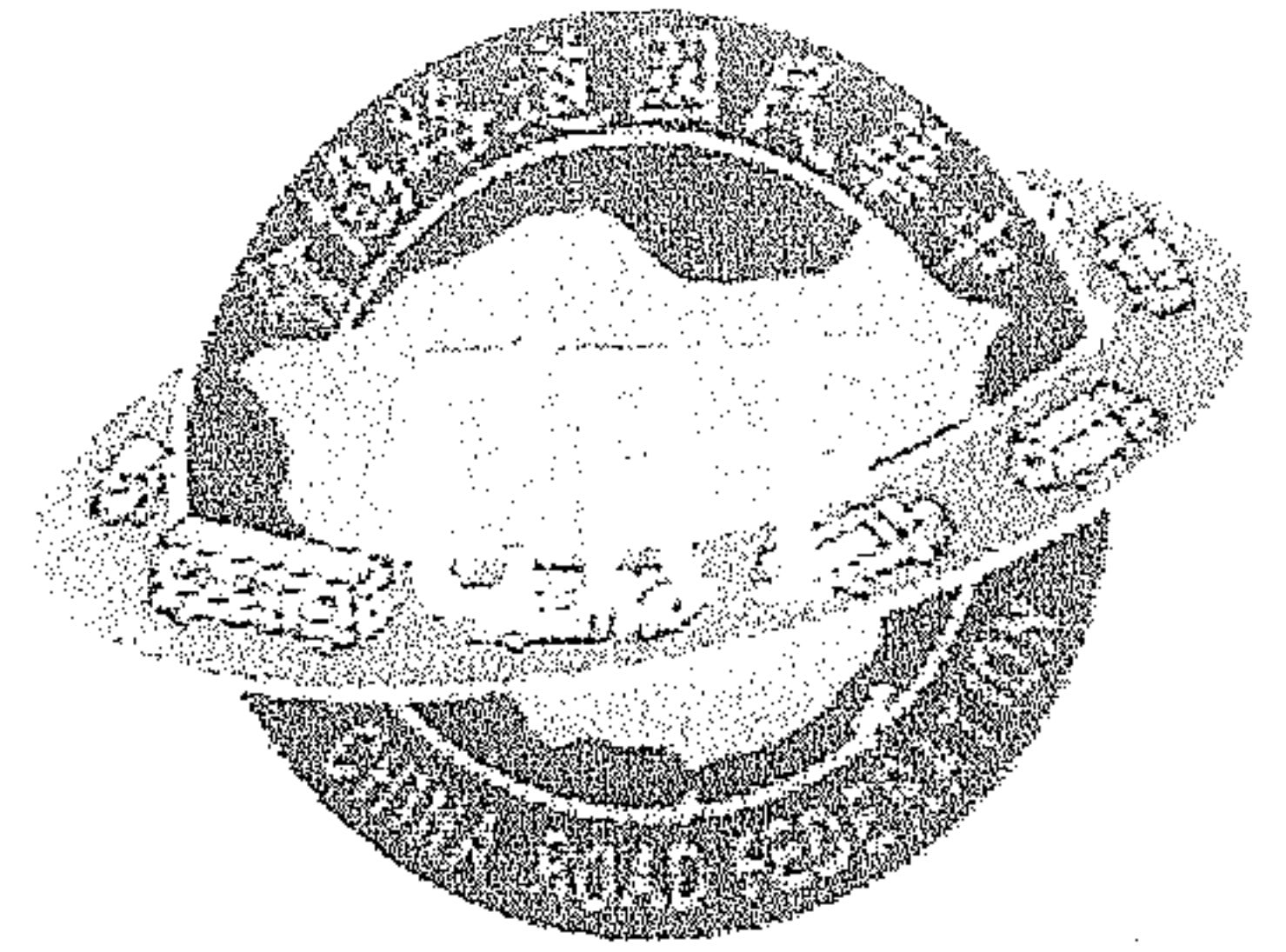


ROAD NEWS

第四十三卷 第三期
Vol. 43 No. 3

中華道路



季刊
QUARTERLY

中華民國九十三年九月
September 2004



中華道路協會 梁理事長樾致詞

會址：104 台北市長安東路 2 段 184 號 9 樓

電話：02-27408286 傳真：02-27408290

綜合性指標在鋪面工程之應用

陳克斌¹ 李英豪² 顏少棠³

摘 要

本研究主要目的在探討鋪面綜合性指標之概念及其在國內發展與應用情形。除了瞭解不同功能性指標與結構性指標之概念外，研究中亦將透過資料分析的方式，來比較鋪面狀況指標(PCI)與鋪面表面破壞指標(PSDI)之特性差異。研究結果顯示，鋪面狀況指標具有較佳之可量測性、重複性、客觀性、一致性、標準性、與國際接受度。因此，本研究將配合均質路段與抽樣概念之應用，建立一個中文化的鋪面狀況指標自動計算程式，並將其納入現有的個案階層之鋪面養護維修與路網階層之鋪面管理系統雛形程式中，藉以探討其適用性。最後，並提出國內未來如何落實執行之具體建議。

一、前 言

隨著國內公路網的快速擴充，公路主管機關已從過去偏重於新建工程，轉變為新建與養護工作並重的現況。適當的養護可以維持鋪面良好的狀況，增長鋪面的使用年限並發揮其最大效益。因此，如何對鋪面狀況作正確的評估，以訂定合適的鋪面養護、維修、與管理計畫，是鋪面管理工作中極為重要的一環。

綜合性指標主要是根據鋪面調查資料來組成的單一量化指標，除可簡單地代表鋪面的狀況，亦可據以排定鋪面養護與維修之順序，簡化養護與維修策略的訂定過程，因此被廣泛地應用在鋪面評估與管理上。本研究主要目的在探討鋪面綜合性指標之概念及其在國內發展與應用情形【陳克斌，2002】。研究中將針對國內外重要的鋪面綜合性指標，透過資料分析的方式來比較其特性差異，並深入探討如何慎選一個適當的綜合性指標並確實執行，以提升國內鋪面管理之成效。

二、鋪面綜合性指標之介紹及發展趨勢

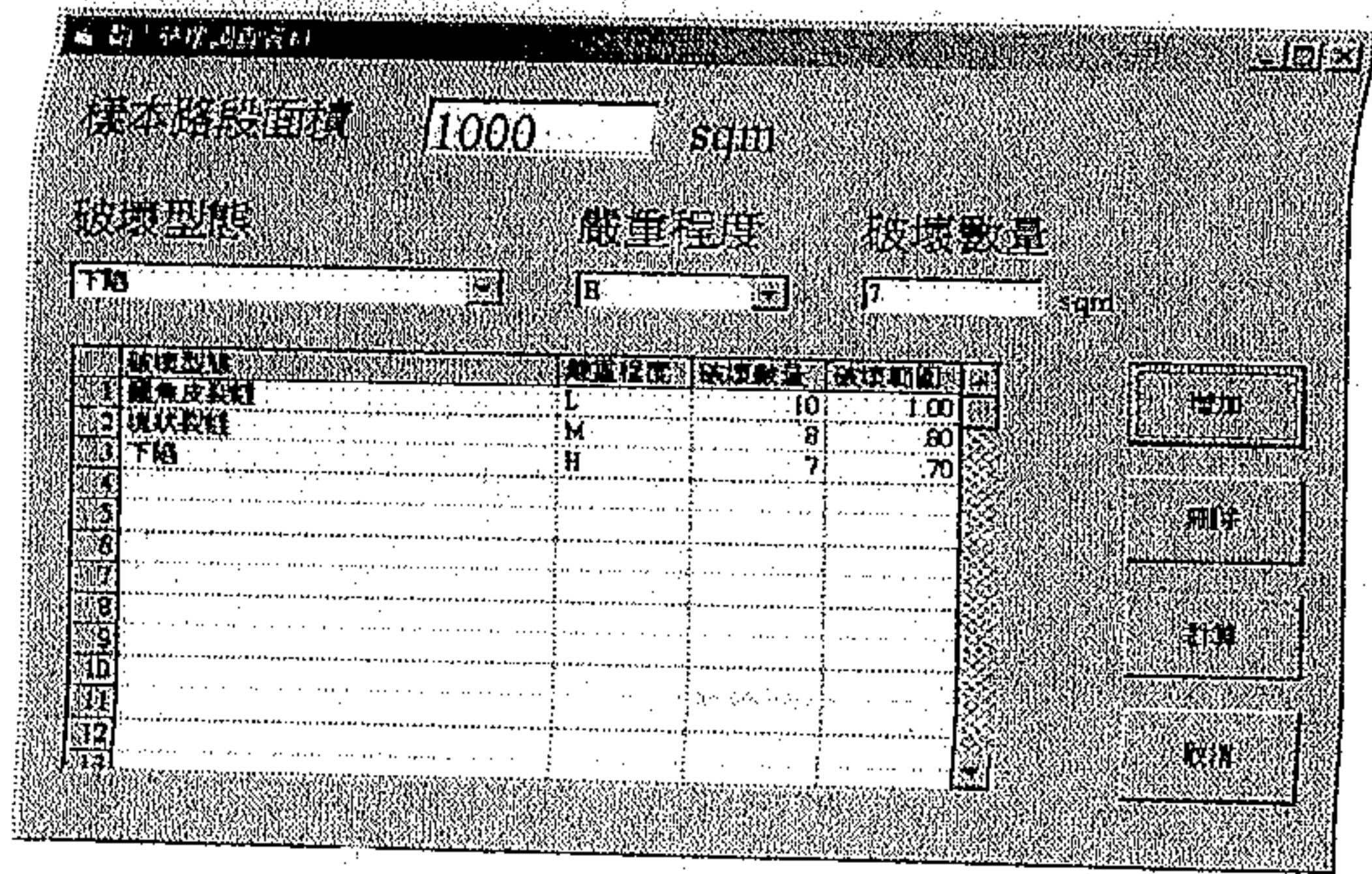
鋪面綜合性指標的意義在於以鋪面調查資料作為參數，以組成一個量化的指標來評定鋪面的整體狀況，一般而言，鋪面指標主要可分為功能性指標及結構性指標等二種。功能性指標主要是以用路人的觀感為基礎，利用與鋪面服務能力相關的各種參數，來評

¹ 淡江大學土木工程學系碩士

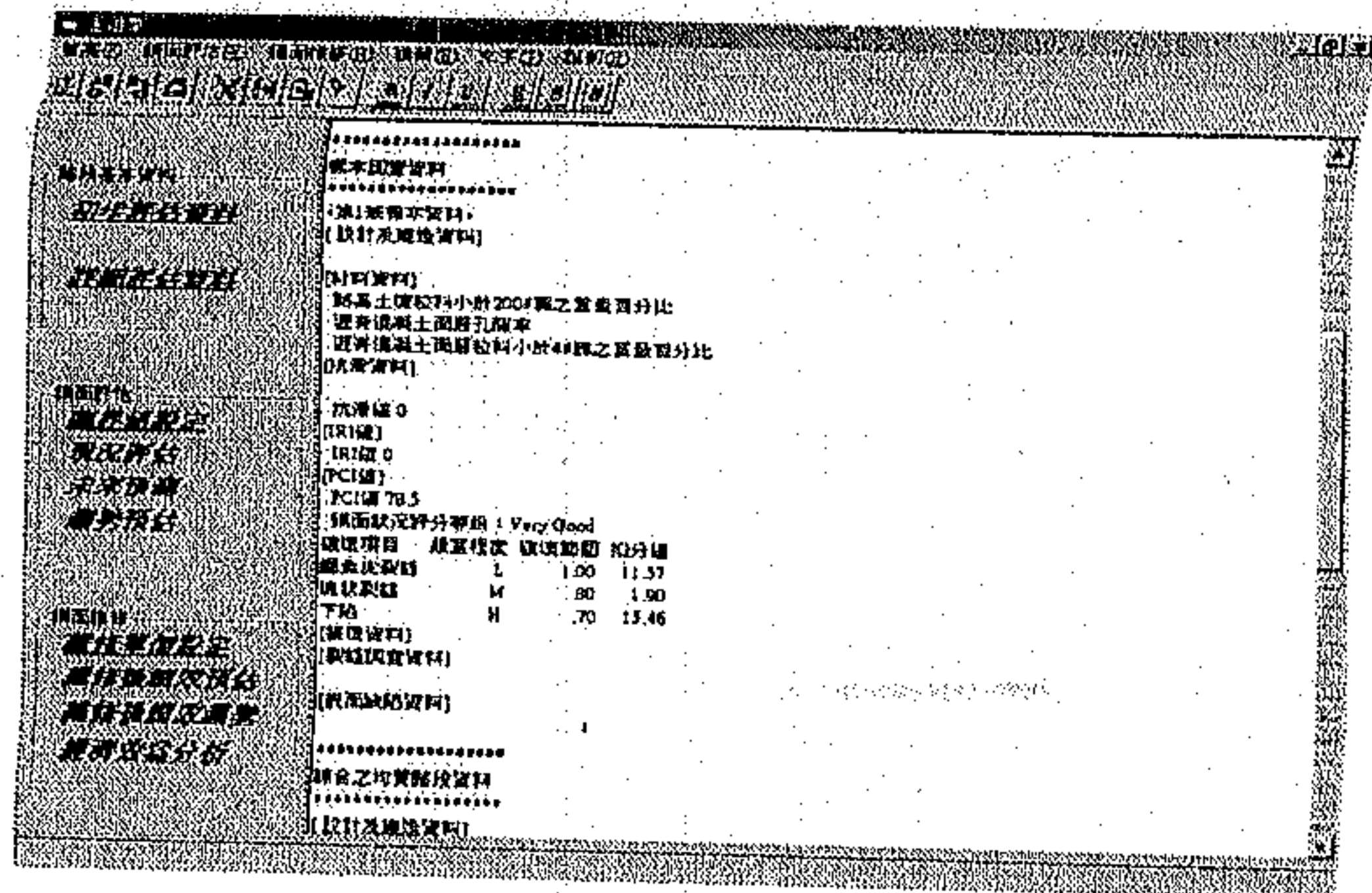
² 淡江大學土木工程學系教授

³ 淡江大學土木工程學系兼任助理教授

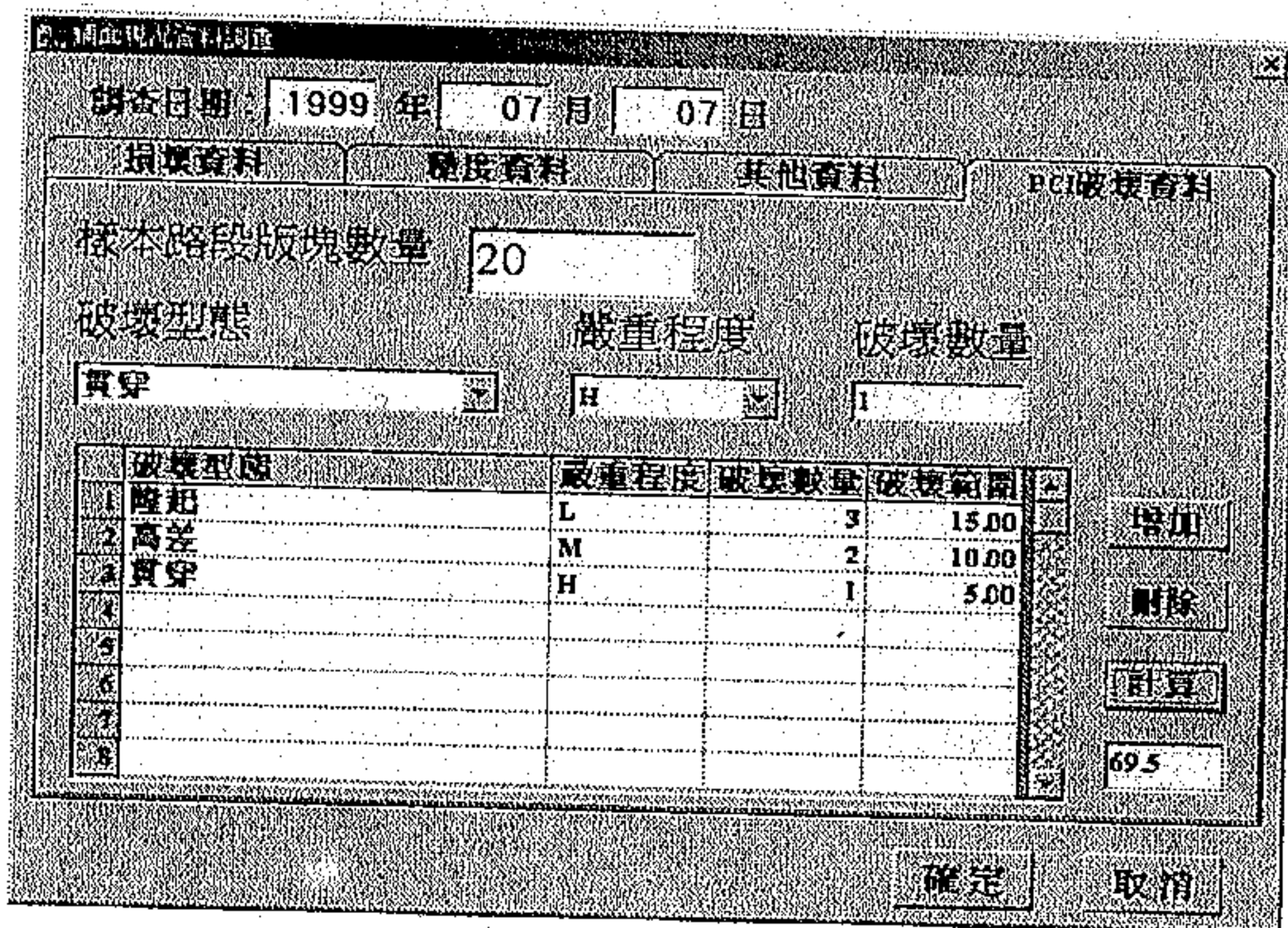
增加「PCI 破壞資料」之選項，當破壞資料輸入完成後，則可計算出鋪面之 PCI 值，如圖三(c)~(d)所示。



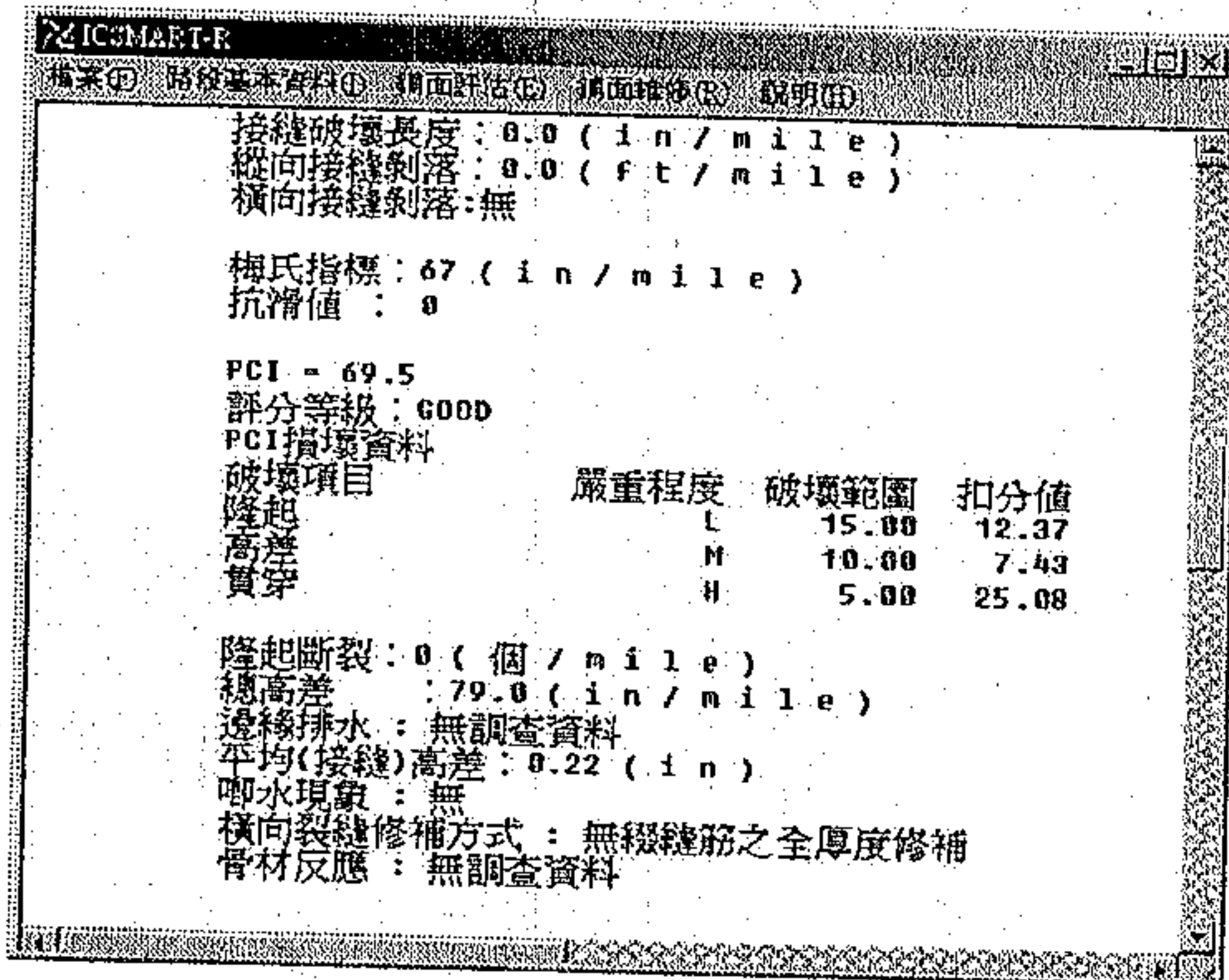
(a) ICSMART-F 資料輸入畫面



(b) ICSMART-F 計算結果顯示



(c) ICSMART-R 資料輸入畫面



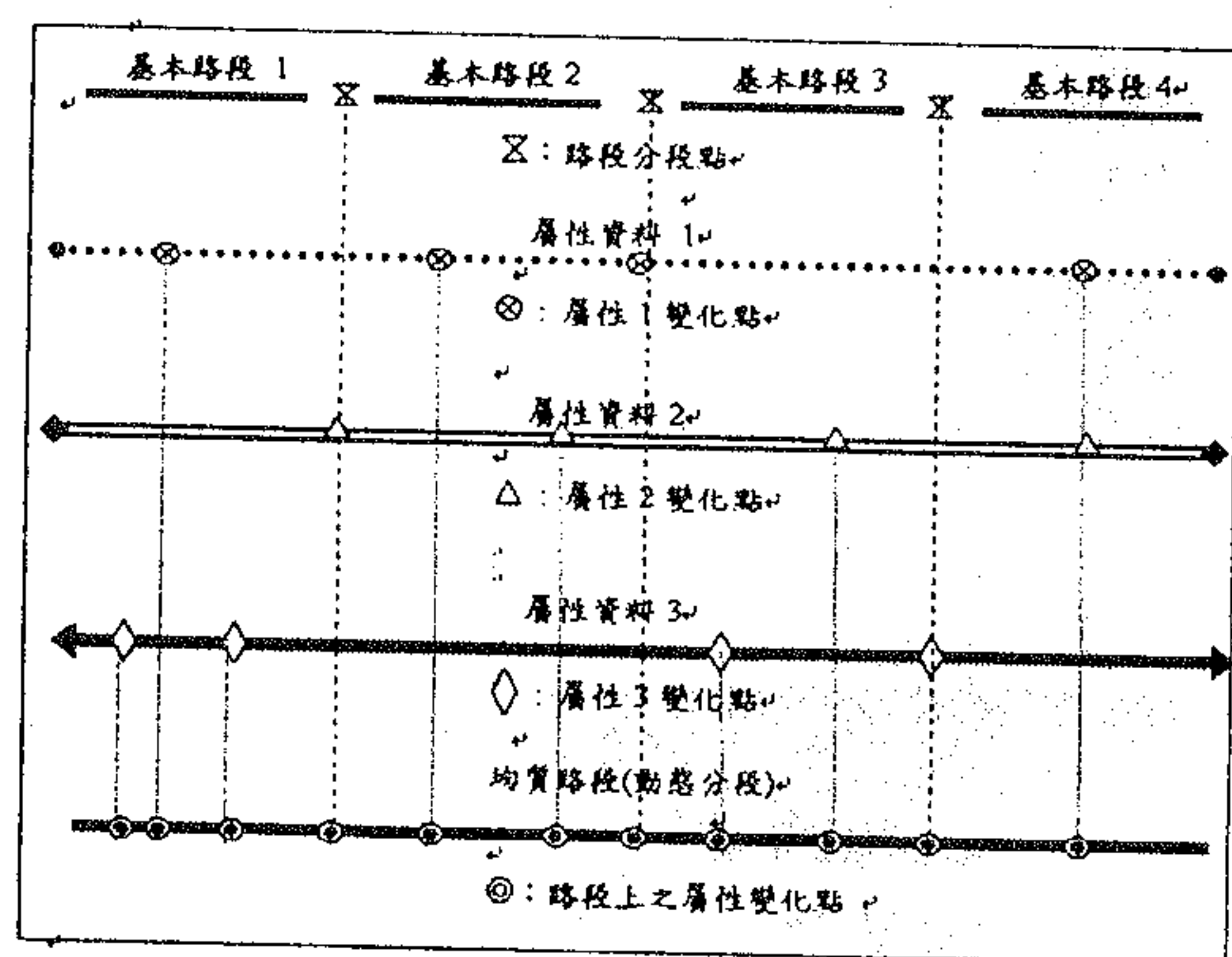
(d) ICSMART-R 鋪面現況評估結果

圖三 修改後之鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統雛形之圖例

在路網階層之鋪面管理方面，本研究亦將修正現有之鋪面路網動態分段資料庫 (NETDSD) 之雛形程式【盧中強，2000】。該程式亦採用「均質路段」與「抽樣調查」的觀念，並以原始資料蒐錄的方式來登錄資料，配合「動態分段」的自動化程序來構建資料庫，以綜合性指標作鋪面現況與未來之評估，希望可有效解決國內現有鋪面資料庫架構過大而不易執行等問題。圖四(a)表示當路線上各鋪面路段可能會在不同時間因維修而改變其屬性，屬性改變的位置即是動態分段點。本研究並將 PCI 程式與動態分段之概念整頓，並以 PCI 調查資料來代替原來 PSR 調查之資料，如圖四(b)所示。當資料載入後即可計算各調查點之 PCI 值並顯示於 PCI 之欄位中，而後再決定動態分段後各路段之平均 PCI 值。

然而，在實際操作過程中發現，此種以鋪面結構性指標 (PCI 值) 作為路網管理之

依據，將會產生所需資料量過大之問題，增加未來資料蒐集與管理的困難度。因此，以國內目前之鋪面路網管理現況而言，本研究建議可暫時採用對資料需求較少之鋪面功能性指標（如國際糙度指標），以做為各種維修策略之選擇、多種維修利益考量、與最佳化排序法分析之依據。或是可僅考慮選擇部份國內最常見之破壞項目來計算鋪面結構性指標（PCI 值），以減少對資料之需求，並期望未來在鋪面自動化調查之速度與準確度提升時，再考慮應用鋪面結構性指標作為路網管理之依據，以提升未來鋪面管理的效率。



(a) 鋪面動態分段之示意圖

路段編號	路段長度	PCI 值	備註
1	1	1	
2	2	2	
3	3	3	
4	4	4	
5	5	5	
6	6	6	
7	7	7	
8	8	8	
9	9	9	
10	10	10	
11	11	11	

(b) NETDSD 鋪面 PCI 調查表

圖四 鋪面路網動態分段資料庫架構之圖例

五、鋪面評估與管理之落實執行

最後，本研究將對如何落實執行國內鋪面之評估與管理工作提出下列具體之建議：

- (1) 劃分鋪面管理之層級：鋪面路網階層與個案階層之管理對資料之需求差異極大，應避免蒐集過多不必要之資料而浪費資源。
- (2) 「均質路段」與「抽樣調查」觀念之應用：資料庫是鋪面管理系統之核心，其路段之定義宜以動態分段產生之均質路段取代傳統之固定長度路段，並以明確性、可量測性、可完成性、相關性、與及時性(SMART)等原則，配合抽樣調查之方式取得所需資料，並以原始資料蒐錄的方式來登錄資料，以利於資料後續之查詢與更新作業。
- (3) 選用鋪面綜合性指標：鋪面綜合性指標之選擇應考量鋪面管理之層級與可用資源，路網階層之管理因涵蓋範圍大，較適合以簡易之功能性指標來表示鋪面之狀況，對於所需調查資料較多之結構性指標則較適合用於個案階層之鋪面管理。
- (4) 訂定標準調查手冊及規範：建議宜建立部頒之標準鋪面調查手冊及相關規範，對鋪面資料蒐集之過程作明確的規定，以提供可遵循且共通之標準以確保資料之可靠性。
- (5) 成立專責機構與人員訓練：國內各公路主管機關宜增設專責之鋪面管理機構，在專業人員之編制與訓練上宜做整體之規劃，以確保人員之素質與資料蒐集與分析之可靠性。

估鋪面的服務能力。而結構性指標則是以鋪面的破壞型態、嚴重程度、及範圍等參數來決定，用以評估鋪面的結構狀況。

2.1 功能性指標

鋪面功能性指標最早源起於 Carey 及 Irick【1960】所提出的鋪面現況服務能力評分(PSR)之概念。該法以用路人的主觀意識為依據，由選定小組成員對鋪面做個別評分，評分範圍介於 0~5 之間，小組中各成員之平均評分值即為該路段之鋪面現況服務能力評分。Carey 及 Irick 並利用統計迴歸法發展出 PSR 與客觀的鋪面量測值（如平坦度及表面破壞）之關係，稱為鋪面現況服務能力指標(PSI)，以作為 AASHO 道路試驗資料蒐集與分析之依據。PSI 公式的建立除了可以避免小組成員主觀評分的不穩定性外，並可以較為客觀的方式來預測主觀的 PSR 評分值，因此其用途相當廣泛。美國公路績效監測系統(HPMS)以及許多州皆曾以 PSR 或 PSI 作為其鋪面管理之主要依據。

儘管如此，PSI 仍避免不了 PSR 主觀評分的本質，因此仍會受到如車輛之形式與特性（包括懸吊、胎壓、輪胎形式及車速等），以及評分者之主觀意識、年齡、性別、及有無駕駛經驗等各種因素之影響【吳政隆，1995；Chou & Wu, 1997】。國內並因此建立不同車種或車速下之個別 PSI 公式，甚至根據鋪面糙度及十數種鋪面破壞參數，來建立本質原是極為主觀且變異性極大的 PSI 公式【張家瑞，2001】。如此不僅增加了模式的複雜度，未來將更不容易將其使用在後續的鋪面調查與管理等工作上。

反觀國外與 PSI 相關研究之發展趨勢，可以發現國外在鋪面管理上所採用的功能性指標卻極為簡易。由於相關研究顯示影響 PSI 值之主要因素是鋪面表面之糙度【Haas & Hudson, 1994】，因此在後續所發展之 PSI 模式中多採取較簡化的方式，由原先（1960 年代至 1980 年代初期）需要根據糙度及多種鋪面損壞資料（如裂縫、修補、及車轍等）簡化為現今（1980 年代初期開始）僅需糙度資料來預測 PSI 值【Al-Omari & Darter, 1992】。因此，廣泛地使用以客觀儀器量測而得的鋪面糙度值，包括各種鋪面剖面量測儀器、剖面圖、及各種反應式道路糙度量測儀器所求得之糙度指標。例如，國內曾使用的梅氏指標(Maysmeter Output, MO)是以梅氏糙度儀之均方垂直加速指標(RMSVA)為基礎所得之糙度指標。

由於世界各國之糙度量測儀器與方法不盡相同，以至於造成各種糙度指標間不易相互轉換與比較。有鑑於此，世界銀行於 1982 年曾在巴西進行國際道路糙度試驗，藉以建立糙度量測關係式與校正標準，並以儀器直接量測而得之鋪面剖面資料轉換成一國際共通且適用於各種糙度量測儀器之標準或國際糙度指標(IRI)【Sayers, Gillespie, & Queiroz, 1986】。

此外，Liu 與 Herman【1997】曾指出駕駛者在沿著道路行駛的移動車輛中，會持續感受到急動(Jerk)或是會受到加速度隨時間的變化率的影響。該研究指出在移動車輛中，

評分者的感覺並不完全與靜態的鋪面調查結果相關，如車轍深度、裂縫長度或修補面積、坡度變異數、或是縱向平坦度等；評分者在車輛中感受到的急動量才是決定人為評分的主要參數。雖然一般皆認為鋪面表面之糙度是影響人為評分之最主要因素，Liu 與 Herman 在分析過美國公路合作研究計畫(NCHRP)中所蒐集到之剖面資料後，發現以國際糙度指標建立騎乘指數(Ride Number, RN)之關係式，遠不及以急動指標建立 RN 之關係式來得有效。其中，騎乘指數 RN 為人為之評分與 PSR 等功能性指標之定義相似。

因此，建議國內未來在功能性指標之選用上宜與國外朝向簡化及客觀化之趨勢相符，對於非必要資料的需求宜減至最少，以避免因資料量的增加造成調查工作困難及管理成效降低。

2.2 結構性指標

美國陸軍工兵團所發展的鋪面狀況指標(PCI)，是以工程師的觀點來評估鋪面表面狀況的一種結構性綜合指標，主要是以鋪面的破壞型態、破壞嚴重程度、及破壞範圍等參數來決定【Shahin, 1994】。PCI 的計算是以扣分值為基礎，扣分值表示各種破壞對鋪面狀況的影響（範圍為 0~100），扣分值為 0 表示該破壞沒有影響，扣分值為 100 則表示該破壞對鋪面績效的影響相當嚴重。PCI 主要的計算步驟包括：計算各種破壞型態在每一種嚴重程度之總數量、計算各種破壞型態及嚴重程度之密度百分比、依據扣分曲線圖求出各種破壞型態及嚴重程度組合之扣分值(DV)，並配合扣分修正曲線求出最大修正扣分值(CDV)以解決扣分值總和可能超過 100 之問題，再以 100 減去最大修正扣分值來計算 PCI， $PCI = 100 - \max CDV$ 。

鋪面狀況指標(PCI)與其評定等級之範圍包括：0~10（失敗）、10~25（很差）、25~40（差）、40~55（普通）、55~70（好）、70~85（很好）、與 85~100（優良），不僅可以用來顯示鋪面現階段之狀況，亦可作為決定養護順序之依據。由於 PCI 的鋪面損壞的定義、調查方法、以及計算的程序皆已列入美國材料標準試驗方法中(公路鋪面 ASTM D 6433-99, 機場鋪面 D 5340-98)，顯見其具有高度之可靠性，因此除了被美國國防部及美國公共工程協會所認可外，世界各國亦廣泛地將其應用在公路、停車場、及機場之鋪面管理工作上，我國中正機場之鋪面管理系統亦採用此綜合性指標【周家蓓等，2004】。

我國公路主管單位曾委託國內學術研究單位，進行一般公路之鋪面養護管理系統的研究，並針對本土鋪面狀況建立一種鋪面的結構性指標，此種指標主要是參考 PCI 之概念，並依鋪面破壞調查之結果，以破壞項目之權重、嚴重程度之權重、與破壞範圍權重之乘積，來決定路段之鋪面表面破壞指標(PSDI)值【周家蓓等，1993】，如表一與下列公式所示：

$$PSDI = \Sigma (\text{破壞項目權重} * \text{嚴重程度權重} * \text{範圍權重}) \quad (1)$$

表一 一般公路 PSDI 破壞項目及嚴重程度權重【周家蓓等，1993】

種類	破壞名稱		破壞項目權重	破壞等級權重		
				輕 (L)	中 (M)	重 (H)
裂縫	A1	縱向車道裂縫	49	0.24	0.58	1.00
	A2	橫向裂縫	59	0.32	0.66	1.00
	A3	龜裂	59	0.34	0.63	1.00
變形	B1	車轍	68	0.35	0.65	1.00
	B2	波浪形路面	89	0.35	0.63	1.00
	B3	隆起與凹陷	95	0.40	0.67	1.00
	B4	面層表面滑動	71	0.34	0.67	1.00
	B5	車道與邊緣高差	66	0.35	0.64	1.00
表面破壞	C1	坑洞	100	0.48	0.74	1.00
	C2	脫落及鬆散	64	0.42	0.70	1.00
	C3	冒油	54	0.33	0.62	1.00
其它	D1	修補面破壞	61	0.42	0.67	1.00
	D2	薄層剝離	58	0.36	0.65	1.00
	D3	人孔高差	93	0.44	0.70	1.00

PSDI 為零時，代表鋪面之最佳狀態，PSDI 值愈大時則表示鋪面狀況愈差。由於在早期針對一般公路發展 PSDI 時，並未選定明確之評分上限值，若是假設鋪面在最差之狀況下，路段中所有區域內均有所有類型的重度破壞時，則可將所有之破壞權重直接加總而得 PSDI 值，其可能之最高值為 986 (14 種破壞)。因此，在針對後續之中山高速公路路面養護管理系統的研究時，經過專家座談決定考慮加入評分上限為 100 後，依高速公路鋪面的特性修正而得之破壞項目權重、嚴重程度權重、以及破壞項目之範圍權重計算方式，如表二與表三所示【侯羿、周家蓓、劉明仁等，1997】。

表二 高速公路 PSDI 破壞項目及嚴重程度權重【侯羿、周家蓓、劉明仁等，1997】

種類	損壞名稱	破壞項目權重	破壞等級權重		
			輕 (L)	中 (M)	重 (H)
裂縫	縱、橫向裂縫	10.56	0.24	0.58	1.00
	龜裂	13.44	0.34	0.63	1.00
變形	車轍	17.26	0.35	0.65	1.00
	表層滑動	13.44	0.34	0.67	1.00
表面破壞	坑洞	19.19	0.48	0.74	1.00
	冒油	11.52	0.33	0.62	1.00
其它	薄層剝離	10.56	0.36	0.65	1.00
	修補面	9.6	0.42	0.42	0.42

表三 高速公路 PSDI 鋪面表面破壞範圍權重定義【侯羿、周家蓓、劉明仁等，1997】

損壞項目	範圍權重定義方式
縱、橫向裂縫	(裂縫長度*0.7)/資料單元面積
龜裂	龜裂面積/資料單元面積
車轍	車轍長度/資料單元長度
表層滑動	表層滑動長度/資料單元長度
坑洞	(坑洞個數*5)/資料單元長度
冒油	冒油面積/資料單元面積
薄層剝離	薄層剝離長度/資料單元長度
修補面	修補面長度/資料單元長度

三、綜合性指標之分析與比較

簡言之，在國際上鋪面綜合性指標（功能性與結構性）之原則與發展趨勢不外乎簡化、客觀化、標準化、及自動化，目的是希望在最短時間內以最精簡之資料與最經濟的方式有效地評估鋪面的狀況。因此對於不同之管理需求，所採用之指標也不盡相同，慎選擇合適之綜合性指標以評估鋪面之狀況，方能充分發揮鋪面管理之功能與效益。以路網階層之鋪面管理而言，較適合以簡單之功能性指標來評估鋪面之狀況，以避免資料過多造成資料分析與管理之困難。然而，在個案階層之鋪面評估與維修工作時，則需要較詳細的資料以決定要採行之細部維修方法，因此較適合採用結構性指標。

鑑於結構性指標需要較為詳細之破壞資料，因此對於調查內容及計算程序之標準化便格外地重要。由於鋪面狀況指標(PCI)對於可量測性、重複性、及一致性均可達到一定的要求，而其調查內容與計算程序亦已列入美國材料標準試驗方法中，在客觀性、標準性、與國際接受度上似乎亦較鋪面表面破壞指標(PSDI)為佳。因此，本研究將以隨機產生之一般公路與高速公路柔性鋪面資料，透過資料分析的方式來探討鋪面狀況指標(PCI)與本土化的鋪面表面破壞指標(PSDI)之特性差異，藉以比較其優缺點及國內之適用性。

3.1 一般公路柔性鋪面

本研究首先以一般公路柔性鋪面為例，將前述兩種指標中之各種鋪面破壞項目、嚴重程度、及破壞範圍之定義逐一列出比較，並將各種破壞型態中英文譯名有明顯差異者排除在外，以便於後續分析比較，例如，將僅在 PCI 中有定義之塊狀裂縫、邊緣裂縫、接縫反射裂縫、粒料磨光、鐵路交叉、推擠、與膨脹，以及僅在 PSDI 中有定義之薄層剝離與人孔高差等破壞項目排除。此外，因 PCI 中之隆起與凹陷(Bumps and Sags)及下陷(Depression)與 PSDI 中之隆起與凹陷(Heave and Depression)，以及 PCI 中之風化及鬆散(Weathering and Raveling)與 PSDI 中之脫落及鬆散(Stripping)，其定義可能不同，因此亦將

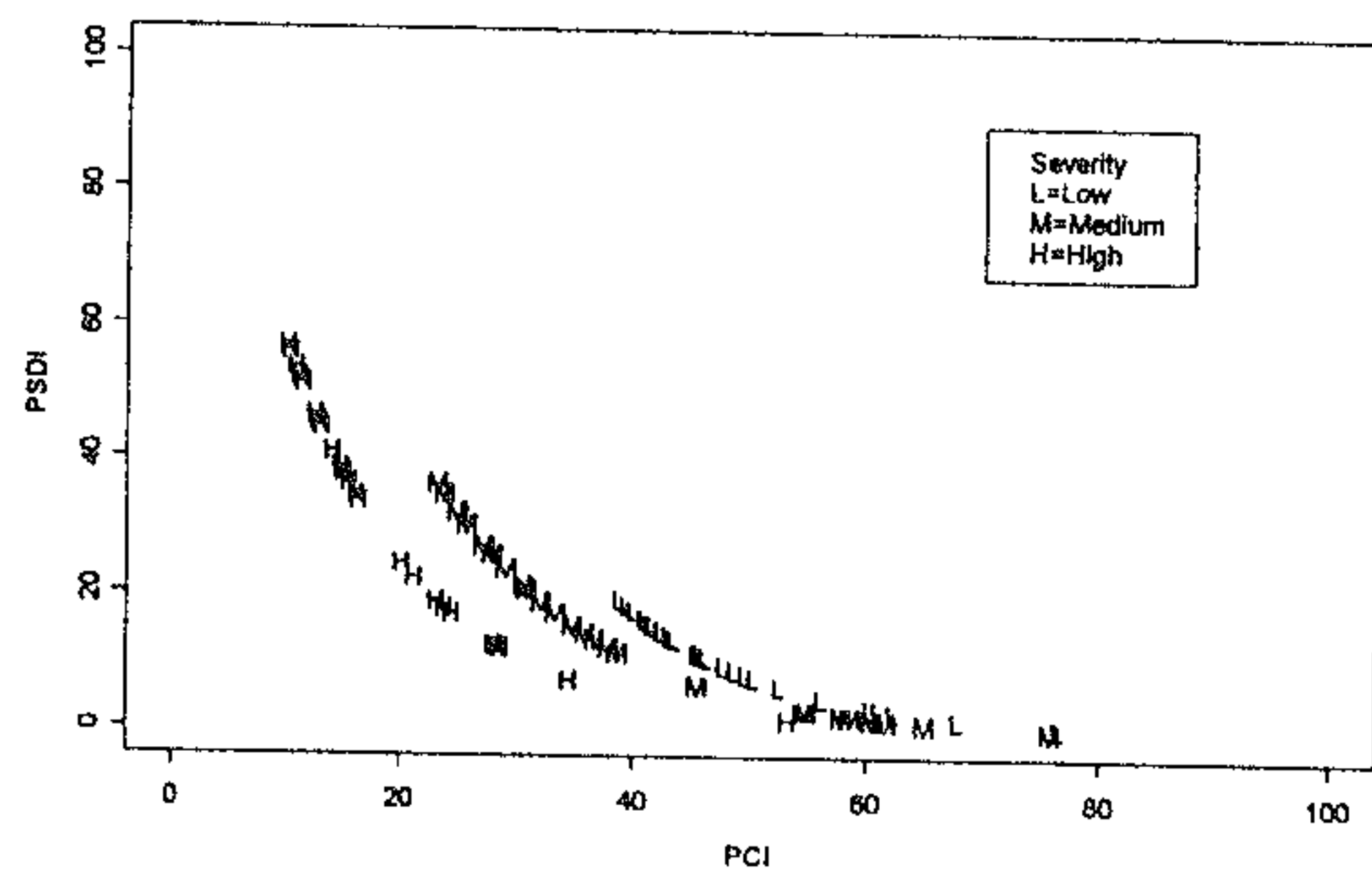
其排除在後續比較之列。

因此，僅保留前述兩種指標中英文譯名相同之破壞型態，包括龜裂、冒油、波浪形路面、車道與路肩高差（車道與邊緣高差）、縱向及橫向裂縫、修補、坑洞、車轍、及滑動裂縫（表面滑動）等，並進一步比較其嚴重程度之定義，如表四所示【Shahin, 1994；周家蓓，1993】。由於車道路肩高差、縱向及橫向裂縫、坑洞、及車轍等四種破壞之嚴重程度定義明顯不同，因此亦不列入後續分析比較中。再者，雖然在PSDI中並未定義冒油及滑動裂縫（表面滑動）等破壞項目之嚴重程度，但在其權重係數表中卻有不同嚴重程度之權重係數，因此將此二種破壞項目視為有區分嚴重程度。

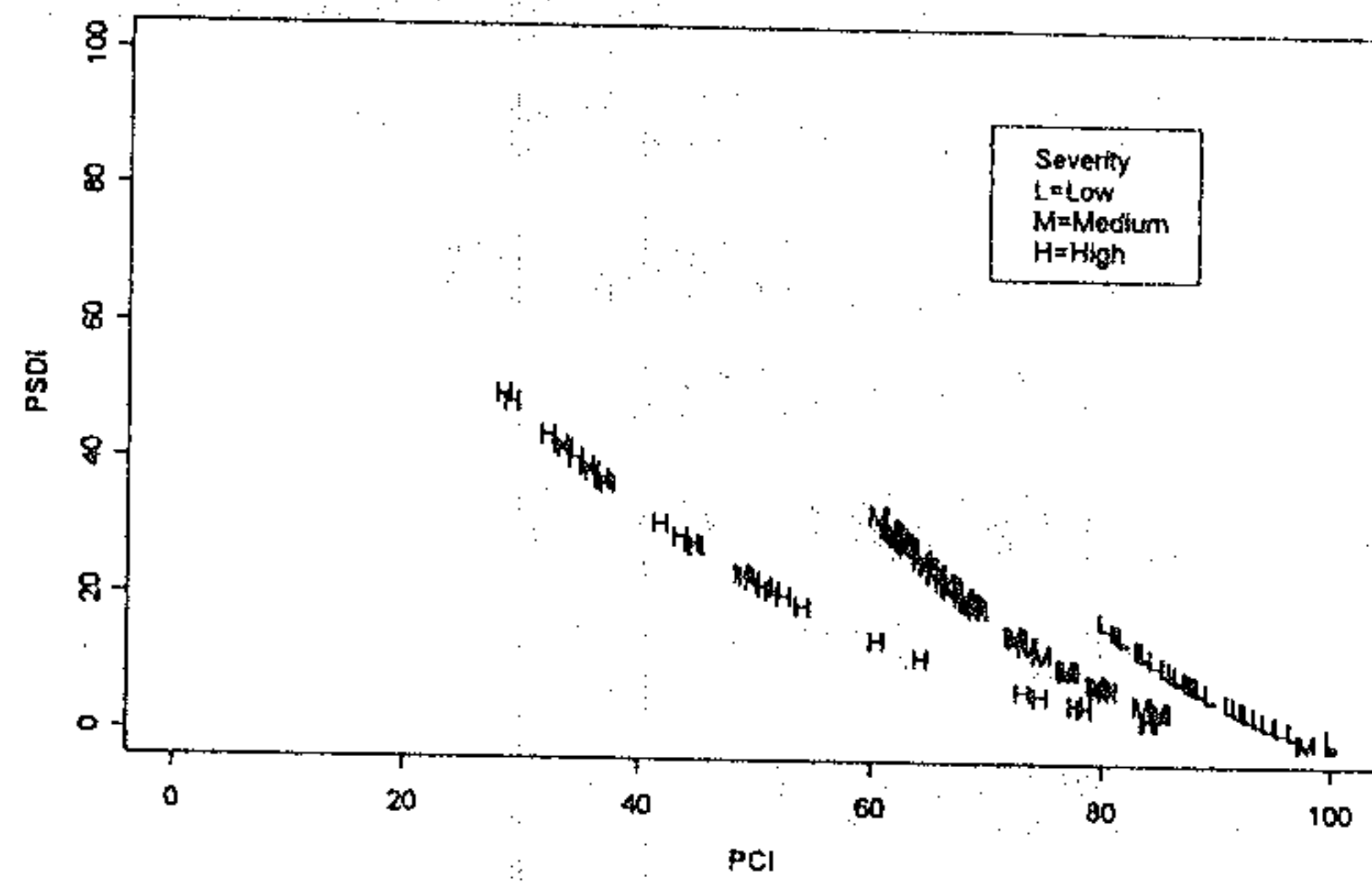
表四 一般公路柔性鋪面綜合性指標之破壞類型與嚴重程度定義比較

破壞項目	PCI			PSDI					
	輕	中	重	輕	中	重			
龜裂	裂縫無破裂	裂縫輕微破裂	裂縫嚴重破裂	裂縫無破裂	裂縫輕微破裂	裂縫嚴重破裂			
冒油	輕微	擴散	嚴重	不分等級					
波浪形路面	路面輕微起伏	路面明顯起伏	路面嚴重起伏	路面輕微起伏	路面明顯起伏	路面嚴重起伏			
車道路肩高差	2.5~5 cm	5~10 cm	> 10 cm	< 2.5 cm	2.5~5 cm	> 5 cm			
縱向及橫向裂縫	無填補之裂縫 < 1 cm	無填補之裂縫 1~7.5 cm	無填補之裂縫 > 7.5 cm	無填補之裂縫 < 0.25 cm	無填補之裂縫 0.25~0.5 cm	無填補之裂縫 > 0.5 cm			
修補	修補面完好	修補面輕微破壞	修補面嚴重破壞	修補面完好	修補面輕微破壞	修補面嚴重破壞			
車轍	0.6~1.3 cm	1.3~2.5 cm	> 2.5 cm	< 1.25 cm	1.25~2 cm	> 2 cm			
滑動裂縫	寬度 < 1 cm	寬度 1~4 cm	寬度 > 4 cm	不分等級					
坑洞	直徑	10~20 cm	20~45 cm	45~75 cm	面積	< 1/3 m ²	1/3~1 m ²	> 1 m ²	
	深度				深度				
		1.3~2.5 cm	輕	輕	中	< 2.5 cm	輕	輕	中
		2.5~5 cm	輕	中	重	2.5~5 cm	中	中	重
	> 5 cm	中	中	重	> 5 cm	中	重	重	

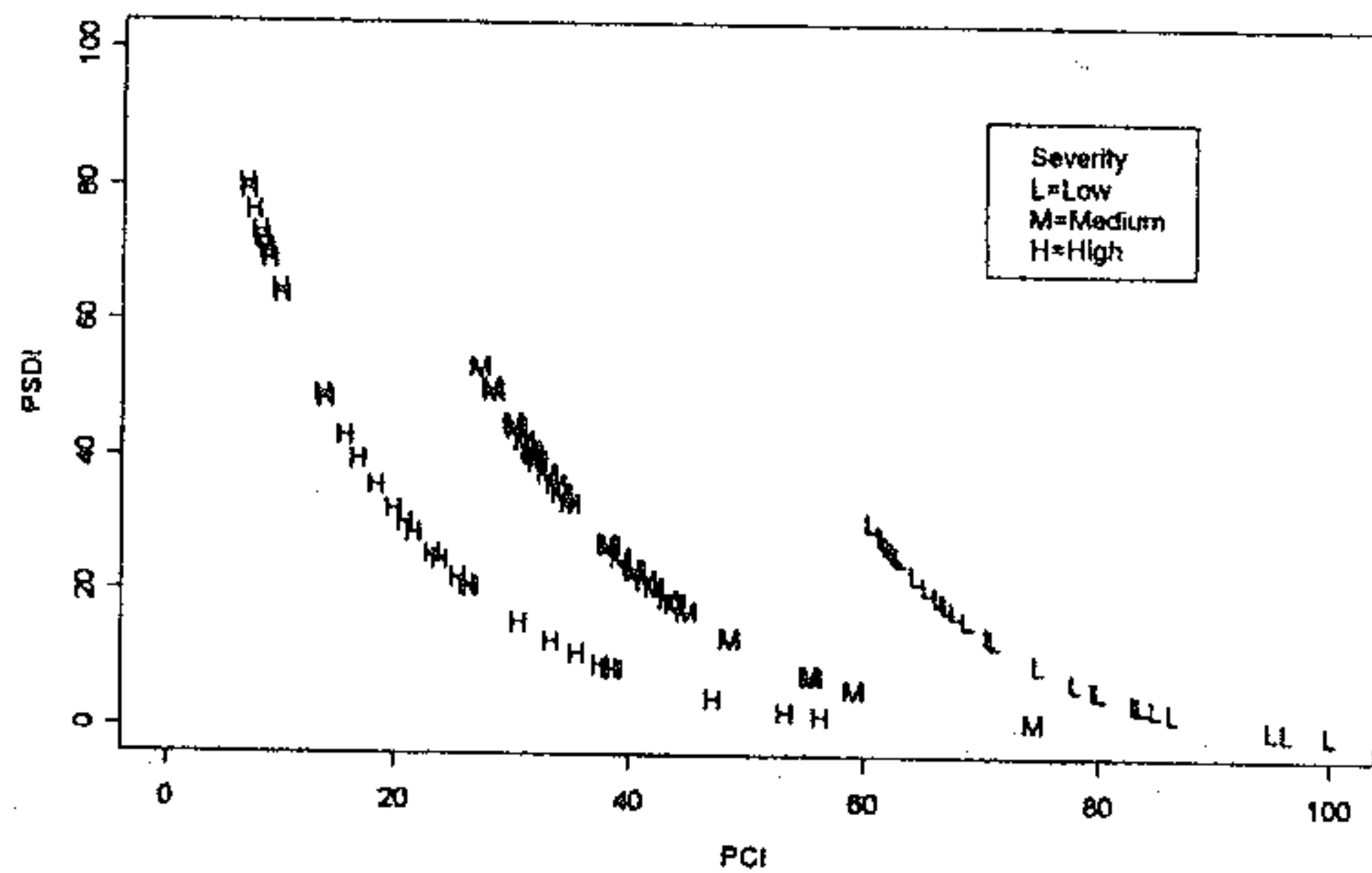
因此，研究中僅對龜裂、冒油、波浪形路面、修補、及滑動裂縫（表面滑動）等五種破壞項目進行後續分析比較。在破壞範圍方面，由於PCI對於此五種破壞範圍之定義為破壞面積佔樣本路段面積之百分比，而PSDI則無明確定義，為便於進行比較，本研究亦將之視為面積百分比。



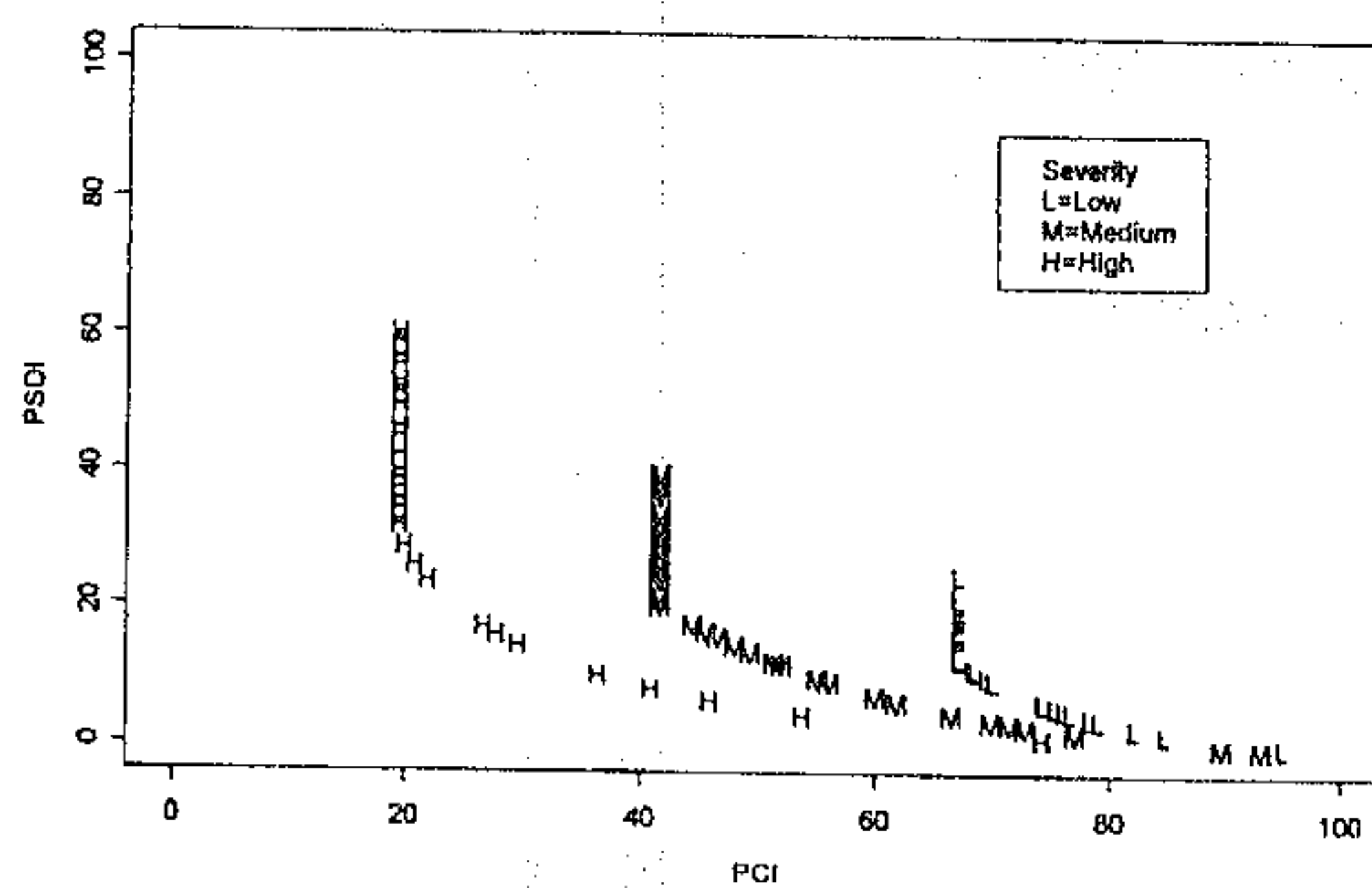
(a) 龜裂



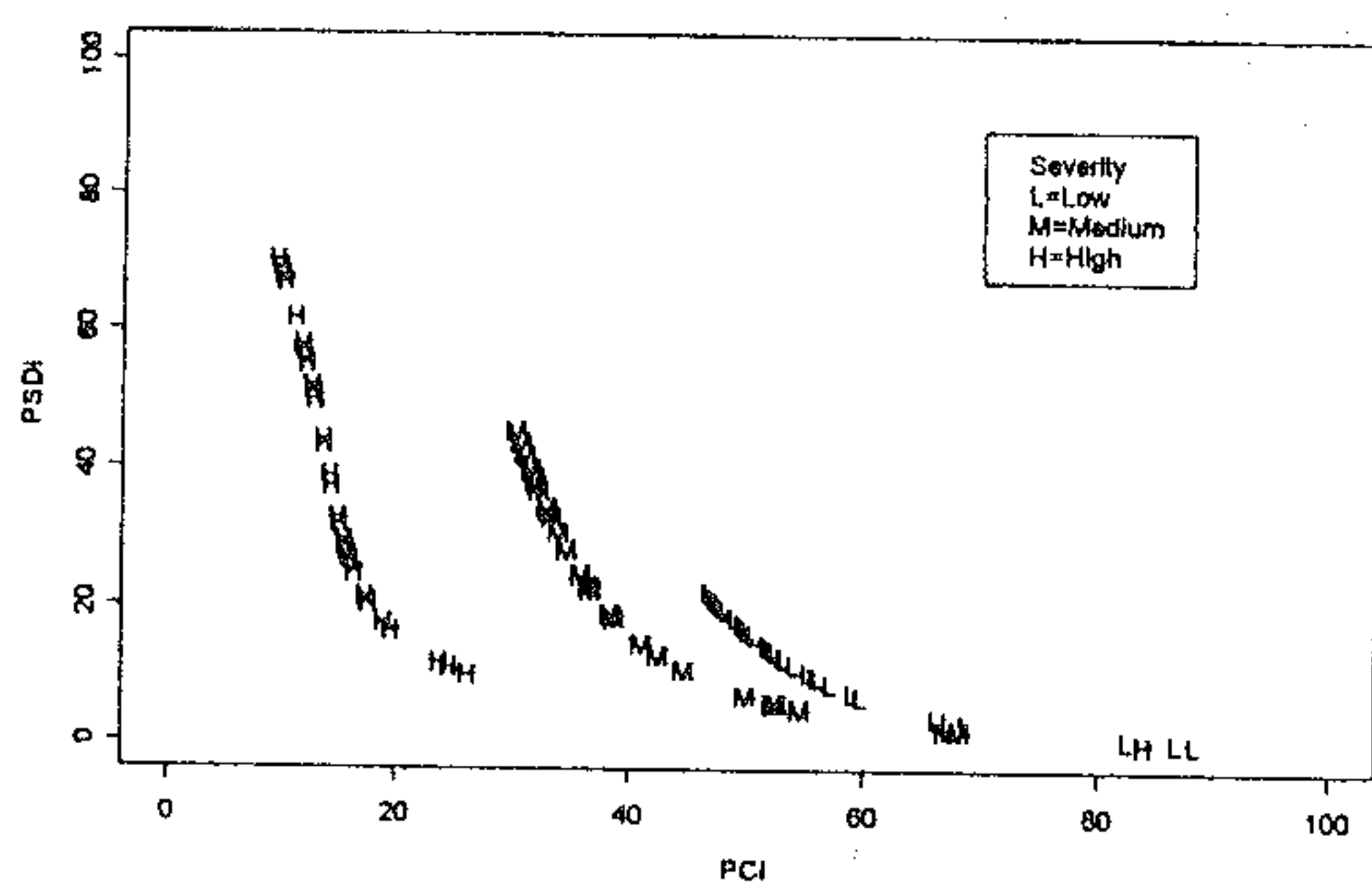
(b) 冒油



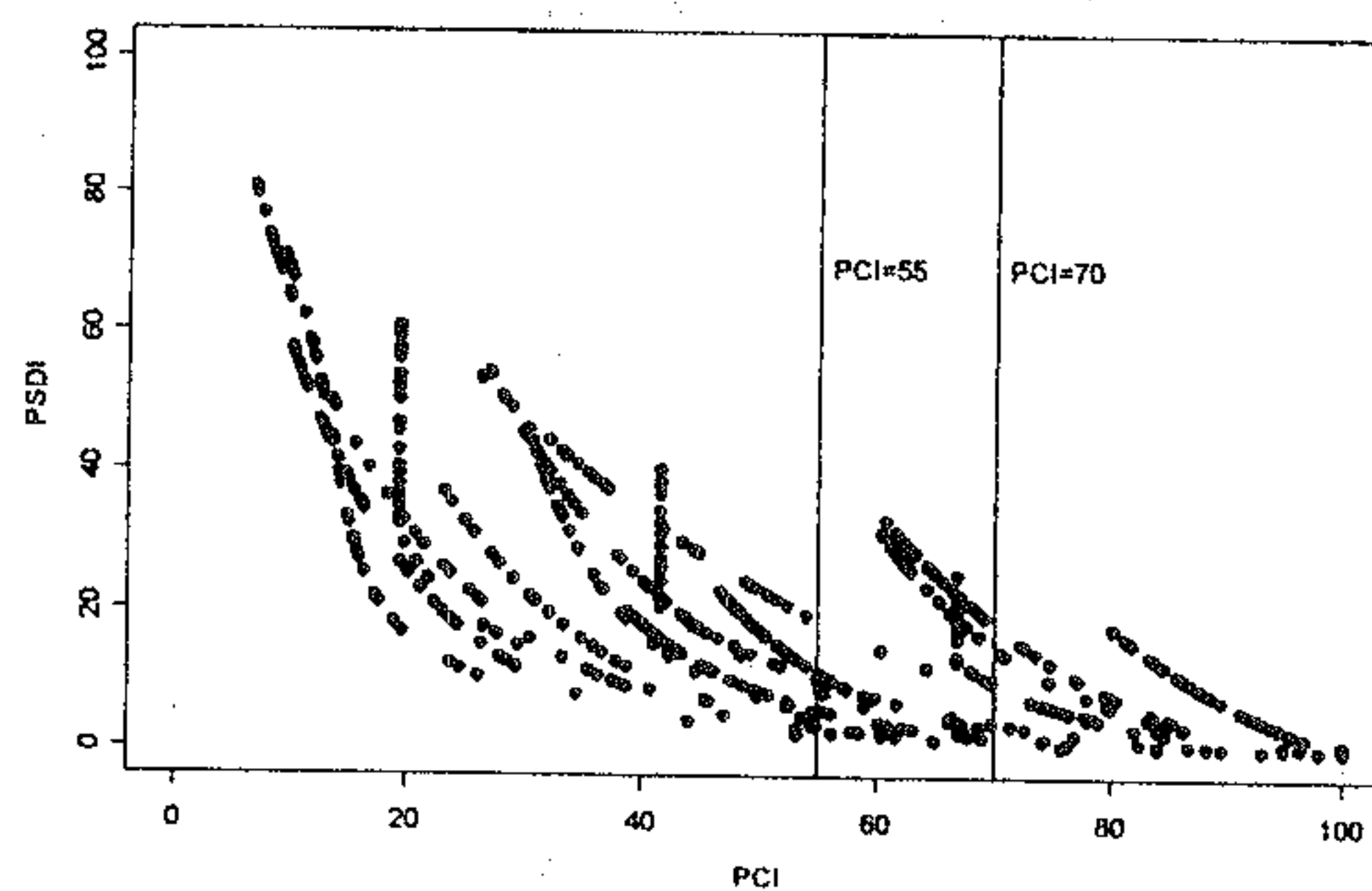
(c) 波浪形路面



(d) 修補



(e) 滑動裂縫



(f) 任意一種破壞

圖一 一般公路柔性鋪面之綜合性指標比較

接著，再以隨機產生之方式，建立一般公路柔性鋪面資料，並分別針對各單一破壞項目、嚴重程度、及破壞範圍來計算其 PCI 值與 PSDI 值，並繪出此計算結果之散佈圖，如圖一所示。圖一(a)代表輕度、中度、與重度龜裂之綜合性指標散佈圖，隨著破壞範圍的變化，PCI 值可從 100 降至 39、23、或 10，涵蓋範圍相當大。反觀 PSDI 值，則從 0 升

至 20、39、或 59，PSDI 值變動範圍較 PCI 值小。同樣地，圖一(b)~(e)代表輕度、中度、與重度之冒油、波浪形路面、修補、及滑動裂縫等破壞之綜合性指標散佈圖。

若將上述各項破壞之資料彙整成如圖一(f)所示之散佈圖，則可綜合說明在任意一種破壞狀況之下，PCI 值與 PSDI 值之變化趨勢。圖中可看出 PCI 值約介於 100 至 10，也就是 PCI 評分等級中可從優良(85~100)至失敗(0~10)，涵蓋範圍相當大，然而，PSDI 值則大部分集中於 60 以下之區域或偏向於較佳的狀況。

3.2 高速公路柔性鋪面

根據我國針對高速公路之鋪面表面破壞指標(PSDI)所做之修正【侯羿、周家蓓、劉明仁等，1997】，PSDI 之破壞型態包括縱向、橫向裂縫、龜裂、車轍、表層滑動、坑洞、冒油、薄層剝離、及修補。其中，除了薄層剝離外，其餘皆與 PCI 有相似之破壞項目。該研究對於嚴重程度部分也做了些許修正，表五代表 PSDI 修正後之嚴重程度定義與 PCI 嚴重程度定義之比較表。

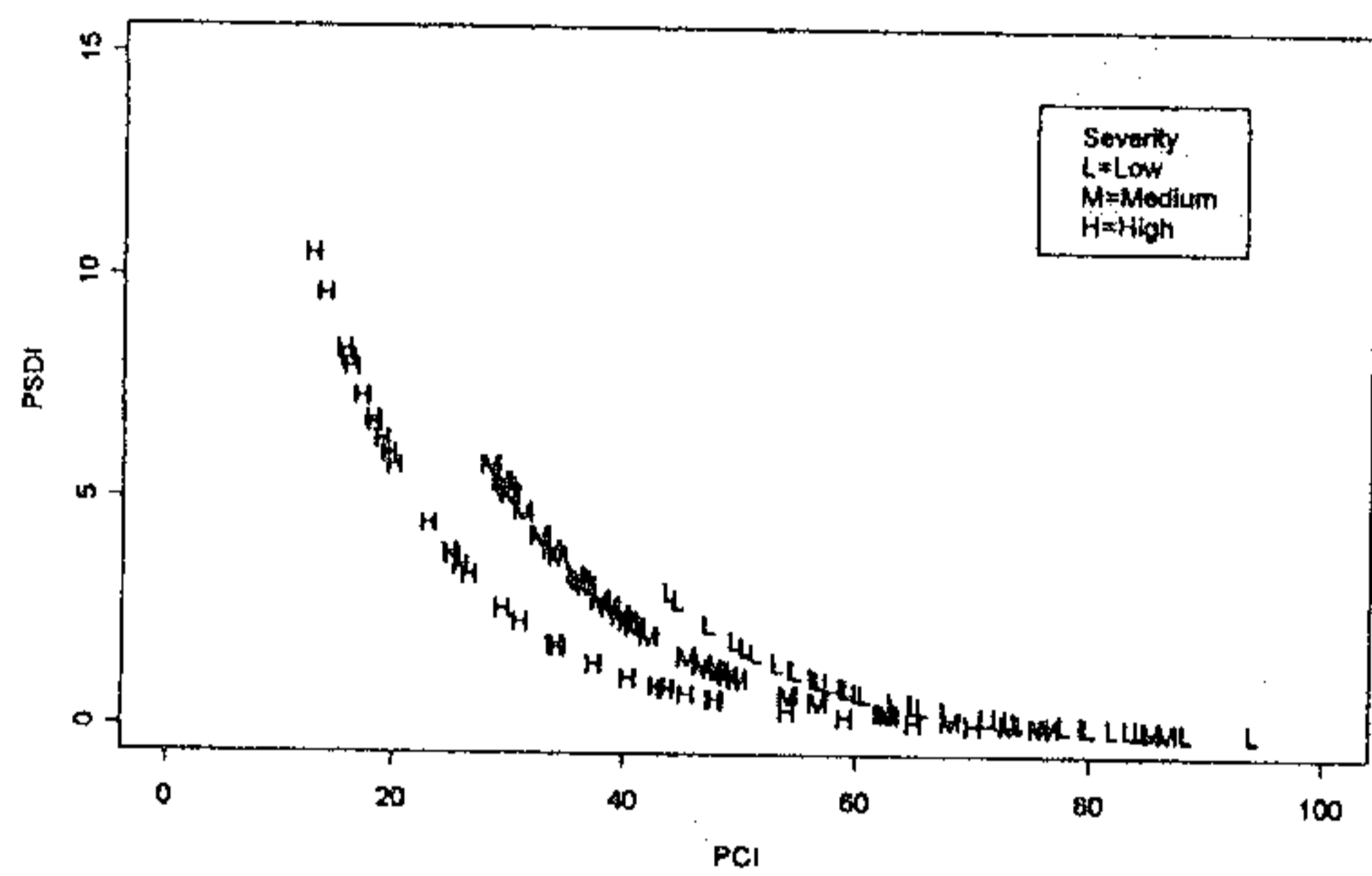
表五 高速公路柔性鋪面綜合性指標之破壞類型與嚴重程度定義比較

破壞項目	PCI			PSDI						
	輕	中	重	輕	中	重				
龜裂	裂縫無破裂	裂縫輕微破裂	裂縫嚴重破裂	裂縫無破裂	裂縫輕微破裂	裂縫嚴重破裂				
冒油	輕微	擴散	嚴重	出現連續性斑點	瀝青冒出	路面成潮濕狀				
縱向及橫向裂縫	無填補之裂縫 < 1 cm	無填補之裂縫 1~7.5 cm	無填補之裂縫 > 7.5 cm	無填補之裂縫 < 0.25 cm	無填補之裂縫 0.25~0.5 cm	無填補之裂縫 > 0.5 cm				
修補	修補面完好	修補面輕微破壞	修補面嚴重破壞	不分等級						
車轍	0.6~1.3 cm	1.3~2.5 cm	> 2.5 cm	< 1.25 cm	1.25~2.5 cm	> 2.5 cm				
滑動裂縫	寬度 < 1 cm	寬度 1~4 cm	寬度 > 4 cm	未發生裂縫	輕微新月形裂縫	嚴重新月形裂縫				
坑洞	直徑 深度	10~20 cm	20~45 cm	45~75 cm	直徑 深度	5~15 cm	15~30 cm	> 30 cm		
		1.3~2.5 cm	輕	輕		中	1~3 cm	輕	中	中
		2.5~5 cm	輕	中		重	3~5 cm	中	中	重
		> 5 cm	中	中		重	> 5 cm	中	重	重

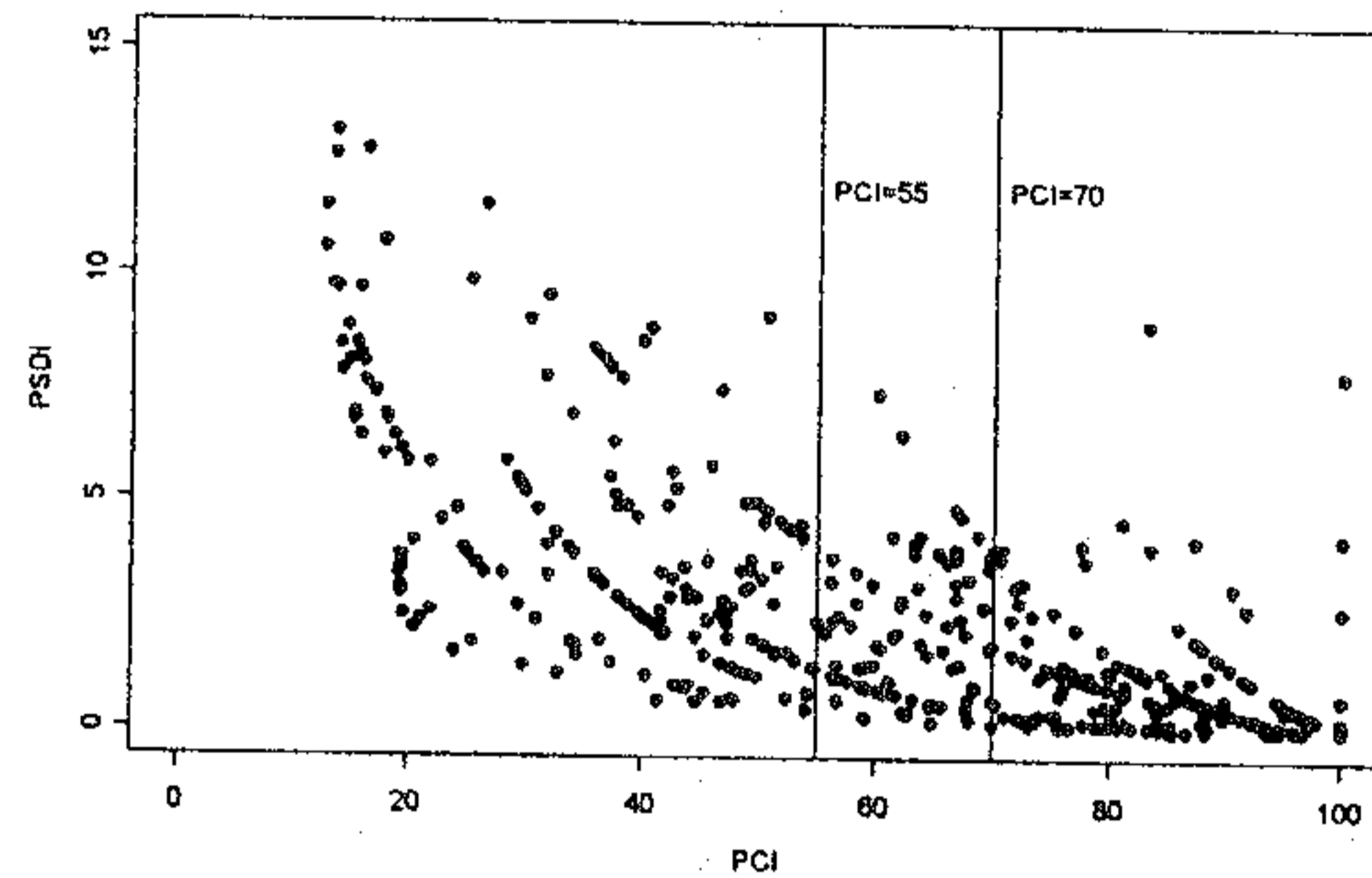
同樣地，由於縱向及橫向裂縫、坑洞、及車轍等破壞之嚴重程度定義明顯不同，因此不列入後續分析比較中。再者，雖然在 PSDI 中並未定義修補之嚴重程度，但在其權重係數表中卻有不同嚴重程度之權重係數，因此本研究將其視為有區分嚴重程度。此外，雖然在前述兩種指標中之冒油與滑動裂縫（面層表面滑動）之敘述略有不同，但仍視為相似並列入比較。因此，研究中僅對龜裂、冒油、修補及滑動裂縫（面層表面滑動）等四種破壞項目進行後續分析比較。

在破壞範圍方面，PCI 對於此四種破壞範圍之定義為破壞面積佔樣本路段面積之百分比，然而 PSDI 則有不同之定義方式，其中龜裂與冒油為破壞面積佔資料單元面積之百分比，修補與滑動裂縫（面層表面滑動）則為破壞長度佔資料單元長度之百分比。因此，在隨機產生資料時，必須假設固定之樣本路段（資料單元）之長度與寬度，並隨機產生破壞之長度與寬度等破壞範圍資料，再分別以此資料來進行分析比較。

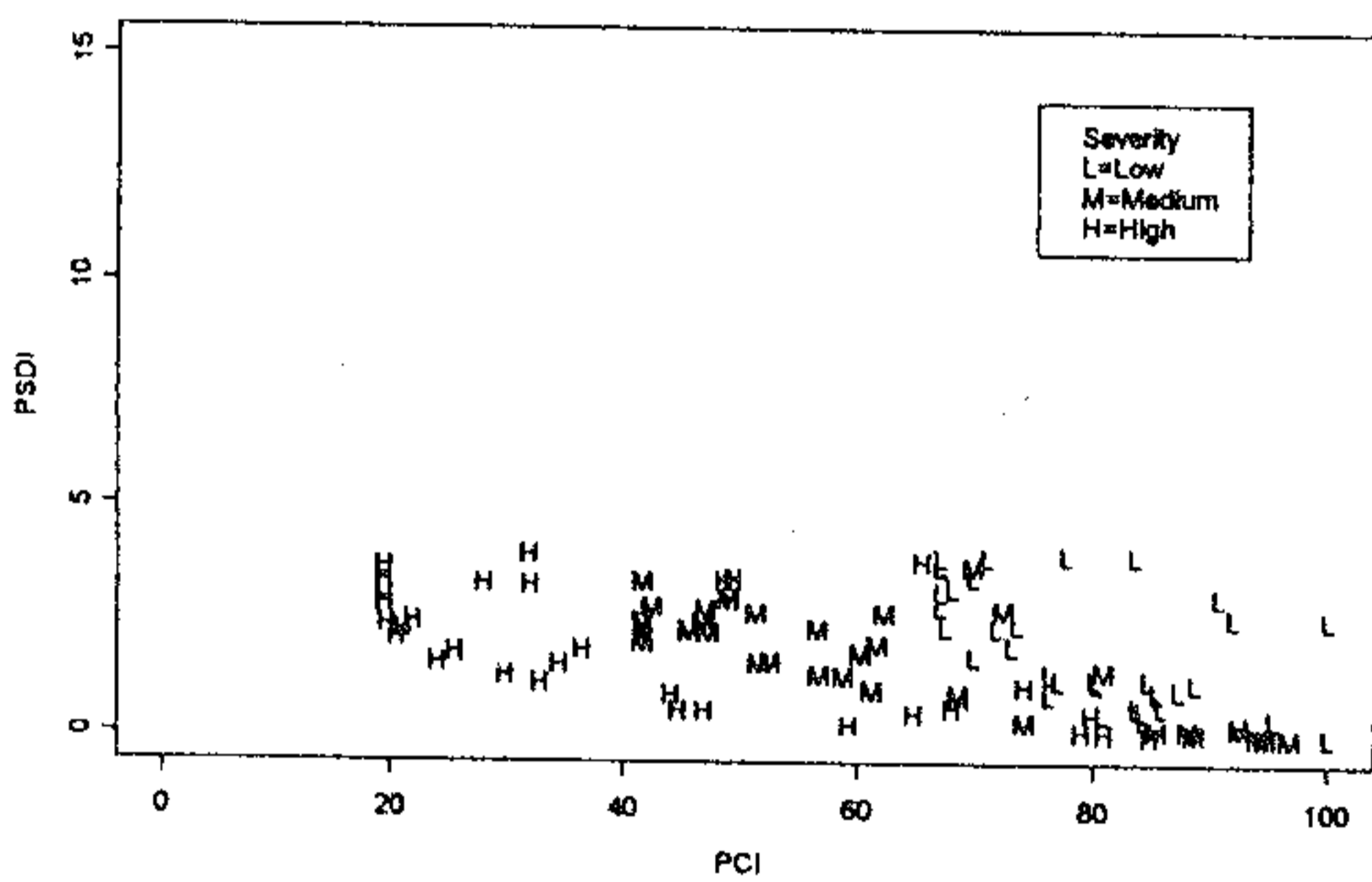
接著，再根據前述產生之高速公路柔性鋪面資料，並分別針對各單一破壞項目、嚴重程度、及破壞範圍來計算其 PCI 值與 PSDI 值，並繪出此計算結果之散佈圖，如圖二所示。



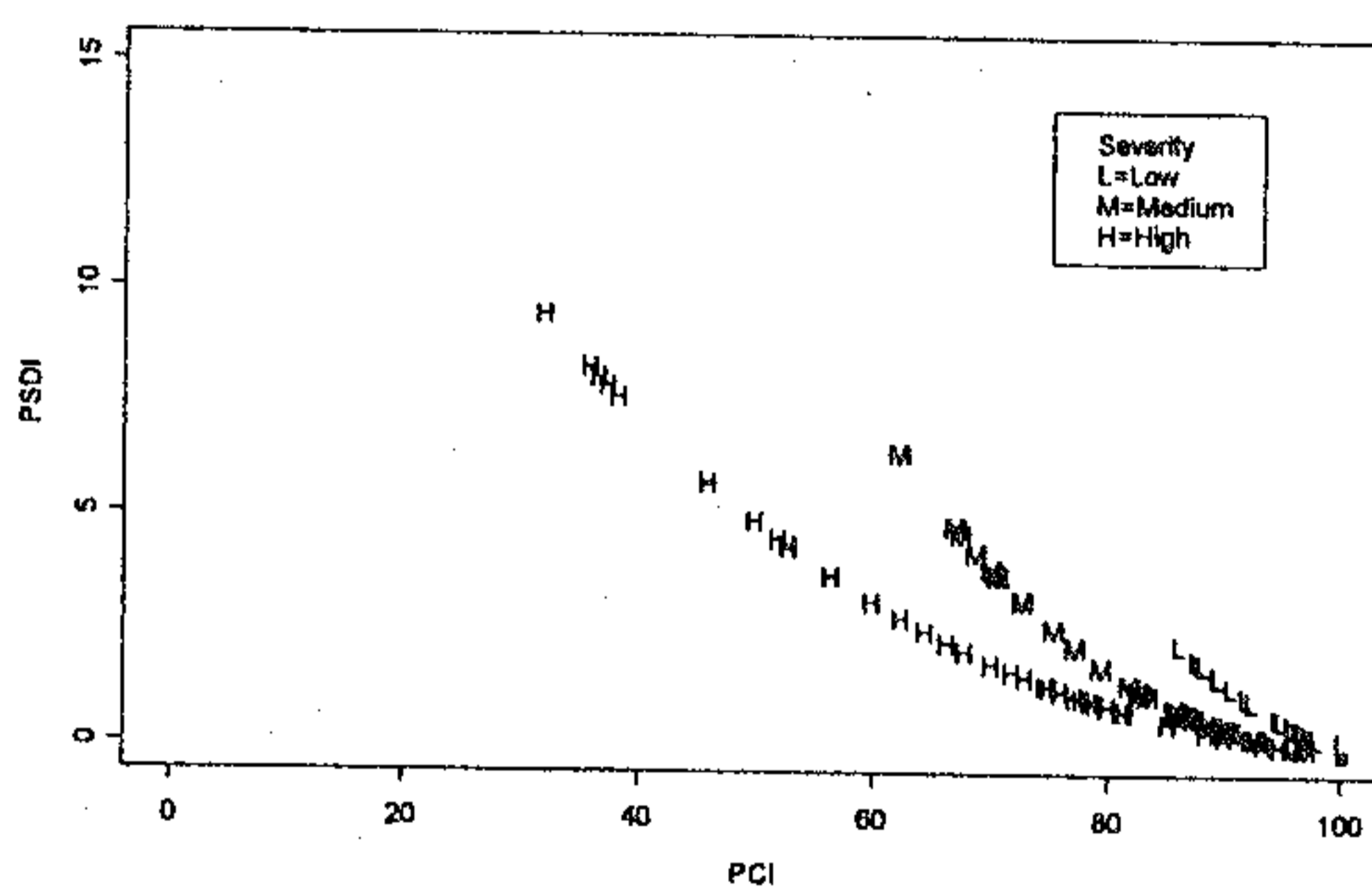
(a) 龜裂



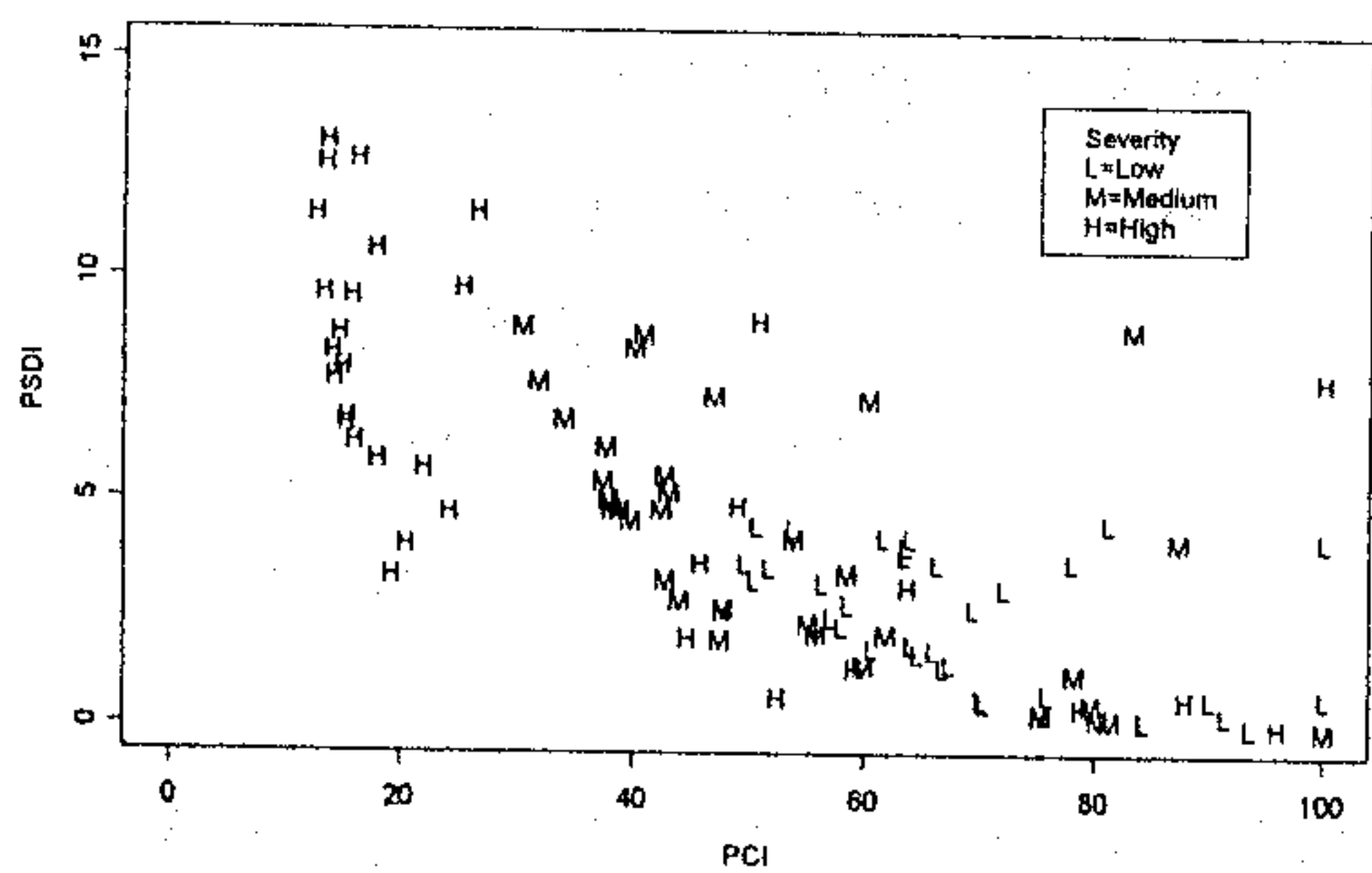
(e) 任意一種破壞



(c) 修補



(b) 冒油



(d) 滑動裂縫

圖二 高速公路柔性鋪面之綜合性指標比較

圖二(a)代表輕度、中度、與重度龜裂之綜合性指標散佈圖。圖中，其 PCI 值最高皆為 100，最低則分別約為 44、28、及 13，而 PSDI 最低值皆為 0，最高則分別約為 3、6、及 11。根據 Shahin 建議 PCI 之維修臨界值(55~70)之標準看來，單一的龜裂破壞，隨著破壞範圍的變化，PCI 值的範圍可從 100 降至 44、28、及 13，變化範圍相當大。反觀 PSDI 值，則從 0 升至 3、6、及 11，PSDI 值變動之範圍較 PCI 值小。同樣地，圖二(b)~(d)代表輕度、中度、與重度之冒油、修補、及滑動裂縫等破壞之綜合性指標散佈圖。

若將上述各項破壞之資料彙整成如圖二(e)所示之散佈圖，則可綜合說明在任意一種破壞狀況之下，PCI 值與 PSDI 值變化之趨勢。由圖中可看出 PCI 值約介於 100 至 10 之間，也就是 PCI 評分等級中可從優良(85~100)至失敗(0~10)，涵蓋範圍相當大，然而，PSDI 值則大部分集中於 13 以下之區域或偏向較佳的狀況。

3.3 綜合討論

由圖一與圖二之分析結果得知，上述二種結構性指標所需之調查資料大致相同，皆需包括破壞項目、嚴重程度、及破壞範圍，但是其基本概念與計算結果卻有明顯之差異。PCI 法對鋪面路段所產生之任一種破壞均有明確之上下限扣分值(0-100)，對範圍小之輕度破壞，其 PCI 值較高，若對範圍大之重度破壞，即使只有一種破壞，其 PCI 值可降至非常低。同樣地，PCI 法亦對鋪面同時可能產生多種破壞之情況，提供一個可靠且重複性高的計算方式來決定其 PCI 值。然而，在一般公路之 PSDI 法中，由於在早期發展時並未選定明確之評分上限值，當鋪面同時有多種破壞時，其 PSDI 甚至可高達 986(14 種破壞)。在高速公路之 PSDI 法中，雖然決定將多種破壞時之評分上限修訂為 100，卻導致可能發生當鋪面僅有一種破壞時，不論其範圍有多大、破壞程度有多嚴重，均無法大幅度地增加其 PSDI 值。

綜合而言，PCI 法除了有標準化與國際接受度之優點外，在實際應用上並可以極為簡易之方式設定其門檻值，以協助訂定後續之維修養護策略。例如，Shahin 建議 PCI 之維修臨界值約在 55 至 70 之間，PCI 值在 55 以下時需維修，超過 70 以上時則不需維修，

若是以此標準來看，PSDI 法中並不易以設定門檻值之方式來決定鋪面維修養護之順序。因此，為能符合國際上持續朝向標準化之趨勢，本研究建議可採用 PCI 法做為未來鋪面結構性指標之依據，必要時亦可調整門檻值以符合國內本土鋪面維修養護之實際情形。

四、綜合性指標之應用

本研究將接著參考美國陸軍工兵團所發展之 MicroPAVER 程式以及 ASTM D6433-99 (公路鋪面) 與 D5340-98 (機場鋪面) 中之扣分曲線圖與詳細計算過程，並嘗試發展一套中文化的鋪面狀況指標自動計算程式，以協助使用者可以快速地計算出鋪面之 PCI 值。鑑於國內對鋪面資料的整合與應用方式仍不甚明確，本研究並將配合均質路段與抽樣概念之應用【李英豪、洪政乾、盧中強、顏少棠，2004】，將所發展之 PCI 計算程式納入現有的個案階層之鋪面養護維修與路網階層之鋪面管理系統雛形程式中，以擴充原程式之功能並探討其適用性【陳克斌，2002】。

4.1 程式之構建與驗證

在 PCI 的計算程序中，各種破壞型態、嚴重程度、及破壞範圍之個別扣分曲線與修正扣分曲線除了可以查圖的方式來求得其值外，研究中亦發現安裝在 MicroPAVER 程式目錄下，名稱為 Pci.mdb 之 Access 資料庫檔案包含有前述各種對應扣分曲線之 4 次方至 6 次方之多元線性迴歸係數。此外，並發現在該檔案中對於修正扣分值曲線所附之資料並非其迴歸係數，而是僅代表曲線中以總扣分值間隔為 10 之各點數據，本研究並據此以多元線性迴歸的方式求得其對應之迴歸係數【陳克斌，2002】。本研究接著並利用 Visual Basic 6.0 程式來將前述之計算程序自動化，以計算各種公路或機場之柔性鋪面與剛性鋪面之 PCI 值。

根據 ASTM D6433-99 與 D5340-98 中之範例，本研究分別比較 MicroPAVER 程式、查圖手算、與 PCI 程式計算之結果，例如，表六代表公路柔性鋪面樣本路段面積為 2500 ft² 之破壞資料及其計算結果，表七所示則是公路剛性鋪面樣本路段版塊數為 20 之破壞資料及計算結果。由該結果可發現本程式不論是各破壞資料之扣分值或是樣本路段之 PCI 值與各對應之手算結果以及 MicroPAVER 程式之計算結果皆極為相近，尤其與 MicroPAVER 之計算結果近乎相同，可能產生誤差之原因在於修正扣分曲線資料與迴歸係數之些許差異，因此得以驗證出本程式之正確性。

表六 公路柔性鋪面計算實例之結果比較

破壞項目	嚴重程度	破壞密度	手算扣分值	PAVER 扣分值	本程式扣分值
鱷魚皮裂縫	L	0.52	7.9	7.86	7.85
鱷魚皮裂縫	H	0.56	23.4	23.4	23.58
邊緣裂縫	L	5.20	7.5	7.46	7.45
接縫反射裂縫	M	5.72	25.1	24.93	24.91
修補	H	0.88	17.9	17.86	17.86
坑洞	L	0.04	11.2	11.24	11.23
車轍	L	0.84	6.9	6.86	6.85
風化及鬆散	L	10.0	5.3	5.3	5.29
PCI 值			49	49	50.4

表七 公路剛性鋪面計算實例之結果比較

破壞項目	嚴重程度	破壞密度	手算扣分值	PAVER 扣分值	本程式扣分值
填縫料破壞	H	100	8.0	8.0	8.0
角隅破裂	L	15	12.6	12.58	12.58
角隅破裂	M	5	7.7	7.73	7.73
版塊分離	M	15	30.5	30.5	30.5
小型修補	M	20	4.4	4.36	4.36
貫穿	M	10	25.1	25.09	25.09
角隅剝落	L	30	5.8	5.78	5.78
接縫剝落	H	5	9.0	9	9
PCI 值			49	51	50.5

4.2 程式之實際應用

因此，本研究首先將所發展之 PCI 計算程式納入現有之柔性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統雛形程式(ICSMART-F)【許時豪，2001】與剛性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統雛形(ICSMART-R) 程式【徐志忠，2001】中，以協助後續鋪面綜合性指標的本土化應用【陳克斌，2002】。此二種個案階層的鋪面維修程式係利用均質路段與抽樣之觀念來蒐集鋪面破壞資料，並以動態決策樹之方式分析資料，進而對鋪面提出適當之養護維修建議，並可預估鋪面之未來狀況。對柔性鋪面而言，修改 ICSMART-F 程式後樣本路段之 PCI 現地調查資料（如裂縫破壞及表面缺陷等）輸入畫面如圖三(a)所示，首先需輸入樣本路段面積，接著分別利用下拉式選單選擇破壞項目、嚴重程度、以及破壞數量後將資料輸入，待所有資料輸入後並可計算出該樣本路段之 PCI 值。各詳細之破壞資料、扣分值、及 PCI 計算結果則顯示於主畫面中，如圖三(b)所示。該雛形程式亦可同時輸入多筆樣本路段資料並計算出均質路段之平均 PCI 值。ICSMART-R 程式主要在診斷剛性鋪面之破壞成因、評估鋪面現況，提供可行維修技術與策略之選擇，並可兼顧鋪面長期績效表現與維修後之生命週期成本。同樣地，本研究在原程式之現地調查資料輸入畫面中

- (6) 自動儀器調查之發展與應用：結合電子、機械與電腦等軟硬體設施改進目前鋪面檢測儀器與技術，以更快速、安全、與正確的方式，改善資料儲存與處理作業，以減少人工操作及人為誤差，使調查之資料能更符合鋪面管理所需。
- (7) 鋪面績效之預測：由於缺乏本土化之鋪面績效預測模式，國內鋪面管理系統目前僅對鋪面之現況作評估，而無法預測未來鋪面維修前與維修後之狀況。建議國內可先採用與國外類似環境之鋪面預估模式，再根據國內現有資料進行修正，以逐步發展出適用於國內之鋪面預估模式。
- (8) 訂定維修準則：維修門檻值之訂定可隨時根據不同需求或地區做適度之調整，根據 Shahin 之建議 PCI 之維修臨界值約在 55 至 70 之間，PCI 值在 55 以下時需維修，超過 70 以上時則不需維修。建議國內可暫時以此做為未來維修之依據，必要時亦可調整門檻值以符合國內本土鋪面維修養護之實際情形與人員經費等之限制。

六、結論與建議

本研究主要在探討如何應用鋪面綜合性指標以增進國內鋪面管理之效率。透過對國內外具代表性之功能性指標與結構性指標之發展概念與特性之瞭解，可以發現世界各國對於鋪面指標發展之趨勢主要為簡化、客觀化、標準化、及自動化，以快速地蒐集資料並確保資料之正確性與一致性。鋪面指標之選擇應配合鋪面管理之實際需求，路網階層之管理較適合以簡單之功能性指標，以避免資料過多造成資料分析與管理之困難，個案階層之鋪面評估與維修則較適合採用需要較詳細的資料之結構性指標，以決定要採行之細部維修方法。建議國內未來在鋪面指標發展與應用上宜與國外朝向簡化及客觀化之趨勢相符，不宜過於強調本土化而忽略指標之適用性及可執行性，或是不必要地增加指標的複雜度與對資料的需求，以避免增加鋪面管理之困難並降低管理之成效。

鑑於結構性指標需要較為詳細之鋪面破壞資料，因此對於調查內容及計算程序之標準化便格外地重要。本研究並透過資料分析的方式來探討鋪面狀況指標(PCI)與本土化的鋪面表面破壞指標(PSDI)之特性差異，藉以比較其優缺點及國內之適用性。雖然此二種結構性指標皆需破壞項目、嚴重程度、及破壞範圍等調查資料，但是其基本概念與計算結果卻有明顯之差異。在實際應用上，PCI 法除了有標準化與國際接受度之優點外，並可以極為簡易之方式設定其門檻值，以協助訂定後續之維修養護策略，因此亦較 PSDI 法容易決定鋪面維修養護之順序。為符合國際上持續朝向標準化之趨勢，本研究建議我國可採用 PCI 法做為未來鋪面結構性指標之依據，必要時亦可以修改門檻值之方式以符合本土化之需求。

本研究接著參考美國陸軍工兵團所發展之 MicroPAVER 程式以及 ASTM D6433-99 (公路鋪面) 與 D5340-98 (機場鋪面) 中之扣分曲線圖與詳細計算過程，並建立一套中文化的鋪面狀況指標自動計算程式，以協助使用者可以快速地計算出鋪面之 PCI 值。鑑於國內對鋪面資料的整合與應用方式仍不甚明確，本研究並配合均質路段與抽樣概念之應用，將所發展之 PCI 計算程式納入現有的個案階層之鋪面養護維修與路網階層之鋪面管理系統雛形程式中，以擴充原程式之功能並探討其適用性。最後，並對鋪面管理層級之劃分、「均質路段」與「抽樣調查」觀念之應用、鋪面綜合性指標之選用、標準調

查手冊及規範之訂定、專責機構之成立與人員訓練、自動儀器調查之發展與應用、鋪面績效之預測、及維修準則之訂定等要點，提出鋪面評估與管理工作之具體建議，以確實發揮其執行成效。

參考文獻

1. 陳克斌，「綜合性指標在鋪面工程之應用」，淡江大學土木工程學系，碩士論文，民國九十一年六月。
2. 吳政隆，「柔性鋪面現況服務力指標之研究」，台灣大學土木工程學系，碩士論文，民國八十四年六月。
3. 張家瑞，「建立臺灣地區瀝青路面網級養護管理系統-以公路局中壢工務段為例」，中央大學土木工程學系，博士論文，民國九十年一月。
4. 侯羿、周家蓓、劉明仁等，「中山高速公路路面養護管理系統電腦實務應用-期末報告」，財團法人臺灣營建研究院，民國八十六年十二月。
5. 周家蓓，「臺灣地區一般公路鋪面養護管理系統建立之研究-第二期」，交通部運輸研究所，民國八十二年十月。
6. 周家蓓、林世泰、林美伶、王詩瑩，「中正機場鋪面管理系統之建置」，鋪面工程，中華鋪面工程學會會刊，第二卷第三期，民國九十三年四月，第 39-51 頁。
7. 李英豪、洪政乾、盧中強、顏少棠，「鋪面路網資料庫架構與維修管理策略最佳化芻議」，鋪面工程，中華鋪面工程學會會刊，第二卷第三期，民國九十三年四月，第 20-38 頁。
8. 盧中強，「鋪面路網資料庫架構與地理資訊系統之研究」，淡江大學土木工程學系，碩士論文，民國八十九年十二月。
9. 許時豪，「柔性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統雛形之建立」，淡江大學土木工程學系，碩士論文，民國九十年十二月。
10. 徐志忠，「剛性鋪面養護與維修技術智慧型諮詢系統雛形之建立」，淡江大學土木工程學系，碩士論文，民國九十年十二月。
11. Al-Omari, B., and Darter, M. I. (1992). *Relationships Between IRI and PSR*, Transportation Engineering Series No.69, Civil Engineering Studies, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois.
12. ASTM (1998). "Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys", ASTM D5340-98.
13. ASTM (1999). "Standard Practice for Road and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys", ASTM D6433-99.
14. Carey, W. N. and Irick, P. E. (1969). "The Pavement Serviceability Performance Concept", *Highway Research Board Bulletin No.250*.
15. Chou, C. P. and Wu, C. L. (1997). "Evaluation of Panel Characteristics and User-Based Pavement Serviceability;" *Transportation Research Record 1952*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
16. Haas, R. and Hudson, W. R. (1994). *Modern Pavement Management*, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
17. Liu, C., and Herman, R. (1997). "Roadway-Vehicle Interaction, Physical Indexes, and Human Judgement of Ride Quality", *Transportation Research Record 1570*, Transportation Research Board, Washington, D.C.

18. Sayers, M. W., Gillespie, T. D., and Queiroz, C. A. V. (1986). "The International Road Roughness Experiment: A Basis for Establish a Standard Scale for Road Roughness Measurements," *Transportation Research Record 1084*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
19. Shahin, M. Y. (1994). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, Chapman & Hall, New York, NY.