

自來水過河水管橋維護之研究

The Study of Aqueduct Maintenance

*黃義雄 **虞順逸

壹、前言

自來水一般埋設於地面下，以沿著道路埋管為多，在市區更需配合都市計劃道路埋管；過去管線遇河溝時，由於穿越困難且安全性不高，而且架橋費用甚高，甚少建造，因而儘量迴避。近數年來由於都市人口劇增，用水需求增加，都市計劃道路已成棋狀發展，過河均設有公路橋樑連接，水管線大多能藉著公路橋之興築，配合附掛水管，水管橋數目日益增多，甚至無法附掛於公路橋的獨立水管橋也有增加之趨勢。自來水管線漸已埋設成管網之供水系統，提高了生活水準，使供水品質再提昇，朝安全穩定供水之服務目標進展，而自來水過河水管橋為自來水設施，輸配水系統上重要節點之一，尤其是巨大口徑之過河水管橋，影響對岸市鎮大區域之供水甚巨。

水管橋不僅在施工建造上較埋管工程困難，工程費較高，由於它暴露在河川上，若平時未做良好的維護，一旦水管橋損壞斷水，不僅修護困難度高，將花費人力與材料費甚巨，修復之工作時間長且停水範圍廣，影響居民用水甚大，致引發了對如何做好過河水管橋維護管理之動機，提供如何做好檢查、養護、修護，以為日後水管橋維護管理之參考。

貳、水管橋型式之分類：

一、水管橋依結構分為上部結構與下部結構。(一)下部結構一般多以鋼筋混凝土橋台、橋墩等基礎構體施築，頂上設置支承座，用以支承上部結構。(二)上部結構多為鋼鐵橋架、支撐鐵架、管體及加強環等結構體，其型式有桁架式、簡支式、工字梁、朗架式、斜張式等。

二、水管橋之形式可分為三大類：

(一)附掛式水管橋：適用於中、小口徑水管，於公路橋樑新築時，配合施築附掛、吊掛水管之支撐架，再於適當時機吊裝水管。

1. 小口徑之附掛水管橋口徑在 $\phi 75 \sim \phi 400$ 之間為多，由於管徑小、荷重小，一般可附掛於公路橋樑欄桿外側，以不至影響公路橋樑施工、維護及載重等問題為原則，若於公路橋樑建造時未配合附掛水管，由於公路橋樑均有設計安全係數之考量，多數橋樑亦能於事後附掛小口徑水管。(如圖2-1~圖2-2)

2. 中口徑之吊掛形式，多置於公路橋樑版下樑間，由於中口徑水管($\phi 500 \sim \phi 1000$)管徑較大，荷重大、體積大，所佔空間大，無法以簡單支撐方式處理。(如圖2-3~圖2-4)

(二)獨立式水管橋：由於管徑大、荷重大、無法與施工中之橋樑合併處理興建；或自來水專用管線，無公路橋樑可供附掛；或既有之公路橋樑老舊，不堪負荷，上述幾種狀況就可考慮以獨立水管橋方式連接兩端水管。一般大口徑水管橋，多以鋼管為主要材料，由於

* 黃義雄：台北自來水事業管理處工程總隊正工程師
** 虞順逸：台北自來水事業管理處工程總隊工程員

鋼管勁度大，可做為橋樑結構體之一部份，橋墩數可減少，為專線輸配供水之用。（如圖2-5～圖2-7）

(三)共用橋墩或橋架結構體之水管橋：由於水管口徑巨大，無法吊掛於公路橋，又因河川排洪因素不能另設獨立水管橋時，即以配合公路橋興築之際，以共用橋墩方式施工。由於管線單位眾多，各種管線共同使用同一橋架結構，已成為近代公共橋樑之趨勢。如永福橋二條 $\phi 2400$ mm鋼架式水管橋，中間六座橋墩與永福公路橋共用橋墩，節省工程經費，並可配合施工，橋墩一次築造，減少施工困難，最重要的仍在於排洪斷面之考量。（如圖2-8）

三水管橋以其水管管徑大小，輸水量多寡，對於供水範圍影響程度有所不同，但任何一條水管橋一旦損壞斷水，該管線對岸將發生缺水。一般僅重視大管線之維護是不對的，小口徑之水管橋若受損斷水，其另一端即無法供水，不論管徑大小，其重要性在設計時，均應考量，且維護原則與觀念應與設計考量相當，同樣應予重視，並依水管橋材料性質之不同，做適當之維護工作。

四水管橋之水管材料不同，宜有不同之養護方式，如CIP管塗裝柏油即可，因其材質性脆，接頭與支撐需特別重視。DIP管在力學上抵抗強度較高，但較會生銹，以環氧樹脂柏油防銹漆塗裝，可維持較長時間。鋼管則更易產生銹蝕，需作週期性塗養護。依環境之不同，塗裝材料、方式與週期亦有不同，在維護作業之執行上亦有不同層次的困難。

五以往很多小口徑水管橋都不受重視，於完工塗裝後就未再維護塗裝，一直到鋼鐵支架生銹損壞，或其他外力所至之損壞，才去修復。平時維護塗裝費用少，若長時間不保養、修理、補強，祇好修復或重建，費時、花錢、還要長時間斷水，嚴重影響供水。

六水管橋鋼材表面塗裝需視天候而定，有些地區會受季節影響，太熱或太冷均不宜塗裝，在水管本身通水中，當溫差太大，管外表面會有濕氣水珠（一般也有晨露現象），維護塗裝時無法進行，需待氣溫與管內水溫差相近，鋼管表面不產生濕氣附著時，才能塗裝。水管橋在低於路面下或靠近河岸兩端橋台處經常有濕氣，不易風乾，經年有污染物滯留生苔侵蝕，青苔菌染比鐵銹較不易徹底清除，由於青苔繁延迅速，甚為棘手，洗滌後應隨即塗裝。

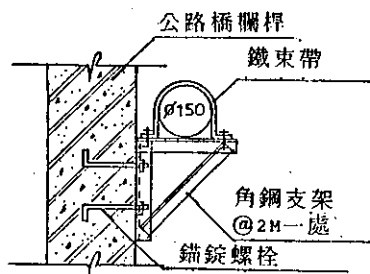


圖2-1 附掛於挹翠橋側水管橋 $\phi 150\text{m/m}$ DIP

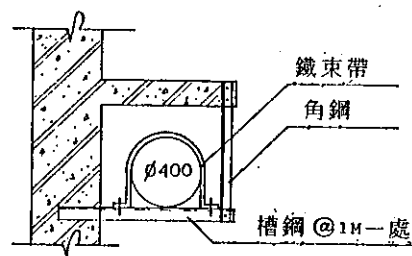


圖2-2 附掛於道南橋側水管橋 $\phi 400\text{m/m}$ DIP

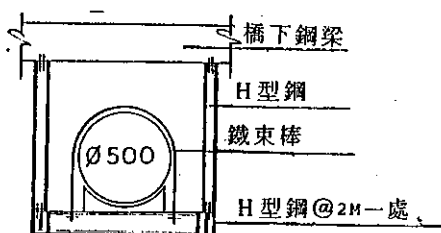


圖2-3 附掛於中興大橋下水管橋 $\phi 500\text{m/m}$ DIP

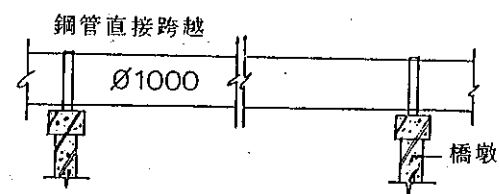


圖2-4 附掛於秀朗橋下水管橋 $\phi 1000\text{m/m}$ STP

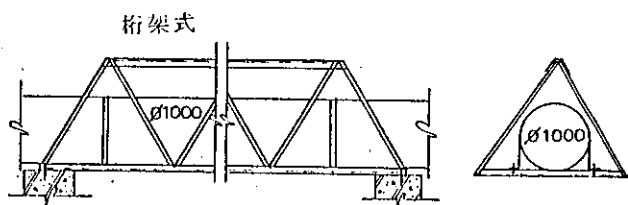


圖2-5 民族東路與新生北路交口獨立水管橋
 $\phi 1000\text{m/m}$ DIP

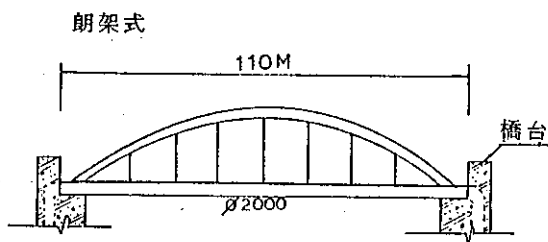


圖2-6 圓山水管橋 $\phi 2000\text{m/m}$ STP

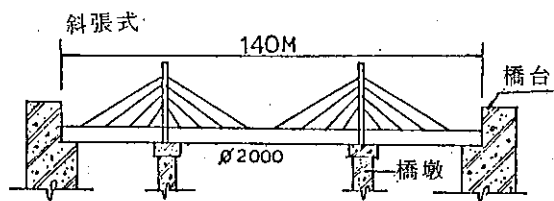


圖2-7 劍潭水管橋 $\phi 2000\text{m/m}$ STP

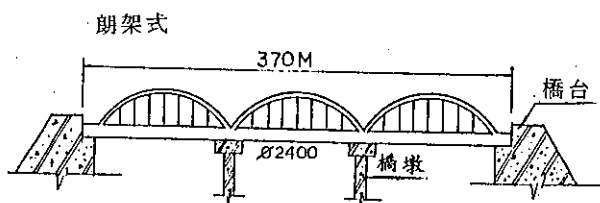


圖2-8 永福水管橋 $\phi 2400\text{m/m}$ STP

叁、如何做水管橋之維護檢查

一、依檢查性質分類：分爲一般檢查及特殊檢查。

(一)一般檢查：此種檢查爲經常性之作業，屬定期檢查，如發現支架生鏽、水管接頭變異、主構架螺栓鬆動、橋台橋墩破壞、支承損壞、可撓管或伸縮管受損等，應於平時定期檢查，並提出報告表（如表3-1、3-2），作爲保養修護之依據以免釀成重大損壞。

(二)特殊檢查：此種檢查是於災害（如地震、颱風、洪水等）發生後，需立即辦理檢查作業。如於洪水過後，應檢查橋梁基礎、橋台、橋墩有無沖刷淘空，或大裂縫等狀況並詳細記錄洪水位及提出報告表，以作爲修復之依據。

二、依檢查部位分類：分爲上部結構之檢查及下部結構之檢查。

(一)上部結構之檢查：

- 1.主要構材包括：主梁、構架、吊索、拉桿、拱肋、塔架等。檢查主要構材應特別仔細，因該構材之損壞，可能危及全橋。
- 2.繪圖：如有設計圖時，可在圖中註明何項構材爲壓力材，何項爲拉力材，以資查考。
- 3.編號：在檢查時，應將橋之接點，梁號等予以註明，以利分別查驗並避免遺漏。
- 4.次要構材：如撐材及其他用以加強橋梁剛度或分佈主材之荷重者，此項構材應與主要構材同時檢查。

(二)下部結構之檢查：

- 1.橋墩、橋台：應測量其水平及垂直向之尺寸，以與竣工時之資料相核對。
- 2.基礎之沖刷：應以油漆將高度繪註於橋墩頂面及橋台面上，以核對其沖刷深度。
- 3.基樁：在水面上、下之部位均應檢查。
- 4.支承：檢查橋墩時一併檢查。

水管橋 ^{定期}安全檢查報告表(一)
_{特殊}

管橋編號：_____管橋名：_____地點：_____管橋長：_____

管種管徑：_____結構型式：上部_____、下部_____

檢查日期 年月日	檢 查 項 目										處理意見及 費用概估	處理等級 判定	檢 查 人 員	處 理 經 過	
	橋 台		橋 墩		橋 面		支 承 座	伸 縮 管	其 他						
	台身	台基	墩身	墩基	水管	橋架			排氣閥	制水閥					排泥管

主管：_____ 複核：_____ 制表：_____

說明：一、檢查項目僅需填寫損害之結構物，良好者不必填寫。
 二、處理等級係依結構物各項目之損壞情況做一綜合判定。
 三、本表供定期或特殊安全檢查之用，依檢查性質將不適用之檢查名稱劃除。
 表3-1

定期
水管橋 安全檢查報告(二)
特殊

管橋編號：	橋名：	管種管徑：
檢查日期： 年 月 日	天候：	檢查人員
檢查地點：		
損壞結構物之名稱、 位置及程度。		
損 壞 原 因	繪 略 圖 或 貼 照 片	修 護 意 見

主管：_____ 複核：_____ 製表：_____

說明：一、本表係結構物損壞嚴重，足以影響整體結構物之安全時使用。

二、損壞結構物之名稱位置及程度項內，名稱係指水管、梁、拱架，位置指在支承處或中央處等，程度指如混凝土龜裂、剝落、鋼筋腐蝕露出、鋼材表面生銹..等。

三、橋基須保護者須詳核原橋竣工圖，查明入土狀況註明入土深度於損壞原因欄內。

(表3-2)

三、水管橋缺點檢查要領：水管橋之檢查人員應具備有工程知識，知道如何尋找缺點及減少橋梁壽命之潛在缺陷，如何注意微小之變化、適時提出報告予以修護。

(一)混凝土結構物缺點之檢查要領：

1.剝落：混凝土表面剝落程度輕重分四種詳如下表：

程度別	剝 落 情 況
輕度剝落	表面水泥漿散失小於1/4吋深，並曝露其粗骨材。
中度剝落	表面水泥漿剝落1/4-1/2吋，粗骨材間之水泥沙漿散失。
大量剝落	粗骨材及周圍之水泥漿散失，深度達1/2-1吋。
嚴重剝落	骨材及周圍之水泥漿均已散失，其深度超過1吋以上。

2.裂縫：混凝土中之裂縫呈線形，裂縫可能擴大至局部或全部之混凝土結構內，檢查人員應描述裂縫之形狀及寬度、方向和位置，並與以前檢查之紀錄比較，以研判該裂縫有無停止或增加，再核定該裂縫是否具危險性。

3.碎裂：混凝土碎裂大多呈圓錐形或橢圓形，自混凝土面成平行或傾斜之剝離，低窪之

邊緣常與表面成直角，有時會導致鋼筋曝露。

(二)橋台缺點檢查要領：

檢查橋台上之磨損、損壞與任何移動（包括滑動、傾斜等）或沉陷的跡象，以及橋台支承座中心處是否有裂縫、裂痕或破碎，檢查支承座及其邊緣是否有碎片或積水。

(三)橋墩缺點檢查要領：

1. 檢查橋墩有否腐蝕，基礎有否被沖刷，基樁是否暴露、傾斜或沉陷之現象。
2. 檢查混凝土是否有碎裂，特別注意水位線以下部份。
3. 檢查橋墩柱和帽梁有無裂縫。
4. 檢查支承座有無裂開與剝落等情形。
5. 檢查柱腳和墊板是否有裂縫、破碎或損壞等。
6. 檢查任何重要間隙，因橋墩移動而發生之變化。

(四)支承缺點檢查要領：

1. 支承對於橋梁之耐久性與安全性影響極為重大，施工裝置後之維護上，應避免蒙受塵埃，雜物存留，影響其功能，若小損不修，恐引起上、下結構破損，發生整座梁之極大損壞，列為檢查重點。
2. 活動支承之移動狀況及受損組件劣化與否。
3. 固定支承狀況及受損組件情況。
4. 錨錠螺栓、固定螺栓，有無破損或螺帽鬆動情形。
5. 支承墊座填塞水泥沙漿處有無龜裂情況。
6. 支承有無生銹蝕、腐蝕狀況。

(五)鋼材缺點檢查要領者：

1. 檢查鋼材之銹蝕者：鋼材表面生銹自深紅色至棕色，最初生成之銹呈微粒狀，逐漸發展為鱗片狀或薄片，甚至造成疤痕，檢查時應記錄鐵銹之特徵與範圍，並量測銹蝕穿孔之深與尺寸，生銹程度可分類如下：
 - (1)輕度生銹：油漆面有銹或鱗片狀。
 - (2)中度生銹：鋼料表面已銹成薄片狀，可明顯識別生銹之範圍。
 - (3)嚴重生銹：鋼料表面成數層薄片，甚至有穿孔者。
2. 檢查鋼材之裂縫者：鋼料之裂縫包括微細及較寬者，亦有通過整個構材者，任何形式之裂縫，對於構材之安全均屬重要，發現後必立刻提出報告，並記錄其長度、寬度及位置。
3. 鋼材有屈伏與扭曲：此類損壞大多由於溫度應變及超荷重而產生，並會波及鄰近鋼料及連接材。碰撞之損害大部份會造成屈伏，扭曲成切斷，從切斷處或缺口周圍可以尋找構材損壞之範圍，並儘可能量測其型式及位置。
4. 鋼構材產生應力集中：構材接點處如有應力集中現象時，油漆面會因較大應變而出現裂痕，螺栓對剪力和變形較為敏感。
5. 檢查埋置在下部結構混凝土中之結構鋼，其露出部份之生銹情形，以及是否有鬆動現

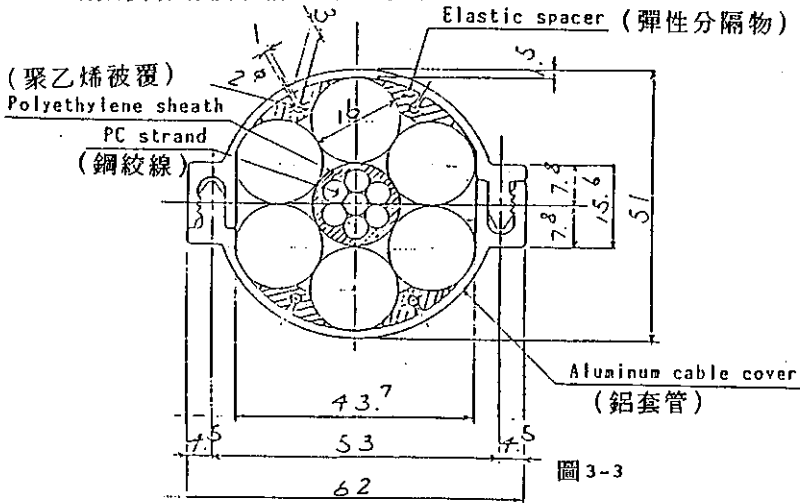
象。

6. 檢查鋼材是否有電解性腐蝕生銹的情形。

(六)油漆缺點檢查要領：油漆之主要目的在防止結構鋼材生銹腐蝕，橋梁構材表面油漆者應徹底檢查，並提出完整紀錄。長期曝露於空氣及化學物的影響下，油漆更需不斷地維護。(小如斑點的銹蝕亦會漸漸擴大破壞、碎片、鱗片、生銹之疙瘩或白粉，如果油漆薄皮已裂，應記錄其剝落之位置，或金屬露出之範圍及嚴重性。如需要修補之處很多，則需全部油漆。鋼橋表面曝露於常受有陽光與雨水侵襲處，其塗裝之油漆較易蝕壞，特別是螺栓周圍、梁端，組合構材之接合處，加勁材之非焊接端，與其他不易油漆處及容易儲留雨水之處。

(七)吊索之缺點檢查要領：(如圖3-3)

1. 檢查鋁套管有無損壞、變形或破壞。
2. 鋁套管外表塗有矽樹脂塗漆是否良好。
3. 鋁套管之伸縮接頭是否在預設範圍內。
4. 各吊索受力是否保持對稱均勻，並檢查底處端錨有無單獨鬆開未拉緊者。
5. 鋁套管有損壞情形時，應拆開鋁套管，檢查其內之聚乙烯包覆之預力鋼絞線有無受損。



四水管橋檢查方法與注意事項：

(一)檢查前之清潔工作應以鋼刷、刮板、氣筒等將橋上之灰塵、沈積物、銹、漆斑、生苔及鳥窠等予以清除，如用電子儀器檢查時，尤需清潔乾淨，增加其準備性。

(二)鋼材之檢查：

1. 對銹蝕檢查，要註明銹蝕嚴重之部位，以測徑器量測金屬之厚度，亦可以超音波法量測之。
2. 對裂縫檢查，要註明裂縫長度、尺寸及部位，並標明裂縫為細小、中型或開裂等不同情況。
3. 構材或支架之災害，於發生損害處，註明其撓度或間隙之大小。
4. 對拉桿、樞及支承部份，檢查有否銹蝕將影響連鎖效率。

5. 檢查螺栓，以鉸緊器試驗螺栓之緊度。

(三) 於混凝土構材之檢查：

1. 對鋼筋混凝土裂縫之檢查，以目力所及之裂縫且呈現銹跡者，應列於報告中。

2. 對混凝土剝落之檢查，以錘輕擊表面剝落之四週，以確定剝落之面積大小。

(四) 對水中檢查，於水中之及下部結構做檢查，應聘雇有經驗之潛水人員作下列之勘查記錄：

1. 註明混凝土（鋼）樁之嚴重損壞者。

2. 樁受損害後剩餘之斷面。

3. 查核橋基受沖刷之情況。

(五) 檢查之攀登上部結構之設施，以減少檢查人員之危險，設施之位置應能看到較多之構材面。

(六) 水管及副屬管件材料如排氣閥、伸縮管、可撓管、制水閥等之檢查。

(七) 綜合檢查注意事項：

1. 注意橋梁各部位之重要性，作適當之檢查計劃。

2. 依計劃事項予以妥當之安排。

3. 詳細觀察。

4. 對每一細節予以完整之查驗。

5. 作有系統性的查驗，檢查工作時要注意天候及組員作業之安危，得順利將檢查情形提供養護、整修或改建之參考。

肆、如何進行水管橋之保養與維護：

前章對於橋梁之檢查工作，業經仔細列出，事實上養護工作之良窳，全在於檢查工作的徹底執行，如發現任何缺憾，始可對症下藥，予以保護或修護。檢查後，發現之缺點，可逐一列出，但修護則依次序辦理，其中有主要與次要兩大類。主要之缺憾，將影響橋梁之整個穩定度，在修護或補充材料時，需支持全孔，尚有部份缺憾需特殊技術處理者；而次要缺憾是橋梁中之小缺點，不會導致橋梁倒塌或影響鄰近構材，較易修護者。

一、主要缺憾：

(一) 損壞之支撐、鋼梁或構架、構材等。

(二) 混凝土構材裂縫或剝落。

(三) 樁冠、柱或樁之壓損。

(四) 構架結點弦材之損壞或減弱。

二、次要缺憾：

(一) 補充支撐之不適當。

(二) 螺栓鬆動。

(三) 橋墩或橋架附近之不當堆積物。

(四) 支承或弦材附近之髒物及沈積物。

(五) 不當之附掛物。

- (六)機動支承缺少潤滑劑。
- (七)構架材之不正常震動或鬆動。
- (八)主要之沖刷問題。
- (九)鋼構材未油漆。

三、修護之材料與次序：

不論主要或次要之缺憾修護，均應依照規範之規定辦理之：

(一)用環氧劑修補混凝土之孔隙及裂縫：

環氧劑是由兩種材料混合合成，可使混凝土或鋼材之附著力非常強固，可用於一般構造物之修補用、黏結用，亦可填於空洞內。環氧劑之兩種材料需予以小心按比例混合於容器內，應用前應徹底拌合，拌合之環氧劑之有效時效，依用料時之氣溫而變，一般拌合後即發生化學作用，而僅在數分鐘內有效，但如加熱使材料暖和，硬化之時間則可延長數倍，故有效時間之長短，可由溫度控制之，對適當之保養而言，環氧劑至少應保持溫度數小時為妥。使用一種塗油之噴鎗，可噴射環氧膠進入裂縫或空洞。

環氧砂漿係前述之二劑材料外，另加砂及石子，對於拌和骨材與膠之方法，可利用機動拌合機處理之，骨材可緩緩加入，直至滿意為止，其比例約為四～十份骨材與一份膠劑。

(二)混凝土與鋼筋

混凝土應用於所有重要工程時，均需予以震動，骨材應清淨及級配良好，配合時，水份應適當控制，澆築混凝土及濕治期間，應特別注意模板之正確以及有無漏漿等。

水泥漿之應用，通常為水泥漿與砂成 1：3 之比率，再加適當之水。水泥漿或混凝土中，可加入少量之氯化鈣，以增加凝固之速度，通常以不超過 2% 之水泥量為原則，其他附加劑可經工程司核准後使用。

當注入新混凝土於舊混凝土前，應將混凝土之表面鑿毛深入 1/2 吋以上，沿混凝土邊理，並打除所有鬆動碎塊，再以砂磨或鐵絲磨表面後，澆入新水泥砂漿或混凝土。新混凝土或砂漿之顏色較深，為使顏色一致，應將所用之水泥之 2/3 用灰水泥，1/3 用白水泥。所有之水泥漿或混凝土應濕治七天或注以無色不透水保養劑。

(三)鋼料

鋼構造物之構材如發生缺憾，可用更換、加固、銲接或栓接等方法整修之。電銲則必須以合適之電銲人員並經考試合格須辦理之。

伍、鋼材結構體之維護塗裝

大型水管橋及一般附掛鑄鐵管於公路橋梁之支架，管橋上部結構多以鋼材為主要材料，故針對鋼材結構體之維護做詳細敘述。

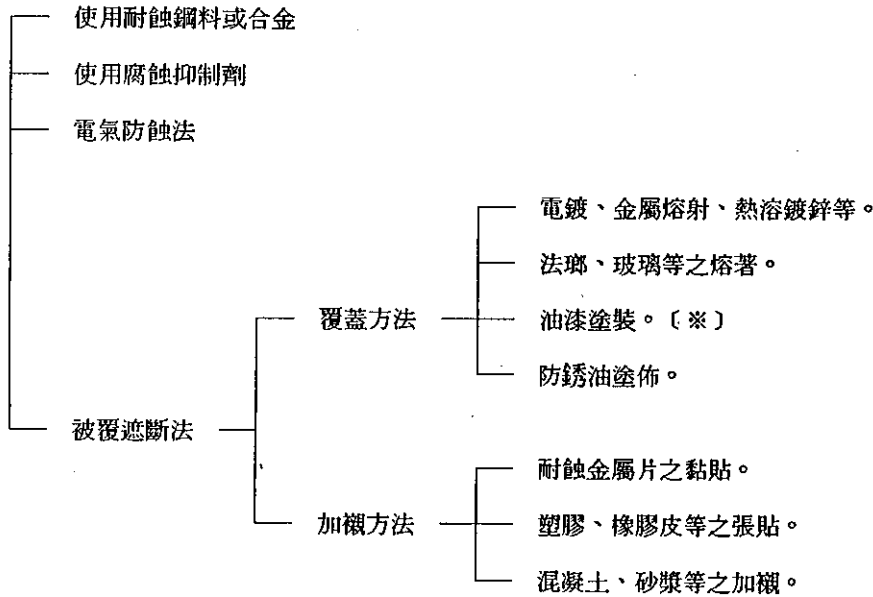
儘管鋼結構具有多重優點，由於鋼材無法避免銹蝕，使得對鋼結構之維護保養問題，甚為困擾。尤其台灣位處亞熱帶海島型氣候，腐蝕問題確實不容忽視，我們若能對鋼結構之腐蝕特性，防蝕塗膜劣化的原因及防蝕方法等有正確的認識，必能減少腐蝕之損失及維護管理上的困擾。

一、鋼材腐蝕的原因與防蝕的方法：

(一)腐蝕的原因：

腐蝕是金屬與周圍環境發生化學或電化學反應而使金屬產生損害的一種自然反應。鋼材存在於自然環境，因有氧與水共存而產生腐蝕，氣溫、濕度、降雨量、二氧化硫濃度、海鹽粒子及其他腐蝕性物質，是支配腐蝕進行速度的重要因素。由於近年來都市化與工業化的急速發展，使得空氣中的腐蝕因子大量增加，腐蝕問題更值得大家重視。

(二)防蝕的方法：



上列防蝕方法中，以使用耐蝕鋼料及油漆塗裝者為多，其中以油漆塗裝最簡單，有效而且經濟，同時也能收到美化效果，油漆塗裝為目前最普遍採用的方法。

二、鋼材塗裝前表面處理：

鋼材表面有黑皮、鐵銹、水份、油污或其他附著物，如不予除去即塗裝油漆，縱使油漆再好也不能發揮其功效。做適當之表面處理，比選擇油漆品牌更重要。

表面處理的方法有五種：①噴砂法②酸洗法③電動鋼刷④手工具鋼刷、鏟除法⑤鐵鏈敲打法。以噴砂之效果為最佳，惟在現場使用噴砂處理有困難，仍以鋼刷方式處理為最適用。

表面處理除銹度以瑞典標準SIS、ST2以上至ST3 的程度為要求。表面處理的粗糙度，在獲得較佳之附著性，但鋼板表面太過粗糙，為了填滿粗糙之凹面，將消耗多量之塗料，而凸處亦容易產生膜厚不足的現象，而導致早期銹蝕，粗糙度太小，反而減低油漆之附著性，因此表面處理之粗糙應適度。

三、維護塗裝：

油漆膜經過一段曝露時間之後，因自然的氣候接觸而腐蝕，以及機械性破壞，產生漆膜老化與損壞而生銹及失去防銹功能，必須做週期性的補修塗裝，以維持設施的完整與正

常作業。

修補塗裝應考慮新塗料與舊漆膜之附著性問題，許多異種塗料因性質不同，降低漆膜間之相溶性，容易引起漆膜間之層間剝離。

四禁止塗裝油漆之情況：

- (一)塗裝場所氣溫在5℃以下或濕度85℃以上時。
- (二)塗裝時或塗膜乾燥前有降雨、強風之虞時。
- (三)夏季陽光照射鋼板表面溫度昇高，以致塗膜施工後有發泡之虞時。
- (四)其他經判斷有不利於塗膜乾燥、污染或影響附著等環境條件存在時。
- (五)油漆塗裝當下一層油漆未完全乾燥時。

五維護塗裝時期之判定：

塗裝劣化至何種程度才是維修的適當時期呢？

這個問題因涉及鋼結構物之規模、環境條件、施工難易度、使用年限及經費等因素，很難有一絕對的標準。不過，一般認為塗膜粉化並開始有點狀銹蝕時（銹蝕發生約佔全面積之0.5 %時）是維修塗裝的適當時機。

為使能進一步了解維修塗裝時期之判定、特以日本國有鐵路之「塗膜劣化度判定基準」說明之。該基準將塗膜劣化現象分為剝離、龜裂、起泡、生銹、粉化等五種，再根據其劣化程度分為6個等級，製成一個評分標準表（如表5-1），並附有彩色照本樣本對照。若各種劣化評分分數累計達25以上，即可判定需作維修塗裝。

若以經濟性為評估依據，則依日本阪神道路公園之研究報告，維修塗裝以6年為週期最為有利（圖5-1）。

此外，日本道路協會鋼橋塗膜劣化度判定標準如表5-2所示，亦可供作橋梁等陸上鋼結構物判定塗膜劣化程度之依據。

一般維修塗裝可分為①全面性維修塗裝②局部性維修塗裝③應急性維修塗修等三類。將其維修塗裝時期之判定說明如下：

(一)全面性維修時期之判定，可依前述「銹蝕之發生面積佔全面積之5 %程度」時為準。但

劣化度 劣化現象	1	2	3	4	5	6
剝離	2	4	6	8	10	20
龜裂	3	6	9	12	15	30
起 泡	5	10	15	20	25	50
銹 蝕	10	20	30	40	50	100
粉 化	判定已粉化中者：3分 可見底漆程度之粉化者7分					

表5-1 塗膜劣化判定基準（日本國有鐵路）

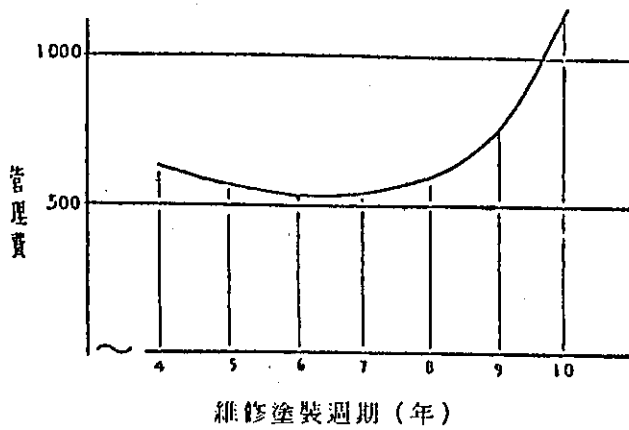


圖5-1 維修塗裝週期與管理費用之關係

劣化度(1)	生銹情況嚴重，塗膜龜裂起泡、剝落大致全面發生。
劣化度(2)	部份的點狀生銹和塗膜的龜裂、起泡、剝落發生。
劣化度(3)	生銹發生幾乎沒有，只有塗膜變色、粉化現象。

表5-2 日本道路協會鋼橋塗膜劣化度判定標準

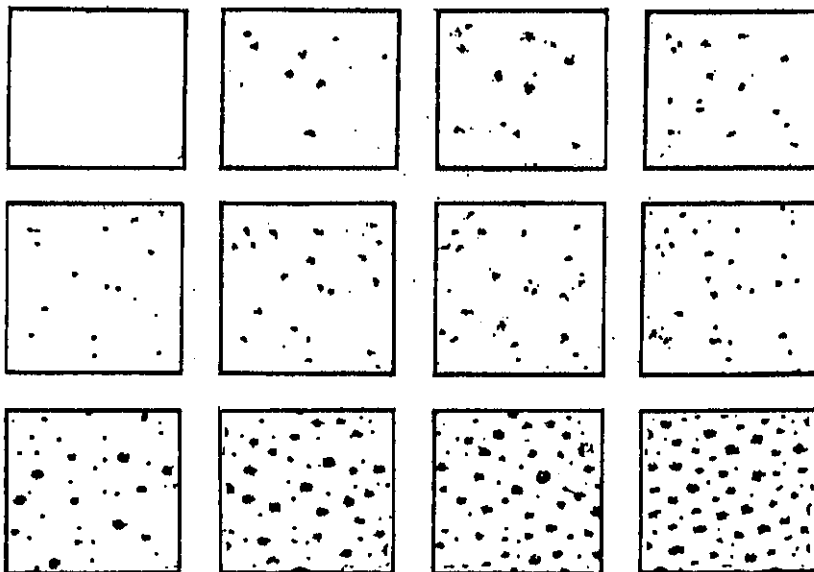


圖5-2 美國SSPC 銹蝕發生程度評定標準

是若為除去銹蝕及劣化塗膜所需作表面處理面積，已達全面積之 5~30% 時，宜考慮作全面維修塗裝工作。銹蝕發生程度之判定標準，可參考美國 SSPC 之規定（如圖 5-2）。

(二) 腐蝕並非整體結構物同一速度進行，局部性的腐蝕將使構件產生缺陷，而影響整個結構物之使用年限。因此，如能對腐蝕顯著部份，實施局部性或應急性之維修塗裝，將可延長全面性維修塗裝之期間。鋼結構物在例行性檢查或作其他調查時，如發現鋼料已有局部性腐蝕現象時，即可視實況需要，判定為局部性維修或應急性維修塗裝之時期。

六 維護塗裝系統之選擇：

維修塗裝適用之油漆系統，以與舊塗膜相同之塗裝系統為佳，但因維修塗裝係在現場架設施工，故難有理想之表面處理，且亦受環境因素影響。因此，在選擇塗裝系統時，應配合現場之各項因素，才能決定。

七 維護塗裝方法：

(一) 補修塗裝前必須先確定並依據塗膜劣化，損傷之程度來決定補修塗裝的表面處理方式，塗料系統及施工方法。一般塗膜之損傷度可劃分為 A、B、C 三類。

損傷度 A：廣範圍的損傷、鋼材外露、必須噴砂處理時。

損傷度 B：局部小部份的塗膜損傷、傷及底漆、有點、線狀鋼材外露生銹時。

損傷度 C：局部塗膜損傷、劣化、未傷及底漆、或中漆時。

(二) 塗膜損傷之補修塗裝，其劣化部的表面處理，及塗漆的範圍，理想之表面處理範圍，以缺陷部的外圍算起向四周擴大至 1~5 公分，塗裝補漆範圍宜擴大至 5~10 公分。

(三) 由於損傷度不同，其補修之防銹底漆：

1. 於損傷度 A 時：採用厚塗型環氧樹脂有機鋅粉底漆，作為鋼材表面之第一道防銹層，並儘量避免覆蓋於舊漆膜上，防止降低漆膜附著力。無機鋅粉底漆雖有高度的防銹性能，但因其要求之表面處理較高，且附著力低於有機鋅粉漆，較適用於新品鋼材工廠製作，不適用於修護塗裝。

2. 於損傷度 B 時：應採用厚塗型環氧（非鋅）底漆，作為局部小部份點、線狀之鋼材抑銹防銹層，因環氧非鋅底漆之滲透力，層間附著力優於環氧樹脂鋅粉底漆。

3. 於損傷度 C 未傷及底漆時：因塗膜傷及中漆，則底漆長期曝露於大氣中，底漆將呈輕微老化現象，又受表面處理影響，亦會傷及底漆之表層，故於塗刷中漆之前，宜加塗一道環氧樹脂（非鋅）底漆，以確保漆膜之壽命。

八 鋼橋之保養基準，塗料老化與顏色衰退為自然因素，就防蝕塗裝之主要目的而言，一為「保護鋼體，減少腐蝕損失」，其次為「改善外觀」，故適切指定塗裝保養計劃，才能達到保護鋼體，保持美觀之目的。

陸、水管橋維護管理之效益：

水管橋建造若不予維護保護，使用年限約在十幾年以內，尤其鋼材一但生銹腐蝕，日益嚴重，若於三、五年內不保養，繼續任生銹，再過幾年後，銹蝕將加劇浸透腐壞，當抵抗荷重不足時，終將損壞而不能使用，再想要維護就太慢了。

在平時做好檢查維護工作，水管橋將可正常運作 50 年以上，維護費僅為重工程費的 1/3 ~

1/2，茲將它的有形和無形效益敘如下：

一、有形效益：

水管埋在地面下，有相當深厚之保護層，DIP（球狀石墨鑄鐵管）壽命50年，在設計埋設可使用20年以上，經過河川以架橋方式水管橋跨越輸水方式，依靠橋梁之基礎、墩柱、橋架之支撐，不但工料費大，一但損壞，拆除重建之費用要比平時維護費高。以永福水管橋為例，其建造費一億二仟三百萬元，一座大型水管橋要有50年之使用年限，若每5年塗裝一次，十次之維護塗裝費用需七仟萬元，整修鋼管橋如新，所需經費約為重建工程費之半，經濟有效。

二、無形效益：

水管橋之設置，因費用高，施工困難度大，又需維護保養，過河水管橋一般都為單向輸送，一但水管橋損壞斷水，停水修復時，在河的另一方供水區域停水影響範圍廣大，且於安全用水實施後，水壓提高，水管損壞流失水量比以往多，將嚴重影響附近地區用水，當水管橋損壞後做修復或重建，所需之工料、準備時間與施工期，要比道路下之埋管修漏困難且時間長，對用戶供水服務品質上產生不良狀態。徹底做好水管橋之維護保護，平時注意檢查，祇要花一點時間與經費，可減免斷水之苦。

柒、結論與建議

一、自來水管線沿道路埋設為多，過去市區道路過河造橋不多，而自來水管線往往受限於河流與鐵路，儘量避免穿越，形成各自分區之樹狀系統輸水。近年來都市計劃漸具模式，道路橋梁興築漸多，管線埋設配合道路橋梁裝設附掛水管橋，使得形成完整的管網作用，提高供水功能。水管橋之建造係輸水幹線之重要關鍵點，成為必要之趨向。

二、早期小口徑過河水管橋，大都依靠著公路橋梁欄杆外側，以鐵架支撐附掛水管，近來由於都市人口密度大，需水量增多，水管逐漸採用較大的口徑，需要配合於公路橋梁建造時，附掛於長跨橋梁之梁桁間，此種方式可適用於支撐吊掛中、小口徑之水管；大型口徑之水管，因管體大、荷重大，無法以附掛或吊掛方式配合公路橋梁施築，就有少數獨立興築的水管橋。唯不論管徑大小，獨立水管橋或附掛水管橋，平時需持續維護，不然遲早會損壞，故水管橋必須確實做好維護保養。

三、水管橋維護保護作業須及早進行，使損壞減至最低程度，完整的維護工作建立在健全的管理制度。維護首在檢查工作之徹底執行並做正確的檢查報告，提出如何做保養，修護或修復之建議，使水管橋在良好的維護下，發揮輸配水之正常功能，維護之效益顯然可見。

四、水管橋維護管理應制度化，各水管橋之基本資料要按地區編號、建檔、建卡作業，以為列管。

五、訂定檢查報告表，以維徹底執行檢修作業，茲研擬定期或特殊安全檢查報告表(一)、(二)兩式（參見表3-1，表3-2）。水管橋檢查每年至少一次，需將檢查報告表陳機關首長核定，並作追蹤處理。

六、按年編訂維護管理水管橋之經費預算，由各管理維護單位編製施工預算書、發包及施工監督工作。

七將水管橋上部結構鋼材之維護塗裝分為如下三大類：

(一)巨大獨立水管橋以環氧樹脂防銹漆塗裝，五年一週期。(如表7-1)

(二)中口徑附掛於公路橋梁版下之水管橋，以環氧樹脂漆塗。(如表7-2)

(三)中、小口徑附掛於公路橋欄桿外側之支撐鐵架者，宜於三年內塗裝原維護系統之油漆。(如表7-3)。

八水管橋維護預算經費之預估，參考國內外之經驗，獨立巨大型水管橋每一週期維護費約為造價之10%，(僅塗裝養護費用約為6%)。中、小型吊掛式水管橋者，每一週期維護約為造價之5~7%。(僅塗裝養護費用約為3~5%)。

九為日後水管橋維護上方便實惠計，於設計時可考量將中、小口徑水管橋之附掛支撐鐵架板厚加大，或型鋼加大一號，可適用於管徑放大時仍可使用，或持久使用。目前漸鼓勵採用不銹鋼板支撐架或熱浸渡鋅鋼材，可免經常週期性做塗裝之麻煩，雖然初設經費大，但終期總費用較少。

十水管橋設置處通常比其兩端水管埋在道路下為高，應在水管跨橋之最高處裝置排氣閥，使管內空氣順利排逸，免有縮小水流斷面，產生壓縮，真空負壓等不當輸水；而且管線於過河處正好也是施作排泥管之適當位置。水管橋兩端橋台或固定台處，宜需設置伸縮可撓管，以防下陷脫落。

十一獨立巨大型水管橋之橋墩、橋台需作定期水準高程測量，注意其高程有無變化，以保持水管橋之穩固。

十二本次探討研究，在使從事自來水業務之工作同仁，初步對於「水管橋維護管理」之重要性有所認識與重視，並研擬維護檢查、養護與修護之方式與方法等資料予作業人員參考，祈望各配水管維護管理單位能早建立制度規範，防患未然，倡導保養重於修護，修護重於修復，重建之理念，確實做好水管橋之維護管理工作，達到安全穩定用水之最高供水使用。

表7-1

塗系料統	施工順序	塗料規格	標準塗佈量 gcm/m ² /回	油漆次數	最少乾膜厚度	油漆間隔	調薄劑	備註
環氧樹脂系	補修及表面處理	生銹、銲接及損壞部份應補修並處理至 $\geq\text{Sp-3}$ 以上。						
	底漆	厚塗型有機鋅粉底漆，柏林 Emercote Toho或永記EP-03	750 無氣噴塗法	1	75 μm	24小時以上 +30天以內	有機鋅粉系	
	中漆	Epoxy-polyamide orimer, BD .Berlin Emercote Ar-91op-R .Toho NO.113 3306 HB或 Ep-02 Epilux 4	560 無氣噴塗法	1	75 μm	24小時以上 +30天以內	Epoxy- Polyamide Thinner	應先塗以中間粘著層以防止中間層發泡
	面漆	Polyurethane面漆，柏林 Emercote I-300, Toho No. 877-600或永記UP-04 Urelux Finish Enamel	160 無氣噴塗法	1	30 μm	—	Epoxy- Polyamide Thinner	應使用不變黃型聚胺基甲酸酯塗料
	面漆	Polyurethane面漆，柏林 Emercote I-300, Toho No. 877-600或永記UP-04 Urelux Finish Enamel	160 無氣噴塗法	1	30 μm	—	Epoxy- Polyamide Thinner	同上

表7-2

塗料系統	工程種類	塗料施工順序	塗裝次數	塗佈面積 m ² /GAL	乾厚膜度 μ	塗裝間隔		使用溶劑	備註	
						最低	最高			
環氧樹脂系	舊鐵構造物工程	1	表面處理銹蝕部位處理	SIS-St3 以上 (舊漆膜全面砂磨)						適用於酸電鍍工廠
		2	紅丹漆	1	25	50	8小時	60天	調薄劑	銹蝕部位修補
		3	防銹漆	1	25	50	8小時	60天	調薄劑	銹蝕部位修補
		4	面漆	1	25	40	8小時	5天	調薄劑	銹蝕部位修補
		5	面漆	1	25	40			調薄劑	全面塗裝
	新建鋼結構工程	1	表面處理SIS-Sa2以上							
		2	紅丹漆	1	25	50	8小時	60天	調薄劑	適用於酸電鍍工廠
		3	防銹漆	1	25	50	8小時	60天	調薄劑	
		4	面漆	1	25	40	8小時	5天	調薄劑	
		5	面漆	1	25	40			調薄劑	

塗料系統	工程種類	塗料施工順序	塗裝次數	塗佈面積 m ² /GAL	乾厚膜度 μ	塗裝間隔		使用溶劑	備註	
						最低	最高			
底面塗漆： 鋅粉、優麗漆、漆塗料	橋梁防蝕工程	1	表面處理SIS-Sa2 ¹ --- 2						新 建 用	
		2	鋅粉漆	1	25	50	8小時	180天		調薄劑
		3	防銹漆	1	25	50	8小時	60天		調薄劑
		4	優麗漆面漆	1	25	40	8小時	5天		調薄劑
		5	優麗漆面漆	1	25	40				調薄劑

表7-3

塗料系統	工程種類	塗料施工順序	塗裝次數	塗佈面積 m ² /GAL	乾膜厚度 μ	塗裝間隔		使用溶劑	備註	
						最低	最高			
油性	修護 防腐 構造 工程	1	表面處理S1S-St3以上	(銹蝕部位處理)						
		2	紅丹漆	1	30	40	6小時	90天	松香水	銹蝕部位修補
		3	紅丹漆	1	30	40	6小時	90天	松香水	
		4	各色調合漆	1	30	35	10小時		松香水	
		5	各色調合漆	1	30	35			松香水	全面塗裝
	新建 工程	1	表面處理S1S-Sa2以上	1						
		2	紅丹漆	1	30	40	6小時	90天	松香水	
		3	防銹漆	1	27	40	6小時	90天	松香水	
		4	各色調合漆	1	30	35	10小時		松香水	
		5	各色調合漆	1	30	35			松香水	

捌、參考資料：

一 Bridge Inspector's Training Manual U.S. Dept of Transportation Federal Highway Administration.

二 應用公路橋梁工程（施工、養護）——賈駿祥。科技圖書股份有限公司。

三 混凝土施工須知——中國土木工程學會。

四 公路橋梁安全檢查手冊——臺灣省公路局養路處印行72.7。

五 鋼鐵銹蝕與處理標準——台灣區塗料油漆工業同業工會。

六 認識鋼結構研討會議講義——台灣區鋼鐵同業公會鋼結構專業小組主辦。

七 淺談橋樑養護工程——李秀山。現代營建76年3月、76年4月。

* 黃義雄：台北自來水事業處工程總隊正工程師

** 虞順逸：台北自來水事業處工程總隊工程師