



金門大橋橋梁監測

設施技術中心

主講人: 蔡欣局 主任



簡報大綱

01 前言

02 監測系統介紹

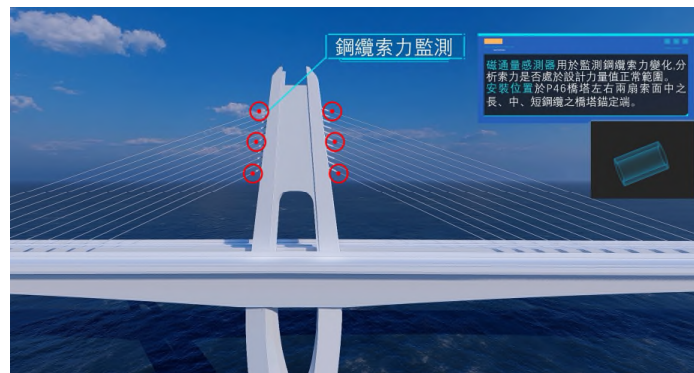
03 鋼纜(模態)索力量測
及載重試驗規劃

04 數值模型初步分析

05 結語



- 依金門大橋工程監造服務契約辦理主橋之安全監測工作項目
- 102年10月，中華顧問工程司執行大橋監測計畫，工作內容包括：
 - 長期材料腐蝕試驗與部分橋墩腐蝕監測
 - 配合施工時之監測系統安裝
 - 完工時之橋梁結構初始值之量測
 - 完工後之完整監測系統規劃及為期一年的監測



鋼纜索力監測項目變更

108年10月1日發生南方澳大橋斷橋事故後，鋼纜索力監測方案，最終金門縣政府109年12月23日決議採取

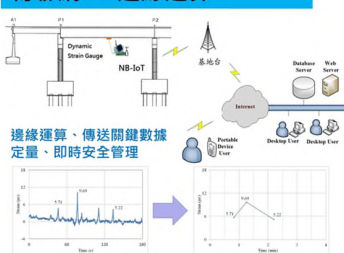
全部110束鋼纜監測規劃方案(振動法)

3

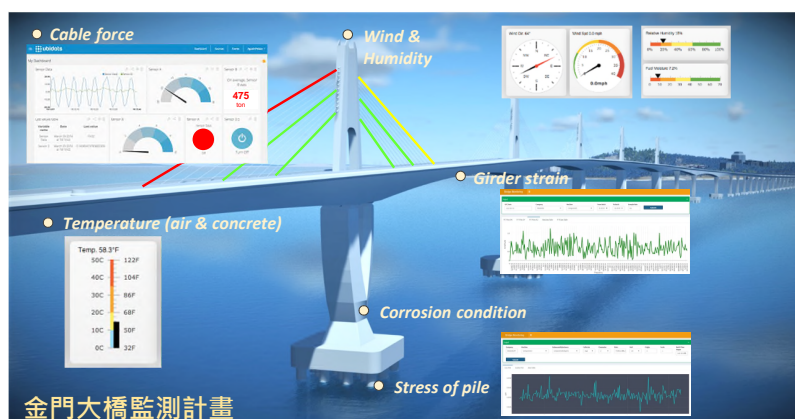
前言-結構健康監測

- 新建橋梁基本特性量測與建立
- 營運管制的監控
- 老舊(預更新)、特殊性橋梁監測

無線動態應變技術在橋梁結構健康監測、預力損傷、動態地磅之應用
物聯網 + 邊緣運算



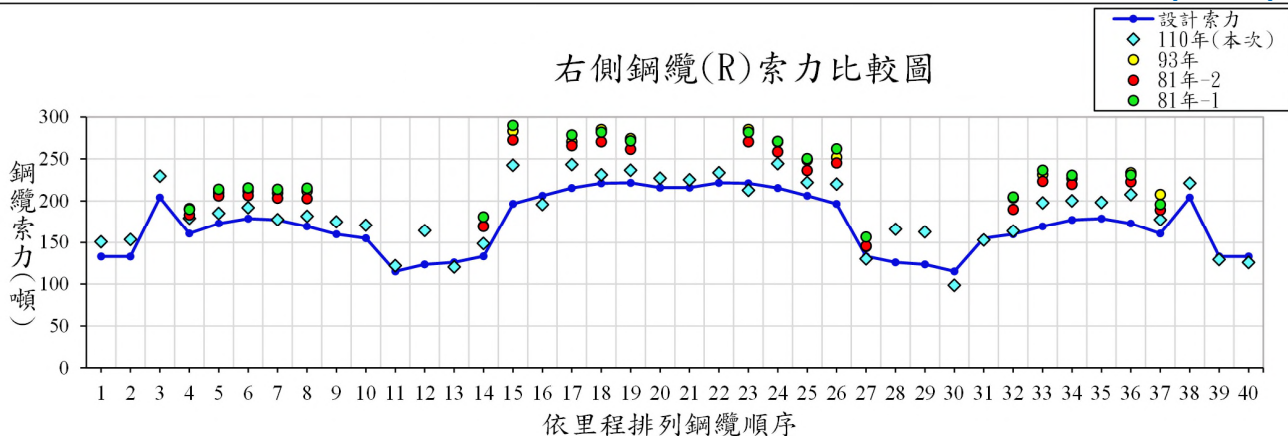
NB-IoT即時事件推播



4

雙塔對稱斜張橋索力量測(80束)

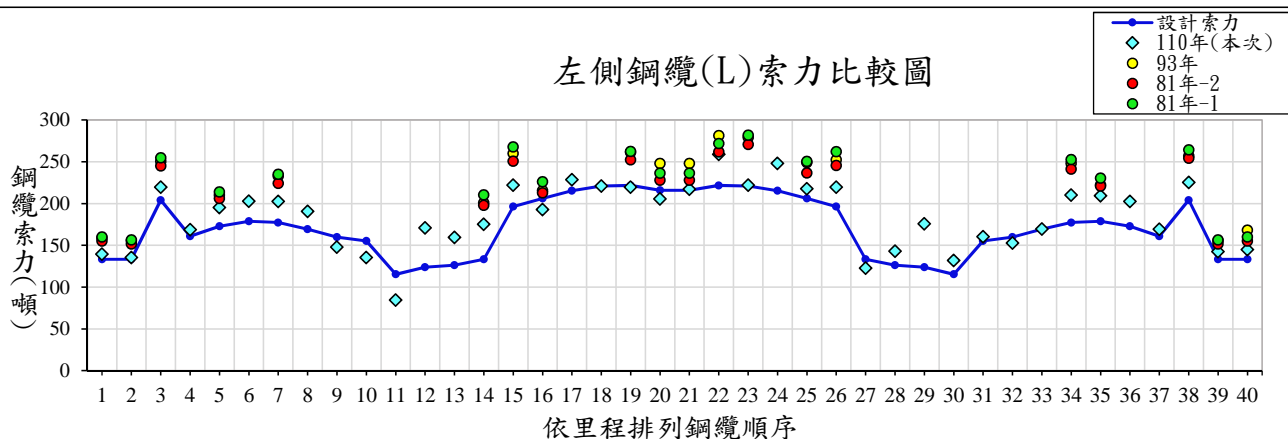
右側鋼纜(R)索力比較圖



索力計算方法

- 110年: 等效簡支梁法
- 93年: 回歸公式
- 81年-2: 回歸公式
- 81年-1: 弦理論

左側鋼纜(L)索力比較圖



5

前言-結構健康監測

歷年頻率比較

第一模態頻率

與81年差異約0~8%

(僅PI6CI7L差異為21%)

與93年差異約0~4%

右側鋼纜(R)	依里程排列順序	Cable NO.	第一模態頻率-R側			差異(%)	
			81年	93年	110年	與81年	與93年
PI6	4	C04	1.28	1.31	1.33	4%	2%
	5	C05	1.52	1.56	1.53	1%	-2%
	6	C06	1.76	1.81	1.81	3%	0%
	7	C07	2.08	2.11	2.09	0%	-1%
	8	C08	2.48	2.56	2.57	4%	0%
	14	C17	2.24	2.31	2.34	4%	1%
	15	C16	2.00	2.06	2.06	3%	0%
	17	C14	1.44	1.47	1.50	4%	2%
	18	C13	1.28	1.33	1.33	4%	0%
PI7	19	C12	1.12	1.17	1.15	3%	-2%
	23	C13	1.28	1.33	1.28	0%	-4%
	24	C14	1.44	1.47	1.51	5%	3%
	25	C15	1.60	1.64	1.69	5%	3%
	26	C16	1.92	1.94	1.98	3%	2%
	27	C17	2.08	2.14	2.19	5%	2%
	32	C09	3.04	3.08	3.13	3%	2%
	33	C08	2.64	2.67	2.69	2%	1%
	34	C07	2.16	2.19	2.23	3%	2%
PI7	36	C05	1.60	1.64	1.62	1%	-1%
	37	C04	1.28	1.36	1.33	4%	-2%
左側鋼纜(L)	1	C01	0.96	0.97	0.98	2%	1%
	2	C02	0.96	0.97	0.95	-1%	-2%
	3	C03	1.12	1.11	1.12	0%	1%
	5	C05	1.60	1.56	1.58	-1%	1%
	7	C07	2.24	2.22	2.23	0%	0%
	14	C17	2.00	2.50	2.54	21%	2%
	15	C16	1.92	1.97	1.99	4%	1%
	16	C15	1.60	1.53	1.56	-3%	2%
	19	C12	1.12	1.14	1.11	-1%	-3%
PI6	20	C11	0.96	1.00	0.99	3%	-1%
	21	C11	0.96	1.00	1.00	4%	0%
	22	C12	1.12	1.18	1.21	7%	2%
	23	C13	1.28	1.32	1.30	2%	-2%
	25	C15	1.52	1.64	1.67	9%	2%
	26	C16	1.92	1.94	1.96	2%	1%
	34	C07	2.16	2.29	2.28	5%	0%
	35	C06	1.84	1.85	1.88	2%	2%
	38	C03	1.04	1.13	1.13	8%	0%
PI7	39	C02	0.96	0.97	0.97	1%	0%
	40	C01	0.96	1.00	0.99	3%	-1%

6

02 監測系統介紹

7

監測系統介紹-監測項目與安裝位置動畫



8

監測系統介紹-監測項目及儀器配置圖



環境監測

- ⊕ 風速風向計(2)
- ⊙ 溫度計(3)
- ★ 乾濕度計(2)

上部結構監測

- ◇ 錨定塊振弦式應變計(4)
- ◇ 橋體振弦式應變計(54)
- ◇ 橋塔雙軸向傾斜計(7)
- ▽ 橋體溫度計(30)
- ↔ 伸縮縫位移計(2)

下部結構監測

- ◇ 基樁鋼筋應力計(28)
- 鋼纜索力監測
- 鋼纜加速度計(110)

網路傳輸系統

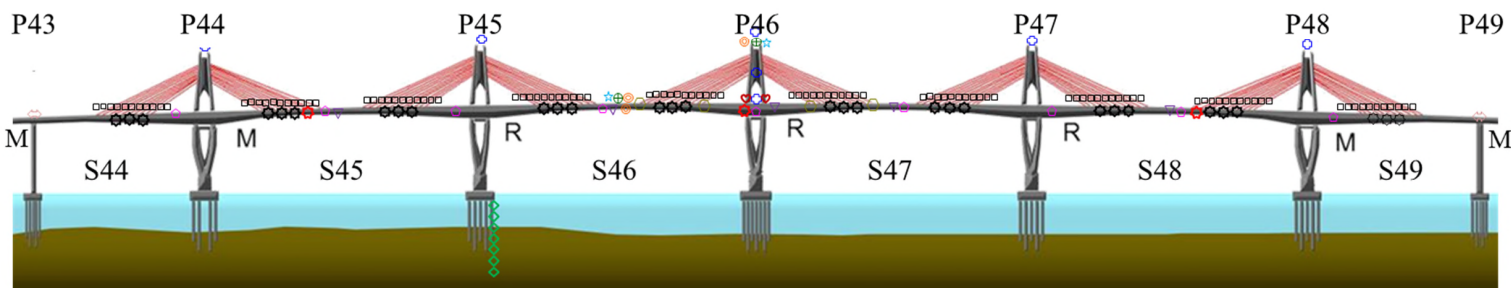
- ✱ 網管型交換機(10)
- ✎ 行動通訊閘道器(1)

資料擷取系統

- ✱ 靜態資料擷取器(3)
- ✱ 動態資料擷取器(30)
- 資料擷取器機箱(10)
- 電腦主機機箱(2)
- ♥ 現場主機(2)

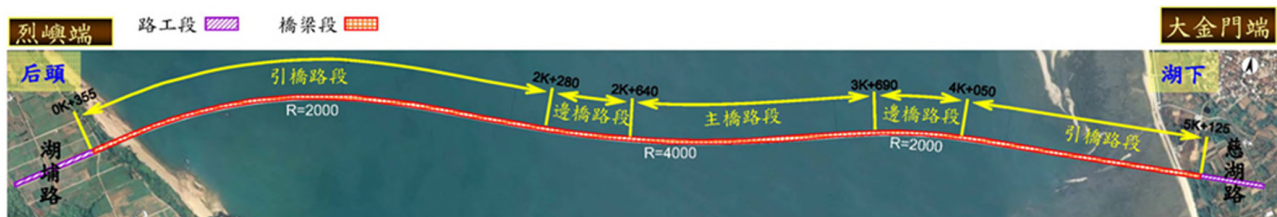
←距烈嶼端2,285m

距大金端1,435m→



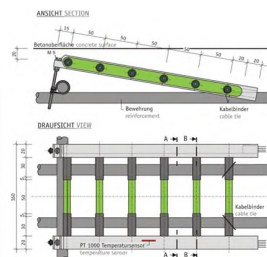
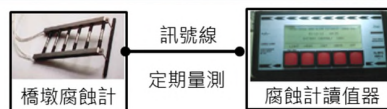
9

監測系統介紹-橋墩腐蝕定期量測



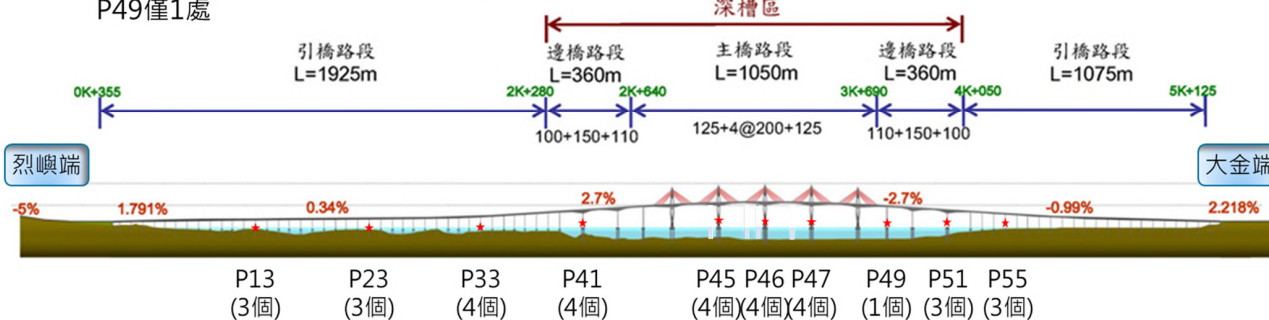
- ★ 腐蝕感測器共33處
- P13、P23、P51、P55各3處
- P33、P41、P45、P46、P47各4處
- P49僅1處

平面圖



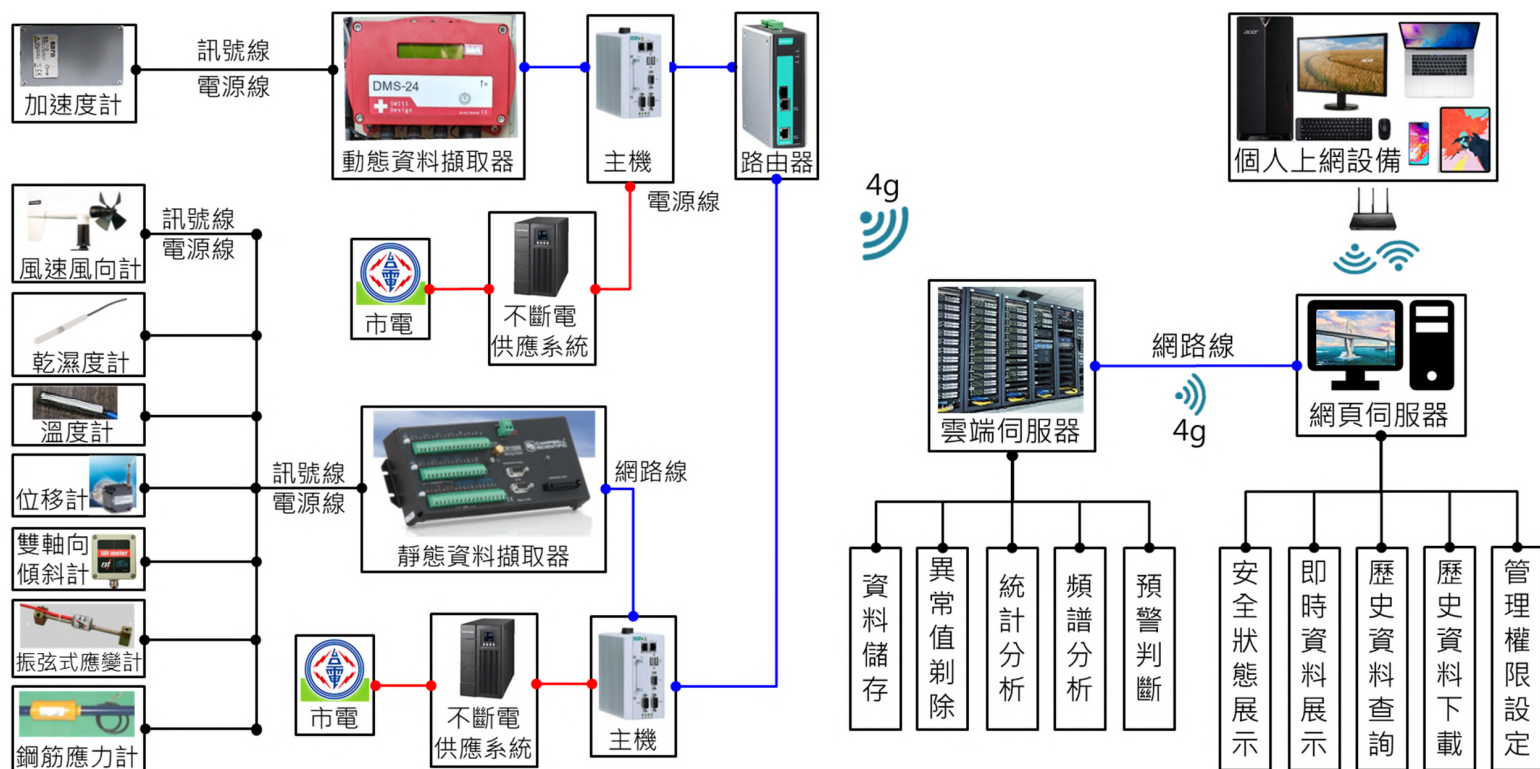
安裝位置

- 橋墩基礎頂以下 1m 處
- 平均潮位 (基礎頂 + 0.5m / - 1.0m)
- 飛沫區 (平均高潮位以上 1 公尺處)
- 飛沫區之上 (設計潮位以上 5 公尺處)



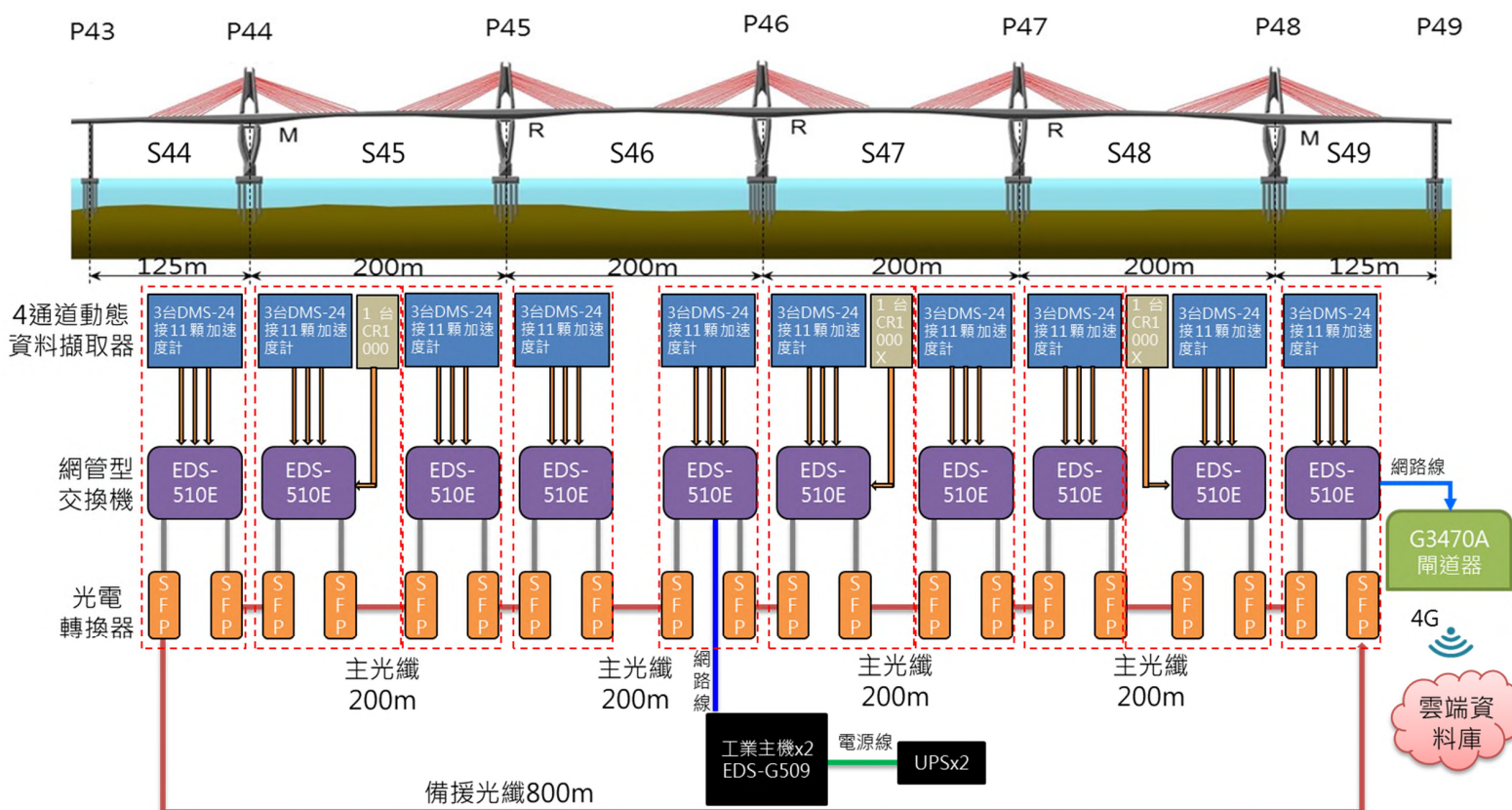
10

監測系統介紹-系統架構



11

監測系統介紹-網路傳輸架構



12



14

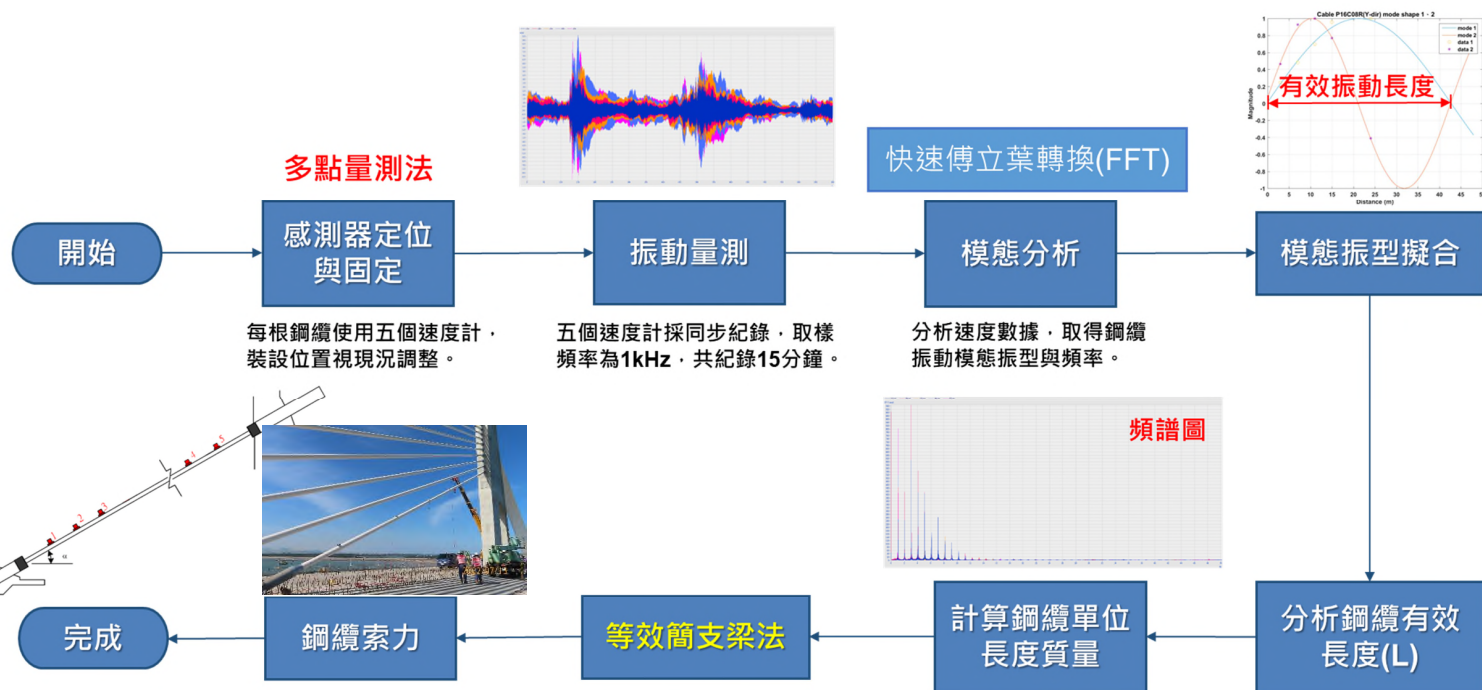
鋼纜(模態)索力量測 等效簡支梁法

- 2~3組人員同步分工作業，預定2週內完成110束鋼纜
 - 檢測鋼纜振動頻率
 - 擬合鋼纜模態
 - 求取有效振動長度
 - 推估鋼纜等效斷面剛度
 - 計算鋼纜現況索力值

2022/07/13

15

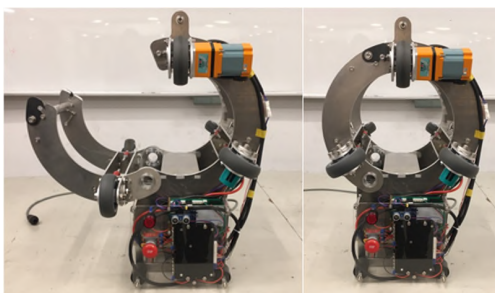
鋼纜(模態)索力量測-作業方式



$$EI = \frac{N \sum \alpha_i \beta_i - \sum \alpha_i \sum \beta_i}{N \sum \beta_i^2 - (\sum \beta_i)^2} \quad T = \frac{\sum \alpha_i \sum \beta_i^2 - \sum \alpha_i \beta_i \sum \beta_i}{N \sum \beta_i^2 - (\sum \beta_i)^2}$$

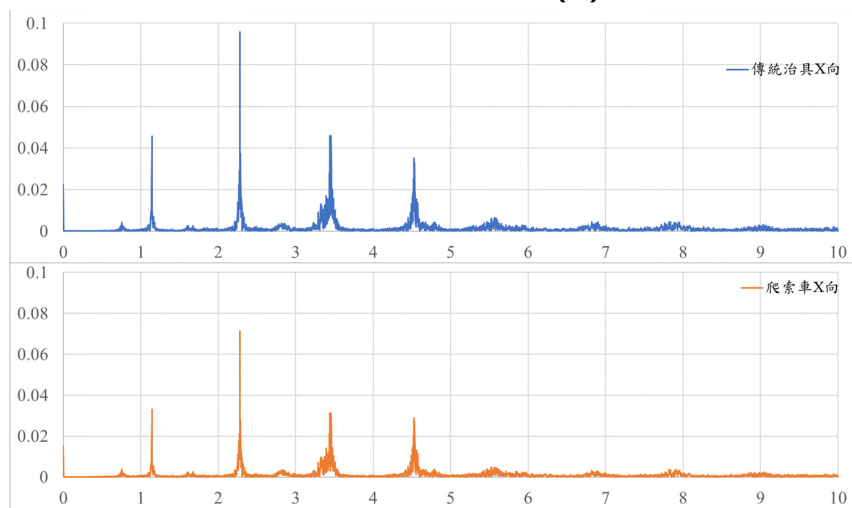
16

- 承載感測器至定點後夾固量測
- 可自動調整感測器角度定平
- 可搭載4部攝影機檢視套管狀況
- 平板人機介面無線操控
- 20秒內單人獨自完成安裝



鋼纜(模態)索力量測-爬索車

量測振動訊號比對結果: 車行向(X)



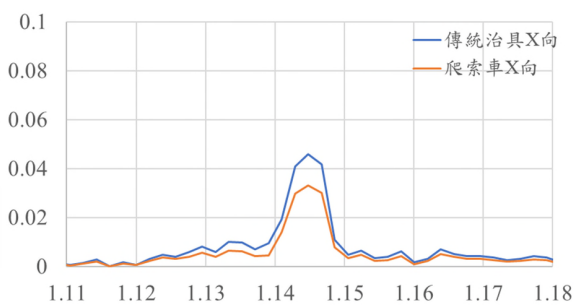
能量比較表 (單位: 10^{-3} mm/s)

	第一階	第二階	第三階	第四階
傳統治具鎖固(1X)	45.761	95.806	45.695	35.105
爬索車(2X)	33.155	71.317	31.207	29.014
差值(2X-1X)	-12.606	-24.489	-14.488	-6.091

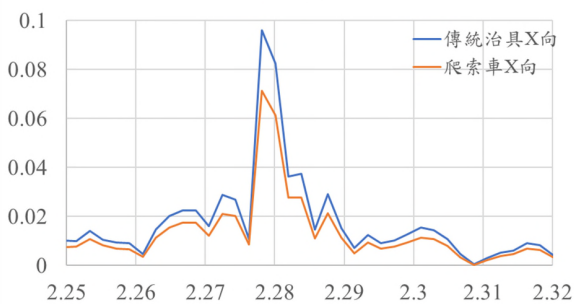
頻率比較表 (單位: Hz)

	第一階	第二階	第三階	第四階
傳統治具鎖固	1.144	2.277	3.439	4.528
爬索車	1.144	2.277	3.439	4.528

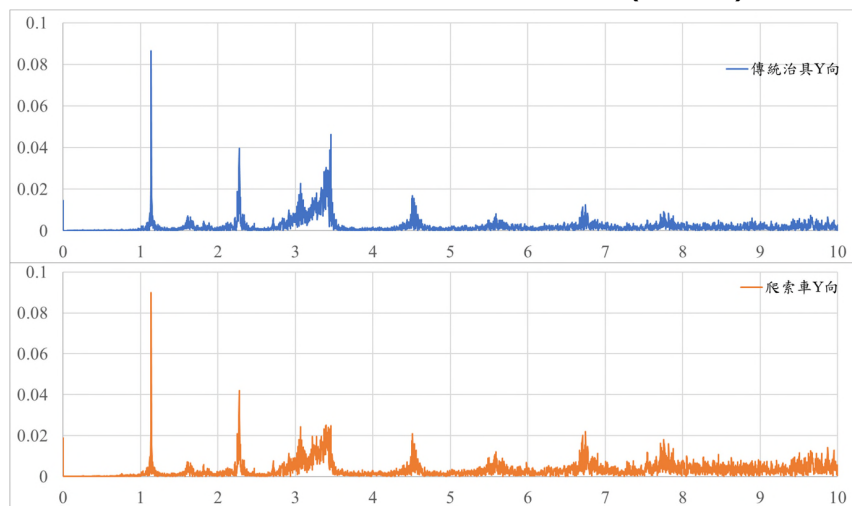
第一模態頻譜比較



第二模態頻譜比較



量測振動訊號比對結果: 垂直車行向(橫向Y)



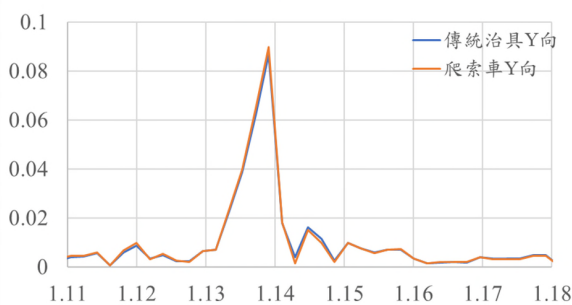
能量比較表 (單位: 10^{-3}mm/s)

	第一階	第二階	第三階	第四階	第五階
傳統治具鎖固(1Y)	86.448	39.747	30.520	16.835	8.123
爬索車(2Y)	89.669	42.093	25.174	20.668	11.989
差值(2Y-1Y)	3.221	2.346	-5.346	3.833	3.866

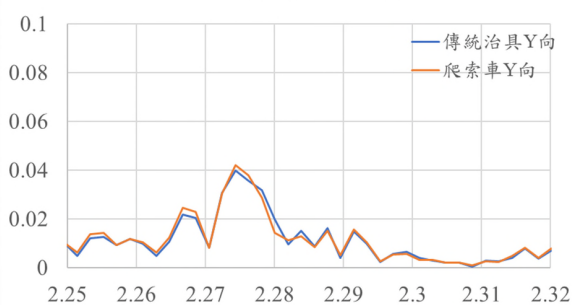
頻率比較表 (單位: Hz)

	第一階	第二階	第三階	第四階	第五階
傳統治具鎖固	1.139	2.274	3.395	4.511	5.585
爬索車	1.139	2.274	3.395	4.511	5.585

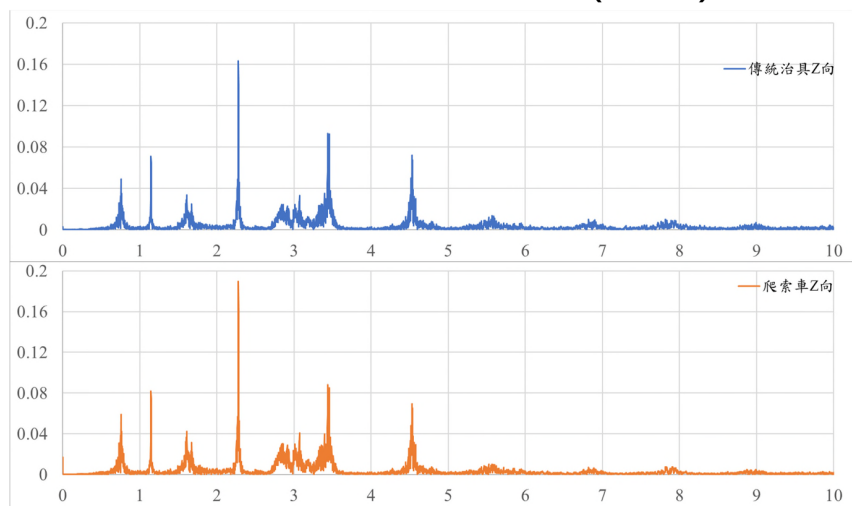
第一模態頻譜比較



第二模態頻譜比較



量測振動訊號比對結果: 重力方向(豎向Z)



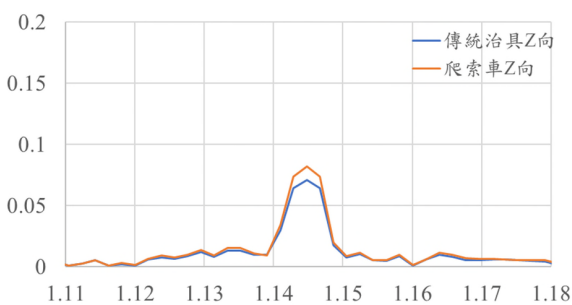
能量比較表 (單位: 10^{-3}mm/s)

	第一階	第二階	第三階	第四階	第五階
傳統治具鎖固(1Y)	71.120	163.297	93.160	71.757	13.812
爬索車(2Y)	82.011	189.534	88.212	69.095	10.256
差值(2Y-1Y)	10.891	26.237	-4.948	-2.662	-3.556

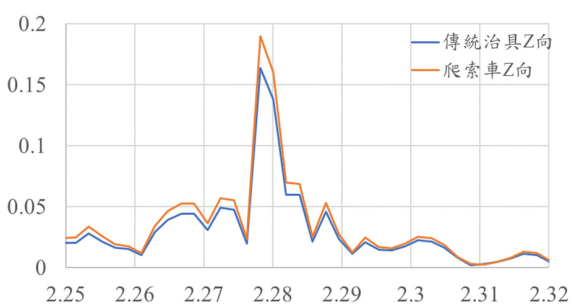
頻率比較表 (單位: Hz)

	第一階	第二階	第三階	第四階	第五階
傳統治具鎖固	1.144	2.277	3.439	4.528	5.566
爬索車	1.144	2.277	3.439	4.528	5.566

第一模態頻譜比較



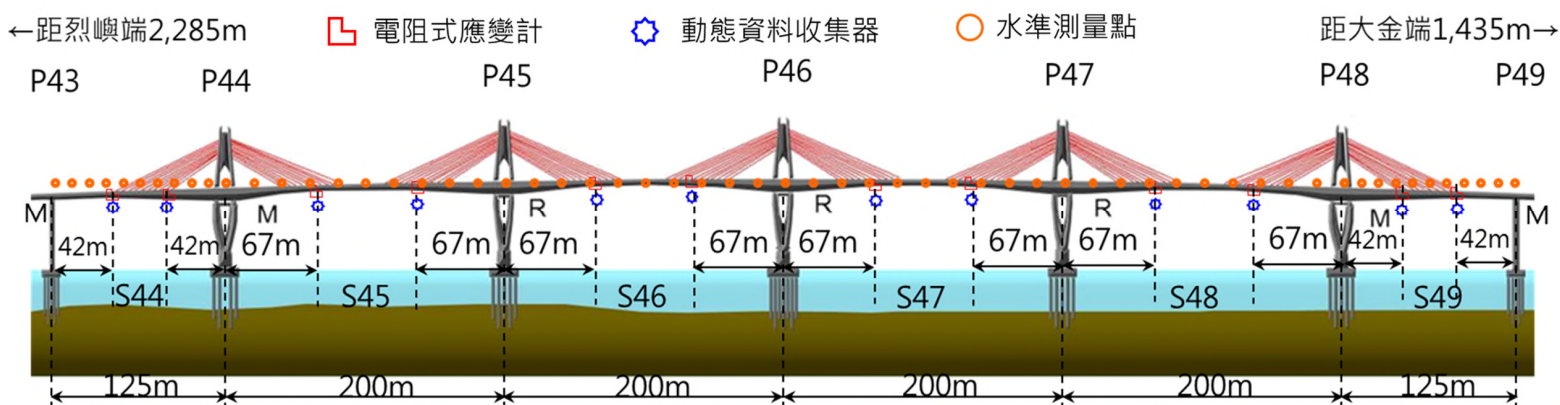
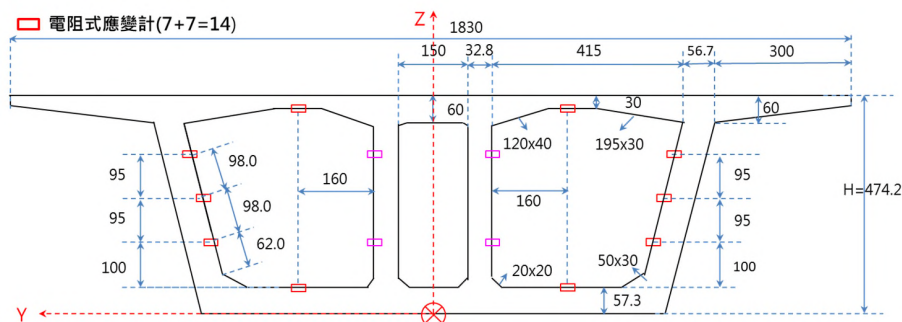
第二模態頻譜比較



■ 執行項目

- 全橋(撓度)水準測量
- 主橋結構微振量測
- 主橋靜態載重試驗
- 主橋動態載重試驗

- 試驗過程中監測系統同步量測，另於每跨增設兩斷面電阻式應變計，量測箱型梁靜、動態應變反應

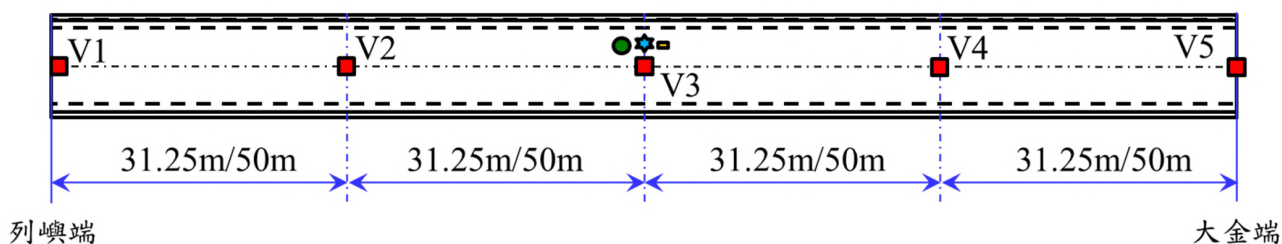


21

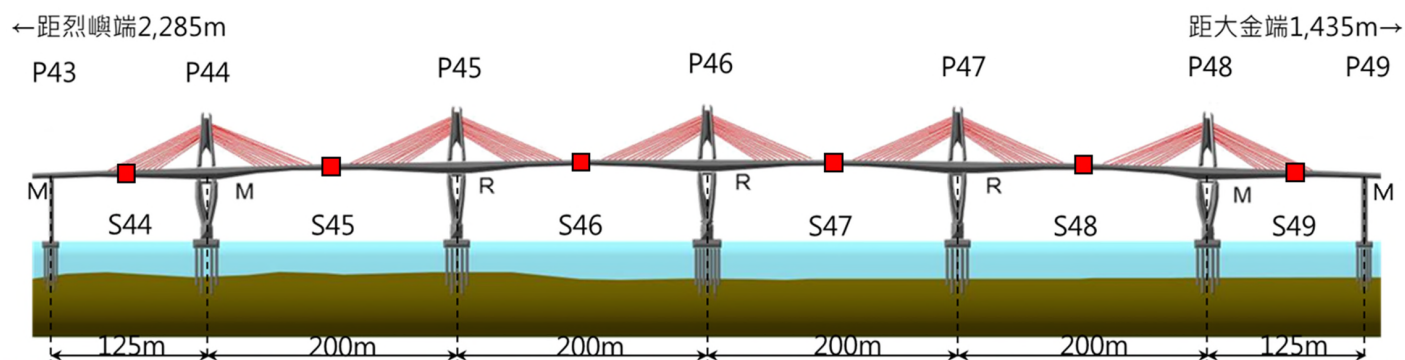
載重試驗規劃-主橋結構微振量測

■ 逐跨量測，每跨預定5個三軸向速度計同步量測

- 動態資料擷取器
- 三軸向速度計
- 筆記型電腦
- 電瓶



■ 主橋每跨各1個三軸向速度計同步量測

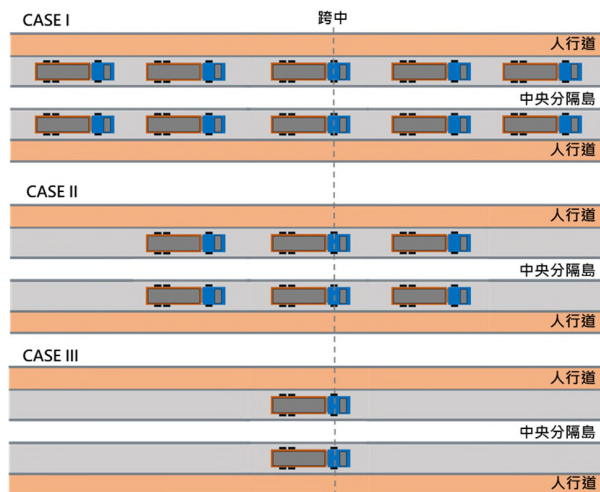
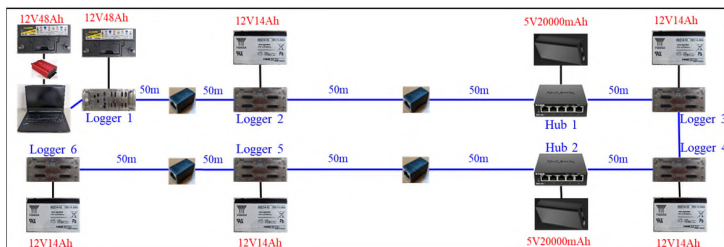


22

載重試驗規劃-靜態載重試驗



- 各跨分別以10輛、6輛、2輛砂石車加載量測
- 每個案例預定加載靜止15分鐘後開始量測
- 每輛砂石車重量預定25噸
- 資料擷取模組串聯長度約550m、監測系統同步量測

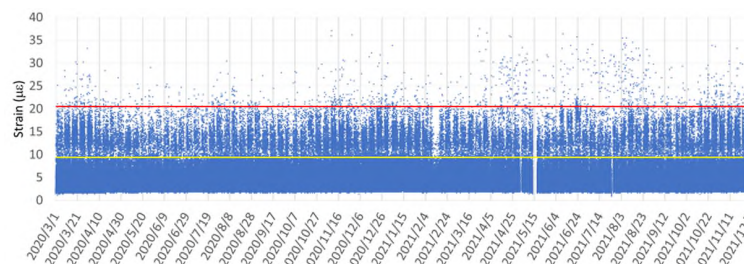
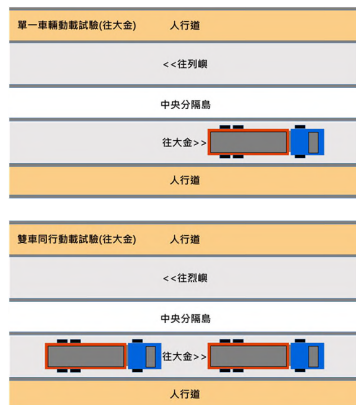
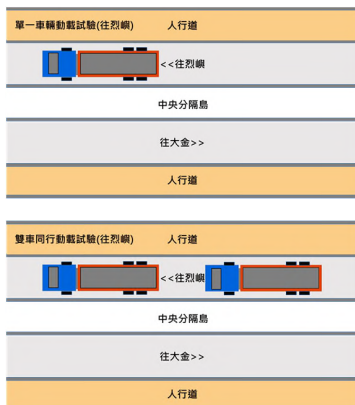
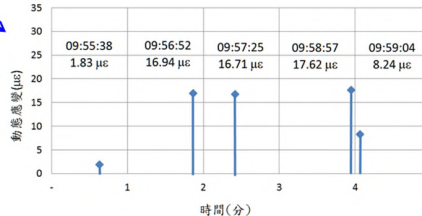
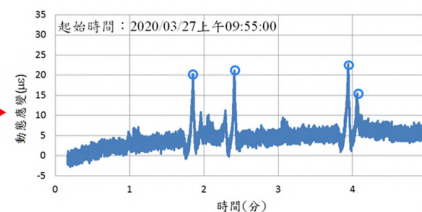


23

載重試驗規劃-動態載重試驗



- 加載案例: 單輛通行、雙輛前後同時通行
- 行駛車速20 km/hr、60 km/hr
- 試驗目標
 - 取得真實動態反應，評估動態放大係數
 - 量測箱梁斷面靜、動態應變，未來可定期加載同等重量卡車，作為承載力評估參考依據
 - 提供模型情境模擬分析參考



無線動態應變計: 預力損失評估、超載監測 (本案未規劃)

24

04 數值模型初步分析

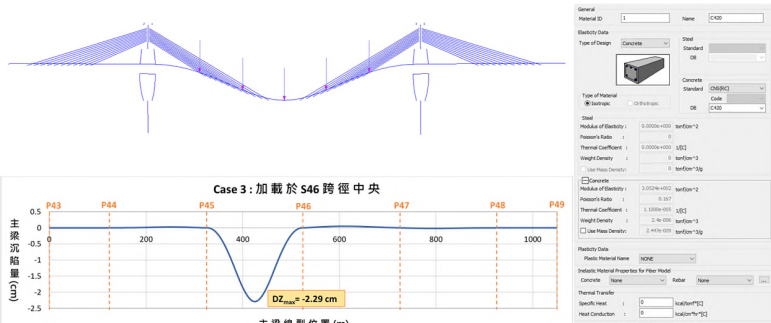
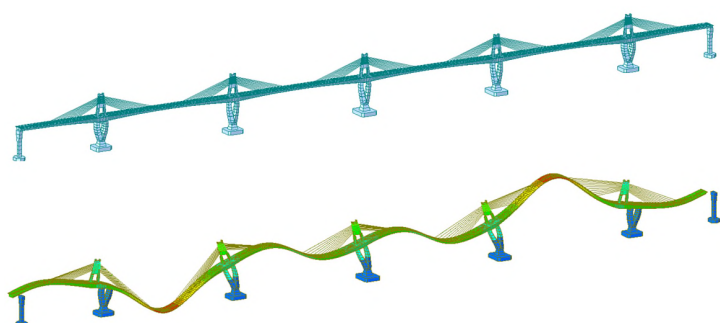
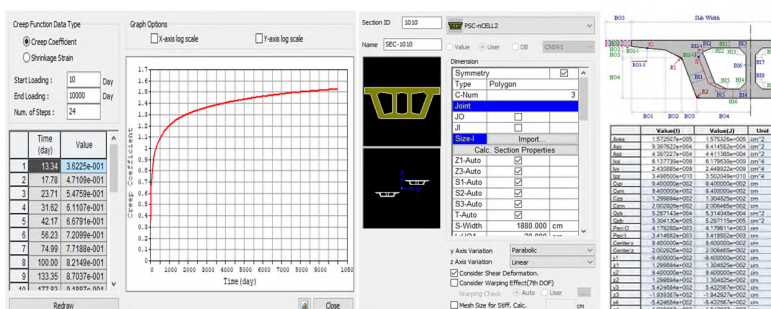
25

數值模型初步分析



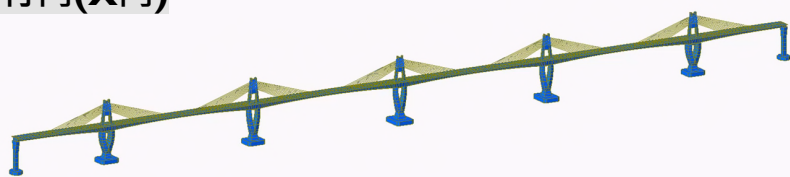
大橋未來診斷評估與監管機制之研擬

- 應用長期檢測、監測大數據分析，及數值模型結構分析，建立有效的診斷與評估方法，適時予以必要的修復與補強措施。
- 協助訂定監測管理值，即時反應與安全預警
- 回饋監測系統規劃所需資訊，持續改良優化系統架構。

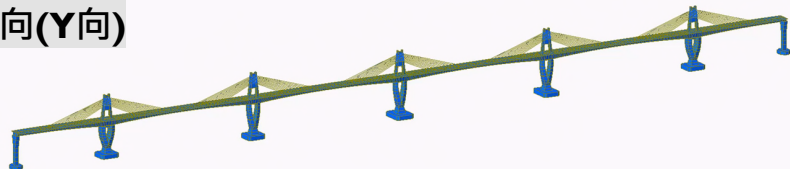


26

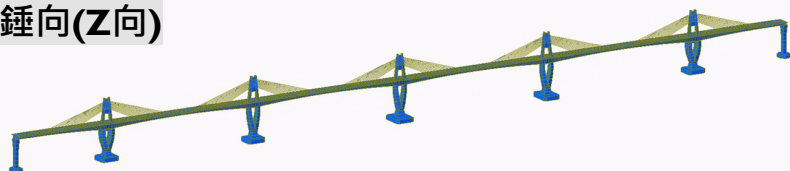
車行向(X向)



橫向(Y向)



鉛錘向(Z向)

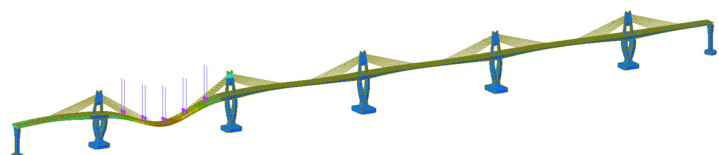


方向	週期 T (sec)	頻率 f (Hz)	主控模態
車行向 (X向)	1.746	0.573	Mode 1
橫向 (Y向)	1.541	0.649	Mode 2
鉛錘向 (Z向)	1.074	0.931	Mode 12

數值模型初步分析-載重試驗案例

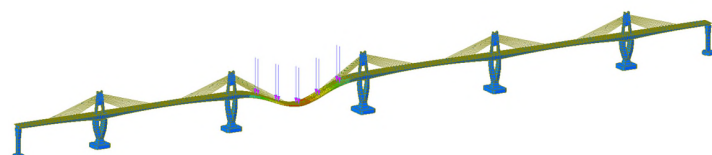
S45跨中加載25噸*10輛

$DZ_{max}=2.89cm$



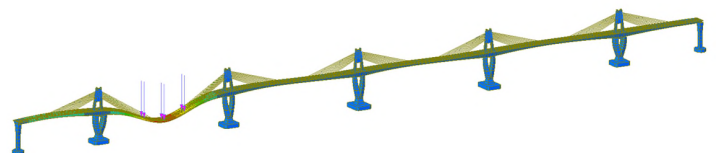
S46跨中加載25噸*10輛

$DZ_{max}=2.29cm$



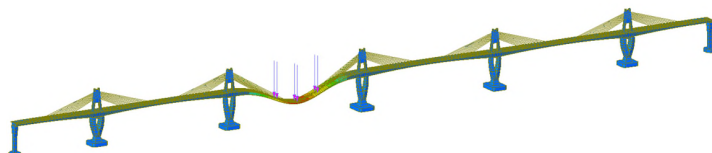
S45跨中加載25噸*6輛

$DZ_{max}=2.45cm$



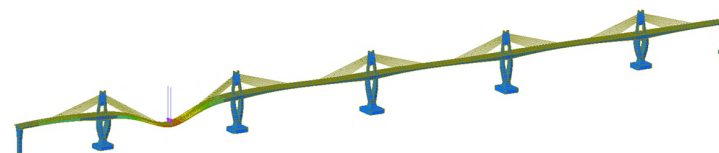
S46跨中加載25噸*6輛

$DZ_{max}=1.99cm$



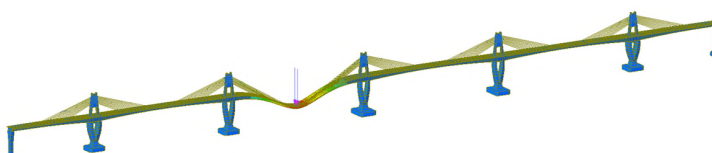
S45跨中加載25噸*2輛

$DZ_{max}=1.06cm$



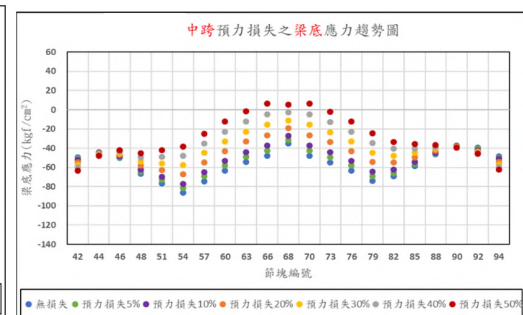
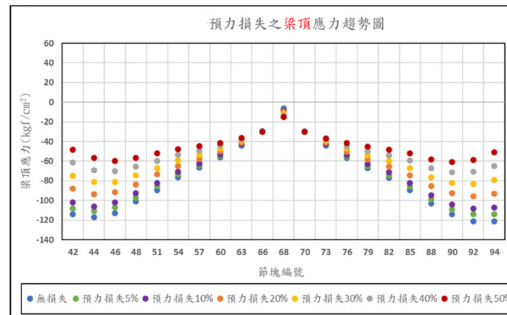
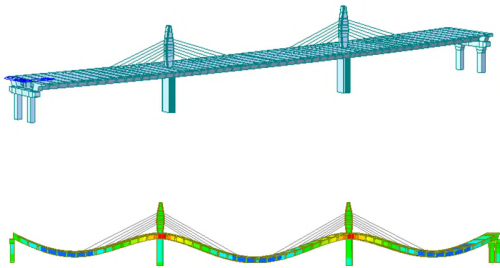
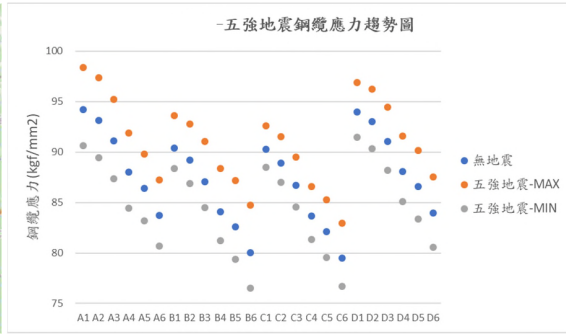
S46跨中加載25噸*2輛

$DZ_{max}=0.88cm$



協助研訂安全管理值

- 車載(超載)應力分析
- 內、外置預力損失分析
- 溫度效應分析
- 地震模擬分析



05 結語



- 預定通車前完成系統安裝、鋼纜模態試驗、載重試驗
- 通車後為期一年監測作業、提報成果並辦理發表會
- 應用創新科技，全時觀測橋梁反應，持續追蹤健康趨勢
- 本工程司與金門大學簽訂合作備忘錄，長期在地維管協作

31



簡報完畢 敬請指教



財團法人中華顧問工程司
China Engineering Consultants, Inc.

32