

# 扇平一號橋上下游災害復建之探討

◎林業試驗所集水區經營組·黃瓊璵 (tfrihcp@tfri.gov.tw)

◎林業試驗所六龜研究中心·周富三

◎林業試驗所恆春研究中心·林照松

## 緣由

扇平工作站地處高雄市六龜區，是林業試驗所六龜研究中心所轄工作站之一，因位於中央山脈最南端支陵帶，周圍的山脈如扇形般展開因而得名。其附近相鄰之林班地海拔高度約在400~1,600 m間，年平均溫度約21°C，氣候涼爽宜人，動植物及自然環境資源相當豐富。清澈的扇平溪貫穿其間，園區內有高等植物658種，蝴蝶139種，蛾類至少上千種，哺乳類動物更是種類繁多，尤其是鳥類多達12目、31科、134種，其中留鳥部分約佔了全省的2/3。民國98年8月7日~8月11日莫拉克颱風來襲，鄰近扇平會館之禦油山氣象站3日(8月7日~8月9日)累積雨量為2,366.5 mm，5日(8月7日~8月11日)累積雨量為2,894.5 mm，8月8日單日雨量為1,283 mm。這些數據幾乎都是前所未見的超大紀錄，致引發扇平溪上游嚴重崩塌，大量土石流崩洩而下，造成扇平會館上下游溪段嚴重災害。扇平工作站及會館為六龜研究中心最重要之營運中心，必須儘速予以復建。災害發生後，六龜研究中心除對各林道(扇平林道、鳳崗林道、南鳳林道)編列復建計畫外，將工作站周遭災區列為首要復建重點，爰於民國99年度編列3,500萬元及100年度編列2,500萬元予以整治之。

## 受災狀況和類型

林業試驗所六龜研究中心所屬扇平林道，是最重要的森林經營交通要道，卻也是

受災最嚴重的。其中在扇平林道2.8 K路基崩毀約460 m、4.5 K崩毀650 m，交通斷絕；沿路大小崩塌無數，橋梁亦受損嚴重。扇平工作站旁之河道沖淤嚴重，土石流侵入林業會館，造成內部重大損失。本文僅就扇平一號橋和其上下游河段受創的部分，深入探討。

由於扇平溪上游與南鳳林道相交的上方坡面，發生大規模崩塌，面積約有8 ha。大量土砂拌合水流急沖而下，並與漂流木在二號量水堰下方以及林業會館下方，形成兩處堰塞湖。當豪雨不斷且積水升高，終究沖破堰堤而造成河水噴流而下，嚴重沖蝕下游河床和河岸，導致會館後方兩岸崩塌而岩石裸露、溪床淤積砂石厚度高達5~8 m，阻斷排洪斷面。扇平一號橋淤塞不通，引道及橋樑嚴重受損。前後林道沖毀或淤積砂石，阻斷交通約200 m。原本綠意盎然的河段，瞬間被滾滾洪流所吞噬，留下一片黃土淤積的殘破景象。

扇平一號橋是到達園區必經之處，是所有復建工作和資源運必須依靠的設施，所以列為第一優先搶修的目標。經現場實際調查結果，扇平溪集水區之災害分區可概括為：

- (一) 上游段：為側滑(Translational slide)、山崩型。屬土石流之發生段及輸送段。
- (二) 中下游段範圍：包括二號量水堰至一號橋下方300 m處之谷口，屬土石流輸送段及淤積段。本河段於高流量時，溪流運動屬沖刷型，故計畫區岸邊臺地遭沖毀流失，及兩岸坡腳破壞後坡面崩塌露

岩；低流量時，溪流運動屬淤積型，於流量小於「河床載運移量之起動流量」時，開始發生淤積，砂石淤積由粗而細。當降雨延時期間，土石流流速遠大於溪床及兩岸土壤安全流速，造成沖刷。

## 復建工程設計要點

囿於經費的限制，扇平溪土砂整治無法就整個集水區來考量，尤其是在上游的崩塌地數量未經詳細調查，其治理費用難以估算，因此僅能以最緊急的溪流區段，優先分配經費作規劃設計。本文所敘範圍乃是治理區段的一部分，起始點位置在扇平一號橋下游約300 m之岩石露頭處，終點在一號橋之上游120 m河流轉彎處，也就是峽谷末端處。(參閱圖1)。本區段依治理需求之不同，說明如下。

### (一) 扇平一號橋改建及上下游整流工程

#### 1. 治理目的

- (1) 自林業會館下方峽谷露岩之谷口，以整流工程收納發自谷口洪流(土石流)，穩定流心。調整橋樑流心偏移左岸，使水流更為順暢，並擴大橋下通流量。
- (2) 以強力結構之半漿砌大塊石斷面抵抗土石流衝擊，確保護岸安全性。大塊石全部取自現場，除可符合生態性之外，更可減少淤積砂石量，降低其下移肇災因素。
- (3) 整流斷面具多孔隙性，有利於魚蝦生態復育及植被留置生長，快速促進綠化效果。
- (4) 坡面斜率採1:1緩坡設計，可配合堤後腹地建立生物廊道及親水性設施。橋樑上下游河道坡度採1:8斜率，河床以砌石鋪

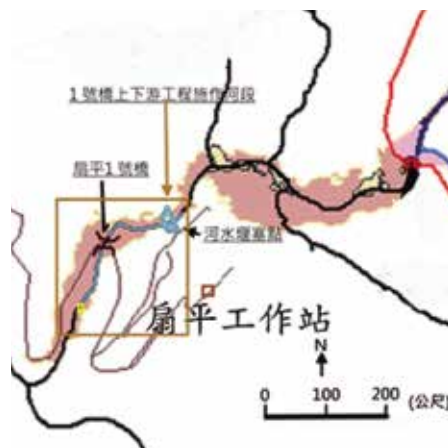


圖1 扇平一號橋和上下游施工位置

面，形成大孔隙以利河水下滲及減少靜水池設計，提昇景觀效果及遊憩功能。

- (5) 岸堤後腹地可供研究中心後續造林及經營發展之需求，兼顧林道彈性空間運用和維護之便利性。

#### 2. 工程設計考量要點和依據參數

- (1) 橋樑改建原則為：流心之調整、橋下排洪斷面。
- (2) 橋樑上下游整治工程設施原則須考慮項目：安全性、生態性、景觀性、親水性、遊憩性、綠美化、減碳性等。
- (3) 設計參數
  - A. 計畫範圍：自扇平一號橋下游露岩谷口以上，至扇平會館下方上游露岩谷口，計約320 m。
  - B. 集水區分區：工區地形基本資料依據現場調查及航照判讀結果，工程集水區基本資料彙整面積為433 ha，供為水理計算之依據，本工程計畫將採用土石流之水理計算。

C.水文：為求規劃設計水理分析時之依據，乃蒐集鄰近於本計畫工程集水區範圍之雨量站，採用六龜雨量站，自民國89~98年水文資料做為參考之依據。六龜雨量站年平均降雨量達3,955 mm，依雨量站平均月雨量及平均年雨量作為日後水理分析之依據。

D.排洪量計算：包括3個重點項目：整流工程、堤防或護岸之排洪断面、橋樑之排洪量。

## (二) 工程設計項目和內容重點(參閱圖2)

### 1.橋樑工程

- 設計載重：HS-20(144KN=14,600Kgf)
- 跨距及橋寬：跨距12 m，淨寬9 m。樑下至橋底高度3.5 m。
- 橋孔設計流量：土石流流量 $DQ = 240.12 \text{ cms} > PQ = 226.78 \text{ cms}$ 。

### 2.整流工程

- 施設範圍：自上方兩岸露岩谷口以下，經扇平一號橋至下游兩岸露岩谷口，全長計320 m。
- 設計断面結構型態：內襯30 cm厚R.C版及外覆半漿砌大塊石( $\phi$  60~80 cm)断面。

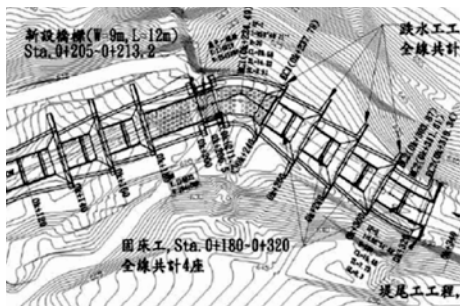


圖2 扇平一號橋改建及上下游整流工程平面圖

### 3.橋樑護岸整修方式探討

- 設計断面規格：(底寬 12 m+頂寬17 m)x 高度3.5 m。
- 設計坡度：2.5%。跌水高度：1~2.5 m。
- 設計流量： $240.12 \text{ cms} > PQ = 226.78 \text{ cms}$ 。
- 固床工：計6座。
- 橋樑上下游施設 $S = 1:8$ 鋪設半漿砌大塊石溪床及深50 cm靜水池。

## 工程施作完成後之績效檢視

(一) 橋梁部分：當災害發生後第一時間，橋面完全被沖毀，橋墩和壩頭亦斷裂流失，緊急之下乃以涵管和鋼板鋪設臨時便道應急，舊有河道完全淤塞改道(圖3)。經過1年多之設計、發包、施工驗收，已完全恢復其應有功能，而且比舊橋更加堅固、安全、美觀(圖4)。

(二) 上下游河道之復建部分：以時間點分做三階段來檢視其變化。第一階段是災害剛發生後之現場情景(圖5、6)，可以看到滿目瘡痍的景象，被土石流蹂躪過的



圖3 扇平溪一號橋沖毀情況(2009.12.15)(黃瓊璵攝)



圖4 扇平溪一號橋復建後情況(2011.2.17)(黃瓊璐攝)



圖5 扇平溪一號橋下游災後狀況(2009.12.15)(黃瓊璐攝)



圖6 扇平溪一號橋上游災後狀況(2009.12.15)(黃瓊璐攝)



圖7 扇平溪一號橋下游復建完工狀況(2011.12.1)(黃瓊璐攝)

溪流、河岸、道路、森林地景，完全被摧毀殆盡。第二階段是經過兩年整治完成之後(圖7、8)，不論是護岸工、固床工、整流工，都依據精準之計算和設計施作完成。河岸兩邊腹地，也受到保護而穩定下來。第三階段是工程完工後，經過約三年半自然恢復的狀況(圖9、10)，所呈現的場景不只是河岸腹地植生的生長茂盛，連帶護坡石塊間隙和河床部分，也長滿了當地原生的小喬木、灌木和草類。這其間也經歷了若干颱風



圖8 扇平溪一號橋上游復建完工狀況(2011.2.17)(黃瓊璐攝)

和豪雨的考驗，足證所建構的工程不惟在安全性方面符合所需，另外在綠化和景觀上，創造出賞心悅目的特殊地景；同時，更值得一提的，本區的自然生態系，正朝著正面的趨勢逐漸發展，假以時日必定會呈現另一種全新的風貌。

### 環境生態復舊調查

為進一步以科學證據和數字，說明本工程之成效，特別於2015年元月針對扇平一號橋的上下游河段，調查其植群之種類和優勢度。調查範圍包括扇平1號橋上游與下游各4段攔沙壩，每段攔沙壩的左右邊坡各設置1個 $1 \times 1$  m的方形樣區，溪床則設置2個 $1 \times 1$

m的方形樣區。記錄樣區內出現的植物名稱及其覆蓋度，計算每一種植物的相對頻度、相對優勢度、重要值。共記錄到32種維管束



圖9 扇平溪一號橋下游植生回復狀況(2014.7.30)(黃瓊璵攝)



圖10 扇平溪一號橋上游植生回復狀況(2014.7.30)(黃瓊璵攝)



圖11 攔沙壩下方的灘瀨(2015.1.28)(黃瓊璵攝)



圖12 灘瀨中的馬口魚(2015.1.28)(黃瓊璵攝)

植物，依據生活型區分喬木有3種(山黃麻、白匏子、咬人狗)、灌木有8種(水雞油、密花芋麻、多子漿果莧、楊波、美洲闊苞菊、虎婆刺、水麻、坡葉山螞蝗)、藤本有3種(小花蔓澤蘭、香澤蘭、垂瓜果)、其餘18種為草本植物，重要值的前10名依序為大花鹹豐草(16.88%)、甜根子草(10.93%)、山黃麻(7.27%)、水雞油(5.33%)、大荳草(5.28%)、密花芋麻(4.99%)、小花蔓澤蘭(4.76%)、多子漿果莧(4.39%)、楊波(4.21%)、菁芳草(3.41%)(表1)。從調查的結果顯示，植群演替呈現相當的生物多樣性。雖然目前只有少數3種小型喬木，若是為了加速植生演替的進行，或許可以應用人工栽植方法，引進適宜的樹種，這需要邀集相關的專家學者，再做詳細的評估和討論。

此外，有關動物族群動態，因客觀因素限制尚未進行調查。但是在攔沙壩下方所形成的灘瀨中，以肉眼可以觀察到為數甚多的馬口魚洄游其中(圖11、12)。詳細的種類、來源和數量有待進一步監測，但是可以確定的事實是：溪流生態系正穩定的恢復當中。

## 未來的挑戰及因應

在八八風災之前，扇平工作站及其周圍環境之森林生態系相當完整，清澈的扇平溪成為觀察大自然的最佳場所；從一號橋至二號量水堰之間，沿河道兩側分佈相當多的景點。一夕之間遭大量土石沖毀，依學理和實務經驗，其破壞力遠超乎正常的河道淘刷和土石衝擊，應屬超大雨量及其後續效應所為。根據上述之情況，災害之來源既為集水區上游之崩塌地，依治山防洪整體規劃原則，扇平溪土砂整治應就上、中、下游之順序，逐步施行。但是由於復建經費有限，僅能就最緊急的部分先行定案。經現地勘查後，發現本次災害規模之大和影響之深遠，絕非短期可以復建成功。基於災區廣泛、政府資源有限的條件下，如何有效運用預算，分階段分等級完成，需要精確考量；在偏遠地區或無立即危險之處，只能依賴大自然復育，期待逐漸恢復以往青山綠水的面貌，共同面對未來的挑戰和威脅。

根據本案例的分析，因極端氣候和全球

表1 扇平1號橋植物組成的重要值

植物名稱	頻度	相對頻度%	覆蓋度	相對優勢度%	重要值(IV)%
大花鹹豐草	23	17.16	467	16.60	16.88
甜根子草	12	8.96	363	12.90	10.93
山黃麻	4	2.99	325	11.55	7.27
水雞油	7	5.22	153	5.44	5.33
大莞草	5	3.73	192	6.83	5.28
密花苧麻	5	3.73	176	6.26	4.99
小花蔓澤蘭	11	8.21	37	1.32	4.76
多子漿果莧	6	4.48	121	4.30	4.39
楊波	5	3.73	132	4.69	4.21
菁芳草	8	5.97	24	0.85	3.41
圓果冷水麻	3	2.24	106	3.77	3.00
香澤蘭	5	3.73	60	2.13	2.93
美洲闊苞菊	2	1.49	120	4.27	2.88
紫花藿香薊	3	2.24	82	2.92	2.58
腎蕨	5	3.73	35	1.24	2.49
粉葉蕨	5	3.73	31	1.10	2.42
兩耳草	5	3.73	27	0.96	2.35
水麻	1	0.75	70	2.49	1.62
白匏子	1	0.75	70	2.49	1.62
虎婆刺	1	0.75	60	2.13	1.44
鱗蓋鳳尾蕨	3	2.24	8	0.28	1.26
蘆葦	2	1.49	25	0.89	1.19
密毛小毛蕨	2	1.49	17	0.60	1.05
稀毛蕨	1	0.75	30	1.07	0.91
藿香薊	2	1.49	9	0.32	0.91
波葉山螞蝗	1	0.75	20	0.71	0.73
咬人狗	1	0.75	20	0.71	0.73
熱帶鱗蓋蕨	1	0.75	16	0.57	0.66
垂果瓜	1	0.75	7	0.25	0.50
倒刺狗尾草	1	0.75	4	0.14	0.44
雷公根	1	0.75	4	0.14	0.44
臺灣鱗球花	1	0.75	2	0.07	0.41
Total	134	100	2813	100	100

變遷所帶來的天然災害，不但無可避免且越來越劇烈，我們只能接受。但是災害前的預防和災害後的復建，是我們可以盡力的方向。☸