

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

機場鋪面環境應力對航機排班之影響機制探討

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2218-E-002-041-

執行期間：92年08月01日至93年09月30日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：周家蓓

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

機場鋪面環境應力對航機排班之影響機制探討

計畫編號：92-2218-E-002-041

執行期限：92.8~93.9

主持人：周家蓓 國立台灣大學土木工程學研究所

一、中文摘要

機場鋪面因需承載航機載重，需具備較一般道路更為嚴格之力學承載能力，所以一般於新設計時多採剛性鋪面，其面層材料以水泥混凝土為主。除承載航機載重應力外，版塊因季節性或一天 24 小時之溫度變化，蓄積相當多之溫度應力。但機場剛性鋪面設計方法如 ICAO、FAA 法，並未考慮溫度效應對版塊之影響，致使機場於實際設計中未考量溫度與載重加成對鋪面造成之損害程度。

本研究期望利用中正機場 N1 滑行道上所進行之『中正機場剛性鋪面版塊監測分析計劃』所得之兩年現場應變計監測資料，深入探討溫度以及航機載重對於剛性鋪面版塊實際之影響程度。本研究主要目的為利用溫度效應分析結果對中正機場提出季節性及每日時段性之航機機型排班調整建議及構想。

關鍵詞：剛性鋪面、監測計劃、溫度效應、航機排班

Abstract

Rigid pavement is commonly used for airfield because it has higher capability to support heavier loading. In addition to the strain due to aircraft loading, slab also bears a significant amount of temperature strain as well as stress. However, airfield rigid pavement design

method developed by neither International Civil Aviation Organization(ICAO) nor Federal Aviation Administration (FAA) does include the influence of temperature effect on design into consideration.

The main objective of this study aims to analyze the strain data collected through a monitoring project in N1 taxiway of Chiang-Kai-Shek (CKS) international airport in order to evaluate the effects of seasonal and daily temperature variation and aircraft loading on pavement slab behavior. Suggestions for aircraft type at various seasons as well as at various daily time segments are made from the analyzed results.

Keywords : rigid pavement, monitoring project, temperature effect, aircraft scheduling

二、緣由與目的

國內機場之鋪面長久以來並無完整之實地監測或觀測資料進行鋪面設計之相關研究，基本上乃是藉國外之經驗進行設計規範或是機場維護方式之擬定。本研究單位於民國九十一年一月受民航局中正國際機場之委託於中正機場 N1 滑行道上進行為期兩年之剛性鋪面監測研究計劃，故得以獲得長期鋪面於航機載重以及溫度變化下之應變行為資

料，除擬完成原訂研究目標以修訂 Federal Aviation Administration (FAA) 機場鋪面設計方法外，更引發本研究深入分析溫度對版塊行為之影響及結合航機載重資料而設定機型排班調整及再擬降落費架構。機場鋪面除需承受航機載重之外尚需承受溫度變化所產生之應變及應力，但如 FAA 機場剛性鋪面設計法其採用之設計變數與航機相關者為航機載重、航機型式以及年起飛架次，並未考量環境因素對鋪面之影響。

基於上述背景，本研究擬就『中正機場剛性鋪面版塊監測分析計劃』所收集而得之應變資料，了解中正機場剛性鋪面版塊於航機載重及長期溫度變化下之應變情形，重點為找出航機載重對實驗版塊之影響程度，以及最大溫度應變產生之每日時點及季節變化；並進一步利用最大應變產生之時段及各航機載重產生之應變，提出中正機場時段機型之排班調整建議。

三、結果與討論

在中正機場滑行道版塊接收之 H 型應變計與溫度計之靜態資料進行整合，再經由版塊溫差與應變計量測資料，求算版塊在不同環境下所受之溫度翹曲應力。一般而言，版塊除了承受環境溫度應力外，需再加上航機荷重對其造成之影響；輪荷重之施載於版塊，使版頂承受壓應力，而版底為張應力。因此，若在版底已承受較大溫度張應力狀態下，需特別注意航機載重施加所造成之版底張應力，是否在可容許範圍內，考量的因素包含輪配置機型、航機載重、與施加於版塊之位置等，荷重與溫度應力疊加為版塊實際所承受之應力，應盡可能的降低版底承受之張應力，避免加速版塊之破壞，此即牽涉機場「時間帶」使用之協調。

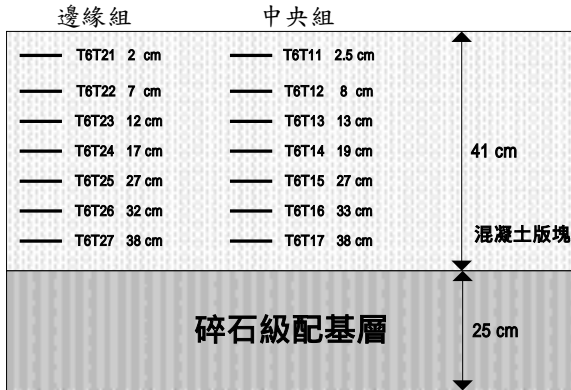
根據相關文獻整理，時間帶是指一個機場在一指定日可分配或可利用於某個航班所申請之落地或起飛時間。國際間由國際航空運輸協會 (International Air Transport Association, IATA) 所成立之時間表協調程序委員會 (Scheduling Procedures Committee, SPC) 執行相關工作，該單位於 1947 年成立，並同時制定「全球班表指導原則」(Worldwide Scheduling Guideline, WSG)。其相關工作包含制定時間表協調作業之程序及規範、監督各機場時間帶協調人作業之公正性及透明化，以及排解糾紛。

每一年 IATA 集合世界各航空公司代表以及由各國民航主管機關授權處理機場時間帶業務之機場時間帶協調人等相關單位兩次，召開時間帶協調會議 (Scheduling Coordination Conference, SCC)，其目的希望經由面對面之協商方式，加上經由協調溝通及交換行為，就各航空公司所需求之時間帶予以調整及確認，期待盡可能的滿足各航空公司的需求。

就台灣地區而言，亦運用時間帶制度之作業方式對起降的航班做區隔；在國際航班部分，中正國際機場及高雄小港國際機場之時間帶協調業務，由「台灣區國際機場時間帶協調人」負責，目前委託中華航空公司擔任本項業務之負責機構；國內航班部分，各機場之時間帶協調作業由民航局空運組內之國內線機場時間帶協調人負責。在國內航線機場時間帶協調相關作業，於民國八十四年底委請專業單位規劃設計「國內航線機場時間帶管理系統」，期望藉由電腦程式作業系統之處理，來彌補人工作業之不足，並藉由電腦化的處理程序，加速航空公司異動申請審查之作業。

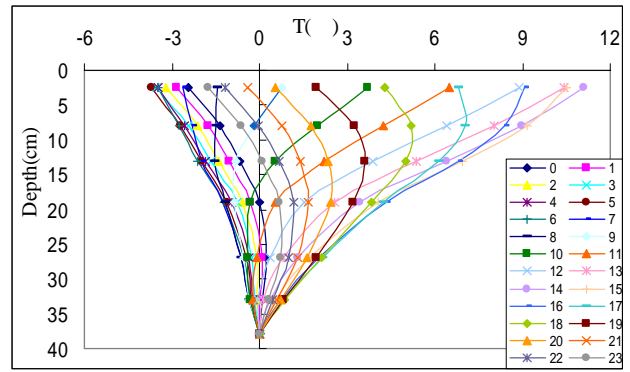
為能正確量測混凝土內沿深度之溫度分佈，本研究乃藉由中正機場剛性版塊翻修之際，於混凝土澆置前沿深度埋設溫度計七支；其中共分兩組安裝，版塊中央與邊緣亦各設置一組。基於版頂必需留有足夠空間之保護層，最上方之溫度計大約距離版頂 2 公分至 2.5 公分，最底部則距離版底約 3 公分，(如圖一所示)。白天混凝土版塊受大氣溫度影響及太陽輻射的

加熱作用而增溫，夜間則產生散熱效應。七支溫度計可量測各裝置位置沿深度溫度變化情形，以探求版塊之溫度梯度，並用此資料與大氣溫度資料進行整合，用來預測不同氣溫下版塊各深度點之溫度。至於版中央與邊緣各設置一組係用來分析版塊不同位置溫度變化與趨勢是否存在差異性。

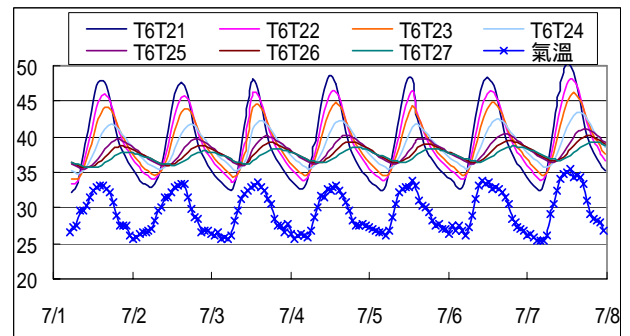


圖一 版塊溫度計佈設圖

若以版底溫度計 (T6T17) 在任何時間點之讀值為基準歸零，則將各深度溫度計之各時間點溫度讀值，繪製版塊溫差、深度與時間之關係圖 (如圖二)，則可看出版塊溫差隨時間之變化，除了部分時段版塊溫差接近線性分佈外，其餘時段的版塊溫度皆明顯為非線性分佈。若僅以版頂與版底溫度進行版塊溫度梯度與應力分析，將無法有效分析非線性溫度分佈狀態之版塊受熱行為。圖中可知清晨氣溫較低時，以版底之溫度讀值為最高，其餘各點皆為逆溫差之型態，清晨 9 時過後，圖形逐漸往上翻轉，版底之溫度讀值相對最低，此時版塊呈現正溫差型態；下午 15 時過後，正溫差差值漸漸減少，版塊上半部溫度讀值下降極劇，20 時過後，即全轉為逆溫差型態，且溫差分佈每日呈現週期性變化 (如圖三所示)。



圖二 不同時間版塊沿深度之溫度差值 (ΔT)



圖三 版塊溫度週期性變化分佈圖

版塊受溫度作用所產生之翹曲應力，主要為溫差之影響。假設版塊為可自由移動狀態，版頂溫度大於版底，此時版塊上半部受張應變，下半部受壓應變，若版塊處於完全束制狀態，版頂產生壓應力，而版底則產生張應力；反之，若版塊頂度溫度低於底部，此時版頂將承受張應變，而版底則為壓應變。

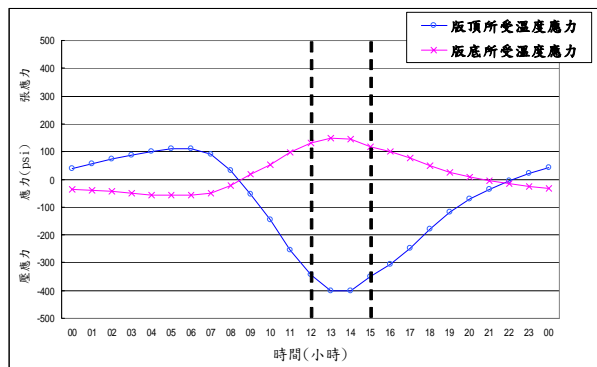
由版塊溫度資料與應變計資料分析所得研究成果如下：

- (1) 版塊各深度之溫度分佈隨氣溫呈現週期性變化，且越接近版頂之溫度變化，上升與下降的速率較快，其中上升又較下降為快；版底之溫度則僅在小範圍中變動，且對氣溫之反應較不敏感。
- (2) 因混凝土之熱傳遞效能較慢，距離版頂越遠之溫度讀值，受氣溫影響之反應延時越長，且各深度溫度最大值發生時間與氣溫最高溫發生時間之延時與深度為線性分佈關係，可利用公式 $[t_i = 0.2181 D_i + 0.1937]$ 求得。各深度與氣溫之延時求出後，便可進行溫度分佈預測等相關分析。

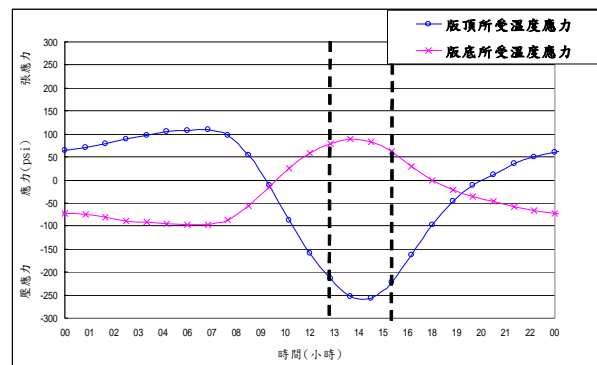
(3)版塊沿深度之溫度讀值，大部分時間皆為非線性分佈，正溫差最大值約於中午~下午二時發生；最大負溫差則多在清晨四~五時產生。

(4)由所推導之三個迴歸預測模式，利用每小時大氣溫度即可預測版塊內部各深度之溫度分佈；因版塊上半部與下半部之溫度走勢不同，因此將兩者區分為不同之預測公式，所得之誤差百分比約為 4.37%~7.05%。利用所預測之版塊溫度分佈，將可用來計算版塊溫度梯度及版頂、版底受溫度影響之翹曲應力。

於研究進行期間所蒐集到之中正機場夏季班表中，於中午時段（十二時~下午三時），起飛之班機約 27 架次，大型航機 15 架次（56%），小型航機 12 架次（44%）。大型航機以 B747-400 等重量較大之航機為準，根據研究中版塊受溫差所引起之溫度翹曲應力計算顯示，此時段版底承受較大之張應力（圖四），最大值約 150 psi（1034kN/m²）。而冬季班表於中午十二時~下午三時之統計資料顯示，起飛之航機約 20 架次，大型航機 13 架次（65%），小型航機 7 架次（35%），仍以大型航機所佔之比例較高，此時版底亦承受較大之張應力（80 psi，552 kN/m²）（圖五），因為冬季時版塊之翹曲應力相較夏季之溫度翹曲應力相對為小，故此時較無需擔心航機荷重與溫度效應之加成作用。



圖四 高溫季節之版塊溫度翹曲應力與時間關係



圖五 低溫季節之版塊溫度翹曲應力與時間關係

經由溫度梯度及版塊所束制情形之分析，於下午氣溫偏高時段，版塊內部存在較大之溫差，所儲存之溫度應力較大，且版底承受之溫度應力為張應力，此應力之大小與 B747 航機機輪荷重所產生之應力相比，甚而超過；若與航機載重所造成的版底張應力加成，將對版塊形成較大之破壞。雖然目前中正機場夏季班表之中午時段僅有 15 班大型航機，其影響範圍尚不嚴重；但仍建議可考慮此一現象之存在，於往後之時間帶協調機制上，安排應盡量避免大型航機之起降於中午十二時至下午二時，尤其是夏季班表時段。若於執行上有實際困難，亦可考慮於該時段內酌量調整大型航機之降落費以達到使用者付費之公平原則，亦可於加強鋪面維護理念上著手，善加應用鋪面監測資料，以維護鋪

面之較佳服務績效，以提升版塊使用之壽年。

四、參考文獻

1. [Http://www.airtech.tc.faa.gov/DENVER/dbsn sr/dbsnhb](http://www.airtech.tc.faa.gov/DENVER/dbsn sr/dbsnhb)
2. 李中生，“機場剛性道面承受溫度及荷載之行為監測及分析”，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，1994。
3. 盧俊鼎，“接縫式剛性鋪面溫度分布與荷載傳遞行為分析”，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，1995。
4. 顏聰等，“剛性路面實用設計本土化研究”，交通部國道新建工程局，1994。
5. 周家蓓等，“中正機場剛性鋪面版塊監測分析計劃第一次期中報告”，交通部民航局中正國際機場，2002。
6. 鄧學鈞、陳榮生，“剛性路面設計”，人民交通出版社，1988。
7. Jose Balbo and Andrea Severi, “Thermal Gradients in Concrete Pavements in a Tropical (Hot-Wet) Climate: An Experimental Appraisal”, Transportation Research Board, 2002.
8. Curt A. Beckemeyer, Lev Khazanovich and H. Thomas Yu, “Determination the Amount of Built-in Curling in JPCP: A Case Study of Pennsylvania I-80”, Transportation Research Board, 2002.
9. 林昭銘，“剛性道面溫度分佈之研究”，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，1995。
10. U.S Dept. of Transportation, Federal Aviation Administration, “Airport Pavement Design and Evaluation”, Advisory Circular AC 150/5320-6D, 1995.
11. ICAO's Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services. Sixth edition, Published By ICAO, 2001.
12. 涂保民，“空運中心降落費與擁擠定價之研究”，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國八十三年六月。
13. 民用航空機場降落費之研究，交通部運輸研究所，民國八十四年六月。
14. 民用航空局各場站責任中心收費費率研究中報告，交通部民用航空局委託中華民國運輸學會研究，民國八十四年九月。
15. 民用航空局各場站責任中心收費費率研究期末報告，交通部民用航空局委託中華民國運輸學會研究，民國八十四年十二月。
16. 張邱驊，“民航機降落費架構之研究”，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，民國九十一年六月。
17. 張家祝，“中、英、加、日、澳、紐民航政策與非安監理制度”，財團法人孫運璿學術基金會，2001。
18. 許苑杰，“航空公司航線排班與營運規劃模式之研究”，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，1988。
19. 沈志展，“民航空運排程分析模式之應用”，國立交通大學交通運輸工程研究所碩士論文，1990。
20. 劉昭榮，“航空公司飛航營運排班多目標規劃模式之研究”，國立成功大學交通管理研究所碩士論文，1994。
21. 韓豐名，“航空公司班表與航機巡航計劃”，國立交通大學交通運輸研究所，1995。