

預力I型橋梁設計階段安全規劃考量-以台9線某工程標為例

程金龍¹、吳天麒¹

【摘要】 有鑑於台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界處地震頻繁，且面臨西太平洋而成為西太平洋颱風路徑首衝，故在花東地區工區施工中的工程更需考量如何因應不可預測天然或地震災害，以避免造成重大影響。本研究係以預力 I 型梁之橋梁工程為例，考量如何維持預力梁吊放後的穩定，防止吊放後因不可預測的外力造成傾倒、翻落，從設計階段到施工期間的橋樑安全性考量進行橋梁生命週期考量之實證研究，以期盼作為後續設計橋樑顧問公司之參酌並增進國內橋梁施工安全性。

壹、前言

鋼筋混凝土梁之剪力強度預測歷史由來已久，時至今日，一般相信鋼筋混凝土梁中混凝土抗剪貢獻係分為剪力裂縫互鎖效應、壓力區範圍混凝土抗剪與主筋插筋效應三部分，但ACI 318-14規範中對於混凝土剪力貢獻之主要來源仍有爭議。ACI 318-14認為，梁剪力裂縫互鎖機制為混凝土抗剪強度中之穩定來源，故剪力鋼筋設計時之降伏應力值

須小於420MPa，此乃因避免剪力裂縫寬度過大，使剪力裂縫互鎖機制喪失之故。然徐增全等人，於2010與2014年分別提出預測預力混凝土(PC)梁與鋼筋混凝土(RC)梁剪力強度之經驗公式。在混凝土剪力強度貢獻來源的認定上係認為混凝土梁壓力區為主要剪力強度貢獻來源，且對試體剪力預測結果具有合理之精確度。但此套公式，其物理含意與ACI-318規範有著本質上的差異。另外，依據公共工程委員會111年5月頒布防範施工中預力I型梁吊

放後翻落風險之作業指引，內容提及預力I型梁施工吊放可能之風險相關風險狀態。

相關吊放可能風險包含以下數種狀態：

一、預力I型梁施工吊放可能之風險：

一般橋梁上部結構是由主梁及橋面版等組成，其中非現場澆置之橋梁，例如預力混凝土I型梁橋，是先行預鑄吊放後，於現場再施作隔梁與橋面版等單元，以完成上部結構。



圖1-1 預鑄預力梁之吊放

當橋面版與隔梁未完成前，吊放後單支梁因未相互連接，無法構成穩定結構、穩定性普遍偏低，尤其I型梁無橫向抵抗能力，若遇地震、颱風或施工不當，即有發生傾倒掉落之風險。

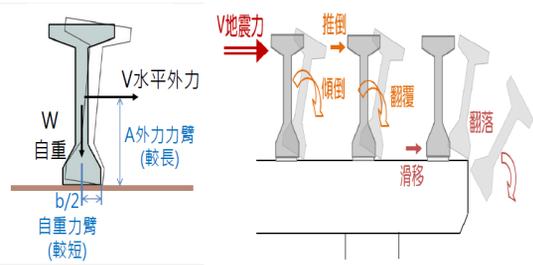


圖1-2 預力I型梁易產生翻覆傾倒或滑移掉落

預力I型梁軸向施拉預力，強軸能抵抗強軸受力(包括自重)及彎矩，惟預力I型梁傾倒後，因弱軸無法承受自重及彎矩，容易導致斷裂掉落。

過去台灣橋梁施工經驗中，即有預力I型梁橋翻落之災例，近期亦有施工中工程受外力如地震影響而發生預力梁吊放後翻落事故。



圖1-3 111年3月花蓮玉興橋崩塌意外

貳、文獻資料蒐集

現有臨時固定設施規定及吊放工序設計施工均欠周延當預力梁施工及吊放後，應設置臨時固定設施，並隨即施工隔梁及橋面版，相關問題摘錄如下表所示

1. 規範僅有原則性要求

依據交通部「公路工程施工規範」第01525章「橋梁工程施工作業安全一般要求」規定，預鑄混凝土梁吊放之施工計畫要事先經核可，且於該章第3.2.4條第(1)項之F款規定，預鑄預力混凝土梁之吊放工法，對於預力梁應「吊放定位後應即設置臨時固定設施，並慎防碰撞而產生骨牌效應，致已吊放之預力梁傾倒掉落」。

2. 臨時固定設施欠缺細部規範

預力梁於施工中或吊放於橋墩帽梁後，都應設置臨時固定設施以避免發生傾倒，惟因無細部規範，施工亦未考量風險因應，做好臨時固定設施。

梁場臨時固定設施現況照片



3. 斜撐只能於兩端帽梁處設置

吊放後在預力梁頭兩旁設置斜撐，撐

在I型梁兩側上翼版，惟相較梁場位處大面積平地可於梁身設置多數斜撐，吊放後預力梁僅有兩端帽梁可以設置斜撐穩定度較不如預鑄梁場堅固。

吊放前-斜撐可均佈於梁身



吊放後-斜撐只於兩端帽梁



4. 梁頂連結桿件之固定不足

吊放後在預鑄梁頂上方，每隔一段距離設置木料角材連桿，以鐵絲紮緊在梁上方的預留鋼筋上，惟其設置數量通常未量化，且以鐵絲綁紮方式不足以承受外在水平作用力(例如地震)。

參、實證案例概述

一、研究工程說明

本道路拓寬工程起點位於鹿野鄉台9線永嶺路口里程325K+900，終點位於台9線永樂路口前里程328K+800止，全長2.9公里，工作內容包含：拓寬道路為30公尺，佈設雙向各2車道1慢車道，新設中央分隔線帶、路塹段南北兩向分離、路堤段兩側擋土牆施作、景觀植栽、武陵橋工程等。工程係以落實「人本、景觀、生態、安全」道路規劃設計理念，台9線扮演著臺東居民最重要的交通命脈，載著花東縱谷山水美景，牽動著當地觀光產業。橋梁設計需注意花東斷層近域效應、極端氣候及河道變遷，橋梁結構外型應採流線輕巧，低調融入，極簡的結構展現日昇之都最自然的景觀，橋梁設計原則，依橋梁美學、防洪耐震、維管施工及生態環境四方向

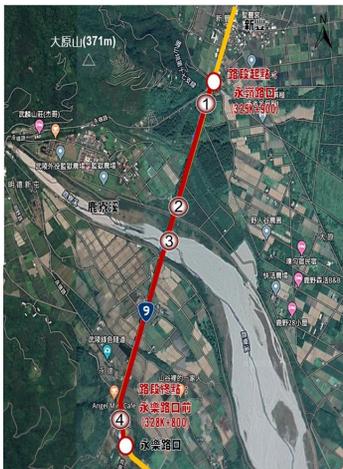


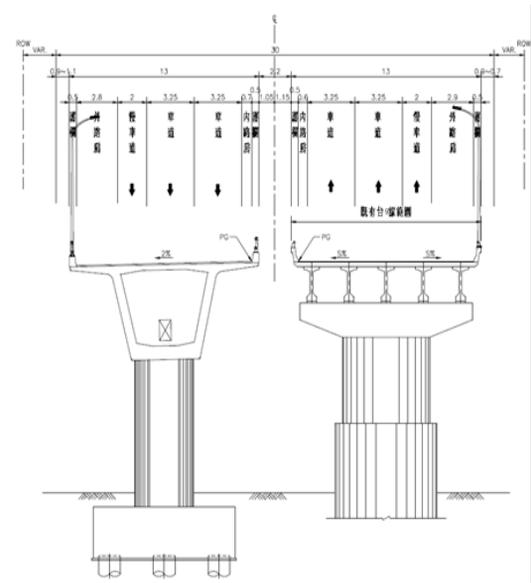
圖3-1 工程範圍說明圖

二、橋樑型式評估

依據職業安全衛生法第五條第二項規定，設計單位於設計階段即針對此跨越溪之橋型進行安全性評估，並與各專業同仁共同研討橋型規劃。

三、預力PCI橋梁設計斷面圖說明

本案例路段為跨越鹿寮溪之武陵橋，車道配置係雙向四車道及兩慢車道，南下線將利用原橋通行，並於東側新設北上線橋梁，橋梁斷面圖如圖3-2所示。



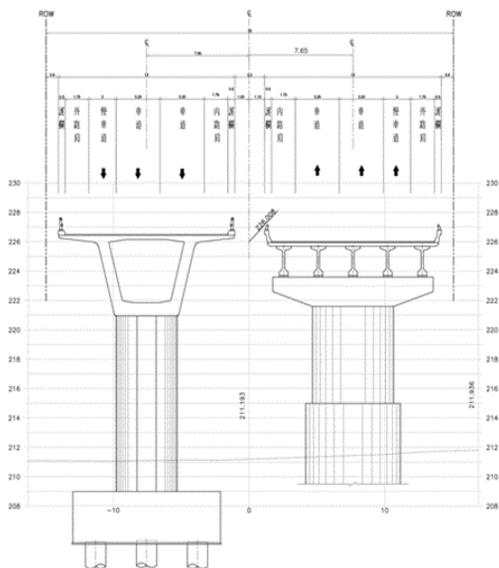


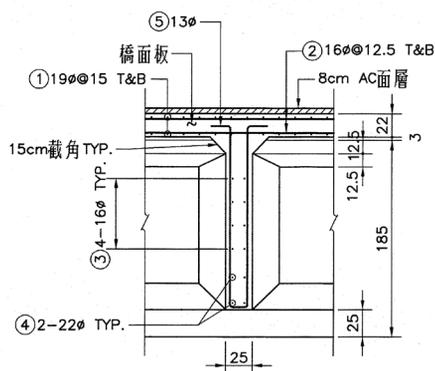
圖3-2 本座橋梁斷面設計圖

四、預力PCI橋梁預防傾倒設計

本案例於施工期間適逢公共工程委員會111年5月5日工程管字第1110300425號函文，頒布之最新作業指引，故遵照工程會相關作業指引繪製相關施工安全預防圖說，對於預力I型梁，除單支梁斜撐外，宜於梁頂部設置橫向連結之鋼構件，以利吊裝後立即將I型梁兩兩快速橫向連結，形成穩定構造。另外，橫向連結鋼構件之設置位置，原則上至少設置於隔梁鄰近處，且於同一跨度單元吊放完成後，立即將預力梁兩兩快速連結，連結鋼構件分段設置。

對於地震力分析部分，因本案位處於地震帶頻繁之區域，故水平設計

地震力應依工址位置與風險分析結果，以交通部「公路工程施工規範」第01525章「橋梁工程施工作業安全一般要求」內容，強度以不小於「公路橋梁耐震設計規範」中的等級I地震為原則。



中隔梁處
1:30

圖3-3 預力I型梁橋面中隔梁配筋圖

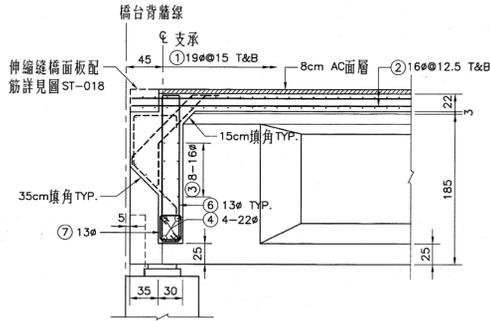


圖3-4 預力I型梁橋面伸縮縫配筋圖

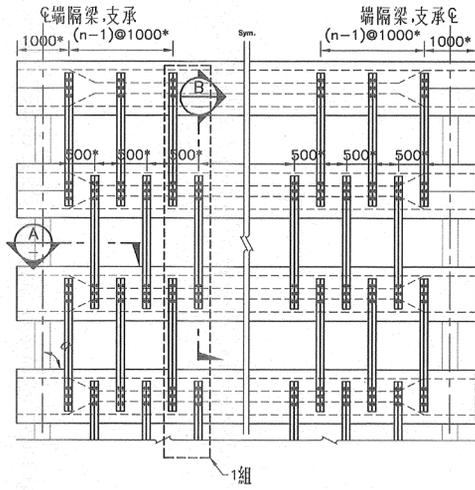


圖3-5 預力I型梁臨時防落裝置平面圖

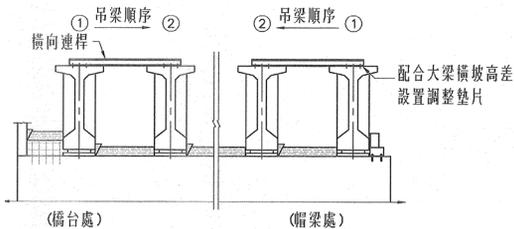


圖3-6 預力I型梁防落裝置示意圖(端隔梁處設計圖說)

未來於施工階段，承攬商在於施工材料吊運或結構體吊裝時吊運路線下方與吊車作業範圍應管制人員進入

，並且應確實檢討吊車停放位置檢撲面底層承载力是否足夠，吊車操作人員應為經驗豐富之合格作業手。

肆、結論與討論

施工階段施工廠商應檢視設計內容，並依其施工方式、經驗能力及投入人、機、料等因素納入施工考量，並應經由專任工程人員及協力廠商進行繪製施工圖說，其設置內容應納入於施工計畫中，循序簽證、審查及核備，並作為品質管理標準及施工檢驗程序，落實按圖施工執行。

以下為本案施工期間相關照片記錄：



圖4-1 預力I型梁吊放場地照片

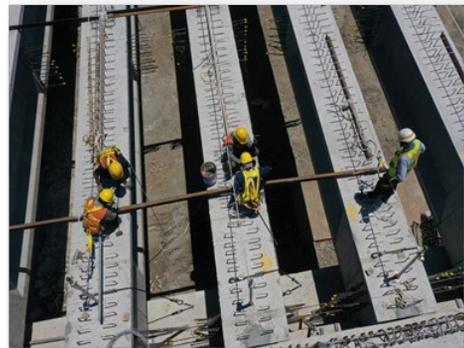


圖4-2 預力I型梁預防傾倒作法

未來施工承攬商於施作工序安排

應盡可能降低潛在風險，從梁場固定起，預力梁吊放即刻進行鋼構件連結，並應加速施作止震塊、隔梁及橋面板以確保預力I型梁施工穩定性；另外，混凝土澆置及施拉預力後妥善固定，除原有側撐外，亦應加設梁間鋼構件連結鎖固。

預力混凝土梁吊放後，工班應加速施作隔梁及止震塊，不宜全部吊放才施作。另吊裝及鋼筋模板組立作業互為獨立項目，可安排連續進場同步進行，不影響其他跨吊裝進度，倘若能夠依循相關作業規範進行作業，對於預力I型橋梁施工應不至於發生翻覆等意外憾事。

按：程金龍¹、吳天麒¹

¹林同棧工程顧問股份有限公司。

參考文獻

1. 防範施工中預力I型梁吊放後翻落風險之作業指引，行政院公共工程委員會（2022.05）
2. 賈駿祥*臺灣公路工程台灣地區橋梁工程之發展第三十卷第十二期、民國九十三年六月 Taiwan Highway Engineering Vol. 30 No.12 Jun. 2004. pp2-24.
3. 彭雲宏，陳錫山，「橋梁上部結構施工法之研究」，國立台灣工業技術學院營建工程技術研究所碩士論文，86年7月。
4. 洪士林，汪海淙，「專家系統在橋梁最佳化工法選定之應用」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，86年

- 6月。
5. 方文志，陳國隆，「台灣高速公路橋梁的過去與未來」，中國土木水利工程會刊，第二十八卷，第四期，P10~P15，91年2月。