

# 大甲溪土砂災害評估與效益分析 —以青山電廠復建為例

沈哲緯、鄭錦桐

## 摘要

大甲溪流域在 921 重大震災後，又歷經桃芝颱風、敏督利颱風、艾利颱風、海棠颱風、泰利颱風、龍王颱風、六九豪雨與聖帕颱風等豪雨風災事件，其中以敏督利颱風造成之災損最為嚴重，敏督利颱風期間引發德基水庫以下至馬鞍調整池間大量邊坡崩塌及土石流，並釀成沖毀路基、淤積河道、抬高洪水位等現象，致使大甲溪發電廠之德基、青山、谷關、天輪、馬鞍等分廠均遭受災害，尤以青山分廠最為嚴重。然而，大甲溪發電廠青山分廠具有提供快速啟動之尖峰電源、調節系統頻率及提昇系統電力品質之發電優勢，實有必要探討各事件後大甲溪流域德基至谷關段之主河道與各支流之崩場地、土石流以及河道沖淤狀況。本研究利用 3S(GIS、GPS、Remote Sensing)技術，運用各豪雨事件前後期之遙測影像資料，搭配雨量與流量資料，評估大甲溪主河道與各支流崩場地及土石流之土砂產量，並以 HEC-6 程式進行大甲溪主河道長期之沖淤趨勢模擬。本研究藉各項分析與現調結果提出地質逐漸趨於穩定，且無惡化跡象之事證，並以經濟效益分析輔助解答青山分廠復建之經濟價值與必要性，最後根據復建計畫所涵蓋的範圍未來可能面臨的致災問題提出因應對策，以提供青山分廠復建安全性參考。

**關鍵字：**崩場地、土石流、河道沖淤、3S 技術、經濟效益分析。

沈哲緯：國立臺灣大學土木工程學系博士生及財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員(cwshen@sinotech.org.tw)。鄭錦桐：財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心副理。

© 2012 Crisis Management Society, Taiwan, R.O.C.  
Manuscript received December 7, 2011; accepted February 20, 2012. JCM120301697ENS

## 1 前言

大甲溪流域在 921 地震(1999/09/21)後，又歷經桃芝颱風(2001/07/30)、敏督利颱風(2004/06/28)、艾利颱風(2004/08/23)、海棠颱風(2005/07/18)、泰利颱風(2005/08/31)、龍王颱風(2005/10/01)、六九豪雨(2006/06/09)與聖帕颱風(2007/08/18)等風災事件，其中以敏督利颱風造成之災損最為嚴重，敏督利颱風期間引發德基水庫以下至馬鞍調整池間大量邊坡崩塌及土石流，並釀成沖毀路基、淤積河道、抬高洪水位等現象，導致大甲溪發電廠之德基、青山、谷關、天輪、馬鞍等分廠均遭受災害，尤以青山分廠最為嚴重。青山分廠復建區域位於德基壩至谷關壩之間，本研究之研究區域及大甲溪流域各子集水區與電廠分廠如圖 1 所示。

本研究主要利用 3S 技術，運用各豪雨事件前後期之遙測影像資料，搭配雨量與流量資料，評估大甲溪主河道與各支流崩場地及土石流之土砂產量，並以 HEC-6 程式進行大甲溪主河道長期之沖淤趨勢模擬，綜合評估大甲溪主河道與各支流土砂產量與河川輸砂行為是否已趨於穩定，並針對研究區域進行地震發生頻率分析與機率式地震危害度分析(Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA)，評估施工期間與未來營運時強震發生之可能性，並以各豪雨事件前後之崩場地統計分析，搭配現地調查結果舉證地質逐漸趨於穩定尚無惡化跡象之事實。另外，採用經濟學上之投資方案經濟評估準則中的「報酬率法」與「成本-效益比值法」，進行經濟效益分析以說明青山分廠復建之經濟價值與必要性，最後探討研究區未來可能面臨的內部與外部主要關

鏈致災問題，並提出因應對策，提供青山分廠復建安全性之參考。

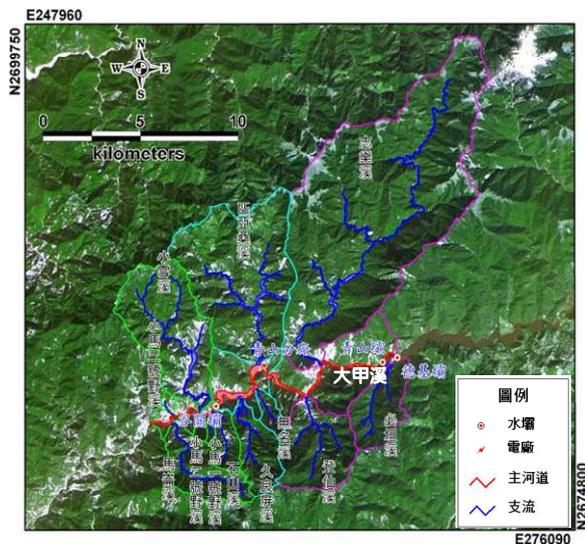


圖 1 大甲河流域馬鞍壩上游各子集水區與電廠分廠分布圖

## 2 復建計畫概述與效益評估

台電公司「大甲河流域聯合整體治理方針」結論中提到水力發電具有穩定頻率、調節尖峰用電量、以及快速啟動之功能，對於台灣整體電力供應為不可或缺之電源；考量水力發電對全國提供穩定電源與供電品質之重要性，受損之青山分廠應儘速修復運轉。以下就青山分廠復建原則、復建工程內容與工程效益分析進行說明[1]：

### 2.1 復建原則

為避免再度遭受災損，考量以下原則，如此可避開外界自然力(如敏督利颱風)之影響，亦可減輕對周遭之影響。

- (1) 避開大甲溪河床淤積及洪水之影響。
- (2) 避開土石流及不穩定邊坡之影響。
- (3) 既有土木設施安全無虞下，補強保留利用。
- (4) 主要設施地下化及朝無人化運轉。

### 2.2 復建工程內容

青山分廠復建工程主要包括三大部分，分別為土木結構物工程、水工機械設備與永久性機電設備，詳如圖 2 所示，摘要說明如下[2]：

#### (1) 土木結構物

青山分廠土木結構物工程計有廠房區整建、新建尾水隧道延長段、新建廠區對外聯絡通道、新建地下開關場、青山壩及發電水路修復、開關場山側土石流溝治理、土石堆積場、復建配合工程等。

#### (2) 水工機械設備

上閘室內蝶閥更新、吸出管閘門更新、新建尾水出口處設置尾水閘門及其提吊設備 2 組及增設防洪閘門 3 組。

#### (3) 永久性機電設備

地下廠房區現有 4 部水輪發電機更新為豎軸法蘭西斯式水輪發電機組 4 部及附屬設備總裝置容量 36.8 萬瓩，淨尖峰能力 36.8 萬瓩，年平均發電量 621.71 百萬度。

## 2.3 工程效益分析

投資總額之估算係以民國 95 年 1 月之物價為基準，再調整至民國 99 年 7 月開工時之價位，並考慮間接工程成本、工程預備費、施工期間物價調整費、施工期間利息與促進電力開發協助金等因素，估算投資總額(民國 104 年 12 月商轉價位)為新台幣 17,334,090 千元。工程完成後，可恢復電力系統之淨尖峰能力 368,000 瓩，年平均發電量 621.71 百萬度。其投資效益可分為經濟評估與財務分析兩方面說明，各別以「發電效益」與「再生能源開發利用」兩方面進行經濟效益分析，分析方法採用經濟學上投資方案經濟評估準則中的報酬率法與成本-效益比值法進行，其中經濟評估乃以年效益、益本比與年淨效益表示，而財務分析乃是依據行政院主計處頒訂之「國營事業固定資產投資計畫編製評估要點」，按台電 9505 長期電源開發方案財務預測之電價評估結果，以民國 105 年為基年計算現值報酬率、投資收回年限與淨現值表示工程效益，效益值如表 1 所示[3]。分析結果顯示，青山分廠復建計畫益本比頗高，具有開發價值，然而因為仍有土砂災害問題，故須釐清地質逐漸趨於穩定

且土砂產量已逐漸減少，以提供青山分廠復建 安全性評估佐證[4]。

表 1 青山分廠復建計畫投資成本與效益評估成果

效益評估項目	投資成本		投資效益		
	評估項目	年成本 (仟元)	年效益 (仟元)	益本比	年淨效益 (仟元)
經濟評估 (按均化替代火力年成本計算)	僅計發電效益	1,309,077	3,284,238	2.509	1,975,161
	再生能源開發利用 (降低 CO <sub>2</sub> 污染排放量)	1,09,077	4,264,485	3.258	2,955,408
財務分析	評估項目	資金成本率	現值報酬率	投資收回年限(年)	投資收回年限 (百萬元)
	僅計發電效益	3.85%	7.54%	17.70	13,009
	再生能源開發利用 (降低 CO <sub>2</sub> 污染排放量)	3.85%	12.94%	9.29	34,602

資料來源：[3]



圖 2 大甲溪發電廠青山分廠復建計畫平面圖

資料來源：[5]

### 3 土石災害調查與評估

研究區域內之人為開發設施主要為台 8 線、台 8 甲線，以及電廠發電相關之壩、開關場等發變電設施，自 921 地震以來，大甲溪中、上游發生之崩塌地、土石流、河床淤積等事件，規模巨大，主要係由脆弱之淺層地質環境所引起，人為開發所引致之破壞十分有限。本研究調查評估方法為 3S 技術之應用 (RS/GIS/GPS)，評估項目分為現地地質調查與室內遙測判釋，其中現地地質調查以地表調查與直昇機空拍為主，輔以 GPS 紀錄點位；而室內遙測判釋主要利用各風災事件前後期之

衛星影像、數值高程模型(DEM)與航空照片進行分析，搭配雨量與流量資料(分析所用資料如表 2)，進而評估大甲溪主河道與各支流崩塌地、土石流之土砂產量與河道沖淤情形。

本區災損特性為歷經 921 地震後(重現期距 200 年)已誘發大量土石崩塌，爾後又歷經豪雨重現期距 100 年以上的敏督利颱風，在豪雨誘發下致使各子集水區皆有不小規模崩塌，然未來在施工期間發生與 921 地震或敏督利颱風相同強度之促崩因子機率相對較小，但各子集水區發生土石流與主河道淤積是否影響工程設施將為日後重點觀察議題(如圖 3)。以下茲分別就地震評估、崩塌地、土石流、河床淤積之現地調查與遙測分析結果進行說明，並舉證探討地質逐漸趨於穩定尚無惡化跡象之事實，以供青山分廠復建安全評估參用。

#### 3.1 現地地質調查

現地地質調查採用地表調查與直昇機空拍調查，並輔以 GPS 紀錄調查點位。經現地地質調查瞭解大甲溪上游集水區地質分區屬雪山山脈帶中部地質區，其地層主要由堅硬變質砂岩及石英質砂岩所構成之達見砂岩與白冷層，以及板劈理發達之佳陽層板岩所構成

(區域地質圖如圖 4)；由於本研究區位於台灣島受板塊擠壓運動較強烈區域，故區域內分布有較多的斷層與褶皺群，此亦為區域內崩塌地發達原因之一。由前述得知，本區域由於受板塊擠壓抬昇影響，河流下切快速，導致沿河兩岸山陡谷深，受河谷快速解壓、區域風化速率高及地質構造影響，區域內之邊坡地質原就偏於脆弱，復受 921 地震影響更加重其脆弱性 [5]。

另以台 8 線 40.5K 土石堆積場之現調結果說明土石堆積場基礎安全無虞，現調結果摘要說明如下：

- (1) 土石堆積場基礎岩盤出露，可排除場址基礎不穩定之疑慮。
- (2) 土石堆積場所在之河階地較河床高約 60 公尺，對岸坡地如發生大量土石崩落及 200 年重現期距之洪水暴漲，亦不致衝擊土石堆積場進而影響相關工程設施之安全(如圖 5)。

### 3.2 地震評估

民國 88 年 9 月 21 日發生規模( $M_L$ )7.3 之強震(921 地震)。其後民國 89 年 5 月 17 日青山分廠附近發生規模( $M_L$ )5.5 之地震(以下簡稱 517 地震)，因落石造成 4 死 9 傷，中橫公路多處嚴重坍方，密集之地震活動總計發生超過 1,000 次地震(包括無感地震)。有鑑於此，工程設計有必要充分瞭解區域發生強震之可能性，以維護復建工程安全[5]。

- (1) 由青山復建區域 50km 範圍內，106 年(1900~2006 年)之地震目錄統計顯示，發生類似集集大地震規模( $M_L$ 7.3)的發生頻率約 91 年發生一次，且規模( $M_L$ )7.0 以上之地震約 50 年會發生一次，所以工程使用年限內再遭遇大地震之機會不高。
- (2) 採用與時間相依模式(Time-dependent model)的機率式地震危害度分析概念，以反應 921 集集大地震釋放大量的地殼應變力能之後，台灣中部區域發生強震機率降低的情形，以合理進行機率式地震危害

度分析評估，若考慮未來復建工程完成後電廠再運轉 50 年，期間內有 2% 機率(即為 2500 年重現週期)會超越的強地動水準為 0.33g。

### 3.3 崩塌地

青山復建區域內之崩塌地主要是因為集集大地震之強烈地震動，搖撼原已地質脆弱之邊坡所造成，由於短期間內不易有新鮮風化的坡面再次崩落，因此可推斷在未來 50 年內，地震誘發之山崩規模不易再比 921 集集大地震更嚴重，以下說明研究區內德基壩至谷關壩間之崩塌地，自集集地震之前至 2007 年聖帕颱風為止之崩塌地穩定情形[4]。

- (1) 新增崩塌面積減小：集集地震所誘發之崩塌地面積增加最多，而歷次豪雨事件其新增之崩塌地面積有減少的趨勢，可以瞭解目前大甲溪流域集水區坡面受沖蝕而可產生崩塌之面積漸少，趨勢上已逐漸趨於穩定(如圖 6(a))。
- (2) 復育面積漸大：集集地震之後，有大量之不穩定鬆方殘留於坡面上，經敏督利颱風高達 200 年頻率年的雨量(不易發生的豪雨事件)，造成崩塌新增面積大於崩塌復育面積，此後之歷年豪雨，崩塌復育面積較新增崩塌面積為大，此顯示大甲溪流域大部分之崩塌裸露區域正趨向於復育穩定中(如圖 6(b))。
- (3) 崩塌地之崩落平均高差減小：崩塌發生以集集地震後之崩塌高程差最大，之後各期颱風事件的崩塌平均高程差之差異相近，由此可知大量崩塌土石乃是由集集地震所造成；而颱風事件中，地震後鬆動的土石受水的媒介而沖刷崩壞。近年豪雨造成崩塌量漸少，且崩落高差漸小，此顯示殘留於坡面上不穩定之土方已減少，且不易再有大量之崩塌發生。
- (4) 經現地調查亦發現，崩塌地裸露區域已多為岩盤裸露，短期內不易有表層風化破碎之材料再次崩塌，由各事件前後之數值地

形推估，目前堆積於大甲溪支流集水區河道上之土石約 40%~60%，仍將可能於未來各次豪雨分階段運移至主河道內而造成淤積；惟就整體趨勢而言，其運移至主河道之土石亦逐次減少。

### 3.4 土石流

土石流發生之主要三條件，分別為土石材料來源、河流地形條件及豐沛的雨量，以下針對遙測技術與現地調查之評估成果說明土石流之趨勢[4,5]。

- (1) 經野外調查以及遙測影像資料研判，921 地震造成大量崩塌，於後續颱風豪雨事件將支流集水區內崩落之土石陸續搬運至主河道形成堆積扇，並淤積於主河道。依前述崩塌地分析得知新增崩塌面積已有趨緩，故可新增之土石來源將有限，但尚須注意未來仍會有部分土石漸漸運移而下，並持續淤積於主河道中。
- (2) 未來短期發生類似 921 地震(近百年重現期距)而誘發大規模崩塌不易，且同時誘發發生如敏督利 100 重現期距之豪雨亦不容易。雖未來於復建區中仍有爆發土石流之可能性，但規模將相對較小，原因是已不易有大量崩落之土石材料提供。此外，工程施工階段應持續觀察研究區內各土石流潛勢溪流危害主要設施之可能。目前土石流發生次數以匹亞桑溪為最多，且潛在有較多之土石堆積於該支流河床上，海棠颱風至聖帕颱風後期間匹亞桑溪也發生過多次土石流(各期沖淤圖如圖 7)，本研究利用聖帕颱風後 DEM 推估土砂產量體 45 萬立方公尺，其對未來青山分廠復建之施工期間至為關鍵，應優先清淤。

### 3.5 河床淤積

集集大地震之後，歷次颱風豪雨事件造成大甲溪德基壩至谷關壩間之河床嚴重淤積，其發生原因為大甲溪主河道及其主要支流兩岸之崩塌土石堆積，經由雨水冲刷與溪水搬運匯

入主河道中所致，聖帕颱風後大甲溪流域數值地形變化如圖 8 所示[4]，河道左、中、右岸沖淤高程變化如圖 9[4]。以下說明各期沖淤變化之重要趨勢：

- (1) 德基壩至青山開關場區，河道各縱剖面多呈現冲刷現象，96 年比 94 年河道高程已有冲刷，其深度差異約 2 公尺。
- (2) 青山開關場至谷關壩河道，其間各縱剖面近期呈現沖淤皆有現象，96 年之河道高程較 94 年為高，發現此區多呈現淤積狀況，其中以青山辦公室至匹亞桑溪匯流口處淤積最為明顯。另外，青山開關場或是青山辦公室前方主河道行水區，由近兩年之高程差資訊顯示是呈現下刷之趨勢。
- (3) 河道自然冲刷之營力可輸送土砂之能力強大，加上德基排放水之流量甚大，未來若大甲溪主河道無大量之土砂提供，基本上將持續呈現河道下刷之現象。上述已說明新增崩塌地趨勢減緩，土石流發生機會亦會降低且規模也減小，故匯流至大甲溪的土砂也相對減少，在自然的河流下切之營力下，河床將會逐漸下刷至穩定的狀態。依據河道沖淤趨勢分析成果顯示，青山壩至谷關壩大甲溪河道若一年內遭受類似 72 水災與艾利暨海棠颱風相同規模下之降雨，於青山廠房通風口、青山開關場至青山辦公室間之河道將有持續淤積之趨勢，推估本河道段平均淤積高度約 3.2m。

為瞭解未來河床之沖淤趨勢，本研究考慮較保守之極端狀況下，以 HEC-6 程式分析青山廠房通風口至青山辦公室間與青山分廠尾水出口河道之長期沖淤結果顯示，以下分別說明之[5]。

- (1) 在青山廠房通風口至青山辦公室間河段：由於河道地形影響，預估未來 30 年內本河段仍將淤積(約 25.7m)，惟淤積趨勢將逐年減少；在 30 年後至 50 年間因淤砂入流量減少，該河段將反成冲刷趨勢。

(2) 青山分廠尾水出口：預估未來 10 年內呈現淤積現象(4.9m)，20 年後至 50 年間皆呈現沖刷現象，模式分析結果詳如表 3，至於谷關庫底距新尾水隧道仰拱高約 20m，由分析結果可知新尾水隧道於未來 10 年內尚處於安全狀態。

可行性報告已規劃青山分廠未來永久工程設施將採地下化，其中青山開關場靠河岸處

築有 12m 高之護堤，並濬深河道以抵抗高洪水位與土石侵襲，並預計於青廠路假隧道段施作擋土設施與落石防護網予以抵抗崩塌落石，故未來河道沖淤對青山復建相關工程之生命週期期間(Life cycle)影響相對較低，但於施工階段仍須持續觀測各重點區域河道沖淤變化，以降低施工階段安全風險。

表 2 分析使用資料一覽表

項目	範圍	分析使用資料	目的
颱風豪雨事件 (航照、衛星影像)	研究選定之 分析對象	桃芝颱風 2001/07/30、敏督利颱風 2004/06/28 艾利颱風 2004/08/23、海棠颱風 2005/07/18 馬莎颱風 2005/08/04、泰利颱風 2005/09/01 龍王颱風 2005/10/02、六九豪雨 2006/06/09 聖帕颱風 2007/08/18	崩塌暨土石流 土方量以及河 道沖淤估算
雨量站及流量 站資料	馬鞍壩址以上 集水區	至 2005 年：梨山、松茂、志佳陽大山、佳 陽山、桃山、達見、平岩山、松峰、無明山、 捫山、合歡山、環山、思源、青山、上谷關 等 15 個雨量站。 2005 年至 2007 年：天輪、合歡山、松茂、 梨山、松峰、思源、青山、平岩山等雨量站。 2005 年至 2006 年：桃山、環山及上谷關雨 量站。 2006 年：新伯公雨量站。	大甲溪流域現 有雨量站歷年 月平均雨量統 計 降雨頻率分析
泥砂資料	松茂站懸浮質量 測資料	1986 年至 2004 年 2005 年	
	白鹿橋站懸浮質 量測資料	1978 年至 2003 年	上游泥砂與流 量關係
	谷關大橋站懸浮 質量測資料	2004 年至 2005 年	

資料來源：[4]

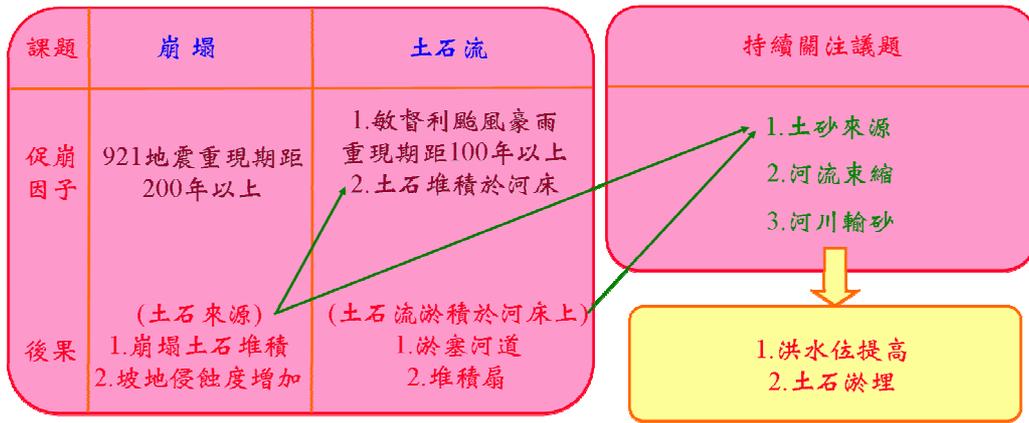


圖 3 本研究區災損特性示意圖

資料來源：[4]

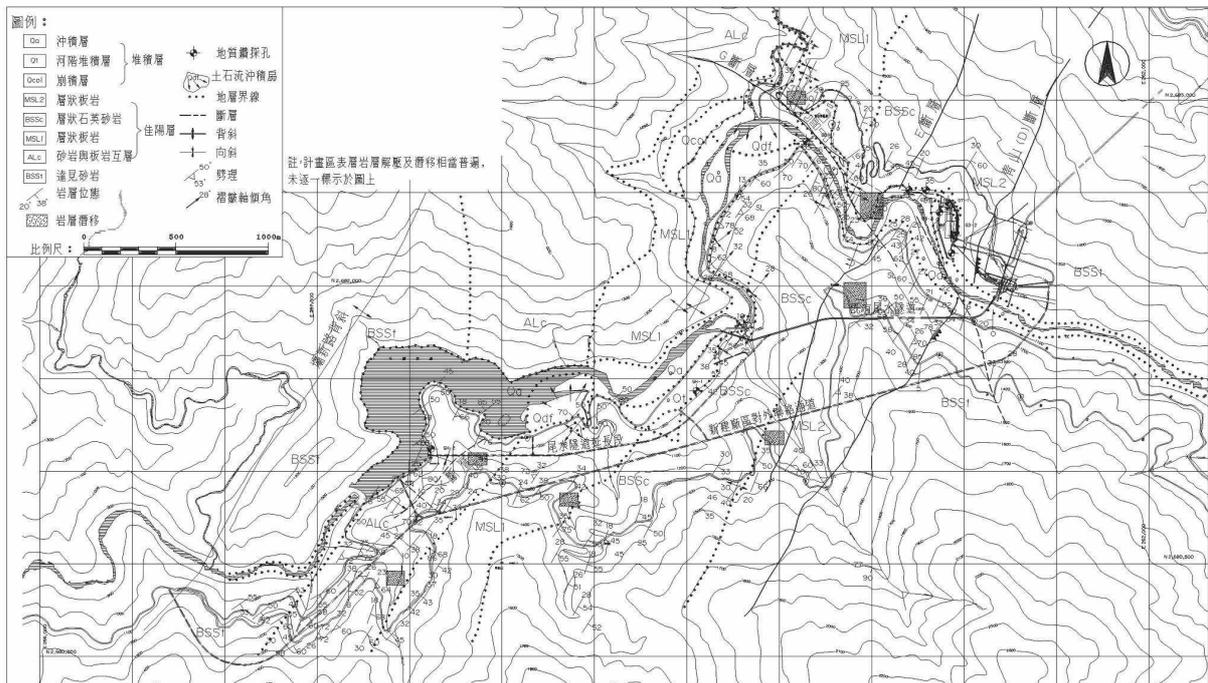


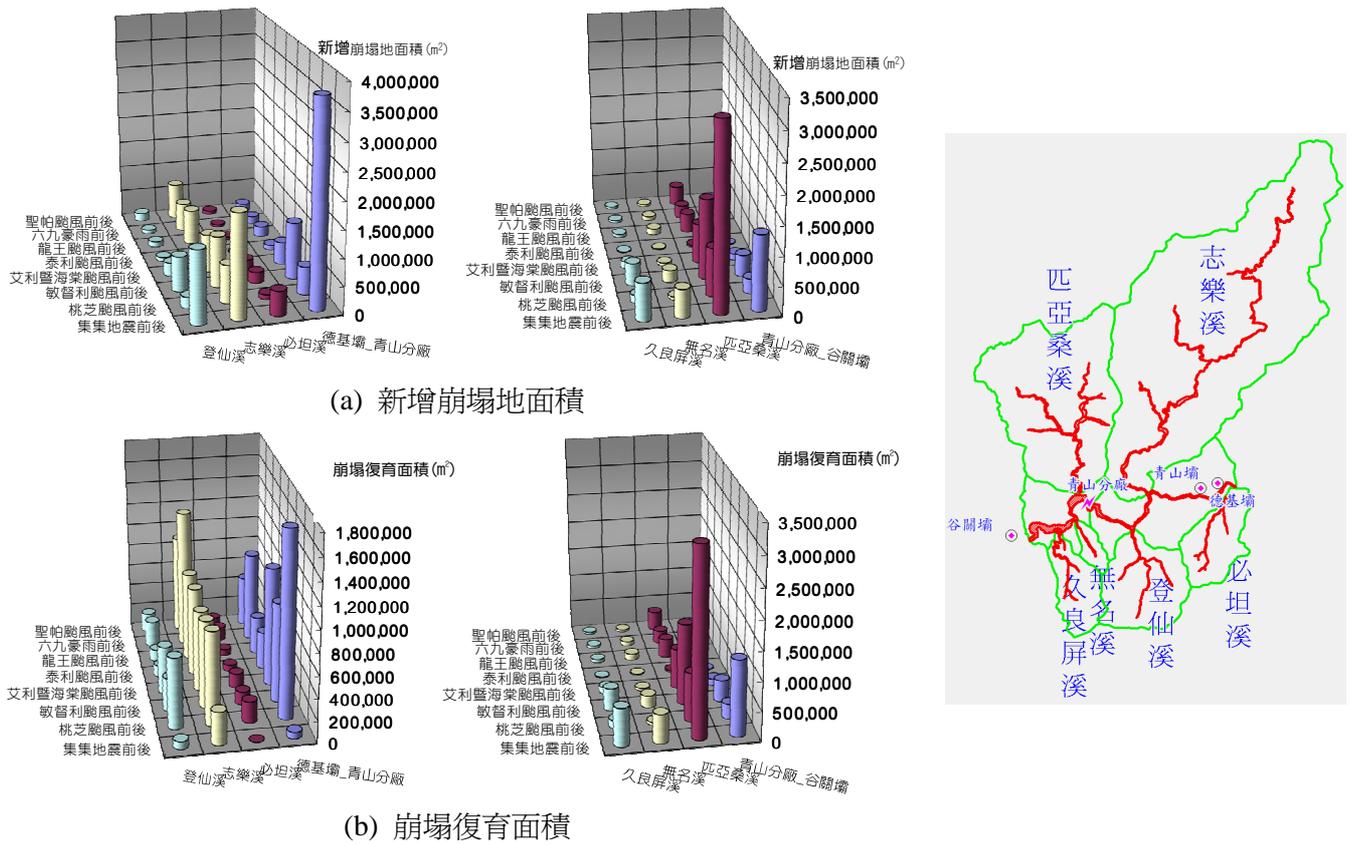
圖 4 區域地質圖

資料來源：[2]

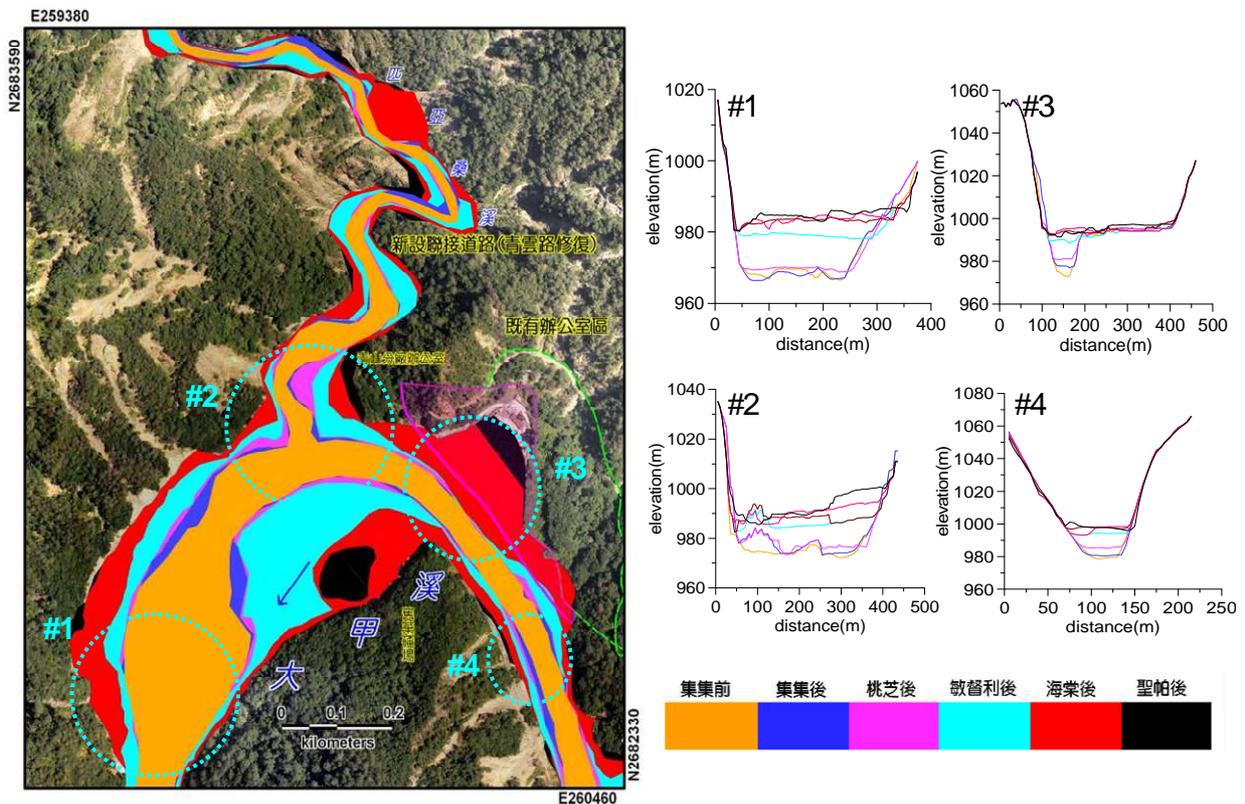


圖 5 土石堆積場空拍照片(2007年10月拍攝)

資料來源：[4]



資料來源：[4]



資料來源：[4]

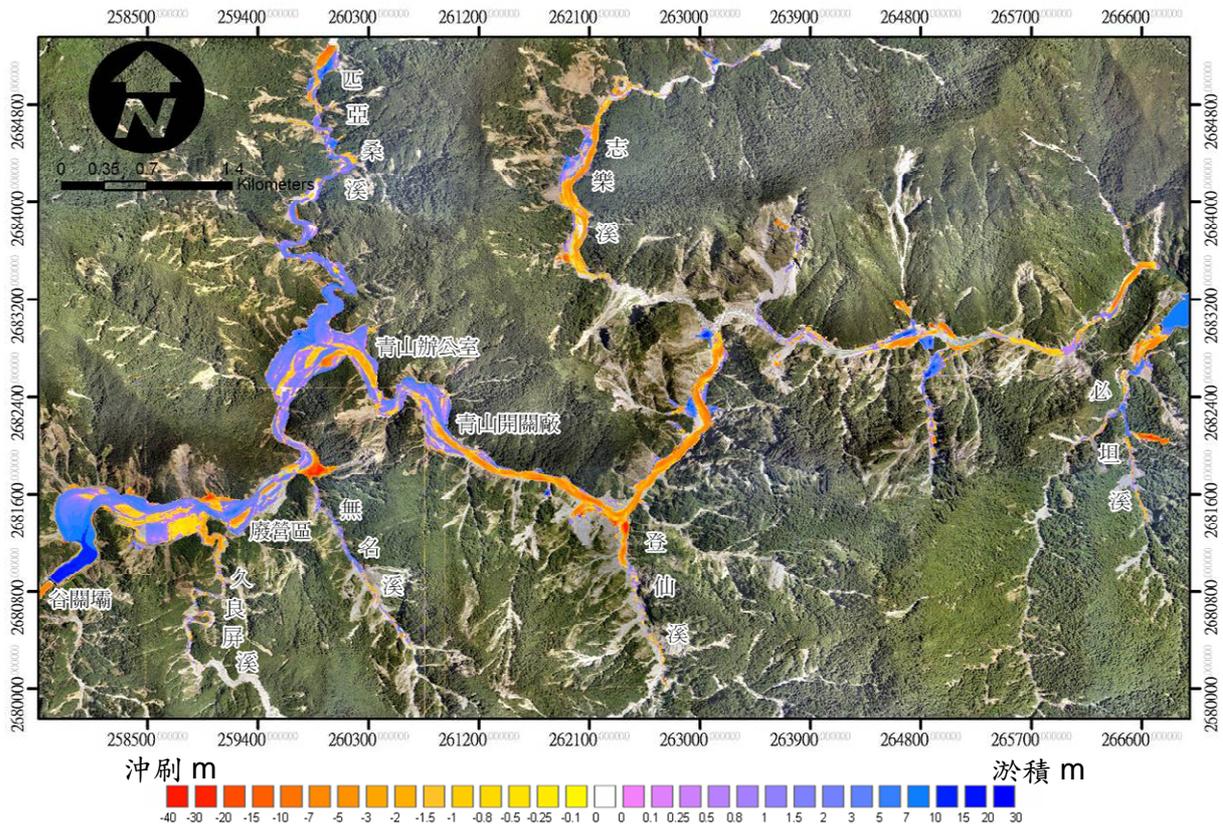
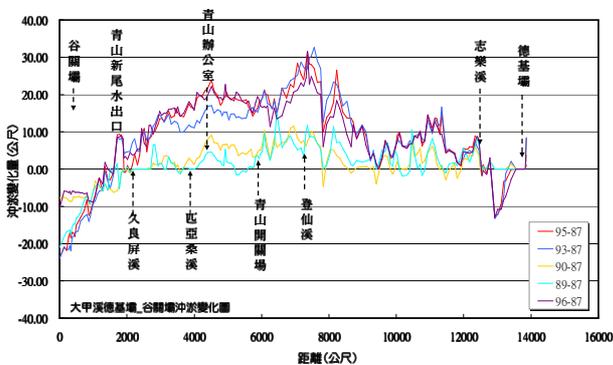
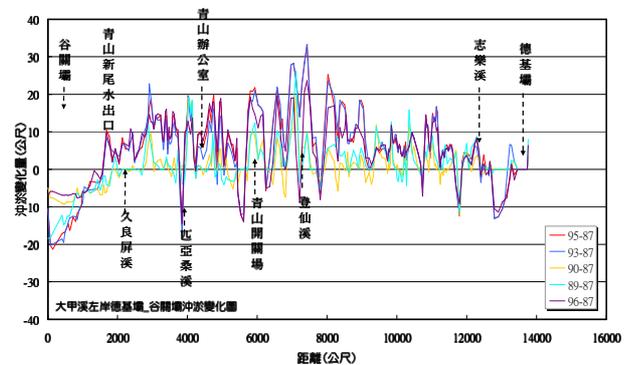


圖 8 青山分廠至谷關壩數值地形變化圖(2005 年海棠颱風後至 2007 年聖帕颱風後)

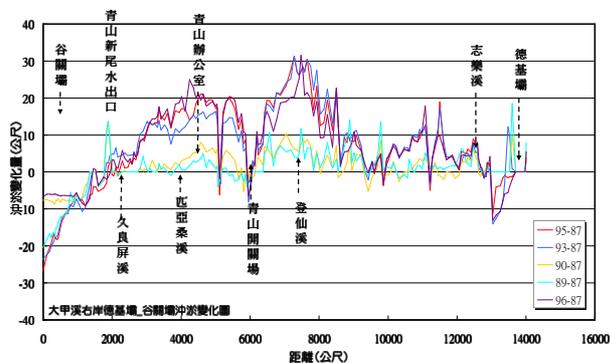
資料來源：[4]



(a) 大甲溪主河道中心沖淤變化圖



(b) 大甲溪主河道左岸沖淤變化圖



(c) 大甲溪主河道右岸沖淤變化圖

圖 9 青山分廠至谷關壩數值地形變化圖(艾利暨海棠颱風後至聖帕颱風後)

資料來源：[4]

表 3 推估未來 50 年內於青山廠房出風口至青山分廠辦公室間、以及新的青山尾水出口可能河床淤積量(正值表示淤積，負值表示冲刷)

區域	10年	20年	30年	50年
青山分廠出風口至青山分廠辦公室	11.6 m	20.9 m	25.7 m	23.1 m
距谷關壩上游 400m(新青山尾水出口)	4.9 m	-2.0 m	-2.4 m	-2.7 m

註：分析結果為採用美國陸軍工兵團所發展的 HEC-6 程式能模擬河川、水庫長時間的沖淤現象、水庫淤積現象、疏濬的影響及模擬支流與側流等功能。

資料來源：[5]

#### 4 復建安全性之因應對策

經大甲溪發電廠青山分廠復建計畫可行性評估及後續補充有關地質暨河川環境及地下廠房等調查後，本節乃針對復建計畫所涵蓋的範圍未來可能面臨的內部與外部主要關鍵致災問題進行探討及提出因應對策，並就營運安全方面提出監測建議。

主要關鍵致災問題區分為六個區域進行探討及提出因應對策[4,5,6,7,8]：

##### (1) 青山壩區

青山壩區上游曾經威脅德基尾水出口之大甲溪右岸崩塌以及右岸山溝，前者已整治，而後者以及其餘附近零星之山溝與崩塌，已於未來可行性評估中規劃整治之。整體而言，近年青山壩區未有新增崩塌地或擴大之跡象，亦未有新生土石流溪溝之情形，而既有之零星山溝與崩塌發生僅影響大甲溪右岸道路，不影響主要電廠設施結構。

##### (2) 青山開關場區

青山開關場區所處階地緊鄰大甲溪溪床，於敏督利颱風時因為後方山溝土石流以及大甲溪床淤積抬昇造成開關場遭遇土石淤埋，另外大甲溪溪水由分廠通道口、廠房出風口、尾水平壓室出風口灌入青山分廠而致災。復建方案已規劃未來開關場地下化以及青廠路改以箱涵隧道掩埋於既有開關場區之填築平台之下，且施工前期就進行防水與既有開關場所處階地之填築平台相關工程，可避免暴露遭受土石淤積以及土石流威脅。另外，青山分廠復建完成後新建聯外隧道可取代目前低於河床段之台八甲線交通。施工期間洪水來臨時所有工作人員撤離，防洪門關閉以確保人員及

廠區安全。

##### (3) 青山辦公室區

辦公室區未來仍受匹亞桑溪土石流以及大甲溪河道淤積威脅，所以未來辦公室區施工平台以及河床便道將根據大甲溪河床淤積高度現況彈性調整填築之高度，並濬深河床深度，而填築高度已考慮近期淤積以及施工期間之洪水位，可避免施工期間遭受洪水侵襲，工程配置上建議避開後方既有崩場地裸露處以防致災。青雲路與青廠路以及河床便道為施工期間經常性使用之聯外道路，可行性報告中已編列預算整治與經常維修。

##### (4) 廢營區及施工便道

基本上廢營區施工平台與台 8 甲線道路高程一致，敏督利颱風後大甲溪溪床淤積高度已高於原來台 8 甲線，如同青山辦公室平台，河床濬深與填築平台高度差足以達到施工期間內，滿足超越 10 年再現週期洪水位高度之安全需求。目前規劃上若施工平台墊高調整後，廠區對外聯絡通道分支隧道 C 洞口、尾水隧道施工橫坑 B 洞口、及尾水隧道施工橫坑 A 洞口將進行調整。

##### (5) 谷關壩區

新建尾水隧道出口將避開可能發生邊坡崩塌處，目前選擇位置上方邊坡穩定情況尚可。新建廠區對外聯絡通道分支隧道 D 洞口已避開山溝沖蝕出口，上方邊坡已設置落石防護設施。新建廠區對外聯絡通道洞口區岩塊風化破碎，將以重型支撐工保護進洞，通過石山溪有淺岩覆問題，將特別處理。另外，聯絡通道出口將銜接台八甲線並通過地質不穩定區，此路段雖已在本研究範圍之外，但後續交通問題須與相關單位詳加考慮。

## (6) 土石堆積場區

土石堆積場為大甲溪左岸之老河階地，經本次現場勘查發現其底部基礎有岩盤出露，其設計容量 44 萬立方公尺，足可容納本復建計畫之總棄渣量。本場址為穩定地質區域並於谷關分廠復建工程期間已通過水土保持計畫之審核。另外土石堆積場對岸的右岸邊坡有崩坍情形，但土石堆積場所在之河階地比河床高約 60 公尺，對岸坡地如發生大量之土石崩落及 200 年周期之洪水暴漲，亦不致於衝擊土石堆積場進而影響相關工程設施之安全，經評估土石堆積場場址仍為本研究區域內惟一適宜之棄置地點。

## 5 結論

綜合前述整理幾點結論如下：

- (1) 由分析結果與現地調查交互驗證得知目前崩場地之面積仍持續復育中，且崩場地總面積與新增崩塌面積亦持續減少，可見復建工程附近之崩塌裸露區域並未惡化。
- (2) 未來類似 921 地震所誘發之崩塌規模其發生機率較低，各支流雖仍有爆發土石流之可能性，但規模將相對較小，原因是已不易有大量崩落之土石材料提供。
- (3) 由長期沖淤分析得知青山開關場於未來 10~50 年皆為淤積趨勢，故建議應持續進行濬深工作，而青山分廠尾水出口(谷關壩上游約 400m 處)於未來 10 年內呈現淤積現象，20 年、30 年及 50 年將分別呈現下刷趨勢，而谷關庫底距新尾水隧道仰拱高約 20m，由此可知新尾水隧道於未來 10 年內尚處於安全狀態。
- (4) 經現地調查亦發現，崩場地裸露區域已多為岩盤裸露，不易有風化堆積材料再次崩塌。目前堆積於大甲溪支流集水區河道上之土石約 40%~60%，未來仍應持續觀察其輸砂行為對青山分廠之威脅。
- (5) 本研究根據復建計畫所涵蓋的範圍未來可能面臨的主要關鍵致災問題進行探討及提出因應對策，主要關鍵致災區域計有青山壩區、青山開關場區、青山辦公室

區、青山辦公室區、谷關壩區與土石堆積場區等，另外亦對營運安全方面提出監測建議，建議計有雨量站持續監測、流量與懸移質持續觀察、災後空拍與衛星影像資料庫建立、正射影像與 DEM 製作與極端事件可能狀況應提出疏散避難規劃。

- (6) 文中已說明大甲河流域崩塌、土石流土砂產量已有趨緩跡象，且青山分廠未來永久工程設施將採地下化，而青山分廠復建計畫之必要性文中已針對可能遭遇問題與不可抗力災害提出因應對策，配合工程效益評估投資方案經濟價值，工程效益採用報酬率法與成本-效益比值法分析，結果顯示青山分廠復建之經濟價值頗高，惟日後各風災事件後之土砂產量與河道輸砂行為應持續觀察，可供青山分廠復建計畫之決策依循與提升復建計畫之可靠性。

## 6 誌謝

感謝台灣電力公司經費及相關技術支援，感謝前期計畫“大甲河流域德基至馬鞍段集水區崩場地暨土石流潛勢調查及因應對策研究”計畫相關人員的努力(財團法人中興工程顧問社同事林彥享先生、謝寶珊小姐、邱顯晉先生、許世孟博士、顧承宇博士、張玉堯副理、冀樹勇經理及陳錦清博士等)，也須感謝中興工程顧問公司地工部、電力部等技術支援與協助，於此一併申謝。

## 7 參考文獻

1. 台灣電力公司 (2001). “九二一集集大地震德基壩緊急安全評估,” 中興工程顧問公司.
2. 台灣電力公司 (2006a). “大甲溪發電廠青山分廠復建計畫可行性研究報告,” 中興工程顧問公司.
3. 台灣電力公司 (2006b). “大甲溪發電廠青山分廠復建計畫環境影響說明書,” 中興工程顧問公司.
4. 台灣電力公司電源開發處 (2008). “大甲溪流域德基至馬鞍段集水區崩場地暨土石

- 流潛勢調查及因應對策研究之補充調查研究暨青山復建安全性檢討,” 財團法人中興工程顧問社。
5. 台灣電力公司電源開發處 (2006). “大甲溪流域德基至馬鞍段集水區崩場地暨土石流潛勢調查及因應對策研究,” 財團法人中興工程顧問社。
  6. 林美聆、林銘郎、陳宏宇、陳正興、許銘熙、林俊全 (2004). “大甲溪流域之初步
  - 堪災,” 土木水利, 31(4).
  7. 陳錦清、邱顯晉、鄭錦桐、余勝雄、楊勳得、焦中輝 (2007). “大甲溪集水區崩場地、土石流災害調查與評估,” 土木水利, 34(5)
  8. 鄭錦桐、沈哲緯、邵國士 (2008). “大甲溪青山電廠復建安全性之土砂災害評估與經濟效益分析,” 2009 臺灣災害管理研討會, B-12.

## The Safety Assessment and Benefit Analysis of Geohazards in Ta-Chia Watershed-taking Ching-Shan Power Plant Reconstruction as an example

C. W. Shen and C. T. Cheng

### ABSTRACT

*After September 21, 1999, Chi-Chi earthquake, the subsequent typhoons and follow-up rainfalls caused the heavy landslides and debris flows in Ta-Chia river watershed, the sediment yields from the landslides were transported into main river. There were lots of damages in the watershed including dams, power plants, bridges, villages, amusement parks, and other infrastructure. In order to assess the impact of sediment yields from landslides and debris flows and to investigate the strategies of mitigating the geohazards, quantitative assessment was conducted by using aerial photos and satellite images obtained at 6 stages of major earthquake and typhoon events, taking Ching-Shan Power Plant reconstruction as an example. In order not only to estimate the volume of the sediment yields from landslides and debris flows, but also to establish the relationships between the volumes of sediment yields, the rainfalls intensity, and the discharge. The HEC-6 program was applied to simulate the flushing and deposit of Ching-Shan Power Plant in the near future. The results show the highest level of riverbed around the Chin-Shan Power Plant would raise more than 20m in addition. Among the branch rivers of Ta-Chia main river, Ji-Ler river and Pi-Ya-Sun river brought the most sediment yields from landslides in the subwatershed. In conclusion, there are at least 40% of the total sediment yields from landslides still remain in the study area. Therefore, the sediment will transported out in the near future, and monitoring should be conducted continually to mitigate the hazards. Finally, through safety assessment and benefit analysis of geohazards to draw up the geohazards adaptation strategies of Ching-Shan Power Plant, reducing injury to persons, damage to property and disruption to normal life.*

**KEYWORDS:** *landslides, debris flow, sediment yields, 3S technology, benefit analysis.*

*Shen Che-Wei : ([cwshen@sinotech.org.tw](mailto:cwshen@sinotech.org.tw))*

*Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, National Taiwan University.*

*Associate Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC.*

*Cheng Chin-Tung :*

*Vice Manager, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC.*

*© 2012 Crisis Management Society, Taiwan, R.O.C. Manuscript received December 7, 2011; accepted February 20, 2012.*

*JCM120301697ENS*