

出國報告（出國類別：實習）

水力發電計畫河川整體保育計畫

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：蔡幸枝(一般工程師)

派赴國家：日本

出國期間：100年8月21日至8月27日

報告日期：100年10月24日

目 錄

	頁次
壹、出國目的.....	1
貳、實習過程.....	1
參、實習心得.....	2
3.1 水力發電開發計畫對河川生態環境之影響.....	2
3.1.1 水力發電開發計畫施工期間之環境影響.....	2
3.1.2 水力發電開發計畫營運期間之環境影響.....	3
3.2 生態基流量簡介.....	4
3.2.1 生態基流量概念.....	4
3.2.2 生態基流量推估方法.....	5
3.3 應用電腦模式進行魚道改善模擬與設計.....	6
3.4 水力發電開發計畫之河川生態環境影響減輕策略.....	12
3.4.1 水力發電計畫環境監測計畫.....	17
3.4.2 魚類無線自動偵測技術.....	18
肆、建議事項.....	19

壹、出國目的

本公司水力發電計畫為響應政府節能減碳政策的重要一環，然而水力發電對於河川生態的影響往往成為環境影響評估的重要議題，為了使環評能夠順利通過，有必要向先進國家學習其生態保育技術及監測經驗，以提升環評監測作業的品質與公信力。

本次實習之對象－AECOM 公司是一專業的環境、能源與水利工程技術公司，其水力發電相關經驗遍及全球，本次實習地點為 AECOM 日本分公司，透過日本分公司的技術人員協助，了解 AECOM 在推動水力發電的生態保育經驗與作法。

貳、實習過程

一、100 年 8 月 21 日

內容：往程

地點：台北－羽田機場－東京

二、100 年 8 月 22 日至 26 日

內容：實習水力發電計畫河川整體保育計畫

地點：AECOM Japan

三、100 年 8 月 27 日

內容：返程

地點：東京－羽田機場－台北

參、實習心得

3.1 水力發電開發計畫對河川生態環境之影響

水力發電係屬相當環保潔淨之能源，以下將針對水力發電開發計畫對附近地區可能產生之河川生態環境影響分別加以說明如下：

3.1.1 水力發電開發計畫施工期間之河川生態影響

(一)河川水文

施工期間對河川水文可能造成影響之主要工程為堰址工程，可能影響包含堰址上下游50 公尺範圍內之河床清理及導水設施、進水口、排砂道施工。此對河川之水文影響乃在於施工用水所減少的河川流量及開挖過程表土流失導致河川輸砂量增加。

(二)河川水質

施工期間可能對當地水質產生影響之污染源包括攔河堰施工、工程工作人員所產生之生活污水、工區裸露面因降雨沖刷形成之含泥砂地表逕流、車輛清洗所產生之洗車廢水及施工機具保養過程所產生之廢油脂。

(三)生態

施工期間對於生態環境所產生的影響層面，主要包括物種多樣性減少、棲地喪失以及擾動增加等。

3.1.2 水力發電開發計畫營運期間之河川生態影響

可能產生之河川生態環境影響包括河川水文、河川水質及生態等影響，茲就上述影響說明如下：

(一)河川水文

可能造成影響主要包括河川基流量是否足以提供河川生態之基本要求、下游水權使用是否受到影響以及堰下游至尾水口之流量降低，可能使原有魚類棲地空間減少及排洪時可能會造成堰下游河床變化。

(二)河川水質

電廠運轉作業過程可能對河川水質造成的影響，主要為攔河堰截取河水發電使得水體流量減少，因而降低河川原有的自然涵容能力，以及上游淹沒區的優養化問題。

(三)生態

- 1.生態基流量對於維護河川生態系統的穩定及平衡相當重要，水力發電計畫可能造成堰下游至尾水出水口間河川之流量減少，而生態基流量不足將會影響堰下游魚類、底棲生物等水域生物之生存與棲息。
- 2.興建堰體後將阻斷水域生物上溯、降海的迴游路線。
- 3.興建堰體後，將對於堰體下游棲地環境產生多種效應，其中包含棲地單調化、生物族群棲息範圍縮小化等影響。

3.2 生態基流量簡介

近年來，由於國內外保育意識高漲，河川魚類保育工作如雨後春筍般展開，除溪流魚類的分類、分佈和生態環境調查外，已有許多工程單位在生態學者協助下，將生態保育的概念結合到工程上，例如河川生態基流量之設計、河川棲地改善與魚道設置等，以維持河川生態及水體正常用途。其中河川生態基流量在河川生態保育中，常扮演決定性的角色，其流量的大小與變化，直接關係到河川生態系統生物的存續及河川生物的存活。

河川生態基流量的設計需考量流域集水區河道形態、河川水體、生物存活最小需求量等因素，因此具有明顯的地域性特徵，而國內在這方面的研究較少，目前多以參考日本流域面積經驗法則，以集水面積換算所需之基流量，該經驗法則已應用於本公司大甲溪馬鞍壩、大安溪士林壩等。然經驗法因僅採用集水面積一項因子，對於複雜的生態系統與環境區域特性太過簡化，因此大多用於無水文與生態資料的地區。

3.2.1 生態基流量概念

生態基流量概念如下：

- 一、Stalnker(1982) - 維持河川自然環境資源及維持河川某些指標最低限度所需之流量稱之為溪內流量需求。
- 二、Jowett(1997) - 對於維護河川生態系統的穩定與平衡的流量，稱之為該河流的生態基流量。

3.2.2 生態基流量推估方法

目前全球發展出有關決定河川生態基流量的方法，可概略分為：(1) 歷史流量法、(2) 水理評估法、(3) 棲地評估法、(4) 經驗法等四大類。

在美國著名的添能得蒙他拿法(Tennant's Montana method)，即係依據歷年水文資料而推估不同等級之生物棲地品質所需之最小流量。此外，美國魚類及野生動物署(U.S. Fish and Wildlife Service)也發展出河川內流量增算法(IFIM/Instream Flow Incremental Methodology)；其主要利用河川橫斷面的水力分析，及魚類棲地利用概況，透過棲地喜好曲線圖，來預測不同流量時的有效棲地。

近期，針對美國密蘇里河，也有保育研究人員依據 IFIM 方法，發展出河川生物群集棲地評估與復育概念(RCHARC/Riverine Community Habitat Assessment & Restoration concept)，以強調人類興建堰壩與河川渠道工程後，對於河川水文改變。本方法適用於穩定的河道，以分析人為對流水狀態(流速、深度)及棲地品質的改變與保育措施。

回顧在世界各國河川基流量設計方法中，簡單而常被採行的方法，係以日本依據水系集水區面積百分比之估算法，以及美國添能得(Tennant 1976)依據河川年平均流量百分比估算法為代表。

日本之集水區面積估算法，是以每 100 平方公里以 0.1~0.3cms 估算河川生態所需之放流量。美國添能得蒙他法，是依據蒙他拿州、內布拉斯加州、懷俄明州等地區許多溪流魚類研究資料，而發展出的生態基流量評估方法。添能得蒙他法主要係利用水文資料(日平均流量、年平均流量)，來描述溪流在不同月份的自然規律。添能得並經由野外觀察、攝影與取樣等方法，來研究該溪流魚類在年平均流量不同百分比水量時之棲息狀態。通常一條溪流應有足夠的水量，維持適當的水深與流速，才能滿足魚類的

生存與自然生態演替。

添能得研究顯示，河川的平均水深達 0.3 公尺，而流速達 0.23 公尺／秒，是大多數河川生物存續的最小生理需求條件。在魚類棲地品質上，添能得研究指出，河川水量達年平均流量 10%~30%時，可以維持多數魚種在不同時期的短暫存活；30%~60%的平均年流量所形成水深與流速，可形成多種急流與緩流的水域，適於多數魚種的棲息。藉此，添能得綜合歸納出河川生態基流量與棲地品質之關係。

日本集水區面積比例估算法，僅需該河川水系之集水區面積資料，即可推估河川堰壩之放流量；因而多用於缺少河川水文與魚類生態資料地區之推估。添能得蒙他拿法主要參考河川水文與生物資料，即可推估河川生物棲地品質，因而成為河川生態基流量設計方法中，廣泛應用於河川魚類及野生物保育的代表方法。

3.3 應用電腦模式進行魚道改善模擬與設計

水力發電的攔河堰或水庫等人造設施會阻斷河川中迴游魚類的路徑，進而影響其生存，是水力發電對於河川生態最大的影響之一。本公司為進行河川保育而設置魚梯，使迴游性的魚類能藉此而逆流迴游於上游河後，完成覓食，求偶或產卵。然本公司目前的魚道或魚梯等設計多半委託學術單位依其經驗與專業進行規劃，惟缺乏量化具體的評估模擬，AECOM 公司應用電腦模式進行魚道改善模擬與設計，使漁梯發揮效益，其經驗值得本公司參考，以下說明 AECOM 公司應用電腦模式進行魚道改善模擬與設計經驗。

一、AECOM 公司應用電腦模式進行魚道改善案例 1

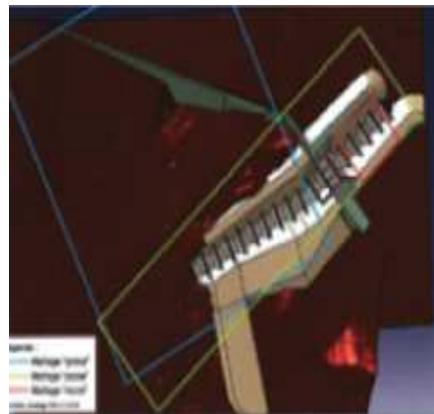
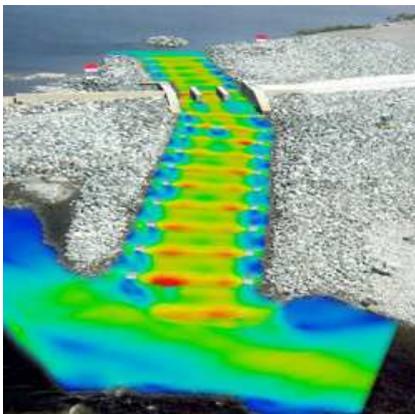
(一)背景

2005年於伊士曼河設置的魚道，經過2006及2007年監測結果發現只有鱒龍魚無法成功使用魚道，最主要的原因是過高的流速無法吸引魚群。AECOM公司透過3D的電腦模擬來重新設計魚道，試圖改善魚道功能。

(二)重新設計魚道

AECOM公司透過3D的電腦模擬，以三種模型來重新設計魚道，試圖改善伊士曼河之魚道功能：

- 1.區域模型－評估流量
- 2.局部模型－修改槽及導流設計
- 3.魚道模型－平衡水位及整個長度



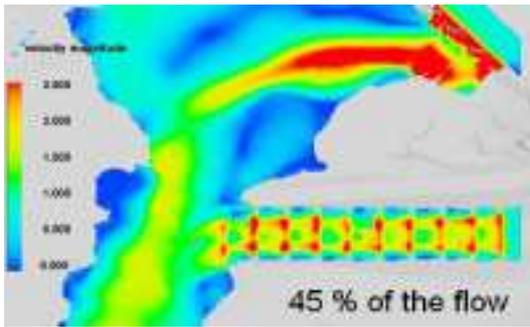
CFD 魚道模擬

(三)模式驗證

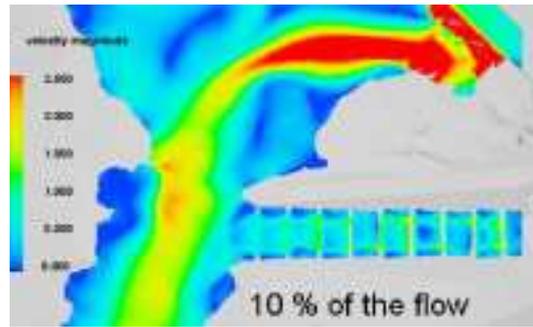
AECOM公司發CFD模式需先經過模式驗證程序，經過124個流速量測數值比對之後，獲得80%的一致性。只有在高度紊流的2個區域測量值與模擬值有顯著的不同。

(四)模擬不同流量的魚道流速

AECOM公司的CFD模式可模擬不同流量的魚道流速，找出適合鱘龍魚迴流的最佳魚道設計流速。

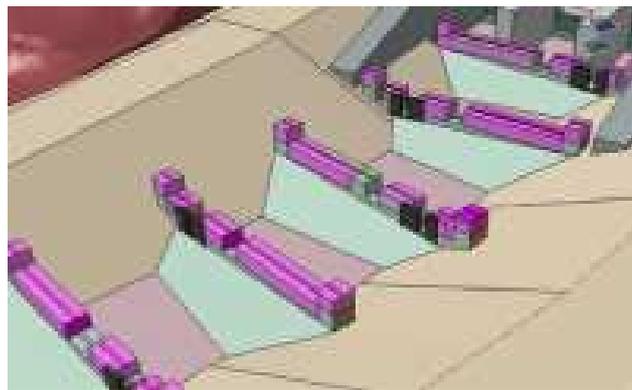


CFD 模擬 45%的流量顯示流速過高



CFD 模擬 10%的流量，流速降到鱘龍魚迴流的流速門檻 1.8m/s

AECOM 公司的 CFD 模式可模擬增加不同的阻隔來取得最佳魚道設計，經過改善之後，2008 年的魚道監測結果顯示鱘龍魚已經成功的通過魚道迴游。



CFD 模擬以增加不同的阻隔或減速裝置來取得最佳魚道設計參數

二、 AECOM 公司應用電腦模式進行魚道改善案例 2

鹿田河 2 號壩、3 號壩及 4 號壩魚道有效性改善方案。



Deerfield 2 號魚道



Deerfield 3 號魚道



Deerfield 4 號魚道

(一) 有效性及安全性評估指標

以無線電追蹤評估魚道有效性及安全性，包含有效性及安全性
2 項指標，說明如下：

1.無線追蹤評估-有效性指標(%)

以吸引迴游鮭魚的功能指標，以下式計算

$$E = F/A \text{ 表示魚道有效性}$$

E：魚道有效性

F：使用魚道的標記鮭魚數量

A：計畫上游區域附近所標記的鮭魚總數(包括所有通過
魚道或發電機的鮭魚及附近被發現未通過的鮭魚總數量)

2.無線追蹤評估-安全性指標(%)

以經過各個路徑的安全通道表示安全性指標，以下式計算

$$S = s/P$$

S：監測點位之間的安全通道

s：通過特定路徑通過到達下游監測點的鮭魚數量

P：使用特定路徑的鮭魚總數

因為標記的鮭魚在通過魚道後沒有再補捉檢查，因此只能概略
估計鮭魚數量。

標記魚類在水壩下游被監測。

水壩到下游監測點的距離必須考慮因為被捕食而影響到調查結果的問題。

(二)魚道研究及改善

1.進行既有魚道無線追蹤評估

1999 年鹿田河魚道相關設施完工後並裝設無線追蹤系統，以無線追蹤評估鹿田河 2 號壩、3 號壩及 4 號壩既有魚道之有效性指標及安全性指標結果如下：

(1)2 號魚道－有效性指標：20%；安全性指標：55%

(2)3 號魚道－有效性指標：78%；安全性指標：96%

(4)4 號魚道－有效性指標：59%；安全性指標：85%

2.既有魚道改善方式

2000 年進行鹿田河 2 號壩、3 號壩及 4 號壩既有魚道改善，改善方式如下：

(1)2 號魚道－將水槽支援壓桿減到最少數量，移除圓材牆

(2)2 號魚道－裝設引流器，將最小流量單元改為最接近魚道的單元

(3)3 號魚道及 4 號魚道－重新配置圓材牆

(4)4 號魚道－在分隔之前裝設 1” 柵欄架

3.以 CFD 模式模擬改善後魚道

2001-2002 以 CFD 模式進行鹿田河 2 號壩、3 號壩及 4 號壩魚道流量評估，模擬的結論如下：

(1)除非正好在通道之前，否則通道改善方案不會影響流向入口的流量。

(2)入口前流速太快會導致魚類無法通過魚道。

4.進行改善後魚道無線追蹤評估

2003 魚道改善後，再以無線追蹤評估鹿田河 2 號壩、3 號壩及 4 號壩改善後魚道之有效性指標及安全性指標，評估結果如下：

(1)2 號－魚道(有效性指標：32%；安全性指標：90%)

水閘(有效性指標：81%；安全性指標：97%)

合併/整體(有效性指標：60%；安全性指標：81%)

(2)3 號－有效性指標：73%；安全性指標：90%

(3)4 號－有效性指標：57%；安全性指標：93%

(4)4 號－維持進入集魚設施的限制流量到最大容量的 60%

3.4 水力發電開發計畫之河川生態環境影響減輕策略

任何開發計畫可能對附近環境品質產生不等程度之影響，就水力發電而言，可藉由事先之環境影響預測，擬定各種適切之環境保護對策，並運用工程技術事先予以防範或加以補救，可將其影響程度減至最低。以下針對水力發電開發河川生態環境可能影響，說明相關環境減輕對策：

一、施工期間

(一)河川水文方面

影響河川水文之工程設施主要為攔河堰、施工道路、土石轉運站及土石堆積場等：

1.堰址之施工作業可避開豐水期而儘量在枯水期間趕工進行，並設置臨時擋水及導水設施將上游溪水引至堰址下游，以避免影響水體流量；而堰址施工產生的砂土可被侷限在擋水圍堤內，下游另設置臨時沈砂池，不致增加河川輸砂量。

2.加強沿線的水土保持措施，邊坡並施作擋土、截排水與植生綠化，使新建及整修施工道路時，可以確保邊坡穩定，減少水土流失情形。

3.土石轉運站及土石堆積場使用前應先整地及做好地表之排水處理。此外，土石堆積場於施工時，為保育水土資源及減免災害，須依審查通過之水土保持計畫執行，並加強坡面植生綠化。

(二)河川水質方面

1.逕流沖刷引起水中濁度增加之保護措施

造成河川濁度增加之工程，主要來自土石堆積場、施工道路與堰體等工區作業。新建或整修施工道路時，加強水土保持工作，做好路邊排水；道路邊坡並施作擋土、截流溝與植生綠化，以確保邊坡穩定，減少水土流失情形，同時設置路基穩定措施及路面鋪蓋瀝青或混凝土，強化路面穩定。而堰體之施工，除儘量於枯水期間作業外，並興建臨時圍堰、沈砂池及排水設施，將溪水以導水方式引開，以防止溪水流入工區，將可減少堰體施工造成河川水質濁度增加。

土石堆積場大都選位於河岸附近，因此其施工及使用期間之水土保持防護措施格外重要。為避免土石堆積場土石流失，於土石堆積場最下游端坡面設擋土護坡以增加壓實重量，提高邊坡

穩定性；最下游端之石籠護坡銜接土石堆積場之擋土牆，藉此端點分擔及抵抗土石堆積場整體之下滑力，以確保在洪水或地震等不利條件下土石堆積場邊坡之穩定(可避免土石堆積場遭水流沖至河川下游及填方區整體之潛在滑動)。此外，設置適當之排水設施及臨時沈砂池，將泥砂沉澱後，再排入溪中。

土石堆積場堆積完成之坡面立即進行植生綠化，其目的在以草類的迅速覆蓋發揮早期固土之作用，並製造有利於木本植物生育的環境，以達到複層植被之效果，進而有效達成水土保持之目的。

2.廢污水之防護措施

水力計畫施工作業主要廢污水來源包括混凝土拌合場清洗廢水、洗車廢水及機具作業產生之油污等；駛離工區之施工車輛須先藉由洗車台設備予以清洗，而洗車廢水與混凝土拌合場清洗廢水皆含有大量泥砂，先經沉砂池降低懸浮固體物，再排入溪中。施工產生之廢油置於收集桶中，避免外洩。設置污水處理設備處理施工人員生活廢水，達到放流水標準後排放，將污泥置於收集桶槽中，委託合格代清除處理業者清除處理，以減少對水體水質之影響。

(三)陸域生態之保護措施

- 1.儘量減少伐木量，同時加強邊坡穩定、水土保持措施，另施工道路將儘速施予鋪面。
- 2.除非開發實體之必要，當地喬木不任意伐除，並儘量減少伐除數量，以確保生態系的主優勢種發揮庇護作用。

- 3.為降低施工範圍周邊的生態環境干擾，於各主要工區周邊設置圍籬，除了可以減少噪音的傳遞外，也可減少揚塵對鄰近植物的影響。
- 4.避免於夜間時段開炸隧道，盡量減低對於周遭生態環境影響。如有必要時，隧道口、平壓塔及廠區施工，可視情況採預裂法、防音布等減低噪音與振動措施，減低對於周遭生態環境影響。
- 5.夜間不進行施工，避免夜行性動物的干擾，以及降低夜行性動物路死效應。儘量採行小規模分區施工，且施工分段進行，以便讓野生動物有充裕的時間遷移到鄰近地區。
- 6.落實相關監測計畫，以掌握施工時對陸域生態的干擾程度，尤其須注意保育類動物族群及特稀有植物的變遷。

(四)水域生態之保護措施

- 1.地表開挖、土方處置、物料堆置、垃圾處理、逕流污水削減及水土保持等，皆採取適當防護措施並確實實施，使工程施作不影響河川自然行水，以將水域生態衝擊降至最低。
- 2.落實相關監測計畫，以掌握施工時對河川生態的干擾程度，尤其須注意保育類魚類族群的變遷。規劃辦理棲地生態研究及魚類棲地改善工作。
- 3.各項施工作業選擇對環境衝擊較小之施工方式，儘可能避免造成水域內水質混濁之情形，並在各工區下游設置臨時沉砂池，以減輕其混濁之水質影響原河川生態底藻之群聚。
- 4.進行棲地改善工作、河川生態監測、魚類保育等工作。依據河川流域之魚種、魚類迴游週期及溯游量等做詳細研究後，規劃設計魚道。

二、營運期間

(一)河川水文方面

1. 優先考量維持河川基本水文條件及水體下游之用水需求，使河川之環境基流量得以維持。優先配合下游灌圳需水量發電，剩餘流量調蓄後才尖峰發電。若當天的天然流量仍不足供應下游農業灌溉需水時，堰調整池必需將當天的天然流量全部調放供應。
2. 依據所訂定的河川生態流量、與下游用水單位協商的農業灌溉用水量，擬訂堰調整池操作規則。
3. 下游各灌圳增設量水設備，並持續進行觀測，此各灌圳量水紀錄資料可作為電廠營運後各下游灌圳需水量調放之依據。
4. 藉由排砂操作避免過量泥砂淤積於堰區上游內，並持續進行長期監測河川河道沖淤情況，使河川之河川輸砂量不致產生過大之影響。定期排洪及排砂，避免淤積。

(二)河川水質方面

1. 堰體攔水之前，先行砍除淹沒區兩岸之地上植物，以減輕未來河川水質之有機污染負荷；此外，淹沒區內水體之停留時間短暫，不致產生優養化之問題。
2. 設置污水處理設備，達到放流水標準後才可排放，並將污泥置於收集桶槽中，委託合格代清除處理業者處理處置，以減少水力計畫完工營運後操作人員之生活污水對承受水體水質之影響。

(三)生態方面

- 1.在考量對於生態系衝擊最小之下應因循自然演替之過程，植生綠化工作以原生物種作為最優先考量，以達到適地適木之原則。
- 2.維持生態基流量對於維護河川生態系統的穩定及平衡相當重要，如生態基流量過低，勢必將影響下游河段魚類等水域生物之生存與棲息。
- 3.攔河堰完工蓄水後，上游集水區加強水土保持措施妥善保護，防止濫墾，可有效保護區內動物棲地，亦可使電廠發揮最大的經濟效益。
- 4.採兩階段式洩洪，先少量放水後再正式洩洪，以減少傷害棲息於河床之野生動物。
- 5.落實相關河川生態環境監測計畫，以瞭解本計畫所造成之影響及河川魚類族群變動程度。

3.4.1 水力發電計畫環境監測計畫

為確實掌握水力發電對鄰近環境產生之影響程度，且符合相關環保法規之規定，故需於施工前、施工期間及營運期間進行環境監測計畫，說明如下：

一、施工期間

於施工期間對工區鄰近敏感受體進行空氣品質、噪音與振動、河川水文、河川水質、交通流量、河川生態及陸域生態等項目進行監測作業。

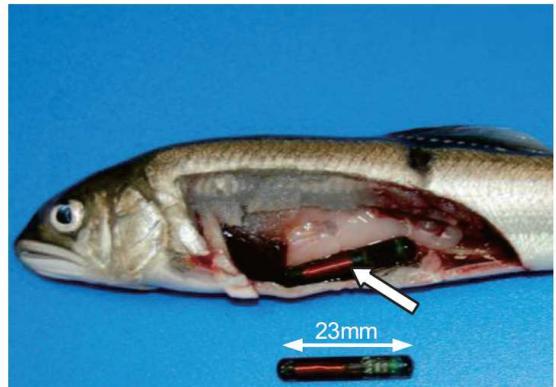
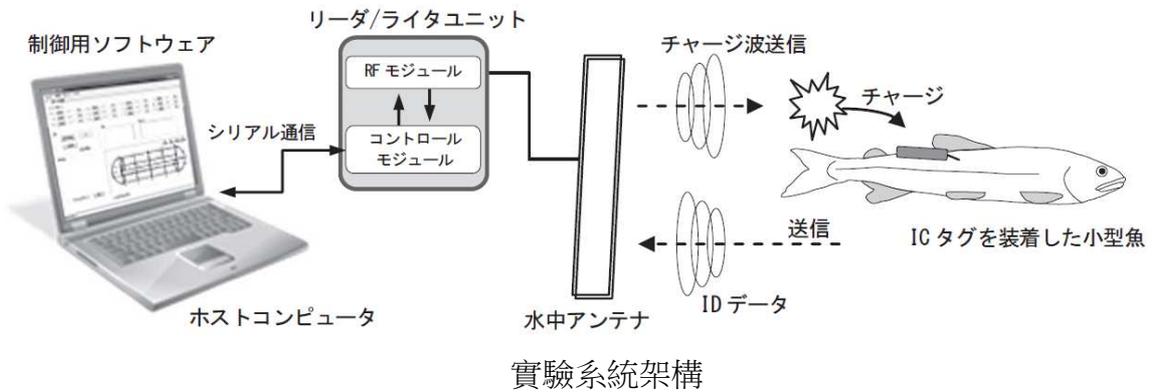
二、營運期間

於營運期間對廠址周邊敏感受體進行河川水文、河川水質、河川生態進行監測作業。

3.4.2 魚類無線自動偵測技術

日本水力發電設施對於迴游性小型魚類的保護非常重視，對於魚道管理者而言，魚道內魚類行動模式及利用情形是非常有用的資訊，然而在夜間或洪水期間的情形之下，要長時間目視調查非常的困難，因此如何利用設備輔助調查是非常重要的課題，日本電力中央研究所利用了RFID無線技術，利用室內實驗室來進行魚類自動偵測實驗，尤其是針對小型魚類的偵測，如何將小型化接收器植入魚體，並達成同一時間追蹤多數量的個體技術是研究開發的重點所在。根據實驗結果，可同時追蹤50隻小型魚類的行動軌跡，即使是在無法目視的夜間也能長時間監測所需的資訊。

這項研究的成果，魚道管理者可以瞭解魚類實際使用魚道的情形及速度，進而作為魚道設計、魚道改善及魚道操作的重要依據，值得本公司參考。



植入接收器

肆、建議事項

水力發電計畫為響應政府節能減碳政策的重要一環，由於國內外保育意識高漲，河川魚類保育工作如雨後春筍般展開，未來如何減少水力發電計畫對河川生態的影響，對於河川生態的保育計畫應有更具體及長期的規畫。

我國目前的魚道或魚梯等設計多半委託學術單位依其經驗與專業進行規畫，較缺乏量化具體的評估模擬，AECOM公司的做法與經驗可供本公司未來水力發電計畫之河川生態保育工作規畫之參考。

本公司為河川保育所設置之魚梯，使迴游性的魚類能藉此而逆流洄游於上游河後，完成覓食，求偶或產卵。但是魚梯若缺乏維護管理，將成為魚苗返鄉時的最大阻礙，使魚梯的效益大受影響，因此魚梯及河川保育計畫應考量長期的落實管理維護等層面，以利河川保育工作得以永續經營。

日本的魚類無線自動偵測技術可同時追蹤魚類的行動軌跡，即使是在無法目視的夜間也能長時間監測。魚道管理者可以瞭解魚類實際使用魚道的情形及速度，進而作為魚道設計、魚道改善及魚道操作的依據，可供本公司未來進行魚梯規畫及效益追蹤之參考。