

# 吊索型橋梁設計、施工及維護 階段應注意事項

行政院公共工程委員會

113年2月

## 目錄

壹、緣起 .....	1
貳、吊索型橋梁破壞原理 .....	2
參、案例分析及歸納 .....	3
肆、防範對策及應注意事項 .....	11
伍、結語 .....	23

## 壹、緣起

橋梁為跨越水域或障礙連結交通的主要媒介，對於民眾生活影響甚鉅，除一般的梁式橋以外，為達到降低結構重量、增加跨距、減少落墩及增加美觀之目的，常以吊索型橋梁替代常見的梁式橋，本注意事項所稱之吊索型橋梁，泛指橋梁傳力構件包括吊索系統者，包含斜張橋、脊背橋、拱橋(拱肋與梁間採用鋼索者)及吊橋等。

吊索型橋梁主要的力學行為，係透過吊索等拉力構件將橋身自重及活載重傳遞至橋塔(斜張橋、脊背橋及吊橋)或拱肋(拱橋)，倘拉力構件銹蝕且疏於維護，易引發斷裂產生骨牌效應而使全橋破壞，所以吊索及錨碇系統相當重要。

經分析近年吊索型橋梁發生斷裂事故(包括 102 年 11 月新北市三芝吊橋、108 年 10 月宜蘭縣南方澳大橋及 112 年 4 月新北市觀音坑溪橋計 3 件)，狀況可歸納為「錨碇系統(包括吊索)的銹蝕」及「更換構件力量分配不當」，進一步分析其原因係「設計/施工不當且疏於維護，致吊索錨碇銹蝕」或「維護施工計畫與設計圖說不符，致吊索不當受力」。

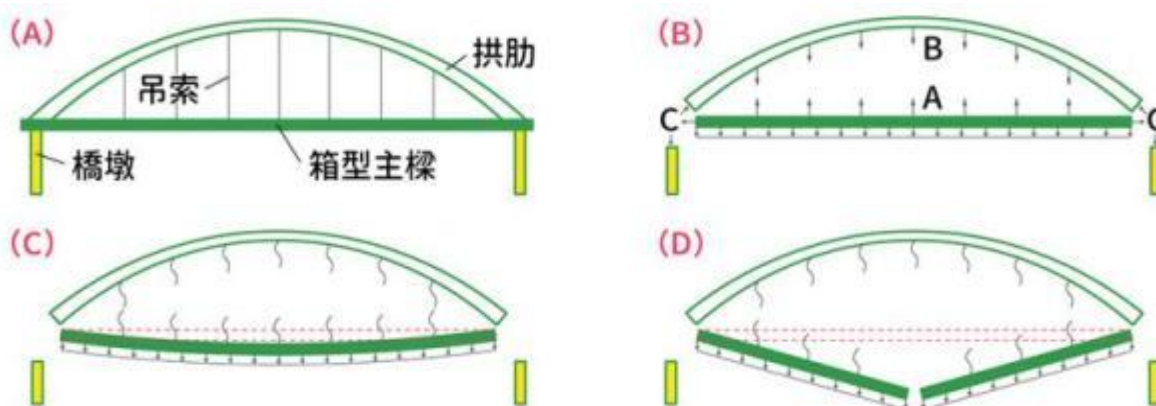
爰此，重點在於合理減緩腐蝕情形並定期檢測更換，尤其對於吊索及錨碇系統接合處等易滲水熱點，應落實防止水滲入及維護檢查；本案研提設計、施工及維護階段應注意事項，希冀提供各級機關作為後續作業之參考，並依個案特性因案制宜，避免錯誤重複發生。

## 貳、吊索型橋梁破壞原理

吊索型橋梁破壞原理多以吊索(亦稱鋼索、鋼纜)及錨碇系統破壞。以常見的下路式拱橋為例，主要結構係由拱肋、吊索、主梁與橋墩所組成，各項載重(靜載重及活載重)藉由多條吊索傳遞至拱肋，再由拱肋傳遞至兩端的橋墩，由橋墩及主梁形成自體平衡的橋體結構。

吊索為該結構重要的力量傳遞構件，當其中一根吊索斷裂或錨碇系統破壞(例如滲水銹蝕造成強度降低、長期超載造成橋梁結構疲勞)，吊索便無法繼續將力量完整地從主梁傳遞至拱肋，而必須由其它吊索分擔。雖橋梁設計安全已考量贅餘度，其他吊索尚能分擔額外的力量，但當其他吊索也受銹蝕影響而無法承受多餘的力量時，就會造成連鎖反應而使橋梁破壞。

此外，在進行更換吊索的維護工作時，被更換之舊吊索處於無受力狀況而使載重產生重新分配，當臨時支撐未發揮功效而使力量分配不當(例如未按維護設計圖施工，或對於現場銹蝕情況未充分掌握而過於樂觀)，同樣會造成破壞。



拱橋之吊索構件破壞示意圖(參考國震中心資料)

## 參、案例分析及歸納

### 一、南方澳大橋

**狀況：**錨碇系統及吊索銹蝕，事故發生時行經之油罐車雖未超載，惟吊索殘餘強度已無法負載造成斷裂。

**原因：**錨碇裝置未設置之防水措施，亦疏於檢測，以致錨端積水使吊索銹蝕；且長期未限制車輛載重對橋梁造成結構疲勞。

宜蘭縣蘇澳鎮南方澳大橋於 87 年 6 月興建完成，於 108 年 10 月 1 日使用階段發生橋梁斷裂事故。

南方澳斷橋鄰近太平洋(高氯離子)，且周邊有加油站(高二氧化硫)，屬於易腐蝕環境；失敗主因係錨碇裝置未施作防水罩及防水墊片，雨水沿錨碇鋼套管及吊索之接合處流入箱梁內，長期累積於錨碇機構，加上疏於維護管理，致吊索下錨端銹蝕而使有效斷面積減少，最終因吊索殘餘強度無法承受負載而斷裂。



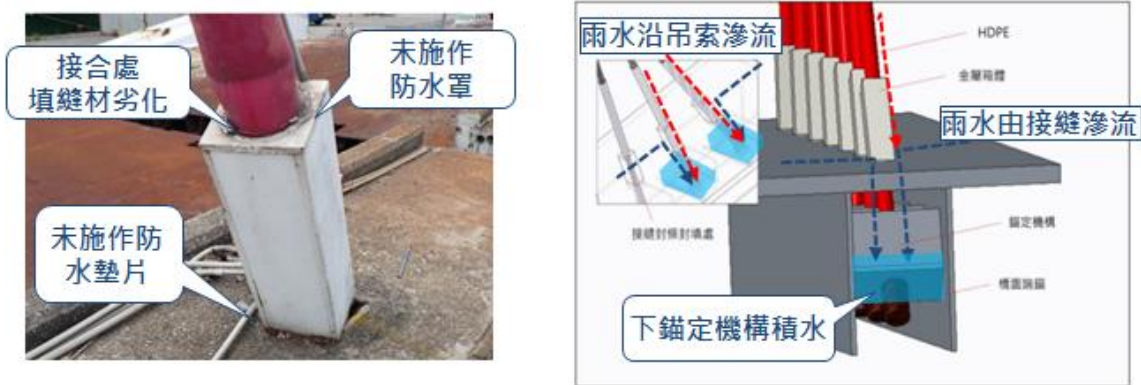
南方澳大橋吊索系統破壞模式(參考自中國土木工程學會資料)

主要缺失摘要說明如下：

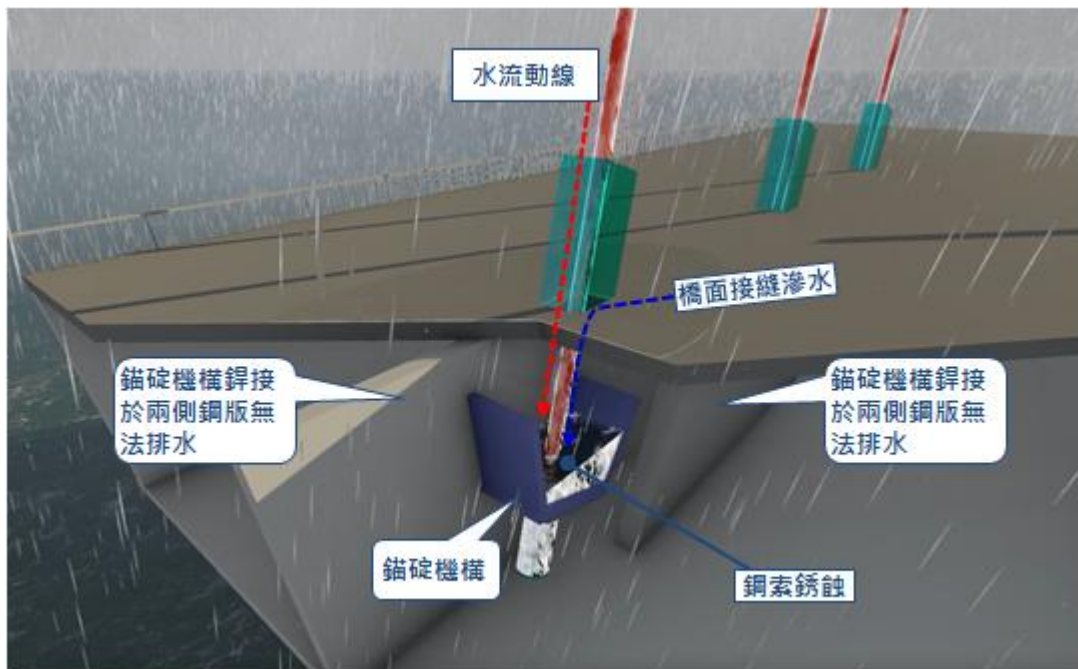
**(一)現場與竣工圖說不符：**錨定裝置未施作鋼套管之防水罩、防水墊片等防止銹蝕構件，導致吊索長期銹蝕而斷裂。

**(二)疏於維護：**疏於維護巡查，未發現橋梁吊索、錨頭銹蝕嚴重，致未即時維護置換。

**(三)疏於載重管理：**長期未限制車輛載重，對橋梁造成結構疲勞。



南方澳大橋下錨碇機構積水銹蝕(參考運安會調查報告)



南方澳大橋下錨碇機構積水銹蝕 3D 模擬示意圖



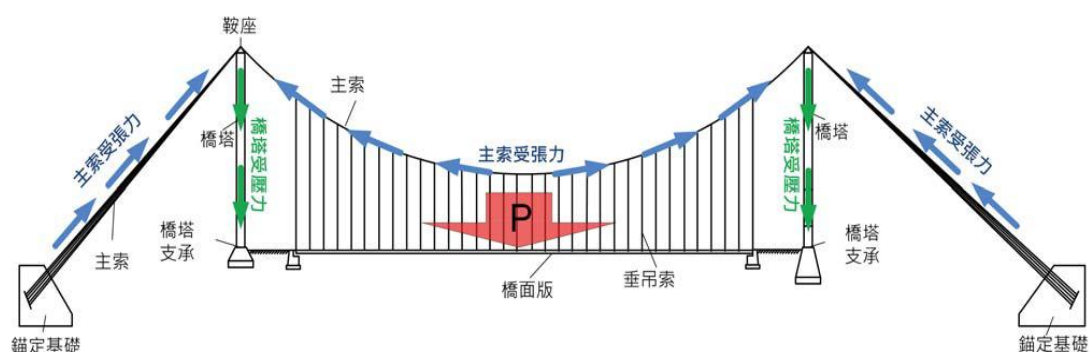
## 二、三芝吊橋

**狀況：**吊索銹蝕，事故發生時行經之人數雖未超過限制人數，惟吊索殘餘強度已無法負載造成斷裂。

**原因：**未考量材料耐候性，未注意垂吊索接合處滲水問題，且未依吊索橋特性檢測，以致吊索銹蝕。

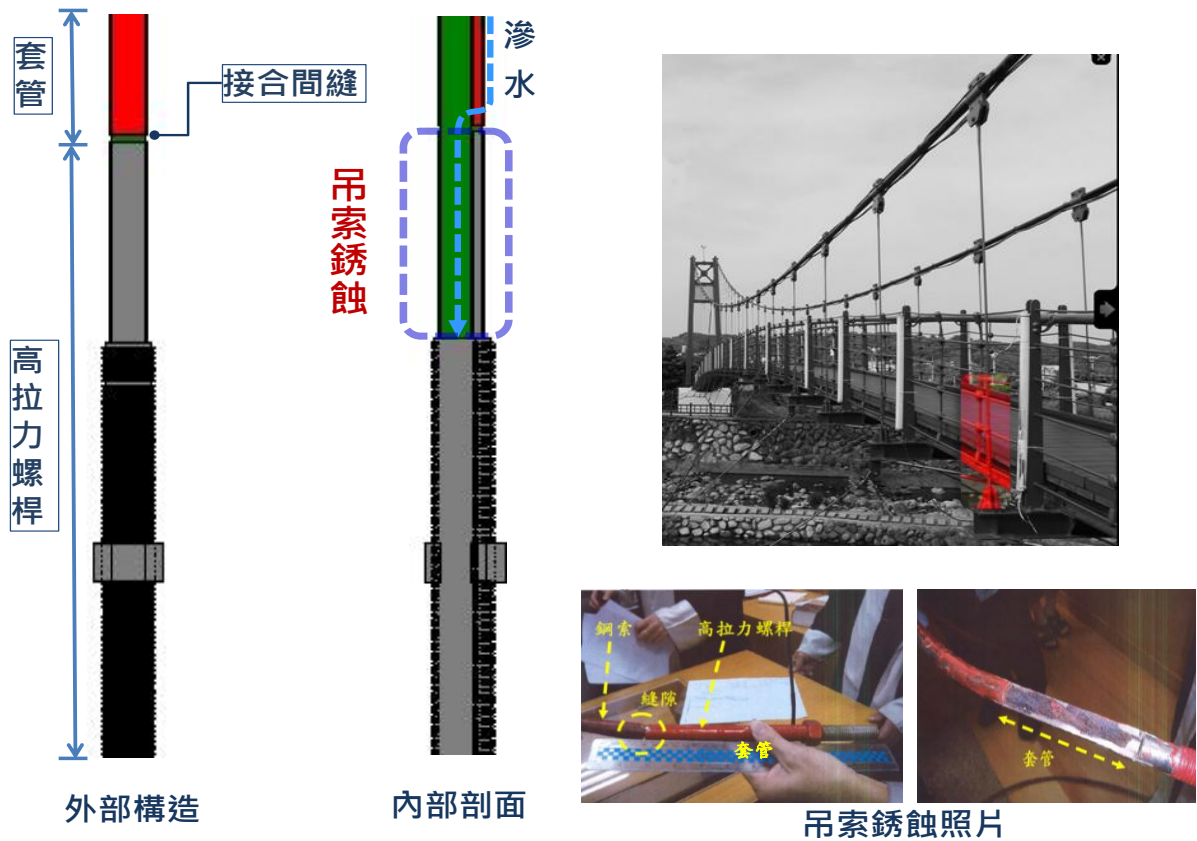
新北市三芝區根德水車園區吊橋於 96 年 10 月興建完成，於 102 年 11 月 17 日使用階段發生橋梁斷裂事故。

與斜張橋、脊背橋或拱橋等車行橋不同，人行吊橋的自重及活載重多透過橋面版旁的垂吊索，傳遞至錨固於橋兩端的主索，再分別傳遞至橋塔及錨固端，故人行吊橋除主索外，亦應注意垂吊索的使用狀況。



人行吊橋傳力示意圖(參考自中國土木水利工程學會資料)

本案垂吊索與橋面版的接合方式係以拉力螺桿接合，失敗主因係垂吊索與高拉力螺桿接合處產生縫隙，水流順著縫隙流入套管內部，導致垂吊索銹蝕後殘餘強度無法負載，產生吊橋斷裂。



### 三芝吊橋吊索斷裂

主要缺失摘要說明如下：

- (一) 未防護垂吊索與套管接合處而產生縫隙滲水：設計、施工及監造單位，未注意到吊索與橋體結合處之防銹蝕保護，以致吊索斷面變化接合處積水銹蝕損壞。
- (二) 未考量環境增加材料耐候性：設計單位未考量該地區位處北海岸高鹽害高腐蝕地區，設計圖中未載明清楚吊索鍍鋅量，導致施工廠商使用鍍鋅量不足的垂吊索而使抗蝕能力不足。
- (三) 未依吊橋特性需求進行檢測：該橋梁為特殊性橋梁，但管理單位以一般混凝土橋梁的檢查項目辦理例行維護檢測，而未對吊橋特殊重要構件如吊索、錨碇裝置進行檢測，致未察覺垂直吊索已嚴重銹蝕。



### 三、觀音坑溪橋

#### 狀況：

- 本案更換吊索之維護設計內容，考量地質條件不佳(橋址下方承载力不易穩定)及須維持通洪斷面，故不使用下方全面場撐的支撐方式，而採取上方臨時吊件方式。
- 臨時吊件目的在於分擔受更換舊吊索之受力。
- 維護施工更換吊索時，臨時吊件未發揮分擔受力之預期功效，致承载力轉移不當，其餘舊吊索不堪額外受力而發生斷裂、端錨鬆脫之連鎖破壞。

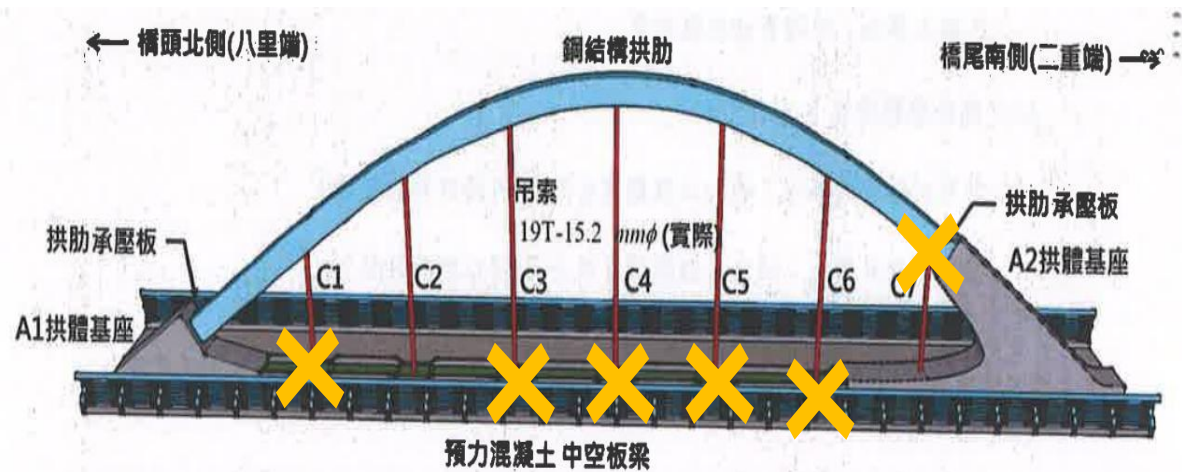
#### 原因：

- 施工計畫與維護設計圖不符，施工計畫對於臨時吊件的數量、固定方式及施拉預力與否，均與維護設計圖不符。
- 維護設計圖說之臨時吊件可完全分擔受力，更換吊索時，其他舊吊索不需分擔受力；施工計畫之臨時吊件僅能分擔的一部分索力，仍有一部分索力須由其他舊吊索分擔受力。

新北市五股區觀音坑溪橋於 93 年 9 月興建完成，111 年 11 月辦理「五股觀音坑溪橋梁改善工程」，於 112 年 4 月 21 日進行吊索更換作業時發生橋體斷裂。

本案設計時考量地質條件不佳及為維持通洪斷面，不採取下方全面場撐支撐方式，而採取臨時吊件方式；更換時舊吊索承载力轉移至臨時吊件後，再逐支更換吊索。

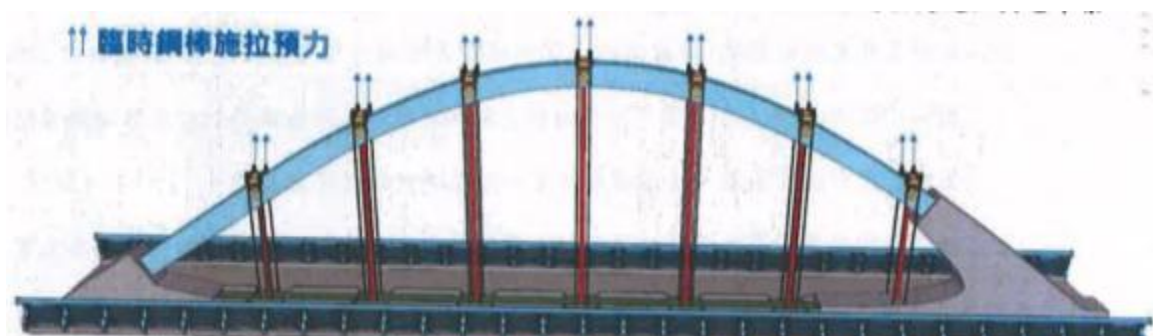
惟施工計畫對於臨時吊件的數量、固定方式及施拉預力與否，均與維護設計圖不符，導致受更換舊吊索之承载力僅部分轉移到臨時吊件，部分仍由其餘舊吊所承受，其餘吊索不堪負荷而發生連鎖破壞。




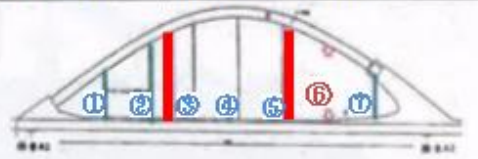

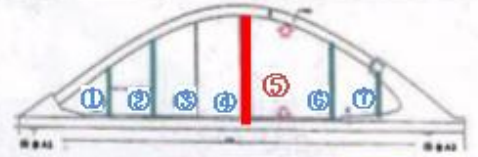

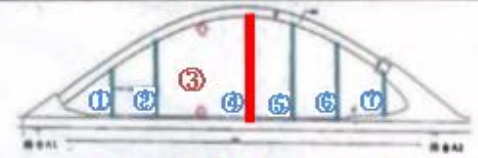
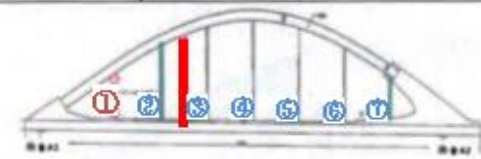

觀音坑溪橋吊索系統破壞模式(參考新北市政府鑑定資料)

主要缺失為施工計畫與維護設計圖不符，摘述如下：

- (一)臨時吊件數量不符：**維護設計內容係於 7 支舊吊索旁均裝設臨時吊件，維護施工廠商則僅在不同拆除階段，分別裝設 1 支或最多 2 支臨時吊件，甚至有兩個階段未設置臨時吊件。



維護設計內容係於 7 支舊吊索旁均裝設臨時吊件  
(參考新北市政府鑑定資料)

<p>內容說明 Step0 起始階段(施工前現況)</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>吊索編號</th> <th>No.1</th> <th>No.2</th> <th>No.3</th> <th>No.4</th> <th>No.5</th> <th>No.6</th> <th>No.7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>吊索No.1重量(kN)</td> <td>1107</td> <td>1124</td> <td>1140</td> <td>1150</td> <td>1150</td> <td>1132</td> <td>1115</td> </tr> <tr> <td>吊索No.1Py百分比</td> <td>35.2%</td> <td>35.7%</td> <td>36.4%</td> <td>37.5%</td> <td>36.5%</td> <td>35.9%</td> <td>35.4%</td> </tr> </tbody> </table>	吊索編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	吊索No.1重量(kN)	1107	1124	1140	1150	1150	1132	1115	吊索No.1Py百分比	35.2%	35.7%	36.4%	37.5%	36.5%	35.9%	35.4%	<p>內容說明 Step1 拆除6號吊索</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>吊索編號</th> <th>No.1</th> <th>No.2</th> <th>臨時吊</th> <th>No.3</th> <th>No.4</th> <th>No.5</th> <th>臨時吊</th> <th>No.6</th> <th>No.7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>吊索No.6重量(kN)</td> <td>1084</td> <td>1100</td> <td>0</td> <td>1140</td> <td>1200</td> <td>1410</td> <td>150</td> <td>0</td> <td>1104</td> </tr> <tr> <td>吊索No.6Py百分比</td> <td>34.1%</td> <td>34.7%</td> <td>0.0%</td> <td>35.3%</td> <td>39.0%</td> <td>48.0%</td> <td>3.1%</td> <td>0.0%</td> <td>35.0%</td> </tr> </tbody> </table>	吊索編號	No.1	No.2	臨時吊	No.3	No.4	No.5	臨時吊	No.6	No.7	吊索No.6重量(kN)	1084	1100	0	1140	1200	1410	150	0	1104	吊索No.6Py百分比	34.1%	34.7%	0.0%	35.3%	39.0%	48.0%	3.1%	0.0%	35.0%
吊索編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7																																																
吊索No.1重量(kN)	1107	1124	1140	1150	1150	1132	1115																																																
吊索No.1Py百分比	35.2%	35.7%	36.4%	37.5%	36.5%	35.9%	35.4%																																																
吊索編號	No.1	No.2	臨時吊	No.3	No.4	No.5	臨時吊	No.6	No.7																																														
吊索No.6重量(kN)	1084	1100	0	1140	1200	1410	150	0	1104																																														
吊索No.6Py百分比	34.1%	34.7%	0.0%	35.3%	39.0%	48.0%	3.1%	0.0%	35.0%																																														
<p>內容說明 Step1 拆除7號吊索</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>吊索編號</th> <th>No.1</th> <th>No.2</th> <th>No.3</th> <th>No.4</th> <th>No.5</th> <th>No.6</th> <th>No.7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>吊索No.7重量(kN)</td> <td>1102</td> <td>1117</td> <td>1140</td> <td>1157</td> <td>1161</td> <td>1140</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>吊索No.7Py百分比</td> <td>35.0%</td> <td>35.5%</td> <td>36.2%</td> <td>37.7%</td> <td>37.8%</td> <td>39.4%</td> <td>0.0%</td> </tr> </tbody> </table>	吊索編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	吊索No.7重量(kN)	1102	1117	1140	1157	1161	1140	0	吊索No.7Py百分比	35.0%	35.5%	36.2%	37.7%	37.8%	39.4%	0.0%	<p>內容說明 Step5 拆除5號吊索</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>吊索編號</th> <th>No.1</th> <th>No.2</th> <th>No.3</th> <th>No.4</th> <th>臨時吊</th> <th>No.5</th> <th>No.6</th> <th>No.7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>吊索No.5重量(kN)</td> <td>1170</td> <td>1190</td> <td>1207</td> <td>1210</td> <td>330</td> <td>0</td> <td>1000</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>吊索No.5Py百分比</td> <td>36.3%</td> <td>36.6%</td> <td>36.3%</td> <td>40.1%</td> <td>10.0%</td> <td>0.0%</td> <td>30.3%</td> <td>37.0%</td> </tr> </tbody> </table>	吊索編號	No.1	No.2	No.3	No.4	臨時吊	No.5	No.6	No.7	吊索No.5重量(kN)	1170	1190	1207	1210	330	0	1000	1000	吊索No.5Py百分比	36.3%	36.6%	36.3%	40.1%	10.0%	0.0%	30.3%	37.0%			
吊索編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7																																																
吊索No.7重量(kN)	1102	1117	1140	1157	1161	1140	0																																																
吊索No.7Py百分比	35.0%	35.5%	36.2%	37.7%	37.8%	39.4%	0.0%																																																
吊索編號	No.1	No.2	No.3	No.4	臨時吊	No.5	No.6	No.7																																															
吊索No.5重量(kN)	1170	1190	1207	1210	330	0	1000	1000																																															
吊索No.5Py百分比	36.3%	36.6%	36.3%	40.1%	10.0%	0.0%	30.3%	37.0%																																															
<p>內容說明 Step2 拆除2號吊索</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>吊索編號</th> <th>No.1</th> <th>No.2</th> <th>臨時吊</th> <th>No.3</th> <th>No.4</th> <th>No.5</th> <th>No.6</th> <th>No.7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>吊索No.2重量(kN)</td> <td>1400</td> <td>0</td> <td>274</td> <td>1270</td> <td>1340</td> <td>1180</td> <td>1110</td> <td>1100</td> </tr> <tr> <td>吊索No.2Py百分比</td> <td>48.4%</td> <td>0.0%</td> <td>11.1%</td> <td>43.8%</td> <td>39.9%</td> <td>36.5%</td> <td>35.4%</td> <td>34.7%</td> </tr> </tbody> </table>	吊索編號	No.1	No.2	臨時吊	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	吊索No.2重量(kN)	1400	0	274	1270	1340	1180	1110	1100	吊索No.2Py百分比	48.4%	0.0%	11.1%	43.8%	39.9%	36.5%	35.4%	34.7%	<p>內容說明 Step6 拆除3號吊索</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>吊索編號</th> <th>No.1</th> <th>No.2</th> <th>No.3</th> <th>No.4</th> <th>臨時吊</th> <th>No.5</th> <th>No.6</th> <th>No.7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>吊索No.3重量(kN)</td> <td>1380</td> <td>1390</td> <td>0</td> <td>1210</td> <td>330</td> <td>1207</td> <td>1110</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>吊索No.3Py百分比</td> <td>39.3%</td> <td>35.4%</td> <td>0.0%</td> <td>40.1%</td> <td>10.0%</td> <td>37.5%</td> <td>35.0%</td> <td>34.0%</td> </tr> </tbody> </table>	吊索編號	No.1	No.2	No.3	No.4	臨時吊	No.5	No.6	No.7	吊索No.3重量(kN)	1380	1390	0	1210	330	1207	1110	1000	吊索No.3Py百分比	39.3%	35.4%	0.0%	40.1%	10.0%	37.5%	35.0%	34.0%
吊索編號	No.1	No.2	臨時吊	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7																																															
吊索No.2重量(kN)	1400	0	274	1270	1340	1180	1110	1100																																															
吊索No.2Py百分比	48.4%	0.0%	11.1%	43.8%	39.9%	36.5%	35.4%	34.7%																																															
吊索編號	No.1	No.2	No.3	No.4	臨時吊	No.5	No.6	No.7																																															
吊索No.3重量(kN)	1380	1390	0	1210	330	1207	1110	1000																																															
吊索No.3Py百分比	39.3%	35.4%	0.0%	40.1%	10.0%	37.5%	35.0%	34.0%																																															
<p>內容說明 Step3 拆除1號吊索</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>吊索編號</th> <th>No.1</th> <th>No.2</th> <th>臨時吊</th> <th>No.3</th> <th>No.4</th> <th>No.5</th> <th>No.6</th> <th>No.7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>吊索No.1重量(kN)</td> <td>0</td> <td>1440</td> <td>110</td> <td>1187</td> <td>1187</td> <td>1120</td> <td>1100</td> <td>1110</td> </tr> <tr> <td>吊索No.1Py百分比</td> <td>0.0%</td> <td>39.3%</td> <td>0.5%</td> <td>37.7%</td> <td>37.0%</td> <td>35.0%</td> <td>35.6%</td> <td>35.5%</td> </tr> </tbody> </table>	吊索編號	No.1	No.2	臨時吊	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	吊索No.1重量(kN)	0	1440	110	1187	1187	1120	1100	1110	吊索No.1Py百分比	0.0%	39.3%	0.5%	37.7%	37.0%	35.0%	35.6%	35.5%	<p>內容說明 Step7 拆除4號吊索</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>吊索編號</th> <th>No.1</th> <th>No.2</th> <th>No.3</th> <th>臨時吊</th> <th>No.5</th> <th>No.6</th> <th>No.7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>吊索No.4重量(kN)</td> <td>1104</td> <td>1200</td> <td>1054</td> <td>0</td> <td>1010</td> <td>1200</td> <td>1110</td> </tr> <tr> <td>吊索No.4Py百分比</td> <td>34.7%</td> <td>38.8%</td> <td>30.3%</td> <td>0.0%</td> <td>30.2%</td> <td>38.0%</td> <td>35.0%</td> </tr> </tbody> </table>	吊索編號	No.1	No.2	No.3	臨時吊	No.5	No.6	No.7	吊索No.4重量(kN)	1104	1200	1054	0	1010	1200	1110	吊索No.4Py百分比	34.7%	38.8%	30.3%	0.0%	30.2%	38.0%	35.0%			
吊索編號	No.1	No.2	臨時吊	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7																																															
吊索No.1重量(kN)	0	1440	110	1187	1187	1120	1100	1110																																															
吊索No.1Py百分比	0.0%	39.3%	0.5%	37.7%	37.0%	35.0%	35.6%	35.5%																																															
吊索編號	No.1	No.2	No.3	臨時吊	No.5	No.6	No.7																																																
吊索No.4重量(kN)	1104	1200	1054	0	1010	1200	1110																																																
吊索No.4Py百分比	34.7%	38.8%	30.3%	0.0%	30.2%	38.0%	35.0%																																																

維護施工廠商分階段裝設臨時吊件，以紅色標示  
(參考新北市政府鑑定資料)

**(二)臨時吊件固定方式不符：**維護設計內容臨時吊件配置 4 根鋼棒，同時施拉可互相制衡保持穩定；維護施工廠商僅配置 2 根鋼棒，受力後容易產生轉角傾覆，導致臨時吊件成為不穩定結構。

內容說明	活動式拖梁配置圖	內容說明	臨時外置鋼棒系統 3D 圖
	<p>鋼拱肋</p> <p>4支鋼棒</p>		
<b>維護設計圖</b>			
內容說明	臨時高拉力鋼棒配置圖	內容說明	臨時外置鋼棒系統 3D 圖
	<p>栓接</p> <p>鋼拱肋</p> <p>2支鋼棒</p>		
<b>維護施工圖</b>			
內容說明	施工圖說(圖號 WP-1-002) 鋼結構臨時支撐系統詳圖	內容說明	施工圖說(圖號 WP-1-002) 臨時基座鎖固鋼拱肋鋼板

臨時吊件於維護設計圖與施工計畫差異(參考新北市政府鑑定資料)

**(三)臨時吊件未施拉預力：**維護設計內容之臨時吊件須施加預力，將舊吊索承载力完全轉移到臨時系統後始進行吊索更換。維護施工廠商未對臨時吊件之鋼棒施加預力，以致無法吸收舊吊索切除後部分力量，轉由其餘舊索承擔超額索力。

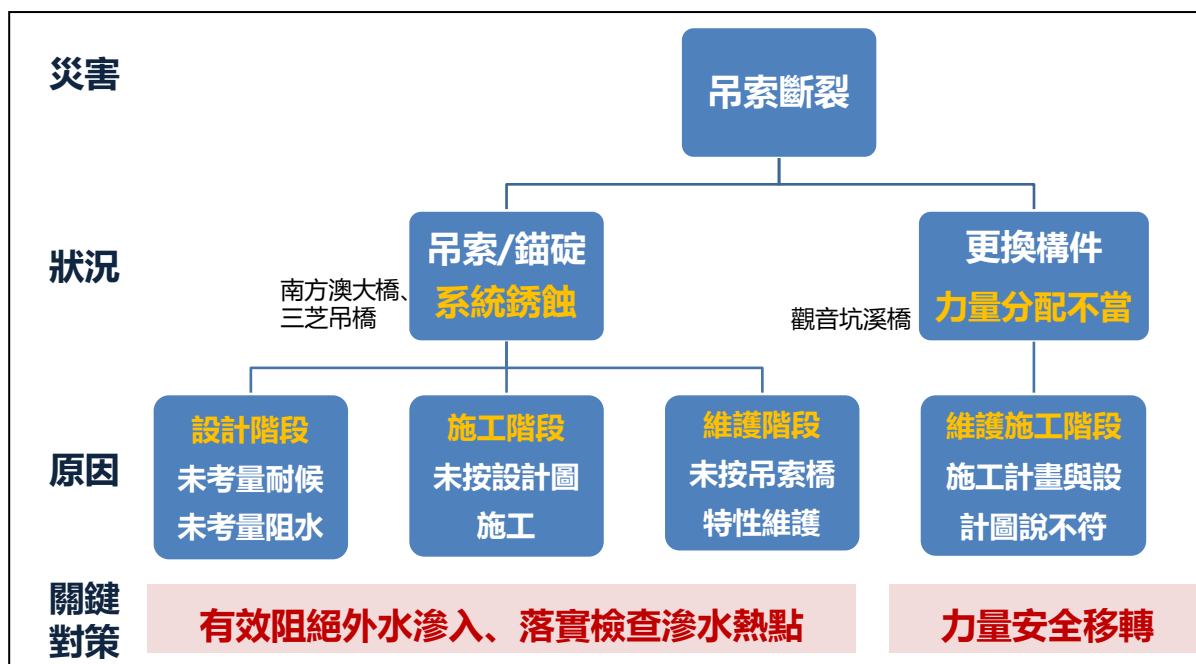


## 肆、防範對策及應注意事項

分析前述案例，災害發生狀況可歸納為「**錨碇系統(包括吊索)的銹蝕**」及「**更換構件力量分配不當**」，進一步分析其原因係「**設計/施工不當且疏於維護，致吊索錨碇銹蝕**」及「**維護施工計畫與設計圖說不符，致吊索不當受力**」。

關鍵對策在於**有效阻絕外水滲入、落實檢查滲水熱點**，並於更換構件時**確認力量安全移轉**至臨時支撐，故宜由設計、施工及維護階段考量多重保護。

本案提供各階段應注意事項之原則方向，考量個案特殊性，相關執行細節保留彈性，各機關得依個案特性因案制宜，避免錯誤重複發生。



失敗案例原因歸納及關鍵對策



## 一、設計階段應注意事項

對於吊索及錨碇系統，須依大氣腐蝕環境提高材料耐候性，並採有效阻絕外水滲入構件型式，且應於設計階段即提出維護管理作業計畫(包括檢測項目、檢測動線、檢測頻率及重要構件使用年限與更換方式)。

### (一)提高材料耐候性

吊索結構具強度高、斷面小及錨碇內部不易檢測等特性，且多以鋼材製作，故設計時應參考臺灣腐蝕環境分類資訊系統之調查分類結果(國內大氣腐蝕性分類，腐蝕性由非常低 C1 等級至非常高 C5 等級)，視環境特性適度提高材料耐候性(包括基材及表面處理)。

大氣腐蝕性分類表

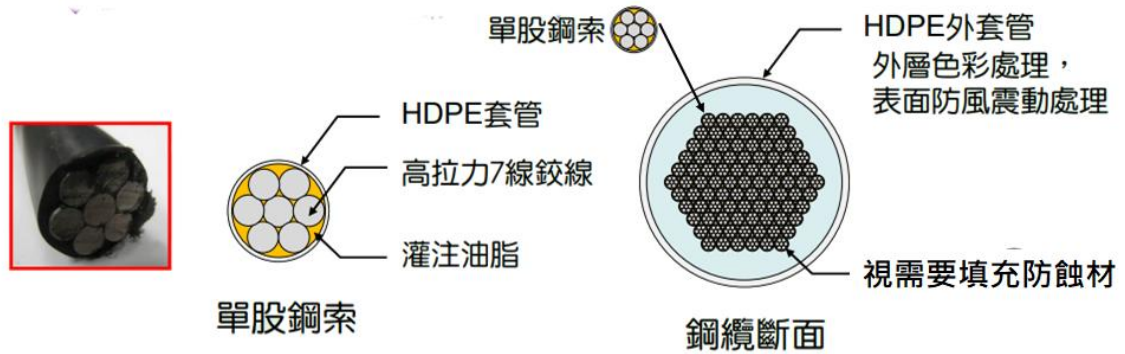
分類	腐蝕性	環境特色描述
C1	非常低	—
C2	低	低污染之大氣(鄉村)
C3	中等	都市、工業大氣、中度二氧化碳污染、低鹽度的海濱
C4	高	工業地區、中度鹽度的海濱地區
C5-I	非常高	有高溼度及侵蝕性大氣的工業區
C5-M	非常高	高鹽度的海濱及海岸區

### (二)阻絕外水侵入吊索及錨碇裝置

#### 1. 吊索(包括鋼絞線、單股鋼索及鋼纜)：

- (1) 鋼絞線：鋼材表面防蝕處理。
- (2) 單股鋼索：由數根鋼絞線組成，內部得灌注填充無機油脂、石蠟或其他防蝕材料，外層得披覆高密度聚乙烯(HDPE)套管。
- (3) 鋼纜：由數根單股鋼索組成鋼纜，內部得考量填

充無機油脂、石蠟、其他防蝕材料或採取密閉無填充，外部得披覆 HDPE 套管，外套管須保持水密性並設置適當滴水線，以達到截水及降低風雨造成之振動。



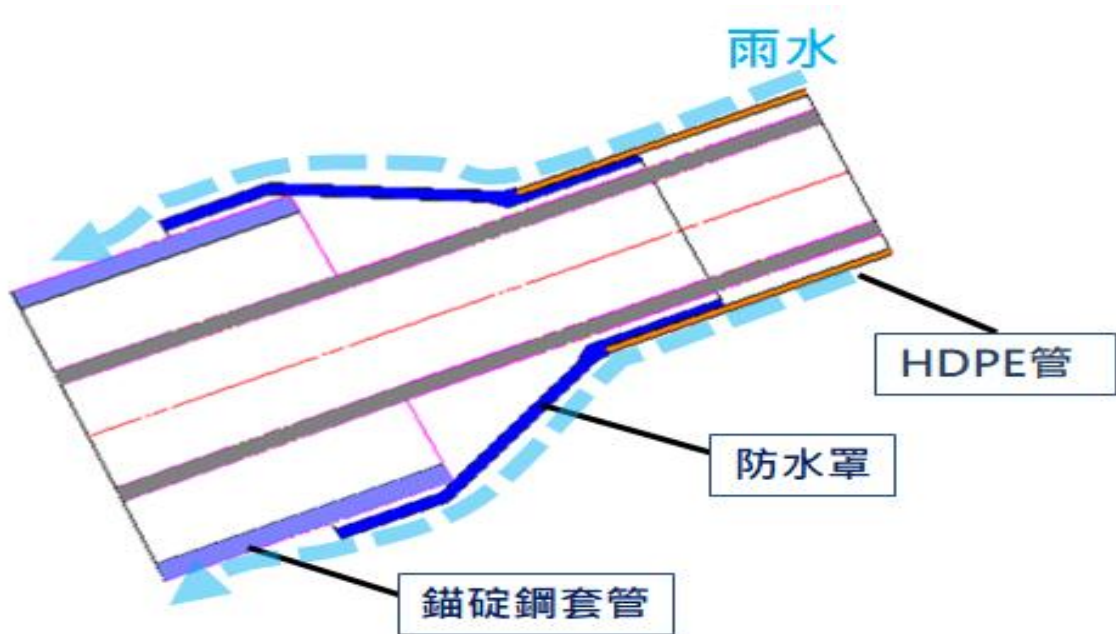
吊索防蝕構造(以 7 線鋼絞線為例，參考自中國土木水利工程學會資料)



吊索外部 HDPE 套管設置滴水線(參考交通部特殊性橋梁研習資料)

## 2. 錨碇裝置：

錨碇鋼套管上方應有防水機制，以設置防水罩為例，防水罩與吊索外部 HDPE 套管接合處應密合防水；順水流方向之接合方式，宜採「上大接下小」方式接合(例如外套管、防水罩與錨碇鋼套管)，降低外水順流至錨碇鋼套管風險。




錨碇系統上大接下小示意圖



錨碇系統上大接下小現場照片(參考交通部特殊性橋梁研習資料)

下錨端為例-防水罩與錨碇鋼套管接合方式差異(照片參考自交通部特殊性橋梁研習資料)

兩者比較	上大接下小	上小接下大 (須以填縫膠密封，且應注意填縫膠劣化)
設計方式		
效果差異		

### (三)設計階段即研提維護管理作業計畫

設計內容應設置檢測維修所需要之設施，以利人員及檢測儀器進出檢測，並依需要將監測系統及設備等需求納入設計圖說。

設計階段即應有維護管理作業計畫，內容應考量包含檢測項目、檢測動線、檢測頻率及重要構件使用年限與更換方式：

1. 檢測項目(如防水罩間隙之填縫材、錨頭漏油或銹蝕等)及監測項目(如吊索應力、應變或振動頻率等)。
2. 檢測維修時之檢測設備及動線，構件更換方式(如吊索更換年限及更換作法方式)。
3. 營運管理規定(如限重管理)。



## 二、施工階段應注意事項

工程團隊(含設計單位、施工廠商及監造單位)應互相勾稽、支援，確保設計內容妥適安全、施工計畫符合需求，且應赴現場執行任務，按圖施工，如有問題隨時反映。

### (一)互相勾稽、支援，確認設計內容妥適性及施工計畫符合需求

1. **設計廠商**：應於施工重點階段，赴現場瞭解施工現地情況是否與設計時所設定參數相同。
2. **施工廠商(含專任工程人員)**：應依設計圖說提出施工計畫送審，內容包括鋼纜結構系統、防蝕系統、施工流程及材料規格等，專任工程人員應查核施工計畫書，並於認可後簽名或蓋章，如有問題隨時反應。
3. **監造廠商**：監造廠商針對施工廠商所提施工計畫，應詳細審查其施工可行性、材料規格防蝕能力等是否滿足設計需求。

### (二)赴現場執行任務，按圖施工

1. **施工廠商團隊各現場監督人員**：
  - (1) **專任工程人員**：應親自到現場督察，進行專業判斷，召集相關人員解決施工技術問題，並確認設計圖說內容在施工上有無困難或公共危險之虞。
  - (2) **工地主任及職安人員**：應落實在場監督施工方式均符合規範及契約約定，並與監造人員進行確認，互相支援、勾稽，並反映問題。
2. **監造廠商團隊派駐現場人員**：應依權責赴現場監督施工廠商依圖說施工，並於各項檢驗停留點落實抽查(驗)並簽認。

### 三、維護階段應注意事項

維護管理作業計畫應於工程竣工後依實際施工資料修正研訂，維護單位應按維護管理作業計畫檢測易滲水及易銹蝕熱點，並由主管機關督導考核。倘須更換重要構件（尤其吊索及錨碇設備），應依維護設計圖說施工，並確認荷重能合理安全移轉。

#### (一)維護管理作業計畫應包括竣工圖說

維護管理作業計畫應於工程竣工後依實際施工資料修正研訂，內容應包括鋼纜結構系統、防蝕系統及材料規格，並視需要將吊索施工索力/長度數據、錨碇系統及監測系統等竣工資料納入維護管理作業計畫。

#### (二)特殊性橋梁應檢測特殊構件，尤其吊索及錨碇完整性

##### 1. 吊索：

吊索多以外套管保護，除以目視檢視外套管是否損壞外，可採詳細檢測方式長期追蹤應力變化趨勢，評估內部鋼絞線是否有劣化或異常情況。

相關檢測重點如下表

檢測項目	檢測內容
吊索	<ul style="list-style-type: none"><li>● 套管是否劣化、龜裂、破損。</li><li>● 防蝕材料是否滲漏。</li><li>● 鋼絞線是否銹蝕、斷面積是否減少或斷裂。</li><li>● 保護套管滴水線是否磨損。</li></ul>

註：吊索鋼絞線銹蝕、斷面積減少或斷裂，因防蝕保護致無法目視檢測者，納入詳細檢測評估，如索力振動(頻率)量(監)測。



檢查套管是否破損，接合處是否密合。

檢查是否滲水或填充物滲漏情況

特殊構件檢測重點(參考高屏溪斜張橋維護管理資料)



吊索外套管破損

吊索外套管破損

特殊構件檢測現場照片(參考交通部特殊性橋梁研習資料)

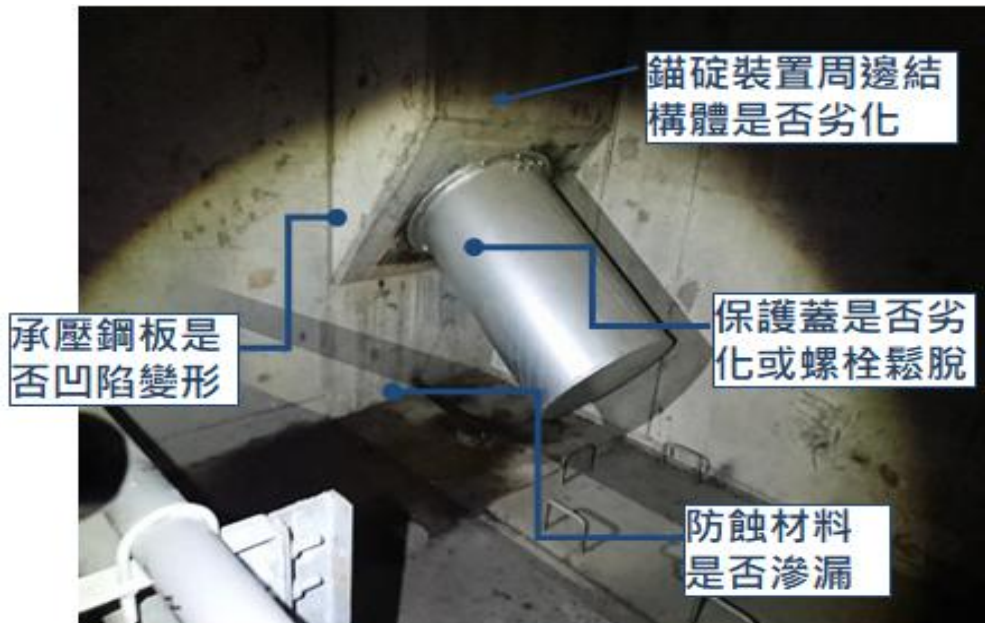
## 2. 錨碇裝置：

吊索套管與錨碇套管之接合處為易滲水熱點，惟其封材易受外在環境影響劣化滲水，故應作為巡查重點確認是否密接，錨頭不應有滲水及積水之情形。相關檢測重點如下表

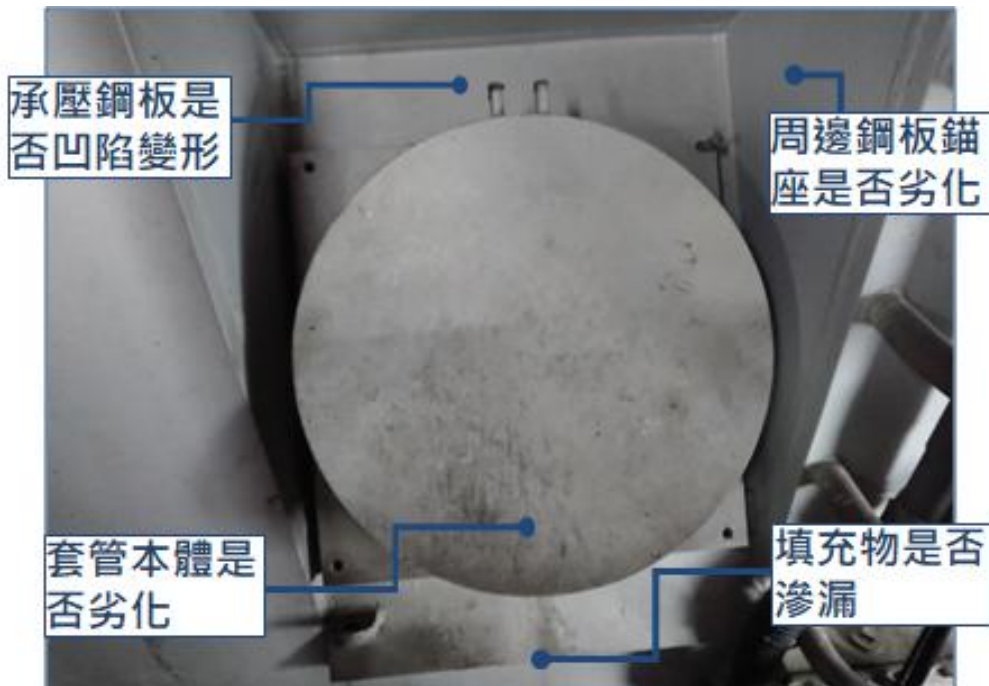
檢測項目	檢測內容
錨碇裝置	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 與吊索接合處是否密合，封材是否裂化。</li> <li>● 錨碇裝置表面塗裝是否完整。</li> <li>● 錨碇裝置周邊結構是否變形、破碎。</li> <li>● 承壓板是否變形。</li> </ul>

檢測項目	檢測內容
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 錨頭保護蓋是否破損、鬆動或脫落。</li> <li>● 錨頭防蝕材料是否滲漏。</li> <li>● 錨頭是否有銹蝕或積水。</li> </ul>

註：錨頭系統規格得視需要打開錨頭，若錨頭規格無法開蓋，應避免強行開蓋造成錨頭損壞。



特殊構件檢測重點(下錨端，參考高屏溪斜張橋維護管理資料)



特殊構件檢測重點(上錨端，參考高屏溪斜張橋維護管理資料)





特殊構件檢測現場照片(參考交通部特殊性橋梁研習資料)

### (三)應落實重車管理，橋面變形可能為吊索失效前兆，應確認吊索功能是否正常

吊索部分銹蝕後造成有效斷面減少，應力即會重新分配讓吊索產生應變；故例行巡檢倘有橋面下陷積水、AC 面層開裂或支承變形等情形，可能為吊索銹蝕斷裂之前兆，應釐清吊索是否銹蝕。透過重車管理，包括車量載重、車速控制、車距規範等，可延緩橋梁載重疲勞，提升橋梁耐久性。



橋面積水或開裂現場照片(參考交通部特殊性橋梁研習資料)



#### (四)管理單位應落實執行維護管理作業計畫，並由主管機關機關督導考核

「橋梁維護管理作業要點」已規定橋梁管理單位負責維護，應辦理例行定期檢測、特別檢測及詳細檢測；主管機關機關負責督導及考核，應管控所屬落實正確維護管理作業，如有異常狀況，應立即要求改善。

#### (五)更換構件施工時應確認荷重能完全移轉

更換構件時(尤其吊索等重要構件)，維護施工廠商施工應按維護設計圖施工，原則應將力量平穩安全移轉；如有須調整設計內容，應採更優化及更安全作法且須由第三方複核，始能按調整內容更換。

以更換吊索為例，步驟原則為：(1)力量由舊索平穩移轉至臨時支撐後維持應力平衡、(2)解除舊索應力後卸除舊索、(3)裝設新索、(4)力量由臨時支撐平穩移轉至新索後維持應力平衡、(5)解除臨時支撐應力後卸除臨時支撐。

承前，拆卸舊索過程中，承重力量會重新分配，但因其他吊索之健康狀況(受侵蝕情形)難以目視正確評估，故宜保守估算其承載能力，確認待拆卸舊索之荷重能完全移轉至臨時支撐，再進行更換。

## 伍、結語

- 一、本注意事項係以近期失敗案例為鑑，針對設計、施工及維護相關階段提出應注意事項，供各機關參考，降低重複致災可能性，以確保公共安全。
- 二、吊索型橋梁數量日益增加及伴隨橋齡逐年增加，後續將面臨吊索維護及置換課題，請各主管機關督促所屬注意辦理：
  - (一)設計階段，對於吊索及錨碇系統，須依大氣腐蝕環境提高材料耐候性，並採有效阻絕外水滲入構件型式，且應於設計階段即提出維護管理作業計畫。
  - (二)施工階段，工程團隊(含設計單位、施工廠商及監造單位)應確認設計內容妥適安全、施工計畫符合需求，且應赴現場執行任務按圖施工，如有問題隨時反映。
  - (三)維護階段，維護管理作業計畫應於工程竣工後依實際施工資料修正研訂，維護單位應檢測易滲水及易銹蝕熱點，並由主管機關機關督導考核。倘須更換重要構件，應依維護設計圖說施工，並確認荷重能合理安全移轉。