

橋梁監測系統-以高屏溪橋為例(I)

陳振華

國立高雄大學土環系

一、前言

斜張橋因具有相當之美感與超長跨度之經濟效益，同時，斜張橋造型也隨著工程科技之進步而風靡整個世界。因此，在繼日本與丹麥完成超長跨度之跨海斜張橋的帶領下，世界橋梁工程在 21 世紀已邁入構築「**跨海峽大橋**」工程的新紀元，例如：連接義大利本島與西西里島跨越 Messina 海峽之 Messina 大橋工程；連接歐非大陸博斯普魯斯海峽橋梁工程；跨越日俄拉彼魯茲海峽工程和韃靼海峽之橋梁工程，以及連接英倫三島間跨海橋梁工程。當然這些建造世界級橋梁風也吹進中國，使得大陸某些跨海工程開始進行建設，包括跨越渤海海峽、長江口、珠江口、杭州灣和瓊州海峽等，2008 年完成的蘇通大橋，跨度 **1088m**，遠超過日本具有跨長 **890m** 的多多羅大橋(Tatara Bridge)，並突破最大主跨、最高橋塔、最長拉索、最深基礎四項世界紀錄，成為世界上主跨最長的斜張橋。另外，被國際橋梁界喻為「雲端上的橋梁」，位於法國南部的 Millau Viaduct 大橋，建造期間即已成全世界矚目的焦點，此橋是世界上最高的斜張橋，最高橋柱為 244.96m，橋塔之最高點高程為 343m，全長 2,460m，跨度分配為 204m+6@342m+204m，最大斜張橋主跨為 342m。這些橋梁也直接地說明 21 世紀世界橋梁工程的偉大突破。

在台灣，繼南部第二高速公路的高屏溪斜張橋完成，國內橋梁技術猛進，斜張橋應用於跨河案例也愈來愈多，包括台北市的釣竿式大直斜張橋、南投的貓羅溪鋼拱塔斜張橋與集鹿大橋、台北縣環河快速道路新北大橋、社子橋，以及多座跨淡水河之人行曲線斜張橋等(如饒河街人行斜張橋與陽光大橋)，這些實績都足以顯示我國橋梁工程技術的提升，以及與國際接軌同步發展的腳步。然而，反向思考的是，面對斜張橋的快速競爭發展，其營運通車後的安全維護策略，以及損傷評估方法等是否周全，橋梁工程師是否已經準備好接受此一挑戰，藉以避免斜張橋在國際排名競爭下，因忽略某些問題而發生橋梁破壞之命運(楊和陳 1995)。

另外，斜拉索一直是斜張橋通車後安全維護最困難的主構件之一，由於斜拉索的細長比相當大，柔軟低阻尼，以及抗撓能力差，在風致振動或常時車流，甚至於環境振動下都可能增加相當大的反覆撓曲應力而引起疲勞損傷而斷裂，如圖 1 所示(Siegert and Brevet 2006)，而斜拉索封口鬆動、錨定端錨受損，以及根部保護管破壞造成內部絞線腐蝕等等，皆大大地縮短斜拉索之壽命，甚至有可能影響到整座橋梁之安全。另外，車流與風力等常時外力是分分秒秒加諸於斜拉索上，儘管將已損壞的鋼纜置換，並不能保證日後同樣的損傷不再繼續發生，斜拉索隨時會因振動而損壞。因此，斜拉索在常時車流、偶時地震或颱風的力學行為變化，產生的疲勞現象、拉力損失變化等，都是斜張橋潛在的危機，也是平常檢測維護或長期

監測的重點。

在本文中，主要是以高屏溪斜張橋為例，介紹完整的橋梁健康監測系統配置方法與功能設計原理，作為日後監測斜張橋特性變化，以及評估橋梁安全性之依據。



圖 1 斜拉索疲勞斷裂破壞情形(Siebert and Brevet 2006)

二、高屏溪斜張橋

高屏溪斜張橋為南部第二高速公路後續計畫燕巢九如段高屏溪河川橋之主橋，如圖 2 所示，全長共 510m，採用大跨徑單橋塔非對稱混合式結構系統，如圖 3 所示，主跨 330m 為鋼結構設計，以及邊跨 180m 為預力混凝土結構設計；橋塔塔高 183.5m，為倒 Y 型式之鋼筋混凝土結構。另外，主跨與邊跨各配置 14 組斜張鋼纜，除兩跨最外側一組各為四根外，其餘各組均為兩根鋼纜之組合，如圖 4 所示，共計 60 根鋼纜支撐整座橋梁，如圖 4 可知，最靠近 A1 橋台的鋼纜編號為 B101 與 B101A，鋼纜 B114 則為邊跨內最靠近 P1 橋塔之鋼纜；主跨內最靠近 P1 橋塔之鋼纜為 F114，而 F101A 與 F101 則是最靠近 P2 橋柱。整座斜張橋斜張鋼纜是以單索面雙纜混合扇形配置，如圖 4 所示。

另外，鋼纜之斷面形狀示意圖，如圖 5 所示；各鋼纜幾何性質依交通部台灣區國道新建工程局(2002)設計需求分為兩種規格：一是 15.2mm ψ -ASTM A416-90a 270 級之低鬆弛鋼絞索，另一為 15.7mm ψ -BS-5896 170 級之第二級低鬆弛率鋼絞索，鋼纜型式分為 Type A 與 Type B 兩種，Type A 最大排列 91 支鋼絞索，共有 46 根；Type B 最大排列 61 支鋼絞索，共有 14 根，合計 60 根鋼纜。

三、結構健康監測系統

3.1 設計需求

本橋監測系統建置計畫概分為二階段：

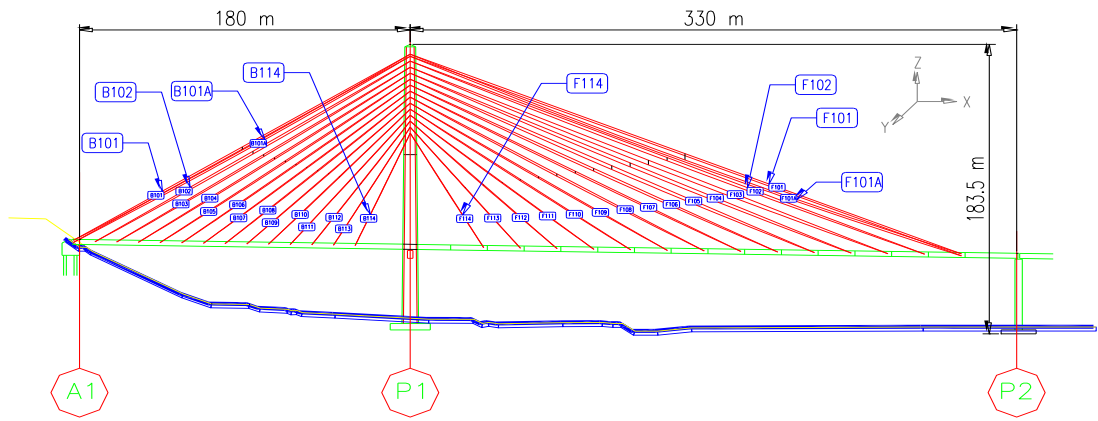


圖 2 高屏溪斜張橋示意圖

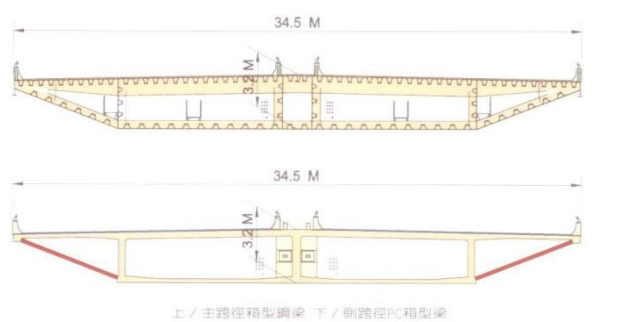


圖 3 高屏溪斜張橋斷面示意圖(國道新建工程局 2002)



圖 4 斜拉索雙索排列情形

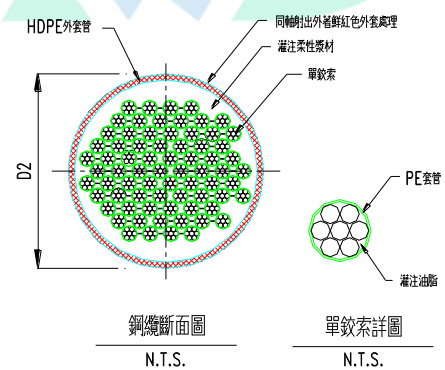


圖 5 斜張鋼纜斷面圖

1. 第一階段著重在「建置完善的監測系統」，並對整座橋梁進行必要的檢測與試驗量測工

作，建立監測所需的橋梁初始參數值，納入「高屏溪斜張橋專案橋梁管理資料庫」。另一個重點則為實場監測資料的收集，包括地震、車流、風力與振動等資訊，並進行相關的分析與評估，建立本橋健康監測必要的參數資料，並訂定出監測相關準則與預警值。

2. 第二階段則是「再評估監測預警準則」，並交控中心網路，提供本橋段行車安全與抗風方面之維護，以及完整的預警資訊，並且完整地建構出「高屏溪斜張橋專案橋梁管理資訊資料庫」。另外，預警資訊可協助建置封橋機制，並視其安全管制與實際功能運作需求，增加監測點位與項目，並以較可靠的多重監測概念訂出的預警值作為交通管制措施之依據、設置交通管制相關設施，實現危險封橋功能與作為，真正落實橋梁安全監測之作為與目的，達到「監測、管制與安全」一致的目標。

3.2 監測分析需求

斜張橋分析橋梁監測系統監測項目與功能的制定，首須先針對橋梁特性與現有狀況進行分析與探討，並將監測儀器配置在橋體損傷敏感處，藉由橋梁受力後之特性參數變化情形，即可研判橋體的損傷情形。另外，本橋梁為國道橋梁，若橋梁受力後，必須非常精準地確認其損傷程度，方能發佈警戒措施，因此，本橋梁必須綜合各項監測指標，達到多重監測指標之要求，做出最正確之判斷。本橋執行之長期監測前置作業與分析項目如下，並將其成果落實在監測系統設計規劃中。監測分析需求包括：

1. 微動試驗與系統識別，建立合理的有限元素分析模式，提供耐震與抗風分析。
2. 鋼纜預力量測與分析，建立所有鋼纜預力現況，提供纜索風振及雨振行為分析。
3. 空氣動力穩定性分析，提供全橋氣動力穩定性分析。
4. 車流效應對橋梁振動之影響。

3.3 監測系統工作項目規劃

依現有試驗結果分析、測試結果與後續監測重點，本文規劃設計的監測系統是依據現地試驗與學理根據進行設計，由於本文橋梁為國道重要橋梁，須藉由具有「多重監測」能力之監測系統獲得足夠且可靠的資訊，作為未來封橋警戒之依據，以確保用路人之安全，避免單一監測值所產生的封橋誤差。因此，提出後續監測系統架構與監測工作項目如下：

1. 地震與強風監測

利用新增之地震計及風速風向計，分別進行地震之地表加速度及現地風速與風向之歷時量測及簡要頻譜分析，配合預警建議值之訂定，完成必要之即時預警功能。

2. 地震來襲時之橋塔及主梁之振動量測

利用橋塔加速度計及主梁速度計進行速度之歷時量測及簡要頻譜分析，以及 GPS 量測絕對位移，隨時監測其頻率分布，與歷史試驗資料或監測資料進行比對。地震來襲時，除檢視

其頻率分佈並比對外，可由量測之歷時資料，計算橋塔及主梁之最大位移量，判斷主結構是否有損壞情況。

3. 橋面版位移量測

利用裝設在主梁的 GPS 量測的位絕對位移訊號，以及速度計之歷時量測資料，進行積分得到位移歷時，並與 GPS 資料比較，獲得更多預警參數。

4. 斜張鋼纜預力變化量測

- (1) 評估各鋼纜改變量，檢核預力容量是否在安全範圍內。
- (2) 強風作用下監測鋼纜受強風振動情況，並列入研判鋼纜之穩定性。
- (3) 風雨效應對斜張橋主梁與鋼纜穩定性之影響評估，綜合分析評估鋼纜抗風穩定性。
- (4) 地震時纜索振動行為。
- (5) 常時車流振動與參數共振監測之評估。

5. 風場特性量測與颱風監測

高屏溪斜張橋工址屬於地況較開闊處，根據內政部建築研究所之「建築物耐風設計規範條文與解說」之地況分類屬於地況 C。為監測實際之風場條件，規劃採用之三維超音波風速計其風速反應頻率達 20Hz，較能正確準確反映出風速擾動特性。

6. 受風影響之行車安全評估

高屏溪斜張橋自西側穿出丘陵後，向平坦之高屏溪河谷平原伸展東延，以百分之一點七坡度向東側傾斜，橋面離河床約 50m。由於橋梁東側為空曠無明顯地形變化之地況，遠方高速氣流直接侵襲高屏溪斜張橋而導致橋上出現較大之風速，並對行車安全有所影響。本文針對該橋之行車安全進行監測系統之設計評估與預警。另外，行車危險路段之解決方案大致可分為兩種模式，其一為靜態模式，根據危險風速發生路段之位置，以主被動方式解決高風速之問題，例如設置防風設施、進行行車速率之管制、以及設立強風注意警告標誌等等。其二為動態模式，在公路沿線明顯高風速區域進行實測風速，當風速超過最高容許值時，立即依據橋梁預警分級與緊急應變措施進行作業。

7. 遠端傳輸與監控

目前網路技術發達，ADSL 連線方式相當普遍，其內容可分下列說明：

- (1) 應用技術：ADSL 是指現有的電話上加裝 ATU-R(ADSL 數據機)，利用 ADSL 技術 (Asymmetric Digital Subscriber Line)，用戶可在使用電話同時享受高速寬頻上網或進行資料傳送。
- (2) 經濟考量：以目前的中華電信中等傳輸速率的 12M/1M (下載/上傳)，未來可在依需求提高。
- (3) 優點：使用 ADSL 的優點在於可依照本身自我的需求，來選擇不同的傳輸速率。目

前可靠度與穩定性皆良好，更可以 24 小時全天候連線，不必撥接，隨時皆可上網傳輸，而且大多是採用光纖網路，速度及穩定性大幅增加。

8. 監測數據儲存與管理

高屏溪斜張橋監測系統未來所定期蒐集的資料非常龐大，如果以人工方式進行判讀，相當耗時，雖然目前橋梁已引進自動化監測作業，但仍缺乏整合性的資訊系統，以提供橋梁行為分析及健康安全維護之參考。本文將增加系統對監測資料之管理與評析功能，藉以建立適合高屏溪斜張橋之監測數據管理功能。高屏溪斜張橋監測數據管理主要之目標係在於利用網際網路的技術，建置實場量測數據資訊儲存平台，以可靠、有效地紀錄實場量測數據，並提供一個整合性的數據傳輸、管理、擷取的資訊平台，提高數據搜尋與擷取的效能。執行層面上整個系統將架構於網際網路上，不受平台及地域的限制，如此一來，只需透過當地的網路系統及全球資訊網瀏覽器，就可以記錄、轉換、搜尋、顯示、及下載所監測的歷時數據，增加了使用者操作上的便利性。另外，一般遠端數據資料傳輸「高屏溪斜張橋監測數據管理資料庫」之資料輸入取得可有三種模式：

- (1) **FTP 定時回傳資料**：經由網路連線，現地資料儲存系統會定時將資料壓縮後在指定時間回傳至數據管理系統之伺服器。
- (2) **遠端遙控回傳資料**：現地資料儲存系統無法在指定時間內回傳資料時，管理者可以透過遠端遙控軟體將資料取回。
- (3) **人工資料存取**：特定儀器透過資料擷取器儲存於現地架設之資料集錄系統。由人員定期進行資料之下載再匯入管理系統中。

另外，長期監測計畫資料的保存和分析是非常重要的。隨著電腦及網路技術的發展，遠端控制、資料集中管理的概念逐漸形成，然而最大的挑戰，在於監測數據下載及其儲存、處理和傳播。因此，監測數據管理在資料儲存方面功能如下：

- (1) **監測資料處理**：包括資料整理、資料格式轉換與資料分析（如 Mean、RMS 等）。
- (2) **監測資料管理**：包括資料儲存管理和特殊事件（如颱風）資料管理。
- (3) **資料顯示與取得**：包括繪製歷時圖和原始資料下載等。

另外，在使用者介面上須能易讀易懂，容易操作使用，並使用中文介面。

3.4 監測訊號傳輸方式與架構

由於本文橋梁為大跨度橋梁，因此，監測點位常常距離監測室太遠，訊號衰減較大，受雜訊干擾也很大。因此，選擇適當的訊號傳輸方式相當重要，有鑒於傳統傳輸方式以類比訊號傳輸，傳輸距離愈長，訊號衰減越大，受雜訊干擾也很大，因此為克服此點，除類比訊號傳輸距離須被受限外，在類比訊號傳輸之前須先以信號調整器放大訊號，再轉換成數位訊號，予以進行遠端傳輸。

目前傳輸科技較為發達，本文將以較可行的訊號傳輸方式，如圖 6 所示。此方式為感應器輸出的類比訊號先經由分散式數位化模組將類比訊號轉換成數位訊號，數位訊號在傳輸時並不會受到長距離(1km 內)傳輸所造成的訊號衰減與雜訊干擾，而且數位訊號可利用纜線即可傳輸，可降低線路成本。另外，分散式紀錄傳輸方式可將多個分散式數位化模組分散或串接後再傳至資料擷取系統，可簡化線路與維修程序，最後再以光纖線路傳至監控室電腦。

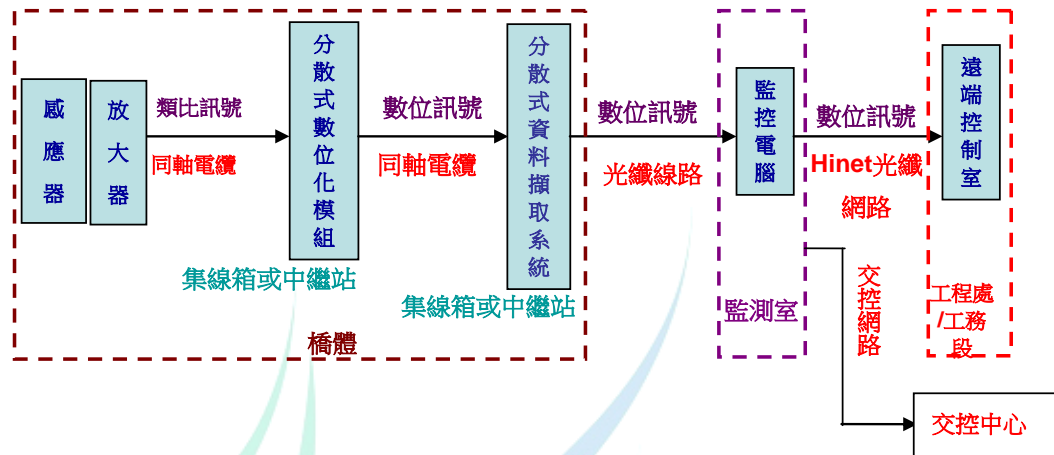


圖 6 分散式訊號傳輸方式

3.5 監測系統時程配置原則

本文依據下列原則設計監測系統：

1. 因經費限制與監測數據缺乏之原因，本文將整個監測系統進行全盤規劃設計，而在工程執行時係分兩期進行，**第一階段計畫導向為「系統建置與資料收集」、第二階段計畫導向為「功能作為與實際展現」**等架構作為規劃之方向。
2. 第一階段以「**系統建置與資料收集**」主要目標以監測系統架構與資料收集兩方面，包括契約規定的基本監測儀器安裝、建立系統、集錄、監控與初步資料收集等為主。
3. 第二階段以「**功能作為與實際展現**」，主要目標是將交通管制設施與監測系統相互結合，實際展現危險警訊發布與封橋功能作為，真正落實橋梁安全監測之作為與目的，並以多重監測概念訂出預警值作為交通管制措施之依據，增加警訊發布的可靠性，並視其安全管理與實際功能運作需求，增加監測點位與項目，達到監測、管制與安全目標。
4. 第一階段在規劃監測系統架構時，須先行預留具有擴充儀器與線路之能力，避免後續維護成本，以及後續交通管制設施與監測系統結合時相容性問題，避免增加日後系統操作與資料收集之複雜性。

3.6 監測系統設計

為考量日後擴充能力與維修管理之方便性，本文將採用分散式訊號傳輸方式進行設計，

整個監測系統之監測項目朝向地震、颱風與車流三大方向作為監測項目主軸，並以動態監測為主軸，靜態監測為輔，朝向「多重安全監測」預警能力之建立。另外，為達到日後之擴充性與維修性，節省成本，本文利用分散式傳輸功能之特性。本文整體靜動態監測系統架構圖如圖 7 所示。各項儀器配置圖如圖 8 所示。所採用的儀器種類，如表 1 所示。

表 1 監測儀器種類與數量表

項次	名稱	代號	符號	單位	數量	備註
動態感應器						
1	三維風速計	ANM	★	組	4	ANM01~ANM04
2	埋入型加速度地震計(三軸)	ACC	●	組	1	ACC01
3	表面型加速度地震計(三軸)	ACC	●	組	5	ACC02~ACC18
4	表面型加速度地震計(單軸)	ACC	●	組	12	
5	速度型振動計(單軸)	VEL	■	組	22	VEL01~VEL22
6	動態位移計(單軸)	DSP	◆	組	6	DSP01~DPS06
7	動態傾斜計(雙軸)	TLT	⊕	組	1	TLT01
8	衛星定位系統	GPS	▲	組	5	GPS01~GPS05
9	監視錄影系統	CTV	▽	組	4	CTV01~CTV04
	動態儀器總計			組	60	
靜態感應器						
10	電磁拉力計	EMT	⊙	組	4	EMT01~EMT04
11	雨量計	RAN	○	組	2	RAN01~RAN02
	靜態儀器總計			組	6	
12	動態集錄系統	DRS	□	式	1	DRS
13	靜態集錄系統	SRS	※	組	1	SRS

四、災害緊急應變計畫

4.1 橋梁安全評估

監測系統完成後，首須利用監測資料進行橋梁健康狀況評估，完成監測資料分析、解讀、結構現況評估、監測資料管理及報告功能，結構健康狀況評估流程，如圖 9 所示。橋梁現存的性能狀態可根據監測系統資料為主，橋梁設計資料與現場檢查為輔三方面資訊加以評估。針對風力與地震反應訊號處理分析流程，分別如圖 10 與圖 11 所示，即可針對風速風向變化、地震與交通荷載狀況對橋體之振動反應進行重要參數評估。

4.2 橋梁預警之建立

橋梁監測資料處理評估後可有以下之應用：

1. 提供預警系統建立之參考，即如何設定有效的預警值。
2. 修正原設計之參數，使分析的模型更能反應真實行為，作為結構老劣化評估之依據。
3. 提供建立預警等級及即時反應對策。

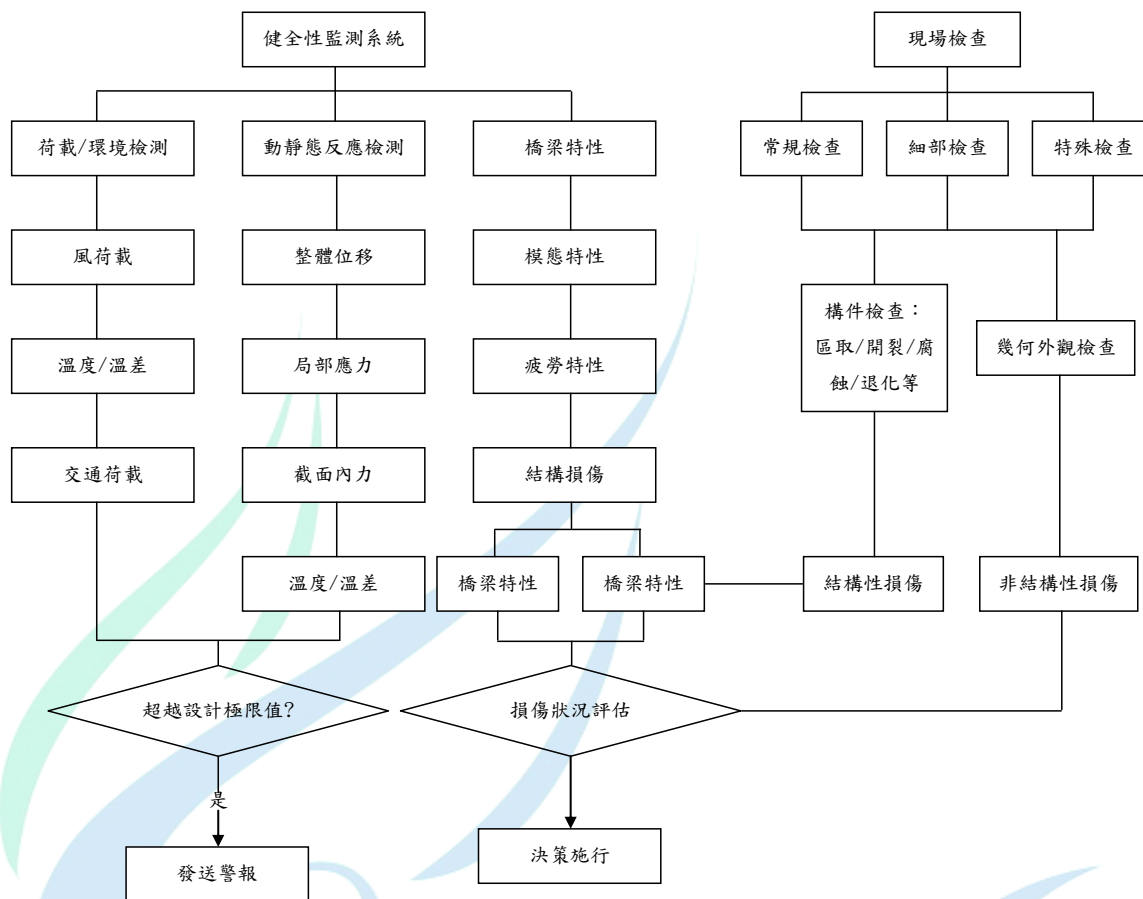


圖 9 結構健康狀況評估流程架構圖

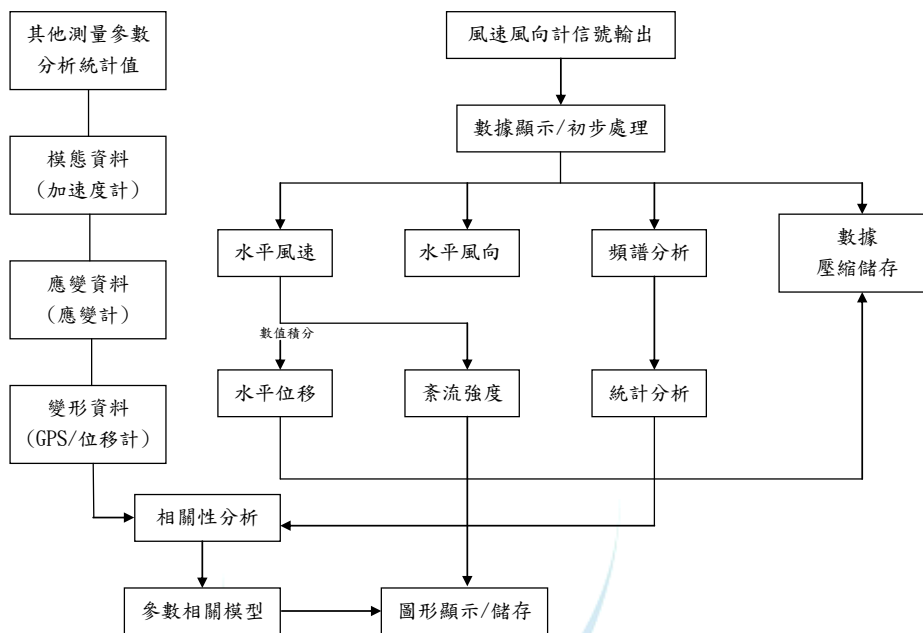


圖10 風速風向信號處理分析應用流程圖

預警系統是將監測系統集錄到資料庫加以分析評估，並建立一結構體危險等級評估系統，提供管理系統進行危機處理及維修之依據。而此一評估系統最重要的是在於建立預警標準。預警值之建立包括警戒值與行動值。

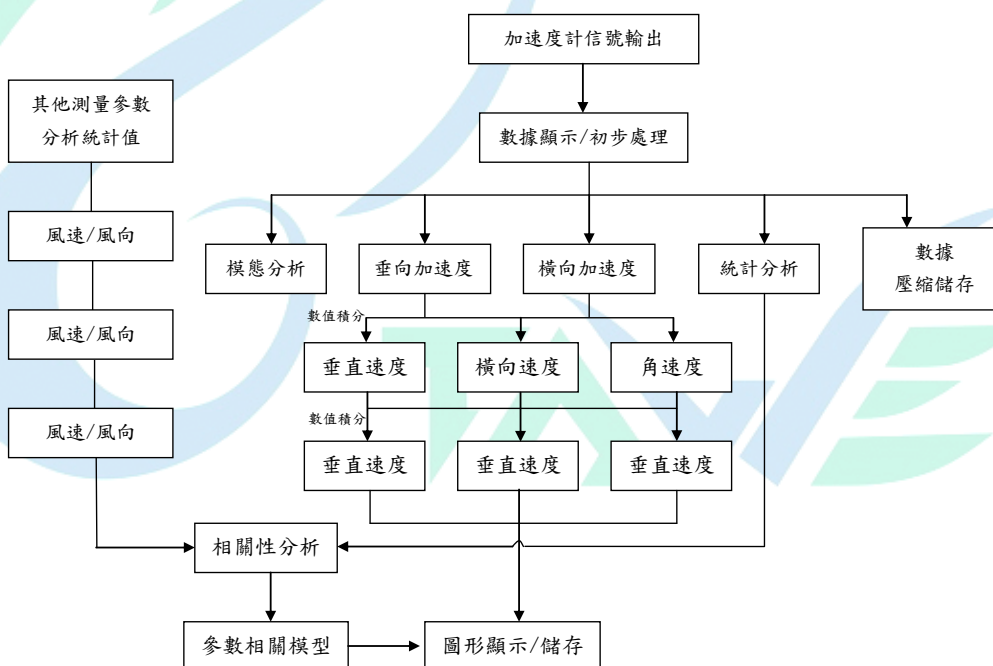


圖11 振動信號處理分析應用流程圖

1. **警戒值**：係指監測儀器之監測值在結構物運轉狀態下所設定之上限。當監測值超出警戒值時，除非是儀話誤判或是其他特殊原因，一般表示儀器功能或結構物出現異於常態的現象，但是尚未達危險狀態。

2. **行動值**：係指結構物容許之最大極限值。當監測值超過行動值時，表示結構物已處於緊急之狀態，必須立即採取緊急應變之各項措施。

另外，警戒值與行動值設定方面，結構物預警值的建立，乃依監測值參數的變化、監測值所繪歷時曲線之變化規律、特性與趨勢及因果相關性之改變等方面加以評估而建立。一般可將其歸納成定性與定量兩種評析方法。此兩種方法可視結構類型、時機與實際需要分別使用或合併使用。定性評析方法主要係依據各項監測值所繪歷時曲線之穩定性、相關性、合理性、一致性、突變性及對稱性加以研判及評估。另外，定量分析主要的依據係將監測值用理論分析法、統計分析法或是經驗法等方式所求得之值，用以評估結構物屬正常運作、異常或是進入危險狀態。

預警值訂立原則及方式如下：

1. 根據長期觀測資料之上下限之範圍，估算出其臨界值之變異範圍，當作設定警戒值與行動值之參考。
2. 利用結構工程分析，計算監測因子之臨界條件，當作設定警戒值與行動值之參考。
3. 在儀器系統架設完成，開始進行以上兩項的分析工作後，根據前兩項之分析資料，決定最終之警戒值與行動值。

斜張橋由於結構型為複雜，警戒值可包括靜態變位、應力、應變警戒值，動態加速度警戒值，風速風向警戒值，纜索預力警戒值等。而諸多之警戒值對於橋梁安全都有非常直接之影響，但這些警戒值可能同時發生、同時不會、亦可能有程度上之差異，因此，這些警戒值必須將其同時考慮，採取多重監測的法則，訂定出一個所謂的警戒指標（Alarm Index, AI），才能全方位考量橋梁整體之臨界狀態。

4.3 橋梁預警分級與緊急應應措施

預警系統規劃監測項目為橋塔、橋墩傾斜及變位量，橋體微振、風振、車流及地震反應，纜索振動與預力損失，橋址風力效應，橋墩沉陷效應等，監測資料經監控中心解析及判讀後，分為定時及立即兩種傳送到維護業主或監造單位，以便於預警作業之進行。預警設計為警報通報系統，當橋梁受非預期的地震或風力作用時，監控中心需立即對結構系統行為分析與校核。若橋梁受外力影響，其動力行為達到警戒值時，警報通報系統可以即時提出預警並傳遞給維護單位採取緊急應變措施，確保人車使用之安全性。

高屏溪斜張橋位於國道交通重要孔道上，因此，道路的管制與安全影響層面非常大，必須根據監測結果，依其嚴重性區分為五級，分別對於橋梁使用者、主管單位、顧問公司及監測單位發出不同等級程度的警訊反應措施。分級標準、狀況及各單位緊急應變措施等，如表 2 所示。未來可依據檢測資料分析結果定訂出較為可靠的警戒值與行動值。

五、結論

高屏溪斜張橋為台灣最長跨斜張橋。高屏溪斜張橋具有細長、質輕且柔軟等特性，因此，不僅地震方面的監測非常重要外，對於較敏感的風力監測更為重要。目前本橋已營運超過十年以上，建置一套橋梁健康監測系統(BHMS)是確保橋梁安全性之先進作法，對營運階段橋體之地震反應、抗風行為、鋼纜振動等整體性結構安全，以及行車舒適性等功能進行長期監測，藉以獲得更多的預警資訊，作為橋梁地震、風振與行車方面安全管理與維護之參考。因此，結論分述如下：

1. 本文將整個監測系統進行全盤規劃設計，而在工程執行時係分兩期進行，第一階段計畫導向為「系統建置與資料收集」、第二階段計畫導向為「功能作為與實際展現」等架構作為規劃之方向。
2. 第一階段以「系統建置與資料收集」主要目標以監測系統架構與資料收集兩方面，包括契約規定的基本監測儀器安裝、建立系統、集錄、監控與初步資料收集等為主。
3. 第二階段以「功能作為與實際展現」，主要目標是將交通管制設施與監測系統相互結合，實際展現危險警訊發布與封橋功能作為，真正落實橋梁安全監測之作為與目的，並以多重監測概念訂出預警值作為交通管制措施之依據，增加警訊發布的可靠性，並視其安全管理與實際功能運作需求，增加監測點位與項目，達到監測、管制與安全目標。
4. 第一階段在規劃監測系統架構時，須先行預留具有擴充儀器與線路之能力，避免後續維護成本，以及後續交通管制設施與監測系統結合時相容性問題，避免增加日後系統操作與資料收集之複雜性。

另外，本橋梁為國道橋梁，若橋梁受力後，必須非常精準地確認其損傷程度，方能發布警戒措施，因此，本橋梁亦綜合各項監測指標，達到多重監測指標之要求，做出最正確之判斷。期以未來長期監測的成果中，進一步修正更符合維護管理需求的警戒指標，除達到橋梁安全維護管理之要求，同時，本橋監測維護工作亦可成為國內橋梁安全監測之楷模。

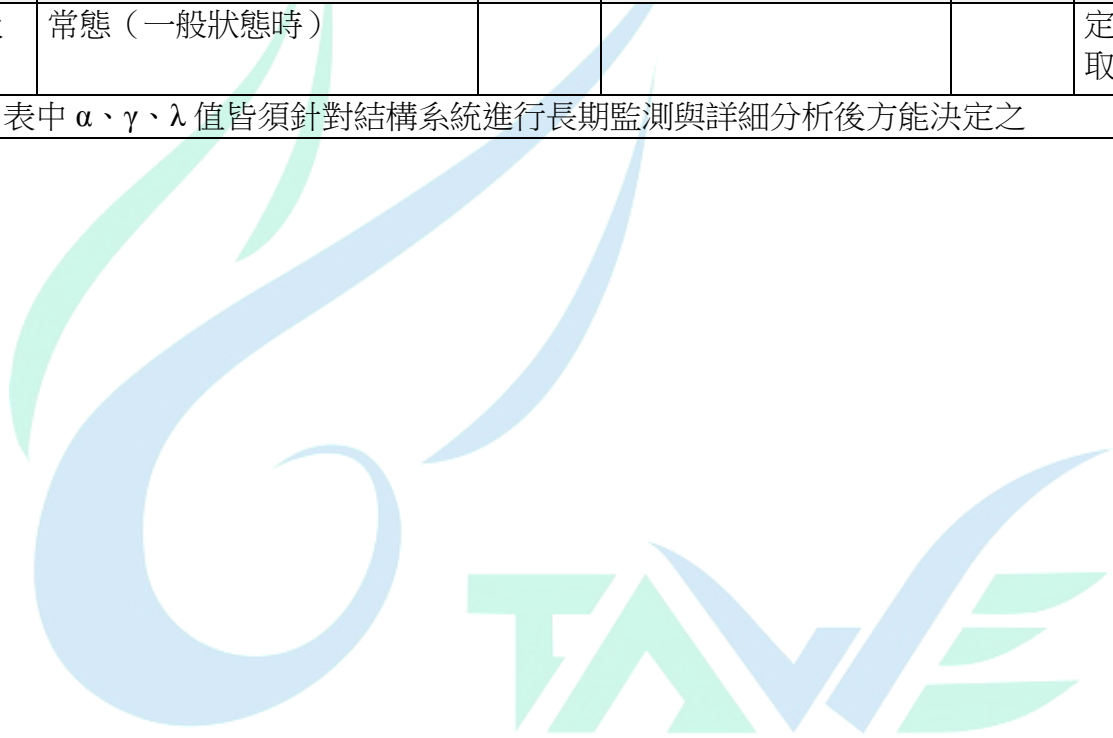
參考文獻

- [1] 楊永斌、陳振華，(1995)「鋼纜支撐橋梁理論發展的回顧之三: 1880 年代至 1940 年代」，結構工程，台北，台灣，第十卷，第四期，65-88 頁。
- [2] 交通部台灣區國道新建工程局，(2002)「高屏溪橋」，台北，台灣。
- [3] Siegert, D., and Brevet, P., (2006) “Fatigue of stay cables inside end fittings high frequencies of wind induced vibrations,” Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France.

表 2 分級標準及各單位緊急應變措施

等級	狀況	使用單位	業管單位	顧問公司	監測單位
一級 (達行動值)	1.地震力達到或超過設計值之 $\alpha\%$ 設計地震力。 2.風力達設計值之 $\alpha\%$ 時。 3.監測儀器所得之資料中有 $\gamma\%$ 達設計值時。	對使用單位發佈紅燈警示	進入封橋作業程序，立即趕赴現場。另會同顧問公司、儀器廠商及專家學者進行損傷評估與應變措施討論	立即赴現場	立即赴現場檢視儀器
二級 (達警戒值)	1.地震力達到或略低於設計設計地震力時 2.風力達到或略低於設計值時 3.監測儀器所得之資料中有 $\lambda\%$ 達設計值時	對使用者發佈黃燈警示	要求限期檢查安全性	事後赴現場	事後赴現場檢視儀器
三級	豪雨、颱風、地震等特殊狀況		通知業管單位	通知顧問公司	增加監測頻率
四級	有任何結果超過一般感應值時		通知業管單位	通知顧問公司	增加監測頻率
五級	常態（一般狀態時）				定期擷取資料

註：表中 α 、 γ 、 λ 值皆須針對結構系統進行長期監測與詳細分析後方能決定之



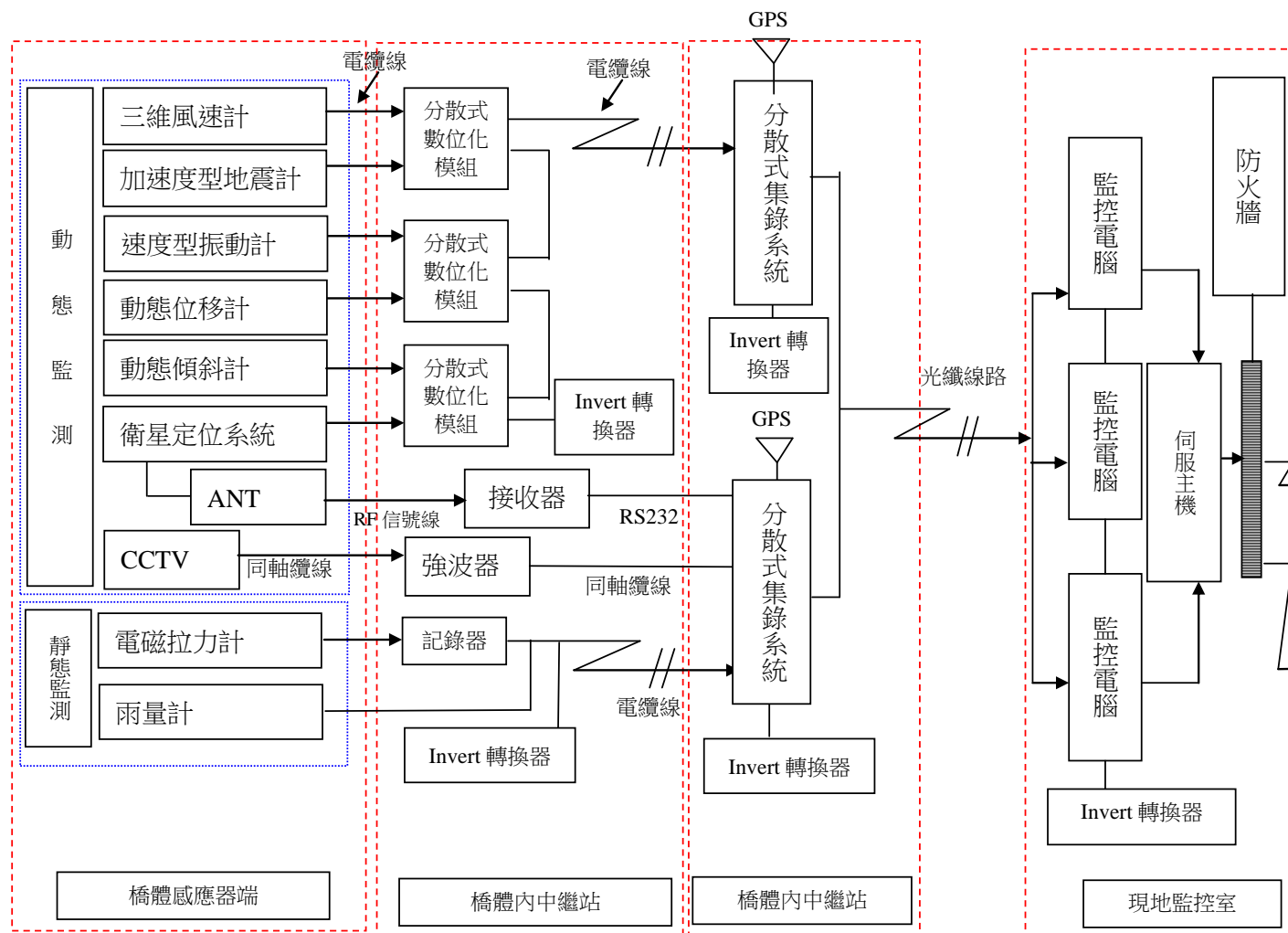


圖 7 監測系統架構圖

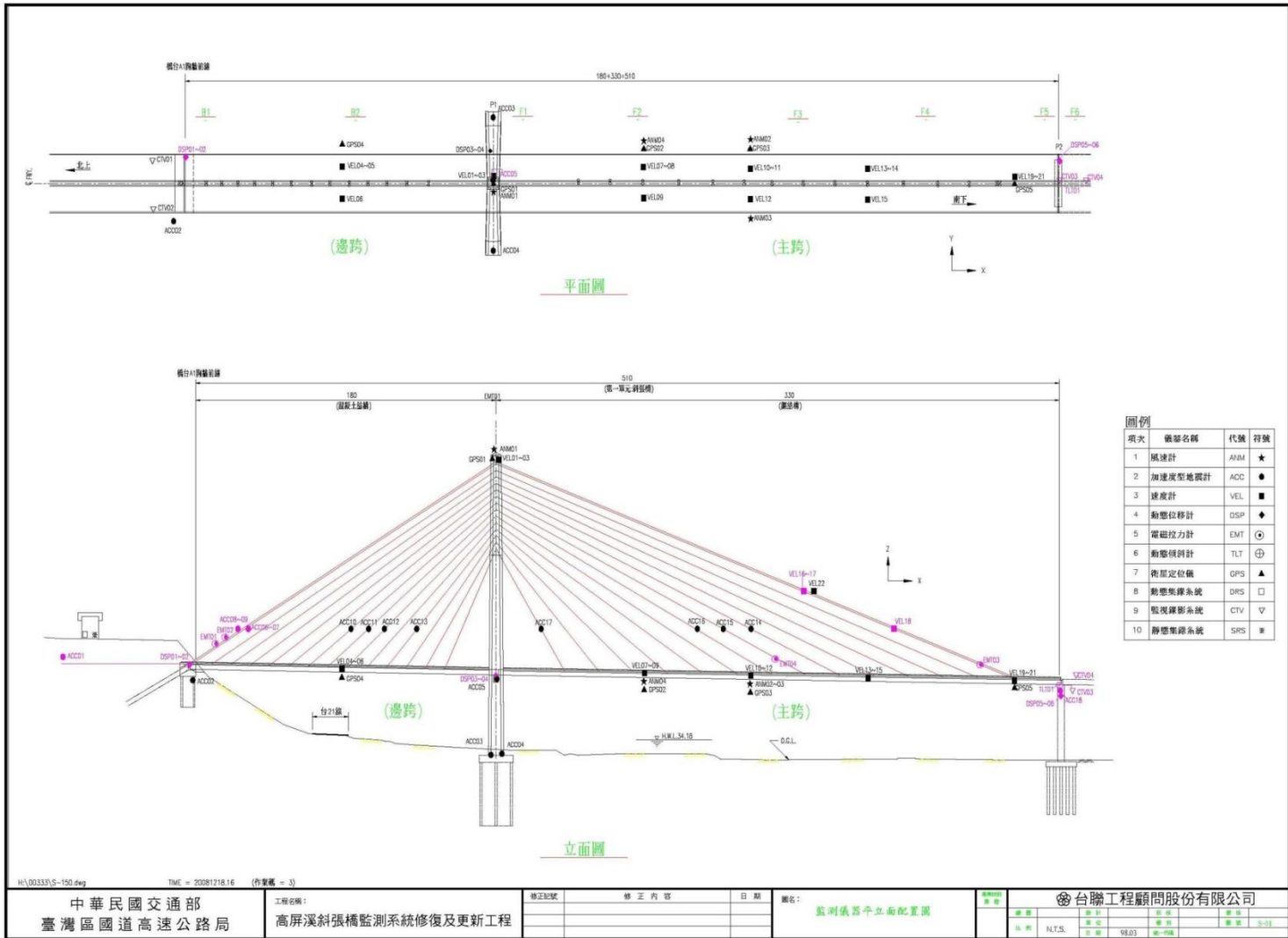


圖 8 監測系統儀器點位圖