

剛性鋪面回算程式之建立 溫氏基礎模式

白建華、李朝聰、李英豪
淡江大學土木工程學系



簡報流程

- 緒論(研究目的、方法)
- 文獻回顧
- 回算流程之分析與驗證
- 撓度比資料庫與預估模式之建立
- TKUBAK回算程式之建立與驗證
- 結論與建議



研究目的

- 針對接縫式混凝土鋪面(溫氏基礎模式)
- 改良傳統回算程式利用撓度盤面積AREA回算之限制
- 回算流程之分析與驗證
 - w 中央、邊緣、與角隅載重
 - w 無限版、有限版、與有混凝土路肩之情況
- 建立改善之回算流程(不限FWD)
- 建立個人電腦程式(TKUBAK)



研究方法

- w 傳統回算方式之回顧(AREA)
 - w 理論公式推導與驗證(IMSL)
- w 控制參數之選定(因次分析方法)
- w 有限元素程式之分析與應用(ILLI-SLAB)
 - w 建立撓度比資料庫
- w 預估模式之構建(S-PLUS統計軟體之應用)
- w 修正回算流程並撰寫電腦程式



文獻回顧

- 影響鋪面撓度值的因素
 - w 載重因子(載重方式、作用位置)、鋪面因子(尺寸效應)、氣候因子(溫差效應)
- 非破壞性試驗方式及儀器
- 剛性鋪面撓度值基本理論公式
- 回算程式的分類及限制
- 其它相關研究



非破壞性試驗方式及儀器

- 靜力撓度試驗--彭柯曼樑
- 穩態動力撓度試驗
 - 動力撓度儀 (Dynaflect)
 - 路面評審儀 (Road Rater)
- 衝擊荷重撓度試驗--FWD
- 波傳遞試驗



剛性鋪面撓度之基本理論公式

$$w(r) = \frac{P}{fa} \int_0^{\infty} \frac{J_0(rr) J_1(ra)}{k + Dr^4} dr$$

$$w' = \frac{wk^2}{P} = \frac{wD}{P^2} = f\left(\frac{a}{\}, \frac{r}{\}\right) \quad (\text{Losberg, 1960})$$

$$\} = 4 \sqrt{\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)k}}, \quad D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

(無限版長)



Westergaard最大撓度公式

$$u_i = \frac{P}{8k^2} \left\{ 1 + \frac{1}{2f} \left[\ln\left(\frac{a}{2}\right) - 0.673 \right] \left(\frac{a}{\}\right)^2 \right\}$$

$$u_e = \frac{0.431P}{k^2} \left[1 - 0.82\left(\frac{a}{\}\right) \right]$$

$$u_c = \frac{P}{k^2} \left[1.1 - 0.88\left(\sqrt{2}\frac{a}{\}\right) \right]$$

(Westergaard, 1926)
(中央、邊緣、角隅)
(無限、半無限版長)

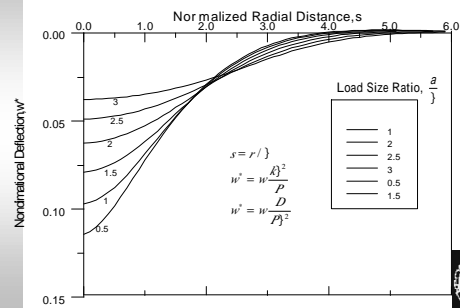


Losberg撓度公式的驗證

- 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, ...)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



版的無因次撓度圖



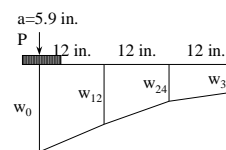
傳統回算程式與方法

- 反覆計算法(迭代法)
wBISDEF, CHEVDEF, WESDEF, ELSDEF
- 資料庫處理法
wMODULUS, COMDEF
- 版理論法(閉合解法) <=本研究
wAREA Concept (Hoffman, 1981)
wFoxworthy圖解法, ILLI-BACK程式
wHall / PAS, Crovetti閉合解公式

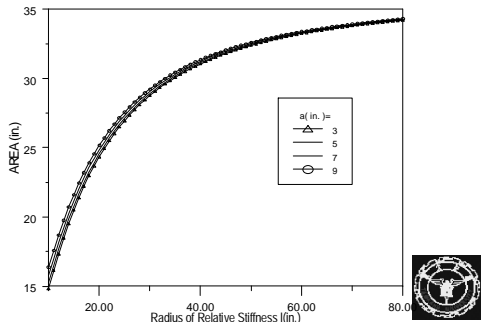


撓度盤面積(AREA)的公式

$$AREA(in^2) = \frac{\text{面積}}{u_0} = 6 * \left[1 + 2\left(\frac{w_{12}}{u_0}\right) + 2\left(\frac{w_{24}}{u_0}\right) + \left(\frac{w_{36}}{u_0}\right) \right]$$



AREA與相對勁度半徑之關係圖



ILLI-BACK回算程式

Losberg 理論解公式

$$d_0 = \frac{w_0 k^2}{P} = f\left(\frac{a}{l}\right) \quad d_i = \frac{w_i k^2}{P} = f_i(l)$$

$$\frac{d_1}{d_0} = \frac{w_1}{w_0} = \frac{f_1(l)}{f_0(l)} = f(l)$$

將所求出的四個d_i值代入下式求解一個平均的k值，再求出E_c值

$$k = \frac{P d_i}{l^2 w_i} \quad E_c = \frac{12(1 - \nu^2) k^4}{h^3}$$

Hall/PAS閉合解回算公式

中央載重(無限版長)之迴歸公式(1991)

$$l = \left[\frac{\ln\left(\frac{36 - AREA}{1812.279}\right)}{-2.559340} \right]^{1/0.387009}$$

代入下列公式求解E_s值及E_c值

$$k = \frac{P}{8w_0^2} \left\{ 1 + \frac{1}{2l} \left[\ln\left(\frac{a}{2}\right) - 0.673 \right] \left(\frac{a}{l}\right)^2 \right\}$$

$$E_c = \frac{12(1 - \nu^2) k^4}{h^3}$$

Crovetti建議之無因次撓度公式

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

載重位置	A ₁	A ₂	A ₃
中央載重	0.1253	-0.008	-0.028
邊緣載重	0.4311	-0.707	0.2899
角隅載重	1.148	-1.500	0.6565

(Crovetti, 1994)

傳統閉合解回算程式的限制

- 僅限於FWD儀器
 - w載重圓盤的半徑a=5.9in.
 - w四個撓度感應器的位置(0, 12, 24, 36 in.)
 - w必須有上述四個撓度量測值，缺一不可
 - w其他撓度量測值無法利用
- 無限尺寸版與完全路基支承
- 限於英制單位

控制參數的驗證

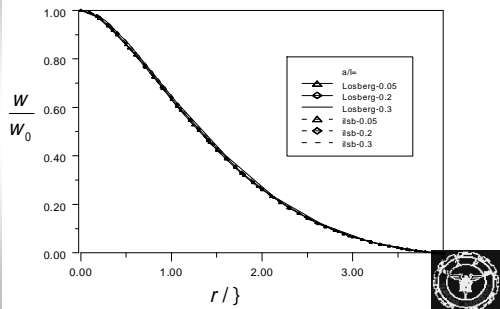
- ILLI-SLAB有限元素程式的應用
- 四個控制參數保持定值，其它的參數任意變化，則無因次撓度值會保持定值

$$d_i = \frac{w_i k^2}{P} = f\left(\frac{a}{l}, \nu, W, \tau\right)$$

修正之無因次撓度比公式

$$w^* = \frac{d}{d_0} = f\left(\frac{a}{l}, \nu, W, \tau\right)$$

無因次撓度比與控制參數的相關圖



撓度比資料庫與預估模式的建立

建立中央、邊緣、及角隅載重，無限版長、有限版長、及有混凝土路肩情況的撓度比資料庫

利用投影追逐迴歸分析法，求出各撓度比預估方程式

$$\text{無限版長 } R_{\infty} = \frac{W}{W_0} = f\left(\frac{a}{l}, \frac{r}{l}\right)$$

$$\text{有限版長 } R_L = \frac{W}{W_0} = f\left(\frac{a}{l}, \frac{L}{l}, \frac{W}{W_0}, \frac{r}{l}\right)$$

$$\text{有混凝土路肩 } R_s = \frac{W}{W_0} = f\left(\frac{a}{l}, \frac{agg}{k}, \frac{r}{l}\right)$$

建議之回算流程(一)

- 取得現場撓度量測值
- 假設一相對勁度半徑起始值，並代入預估模式計算撓度比
- 比較現場與預估之撓度比，修正相對勁度半徑之值
- 並以迭代的方式，重覆步驟(2)~(3)，決定最終相對勁度半徑之值(收斂極快)

建議回算之流程(二)

綜合之修正因子(有限版長與路肩效應)

$$\}_{\text{adj}} = \}_{\text{est}} * CF_{\text{lest}} * CF_{\text{sest}}$$

計算Westergaard最大撓度(無限版長)

修正有限版長與路肩效應之最大撓度

$$W_0 = U * R_{LF} * R_{SF}$$

代入上述最大撓度公式，求解k, E_c值

TKUBAK回算程式的建立

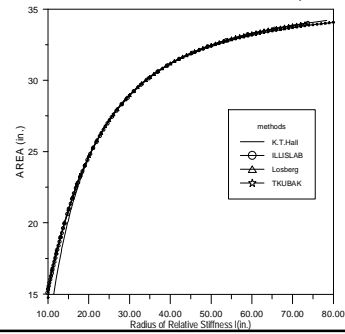
- 利用Visual Basic 4.0程式編譯而成
- 主要功能包括：ILLI-BACK, Hall/PAS, TKUBAK等三大部份
- 含中英文圖形界面，適用於公英制單位
- 無因次撓度比公式不受AREA Concept之限制，因此可通用於FWD、Road Rater或其他自定規格的NDT儀器

TKUBAK回算程式圖例(一)

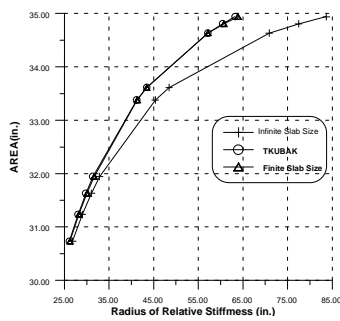
TKUBAK回算程式圖例(二)



TKUBAK回算程式的驗證(無限版長)



TKUBAK回算程式的驗證(有限版長)



路基反力模數之修正

- 回算得動態路床有效反力模數值 $k_{dynamic}$
- 路床有效反力模數值 $k_{static} = k_{dynamic} / 2$ (AASHTO建議)



結論與建議(一)

- 本研究應用撓度比 w/w_0 的概念，改進現有閉合解回算法採用 AREA Concept，並擴大其應用範圍(任一荷重盤半徑、徑向距離)
- 本研究使用無因次控制參數，可免除因儀器的不同或 AREA Concept 的基本限制，因此可適用於 FWD、Road Rater、或其他自定規格的 NDT 儀器



結論與建議(二)

- 只需載重盤中央及其它任何一點的撓度值即可進行回算，因此可在同一 NDT 試驗同時回算出多組答案或取其平均值
- 可進而發現現場資料的誤差點，有效解決有時因鋪面結構的鬆散或量測儀器的故障，導致回算困難之難題
- AASHTO 建議將回算而得之動態的 k 值轉換為靜態的 k 值，其調整因子約為 0.5



結論與建議(三)

- 因溫差、多版、及多層的情況所造成的影響仍有待深入研究
- 若將資料庫區分成數個，以減少分析時參數的個數，或利用資料庫比對的方式，當可再提高回算之精準性
- 未來可加強探討現場撈度的案例驗證



致謝

本研究承蒙國科會專題計畫
NSC85-2211-E032-010
之經費贊助，特此致謝。



**THANKS FOR YOUR
ATTENTION!**

敬請指教！

白建華、李朝聰、李英豪
淡江大學土木工程學系



THANKS FOR YOUR ATTENTION