

提昇山區橋梁抗災能力之台 21 線那瑪夏至五里埔路段中期復建鋼橋 工程規劃設計及施工

林曜滄¹ 楊國雄² 張肇華³ 陳嘉佑⁴ 鍾柏仁⁵ 楊宗岳⁶

¹ 台灣世曦工程顧問股份有限公司，第一結構部協理

² 台灣世曦工程顧問股份有限公司，第一結構部副理

³ 台灣世曦工程顧問股份有限公司，第一結構部正工程師

⁴ 公路總局第三區養護工程處旗山工務所，助理工務員

⁵ 公路總局第三區養護工程處旗山工務所，工務員

⁶ 公路總局第三區養護工程處，處長

摘要

2009 年 8 月 8 日中度颱風「莫拉克」挾帶超大豪雨量侵襲台灣，引發台灣中南部及東南部地區發生水患及土石流，造成各地多處家毀人亡，道路柔腸寸斷，滿地瘡痍慘不忍睹，其中高雄市甲仙區小林村之滅村事件，更導致數百人遭到土石流活埋，為台灣自 1959 年「八七水災」以來最嚴重的水患災害，造成台 21 線那瑪夏-甲仙路段(209K~221K)交通中斷，雖經多次緊急搶通，但仍因颱風暴雨侵襲，造成多次道路交通中斷，影響民生甚鉅。另在 2012 年 6 月 10 日旺盛西南氣流引致「610 水災」及 2012 年 6 月 20 日「泰利颱風」雙重影響，原有鋼便橋數座遭洪水沖毀，全線柔腸寸斷，交通中斷，再次影響居民進出。

由於本路段長期復建方案尚須進行詳細的水文及地質調查，才能選定安全永續的路線，在長期復建方案尚未確定前，本路段為維持民生交通，遂採取中期補強方式以期提昇便道、便橋的抗洪能力。由於便道路線鄰近河道沖刷、淤積不定河川特性下，新建鋼橋設計面臨嚴峻的挑戰，為提昇橋梁的抗災能力，除了橋台選址儘可能避開易坍塌路段外，在橋梁結構方面，採用無基礎版的樁柱式橋墩、易修復的簡支鋼 I 型梁橋並加大橋梁跨徑(跨距 48 公尺)，以減少阻水，提昇抗河道淤積及抗沖刷能力，同時橋墩採用鋼板保護且在迎水面設消能樁以加強耐撞擊能力等作法，減少交通中斷之疑慮。

本文將針對那瑪夏至五里埔路段中期復建鋼橋工程之規劃設計作整體之敘述，有系統的提出提昇抗災能力之具體作法，以作為未來工程界相關工程之參考。

關鍵字： 樁柱基礎、消能樁

Abstract

Typhoon Morakot brought amount of rainfall with high intensity to Taiwan in August 2009. Landslides and floods were everywhere in south Taiwan due to the big rainfall. Unfortunately, this resulted in a catastrophic landslide at Hsiaolin Village and hundreds of people were lost lives in this accident. In addition, Taiwan Provincial Highway No. 21 (section 209K-221K) was also disrupted by this typhoon. After that, government also concerned about this issue and engaged in emergency rehabilitations for few times, but the makeshift road was interrupted by floods or landslides caused by heavy rainfall so too. Furthermore, some steel temporary bridges in this road were destroyed by the 610 flood and typhoon Talim. People's livelihood is seriously affected by the worse traffic

communication.

Since the permanent post-disaster recovery of this road will be determined after detailed geotechnical and hydrological evaluation, the temporary route is produced to maintain people's livelihood. Therefore, twelve new steel bridges will be constructed in this temporary route. In order to enhance the safety of this way, the landslide regions are avoided as construction sites of abutments, and pile-bent and I-section bridges with long span (48m) are applied in this design case to reduce the hazard of disaster. Additionally, steel-plates-clad piers and crash-proof steel columns placed ahead of the piers would increase the ability of flood resistances.

The planning design of this case will be introduced and some concrete methods will be provided in this article. And these concepts and methods offer other choices in engineering applications for similar incident in future.

Keywords: Pile-bent, Crash-proof steel columns

一、前言

2009 年 8 月 8 日中度颱風「莫拉克」挾帶超大豪雨量侵襲台灣，引發台灣中南部及東南部地區發生水患及土石流，造成各地多處家毀人亡，道路柔腸寸斷，滿地瘡痍慘不忍睹，其中高雄市甲仙區小林村之滅村事件，更導致數百人遭到土石流活埋，為台灣自 1959 年「八七水災」以來最嚴重的水患災害。

在本次風災期間由於豪雨及溪水暴漲沖刷道路邊坡及溪床，導致多處道路坍方、路基流失，造成台 21 線三民甲仙路段(209K~221K)交通中斷，公路總局隨即積極投入災區道路搶通作業，並於民國 98 年 12 月完成溪底便道緊急搶通。其後溪底便道常因颱洪暴雨侵襲，造成多次道路交通中斷，影響民生甚鉅，為提昇前揭路段用路人安全，乃於民國 2011 年 1 月完成台 21 線 209K~221K 路段道路改善作業(中期提昇計畫)，將部分路段重新選線或改道或銜接原有道路，並採簡易鋼便橋跨越河道及提高便道路基高度，以提昇道路之抗災能力，歷經民國 100 年颱風豪雨考驗，道路交通中斷天數已大幅縮減，但是仍有局部便道路路基流失及鋼便橋遭沖毀的情形，2012 年 6 月 10 日旺盛西南氣流引致「610 水災」及 2012 年 6 月 20 日「泰利颱風」雙重影響，台 21 線那瑪夏至五里埔路段之鋼便橋數座遭洪水沖毀，全線再次柔腸寸斷，居民無法出入，該路段先以簡易鋼便橋作為通行之用。

爰此，公路總局為提昇該路段鋼便橋及溪底便道抗洪能力，乃辦理台 21 線那瑪夏至五里埔路段中期復建鋼橋工程，故本工程新建 12 座鋼橋有別於傳統鋼便橋，特別加強其抗災防洪耐震能力等，其位置如圖 1 所示。冀本計畫完工後，能提昇本路段道路的抗災能力，減少交通中斷之疑慮。

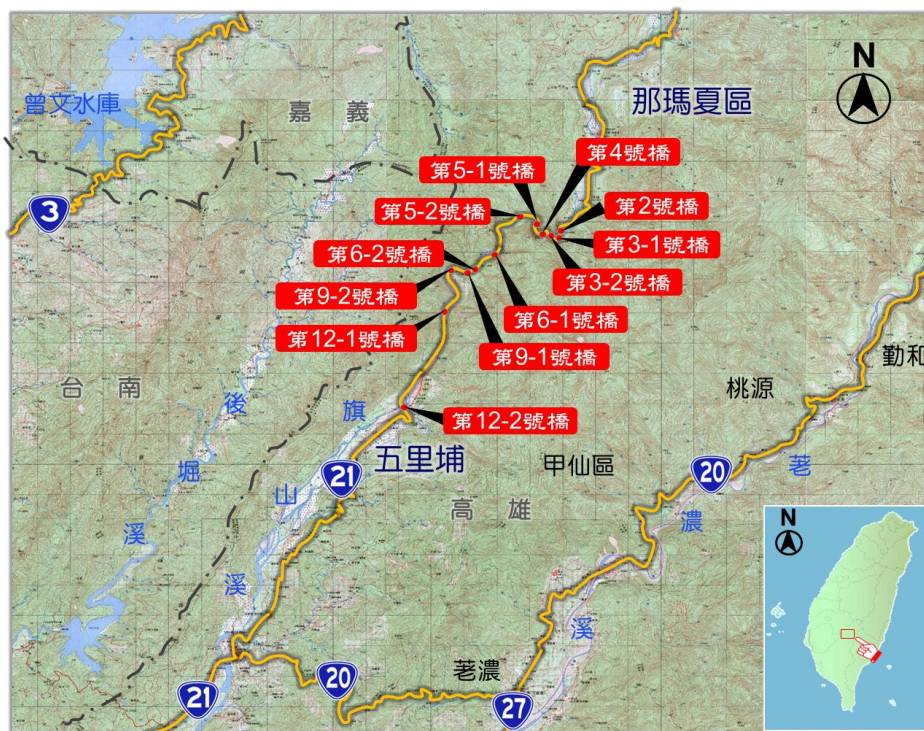


圖 1 工程位置及範圍位置圖

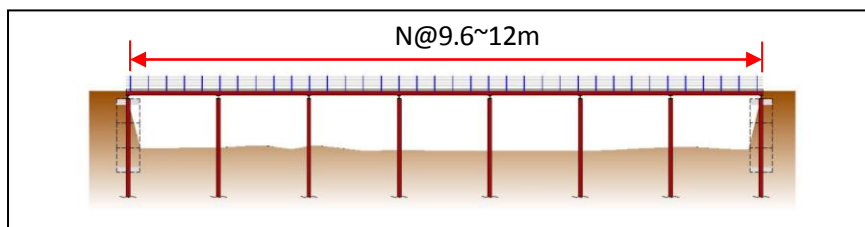
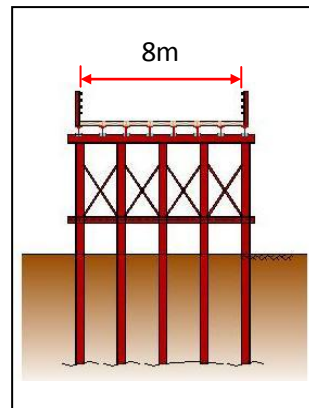
二、道路之災害情況及致災成因分析

2.1 原有鋼便橋災損情形

本計畫台 21 線那瑪夏至五里埔路段範圍內之既有鋼便橋共 12 座，結構系統為多跨簡支梁型式，橋梁跨度為 9.6~12m，橋面淨寬約 8m，結構型式概述如下：

- 上部結構：H 型鋼梁，橋面鋪面採鋼質或 RC 覆工板。
- 下部結構：橋墩柱採 H 型鋼柱及鋼斜撐，橋台端基礎採臨時貨櫃填充塊卵石及混凝土(3:7 比例混合)保護。

本路段既有鋼便橋於 2011 年 1 月竣工，其中第 3-1、3-2、4、5-1、5-2、9-1、12-2 號等 7 座鋼便橋於 2012 年『610 水災』沖毀，其餘橋梁也有程度不一的受損情形(詳圖 2)，隨即以管涵鋪築便道於 2012 年 9 月 10 日搶通。



第 2 號鋼便橋



第 3-1 號鋼便橋



第 3-2 號鋼便橋



第 4 號鋼便橋



第 5-1 號鋼便橋



第 5-2 號鋼便橋



第 6-1 號鋼便橋



第 6-2 號鋼便橋



第 9-1 號鋼便橋



第 9-2 號鋼便橋



第 12-1 號鋼便橋



第 12-2 號鋼便橋

圖 2 2012 年「610 水災」既有鋼便橋災損照片

2.2 既有鋼便橋致災成因分析

為了避免新建鋼便橋再次受到洪流沖毀損壞，應充份了解既有鋼便橋致災成因，才能有效提高本橋抗災能力，經實地勘查並分析災損原因如下：

- 1.原有路線未避開災害潛勢區：多座橋梁橋台後方引道路堤位於河川地，因填築路堤而造成河道寬度束縮，當洪流大水來時，引道極易遭沖毀流失，詳圖 3。
- 2.結構強度不足：下構採勁度較小 H 型鋼，無法抵抗大量土石衝擊，常造成結構損壞，詳圖 4。
- 3.梁底高程不足：洪水易沖擊橋梁上構，使得本橋承受強大水流力造成上構沖毀，詳圖 5。
- 4.原有鋼便橋梁跨度不足：橋跨度 9.6~12 公尺，易阻水且不利通洪，常造成掛淤嚴重，詳圖 6。
- 5.下構採 H 型鋼，貫入深度淺：地層上方崩積層大型塊石多，因此下構 H 型鋼貫入深度淺，詳圖 7。



圖 3 引道位於河道中引道流失



圖 4 下構勁度小不耐沖擊



圖 5 洪水沖擊橋梁上構沖毀



圖 6 下構跨度小不利通洪



圖 7 H 型鋼下構貫入遇塊石

三、中期復建工程規劃與設計考量

計畫路線方案規劃原則，廣泛蒐集以往多次河道及臨時便道之變遷歷程及永久性復建道路選線資料，並現地勘查工址地形、地貌及既有鋼便橋現況，新設計之鋼橋平縱面位置需能與既有便道順接以撙節經費，局部路段之便道距離河畔山壁尚有一段距離，應配合改建新橋時將便道向山壁移設，除可加大旗山溪通洪斷面，並將便道路面予以適度提高高程，施工期間亦可維持既有便道、便橋交通。

功能定位：本工程作為長期復建前之階段性任務，預計本工程中期復建鋼橋服務年限約 10 年。
設計標準：中期復建鋼橋主體工程需符合永久構造物設計標準，因本工程經費受限，僅銜接新建鋼橋的局部引道段(約 50~100M)加固保護後，再銜接回原有溪底便道，如此可兼顧不須投入大量建設經費，及未來災害可快速修復之兩全其美作法。

各橋梁路線研選原則及潛在致災風險評估分述如下：

3.1 路線抗災設計考量

(一) 第 2、3-1、3-2 號中期復建鋼橋

於 2012 年「610 水災」中，位於該路段之第 2 號鋼便橋並未遭到洪水沖毀，但橋梁防洪高程不足，水災後可發現那都魯薩溪夾帶大量土石堆置橋面並沖毀橋護欄，橋下堆積大量土石，通洪斷面明顯不足。為防止新建鋼橋遭受洪水衝擊，將橋梁長度加長，跨度加大，並抬梁底高程以增加通洪斷面。新建第 2 號鋼橋設置於既有鋼便橋下游側，前後引道銜接既有便道，新建鋼橋完工之後將拆除既有鋼便橋，以利通洪。第 3-1 號橋續第 2 號橋南引道後右轉跨越旗山溪。配合橋梁高程抬高之需求，將新橋設於舊橋上游側，並將 A2 橋台引道向上邊坡偏移。第 3-2 號橋橋梁前後之平縱面線形須與第 3-1 號橋及第 4 號橋一併考慮。第 3-1、3-2 號橋橋址附近災害潛勢區如圖 8 所示，路線避開崩坍區及河川冲刷區。



圖 8 第 2、3-1、3-2 號中期復建鋼橋橋址處災害潛勢圖

(二) 第 4 號中期復建鋼橋

第 4 號橋位於旗山溪河道束縮區，受地形限制，將 A2 橋台抬高設置於岩石上方，避免河川沖刷，並抬高引道避開河道束縮區，以加大河川通洪斷面。第 4 號橋及第 5-1 號橋之間引道配合橋梁高程，抬升至山壁遠離河道。如圖 9 所示。



圖 9 第 4 號中期復建鋼橋橋址處災害潛勢圖

(三) 第 5-1、5-2 號中期復建鋼橋

第 5-1 號橋銜接 4 號橋引道，於 4 號橋下游 3 百餘公尺跨越旗山溪至左岸，接回原溪底便道。第 5-2 號橋，路線跨越旗山溪至右岸，A1 橋台及引道將較現有便道偏向山壁，除讓 A1 橋台避開行水區外，也可讓既有便道充當新路線之護岸。A2 橋台設置於原台 21 線第十三號橋 A2 橋台下游處岩石上，將大幅提高橋梁高程，同時避開旗山溪主河道攻擊面。如圖 10 所示。



圖 10 第 5-1、5-2 號中期復建鋼橋橋址處災害潛勢圖

(四) 第 6-1、6-2 號中期復建鋼橋

錫安山地標石至第 6-1 號便橋 A1 橋台間引道可向右側高灘地偏移，以增大旗山溪通洪斷面，並利用既有便道當作新建引道之護岸，便道於右岸南行至標示『錫安山』邊坡下方，跨越旗山溪至左岸，如圖 11 所示。配合第 6-2 號橋高程，第 6-1 號橋 A2 到工程終點之鋼橋引道皆設置於既有便道靠山側並配合提高高程，使便道遠離河道。



圖 11 第 6-1、6-2 號中期復建鋼橋橋址處災害潛勢圖

(五) 第 9-1、9-2 號中期復建鋼橋

為提高便道高程及經水理計算後，原錫安山明隧道防洪高程不足，新設鋼橋及便道無法利用錫安山明隧道，故第 9-1 號橋於明隧道上游處跨越旗山溪，A2 橋台引道將設於旗山溪右岸高灘地。如圖 12 所示。第 9-2 號橋位置原為兩座鋼便橋分別跨越該路段旗山溪兩河槽，兩橋間之引道為溪中兩深槽間之高灘地，為避開旗山溪右岸崩積區及左岸野溪土石影響，及避免因行水區變動冲刷高灘地造成道路中斷，加長橋梁長度。

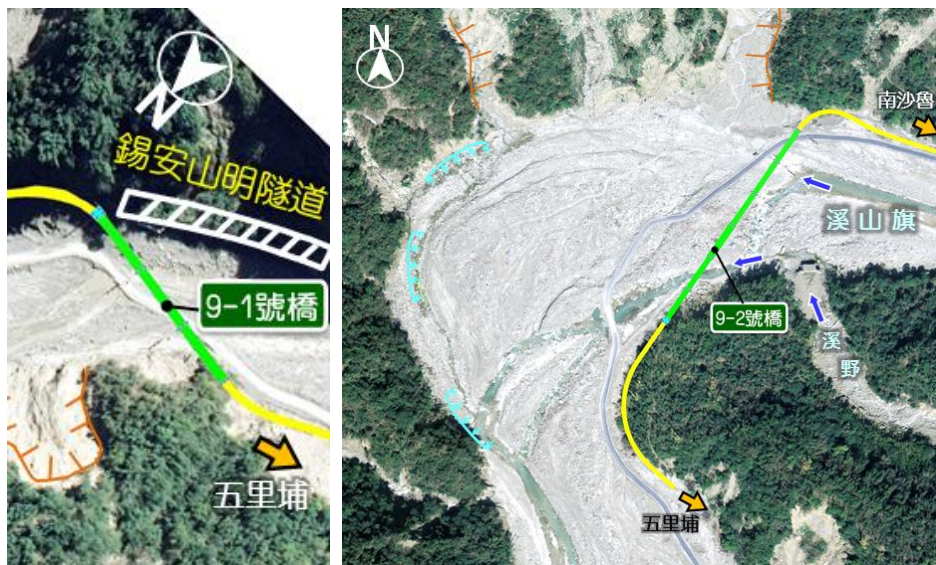


圖 12 第 9-1、9-2 號中期復建鋼橋橋址處災害潛勢圖

(六) 第 12-1、12-2 號中期復建鋼橋

第 12-1 號橋梁跨旗山溪至右岸，因 A2 橋台之引道距右側山壁尚有空間，改建新橋時引道一併向山側，加大通洪斷面，如圖 13 所示。

第 12-2 號橋位於小林村西南方跨越旗山溪與角埔溪匯流處，該處河道較寬約 550 公尺，橋址選在較下游側，橋梁跨越河川深槽區為原則，橋長 $5@48=240$ 公尺，如圖 14 所示，由於本路段河寬較寬，預留未來延伸橋梁長度機制，橋台採與橋墩結構型式相同。



圖13 第12-1號中期復建鋼橋
橋址處災害潛勢圖



圖14 第12-2號中期復建鋼橋
橋址處災害潛勢圖

3.2 橋梁結構抗災設計考量

本路段長期復建方案尚須進行詳細的水文及地質調查，才能選定安全永續的路線，在長期復建方案尚未確定前，本路段為維持民生交通，採取中期補強方式以期提昇便道、便橋的抗洪能力。由於路線鄰近沖刷、淤積不定河道範圍，新建鋼橋設計面臨嚴峻的挑戰，為提昇橋梁的抗災能力，除了橋台選址儘可能避開易坍塌路段外，在橋梁結構方面，採用無基礎版的樁柱式橋墩、易修復的簡支鋼 I 型梁橋並加大橋梁跨徑(跨距 48 公尺)，以減少阻水，提昇抗河道淤積及抗沖刷能力，同時橋墩採用鋼板保護且在迎水面設消能樁以加強耐撞擊能力等作法，減少交通中斷之疑慮。

(一) 橋梁跨度加大

由於旗山溪上游仍有大量土石方，未來仍可能再度發生土石流，因此，橋梁型式採用中跨度之多跨簡支鋼 I 型橋跨越，以降低土石流之影響，其標準跨徑配置為 48 公尺。本計畫各鋼橋設置里程、跨河橋梁長度及寬度如表 1，鋼橋兩端引道銜接既有溪底便道。

表 1 中期復建鋼橋設置里程及橋梁配置

鋼橋編號	里程	跨徑及橋長(m)	橋寬(m)
第 2 號	209K+672~209K+768	2@48=96	5.5
第 3-1 號	209K+974.957~210K+071	2@48=96	5.5
第 3-2 號	210K+114.6~210K+258.6	3@48=144	5.5
第 4 號	210K+455.6~210K+599.6	3@48=144	5.5
第 5-1 號	210K+936.67~211K+080.7	3@48=144	5.5
第 5-2 號	211K+714~211K+858	3@48=144	5.5
第 6-1 號	213K+558~213K+702	3@48=144	5.5
第 6-2 號	214K+006~214K+054	1@48=48	5.5
第 9-1 號	214K+196~214K+340	3@48=144	5.5
第 9-2 號	214K+850~214K+215.138	6@48=288	5.5
第 12-1 號	216K+818.224~216K+962.014	3@48=144	5.5
第 12-2 號	224K+736~224K+976	5@48=240	5.5

(二) 耐撞擊能力提升

由於旗山溪上游仍有大量土石，每當颱風豪雨時，都會將上游土石帶至下游處並衝擊橋墩，橋墩耐撞擊能力需要特別注意，本工程採取下列方式，以提昇耐撞能力，詳圖 15：

1. 橋墩上游處設置消能樁(3 根 H 型鋼柱連接而成)，可分流洪水及防止河流中的石塊及浮木直接撞擊。
2. 橋墩柱及橋墩護座外側包覆 13MM 厚鋼板，提高防撞能力。
3. 施工期間受多次颱洪沖擊，正施作橋墩護座外側雖有包覆鋼板，仍受土石撞擊鋼板有局部受損現象，故於橋墩護座外圍加設船型塊石混凝土(50%塊石+50% 210kgf/cm² 混凝土)保護。
4. 橋梁下構採用柱樁基礎，2 根橋墩及 3 根基樁，基樁間以橋墩護座相連接，可提高結構贅餘度，避免因單一基樁受損造成立即性危險。



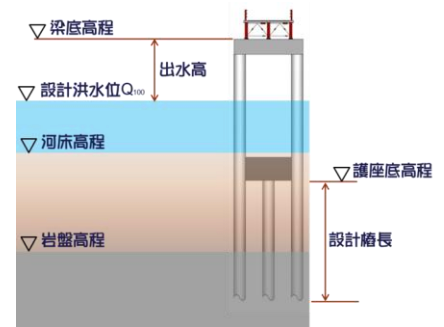
圖 15 橋墩耐撞擊能力設計示意圖

(三) 抗河道淤積能力提升

為提昇中期復建鋼橋抗災能力，以 100 年重現期距降雨量為目標，參考「高屏溪流域整體治理規劃(2/2)」(2011.02)報告之河川大斷面等資料進行分析，作為提昇鋼橋防洪抗災檢討標準，原則以水理分析所得 100 年重現期距設計水位高加 1.5 公尺出水高及保守取 1.5 公尺回淤量訂定梁底高程。當現地河道淤積達 1.5 公尺時，建議進行河道清淤處理，各便橋相關資料詳表 2。

表 2 各中期復建鋼橋水理分析結果資料表

橋梁編號	100年重現期流量 (m ³ /s)	水利署報告 採100年河道斷面水位 (m)	蘇力颱風水淹高程 (現地目視) (m)	101年10月 測量河床高程 (m)	設計容許 冲刷深度 (m)	設計容許 淤積高度 (m)
2	4141	508.51	507.5	505.58	5	1.5
3-1	4141	500.69	499.5	495.67	6.5	1.5
3-2	4141	498.43	497	489.84	5.5	1.5
4	4141	491.68	492.7	484.78	6.5	1.5
5-1	4141	481.39	483	475.37	6	1.5
5-2	4141	471.6	473.7	465.11	6	1.5
6-1	4141	450.84	451	443.77	6	1.5
6-2				445.09		1.5
9-1	4141	444.06	443.92	436.82	5.5	1.5
9-2	4141	428.98	434	423.98	5	1.5
12-1	4141	400.37	401	392.13	6	1.5
12-2	5599	359.26	360.7	353.47	5.5	1.5



註：本表係依「高屏溪流域整體治理規劃(2/2)」(2011.02)報告之河川大斷面等資料進行分析

(四) 抗河道冲刷能力提升

莫拉克風災後，旗山溪河床呈現沖淤不定現象，基礎版高程難以訂定，且經水理分析推估河床變化，長期屬冲刷現象，故當冲刷超過一定深度時，將會造成下構破壞風險。因此下部結構採無基礎版構架式樁柱結構，並考量未來改成多樁式基礎結構的預留機制，當河床高程因水流冲刷超過 100 年重現期之設計容許冲刷深度(約 5~6.5 公尺)，各鋼橋相關資料詳表 3.2，到達河床警戒高程時，建議應改為多樁式的基礎結構，橋墩預留基礎河床刷深補強機制如圖 16 所示。

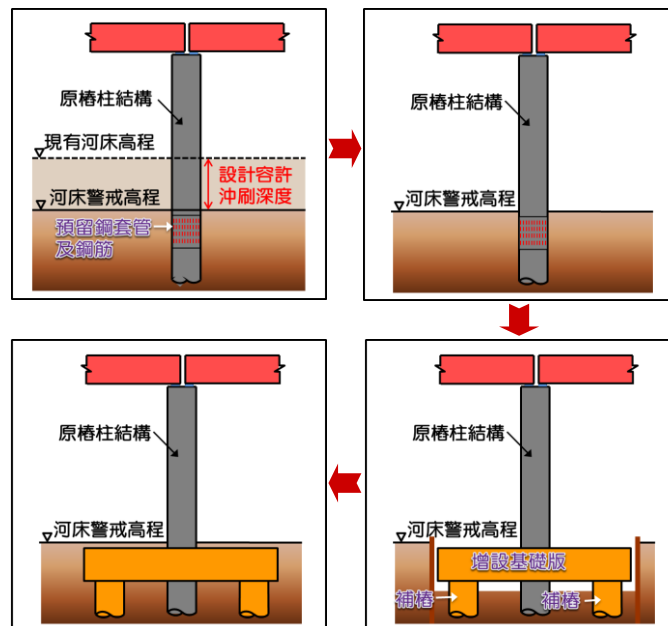


圖 16 橋墩基礎預留河床刷深補強機制示意圖

(五) 擬訂快速施工法及策略

1. 橋梁主要構件系統化、模組化施工

本工程主要結構材料性質詳見右表，每座橋梁上部結構均採鋼製構件採用鋼I型梁，跨度為 48 公尺，且均為直線橋梁，於工廠模組化生產製作，施工快速，品質及工期皆易管控，橋梁下部結構於工地現場施工，上部結構鋼構件於工廠同時施作，有效縮短工期。

鋼 I 型梁構材重量輕，可迅速運輸及於現場採整跨吊裝，無需現場支撐架，工期可縮短。

主要結構	材料性質
1. 鋼 I 型梁	ASTM A709 GR. 50
2. 橋面板	280kgf/cm ² 混凝土
3. 橋墩、帽梁	350kgf/cm ² 混凝土
4. 13mm 厚防撞鋼板	ASTM A709 GR. 36
5. 1.5m ϕ 全套管基樁	280kgf/cm ² 水中混凝土
6. 引道擋土牆	245kgf/cm ² 混凝土



圖 17 鋼 I 梁吊裝施工情形

2. 採橋墩帽梁施工鋼托架、不受汛期施工限制

由於橋墩帽梁施工須跨越汛期施工，考量颱洪期間易造成帽梁支撐架沖毀損壞影響工進，改採鋼製托架方式施工，詳圖 18。



圖 18 橋墩帽梁鋼托架施工情形

3. 採用浪形鋼板作為橋面版之模板

採用浪形鋼板作為鋼梁間之橋面模板，可較傳統方式大幅縮短模板組立時間，有效縮短橋面版施築時間，另儘量加大鋼 I 型梁橫向間距至 290 公分，以合成梁方式提高鋼梁強度，並縮短懸臂長度僅 10 公分，如此設計方式，在現場橋面版外懸部分施工可不需撐模，有效節省施工時間。

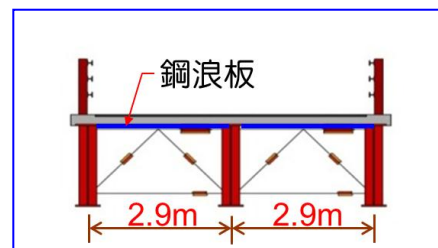


圖 19 I 型梁間浪形鋼板施工情形

4. 採多工作面之施工策略：一至二座橋一施工標發包

本工程橋梁工區分散於不同地點，各自獨立施工互不影響，且規模小、施工工法簡易，無須訂定施工廠商特殊資格。另考量施工廠商之動員能力、人力調派、工程規模及工區條件，以一～二座橋為一施工標方式，可同時讓更多廠商投入，增加工作面，同時進行施工，有效縮短施工時間，本工程分為 7 個施工標發包，各橋完工之照片，詳圖 20。

	
第 2 號鋼橋	第 3-1 號鋼橋
	
第 3-2 號鋼橋	第 4 號鋼橋
	
第 5-1 號鋼橋	第 5-2 號鋼橋



圖 20 12 座中期復建鋼橋完工照片

四、各標鋼橋施工工期、遭遇困難及改進之處

本工程分為 7 個標案發包施工，各標工期、工程費詳如表 3，考量縮短工期及下構基樁及橋墩施工時機，以冀在河中施工的基樁、橋墩等下部結構在汛期之前全數完成，因此壓縮設計時程，將設計階段在山區耗時之鑽探工作於工程發包後再實施，利用施工廠商開工動員期間進行地質鑽探工作。

由於工址處地質上層為崩積層，下層多屬砂岩或砂頁岩互層屬岩性堅硬，基樁施工工率不如預期，因此部分橋梁下構於汛期間仍在施工，再加上多處既有跨河鋼便橋已損壞，跨河處僅以鋪築管涵便道方式渡河，施工期間遭遇 7 次颱風豪雨，如蘇力、潭美、天兔及康芮颱風等，

累積雨量一旦超過 100mm，該管涵便道即中斷嚴重影響施工工期。

本工程經各單位不懈努力之下方可順利完成，惟在施工過程中仍發現有不夠周全之設計考量，經檢討調整如下：

- (1) 基樁尺寸一致性：原設計橋梁基樁尺寸採 1.5m ϕ 全套管基樁，引道擋土牆採 1.2m ϕ 基樁，施工期間考量當地地質較堅硬且 1.5m ϕ 基樁鑽掘工率較快有利縮短工期，最後修正基樁尺寸為 1.5m ϕ 。
- (2) 橋梁及欄杆面漆顏色應先與地方溝通協調，徵詢地方意見：本工程 12 座鋼橋雖為中期復建工程，具階段性任務，惟塗裝階段，當地居民表達希望納入原住民元素，致業主重新修改面漆顏色，分別採用淺砂、孔雀藍、硃紅、彩綠、深灰及紫白等 6 種色彩，不但符合當地民眾的期盼，亦將冰冷的鋼梁構造，注入了在地多元族群原住民色系的溫暖意象，對用路人而言不同橋顏色具有地區自明性之功能。
- (3) 河中帽梁在汛期間臨時支撐考量：鋼橋下部結構帽梁施工時需採臨時支撐，由於基樁工項施工延宕，導致於河中帽梁需在汛期間施工，原設計臨時支撐採傳統鋼管支撐架地面支撐，為避免遭豪雨洪水破壞，因此修改部份支撐為鋼製托架型式，詳圖 17。
- (4) 道路路線儘量避開大巨石：第 4 號橋與第 5-1 號橋間引道路線行經大巨石，此處地質屬緻密性高堅硬砂岩，若採破碎方式通過曠日費時，因此考量施工性及施工工期，將該路段向河側微調避開巨石，詳圖 21。

表 3 各標中期復建鋼橋鋼重及發包工期、工程費

各標中期復建鋼橋	鋼重(噸) A709 Gr. 50	工期 (日)	工程費 (萬元)
第 1 標(第 2 號橋)	約 180	210	約 5,600
第 2 標(第 3-1、3-2 號橋)	約 440	270	約 11,690
第 3 標(第 4 號橋)	約 266	240	約 7,250
第 4 標(第 5-1、5-2 號橋)	約 530	270	約 13,600
第 5 標(第 6-1、6-2 號橋)	約 355	240	約 9,500
第 6 標(第 9-1、9-2 號橋)	約 860	330	約 16,000
第 7 標(第 12-1、12-2 號橋)	約 770	300	約 15,800

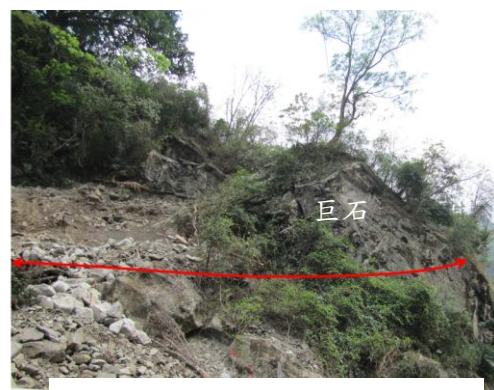


圖 21 路線避開巨石

五、營運階段之封橋水位

各橋完工通車後，於颱風期間考量用路人安全，仍需視水位情形封閉橋梁，因此訂定封橋水位值供養護管理人員作為封橋依據，並標示於各橋墩上，以利於現場作業執行，如圖 22，另於颱風過後也將派遣專業管理人員至現地檢視橋梁基礎裸露或河床淤積情形，以作為後續因應措施參考基準，其相數據訂定考量原則如下，各橋容許值詳表 4。

1. 颱風期間：



圖 22 封橋水位標示

分別訂定預警水位、警戒水位及行動水位與梁底高程關係值等，並與本工址上游處民生雨量站最大二日暴雨量，以二者先達到為準。

行動值：以民生雨量站二日累積暴雨量 800mm 或水位高程達梁底高程-3m，先達到為準。

警戒值：以民生雨量站二日累積暴雨量 700mm 或水位高程：梁底高程-4m，先達到為準。

預警值：以民生雨量站二日累積暴雨量 500mm 或水位高程：梁底高程-5m，先達到為準。

2. 颱洪過後：

2009 年莫拉克災後山區地質條件脆弱，大量鬆動之土砂堆積於河道，故現況河道於大雨期間為沖淤互現，河道極不穩定，每當颱洪過後需派人至現場了解各橋梁河床高程狀況，各橋容許值詳表 5。

(1)河床冲刷情形

檢查各橋梁基樁裸露情形，各橋梁基樁冲刷裸露情形將分成 3 種情境且採取不同處置方式，各橋將依結構特性及能力訂定其基樁容許裸露長度 L

情境 1：基樁裸露長度 $0 \sim L/2$ 應加強巡視

情境 2：基樁裸露長度 $L/2 \sim L$ 應立即辦理河床加固工程

情境 3：基樁裸露長度 大於 L 應立即將原樁柱基礎改建為多樁式基礎

(2)河床淤積情形

本工程採容許回淤量為 1.5 公尺，當河床淤積達 1.5 公尺時，建議進行河道清淤處理，若屬上游崩塌土石大量淤積，且無法有效清淤時，將會折減本工程抗災防洪能力。

表 4 颱洪期間各鋼橋預警、警戒、行動值

橋梁編號	梁底高程 (m)	預警水位 (m)	警戒水位 (m)	行動水位 (m)	河床高程 (m)
2	512.34	507.34	508.34	509.34	505.58
3-1	508.174	503.17	504.17	505.17	495.67
3-2	502.702	497.70	498.70	499.70	489.84
4	496.99	491.99	492.99	493.99	484.78
5-1	488.61	483.61	484.61	485.61	475.37
5-2	478.194	473.19	474.19	475.19	465.11
6-1	455.855	450.86	451.86	452.86	443.77
6-2	450.26	445.26	446.26	447.26	445.09
9-1	447.755	442.76	443.76	444.76	436.82
9-2	437.204	432.20	433.20	434.20	423.98
12-1	405.216	400.22	401.22	402.22	392.13
12-2	364.74	359.74	360.74	361.74	353.47

表 5 颱洪後各鋼橋基樁裸露及河床淤積容許值

橋梁編號	設計基樁容許裸露長度 (m)	加強警戒 基樁裸露長度(m)	河床加固 基樁裸露長度(m)	立即改建 基樁裸露長度(m)	設計容許淤積高度 (m)	設計樁長 (m)
2	5	0~2.50	2.50~ 5	≥ 5	1.5	20
3-1	6.5	0~3.25	3.25~ 6.5	≥ 7	1.5	22
3-2	5.5	0~2.75	2.75~ 5.5	≥ 6	1.5	20
4	6.5	0~3.25	3.25~ 6.5	≥ 7	1.5	21
5-1	6	0~3.00	3.00~ 6	≥ 6	1.5	21
5-2	6	0~3.00	3.00~ 6	≥ 6	1.5	23
6-1	6	0~3.00	3.00~ 6	≥ 6	1.5	21
9-1	5.5	0~2.75	2.75~ 5.5	≥ 6	1.5	21
9-2	5	0~2.50	2.50~ 5	≥ 5	1.5	20~23
12-1	6	0~3.00	3.00~ 6	≥ 6	1.5	22
12-2	5.5	0~2.75	2.75~ 5.5	≥ 6	1.5	20

六、2014 年七月颱洪侵襲考驗

2014 年 7 月 23 日中度颱風「麥德姆」侵襲台灣，旗山溪上游民生雨量站 24 小時累積雨量達 409mm，本中期復建之 12 座鋼橋均能抵抗洪水之洗禮，未傳出災情，安然度過，確實發揮其應有之功能。

七、結語

本文以莫拉克颱風災害台 21 線那瑪夏至五里埔路段鋼橋中期補強提昇工程實際設計經驗，介紹災害復建工程於路線研選、橋梁結構等二方面，全面提昇橋梁的抗災能力，除了橋台選址儘可能避開易坍塌路段外，且結構採用無基礎版的樁柱式橋墩，並於基樁適當深度處預埋鋼筋及鋼板，作為未來補強機制；採用易修復的簡支鋼 I 型梁橋並加大橋梁跨徑達 48 公尺，以減少阻水，提昇抗河道淤積及抗沖刷能力，同時橋墩採用鋼板保護且在迎水面設置消能樁以加強耐撞擊能力等作法，減少交通中斷之疑慮，此經驗可提供各界參考與應用，期有助於國內橋梁防災設計及施工技術的提昇。

中期復建鋼橋施工期間，儘管歷經 7 次因颱風或豪雨使交通中斷而施工受阻，在公路總局各級長官督導，秉持施工安全為先，工程品質為重的最高目標，日夜趕趕，以竟全工。本 12 座鋼橋均已完工，並於 2014 年 5 月 31 日開放全線通車，除保障了用路人行車安全，並提昇那瑪夏地區觀光效益，在地居民也真正脫離遇颱風、豪雨即路斷之夢魘。

七、參考文獻

- [1] 「旗山溪(那瑪夏鄉)、士文溪(春日鄉)二處堰塞湖調查評估及短中長期處理對策研擬計畫」，財團法人成大研究發展基金會，2010 年 8 月。
- [2] 「台 21 線 213K~225k 莫拉克颱風災害路段選線及修復方案規劃報告」，交通部公路總局，2011 年 8 月。
- [3] 「高屏溪流域整體治理規劃(2/2)」，經濟部水利署第七河川局，2011 年 2 月。
- [4] 「高屏溪水系支流旗山溪河川區域劃設水文分析報告(楠峰橋至那瑪夏區長朗吊橋)」，經濟部水利署第七河川局，2009 年 2 月。
- [5] 「高屏溪流域整體治理規劃(2/2)」，經濟部水利署第七河川局，2011 年 2 月。
- [6] 「高屏溪水系旗山溪上游河段治理規劃報告(月眉橋至甲仙攔河堰範圍界)」，經濟部水利署水利規劃試驗所，2007 年。
- [7] 「旗山溪河床穩定研究報告」，經濟部水利署第七河川局，2008 年。
- [8] 陳樹群、諸予涵、吳俊銘，「旗山溪集水區長期降雨特性改變與崩塌分佈關係」，中華水土保持學報，2012 年 3 月。
- [9] 網站：莫拉克 88news.org，<http://www.88news.org/>