

# 工業技術研究院

Industrial Technology  
Research Institute

## 災害對小(微)水力發電業務之影響

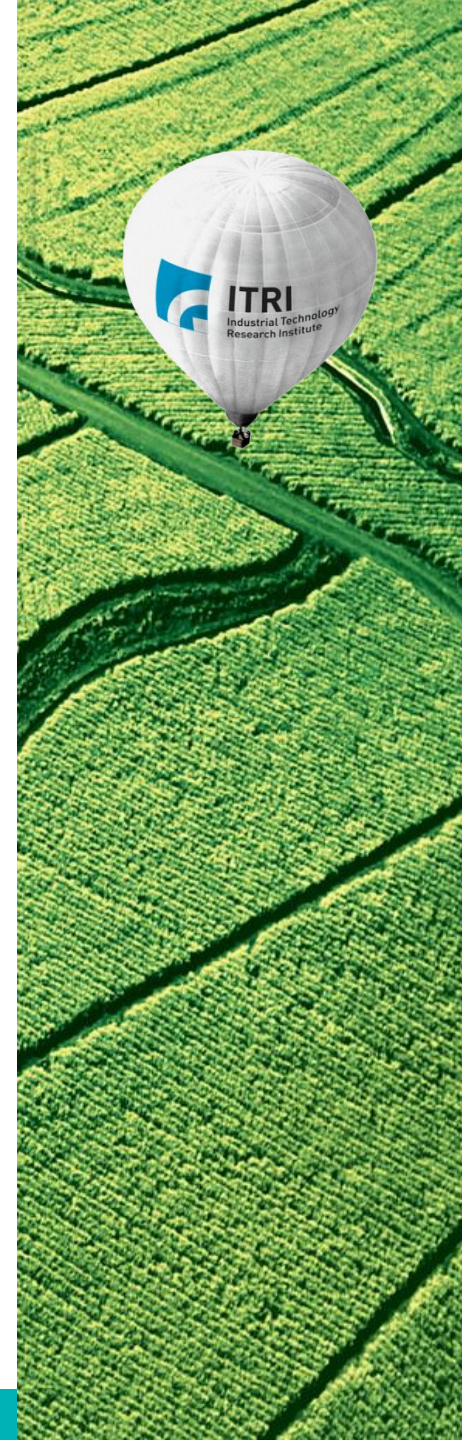
聯絡資訊

綠能所 周承志 副理

(03)591-3527 & 0963-149-249

[chou@itri.org.tw](mailto:chou@itri.org.tw)

2026年4月22日





# 壹、災害衝擊分析



# 一、洪水：最常見的複合型衝擊

- 小水力設施高度依賴自然水流，最易受洪水事件影響。
- 洪水帶來威脅：

## 取水口淤塞

泥沙、碎石、漂流木堵塞進水或出水口，造成長期停工

## 水質惡化

高濁度水源磨損水輪機葉片，加速設備老化

## 直接結構破壞

洪水與土石流衝擊壩體、壓力鋼管與戶外配電盤

## 發電系統損毀

廠房淹沒、破壞控制系統、配電設備及電纜

# 洪水衝擊：社會、經濟、環境

## 社會衝擊



- 大規模停電衝擊民生
- 人員傷亡風險（廠房淹沒）
- 偏遠村落喪失唯一電源
- 緊急救援與資訊傳遞中斷
- 社區恢復期長

## 經濟衝擊



- 進出水口被泥土和雜物堵塞
- 設施長期停工使發電損失
- 災後清淤與修復費用高
- 設備汰換之系統成本昂貴

## 環境衝擊



- 大量泥沙淤積改變河道地形
- 漂流木堵塞影響生態流量
- 洩漏油品污染水體
- 植被破壞加劇次年崩塌風險
- 水生生物棲地遭受嚴重干擾

# 國際案例：日本 JAPAN

## 2011年洪水：23座電廠停擺的啟示

### ■ 福島・新潟事件 2011:

- ▶ 只見川與阿賀野川大洪水，導致23座水力電廠因廠房淹沒及取水口淤積泥沙而無法運作

### ■ 熊野川「海嘯」事件 2011:

- ▶ 颱風引發多處山崩，形成天然壩
- ▶ 天然壩潰決後產生如海嘯般的衝擊
- ▶ 一座 15MW 電廠被沖毀

天然壩潰決屬低頻率、高衝擊事件，現有洪水治理設計往往低估此風險

# 23座

單一洪水事件  
癱瘓電廠數量  
(日本2011年)

# 臺灣：地震與颱風的複合式災害

## 2001年 & 2004年：傳統水力發電的災害經驗

1999年集集大地震後山區脆弱，接連兩次颱風(桃芝、敏督利)行經臺灣

- ▶ 嚴重土石流損壞尾水管與戶外配電盤
- ▶ 地下廠房遭洪水淹沒，設備全損
- ▶ 地震後地層鬆動風險增加——複合式災害



集集地震前



集集地震後(1999)



桃芝颱風後



敏督利颱風後(2004)



# 印度：冰川引發洪水

## 印度 Chamoli (2021)



### ■ 喜馬拉雅山區冰川潰決引發洪水

- ▶ 冰川潰決夾帶碎石、岩石、冰川
- ▶ 摧毀新建攔河堰與橋樑基礎設施
- ▶ 兩座水力項目受損，施工中設施全毀
- ▶ 大量工人受困山區，救援困難

### ■ 此類「冰川湖爆發 (Glacial Lake Outburst Flood, GLOF)」因氣候變遷而頻率增加



圖片取自：<https://www.indiatoday.in/science/story/chamoli-disaster-ice-avalanche-tapovan-uttarakhand-ndrf-1815444-2021-06-16>

# 馬來西亞：閃電水災對微水力電廠的威脅



## ■ 東南亞熱帶雨林地帶的特殊挑戰

- ▶ 洪水佔自然災害近40%
- ▶ 馬來西亞偏遠地區微水力設施頻繁遭受「閃電水災 (Flash Floods)」衝擊
- ▶ 閃電水災發生快速，幾乎無預警時間，設施幾乎無法提前應對
- ▶ 強大水流及沉積物阻塞、破壞重要結構
- ▶ 偏遠地區基礎設施維修困難，零件取得耗時數週至數月

## 二、乾旱災害：緩慢逼近的「沉默殺手」



- 與洪水不同，乾旱的衝擊是**漸進式**的
- 乾旱造成之威脅：
  - ▶ 逕流量減少，水力發電量隨之下降
  - ▶ 電網被迫轉向成本更高、污染更大的火力發電
  - ▶ 枯水期加劇水資源競爭：發電 vs 農業灌溉 vs 工業用水 vs 民生用水
  - ▶ 氣候變遷加劇：乾旱持續時間延長、發生頻率增加
  - ▶ 長期投資信心受損：乾旱風險提高融資難度與保費成本

# 乾旱的代價：以智利為鑑 (2000–2024)

24.5%

水力發電損失

乾旱期間平均水力  
發電量減少幅度

+28%

火力發電增加

系統補充  
火力發電比例上升

↑CO<sub>2</sub>

碳排放上升

發電替代組合  
環境代價加重

# 乾旱衝擊

## 社會衝擊



- 電網穩定性惡化
- 高依賴水力地區供電短缺
- 需強制調整民眾用電行為
- 農業社區與小水力爭水
- 偏遠無電地區首當其衝

## 經濟衝擊



- 發電收益減少
- 電價有機會隨之上漲
- 小水力投資吸引力下降
- 保費與融資利率隨乾旱風險提高

## 環境衝擊



- 河川生態基流量不足
- 水生棲地面臨乾涸壓力
- 火力替代增加碳排放
- 地下水超抽惡化乾旱循環
- 流域微氣候調節功能弱化

# 國際案例：波蘭

## 投資者的寒冬：反覆乾旱讓小水力發展舉步維艱

### 波蘭小水力困境：

- ▶ 重複性長期乾旱已成小水力發展的重大屏障
- ▶ 投資者因「逕流量不確定性」而信心嚴重不足
- ▶ 波蘭研究強調：小水力發展需與區域水資源管理整合



Bukowina Bobrzańska 小型水力發電廠  
該發電廠安裝Kaplan-1550渦輪機

# 三 地震災害：結構性損壞 × 複合災害連鎖

## ■ 地震的威脅不止於「震當下」——震後次年的雨季往往是更大的考驗

### 直接結構破壞：

- ▶ 壓力鋼管（Penstock）爆裂或錨座裂縫，高壓水流洩漏
- ▶ 導水路變形、廠房結構倒塌或嚴重龜裂
- ▶ 電氣設備因震動而損壞，如發電機軸承破碎

### 複合型長期衝擊：

- ▶ 山崩事件顯著增加集水區泥沙輸送量
- ▶ 河床抬升導致取水口長期頻繁堵塞

# 地震對小水力發電衝擊



## 社會衝擊



- 偏遠村落喪失唯一電源
- 震後救災期電力需求激增
- 長期停電影響通訊與資訊
- 農業灌溉與加工受影響



## 經濟衝擊



- 壓力鋼管等修復費用極高
- 雨季新增淤積而反覆停工
- 清淤人力與機械成本龐大
- 修復期間保費與貸款壓力



## 環境衝擊



- 地震誘發山坡地崩塌
- 大量泥沙進入河川中
- 河床劇烈抬升改變水文
- 淤積問題可持續5-10年
- 生態系統恢復時間漫長

# 國際案例：尼泊爾 NEPAL

## 2015年Gorkha地震：數百座微水力電廠（MHP）受損

### 地震直接損壞型態：

- ▶ 壓力鋼管大量裂縫
- ▶ 發電機軸承破碎，需緊急更換
- ▶ 配電線路斷裂，村落孤立無援
- ▶ 廠房結構裂縫，部分面臨倒塌風險

# 數百座

微水力電廠受損

尼泊爾2015

# 國際案例： 印尼 INDONESIA

## Kokok Putih電廠：震後雨季淤積，發電量剩6.7%

- 2018年龍目島地震背景：
  - ▶ 集水區嚴重受損，山坡崩塌面積廣大
  - ▶ 河床因大量崩積物顯著抬升
- 震後雨季的惡夢：
  - ▶ 每逢降雨，大量泥沙、石塊進入水道
  - ▶ 取水口頻繁堵塞，停機時間飆升
  - ▶ 2020年3月單月產量，僅為震前平均的 6.7%



6.7%

2020年3月  
剩餘發電量  
(震前基準)

# 四、 電廠火災：低頻率高衝擊的「電氣定時炸彈」



- 火災在水力電廠屬低頻率事件，但一旦發生，後果往往是毀滅性的
- 主要起火原因：
  - ▶ 老舊電纜絕緣劣化：超過50年使用年限的低壓電纜，表面碳化漏電
  - ▶ 電纜接頭鬆動：螺栓鬆動產生電弧，迅速引燃周邊材料
  - ▶ 油浸式設備：變壓器或油斷路器洩油遇電弧起火
- 危害擴大因素：
  - ▶ 地下廠房通風不足，煙霧濃度快速上升
  - ▶ 油霧爆炸風險：密閉空間內的致命威脅

# 火災衝擊



## 社會衝擊



- 現場工作人員生命安全威脅
- 含金屬粒子煙塵損傷呼吸系統
- 地下廠房逃生路線複雜
- 停電影響社區供電



## 經濟衝擊



- 精密控制系統全毀，更換成本昂貴
- 火災煙塵對電子設備致命
- 停工期不確定，損失難以估算
- 設備採購可能面臨供應鏈延遲



## 環境衝擊



- 油浸式變壓器起火導致漏油
- 油品污染附近水體與土壤
- 消防用水含泡沫劑可能入河
- 廢棄設備處置的環境責任
- 煙塵中的金屬微粒散布

# 日本與美國：老舊電纜的危害

## ■ 日本 2015年案例

起因：使用超過50年的老舊低壓電纜

- ▶ 電纜絕緣層表面碳化，發生漏電
- ▶ 漏電引燃控制室，整座水壩控制中心

燒毀

- ▶ 1980年另一案例：斷路器螺栓鬆動→電弧→配電室火災，蔓延至上方電纜

## ■ 美國 2012年案例

起因：抽蓄電廠控制室下方電纜起火

- ▶ 火勢快速蔓延至整座控制中心
- ▶ 設施全面停工，修復週期長達數月

## ■ 防災整備措施

- ▶ 定期進行檢測是關鍵防線
- ▶ 超齡電纜「還能用」不代表「安全」——應主動汰換



# 四大災害類型綜合比較

災害類型	發生頻率	預警時間	主要損壞設施	代表案例
 洪水、颱風	高	數小時~天	取水口·廠房·配電盤	日本2011、台灣
 乾旱	中高	數週~月	發電量損失（間接）	智利、波蘭
 地震	低~中	幾乎無	壓力鋼管、廠房、配電盤	尼泊爾2015、印尼
 火災	低	無（突發）	控制室、電纜	日本2015、美國

# 貳、災害整備與應變作法

災前整備 × 災中應變 × 災後復原三階段

PREPAREDNESS & RESPONSE

# 三階段行動框架

1

## Phase 1 災前整備

風險評估  
硬體強固  
技術預警  
維運制度  
演練規劃

2

## Phase 2 災中應變

提早關機  
人員協調  
自動化保護

3

## Phase 3 災後復原

清淤修復  
策略升級  
備援設計  
財務機制  
社區民眾參與

# 一、災前整備：風險評估與危害地圖

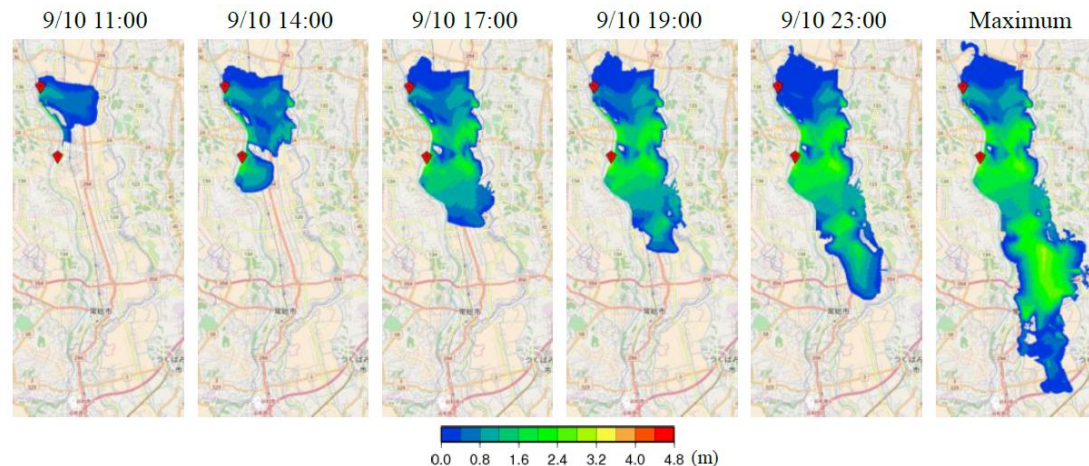
## ■ 「知道風險在哪裡」是所有防災工作的第一步

## ■ 危害地圖 (Hazard Map) 建立：

- ▶ 整合衛星影像與無人機高解析度測繪，建立數位高程模型 (DEM)
- ▶ 標示山崩、淹水、土石流高風險區域及潛在天然壩形成地點
- ▶ 應用 GIS 工具分析流域水文特性，識別脆弱節點

## ■ FLOOD View 模擬系統：

- ▶ 圖形介面系統模擬不同降雨情境下的洪水與土石流影響範圍
- ▶ 獲得沉積物高度、水深、流速、床面變化及特定點流體力的分布
- ▶ 以視覺化結果排定防災工程的優先順序，最佳化有限資源配置





# 一、災前整備：廠房硬體強固措施

## ■ 防水密封：

- ▶ 封閉所有電纜穿孔（使用防火密封材料）
- ▶ 廠房入口設置防洪閘門或準備充足沙包
- ▶ 通風口設置於盡可能高的位置
- ▶ 排水管安裝逆止閥，防止洪水逆流入廠

## ■ 抬高關鍵設備：

- ▶ 控制中心設置於高處，遠離地面洪水
- ▶ 定期檢查排水泵及備用電源，確保運作正常

## ■ 設備安全強化：

- ▶ 定期檢測並主動汰換老舊電纜與絕緣材料
- ▶ 安裝煙霧偵測器與自動滅火設備

# 一、災前整備：預警系統與技術工具



## ■ 氣象監測整合：

- ▶ 即時接收氣象局颱風路徑與降雨預報，建立「應對時間軸」
- ▶ 設置流域上游水位計與雨量計，即時回傳警戒數值
- ▶ 建立多層級預警門檻及應變指令

## ■ 自動化與數位化：

- ▶ 遠端監控系統即時掌握設施運作狀態
- ▶ 數位保護繼電器提高電氣故障偵測靈敏度
- ▶ 無人機定期巡查難以進入的山區水道與取水口，作為後期防護及巡檢之基礎。

# 一、災前整備：維運制度與演練規劃



## ■ 定期維護制度：

- ▶ 制定年度設備健檢計畫，特別針對電纜、壓力鋼管錨座、排水系統
- ▶ 建立設備履歷檔案，追蹤使用年限，主動排程更換超齡設備
- ▶ 颱風季前執行「緊急整備清單」

## ■ 應變演練：

- ▶ 每年至少一次模擬洪水緊急停機演練
- ▶ 確保所有員工熟悉逃生路線，特別是地下廠房工作人員

## 二、災中應變：設施操作準則與人員安全



### ■ 提早關機：

- ▶ 當上游水位超過預設警戒線，立即放棄發電、關閉閘門
- ▶ 關閘可防止大量泥沙進入水道與水輪機，避免嚴重磨損
- ▶ 預設自動停機功能，確保無人值守時仍能保護設施

### ■ 閘門操作標準：

- ▶ 洪水期間可適當開啟排砂閘，協助排除淤沙
- ▶ 操作閘門人員應配備個人安全裝備，避免在高水位時進行危險操作

### ■ 兩車原則：

- ▶ 颱風、洪水期間，人員外出巡視必須配置兩部車輛
- ▶ 確保在道路阻塞或車輛受損時，仍有備用車輛可撤退或求援

## 二、災中應變：自動化保護與電氣管理



### ■ 電氣自動化保護：

- ▶ 強化數位保護繼電器靈敏度，確保電氣故障時能立即隔離受災區域
- ▶ 設置不斷電系統，確保控制系統在電力中斷時仍能持續運作

### ■ 遠端監控管理：

- ▶ 災中若道路中斷，可透過數位保護繼電器遠端監控並遙控閘門操作
- ▶ 設備狀態異常警報應同時發送至多個人員，避免單點失效

### ■ 優先保護清單：

- ▶ 控制系統、發電機組、壓力鋼管、取水設施

# 三、災後復原：緊急清淤與結構修復



## ■ 第一步：確認人員安全，建立現場安全後再展開復原作業

### ■ 清淤作業：

- ▶ 調動挖掘機加速水道清淤，優先恢復取水口功能
- ▶ 設置臨時攔砂壩或篩網，降低短期內再度淤塞的風險

### ■ 結構修復：

- ▶ 壓力鋼管裂縫：視損壞程度決定焊接修復或整段更換
- ▶ 廠房結構：請土木工程師評估，排除二次崩塌風險後再施工
- ▶ 電氣設備：委託專業廠商進行精密設備清洗與測試後才可重新通電

# 三、災後復原：「不只是修復」——策略性升級



- 災後重建是亦是升級機會，不應只求恢復原狀，更要提升未來應變能力
- 設備升級：
  - ▶ 評估更換適應高含砂水流的 Francis 水輪機（相較 Pelton/Crossflow 效率更佳）
  - ▶ 升級老舊控制系統為現代化智慧裝置，增加遠端監控能力
- 冗餘設計（Redundancy Design）：
  - ▶ 增設第二取水口或備用導水路：主取水口清淤期間，備用口維持基本發電
  - ▶ 廠房入口安裝洪水閘門（Flood Gate），降低土砂衝擊威脅

# 三、災後復原：財務機制與社群支持



## ■ 穩定的財務機制是重要支持

### ■ 修復基金建立：

- ▶ 每月預留固定金額於維修儲備基金 (Maintenance Reserve Fund)
- ▶ 結合政府補助、NGO 支持，建立多元資金來源

### ■ 社區自籌維修基金

- ▶ 提高農業附加價值（如有機米、咖啡豆等特色農產品加工）補貼電廠維修經費
- ▶ 發展「綠色旅遊」與「農務體驗」等多元收入，降低對電費收入的過度依賴

### ■ 社區參與：

- ▶ 訓練在地居民成為維護人員，降低偏遠地區的技术依賴與維護成本，提升當地就業機會



# 參、國際案例啟示

# 1. 印尼 — Kokok Putih

## 從93%停工到幾乎完全恢復：備援設計的功效

### ■ 問題根源：

- ▶ 2018年龍目島地震後，河床抬升，雨季泥沙量激增
- ▶ 取水口反覆堵塞，2020年雨季停機1541小時

### ■ 階段性緩解措施：

- ▶ 2020年：增建第二個取水口，提供清淤時的備用進水
- ▶ 2021年：增購挖掘機 + 建設與原水道平行的備用導水路

### ■ 成果：停機時間從1541小時縮短至僅3小時



	2020	2021	2022	2023
January	373	91	5	2
February	454	116	3	1
March	573	-	-	
April	141	-	-	
Total	1.541	207	8	3
		<i>A decline of 87% relative to the 2020 baseline</i>	<i>A decline of 96% relative to the 2021 baseline</i>	<i>A decline of 98% relative to the 2021 baseline</i>

# 1. 印尼 Kokok Putih：三年緩解行動時間軸

1

**2018  
地震**

龍目島地震  
集水區崩塌  
河床大幅抬升  
泥沙輸送量激增

2

**2020  
危機**

災後雨季  
停機1541小時  
發電效率驟降  
僅剩6.7%產能

3

**2020  
行動①**

建設第二取水口  
主口清淤時  
備用口維持供水

4

**2021  
行動②**

增購挖掘機  
建設平行備用  
導水路系統

5

**2023後  
成果**

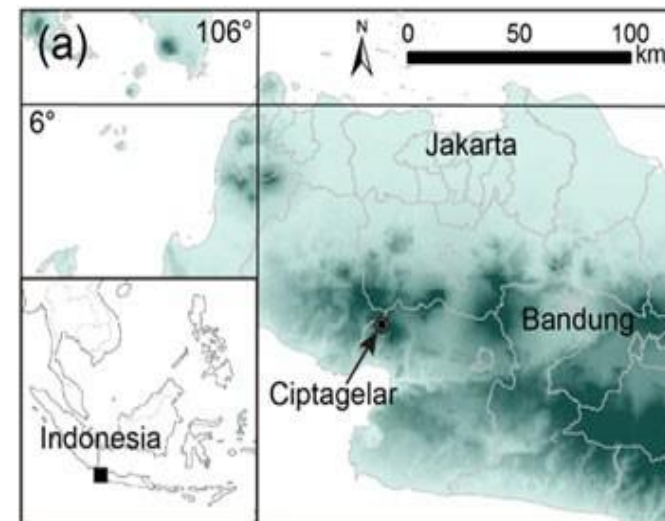
雨季停機時間  
縮短至僅3小時  
發電能力基本  
全面恢復

## 2. 印尼 — Ciptagelar

### 無人機地圖讓村民讀懂風險且融入地方知識

#### ■ 背景：

- ▶ 位於哈利蒙山國家公園邊界、陡峭山區、難以抵達
- ▶ Ciptagelar 是西爪哇的傳統農業村落，擁有村莊自建小水力電廠
- ▶ 村民不熟悉科學技術語言，難以理解艱澀的風險評估報告
- ▶ 發電用於農村中電燈照明、電視、智慧型手機充電
- ▶ 災害：洪水導致進水口損毀，停電七個月



## 2. 印尼 — Ciptagelar

### 無人機地圖讓村民讀懂風險且融入地方知識

#### ■ 災害整備做法：

- ▶ 科學家透過無人機測繪，建立高解析度數位高程模型（DEM）
- ▶ 製作直觀的洪水風險視覺化地圖，以村民熟悉的地名標示風險區域
- ▶ 與村長（Abah）合作，將科學知識嵌入傳統文化決策脈絡



# 3.尼泊爾 — 災後重建

## 修復升級：轉型契機

### 災後升級策略：

- ▶ 地震致大量泥沙進入河流，原有 Pelton 及 Crossflow 水輪機磨損嚴重
- ▶ 趁修復時機，評估升級為更適應高含砂水流的 Francis 水輪機

### 社會企業財務模式：

- ▶ 偏遠農村居民收入低，難以支付高額修復費用
- ▶ 透過提高有機米等農產品附加價值，建立電廠修復基金
- ▶ 社會企業模式讓電廠維護與農村發展形成正向循環

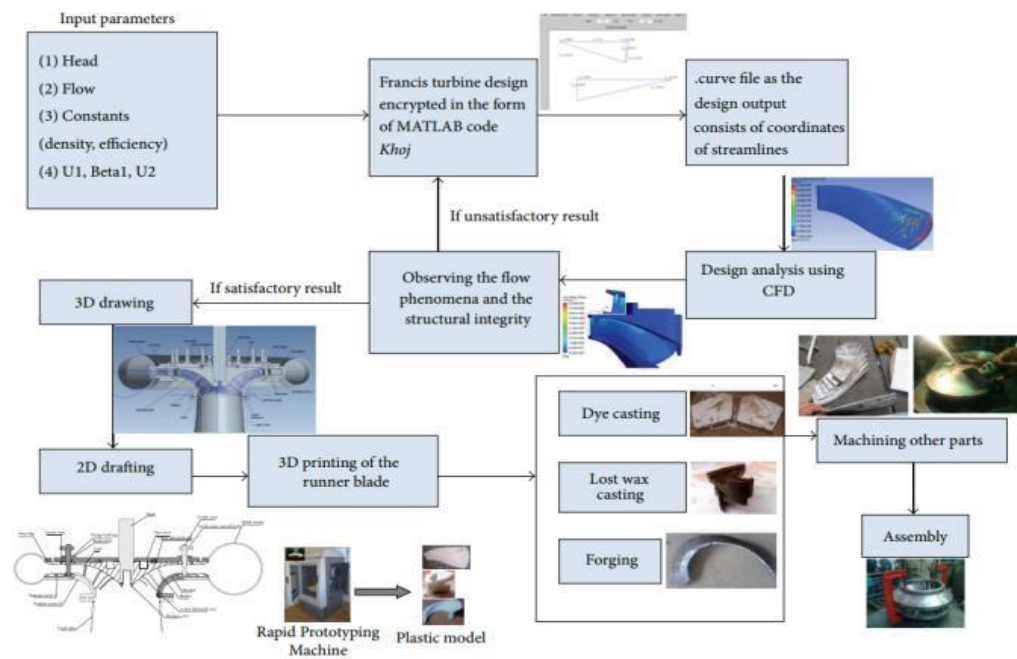


# 3.尼泊爾 — 災後重建

## 2015年Gorkha地震：數百座微水力電廠（MHP）受損

### 災後策略性升級：

- ▶ 修復時考慮更換為適應高含砂水流的 Francis 水輪機
- ▶ 建立社區維修基金



# 肆、 災害整備策略總結

技術 × 社群 × 財務三軌整合，打造的小水力

# 災害整備的組成

1

**氣候預測**

高溫  
極端降雨  
冰川消融

2

**災害情境  
識別**

識別洪水、乾旱、地震等  
所造成的災害情境

3

**災害整備  
對策**

災前  
災中  
災後



# 一、氣候預測

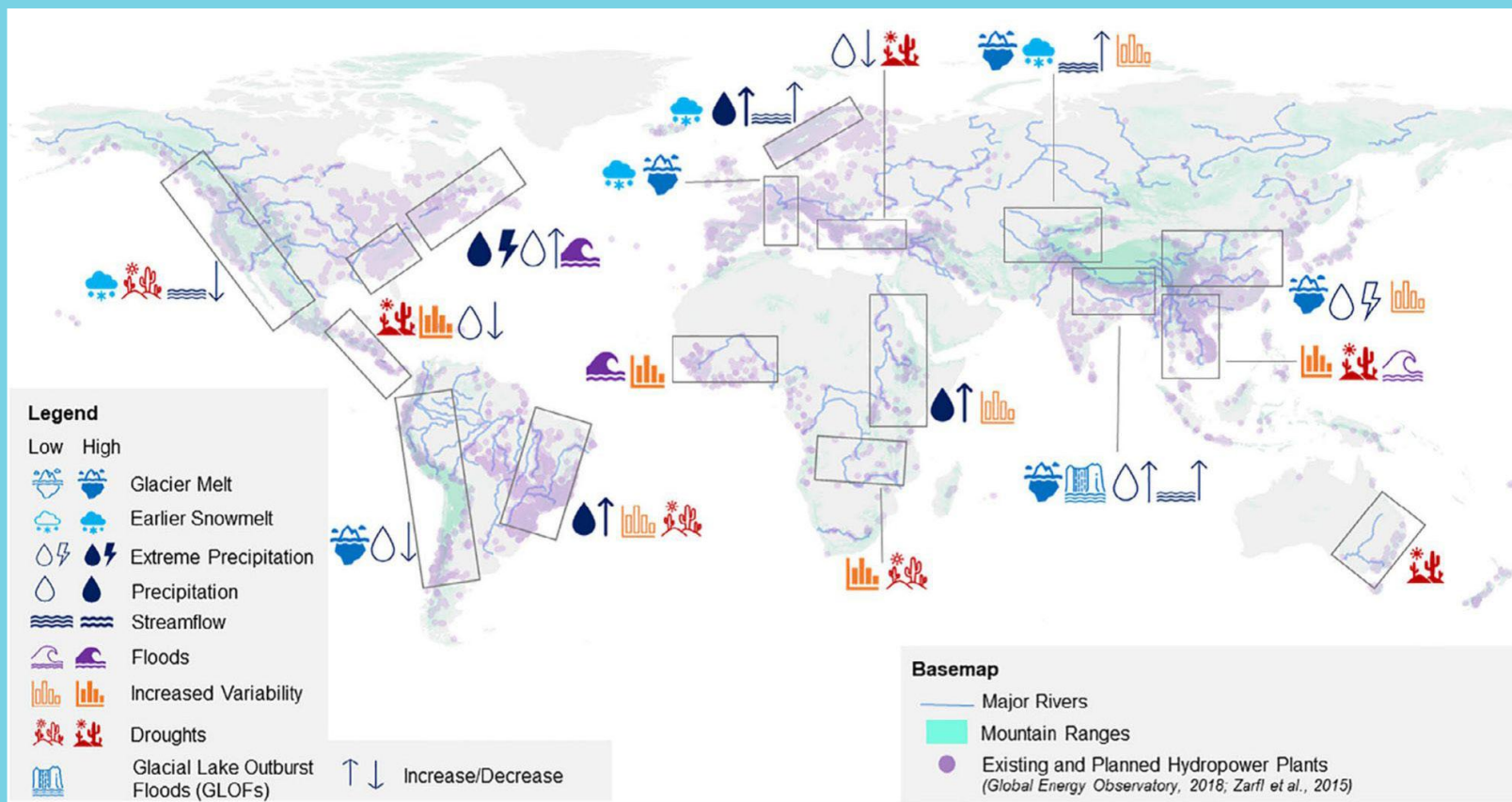
每個區域、地點須遵循不同氣候變遷情境預測小水力所可能發生之災害風險

氣候變遷情境

極端降雨、高溫、冰川消融等

危害

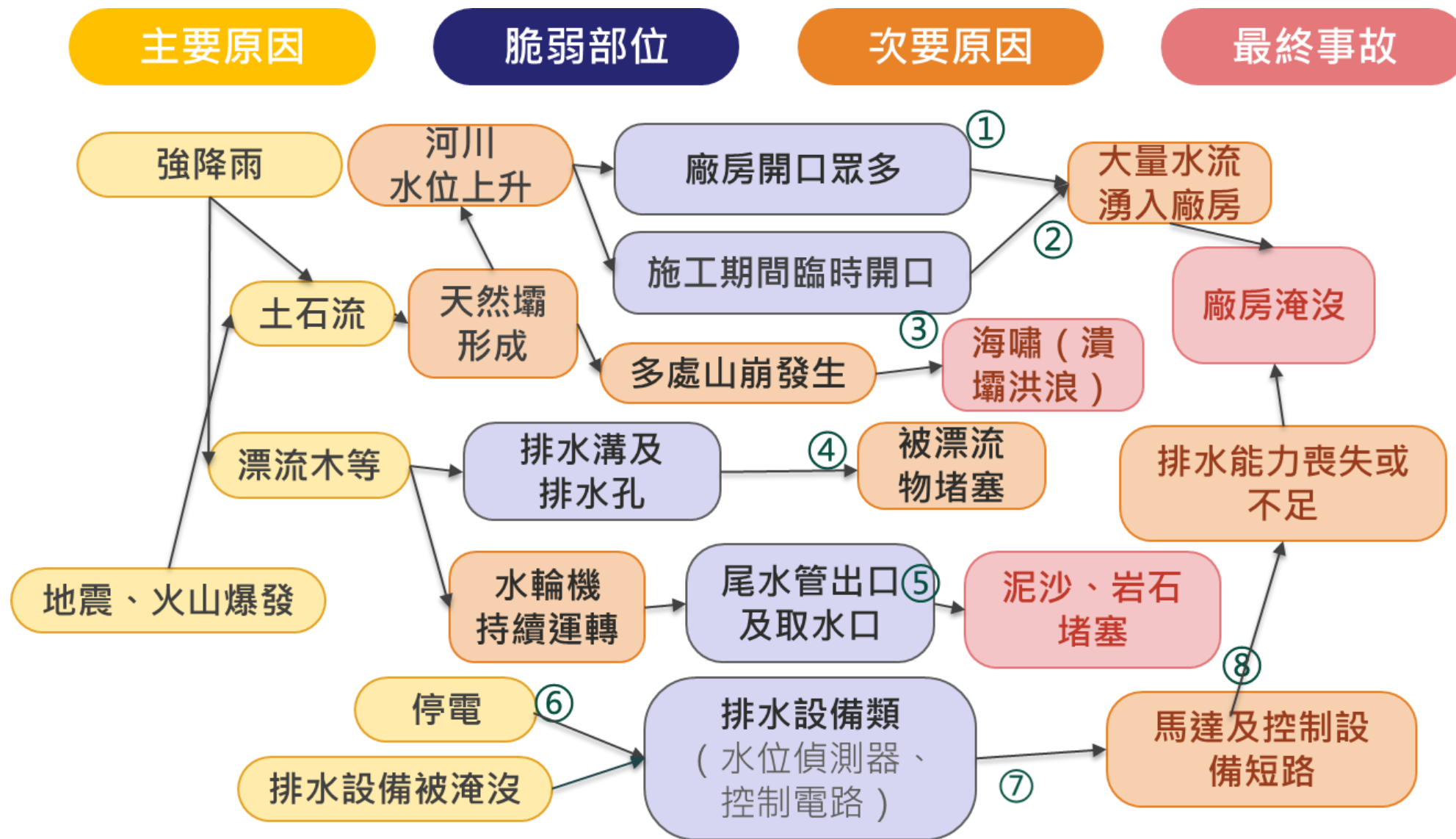
洪水、乾旱、火災等



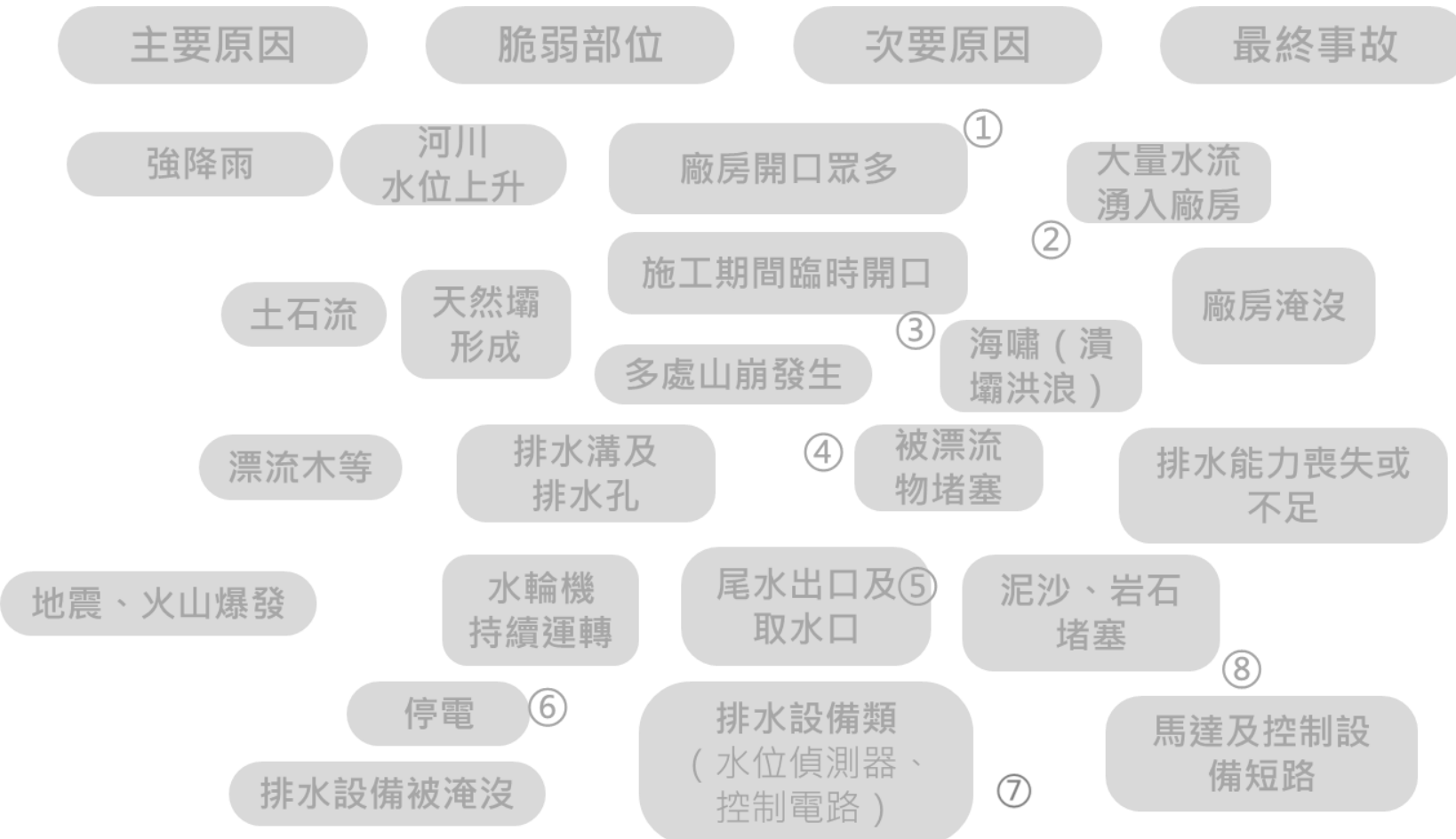
氣候變遷對全球水力發電的主要影響 (UNIDO, 2022)

# 二、災害情境識別

水力電廠洪水可能發生之情境



# 三、災害整備對策



## 災害整備對策

- ① 封閉所有開口
- ② 備妥充足排水設備
- ③ 運用危害地圖：確保人員安全
- ④ 定期清潔排水管
- ⑤ 提早停止運行並關閉閘門
- ⑥ 確保備用電源
- ⑦ 控制設備設於較高位置
- ⑧ 備置緊急抽水機

水力電廠洪水可能發生之情境

# 三、 災害整備對策

## 三階段行動框架

1

### Phase 1 災前整備

風險評估  
硬體強固  
技術預警  
維運制度  
演練規劃

2

### Phase 2 災中應變

提早關機  
人員協調  
自動化保護

3

### Phase 3 災後復原

清淤修復  
策略升級  
備援設計  
財務機制  
社區民眾參與

# 三、災害整備對策

## 災害整備關鍵因子

### 備援設計

不依賴單一取水口或水道——  
第二取水口、備用導水路是關鍵

### 社區參與

技術方案必須嵌入當地文化與  
社群決策體系才能持續運作

### 視覺化溝通

無人機測繪與風險地圖讓所有  
利害關係人看懂風險在哪裡

### 升級而非復原

災後修復是升級設備與設計  
的最佳時機，不應只求恢復原狀

### 永續財務

修復基金是  
偏遠電廠生存的財務命脈

### 跨域合作

土木、林業、生態、社會科學  
跨學科整合才能根本解決問題

# Principles for RESILIENT INFRASTRUCTURE

## 彈性基礎設施原則



# 肆、小水力設施韌性原則



# 小水力設施之六大原則總覽

## 原則一 持續學習

以水文、氣候、地震、土砂與設備資料持續校正風險假設

## 原則二 主動防護

以安全餘裕、冗餘、演練與維護，降低停機與失效後果

## 原則三 環境整合

把流域、生態系、環境流量與自然解方納入設施規劃

## 原則四 社會參與

強化預警、資訊揭露、用水溝通與地方社群參與。

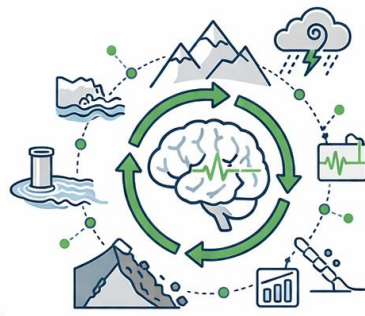
## 原則五 共同責任

打通主管機關、操作單位、地方政府與利害關係人的資訊鏈

## 原則六 調適轉型

保留操作彈性與轉型能力，以因應未來需求與環境變遷

# 小水力設施之六大原則



## 原則一 持續學習

其目標在於提升整體流域基礎設施的監測、預警、應變與復原能力，使系統在面對多重災害與突發事件時，仍能維持安全運作、降低災害擴散風險，並確保供水與相關服務的穩定性

### 具體內容

- 建立流域尺度風險情境，納入極端洪水、長期乾旱、上游崩塌土砂、電網中斷及通訊失效等複合事件
- 透過感測器與監控系統，即時掌握流量、水位、震動、滲流、閘門、機組及邊坡等關鍵狀態
- 定期辦理壓力測試與應變演練，檢視壩體、取水口、渠道、機電設備及備援程序面對複合風險時的承受能力
- 採行可控失效思維，使局部失效能被及時控制，避免擴大為下游重大災害或長時間停供
- 將維護工作視為韌性投資，而非可延後處理的支出



# 小水力設施之六大原則

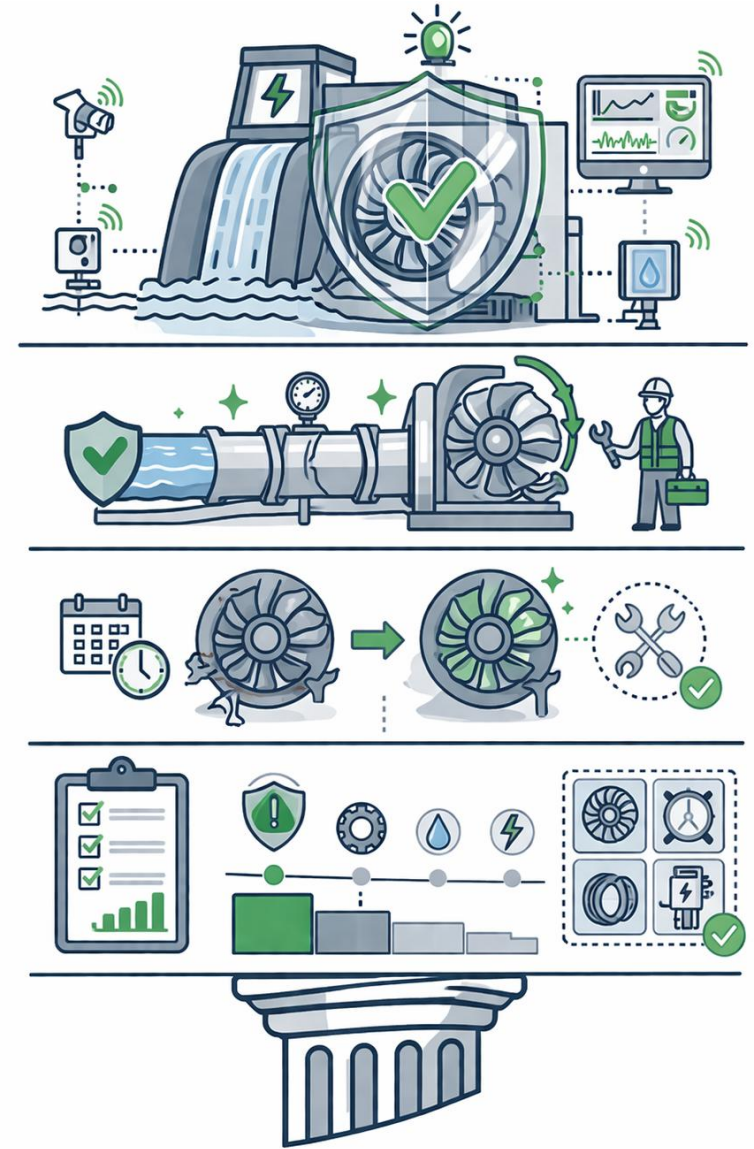
## 原則二 主動防護



其目標在於透過即時監測、預防維護與風險排序，提升水力設施的運轉可靠度與資產管理效率，在控制成本的同時，避免不必要的全面更新，並將資源集中投入對安全與穩定運作最重要的設施項目

### 具體內容

- 即時監測有助於及早發現異常，降低後續修復成本
- 老舊且長壽命的管線或設施，若維護得宜，仍可維持較低損失率
- 設施老化不必然代表必須全面汰換，維護與管理同樣能有效延長使用效能
- 水力設施應建立年度維護優先順序，優先處理高風險、高後果的關鍵構件



# 小水力設施之六大原則



## 原則三 環境整合

本原則的目標，在於將水力設施的韌性思維，由單一工程構造擴大至整體流域與生態系統，透過自然型或混合型措施降低災害風險、提升環境調適能力，並兼顧設施功能、河川健康與長期永續。

### 具體內容

- 將集水區、生態系統、環境流量與河道連通性納入設施韌性規劃
- 兼顧上游集水、下游需求與整體河川健康
- 優先採用自然型或混合型解方，如保水、邊坡穩定、洪峰削減及生態復育
- 以流域整體管理降低災害風險與環境衝擊
- 在維持設施功能的同時，兼顧生態保全與長期永續



# 小水力設施之六大原則

## 原則四 社會參與



本原則的目標，在於透過資訊公開、風險溝通與利害關係人參與，強化社會對水力設施運作與調度的理解與信任，降低衝突與治理阻力，進而提升整體系統在平時與災時的應變能力與治理韌性

### 具體內容

- 重大操作調整前，應讓地方社群、農業用戶及下游居民理解風險與取捨
- 建立資訊公開與風險溝通機制，提升決策透明度
- 災時公開資訊，平時推動韌性教育
- 逐步提升災害應變能力、提供即時且透明資訊，減少衝突
- 強化管理單位與地方利害關係人的協作關係



# 小水力設施之六大原則

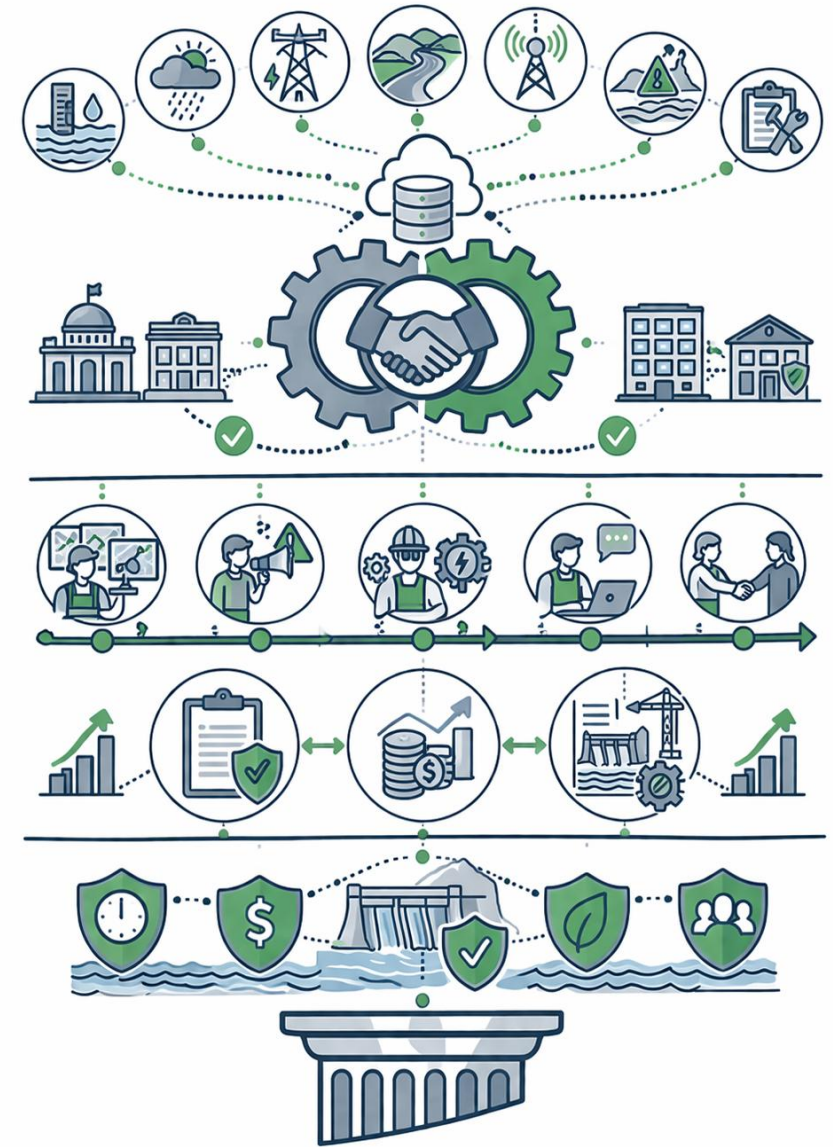


## 原則五 共同責任

本原則的目標，在於透過跨機關協作、資訊共享與權責明確化，提升整體治理效率與應變協調能力，並結合財務與更新機制，降低設施老化與改造延宕帶來的風險

### 具體內容

- 建立跨機關資料共享機制，整合水文、氣象、電網、道路、通訊、災情及維修資訊
- 明確界定權責分工，包含調度、警戒發布、備援啟動及對外溝通等任務
- 建立跨單位協作流程，降低災時資訊落差與決策延誤
- 將保險、融資及更新計畫相互連動，提升設施改造與風險管理效率
- 透過制度化合作，降低延宕更新造成的韌性損失



# 小水力設施之六大原則

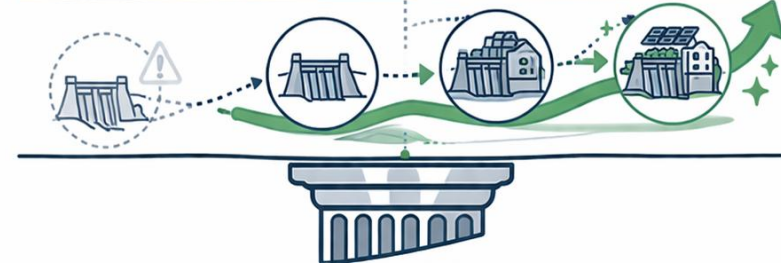


## 原則六 調適轉型

本原則的目標，在於提升制度與設施面對不確定風險的調適能力，不只回到原有狀態，而是藉由調整與改良，推動系統朝向更安全、更靈活且更具韌性的方向轉型

### 具體內容

- 保留操作彈性與人工判斷空間，避免系統僵化
- 面對氣候變遷與需求變化時，允許制度與操作模式適時調整
- 建立可滾動修正的管理與應變機制，提升因應不確定性的能力
- 不僅追求災後恢復原狀，更應朝向重建更好與功能提升
- 將災害經驗轉化為制度學習與系統改良的契機



**簡報結束**

**感謝聆聽**