

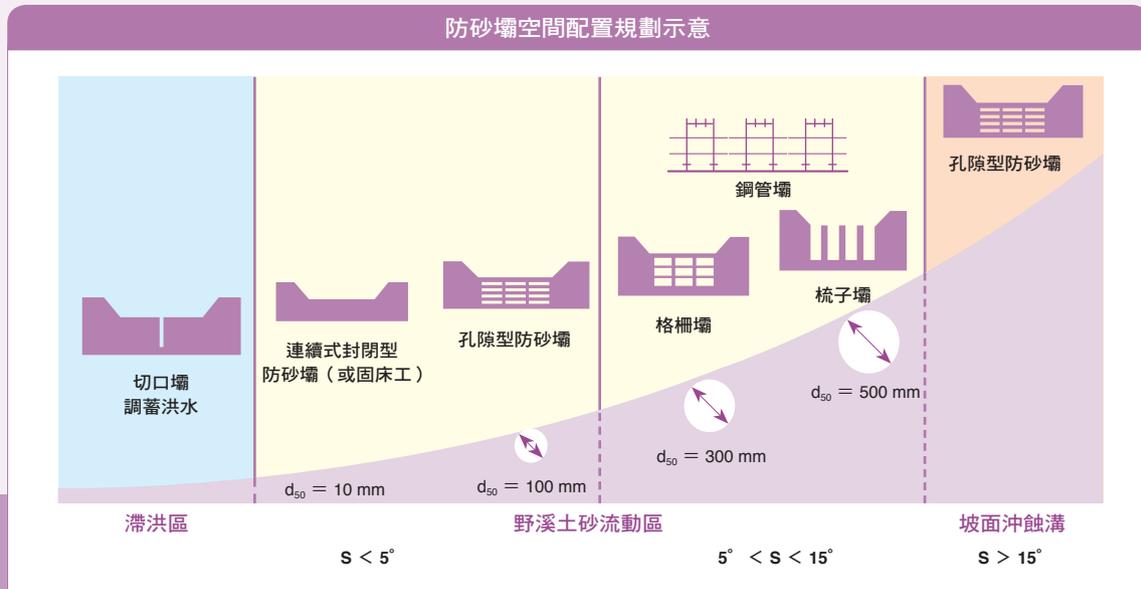


■ 陳樹群、邱渝方

會呼吸的 防砂壩

氣候變遷導致土砂災害遽增，興建防砂壩可抑制土砂對下游居民的危害，然而在土砂量減緩後，防砂壩對河川生態連續性的危害卻逐漸加劇。

隨著土砂量變化而調整防砂壩結構的設計，可以滿足不同時期的輸砂、防災或生態需求。



(圖片來源：陳樹群等人，2016)

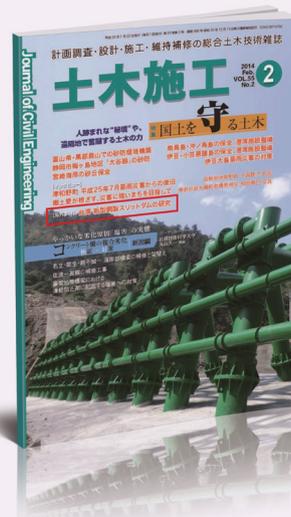
防砂壩的功與過

一般大眾普遍認為防砂壩的功能僅是攔蓄砂石，一旦淤滿就失去功能，必須清淤以回復原有庫容。但「防砂壩」一詞在水土保持手冊（2017）中定義為「攔阻或調節河床砂石；減少河床坡度、抑止亂流、防止橫向沖蝕；固定兩岸坡腳、防止崩塌；抑止土石流、減少災害等」。由這樣的定義可以了解攔阻砂石、抑止土石流是防砂壩空庫時的重要功能，但防砂壩淤滿後也會導致上游溪流坡度減緩，使河道沖蝕的能力降低，具穩定兩岸邊坡、防止崩塌等功能。

因此防砂壩不論是否淤滿，都具有安定土砂的正面功能，也廣泛使用於世界各地的高山溪流，且防砂壩一旦興建完成都以不拆除為基本原則。

早期的防砂壩多以高聳且全封閉式的壩型出現在各溪流中，但隨著生態保育觀念及針對特定泥砂粒徑攔阻技術的提升，逐漸視其功能演變成具有多樣型態的防砂壩，通常會在溪流中不同坡度（S）或泥砂中值粒徑（ d_{50} ）中選擇適合的防砂壩型態。

防砂壩空間配置由上游至下游區分為：坡面沖蝕段主要以防止沖蝕溝繼續淘刷，以回淤土壤來安定邊坡，由於坡面水流衝擊力有限，通常以低矮孔隙型防砂壩為主，為了生態復育，有時會以萌芽樁的方式建構組合成攔截網柵。



2014年日本引進陳樹群教授技術授權的會呼吸防砂壩（台灣新型鋼製スリットダム研究），日本《土木施工》雜誌全幅照片刊登封面及專文介紹。



屏東里仁溪防砂壩上游淤積迫使水流蜿蜒及改變生態棲地



宜蘭寒溪防砂壩下游基礎嚴重淘刷懸空

進入野溪的流動段為了保持生態及水流連續性，目前都以開口型防砂壩為主。假若河床多巨石且流動能量大，則以開口較大的梳子壩攔阻粗顆粒巨石為主，細顆粒得以往下游移動。及至坡度漸緩區，則縮小開口壩間距及降低壩高或調整為孔隙型壩體，以減緩水流速度，達到停淤細顆粒泥砂穩定河床的目的。水流能量減緩至溪流最下游的堆積區，為穩定流心及避免下一波洪水的淘刷，通常以興建連續固床工或系列潛壩等型態為主。

當水流進入平原滯洪區域，有時為了調蓄洪水量，降低洪峰的影響，會興建具有細縫型態的切口壩，調蓄洪水或高含砂水流於滯洪池內，使高洪峰流量調降成不具危害性的常態水流。

即或防砂壩有了精準的配置型態，但隨著土砂量的逐年減少，防砂壩的負面特質也逐漸顯露，壩體直接阻斷河川棲地中的縱向連續性，造成河川型態及生態棲地成為片斷不相連的區塊。壩體上游面因泥砂淤積，減緩了河川坡度並降低水流沖蝕及輸砂能力，但也迫使水流趨向蜿蜒，造成擺盪式的兩側坡腳沖刷。再者防砂壩因細顆粒泥砂淤積使河床孔隙率降低，也改變河川底棲生物的生活空間。



花蓮久岸溪系列防砂壩下游泥砂補充不足造成溪床沖蝕

其次防砂壩上游的泥砂攔阻及下游的壩高落差，使下游河床泥砂補充不足，同時加劇河道下切的能量，壩體基座常因水流沖擊而形成嚴重淘刷，進而造成壩體基座懸空不穩的情況。此外，防砂壩容易造成生物棲地分割，以及洄游性生物因壩體阻隔而難以順利溯溪等缺點。

逐步調整壩體恢復生機

20世紀初至今，各國為了民生用水或水利發電，興建五千座以上的大型水庫，

為了保持河川土砂量的平衡及溪流生態的連續性，
必須引入新觀念，設計可依不同時期土砂量調整的新型態防砂壩。

又為了防止水庫淤積或抑制土砂災害而興建數以萬計的防砂壩。這些橫向構造物對河川生態的危害事件，在 20 世紀末期逐一呈現，也導致環保團體一系列的拆壩聲浪。

台灣七家灣溪為了保育櫻花鉤吻鮭，也拆除了部分防砂壩。但防砂壩的拆除是一次到位，或是逐次降壩，仍有許多討論空間，必須仔細研究觀察土砂下移行為對兩岸居民及河川生態的影響。冒然的拆壩行動可能導致下游民舍被淹埋，或河相改變引起的生態浩劫，因此近年來逐步降低壩體已成為安全共識。

中興大學惠蓀林場內的蘭島溪多次爆發土石流，已是政府列冊的土石流高潛勢溪流。上游興建了具有六支墩柱的防砂壩，墩柱與墩柱間各有四排鋼管相連，由於下游沒有居民，因此成為研究拆壩方式的最佳實驗場域。

1999 年集集地震後，蘭島溪集水區產生大規模崩場地，土砂來源豐富，因此防砂壩興建後庫容立即淤滿，失去空庫攔截土石流的效果。2004 年敏督利颱風及 2009 年莫拉克颱風爆發的土石流更越過防砂壩，造成蘭島溪大規模土砂淹沒河道及兩岸森林地。但崩場地逐漸復育，土砂量逐年遞減，又導致下游泥砂補充不足，引起蘭島溪兩側護岸淘空。

為考量河道輸砂平衡，先在室內進行多次渠槽實驗，選取最佳降壩方案後，於 2015 年把中間兩支墩柱調降 2.5 公尺進行現地實驗性研究。其目的是：使壩體後方淤積土砂往下游輸送；穩定庫容空間；可增加河川輸砂量，使下游河道保持穩定；可降低壩體上下游的高度落差，保護壩體基座免於淘空且增加溪流生態連續性。

經過數次豪雨沖刷，防砂壩上游淤積土砂已可自然輸送至下游，上游河道呈現 V 型深槽，且深槽兩側出現明顯河階地，可有效降低因暴雨造成一次性大量土砂外移的風險。由拆除壩體前後地形分析，壩體後方的淤積體



惠蓀林場蘭島溪防砂壩及 2004 年敏督利颱風土石流沖積扇

已下刷出低於原淤積深度近 4 公尺的深槽線，逐漸恢復河川的自然面貌。

調整後的防砂壩已使蘭島溪逐漸回復自然的輸砂平衡，土砂運移效果顯著。這項實驗性質的降壩研究成功驗證了防砂壩隨土砂量變化而調整的可行性，未來會持續調整壩體至完全移除。但更積極的作為應是在建壩之初就思考如何設計可逐步隨土砂量調整的防砂壩。

防砂壩會呼吸嗎

為了保持河川土砂量的平衡及溪流生態的連續性，必須引入新觀念，設計可依不同時期土砂量調整的新型態防砂壩。要賦予防砂壩的調整功能，必須優先考慮溪流環境隨時間變化的情形，並持續地管理防砂壩，使其能滿足溪流不同時期的輸砂、防災及生態需求，進一步使防砂壩成為溪流棲地環境復育的推手。

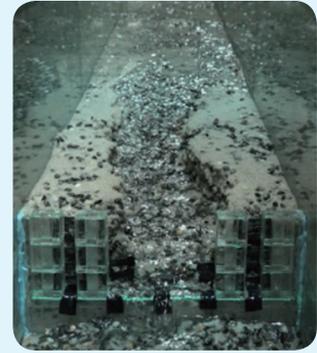
近年來，對於防砂壩的需求不僅是攔阻土石流，對於溪流生態的重視也逐漸增加。受到降雨、地震等周期性營力的作用，河川輸砂量會隨著崩塌土砂量出現周期性變化，更加顯出單一不變的防砂壩



實驗模擬降壩前淤砂



實驗模擬現況降壩



實驗模擬下階段降壩



原防砂壩具 6 支墩柱搭配鋼管橫桿
(2014 / 9 / 30)



防砂壩降低中間兩支墩柱
(2016 / 1 / 31)



防砂壩上游庫區已淤滿



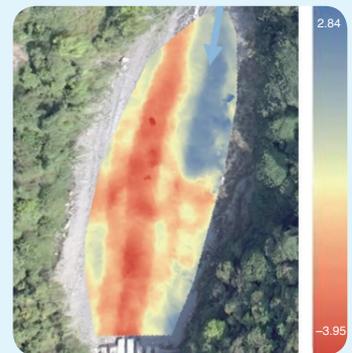
降壩後庫區沖刷出 V 型深溝



2010
降壩前空拍圖



2016
降壩後空拍圖



防砂壩上游沖淤變化圖

高程差 (公尺)

2.84
-3.95

惠蓀林場蘭島溪防砂壩降低中間兩支墩柱，促使上游淤砂自然外移，逐漸演變成自然河道。

已不足以因應劇變的環境。如果防砂壩具有生命變化力，可以如同積木般地組合與拆卸，隨著土砂環境變遷而調整其功能，防砂壩的設計觀念就必須徹底顛覆，興建之時就必須思考拆解方式，調整型防砂壩（會呼吸的防砂壩）因而孕育而生。

當河川進入來砂量高峰期時，把高峰期的高來砂量加以阻截，以避免下游地區的土砂災害。隨著來砂量減緩，適當地改變防砂壩型式及降低攔阻土砂的強度，就可減少工程對溪流生態的破壞，也可以保持泥砂量的均衡性，使河川棲地得以連續。

會呼吸的防砂壩可採用開口型，在開口處裝置鋼管及格柵設施，主要強調橫桿、縱材等必須相互獨立，分別組裝及拆卸。但其調整原則並非3~5年，而是30~50年的期距，主要依據土砂量的周期變化而定。

完整組裝的調整型防砂壩可在高來砂量時阻擋巨石、漂流木等，若來砂量進入消滅期，就可隨著泥砂量的減少先移除橫桿，允許大顆粒土砂流出；其次是拆除縱材，以降低上游淤積高度允許更多土砂流出。若來砂量再次減少且上游不再有崩塌，進入河道土砂穩定期，可把防砂壩降低成低矮的固床工型態，甚至把固床工回復成自然的潭瀨溪流結構，以恢復完整縱向生態廊道，回到自然生態的連續性。

衍生功能及未來展望

農委會水土保持局早期興建傳統的防砂壩，是以防止過量土砂下移及保護居民生命財產的安全性為首要考量。然而近年來對於維護生物多樣性、河川永續發展等考量，採取生態為基礎、安全為導向的



會呼吸的防砂壩組裝及拆卸流程圖

工程方法，以減少對自然環境造成傷害，成為規劃設計的主要考量。會呼吸的防砂壩理念符合這一原則，因此水土保持局開始大力推行以進一步協助窒息的河川生態環境得以重生，使會呼吸的防砂壩成為防災利器，同時是河川棲地環境復育的推手。

屏東縣恆春鎮東門溪曾發生多次洪水及泥沙淹沒村里的事件，因而興建滯洪池以降低洪峰影響。由於這地區是極細顆粒的泥岩地質，因此在滯洪池上游興建會呼吸的防砂壩，並在開口處以無間隙的混凝土橫桿來攔蓄細顆粒泥砂進入滯洪池，可隨時藉由機械吊掛方式移除橫桿清淤，也可以藉由橫桿的啟閉調整泥砂運移的型態。

2009年莫拉克颱風重創高雄荖濃河流域，至今仍是全台最嚴重的土砂災害區。由於土砂量可在一次暴雨中達十餘公尺的沖淤變化，因此藉由防砂壩的橫桿間距來調節土砂變化量，使上下游河川不至於



採取生態為基礎、安全為導向的工程方法，
以減少對自然環境造成傷害，成為近來規劃設計的主要考量。



屏東縣恆春東門溪三台山封閉型防砂壩可依土砂量調整橫桿



高雄市桃源區東庄溪可調整橫桿間距攔阻不同粒徑的防砂壩

過度淤積或淘刷。荖濃溪支流的東庄溪防砂壩在暴雨時增加橫桿以蓄積土砂，枯季時可卸除橫梁清淤，或由洪水沖刷達到上下游的土砂平衡。各類型的會呼吸防砂壩也因應不同溪流環境，開始在台灣、日本等地普及，時至今日，阿爾卑斯山系的奧地利、義大利等國家也思考其調整功效。

自然的河川型態孕育健康的河川生態系統，同時提供人類景觀休憩場域。但這樣的優質河川常因颱風暴雨襲擊瞬間演變成土石流危險溪流，為了保護民眾居家安全，防砂壩成為防災利器，也常被詬病為生態阻絕的殺手。

會呼吸的防砂壩破除了功與過的宿命，使防砂壩藉由縱材及橫桿組裝達到防災功能外，也可藉由縱材及橫桿的逐漸卸除恢復自然生態。興建之初就思考終結之路，賦予防砂壩生命的周期，才能有永續健康的河川生態環境。

陳樹群、邱渝方
中興大學水土保持學系