

## 第三章 高速公路橋梁延壽策略建立

### 3.1 生命週期維護管理概念

隨著國內重大橋梁公共建設陸續完成，以及 70 年代大量興建的十大建設，十二項建設等公共工程進入「中年期」，維護管理問題將成為國內工程界未來十年內的首要挑戰。而國內以往橋梁維護管理工程的層級，仍多停留在消極的目視巡查與一般的清理養護，而對於設施的功能折損，也多是採取被動的維修策略。

所以積極性的維護工程在質與量上都與傳統的養護工作有極大的差異，傳統的養護工作僅止於消極地維持設施功能，且較偏重於清理、打掃及小型的零星修補工程，而積極性的維護工程則是以結構設施的生命週期為基本考量，維持設施服務水準與操作的穩定，甚至延長其服務年限。積極性的維護工程包含了養護、維修、補強、管理，甚至防災等傳統養護工作沒有的工程項目，而維護工程的成效紀錄更可以回饋至規劃、設計甚或投資面的檢討，涵蓋了設施的全生命週期。在量的方面，維護工程將取代原有的新建工程成為主軸工程項目，包括設施養護、維修、補強、功能擴充以及災時搶修、災後復建等維護工程需求勢必大量成長；而在質的方面，以往新建工程較單純的施工程序與技術需求，也將轉變為施工程序複雜而且技術整合要求需因時、因地制宜的維護工程。

歐、美、日等先進國家於 90 年代後期即已發覺維護工程的重要性，且陸續投入大量的人力、物力進行相關的政策與技術研究。反觀國內工程界，包括政府與民間卻仍未見針對公共建設之維護工程領域投入集中且積極的資源。有鑑於此，本章彙整國外相關文獻，並檢討國內目前公共工程維護管理架構，以生命週期維護工程（Life Cycle

Maintenance Engineering, LCME) 的概念從介紹維護工程的定義、特性，到詳述說明生命週期維護工程的內容，並提出生命週期維護工程指標以及工程界各單位針對維護工程之參與角色定位，冀能提升工程界對維護工程的了解與重視，並提供政府政策執行與產業轉型升級的推動方向。本章節前半段，先介紹維護工程管理的概念；後半段再導入橋梁延壽工程在維護工程裡所扮演的角色。

### 一、生命週期維護管理定義

橋梁維護管理作業係指橋梁維護管理單位經常或定期巡查轄區內橋梁，並依據橋梁現況及實際需要訂定橋梁維護管理計畫，利用機具及人力，針對不同設施之維護管理基本原則與方法，辦理各項維護管理工作。復因橋梁極易遭受颱風、地震、豪雨之侵襲，以及人為之破壞，致使橋梁阻斷或危及行旅安全，橋梁維護管理單位應立即通報並予以搶通或修復，使橋梁隨時提供良好之服務水準。此外，橋梁維護管理作業並應注意環境維護，儘量避免污染空氣、水源及製造噪音等公害，並力求公路美化與周圍環境之調和，使行旅能在安全、舒適及便利之原則下使用橋梁。

早期國內之橋梁維護管理措施為依據巡查或檢測資料，分析橋梁現況及其功能性，評定其安全等級為安全、可能有危險、危險、立即危險等四級，並依橋梁之安全等級進行定期養護或修復補強措施。然而，由國外近年之橋梁維護管理相關參考文獻可知，此舉已無法符合橋梁繁複之維護管理需求。因此，本研究參考國外近年之維護管理相關文獻，建議將安全等級修正為(1)定期維護 (routine)，(2)預防維護 (preventive)，(3)反應維護 (breakdown)，(4)升級維護 (upgrade) 等四級之維護等級。

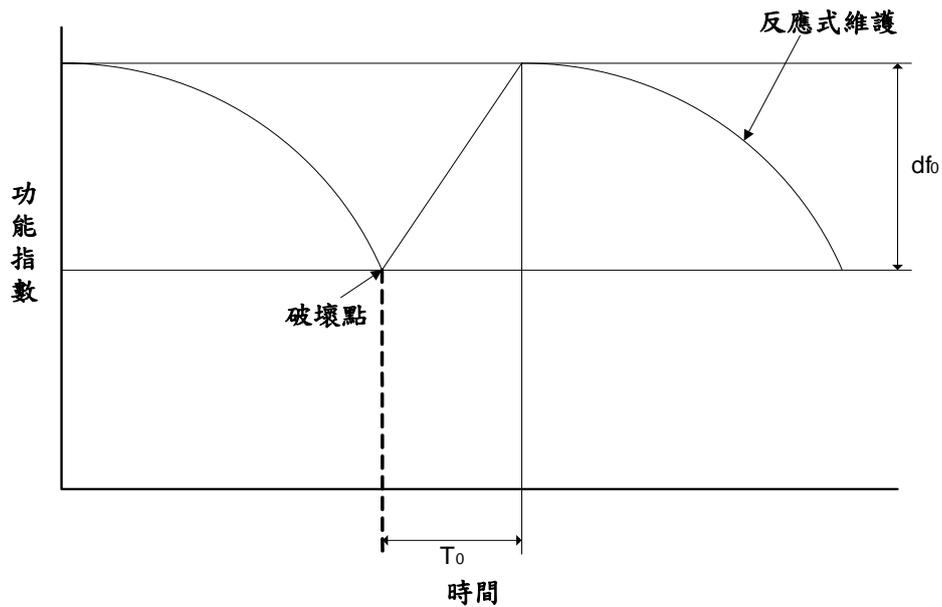
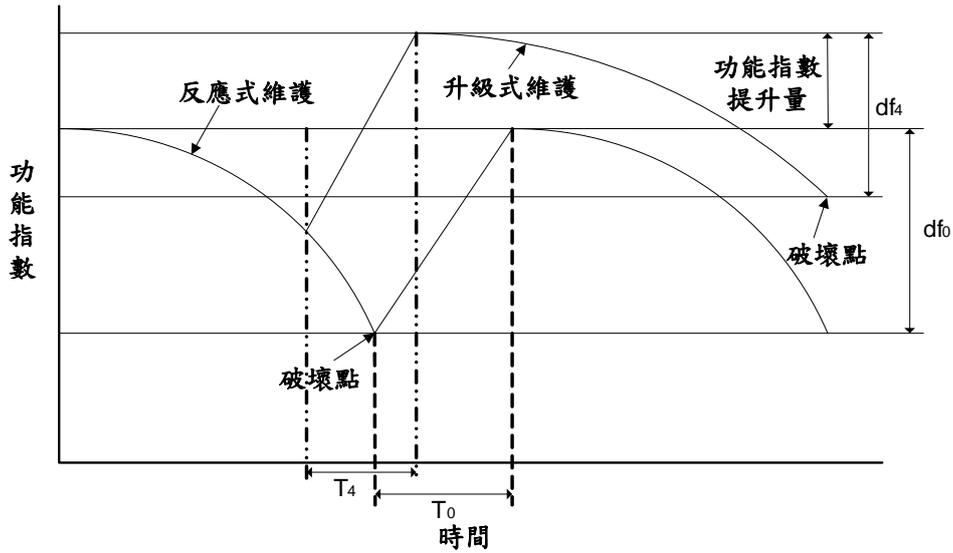
依據橋梁等級，可將橋梁管理策略可分為下列四種方式。

## 1. 升級式維護管理 (Upgrade Maintenance)

升級式維護管理為「升級維護」等級所採取之策略，其係指由於法令規章之修正、橋梁功能不敷使用…等因素，致使橋梁由拓寬、改善等措施以提升其服務水準，如圖 3.1 所示，功能指數為橋梁水準指標(第 4.4 節)，其將因老劣化等因素隨時間之增加而逐漸降低，一般而言，橋梁維護管理人員於橋梁損壞時（即其功能指數降低至不敷使用時）執行維護管理措施，以再次提升其功能指數達道路最佳服務水準狀態；升級式維護管理除了因上述因素而提高其功能指數外，可於改善工程執行之同時，綜合檢討橋梁現況、功能、危害度等並加以改善，使公路劣化曲線較為和緩，且降低其日後執行維護管理所需之能量（即  $df_4 < df_0$ ）。

## 2. 反應式維護管理 (Breakdown Maintenance)

反應式維護管理為「反應維護」等級所採取之策略，其係指橋梁設施經由一般目視檢測或通報系統發現破壞發生，因其破壞程度、範圍可能對用路人產生安全或通行影響，而採取之維護管理措施，如圖 3.2 所示，反應式維護管理表示功能指數到達破壞點時才進行維修措施，以致維修時需要相當之干擾時間（ $T_0$ ）及功能提升所需能量（ $df_0$ ）。

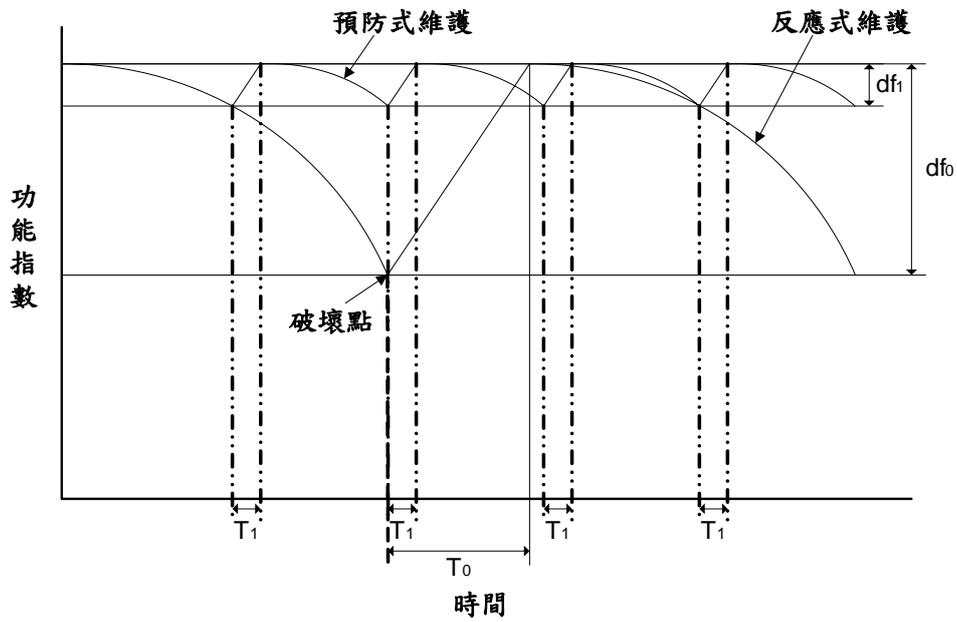


### 3. 預防式維護管理 (Preventive Maintenance)

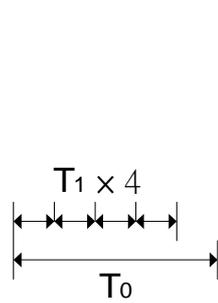
預防式維護管理為「預防維護」等級所採取之策略，其係指透過監測資料或維護管理歷史資訊，來訂定維修或養護策略，此種維修方式之維修時機位於破壞開始發生時間點之前，

其以較短之干擾時間 ( $T_1$ ) 及較少之功能昇所需能量 ( $df_1$ ) 對橋梁進行維護管理，如圖 3.3 所示。從圖中可看出預防式維護管理與反應式維護管理間之差異，其中  $T_0$  及  $df_0$  分別為反應式維護管理之干擾時間及功能提昇至原設計所需之能量； $T_1$  及  $df_1$  分別為預防式維護管理之干擾時間及功能提昇至原設計所需之能量，雖然預防式維護之管理干擾次數較為頻繁，一般而言，反應式維護管理干擾時間 ( $T_0$ ) 及功能提昇所需之能量 ( $df_0$ ) 會比預防式維護管理生命週期內之總干擾時間 ( $4 * T_1$ ) 及功能提昇所需之總能量 ( $4 * df_1$ ) 為高。以一 1 KM 鋪面工程為例，每年鋪面之預防式維護管理（以面層重鋪為例）之干擾時間（干擾狀況為部份通車）大約為 3~4 天，若不採取預防式維護管理方式，於第四年鋪面產生大規模及嚴重破壞時，其重建（需進行排水系統修復、基底層換料及面層施工）將造成至少 20 天之干擾時間（干擾狀況為車道全面封閉）。

積極式維護管理（Proactive Maintenance）為預防式維護管理的一種，其係指透過監測資料與破壞原因探討，及生命週期維護管理進行破壞原因之根除及維修，使橋梁設施結構之生命週期內維修所需總能量達到最小 ( $2 * df_2 < 4 * df_1 < df_0$ )，且維修之總干擾時間最短 ( $T_2 + T_3 < 4 * T_1 < T_0$ )，如圖 3.4 所示。從圖 3.3 與圖 3.4 之比較，可看出預防式維護管理由於未根治設施破壞原因，因此修護完成後之功能劣化趨勢與原設施相同；積極式維護管理對於破壞原因加以根絕，因此修護後之設施功能劣化趨勢將更為緩和。比較積極式維護管理與預防式維護管理，雖然積極式維護每一干擾期之干擾時間較長，因對破壞發生原因探討及修護，若長期比較其干擾頻率將減少許多，干擾時間之加總亦降低不少。

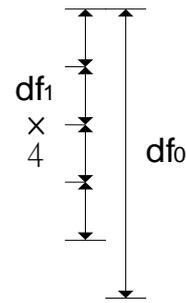


(a) 預防式維護管理及反應式維護管理比較



$$T_1 \times 4 < T_0$$

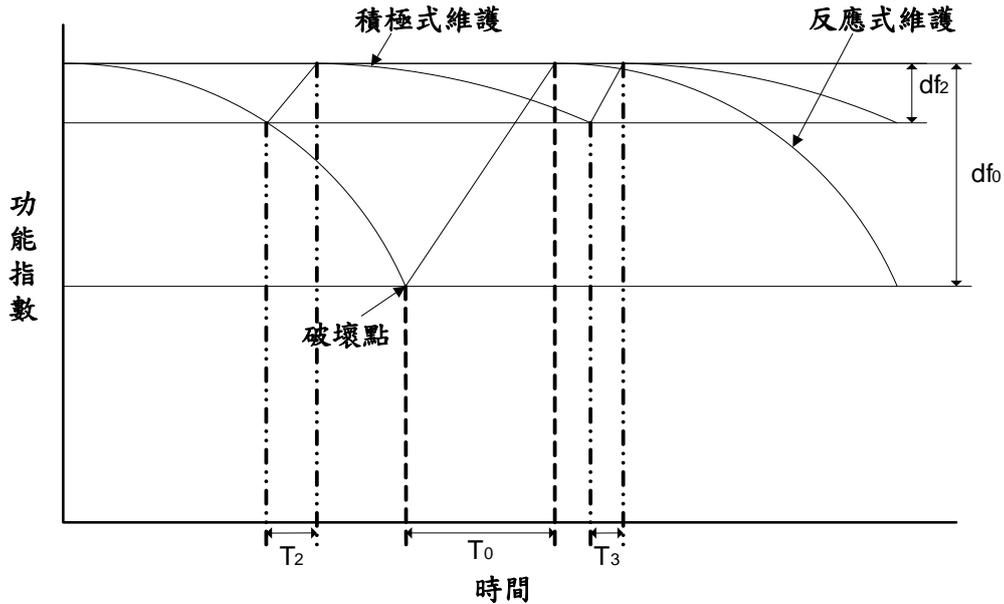
(b) 維修干擾時間比較



$$df_1 \times 4 < df_0$$

(c) 維修所需能量比較

圖 3.3 預防式維護管理示意圖



(a) 積極式維護管理及反應式維護管理比較

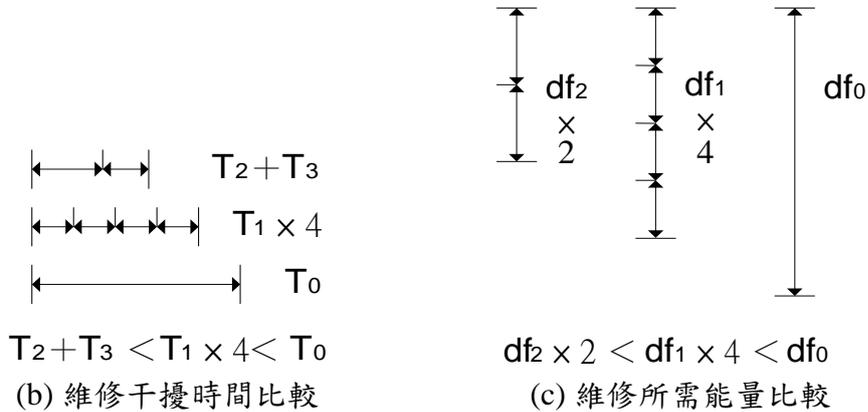


圖 3.4 積極式維護管理示意圖

#### 4. 定期式維護管理 (Routine Maintenance)

定期式維護管理係指針對「定期維護」等級所採取之維護管理策略，如割草、修剪樹木、疏通邊溝、伸縮縫清掃…等針對橋梁結構或設施未損壞所施行之定期措施，此定期式維護管理措施之主要功能為維持使用人行旅之舒適性與安全性，亦可略為減緩橋梁老劣化之趨勢，或略為降低橋梁因災害發生造成之損害程度與範圍。

設施之干擾程度及干擾時間即為使用者成本計算之依據，設施需較大程度之功能提昇意謂其維護作業執行期間之干擾程度亦較大，因此同樣干擾時間，干擾程度大其使用者成本亦較大。表 3.1 為上述各維護策略比較表，設施採積極式維護策略於短期間內管理成本及使用者成本雖均較預防式維護策略為高，但長時間比較積極式維護策略之總成本則較預防式維護策略減少甚多，因此積極式維護策略應為工程設施永續經營所需採用之維護策略。

表 3.1 維護策略比較表

維護策略	維護時期干擾程度	維護時期干擾時間	干擾頻率	使用者成本 (長期)	管理成本 (長期)
升級式維護管理	極大	極大	—	小	大
反應式維護管理	極大	極大	小	大	大
預防式維護管理	小(短期) 中(長期)	小(短期) 中(長期)	大	中	中
積極式維護管理	中	中	小	小	小
定期式維護管理	小	小	大	大	小

## 二、生命週期維護管理特性

維護需求發生的原因可歸納為下列七點：

1. 設計規劃不當。
2. 施工品質不良。
3. 使用不當。
4. 材料與系統老劣化。
5. 災害毀損。
6. 環境改變。
7. 規範改變。

相較於傳統的新建工程，維護工程具有下列特性：

### 1. 強調功能評估的重要

維護工程主要是針對既有設施所進行的修繕、補強工程，因此既有設施在維護過程中的功能評估就變得十分重要。透過檢、監測技術與模擬分析方法的輔助，工程人員必須於維護工程規劃設計前先分析了解設施的功能狀況，擬定維修的對策，亦即所謂「對症下藥」；而在工程執行過程中，結構行為的監測結果需回饋分析原始設計的妥適性，甚至進行必要的調整；最後，維護工程完成後的效果更須藉檢、監測技術進行驗證。因此，功能評估是維護工程中最重要的一項工作，包括有效的檢、監測技術與正確的模擬分析模式是維護工程規劃設計、施工、甚至驗效的關鍵。而相對於傳統新建工程，維護工程所需的檢、監測技術與模擬分析方法必須能滿足既有設施且適合整個複雜系統的所在環境，其技術水準與分析理論必然遠高於傳統工程。

### 2. 強調介面與多元技術的整合

傳統的新建工程屬線型操作，通常由基礎開始，然後下部、上部結構依續施工，各個技術環節獨立分工、介面單純。而維護工程則是針對既有設施所進行的工程行為，不同的工程技術，包括地工、材料、結構等必須同時進行而且互相搭配以求最佳效果，其中介面複雜，而且互相牽制。因此，維護工程也特別強調介面與各類工程技術的整合，所以工程人員不再各自行事，而是必須一齊合作協商，這將是對現有設計、施工程序與管理制度一項重大改變，也是一大挑戰。除此之外，許多新技術、新材料、新工法也勢必因應維護工程的需求而出現，

如何正確的設計引用，或驗證其效能，也將會是工程人員的艱鉅任務。

### 3. 考量防災與抗災需求的維護工程

維護需求的發生原因包含了環境與規範的改變，舉例來說，九二一地震之後台灣地區地形與地貌有許多改變，許多設施所在的環境已與設計當時差異甚多，因此有重新評估其安全性與補修需求的必要；除了環境的改變，九二一地震後國內的耐震規範也因應九二一地震中強震的特性而有修正，橋梁設施因為此項修正而變成抗災能力不足，而有補修或功能提昇的需求。然而上述考量防災或抗災需求的維護工程主要是針對既有設施，如何評估需求，如何設計，以及施工可行性都必需謹慎考量。

### 4. 預算規劃與經濟效益評估模式的改變

有別於傳統新建工程是以單一計畫作預算規劃，效期是以投資所衍生的經濟成長與產值作為評估依據。維護工程的預算規劃則是全面性的，涵蓋較多的工程數量，而且跨越較長的執行期程，如何評估維護工程的量與規劃執行期程，國家建設或更新計畫是先進國家較常採用的方式。此外，維護工程的經濟效益評估，通常是以估算設施功能喪失所衍生的經濟損失與社會成本，並考量設施的生命週期成本後所建立的分析模式進行。

### 5. 採購與契約方式的改變

傳統新建工程一般是以成品的採購與驗效為契約主體；而維護工程卻經常是以設施的功能為採購的對象，而以功能評估結果作為驗效的依據，因此傳統新建工程的契約將無法適用於

維護工程，必須重新研擬，以滿足維護工程採購過程的特殊要求。

#### 6. 功能規範與系統驗證制度的應用

如前所述，維護工程所使用的工法技術通常會因特殊的目的而涉及專利，或者達成同一目的可使用的工法技術可能有許多種，因此，可預見的，功能性規範將被大量採用，然而為防止可能的歧見或弊端，國外先進國家大多以第三者或公正團體對新材料、新工法、新技術進行效能驗證，甚至包括專業廠商與人員資格的驗證，以輔助功能性規範的使用。

#### 7. 資料與資訊管理系統的應用

另一項維護工程的重要工作是資料的累積與管理，維護工程不僅需要設施原有的設計資料以及使用狀況的記錄，更重要的是要有一套完備的設施管理系統記錄維護工程執行成果，包括上述資料。現有進步的資訊技術對於建立相關管理系統可提供極為便利有效的協助。

#### 8. 教育訓練的重要

以上所述七項維護工程的特性，對國內工程界而言幾乎全為新的知識與概念，如何於短時間內教育訓練足夠的工程師、施工人員，甚至採購管理人員，也是維護工程一項重要工作。

綜上所述，維護工程在工程的規劃、設計到施工階段都與傳統的新建工程不同，就規劃而言，維護工程經費的取得與分配，更需考量複雜的經濟面、環境面、管理面以及技術面，甚至政治面。就設計而言，維護工程不僅需對現有設施進行功能評估，檢視原設施之設計及施工品質並分析設施之營運現況及外在環境，同時亦需考量施工技術之可行性，以達成其所需功能並降低可能的衝擊。最後，就施工而

言，維護工程的進行除考量對工區之進度、成本、品質及安全衝擊外，對於用路人的安全性與服務性，以及外在環境的影響，包括污染等亦需加以考慮。

### 三、橋梁生命週期維護管理流程

國內大型工程設施如捷運工程、高速鐵路及公路與生命週期維護管理之流程大致相同，其中橋梁延壽工程乃為維護管理中重要之工程，因此生命週期維護管理以橋梁為例進行探討。

目前國外一些先進國家如美國及加拿大，其交通設施維護管理均採用生命週期維護管理的觀念，從工程設施營運目標的訂定如橋梁之安全性及服務性的提昇，配合設施的現況評估及其危害度評估與風險分析，決定設施維護的優先序及維護方式，再根據優先序及維護方式進行設施維護管理之規劃，進而產出所需的經費，經費的產出需經以成本-效益分析基礎編列合理化設施維護管理經費，之後透過公聽會議設施維護管理經費取得及分配程序透明化。

目前美加地區設施維護管理之經費編列流程，均已納入「取之於民，用之於民」之觀念，然目前國內省公路橋梁維護管理經費的決定與國外作法迥異，例如目前省公路每年維護管理經費固定約為六十億，且已多年均採此固定經費預算。此種設施維護管理之制度由預算決定後才進行維護管理策略規劃，根據美國 NCHRP 於 2004 年對二十六個美國州交通廳及加拿大省交通廳調查其交通策略規劃與經費預算間之關係，發現目前無任何一個交通廳以此方式運作。分析目前國內外橋梁維護策略及經費決定過程之差異，由於國內目前缺乏一個完整之橋梁生命週期維護管理制度。圖 3.5 為橋梁延壽生週期維護管理之流程，此流程由四個主要步驟組成一迴路式作業流程，此四個主要步驟為：

1. 資料建檔：設施基本資料及營運維護資料建檔。
2. 序選分析：由設施現況資料及設施預期目標決定維護作業優先序。
3. 策略規劃：由序選分析結果結合成本—效益分析訂定營運維護策略。
4. 執行驗效：實際執行生命週期維護管理作業。

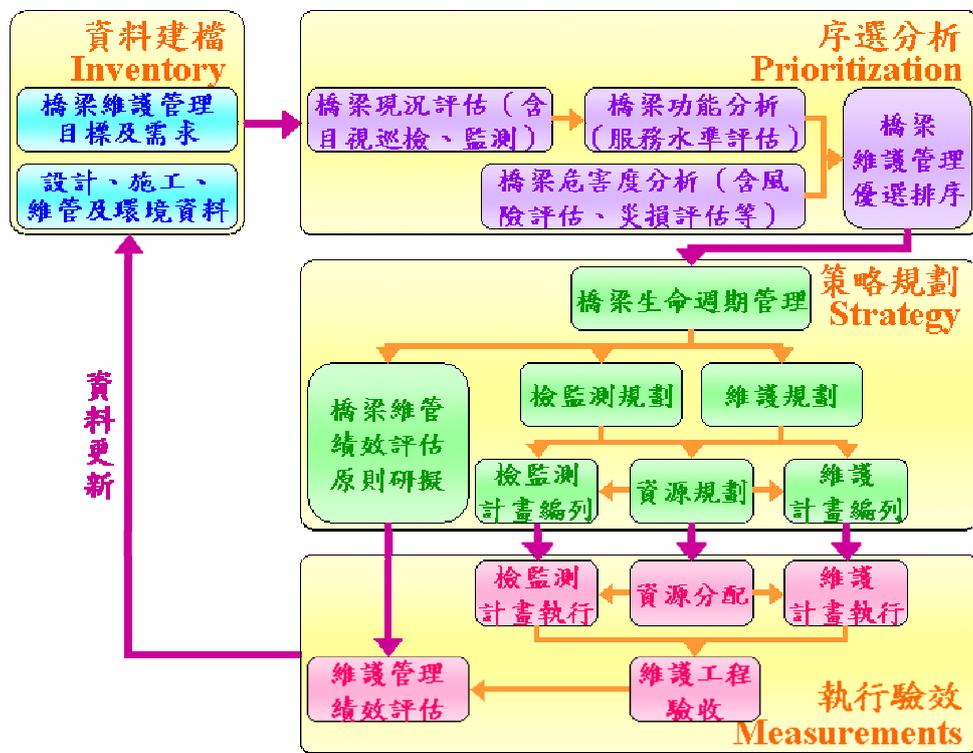


圖 3.5 橋梁延壽生命週期維護管理流程圖

## 3.2 資料建檔

資料建檔是橋梁維護管理之首要步驟，此步驟中包括了設施維護管理目標之確立及設施設計、施工、營運、維護管理及環境資料之建立。簡單來說設施維護管理目標之建立程序，為根據高層級對設施未來營運所設定之目標，如設施營運安全性加強及服務性提昇等，訂定為達成此營運目標所需之營運維護目標作業，如加強道路標線維護、降低道路維修施工頻率、改善鋪面平坦度及坑洞、改善隧道通風照明設備等。維護管理目標之建立為序選分析中設施功能分析之必要資料。

設施狀況及基本資料收集，為設施維護管理之一重要步驟，利用設計、施工資料及現況資訊收集，並配合目視巡查、檢測、監測等資料才能分析設施之功能現況及決定其所需維修程度。另設施之營運情形資料及環境資訊為設施維護管理之必要資訊，由於處於高科技發展時代，環境變遷之速度變化甚大，很多工程設施加入營運不久便發生設計功能不足情況，此種狀況常為設施維護成效不彰及服務年限減短之主要原因，因此考量設施之營運資訊及環境狀況，並依上述各項資料對設施進行危害度分析，於橋梁維護有其必要性。另設施之維護管理資訊之收集可用於分析設施潛在之問題，維護頻率與維護工法之成效等。除此之外，社會經濟資訊的收集為預測未來旅行需求之重要資訊。以下為所建議於設施維護管理收集之各類別資訊（OECD 1994）<sup>[9]</sup>。

1. 設施狀況及基本資訊：橋梁基本資訊、鋪面結構、其他結構及其他構件狀況。
2. 營運情形：交通量操作特性及系統營運安全性。
3. 系統使用：行路人旅行調查、貨物運輸調查及車輛統計。

4. 環境資訊：污染方式及污染源、環境敏感區域、其他影響橋梁及交通環境相關資訊。
5. 維護管理：計畫作業、實際作業、總成本、單位成本、時間、品質保證、定期維護資訊、非經常性事件、合約型式、使用狀況、社會經濟資訊及環境資訊。
6. 社會經濟資訊：旅行需求及經濟衝擊研究所需之社會經濟及土地使用資訊。

上述資料蒐集除需系統化之機制外，亦需考量整個造冊及資料庫建檔之結構，如橋梁系統路網如何切割成小單元進行階層式的維護管理等，以下為建議交通設施維護管理之三個階層（Misra et al. 2003）。

1. 維護路網：主辦機關所管轄之橋梁。
2. 維護區段：工務段所管轄之橋梁。
3. 維護單元：一個橋梁可用來進行維護管理決策詳細分析及記錄功能狀況的單元。

### 3.3 序選分析

序選分析中包含了四個重要作業，分別為設施現況評估、設施功能分析、設施危害度分析及設施維護管理優選排序。序選分析的主要目的為決定設施維護管理之優先順序，而其執执行程序為根據資料建檔步驟所建立之設施維護管理目標作業，配合道路設施現況調查資料，進行道路設施之功能分析及道路設施之危害度分析（含道路之風險評估、災損評估，及災損衝擊影響等），以決定道路設施進行維護管理

作業之次序。在進行序選分析作業時應分別針對不同公路設施維護管理層級進行 (Misra et al. 2003)。

1. 路網層面分析：這個層面之資料包括維護路網相關之計畫及政策，於路網層面分析之項目，包括維護及修護之需求、所需經費、橋梁維修之先後次序及預測未來不同維護經費所產生之維護績效。
2. 區段層面分析：於路網層面指出之主要修護橋梁需收集更完整資料，於區段層面所執行之分析，包括破壞模式發生原因之評估、可行之修護設計及維護之策略規劃。

在序選分析中之設施現況調查項目，較為普遍方法有下列三種：

1. 目視檢測：最經常使用之評估方法，其所檢測項目以伸縮縫為例，包括伸縮縫之破壞模式之嚴重程度和範圍
2. 非破壞檢測：非破壞檢測通常用來驗證目視檢測結果或需進一步分析破壞原因。非破壞檢測有時用以偵測破壞的程度與範圍，使其有效地根除破壞發生之原因。
3. 破壞性檢測：此種檢測方法通常用於分析破壞發生的原因及探討設施改善之方案。

圖 3.6 為橋梁構件利用歷史資料所建立之時間功能指標圖，圖中縱軸為經過目視檢測的構件狀況指標 (Condition Index, CI)，而其功能狀況隨著時間而劣化。劣化速率是依據前述所題之 T-BMS 中的目視檢測資料迴歸求得，其方式是擷取某構件之歷史檢測資料進行迴歸分析，先進行一次迴歸求取資料之上下分界，再分別對此兩區間之資料各進行迴歸，以求取其最大與最小的使用年限，並藉使用年限求得各構件之劣化速率，據此即可計算各構件維修處理的時間點。

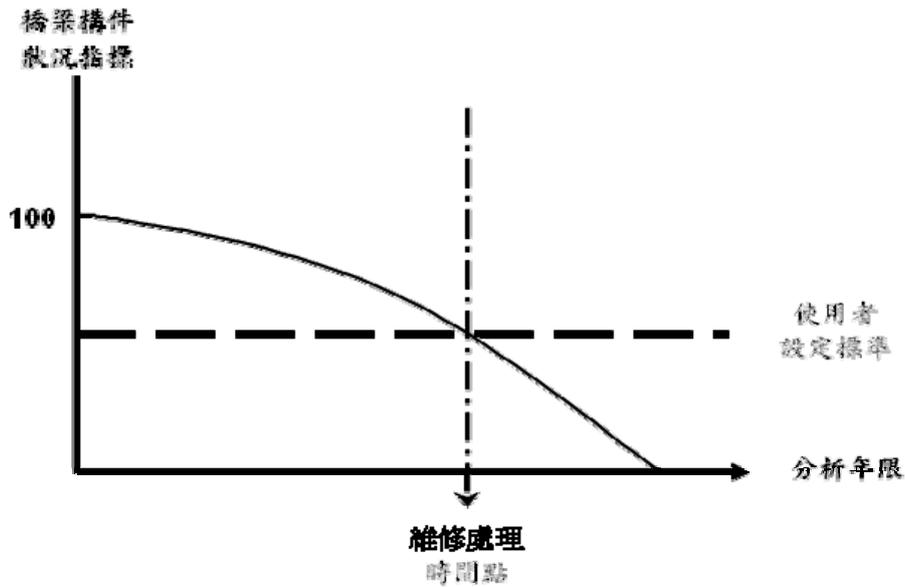


圖 3.6 橋梁劣化曲線示意圖

目前生命週期維護工程指標建立雖可依上述方式進行，但還是有其發展上的問題，以下即針對其問題進行說明。

1. 劣化曲線迴歸之合理性：實際上之迴歸求取使用年限值，會因為各構件之目視檢測值偏大，而發生迴歸後之劣化速率緩慢，而造成使用年限值偏大之缺點。若能藉由詳細檢測資料來作為迴歸資料，則資料收集較為貼近實際構件之情況，可避免因目視檢測所發生之問題。
2. 構件可接受水準之決定：決定其劣化是否該修復之標準是由一分數決定，但此值乃是由 D.E.R.U. 四種值決定，故在同一種分數下會有不同的狀況，故在此值的決定上很難取決。
3. 構件修復之回復程度：此模式是以使用者自行假設其回復程度為前次數值的百分比作為設定依據，但此回復程度應會依據不同的修復工法而有所不同，此為此模式假設上的另一問題。

4. 構件修復後之劣化速率：此模式是假設修復後之劣化速率與之前的相同，但構件經過修補，其劣化速率應與之前的構材不相同，故此假設之合理性，也有待修正。
5. 橋梁構件甚多，因此利用維護管理資訊系統建置，系統性收集及彙整相關資料，以建立可靠之功能指標劣化模式(節 4.4)。

### 3.4 策略規劃

策略規劃步驟中主要作業項目為設施生命週期管理、檢監測與維護計畫編列，及研擬維護管理績效評估原則。於進行生命週期維護管理時，需考慮橋梁設施整體之運輸成本（包括橋梁管理成本與用路人成本）之最佳化。例如圖 3.7 為道路管理成本、使用者成本及道路狀況關係圖，使用者成本隨著道路狀況惡化而逐漸升高，管理成本則隨著道路狀況功能值趨高而增加所需成本，因此道路維護管理策略中於平衡道路管理成本及用路人成本取一平衡點為此步驟中之重要課題，同時在策略規劃中應加以考量預算及維護技術之限制。除此之外公路養護計畫編列，包括各維護單元之維護時程、維護方式及養護資源分配，巡檢計畫及公路維護績效考核等，亦需根據所訂定之維護管理策略於此步驟進行規劃。

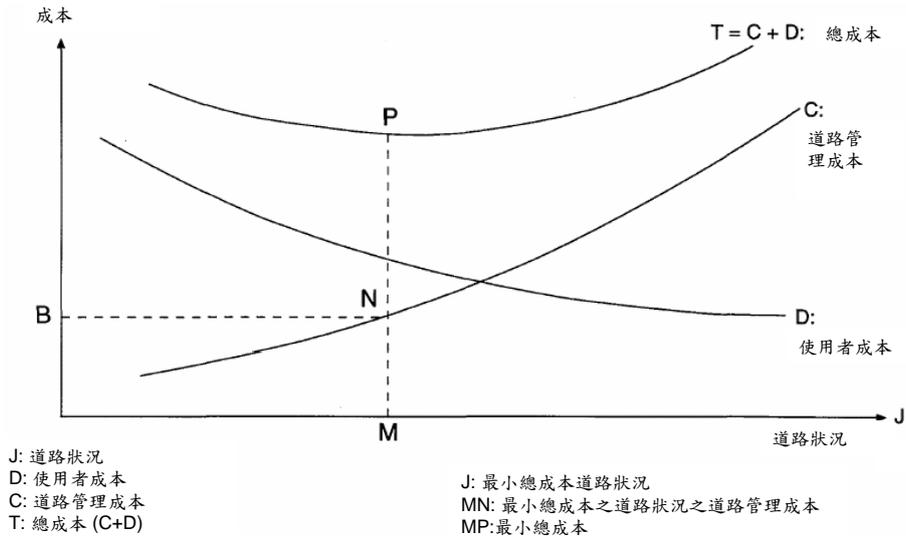


圖 3.7 道路管理成本與道路狀況 (OECD 1994)

設施生命週期管理之另一重要之項目為對設施維護後進行功能行為及劣化模式之預測，劣化之預測不僅需設施結構方面資訊，需先對未來設施的使用情形包括環境資訊、交通資訊及未來天災等進行推估，之後綜合所有相關資訊推測未來設施劣化情形，以為未來公路設施維護管理策略（即維護時機及維護工法等）訂定之依據。功能行為及劣化模式推估之執行，應由監檢測資料分析或歷史維護管理資訊而來。而功能行為及劣化模式之建立則需先建構各設施構件之功能指標。

近年來由於捷運工程及高速鐵路工程陸續進行，國內軌道工程積極導入 RAMS 觀念進行設施之生命週期營運維護管理。RAMS 即為 Reliability（可靠度）、Availability（妥善率）、Maintainability（維護度）及 Safety（安全度）四個英文字縮寫，茲說明如下。

1. 可靠度 (Reliability)：產品於既定的時間內，在特定的使用條件下，執行所設定之功能成功達成任務的機率，其中 MTBF (Mean Time Between Failure) 為可靠度常使用之參數之一。

2. 維護度 (Maintainability)：當一已知的維修行動在指定的條件及指定的時間間隔內能夠被施行的機率，且維修行動使用既定的程序及資源時，其中 MTTR (Mean Time To Repair) 為維修度常使用之參數之一。
3. 妥善率 (Availability)：為在指定之時刻或時間內，若所需之外部資源能供應時，產品在給定條件下達成某項所設定功能之能力狀況， $MTBF / (MTBF + MTTR)$  為其常用參數之一。
4. 安全度 (Safety)：非預期災害之風險之防治能力。

圖 3.8 之關聯圖說明系統之妥善率與安全度是由設施可靠度與維修度及營運與維修狀況決定。隨著科技進度，利用高精準度的生產流程及檢監測技術管控系統各組成構件之可靠度，並於系統設計階段加入維修度設計，加上有效地執行系統生命週期營運維護管理使其有效管控系統妥善率與安全度。

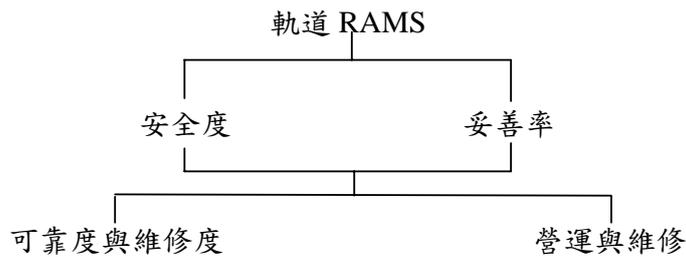


圖 3.8 RAMS 關聯圖

近年來相當多之產業如航空業、軌道業及汽車業等，均成功導入 RAMS 觀念於系統營運維護管理。橋梁設施營運維護這個介面眾多複雜性高之工程，RAMS 觀念之導入及應用不僅將能系統化解決目前營運維護管理所面臨的問題，未來亦將是整個公路設施永續經營之目

標。過往由於公路設施大型之重要構件均非均質性，因此可靠度較難計算，惟目前資訊系統發達，由長期持續的收集相關資訊及利用先進檢監測技術及統計技術可預測構件之可靠度並進行管理，進而執行 RAMS 生命週期維護管理。

在訂定橋梁設施短、中、長期之維護目標，其長期目標為橋梁主管機關規劃之目標，中期目標則由各主管機關之次級單位依據長期目標規劃，短期目標則由次級單位之下屬單位根據中長期目標進行規劃，各層級之目標與維護管理策略應需相互呼應，因此養護績效考核亦需分別對橋梁維護管理不同層級進行績效考核，且績效次序由下往上，必要時需根據績效結果修正維護管理策略。

### 3.5 執行驗效

執行驗效之重點作業為檢監測作業之執行、維護作業之執行、維護管理績效評估及養路績效考核執行。檢監測作業之執行將包括經常巡查、定期巡查及特別巡查，巡查方式除目視檢測外，亦需包含生命週期維護管理所需之檢監測作業。維護作業執行包括定期養護作業與修繕維護。由於維護工程整體之困難度較傳統新建工程為高，未來需研擬相關法令與規範來執行維護管理工程之採購作業，包括招標、決標、驗效及保固（含品質控制及品質確認）。

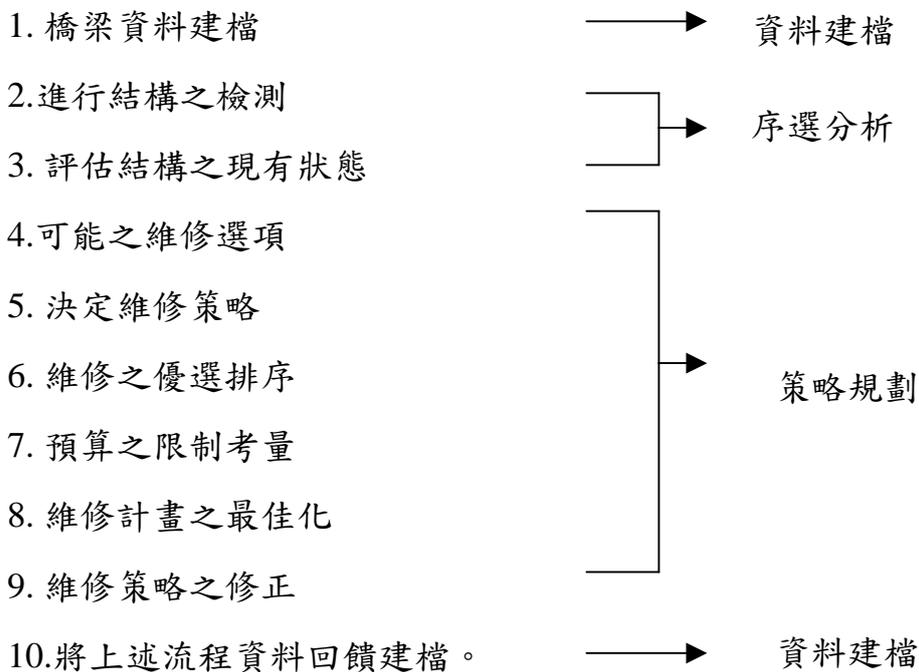
在檢監測作業方面，目前國內之橋梁設施維護管理均無一標準之功能指標，由於缺乏標準功能指標，各個橋梁維護管理主辦機關及區段於巡檢作業時標準不一，且各個橋梁維護單位為節省其巡檢資源而簡化檢監測作業，因而造成生命週期維護管理執行上缺少設施過往可靠之營運維護管理資訊。

在績效評估方面，應依據策略規劃階段研擬之橋梁維護管理績效評估原則，分析各橋梁維護管理工程之成本效益，探討各橋梁維護管理工程之品質及其執行成效，並與橋梁維護管理績效評估原則作差異分析，回饋修正其績效評估原則。

最後，橋梁維護管理單位於上述四步驟循環後，應將相關資料回饋至「資料建檔」步驟，以持續更新資料，作為日後橋梁工程維護管理各步驟之分析參考依據。

### 3.6 橋梁延壽評估概念

經由上述維護工程概念，本研究乃根據資料建檔、序選分析、策略規劃以及執行驗效四大步驟為基礎，建立橋梁延壽評估策略。根據這兩項基本精神所發展出之橋梁維護管理的工作執行步驟可為：



根據國內就已有經驗而言，即當橋梁之服務水準發現有降低無法滿足使用需求情況，便是橋梁導入延壽評估時機，再以詳細評估分析橋梁現有安全性與服務水準，藉由所評估與分析結果以判別橋梁是否

有存續必要性，若有存續必要此時則再導入橋梁延壽經濟可行性分析，以判別橋梁延壽之可行性，最後在決定延壽方案內容後則執行橋梁延壽事宜。

但由於橋梁延壽記錄未予完備，以致可能存有無法明確判別服務水準之虞；亦因橋梁延壽法規或準則尚待健全之故，以致可能無法提供橋梁延壽執行流程之依循及詳細評估之依據；再加上橋梁延壽經濟可行性分析方法尚待實務化之故，橋梁延壽方案內容未能明確化。

有鑑於此，本計劃將延壽流程予以標準化，目的是為了能更使用者對橋梁現況評估能夠更快掌握；對管理者也能便於做橋梁的維護管理(詳細延壽評估系統見第四章)。其本計劃之延壽概念，其流程見圖 3.9 所示。承如維護管理四個階段：資料建檔、序選分析、策略規劃以及執行驗校等。並配合合約之工作項目分為橋梁分級分類、災損分析以及提出方案等步驟，分述如下：

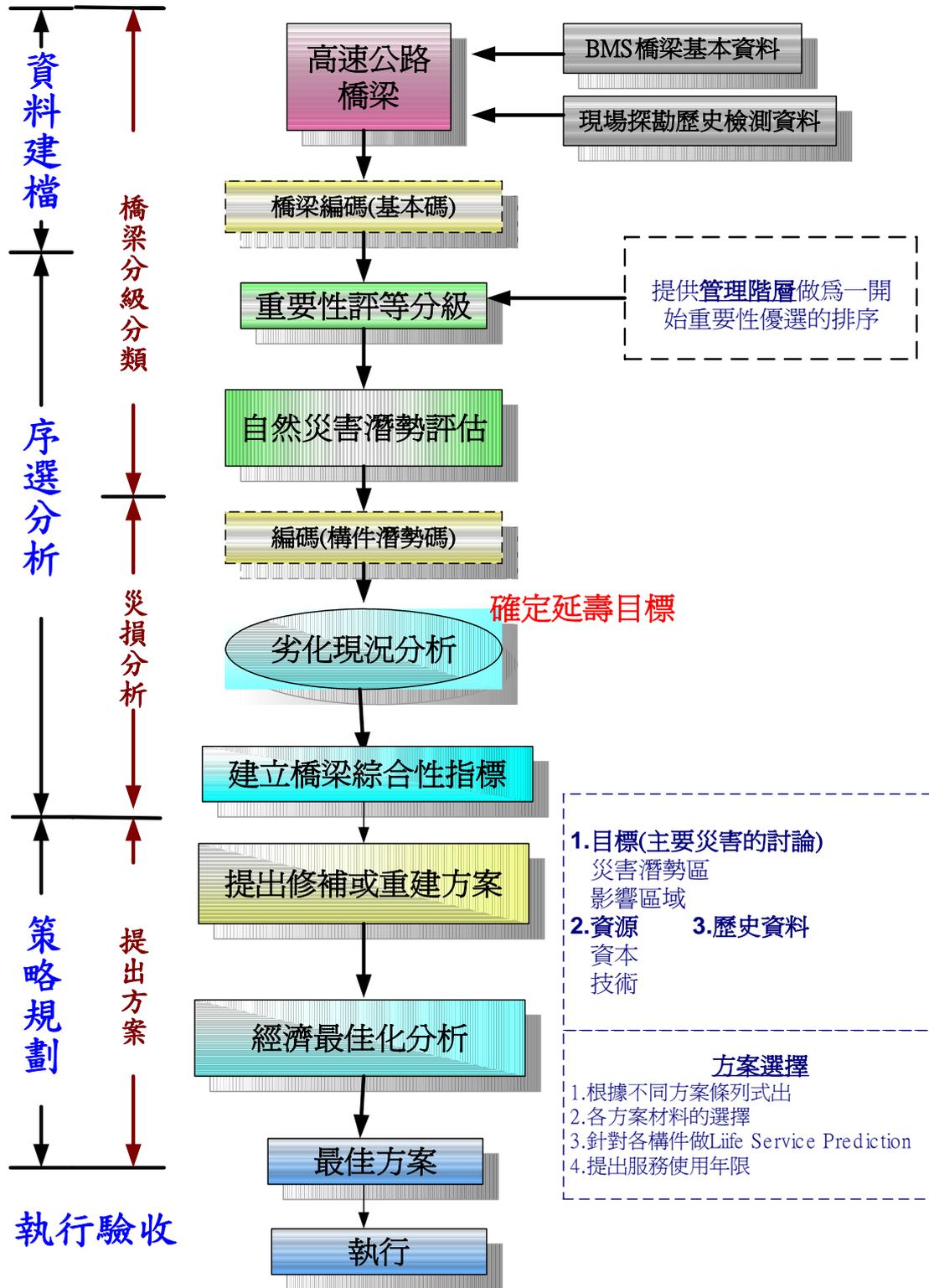


圖 3.9 本計畫橋梁延壽概念

### 3.6.1 橋梁分級分類

此階段為「資料建檔」階段與「序選分析」之首要工作，可細分為三個步驟：

#### 一、橋梁編碼系統(資料建檔)

美國聯邦高速公路總局(FHWA)<sup>[25]</sup>，對其所管轄之橋梁，針對每個橋梁地區、地點、里程、以及各構件均有詳細的編碼，而根據每隔構件編碼又細分其劣化狀況分數，再根據其分數定義出結構缺陷(Structurally Deficient, SD)與功能退化(Functionally Obsolete, FO)，最後以充分率(Sufficiency Rating, SR)的分數作為橋梁修補的依據。目的是建立一共通的语言。而依據此概念，本計劃研究將參考交通部公路基本資料登記管理要點中之公路編碼，進行台灣高速公路的編碼系統，共分所在位置、結構形式、結構工法編碼等橋梁基本資料以及構件災害潛勢碼；其中前三等級為橋梁基本碼，是不可變動的，後一等級，必須根據橋梁現況評估之後再加以編碼，其詳細說明見第四章。

#### 二、橋梁重要性評等(序選分析)

由於橋梁延壽觀念在於評估橋梁從新建完成至今，有無損壞與修補的必要性。但礙於橋梁維護經費與人力之不足，如何運用有限資源進行橋梁之維護管理，以減少未來橋梁損壞可能對社會經濟造成之衝擊，為目前國內橋梁管理機關所面臨之重要課題。而橋梁重要性等級評定之最主要目的即在提供橋梁管理機關所轄橋梁之之重要性優選排序，使橋梁管理機關可據以排定維護管理之優先順序，對具較高危險性及功能重要性或交通流量大的橋梁予以優先檢測或維修補強，以將有限之人力及經費充分有效運用。使用者未來使用時將可依需求評估得綜合重要性指標或社會經濟重要性指標，所得指標值除可用以作為橋梁檢測、維修補強之優先順序排定外，未來亦可用以協助訂定或決

定橋梁耐震設計用途係數 $I$ 值之用。其詳細評估方法，見第四章服務功能性模組說明。

### 三、自然災害潛勢初步評估(序選分析)

由於橋梁及結構之損壞，主要源自於外界之各類加載或不良環境之影響，造成其結構材料性質、幾何特徵或傳力系統的變化，使得部分結構之內應力超過其材料容許強度，而造成破裂。我國橋梁設計規範中多以考慮各類活載重或外力(風力、地震力)等為主要斷面設計的依據。但是根據現有台灣地區橋梁結構的損壞模式來看，來自於後續大自然環境，例如腐蝕、河床沖刷等作用，則在過去橋梁設計中多未作深入考量。故在本研究中，除將考慮上述單純之橋梁重要性因素外，亦將納入橋梁自然環境災損分析評估(詳細介紹見第四章)，以期對全區橋梁之災害潛勢迅速了解，並進行歸納分類與系統性分析。

#### 3.6.2 災損分析

此階段為「序選分析」之後續階段，為功能性與服務性評估階段。其流程如圖 3.10 所示，共分四個步驟：

##### 一、建立分析目標

橋梁在第一階段確定其災害潛勢後，接著即可依編碼後之橋梁各構件編碼潛勢建立其主要災害潛勢(如地震、沖刷、腐蝕等)的討論目標，進行詳細評估。

##### 二、主要災害的討論

此階段必須確定與探討影響橋梁劣化的主要物理因子，如是否位於災害潛勢區、橋梁受到災害的機制與發生原因，並結合現有橋梁管理系統之歷史維修資料、構件劣化狀況；再由其原因探討國內外相關對策與技術；並配合國內相關法規作適時的修改，並且考量管理機關之預算和對應之修補工法的成本，接著擬定各可行性方案。

主要討論的項目有：

- (1) 災害潛勢區：根據外在條件下，由自然災害潛勢評估出橋梁所在位置所會遭遇的災害，加以分區分類。
- (2) 災損機制：橋梁在此潛勢下，受限於何種物理因子、其危害程度評估指標或函數為何，其對應方式為何；以期建立橋梁災害危害度因子。
- (3) 歷史資料：根據現行橋梁管理系統之歷史維修資料與劣化狀況資料，結合災害潛勢編碼後之結果，加以資料庫統計分析，反覆訓練災害潛勢之系統模組(見第四章)，除了建立正確之橋梁「現況」劣化資料庫外，並期訓練出一套可靠的預測模式(見第五章)，達到迅速預測災然災害潛勢的目的。
- (4) 現有技術與資源：在評估橋梁現狀與潛勢後，並參考現行國內外非破壞檢測技術、維修工法延壽修補工法，針對不同災害、劣化狀況，將所有可行之方法加以彙整與分類，並討論在不同災損程度下所對應之工法與對策。
- (5) 資本：最後並考慮每種對應策略所需花費的成本，給予不同之維修建議模組。

### 三、建立橋梁綜合性指標

鑒於目前橋梁收是檢測資料所評定之橋梁整體狀況值(CI 值)與橋梁優選指標(PI 值)，無法對現行橋梁狀況作依功能性與服務性的優選指標；而「序選分析」之最終目的，是要藉由「資料建檔」時的橋梁分級分類與「序選分析」前階段之橋梁各功能評估結果，加以彙整，而定出一優選排列，而此一資料的彙整與收集必須訂出一綜合性之指

標作為量化評估。而其綜合性指標乃將橋梁服務性、功能性、各災害潛勢分析結果以及重要性評等，加以綜合考量的指標(見第 4.4 節)。

#### 四、提出修補或重建方案

上述為延壽災損分析之策略面，此階段即將災損分析討論的策略面轉換為務實面，也就是根據討論評估後之結論對症下藥。根據橋梁歷史資料、災害潛勢與災損機制分析後，詳細因應對策，並對構件嚴重危害到整體安全性與功能性之橋梁，做進一步詳細檢測，如結構分析、承载力評估分析等。經過現況掌握之後，建議出不同之解決方法與對策，其考慮的項目有：結構本體是否無誤、構件之修補工法及成本、維護管理預算之經費是否足夠、是否符合橋梁規範，以及歷史維修記錄的成效等。

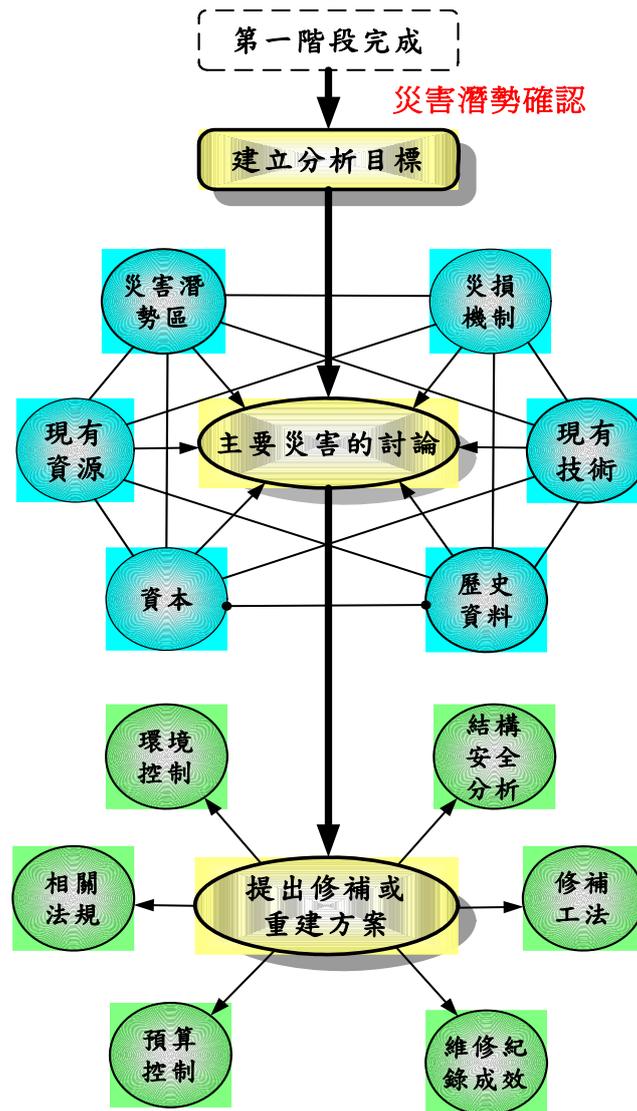


圖 3.10 第二階段流程圖

### 3.6.3 提出方案

此階段也稱為經濟可行性分析，為「策略規劃」階段，其流程見圖 3.11 所示。共分為四個步驟：

#### 一、各種不同方案列表

依據上一階段所研擬的修補方案或重建方案，各構件之選擇、各構件之成本與各工法之效益與預算，建表條列以利下一步驟作分析。

#### 二、最佳化成本分析

主要目的是將步驟一所研擬出的各種修補或重建方案利用生命週期成本的概念，針對欲延壽之設施進行「經濟可行性分析」。依據使用者所提出之維修門檻，利用最佳化預測模式的分析，找出最佳維修時機點和維護水準(包括延壽技術成本與後續的維護管理成本等)。

### 三、提出橋梁服務使用年限

利用每個橋梁單元都有其材料劣化模式，根據每個構件串並聯後(第五章)之使用年限機率與成本，推估橋梁之使用年限。

### 三、最佳方案

依上述步驟，建立各種方案的成本與使用年限，配合現行管理機關的需求與預算，提出最佳方案。

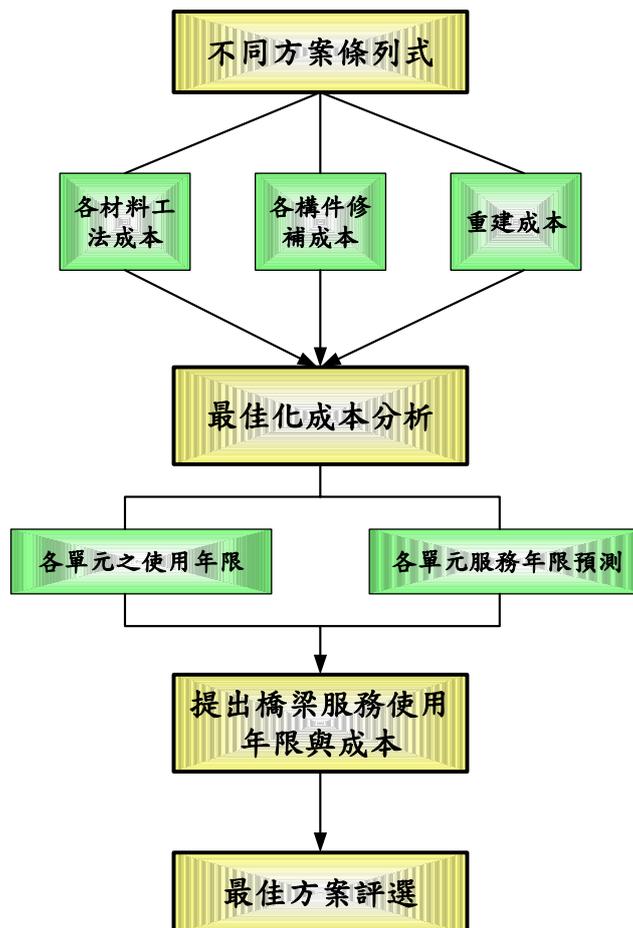


圖 3.11 第三階段流程圖

### 3.6.4 橋梁延壽在維護工程上的定位

依據本章節前述維護管理之概念，了解延壽之工作只佔了整個維護工程的一部份，而此部分列出資料建檔、序選分析、策略規劃與執行驗效四大工作項目與本研究之工作項目之比較。由此可看出未來不僅單為其他交通設施作「延壽」，而是必須考量到整個維護工程下，應有的作為與採取的手段。可歸納為下表 3.2、表 3.3 與表 3.4 所示。表中顯示雖然延壽為維護管理工程的重要工作，但維護管理最重要的即為，除了對橋梁作一整體的評估與維修手段外，其資料的回饋與累積才是建置整個生命週期資料庫最重要的部份，如果沒有一套符合橋梁維護管理觀念的系統資料庫，能夠完整而有效的記錄流程，並且收集「對」的資訊以供使用者作後續的評估與分析，卻持續保持著「壞了在修」、「流於紀錄」的觀念，即使對其施行延壽的工作而沒有確實留下有用的資訊或管理，對整體橋梁生命週期表現來說並無太大的功效。其高公局在維護管理觀念上所實行的現況與本研究建議，將由第七章說明。

表 3.2 維護工程與橋梁延壽工作項目比較

維護工程四大流程	維護工程實行項目與方法	橋梁延壽工作項目	本研究執行項目
資料建檔	橋梁維護管理目標與需求	橋梁現況調查、資料分析與營運維護管理紀錄彙整	歷史資料彙整
		高速公路營運面臨問題	高速公路營運面臨問題彙整
		橋梁延壽技術相關文獻回顧	維護工程管理概念
	設計、施工、維護管理、環境資料	橋梁分類分級	橋梁編碼
序選分析	橋梁現況評估(目視巡檢、監測)	橋梁延壽技術適用範圍評估 延壽時機之評估與確認	DERU 資訊重整
	橋梁危害度分析(風險、災損分析)		重要性評等
	橋梁功能分析(服務水準分析、詳細檢測)		災損分析
			自然災害潛勢評估
			服務性指標建立
			結構性指標建立
橋梁優選排序	--	災損評估表格建立	
生命週期管理	--	對應工法建置	
策略規劃	檢監測規劃(檢監測資料建立)	橋梁延壽評估作業模式建立	綜合性指標建立
	橋梁維護管理績效評估原則研擬	高速公路橋梁延壽政策與實行方法草擬	維護工程管理系统架構
	維護規劃(維修計畫研擬)	生命週期成本估算模式印證與建議	橋梁延壽評估系統之建立
	維護計畫執行	案例分析	維修最佳化分析模式建立
執行驗效	檢監測執行	--	案例分析
	驗效	--	--
	績效評估	--	--
	資料回饋	--	--
			維護工程管理系统架構、橋梁延壽評估系統之建立

表 3.3 本研究案在維護管理工程內之定位

高速公路橋梁延壽評估及案例分析委託專案研究計畫	Inventory-Processing	Inventory-System	Perfromance Assessment	Strategy-Management	Strategy-Index
1. 以延壽之觀點進行橋梁分類與分級	V		V	V	
● 橋梁現況調查、資料分析與營運維護管理紀錄彙整	V				
● 橋梁分類分級與橋梁延壽年限（包含已使用之時間）關係之確立	V		V		
● 高速公路橋梁營運面臨問題	V			V	
2. 延壽時機之評估與確認			V		V
3. 延壽評估項目與內容	V		V	V	V
● 橋梁延壽技術相關文獻回顧	V		V	V	
● 橋梁延壽技術成本估算與經濟可行性分析				V	V
● 延壽技術適用範圍評估	V		V		V
● 生命週期成本估算模式印證與建議			V	V	V
● 橋梁延壽評估作業模式建立			V	V	V
4. 辦理專家座談會			Not Included		
5. 期中報告			Not Included		
6. 以混凝土橋、鋼橋、跨河橋、高架橋等分類各取一座橋梁（共四座）為案例，就期中報告之成果進行評估與驗證。			V	V	V
7. 橋梁案例延壽評估結果及分析，並對期中報告成果提出修正案。			V	V	V
8. 高速公路橋梁延壽政策與施行方法草擬				V	
9. 期末報告			Not Included		

表 3.4 本研究案例分析在維護工程之定位

四座橋案例分析項目	Inventory	Prioritization	Strategy	Measurements	Performance-System
<b>基本資料收集</b>					
所在位置	V				
結構形式	V				
結構工法	V				
<b>歷史資料彙整</b>					
歷年檢測資料統計	V				
歷年維修資料統計	V	V			
歷年補強工程彙整	V		V		
<b>建立橋梁生命週期史</b>					V
<b>災損評估</b>					
地震災害潛勢分析		V	V		
沖刷潛勢分析		V	V		
耐久性評估		V	V		
DER劣化分析		V	V		
<b>服務功能性(重要性)評估</b>		V	V		
<b>橋梁綜合性指標建立</b>		V			
<b>經濟最佳化模式分析</b>			V		V
<b>對應維修工法建置</b>			V		
<b>方案解決</b>				V	