



中華民國第十四屆鋪面工程學術暨 2007 世界華人鋪面專家聯合學術 研討會論文集 (下冊)



主辦單位：中華鋪面工程學會、國立雲林科技大學
交通部、交通部國道新建工程局、交通部國道高速公路局
交通部公路總局、行政院公共工程委員會、內政部營建署
行政院國家科學委員會工程技術發展處工程科技推廣中心
台灣區瀝青工業同業公會、國立中央大學

協辦單位：中國土木水利工程學會鋪面工程委員會
北美華人運輸協會
(North America Chinese Overseas Transportation Association)
高苑科技大學

執行單位：國立雲林科技大學營建工程系(所)
營建技術服務暨材料檢測中心

時 間：中華民國九十六年九月十三、十四日(星期四、五)
地 點：國立雲林科技大學 國際會議廳

機場鋪面強度評估與機場分類指數法之探討

A Study of Airfield Pavement Strength Evaluation and Pavement Classification Number Method

林志棟¹ 劉耀斌² 李英豪³

¹ 國立中央大學土木工程學系 教授

² 國立中央大學土木工程學系 博士候選人

³ 淡江大學土木工程學系 教授

摘要

國際民航組織 (International Civil Aviation Organization, ICAO) 所公佈之航機分類指數/鋪面分類指數 (Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number, ACN/PCN), 已成為世界各機場用以表示機場鋪面強度之標準方法。本研究主要針對此方法之定義、特性、評估方法以及潛在的問題進行探討, 使其評估之結果可到達到一致性以及可重覆性之要求。在 AC 150/5370-11A 建議回算結果的平均值以及標準差可做為鋪面設計以及評估之用, 但現今評估與設計流程僅考量到平均數, 且採用平均數減去一個標準差 (85%之信心水準) 做為評估以及設計參數, 在 AC 150/5320-6D 中亦建議採用此方法做為設計輸入參數之用。然而機場評估結果之母體分配為未知, 採用此方法將不符合統計推論。本研究根據統計學中「抽樣」、「中央極限定理」以及「信賴區間」等方法, 配合 ASTM 建議之方法, 針對未來機場評估之抽樣頻率、回算數據分析方法以及 PCN 求取流程進行建議, 以期未來機場評估結果可更加具有代表性。

關鍵字: 非破壞性檢測、ACN/PCN、鋪面評估

Abstract

The Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number (ACN/PCN) method has been adopted by the International Civil Aviation Organization (ICAO) as the standard for reporting the airfield pavement bearing strength. The objective of this study is to illustrate its definitions, characteristics, possible applications, and potential problems in arriving at a consistent and repeatable value based on the results of nondestructive testing. Although it has been clearly recommended that the engineer should simultaneously consider the mean and standard deviation in the selection of an evaluation or design input value, many evaluation and design procedures currently only use the mean value in the analysis (AC 150/5370-11A). For a more conservative evaluation and design approach, the mean value minus one standard deviation (or the so-called 85% confidence level) may be used for obtaining evaluation or design inputs in general (AC 150/5320-6). Nevertheless, it was found that this proposed procedure is not based on sound statistical principles especially when its probability distribution function is probably unknown. Consequently, the concepts of random sampling, central limit theorem, and confidence intervals for hypothesis testing adopted by ASTM (1998) were proposed for establishing the evaluation or design inputs to derive a more consistent and repeatable PCN value in this study.

Keywords: Nondestructive Testing, ACN/PCN, Pavement Evaluation

一、前言

1981年由國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)所公佈之航機分類指數/鋪面分類指數(Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number, ACN/PCN), 現已成為世界各國機場用以表示機場鋪面強度之標準方法, 且各機場於飛航公告(Aeronautical Information Publication, AIP)上亦需提出跑道之PCN值, 以便航空公司進一步評估該航線使用機型之參考。非破壞性撓度檢測由於其擁有快速、不會破壞跑道本身之優點, 因此現今之PCN評估方法多為利用非破壞性檢測進行鋪面現況之評估、鋪面回算以及PCN值之計算。美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)於2004年提出之AC 150/5370-11A[1]亦將此一試驗方法納入其規範考量中, 並且針對所量測而得之數據提出分析及評估方法之建議。

而鋪面評估之重點在於將鋪面狀況以量化的指標值來表示, 並在分析過程中達到具有一致性與可重複性之要求。然而一直以來PCN值卻無一標準之計算程序, 雖有許多軟體可直接計算其PCN值, 但其適當性一直以來難以評估, 並且不同之分析方法會使PCN值相差2倍以上[2,3], 造成工程師無所適從之狀況。本研究有鑑於此, 將針對ACN/PCN評估方法以及AC 150/5370-11A之建議進行探討, 以了解主要影響PCN值計算差異之原因。

二、ACN/PCN方法之回顧與探討

2.1 ACN/PCN方法簡介[4,5]

目前世界各國訂立機場鋪面允許載重規範, 主要為1981年由ICAO所公佈之航機分類指數/鋪面分類指數(Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number, ACN/PCN), 其均由機場提供給各航空公司, 以利航空公司於航機排班時所用。ACN-PCN並非機場道面之設計準則, 但因所使用的分析模式及考量的影響因子與機場道面分析設計相關而常遭受誤解, 甚至誤用。ACN值之計算與道面型式、道基強度、機輪胎壓等因子有關。ACN值之計算以標準胎壓1.25MPa, 於特定道基分類(表1)下, 所得推導單輪載重(Derived Single Wheel Load, 簡稱DSWL)之二倍數值(以千公斤為單位), 可以數學式表示為式1。其中DSWL為推導單輪重(kg)。

$$ACN = 2 \times \frac{DSWL}{1000} = \frac{DSWL}{500} \quad (1)$$

推導單輪載重DSWL, 有別於等值單輪載重(Equivalent Single Wheel Load, 簡稱ESWL); 推導單輪載重概念的引入, 係利用參考厚度(Reference Thickness)概念, 將航機主起落架與道面間的相互作用轉換成相對單輪載重, 這種轉換使得ACN/PCN方法得以成功實現以力量代替道面厚度的目標, 進而棄除因機場道面結構變化複雜而難有共同比較基準的缺點[6,7,8]。

由於ICAO將道面分類為剛性及柔性兩種, 參考厚度亦因而分類為二。剛性道面方面利用美國混凝土協會(Portland Concrete Association, 簡稱PCA)之剛性機場道面設計法, 透過溫氏緊密液體基礎假設之剛性模型(Westergaard's Model), 參考厚度係指在特定道基強度下, 所欲評估ACN之航機造成版中央底工作應力2.75MPa時, 所需之剛性版塊厚度; 柔性道面則是以透過傳統由美國軍方Waterways Experiment Station所發展CBR設計法, 利用Boussinesq彈性理

論考量複輪效應，對航機於特定道基強度，在有效通行量 10000 覆蓋次數 (Coverages) 時所得之設計厚度，柔性道面之推導單輪載重與參考厚度的關係可由下式表示 (式 2)。其中 t 為參考厚度； $DSWL$ 為推導單輪重； P_s 表標準胎壓 (1.25MPa)； CBR 表加州承載比。

$$t = \sqrt{\frac{DSWL}{0.5695CBR} \frac{DSWL}{32.035p_s}} \quad (2)$$

ICAO 將 PCN 定義為航機不需限制起降條件下之機場道面承載強度之數值[7,8]。PCN 之組成含有五項要素，其亦為計算 ACN 之因子，其中包含 PCN 值、道面型式、道基分類、胎壓及所使用之評估方法，如表 1 所示。由於各地道基強度變化範圍大，ICAO 將道基依強度分類為四類 (表 2)，另一方面則為避免過高的胎壓將損傷道面表面，PCN 值亦對胎壓有所規範，一般對於刚性道面而言，並不限制航機胎壓。並且依 PCN 評估方式不同，可分為使用航機法 (Using Aircraft) 與技術評估法 (Technical Evaluation)，而由於使用航機法係為經驗法的一種，將目前使用該道面之機型組合中，擁有最大 ACN 值之航機訂定為關鍵航機 (Critical Airplane)，該航機之 ACN 值則為該道面之 PCN 值；此法決定過程較為粗略，是故 ICAO 建議使用技術評估法為佳。根據其 PCN 值之決定方法 (圖 1) 與定義[4,5,9]，PCN 值為一相對之數值，當路基土壤分級較差時，PCN 值則相對變高，因此若單一僅考量到 PCN 之數值而未考慮道基之影響，僅是更改道基土壤之編碼使其 PCN 值變高，將會造成原先評估之航機之 ACN 值亦隨之變高，原先可起落之航機將變成無法起降，因此單獨評估 PCN 數值或是其任何代碼並無意義，一個完整的 PCN 評估報告，應包含完整的鋪面狀況、道基分級、胎壓以及評估方法，如此才可完整評估跑道。

表 1 PCN 格式[4,5]

	道面型式	道基分類	胎 壓	評估方法
PCN	R—刚性	A—高強度	W—無限制	T—技術評估法
		B—中強度	X—限制 1.5MPa	
	F—柔性	C—低強度	Y—限制 1.0MPa	U—使用航機法
		D—極低強度	Z—限制 0.5MPa	

表 2 PCN 道基分類標準[4,5]

道基分類	鋪面型式	
	刚性鋪面	柔性鋪面
	K (MPa/m)	CBR (%)
A	K > 120	CBR > 13
B	60 < K < 120	8 < CBR < 13
C	25 < K < 60	4 < CBR < 8
D	K < 25	CBR < 4

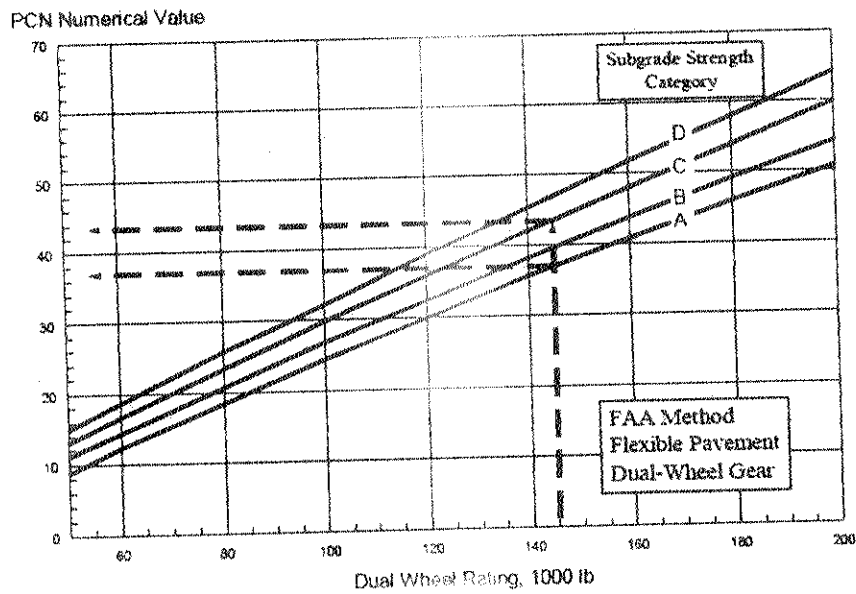


圖 1 雙輪荷重下柔性鋪面 PCN 值決定示意圖[9]

2.2 ACN /PCN 方法於機場營運之應用

1981年 ICAO 提出 ACN /PCN 法，並要求各機場於飛航公告提出跑道之 PCN 值，其主要在於當 PCN 值小於 ACN 值時，道面將有超載的現象。惟遇特殊或緊急情況時，適度之超載無法避免。特別需要注意的是，過量的超載將會縮短鋪面使用壽年。ICAO 提供下列準則作為決定航機超載時的容許作業範圍[4,5,6,7]：

1. 對於柔性道面而言，偶有 ACN 值超過 PCN 登錄值 10% 以內之飛機移動，應不致損及道面。
2. 對於剛性或複合道面而言，其剛性道面層為其主要結構者，偶有 ACN 值超過 PCN 值 5% 以內之飛機運行者，應不致損及道面。
3. 以年計，超載飛機之移動量，不宜超過年度飛機總移動量之 5%。

根據上述各點 ACN /PCN 載重限制可得知，PCN 值主要用途為「協助航空公司進行航機航班以及機場營運之用」。因此機場所需之 PCN 值應為其機場跑道之代表值，並且 PCN 值僅是評估報告，並非設計方法或是取代機場跑道評估，僅需 5-10 年或是當跑道面臨重大翻修以及加鋪時需重新評估外，不需要每年重新評估其 PCN 值之變化。

三、非破壞性檢測評估方法及 PCN 評估方法問題之探討

3.1 FAA 非破壞性檢測評估方法

FAA 亦於 AC 150/5370-11A 「機場道面非破壞檢測評估」規範中[1]，訂定以非破壞檢測方法評估 PCN 之準則。利用力學衝擊式的非破壞檢測設備，即所謂的落重式撓度儀 (Falling Weight Deflectometer, FWD)，係針對機場道面特性，重型落重撓度儀 (Heavy Falling Weight Deflectometer, HWD) 可提供較 FWD 更高的衝擊載重，藉由模擬航機機輪的載重，給予道面

衝擊能量，並藉由所裝備的地音探測器 (Geophone) 量測撓度盤 (Deflection Basin)，其所提供的數據除作為各項道面評估參數外，更可藉由回算分析 (Backcalculation Analysis) 求取道面結構各層楊氏模數 (Young's Modulus)。在 FAA AC 150/5370-11A 中建議利用衝擊勁度模數進行其版塊之評估其公式如式 3 所示。其中 ISM 表衝擊勁度模數； L 表荷重 (kips)； D_0 第一點撓度值 (in)。

在 FAA 規範建議[1,10]中提到「鋪面各點回算彈性模數後之平均值、標準差以及變異係數可用於鋪面設計以及評估之依據；可利用平均值減去一個標準差做為鋪面設計以及評估之用，但其資料必需呈常態分配並且需剔除異常值；若未剔除異常值則採用小於全段 85% 機率下之資料做為鋪面參數，但資料必須為常態分配，且資料必需根據量測結果之特性進行分段以利於藉由利用此一指標快速針對整個機場鋪面系統進行分區 (圖 2)，以利後續相關分析」。此一評估建議方法廣為國內外機場鋪面評估所使用[4,5,6,11]。

$$ISM = \left(\frac{L}{d_0} \right) \quad (3)$$

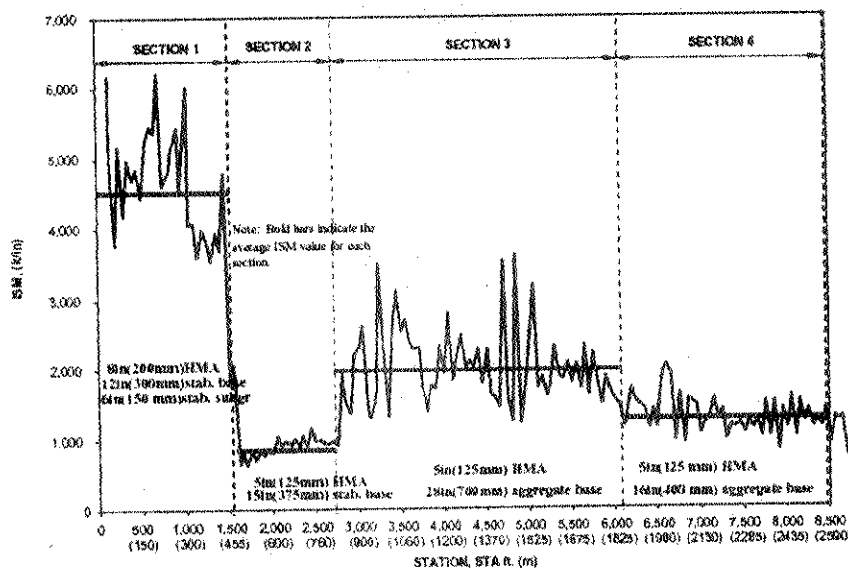


圖 2 利用 ISM 進行鋪面分區示意圖[1]

3.2 機場非破壞性檢測數據分析方法之探討

根據統計學中各不同量測數之定義可知，不同的統計測量數都有其不同之優缺點，因此選用時必須考量所用之衡量尺度以及其用途[12]。在 AC 150 5370-11A 中建議採用平均數減去一個標準差做為鋪面評估之參數。以圖 2 為例，若未將其進行分區單單採用其所有回算結果之「平均值減去一個標準差」做為跑道評估參數時，將容易受到極值以及偏態資料之影響，因此無法完整的表示出鋪面之結構狀況；若將其進行分段如圖 2 中，根據不同鋪面結構狀況將其分為四段，將會得到四個不同鋪面結構狀況下的平均值以及標準差，然而此時僅是比較不同的鋪面結構所造成的反應，並非為跑道之評估狀況，並且在各段中亦會受到其極值之影響。若再根據其

ISM 之評估結果將各不同鋪面結構狀況再進行細分，將會得到更多分段之平均值以及標準差，並且鋪面分段評估之方法亦會根據不同的工程師則有不同之分段結果，在不同的分段下將會得到不同的平均數、變異係數[11]。此時跑道之分段方法為何？鋪面評估之參數工程師有多少的信心可以相信評估之數值？其跑道之代表值為何？工程師皆無法得知。並且在分段愈多的狀況下，最後將會接近於採用逐點評估之方式，而跑道採用逐點評估，根據 FAA 規範之建議最後將是各點進行排序之後求得其第 15 個百分位數（涵蓋 85% 機率下之數值）做為評估參數，其不代表任何的物理意義。

再者根據柴比氏定理 (Chebyshev's Theorem) [12]：不論資料為何種分配形式，若利用標準差進行評估時，會有 $1-1/k^2$ 之機率的資料包含在其 k 個標準差範圍內；資料為常態分配時一個標準差的範圍將涵蓋 68% 的資料、二個標準差將涵蓋 95% 之資料，三個標準差將涵蓋 99% 之資料（圖 3）。若採用「平均數減去一個標準差」，由於機場回算結果之母體分配形式為何未知，無法證明其為常態分配，根據柴比氏定理可發現其會涵蓋之資料機率为“0”。並且就機率分配而言，機場跑道之強度分配應為一連續型分配，而不論採用「平均數減去一個標準差」亦或「85% 涵蓋機率下之資料」其皆為一點估計量，其能描述到真正跑道強度之機率为“0”，因此無法用以評估真正的跑道狀況。根據上述各個原因皆會對回算之結果以及後續進行之 PCN 計算，將會造成極大之影響，如同表 3 所示。因此 AC 150/5370-11A 中建議各分段之平均數減去一個標準差以及採用 85% 涵蓋機率下資料做為設計以及評估參數之方式，根據上述各統計之定理並不適用於鋪面之評估。

表 3 PCN 計算結果表[2,3]

Method	PCN value	Code
Flexible Pavement		
-CBR method S-77-1	55	
-PCASE-CBR	78	
-PCASE-LEA	69	FBWT
-Shell 85%	86	
-Barker et. Al	56	
-U.S. Corps of Engineers	64	
-APSDS-MWHGL-data	43	
Rigid Pavement		
-PCA-PDILB	77	
-PCASE-Westergaard	75	
-PCASE-LEA	79	RCWT
-UEC	78	
-Domemichini	66	
-Corps of Engineers	81	
-Vencon 1992	71	

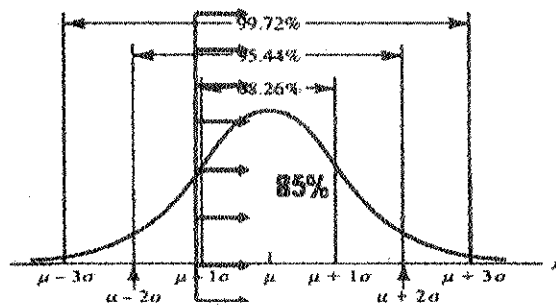


圖3 不同標準差涵蓋資料示意圖

四、機場鋪面強度評估方法之建議

4.1 抽樣方法之建議

雖然「抽樣調查」的觀念由來已久，但很可惜的是國內在鋪面管理實務上卻甚少採用，並且機場跑道之包含範圍極大，在未來鋪面管理實務上將難以負荷整體調查的需求，因此採用抽樣調查的方法實有其必要性與必然性，表4則為FAA根據不同的鋪面類型以及需求建議之機場施測範圍以及數量。根據統計學的原理[12,13]，抽樣調查是從研究的母體中隨機抽取一部份樣本來進行調查，並以樣本統計量來推論未知的母體參數。假設母體為常態分配而且母體變異數(σ^2)已知，則根據下列公式4可求出以樣本平均數(\bar{X})來推估母體平均數(μ)的估計誤差(e)。其中， $Z_{\alpha/2}$ 為標準常態變數； σ 為母體標準差； n 為抽樣個數； α 為錯誤的機率。

$$\bar{X} - \mu = Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq e \quad (4)$$

一般而言，道面路段劃分為樣本單位的個數是有限的，其樣本空間應視為有限母體，因此需將上式乘以 $\sqrt{N-n/N-1}$ 之修正因子。而且在常態母體、小樣本假設下($n < 30$)其機率分配應是自由度為 $n-1$ 的t分配，表示為 $t_{n-1, \alpha/2}$ 。再者，因為在母體變異數常是未知的情形下，需以樣本標準差(S)來代替母體標準差 σ ，因此以下列公式5來計算其估計誤差。其中， e 為可容許之誤差或估計誤差； S 為路段中樣本單位間的標準差； N 為路段中樣本單位之總數。

$$\bar{X} - \mu = t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \frac{\sqrt{N-n}}{\sqrt{N-1}} \leq e \quad (5)$$

將上述公式等號左右兩邊平方，在95%信賴水準下常將 $t_{n-1, \alpha/2}$ 假設為“2”。再將所得公式重整，即可求得下列公式6。

$$n = \frac{NS^2}{(e^2/4)(N-1) + S^2} \quad (6)$$

其中， n 代表在有限母體、小樣本、母體為常態、而且母體變異數未知的情形下，當選定可容許誤差為 e 時所需抽樣的個數。根據上述之方法根據ASTM D5340 [13,14]規定以PCI (Pavement Condition Index) 評估為例，其PCI評估誤差在 $e = \pm 5$ 之內，亦即95%信心水準下之結果。而在非破壞性檢測部份可由工程師自行決定所要求之容許誤差，配合FAA建議並利用上述公式6即可求得所需評估之樣本數，爾後根據決定之抽樣頻率以及個數進行鋪面檢測，如此將可得到一精確度以及代表性較高之檢測結果。

表 4 FAA 落重式撓度試驗建議頻率[1]

鋪面型式	檢測位置	個案層級		路網層級	
		距中心線(公尺)	間距(公尺)	距中心線(公尺)	間距(公尺)
剛性鋪面	版中央	3	30	3	60-120
		9	30-60		
		20	120		
	縱向接縫	3	30	3	120
		9	30-60		
		20	120		
	橫向接縫	6	60	--	--
		12	120		
		18	120		
	角隅	6	60	--	--
		12	120		
		18	120		
柔性鋪面	中心線	3	30	3	60-120
		9	30-60		
		20	120		

4.2 回算數據處理之建議

根據 AC 150/5370-11A 之建議, 在進行落重式撓度儀回算數據分析時, 首先若將其資料定義為常態分配時, 必需母體本身即為常態分配, 亦或是服從「中央極限定理 (樣本數大於等於 30)」即可判斷其抽樣調查之結果為常態分配。落重式撓度儀檢測為抽樣調查, 若利用其中建議之分段方式進行鋪面評估時, 在母體分配為未知之狀況下, 首先無法確定其為常態分配, 再者 PCN 值為一代表機場跑道之數值, 若採用分配之方式將無法求得一代表值, 並且在進行 PCN 報告評估時, 如何得到一個代表整體跑道之路基土壤, 以及如何決定一具有代表性之整體鋪面強度皆為一重要之課題。

有鑑於上述之問題, 本研究建議可採用統計學中「區間估計」[12,13]之原理「根據抽樣所得之平均值、標準差配合統計量建立一區間, 使得此一區間在要求信心水準下可涵蓋母體之平均值」, 其示意圖如圖 4 所示, 計算公式如公式 7 所示。其中需以樣本標準差(S)來代替母體標準差。其中(\bar{X})為樣本回算平均數, $t_{n-1, \alpha/2}$ 為機率分配應是自由度為 n-1 的 t 分配, 表示 S 為路段中樣本單位間的標準差; N 為路段中樣本單位之總數; n 為抽樣個數。採用「區間估計」配合「抽樣」之優點在於, 首先其考量到整體跑道之變異, 而非再利用人為決定分段之方式, 因此不論分析者為何, 在相同的資料以及信心水準下, 其所得之結果皆為相同。且只要在相同鋪面跑道上施測, 不論抽樣結果為何, 其區間在信心水準下皆可涵蓋到母體之平均值, 再者配合上述抽樣樣本可將其誤差限定在一可容許之誤差範圍內, 因此採用此一方法可得到有代表性之結果。並且若採用完整之跑道所得試驗結果, 其亦可符合「中央極限定理」可使資料成常態分配, 更有利於後續相關統計分析。

$$\bar{X} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{S \sqrt{N-n}}{\sqrt{n} \sqrt{N-1}} \quad (7)$$

4.3 PCN 決定流程之建議

本研究根據上述抽樣以及數據處理之程序針對 PCN 決定流程進行建議，如圖 5 所示。然而鋪面回算與評估為一非常複雜之工作，諸如鋪面溫度、濕度、動態回算方法或是靜態回算方法等等，對於回算之評估之結果皆有極大之影響[15,16]，因此適當的校估更顯得重要。在經由適當的撓度校正，配合抽樣以及統計分析方法，可得到一容許誤差範圍下足以代表機場跑道 PCN 評估之結果，並且可藉由此一系統化之方式減少抽樣以及評估之誤差，可使工程師在進行評估時得到一真正具代表性之評估結果。

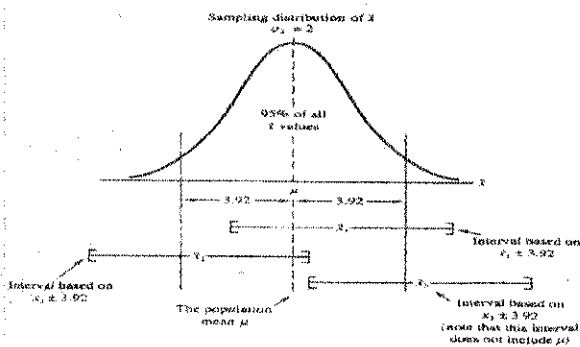


圖 4 信賴區間涵蓋範圍示意圖

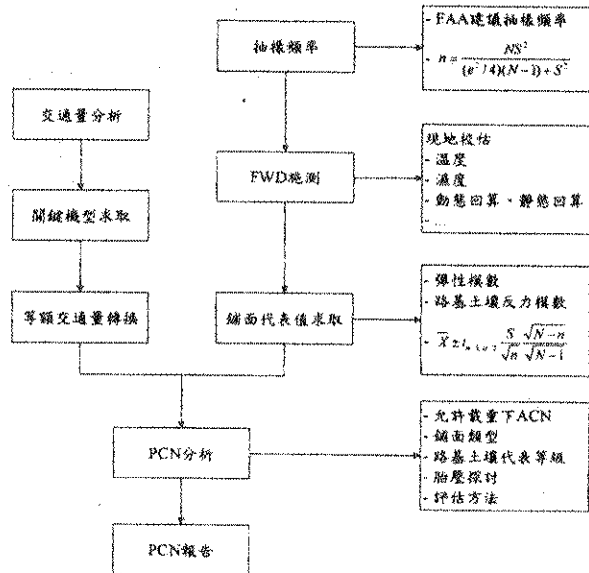


圖 5 PCN 決定流程圖

五、結論與建議

鋪面評估之重點在於將鋪面狀況以量化的指標值來表示，並在分析過程中達到具有一致性與可重複性之要求。進行 FWD 檢測以及數據分析時其量得結果為「樣本」而非「母體」，因此不應採用平均數減去一個標準差之方式，應配合統計量以及樣本變異性一起考量，並且在不知其為何種分配下，採用人工分段之方式配合 85%涵蓋機率之方式得到鋪面評估參數以及 PCN 值將無法完整代表其鋪面特性，亦無法顯示出 ACN/PCN 方法所代表之物理意義。而 PCN 值為一代表機場跑道之數值，因此需考量到跑道整體特性之評估，再者 PCN 值主要用途為提供機場營運以及航機排班之用，不需要每年重新進行評估。因此若遇到強度較差之區域應即時進行維修，以維護航機起降之安全，而非將較差之區段一併納入考量。因此在數據分析以及處理上，本研究以統計學為出發點建議抽樣之頻率，配合「信賴區間」之觀念進行整體性之評估，如此將可得到一具代表性之 PCN 值以及回算評估結果。

參考文獻

- [1] FAA, "Use of Nondestructive Testing in The Evaluation of Airport Pavement," Advisory Circular 150/5370-11A, U.S. Federal Aviation Administration (2004).
- [2] Stet, M., and Beuving, E., "ICAO's ACN-PCN Method and Aircraft Interaction." Proceedings of ASCE conference. (1993).
- [3] Stet, M., and Verbeek, J., "The PCN Runway Strength Rating and Load Control System" 1st European Airport Pavement Workshop, CROW (2005).
- [4] ICAO, "Aerodrome Design Manual. Part3, Pavements." 2nd Edition, International Civil Aviation Organization (1983).
- [5] FAA, "Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength." Advisory Circular 150/5335-5A, U.S. Federal Aviation Administration (2006).
- [6] 林士群,「以落重式撓度儀 FWD 評估機場道面 PCN 值」, 中華道路季刊, 第四十五卷, 第一期, 第 87-96 頁(2006)。
- [7] 陳怡先、周家蓓,「機場道面結構強度評估與 PCN 值分析」, 中華道路季刊, 第四十五卷, 第二期, 第 79-90 頁(2006)。
- [8] 陳怡先,「道面落重撓度檢測分析實務與機場 PCN 分析」, 鋪面落重撓度儀檢測反算及應用研習會論文集, 台北, 第 6-1 至 6-13 頁(2007)。
- [9] Kenneth, J., and Debord, P.E., "Precise Methods for Estimating Pavement Classification Number," Boeing Commercial Airplane Group Airport Technology Organization Report D6-82203 (1998).
- [10] FAA, "Airport Pavement Design and Evaluation." Advisory Circular 150/5320-6D, U.S. Federal Aviation Administration (1995).
- [11] Chou, C.P., Wang, S.Y., and Tsai, C.Y., "Methodology of Applying Heavy Weight Deflectometer for the Calculation of Runway Pavement Classification Number," CD-ROM, Presented at the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 21~25 (2007).
- [12] 林惠玲、陳正倉, 統計學—方法與應用, 雙葉書廊(2001)。
- [13] 李英豪、洪政乾、盧中強、顏少棠,「鋪面路網資料庫架構與維修管理策略最佳化芻議」, 鋪面工程, 中華鋪面工程學會會刊, 第二卷第三期, 第 20-38 頁(2004)。
- [14] ASTM, "Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys" American Society of Testing and Materials, ASTM D 5340-98 (1998).
- [15] 林佳慧、李英豪,「鋪面回算之方法與應用」, 鋪面落重撓度儀檢測反算及應用研習會論文集, 台北, 第 2-1 至 2-15 頁(2007)。
- [16] 鐘偉逞,「應用落重式撓度儀觀測路面結構強度之研究」, 碩士論文, 國立中央大學土木工程學系(2000)。