GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY — OFFICE OF CONTRACT ADMINISTRATION

PROJECT ADMINISTRATION DATA SHEET

[X] ORIGINAL [ ] REVISION NO. ______

Project No. E-20-G10 (R6214-0A0)   GTRC~~GIT~~   DATE 10 / 6 / 86

Project Director: J.C. Lai   MISC   School/~~Lab~~ CE

Sponsor: Taiwan Construction Technology Research Center

Type Agreement: Research Project Agreement dated 8/19/86

Award Period: From 10/1/86 To 3/31/89 (Performance) 4/31/89 (Reports)

Sponsor Amount:

	This Change	Total to Date
Estimated:	$	$ 44,165
Funded:	$	$ 44,165

Cost Sharing Amount: $ ______ Cost Sharing No: ______

Title: Development of a Pavement Management System for Taiwan Freeway Bureau

ADMINISTRATIVE DATA   OCA Contact John B. Schonk ext. 4820

1) Sponsor Technical Contact:

2) Sponsor Admin/Contractual Matters:

Ching-Churn Chern
Director
Taiwan Construction Technology
Research Center
P.O. Box 40-50
Taipei, Taiwan
Republic of China

Defense Priority Rating: N/A   Military Security Classification: N/A
(or) Company/Industrial Proprietary: N/A

RESTRICTIONS

See Attached N/A Supplemental Information Sheet for Additional Requirements.

Travel: Foreign travel must have prior approval – Contact OCA in each case. Domestic travel requires sponsor approval where total will exceed greater of $500 or 125% of approved proposal budget category.

Equipment: Title vests with Sponsor, however none proposed.

COMMENTS:

OCT 1986 RECEIVED SUPPORT SERVICES OCA

COPIES TO: SPONSOR'S I. D. NO. 02.226.011.87.001

Project Director	Procurement/GTRI Supply Services	GTRC
Research Administrative Network	Research Security Services	Library
Research Property Management	Reports Coordinator (OCA)	Project File
Accounting	Research Communications (2)	Other Jones

FORM OCA 65:285

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY
OFFICE OF CONTRACT ADMINISTRATION

NOTICE OF PROJECT CLOSEOUT

Closeout Notice Date 05/24/90

Project No. E-20-G10 Center No. R6214-0A0

Project Director LAI J S School/Lab CE

Sponsor TAIWAN CONSTRUCTION TECH/TAIWAN

Contract/Grant No. AGR DTD 860819 Contract Entity GTRC

Prime Contract No.

Title DEV OF PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM FOR TAIWAN FREEWAY BUREAU

Effective Completion Date 891231 (Performance) 891231 (Reports)

Closeout Actions Required:	Y/N	Date Submitted
Final Invoice or Copy of Final Invoice	Y	
Final Report of Inventions and/or Subcontracts	N	
Government Property Inventory & Related Certificate	N	
Classified Material Certificate	N	
Release and Assignment	N	
Other	N	

Comments

Subproject Under Main Project No.

Continues Project No.

Distribution Required:

Project Director	Y
Administrative Network Representative	Y
GTRI Accounting/Grants and Contracts	Y
Procurement/Supply Services	Y
Research Property Managment	Y
Research Security Services	N
Reports Coordinator (OCA)	Y
GTRC	Y
Project File	Y
Other	N
	N

GA Tech Research Center

E-20-610

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A PAVEMENT MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM for TAIWAN FREEWAY BUREAU

A Final Report

Prepared By

James S. Lai
School of Civil Engineering
Georgia Institute of Technology

and

Thomas Y. Hou
Department of Civil Engineering
National Taiwan University

TAIWAN CONSTRUCTION TECHNOLOGY
RESEARCH CENTER

研 究 報 告
RESEARCH REPORT

TR-76001
DEC.1988

台灣區高速公路路面養護管理系統

期終綜合報告

主持人：賴　森　榮　　教授
　　　　侯　　　羿　　教授

財團法人台灣營建研究中心
TAIWAN CONSTRUCTION TECHNOLOGY
RESEARCH CENTER
中華民國七十七年十二月

臺灣區高速公路路面養護管理系統

期終綜合報告

委 託　單 位：交通部臺灣區國道高速公路局

合作研究單位：國立臺灣大學土木工程研究所
美國喬治亞理工學院土木工程系
國立中興大學土木工程研究所
臺灣區國道高速公路局路面小組

主　　持　　人：賴森榮教授
侯　羿教授

研　　究　　員：林炳森教授
褚炳麟教授
賴登明研究生（博士班）

研 究　助 理：陳宏哲、黃燦輝
王嘉怡、李榮基

財團法人臺灣營建研究中心
中華民國七十七年十二月

目　　錄

圖 目 錄

頁次

前　　言

我國台灣地區近年來的經濟社會正邁向前所未有的快速成長，交通運輸在蓬勃發展的經濟活動裡，扮演著日益重要的積極角色。鑑於中山高速公路在本省西部運輸走廊貫連南北，已形成陸上運輸最快捷的動脈，隨著高速公路交通量逐年大幅度的增加，及重型車負載比例連年居高不下，高速公路路面功能衰減，有急速增加趨勢，於是確保高速公路服務品質，改善及提升路面負載能量遂爲當務之急。爲謀求高速公路能提供國人最佳最可靠的服務，高速公路路面養護工作的重要性益顯重要。

爲有效因應未來路面養護需要，進一步檢討今後路面養護策略，本研究計畫主辦人員與高速公路局路面小組多所磋商，決定以系統整合方式，以現代工程管理觀念，將路面養護理論與實務，綜合納入一項以資訊檔案爲基礎；以系統分析評估爲手段的路面養護管理系統。在此系統之中，舉凡有關路面資料調查、績效與行爲分析、各型路面設計、路面現況評審、養護方案實施及路面施工作業等業務，均全盤編列爲整體養護管理系統之次級系統，而本研究計畫應辦理之工作，即爲逐步建立此屬於中山高速公路特有的一套高速公路路面養護管理系統。

本研究計畫分兩期進行，自民國七十二年七月一日起，至民國七十四年十二月三十一日止，爲期兩年半，屬整體管理系統建立計畫之第一期計畫，第二期計畫則自民國七十五年七月一日起至民國七十七年十二月三十一日止。研究方式採台灣大學土木工程研究所，與台灣營建研究中心，國道高速公路局等單位共同研究方式，並與美國喬治亞理工學院合作，研究執行編組人員爲：

A 組（台灣大學）：侯　羿（主持人）、賴登明、陳宏哲、李榮基、劉昭正、劉明仁、黃燦輝、王嘉怡。

B 組（喬治亞理工學院）：賴森榮（主持人）

C 組（台灣營建研究中心）：葉超雄、張瑞徹、張天強

D 組（高速公路局）　　　：王振芳（主持人），陳一昌，李泰明，路面小組

表　　目　　錄

謝　　誌

研究計畫的價值，在乎觀念上能否創新，研究方法是否得當，最重要的是，研究結果是否有實用價值。當交通部國道高速公路局賦予我們本計畫之研究任務時，我們非常同意高速公路局對養護管理的重視，因爲這也正是目前先進國家路面管理機構，積極研究發展的課題。然而我們也誠然惶恐，思索如何進行這項屬於自己區域性的路面養護管理準則。五年來，我們憑著高度的興趣和不倦的付出，從蒐集資料、研究學習、修訂目標，冀能全力以赴。從試驗室到工地作業，從研討會至電腦應用，不斷地與國外單位連繫，且從未中止與高速公路局同仁的協商。我們自忖已付上了心血，也慶幸努力也獲致了成果。

然而我們也有些遺憾，我們感到時間不足，也覺得國內能找到參與工作同僚的機會太少，工程界對我們的工作內容也陌生。幸賴高速公路局自始至終給予我們全力的支持，使我們得到熱忱的關心和策勵，又蒙各工程處、段工程司們的協助和參與工作，使本計畫得以順利進行。

在此，我們特別感謝　方局長恩緒與　石局長中光的厚愛和勉勵，兩位爲我國公路發展盡上無止境心力的長者，卻能俯聽晚輩後學一些不成熟的建議。我們也由衷感謝彭副局長淑龍與過總工程司鮑生的指導，由於兩位加予我們的信心，使參與研究同仁深受鼓舞。研究多年來，王副總工程司振芳舉凡大小研討會議及工地作業，必皆躬親出席指導，使本計畫的實務性與自主性益爲增強，令我們良深感佩。我們同感謝意的，還有陳副總工程司寶章，楊副總工程司欽耀，陳工程司一昌，李工程司泰明，陳工程司志修，諸位積極性的建議和批評，讓我們有機會檢討自勵。此外，我們也由衷感念各區工程處處長、路面小組各位專家，及林工程司一斌給予的熱心協助。最後，最摯誠的謝忱，應致與臺灣營建研究中心及臺灣大學土木工程研究所交通組梁小姐，是您們的支援，使本計畫得以圓滿完成。

賴榮森、侯　羿　　　謹誌

以上除期終綜合報告外，其餘附錄自第一集至第七集，在系統上構成一路面養護管理系統（請參閱圖1.4 及1.5 圖）。本文第1.3 節計畫大綱指出路面養護管理系統內涵應有之完整系統構想。

除文字報告外，本研究計畫另完成一套電腦養護管理系統軟體，此諸軟體皆附屬於以上各系統內（仍請參閱圖1.4 ），使本報告成果可經由微電腦系統操作，而達成將研究得以應用於實務上之目的。

研究報告內容綜合說明

本研究書面報告含綜合報告暨附錄七集，分別為：

- 期終綜合報告
- 附錄：

第一集 ： 路面養護管理系統的運用

第二集 ： 路面調查系統

　第一冊　路面結構與功能調查

第三集 ： 路面分析系統

　第一冊　路面應力分析

　第二冊　路面績效分析

　第三冊　砂石料源供應分析

　第四冊　試驗室作業系統

第四集 ： 路面設計系統

　第一冊　柔性路面設計

　第二冊　路面加鋪設計

　第三冊　路面邊坡設計

　第四冊　路面及路基排水設計

　第五冊　路面材料穩定設計

第五集 ： 路面評審系統

　第一冊　路面檢測與評審

第六集 ： 路面施工系統

　第一冊　瀝青混凝土材料及施工

　第二冊　核子量測儀的應用與操作

　第三冊　路基壓實作業與控制

　第四冊　路面損壞分析及整修方法

第七集 ： 研究發展與人員訓練系統

第一章　概論

1.1 引言

路面管理系統(Pavement Management System)觀念之形成是1970年代的事，根據1987年美國運輸研究部 (National Research Board)所出版之NCHRP #135報告指出，經調查美國各州，除北卡羅林那州、西維吉尼亞州與阿拉斯加州外其餘各州有7 州目前尚無路面管理系統，但均表示即將著手進行；另41州都已部份或全面完成所謂之路面管理系統。此外各地縣 (County) 及市(City)行政區之道路系統，亦有在管理系統之發展下進行者。

美國運輸部聯邦公路總局 (FHWA) 於民國78年元月13日發佈公路路面政策之法規 (23 CFR Part 626)，主要如下：

> 本文件修訂路面設計政策和程序之規則 (Regulation) ，其目的乃在發佈一項政策，這政策是以「成本效益」的方式，選擇、設計和管理聯邦補助之公路路面；並且確認適合聯邦資金補助之路面工作。本修訂版將要求每一州公路機構具備路面管理系統 (PMS)，這系統不但爲聯邦公路總局所接受，並且其所根據的觀念源自美國州公路和運輸官員協會 (AASHTO) 所發行之刊物，包含1985年版“路面管理指南” (Guidelines on Pavement Management) 在內。每一州公路機構需要擁有一套FHWA所接受之程序，用以進行路面型式的選定，以及路面結構之新建或重建之設計。每一州公路機構也必須擁有FHWA所認可之路面養護選擇程序，這程序包含替代方案之辨明和結構設計的方法。本修訂版將取代現有的規則，以保證州公路機構，爲了提昇安全且低成本—高效力路面，所採行的合宜程序和實務。

我國台灣區主管道路單位，業路面的新工與養護，尚停留在1970年代以

前時期之工程觀念，一般對路面管理的近代發展趨勢不甚了解。本研究計畫，實屬採納路面管理系統方法之首次嘗試，而高速公路局決定強化路面養護，從事以管理觀念注入工程領域，將為我國路面工程界展開新頁。

本計畫因係較新觀念之引進，一切從根本著手，故計畫目標尚未放置於前述之 "路面管理" ，而試從較低層次之 "路面養護管理" 著手進行（請注意增減 "養護" 二字之差異）。

路面管理系統（簡稱PMS)與路面養護管理系統（Pavement Maintenance Management System 或PMMS）之不同處，前者所指為 "全面性的" ，包涵養護層次的 "管理系統" ，而後者僅涉及 "養護管理" 層次系統。進一步區分此兩系統，請參閱圖1.2 與圖1.3 ，本計畫之所以選擇採用 "養護管理系統" 之原因有二：

（一）本計畫進行之初，為因應當時高公局路面整修計畫之需要，故應以 "養護" 工作為主。

（二） "路面管理系統" 包容了 "路面養護管理系統" ，前者如圖1.2 所示，涵蓋養護系統功能，是路面策略性的管理。後者則為在既定策略下，從事 "養護管理" 活動。本研究計畫人員認為，以當前國內對路面工程的認識與能力，尚不宜一蹴進入全面性的路面管理層次，因為所涉及人力物力太多。如從較單純的養護工作著手，則日後再將此養護系統擴增，即不難達到全面路面管理的境界。

總之，本研究計畫之目的，綜合而言，為有效因應未來路面養護之需要，全面擬訂路面養護策略，按路面現時狀況、交通運輸需求、經濟成本效益，以力學分析、系統整合為手段，逐步建立屬於中山高速公路特有的一套高速公路路面養護管理系統。

1.2 研究方法

1.2.1 研究理論基礎

本研究計畫採系統管理觀念，系統方法(Systems Method)，簡言之，爲將問題模型，以良好的技術或知識，予以有效求解的一個過程。系統方法可用於整體問題；亦可應用於個別問題。圖1.1 説明了系統方法的架構。在此圖中，系統包括三個層次，分別爲：系統處理(Systems Approach)；系統分析 (Systems Analysis) 與系統工程 (Systems Engineering)。系統處理指對問題之一般性考量，在圖1.1 中，其範圍僅限於流程中之問題認識階段。系統分析除涵蓋系統分析外，且包括替代策略(Alternate Strategies)之考量，同時對替代策略提出分析及最佳化方法。至於系統工程，是處理整個系統之組織結構，強調設計、執行，以及績效評估各層面，以最有效整合方式(Integrated Approach) ，解決複雜的工程問題。

系統方法用之於管理，管理者能經由清晰規則的步驟，決定採取最佳的管理策略。管理工作大致可分爲決策與執行兩個階層，決策階層偏重於整體策略之擬定；而執行階層則偏重於細部技術性的管理決定。決策者著眼最少的投資而能獲取最大利益，而執行者則在既定方案下做更精細的考慮，使目標得以圓滿達成，資金能發揮最大功能。由於系統管理使管理工作得到最有效的成果，近年來進步的工程管理，亦均納入管理系統中。本研究計畫即以系統管理觀念，將傳統之路面工程業務範圍，予以重新整合及界定。使高速公路路面養護工作，符合現代處理原則之趨勢。

1.2.2 路面養護管理架構

近代路面工程的內涵，由於路面使用需求標準之提高，工作方法已從較單純的技術層次，提升至複雜的管理層次，而路面工程引用系統管理，更能將路面工程包涵之各項工作，例如規劃、設計、施工及養護等業務納入一套層次分明的架構，使工程單位各階層工程人員，均可經路面管理系統，尋求

與執行路面問題的最佳解決方案，圖1.2 說明了一般路面管理系統的主要架構，其中規劃業務屬於投資決策，較高之管理層次，而設計、施工、養護等活動則屬於計畫階層之管理層次。

最簡明的路面管理系統，包括六大次級系統，分別是：規劃(Planning)，設計(Design)，施工(Construction)，養護 (Maintenance)，評估(Evaluation)，以及研究(Research)。而此六項次級系統又涉及許多主要及次要，或且又互相關連的更低層次的問題與解決方案。路面管理系統主要架構，如圖1.2 所示。

規劃系統包括路面狀況調查與分析，以及從整體著眼訂定改善需求，並建立改善之優先順序，訂出各項工作時程及預算。

設計系統首先需取得各類必需資料，按一定規範產生替代設計方案，不同方案之分析應考慮成本比較，最後選擇最佳設計。本系統與其它各系統關係密切，是一個重要系統。

施工作業包括規範細則的制訂，合約條款及施工網圖之建立，品管制度之實施，與施工資料檔案的執行。

養護系統包括建立一套維修與施實維修的制度，以及訂定處理各種路面損壞的技術方法。養護系統亦需靠資訊檔案之建立，訂定養護計畫，才能發揮其功能，但從事養護決策行動之前，吾人需要一套良好的路面評估系統，先做好評估作業。

評估系統爲近年來路面管理工作中最受重視的系統，評估項目與評估準則常視路面管理機構發展重點而各管理系統有所不同。評估作業主要用於：(1) 檢查路面服務功能，(2) 規劃及排定未來修補需求，及 (3)提升設計、施工、及養護績效。

研究系統有支援以上各系統的功能。本系統目的在使整個路面管理系統不斷有所改進，俾加強路面管理系統工作，使內涵日益充實。

綜上所述，已將路面管理系統作一扼要介紹。惟路面養護管理系統，卻有別於路面管理系統，已於第 1.1節引言中說明。

本研究報告，在試爲中山高速公路建立一套路面養護管理系統，此處所指的「養護」二字，即僅就「養護」而言。但在此，本研究計畫願做一項說明，所謂的廣義管理觀念，事實上在本文之「養護管理系統」內卻已將許多廣義的「管理系統」項目，包涵在本計畫之內。日後本系統經不斷發展，即可從「路面養護管理系統」層次，提升至「路面管理系統」層次。

1.2.3　計畫之研究與執行

本計畫研究人員編組，第一期由國立臺灣大學土木工程研究所、美國喬治亞理工學院、財團法人台灣營建研究中心及交通部國道高速公路局，共同分組進行研究。其中台大土木工程研究所負責全盤計畫之協調，進度控制及部份內容之發展，負責人爲侯羿博士。美國喬治亞理工學院土木學院賴森榮博士，則負責本計畫有關研究發展的項目，同時亦對路面破壞及設計與施工，提出分析與建議。在人員培訓方面，賴教授更在國外多方奔走，爲國內受訓人員安排了最佳學習機會。台灣營建研究中心在前由葉超雄博士領導，在後由陳清泉教授負責，均給予本計畫最大的支持，參與計畫之研討並提出建議。

高速公路局研究部份，包括全線的車輛之軸重與軸次調查，路面現況資料調查，施工品管監督與控制，及本計畫實地試驗之進行等。爲擔負此諸定期及某些特定工作，高公局並成立路面小組，由此中、南區工程處及局內技術人員組成，負責人爲王副總工程師振芳，積極參與及配合所有作業。

本研究計畫第二期研究人員，大致與第一期參與人員相同，惟侯羿教授改任本計畫顧問，台大土木所博士班賴登明先生任研究員，此外另聘中興大學林炳森博士及褚炳麟教授協助研究，使研究陣容更爲加強。

本計畫研究重點，爲配合高速公路局當時之中山高速公路全面整修計畫，及大量養護工作需求，發展一套屬於中山高速公路自有的路面養護管理系統，以近年來先進國家採用之「合理方法」(Rational Method) 工程技術，

在系統管理制度下，規劃且將發展成果付諸實施。

本項研究計畫之執行與提出報告，在方式上與一般委託研究計畫略有不同。一般研究報告著重於書面成果報告，且多於研究計畫告一段落後方始提出。本研究計畫書面報告，祇是成果的一部份，另種形式的研究成果爲，在研究進行期中，不斷與高速公路局磋商，將計畫中研提之構想及方法，試用於實際路面養護作業上，並進行若干道路試驗，所有合作研究單位，皆積極參與。此外並強調人員之培訓，分梯次選送高速公路局路面養護工作人員，往美國各州運輸單位做短時期觀摩講習，此種融學術研究於實務之中，自研究之始，進行而至研究結束之作法，已獲至極大的成效。

1.3 計畫大綱與組織架構

本計畫研究，爲針對中山高速公路養護業務之需求，將路面養護管理工作，納入一完整之系統架構，使有關路面養護之一切活動，均能在科學化、合理化、及制度化程序中執行。本計畫已完成之重點包括：

- 建立路面養護管理整體工作體系
- 發展系統管理式工程作業
- 建立資料庫，發展 PAVMAS 及 FPMS 軟體以爲資訊處理中心
- 建立合理化、現代化之養護工程技術
- 統籌運用調查、設計、評估及施工各項功能
- 建立解決路面問題最佳方案程序
- 強調研究發展、人員培訓工作重點
- 建議未來工作項目，以全面完成路面管理系統爲最終目標

1.3.1 計畫大綱

綜合以上各項重點，兼顧未來系統發展之完整性，本計畫研提一套計畫

大綱，藉以報告本計畫研究人員所持之 "臺灣區高速公路路面養護管理系統" 之計畫構想。

以下所列大綱，如前 1.2.2節所述，包涵六大次級系統；分別爲：規劃、設計、施工、養護、評估及研究發展。此外爲充實系統之實用性，將原屬規劃系統之調查系統與分析系統之地位提昇，與規劃系統併列，如此亦顯示本計畫對規劃工作之重視。

壹、路面養護規劃系統

- 規劃資料系統
  - 路面現況資料
  - 優先順序資料
  - 養護經費資料
- 計畫方案系統
  - 年度工作方案
  - 區段工作方案
- 人力規劃系統

貳、路面調查系統

- 路面結構調查
  - 各層厚度調查
  - 路面撓度調查
- 路面平坦系統
- 路面損壞系統
- 路面抗滑與安全系統
  - 調查地點及時間之選擇
  - 調查項目之訂定
  - 調查資料之登錄
- 交通軸重系統

重複荷重對路面之影響

標準軸重當量數

軸重軸次調查

- 環境資料系統

  溫度影響

  濕度影響

- 材料性質鑑定系統

  瀝青品質鑑定系統

  骨材材料系統

  瀝青混凝土拌合品質系統

  材料模數鑑定系統

參、路面分析系統

- 理論闡釋系統
- 路面行為分析系統
- 路面績效分析系統

  結構強度績效模型

  損壞與剩餘年齡模型

  糙度績效模型

  路面檢視績效模型

  抗滑安全績效模型

- 路段績效分析檔案系統
- 試驗室作業系統
- 砂石料源供應分析

肆、路面設計系統

- 設計規範系統

・各層結構設計

・路床穩定處理

・柔性路面設計方法系統

AASHTO新路面設計方法

瀝青協會新路面設計方法

加鋪設計方法

・設計方案系統

・成本效益比較系統

・設計決策系統

・邊坡穩定系統

加勁土壤之應用

・排水設計方法系統

・剛性路面設計方法系統

伍、路面評審系統

・評審理論系統

抗滑

路面紋理

服務能力

糙度

・評審儀器系統

路面評審儀

TRRL小型紋理測量儀

1270型路面抗滑儀

SDP 糙度儀

英國擺式摩擦測試儀

陸、路面養護實施系統

- 理論闡釋系統

  柔性路面損壞及形成原因

  柔性路面養護處理方法

- 養護方案系統
- 養護決策系統
- 高速公路路面養護系統
- 養護資訊系統

柒、路面施工系統

- 施工規範系統
- 柔性路面施工系統
- 核子量測儀應用系統
- 路基壓實作業系統
- 路面損壞整修系統
- 施工資料系統

  廠商資料

  機具資料

  工地資料

捌、研究發展與人員培訓系統

- 參考文獻系統
- 規範研修系統
- 全線檔案資料系統
- 特案處理系統

  特案計畫系統

  建立24小時溫水養治方法

特殊路堤設計

採用針入度60－70瀝青之準備與實施

・人員培訓系統

1.3.2　計畫大綱說明

計畫大綱所列述項目，是路面養護管理系統以文字方式的說明。其中各系統的相互關係，可從下節計畫組織架構流程圖中窺查。，本計畫報告撰寫方式，是以期終綜合報告（本册報告）爲報告主體，另分七集十七册爲本報告之附錄。基本上計畫大綱的各次級系統與此七集單行本內容相呼應，換言之各附錄報告彙集後，即構成整體路面養護管理系統。惟鑒於此管理系統規模之龐大，以下就各系統內涵構想，分段加以說明。

一、有關養護規劃系統之次級系統

規劃系統資料，屬長期規劃所需資料之累積，目前中山高速公路之新工及養護資料，已經建有電腦資料檔，惟對養護工作優先次序及經費編排，可從現有資料中分別出來，另建電腦資料檔。

規劃中之各項計畫，高公局技術組均有檔案，如納入路面養護管理系統之中，則對資源分配與調度極有俾益，亦可增加本計畫之工作能力。

在養護規劃系統分類項下，本次報告提供路面養護系統的運用。

二、有關路面調查系統之次級系統

本報告特將屬於規劃工作之路面調查，單獨列爲六大系統以外之另一平行系統，原因是規劃工作裡，調查業務極其重要，此項業務實爲養護管理工作之起點。尤其在養護管理系統建立初期，調查業務在質與量兩方面，皆需投下大量人力與財力，本計畫因屬研究與執行並重之實務性計畫，在研究期程中，高速公路局及本計畫研究人員在愼密蹉商和評估後，即已積極進行調

查系統之有關工作，本次報告關於調查系統之附錄有路面結構與功能調查系統。

三、有關路面分析系統之次級系統

工作性質屬於規劃性之另一系統爲路面分析系統。分析工作是路面設計之先期工作，也常與績效評估有密不可分的關係。分析的手段除應獲取大量可靠之調查資料外，首要之事即涉及分析的理論基礎，一般分析研判亦常藉助試驗室作業以爲輔助，此外分析工作亦時或屬於研究發展的範疇，分析的目標，不但提供設計考慮良好的選擇，同時更爲路面品質提昇增加進一步之保證。

本報告完成有關路面分析系統之附錄有：(1) 路面應力分析，(2) 路面績效分析，與 (3)砂石料源供應分析，(4) 材料試驗室作業系統。

四、有關路面設計系統之次級系統

計畫大綱內所建議之設計規範系統，應包括設計標準圖，路面分類及厚度，材料性質要求等等。設計規範屬原則性訂定之準則，有別於施工規範，一般對施工規範之要求，較設計規範嚴格且偏向於更細密。本報告認爲目前高速公路局之一般技術規範及施工標準規範中各項條款，大致能在設計上做若干程度的控制，惟設計規範之制訂屬道路主辦及主管機關之施政權，本計畫僅在設計方法上提出若干建議。

設計系統之成本效益比較系統，是將不同之路面設計替代方案，做成本分析比較。事實上，本報告提出之電腦軟體FPMS，在設計考慮上，已具備此一功能（參考附錄第一集）。另有關決策系統的制度，需進一步做週延的探討。

剛性路面在中山高速公路路段中，所佔里程比例極爲微小，故本報告未針對剛性路面做全面的研究。但於提出第一期第二次期中報告時曾略有討論。不過當本計畫執行至第四年期中，適逢十四項重要建設中之北部第二高速

公路計畫有鋪築近三十公里剛性路面之議，本研究計畫主持人賴森榮教授主持之美國貝特技術公司獲聘爲該計畫之建造顧問。賴博士於建造顧問計畫中，曾對剛性路面之設計、施工、以及品管均提出極爲詳盡之文字及講習訓練，惟截至目前，北二高剛性路面尚未施工，故有關剛性路面設計方法系統之提出，似應俟高速公路局獲得完整之施工及使用經驗後，方爲合理。

五、有關路面評審系統之次級系統

路面評審的精神，在綜合測驗路面的服務功能。檢測的項目與道路的行車品質有關。本報告於附錄第五集第一冊中，建議測量路面的撓度、抗滑、紋理及糙度。

六、有關路面養護實施系統之次級系統

本報告在路面養護實施方面，探討路面各類破壞原因及處理方法，並就整修方法摘要加以介紹。至於養護工作之實施，本報告設計一種樹形圖，經由路面狀況調查分析，再經合理評估過程，決定出相容性修補方法共八種，故本報告提出的實施系統，也是一個小型工作管理系統及控制系統，工程應用時，祇要循此系統脈絡，即可擬定路面養護改善方案。

七、有關路面施工系統之次級系統

路面施工系統分施工技術及施工資料兩大類。有關施工技術之管理，計畫大綱提出：(1) 施工規範系統，(3) 柔性路面施工系統，(3) 核子密度儀應用系統，(4) 路基壓實作業系統，(5) 路面損壞整修系統等五項。施工資料系統則包括廠商資料、機具資料，及工地資料等。

路面施工對養護工作的成敗影響極大。道路管理機關應就以上提出之各系統，做進一步細節的研究，並確立各系統內涵，俾便在施工時嚴格執行。施工進行中另一項原則要充份的發揮，就是施工品質管制。品管程序和施工驗收亦可單獨列爲系統，成爲施工系統中之控制環節。

因爲工程承包廠商是施工活動中之主體，故施工系統若能有效運用，廠商必須對本系統有相當的了解，道路機關亦應要求廠商做適當的配合。

八、有關研究發展與人員培訓之次級系統

路面養護管理系統是一種軟體管理工具，且此一系統應隨時改進，隨時予以充實。故研究發展與人員培訓遂爲增進此一軟體機能的必需要做的事。

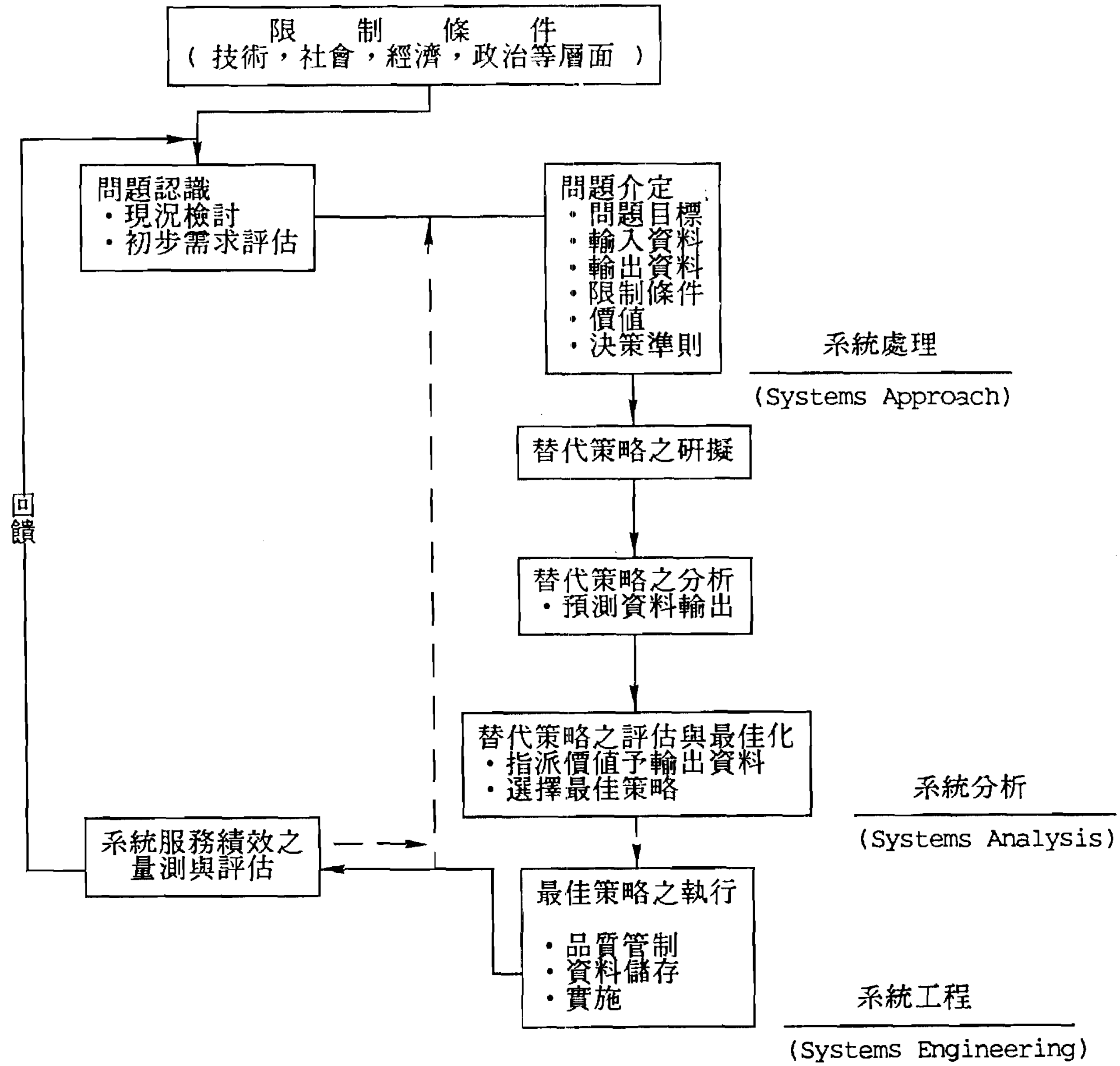


圖 1.1　系統方法之構成要素及主要階段

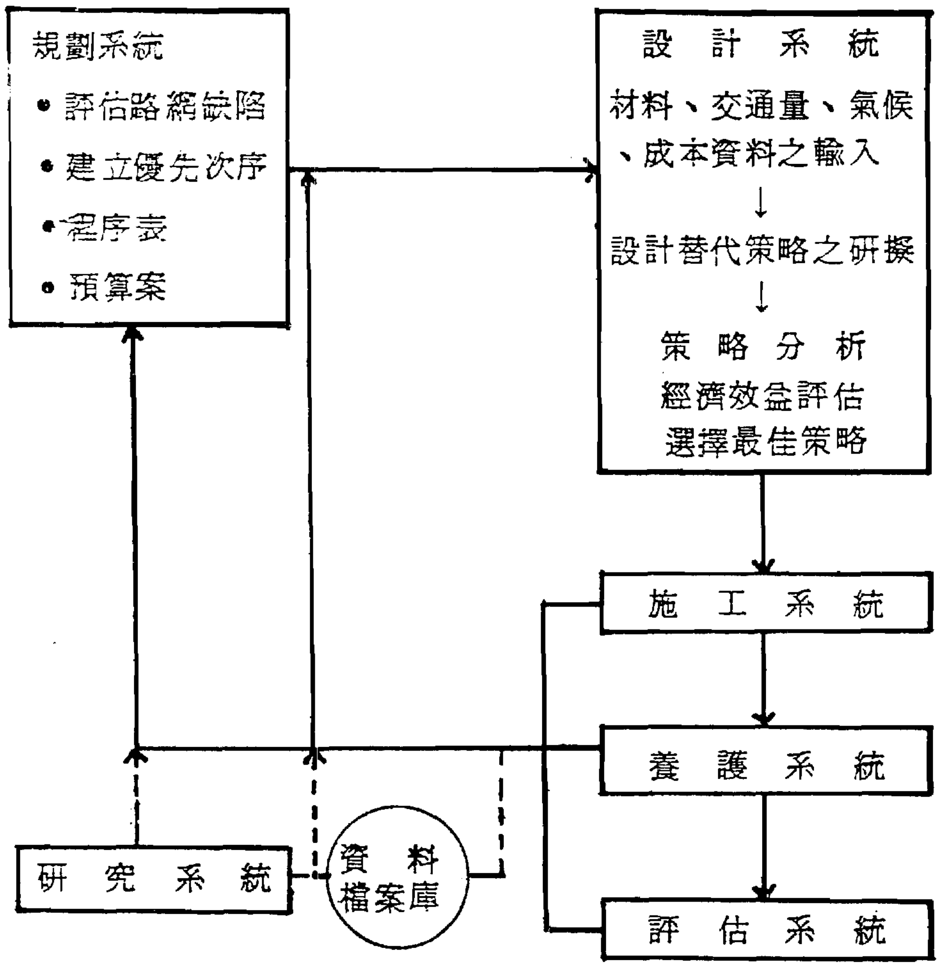


圖 1.2 路面管理系統主要架構

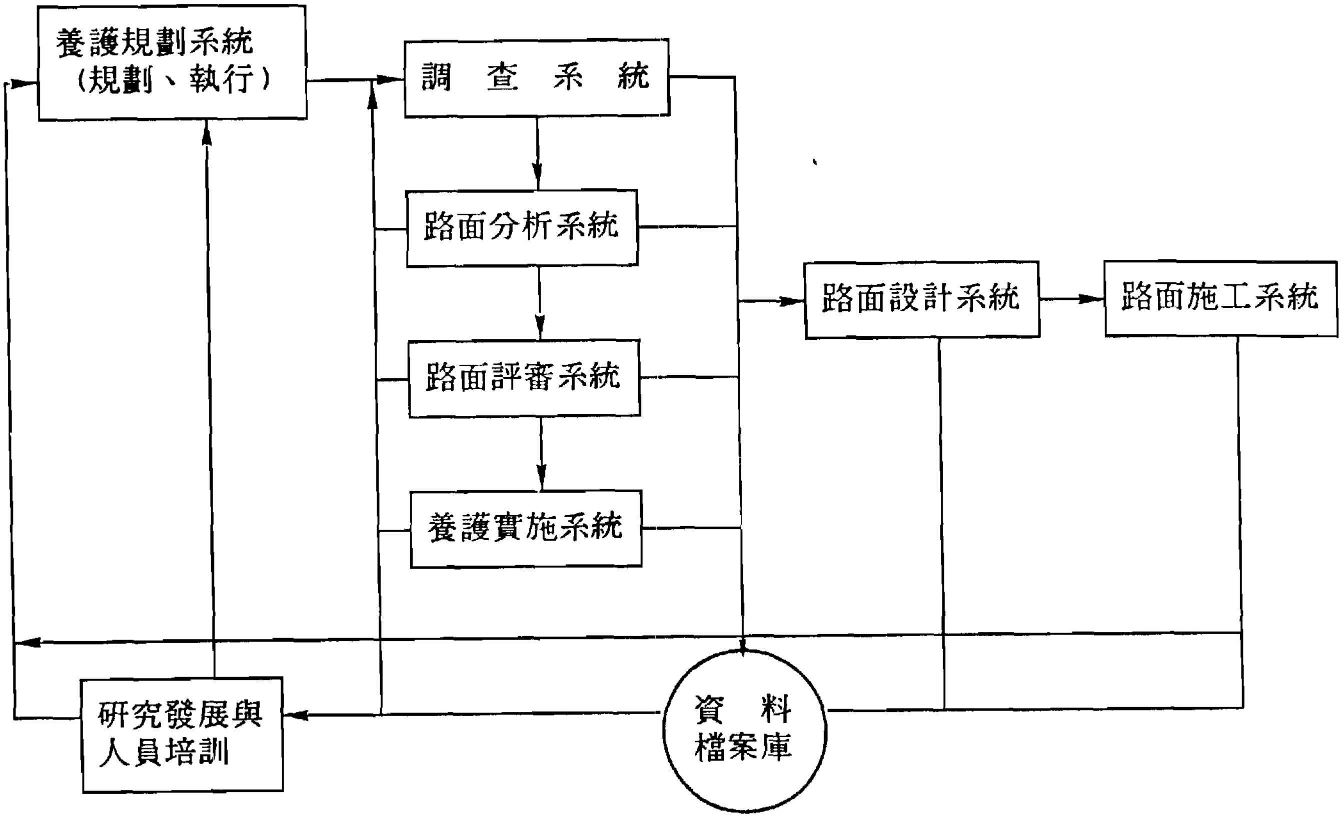


圖 1.3 路面養護管理系統

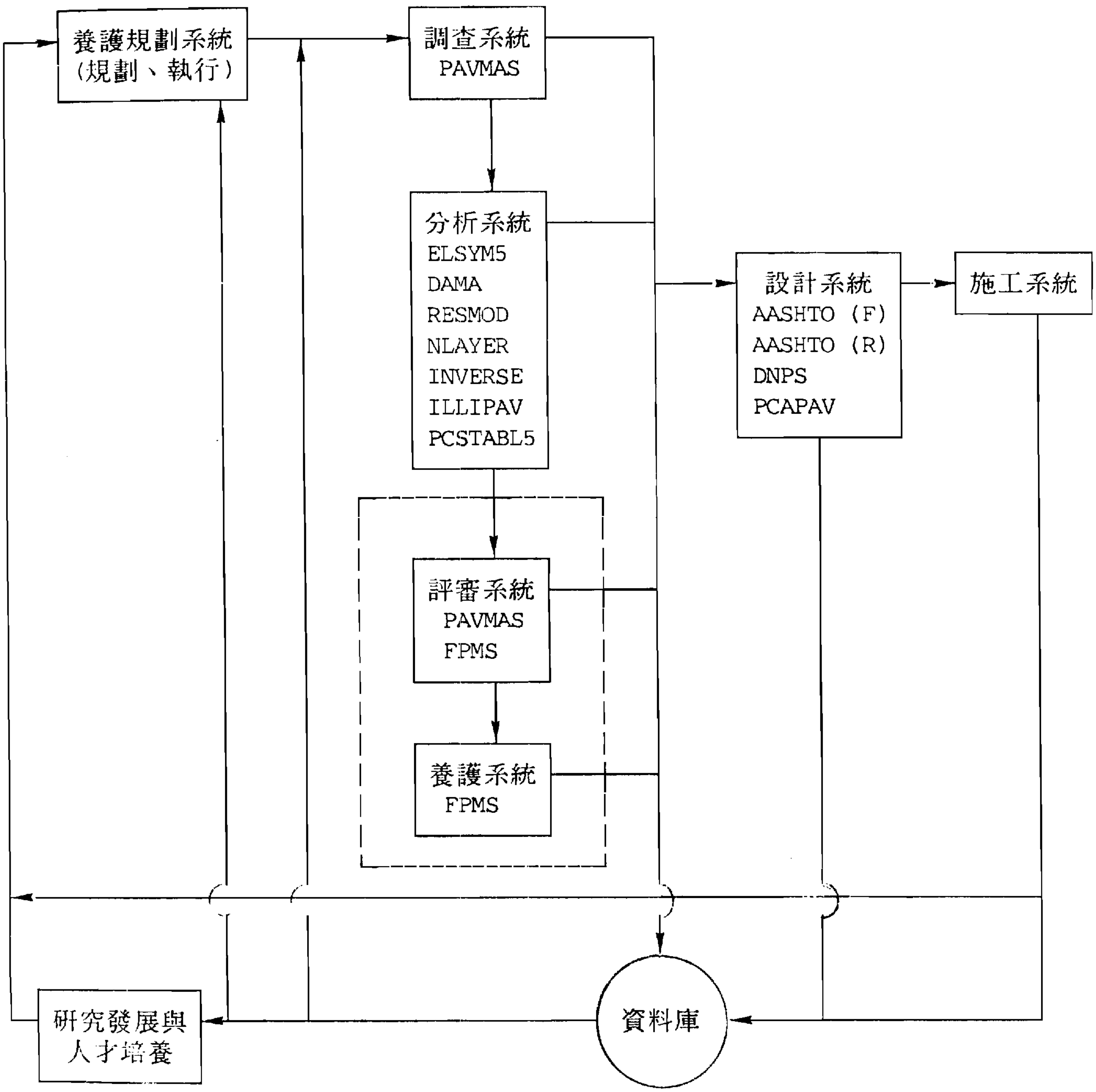


圖 1.4 PMMS 高速公路路面養護管理系統

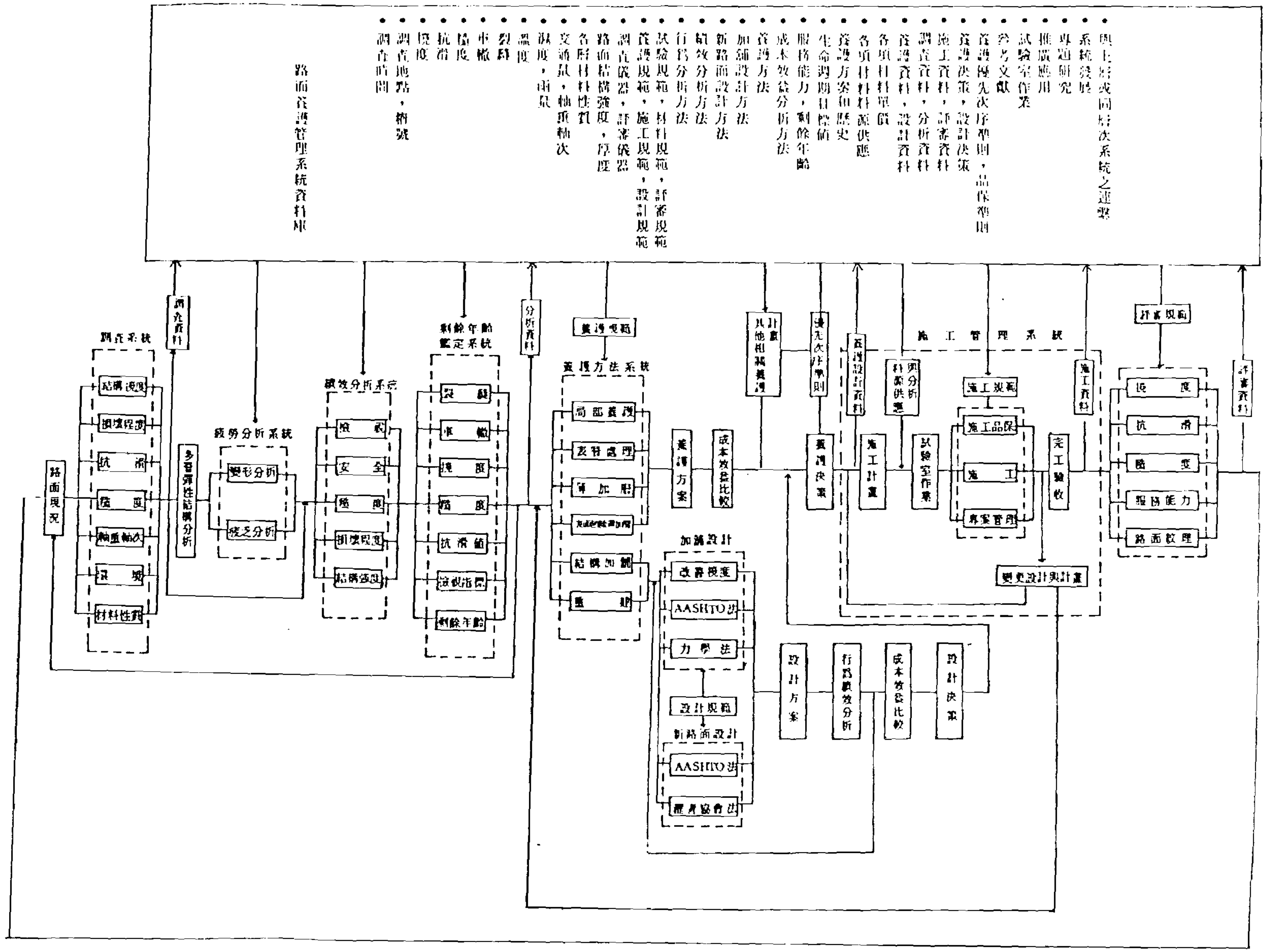


圖 1.5 研究計畫組織架構流程圖

第二章　研究計畫內容摘要

路面管理是各種活動 (Activities) 有效力且有效用的(Effective and Efficient)指引，目的是爲旅行大衆提供並維持路面在可接受的狀況；這些活動包括與路面有關的設計、施工、重建、養護、整修、編列預算、規劃研究和調查等項目。路面管理涵蓋各個管理階層的業務，並且包含下列功能：

(1).調查路面現況，

(2).組織且列表有關的路面資料，

(3).分析路面資料，

(4).決定正確的行動方針，

(5).執行決策。

AASHTO定義路面管理系統爲：一個方法和工具的組合，用以幫助決策者尋找最佳策略使路面在一段時間之後，仍然維持良好狀態。同時AASHTO指出路面管理系統的功能如下：改善決策制定的效率、提供決策影響的回饋、促進機關之間的協調、確定在相同組織內不同管理階層所作決策的一致性。

以下就本研究計畫之路面養護規劃、調查、分析、設計、評審、養護實施、施工以及研究發展與人員培訓系統作概括的摘要。

2.1 路面養護規劃系統

養護規劃系統主要輸出項目包括：(一)評估路網內路面缺失情形；(二)建立整修優先順序；(三)建立整修計畫大綱。

本研究計畫各項系統，與養護規劃密切有關係的另兩系統爲：路面調查系統與路面分析系統。因經由此兩系統作業，養護規劃工作才能臻於完善。

養護規劃業務，是在充份了解現有路面情形後，與未來的需求作一比較，並訂下未來工作內容。故良好的規劃，實有賴於其他有關系統功能之完備

，與各系統的充份執行。

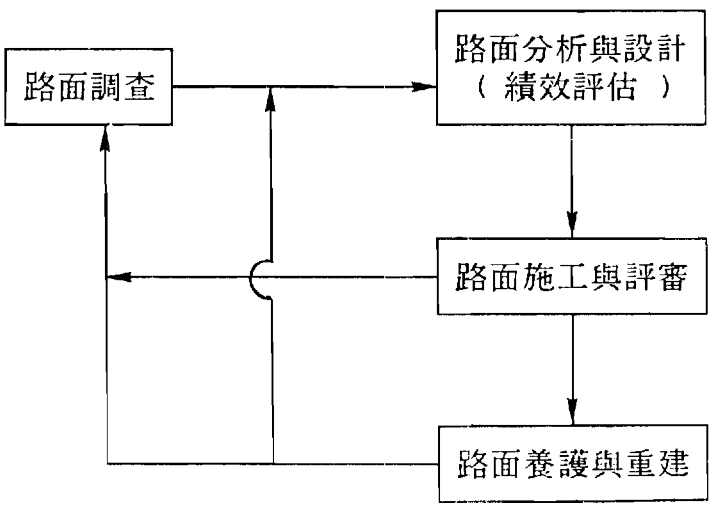
本研究計畫強調養護規劃的重要性，有關養護作業的流程，請參閱圖2.1。規劃業務本質，是一種綜合各項工作的活動，本計畫作法為，優先發展各個獨立系統，俟各獨立系統功能完整後，配合行政單位主觀策略（並加權重），則路面養護規劃功能自然已經形成。

2.2 路面調查系統

2.2.1 調查制度之建立

路面調查的功能，為就現有公路路面結構及使用情形，做主觀與客觀的量測與判斷。調查項目可如附錄第二集第一冊路面結構與功能調查所述。調查手段包括使用各種量測儀器，配以適當的組織及人力，定期、定點或不定點的編擬調查計畫。調查所得資料，經過分析研判後，可供現有路面進行養護整修之依據，也可供新建道路路面建造標準之參考。故路面調查是路面養護工作的起點，而路面調查系統確是路面養護管理系統重要之一環。

在路面管理流程裡，路面調查是屬於規劃中的工作。參考第 1.2節路面管理系統架構，路面調查所佔地位亦可簡單用下圖表示：



2.2.2 調查項目與內容摘要

路面調查按調查項目性質，可分爲兩大類：

- 路面結構強度調查
- 路面服務功能調查

一、路面結構強度調查

路面結構係指在自然地面（未經擾動部份之地面）上，興建而成的多層土石與瀝青混凝土（或水泥混凝土）結合體。路面結構之不同於其他大地工程結構物爲，路面一經建造完成，其結構體即與下層土壤凝結成同塊結構物。用工程術語表示，建造之多層路面結構與自然地面之間，形成完全連續邊界條件之介面，而一般大地工程結構物與土壤之連接，大多僅係垂直方向之應力及應變有連續關係之存在。

由於路面結構係與大自然地面結爲一體，故路面結構強度之調查，亦應擴及對地下一切深度可能發生影響之調查。本計畫建議之路面結構強度類調查項目有：

* 路面各層厚度調查。
* 路面表面撓度調查。
* 路面各層損壞調查。
* 路面各層材料性質調查。
* 環境資料調查。

1.路面各層厚度調查

就養護業務而言，路面各層厚度，是指工地的實際厚度，因此這些厚度之取得，除參照原設計書外，應於實地鑽量各層厚度。

路面經過加鋪，有時未將原表面層之開放級配料去除，工地取樣量測厚度時，應將原開放級配厚度不計算在內，此因爲開放級配（或其他封層）不屬於結構厚度之緣故。

路面厚度調查，應於多處樁號取樣，然後得路面平均厚度值，作爲各層厚度之代表值。

2.路面表面撓度調查

在路表面施以撓度調查，亦即是在測量路面的結構和路面的承載力。當路面結構完好，承載力強，撓度值會較低。道路經過使用或受超載破壞後，則損壞隨即發生，此時路面承載力降低，撓度測量值亦將增加。

撓度調查除可測定路面承載力與路面破壞程度外，亦可利用路面撓度在長時期中之變化，對路面績效作各項分析。有關這方面的說明，請參考本報告附錄第三集第一、二冊。此外對路面各層材料性質的鑑定，在非破壞性方法裡，也常利用撓度量測所得資料進行。

撓度測量所使用的儀器設備、測量步驟和注意事項，本報告附錄第五集第一冊均有說明。

3.路面各層損壞調查

柔性路面損壞型態可分爲裂縫、變形、粒料分離及路面溜滑等類型，損壞的原因不外軸重過重、材料性質軟弱、路面結構強度不足、溫度環境的影響或其他人爲及物品之傷害等。在調查路面損壞情形時，可按以上損壞分類，做下列重要項目之記錄。

(1) 裂縫

第一級裂縫：指早期不連續之輕微裂紋，此種裂縫，屬應封補觀察者，對路面強度尚不致構成威脅。

第二級裂縫：當裂縫連接成地圖狀或鱷魚皮狀，二級裂縫以上，已足夠使路面結構強度降低。故如前所述，應將記錄送局。

第三級裂縫：裂縫成大片，車輪過處使碎片動搖，此時損壞情形已極嚴重。

調查方法爲：作業人員在路肩上利用目視法，觀察在某一面積內，路面裂縫的情形，將此情形和隨車攜帶的「標準」裂縫破壞照片及圖例相比較，以估計該路段裂縫破壞的百分比以及裂縫的長度

。有關這種方法之應用，請參考本報告附錄第二集第一册。

(2).車轍

車轍分輕微與顯著二種。輕微的車轍包括路面光亮、冒油、車印，以及路面產生輕微的高低起伏如波浪狀。顯著的車轍，即其程度已達可以量測出車轍深度。

本文將車轍分爲：

. 輕微車轍：平均 $\overline{RD}$ 在1/4 吋(6.3mm)以下。

. 明顯車轍：平均 $\overline{RD}$ 在1/4 吋～1/2 吋(6.4mm～12.7mm)。

. 中級車轍：平均 $\overline{RD}$ 在1/2 吋～1 吋(12.8mm～25.4mm)。

. 嚴重車轍：最大 $\overline{RD}$ 在1.5 吋(38mm)以下。

. 極嚴重車轍：最大 $\overline{RD}$ 在1.5 吋(38mm)以上。

車轍的量度，本文建議二種距離，一爲每20公尺路段量四點，一爲每40公尺路段量四點，再取其左輪、右輪及總平均（即平均車轍$\overline{RD}$）。

(3).粒料分離

此類損壞，常見情形多爲坑洞(Potholes)及鬆散(Ravelling)，調查方法多以經驗爲準，視損壞面積及嚴重性而定，記錄其面積，面積以目視法估計。

(4).溜滑

溜滑的發生，代表某段路面整體性品質不良，調查時應記錄溜滑長度，發生車道及輪跡所在。

(5).其他人爲傷害

包括車禍造成之路面嚴重刮傷，或油漬不愼漏灑而造成對路面之污染與侵蝕，以及取樣之後塡補不當等等。

所有變形、粒料分離、溜滑及人爲傷害的調查資料，都須塡入PAVMAS資料表中。

4.路面各層材料性質調查

路面各層材料性質之調查鑑定，爲整個調查系統中工作最繁重、經歷過程亦最長的系統，其重要性亦自不待言。本報告於第二集第一册對這類調查有極詳盡的說明，本節僅摘部份要點說明如下。

路面材料屬非均質材料，各類材料之等向性亦難下定論。故於材料性質之調查與鑑定時，吾人採取先了解個別材料的物理及化學性質後，再進一步探討混合材料的特性。惟在應用此諸材料性質時，往往要尋求所謂的 "力學材料值" 。本報告將力學材料值以回彈模數或彈性模數來表示。

(1).個別材料性質鑑定系統中包括下列材料：

. 瀝青膠泥

. 油溶瀝青

. 乳化瀝青

. 骨材

(2).混合材料性質鑑定系統中，瀝青混凝土材料所鑑定的項目包括：

* 密度

* 空隙率

* 骨材間之孔隙

* 含油量

* 穩定值

* 流度

* 回彈模數

(3).混合材料中級配料性質鑑定項目有：

. 級配

. 密度

. 承載值

. 阿太堡値

. 回彈模數

. 洛杉磯磨損值

5.環境資料調查

環境與路面有關的因素，包括氣溫、日射量、雨量、溼度及噪音等。氣溫、溼度及雨量資料的收集，除高速公路沿線現有氣象局之測站外，高公局在六個工務段亦各有一個測站，應將所得結果填入相關之本計畫電腦程式PAVMAS資料表中。目前有關雨量、溼度、日射量及噪音部分尚未確定。

溫度對路面材料的影響，據Southgate 及Deen兩位研究的結果，路面愈深則所受氣溫變化影響愈小。表面層瀝青混凝土，受高溫則呈軟化現象，隨低溫則漸趨硬化，軟化的路面撓度因之增加。故測量在不同溫度下的撓度值，可以找出溫度對路面強度及勁度的影響。

雖如此，溫度造成的路面撓度值變化，卻係自面層以下，各層受熱後產生之撓度變化值之總和。所以測量路面溫度記錄，測點應包括所有受影響深度之各點。

二、 路面服務功能調查

有關路面服務功能類調查，本報告建議三項：

●路面糙度（平坦度）調查

●路面抗滑與安全功能調查

●交通軸重調查

1.路面糙度調查

路面糙度 (Roughness)測量，是量測路表面是否平坦。調查糙度的目的有二： (1)量測路面提供使用者舒適功能， (2)量測路面是否危及使用者安全。影響此兩項功能的原因則包括：縱向路表面變化、橫向路表面變化及路水平面中心線變化。

由於高速公路路面經常接受優良養護，故路表面平坦情形當不致影響行車安全，故吾人所關心的是路面行車是否舒適；而影響此舒適性的

是路面縱向路表面變化，量測平坦度，即是量測縱向路表面糙度，一般應量測兩公尺間距之輪跡路表面，做成記錄。

路面縱向路表變化，對個人感應而言，有長波及短波的感受。長波指路面予人以長距離的波面感覺，亦即是車輛似乎是行駛於較規律週期而一定距離之波線上。短波指路表面予人以雜亂不平之感，此種感受有時亦呈週期規律性，但中間間隔極短。無論長波或短波之糙度，均發生在不理想狀態路面，故兩種情形均應記錄後做路面評估分析之依據。

有關糙度測量的儀器，在本計畫執行期間，經本研究建議，高速公路局已購入美國 K.J.LAW公司產品 SDP糙度儀(Surface Dynamics Profilometer)一部，定時做全線之養護調查。

2.路面抗滑與安全功能調查

路面抗滑能力爲路面特性之一種，是保障行車安全之重要因素。路面抗滑能力之調查，除全線應每年調查一次外，並於常發生肇事路段，辦理路面抗滑調查，並應建立抗滑值與肇事發生之關係，做爲擬定抗滑值最小值準則之參考。

路面抗滑能力調查，可採分隔路段 (Segment)辦法進行，即將有相同或類似抗滑績效行爲的路面，劃分爲同一區，統一彙總辦理。路段分隔時應考慮下列各點：

. 交通流量及車流平均速度。
. 幾何特性 (例如：車道數、曲率半徑、縱坡度及匝道等）。
. 路面種類 (開放級配或密級配）。
. 路面材料來源。
. 路面結構。
. 環境因素。

目前高速公路局，亦接受本研究計畫建議，自國外引進K.J.LAW 公司依ASTM E274 規範製造之拖車型抗滑儀一具，參與路面養護工作作業。

3.交通軸重調查

行車車輪荷重是路面結構產生應力之主要原因，路面材料之性質因應力之大小而發生變化。於不同荷重下，材料性質即不相同。不同應力，也造成了不同路面幾何狀態之變化。路面受到反覆荷重，發生反覆性應力變化，此反覆性應力之最大值，不必超過材料之強度值，在重複次數增加，路面材料也同樣會遭受損傷。若輪荷重過大，路面所產生之張應力大於張力強度時，雖僅一次即對路面構成損壞。此外，路面材料受輪荷重反覆作用亦因產生垂直應變，而累積而成之永久變形數值過高時，使路面產生車轍。

計算各種不同荷重之影響，常使用標準單軸重當量數觀念。當量因數（Equivalent Factor)之主要特性，是將各類軸系統之不同荷重對路面結構所造成的損害程度，換算為標準軸重對路面形成之相同損害程度的次數。亦即對路面造成之損害程度各種不同荷重相當於標準軸重之多少倍數。美國州公路員司協會道路試驗(AASHO Road Test）所得當量因數計算公式中將不同軸重皆換算成18仟磅標準軸重，這種計算方法亦廣為世界道路機構所採納。

高速公路局早於民國七十年即已有地磅裝置，軸重調查經近年來不斷改進，已建立完整之軸重資料庫。本計畫執行期間，亦多次進行各地（站）軸重調查，目前汐止，后里，岡山等三收費站，均設有雙向地磅，且分屬北、中、南三個區工程處。該三處地磅設施為美國 Cardinal 和Fairbanks 之貨車地磅（Motor truck scale)，皆具三磅台，其長度分別為10呎、10呎及50呎，其允許磅重分別為30噸、30噸及50噸共計110公噸。

軸重的調查，是在定點將通過車輛所產生之18仟磅標準軸重數目，做一累積計數工作。此累積總軸數，代表路面使用情形，一般高速公路之原始設計使用軸次，約有10^6～10^7標準18仟磅軸次。

2.3 路面分析系統

路面分析系統包括工程技術層面的各項分析，目前已完成建立系統的分析課題有：路面應力分析、路面績效分析、砂石料源供應分析，及試驗室作業等系統。

2.3.1 路面應力分析

從力學觀點看，路面是受外力（車荷重）而產生反作用力的結構體。車輛負載行駛於路面，輪軸經由車胎造成震動外力。為使此外力造成路表面之變形值為最小，為承受此外力，而使路面結構延長使用年限，因此路面應力分析工作有其必要性。

本研究分析路面應力，一方面從事路面在正常使用狀況下，分析其應力，另方面針對路面發生損壞，在裂縫或車轍形成時，探討路面結構內應力之分佈，了解造成裂縫或車轍損壞之影響變數。

當路面在正常使用狀況下，路面結構之多層物體，是以圓柱座標定位，因圓柱座標系統中衹有垂直方向及軸向方向兩個座標值，可減少X,Y,Z 三向座標中一個幾何變數，使問題簡化許多。

又多層結構體問題之解決辦法，最簡化的方法是寫出雙和諧(Biharmonic）方程式中圓柱座標的Airy應力函數，即：

$$\nabla^4 \Phi(r,z)=0 \qquad (2.1)$$

其中$\Phi(r,z)$即為Airy應力函數

方程式（2.1)若能解出路面內之應力、應變等值，則路面結構所受輪胎壓力及層與層的關係，路面各層在水平方向均向無限延伸等條件合起來，則構成式（2.1)的邊界條件，於是在分析路面應力時，吾人將路面整個結構化分為若干彈性材料結構層，在求應力及應變式，解方程式時，在數學上採圓柱座標，並將路面系統作下列假設：

(1) 每層材料爲均質 (Homogenous) ，線性彈性 (Linear Elastic) ，等向性 (Isotropic)，不考慮自重。

(2) 路面在水平方向無限延伸，最下層在垂直方向爲無限延伸。

(3) 表面荷重爲圓形均佈垂直荷重。

(4) 層與層間爲連續，沒有滑動現象。

(5) 變形很小。

欲解彈性系統，各層之應變函數 $\phi(r,z)$ 應滿足下式：

$$\sigma_r = \frac{\partial}{\partial z}\left[\nu \nabla^2 \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2}\right] \tag{2.2}$$

$$\sigma_\theta = \frac{\partial}{\partial z}\left[\nu \nabla^2 \phi - \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r}\right] \tag{2.3}$$

$$\sigma_z = \frac{\partial}{\partial z}\left[(2-\nu)\nabla^2 \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}\right] \tag{2.4}$$

$$\tau_{rz} = \frac{\partial}{\partial r}\left[(1-\nu)\nabla^2 \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}\right] \tag{2.5}$$

$$u = -\frac{1+\nu}{E}\frac{\partial^2 \phi}{\partial r\,\partial z} \tag{2.6}$$

$$w = \frac{1+\nu}{E}\left[2(1-\nu)\nabla^2 \phi - \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}\right] \tag{2.7}$$

$$v = 0 \tag{2.8}$$

其中

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \tag{2.9}$$

$$\nabla^4 = \nabla^2\,\nabla^2 \tag{2.10}$$

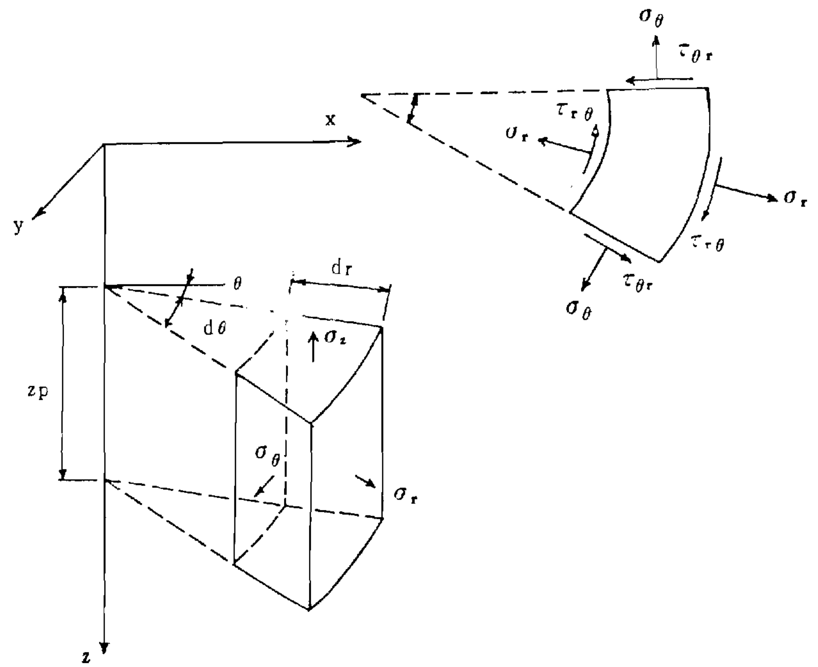
E 爲彈性係數 (Elastic Modulus)

ν 爲包生比 (Poisson's Ratio)

W 爲垂直方向位移

u 爲周向位移

座標圖形則爲



方程式 (2.1)的解析性解不易求得，但以數值解方法則不難得到答案。所謂解答是在路面內任何一點得到的應力、應變與變形，分別爲：

- 垂直方向應力 σ_z 或應變 ε_z
- 垂直方向剪力 τ_{rz} 或剪應變 γ_{rz}
- 軸向應力 σ_r 或應變 ε_r
- 周向應力 σ_θ 或應變 ε_θ
- 垂直方向位移 W
- 周向位移 u

上述數值解可以本計畫附屬電腦軟體 NLAYER 求得，該軟體之特性爲可用以處理無限層數之路面結構問題，一般類似解答軟體在層數上均有極限，NLAYER程式則無層數限制。

在路面發生損壞時，其應力分析應從多種步驟著手，無法似前述情形，

用單一電腦程式即能解決問題。

2.3.2 路面績效分析

路面養護的最終目的，是在維持及提升路面之使用績效，而績效的模型包括：

- 結構強度
- 損壞與剩餘年齡
- 行車舒適
- 路面檢視
- 抗滑安全
- 服務能力

1.結構強度績效模型

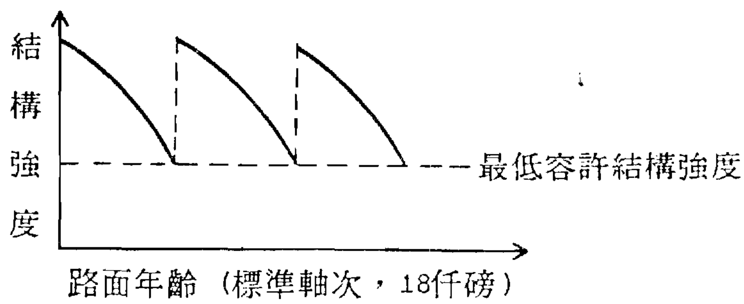
測驗路面結構強度，可以量測撓度值法，分析路面績效水準。

撓度值之量測，可使用路面評審儀 (Road Rater) 進行。高速公路局目前具備路面評審儀，故對路面結構之強弱已能掌握。撓度值因受溫度或濕度的影響很明顯，故量測撓度時，這類影響應予排除。

路面評審儀是利用液壓，經由18吋鐵版，對路面產生震動打擊。此震動力爲1000磅至5500磅 (2000型R.R.) ，頻率亦可調整在10至60 Hz之間。撓度值是經由4 至5 枚探測器，將震動力產生之彈性路面撓度曲線讀下，其中最大撓度值名爲DMD ，由第一號探測器量得。第一號與第二號探測器測差值，命名爲面層曲率指標SCI (Surface Cruvature Index)，代表面層強度狀況。第四及第五枚探測器差值 (或第三及第四枚探測器差值) ，爲底層曲率指標BCI (Base Curvature Index)，代表基層強度狀況。撓度值愈高，表示路面強度愈低，一般D.M.D.值應低於 6×10^{-4} 時，路面情況才算良好。

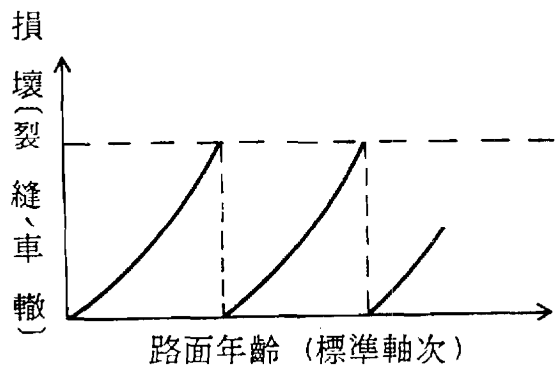
路面撓度雖是有效的結構強度指標，但另使用NLAYER電腦分析，亦可獲得路面結構強弱程度。本報告建議，建立一項綜合性結構強度指標

系統，配合路面使用累積軸次，繪製出路面結構強度績效曲線，以爲路面養護之參考。



2.損壞與剩餘年齡換型

路面之損壞，主要爲裂縫與車轍。此兩類損壞程度之訂定，也可以指標方式代表。將損壞指標作爲縱座標，路面年齡（路面使用累積軸次）作爲橫座標，也可製出損壞曲線如下。



至於路面剩餘年齡計算法，可先求出現在疲勞損害值 Lu：

$$Lu=\frac{n}{N} \tag{2.11}$$

式中：n 爲累積至目前的18仟磅軸次數。

N 爲原設計的18仟磅軸次數。

於是剩餘年齡 Lr 爲：

$$Lr = 1 - Lu \tag{2.12}$$

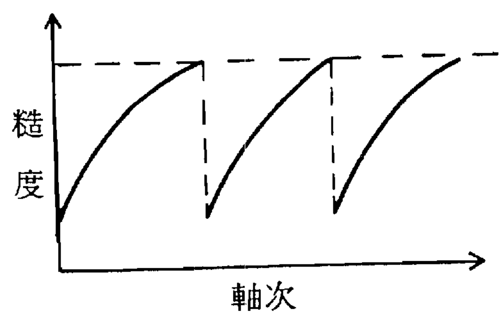
3.行車舒適模型

行車是否舒適，主要視路面之糙度情形，而糙度依三個變數決定：(1) 橫向路面變量，(2) 縱向路面變量及(3) 路面定線的水平變量。在此三變量中，以縱向路面變量影響行車舒適較大，其次爲橫向路面變量之影響，又因大約有70%之行車均行駛於相當固定的輪跡內（離路邊約2.5 至3.5 呎），所以在量測糙度時，量測儀器祇針對縱向路面變量進行累積變化值之記取。

進一步分析證明，縱向變化量包括：(1) 路面沿車行方向之上下移位量，(2) 因移位量產生之垂直加速度。縱向變化量值是此二變數的雙積分後產生之數值。

量測糙度或縱向變化量之儀器甚多，均以記取在某一距離內路面垂直變化總值爲表示糙度方法，若以吋／每哩爲R 值（糙度）單位，則一般R＜16 爲優，16＜R＜90 爲良好。R＞90 則造成行車不舒適。

路面糙度配合交通量調查所得到的軸重與交通量，可得到糙度隨軸次數而變的績效曲線，如下圖所示：



4.路面檢視績效模型

路面檢視，其實是路面績效評估最簡易的方法，也是一種效果很好的方法。惟檢視應有一致性的判斷。檢視標準之訂定應極爲謹慎，通常

以檢視指標行之。

5.抗滑安全績效模型

路面抗滑能力，是影響雨天行車安全的重要因素。路面之抗滑值衰減時，縱然其他路面績效良好，但養護工作亦應辦理。一般用40 MPH或平均車流速之路面抗滑值需大於某固定值。

抗滑值之量測與應用，目前已納入高速公路局路面養護管理系統中，爲配合推動，高速公路局已引進美國底特律城K.J.LAW 工程公司按ASTM E274 規範所製造之拖車型抗滑儀一具，定期進行抗滑安全分析調查。

6.服務能力績效模型

服務能力績效模型的應用很廣，此一觀念緣自1960年代AASHO 道路試驗結果。一般用現在服務能力指標(Present Serviceability Index)或PSI 值表示。依據AASHO 道路試驗，PSI 可寫成下列公式：

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + \overline{SV}) - 1.38\ \overline{RD}^{2} - 0.01\sqrt{C + P} \qquad (2.13)$$

式中：$\overline{SV}$＝路面糙度，爲當時CHLOE 糙度儀測量所得結果。

$\overline{RD}$＝車轍深度，係每隔25呎，於輪轍下量出，（吋）。

C ＝裂縫面積 （平方呎／1000平方呎）。

P ＝修補面積 （平方呎／1000平方呎）。

以上公式與區域性公路路網之路面情形有關係，故該公式不宜適用於其他地區，而美國各州採用自行發展適用於各自本州之類似公式：例如猶他州公式爲：

$$PSI = 4.95 - 1.85 \log(1 + \overline{SV}) - 1.34\ \overline{RD}^{2} - 0.01\sqrt{C + P} \qquad (2.14)$$

我國臺灣地區高速公路亦不妨採用PSI 觀念，但因目前高速公路網尚未形成，且國人對使用道路的正確觀念尚未成熟，故在本計畫執行期間，尚非發展PSI 公式時機。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。

2.3.3 試驗室作業

試驗室工作的穩定發展，作業方針與人員組織具有相當重要的決定性，正確的工作業務方針、完善的試驗設備和圖書資料、優秀的人員和建全的組織制度將促試驗室的蓬勃發展。

試驗室可從事的工作範圍很廣，如下所述：

(1) 從事高速公路局在公路工程上所涉及材料品質規格的檢定，並達成材料品質保證的功能。

(2) 從事高速公路有關之設計、施工、養護、評估等作業的研究和發展。

(3) 路面管理系統之研究與發展。

(4) 引進並推展國外公路工程新技術。

(5) 對公路工程人員，提供訓練機會。

(6) 對國內其他公路工程機構提供技術支援。

(7) 蒐集並且定期出版公路工程研究報告或刊物。

(8) 定期舉辦公路工程之學術或技術研討會。

依據擬定的試驗室工作業務方針。試驗室所需要的設備，應包括以下九類：

(1) 瀝青材料物理性質試驗設備

(2) 瀝青混凝土試驗設備

(3) 水泥材料試驗設備

(4) 水泥混凝土試驗設備

(5) 土壤材料試驗設備

(6) 路面破壞和績效分析設備

(7) 材料化學性質試驗設備

(8) 放射性量測設備

(9) 其他公路工程或交通工程材料試驗設備

就路面管理系統所涵蓋的規劃、調查、分析、設計、評審、養護、施工、研究發展與人員培訓等八大次級系統而言，試驗室應包含下列資料項目之蒐集：

(1) 試驗規範資料

(2) 路面養護研究資料

(3) 路面施工或施工管理研究資料

(4) 路面行爲與績效分析資料

(5) 路面設計資料

(6) 路面評審研究資料

(7) 材料性質研究資料

在附錄第三集第四册有詳細的參考資料。

2.4 路面設計系統

在路面養護規劃與路面施工兩系統之間，扮演最重要角色，對路面養護成敗影響最大的，便是路面設計系統。所有調查、分析、評估等資料，都爲設計系統所用。故在路面養護管理流程中，本報告必然要將路面設計系統列爲工作重點。加以設計方法論的研究與日俱新，在本研究計畫進行五年中，設計理論即已幾經變革，目前本報告所提出之成果，爲已經修訂過的時下最新之路面設計方法，其中有介紹其他研究機構之設計方法，亦有本計畫自行創新之研究成果。

2.4.1 柔性路面設計

傳統的柔性路面阻力值法等設計理論，近年來已遭受到先進國家道路管理機關所摒棄。代之而起的是爲克復某種損壞（裂縫或車轍）型式，而又能

提供舒適行車的路面設計方法。此諸方法皆以力學多層理論爲基礎，充份討論使用績效、環境效應、交通軸次、排水因數、破壞準則及服務能力之可靠性等變數。本報告就目前應用較廣之AASHTO路面設計法及瀝青協會法，作摘要說明。詳細內容，請參考本報告附錄第四集第一冊。該冊並列舉北部第二高速公路第二内環線之實例設計。

2.4.1.1 AASHTO柔性路面設計法

AASHO 法始自1962年，並於1972年出版「路面結構厚度暫行設計手冊」以AASHO 道路試驗資料結果爲依據，廣爲各道路單位所採用。至 1986 年，AASHTO大幅度更新路面設計步驟，新法注入下列觀念：

1.強調「路面管理系統」之重要性。
2.考慮路面服務及結構上之可靠性 (Reliability)。
3.考慮生命週期成本，進行經濟分析比較。
4.使用各層材料回彈模數 (Resilient Modulus)。
5.提出各層係數觀念。
6.考慮排水設計。
7.增加環境因素在設計上的考慮。
8.從事力學分析。

一、設計變數

AASHTO柔性路面設計變數如下：

- 績效準則 (△PSI)
- 時間條件
- 交通量 (W18)
- 可靠性 (Reliability, ZR, So)
- 環境效應

・路基土壤回彈模數 (M_R)

・層係數 (Layer Coefficient, a_i)

・排水係數 (Drainge Coefficient, m_i)

・結構數 (SN)

1.績效準則

績效準則以服務能力爲主。路面服務能力定義爲 "服務使用路面設施之交通之能力" 。服務能力的量測是現在服務能力指標 (PSI)，PSI 值介於 0至 5之間，高指標代表較優的績效。終止服務能力指標 (Terminal Serviceability Index, p_t) 是實施整修和重建之前所能容忍之最低指標。主要道路 p_t值訂爲 2.5或更高值，次要道路爲 2.0，AASHO 道路試驗 p_t 值爲 1.5。新建或新加鋪路面之起始服務能力指標(Initial Serviceability Index, p_0) ，AASHTO訂爲 4.2 (柔性路面) 和 4.5 (剛性路面) 。服務能力指標的變化量，亦即服務能力的損失，以△PSI 表示且定義爲：

$$\Delta PSI = p_0 - p_t \qquad (2.15)$$

$$\Delta PSI = (\Delta PSI)_T + (\Delta PSI)_S \qquad (2.16)$$

式中： $(\Delta PSI)_T$：由於交通荷重而產生服務能力之損失。

$(\Delta PSI)_S$：由於路基土壤膨脹或凍脹 (Frost Heave)而產生服務能力之損失。

2.時間條件

分析期間 (Analysis Period)是路面分析或設計所涵蓋的時間，它類似設計年限 (Design Life)。對於交通量較高的城際高速公路，AASHTO 建議分析期間爲20至50年；對於都市高速公路，分析期間爲30至50年。績效期間 (Performance Period) 是原始路面需要整修之前所持續的時間，它與兩次整修之間的績效時間有關。最大績效期間是在既定的績效

水準，使用者能適應之最大適用時間。由於考慮最大績效期間，可能需要考慮且規劃分階段施工以達到所需要的分析期間。

3.交通量

路面設計交通量是基於分析期間18仟磅單軸重累積值 W18。 W18之估計可依表2.1 所示之程序；表中 A行爲現行交通量，可由調查或估計而得；B 行爲成長因數，可應用公式：

$$成長因數=\frac{(1+g)^{t}-1}{g} \tag{2.17}$$

式中：g 爲交通量年成長率。

t 爲分析期間或最大績效期間。

設計車道18仟磅單軸重累積值 W18，應用下列方程式：

$$W18=D_D \times D_L \times \overline{W}18 \tag{2.18}$$

式中：D_D ：方向分佈因數。一般爲 0.5，如有 "載重車" 與 "空車" 之方向性時，D_D 值可介於 0.3至 0.7之間

D_L ：車道分佈因數。單向車道數若爲 2，3或4時，D_L 值之範圍分別爲：0.8～1.0、0.6～0.8或0.5～0.75 。

$\overline{W}18$ ：雙向18仟磅單軸重累積值。

4.可靠性

可靠性是將某些不確定性程度介入設計流程，以確定各個設計方案能適用於分析期間。可靠性設計因素起因於交通量預測和績效預測的意外變化，因此提供預先設定的可靠性水準 (R)，確定路面在分析期間之後仍維持良好。由於未來交通量估計困難，且新建或擴建公路路網對大衆有益之預期提高，未預料之風險必須降低。

由於可靠性因素是1986版設計手册新增加的項目，對於可靠性水準應採用多少，實務上並沒有相當明確的數值；因此AASHTO以反算法(Back Calculated) 決定可靠性水準的範圍，經由調查美國各州的設計單位對於同一類型問題的設計方案，收集調查資料，由迴歸分析得其可靠性水準。AASHTO據此建議高速公路可靠性水準，在都市區爲85%至99.9%，在城際之間爲80%至99.9%。可靠性水準 R值愈高，所要求的路面結構愈強。

在既定可靠性水準 R，可靠性因數 FR是總標準偏差(Overall Standard Deviation, So)之函數。由於將不確定性獨立爲變數，在設計時輸入數值不能使用保守估計值，而必須使用平均值。AASHTO建議柔性路面So值介於0.35至0.45，剛性路面So值介於0.25至0.35之間。

5.環境效應

AASHTO設計方法中，主要的環境因子是溫度和降雨量。溫度因子將影響瀝青混凝土潛變 (Creep)性質、瀝青混凝土熱應力(Thermal Induced Stresses) 、水泥混凝土之收縮與伸張以及路基土壤之冰凍和融解。如果允許雨水穿透路面結構或路基土壤，將影響其材料性質。路基土壤之冰凍和融解現象，對於路基材料強度有不可忽視之影響；然而高速公路路線所經區域，幾乎沒有此現象，在此暫不予以討論。

綜合溫度和溼度的變化將影響路面以及路基材料的強度、耐久性和荷重能力。路基土壤膨脹 (Swelling) 、路面拱起 (Blow up)、凍脹 (Frost Heave) 和分解作用 (Disintegration) 等環境衝擊，將導致服務能力和行駛品質的損失。AASHTO指出，累積服務能力之損失，在環境效應上，主要考慮膨脹和凍脹之影響。

6.路基土壤回彈模數

1986版路基土壤材料性質以回彈模數 MR替換1972版土壤承載值Si，以MR 值取代Si值之原因如下：

* 回彈模數能使用於多層彈性分析。

* 已建立AASHTO T274 試驗方法以決定 M_R值。
* 國際上已認定 M_R值爲描述材料特性的方法。
* 已有非破壞性試驗的技術，以估計現地材料 M_R值。

回彈模數是土壤彈性性質之量測，承認土壤具有部份非線性特徵。以AASHTO T274 試驗方法決定 M_R值。可能許多單位尚未具有回彈模數試驗設備，因此AASHTO提供 M_R值與 CBR或 R值（土壤阻力值）之關係。

$$M_R = 1500\ CBR \quad (2.19)$$

$$M_R = A + B * R值 \quad (2.20)$$

常數 A介於 772至1155之間，係數 B介於 369至 555之間。

決定路基土壤回彈模數季節性變化的方法有兩種。其一是使用回彈模數與溼度關係圖，經由現地含水量之估計，求得回彈模數值。另一方法是應用路面撓度量測（使用路面評審儀），經由多層彈性理論，以反算路基土壤回彈模數。

路基土壤有效回彈模數$(M_R)_{eff}$之計算方法係考慮季節性變化，將一年區分爲數個均質時段 (Time Interval)，決定各均質時段的回彈模數，再使用公式：

$$u_f = 1.18 \times 10^8 \times M_R^{-2.32} \quad (2.21)$$

決定各均質時段之相對損傷 u_f值，再計算全年平均 u_f值，經方程式，求得路基土壤有效回彈模數，以此模數作爲設計值。在此必須注意，絕不能以全年 M_R平均值作爲設計輸入值。

7.層係數

路面結構之層係數 a_i是介於結構數SN與各層厚度之間的關係。AASHTO應用多層彈性原理，以評估路面結構和材料性質對於層係數之影

響。以下介紹路面各層層係數的決定方式。

密級配瀝青混凝土面層層係數 a_1由彈性模數E_{AC}估計，如圖2.2所示。水泥處理底層層係數 a_2，由彈性模數E_{BS}或 7天無圍壓縮強度(ASTM D1633)，使用圖 2.3而決定。瀝青處理底層層係數a_2 與彈性模數E_{BS}或Marshall穩定值(AASHTO T245或ASTM D1559)之關係，使用圖 2.4而估計。

粒料底層層係數 a_2可由 CBR值、R 值和彈性模數E_{BS}而求得。彈性模數E_{BS}為應力狀態Θ之函數，如下式：

$$E_{BS}=k_1\ \Theta^{k_2} \tag{2.22}$$

式中，Θ：應力狀態，為三個主應力之和

k_1, k_2：迴歸常數或材料常數。一般而言，k_1介於3000至8000之間，k_2介於 0.5至 0.7之間。

粒料基層層係數 a_3與E_{SB}、 CBR、 R值和德州三軸試驗值之關係如圖2.5 所示。彈性模數E_{SB}為應力狀態Θ之函數：

$$E_{SB}=k_1\ \Theta^{k_2} \tag{2.23}$$

式中，Θ：應力狀態，為三個主應力之和

k_1, k_2：迴歸常數或材料常數。一般而言，k_1介於1500至8000之間，k_2介於 0.4至 0.6之間。k_1,k_2 亦與基層潮溼狀況有關。

8.排水係數

考慮排水狀況對路面結構之影響，首先是排水品質(Quality of Drainge) 之選擇。排水品質與排水狀況有關，而排水狀況又依水份排除結構所需時間而定。不考慮瀝青混凝土與瀝青處理材料之排水效應。

未處理粒料底層和基層之排水係數與排水品質、全年存在近似飽和溼度之時間比率有關。排水狀況對路面結構之影響，是將排水係數介入結構數SN方程式中。

9.結構數

結構數SN值爲車荷重、路基土壤狀況及可靠性之函數。SN值以公式表之：

$$SN = \sum a_i D_i m_i \tag{2.24}$$

式中， a_i爲第 i層係數。

D_i爲第 i層厚度。需考慮最小厚度之限制。

m_i爲第 i層排水係數。只考慮未處理材料。

SN方程式之解答並非唯一，可有許多不同的厚度組合。

二、設計方程式

根據上述諸項變數之考量，1986年版柔性路面設計方程式爲：

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 9.36 \log_{10}(\overline{SN}+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\dfrac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \dfrac{1094}{(\overline{SN}+1)^{5.19}}}$$

$$+ 2.32 \log_{10} M_R - 8.07 \tag{2.25}$$

$$\overline{SN} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \tag{2.26}$$

其中：W_{18}＝預測總18仟磅單軸重累積值。

Z_R ＝標準常態偏差 (Standard Normal Deviate)。

S_o ＝交通與績效預測之總標準偏差（Combined Standard Error）。

ΔPSI＝路面服務能力損失值。

M_R ＝路基土壤回彈模數（psi）。

$\overline{SN}$ ＝結構數。

a_i ＝第i層材料係數。

D_i ＝第i層厚度（吋）。

m_i ＝第i層排水係數。

1986版AASHTO柔性路面設計圖，如圖2.6所示。整體設計流程如圖2.7所示。

2.4.1.2 瀝青協會柔性路面設計法

本法為1981年瀝青協會出版之MS-1第九版路面設計法。本法係採多層彈性理論之路面結構分析，及經由累積損傷（Cumulative Damage）技術，並討論疲乏裂縫或車轍與交通量的關係，綜合理論和經驗的成果，而發展出一套完整的路面設計程序。

瀝青協會法所用的設計變數為：

1.路面結構型式

將路面視為多層彈性結構物，材料性質以彈性模數及波生比為參數。交通量以18仟磅單軸重累積值表示，並分別以二個圓形荷重（半徑各為11.25公分或4.52吋）代表，間距34.5公分（13.57吋），荷重壓力為483 Kpa（70 psi）。

路面結構區分為二種型式，即：(1)全深瀝青混凝土式（面層、底層為瀝青處理層，下為路基土壤），及(2)含粒料層路面（底層下多加一層粒料基層）。

2.交通量分析

交通量爲累積軸次，不同車軸重對路面之影響以下式大略計算：

$$荷重當量數=\left(\frac{車軸重}{標準單軸重}\right)^4 \qquad (2.27)$$

$$18K單軸重累積值\ EAL=\Sigma(各級荷重車輛數※卡車因數) \qquad (2.28)$$

$$卡車因數=\frac{\Sigma(軸重※荷重當量數)}{車輛重} \qquad (2.29)$$

交通成長因數 GF 以下式計算：

$$GF=\frac{(1+r)^n-1}{r} \qquad (2.30)$$

式中：r ＝交通量年成長率。

n ＝設計期間（年）。

設計EAL 值可由下列程序決定：

(1) 決定設計車道第一年可能有的不同軸重等級的車輛數。

(2) 決定每一軸重等級的卡車因數。

(3) 選定成長因數。

(4) 車輛數乘以卡車因數，再乘以成長因數、最後計算其總和，即得 EAL 值。

3.環境效應

考慮各月份溫度變化對路面的影響，每月平均路面溫度之計算爲：

$$MMPT=MMAT\left(1+\frac{1}{Z+4}\right)-\frac{34}{Z+4}+6 \qquad (2.31)$$

其中：MMPT＝平均每月路面溫度。

MMAT＝平均每月氣溫。

Z ＝路表面以下深度，MS-1取Z 值爲瀝青層厚度之1／3值。

4.材料性質

瀝青混凝土材料以動態模數｜E^*｜值代表。

未處理層材料則以Mr 值表示：

$$Mr = K1\ \Theta^{k2} \tag{2.32}$$

其中：Mr ＝勁度模數或回彈模數。

Θ ＝第一應力不變量（First Stress Invariant）。

K1,K2＝係數，選k2＝0.5 ，K1值在8000-12000之間。

路床模數Mr(psi)由下式計算（Shell 公式）：

$$Mr = 1500\ CBR \tag{2.33}$$

$$Mr = 1155 + 555\ R \tag{2.34}$$

以上各點設計變數之運用，可綜合歸納於下列路面設計程序中：

第一步：選擇EAL 、路床Mr 值、MAAT（年平均氣溫）及面層與底層材料類別。

第二步：決定路面結構厚度設計組合。

第三步：決定分階段施工或一次完工。

第四步：各厚度組合之經濟分析。

第五步：選擇最後設計。

2.4.2 柔性路面加鋪設計

2.4.2.1 加舖方法介紹

在現有路面上修改結構加層的主要原因，是爲了保持或提高該路面的結構強度，以承受該路面今後預期的交通荷重。在做加舖設計時，首先須就現有路面之結構強度，做一適當的評估。現有路面的剩餘結構強度，以及今後該路面之交通荷重，爲設計加舖厚度時，兩個主要考慮因素。而對現有路面結構強度的估計，一般採用的方法是測量該路面的撓度。

現有路面加舖設計所採用的觀念，一般可分爲三類。第一類是直接採用現在路面撓度，做爲設計加舖厚度的根據。第二類是間接採用撓度，或其他現存路狀資料做爲設計的根據。第三類是以設計新路面的方法來考慮。

1.直接撓度加舖設計法

直接撓度加舖設計方法是以現在路面所測得的撓度值爲依據來判斷現有路面之剩餘結構強度，並以之做爲設計加層厚度之依據。本法爲先做現有路面撓度測量。將其測量之結果。其次將這一撓度斷面加以分析，將撓度相類似且相連接的測站，合併爲同一加舖厚度設計段。在此厚度設計段內，就所測得的撓度，求其百分之八十撓度值 (△m)，這一值即做爲這一段計段內，加舖厚度設計之根據。百分之八十撓度值，代表在這一路段內約有百分之八十的路面其撓度值小於△m ，而有百分之二十路段其撓度可能高於△m 。

2.間接加舖設計法

間接加舖設計方法主要是利用撓度值，或其他足以代表現有路面之使用績效及結構強度爲依據，間接估計現有路面結構強度，在求得該路面現有路面情況，以及今後該路面預期交通量後，可採用過去之經驗，以求得所須加層厚度。目前美國AASHTO最新的瀝青混凝土路面加層應屬這一類。本報告附錄第四集第二册有詳細介紹。

3.新路面設計法

利用新路面設計觀念的出發點，是根據該路面今後設計的交通荷重

，以及該路面現有路床土壤強度，以及其他地域及氣候因素等，設計一新路面，將新路面之基層及底層，假設和現有路面之基層與底層相同，如此則新路面之面層即可求得。假設該新路面之面層厚度為Hns ，現有路面之面層厚度為Hos 則在現有路面上加鋪厚度Hol 為：

$$Hol=(Hns-K\cdot Hos) \tag{2.35}$$

K 值為不大於 1.0之係數，其大小視現有路表面材料之損壞情況而定，如現有路表面尚完整，沒有明顯裂縫，車轍，老化等現象時，則K 值可訂為一，如現有路面不完整時，則視其損壞的嚴重性訂K 值，例如路表面有很多第三級裂縫時，則 K為0.3 到0.5 。

2.4.2.2 加鋪厚度設計原理

路面損壞和形成的原因，各種裂縫和車轍的形成，均與路面的結構強度，材料性質，以及路面所受到輪壓的形態，有直接或間接的關係。這些因素對路面損壞的影響，可以用多層彈性路面模型來分析。

多層彈性路面模型，可以圖2.8 所示的模型，加以分析。圖中每層在其平面方向是假設其無限延伸，圖中第一層 ($i=1$) ，代表實際瀝青路面的面層，h_1 為該面層的厚度值，而E_1及 ν_1 ，分別代表該瀝青層材料之彈性係數及包生比。視實際需要，路面結構內某一層，也可以圖中數層共同代表之。例如瀝青面層，由於熱傳導的不均勻，瀝青混凝土面層接近表面部份，溫度比接近基層處為高，因此其相對之彈性係數不同。為了要能更準確的代表這一特性，可將該面層，假設成為是由數層E 值不同的層所組成 (比如假設為三層）。如此則將這三層內之E 與 ν 值，給比不同的數值，使其能更準確的代表瀝青混凝土在該位置內的勁度 (Stiffness)。而圖2.8 中h_1 ，h_2 和h_3 的總和，將代表該瀝青面層之總厚度。當此一多層路面模型，在厚度

(h_1，h_2，....h_n）及各層彈性係數，包生比值及輪壓已知情況下，利用彈性力學理論，可導出多層彈性分析式，以求得此一多層彈性模型內，任何一點在各方向的應力、應變以及變形（包括路表面的變形）。

有關應力、應變和路面損壞的關係，分述如下：

裂縫：路面所產生的龜裂裂縫，由力學的觀點而言，可以材料疲乏現象來解釋。當路面受到輪壓時，在路面內各點都產生變力與應變。如圖2.9 所示在瀝青面層的底部（點A 處），產生最大的徑向應變（ε_{It}），此一應變值之大小，是受到輪重（P，q，a)及路面結構強度（h_i，E_i，ν_i)的影響，當此一應變值在反覆荷重次數達其臨界次數時（在此稱爲疲乏壽命），該材料即產生疲乏破壞。

有關應變值與疲乏壽命，有以下的關係

$$N_f = 9.73 \times 10^{-15}\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{5.16} \qquad (2.36)$$

其中：N_f ＝在路面發生二級裂縫前之18K 軸重當量次數。

ε ＝路面表面層底徑向應變。

這一關係可以如圖2.10表示之。

車轍：車轍的形成，係路面各層材料在受到輪壓時（由輪壓而導致路面內各點產生應力及應變）產生之永久變形。此永久變形，由於車輪的反覆輾壓而集成車轍。因此車轍的深度應該和應力、應變及車輪反覆的次數有關。根據AASHO ROAD TEST 報告，車轍的發生，主要是由於路面各層的厚度減少。在該項試驗51個斷面中，車轍發生因表面層厚度變化者佔32%，因底層厚度減少者佔14%，因基層厚度減少者佔45%，而由於路床軟弱而至產生車轍者佔 9%之比例。同一報告又指出，底層厚度一旦達到某固定值後，增加厚度並不能減少車轍之嚴重性，用瀝青處理底層防止變形與壓實的功能在低溫時（地區），比在高溫時（地區）更爲有效。且車轍之形成，在路面完工後第一年中比第二年更快速。

由此可知車轍產生原因爲：

(1) 路面受車荷重後，一層或多層結構遭受另加的垂直壓縮變形。

(2) 路面受車荷重後，一層或多層材料以輪跡爲中心，發生側向位移。

綜合以上所述車轍發生情形觀之，處理車轍問題，決不是簡單的增加表面厚度，即可減少車轍。然而，因車轍或永久變形涉及的理論較爲艱深複雜，雖自1970年代起，已有許多路面研究者，從事這方面的探討，結果並不如理想中之豐碩，主要癥結在路面材料的塑性行爲，在實地環境條件下，無法做正確的描述。以下公式是根據AASHO ROAD TEST結果所導出的。

$$\begin{aligned}\log N = {} & 7.51475 + 0.96831\,R + 0.01173\left[\frac{(\varepsilon_z)_1 \times 10^4}{(\sigma_z)_1}\right] \\ & + 0.04322\,(\sigma_z)_2 - 0.01687\,(\sigma_r)_2 + 0.05608\,(\sigma_z)_3 \\ & + 0.10803\,(\varepsilon_z)_4 \times 10^4 + 0.18032\,(\sigma_z)_5 \\ & + 0.10226\,(\varepsilon_z)_5 \times 10^4 + \log\frac{365}{dT} \qquad (2.37)\end{aligned}$$

其中：　R＝最大允許路面車轍值。

$(\varepsilon_z)_1$ ＝在新路面第一層底部之垂直應變。

$(\sigma_z)_1$ ＝在新路面第一層底部之垂直應力。

$(\sigma_z)_2$ ＝在新路面第二層底部之垂直應力。

$(\sigma_r)_2$ ＝在新路面第二層底部之徑向應力。

$(\sigma_z)_3$ ＝在新路面第三層底部之垂直應力。

$(\varepsilon_z)_4$ ＝在新路面第四層底部之垂直應變。

$(\sigma_z)_5$ ＝在新路面第五層頂部之垂直應力。

$(\varepsilon_z)_5$ ＝在新路面第五層頂部之垂直應變。

dT＝ 平均氣溫高於64°F之日數（應取五年平均值）。

遇有車轍損壞路面，應先決定最大允許車轍值，然後用上式求出N 值。

2.4.3 路面邊坡設計

高速公路之邊坡穩定處理，可包括：

. 挖方穩定。

. 改善邊坡穩定。

. 塡方處理。

在選擇使用上述方法時，需考慮下列要素：(1) 工程可行性，(2) 長期績效，(3) 經濟效益，(4) 視覺衝突，(5) 未來需求，(6) 環境影響，(7) 施工時間，(8) 地質條件與(9) 排水方法等。設置與不設置擋土牆，經評估後，可得以下之結論：

- 就景觀與環境評估而言，設置擋土牆比不設置擋土牆引起之擾動較小。
- 就挖、塡方數量而言，設置擋土牆比不設置擋土牆，其所需數量較少。

如不設置擋土牆，除水平排水、截水溝與階梯狀塡土外，尚有植生護坡之方法。植生護坡、施工迅速、成本較低、維護較易是其優點。

2.4.3.1 擋土結構分析與設計

一、地址調查

完整的現地調查須涵蓋地上及地下，包括側向土壓力、地下水、基礎安定性、土壤及有地上物之邊坡穩定，在所有的情況下，排水及不排水行爲均須考慮，廣義的調查包括三部份：(1) 現地調查；(2) 實驗室研究；(3) 工程分析。現地調查通常須作地下探測，如鑽孔、明挖試驗抗，地質表面草圖。地下探測目的在於了解地下狀況，採取若干擾動或不擾動土壤及岩石供實驗室作工程及一般物理分析。

二、室内試驗

1.指數性質試驗

依土壤可能有之行爲及土壤型式分類的指數性質試驗，可以簡化許多擋土牆設計所需之強度及壓密試驗；包括有天然含水量試驗，阿太堡限度試驗，土壤單位重及粒徑分析。

2.剪力強度試驗

經常使用之剪力強度試驗約有六種，對於小型工程，並不需要更複雜精確的試驗，這六種試驗分別是：無圍壓縮試驗(UC)；不壓密不排水試驗 (UU) ；等向壓密不排水三軸試驗 (CIU)；等向壓密排水三軸試驗 (CID)；直接剪力試驗 (DDS)；直接剪力殘餘強度試驗 (RDDS)。

3.壓密試驗

除非基礎位於填土之上，否則吾人須由基礎下方採取不擾動土樣作壓密試驗，以作爲擋土牆及回填料沉陷分析之用。

4.含水量—密度試驗

主要作爲牆後回填料敷設參考，經由試驗可得現地滾壓時之含水量控制，期得到理想之密度，以符工程要求。

三、穩定性分析

1.外部穩定性

(1).土壤容許壓力：位於緊密或堅硬土壤上帶狀連續基腳，土壤極限承載力可由下式估計。

$$q_d = cN_c + rD_fN_q + \frac{1}{2}rBN_r \qquad (2.38)$$

位於疏鬆或軟弱土壤上帶狀連續基腳，土壤極限承載力如下：

$$q'_d = \frac{2}{3}cN'_c + rD_fN'_q + \frac{1}{2}rBN'_r \qquad (2.39)$$

方形基腳承載公式如下：

堅硬土： $q_d = 1.2\,cN_c + r_tD_fN_q + 0.4\,r_tBN_r$ (2.40)

軟弱土： $q'_d = 0.8\,cN'_c + r_tD_fN'_q + 0.4\,r_tBN'_r$ (2.41)

上述承載力公式中Nc，N'c ，Nq ，N'q ，Nr ，N'r 查圖2.11

基礎土壤除承受呆重外，尚須注意由彎矩引起的應力增量，若基腳寬爲B，上述公式使用假設地水位距基腳下方爲B之下，須依實際情況修正。

不排水情況 （$\phi'=0$），基腳土壤極限抗剪強度如下：

$$q_d = 6.2\ c \tag{2.42}$$

c 值爲不排水抗剪強度，$q_u=2\ c$，q_u爲無圍壓縮試驗強度。

(2).傾覆：擋土牆傾覆安全因子可以諸外力對牆趾取力矩而得，如下：

$$F_s = \frac{\Sigma 抵抗傾覆力矩和}{\Sigma 傾覆力矩和} \tag{2.43}$$

(3).牆底滑動：滑動安全因子爲抵抗滑動力與滑動力之比，如下：

$$F_s = \frac{\Sigma 抵抗滑動力}{\Sigma 滑動力} = \frac{\overline{C}_b B + \overline{N}\ \tan\delta_b + P_p}{P_h} \tag{2.44}$$

牆底土壤與牆底摩擦角 δ_b 可取2/3 $\overline{\phi}$，牆底土壤與牆底間凝聚力 $\overline{C}_b$ 可取2/3 C，牆前覆土小於90cm時，被動土壓 P_p 可忽略不計，如圖2.12，如果抵抗滑動力不足，可於牆底加設抗剪榫 (Key)如圖2.13或加裝錨鏈及螺栓，以增加潛在滑動面之正應力。

(4).邊坡穩定

完成了擋土牆本體的設計工作之後，便可對邊坡系統作排水及不排水情況的全盤穩定分析，邊坡穩定方法甚多，值得推薦的有 Fellenius method，Sliding block method，Wedge method，推薦乃因這些方法易於手解，且對大多數的擋土牆皆有足夠的精確度。

2.內部穩定性

擋土牆內部穩定可歸之於結構單元之完整性，舉混凝土懸臂式擋土

牆爲例，必須瞭解結構體單元行爲，才能對擋土牆牆幹或牆背錨桿破壞，作內部穩定考慮。

(1).重力式擋土牆

擋土牆須能承受應力及外力才能維持內部穩定，必須考慮任一斷面所受之拉應力、壓應力及剪應力是否符合材料強度。

(2).懸臂式擋土牆

最新一期美國混凝土學會出版之ACI 規範，可提供鋼筋混凝擋土牆的設計程序，AASHTO規範多用於運輸交通結構物設計。

懸臂版樁式之擋土牆，其作用力分析有下列四類：

(a).懸臂式版樁

懸臂式版樁最高勿超過4.5m，圖2.14爲其土壓力分佈。

距A 點之貫入深 x，可由下式求得：

$$6Ph(h+x)-x^{3}(Pp-Pa)+\frac{\left[(Pp-Pa)x^{2}-2Ph\right]^{2}}{2(Pp-Pa)x+HPp-mPa}=0 \quad (2.45)$$

須採試誤法求解，利用可程式型計算器可簡化計算流程。

(b).具均佈超載之懸臂版樁

版樁牆具有垂直均佈超載△q ，應力分佈圖如圖2.15，其分析方式與無超載懸臂式版樁相似。

(c).懸臂版樁橫版條式擋土牆

此種擋土牆與懸臂式版樁類似，主要差別在此種擋土牆只在樁之位置產生被動阻抗，分析時須注意面積折減係數C，C值爲樁之有效寬與二樁之樁心距的比值，壓力分佈圖見圖2.16。

(d).具超載之排樁橫版條式擋土牆

具超載之分析作法與無超載類似，圖2.16爲其壓力分佈，注意其爲單位牆寬的壓力分佈，並非單樁壓力分佈。

(3).錨定式擋土牆

採用錨定系統是爲了減少柔性結構物之內彎矩，或減低重力式擋土牆之傾覆力矩。錨定系統亦常用於其他結構物，錨定系統型式諸多，應注意結構體之應力分佈，及結構體主要單元必要之分析。

(a).錨定版樁

錨定版樁須分二種情況討論：(1) 版樁埋入深爲最小埋設深度；(2) 版樁埋入深大於最小埋設深度。二者應力分佈分別爲圖2.17，尤須注意埋入深大於最小埋設深度時之內彎矩。最大內彎矩將發生在剪力爲零處，須由土壓力分佈決定。

(b).錨定排樁擋土牆

錨定排樁可比照錨定版樁作分析。但錨定排樁在地平線之下須考慮面積折減因子C。C爲樁之有效寬度及樁距（樁心到樁心）之比值。圖2.18(a) 爲埋入深爲最小埋設深度之壓力分佈；2.18(b) 爲埋入深度大於最小埋設深度之錨定排樁擋土牆壓力分佈。如前所述，最大內彎矩亦發生剪力爲零處。

(c).垂直暗管 (VCP)及水平版樁 (HSP)擋土牆

應力分佈情形如圖2.19所示，可用作 (VCP)及 (HSP)分析之用。注意錨定設計需選取適當安全因子以抵抗拉力，錨定位置亦須考慮，目前並無簡單方法可判斷牆體變位，但若靜止土壓力(K_o)作設計，預期變位可減到最低。

(d).重力式擋土牆

錨定在重力式擋土牆多用於必須改良之現存結構物上。藉著錨定系統，抵抗新的載重；或改善邊緣結構物的穩定性。興建需要錨定之新擋土牆，通常不考慮採用重力式，而採用其他型式之錨定擋土牆。

2.4.3.2 加勁土壤牆設計分析理論

加勁土壤牆之基本分析很簡單，一般對這一種結構之力學分析，多依古典擋土牆理論來分析，此分析是基於下述之假定：(見圖2.20)

● 忽略回填料與牆間之摩擦。

● 回填料是在主動土壓力狀態下。

● 牆之側向土壓力是隨深度而呈線性增加。

● 破壞包絡線是一直面且與水平面之夾角成 $\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$

其他假設事項，將於以下數節分別指出並說明有關 (4)項，最近之足尺試驗研究結果顯示，破壞包絡線和工壓力分佈如圖2.21所示，而非成直面。

一、加勁材之破裂分析

根據傳統的擋土牆設計法，在加勁材內之最大應力，可由Rankine 方法，Coulomb Force 方法與Coulomb Moment方法計算而得。Rankine 方法是考慮加勁土壤中受力最大的加勁條片和土壤側壓力之平衡。而Coulomb 方法則是考慮整體結構物之穩定性。

在加勁材所擦生之最大張應力，在擋土牆最低部位，其值等於

$$T_{max} = K_A\, r\, H\, S\, X \tag{2.46}$$

$$T_{max} = \frac{n}{n+1} K_A\, r\, H\, S\, X = K_A\, r\, H\, S\, X \tag{2.47}$$

$$T_{max} = \frac{n^2}{n^2-1} K_A\, r\, H\, S\, X \tag{2.48}$$

上述三值依序是由Rankine，Coulomb Force和Coulomb Moment方法所導得，當 n 相當大時上述三式可得相同之結果，防止加勁材破裂成屈伏之安全係數等於

$$FS = \frac{\sigma sb \cdot t}{K_A \; rHSX} \tag{2.49}$$

σs ，b，t，表爲允許應力，和加勁材之寬與高，S與X代表加勁材間之水平與垂直空隙。

二、加勁條片被拉出破壞之分析

埋設土壤內之加勁條片，在受到土壤之側向應力後，其所產生的抗阻摩擦力，如不足以平衡土壤之側應力時，則加勁條片被拉出土壤而造成結構之破壞。當計算抵抗拉出破壞時，應估計加勁材抵抗拉出力之有效長度 l，而不同理論所得之 l值，彼此有很大之差異。有效長度 l僅相當於總長度延伸於由破壞面所界定之破壞區內之部份，因此在深度d之構件抵抗拉出之力如下：

$$Fr = 2\,l\,b\,r\,d\,\mu \tag{2.50}$$

μ 是回填料與加勁材間之摩擦係數，依Rankine 方法，作用於深度d之牆上，S，X之面積的側向土壓力爲

$$Fe = K_A \; S X r d \tag{2.51}$$

因此防止拉出之安全因子等於

$$FS\phi = \frac{2\,l\,b\,r\,d\,\mu}{K_A \; SXr\mu} = \frac{2\,l\,b\,\mu}{K_A \; SX} \tag{2.52}$$

當FSϕ是常數，則 l亦是常數而與深度無關，因此總長度L將從底部之最小值，線性地增加至牆頂部而爲最大值。若牆以定總長度L來建造，則最易產生拉出破壞之臨界狀況將發生在頂部，因爲在該位置破壞面後有效長度 l

是最小。因此最小總長度L將是

$$L=\frac{H}{\tan\theta}+\frac{K_A\ S X F S\ \phi}{2b\ \mu} \tag{2.53}$$

Coulomb 方法是考慮整體而非局部之平衡，因此依照這些方法，全部之聚材並不需要都延伸超過破壞面，因此在加勁材是定長L，且僅部份延伸超過破壞面，如圖所示，總最大摩擦阻力是

$$F n=2\ \gamma X b\ \mu \sum_{i=m}^{n} i\ \left[L-(n-i)\ X\ \tan\left(45-\frac{\phi}{2}\right)\right] \tag{2.54}$$

m 是從項部算起第一個加勁材延伸超出破壞面之 i 值。

很明顯地，Rankine 方法導得所需之加勁材長度，比其他方法所求得的要長，再者除了這些上述所提之方法所得之所需長度之差異外，有關破壞面之形狀和側向土壓力分佈之基本問題於圖2.21所示，其無疑地影響了拉出抵抗所需加勁材總長度之計算。

三、結構物之內部穩定分析

對於結構之總體安全，應作以下之分析：(1)滑動穩定性，(2) 基礎承載能力，(3) 傾覆等。這些分析之過程，在一般土壤力學和基礎工程教科書內皆有說明。

以上各段就路面的邊坡穩定設計僅作了概括的介紹，因為設計屬於較細部的業務，請參考本報告附錄第五集第三册的專册說明。最後，就高速公路邊坡而言，我們積極建議多採行加勁土壤的應用，純就美觀而言，它遠較一般傳統擋土牆來得賞心悅目。

2.4.4 路面及路基排水設計

一、地下水之不良影響

1.邊坡不穩定

邊坡不穩定現象之產生是由於外在施加之剪應力超過土壤或岩體之抗剪強度而沿著某一破壞面滑動。地下水之存在導致孔隙水壓上升，有效應力減少，降低抗剪強度；而水之流動所產生之滲流壓力亦會增加對土體之作用力，結果不是造成邊坡土壤之軟化，就是邊坡之滑動而破壞。

2.影響路面績效

在瀝青混凝土路面，若路基土壤之含水量過高，將導致孔隙水壓增高，承載力大為降低。當車輛經過時，容易造成垂直方向變形，終於破壞而造成裂縫。

3.經濟觀點

許多公路失敗之經驗顯示，地下排水措施不良是路面破壞之主要原因，不僅縮短公路使用年限，亦增添維修與養護費用。

二、地下水之來源與流動

路面下水之來源，可分為兩大類：(a) 地下水之流動，(b) 道路表面水之滲透。地下水主要來自降雨，雨水直接自土壤滲入或流至河流、湖泊與水塘後，再滲入地下，此等型式稱之為「重力流系統 (Gravity-Flow System)」另外一種常見之地下水為「湧泉流系統 (Artisian System)」。滲透入道路之水，其主要來源亦是降雨，水經由接縫處與裂縫進入路面底層。

三、公路地下排水設施之功能與型式

1.功能：(a) 攔截滲透水流，(b) 降低地下水位，(c) 收集其他排水系統之水量，並排除之。

2.型式：若以排水設施裝設之地點與本身幾何形狀可分為：(1).縱向排水系統 (Longitudinal Drains)，(2) 橫向與水平排水系統 (Transverse / Horizontal Drains)， (3) 排水帶 (Drainage Blanket)。

四、分析與設計所需要之資料

地下排水分析與設計所需之資料可分為四大類：(a) 流域之幾何條件，

(b) 材料本身之性質，(c) 氣候方面之資料與(d) 其他有關之事項。分析與設計階段所採用之資料，其精確度與完整性對設計成果有很大之影響，然而大地工程所涉及之問題與材料極爲複雜，所量測之數據變異性極大，雖然如此，吾人仍應力求得到接近眞實之資料。

五、排水設施分析設計

路面排水設施分析與設計相當繁瑣，涉及許多型式及各項方法，本報告附錄第四集第四册針對細節有許多説明，本處不重覆贅述。

2.5 路面評審系統

本報告對於路面評審共提出撓度、抗滑、糙度和路面紋理等四種作業項目，其中撓度作業是有關路面結構強度的評審，抗滑、糙度和路面紋理是涉及路面服務功能的評審。

2.5.1 撓度

撓度値可代表路面的承載能力，當路面結構完好，承載力強，撓度値會相當低，一旦撓度値增加，承載力降低，路面損壞隨即發生，失敗終將發生。一般路面撓度測量的方法，大致可分爲下列四大類：

●靜力撓度 (Static Deflections)

●穩態撓度 (Steady State Deflections)

●衝擊荷重反應 (Impact Load Response)

●波傳遞 (Wave Propagation)

以下介紹高速公路局的路面評審儀及撓度之溫度校正之發展。

一、路面評審儀

路面評審儀(Road Rater，Model 2000)是非破壞性動力撓度量測儀器，應用穩態撓度(Steady State Deflections)量測方法，測得路面結構彈性撓度。量測的結果可配合多層彈性模型，評估路面結構強度。

路面評審儀由一拖車及儀電控制箱組成，使用輕型卡車或小汽車牽引拖車，儀電控制箱置於小汽車上，主要的測試設備安裝在拖車上。測試前以三條電纜線連接拖車和儀電控制箱，操作人員在小汽車上由控制箱按鍵進行測試。操作程序簡單，停留在測站測試的時間短暫，測站間行進速率可達 88 KPH (55 MPH)沒有類似彭科曼樑測試緩慢推進的缺點，也減少對交通的干擾。

路面評審儀使用預先設定的動力荷重，加之於路面或路基結構之表面，以量測結構物表面之動力撓度。動力荷重是由震動體 (Vibrating Mass) 上下振動而產生，2000型路面評審儀之震動體約重817 kg （1800磅）。震動體設置於評審儀之底部結構，如圖2.22所示。測試時，震動體下降與測點接觸，移動時震動體上升收起。測試時，震動體和底部結構首先作用於測點表面上。2000型路面評審儀之靜重約爲1590 kg （3500 磅），氣壓爲 40 psig。路面評審儀2000型之一般資料如下：

靜重	1590 kg （3500磅）
頻率範圍	6 至60 Hertz
動力荷重範圍	91至2500 kg （200至5500磅）
系統總重	2000 kg （4400磅）
總長度	371 公分 （146 吋）
總寬度	208 公分 （ 82 吋）
總高度	150 公分 （ 59 吋）
動力	16匹馬力發動機
車輛總重	2724 kg （6000磅）
煞車	水壓反應式
荷重平版	圓直徑45.7公分 （18吋）

不同頻率之動力荷重，有既定的極限，如圖2.23所示。

二、柔性路面撓度之溫度校正之發展

一般而言，影響路面撓度值之因子很多，主要有：(1) 路面型態 （柔性或剛性），(2) 路面結構強度和厚度，(3) 路基土壤強度，(4) 荷重，(5) 環境 （季節、溫度、日照、氣候等），(6) 材料疲乏特性。

爲建立柔性路面撓度之溫度校正關係式，高速公路局選定中山高速公路

230 K＋103之特定點，也就是西螺交流道附近之北上外車道靠近匝道的主線上，自民國73年至民國77年，在不同的季節，隨機選取數日，做定點式全日的撓度量測，同時亦量測路表面以下4 公分深度之溫度作爲路面溫度，也記錄量測時的氣候狀況，共取得93組數據。如表2.2 所示。

由於撓度量測的定點未變動，因此假設路面結構強度、厚度以及路基土壤強度爲定值。因爲車輛極少可能通過此地點，因此不考慮超載或軸次累積數的影響。由於測試之定點位於主線上，且量測的荷重及頻率皆與主線相同，因此測試、分析的結果能適用於高速公路主線。

對於路面撓度的季節效應，依據路面溫度變化的趨勢，將全年概分爲四季，分別是春季（4、5、6 月）、夏季（7、8、9 月）、秋季（10、11、12月）和冬季（1、2、3 月）等四季。對於其他環境因子，主要考慮溫度和日照兩因子。溫度是以路表面以下4 公分之溫度表示之；日照因子是以量測的時間表示之，以上午九時作爲基準。校正溫度爲70 ℉（21.1℃）。

路面評審儀量測時，有五個撓度值D1、D2、D3、D4和D5，經過溫度和日照校正後之撓度值，分別爲 (D1)a、(D2)a、(D3)a、(D4)a 和 (D5)a。假設校正值和量測值之間存在線性關係，其校正因數分別爲F1、F2、F3、F4和F5。對於不同季節的線性關係，以撓度值D1爲例，其關係式如下：

$$(D1)a = F1 * D1 \tag{2.55}$$

$$F1 = F1\ (T,t) = G1(T) + H1(t) \tag{2.56}$$

式中：(D1)a ：撓度校正值。

D1 ：撓度量測值。

F1 ：校正因數。

T ：路面溫度（℃）。

t ：量測時間。

G1(T) ：路面溫度之函數。

H1(t) ：量測時間之函數。

式中G1(T) 與H1(t) 分別由統計分析之逐步分析 (Stepwise) 測試而得。

由於 (D1)a校正值無法準確得知，因此選定最靠近校正溫度21.1℃之撓度值，或是定點量測時的最小撓度值，作爲 (D1)a校正值。

由於缺乏春季（4、5、6 月）的量測數據，因此全年的迴歸方程式不具代表性。一般而言，夏、秋兩季的路面溫度較高，撓度測值較大，較常接近臨界狀況，因此夏、秋兩季的五個校正因數方程式如下：

(1) 夏季：

$$F1 = 1.5040 - 0.9108\ \exp\left(-\frac{T}{10}\right) + 0.0075\ \left(\frac{1}{t}\right)^2 + 1.1112\ \sqrt{t} - 4.1070\ \log(t+2) - 0.1935\ \exp(-t) \tag{2.57}$$

$$F2 = 0.6624 - 1.5832\ \exp\left(-\frac{T}{10}\right) + 0.0056\ \left(\frac{1}{t}\right)^2 - 0.0980\ \log(t+2) \tag{2.58}$$

$$F3 = 0.2401 + 0.0685\ \sqrt{T} + 0.0045\ \left(\frac{1}{t}\right)^2 \tag{2.59}$$

$$F4 = 0.9863 - 10.2630\ \frac{1}{T} + 0.0050\ \left(\frac{1}{t}\right)^2 \tag{2.60}$$

$$F5 = 0.7876 - 3.8831\ \exp\left(-\frac{T}{10}\right) + 0.0068\ \left(\frac{1}{t}\right)^2 \tag{2.61}$$

(2) 秋季：

$$F1 = -0.2175 + 0.0226\ T + 355.902\ \left(\frac{1}{T}\right)^2 - 0.1139\ \log(t+2) \tag{2.62}$$

$$F2 = 0.6909 + 90.3837\ \left(\frac{1}{T}\right)^2 + 0.0107\ \frac{1}{t} \tag{2.63}$$

$$F3 = 0.5831 + 0.0042\ T + 109.911\ \left(\frac{1}{T}\right)^2 + 0.0008\ \left(\frac{1}{t}\right)^2 \qquad (2.64)$$

$$F4 = -0.3253 + 0.2887\ \ln\ T + 152.524\ \left(\frac{1}{T}\right)^2 + 0.0010\ \left(\frac{1}{t}\right)^2 \qquad (2.65)$$

$$F5 = 0.7627 + 0.6588\ \exp\left(-\frac{T}{10}\right) + 0.0151\ \frac{1}{t} \qquad (2.66)$$

式中：T ：路面溫度（℃）。

t ：量測時間（上午九時爲1 ，九時30分爲1.5 ，十時爲2 ，依此類推）。

上述校正因數迴歸方程式之適用範圍，溫度自21℃至56℃，時間自上午九時至下午四時。路面撓度值D4、D5與路面溫度、量測時間的關係較少，尤其是D5的變化量更少，一般D5的變化範圍爲0.24至0.32之間，通常D5在一日內的變化量很小。

三、撓度之分析

路面評審儀有#1至#5五枚探測器，第一號探測值爲最大撓度（DMD），第一及第二號探測器測值差，爲表面曲率指標（Surface Curvature Index. SCI），代表面層強度狀況。第四及第五號探測器測值差，爲底層曲率指標（Base Curvature Index, BCI），代表面層以下各層強度狀況。

由路面評審儀量測資料，需經過溫度或濕度的修正以得到撓度數值；其中五個值之最大值DMD 若不超過 7×10^{-4} 吋，則路面結構系統尚佳；若不超過 6×10^{-4} 吋，則路面結構強度在可容許範圍內。若同時考慮SCI ，BCI 及DMD 等三種數值，則可得到下表：

DMD	SCI	BCI	路　面　結　構　狀　況
> 1.6	>0.35	> 0.2	面層及下層結構弱。
		< 0.2	結構弱，面層是主因。
	<0.35	> 0.2	結構弱，下層是主因。
		< 0.2	不會存在。
< 1.6	>0.35	> 0.2	不會存在。
		< 0.2	面層結構弱，不甚嚴重。
	<0.35	> 0.2	下層結構弱，需研究。
		< 0.2	面層及下層結構強。

2.5.2 抗滑

一. 抗滑儀器

1.1270型路面抗滑儀

此儀器是由美國K. J. Law 工程公司依照ASTM E274 標準試驗方法設計而成，儀器主要部分有拖曳車 (Towing Truck) 及兩輪拖車 (Two -Wheeled Trail)。 拖曳車是由一噸級之雪佛蘭小貨車改裝而成，車中主要裝置有：(1) 能連續控制及自動顯示結果的電子測定儀器，(2) 列表記錄器，(3) 供水給兩輪拖車測試使用之自動控壓水泵，(4) 水箱，(5) 空氣壓縮機。兩輪拖車主裝置包括：(1) 空氣壓縮盤式剎車制動系統，(2) 電橋電功率轉換器 (Transducers)所組成之力量測定系統，用以量度垂直力、水平力及轉動力距。(3) 噴水系統 (Water-Laying System)， 藉以敷佈0.5 mm均勻水膜於車輪行進前方之路面，(4) 合乎ASTM E501 標準規範之測試輪胎。

試驗時拖曳車在路面上以規定之速度行駛，並在刹車前噴水使路面潮溼，模擬在雨中行車狀況，以測定路面與輪胎間之摩擦力。1270型路面抗滑儀，具備了以上裝置，除了可提高測試效率外，可得更準確之測試結果。

2.英國擺式摩擦測試儀

英國擺式摩擦測試儀（British Pendulum Friction Tester），是實驗室中量測路面摩擦性質應用較早的儀器，爲英國道路研究試驗室(Transport and Road Research Laboratory)所發明，由於此儀器可應用於試驗室及現場鑑定路面摩擦性質，爲一種極普遍的路面抗滑測量儀器。此儀器係利用運動能量不滅定律，以測定路面之相對摩擦性質。測試時，利用擺臂上之橡皮滑板與路面發生摩擦，以測定路面面層之抗滑性質，試驗結果以BPN（British Pendulum Number）數値表示，BPN 値愈高表示測試路面之抗滑性質較佳。

二. 基本原理

路面抗滑能力係路表面提供車輪胎被制動而不轉動，滑行於路面時，路面所提供的摩擦阻力。抗滑除爲路表面特性外，亦爲雨天路面潮溼時行車安全之重要因素。

摩擦力之構成，係兩物體間之表面附著力（Surface Adhesion Force）與表面遲滯力（Surface Hysteresis Force）之總體表現。兩種表面力發生於路面與輪胎間之情形如圖2.24所示。圖中右上圓中爲附著力作用之情形，左下方的放大圓是遲滯力作用之情形。表面附著力之發生主要是因由介面間剪力強度（Shear Strength）之傳送，其係數大小決定公式如下：

$$f_a = \frac{A}{A_n} \cdot \frac{S}{P} \qquad (2.67)$$

式中：f_a ：表面附著係數。

A ：實際接觸面積（in^2）。

An ：外在目視所得之接觸面積 (in^2)。

S ：路面與車輪胎間之剪力強度 (psi)。

P ：車輪胎橡膠承受之平均壓應力 (psi)。

由(2.67)式知，若表面平整則實際接觸面積較緊密，介面間有較強的剪力握裹 (Bond) 能力，均將增加表面附著力；然而，接觸面積潮溼時，剪力握裹能力因水膜存在而降低甚多，此時改善的方法可增加接觸表面之紋理 (Surface Texture)，使水膜得以由紋理組織形成之槽孔 (Channel)排除，而增加路面與輪胎間半乾燥接觸區 (Semi-Dry Contact Zone)之面積。

表面遲滯力產生之原因，主要是車輪胎橡膠接觸面變形導致能量的損失，其係數大小決定公式如下：

$$f_h=\frac{QD}{A_n P b} \tag{2.68}$$

式中：fh ：表面遲滯力係數。

Q ：車輪胎橡膠變形之體積 (in^3)。

D ：單位體積變形之能量損失 (in－lb/ in^3)。

b ：車輪胎滑行之距離 (in)。

An ，P：如(2.67)式。

由(2.68)式知，若表面其他條件固定，則具有凹凸不平的表面能產生較大的橡膠變形，產生較大的遲滯阻力；此外，胎壓、滑行速度及荷重亦會影響車輪胎變形狀態，故亦爲表面遲滯力之影響因素。

基於上述分析，路面抗滑能力之研究對象，爲路面與車輪胎，而在路面方面有路面材料性質與路面紋理；車輛與輪胎方面有輪胎材料、輪胎紋路 (Pattern)及深度、胎壓以及荷重等，此外滑行速度與水膜排除亦爲重要因素。

三、路面抗滑量測方法

量測路面抗滑能力方法，依其使用儀器不同有下列三種方法：

1.英國擺式摩擦測試儀法

此法是由英國運輸道路研究試驗室發展所得，除可應用於試驗室中量測試體抗滑特性外，亦可於現場進行路面抗滑調查，下表是早期使用這種方法評審路面時之建議BPN 最小值表，目前若採用此種方法量測路面抗滑能力時，表中資料可做為評定路面抗滑能力之參考。

路面分類	道　路　狀　況	BPN 最小建議值
A	操作困難路段： 1.圓環。 2.曲率半徑小於500 ft無管制路段。 3.縱坡大於1／20 且長度大於100 碼之路段。 4.無管制接近號誌之路段。	* 65
B	平均每日交通量大於2000輛之路段，如：高速公路、幹道等。	* 55
C	其他路段。	45

* 路段中行車速率超過90 KPH (60 MPH) 時需另加紋理深度 (Texture Depth)大於0.025 in之規定。

2.停車距離法

這種測定方法是利用汽車行車到某一速度後，剎車制動車輛以至停止，以此制動停車所需之距離，利用下列公示計算路面之摩擦係數。

$$f = \frac{V^2}{254\ S} - i \qquad (2.69)$$

式中： f ：路面摩擦係數。

V：剎車前之車輛行駛速度 (KPH)。

S：車輛於剎車期間行駛之距離（公尺）。

i：路面縱坡度，上坡爲正，下坡爲負。

3.拖車法

此法是根據ASTM E274 規範，以路面抗滑儀量測路面抗滑能力，量測時用兩輪拖車，由一部裝有水箱的小型卡車以預定的速度行經擬測路段。量測進行以自動控制，剎車制動拖車之車輪（左輪或右輪），使之以預定速度滑行於路面。此時並以電子儀器自動量測測試輪承受之垂直力與水平力，利用下列公式求得該測試路段之抗滑值(Skid Number，SN)

$$SN=\frac{F}{L}\times 100 \tag{2.70}$$

式中SN爲路面抗滑值，F 爲摩擦阻力，L 爲車輪荷重。路面抗滑值即爲以ASTM E274 規範用車測試路面摩擦係數乘以一百之結果。

以上三種量測路面抗滑能力的方法，皆可應用於養護管理系統中，英國擺式摩擦測試儀較便宜，目前國內公路管理機構都有此種儀器設備，由於其儀器本身限制，此儀器常被用以鑑定低速時之路面抗滑特性，例如路面細質紋理 (Microtexture)，另兩種儀器可測試任何速度時之路面抗滑能力。一般停止距離法所得之結果較拖車法所得之結果爲大，因停止距離法測試過程中其汽車速度逐漸降低之故。在高速測試時，停車距離法具有危險性，至於拖車法因其裝備採自動電子儀器設備，測試效率較高，是目前較理想之路面抗滑量測儀器。

2.5.3 路面紋理和糙度

路面因施工或受車輛荷重作用，往往發生縱斷面起伏不平的粗糙現象，斷面起伏較大者，路面工程上稱爲糙度 (Roughness)，路面起伏較小者，則

稱爲路面紋理（Pavement Texture）。糙度之大小是造成行車震動之主要原因，與行車舒適與否有密切的關係。路面紋理之凹凸不平現象，係指路面與車輪胎接觸部份之小範圍內之不平整，如圖2.25所示。路面紋理依其功能及尺寸之大小，又可分爲粗質紋理(Macrotexture)與細質紋理(Microtexture)如圖2.25中，粗質紋理可爲骨材石塊（Stone Chip）形成起伏不平整之狀態，而細質紋理則指骨材石塊凸出部分，表面更微小的紋理。

一、紋理和糙度量測儀器

1.TRRL小型紋理測量儀

TRRL小型紋理測量儀是由英國運輸道路研究實驗室所設計，而由英國WDM 公司製造。儀器主要部分由兩輪台車（Trolley)及可分離之手把(Handle)組成，把手長920 公厘，台車之長寬高則各爲305，640及300 公厘，總重量爲19.5kg，是一可由單人手推進行量測之輕便儀器。

配備於儀器中之雷射變位轉換器(Laser Displacement Transducer)，可連續發射雷射光線照射路面，以量測路表面紋理深度，其原理如圖2.26所示。圖中光線由雷射光源發出，照射路面，其產生之反射角度，係由路表面高低變位狀態決定，因此，經由右邊接收鏡收集反射光，再以排列之檢波半導體（Diode Array)檢視，可得路面反射點之起伏變位。檢視結果可記錄於電子記憶器中，直到一定路段長之資料收集完畢，即計算該路段之路面紋理深度指標，並輸出結果。

2.SDP 糙度儀

表面動力剖面儀（Surface Dynamics Profilo），亦名SDP 糙度儀。高公局SDP 糙度儀爲K. J. LAW 公司所出品，型號爲M8300 。SDP 糙度儀爲一個獨立的儀器系統，可適合工程車或小汽車之牽引。它可提供路面養護管理系統所需之糙度指標(Roughness Index；RI），亦即路面現況的評審（Pavement Condition Ratings）。

路面現況評審記錄所得之糙度指標，對養護管理提供極爲重要之輸入資料。SDP 糙度儀提供公路工程師量測主次要道路糙度的一個快速方

法，SDP 糙度儀與牽引車輛種類、行車速率和溫度無關，且量測時不會產生時間不穩定現象 (Time Instabilities) 。SDP 糙度儀可計算均方加速指標 (Root-Mean Square Acceleration Index；RMSA)和梅斯指標(Mays Meter Index)。兩指標可在任意選定之距離，列印一次。因而可使用各型車輛在時速超過32 KPH而測得梅斯糙度指標，結果與梅斯車輛或拖車在時速80 KPH之測值相同。

儀器系統使用電腦以記錄和列印路面現況評審觀測值，亦可自動計算加權情形。選用數值記錄器 (Digital Cassette Recorder)以儲存資料，另外記錄器亦可將資料儲存於與RS 232相容之電腦上。

SDP 糙度儀之操作系統如圖2.27所示。

二、基本原理

路面工程與紋理有關的課題，有下列各項：

●抗滑 (Skid Resistance)。

●路面抗滑速度梯度 (Skid Resistance-Speed Gradient) 。

●雨天行車肇事率。

●路面磨損 (Pavement Wear)。

●車輪胎磨損 (Tire Wear)。

●行車能源消耗。

●行車產生之噪音。

●雨天行車水沫飛濺影響行車視距。

●雨天行車水面滑行 (Hydroplaning) 現象。

本文僅將紋理觀念應用於路面抗滑安全系統中，至於其他方面之研究課題可視管理系統中之需要，斟酌增加。路面紋理於抗滑研究中，粗質紋理的功能是在路面與車輪胎接觸面間保持槽孔，使路面與輪胎間之水分得於排開。此種功能在雨天高速行車時，更顯出粗質紋理在路面抗滑行車之重要性。細質紋理在路面潮溼時，路面與車輪胎接觸若有粗糙的 (Harsh)的細質紋理，可增強接觸面間之附著力。

細質紋理因其尺吋 (Scale)小，量測不容易，一般以英國擺式摩擦測量儀來衡量。本文將這一部分，稱之爲路面材料摩擦性質。粗質紋理量測方法很多，較具代表性的有：

- 細砂鋪塡法 (Sand Patch Method)。
- 縱斷面測量法 (Profile Measurement Method) 。
- 立體照片分析法 (Stereo-Photo Interpretation Method) 。
- 反射光法 (Light Reflection Method)。
- 排水測量法 (Drainage Measurement Method)。

各式方法詳細內容可參照FHWA RD-80-505之報告，本文除建議以TRRL小型紋理測量儀來測路面紋理，亦不排除使用多種方法來量測路面紋理。因爲使用多種方法量測，可建立各方法間輸出之相關性；並更廣泛地應用已有的研究成果。例如，法國以細砂鋪塡法對各型路面之紋理所做之建議(如表2.3所示)，可做爲將來高速公路釐定路面紋理等級之參考。

2.6 路面養護實施系統

在路面養護實施系統裡，養護工作管理系統，也是一個工作控制系統。

本節養護係指針對某段路面，經調查分析等養護先期步驟後，所擬定之路面養護改善辦法。在本節系統裡，這些改善辦法常爲一些不同的替代方案，供成本效益分析後，決定取捨。又本方案系統也是一套小型檔案系統，可查詢過去養護方案之檔案資料，以爲擬定本次養護改善方法之參考。本研究計畫擬定之路面養護方案系統如圖2.28所示。

2.6.1 養護方法

本系統乃根據路面調查資料，加上事先設定的決定樹形圖 (Decision Tree)，經過合理的評估過程，而決定出相容性養護方法 (Compatible

Strategy)。本系統採用的相容性養護方法共有八種：

1. 表面刮除及厚加層 (Surface Scraping and Thick Overlay) 。
2. 厚加層 (Thick Overlay)。
3. 表面刮除及薄加層 (Surface Scraping and Thin Overlay)。
4. 薄加層 (Thin Overlay)。
5. 表面處理 (Surface Course Treatment) 。
6. 整平 (Levelling)。
7. 局部養護 (Local Repair) 。
8. 填裂縫 (Fill Cracks)。

編號越小的養護方法，相容性越高，相容性高的養護方法可以取代相容性低的養護方法。例如厚加層的相容性就比薄加層的相容性高。

本系統主要的調查項目有六項：裂縫、坑洞、冒油、車轍、抗滑值及糙度。損壞的嚴重性及範圍（或密度）都要加以記錄。本系統將調查資料，經果各種評估流程，而決定出各種損壞情形的養護方法，最後再選擇一個能解決所有問題的養護方法（相容性最高的養護方法），稱為相容性養護方法。評估流程圖2.29。

圖2.29的六種損壞情形（裂縫、坑洞、冒油、車轍、抗滑值、糙度）各有其相對應的決定樹形圖，詳如圖2.30。根據這六個決定樹形圖，可以決定每一種損壞情形的養護方法。在這些決定樹形圖中，最重要的就是一些控制數值，這些控制數值必須經過長期的試用才能決定。

2.6.2 成本分析

以上各種養護方法，及相容性養護方法經過分析後，尚得估算各種養護方法的成本，可以比較各種養護方法的成本，估計各地區的養護經費，以及決定整個路段對養護、表面處理、重建及其他路面養護計畫的經費範圍。

本系統所提供的養護方法有八種，分別建立其成本估算的數學公式，這

些數學公式是由一些係數及單價所組成的。

一、成本係數及單價

至於係數及單價，應作下列考慮：

1.地區性係數(GF)

各地區因為料源的品質、數量不同、氣候與地理環境不同，發包成本亦不同，而使單價有所變動，將這些變動因素歸納在地區性係數中。

2.交通管制係數(TM)

車道數不同、交通量不同，施工時所需的交通管制也不同，而間接影響到養護的成本，將此變動因素歸納在交通管制係數中。

3.整平層係數(FM)

加鋪整平時，加鋪的厚度及整平的方法視車轍或波浪狀的損壞情形而有所變動，而影響到整平的成本，將此變動因素歸納在整平層係數中。

4.單價

本系統提供的八種養護方法均有其對應的單價，各種單價的來源有二：一為合約價格的資料，一為各地區工程師的估計，所有單價都可隨時調整，以符合當時狀況。

二、成本公式

計算成本公式分別為：

1.表面刮除及厚加層：CSA 為其單價（每車道公里）

$$COST = XL \times CSA \times GF \times TM \times Coef \tag{2.71}$$

2.厚加層：CA為其單價（每車道公里）

$$COST = XL \times CA \times GF \times TM \times Coef \tag{2.72}$$

3.表面刮除及薄加層：CSJ 為其單價（每車道公里）

$$COST = XL \times CSJ \times GF \times TM \times Coef \tag{2.73}$$

4.薄加層：CJ為其單價（每車道公里）

$$COST = XL \times CJ \times GF \times TM \times Coef \tag{2.74}$$

5.表面處理：CL為其單價（每車道公里）

$$COST = XL \times CL \times GF \times TM \quad (2.75)$$

6.整平：CF爲其單價（每車道公里）

$$COST = XL \times CF \times GF \times TM \times FM \quad (2.76)$$

7.局部養護：CE爲其單價（每平方公尺）

$$COST = 3.75 \times 1000 \times XL \times CE \times (0.8 \times CAREA + 0.2 \times PH) \times GF \times TM \quad (2.77)$$

8.塡裂縫：CP爲其單價（每車道公里）

$$COST = XL \times CP \times GF \times TM \quad (2.78)$$

其中：COST：養護成本

XL：車道長度（公里）

Coef：最外車道＝1.8，最內車道＝1.27，一般車道＝1.0

CAREA：裂縫百分比

PH：坑洞百分比

2.6.3 養護決策

養護實施系統中，流程進行至本階段，即爲養護決策之訂定。本研究報告認爲，在考慮的地區內，每次定期調查之後，每個車道都會產生一種養護方法，及所需的養護成本，同時面對這麼多車道，以及龐大的養護經費，決定養護的優先次序便成爲很重要的步驟了。

本系統決定養護優先次序的方法，是給予每個車道一個優先次序值，這些值介於1 與16之間，數值越小，優先次序越高。每個車道的優先次序值又包括整數部分與小數部分。

- 整數部分的訂定是依序考慮三個因素，即糙度、結構問題及平均每日交通量。其中結構問題是由該車道的相容性養護方法來代表，使整個決定過程簡化，其決定樹形圖如圖2.31所示。根據此決定步驟，可得到優先次序的整數部分，此數值由1 到15之間。
- 小數部分是由該車道的養護成本除以車道長度與平均每日交通量的乘

積，其值介於0 與1 之間=

各車道的養護方法、養護成本及養護的優先次序決定之後，接下來的工作就是把考慮的地區內，各車道的基本資料及養護方法、養護成本及優先次序作一綜合的整理及列印報表。這些報表可供決策者作爲編列路面養護經費，決定養護方案及排定優先次序的依據。

本系統整理列印的資料有三項：

1.列印各車道的基本資料、養護成本、優先次序、相容性養護方法，及各種損壞情形的養護方法。

2.將考慮地區内的結果作一綜合整理，按優先次序列印出區、段、車道、起訖里程、優先次序、養護成本及相容性養護方法。

3.將各車道優先次序的小數部分捨去，將優先次序整數部分相等的養護成本相加，求得各種優先次序的總成本。

在本節摘要報告最後，本文依據上節原則，已發展完成一套 "高速公路路面管理系統" ，有關該系統之介紹及軟體使用說明，請參閱附錄第一集。

2.7 路面施工系統

2.7.1 瀝青混凝土路面材料及施工作業

瀝青混凝土施工爲確保施工品質，首先應對所使用的材料有正確認識，包括對瀝青及骨材的認識，兩者拌合時的影響因素，拌合料的材料性質，以至拌合時的操作，拌合成品的運送與檢查，拌合料在工地的處置，乃至對瀝青混凝土鋪設作業步驟的要求，及最終對壓實驗收工作等的充份了解，都極其重要。

瀝青材料的詳細介紹，並不是本報告主題之一。但本報告提出瀝青膠泥三種分類方法，即：(1) 黏滯度法 (AC分類) ，(2) 老化殘留法 (AR分類) ，及(3) 針入度法。此三種分類方法，前兩種方法在國内遲未採用，故未能

提升我國對瀝青品質的鑑定能力。

關於骨材分類、搬運及堆積，是否正確操作的程度，對瀝青混凝土品質影響甚大。尤其是骨材的堆積，應避免產生離析（尺寸不均勻），運送時亦應防範造成離析及破碎的可能性。

瀝青混凝土拌合設計時，無論是使用馬歇爾法或威氏法，必需了解舖設築完成之路面，其使用性質可經由試驗室配合設計之特性，加以調整而達到。在混凝土密度方面，工地工程司必需控制使現場密度能達到實驗室之設計密度，其方法可在施工時要求工地密度達到實驗室密度之某百分比數。空隙率過大，能使路面易於老化，空隙率太低，則路面易生冒油等現象，工地控制應在不產生冒油狀況，儘量降低空隙率以提高混凝土密度。

骨材間空隙（VMA）是指壓實後的瀝青混凝土中，骨材與骨材間的空間包括空氣及覆蓋於骨材外瀝青所佔體積總和。VMA 值應有下限值，使骨材表面瀝青不致太少，以增加混凝土耐久性。

瀝青混凝土拌合設計時，主要應考慮到使用狀況下路面有那些需求，以下七項性質與瀝青拌合料的良窳有密切關係：

一、穩定性

路面在受荷重時，抵抗側移或凹陷的能力稱為穩定性。穩定值係自瀝青混凝土內摩擦力及凝聚力而來。骨材愈具稜角狀，表面紋理愈粗糙，穩定值將愈高。瀝青黏滯性增加，或路面溫度偏低，則凝聚力增加。此外混凝土級配，瀝青含量均足以影響路面穩定性。

工程司在提高穩定性同時，應注意到混凝土如勁度過大，將可能降低路面之耐久性。

二、耐久性

車荷重及風化作用，可使瀝青混凝土內骨材分裂，瀝青移動或氧化以致造成骨材表面瀝青脫落。為抵抗此諸現象之發生，增加路面耐久性，可用較大含油量，或使用抗剝落性骨材，或壓實量增加。

三、不透水性

不透水性是指路面防止水分或空氣進入或穿透的能力。而混凝土中之空隙大小、各空隙是否相通、空隙是否延至路表面等，均爲決定不透水性的主要因素。爲減少透水損害，可使用增加含油量壓實控制。

四、工作度

工作度是指瀝青混凝土舖設與壓實之難易程度而言。改善工作性可由改變設計，改變骨材來源，或改變級配而得。

級配中粗粒料過多，不但運送時易生離析現象，施工時亦不易壓實。改良之法，是在試驗室試拌後加入細骨材及瀝青，以改良工作度。試拌時，亦應注意其他各項，如空隙率及穩定度，有無符合規定。級配中若填充料太多，會使瀝青混凝土成膠狀，不易壓實。

軟料是一種工作度過高的材料，造成軟料的原因可能是：填充料缺乏，中號篩骨材太多，骨材表面圓滑或拌合料內有水氣等。

瀝青也會影響工作度，但不是主要原因。由於拌合料的溫度會影響瀝青的黏滯性，所以溫度太低，會使工作性降，此外瀝青的等級及瀝青含量也影響工作性。

五、柔性

柔性是指瀝青層受路床變形影響，而不致裂開的能力。由於路床（受荷重後）總會下沈或上昇（土壤膨脹），所以瀝青路面就一定要具有柔性，才不致裂開。大致說來，含油量高的開放級配，柔性較含油量低的密級配好。由於柔性的要求與穩定性的要求相反，所以工程師必需要在其中找到一個平衡點。

六、抗疲勞性

抗疲勞性是指路表面層，抵抗重覆荷重能力。據研究得知，空隙率與瀝青黏滯度，對抗疲勞性的影響很大。空隙率大或易老化的混凝土，抗疲勞性均劣。

七、抗滑性

抗滑性是指路面阻止車胎發生滑動現象的能力而言。抗滑性好的路面，

車輛行走時不會發生車輛浮在路表水膜上的現象。量測抗滑度時，常用標準車胎以每小時四十英里（64.4km／hr）的速度，行駛在潮濕的路面上，進行測量。

表面粗糙的路面，抗滑性比光滑路面棧得好。使用骨材表面紋理粗糙，最大尺寸介於 9.5mm到12.5mm之間的開放級配時，拌出的瀝青混凝土其抗滑性相當不錯。由於鈣質骨材不似矽質骨材耐磨，所以選擇骨材時，要考慮到骨材的成分。拌合料若是不穩定，很容易發生車轍或冒油現象，因而造成抗滑性減低。

關於瀝青拌合廠的操作與檢查，本報告對瀝青與骨材儲存及運送、取樣，包括取樣規定，登記表式，均做詳盡步驟上的說明。至於熱拌之混凝土檢查報告、偵測品質時可能發生之不良現象，亦以逐條詳列方式，將工地可能發生的問題一一列出，工程司可接各條文檢查，控制熱拌混凝土品質。

2.7.2 核子量測儀在路面工程之應用

核子量測儀是一種非破壞性試驗儀器，使用在路面施工時，可用以探測路基或底層之密度與含水量，及瀝青混凝土層之含油量。使用核子量測儀之主要優點爲方法簡單，速度極快。尤其速度可使工程不良狀況時，及時得以修正，免除施工後再謀補救的各種弊端。

核子量測儀應具三項設備，即：(1) 射源：能放出 γ 射線，(2) 偵測器：應感經過試測材料之 γ 射線數，(3) 計數器：能正確計算在一定時間內被偵測器測得之射線數目。在使用時不論以何種方法，其基本原理是因受測材料的組織及含水（油）量不同，（唯此時射線源係射出快中子而非 γ 線），故射線進入再折出現象即因材料不同而有異，利用此不同現象，由計數器量測射線數後再校工結果，便可計算出答案。

本報告摘要將核子量測儀加以介紹，其目的在促進國內工程單位改善對使用傳統砂錐法之依賴，而非尋求其他可行之進步簡便方法，尤其對高速公

路做非破壞性試驗時，本法不失爲可用方法之一，有關核子量測儀在路面應用上之細節，請參閱本報告附錄第六集第二册報告。

2.7.3 路基土壤壓實與控制

土壤壓實處理，爲達到改善土壤工程性質，使能承受荷重，並使路面結構穩定。此過程亦包括含水量及土粒級配之調整。

一、無凝聚性土壤

無凝聚性土壤的工程性質，主要爲相對密度 (Relative Density) 的函數。相對密度可以孔隙比作定義如下：

$$D_r=\frac{e(max)-e}{e(max)-e(min)}\times 100 \tag{2.79}$$

若以單位重量表之則爲

$$Dr=\frac{\gamma_d(max)}{\gamma_d}\times\frac{\gamma_d-\gamma_d(min)}{\gamma_d(max)-\gamma_d(min)}\times 100 \tag{2.80}$$

其中 ： e＝量得的孔隙比

e(max)＝用標準試驗所得的最大孔隙比

e(min)＝用標準試驗所得的最小孔隙比

γ_d ＝量得的乾密度

γ_d (max)＝用標準試驗所得的最大乾密度

γ_d (min)＝用標準試驗所得的最小乾密度

當相對密度增加時，土壤強度即會增加，而壓縮性及滲透性則會減少。又因無凝聚力土壤的結構是單粒結構，因此對填土與天然沈積土，假如其相

對密度都相同時，兩者間並沒有任何不同。即填土的方式對於土壤的工程性質並無影響；而夯實只有規定其密度而很少規定其含水量的控制。

二、凝聚性夯實粘土

凝聚性土壤經夯實後之結構及工程性質依夯實方法、夯實能量大小，土壤型態及含水量而定。通常夯實土的含水量狀態，需參考其最佳含水量來敘述。依其相對位置，土樣可稱爲最佳態之乾側（Dry of optimum），接近或位於最佳態（Near or at optimum）以及最佳態之濕側 （Wet of optimum）。

由夯實粘土之試驗研究顯示，當粘土之含水量位於乾側時，土壤之結構與夯實無關。但若位於濕側時，則夯實方法對土壤結構、強度及壓縮性等均有重大的影響。

在同一夯實能量之下，土壤之組織將隨含水量之增加，而增加其定向性（Oreintation）。在乾側之土壤，其組織通常爲膠凝式（Flocculated）。在濕側時，土壤之組織則變成定向性或分散性，如圖2.32所示。若將夯實能量增加，則土壤更具方向性。即使是在乾邊之土壤亦有相同之結果。

夯實粘土之壓縮性爲作用於土體上應力數值之函數。在相當低的應力階段下，濕邊的夯實粘土其壓縮性較高。而在高應力階段時則恰好相反。圖2.33可看出當作用力改變時（增加），濕側之夯實土其孔隙比之變化相當大（減少）。

• 又乾側夯實粘土因較缺乏水份，故吸收水份之傾向極高，因此其膨脹性較大。但對收縮性則恰好相反，濕側土具有較高之收縮性。一般而言，乾側土壤對環境的改變如含水量之變化較爲敏感。

三、壓實機具

機具選擇之關鍵在於夯實土壤之性質、夯實程度、施工空間。吾人所熟知的，砂土以震動夯壓最爲有效，而粘性土壤則以停留一段時間的壓力夯壓爲宜。圖2.34提供若干種大型夯壓機適用性之參考。在各種可用的夯壓機中，又有多種不同大小及形狀的夯壓零件。從震動壓路機的平鼓輪，到羊蹄式壓路機的小突出部份，各種變化均有。

路基之建造通常使用下列四種壓實機具：

(1)羊蹄式壓路機 (Sheep's foot rollers)

(2)氣胎膠輪壓路機 (Peumatic or rubber tire rollers)

(3)光面鐵輪壓路機 (Smooth wheel rollers)

(4)震動壓路機 (Vibratoy Compactors)。

四、工地密度試驗

夯實的主要目的在改良土壤的工程性質，但工程師須謹記乾密度與含水量並不完全等於填方的工程性質。此點在土石工程之施工控制中常被人誤解。大部份的人都只強調工程是否已達到預定的乾密度，而甚少注意到填方所需要的工程性質爲何？因乾密度與含水量和土壤之工程性質有極密切的關係，因此便很順理成章地成爲施工品質檢驗的一個重要參數。

在夯實填土工程中，通常都作現場密度試驗，用來決定各夯實土層是否達到規定的密度。一般在每一層夯壓完成後，得任意選擇數處作現場密度試驗。若試驗結果合乎標準，包商即可再繼續夯壓另一層填土。若密度試驗指出夯實不足，就須指示包商再加夯實。通常作現場密度試驗人員，只須對業主與設計者負責，而與施工的包商無關。

現場測定密度時，首先要選定具代表性的位置。一般的標準規範規定每 600～3000 m^3 或每遇取土材料區明顯改變時，均須增加一新的現場試驗。

現場密度試驗方法亦有多種，最簡單而直接的方法是，在已夯實的土層表面挖掘適當小洞，然後決定該洞的體積與挖掘土樣的濕土重，並由試驗求得土樣含水量。依據這些資料可推算土樣的乾土重與乾密度。應用此種試驗步驟的現場密度試驗法計有：“砂錐法” (Sand cone method) 與“橡皮膜法”(Rubber balloon method) 這些試驗方法都需在土面挖掘試洞，故稱爲破壞性試驗方法。

若填土範圍很廣，現場密度試驗儘可能不妨礙填土及夯壓的進行。因此，施工次序必須安排使某地區進行填土時，在另外地區進行夯實。當夯壓地區的土壤密度似已達到規定時，即作密度試驗。而原先爲填土的地區則進行

夯壓。

2.7.4 路面損壞與整修方法

路面損壞的形成，是不可避免的事。工程司的職責是如何使損壞發生的時間延後，如何偵測損壞，如何對已形成之路面損壞做適當的養護。

延緩路面損壞發生時間，是工程司的首要工作，其中牽涉到的業務，包括新工時期的良好規劃設計與分析，及養護時期的合理養護及評審施工。本研究計畫之主旨，即爲發展一套合理的養護系統，一方面極力做好路面養護工作，使路面的損壞得以延緩，另方面一旦路面損壞發生，則可循系統方法，實施一系列的合理養護措施，包括路面調查、分析、評審、設計、整修及施工等。

從路面結構與服務觀點而言，路面發生損壞大致遵循一定的流程，如圖2.35所示，圖中路面結構能力降低後，路面面層之張應力過大，裂縫損壞因而發生。從實務的觀點，路面裂縫從輕微的裂紋，會演變至二級的龜裂，進而更形惡化，導致大塊裂縫。

另一種路面損壞現象爲服務能力降低，此種路面常產生路面不平坦，乃至於發生車轍等。車轍的發生雖有時是受路床部位應變值過大所致，但在損壞分類上，我們稱之爲功能上之損壞。

2.7.4.1 路面損壞型態和原因

有關路面損壞型態，及實務上造成原因分述於下：

一、裂縫(Cracks)

1.輕微裂縫

這類裂縫通常呈微小裂紋，裂紋間並不連續，是一種局部裂痕或初期裂縫。發生原因可能是局部材料或使用上損壞，亦可能是混凝土滾壓不實。

2.龜裂 (Alligator Cracks)

此爲AASHTO裂縫分類之第二級裂縫，第一級裂縫程度輕微，於此不提，本類裂縫形狀呈一連串小多邊形，有如龜殼上的花紋（在歐美則被稱爲鱷魚皮狀裂縫）。龜裂形成的原因，是由於路面受外力，其變形和撓度過大，在該路面瀝青混凝土的柔性不夠及在外力反覆的輾壓下，由於材料疲勞而形成此種裂縫。龜裂的形成，在初期時由於裂縫輕微對路面的服務水準，並無太大的影響，但由於龜裂而使得路表面的水滲入，而造成路基及路底強度的減弱。如此則會加速龜裂縫面積的擴大以及裂縫的張大，而致形成坑洞。

3.塊狀裂縫 (Block Crack)

此爲AASHTO裂縫分類的三級裂縫，路面裂縫形狀呈大塊多邊形。可能形成的原因，爲瀝青混凝土老化，失去其柔性，而導致脆裂。這種裂縫的形成，常導致路面水滲入路基和路床，減低道路的結構強度而形成其他的損壞，如龜裂或車轍等。

4.縱向裂縫 (Longitudinal Cracks)

其形成多由於施工時縱向接縫施工不當。如在發現之初加以適當處理，當不致有嚴重的影響。

5.邊緣裂縫 (Edge Cracks)

其形成可能是縱向接縫施工的不當。另一原因則是由於路肩的不穩定。這種情形，在沒有處理的路肩和排水不良的情況下，常會產生。

6.反射裂縫 (Reflective Cracks)

是由於底層的裂縫，向上傳遞而導致路面產生與底層相似的裂縫，一般多發生在加舖層上，由於舊有的剛性路面的接縫或舊有瀝青路面的裂縫，在加舖時未加以適當的處理而導致加舖層產生反射裂縫。另外在新建路面上，由於路基產生收縮裂縫，也可以導致路面產生反射裂縫。

7.溜滑裂縫(Slippage Cracks)

在車行方向裂縫成新月形狀，其形成原因，主要是表面層與下層，

沒有適當的連接，因此當路面受到外在剪力時，面層所受到表面外力時無法將此外力傳到底層，讓整個道路結構來分擔此外力，而必須由表面層來單獨承受。當面層的厚度及強度不足以承受時，則產生此張力破壞的現象。面層與下層結構沒有適當的連接可能是黏層或透層(Prime Coat or Tack Coat) 使用的瀝青不足或過多。

二、變形 (Deformation)

1.車轍 (Rutting)

在車輪常輾壓處，路面成縱向的槽狀下陷，其形成的原因，可能是道路結構強不足，造成路底層在車輪道下陷，或為路基材料的不穩定，在受到反復車輪輾壓或車輛超載，使材料產生側向變形，或為面層瀝青混凝土材料的穩定性及壓實不足，因而當受到反復輪壓後，產生側向變形及垂直方向的壓實，而成車轍。

2.波浪形路面 (Corrugation)

路面在橫向發生高低起伏成波浪狀之變形，所成的原因，一方面是由於面層瀝青混凝土的穩定度不足，同時由於車輪的剎車，或加速對路面產生的剪力，或由於路面不平坦，而使車輪有高低跳動的現象。這些原因的組合，都可能造成路面呈波浪狀變形。

3.路面隆起 (Upheaval) 及凹陷 (Depression)

這些都是局部的現象，隆起可能是由於路面下層材料的膨脹，在有霜凍的地區，下層材料飽含水分結冰後會產生隆起的現象。至於凹陷，則多為路面下層的材料流失，或在施工時，局部性的壓實不夠所形成。

以上為路面損壞的主要形態及造成原因，但由於施工材料不良，或輪軸過重，亦可產生下列損壞：

1.坑洞 (Potholes)

路面局部發生不規則的坑洞，多由局部龜裂路面，由於沒有及時養護而導致坑洞的形成。

2.鬆散 (Ravelling)

瀝青混凝土的瀝青，與石粒產生分離的現象，由於反復輪壓而使粒料發生鬆散。導致瀝青材料鬆散的原因很多，諸如瀝青發生早期老化硬化，混凝土含瀝青量不足，壓實不夠，或瀝青與粒料的接合性不夠遇到水後產生剝落的形象等，另外由於瀝青混凝土受到溶劑、柴油等都會形成剝落的形象。

3.溜滑(Slippage)

路面溜滑的發生，主要是所用石料的硬度不夠，在受到車輪的磨損後而被磨光，另一可能則是路面發生冒油 (Bleeding) 的現象所致。

2.7.4.2 有關路整修處理方法

一、局部養護

1.瀝青填裂縫

多用在大塊狀裂縫，縱向裂縫，及反射裂縫的維護上。以瀝青 (油溶瀝青爲多) 注入裂縫，然後在其表面灑以細石料，主要防止表面水經由裂縫滲入基層或路基，以致減弱路面之結構強度。

2.局部養護

多用在路面呈現有龜裂，大塊狀裂縫，溜滑裂縫，及坑洞時使用。局部養護方法，可將原有材料，在養護時挖除，並換上強度高的瀝青混凝土，如此則可將該部份的強度提高。

3.整平

可用於路面呈現有車轍，或波浪狀的損壞情形。其法爲在現有路面上，加黏層然後加鋪整平層，這一作業的可用性，應視造成路面在該路段造成車轍或波浪狀的原因而定。對於車轍一般單以整平方法，不容易收到如期效果，通常須和其他的處理共用，例如使用局部的刨除路面等方法。

4.局部表面處理

多用在路表面呈現有鬆散 (Ravelling)、冒油、初期的龜裂，及局部磨損地方。其作業方法是，在損壞的表面上，灑一層瀝青 (中凝油溶瀝青或乳化瀝青均可) ，然後再灑上一層細石料並壓實之，所用瀝青的多少，應視損壞的情形而有別。至於以表面處理方法，改善以上所提到的損壞的有效性，應視其為短期的暫時性的改善。至於造成龜裂的原因，在表面處理上是無法將其消除的。

二、表面層處理

表面層處理的使用，多用來改善路表面由於非結構強度有關所引起的損壞。非結構強度有關損壞包括：

(1)由於瀝青的老化而導致鬆散 (Ravelling)及表面龜裂。

(2)冒油現象。

(3)瀝青與石料的結合性低導致剝落 (Stripping)現象。

(4)原施工時，瀝青混凝土壓實的不當產生細裂縫，及高孔隙。

以上情況下，如採用較簡易的表面處理方法，僅作路表面養護及改善可加鋪Sand Seal Coat，Chip Seal，Slurry Seal，Fog Seal等。

三、薄加層

在現有的路表面層上加一薄加層，一般是用來改善路表面由於路面非結構強度有關所導致的損壞，如波浪性、車轍及表面裂縫等。在這類已損壞的路面。現有路面加薄加層，通常均在4 公分以內，選用薄加層時，應受以下條件限制：

(1)同一車道內由於車轍、波浪形或路穹所導致的不平坦，在橫向與縱向上每3m內，不得超過 2cm。

(2)同一方向所有車道不同時，加層時須避免車道間有高低不平的現象。

(3)現有路表為密級配瀝青混凝土。

(4)現有路表的裂縫如在一公尺半的距離內，可以肉眼看得見時，須加以適當處理。

(5)現有路表面如有鬆散時，須加以適當處理。

四、表面刨除和薄加層

當上節所討論的薄加層所列舉的五個條件如無法滿足時，則使用薄加層效果將不理想，而須考慮用本節所述的在現有路面上，將表面部份刨除以後，再加層的處理方法。路面刨除有熱刨與冷刨兩種，以冷刨效果較佳。

五、厚加層（結構加舖）

厚加層或結構加層，通常是指加層的目的，是爲加強路面結構強度。由路面損壞的現象，及路面撓度值，可以判斷該路段的路面結構強度，一旦確定該路面強度不足時，則須以結構加層來加強路面。有關結構加層厚度的設計方法，在另一報告中提出討論。所要討論的是有關結構加層的形態，一般結構加層可分爲三類：

(1)加層直接加於現有表面上。

(2)現有路面先做部份的刨除處理，然後再舖加層。

(3)現有路面做反射裂縫處理後再舖加層。

第一類的結構加層，多用於現有損壞情形並不嚴重之路面。如路表面所顯示的裂縫很細微，路面的變形不大，以增長路面的壽命。

第二類的結構加層，多用在現有路面已呈現嚴重的表面裂縫，以及由於面層材料不穩定，而產生嚴重的變形等。

第三類的結構加層，多用在路面呈現嚴重的裂縫，而這些裂縫，深入到表面層內，以刨除的方式作業亦不經濟，在這種情形下在舖加層前，對現有表面裂縫須做適當的處理，以避免現有表面層裂縫很快的反射到加層上。有關反射裂縫處理的方法很多，在第七項討論。

六、路面、路基和路床的重建

在路面損壞緣於路基或路床不穩定或強度不足所導致的情況下。路基、路床強不足所造成的路面損壞，諸如路面嚴重變形，因而導致產生嚴重車轍、波浪及裂縫，這一類損壞情形在某種情況下，可由表面加層處理加以改善，但是一般而言須由根本著手，將路基及路底重建及加強，唯這類維護工作在施工作業上很困難。在這種情形下，須考慮採用其他特殊方法，來改善及

彌補路基、路底強度的不足，例如在軟弱的路底及路基上方，可以考慮以高強度路基，代替部份現有的路基，或將現有已破壞的路面，改換爲能承受高度應力的高強度材料，或在現有軟弱路底上，加用工程織物，以提高其對外壓的負荷力等方法。

七、反射裂縫之處理

反射裂縫是指在新舖的面層或加層上，由於下層裂縫的存在，使得此裂縫反射到面層或加層。在路面加層設計上，如對反射裂縫不予適當的考慮和處理，即使加層本身有足夠的結構強度，也無法避免在短期內面層產生反射裂縫。

在目前一般的加鋪設計作業上，並沒有直接的考慮到反射裂縫的問題，而對反射裂縫問題，總是另行分開處理，近幾十年來，對反射裂縫的處理方式可以大約歸類爲以下數種方式：

(1)對現有路面加以處理。

(2)應力或應變消除層。

(3)增加中間緩衝層。

(4)對加層材料的特殊處理。

(5)增加層結構厚度。

1.對現有路面加以處理

一般可分爲以下四類處理方式：(A)將現有裂縫填補，(B)將現有路面裂縫刨除，(C)將現有路面打碎，(D)現有路面裂縫下方灌漿處理。這四種處理方法有時可以合用。如採用(A)和(D)一方面穩固底層而同時將下層裂縫填補。

2.應力或應變消除層

應力消除層的作用，是在上層和下層間，靠近裂縫處補一層材料，使得上層和下層材料不相黏接，如此，則在下層裂縫產生水平位移時，上層材料所產生的水平應變，可以比不用消除層時小。可做應變消除層的材料很多，幾乎任何材料只要可以消除上、下層之黏接，而不會對其

材料有不好的影響者，都可以用來做爲應變消除層的材料。例如石粉、細砂、塑膠膜、工程織物、橡膠瀝青混合物等。

3.增加中間緩衝層

這種處理方式是指在已有裂縫之路面（下層）和加層間，舖設一層厚度在3cm 以上的中間層。這一層的材料可以是碎石料，或是開放式瀝青混凝土。其作用是分散並緩和裂縫所產生之水平及垂直位移，如此可以減低上層材料，由於裂縫之水平和垂直位移所導致的應變。根據其將變形分散的作用，則此中間層愈厚將愈有效，這一層的厚度高至15cm。

4.加舖材料的特殊處理

加舖材料的特殊處理可以分爲兩類。第一類是利用工程織物或鐵絲網（Steel welded mesh and expanded metal），第二類是針對瀝青混凝土或水泥混凝土加層材料的改進和加強而言。

利用鐵絲網，來加強瀝青混凝土，對抵抗水平和垂直位移的應變和應力都可以產生有效的功能。但由於鐵絲網造成瀝青混凝土壓實的困難，鐵絲網的熱脹係數和瀝青混凝土不同，以及鐵絲受水的侵蝕生鏽而導致瀝青混凝土的龜裂及分離。目前利用鐵絲網已不再使用，而改用工程織物加強瀝青混凝土。其法爲利用工程織物舖設在現有路面和加層之間（這裡是指大面積的舖設而不是指在裂縫上做爲應變消除層之用），以延緩並減少反射裂縫。

5.增加加舖結構厚度

增加瀝青混凝土加舖厚度，在理論上對延緩和抵抗反射裂縫是有幫助的。增加加舖厚度，一方面可以減少下層溫度變化，因而減少裂縫的水平位移。另一方面，增加加舖厚度可以降低材料在裂縫周圍之應力。

2.7.4.3 剛性路面之破壞與整修

剛性路面在中山高速公路路段所佔里程比例甚低，其破壞形態及整修方

法，本文亦略作說明。

以上本節有關路面損壞與整修方法，請參閱本報告附錄第六集第四冊。

2.8 研究發展與人員培訓系統

路面養護管理系統對目前高速公路業務而言有兩點特質：

- 本系統內容龐大，且係初次建立。
- 本系統內業務有階級性，系統應繼續發展。

由於以上兩項特質，故研究發展與人員培訓工作在本計畫中極爲重要。

研究發展在現階段的意義是：(1) 將理論轉爲實用、(2) 將整體系統按優先次序繼續充實。

本文建議，研究發展可循下列課題進行：

(1) 設計理論：設計分析所用的學術理論是從力學理論著眼，故研究發展人員應在基本學識方面，加強對力學理論的認識與能力。

(2) 材料研究：路面材料性質之鑑定，隨設計理論之變遷，也變生重大改變。精密設備的需要，及配合設計方法所做的試驗種類，均爲我國前所缺乏的。目前高速公路局應立即成立現代化的試驗室，並羅致高級人才參與工作。

(3) 績效改進：路面績效評估深具地區性與本土性，爲建立屬於高速公路路面之績效模型，需投入大量研究方面的人力與時間，以增進合乎實用的績效分析效果。

(4) 養護管理：爲發揮本研究報告成果之功能，對本報告各系統之管理，亦應列爲工作重點，在有限人力、財力、物力條件下，積極將資源作合理分配。

在人員培訓方面，提升工程人員素質是刻不容緩的工作。培訓方法應短期與長期兼顧，赴國外訓練是一種良好的方法，不但可多吸收新知，而且有機會與其他單位作技術交流。本計畫在執行期間，已完成多次出國訪問計畫，但長期人員的培訓仍待辦理。

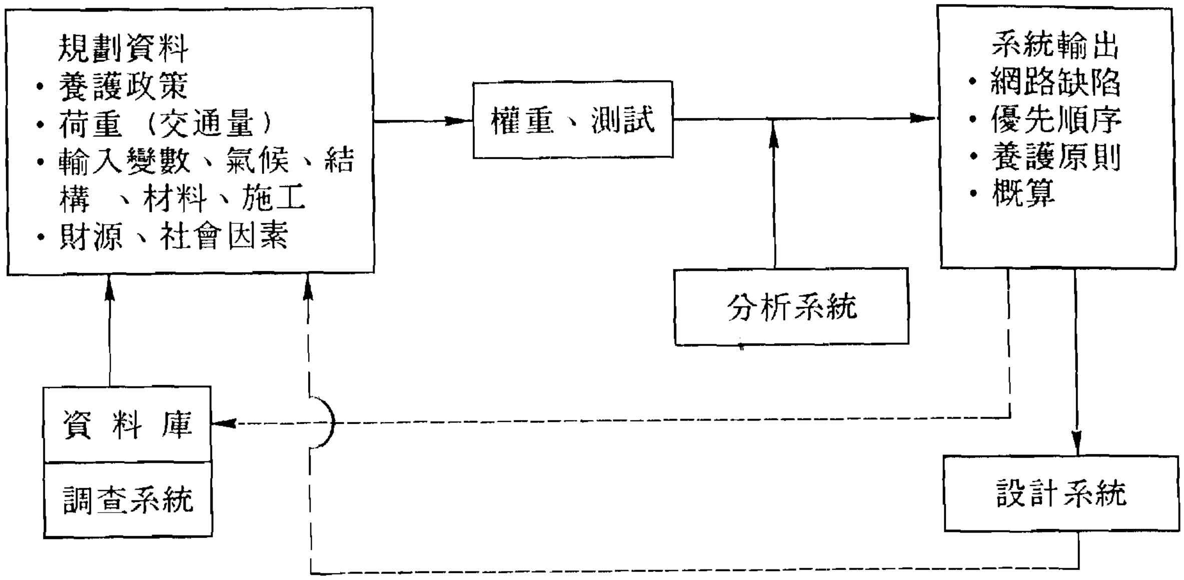


圖 2.1 路面養護規劃系統

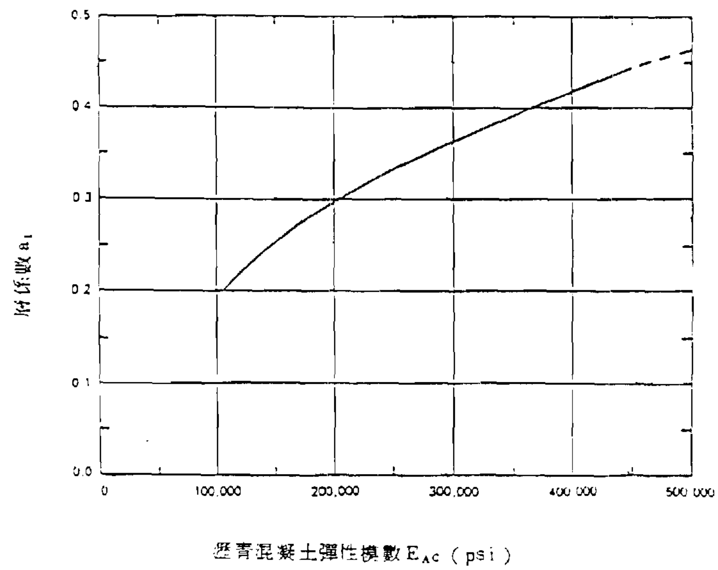


圖 2.2 瀝青混凝土層係數 a 1估計圖

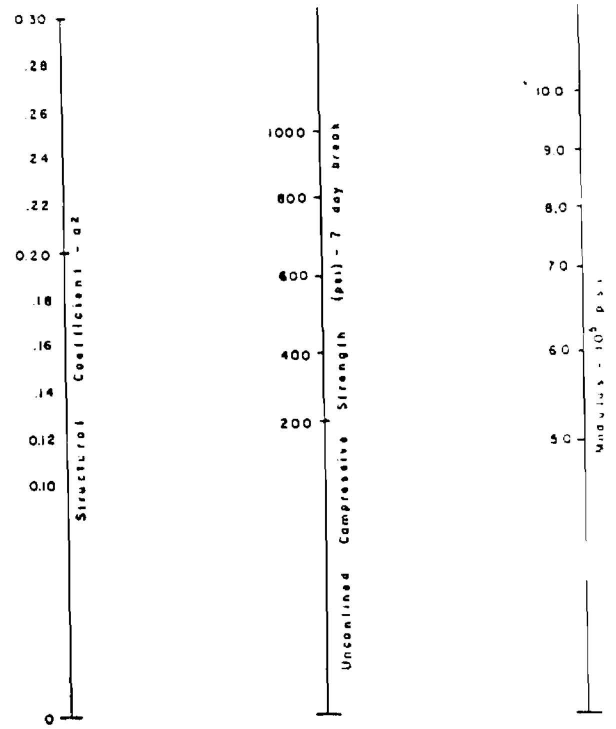


圖 2.3 水泥處理底層係數 a 2與彈性模數、無圍壓縮強度關係圖

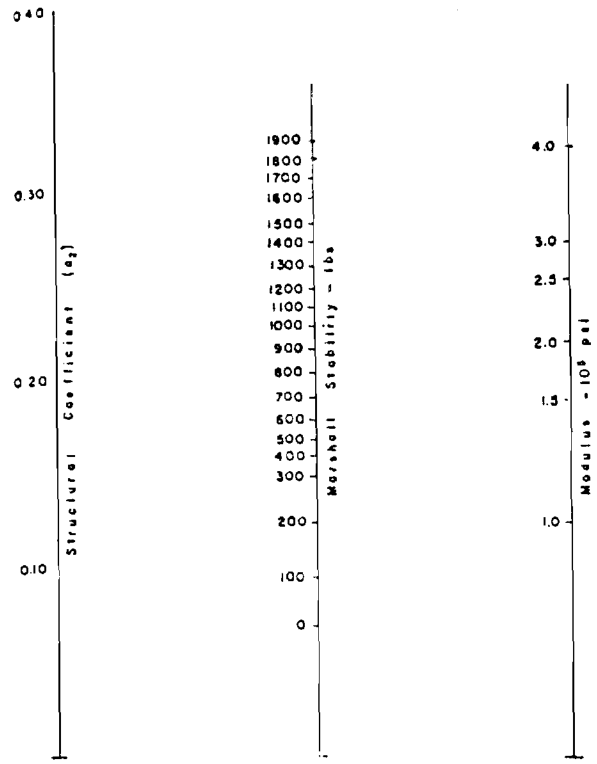


圖 2.4 瀝青處理底層係數 a 2與Marshall穩定值、彈性模數E BS關係圖

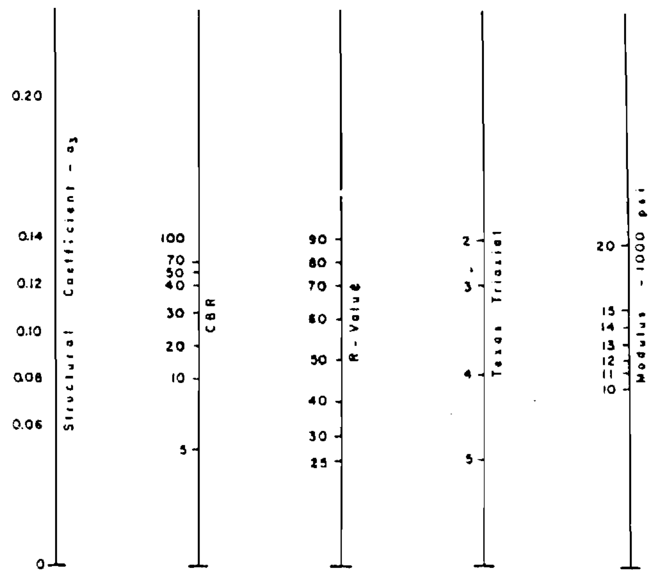


圖 2.5 粒料基層係數 a 3與 CBR等換算圖

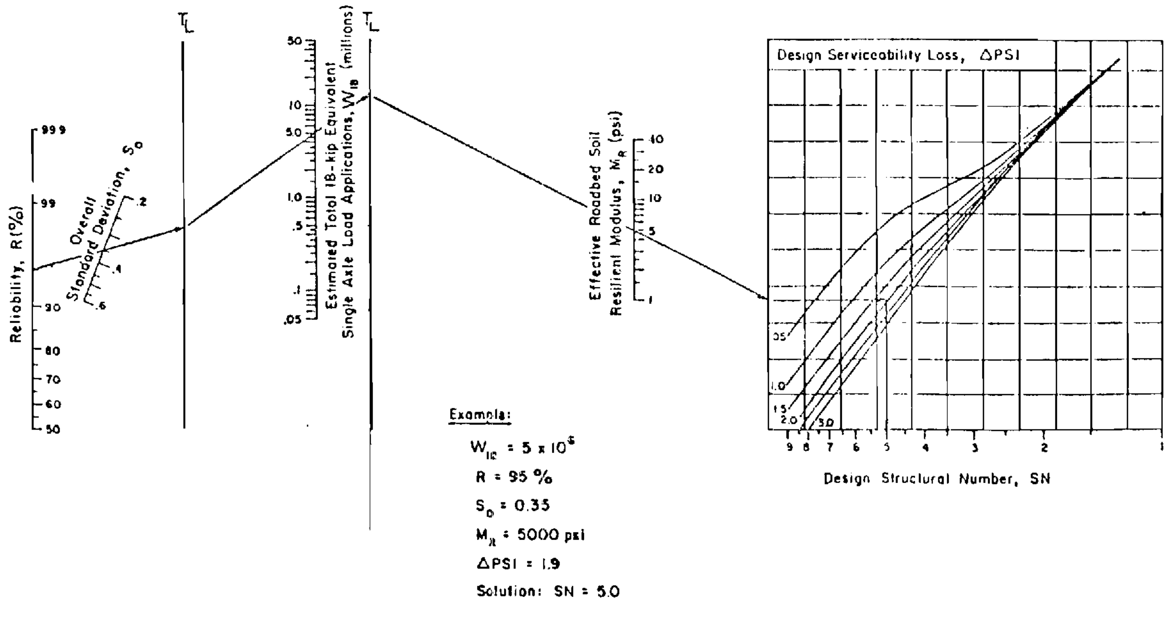


圖 2.6 柔性路面設計圖

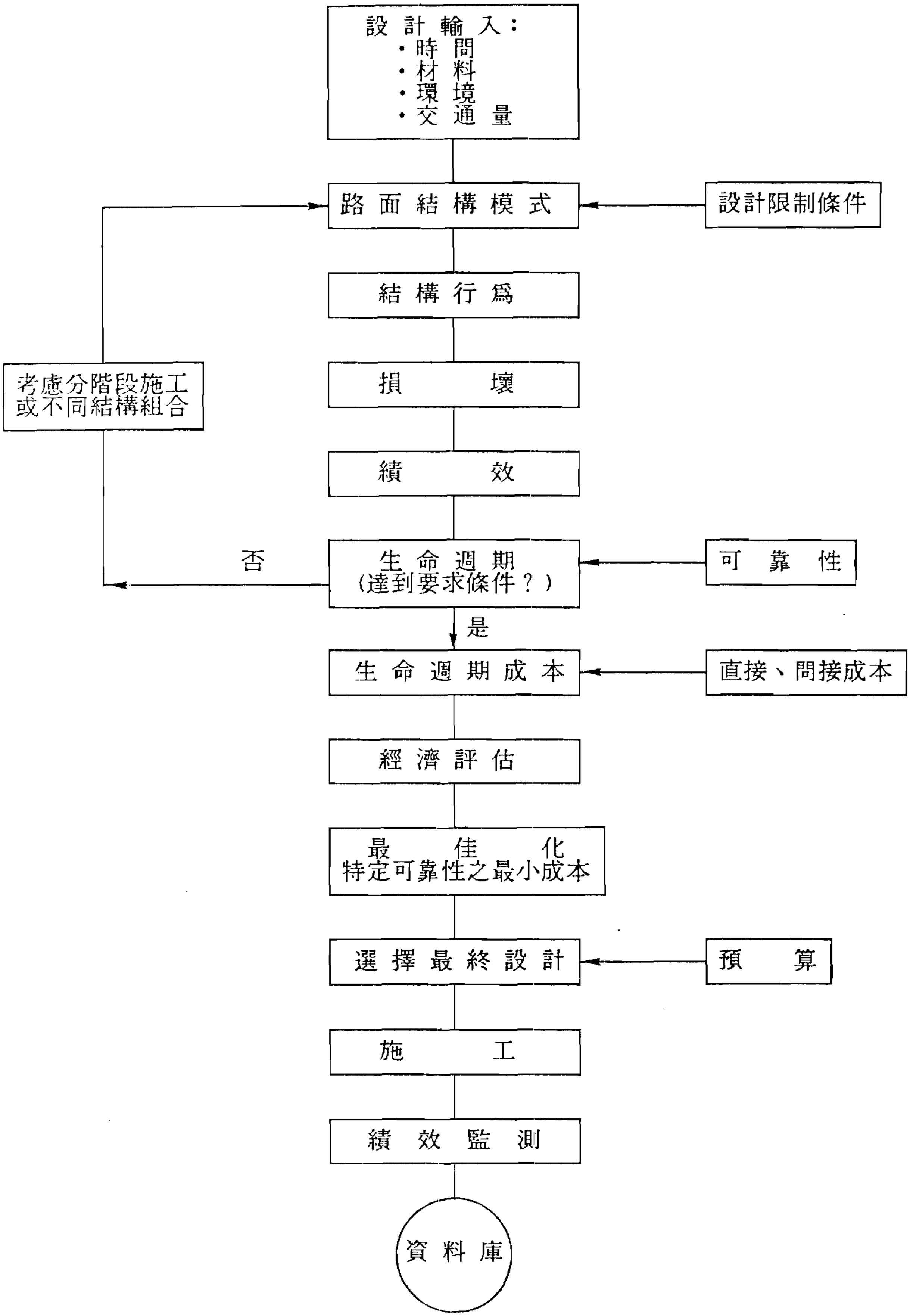


圖 2.7 AASHTO柔性路面設計流程圖

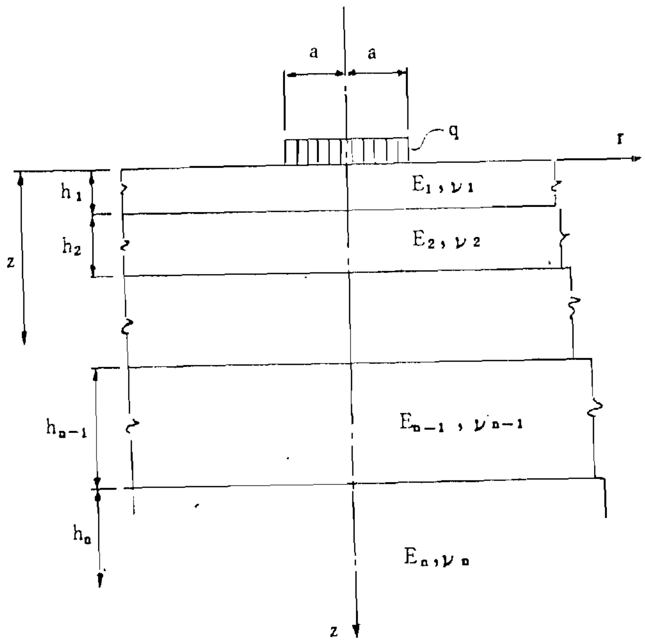


圖 2.8 多層路面系統

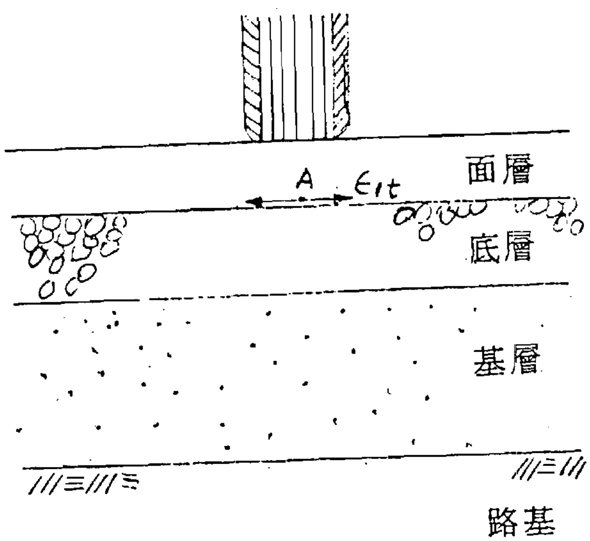


圖 2.9 瀝青路面徑向最大應變值

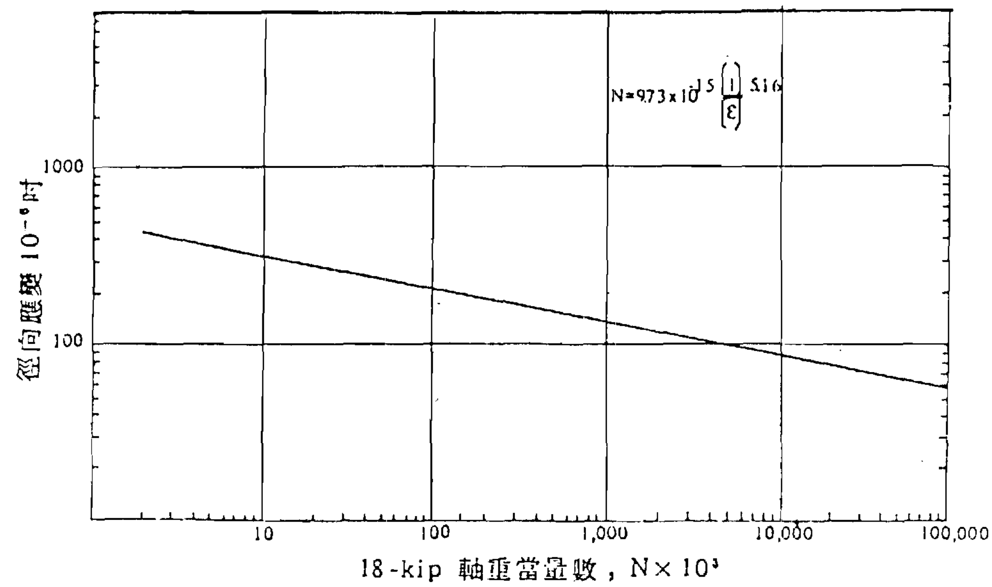


圖 2.10 軸重次數與徑向應變之關係

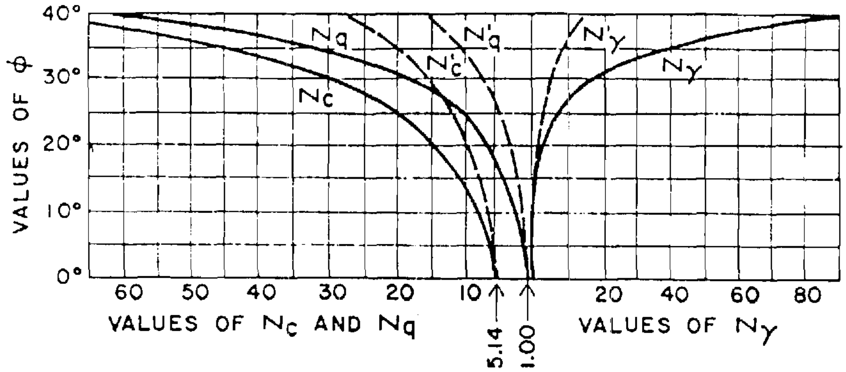


圖 2.11 土壤承載力因子

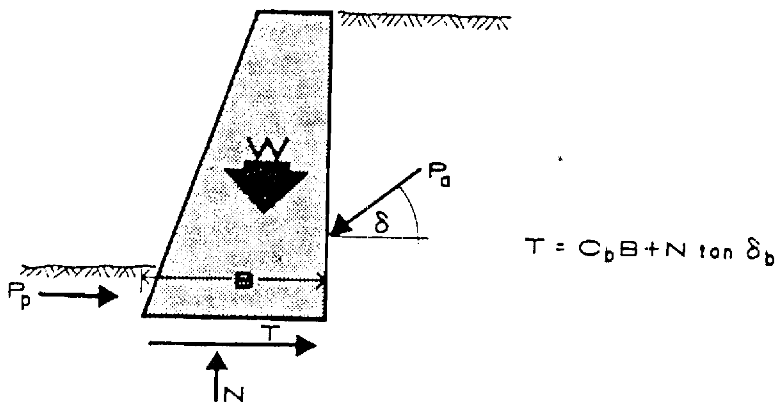


圖 2.12 外部作用力

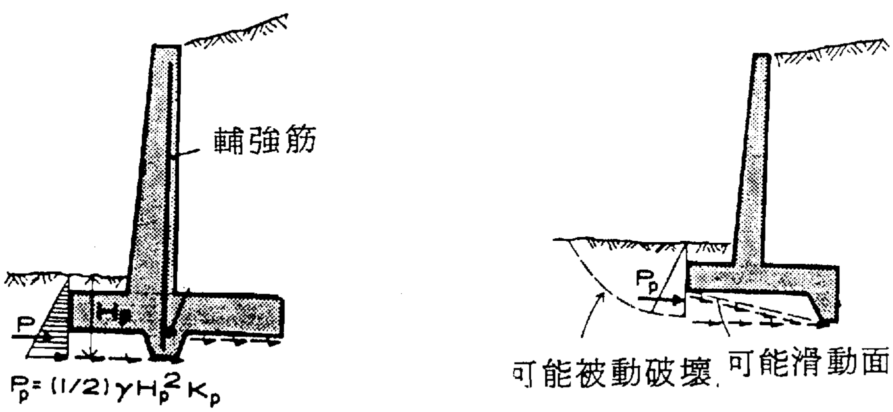


圖 2.13 抗剪榫

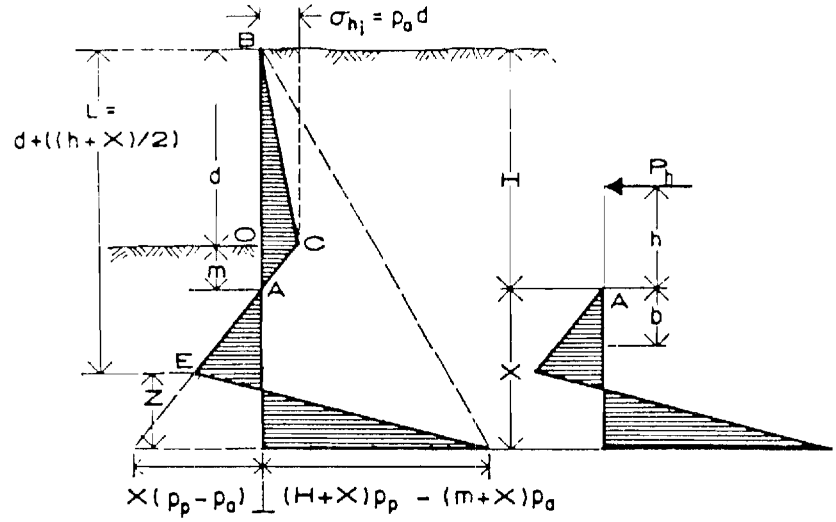


圖 2.14 懸臂式版樁至力分佈

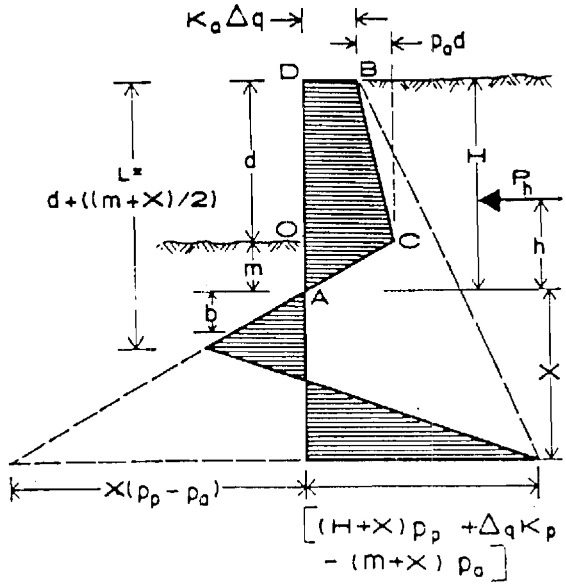
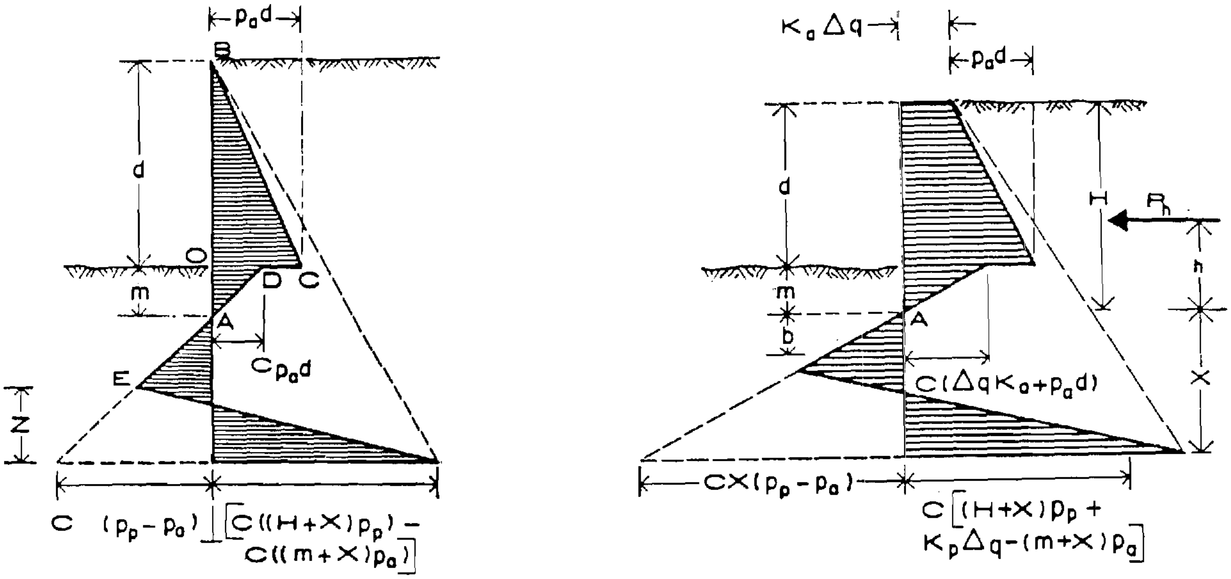


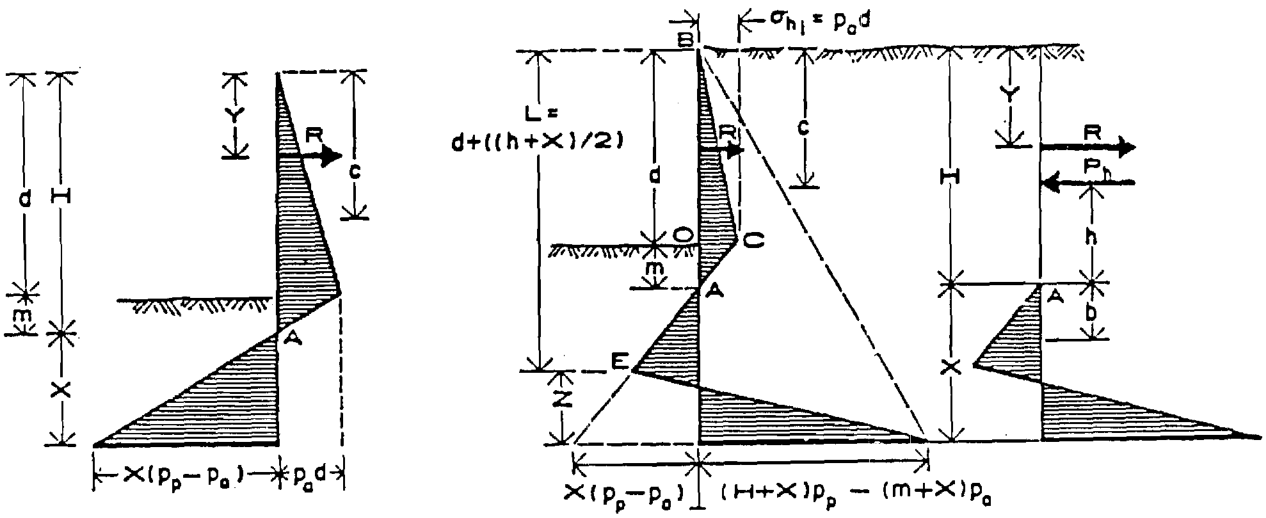
圖 2.15 具均佈超載之懸臂樁版壓力分佈圖



(a)無　超　載

(b)均佈超載

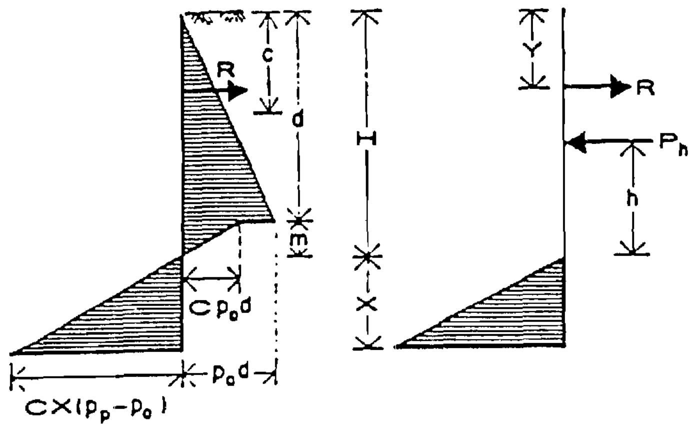
圖 2.16 懸臂式鋼軌樁橫板條擋土牆土壓力分佈



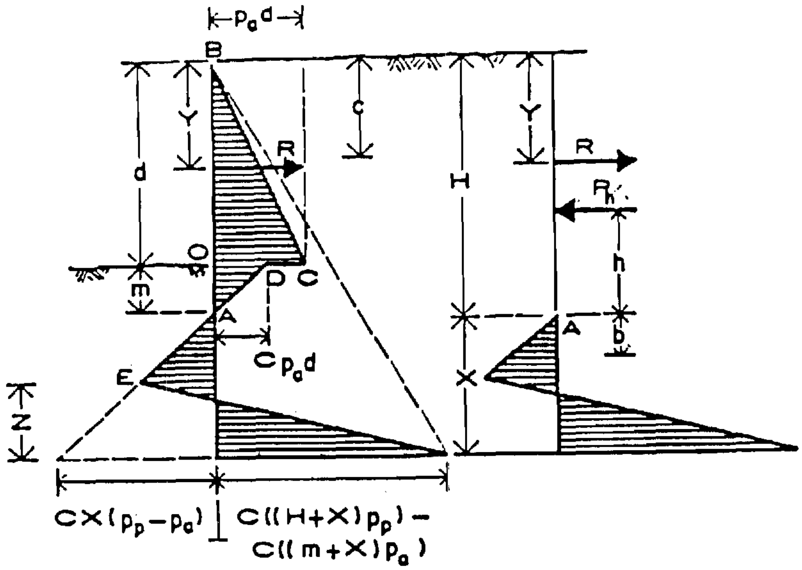
(a)最小埋設深度

(b)大於最小埋設深度

圖 2.17 錨定版樁壓力分佈



(a)最小埋設深度



(b)大於最小埋設深度

圖 2.18 錨定排樁擋土牆壓力分佈

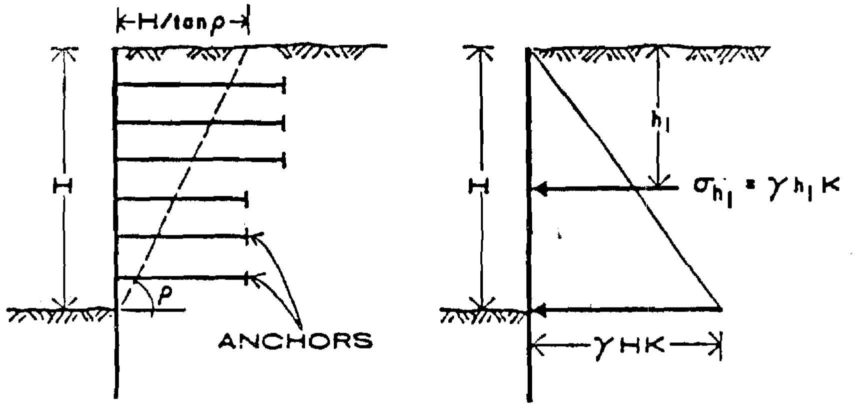


圖 2.19 VCP 及HSP 土壓力分佈

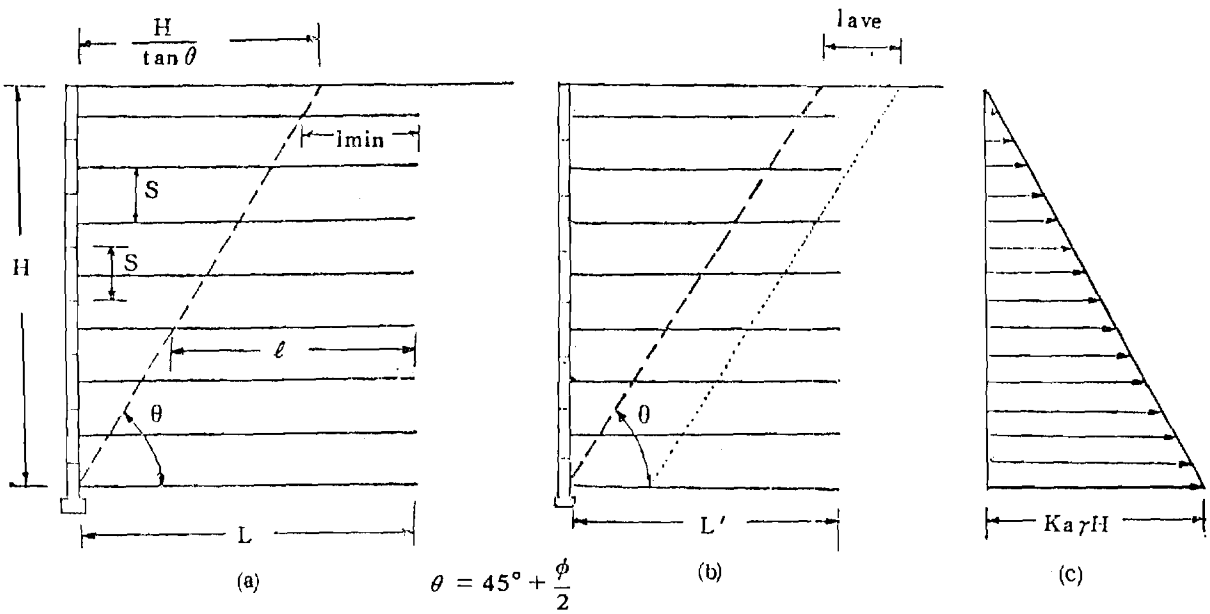


圖 2.20 加勁土壞擋土牆分析

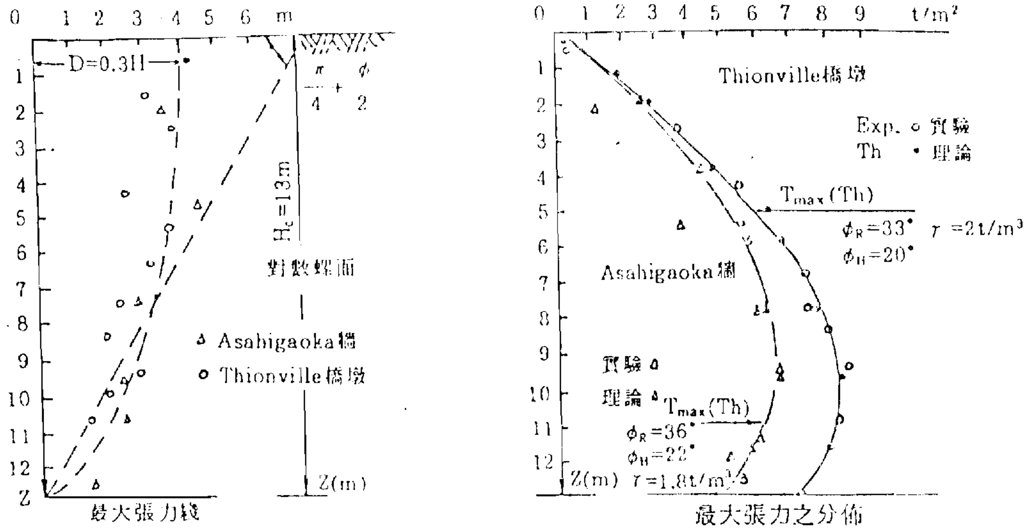


圖 2.21 足尺試驗

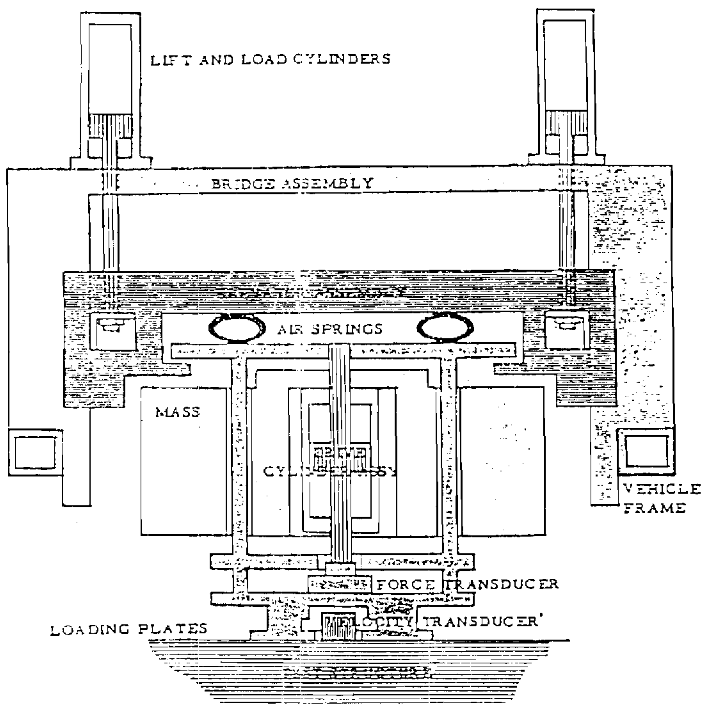


圖 2.22 路面評審儀靜力和動力荷重系統

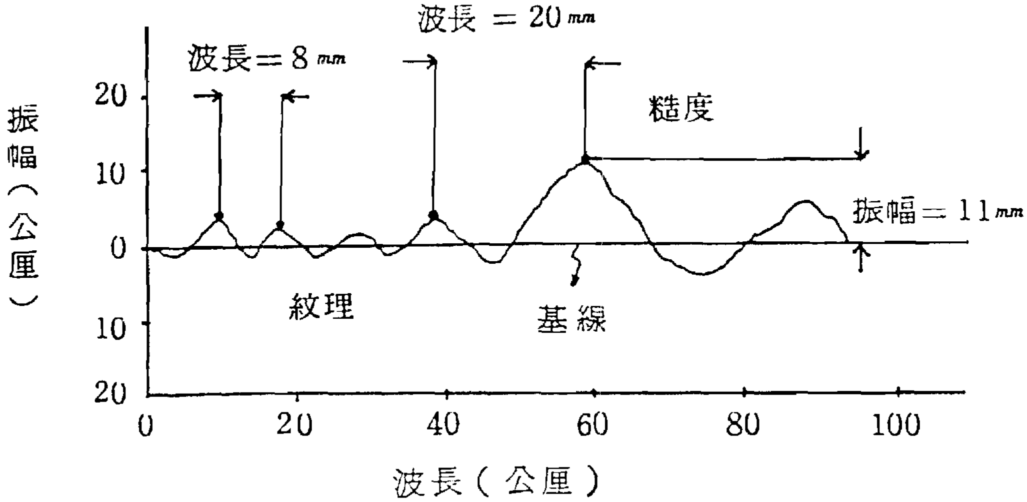


圖 2.25 紋理與糙度

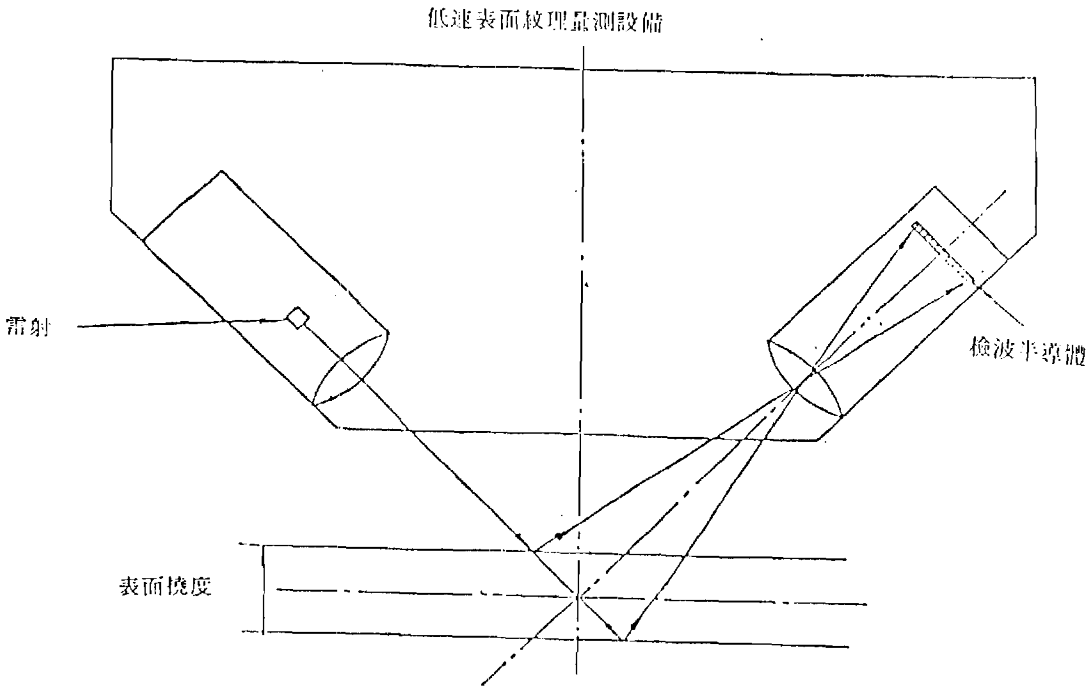


圖 2.26 TRRL小型紋理測量雷射量測原理

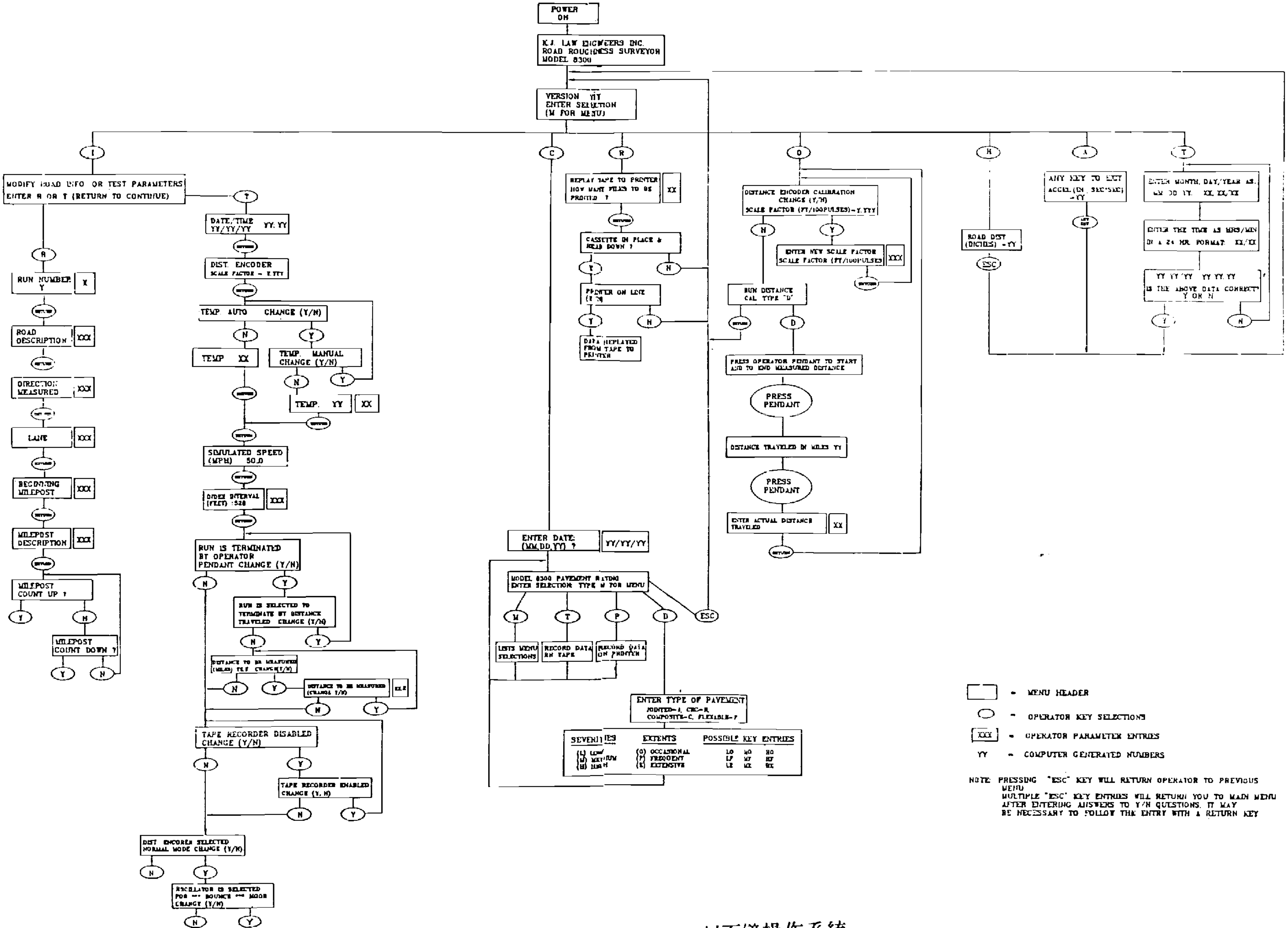


圖 2.27 SDP 剖面儀操作系統

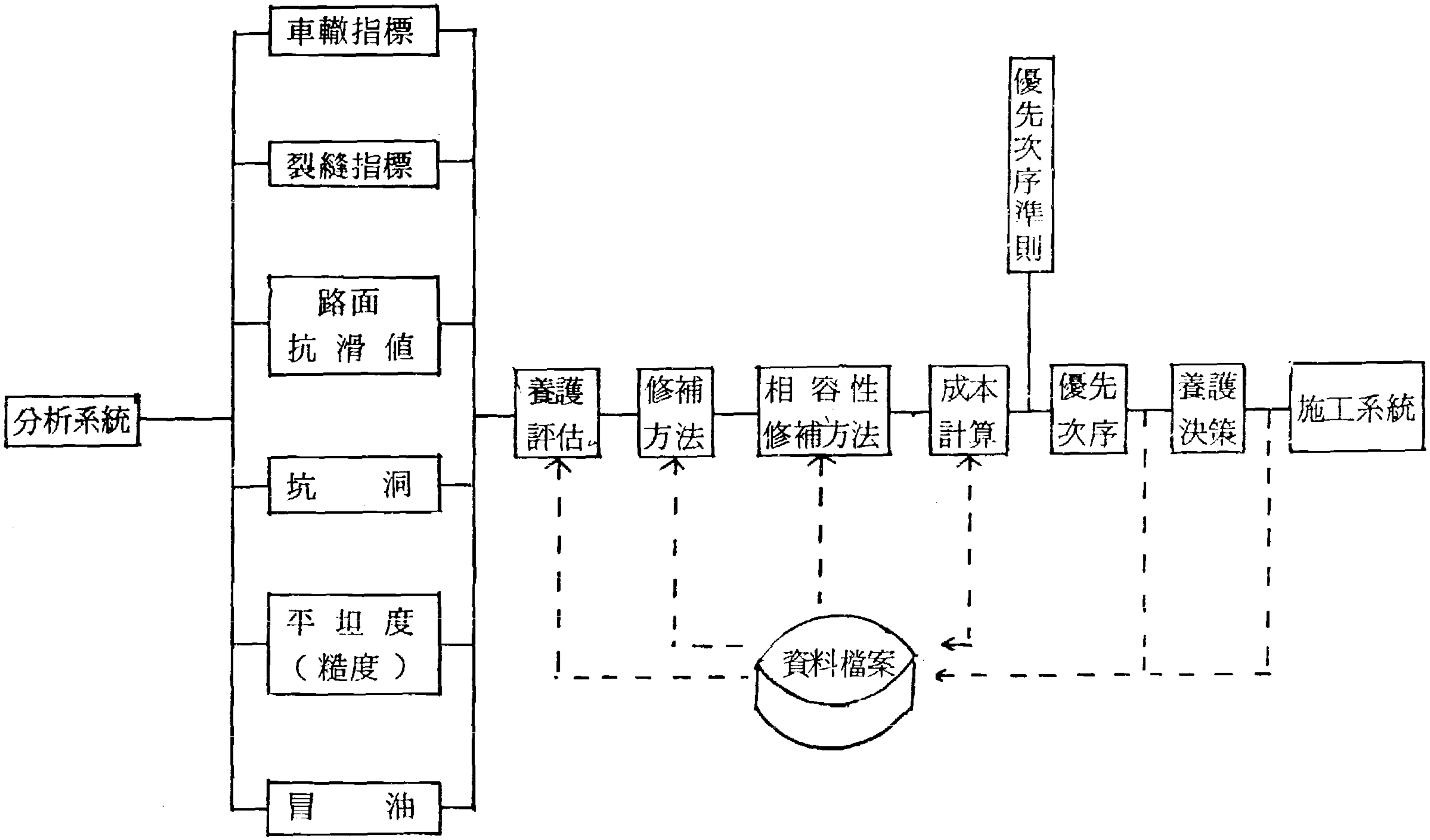


圖 2.28 路面養護方案系統

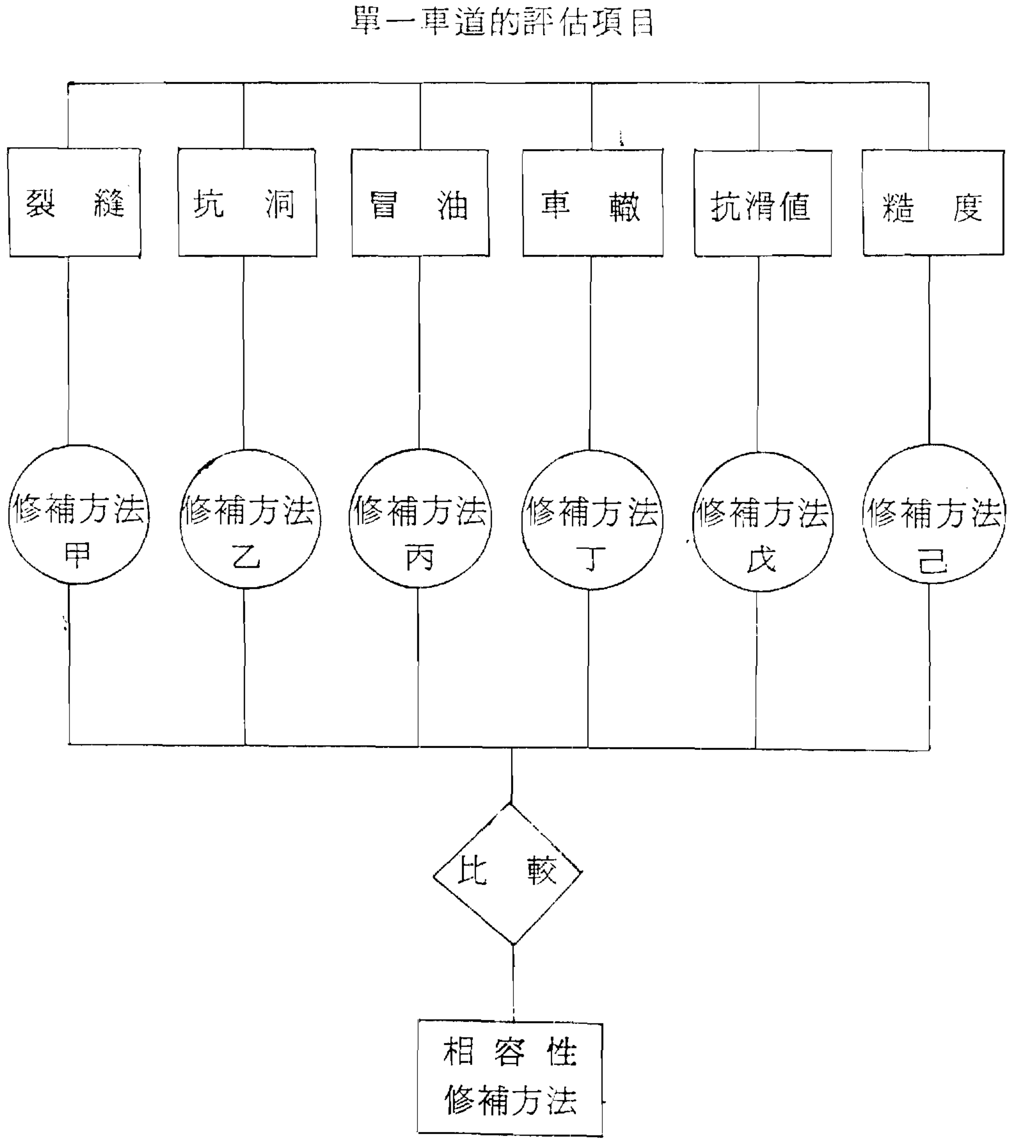


圖 2.29 相容性修補方法評估流程

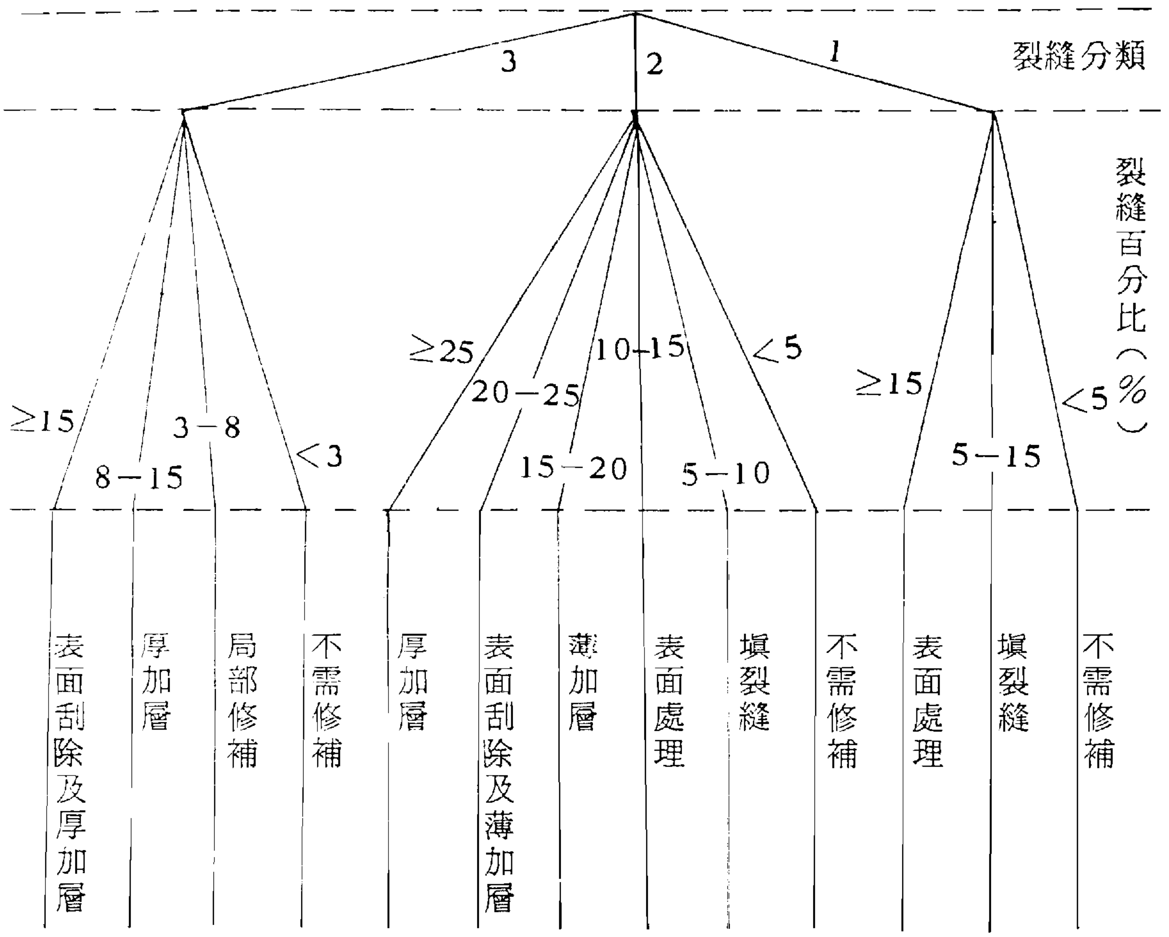


圖 2.30.1 裂縫決定樹形圖

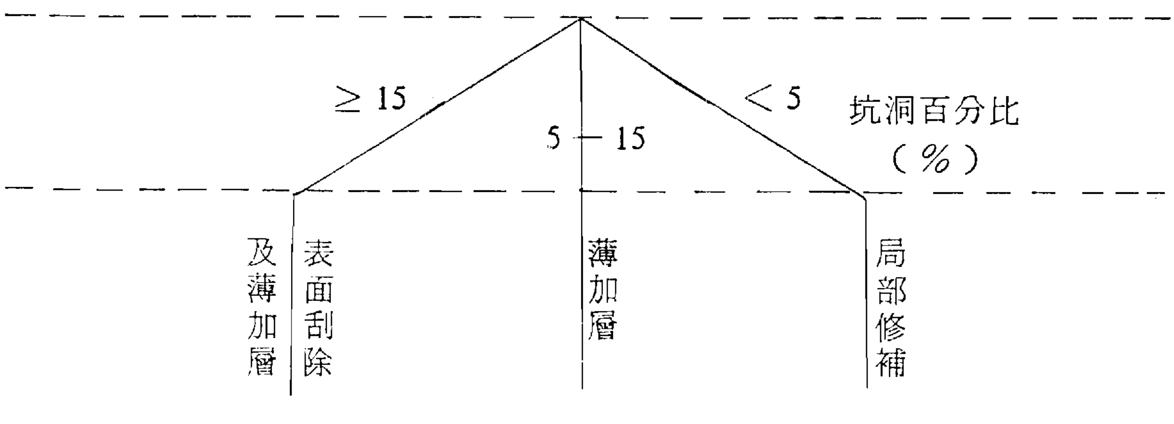


圖 2.30.2 坑洞決定樹形圖

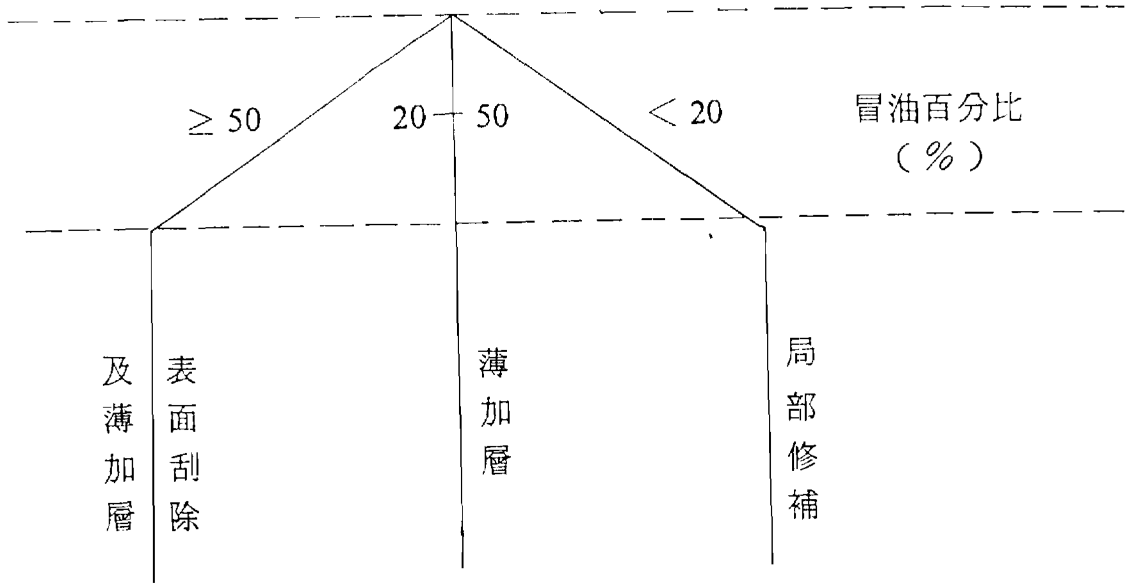


圖 2.30.3 冒油決定樹形圖

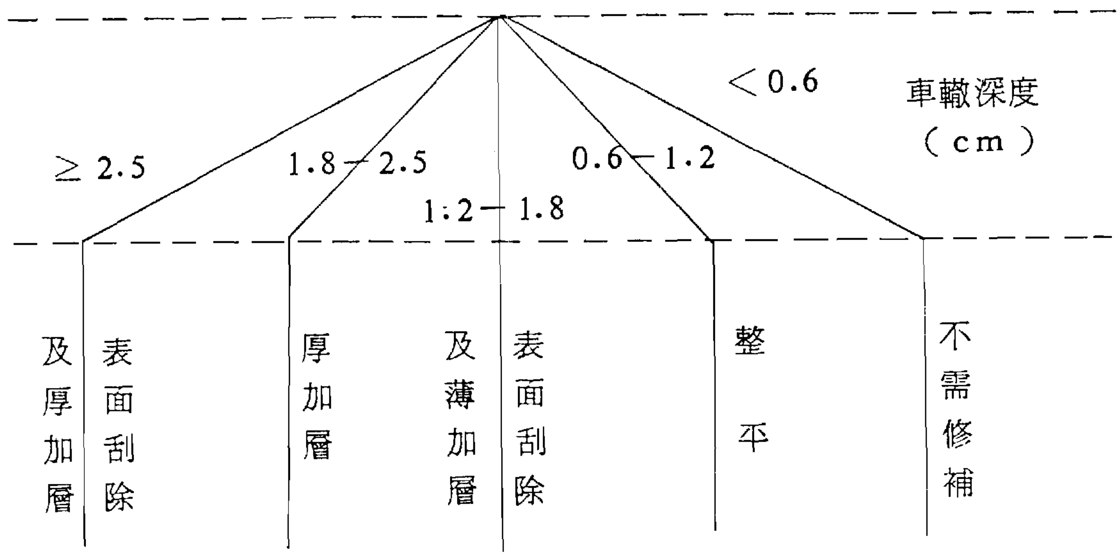


圖 2.30.4 車轍決定樹形圖

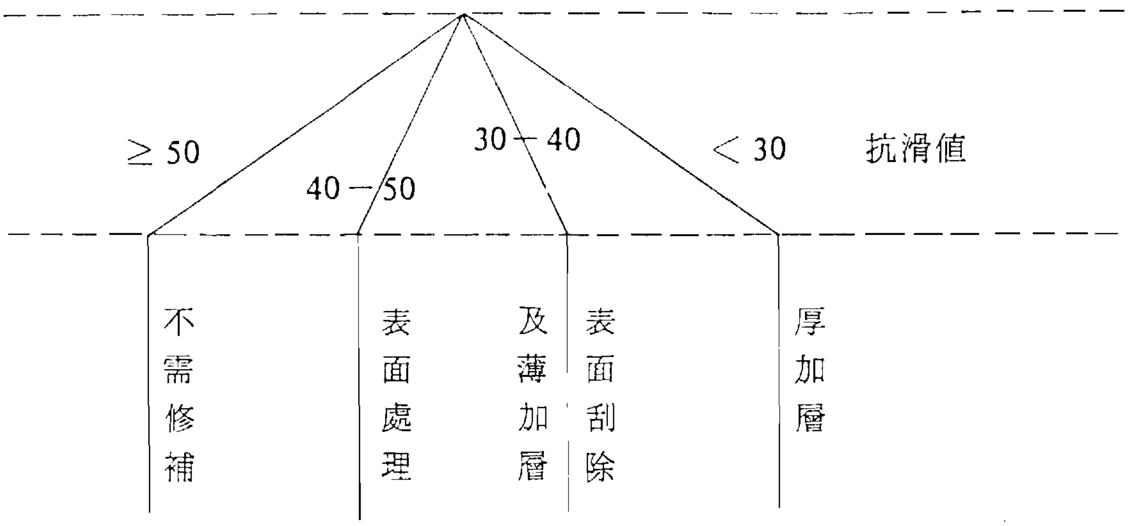


圖 2.30.5 抗滑值決定樹形圖

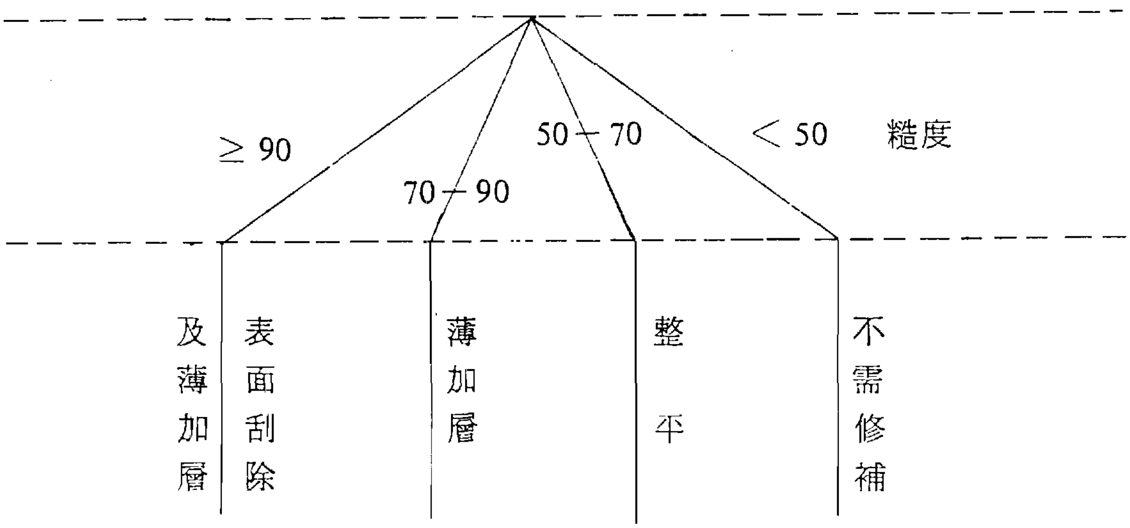


圖 2.30.6 糙度決定樹形圖

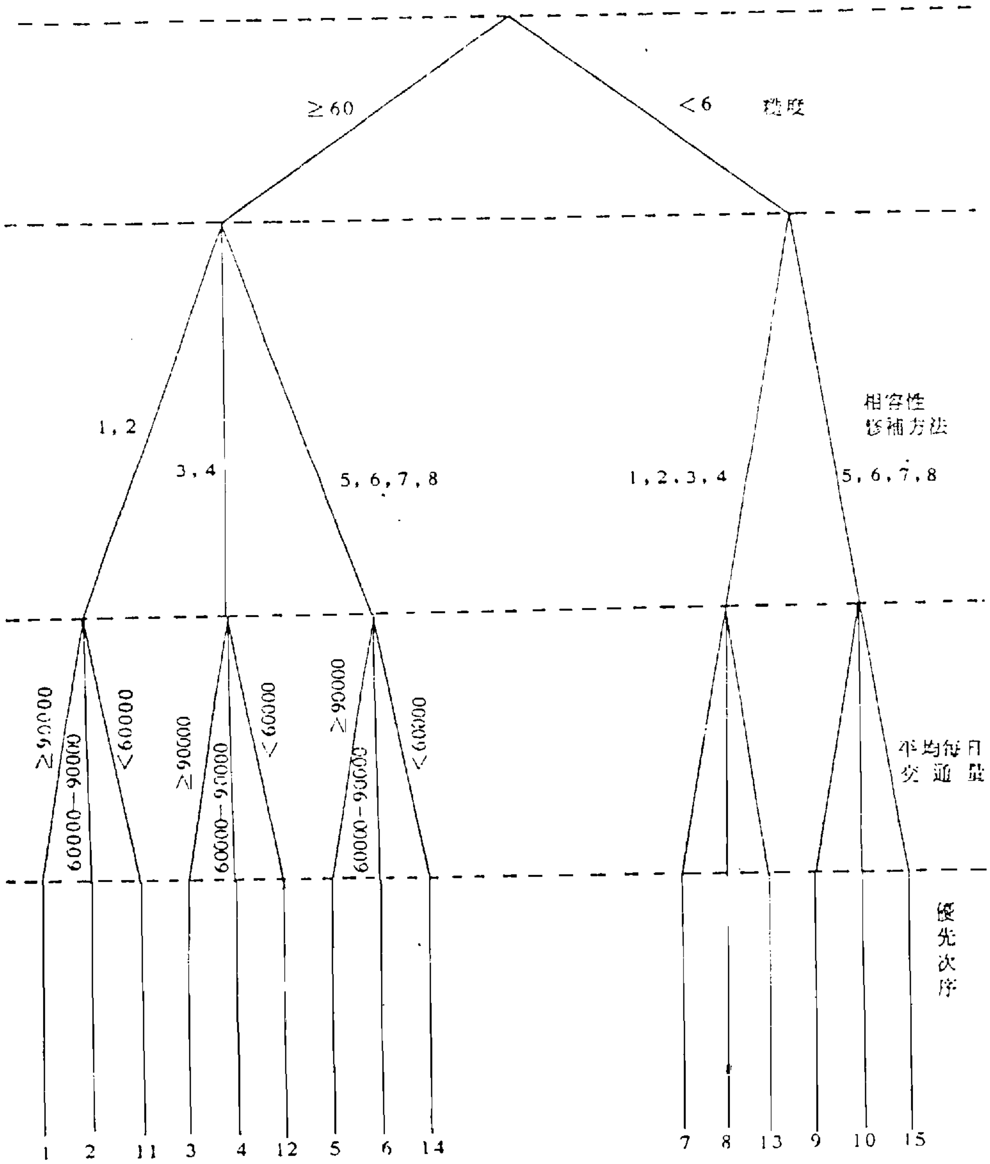


圖 2.31 路段修補優先次序決定樹形圖

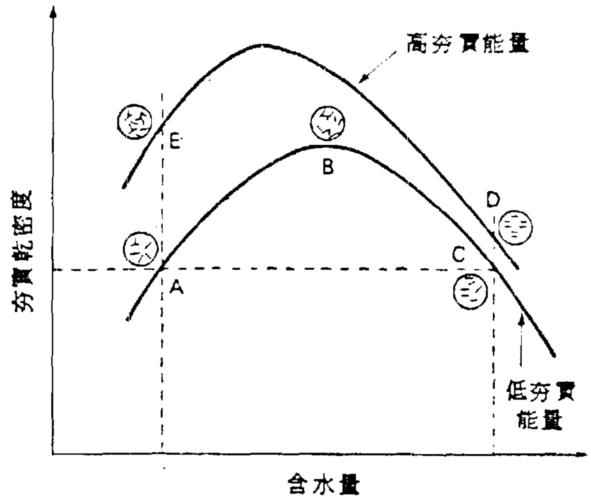


圖 2.32 夯實對土壤結構之影響

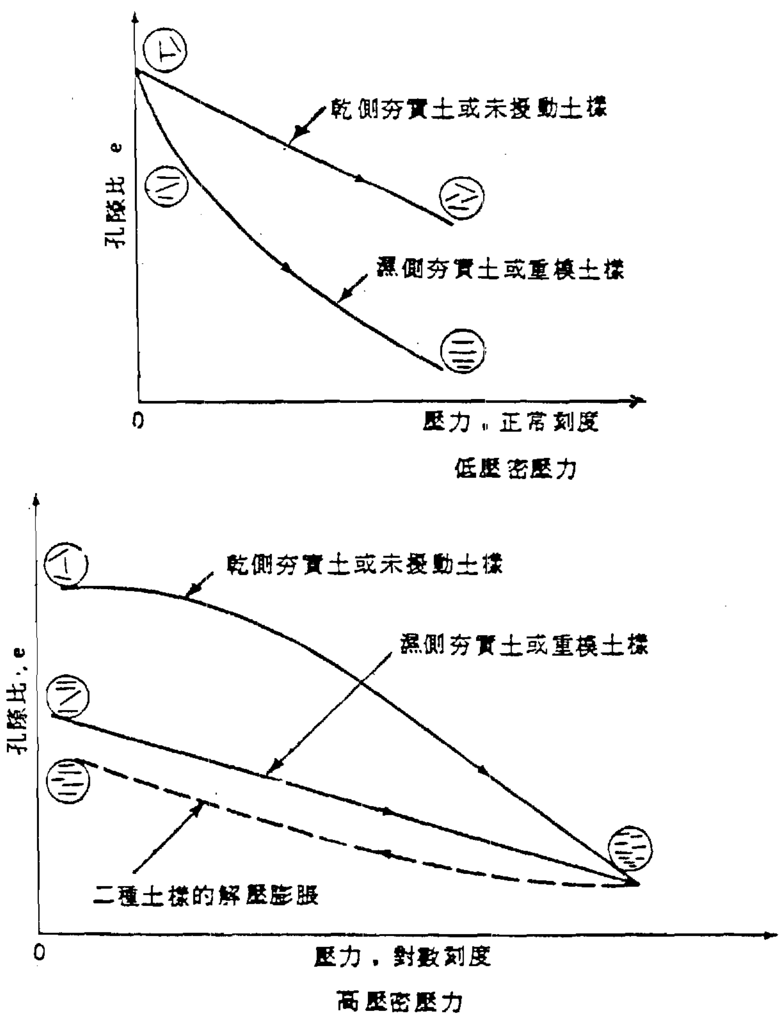


圖 2.33 壓縮性隨含水量的變化

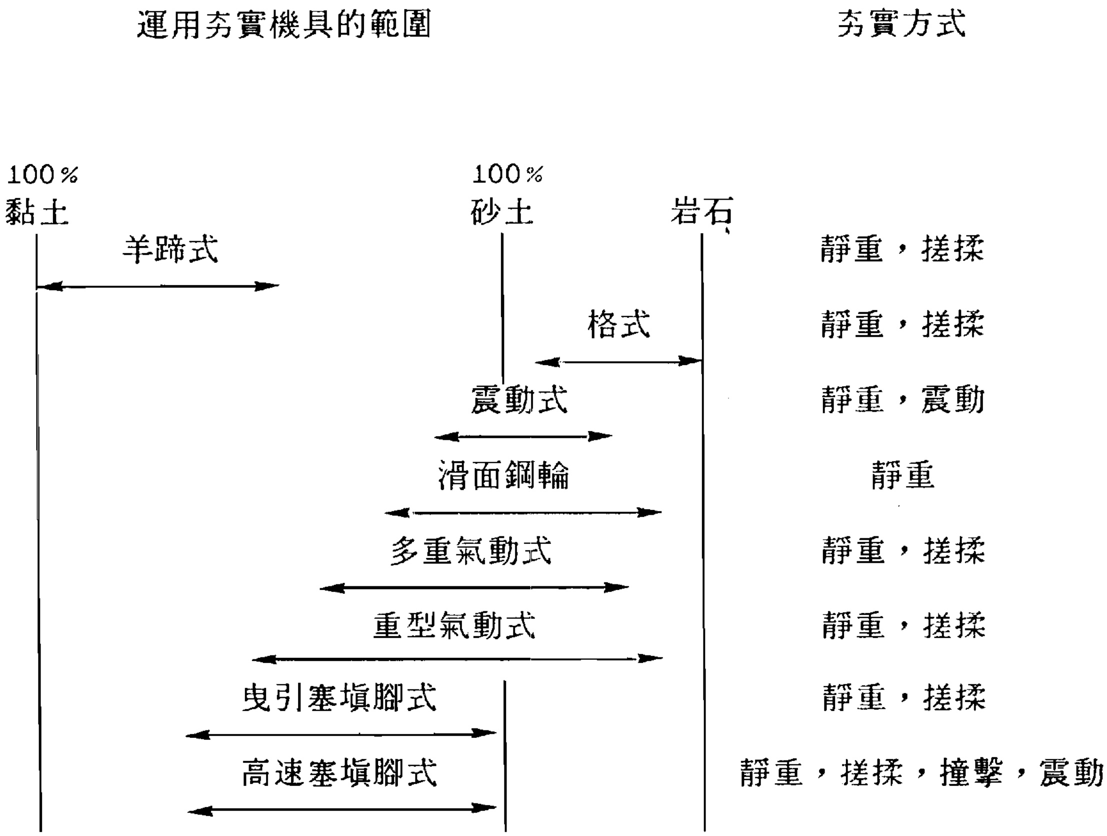


圖 2.34 夯實機具選用指引

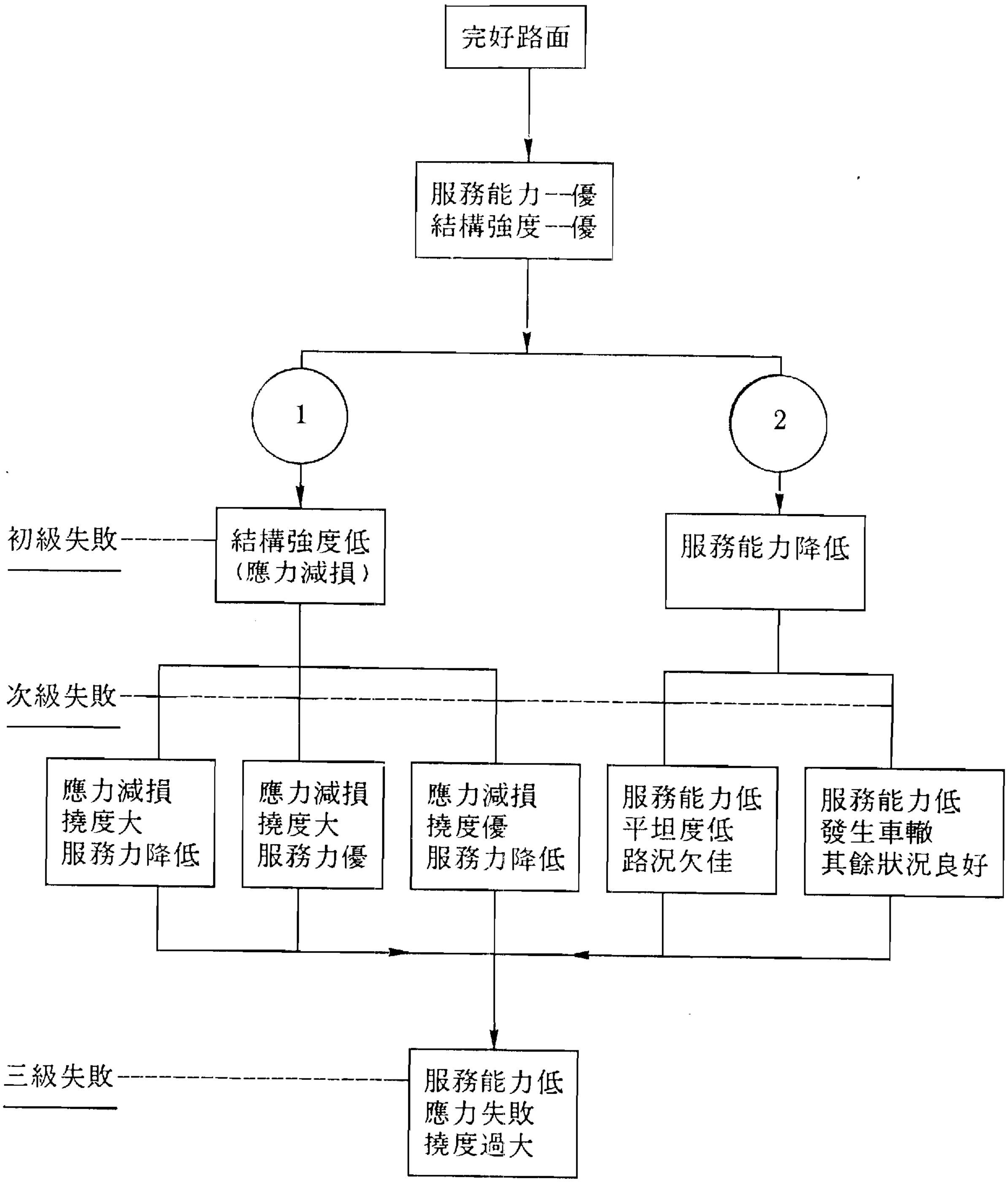


圖 2.35　路面發生損壞流程圖

表 2.1　18K 單軸荷重累積值計算表

Analysis Period = ____________ Years

Location ____________________　　Assumed SN or D = ________

Vehicle Types	Current Traffic (A)	Growth Factors (B)	Design Traffic (C)	E.S.A.L. Factor (D)	Design E.S.A.L. (E)
Passenger Cars Buses					
Panel and Pickup Trucks Other 2-Axle/4-Tire Trucks 2-Axle/6-Tire Trucks 3 or More Axle Trucks All Single Unit Trucks					
3 Axle Tractor Semi-Trailers 4 Axle Tractor Semi-Trailers 5+ Axle Tractor Semi-Trailers All Tractor Semi-Trailers					
5 Axle Double Trailers 6+ Axle Double Trailers All Double Trailer Combos.					
3 Axle Truck-Trailers 4 Axle Truck-Trailers 5+ Axle Truck-Trailers All Truck-Trailer Combos.					
All Vehicles				Design E.S.A.L.	

表 2.2 定點式撓度與溫度調查統計表

年	月	日	時間	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	路面溫度 (℃)	氣 溫 (℃)	氣 候
73	11	26	10:50	1.03	0.72	0.51	0.39	0.27	30.6	全日氣	晴時多雲
			12:10	1.04	0.73	0.51	0.36	0.27	30.2	溫約爲	
			13:20	1.09	0.76	0.53	0.39	0.27	32.6	25.6-	
			14:15	1.07	0.74	0.51	0.39	0.26	30.1	22.3 ℃	
			15:16	1.05	0.74	0.50	0.36	0.26	29.8		
			16:10	1.03	0.73	0.50	0.36	0.26	28.4		
73	11	27	9:35	0.96	0.72	0.51	0.39	0.26	25.0	全日氣	晴時多雲
			10:40	1.03	0.72	0.52	0.39	0.26	27.6	溫約爲	
			11:35	1.07	0.75	0.52	0.39	0.26	29.4	23.2-	
			12:40	1.07	0.76	0.54	0.39	0.28	29.1	21.2 ℃	
			13:40	1.09	0.76	0.53	0.39	0.27	30.0		
			14:35	1.11	0.77	0.53	0.39	0.27	30.1		
			15:10	1.10	0.75	0.52	0.39	0.27	28.9		
			16:26	1.03	0.76	0.52	0.36	0.26	26.7		
74	1	17	9:50	0.81	0.59	0.42	0.31	0.21	23.0	全日氣	晴時多雲
			10:45	0.83	0.61	0.44	0.31	0.21	24.1	溫約爲	
			11:35	0.86	0.62	0.44	0.31	0.21	28.7	20.4-	
			12:45	0.89	0.64	0.44	0.31	0.21	30.6	25.0 ℃	
			13:50	0.92	0.65	0.45	0.31	0.21	30.8		
			14:55	0.95	0.66	0.46	0.31	0.22	31.1		
			15:40	0.93	0.65	0.45	0.31	0.21	30.2		
			16:45	0.94	0.65	0.42	0.31	0.21	27.8		
74	9	18	10:15	1.43	1.09	0.67	0.46	0.32	37.9	全日氣	陰
			11:15	1.47	1.10	0.68	0.46	0.32	38.4	溫約爲	陰
			12:25	1.59	0.99	0.69	0.46	0.32	41.4	31.6-	陰
			13:21	1.58	1.13	0.68	0.45	0.32	38.2	27.8 ℃	陰
			14:16	1.61	1.14	0.69	0.46	0.32	39.7		多雲、陽光
			15:00	1.61	1.13	0.67	0.45	0.32	34.8		陰
			15:20	1.57	1.14	0.67	0.45	0.32	33.1		小雨
			15:50	1.57	1.14	0.67	0.45	0.31	31.3		雨

74	9	19	9:30	1.43	1.06	0.68	0.49	0.32	32.7		晴
			10:30	1.51	1.13	0.70	0.40	0.33	34.5	全日氣	陰
			11:30	1.57	1.16	0.72	0.49	0.36	35.5	溫約爲	陰
			12:30	1.65	1.20	0.73	0.51	0.38	30.9	35.3-	陰
			13:30	1.62	1.17	0.70	0.46	0.33	31.5	30.5 ℃	陰
			14:30	1.60	1.17	0.65	0.46	0.32	31.0		陰
			15:30	1.60	1.14	0.61	0.45	0.32	30.5		陰
75	9	4	10:15	1.30	0.94	0.55	0.38	0.27	47.3	37.0	晴
		(*)	11:20	1.33	0.99	0.57	0.39	0.28	49.9	36.9	
			12:45	1.39	1.02	0.58	0.40	0.29	54.8	35.8	
			14:00	1.53	1.04	0.58	0.39	0.28	51.1	34.4	
			14:55	1.56	1.06	0.59	0.39	0.28	50.1	34.3	
			15:45	1.58	1.07	0.59	0.39	0.28	49.9	34.0	
75	9	5	9:50	1.39	0.98	0.57	0.39	0.27	45.9	35.1	晴
			10:30	1.42	0.99	0.58	0.39	0.27	50.3	34.0	晴
			11:20	1.43	1.00	0.58	0.39	0.27	52.8	36.2	晴
			13:20	1.58	1.08	0.59	0.40	0.29	56.3	37.4	晴
			14:20	1.60	1.10	0.59	0.41	0.30	56.7	37.3	多雲
			15:00	1.59	1.06	0.56	0.38	0.27	51.0	34.9	雨
75	11	7	10:00	0.91	0.77	0.51	0.36	0.26	33.1	30.0	晴
			11:00	0.92	0.76	0.52	0.37	0.27	35.6	30.7	晴
			12:00	0.93	0.77	0.52	0.37	0.27	39.6	30.5	晴
			13:40	0.93	0.77	0.51	0.37	0.27	42.2	31.2	晴
			14:10	0.92	0.76	0.52	0.37	0.28	38.8	31.7	晴
			15:20	0.96	0.79	0.52	0.37	0.27	35.2	30.8	晴
75	11	11	10:07	0.96	0.76	0.51	0.37	0.26	33.6	30.5	晴
			11:10	1.01	0.80	0.52	0.37	0.26	36.7	28.6	晴
			13:27	1.10	0.85	0.53	0.38	0.27	37.1	30.6	多雲
			14:40	1.13	0.85	0.53	0.37	0.26	35.4	27.7	陰
			15:25	1.11	0.86	0.53	0.37	0.26	33.5	26.4	陰
75	12	31	10:00	0.91	0.74	0.51	0.37	0.26	27.8	25.0	
			11:00	0.92	0.75	0.51	0.36	0.25	28.7	26.5	
			12:00	0.99	0.78	0.54	0.38	0.27	38.2	29.7	
			13:20	0.98	0.79	0.54	0.38	0.27	35.4	28.2	
			14:10	1.03	0.81	0.53	0.38	0.26	35.0	27.3	
			15:04	1.07	0.81	0.53	0.38	0.26	32.4	26.2	

76	2	5	10:10	0.79	0.67	0.48	0.36	0.26	24.6	21.6	
		(**)	12:05	0.89	0.74	0.51	0.37	0.26	30.5	23.3	
			13:35	0.97	0.78	0.53	0.38	0.26	28.2	22.6	
			14:45	0.95	0.78	0.53	0.38	0.26	27.6	21.3	
			15:10	0.95	0.75	0.50	0.37	0.25	27.2	21.0	
76	7	22	10:30	1.27	0.96	0.60	0.38	0.27	42.2		晴
		(#)	11:40	1.27	0.94	0.58	0.39	0.26	43.0		
			13:20	1.52	1.06	0.61	0.40	0.26	44.7	全日氣	
			14:15	1.51	1.06	0.60	0.39	0.26	45.9	溫約爲	
			15:20	1.51	1.08	0.60	0.40	0.26	46.2	32.5-	
			15:45	1.51	1.07	0.60	0.39	0.26	46.0	35.5 ℃	
76	9	14	10:35	1.32	1.00	0.61	0.42	0.28	49.4	全日氣	晴
			11:40	1.30	0.99	0.61	0.41	0.27	49.6	溫約爲	
			13:05	1.58	1.11	0.62	0.40	0.27	50.1	32.8-	
			14:10	1.56	1.12	0.62	0.40	0.27	49.0	29.5 ℃	
			15:05	1.56	1.11	0.61	0.39	0.26	48.6		
76	12	11	10:00	0.79	0.66	0.47	0.35	0.25	21.0	全日氣	陰時晴
		(#)	11:00	0.78	0.65	0.46	0.34	0.24	22.0	溫約爲	
			12:00	0.93	0.74	0.50	0.36	0.26	23.0	19-23℃	
			13:00	0.91	0.74	0.50	0.36	0.25	25.0		
			14:00	0.86	0.69	0.47	0.35	0.24	27.0		
			15:00	0.87	0.69	0.48	0.35	0.25	29.0		
77	1	25	10:30	0.90	0.66	0.46	0.34	0.25	25.0		多雲時晴
			11:30	0.91	0.66	0.46	0.34	0.26	26.0		
			13:00	0.91	0.70	0.48	0.35	0.26	28.0		
			14:00	0.96	0.72	0.50	0.36	0.27	29.0		
			15:00	0.96	0.72	0.51	0.37	0.27	30.0		

* 加鋪後第一次測試

** 寒流過後

\# 測試前下雨OG有水

表 2.3 法國路面紋理對各種路面之建議

路面種類	以細砂舖填測得之紋理（mm）	路面評估
A	TD ≤ 0.2	此種路面太平滑，需予以改善。
B	0.2 < TD ≤ 0.4	此種路面之行車速率不能超過 80 KPH，較適用於都市中之道路。
C	0.4 < TD ≤ 0.8	此種紋理狀態適合一般道路之使用，以法國道路車流速度而言，此種紋理狀態之路面其行車速率是在 80 ～ 120 KPH。
D	0.8 < TD ≤ 1.2	此種路面紋理狀態適合於行車速率高於 120 KPH的路面。
E	TD > 1.2	適用於特別路段，如經常性結冰或容易凝結空氣中濕氣的路面，或高速行車的危險路段。

第三章　研究計畫之執行與運用

本研究計畫的執行，不論在程序上以及內容上，一方面爲配合中山高速公路整修計畫的推動，以期將研究計畫的結果能實際地應用到整修計畫上，以提昇中山高速公路整修的實效；另一重點是要使研究計畫的結果，能切實應用於國內的工程環境，以達到由國外引進工程技術在國內落實的成效。同時本研究計畫的初步成果，也借著實際應用到中山高速公路的整修工程上，由實際的結果來印証使用的功效，並做爲改進的參考。因此本研究計畫的執行，不論在實際的應用成效上；以及在高速公路整修的可用性上，都得到相當的肯定。本章將就本研究計畫的執行與運用加以說明。

3.1 研究計畫執行方式

本研究計畫的執行在方式上，與一般傳統式委託研究計畫的執行略有不同。一般研究計畫的執行，都是由受委託單位單方面進行研究，然後在計畫告一段落後提出書面成果報告。本研究計畫的執行，除了包括這一傳統式的研究執行方式外，另外並針對此研究計畫的目的及其特殊性質而採取其他的執行方式，包括講習會，實際應用及工地觀測及討論。這一種綜合性的執行方式，對於具有實用性的工程研究計畫更能收到實質上的效果。以下就這一研究計畫的執行方式說明如下：

(1) 書面成果報告：本研究計畫書面成果報告內容是由台灣大學土木研究所、中興大學土木系（第二期）及美國喬治亞理工學院土木學系合作共同進行研究發展的結果，研究結果除了在第一期兩次期中報告及第一期計畫期末報告，第二期兩次期中報告提出外，由於本研究計畫的執行爲期長達五年之久，而研究結果包含很廣泛，爲了對本研究計畫的結果有一

完整的交待，在本冊報告第二章對本研究計畫之研究結果做一綜合的摘要報告，詳細內容則分別在附錄第一集至第七集共17冊分別提出。

(2) 舉辦講習研討會：本研究計畫進行期間每隔3至6個月，主持人之一賴森榮教授主持研究檢討工作，並舉辦講習研討會。講習研討會參加人員，包括高速公路局路面小組成員、工程處及工務段工程人員，由研究計畫主持人及研究員就正在進行中及已完成的研究結果提出報告與說明。另外對實際應用的可能性以及工地實際應用的效果，提出和出席講習會的人員共同討論。講習研討會在本研究計畫進行期間共舉辦九次。每次講習爲期兩天。

(3) 研究結果實際應用於路面整修作業上：在研究計畫進行中不斷和高速公路局磋商各項研究初步結果，配合中山高速公路整修工程計畫，實際應用各項結果於路面養護整修作業上，使中山高速公路整修，能實質上收到研究計畫所得到的效益。自民國七十二年本研究計畫開始不久起，工地的實際應用即已開始執行。

(4) 工地觀測及討論：本研究計畫進行期間，高速公路局路面小組主持人、小組成員和研究計畫主持人及研究成員等，實際到中山高速公路各路段上進行觀測，對路面所產生破壞原因，可能處理方法，以及對上述(3)項內研究結果實際應用在工地現場施工作業、施工後的效果等，在現場以及在工程處及工務段內，和經辦該工程的人員進行討論及交換意見，這類現場觀測及討論工作，在本研究計畫進行期間共有十次，每次大約是三天時間，行程視實際情況有所不同，一般多包括北、中、南三個工程處的轄區。

由以上的執行方式，在爲期五年的研究計畫執行中，參與研究計畫的各單位間有著密切的合作，尤其是高速公路局爲這一計畫特別成立路面小組，配合執行此研究計畫有關實務應用的工作，使得這研究計畫在執行期間即已收到實質上的功效，而其對國外工程技術的轉移到國內，對工程人員的培訓，以及對高速公路工程技術的提昇等，長期效益上有很大的收獲。

3.2 研究計畫實際運用及成效

研究計畫的各項結果，已實際運用到中山高速公路整修工程及養護管理作業的項目，其運用情形及成效，分別加以說明如下：

3.2.1 路面養護管理系統電腦化

本研究計畫所發展之高速公路路面養護管理系統如圖3.1 所示，所涵蓋的項目很廣，而在此養護管理系統下各系統所須收集有關路面調查資料的數值建檔與分析以及其他分析、評審、養護規劃及設計等相關系統均建立有IBM 相容性個人電腦軟體，這些電腦軟體包括有：

一. 調查系統：PAVMAS

二. 分析系統：ELSYM5
RESMOD
DAMA
ILLIPAV
PCSTABL5

三. 評審系統：PAVMAS
FPMS

四. 養護系統：FPMS

五. 設計系統：AASHTO（1972柔性路面）
AASHTO（1986柔性路面，又稱DNPS86）
AASHTO（1972剛性路面）
PCAPAV

此外NLAYER程式可用來做柔性路面結構分析之用，INVERSE 程式可利用已知柔性路面結構及所測得撓度值反求各層材料性質，但因這兩程式計算需要較的多位元數，故均祗能在大型電腦主機上執行，惟已可用

個人電腦做此兩程式之輸入／輸出(I/O) 工作。

以上電腦軟體在開發完成後，均已先後轉交給高速公路局，這些電腦軟體依其使用功能，在高公局養護管理作業上在工務段、工程處、以及局本部已大部份加以應用。有些電腦軟體更經由高速公路局路面小組加以修改，以便更能符合實際之用。其中分析系統及設計系統內的一些電腦軟體，均已直接的應用到路面分析以及設計上。調查系統及評審系統的 PAVMAS 電腦軟體已經應用到中山高速公路上，對各路段的路面結構強度及服務功能調查建立資料檔案，評審系統及養護系統的FPMS電腦軟體，已經可以在中山高速公路局的電腦上運用，並且已經初步可以做爲建立養護決策之用。有關如何能更進一步將電腦軟體加以有效運用，在第3.3 節中，將提出說明。

3.2.2 路面調查及評審系統的建立與運用

路面調查的功能爲就現有道路路面結構及使用情形，以各種儀器及目測做定期、定點或不定點的量測與判斷，調查所得資料以有系統的方法加以整理分析，經由評審的結果以做爲現有路面養護整修之依據。在本報告第2.2 節及附錄第二集及第五集中有詳細的說明。

有關路面調查作業，包括與結構強度及服務功能有關之調查項目如下：

(I) 與路面結構強度有關之調查

1.路面各層厚度調查

2.路面撓度調查

3.路面損壞調查：包括裂縫、車轍、粒料分離、冒油

4.路面各層材料性質調查

5.環境資料調查：包括氣溫、雨量等

(II)與路面服務功能有關之調查

1.路面糙度（平坦度）

2.路面抗滑

3.交通軸重

量測以上各項資料所須的特殊儀器，大都在本計畫執行期間經本研究計畫建議先後加以購置，並交由專門小組操作。以上各項路面調查作業，在中山高速公路全程均已做到在定期（約每6個月），定點進行資料的收集，收集的資料並經PAVMAS電腦程式輸入電腦建立資料檔，以備隨時加以應用。

有關路面評審作業包括有：

・路面動力撓度值的溫度校正。

・路面撓度值指標、糙度指標、抗滑指標的建立。

撓度值的溫度校正在本研究計畫執行期間，已初步完成溫度校正的建立。此溫度校正關係並已由高公局路面小組將其建立電腦程式，以便能自動將輸入路面撓度值，依量測時溫度而自動加以校正，成為標準溫度下的路面撓度值。有關溫度校正關係曲線的建立，在附錄第五集內有詳細的説明。路面撓度值的溫度校正對路面評審及對路面養護方式的決定影響很大，因此這方面工作仍須繼續進行，在第3.3.3 節中將再提出説明。

路面某定點測出之撓度值（共五值）所形成的變形面和路面結構強度及各層材料性質有某種相互的關係。經由這些關係所建立的指標可以用來做為評審路面現狀以及整修的參考。附錄第五集中有詳細的説明。

目前中山高速公路各路段的撓度值都有相當完整的資料，如表3.1所示即為在95K 至102K間各定點南下外車道在77/11/14所做撓度測量，經溫度校正後的撓度值及相關之撓度指標。利用這種資料，尤其是分析在不同期間所得到的撓度值及撓度指標，並佐以路面其他破壞指標，可以有效的判斷出該路面結構強度的變化及各層材料的性質，以作為訂定該路段整修方式之依據。目前高速公路局不論在編訂整修計畫時，以及

在實際整修作業前，均都能先收集所須之撓度及其他有關資料，並依據各種指標來評審路面破壞之原因及選訂整修方式（見曾世武、陳志修、林嘉永在中華民國第二屆路面工程學術研討會所發表的論文「路面評審儀在路面整修系統之運用」）。

路面撓度指標所能提供的資訊，受到路面結構及材料的影響，也受到測量撓度的儀器性能的影響。目前以高速公路局所擁有的道路評審儀所測得各路段的撓度值和所得到的撓度指標，所能提供的資訊和路面結構的關係，還沒能完全的加以掌握，這是將來後續工作所須要的。

和這一問題相關的路面糙度指標及抗滑指標的訂定，雖然在國外各州公路局對這些指標都訂有其臨界值，但是這些臨界值應僅可供我們在訂定適用於中山高速公路，以及將來第二高速公路的有關臨界值的參考。因爲這些指標的臨界性是相對的，例如中山高速公路上糙度指標的臨界值的要求，可能並不一定要和國外某些州公路上所訂的值一樣高。相反地，由於中山高速公路上的車輛密度大，卡車及大客車比例高，以及雨量大，因此所要求有關抗滑指標的臨界值，可能就須要比國外某些州公路的要求更嚴。目前在中山高速公路上對這些指標所訂的臨界值，應視爲僅是暫訂的，在今後的後續工作上，應更進一步訂出更合適的值。有關糙度與抗滑指標臨界值在第3.3 節建議中將提出暫定值以供參考。

3.2.3 改善瀝青混凝土材料和施工品管

中山高速公路路面在早期的破壞現象中車轍佔很大比例。產生車轍的原因很多，在本省重載車輛及高潮濕氣候等無法改變的特殊環境因素下，惟有從瀝青混凝土材料及施工品管的改進著手。有鑑於此，在本研究計畫內進行以下三項方案：

- 改進混凝土材料基本性質及配合設計
- 採用針入度60/70 瀝青膠泥

● 提昇瀝青混凝土施工品管作業

有關以上這些工作的書面報告在附錄第六集第一册及第七集中有所說明。由於這些作業對解決路面車轍有立即的影響，因此在本研究計畫執行過程中，在有關這些改進方案提出後，高速公路局都已在最短時間内將其付諸行動，以下就實施的過程及結果加以說明。

1. 改進瀝青混凝土材料基本性質及配合設計

瀝青混凝土材料性質不論是穩定值、流度值、空隙率、含油量、壓密度以及耐久性都和瀝青膠泥性質、粒料性質及配合設計有不可分離的關係，因此要達到控制瀝青混凝土的材料性質，對瀝青膠泥的材料性質及粒料的各種有關性質，首先就須要能加以控制。有鑑於此，高速公路局在本計畫進行初期，即依據本研究計畫建議（見附錄第三集第四册）開始逐步增購測驗瀝青膠泥有關性質的儀器，以及對試驗人員的訓練，以便各工程處能隨時對中油所提供之瀝青膠泥的材料性質做準確的試驗，而不須再依賴中油公司或其他研究機構代為試驗。目前高速公路局各工程處在瀝青膠泥材料性質試驗，無論在設備方面以及試驗人員的能力方面，都已達到水準，至於粒料性質的試驗所須設備，高速公路局各工程處也都逐步的增購所須設備，目前這方面的設備已可達到一般瀝青混凝土試驗室的要求。

在瀝青混凝土配合設計方面，本研究計畫對這方面有相當深入的討論。良好的配合設計可以提昇瀝青混凝土的材料性質，而同時可以增加工地施工的成功率。我們一再地強調，在做材料配合設計時，工程人員必須考慮到工地的可施工性，因此從事瀝青混凝土配合設計，必須對瀝青混凝土材料性質與配合設計變化的關係有深入的研究，如此才能把握住配合設計的重點及精神。針對於這一方面，高速公路局各工程處辦理瀝青混凝土配合設計的人員，都能利用路面整修工程所做瀝青混凝土配合設計作業的經驗、本研究計畫的書面報告及講習會所提供的資料，來

提昇他們這方面的專業知識，尤其是在下面所提及的發展60/70 針入度瀝青膠泥的過程中，更累集了很多寶貴的經驗，目前高速公路各工程處對瀝青混凝土配合設計的能力已達到相當的水準。瀝青混凝土配合設計能力的提昇，已反映到近幾年來在高速公路局瀝青路面整修的成效。在今年六月到中山高速公路各路段視察時即很明顯發現，近幾年來整修過的瀝青路面的壽命，比早期整修的效果已有明顯的增加。

2. 採用針入度60/70 瀝青膠泥

在民國七十四年以前，國內所採用的瀝青膠泥都爲針入度85/100規格，這類瀝青膠泥在高溫下，性質偏軟，爲使瀝青混凝土仍具有足夠的穩定性，配合設計所用的膠青含油量就必須降低至5%左右，在這種低含油量下瀝青混凝土的耐久性會降低，而同時在施工控制上含油量稍許的變化，即對瀝青混凝土產生很敏感的變化，這樣不僅使施工品管很困難，而相對的也降低了施工的成功率。有鑑於此，在本研究計畫開始的初期，即朝採用黏度較大的針入度60/70 瀝青膠泥這方向著手，經過很多的準備工作，諸如和中油高雄煉油廠溝通，對其所生產針入度60/70 瀝青膠泥的品質檢驗，高速公路局南工處和中工處材試人員進行對採用這種瀝青膠泥所做配合設計，以及對施工作業所須配合的問題等；本研究計畫主持人與高速公路局路面小組主持人及有關工程人員，也曾先後做了很多的溝通與準備工作，終於在民國七十四年在斗南—嘉義段整修工程上正式試用。

由於採用針入度60/70 瀝青膠泥，在國內尚屬首次的嘗試，因此高速公路局在斗南—嘉義段初次試用時，在事先做了很詳細的準備工作。由於高速公路局工程人員對瀝青路面的整修過去幾年所累積的經驗及信心，以及承商過去幾年做高速公路局瀝青路面工程所建立的施工及品管作業之經驗，使得第一次的嘗試即非常地成功。這一次試用對事前的準備工作、施工時的控制及完工後的績效均有很完整的記錄（見史煙南、

吳正雄、高志鴻著「中山高速公路斗南至嘉義段路面整修工程使用針入度60/70 級瀝青膠泥之施工報告」）。這一整修工程自七十四年十二月完工後使用至今，在今年六月到現視查時所見的路況仍相當良好，路面僅發生稍微的車轍，因此這一次採用針入度60/70 瀝青膠泥的瀝青路面整修工作，可以説是非常成功。

這一成功的實例，使得高速公路局在利用針入度60/70 瀝青來克服瀝青路面車轍增加了很大的信心。高速公路局中工處在民國七十五年四月在西螺—斗南段也採用針入度60/70 瀝青做爲路面整修的材料，其結果也非常的成功，在今年六月到現場視查時該段路面現況非常良好，沒有產生車轍的現象。由於使用針入度60/70 可以提高瀝青的用油量，大約可由5%提高到5.5%至5.6%，因此對長期的耐用性將會大大的提昇，尤其是在磨擦層採用針入度60/70 瀝青膠泥對提昇耐久性將更爲明顯。

由於以上採用針入度60/70 的成功實例，高速公路局在北部第二高速公路瀝青路面建造規範上即允許承商在針入度60/70 及針入度85/100 兩種瀝青膠泥下任選其一。有關對瀝青混凝土配合設計的後續工作在下節中將提出一些建議。

3. 瀝青混凝土施工品管作業

要提昇瀝青混凝土路面的使用績效，一方面須改進瀝青材料及其配合設計，另一方面則要提昇施工品管作業，要控制瀝青混凝土的施工品質，須能控制瀝青拌合廠作業及工地舖築壓實作業。有關這些作業要點在本研究計畫執行期間，曾先後提出書面報告及在講習會中多次提出討論。本計畫主持人曾多次趁著到中山高速公路各路段視查時，參觀承商的瀝青拌合廠設備和作業程序以及瀝青混凝土路面舖築壓實作業。同時和路面小組及各工程處工務段工程人員，就瀝青混凝土施工品管作業有關問題提出討論。經由這些作業的過程並參考國外相關的經驗，在本研究計畫執行期間，曾先後提出有關改進瀝青混凝土品管作業的建議及方

案。這些建議都已依其實際性況須要加以調整後付諸實施。比如在拌合廠對粒料級配及拌合料品質建立控制圖，見圖3.2 及圖3.3 ，有關瀝青混凝土施工品管控制，高速公路局工程在這方面也做了很多的研究，比如陳添禎和劉冬宏所著「AC 85-100 瀝青混凝土施工」一文。高速公路局並已編制有關瀝青混凝土路面施工品管等報告，以供工程人員參考之用。

3.2.4 瀝青路面損壞與整修方法

路面經長期使用後產生破壞，這是不可避免的事。工程司的職責是如何使損壞發生的時間延後、如何偵測損壞、判斷損壞的原因、如何找出最適當的修護方法。本研究計畫執行對瀝青路面損壞形成原因及整修方法有很詳細的說明報告（見附錄第六集第四冊）。有關瀝青混凝土路面修護的方法，本研究計畫依破壞的形態及整修的決策提出有：

- 局部維護：包括瀝青填縫、表面刮平、坑洞修補等。
- 表面層處理：如採用瀝青薄膜封層(Fog Seal)，瀝青砂漿封層 (Slurry Seal)
- 表面刨除和薄加層。
- 結構加鋪。
- 反射裂縫的處理：刨除，採用工程織布等。

以上所建議在各種不同的瀝青路面破壞情況下的修護方法，高速公路局已依實際情況先後加以試用，其中比較重要的應用實例，在下面提出來加以說明。

1.現有路面刨除作業

現有路面產生車轍、裂縫、或僅摩擦層產生剝落老化現象時，將表面受到影響的厚度加以刨除，然後再回填瀝青混凝土的作業程序，目前

已成爲中山高速公路在做表面層處理薄加層，結構加層及處理反射裂縫時的主要處理方法。刨除作業在中山高速公路使用的很早，民國七十年左右即已開始使用，但在早期的作業，由於作業的控制有時不夠週全，而導至整修產生不良效果。本研究計畫執行期間，對這一作業的正常作業程序，在主持人多次到工地視查及討論會中提出多項改進的建議，其中包括刨除機的操作、刨除後路面表的清刷、黏層的噴灑等。這些建議各工務段監工工程師都已加以採用，故四、五年來由於刨除作業的不當所產生不良的效果的情形已不再發生，高速公路局工程人員對這一重要的路面整修作業，已能夠完全掌握其施工要點。

2.採用工程織布

在現有路面面層上加舖瀝青混凝土層，如現有路面有裂縫時，此裂縫如不先加以處理，會有可能反射到新加層的瀝青表面上，對這一問題的形成及處理方法，附錄第六集第四册中有詳細的說明。一般最安全的方法是將有裂縫的面層刨除，然後再回舖加舖層，但這種方法有時相當的浪費，在國外幾年前曾盛行採用工程織布來處理這一問題，其方法是在有裂縫的路面上先舖一層工程織布，然後在其上舖瀝青混凝土加層，利用工程織布的抗張力來防止反射裂縫的發生。這種方法如屬可行，在某種情況下，可以收到省時省工的效果。

採用工程織布，高速公路局在民國七十三年於台南—岡山段，第二期路面整修計畫中試用一段，以觀其成效。由於這一作業在國內是第一次做，而作業過程和一般瀝青混凝土舖築工程又有很大的不同，因此對於這一作業在施工前做了很詳盡的準備工作，施工期間的控制以及施工過程都做了很詳細的記錄，但由於在施工期間正好遇到下大雨，使一部份施工受到阻礙而影響作業成效，因此這一部份事後加以刨除，部份採用工程織布的路段決定保留下來繼續觀測其績效，以供參考之用。這一路段到今年六月據報告路面情況仍然良好。其相關資料，高速公路局有

很詳細的報告，對於成功的部份及部份失敗原因都做了很詳盡的檢討。

這一工程織布的使用，最能顯示出高速公路局在試用由國外引進新技術所持的積極態度。國外已經開始採用的工程技術，在引進到國內時，對於其實用價值的分析，以及試用前的準備工作，試用時的過程及對其試用的績效如能做一詳細的分析，則不僅對這一新技術本身的特長能收到直接的效益，對新技術引進的過程本身和對工程人員的訓練就有很大意義。

3.採用瀝青砂漿封層

瀝青砂漿封層的使用是屬於對現有路表面處理的方法之一，其功能主要是用來防止路面所產生的裂縫繼續破壞。在現有路面結構強度尚可，而路表面的裂縫還沒到非常嚴重時，採用瀝青砂漿封層防止裂縫的繼續惡化，因而可以延長路面的使用壽命。有關使用瀝青砂漿封層在附錄第六集第四册內有所說明。使用瀝青砂漿封層在施工上，比一般的刨除加層無論在工程經費上以及工期上都要經濟、省時。因此這種路表面裂縫處理方法如能成功的加以應用，應具很高的實用價値。採用瀝青砂漿封層最大的考慮是這種材料在高溫、重車下的穩定性。同時由於這種表面處理對路面的結構強度並沒有提昇，因此對於採用這種裂縫處理方法的有效性，是考慮的因素之一。

中山高速公路在斗南—嘉義段 (247k-256k)路段，在民國七十五年五月間，發現路表面所產生的裂縫有繼續擴大的現象。爲防止在七月雨季來臨後可能造成的加速破壞，決定採用瀝青砂漿封層的方法來處理表面裂縫。其施工方法是將原有路面之摩擦層的2 公分刨除，密級配面層有裂縫處以CRS-1 乳化瀝青塡縫，然後在其上舖設約0.5 公分厚之瀝青砂漿封層，然後在其上加鋪1.7 公分之摩擦層（在舖設摩擦層前如有須要瀝青砂漿封層），在舖設2 小時後可開放交通，至今年六月間到實地觀察結果，路況仍然是很良好。有關這一工程的詳細施工過程及其他資

料，在南工處所提報告中有詳細的說明。其中特別值得一提的，是在該報告中提及有關工程費及工期的數值比較，該報告中提及如以一般的整修方法，採用刨除6.5 公分至11.5公分再回填 DGAC 及 OGAC ，工程費約需 500萬元，工期爲30個工作天。如以瀝青砂漿封層處理，工程費爲216 萬元，工程爲期14天，這些數値可以顯示出採用瀝青砂漿封層的實用價值。

4.採用瀝青薄膜封層

瀝青薄膜封層的施工是乳化瀝青再加水稀釋，然後直接噴灑到瀝青表面上，這種對瀝青表面處理的方式，主要是用於現有路面的瀝青產生老化而導至瀝青表面粒料剝落、鬆散的現象，在噴灑乳化瀝青後具有高度流性之乳化瀝青可以滲透入鬆散的粒料間以及包裹在粒料的表面，因此當乳化瀝青還原後，留在粒料表面之殘餘的瀝青可以達到防止現有路面老化所產生剝落及鬆散的現象。有關這種瀝青表面處理的時機及使用原則，在附錄第六集第四册中有進一步的說明。

中山高速公路斗南段大雅交流道，各匝道路面自民國六十七年通車後，路表面一直未加處理，由於交通荷重及瀝青之自然老化，導致表面摩擦層產生老化及輕微剝落的現象，因此在民國七十七年中工處決定採用瀝青薄膜封層處理，其做法是在現有路面噴灑0.08～0.10公升/ 平方公尺（瀝青殘餘量）的乳化瀝青，噴灑後以膠輪壓路機在其上行駛，使油膜得以均勻，然後經養治一天後開放通車，至今年六月到實地觀察的現果，發現這種工法對防止瀝青路面面摩擦層的老化及剝落現象的效果良好。

採用瀝青薄膜表面處理最大的考慮，是降低路面的抗滑性，在這次作業之施工前後均對路面之抗滑值做實地的測試，其結果顯示在噴灑瀝青薄膜後，在路表面之抗滑值，由原先之40至49降至24至28，路面抗滑值要在數月後才恢復到未施工前之抗滑值。

3.2.5 剛性路面修護

中山高速公路十個收費站前後的路面均採用剛性路面，這些路面自民國七十年初即已不斷發現有破壞的現象。各工務段對所屬收費站產生破壞之剛性路面，也先後進行大大小小的整修工作。早期的整修作業一般的效果多不太理想，本研究計畫執行期間，曾先後在講習會上和書面報告上就剛性路面的使用績效，各種破壞的原因及整修的方法及設計方法提出說明（見附錄第六集第四冊）。其中尤其對整修方法在講習會及工地視察時，對於各種破壞的形態的適當整修方法及作業程序更有詳細的說明。

中山高速公路局在五年的整修計畫內對收費站剛性路面的整修也列入在計畫內。實際整修在民國七十五年有岡山收費站、楊梅、汐止和泰山收費站，一般對這些收費站剛性路面的整修，包括將現有路面的打除、底層的重新處理、改善排水設施、水泥混凝土版塊的重鑄及填鑄填縫料。有關這些作業的實際進行情況，在第二屆路面工程學術研究會論文集內蔡茂雄和洪明鑑所著「中山高速公路岡山收費站剛性路面修護模式之研究」一文中有很詳細的說明。

今年六月到工地參觀時，發現中南部各收費站的剛性路面整修過的部份大都情況良好，沒有新裂縫產生，但是其中似有很多尚待改進之處，比如施工期間過長，及重舖後之混凝土版塊的平整度不理想。北部幾個收費站，可能是由於雨量及交通量比中南部要高，及施工時之品管作業等原因其整修的效果就比較不良。

在中山高速公路收費站剛性路面整修時，發現水泥混凝土版塊之下和基層下集水是造成破壞的重要原因之一，因此在中南部一些收費站的整修時在收費站路邊加設底緣排水，其效果相當良好，這值得做為今後路面整修的參考。事實上在北二高所有路面設計，包括收費站及主要幹道上都已採用邊緣排水設施。

3.3 有關運用與執行之建議

本研究計畫的執行爲期長達五年半，研究內容包含很廣泛，成果相當豐富，雖是在計畫執行期間高速公路局已在儘可能的情況下，並配合中山高速五年整修計畫，將本研究計畫的一些研究結果實際應用到中山高速公路養護作業上及北部第二高速公路的設計上，在實質上已收到相當的成效，在上節中已大略的加以說明，除了已經實際應用到實務作業上之外，在本節中我們更將提出一些有關運用與執行上的建議，以使本研究計畫的成果能更實際而有效的應用到高速公路局的實務上，進而提昇高速公路局在路面工程的水準。

3.3.1 建立研究發展的專門組織與設備

一種新工程技術由引進、試用到生根，其間是須要經過相當長的時間及人力的投入，雖然有些工程技術在表面上可以由國外或其他單位直接的加以引進應用，即使如此，對應用效果的評估及改進也都是須要投入人力。一些涉及範圍較廣的工程技術在引進的過程更須要經過詳細計畫，由技術的介紹、人員培訓、試驗室作業、工地試用、試用結果的分析改進及再試用等的過程，如此則更須要投入相當的人力及資源。目前高速公路局對路面工程技術的引進與應用是由路面小組配合各工程處與工務段來執行，由於工務段與工程處屬於工務單位，均有其一般性的工務作業，因此對推動新工程技術，就往往會遭遇到人力及設備不足的困難，而更重要的是參與作業的工程人員無法全心全意地爲某一計畫由始至終做全身的投入，這對推動新工程技術的績效，將會受到影響。因此我們建議高速公路局成立材料試驗研究所，由此單位來綜合執行有關路面工程新技術的引進、發展與應用。據聞高速公路局已積極籌畫成立材試所並已規劃在內湖興建材試所，如這一構想能早日實現，不僅對本研

究計畫所建議的應用與執行事項的推動能更有效的實施，對高速公路局今後新科技的引進及人員的培訓都能更有效的執行與推動。

3.3.2 路面養護管理系統的運用

路面養護管理系統的建立，是將舉凡有關路面調查、績效與行爲分析、各型路面設計、路面現況評審、養護方案之實施及路面施工等活動，全盤納入一項以資料檔爲基礎，以系統分析評估爲手段的管理系統。基於此一認識，本系統之運用，應屬全面性的、一元化的。即在此系統之外，無其他養護管理制度。然而此一系統之有效運用，首先有賴於對系統內涵的充份認識與了解，其次應編製運用計畫，調配人力、財力、及設備以爲配合。

爲推動整體系統之運用，建議高速公路局採行下列措施：

1. 儘速成立工作小組，研討本報告內容在應用上之可行性，提出運用本系統之運用計畫。
2. 運用計畫可包括以下各點：
   (1) 調查面前路面養護需求
      (a) 按里程作技術項目調查。
      (b) 按養護原則，作養護方法、養護機具、使用材料等調查。
      (c) 按行政編制，作行政程序、工作編組等需求調查。
   (2) 完成路面資料整理
   (3) 研擬細節實施工作計畫
3. 完成研究發展工作編組，執行本報告之繼續發展與編修。

近年來曾聞交通主管單位有成立路面研究所之議，此一構想如能實現，則本文所提各項系統之發展與運用，實爲路面研究所最洽適之工作重點。本研究計畫雖僅爲高速公路之路面養護管理計畫，但相同之理念，實亦可運用於本省其他道路系統上。

展望未來，本系統仍需加強繼續發展，增擴本報告各次級系統不足應用之處。系統擴增時，仍應將架構及內容繼續保持彈性，分階段逐步發展，並按三項原則進行：

- 確定需求
- 確實運用實施
- 確保內容品質

3.3.3 有關路面調查與評審系統的建議

1. 撓度溫度校正曲線關係

由路面評審儀所測得撓度值的溫度校正曲線，在本研究計畫執行期間已初步建立，並已實際被應用來修正路面在不同溫度下所測得之撓度值。由於路面撓度深受到測量時路表面溫度及大氣溫度的影響，另外瀝青路面結構也會影響到撓度受溫度影響的關係。由於中山高速公路全線路面結構不同，在這不同的瀝青路面結構範圍內對撓度與溫度的關係曲線是否足以產生影響，這一問題首先須要經由理論與實際測量的結果來加以評估與印証。在以上路面結構的因素得到肯定後，對目前經由本研究計畫所訂出的撓度校正曲線做更進一步的校正，目前撓度與溫度校正所依據的數據是在夏季與秋季在中山高速公路所測得的資料，將來應將其他季節下撓度與溫度關係資料進行量測，然後依本研究計畫附錄第五集第一冊所述的方法來建立撓度與溫度的關係。

2. 路面撓度指標的建立

路面評審儀在一定點能測得五個不同距離下的撓度值，而形成一撓度變形面，這一撓度變形面之特性就以SCI1，SCI2，BCI 及DMD 來做代表，不同的路面結構所產生撓度變形面也將會不同，有很多的研究論文就研究一定點所得之五個撓度值和代表撓度變形面與瀝青路面結構特性

的關係，經由理論與統計的分析而建立出一些判斷路面結構的撓度指標及指標值。這些指標值實用上很具有實用價值。在本研究計畫中，對這些指標和路面結構的關係曾提出討論（見附錄第二集第一册），並且建議初步的指標值，事實上，在中山高速公路這幾年來使用這些撓度指標值的經驗，已發現這些撓度指標與路面結構的關係並不是很單純，同一指標的變化所代表路面結構變化的訊息加以確定，然後再將這些撓度指標訂出臨界值，以為估計路面結構及路面破壞的預警值，這一分析研究作業可以就目前已有的及今後將繼續收集的路面撓度值與該路段的路面結構資料及有關環境因素，以及路面所顯示績效的變化共同考慮，利用統計及歸納來達到這一工作的目標。

3. 路面評審儀的更新

高速公路局現有的路面評審儀使用已 6年之久，在此期間這一儀器使用的很頻繁，根據中工處的報告該儀器已有相當程度的損耗，儀器繼續的磨損無疑的將會影響到其正常的操作，並可能影響到量測撓度值的可靠性。而一旦此儀器無法使用，則將影響到撓度資料的取得，因此目前急需做的兩件事，第一件事是現有評審儀須要由原廠商來做一次大維護，另外我們建議再增購另一部同型號之路面評審儀，在第二部評審儀拿到後立即將這二部儀器在幾個定點做撓定值的比較，如此這兩部儀器就能交互的使用。

4. 路面糙度指標

高速公路局近年來所購買的 K.J.Law SDP剖面儀具有多種功能，其中之一就是量測路面的粗糙度。該儀器所量測得之路面糙度可經由電腦程式換算成幾種不同表示路面糙度之指標，其中最普遍的一種是梅氏儀糙度值，此值是以一公里的路面超過某一平坦度以上之高低值的總和以公分/公里 來表示之。目前美國有相當多的州採用梅氏儀量測路面平坦

度，一般對路面所訂梅氏儀平坦值要求大約如下：

	新路面驗收值	養護臨界值
剛性路面	86 - 103 (96)	134 - 150 (142)
柔性路面	32 - 55 (47)	86 - 103 (94)

平坦度的要求應依路面使用的形態而變，比如有平直的路段而交通量少，如美國城市間之州際公路，則所要求的平坦度應較高，因爲車行其上多是在高速及定速下行駛，對路面的路動較爲敏感，對於在行車擁擠的道路則對平坦度的要求可能較低，因此建議高速公路局對於中山高速公路平坦度的要求，可以暫訂在梅氏儀指標爲上表括號內所建議之值，將來經使用後再依中山高速公路的路況及行車特性再行調整。

3.3.4 有關瀝青材料的改良

1. 瀝青混凝土配合設計

影響瀝青混凝土材料性質的因素很多，其中包括瀝青膠泥性質、粒料的級配及顆粒形態，塡充料含量等，這些因素與瀝青混凝土材料性質複雜的相互關係，經由馬歇爾配合設計而求得其最佳的組合，這是配合設計的目的，目前高速公路局各工程處是在某一整修工程開始前，依該工程可能採用的料源進行瀝青混凝土配合設計，以求得所須之粒料級配及瀝青膠泥之含油量，由於工務上的須要，在人力及時間上這種作業僅能在現有之粒料內找出一種可以滿足馬歇爾配合設計的要求，而無法求得在滿足馬歇爾配合設計下一個較佳或最佳的配合設計。我們建議以過去高速公路局各工程處對各粒料料源所做的瀝青混凝土配合設計及舖設後實際使用的效果爲基礎，有系統的建立各種不同粒料料源在採用針入度85/100和60/70 瀝青膠泥下的最佳配合設計，以及當配合設計偏離了

此最佳設計對瀝青混凝土材料性質的影響，以上的配合設計須包括密級配(DGAC)，底層級配及摩擦層級配(OGAC)。

2. 降低車轍的配合設計

由馬歇爾配合設計來求得之瀝青混凝土配比的最大缺點就是馬歇爾配合設計無法有效地分辨出所求得之瀝青混凝土鋪設後對車轍的抗阻是否有效，這是現今路面所受的輪壓已遠超過當初馬歇爾配合設計所能考慮到材料受外力產生永久變形的影響範圍。在目前還沒有比馬歇爾配合設計更好的瀝青混凝土配合設計方法下，惟一可以補救以上的缺點，就是利用一輔助試驗方法來配合馬歇爾方法，將幾個能滿足馬歇爾配合設計的瀝青混凝土配合，經由另一專門測定車轍或永久變形的試驗方法來分辨那一種配合能承受輪壓，減輕車轍的產生，我們建議高速公路局可以朝這方面去研究。

3. 建立瀝青砂漿的拌合設計

民國七十六年在斗南附近採用瀝青砂漿封層，使用的效果相當良好，在適當的情況下，採用這種工法比採刨除加層的方式來處理路表面裂縫問題，更能收到節省工程經費及縮短工期的效果，將來很值得加以推廣。我們建議在推廣這種材料及工法時首先須要對這種材料的拌合設計加以確定。

3.3.5 有關施工作業的改進

1. 剛性路面整修

中山高速公路收費站剛性路面整修，在中南部幾個收費站整修的效果相當良好，其中最須要改進的一點就是整修的工期，目前一般在整修幾塊混凝土版塊作業時，由開始封閉車道進行整修，到完工開放通車須

要十至十二天之久，對行車的影響很大。我們建議研究如何使工期儘量縮短，目前在美國已經可以做到在一天內開放通車的工期，在國內由於施工環境的限制，也許可以三天工期為目標，來進行規劃剛性路面整修作業，這一計畫應包括對水泥混凝土材料的配合設計與試驗，對底層材料處理及排水的設計、新舖水泥混凝土版塊的大小及接縫設計，舊有版塊的打除及新版塊舖築的工法，及對整修的發包方式等。

2. 瀝青薄膜封層的施工

採用瀝青薄膜封層處理可達到防止現有瀝青路面老化所產生剝落及鬆散的現象。在中山高速公路斗南段大雅交流道的試用效果良好。惟一是在大雅交流道的施工，據報告說明顯示所用的施工方法尚可改進。在大雅交流道的施工，由於是比較小面積施工，而採用人工噴灑瀝青，同時利用膠輪壓路機輾壓，如能採用瀝青噴油車以高壓力噴灑，同時調整乳化瀝青的稀釋度，可以使瀝青很均勻而有效的滲入粒料間，因此可以不須要再用其他壓實作業。另外我們建議對進行噴灑瀝青的時機，要選擇在溫度較高的時間和天氣晴朗的日子，如此則乳化瀝青還原的時間較快，可以提早開放通車，而且在開放通車的當天不會有因為下雨而產生路面滑溜的現象。

3. 採用核子量測儀

在本研究計畫內曾建議採用核子量測儀以做為工地量測土壤壓實度、含水量以及瀝青混凝土密度、含油量之用。這種儀器在操作上很方便，而其量測的準確性很高，實為一工地品管，控制在壓實度最有效的工具，目前世界各國在土壤與瀝青混凝土的壓實作業上，多採用這類儀器作業壓實度控制之用，雖然國內過去也曾試用，也發現種種問題，我們建議還是要積極的推動這類儀器的使用，以提昇工地品管控制及路面施工水準。

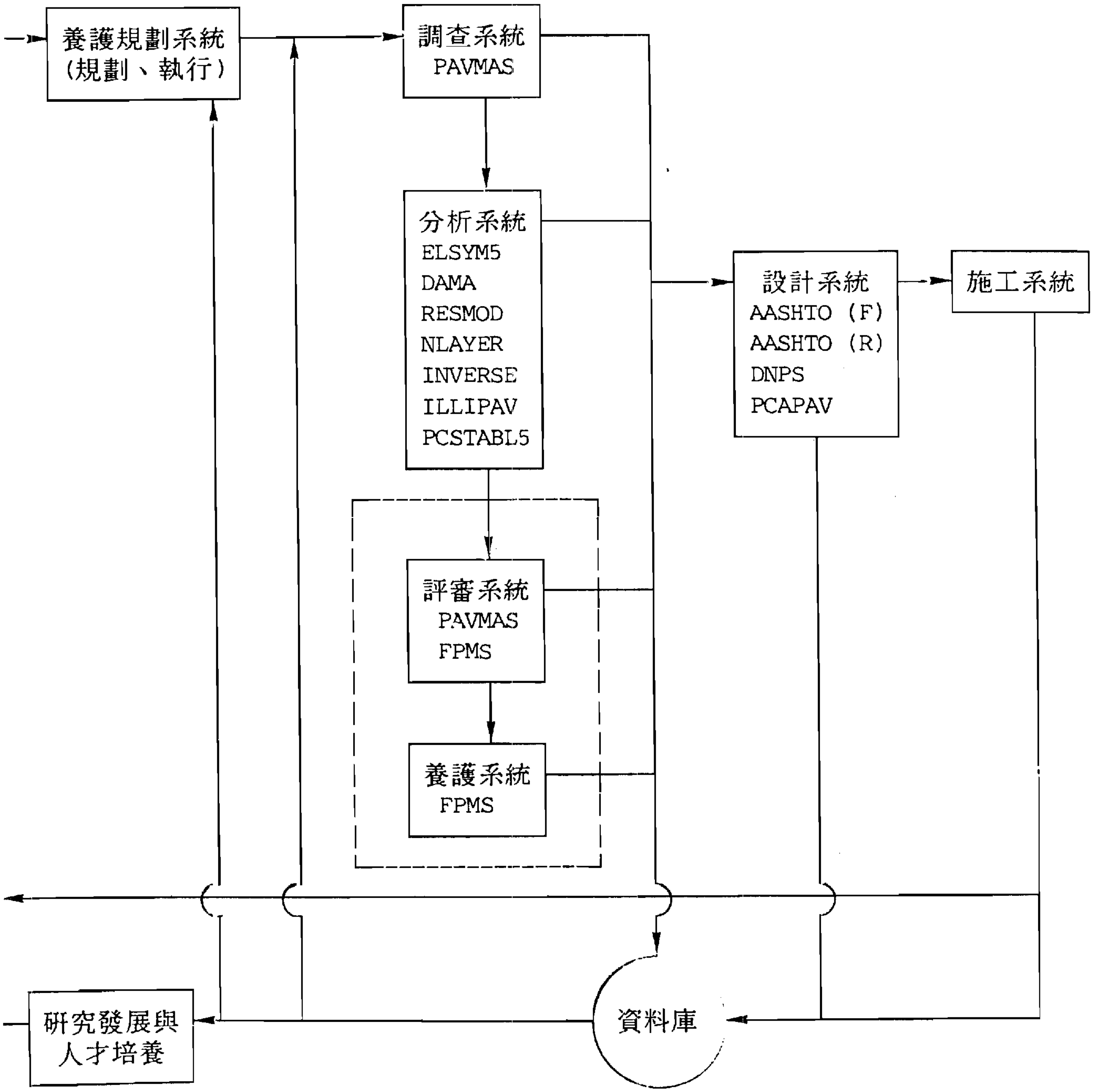


圖 3.1 PMMS 高速公路路面養護管理系統

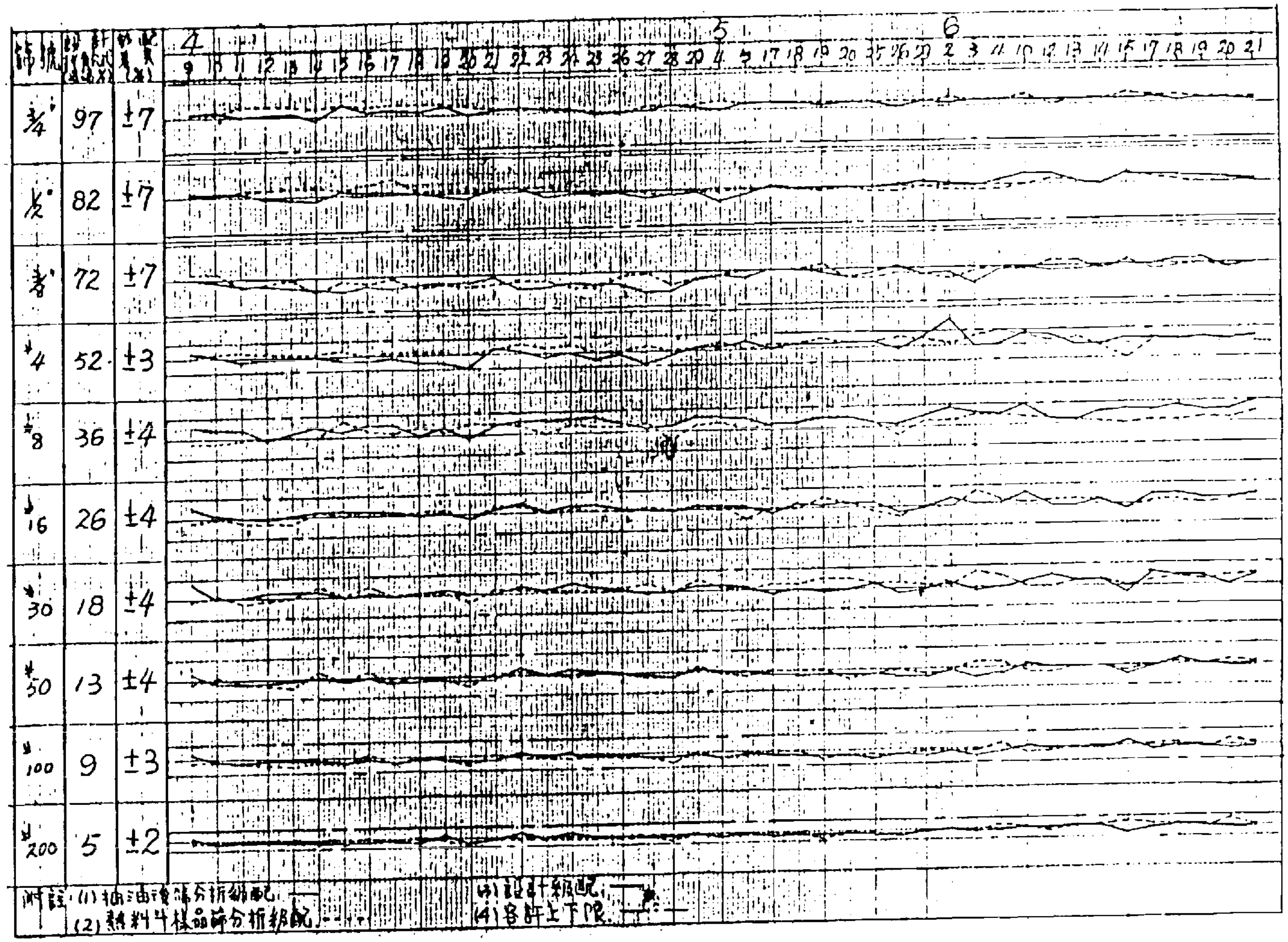

97 ±7
82 ±7
72 ±7
52 ±3
36 ±4
26 ±4
18 ±4
13 ±4
9 ±3
5 ±2
附註 (1)抽油後篩分析級配
(2)熱料斗樣品篩分析級配
(3)設計級配
(4)容許上下限

圖 3.2　粒料級配控制圖

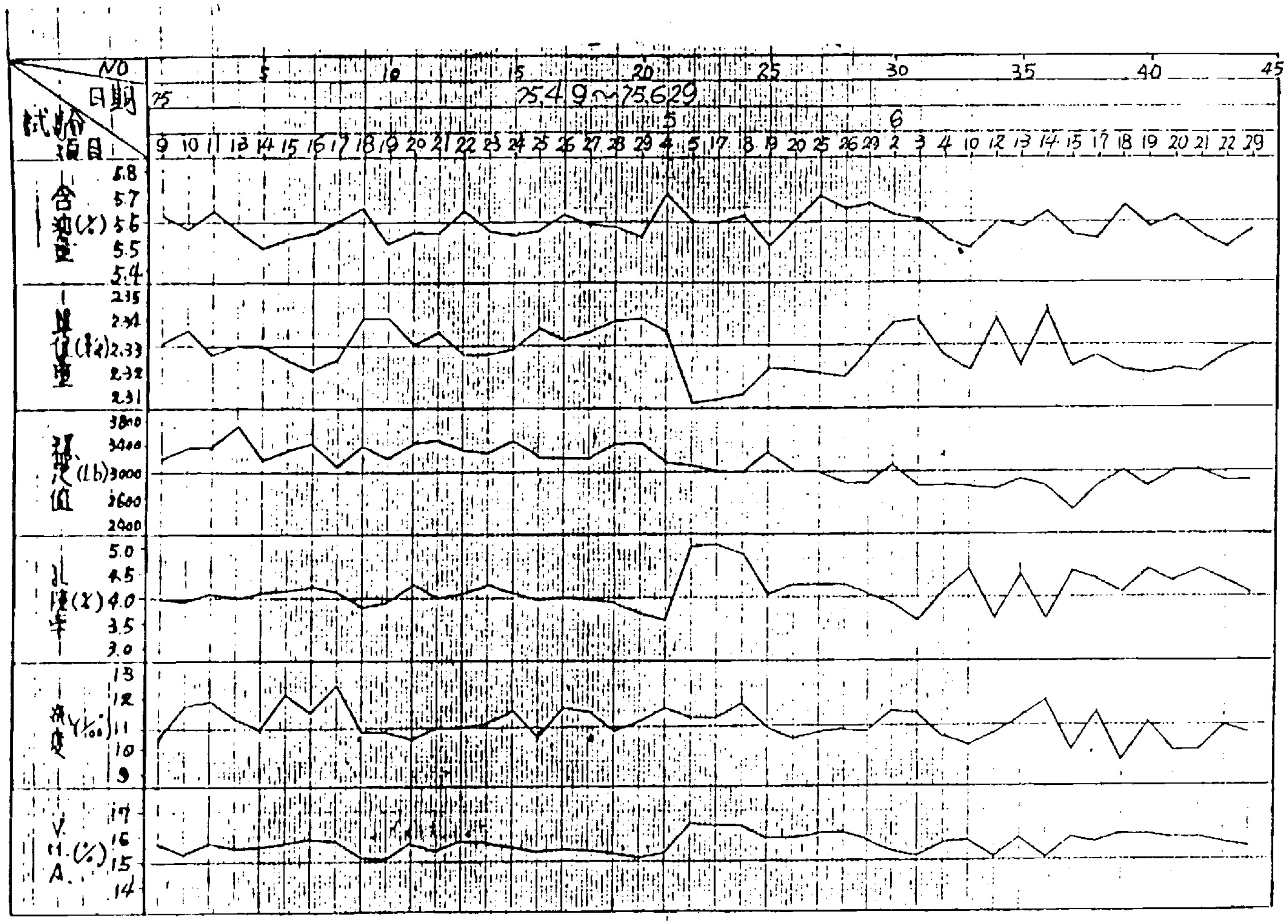


圖 3.3 品質控制圖

表 3.1 路面撓度表

交通部台灣區國道高速公路局
路面評審儀動力撓度試驗報告表 (溫度已校正)

里程	車道	日期	DEF1	DEF2	DEF3	DEF4	DEF5	℃	SCI1	SCI2	BCI	SP%
95K+700	s2/2	77/11/14	1.57	1.31	0.95	0.73	0.58	23	0.26	0.36	0.15	65.50
96K+000	s2/2	77/11/14	0.65	0.56	0.40	0.30	0.22	23	0.09	0.16	0.08	65.76
96K+500	s2/2	77/11/14	1.77	1.60	1.23	0.97	0.76	23	0.17	0.37	0.21	71.49
97K+000	s2/2	77/11/14	1.64	1.38	1.01	0.74	0.57	24	0.26	0.37	0.17	65.03
97K+500	s2/2	77/11/14	0.96	0.84	0.62	0.49	0.40	24	0.12	0.22	0.09	69.00
98K+000	s2/2	77/11/14	0.65	0.55	0.40	0.31	0.25	24	0.10	0.15	0.06	66.18
101K+500	s2/2	77/11/14	1.26	1.09	0.78	0.59	0.46	29	0.17	0.31	0.13	66.43
101K+000	s2/2	77/11/14	1.42	1.26	0.94	0.73	0.58	29	0.16	0.32	0.15	69.57
97K+000	s2/2	77/11/14	1.64	1.38	1.01	0.74	0.57	24	0.26	0.37	0.17	65.03
96K+500	s2/2	77/11/14	1.77	1.60	1.23	0.97	0.76	23	0.17	0.37	0.21	71.49
97K+500	s2/2	77/11/14	0.96	0.84	0.62	0.49	0.40	24	0.12	0.22	0.09	69.00
98K+000	s2/2	77/11/14	0.65	0.55	0.40	0.31	0.25	24	0.10	0.15	0.06	66.18
100K+500	s2/2	77/11/14	1.19	1.12	0.90	0.73	0.62	29	0.07	0.22	0.11	76.59
96K+000	s2/2	77/11/14	0.65	0.56	0.40	0.30	0.22	23	0.09	0.16	0.08	65.76
95K+700	s2/2	77/11/14	1.57	1.31	0.95	0.73	0.58	23	0.26	0.36	0.15	65.50
100K+500	s2/2	77/11/14	1.19	1.12	0.90	0.73	0.62	29	0.07	0.22	0.11	76.59
101K+000	s2/2	77/11/14	1.42	1.26	0.94	0.73	0.58	29	0.16	0.32	0.15	69.57
101K+500	s2/2	77/11/14	1.26	1.09	0.78	0.59	0.46	29	0.17	0.31	0.13	66.43
102K+000	s2/2	77/11/14	1.20	0.92	0.66	0.49	0.37	29	0.28	0.26	0.12	60.88
102K+500	s2/2	77/11/14	1.50	1.30	0.94	0.70	0.53	29	0.20	0.36	0.17	66.20

第四章　結　論

本計畫研究工作分兩期執行，每期兩年半。五年來從著手各次級系統及次級以下系統開始，逐步規劃建立系統組織，充實系統內容，研擬軟體程式，實施研究成果，以至於今日提出重新組合後之書面報告。在這段期間裡，路面科技有全面更新性的發展，以力學爲基礎的路面設計方法得到世界一致的認同，績效評估觀念在不斷的研究發展環境中，實用價值益爲增強。路面養護管理系統的實施，在美國各州、市已成爲一股不可遏止的潮流，其至最近聯邦公路署已積極考慮，凡是不進行規劃路面管理系統的各州，將無法再獲得聯邦政府對路面研究的財力獎勵措施。回顧在五年前，當本研究計畫人員在研擬工作大綱時，我們當時的看法與想法在今天已得到完全的肯定。我們不但做了應該選擇的研究方向，而且今日呈現在各位面前的研究成果，在規模上甚至已超出了一般衹談“養護”的系統，即使與許多其他道路機構或研究單位比較，我們所提出的系統之龐大與週延，決不比其他系統遜色。

在工作告一段落後，我們自我檢討的結論是，仍有太多的次級以下系統，需要進一步付之實施。我們衷心企盼，路面研究工作在國內能得到支持與推動，路面養護的重要性，決不低於路面新工。時值北部第二高速公路與中南部第二高速公路即將興建之際，本計畫研究同仁願誠摯貢獻我們的心力，以本報告之完成，冀希或有俾益於未來高速公路路面工程於萬一。