中山高速公路五股至中壢段地工設計之挑戰

關鍵詞：雙層共構橋、地質敏感區、橋梁基礎、邊坡穩定、截水牆

台灣世曦工程顧問股份有限公司／總工程師／周功台 ❶
台灣世曦工程顧問股份有限公司／技術經理／吳文隆 ❷
台灣世曦工程顧問股份有限公司／副理／蕭秋安 ❸
台灣世曦工程顧問股份有限公司／計畫工程師／陳俊定 ❹

摘 要 ABSTRACT

國道1號五股至楊梅段拓寬工程總長度約40km(其中五股至中壢段為本公司負責設計監造，長度約28km)，於中山高速公路兩側困難環境下施工，歷時42個月，於2013年4月順利完工通車。沿線多邊坡、溪流、交流道、區域道路、高速鐵路、堤防等，地形及地質複雜多變，並需避開地質敏感區，因此大部分路段皆以橋梁結構佈設。本工程橋梁部分的特色在於數量多、跨度大、並須兼顧既有高速公路、區域道路的行車安全與交通維持及於邊坡上施築橋墩基礎等特色。本公司所辦理設計監造路段範圍內之大地工程的主要課題有：1.避開地質敏感區，採特殊橋梁配置(F型橋梁)，基礎面積大，施工困難；2.緊臨中山高速公路，於斜坡面上打設臨時擋土措施並施築橋墩基礎，施工作業空間狹小；以及3.施工期間與完工營運後之邊坡短、長期穩定安全(44.7k案例)等，本文就前述課題予以分析探討與回顧檢討，提供各界參考。

壹、前言

一、路線概述

國道1號五股至楊梅段拓寬工程(以下簡稱五楊段工程)，北起汐止五股高架段（里程約31k處），南迄於楊梅收費站北端(里程約71k處)，總長約40km(詳圖1)。計畫路線緊沿現有國道1號佈設，多數為高架橋，部分為路堤，全線共分為「五股林口段」、「林口中壢段」及「中壢楊梅段」等三個路段(前二路段為本公司負責設計監造)，工程分為12個土木標全面展開施工，總決標金額約新台幣428億元，自2009年10月28日正式動工，其中「中壢楊梅段」於2012年12月先行通車，「五股林口段」及「林口中壢段」於2013年4月完成，全線遂告完工通車。

五楊段工程主要功能在提供中長程旅次服務，故沿線僅設置少數交流道。在車道配置上，於泰山轉接道以南至中壢轉接道以北為雙向各3車道，內側車道設置高乘載專用道(HOV Lane)，提供大客車、計程車及3人以上小客車行駛，其餘路段為雙向各2車道配置。後續文章內容係就本公司所辦理設計及監造的路段予以說明介紹。

圖1 國道1號中山高速公路五楊段工程位置圖

二、地形

五股至泰山路段位於臺北盆地西緣，自泰山進入臺灣西部台地群，先後穿越林口台地、桃園台地、中壢台地、平鎮台地至伯公崗台地、楊梅盆地，終點位於湖口台地西緣。本計畫路線由林口經桃園至中壢，沿線主要經過林口台地西緣、桃園台地及中壢台地等地形區，高程分布自林口台地西緣由高程約為175m左右降至桃園台地約60至80m，再往中壢台地緩昇至135m左右。林口台地降至桃園台地，使得地形上高程差異明顯，十分容易辨識，而桃園台地與中壢台地地形變化甚緩，無明顯高程變化，加上地形多已遭人為改變，不易分辨。

三、地質

本計畫沿線主要分布之地層，有林口層、桃園層、中壢層及大南灣層等，除了大南灣層為膠結不佳的砂岩與泥岩互層外，其餘林口層、桃園層與中壢層均為卵礫石層與其上方覆蓋之紅土等組成。大南灣層的岩性呈膠結差，遇水軟化，岩心單壓強度大多小於10 kg/cm^2，在施工極易鑽掘，但不易被錘擊貫入。相關區域地質平剖面圖詳圖2所示，現況多為丘陵地形。

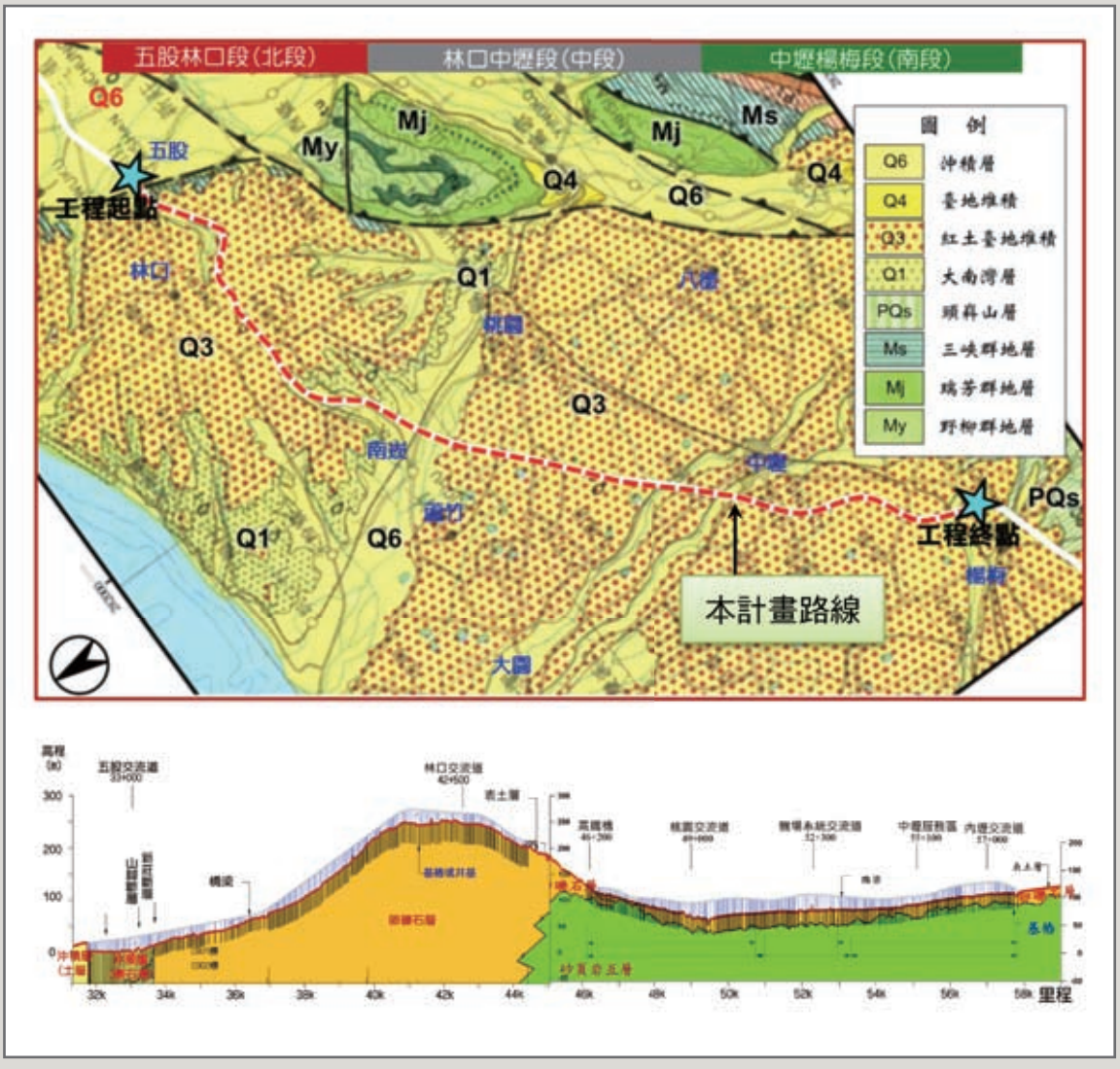


圖2 沿線地質平剖面圖

綜整計畫路線沿線水文地質特性，本計畫路線沿線的地層以卵礫石層為主，卵礫石層下方為大南灣層之砂岩與泥岩互層，由規劃階段資料顯示，地下水水位多在地表下5~10m左右。在大坑溪、南崁溪及新街溪等河流兩岸之地下水位較高，多在地表下3m以內，大坑溪一帶更在地表下1.5m左右。由透水試驗結果，得知卵礫石層之透水係數相當大，顯示卵礫石層的透水性良好，因此溪流兩岸之地下水位受溪流影響甚大，致其水位明顯偏高。

貳、地質敏感區與特殊橋梁考量

中山高速公路里程37k+500~40k+000東側(北上線)邊坡屬地質敏感區，設計採路線迴避策略，不於該敏感區構置任何橋墩基礎，爰將北上線高架橋改與南下線雙層共構皆由西側(南下線)通過，以避開東側地質敏感區邊坡。

一、橋梁配置

五楊段工程由於主要沿國道1號兩側而行，沿線多邊坡、溪流、交流道、區域道路、疏洪道、堤防等，地形複雜多變，因此大部分路段皆以橋梁結構布設。在整體施工上具有包括工期緊迫、工區沿既有中山高速公路兩側狹長帶狀布設、施工空間狹小、施工期間交通維持繁複等不利因素，且為確保國道1號行車安全，對於工安要求更加嚴苛，另包含內外在風險如用地提供、技術人力與勞工來源、機具與材料的穩定供應等，對計畫之順利執行都是一大挑戰。因此橋梁工程之結構型式及工法選擇極為重要，除須考量工程特性、工程規模、施工迅速、工程費適當、力求景觀合諧及減少施工中交通干擾等基本原則外，並須兼顧國內材料及機具供應之能量與施工技術水準等因素，方能如期如質完成本工程。

二、泰山跨越橋與林口跨越橋

為落實環評承諾「林口北上與南下共線路段，其北上線二度跨越高速公路平面道路處不落墩，以維護道路景觀品質及減少施工干擾。」，泰山跨越橋及林口跨越橋於既有國道1號中山高速公路上不可落墩，另考量橋址地域景觀及避免跨越橋造型影響用路人行車安全，跨越橋採用大跨徑鋼床鈑鋼箱型梁橋，跨徑配置為135+216+135=486m，梁深採拋物線變化4.0～9.2m。泰山及林口跨越橋完成景觀如圖3及4所示。

圖3 泰山跨越橋

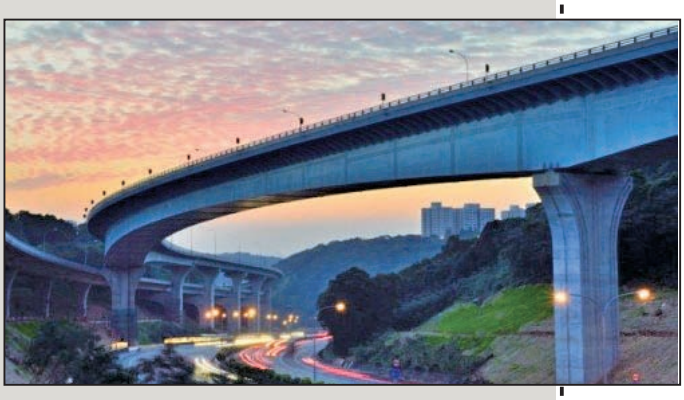


圖4 林口跨越橋

三、泰山林口雙層共構橋

本工程行經林口台地長約2800公尺爬坡路段，地層為紅土礫石層，為避開南側邊坡崩滑高地質敏感區，將北上線移至北側，因而採用局部重疊雙層的高架共線(北上線在上層，南下線居下層)配置，橋墩造型猶如英文字母"F"（如圖5），以保有沿線行車有較佳的採光與視

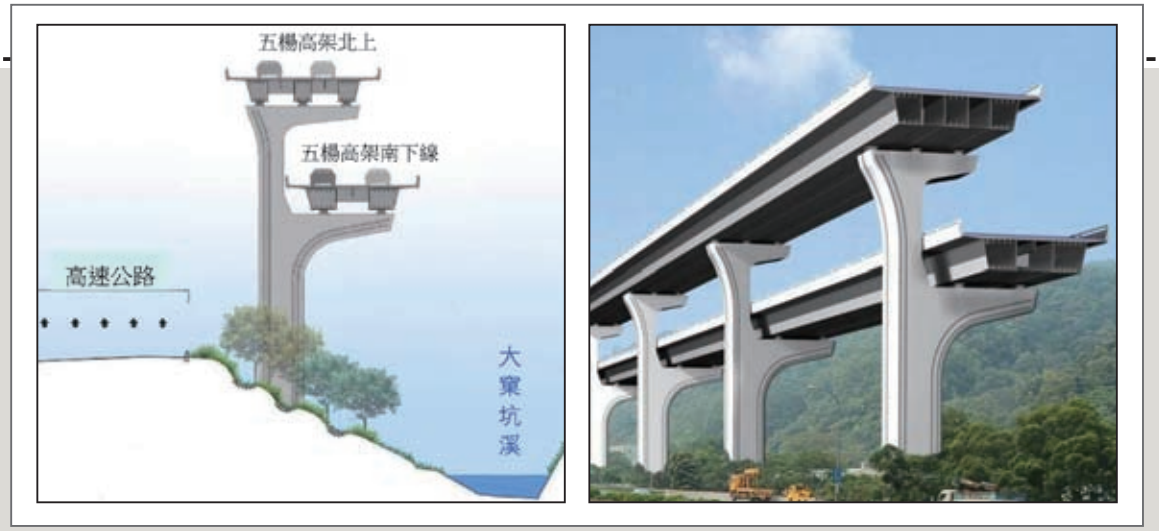


圖5 泰山林口雙層橋斷面示意圖

野，其下部結構有二種不同基礎型式，一為樁基礎，採用直徑2公尺基樁，長度26~42公尺，另為井筒基礎，採用井基直徑9~12公尺，長度22~27公尺，提供上部結構之穩固支承力，開創並樹立了大偏心單柱雙層高架橋墩的橋梁設計、施工典範。

本路段上層高度達30.0～45.0m，經評估為減輕自重，上下層橋均採等斷面之中跨徑鋼箱型梁橋配置；橋墩結構則採用矩形RC墩柱，其內部配置H型鋼，基礎型式分別採井式基礎及全套管基樁，施工期間採用竹削工法保護邊坡及施工人員安全，並施築臨時棧橋施工便道，以利人、機、料運送及減少水土保持設施、植生的破壞，並可維持既有中山高速公路正常營運及行車安。全路段可資利用的施工空間相當侷限，尤其在斜坡上施築該大型基礎，施工更加困難，詳圖6所示。

圖6 竹削工法及臨時棧橋施工便道

參、橋梁基礎型式及臨時擋土措施

一、橋梁基礎型式研選

本工程高架拓寬橋梁緊鄰國道1號高速公路兩側布設，橋墩基礎寬度須予限制，以避免施工影響高速公路主線交通或超出路權。因此，橋梁基礎型式之選擇，除須依據地形、地質狀況、地下水位、施工條件、基礎特性及經濟性等因素，研擬適用之基礎型式外，尚需考量高速公路主線交通維持及安全，以減輕後續開挖與支撐之困難，以及節省工程經費。公路橋梁常採用之基礎型式有：(1)直接基礎；(2)樁基礎；(3)沉箱基礎；(4)井式基礎等類型。根據本路段經過之地形、地質特性及地下水位等條件，高架橋橋墩基礎型式之相關比較詳如表1所示。

本工程之五股路段因工址地層屬台北盆地沖積層，承載層較深，橋梁基礎以採大口徑之全套管基樁為主；於林口路段因工址地層屬紅土礫石層或卵礫石層，則以全套管基樁及可減少坡地開挖面積之井筒式基礎為主。至於跨越國道1號之泰山跨越橋及林口跨越橋，雖橋址地層屬紅土礫石層或卵礫石層，惟主跨橋墩因上部結構載重較大，若採大尺寸井筒式基礎於卵

表1 基礎型式研選考量

基礎型式	地質條件	適合地形	地下水影響	基礎尺寸	施工費用(制式跨)	單墩工期(制式跨)	施工性	優缺點說明
直接基礎	淺承載層	平坦地	高	大	180～280萬元	1個月	基礎大，須有道路且用地寬	施工快速且費用低，但受限於地形及地質條件
樁基礎	深承載層	平坦地、邊坡、河岸	低	中	210～300萬元	1.5個月	施工條件略低於直接基礎	施工較井基快，地下水位及沉陷之影響較小，一般在承載層較深時採用；適用於標準跨及大跨徑橋墩設計
井式基礎	淺承載層	平坦地、狹窄地、邊坡	高	小	280～290萬元	1.5個月	施工機具小，開挖範圍小，對環境衝擊低	對環境衝擊較低，可減少坡地開挖，地下水位較高時，施工困難度較高
沉箱式井筒基礎	淺承載層	平坦地、狹窄地、邊坡、河岸	低	小	280萬元	2.5個月	施工機具小，開挖範圍小，對環境衝擊低	可在河道施作，仍受地下水影響，可減少開挖，但施工慢，卵礫石層中施工精度控制不佳且地表沉陷量較大

礫石地質施工時，不僅施工困難且容易造成鄰近地表沉陷，恐將影響國道1號行車安全，因此採用大口徑全套管基樁，二側邊跨則視地質條件及其他客觀環境考量，採用全套管基樁或井筒式基礎，基樁配置則採用梅花樁排列，並視每根墩柱之環境限制條件採基礎版截角、旋轉等配置，以縮小基礎版尺寸(如圖7)，降低施工面積與對交通、環境之影響，施工情形如圖8、9所示。林口中壢段之橋墩基礎選擇，中、小跨徑且較無用地受限之路段採用直接基礎；大跨徑或用地受限之路段則採用樁基礎。中壢

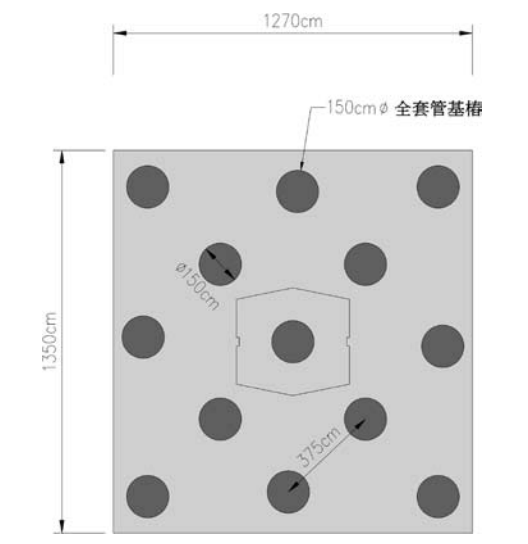


圖7 基礎以梅花樁配置縮小基礎面積

圖8 全套管樁基礎施工

圖9 井式基礎施工

楊梅段地形平坦且為卵礫石層，故基礎型式以直接基礎為主。整體而言，五楊拓寬工程五股中壢路段樁基礎之樁徑大都在1.5~2.0m，樁長16.0~66.0m，合計總長度約100,000m；井筒基礎直徑6.0~12.0m，井深10.0~29.0m，合計總長度約2,800m；直接基礎則約301座。

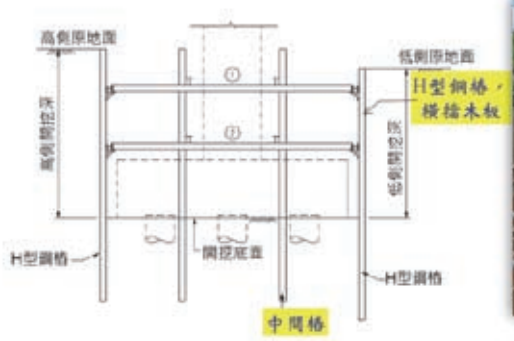
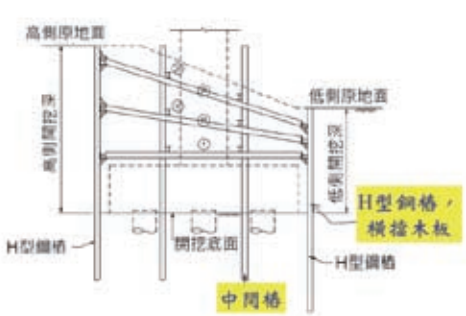
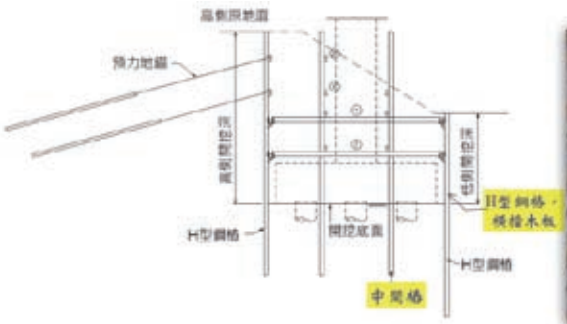
一般路段	 配合內支撐型式	施工中照片
邊坡或路堤路段	 配合斜向支撐型式	施工中照片
	 配合臨時地錨型式	施工中照片
	井基竹削工法型式	完工後照片

圖10 基礎開挖擋土施工圖及照片

二、基礎開挖擋土工法研選

本計畫路段之橋梁基礎型式主要包括直接基礎、樁基礎及井式基礎。橋梁基礎之開挖，設計時需視工址地層條件、地下水文、現場用地範圍、開挖深度、鄰近結構物情況等選擇開挖擋土工法。擋土工法係利用擋土壁承受地盤開挖所產生之土壓力及水壓力，並將此等壓力傳遞到支撐系統，防止開挖時可能造成周圍地盤移動或變形，以期安全順利地建造地下結構物。本工程開挖擋土主要係於礫石層中施工，而適用於卵礫石層之開挖擋土主要為主樁橫板條工法及排樁工法，經評估比較結果，採用H型鋼樁橫板條工法。另因開挖位置緊鄰丘陵地或既有中山高速公路路堤，故開挖區之橫斷面地表常有高差問題，當高差1~2m以內採水平內支撐；高差2~5m時採斜向內支撐；高差大於5m以上，則採地錨背拉，平衡不等高之側向土壓力。另為減少井基於坡地施工而導致大量坡地整坡及施作保護工，兼顧生態，特別採用竹削工法。開挖擋土工法型式及照片詳如圖10所示。

肆、邊坡安全穩定處理

一、里程44k+700邊坡處理

工程進行期間，於2011年5月例行邊坡巡查至既有中山高速公路里程44k+700附近路段時，發現既有北上線國道內側路肩有隆起現象，並於2011年10月完成水位觀測井、傾斜儀、地表沉陷點等監測儀器輔助研判。數月後，於2012年2月27日因受連日豪雨影響，部分監測數據出

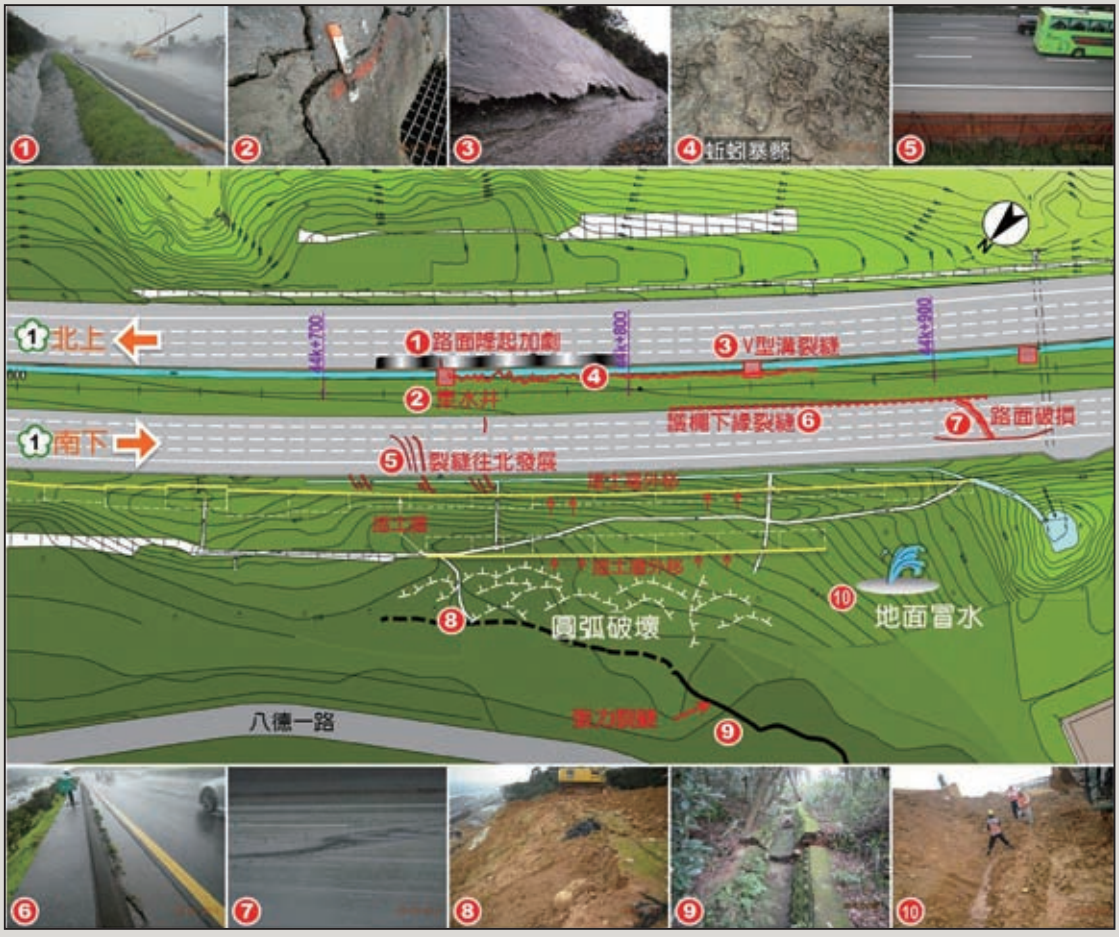


圖11 邊坡變位後之現場異狀(2012.2.28)

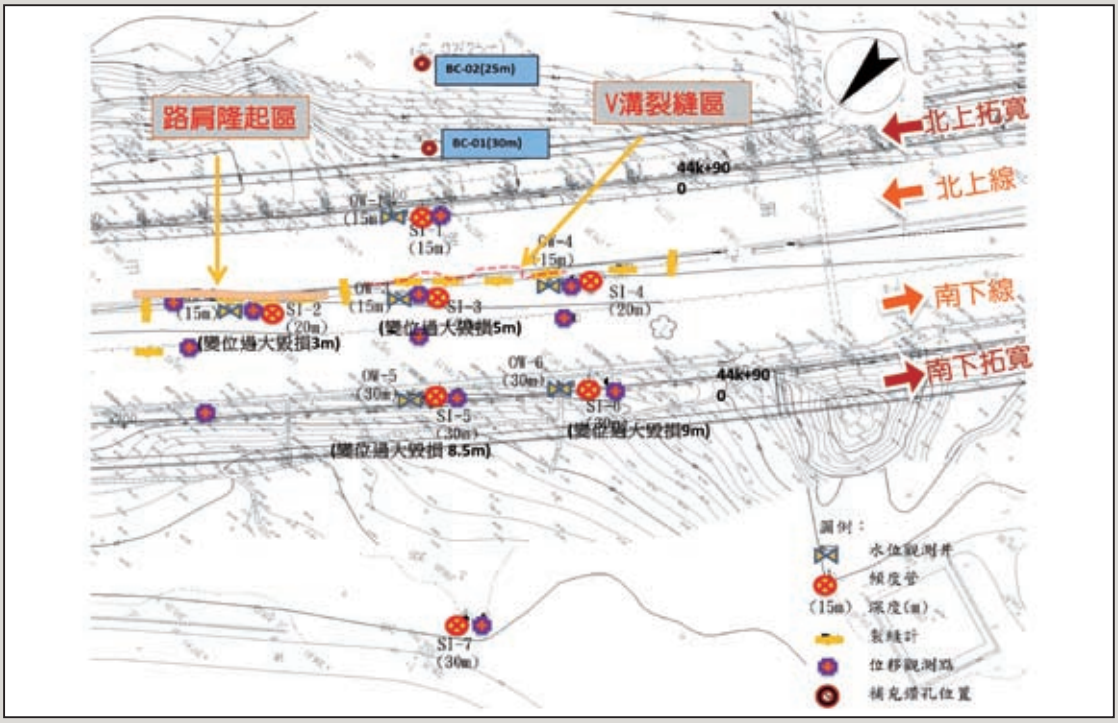


圖12 異常變位毀損監測儀器平面分布圖

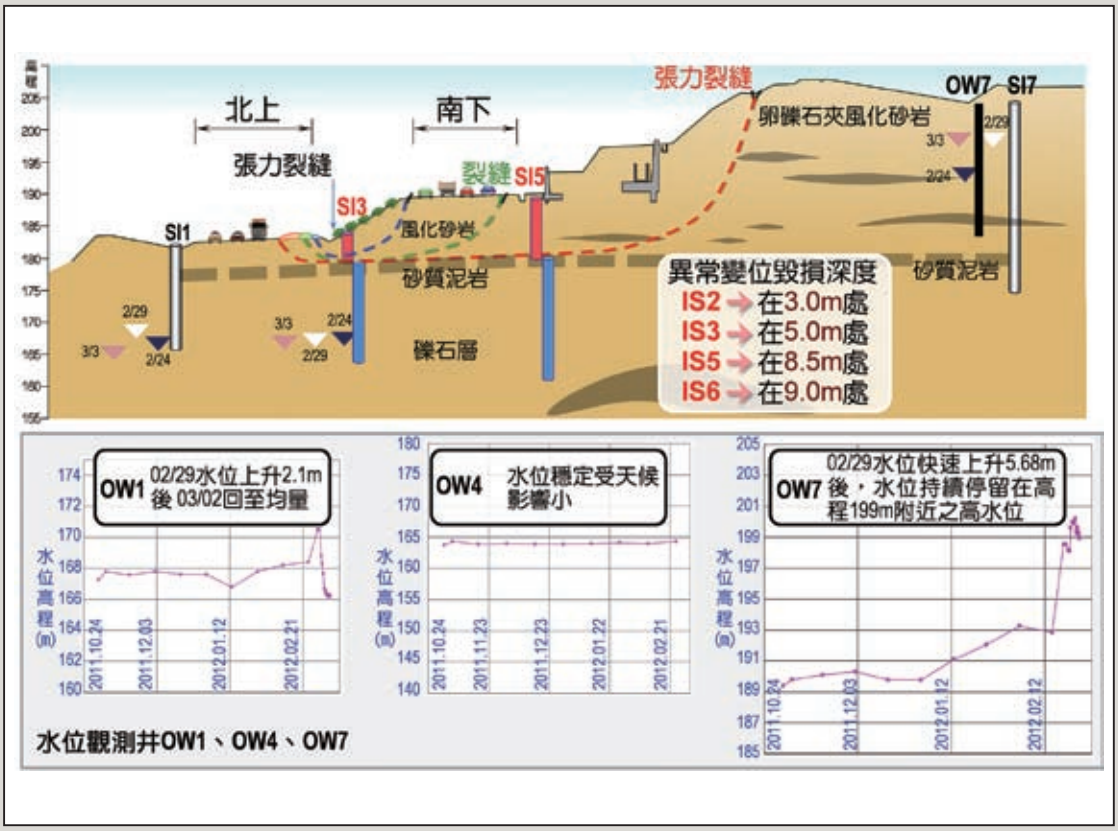


圖13 傾度管及水位異常變化剖面示意圖

現異常徵兆加劇，詳如圖11~13所示，即刻召集施工、監造及設計等專業，進行整合分析，研判該異常徵兆有危及行車安全之可能，隨即研擬搶修計畫並緊急進行動員施工，及時控制國道中山高速公路邊坡之異常變位，化解可能釀成之大規模邊坡滑動與高速公路中斷災害。

二、邊坡異常變位原因及模式研判

依據既有地質資料、緊急整治鑽探資料及地下水文調查結果，工址地層剖面及地下水位如圖14~15所示，地層層次由上而下依序大致為砂質粉土夾卵礫石層及卵礫石層兩層次，於該兩層次間存在薄層之砂質黏土層(高程約180m左右)，為一相對不透水層，此一不透水層將地下水阻隔成地下水層1及地下水層2，而地下水層1易因路權外水源補助(集水區範圍相當大)而形成高水位(高程約198m)，尤其在颱風豪雨期間，水位大幅上升。本次致災原因主要為連續降雨引致地下水層1之水位升高，增加邊坡滑動之下推力，以致於滑動塊體沿著砂質黏土層產生滑動(該滑動面與傾斜儀發生明顯側向變形之深度吻合)，由於水位觀測井編號OW7地下水位一直停留在高程196~201m之高水位(圖13)，且擋土牆右側邊坡坡腳(高程約194m)，不論晴雨均有地下水滲出，顯然坍滑區之高水位並無明顯下降之趨勢，研判本區域之高水位已成為常態水位，恐會影響本區邊坡及擋土牆結構體之穩定，經重新檢討本區域邊坡穩定分析，「常態高水位+地震」之安全係數為0.84，小於永久邊坡所需之安全係數1.1(詳圖15)，因此長期改善有其必要性。

由邊坡破壞的時間序進行研判，本次邊坡破壞行為係由淺層且較小的圓弧滑動開始，逐漸向上邊坡發展，誘發較深層之滑動如圖14

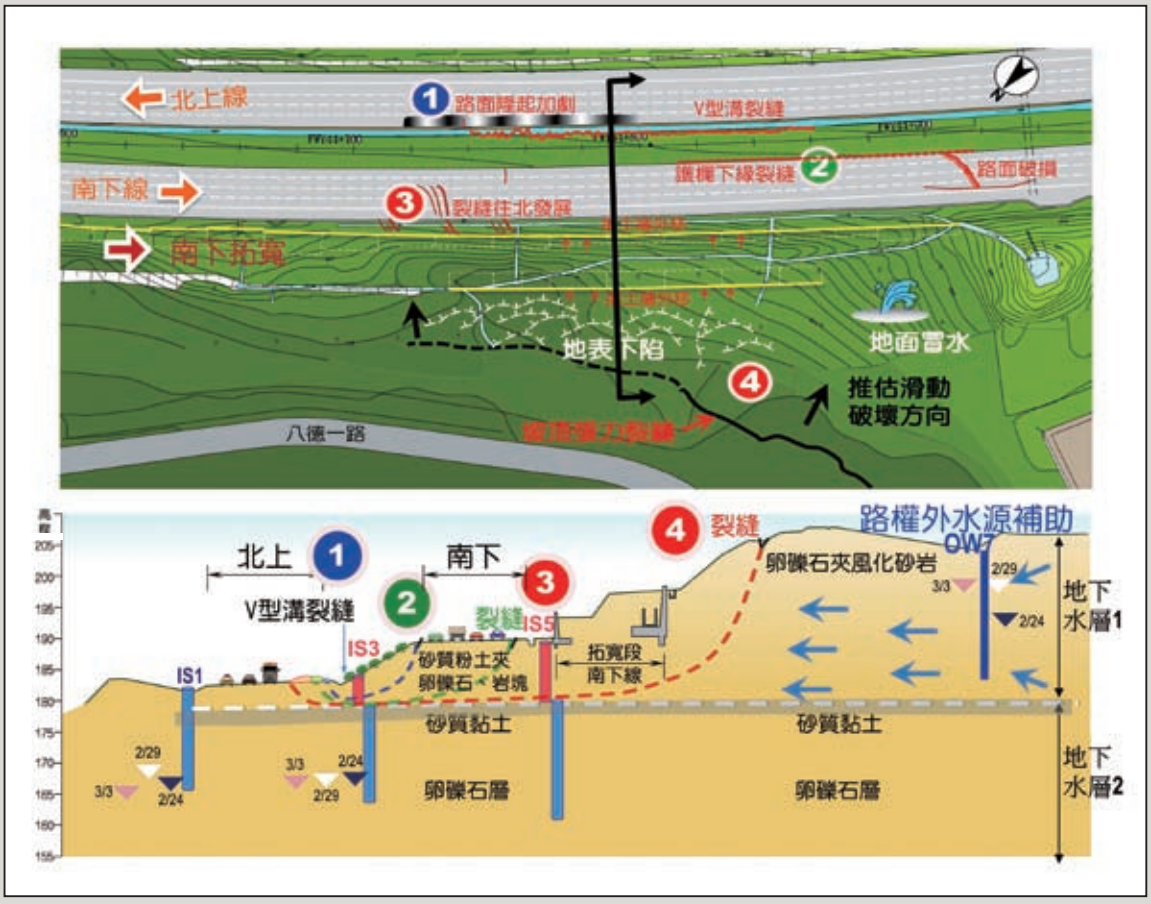


圖14 44k+700邊坡之下滑坡體擴大發展順序示意圖

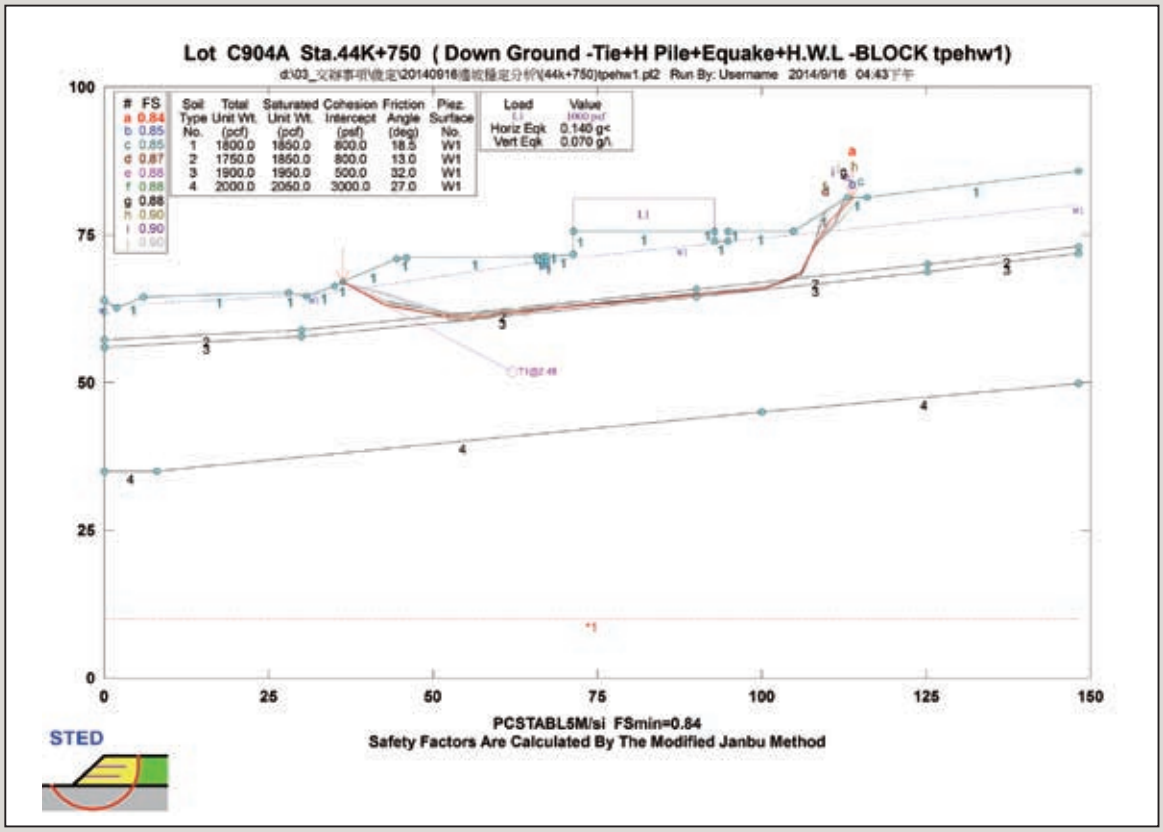


圖15 邊坡穩定分析

所示，圖中①→②→③→④為異常徵兆發展順序，發展過程說明如下：

最早發生異狀的區域為北上線路肩出現隆起及V型噴凝土溝裂縫等情事，推估其發生原因應是中山高速公路北上線與南下線間分隔綠帶之杜鵑花叢邊坡受地下水位異常變化影響，引致坡體下滑推擠所造成。破壞面逐漸向上邊坡發展，造成南下線內側車道護欄下緣縱向裂縫產生(約位於杜鵑花叢邊坡坡頂)，南北兩端路面亦出現斜向裂縫，下滑坡體範圍逐漸向上邊坡擴大，滑動破壞面再持續往上發展呈漸進式滑動破壞模式，最後影響範圍擴大至上邊坡之路權線外，以致於拓寬工程新建擋土牆與桃園縣八德一路間引發地表下陷，邊坡向中山高速公路方向滑動，坍滑區頭部亦明顯出現張力裂縫。整體而言，本工址邊坡滑動破壞模式可能為多段式滑動，滑動底部位於粘土層，約相當於傾度管發生大變形之深度。

三、緊急處理方案

為避免中山高速公路北上線路肩路面隆起影響行車安全，於損害路段採行之緊急處理作法如圖16所示，主要目的係為先抑制邊坡滑動變形，以爭取足夠時間進行其異常變位原因的調查及研析長期改善方案，此期間除傾斜儀、水位觀測井持續監測外，亦增加5條地表及結構變位之測線，縝密及全面掌握其異常變位之後續發展與變化情況，以遏止其惡化及嚴密維護、監測其安全穩定狀況。

茲將緊急處理方案扼要說明如下：

(一) 於中山高速公路北上線與南下線間之斜坡打設預壘砂漿H型鋼樁(樁徑40cm)及拓寬段南下線坡頂土方移除。

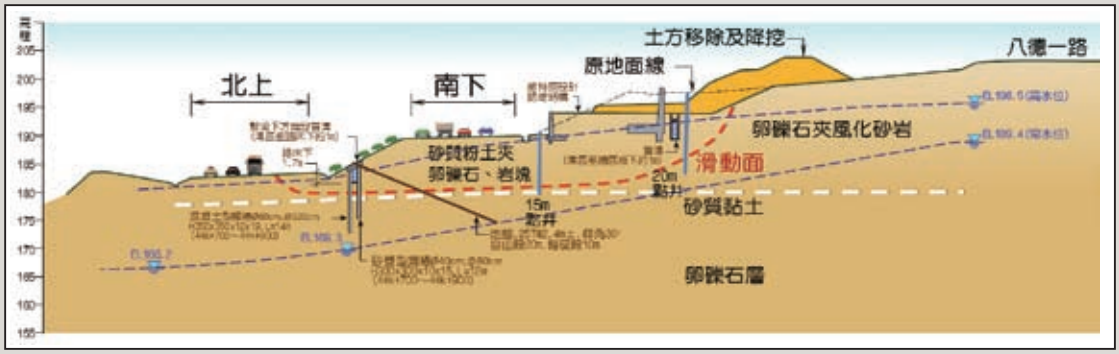


圖16 緊急處理方案示意圖

圖17 地下截水牆佈設平剖面圖

(二) 於拓寬段擋土牆兩側打設點井(深度15~20m)，緊急降低地下水位。

(三) 增設鉆掘式混凝土H型鋼樁(樁徑60cm)及地錨，並與預壘砂漿H型鋼樁連結一體，另於拓寬段擋土牆後增設地下水之集排盲溝。

四、長期改善方案工程

經量測及統計，擋土牆右側盲溝於2012年4月20日完成後平均排水量約130 m^3/日，貼近盲溝點井的水位由高程197m降至191m，顯示鄰近盲溝附近的地下水位已有效降至盲溝導排高程。惟近八德一路(距擋土牆右側盲溝之水平

距離約60m)之水位，於盲溝施作完成，水位一直停留在高程196~201m之高水位，且擋土牆右側邊坡坡腳(高程約194m)不論晴雨均有地下水滲出，顯然擋土牆至八德路一路之間高水位並無明顯下降，研判本區段之高水位係屬高程較高之棲止水層，水位與前述水層不連通且已成為常態水位，恐會影響本區邊坡及擋土牆結構體之穩定。經重新檢討本區域邊坡穩定分析，「常態高水位+地震」之安全係數不足，建議長期改善方案除現有擋土牆右側盲溝外，在高水位區應再增設其他導排地下水設施，以期降低該區之地下水位，確保整體邊坡及擋土牆之安全穩定。

導排地下水設施，初步考量以布設集水井(三座)或截水牆，惟考量本區域地質特性，卵礫石層內之透水層與相對不透水層犬牙交錯，地下水流流徑複雜，採用集水井降低地下水位之功能可能稍差，綜合評估以地下截水牆較佳。

有關地下截水牆的布設如圖17所示，係於擋土牆右側，里程44k+700~44k+900之範圍內，以高程184m為底部，挖掘一道寬約1.2m之截水牆，內填充透水礫石料，將地下水收集後重力排放至南側溪溝。考量截水牆開挖深度較深，以擾動邊坡較低的全套管鑽掘方式挖掘。截水牆完工迄今，變位監測資料呈現邊坡已趨穩定。

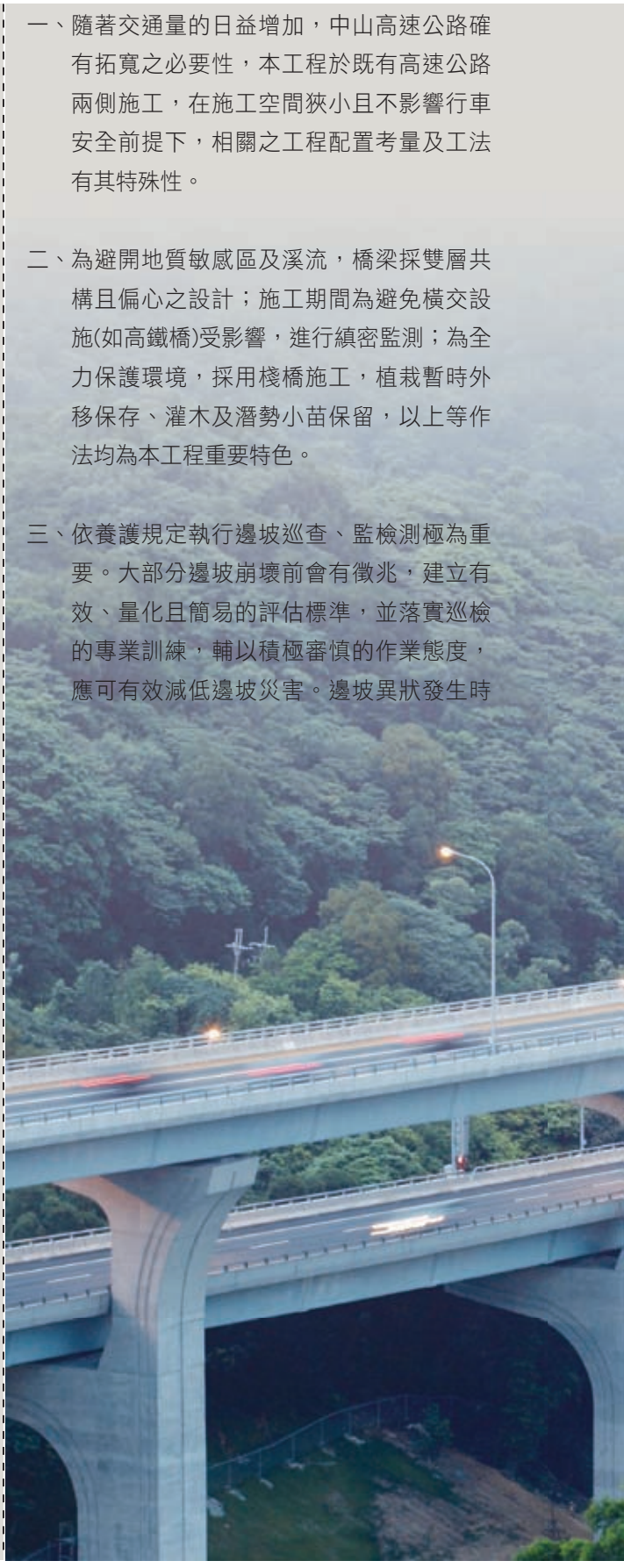
伍、結論

本工程已於2013年4月全線完工通車，執行過程雖遭逢無數以往鮮有的工址環境條件限制與特殊情況，所帶來的技術挑戰及考驗，所幸設計、施工、監造、業主各單位皆能盡心盡力，全力以赴一一圓滿順利克服。茲彙整本工程相關地工課題及經驗，予以概要介紹及檢討，期能提供各界參考。

一、隨著交通量的日益增加，中山高速公路確有拓寬之必要性，本工程於既有高速公路兩側施工，在施工空間狹小且不影響行車安全前提下，相關之工程配置考量及工法有其特殊性。

二、為避開地質敏感區及溪流，橋梁採雙層共構且偏心之設計；施工期間為避免橫交設施(如高鐵橋)受影響，進行縝密監測；為全力保護環境，採用棧橋施工，植栽暫時外移保存、灌木及潛勢小苗保留，以上等作法均為本工程重要特色。

三、依養護規定執行邊坡巡查、監檢測極為重要。大部分邊坡崩壞前會有徵兆，建立有效、量化且簡易的評估標準，並落實巡檢的專業訓練，輔以積極審慎的作業態度，應可有效減低邊坡災害。邊坡異狀發生時



應先作緊急處理，爭取時間進行異狀原因調查，並據以研析長期改善方案及妥慎執行，當可有效防範邊坡嚴重坍滑災害發生。

參考文獻

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2010)，”國道1號五股至楊梅段拓寬工程計畫林口中壢段工程設計暨配合工作細部設計報告”。
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2010)，”國道1號五股至楊梅段拓寬工程計畫林口中壢段大地工程調查綜合評估報告”。
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2010)，”國道1號五股至楊梅段拓寬工程計畫五股林口段工程設計暨配合工作細部設計報告”。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司(2010)，”國道1號五股至楊梅段拓寬工程計畫五股林口段大地工程調查綜合評估報告”。
5. 何泰源、蕭秋安、蔡立盛(2012)，”台灣既有地錨之現況及改善建議”，地工技術130期，第43~54頁。
6. 陳福將、林志權、黃宏成、顏振原(2013)，”緊急動員整合資源投入救災復建-企業社會責任中山高速公路44K+700路面隆起搶修”，中華技術第98期，第134~145頁。