

第七章 維修與補強

7.1 一般說明

「維修」主要為防止橋梁繼續劣化，以維持使用功能及耐久性之對策；「補強」主要為提升橋梁強度及承載力之對策。在進行維修與補強設計時，應先確認其目的與效果，以選定有效且可靠的方法。

解說：

1. 既有橋梁常因經年使用發生劣化（健全性不足）與損傷，造成承載力或強度降低，故應適時進行「維修」以防止既有橋梁繼續劣化、維持橋梁使用功能，並藉以延長橋梁服務年限；既有橋梁亦有可能因原設計活載重比現在之活載重小（耐荷性不足）或因設計時所採用之設計地震力比現有規範規定者為小（耐震性不足），造成原設計之承載力或強度不足，需進行「補強」提升既有橋梁之承載力與強度。因此，在進行維修補強設計前應先當評估三項性能（健全性、耐荷性、耐震性），並斟酌施工性與經濟性，決定優先次序，確認採用之維修與補強工法。
2. 在進行橋梁檢測與評估之後，宜依據檢測結果與評估結果，適時進行橋梁之維修或補強。依據鋼橋常見之損傷原因，鋼橋之維修與補強內容主要為與上部結構承載能力相關之劣化、疲勞、塗裝與支承之維修與補強。
3. 對應於橋梁之結構安全評估項目，一般橋梁之維修與補強包含上部結構承載力之維修與補強、疲勞安全之維修與補強，以及下部結構之耐震能力與耐洪能力維修與補強，然本規範之名稱為「鋼結構橋梁之檢測及補強」，重點在於規範鋼結構部份，而下部結構之耐震與耐洪能力補強牽涉廣泛，且目前耐震與耐洪規範或準則分別均有相關研究計畫正在進行中，故不宜納入本規範內，其相關規定可參考其他相關規定或準則。

7.2 維修與補強原則

- 橋梁若經評估判定須進行維修或補強時，其維修補強作業應依以下原則進行：
- 一、維修補強設計應先進行充分調查，參考檢測評估結果，考量維修與補強作業特性，選擇合適之工法。
 - 二、維修與補強應依其目標，採用恢復或改善結構系統功能、增加結構強度或韌性、置換損傷構件或延長結構耐久性等方式進行，並應適當考量力量重新分配之影響。
 - 三、進行維修與補強時應注意施工安全，並輔以必要之臨時安全支撐，以避免施工過程中結構系統產生弱點。
 - 四、維修與補強宜依公認之學理與方法，以分析計算方法或實測法等進行補強效

果之確認。

解說：

1. 一般鋼橋常見之損傷模式有因荷重、腐蝕、碰撞、火害等引致之劣化損傷、塗裝系統不良或因經年使用產生之塗裝系統損傷、反覆載重引致之疲勞損傷等，大部分損傷模式之維修與補強工法都有其對應之慣例可循。通常維修補強作業均講究時效性，故應儘量依循慣例，減少使用未經驗證之新工法。
2. 鋼橋之維修補強通常材料之使用量並不大，但需用到大量勞力，所以材料使用數量並非維修補強設計之第一考量。維修補強應儘量選用簡單、安全、有前例可循之工法，採用新工法時，除需考量其可行性、安全性外，亦須考量其適用性及是否有類似之相關經驗。
3. 在分析對象仍存有各種假設之情況下，應避免採用過份複雜之分析方法。對於一已使用多年之橋梁，其維修補強作業存在很多不確定性，無論維修補強計畫如何仔細地研擬，一旦開始進行作業，經常會再發現額外之損傷或遭遇新的問題而需再修正原先之計畫，故初始之維修補強計畫應儘量簡單、彈性、保守，以使將來可能發生之異動不致造成太大影響。執行作業者須認知對於維修補強施工而言，材料費用僅是施工費用的一小部份，為防範未然而增加螺栓數或斷面積常是較佳的決策，而且不至於大量提高預算。此外，維修與補強材料進廠前亦須先進行檢驗。
4. 橋梁進行維修與補強施工時常須敲除、改造部分構件，故結構物於施工階段可能產生局部性或系統性弱點。因此維修與補強施工應妥為規劃，在各施工階段不得有影響公共安全之情形，必要時應加設足夠之臨時安全措施。
5. 承載能力不足之橋梁經補強後，承載能力提高之程度為何，應採用分析計算的方法加以確認，必要時輔以實測法，以提高其準確性。

7.3 維修與補強工法

進行鋼橋維修與補強前，須先對原有結構之使用材料及構造方式進行了解。鋼橋之維修與補強應視其作業特性，選擇合適之工法進行。鋼橋之維修與補強作業特性包含交通條件、施工環境、技術條件、勞務特性等。

解說：

1. 在決定維修與補強工法之前，應先針對該橋維修與補強作業特性進行了解，包括交通條件、施工條件、技術條件、勞務特性等：
 - (1) 交通條件

既有橋梁的周遭環境已長時間維持於安定狀態，因此應儘量降低維修與補強作業對於周圍環境的影響，且作業之進行須能確保交通的維持。
 - (2) 施工環境

維修與補強作業單一位置施工量通常並不大，但是分布範圍廣泛。此外，維修與補強作業通常在既有結構存在的狀況下施作，其作業空間受到限制，作業姿勢亦非常困難。

(3) 技術條件：

維修與補強作業應儘量不妨礙既有橋梁之機能，為達此目標，進行維修與補強作業時，首先應將既有橋梁之現況予以詳細調查，充份掌握其異常部份，以決定合理適切的工法，且對於施工中結構物強度、穩定性與施工的安全性須加以確認。為達此目的，維修與補強設計者對於橋梁的特點應具有能夠充份理解之專業知識，而維修與補強作業應考量與既有橋梁之整合性，並應針對其特殊性與困難性等加以檢討。技術條件須考量之要項包含對既有構材之影響、荷重狀態之考量、現場銲接與高拉力螺栓之適用性及效果之確認等

(4) 勞務特性

一般而言，維修與補強作業具有多職種之特性，且每一職種每次之作業時間及施工數量均很少。因維修補強作業常須在交通管制時間內進行且須在扣除準備及處理等所剩之短時間內完成，故常必須增加其作業次數，而為完成所定之作業量，工作人員勢必增加，此種異於常態之作業型態在選擇維修補強工法及施工預算編製時，需納入考量。

2. 進行鋼橋維修與補強前，須先針對其材質進行了解，以利於接合方式之選擇。對於使用中鋼橋之維修與補強，若需進行切斷、彎曲、銲接或加熱矯正等加工時，亦須先對既有橋梁鋼材之化學成分、機械性質以及銲接性等進行調查。若檢測之橋梁年代久遠，已無法取得其相關資料，則須採集現橋試驗片或與現橋鋼材近似之試驗片進行試驗。由試驗所得之鋼材硬度可推算其抗拉強度，試驗所得之化學成分可推算其抗拉強度與銲接性。
3. 橋梁之維修與補強通常需在現場作業，此時考慮作業環境與施工管理，構材之接合多數採用高拉力螺栓。特別是在以下情況，最好採用高拉力螺栓而儘量避免採用銲接接合：
 - (1) 鋼橋材質不明或對材質有疑問時。
 - (2) 鋼橋材質雖然清楚，但鋼材之銲接性有問題時。
 - (3) 現場作業環境受限，銲接作業環境不良時。但是若因構造上之限制，現場螺栓鑽孔十分困難時，仍可採用銲接接合。
4. 高拉力螺栓接合之特徵有(1)作業上並不需十分熟練之工人；(2)作業之修正比較容易；(3)作業之成果較易確認等。高拉力螺栓接合包含摩阻式接合、承壓式接合及拉力接合。對於維修補強，原則上最好採用摩阻式接合。若採用承

- 壓接合，則對於螺栓孔完工精度、施工性及適用處等均須進行必要之檢討。進行螺栓接合前，應先確認是否可利用既有之鉚釘孔，螺栓孔之現場鑽孔作業是否可能。另外，因鑽孔造成構件有效斷面積減少，須檢討構件斷面承受應力之餘裕度，視需要進行必要之車流限制、於施工中架設臨時支撐以彌補斷面之不足。螺栓孔之施工需在有穩定支撐之狀態下慎重地進行，需留意螺栓孔與邊緣之距離是否適當。對於摩阻型接合，需確保母材與續接板密合時之摩擦係數，因此於施工前須檢測接合面之狀態、利用鋼刷或噴砂等工法除去塗裝或銹蝕、清掃其上油脂、泥砂等污垢。若現場接合面之表面處理進行不易時，亦可以藉由增加螺栓支數增加設計之餘裕量。進行現場施工時，若因施工誤差產生構材與續接板間，或續接角板間之空隙時，需依需要塞入墊片以使螺栓接合密實，接合面之摩擦效果得以發揮。
5. 必須以銲接進行構件之接合時，銲接施工應由合格之銲工進行，並且應儘量提高工廠之加工度，減少工地現場之銲接作業，使銲工得以在穩定之狀態、良好之姿勢下進行銲接作業。以下為與銲接有關之基本事項：
- (1) 鋼材之可銲性：必須詳實了解鋼材之銲接性，並依如 AWS 等相關銲接規範規定辦理。
 - (2) 銲接部之檢測：一般除可用肉眼或放大鏡等進行銲接部外觀之檢測外，也可進行射線檢測、超音波檢測、磁粒檢測及液滲檢測等非破壞性檢測。為確保橋梁維修補強銲接部之健全性和信賴性，銲接後之銲道檢測和銲接作業時之施工管理同樣重要。
 - (3) 銲接作業之注意事項：
 - (a) 交通引致之振動不可影響銲接作業，若振動太劇烈則須停止銲接。
 - (b) 須確保銲接為在穩定之支撐狀態下進行作業。
 - (c) 為避免產生銲接裂縫，應實施足夠之預熱，使用韌性佳之銲材，並注意銲接順序。
6. 鋼橋損傷原因雖然很多，包括荷重、碰撞、火害、疲勞和腐蝕等，其維修補強基本原理相同。維修補強的基本原理下：
- (1) 藉增加抵抗斷面與改變構造系統以降低所受應力
 - (2) 降低靜載重以增加活載重之承載能力
 - (3) 置換損傷構材。
7. 為提高本規範之廣泛適用性，本規範所列之維修補強工法僅為概念性，但事實上鋼橋不同部位之維修補強注意事項亦有差異：
- (1) 橋梁主要構件之破損可能是上部結構本身之破壞，亦或是下部結構之移動或沉陷引致之上部結構損傷。若為後者，應先調查下部結構變形之原

因，先實施下部結構之維修補強，使其達穩定狀態後，再實施上部結構之維修補強。

- (2) 鋼橋主要構件不同於床組或次要構件，因為單一主要構件之缺陷即可能造成落橋之結果，因此實施維修補強施工時須先有審慎之施工計畫。進行破損部位之切除或構件之置換時，需先確保破損與被置換構件處於近似於無應力之狀態下，因此常需先藉由使用替代構材或設置臨時支撐架變更結構系統以使施工得以在穩定狀態下進行。對於因構件變形引致之破損，恢復原狀為基本之維修補強原則，為求完全之修復，在施工過程中應避免再產生二次應力。
 - (3) 鋼橋之次要構件包括斜撐構件、橫向構件、橋門構件與支材等，次要構件與主要構件之一體作用可提升承載力，亦可改善桿件振動情況。次要構件受到損傷時雖並不會對行車安全造成直接之影響，但仍宜儘早進行維修補強。
 - (4) 次要構件之損傷雖然大多並不會直接減損橋梁之承載能力，但若受壓側有發生挫屈之虞時，仍須對車輛載重、車速或車流量進行管制。除此之外，進行次要構件之維修補強時，並不一定需要增加臨時之補強構件。施工時新舊構件之替換以一次進行一構件為原則，且不得已時才可採用加熱矯正法。對於腐蝕顯著之續接角板，切除腐蝕部位並以銲接或螺栓接合方式接合新鋼板。
8. 鋼橋代表性的維修工法可參考表 C7.3.1，補強工法參考表 C7.3.2，各種工法可視需要混合使用。以下簡單介紹各種工法：

(1) 矯正工法

對於鋼橋因外力撞擊引致之局部鋼板變形，可依矯正工法進行維修。矯正工法可分為加熱矯正與機械矯正，兩種方法可以同時使用。採用加熱矯正法前，需先了解鋼材的材料性質，方可利用反覆加熱、冷卻過程，藉由控制鋼材之熱漲冷縮，達到控制鋼材變形量之目的。

(2) 開孔止裂工法

鋼橋構件細部（如橫隔板或加勁板下方扇形孔等）常因疲勞產生裂縫，當檢測發現此種裂縫時可暫時在裂縫尖端鑽一小孔以抑制裂縫之成長，再就其發生位置探討裂縫產生原因以尋求最佳處理方法。若將裂縫控制孔作為永久之疲勞裂縫抑制方法時，需考慮防蝕作業。

(3) 添加材維修工法

對於損壞構件或強度不足之構件，可增加添加材並以高拉力螺栓或銲接方式與既有構材接合。

(4) 銲接維修工法（併用 TIG 銲接處理）

銲接可用以修補鋼材之裂縫、刻痕。採用本工法之基本條件為鋼材需為可銲鋼材。

(5) 更換工法

為增加主梁之承載力，可考慮採用鋼橋面鈹替換混凝土橋面版，藉降低靜載重以提高活載之承載能力。對於混凝土橋面版本身之損傷，亦常採用此種工法進行補強。

(6) 補強材工法

對於梁橋，為增強主梁之承載力，可考慮在主梁翼鈹面添加蓋鈹式之補強材。對於桁架橋，為增強其耐荷力，可在桁架斜材中間分格點另設置新的受壓構件以增強耐荷力，於格間另插入新的斜材以分擔外力，或在構件斷面上添加補強鈹，藉由斷面積之增加提升承載力。對於橋面版，可以增設縱梁或於橋面版下方貼附鋼鈹增加其承載力。對於鋼橋墩，可以添加補強鋼板、填充混凝土或補強錨碇部位等方式提升其耐震能力。

(7) 主梁增設工法

對於梁橋，為增強主梁之承載力，可考慮在既設主梁邊並列設置新的主梁，並設置足夠之斜撐構材、橫梁等連結新舊兩主梁以分擔荷載。對於桁架橋，可在與既有桁架橋平行之位置設置新梁，添加新的桁架，新舊兩構造共同分擔荷重。

(8) 橋柱增設工法

既設梁之撓度過大或承載力不足時，可在跨徑中間增設橋柱，減少跨徑，以增加主梁的承載力及防止異常變位。

(9) 外接鋼纜工法

在既有主梁上配置張力構件，導入預力，可防止異常變位，減輕鋼材承受應力，提升可承受之活載重。減輕之應力對於桁架而言，可為軸拉力，對於梁橋而言，可為彎矩應力、剪應力或扭轉應力。本工法亦可用於補強橫梁。

(10) 支撐工法

若支承處上部結構（尤其是削梁處）因應力集中而產生龜裂，可以擴座方式增設新支承，降低支承反力，防止裂縫繼續擴大。另因跨徑之縮短，亦可減少斷面應力，增加承載力。本工法亦可適用於支承損傷而於原位置修復不易之補強，但本工法會佔據梁下空間。亦需檢討斷面力分布形狀之變化對既設主梁之影響。

(11) 合成工法

將非合成梁改裝成合成梁可提高承載力，防止異常變位。合成梁之合成

效果係憑藉於鋼梁與混凝土間剪力連接器之結合效果，故需詳細檢視剪力連接器之安裝與設計，亦須考慮既設鋼梁之可鉸性。

(12) 上部結構頂升與支撐

實施上部結構之維修補強、支承之修復或替換，以及支承座混凝土塊之修復時，常需頂升上部結構並設置臨時支撐以支持上部結構。實施頂升作業時應同時注意通行車輛與維修補強人員之安全。利用千斤頂進行橋梁之頂升時，須先確認千斤頂置放位置是否能抵抗頂升之力，若不足則須事先進行補強。下部結構為鋼筋混凝土構造時，須檢核千斤頂置放位置混凝土之抗壓應力，若為鋼構造時則須於該處設置加勁構件。鋼梁於千斤頂置放位置亦須視需要增設加勁構材。

7.4 疲勞損傷維修與補強

鋼橋之結構構材或接頭部位因活載重反覆作用產生疲勞損傷時，應檢討其發生原因，評估損傷可能繼續發展之趨勢，並妥為處理。若經疲勞損傷評估後判斷有維修補強之必要時，應針對發生原因選擇合適之維修與補強工法。

解說：

1. 疲勞損傷發生原因可分為以下幾項：(1)實際活載重比設計活載重大的頻率很高；(2)發生比設計計算還大的應力；(3)構造細節不適當；(4)在銲接處有不容許之缺陷。若能明確知道疲勞損傷原因，將有助於補修方法之決定。
2. 疲勞損傷之評估項目，主要為(1)疲勞裂縫對發生部位的影響，(2)裂縫的發展(方向與速度)。評估時應同時檢討疲勞裂縫之發生原因，預先評估可能產生裂縫的位置。
3. 經疲勞損傷評估後判斷有補修必要時，應針對發生原因採用適切的方法，因若修補不適當會引致新的損傷。對於疲勞安全性，可藉由提高特定位置之疲勞強度或減低產生之應力來改善，疲勞損傷之維修補強方法有，(1)在疲勞裂縫之尾端鑽一圓孔(止裂孔)以防止裂縫繼續擴張，(2)銲接維修(不使用補強構材)，(3)採用補強構材兼銲接維修，(4)採用添加構材與高強度螺栓之機械維修，(5)以外置鋼纜施加預力方式補修。

7.5 鋼橋防蝕系統維修

有關鋼橋防蝕系統維修之規定除依照本節之說明外，亦可參考相關規定，配合橋梁管理機關之功能需求，選定可靠之方法進行。

解說：

橋梁管理機構進行鋼橋防蝕系統維修作業時，除依據本規範規定之基本原則外，可參考其他相關規定或報告，如交通部所擬定之「橋梁防蝕技術導則(草案)」

與「橋梁隧道材料腐蝕劣化原因之探討及防治對策（二）—橋梁篇」等之詳細規定。

7.5.1 塗裝劣化維修

塗裝劣化之維修方式為重新塗裝，重新塗裝分成以下三類：(1)全部重漆；(2)部分重漆；(3)局部重漆。塗裝系統是否進行重新塗裝及重新塗裝方式之選擇應由塗裝檢測結果判斷。

鋼橋若經評估判定須進行維修塗裝，維修塗裝須遵循以下原則進行：

- 一、鋼橋維修塗裝所使用之塗裝系統應考量與舊漆膜之相容性。
- 二、鋼橋維修塗裝時之表面處理應視舊漆膜之劣化程度適切地實行。
- 三、鋼橋維修塗裝系統需考量表面處理之程度及塗膜之厚度，做適當之設計。進行鋼橋塗裝維修作業時均應依所採用塗裝系統規定之施工程序及相關規定進行施作，以確保發揮其應有功能。

解說：

1. 鋼橋常因其所在位置及環境之影響而導致腐蝕現象發生，一般均採用塗裝系統將鋼材與外界隔絕，藉以防止腐蝕，但塗裝系統有其壽命，一旦塗裝系統破壞，即可能危害構件之耐久性和強度。因此進行橋梁例行檢查工作時，需特別注意塗裝系統是否劣化而導致鋼橋構件產生銹蝕現象。若其銹蝕現象經驗證尚未損及鋼材強度，應儘速就其發生位置提出塗裝系統維修補強方案。表 C7.5.1 為塗裝劣化原因及其處理對策之參考例。
2. 表面處理為影響油漆塗裝耐久性之重要因素，故應依據舊漆膜之劣化程度適切地實行。在乾淨的漆面上漆可提高油漆之附著力、充分發揮油漆之防蝕性，因此，不論是鋼材面或塗膜面，上漆前均須先除去被塗面上之銹蝕、劣化漆膜、雜物、粉狀物及水分等，並適度地實施表面粗糙化作業。
3. 維修塗裝之表面處理方法及塗裝系統選擇，必須考量維修前塗膜之劣化程度。有關油漆前置作業之表面處理等級分類可參考 ISO8501、瑞典 SIS 規範或日本之相關規範。以日本道路協會鋼橋表面處理等級及其適用標準為例（表 C7.5.2），其將清淨之程度分為 4 級，其中清淨度 2~4 即適用於既有結構物之維修塗裝。
4. 維修塗裝採用之油漆系統宜與舊塗膜之塗裝系統相同，但因維修塗裝系統在架設現場施工，難有理想之表面處理，且易受環境因素影響，因此塗裝系統之選擇仍應配合現場之各項因素。表 C7.5.3 所示者為各種油漆塗料重漆之適合性，可供維修塗裝時選定塗料種類之參考。
5. 既設結構物在進行維修塗裝時，需考量是否對周邊環境造成污染或噪音、是否具有足夠之動力來源、施工平台或鷹架的架設位置是否有問題等。此外，在進

行維修塗裝時，為確保塗膜之防銹性能，施工時須慎重小心，施工時之注意要點如下：

- (1) 表面處理所產生之細銹或銹渣等在進行塗裝前應予去除，不可讓其殘留附著於構材表面。
 - (2) 表面處理後之鋼材很容易再生銹，因此在表面處理完成後之當天內隨即應完成第一層底漆，若無法於當天內完成，則該部分須再重作表面處理。
 - (3) 經表面處理後之部位若比周邊部位較為凹陷，該部位在進行塗料塗刷時，應注意塗膜應有足夠之厚度，且若凹陷部份與周邊產生明顯落差時，施工時應設法降低該落差。
 - (4) 維修塗裝之塗膜厚度隨表面處理等級之不同而有差異，塗膜管理不可以新設塗裝之塗膜規定為基準。
6. 塗裝系統是否進行重新塗裝應由塗裝檢測結果判斷。判定標準可參考日本道路公園之「維持修繕要領」，判定流程見圖 C7.5.1，其作法為先分別評分塗膜表面銹蝕面積比率、塗膜剝離程度、龜裂程度、白亞化程度以及所處環境之等級，再依總分綜合評估重新塗裝之急迫性（見表 C7.5.4）：
- (1) 銹蝕：評分標準見表 C7.5.5。
 - (2) 剝落：評分標準見表 C7.5.6。
 - (3) 龜裂：評分標準見表 C7.5.7。
 - (4) 白華化：評分標準見表 C7.5.8。
 - (5) 環境條件：評分標準見表 C7.5.9。
- 銹蝕、剝落為判定油漆是否重新塗裝之主要項目，故除依表 C7.5.4 評估重漆之急迫性外，若銹蝕之評等超過 20 時，需考慮重新塗裝之必要性，若剝落基於現地狀況、美觀已顯著損傷時，亦可考慮重新塗裝。
7. 塗裝系統之維修對策為重新塗裝，重新塗裝分成以下三類：
- (1) 全部重漆：全部油漆塗裝重漆。
 - (2) 部分重漆：選定油漆劣化較顯著之部位全部重新塗裝為部份重漆。此部位通常範圍較廣，例如所有鈹梁及箱梁之下翼板下面。
 - (3) 局部重漆：局部重漆為針對某幾個易發生銹蝕之特定位置，例如接頭位置，伸縮縫位置，受漏水影響之橋面版部位等，局部重新塗裝。
8. 重新塗裝方式之選定原則如下：
- (1) 實施全面重新塗裝之場合
鋼橋塗膜劣化之區域廣泛時應進行全面重新塗裝。若劣化區域不大，但因考量架設施工鷹架、平台之費用高或景觀上之因素，亦可考慮進行全面重新塗裝。

(2) 實施部分重新塗裝之場合

鋼橋很少發生油漆塗裝全面劣化之情形，一般常由下翼板下方等容易發生油漆劣化處開始劣化，此時可進行部分維修塗裝即可。

(3) 實施局部重新塗裝之場合

對於易因漏水之影響而發生油漆塗裝局部劣化之部位，如伸縮縫裝置附近與橋面版等，只須小規模之支撐架即可進行補修之情況，可在進行定期檢測時，針對劣化處或容易生鏽的局部構材施以局部維修塗裝。此時對於造成塗裝劣化之原因亦應著手予以改善，特別是應避免發生漏水現象。若因實際條件之限制，無法改善劣化原因時，塗膜應予加厚或採用防蝕性能較為優異之塗料。

7.5.2 熱浸鍍鋅劣化維修

熱浸鍍鋅長期使用後若產生鋅消耗，可藉由熔射或塗裝進行維修，其維修要點如下：

- 一、以熔射作為維修時需注意熔射層之附著性與導電性。
- 二、以塗裝作為維修時，油漆系統之選擇應考量各層油漆間之相容性。
- 三、熔射或塗裝品質應符合施工規範及 CNS 相關規格，並依據其施工程序及相關規定進行施作，以確保發揮其應有功能。

解說：

塗裝系統各層油漆包括底漆、中塗漆及面漆等，以選用同一家廠牌為宜。

1. 熱浸鍍鋅暴露於大氣中，將因鋅產生氧化而使鍍鋅層逐漸減少，或長期使用後鍍鋅層失去保護作用致使鋼梁漸漸產生紅色鏽層或鍍鋅層厚度小於 $10\mu\text{m}$ 時，熱浸鍍鋅需以熔射或油漆塗裝進行維修。
2. 鍍鋅層進行熔射或塗裝維修時，因熱浸鍍鋅鋼材上熔射或塗裝之附著性較差，故直接在熱浸鍍鋅表面上進行維修時，應注意熔射與塗料之選擇及塗裝方法。
3. 熱浸鍍鋅鋼梁於熔射前須經噴砂以除去附著於鋼材表面之浮鏽、氧化物等附著物，再儘快塗佈粗面形成劑，以增加熔射層之附著性。
4. 在熱浸鍍鋅面上進行塗裝作業時，必須充分考慮塗裝之前處理及底層、中層及面層所用之塗料種類。由於鍍鋅面與塗料之密著性較差，如熱浸鍍鋅表面與漆膜之間有水分或鹽份更易加速漆膜逐漸剝離。因此，為使熱浸鍍鋅面上漆膜有最大持久力與耐腐蝕性，最重要的關鍵就是要確保鍍鋅表面與塗料之間的良好密著性。

7.5.3 鋁鋅熔射劣化維修

鋁鋅熔射防蝕系統長期使用後若發生劣化，可藉由熔射進行維修，其維修要

點如下：

- 一、進行熔射維修時需注意熔射層之附著性及其導電性。
- 二、熔射品質應符合施工規範及 CNS 相關規格，並依據其施工程序及相關規定進行施作，以確保發揮其應有功能。

解說：

1. 鋼梁之鋁鋅熔射防蝕系統是否需維修，係依據紅銹發生面積而定，一般鋼梁產生紅銹面積達 0.3% 時，可考慮進行鋁鋅熔射維修。
2. 金屬熔射作業應依表面處理、熔射作業、封孔處理及表面塗裝等主要程序進行。
3. 為確保新的熔射層與既有熔射層具有導電性，應確實除去既有熔射層上之封孔劑或油漆，促使原有之熔射面完全露出。並且若原有熔射層發生起泡或鋼材已腐蝕，皆應將起泡部份之熔射層或銹完全去除，若有鹽份存在，亦應進行除鹽分作業。

7.6 支承維修與補強

發現橋梁支承受損時，應考量實際受損狀況選擇合適之支承維修補強工法，維修補強作業可依據本規範之原則進行。

解說：

1. 橋梁支承之功用除支持梁外，其為將上部結構所傳來之力傳遞至下部結構之一重要構造。但亦因支承位於上部結構與下部結構之接點，上部結構與下部結構各自相異之位移亦集中於此處，故支承處最易產生變形。若未針對支承變形原因進行適當之維修補強，則支承之變形極有可能再度發生，且實際案例顯示支承損壞對上部結構的影響遠大於分析設計階段之考量，因此支承之維修與補強十分重要且須確實執行。
2. 支承損傷或功能喪失的原因很多，在研擬支承維修補強對策前，須先對支承損傷原因進行了解，以便針對損傷原因提出適當之處理對策。支承損傷之種類可歸納為下述幾項，各項所對應之主要原因列於表 C7.6.1。
 - (1) 支承底座之破損。
 - (2) 支承底座前方之混凝土剝離。
 - (3) 錨碇螺栓之鬆脫或斷裂。
 - (4) 支承本體之破損。
 - (5) 支承之可動性不良。
 - (6) 支承位置錯移或傾斜。

7.6.1 支承維修與補強工法

維修補強工法之選擇應綜合檢討補強對策之效果、現場狀況、損傷狀況、損

傷原因、施工性、對通行車輛與橋體之影響等，並依據以下原則進行：(1)使支承恢復原來之機能；(2)避免支承再發生相同之損傷。

解說：

1. 支承部維修補強工法選擇之原則大致上可分為以下四種情況：
 - (1) 若為支承本體之損傷，如滾輪之移位脫落、軸承、上下承版之損傷等，宜將上部結構頂升並用臨時支承支撐，以置換新的支承或損傷構件。若支承之主要部位損傷，但上部構造因故並無法進行頂升時，可於他處增設新的支承。
 - (2) 對於螺栓、螺帽之鬆動脫落，抗浮起裝置之損傷等，可以不必將上部結構頂升而直接進行該構件之置換。
 - (3) 對於支承混凝土座之損傷，若上部結構之頂升為可行，可在頂升上構並設置臨時支撐後，敲除損傷混凝土，再補強鋼筋、打設新的混凝土。若上部結構之頂升不易進行，而支承本體並未受到損傷時，可採支承擴座並導入預力之方式進行補強。
 - (4) 對於支承混凝土座和水泥砂漿墊輕微之破損，可以環氧樹脂填充，防止裂縫繼續擴大。若混凝土座破損之原因為其寬度不足，最好亦進行支承座之擴座。
2. 支承一般位處於狹隘之場所，維修與補強作業經常非常困難，因此選擇支承之維修與補強方法時，除需考量損傷狀況和損傷原因外，亦應考慮周邊狀況與作業環境，研擬可行且最有效之方法。決定支承維修補強方法之流程可參考圖 C7.6.1。
3. 理想之支承維修補強對策為排除造成支承損傷之主要原因，不能只補強支承，而應配合考慮上部結構、下部結構、基礎工程、伸縮縫裝置之維修補強對策，使維修補強後之支承在將來仍能持續發揮其機能。對於由下部結構之異常變位所造成之損傷，常須進行大規模施工，且同樣之異常變位在將來繼續發生的可能性很高，故不宜僅進行一時之維修補強，而應持續留意其變化。
4. 支承之維修補強作業常須使用千斤頂和臨時支撐，為求橋梁之穩定性和安全性，應儘量縮短千斤頂和臨時支撐構件之臨時支撐時間，也應仔細檢討臨時支撐之施工方法、施工步驟及使用材料等。

7.6.2 支承之維修

若支承之損傷並未損及其力量之傳遞與移動之機能時，可不必置換支承，僅進行維修調整。支承之維修含清潔、上漆、潤滑等，必要時進行支承重新定位或置換錨碇螺栓等。

解說：

1. 若支承僅受到輕微腐蝕而未有斷面損失時，可以進行表面處理和上漆維修即可。大部分之鋼製支承除其滑動面外，均有上漆或鍍鋅，而表面處理清淨之程度則視腐蝕之嚴重性與範圍而定。對於輕微之點銹可用砂紙清除銹蝕即可，對於中度或嚴重之腐蝕則最好完全清除既有保護被覆直至露出鋼材表面，再重新上漆，且進行表面處理與上漆過程時應注意保護支承之滑動面。
2. 潤滑為鋼製支承滑動面定期維護之重要項目，定期地塗上防蝕之潤滑劑可避免腐蝕之累積，且確保滑動面確實能滑動。
3. 支承之錨碇螺栓常因受到外力而彎曲、剪斷、破裂或損失螺帽。若錨碇螺栓之損傷並未對下部混凝土結構造成嚴重之損害，如破碎或剝落，則可僅置換錨碇螺栓，而不須動到支承其他部位。

7.6.3 支承之置換

若支承已嚴重損壞、功能喪失、可能危及結構穩定性時，應更換新的支承。

解說：

1. 若鋼製支承已有明顯之斷面損失與劣化、橡膠支承之彈性體已產生裂縫、盤式支承之密封環與橡膠墊已損傷等，均宜更換新支承。支承之滑動面若已產生坑洞以至於無法發揮其正常功能時亦須予以置換。新支承並不需要與原支承同型，尤其很多古老舊橋所採用之支承型式早已廢棄不用，根本不可能再採用相同形式之支承。新支承應儘量符合以下四項要求：(1) 支承功能需符合期望；(2) 支承材料對於所屬環境應適當；(3) 支承高度應合宜；(4) 支承型式需適合於既有之下部結構。
2. 更換支承時均須先頂升上部結構，使來自上部結構之外力先行釋放，並提供其他臨時支撐。
3. 在大部分情況下，若更換支承時有提供臨時支承則無須完全封閉車流。若在同一支承線上有多於一個以上之支承須更換，最好在同一時間僅更換一個支承。當進行頂升作業時，需先將車流導引至其他區域，直至上部結構就定位且適當地支撐後，才可恢復正常行車。另外整個支承線應儘量同時頂升，以降低不均勻頂升產生之橋面版應力與橋面版裂縫。
4. 一般儘管損壞之支承被判斷為可以進廠維修，仍須考慮不如更換新的支承，因為若支承需進廠維修代表上部結構須另由其他臨時支承支撐，臨時支承既為臨時，一般並未考慮長期載重效應，亦未考慮溫度變化之影響。因此決定是否將支承送進廠維修前應先仔細評估維修既有支承所需之成本是否高於直接更換支承，且亦須考量維修後之支承功能可能並無法完全恢復。

7.7 伸縮縫之維修與置換

若伸縮縫之損傷並未損及其承載或伸縮之功能時，可不必置換伸縮縫，僅進行維修調整。伸縮縫若影響行車之舒適度，應進行必要之調整與維修。

伸縮縫已嚴重損壞、功能喪失或影響行車安全時，應更換新的伸縮縫。

解說：

1. 伸縮縫雖然為橋梁結構中之一小構件，但當其發生損傷時，其引致之問題卻和其尺寸不成比例，例如當其產生裂縫而發生滲漏時，其下方之結構構件很容易發生劣化，當其無法依原設計進行伸縮時，橋梁構件很容易承受過大應力而破壞，伸縮縫若於橋面產生高低差時，亦容易影響行車安全，所以當發現伸縮縫損傷時，須適時對其作適當之維修或置換。
2. 伸縮縫進行維修或置換需視其損傷程度與經濟性而定。如伸縮縫已嚴重損害而功能完全喪失時，應置換新的伸縮縫。若伸縮縫之損傷未達需置換之程度，但考量新的伸縮縫壽命比維修後之伸縮縫長，在仔細評估維修與置換伸縮縫各別之生命成本，並配合考量橋面版剩餘年限後，仍可選擇置換伸縮縫。
3. 一般伸縮縫維修首先需清理伸縮縫開口部位之垃圾，接著維修伸縮縫周邊之橋面版，以確保伸縮縫有穩固之支撐與錨定，接著置換劣化或破壞之伸縮縫構件。置換伸縮縫之第一步驟為打除既有伸縮縫和其周圍之橋面版混凝土，然後清理外露之橋面版鋼筋並塗上環氧樹脂，待將新伸縮縫就定位後，在其周圍打設混凝土砂漿等，以確保伸縮縫穩固錨定於既有橋面版內。

表C7.3.1 維修工法摘要表

工法	用途	設計、施工法概要	概略結構圖	維修效果	注意事項
矯正工法	修正變形部分	<ul style="list-style-type: none"> 因異常的外力而變形之構件，儘可能將其回復原狀。 常配合使用添加補強。 		<ul style="list-style-type: none"> 維修後鋼材的強度韌性並不會降低。 添加補強的效果很大。 	
開孔止裂工法 (Stop Hole) (配合使用高拉力螺栓)	暫時防止裂縫擴大	<ul style="list-style-type: none"> 在裂縫前端開$\phi 24$ mm大小的圓孔，以降低裂縫前端的應力。有時也配合使用高強度螺栓。 		<ul style="list-style-type: none"> 針對疲勞裂縫可暫時延緩裂縫擴大。 	長期效果上有問題
添加補強工法	防止裂縫擴大	<ul style="list-style-type: none"> 對於損壞構件或強度不足之構件增加添加材以高強度螺栓與既有構件接合。 		<ul style="list-style-type: none"> 對裂縫的維修非常有效。 	
鉚接維修工法 (與TIG處理併用)	常用於維修主梁因疲勞裂縫等引起的損傷	<ul style="list-style-type: none"> 對於因疲勞而損壞的構件，裂縫小者可先鑿除裂縫微小處再進行鉚接，常併用鉚珠趾部之TIG鉚接處理。 		<ul style="list-style-type: none"> 對裂縫的維修很有效，併用TIG處理，疲勞強度亦可望獲得最升。 	

表C7.3.2 補強工法摘要表

工法	用途	設計、施工法概要	概略結構圖	補強效果	注意事項
更換工法	增加承載力	<ul style="list-style-type: none"> • 更換主梁 • RC橋面板更換為鋼橋面板，以減輕靜載重。 		<ul style="list-style-type: none"> • 最有效果的工法。 • 適用於不能局部維修補強的構件。 	<ul style="list-style-type: none"> • 考慮經濟性，施工性。 • 必須長期交通管制。
補強材工法	增加承載力	<ul style="list-style-type: none"> • 在主梁的下翼板斷面銲接補強材或以高拉力螺栓接合，來增加梁的承載力。 		<ul style="list-style-type: none"> • 效果受銲接技術所影響。 • 補強材可抵抗靜載重。 	<ul style="list-style-type: none"> • 要注意不產生局部的殘留應力及變形。 • 使用高強度螺栓情形下，一定要考慮斷面須扣除螺栓孔面積。
主梁增設工法	<ul style="list-style-type: none"> • 增加承載力 • 防止異常變位 • 減低作用力 	<ul style="list-style-type: none"> • 在既有主梁旁並列新設主梁，新舊主梁可共同分擔載重。 		<ul style="list-style-type: none"> • 降低既有主梁所受應力。 • 也有補強橋面板的功能。 	<ul style="list-style-type: none"> • 靜載重會增加。
橋柱增設工法	<ul style="list-style-type: none"> • 防止異常變位 • 增加承載力 • 減低作用力 	<ul style="list-style-type: none"> • 在既有主梁中段增設橋柱，減少跨徑以增加主梁的承載力。 		<ul style="list-style-type: none"> • 因跨徑縮短，而有補強彎矩強度的效果。 • 適用於梁下仍有餘裕空間的情形。 	<ul style="list-style-type: none"> • 會佔據梁下空間。
外接鋼纜工法	<ul style="list-style-type: none"> • 防止異常變位 • 增加荷重力 	<ul style="list-style-type: none"> • 在既有主梁上配置張力構件，導入預力。 		<ul style="list-style-type: none"> • 降低主梁的拉應力。 • 增加承載力。 	
支撐工法	<ul style="list-style-type: none"> • 防止因應力集中而產生龜裂的擴大 • 增加承載力 • 減低作用力 	<ul style="list-style-type: none"> • 增設新支承，降低支承反力。 		<ul style="list-style-type: none"> • 降低削梁處產生的應力集中。 	<ul style="list-style-type: none"> • 會佔據梁下空間。
合成工法	<ul style="list-style-type: none"> • 增加承載力 • 防止異常變位 	<ul style="list-style-type: none"> • 將非合成梁改裝成合成梁。 		<ul style="list-style-type: none"> • 提高斷面模數，增加承載力 	<ul style="list-style-type: none"> • 需詳細檢視剪力連接器之安裝與設計。

表 C7.5.1 塗裝劣化原因及其處理對策

缺陷	現象	原因	防範與處理對策
變黃 Yellowing	白色或淡色漆膜之變黃現象	使用桐油、亞麻仁油與苯酚樹脂製成之油漆或調配過量乾燥劑。	白色或淡色油漆避免使用易變黃性樹脂，並控制乾燥劑用量。
變色 Discoloration	塗膜變色	使用有機性顏料者較易變色。 含鉛或銅類顏料之油漆與硫化氫接觸變黑。 水泥、白灰、或化學品之接觸變色。	淡色塗裝應選用不變色顏料。 有硫化氫產生之環境，應避免使用鉛或銅系顏料。 使用耐鹼性或各適當之耐藥品漆塗料。 使用適當耐藥品性油漆做重塗。
龜裂 Cracking	塗面產生裂紋、輕者稱為Checking嚴重者稱為Cracking	塗膜太厚。 下層漆未乾。 上、下層塗裝之配合不當，性質不合。 溫度急激下降。	避免過份厚塗。 待下層漆乾透後再做上層塗裝。 慎重考慮塗裝系統，避免異種油漆之疊層塗裝。 氣溫突然下降時應停止施工。 除去龜裂漆膜重做塗裝。
起泡 Blistering	塗膜發生起泡浮腫現象。	因生銹拱起漆膜。 被塗面有水份，或吸潮性物質之附著，以及塗裝器具內有水份之存在。 鋅陽極附近因氫氣瓦斯之起泡或在陰極產生之鹼性質引起之起泡。 厚塗型油漆之連續使用	做完整表面處理與防銹塗裝。 做完整表面處理與塗裝器具之清理。 施塗適合陰陽極防蝕之塗料，並控制防蝕電流，不要變為過電腐蝕。 按規定塗裝間隔施工。 除去有起泡漆膜重做塗裝。
生銹 Rusting	產生鐵銹	表面處理不當。 塗料性能不良。 塗膜厚度不足或施工不良。	做完整表面處理，除去黑皮、鐵銹、水份以及其他異物。 選用品質優良產品。 按規定漆膜厚度施工，不要有漏塗情事發生。 除去漆膜重做表面處理與塗裝。
剝離 Lifting (Spalling)	底面與漆膜或漆膜與漆膜間之剝離現象。	被塗面有油、水份或鐵銹之存在。 底層漆之過份曝露與硬化。 下層漆與上層漆之配合不良。 工程錯誤，例如無 W/P 之氣乙稀系油漆塗裝。 異種塗料之混合。 潮濕木材，或從背面吸收了水份之木材正面塗裝。 過份平滑之金屬面塗裝	做完整表面處理。 在規定塗裝間隔時間內做塗裝。 考慮塗料系統，儘量避免做異種或不同廠牌油漆之疊層塗裝。 按規定塗裝工程施工。 避免不同系統或廠牌油漆之混合。 選用乾燥木材，不做單面塗裝。 用噴砂或砂紙磨粗後施工。 除去剝離漆膜重做塗裝。
皺紋	塗膜有起皺現象	過份厚塗，造成表乾裏不乾現象。 下層漆未乾。 乾燥劑用量太多。 為了促進乾燥，將塗面加熱或直曬太陽	避色過份之厚塗塗裝。 待下層漆乾後(待規定塗裝間隔時間過後)再做上層漆塗裝。 控制乾燥劑用量。 避免急激加熱。 用砂紙磨平後重塗。

表 C7.5.2 表面處理等級及適用標準（日本道路協會）

等級	適用對象	處理前狀態	處理程度	作業方法
清淨度 1 級	新結構物之防蝕塗裝	全鋼料表面	完全除去黑皮、銹，以得清淨之金屬面	噴砂 化學藥品
清淨度 2 級	既有結構物之維修塗裝	塗膜劣化、銹蝕極為嚴重之狀態	除去舊有塗膜及銹蝕，使鋼鐵表面外露並清淨之	電磨機、鋼絲機等動力工具及手工具併用
清淨度 3 級	既有結構物之維修塗裝	局部銹蝕，活膜（未劣化塗膜）尚存在之狀態	留存活膜，清除部分銹蝕，使鋼鐵表面外露並清淨之	電磨機、鋼絲機等動力工具及手工具併用
清淨度 4 級	既有結構物之維修塗裝	塗膜變色或白色亞化狀態	除去粉化物及污物，留下活膜	鋼刷

表 C7.5.3 各種塗料重漆之適合性

底漆塗料種類 \ 上漆塗料種類	油性系	磷苯二甲酸系	酚樹脂 MIO 系	氯化橡膠系	環氧樹脂系	變性環氧樹脂系	柏油環氧樹脂系	聚氨基甲酸酯樹脂系	矽利康油性樹脂漆	氟素系
長暴型樹脂底漆	○	○	○	○	△	△	△	○	○	○
環氧樹脂鋅粉底漆	×	×	×	○	○	○	○	○	×	○
無機鋅粉底漆	×	×	×	△	○	○	○	△	×	○
油性系	○	○	○	△	×	×	×	×	○	×
磷苯二甲酸系	○	○	○	△	△	△	△	△	○	×
酚樹脂 MIO 系	○	○	○	○	×	×	×	×	○	×
氯化橡膠系	△	△	△	○	△	△	×	△	△	×
環氧樹脂系	△	△	△	○	○	○	○	○	△	○
變性環氧樹脂系	△	△	△	○	○	○	○	○	△	○
柏油環氧樹脂系	△	△	△	△	△	△	○	△	×	×
聚氨基甲酸酯樹脂系	△	△	△	△	△	△	△	○	△	○

評價： ○：可重塗； △：有條件的可重塗； ×：不可重塗

表 C7.5.4 塗裝系統之綜合評估

綜合評估	狀況	評分總值 之平均值	是否重新塗裝之 判定
I	塗膜面產生銹蝕、龜裂、剝離，塗膜之防蝕功能全部失效	70~100	必須緊急重漆
II	塗膜上點銹產生多處且局部發生龜裂、銹蝕、剝離現象，但仍存有部分塗膜	40~70(不含)	必須儘速重漆 (2-3年中)
III	塗膜上幾乎無銹蝕，但顯著有光澤減退及白華化現象，上漆有部份消失	20~70(不含)	適當期間必須重漆 (4-5年中)
IV	塗膜未發生異狀	小於 20	繼續追查

表 C7.5.5 銹蝕之評分標準

	狀況
0	看不出任何異常。
10	觀測到之銹蝕佔檢測位置面積之 0.1%~0.3%。
20	觀測到之銹蝕佔檢測位置面積之 0.3%~1%。
30	觀測到之銹蝕佔檢測位置面積之 1%~3%。
40	觀測到之銹蝕佔檢測位置面積之 3% 以上。

表 C7.5.6 剝落之評分標準

	狀況
0	看不出任何異常。
6	觀測到之剝落佔檢測位置面積之 3% 以下。
12	觀測到之剝落佔檢測位置面積之 3%~10%。
18	觀測到之剝落佔檢測位置面積之 10%~17%。
24	觀測到之剝落佔檢測位置面積之 17%~33%。
30	觀測到之剝落佔檢測位置面積之 33% 以上。

表 C7.5.7 龜裂之評分標準

	狀況
0	看不出任何異常。
5	產生龜裂。
10	顯著龜裂。

表 C7.5.8 白華化之評分標準

	狀況
0	看不出任何異常。
5	發生白華化，但油漆之顏色仍可辨別。
10	發生白華化，且油漆之顏色已無法辨別。

表 C7.5.9 環境條件之評分標準

評等	狀況	
0	田園及山間	普通
2	海上以及海岸邊	普通
4	工廠附近及都會區	普通
6	田園及山間	重要
8	海上以及海岸邊	重要
10	工廠附近及都會區	重要

表 C7.6.1 變形之種類與其對應之主要原因

原因 變形種類	下部結構之變位	反覆荷載	地震或碰撞等外力	注入材料不適當	施工不良	腐蝕
支承底座之破損	○	○	○	○	○	
支承底座前方之混凝土剝離			○		○	
錨碇螺栓之鬆脫或斷裂	○		○		○	○
支承本體之破損		○	○		○	
支承之可動性不良	○	○			○	○
支承位置錯移或傾斜	○		○		○	

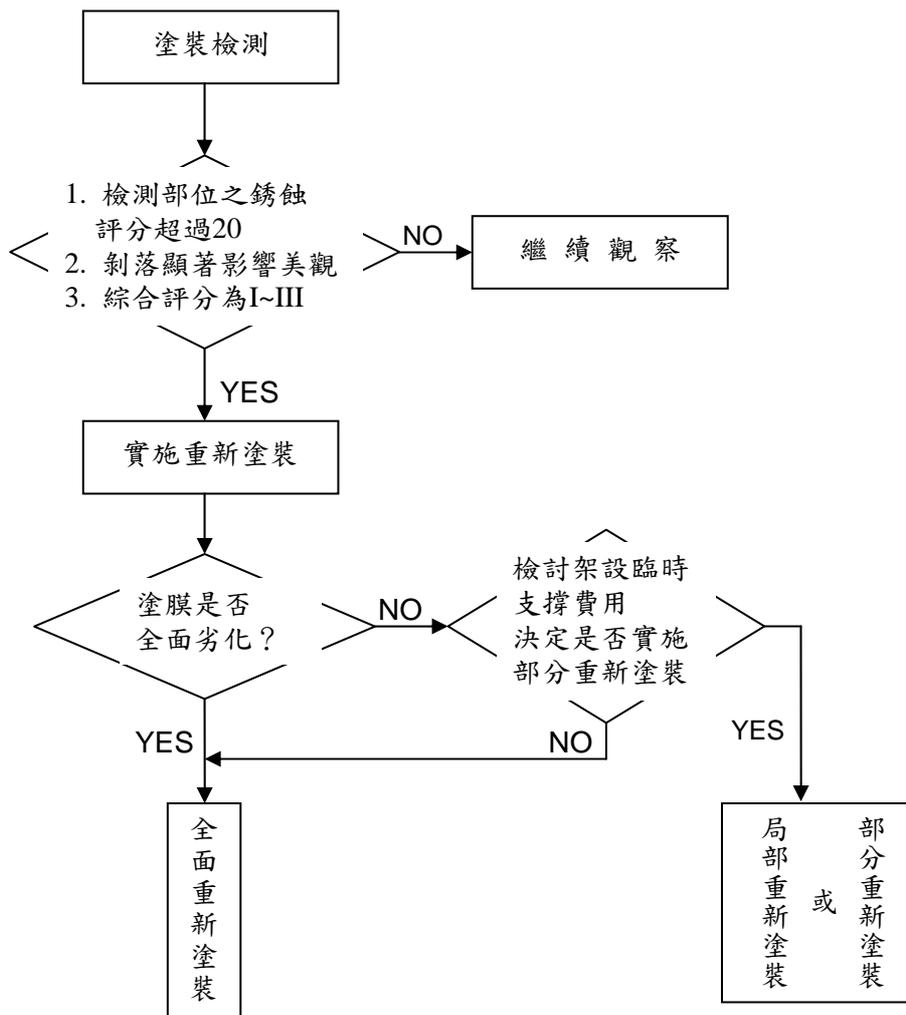


圖 C7.5.1 選擇塗裝維修方法之流程圖

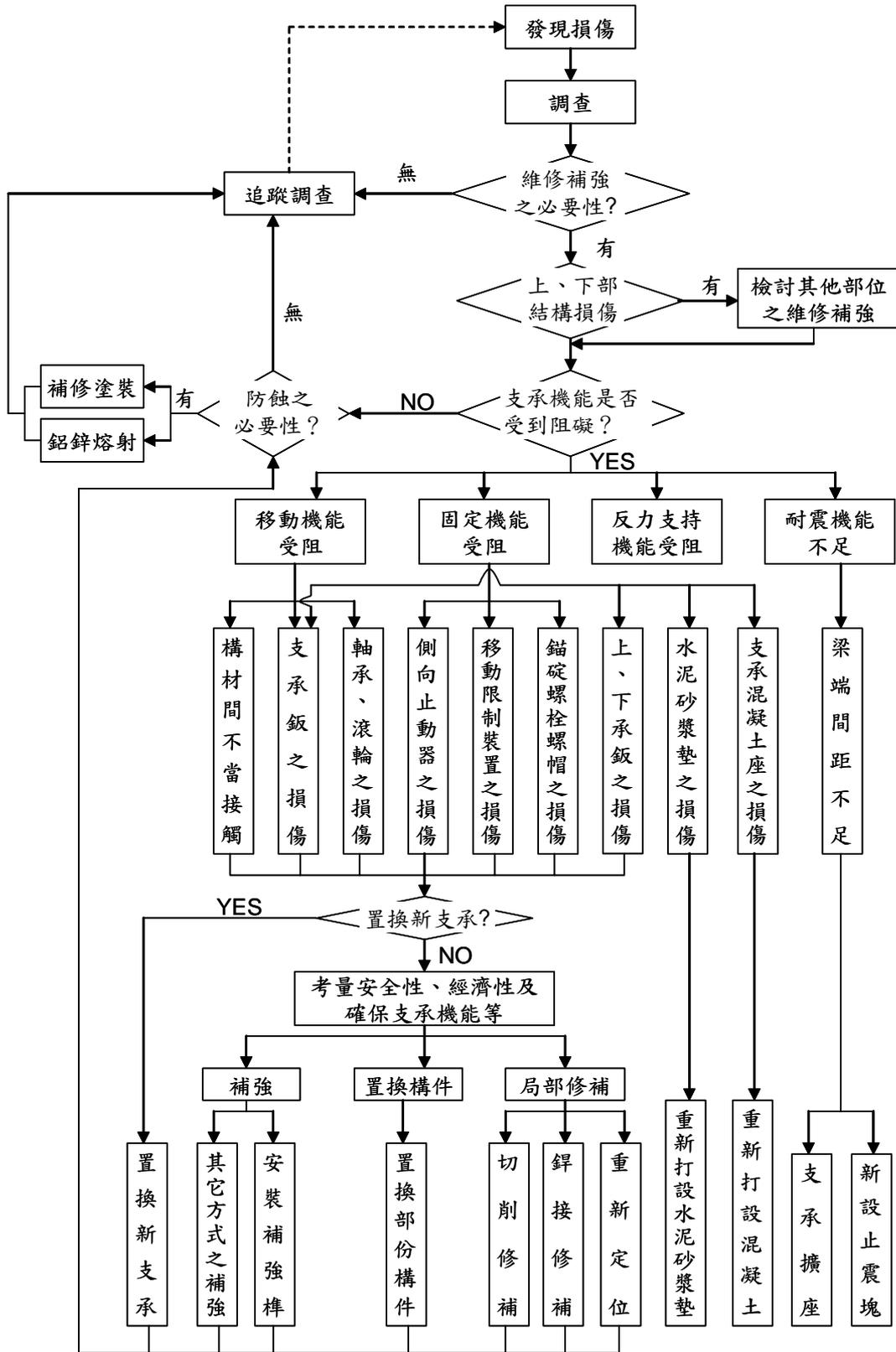


圖 C7.6.1 決定支承維修與補強工法之流程圖

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，“建立橋梁檢測制度方法及準則之研究”，2002
2. 交通部，“公路養護手冊”，2003
3. 台灣省政府住宅及都市發展局，“混凝土、鋼橋一般檢測手冊”，1996
4. 交通部台灣區國道高速公路局，“公路橋梁一般目視檢測手冊”，1996
5. 交通部高速鐵路工程局，“鐵路鋼結構橋梁之檢測及補強原則”，2003
6. 交通部台灣區國道高速公路局，“橋梁功能評估及方法建立(承載能力分析評估及耐震能力評估)”，2004
7. 李有豐，林安彥，“橋樑檢測評估與補強”，2000
8. 交通部科技顧問室，“橋梁腐蝕防治技術導則(草案)”，2000
9. 交通部科技顧問室，“橋梁隧道材料腐蝕劣化原因之探討及防治對策(二)－橋梁篇”，2000
10. 交通部公路總局，“橋梁耐震能力評估準則之建立”，2003
11. 交通部科技顧問室，“建立公路橋梁安全檢測評估子系統軟體研究計畫”，1998
12. AASHTO，“Guide Specification for Strength Evaluation of Existing Steel and Concrete Bridges ”，1989
13. AASHTO，“Guide Specification for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridges”，Revised per Interim Specifications - Bridges - 1993, 1995
14. AASHTO，“Manual for Condition Evaluation of Bridges”，1994
15. AASHTO，“Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges”，2003
16. AASHTO，“Maintenance Manual: The Maintenance and Management of Roadways and Bridges”，1999
17. Petros P. X.，“Bridge Strengthening and Rehabilitation”，Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, 1996
18. Parsons B.，“Bridge Inspection and Rehabilitation”，John Wiley & Sons, INC., New York, 1993
19. Wojciech Radomski，“Bridge Rehabilitation”，Imperial College Press，2001
20. 阪神高速道路公団，道路構造物の点検標準，1982

21. 日本道路公団，点検の手引，1985
22. 日本橋梁建設協會，“鋼道路橋点検マニュアル”，1995
23. 日本道路協會，“道路橋補修便覧”，1979
24. 佐藤栄作，“鋼道路橋の補修・補強の概要“，橋梁と基礎，1994
25. 安川義行，“既設橋梁の補強・補修“，土木技術 52 卷 9 号，1997
26. 細井易弘，“鋼構造物の点検・診断の技術的課題“，土木技術，1999
27. 星川正明，“既設橋梁における機能向上・延命化のための改良“，土木技術，2000
28. 神田昌幸，“これからの道路管理と補修・補強更新の実際“，土木技術，2000
29. 飯野忠雄，“土木構造物の新・補修補強技術の概要“，土木技術，2000
30. 飯野忠雄，“橋の診断・補強への入門“，土木技術，2002