

荖濃溪新發大橋於莫拉克風災後重建工程之河道水理 及土石衝擊力設計

謝國正

水利技師、中興工程顧問公司退休人員(水利部前技術經理)

摘要

荖濃溪於 98 年莫拉克風災後，許多橋址因河道淤積、土石流問題而屢屢修復，最近的案例為高雄市桃源區明霸克露橋。筆者介紹過去任職期間參與工程案例之荖濃溪中游新發大橋防制土石流撞擊及河道沖刷及之對策研擬過程。整體設計過程以風險管理觀念為主軸，由洪水量分析、河道災害情境假設、水理分析及土石流衝擊力分析等等成果為基礎，最終該工程計畫橋墩設計配合莫拉克災後荖濃溪河床特性，首次應用複合式基礎施工法對施工之安全、經濟、效率具明顯之效益。

一、前言

民國 110 年 8 月 7 日台 20 線 94k 明霸克露橋不敵暴雨期間玉穗溪土石流衝擊而斷裂，引發橋梁災害風險議論。該橋係 98 年莫拉克風災後，荖濃溪已淤高約 30m，當地交通建設曾嘗試河床便道及削山便道方案，均未能成功，而辦理明霸克露橋屬中期提升道路，橋柱以防撞鋼板包覆，基礎皆已入岩。惟因明霸克露橋位處布唐布那斯溪、荖濃溪、玉穗溪交會口，於 2017 年通車，卻在 3 年後不敵玉穗溪土石流衝擊，災害後記錄玉穗溪總淤積高約 20m，實難以任何工程措施抵禦。

新發大橋位於明霸克露橋下游荖濃溪主流河道上，為高雄市六龜區台 27 線往台 20 線南橫公路之重要橋梁，新發大橋於民國 84 年竣工後於民國 98 年 8 月莫拉克颱風挾帶豪雨造成荖濃溪水暴漲，荖濃溪上游河道發生堰塞湖及潰決，新發大橋左岸土石流潛勢溪流(巴斯蘭溪)也類似明霸克露橋本次災害，左岸爆發土石流沖積扇沖毀新發大橋。

本文將介紹新發大橋重建工程之災害風險設計概念，以資各界參考。本文研判新發大橋於莫拉克颱風期間災損原因，除該颱風期間流量為歷史最大以外，左岸巴斯蘭溪土石流下洩堆積於荖濃溪左岸，導致河水偏向單岸集中沖刷，以及土石及漂浮木撞擊結構物等因素，都需在重建工程內慎重考量及檢討因應。

二、新發大橋於風災前後概況

(一) 新發大橋

新發大橋為高雄市六龜區台 27 線往台 20 線南橫公路之重要橋梁，民國 84 年新發大橋竣工時橋梁總長 228m(6@38m)，橋址跨越高屏溪支流荖濃溪。

新發大橋於民國 84 年竣工，實景如**錯誤! 找不到參照來源**。橋梁 6 跨，有 5 橋墩落在河道。民國 98 年 8 月莫拉克颱風挾帶豪雨造成荖濃溪水暴漲，荖濃溪上游河道發生堰塞湖及潰決，新發大橋左岸土石流潛勢溪流(巴斯蘭溪)也爆發土石流沖積扇，河道內應該有類似土石流災害而沖毀新發大橋。



資料來源：交通部公路總局第三區養護工程處簡報資料

照片 1 民國 84 年新發大橋竣工實景

(二) 風災後荖濃溪河道地形變化

筆者於莫拉克颱風災後赴現地勘查，經訪談當地居民，獲悉新發大橋於莫拉克風災當天，其左岸巴斯蘭溪土石流下洩堆積於荖濃溪左岸，洪流偏向集中右岸，新發大橋右岸橋墩先傾倒後，整座橋梁結構陸續傾倒。

莫拉克颱風災後新發大橋河谷空拍照片(照片 2)，可見荖濃溪左岸巴斯蘭溪土石流溪流已沖開溪流谷地(照片 3)，土石在出口成沖積扇形狀布滿荖濃溪左岸，推擠荖濃溪流路偏右岸。現況於荖濃溪河谷仍可見巴斯蘭溪出口沖積扇經疏通後尚殘存土石量體(照片 4)，另可見荖濃溪河谷右岸邊坡崩塌明顯(照片 5)。



資料來源：經濟部中央地質調查所網頁資料

照片 2 新發大橋河谷於莫拉克颱風災後空拍



照片 3 巴斯蘭溪上游河谷堆積大量土石，河谷變寬



照片 4 由荖濃溪右岸望巴斯蘭溪出口殘存土石流沖積扇及便道



照片 5 由荖濃溪左岸望荖濃溪右岸邊坡崩塌

依據民國 98 年 9 月實測地形及參考民國 84 年新發大橋設計圖，繪製沿新發大橋中心線之兩次河床地形剖面如圖 1 沿新發大橋中心線之兩次河床地形剖面圖，民國 98 年莫拉克災後河床最低高程約 301 公尺、平均高程約 304.7 公尺，與 84 年河床最低高程約 293 公尺、平均高程約 296.5 公尺相比，得知莫拉克災後河床淤高約 8 公尺。河道左岸淤積明顯為巴斯蘭溪土石流沖積扇所致。

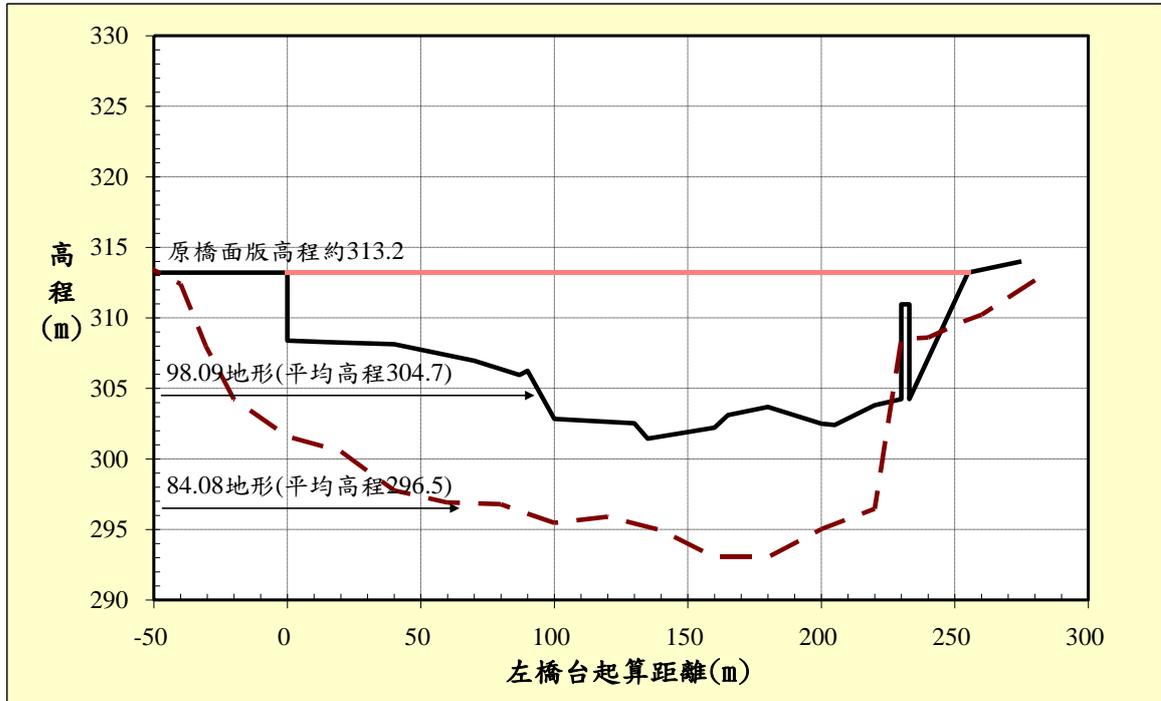


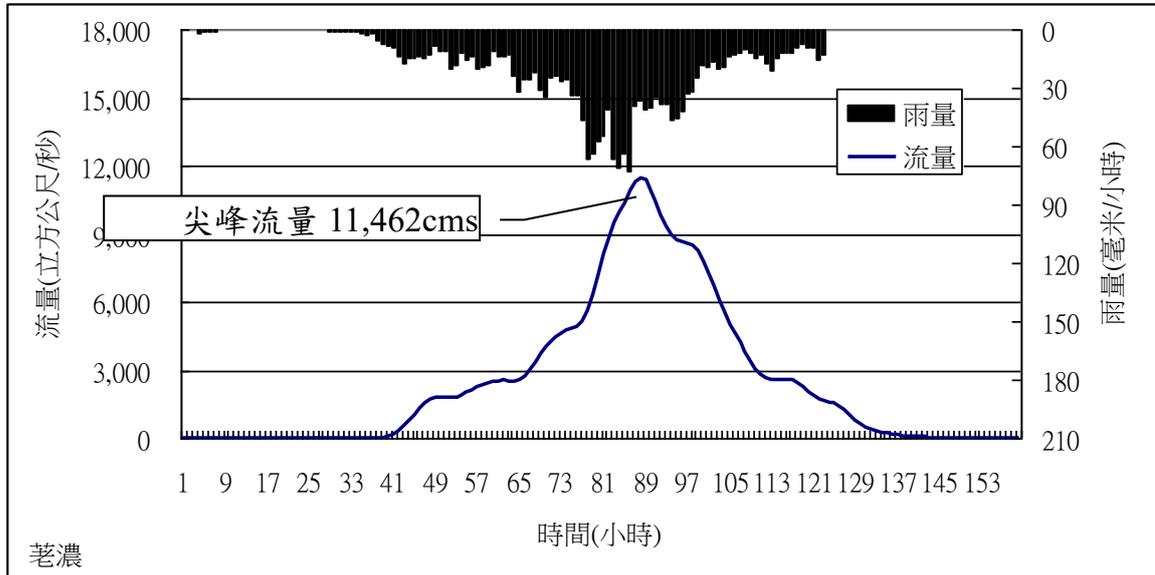
圖 1 沿新發大橋中心線之兩次河床地形剖面圖

三、橋梁重建工程之災害風險及設計方向

依據前述資料及參考荖濃溪其他受災橋梁紀錄，研判新發大橋於莫拉克颱風期間災損原因，除該颱風期間流量為歷史最大以外，左岸巴斯蘭溪土石流下洩堆積於荖濃溪左岸，導致河水偏向單岸集中沖刷，以及土石流撞擊結構物等因素，都需在重建工程內慎重考量及檢討因應。

四、洪水量檢討

參考「高屏溪流域整體治理規劃檢討(1/2)」(第七河川局, 98年), 已模擬莫拉克颱風期間新發大橋集水區降雨量與流量, 成果見圖 2。



註：開始時間為民國 98 年 8 月 5 日上午 11 時

圖 2 莫拉克颱風於荖濃溪新發大橋控制點流量歷線模擬成果圖

本案後續水理分析工作之洪水量應參考各機關檢討的河川治理計畫保護標準，或參考橋梁管理單位關心造成橋梁災害之洪水量。茲說明本案採用洪水量如下：

- 1、河川治理計畫保護標準 I (簡稱河川保護標準 I)：民國 97 年水規所分析 100 年重現期距洪水量 9,840cms。
- 2、河川治理計畫保護標準 II (簡稱河川保護標準 II)：民國 98 年新增莫拉克資料後，水規所分析 100 年重現期距洪水量 10,458cms
- 3、紀錄最大洪水量：依據莫拉克颱風降雨資料所模擬尖峰流量 11,462cms。

五、水理分析

(一) 輸入參數

應用一維水理模式 HEC-RAS 4.0 版模擬洪水水理因素，另鑑於新發大橋左岸巴斯蘭溪土石流溪流之沖積扇規模是導致本次災損之重要原因，因此需適當考慮有無土石流之影響，水理模式 HEC-RAS 4.0 輸入參數分述如表 1。

(二) 計算成果

水理模式 HEC-RAS 4.0 計算三組流量之有/無土石流沖積扇之河道水位縱斷位置如圖 3，河道水位縱斷如 4 至 7。

表 1 水理模式 HEC-RAS 4.0 輸入參數

參數	無土石流沖積扇	有土石流沖積扇
地形條件	民國 98 年 9 月所測繪荖濃溪獅額頭大橋至新發大橋河道以上 1.3 公里之河道斷面，如圖 3，計 26 個斷面，河心累距約 5 公里。	同左
上游邊界條件	3 組： 河川保護標準 I：9,240cms；河川保護標準 II：10,458cms；紀錄最大洪水量：11,462cms。	同左
下游邊界條件	正常水深水位（河床坡降假設為 1/100）	同左
河道曼寧糙度值	參考「高屏溪治理規劃」報告(前水利局，民國 73 年 6 月)，取為 0.045~0.05。	同左
河道水流收縮擴張損失係數	由 0.1 至 0.7 不等，依據河谷形狀及斷面形狀選擇適當係數	同左
新發大橋橋墩及上下游斷面	依據現況地形及單一橋墩布置	同左，另假設巴斯蘭溪土石流沖積扇於洪水期間遮蔽全河道寬度之 1/3、1/2 或 2/3 等三種條件



圖 3 荖濃溪河道斷面測量位置圖

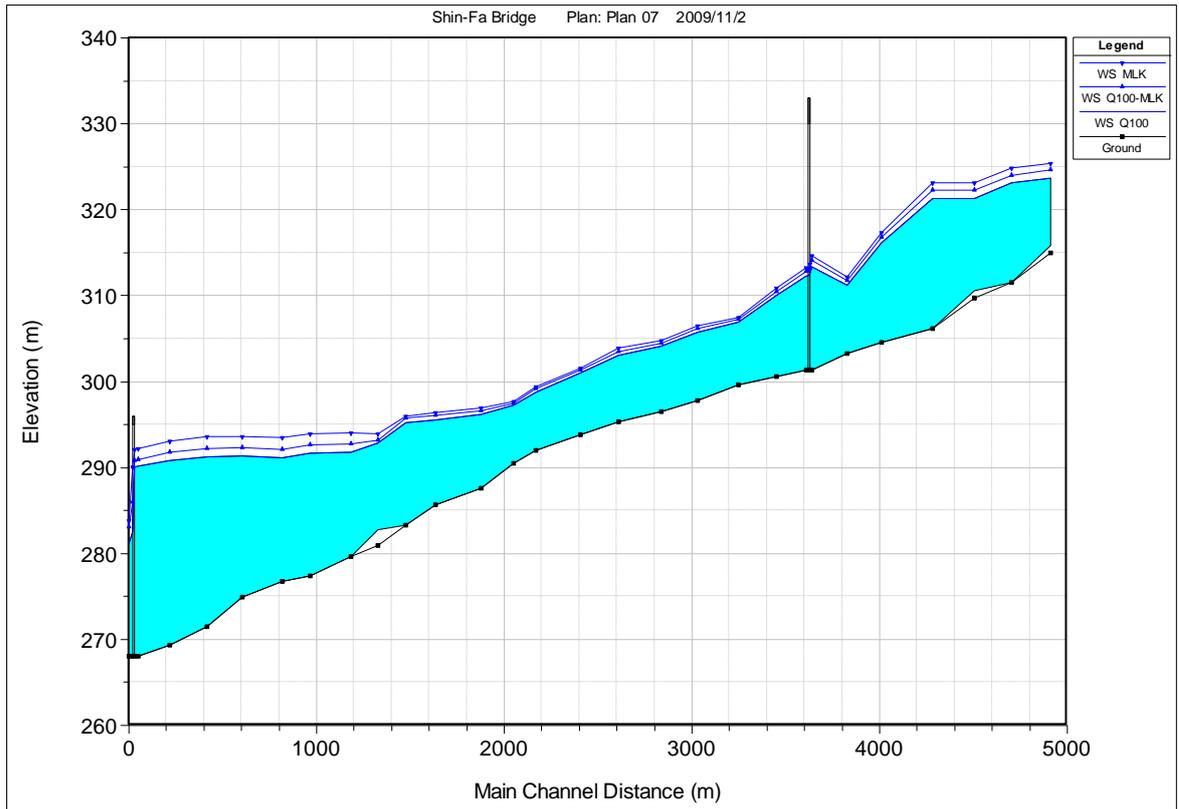


圖 4 三組流量之河道水位縱斷圖 (無土石流沖積扇)

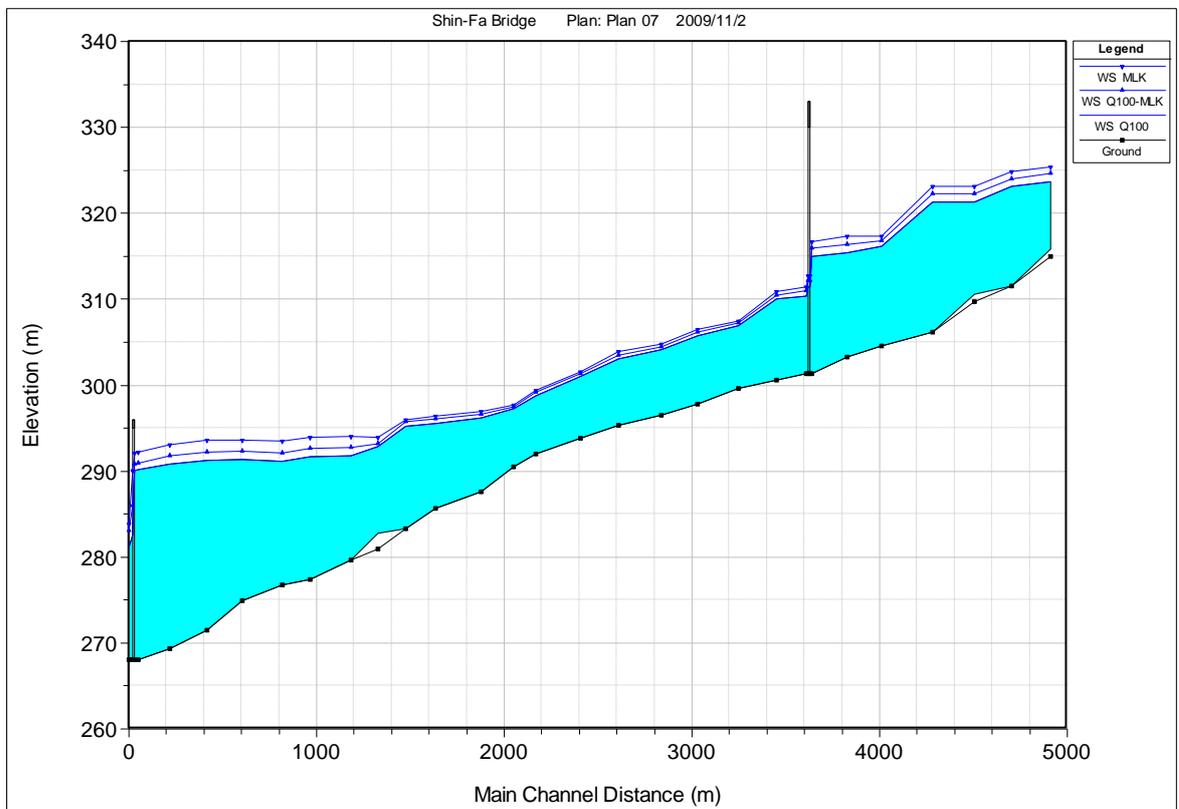


圖 5 三組流量之河道水位縱斷圖 (土石流沖積扇遮蔽 1/3 河寬)

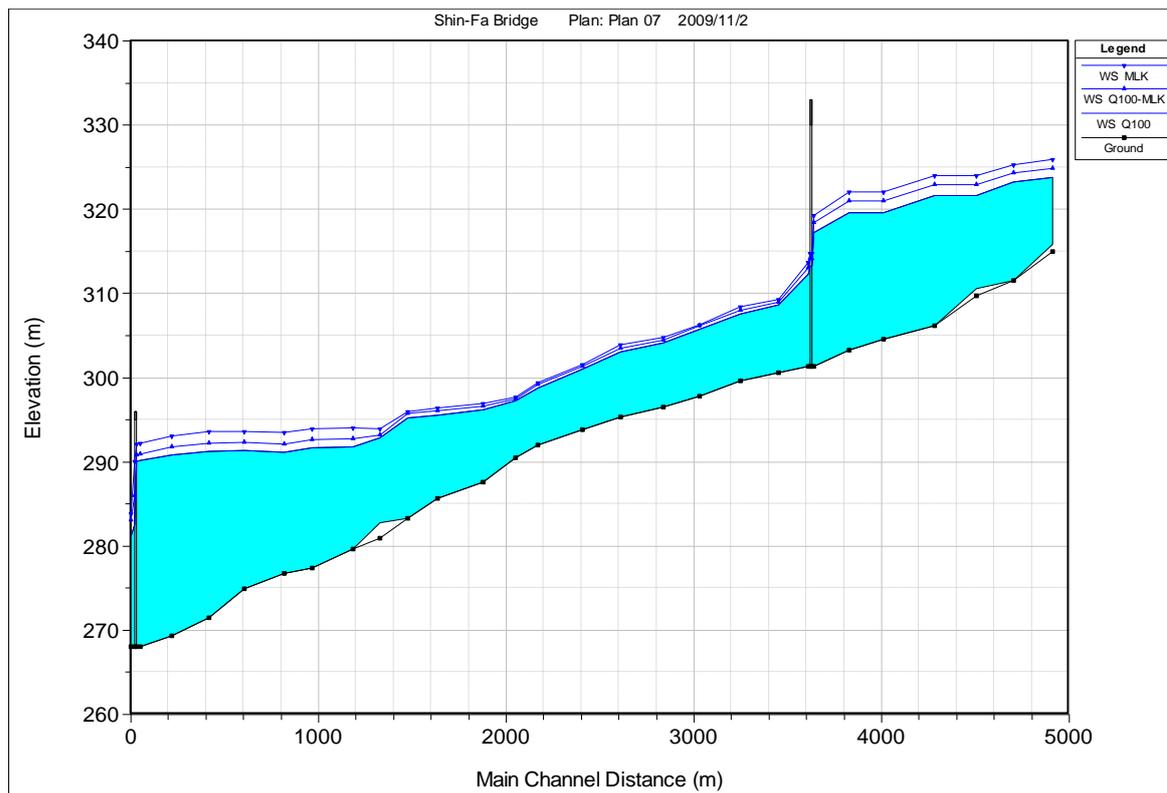


圖 6 三組流量之河道水位縱斷圖（土石流沖積扇遮蔽 1/2 河寬）

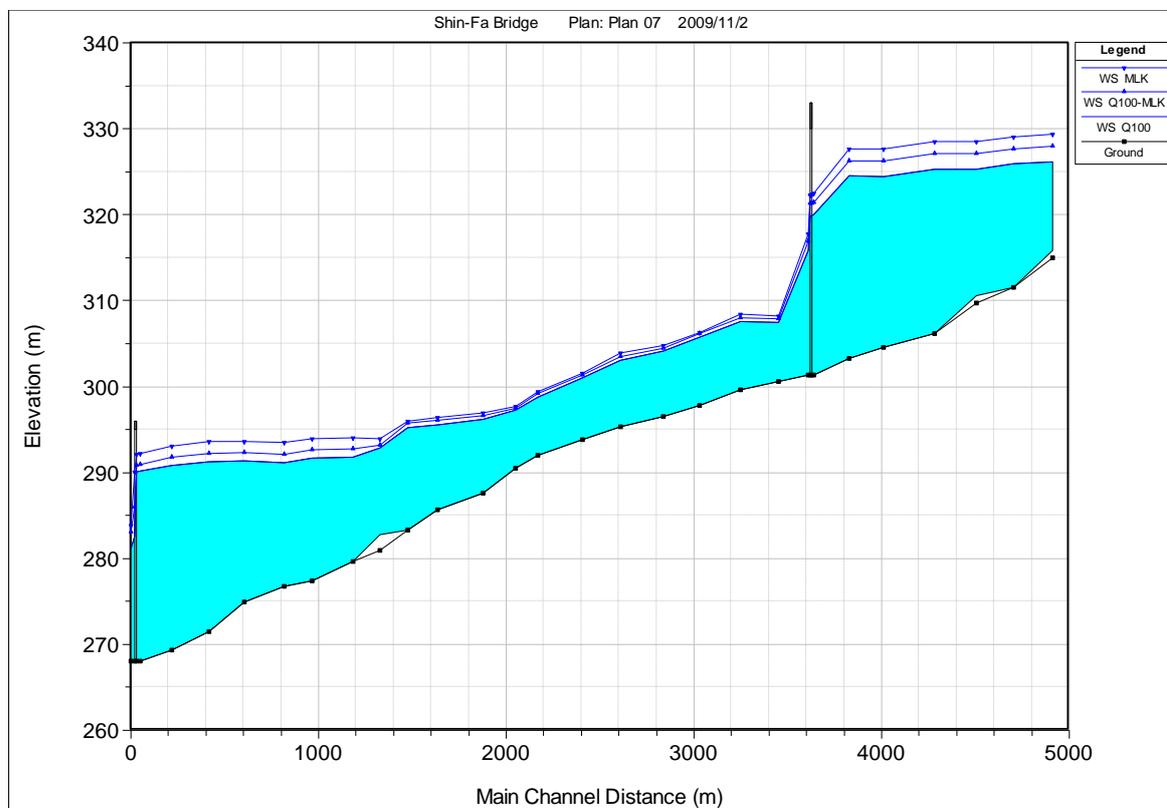


圖 7 三組流量之河道水位縱斷圖（土石流沖積扇遮蔽 2/3 河寬）

HEC-RAS 模式依據前述參數計算不同洪水量及不同土石流沖積扇遮蔽寬度水理因素，茲摘錄重要水理因素如表 2，說明如下：

1. 土石流遮蔽 2/3 河寬時與無遮蔽時之洪水位差距，於不同流量都約為 7 公尺左右；土石流遮蔽 2/3 河寬時與無遮蔽時之流速比值，於不同流量都約 1.5 倍，流速由 5m/s 餘增至 8m/s 餘。
2. 災後現場調查可見殘存土石流沖積扇寬達 1/2 河寬，此情況下之不同流量水位界於標高 317.60 m 至 319.32m，流速界於 6.80 m/s 至 7.20m/s。
3. 紀錄最大洪水量 11,462cms 下三種不同土石流沖積扇遮蔽寬度之水理因素如表 2，點繪水理因素與不同流量及土石流沖積扇條件關係如圖 8。

表 2 不同流量及土石流沖積扇條件之重要水理因素表

水理因素		土石流沖積扇			
		無遮蔽	遮蔽 1/3 河寬	遮蔽 1/2 河寬	遮蔽 2/3 河寬
河道流量					
河川保護標準 I	洪水位 (m)	313.41	314.96	317.22	320.04
9,240cms	平均流速(m/s)	5.38	5.84	6.68	8.12
河川保護標準 II	洪水位 (m)	314.12	315.96	318.39	321.45
10,458cms	平均流速(m/s)	5.62	6.09	6.97	8.45
紀錄最大洪水量	洪水位 (m)	314.68	316.75	319.32	322.50
11,462cms	平均流速(m/s)	5.81	6.28	7.20	8.75

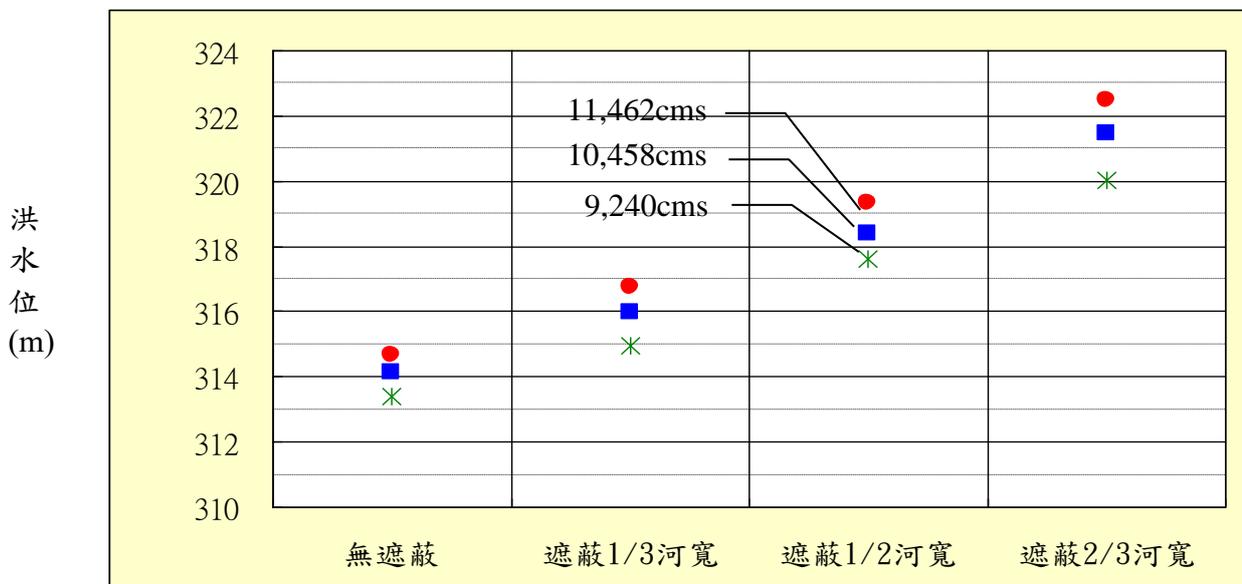


圖 8 點繪洪水位與不同流量及土石流沖積扇條件關係圖

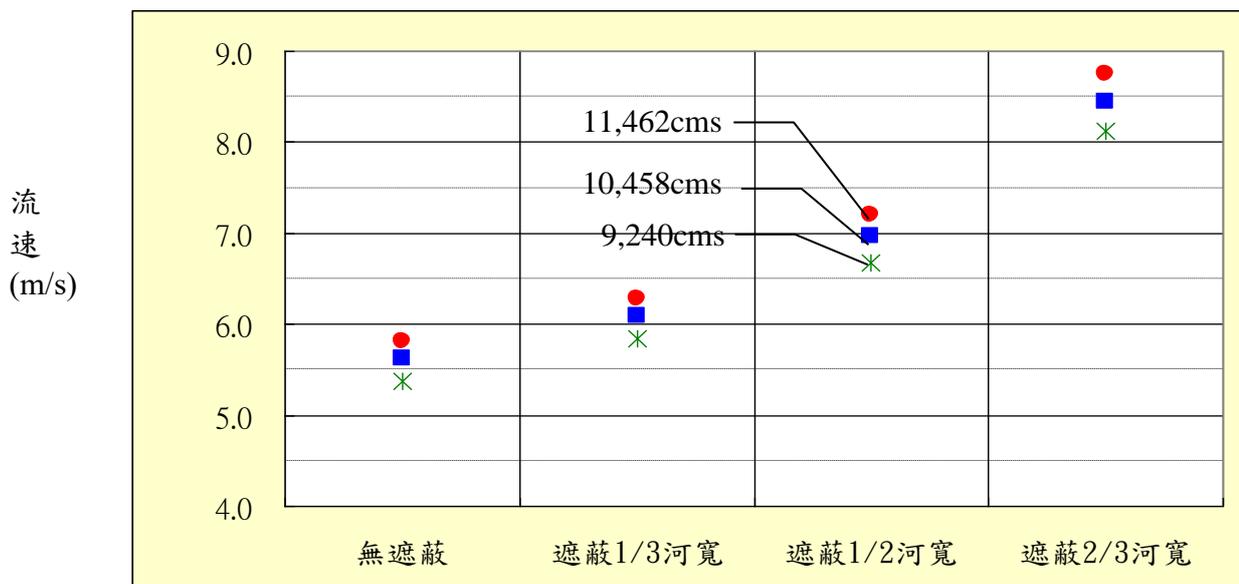


圖 9 點繪流速與不同流量及土石流沖積扇條件關係圖

六、設計洪水位分析

(一)設計流量

建議新發大橋抗洪能力標準宜採用迄今最大流量，即莫拉克颱風期間尖峰流量 11,264 秒立方公尺。

(二)設計洪水位

- 1、設計洪水位以流量 11,264 秒立方公尺清水流狀況為基準。災後現場調查可見巴斯蘭溪殘存土石流沖積扇寬達 1/2 河寬，故此狀況之洪水位為設計洪水位低標準，推測在災害最嚴重時土石流沖積扇寬可能達 2/3 河寬，此狀況之洪水位為設計洪水位高標準。
- 2、考量荖濃溪、旗山溪眾多橋樑於莫拉克颱風期間遭漂浮木撞擊導致斷橋，故設計洪水位需加計漂浮木堆積高度，估計為 2 公尺。
- 3、設計洪水位安全出水高考量波浪、彎道效應等。

(1) 土石流沖積扇寬達 1/2 河寬時：彎道效應凹岸超高計算式為 $\Delta H = W/2 \times ((V^2/r)/g) = 75/2 \times ((7.2^2/75)/9.81) = 2.64$ (公尺)，波浪高假設為 1 公尺，合計安全出水高為 3.64 公尺。

(2) 土石流沖積扇寬達 2/3 河寬時：彎道效應凹岸超高計算式為 $\Delta H = W/2 \times ((V^2/r)/g) = 50/2 \times ((8.75^2/100)/9.81) = 1.95$ (公尺)，波浪高假設為 1 公尺，合計安全出水高為 2.95 公尺。

參考前述 3 條件，組合成本案設計洪水位如表 3，建議以高標準標高 327.5 公尺為設計洪水位。至於反應氣候變遷不確定因素之安全係數，則另由災害風險及工程經濟層面酌予加高設計洪水位。

表 3 設計洪水位組合條件

水位單位：公尺

條件 類型	土石流沖積扇遮蔽河 寬比例之洪水位	漂浮木	安全 出水高	合計	取用值
低標準	319.32 (遮蔽 1/2)	2.00	3.64	324.96	325.0
高標準	322.50 (遮蔽 2/3)	2.00	2.95	327.45	327.5

七、橋墩沖刷評估

參考 97 年 12 月 31 日交通部公路總局所召開之「研商『橋墩(基)局部沖刷公式及耐洪能力詳細評估方法』計算準則，以便採用相同準則訂定封橋水位」會議之會議結論第 1 點及「河川橋樑之橋墩(台)沖刷保護工法之研究」報告建議，適合台灣地區之公式約有 9 個，本案再依該報告以實際案例驗證之公式內，挑選前 6 種誤差最小、較常用之公式，包含 Neill(1964)、Shen et al.(1966)、Shen et al.(1969)、Jain and Fischer(1980)、Jain(1981)與修正 CSU(1995)等

本案以紀錄最大洪水量及不同土石流沖積扇遮蔽程度演算之水理條件，見表 4，代入前述 6 公式，獲得新發大橋橋墩沖刷深度如表 5。各公式所計算橋墩局部沖刷深度差異性大，計算結果由 10 公尺以上至 23 公尺不等。

表 5 各數值經評估後，建議應由工程實務面辦理以下修正：

- 1、土石流遮蔽 2/3 河寬時，沖積扇可能涵蓋橋墩位置，則無橋墩局部沖刷。
- 2、參考國內許多現場調查資料得知洪水過後之橋墩沖刷深度大多小於理論值，若建議沖刷量取各公式之最小值，則橋墩局部沖刷深度約 11.26 至 13.17 公尺。
- 3、各公式係以清水流或輸砂平衡狀態沖刷推算沖刷量，目前荖濃溪為風災後之高崩塌量、高輸砂量期間，短期內河床輸砂量經常處於超載，故第 2 項所述沖刷量得折減。

表 4 紀錄最大洪水量下橋墩局部沖刷計算水理條件

	墩柱迎水 寬度(m) Dp	墩前水位 (m) WSE	平均河床 標高(m) Z	上游平均 流速(m/s) V1	墩前水深 (m) y	河床質代 表粒徑(m) d50
無遮蔽	8	314.68	304.70	5.81	9.98	0.3
遮蔽 1/3 河寬	8	316.75	304.70	6.28	12.05	0.3
遮蔽 1/2 河寬	8	319.32	304.70	7.20	14.62	0.3
遮蔽 2/3 河寬	8	322.50	304.70	8.75	17.8	0.3

表 5 紀錄最大洪水量下之橋墩局部沖刷深度計算

公式 條件	Shen et al. (1966)	Neill (1964)	Shen et al. (1969)	Jain and Fischer (1980)	Jain (1981)	修正 CSU (1995)	最大值	最小值	平均值
無遮蔽	17.66	12.82	12.43	11.26	12.32	15.13	17.66	11.26	13.82
遮蔽 1/3	18.92	13.57	13.04	12.71	12.74	16.04	18.92	12.71	14.72
遮蔽 1/2	20.77	14.38	14.19	14.76	13.17	17.46	20.77	13.17	16.03
遮蔽 2/3 *	23.35*	15.25*	16.01*	17.43*	13.64*	19.50*	23.35*	13.64*	17.81*

註：土石流遮蔽 2/3 河寬時，沖積扇可能涵蓋橋墩位置，則無橋墩局部沖刷

八、土石流衝擊力評估

土石流衝擊力係指結構體上游面遭土石流直接撞擊之力量，可分為流體衝擊力和巨礫衝擊力兩種，前者係屬面的衝擊力，與結構體安定性分析有關；後者為點的撞擊，為評估混凝土材料的耐撞程度，與混凝土強度和厚度相關。

土石流推擊或高含砂濃度水流撞擊橋墩或橋台之力量，必須納入橋樑結構物安定分析。國內對此方面之分析主要為學理概念評估，尚無現地實測資料驗證。本文主要之參考公式有二，說明及計算如下：

1、單寬土石流流體衝擊力

參考經驗公式（連惠邦，91年）

$$P = \alpha \times \frac{\gamma_{sat}}{g} \times h_d \times V_{df}^2 \quad (\text{ton/m})$$

$$P = 1.0 \times \frac{1.75}{9.81} \times 15 \times 7.20^2 = 139 \quad (\text{ton/m})$$

2、巨礫衝擊力

參考經驗公式（游繁結，民國82年）

$$P_d = 50 \times (d_{max})^2 \times V_{df}^{1.2} \quad (\text{ton})$$

$$P_d = 50 \times (1.0)^2 \times 7.20^{1.2} = 534 \quad (\text{ton})$$

各參數定義如下：

P：土石流流體壓力(ton/m)

α ：係數($\alpha \approx 1$)

γ ：土石流單位重(t/m³)，一般1.5至2.0間，取1.75

g：重力加速度(m/sec²)

hd：土石流流深(m)，參考現地殘存沖積扇最深為10m，加計50%，為15m

Vdf：土石流流速(m/sec)，以設計流量11,624cms及土石流沖積扇遮蔽1/2狀況之HEC-RAS計算平均流速7.20m/s為限

Pd：礫石衝擊力(ton)

Dmax：最大粒徑或設計粒徑(m)，取1.0m

前述二式之參數中以土石流流速假設為荖濃溪清水流流速 7.20m/s 最為保守，但國內外皆無可茲參考之土石流流速推估公式，以及巴斯蘭溪土石流流向幾乎垂直荖濃溪流向，故土石流流速有折減之可能，但是現地土石流撞及橋墩又有多種可能性，也不適宜逕將流速降低。

因此本案認為前述二公式計算值雖偏保守，但為兼顧工程經濟與尊重學理公式，建議採前述二公式之小值為設計值，即土石流衝擊力以 139(ton/m)計。

九、防制沖刷及土石流撞擊之對策評估

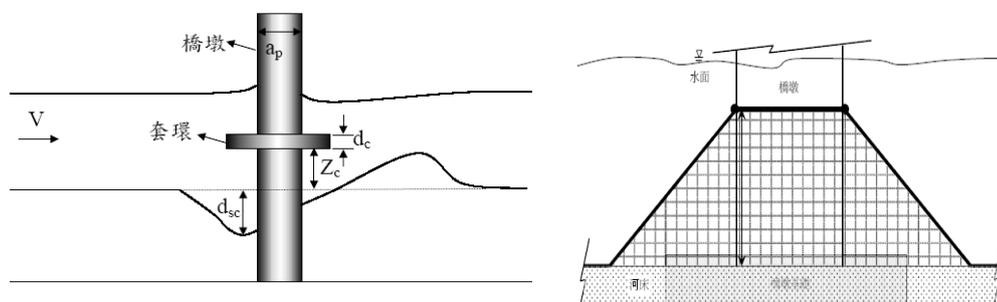
蒐集國內外相關設計經驗，檢討適合荖濃溪河性及新發大橋重建工程特性之橋墩防制沖刷及土石流撞擊之對策，茲說明如下：

(一)套環保護工法(防制沖刷)

套環保護工法之研究，已有多年的歷史，在此方面已有相當多的學者做過相關研究。國內中興大學水土保持學系陳樹群教授亦提出專利，該專利榮獲 2006 年德國紐倫堡發明展金牌獎。中油公司於近施作的濁水溪管架橋橋墩防沖刷保護工程，已率先採用橋墩防沖刷套環工法。

橋墩防沖刷套環是置放於橋墩接近河床處，以改變水流方向，將水導引往上及兩側，以四兩撥千金的方式，使水流不致直接向下沖刷橋墩，目前防沖刷效果可以達 50% 到 70% 以上，如配置雙套環，效能更可提高到 80% 以上。

相同原理者尚有截流環、上鈎環圈、活動式錐形環等(參圖 10)。但其共同點為需設置在「河床底部」，才能發揮效果。然而本案荖濃溪河床高程會因集水區保育治理程度不而再次淤積，或因集水區保育治理程度良好而於數十年後沖刷回民國 84 年原河床，即工程生命週期內之河床變動為 10 公尺。



資料來源：王新貴，民國 91 年 7 月，「不均勻橋墩與套環保護工法之局部沖刷研究」

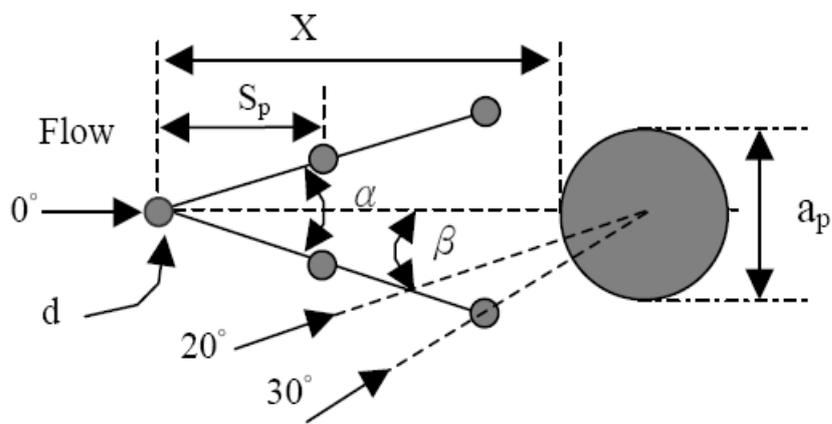
圖 10 套環、活動式錐形環保護工法示意圖

荖濃溪未來之河床變動幅度甚大，故此類保護工法於新發大橋興建初期不適用。

(二)排樁保護工法(防制沖刷及防制撞擊)

Melville and Hadfield(1999)所做的排樁(sacrificial pier)保護工法，將排樁以三個一組或五個一組設置於橋墩前端，排列方式如圖 11 所示。當實驗條件為清水沖刷時，以五個為一組的排樁其阻擋水流的範圍較廣，故效果較三個一組來的好。水流攻角變大對橋墩的衝擊隨著排樁夾角 α 增加而減小(保護範圍也跟著加大)。當水流攻角為 0 度時，隨著 X 與 S_p 的減小會有更好的效果；然而當水流攻角加大的時候， X 與 S_p 也要加大才有更好的效果。

當實驗條件為濁水沖刷時，由於輸砂特性的不同，此時排樁所沖刷出的泥砂顆粒反而不容易於沖刷坑中堆積，故效果較清水狀況為差。



資料來源：Melville, B. W., and Hadfield, A. C., "Use of Sacrificial Piles As Pier Scour Countermeasures."

圖 11 排樁保護工法示意圖

排樁保護工法有雙重保護效用，值得採用。但因排樁最佳布置需視流向、土石大小而定，而荖濃溪洪流與巴斯蘭溪土石流未來如何組合（如低流量時有土石流，或高流量時有土石流）是無法預料，則流向及土石大小亦無法確認。若要採用此工法，唯有透過水工模型試驗才能獲得 α 、 X 、 S_p 等設計參數。

(三)鋼板及緩衝材保護工法(防制撞擊)

墩柱包覆防撞鋼板已行之多年，成功案例眾多，但河川上游過橋墩雖經鋼板保護，數年後亦被滾石撞損，換修維護成本不低。橋墩均設計以全周式防衝鋼板包裹保護，並作為橋墩澆置混凝土模板之用，惟因一般橋梁橋墩尺寸大且因耐震設計主筋及箍筋

間距甚密，混凝土澆置搗實不易與防衝鋼板間密合情形不佳。

防撞鋼板可於橋基施工過程一併製作，無套環保護工法須配合河床高度之困擾，無排樁保護工法須配合流向調整之困擾，是最適合河床高程、河川流向變動不定之上游河川。但鋼板易遭撞擊毀損及與墩柱密合問題，將導致換修維護成本過高，需加以改善。

如水土保持工程防砂構造物前加置一些緩衝材料，來消滅撞擊石之一些能量，以保護結構物之安全。由試驗得知，加置緩衝材料，如橡膠、輪胎、砂包等，可降低大約 95% 之受衝擊加速度。大陸中科院成都山地所專家何思明設計出一種新型複合「耗能減震」結構，這種結構可以通過自身的變形來吸收滾石的衝擊能量，從而降低滾石衝擊力、保護橋墩結構安全。該結構為內外兩層鋼板，中間設置鋼筋骨架，並充填硬質聚氨酯泡沫材料。硬質聚氨酯泡沫材料(RPUF)是一種密度小、易成型的多孔介質，具有很好的吸收動能的特性，能夠緩和衝擊，減弱振蕩，減低應力幅值。

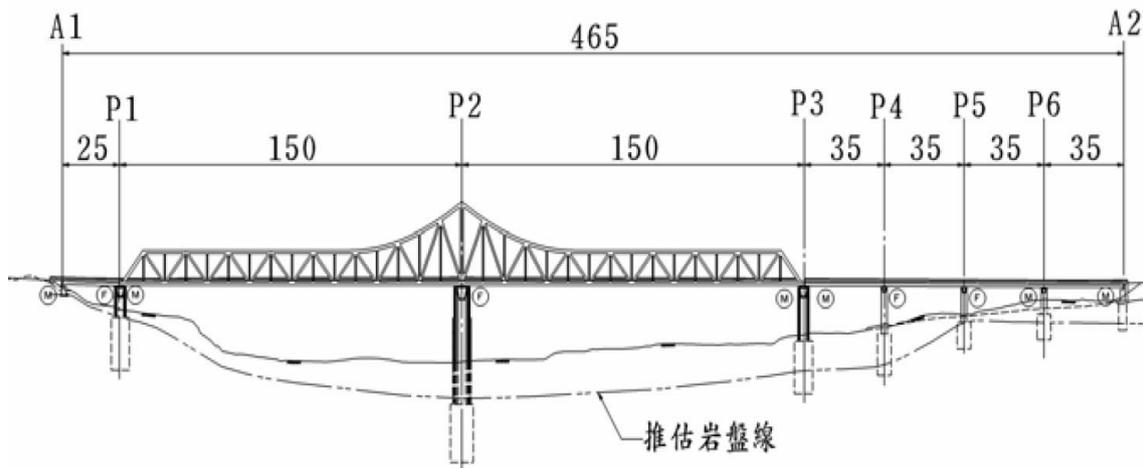
十、整體橋梁體系的防制沖刷及土石流撞擊

鑒於前述防制沖刷及土石流撞擊對策都面對設備硬度不一定能抵禦土石流，以及設備無法與橋墩結構物施作過程結合。因此，橋墩設計配合莫拉克災後荖濃溪河床特性，首次應用之複合式基礎施工法對施工之安全、經濟、效率具明顯之效益。橋梁於行水區僅落一墩，橋墩複合式基礎入岩 24 公尺，以自體安定防制沖刷，以及橋基外覆鋼板及外覆耐撞擊沉箱壁，說明如下。

(一) 橋梁配置

橋址所在之荖濃溪河道寬 190 公尺，規劃路線約以 45° 之斜交角度跨越。橋梁如以單跨跨越達到不於河道中立墩之要求，則跨度至少需為 270 公尺。經邀集結構、河防、土工及景觀專家學者綜合考慮排水、安全、施工、工期、景觀及經費等因素，決定於河道中僅立一墩 P2，兩跨跨度各 150 公尺，長 300 公尺之兩跨連續結構配置，如圖 12。

配合地形及規劃高程，橋梁全長 465 公尺，跨越河道之主橋配置為 2@150 公尺，長 300 公尺；南、北兩端引道橋配置分別為 4@35 公尺及 1@20 公尺，長 165 公尺。



資料來源：林舜元、劉達中，民國 99 年 12 月，「中鋼協建新發大橋重建工程之規劃設計」。

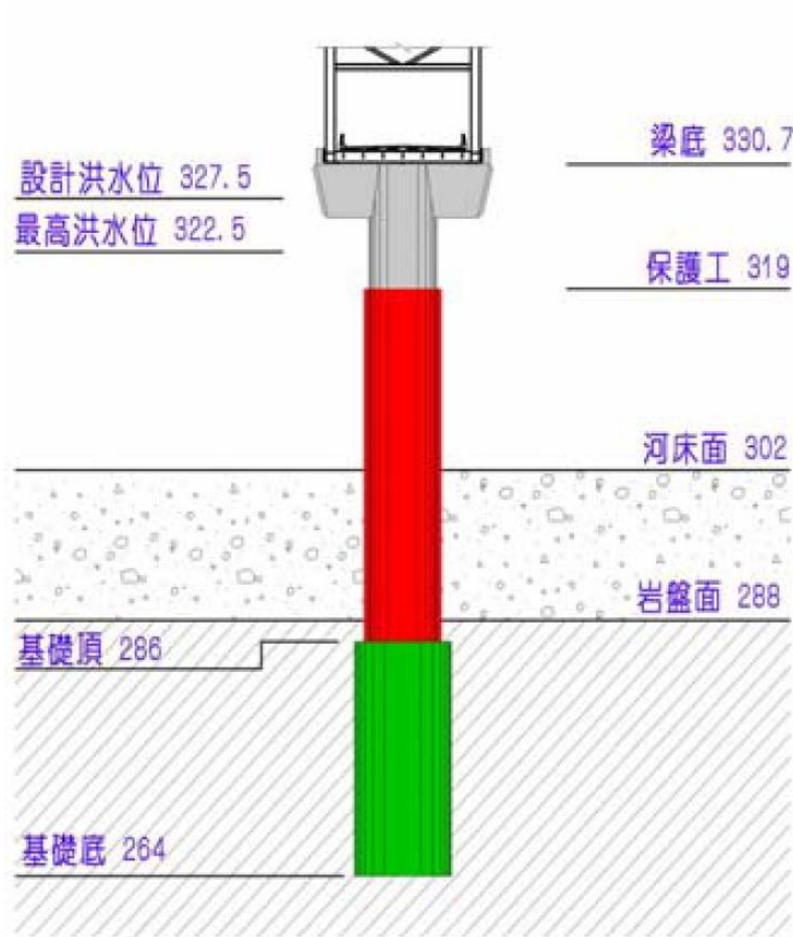
圖 12 橋梁配置立面圖

(二) 河道之橋墩 (P2) 設計考量

P2 橋墩為唯一落於行水區中之橋墩，橋墩之橫向力設計除考慮風力、地震力外，並考慮每公尺 139 公噸之土石流衝擊力。

P2 橋墩高 45 公尺，採外徑 7 公尺之鋼筋混凝土空心橋墩設計，壁厚 1 公尺。現有河床覆蓋層厚度 14 公尺，以下為岩盤，設計沖刷深假設至岩盤頂部，即 14 公尺。

井式基礎外徑 10 公尺，壁厚 1 公尺，基礎頂位於岩盤下 2 公尺，基礎深 22 公尺。橋墩表面採 10 公厘厚之熱浸鍍鋅鋼版防護。p2 橋墩立面參見圖 13。

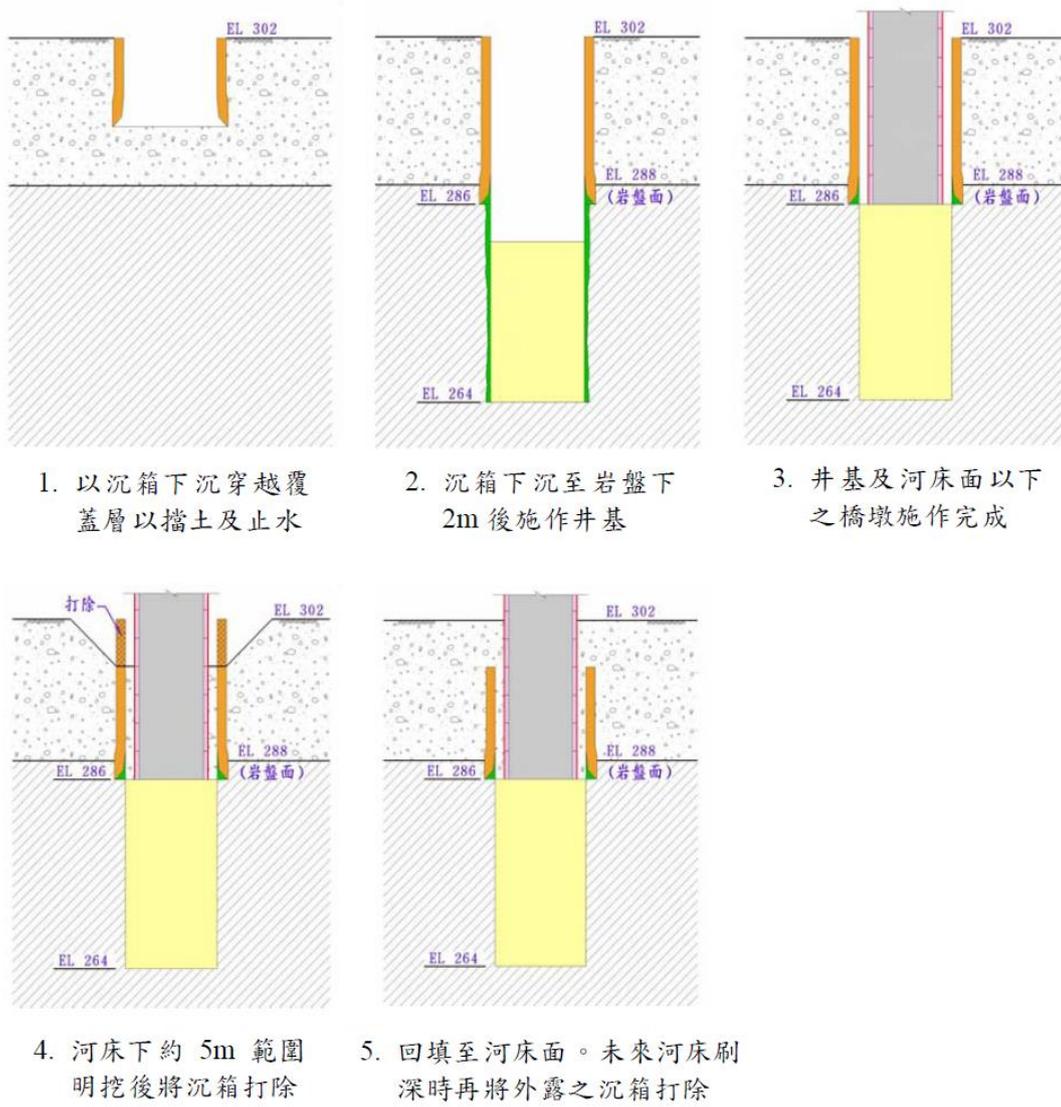


資料來源：林舜元、劉達中，民國 99 年 12 月
 「中鋼協建新發大橋重建工程之規劃設計」。

圖 13 p2 橋墩立面配置

由於河床覆蓋層厚達 14 公尺，考慮施工安全性，p2 橋墩井式基礎施工採「沉箱-井式基礎」複合式施工，即於暨有河床面先以沉箱方式施工至嵌入岩盤 2 公尺後再行施作井式基礎，以確保施工安全。詳細施工步驟參見圖 14。

施工期間考慮橋墩耐土石流衝擊，而保留沉箱，作為井式基礎之外圍保護層。



資料來源：林舜元、劉達中，民國 99 年 12 月，「中鋼協建新發大橋重建工程之規劃設計」。

圖 14 p2 橋墩井式基礎施工步驟示意

十一、結論

1. 依據現地勘查及訪談，研判新發大橋於莫拉克颱風期間災損原因，除了流量為歷史最大以外，左岸巴斯蘭溪土石流下洩堆積於荖濃溪左岸，導致河水偏向單岸集中沖刷，以及土石及漂浮木撞擊結構物等因素，都需在本重建工程內慎重考量及檢討因應。
2. 新發大橋抗洪能力之河道流量(稱設計流量)宜採用迄今最大流量。設計洪水位以設計流量模擬水位為準外，須考量土石流沖積扇遮蔽河寬、漂浮木、波浪、彎道效應等因素。
3. 設計流量下之橋墩沖刷量，以橋墩尺寸、HEC-RAS 所模擬水理條件、河床為覆蓋層材料，配合六項公式辦理推算，建議以橋墩局部沖刷約 11.26 至 13.17 公尺準。另因現況河床有堅實岩盤，及荖濃溪近年都將處於高輸砂量，前述沖刷量可再折減。
4. 設計流量下之土石流衝擊力，為兼顧工程經濟與尊重學理公式，建議採二個常用公式之小值為設計值，即土石流衝擊力以 139(ton/m)計。
5. 防制沖刷及土石流撞擊設備應與橋墩結構物施作過程結合。因此，橋墩設計配合莫拉克災後荖濃溪河床特性，首次應用之複合式基礎施工法對施工之安全、經濟、效率具明顯之效益。橋梁於行水區僅落一墩，橋墩複合式基礎入岩 24 公尺，以自體安定防制沖刷，以及橋基外覆鋼板及外覆耐撞擊沉箱壁。
6. 橋墩防制土石撞擊對策，建議為適應荖濃溪河床高程、河川流向變動不定特性之墩柱包覆鋼板及內填緩衝材保護工法。

參考文獻

1. 水利署水利規劃試驗所，民國 96 年 11 月，「高屏溪治理規劃檢討」。
2. 水利署水利規劃試驗所，民國 98 年 10 月，「高屏溪莫拉克颱風水文檢討」。
3. 水利署水第七河川局，民國 98 年 10 月，「高屏河流域整體治理規劃檢討 (1/2)」，中興工程顧問公司。
4. 王新貴，民國 91 年 7 月，「不均勻橋墩與套環保護工法之局部沖刷研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
5. 交通部公路總局第五區養護工程處，民國 98 年，「交通部公路總局第五區養護工程處轄區 9 座橋梁訂定封橋水位」期中報告，中興工程顧問公司。
6. 林舜元、劉達中，民國 99 年 12 月，「中鋼協建新發大橋重建工程之規劃設計」，第十屆中華民國結構工程研討會。
7. 謝國正，民國 98 年 11 月，「新發大橋重建工程設計-河道水理及相關設計條件分析」，中興工程顧問公司。
8. 連惠邦等，民國 91 年「土石流防治工法之研究評估(二)」，農委會水土保持局。
9. 游繁結，民國 82 年，「土石流之防治工法」，水土保持學報 25 卷第一期。
10. 程仕帆，民國 92 年 7 月，「套環保護工法對減少橋墩局部沖刷之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
11. Melville, B. W., and Hadfield, A. C., "Use of Sacrificial Piles As Pier Scour Countermeasures." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 125, No. 11, pp. 1221-1224(1999).