

書背

9607

七家灣溪壩體改善研究評估

研究主持人：葉昭憲

雪霸國家公園管理處

七家灣溪壩體改善研究評估

內政部營建署雪霸國家公園管理處

七家灣溪壩體改善研究評估

受委託機關：逢甲大學水利工程學系

研究主持人：葉昭憲副教授

顧問：段錦浩教授(國立中興大學水土保持學系)

研究人員：黃靖柏、林世弘

內政部營建署雪霸國家公園管理處

中華民國九十六年十二月

目次

表次	III
圖次	IV
摘要	IX
第一章 前言	1
1.1 計畫緣起	1
1.2 計畫工作項目及預期目標	1
1.3 工作成果要求及工作期限	1
第二章 材料與方法	2
2.1 計畫執行流程	2
2.2 執行方法	3
2.2.1 專家評價法	3
2.2.2 多評準決策	4
2.2.3 本計畫之決策模式	7
第三章 結果與討論	8
3.1 文獻分析	8
3.1.1 櫻花鉤吻鮭之族群特性	8
3.1.2 魚類河床棲地改善工程	8

3.1.3 國內相關研究	9
3.1.4 國外相關研究	10
3.1.5 文獻綜合比較	17
3.2 環境調查及資料蒐集	19
3.2.1 七家灣溪流環境概述	19
3.2.2 七家灣溪各防砂壩之流量推估	20
3.2.3 各防砂壩現場調查	23
3.3 壩體改善決策	32
3.3.1 「壩體改善決策因素」專家座談會	32
3.3.2 防砂壩改善評估	34
3.3.3 「壩體改善決策順序之建議」專家座談會	37
第四章 結論	39
第五章 建議	40
第六章 參考文獻	41
附錄一	43
附錄二	46

表次

表 3-1 七家灣河流域防砂壩壩體改善研究	9
表 3-2 堰壩保留或移除決策時應關注之議題(The Heins Center , 2002)	14
表 3-3 堰壩移除決策之評估指標(The Heins Center, 2002)	15
表 3-4 國內外研究決策內涵與本計畫工作需求之比較	18
表 3-5 七家灣流量站之歷年各月平均流量 (cms)	20
表 3-6 各防砂壩面積權重百分比	22
表 3-7 壩體改善決策因素專家座談會相關資訊	32
表 3-8 七家灣溪防砂壩改善決策評估指標	32
表 3-9 改善防砂壩可增加自由河段長度	34
表 3-10 壩體改善後之泥砂流失量概算及沖刷長度	35
表 3-11 各防砂壩之預估改善體積	36
表 3-12 各防砂壩之預估泥沙處理量	36
表 3-13 各防砂壩之施工便道長度	37
表 3-14 壩體改善決策順序之建議專家座談會相關資訊	37
表 3-15 七家灣溪防砂壩改善決策評估指標	38

圖次

圖 2-1 計畫執行流程	2
圖 2-2 七家灣河流域各防砂壩之相對位置	2
圖 3-1 Wisconsin 州 1965~1998 期間 14 座移除堰壩案例費用分析 (Born et al., 1998)	10
圖 3-2 堰壩移除理由在美國地理區位之差異(Pohl, 2002)	11
圖 3-2-1 美國堰壩移除理由變化趨勢(Pohl, 2002)	11
圖 3-3 美國移除堰壩之年數量及高度分布(Poff & Hart, 2002)	12
圖 3-4 堰壩對生物物理過程所產生之影響流程圖(Poff & Hart, 2002)	12
圖 3-5 壩體改善決策流程 (The Heins Center, 2002)	13
圖 3-6 七家灣溪防砂壩之地理位置	19
圖 3-7 七家灣河流域水系圖	19
圖 3-8 七家灣河流域坡度圖	20
圖 3-9 七家灣河流域地質圖	20
圖 3-10 各防砂壩之集水區範圍	21

圖 3-11 一號壩之流量	22
圖 3-12 二號壩之流量	22
圖 3-13 三號壩之流量	22
圖 3-14 四號壩之流量	22
圖 3-15 五號壩之流量	22
圖 3-16 六號壩之流量	22
圖 3-17 七號壩之流量	22
圖 3-18 研究團隊於一號壩(左)及四號壩(右)討論其環境特性	23
圖 3-19 七家灣溪七號壩平面位置圖	23
圖 3-20 七家灣溪七號壩近照	23
圖 3-21 七家灣溪七號壩下深潭	23
圖 3-22 七家灣溪七號壩下壩基淘蝕	24
圖 3-23 七家灣溪七號壩示意圖	24
圖 3-24 桃山北溪天然石壩平面位置圖	24
圖 3-25 桃山北溪天然石壩壩近照	24
圖 3-26 桃山北溪天然石壩壩遠照	24

圖 3-27 桃山北溪天然石壩壩下游	25
圖 3-28 桃山北溪天然石壩壩示意圖	25
圖 3-29 七家灣溪六號壩平面位置圖	25
圖 3-30 七家灣溪六號壩全景	25
圖 3-31 七家灣溪六號壩流況	25
圖 3-32 七家灣溪五號壩平面位置圖	26
圖 3-33 七家灣溪五號壩全景	26
圖 3-34 七家灣溪五號壩下游	26
圖 3-35 七家灣溪五號壩全景	26
圖 3-36 七家灣溪五號壩全景	26
圖 3-37 七家灣溪五號壩上游崩塌	27
圖 3-38 七家灣溪五號壩示意圖	27
圖 3-39 七家灣溪四號壩平面位置圖	27
圖 3-40 七家灣溪四號壩全景	27
圖 3-41 七家灣溪四號壩上游	27
圖 3-42 七家灣溪四號壩下游	28

圖 3-43	七家灣溪四號壩示意圖	28
圖 3-44	七家灣溪三號壩平面位置圖	28
圖 3-45	七家灣溪三號壩正面照	28
圖 3-46	七家灣溪三號壩上游	28
圖 3-47	七家灣溪三號壩下游	29
圖 3-48	七家灣溪三號壩全景	29
圖 3-49	七家灣溪三號壩示意圖	29
圖 3-50	七家灣溪二號壩平面位置圖	29
圖 3-51	七家灣溪二號壩破壩後	30
圖 3-52	七家灣溪二號壩上游	30
圖 3-53	七家灣溪二號壩下游	30
圖 3-54	七家灣溪一號壩平面位置圖	30
圖 3-55	七家灣溪一號壩上游	31
圖 3-56	右岸蛇籠工程	31
圖 3-57	七家灣溪一號壩全景	31
圖 3-58	七家灣溪一號壩下游	31

圖 3-59 七家灣溪一號壩示意圖	31
圖 3-60 三號壩下游崩塌	34
圖 3-61 一號壩下游右岸蛇籠倒塌示意圖	34
圖 3-62 七家灣溪河道棲地底質分佈圖	35
圖 3-63 七家灣溪河道棲地類型分佈圖	36

摘要

一、研究緣起

臺灣櫻花鉤吻鮭是臺灣地區特有亞種的陸封型鮭魚，而其相關保育工作亦為雪霸國家公園管理處持續進行之一項重要任務。經過近數十年之研究，對於櫻花鉤吻鮭所需之棲息環境生存條件已有所掌握；此外，對於防砂壩所造成水溫變化與族群阻隔之棲地環境物理性改變也逐漸確認。因而，雪霸國家公園管理處於八十八年至九十年間，陸續完成七家灣溪支流高山溪四座防砂壩之壩體改善工程，並對壩體改善後之河道演變及棲地狀況進行多年之追蹤調查。根據近年櫻花鉤吻鮭族群調查結果，顯示防砂壩之壩體改善工程對其族群生存發展有顯著功效。因為七家灣溪尚有多座防砂壩存在，櫻花鉤吻鮭棲地環境之人為物理性改變仍未完全消除。但是其中幾座防砂壩除緊鄰道路外，其構造物體積、高度及淤砂量皆遠超過高山溪內之四座防砂壩，如何對這些防砂壩進行壩體改善之評估，則須相關水利、環境及生態等專家提出建議，以供雪霸國家公園管理處進行相關決策時之參採。

二、研究方法及過程

針對本計劃之工作項目，本研究團隊之研究成果可歸納成包含文獻分析、防砂壩環境分析及現場調查、壩體改善決策原則與壩體改善評估建議等四類。在國外相關文獻彙整部分，國外案例之高度或長度已年逐漸加大，雖然多數缺乏移除前之明確生態系資訊，但是對於壩體改善之決策過程則有詳細的成果。而為使決策過程能考量現場條件，本計畫針對各防砂壩之空間位置、集水區面積及流量變動範圍、壩體周圍現況及壩體量測等項目進行室內分析及現場調查。在綜合考量國外研究及專家座談結果，本計畫獲致適於七家灣溪壩體改善決策之原則及所應考量因素，此壩體改善評估模式包含河道環境、生態系統及操作考量等三大類評估指標之階層架構，各類指標下共包含九個議題及19個評估指標。

三、重要發現

針對七家灣溪之七座防砂壩，本團隊建議可對一、三、四號壩進行壩體改善；而綜合相關管理單位及水利生態專家意見，以及本團隊來自現場之經驗與觀察，建議以一號壩為最優先之改善對象，其次為四號壩，最後為三號壩

四、主要建議事項

七家灣一號壩下游右岸之蛇籠護岸，於十一月現場調查時已部份損壞，應進行修護以避免危及道路。本計畫僅以現場調查及相關資料進行改善順序之建議，然而各壩體之改善方式則須分別透過模型試驗或分析予以確認，高山溪防砂壩改善經驗不宜直接引用。本計畫係在維護魚類生態環境前提下，所歸納之防砂壩體改善決策模式，但對於構造物功能性評估、壩體改善後之社會經濟影響等面向，則在本計畫範疇之背景條件下予以忽略。

關鍵詞：櫻花鉤吻鮭、七家灣溪、壩體改善、決策模式

Abstract

For its unique ecological value, the Formosan Landlocked Salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*) is one of the target species of conservation works applied in the Sheipa National Park. The required habitat environment and its associated ecosystem are gradually identified and improved after the conservation efforts of decades. To reduce the impact from the check dams on increasing water temperature and population isolation, four dams were partially removed in previous years and the positive responses in population size of those reaches also encourage the conservationists and the management agents. However, several check dams are still located in the channels of ChiChiaWan Creek where the major salmon population habituates. With differences in size, height, and channel characteristics for the dams in Gaoshan Creek and ChiChiaWan Creek, the removal experience learned from Gaoshan Creek can not be duplicated directly. Therefore, the decision on the dam improvement/removal of those dams anticipated from this project based on the perspectives of hydraulics, environment, and ecology experts.

In this project, four working stages were scheduled to achieve the project goal, including literature review of related studies and cases, environmental analysis and field investigation, identification of decision-making principles, and assessment and prioritization of the dam removal. From the literature, it is found that the size and height of removed dams around the world are increasing, while few cases had solid information to identify the ecosystem conditions before removal. The location, drainage area, surrounding environment condition, and configuration of each candidate were first analyzed and surveyed. With the integration of literature review results and local experts' opinions, 19 factors of dam removal decision-making were categorized into three major groups, i.e., channel environment, ecosystem, and operational considerations. Through a meeting participated by stockholders and experts of related fields, check dam #1, #3, and #4 were verified as the appropriate dams to be removed based on the information and analysis results of those factors. The suggested sequence of the removal works is #1, #4, and #3.

To conserve Formosan Landlocked Salmon, this project only concluded the priorities of the dams based on limited information collected and analyzed. Detail model experiment or hydraulic analysis is highly recommended for each dam before applying removal procedures. The decision-making model described previously is developed under the scope of this project such that it is alerted that further modification on the model should be processed before applying to the other areas where structure functionality and social-economic considerations are usually emphasized.

Keywords : Formosan Landlocked Salmon (*Oncorhynchus masou formosanus*), ChiChiaWan Creek, dam removal, decision model.

第一章、前言

1.1 計畫緣起

臺灣櫻花鉤吻鮭是臺灣地區特有亞種的陸封型鮭魚，而其相關保育工作亦為雪霸國家公園管理處持續進行之一項重要任務。經過近數十年之研究，對於櫻花鉤吻鮭所需之棲息環境生存條件已有所掌握，例如低水溫、高溶氧、水量充沛、覆蓋充分、豐富的無脊椎動物數量、無污染的環境及適於產卵的底質等。而防砂壩所造成水溫變化與族群阻隔，則是造成櫻花鉤吻鮭棲地環境物理性改變之最顯著因素。因而雪霸國家公園管理處亦於八十八年至九十年間，陸續完成七家灣溪支流高山溪四座防砂壩之壩體改善工程，並對壩體改善後之河道演變及棲地狀況進行多年之追蹤調查。

根據近年櫻花鉤吻鮭族群調查結果，顯示防砂壩之壩體改善工程對其族群生存發展有顯著功效。因為七家灣溪尚有多座防砂壩存在，櫻花鉤吻鮭棲地環境之人為物理性改變仍未完全消除。但是其中幾座防砂壩除緊鄰道路外，其構造物體積、高度及淤砂量皆遠超過高山溪內之四座防砂壩，如何對這些防砂壩進行壩體改善之評估，則須相關水利、環境及生態等專家提出建議，以供雪霸國家公園管理處進行相關決策時之參採。

1.2 計畫工作項目及預期目標

(一) 工作項目

1. 計畫範圍涵蓋七家灣溪及其上游桃山西溪及桃山北溪。
2. 國內外壩體改善相關文獻及案例之分析探討。
3. 適用於七家灣溪防砂壩壩體改善之決策原則。
4. 七家灣溪各防砂壩之環境調查及資料蒐集。
5. 七家灣溪防砂壩壩體改善之評估建議。

(二) 預期目標

1. 瞭解七家灣溪及其上游桃山西溪及桃山北溪各壩體現況及對生態之影響。
2. 完成七家灣溪及其上游桃山西溪及桃山北溪各壩體改善可行性建議及評估。

1.3 工作成果要求及工作期限

(一) 工作成果要求

1. 期中簡報：九十六年八月一日前提出期中報告書，並舉行期審查會議。
2. 期末簡報：九十六年十二月二十五日前提出期末報告書，並舉行期末審查會議。
3. 完整成果報告書壹佰份。

(二) 工作期限：簽約日起至民國九十六年十二月三十一日止。

第二章、材料與方法

2.1 計畫執行流程

依據本研究要求之工作項目，本團隊之計畫執行步驟主要分為五個階段(圖 2-1)：

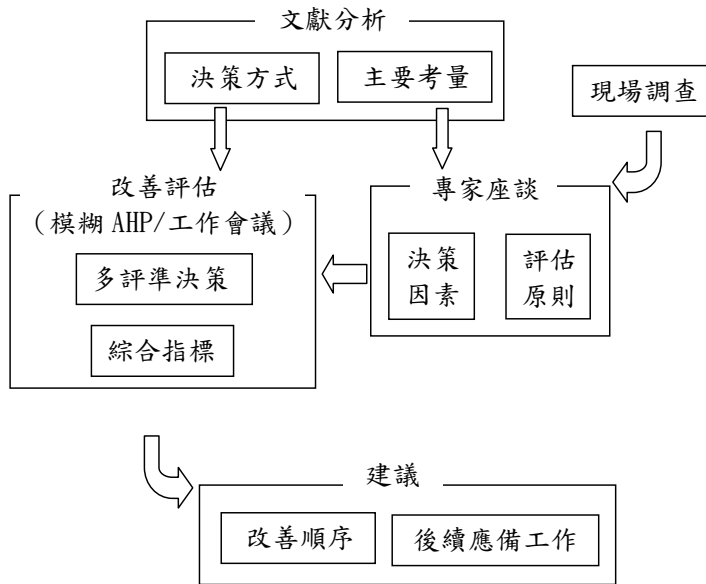


圖 2-1 計畫執行流程

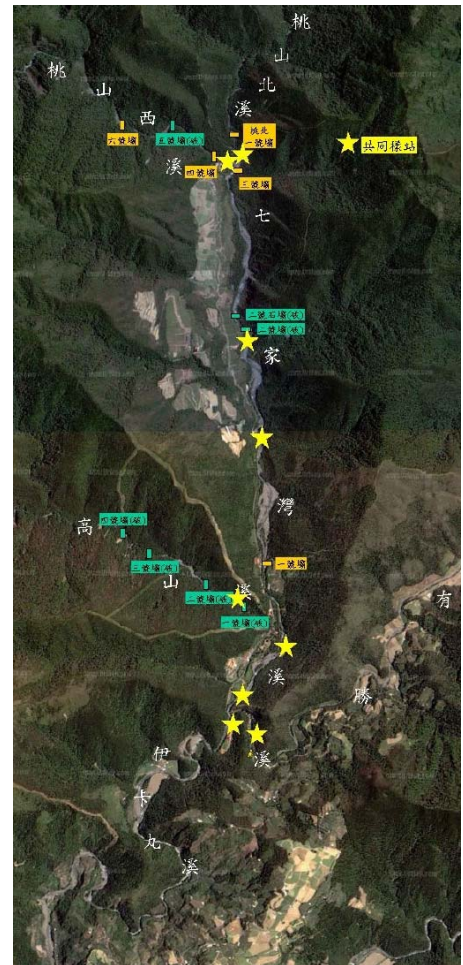


圖 2-2 七家灣河流域各防砂壩之相對位置

- 一、文獻分析：透過國內外相關文獻之蒐集及評析，此階段將歸納進行壩體改善決策之方式及其主要考量；
- 二、現場調查：針對前一階段之考量因素，對七家灣溪包含桃山西溪及桃山北溪之各防砂壩(圖 2-2)進行環境調查及資料收集；
- 三、舉辦專家座談會：確認適於七家灣河流域壩體改善之決策考量因素及評估原則；
- 四、壩體改善評估：由於同時考量多重因素，此過程實具多評準決策之內涵，因此將利用前兩階段之工作成果，透過群體決策 (Fuzzy AHP 或工作會議) 決定如何將眾多考量因素予以歸納，以便針對獲得各防砂壩壩體改善之綜合指標；
- 五、壩體改善建議：除利用前一階段之綜合指標對各防砂壩改善順序進行排序建議外，本團隊亦將提供各壩體現場狀況以及後續壩體改善應備工作之資訊及建議。

2.2 執行方法

2.2.1 專家評價法(Experts Evaluation Methods)

專家評價法(王海山編, 1998)係依賴專家的經驗、知識對技術開發項目或方案進行評價和選擇的經驗判斷法。現代的專家評價法與傳統的停留在定性分析水平的經驗判斷法不同, 除在定性分析的基礎上, 並採用評分法(詳見下節)等方法做出定量的評價。由於專家評價法能夠在缺乏足夠的統計數據和原始資料的情況下, 作出定量的評價, 因此常被用來分析包含錯綜複雜要素的重大科學技術、經濟和社會的戰略決策問題。專家評價法主要包括專家個人判斷法、專家會議法、列名小組法、前提分析法和德爾菲法等。除專家個人判斷法外, 其他四種群體決策方法簡介如下。

- (1) 專家會議法(Experts Meeting Method): 通過會議徵集和協調不同領域專家的意見, 對某個事物進行估計和判斷的一種方法。專家會議有助於交換意見, 互相啟發, 取長補短, 集思廣益, 通過專家自身及彼此意見的內外反饋把思想集中於同一目標, 以集體的智慧做出判斷。在事物難以數學化、信息量極大或微小等場合下, 特別是在為全局性戰略決策進行判斷時, 專家會議不失為一種重要的方法。專家會議同個人判斷相比, 具有三個優點: (1)專家會議的信息量比每個成員占有的信息量大; (2)專家會議考慮的因素比每個成員考慮的因素多; (3)專家會議提供的方案比每個成員提供的具體。專家會議也有嚴重的缺點, 主要表現在易受心理因素的影響, 如屈服於權威和大多數人的意見, 受勸說性影響, 以及不願意公開修正已發表的意見等。
- (2) 列名小組法(Nominal Group Method): 對技術開發項目或方案進行論證和評價的一種專家小組法。事先要求列名小組成員不要直接接觸, 即使圍桌而坐, 也不要相互交談。在相互之間思想沒有直接交流和反饋影響的條件下, 讓列名小組成員分別以書面的方式回答所提的問題或對方案進行評價。然後由列名小組召集人把所有列名小組成員的書面評價報告進行整理, 綜合成一份評價報告公布於眾, 列名小組成員再圍繞著這一綜合評價報告進行討論。由於公布時, 只公布綜合結果, 不講明具體評價意見是誰提出的, 所以採用這種方法, 即可以使專家們在沒有顧慮的情況下展開討論, 保證思維的獨立性, 也便於修正個人的意見, 使各種意見和見解相互補充、相互激勵, 較易達到一致的意見。
- (3) 前提分析法(Presupposition Analysis Method): 通過專家會議, 圍繞技術開發方案所提出的前提間接地對方案進行評價的一種方法。在通常情況下, 每個方案都有幾個基本前提作為方案設定的依據。方案的優劣和可行性, 關鍵取決於它的前提能否成立。採用這種方法的具體做法是: 事先由會議主持人會同方案提出者找出確定方案的基本前提, 然後提交專家會議討論, 一步一步深入, 直至找出前提的內在規定和根據。通過這種分析, 使得對方案的依據了解得更透徹, 選擇方案也就更有把握; 同時, 由於對前提討論得越深, 前提同方案的直接關係就越不明顯, 因而也就避免了因感情和人事關係上的先入之見以及其他方面的個人利害關係對方案評價和選擇的影響。
- (4) 德爾菲法(Delphi Technique): 以匿名方式通過幾輪函詢書面徵求專家意見進行決策的方法。由美國蘭德公司(RAND Corporation)的戈登(T. Gordon)和赫爾默(O. Helmer)於20世紀40年代末創製, 並首次用於技術判斷。取名於古希臘神話中太陽神阿波羅預告未來神諭之地德爾菲。德爾菲法是以專家判斷法和專家會議調查法為基礎發展起來的一

種直觀性判斷方法。判斷課題小組對專家們的每一輪意見都進行匯總整理，作為參考資料再發給每個專家，供他們分析判斷，提出新的論證。如此多次反覆，專家的意見漸趨一致，結論的可靠性越來越大。德爾菲法具有如下特點：(1)匿名性。參與判斷的專家之間互不見面，調查中並不具姓名，也不清楚有多少專家參加判斷，從而完全消除相互影響，容易客觀地發表意見，以及隨時改變自己的意見而無損自己的威望。(2)反饋性。參與德爾菲法的專家可從反饋回來的調查表得知集體的主要意見，從中吸取與自己判斷有關的信息，並由此各自做出新的判斷，再提交給集體。(3)統計性。對專家意見進行統計處理，通常按時間序列做出專家意見頻率分布的模形圖，頂點為中位數(50%專家)，代表判斷小組的意見；兩端為上下四分位數(各25%專家)，表示判斷偏差。(4)收斂性。將處理結果多次反饋徵詢意見，使得最後判斷結果(包括中位數和四分位數)都趨向一致。

2.2.2 多評準決策(Multiple Criteria Decision Making, MCDM)

自二次世界大戰期間作業研究崛起以來，將計量方法運用數學模式進行有系統的研究和分析，以解決人類多元社會複雜問題之趨勢日漸普遍。由於作業研究是針對特定問題，謀求問題的最適解(optimal solution)，但在現代龐大且多元的社會當中，常因多個目標間發生衝突以及資源具稀少性等因素之影響而甚難付諸實現。(劉一忠，1988；汪大雄，1992)。多目標規劃是指一種明確且可以同時考量多個決策目標的數學規劃法，目的在協助決策者於有限的資源及目標衝突等的條件限制下，尋求一個較佳的行動方案(許志義，1994)。廣義的多目標決策即指多評準決策。許志義(1994)認為多評準決策包含多目標規劃(Multiple Objective Programming, MOP)與多屬性決策(Multiple Attribute Decision Making, MADM)二部分。大多數的決策問題皆具下列特性：

- (1) 多評準、多目標：決策者對選取備選方案的判定標準，不止一項；亦即決策者在選取行動路線的過程中，所欲滿足的限制亦不止一個。
- (2) 非同一測量單位(non-commensurable)：各目標價值的測量單位，並不相同。
- (3) 不確定：歸因於多目標本質，且決策者知識與資訊上的不完整，因而必須在不確定的情況下作決策。

以下即就多目標決策之理論與方法分別說明之。

一、多評準決策之特性與程序

決策乃是由眾多備選方案(alternatives)中選取一個可能的方案來滿足所訂定的目標，然而在此單一目標下，事實上可能包含許多影響決策之子目標，即所謂準則(criteria)或稱屬性(attribute)，而這些子目標可能互相衝突以致無法同時達成，所以在某些子目標內必須要彼此權衡(trade-off)，權衡的標準在於決策者之需求滿足，而其效用(utility)之評估，即某人對此目標價值之評估。

有別於常見之單一目標優選方法，多評準決策所尋求的並不是最佳解，而是各目標皆可接受的妥協滿意解(Compromised satisfying solution)。根據決策所需提供之資訊不同，可分為幾種求解過程：多目標規劃、目標權重估測及多評準評估之敘述分別如下：

- (1) 目標規劃(Multiple Objective Programming; MOP)：此階段之主要目的在尋求非劣解集合。在此集合中沒有一個方案在所有目標的表現上皆優於或劣於集合中的另

一個方案。常見之多目標規劃方法有權重法、 ϵ -限制法、非劣解估計法及多目標單形法等。

- (2) 目標之權重估測(Weights Assessment; WA)：為了使決策者對各目標之喜好度或重視程度能夠充分表達，兩類方法—直接估測法及間接估測法常被用來進行估測工作(Nijkamp et. al., 1990)。
- (3) 多評準評估(Multiple Criteria Evaluation; MCE)：此階段之工作則是接續前兩步驟之結果以評估產生一最後妥協方案。根據目標是量化或質化標準，以及替選方案是為離散或連續之分佈共區分為四類方法，較常使用的方法則是效能函數法(Utility function methods)及目標規劃法(Goal programming)。

二、多評準決策評估方法之分類

多準則評估方法若依據其所能處理的資料型態加以區分，可概分為四大類，依次為質化準則評估法、質量中介法、量化準則評估法及質化與量化準則評估法。而針對這些評估方法之評述¹，則分述如下：

- (1) 多目標達成矩陣法 (Goals Achievement Matrix)：Hill (1966) 所提出的多目標達成矩陣法，其基本概念與成本有效性有些雷同，均在於取代傳統的成本效益評估法。該法將目標達成的效果分成三類：A.可貨幣化的有形成本與效益；B.無法貨幣化的有形成本與效益；及 C.無形的成本與效益。
- (2) 預期值列等法 (Rank-based Expected Value Method)：本法係針對各方案對某準則的達成程度以等級 (Rank) 的方式來表示，該法於進行評估時首先給定準則權重與各方案對準則之達成程度，不過該法用等級 (即 1、2、3....) 的方式來表示各方案達成準則之滿意程度，較難反映問題的實際狀況，且方案分數受其實現機率值之影響頗大。
- (3) 價值矩陣法 (Value Matrix Method)：價值矩陣法是預期值列等法的一種延伸，其主要的不同點在於獲得方案對評估準則之實際影響數值後，就該數值與各方案相比較，分別給予 0 到 10 的級值 (Rate)，而不是給等級值 (Rank)，但也不試用實際的數值進行比較。
- (4) 絕對優勢法 (Dominant Method)：此方法對『絕對優勢』(Dominant) 的定義為：若方案 i (Alt_i) 的每一個準則值均優於方案 j (Alt_j)，則認為 Alt_i 優於 Alt_j ，如果其中有任一準則不合於此條件，便不能認為 Alt_i 優於 Alt_j 。
- (5) 滿足法 (Satisficing Method)：滿足法對於多準則評估問題的處理程序，首先是為每一個準則設定一個滿足水準 (Satisfactory Level)，再就每一個方案的各個準則與其滿足水準相比較，如果方案 I 中每一個準則皆可達到滿足水準以上，則予以保留，以供進一步評選，否則則予已棄置。
- (6) 排列法 (Lexicographic Method)：排列法與前面兩種方法 (絕對優勢法、滿足法) 之最大不同點，在於此法已考慮了準則的重要性，其方式是按各準則之重要性予以排列，然後進行比較各替選方案，而且是從最重要的準則開始比較。若兩方案之最重要準則值相同，則進一步比較次重要之準則，依此類推，直到分出方案之優劣或比完所有準則為止。

¹ 參江俊良，1988，多準則評估方法在關渡平原開發型態評選之應用。

- (7) 結合法 (Combination Method)：結合法是將絕對優勢法、滿足法及排列法三種方法加以整合應用，首先應用絕對優勢法剔除劣勢的替選方案，接著應用滿足法以除去替選方案中一個或多個無法達到滿足水準的準則，最後剩下的方案極具有優勢與達到滿足水準以上的替選方案，此時，再應用排列法依準則重要性逐次比較排列，直到分出方案之優劣或比完所有準則為止。
- (8) 簡單加權法 (Simple Additive Weighting Method; Weighted Summation)：簡單加權法與前述諸種方法最佳要之差別，在於每個替選方案的分數是由各準則值與其相對權數乘積之和來表示，分析者在得到各替選方案之分數後，即可比較方案優劣。此方法之作業程序依次為：A.將評估矩陣 (evaluation matrix) 標準化，B.計算方案之分數，C.由方案之得分評定其優劣。
- (9) 一般化滿意法 (Generalized Concordance Method)：此法係 Voogd 於 1983 年所提出，其特色是以成對比較 (Pair-wise Comparison) 的方式將替選方案間之差異予以定量化 (Quantified)，並根據滿意程度 (Degree of Concordance) 與不滿意程度 (Degree of Discordance) 求得各替選方案之分數，此為與 ELECTRE 法最大之差異。本法之缺點是輔助變數 Z_{ij} 值有時候不易界定。
- (10) 一般化雙重指標法 (Generalized Double Index Method)：一般化雙重指標法之求解精神與前法 (一般化滿意法) 類似，只是本法是利用兩個優勢指標來求算分數，而不需向決策者詢問門檻值 (Threshold Value)，此為與一般化滿意法之不同處，本法之優點是不需由決策者決定門檻值，因此在評估作業上較為簡易。
- (11) 幾何化尺度法 (Geometric Scaling Method)：幾何化尺度法 (Multidimension Scaling Method) 與其他幾種評估方法之不同點，乃在該法是以幾何量度的方式，將替選方案的有效等級值 (Effectiveness Ranking e_{ki}) 予以轉換，而放置於一個多維空間的座標圖上，並以適合度來檢定其適宜性。
- (12) 質化滿意法 (Qualitative Concordance Method)：質化滿意法之最大特性，乃在於該法係用以處理資訊無法量化時，特別是準則的重要性 (w_k) 及各方案在各準則之評估值 (e_{ki}) 均無法量化的情況。該法建議將準則的重要性分為三個等級 (XXX、XX 及 X，其中 XXX 表示很重要，並將評估值分為四個等級 (####、###、##及#)，然後進行評估。
- (13) 數值解說法 (Numerical Interpretation Method)：數值解說法與質化滿意法之求解原理類似，均是考慮準則權重與準則評估值而進行成對比較，兩者都是用於處理質化的問題，為本方法之運作較質化滿意法有彈性，不必受限於準則權重之等級 (Priority Rank) 與優勢程度 (Dominance Rank) 之規定。方法雖然簡單易懂，但評估時須建立 $C(I,2)$ 個比較矩陣 (假設共 I 個替選方案)，頗為繁雜。
- (14) 質化排列法 (Qualitative Permutation Technique)：本方法又名 Qualiflex 法，在進行評估時，先排列出所有可能方案順序 P_i ，例如有 a、b、c 三替選方案，則共有六種方案順序 (分別為 $a>b>c$ ， $a>c>b$ ， $b>c>a$ ， $b>a>c$ ， $c>b>a$ ，及 $c>a>b$ ，其中 $>$ 表至少優於之意)，再根據 e_{ki} 等級值進行比較分析。此法雖操作簡單容易，但當替選方案個數很多時，即不適合處理。
- (15) 偏好序列組織法 (PROMETHEE 法)：PROMETHEE 其操作程序有三，依序為 (1) 建立一般化準則之偏好函數，(2) 計算多準則偏好指標 (Preference Index)，

- (3) 以流量方式評估方案執行之優先順序。規劃者可按照決策者之偏好結構來訂定偏好函數，此為本法之最大優點。
- (16) TOPSIS 法：TOPSIS 法由於用『理想解之相對近似值』的方式來排列各方案之優先順序，可以避免產生一方案距理想解最近又距負理想解最近，或距理想解最遠又距負理想解最遠而不知如何比較的缺點，因此，是一頗為實用之評估方法。
- (17) 多屬性效用函數法 (Multiattribute Utility Function Method)：其操作程序可分成二步驟，即 (1) 界定必要之評估屬性 X_i 並建立屬性的效用函數 $G_i(X_i)$ ，(2) 將各屬性之效用函數加以整合，而得總體效用 $U(G_1(X_1), G_2(X_2), G_3(X_3), \dots, G_n(X_n))$ ，而總體效用最大者即為最佳之方案。
- (18) ELECTRE 法 (elimination et Choice Translating Reality)：此方法之精神為當兩方案 Alt_i 與 Alt_j 在數學上無法證明其優劣關係時，決策者基於滿意程度與不滿意程度，甘冒某種程度之風險以承認 Alt_i 優於 Alt_j 。ELECTRE 法於進行評估時，有時會無法排列方案之優先順序，而後來發展之 ELECTRE II 是用以改善 ELECTRE 法，但通常 p 、 q 值的訂定會影響到整個評選的結果，且 p 、 q 值的訂定無一定之標準。
- (19) 分析階層程序法 (Analytic Hierarchy Process；AHP)：AHP 法之作業程序有四，分別為建立層級關係、建立各層級之成對比較矩陣、求解各層級之權重並檢定其一致性，及求解各方案之優勢比重值，以便排列方案之優先順序。AHP 法在計算各要項 (如目標間、準則間) 之重要性時，其結果必須經過一致性檢定，以較具有理論基礎並具客觀性。
- (20) 質化與量化多準則評估方法 (Multi-Criteria Evaluation with Qualitative and Quantitative Data)：本評估方法共五個作業程序，分別為 A. 將評估準則分成質化與量化二大類，B. 優越程度的量測 (Dominance Measure)，C. 優越程度的標準化，D. 求算整體的優越程度，E. 計算各方案的相對評估分數 (Appraisal Score)。

以上各評估方法均有其優缺點，且適用的狀況也不一，有些方法適用於質化準則的評估，有些適用於量化的準則，也些則可同時兼顧質化與量化準則；此外，有些方法決策規則簡單易於操作，有些則較為複雜，故規劃分析者必須對評估的問題、替選方案、決策者的偏好等有詳細的瞭解與認知，方能進一步選擇適宜的多評準評估方法，以獲得最佳的評選結果。

2.2.3 本計畫之決策模式

由於本計畫之目標在於提供保育對象較良好之生存棲息環境，而防砂壩體改善所可能產生河道及生態環境的變化，必須由水利及生態等領域專家提供專業建議。此外，由於櫻花鉤吻鮭之保育工作及七家灣溪流域之管理權責同時由數個單位負責 (雪霸國家公園管理處、經濟部德基水庫管理委員會、退輔會武陵農場、林務局東勢林管處、台中縣政府農業局)，因而管理單位 (stakeholder) 之立場及關注應在此決策過程中予以考量及重視。綜合上述計畫背景之考量，本計畫遂以專家評價法之專家會議法進行壩體改善之決策，期望透過會議形式而不同觀點之意見使得以溝通，最後獲得合適之壩體改善建議。

第三章、結果與討論

3.1 文獻分析

3.1.1 櫻花鉤吻鮭之族群特性

根據林曜松、梁世雄(1990)之研究，有關鮭、鱒魚類良好生存條件應包括：低水溫(16°C以下)，高溶氧(6ppm以上)，水量充沛，覆蓋充分，無脊椎動物數量豐富，無污染與底質適於產卵、孵化及護育。而影響其生存的人為因素計有：火災、森林的砍伐、不良的農耕、過度放牧、污染、開礦、水災、人為或自然的乾旱、築壩、游淤泥及溶氧降低與河川改道等。一般而言，櫻花鉤吻鮭對棲息地之喜好，隨其成長而改變。幼魚期不適合在急流中運動和覓食，故在水潭中數量較急流中為多。而二歲大的鮭魚則較喜出現在半急流半水潭的水域，成魚則多生活在急流中，此可能與該地的水生昆蟲較水潭區域為多之故。在流速較快的區域，鮭魚族群數量會增加，除了其趨流反應外，主要可能為空間和食物的關係。而對環境中溫度變化，由於鱒魚屬冷水性魚類故其要求相當嚴格。一年及二年生的虹鱒，其最適合的生長溫度約在13°C左右，而其生長、產卵及卵之孵育溫度約在9~13°C之間，過高或過低均會產生不良的後果，而櫻花鉤吻鮭其主要棲息地之溫度列在16°C以下。

以上之研究成果，亦在清華大學曾晴賢教授為雪霸國家公園所做之櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估(1997)中獲得驗證。根據曾教授之研究，七家灣溪在二號壩以下水溫過高的河段，櫻花鉤吻鮭受精卵的野外死亡率在65%至100%之間，發育初期的死亡率為40%至100%之間。過高的水溫與日溫差對櫻花鉤吻鮭族群天然更新有不利的影響。孵化前期的平均水溫12°C可視為孵化期的上限致死溫度。估計十二年間(1985年至1997年)11.2°C等溫線往上游退縮約1.56km。二齡以上成魚在繁殖期的分佈與水溫的相對高低有關，性成熟的成鮭有聚集河川封閉區間的低溫區以尋求有利於孵化的水溫環境。

3.1.2 魚類河床棲地改善工程

根據棲息環境因子之改變，中研院張崑雄(1990)將之區分為物理性、化學性和生物性三方面。就物理性的改變而言，包括建造攔河堰、水庫、水閘以及森林或河岸植物的大量砍伐，或是其它開墾性的活動等。化學污染水源方面是來自大量使用肥料和農藥的農地，因雨水的沖積而滲入河川，或者是大量垃圾與其它污染源如未經完善處理的家庭、工業廢水的排放入河川中。生物性的影響主要是來自於未經評估的外來種動、植物的引進。

根據邱健介(1990)之研究，魚類棲地改善工作即在避免或解決棲地環境惡化的問題，並增加溪流承载力，以蓄集更多的魚類資源。其研究更進一步將棲地改善之作法歸納為四類：(1) 魚梯工程魚道設施；(2) 植生工法；(3) 木、石、網、籠棲地改善設施；以及(4) 其它方法如構築柵欄、鐵刺網等藩籬阻隔牲畜、野生動物或人類活動以保護水源、水質及魚類棲地。

對櫻花鉤吻鮭而言，棲息環境因子之改變主要來自於物理性改變，其中以水溫變化與族群阻隔為更為明顯。而造成溪流溫度改變的原因，可大致分為幾種(林曜松、梁世雄，1990)：(1) 氣溫的異常變化；(2) 溪流附近的開發；(3) 砍伐森林；(4) 人工水庫的建造。然而，族群阻隔的主要因素則為防砂壩之設置。一般而言，防砂壩建立後，壩後便因攔阻而形成水潭，可能造成：(1) 將產卵區和設育地淹沒；(2) 湖泊型態的環境，減緩幼年魚的

游泳速度，造成洄游上障礙；(3) 產生某些不想要的魚類。但對櫻花鉤吻鮭的情況而言，防砂壩除了造成的水溫升高現象導致的七家灣溪中下游河段(二號壩以下)櫻花鉤吻鮭繁殖期的受精卵高死亡率外，並且導致遺傳多樣性貧乏(曾晴賢，1997)。

3.1.3 國內相關研究

為因應前述防砂壩對臺灣櫻花鉤吻鮭所產生之族群及棲地環境之衝擊，雪霸國家公園管理處亦針對防砂壩改善進行方案研擬。因而，本研究團隊於民國八十六年至民國八十八年期間對七家灣溪支流高山溪四座防砂壩壩體改善工程之實施提出具體建議，雪霸國家公園管理處則於八十八年至九十年間陸續完成並對壩體改善，在該期間後計畫主持人仍持續多年進行河道演變及棲地狀況之追蹤調查(表3-1)。

表3-1 七家灣溪流流域防砂壩壩體改善研究

執行年度	計畫名稱	主要內容	備註
八十六	七家灣溪河床棲地改善之試驗研究	利用水工模型試驗歸納合適之高山溪四號壩改善方式以及其對應之河道與泥砂輸出變化	
八十七	七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(二)	<ul style="list-style-type: none"> ● 進行三號壩以上之斷面測量 ● 以相同水工模型試驗程序歸納高山溪三號壩改善方式 	88年3-4月進行四號壩改善工程
八十八	七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(三)	<ul style="list-style-type: none"> ● 對已改善河段進行斷面測量，比較及監測其變化歷程 ● 根據以往經驗，建議高山溪一、二號壩改善方式 	89年10-11月進行三號壩改善工程
八十九至九十	七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(四)	<ul style="list-style-type: none"> ● 高山溪河道監測 ● 一般性壩體改善之水槽試驗 ● 一、二及三號壩體調整工程建議 ● 高山溪坡地泥砂流失量估算 	90年9月進行一、二號壩改善
九十一	七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(五)	<ul style="list-style-type: none"> ● 高山溪河道監測 ● 七家灣溪二號壩及附壩河道斷面測量 ● 高山溪物理棲地及集水區特性分析 ● 分析高山溪棲息環境長期監測之必要性 	
九十二	高山溪河道變化及物理棲地調查研究	<ul style="list-style-type: none"> ● 高山溪河道監測 ● 七家灣溪二號壩及附壩河道斷面測量 ● 高山溪物理棲地及集水區特性分析 	補助研究生計畫
九十三	高山溪河道變化及物理棲地調查研究(二)		
九十四	武陵地區長期監測暨生態模式建立—環境改變對河道地	<ul style="list-style-type: none"> ● 高山溪河道變化 ● 七家灣二號壩及其副壩河道斷面調查 ● 高山溪及七家灣溪物理棲地分析 ● 七家灣溪生態共同採樣區分析 	

	形及物理棲地變化趨勢之影響	● 七家灣溪流量推估可行性評估	
九十五	武陵地區長期生態監測暨生態模式建立	以武陵地區流域與司界蘭溪為研究地點，設立永久測站，長期生態監測與整合包括水文、物理棲地、水質、有機碎屑、藻類、沿岸植被、陸棲與水生昆蟲、其它無脊椎動物、兩生爬蟲類、魚類與鳥類等時空變化資料	群體計畫
九十六	武陵地區長期生態監測暨生態模式建立 (二)		

由於當時在國內並無堰壩改善之相關研究，又鑑於壩體改善目的為魚類棲地復育，因此表列相關歷年研究之壩體改善決策流程係以模型試驗模擬不同方式在河道環境及泥砂輸送之衝擊，綜合生態專家之實施時機建議後，呈報相關主管機關核可，最後進行改善工程以及後續監測調查。而管理單位為避免改善工程造成不可預期的生態衝擊，因此改善對象的選擇偏以非主要棲息地之高山溪四座防砂壩為主；而壩體改善的順序決策，亦基於上游壩體優於下游壩體之原則而產生，希望藉由未改善防砂壩充作緩衝機制。

3.1.4 國外相關研究

相較於國內特定生物保育目標導向之壩體改善決策方式，美國由於在近數年內有眾多堰壩已達使用再評估階段，對於是否核准堰壩繼續使用或者將之拆除之決策需求相繼出現。因而除對於壩體改善所產生之生態及環境衝擊影響之相關研究逐漸出現外，同時對於壩體改善決策之討論及研究亦逐漸獲致原則性之共識。

一、Born et al. (1998) 從Wisconsin州在1965至1998期間所移除30個堰壩中挑選14案例進行分析後發現，這些堰壩的平均修復經費約為移除費用的三倍（圖3-1）；因而，對於私人擁有或當地政府主管的功能消失堰壩而言，堰壩移除是最常見的共識，其主要原因為壩體移除是最具成本效益的方案。

針對擁有者或管理單位之移除後觀感調查結果顯示，大部分案例表達來自遊憩活動以及蓄水體積產生美質的消失為主要負面意見；對於移除後關注議題部份，超過一半的案例有進行移除後復育工作，主要目的在於河岸及原淹沒區邊坡穩定，類型包括拋

Name of dam (year removed)	Total removal costs ^a	Repair estimates ^b	Cost differ- ential (repair: removal)
Fulton (1993)	\$375,000	\$900,000-1 million	2.5
Greenwood (1994)	\$80,000	\$500,000	6.25
Hayman Falls (1995)	\$180,000	\$455,000-\$800,000	3.5
Huntington (1969)	\$35,000	not evaluated	n/a
Lemonweir (1992)	\$190,000	\$700,000	3.7
Manitowoc (1984)	\$45,000	\$30,000-\$250,000	3
McClure (1968)	\$50,000	not evaluated	n/a
Nelsonville (1988)	\$62,000	not evaluated	n/a
Ontario (1992)	\$47,000	\$100,000-\$200,000	3.2
Prairie Dells (1991)	\$200,000	\$725,000	3.6
Pulcifer (1994)	\$40,000	not evaluated	n/a
Somerset (1965)	\$75,000	\$30,000	0.4
Woolen Mills (1988)	\$80,000	\$3.3 million ^c	n/a
Young America (1992)	\$74,300	\$313,000	4.0
Average	\$109,500		

^aDollar value at time (year) of removal; taken from engineering reports, WDNR files, news reports and interviews.

^bInformation availability varied for each case; taken from engineering reports, WDNR files, news reports and interviews.

^cEstimates for removal were not developed independently of other infrastructure work.

圖 3-1 Wisconsin 州 1965~1998 期間 14 座移除堰壩案例費用分析(Born et al., 1998)

石、灑草種及植樹。而部分案例之下游棲地會因泥砂輸送而產生負面影響，然而後續調查發現此棲地狀態變化乃為暫時現象。

二、Whitelaw & MacMullan (2002)針對保留或移除堰壩的效益成本估算，建議兩個主要及四個次要分析原則：

1. 效益與成本：保留或移除皆有各自對應的效益與成本，必須完整瞭解它們在河川、森林及其他資源所衍生的商品或服務價值；
2. 就業之正負衝擊：保留或移除皆會對就業機會產生正反作用，必須完整瞭解它們在工作者、家庭及社區的影響；
3. 後果及公平性的分配：獲得堰壩移除與否決策效益的人數不儘然會與承擔其成本的人數相當，必須完整瞭解這些經濟後果的數目及公平性分配狀況；
4. 權利與義務：在不同的結果下，財產擁有者與資源使用者會有不同反應行為，應考慮是代表其所享權利或應負責任之改變；
5. 不確定性及永續性：任何決策皆會無法避免的依賴不確定資訊來確保結果，應考量因決策所產生無法或難以復原後果的潛在昂貴成本；
6. 不僅限於生態保育：保留或移除會許多生態及經濟影響，應考量如河川其他用水目的品質等之週邊影響。

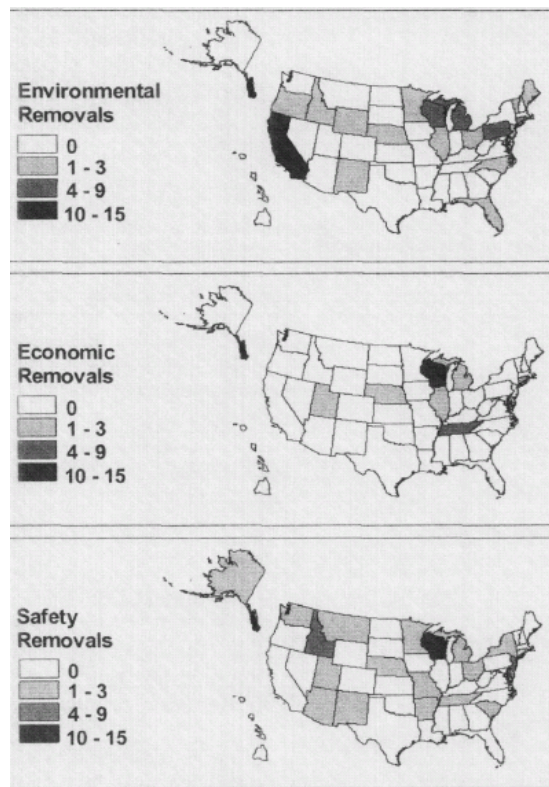


圖 3-2 堰壩移除理由在美國地理區位之差異(Pohl, 2002)

三、Pohl (2002)為瞭解美國境內堰壩移除主要理由之變化趨勢、近十數年來的相對重要性改變以及主要理由是否具有地理特性上之差異，在利用來自數個機關團體之153個移除堰壩案例資料分析後發現，有39%係基於環境考量，34%是因為安全因素，18%為經濟因素，而也有5%是因為壩體損壞而移除。

前三大堰壩移除理由在地理區位之差異則可由圖中發現，加州及東北部數州是因環境考量而移除堰壩，而

Wisconsin州因致力於堰壩移除工作，因此考量經濟及安全因素而移除的堰壩數目也不少。圖3-3 則顯示美國在不同年代之堰壩移除理由轉變，主要理由在八十年代是安全因素(52%)，其次是僅占19%的經濟考量，而在九十年代則為

Purpose for Dam Removal	1970s	1980s	1990s
Safety	3 (60%)	16 (52%)	28 (28%)
Failure	0	2 (6%)	5 (5%)
Environment	1 (20%)	3 (10%)	47 (47%)
Economics	1 (20%)	6 (19%)	19 (19%)
Other	0	4 (13%)	2 (2%)
Total	5	31	101

圖3-3 美國堰壩移除理由變化趨勢(Pohl, 2002)

環境考量(47%)，其次是占28%的安全因素，在其次為占19%的經濟考量。

四、Poff & Hart (2002)對美國境內於二十世紀期間所移除的467座堰壩進行統計發現，堰壩移除的數量在最後二十年急速增加（如圖3-3），且在九十年代之總數接近兩百座，但所移除的堰壩近半數為低於五公尺的小型堰壩（約為220座），而高度低於十公尺之堰壩則佔所有移除總數約七成。

而對於堰壩在當地或地景環境所產生之生物物理過程(biophysical process)影響，該研究則利用一流程圖表達單元間之關連(圖3-4)：

- 當氣候與集水區組成直接影響河川系統的水流、泥砂、水溫及化學等狀況時，而生物量則受生物地理(biogeography)條件影響，雖然河川系統與生物量會相互影響，但適合穿對生物量之作用較大；
- 堰壩對河川環境生態的衝擊則因源自其尺寸及操作方式，此兩因素皆會影響水力停留時間，而堰壩之延長水力停留時間則明顯作用於輸砂過程、化學傳輸及河道水體儲蓄，但對水溫層化及傳輸障礙之影響較小，堰壩大小則對水溫層化及傳輸障礙之影響較大，但對河道水體儲蓄影響較小；這些影響將導致泥砂輸送減少、能量基礎改變、流況變化、水溫狀況改變及生物破碎化，最終整體表現於當地及地景的影響。

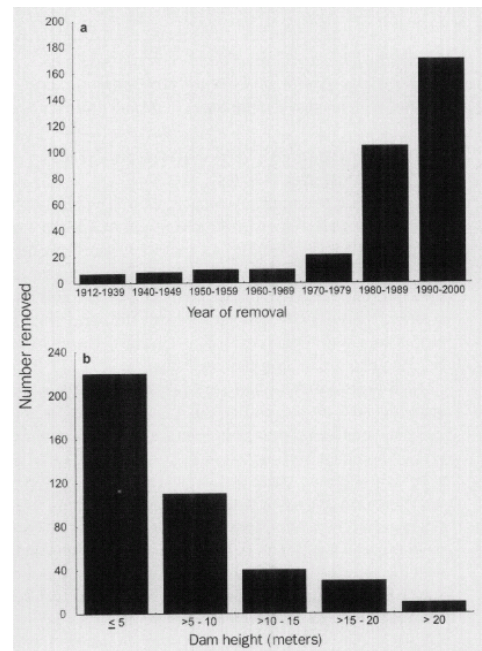


圖 3-3 美國移除堰壩之年數量及高度分布(Poff & Hart, 2002)

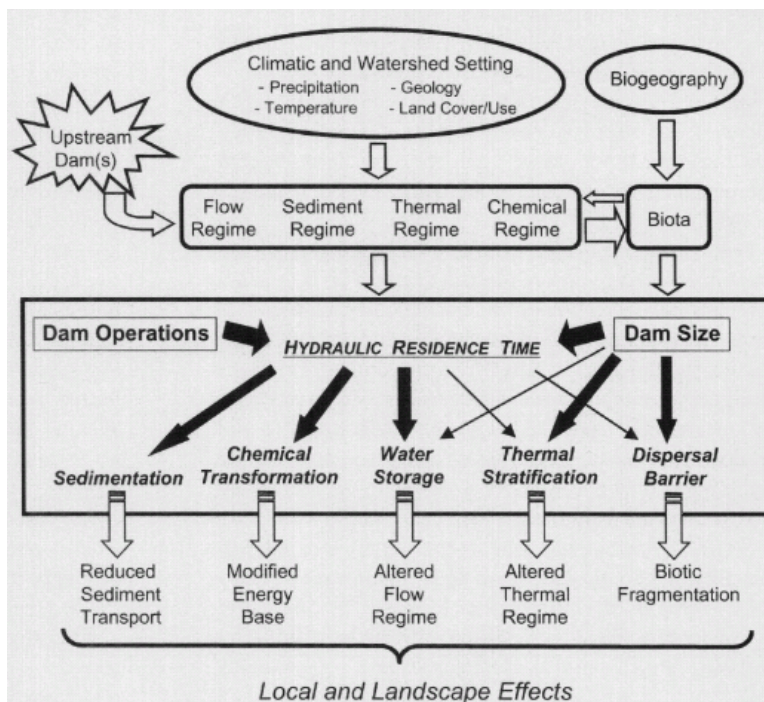


圖 3-4 堰壩對生物物理過程所產生之影響流程圖(Poff & Hart, 2002)

五、在壩體改善決策之眾多相關研究中，以 The Heins Center 於 2002 年所出版一份研究報告”Dam Removal: Science and Decision Making” (The Heins Center, 2002)針對壩體改善之各類型衝擊、考量因素及決策流程有詳細之描述與討論。參與該研究之一群專家小組設計出一套關於堰壩保留或者移除之決策方法，其決策步驟（圖 3-5）包含以下內容：

- 1.建立目標及決策基礎：這步驟包括對於此決策及其在環境、社會、經濟、法規和政策後果之資訊收集任務；
- 2.確認關注之主要議題：從壩體安全保障到與有關人士之文化關注議題；
- 3.評估潛在結果並且收集有關河川堰壩、法律政體、生態、社會和經濟體制等要素相關之操作資料：這些評估則取決於有助瞭解現在和可能將來條件的一系列指標；
- 4.以一架構進行決策來導引出整個決策之收穫和損失、成本和效益、公眾支持與關注、以及私人和公眾有興趣之處。

若所獲致的決策結果為壩體移除，則尚有兩個步驟須完成。

- 5.壩體移除；
- 6.資料收集、評估及監測。
對於步驟二所關注的議題，本研究將該報告六大類型議題（即安全、環境、法規、社會、經濟與管理）歸納列表於表 3-2；而步驟三中進行評估所需的資料及指標，該報告則依法律、物理、生物、經濟與社會等五類分別討論（表 3-3）。

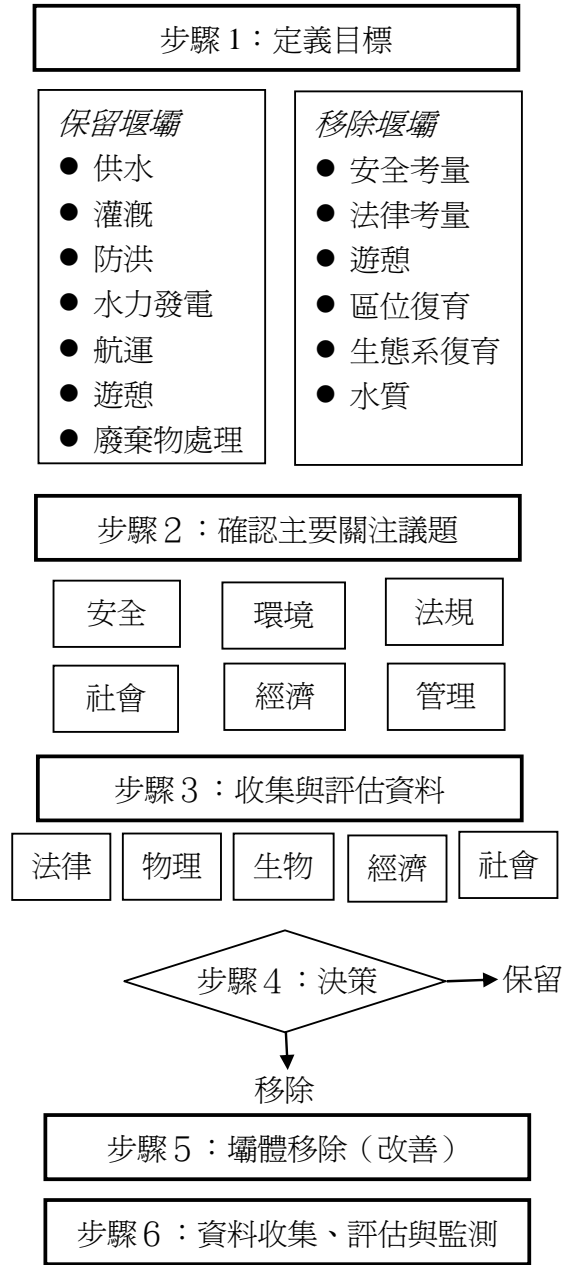


圖 3-5 壩體改善決策流程（The Heins Center, 2002）

表 3-2 壩壩保留或移除決策時應關注之議題(The Heins Center, 2002)

類型	關注之主要議題
安全	<ul style="list-style-type: none"> ● 若壩壩毀壞或被移除，對於生命損傷和財產損失是否具備顯著的可能性？ ● 若因老舊或不當維修，壩壩是否容易受到損壞？ ● 壩壩易受恐怖主義的行為嗎？
環境	<ul style="list-style-type: none"> ● 壩壩移除是否有助於瀕臨絕種或受威脅種之恢復？ ● 壩壩移除是否導致入侵物種之改變或恢復本土物種？ ● 是否產生與原因蓄於壩壩受污染泥砂有關之問題？ ● 壩壩移除是否使得其泥砂有助於造灘？ ● 壩壩移除是否導致濕地面積的增加或減少？ ● 是否產生許多變化以至於無法達成預期生態系復育目標？ ● 壩壩及其移除與集水區其它部分的關係為何？ ● 自來水供應之影響為何？ ● 地下水位之影響為何？
法規	<ul style="list-style-type: none"> ● 是否與現行環境保護法規出現衝突？ ● 現存結構物融入整體河川管理之狀況如何？ ● 是否仍有供水或輸水之契約存在？
社會	<ul style="list-style-type: none"> ● 是否有遊憩形式或途徑之改變？ ● 是否造成當地或區域性人口在經濟能力、遷移、供水、傳統使用區域路徑之喪失等影響？ ● 是否造成人地之文化關係上得直接及間接影響？ ● 是否有改變區域或當地經濟之衝擊？ ● 是否對由壩壩提供的必要服務有關直接和間接影響，而這些服務將如何被替換？ ● 壩壩移除對地區內美質財產價值之影響如何？
經濟	<ul style="list-style-type: none"> ● 保留壩壩与其它方案的成本為何？ ● 誰在財務上對壩壩和可能發生之損害負責？現有設備的潛在年度維修費用為何？ ● 工程債務償還狀況如何？是否已達到授權過程的財務標準？ ● 若該工程系由國際或公款提供資金，是否必須達到或維持特定的財務標準？ ● 壩壩所提供的服務是否需要由其它方案取代？其費用如何？ ● 減輕壩壩移除衝擊的其它措施費用為何？ ● 提供額外安全措施之費用為何？ ● 財產價值之影響如何？
管理	<ul style="list-style-type: none"> ● 現存結構物融入整體河川管理之狀況如何？此壩壩是否為任何合法協議之關鍵單元藉以對當地經濟提供特定服務，如防洪、給水、發電、灌溉、消防或遊憩？ ● 其操作是否融入河川流域管制的廣義內涵？ ● 壩壩移除或復育工作的資金來源為何？

表 3-3 堰壩移除決策之評估指標(The Heins Center, 2002)

類別	潛在議題	評估指標	
物理	河川網路分割	自由流動的河段長度	
	流域碎裂	可達河川出口之流域百分比	
	下游水文	滿岸流量的洪水頻率	
		100年洪水的流量、頻率和延時	
		每年洪峰的流量、頻率、延時和時機	
		日流量變化	
	下游泥砂系統	每年泥砂產量	
		最大泥砂產量的時間	
		年懸浮質總量	
		年河床值總量	
	下游河道地形	河床及河岸平均粒徑	
		活動河道寬度	
		主要河道型態(單流、瓣狀、複合)	
		河道蜿蜒度	
		河中島、沙洲，沙灘的頻率	
		深潭和淺灘或急流的頻率極間距	
	洪泛區地貌	主要河道過程(沖刷或淤積)	
		洪泛平原(高灘地)和主河道之連接度	
		洪泛區的淹沒頻率	
		各種洪水週期下的洪泛區淹沒深度	
水庫地形	每年及100年洪水的淹沒範圍		
	淤砂比率及體積		
	充實及泥砂流失速率		
	三角洲形濕地範圍		
	海岸線長度		
上游地形	砂海及岩壁的頻率和長度		
	上游淤積或沖蝕距離		
化學	水質	因迴水而淹沒的面積	
		濁度	
		水溫	
		PH(酸度或鹼度)	
		溶氧度	
	泥砂品質 (堰壩和下游)	營養物、毒素、重金屬、發射性分子物、除草劑、殺蟲劑和燃料的濃度	
		有機質含量	
		PH(酸度或鹼度)	
	空氣品質	營養物、毒素、重金屬、發射性分子物、除草劑、殺蟲劑和燃料的濃度	
		來自船舟的污染	
生態	水域生態系	來自陸地車輛的污染	
		水域生態系的空間範圍	
		一級、二級和三級生產力	
	濱溪生態系	物種多樣性	
		濱溪生態系的空間範圍	
		濱溪植物的生物量	
		植物物種多樣性	
		優勢植物種類	
	魚類	本地、引入及瀕危物種的數目和範圍	
		本地、引入及瀕危物種的數目和範圍	
	鳥類	本地、引入及瀕危物種的數目和範圍	
鳥類棲地的連接度和大小			
陸域動物	本地、引入及瀕危物種的數目和範圍		
經濟	堰壩擁有人之收入		

		重新申請執照之費用
		維修費
		營運費用和限制
		必需升級及修護費用
		移除費用
	河段	都市/工業供水價值
		灌溉給水價值
		航行服務價值
		防洪價值
		發電價值
		廢物處置價值
		本地和地區性划船、釣魚、游泳及海岸線遊憩的娛樂價值
	下游海岸線和河岸之不動產增加或損失	
	地區經濟價值	工作數
		水運價值
基礎設施之必需額外投資：堤防、渠道化、橋、船閘、航行設備、運河、魚道系統		
社會	安全保障	堰壩結構安全性
		潛在生命傷亡和財產損失
		公共給水之易損度(脆弱性)
		自然或人為潰壞之易損度(脆弱性)
		堰壩消失的下游損失
		河段安全知覺
		水庫安全知覺
	美質和文化價值	堰壩的美質和歷史價值
		自由流動河川的美質和歷史價值
		與此河川及其地景相關的宗教價值
		壩的歷史價值和相關建築物
		在這條河裡和在這條河附近的架構的歷史價值
	非主要考量	部落主權和權利
		原住民權利及環境公義
		後代的權利，存在於兩代間的公平性
動物和環境權利		

六、Doyle et al. (2003)有鑑於堰壩移除在近年已成為各國環境管理的關鍵議題，堰壩管理單位在有限資源下面臨潛在可移除堰壩數量的增加，因此想要為這些管理單位發展出一套決定堰壩移除對象和順序的方法。

在有限的壩體移除歷史中，有幾個趨勢正逐漸形成：(1) 壩體移除的數量在過去三十年間已迅速增加，但是移除的堰壩幾乎皆為小型壩。因為對於小型壩而言，已有支持及接受壩體移除為可行選擇的態度變化；(2)大型壩的移除討論仍正在獨特的政策框架下進行，且被政治環境強力地控制；(3)壩體移除被大力推廣是基於一個假設「壩體移除是具有效益的，因為堰壩的存在及操作對水域生態系統有害」，而現實上有關壩體移除實際影響的是文獻證明仍然不足。而其負面影響是否為暫時現象，或將成為已受擾亂生態系統的另一重大干擾，目前尚未獲得證明或討論。

此外，他們認為與壩體移除有關之科學仍須努力發展，因為在二十世紀前後三十年間移除超過 200 座堰壩中，有 90% 是低於 15 公尺的中小型堰壩，且絕大部份都沒有壩體移除的環境衝擊報告。在收集有限研究後，他們歸納幾類堰壩移除之衝擊：

(一)、河道地形影響

壩體移除後，自原堰壩處被運移之泥砂比例介於 10% 至 80%，且大部份是發生在移除後的第一年，泥砂移動至下游的距離及速率為關鍵課題，但預測能力仍然很低。

目前被建議用於穩定拆壩後泥砂的方法，乃基於河道將恢復至蓋壩前情況或者拆壩後河道將迅速達到平衡狀態的假設。然而此假設仍須審慎地被評估，因為它與目前的有限現場資料並不一致。因此小型壩體移除後泥砂穩定方法之決定有賴於河道地形類比方法，而小型壩體移除後泥砂穩定方法除前述方法外，仍需藉由累積小型壩實際觀測資料獲得的經驗而決定。

(二) 生態系統影響

堰壩移除的生態影響研究僅限於一些小型壩的案例，這些研究發現魚和巨型無脊椎動物等族群能在數月至數年間恢復對未蓋壩前之條件，而植物族群可能需要數十年乃至世紀之久。此外，拆壩後可能產生不同之生物演化軌跡，且隨著移除方式及時機而異。

此外，將魚類移動預期時間與壩體移除時機的重疊，以及意外洪水造成的大量泥砂移動可能造成嚴重族群傷亡。

(三) 科學對堰壩移除決策之影響

在大部分的小型壩移除案例中，因缺乏初步研究資金而使得科學理解在其決策過程扮演很小的腳色；此外，相較於主要移除理由之壩體安全性，移除小型構造物的預估環境影響最小。對於大型壩體移除，於決策過程中最常加入的科學理解為使用模擬模式。模擬模式已被運用於許多領域，它並提供一種使科學進入決策的實際方法。而模擬模型也因為能被用來評估其它管理行動而深具吸引力，因此可作為是否移除及如何移除等決策之重要根。然而，輸入資料的適合性以及模擬模式的應用性一直重要的討論考量，

由於堰壩移排的基礎科學尚在發展過程中，且多數管理單位對於堰壩移除各有其管理目的之情況，作者針對在面臨此困境之管理單位提出兩個策略：(1)發展並採用一個堰壩移除的排序計畫；(2) 建立堰壩移除決策前的最低基本分析。

而在第一個策略中，在確定壩體移除之排序計畫需先要面對兩個問題。首先，保留或移移堰壩之目的為何？其次，以什麼特性來表現堰壩或堰壩移除區位之重要性？其次，在排序評準的考量上，他們建議五項評準：(1)降低最大安全風險、(2)經濟學、(3)建立完整之自由流動河川廊道、(4)促進目標物種或敏感物種之生命力 (5)提昇進行中和提案中之河川恢復計畫。

針對最低基本分析部份，他們建議在決策期間應該考慮幾個具體問題：首先，壩體移除對瀕危物種的潛在影響；其次，淤積於堰壩之被污染泥砂的化學特性是否為關鍵事項；最後，壩體移除對結構物穩定或功能的影響必須處理。收集許多潛在區位之移除前資料不僅是個先決條件，也是監測壩體移除成敗的關鍵，而基本資料應包含因為壩體移除所造成在物理及生態特性之改變。至於移除後監測計畫，它必須延續數年且由負責移除的管理單位完成。

3.1.5 文獻綜合比較

針對以上國內外與本研究工作項目相關文獻之彙整，本研究進行以下幾個面向之綜

合分析討論，以作為後續工作之重要根據。

一、堰壩移除經驗

相較於國外之長久移除歷史及眾多數量，國內之移除或改善案例仍僅限於高山溪的四座防砂壩；雖然國外案例之高度或長度逐漸加大，國內案例以國外堰壩分類標準則仍屬於小型堰壩移除（高度小於五公尺）；但是國內案例有幾項獨特性質，包括以科學分析為基礎、局部移除（partial removal）以保留部分原堰壩之設計功能、生態專家參與移除規劃工作以及長達七年以上之完整環境及生態監測等。

二、壩體移除後的環境衝擊分析

由於國外案例多缺乏移除前之明確生態系資訊，對於壩體移除後的環境衝擊分析多已改善後之資料呈現，因而國內外資料難以進行比較討論。而在泥砂輸送部份，Doyle et al. (2003) 發現大部份案例在移除後的第一年內完成，國內高山溪三號壩上游河道泥沙體積則在移除後的 18 月由劇烈減少而漸趨穩定(葉昭憲，2006)。

三、堰壩移除之決策內涵

若針對國內過去之壩體改善決策過程、The Heins Center (2002) 所建議之決策流程與本計畫之工作項目相互比較，三者改善目的、決策流程、對象選擇及實施順序上有所異同（參見表 3-4）。因此，建立一套適於本計畫工作需求之決策模式將是執行本計畫首先面臨之重要課題，而本研究團隊之決策模式產生方法則於第二章中已進行說明。

表 3-4 國內外研究決策內涵與本計畫工作需求之比較

	改善目的	決策流程	對象	實施順序
國內案例	生態保育	模型試驗、生態專家建議、主管機關核可、壩體移除、資料收集評估與監測	特定單一壩體	上游壩體優於下游壩體
The Heins Center (2002)建議之決策流程	安全考量、法律考量、遊憩、區位復育、生態系復育、水質	定義目標、確認主要關注議題、收集與評估資料、決策、壩體移除、資料收集評估與監測	特定單一壩體	未提及
本計畫需求	生態保育	建立決策模式	所有壩體	合理建議

3.2 環境調查及資料蒐集

本計畫就七家灣河流域之地形、地質、水文、人文等資料，加以收集整理，並針對七家灣溪（包含桃山西溪及桃山北溪）之各防砂壩進行環境調查及資料收集。

3.2.1 七家灣河流域環境概述

一、地理位置：七家灣溪位於大甲溪上游，海拔約一千五百餘公尺以上，由於水質清澈，水溫均維持在攝氏 16 度左右，使得七家灣溪成為唯一能孕育櫻花鉤吻鮭的水鄉，更是保護櫻花鉤吻鮭棲息與復育最為重要的地方。全長約 15 公裡左右，整個集水區源主要為雪山北峻與桃山品田支峻山脈，集水面積約為 5600 公頃，七家灣溪是遊客活動密集的遊憩區，也是攀登雪山諸峰的基地。溪旁可見直立的岩層，顯示強烈的地質構造運動將岩層褶皺成直立的形狀。七家灣溪西岸有比較寬敞的緩坡地，長期被開發作為高冷蔬果栽種地。七家灣溪不只是櫻花吻鮭的棲息地，開闊的谷地也是台灣高山難得一見的地形現象。

近年櫻花鉤吻鮭族群調查結果，因為七家灣溪尚有多座防砂壩存在，櫻花鉤吻鮭棲地環境之人為物理性改變仍未完全消除。因此本計畫針對如何對這些防砂壩進行壩體改善之評估，而各防砂壩之分佈位置如圖 3-6。

二、流域範圍：七家灣溪為大甲溪上游的主要源流，發源於桃山(3325 公尺)、池有山(3301 公尺)、品田山(3524 公尺)、雪山北峰(3702 公尺)、雪山(又稱興隆山，海拔 3886 公尺)之南側面。諸源流高度皆超過 3000 公尺以上。西北側的品田溪與池有溪匯入桃山西溪(又稱無名溪)，於武陵吊橋附與北來的桃山北溪匯集成七家灣溪主流；而後在武陵農場本部附近，有西側的雪山溪(又稱高山溪)匯入七家灣溪本流，全長 15.3 公里，集水面積 5603 公頃。在武陵國民賓館附近萬壽橋和迎賓橋間，與有勝溪匯流形成大甲溪主流(圖 3-7)。

三、地形、地質：七家灣河流域發源於桃山、池有山、品田山、雪山北峰、雪山之南側面，諸源流高度皆超過 3000 公尺以上。受到各山脈環繞，其流域境內坡度大部份為 55%

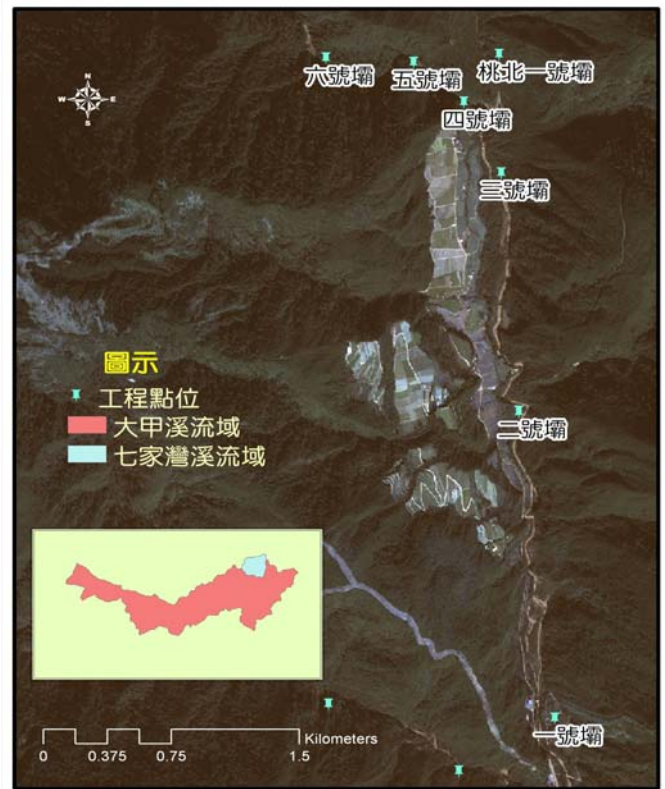


圖 3-6 七家灣溪防砂壩之地理位置



圖 3-7 七家灣河流域水系圖

以上(圖 3-8)。本區地質由始新世四稜砂岩層和漸新世水長流層及中新世廬山層所構成(圖 3-9)。七家灣溪沿岸之區域多屬侵蝕性河階，表層沖積層既淺且薄，可見裸露出之板岩岩盤。武陵農場靠山地帶屬砂岩地質，平緩地帶 2-4 公尺以上的面層屬礫石、塊岩層，下方為灰、棕黃色的砂岩互層。

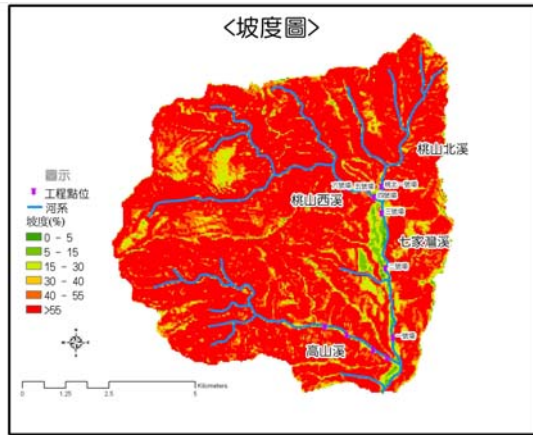


圖 3-8 七家灣河流域坡度圖



圖 3-9 七家灣河流域地質圖

3.2.2 七家灣溪各防砂壩之流量推估

本研究利用位在七家灣溪與有勝溪匯流口之流量站(七家灣站)與有勝溪下游之流量站(有勝溪站) 1996~2005 年之歷年流量資料進行分析(如圖 3-10)：首先，利用 GIS 系統在已知流量站上游溪流做流向和流路的分析，並定義集水區大小及位置；其次，再以 HMS 系統定義出所需控制點(各防砂壩)之集水區面積比並將流量站之資料加權分析，推估各控制點(各防砂壩)之流量。

由於七家灣流量站位於伊卡丸溪，其集水區範圍包含有勝溪。因此，欲求得七家灣溪之歷年流量必須將七家灣站之流量資料減去有勝溪站之流量資料，其所的之結果即為七家灣流域之資料(如表 3-5)。最後，各防砂壩之流量即利用上述出所求得控制點(各防砂壩)之集水區面積，並計算面積權重百分比，再將雨量資料分別乘上面積權重即可推估各防砂壩之流量(表 3-6 以及圖 3-11 至圖 3-17)。

表 3-5 七家灣流量站之歷年各月平均流量 (cms)

年 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1996	0.86	1.09	1.41	5.43	8.56	3.99	5.78	16.81	-0.05	1.17	1.84	1.45
1997	1.36	3.86	2.96	2.24	2.93	9.11	3.51	10.91	7.19	3.21	1.95	1.26
1998	1.36	7.88	9.7	3.6	3.16	9.37	2.61	1.93	2.67	10.41	5.09	3.35
1999	2.8	2.31	3.1	2.12	6.17	7.98	4.98	5.57	3.44	4.84	3.17	2.88
2000	2.11	6.21	5.97	5.64	6.74	5.17	3.42	7.07	5.28	2.61	4.83	2.87
2001	3.81	3.59	2.6	5.16	4.64	5.7	5.69	4.47	12.8	6.29	2.46	1.36
2002	1.13	0.95	0.72	1.02	1.04	2.14	7.75	2.84	2.98	2	1.58	2.11
2003	2.4	1.63	2.04	3.56	1.55	3.57	1.78	1.28	4.23	2.85	1.58	1.52
2004	1.6	3.4	2.78	3.71	3.93	3.32	8.13	16.56	8.84	4.58	2.96	2.26
2005	1.74	3.72	10.27	6.72	8.85	6.47	53.1	34.47	11.32	9.56	2.01	1.72

資料來源：水文水資源資料管理供應系統

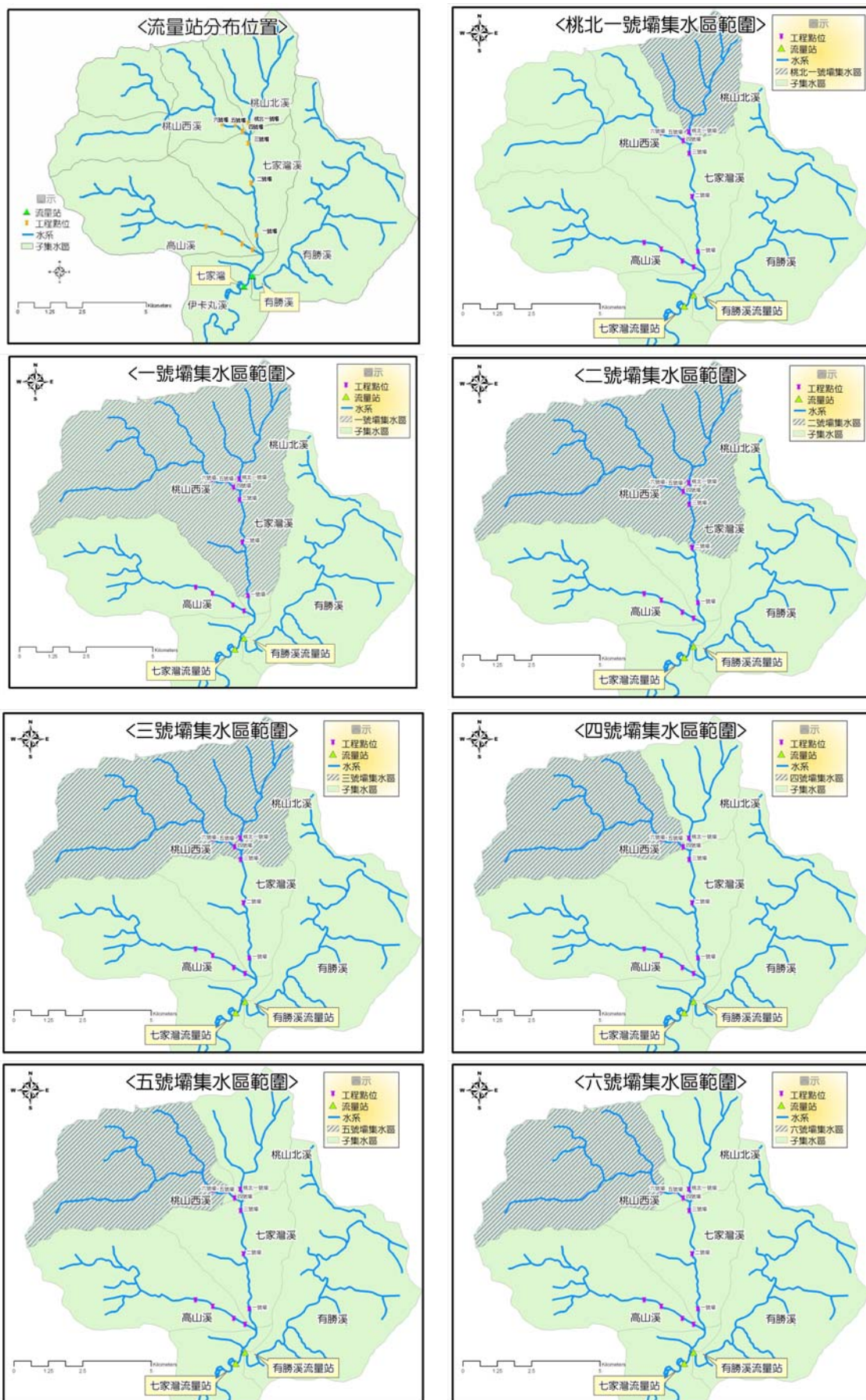


圖 3-10 各防砂壩之集水區範圍

表 3-6 各防砂壩面積權重百分比

控制點	集水區面積	面積權重(%)
七家灣流量站 (有勝溪除外)	72.5	100.0
七號壩	10.8	14.9
一號壩	49.1	67.7
二號壩	43.9	60.6
三號壩	37.4	51.6
四號壩	24.9	34.3
五號壩	24.2	33.4
六號壩	23.8	32.8

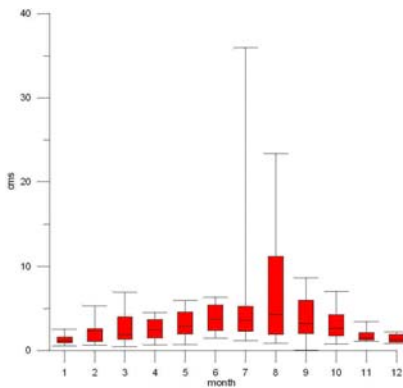


圖 3-11 一號壩之流量

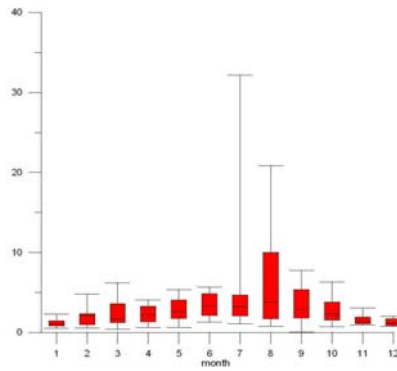


圖 3-12 二號壩之流量

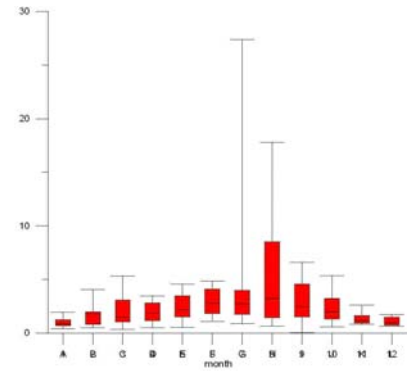


圖 3-13 三號壩之流量

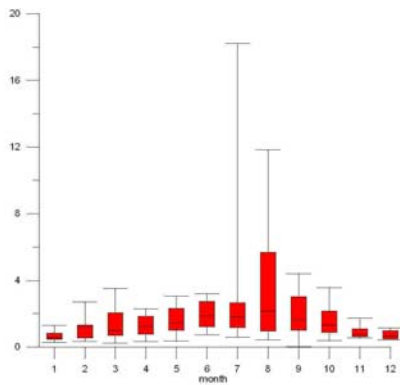


圖 3-14 四號壩之流量

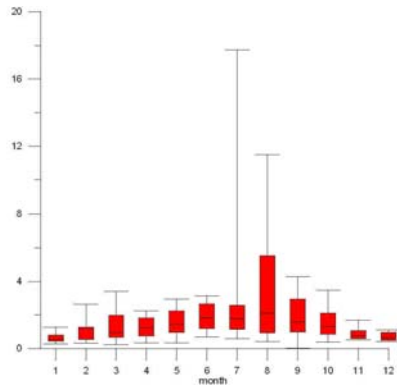


圖 3-15 五號壩之流量

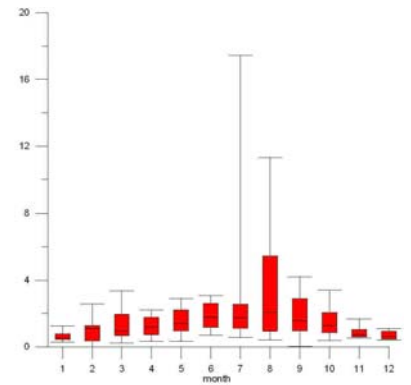


圖 3-16 六號壩之流量

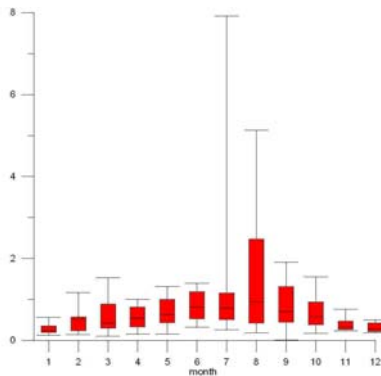


圖 3-17 七號壩之流量

3.2.3 各防砂壩現場調查

為確切瞭解七家灣溪各防砂壩之現場狀況，本計畫執行團隊曾多次赴現場進行調查（參見圖 3-18），而本節則針對現場調查之結果進行說明。



圖 3-18 研究團隊於一號壩(左)及四號壩(右)討論其環境特性

本節針對現場調查之結果進行說明，本研究將研究範圍分成三個部份，分別為桃山北溪、桃山西溪和七家灣溪。接著，再將各防砂壩體由從上游往下游逐一描述其現場狀況，其順序為七家灣溪七號壩、桃山北溪天然石壩、七家灣溪六號壩、七家灣溪五號壩、七家灣溪四號壩、七家灣溪三號壩、七家灣溪二號壩和七家灣溪一號壩。

一、七家灣溪七號壩(圖 3-19)

- (一) 壩體周圍現況：七家灣溪七號壩為傳統式的重力防砂壩(圖 3-20)，水流由壩體中間缺口流出，其兩岸皆為岩盤，在壩體下游河道往內凹並形成深潭(圖 3-21)，並可以明顯觀察到壩體基盤淘蝕情況(圖 3-22)。
- (二) 壩體量測：七家灣溪七號壩為混凝土和卵石所構成的防砂壩，量測後，在壩體中間有一高 0.5m 寬 1.5m 之缺口，壩體高程 5.5m、寬度 14m、厚度 1.5m，繪製成七家灣溪七號壩尺寸示意圖(圖 3-23)。

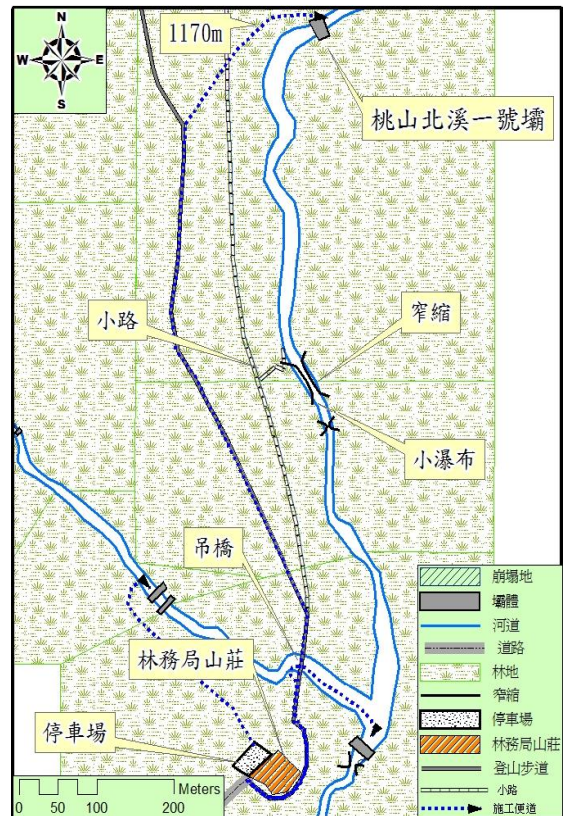


圖 3-19 七家灣溪七號壩平面位置圖



圖 3-20 七家灣溪七號壩近照



圖 3-21 七家灣溪七號壩下深潭



圖 3-22 七家灣溪七號壩下壩基淘蝕

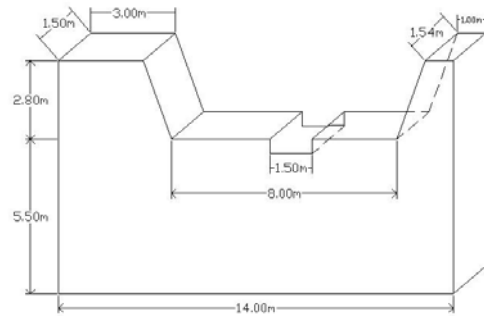


圖 3-23 七家灣溪七號壩示意圖

二、桃山北溪天然石壩(圖 3-24)

(一) 壩體周圍現況：此天然石壩的水流集中於中間的缺口，形成猶如噴泉一樣強勁的瀑布水流。瀑布後方的岩盤因強勁的水流沖擊，而有往內凹陷的情況(圖 3-25)。河道的兩岸幾乎都是岩盤，大約在壩的下游約 40 公尺處有岩盤窄縮，形成階梯形的急流及深潭(圖 3-26)。河床的底質多為直徑 20 公分以下的卵石構成，這是因為地形較為平坦，且流速慢的關係(圖 3-27)。此外，在瀑布中，還有一根直徑約 25 公分的倒木被卡在岩縫中，以及河道上方有根較為細長的樹木生長，這算是此區較為獨特的地方。

(二) 壩體量測：天然石壩本身結構為岩盤，中間缺口部分形成一個天然的瀑布。量測後，其缺口河寬為 1m，壩體主體高程為 4.01m，厚度 1.49m，繪製成尺寸示意圖(圖 3-28)。

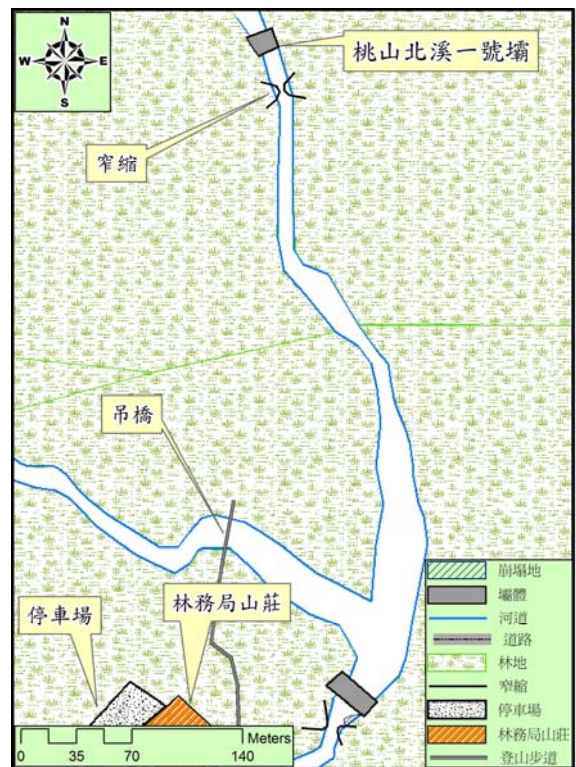


圖 3-24 桃山北溪天然石壩平面位置圖



圖 3-25 桃山北溪天然石壩近照



圖 3-26 桃山北溪天然石壩遠照



圖 3-27 桃山北溪天然石壩下游

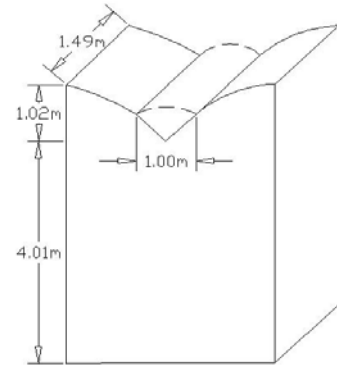


圖 3-28 桃山北溪天然石壩示意圖

三、七家灣溪六號壩(圖 3-29)

(一) 壩體周圍現況：七家灣溪六號壩是人為的防砂壩。水流從防砂壩的缺口集中流出，流速非常快(3-30)。在七家灣溪六號壩的下方有大量的石塊堆積，這些岩石直徑大多大於 1 公尺，可能是發生過大規模的崩塌所導致。壩的下游約 100 公尺處有岩盤窄縮，使得這個地方流速加快，且水深也變高(圖 3-31)。過了這段之後河道變寬，水流也有逐漸變慢的趨勢。兩岸都是陡峭的岩壁，沒有崩塌的情況發生。

(二) 壩體量測：壩體前河道窄縮，水深變高，兩岸都是陡峭的岩壁，無法至壩體的下游觀測，量測行為無法進行。



圖 3-29 七家灣溪六號壩平面位置

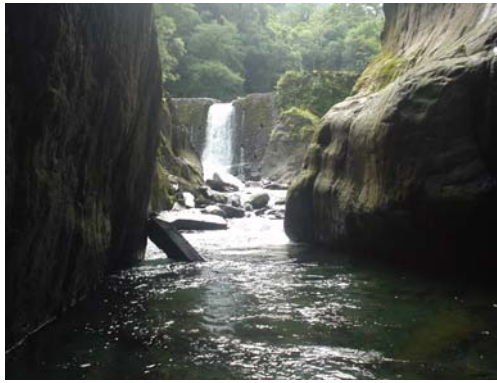


圖 3-30 七家灣溪六號壩全景



圖 3-31 七家灣溪六號壩流況

四、七家灣溪五號壩(圖 3-32)

(一) 壩體周圍現況：七家灣溪五號壩是混凝土和卵石所構成的人工壩體。從下游往上看的話，壩體的左側已經被破壞，剩下壩體的中間和右邊的部份還在。壩體看起來似乎是由多塊混凝土拼湊而成的，從照片中可以清楚的看出來(圖 3-33)。這個地方地形平坦，水流速度不快，河床的底質多為 20 公分以下的卵石。兩岸也都是岩壁構成，地形變化不大(圖 3-34)。雖然七家灣溪五號壩的下游面看起來很完整，但是上游面卻已經被沖刷的很嚴重(圖 3-35)。而且在破壩的開口處有倒木橫躺在河道中，阻擋了部份因水流而被往下游沖的殘材(圖 3-36)。在壩體的上游左岸；距離約 10 公尺處有一處崩塌，它的崩塌面積約為 25 平方公尺。此外，還有樹木被壓在崩塌的土石下面(圖 3-37)。

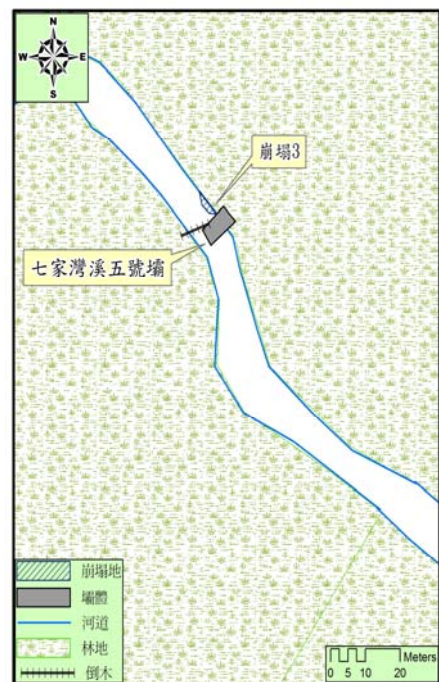


圖 3-32 七家灣溪五號壩平面位置圖

(二) 壩體量測：七家灣溪五號壩為混凝土和卵石所構成的防砂壩，其主體結構已有破損，在右岸距岩盤有 4m 多的缺口，左岸則是天然岩盤為壩翼，量測後，壩高 4.6m、寬 14.3m、厚度 4m，繪製成七家灣溪五號壩尺寸示意圖(圖 3-38)。



圖 3-33 七家灣溪五號壩全景



圖 3-34 七家灣溪五號壩下游



圖 3-35 七家灣溪五號壩全景



圖 3-36 七家灣溪五號壩全景



圖 3-37 七家灣溪五號壩上游崩塌

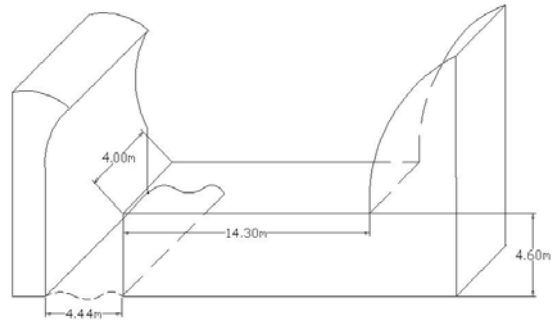


圖 3-38 七家灣溪五號壩示意圖

五、七家灣溪四號壩(圖 3-39)

(一) 壩體周圍現況：七家灣溪四號壩是由兩個連續的混凝土壩所構成的人為工程結構(圖 3-40)。較上游的那個壩水流分別從三個缺口流下，其中又屬右岸的缺口最大，水流最強(圖 3-41)。兩個壩的中間部分已經被土石填滿，水流經過兩次的消能才流到下游。因此此區的流速不快，河床的底質多為 30 公分以下的卵石。在壩的下游，距離七家灣溪四號壩大約 100 公尺處，河道有個向左的大轉彎(圖 3-42)。在七家灣溪三號壩和四號壩中間有一條人行步道和一座吊橋垂直通過河道。

(二) 壩體量測七家灣溪四號壩為混凝土和卵石所構成的防砂壩，左右兩岸為天然的岩盤，為其壩體的壩翼。在離壩體右岸 3 公尺處有一缺口，尺寸為 1m(高)×2m(寬)×5m(厚度)，壩體高程 12m、寬度 15.4m、厚度 5m，繪製成七家灣溪四號壩尺寸示意圖(圖 3-43)。

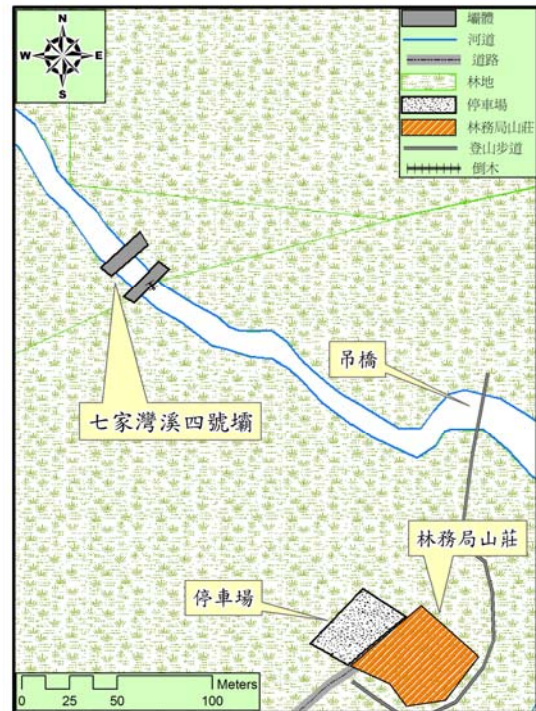


圖 3-39 七家灣溪四號壩平面位置圖



圖 3-40 七家灣溪四號壩全景



圖 3-41 七家灣溪四號壩上游



圖 3-42 七家灣溪四號壩下游

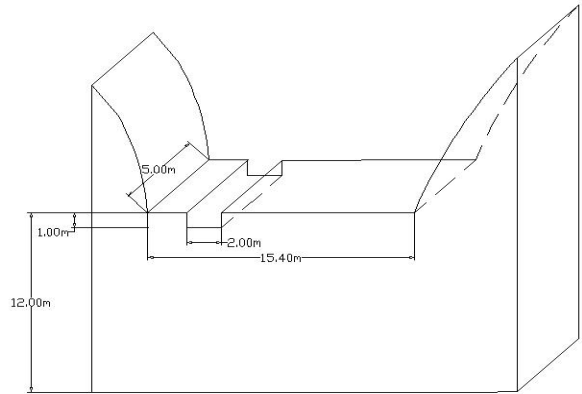


圖 3-43 七家灣溪四號壩示意圖

六、七家灣溪三號壩(圖 3-44)

- (一) 壩體周圍現況七家灣溪三號壩為傳統式的重力防砂壩，壩體的狀況大致上還好，只有右岸的地方有一個小缺口(圖 3-45)。桃山西溪和桃山北溪在這個地方匯流在一起。從下游往上游看的話，西溪在三號壩的左邊，北溪在三號壩的右邊。由於長時間淤積的關係，使得壩上游的地形變得較為平坦，水流速度也不快，雖然壩體幾乎都已經淤滿了，但是在上游接近壩體的地方卻有一個小水潭形成，這是上游較為特別的地方(圖 3-46)。七家灣溪三號壩下游的部份則是因為河道窄縮、流量和波降變大的緣故，導致下游兩岸被淘刷的情況越來越嚴重；土石崩落的情形也越來越多(圖 3-47)。因此三號壩下游的兩岸幾乎都是崩塌地，植生情況不是很好(圖 3-48)。
- (二) 壩體量測：七家灣溪三號壩為混凝土和卵石所構成的防砂壩，左右兩岸壩翼與壩體主結構皆為完整。壩體高程 23m、寬度 19.2m、厚度 5.83m，繪製成七家灣溪三號壩尺寸示意圖(圖 3-49)。

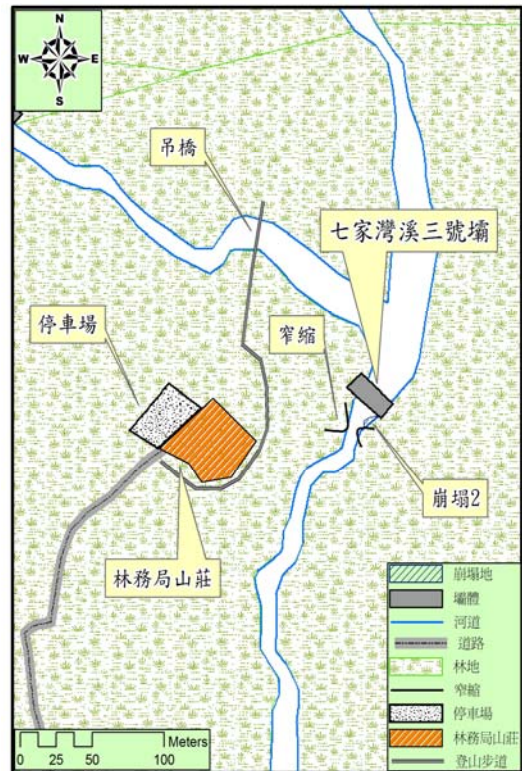


圖 3-44 七家灣溪三號壩平面位置圖



圖 3-45 七家灣溪三號壩正面照



圖 3-46 七家灣溪三號壩上游



圖 3-47 七家灣溪三號壩下游



圖 3-48 七家灣溪三號壩全景

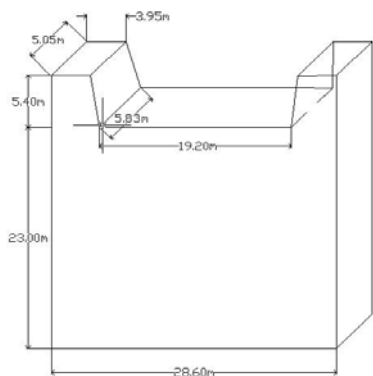


圖 3-49 七家灣溪三號壩示意圖

七、七家灣二號壩(圖 3-50)

- (一) 壩體周圍現況七家灣溪二號壩完成於 1991 年，是七家灣溪流域中最年輕的壩體工程，不過其壩體卻早就發現有基盤淘蝕的問題，因此在 2004 年七月歷經兩個颱風，雷馬遜 (Rammasun) 與納克莉 (Nakri) 所帶來豪雨侵襲後，於是壩體就這樣被衝垮了(圖 3-51)。二號壩破壩之後，由於大量的土石被沖刷走，所以上游的河道變成階梯狀的形式(圖 3-52)，且水流較為急促。而下游則是土石堆積的地方，流速也較為緩慢(圖 3-53)。
- (二) 壩體量測其本身壩體已破，造成下游水流湍急、水深快，大約下游數十公尺處，無法再向上行進，也許在冬季的時候流量小時，可以上溯至壩體下，量測七家灣溪二號壩尺寸大小。

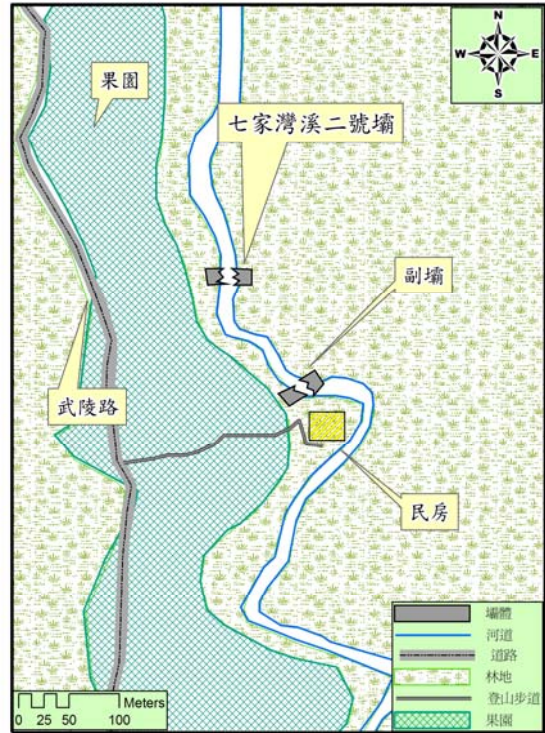


圖 3-50 七家灣溪二號壩平面位置圖



圖 3-51 七家灣溪二號壩破壩後



圖 3-52 七家灣溪二號壩上游



圖 3-53 七家灣溪二號壩下游

八、七家灣一號壩(圖 3-54)

- (一) 壩體周圍現況七家灣溪一號壩為傳統式的重力防砂壩，水流沿著河道的兩岸分流，一直到一號壩的地方才匯流在一起(圖 3-55)。在一號壩的上游，因為淤積的關係，導致地形較為平坦，地質多為直徑 30 公分以下的砂石所組成。反觀下游的部份，則因為河道窄縮；流速變快的關係，使得下游兩岸被沖刷的更為嚴重，因此在右岸的地方設有蛇籠保護工程(圖 3-56)。在一號壩的右側約 20~30 公尺處有一個管理站及一條公路通過。而左岸則幾乎都為岩盤，且植生茂密(圖 3-57 到圖 3-58)。
- (二) 壩體量測七家灣溪一號壩為混凝土和卵石所構成的防砂壩，右岸為天然岩盤，左岸則還有完整混凝土和卵石所構成壩翼，壩體高程 15m、寬度 28.25m、厚度 3.2m，繪製成七家灣溪一號壩尺寸示意圖(圖 3-59)。

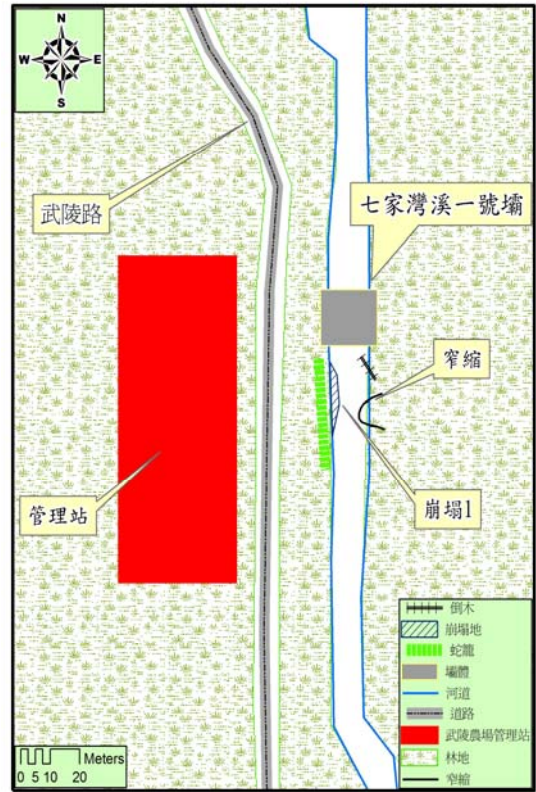


圖 3-54 七家灣溪一號壩平面位置圖



圖 3-55 七家灣溪一號壩上游



圖 3-56 右岸蛇籠工程



圖 3-57 七家灣溪一號壩全景



圖 3-58 七家灣溪一號壩下游

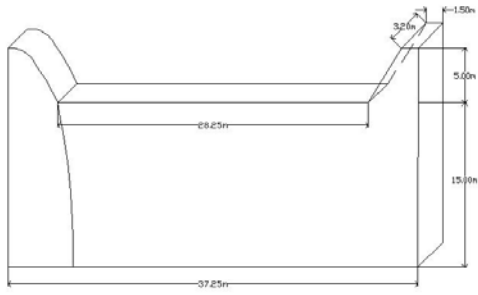


圖 3-59 七家灣溪一號壩示意圖

3.3 壩體改善決策

根據本計畫之研究流程，文獻回顧及現場調查完成後，應對壩體決策因素予以過濾並選用合適指標而形成一決策模式，再針對適於進行改善之個別壩體現場調查及室內分析結果予以彙整，最後再對這些壩體進行優先改善之順序評估。由於本計畫所考量之防砂壩所在區域及生態保護對象係由許多政府管理單位共同負責，並且此決策過程包含水利及生態等專業領域，因此本計畫乃以專家決策會議之形式進行。

3.3.1 「壩體改善決策因素」專家座談會

為獲致壩體改善良好決策，本計畫以 The Heins Center(2002)研究報告中之各類型考量因素為基礎，期望透過專家之意見而歸納出適合本計畫目標之決策模式。因此，本計畫在八月二十二日舉辦「壩體改善決策因素」專家座談會，會議相關資訊如表 3-7 所示，會議紀錄及照片請參見附錄。

表 3-7 「壩體改善決策因素」專家座談會相關資訊

會議時間	九十六年八月二十二日上午十時
會議地點	逢甲大學土木水利館三樓多功能研討室
出席專家	雪霸國家公園管理處彭茂雄副處長、雪霸國家公園管理處于淑芬技正、台中縣政府農業局李代娟課長、經濟部德基水庫管理委員會鄧英慧執行秘書、逢甲大學王傳益教授、中興大學林幸助教授、清華大學曾晴賢教授
討論議題	1. 確認壩體改善決策因素 2. 壩體改善決策模式之建議

針對出席專家提出在本計畫範疇下之壩體決策考量因素，歸納如下：

- (一) 防砂壩之設置功能、目前存在價值及壩體安全評估；
- (二) 河道環境：大石、淤砂量變化、棲地環境、淤砂之累積農藥與肥料；
- (三) 生態考量：族群分布、族群遷移通道完整性、鮭魚生長及生活、生物避難所、改善過程之生態擾動、生物棲地衝擊；
- (四) 工程及配套措施：工程與生態環境平衡、淤砂處理、保護措施、環境及生態監測、最小改善規模、上位計畫。

對照 The Heins Center(2002)研究報告及專家座談結果，本計畫將壩體改善決策所應考量因素匯整成包含河道環境、生態系統及操作考量等三大類評估指標之階層架構，各類指標下共包含九個議題及 19 個評估指標（表 3-8）。

表 3-8 七家灣溪防砂壩改善決策評估指標

類別	潛在議題	評估指標
河道環境	降低河川網路之分割	自由流動河段之增加長度
	下游泥砂及河道地形	河道輸砂特性變化(沖刷或淤積)
		壩址下游局部河道地形變化
	淤砂區及上游地形	淤砂體積減少量
		兩岸沖刷或泥砂流失之可能性
		上游河道沖刷長度
水質	下游濁度增加程度(細顆粒泥砂之體積)	

		下游濁度提高之時間長度
生態系統	水域生態系	櫻花鉤吻鮭在通行河段內所佔族群比率
		整體生態系狀態
	棲地環境	棲地多樣性
		適合櫻花鉤吻鮭生存條件棲地之比率
操作考量	改善費用	移除費用(預估改善體積)
		泥砂處理費用
	壩體狀態	結構完整性
		壩體主要材質
	配合措施	對受影響公共設施之補救可行性
		施工便道長度及對河道之干擾程度
可行泥砂移置處所之距離		

針對各項評估指標之判斷原則，進行以下之說明。

一、河道環境

- (一) 降低河川網路之分割：河川橫向結構物將原本流通的河川系統予以分割，如此便降低河川原有之通道 (conduct) 功能，不僅影響河川養分及其他物質之輸送，也容易造成水棲生物縱向 (上、下游) 移動之障礙，進而對其生存空間造成拘限。因此，在考量壩體改善時，本研究團隊建議針對每一壩址改善後所增加之自由流動河段長度予以計算，此長度則為該壩址下游河段之長度。
- (二) 下游泥砂及河道地形：當壩體改善後，河道水流由原有以壩體高差消能之跌水型態轉換成自由流動型態，壩址局部河道及下游河段之地形與輸砂特性 (沖刷或淤積) 可能產生變化。因此，應對壩址及下游河道之地質及環境條件予以考量，若其河道環境多為岩盤地質，則壩址下游局部河道地形變化較小且河道沖刷之可能性較低。
- (三) 淤砂區及上游地形：防砂壩改善後，原淤積於壩體上游之泥砂將被水流攜帶至下游，進而出現一段河道底床下降之沖刷河段 (或深槽)，也可能造成河道邊坡沖刷或泥砂流失。雖然這些現象與所改善之壩體體積及形式有關，但一般而言，壩體及高度越大、河道坡度越緩，則被帶走之原淤積泥砂體積及沖刷河段長度也越大。
- (四) 水質：相對於下游攔河堰壩，上游河川防砂壩之淤積泥砂多未受人為化學農藥或肥料之污染，故壩體改善所產生之水質問題多與細顆粒泥砂之運移有關。因此，下游河道之濁度增加程度以及濁度提高之時間長度應為考量水質問題之主要評斷重點，而前者與原淤砂之細顆粒泥砂體積直接相關，後者則與施工時機與方式較為有關。

二、生態系統

- (一) 水域生態系：本計畫研究範圍為櫻花鉤吻鮭之主要棲地，因而改善壩體對其族群之助益越高者應優先進行，而評斷方式則為計算改善後所產生之通行河段內之櫻花鉤吻鮭族群比率。此外，支撐櫻花鉤吻鮭之整體生態系狀態亦為考量因素，對某河段之生態系完整則它可提供較佳之食物網環境，此部份則利用中興大學林幸助教授所主持「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」計畫內容予以彙整。
- (二) 棲地環境：除生物組成外，櫻花鉤吻鮭所偏好之棲地環境比例或數量亦對其組群結構有所影響，但改善後河段之棲地類型亦必須提供與其他水域生物所使用。因此，本計劃以各通行河段之適合櫻花鉤吻鮭生存條件棲地 (礫石) 比率，以及棲地多樣性指標為比較基準。

三、操作考量

- (一) 改善費用：若單純考量壩體移除而不進行其它生態輔助措施，則其所需費用來自施工費用及必要之原淤砂處理費用。前者除與預估改善體積有關外，施工方式亦對所需費用略有影響；而後者則直接與是否同時處理原淤砂之決策有關。本計劃假設各壩址係一次完成部份壩體改善（保留部分翼牆及下方基礎）以估算改善體積，而所需處理之淤砂體積則以可使施工過程順利完成狀況下應清理之體積。
- (二) 壩體狀態：防砂壩之壩體材質與現有結構完整性，對於施工所需時間及對應難易程度有所影響，當結構已部分受損或其材質為較易處理者，其進行改善工程之難度則會大幅降低，則可優先實施。
- (三) 配合措施：部分防砂壩接近道路等公共設施，除考量壩體改善是否造成影響外，其對應補救措施之可行性亦為考量重點。同時，若使用施工機械進行改善，現有道路至壩址間之施工便道長度以及便道對河道之干擾程度代表對現有環境之衝擊。此外，當需要對原淤砂進行處理，至可行移置處所之道路距離或便道長度則為另一種環境之人為干擾。原則上，當某壩址在前述三項之影響較小狀況下，應建議優先實施壩體改善。

3.3.2 防砂壩改善評估

針對七家灣溪之各防砂壩，本計畫依照前小節所述之各指標逐一評估如下：

一、河道環境

- (一) 自由流動河段之增加長度：由於二、五號壩已破損，沒有明顯高低落差，河道順暢，已屬於自由流動河段；在六、七號壩現地調查，只能由下游觀察壩體，並無壩體上游河段實際測量資料，故改善一、三、四號壩後可增加自由河段長度如表 3-9 所示。

表 3-9 改善防砂壩可增加自由河段長度

壩號	增加自由河段長度(m)
一	2,794
三	209
四	431

- (二) 下游泥沙及河道地形：七家灣溪一號壩至七號壩下游多屬於岩盤地質，對於壩體改善後，下游泥沙及河道地形影響程度較小。然而，三號壩下游左右岸崩塌長度達兩、三百公尺（圖 3-60），一號壩下游右岸蛇籠倒塌（圖 3-61）。因此，在壩體個別改善後，一號壩與三號壩之泥沙與河道地形需再作為評估。



圖 3-60 三號壩下游崩塌

- (三) 淤沙區及上游地形

1. 壩體改善通過泥沙量概算及沖刷長度：
 - 二、五號壩破損，壩前已無明顯淤積情況；
 - 六、七號壩則無實際測量資料及上游溪流長度難以定義，只有概算壩體改善後，通過一、三、四號壩泥砂量及其沖刷長度整理於下表。

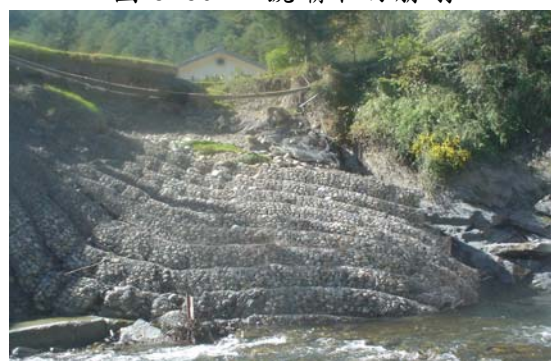


圖 3-61 一號壩下游右岸蛇籠倒塌

表 3-10 壩體改善後之泥砂流失量概算及沖刷長度

壩號	壩高 (m)	寬度 (m)	河段	溪流長 (m)	坡降	原坡度	沖刷長度 (m)	泥砂量(m^3)
四	12	28.3	五~四	431	2.62	3.92~5.24	431	77,500~ 111,934
三	23	19.2	七~三	204	1.62	2.42~3.24	204	83,614~ 86,850
			四~三	209	2.22	3.32~4.44	209	82,985~ 87,639
一	15	15.4	二~一	2794	1.28	1.92~2.56	1172~2344	135,336~270,734

2. 兩岸沖刷或泥砂流失可能性：七家灣溪一號壩至七號壩址週遭多屬於岩盤地質，在壩體改善後，除了壩體所攔阻淤積泥砂量往下游輸送，對於為岩盤地質的兩岸，沖刷對於兩岸衝擊程度較低，泥砂流失量相對性較小。

(四) 水質

1. 下游濁度增加程度(細顆粒泥砂之體積)：利用 95 年「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」之報告內容，彙整七家灣溪河段之底質分佈如圖 3-62 所示。基本上，各壩址之細顆粒泥砂比例甚低。

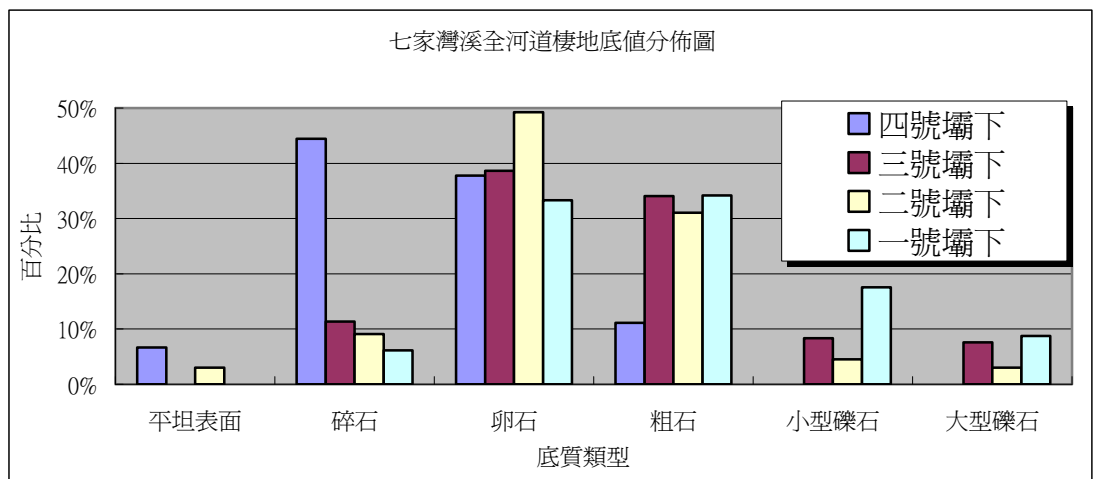


圖 3-62 七家灣溪河道棲地底質分佈圖

2. 下游濁度提高之時間長度：由於下游河道濁度提高之時間長度與施工時機與方式較為有關，在目前之評估階段尚難以判定。

二、生態系統

(一) 水域生態系

1. 櫻花鉤吻鮭在通行河段內所佔族群比率：參考「95 年武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」計畫內容，清華大學曾晴賢教授對櫻花鉤吻鮭族群之監測與動態分析，顯示鮭魚明顯集中在一至三號壩間河段，且佔整個族群數量的 1/2 以上，桃山北溪支流有近 1/3。

2. 整體生態系狀態：參考「95 年武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」，若以河段間水棲昆蟲及附生藻類數目量進行評估，則二號壩附近之生物量最大，因此改善一號壩對整體生態系為最佳。

(二) 棲地環境

1. 棲地多樣性：利用 95 年「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」之報告內容，彙整七家灣溪河段之棲地分佈如圖 3-63 所示。基本上，各壩址附近之物理棲地以淺灘為主，棲地多樣性以一號壩較好。

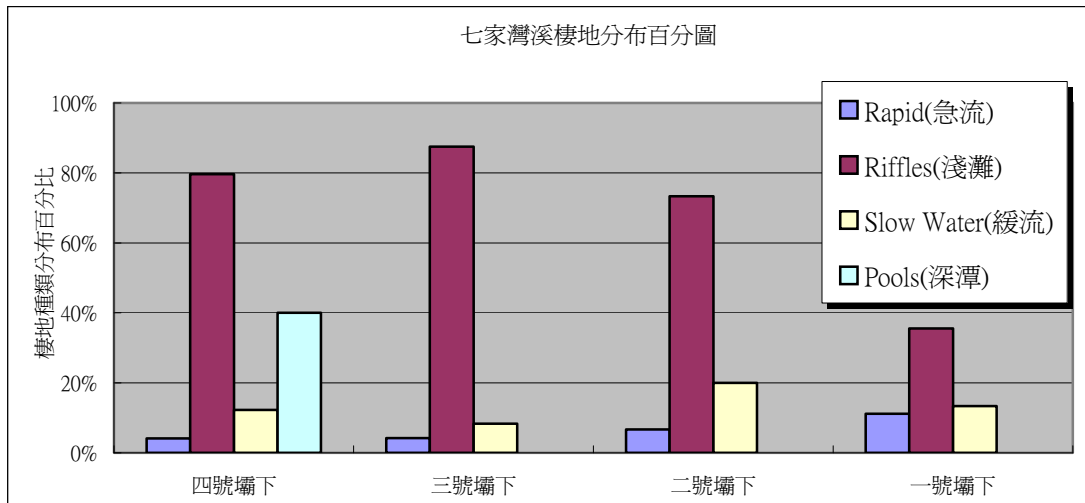


圖 3-63 七家灣溪河道棲地類型分佈圖

2. 適合櫻花鉤吻鮭生存條件棲地之比率：由於當粗石以上粒徑比例較高，該河段越適合櫻花鉤吻鮭族群。故利用圖 5-62 可知，三處皆超過 50% 且以一號壩略高。

三、操作考量：

(一) 改善費用

1. 移除費用(預估改善體積)：若壩體改善仍保留防砂壩兩側之翼牆部份，且保留防砂壩基礎，一、三、四號壩及對應改善體積整理如下表(表 3-11)。

表 3-11 各防砂壩之預估改善體積

壩號	長度(m)	寬度(m)	厚度(m)	體積(m ³)
一號壩	15	28.3	3.2	1,356
三號壩	23	19.2	5.8	2,574
四號壩	12	15.4	5	924

2. 泥沙處理費用(預估泥沙處理量)：因改善壩體前需先處理壩前淤積砂石，假設在各壩上游挖除 20 公尺之淤積土方量，則預估泥沙處理量如下表(表 3-12)所示。

表 3-12 各防砂壩之預估泥沙處理量

壩號	長度(m)	寬度(m)	厚度(m)	土方量(m ³)
一號壩	15	28.3	20	8,475
三號壩	23	19.2	20	8,832
四號壩	12	15.4	20	3,696

(二) 壩體狀態

1. 結構完整性：目前二號壩左側及五號壩右側已破損，一、三、四、六、七號壩主體結構無較明顯損壞，而四號壩體在距右岸 3 公尺處有一缺口，尺寸 1m×2m×5m (高、寬、厚)。
2. 壩體主要材質：皆為混凝土和卵石所構成的防砂壩，改善難易度相當。

(三) 配合措施

1. 對受影響公共設施之補救可行性：二、五、六、七號壩皆地處較偏僻，其週遭無公共設施，不必考慮補救可行性；一號壩在雪霸國家公園管理站前，並只有距離道路旁 20、30 公尺，改善後須對右岸鄰近道進行維護工程；三、四號壩則位於武陵山莊往桃山瀑布路線中，壩體改善過程可能會對武陵吊橋或登山步道造成影響。
2. 施工便道長度及對河道之干擾程度：針對一、三、四號壩之壩體改善，本計畫估計施工便道長度(包含陸路及河道至壩址)如下表(表 3-13)。

表 3-13 各防砂壩之施工便道長度

	施工便道長度 (m)
一號壩	37
二號壩	390
四號壩	290

- c. 可行泥沙移置處所之距離：一號壩前 50、60 有將近 80 公尺的灘地，可做為壩前挖除淤積泥沙之臨時放置地；在桃山北溪接近三號壩前，右岸有較為寬廣的灘地，為較佳泥沙放置地；四號壩上游河床平緩，左右岸皆可作為泥沙的放置地。

3.3.3 「壩體改善決策順序之建議」專家座談會

為獲得主管單位及水力及生態專家對於改善順序之想法，本計畫於十一月二十三日舉辦之「壩體改善決策順序之建議」專家座談會(表 3-14)，並將經過前兩階段操作而獲得七家灣溪一、三、四號壩之壩體改善綜合評估結果(表 3-15)呈現給與會專家參酌，而會議紀錄及照片請參見附錄。

表 3-14 「壩體改善決策順序之建議」專家座談會相關資訊

會議時間	九十六年十一月二十三日上午十時
會議地點	逢甲大學土木水利館三樓多功能研討室
出席專家	雪霸國家公園管理處于淑芬技正、經濟部德基水庫管理委員會鄧英慧執行秘書、退輔會武陵農場呂世仁先生、林務局東勢林管處邵龍兩技正、台中縣政府農業局廖慶勇先生、中興大學林幸助教授、逢甲大學陳昶憲教授、逢甲大學王傳益教授
討論議題	壩體改善決策順序之建議

針對壩體改善順序，本計畫歸納出席專家意見如下：

- (一) 改善一號壩的生態效益最大，不僅可以促成七家灣溪與高山溪之棲地相連、面積擴大、生物基因交流，而且施工期間對生態之影響相對較小；
- (二) 拆壩方式可考量局部降低或改為開口壩，至於改善方式對河道穩定及泥砂輸送之影響，應透過模型試驗或水理分析予以確認。
- (三) 泥砂處理應考慮堆置地點對河道穩定及棲地之影響，外此亦須注意水利法或水保法等相關規定。
- (四) 壩體改善之時機應詳細評估其對魚種及生態之影響，亦需評估壩體改善後泥砂量所造成濁度上昇之影響時間。

表 3-15 七家灣溪防砂壩改善決策評估指標

類別	潛在議題	評估指標	一號壩	三號壩	四號壩
河道環境	降低河川網路之分割	自由流動河段之增加長度	2794m	209m	431m
	下游泥砂及河道地形	河道輸砂特性變化(沖刷或淤積)	岩盤	岩盤	岩盤
		壩址下游局部河道地形變化	小，下游右岸蛇籠倒塌	小，下游左右岸崩塌長度達200、300公尺	小
	淤砂區及上游地形	淤砂體積減少量	14~27萬 m ³	約17萬 m ³	8~11萬 m ³
		兩岸沖刷或泥砂流失之可能性	小	小	小
		上游河道沖刷長度	2795m	210m	432m
	水質	下游濁度增加程度(細顆粒泥砂之體積)	-	-	-
		下游濁度提高之時間長度	-	-	-
生態系統	水域生態系	櫻花鉤吻鮭在通行河段內所佔族群比率	約50%	約30%	無資料
		整體生態系狀態	生物量最大	一般	無資料
	棲地環境	棲地多樣性	略高	低	無資料
		適合櫻花鉤吻鮭生存條件棲地之比率	-	-	-
操作考量	改善費用	移除費用(預估改善體積)	1356 m ³	2574 m ³	924 m ³
		泥砂處理費用	8475 m ³	8832 m ³	3696 m ³
	壩體狀態	結構完整性	無明顯損壞	無明顯損壞	缺口
		壩體主要材質	混凝土和卵石		
	配合措施	對受影響公共設施之補救可行性	高	-	-
		施工便道長度及對河道之干擾程度	37m	390m	290m
		可行泥砂移置處所之距離	壩前60、70公尺將近80公尺的灘地	桃山北溪右岸接近三號壩前50公尺	壩前約50公尺左右岸

第四章、結論

針對本計劃之工作項目，本研究團隊之研究成果歸納成以下結論：

一、文獻分析

本團隊針對六篇國外相關文獻進行彙整，並與本團隊過去之研究進行幾項綜合分析。

- (一) 堰壩移除經驗：當國外案例之高度或長度再近十數年逐漸加大，雖然國內案例仍屬於小型堰壩移除(高度小於五公尺)；但是國內案例有幾項獨特性質，包括具科學分析基礎、局部移除以保留部分功能、生態專家參與規劃及長期而完整之環境及生態監測等。
- (二) 壩體移除後的環境衝擊分析：國外案例多缺乏移除前之明確生態系資訊，因而難以與國內資料進行比較討論。但而在泥砂輸送時間歷程部份，Doyle et al. (2003)之發現約為第一年內完成，高山溪三號壩則需 18 月而漸趨穩定。
- (三) 堰壩移除之決策內涵：針對國內過去之壩體改善決策過程、The Heins Center (2002) 所建議之決策流程與本計畫之工作項目相互比較，三者改善目的、決策流程、對象選擇及實施順序上有所異同(參見表 3-5)。因此，建立一套適於本計畫工作需求之決策模式將是執行本計畫首先面臨之重要課題，而本研究團隊之決策模式產生方法則於第二章中已進行說明。

二、防砂壩環境分析及現場調查

為使決策過程能考量現場條件，本團隊針對各防砂壩之空間位置、集水區面積及流量變動範圍、壩體周圍現況及壩體量測等項目進行室內分析及現場調查，並於第三章中分別對各防砂壩輔以圖示及照片予以說明。

三、七家灣溪防砂壩壩體改善之決策原則

綜合考量 The Heins Center(2002)研究報告及專家座談結果，本計畫獲致適於七家灣溪壩體改善決策之原則及所應考量因素，此壩體改善評估模式包含河道環境、生態系統及操作考量等三大類評估指標之階層架構，各類指標下共包含九個議題及 19 個評估指標(參見表 3-8)。

四、七家灣溪防砂壩壩體改善之評估建議

針對七家灣溪之七座防砂壩，本團隊建議可對一、三、四號壩進行壩體改善；而綜合相關管理單位及水利生態專家意見，以及本團隊來自現場之經驗與觀察，建議以一號壩為最優先之改善對象，其次為四號壩，最後為三號壩。

第五章、建議

針對計畫執行及分析過程，本團隊提出以下建議：

- 一、七家灣一號壩下游右岸之蛇籠護岸，於十一月現場調查時已部份損壞（圖 3-60），應進行修護以避免危及道路。
- 二、本計畫僅以現場調查及相關資料進行改善順序之建議，然而各壩體之改善方式則須分別透過模型試驗或分析予以確認，高山溪防砂壩改善經驗不宜直接引用；尤其三號壩位於兩條溪流匯流處，其泥砂輸送與河道變化之複雜性遠高過其他壩址，應特別謹慎評估其實施方式。
- 三、本計畫係在維護魚類生態環境前提下，所歸納之防砂壩體改善決策模式；對於構造物之功能性評估、壩體改善後之社會經濟影響等面向，在本計畫範疇下皆可忽略。因此，本計畫之評估模式不儘然可適用於其他區域之防砂壩改善決策。然而，現場調查、主管單位參與、生態水利專家提供建議等操作流程仍可採用。

第六章、參考文獻

- Born, Stephen M., Kenneth D. Genskow, Timothy L. Filbert, Nuria Hernandez-Mora, Matthew L. Keefer, & Kimberly A. White, 1998, Socioeconomic and Institutional Dimensions of Dam Removals: The Wisconsin Experience, *Environmental Management* 22(3), pp. 359–370.
- Doyle, Martin W., Jon M. Harbor, & Emily H. Stanley, 2003, Toward Policies and Decision-Making for Dam Removal, *Environmental Management* 31(4), pp. 453–465.
- The Heins Center, 2002, *Dam Removal: Science and Decision Making*, Washington, D.C., USA.
- Whitelaw, Ed, Ed MacMullan, 2002, A framework for estimating the costs and benefits of dam removal, *Bioscienc*; 52(8), pp. 724-730.
- Pohl, Molly M, 2002, Bringing down our dams: Trends in American dam removal rationales, *Journal of the American Water Resources Association* 38(6), pp. 1511-1519
- Poff; N Leroy, David D Hart, 2002, How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal, *Bioscienc*; 52(8), pp. 659-668.
- 王海山編，1998，科學方法百科，恩楷有限公司。
- 林曜松，1990：美國棲地改善研習及考察報告，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局，189-196。
- 林曜松、梁世雄，1990：鮭鱒魚類生態，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局，33-52。
- 邱健介，1990：森林溪流淡水魚類棲地調查、棲地改善概說，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局，139-188。
- 張崑雄，1990：魚類生態，森林溪流淡水魚保育訓練班論文集，臺灣省農林廳林務局，15-22。
- 曾晴賢，1997：櫻花鉤吻鮭族群生態調查和育種場位址評估，內政部營建署雪霸國家公園管理處委託計畫，國立清華大學生命科學系。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦，1998，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦，1999，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(二)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦，2000，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(三)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦，2001，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(四)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 葉昭憲、段錦浩、連惠邦，2002，七家灣溪河床棲地改善之試驗研究(五)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 葉昭憲，2003，高山溪河道變化及物理棲地調查研究，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 葉昭憲，2004，高山溪河道變化及物理棲地調查研究(二)，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 葉昭憲，2005，武陵地區長期監測暨生態模式建立—環境改變對河道地形及物理棲地變化趨勢之影響，雪霸國家公園管理處研究計畫報告。
- 林幸助等(葉昭憲)，2006，武陵地區長期生態監測暨生態模式建立，雪霸國家公園管理處

研究計畫報告。

林幸助等(葉昭憲)，2007，武陵地區長期生態監測暨生態模式建立(二)，雪霸國家公園管理處研究計畫期中報告。

附錄一 壩體改善決策因素專家座談會

「七家灣溪壩體改善研究評估」

壩體改善決策因素專家座談會

會議時間：九十六年八月二十二日上午十時

會議地點：逢甲大學土木水利館三樓多功能研討室

會議主持人：逢甲大學水利工程學系葉昭憲副教授

簽到表

主管機關 / 專家	簽名
內政部營建署雪霸國家公園管理處	劉宏如 劉永材 于淑芬 張金財
行政院農委會林務局東勢林區管理處	
行政院退除役官兵輔導委員會武陵農場	
經濟部德基水庫集水區管理委員會	鄧榮慧 ✓
台中縣政府農業局	李代娟
國立中興大學生命科學系林幸助教授	林幸助 ✓
國立清華大學生命科學系曾晴賢教授	曾晴賢 ✓
逢甲大學水利工程及資源保育學系王傳益教授	王傳益 ✓

七家灣溪壩體改善研究評估

「壩體改善決策因素專家座談會」會議紀錄

2007. 8. 22

	專家意見
一	<p>雪霸國家公園管理處</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 工程與生態環境如何達到共存平衡? 2. 壩體功能及需求，探討大石、淤沙量如何處理，它營造行程既有生態環境(如深潭或滯洪區域)如何保留，否則將沖擊改變棲地。 3. 拆壩後溪床坡度，應作保護措施已達平緩化(如矮壩、丁壩、固床工)。 4. 壩體拆除前，考量鮭魚族群避難設施，以免壩體拆除過程影響鮭魚生長及生活。
二	<p>逢甲大學 王教授傳益：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 壩體移除決策之評估指標需考量下列因素： <ol style="list-style-type: none"> (1) 應考量德管處等相關單位之需求及壩體存在之價值。 (2) 壩體之功能是否符合需求，對於何到穩定之影響，對壩體上下游河防安全之影響。 (3) 壩體移除對於生態棲地及環境影響，應考量本土生態之需求。 (4) 高山溪四座防砂壩拆除前中後監測資料之評估比較供本計畫決策參考用。 (5) 相關單位應設監測站，監測河道泥砂量、流量、水質及生態等相關數據供各評估指標研判之用。 (6) 各評估指標所需基本資料為何?應加以具體量化，並須考量資料取得之難易度，以免造成指標無法應用。 (7) 瞭解泥砂來源，評估泥砂量及其對下游水庫蓄水容量之影響，泥砂來源主要為上游崩塌地，坡面侵蝕及河床。 2. 桃山北溪一號壩、七家灣溪三號壩下游均有窄縮段形成瓶頸有如巨型梳子壩，壩之存在價值需再評估，而五號壩部份破壞應儘速評估後，加以處理。 3. 拆壩與否或改善方案，可考量多種方式如梳子壩，梳子低壩群，系列防砂低壩或系列固床工或壩等各種方案。對於天然瀑布類似防砂壩功能，應配合施設魚道，無需加以拆除。

<p>三</p>	<p>中興大學 林教授幸助：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 高山溪拆壩後已使鮭魚數量增加，其原因為砂沖刷後留下大顆粒石頭對鮭魚抗颱風洪水能力有幫助。 2. 利用拆壩後改善棲地環境，增加生物避難所。 3. 積砂所累積的農業與肥料須先調查評估拆壩後對下游生態的影響。
<p>四</p>	<p>台中縣政府農業局 李課長代娟：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本次參加會議主要事項與會各專家學習，聽取專家意見，以便在未來如果本案確實要執行時的參考，惟期望本項評估工作不要有預設立場，對於保留、移除、改善方案甚至優先順序等決策評估希望能在更多專家學者的充份討論下，有更嚴慎的考量。 2. 基於前幾年在高山溪壩體改善工作的經驗，目前高山溪的狀況是否已達相對穩定且有助棲息，要花費多酒的時間，而面對發生天然災害時有無對策，都是七家灣溪壩體改善決策評估中的重要參考資訊，尤其依報告七家灣溪壩體量測恐怕大過於高山溪壩體規模甚多，如何改善仍需重新考量。而須改善之標的以人工加入的構造物為主，如天然地形地質屏障者應佈在本案探討範圍。 3. 七家灣溪段是櫻花鉤吻鮭最重要的棲地，壩體改善應重視在改善過程造成擾動時，對生物族群棲息的衝擊程度。 4. 有關所提評估指標部分，建議研究團隊詳述對應到本案的實際項目為何，初步篩選並了解權重後再行確認。 5. 改善措施極可能配套方案建議以最必要性，最小規模來規劃。
<p>五</p>	<p>清華大學 曾教授晴賢：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 決策因素應考量原設壩體之原因，故應諮詢原設計單位（林務局東勢處治山課），蒐集原設計資料及較早期的環境資料，以作為長期環境變化的評估依據。 2. 拆壩的重要顧慮在生態方面，可注意： <ol style="list-style-type: none"> (1) 主要族群的分布情形。 (2) 避難所知有無和位置。 (3) 族群遷移(避難後再回原棲地)的通道完整性。 3. 在工程上可注意： <ol style="list-style-type: none"> (1) 上位計畫的需求，如拆壩後推移砂石的處理問題。 (2) 現有壩體安全的評估資料和周邊環境資料的收集。



附錄二 壩體改善決策順序之建議專家座談會

「七家灣溪壩體改善之研究評估」 壩體改善決策順序之建議專家座談會

會議時間：九十六年十一月二十三日上午十時

會議地點：逢甲大學土木水利館

會議主持人：逢甲大學水利工程學系葉昭憲副教授

簽到表

主管機關/專家	簽名
內政部營建署雪霸國家公園管理處	于淑芬
行政院農委會林務局東勢林區管理處	邵啟雨
行政院退除役官兵輔導委員會武陵農場	呂仕仁
經濟部德基水庫集水區管理委員會	劉英慧 陳新國
台中縣政府農業局	廖正勇
國立中興大學生命科學系林幸助教授	林幸助
國立清華大學生命科學系曾晴賢教授	
逢甲大學水利工程及資源保育學系王傳益教授	王傳益
逢甲大學水利工程及資源保育學系陳昶憲教授	陳昶憲

七家灣溪壩體改善研究評估

「壩體改善決策順序之建議專家座談會」會議紀錄

2007. 11. 23

	專家意見
一	<p>逢甲大學 陳教授祖憲：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 是否回顧原設壩之原因，及可能產砂潛能，此對德基之淤砂是否有負面影響。 2. 是否評估一到三號壩間之崩塌區及開發區可能之鬆散泥 砂蓄積量，拆除一號壩可能導致之土石泥潛勢。 3. 壩區泥砂之移除需再行斟酌，儘量不要導致水理環境之巨變。 4. 權衡比較下，建議先拆除一號壩再觀成效。
二	<p>逢甲大學 王教授傳益：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 防砂壩改善優先順序如何決定？各評估指標間之權重為何？是否進行敏感度分析決定？ 2. 各評估指標如水質、棲地環境及對受影響公共設施之補救可行性等資料不全，是否透過其他方式如水之模型試驗取得，抑或是無法取得，該資料對評估模式之影響為何？ 3. 拆壩方式可考量局部降低或改為開口壩，尤其是三號壩高度過高，應謹慎評估，開口寬度對於河道穩定及泥砂輸送影響甚大，並透過水之模型水理分析決定之。 4. 拆壩前後之生態調查魚種應持續進行，以利瞭解該等作為對生態之影響。 5. 泥砂處理應考慮堆置地點對河道穩定之影響及棲地之影響，此外亦須注意水利法或水保法等相關規定。 6. 拆壩時間應詳細評估其對魚種之影響，如避免於繁殖季節，再決定之。 7. 建議先拆一號壩、三號壩係兩條溪流匯流處，且壩高超過10m，土砂量體多，必須審慎評估其對上下游河道穩定及棲地之影響，四號壩已形成缺口，壩上方土砂量部分下移，且可供做生態廊道，建議暫時不須處理。
三	<p>德委會 鄧執秘英惠：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 是否已辦理壩體改善前後河道改變之水工模型試驗？ 2. 施工中可否將溪流中鮭魚暫時移棲附近溪流中，待工程完後再移回。 3. 清除泥砂之移置，除規劃置於灘地及兩岸外，可否考量作為農地改良或窪地回填之用。 4. 再瞭解當初建壩之目的，在接續逐項考量其目的之達成度或替代措施。 5. 德基水庫集水區為依自來水法公告之自來水水源、水質、水量保護區，水體為甲類水體，本計劃將來執行面之相關法規請事先瞭解因應。

<p>四</p>	<p>林務局東勢處 邵技正龍雨</p> <ol style="list-style-type: none"> 建議拆壩，除整體拆除評估外，再加上局部拆除之評估，例如：切口壩，以減少對環境之衝擊(如施工道路對環境破壞，泥砂淤積影響水的濁度)，以及保持一定的防災、防洪功能，但切口壩的寬度需經過調查、計算或試驗等方式決定，以利壩體安全。
<p>五</p>	<p>中興大學生命科學系 林教授幸助</p> <ol style="list-style-type: none"> 七家灣溪四號壩資料可參考長期生態監測與模式建構之桃山西溪測站資料。 需評估壩體改善後泥砂量所造成濁度上昇之影響時間。 改善一號壩的生態效益看來最大，不僅可以促成七家灣溪與高山溪之棲地相連、面積擴大、生物基因交流，而且施工期間對生態之影響相對較小。

