

淡江大學土木工程學系碩士論文簡報

## 多版塊接縫式混凝土鋪面之結構 反應分析與驗證

Structural Response Analysis and Verification of  
Multi-Slab Jointed Concrete Pavements

指導教授：李英豪 博士  
研究生：李育昇

中華民國97年1月4日

1

## 簡報綱要

- 研究緣起
- 有限元素程式分析結果驗證
- 邊緣應力資料庫與預測模式建立
- 資料庫與舊有預測模式結果比對
- 自動化應力預測程序之建立
- 結論與建議

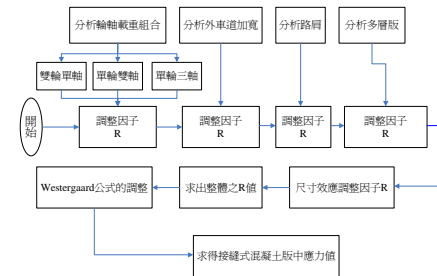
2

## 研究緣起

- 舊有預測模式
  - 採用重疊原理 → 修正因子多、單版為主
  - 資料庫資料筆數少 → 採用投影追逐迴歸法
  - 溫差方面缺乏驗證
- 本研究
  - 討論多版 → 只需一或二個修正因子
  - 資料庫資料筆數多 → 採用LOESS迴歸法
  - 對溫差進行初步的比對
  - 單輪多版時的撓度資料庫
  - I-Miner的應用

3

## 舊有預測模式流程圖



備註：1.若無需要調整則該項R=1  
2.整體之R值為各項R值的乘積

4

## 研究方法

- 文獻回顧
- 有限元素程式結果驗證
- 邊緣應力資料庫建立並與舊有預測模式進行比對驗證
- 建立預測模式
- 載重與溫差複合作用資料庫建立自動化程式
- 撓度資料庫建立
- 利用I-Miner建立自動化應力預測程序

5

## ISLAB2000有限元素程式(1/2)

選用原因：

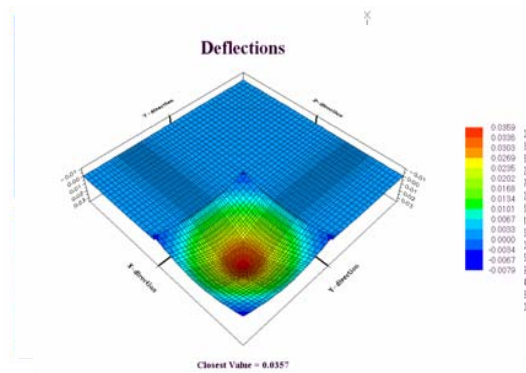
- 比舊有ILLISLAB程式有著更人性化的介面
- 擴展及改善了ILLISLAB與ILSL2程式原來的功能

使用介面：

- 輸入資料的操作介面
- 主執行程式
- 輸出結果圖形化的介面

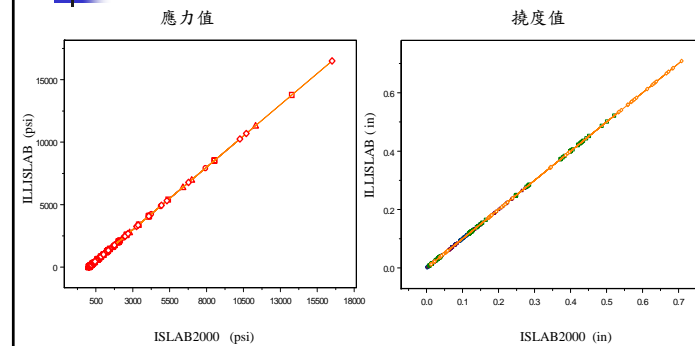
6

## ISLAB2000有限元素程式(2/2)



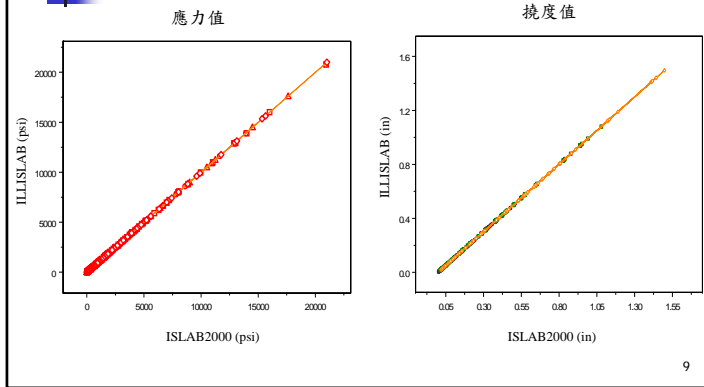
7

## 分析程式之比較(中央荷重)

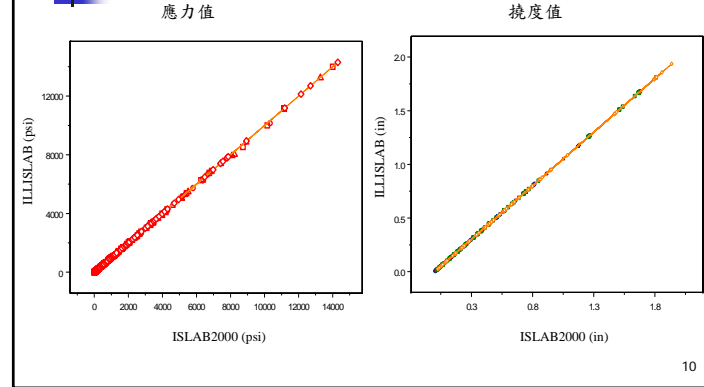


8

### 分析程式之比較(邊緣荷重)



### 分析程式之比較(角隅荷重)



### 控制參數

由文獻得知，當為單輪單版塊的情況下：

- 受車輪載重單獨作用： $\frac{\partial h^2}{\partial P} = f\left(\frac{a}{\ell}, \frac{L}{\ell'}, \frac{W}{\ell'}\right)$
  - 受車輪載重與溫差複合作用： $\frac{\sigma}{E} = f\left(\frac{a}{\ell}, \alpha \Delta T, \frac{L}{\ell'}, \frac{W}{\ell'}, \frac{h^2}{k\ell'^2}, \frac{Ph}{k\ell'^2}\right)$
- 考慮多輪載重且為多版塊的狀況，因此加入了四個控制參數，並驗證。

- $s/l$
- $t/l$
- LTE<sub>x</sub>
- LTE<sub>y</sub>

### 參數驗證(載重單獨作用)

$$\frac{\partial h^2}{\partial P} = f\left(\frac{a}{\ell}, \frac{L}{\ell'}, \frac{W}{\ell'}, \frac{t}{\ell'}, LTE_y, LTE_x\right)$$

s/l	t/l	LTE <sub>x</sub>	LTE <sub>y</sub>	h <sup>2</sup> (in)	σ <sub>max</sub> (psi)	σ <sub>min</sub> (psi)	σ <sub>avg</sub> (psi)	σ <sub>x</sub> (psi)	σ <sub>y</sub> (psi)	σ <sub>z</sub> (psi)	σ <sub>max</sub> /σ <sub>min</sub>	σ <sub>avg</sub> /σ <sub>min</sub>	σ <sub>x</sub> /σ <sub>min</sub>	σ <sub>y</sub> /σ <sub>min</sub>	σ <sub>z</sub> /σ <sub>min</sub>			
5	5	0.5	1	1	0.46	0.46	4	300	2.12	90.27	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	3175.286	0.495
5	5	0.5	1	1	0.46	0.46	4	300	6.79	385.54	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	1229.267	0.495
5	5	0.5	1	1	0.46	0.46	2	400	1.47	185.54	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	794.434	0.495
5	5	0.5	1	1	0.46	0.46	1	500	11.50	385.54	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	431.236	0.495
4	4	0.3	1	1	0.46	0.46	4	300	2.12	45.44	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	1203.944	0.503
4	4	0.3	1	1	0.46	0.46	2	400	6.79	90.27	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	1279.817	0.502
4	4	0.3	1	1	0.46	0.46	1	500	11.50	90.27	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	1304.783	0.502
4	4	0.3	1	1	0.46	0.46	1	500	11.50	90.27	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	437.777	0.503
3	3	0.1	2	0.5	0.9	0.3	4	300	1.97	22.97	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	294.618	0.503
3	3	0.1	2	0.5	0.9	0.3	2	400	2.12	22.57	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	1405.335	0.503
3	3	0.1	2	0.5	0.9	0.3	1	500	6.79	45.44	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	748.014	0.502
2	2	0.1	2	0.5	0.9	0.3	1	500	11.50	45.44	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	333.333	0.503
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	4	300	6.79	33.95	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	437.268	0.504
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	2	400	6.79	33.95	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	221.002	0.505
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	1	500	29.60	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	47.772	0.505
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	1	500	36.66	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	155.021	0.505
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	1	500	49.76	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	37.022	0.505
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	4	300	6.79	33.95	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	546.231	0.505
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	2	400	6.79	33.95	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	296.195	0.504
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	1	500	29.60	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	117.613	0.505
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	1	500	36.66	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	74.243	0.505
1	1	0.1	2	0.5	0.9	0.3	1	500	49.76	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	40.223	0.505
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	4	300	1.97	22.97	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	323.012	0.508
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	2	400	2.12	22.57	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	163.812	0.507
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	1	500	6.79	45.44	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	75.812	0.508
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	1	500	11.50	45.44	12	6.71	22.57	115200	22.57	22.57	31.256	0.509
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	4	300	6.79	33.95	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	503.266	0.509
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	2	400	6.79	33.95	6	3.99	11.28	20000	11.28	11.28	256.262	0.509
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	1	500	29.60	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	20.280	0.509
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	1	500	36.66	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	14.539	0.509
1	1	0.05	4	1.6	0.3	0.2	1	500	49.76	338.51	12	6.71	22.57	115200	135.41	54.36	7.528	0.509

## 參數驗證(載重與溫差複合作用)

$$\frac{\sigma}{E} = f \left( \frac{a}{L}, \alpha \Delta T, \frac{L}{T}, \frac{W}{K}, \frac{Pb}{K}, \frac{s}{T}, LTEy, LTEx \right)$$

L	T	W	Pb	s	αΔT	a/L	L/T	W/K	Pb/K	s/T	LTEy	LTEx	E	K	σ	σ/E					
170	170	0.20	1.20	1.20	0.75	0.30	3.00	1.976	191.82	4.226	11.281	482.126	13.246	13.246	5.0	25.0	-0.5328	0.4611	173.813	23.133	
170	170	0.20	1.20	1.20	0.75	0.30	3.00	4.156	287.740	6.339	16.931	5478.139	28.314	28.314	5.0	25.0	-0.5328	0.3441	146.478	23.133	
170	170	0.20	1.20	1.20	0.75	0.30	3.00	7.465	383.651	8.471	22.371	33833.87	27.084	27.084	5.0	25.0	-0.5328	0.2601	103.303	23.133	
170	170	0.20	1.20	1.20	0.75	0.30	3.00	11.675	479.671	10.516	27.875	10472.11	46.424	46.424	5.0	25.0	-0.5328	0.1861	70.325	23.133	
40	40	0.05	0.60	3.0	0.45	0.60	3.0	3091	1246	188.58	41.266	62.146	22381	90.275	12.0	30.0	-4.0152	0.1344	433.888	70.160	
40	40	0.05	0.60	3.0	0.45	0.60	3.0	3091	2646	370.21	61.236	67.71	78661.15	46.424	110.0	12.0	-4.0152	0.1266	326.173	70.160	
40	40	0.05	0.60	3.0	0.45	0.60	3.0	4831	6730	361.081	81.471	291.271	188472.61	54.164	180.36	12.0	-4.0152	0.1171	153.417	70.160	
40	40	0.05	0.60	3.0	0.45	0.60	3.0	7065	9912	546.424	101.713	461.713	37113.081	81.246	270.81	12.0	-4.0152	0.1061	110.226	70.160	
70	70	0.40	1.60	0.80	0.80	0.80	3.0	2091	6781	38.464	4.236	9.661	12180	9.031	4.71	25.0	5.0	5.3806	2.021	9.030	1.461
70	70	0.40	1.60	0.80	0.80	0.80	3.0	2091	1451	39.246	6.339	8.461	46.361	13.246	6.771	25.0	5.0	5.3806	2.124	3.641	1.461
70	70	0.40	1.60	0.80	0.80	0.80	3.0	4091	2946	70.361	8.471	11.281	110.361	18.031	9.031	25.0	5.0	5.3806	1.293	4.234	1.461
70	70	0.40	1.60	0.80	0.80	0.80	3.0	5091	6221	118.461	10.516	14.931	339.851	27.084	13.246	25.0	5.0	5.3806	1.001	3.031	1.461
110	110	0.30	0.80	1.0	0.75	0.60	3.0	2091	1121	62.771	4.236	7.121	349.461	3.011	7.121	3.0	62.3	10.5380	0.411	209.824	39.981
110	110	0.30	0.80	1.0	0.75	0.60	3.0	2091	2451	124.121	6.339	11.281	1273.421	4.71	11.281	3.0	62.3	10.5380	0.325	123.433	39.981
110	110	0.30	0.80	1.0	0.75	0.60	3.0	4091	4311	183.581	8.471	13.031	2971.061	6.021	13.031	3.0	62.3	10.5380	0.244	177.048	39.981
110	110	0.30	0.80	1.0	0.75	0.60	3.0	5091	9131	248.241	10.516	17.031	8879.681	9.031	17.031	3.0	62.3	10.5380	0.153	117.813	39.981
30	30	0.10	2.50	1.40	0.30	0.950	3.0	2091	4961	67.771	4.236	22.371	2243.09	38.424	31.391	2.5	30.0	-4.0152	0.1112	134.032	30.027
30	30	0.10	2.50	1.40	0.30	0.950	3.0	3091	1046	101.581	6.339	13.031	1071.90	84.811	47.381	2.5	30.0	-4.0152	0.0844	122.334	30.027
30	30	0.10	2.50	1.40	0.30	0.950	3.0	4091	1845	133.461	8.471	15.031	4486.271	112.84	63.191	2.5	30.0	-4.0152	0.0621	81.221	30.048
30	30	0.10	2.50	1.40	0.30	0.950	3.0	5091	3630	171.111	10.516	17.031	12887.361	148.26	84.781	2.5	30.0	-4.0152	0.0441	60.411	30.221

13

## 邊緣應力資料庫建立(1/8)

### ■ 方法

- 控制參數、範圍確定
- 利用VB 構建自動化分析程式
- 載重單獨作用
  - 受尺寸效應影響之多版單輪載重資料庫
  - 無限版長多版多輪軸載重資料庫
- 載重與溫差複合作用
  - 受尺寸效應影響之多版單輪載重自動化程式
  - 無限版長多版多輪軸載重自動化程式

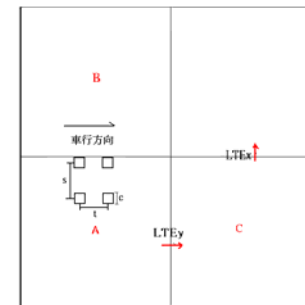
14

## 邊緣應力資料庫建立(2/8)

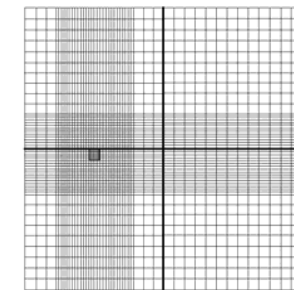
- 鋪面版假設
- 為相鄰之多版塊
- 載重單獨作用
  - 版長與版寬相等:300(in)
  - 彈性模數(E):4000000(psi)
  - 反力模數(k):100pci
- 載重與溫差複合作用
  - 版長與版寬相等:288(in)
  - 彈性模數(E):4000000(psi)
  - 反力模數(k):300pci
  - 熱膨脹係數(α):5.5×10<sup>-6</sup>/°C

15

## 邊緣應力資料庫建立(3/8)



荷重傳遞方向示意圖



網格切割方式

16

## 邊緣應力資料庫建立(4/8)

載重單獨作用：

- $L/l$  : 2~8 (step by 1)
- $W/l$  : 2~8 (step by 1)
- $a/l$  : 0.05, 0.1~0.4 (step by 0.1)
- $s/l$  : 0~2.0 (step by 0.2), 2.5, 3
- $t/l$  : 0~2.0 (step by 0.2), 2.5, 3
- LTEy : 0.0001, 0.3~0.9 (step by 0.15), 0.95
- LTEx : 0.0001, 0.3~0.9 (step by 0.15), 0.95

17

## 邊緣應力資料庫建立(5/8)

各輪軸型態所需的控制參數 (載重單獨作用)

	$L/l$	$W/l$	$a/l$	$s/l$	$t/l$	LTEy	LTEx
單輪	√	√	√			√	√
雙輪單軸			√	√			√
雙輪雙軸			√	√	√		√
雙輪三軸			√	√	√		√

18

## 邊緣應力資料庫建立(6/8)

載重與溫差複合作用：

- $L/l$  : 2~17 (step by 1)
- $W/l$  : 2~17 (step by 1)
- $a/l$  : 0.05, 0.1~0.4 (step by 0.1)
- $s/l$  : 0~2.0 (step by 0.2), 2.5, 3
- $t/l$  : 0~2.0 (step by 0.2), 2.5, 3
- LTEy : 0.0001, 0.3~0.9 (step by 0.15), 0.95
- LTEx : 0.0001, 0.3~0.9 (step by 0.15), 0.95

19

## 邊緣應力資料庫建立(7/8)

- $\Delta T$  : -40, -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40
- $D_p = \frac{Ph}{k\ell^4}$  : 30.41×10, 121.63×10, 486.54×10, 1094.51×10, 1946.15×10  
( $D_p$  隨荷重半徑a改變而改變)
- $D_\gamma = \frac{\gamma h^2}{k\ell^2}$  : 0.747×10, 1.756×10, 3.775×10, 5.794×10, 7.813×10  
( $\gamma$  隨荷重半徑a的改變而改變：  
0.037, 0.087, 0.187, 0.287, 0.387)

20

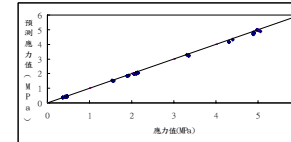
## 邊緣應力資料庫建立(8/8)

各輪軸型態所需的控制參數 (載重與溫差複合作用)

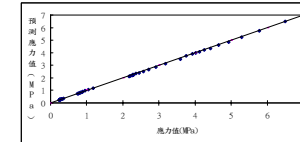
	$L/\ell$	$W/\ell$	$a/\ell$	$s/\ell$	$t/\ell$	LTEy	LTEx	$\alpha\Delta T$	$D_p$	$D_r$
單輪	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
雙輪單軸			✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
雙輪雙軸			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
雙輪三軸			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

21

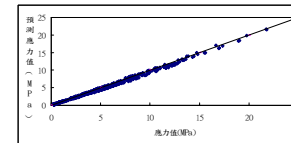
## 載重單獨作用(單版)



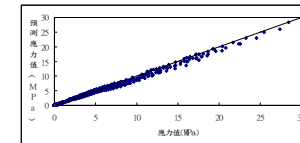
單輪



雙輪



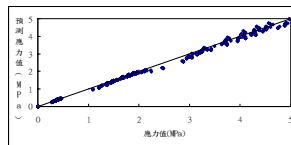
雙輪雙軸



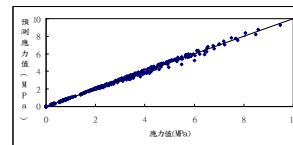
雙輪三軸

22

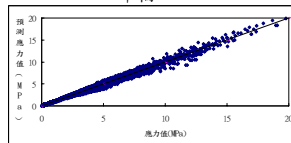
## 載重單獨作用(多版塊)



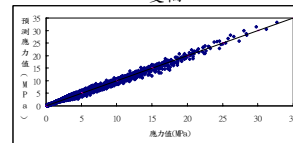
單輪



雙輪



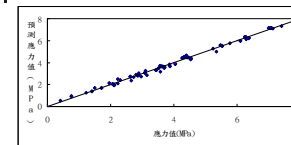
雙輪雙軸



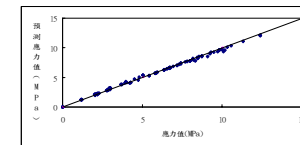
雙輪三軸

23

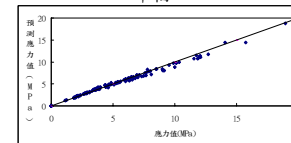
## 載重與溫差複合作用(單版)



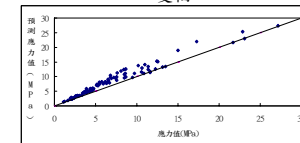
單輪



雙輪



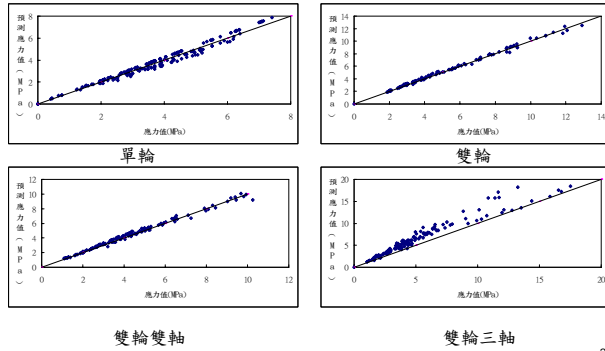
雙輪雙軸



雙輪三軸

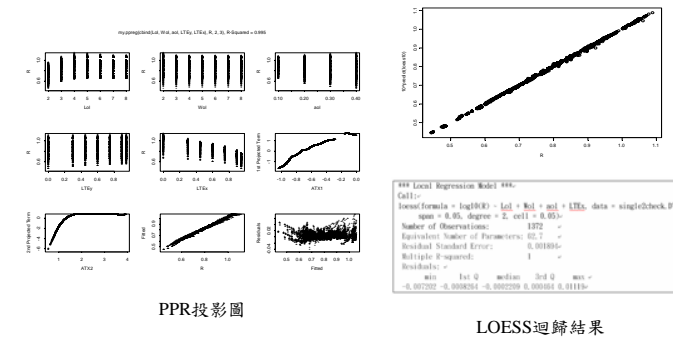
24

## 載重與溫差複合作用(多版塊)



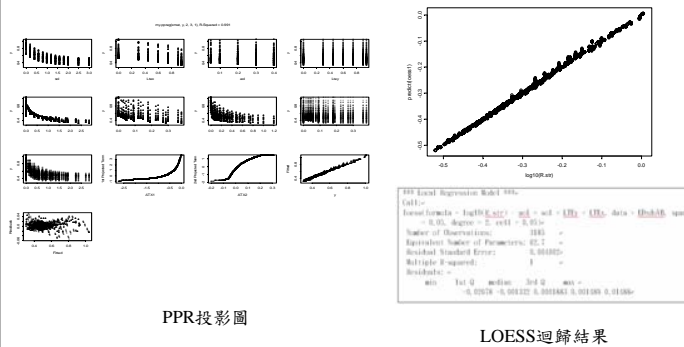
25

## 預測模式建立(單輪)



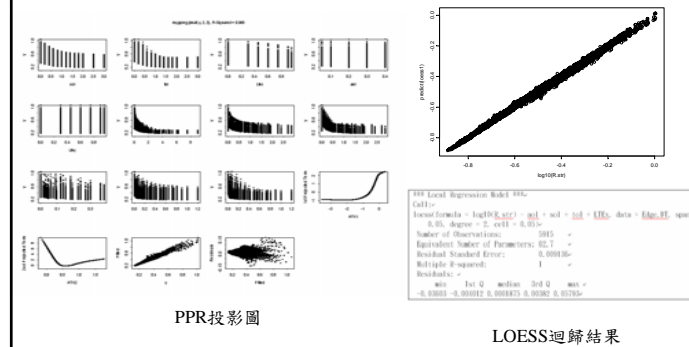
26

## 預測模式建立(雙輪)



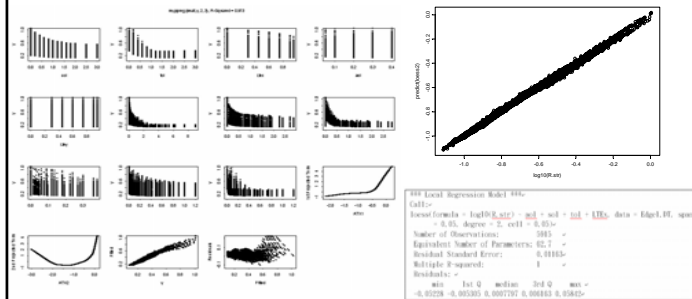
27

## 預測模式建立(雙輪雙軸)



28

## 預測模式建立(雙輪三軸)



PPR投影圖

LOESS迴歸結果

29

## 撓度資料庫之建立(1/3)

- 建立單輪多版下的撓度資料庫
  - 邊緣
  - 角隅
  - 中央
- 假設
  - 版長與版寬相等:300(in)
  - 彈性模數(E):4000000(psi)
  - 反力模數(k):100pci

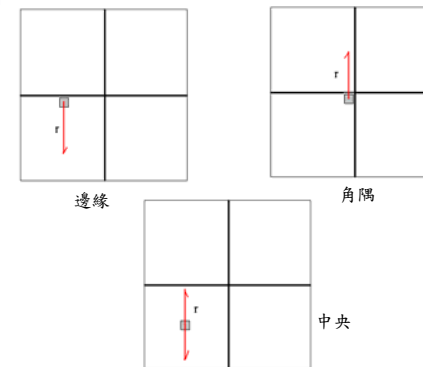
30

## 撓度資料庫之建立(2/3)

- $L/l$  : 2~8 (step by 1)
- $W/l$  : 2~8 (step by 1)
- $a/l$  : 0.1~0.4 (step by 0.1)
- LTEy : 0.0001, 0.3~0.9 (step by 0.15), 0.95
- LTEx : 0.0001, 0.3~0.9 (step by 0.15), 0.95

31

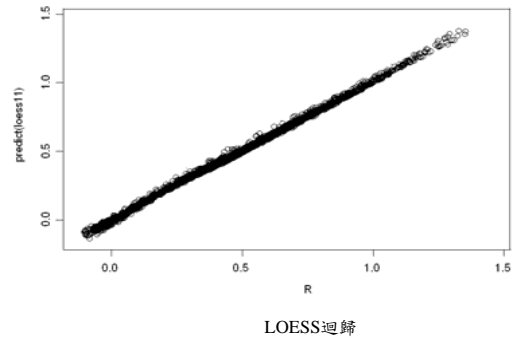
## 撓度資料庫之建立(3/3)



32



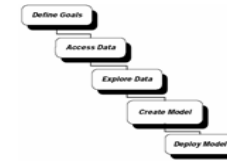
## 預測模式建立



33

## I-Miner資料採礦軟體介紹(1/2)

- Insightful Miner是一個企業級的資料採礦工具，可以對很多數據源進行導入及導出。當訪問到數據時，可以使用各種圖、表以及描述性統計等方法去探索資料以及構建和應用模式。



資料採礦流程

34

## I-Miner資料採礦軟體介紹(2/2)

- 優點
  - 界面簡潔，容易使用。
  - 數據整理功能強。
  - 內建S語言引擎使得程式本身可以使用S-PLUS強大的統計分析與繪圖功能。

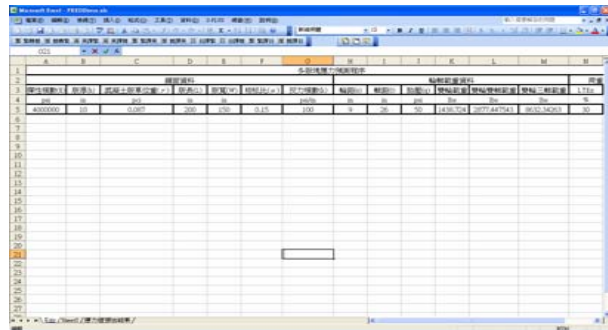
35

## 程式

- 使用者可以依需求自行更改的輸入部分。
- 由設計者所寫入的核心部分，主要為S語言撰寫的部分。
- 預測應力值顯示之輸出部分。

36

## 輸入界面



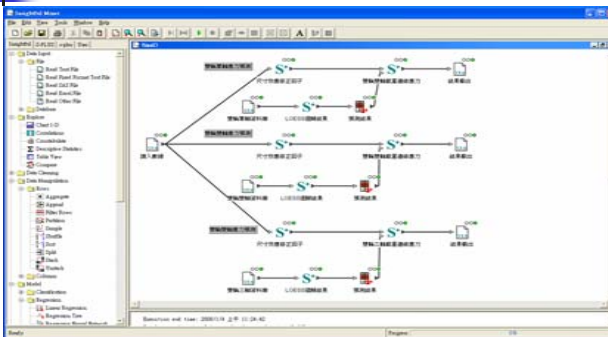
37

## 作業流程



38

## 成果展示圖



39

## 結果展現

時間	速度	加速度	力
0	0	0	0
1	10	100	1000
2	20	200	2000
3	30	300	3000
4	40	400	4000
5	50	500	5000
6	60	600	6000
7	70	700	7000
8	80	800	8000
9	90	900	9000
10	100	1000	10000

40

## 未來發展



ILLISTR程式

TKUPAV  
的接縫式混凝土  
前面應力分析  
與厚度設計

TKUAPAV程式

- 可以用以修正、擴展左列舊有程式的預測模式部分。

41

## 結論(1/3)

- 當進行ISLAB2000與ILLISLAB兩執行程式的結果比對，分析其差異性後，可以發現兩程式所得各輪軸載重及各荷重位置之結構反應值幾乎完全相同
- 舊有預測模式只考慮上下方向的荷重傳遞，在小尺寸的版塊（非無限版長）時，則可能因為左右方向的荷重傳遞的影響沒加入修正而使得預測結果不符合實際需求，是需要改善的地方

42

## 結論(2/3)

- 在單版的驗證上，證明了本研究所建資料庫之基本可性度及正確性
- 對多版的荷重傳遞影響作比較，可以發現在受尺寸效應影響及荷重傳遞效應時單輪載重單獨作用下，舊有預測模式所得結果誤差並不會太大，是可行的。但在多輪軸載重型式時，則由於誤差重複累加使誤差加大，可以本研究所建資料庫建立之預估模式來進行修正。

43

## 結論(3/3)

- 在溫差與載重複合作用的狀況下，驗證單版單輪結果差異不大，但在雙輪三軸情況下，則出現明顯誤差，可以以本研究所建立的自動化資料庫建立程序來進行後續研究。
- 本研究所建立的自動化分析結果可用以修正、擴展舊有程式的預測模式部分。
- 本研究所建立的單輪多版撓度資料庫可作為未來回算程序建立之基礎。

44



## 建議(1/2)

- 由於本自動化分析程序在未來，希望能與厚度設計法相結合，因此主要分析著重在邊緣應力上。若需要有更為完善的應力分析系統，可以依照本研究的方法，再發展角隅及中央位置的自動化分析程序。
- 由於本研究並未進行三維方面的資料分析，未來可以考慮結合以往研究所建立的2維轉換為3維修正因子的觀念，來進行驗證以及分析，使預估應力值更為貼近現今機場厚度設計方法的趨勢。


45



## 建議(2/2)

- 在建資料庫時，當資料筆數多時，可以在建立時先抽取一部份結果來測試，以免資料完成時發現在設定過程發生人為疏失，而需重新建立資料庫，費時耗力。
- 本研究所建立的自動化應力預測程序之後可與VB相結合，使其界面及功能更為完善。

46



---

報告結束

謝謝指教

47