

行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告

撓度指標與撓度資料庫於鋪面撓度實驗回算之研究

Backcalculation of Deflection Measurements on Pavements Using

Deflection Indices and Deflection Data Base

計劃編號：NSC88-2211-6032-004

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：張德文 淡江大學土木工程學系

一、中文摘要

本研究以大量的撓度資料庫為基礎，配合最能代表各層材料模數的撓度指標值建立，以搜尋歸納方式找尋最接近現場撓度盤的撓度值，並以動態回算迭代程序所定義的模數修正因子修正該組撓度盤所對應的鋪面各層模數值，求取分析結果。

關鍵字：回算、動態撓度、資料庫、撓度指標

Abstract

Since the iterative type of backcalculation needs significant amount of time in computation, the objective of this research is to access the dynamic backcalculation with a data-base approach. By setting a standard pavement structure, the deflections corresponding to the variations of the structure are computed from dynamic modeling or extensive data base. The optimized possibility of the pavements structure can be found by comparing the experimental deflections (or deflection indices) with the deflection in the database. The final estimation is determined by correcting the layer moduli with the correction factors defined in iterative backcalculation.

二、計劃緣由與目的

關於非破壞性撓度試驗於鋪面工程應用之數據演繹，張鴻源[1]、張嘉麟[2]，

曾以動態應力分析為基礎，分別針對道路評審儀與落重撓度儀，發展出 UTAM 和 DBFWD 回算程式，其研究顯示動態回算均優於傳統靜態回算程式，然分析所需時間隨著迭代數量增加而影響程式應用性。張記恩[3]在建立台灣地區柔性鋪面指標評估法之研究中發現：新型指標評估法雖能有效增進撓度指標評估法功能，提昇鋪面各層評估細節，然是項分析仍屬定性，無法提供相似於回算分析的結果。此外，石俊雄[4]亦以動態應力分析為基礎，發展出 IDBAC 視窗型撓度資料庫回算程式，其結果顯示：回算模數誤差可控制在合理範圍內，且大幅改善動態回算分析所需時間。由於其研究僅討論中山高速公路之落重儀撓度試驗，故應用範圍仍受到限制。鑑於此，本研究即以動力分析為基礎，針對落重儀與道路評審儀，擴充台灣地區主要道路系統撓度資料庫，以改善原石俊雄所建議之資料庫回算程式，使其更具完備。同時改善原回算之資料庫搜尋架構，使結果更為精確。本研究另一目的乃以資料庫回算程式與動態迭代回算程式結果相比較，提供落重儀與道路評審儀應用評析供工程師參考。由於溫度、濕度乃至應變狀態（非線性行為）對材料的模數都有一定的影響，而不同的回算程式將得到不同模數值，與實際模數值並不完全相似，故本研究亦將了解鋪面模數值之影響因素，冀望藉合理的方法將其修正，求得誤差較小的回算模數值。

三、回算資料庫的構建

為使資料庫內容更具代表性及合理性，研究參考國內外學者所建議參數，並考慮台灣地區道路現況選擇適當的參數進行分析。建立動態撓度資料盤所用鋪面結構資料包括台灣區主要之四層柔性鋪面：四層結構地瀝青處理底層之中山高速公路，四層結構地瀝青處理底層之北部地區第二高速公路，四層結構碎石級配底層之省道、市區道路，如表 1~3 所示。資料庫模數範圍，將標準鋪面中的面層、底層及基層材料模數範圍予以 50%~120% 的變化；而路基土壤設定於 2000 psi- 30000 psi 之間。至於模數切割方式係採漸進式，面層及底層的材料模數各輔以 10% 的遞增或遞減；基層以 5% 的遞增或遞減量切割；路基土壤模數值以等間距方式切割。至於本研究發展的資料庫，除了擴充原先石俊雄[4]所建立中山高速公路撓度資料外，另針對北部第二高速公路、省市區等重要道路建立撓度資料。

四、IDBAC 資料庫回算程式之架構

視窗型程式主要包含五大部份，本研究將探討資料庫搜尋規則、回算模數值修正、環境因子影響。

1. 資料庫搜尋規則：在搜尋指標方面，本研究以張嘉麟之修正撓度值作為面層、底層、基層之撓度指標，在搜尋穩態撓度資料庫之模數值，亦採用相同方式，而以張記恩之組合式撓度指標作為路基土壤搜尋指標值。自於搜尋方法則以線性與二元搜尋法混合為主進行之。
2. 資料庫回算：利用道路等級及使用量測儀器判定所需回算資料庫，以直接比對法及相關搜尋法找出最適當的兩組撓度盤及其所對應之模數值組合，計算其修正撓度值並和現地量測撓度值之修正撓度值比較，然後以修正撓度值配合二分法計算並搜尋其修正模數組合，最後以線性內差方式計算該試驗撓度資料所對應的模數組合。
3. 環境因子修正：本研究之溫度校估乃是採用張德文等人所發展之後置處理校估

方法；飽和度校估可參考張德文等人[5]對飽和度校估所建議之公式，其中研究建議基準飽和度以 88.5% 進行校估。

五、回算結果影響因子分析

由於鋪面層厚度、岩盤深度及溫度對回算模數值結果亦有明顯影響，故本研究以中山高、北二高及省道鋪面結構為基礎，分析上述影響因子，以期提高回算準確度。

1. 前、後置溫度校正於穩態撓度回算實例比較：本研究以 21.1°C (70°F) 做為基準溫度，首先將各量測點、不同時段現場撓度資料取平均值，分別以前置法和後置法修正溫度影響進行回算。分析結果如表 4 所示。
2. 岩盤深度影響：本研究針對國道高速公路與省道標準設計鋪面，假設岩盤在不同深度下，分析其對接收器撓度的影響，以 UTDYNA 和 UTFWD 動態正算程式進行道路評審儀與落重儀試驗模擬。分析結果顯示：在穩態與衝擊試驗中，岩盤深度在 5 公尺內，具動力放大效應，此時撓度值有放大的現象；岩盤若在 5 公尺以上的深度，其對動力撓度值本身影響逐漸減小，但靜力撓度值則超過動力撓度值。因此岩盤深度若少於 5 公尺，則現地鑽探資料對回算精確性將有影響。
3. 厚度因子影響：本研究以衝擊和穩態正算程式 UTFWD 和 UTDYNA 模擬各個標準鋪面結構，分別施以 9000lb 和 2400lb 力幅，在厚度變化下之撓度值，觀察其撓度誤差大小，以作為修正現場撓度值參考，提昇資料庫回算之精確度。對於路基土壤將假設成半無限空間，其餘各層厚度變化均以相似差值方式討論；可分為正偏差和負偏差四種組合，偏差量固定為 2.0 inch 和 1.0 inch。結果詳見邱俊凱[6]。

六、回算與實驗室模數比較

為驗證本研究所使用之動態撓度回算程式 DBFWD 其適用性，徐學禹[7]針對國

外德州農工大學在 1980 年代所蒐集的撓度數據以及實驗數據進行比較，以其回算結果與回算程式 WESDEF、MODULUS 回算結果比較，得知 DBFWD 之回算結果較佳。徐學禹 [7] 並將 DBFWD 及 MODULUS 程式回算之模數值與部份路段較完整之實驗數據進行比較，其結果如圖 1~3。

七、結果討論與自評

7-1 結果討論

1. 在溫度校估方面，研究發現前置與後置兩種方法所得路基模數值比原設計模數值高，且迭代式與資料庫回算結果十分接近；面層之材料模數值在前後置溫度校估後，迭代式與資料庫回算結果亦十分接近，且資料庫回算底層模數則較接近參考值，基層模數以迭代法回算高於參考值。
2. 從穩態與衝擊試驗的模擬撓度值中，研究發現岩盤深度在 5 公尺內，具共振效應，此時動力撓度值有放大的現象；岩盤若在 5 公尺以上的深度，其對動力撓度值影響並不明顯，但此時動力撓度值將比靜力撓度值小，故岩盤相對地較淺時，以靜力回算程式回算動力撓度值將導致模數值偏低；而當岩盤相對較深時，由靜力回算所得之模數值將遠較真實值為高。但就動力回算程式而言，岩盤較淺時，忽略岩盤效應，將導致落重撓度回算高估材料模數值，但穩態試驗回算則將低估材料模數值。而當岩盤相對較深時，則對動力回算不產生新影響。本研究所發展之 IDBAC 資料庫回算僅適用於岩盤深度大於 5 公尺者，若岩盤接近地表時，需以程式所附之動力迭代式回算程式 UTAM 或 DBFWD 進行回算。
3. 在厚度影響因子分析中，研究發現在衝擊試驗中以面層厚度變化對撓度影響最大，底層次之，基層最小，而穩態試驗中亦有相同趨勢；不過在基層的厚度變化中，以第三接收器撓度值變化最大。
4. 研究於實例回算中發現，迭代式與資料庫回算模數以面層與路基土壤的結果較為接近，如圖 4~7。基層之模數性質較其他層不易掌握，原因是該層模數值相較於面層底層小許多，而與路基土壤之厚度相較之下又顯薄弱，在此兩項因素影響下，該層之性質不易於分析中顯現。
5. 本研究根據美國德州公路局 FWD 撓度試驗與現地鑽探數據進行 DBFWD 程式回算之驗證以檢驗該程式之可信度。研究發現 DBFWD 程式可在岩盤大於 79 公分 (31in) 狀況下提供相當合理之回算結果。其適用性亦可擴充至預測岩盤深度。在此情況下，FWD 試驗的撓度歷時應延長至 0.12 秒以上，以求完整清晰的震盪週期判讀。
6. 本研究發現動態撓度回算程式 DBFWD 對鋪面模數值的回算掌握，當較常用之 MODULUS 程式為佳。其中，所造成的回算結果以瀝青混凝土面層模數值差異最大，路基土壤差異則最小。研究並發現部份靜態回算程式仍需藉由已知實驗室數據設定面層模數值後，方能得到較合理的回算結果。
7. 在 DBFWD 回算程式回算過程中，經過後置法溫度校估公式的校估，可以得到較合理的面層模數值，但其效果並不明顯。
8. 淺層岩盤 (<5m) 對動態回算程式 DBFWD 的分析將產生影響，若不考慮其正確位置，將造成路基土壤模數值偏高，其餘各層的模數值均無法正確預估。
9. 柔性鋪面結構在較大作用力幅作用下將有非線性材料行為產生，本研究建議以正規化撓度迴歸方式進行校估，將此影響剔除，以得更為合理的各層模數值回算結果。

7-2 自評

1. 因為現地撓度盤並非均勻變化，已致在使用修正撓度值作為搜尋條件時，經常只搜尋出第一筆資料庫之值，造成資料庫回算誤差的主要因素之一，故此一問

題有待探討，以提高回算之精確度。

- 另外因為所建資料庫的撓度盤只精確至小數第四位，在搜尋時經常有多組誤差相同的模數組合，此一問題可加以探討，以找出最適合對應現地之模數。
- 由於岩盤深度對路基土壤的回算模數影響甚鉅（誤差高達 62%），欲以 DBFWD 程式回算落重撓度試驗並得到合理的路基土壤模數值，分析者必須確知岩盤深度，若確知岩盤深度大於 15 英尺（或 5 公尺），即可確保回算模數值的正確性。
- 本土有關實驗室數據之搜集以及回算分析比較，可作為未來研發的主題，以確立其本土應用性。

八、參考文獻

- 張鴻源，「道路評審儀動靜態分析之比較研究」，淡江大學土木工程碩士論文（1995）。
- 張嘉麟，「動態反算於衝擊性撓度法之應用研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文，台灣，淡水（1996）。
- 張記恩，「撓度試驗數據處理與路面結構指標之結合運用」，淡江大學土木工程研究所碩士論文，台灣，淡水（1997）。
- 石俊雄，「撓度指標法之視窗化資料庫回算軟體建立」，淡江大學土木工程研究所碩士論文（1998）。
- 張德文、張鴻源、胡光復、張嘉麟，「道路評審儀在柔性鋪面之動、靜態回算分析比較研究」，交通部台灣區國道新建工程局（1995）。
- 邱俊凱，「視窗型資料庫回算程式之解析研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文（1999）。
- 徐學禹，「鋪面落重撓度儀回算案例研究」，淡江大學土木工程研究所碩士論文（1999）。

表 1 四層柔性鋪面結構含地瀝青處理底層資料表

結構層級	厚度 (inch)	設計模數值 (psi)	柏松比	單位重 (pcf)
瀝青混凝土面層	4	350000	0.35	135
地瀝青處理底層	8	300000	0.35	135
碎石級配基層	8	25000	0.40	125
路基土壤	半無限空間	4000	0.45	120

表 2 四層柔性鋪面結構含地瀝青處理底層資料表

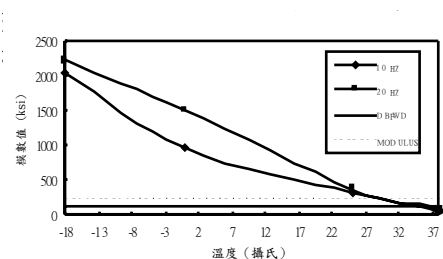
結構層級	厚度 (inch)	設計模數值 (psi)	柏松比	單位重 (pcf)
瀝青混凝土面層	5	350000	0.35	135
地瀝青處理底層	8	300000	0.35	135
碎石級配基層	12	25000	0.40	125
路基土壤	半無限空間	8000	0.45	120

表 3 四層柔性鋪面結構含地瀝青處理底層資料表

結構層級	厚度 (inch)	設計模數值 (psi)	柏松比	單位重 (pcf)
瀝青混凝土面層	6	350000	0.35	135
碎石級配底層	12	20000	0.35	125
碎石級配基層	12	20000	0.40	125
路基土壤	半無限空間	4000	0.45	120

表 4 前後置溫度校估回算模數值比較

		模數值(psi)				撓度誤差 (%)
		參考值(psi)		面層350000 底層300000 基層25000 路基4000		
		面層	底層	基層	路基土壤	
前置法	UTAM	200000	186226	40595	16667	6.67
	IDBAC	197565	317412	19483	19431	
後置法	UTAM	208210	188456	36083	18600	11.7
	IDBAC	199710	320859	19695	19642	



同溫度張數比較圖

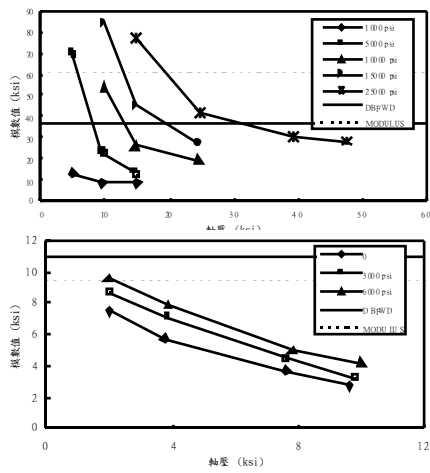


圖 2 FM1425(2)路段底層不同軸壓及不同圍壓三軸實驗與 DBFWD 及 MODULUS 回算模數比較圖(各線段代表不同大小之圍壓)

圖 3 FM1425(2)路段路基土壤不同軸壓及不同圍壓三軸實驗與 DBFWD 及 MODULUS 回算模數比較圖(各線段代表不同大小之圍壓)

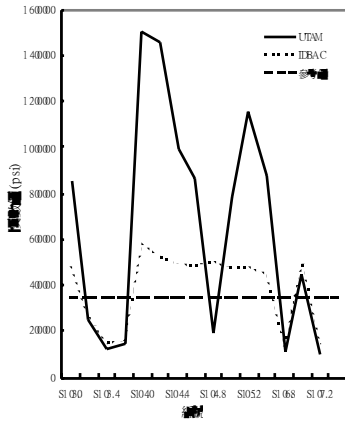


圖 4 中山高道路評審儀面層回算模數

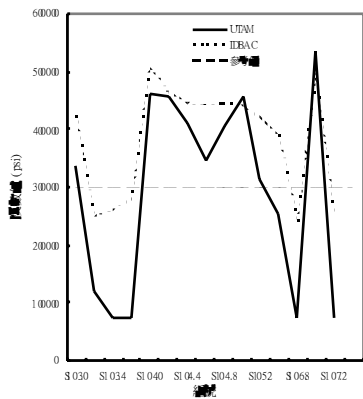


圖 5 中山高道路評審儀底層回算模數

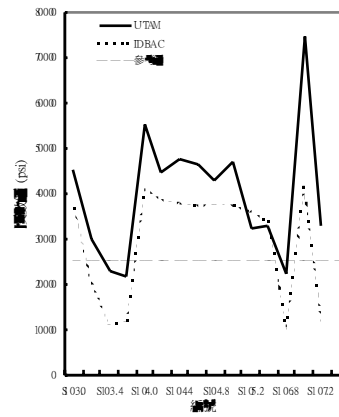


圖 6 中山高道路評審儀基層回算模數

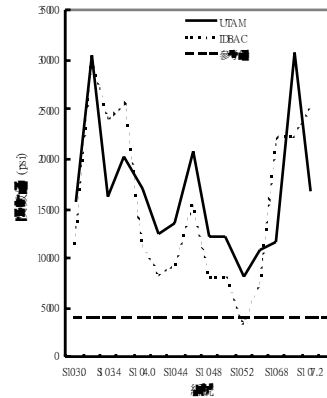


圖 7 中山高道路評審儀路基回算模數