

橋梁殘餘壽齡與保全評估決策模式之研發

Research & development on decision making for residual life and safety preservation of bridges

主管單位：交通部運輸研究所港灣技術研究中心¹

邱永芳¹

薛強²

林雅雯¹

Chiu, Yung-Fang

Xue, Qiang

Lin, Ya-Wen

財團法人中興工程顧問社²

摘要

國內橋梁常受地震與颱風威脅，又有超載與老劣化問題，耐久性與安全性日益堪慮，保全橋梁殘餘壽齡迫在眉睫，安全檢測工作非常重要。然國內於規定層面、客觀性、資源充足性、工作落實、資料正確性以及與評估補強工作之結合性等方面均有待強化。本研究藉由資料蒐集與彙整分析、訪談分析、現地檢測作業問題與變異性分析、專家座談與意見回饋等方式，探討國內目前橋梁檢測作業規定及執行面之困難與問題，提出借鏡國外經驗、國內橋梁檢測有效施行以及橋梁檢測評估與國內相關規範、資訊系統有效結合施行之具體建議，最後規劃橋梁風險評估之方向與議題，其中，特別於技術面提出依據橋檢結果評估檢測項目影響橋梁功能之風險指標與橋況之方法，並可據此排出橋梁維護管理優先順序。本研究成果可以改善橋梁檢測作業，讓管理單位確實掌握橋梁狀況以便進行維護，達到延壽目的。

關鍵詞：橋梁檢測、風險評估、維護管理、決策模式

Abstract

Bridges in Taiwan are frequently threatened by earthquakes and typhoon. In addition, with overload problem and deterioration of old bridges, durability and safety issues become the main concern. Preservation of residual life and safety is imminent. Bridge inspection is very important. However, the provisions are not objective enough and are applicable with limited scope. Resource adequacy, work implementation, data accuracy and integration with other works such as evaluation and rehabilitation need to be strengthened. This study is carried out through data collection and analysis, interview analysis, in-situ inspection and variability analysis, expert discussion and feedback, etc., to discover difficulties and problems encountered currently in Taiwan. Recommendations on the effective implementation of bridge inspection and effective integration with relevant codes and information systems are made by learning from foreign experiences. Finally, research direction and subjects of risk assessment of bridges are also proposed. In particular, a novel methodology is proposed to evaluate the

risk index of each inspection item and the condition index of the bridge based on the bridge inspection results. The proposed indices can be used as the basis for decision making on the maintenance priority of bridge elements. This research results will improve national bridge inspection level so that the bridge management organization could master the bridge condition exactly for maintenance and life extension purposes.

Keywords : Bridge inspection, Risk Assessment, Maintenance Management, Decision Making Model

一、前言

公路系統為交通運輸與民生活動的重要管道，橋梁為陸上交通系統中極為重要的部分。臺灣位處環太平洋地震帶，地震頻繁造成許多橋梁不同程度的損壞，早期老舊橋的耐震能力更有不足之慮；每年颱風、豪雨及近年來河床嚴重下降、氣候變遷等因素，使得河水暴漲且水勢洶湧，劇烈淘刷橋墩及橋台之基礎處河床，特別對原本已裸露之橋基，災情更形惡化，橋梁易受沖刷而導致損壞；海島型的氣候也容易造成橋梁材料腐蝕劣化，特別是老舊橋梁問題明顯；在人為使用方面，亦有車輛超載問題。因此，橋梁安全性、適用性與耐久性日益受到質疑與堪慮，保全橋梁壽齡以達工程永續迫在眉睫。

要保全甚至延長橋梁壽齡，維持橋梁安全可靠的運輸狀況，除了規劃設計與施工恰當妥善以外，維修養護非常重要。這有賴於完整適當的橋梁檢測制度與系統之建立，檢測工作的實施，以及檢測後所做的性能評估、修繕、補強與維護管理，涉及檢測標準規範與方法、檢測人員之訓練、檢測工作之落實與到位、檢測資料可追蹤以及與評估補強等相關規範和資訊系統之結合實施。檢測工作之實施有助於了解橋梁自身狀況，為後續評估橋梁的承载力、耐洪能力以及耐震能力提供資訊，是確保橋梁安全營運之重要環節。然而，自然界危害性具有高度不確定性，即使是橋梁檢測結果顯示健康狀況良好的橋梁，亦有災損之風險，在現行檢測制度與執行面下，如何進行橋梁安全風險評估與管理亦受到關注。因此，探討與分析國內橋梁檢測制度規定與執行情形之問題與困難，吸取國外制度與作法之優點，提出本土化橋梁檢測有效實施之建議，以及基於風險管理，提出橋檢與後續相關工作有效結合實施之橋梁壽齡保全決策模式建議是本研究之主要任務。

二、研究內容

3.1 國內、外橋檢作業比較與借鏡

根據本研究文獻回顧內容，簡要彙整國內公路橋梁檢測與美、日、法之比較如表 1。

表 1 國內外公路橋梁檢測作業現況比較

國家	美國	日本	臺灣
檢測法規	基準或規範、手冊、指南	要領	規範、手冊、作業要點
檢測	採專案管理，分工與權	檢測員(輔助員、檢測車運	多無專職人員。

組織	責清楚。	轉員、交通整理員)+監督員負責制，視情況編。	
人員資格	有人員資格限制、提供多種途徑、強調教育訓練、有認證機構。	條文解說方式限制檢測員資格、提供多種途徑、強調實務經驗。	規範解說提供相關人員資格要求、提供多種途徑、實際上多無強制人員資格限制、提供年度教育訓練機會。
檢測類型	初始檢測、定期檢測、破壞檢測、深化檢測、特殊檢測	初期檢測、平常檢測、定期檢測、詳細檢測、臨時檢測	經常巡查、定期檢測、特別檢測為原則，管理單位可依需求增加
檢測頻率(目視檢測為例)	定檢2年1次，提供彈性增減；經允許，最低4年1次。	平常檢測頻率依交通量定；定檢頻率1年1次，經允許可彈性調整。	巡查頻率依交通量定；定檢第5年第1次、至少2年1次，提供彈性增減，核准最低4年1次。
目視檢測評估重點	由構件損傷程度與範圍掌握橋梁部位損傷，評估橋梁綜合能力。串接橋梁檢測、性能評估以及維管決策。評估方式結合人員判斷與量化指標評估。以損傷模式缺陷指標(Smart Flag)採用多段式(Multi-path)評估方法為發展方向。	由構件詳細劣化情形掌握構件損傷對功能面之影響評等。評估方式結合人員判斷與會議討論。	評估構件損傷程度、範圍、影響與急迫性(D.E.R.&U.為主)；亦有納入A.B.C.D.N.精神，結合劣化模式評估。以人員判斷為主。

國內可以借鏡國外橋檢的特色包括：如美國與日本，透過初始或初期檢測掌握橋梁原始狀況；如日本，區分檢測員與監督員權責，構件損傷評等由監督員把關；損傷嚴重或判定有疑慮，以會議發揮群體智慧來判定；如美國，落實人員資格認證；串接橋梁檢測、能力評估以及維管決策；如美國 AASHTO (2010b) 主要針對 NBE 採用損傷模式 Smart Flag 觀念，對影響結構承載與安全性的主要構件之損傷模式進行較詳細的評判；再結合多段式評估(Multi-path model)，可減小人為判定變異性；如美國橋梁管理系統 Pontis 5.2 納入風險管理、多目標最佳化模組。

3.2 國內橋檢執行情形與問題

國內公路橋梁檢測現況問題綜理如下：

1. 評估方式：「公路橋梁一般目視檢測手冊」與「公路鋼結構橋梁之檢測及補強

規範」，D=1 定義不同：可能有評判或填寫不易之情形；D.E.R.&U.法受檢測人員素質與主觀判斷影響，不同人員檢測結果具變異性；A.B.C.D.N.精神納入D.E.R.&U.評估方式有人認為適宜，有人也有意見認為工作量較大，在作業推行上恐有困難，希望統一為D.E.R.&U.法；國內許多橋梁檢測相關圖書陳述之檢測標準不盡相同，雖然有編碼的程序，但缺乏統一的編碼指南。「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」(曾志煌等 2010)已朝此方向努力，有待落實；單憑目視檢測結果難以準確反應橋梁性能，檢測結果之維管決策應用有限。

2. 檢測種類：沒有初期橋檢規定，竣工資料、初期橋檢資料可能缺乏。
3. 檢測頻率：定檢頻率可以更實際。
4. 檢測項目與表格：部分檢測項目均歸類於「其它」，難以分辨；檢測項目僅對橋梁本體評估，並無包括外部危害因素考量，橋梁仍有損傷風險；能否正確使用受使用者素質與經驗影響，仍會有誤填或混淆情形；評估表恐因改版造成資料不連續；初步評估表的格式也未統一。
5. 檢測人力：普遍不足。
6. 檢測經費：一般橋檢費用無疑慮，進階檢查及改善費用有些不足且不穩定；中央考慮安全性的預算編制方式可能不滿足地方考慮發展性的預算需求；若委外辦理之經費不足，素質較高的顧問公司參與意願低，恐影響橋檢結果之正確性。
7. 辦理方式：橋檢技術層次較高，自辦橋檢人力不足情況下，橋檢人員若又無資格限制，其正確性與品質恐受質疑，檢測結果恐不被認可；委辦若採價格標，且橋檢事務委外的工作內容無所依循，品質保障恐有疑慮；一縣多治或偏遠地方，橋梁檢測品質良莠不一；落實橋檢以及資料能否反應橋梁現況最重要，最大問題是資料不正確；有時會遭遇現地施工機具不足或道路無法通行。
8. 人員資格等相關規定：相關規定可以更完善、實用；人員資格標準與專業認證制度有待落實。

3.3 現地檢測變異性分析

本研究選定座落於南投縣國姓鄉省道上之跨河橋梁進行目視檢測作業。為反應不同經驗程度的檢測人員之檢測結果變異性，本研究依實際檢測經驗為2年以內、2-5年、5年以上分為三個組別，共計30人利用D.E.R.&U.評估方式進行目視檢測與評分，蒐集分析竣工資料、建立好檢測表格、統一採用『橋梁目視檢測評估手冊(草案)』評估標準、備妥工具後，至現場進行座標量測以及各項目檢測，完成填表。針對該橋梁，不同檢測人員之檢測結果變異性分析結果如下：

1. D、E、R 以及 Ici 之變異性受劣化程度、檢測工具是否齊備、構件檢測難易度影響。
2. 依所有人員檢測結果 D、E 及 R 平均變異性大小排序，D 值最小、E 值最大、R 值居中。可能因為 D 相對 E 及 R 有較明確的判定準則；E 沒詳細度量，靠

主觀判定；R 主要受人員素質與主觀判定影響大。

3. D、E、R 的平均變異數及 Ici 變異性依組別排序，2 年以內組最小，2-5 年組與 5 年以上組別差異不大或相近，顯示 2 年以上人員主觀認知差異不大。
4. 2 年以內組別，變異性集中在明顯損傷構件；2-5 年組與 5 年以上組別，有損傷構件及不易判定構件均有變異性。可能因為若經驗不足，不易由微小缺陷辨識橋梁隱藏損傷。
5. 2 年以內組別 Ici 值偏高，2-5 年組 Ici 值偏保守，5 年以上組居中，顯示 2 年以內組別評估之橋梁狀況可能偏良好，2-5 年組評估結果略偏嚴重。

3.4 國內橋檢有效實施建議

本研究團隊經由彙整分析，並參考各管理單位、實際橋檢人員、專家學者等之建議，借鏡國外作法之優點，提出國內橋檢工作有效實施之建議如下：

1. 制度面：

- (1) 於相關手冊內提供檢測重點、圖示說明、判定標準，完善修復工法。目前已於運研所「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」研究成果中納入，有待實施。
- (2) 推行橋檢人員資格認證制度，以確保橋檢結果正確性。建議在目前的制度下，招標契約中明訂承包商檢測人員資格，特別是受訓時數及檢測經驗實績；另針對橋管單位之相關人員提供在職訓練，提升專業與技術能力。
- (3) 養護手冊中檢測等級增加初期檢測。國內可以考慮以下三種方式：1. 驗收等同初始檢測通過，但該方式幾乎等同現行作法，難彰顯效益；2. 驗收後必須進行初始檢測，惟可能產生驗收資料與初始檢測結果不符的情況，對於驗收人員可能會有責任問題，但對於工程本身則仍有保固期的保障；3. 因國內已要求至少 5 年內完成第一次橋梁檢測，相關資料亦會納入橋梁管理系統，以此資料作為初期檢測資料，但該方法三基於第一次定檢，對於早期發生的問題，恐不能儘早發現。橋梁管理單位可自行決定採用何種方式，但建議初始檢測愈早愈好。
- (4) 公路養護手冊對檢測頻率之訂定與國外一致，應為適當。各管理單位依需求自行調整時，仍以符合公路養護手冊之規定為準。
- (5) 配合未來技術發展，統一建立結合橋檢結果之初步評估表。
- (6) 參考交通部頒訂之「橋梁檢測契約範本」，建立橋檢事務委外之標準工作手冊。
- (7) 可同運研所「橋梁目視檢測評估手冊(草案)」研究成果建議：統一「公路橋梁一般目視檢測手冊」、「公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範」有無損傷情形對應 D 值之定義與判定標準。

2. 管理面

- (1) 新建橋梁竣工時，由建造單位將竣工資料放入橋梁管理系統之基本資料中；配合上述初始檢測制度，須於橋梁管理系統中建立初始資料，以基本資料、橋面高程、地面高程、振動頻率、初始檢測等資料建立為原則。
- (2) 管理單位依需求自行調整檢測頻率時，農路或偏遠山區橋梁之定檢頻率可再檢討，但重要橋梁，例如省道或無替代路線之橋梁，以及健康狀況

- 不佳的橋梁，定檢頻率不宜調降；若要提高定檢頻率，除了考慮橋梁損傷變化等需求以外，須考慮人力經費需求以及委外由專業人員辦理之可能性。未來，配合技術發展，可以依據橋梁風險高低來調整檢測頻率。
- (3) 適度增加橋檢人力；允許部分委外，特別是技術性較高的工作允許委外由有經驗之專業人員辦理。
 - (4) 自辦橋檢工作共用機具者，除了統一管理、維護與調度以外，可考慮部分工作委外辦理，對於重要橋梁，應編列工作機具相關經費，並於現場目視檢測工作前進行工作機具查驗；機具或配備應有汰換機制，避免使用功能有疑慮之老舊橋檢車；非破壞性檢測相關儀器需由專業人員使用，相關工作可以委外辦理；檢測工具適時導入橋檢新科技，目前可針對狀況很差者考慮以數位檢測輔助，但不建議取代現行作法，未來配合資訊技術發展，軟硬體精進，全面性數位檢測可作為長期發展之方向。
 - (5) 國內目前在有限的經費與時程下，現場作業用的檢測表格以現行較簡便之目視檢測表較為可行，而損傷位置、圖片、較詳細的說明等資料可於橋梁管理系統面來儲存，可考慮前述數位檢測記錄。為此，可開發橋檢現場用之前端軟體，其資料庫可與橋梁管理系統進行資料交換。若有改版，需考慮資料延續性。
 - (6) 評鑑機制應能鼓勵橋檢人員去發現問題與解決問題，要避免評鑑造成負面影響，管理面應有配套措施，當發現需維修之橋梁或構件數目較多時，應編列足夠之改善經費。
 - (7) 中央預算編制適度考慮地方發展需求，地方首長重視橋梁維護；管理單位編列預備金或建立年度專業廠商之開口契約；採委外辦理者，依委外項目編列合理經費，盡量避免價格標。
 - (8) 以嚴格的契約與嚴謹的查核來保障品質；橋檢工作除了適度委外由專業人員辦理以外，亦或可定期委辦橋梁總體檢，確實檢查橋梁狀況；交通部已有『臺灣地區橋梁管理資訊系統』橋梁資料查核計畫，對確保資料正確性有助益。
 - (9) 在人力有限之情況下，確保橋檢人員資格素質；招標契約中明訂承包商檢測人員資格，特別是受訓時數及檢測經驗實績；另針對橋管單位之相關人員提供在職訓練，提升專業與技術能力。

3. 技術面

- (1) 檢測工具適時導入橋檢新科技。目前可針對狀況很差者考慮以數位檢測輔助，但不建議取代現行作法，未來配合資訊技術發展，軟硬體精進，全面性數位檢測可作為長期發展之方向。
- (2) 導入新科技，例如行動裝置搭配 RFID 或影音之應用，確保橋檢工作落實。
- (3) 當 D 或 R 超過 2 尚未達 3，填寫有疑慮時，以會議方式進行技術性判定。
- (4) D.E.R.&U.法與 A.B.C.D.N.法之取捨或結合已長期受到關注，目前現況基本上以 D.E.R.&U.法或結合 A.B.C.D.N.法精神之 D.E.R.&U.法為主，以讓行之有年的橋檢工作與檢測資料有統一的基準，橋梁管理系統資料亦得以持續應用。惟因現行結合 A.B.C.D.N.法精神之 D.E.R.&U.法針對所有檢測項目，較多意見反映執行面較繁瑣，因此，本研究建議國內以 D.E.R.&U.法為基準，每一構件填寫 1 筆，僅針對少部份主要項目納入 A.B.C.D.N 法之精神，不致使工作量增加過大。依據檢測項目影響橋梁

功能之權重以及橋梁管理系統統計之損傷比例，建議之主要項目包括：主構件(大梁)、橋墩墩體/帽梁、橋面版、橋台、副構件(橫隔梁)。

- (5) 為減小檢測結果變異性，參考美國做法，對上述少部份主要項目，針對各損傷模式採用多段式(multi-path)評估方式。相關表格詳見本研究期末成果報告(薛強等 2011)，預期此方式可以改善現地檢測發現 E 值變異性最大的狀況。
- (6) 為強化 D.E.R.&U. 檢測結果於橋梁維護管理決策中之應用，串接橋梁檢測與性能評估，了解影響橋梁功能之關鍵構件、關鍵風險來源、橋梁狀況與易損性以及損傷後果，便於掌握維護管理工作重點。

3.5 橋梁壽齡保全決策模式建議

本研究特別建立風險評估原理應用於構件層級之方法：由構件劣化損傷嚴重程度與範圍(D_{ij} 、 E_{ij} 值)，組合為構件功能失效之可能性(構件易損性)指標 P_{ij} (表 2)；由檢測項目內各構件之 P_{ij} 組合為檢測項目功能失效可能性(項目易損性)指標

P_i ： $P_i = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_{ij})$ ；以構件權重反應構件功能失效對橋梁功能影響之嚴重程度，作為後果指標 w_i^* 值；基於相同危害潛勢，以構件 P_i 與 w_i^* 之乘積= R_i^* 值代表構件損傷狀況影響橋梁功能之風險或關鍵性。

表 2 構件功能失效可能性矩陣

E D	1	2	3	4
1	0	7	21	41
2	15	28	48	68
3	35	55	75	88
4	62	82	94	100

將該方法應用於本研究現地檢測之橋梁，依各檢測項目 R_i^* 值排序，構件關鍵性依序為：橋墩保護設施($R_i^*=38.74$)、摩擦層($R_i^*=13.81$)、伸縮縫($R_i^*=12.54$)、橋面版/鉸接版($R_i^*=12.11$)、橋面排水設施與欄杆及護牆($R_i^*=5.06$)，與採用現行 D.E.R.&U. 法橋檢結果之 R 值比較，橋墩保護設施與摩擦層之 $R=2$ ，橋面排水設施、欄杆及護牆、伸縮縫與橋面版/鉸接版有 $R=1$ ，其他項目則為 0，兩種方法顯示構件維修急迫性基本一致，惟現行方法 R 值具主觀判定，本研究建議方法有優點為僅需依據 D、E，減少主觀性之影響程度；構件易損性指標可有效反應構件損傷程度與範圍之影響；針對含多支構件之檢測項目，項目易損性指標有效反映不同損傷支數與各支損傷程度之影響；掌握影響某單一橋梁安全性與服務性之關鍵構件；有效反映橋梁整體狀況；可據此排出維護管理重點與優先順序；容易納入既有橋梁管理系統。

預期該方法可以改善現地檢測發現 R 值變異性受主觀判定影響的狀況。

依據 R_i^* ，亦可計算新的狀況指標，例如採用新 CI 對應之檢測項目權重(交通部運輸研究所 2011) 作為 w_i^* ，上述案例之新狀況指標

$$CI^* = 100 - 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{21} (P_i \times w_i)}{\sum_{i=1}^{21} w_i} = 92.56, \text{ 採用現行方法, } CI=99.0, \text{ 新 } CI=99.03, CI^*$$

對損傷影響更為敏感。

3.6 資訊系統結合實施建議

風險評估原理應用於構件層級之方法容易納入既有橋梁管理系統：1. 國內橋梁檢測行之有年，相關檢測結果亦納入橋梁管理系統，針對整合性風險或耐洪、耐震等單一風險，該方法可以應用既有橋檢資料。2. TBMS 系統面：增加新指標之方式，通過邏輯層處理，小修介面即可成功實施。

針對風險評估原理應用橋梁層級以及與後續工作結合實施之建議，可考慮於「檢測資料模組」中，同時納入「構件檢測資料」與「其他檢測資料」，前者則對應現行系統之檢測資料模組，納入前述橋檢有效實施建議，後者則納入橋梁風險初步評量表中橋梁現況以外之其他因子所對應之檢測項目；再於決策支援模組中，增加「風險管理模組」，依據橋檢與初步評估法結合之建議，計算單一風險與綜合風險指標，再依不同條件進行排序，最後依據與後續詳細評估、維修補強與監測工作結合之建議，提供維護管理建議。

另外，為確保檢測資料正確性，可開發現場用前端軟體進行資料交換；亦可開發行動裝置搭配 RFID 之應用，建立橋梁巡視圖，由 RFID 辨識檢測位置，系統自動選擇填表畫面，行動裝置系統填寫巡檢基本資料，系統資料庫-行動裝置-RFID 間讀寫進行資料交換，落實巡檢到位，讓缺陷無所遁形。或以影音方式記錄各次檢測實情。

五、結論與建議

1. 本研究比較國內外橋檢特色，提出強化人員資格認證、增加初始獲初期橋檢種類、以會議決策方式解決檢測評估疑慮、針對各損傷模式採用多段式評估方式減小變異性、串接橋梁檢測與性能評估等相關工作以強化決策支援、風險管理等建議，供未來國內相關規範或手冊研擬、技術提昇以及管理面決策之參採。
2. 本研究綜理國內橋檢現況問題，從制度面、管理面與技術面提出國內橋檢有效實施之建議。除了前述借鏡國外特色之相關建議以外，還包括：招標契約中明訂承包商檢測人員資格與提供在職訓練；建議養護手冊中檢測等級增加初期檢測之三種實施方式；竣工資料與初始資料之建立；依據橋梁風險高低來調整檢測頻率等；並針對業界反映現行結合 A.B.C.D.N.法精神之 D.E.R.&U.法因涵蓋所有檢測項目使得執行面較繁瑣之困難，建議針對少部分主要項目進行，建議之主要項目至少包括：主構件(大梁)、橋墩墩體/帽梁、橋面版、橋台、副構件(橫隔梁)。以上建議可供國內相關單位參採。
3. 本研究對檢測人員現地檢測結果變異性分析顯示：檢測結果受檢測人員素質影響，統一的評估標準、事先的準備工作均很重要；可能因有較明確的判定準則，D 值變異性最小，E 值變異性最大，未來可借鏡美國做法採用多段式評估方式來減小變異性，R 值主要受人員素質與主觀判定影響大，未來可採用本文橋梁

壽齡保全決策模式建議之風險值或關鍵性指標 R_i^* 來排序，加以改善；檢測經驗 2 年以上人員主觀認知差異不大，2 年以內組別評估之橋梁狀況可能偏良好，2-5 年組評估結果略偏嚴重，5 年以上組居中。

4. 本研究提出以風險作為橋梁性能指標，將風險評估原理應用於構件層級與橋梁層級之橋梁壽齡保全決策模式，以串接橋梁狀況檢測結果與後續性能評估，強化橋梁檢測結果於維管決策之應用。特別建立風險評估應用於構件層級之方法，並以案例驗證其可行性，推動國內橋梁管理技術與國際接軌。
5. 本研究規劃未來相關研究之期程與內容，為計劃全程達成目標作充分準備。

預期本研究成果可以讓管理單位經由維護管理前端工作—檢測作業開始，確實掌握橋梁狀況與各項性能，了解可能風險，加強重點維護管理工作，有效控制橋梁災損風險，達到維護甚至延長橋梁壽齡之目的。

參考文獻

1. 日本道路公團(2003)，〈道路構造物点檢要領(案)〉。
2. 交通部 (2003)，〈公路養護手冊〉，交通技術標準規範公路類公路工程部。
3. 交通部 (2008)，〈公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範〉，交通技術標準規範公路類公路工程部。
4. 交通部運輸研究所 (2011)，〈臺灣地區橋梁管理資訊系統〉，<http://bms.iot.gov.tw/bms2/>。
5. 交通部臺灣區國道高速公路局 (2001)，〈交通部臺灣區國道高速公路局橋梁檢測作業要點〉。
6. 交通部臺灣區國道高速公路局 (2011)，〈高速公路養護手冊〉。
7. 日本國土交通省 (2004)，〈橋梁定期点檢要領(案)〉。
8. 曾志煌、許書耕、巫柏蕙、姚乃嘉、陳明正、葉啟章、蔡欣局、廖先格 (2010)，〈橋梁目視檢測評估手冊(草案)之研擬〉，交通部運輸研究所。
9. AASHTO (2002), “Guide for Commonly Recognized(CoRe) Structural Elements”, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1997 with 2002 Interim's.
10. AASHTO (2010a), “Manual for Condition Evaluation of Bridges”, 2nd ed., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1994, as amended by 1995, 1996, 1998, 2000, 2003, 2008 and 2010 interim revisions.
11. AASHTO (2010b), “Bridge Element Inspection Guide Manual”, 1st ed, American Association of State Highway and Transportation Officials.
12. AASHTO (2010c), Pontis Update 2010, AASHTO BRIDGEWare and Management Team,
http://www.google.com.tw/search?source=ig&hl=zh-TW&rlz=1G1GGLQ_ZH-TWTW352&q=pontis+update+2010.

13. FHWA (1995), "Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges", Report FHWAPD-96-001, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
14. FHWA (2006), "Bridge Inspector's Reference Manual", FHWA Report NHI 03-001, Federal Highway Administration, Washington, D.C.