

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫(III)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-032-021-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：鄭啟明

共同主持人：陳振華，陳若華，吳重成，王人牧

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 6 月 23 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告



結構之風力載重及受風反應研究(3/3)

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-032-021-

執行期間： 93年 8月 1日至 94年 7月 31日

計畫主持人：鄭啟明

共同主持人：王人牧、李世鳴、吳重成

林堉溢、陳若華、陳振華

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：淡江大學土木系

中華民國 93年 12月 7日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

結構之風力載重及受風反應研究(3/3)

Wind loads and structural responses of buildings & structures

計畫編號：NSC 93-2211-E-032-021

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：鄭啟明 淡江大學土木工程

計畫參與人員：王人牧、吳重成、傅仲麟 淡江大學土木工程

陳若華 建國技術學院，陳振華 高雄大學

一、中文摘要

本計畫擬組成結構風工程研究團隊，期望透過所提出之整合型研究計畫，對於結構風工程進行下列的研究：(1)以風洞實驗為基礎的高層建築防風設計準則，(2)高層建築之設計風載重專家系統，(3)計算風工程中空氣動力特性之研究，(4)高層建築結構受風力載重之非線性分析-時間域模式，(5)側向與扭轉互制效應下之高層建築之減振控制與風洞試驗，(6)中低層建築物受風作用之特性研究，(7)煙囪受風之動力行為研究——風洞試驗與實場量測。本計畫以三年為期，完成後將可提昇國內風工程基礎研究的學術水準，並對工程實務方面的建築設計風載重提供實質的改進建議。

關鍵詞：結構風工程、設計風載重

Abstract

This project is to assemble a wind engineering research team for the long-term study on structural wind engineering. The research project and the sub-projects are set to reach the following goals: (1) A wind tunnel data based wind engineering resistant design guide for tall buildings; (2) A design wind load expert system for tall buildings; (3) Study of aerodynamics characteristics in computational wind engineering; (4) Nonlinear analysis of high-rise buildings under wind excitations- a time domain approach; (5) Vibration control of high-rise buildings with lateral/torsional motion and wind tunnel experiments; (6) Characteristics

of wind pressure and wind load on low-rise buildings; (7) Investigation of dynamic behavior of chimneys under wind load by wind tunnel simulation and field measurement

Keywords: Structural Wind Engineering, Design Wind Load

二、緣由與目的

本計畫為了能夠有效整合研究團隊，使其發揮研究能量的互補效應，整合計畫的目標設定在結構風工程：高層建築、高塔、低層建築、橋梁等結構物所受的風力以及其結構反應。期望透過本計畫，除了提昇國內結構風工程的學術水準，建立本研究團隊未來對於風工程進行長期整合研究的基礎，並藉著研究計畫的成果，對於現行的建築風力規範能提出實質的修訂建議。

結構風工程的主要研究標的物包括了高層建築與高塔、低層建築、纜索支撐橋梁等。研究的內涵為(i)探討風場與結構體之間的空氣動力特性 (ii)結構物所受的風壓與風力特性(iii)結構物受風作用的反應與可能的氣彈力現象(iv)透過主、被動控制裝置，進行結構減振(v)結構設計風力之研擬。由於結構風工程的問題核心是極為複雜的流體-結構互制現象，傳統上的研究方法是風洞實驗物理模擬為主，數值計算為輔。近年來由於計算機的快速進步，使得計算流體力學(CFD)在風工程上的應用逐漸受到重視，在可預見的未來計算風工程(Computational Wind Engineering)與風洞實驗必同樣成為風工程研究的重要工具，

因此計算風工程能力的發展是現階段一個整合性風工程研究不可或缺的研究子題。此外，由於風工程是一項應用科學，實驗室的各項研究必須和工程實務結合。換言之，在實驗室中無論是採用物理模擬或是數值模擬，都必須以實場監測數據為研究方法的最終驗證。在國際風工程界，結構風力效應的實場監測都是一項受到重視的研究工作，也是本計畫案擬定從事的研究子題之一。

高層建築的風載重是結構風工程的重要項目，也是本計畫的重點之一。高層建築真正的設計風力多半是經由風洞模型實驗求得，然而進行風洞實驗之前，需要一近似設計風力初步選擇高層建築之斷面形狀與結構系統。因此，若是在進行風洞實驗（取得正確的設計風力之前）能夠快速有效的取得一較為正確的近似設計風力，對於建築與結構設計會有很大的幫助。目前這個工作是由藉助風力規範完成。大體而言，風力規範中有關高層建築的設計風力均是以單棟的正方斷面（或矩型斷面）的高層建築為依歸，以求其規範之安全保守性，並不適用於多數的高層建築。本計畫的目的之一即在於，整合子計畫中的風洞實驗數據及專家系統，建構一個適用於高樓結構初期設計的等值風荷重系統。

本計畫以三年為期，完成後將可提昇國內風工程基礎研究的學術水準，並對工程實務方面的建築設計風載重提供實質的改進建議。在本計畫內組成的研究團隊則會長期投入結構風工程的各項研究，希望在五年後能夠成為亞太地區具有一定學術聲譽的風工程研究團隊。

三、研究方法與實施步驟

本計畫的目的在於以提昇結構風工程研究能力，以淡江大學從事風工程研究的教師為基礎，組成結構風工程研究團隊，期望透過所提出之整合型研究計畫，下列整體目標。

整體目標：

以風洞實驗、數值分析以及實場監測，探討結構所受之風力特性及結構反應。

1. 建立一個具有工程實務價值的高層建

築風工程之專家系統。

2. 提昇本研究團隊之整體研究能力以及提昇國內結構風工程學術水準。

總計畫之執行掌握下列二項要點：(i) 研究團隊的研究能量可以相互支援並產生互補的功能 (ii) 建立各子計畫間的溝通協調機制。本計畫以淡江大學大氣環境暨風工程研究中心為各子計畫的後勤與協調中心，研究中心除了依據各子計畫的需求，提供風洞實驗室及各項軟、硬體共同基本設備之外，並提供會議室、其他研究空間作為參與本案人員共同研討及工作之用。計畫執行期間，每隔一至二個月舉行一次正式的 project workshop，使參與本計畫的研究人員能有充分的討論機會，瞭解各子計畫的執行狀況，以便於相互支援。本計畫的並於 2003 年 11 月間，舉行國際風工程學術研討會，藉此能對研究團隊的發展方向以及各子計畫的研究成果作公開的發表及接受檢驗與建議。本計畫的研究成果已陸續發表於 2005 年的 The Sixth Asia-Pacific Conference for Wind Engineering 以及第一屆全國風工程研討會等學術會議。

四、各子計畫研究成果

計畫一：以風洞實驗為基礎的高層建築防風設計準則

子計畫一本年度完成的工作項目為探討風向對於高層建築設計風載重之影響。本研究由文獻內之颱風模式模擬出一個特定條件下之颱風，計算颱風內不同位置之風速與風向。再假設該颱風通過一特定地點，可統計出該地點在颱風影響下不同風向之最大風速值。並將此風向風速作用於已知風力係數、風力頻譜之建築物上，實際計算出其設計風載重之大小，並與未考慮風向性之風載重做一比較。

本文以 Schloemer(1954)所提出之模式計算距離颱風中心 r 處之壓力場 $P(r)$ ；以 Meyers and Markin (1961)之模式計算颱風梯度風速；最後以 Meng (1997) 等根據流場渦度與柯氏力之影響，所提出之大氣邊界層模式計算颱風影響範圍內之垂直風速

與風向剖面。

本文所使用之高層建築風洞試驗資料係前二年之風洞實驗數據。縮尺模型為長寬比 1、高寬比 7 之均勻斷面方柱，地況為 $\alpha=0.15$ 之開闊地形，實驗之風向角以 22.5 度為間距、共計 16 個風向角。建築物所受的風力因風攻角而易，設計風力需由所有之風攻角中找出適當的風力組合。本文所使用的設計風力係指建築物在特定風向條件下順風向、橫風向與扭轉向的極值設計風載重組合。

本計劃以前述之數值模式模擬出一個特定條件下之颱風，計算颱風內不同位置之風速與風向；並計算該颱風以特定路徑通過特定區域時，對 280m 高之方型均勻斷面建築物產生之風載重。分別以考慮風向角影響，與不考慮風向角影響來計算建築物的設計風力。分析結果顯示，無風向性與有風向性之建築物基底合力比值可達 1.8，差別十分顯著。

子計畫二：高層建築之設計風載重專家系統

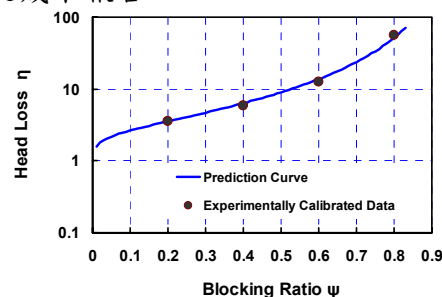
九十三年度計畫執行之重點為濱海地區以及鄉鎮地區的相關實驗數據與資料之擴充，並配合子計畫一之成果建構其他建築斷面之資料與知識內涵，同時發展風場修正法則與斷面修正法則。目前原型系統已上線運作（網址：<http://windexpert.ce.tku.edu.tw>），其具親和力的圖形化使用者介面，不只可以當作是設計工程師的風載重評估工具，也可以對風工程不是特別熟悉者提供教育與訓練的功能。知識庫的檢驗 (Verification) 已完成，其知識庫、案例庫、物件、繼承性、案例式推論方案、系統整合等經測試後已能正確執行，同時效能頗佳。至於專家系統結論與建議的確認 (Validation)，已完成案例的確認，但並未進行外部專家知識庫有效性之評估。

本案已達成預期的目標並有具體的成果，提供了一個有效的網際網路專家系統環境，網路的傳輸，打破時空的限制，創造了資訊的即時即地性，讓高層建築設計風載重專家系統的使用更便利。為繼續擴展本研究團隊研究成果的使用層面，將持續發展本專家系統，已規劃一系列的多重

幾何變異建物模型實驗，可擴充案例庫之案例數量，提升案例之覆蓋率進而增加系統之準確性。經由資料的採擷與分析，更有助於進一步了解多重結構形狀變化對設計風載重的影響，並將成果回饋於案例之比對和複合參數修正方法的改進。至於鄰近建物的遮蔽效應是另外一個影響建物設計風力的因素，為讓系統更臻完善，本研究團隊已從事高層建築干擾效應的相關實驗與研究，並已獲得初步的成果，待後續資料分析與驗證工作完成，其研究成果成熟後亦將納入本專家系統中。

子計畫五：側向與扭轉互制效應下高層建築之減振控制與風洞試驗

台灣近年來經濟急速起飛，人口多集中都市地區，由於都市用地面積有限，在經濟效益之考量下，建築物有愈蓋愈高的趨勢。結構物因高度增加，使得其勁度較一般建築為小，當受到風力擾動時，往往會造成過大的結構反應，尤其高層建築更為明顯，整個結構物來回振盪的結果，除了有安全上之顧慮外，也會造成使用人員不舒適及精密儀器之損壞。風害對高層建築具有潛在的威脅，欲解決上述振動問題，結構控制可提供有效對策。子計畫五 93 年度 (3/3) 之計畫內容為對調頻液柱阻尼器 (TLCD) 進行有系統之元件特性測試與校正。首先在理論上解出簡諧擾動下之解析解，作為特性校正之基準。使用震動台為擾動源，產生自由及強制振動分別進行擾動，以所獲得之實驗數據校正自然頻率與水頭損失係數。最後提出預測水頭損失係數之經驗公式如圖所示，可做為工程師設計 TLCD 時之快速指引。本校正試驗亦同時證實 TLCD 管內液體質量以及水平管與總共管長之比值對於自然頻率與水頭損失係數不具影響。詳細結果請參見子計畫五之成果報告。



子計畫六：中低層建築物受風作用之特性研究

研究首先開發大氣邊界層部分模擬技術，運用擾流版、粗糙元素等邊界層元件，嘗試在短吹程及小斷面試驗段中模擬大氣邊界層底層的特性，並以 Cook 所建議的縮尺計算公式[1]，估算相應縮尺隨高度的變化，取得可供實驗應用的有效高度，作為實驗範圍。本研究採用 TTU[2]實場觀測所得流場特性作為目標，並求得 1/50 縮尺大氣邊界層流場，並製作與 TTU[2]相同幾何尺寸之縮尺模型，置於流場中量測屋頂風壓之平均值、擾動值及尖峰風壓等資料，與 TTU[2]實場觀測結果甚為吻合，可確定其適用性。

本計畫利用不同配置方式的建築群模型氣動力實驗，探討不同配置方式對於建築物屋頂面風壓分佈的影響，採用的配置方式包括縱列式配置與 U 型配置，改變的參數包括前後棟建築物間距比 ($d/H=0.67、1.33、2$)、高度比($h/H=0.46、$)及風攻角 ($\alpha=0^\circ\sim 45^\circ$) 的影響等。研究結果顯示，風攻角改變，使上游區域出現建物時，促使上游區建物尾流擾動影響性增加，屋頂面平均風壓呈現回升而擾動性風壓下降的現象。本研究中所採用的間距變化範圍，促使下游建物處於近域尾流區，隨間距比的增加擾動作用顯示增強的趨勢。建築群中，如鄰近上游區有相同或略高的建物出現，其下游區的建物屋頂風壓分佈相關性指標受上游建物分離剪力流直接作用影響而有上升的趨勢。上游建物的 height 如低於下游建物，則促使後棟建築物在迎風側邊緣有較獨立完整的分離剪力流產生，產生較大的擾動性風壓，尖峰因子亦顯示在此配置條件下有較高的值出現，對於屋頂結構設計此區位應特別加強；反之則有減抑的作用。由於高紊流強度作用，屋頂局部風壓頻譜均為寬頻型態，僅上游角隅處受角錐形渦流作用產生明顯尖峰。本研究利用 POD 分析屋頂面風壓擾動的模態，結果顯示大多數能量均集中在前三個模態，但本研究亦發現，較低矮的建物位於上游時，將促使下游建物屋頂風壓模態所含能量有趨於分散的情形。

本研究所開發大氣邊界層流場的部分模擬技術，並應用於中低層建築物氣動力實驗中，研究顯示其成效良好。

子計畫七：煙囪受風之動力行為研究 — 風洞試驗與實場量測

本研究計畫是煙囪受風之動力行為研究系列之第三年研究成果，結合第一年實場量測，繼而第二年改善風洞試驗結構模型之表面粗糙度，模擬出風洞試驗高雷諾數流場。本文結合前述研究成果，探討高雷諾數下圓柱形煙囪並列之風壓分布變化情形。風洞試驗是將以不同間距、角度、風速和紊流強度來進行雙圓柱煙囪結構並列時之壓力量測，藉以瞭解現地煙囪群受風之壓力變化情形，如圖 1 所示。由實驗結果可知，如圖 2 所示，當雙柱排列所夾之角度低過 40 度，間距比小於 4，圓柱結構群效應非常明顯，與單柱比較時，平均壓力變化大。此一結果可作為圓柱結構群於場地配置設計時之參考。

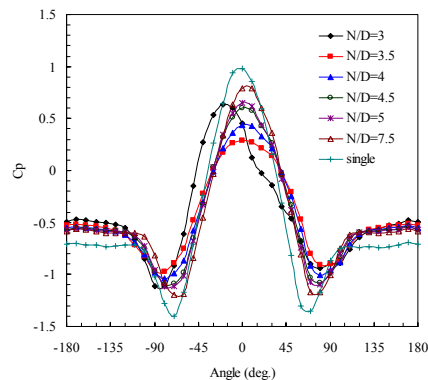


圖 1 粗糙雙柱 $z/H=0.857$ 處不同間距之平均壓力係數($\theta=0^\circ$)

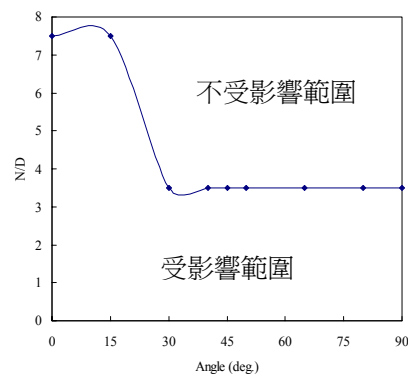


圖 2 角度隨間距變化關係圖