

## **C 剛性鋪面之回算**

### **C.1 剛性鋪面回算之介紹**

資料來源：

林炳森、李泰明、吳元廷、鄒譽名，“路面評審儀應用於剛性路面之回算法”，中華民國第八屆鋪面工程學術研討會論文輯，台北國際會議中心，中原大學，中華民國八十四年十二月六日至八日。

### **C.2 剛性鋪面回算之封閉型解法**

資料來源：

Hall, K. T., "Performance, Evaluation, and Rehabilitation of Asphalt-Overlaid Concrete Pavements," Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1991, pp. 88-104.

### **C.3 ILLI-SLAB程式之使用手冊**

資料來源：

Korovesis, G. T., "Analysis of Slab-on-Grade Pavement Systems Subjected to Wheel and Temperature Loadings," Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1990, pp. 305-334.

### **C.4 對ILLI-SLAB使用者之建議**

資料來源：

Ioannides, A. M., "Analysis of Slab-on-Grade for a Variety of Loading and Support Conditions," Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1984, pp. 187-188.

## C.1 剛性鋪面回算之介紹

# 路面評審儀應用於剛性 路面之回算法

林炳森	李泰明	吳元廷	鄒譽名
國立中興大學	國道高速公路局	國立中興大學	國立中興大學
土木工程研究所	汐止五股段拓建工程處	土木工程研究所	土木工程研究所
教授	副處長	博士班研究生	碩士

## 摘要

本研究主要針對北二高（大溪龍潭段）之剛性路面為研究對象，於現場以路面評審儀（Road Rater）進行非破壞性檢測，將所得之撓度值，以版理論發展之程式BACK進行回算，並與多層彈性理論的回算結果比較；其次以ILLISLAB程式模擬，將所得之撓度值與路面評審儀得到之撓度值相比較，以評估版理論回算程式之適用性。

研究結果顯示：多層彈性理論回算之混凝土彈性模數比版理論回算結果大，其值可能有高估的現象；以ILLISLAB程式模擬，所得到之撓度值與現場量測值接近，顯示BACK程式回算之混凝土彈性模數具可靠性，但路基反力模數稍有低估之虞。

## 一、前言

有鑑於目前國內應用於剛性路面之非破壞性撓度試驗，大多以撓度指標進行分析評估，此法係建立多項臨界值以評估路面強度，但指標值若未達臨界值時，則無法研判路面強度減弱位置及提供預警之功能。故本文採用回算法(Backcalculation)回算各層材料之強度性質以評估鋪面結構強度，希望對日後剛性路面的管理、養護及維修有所助益。

本文主要之研究目的有二：

1. 以版理論為基礎，配合路面評審儀之荷重模擬，發展回算程式，並與多層彈性理論之回算結果比較，以評估兩者之適用性。
2. 將版理論之回算結果以ILLISLAB程式運算，所得到之撓度值與現場量測值比較，以評估回算結果之正確性。

## 二、文獻回顧

鋪面系統靜態之回算程序之處理方式有：

(一)迭代法

此法係先假設一組起始模數值，而後比較理論撓度值與量測之撓度值，若誤差在容許限度內，則該組模數值即為所求，若誤差超出容許限度，則修正調整另一組模數值依前述方法重新計算，直至合理之模數值產生或依迭代次數限制後停止。而誤差之計算方式有平均絕對值(Average Absolute; AA)法或均方根(Root Mean Square; RMS)法。依本法發展之回算程式大多建立於靜態之多層彈性理論正算分析，如WESDEF、ELSDEF等程式。國內周家蓓與陳又菁即以ELSYM5程式配合修正係數法之迭代過程發展ELSBACK回算程式(1)。

(二)資料庫法

本法係先利用正算理論將各層可能之模數範圍建立成資料庫，且計算出理論撓度值，再與理論撓度值內插比較，並找出在容許誤差內，誤差最小之一組解，進而反算模數值。MODULUS即利用靜態之多層彈性理論BISAR建立資料庫，進行回算分析(2)。

(三)以版理論為基礎之回算法

美國伊利諾大學以版理論為基礎發展閉合解法(Close-Form Solution)之回算程式ILLIBACK，進行二層剛性路面之分析。所謂閉合解法，即利用統計迴歸分析方法，來建立面積指標AREA與相對勁度(Relative Stiffness)關係式，加上相對勁度與面層模數、路基反力模數或路基彈性模數等關係式，直接回算出彈性模數值之方法(3,4,5)。

(1)ILLIBACK回算程式：

此法(Ioannides et al.1989)可應用於緊密液態(Dense Liquid)或彈性固態(Elastic Solid)基礎上，混凝土版中央受到圓形荷重作用之情況，其回算過程(6)：

- 1.於現場進行非破壞性撓度試驗，並量測撓度值 $w_i$ 。
- 2.由式一計算面積指標AREA。

$$AREA=6*(1+2*\frac{w_1}{w_0}+2*\frac{w_2}{w_0}+\frac{w_3}{w_0}) \quad \dots \text{式一}$$

面積指標AREA(Hoffman & Thompson, 1982)各撓度值均除以 $w_0$ 使之標準化，主要為除去不同荷重作用之影響與限制所得AREA的範圍(7)。

- 3.計算相對勁度半徑 $r$ 。
- 4.對於緊密液態基礎，可由圖1得到標準化撓度值 $d_i$ ，再由式二決定路基反力模數 $k$ 值；可得四個 $k$ 值，取其平均值。對於彈性固態基礎，可由圖2得到標準化撓度值 $d_i$ ，再由式三決定路基彈性模數 $E_f$ ，可得四個 $E_f$ 值，取其平均值。

$$k = \frac{P \times d_i}{l_k^2 \times w_i} \quad \dots\dots\dots \text{式二}$$

式中  $k$  : 路基反力模式 (pci),  $P$  : 作用力 (lb),  $d_i$  : 標準化撓度值(由理論得到),  $i=0,1,2,3$ ,  $l_k$  : 液態基礎之相對勁度半徑 (in),  $w_i$  : 實測撓度值 (in)。

$$E_f = \frac{2 \times (1 - \nu_f)^2 \times P \times d_i}{l_e \times w_i} \quad \dots\dots \text{式三}$$

式中  $E_f$  : 路基彈性模數 (psi),  $\nu_f$  : 路基土壤之柏松比,  $l_e$  : 固態基礎之相對勁度半徑 (in)。

5. 將  $k$  及  $E_f$  之平均值分別代入式四及五即可決定定混凝土版之彈性模數  $E_c$ 。

對於緊密液態基礎：

$$E_c = \frac{12 \times (1 - \nu_c^2) \times k \times l_k^4}{h^3} \quad \dots\dots \text{式四}$$

式中  $E_c$  : 混凝土版之彈性模數 (psi),  $\nu_c$  : 混凝土版之柏松比,  $h$  : 混凝土版厚 (in)。

對於彈性固態基礎：

$$E_c = \frac{6 \times (1 - \nu_c^2) \times E_f \times l_e^3}{(1 - \nu_f^2) \times h^3} \quad \dots\dots \text{式五}$$

(2) 閉合解 (Closed-Form Solution) 回算法：

1. 由撓度試驗量測之撓度值，計算面積指標 AREA (式一)。
2. 將計算出之 AREA 值代入式六與式七可分別得緊密液態基礎與彈性固態基礎的相對勁度半徑。

$$l_k = \left[ \frac{\ln\left(\frac{36 - \text{AREA}}{1812.279}\right)}{-2.559} \right]^{0.288} \quad \dots\dots \text{式六}$$

$$l_e = \left[ \frac{\ln\left(\frac{36 - \text{AREA}}{4521.676}\right)}{-3.645} \right]^{0.187} \quad \dots\dots \text{式七}$$

式六與式七係由 SAS 統計分析軟體以漸近線模式迴歸而得。

3. 路基反力模數  $k$  可由 Westergaard' s 撓度方程式 (式八) 求得；路基彈性模數  $E_c$  可由 Losberg' s 撓度方程式 (式九) 求得。

$$k = \left( \frac{P}{8 \times d_0 \times l_k^2} \right) \times \left\{ 1 + \left( \frac{1}{2\pi} \right) \times \left[ \ln \left( \frac{a}{2l_k} \right) + r - 1.25 \right] \times \left( \frac{a}{l_k} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots \text{式八}$$

式中  $d_0$  : 荷重作用中心之撓度值(in),  $a$  : 荷重半徑 (in),  $r$  : Euler's constant, 0.57721566490。

$$E_f = \left[ \frac{2 \times P \times (1 - \nu_f^2)}{d_0 \times l_e} \right] \times \left[ 0.19245 + 0.027 \times \left( \frac{a}{l_e} \right)^2 + 0.0199 \times \left( \frac{a}{l_e} \right)^2 \times \ln \left( \frac{a}{l_e} \right) \right] \dots\dots\dots \text{式九}$$

4. 由式四可得緊密液態基礎之混凝土彈性模數 $E_c$ ；由式五可得彈性固態基礎之混凝土彈性模數 $E_c$ 。

### 2.3 剛性路面之有限元素分析法

ILLISLAB與KENSLAB乃目前分析剛性路面應用最廣的兩個程式庫。ILLISLAB是由伊利諾大學發展出來的，可用於單層或雙層混凝土鋪面之結構分析，而基礎型式可為溫氏基礎(Winkler Foundation)、回彈基礎型式(Stress Dependent Resilient Subgrade)、魏氏雙參數基礎模式(Vlasov Two-Parameter-Foundation)、布氏彈性固態(Boussinesq's Elastic Solid)基礎模式[8]。而KENSLAB則是由肯達基大學發展而成，其基礎型式有溫氏基礎、布氏彈性基礎、柏氏多層基礎(Burmister's Layer Foundation)[3,9]。

## 三、研究方法

### 3.1 試驗路段之結構型態及材料特性

北部第二高速公路主線在里程51k+500~60k+750採剛性路面鋪築，全長9.25公里。其中北上LT52k+166.2~54k+104.26和南下RT52k+157.6~54k+96.6路段不含低強度混凝土處理底層(LCB)，其餘路段均含低強度混凝土處理底層(LCB)。全部剛性路面均採用接縫式混凝土路面(Jointed Concrete Pavement, JCP)施工。本研究採用顏聰、林炳森(1994)「剛性路面實用設計本土化研究(二)」之剛性路面結構斷面與各層材料性質[10]。

### 3.2 路面評審儀之介紹 (ROAD RATER 2000型)

路面評審儀之儀器構造主要是由重817kg(1800lbs)質量塊之振動單元與一組(五個)速度感應器(Velocity Sensor)所組成。由質量塊之振動單元可產生正弦波形的動力載

重，當動力載重施加於路面時，可由速度感應器接收其反射波，經積分後可得撓度值。儀器詳細規格如表1所示。

### 3.3 BACK程式說明

本程式是以FORTRAN語言寫成，可用來回算液態基礎之路基反力模數 $k$ 、混凝土彈性模數 $E_{pcc}$ ，及彈性固態基礎之路基彈性模數 $E_s$ 、混凝土彈性模數 $E_{pcc}$ ；其操作程序如下：

#### 1. 程式啓動

BACK回算程式的啓動十分容易，只要在程式所在目錄下輸入指令BACK即可。

#### 2. 程式輸入

BACK回算所需的輸入資料包括量測之撓度值、施加荷重、混凝土的柏松比、混凝土版的厚度、路基土壤之柏松比(僅彈性固態基礎需輸入)。

#### 3. 程式輸出

BACK回算程式的輸出有螢幕和檔案兩種方式，當資料輸入完後，程式會詢問是否將回算結果存入檔案，而輸出結果如圖1。

## 四、結果與討論

有鑑於目前國內發展之回算程式，如AC、PCC、ELSLAB(AC、ELSLAB程式應用於柔性路面，PCC程式應用於剛性路面)，AC、PCC乃曾世明(1992)採用Vlasov和Leont'ev的層狀彈性理論、Odemark氏等值厚度觀念發展之回算程式(11)，而ELSLAB程式乃陳又菁(1993)利用ELSYM5並配合修正係數法發展而成(1)，此三者均以多層彈性理論為基礎，但此理論較適合分析柔性路面，故本研究採用版理論之閉合解法，且配合荷重模擬發展一回算程式BACK，並與多層彈性理論之回算結果相比較，以探討程式之適用性。

#### 4.1 程式之適用性

將BACK程式所得之回算結果分別與(一)、ILLISLAB程式原輸入模數值比較，(二)、ELSYM5程式回算結果比較，來說明BACK程式之適用性：

(一)、與ILLISLAB程式原輸入模數值比較：

分別討論混凝土版厚度為8in(20cm)，10in(25cm)，12in(30cm)三種情況；首先將各參數輸入ILLISLAB程式中，再將輸出得到之撓度值(D0, D12, D24, D36)以BACK程式回算，可求得混凝土彈性模數與路基反力模數；其回算結果與ILLISLAB程式原輸入模數值比較(如表2-4所示)，可顯示出：

1. BACK程式回算之路基反力模數絕大部份會低於ILLISLAB程式輸入之路基反力模數。

2. 對於較軟弱之路基土壤（路基反力模數值小時），BACK程式回算結果與ILLISLAB程式之模數值有較大之誤差。

3. 若混凝土版厚愈薄，BACK程式回算結果愈接近ILLISLAB程式原輸入之模數值。

(二)、與ELSYM5程式回算結果之比較：

將現場量測之撓度值分別以BACK程式(緊密液態、彈性固態基礎)、ELSYM5程式(配合荷重模擬與修正係數法)進行回算，並將BACK程式(緊密液態基礎)推求之混凝土彈性模數與較回算大些之路基反力模數輸入ILLISLAB程式中，所得到之撓度值與現場量測值、ELSYM5程式之計算值比較(如圖4、表5所示)，而回算結果如表5所示。

由表5可知：

1. 多層彈性理論(ELSYM5程式)得到之撓度值( $w_1, w_2, w_3, w_4$ )，其 $w_2$ 與量測值誤差較大。

2. ELSYM5程式回算之混凝土彈性模數較版理論(緊密液態基礎、彈性固態基礎)回算結果大(如圖6所示)。

3. 對於版理論，不同基礎模式之回算結果差異頗大。

#### 4.2 與PCC程式之回算結果作比較

由回算結果比較(如圖5、表6)顯示：

1. ILLISLAB程式所得之撓度值比PCC程式更接近現場量測值(由均方根誤差RMS知)。

2. BACK程式回算之混凝土彈性模數較PCC程式接近試驗值，顯示版理論更適合應用於剛性路面之回算。

3. PCC程式回算之混凝土彈性模數較BACK程式(緊密液態、彈性固態基礎)所得為大(如圖7所示)。

#### 4.3 以ILLISLAB程式發展之圖解法

由於版邊緣、接縫、角隅處受到鋼筋及邊界之影響，無法由BACK程式及多層彈性理論回算出彈性模數值。本研究利用ILLISLAB程式執行結果畫出面積指標AREA與荷重中點撓度 $w_1$ 之關係圖(如圖8~10所示)，以提供回算時減少試誤之次數。

由現場量測之撓度值 $w_1, w_2, w_3, w_4$ ，可計算得面積指標AREA，即可由圖8~10概略求得混凝土彈性模數E值及路基反力模數k值。

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

本研究係以版理論配合荷重模擬發展一回算程式BACK，對現場之撓度值進行回算，並以ILLISLAB程式評估其適用性，可獲得以下的結論：

1. 由BACK程式知，緊密液態基礎回算之混凝土彈性模數比彈性固態基礎所得結果大，顯示不同的基礎型態對回算結果有很大的影響。
2. 對於軟弱之路基土壤(k值小時)，接縫鋼筋對撓度值的影響不容忽視，故BACK程式之回算結果產生較大的誤差。
3. ELSYM5程式所得之撓度值， $w_2$  與量測值有較大之誤差，且回算之混凝土彈性模數比BACK程式所得結果大。
4. 由ILLISLAB程式得到之撓度值與現場量測之撓度值接近，顯示BACK程式回算之混凝土彈性模數具正確性，但路基反力模數稍有低估之虞。
5. ILLISLAB程式所得之撓度值比PCC程式更接近於現場量測值，且回算之混凝土彈性模數亦與試驗值接近，顯示版理論更適合應用於剛性路面之回算。

## 5.2 建議

1. 路面評審儀於剛性路面所量測之撓度值很小，而撓度值之精確與否對回算結果影響甚大，因此，在進行撓度試驗時，需先校正量測之感應器，以減少對回算結果之誤差。
2. 進行現場撓度值試驗時，對於同一點位需量測多次，取其平均值，以確保撓度值之精確性。
3. 可於定點定期進行撓度試驗及量測溫度值，發展溫度修正模式，以作為日後溫度校正之用。
4. 未來回算程式可從動態回饋分析發展，使其更能反應出實際情況。

## 參考文獻

1. 陳又菁，「鋪面撓度值在養護整修策略上之應用」，碩士論文，台灣大學研究所土木工程研究所，臺北（1993）。
2. Scullion, T., Uzan, J., Paredes, M., "Modulus: A Microcomputer-Based Back-calculation System," TRB, Transportation Research Record No. 1260, pp. 180-191 (1990)。
3. Huang, Y.H., "Pavement Analysis and Design", Prentice Hall, Inc., pp. 446-460 (1993)。
4. Darter, M.I., Smith, K., and Hall, K.T., "Concrete Pavement Backcalculation Results from Field Studies", TRB, Transportation Research Record No. 1337, pp. 7-16 (1993)。
5. Hall, K.T., and Alaeddin M., "Back calculation of Asphalt Concrete Overlaid Portland Cement Concrete Pavement Layer Moduli", Transportation Research



Record No.1293,pp.112-123 ( 1992 ) 。

6. Ioannides, A.M., Barenberg, E.J., and Lary, J.A., "Interpretation of Falling Weight Deflectometer Results Using Principles of Dimensional Analysis." Proceeding, 4th International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, pp.231-247. ( 1989 ) 。
7. Hoffman, M.S., and Thompason, M.R., "Comparative Study of Selected Nondestructive Testing Devices." TRB, Transportation Research Record No.852, pp.32-41 ( 1982 ) 。
8. Korovesis, G.T., "Analysis of Slab-on-Grade Pavement Systems Subjected to Wheel and Temperature Loading.", Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana Champaign. ( 1990 ) 。
9. 蘇子健, 「接縫混凝土路面行為之初步研究」, 碩士論文, 國立中興大學土木工程研究所, 臺中 ( 1992 ) 。
10. 顏聰、林炳森等, 「剛性路面實用設計本土化研究(2)」, 交通部台灣區國道新建工程局, 書籍編號 045, ( 1994 ) 。
11. 曾世明, 「路面評審儀應用於鋪面的力學分析」, 碩士論文, 淡江大學土木工程研究所, 台灣淡水 ( 1992 ) 。

表 1 路面評審儀之儀器規格

儀器規格	(英制)	(公制)
長	146 inches	370 cm
寬	82 inches	208 cm
高	57 inches	145 cm
最大靜態荷重	2400 lbs	1089 kg
最大動態荷重	200-3000 lbs	91-1362 kg
加壓承載版直徑	12 inches	30 cm
感應器間距	12 inches	30 cm
頻率	10-60 Hz	10-60 Hz

撓度單位 mil(=1/1000 inch)

註: 本試驗使用頻率為15HZ。

表 2 BACK 程式回算結果與 ILLISLAB 程式原輸入值之比較(  $h_{pcc}=8$  in )

ILLISLAB 程式原輸入值				BACK 程式回算之結果			
路基反力模數		混凝土彈性模數		路基反力模數		混凝土彈性模數	
kg/cm <sup>2</sup>	pci	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>2</sup>	pci	kg/cm <sup>2</sup>	psi
2.77	100	70,373	1,000,000	2.96	107.00	65,560	931,609
		140,746	2,000,000	1.43	51.59	114,428	1,626,021
		211,119	3,000,000	1.46	52.62	229,052	3,254,832
		281,492	4,000,000	1.49	53.65	332,154	4,719,913
		351,865	5,000,000	1.66	60.00	382,282	5,432,232
		422,238	6,000,000	1.72	62.04	441,413	6,272,482
		492,611	7,000,000	1.75	63.03	499,875	7,103,223
		562,984	8,000,000	1.76	63.39	558,210	7,932,162
5.54	200	70,373	1,000,000	5.55	200.20	68,492	973,268
		140,746	2,000,000	5.17	186.51	141,923	2,016,723
		211,119	3,000,000	4.73	170.68	225,010	3,197,385
		281,492	4,000,000	4.74	170.96	294,042	4,178,332
		351,865	5,000,000	4.67	168.73	364,741	5,182,973
		422,238	6,000,000	4.62	166.71	432,819	6,150,355
		492,611	7,000,000	4.54	164.04	502,448	7,139,781
		562,984	8,000,000	4.53	163.58	562,818	7,997,644
8.31	300	70,373	1,000,000	8.10	292.48	70,035	995,194
		140,746	2,000,000	7.88	284.57	142,550	2,025,629
		211,119	3,000,000	7.81	282.01	213,941	3,040,099
		281,492	4,000,000	7.71	278.11	286,366	4,069,259
		351,865	5,000,000	7.62	275.05	357,071	5,073,976
		422,238	6,000,000	7.54	272.30	426,065	6,054,384
		492,611	7,000,000	7.46	269.25	494,782	7,030,847
		562,984	8,000,000	7.37	265.87	564,272	8,018,301
13.85	500	70,373	1,000,000	13.04	470.78	72,490	1,030,082
		140,746	2,000,000	13.41	483.99	139,963	1,988,879
		211,119	3,000,000	13.43	484.57	209,802	2,981,286
		281,492	4,000,000	13.38	483.08	279,935	3,977,878
		351,865	5,000,000	13.24	478.05	352,340	5,006,755
		422,238	6,000,000	13.19	475.92	421,907	5,995,304
		492,611	7,000,000	13.08	472.11	493,293	7,009,688

表 3 BACK 程式回算結果與 ILLISLAB 程式原輸入值之比較 (I<sub>ppcc</sub>=10 in)

ILLISLAB 程式原輸入值				BACK 程式回算之結果			
路基反力模數		混凝土彈性模數		路基反力模數		混凝土彈性模數	
kg/cm <sup>3</sup>	pci	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>3</sup>	pci	kg/cm <sup>2</sup>	psi
2.77	100	70,373	1,000,000	3.69	133.30	58,757	834,942
		140,746	2,000,000	1.46	52.71	167,654	2,382,363
		211,119	3,000,000	1.71	61.86	221,694	3,150,266
		281,492	4,000,000	1.75	63.31	280,399	3,984,476
		351,865	5,000,000	1.76	63.62	337,360	4,793,890
		422,238	6,000,000	1.75	63.33	394,043	5,599,353
		492,611	7,000,000	1.74	62.87	450,306	6,398,843
		562,984	8,000,000	1.71	61.57	512,879	7,288,017
		70,373	1,000,000	5.05	182.30	65,842	935,621
		140,746	2,000,000	4.74	171.03	147,297	2,093,993
211,119	3,000,000	4.63	167.18	216,578	3,077,569		
281,492	4,000,000	4.50	162.49	284,814	4,047,213		
351,865	5,000,000	4.42	159.61	347,937	4,944,187		
422,238	6,000,000	4.32	155.86	413,533	5,876,310		
492,611	7,000,000	4.26	153.77	473,438	6,727,554		
562,984	8,000,000	4.17	150.59	537,111	7,632,348		
5.54	200	70,373	1,000,000	7.90	285.00	71,154	1,011,095
		140,746	2,000,000	7.75	279.56	142,475	2,024,574
		211,119	3,000,000	7.52	271.30	214,428	3,047,018
		281,492	4,000,000	7.39	266.81	281,851	4,005,109
		351,865	5,000,000	7.27	262.49	347,439	4,937,106
		422,238	6,000,000	7.06	254.81	418,487	5,946,694
		492,611	7,000,000	7.03	253.62	476,502	6,771,092
		562,984	8,000,000	6.89	248.56	542,235	7,705,166
		70,373	1,000,000	13.40	483.52	70,042	995,303
		140,746	2,000,000	13.37	482.57	140,223	1,992,569
211,119	3,000,000	13.19	475.93	211,391	3,003,867		
281,492	4,000,000	13.08	472.24	279,766	3,975,480		
351,865	5,000,000	12.89	465.21	349,222	4,962,447		
422,238	6,000,000	12.64	456.37	420,208	5,971,161		
492,611	7,000,000	12.53	452.12	487,492	6,927,266		

表 4 BACK 程式回算結果與 ILLISLAB 程式原輸入值之比較 (I<sub>ppcc</sub>=12 in)

ILLISLAB 程式原輸入值				BACK 程式回算之結果			
路基反力模數		混凝土彈性模數		路基反力模數		混凝土彈性模數	
kg/cm <sup>3</sup>	pci	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>3</sup>	pci	kg/cm <sup>2</sup>	psi
2.77	100	70,373	1,000,000	1.22	44.20	95,043	1,350,565
		140,746	2,000,000	1.75	63.00	143,327	2,036,679
		211,119	3,000,000	1.75	63.20	202,694	2,880,284
		281,492	4,000,000	1.72	62.20	259,185	3,683,019
		351,865	5,000,000	1.70	61.40	316,422	4,496,352
		422,238	6,000,000	1.68	60.50	371,032	5,272,371
		492,611	7,000,000	1.65	59.50	425,759	6,050,033
		562,984	8,000,000	1.61	58.10	482,901	6,862,021
		70,373	1,000,000	4.74	171.00	74,438	1,057,760
		140,746	2,000,000	4.57	165.00	143,452	2,038,457
211,119	3,000,000	4.42	159.50	207,525	2,948,924		
281,492	4,000,000	4.25	153.30	272,055	3,865,897		
351,865	5,000,000	4.11	148.40	334,919	4,759,195		
422,238	6,000,000	4.00	144.30	396,814	5,638,722		
492,611	7,000,000	3.96	142.80	450,216	6,397,563		
562,984	8,000,000	3.84	138.70	514,277	7,307,872		
5.54	200	70,373	1,000,000	7.79	281.00	71,302	1,013,204
		140,746	2,000,000	7.46	269.20	141,972	2,017,425
		211,119	3,000,000	7.20	259.70	209,884	2,982,445
		281,492	4,000,000	7.02	253.20	273,498	3,886,403
		351,865	5,000,000	6.75	243.80	341,155	4,847,817
		422,238	6,000,000	6.64	239.70	406,943	5,782,654
		492,611	7,000,000	6.44	232.50	466,434	6,628,022
		562,984	8,000,000	6.35	229.20	523,438	7,433,047
		70,373	1,000,000	13.37	482.50	70,226	997,906
		140,746	2,000,000	13.19	475.90	139,792	1,986,446
211,119	3,000,000	12.75	460.20	211,655	3,007,615		
281,492	4,000,000	12.56	453.20	277,684	3,945,889		
351,865	5,000,000	12.37	446.40	341,595	4,854,066		
422,238	6,000,000	11.98	432.50	413,108	5,870,259		
492,611	7,000,000	11.84	427.50	473,985	6,735,332		

表 5 各程式回算結果之比較

作用點位	撓度值 (mils)				RMS(%)
* 12	W1	W2	W3	W4	
量測值	0.700	0.660	0.560	0.490	0-
ILLISLAB 計算值	0.702	0.658	0.572	0.475	0.485
ELSYM5 計算值	0.707	0.621	0.560	0.492	0.992
回算結果					
混凝土彈性模數		路基反力模數			
單位	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>3</sup>	pci	
BACK (液態基礎)	262,041	3,723,596	6.07	219	
ILLISLAB 輸入值	262,069	3,724,000	7.31	264	
混凝土彈性模數 E1		級配層 E2		底層 E3	
單位	kg/cm <sup>2</sup>	psi	psi	psi	psi
BACK (固態基礎)	216,076	3,070,433	33,660		
ELSYM5	335,128	4,762,162	43,213	24,999	

註: RMS Error (均方根誤差) =  $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n}}$  混凝土彈性模數 =  $4.03 \times 10^6$  psi (試驗值)  
 路基反力模數 = 481 pci (平板載重試驗)

表 6 各程式回算結果之比較

作用點位	撓度值 (mils)				RMS(%)
中央點	W1	W2	W3	W4	
量測值	2.920	2.494	1.852	1.124	0-
ILLISLAB 計算值	2.921	2.500	1.794	1.149	1.586
PCC 計算值	2.967	2.447	1.812	1.137	1.966
回算結果					
混凝土彈性模數		路基反力模數			
單位	kg/cm <sup>2</sup>	psi	kg/cm <sup>3</sup>	pci	
BACK (液態基礎)	198,743	2,824,144	4.27	154	
ILLISLAB 輸入值	198,733	2,824,000	4.35	157	
混凝土彈性模數 E1		級配層 E2		底層 E3	
單位	kg/cm <sup>2</sup>	psi	psi	psi	psi
PCC	240,552	3,418,244	59,963	33,000	

註: RMS Error (均方根誤差) =  $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n}}$  混凝土彈性模數 =  $2.916 \times 10^6$  psi (試驗值)

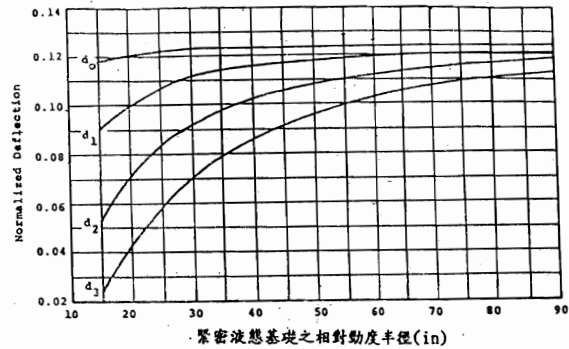


圖 1 標準化撓度值與相對撓度半徑之關係圖 (緊密液態基礎 Ioannides et al. 1989)

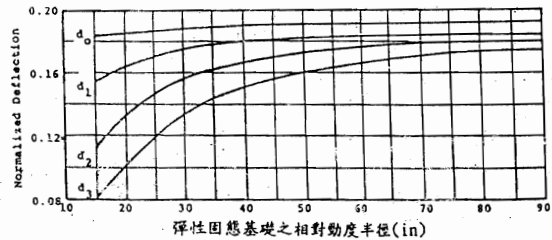


圖 2 標準化撓度值與相對撓度半徑之關係圖 (彈性固態基礎 Ioannides et al. 1989)

```

*****
+
+ BACKCALCULATION RESULT
+ ( LIQUID FOUNDATION )
+
+ ----- INPUT DATA -----
+
+ DEFLCTION D0 = 0.00680 (in)
+ DEFLCTION D12 = 0.00640 (in)
+ DEFLCTION D24 = 0.00550 (in)
+ DEFLCTION D36 = 0.00420 (in)
+ APPLIED LOAD P = 1910.0 (lb)
+ PCC POISSON RATIO Upcc = .20
+ PCC THICKNESS Dpcc = 12.00 (in)
+
+ ----- OUTPUT DATA -----
+
+ MODULUS OF SUBGRADE REACTION
+ K = 251.0 (psi/in)
+
+ CONCRETE ELASTIC MODULUS
+ Epc = 3190008 (psi)
+
+ *****
+ DO YOU WANT TO SOLVE ANOTHER PROBLEM ? (Y OR N) ----->
    
```

圖 3. BACK 回算程式之輸出畫面

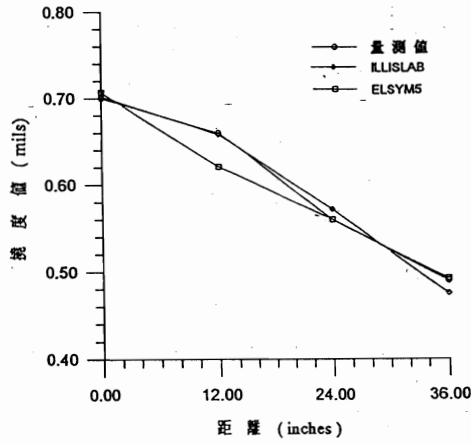


圖 4 各程式之撓度值與量測值之比較

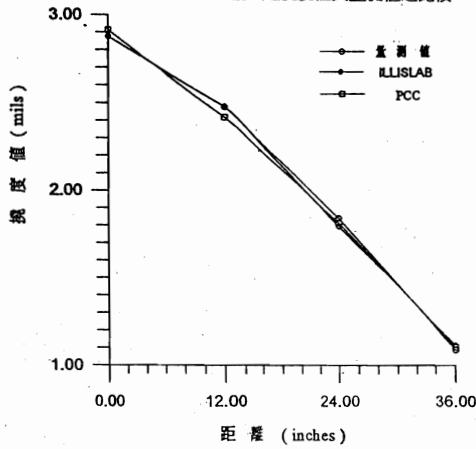


圖 5 各程式之撓度值與量測值之比較

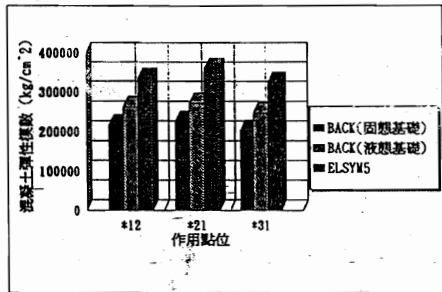


圖 6 各程式回算之混凝土彈性模數比較圖 (表 4.4-4.6)

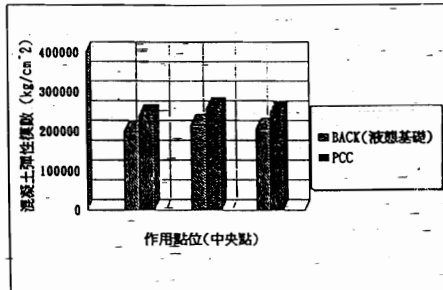


圖 7 各程式回算之混凝土彈性模數比較圖 (表 4.10-4.12)

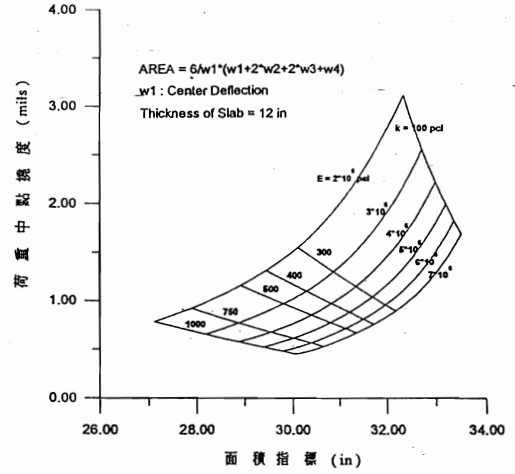


圖 8 ILLISLAB 程式發展之圖解法 (版邊緣#11)

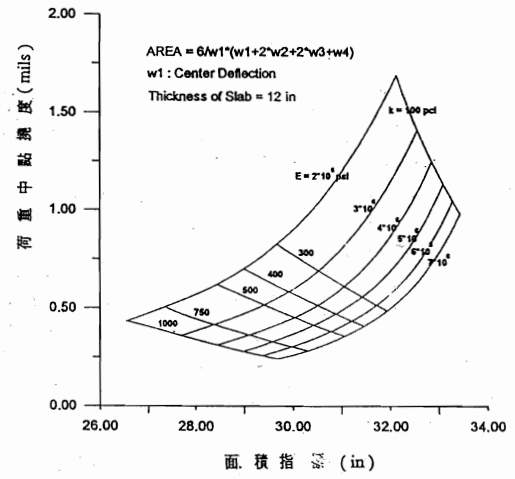


圖 9 ILLISLAB 程式發展之圖解法 (版中央#12)

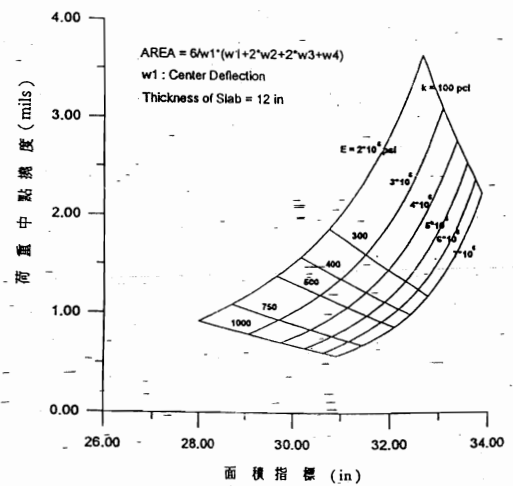


圖 10 ILLISLAB 程式發展之圖解法 (版邊緣#13)