

鋪面糙度預測模式之建立 —以LTPP資料庫為例

Development of Performance Prediction Models for
Pavement Roughness Using LTPP Database

指導教授：李英豪 博士

研究生：莊凱驛

中華民國 96年7月16日



簡報大綱

- 緒論
- 文獻回顧
- 績效預測模式分析
 - 剛性與柔性鋪面之國際糙度指標
 - 評估現有預測模式之適用性
 - 現有模式與AASHTO 2002預測模式之比較
 - 構建新的預測模式
- 結論與建議

2

研究背景

- 鋪面於建立初期大多具有高度服務品質，但隨著使用時間的長短與累積交通量的增加而逐漸降低。
- 較為粗糙的路面，不但直接影響乘客及駕駛的舒適程度；甚至會迫使駕駛降低行車速度，亦對車輛造成損害並提高車輛的使用成本，鋪面糙度為主要影響鋪面服務能力之因素。

3

研究目的

- 國內缺少較為完整的鋪面績效資料庫與績效預測模式，對於鋪面的管理工作僅限於「現況分析」，並無法做「未來狀況的預測」。
- 國外現有的資料庫(LTPP)與績效預測模式，進行評估並改善現有模式。
- 國際糙度指標(IRI)預測模式。

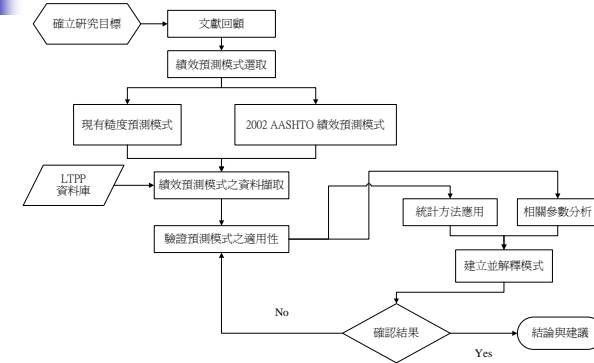
4

研究內容與方法

- 相關文獻蒐集。
- DataPave 資料庫與Microsoft Access 程式進行資料擷取部分。
- S-Plus 統計軟體，建立自動化資料處理流程與分析程序，協助模式之評估。
- 評估並比較現有預測模式與2002鋪面設計暫行手冊預測模式之適用性。
- 針對鋪面可能影響因素，構建新的績效預測模式，並進行敏感度分析，以確保研究成果的正確性與適用性。

5

研究流程



6

長程鋪面績效研究LTPP

- 1987年開始，主要蒐集北美洲現場鋪面二十年績效資料。
- 一般鋪面研究(GPS)、特殊鋪面研究(SPS)、季節性監測計畫(SMP)。
- 本研究主要資料範圍：
 - GPS-1：底層為顆粒土壤的瀝青混凝土
 - GPS-2：經底層處理的瀝青混凝土
 - GPS-3：接縫式混凝土
 - GPS-4：接縫式鋼筋混凝土
 - GPS-5：連續式鋼筋混凝土
- DataPave Online 線上資料庫 (<http://www.ltpv-products.com>)

7

績效預測模式

- 美國AASHTO道路試驗為最早構建純經驗的鋪面績效公式
- SHRP P-020
- NCHRP project 20-50
- NCHRP 1-37A
- 剛性與柔性鋪面之國際糙度指標(IRI)預測模式。
- 與設計參數有關的預測模式。

8

AASHTO 2002設計法之新概念

- 力學經驗法為主要設計理念（新建和維修）。
- 軸重分佈頻譜(axle load spectra)取代傳統ESAL計算方式，作為鋪面設計與分析之評估條件。
- 等級式的設計方式，可依據所設計公路的種類或可靠度要求水準不同，選擇不同的設計等級。
- 設計流程比一般既有更為繁雜。

9

績效預測模式分析流程

- 現有預測模式回顧
- 模式所需資料擷取
- 資料初步分析
- 模式預測結果與參數分析
- 現有模式與DG2002程式結果比較
- 構建績效預測模式
- 預測模式之敏感度分析

10

國際糙度指標績效預測模式

SHRP P-020
NCHRP project 20-50
NCHRP 1-37A

現有預測模式回顧(1/6) SHRP P-020 剛性鋪面

含縱縫筋JPCP

$$IRI = 38.8523 + 12.8886 * CESAL + 0.2217 * FT + 1.4979 * PRECIP \\ - 10.9625 * BASE - 13.6880 * SUBGRADE$$

不含縱縫筋JPCP

$$IRI = 105.9236 + 159.1279 * \left(\frac{AGE}{KSTATIC} \right) + 2.1669 * JSPACE - 7.1274 * THICK + 13.4955 * EDGESUP$$

JRCP

$$IRI = -141.3723 + 0.8488 * AGE + 0.3469 * PRECIP + 1387.9594 * \left(\frac{1}{KSTATIC} \right)$$

$$+ 21.2432 * THICK + 15.0920 * EDGESUP$$

CRCP

$$IRI = 262.0480 + 1.4706 * CESAL - 2.9432 * THICK - 232.2973 * PSTEEL \\ - 29.7949 * WIDENED - 16.8235 * SUBGRADE$$

12

現有預測模式回顧(2/6) SHRP P-020 柔性鋪面

■ 基本通式 $\Delta IRI = N^B 10^C$ 全區

所需參數 (Xi)	單位	迴歸係數	
		b _i	c _i
常數項	-	0.153	-0.000543
瀝青含量	重量%	0	-0.0160
年平均降雨量	英吋	0	0.000359
140°F瀝青黏滯度	Poise	0	3.634X10 ⁻⁵
底層厚度	英吋	0	-0.00335
底層夯實度 (Mod. AASHTO)	最大密度%	0	0.0113
路基顆粒通過#200 百分率	重量%	0	0.00062
凍融指數	Degree-Days	0	8.107X10 ⁻⁵
(溫度高於 90°F的天數 *HMAC 厚度)	Number 英吋	0	-0.000437
(溫度高於 90°F的天數 *HMAC 孔隙率)	No. 體積%	0	0.000178

B 為 $b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$; C 為 $c_0 + c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$

13

現有預測模式回顧(3/6) NCHRP project 20-50 剛性

鋪面型式	公式
GPS-3- JPCP	含縱縫筋 $IRI = 0.12284 + 0.94229(IRI_0) + 0.05009(AGE) - 0.00733(AGE \times PC_{mod})$ 不含縱縫筋 $IRI_{last} = -0.33172 + 1.15383 IRI_{prev} + 0.00436(CESAL/THICK)$ $+ 0.00418(\Delta Time \times MC_{subg}) - 0.00178(\Delta Time \times TEMP)$
GPS-4- JRCP	$Log_e(IRI) = -0.1875633 + 0.3967905(IRI_0) + 0.0000081(CESAL)$ $+ 0.000326\theta(AGE \times MC_{subg}) + 0.0000002(AGE \times PC_{mod})$
GPS-5- CRCP	潮濕 多元迴歸 $IRI = -0.6433 + 0.0082(Wet.Days) + 0.0001(PC_{Emod}/PC_{ten})$ $+ 0.0063(SG200)$
	冰凍區 混合模式 $IRI = -0.4963 + 0.0064(Wet.Days) + 0.0001(PC_{Emod}/PC_{ten})$ $+ 0.0054(SG200) + 0.0124(AGE)$
GPS-5- CRCP	潮濕 多元迴歸 $IRI = 2.2106 + 0.008(Days32) - 1.925(PSTEEL)$
	不冰凍區 混合模式 $IRI = 2.1952 + 0.0076(Days32) - 2.015(PSTEEL) + 0.0042(AGE)$

14

現有預測模式回顧(4/6) NCHRP project 20-50 柔性

鋪面型式	公式
GPS-1- AC / GB	$IRI_{Last} = -0.143 + 1.0765(IRI_{Prev}) + 0.0424(\Delta Time) + 0.0094(CESAL^{0.5}/SN^5)$ $+ 0.0012(\Delta Time \times PL) + 0.006(\Delta Time \times Base_{200})$
GPS-2- AC / SB	$IRI_{Last} = -0.16584 + 1.11253(IRI_{Prev}) + 0.00004(CESAL/SN)$ $+ 0.00466(\Delta Time \times AV) + 0.0018(\Delta Time \times MC_{subg})$

- SHRP P-020 & NCHRP project 20-50 皆是以設計參數為主的預測模式

15

現有預測模式回顧(5/6) NCHRP 1-37A 剛性鋪面

- NCHRP 1-37A 改以損壞為預測模式使用參數

鋪面型式	公式
JPCP	$IRI = IRI_i + 0.013 \times TC + 0.007 \times SPALL + 0.005 \times PATCH$ $+ 0.0015 \times TFAULT + 0.4 \times SF$
CRCP	$IRI = IRI_i + 0.003 \times TC + 0.008 \times PUNCH + 0.2 \times PATCH + 0.45 \times SF$

SF: 現地環境因子
 $SF = Age \times (1 + FI) \times (1 + P200) / 1000000$
 Age 鋪面齡期(year) · FI 凍融指數(C days) · P200 路基 200 號篩百分比(%)

16

現有預測模式回顧(6/6) NCHRP 1-37A 剛性鋪面

鋪面型式	公式
傳統柔性鋪面 厚的粒狀底層	$IRI = IRI_0 + 0.0463 \times \left(SF \times \left[e^{\frac{age}{20}} - 1 \right] \right) + 0.00384 \times (FC)_T + 0.1834 \times (COV_{RD})$ $+ 0.00119 \times (TC_2)_T + 0.00736 \times (BC)_T + 0.00155 \times (LC_{NWP})_{MT}$ $SF = \left[\frac{(R_{SD}) \times (P_{0.075} + 1) \times (PI)}{2 \times 10^4} \right] + \left[\frac{\ln(FI + 1) \times (P_{0.02} \times \ln(R_m + 1))}{10} \right]$ <p>S 現地環境因子; R_{SD} 月降雨量標準差(mm) · R_m 年平均降雨量(mm) · $P_{0.075}$ 過 0.075-mm 篩百分比(%) · $P_{0.02}$ 過 0.02-mm 篩百分比(%) · PI 型值指數 · FI 年平均凍融指數(C days)</p>
柔性鋪面經瀝青處理底層	$IRI = IRI_0 + 0.0099947 (Age) + 0.0005183 (FI) + 0.00235 (FC)_T$ $+ 18.36 \left(\frac{1}{(TC_s)_H} \right) + 0.9694 (P)_H$
半剛性鋪面(柔性鋪面經水泥處理底層)	$IRI = IRI_0 + 0.00732 (FC)_T + 0.07647 (SD_{RD}) + 0.0001449 (TC_2)_T$ $+ 0.00842 (BC)_T + 0.0002115 (LC_{NWP})_{MT}$

17

現有預測模式回顧比較

預測模式所需參數之數量

預測模式	SHRP P-020	NCHRP project 20-50	DG2002
剛性鋪面	< 15	< 15	> 50
柔性鋪面	< 15	≈ 10	> 40

- SHRP P-020 & NCHRP project 20-50 所需參數較少
- NCHRP 1-37A 所需參數較多較複雜

18

IRI 資料取得

- 檔案龐大(17GB)，無法以統計軟體計算。
- 驗證 IRI。
- 捨位。

19

IRI 驗證結果

- 利用程式建立將鋪面高程計算出 IRI
- ↓ 程式分析結果

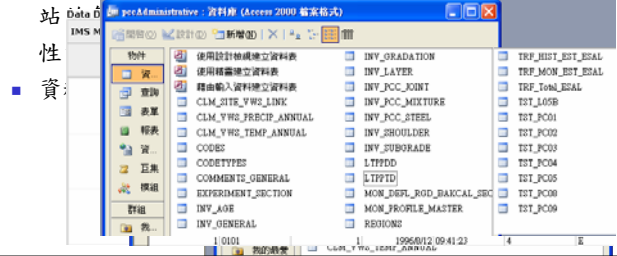
State Code	SHRP ID	左輪 IRI 計算結果	右輪 IRI 計算結果	LTTP 左輪 IRI	LTTP 右輪 IRI
5	0113	0.70	0.85	0.69	0.82
5	0113	0.69	0.86	0.68	0.85
5	0113	0.70	0.87	0.69	0.86
5	0113	0.70	0.91	0.69	0.89

20

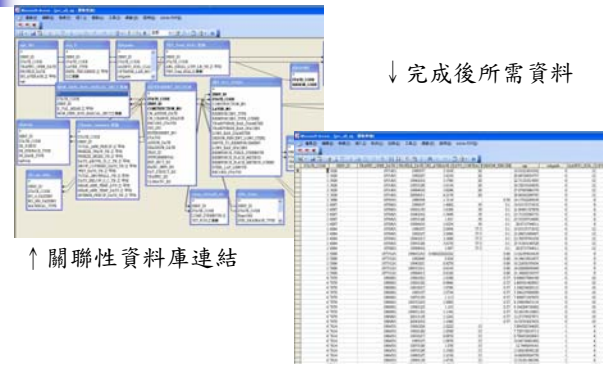
模式所需資料擷取(1/2)

- DataPave Online 中資料編碼(Data Code)對資料之定義與描述，或LTPP資料庫的使用手冊。

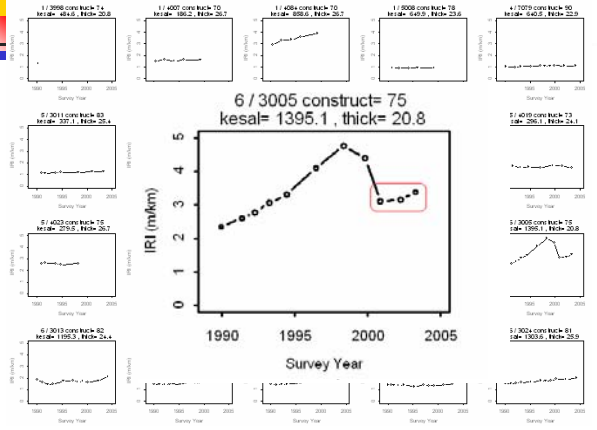
- 使用 Access 程式和各州編號，與



模式所需資料擷取(2/2)

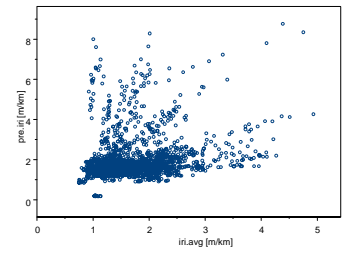


資料初步分析

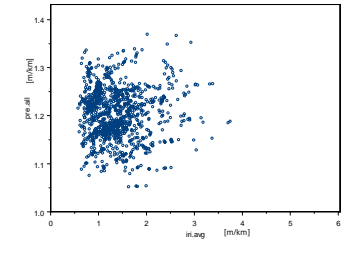


模式預測結果(1/2)

- SHRP P - 020
- 剛性鋪面

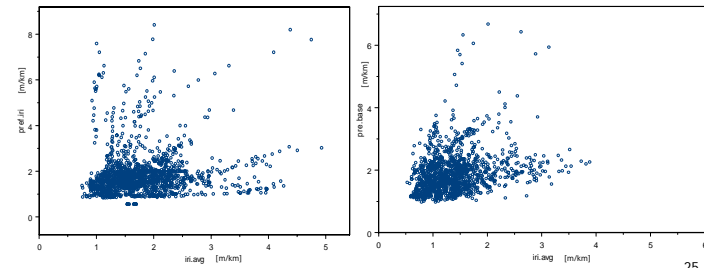


柔性鋪面



模式預測結果(2/2)

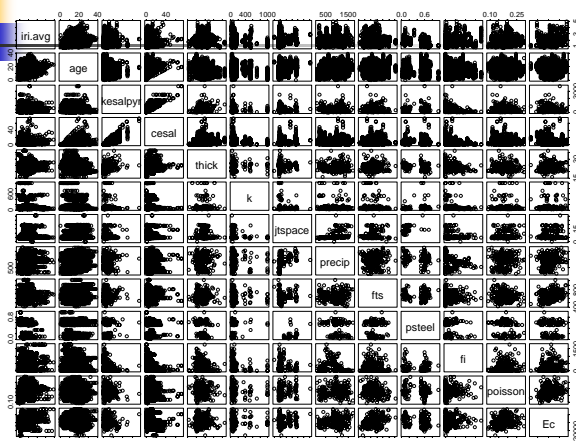
- NCHRP project 20-50
- 剛性鋪面
- 柔性鋪面



25

剛性鋪面IRI預測模式

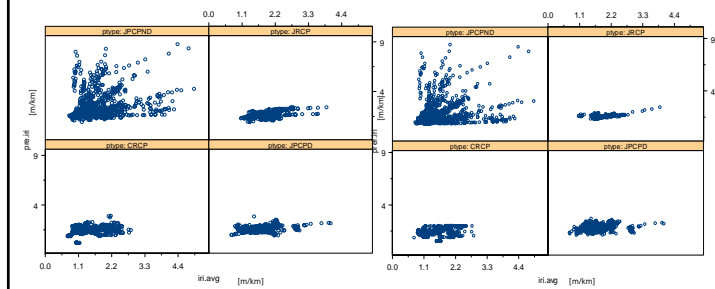
參數分析(1/4)



27

參數分析(2/4)

- SHRP P-020
- NCHRP project 20-50

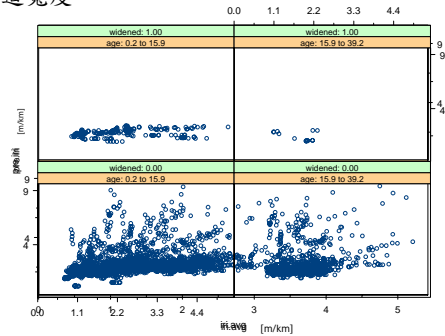


依不同鋪面型態區分

28

參數分析(3/4)

■ 車道寬度



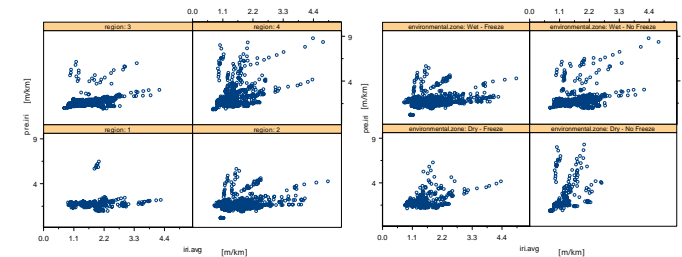
有加寬，齡期較小

29

參數分析(4/4)

■ 鋪面所在位置

■ 氣候環境狀態

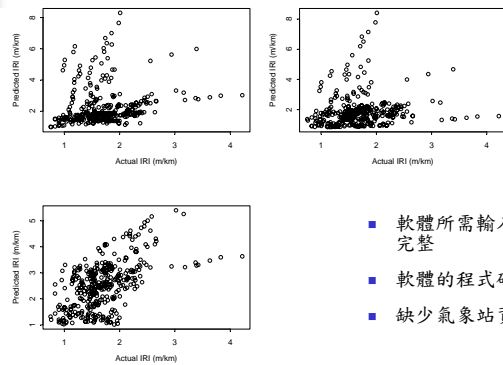


1為北大西洋區、2為北中區
3為南區、4為西區

邊緣支撐、底層型式、排水型式、
交通量和路基反力模數等

30

現有模式與DG2002程式結果比較



- 軟體所需輸入參數不完整
- 軟體的程式碼有錯誤
- 缺少氣象站資料

31

構建績效預測模式(1/5)

■ 參數選擇

參考過去文獻和現有預測模式的參數。

■ 線性迴歸

- 判定係數為0.156，殘餘標準差0.552，資料筆數為1938筆。
- 某些參數的P值不在符合範圍內且有些與鋪面預期反應相反。
- 變數的選擇固然重要，但資料顯示的物理意義與一般鋪面反應是否與預期相符更重要。

32

構建績效預測模式(2/5)

分類 變數	全部	含縱縫筋 JPCP	不含縱縫筋 JPCP	JRCP	CRCP
鋪面齡期	正	正	正	正	正
路基反力模數	---	---	負	正*	---
橫向換邊間距	---	---	---	---	---
混凝土板厚度	正*	---	正*	正*	---
邊坡支撐	---	負	負	正*	---
累積交通量	---	---	---	正	負
液蝕循環次數	正	---	正	---	---
降雨量	正	---	正	---	正
底層型式	---	正*	---	---	---
路基土壤型式	---	負	---	---	正*
鋼筋百分比	負	---	---	負	負
車道加寬	負	---	負	---	負
判定係數 R ²	0.156	0.234	0.231	0.263	0.1
標準差	0.552	0.444	0.687	0.377	0.449
資料筆數	1938	380	605	416	537

---: 較無顯著差異 正: 正相關 負: 負相關 *: 與預期成反比

33

構建績效預測模式(3/5)

- 廣義線性模式(GLM)
 - > 類別資料以計數(count)或比率(proportion)的資料。
 - > 可用來處理一些非常態型式的反應變數，對於平均數與解釋變數之間的關係有更寬廣的討論空間。
- 廣義相加模式(GAM)
 - 可對資料做平滑化，反映一般趨勢而不需假設關連的函數型式，且能找到產生最佳預測的某種解釋變數之複雜函數。
- Box-Cox轉換法
 - 能自動診斷要對Y進行何種轉換，使誤差項之變異數穩定。

34

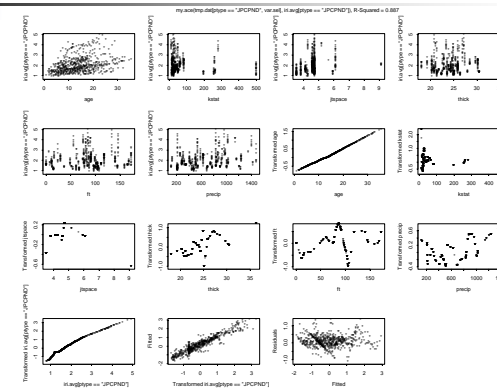
構建績效預測模式(4/5)

	預測模式
JPCPND	$IRI = 0.3701 + 0.2758 * \sqrt{age} + 5.5953 * \frac{1}{kstat} - 8.3323 * \frac{1}{jtspace^2}$ $- 304.1814 * \frac{1}{thick^2} + 0.0529 * FT^2 + 0.2985 * \log_{10} precip$ <p>統計結果: R²=0.231, SEE=0.681, n=605.</p>
JPCPD	$IRI = 0.47 + 0.0017 * age + 270 * \frac{1}{kstat} + 5.7 * \frac{1}{jtspace} - 0.17 * \log_{10}(cesal)$ $+ 0.00042 * precip + 0.1bt - 0.18subgrade + 0.25 * widened$ <p>統計結果: R²=0.35, SEE=0.41, n=380.</p>
JRCP	$IRI = -0.554 + 0.1978 * \sqrt{age} + 168.3167 * \frac{1}{kstat} + 0.021 * jtspace^5 + 0.0015 * thick^2$ $+ 0.3166 * \frac{precip}{1000} - 0.528 * \log_{10}(1 + pstee) + 0.431 * edgemp + 0.0837 * subgrade$ <p>統計結果: R²=0.4, SEE=0.34, n=416.</p>
CRCP	$IRI = 1.9568 + 0.1158 * \sqrt{age} - 112.3738 * \frac{1}{thick^2} - 0.2423 \log_{10}(cesal) + 0.0001 * FT^{1.5}$ $+ 0.4333 * \log_{10} precip - 2.3863 * pstee^{0.5} - 0.104 \ln subgrade - 0.0183 * widened$ <p>統計結果: R²=0.14, SEE=0.44, n=537.</p>

35

構建績效預測模式(5/5)

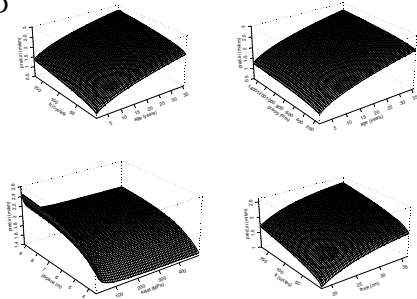
- R² = 0.887 無法解釋轉換後物理現象(JPCPND)



36

預測模式之敏感度分析

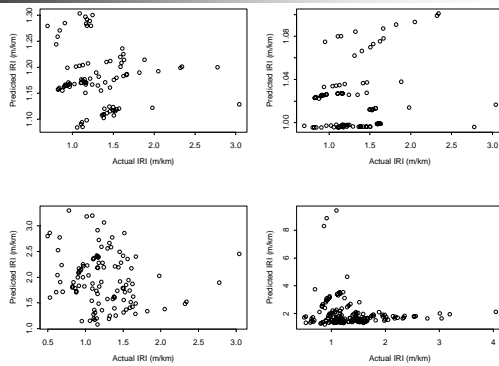
JPCPND



37

柔性鋪面IRI預測模式

現有模式與DG2002程式結果比較



39

構建績效預測模式(1/5)

■ 線性迴歸

- 判定係數為0.83，殘餘標準差0.27，資料筆數為204筆。(2009筆)
- 某些參數的P值不在符合範圍內且有些與鋪面預期反應相反。
- 變數的選擇固然重要，但資料顯示的物理意義與一般鋪面反應是否與預期相符更重要。

40

構建績效預測模式(2/5)

- 以盡量不刪資料為原則

	N	MEAN	STD	DEV	SUM	MIN	MAX
age	2009	13.8	6.484	27683	0.46	32.8	
kesalpyr	2009	188.6	488.301	378355	1.6667	9019.8	
cesal	2009	2.3	4.414	4703	0.0041	62.4	
subgrade.n200	1929	34.5	26.353	66594	0.35	98.5	
precip	2009	901.6	421.363	1811359	72.6306	2189.7	
ft	2009	77.3	42.735	155333	0	176.2	
fi	2009	326	415.663	654891	0	1791.3	
days.above32c	2009	39.5	37.874	79265	0	177.4	
wet.day	2009	128.9	40.043	258888	16.4722	230	
snowfall	2009	709.8	874.793	1425980	0	5213.9	
daysbelow0c	2009	101.3	62.584	203612	0	236.7	
temp	2009	12.5	5.639	25203	1.2063	24.9	
sur.h	2009	6.4	4.098	12844	0	35.6	
base.h	2009	19.6	12.376	39420	0	61	
subgrade.n200	1929	34.5	26.353	66594	0.35	98.5	
basewash	1165	11	7.198	12834	0.35	41.6	
A/C BSG	1708	2.3	0.09	4011	1.571	2.7	
base.n200	1236	6.9	4.743	8470	1	46	
pl	1913	9.7	10.019	18562	0	43	
avoid	1678	5.2	2.005	8801	0.95	13.2	
av140	1238	1842.2	1035.883	2280687	288	8246.5	
hr140	711	4157.3	2197.54	2955835	264	9713	
ac	740	5.1	0.726	3751	2.4333	6.9	
ac.mean	1817	5.4	0.633	9869	3.7	7.3	
base.comp	592	1	0.061	596	0.8333	1.4	
in.avg	2009	1.5	0.585	2926	0.5294	5.5	

41

構建績效預測模式(3/5)

分類變數	全部	潮濕		乾燥		顆粒土壤	經底層處理
		不會結凍	會結凍	不會結凍	會結凍		
鋪面結構	正	正	正	正	正	正	正
年交通量	負*	---	---	---	正	負*	---
降雨量	---	負*	正	---	正	正	---
凍融循環次數	負*	負*	負*	---	---	負*	---
wet.day	負*	負*	負*	---	負*	負*	---
daysbelow0c	正	正	---	---	正	正	正
年平均溫度	正	正	負*	---	正	正	正
PL	正	---	正	負*	---	正	---
temp.range	負*	負*	---	負*	負*	負*	負*
結構數	負	負	---	---	負	---	負
判定係數 R ²	0.19	0.19	0.88	0.89	0.58	0.28	0.21
標準差	0.52	0.47	0.55	0.45	0.81	0.52	0.49
資料筆數	1913	877	538	191	807	1247	666

---: 乾濕顯著差異 正: 正相關 負: 負相關 *: 與預期相反

42

構建績效預測模式(4/5)

分區	預測模式
不分區	$IRI = \exp[-1.243 + 0.139 * \sqrt{age} - 0.007 * FT + 0.22 * \sqrt{temp} + 0.103 * \log_{10}(1 + PL)]$ 統計結果: R ² =0.17, SEE=0.52, n=1913
顆粒土壤	$IRI = \exp[-0.0423 + 0.1266 * \sqrt{age} - 6.1349 * \sqrt{precip} - 0.0047 * FT - 0.0038 * wet.day + 0.0044 * daysbelow0c + 0.1046 * \log_{10}(1 + PL) + 6.3083 * \frac{1}{temp.range}]$ 統計結果: R ² =0.24, SEE=0.51, n=1247
經底層處理	$IRI = \exp[-1.6967 + 0.1815 * \sqrt{age} + 0.0039 * daysbelow0c - 0.2524 * \sqrt{temp} - 0.0047 * \log_{10}(kesalpyr) + 0.051 * \log_{10}(1 + PL)]$ 統計結果: R ² =0.21, SEE=0.48, n=666

43

構建績效預測模式(5/5)

分區	預測模式
不分區	$IRI = \exp[-1.243 + 0.139 * \sqrt{age} - 0.007 * FT + 0.22 * \sqrt{temp} + 0.103 * \log_{10}(1 + PL)]$ 統計結果: R ² =0.17, SEE=0.52, n=1913
乾燥會結凍	$IRI = \exp[-3.352 + 0.167 * \sqrt{age} + 3.441 * \left(\frac{precip}{1000}\right)^2 + 0.012 * daysbelow0c + 0.105 * temp - 0.069 * SN]$ 統計結果: R ² =0.55, SEE=0.32, n=307
乾燥不會結凍	$IRI = \exp[-0.771 + 0.033 * age - 0.003 * daysbelow0c + 11.862 * \frac{1}{temp}]$ 統計結果: R ² =0.4, SEE=0.44, n=191
潮濕會結凍	$IRI = \exp[4.33985 + 0.15286 * \sqrt{age} + 0.00046 * precip + 40.63128 * \frac{1}{FT} - 1.97074 * \log_{10}(wet.day) - 0.41869 * \sqrt{temp} + 0.28182 * \log_{10}(1 + PL)]$ 統計結果: R ² =0.36, SEE=0.53, n=538
潮濕不會結凍	$IRI = \exp[0.51 + 0.10 * \sqrt{age} - 0.53 * \sqrt{FT} - 13.05 * \left(\frac{wet.day}{1000}\right)^2 + 0.49 * \sqrt{daysbelow0c} - 0.35 * \log_{10}(SN)]$ 統計結果: R ² =0.17, SEE=0.48, n=877

44

結論(1/3)

- 以廣義線性模式配合卜瓦松分配進行模式之構建，再搭配廣義相加模式和Box-Cox轉換法協助模式構建。
- 詳細紀錄資料擷取處理與模式構建流程，並透過參數分析找出影響破壞之變數，構建新績效預測模式，再進一步對變數進行敏感度分析，以供後續研究參考及模式發展之依據。

45

結論(2/3)

- DG2002設計軟體預測結果良好，但可信度仍有疑議。
- DG2002設計軟體
 - 輸入參數眾多
 - 參數資料不在輸入範圍內，使軟體無法分析
 - 某些參數採用程式的設定值
 - 一個試驗路段分析平均要花費10分鐘

46

結論(3/3)

- 目前所建預測模式中盡可能保留具顯著影響之參數，以致產生與物理現象不符情形。
- 與累積交通量關係不明顯。

47

建議(1/2)

- 建Access關聯圖時，要避免刪除有遺失值的資料。
- 國內應該制訂一套標準鋪面調查手冊，據以調查與衡量鋪面損壞資料，並加強人員的專業訓練，使評斷的標準一致。
- 本研究是使用國外資料庫來建立預測模式，後續研究可利用我國資料庫，建立專屬於台灣地區的鋪面績效預測模式。

48

建議(2/2)

- 柔性鋪面仍未考慮到路基情況，後續研究應一併納入考量。
- 剛性鋪面改依氣候分區再進行預測模式之建立。
- JPCP & CRCP 手冊建議要蓋平坦一點，施工方法與品質應納入預測模式中。

49

報告完畢

敬請指教

50



51