

# 剛性鋪面回算程式之建立-- 彈性固體基礎模式

李朝聰  
淡江大學土木工程研究所運工組



5/28/97

## 論文簡報流程

- 緒論
- 文獻回顧
- 研究過程
- 回算程式之建立
- 模式的驗證與應用
- 結論與建議



5/28/97

## 緒論

- 研究緣起
- 研究目的
- 研究範圍及內容
- 研究方法
- 研究流程



5/28/97

## 研究目的

- 主要是針對傳統閉合解回算的方式加以改進，並建立一非常容易使用的個人電腦程式，讓回算更加的快速及便捷。



5/28/97

## 研究範圍及內容

- 範圍定在「剛性鋪面於彈性固體基礎上之回算程式的建立」。
- 內容則是以改進AREA值或是使用其它的撓度值，以符合現場量測時各種情況的不同。



5/28/97

## 研究方法及流程

- 傳統回算方式的驗證
- ILLISLAB有限元素法的應用
  - 控制因子
- S-Plus統計軟體的應用
  - 投影追逐迴歸(PPR)分析法
  - 模式的建立
- 建立電腦程式
  - Visual Basic 4.0



5/28/97

## 文獻回顧

- 影響鋪面撓度值的因素
- 非破壞性試驗方式及儀器
- 剛性鋪面撓度值基本理論
- 回算程式的分類及限制
- 其它相關研究



5/28/97

## 影響鋪面撓度值的因素

- 載重因子
  - 載重方式
- 鋪面因子
  - 作用位置
  - 尺寸效應
- 氣候因子
  - 溫差效應



5/28/97

## 非破壞性試驗方式及儀器

- 靜力撓度試驗  
--彭柯曼樑(Benkelman Beam)
- 穩定動力撓度試驗  
--動力撓度儀 ( Dynaflect )  
--路面評審儀 ( Road Rater )
- 衝擊荷重變形試驗  
--FWD
- 波傳遞試驗



5/28/97

## 剛性鋪面撓度值基本理論(1)

$$w(r) = \frac{P}{\pi a} * \frac{2}{C} \int_0^{\infty} \frac{J_0(\alpha r) * J_1(\alpha a)}{\alpha(1 + \alpha^3 * \ell_e^3)} d\alpha$$

$$w^* = \frac{\delta C \ell}{2P} = \frac{\delta D}{P \ell^2} = f\left(\frac{a}{\ell}, \frac{r}{\ell}\right)$$

$$\ell = \ell_e = \sqrt[3]{\frac{Eh^3(1 - \mu_s^2)}{6(1 - \mu^2)E_s}}$$

$$C = \frac{E_s}{(1 - \mu_s^2)}, D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$



5/28/97

## 剛性鋪面撓度值基本理論(2)

- 請參閱圖2-1
- 版的無因次撓度圖



5/28/97

## 回算程式的分類及限制

- AREA值的推導
- ILLIBACK回算程式
- 閉合解(K. T. Hall)
- Crovetti公式解
- 回算的限制



5/28/97

## AREA 值的推導

$$AREA(in.) = \frac{\text{面積}}{W_0} = 6 * \left[ 1 + 2 \left( \frac{w_{12}}{w_0} \right) + 2 \left( \frac{w_{24}}{w_0} \right) + \left( \frac{w_{36}}{w_0} \right) \right]$$



5/28/97

## ILLIBACK 回算程式(1)

● 請參閱圖2-3

● 相對撓度半徑與AREA的關係



5/28/97

## ILLIBACK 回算程式(2)

● 請參閱圖2-4

● 標準化撓度值與相對撓度半徑關係圖



5/28/97

## ILLIBACK 回算程式(3)

● 利用上圖所求出的四個di值代入下式求解一個平均的Es值再求出Ec值。

$$E_s = \frac{2(1-\mu_s^2)Pd_i}{\ell_e w_i} \quad E_c = \frac{\ell_e^3 \times 6(1-\mu_s^2) \times E_s}{h^3(1-\mu_s^2)}$$



5/28/97

## 閉合解

● K. T. Hall

$$l_e = \left[ \frac{\ln\left(\frac{36 - AREA}{4521.676303}\right)}{-3.645555} \right]^{5.334281}$$

$$E_s = \left[ \frac{2P(1 - \mu_s^2)}{d_0 l_e} \right] \left[ 0.19245 - 0.0272 \left( \frac{a}{l_e} \right)^2 + 0.0199 \left( \frac{a}{l_e} \right)^2 \ln \left( \frac{a}{l_e} \right) \right]$$



5/28/97

## Crovetti公式解

$$w^* = A_1 + A_2 \left( \frac{a}{l_e} \right) + A_3 \left( \frac{a}{l_e} \right)^2$$

載重位置	無因次撓度組	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
中央載重	w*	0.193	-0.008	-0.028
邊緣載重	w*	0.441	-1.022	1.175
角隅載重	w*	0.7383	0.7383	0.577

無因次撓度公式係數表



5/28/97

## 回算程式的限制

- 儀器的限定 (FWD)。
- 無限尺寸版與完全路基支承。
- 載重圓盤的半徑 (a=5.9in.) 及四個撓度感應器的相對位置 (0 in.、12 in.、24 in.、36 in.)。



5/28/97

## 研究過程

- 撓度公式的推導及驗證
- ILLISLAB程式
- 控制參數
- 控制參數與撓度值的相關性
- 資料庫的建立



5/28/97

## 撓度公式的推導(集中載重)

- 推導出Losberg的無因次公式解。

$$w_0^* = \frac{1}{3\sqrt{3}} \quad r=0$$

$$w(s)^* = \frac{1}{2\pi} * s^2 \int_0^\infty \frac{J_0(X)}{X^3 + s^3} dX \quad r>0$$



5/28/97

## 撓度公式的推導(均佈載重)

- 推導出Losberg的無因次公式解。

$$w_0^* = \frac{1}{\pi a_e} \int_0^\infty \frac{J_1(X)}{1 + \frac{X^4}{a_e^3}} dX \quad r=0$$

$$w(s)^* = \frac{1}{\pi a_e} \int_0^\infty \frac{J_0(X) J_1\left(\frac{X}{s} a_e\right)}{X + \frac{X^4}{s^3}} dX \quad r>0$$



5/28/97

## 撓度公式的驗證(1)

- Losberg方程式中所含的貝索函數 $J_0(x)$ 及 $J_1(x)$ 在IMSL副程式庫中分別以BESJ0(X)及BESJ1(X)表示。
- 積分式是以QDAGI(F,BOUND,...)加以表示。
- 利用前述的內定函數及副程式即可求解上述的無因次撓度方程式。



5/28/97

## 撓度公式的驗證(2)

- 請參閱圖3-1
- 版的無因次撓度圖



5/28/97

### 撓度公式的驗證(3)

● 請參閱圖3-2

● 相對撓度半徑與AREA的關係



5/28/97

### ILLISLAB程式

- 有限元素法程式的應用。
- 達無限版長的假設。

載重情況	最短邊長	
	求最大變位時所需的最短邊長L	求最大應力時所需的最短邊長L
中央	$8.0l_e$	$3.5l_e$
邊緣	$8.0l_e$	$5.0l_e$
角隅	$5.0l_e$	$4.0l_e$



5/28/97

### 控制參數的驗證

- 四個控制參數保持定值，其它的參數任意變化，則無因次撓度值會保持定值。

$$\frac{wD}{Pl_e^2} = f\left(\frac{a}{l_e}, \frac{L}{l_e}, \frac{W}{l_e}, \frac{r}{l_e}\right)$$



5/28/97

### 控制參數與撓度值的相關性

● 請參閱圖3-7

● a/l,r/l,w/w0的相關性



5/28/97

## 資料庫的建立

- 建立中央、邊緣及角隅載重無限版長及有限版長情況的撓度比資料庫。
- 請參閱附錄A。



5/28/97

## 回算程式之建立

- 中央載重預估模式
- 邊緣載重預估模式
- 角隅載重預估模式
- 回算程式之建立
- TKUBAK回算程式的建立



5/28/97

## 無限版長情況

- 利用投影追逐迴歸分析法，可求出無限版長撓度比預估方程式。
- 控制參數為：

$$a/l_e, r/l_e, w/w_0$$



5/28/97

## 有限版長情況

- 利用投影追逐迴歸分析法，可求出有限版長撓度比預估方程式。
- 控制參數為：

$$a/l_e, L/l_e, W/l_e, r/l_e, w/w_0$$



5/28/97

## 回算程式之建立(1)

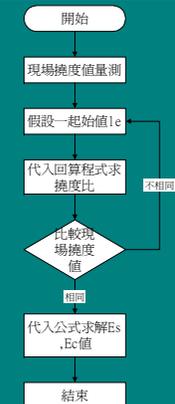
- 鋪面的結構反應並非單純的直接以疊加的方式便可得到一準確的值，因此必須以調整因子來加以修正。
- 調整因子是以有限版長的撓度比除以無限版長的撓度比而得。



5/28/97

## 回算程式之建立(2)

- 回算流程如右：



5/28/97

## 中央載重情況回算

- 由上述流程回算出 $l_e$ 值後代入下列公式求解 $E_s$ 值及 $E_c$ 值。

$$E_s = \left[ \frac{2P(1-\mu_s^2)}{d_0 l_e} \right] \left[ 0.19245 - 0.0272 \left( \frac{a}{l_e} \right)^2 + 0.0199 \left( \frac{a}{l_e} \right)^2 \ln \left( \frac{a}{l_e} \right) \right]$$

$$E_c = \frac{l_e^3 \times 6(1-\mu^2) \times E_s}{h^3(1-\mu_s^2)}$$



5/28/97

## 邊緣及角隅載重情況回算

- 利用投影追逐迴歸分析法，求出邊緣及角隅載重無限版長時的無因次撓度值預估方程式。
- 同樣的流程回算出 $l_e$ 值後代入上述的無因次撓度值預估方程式，求解 $E_s$ 值，再代入前面的公式求 $E_c$ 值。



5/28/97

## TKUBAK回算程式的建立

- 本研究是利用Microsoft Visual Basic 4.0程式編譯而成的。
- 主要功能為利用非破壞性檢測的資料，回算出鋪面的結構強度。因所使用的資料形式為無因次狀態，所以可適用於FWD及Road Rater，甚至是自定的規格皆適用。



5/28/97

## 模式的驗證與應用

- 前言
- 中央載重情況的回算
- 邊緣及角隅的回算
- 其它回算方式的適用性



5/28/97

## 中央相對勁度半徑回算的驗證(1)

- 利用中央載重無限版長的情況求AREA值與相對勁度半徑，與K. T. Hall公式及Losberg公式的三條曲線近乎重疊。
- 說明當使用本研究分析無限版長時，其所求出的答案與先前的研究所求的答案是一致的。



5/28/97

## 中央相對勁度半徑回算的驗證(2)

- 請參閱圖5-1

- 無限版長AREA與 $l_c$ 的比較圖



5/28/97

### 中央相對勁度半徑回算的驗證(3)

- 當考慮中央載重有限版長的情況求AREA值與相對勁度半徑時，TKUBAK程式較閉合解公式準確。
- 說明對現地有限尺寸版的回算值有調整的必要性。



5/28/97

### 中央相對勁度半徑回算的驗證(4)

- 請參閱圖5-2

- 有限版長AREA與 $l_e$ 的比較圖



5/28/97

### 中央 $E_s$ 值與 $E_c$ 值的驗證

- 使用TKUBAK程式所回算出的答案較閉合解公式準確，表5-1。又因TKUBAK程式所回算的 $l_e$ 值都低估，因此所計算出的 $E_c$ 值皆較輸入值低，準確性欠佳，但仍比無限版長閉合解公式的回算值較接近假設值。



5/28/97

### 邊緣及角隅的回算驗證

- 邊緣及角隅載重情況時，使用TKUBAK回算程式所回算出的 $l_e$ 平均值與 $E_s$ 值，皆可獲得與輸入值頗為接近的值。但在回算 $E_c$ 值時，因邊緣載重情況的TKUBAK程式所回算出的 $l_e$ 值低估，所以平均值也低估許多，不過在角隅載重情況時，利用TKUBAK程式所回算出的 $E_c$ 平均值與輸入值頗為接近。



5/28/97

## 準確度問題

- 資料點取得的過程有誤差
- S-Plus程式執行的過程有誤差
- 閉合解公式的偏差



5/28/97

## 其它回算方式的適用性

- 由於是採用無因次控制因子，因此不再局限於FWD儀器，可通用於FWD及Road Rater，甚至是自定的規格皆適用。
- 有時會因鋪面結構的鬆散或量測儀器的故障，若此時使用TKUBAK程式，因只要兩個撓度值即可回算，所以可同時回算出多組答案，進而發現資料的誤差點或取一均值的回算值。



5/28/97

## 結論與建議

- 結論
- 建議



5/28/97

## 結論(1)

- 本研究使用無因次化控制參數，將控制參數無因次化，可免除因儀器的不同或由AREA值所發展出的回算程式的基本限制，可通用於FWD及Road Rater，甚至是自定的規格皆適用。



5/28/97

## 結論(2)

- 並以 $w/w_0$ 的無因次因子作為回算方式的控制參數，因此只需載重盤中央及其它任何一點的撓度值，就可回算出彈性模數。
- 本研究僅先就鋪面版的有限尺寸加以研究。



5/28/97

## 結論(3)

- 因溫差所造成的影響仍有待深入研究。
- 而對於多版及多層的情況，目前所使用的ILLISLAB程式並無法在彈性固體基礎的模式下運算，所以暫不考慮。



5/28/97

## 建議(1)

- 目前所建立的TKUBAK回算程式是假設在動態下的非破壞性撓度試驗，但路面的設計是屬於靜態的。AASHTO建議的調整因子不超過0.33。
- 將資料庫區分成數個，減少單一分析時未知數的個數，或使用資料庫比對回算的方式，應可提高準確性。



5/28/97

## 建議(2)

- 分析研究的過程當中，發現一個值得注意的情況：當使用 $a/l_e, r/l_e, w_2/w_1$ 這三個變數時，其所對應出來的 $l_e$ 值可能不唯一。
- 在往後的研究當中可就此方面加強探討，將其中的理論基礎釐清之後，或許可利用此模式作為現場撓度值的驗證指標。



5/28/97

### 建議(3)

- 請參閱圖3-8

- $a/l_e, r/l_e, w_2/w_1$ 的相關圖



5/28/97