

鋪面網路養護管理系統與 美國ILLINET程式之應用

*李英豪 **李英明

摘要

- 一、前言
 - 二、鋪面網路養護管理系統 (PNRMS) 建立與應用
 - 三、美國ILLINET程式
 - 四、中山高速公路鋪面養護管理現況之研究
 - 五、結論
- 參考文獻

全方位鋪面管理系統是鋪面管理的終極目標。但是，建立此一龐大的系統所需耗費的人力、物力、時間與金錢甚鉅，不易立收成效。本文從國內外鋪面高級管理階層的迫切需求為考量起點，淺談如何從鋪面「網路管理」的層次著手，期望於短期間內建立一電腦化並可即時應用的鋪面網路養護管理系統 (PNRMS)，做為鋪面管理者在訂定鋪面養護方案時協助其決策的工具。文中並探討建立PNRMS之資料需求、預估模式、維修方案之選定與最佳化網路維修策略；並以美國伊利諾大學與州運輸部共同開發完成之ILLINET程式為例介紹PNRMS的功能與發展潛力；文末亦對國道中山高速公路鋪面養護管理現況提出具體建議，期望早日建立本土化與電腦化的PNRMS，以符合各管理階層的實際需求，進而成為建立全方位鋪面管理系統的基礎與原動力。

*李英豪 淡江大學土木工程研究所副教授

**李英明 淡江大學土木工程研究所研究生

一、前言

理想中之全方位鋪面管理系統所涵蓋的範圍相當廣大，舉凡與鋪面有關之規劃、設計、施工、維修養護、調查、評估及其他相關研究工作等均屬於其範圍【1】。國內公路主管單位如：國道高速公路局與交通部運輸研究所均已率先完成鋪面管理系統架構與鋪面結構評估等相關研究【2, 3, 4】，對於國內鋪面管理系統化與科學化有顯著的貢獻。

建立全方位鋪面管理系統是一循序漸進的程序，期望一舉建立此一龐大的系統所需的資源甚鉅，難於短期內收到成效。因此，從鋪面高層決策者的迫切需求著手，以「網路」層次考量鋪面「養護管理」而建立本土化與電腦化的「鋪面網路養護管理系統」，對於國內的鋪面網路管理將會是協助鋪面管理者訂定決策的有效工具。

因此，本文中以國內外公路鋪面高級管理階層訂定鋪面養護策略時的需求為起點，淺談如何從鋪面「網路養護」管理的層次，以最短的時間與最經濟的考慮，建立有效的鋪面網路養護管理系統(Pavement Network Rehabilitation Management System; PNRMS)；也期望此系統經由不斷的修正與發展，更貼切的符合各個管理階層的實際需求，循序漸進，做為達成全方位鋪面管理系統的基礎。

二、鋪面網路養護管理系統建立與應用

2.1 全方位鋪面管理系統概念

「鋪面管理」在國內已非新的觀念，各國公路機構對鋪面的管理與決策經常的進行。鋪面管理系統建立的主要目的在於利用系統的方法，協助並改善各不同管理階層訂定管理決策時的效率，確保決策的一致性。並希望藉由長年持續不斷的資料回饋與研究，實際了解不同決策可能產生的後果，進一步提供未來改善的建議，以使此系統化的流程更趨完備。

理想中鋪面管理系統的終極目標為「全方位的鋪面管理系統」(Total Pavement Management System)。然而，其所涵蓋的範圍非常

以上，這些網路層次所遭遇的問題，可以藉由鋪面網路養護管理系統的協助，得到有效而清楚的結果。

2.3 資料需求

鋪面管理系統整體架構的核心在於資料庫的建立與資料系統化的運用，但這也是鋪面管理系統最難以落實之處。如何每年有效的蒐集資料、更新資料庫，並確保資料的可信度，一直是國內外各公路主管部門所欲克服的一大難題。因為在此龐大的系統下強調過多的資料蒐集，對主管單位而言將會是一大負擔，而且會非常難以確實執行。

PNRMS的建立對於資料的需求可比較寬鬆。例如美國聯邦公路總署必須根據所建立的公路績效監測系統（HPMS），每年向國會報告全美各公路系統之長期維修經費概估。該系統中與鋪面有關的最重要因素僅有鋪面結構強度（例如：剛性鋪面版的厚度與柔性鋪面的結構指數）、年等額18千磅單軸軸重當量數（ESAL）和現在服務能力評分，和自1987年以後HPMS才開始蒐集各代表路段的國際糙度指標。其餘如鋪面至今所經歷的年數和總累計之ESAL值則仍舊空白，更惶論各種破壞的類型的數量與嚴重程度及鋪面細部設計的資料【5,6】。

鋪面養護管理的主要目的乃在確保鋪面能提供用路大眾足夠的服務能力與行駛品質。因此以用路人觀感為主的對鋪面功能上評估（Functional Evaluation）之服務能力評分，最常被採用為鋪面養護的決策準則。所以，鋪面網路養護管理系統對於鋪面結構上的評估（Structural Evaluation）資料，如：各種破壞的型式、嚴重程度與數量等資料，使用上也相對的減少。

因此，建議國內公路主管部門，在鋪面網路管理系統建立之初應本著先行彙整、利用最少的資料，並符合經濟的原則，以確保資料及未來分析成果的可信度。

2.4 預估模式

一個較完整且具前瞻性的鋪面網路養護管理系統不僅可評估鋪面「現在」的狀況，更重要的是它也必須能預估並分析其「未來」的趨勢與種種狀況。進而使管理者對鋪面網路未來的養護需求有較客觀的

廣泛，所需的資料需求複雜且多，投注的人力、物力與金錢亦屬龐大。如此的全方位鋪面管理系統，很難在短期內收到成效。

2.2 鋪面網路養護管理系統簡介、重要性及功用

鋪面網路養護管理系統是協助制定鋪面養護策略的工具，以「網路層次」(Network Level) 考量提供有選擇性的方案讓決策者選擇以制定維修養護策略，並非直接由系統制定策略。鋪面網路養護管理系統的建立可協助管理決策者經由回答一系列的「如果....，那麼會....」的問題("what if" questions)，如：養護所需的經費、各種不同養護策略可能產生的後果與未來鋪面的服務能力預估等問題，提供給管理階層做為決策時的參考依據。此系統與「個案層次」(Project Level) 的鋪面養護管理系統最大的不同在於管理的層次與所需鋪面細部資料的多寡；前者階層較高，所需資料較少；後者則相反。

以國內高速公路鋪面養護管理系統的發展現況而言，目前應為最適合落實PNRMS執行的時機。各公路相關單位主管面對立法機關的預算審查，及各行政、預算規劃人員如何善用有限的鋪面養護經費時，經常遭遇的問題與需求如【1】：

1. 估算現在與未來所需的鋪面維修經費，並提供具體的數據及參考資料以供審核。
2. 假使爭取到的養護經費嚴重不足，評估未來對整體鋪面網路所產生的影響。
3. 如何客觀的列出各鋪面路段對於養護經費需求的優先次序。
4. 如何以圖示、列表等方式，明瞭的展示並總結該鋪面網路現在與未來的概況。
5. 如何利用最佳化(Optimization)之技術，將有限的養護經費分配至最需養護或可獲得最大利益(如：服務能力、平均壽命、總車輛行駛旅程等)之路段。
6. 預留各種不同分析方法的彈性，如：可選擇不同養護方案、維修水準、可以接受既定的養護方案(Fixed Rehabilitation)或考慮延遲養護方案的執行等不同的選擇彈性。

認識，並根據具體資料研擬出更符合實際需要的養護預算與執行計劃。可靠的績效預估模式乃是整個PNRMS對未來績效、需求預估的核心所在，其重要性自不待言，從美國自1987年起持續執行的二十年鋪面長期績效研究更可知其重要性了。

鋪面預估模式因不同目的而建立，其種類繁多，如：各種破壞型式、服務能力與現況評分等之預測。如上節所述，不同管理層次對資料的需求不同，故使用的預估模式也跟著改變。管理層次較高時，所考慮資料少，故常預估單一的鋪面總指標，以為決策的準則。若欲以個案的方式，對各鋪面路段做更詳實的評估，所需資料多，而對各種破壞型式的預估也相形重要了。

2.5 可選擇性的鋪面養護方案

在鋪面網路養護管理中對於鋪面養護方案的選擇應該具備可選擇性，一般可供管理決策者運用的方案應包含在系統之內。通常，可供選擇的鋪面養護方案包括：例行性的維修、修補、加鋪不同厚度的瀝青混凝土面層與重新建造等方式。

網路層次的分析與管理中，養護工作的可行性與預算和整體網路的平均鋪面狀況有極大的關聯。在預估模式之協助下，PNRMS可預測得未來某年的養護需求，再輔以使用者輸入適當的單位維修成本，便可預測得未來年的養護預算經費。此外，各種不同養護方案的選定、維修經費的限制與未來對鋪面網路產生之影響等均在PNRMS的分析範圍內。此一分析對於未來養護計劃的排定、執行或是編列及申請預算均是十分有利的資料依據。

2.6 以最佳化方法評選訂定網路養護方案

鋪面網路養護管理系統的主要目的之一是提供在有限預算的條件限制下，養護計劃的優先次序與工作時程，亦即考慮待養護路段、維修時間與方式、及預算分配等問題。PNRMS對鋪面維修養護的方案選擇主要可分為無預算限制與有預算限制二種情況【7】。

1. 無預算限制：在此情況下，若鋪面狀況降低至所設定最低可接受的服務指標（門檻值）以下時，此鋪面路段便必須加以維修。因此各鋪面路段的養護需求是在不考慮預算限制下估算而得。
2. 有預算限制：然而在現實情形下，並非所有需要養護的路段都可分配到經費。因此，在有限的年度預算內，必須對於鋪面網路中各路段的養護排定優先次序。此一年度的次序排定只考慮當年的因素並不考慮往後數年內可能採取的養護措施。在此方式中，每年的有限預算與所期望的鋪面績效水準便成為選定每年鋪面網路養護管理方案的優先次序的主要限制條件。養護方案優先次序排定的最佳化方法，較常用者有下列三種：
 - (a) 簡單的排序：以鋪面服務指標較低者為優先。
 - (b) 以益本比排序：依益本比排定養護優先次序，高者優先。
 - (c) 以增量益本比或二次益本比排序：比值較高者優先養護。若當年經費不足時，需養護之路段便須延後至他年有足夠經費時，再與其它路段比較，爭取養護優先次序。
3. 此外，另可運用多年長期的最佳化分析法，以鋪面網路的整體利益為考量，選定各路段養護次序，以期獲得最大整體網路利益。惟因此法計算較為繁複，實際執行之成效較不易於短期得之，目前較少使用。

三、美國 ILLINET 程式

ILLINET 程式是美國伊利諾大學與州運輸部共同開發完成的伊利諾州際公路鋪面網路養護管理的決策分析工具，目前已受州運輸部最高層官員之重視，並指示各相關部門配合推廣實施【7, 8】。ILLINET 程式可分析鋪面的相關資料，回答有關網路養護的種種重要問題，以協助規劃及管理人員在預算分配前的分析工作。ILLINET 程式可在不同的預算水準下建議出最佳化的鋪面養護計劃，或估算出所需最低的預算，以維持鋪面在最低可接受的服務品質。ILLINET 程式是完全可交談式的個人電腦程式。以下即將其特色與功能做簡單介紹。

3.1 ILLINET程式建立與應用

ILLINET程式所需之輸入資料相當精簡。表一中，每一列資料代表某一特定的單方向均一路段，資料包含路段之路線RTE、方向DIR、起始里程BEGIN、終點里程END、隸屬轄區編號D、鋪面型態TYPE、鋪面結構強度THK、單向車道數LN、混凝土惡化裂縫DC、鋪面現況調查值CRS、平均日交通量ADT、單輛貨車數SU與拖車數MU。

RTE	DIR	BEGIN	END	D	TYPE	THK	LN	DC	CRS	ADT	SU	MU
57	*N*	171.89	176.90	5	*JRCP*	10.00	2	0	6.3	12.5	0.3	2.2
57	*S*	171.89	176.90	5	*JRCP*	10.00	2	0	6.3	12.5	0.3	2.2
57	*N*	176.90	180.10	5	*ACJR*	3.00	2	0	5.5	13.0	0.4	2.0
57	*S*	176.90	180.10	5	*ACJR*	3.00	2	0	5.5	13.0	0.4	2.0
57	*N*	180.10	181.10	5	*ACJR*	3.00	2	0	5.5	13.0	0.4	2.0
57	*S*	180.10	181.10	5	*ACJR*	3.00	2	0	5.5	13.0	0.4	2.0
57	*N*	181.10	183.80	5	*ACCR*	2.00	2	0	7.6	13.1	0.4	2.2
57	*S*	181.10	183.80	5	*ACCR*	3.25	2	0	7.6	13.1	0.4	2.2
57	*N*	183.80	190.60	5	*ACCR*	2.00	2	0	8.6	13.5	0.4	2.4
57	*S*	183.80	190.60	5	*ACCR*	2.00	2	0	8.6	13.5	0.4	2.4
57	*N*	190.60	194.47	5	*ACCR*	4.75	2	0	5.0	12.2	0.4	2.6
57	*S*	190.60	194.47	5	*ACCR*	4.75	2	0	5.0	12.2	0.4	2.6

表一 ILLINET之資料需求

伊利諾州運輸部採用自行研發訂定的鋪面現況調查值(CRS)為決定鋪面接受養護優先次序的重要指標。CRS為數位專家經由所觀測到的破壞情形，依據調查手冊內標準的破壞圖片相對應之CRS值，對鋪面給予1至9的評分(如：新建或加鋪的鋪面CRS值為9，完全無法通行的鋪面CRS值定為1)。一般而言，當鋪面之CRS值降低至6.0以下時，將會被州運輸部規劃在未來五年內的養護計劃內。然而，實際的情形經常是養護經費不足，不少路段不得不順延其養護需求，屆時，其CRS值可能已經降低至5.0甚至更低，而真正維修費用也必將大幅提高。

值得一提的是舊版的ILLINET程式曾登錄了各路段破壞的種類、數量與預測模式，以更詳細的計算維修養護經費【7】。然而此項考量在執行時最大的困難在於如何確保大量資料的正確性、即時性與各破壞

預估的可信度問題。因此現行新版的ILLINET程式將對資料的需求減到最低，僅以CRS為選定維修策略的總指標。

此外，ILLINET程式並可透過簡易的地理資訊系統概念將所有資料以圖形化的方式，展現在鋪面管理者眼前。圖一中，使用者可在該圖形中模擬行駛於任一路段，並獲得該路段的重要資訊。有經驗的工程師或管理者常能即時判斷此一資料的正確性，必要時，亦可以簡單的步驟加以修正，以確保分析成果的可信度。

3.2 CRS預估模式與校估

伊利諾州際公路中，主要的鋪面型態有接縫式鋼筋混凝土鋪面（JRCP）、連續式鋼筋混凝土鋪面（CRCP）和上述鋪面加鋪瀝青混凝土鋪面（ACJR與ACCR），經過多方的評估不同的預估模式型式，ILLINET程式中CRS產生的模式型式選定為：

$$CRS/2=PSR=4.5 - a*STR^b*AGE^c*CESAL^d \quad (1)$$

此非線性模式可轉換為：

$$\begin{aligned} \log_{10}[(9-CRS)/2] &= \log_{10}(4.5-PSR) \\ &= \log_{10}a + b*\log_{10}STR + c*\log_{10}AGE + d*\log_{10}CESAL \quad (2) \end{aligned}$$

其中：

CRS：鋪面現況調查值（1-9）

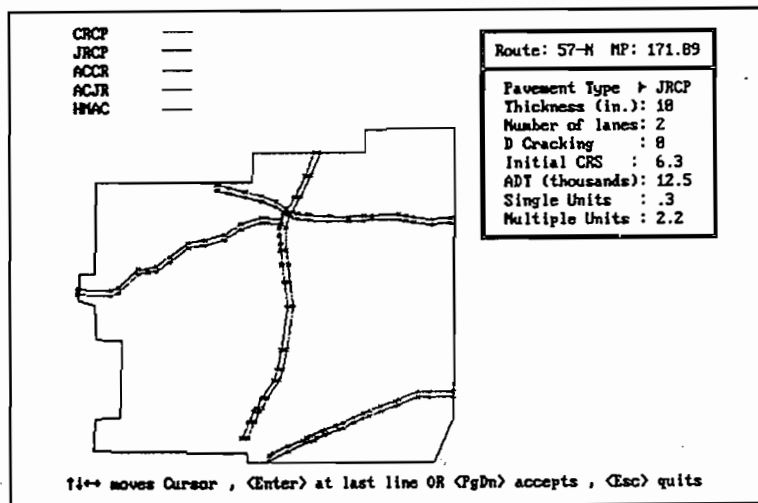
PSR：現在服務能力評分（0-4.5）

STR：柔性鋪面（FLEX）為結構指數，接縫式無筋混凝土鋪面（JPCP）、JRCP與CRCP為版厚度或ACJR及ACCR為瀝青加鋪層厚度（英吋）

AGE：自建造初始或加鋪至現在的經歷年數

CESAL：自建造初始或加鋪起外側車道累積之18千磅單軸軸重當量數（以百萬為單位）。

a, b, c, d：迴歸常數請見表二。



圖一 以圖形化表示 ILLINET 之資料

Model	Coefficients			
	$\log_{10}a$	b	c	d
FLEX	1.1550	-1.8720	0.3499	0.3385
ACJR ACCR	-0.4656	-0.0957	0.6124	0.1293
JPCP	0.5104	-1.7701	1.0713	0.2493
JRPC	1.7241	-2.7359	0.3800	0.6212
CRCP	0.7900	-1.3121	0.1849	0.2634

表二 迴歸常數

CRS預估模式所代表的只是該類鋪面的平均服務績效。然而，任一路段均有其獨具的特性，其實際的CRS值往往與預估值有所差異，故必須以校估的方式加以修正。常用的校估方式有二種。第一種校估方式是將預估曲線上下平行移動，並使實際已知的CRS值通過曲線。此法隱含著對現有AGE與CESAL值的信賴並假設該路段實際服務績效與平均預估曲線不同。第二種校估方式是利用將預估曲線平行的前後移動。此一方法利用現有的CRS值與當年的ESAL值，反推出AGE與CESAL之概估值。對於AGE與CESAL值資料較不信任時，可採用第二種預估方式。ILLINET程式與美國聯邦公路總署之HPMS分析均是採用第二種校估方式。

3.3 以最佳化方法選定各網路養護方案

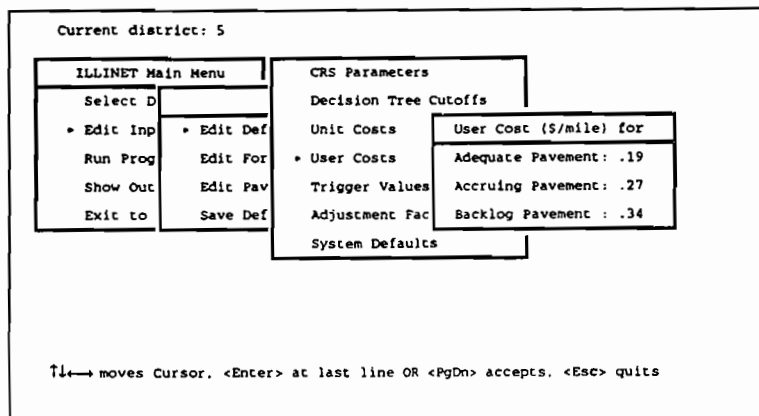
ILLINET程式可協助管理決策者自由選定不同的養護方案，並可利用各種最佳化方法比較各網路養護方案的優缺點，以降低總維修成本或獲得最大的利益。必要時並可輸入適當的使用者成本，以更適切的分析出各養護方案對整體運輸網路產生的影響。

ILLINET程式並採用相當多的功能選項表，以保留程式分析各方案的彈性並確保使用的容易度。如圖二，在從事分析前，使用者可非常容易的更改程式中的初始設定值，如：預估模式的參數、決策樹網值、單位維修成本、使用者成本、維修之門檻值、修正係數與各系統參數等。

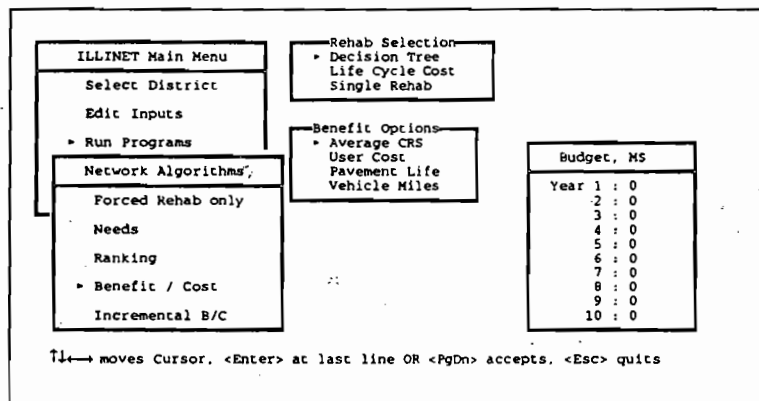
圖三顯示ILLINET程式可執行的各網路養護的最佳化方法，其中包含了既定的養護路段、無預算限制下的養護需求、簡單排序、益本比排序與增量益本比排序等。所獲得之網路效益可由平均鋪面狀況的改善、使用者成本的降低、平均鋪面壽命的延長與車輛行駛於良好鋪面的總延哩數決定之。此外，目前至多十年的年養護預算可同時輸入於該程式。

3.4 協助決策的工具

誠如以上所述，管理者才是最後真正下定網路養護決策的主體，任何鋪面網路養護管理系統或ILLINET程式僅是協助決策訂定時的工



圖二 ILLINET程式中的多功能選項表



圖三 ILLINET程式中網路養護最佳化方法

具。因此，ILLINET程式在設計之初與後續的修正版本中，均在程式中保留了相當多的彈性，如：CRS預估模式採用可修正的方式併入程式

中；與已確定必須執行的養護路段亦可逐一的加入分析的流程之中等預留的彈性。ILLINET程式亦可協助州運輸部在選定養護決策前：

- (1) 確定CRS預估之精確度；
- (2) 從事整個運輸路廊的殘餘壽命分析；
- (3) 將ILLINET程式建議之養護需求與州運輸部現已訂定之多年的養護計劃作比較。

3.4.1 CRS預估的精確度

可靠的預估模式幾乎是整個鋪面養護管理分析過程中的核心。因此ILLINET程式的使用者亦可透過過去數年CRS的實際資料與ILLINET程式之預估值比較評估，以預估CRS的精確度【8】，必要時亦可透過程式加以修正，以確保分析成果的可信度。

3.4.2 運輸路廊殘餘壽命分析

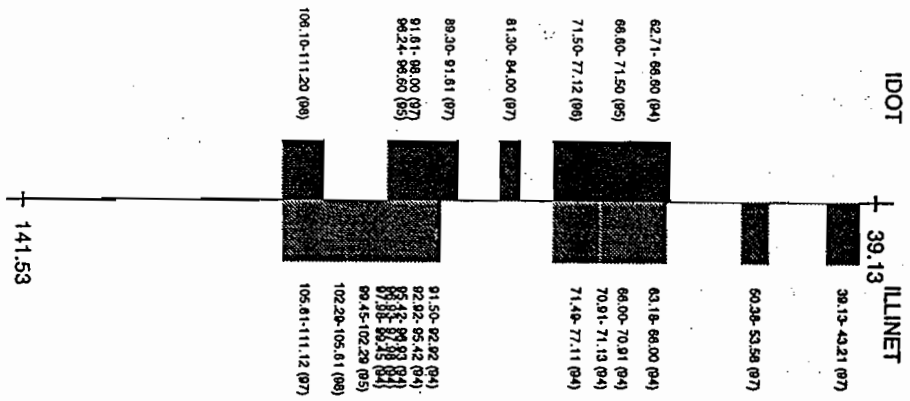
每一路段的殘餘壽命可定義為自分析年開始到該路段未來達到臨界CRS值（門檻值）止，其間所經歷的年數。ILLINET程式可用來分析各州際公路上各個路段的殘餘壽命，其主要目的在於協助了解各運輸路廊整體的概況及各小路段的變異情形。經由此一分析鋪面管理者可辨視各連續路段間的關聯性，進而在未來修護決策中將其視為整體的單元一併考慮。此一分析可彌補ILLINET程式在選定路網養護方案時將各個小路段視為互不相關的小單元時的不足，使分析更符合實際與更具經濟性。圖四中，顯示在不同臨界CRS值時（CRS分別為5.1與6.0），55號州際公路北向路段的殘餘壽命直條圖。直條的高度代表殘餘壽命的年數，寬度則代表每一路段在此圖中的相對長度。

3.4.3 ILLINET程式養護需求預估與IDOT擬定養護計劃之比較

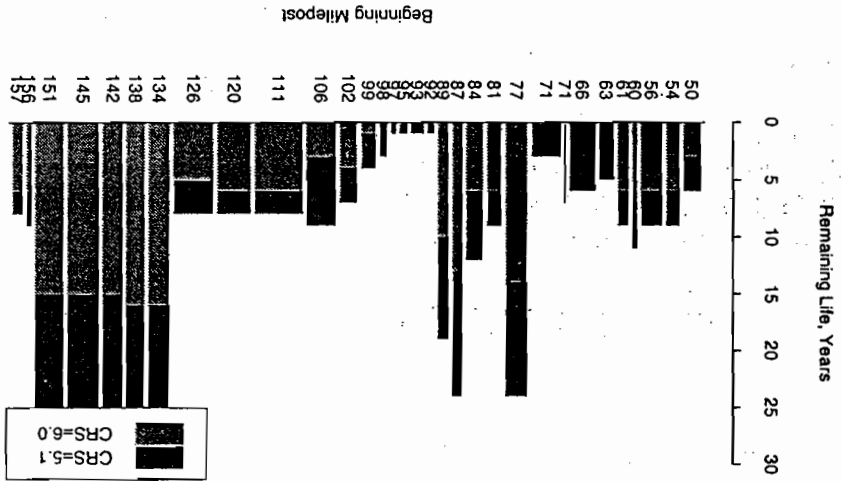
此一比較分析的主要目的乃在於以圖形化的方式（如圖五），將ILLINET程式在某一維修水準（例如CRS=6.0）下的養護需求預估與州

運輸部 (IDOT) 現在利用人力方式擬定的五年養護計劃 (1994-98) 與 ILLINET 程式分析成果的可靠度，或是協助及早發現資料的問題，並提

圖五 ILLINET 之養護需求預估與 IDOT 之五年養護計劃比較



圖四 在 CRS=5.1 與 CRS=6.0 下之路段殘餘壽命



出修正建議。此分析比較的成果將對管理者最後鋪面養護的決策與執行有極大的幫助。

四、中山高速公路鋪面養護管理之實施現況研究

國道中山高速公路自民國63年陸續開放通車至民國67年10月全線通車，全長373.24公里，除了各收費站前後與北部一公里多為剛性鋪面外，其餘部份皆為柔性鋪面。中山高自通車後，由於交通量急遽成長，加上超載情況嚴重，自69年底即陸續產生損壞情形。高速公路局基於維持公路服務水準的養護管理責任，自70年下半年至75年上半年期間執行完成五年路面整修工程。第二次的五年路面整修計劃亦自81年度開始，現正積極辦理中【9】。

高速公路局自69年底起即積極推動多項專題研究計劃以協助未來養護管理決策之訂定與執行。而自民國72年至77年期間由賴森榮與侯昇二位教授分二期五年執行的「臺灣區高速公路路面養護管理系統」【2】，更率先完成國內鋪面基本的養護管理系統架構，現已由高速公路局所屬各單位定期進行資料蒐集與建檔中，對國內鋪面養護管理系統的本土化、系統化與科學化有極大的貢獻。惟因考量當時電腦系統之配備，該鋪面養護管理程式僅能適用於行政院主計處之大型電腦，以致於使用效率無法完全發揮。

多對國內鋪面養護管理系統實施的現況與國外鋪面養護管理系統的成果，茲提出以下幾點結論與建議：

1. 鋪面養護管理系統是循序漸進的，在高速公路局現有之鋪面維修養護系統架構下，目前應是國內建立鋪面「網路養護」管理系統的最佳時機。

2. 鋪面網路養護管理系統所需的資料較少，可在較短的時間內建立此電腦化分析系統，協助高層鋪面管理者達成如前述的種種目標。此系統之建立若妥善運用與擴展，必可成為未來建立全方位鋪面管理系統的主要原動力。

3. 國內外各種高科技精度量測儀器種類繁多且彼此使用不同的精度指標，造成精度資料分析與比較上相當的困難。有鑑於此，世界銀行於1986年極力推薦世界各國採用一致的國際精度指標

(International Roughness Index; IRI)，並提供各種量測糙度指標間之關係式以爲互相轉換的依據【10】。因此建議國內公路機關應及早考慮採用IRI爲標準糙度指標，以便與世界各國的研究相互配合。

4. 在建立國內鋪面網路養護管理系統電腦化程式之初，可暫時參閱國外相關之研究報告，利用高公局現有的糙度資料推算出各路段之現在服務指標 (PSI) 概估值，慎選各種鋪面型態的PSI預估模式 (如表二)，並期以此推估值爲未來養護決策的總指標【1，10】。
5. 誠如賴森榮、侯羿二位教授於該計劃之期終綜合報告所述「俟北部第二高速公路通車使用後，適當發展PSI指標之時期當可來臨」【2，pp. 35-36】。當未來高公局蒐集到更多的鋪面檢視指標時，並可與上述PSI預估值比較，參考國內的維修現況做適度的修正，以推展出更適合於國內鋪面實況的糙度與PSI之關係式及達到本土化的目的。

五、結論

國內路面養護管理系統已略具雛形，現在正是發展鋪面網路養護管理系統的最佳時機。本文中探討建立鋪面網路養護管理系統之資料需求、預估模式、維修方案之選定與最佳化網路維修策略；並以美國伊利諾大學與州運輸部共同開發完成之ILLINET程式爲例介紹鋪面網路養護管理系統的功能與發展潛力；文末亦對國道中山高速公路鋪面養護管理現況提出具體建議，期望早日建立本土化與電腦化的鋪面網路養護管理系統，也期望此系統之建立對國內一般公路養護系統也能提供網路層次管理上有力的協助，使鋪面網路養護管理系統成爲鋪面策略決策時的有力工具。

參考文獻：

1. Haas, R., W. R. Hudson, and J. Zaniewski, Modern Pavement Management, Krieger Publishing Company, 1994.
2. 賴森榮、侯羿，台灣區高速公路路面養護管理系統，財團法人台灣營建研究中心，民國77年。
3. 周家蓓，市區道路鋪面養護管理系統建立之研究，交通部運輸研究所，民國八十年十一月。
4. 周家蓓，台灣地區一般公路鋪面養護管理系統建立之研究(第二期)，交通部運輸研究所，民國八十二年十月。
5. Federal Highway Administration, "Highway performance Monitoring System - Field Manual" (1987). (Also FHWA Orders M 5600.1A, Chg. 1, on July 15, 1988, and Chg. 3 on April 20, 1990.)
6. Lee, Y. H., A. Mohseni, and M.I. Darter, "Pavement Model Enhancements for the Highway Performance Monitoring System (HPMS)," Final Report (1991).
7. Mohseni, A., "Alternative Methods for Pavement Network Rehabilitation Management," Ph.D. Thesis, University, Urbana (1991).
8. Hall, K. T., Y. H. Lee, M. I. Darter, "Forecasting Pavement Rehabilitation Needs for the Illinois Interstate Highway System," the 73rd Annual Meeting of Transportation Research Board (1994).
9. 王振芳，"高速公路路面管理之回顧與展望"，中華民國第五屆路面工程學術研討會論文集，第1-10頁，台北，民國八十年七月。
10. Paterson, W. D. O., "Road Deterioration and Maintenance Effects - Models for Planning and Management," A World Bank Publication, the John Hopkins University Press (1987).
11. Lee, Y. H., A. Mohseni, and M.I. Darter, "Simplified Pavement Performance Models," Transportation Research Record 1397, pp.7-14 (1993).