

車行橋梁管理資訊系統斜張橋與脊背橋檢測值 與屬性關聯性探討

Investigation of the Correlation between the Member Detection Values and the Attributes of the Cable-Stayed Bridges and the Extradosed Bridges in Taiwan Bridge Management System

運輸工程及海空運組 陳國輝

研究期間：民國 113 年 1 月至 113 年 12 月

摘 要

車行橋梁管理資訊系統為協助各橋梁主管機關落實自主橋梁安全維護而開發建置之資訊系統，為一輔助工具平臺，以協助橋梁管理機關快速掌握橋梁之基本資料與檢測紀錄等資料。本研究透過關聯分析，對資訊系統之斜張橋與脊背橋構件之檢測值與其橋梁屬性(長度、年齡及構件數)進行關聯分析，結果顯示橋長大於 200 公尺以上之橋梁分別與橋塔發生 D=3 以上構件劣化及鋼筋混凝土橋墩帽梁發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性；橋齡 10 年以上之橋梁分別與橋塔發生 D=3 以上構件劣化及預力混凝土主梁發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性，故建議各車行橋梁管理機關，對於橋梁長度大於 200 公尺以上之橋梁其橋塔及橋墩帽梁應加強檢測維修，橋齡 10 年以上之橋梁，其橋塔及預力混凝土主梁應加強檢測維修。

關鍵詞：

車行橋梁管理資訊系統、關聯性、斜張橋、脊背橋

車行橋梁管理資訊系統斜張橋與脊背橋檢測值與屬性關聯性探討

一、前言

車行橋梁管理資訊系統為協助各橋梁主管機關落實自主橋梁安全維護而開發建置的資訊系統，為一輔助工具平臺，用以協助橋梁管理機關快速掌握橋梁之基本資料與檢測紀錄等資料，目前系統內橋梁資料約為 2.4 萬座。依據公路法及相關規範規定，橋梁養護首重檢測，各橋梁管理機關應定期針對所轄橋梁實施各項橋梁安全檢測作業。

本研究對重要之公路車行橋梁且具有瞬間斷裂可能性之斜張橋與脊背橋進行分析，並透過關聯分析方法，探討斜張橋與脊背橋構件之檢測值與橋梁屬性(長度、橋齡及構件數)之關聯，供橋梁管理機關可針對關聯性高之橋梁構件加強檢測維修。

二、文獻回顧

2.1 橋梁檢測

橋梁檢測目的為早期發現橋梁之損傷與劣化，以期掌握橋梁之安全與使用性。公路車行橋梁檢測分為定期檢測、特別檢測與詳細檢測三類：【1】

1. 定期檢測：為掌握橋梁之健全度、及早發現造成功能減低或異常之損傷及其原因，而定期進行之檢測。
2. 特別檢測：當重大事故或災害發生後，為了解損傷程度及防止災害擴大；或巡查發現顯著異狀及公路養護管理機關、公路養護單位認為必要時而實施之檢測。
3. 詳細檢測：橋梁於定期檢測或特別檢測後，認為有必要時，以儀器或相關設備進行局部破壞或非破壞檢測等之檢測；或對跨河橋梁所在河道狀況、基礎沖刷情形之檢測；或針對特殊性橋梁重要構件，依其維護管理作業計畫辦理之檢測。

橋梁定期檢測之資料，依橋梁構件劣化狀況，以評定劣化程度(D 值)、劣化範圍(E 值)、劣化情況對橋梁結構使用性及用路人安全性之影響(R 值)，以及處置的急迫性(U 值)。檢測橋梁構件劣化評等準則如表 1-1，其中 D1 為構件狀況良好，D2 為尚可，D3 為差，D4 為嚴重損毀，用以評等該構件劣化情形。

表 1-1 橋梁定期檢測評等準則

	0	1	2	3	4
D	無此項目	良好	尚可	差	嚴重損壞
E	無法檢測*	10%以下	10%~30%	30%~60%	60%以上
R	無法判定重要性	微	小	中	大
U	無法判定急迫性	例行養護	3 年內維護或持續追蹤	1 年內維護	緊急處置

*E=0，為此構件裂化範圍無法直接目視評等，如地面以下之橋台基礎或橋墩基礎等構件。

資料來源：【1】

2.2 橋梁檢測資料分析相關研究

莊友涵【2】「以大數據探討橋梁構件劣化之研究」(112 年國立中央大學博士論文)，研究以臺中市、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市、高雄市、屏東縣等 7 縣市較易受損之跨河橋為研究範圍，由臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)(第 1 代系統)篩選出 2,849 座跨越中央管或縣市管河川橋梁的版橋、梁式橋與箱型橋為研究標的。

因橋梁長度規模不同，該研究先將橋梁分為單孔橋、2 至 3 孔橋以及 4 孔以上橋等三大類，並使用 SPSS 應用程式之集群分析功能將所蒐集資料分為 8 群，使群內性質差異最小化，各群間性質差異最大化。

該研究以 2012 年至 2016 年間上述橋梁之定期檢測資料，篩選檢測值 D 大於 2 之資料，並使用 SPSS 應用程式之關聯分析功能進行分析，若該組合占有樣本數的百分之 10，且該組合超過 25%之 D 值大於 2，則將其視為「構件容易發生劣化之基本資料欄位組合」。該研究分析結果如下：

1. 第一大類之單孔橋梁，橋台、大梁與橋面板是否劣化與基本資料關聯性如下：

- (1) 橋台若為重力式橋台，其劣化機率為 25%；
- (2) 若為懸臂式橋台、寬度小於 12m 且採用鋼構大梁，其劣化機率為 32.18%。
- (3) 有關橋面板劣化為兩種組合，一為懸臂式橋台和橋梁寬度為 12.712m，另一為矩形橫梁與鋼筋混凝土大梁有關，此兩種組合分別使橋面板有 38.96%與 28.89%的機率發生劣化。

2. 第二大類之 2-3 孔橋梁，其關聯性如下：

- (1) 當橋梁總長小於 59m，並採用扶壁式橋台，其橋護欄劣化的機率為 75%。

- (2) 橋寬介於 28.28m 至 40.42m，則橋護欄有 67.86%發生劣化。
- (3) 橋長小於 15.52m 且採用重力式橋台的版橋，橋護欄劣化的機率為 72%。
- (4) T 型大梁、半重力式橋台且橋梁總長介於 17.4m 至 26.64m 間，將有 80%以上的機率會劣化。

3.第三大類之 4 孔以上之橋梁，其關聯性如下：

- (1) 採用樁排架式橋台時，其橋梁排水設施發生劣化的機率為 100%。
- (2) 採用樁排架式橋台或短塊式橋台，或採用 U 型大梁，其橋護欄發生劣化機率亦為 100%。
- (3) 在引道路堤方面，若橋長介於 386.64m 至 732.48m 間，採用懸臂式橋台的 I 型梁橋，有 25.62%的機率發生劣化。
- (4) 採用矩形橫梁的橋梁則有 37.5%的引道路堤發生劣化。

該研究成果所顯示，不同橋孔橋梁構件發生劣化機率與其基本資料之關聯性，可提供橋梁維護管理單位參考應用，以迅速找出容易受損劣化之橋梁構件。

三、關聯分析

關聯分析技術可於資料中，找尋資料彼此之關聯性，如常見所稱之購物籃分析即為關聯分析(購物籃分析其廣為人知之分析結果為啤酒與尿布之關聯性)，該方法使用之重要評估指標說明如下【3,4,5】：

1. 支持度(Support):分析事件在資料集中發生之機率，公式如下：

$$(1) \text{Support}(X) = \text{數量}(X) / \text{數量}(\text{資料集})$$

$$(2) \text{Support}(X \cap Y) = \text{數量}(X \cap Y) / \text{數量}(\text{資料集})$$

2. 信賴度(Confidence)：在 X 事件發生的情況下，發生 Y 的機率，公式如下：

$$\text{Confidence}(X \rightarrow Y) = P(Y|X) = P(X \cap Y) / P(X)$$

3. 提升度(Lift)：

(1)提升度表示在事情 X 發生的情況下，發生 Y 的機率，且同時考慮 Y 發生的機率，公式如下：

$$\text{Lift}(X \rightarrow Y) = \text{Confidence}(X \rightarrow Y) / P(Y) = P(Y|X) / P(Y) = P(X \cap Y) / [P(X) * P(Y)]$$

(2)提升度可反應 X 與 Y 資料之相關性，

若提升度>1 表示正相關，

若提升度=1 表示資料互相獨立，

若提升度<1 表示負相關。

四、分析標的

車行橋梁管理資訊系統之橋梁型式分為：板橋、梁式橋、剛架橋、拱橋、桁架橋、吊橋、斜張橋、脊背橋及 π 型橋等，本研究對重要之橋梁且具有瞬間斷裂可能性之橋梁進行分析，故以斜張橋與脊背橋共 41 座橋梁進行分析。

有關斜張橋之橋長分布如圖 4-1，其分布以 54~254 公尺橋梁占 12 座為大宗，斜張橋之橋齡分布如圖 4-2，其分布以 11~16 年橋梁占 11 座為大宗。有關脊背橋之橋長分布如圖 4-3，其分布以 41~441 公尺橋梁占 8 座為大宗，脊背橋之橋齡分布如圖 4-4，其分布以 9~11 年橋梁占 5 座為大宗。

為探討斜張橋與脊背橋其最近 1 次定期檢查之資料與其橋梁屬性之關聯性。本研究由車行橋梁管理資訊系統最近 1 次之定期檢查資料，彙整後以 Python 程式進行關聯性分析，所分析橋梁屬性資料包括橋梁長度、橋梁構件數、橋齡、D=4 構件數占其總構件數百分比、D=3 構件數占其總構件數百分比、D=2 構件數占其總構件數百分比、及 D=3 以上之構件劣化種類。由於關聯分析使用資料為類別資料，本研究依照經驗將資料形式轉換為類別資料如表 4-1 以進行關聯分析。

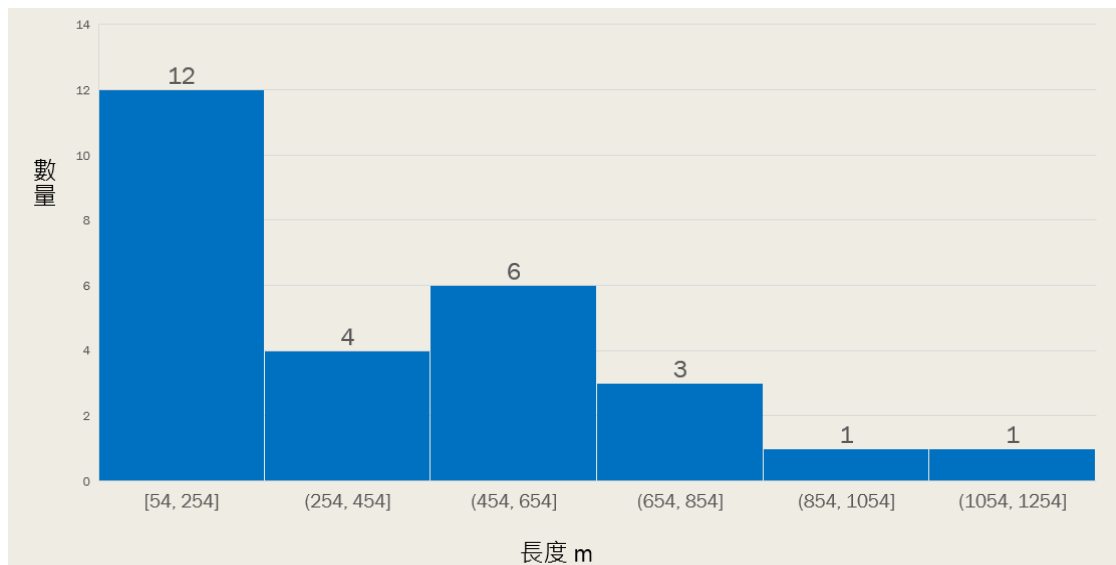


圖 4-1 斜張橋之橋長度分布

資料來源：【車行橋梁管理資訊系統，本研究整理】

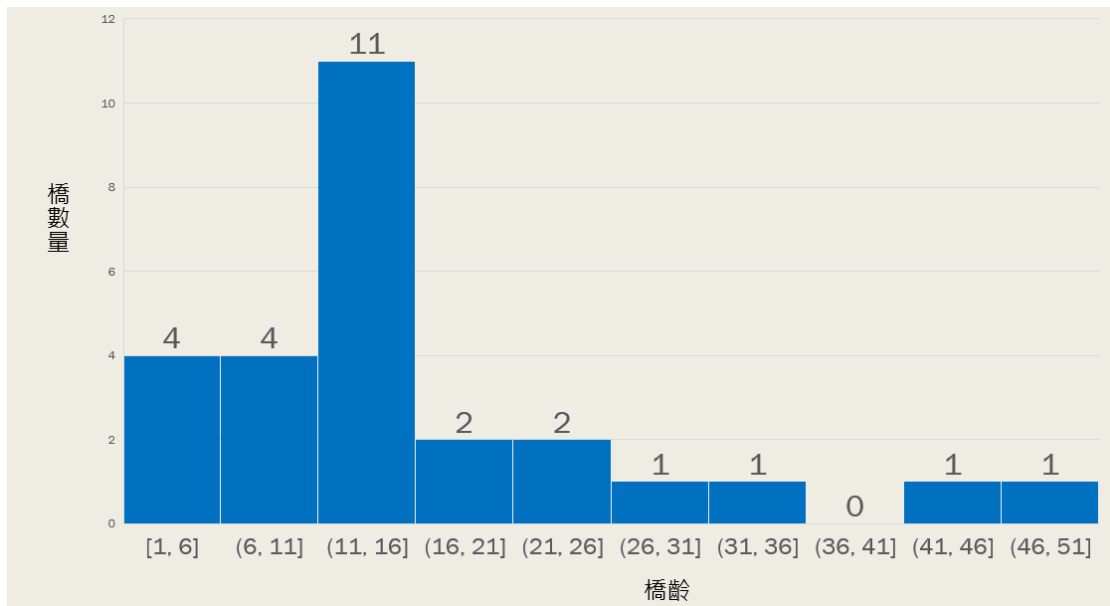


圖 4-2 斜張橋之橋齡分布

資料來源：【車行橋梁管理資訊系統，本研究整理】

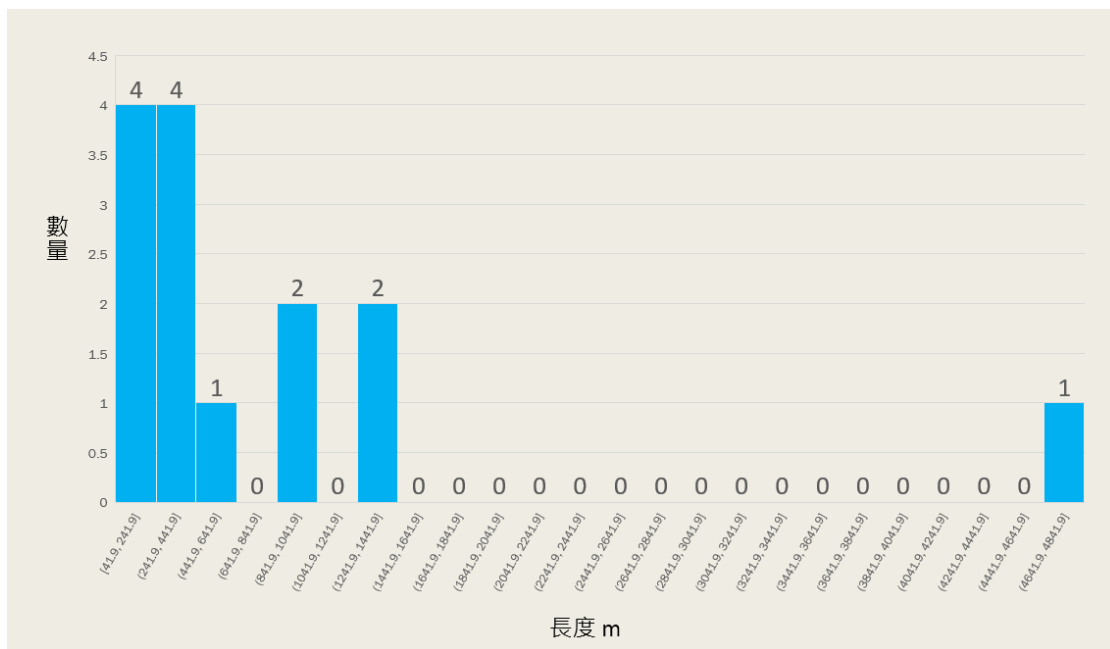


圖 4-3 脊背橋之橋長度分布

資料來源：【車行橋梁管理資訊系統，本研究整理】

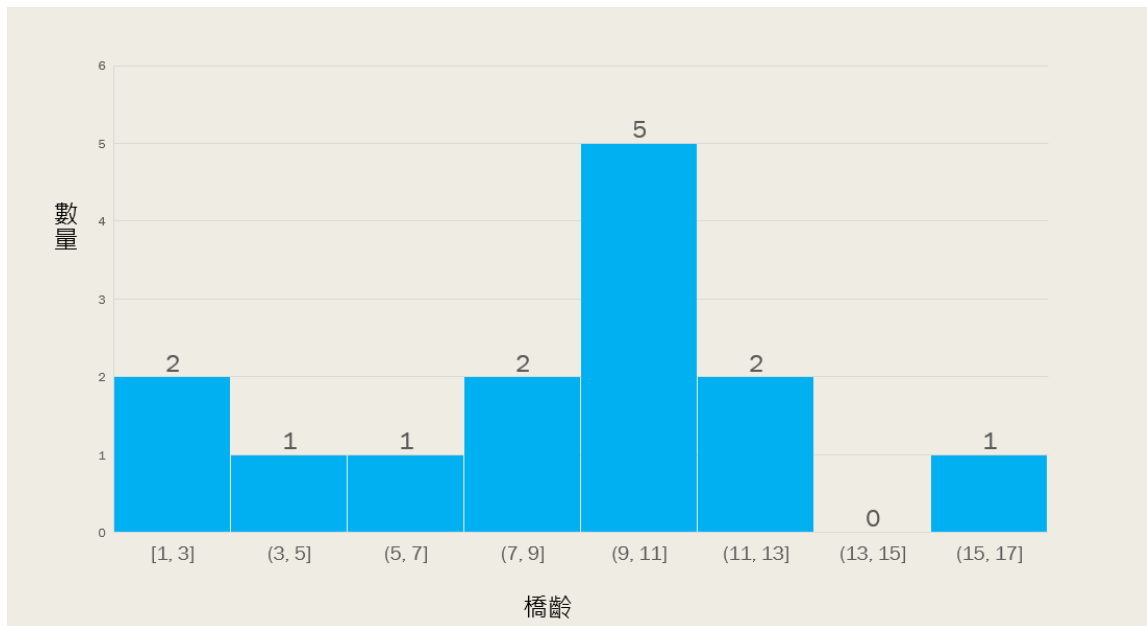


圖 4-4 脊背橋之橋齡分布

資料來源：【車行橋梁管理資訊系統，本研究整理】

表 4-1 資料轉換為類別資料表

橋梁屬性	橋梁屬性值	橋梁屬性類別
長度	未滿 100 公尺	短
	未滿 200 公尺	中
	200 公尺以上	長
檢測時間	未滿 3 小時	短
	未滿 5 小時	中
	5 小時以上	長
橋梁構件數	構件數未滿 100	少
	構件數未滿 200	中
	構件數 200 以上	多
橋齡	未滿 5 年	短
	未滿 10 年	中
	10 年以上	長
D=4 劣化構件數占其總構件數百分比	未滿 0.1%構件數	少
	未滿 1%構件數	中
	1%構件數以上	多
D=3 劣化構件數占其總構件數百分比	未滿 1%構件數	少
	未滿 2%構件數	中
	2%構件數以上	多
D=2 劣化構件數占其總構件數百分比	未滿 10%構件數	少
	未滿 20%構件數	中
	20%構件數以上	多

資料來源：【車行橋梁管理資訊系統，本研究整理】

五、分析結果

5.1 橋梁檢測值與屬性關聯分析

本研究對橋梁檢測值與屬性進行關聯分析，並參考文獻 2 之設定，若該組合佔所有樣本數的百分之 10，且該組合超過 25% 之 D 值大於 2，則將其視為「構件容易發生劣化之基本資料欄位組合」。分析結果彙整如表 5-1，結果顯示：

1. 橋梁長度長與檢測時間長，具關聯性(同時發生機率 53.66%，信賴度 75.86%)
2. 橋齡長與 D=2 劣化構件數占比多，具關聯性(同時發生機率 43.90%，信賴度 81.82%)
3. 橋梁長度長、構件數多與檢測時間長，具關聯性(同時發生機率 43.90%，信賴度 94.74%)
4. 橋梁長度長與橋塔發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性(同時發生機率 34.15%，信賴度 48.28%)
5. 橋梁長度長與鋼筋混凝土橋墩帽梁發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性(同時發生機率 26.83%，信賴度 37.93%)
6. 橋塔發生 D=3 以上構件劣化與檢測時間長，具關聯性(同時發生機率 24.39%，信賴度 66.67%)
7. 橋齡長與橋塔發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性(同時發生機率 21.95%，信賴度 40.91%)
8. 橋齡長與預力混凝土主梁發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性(同時發生機率 21.95%，信賴度 31.03%)

綜上，上述關聯性結果符合常態推斷，對於橋長大於 200 公尺以上之橋梁分別與橋塔發生 D=3 以上構件劣化及鋼筋混凝土橋墩帽梁發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性；橋齡 10 年以上之橋梁分別與橋塔發生 D=3 以上構件劣化及預力混凝土主梁發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性。

表 5-1 關聯分析彙整表

項次	關聯情形	同時發生機率(支持度)(support)	信賴度(confidence)	提升度(lift)
1	橋梁長度長→檢測時間長	53.66%	75.86%	135.23%
2	橋齡長→D=2 劣化構件數占比多	43.90%	81.82%	129.02%
3	橋梁長度長及構件數多→檢測時間長	43.90%	94.74%	168.88%

4	橋梁長度長→橋塔發生 D=3 以上構件劣化	34.15%	48.28%	131.95%
5	橋梁長度長→鋼筋混凝土橋墩帽梁發生 D=3 以上構件劣化	26.83%	37.93%	141.38%
6	橋塔發生 D=3 以上構件劣化→檢測時間長	24.39%	66.67%	118.84%
7	橋齡長→橋塔發生 D=3 以上構件劣化	21.95%	40.91%	111.82%
8	橋齡長→預力混凝土主梁發生 D=3 以上構件劣化	21.95%	31.03%	127.24%

資料來源:【車行橋梁管理資訊系統，本研究整理】

5.2 橋梁鋼纜與錨定 (橋塔及主梁)裝置檢測值分析

對於斜張橋與脊背橋之斜張鋼纜、主梁端鋼纜錨碇裝置及橋塔端鋼纜錨碇裝置為重要之構件，而上述構件受到套管等保護，若無鏽水外溢或套管破裂，尚無法直接目視檢測，故許多案例填寫為 E=0(規範 E=0 表示為無法檢測)，本研究分析最近一次之定期檢測，斜張鋼纜 E=0 之檢測情形為 90.2%，主梁端鋼纜錨碇裝置 E=0 之檢測情形為 46.3%，橋塔端鋼纜錨碇裝置 E=0 之檢測情形占為 48.8%。分析其關聯性如表 5-2，顯示 3 種構件之關聯性，錨碇裝置(橋塔端)E=0 與鋼纜(吊索) E=0 具關連性，錨碇裝置(主梁端)E=0 與鋼纜(吊索) E=0 具關連性，錨碇裝置(主梁端)E=0 與錨碇裝置(橋塔端)E=0 具關連性。

上述 3 種構件若多次檢測值 E=0，橋梁管理機關須依其所訂定之特殊性橋梁維護管理作業計畫，辦理斜張鋼纜、主梁端鋼纜錨碇裝置及橋塔端鋼纜錨碇裝置之詳細檢測。

表 5-2 鋼纜與錨定檢測值關聯分析彙整表

項次	關聯情形	同時發生機率(支持度) (support)	信賴度 (confidence)	提升度 (lift)
1	鋼纜錨碇裝置(橋塔端)E=0→鋼纜(吊索) E=0	46.34%	95.00%	105.27%
2	鋼纜錨碇裝置(主梁端)E=0→鋼纜(吊索) E=0	43.90%	94.74%	104.98%
3	鋼纜錨碇裝置(主梁端)E=0→鋼纜錨碇裝置(橋塔端)E=0	31.71%	68.42%	140.26%

資料來源:【車行橋梁管理資訊系統，本研究整理】

六、結論與建議

6.1 結論

1. 本研究關聯分析結果顯示橋長大於 200 公尺以上橋梁分別與橋塔發生 D=3 以上構件劣化及鋼筋混凝土橋墩帽梁發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性。
2. 橋齡 10 年以上之橋梁分別與橋塔發生 D=3 以上構件劣化及預力混凝土主梁發生 D=3 以上構件劣化，具關聯性。
3. 鋼纜與鋼纜錨定裝置之最近一次定期檢測，斜張鋼纜其 E=0 之檢測情形占 90.2%，主梁端鋼纜錨碇裝置 E=0 之檢測情形占 46.3%，橋塔端鋼纜錨碇裝置 E=0 之檢測情形占 48.8%。

6.2 建議

1. 建議車行橋梁管理機關，對於橋梁長度大於 200 公尺以上之橋梁其橋塔及橋墩帽梁應加強檢測維修，橋齡 10 年以上橋梁，其橋塔及預力混凝土主梁應加強檢測維修。
2. 影響檢測結果尚有眾多因素，如檢測人員、環境腐蝕等因素，建議未來可納入關聯分析探討。
3. 有關鋼纜與錨定裝置，橋梁管理機關對於多次檢測該構件 E=0 之情形，須依其所訂定之特殊性橋梁維護管理作業計畫，辦理斜張鋼纜、主梁端鋼纜錨碇裝置、及橋塔端鋼纜錨碇裝置之詳細檢測，以維橋梁安全。

參考文獻

1. 交通部，「公路橋梁檢測及補強規範」，民國 109 年。
2. 莊友涵，「以大數據探討橋梁構件劣化之研究」，國立中央大學博士論文，民國 112 年。
3. <https://medium.com/edureka/apriori-algorithm-d7cc648d4f1e>
4. <https://medium.com/women-in-data-science-taipei/資料科學入門-關聯分析-cde4e9d64b43>
5. https://www.maxlist.xyz/2018/11/03/python_apriori/