地工技術，第114期（民國96年12月）第109-113頁
Sino-Geotechnics, No. 114 (Dec.,2007) PP.109-113

技術短文

公共建設之維護管理程序與等級

廖惠菁　李維峰*

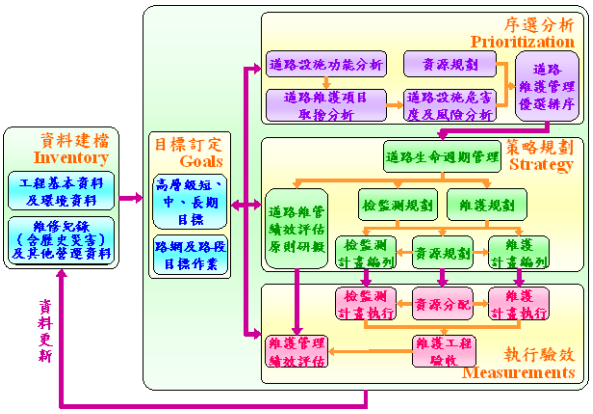
隨著國內重大公共建設陸續完成，以及70年代大量興建的公共工程進入「中年期」，維護管理問題將成為國內工程界未來十年內的首要挑戰。在台灣，既有的公共建設由於過度的使用、頻仍的災害，以及材料的老劣化，使得結構體普遍在邁入原設計服務年限的「中年期」，亦即約25至30年，即出現服務功能折損或不敷現況需求的現象。而國內以往維護管理工程的層級仍多停留在消極的目視巡查與一般的清理養護，而對於設施的功能折損，也多是採取被動的「壞了再修」策略。面對數量逐漸成長的老舊公共建設，為了恢復其原有功能，確保設施系統的正常運作並延長其服務年限，以達到資源永續經營的目的，如何研擬妥適的公共建設維護管理對策，勢將成為未來工程界的重要工作。

有鑑於此，本文彙整國外相關文獻，並檢討國內目前公共建設維護管理之架構，以生命週期維護工程（Life Cycle Maintenance Engineering, LCME）的概念說明公共建設維護管理之程序與等級，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。

一、公共建設維護管理程序

公共建設維護管理作業係指相關單位經常或定期檢測管轄之公共建設，並依據其營運現況與實際需要，訂定維護管理計畫，利用有限之資源辦理各項維護管理工作。此外，公共建設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，並力求公共建設美化及其與周圍環境之調和，使大眾能在安全、舒適及便利之原則下使用公共建設。

圖一為公共建設生命週期維護管理程序，由資料建檔、目標訂定、序選分析、策略規劃、執行驗收五個主要步驟，組成一迴路式之作業流程，茲簡述此五個主要步驟如下。



圖一　公共建設生命週期維護管理程序

1.1 資料建檔

資料建檔是公共建設維護管理之首要步驟，其內容包括公共建設之設計、施工、營運、維護管理、環境，及社會經濟資料之建立，其中，設計、施工資料及目視巡查、檢監測等現況資訊，可作為設施結構功能現況分析、維修程度評估等之基本資料，配合營運資訊及環境狀況資料，則可進行危害度分析，而社會經濟資訊的收集為預測未來公共建設需求之重要資訊。

以下為經濟合作暨發展組織（Organization for Economic Co-operation and Development, OECD）所建議於公共建設維護管理需蒐集之各類別資訊（OECD, 1994），而資料蒐集除需系統化之機制外，亦需考量整個資料庫檔案建置之結構。

1. 基本資訊：公共建設之工程基本資訊、幾何資料、結構資料及其他構件狀況等。

2. 營運情形：公共建設營運現況調查，操作特性及系統營運安全性。

3. 環境資訊：地理位置、水文氣候、地質資料，環境敏感區域、污染方式，及其他影響公共

* 國立臺灣科技大學

建設耐久性之相關資訊。

4. 維護管理：定期維護資訊、非經常性事件（含歷史災害之災損分析、搶修過程、復建工法等資料）、計畫作業、實際作業、成本、時間、品質保證與合約型式等。

5. 社會經濟資訊：公共建設營運與經濟衝擊研究中所需之社會經濟及土地使用資訊，及其他重要案件或發生事項紀錄。

面對公共建設數量及規模日趨增加，且設施結構逐漸老化之趨勢，完整之全生命週期資料可提高公共建設現況分析、功能評估、危害度評估，及生命週期分析等之準確度，並可回饋修正其他各階段作業之程序與技術。

1.2 目標訂定

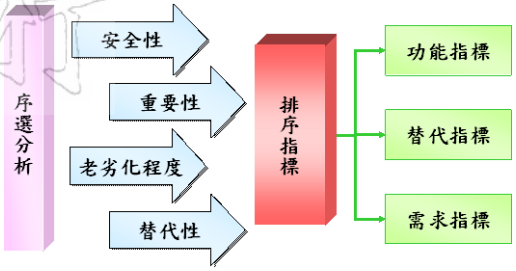
公共建設之維護管理目標包括高層管理單位之短、中、長期目標及基層執行單位之目標作業。因各公共建設之營運目標與服務水準有所差異，因此，其維護管理需求亦不相同，各公共建設維護管理單位應綜合考量其用途、特性、所在區域環境…等因素，訂定維護管理目標與需求。

1.3 序選分析

序選分析為根據設施維護管理之目標，配合其現況調查資料，進行功能分析與危害度分析（含風險評估、災損評估，及災損衝擊影響等），並配合設施維護項目取捨分析，以決定公共建設進行維護管理作業之次序。序選分析包含設施功能分析、設施維護項目取捨分析、設施危害度與風險分析，並應考量有限資源之合理分配與規劃，進行設施維護管理之優選排序，其架構如圖二所示。

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。



圖二　序選分析架構圖

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。

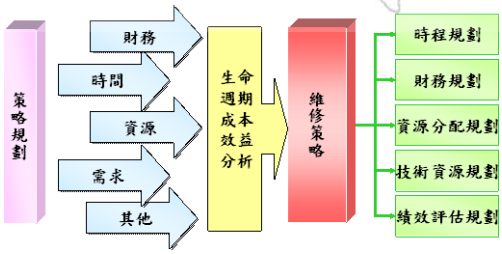
近年來相當多產業成功導入RAMS觀念於系統營運維護管理，其不僅能系統化解決維護管理所面臨之問題，未來亦將是公共建設永續經營之目標。此外，目前資訊系統發達，由長期持續地蒐集相關資訊及利用先進檢監測技術與統計技術可預測構件之可靠度並進行管理，進而執行RAMS生命週期維護管理。

1.4 策略規劃

策略規劃之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，及維護管理績效評估原則研擬，其架構如圖三所示。策略規劃除應考量預算及維護技術之限制外，包括各構件之維護時程、維護方式、維護資源分配，檢監測計畫及維護績效考核等維護管理計畫，亦需同時予以規劃。

公共建設於決定維護策略後，尚需進行功能行為及劣化模式之預測，除設施基本結構資訊外，尚需對設施之未來使用情形進行推估，並綜合所有資訊推測未來設施劣化情形，以為未來公共建設維護管理策略（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，應由檢監測資料分析或歷史維護管理資訊而

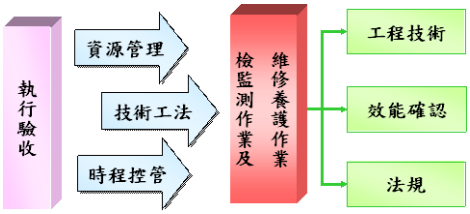
來。而功能行為及劣化模式預測則需先行建立各構件之功能指標。



圖三　策略規劃架構圖

1.5 執行驗收

執行驗收之重點作業包括檢監測作業執行、維護作業執行、績效評估與績效考核執行，其架構如圖四所示。其中，檢監測作業包括經常巡查、定期巡查及特別巡查，維護作業包括定期養護與修繕維護作業。由於維護工程整體之困難度較傳統新建工程為高，未來尚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、驗收及保固（含品質控制及品質確認）。



圖四　執行驗收架構圖

在檢監測作業方面，目前國內公路建設維護管理均無一標準之功能指標，以致各維護管理單位之檢監測作業標準不一，或為節省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。

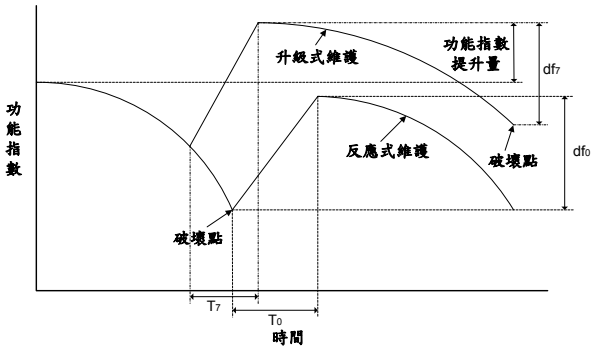
此外，公共建設維護管理單位於上述各程序中，均應將相關資料回饋至「資料建檔」中，以持續更新資料，作為日後維護管理與功能評估之參考依據。

二、公共建設維護管理等級

早期國內之公共建設維護管理措施為依據巡查或檢測資料，分析其現況與功能性，評定其安全等級，並依安全等級進行公共建設定期養護或修復補強等措施。然而，由國外近年之公共建設維護管理相關文獻可知，此舉已無法符合公共建設日漸繁複之維護管理需求。因此，本文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）等四個維護管理等級，茲說明如下。

2.1 升級維護（Upgrade Maintenance）

升級維護係指由於法令規章之修正、公共建設功能不敷使用…等因素，致使公共建設需經由拓建、改善等措施以提升其服務水準，如圖五所示，功能指數為公共建設服務水準指標，其將隨時間之增加而逐漸降低，一般而言，維護管理人員於公共建設損壞時（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，綜合檢討公共建設現況、功能、危害度等並加以改善，使其劣化曲線較為和緩，且降低其日後執行維護管理所需之能量（即$df_7 < df_0$）。



圖五　升級式維護管理示意圖

2.2 反應維護（Breakdown Maintenance）

反應維護係指公共建設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、範圍可能對使用者產生安全或使用上之影響，而採取之維護管理措施，如圖六所示，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）及能量（df_0）以提升所需之功能。

施工技術

2.3 預防維護（Preventive Maintenance）

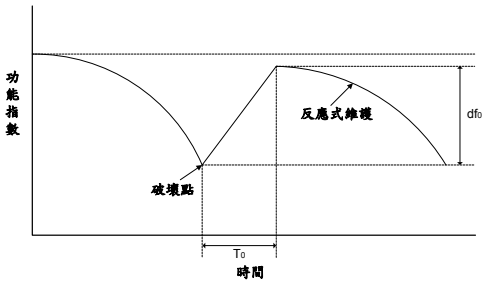
預防維護係指透過監測資料或維護管理歷史資訊，來訂定維修或養護策略，此種方式之維修時機位於破壞發生之前，可以較短之干擾時間（$T_1 \sim T_4$）及較少之能量（$df_1 \sim df_4$）對公共建設進行維護管理，如圖七所示。由圖七可知，雖然預防維護之干擾次數較為頻繁，然而反應維護之干擾時間（T_0）及所需能量（df_0）均較預防維護之生命週期內總干擾時間（$T_1+T_2+T_3+T_4$）及所需總能量（$df_1+df_2+df_3+df_4$）為高。

積極維護（Proactive Maintenance）則為預防維護之其中一種，其係指透過監測資料與破壞原因探討，進行破壞原因之根除與維修，使公共建設生命週期內維修所需總能量達到最小（$df_5+df_6 < df_1+df_2+df_3+df_4 < df_0$），且維修總干擾時間最短（$T_5+T_6<T_1+T_2+T_3+T_4<T_0$），如圖八所示。比較圖七與圖八，可看出預防維護由於未根治設施破壞原因，因此修復後之功能劣化趨勢與原設施相同；而積極維護已針對破壞原因加以根除，因此修復後之設施功能劣化趨勢較為緩和，雖然其各次干擾期之干擾時間較長，然因針對破壞原因加以探討及修復，長期而言，其干擾頻率將減少，總干擾時間亦將降低。

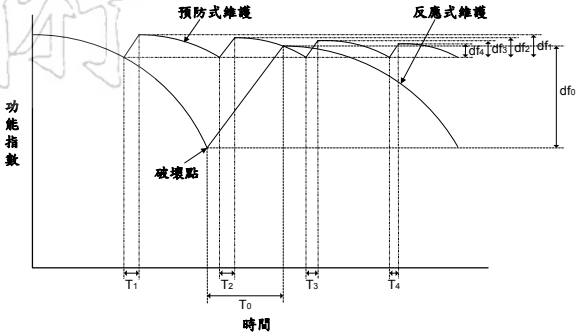
2.4 定期維護（Routine Maintenance）

定期維護係指如外觀整修、消耗性設施更換、清理打掃…等針對未損壞公共建設所施行之定期措施，其主要功能為維持公共建設之舒適性與安全性，亦可略為減緩其老劣化趨勢，或略為降低其災害損壞之程度與範圍。

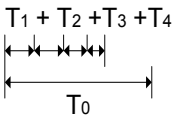
由於公共建設維護管理之干擾程度與干擾時間為使用者成本計算之依據，因此，需較大程度之功能提昇意謂其維護作業執行之干擾程度、干擾時間較大，使用者成本亦因而提高。



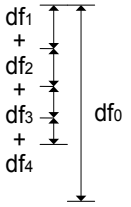
圖六　反應式維護管理示意圖



(a) 預防式維護管理及反應式維護管理比較



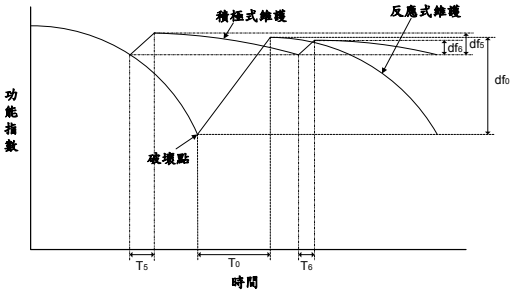
$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 < T_0$



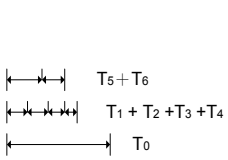
$df_1 + df_2 + df_3 + df_4 < df_0$

(b) 維修干擾時間比較　　(c) 維修所需能量比較

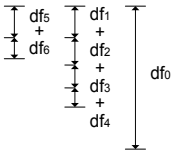
圖七 預防式維護管理示意圖



(a) 積極式維護管理及反應式維護管理比較



$T_5+T_6 < T_1 + T_2 + T_3 + T_4 < T_0$



$df_5 + df_6 < df_1 + df_2 + df_3 + df_4 < df_0$

(b) 維修干擾時間比較　　(c) 維修所需能量比較

圖八 積極式維護管理示意圖

表一為上述各維護等級與策略之比較表，其中，積極式維護策略於短期間內之管理成本與使用者成本雖較預防式維護策略為高，但在長時間比較下，積極式維護策略之總成本一般均較預防式維護策略為少，因此積極式維護策略應為公共建設永續經營之最佳維護管理策略。

綜上所述，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

地工技術

表一　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

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。此外，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。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。

盱衡二十一世紀國內工程產業發展趨勢，維護管理工程勢必成為未來主流，而此一開發展趨勢也必將改變國內產業結構，甚至驅動產業轉型升級。因此，從政府到民間都必須正視此一課題，結合各方資源，儘早展開工作規劃與策略研擬，以因應未來需求。

參考文獻

OECD (1994), “Road Maintenance and Rehabilitation: Funding and Allocation Strategies”, OECD Road Transport Research, Paris.

OECD (1997), “Performance Indicators for the Roads Sector”, OECD Road Transportation Research, Paris.

State of California Department of Transportation (1998), “Caltran Maintenance Manual Guide”.

US. DOT. (1999), “Asset Management Primer”, Technical Report, Washington D.C..

OECD (1999), “Summary of Performance Indicators for the Roads Sector”, OECD Road Transportation Research, Paris.

OECD (2001), “Asset Management for the Roads Sector”, OECD Road Transportation Research, Paris.

OECD (2002), “Maintenance and Rehibilitation Funding and Strategy”, OECD Scientific Expert Group.

Richard F. Chandler (2004), “Life-Cycle Cost Model for Evaluating the Sustainability of Bridge Decks”, Center of Sustainable Systems in University of Michigan.