



- 一、前言
- 二、高屏溪斜張橋介紹
- 三、斜張橋監測系統介紹
- 四、監測資料收集及應用
- 五、結論



一、前言

國道三號高屏溪河川橋,跨越高屏溪中游,銜接高雄大樹區及屏東九如鄉,為高快速公路首次進入屏東縣的門戶,其中跨河段主橋部分,為單塔單面非對稱複合式斜張橋,簡稱「高屏溪斜張橋」

位置:國道3號386k+038~386k+554

全長:510m

開工日期:85.4.29

完工日期:88.12.27

通車日期:88.12.30





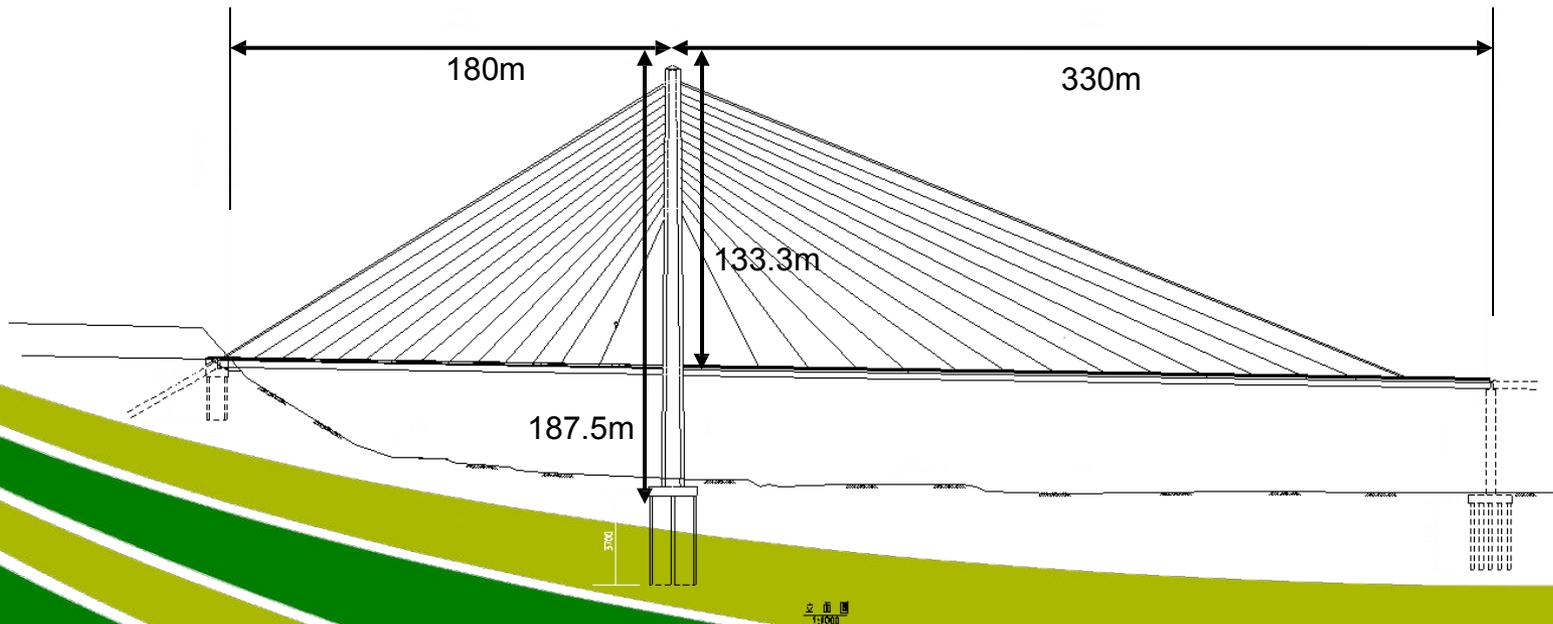
二、高屏溪斜張橋介紹

- 橋梁主要構造
- 橋梁附屬設施



▣ 橋梁主要構造

- ▣ 台灣最長跨斜張橋,唯一高速公路等級道路斜張橋
- ▣ 非對稱單橋塔複合式斜張橋,長510m
- ▣ 橋塔全高187.5m,路面到塔頂133.3m
- ▣ 主跨鋼結構330m,預力混凝土邊跨180m



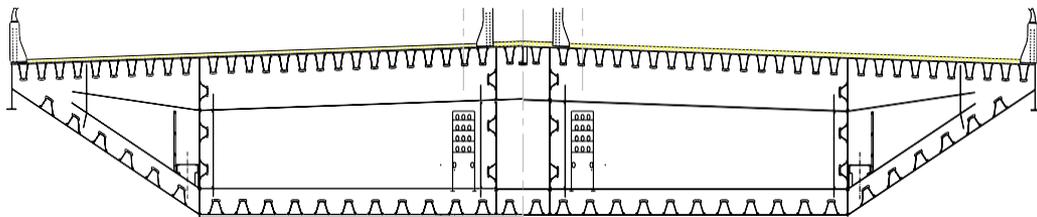


高屏溪斜張橋監測作業-有高度的勇者

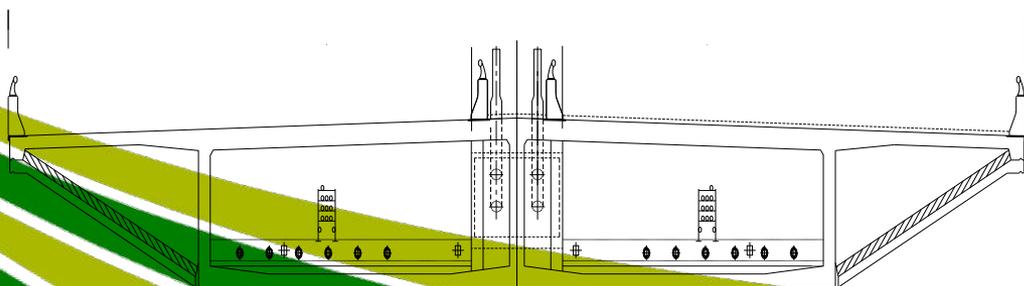
▣ 橋梁主要構造

▣ 主梁

▣ 主跨-鋼結構,斷面如下,長330公尺



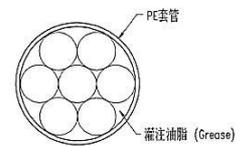
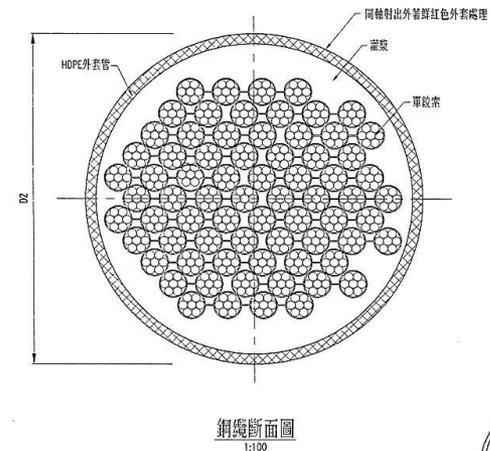
▣ 側跨-預力混凝土箱型梁,長180公尺





▣ 橋梁主要構造

- ▣ 鋼纜:共60條懸吊主梁，以雙纜扇形配置佈置成輻射狀排列





- 橋梁主要構造

- 塔頂:

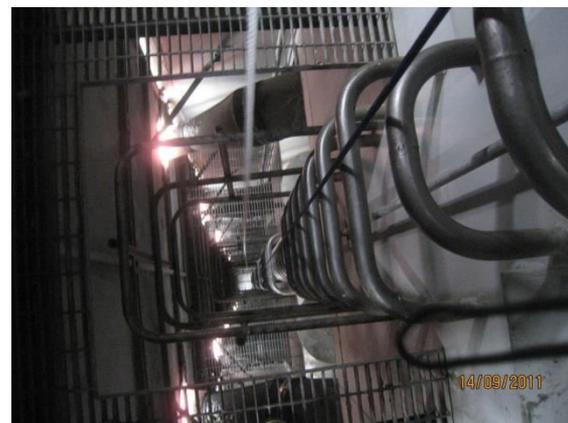
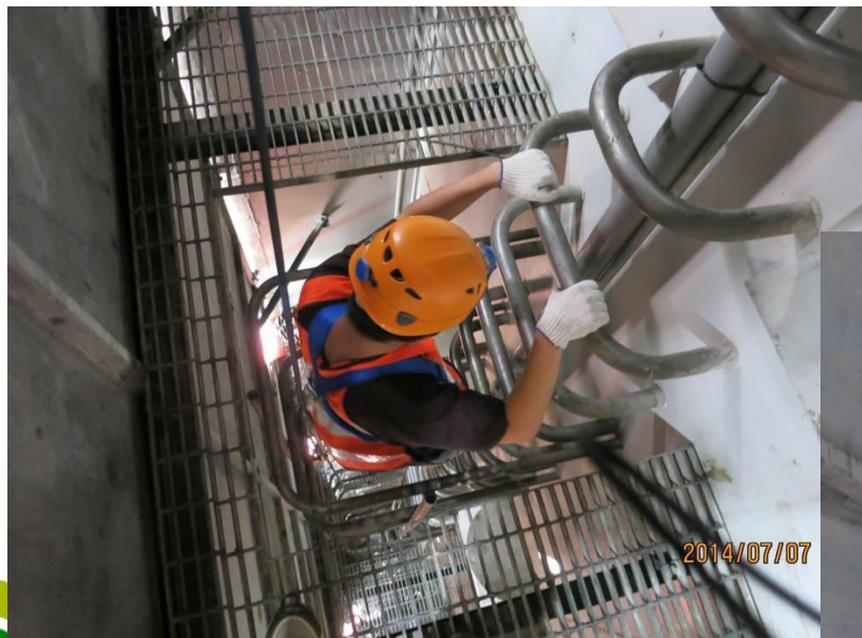




高屏溪斜張橋監測作業-有高度的勇者

▣ 橋梁主要構造

▣ 橋塔直立段爬梯

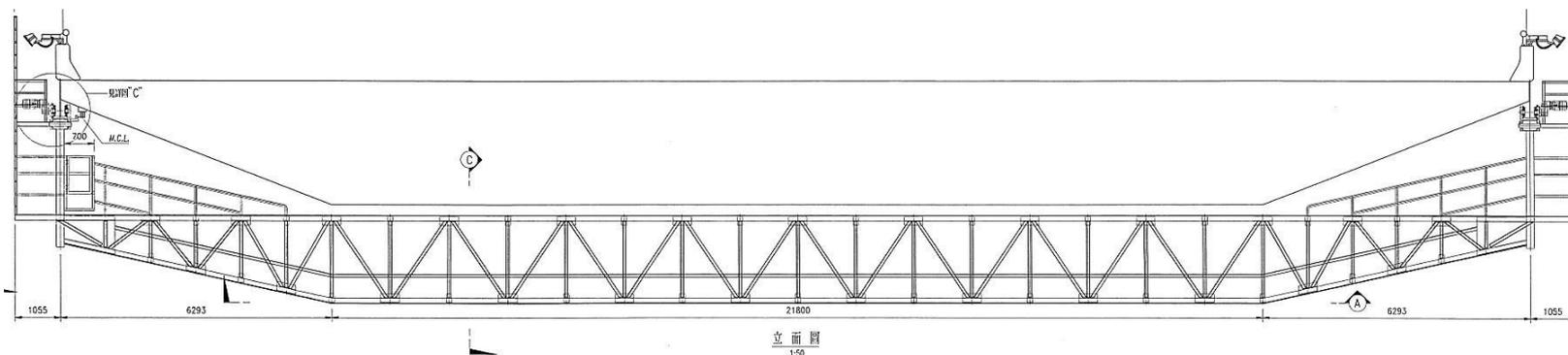




高屏溪斜張橋監測作業-有高度的勇者

▣ 橋梁附屬設施

- ▣ 平台車 (維修台架): 金屬材質, 全長 36.5 m, 寬 3m, 走行長度 330m, 承載 2 噸以上荷重





▣ 橋梁附屬設施

▣ 電梯:齒條齒輪式升降機,
載重:450kg,(約3人)

速度:33m/min

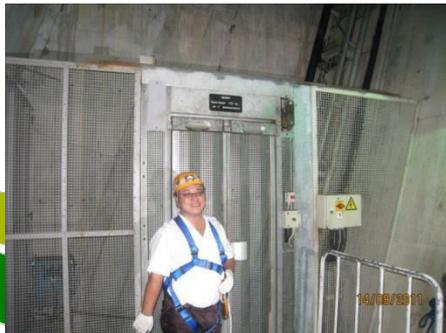
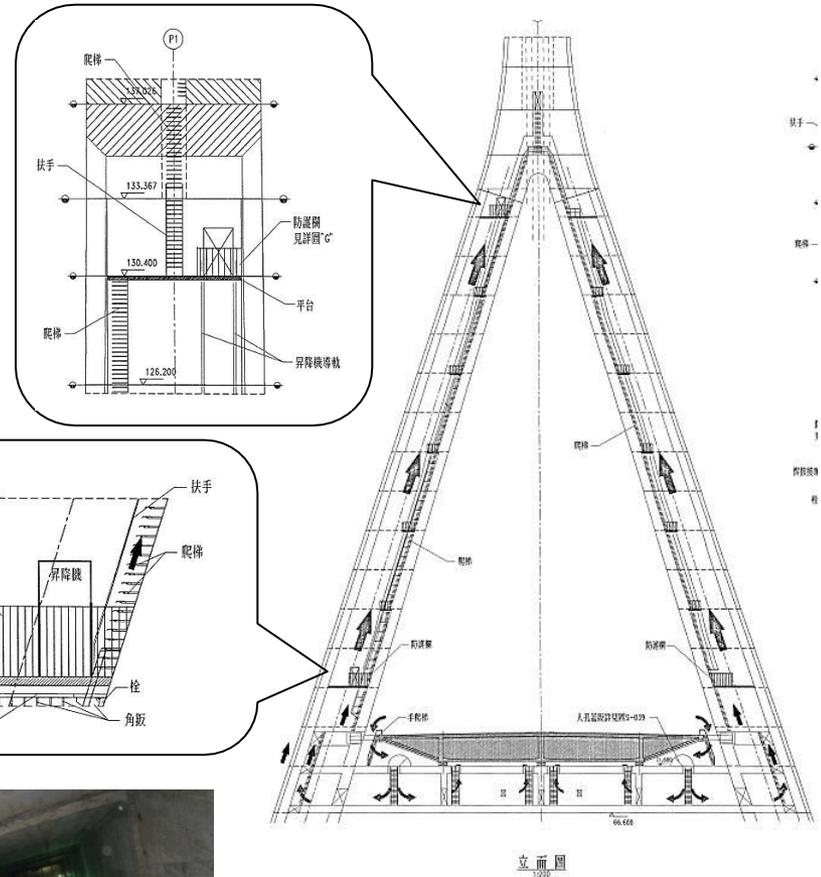
傾斜:72.57度

行程:約48m

車箱:W:1030mm*D:1250mm

數量:一台

電源:三相,460V,60Hz

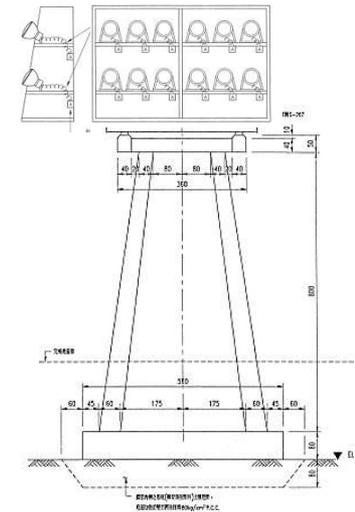
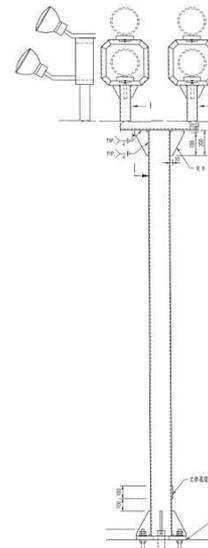
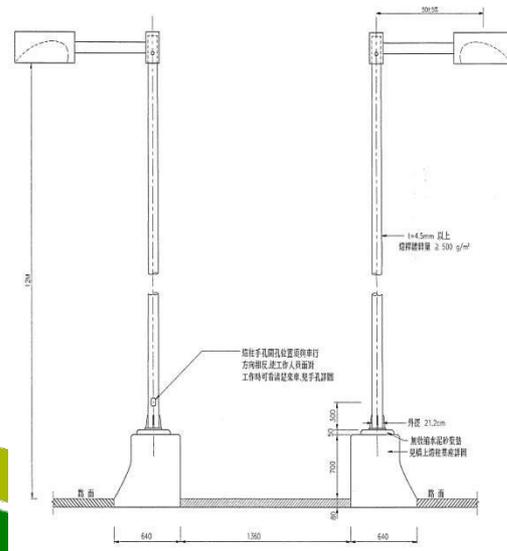




▣ 橋梁附屬設施

▣ 景觀照明燈具

- ▣ 橋上道路單臂燈柱
- ▣ 橋上景觀燈
- ▣ 橋下景觀燈





三、斜張橋監測系統介紹

- 高屏溪斜張橋監測系統修復及維護(後續)工程(101)
- 監測系統儀器內容
- 監測系統儀器功能



89年斜張橋監測公文

財團法人成大研究發展基金會	函	南工處總收文第 0173 號 中華民國 89 年 9 月 1 日
受文者：交通部台灣區國道高速公路南區工程處	送別處：台南市大學路一號 傳真：(06)2751164	
送別：密等及解密條件：		
發文日期：中華民國八十九年八月三十一日		
發文字號：(89)成大研基建字第 1572 號		
主旨：有關中華顧問工程二高屏東路段監造工程處委辦「高屏溪斜張橋監測計畫」業計畫主持人成功大學土木系方一區教授擬於八十九年九月八日上午十時至九日上午十時在高屏溪斜張橋旁測斜張鋼樑預力變化，擬請貴處簽字協助維持交通及工作人員安全，並請轉知貴處轄區警察中隊，俾利計畫業順利進行，請 查照。		
說明：前項所揭計畫需長期持續監測斜張鋼樑之預力變化，以作該橋維護工作之參考。		
正本：交通部台灣區國道高速公路南區工程處		
副本：中華顧問工程司二高屏東路段監造工程處		
國立交通大學工程局第四區工程處		
成功大學土木系方一區、陳玲璿教授		
台灣科技大學管理系陳生金教授		
董事長 翁鴻山		
執行長 張祖恩 謹行		



□ 監測系統儀器內容

- 1. 加速度型地震計: 18處
- 2. 速度型振動計: 22處
- 3. 電磁拉力計: 4處
- 4. 動態位移計: 6處
- 5. 動態傾斜計: 1處
- 6. 三維風速計: 4處
- 7. 雨量計: 2處
- 8. 動態集錄器: 1處
- 9. 靜態資料記錄器: 1處
- 10. 監視錄影系統: 4處



□ 有高度的勇者





□ 有高度的勇者



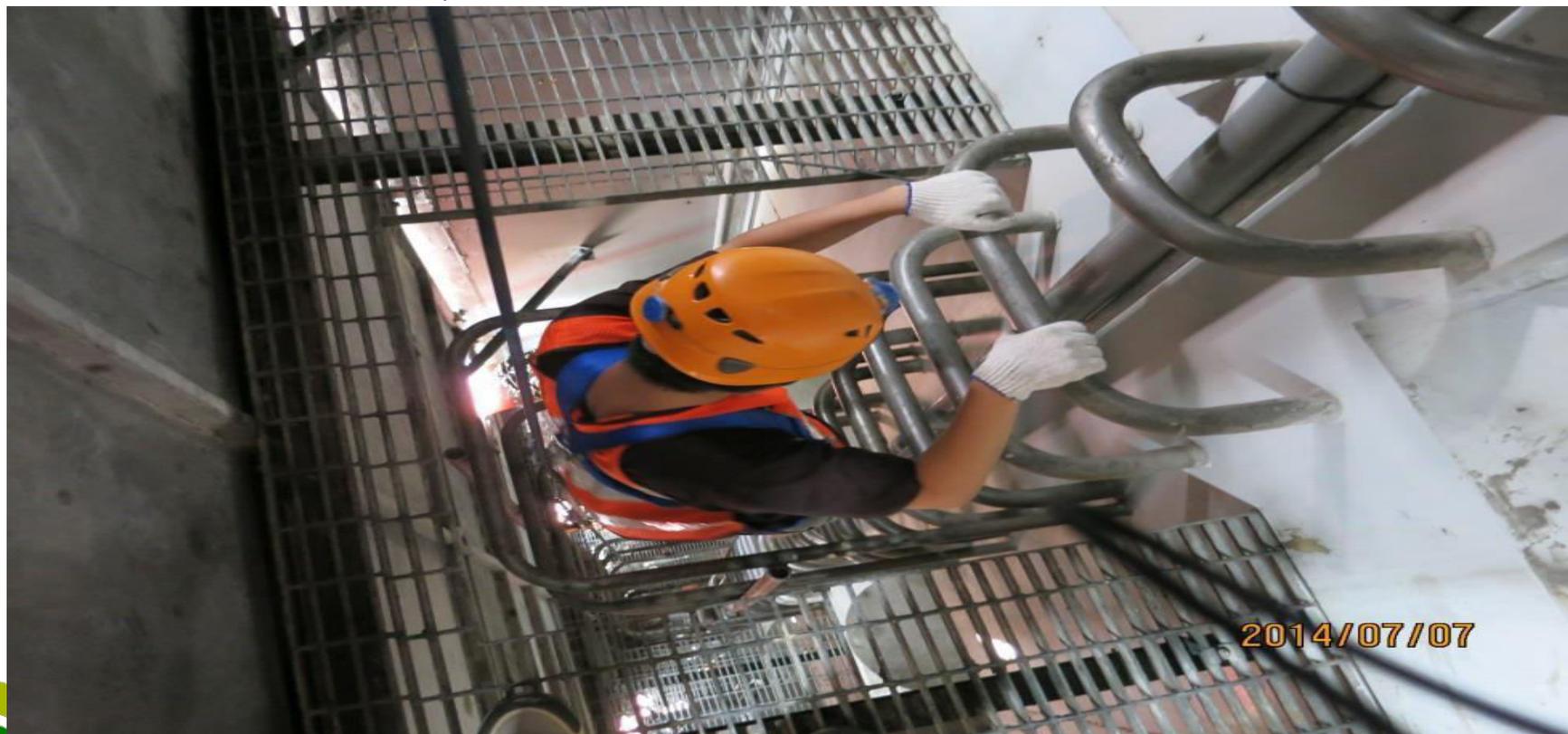


□ 有高度的勇者





□ 有高度的勇者



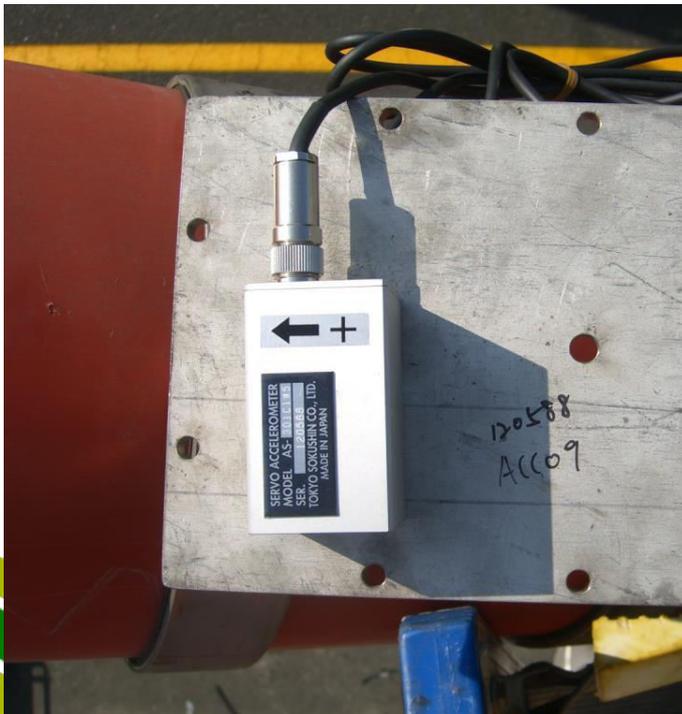


- 監測系統儀器內容
 - 加速度型地震計





- 監測系統儀器內容
 - 加速度型地震計





高屏溪斜張橋監測作業-有高度的勇者

- 監測系統儀器內容
 - 速度型振動計





- 監測系統儀器內容
 - 速度型振動計



高屏溪斜張橋監測作業-有高度的勇者

- 監測系統儀器內容
 - 電磁拉力計





- 監測系統儀器內容
 - 動態位移計





- 監測系統儀器內容
 - 三維風速計





高屏溪斜張橋監測作業-有高度的勇者

- 監測系統儀器內容
 - 雨量計





- 監測系統儀器內容
 - 動態集錄器





- 監測系統儀器內容
 - 靜態資料記錄器





- ▣ 監測系統儀器內容
 - ▣ 監視錄影系統

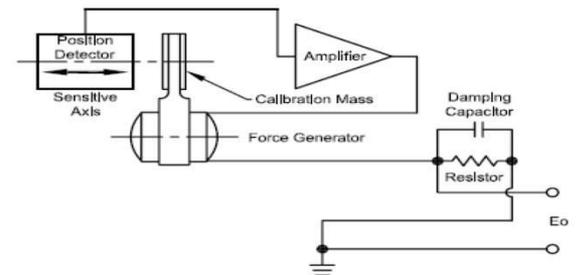
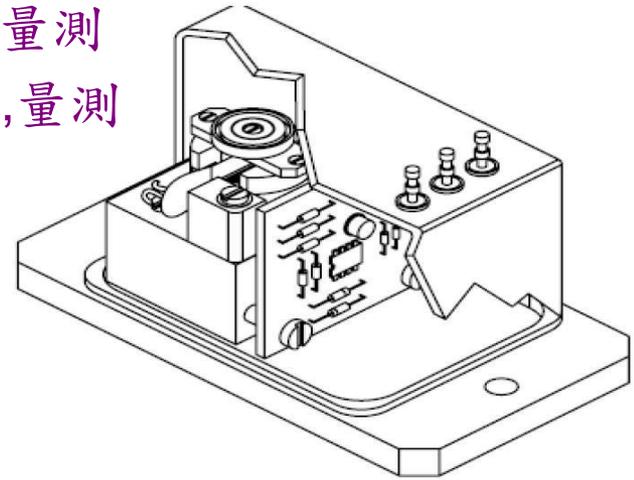




□ 監測系統儀器功能

□ 加速度型地震計:

- 功 能：安裝於橋體或鋼纜,量測
加速度反應 安裝於橋台橋墩,量測
地震輸入量
- 型 式：力平衡式加速度計
- 軸 向：單軸向(水平X,Y或垂直Z)
或3軸向(X,Y,Z)
- 量測範圍：±2000gal



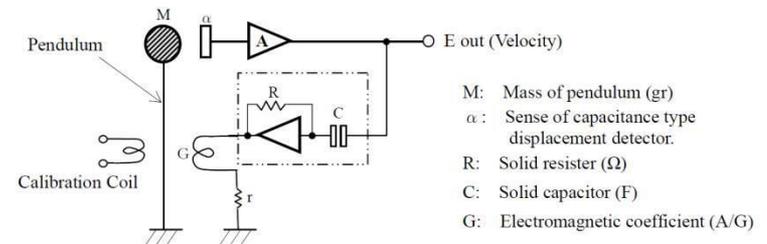
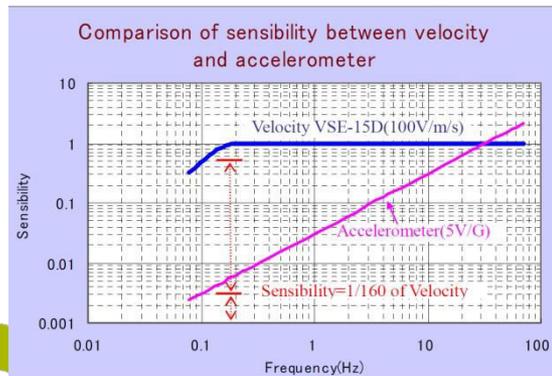
Force Balance Sensor

高屏溪斜張橋監測作業-有高度的勇者

□ 監測系統儀器功能

□ 速度型振動計:

- 功 能：安裝於橋體或鋼纜,量測速度反應
- 型 式：力平衡式速度計
- 軸 向：單軸向水平或垂直向
- 量測範圍：至少±1m/s



The related expression to particle velocity [m/s] and sensing output [E out] is shown as

$$E \text{ out} = \frac{M \cdot r}{G \cdot C \cdot R} \quad [\text{V/m/s}]$$

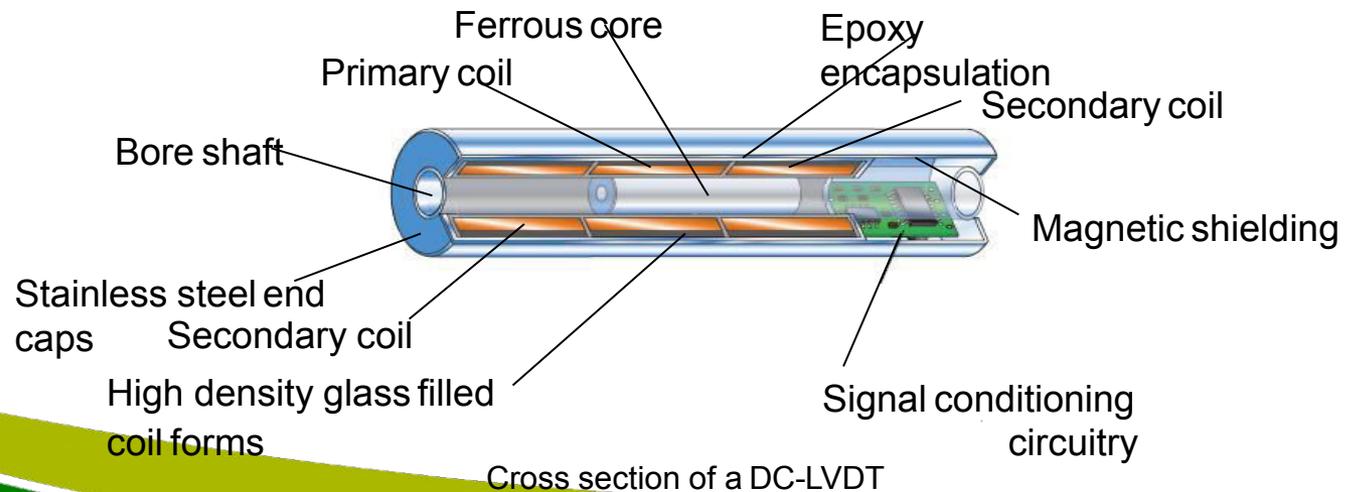
Servo Velocity Sensor



□ 監測系統儀器功能

□ 動態位移計:

- 功 能：安裝於橋台(或橋墩),量測橋台/橋梁的相對位移
- 型 式：電磁式LVDT
- 軸 向：單軸向水平向
- 量測範圍：±375mm

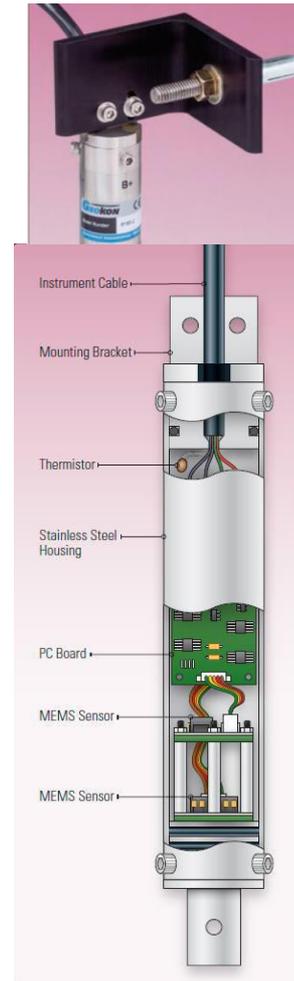




□ 監測系統儀器功能

□ 動態傾斜計:

- 功 能：安裝於橋墩,量測橋墩的傾斜量
- 型 式：表面型,MEMS
- 軸 向：雙軸向 Rx, Ry兩水平向傾角
- 量測範圍：±10度



Biaxial MEMS Tiltmeter

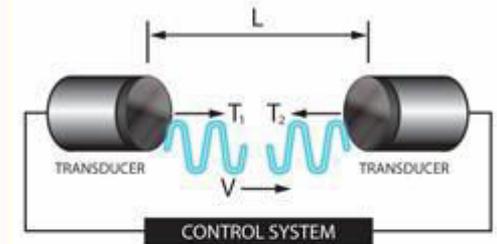


□ 監測系統儀器功能

□ 三維風速計

- 功 能：安裝橋面及塔頂,量測風向風速
- 型 式：超音波式
- 量測項目：X,Y,Z風速、溫度
- 量測範圍：0~60m/s以上(風速)

Time of Flight Theory



$$T_2 = \frac{L}{C - V} \quad \text{and} \quad T_1 = \frac{L}{C + V}$$

therefore

$$V = \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right\} \quad C = \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right\}$$

KEY

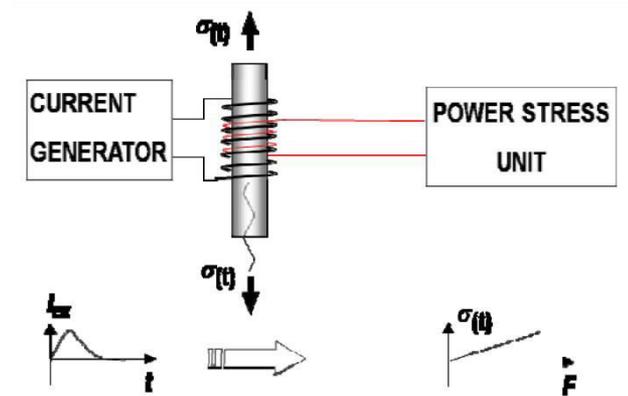
L = Distance between transducer faces
C = Speed of sound
V = Velocity of gas flow
T1 = Transit time of ultrasound
T2 = Transit time of ultrasound



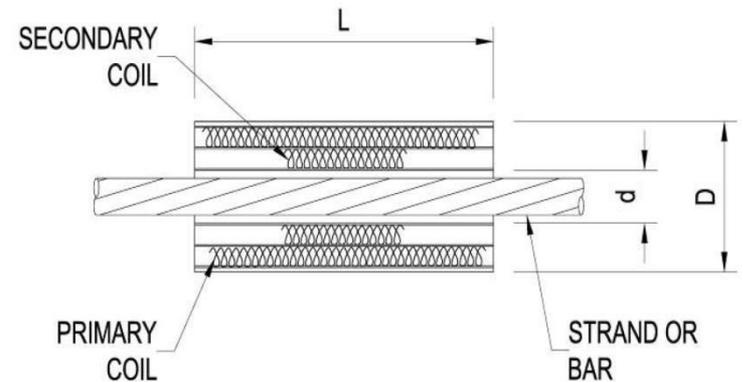
□ 監測系統儀器功能

□ 電磁式拉力計

- 功能：安裝鋼纜,量測纜索拉力
- 型式：電磁感應式
- 量測項目：鋼纜單軸軸向拉力
- 量測範圍：0~1700MPa



Theory of EM sensor



Structure of EM sensor



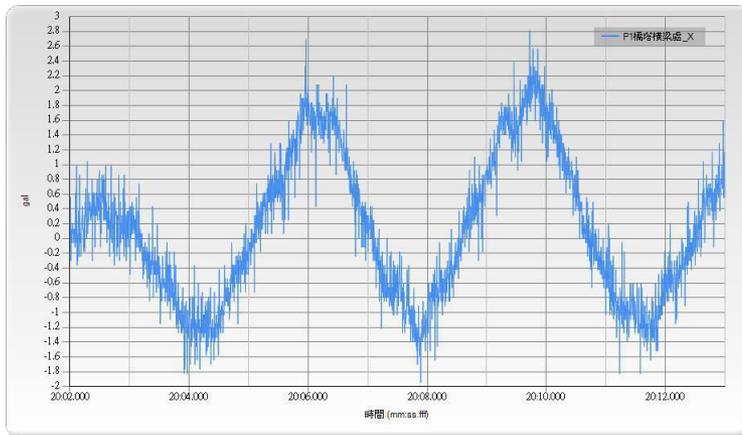
四、監測資料收集及應用

- 監測系統參數
- 結構系統參數
- 纜索拉力量測
- 有限元素分析模型動力分析
- 橋梁安全評估

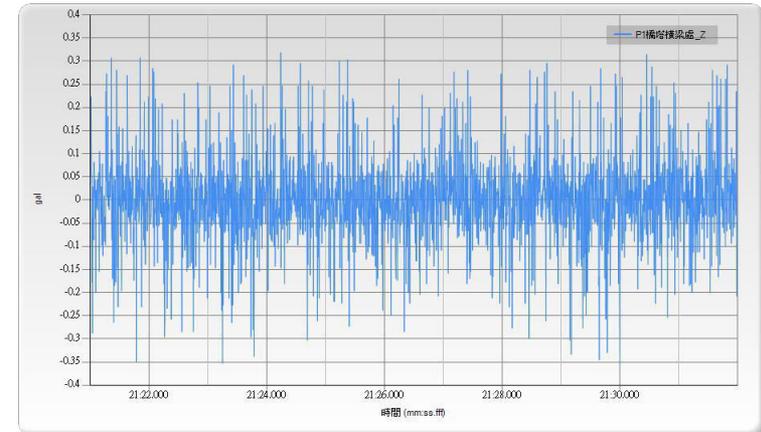


□ 監測系統參數

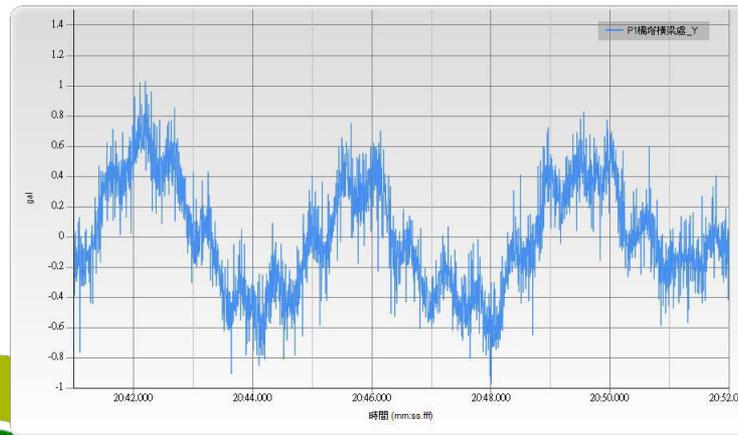
□ 加速度型地震計(以P1橋塔橫梁為例)



X軸. 縱向



Z軸. 垂直向

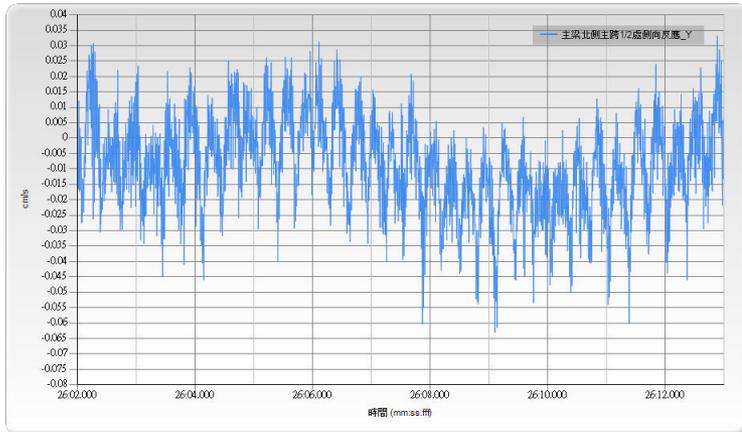


Y軸. 橫向

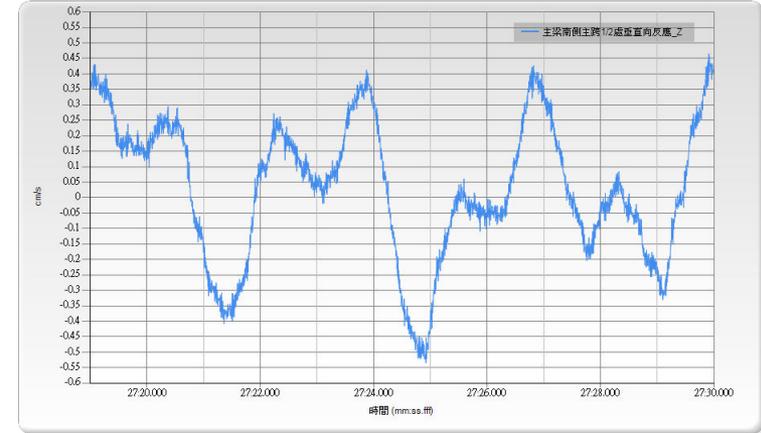


□ 監測系統參數

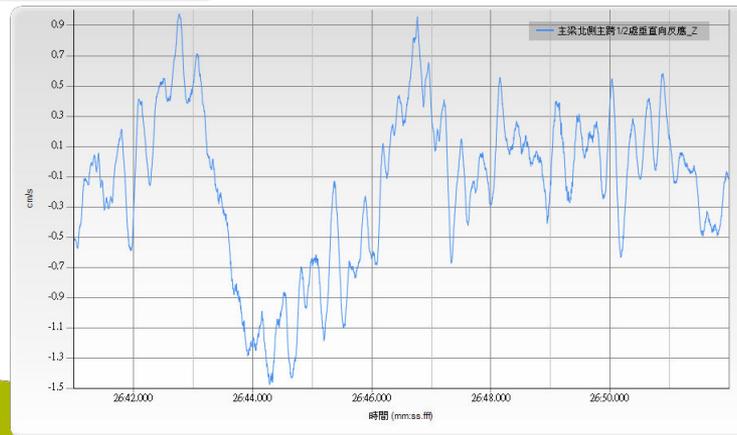
□ 速度型振動計(以主跨1/2處為例)



北上側.Y向.橫向



南下側.Z向.垂直向

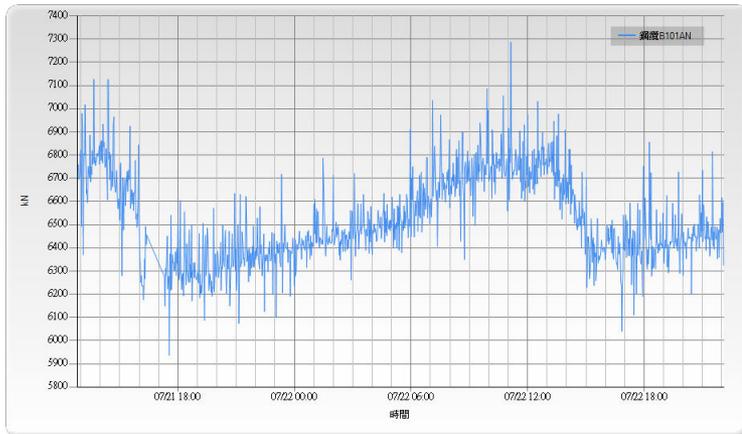


北上側.Z向.垂直向

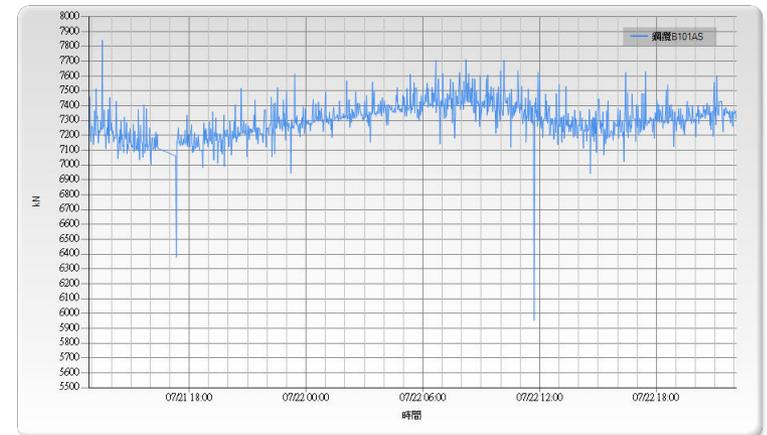


□ 監測系統參數

□ 電磁拉力計



B101A鋼纜. 北上側

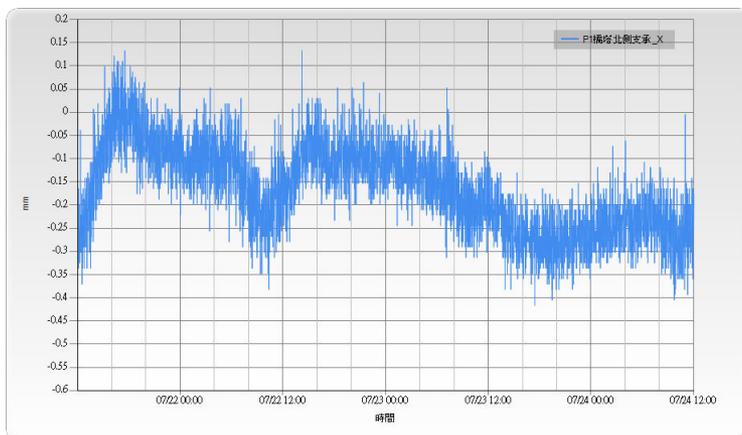


B101A鋼纜. 南下側

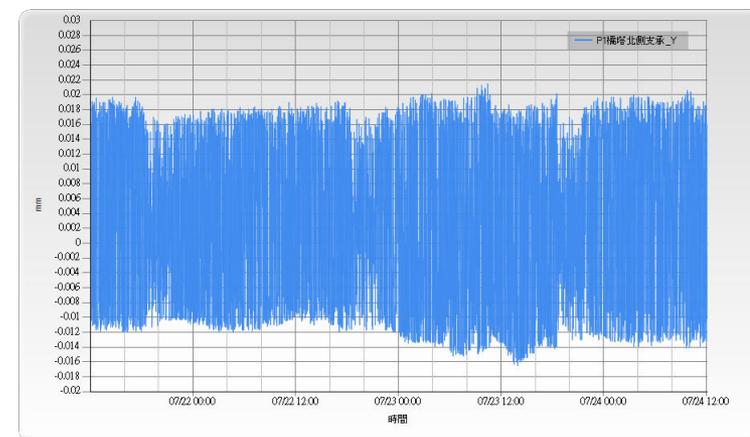


□ 監測系統參數

□ 動態位移計



P1橋塔. 北上側. X向. 縱向

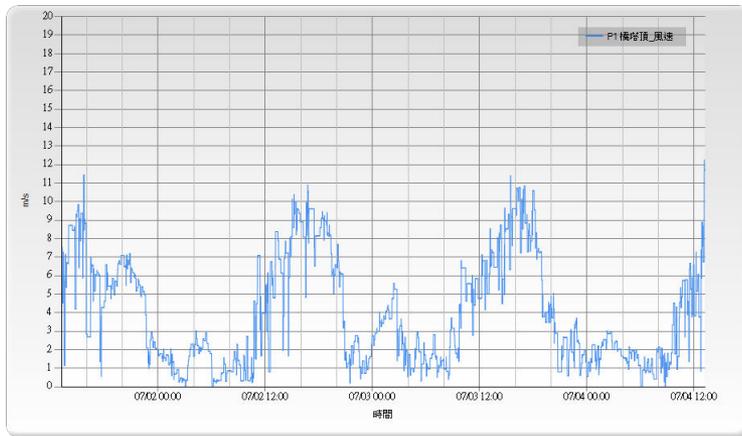


P1橋塔. 北上側. Y向. 橫向

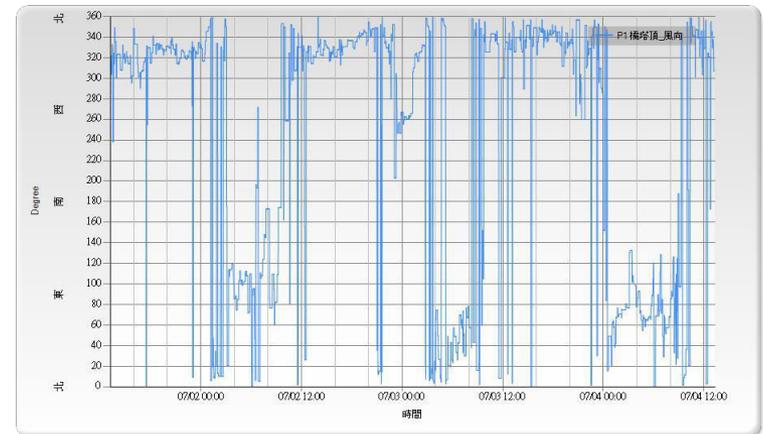


□ 監測系統參數

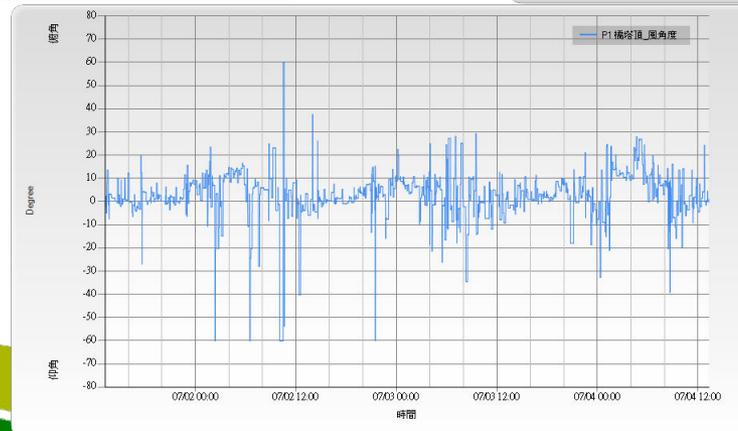
□ 三維風速計



P1橋塔.塔頂.風速(m/s)



P1橋塔.塔頂.風向(deg)



P1橋塔.塔頂.風攻角(deg)



- 監測系統參數

- 執行重點

- 連續監測-24小時持續監測

- 異常事件-颱風豪雨地震等特殊事件紀錄

- 研判監測資料是否正確



□ 結構系統參數

□ 主梁Y向(橫向)振動頻率

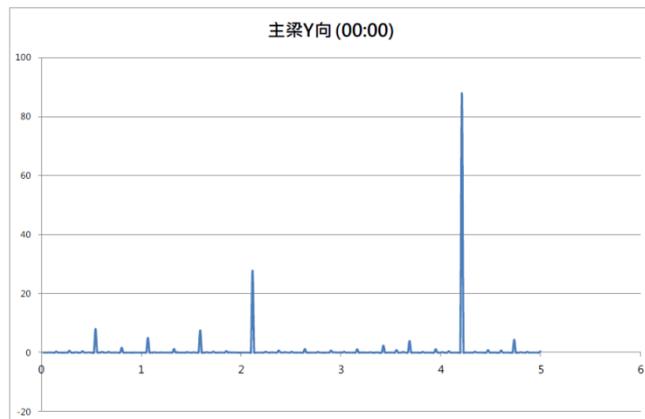


圖 5.1 主梁 Y 向 00:00 時之頻率域圖

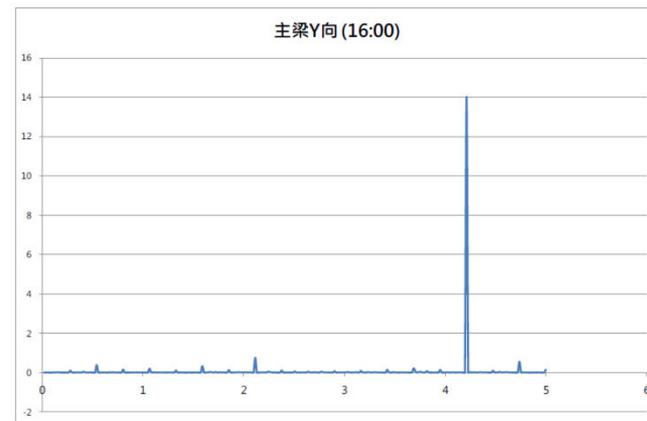


圖 5.3 主梁 Y 向 16:00 時之頻率域圖

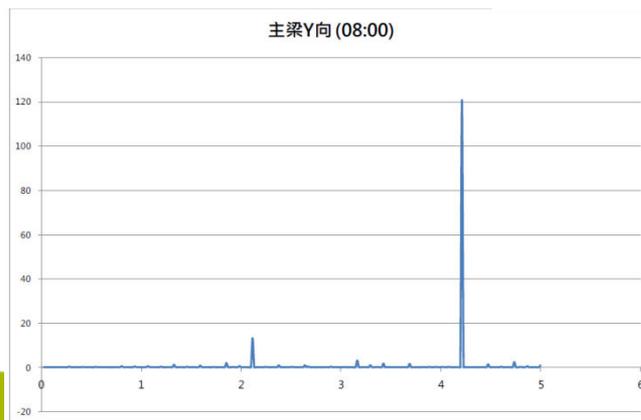


圖 5.2 主梁 Y 向 08:00 時之頻率域圖



□ 結構系統參數

□ 主梁Z向(垂直向)振動頻率

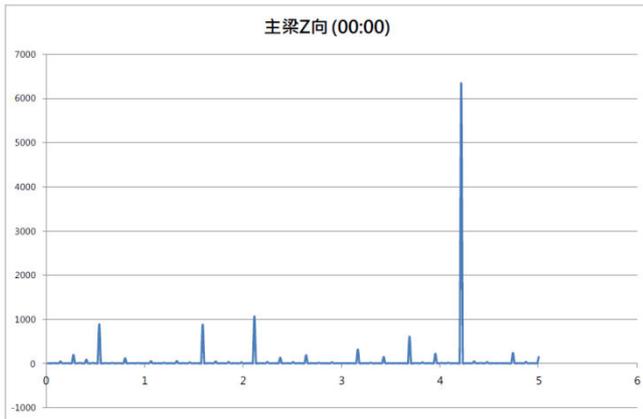


圖 5.4 主梁 Z 向 00:00 時之頻率域圖

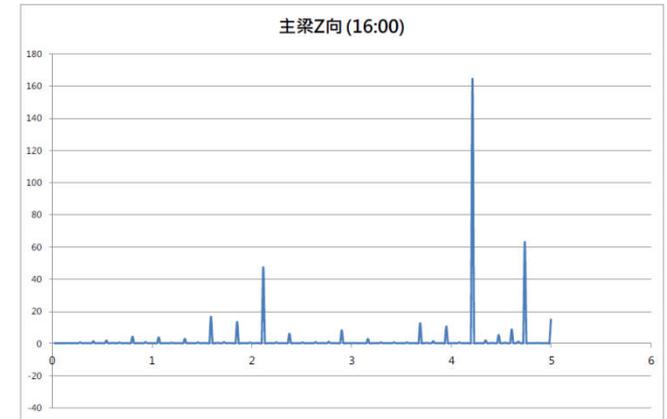


圖 5.6 主梁 Z 向 16:00 時之頻率域圖

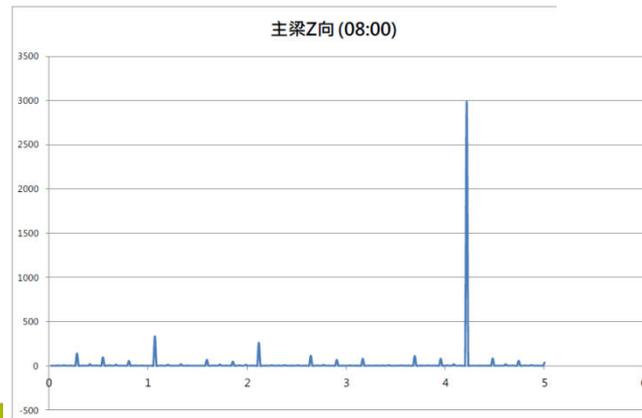


圖 5.5 主梁 Z 向 08:00 時之頻率域圖



□ 結構系統參數

□ 鋼纜振動頻率(以B101N,B101S,B101AN,B101AS為例)

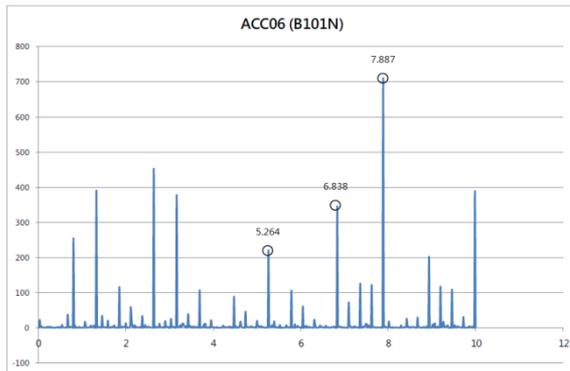


圖 5.7 鋼纜 B101N 之頻率域圖

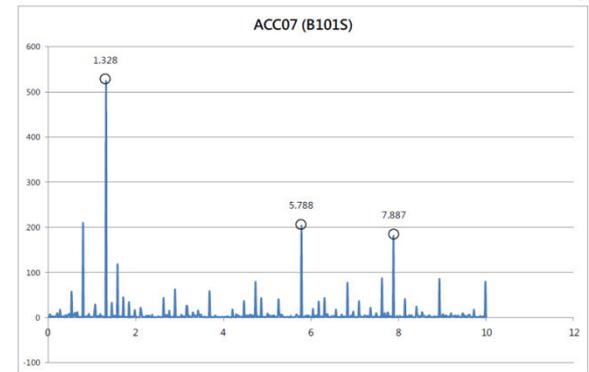


圖 5.8 鋼纜 B101S 之頻率域圖

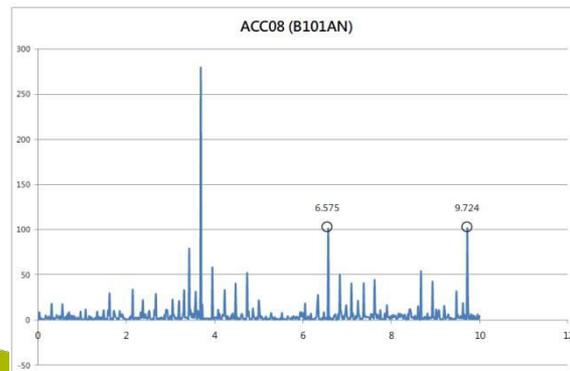


圖 5.9 鋼纜 B101AN 之頻率域圖

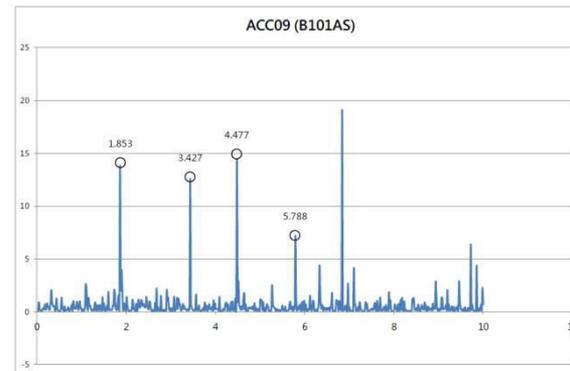


圖 5.10 鋼纜 B101AS 之頻率域圖



□ 纜索拉力量測

- 在未封閉橋梁之常態車流下,進行振動量測。利用鋼纜自然頻率推得拉力值。

- 1.弦振動理論：

將鋼纜視為兩端為固定端，並模擬成僅承受均勻張力之繃緊弦，但不考慮彎矩效應，由弦振動方程式可求得拉力與頻率關係式

$$T = \frac{4wl^2}{n^2 g} f_n^2$$

T 為鋼纜張力，w 為鋼纜單位重量，l 為索長，fn 為第n 個自然振動頻率值(Hz)，g 為重力加速度(9.81m/sec²)。



□ 纜索拉力量測

□ 2. 梁振動理論

將鋼纜考慮成平面簡支梁承受軸向力且不考慮幾何非線性效應，可推導出梁橫向振動頻率與軸力之間的控制方程式，求解出拉力與頻率關係式

$$T = \frac{4wl^2}{n^2 g} f_n^2 - \frac{n^2 EI\pi^2}{l^2}$$

式中E為彈性係數，I為慣性矩。因此，比較式(4.2.1)與式(4.2.2)可知，式(4.2.2)等號右邊第二項即是考慮鋼纜撓曲剛度所產生的效應。

□ 纜索拉力量測

□ 3. 頻率差公式

基於繃緊弦振動的基本假設,利用各相鄰振態頻率等間距的特性,即以相鄰振態之頻率差反算索力,可建立拉力與頻率差 Δf 之關係為

$$T = \frac{4wl^2}{g} \Delta f^2$$

在實際應用上,通常使用第一振態頻率代入式(4.2.1)或式(4.2.2)求解拉力,即取 $n=1$ 、 $f_n=f_1$,

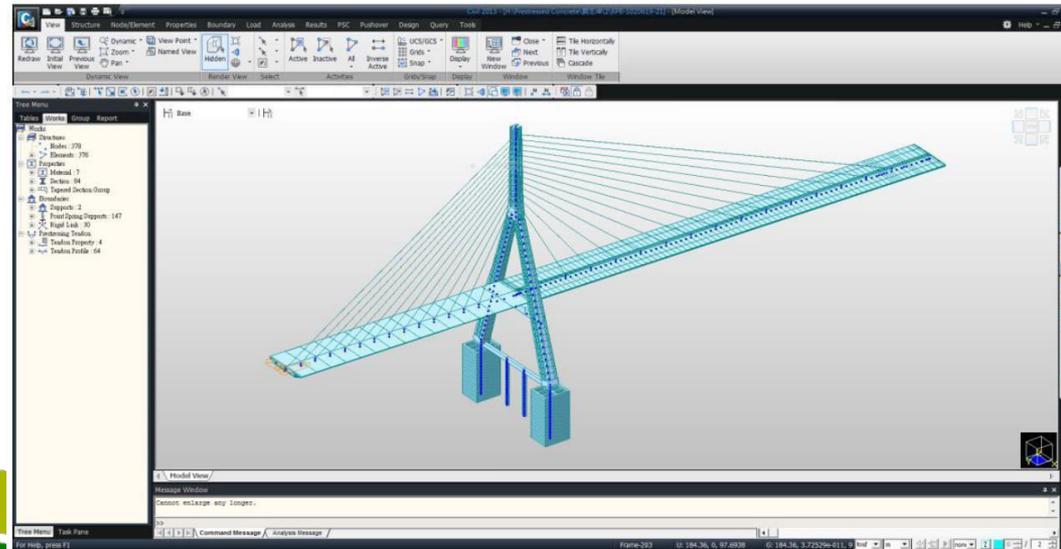
此時若比較式(4.2.1)與式(4.2.3)可知,鋼纜頻率差值應等於第一振態頻率。但是,鋼纜非完美的繃緊弦結構,尚有撓曲效應與中垂效應等非線性特性,因此,真實量測結果還是會存在差異性。



有限元素分析模型動力分析

建立及修正結構模型

- 以FEM軟體(MIDAS)建立及修正結構模型
- 本結構模型, 設380個結點, 380個元素, 橋塔下的樁基礎及箱型基礎皆予以模擬
- 結構與土壤之互制效應, 於基礎底部及側面設定土壤彈簧

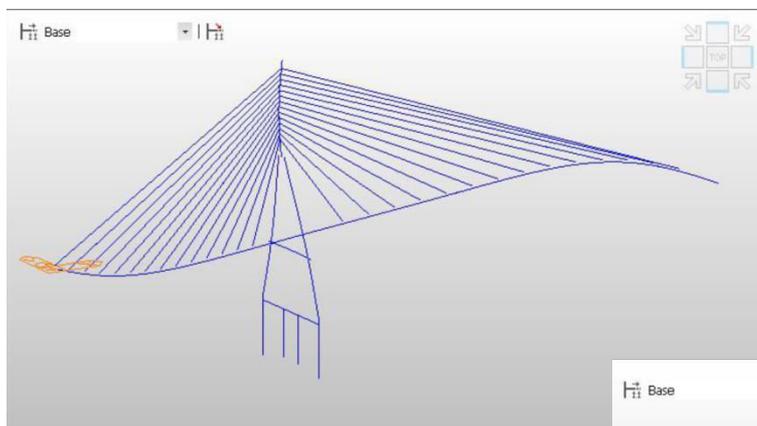




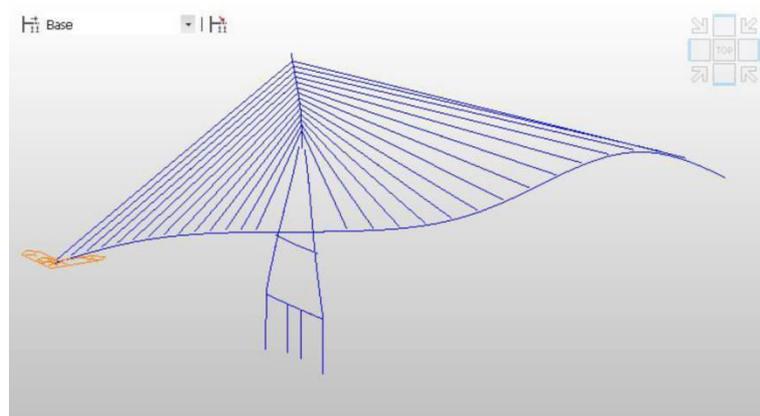
有限元素分析模型動力分析

動力分析求得全橋振動頻率

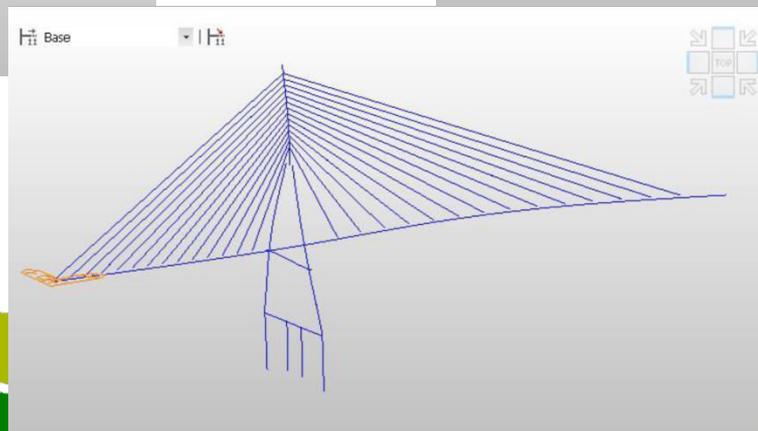
- 全橋X、Y、Z 三方向的主要振動頻率分別為0.304Hz、0.759Hz及0.624Hz



第一模態形狀(X 向)



第二模態形狀(Z 向)



第三模態形狀(Y 向)



▣ 橋梁安全評估

▣ 橋梁監測資料處理評估後之應用

- ▣ 提供預警系統建立參考，設定有效的預警值
- ▣ 修正原設計參數，使分析模型更能反應真實行為，作為結構老劣化評估依據
- ▣ 提供建立預警等級及即時反應對策

▣ 預警值建立包括警戒值與行動值

▣ 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

▣ 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



▣ 橋梁安全評估

▣ 預警值訂立原則(多重監測預警)

▣ 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

▣ 利用結構工程分析

– 計算出監測因子之臨界條件，當作設定警戒值與行動值之參考

▣ 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

▣ 多重監測預警

▣ 非單一預警值

▣ 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



五、結論

- 斜張橋,具細長、質輕、柔軟等特色,易受地震、風力、車流等環境及材料疲勞影響,需持續監測。
- 監測儀器目前已相當成熟,但結構損傷偵測理論與實務,仍有很大的成長空間(反言之:仍未臻純熟)。
- 斜張橋目前已經15歲,至本監測案結束時,斜張橋已邁入中年(註:以一般橋梁設計年限50年估計)。
- 監測儀器,多為電子設備,一般壽命3~5年,國道橋梁設計年限50~100年,兩者相差頗大,儀器設備損壞換修實屬必然發生之事。



現場危害告知

工項	可能危害之因素	應採取對策以降低危害風險
橋檢平台車	主線車輛高速行駛	1. 進入工區請戴妥安全帽並扣妥頤帶。 2. 人員於交維區域內，避免靠近車道。
	衝撞、被撞危害	1. 工區行走時，不得越過交通錐封閉區，請儘量行走於外路肩及注意行駛中之車輛。 2. 請穿著反光背心。
	橋梁護欄及爬梯	1. 攀爬翻越請緊握欄杆扶手，小心腳步 2. 戴妥安全帽，注意限高，避免頭部碰撞
	平台車移動	1. 平台車移動時，緊握欄杆扶手，不得走動，避免跌倒

