓尺寸。其應力分析應根據不同的地基條件進行計算；穩定計算可只作防滲、抗滑動計算。

A. 底板順水流方向的長度按下式計算：

$$L_d \geq L + L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_3 = L_0 / 2$$

$L_d$ ——底板順水流方向長度

$L$ ——壩袋挾具寬度

$L_1$ 、 $L_2$ ——上、下游安裝、檢修通道，一般取 1.0m 以上

$L_3$ ——壩袋倒伏貼地長度

$L_0$ ——為壩袋的有效周長

- B. 壩底板的應力分析可按彈性地基梁進行計算。計算時應根據不同的地質條件及結構分縫情況，分別計算底板的縱向及橫向強度。
- C. 壩袋底板的防滲長度、沿基礎底面的抗滑穩定、壩底板的平均基底壓力、最大壓力和最小壓力可分別參照《水閘設計規範》進行計算。
- D. 側牆(中墩)是橡皮壩在左、右岸進行錨固和充脹壩袋成密封狀的重要部分。側牆(中墩)的設計高度應首先滿足壩袋錨固佈置的要求，同時高於壩頂溢流時最大溢流水位。側牆(中墩)有斜坡式和直立式，在天然河渠中建橡皮壩，為保持原有過水斷面，通常用斜坡式，邊坡如能在 1:2 以上，可減小坡腳處壩袋的折皺。

6. 橡皮壩因對基礎承載力的要求不高，一般土基已能滿足要求，橡皮壩應儘量建在天然地基上；對建在較弱地基上的橡皮壩應進行基礎處理。一般可在基腳處打設混凝土基樁或鋼板樁。
7. 為保證上、下游邊坡不受水流沖刷，需要進行護坡。當橡皮壩的斷面為梯形時，上、下游邊坡應與壩身段一致；護坡高度應與可能達到的高水位加上風浪高，護坡長度應大於河底防護的範圍。
8. 消能池(護坦)除應滿足消能防沖外，還應考慮減輕和防止壩袋振動。對經常溢流的橡皮壩工程，宜設陡坡段與下游消能池(護坦)銜接。
9. 充氣橡皮壩的消能防沖計算，應考慮倒壩時壩袋出現凹口引起局部流量增大的因素。
10. 操作機房應滿足機電設備佈置和操作運行及管理需要，室內地面高程應高於洪水位。操作機房地下室應作防滲處理。
11. 操作機房地基應與橡皮壩基礎連結，避免不均勻沉陷挫斷管路。
12. 在已建攔河壩頂或溢洪道上加建橡皮壩時，應對原工程抬高水位後進行穩定及應力分析，並應考慮上游淹沒影響和不得降低原有防洪標準。



## 第四章 施工安裝

### 一、一般規定

1. 橡皮壩工程的施工包括：壩袋的製造（在工廠進行）安裝和土建兩部分。在制定施工計畫時，應注重以下幾點：
  - A. 施工圍堰及導流措施。壩址上游如有支流或與之相連接的湖泊、河網可以調節水流，應進行比較，能利用的則加以利用，作為施工導流措施。上下游橫向圍堰宜與水流方向垂直，縱向圍堰應與水流方向平行佈置。圍堰及導流渠施工應滿足溢流、抗滑穩定與防滲要求。迎水坡面還應考慮風浪湧高。施工圍堰的內坡腳線與基坑邊線應留有適當距離，以便於施工操作、排水、防滲和搶險。
  - B. 施工道路按臨時或永久性考慮，視需要而定。
  - C. 各種建築材料、機械設備的安放地點，鋼材、木材倉庫及預製構件的場地，交通、水、電線路以及開挖基坑土方的堆放位置等，都要統一安排場地，專人負責，做到既能加快施工進度，又能節省勞動量和有利於施工安全。
2. 施工場地佈置應做到合理佈局，施工方便，確保安全，力求節約。
3. 橡皮壩袋必須進行專門的品質檢驗。
4. 壩袋安裝必須保證對充脹介質的密封性。
5. 橡皮壩施工中必須加強品質管制，應建立品質保證體系和品質檢查體系，確保施工品質。

### 二、土建工程施工

1. 土建工程施工可包括下列主要項目：
  - A. 基礎開挖，控制及觀測系統管線埋設。
  - B. 澆築混凝土底板、預埋錨固螺栓。
  - C. 修築側牆和防滲、防沖設施及其它安全保護措施。
  - D. 操作機房。
2. 土建工程施工應注意以下幾點：
  - A. 基坑開挖宜在準備工作就緒後進行，開挖接近設計高程時，應用人工開挖平整至設計高程，然後澆築混凝土。在開挖過程中，對於降雨積水或地下水滲漏，必須及時抽水，不得長期積水；若地基不滿足設計要求，要開挖進行處理，並防止產生局部沉陷，影響工程品質和安全。側牆開挖要嚴防塌方，以免影響工期。
  - B. 操作機房施工應注意防滲要求，使橡皮壩能正常運行操作。

3. 橡皮壩基礎底板的施工要求與水閘相同，但對特殊部位有其獨特的要求。壩袋起落時與混凝土表面接觸處要求光滑，以減少由於水流脈動、波浪衝擊的影響而使壩袋產生振動磨損。同時，由於錨固槽處局部有凹凸，與壩袋接觸處應認真檢查，有稜角的去掉磨滑。
4. 錨固施工中應注意如下：在預埋螺栓時，混凝土澆築一般分為兩期，一期混凝土澆築至完成面以下 70cm 時，將螺栓定位固定，固定過程需用水準儀測定螺栓高度，經緯儀測量螺栓中心位置和間距，螺栓中心線要求成一直線，無誤差後確實焊接固定，避免澆築混凝土時位移。二期混凝土澆築至完成面後，在混凝土初凝前再次進行校核工作。壓板除按設計尺寸製造外，還要製備少量尺寸不規格的壓板，以適用於彎角等特殊部位。
5. 壩袋與基礎底板和側牆(中墩)接觸部位的表面必須平整光滑，必要時混凝土面可塗抹環氧樹脂，以減少壩袋的磨損。

### 三、控制、安全和觀測系統施工

1. 安全裝置安裝前，應進行檢查，並按設計要求進行安裝，確保品質，運用可靠。
  - A. 安全系統由機械式自動倒伏裝置、過壓防止裝置等組成，該系統的施工要求精確。
  - B. 密封性高的設備都要在安裝前進行調試，符合設計要求方能安裝使用。
  - C. 安全裝置應設置在操作機房內，以利隨時控制。
  - D. 過壓防止裝置，其過壓排氣能力應大於或等於起壩的供氣量。
2. 觀測系統的安裝，應進行調試，使其符合設計精度要求，確保觀測方便可靠，觀測系統由壓力錶、水位觀測裝置等組成，其設計和施工應注意以下幾點：
  - A. 施工安裝時一定要掌握儀器精度，要保證其靈活性、可靠性和安全性。
  - B. 壩袋內壓的觀測要求獨立管理，直接從壩內引管觀測，不得設至於進排氣管上，水位觀測要求獨立埋管引水，取水點儘量離壩體遠點。

### 四、壩袋安裝

1. 橡皮壩工程的最重要的設備材料是壩袋橡膠布，壩袋出廠時必須附有經過國家認證單位的權威檢測機構出具的具有法律效力的壩袋產品檢驗報告。
2. 壩袋安裝順序和錨固施工步驟



- A. 固定螺栓柱螺合於錨錠螺栓套內，安裝下固定板。
  - B. 將壩袋鋪平。
  - C. 將壩袋掀開後壩袋內側螺栓孔依序套入下游側螺栓中。
  - D. 內排固定夾具鎖緊，並做扭力測試。
  - E. 壩袋進排氣孔及壓力檢測口開孔及特型法蘭安裝。
  - F. 將壩袋覆蓋後將外排固定夾具置於壩袋上方並依序套入固定螺栓中，然後將螺帽鎖緊固定之。
3. 壩袋安裝後，必須進行全面檢查。在無擋水的條件下，應做壩袋充壩試驗；若條件許可，還應進行擋水試驗。整個過程應進行下列項目的檢查：
- A. 壩袋及安裝處的氣密性。
  - B. 固定夾具的狀況，做錨定螺栓鎖緊扭力測試。
  - C. 壩袋外觀觀察及變形觀測。
  - D. 充排、觀測系統情況。
  - E. 充氣壩袋內的壓力下降情況。
4. 充壩檢查後，應排氣倒伏重新緊固錨固件。

## 橡皮壩與傳統鋼閘門比較

1. 橡皮壩可配合河道斷面設置，且可長跨徑施工，因壩柱引起河川阻塞之機率小。
2. 橡皮壩倒伏操作只要打開排氣閥即可，操作機構單純，停電時無動力也自動倒伏，動作之可靠性高。且因其構造倒伏確實，洪水時對河道堤防之安全性也高。
3. 橡皮壩起立操作只要啟動鼓風機(blower)等起立機器即可，可靠性高。
4. 壩體上有堆砂及異物等，只要將壩體內壓設定較高，即可用膨脹壓及水流沖刷等反覆操作來排除壩體上之土砂及異物。
5. 在防波防潮方面，因橡皮壩是軟性構造，可緩和波力之衝擊。
6. 因橡皮壩壩體本身及固定部份止水性良好故適合貯水，傳統閘門需定期更換水密橡皮才可保止水性(水密性)。
7. 在維護保養方面，橡皮壩的檢查、整修、起伏操作容易，又不需塗裝油漆，管理維持費低。
8. 在經濟性方面，橡皮壩本身之建設經費及維護管理費均較傳統閘門便宜，尤其是大跨徑之渠道斷面，建設經費及維持管理費差異更大。近年因國內廠商已能製造生產橡皮壩壩體，生產成本更低。
9. 壩體的壽命，按實績及試驗結果與鋼製閘門之耐久性推測約略相等，設置後 30 年內，無大問題。
10. 壩體安全性方面，壩體強度用安全係數 8 倍來設計，因此強度上有十分把握。
11. 橡皮壩壩高會隨上下流水位變化而改變，因此精確控制水位有其困難。
12. 橡皮壩壩高無法隨意控制，故在控制流量方面，要精準控制流量有其困難。但可搭配傳統閘門使用。

## 橡皮壩的水理特性

1. 影響橡皮壩壩高的因素有壩體周長、壩體內壓及上下游水位。
  - A. 壩體周長越長，壩高越高。
  - B. 壩體內壓升高，壩高會升高。壩體內壓愈高，壩高變化愈小。
  - C. 上游水位升高，壩高會降低，下游水位升高則壩高會升高。
  - D. 壩高會隨上述因素變動，若橡皮壩使用單排固定方式，壩高的變化大約在 15%左右。若使用雙排固定方式，壩高的變化大約在 5%左右。
2. V 形缺口現象：橡皮壩倒伏過程中壩體會產生局部收縮，而流量集中的現象，此時，流量變化少但單位寬流量增加，水躍的位置將向下流側移動。
3. 橡皮壩溢流量
$$\text{溢流量： } Q=C \cdot B \cdot h^{3/2}$$
$$C=1.77 \cdot h/H+1.05$$
$$Q=\text{流量 (m}^3 \text{ / sec)}$$
$$C=\text{流量係數}$$
$$B=\text{越流寬 (m)}$$
$$h=\text{越流水深 (m)}$$
$$H=\text{堰高 (m)}$$
4. 影響橡皮壩的倒伏速度的因素有上下游水位及進排氣管的管徑與長度。
  - A. 上流水位較高時之倒伏初期其倒伏速度較快，倒伏一段時間後，上流水位會降低，下流水位會增加，而使倒伏速度變慢。
  - B. 進排氣管的管徑越大，倒伏速度越快。考量橡皮壩倒伏時對下游之衝擊，可以控制排氣口的大小，已調節倒伏的速度。倒伏時間按自然排氣方式計算，考慮配管之長度，彎管形狀之損失係數來檢討。
  - C. 進排氣管的長度越長，倒伏速度越慢。
5. 橡皮壩要完全倒伏，需要某程度之上下流水位差及倒伏時之流速。否則收縮後之壩體將不完全與河床面貼(密)著。此種情形常發生於下游經常保持一定呆水位之地方。
6. 空氣式橡皮壩越流水深一般定在  $h=0.2H$ ，再大的話橡皮壩將發生振動現象。

## 案例介紹：苗栗竹南瓦窯埤制排水門改善工程

### 橡皮壩設備規格：

#### 1. 橡皮壩尺寸、座數

- (1) 高度3長度3座數： 1.50m(H)3 10.40m(L)31座
- (2) 壩體兩端斜坡： 右岸 90度 左岸 90度
- (3) 控制室： 在堰的右岸

#### 2. 型式： 充氣式橡膠自動倒伏堰(含控制設備及自動設備)

#### 3. 橡皮壩本體及操作方式

- (1) 橡皮壩壩體厚度： 9.0 mm
- (2) 補強合成橡膠布： 2層
- (3) 單層合成橡膠布張力強度：經向120 kgf/cm以上；緯向80 kgf/cm以上
- (4) 橡皮壩壩體橡膠材質： BLEND OF CHLOROPRENE
- (5) 橡皮壩固定方式： 雙排不銹鋼錨錠螺栓固定(SUS304,  $\phi 1''$ )
- (6) 膨脹媒體： 空氣式(非水冷式鼓風機)
- (7) 操作控制： 自動起立、倒伏，並可隨時用手動操作
- (8) 起伏速度： 起立與倒伏均為30分鐘以內
- (9) 貯水深(壩高)： 1.50公尺
- (10) 設計自動倒伏水深： 1.80公尺
- (11) 自動倒伏檢測器： 電子式及機械式各一套
- (12) 壩體內空氣壓力： 經常保持0.12~0.19 kgf/cm<sup>2</sup>。

4. 設計及製造標準（安全係數）：各部份安全係數如下：

1. 橡皮壩體強度	設計強度的	800%以上
2. 地震時橡皮壩體強度 ( $K_h=0.3$ )	設計強度的	550%以上
3. 不銹鋼固定夾具組件強度	設計強度的	300%以上
4. 地震時不銹鋼固定夾具組件強度 ( $K_h=0.3$ )	設計強度的	200%以上
5. 不銹鋼錨錠螺栓組件強度	設計強度的	300%以上
6. 地震時不銹鋼錨錠螺栓組件強度 ( $K_h=0.3$ )	設計強度的	200%以上
7. 不銹鋼錨錠螺栓與混凝土握裹應力	設計強度的	300%以上
8. 動力的寬裕	計算馬力的	120%以上
9. 送氣的寬裕	送氣量的	120%以上
	送氣壓力的	120%以上

5. 橡皮壩壩體、橡膠、合成橡膠布、材質檢驗

(1) 橡膠材質檢驗：橡皮壩體生產完成，由製造廠抽取橡膠試驗片送至公立檢驗單位，或國家實驗室認證體系(CNLA)認可之機構，按JIS或CNS 試驗法檢驗材質，並提出試驗報告書。

(2) 合成橡膠布材質檢驗：橡皮壩體生產完成，由製造廠抽取合成橡膠布試驗片送至公立檢驗單位，或國家實驗室認證體系(CNLA)認可之機構，按JIS 或CNS 試驗法檢驗材質，並提出試驗報告書。

6. 錨錠螺栓組件

(1) 不銹鋼錨錠螺栓      :  $\phi 1''$  , SUS-304

(2) 不銹鋼螺帽           : SUS-304

(3) 不銹鋼華司墊片     : SUS-304

不銹鋼錨錠螺栓製造完成埋設前，由製造廠取樣送往公立試驗機構，或國家實驗室認證體系(CNLA)認可之機構，按JIS 或CNS 檢驗法

檢驗材質，試驗合格後提出試驗報告呈送甲方認可。

## 7. 管線

- (1) 壩體進、排氣管 : 不銹鋼管SUS-304，管徑50A34 mmt。
- (2) 控制室管線 : 不銹鋼管SUS-304，管徑50A34 mmt。
- (3) 控制室內通風管 : 不銹鋼管SUS-304，管徑100A33 mmt。
- (4) 水位檢測管 : 不銹鋼管SUS-304，管徑80A33 mmt。
- (5) 控制室內排水管 : 不銹鋼管SUS-304，管徑32A33 mmt。

## 8. 鼓風機組及其他設備

### (1) 充氣馬達規格

- A. 馬達型式 : 廠牌：東元牌，型號：AEHL
- B. 馬力 : 3 HP3220V3三相

- (2) 鼓風機型式 : LT-50魯氏鼓風機(非水冷式)
- (3) 自動沈水式抽水機 : 1HP3220V3三相 (50-8-PUT)
- (4) 室內抽風機 : 1/2HP3220V3三相 (JSD-60M)
- (5) 電動閥 : 1/4HP3220V3三相(50A)
- (6) 手動閥 : 50A
- (7) 上游水位計組 : 含磁力式液位計一組(可目式水位)及標尺  
壓力傳送器一個，0~0.6kgf/cm<sup>2</sup>(A. B-PTM)  
電子式控制電錶，具一組開關(AXE-mm2)
- (8) 壩體壓力計 : 機械式壓力錶一個(φ100mm)  
壓力傳送器一個，0~0.6kgf/cm<sup>2</sup>(A. B-PTM)  
電子式控制電錶，具一組開關(AXE-mm2)

9. 橡皮壩堰體合成橡膠布之規格及試驗方法

各部材料		試驗項目	規 格 值	試 驗 方 法	
堰體合成橡膠布	橡膠 (外層, 內層)	初期物性	TB 120kgf/cm <sup>2</sup> 以上 EB 400% 以上	JIS K 6251(3號形) CNS 3553	
		抗熱老化性 100°C × 96hrs	TB 100kgf/cm <sup>2</sup> 以上 EB 300% 以上	Geer Type air heating air speed 0.5m/sec ventilation rate 10times/hr JIS K 6257.4 CNS 3556.3 JIS K 6251 (3號形) CNS 3553	
		耐水性 70°C 水 × 96hrs	△V 20% 以下 TB 100kgf/cm <sup>2</sup> 以上 EB 350% 以上	JIS K 6258.4(浸漬法) CNS 3562 JIS K 6251 (3號形) CNS 3553	
		抗臭氧性	100pphm, 40°C 50%, 96hrs 無異狀	JIS K 6259.4 CNS 10018	
		耐寒性	脆化溫度 -25°C 以下	JIS K 6261.4 CNS 3564	
		外層橡膠	耐磨性	斜式磨耗輪 H18 荷重 1000 gr 回轉數 1000 次 0.5ml 以下	JIS K 6264.10 Speed 60 RPM CNS 6483.3.7
		厚度	3mm 以上	JIS B 7502 CNS 7872	
	合成橡膠布	抗張強度	(縱方向) 設計計算張力×8 以上 (橫方向) 縱方向之設計張力×8×2/3 以上	JIS K 6328.5.3.5 CNS 10023	
		抗張強度之耐熱老化性 100°C × 96hrs	(縱方向) 初期物性 × 80% 以上 設計計算張力 × 8 以上	Geer Type air heating Air speed 0.5m/sec Ventilation rate 10times/hr JIS K 6257.4 CNS 3556.3 JIS K 6328.5.3.5 CNS 10023	
		抗張強度之耐水性 70°C 水 × 96hrs	(縱方向) 初期物性 × 80% 以上 設計計算張力 × 8 以上	JIS K 6258.4(浸漬法) CNS 3562 JIS K 6328.5.3.5 CNS 10023	
		橡膠與織布之黏著力	(縱、橫方向) 初期物性 6kgf/cm 以上 70°C 水, 96hrs 4kgf/cm 以上	JIS K 6256.4(撕片法) CNS 3557.4 JIS K 6258.4(浸漬法) CNS 3562	
		堰體總厚度	9mm 以上	JIS B 7502 CNS 7872	
	TB：抗拉強度		EB：伸長率	△V：體積變化率	

## 10. SUS-304 不銹鋼錨錠螺栓組件之規格及試驗方法

各部材料	試驗項目	規格值	試驗方法
SCS-12 上固定夾具	降伏強度	21 kgf/mm <sup>2</sup> 以上	JIS G 5121 CNS 4000
	抗拉強度	45 kgf/mm <sup>2</sup> 以上	JIS G 5121 CNS 4000
	伸長率	28 %以上	JIS G 5121 CNS 4000
SUS-304 1. 螺柱 2. 螺套 3. 下固定鈹	降伏強度	21 kgf/mm <sup>2</sup> 以上	JIS G 4303 CNS 3270
	抗拉強度	53 kgf/mm <sup>2</sup> 以上	JIS G 4303 CNS 3270
	伸長率	40 %以上	JIS G 4303 CNS 3270
SS-400 錨錠螺栓	降伏強度	24 kgf/mm <sup>2</sup> 以上	JIS G 3101 CNS 2473
	抗拉強度	41 kgf/mm <sup>2</sup> 以上	JIS G 3101 CNS 2473
	伸長率	24 %以上	JIS G 3101 CNS 2473

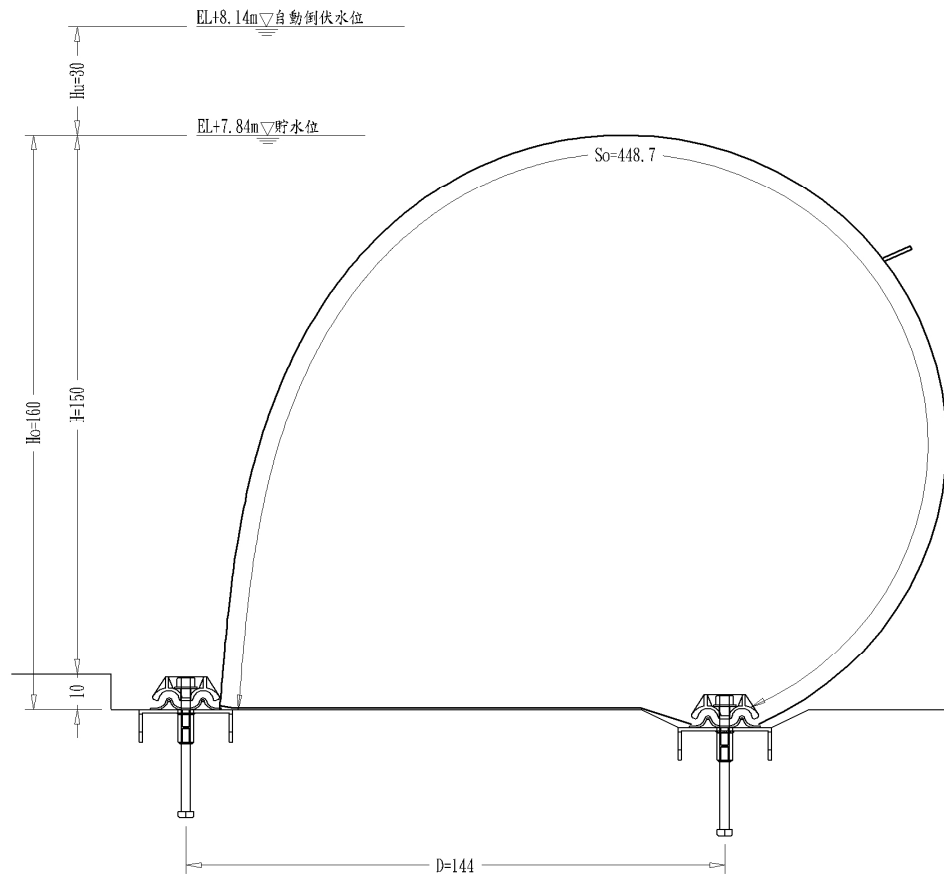
## 11. 其他

其他設備悉依本工程橡膠自動倒伏堰設計製造及按裝補充說明書規定辦理。



# 設計計算書

## 1. 橡皮壩堰體設計



橡皮壩標準條件是以上游水位 EL+7.84m、下游無水、壩體內壓係數  $\alpha = 1.0$  條件下經電腦程式計算壩體形狀、壩體周長、壩體斷面積等。

橡皮壩實質壩高：  $H_o = 160 \text{ cm}$

內壓係數：  $\alpha = 1.0$  (本案建議採用)

壩體內壓：  $P_o = \alpha \times H_o \times \gamma = 0.160 \text{ kgf/cm}^2$

螺栓間距：  $D = 144.0 \text{ cm}$

堰體週長：  $S_o = 448.7 \text{ cm}$

壩體標準斷面積：  $A = 2.535 \text{ M}^2$

## 2. 橡皮壩應力分析

### (1) 壩體強度計算

橡皮壩於自動倒伏前壩體張力及內壓最大

橡皮壩最大溢流水深： $H_u = 30 \text{ cm}$

設計最大內壓  $P_{\max} = (H_o + H_u) \times 0.001 = 0.190 \text{ kgf/cm}^2$

壩體最大張力  $T = P_{\max} \times R = P \times H_o / 2 = 15.20 \text{ kgf/cm}^2$

$R$ ：壩體曲率半徑  $0.5H_o$

壩體採用 2 層補強纖維層，補強纖維層縱向抗張強度為  $T_a 5120 \text{ kgf/cm}$

以上，袋體總厚度為  $9.0 \text{ mm}$  以上。

壩體抗張強度安全係數：

$S.F. = T_a \times 2 \div T = 120 \times 2 \div 16.17 = 15.8 > 8 \quad (O.K.)$

地震時壩體最大內壓  $P_e$ ：

$P_e = (H_o + H_u + H_e) \times 0.001 = 0.240 \text{ kgf/cm}^2$

$H_e$ ：地震動態水壓水頭

$H_e = 7/8 \times K_h \times (h \times Z)^{0.5} = 7/8 \times K_h \times (H_o + H_u) = 49.9 \text{ cm}$

$K_h = r_1 \times r_2 \times r_3 \times K_o = 1.0 \times 1.2 \times 1.25 \times 0.2 = 0.3$

$r_1$ ：地域補正係數

$r_2$ ：地盤補正係數

$r_3$ ：重要度補正係數

$K_o$ ：標準設計水平震度

$K_h$ ：設計水平震度

$h$ ：水深

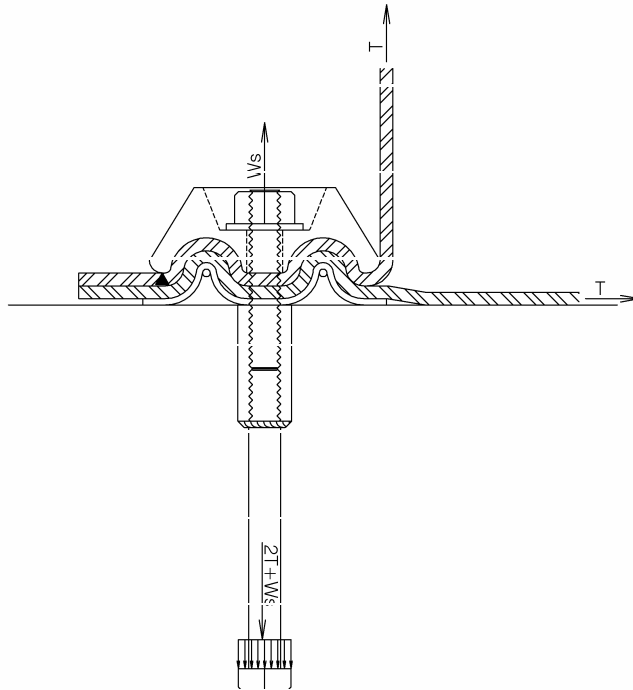
$Z$ ：自水面算起之水深

地震時壩體最大張力  $T_e = P_e \times R = P_e \times H_o / 2 = 19.19 \text{ kgf/cm}^2$

地震時壩體抗張強度安全係數：

$S.F. = T_a \times 2 \div T_e = 120 \times 2 \div 19.19 = 12.5 > 5.5 \quad (O.K.)$

(2) 錨錠螺栓強度計算



依據本工程施工技術規範採用SUS-304不銹鋼材製之螺栓(φ1")。

螺栓根徑  $d=21.334 \text{ mm}$

螺栓根徑截面積  $A_s=5357.5 \text{ mm}^2$

$\sigma$  : 螺栓鎖緊所產生之應力，建議為  $7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓鎖緊應力  $W_s=5A_s3\sigma=52502.3 \text{ kgf}$

螺栓強度  $S_t=5A_s3\sigma_s=5357.5353518945.7 \text{ kgf}$

$\sigma_s$  :  $53 \text{ kgf/mm}^2$  (單位面積抗拉強度)

螺栓間距  $D=20 \text{ cm}$

上層壩體張力引起之拉拔力  $W_t=5T3D=325608.0 \text{ kgf}$

螺栓承受之剪力  $U=$  下層壩體張力  $T3D=5304.0 \text{ kgf}$

螺栓抗拉安全係數  $S.F.=\frac{S_t}{4(W_s+U)}=55.55 > 3.0 \text{ (O.K.)}$

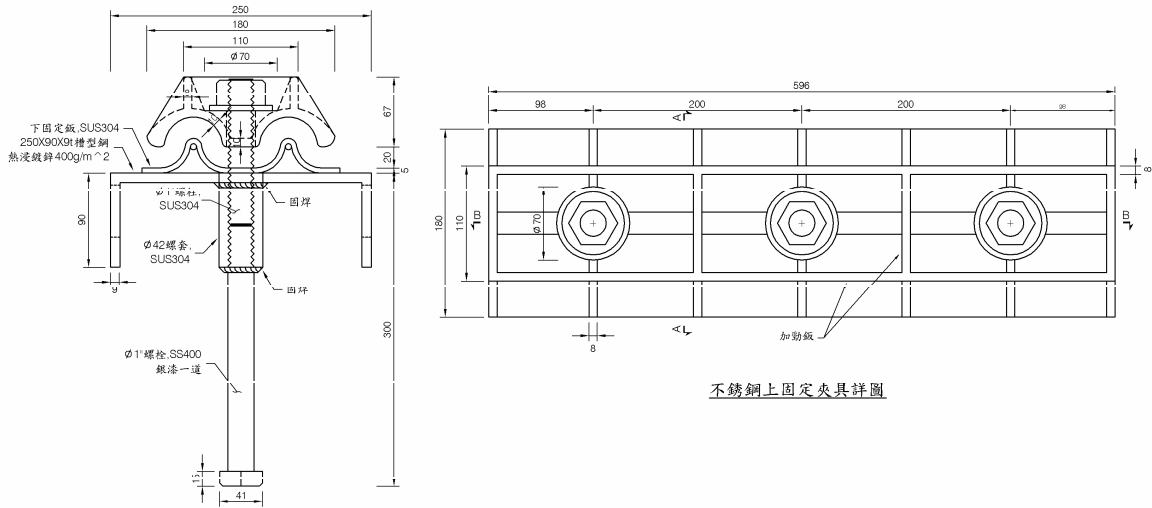
地震時螺栓抗拉安全係數：

$W_t=5T3D=325767.7 \text{ kgf}$

$U=T3D=5383.8 \text{ kgf}$

S. F. 5St4(Ws1Wt1U) 55.19 > 2.0 (O. K.)

(3) 不銹鋼上固定夾具強度計算



堰體不銹鋼固定夾具及錨定螺栓組件詳圖

A. 縱斷方向應力檢核：斷面模數  $Z_y = 16.6396 \text{ cm}^3$

螺栓間距  $D = 20 \text{ cm}$

螺栓鎖緊所產生之彎矩：

$$M = (W_s \div 2) \cdot 35 = 2502.3 \div 235 = 6255.7 \text{ kgf-cm}$$

$$\sigma_y = M \div (\eta \cdot 3Z_y) = 6255.7 \div (0.9316 \cdot 16.6396) = 417.7 \text{ kgf/cm}^2$$

縱斷安全係數  $S. F. = 4500 \div \sigma_y = 10.77 > 3.0 \text{ (O. K.)}$

地震時亦同。

B. 橫斷方向應力檢核：斷面模數 $Z_x = 43.1488 \text{ cm}^3$

壩體張力所產生之彎矩

$$M_t = T/360318 \div 2 = 8208.0 \text{ kgf-cm}$$

螺栓鎖緊應力(共3支)所產生之彎矩：

$$M_s = W_s/33 \div 23 (18/4) = 16890.3 \text{ kgf-cm}$$

$$\sigma_x = M \div (\eta \cdot 3Z_x) = (M_t + M_s) \div (0.9343 \cdot 43.1488) = 646.3 \text{ kgf/cm}^2$$

橫斷安全係數 S.F. =  $4500 \div \sigma_x = 6.96 > 3.0$  (O.K.)

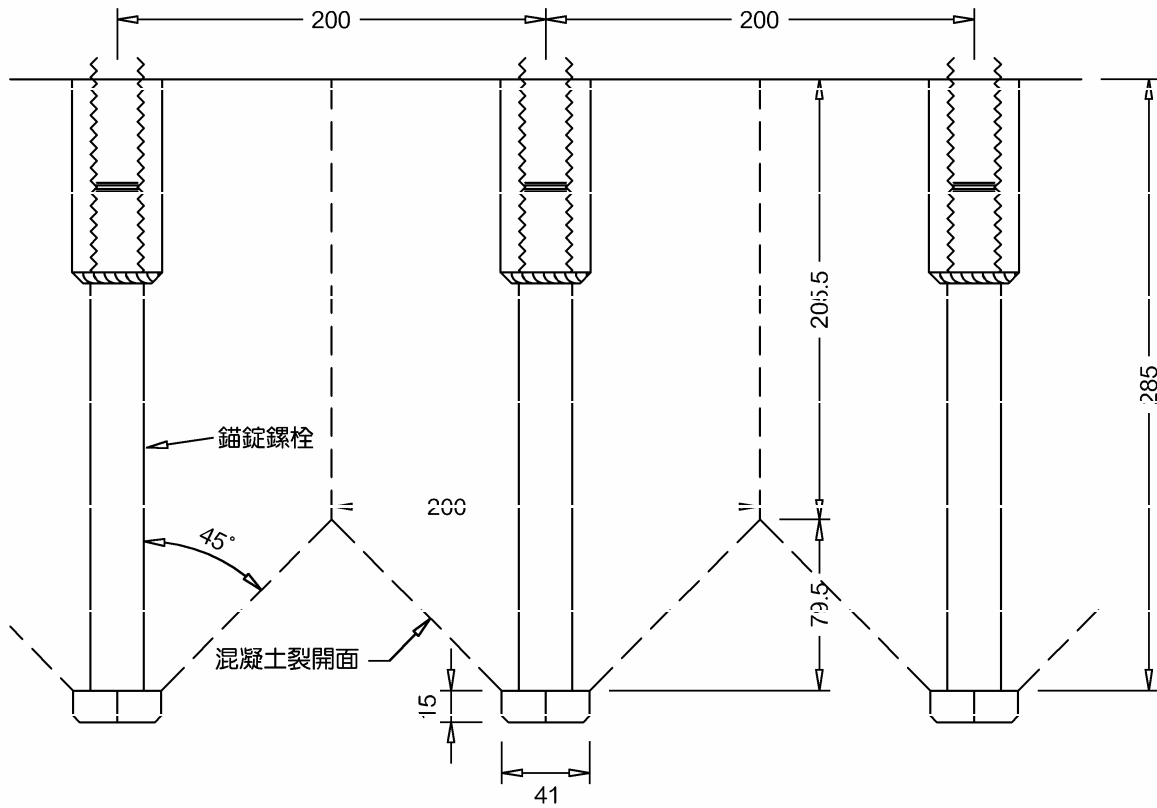
地震時壓板橫斷安全係數：

$$M_t = T_e/360318 \div 2 = 10362.6 \text{ kgf-cm}$$

$$\sigma_x = 701.8 \text{ kgf/cm}^2$$

S.F. =  $4500 \div \sigma_x = 6.41 > 2.0$  (O.K.)

(4) 混凝土握裹強度計算



$$f' c 5210 \text{ kgf/cm}^2$$

錨錠螺桿 ( $\phi 1''$ ) , 埋設深度為 28.5 cm

$$Vc 50.52 (210)^{1/2} 57.54 \text{ kgf/cm}^2$$

假設混凝土成  $45^\circ$  角開裂

$$\text{混凝土開裂面積 } A_5(4.1+20)/23 \pi 37.951203 \pi 320.5551592 \text{ cm}^2$$

$$\text{混凝土破壞強度 } Wc 5A3Vc 5159237.54512004.8 \text{ kgf}$$

混凝土握裹安全係數：

$$S. F. 5Wc4(T32032) 519.74 > 3.0 \text{ (O. K. )}$$

地震時混凝土握裹安全係數：

$$S. F. 5Wc4(Te32032) 515.64 > 2.0 \text{ (O. K. )}$$

### 3. 壩體進、排氣操作計算

橡皮壩壩體容積：

$$V = Ar314.0 = 26.4 \text{ M}^3$$

(1) 鼓風機需最低送所風量(Fmin)：

起壩時間30分鐘以內

$$F_{\min} = 5V / 30 = 4.4 \text{ M}^3/\text{min}$$

(2) 鼓風機採用LT-50，1600 RPM型之魯氏鼓風機 (Roots Blower)，其

相關數據如下：

A. 出口風壓(Pr) : 0.20 kgf/cm<sup>2</sup> (<0.196 kgf/cm<sup>2</sup>)

B. 送風量(Qs) : 2.40 m<sup>3</sup>/min (<1.26 m<sup>3</sup>/min)

C. 送風馬達所需軸心功率(La) : 1.50 Kw

(3) 送氣寬裕(Bf)：

$$B_f = Q_s / F_{\min} = 2.40 / 4.4 = 54.5\% < 120\% \text{ (O.K.)}$$

送風效率 $\eta$ 50.8

(4) 動力寬裕(Bp)：

送風馬達採3HP(2.24Kw)

$$B_p = P_{\text{motor}} / P_{\text{required}} = 2.24 / 1.50 = 149\% < 120\% \text{ (O.K.)}$$

(5) 起壩時間( $T_i$ )

$$T_i = 5V_4 / (Q_s 3\eta) = 526.44 / (2.4030 \cdot 8)$$

$$= 513.7 \text{ min [ 30 min (O.K.) ]}$$

(6) 倒伏時間( $T_o$ )

進排氣管管徑採 2" (50A)

$$T_o = 5V_o / 4(603A_p 3v)$$

$$\text{壩體內空氣量 } V_o = 5 \left[ (0.16011 \cdot 0.033) / 1.033 \right] 3V = 530.4 \text{ m}^3$$

$$v = 5 \{ 23g^3 h^4 [ 11(\lambda 3L) 4d ] 4\rho \}^{1/2}$$

$$A_p : \text{進排氣管截面積, } A_p = 50.050^2 / 443 \pi = 50.0020 \text{ m}^2$$

$v$  : 管口風速

$$g : \text{重力加速度, } g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h : \text{排氣倒伏過程之平均內壓水頭, } h = 5H_{\max} / 4 = 351.904350.63 \text{ m}$$

$$\lambda : \text{鋼管摩擦係數, } \lambda = 0.03$$

$$L : \text{排氣管相當管長, } L = 5L_1 + 11L_2 + 13L_3 = 531 \text{ m}$$

$$L_1 : \text{直管長度, } L_1 = 510 \text{ m}$$

$$L_2 : \text{彎管部分相當直管長度, } L_2 = 53.0 \text{ m/個} \cdot 33 \text{個} = 59 \text{ m}$$

$$L_3 : \text{入口處及進、排氣閥處損失相當直管長度}$$

$$L_3 = 56.0 \text{ m/個} \cdot 32 \text{個} = 512 \text{ m}$$

$$d : \text{管徑, } d = 5030.00150.050 \text{ m}$$

$$\rho : \text{空氣密度, } \rho = 1.23310^{-3} \text{ t/m}^3$$

$$v = 522.70 \text{ m/s}$$

$$T_o = 511.4 \text{ min [ 30 min (O.K.) ]}$$



## 學員分組練習題目

1. 苗栗牛角溝為灌溉需求，預計興建一座橡皮壩工程，請依下列基本條件需求試劃一橡皮壩斷面設計圖？
  - (1) 現有河床底部高程EL+0.00m
  - (2) 現有兩側護岸為垂直面，頂部高程EL+2.80m
  - (3) 水位須抬高至EL+2.00m，才能滿足所有灌溉區域需求
  - (4) 該地最高洪水位EL+2.45m
2. 有一混凝土固定堰，計畫敲除改成活動堰，請依下列基本條件需求試劃一橡皮壩斷面設計圖？
  - (1) 現有固定堰頂部高程EL+1.00m，底部高程EL+0.00m，固定堰下游側護坦高程EL-0.65m
  - (2) 現有兩側護岸為1:0.5護坡，頂部高程EL+2.40m
  - (3) 該地最高洪水位EL+2.45m
3. 有一現有閘門，計畫敲除改成橡皮壩，請依下列基本條件需求試劃一橡皮壩斷面設計圖？
  - (1) 現有閘門頂部高程EL+1.40m，底部高程EL+0.00m，閘門下游側護坦高程EL-0.65m，計畫橡皮壩頂部高程比閘門加高10cm
  - (2) 現有兩側護岸為垂直面，頂部高程EL+2.70m
  - (3) 該地最高洪水位EL+2.50m