

## 台 13 甲線北勢大橋橋基裸露之應變對策及耐洪評估

呂正安\* 李坤哲\*\* 賴芝亭\*\*\*

### 摘要

台 13 甲線北勢大橋位處苗栗縣境內，全橋總長 393.3 公尺，跨越後龍溪，為苗栗市及後龍鎮兩地主要聯絡道路之一。上游側舊橋建於民國 66 年，採沉箱基礎，下游側新橋建於 86 年，改採樁基礎。橋齡老舊達 35 年以上，經橋檢及河床斷面測量發現沉箱基礎表面混凝土裂損，位於深槽區之舊橋 P6~P8 沉箱基礎露出深度達 4 公尺以上，汛期颶洪時確有影響通行安全之虞，公路總局將其納為一級監控橋梁。爰由工程處邀集專家學者研商橋基裸露應對策略，工務段執行橋基裸露之保護工程，並另委請專業廠商辦理耐洪評估，再依流域管理概念擬訂封橋之水情管理值，確保汛期能有合宜之應變作為，並保障用路人之安全。

關鍵字：沉箱、裸露、一級監控橋梁、流域管理、應變

### 一、前言

北勢大橋位於台 13 甲線 13K+500，全橋位處苗栗縣境內，為苗栗市區往來後龍鎮之主要橋梁，其地理位置如圖 1-1 所示。北勢大橋全長 393.3 公尺，跨越後龍溪，原橋係於民國 66 年竣工，橋淨寬 7.5 公尺；於民國 88 年辦理台 13 甲線北勢大橋及引道拓寬工程，於舊橋下游側興建新橋，工程完畢後橋寬 17.5 公尺，採雙向四車道通行。

北勢大橋跨越後龍河流域現況如圖 1-2 所示，本橋舊橋橋齡達 35 年以上，經橋檢及近幾年河床斷面測量發現，河流深槽區之 P6~P8 沉箱基礎沖刷深度皆達 4 公尺以上，尤以 12 公尺深之 P8 沉箱裸露達 5.7 公尺，需立即改善。爰由工務段彙整橋檢及河床斷面測量資料陳報工程處後，由工程處邀集橋梁及水利專家現勘研商對策，並由公路總局將此橋列入重點監控橋梁。

---

\* 交通部公路總局第二區養護工程處苗栗工務段 副段長

\*\* 黎明工程顧問股份有限公司結構部 經理

\*\*\* 黎明工程顧問股份有限公司結構部 工程師

針對北勢大橋上游側舊橋 P6~P8 皆因局部及束縮沖刷而呈馬蹄狀之深槽，學者建議 P8 周圍先開挖整平，鋪放不織布包覆河床料，其上再排放混凝土塊穩固橋基，再擺放沖刷磚來監測橋基沖刷程度。經工程處及工務段之努力，該橋基業於今（102）年汛期前依前開方式予以加固。又針對本橋納入重點監控橋梁，工務段另案委請專業顧問公司辦理耐洪評估工作，並依流域管理之概念，以歷年颱風資料為基礎，分析後龍溪上游各集水區之雨量站特性，獲致北勢大橋封橋管理之特徵雨量站，進而擬訂封橋雨量管理值。

橋梁是居民交通往來、繁榮地方之樞紐，而公路人係橋梁的醫生，一旦有病徵即需由公路人儘速研擬對策，以維護用路人之安全。由公路總局至工程處及其下之工務段，皆秉持公路人護路愛民之理念，充分考量北勢大橋之橋齡、現況及河床沖刷等條件，予以合適之短期橋基保固及研訂水情管理值，確保通行安全。然常時仍應居安思危，秉持防災重於搶災之概念，持續監看舊橋 P6-P8 裸露情形，防患於未然。



圖 1-1 台 13 甲北勢大橋位置圖



圖 1-2 北勢大橋跨越後龍溪之現況（102 年 3 月）

## 二、北勢大橋橋基裸露情形

### 2-1 橋梁結構基本構造

北勢大橋分為新、舊橋兩部分，舊橋位於上游側，於民國 66 年 8 月竣工，新橋位於下游側，民國 88 年竣工。本橋跨越後龍溪，橋梁共 10 跨，計有 P1~P9 橋墩，跨距分配為 28.70M+8@43M+20.60M，橋梁總長 393.3M，新舊橋梁全寬各為 9.25M，淨寬 8.35M，詳圖 2-1。

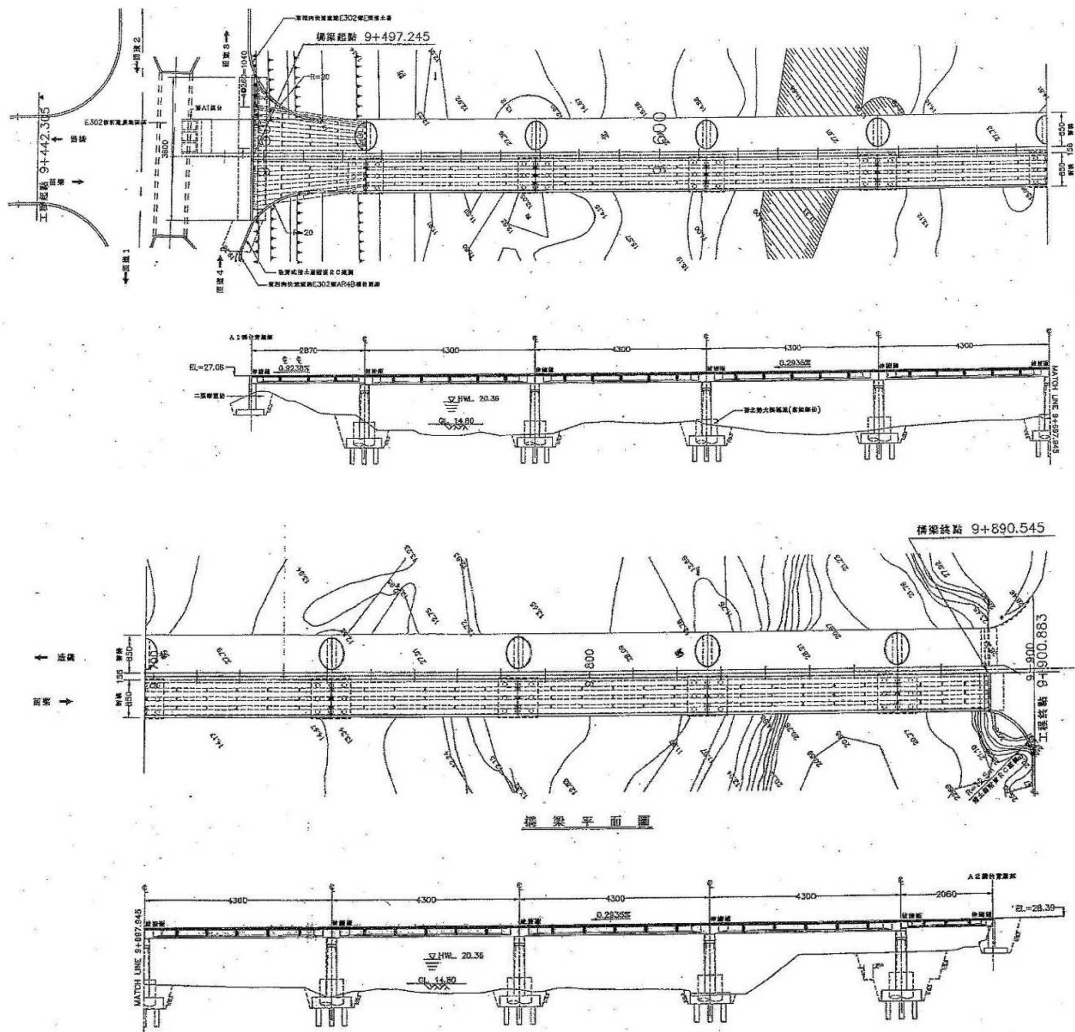


圖 2-1 北勢大橋竣工圖

新、舊橋上部結構均採預力混凝土 I 型簡支梁橋，舊橋下部結構為壁式橋墩下接沉箱基礎 (P6 深度 18M，P7 深度 19M，P8 深度 12M)，新橋則採單柱式橋墩下接全套管基樁 (L=16M)，新、舊橋墩中心距 9.68M。新舊橋梁 P6~P8 基本資料詳表 2-1，另 P8 橋墩標準斷面及基礎示意圖，詳圖 2-2。

表 2-1 北勢大橋舊橋 P6~P8 基本資料

| 項目         | 舊橋                  | 新橋          |
|------------|---------------------|-------------|
| 跨度         | 28.70M+8@43M+20.60M |             |
| 總長         | 393.3M              |             |
| 橋面全寬       | 9.25M               |             |
| 橋面淨寬       | 8.35M               |             |
| 上構型式       | PCI 梁               |             |
| 縱梁間距       | 2.85M               | 2.00M       |
| 縱梁底寬       | 0.70M               | 0.70M       |
| 橋墩帽梁處短軸    | 1.6M                | 2.4M        |
| 橋墩帽梁處長軸    | 3.7M                | 4.9M        |
| 橋墩高度       | 9.5M                | 13.5~14.5M  |
| 橋墩沉箱處短軸    | 2.4M                | -           |
| 橋墩沉箱處長軸    | 4.4M                | -           |
| 沉箱短軸/樁帽厚   | 5.4M                | 2.5M        |
| 沉箱長軸/樁徑    | 7.0M                | 1.0M        |
| 沉箱深度/樁長(數) | 12~19M              | 16M(12 支/墩) |

(註：當橋墩淨高>橋墩長軸 2.5 倍，歸類為柱式橋墩，否則為壁式橋墩)

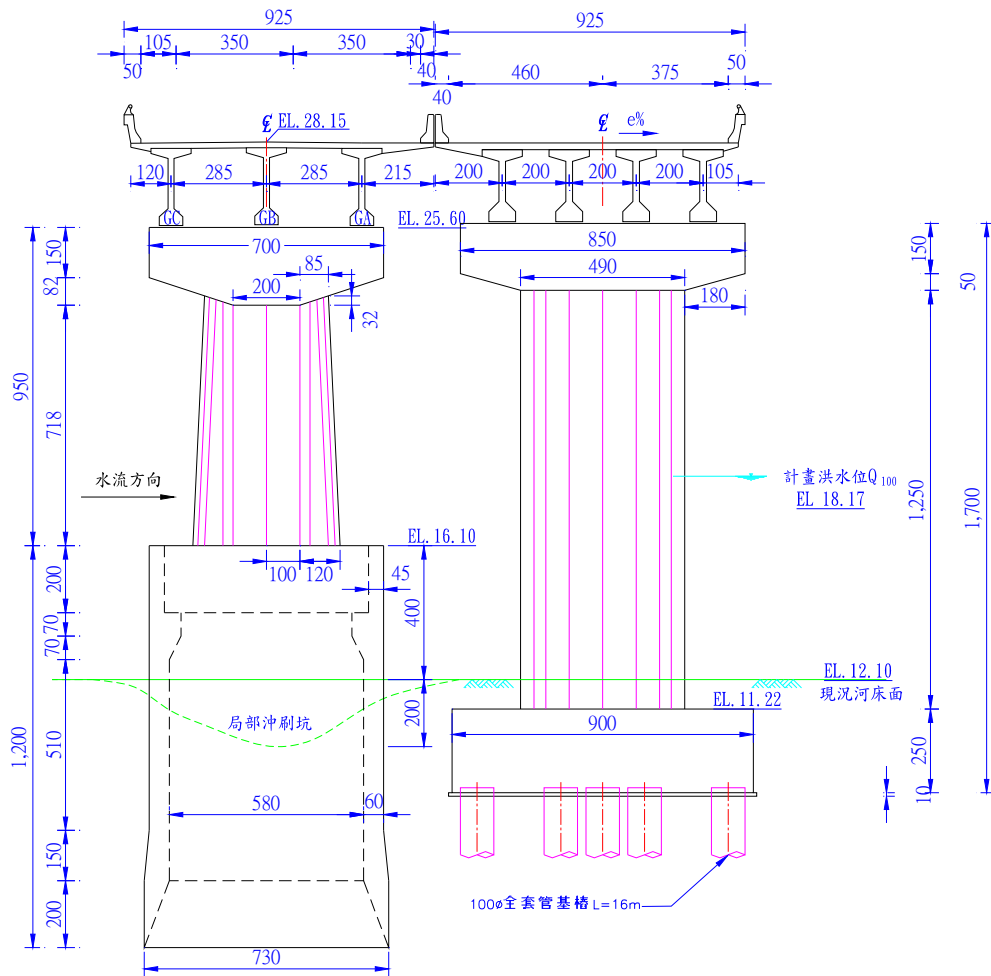


圖 2-2 北勢大橋橋梁 P8 橋墩標準斷面及基礎示意圖

## 2-2 後龍河流域基本資料

### (一) 流域概況

北勢大橋位處後龍河流域，流域主流全長 58.3 公里，流域面積約 536.60 平方公里，均位於苗栗縣境內，北接中港溪，西南與西湖溪為鄰、南臨大安溪。本溪發源於加裡山山脈之鹿場大山(標高 2,616 公尺)，河川向西流稱為汶水溪，經清安至桂竹林，匯合大湖溪後(發源於東洗水山，標高 2,342 公尺，屬後龍溪上游幹流)方稱之為後龍溪。其至福基流入平地，貫穿苗栗市，再於頭屋會合發源於獅潭鄉八卦力山之老田寮溪，方於後龍鎮公司寮附近注入台灣海峽，概如圖 2-3 所示。

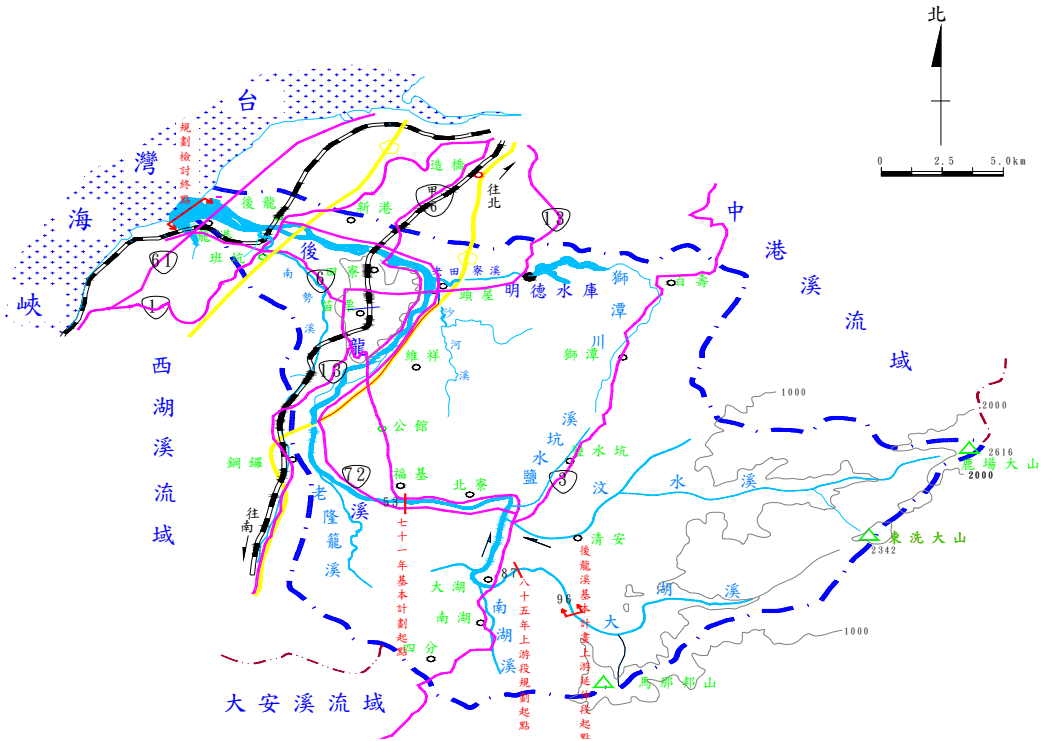


圖 2-3 後龍溪流域概況圖

## (二) 計畫河段特性

依據經濟部水利署水利規劃試驗所民國 95 年 12 月「後龍溪治理規劃檢討報告」，後龍溪流域中出海口為河川斷面編號 1，支流老田寮匯入處則為斷面 22，北勢大橋位於其間，編號為 16，治理計畫河川編號概如圖 2-4。本河段之治理特性整理如表 2-2，表 2-3 則為北勢大橋鄰近河段近年來沖淤比較情形，長期而言，本河段具冲刷趨勢，臨出海口程度加劇。

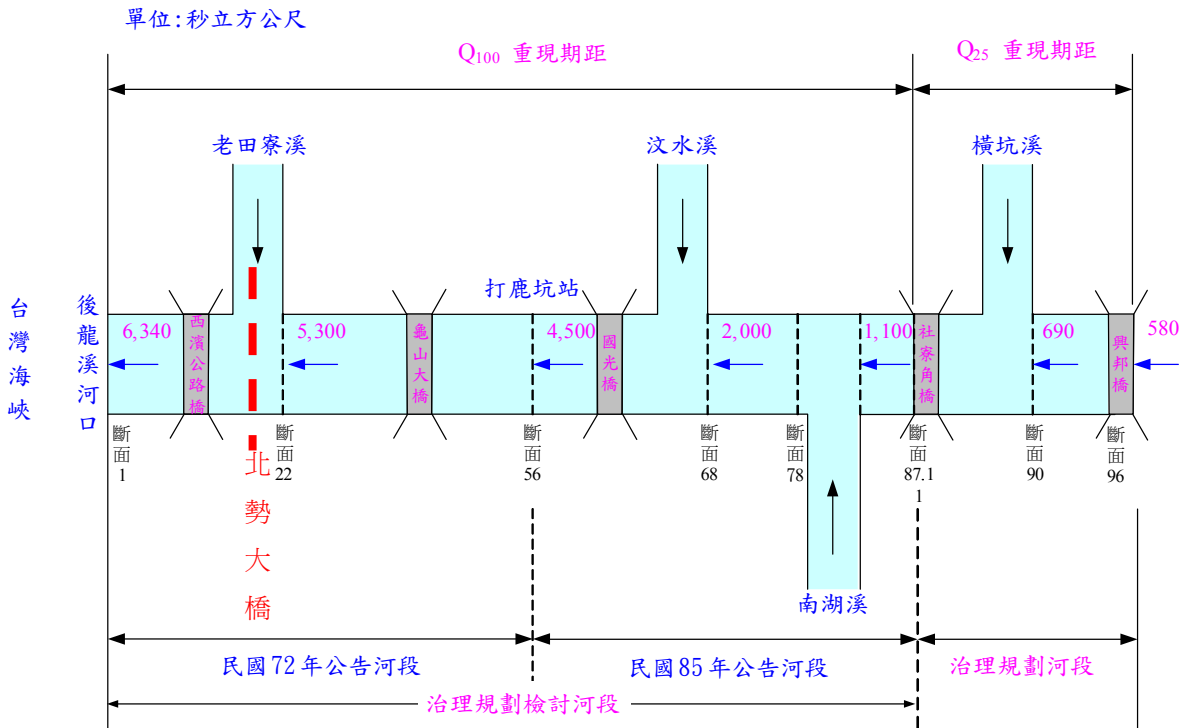


圖 2-4 後龍河流域各河段洪水量分配圖

表 2-2 北勢大橋河道治理參數表

| 河川別            | 後龍溪                            | 河川斷面編號            | 16             |
|----------------|--------------------------------|-------------------|----------------|
| 現況橋梁長(M)       | 393.3                          | 計畫洪水位(M)          | Q100=EL. 18.15 |
| 現況梁底高(M)       | EL. 26.38(左岸)<br>EL. 25.47(右岸) | 計畫堤頂高(M)          | EL. 19.15      |
| 縱坡降            | 1/240                          | 計畫河寬(M)           | 400            |
| 河道曼寧<br>粗糙係數 n | 0.045                          | 計畫流量<br>Q100(CMS) | 6,340          |



表 2-3 後龍溪北勢大橋鄰近河段沖淤比較表

| 斷面<br>編號          | 河心距<br>(公尺) |      | 河床平均高(公尺) |         |         |         | 水面寬<br>(公尺) | 沖淤深度(公尺)   |            |            |            |
|-------------------|-------------|------|-----------|---------|---------|---------|-------------|------------|------------|------------|------------|
|                   | 單距          | 累距   | 61<br>年   | 87<br>年 | 90<br>年 | 92<br>年 |             | 87-61<br>年 | 90-87<br>年 | 92-90<br>年 | 92-61<br>年 |
| 14                | 500         | 6603 | 8.51      | 12.31   | 10.08   | 10.22   | 316.25      | 3.80       | -2.23      | 0.14       | 1.71       |
| 15                | 465         | 7068 | 10.52     | 13.86   | 11.57   | 13.20   | 202.63      | 3.34       | -2.29      | 1.63       | 2.68       |
| 15.1 山線<br>鐵路橋(下) | 73          | 7141 | 10.22     | 14.10   | 11.09   | 13.67   | 282.67      | 3.88       | -3.01      | 2.58       | 3.45       |
| 15.2 山線<br>鐵路橋(上) | 10          | 7151 | 10.32     | 14.13   | 11.19   | 13.67   | 293.76      | 3.81       | -2.94      | 2.48       | 3.35       |
| 16.1 北勢<br>大橋(下)  | 321         | 7472 | 13.60     | 15.12   | 14.34   | 14.55   | 338.03      | 1.52       | -0.78      | 0.21       | 0.95       |
| 16.2 北勢<br>大橋(上)  | 19          | 7491 | 13.64     | 15.12   | 14.41   | 14.55   | 350.72      | 1.48       | -0.71      | 0.14       | 0.91       |
| 17                | 481         | 7972 | 14.78     | 15.12   | 16.40   | 16.33   | 369.75      | 0.34       | 1.28       | -0.07      | 1.55       |
| 18                | 370         | 8342 | 16.91     | 20.94   | 16.97   | 16.80   | 248.78      | 4.03       | -3.97      | -0.17      | -0.11      |
| 19                | 426         | 8768 | 17.13     | 22.43   | 18.61   | 18.94   | 329.59      | 5.30       | -3.82      | 0.33       | 1.81       |

### 2-3 橋梁結構現況檢查及裸露情形

照片 2-1 係檢測北勢大橋舊橋下部結構 P6~P8 沉箱表面發現之多處裂縫，其裂縫大小及位置如表 2-4 所示。經量測最大裂縫達 270CM 長、10MM 寬。初步研判裂縫成因應為混凝土施工時收縮裂縫，加以長期受水流、砂石外力撞擊及空氣、雨水入侵所致。現場亦發現沉箱周圍受石頭撞擊，混凝土保護層剝落，局部鋼筋外露銹蝕情形。



P6-1 沉箱混凝土垂直裂縫



P7-1 沉箱混凝土垂直裂縫



P8-1 沉箱混凝土垂直裂縫

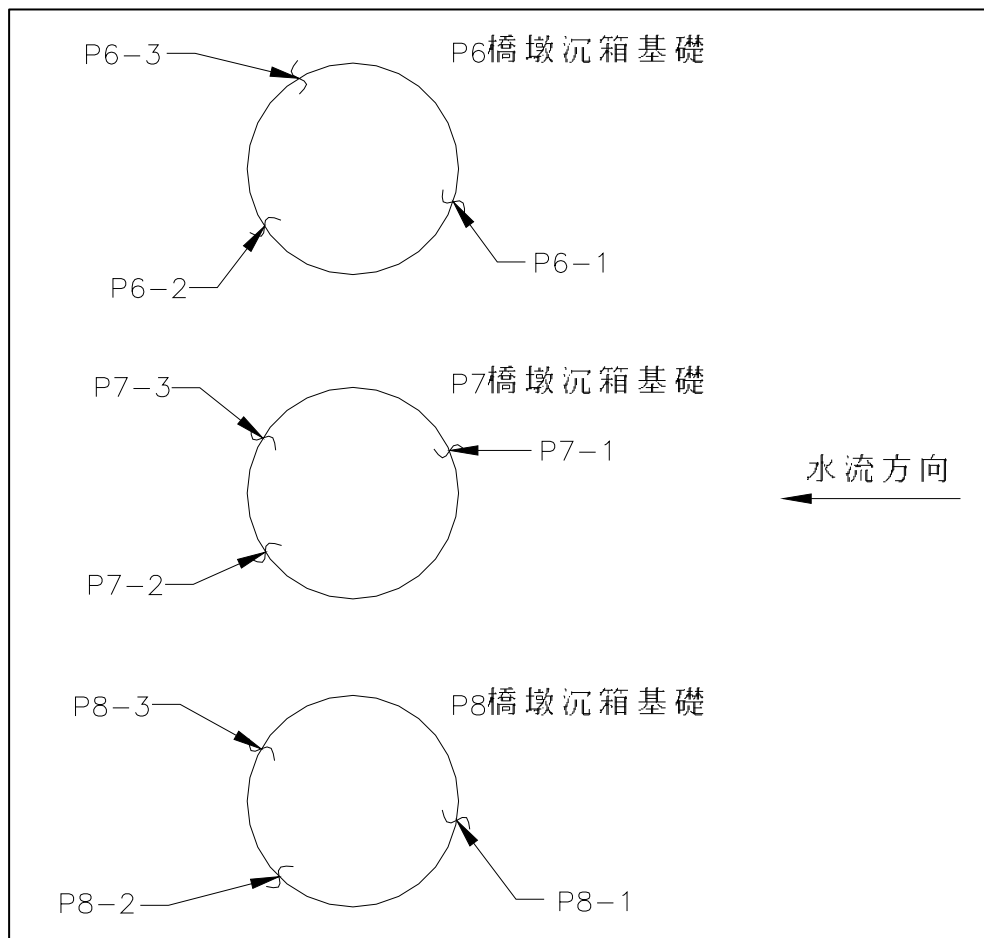


P8-2 沉箱混凝土垂直裂縫

照片 2-1 P6~P8 橋墩沉箱部分裂縫現況 (2013 年 3 月)

表 2-4 北勢大橋舊橋 P6~P8 橋墩沉箱裂縫列表

| 裂縫編號 | 裂縫長度 (CM) | 裂縫寬度 (MM) | 附 註               |
|------|-----------|-----------|-------------------|
| P6-1 | 310       | 1~5       | 水深 90CM，裂縫延伸至水面下  |
| P6-2 | 270       | 5~10      | 裂縫延伸至河床下          |
| P6-3 | 330       | 1~3       | 裂縫延伸至河床下          |
| P7-1 | 250       | 0.8       |                   |
| P7-2 | 150       | 0.3       |                   |
| P7-3 | 200       | 0.4       |                   |
| P8-1 | 250       | 1~5       | 水深 200CM，裂縫延伸至水面下 |
| P8-2 | 155       | 1~3       |                   |
| P8-3 | 335       | 0.5~1     |                   |



北勢大橋深槽區係於 P8 附近，由各墩柱外露部分長度研判，舊橋 P8 橋墩沉箱外露 4.0M 為最大（註：以上下游現況河床面 EL12.10 為基準），其餘 P6~P7 則約為 3.0~3.5M，如照片 2-2 所示。依據經濟部水利署水利規劃試驗所 95 年 12 月「後龍溪治理規劃檢討報告」，舊橋 P8 橋墩基礎外露部分已達沉箱全長之 1/3 以上，已有橋梁耐洪能力安全性疑慮，需進行橋梁耐洪能力詳細評估及基礎保護工。



照片 2-2 舊橋 P8 沉箱裸露情形

### 三、北勢大橋橋基裸露應變對策

#### 3-1 橋基裸露應變對策

##### (一) 沖刷現況分析

鑑於北勢大橋因橋基裸露影響用路安全，爰由公路總局第二區養護工程處於 102 年 1 月 23 日邀請橋梁工程專家逢甲大學徐耀賜教授及水利工程專家中興大學林呈教授，共赴北勢大橋現場研商對策，會勘情形如照片 3-1。



照片 3-1 102 年 1 月 23 日專家學者現勘北勢大橋

與會人員審視北勢大橋上下游後，如照片 3-2 所示，學者由大範圍之現場流路及結構佈設，乃至局部之橋基沖刷槽、草木掛淤情形等，針對現況沖刷情形作一精要研判，整理如下：

- (1) 綜觀後龍溪流北勢大橋段之流域，因橋墩 P9-A2 橋台間由上游至下游河道皆佈設蛇籠護岸及鼎型塊，勢必導致水流集中匯流於護岸及鼎塊旁，緊鄰護岸之 P8 沉箱基礎因而遭沖刷程度最為嚴重，達 5M 以上。
- (2) 再者，由上下游鼎塊沉陷深度約 1.0~1.5M 研判，若以一般工程施工慣例，吾人可假設竣工時沉箱頂為橋梁完工時之河床面，則長期一般沖刷量粗估約 2.5~4.0M，而近年之短期沖刷量（含動床厚度約 0.5~1.5M）。
- (3) 現況 P6~P8 之回淤局部沖刷坑呈半馬蹄型狀，如照片 3-2 所示，於颱風洪峰通過時約略出現最大之局部沖刷深度，可約略以 1~1.5 個沉箱直徑之級次尺度（order of magnitude）作為概估颱風之局部沖刷深度。





照片 3-2 北勢大橋上、下游及 P8 馬蹄沖刷坑情形 (由上而下)

## (二) 處理對策

在河道相對穩定、無持續下降之一般沖刷量，於現況條件下，未來颱風期間所形成之局部沖刷深度將是主導 P8 橋基安全之主要因素，爰由專家學者提出以下防治局部沖刷工法：

- (1) 於 P8 橋墩周圍設置混凝土塊保護工，基礎面建議使用不織布包裹石塊置於底層，防止動床之細顆粒吸出掏刷，於局部沖刷深槽區部分可於河床下設置兩層混凝土塊保護工。
- (2) 原護基工（鼎型塊）已變形部分，請苗栗段於施工時向水利署第二河川局申請同意後先行吊離，並重新排放平整。
- (3) 保護工設置以現有橋墩局部沖刷處馬蹄渦範圍，施設保護工高度以不高於現有河床面，避免因過多構造物干擾水流。

## (三) 其他建議

現場查閱由工務段準備之竣工圖，橋墩 P6 及 P7 之沉箱基礎深度分別達 18M 及 19M，另依河床大斷面測量圖說所示，橋基裸露深度約 4~5M，現場所呈現之馬蹄狀沖刷坑係為局部沖刷所致。因研判現階段安全無虞，且考量多設置保護工恐造成橋墩間彼此干擾，爰建議 P6 及 P7 暫維持現狀。另為了解北勢大橋 P6~P8 間颱風造成之動床沖刷厚度變化情形，建議於 P7 及 P8 橋墩中央處之上、中、下游（各距垂直橋軸線距離約

10~20M) 施作深度約 5 公尺左右之沖刷磚。明(103)年再挖開確認動床沖刷深度。

本次會勘紀錄由工程處上報公路總局後，為保障用路人之安全，局乃將北勢大橋納為一級監控橋梁，需作流域水情分析訂定封橋所需之特徵雨量站的應變雨量值；另 P8 沉箱基礎因有細微縱向裂縫，工程處建議委請專業顧問公司評估其安全性。

### 3-2 P8 橋基裸露保護工程

接獲上級函示北勢大橋裸露後續應變對策後，工務段隨即將已繪設完成之圖說交予廠商，並轉知為確保橋梁安全，本案係由公路總局列為每月控管進度之重要案件，且工程處限於 3 月底前完工之指示。甫接獲通知，廠商即調度機具及著手備料，儘速進場。

另一方面，因橋基保護施工作業係在後龍流域進行，需徵得河川管理單位之許可，爰由工務段以迅捷的速度安排與經濟部水利署第二河川局現勘，告知北勢大橋裸露情形。鑑於橋基保護工刻不容緩，河川局當下也答應免河川公地申請，可即刻進場施工，惟不得將河川料外運。

#### (一) 設計理念

依前述專家學者 102 年 1 月 23 日現勘結論中所建議之工法，具體繪製設計圖，如圖 3-1 所示。設計理念所考量事項大致如下：

- (1) 河川便道：可利用北勢大橋下游側原有之河川便道，將路基稍加整修並鋪築河川料，即可供機具進出之需。
- (2) 開挖 P8 沉箱：由現有橋墩局部沖刷處馬蹄渦範圍推估，下層約需調放兩排鼎型塊，可由工務段現有之 10 噸鼎塊之尺寸，估算下層排放兩排所需空間，作為開挖邊緣。另依專家學者建議施設保護工高度以不高於現有河床面之原則，由現有之 10 噸鼎塊尺寸推算層疊兩層（需考量上下層鼎塊肢會有交錯互鎖情形）之高度，可獲致現有河床面向下開挖之深度。
- (3) 沖刷磚：學者建議於 P7 及 P8 橋墩中央處之上、中、下游適當距離各施作深度約 5 公尺之沖刷磚，為便於明(103)年開挖辨明沖刷深度，設計時將沖刷磚每 10CM 標明刻劃。
- (4) 河川工區復舊及其它考量：經機具開挖、工區整理後，需適度將河川區域以現地土石方予以攤平復舊，另為利 P8 沉箱基礎開挖後鋪設不織布及現地河床礫石，需將施工中臨時抽移排水納入設計考量。



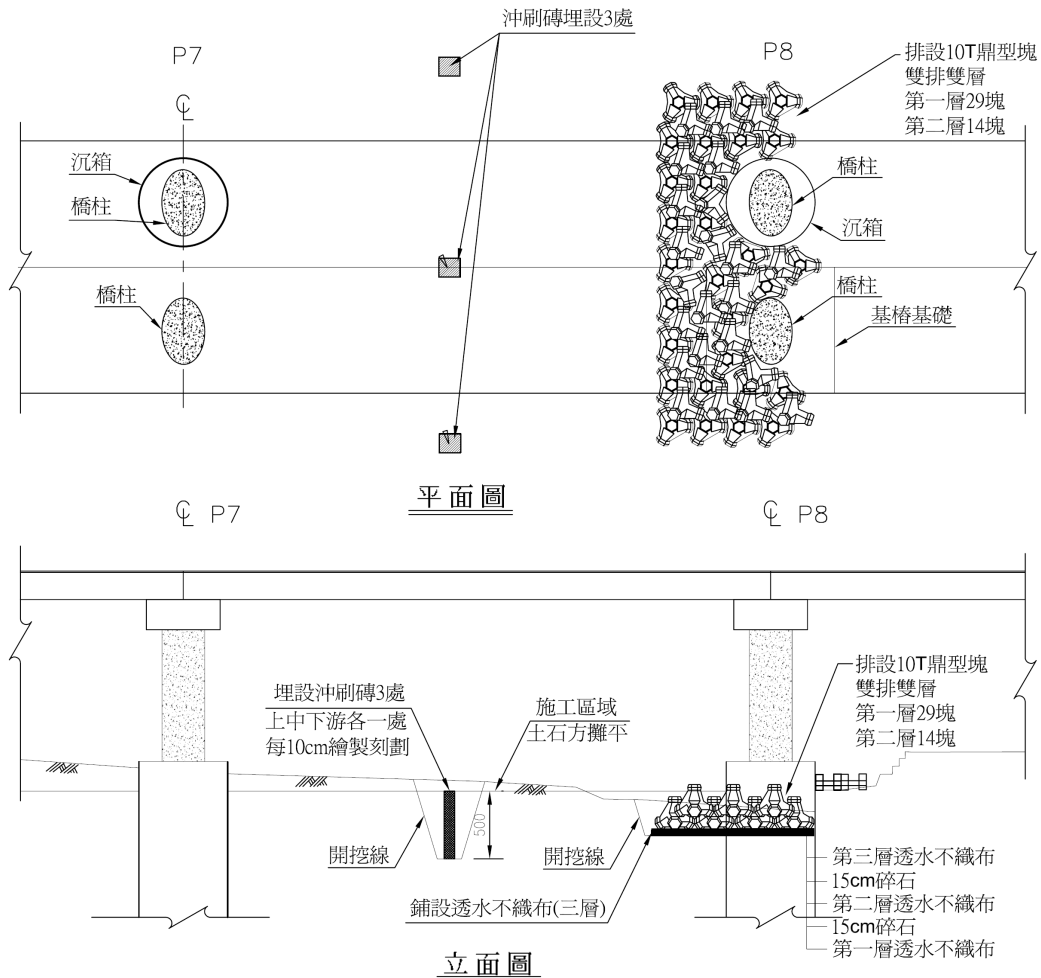


圖 3-1 北勢大橋 P8 橋基保護工平、立面圖

## (二) 施工情形

承商於施工便道整理後，即進場辦理 P8 沉箱基礎周圍開挖作業。依估算 P8 馬蹄範圍內兩排鼎塊排放空間現場放樣後，即一邊進行開挖作業，一邊進行抽移排水。

開挖告一段落則鋪築底層不織布及碎石，為提高動床細顆粒抗掏刷吸出之能力，採類似三明治之方式，將不織布與碎石分層交疊，即鋪築三層不織布其間皆夾碎石層。再於其上調放第一層鼎塊，第二層鼎塊則放於第一層各鼎塊之間隙，採交錯互鎖方式堆疊，提高整體穩定度。鼎塊吊放完成後進行回填，即完成 P8 橋基裸露短期保護工。本階段施工情形如照片 3-3 所示。



照片 3-3 P8 沉箱開挖、鋪不織布碎石夾層及吊放鼎塊情形

P8 橋基保護工完成後，另於 P7、P8 橋墩中央處開挖 5M 深之坑洞，將刻劃好之沖刷磚吊入，其上下游適當距離處另開挖兩坑，將沖刷磚分別吊入，施工情形如照片 3-4 所示。



照片 3-4 P7-P8 橋墩中央處開挖坑洞吊放沖刷磚情形

北勢大橋因 P8 橋基裸露而吊放鼎塊作為短期保護工，並吊放沖刷磚作為長期觀測本橋沖刷情形，照片 3-5 為完成全景。然考量本橋裸露有長期監控水情、必要時封橋之需，承公路總局指示列為重點監控橋梁，爰由工程處及工務段再辦理後續耐洪評估並擬定封橋相關水情管理數據等事宜。



照片 3-5 北勢大橋 P8 沉箱保護工及 P7-P8 間沖刷磚埋設完成情形

#### 四、北勢大橋橋基裸露耐洪評估與流域管理

##### 4-1 橋梁耐洪能力詳細評估準則

###### (一) 規範：

交通部頒佈「公路橋梁設計規範」(民國 98 年 12 月)

交通部頒佈「公路排水設計規範」(民國 98 年 12 月)

內政部頒佈「建築物基礎構造設計規範」(民國 90 年 10 月)

###### (二) 沖刷公式：

橋梁沖刷深度分析，一般係考量設計洪水狀況下基礎最大可能沖刷深度，在基礎可能沖刷範圍內需考量水流沖擊力並將其承载力扣除。最大可能沖刷深度包含局部沖刷、束縮沖刷及河床質移動層厚度（一般沖刷）等三部分。

###### (1) 局部沖刷

依據公路總局民國 93 年 11 月委託中興大學林呈教授辦理之「跨河橋梁訂定封橋水位」研究計畫，針對國內外眾多之局部沖刷估算公式進行實地量測驗證，篩選出較適用於國內之本土化沖刷估算公式，茲分述如下：

|  |  |
|--|--|
| <p>1.Laursen(1958)</p> $\frac{D_p}{h_2} = 5.5 \times \frac{h_s}{h_2} \times \left[ \left[ \frac{h_s}{11.5 \times h_2} + 1 \right]^{1.7} - 1 \right]$ <p><math>D_p</math> : 墩柱迎水寬度(m)<br/> <math>h_s</math> : 局部沖刷深度(m)<br/> <math>h_2</math> : 墩前水深(m)</p> | <p>2.Shen et al.(1966)</p> $\frac{h_s}{h_2} = 2.5 F_r^{\frac{2}{3}} \left( \frac{D_p}{h_2} \right)^{\frac{3}{5}}$ <p><math>F_r</math> : 墩前水流福祿數(= <math>\frac{V}{\sqrt{g \times h_2}}</math>)<br/> <math>g</math> : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)<br/> 其餘符號同前</p>   |
| <p>3.Shen et al.(1969)</p> $h_s = 0.000223 \times \left( \frac{V_2 \times D_p}{\nu} \right)^{0.619}$ <p><math>V_2</math> : 墩前流速(m/s)<br/> <math>\nu</math> : 水流之運動黏滯係數(=10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s)<br/> 其餘符號同前</p>                                   | <p>4.Jain and Fischer(1980)</p> $h_s = D_p \times 1.86 \times \left( \frac{h_2}{D_p} \right)^{0.5} \times (F_r - F_{rc})^{0.25}$ <p><math>F_{rc}</math> : 泥砂起動臨界流速所對應之水流福祿數<br/> <math>F_{cr} = \frac{V_{cr}}{\sqrt{g \times h_2}}</math><br/> <math>V_{cr}</math> : 泥砂啟動流速(= <math>\sqrt{D_{50}/0.0216}</math>)(m/s)<br/> <math>D_{50}</math> : 河床質中值粒徑(m)。</p> |
| <p>5.Ettema et al.(1998)</p> $\left( \frac{h_s}{D_p} \right) = \left( \frac{h_2}{D_p} \right)^{0.62} \times \left( \frac{V_2}{(g \times h_2)^{0.5}} \right)^{0.2} \times \left( \frac{D_p}{D_{50}} \right)^{0.08}$ <p>式中符號同前</p>                           |  |

其中墩柱迎水寬度  $D_p$  之決定，若基礎無外露之情況或橋基裸露深度小於橋墩上游側水深  $y_1$  之 0.1 時， $D_p$  等於橋柱迎水面寬度，若橋基裸露深度大於橋墩上游側水深  $y_1$  之 0.1 時， $D_p$  等於橋基迎水面寬度。

(2) 束縮沖刷，較常用之經驗公式如下：

|   |  |
|---|--|
| <p>1.Laursen(1962)－濁水沖刷、非凝聚性土壤</p> $h_s = h_1 \left[ \left( \frac{Q_1}{Q_2} \right)^{\frac{6}{7}} \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^{k_1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^{k_2} - 1 \right]$ <p> <math>h_s</math>：束縮沖刷深度(m)<br/> <math>h_1</math>：上游段平均水深(m)<br/> <math>Q_1</math>：鄰近上游段之流量(m<sup>3</sup>/s)<br/> <math>Q_2</math>：束縮河段之流量(m<sup>3</sup>/s)<br/> <math>B_1</math>：鄰近上游段之河寬(m)<br/> <math>B_2</math>：束縮段之河寬(m)<br/> <math>n_1</math>：鄰近上游段之曼寧粗糙率係數<br/> <math>n_2</math>：束縮段之曼寧粗糙率係數<br/> <math>k_1</math>、<math>k_2</math>：河床質輸送模式指數         </p> | <p>2.Gill(1981)</p> $h_s = h_2 \left[ \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^{\frac{9}{14}} - 1 \right]$ <p>符號同前</p> |
|---|--|

(三)河床質移動層厚度計算，較常用之經驗公式如下(參酌治理規劃報告，沖刷取正，淤積取負)：

|   |  |
|---|--|
| <p>1.日本常用公式</p> $h_s = 0.2y_0$ <p><math>y_0</math>：最大水深</p> |  |
|---|--|

### (三) 評估準則

影響橋梁耐洪能力之因素大致分為兩類：1.河川水理現象所造成之沖刷影響；2.橋梁構造對耐洪之影響。而橋梁構造耐洪能力評估方法主要係依「建築物基礎構造設計規範」計算基礎構造之承載力，再依交通部公路總局「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強等策略之研究」（民國 95 年）進行安全性評估，分述如下：

| 評估項目           | 方 法  |
|----------------|--|
| 垂直承載力之<br>安全性  | 以計畫洪水位計算最大沖刷深度，並計算基樁或沉箱極限承載力 $q_u$ ，以安全係數 2 作為最大洪水發生時土壤容許承載力 $q_a$ 。<br>以靜載重、活載重、風力及水流壓力等計算單樁或沉箱之最大外力造成之軸力 $N$ 值。<br>計算垂直承載力安全係數 $FS_1=q_a/N$ 。                                |
| 水平側向變位<br>之安全性 | 1. 分析基樁或沉箱頂面之水平側向變位量 $\delta$ 。<br>2. 計算水平側向容許變位量 $\delta_a$ ，依「公路橋梁設計規範」常時不得大於沉箱直徑之 1%，並以 5cm 為限，而於最大洪水時不得大於沉箱直徑之 1.5%，並以 7.5cm 為限。<br>3. 計算水平側向安全係數 $FS_2=\delta_a/\delta$ 。 |
| 沉箱旋轉之安<br>全性   | 分析沉箱結構之整體旋轉角 $\theta$ 。<br>計算沉箱整體容許旋轉角 $\theta_a$ ，依「建築物基礎構造設計規範」常時容許值 0.005rad，而於最大洪水時容許值 0.0075rad。<br>計算沉箱旋轉安全係數 $FS_3=\theta_a/\theta$ 。                                   |

上表三評估項目中若  $FS_1 < 1.0$ 、 $FS_2 < 1.0$  或  $FS_3 < 1.0$  時，表示橋梁耐洪能力不足，需考慮設置警戒水位及封橋水位等措施，或進行維修補強，以提高橋梁之耐洪能力。另參考交通部臺灣區國道高速公路局委託國家地震中心(2009)「高科技橋梁檢測系統建置試辦計畫」，以不同水深進行上表三項檢核，「封橋水位」及「警戒水位」係分別為上表任一項安全係數小於等於 1.2 及 1.5 時對應之水位。

#### 4-2 橋梁耐洪能力詳細評估

##### (一) 分析流程

依上節評估準則所述，考慮沖刷狀況下計算基礎構造容許承載力，再由靜載重、活載重、風力及水流壓力等，計算基礎所需之承載力，以計算耐洪評估安全性係數  $FS$  及訂定橋梁之警戒水位及封橋水位。分析可分為 8 個步驟（詳圖 4-1）：

##### (1) 資料收集：

包括橋梁梁底高程、橋梁各部結構狀況、河川治理規劃報告及歷年河床變動資料狀況。

##### (2) 河川水理分析：

依據河川治理規劃報告及現況河床資料，進行一維河川水理分析，計算河川流速及

洪水位高程。

(3) 計算橋墩最大沖刷深度  $h_s$ ：

由河川洪水位及現況河床高決定最大水深，並依「公路排水設計規範」選取適當之沖刷公式，計算最大沖刷深度  $h_s$ 。

(4) 計算基礎極限承載力及水平容許變位：

由步驟 1 至 3 計算橋墩在最大沖刷深度下基礎之垂直容許承載力、水平側向容許變位。

(5) 計算基礎容許旋轉角：

以靜載重、活載重、風力及水流壓力計算沉箱之最大垂直及水平承載力，及基礎整體容許旋轉角。

(6) 計算耐洪評估項目之安全性：

由步驟 4 至 5 所得數值檢核橋梁耐洪安全性。

(7) 計算橋梁之警戒水位及封橋水位：

由步驟 6 評估項目之安全性若無法達耐洪能力要求之標準，則以不同水深進行 3 至 6 步驟，當承載力、水平變位及轉角等三項其中一項之安全係數小於等於 1.5，則訂定為警戒水位，安全係數小於等於 1.2，則訂定為封橋水位。



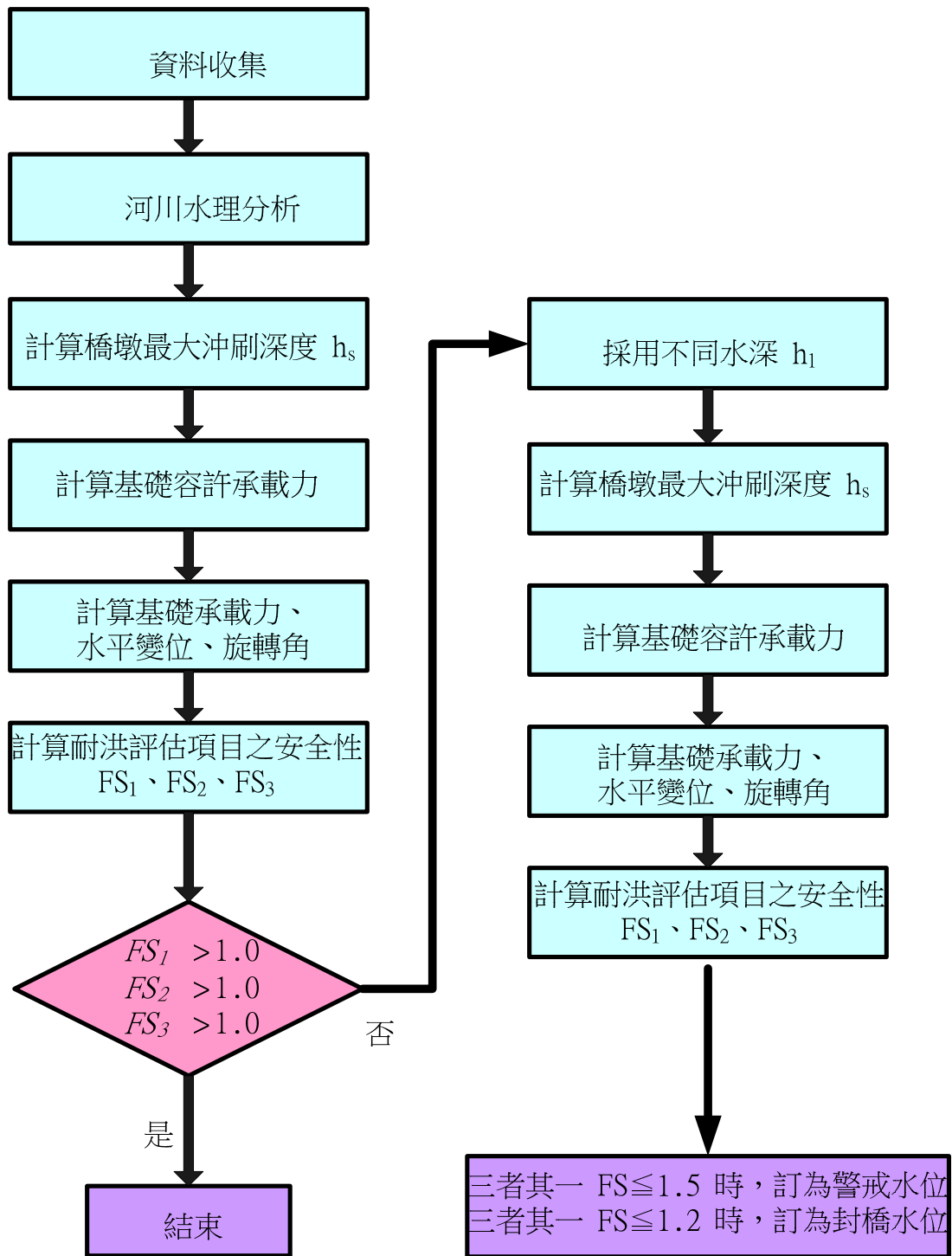


圖 4-1 橋梁耐洪能力詳細評估分析流程

(二) 北勢大橋耐洪能力評估求得警戒及行動水位

(1) 橋墩沖刷深度計算

依據經濟部水利署水利規劃試驗所民國 95 年 12 月「後龍溪治理規劃檢討報告」，本橋所處河道基本資料如表 4-1。

表 4-1 台 13 甲線北勢大橋所處河道基本資料

|      |                   |               |
|------|-------------------|---------------|
| 河道概述 | 流域                | 後龍溪           |
|      | 河道型態              | 辮狀河道          |
|      | 河道治理斷面            | 斷面 16.1       |
|      | 計畫洪水量             | Q100=6,340cms |
|      | 計畫洪水位 (100 年) (m) | EL 18.15      |
|      | 河寬 (m)            | 400           |
|      | 現況河床高 (m)         | EL 12.10      |
|      | 流速 (m/sec)        | 3.63          |
|      | 河道平均坡度            | 1/240         |
|      | 平均粒徑範圍 (mm)       | 101.569       |
|      | 河床土壤屬性            | 砂礫石河床         |
|      | 曼寧粗糙係數 n          | 0.045         |

由現況實際量測資料得知，新舊橋梁之橋墩中心距僅 9.68，新橋橋墩將受到舊橋墩保護，且新橋之基樁頂尚埋入河床面下 3.38M，因此耐洪能力尚無疑慮，爰僅需對舊橋進行詳細評估。又舊橋以 P8 橋墩處之河床為最低處，該橋墩基礎露出約 4.0M（註：不計局部沖刷坑，以上下游河床面連線為基準），而沉箱基礎迎水面寬為 5.4M，計畫洪水位為 EL18.15M，該位置之最大水深為 6.05M，因沉箱露出深度與水位比  $4.00/6.05=0.66>0.1$ ，所以計算迎水面寬度時，墩柱直徑  $D_p$  需採計沉箱迎水面寬 5.4M。依前述條件代入第二節林呈教授所建議之公式，結果如表 4-2。

表 4-2 北勢大橋沖刷深度估算

| 1. 橋墩局部沖刷深度 $h_s=7.64\text{m}$ |                                      |                                     |
|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 適用公式                           | 沖刷深度 $h_s$                           | 平均沖刷深度                              |
| Laursen 公式                     | 6.25                                 | $(6.25+9.71+7.28+8.00+6.98)/5=7.64$ |
| Shen et al.(1966)公式            | 9.71                                 |                                     |
| Shen et al.(1969)公式            | 7.28                                 |                                     |
| Jain and Fischer 沖刷公式          | 8.00                                 |                                     |
| Ettema et al.公式                | 6.98                                 |                                     |
| 2. 橋墩束縮沖刷深度 $h_s=0.15\text{m}$ |                                      |                                     |
| Laursen 濁水沖刷公式                 | 0.15                                 | $(0.15+0.15)/2=0.15$                |
| Gill 沖刷公式                      | 0.15                                 |                                     |
| 3. 河床質移動層厚度 $h_s=1.21\text{m}$ |                                      |                                     |
| 日本常用之經驗公式                      | $18.15-12.10=6.05$ 取 1/5 水深估算約 1.21m | 1.21                                |

本河道僅因橋墩斷面而造成河道束縮，而束縮前後流速之差異，已於計算局部沖刷時將流速增加之影響考慮在內，因此束縮沖刷不重覆計入，則舊橋橋墩於設計洪水時最大可能沖刷（動床）深度  $h_s=7.64+1.21=8.85\text{m}$ 。

## (2) 耐洪分析求得之橋梁警戒水位及行動水位

現有 P8 橋墩沉箱深 8m，已露出河床面 4.0m，在 100 年重現期洪水量最大沖刷（動床）深度將低於沉箱底面( $8.85+4.00=12.85>12\text{m}$ )，即橋梁有傾倒之虞。因此短期已由工務段先將橋墩基礎加固保護，另以不同水位依試誤法之方式計算沖刷深度，並進行耐洪分析以訂定行動水位及警戒水位，作為橋梁應變管理之需。

### 1. 橋梁警戒水位計算

以試誤法方式經重新訂定分析水位高程，當水位為  $EL.=15.45$  時，各項安全係數如下：

土壤最大承载力為 80.82T，容許承载力為 121.38T，安全係數  $FS_1=q_a/N=1.5$ （控制）；

水平側向變位量為 3.73cm，其容許值為 7.50cm，安全係數  $FS_2=\delta_a/\delta=2.01$ ；

沉箱結構體旋轉角  $\theta=0.00316$  Rad.， $\theta_a$  容許值=0.0075 Rad.

安全係數  $FS_3=\theta_a/\theta=2.37$ ；

警戒水位定為  $EL.=15.45$ 。

### 2. 橋梁行動水位計算

以試誤法方式經重新訂定分析水位高程，當水位為  $EL.=16.37$  時，各項安全係數下：

土壤最大承载力為 81.79T，容許承载力為 98.40T，安全係數  $FS_1=q_a/N=1.2$ （控制）；

水平側向變位量為 3.93cm，其容許值為 7.5cm，安全係數  $FS_2 = \delta_a / \delta = 1.91$ ；

沉箱結構體旋轉角  $\theta = 0.00329 \text{ Rad.}$ ， $\theta_a$  容許值 = 0.0075 Rad.

安全係數  $FS_3 = \theta_a / \theta = 2.28$ ；行動水位定為 EL16.37 處。

因 P8 沉箱裸露情形嚴重，故分析結果顯示皆由承载力安全係數乙項控制橋梁封橋水位管理值。下節則依求得之警戒及行動水位反推流量及其對應之特徵雨量站之雨量值，作為公路總局應變水情管理值。

### 4-3 雨量及橋梁水位檢討

#### (一) 雨量站選取及流域水文分析

根據「後龍溪治理規劃報告」（經濟部水利署水利規劃試驗所，95.12）及經濟部水利署之測站資料，本流域鄰近之雨量站計有 10 處，設置概況及位置分別如表 4-3 及圖 4-2 所示。經地理區位調查後，將紀錄較為完整且仍在運作之雨量站，計有流域內之橫龍山站、大湖（1）站及和興站等三站，作為水文分析之依據

表 4-3 雨量站設置概況

| 流域    | 站名          | 主辦單位   | 後龍溪治理<br>規劃報告<br>採用雨量站 | 本案採<br>用之雨<br>量站 | 備註                  |
|-------|-------------|--------|------------------------|------------------|---------------------|
| 後龍溪流域 | 後龍          | 中央氣象局  |                        |                  | 使用起迄年為<br>1922-1974 |
|       | 明德          | 中央氣象局  |                        |                  | 使用起迄年為<br>1973-1981 |
|       | 橫龍山         | 經濟部水利署 | ●                      | ●                | 測站編號 0020           |
|       | 大湖（1）       | 經濟部水利署 | ●                      | ●                | 測站編號 0050           |
|       | 和興          | 經濟部水利署 | ●                      | ●                | 測站編號 100            |
| 流域外   | 西湖溪         | 三義（2）  | ●                      |                  | 流域外不予採用             |
|       | 大安溪         | 象鼻（1）  |                        |                  |                     |
|       | 西湖溪-<br>大安溪 | 南勢山    | ●                      |                  |                     |
|       | 大安溪         | 觀霧     |                        |                  |                     |
|       | 通霄溪         | 大坪頂    | ●                      |                  |                     |

(資料來源：後龍溪治理規劃檢討報告，本計畫製表)

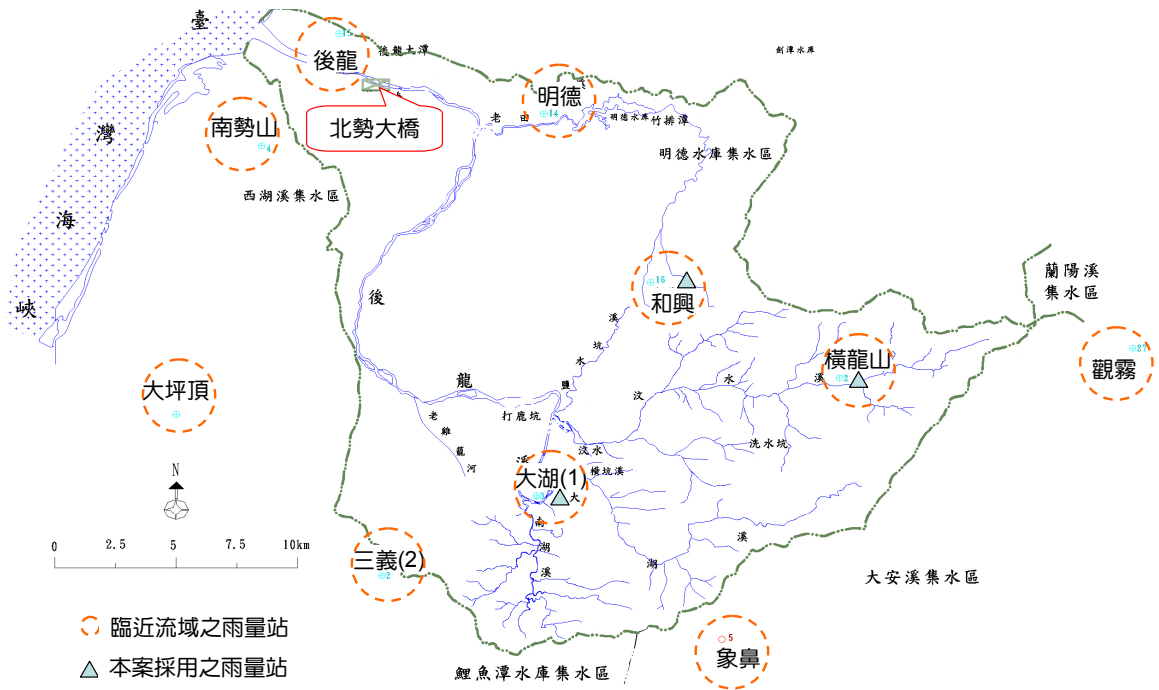


圖 4-2 後龍河流域雨量站位置圖

(資料來源：後龍溪治理規劃檢討報告，本計畫重繪)

後龍溪全流域均位於苗栗縣境，計有南勢溪、老田寮溪、沙河溪、老雞籠河、鹽水坑溪、汶水溪、南湖溪及本流上游大湖溪等八條重要支流，流域水系分布如圖 4-3 所示。其中明德水庫攔蓄老田寮溪水源，有效容量 13.98 百萬立方公尺，於頭屋匯入後龍溪。依「明德水庫運用要點」水庫係於颱風前後執行調節性放水，颱風期間「於水庫水位上升段，其最高放水流量，不得大於流入水庫之最高流入量，水庫放水流量之增加率，不得超過水庫流入量之增加率」。爰此，水庫之放流操作並不會提高水文分析所得之各頻率洪水量，不致影響下游北勢大橋之水情管理。

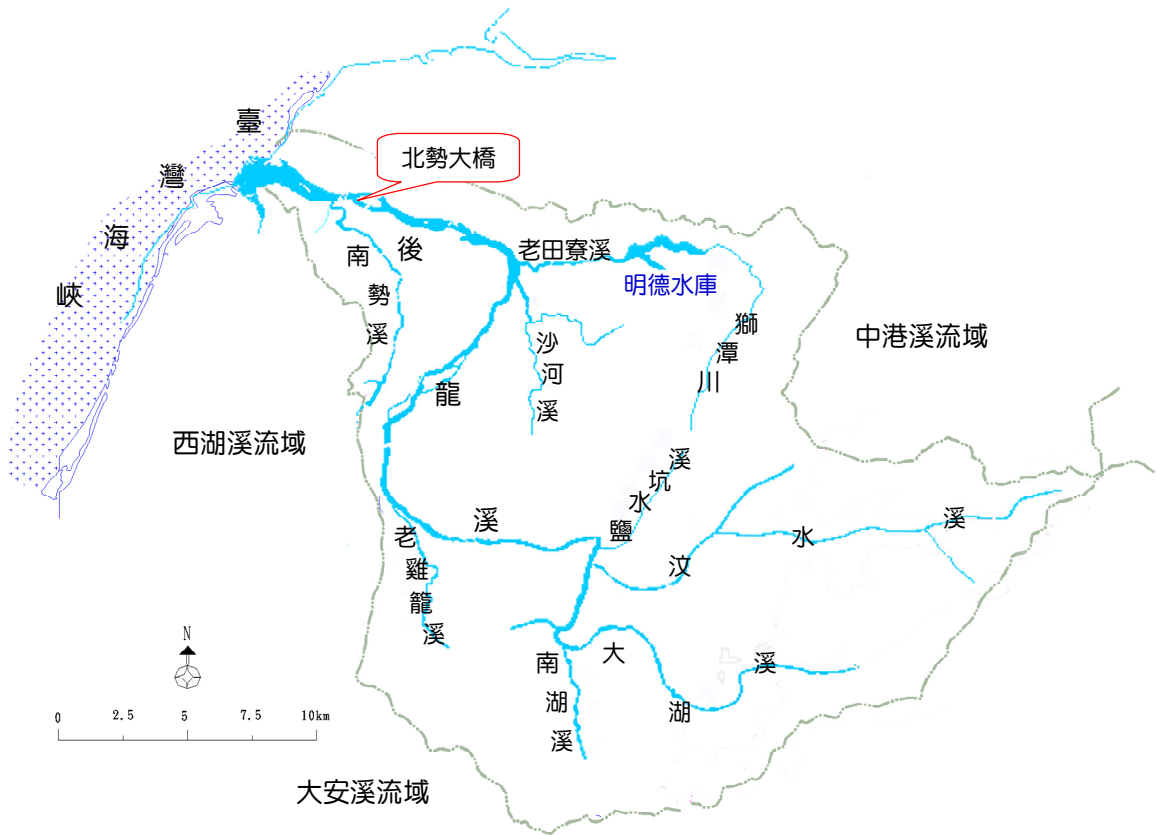


圖 4-3 後龍溪流域範圍圖

(資料來源：後龍溪治理規劃檢討報告，本計畫重繪)

## (二) 各站降雨量分析

採用「台灣地區雨量測站降雨強度－延時 Horner 公式分析」(經濟部水利署，92.02) 統計分析所得之降雨強度公式，其中頻率分析依循規劃報告暴雨頻率分析成果，採用對數皮爾遜第三型法 (Log Pearson type III)。各測站各重現期降雨強度公式係數如表 4-4 所示，各延時對應之降雨量如表 4-5 所示。另為考慮降雨之空間變異，使用徐昇多邊形法決定三雨量站所影響的控制面積，如圖 4-4 所示，再依各雨量站加權比重調整後之集水區平均雨量則如表 4-5 所列。

表 4-4 各站各重現期降雨強度公式表

| 重現期 | Horner 參數 |        |        |         |        |        |          |        |        |
|-----|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|
|     | 橫龍山站      |        |        | 大湖(1)站  |        |        | 和興站      |        |        |
|     | a         | b      | c      | a       | b      | c      | a        | b      | c      |
| 2   | 428.934   | 2.693  | 0.4816 | 797.039 | 18.027 | 0.5859 | 1099.459 | 18.855 | 0.6451 |
| 3   | 391.515   | -0.128 | 0.4365 | 672.356 | 15.952 | 0.5312 | 1024.658 | 17.774 | 0.6052 |
| 5   | 362.267   | -1.537 | 0.3946 | 517.627 | 8.894  | 0.4661 | 887.081  | 15.136 | 0.5546 |
| 10  | 326.837   | -3.127 | 0.3460 | 394.965 | 3.892  | 0.3993 | 793.051  | 15.680 | 0.5061 |
| 20  | 300.323   | -4.631 | 0.3059 | 302.364 | -2.125 | 0.3385 | 685.158  | 14.505 | 0.4577 |
| 25  | 293.473   | -4.689 | 0.2943 | 280.031 | -3.053 | 0.3209 | 667.877  | 15.371 | 0.4457 |
| 50  | 269.458   | -5.746 | 0.2582 | 228.481 | -6.009 | 0.2739 | 574.640  | 13.148 | 0.4060 |
| 100 | 249.487   | -6.765 | 0.2257 | 189.032 | -8.066 | 0.2312 | 514.852  | 14.046 | 0.3634 |
| 200 | 232.200   | -7.707 | 0.1954 | 160.557 | -9.212 | 0.1940 | 462.597  | 14.872 | 0.3282 |

表 4-5 各站 Horner 公式雨量表

| 重現期<br>延時 | 2 年    | 3 年    | 5 年    | 10 年   | 20 年   | 25 年   | 50 年   | 100 年   | 200 年   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 橫龍山站      |        |        |        |        |        |        |        |         |         |
| 10min     | 21.03  | 24.02  | 25.99  | 27.96  | 29.93  | 29.92  | 30.90  | 31.90   | 32.91   |
| 30min     | 39.99  | 44.44  | 48.32  | 52.33  | 55.84  | 56.69  | 59.14  | 61.33   | 63.30   |
| 1hr       | 58.46  | 65.61  | 72.75  | 80.75  | 87.97  | 90.09  | 96.09  | 101.73  | 107.17  |
| 3hr       | 104.78 | 121.78 | 140.50 | 163.59 | 185.47 | 192.46 | 213.27 | 233.83  | 254.69  |
| 24hr      | 309.84 | 392.96 | 493.33 | 633.98 | 779.98 | 829.26 | 990.06 | 1161.12 | 1347.05 |
| 大湖(1)站    |        |        |        |        |        |        |        |         |         |
| 10min     | 18.84  | 19.87  | 21.93  | 23.02  | 25.06  | 25.06  | 26.07  | 27.05   | 28.03   |
| 30min     | 41.24  | 44.01  | 46.98  | 48.37  | 49.01  | 48.65  | 47.84  | 46.28   | 44.56   |
| 1hr       | 62.06  | 67.40  | 71.98  | 75.10  | 76.55  | 76.54  | 76.62  | 75.84   | 74.94   |
| 3hr       | 107.88 | 122.22 | 134.96 | 147.72 | 157.03 | 159.59 | 166.84 | 172.52  | 177.69  |
| 24hr      | 267.94 | 336.94 | 417.70 | 519.00 | 619.23 | 651.92 | 749.00 | 845.47  | 941.15  |
| 和興站       |        |        |        |        |        |        |        |         |         |
| 10min     | 20.94  | 22.84  | 24.73  | 25.57  | 26.41  | 26.34  | 26.75  | 27.02   | 26.85   |
| 30min     | 44.73  | 49.35  | 53.62  | 57.32  | 60.30  | 60.99  | 62.31  | 65.05   | 66.37   |
| 1hr       | 65.70  | 73.49  | 80.84  | 88.79  | 95.26  | 97.28  | 100.58 | 107.72  | 112.22  |
| 3hr       | 108.52 | 125.33 | 142.84 | 164.69 | 184.19 | 190.89 | 203.44 | 227.71  | 245.94  |
| 24hr      | 240.04 | 299.31 | 375.00 | 477.18 | 586.72 | 623.98 | 717.31 | 876.22  | 1017.13 |

雨量單位：mm

(資料來源：經濟部水利署水文資訊網整合服務系統，本計畫整理繪圖)

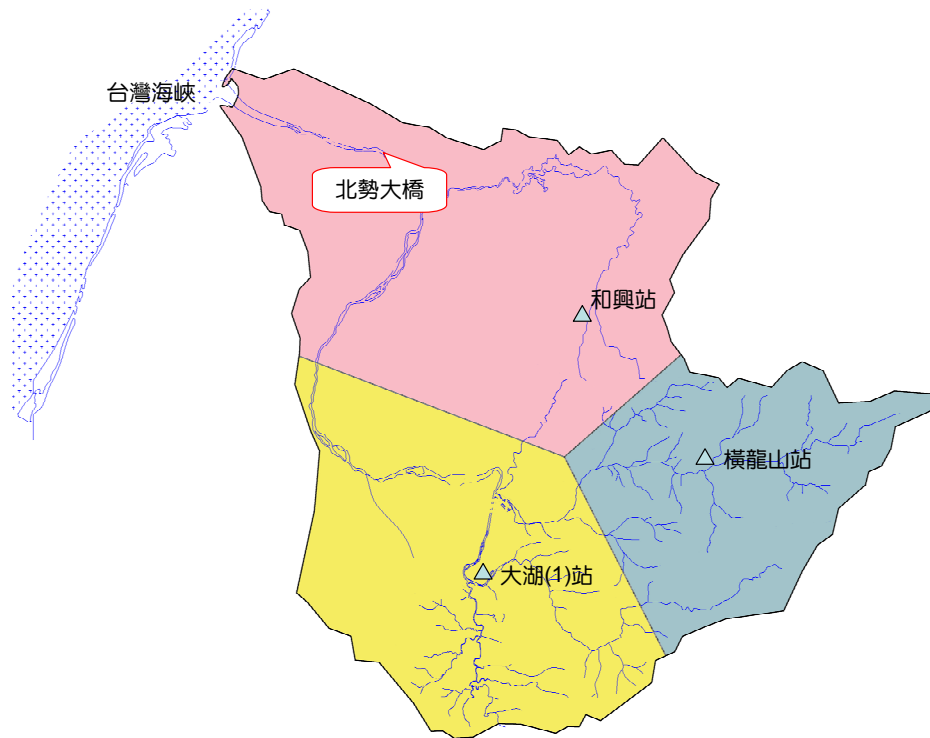


圖 4-4 選用雨量站分佈及其徐昇氏面積圖

表 4-5 集水區平均雨量表

| 重現期<br>延時 | 2 年    | 3 年    | 5 年    | 10 年   | 20 年   | 25 年   | 50 年   | 100 年  | 200 年   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 10min     | 20.25  | 22.10  | 24.07  | 25.25  | 26.76  | 26.73  | 27.47  | 28.15  | 28.64   |
| 30min     | 42.45  | 46.41  | 50.15  | 53.13  | 55.44  | 55.81  | 56.66  | 57.82  | 58.25   |
| 1hr       | 62.79  | 69.61  | 75.97  | 82.28  | 87.22  | 88.57  | 91.40  | 95.51  | 98.38   |
| 3hr       | 107.44 | 123.46 | 139.62 | 158.67 | 175.25 | 180.61 | 193.26 | 210.35 | 224.75  |
| 24hr      | 265.58 | 333.64 | 416.73 | 527.46 | 642.22 | 680.69 | 790.82 | 931.29 | 1067.18 |

雨量單位：mm



(三) 橋梁特徵雨量站降雨指標

依據後龍溪治理規劃報告，北勢大橋各重現期水位如表 4-6 所列。

表 4-6 北勢大橋各重現期距洪水位表

| 斷面編號         | 河心累距(m) | 各重現期距洪水位 (M) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              |         | Q200         | Q100  | Q50   | Q25   | Q20   | Q10   | Q5    | Q2    | Q1.1  |
| 16.2 北勢大橋(上) | 7491    | 18.7         | 18.15 | 17.42 | 17.23 | 16.87 | 16.45 | 16.06 | 15.44 | 14.44 |

4-2 節橋梁耐洪能力分析求得北勢大橋警戒與行動水位分別為 15.45M 及 16.37M，與上表比對，係分別與 Q2 (15.44M) 及 Q10 (16.45M) 重現期之水位相近。再者，根據徐昇多邊形法之結果，控制面積最大者為和興站，且經由後龍溪流域降雨分析特性，建議選用和興站為北勢大橋之特徵雨量站，其不同延時之雨量整理結果如表 4-7，而依此而得對應之預警、警戒及行動之降雨指標如表 4-8 所示。

表 4-7 和興站重現期 2 年及 10 年雨量表

| 重現期<br>延時 | 2 年    | 10 年   |
|-----------|--------|--------|
| 30min     | 19.24  | 24.65  |
| 1hr       | 28.25  | 38.18  |
| 3hr       | 46.66  | 70.82  |
| 24hr      | 103.22 | 205.19 |

雨量單位：mm

表 4-8 北勢大橋建議降雨指標

| 測站名稱 | 應變程度 | 門檻值              |
|------|------|------------------|
| 和興   | 預警值  | 1hr ≥ 15mm or    |
|      |      | 24hr ≥ 50mm      |
| 和興   | 警戒值  | 1hr ≥ 28.25mm or |
|      |      | 24hr ≥ 103.22mm  |
| 和興   | 行動值  | 1hr ≥ 38.18mm or |
|      |      | 24hr ≥ 205.19mm  |

(四) 歷史水情資料分析

表 4-9 為自民國 94 年至民國 101 年間中央氣象局有發警報之歷史颱風，由其中選取強度中度以上且北勢大橋水位明顯上升之颱風事件做為歷史水情分析資料，再將和興站雨量資料對應北勢大橋橋梁水位，檢討是否符合表 4-8 之降雨指標（警戒/行動水位：EL.=15.45M/16.37M）。

表 4-9 歷史颱風事件分析

| 歷史<br>颱風<br>事件 | 北勢站最高水位  |          |              | 通過<br>流量<br>(cms) | 和興雨量站(距北勢大橋水位站 11.56KM) |                  |       |             |                     | 檢核   | 是否<br>符合<br>降雨指標 |
|----------------|----------|----------|--------------|-------------------|-------------------------|------------------|-------|-------------|---------------------|------|------------------|
|                | 發生<br>日期 | 發生<br>時間 | 高程<br>(EL.m) |                   | 日期                      | 24hr<br>累積<br>雨量 | 時間    | 時雨量<br>(mm) | 北勢站<br>水位<br>(EL.m) |      |                  |
| 蘇拉<br>(2012)   | 8/2      | 10:00    | 17.50        | -                 | 8/2                     | 755              | 08:00 | 44          | 16.88               | 達行動值 | 符合               |
|                | 8/2      | 21:00    | 17.51        | -                 | 8/2                     | 755              | 19:00 | 47          | 17.17               | 達行動值 | 符合               |
| 凡那比<br>(2010)  | 9/19     | 06:00    | 14.98        | 612               | 9/19                    | 109              | 01:00 | 39          | 12.91               | 達行動值 |                  |
| 莫拉克<br>(2009)  | 8/7      | 08:00    | 15.84        | 1332              | 8/7                     | 131              | 04:00 | 36          | 15.19               | 達警戒值 | 符合               |
|                | 8/9      | 10:00    | 16.35        | 1740              | 8/9                     | 309              | 06:00 | 25          | 14.78               | 達預警值 |                  |
|                |          | 23:00    | 16.28        | 1684              |                         |                  | 20:00 | 36          | 16.21               | 達警戒值 | 符合               |
| 薔蜜<br>(2008)   | 9/29     | 10:00    | 15.83        | 1490              | 9/29                    | 207              | 07:00 | 35          | 13.79               | 達警戒值 | 符合               |
| 辛樂克<br>(2008)  | 9/14     | 22:00    | 17.68        | 4084              | 9/14                    | 444              | 20:00 | 49          | 16.85               | 達行動值 | 符合               |
| 卡玫基<br>(2008)  | 7/18     | 11:00    | 17.05        | 3075              | 7/18                    | 248              | 07:00 | 42          | 13.08               | 達行動值 | 符合               |
| 柯羅莎<br>(2007)  | 10/6     | 17:00    | 16.74        | 3530              | 10/6                    | 261              | 15:00 | 36          | 15.38               | 達警戒值 | 符合               |
|                | 10/7     | 8:00     | 16.17        | 2390              | 10/7                    | 213              | 05:00 | 35          | 15.44               | 達警戒值 | 符合               |
| 海棠<br>(2005)   | 7/19     | 0:00     | 16.32        | 2440              | 7/18                    | 151              | 17:00 | 23          | 14.43               | 達預警值 |                  |

(資料來源：經濟部水利署水文資訊網整合服務系統，本計畫整理製表)

由上表分析結果顯示，8 颱風事件中有 6 場符合表 4-8 之降雨指標，惟各場降雨性質不同而略有誤差。為進一步檢討其中差異，挑選民國 97 年辛樂克颱風及民國 101 年之蘇拉颱風分析水情資料及對應之水位。

### (1) 辛樂克颱風 (SINLAKU)

中央氣象局民國 97 年 9 月 11 日發布海上颱風警報，警報時間自 9 月 11 日至 16 日，9 月 12 日近台強度增為強烈颱風。颱風路徑如圖 4-5 所示，颱風期間和興站降雨對應北勢大橋水位站水位變化情形如圖 4-6。

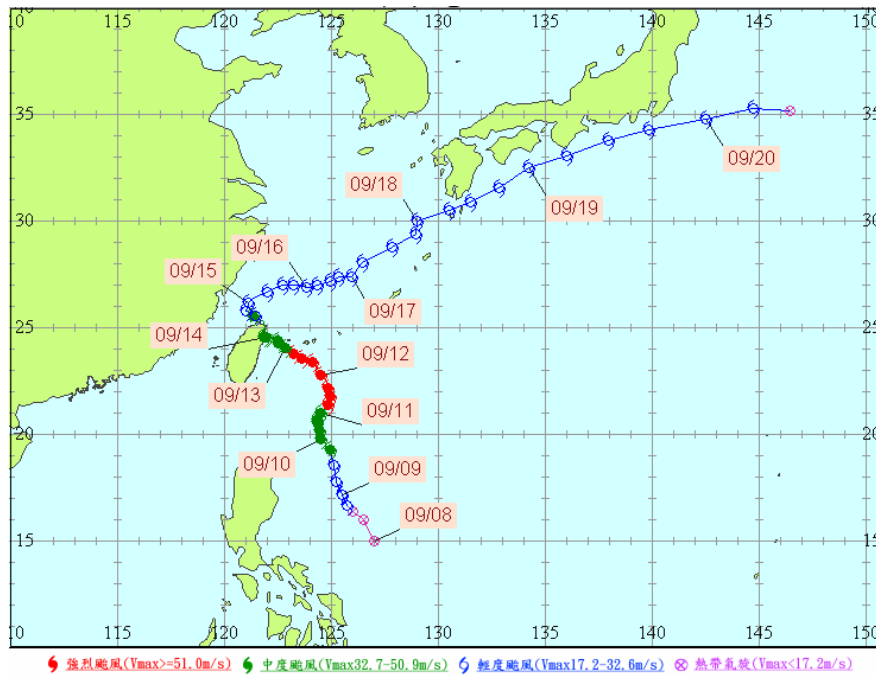


圖 4-5 辛樂克颱風路徑圖  
(資料來源：中央氣象局)

## 辛樂克颱風-北勢大橋水位站水位頻率分析

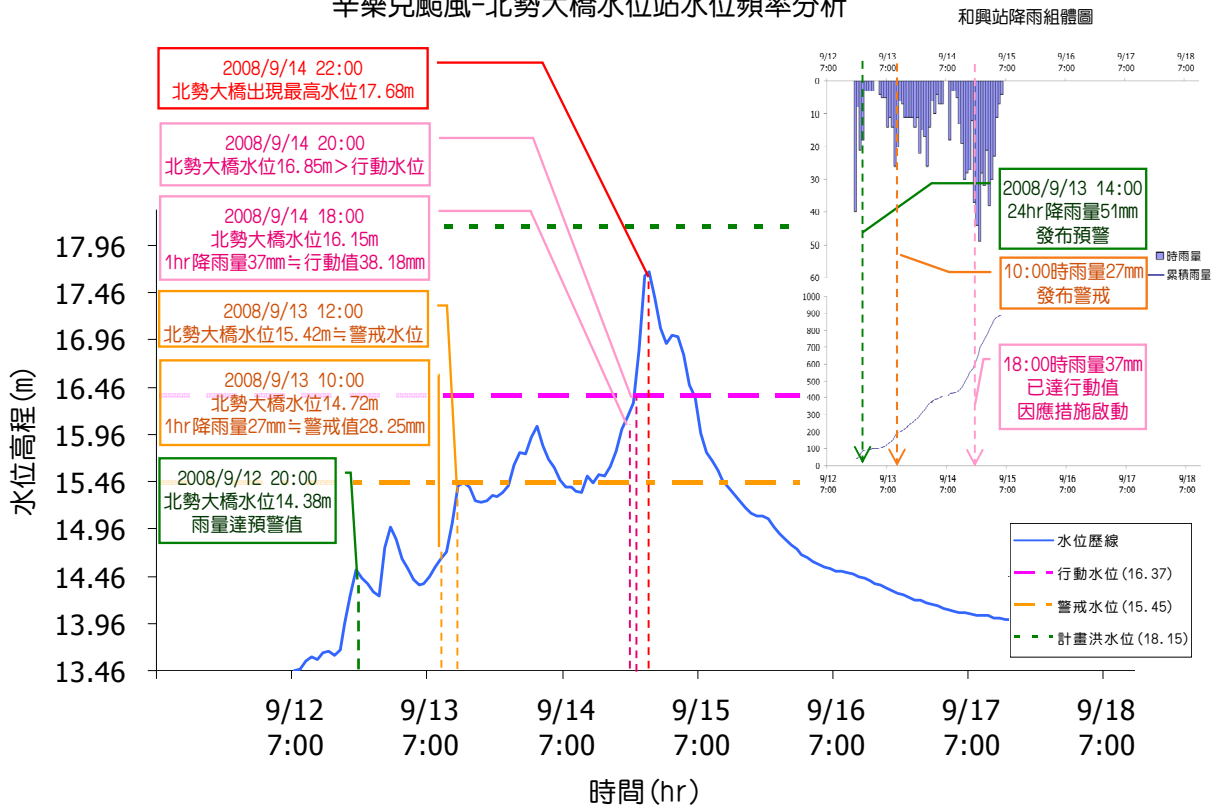


圖 4-6 辛樂克颱風-北勢大橋水位頻率分析

依據北勢大橋水位站資料顯示，颱風前水位約為 13.46m。9 月 13 日 10:00 時雨量為 27mm，已近表 4-8 降雨指標警戒雨量值(28.25mm)，此時橋梁水位為 14.72m；經 2 小時後 12:00 水位達到 15.42m，相當達警戒水位 15.45m。

9 月 14 日 18:00 北勢大橋水位為 16.15m，已逾警戒水位，又時雨量為 37mm，已近表 4-8 降雨指標之行動雨量值(38.18mm)，可採取封橋作為；2 小時後北勢大橋水位達到 16.85m，已高於行動水位 16.37m。自特徵雨量站出現行動雨量值(時雨量控制)至橋梁水位達行動值，計有 2 小時之應變時間。再經 2 小時達到本次颱風事件最高水位 17.68m。

(2) 蘇拉颱風 (SAOLA)

於民國 101 年 7 月 30 日發布海上颱風警報，近台強度為中度颱風，警報時間自民國 101 年 7 月 30 日至民國 101 年 8 月 3 日。颱風路徑如圖 4-7 所示，颱風期間特徵雨量站和興站降雨資料與各時間對應之北勢大橋水位站水位變化整理如圖 4-8。

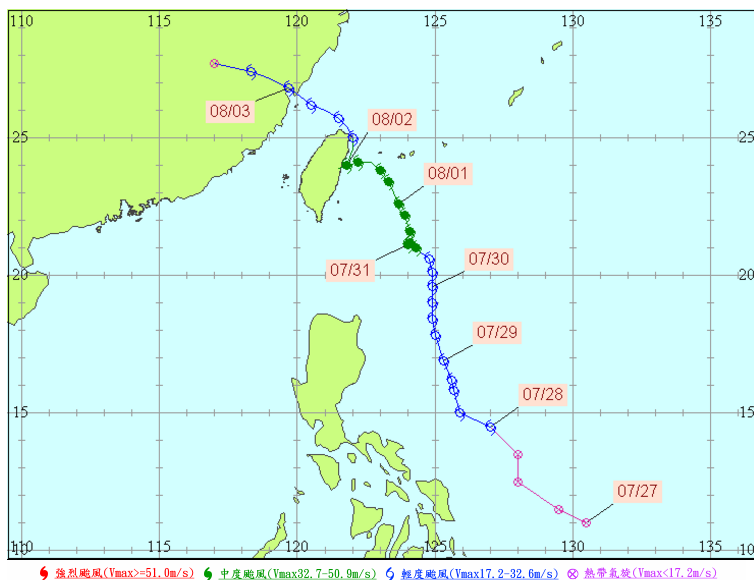


圖 4-7 蘇拉颱風路徑圖  
(資料來源：中央氣象局)

蘇拉颱風-北勢大橋水位站水位頻率分析

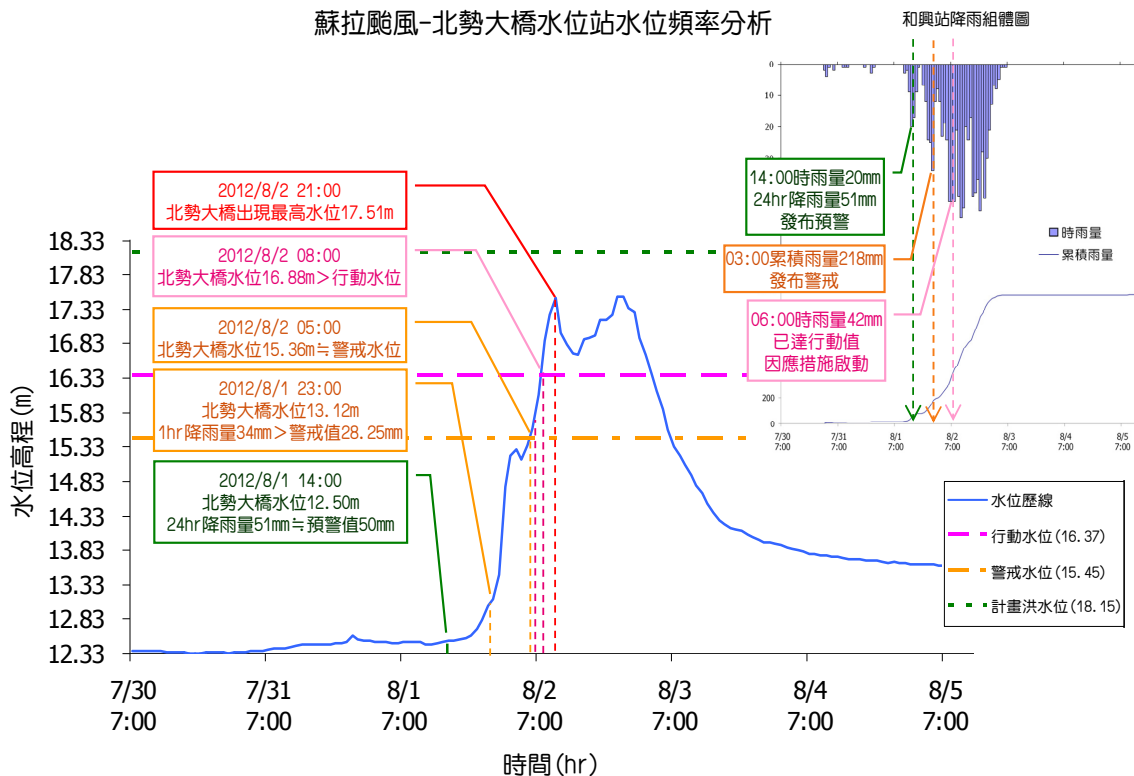


圖 4-8 蘇拉颱風-北勢大橋水位頻率分析

依據北勢大橋水位站資料顯示，颱風前水位約為 12.34m，8 月 1 日 23:00 時之時雨量為 34mm，約逾降雨指標警戒值（28.25mm），對應之橋梁水位為 13.12m；8 月 2 日 5:00 時水位升至 15.36m，已接近警戒水位（15.45m）。特徵雨量站達到警戒雨量值至北勢大橋出現警戒水位時間為 6 小時。

其後雨勢漸大，8 月 2 日 06:00 時雨量高達 42mm，其降雨指標已大於行動值，北勢大橋水位為 15.60m，2 小時後 08:00 水位達到 16.88m，已逾行動水位 16.37m。特徵雨量達行動值（時雨量控制）到北勢大橋水位達行動值之應變時間為 2 小時。

依據資料顯示 8 月 2 日 21:00~22:00 之水位為本次颱風事件最高水位 17.51m，但 8 月 2 日 10:00 之水位 17.50m 兩者十分相近，若依降雨指標進行管制即可減少災害發生。

本文依據水利署網站完整之歷史水情檢討降雨指標與橋址水位，特徵雨量站和興站之降雨可做為橋梁管理之參考，惟如應用於公路總局防災作業，基於資料取得之即時性及方便性，建議可以距和興站約 3.9 公里之中央氣象局獅潭站為雨量參考。此外，除應注意各指標之雨量影響外，現場水位流況亦應做為現場管制之參考，必要時可依現場狀況採取封橋管制，以減少災害之發生。

## 五、結語

省道台 13 甲北勢大橋位於後龍溪流域，舊橋 P6-P8 因沖刷致使橋基沉箱裸露，經工程處邀請專家學者研議對策，進而由工務段完成 P8 橋基保護工。倘河床持續沖刷，則 P6、P7 乃至其他橋基，皆勢必面臨裸露加劇而危及橋梁安全，需辦理保固補強。

長期而言，北勢大橋橋基裸露仍應謀求合宜對策，以橋梁管理單位而言，可考量局部橋基保固、局部橋梁改建、或全橋改建等，以經費、安全、風險、期程等做通盤檢討，研擬可行方案。在方案因經費或其它因素未能具體執行前，基於公路人之職責，仍應加強巡查、依上游特徵雨量站執行應變作為，維持通行安全。

綜覽後龍溪流域，北勢大橋僅是下游段之一小斷面，因沖刷致河床面下降，橋基接二連三裸露，使橋梁長期潛藏不安全的因子。本流域上游之其它縣管橋梁、省道橋梁等亦面臨同樣危機，僅橋梁段之逐一改善實難與整體流域刷深之力道抗衡。若百補一疏，則危機即可能演變成災難。為免於萬一，流域管理單位應妥善擬定治理計畫，長期觀察河床沖淤變化情形，秉持橋河共治理念，將刷深嚴重河段且有橋梁跨越者，優先改善維持河道穩定。而因應氣候變遷，流域特性大異於前，流域管理單位亦應重新檢視分析各流域之水文特性，對全流域河床穩定亦應備有長期有效對策。

當代最偉大的科技公司-美國蘋果公司創辦人之一賈伯斯 (Steve Jobs, 逝於 2011 年)

曾說:「我們必須在消費者知道自己想要什麼東西之前,就幫他們想好了。」同樣的,橋梁、流域權責單位平時當落實好各項養護工作,確保國人通行安全,面對颱風豪雨等劇烈天候侵襲時,免於橋沖毀之恐懼。

## 參考文獻

1. 交通部公路總局第二區養護工程處,「研商台 13 甲線北勢大橋 P6~P8 基礎沉箱裸露因應對策會勘紀錄」,2013 年 1 月 23 日。
2. 交通部,「公路橋梁設計規範」,2009 年。
3. 交通部,「公路排水設計規範」,2009 年。
4. 內政部,「建築物基礎構造設計規範」,2001 年。
5. 交通部公路總局,「跨河橋梁訂定封橋水位」,2004 年。
6. 交通部公路總局,「橋梁監測預警系統及沖刷保護措施及補強等策略之研究」,2006 年。
7. 交通部臺灣區國道高速公路局,「高科技橋梁檢測系統建置試辦計畫」,2009 年。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所,「後龍溪治理規劃檢討報告」,2006 年。
9. 經濟部水利署,「經濟部水利署水文資訊網整合服務系統」,網址:  
<http://gweb.wra.gov.tw/HYIS/>。