

斜張橋鋼纜颱風安全監測

陳振華^{1*} 鄭凱文² 黃文玲³ 吳佳貞⁴

^{1*} 國立高雄大學土木與環境工程系教授

² 台聯工程顧問股份有限公司專案經理

³ 國立高雄應用科技大學土木工程系副教授

⁴ 國立高雄大學土木與環境工程系研究生

摘要

由於斜張橋使用高強度受拉鋼纜配合高大的橋塔結構，使得斜張橋成為大跨度橋梁的最佳結構組合。然而，隨著斜張橋的跨度增加，鋼纜長度亦同步增加，此對於斜張橋受風力更加敏感與不安，因此，斜張橋的鋼纜構件之安全性也主導著斜張橋的振動與安全。在本文中，主要是利用橋梁健康監測系統(SHMS)進行斜張橋鋼纜在颱風前、中、與後的振動行為，進一步確認其振動頻率的變化，藉以探討斜張橋在颱風期間的損傷程度。研究結果發現，在颱風期間，鋼纜的振動反應雖增加5~10倍，但其振動頻率尚無明顯之變化，而且在颱風過後，振動反應回復到原有常時振動量，頻率回復至颱風前的數值，有此可發現在該次颱風並未對研究的鋼纜造成明顯之損傷，未來可作為鋼纜監測管理值訂定之參考。

關鍵字：斜張橋，鋼纜，頻率，監測

Keywords: Cable-stayed Bridge, Stayed Cable, frequency, Monitoring

1. 前言

斜張橋因具長跨與美學，在 21 世紀的建造已突破千米大關，也由於因越來越長跨之故，可能衍生的結構安全問題也越來越多(楊和陳 1995)，包括橋面版的氣動力效應、鋼纜的中垂效應與預力損失等，皆是值得注意的課題。再者，這些工程技術的競爭同時也帶給斜張橋新的契機與危機。因此，為了更加掌握這些新式橋梁的力學行為與結構安全性，橋梁結構健康監測系統(BSHM)是一種可靠的方法，也就凸顯出其重要性(交通部台灣區國道新建工程局 2001)。斜張橋組成構件中，最難以實驗與理論去研究驗證的是鋼纜構件，而且鋼纜的幾何非線性行為，同時也是造成斜張橋結構系統複雜的因素之一。因此，在斜張橋營運期間的斜拉索變化情形，因無法正確地量測索型與幾何變化參數，因此，在後續的維護管理

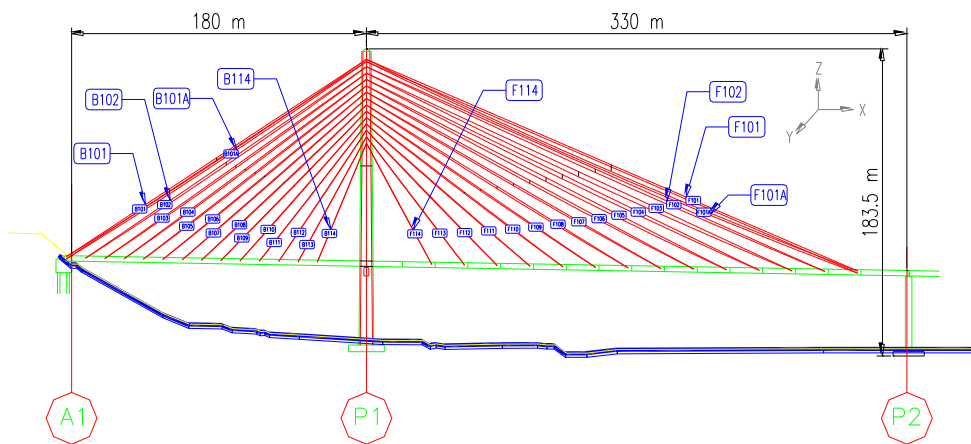
也是相當困難。

在本文中，主要是應用橋梁健康監測系統進行颱風期間之安全監測，並經結構健康監測系統，輯錄颱風期間資料與長時資料進行分析比對，探討鋼纜在颱風期間之安全性。在本文中以南二高高屏溪斜張橋主跨之二組鋼纜作為實例進行研究探討。

2. 橋梁介紹

高屏溪斜張橋南部第二高速公路最佳之地標結構，其全長 510 公尺也是目前全台最大的斜張橋，如圖一所示，主跨部分為全斷面焊接箱型梁，長度為 330 公尺；邊跨部分為預力混凝土箱型梁，長度為 180 公尺，斜張鋼纜系統採用單面混合扇形配置。橋塔近似 A 型的倒 Y 型鋼筋混凝土結構，塔高 183.5 公尺，橋面版離地面高度約為 50 公尺。

斜張鋼纜為斜張橋的主要拉力構件，其預力鋼絞索高拉力低鬆弛鋼絞索，鋼纜採取中等密度排列方式。鋼纜在主跨與邊跨各配置 14 組斜張鋼纜，除兩跨最外側為一組四條外，其餘各組均為二條，共計 60 條纜索。



圖一：高屏溪斜張橋

3. 監測系統

高屏溪斜張橋監測儀器主要裝設於橋台(A1)、橋柱(P2)、橋塔(P1)、鋼纜，以及主梁，其配置平面圖，如圖二(台聯工程顧問股份有限公司，2012)所示，鋼纜監測位置包括：

1. 纜索 B101N、B101S、B101AN、B101AS、B107N、B108N、B109N、B111N、F106N、F107N、F108N、F114N 等位置之 5M 高程處，皆裝設加速度計量測 X 向振動量。
2. F101N 的 10M 高程處，裝設速度計量測 X 向與 Y 向振動量；主跨與纜索 F101N

錨碇 X 向、Y 向與 Z 向振動量；F101N 的 5M 高程處、F101AN 的 10M 高程處裝設速度計測量 Y 向振動量。

在本文中，僅探討位於主跨徑內最長之 F101N 鋼纜，以及主跨中央附近 F107 鋼纜，兩者在颱風前、中，與後之振動行為，藉以了解鋼纜之安全性。表一為兩組鋼纜儀器種類與頻道表，分別說明如下：

7. 今年第 1 號颱風尼伯特在 105 年 7 月 8 日 5 時 50 分登陸台東太麻里，其路徑如圖三所示，以每小時 14 轉 11 公里速度向西北西移動，7 級暴風半徑 200 公里，近中心最大風速 53 公尺，相當於 16 級風。
8. 颱風期間在工址經由監測系統四組風速計所監測到的 24 小時風速變化，如圖四所示，為 7 月 8 日 0550 之風速為最大，因此，本文選取 0550~0600 期間十分鐘的振動反應作為颱風期間之振動反應。
9. 颱風前之反應則取 7 月 6 日同一時刻的振動反應；颱風後之反應則取 7 月 12 日同一時刻的振動反應，藉此比較各階段鋼纜的反應程度。
10. 本文振動量測時間取 10 分鐘資料，取樣頻率為 100Hz，取樣點共 60,000 點。
11. 為了比對各階段鋼纜的動力特性變化，亦取 2005 年(陳和林 2007)、2013 年(楊 2013)，以及 2015 年(趙 2015)期間的數據進行分析比較。

4. 分析與評估

F101 鋼纜與 F107 鋼纜在颱風期間的振動歷時反應，如圖五與圖六所示，比較說明如下：

1. 圖五為 F101 鋼纜在颱風前、中，與後的速度振動反應，在颱風前(7/6)屬於常時振動行為，如圖五(a)所示，主要是車流造成的振動反應，其速度振動強度大約維持在 $\pm 1\text{cm/sec}$ 範圍內。
2. 在颱風期間(7/8)的 F101 鋼纜速度振動反應，如圖五(b)所示，在強風的侵襲下，振動主要是風力造成的振動反應，其速度振動強度大約在 $\pm 5\text{cm/sec}$ 範圍內，此顯示風力放大鋼纜振動量，屬於風力振動行為。
3. 在颱風過後(7/12)，如圖五(c)所示，F101 鋼纜又回復到常時振動行為，主要是車流造成的振動反應，其速度振動強度大約維持在 $\pm 1\text{cm/sec}$ 範圍內。

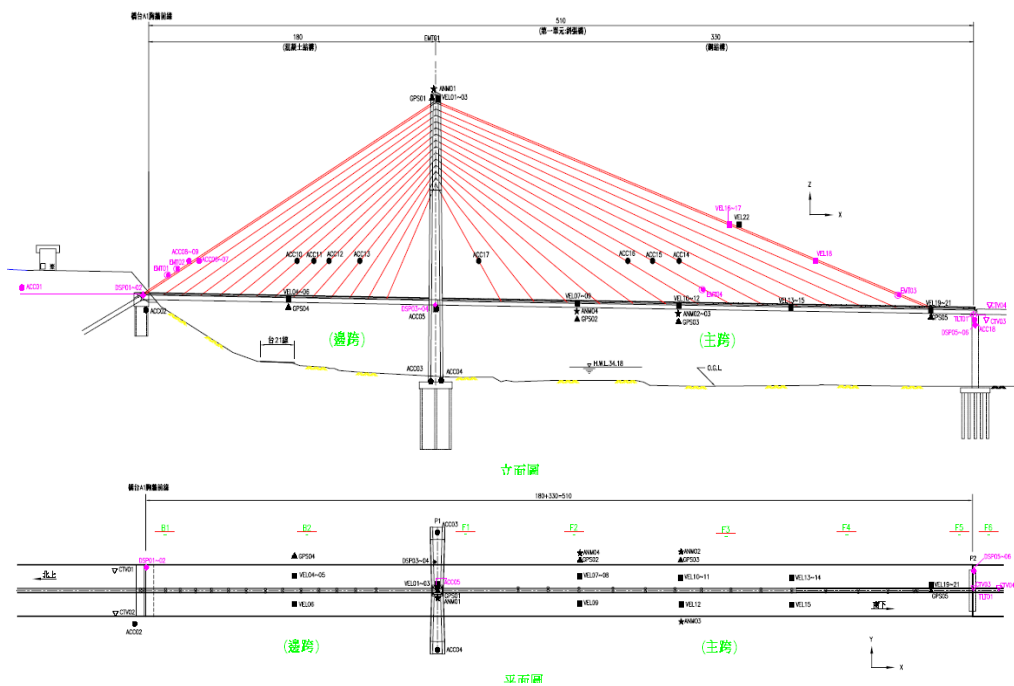
另外，在 F107 鋼纜方面：

4. 圖六為 F107 鋼纜在颱風前、中，與後的加速度振動反應，在颱風前(7/6)屬於常時振動行為，如圖六(a)所示，主要是車流造成的振動反應，除大型重車通過時造成順的振動較大外，其加速度振動強度大約維持在 $\pm 10\text{gal}$ 範圍內。
5. 在颱風期間(7/8)的 F107 鋼纜速度振動反應，如圖六(b)所示，在強風的侵襲下，振動主要是風力造成的振動反應，其速度振動強度大約在 $\pm 100\text{gal}$ 範圍內，此顯示風力放大鋼纜振動量約 10 倍左右，屬於風力振動行為。
6. 在颱風過後(7/12)，如圖六(c)所示，F107 鋼纜又回復到常時振動行為，主要是車流造成的振動反應，其速度振動強度大約維持在 $\pm 5\text{cm/sec}$ 範圍內。

因此，由上述分析可知，兩條鋼纜雖然在颱風期間振動強度增加 5~10 倍，但是在颱風過後尚能回復到颱風前的振動量，因此，此二鋼纜的振動量雖有放大情形，初步可研判此次颱風尚未對兩條鋼纜造成損傷，而此一放大倍率可提供監測管理值之參考。

另外，在鋼纜動力參數變化方面，各時段的反應頻譜，如圖七與圖八所示，分析結果如表二與表三所示，說明如下：

1. F101 鋼纜頻率變化情形，如表二所示，在 2005 年期間，F101 鋼纜的第一個自然振動頻率為 0.342Hz；第二個自然振動頻率為 0.636Hz。但是在 2013 年則分別降到 0.317Hz 與 0.610Hz，此顯示此一期間 F101 鋼纜可能有鬆弛之行為。此外，在本次颱風前、中，與後期間，F101 鋼纜振動頻率並不隨振動反應之變化而有所變，此亦顯示此次颱風應未對兩條鋼纜造成損傷。
2. F107 鋼纜頻率變化情形，如表三所示，在 2005 年期間，F107 鋼纜的第一個自然振動頻率為 0.586Hz；第二個自然振動頻率為 1.196Hz。但是在 2013 年第一個自然振動頻率則分別提升到 0.610Hz 與 1.221Hz，此顯示此一期間 F107 鋼纜預力值可能有增加之行為，亦即，F107 鋼纜較 2005 年是屬於繃緊的情形。此外，在本次颱風前、中，與後期間，F101 鋼纜振動頻率並不隨振動反應之變化而有所變，此亦顯示此次颱風應未對兩條鋼纜造成損傷。
3. F101 鋼纜有 325.6 公尺長，與 F107 鋼纜有 206.7 公尺長，相較之下，F101 屬於長索具有較大之中垂量，而且鋼纜位置距離支承處較近，受橋面版變形振動影響較小，可能會有鬆弛之現象，因此，F101 鋼纜頻率有降低之情形；反之，F107 鋼纜位置為主跨中央處，受橋面版變形振動影響較大，可能會有繃緊之現象，因此，F107 鋼纜頻率有提升之情形。



圖二：監測儀器配置平立面圖(台聯工程顧問股份有限公司，2012)



圖三：尼伯特颱風路徑圖(中央氣象局網站，2016)



圖四：尼伯特颱風(7/8)24小時工址風速變化圖

表一：儀器種類與頻道表

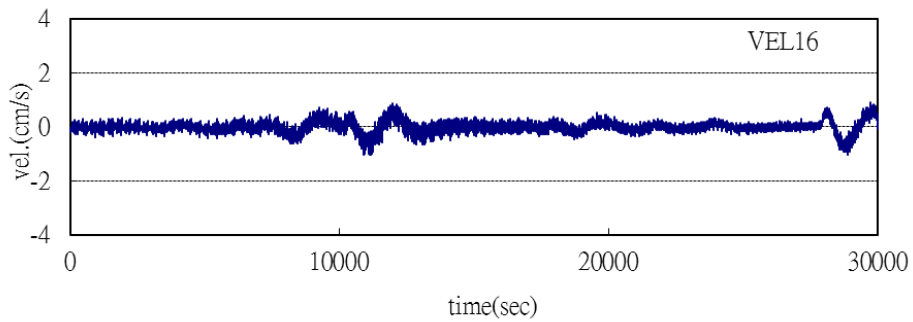
項次	監測儀器名稱	代號	類型	位置	頻道	量測方向
1	速度計	VEL16	單軸表面型	鋼纜 B107N5M 高程處	1	X
2	加速度計	ACC15	單軸表面型	鋼纜 F107N5M 高程處	1	X

表二：F101 鋼纜頻率變化表

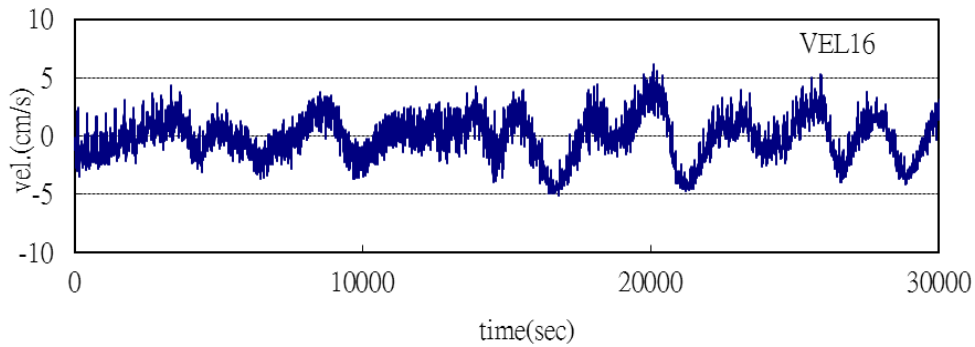
項次	量測期間	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
1	2005/08	0.342	0.636
2	2013/08	0.317	0.610
	2015/06	0.317	0.610
3	2016/0706(颱風前)	0.317	0.610
4	2016/07/08(颱風期間)	0.317	0.610
5	2016/0712(颱風後)	0.317	0.610

表三：F107 鋼纜頻率變化表

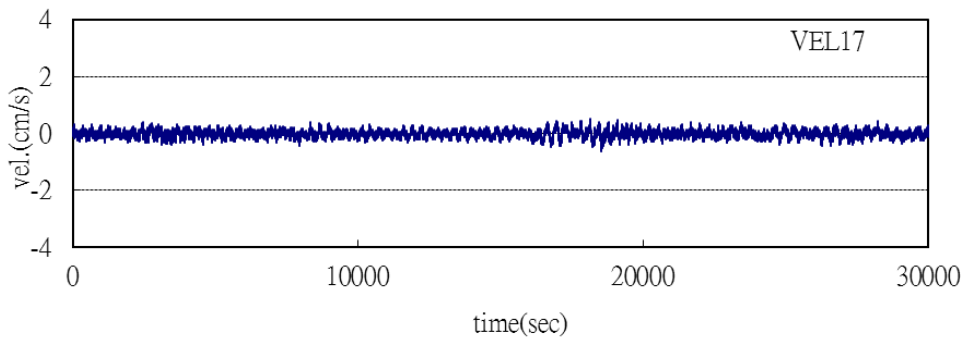
項次	量測期間	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
1	2005/08	0.586	1.196
2	2013/08	0.610	1.221
	2015/06	0.610	1.221
3	2016/0706(颱風前)	0.610	1.221
4	2016/07/08(颱風期間)	0.610	1.221
5	2016/0712(颱風後)	0.610	1.221



(a)

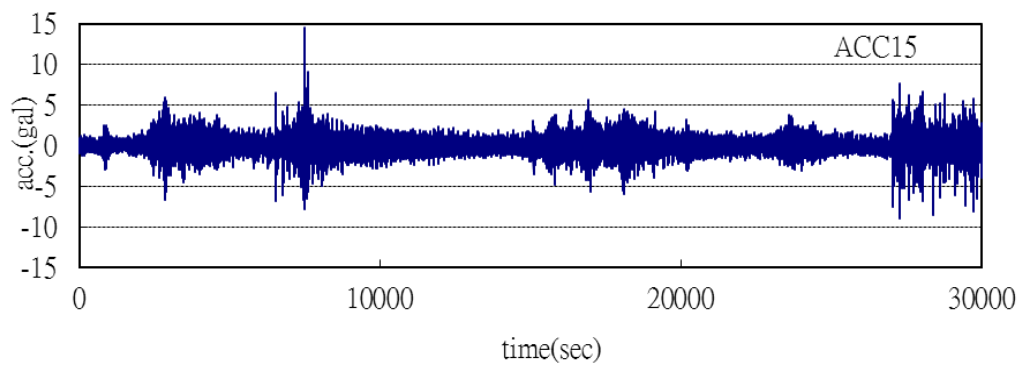
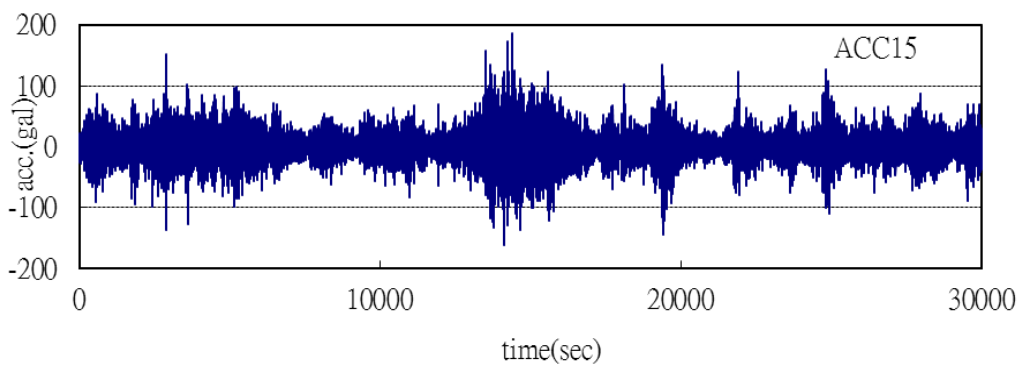
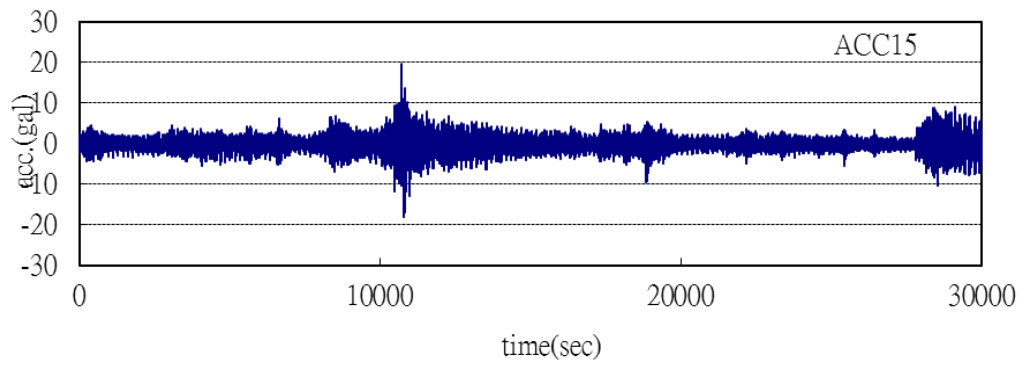


(b)

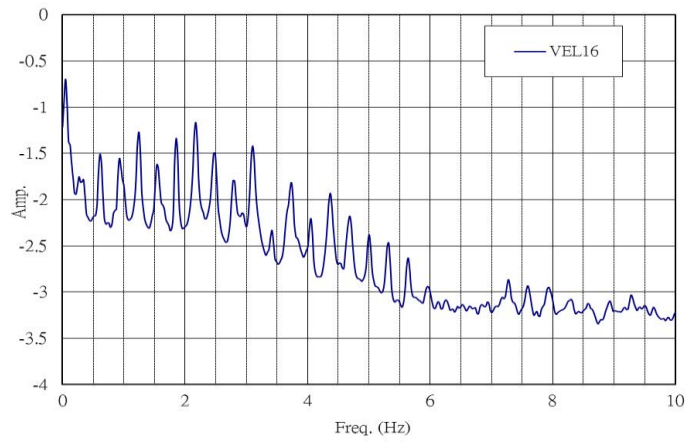


(c)

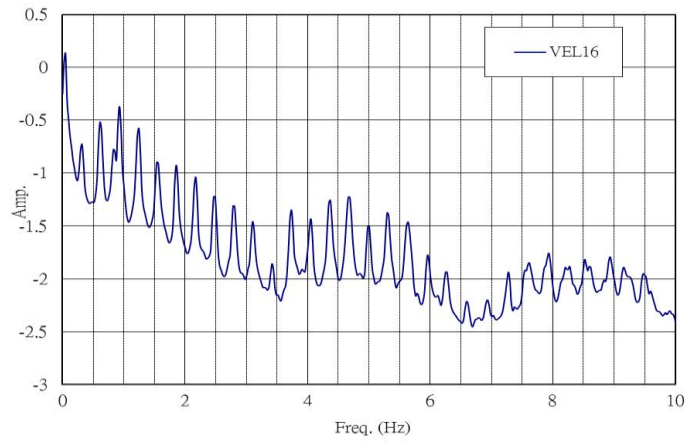
圖五：F101 鋼纜振動歷時圖：(a). 颱風前(105/07/06)；(b). 颱風中(105/07/08)；
(c). 颱風後(105/07/12)



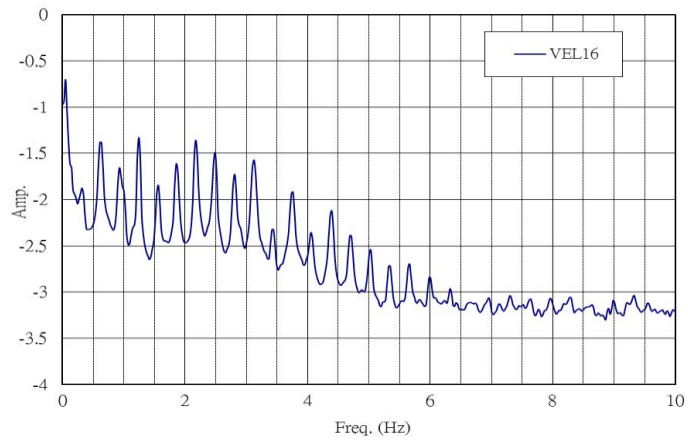
圖六：F107 鋼纜振動歷時圖：(a). 颱風前(105/07/06)；(b). 颱風中(105/07/08)；
(c). 颱風後(105/07/12)



(a)

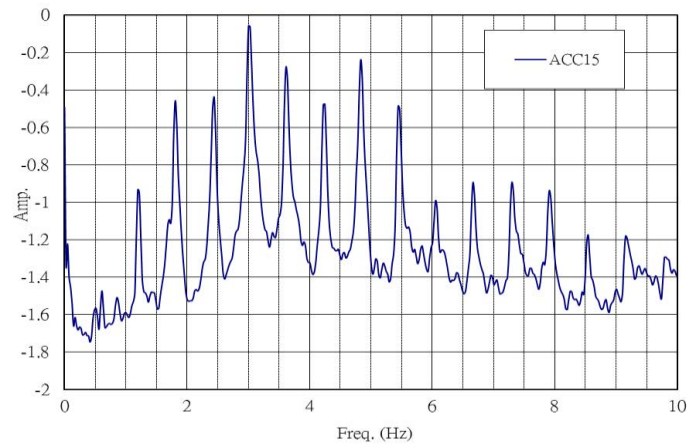


(b)

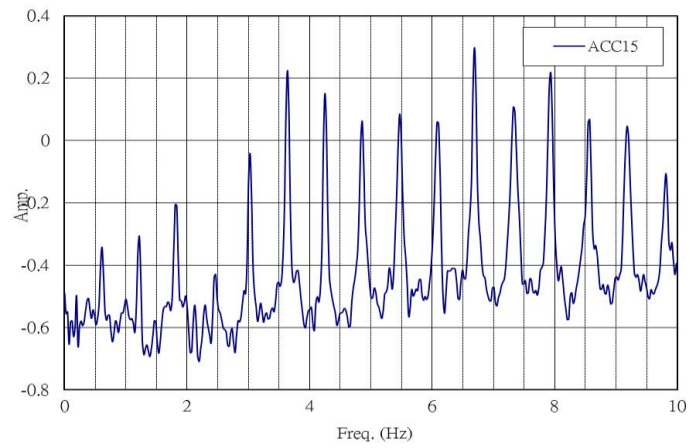


(c)

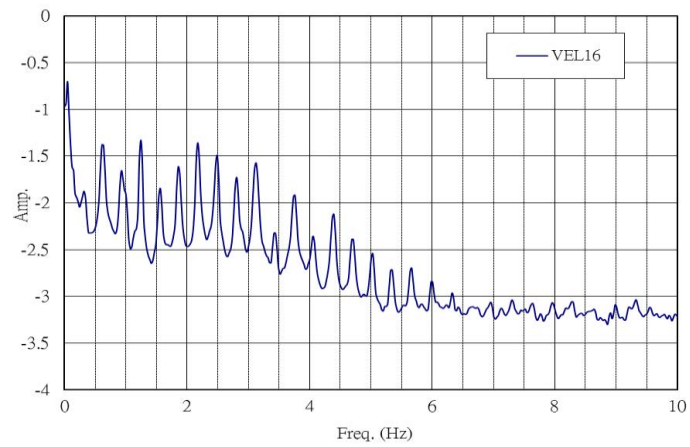
圖七：F101 鋼纜振動頻譜圖：(a). 颱風前(105/07/06)；(b). 颱風中(105/07/08)；
(c). 颱風後(105/07/12)



(a)



(b)



(c)

圖八：F107 鋼纜振動頻率圖：(a). 颱風前(105/07/06)；(b). 颱風中(105/07/08)；
(b). 颱風後(105/07/12)

5. 結論

本文主要是針對高屏溪斜張橋鋼纜在颱風前、中，與後的振動行為，藉以瞭解 F101 與 F107 兩條鋼纜是否因颱風衝擊而有所損傷，以作為後續管理維護之參考。綜整結論如下：

1. 斜張橋兩條鋼纜在 2005 年~2013 年的 8 年間，其自然振動頻率有某些變化，此顯示鋼纜的預力亦存在變化之情形，但比對目前鋼纜受力情形，尚在容許範圍內。
2. F101 鋼纜有 325.6 公尺長，與 F107 鋼纜有 206.7 公尺長，相較之下，F101 屬於長索具有較大之中垂量，而且鋼纜位置距離支承處較近，受橋面版變形振動影響較小，可能會有鬆弛之現象，因此，F101 鋼纜頻率有降低之情形；反之，F107 鋼纜位置為主跨中央處，受橋面版變形振動影響較大，因此可能會有繃緊之現象，因此，F107 鋼纜頻率有提升之情形。
3. 颱風期間鋼纜放大的振動量，可建立適當的預警值，作為後續安全監測管理值之參考。

6. 誌謝

本研究承科技部研究計畫(計畫編號：MOST105-2221-E-390-007-)補助，得以完成本研究，謹此致謝。

7. 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，(2001)，“高屏溪橋”。
- [3] 台聯工程顧問股份有限公司，(2012)，“高屏溪斜張橋監測系統修復及更新工程”。
- [4] 陳振華、林炳昌，(2007) 「斜張橋斜拉索拉力檢測與安全評估」，技師月刊，台北市，第 47 期，第 83-92 頁。
- [5] 楊詠荃，(2013)，“斜張橋動力特性研究”，國立高雄大學碩士學位論文。
- [6] 趙彥杰，(2015)，“斜張橋動力監測”，國立高雄大學碩士學位論文。