

「建築物風力規範之修訂研究（二）」

內政部建築研究所委託研究報告

計畫編號 092301070000G1011

「建築物風力規範之修訂研究(二)」

受委託者：淡江大學 土木工程學系

研究主持人：鄭啟明

共同主持人：吳重成 陳若華 張正興

顧問：高熏芳 柯志恩

研究助理：蔡明樹 傅仲麟 潘家銘

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 92 年 12 月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

Studies of the Wind Load Provisions in
Building Codes (2)

BY

Chii-Ming Cheng

Jong-Cheng Wu

Rou-Hwa Chen

Cheng-Hsin Chang

December, 2003

摘要

關鍵字： 建築、設計風力、設計風速、風力規範

風工程研究在實務上最重要的應用便是制訂各種風力規範。就建築結構的風力規範而言，現有的建築技術規則中風力相關條文早已落伍，目前工程界常引用的是蔡益超教授等人所著之結構工程學會研究報告 CSSE 85-05B「建築物風力規範條文、解說及示範例之研訂」。該研究報告較現行建築技術規則中之風力相關條文已有大幅改進，然而仍有若干值得進一步研究探討之處。本計畫針對下列項目進行研究，並提出明確的修正建議：

- (1) 澳洲、加拿大、英國等風力工程先進國家相關規範之比較研究；
- (2) 建構適用於中低層建築物的簡易風壓與風力計算式；
- (3) 建構建築物之橫風向及扭轉向設計風力計算模式；
- (4) 建構建築物所受不同風力之組合模式；
- (5) 建構建築物頂層水平向加速度的評估準則；
- (6) 建構建築物周遭環境風場及行人舒適性的評估準則。

風力規範所涵蓋的範圍很廣，對於大型結構的設計有重大影響，宜對於重要項目分別進行長期研究，方能深入瞭解各國風力規範之基本精神。如此方能落實研究成果，對於未來的風力規範修訂也才會有長期的幫助。

ABSTRACT

Keywords: buildings, design wind load, design wind speed, wind code

Coding of the various wind engineering research is one of the most important application of wind engineering studies. In term of the official building code, the current wind load provisions are out of date. In building industry, the research report CSSE 85-05B, "Building wind load provisions, complementary and examples" has been frequently quoted by design engineers. This report made significant improvement on the design wind load. However, as the continuous progress of the wind engineering studies, there are a few articles in the CSSE 85-05B need further investigation and possible modifications. This research project conducted in-depth study on the following areas of wind code:

1. In-depth study of NBC (Canada), SAA (Australia) and BS (UK), wind codes.
2. Proposing a simplified design wind load procedure for building insensitive to wind.
3. Improvement of the acrosswind and torsional design wind loads.
4. Proposing a combination procedure of alongwind, acrosswind and torsional design wind loads.
5. Proposing standards of the evaluation on the human perception of the wind induced building motion
6. Proposing standards of the evaluation on the wind enviroment and pedestrian comfort.

There are many items associated to the building wind code that need systematic research. Through efforts on the basic research and understanding the foundation of the wind load provisions from the countries and areas of advanced wind engineering research, a better wind code of Taiwan can be established in the future.

目錄

第一章 前言.....	1-1
1-1 計畫緣起.....	1-1
1-2 計畫內容與研究方法.....	1-1
第二章 國內規範之現況與比較.....	2-1
2-1 概述.....	2-1
2-2 加拿大風力規範.....	2-1
2-2.1 設計風壓.....	2-2
2-2.2 動力效應之考慮.....	2-2
2-2.3 全部與部分風力載重之考慮.....	2-2
2-2.4 設計方法分類.....	2-3
2-2.5 參考風速 與風壓 q	2-3
2-2.6 地況因子 C_e	2-4
2-2.7 陣風因子 C_g	2-5
2-2.8 渦散作用(vortex shedding)的考慮.....	2-6
2-2.9 風壓係數.....	2-6
2-2.10 高層建築受風作用下的側向位移.....	2-6
2-3 英國風力規範.....	2-7
2-3.1 標準方法(standard method).....	2-7
2-3.2 方向性法(directional method).....	2-9
2-3.3 兩種方法的併用.....	2-11

2-4 紐澳地區風力規範	2-12
2-4.1 風力作用之計算	2-12
2-4.2 區域風速 VR	2-13
2-4.3 地況條件	2-14
2-4.4 氣動力外形因子	2-15
2-4.5 動力反應因子	2-15
2-4.6 順風向及橫風向反應之合併	2-17
2-5 美國風力規範	2-17
2-5.1 簡化設計法	2-17
2-5.2 解析設計法	2-18
2-5.3 風洞試驗法	2-19
2-6 不同規範設計風載重計算之比較	2-19
2-6.1 中層建築物風載重計算	2-19
2-6.2 高層建築物風載重計算	2-27
2-6.3 招牌結構物設計風力計算	2-37
2-7 不同規範設計風載重計算之比較	2-42
第三章 設計應用簡易計算式	3-1
3-1 前言	3-1
3-2 美國及日本規範之簡易風力計算式	3-1
3-2.1 日本規範之簡易計算式	3-2
3-2.2 美國規範之簡易計算式	3-4

3-3 美、日風力簡易模式之計算案例.....	3-5
3-3.1 日本規範.....	3-5
3-3.2 美國規範.....	3-6
3-3.3 比較與建議.....	3-8
第四章 高層建築之橫風向與扭轉向設計風力.....	4-1
4-1 前言.....	4-1
4-2 橫風向風力載重公式之比較.....	4-1
4-2.1 橫風向風力載重公式之適用範圍.....	4-1
4-2.2 橫風向風力頻譜.....	4-2
4-2.3 橫風向風力載重公式.....	4-3
4-2.4 AIJ-96 橫風向設計風力之計算案例.....	4-4
4-3 扭轉向設計風力公式之比較.....	4-7
4-3.1 扭轉向風力載重公式之適用範圍.....	4-7
4-3.2 扭轉向風力載重公式.....	4-8
4-3.3 AIJ-96 扭轉向設計風力之計算案例.....	4-10
4-4 規範之設計風力與風洞試驗計算值之比較.....	4-13
4-5 橫風向與扭轉向之規範建議式.....	4-15
4-5.1 橫風向之設計風力.....	4-15
4-5.2 扭轉向設計風力.....	4-18

第五章 風力組合	5-1
5-1 前言	5-1
5-2 風力組合方法	5-1
5-3 風力組合之計算案例	5-2
第六章 舒適性評估標準之建議	6-1
6-1 文獻回顧	6-1
6-2 舒適性評估之研究	6-2
6-2.1 風洞實驗	6-2
6-2.2 實場調查	6-4
6-3 結論及建議標準	6-6
第七章 風力造成之結構物振動加速度對於人體之舒適性評估	7-1
7-1 各國規範中有關振動舒適度之相關規定	7-1
7-2 有關振動舒適度之重要文獻回顧	7-10
7-3 實驗室振動台試驗之實驗及試驗結果	7-14
7-4 振動舒適度標準之歸納總結與建議	7-25
7-5 建築物最大加速度之簡易計算公式	7-28
參考文獻	R-1
附錄 A 採購評選委員會議記錄	A-1
附錄 B 期中報告會議記錄	B-1

附錄 C 期末報告會議記錄.....	C-1
附錄 D 專家座談會議記錄.....	D-1

表 目 錄

表 2.1	NBC95 地況分類.....	2-4
表 3.1	美、日風力簡易設計適用範圍.....	3-2
表 4.4.1	依據風力規範計算式所得之順風向及橫風向設計風力.....	4-14
表 c.1	橫風向共振因子， R_L	4-21
表 c.2	扭轉向共振因子， R_T	4-23
表 5.1	設計風力之載重組合.....	5-7
表 6.1	各地學者和都市的研究評估標準.....	6-9
表 6.2	長時間站坐風洞試驗結果.....	6-11
表 6.3	短時間站坐風洞試驗結果.....	6-11
表 6.4	慢步行走風洞試驗結果.....	6-12
表 6.5	快步行走風洞試驗結果.....	6-12
表 7.1	不同建築物用途之性能評估標準.....	7-5
表 7.2	評估基準值.....	7-7
表 7.3	a、b 係數值.....	7-9
表 7.4	加拿大規範建議之節奏性活動引致之垂直向加速度限度.....	7-10
表 7.5	Goto (1983)建議之感受標準.....	7-13
表 7.6	Isyumov (1993) 及 Isyumov et al. (1996) 建議之感受標準.....	7-14
表 7.7	試驗問卷結果.....	7-19

圖 目 錄

圖 3.1	日本風力規範 AIJ-96 架構.....	3-1
圖 4.1(a)	橫風向共振因子, \hat{R}_L	4-25
圖 4.1(b)	橫風向共振因子, \hat{R}_L	4-26
圖 4-2	日本、澳洲橫風向風力頻譜之比較.....	4-27
圖 4.3a	日本、澳洲橫風向設計風力之比較, H=100 m.....	4-28
圖 4.3b	日本、澳洲橫風向設計風力之比較, H=200 m.....	4-29
圖 4.4a	台灣、日本與澳洲之順風向與橫風向設計風力之比值.....	4-30
圖 4.4b	台灣、日本與澳洲之順風向與橫風向設計風力之比值.....	4-31
圖 4.4c	台灣、日本與澳洲之順風向與橫風向設計風力之比值.....	4-32
圖 4.4.1	範與風洞實驗結果比較, 地況 A, H=100 (m), H/B=6	4-33
圖 4.4.2	我規範與風洞實驗結果比較, 地況 C, H=100 (m), H/B=6 ...	4-34
圖 4.4.3	規範與風洞實驗結果比較, 地況 A, H=200 (m), H/B=6.....	4-35
圖 4.4.4	規範與風洞實驗結果比較, 地況 C, H=200 (m), H/B=6.....	4-36
圖 4.5(a)	扭轉向共振因子, \hat{R}_L	4-37
圖 4.5(b)	扭轉向共振因子, \hat{R}_L	4-37
圖 4.5(c)	扭轉向共振因子, \hat{R}_L	4-38
圖 4.5(d)	扭轉向共振因子, \hat{R}_L	4-38
圖 5.1	風力組合之計算案例	5-4
圖 5.2	順風向設計風載重.....	5-5
圖 5.3	橫風向設計風載重.....	5-5

圖 5.4	扭轉向設計風載重.....	5-6
圖 6.1	四種情境下之風速與不舒適程度比較圖.....	6-13
圖 6.2	擾動風速與不舒適程度比較圖.....	6-14
圖 6.3	漁人碼頭與新光三越個案風速資料圖.....	6-14
圖 6.4	風洞實驗與實場調查平均風速與不舒適程度比較圖.....	6-15
圖 7.1	曲線 1 為一般用途建築物 (Building) 容許最大加速度值； 曲線 2 為離岸結構 (Off-Shore Fixed Structures) 容許最大加 速度值.....	7-2
圖 7.2	特殊用途建築物內人體之振動感受門檻；曲線 1—容許最 大加速度值之最低門檻；曲線 2—容許最大加速度值之平 均門檻 m.....	7-2
圖 7.3	性能評估之流程圖.....	7-4
圖 7.4	水平振動之性能評估基準.....	7-5
圖 7.5	以往有關感受門檻 (最大加速度值) 之研究.....	7-6
圖 7.6	隨機振動波形。新宿實測波形，1990/6/9 22:10~22:15.....	7-8
圖 7.7	水平向正弦波之感受門檻值.....	7-12
圖 7.8	水平向之舒適度標準.....	7-13
圖 7.9	振動台上試驗空間之平面圖.....	7-15
圖 7.10	試驗空間之之實體照片.....	7-16
圖 7.11	程度二(感覺到振動但無任何不舒適)之 PDF 曲線.....	7-20
圖 7.12	程度三 (感到振動且不舒適) 之 PDF 曲線.....	7-21
圖 7.13	程度二(感覺到振動但無任何不舒適)之 CDF 曲線.....	7-22
圖 7.14	程度三 (感到振動且不舒適) 之 CDF 曲線.....	7-23

圖 7.15	程度二（感覺到振動但無任何不舒適）之標準	7-24
圖 7.16	程度三（感到振動且不舒適）之標準.....	7-24
圖 7.17	建議之舒適度標準（迴歸期五年）	7-27
圖 7.18	高層建築斷面及順風向、橫風向、扭轉向座標示意圖.....	7-29

第一章 前言

1-1 計畫緣起

陸地上的建築與土木結構物所受的環境作用力大體上可分為地震力與風力兩大項，台灣恰好位於強震與強風區。相對而言，風害造成損失以及對於社會的衝擊較為溫和，也較不受工程界與防災體系的重視。然而依據國際保險業者的統計，全球風災造成的經濟損失超過其他自然災害。台灣地區的建築形式容或與其他地區不同，使得風災造成的經濟損失較之地震為輕，然仍是一項不可輕忽的環境作用力。風工程研究在實務上最重要的應用便是制訂各種風力規範。就建築結構的風力規範而言，現有的建築技術規則中風力相關條文早已落伍，目前工程界常引用的是蔡益超教授等人所著之結構工程學會研究報告 CSSE 85-05B「建築物風力規範條文、解說及示範例之研訂」。該研究報告的主要基礎為美國的 ANSI/ASCE 7-88，以及日本的 AIJ 93。較現行建築技術規則中之風力相關條文已有大幅改進。然而，風力規範仍應持續的修訂改進，以期符合國際風工程界對於風力規範之發展趨勢。

1-2 計畫內容與研究方法

本計畫的研究內容與所採用的研究方法可以分為下列四項：

(1) 國外風力規範之比較研究

本計畫將針對加拿大 SAA 規範、澳洲 NBC 規範、英國 BS 規範等先進國家相關風力規範內容進行研究與比較。為能具體的表現國內外規範間的可能差異，本計畫將以數種不同建築物進行設計風力的計算，比較計算結果差異性並探究其原因。

(2)簡易風力計算式之建立

本計畫將整理國外風力規範中有關簡化設計程序的建築物區分、限制條件、計算程序等部份，研究提出國內風力設計簡化程序之可行性。

(3)高層建築之橫風向、扭轉向設計風力

ASCE7-2003 中的高層建築設計風力是以順風向設計風力為主，傳統上是基於平均速度分佈與陣風因子計算得之。雖然在條文中，透過風力組合考慮了側向風壓與非對稱之扭轉向風力，但是並未將渦散分離(vortex shedding)現象所引發的橫風向與扭轉向設計風力考慮在內。本計畫擬採用下列研究方法探討此項議題：

- (i) 日本與澳洲風力規範均包含了前述渦散分離現象所引發的橫風向及扭轉向設計風力，本計畫擬進行深入研究比較其間的優劣差異。
- (ii) 參考風洞模型實驗所得之風力荷重計算高層建築在橫風向及扭轉向的設計風力，並與規範值進行比較。
- (iii) 根據前二項研究數據，提出建築物在橫風向及扭轉向的設計風力之計算式。

(4)風力組合

未來風力規範中包含建築物的順風向、橫風向及扭轉向設計風力。然而對於絕大多數的建築物而言，上述三種風力的最大值並不同時發生。因此如何訂定合理的風力組合是一項值得研究的項目。本計畫擬由二方面著手進行風力組合之研究工作：

- (i) 風力組合模式的計算案例。
- (ii) 透過前述的分析研究，提出風力組合之建議模式。

(5) 風場環境對於行人的舒適性評估

針對風場環境舒適度評估標準之研究方法，簡述如下：

- (i) 收集相關評估標準，透過文獻探討，提出現有評估模式的優劣與差異。
- (ii) 藉由少量共同樣本之戶外實場量測與風洞實驗室量測，建立實場與實驗室舒適性之對應關係。之後，在風洞實驗室進行控制條件下之人體測試與問卷調查。
- (iii) 在台北市不同實場環境進行風場量測與問卷調查。
- (iv) 透過(i)~(iii)之數據，提出風場環境對於行人舒適性之評估標準方案。

(6) 風力造成之結構物振動加速度對於人體之舒適性評估

對於風力造成之結構物振動對人員舒適度評估標準，本計畫除了進行相關的文獻整理與探討之外，並嘗試進行初期的人體試驗。研究方法亦分為下列兩部分：

- (i) 進行文獻回顧，以瞭解結構物振動加速度對人員之舒適性評估之理論背景。
- (ii) 利用淡江大學現有之小型振動平台，進行振動舒適性之人體試驗。
- (iii) 建構強風引起高層建築頂層振動加速度之計算式
- (iv) 根據前述資料，提出結構物振動加速度對於人體之舒適性評估建議方案。

第二章 風力規範之現況與比較

2-1 概述

風力規範的制定除與各國所在地理環境差異而有所不同，風工程相關研究的不斷創新，亦促使風力規範不斷的調整更新。本研究目前蒐集加拿大、紐澳、美國及英國等國風力規範，相互比較其設計理念與規範內容。

本研究加拿大之風力規範以「National Building Code of Canada 1995」(NBC1995)，並配合規範補充說明「User's Guide – NBC 1995 Structural Commentaries (Part 4)」報告為主。英國之風力規範則以 BSI 之「Loading for Buildings — Part 2 : Code of practice for wind loads」(BS 6399-2 : 1997)為主。紐澳之風力規範以「AS/NZS 1170.2 2002」並配合規範補充說明「AS/NZS 1170.0 Supplement 1 : 2002」報告為主。美國規範於前一年度研究計畫中已探討 ASCE 之「Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI/ASCE7-98」，本年度增列以 ASCE 之「Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI/ASCE7-02」新版規範，亦一併加以討論。

建築物受風力作用之行為，可依順風向、橫風向及扭轉向等三方面加以討論。部分國家對於順風向、橫風向及扭轉向等三方面設計風力均提供相關設計公式可直接引用，其他規範則主要以順風向設計風力作較詳盡的規範，而橫風向或扭轉向設計風力則因隨建築物外形及流場條件變化較大，多建議採用風洞試驗或以組合載重方式加以決定。

以下各節將就各國風力規範加以研究並作比較。

2-2 加拿大風力規範

關於加拿大之風力規範以「National Building Code of Canada 1995」(NBC1995)，並配合規範補充說明「User's Guide – NBC 1995 Structural Commentaries (Part 4)」報告為主。

2-2.1 設計風壓

NBC95 規範中有關設計風力的規定主要在其「4.1.8 Live Loads Due to Wind」一節中作規定。依本節所述，建築物表面設計風壓以下式表示：

$$p = qC_e C_g C_p \quad (1)$$

- 其中
- p：垂直於建物表面之風壓力
 - q：參考風速壓(reference velocity pressure)
 - C_e：地況因子(exposure factor)
 - C_g：陣風因子(gust factor)
 - C_p：外部風壓係數(external pressure coefficient)

建築物所受之風載重是以迎風面風力減背風面風力而得，對於局部風力則應考慮建築物之內部壓力，以下式表示：

$$p_i = qC_e C_g C_{p_i} \quad (2)$$

- 其中
- p_i：建築物內部垂直作用於建物表面之靜壓力
 - C_{p_i}：內部風壓係數(internal pressure coefficient)

2-2.2 動力效應之考慮

建築物如高寬比大於 4，或高度大於 120 公尺，或具重量輕、低自然頻率、低阻尼比等特性，易使建築物受風作用後產生振動行為者，應就風力對於建築物產生的動力效應加以特別考慮，考慮方法包括實驗方法的驗證或陣風行為的動力分析。

2-2.3 全部與部分風力載重之考慮

建築物應考慮以下數種不同的載重情況：

- (a) 將兩主軸向的全部風載重加於建築結構上所產生的效果。
- (b) 將(a)項中各不同部位風載重中任一部分移去 25%後，加於建築結構上所產生的效果。

- (c) 將各不同部位風載重同時以 75%考慮，加於建築結構上所產生的效果。
- (d) 將(c)項中風載重中任一部分移去 25%，加於建築結構上所產生的效果。

2-2.4 設計方法分類

依 NBC95 User's Guide 建議的設計方法包括有三種：

- (a) 簡易設計程序(simple procedure)：為主要的設計程序，NBC95 規範中所建議的設計程序即為簡易設計程序，適用於中低層建築物、剛性結構物、建築物外牆等設計中。依 NBC95 規範本文中即可查得設計風壓公式與係數，但風壓係數則須查閱規範補充說明(User's Guide-Commentary B)。
- (b) 風洞試驗：受風作用後振動現象明顯的結構物如高層建築物、大型懸臂式屋頂等結構物，建議採用風洞試驗結果為設計依據，風洞試驗成果可同時提供局部風壓與整體設計風載重的資料。
- (c) 詳細設計程序(detailed procedure)：同(b)項中所規範的結構物種類亦可採用規範補充說明(User's Guide-Commentary B)所建議的程序修正公式(1)中的各項係數，提供結構物整體設計風載重的設計依據。

2-2.5 參考風速 \bar{V} 與風壓 q

NBC95 中關於參考風速 \bar{V} 並未直接表列，而是由規範中所提供的設計風壓推算，規範中所提供的風壓 q 是以地況 A(exposure A)開闊地形，10 公尺高度處小時平均風速所產生的風速壓為準。設計風速可由下式計算

$$q(\text{in kPa}) = C\bar{V}^2 \quad (3)$$

其中 $C=50 \times 10^{-6}$ ，如參考風速以 km/hr 表示

$C=650 \times 10^{-6}$ ，如參考風速以 m/sec 表示

參考風速壓 q 係以表列方式列於 NBC95 附錄 A 中，提供加拿大各地迴歸期 10 年、30 年、100 年等三種不同機率水準的參考風速壓。

2-2.6 地況因子 C_e

地況因子用以表現不同地型及高度對風速的影響，地況因子的計算依 User's Guide 所建議有簡易設計程序及詳細設計程序兩種不同作法，分述如下：

1. 簡易設計程序

簡易設計程序為規範中所直接建議的設計方法，地況因子可依下式計算，且其值不得小於 0.9：

$$C_e = \left(\frac{h}{10} \right)^{1/5} \quad (4)$$

其中 h 為參考高度(m)，對於低層建築 h 採用屋頂高度或 6 公尺，對於較高的建築物則在迎風面上採用建築物高度、在背風面上採用建築物高度的一半。

2. 詳細設計程序

詳細設計程序中首先規範一上游 1.5 公里範圍內地況加以分類，共計分為三類，如下表所示：

表 2-1NBC95 地況分類

	Exposure A	Exposure B	Exposure C
地況	開闊地況 (標準地況)	市郊地況	大型都會中心地況
C_e	$C_e = \left(\frac{z}{10} \right)^{0.28}, C_e \geq 1.0$	$C_e = \left(\frac{z}{12.7} \right)^{0.50}, C_e \geq 0.5$	$C_e = \left(\frac{z}{30} \right)^{0.72}, C_e \geq 0.4$

建築物高度處之設計風速由參考高度(H)配合表 2-1 公式計算得 C_{eH} ，代入下式中計算：

$$V_H = \bar{V} \sqrt{C_{eH}} \quad (5)$$

如有大於 1/10 坡度的山坡地地形，規範補充說明 (User's Guide-Commentary B) 中提供加速因子 (Speed-up factor) ΔS 與地況因子相乘加以修正。

2-2.7 陣風因子 C_g

陣風因子代表最大值與平均值間的比值，影響因素包括風本身的隨機性、渦散作用及結構物振動引致的擾動力等。依規範補充說明 (User's Guide-Commentary B) 所建議有簡易設計程序及詳細設計程序兩種不同作法，分述如下：

1. 簡易設計程序

簡易設計程序為規範中所直接建議的設計方法，供小型建築物或相對剛性較高的結構物設計中使用，陣風因子可依下述所決定：

(a) 供主結構設計用時， $C_g=2.0$

供小型構件或外牆設計用時， $C_g=2.5$

2. 詳細設計程序

詳細設計程序中陣風因子可依下述所決定：

$$C_g = 1 + g_p (\sigma / \mu) \quad (6)$$

g_p 可由規範補充說明 (User's Guide-Commentary B) 中提供的圖表查閱而得，或依下式計算：

$$g_p = \sqrt{2 \ln \nu T} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln \nu T}}, T = 3600 \text{ sec} \quad (7)$$

$$\text{同時 } \sigma / \mu = \sqrt{\frac{K}{C_{eH}} \left(B + \frac{sF}{\beta} \right)} \quad (8)$$

對於不同類型建築物的臨界阻尼比，規範補充說明 (User's Guide-Commentary B) 中建議鋼結構建築物臨界阻尼比採用 0.01，RC 建築物臨界阻尼比採用 0.02，規範補充說明中同時提供 C_g 計算範例。

2-2.8 渦散作用(vortex shedding)的考慮

規範補充說明中針對細長結構物(高寬比大於 5)的渦散作用提出簡易的評估方法，主要針對圓斷面柱體在不同雷諾數時的史特赫數(Strouhal Number)變化提出預測公式，並對圓柱型結構物單位高度的橫風向風力有建議公式。至於其他斷面形狀柱體，則建議對於 V_H 大於 $7nD$ 的情況下應以風洞試驗評估其受風反應，其中 n 為結構物自然頻率、 D 為結構迎風寬度。

2-2.9 風壓係數

規範補充說明(User's Guide-Commentary B)建議風洞試驗為較佳的風壓係數評估方法，同時提供多種不同造型建築物的表面風壓係數可供使用者以查表的方式定之。

2-2.10 高層建築受風作用下的側向位移

側向位移為高層建築受風作用下其服務性能(serviceability)與舒適性(comfort)的重要評估指標，NBC95 建議側向位移應小於建築物高度的五百分之一。

高層建築受風作用後產生的側向振動亦應加以注意，規範建議對於 $\sqrt{WD}/H < 1/3$ 的建築物其側向加速度必須加以檢核，其中 W 與 D 分別代表橫風向與順風向建築物寬度。規範補充說明中針對橫風向加速度(a_w)與順風向加速度(a_D)建議公式為：

$$a_w = n_w^2 g_p \sqrt{WD} \left(\frac{a_r}{\rho B g \sqrt{\beta_w}} \right) \quad (9)$$

$$a_D = 4\pi^2 n_D^2 g_p \sqrt{\frac{K_S F}{C_e \beta D} \frac{\Delta}{C_g}} \quad (10)$$

側向加速度值規範補充說明中建議以十年迴歸期計算應不大於 $0.01 \sim 0.03g$ ， g 為重力加速度。規範補充說明中同時提供橫風向加速度(a_w)與順風向加速度(a_D)計算範例。

2-3 英國風力規範

關於英國之風力規範以「Loading for buildings—Part 2 : Code of practice for wind loads」(BS 6399-2:1997)規範為主。

有關建築物或構件所受風載重 BS 6399-2 規範中規定兩種相當靜載重(equivalent static loads)分析方法：標準方法(standard method)與方向性法(directional method)。標準方法主要考慮正交風載重作用(orthogonal load)於建築物受風面的情形，對於具對稱性的建築物其分析過程可加以簡化。方向性法考慮具有風攻角變化條件下建築物或構件所受風載重。

除規範中所說明的兩種方法，對於風洞試驗的適用亦有所規定，符合下列條件者，其實驗成果可供採用：

1. 自然風場需正確模擬，包括平均風速剖面、紊流強度及尺度等因子。
2. 建築物幾何尺寸應有正確縮尺
3. 風洞實驗應有良好適當的量測儀器
4. 量測結果應能預測設計所需的風險水準下的尖峰風載重值。

規範中所定義的相當靜載重分析方法其使用亦有所限制，規範利用動力因子(dynamic augmentation factor, Cr)加以判定，凡建築物高度超過 300 公尺或 Cr 大於 0.25 均不適用於本規範所建議的分析方法。

2-3.1 標準方法(standard method)

2-3.1.1 標準風載重

BS 6399-2 規範中有關利用標準方法計算設計風力的規定如下：

風速壓(dynamic pressure, q_s)以下式計算

$$q_s = 0.613V_e^2 \quad (11)$$

其中 q_s ：單位為 Pa(N/m²)

V_e ：有效風速(m/sec)

建築物所受之外部表面風壓，以下式表示：

$$p_e = q_s C_{pe} C_a \quad (12)$$

其中 C_{pe} ：外部風壓係數(external pressure coefficient)

C_a ：建物尺寸因子(size effect factor)

建築物所受之內部表面風壓，以下式表示：

$$p_i = q_s C_{pi} C_a \quad (13)$$

其中 C_{pi} ：內部風壓係數(internal pressure coefficient)

因此建築物所受的淨風壓為：

$$p = p_e - p_i \quad (14)$$

建築物所受的風力為：

$$P = pA \quad (15)$$

其中 A ：受風面積

考慮建築物各部受風作用的非同步性，因此建築物總水平風力為：

$$P = 0.85(\sum P_{front} - \sum P_{rear})(1 + C_r) \quad (16)$$

其中 $\sum P_{front}$ ：建築物迎風面上總水平力

$\sum P_{rear}$ ：建築物背風面上總水平力

2-3.1.2 標準設計風速

1.基本設計風速 V_b (basic wind speed)：由規範中所提供之地圖分區中直接查得，代表以 50 年迴歸之小時平均風速。

2.基地風速(site wind speed)：

$$V_s = V_b \times S_a \times S_d \times S_s \times S_p \quad (17)$$

其中 V_b ：基本風速

S_a ：海拔高度因子

S_d ：方向因子，為調整不同風向間的機率水準為一致，以查表方式選定方向因子，如建築物座向未明，則取 1.0。

S_s ：季節因子，供臨時構造或施工狀態等短時間工程設計風速受季節影響調整所需。

S_p ：機率因子

3.有效風速(effective wind speed)：將基地風速修正為有效高度處的陣風風速，並將建築物尺寸及上游建物影響影響納入考慮，

$$V_e = V_s \times S_b \quad (18)$$

其中 S_b ：依建築物有效高度及建物週邊地形條件查表而得

2-3.1.3 標準風壓係數

規範中利用圖解方式定義各種不同建築型態所應採用的標準風壓係數，供使用者查表獲得所需之風壓係數，並包括外部風壓係數與內部風壓係數等，配合(14)(15)式即可計算建物所受風力。

2-3.1.4 獨立牆體或招牌之設計風力

規範中對於獨立牆體依不同實積率與不同部位利用查表方式獲得所需之風壓係數，而招牌則建議採用風壓係數 1.8 計算所受風力。

2-3.2 方向性法(directional method)

2-3.2.1 具方向性之風載重

風速壓(dynamic pressure, q)以下式計算

$$q = 0.163V_e^2 \quad (19)$$

其中 q_s ：單位為 Pa(N/m²)

V_e ：有效風速(m/sec)

建築物所受之外部表面風壓，以下式表示：

$$p_e = q_e C_{pe} \quad (20)$$

其中 C_{pe} ：外部風壓係數(external pressure coefficient)，隨風攻角變化可查規範所附表

建築物所受之內部表面風壓，以下式表示：

$$p_i = q C_{pi} \quad (21)$$

其中 C_{pi} ：內部風壓係數(internal pressure coefficient) 隨風攻角變化可查規範所附表

對於封閉式建築物所受的淨風壓為：

$$p = p_e - p_i \quad (22)$$

對於建築物構件所受的淨風壓為：

$$p = q_e C_p \quad (22)$$

建築物所受的風力為：

$$P = pA \quad (23)$$

其中 A ：受風面積

建築物所受總風力為：

$$P = 0.85 \left\{ \sum (P_{front} \cos \theta) - \sum (P_{rear} \cos \theta) \right\} (1 + C_r) \quad (24)$$

其中 $\sum P_{front}$ ：建築物迎風面上總水平力

$\sum P_{rear}$ ：建築物背風面上總水平力

θ ：所考慮之風向與建築物壁面法線間的夾角，亦即風攻角

2-3.2.2 具方向性之風速

1. 基本風速與基地風速計算方法與標準法類似，

$$V_S = V_b \times S_a \times S_d \times S_S \times S_P \quad (25)$$

2.有效風速：

$$V_e = V_S \times S_b \quad (26)$$

S_b 對於鄉村地形與都市地形規範提出不同的公式加以計算：

$$\text{鄉村地形：} S_b = S_C \{1 + (g_t \times S_t) + S_h\} \quad (27)$$

$$\text{都市地形：} S_b = S_C T_C \{1 + (g_t \times S_t \times T_t) + S_h\} \quad (28)$$

其中 S_C ：fetch factor，由查表而得

S_t ：紊流因子，反應不同建築物有效高度與周邊地形距離對風速的影響

g_t ：陣風尖峰因子，利用不同建築物有效高度與受風面對角線長度查表而得，對於單獨構件則直接採用 3.44。

T_C ：fetch adjustable factor

T_t ：紊流調整因子

S_h ：地形增量

2-3.2.3 具方向性之風壓係數

規範中列舉各種不同形狀、部位在不同風攻角下之風壓係數，利用查表方式可迅速查得。

2-3.3 兩種方法的併用

規範建議對於建築物構型已定義清楚而基地地況未明的情形，建議以標準有效風速搭配具方向性之風壓係數加以檢核。對於需要進一步詳細檢核週邊地形、建物群對風場影響時，如臨近明顯地型變化或都市地區，建議以具方向性的有效風速搭配標準風壓係數進行檢核。

2-4 紐澳地區風力規範

關於紐澳地區之風力規範以「Australian / New Zealand Standard, Structural design actions Part 2 : Wind actions」(AS/NZS 1170.2:2002)規範為主。

有關建築物或構件所受風載重 AS/NZS 1170.2 規範中首先界定其適用範圍為：

1. 建築物高度小於 300 公尺
2. 屋頂跨徑小於 100 公尺
3. 不屬於離岸式結構、橋樑、輸配線塔等

2-4.1 風力作用之計算

規範建議對於建築物風力計算依下列程序進行：

1. 決定基地風速
2. 以基地風速決定設計風速
3. 決定設計風壓及分佈風力
4. 計算風力作用

2-4.1.1 基地風速

規範建議對於建築物 8 各不同方位角之基地風速以下式計算：

$$V_{sit,\beta} = V_R M_d (M_{z,cat} M_S M_t) \quad (29)$$

其中 V_R ：3 秒陣風風速

M_d ：風向因子

$M_{z,cat}$ ：高度因子

M_S ：遮蔽因子

M_t ：地形因子

構型已定義清楚而基地地況未明的情形，建議以標準有效風速搭配

具方向性之風壓係數加以檢核。對於需要進一步詳細檢核週邊地形、建物群對風場影響時，如臨近明顯地型變化或都市地區，建議以具方向性的有效風速搭配標準風壓係數進行檢核。

2-4.1.2 設計風速

設計風速需取與正交於建築物 45 度範圍內最大風速之線性內插值。

2-4.1.3 設計風壓與分佈風力

設計風壓以下式計算：

$$p = (0.5\rho_{air})[V_{des,\theta}]^2 C_{fig} C_{dyn} \quad (30)$$

其中 ρ_{air} ：空氣密度，一般取用 1.2kg/m^3

$V_{des,\theta}$ ：建築物正交設計風速

C_{fig} ：氣動力外型因子

C_{dyn} ：動力反應因子

單位面積分佈之順風向風力與 p 相同。

2-4.1.4 風力作用

規範建議風力作用的考慮至少應包括 4 個以上正交風力，風力以下式計算：

$$F = \sum(p_z A_z) \quad (31)$$

其中 p_z ：高度 z 處之設計風壓

A_z ：高度 z 處之受風面積

2-4.2 區域風速 V_R

規範將紐澳地區分為颶風作用區與非颶風作用區兩類，各類在細分為數種區域，各區域的 3 秒陣風在不同迴歸年數的區域風速以表列方式顯示，迴歸年數由 5 年至 2000 年，並提供各區域的經驗公式可供直接計算。

規範針對不同區域提出風向因子，以表列方式顯示，其值介於 0.8 至 1.0 之間。

2-4.3 地況條件

計算基地風速的式(29)中與地況條件相關的因子包括地況因子、遮蔽因子及地形因子等 3 個。

1. 地況因子(Terrain / Height multiplier, $M_{z,cat}$)：規範將地況歸類為四種不同地況，再配合高度變化，以表列方式列出 $M_{z,cat}$ 值。

四種不同地況之粗糙長度(roughness length)定義如下表所示：

Terrain category	Roughness length (m)
1	0.002
2	0.02
3	0.2
4	2.0

2. 遮蔽因子(shielding multiplier, M_s)： M_s 依遮蔽參數 s 以查表方式定之，如下表所示，如上風區地形坡度大於 0.2 或無遮蔽物則 M_s 取 1.0。

Shielding parameter (s)	Shielding multiplier (M_s)
≤ 1.5	0.7
3.0	0.8
6.0	0.9
≥ 12.0	1.0

遮蔽參數 s 以下式決定：

$$s = \frac{l_s}{\sqrt{h_s b_s}} \quad (32)$$

3 地形因子(Topographic multiplier, M_t)： M_t 依上風區地形起伏變化，規範中定義公式計算之。

2-4.4 氣動力外形因子

氣動力外形因子(Aerodynamic shape factor, C_{fig})代表建物或結構構件表面所承受之風壓力作用。規範中對於封閉式建築物、圓形建物、獨立牆、招牌、結構構件及中空塔架等均有相關的 C_{fig} 計算方法提出，計算中所需之外壓係數或內壓係數則以圖解配合查表方式說明。

2-4.5 動力反應因子

動力反應因子(Dynamic response factor, C_{dyn})主要依據結構物之第一模態自然頻率而定，說明如下：

1. 自然頻率大於 1.0， $C_{dyn}=1.0$
2. 自然頻率小於 1.0：
 - (1)高層建築及高塔：自然頻率小於 0.2，則非本規範涵蓋範圍；自然頻率介於 0.2 至 1.0 之間，規範提供順風向及橫風向之動力反應因子。
 - (2)懸臂式屋頂：自然頻率小於 0.5，則非本規範涵蓋範圍；自然頻率介於 0.5 至 1.0 之間，規範提供相關動力反應因子。

2-4.5.1 高層建築及高塔之順風向動力反應因子

$$C_{dyn} = \frac{1 + 2I_h \left[g_V^2 B_S + \frac{H_S g_R^2 S E_t}{\zeta} \right]^{0.5}}{(1 + 2g_V I_h)} \quad (33)$$

- 其中
- s ：風力作用高度
 - h ：平均屋頂高度
 - I_h ：紊流強度
 - g_V ：尖峰因子，此處取 3.7
 - B_S ：背景反應因子
 - H_S ：高度因子， $H_S=1+(s/h)^2$

g_R ：共振反應因子， $g_R = \sqrt{2 \log_e(600n_c)}$

S ：形狀折減因子

E_t ：紊流頻譜值乘以 $(\pi/4)$

ζ ：結構阻尼比

2-4.5.2 高層建築及高塔之橫風向動力反應因子

1. 相當靜載重風力

$$w_{eq}(z) = 0.5 \rho_{air} [V_{des,\theta}]^2 d C_{fig} C_{dyn} \quad (34)$$

$$(C_{fig} C_{dyn}) = 1.5 g_R \left(\frac{b}{d} \right) \frac{K_m}{(1 + g_V I_h)^2} \left(\frac{z}{h} \right)^k \sqrt{\frac{\pi C_{fs}}{\zeta}} \quad (35)$$

其中 K_m ：橫風向加速度之模態修正因子

C_{fs} ：以線性模態一般化之橫風向風力頻譜係數， C_{fs} 係數主要以(37)式之 V_n 值加以計算。

2. 橫風向傾倒彎矩

$$M_e = 0.5 g_R b \left[\frac{0.5 \rho_{air} [V_{des,\theta}]^2}{(1 + g_V I_h)^2} \right] h^2 \left(\frac{3}{k+2} \right) K_m \sqrt{\frac{\pi C_{fs}}{\zeta}} \quad (36)$$

3. 橫風向風力頻譜係數

$$V_n = \frac{V_{des,\theta}}{n_c b (1 + g_V I_h)} \quad (37)$$

2-4.5.3 煙囪及圓斷面構件之橫風向動力反應因子

1. 橫風向頂點位移

$$y_{max} = K b_t / S_C \quad (38)$$

其中 K ：最大頂點位移因子，圓斷面時取 0.5

b_t ：頂部三分之一部份之平均寬度

S_C ：Scruton number， $S_C = 4\pi m_t \zeta / (\rho_{air} b^2)$

2. 相當靜載重風力

$$w_{eq}(z) = m(z)(2\pi n_1)^2 y_{\max} \Phi_1(z) \quad (39)$$

其中 $m(z)$ ：隨高度 z 變化之單位高度平均質量

n_1 ：第一模態之自然頻率(Hz)

$\Phi_1(z)$ ：第一模態

2-4.6 順風向及橫風向反應之合併

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{a,m} + [\varepsilon_{a,p}^2 + \varepsilon_{c,p}^2]^{0.5} \quad (40)$$

其中 $\varepsilon_{a,m}$ ：順風向平均反應作用因子，其值可以下式計算，

$\varepsilon_{a,m} = \varepsilon_{a,p} / [C_{dyn}(1 + 2g_V I_h)]$ ，同時式中 $[C_{dyn}(1 + 2g_V I_h)]$ 亦即為陣風因子 G 。

$\varepsilon_{a,p}$ ：順風向尖峰反應作用因子

$\varepsilon_{c,p}$ ：橫風向尖峰反應作用因子

2-5 美國風力規範

美國之風力規範於前一年度之計畫中已加以研究，但本年度 ASCE 推出「Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI/ASCE7-02」新版規範，本研究亦一併加以討論比較與前一版本規範之差異。

1. 基本設計風速：地況 C 中，高度 10 公尺處之三秒陣風，維持與 ANSI/ASCE7-98 相同。
2. 建議之設計方法亦維持三種，簡化設計法、解析設計法及風洞試驗等三種。

以下就三種方法中較大的改變之處提出說明：

2-5.1 簡化設計法

第一種簡化設計法適用對象包括主要抗風結構系統(main wind

force-resisting system)與部件及外殼(components and cladding)兩大類。在主要抗風結構系統分類中直接指出用於低層建築(low-rise buildings)，套用低層建築的定義而不再以屋頂高度規範。簡化設計法之設計風力包括針對主要抗風結構系統與部件及外殼兩種方法，分述如下：

1. 主要抗風結構系統之設計風壓：

$$p_s = \lambda I p_{s30} \quad (41)$$

其中 λ ：建築物高度與地況之調整因子

I ：用途係數

p_{s30} ：地況 B、高度 30 英尺、 $I=1.0$ 時的簡化設計風壓

2. 部件及外殼之淨設計風壓：

$$p_{net} = \lambda I p_{net30} \quad (41)$$

其中 p_{net30} ：地況 B、高度 30 英尺、 $I=1.0$ 時的簡化淨設計風壓。

2-5.2 解析設計法

第二種解析設計法適用對象包括主要抗風結構系統與部件及外殼兩大類，適用範圍與 ANSI/ASCE7-98 類似。

1. 地況分類中保留地況 B、C、D，地況 A 似已加以取消，地況 B 上游區域須符合地況 B 條件 800 公尺以上(ASCE7-98 為 460 公尺)，地況 D 由海岸起算延伸至內陸 200 公尺 (ASCE7-98 為 460 公尺)。其餘有關各地況之物理性質定義均未改變。
2. 地形影響因子計算方式不變
3. 有關設計風力之計算公式與程序不變
4. 部份載重的考慮：為將扭矩影響性納入考慮，在 ASCE7-98 中建議四種不同的載重作用模式進行分析，ASCE7-02 則建議包含偏心的四種載重作用模式進行分析，偏心距公式如下：

$$e = \frac{e_Q + 1.7I_z \sqrt{(g_Q Q e_Q)^2 + (g_R R e_R)^2}}{1.7I_z \sqrt{(g_Q Q)^2 + (g_R R)^2}} \quad (42)$$

其中 e_Q ：規範所建議之剛性建築物偏心距
 e_R ：建築物勁度中心與質量偏心的距離

2-5.3 風洞試驗法

利用風洞試驗以決定設計風載重的相關規定並未改變。

2-6 不同規範設計風載重計算之比較

2-6.1 中層建築物風載重計算

本研究採蔡益超教授有關風力規範研究報告中之設計示範例，分別以加拿大之風力規範「National Building Code of Canada 1995」(NBC1995)、英國之風力規範 BSI 之「Loading for Buildings — Part 2 : Code of practice for wind loads」(BS 6399-2 : 1997)、紐澳之風力規範「AS/NZS 1170.2 2002」等建議之設計方式加以分析比較。

目標建築物為坐落於台北市，地上 16 層、地下三層屋突 3 層之集合住宅，建築物寬度及深度均採 24.9 公尺，各樓高度如計算成果表中所示。結構系統為 RC 韌性立體剛性構架。本建築物屬封閉式建築物，地況種類為地況 B，基本設計風速為 $V_{10}(c)=39.93\text{m/sec}$ ，用途係數 $I=1.0$ ，結構基本振動週期 $T_x=T_y=2.2179\text{ sec}$ ， $T_z=1.8658\text{ sec}$ 。

I. 依 NBC1995 規範設計

NBC1995 規範中基本設計風速採用小時平均風速，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知 $V_3 / V_{3600} = 1.07$ ，所以本例計算中採用的基本設計風速 $V = V_{10}(c) \times \frac{1}{1.07} = 39.93 \times \frac{1}{1.07} = 37.32\text{ m/sec}$ 。

本範例採用 NBC1995 規範中之 Detail procedure 進行計算，地況採用

B 類

一、順風向風力計算

風壓 $p = qC_e C_g C_p$ ，首先決定計算式中各項係數，

1. C_e 部份：

$$C_e = 0.5 \left(\frac{z}{12.7} \right)^{0.5}, \quad z \text{ 為各高度層距地面高度}$$

$$\text{頂點 } C_{eH} = 0.5 \left(\frac{H}{12.7} \right)^{0.5} = 0.5 \left(\frac{59}{12.7} \right)^{0.5} = 1.08$$

$$\text{頂點風速 } V_H = \bar{V} \sqrt{C_{eH}} = 37.32 \times \sqrt{1.08} = 38.74 \text{ m/sec}$$

2. C_g 部份：

基地屬地況 B， $K=0.1$

建築物寬高比 $W/H = 24.9/59 = 0.422$ ，查規範之 fig. B-3 得 $B=0.92$

建築物自然頻率 $n_0 = 1/T_x = 1/2.2179 = 0.45 \text{ Hz}$ ， $\frac{n_0 H}{V_H} = \frac{0.45 \times 59}{38.74} = 0.685$

查規範之 fig. B-4 得 $s=0.11$

$\frac{n_0}{V_H} = 0.012$ ，查規範之 fig. B-5 得 $F=0.17$

建築物為鋼筋混凝土建築，臨界阻尼比 $\beta = 0.02$

$$\therefore \frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{K}{C_{eH}} \left(B + \frac{sF}{\beta} \right)} = \sqrt{\frac{0.1}{1.08} \left(0.92 + \frac{0.11 \times 0.17}{0.02} \right)} = 0.414$$

$$v = n_0 \sqrt{\frac{sF}{sF + \beta B}} = 0.45 \times \sqrt{\frac{0.11 \times 0.17}{0.11 \times 0.17 + 0.02 \times 0.92}} = 0.319$$

查規範之 fig. B-6 得 $g_p=3.9$

$$\therefore C_g = 1 + g_p \left(\frac{\sigma}{\mu} \right) = 1 + 3.907 \times 0.414 = 2.617$$

3. C_p 部份：

依規範之 fig. B-14 取迎風面之外壓係數為 0.8、背風面之外壓係數為 -0.5，因此順風向風壓係數 $C_p=0.8-(-0.5)=1.3$

$$4. \text{風壓 } q = C \cdot \bar{V}^2 = 650 \times 10^{-6} \times \bar{V}^2 = 650 \times 10^{-6} \times 37.32^2 = 0.9053 \text{ kPa} = 92.28 \text{ kgf/m}^2$$

因此設計風壓 $p = qC_e C_g C_p = 92.28 \times 0.5 \times \left(\frac{z}{12.7}\right)^{0.5} \times 2.617 \times 1.3 \text{ kgf/m}^2$

計算範例各高度層順風向設計風力如下表所示：

樓層名稱	受風面積 (m^2)	高程(m)	順風向風壓 (kgf/m^2)	順風向風力 (kgf)
PHRF	13.35	59	338.45	4518.25
PH3	26.7	56	329.73	8803.77
PH2	26.7	53	320.78	8564.71
ROOF	50.7	50	311.56	15796.33
16FL	74.7	47	302.07	22564.87
15FL	74.7	44	292.27	21832.84
14FL	74.7	41	282.13	21075.40
13FL	74.7	38	271.62	20289.71
12FL	74.7	35	260.67	19472.33
11FL	74.7	32	249.25	18619.11
10FL	74.7	29	237.28	17724.86
9FL	74.7	26	224.67	16783.04
8FL	74.7	23	211.31	15785.12
7FL	74.7	20	197.05	14719.70
6FL	74.7	17	181.67	13570.89
5FL	74.7	14	164.86	12315.38
4FL	74.7	11	146.14	10916.42
3FL	74.7	8	124.63	9309.56
2FL	75	5	98.53	7389.41
總計				280.05 ton

II. 依 BS6399-2:1997 規範設計

BS6399-2:1997 規範中基本設計風速採用小時平均風速，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知 $\frac{V_3}{V_{3600}} = 1.07$ ，所以本範例計算中採用的基本設計風速為

$$V = V_{10}(c) \times \frac{1}{1.07} = 39.93 \times \frac{1}{1.07} = 37.32 \text{ m/sec}。$$

本範例採用 BS6399-2:1997 規範中之 Standard method 進行計算，地況採用 B 類，依規範計算各項係數如下：

$$\text{dynamic pressure } q_s = 0.613V_e^2$$

$$\text{淨風壓 } p = q_s \times C_a \times (C_{pe} - C_{pi})$$

$$\text{受風面上對角線長 } a = \sqrt{24.9^2 + 59^2} = 64.04 \text{ m}$$

本範例基地位置位於台北市，假設其距海岸距離介於 10~100 公里間，且海拔高度取 50 公尺，由規範中 Fig.4 知屬於 A 類，其 $C_a=0.84$

$$\therefore V_e = V_s \times S_b，\text{ 而 } V_s = V_b \times S_a \times S_d \times S_s \times S_p$$

取基本風速 $V_b = 37.32 \text{ m/sec}$ ，有效高度 H_e 取建築物屋頂高度 59 公尺，查規範中 Table 4，得 $S_b=2.04$

$$S_a = 1 + 0.001\Delta_s = 1 + 0.001 \times 50 = 1.05，S_d、S_s \text{ 及 } S_p \text{ 皆採 } 1.0$$

$$\therefore V_s = V_b \times S_a \times S_d \times S_s \times S_p = 37.32 \times 1.05 \times 1 \times 1 \times 1 = 39.186$$

$$\text{有效風速 } V_e = V_s \times S_b = 39.186 \times 2.04 = 79.94$$

$$q_s = 0.613V_e^2 = 3917.26 \text{ Pa} = 399 \text{ kgf/m}^2$$

建築物寬高比 $D/H=24.9/59 < 1$ ， C_p 值採用 1.2

$$\text{順風向風壓 } p = q_s \times C_a \times C_p = 399 \times 0.84 \times 1.2 = 402 \text{ kgf/m}^2$$

順風向風力計算如下表所示：

樓層名稱	受風面積 (m^2)	z	順風向風壓 (Pa)	順風向風力 (kgf)
PHRF	13.35	59	3948.60	5373.48
PH3	26.7	56	3948.60	10746.96
PH2	26.7	53	3948.60	10746.96
ROOF	50.7	50	3948.60	20407.14
16FL	74.7	47	3948.60	30067.33
15FL	74.7	44	3948.60	30067.33
14FL	74.7	41	3948.60	30067.33

13FL	74.7	38	3948.60	30067.33
12FL	74.7	35	3948.60	30067.33
11FL	74.7	32	3948.60	30067.33
10FL	74.7	29	3948.60	30067.33
9FL	74.7	26	3948.60	30067.33
8FL	74.7	23	3948.60	30067.33
7FL	74.7	20	3948.60	30067.33
6FL	74.7	17	3948.60	30067.33
5FL	74.7	14	3948.60	30067.33
4FL	74.7	11	3948.60	30067.33
3FL	74.7	8	3948.60	30067.33
2FL	75	5	3948.60	30188.08
總和	1238.25m ²			498.41 ton

III. 依 AS/NZS 1170.2 2002 規範設計

AS/NZS 1170.2 2002 規範中分析步驟如下：

Step1. 決定基地風速

Step2. 決定設計風速

Step3. 決定設計風壓

Step4. 計算風力作用

以下依此步驟進行計算：

1. 決定基地風速

$$V_{sit,\beta} = V_R M_d (M_{z,cat} M_S M_t)$$

區域設計風速(regional wind speed, V_R)採用 3 秒陣風，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知 $\frac{V_3}{V_{3600}} = 1.07$ 、 $\frac{V_{600}}{V_{3600}} = 1.52$ ，所以本範例計算中採用的區域設計風速為 $V_R = V_{10}(c) \times 1.52 \times \frac{1}{1.07} = 39.93 \times 1.52 \times \frac{1}{1.07} = 56.72 \text{ m/sec}$ 。

M_d 取 1.0

$M_{z,cat}$ 依規範中 Table 4.1(a)採用市郊、category 3，z 取 59m，內插得

$$M_{z,cat}=1.088$$

$$M_S \text{ 取 } 1.0$$

$$M_t \text{ 取 } 1.0$$

$$\therefore V_{sit,\beta} = V_R M_d (M_{z,cat} M_S M_t) = 56.72 \times 1.0 \times (1.088 \times 1.0 \times 1.0) = 61.71 \text{ m/sec}$$

2. 決定設計風速

$$V_{des,\theta} \text{ 取與 } V_{sit,\beta} \text{ 相同, } \therefore V_{des,\theta} = 61.71 \text{ m/sec}$$

3. 決定設計風壓

設計風壓以 $p = 0.5 \rho_{air} [V_{des,\theta}]^2 C_{fig} C_{dyn}$ 計算

(1) C_{fig} 的計算：

對於封閉式建築物：

$$\text{外壓之 } C_{fig} = C_{P,e} K_a K_c K_l K_p$$

$$\text{內壓之 } C_{fig} = C_{P,i} K_c$$

依規範 Table 5.2(A)，取屋頂風速為參考風速時，

$$C_{P,e} = \begin{cases} 0.8, & h > 25\text{m} \\ 0.7, & h < 25\text{m} \end{cases}$$

K_a 依規範 Table 5.4 取 0.8， K_c 依規範 Table 5.5 取 1.0

K_l 與 K_p 取 1.0

$$\text{外壓 } C_{fig} = 0.8 \times 0.8 \times 1 \times 1 = 0.64$$

$$\text{內壓之 } C_{P,i} \text{ 取 } -0.3, \therefore C_{fig} = -0.3 \times 1 = -0.3$$

$$\text{設計風壓所採用的 } C_{fig} = 0.64 - (-0.3) = 0.94$$

(2) C_{dyn} 的計算：

$$T_x = 2.2179 \text{ sec}, n_x = 0.45 \text{ Hz}, \text{ 介於 } 1 \sim 0.2 \text{ 之間}$$

(A) 順風向風載重計算：

$$C_{dyn} = \frac{1 + 2I_h [g_v^2 B_s + \frac{H_s g_R^2 S E_t}{\zeta}]^{0.5}}{(1 + 2g_v I_h)}$$

h 取 59m， g_v 取 3.7， s 表各樓層高度，由規範 Table 6.1， $l_h = 0.184$

$$B_s = \frac{1}{1 + \frac{[36(h-s)^2 + 64b_{sh}^2]^{0.5}}{L_h}} \text{ 隨 } s \text{ 而變, 於表中計算:}$$

$$L_h = 85\left(\frac{h}{10}\right)^{0.25} = 132.47m, b_{sh}=24.9m$$

$$H_s=1+(s/h)^2$$

$$\text{尖峰因子 } g_R = \sqrt{2\ln(600n_c)} = 3.346$$

$$S = \frac{1}{\left[1 + \frac{3.5n_a h(1+g_v I_h)}{V_{des,\theta}}\right] \left[1 + \frac{4n_a b_{sh}(1+g_v I_h)}{V_{des,\theta}}\right]} = \frac{1}{[1+2.53][1+1.22]} = 0.128$$

$$\therefore E_t = \frac{\pi N}{(1+70.8N^2)^{5/6}}$$

$$\text{其中 } N = n_a L_h [1+(g_v I_h)] / V_{des,\theta} = 1.624$$

$$\therefore E_t = \frac{\pi \times 1.624}{(1+70.8 \times 1.624^2)^{5/6}} = 0.065$$

列表計算各高度層的 C_{dyn} 與 p 。

(B)橫風向相當靜載重：

$$\text{橫風向相當靜載重 } w_{eq}(z) = 0.5\rho_{air} [V_{des,\theta}]^2 dC_{fig} C_{dyn}$$

$$(C_{fig} C_{dyn}) = 1.5g_R \left(\frac{b}{d}\right) \frac{K_m}{(1+g_v I_h)^2} \left(\frac{z}{h}\right)^k \sqrt{\frac{\pi C_{fs}}{\zeta}}$$

$$\text{其中 } k=1.0, K_m=0.76+0.24k=1.0$$

$$V_n = \frac{V_{des,\theta}}{n_c b(1+g_v I_h)} = \frac{61.71}{0.45 \times 24.9(1+3.7 \times 0.18)} = 3.306$$

以規範中 3:1:1 建築物模擬，

$$\log_{10} C_{fs} = 0.000353V_n^4 - 0.0134V_n^3 + 0.15V_n^2 - 0.345V_n - 3.109 = -3.052$$

$$\therefore C_{fs} = 8.87 \times 10^{-4}$$

$$\therefore (C_{fig} C_{dyn}) = 1.5 \times 3.346 \left(\frac{24.9}{24.9}\right) \frac{1}{(1+3.7 \times 0.18)^2} \left(\frac{z}{59}\right)^{1.0} \sqrt{\frac{\pi \times 8.87 \times 10^{-4}}{0.02}}$$

列表計算各高度層的 $w_{eq}(z)$ 。

(C)橫風向傾倒彎矩計算：

$$\text{橫風向傾倒彎矩 } M_c = 0.5g_R b \left[\frac{0.5\rho_{air} [V_{des,\theta}]^2}{(1+g_v I_h)^2} \right] h^2 \left(\frac{3}{k+2}\right) K_m \sqrt{\frac{\pi C_{fs}}{\zeta}}$$

其中使用之係數已於前節計算中推得，可計算：

$$M_c = 0.5 \times 3.7 \times 24.9 \times \left[\frac{0.5 \times 1.125 \times 61.71^2}{(1 + 3.7 \times 0.18)^2} \right] \times h^2 \times \left(\frac{3}{k+2} \right) K_m \sqrt{\frac{\pi \times 8.87 \times 10^{-4}}{0.02}}$$

$$= 46193454.81 N \cdot m = 4708.8 t \cdot m$$

綜合以上風力計算推導並利用 Excel 計算，成果如下表所示：

樓層 名稱	受風 面積	z (m)	順風向風壓 (Pa)	順風向風力 (kgf)	橫風向風壓 (Pa)	橫風向風力 (kgf)
PHRF	13.35	59	2200.09	2994.00	8613.72	11722.04
PH3	26.7	56	2179.30	5931.42	4087.87	11126.00
PH2	26.7	53	2158.08	5873.68	3868.88	10529.97
ROOF	50.7	50	2136.52	11041.93	1922.13	9933.93
16FL	74.7	47	2114.71	16102.87	1226.3	9337.89
15FL	74.7	44	2092.83	15936.25	1148.03	8741.86
14FL	74.7	41	2071.05	15770.41	1069.75	8145.82
13FL	74.7	38	2049.56	15606.75	991.478	7549.79
12FL	74.7	35	2028.54	15446.69	913.203	6953.75
11FL	74.7	32	2008.16	15291.52	834.929	6357.72
10FL	74.7	29	1988.59	15142.47	756.654	5761.68
9FL	74.7	26	1969.96	15000.62	678.379	5165.64
8FL	74.7	23	1786.24	13601.66	600.105	4569.61
7FL	74.7	20	1771.26	13487.60	521.83	3973.57
6FL	74.7	17	1757.46	13382.47	443.556	3377.54
5FL	74.7	14	1744.90	13286.85	365.281	2781.50
4FL	74.7	11	1733.66	13201.28	287.006	2185.46
3FL	74.7	8	1723.80	13126.18	208.732	1589.43
2FL	75	5	1715.36	13114.37	3248.40	1655.66
總和				243.34 ton		121.46 ton

2-6.2 高層建築物風載重計算

目標建築物為坐落於高雄市，地上 52 層之封閉式高層建築，結構系統採鋼構造。地況種類為地況 B，基本設計風速為 $V_{10}(c)=37.91\text{m/sec}$ ，用途係數 $I=1.0$ ，結構基本振動週期 $T_x=T_y=5\text{ sec}$ ， $T_z=3.5\text{ sec}$ ，結構之阻尼比為 1.5%。分別以國內規範、ANSI/ASCE 7-98、AIJ 1993 等建議之設計方式加以分析比較。

I. 依 NBC1995 規範設計

NBC1995 規範中基本設計風速採用小時平均風速，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知 $V_3 / V_{3600} = 1.07$ ，所以本例計算中採用的基本設計風速 $V=V_{10}(c) \times \frac{1}{1.07} = 37.91 \times \frac{1}{1.07} = 35.43\text{ m/sec}$ 。

本範例採用 NBC1995 規範中之 Detail procedure 進行計算，地況採用 B 類

一、順風向風力計算

風壓 $p = qC_e C_g C_p$ ，首先決定計算式中各項係數，

1. C_e 部份：

$C_e = 0.5 \left(\frac{z}{12.7} \right)^{0.5}$ ， z 為各高度層距地面高度

頂點 $C_{eH} = 0.5 \left(\frac{H}{12.7} \right)^{0.5} = 0.5 \left(\frac{158}{12.7} \right)^{0.5} = 1.764$

頂點風速 $V_H = \bar{V} \sqrt{C_{eH}} = 35.43 \times \sqrt{1.764} = 47.06\text{m/sec}$

2. C_g 部份：

基地屬地況 B， $K=0.1$

建築物寬高比 $W/H = 40/158 = 0.0253$ ，查規範之 fig. B-3 得 $B=0.63$

建築物自然頻率 $n_0 = 1/T_x = 1/5 = 0.2\text{Hz}$ ， $\frac{n_0 H}{V_H} = \frac{0.2 \times 158}{47.06} = 0.671$

查規範之 fig. B-4 得 $s=0.15$

$$\frac{n_0}{V_H} = 0.0042, \text{ 查規範之 fig. B-5 得 } F=0.3$$

建築物為鋼筋混凝土建築，臨界阻尼比 $\beta = 0.015$

$$\therefore \frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{K}{C_{eH}} \left(B + \frac{sF}{\beta} \right)} = \sqrt{\frac{0.1}{1.764} \left(0.63 + \frac{0.15 \times 0.3}{0.015} \right)} = 0.4536$$

$$v = n_0 \sqrt{\frac{sF}{sF + \beta B}} = 0.2 \times \sqrt{\frac{0.15 \times 0.3}{0.15 \times 0.3 + 0.015 \times 0.63}} = 0.182$$

查規範之 fig. B-6 得 $g_p=3.75$

$$\therefore C_g = 1 + g_p \left(\frac{\sigma}{\mu} \right) = 1 + 3.75 \times 0.4536 = 2.706$$

3. C_p 部份：

依規範之 fig. B-14 取迎風面之外壓係數為 0.8、背風面之外壓係數為 -0.5，因此順風向風壓係數 $C_p=0.8-(-0.5)=1.3$

$$4. \text{風壓 } q = C \cdot \bar{V}^2 = 650 \times 10^{-6} \times \bar{V}^2 = 650 \times 10^{-6} \times 35.43^2 = 0.8159 \text{ kPa} = 83.17 \text{ kgf/m}^2$$

$$\text{因此設計風壓 } p = q C_e C_g C_p = 83.17 \times 0.5 \times \left(\frac{z}{12.7} \right)^{0.5} \times 2.706 \times 1.3 \text{ kgf/m}^2$$

計算範例各高度層順風向設計風力如下表所示：

樓層名稱	受風面積 (m^2)	高程(m)	順風向風壓 (kgf/m^2)	順風向風力 (kgf)
ROOF	120	158	515.98	61917.10
52FL	120	155	511.05	61326.46
51FL	120	152	506.08	60730.08
50FL	120	149	501.06	60127.78
49FL	120	146	495.99	59519.39
48FL	120	143	490.87	58904.72
47FL	120	140	485.70	58283.56
46FL	120	137	480.46	57655.71
45FL	120	134	475.17	57020.95
44FL	120	131	469.83	56379.04

43FL	120	128	464.41	55729.74
42FL	120	125	458.94	55072.79
41FL	120	122	453.40	54407.90
40FL	120	119	447.79	53734.79
39FL	120	116	442.11	53053.14
38FL	120	113	436.36	52362.61
37FL	120	110	430.52	51662.86
36FL	120	107	424.61	50953.49
35FL	120	104	418.62	50234.11
34FL	120	101	729.87	87584.50
33FL	120	98	1031.54	123784.34
32FL	120	95	1323.39	158806.76
31FL	120	92	1605.19	192623.16
30FL	120	89	1876.69	225203.05
29FL	120	86	2137.62	256513.84
28FL	120	83	2387.67	286520.60
27FL	120	80	2626.55	315185.81
26FL	120	77	2853.91	342469.03
25FL	120	74	3069.39	368326.54
24FL	120	71	3272.59	392710.94
23FL	120	68	3463.09	415570.60
22FL	120	65	3640.41	436849.09
21FL	120	62	3804.04	456484.45
20FL	120	59	3953.40	474408.35
19FL	120	56	4087.87	490544.98
18FL	120	53	4206.75	504809.76
17FL	120	50	4309.23	517107.73
16FL	120	47	4394.43	527331.46
15FL	120	44	4461.32	535358.44
14FL	120	41	4508.73	541047.64

13FL	120	38	4535.29	544234.96
12FL	120	35	4539.39	544727.14
11FL	120	32	4519.11	542293.28
10FL	120	29	4472.11	536652.88
9FL	120	26	4395.48	527458.18
8FL	120	23	4285.56	514267.49
7FL	120	20	4137.52	496502.38
6FL	120	17	3944.80	473375.53
5FL	120	14	3697.99	443758.89
4FL	120	11	3382.64	405917.32
3FL	120	8	2974.04	356884.71
2FL	120	5	2421.79	290614.87
總計				1467.38 ton

II. 依 BS6399-2:1997 規範設計

BS6399-2:1997 規範中基本設計風速採用小時平均風速，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知 $\frac{V_3}{V_{3600}} = 1.07$ ，所以本範例計算中採用的基本設計風速為 $V = V_{10}(c) \times \frac{1}{1.07} = 37.91 \times \frac{1}{1.07} = 35.43 \text{ m/sec}$ 。

本範例採用 BS6399-2:1997 規範中之 Standard method 進行計算，地況採用 B 類，依規範計算各項係數如下：

$$\text{dynamic pressure } q_s = 0.613V_e^2$$

$$\text{淨風壓 } p = q_s \times C_a \times (C_{pe} - C_{pi})$$

$$\text{受風面上對角線長 } a = \sqrt{40^2 + 158^2} = 162.98\text{m}$$

本範例基地位置位於台北市，假設其距海岸距離介於 10~100 公里間，且海拔高度取 50 公尺，由規範中 Fig.4 知屬於 A 類，其 $C_a=0.78$

$$\therefore V_e = V_s \times S_b, \text{ 而 } V_s = V_b \times S_a \times S_d \times S_S \times S_p$$

取基本風速 $V_b = 35.43\text{m/sec}$ ，有效高度 H_e 取建築物屋頂高度 158 公

尺，查規範中 Table 4，得 $S_b=2.12$

$$S_a = 1 + 0.001\Delta_s = 1 + 0.001 \times 50 = 1.05, S_d、S_s \text{ 及 } S_p \text{ 皆採 } 1.0$$

$$\therefore V_s = V_b \times S_a \times S_d \times S_s \times S_p = 35.43 \times 1.05 \times 1 \times 1 \times 1 = 37.2$$

$$\text{有效風速 } V_e = V_s \times S_b = 37.2 \times 2.12 = 78.87$$

$$q_s = 0.613V_e^2 = 3812.86 Pa = 388.67 kgf/m^2$$

建築物寬高比 $D/H=40/158 < 1$ ， C_p 值採用 1.2

$$\text{順風向風壓 } p = q_s \times C_a \times C_p = 388.67 \times 0.78 \times 1.2 = 363.8 kgf/m^2$$

順風向風力計算如下表所示：

樓層名稱	受風面積 (m^2)	z	順風向風壓 (Pa)	順風向風力 (kgf)
ROOF	120	158	3568.84	43655.49
52FL	120	155	3568.84	43655.49
51FL	120	152	3568.84	43655.49
50FL	120	149	3568.84	43655.49
49FL	120	146	3568.84	43655.49
48FL	120	143	3568.84	43655.49
.....
8FL	120	23	3568.84	43655.49
7FL	120	20	3568.84	43655.49
6FL	120	17	3568.84	43655.49
5FL	120	14	3568.84	43655.49
4FL	120	11	3568.84	43655.49
3FL	120	8	3568.84	43655.49
2FL	120	5	3568.84	43655.49
總和	6240 m^2			2270.09 ton

III. 依 AS/NZS 1170.2 2002 規範設計

AS/NZS 1170.2 2002 規範中分析步驟如下：

Step1. 決定基地風速

Step2. 決定設計風速

Step3. 決定設計風壓

Step4. 計算風力作用

以下依此步驟進行計算：

1. 決定基地風速

$$V_{sit,\beta} = V_R M_d (M_{z,cat} M_S M_t)$$

區域設計風速(regional wind speed, V_R)採用 3 秒陣風，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知 $\frac{V_3}{V_{3600}} = 1.07$ 、

$\frac{V_{600}}{V_{3600}} = 1.52$ ，所以本範例計算中採用的區域設計風速為

$$V_R = V_{10}(c) \times 1.52 \times \frac{1}{1.07} = 37.91 \times 1.52 \times \frac{1}{1.07} = 53.83 \text{ m/sec}。$$

M_d 取 1.0

$M_{z,cat}$ 依規範中 Table 4.1(a)採用市郊、category 3，z 取 158m，內插得

$$M_{z,cat} = 1.21$$

M_S 取 1.0

M_t 取 1.0

$$\therefore V_{sit,\beta} = V_R M_d (M_{z,cat} M_S M_t) = 53.83 \times 1.0 \times (1.21 \times 1.0 \times 1.0) = 65.14 \text{ m/sec}$$

2. 決定設計風速

$$V_{des,\theta} \text{ 取與 } V_{sit,\beta} \text{ 相同，} \therefore V_{des,\theta} = 65.14 \text{ m/sec}$$

3. 決定設計風壓

設計風壓以 $p = 0.5 \rho_{air} [V_{des,\theta}]^2 C_{fig} C_{dyn}$ 計算

(1) C_{fig} 的計算：

對於封閉式建築物：

$$\text{外壓之 } C_{fig} = C_{P,e} K_a K_c K_l K_p$$

$$\text{內壓之 } C_{fig} = C_{P,i} K_c$$

依規範 Table 5.2(A)，取屋頂風速為參考風速時，

$$C_{P,e} = \begin{cases} 0.8, & h > 25m \\ 0.7, & h < 25m \end{cases}$$

K_a 依規範 Table 5.4 取 0.8, K_c 依規範 Table 5.5 取 1.0

K_l 與 K_p 取 1.0

外壓 $C_{fig} = 0.8 \times 0.8 \times 1 \times 1 = 0.64$

內壓之 C_{Pi} 取 -0.3, $\therefore C_{fig} = -0.3 \times 1 = -0.3$

設計風壓所採用的 $C_{fig} = 0.64 - (-0.3) = 0.94$

(2) C_{dyn} 的計算：

$T_x = 5 \text{ sec}$, $n_x = 0.2 \text{ Hz}$, 介於 1~0.2 之間

(A) 順風向風載重計算：

$$C_{dyn} = \frac{1 + 2I_h \left[g_v^2 B_s + \frac{H_s g_R^2 S E_t}{\zeta} \right]^{0.5}}{(1 + 2g_v I_h)}$$

h 取 158m, g_v 取 3.7, s 表各樓層高度, 由規範 Table 6.1, $l_h = 0.15$

$B_s = \frac{1}{1 + \frac{[36(h-s)^2 + 64b_{sh}^2]^{0.5}}{L_h}}$ 隨 s 而變, 於表中計算：

$$L_h = 85 \left(\frac{h}{10} \right)^{0.25} = 169.47 \text{ m}, b_{sh} = 40 \text{ m}$$

$$H_s = 1 + (s/h)^2$$

尖峰因子 $g_R = \sqrt{2 \ln(600n_c)} = 3.094$

$$S = \frac{1}{\left[1 + \frac{3.5n_a h (1 + g_v I_h)}{V_{des,\theta}} \right] \left[1 + \frac{4n_a b_{sh} (1 + g_v I_h)}{V_{des,\theta}} \right]} = \frac{1}{[1 + 2.64][1 + 1.764]} = 0.099$$

$$\therefore E_t = \frac{\pi N}{(1 + 70.8 N^2)^{5/6}}$$

其中 $N = n_a L_h [1 + (g_v I_h)] / V_{des,\theta} = 0.809$

$$\therefore E_t = \frac{\pi \times 0.809}{(1 + 70.8 \times 0.809^2)^{5/6}} = 0.102$$

列表計算各高度層的 C_{dyn} 與 p 。

(B) 橫風向相當靜載重：

橫風向相當靜載重 $w_{eq}(z) = 0.5 \rho_{air} [V_{des,\theta}]^2 dC_{fig} C_{dyn}$

$$(C_{fig} C_{dyn}) = 1.5 g_R \left(\frac{b}{d}\right) \frac{K_m}{(1 + g_v I_h)^2} \left(\frac{z}{h}\right)^k \sqrt{\frac{\pi C_{fs}}{\zeta}}$$

其中 $k=1.0$, $K_m=0.76+0.24k=1.0$

$$V_n = \frac{V_{des,\theta}}{n_c b(1 + g_v I_h)} = \frac{65.14}{0.2 \times 40(1 + 3.7 \times 0.15)} = 5.236$$

以規範中 3:1:1 建築物模擬，

$$\log_{10} C_{fs} = 0.000353V_n^4 - 0.0134V_n^3 + 0.15V_n^2 - 0.345V_n - 3.109 = -2.461$$

$$\therefore C_{fs} = 3.457 \times 10^{-3}$$

$$\therefore (C_{fig} C_{dyn}) = 1.5 \times 3.094 \left(\frac{40}{40}\right) \frac{1}{(1 + 3.7 \times 0.15)^2} \left(\frac{z}{158}\right)^{1.0} \sqrt{\frac{\pi \times 3.457 \times 10^{-3}}{0.015}}$$

列表計算各高度層的 $w_{eq}(z)$ 。

(C)橫風向傾倒彎矩計算：

$$\text{橫風向傾倒彎矩 } M_c = 0.5 g_R b \left[\frac{0.5 \rho_{air} [V_{des,\theta}]^2}{(1 + g_v I_h)^2} \right] h^2 \left(\frac{3}{k+2}\right) K_m \sqrt{\frac{\pi C_{fs}}{\zeta}}$$

其中使用之係數已於前節計算中推得，可計算：

$$\begin{aligned} M_c &= 0.5 \times 3.094 \times 40 \times \left[\frac{0.5 \times 1.2 \times 65.14^2}{(1 + 3.7 \times 0.15)^2} \right] \times 158^2 \times \left(\frac{3}{1+2}\right) K_m \sqrt{\frac{\pi \times 3.457 \times 10^{-3}}{0.015}} \\ &= 1.38398 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m} = 141.08 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

綜合以上風力計算推導並利用 Excel 計算，成果如下表所示：

樓層 名稱	受風 面積	z (m)	順風向風壓 (Pa)	順風向風力 (kgf)	橫風向風壓 (Pa)	橫風向風力 (kgf)
ROOF	120	158	2836.95	34702.74	166357.66	50873.90
52FL	120	155	2823.75	34541.28	163198.97	49907.94
51FL	120	152	2810.37	34377.56	160040.28	48941.98
50FL	120	149	2796.80	34211.65	156881.59	47976.02
49FL	120	146	2783.07	34043.71	153722.90	47010.06
48FL	120	143	2769.20	33873.97	150564.21	46044.10
47FL	120	140	2755.20	33702.72	147405.52	45078.14
46FL	120	137	2741.10	33530.31	144246.83	44112.18

45FL	120	134	2726.94	33357.09	141088.14	43146.22
44FL	120	131	2712.75	33183.46	137929.45	42180.26
43FL	120	128	2698.55	33009.80	134770.76	41214.30
42FL	120	125	2684.38	32836.49	131612.07	40248.34
41FL	120	122	2670.27	32663.90	128453.38	39282.38
40FL	120	119	2656.25	32492.37	125294.69	38316.42
39FL	120	116	2642.34	32322.23	122136.00	37350.46
38FL	120	113	2628.57	32153.76	118977.31	36384.50
37FL	120	110	2614.96	31987.25	115818.62	35418.54
36FL	120	107	2601.52	31822.93	112659.93	34452.58
35FL	120	104	2588.29	31661.03	109501.24	33486.62
34FL	120	101	2575.27	31501.74	106342.55	32520.66
33FL	120	98	2562.47	31345.25	103183.86	31554.70
32FL	120	95	2549.92	31191.71	100025.17	30588.74
31FL	120	92	2537.62	31041.27	96866.49	29622.78
30FL	120	89	2525.59	30894.06	93707.80	28656.82
29FL	120	86	2513.83	30750.20	90549.11	27690.86
28FL	120	83	2502.35	30609.80	87390.42	26724.90
27FL	120	80	2491.16	30472.96	84231.73	25758.94
26FL	120	77	2480.28	30339.77	81073.04	24792.98
25FL	120	74	2469.69	30210.33	77914.35	23827.02
24FL	120	71	2459.42	30084.70	74755.66	22861.06
23FL	120	68	2449.47	29962.97	71596.97	21895.10
22FL	120	65	2439.85	29845.21	68438.28	20929.14
21FL	120	62	2430.55	29731.48	65279.59	19963.18
20FL	120	59	2421.59	29621.85	62120.90	18997.22
19FL	120	56	2412.96	29516.39	58962.21	18031.26
18FL	120	53	2404.69	29415.15	55803.52	17065.30
17FL	120	50	2396.76	29318.19	52644.83	16099.34
16FL	120	47	2389.19	29225.56	49486.14	15133.38
15FL	120	44	2381.98	29137.32	46327.45	14167.42

14FL	120	41	2375.12	29053.51	43168.76	13201.46
13FL	120	38	2368.64	28974.19	40010.07	12235.50
12FL	120	35	2362.53	28899.39	36851.38	11269.54
11FL	120	32	2356.78	28829.17	33692.69	10303.58
10FL	120	29	2351.42	28763.55	30534.00	9337.61
9FL	120	26	2346.44	28702.58	27375.31	8371.65
8FL	120	23	2341.83	28646.28	24216.62	7405.69
7FL	120	20	2138.67	26161.10	21057.93	6439.73
6FL	120	17	2135.17	26118.24	17899.24	5473.77
5FL	120	14	2132.02	26079.73	14740.55	4507.81
4FL	120	11	2129.23	26045.60	11581.86	3541.85
3FL	120	8	2126.80	26015.85	8423.17	2575.89
2FL	120	5	2124.72	25990.50	5264.48	2683.22
總和				1592.97		1365.65

2-6.3 招牌結構物設計風力計算

目標建築物假設為坐落於台南地區平坦地形之公路旁大型招牌，招牌本身高 6 公尺、寬 10 公尺、厚 0.6 公尺，裝置於圓柱支撐之上，圓柱之稱直徑 1 公尺、高 16 公尺。設結構之自然頻率為 0.7Hz，阻尼比為 1%。

I. 依 NBC1995 規範分析

NBC1995 規範中基本設計風速採用小時平均風速，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知 $V_{600} / V_{3600} = 1.07$ ，所以本例計算中採用的基本設計風速 $V = V_{10}(c) \times \frac{1}{1.07} = 33.24 \times \frac{1}{1.07} = 31.06 \text{ m/sec}$ 。

本範例採用 NBC1995 規範中之 Detail procedure 進行計算，地況採用 B 類

一、順風向風力計算

風壓 $p = qC_e C_g C_p$ ，首先決定計算式中各項係數，

1. C_e 部份：

$C_e = 0.5 \left(\frac{z}{12.7} \right)^{0.5}$ ，z 為各高度層距地面高度

頂點 $C_{eH} = 0.5 \left(\frac{H}{12.7} \right)^{0.5} = 0.5 \left(\frac{22}{12.7} \right)^{0.5} = 0.658$

頂點風速 $V_H = \bar{V} \sqrt{C_{eH}} = 31.06 \times \sqrt{0.658} = 25.19 \text{ m/sec}$

2. C_g 部份：

基地屬地況 C，K=0.1

建築物寬高比 $W/H = 10/22 = 0.454$ ，查規範之 fig. B-3 得 B=1.22

建築物自然頻率 $n_0 = 0.7 \text{ Hz}$ ， $\frac{n_0 H}{V_H} = \frac{0.7 \times 22}{25.19} = 0.611$

查規範之 fig. B-4 得 s=0.1

$\frac{n_0}{V_H} = 0.0278$ ，查規範之 fig. B-5 得 F=0.095

建築物臨界阻尼比 $\beta = 0.01$

$$\therefore \frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{K}{C_{eH}} \left(B + \frac{sF}{\beta} \right)} = \sqrt{\frac{0.14}{0.658} \left(1.22 + \frac{0.11 \times 0.095}{0.01} \right)} = 0.694$$

$$v = n_0 \sqrt{\frac{sF}{sF + \beta B}} = 0.7 \times \sqrt{\frac{0.11 \times 0.095}{0.11 \times 0.095 + 0.01 \times 1.22}} = 0.475$$

查規範之 fig. B-6 得 $g_p = 4.0$

$$\therefore C_g = 1 + g_p \left(\frac{\sigma}{\mu} \right) = 1 + 4 \times 0.694 = 3.776$$

3. C_p 部份：

依規範之 fig. B-17 取風壓係數為 1.15

4. 風壓

$$q = C \cdot \bar{V}^2 = 650 \times 10^{-6} \times \bar{V}^2 = 650 \times 10^{-6} \times 31.06^2 = 0.627 \text{ kPa} = 63.92 \text{ kgf/m}^2$$

$$\text{因此設計風壓 } p = q C_e C_g C_p = 63.92 \times 0.5 \times \left(\frac{z}{12.7} \right)^{0.5} \times 3.776 \times 1.15 \text{ kgf/m}^2$$

計算範例各高度層順風向設計風力如下表所示：

受風面積 (m^2)	z (m)	順風向風壓 (kgf/m^2)	順風向風力 (kgf)	C_e
10	22	182.69	1826.92	0.658
10	21	178.49	1784.91	0.643
10	20	174.19	1741.90	0.627
10	19	169.78	1697.79	0.612
10	18	165.25	1652.51	0.595
10	17	160.59	1605.95	0.578
			$\Sigma 10.31 t$	

II. 依 BS6399-2:1997 規範設計

BS6399-2:1997 規範中基本設計風速採用小時平均風速，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知

$V_{600}/V_{3600}=1.07$ ，所以本範例計算中採用的基本設計風速為
 $V=V_{10}(c)/1.07=33.24/1.07=31.06\text{ m/sec}$ 。

本範例採用 BS6399-2:1997 規範中之 Standard method 進行計算，地況採用 B 類，依規範計算各項係數如下：

$$\text{dynamic pressure } q_s = 0.613V_e^2$$

$$\text{受風面上對角線長 } a = \sqrt{10^2 + 6^2} = 11.66\text{m}$$

本範例基地位置位於台南，假設其距海岸距離介於 10~100 公里間，且海拔高度取 50 公尺，由規範中 Fig.4 知屬於 A 類，其 $C_a=0.935$

$$\therefore V_e = V_s \times S_b, \text{ 而 } V_s = V_b \times S_a \times S_d \times S_s \times S_p$$

取基本風速 $V_b = 31.06\text{m/sec}$ ，有效高度 H_e 取建築物屋頂高度 22 公尺，查規範中 Table 4，得 $S_b=1.89$

$$S_a = 1 + 0.001\Delta_s = 1 + 0.001 \times 50 = 1.05, S_d、S_s \text{ 及 } S_p \text{ 皆採 } 1.0$$

$$\therefore V_s = V_b \times S_a \times S_d \times S_s \times S_p = 31.06 \times 1.05 \times 1 \times 1 \times 1 = 32.61$$

$$\text{有效風速 } V_e = V_s \times S_b = 32.61 \times 1.89 = 61.64$$

$$q_s = 0.613V_e^2 = 2328.97\text{Pa} = 237.4\text{kgf/m}^2$$

$$\text{淨風壓 } p = q_s \times C_a \times C_p, \text{ 依規範 2.8.2 節 } C_p \text{ 取 } 1.8$$

$$\text{順風向風壓 } p = q_s \times C_a \times C_p = 237.4 \times 0.935 \times 1.8 = 399.56\text{kgf/m}^2$$

$$\text{順風向風力 } P = p \times A = 399.56 \times (10 \times 6) = 23973.5\text{kgf} = 23.97\text{t}$$

III. 依 AS/NZS 1170.2 2002 規範設計

AS/NZS 1170.2 2002 規範中分析步驟如下：

Step1. 決定基地風速

Step2. 決定設計風速

Step3. 決定設計風壓

Step4. 計算風力作用

以下依此步驟進行計算：

1. 決定基地風速

$$V_{sit,\beta} = V_R M_d (M_{z,cat} M_s M_t)$$

區域設計風速(regional wind speed, V_R)採用 3 秒陣風，因此本例計算中採用的基本設計風速須加以調整，依圖 2.1 之 Durst 曲線知 $\frac{V_3}{V_{3600}} = 1.07$ 、

$\frac{V_{600}}{V_{3600}} = 1.52$ ，所以本範例計算中採用的區域設計風速為

$$V_R = V_{10}(c) \times 1.52 \times \frac{1}{1.07} = 33.24 \times 1.52 \times \frac{1}{1.07} = 47.22 \text{ m/sec}。$$

M_d 取 1.0

$M_{z,cat}$ 依規範中 Table 4.1(a)採用市郊、category 3，z 取 158m，內插得

$$M_{z,cat} = 0.95$$

M_s 取 1.0

M_t 取 1.0

$$\therefore V_{sit,\beta} = V_R M_d (M_{z,cat} M_s M_t) = 47.22 \times 1.0 \times (0.95 \times 1.0 \times 1.0) = 44.86 \text{ m/sec}$$

2. 決定設計風速

$$V_{des,\theta} \text{ 取與 } V_{sit,\beta} \text{ 相同，} \therefore V_{des,\theta} = 44.86 \text{ m/sec}$$

3. 決定設計風壓

設計風壓以 $p = 0.5 \rho_{air} [V_{des,\theta}]^2 C_{fig} C_{dyn}$ 計算

(1) C_{fig} 的計算：

對於招牌建物：

$$C_{fig} = C_{p,n} K_p$$

依規範 Table D2(A)，取屋頂風速為參考風速時，

$$b/c = 10/6 = 1.67, \quad c/h = 6/22 = 0.273$$

$$\therefore C_{p,n} = 1.3 + 0.5(0.3 + \log_{10}(b/c))(0.8 - c/h) = 1.438$$

K_p 依規範取 1.0

$$\text{設計風壓所採用的 } C_{fig} = 1.438 \times 1.0 = 1.438$$

(2) C_{dyn} 的計算：

$n_x = 0.7 \text{ Hz}$ ，介於 1~0.2 之間

(A) 順風向風載重計算：

$$C_{dyn} = \frac{1 + 2I_h [g_v^2 B_s + \frac{H_s g_R^2 S E_t}{\zeta}]^{0.5}}{(1 + 2g_v I_h)}$$

h 取 22m，g_v 取 3.7，s 表 16~22m 各 m 高度層，

由規範 Table 6.1，l_h=0.215

$$B_s = \frac{1}{1 + \frac{[36(h-s)^2 + 64b_{sh}^2]^{0.5}}{L_h}} \text{ 隨 } s \text{ 而變，於表中計算：}$$

$$L_h = 85\left(\frac{h}{10}\right)^{0.25} = 103.52m, b_{sh} = 10m$$

$$H_s = 1 + (s/h)^2$$

$$\text{尖峰因子 } g_R = \sqrt{2 \ln(600n_c)} = 3.475$$

$$S = \frac{1}{\left[1 + \frac{3.5n_a h(1 + g_v I_h)}{V_{des,\theta}}\right] \left[1 + \frac{4n_a b_{sh}(1 + g_v I_h)}{V_{des,\theta}}\right]} = \frac{1}{[1 + 2.157][1 + 1.121]} = 0.149$$

$$\therefore E_t = \frac{\pi N}{(1 + 70.8N^2)^{5/6}}$$

$$\text{其中 } N = n_a L_h [1 + (g_v I_h)] / V_{des,\theta} = 2.9$$

$$\therefore E_t = \frac{\pi \times 0.809}{(1 + 70.8 \times 0.809^2)^{5/6}} = 0.0443$$

列表計算各高度層的 C_{dyn} 與 p 如下表所示。

受風面積	z	順風向風壓 (Pa)	順風向風力 (kgf)	C _{fig}	B _s	H _s	C _{dyn}
10	22	2073.34	2113.50	1.438	0.564	2.000	1.194
10	21	2051.88	2091.63	1.438	0.563	1.911	1.182
10	20	2030.53	2069.85	1.438	0.561	1.826	1.169
10	19	2009.30	2048.22	1.438	0.558	1.746	1.157
10	18	1988.26	2026.77	1.438	0.553	1.669	1.145
10	17	1967.46	2005.57	1.438	0.548	1.597	1.133
Σ 12.36 t							

2-7 不同規範設計風載重計算之比較

本研究選取中層建築物(59m)、高層建築物(158m)及招牌(22m)等三種建築設計風力計算例，分別以加拿大之風力規範「National Building Code of Canada 1995」(NBC1995)、英國之風力規範BSI之「Loading for Buildings — Part 2 : Code of practice for wind loads」(BS 6399-2 : 1997)、紐澳之風力規範「AS/NZS 1170.2 2002」等建議之設計方式加以分析比較。計算結果顯示NBC1995計算結果與AS/NZS 1170.2 2002甚為接近，而BS 6399-2 : 1997計算結果則偏高。檢視計算過程顯示，各規範對於表面風壓係數的規定大致相同，但BS 6399-2 : 1997計算建築物受風力以建築物參考高度處風速計算，因此計算之設計風壓(力)偏高，如將 S_b 因子(terrain and building factor)隨各高度層調整則總順風向風力將下降約10%，仍較其他規範計算結果略高。

規範中對於單純幾何構型如矩斷面建築物均可加以評估其受風載重，建築物之深寬比、高寬比及受風面對角線長度等均作為計算風載重之因子，因此建築物大致尺寸對於受風載重的影響即可納入於計算中。其他特殊造型之建築物，常有不對稱的斷面形狀，致使受風力作用有嚴重的不對稱性及扭矩作用，規範中關於此類建築物因無法充分掌握，多建議以風洞試驗量測結果加以評估。

第三章 設計風力簡易計算式

3-1 前言

在美國與日本風力規範(ASCE-02 & AIJ-96)中，除了大部分建物適用的完整風力計算式之外，由於低矮建物對風的敏感度較低，特為此類建物提出了一套簡易設計方法。設計者可利用此法快速的求出基本設計風壓，然後考慮地形與建物的條件，乘上適當的因子，就可以得到建物的設計風載重。以圖 3-1 之 AIJ 規範架構為例，一般建築物都應採用完整的風力計算模式。其中屬於剛性結構者可忽略風所引起的動力效應，故可採 Detailed Procedure I。屬於柔性結構者，其結構動力效應不容忽視，故應採用 Detailed Procedure II。對風的敏感度較低的剛性低矮建築另外制訂了一套設計風力的簡易設計法。

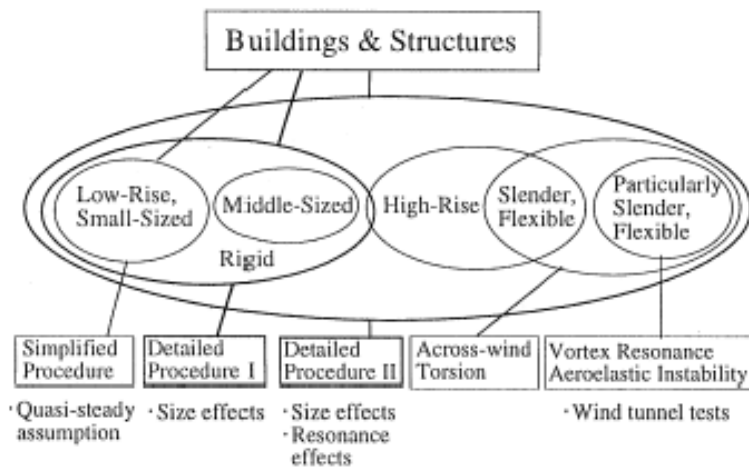


圖 3-1 日本風力規範 AIJ-96 架構

3-2 美國及日本規範之簡易風力計算式

美、日的風力簡易計算式的適用對象，基本上都屬於形狀規則，高度低矮，無特殊地形效應的簡單建築結構物。表 3.1 列舉了美、日風力

簡易設計適用範圍。

表 3.1 美、日風力簡易設計適用範圍

	美國規範	日本規範
適用範圍	(1) 建物所承受的風力由樓版或屋頂傳遞給主要風力抵抗系統。 (2) 建物層數少且平均屋頂高不超過 60ft。 (3) 建物為矩形且為封閉式建物。 (4) 剛性建物。 (5) 建物不承受渦漩引致之橫風向風力，且無因馳振或顫振所引起的不穩定現象。 (6) 無因地形所引起的局部風速加速現象。 (7) 建物概略為對稱斷面。且屋頂為平頂，或屋頂斜角小於 45°。	(1) 建物不得為特殊外型或具特殊結構系統者。 (2) 處於地況 I 之建物不適用。 (3) 平均屋頂高不超過 15m。 (4) 迎風面寬必須大於 1/2H，但不得大於 30m。 (5) 無因地形所引起的局部風速加速現象。

3.2.1 日本規範之簡易計算式

日本的簡易設計基礎在於假設一基本的建物條件與地況條件。並以此條件作計算並簡化參數，然後再依設計對象的地況條件加以修正。下列將介紹日本規範的公式以及其推導過程。

風力載重設計公式：

(1) 主要風力抵抗系統：

直接以屋頂高度處之風速壓代入風力載重公式中。

$$W_{sf} = 0.35U_0^2 H^{0.4} C_e C_f A$$

W_{sf} ：設計風力

U_0 ：設計風速(10分鐘平均風速，100年)

C_e ：地況因子

C_f ：風力係數

A ：迎風面面積

(2)局部構件及外部披覆系統：

$$W_{sf} = 0.45U_0^2 H^{0.4} C_e C_f A$$

W_{sf} ：設計風力

U_0 ：設計風速(10分鐘平均風速，迴歸期100年)

C_e ：地況因子

C_f ：風力係數， $C_f = C_{pe} - C_{pi}$

A ：迎風面面積

簡易計算式之基本假設：

- (1)建物位於地況三(郊區，樹林繁茂區，或有少許高建物)。
- (2)若為地況二，則地況因子 C_e 取 1.4。
- (3)設計迴歸期為 50 年。

頂樓之設計風速

$$U_H = U_0 E_H R$$

$$= U_0 (E_r E_g) R$$

$$= U_0 \left(1.7 \left(\frac{H}{Z_g}\right)^\alpha\right) E_g R$$

無局部風速加速現象， $E_g = 1$

設計迴歸期為50年， $R = 0.93$

設計地況為地況二， $Z_g = 450$

$$\alpha = 0.2$$

$$U_H = U_0 \left(1.7 \left(\frac{H}{450}\right)^{0.2}\right) R \quad (\text{for category 2})$$

$$= 0.466 U_0 H^{0.2}$$

頂樓處之風速壓

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2$$

$$= \frac{1}{2} (1.225) (0.466 U_0 H^{0.2})^2$$

$$= 0.137 U_0^2 H^{0.4}$$

$$\begin{aligned}
 W_{s_f} &= q_H G_f C_f A \\
 &= (0.137 U_0^2 H^{0.4}) G_f C_f A \\
 &= (0.137 G_f) C_f U_0^2 H^{0.4} A \\
 &= (C) C_f U_0^2 H^{0.4} A \\
 &= (0.35 C_e) C_f U_0^2 H^{0.4} A
 \end{aligned}$$

假設建物高度於 5m~15m 間，且迎風面寬在 5m~30m。

則所得之 G_f 範圍在 2.24~2.79， C 則在 0.31~0.38 間。(for category2)

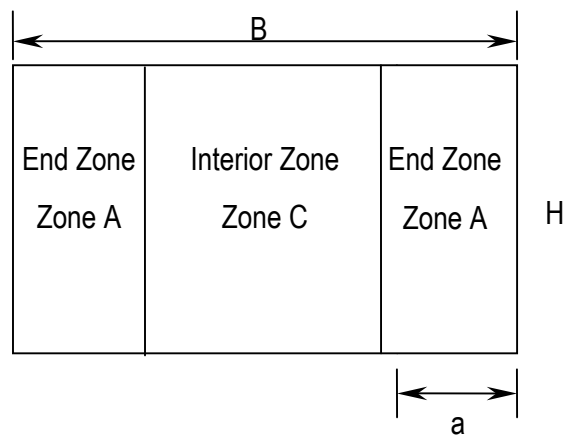
在規範中取 $C=0.35C_e$ ，

C_e 為地況因子。在地況二中，地況較為平坦，取其為 1.4，在地況三，四，五中則取 1。

3.2.2 美國規範之簡易計算式

美國規範的簡易設計中，使用者可以查表求得在 B 地況中，高度為 30ft(=9.144m)，用途係數為 1 之基本設計風壓(p_{s30})，再乘上高度與地況修正因子 λ 以及用途係數 l ，求得設計風壓。其中並考慮角隅處的風壓放大效果。如下圖所示。

其中 $a=0.1\text{MIN}[L,0.4H]$ $L=\text{MIN}[B,D]$ 但不可小於 0.04L 或 3ft



風力載重設計公式：

$$\text{設計風壓 } (p_s) = \lambda l(p_{s30})$$

where λ = 建物高度與地況修正因子

l = 用途係數

在 A、B、C、D 區塊，設計風壓不得小於 10psf(=0.48KN/m²)。

λ = 建物高度與地況修正因子如下表所示

Mean Roof Height(ft)	exposure		
	B	C	D
15	1	1.21	1.47
20	1	1.29	1.55
25	1	1.35	1.61
30	1	1.4	1.66
35	1.05	1.45	1.7
40	1.09	1.49	1.74
45	1.12	1.53	1.78
50	1.16	1.56	1.81
55	1.19	1.59	1.84
60	1.22	1.62	1.87

3.3 美、日風力簡易模式之計算案例

本文以一個位於鄉鎮地區（地況 B）的矩形低層建築為例，分別根據美國（ASCE-02）與日本(AIJ-96)的完整風力計算模式以及簡易風力模式，計算該建物在順風方向的設計風力。建物的基本資料如下：H=15(m)，B=30(m)，D=15(m)，基本設計風速 $U_0=42.5(m/sec)$ ，位於鄉鎮地形 ($Z_g=365.76m$ ， $\alpha=0.25$)。

3.3.1 日本規範

● 簡易模式(Simplified Method):

$$W_{sf} = 0.35U_0^2 H^{0.4} C_e C_f A$$

$$U_0 = 42.5(m/sec)$$

$$H = 15(m)$$

$$C_e = 1$$

$$C_f = 0.6$$

$$A = 15 * 30 = 450(m^2)$$

$$\therefore W_{sf} = 0.35(42.5)^2 (15)^{0.4} (1)(0.6)(450)$$

$$= 504.25(KN)$$

● 風力計算式 I (Detail Procedure I)

$$W_{sf} = q_H G_f C_f A_f$$

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2$$

$$U_H = U_0 E_H R$$

$$= U_0 (1.7 \left(\frac{15}{365.75}\right)^{0.25}) 0.93 = 30.175 (m/sec)$$

$$q_H = \frac{1}{2} (1.225) (30.175)^2 = 0.558 (KN/m^2)$$

$$G_f = 1 + 4r_f \sqrt{B_f}$$

$$I_H = 0.1 \left(\frac{H}{350}\right)^{-\alpha-0.05} = 0.026$$

$$L_H = 100 \left(\frac{H}{30}\right)^{0.5} = 70.71$$

$$r_f = \frac{3+3\alpha}{2+\alpha} (I_H) = 0.39$$

$$B_f = 1 - \frac{1}{\left\{1 + 5.1(L_H / \sqrt{HB})^{1.3} (B/H)^k\right\}^{1/3}} = 0.634$$

$$G_f = 1 + 4(0.3017) \sqrt{0.634} = 2.238$$

$$W_{sf} = q_H G_f C_f A_f$$

$$= (0.558)(2.238)(0.6)(30*15)$$

$$= 337.177 (KN/m^2)$$

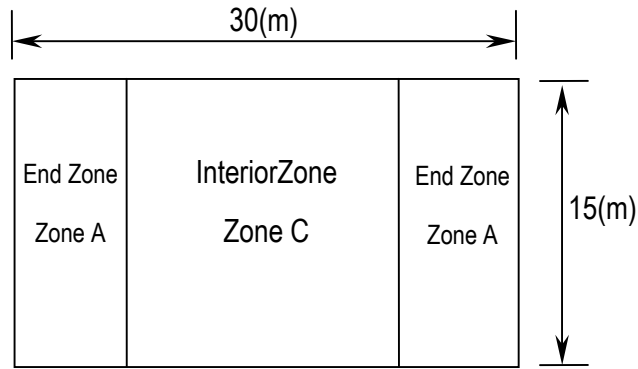
3.3.2 美國規範

● 簡易模式(ASCE-02 Simplified Method):

$$(p_s) = \lambda I(p_{s30}) \quad \lambda = 1.16 \quad I=1$$

$$(p_{s30}) = 15.9 (KN/m^2) \text{ for zone A}$$

$$= 0.762 (KN/m^2) \text{ for zone C}$$



迎風面圖示

$$(p_s) = (0.762)(1.16) = 0.884 \text{ (KN/M}^2\text{) for zone A}$$

受風面積為 $(45\text{M}^2) * 2$

$$(p_s) = (0.503)(1.16) = 0.583 \text{ (KN/M}^2\text{) for zone C}$$

受風面積為 405M^2

$$\text{風力載重為 } 0.884 (45 * 2) + 0.583 (405) = 289.44 \text{ (KN)}$$

● 剛性建物風力計算式 (Analytical procedure):

迎風面

$$p = q_H [(GC_{pf} - GC_{pi})]$$

$$\begin{aligned} q_H &= 0.613(K_z)(K_{zt})(K_d)V^2I \\ &= 0.613(0.806)(1)(0.85)(42.5)^2 \\ &= 0.76 \text{ (KN / m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$p = 0.76(0.61 - (-0.18)) = 0.6 \text{ (KN / m}^2\text{) for zone A}$$

$$p = 0.76(0.4 - (-0.18)) = 0.44 \text{ (KN / m}^2\text{) for zone C}$$

背風面

$$p = q_h [(GC_{pf} - GC_{pi})]$$

$$p = 0.76(-0.43 - (-0.18)) = -0.19 \text{ (KN / m}^2\text{) for zone A}$$

$$p = 0.76(-0.29 - (-0.18)) = -0.0836 \text{ (KN / m}^2\text{) for zone C}$$

$$\text{風力載重 } W_{sf} = [0.6 - (-0.19)] * 90 + [0.44 - (-0.084)] * (360) = 259.74 \text{ (KN)}$$

3.3.3 比較與建議

上述計算案例的結果列於下表。計算數據清楚的顯示兩國規範的簡易設計都比分析設計法保守。就 ASCE-02 而言，本案例根據簡易模式所得之設計風力較完整模式高約 10%；AIJ-96 的簡易模式結果則較完整模式高約 50%。在迎風面設計風力的比較上，日本規範原本較美國規範保守，AIJ-96 與 ASCE-02 的完整模式風力計算結果的比值為 1：1.3。而以二者的簡易模式計算結果，其比值為 1：1.74，AIJ-96 的簡易模式顯得過於保守。我國現行（及研議中）之風力規範主要參考 ASCE-02 為其基本架構，因此，簡易模式亦以參考 ASCE-02 為宜。

	ASCE (Method2)	ASCE (Method1)	AIJ (Proccedure I)	AIJ (Simplified)
修正因子		$\lambda = 1.16$		$C_e = 1.0$
風力係數	$G C_f = 0.69$		$C_f = 0.6$	$C_f = 0.6$
風力載重 (KN)	259.74	289.44	337.177	504.25

第四章 高層建築之橫風向與扭轉向設計風力

4-1 前言

ASCE 7-02 中的高層建築設計風力是以順風向設計風力為主，傳統上是基於平均速度分佈與陣風因子計算得之。雖然在條文中，透過風力組合考慮了側向風壓與非對稱之扭轉向風力，但是並未將渦散分離(vortex shedding)現象所引發的橫風向與扭轉向設計風力考慮在內。對於正方形或是矩形斷面的高層建築，渦散分離現象所引發的橫風向及扭轉向設計風力不容忽視。目前各國風力規範對於建築物所受橫風向及扭轉向風力的計算方法仍相當分歧。建築研究所研究報告 CSSE 85-05B「建築物風力規範條文、解說及示範例之研訂」則是引用了日本風力規範有關橫風向及扭轉向的相關規定。然而在傳統上國內風力規範與 ASCE 規範分類方式十分接近，ASCE 規範與國內現行規範對於基本設計風速之回歸期採用 50 年，而日本 AIJ-93 規範則採 100 年。換言之，應進一步的探討順風向、橫風向與扭轉向設計風力是否匹配的問題。在各國風力規範中，日本與澳洲風力規範均包含了前述渦散分離現象所引發的橫風向及扭轉向設計風力，本計畫擬進行深入研究比較其間的優劣差異。並參考風洞模型實驗所得之風力荷重計算高層建築在橫風向及扭轉向的設計風力，並與規範值進行比較。最後根據前二項研究數據，提出建築物在橫風向及扭轉向的設計風力之計算式。

4-2 橫風向風力載重公式之比較

4-2.1 橫風向風力載重公式之適用範圍

在橫風向公式中，僅 SAA 1989、TAIWAN 1996 與 AIJ 1996 有列出計算公式，且上述規範皆限制風行進方向垂直於建築物之正面，及建築物處於受風之最壞情況。

(1) AIJ 1996 橫風向公式之適用範圍：

1. 建物由下到上為均勻的矩柱
2. $3.0 \leq H/\sqrt{BD} \leq 6.0$
3. $0.2 \leq D/B \leq 5.0$
4. $\frac{n_0\sqrt{BD}}{U_H} \leq 0.4$

其中

H 為建築物參考高度、D 為深度、B 為迎風投影寬度。

(2) SAA 1989 橫風向公式之適用範圍：

SAA 1989 僅提供方型與矩型兩種建築物斷面之橫風向頻譜。方型斷面提供高寬比介於 6 到 9 以及高寬比等於 3；矩型斷面提供建築物高寬深比為於 6:2:1 以及 6:1:2 等。

4-2.2 橫風向風力頻譜

由於風接觸到鈍體之後產生了分離流現象，渦旋離散效應在橫風向產生間歇性側向負壓，導致在橫風向產生振動效應。

在 AIJ 1996 公式中，經由[8~10]橫風向風力頻譜之實驗資料，迴歸而得。

$$F_L = \sum_{j=1}^m \frac{4\kappa_j(1+0.6\beta_j)\beta_j}{\pi} \frac{(n_0/n_{sj})^2}{\{1-(n_0/n_{sj})^2\}^2 + 4\beta_j^2(n_0/n_{sj})^2} \quad (4-1)$$

其中當 $\frac{D}{B} < 3$ 時， $m=1$ ；當 $\frac{D}{B} \geq 3$ 時， $m=2$ ； $\kappa_1=0.85$ ； $\kappa_2=0.02$

$$n_{s1} = \frac{0.12}{\{1+0.38(D/B)^2\}^{0.89}} \frac{U_H}{B}$$

$$n_{s2} = \frac{0.56}{(D/B)^{0.85}} \frac{U_H}{B}$$

$$\beta_1 = \frac{(D/B)^4}{1.2(D/B)^4 - 1.7(D/B)^2 + 21} + \frac{0.12}{D/B}$$

$$\beta_2 = 0.28(D/B)^{-0.34}$$

U_H 為建築物高度處之風速。 n_{s1} 、 n_{s2} 代表尖峰頻率。 β_1 、 β_2 與帶寬有關之係數。

在 SAA 1989 之風力頻譜，以 Saunders & Melbourne(1975)及 Kwok & Melbourne(1981)[11,12]為基礎，提出方型斷面高寬比介於 6 到 9 以及高寬比等於 3；矩型斷面建築物高寬深比為於 6:2:1 以及 6:1:2 等之風力頻譜。

4-2.3 橫風向風荷載公式

由於建築物為對稱斷面，因此橫風向平均風力為零，在此所指之橫風向風力，係由橫風向擾動風力乘上尖峰因子而得。如式(4-2)所示：

$$W_{Lz} = g\sigma_{Lz} \quad (4-2)$$

日本規範所定義之公式為下式所示：

$$W_L = 3q_H C_L A \frac{Z}{H} g_L \sqrt{1+R_L} \quad (4-3)$$

$$R_L = \frac{\pi}{4\eta_0} F_L$$

其中， R_L 為共振因子， F_L 為橫風向風力頻譜係數。共振因子 R_L 與 D/B 及約化頻率 U^* 的關係繪製於圖 4.1(a)與圖 4.1(b)。

TAIWAN 1996 所定義之公式，與 AIJ 1996 相同，皆源自於日本建築學會，因此不另贅述。

SAA 1989 所定義之公式為下式所示：

$$W_c = g_f \bar{q}_H \left(\frac{Z}{H} \right) A (1.06 - 0.06k) \sqrt{\left(\frac{\pi C_{fs}}{\zeta} \right)} \quad (4-4)$$

其中， k 為振態型態之指數值 ($k=0.5, 1.0, 1.5, 2.3$)。 C_{fs} 為橫風向風力係數因子。日本與澳洲風力規範中，所使用正方斷面高層建築的橫風向風力頻譜比較繪製於圖 4.2。由圖 4.2 可知，AIJ 的風力頻譜與 SAA 用於開闊地況的風力頻譜相當近似。圖 4.3(a)與圖 4.3(b)分別為高度 $H=100\text{m}$ 與 200m 建築物依據 AIJ 和 SAA 計算所得的橫風向設計風力的比較。由圖可知，在開闊地況二者十分接近，在鄉鎮地況與都市地況中，稍有差異。差異的原因有以下兩點：(1) AIJ 風力頻譜只有一種，並不考慮地況的差異；(2) SAA 與 AIJ 的地況定義不同，因而造成設計風速的差異。圖 4.4(a)至圖 4.4(b)為台灣、日本與澳洲風力規範中橫風向設計風力與順風向設計風力的比值。在開闊地況中，台灣風力規範的比值與日澳之間有較大的差異，其原因來自於台灣的順風向設計風力採用 ASCE 模式，在開闊地況的設計風力原本就較 AIJ 為低。

4-2.4 AIJ-96 橫風向設計風力之計算案例

本節以下表中的四個案例說明橫風向設計風力，並完整列出案例一的完整計算過程以供參考。

橫風向設計風力計算案例

	D/B	H/B	H	風速(V)	約化風速(U^*)	地況(Terrain)
案例 1	0.6	5	100	42	7.95	2 (C)
案例 2	1.0	5	100	42	7.95	2 (C)
案例 3	0.64	5	150	49.10	9.0	3 (B)
案例 4	2.2	5	200	42.75	8.3	3 (B)
備註	$U^* = U_H / N_0 B$					

阻尼：0.02 (順)、0.02 (橫)、0.02 (扭) 基本風速迴歸期：50 年

樓層高(ΔZ)：4 m

順、橫風向頻率：10/樓層數 = 10/(H/ ΔZ) 扭轉向頻率=2×順風向頻率

案例 1

(i) 風速壓(q_H):

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2$$

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$U_H = U_o E_H R$$

$$R = 0.54 + 0.1 \ln(r)$$

$$E_H = E_r E_g$$

基本設計風速為 U_o ，為地況 C 離地 10 公尺高，相對於 100 年迴歸期之 10 分鐘風速，單位為 m/s。

(ii) R

由於輸入之資料為地況 C 離地 10 公尺高，相對於 50 年迴歸期之 10 分鐘風速，所以要調整為 100 年迴歸期。

$$R = (0.54 + 0.1 \ln(100)) / (0.54 + 0.1 \ln(50)) = 1.074435$$

(iii) $E_H = E_r E_g$

Topography factor $E_g = 1.0$ when the local topographic conditions have no effect on wind speed.

Exposure factor E_r

Reference height, H	Flat terrain subcatrgories.				
	I	II	III	IV	V
$H \leq Z_b$	1.15	0.90	0.69	0.58	0.50
$Z_b < H \leq Z_G$	$1.7(H/Z_G)^\alpha$				

Flat terrain subcategories.	I	II	III	IV	V
Z_b (m)	5	5	5	10	20
Z_G (m)	250	350	450	550	650
α	0.10	0.15	0.20	0.27	0.35

由於此次建物高度為 100 m，地形為 II，所以

$$E_r = 1.7(H/Z_G)^\alpha = 1.7(100/350)^{0.15} = 1.40876$$

$$E_g = 1.0 \quad E_H = E_r E_g = 1.40876$$

$$U_H = U_o E_H R = 42 \times 1.40876 \times 1.074435 = 63.57208 \text{ m/s}$$

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2 = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 63.57208^2$$

$$= 2475.363 \text{ kN} = 2.47536 \text{ kN/m}^2$$

(iv) 擾動傾倒彎矩係數(C_L') :

查表 C_L'，可得 D/B=0.6，C_L'=0.1082

(v) Peak Factor(g_f) :

$$g_f = \sqrt{2 \ln(600n_0) + 1.2} = \sqrt{2 \ln(600 \times 0.4) + 1.2} = 3.4873$$

(vi) 約化風速(U*) :

$$U^* = U_H / N_0 B = U_H / \left(\frac{1}{10^* \Delta Z} \frac{H}{B} \right) = U_H / \left(\frac{10^* \Delta Z}{H} \right) = 63.57208 / \left(\frac{10^* 4}{5} \right) = 7.946$$

(vii) 擬共振因子(\hat{R}_L) :

由 D/B=0.6，查表 \hat{R}_L ，可得

$$U^*=7.5, \hat{R}_{L7.5} = 0.5384$$

$$U^*=8.0, \hat{R}_{L8.0} = 0.7380$$

U*=7.946 時，

$$\frac{7.946 - 7.5}{8.0 - 7.5} = \frac{\hat{R}_L - 0.5384}{0.7380 - 0.5384} \quad \hat{R}_L = 0.7164432$$

(viii) 風力(W_L) :

$$W_L = 3q_H C_L' \frac{Z}{H} g_L \sqrt{1 + \frac{1}{\eta_f} \hat{R}_L}$$

$$= 3 \times 2.47536 \times 0.1082 \times 3.4873 \sqrt{1 + \frac{1}{0.02} 0.71466} = 16.9826 \text{ KN/m}^2$$

橫風向公式計算結果

	$q_H(\text{kN/m}^2)$	C_L'	g_L	R_L	$W_L(\text{kN/m}^2)$
案例 1	2.475	0.1082	3.487	35.74	16.98
案例 2	2.475	0.1572	3.487	13.67	15.59
案例 3	3.175	0.1138	3.369	56.69	27.75
案例 4	2.700	0.2276	3.282	5.93	15.94

除了依據上述公式計算設計風力之外，另行利用 4.5 節所附之橫風向共振因子表格查 \hat{R}_L 後計算風力。由下表可知，二種方式所得結果相當一致。換言之，應用於工程實務時，可採用查表方式以避免使用繁複的經驗公式。

橫風向表格方式計算結果

	q_H	C_L'	g_L	\hat{R}_L	R_L	W_L
案例 1	2.475	0.1082	3.487	0.7164	35.82	16.98
案例 2	2.475	0.1572	3.487	0.2747	13.73	15.62
案例 3	3.175	0.1138	3.369	1.130	56.53	27.72
案例 4	2.700	0.2267	3.282	0.1191	5.956	15.90

4-3 扭轉向設計風力公式之比較

4-3.1 扭轉向設計風力載重公式之適用範疇

在扭轉向公式中，僅 ANSI/ASCE 7-02、TAIWAN 1996 與 AIJ 1996 有列出計算公式。

(1) AIJ 1996 扭轉向公式之適用範圍：

1. 建物由下到上為均勻的矩柱，建築物不可有明顯的偏心現象。
2. $3.0 \leq H/\sqrt{BD} \leq 6.0$
3. $0.2 \leq D/B \leq 5.0$
4. $\frac{n_0\sqrt{BD}}{U_H} \leq 0.4$

(2.) ASCE 7-02 扭轉向公式之適用範圍：

ASCE 7-02 以建築物寬度與深度±15%之偏心距作為扭轉向設計風力之基本架構，分為下列兩種模式：

模式一：當權重因子為 0.75 之建築物順風向風力分別作用於建築物 x-向或 y-向時，取對應寬度±15%之偏心距計算扭矩載重。

模式二：當權重因子為 0.563 之建築物順風向風力同時作用於建築物 x-向以及 y-向時，同時取二方向對應寬度±15%之偏心距計算扭矩載重。

扭轉向風力為順風向風力乘上建築物之偏心距，再乘上權重因子而得。

4-3.2 扭轉向風力載重公式

建築物受風之後會產生扭轉向之振動現象，主要是由於分布在迎風面、背風面及側向之非對稱風壓所引起。此現象發生之原因為擾動風速與建物尾跡的渦旋效應。

由於作用在迎風面、背風面及側向之扭轉向風壓效應，是非常複雜的。而且難以將此複雜之情況量化成為一代數型式之頻譜公式。然而，實驗方式可以容易量得建物的反應角加速度，相對可以較輕易由反應角加速度來求得扭轉向彎矩與風力。

AIJ 1996 之扭轉向風力公式如下

由實驗求得反應角加速度

$$\sigma_{\ddot{\theta}}^* = \sigma_{\ddot{\theta}H} \frac{L}{2} \frac{1}{n_o^2} \frac{\sqrt{\eta_f}}{\sqrt{BD}} \frac{\rho_b}{\rho} \frac{1}{C_T'} \quad (4-5)$$

$$\sigma_{\ddot{\theta}}^* = K_T U^{*(\beta_T+2)} \quad (4-6)$$

將公式(4-6)帶入(4-5)，整理後可得(4-7)

$$\sigma_{\ddot{\theta}H} = n_o^2 C_T' \frac{2}{L} \frac{\rho}{\rho_b} K_T U^{*(\beta_T+2)} \frac{\sqrt{BD}}{\sqrt{\eta_f}} \quad (4-7)$$

由於 $U^* = U_H / n_o \sqrt{BD}$ 、 $\rho_b = M / (BDH)$ ，所以

$$\sigma_{\ddot{\theta}H} = q_H C_T' \frac{4}{L} \frac{H}{M} K_T U^{*\beta_T} \frac{\sqrt{BD}}{\sqrt{\eta_f}} \quad (4-8)$$

扭轉向彎矩為

$$M_T = I_{M_P} g_T \sigma_{\ddot{\theta}H} \quad (4-9)$$

$$I_{M_P} = \frac{m}{12} (B^2 + D^2)$$

$$g_T = \sqrt{2 \ln(600 n_o) + 1.2}$$

在此處 n_o 為扭轉向彎矩，經由整理可得。

$$M_T = 1.8 g_T q_H C_T' ABH \sqrt{0.036 K_T^2 U^{*2\beta_T} \frac{D(B^2 + D^2)^2}{L^2 B^3} \frac{1}{\eta_f}} \quad (4-10)$$

其中， η_f 為建築物阻尼， q_H 風速壓。因為日本扭轉向公式並非完整只考慮共振部分，另外還加上背景部分，因此最後公式為下列所示：

$$M_T = 1.8g_T q_H C'_T ABH \sqrt{1 + R_T} \quad (4-11)$$

$$R_T = 0.036 K_T^2 U^{*2\beta_T} \frac{D(B^2 + D^2)^2}{L^2 B^3} \frac{1}{\eta_f} \quad (4-12)$$

扭轉向共振因子 R_L 與 D/B 及約化頻率 U^* 的關係繪製於圖 4.5(a)至圖 4.5(d)。

4-3.3 AIJ-96 扭轉向設計風力之計算案例

本節以下表中的四個案例說明扭轉向設計風力，並完整列出案例一的完整計算過程以供參考。

扭轉向設計風力計算案例

	D/B	H/B	H	風速(V)	約化風速(U^*)	地況(Terrain)
案例 1	0.6	5	100	42	5.129	2 (C)
案例 2	1.0	5	100	42	3.973	2 (C)
案例 3	0.64	5	150	49.10	3.568	3 (B)
案例 4	2.2	5	200	42.75	2.797	3 (B)
備註	$U^* = U_H/N_0(DB)^{0.5}$					

阻尼：0.02 (順)、0.02 (橫)、0.02 (扭) 基本風速迴歸期：50 年
樓層高(ΔZ)：4 m

順、橫風向頻率：10/樓層數 = 10/(H/ ΔZ) 扭轉向頻率=2×順風向頻率

案例一

(i) 風速壓(q_H)：

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2$$

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$U_H = U_o E_H R$$

$$R = 0.54 + 0.1 \ln(r)$$

$$E_H = E_r E_g$$

基本設計風速為 U_0 ，為地況 C 離地 10 公尺高，相對於 100 年回歸期之 10 分鐘風速，單位為 m/s。

(ii) R

由於輸入之資料為地況 C 離地 10 公尺高，相對於 50 年回歸期之 10 分鐘風速，所以要調整為 100 年回歸期。

$$R = (0.54 + 0.1\ln(100)) / (0.54 + 0.1\ln(50)) = 1.074435$$

(iii) $E_H = E_r E_g$

Topography factor $E_g = 1.0$ when the local topographic conditions have no effect on wind speed.

Exposure factor E_r

Reference height, H	Flat terrain subcatrgories.				
	I	II	III	IV	V
$H \leq Z_b$	1.15	0.90	0.69	0.58	0.50
$Z_b < H \leq Z_G$	$1.7(H / Z_G)^\alpha$				

Flat terrain subcatrgories.	I	II	III	IV	V
Z_b (m)	5	5	5	10	20
Z_G (m)	250	350	450	550	650
α	0.10	0.15	0.20	0.27	0.35

由於此次建物高度為 100 m，地形為 II，所以

$$E_r = 1.7(H / Z_G)^\alpha = 1.7(100 / 350)^{0.15} = 1.40876$$

$$E_g = 1.0 \quad E_H = E_r E_g = 1.40876$$

$$U_H = U_o E_H R = 42 \times 1.40876 \times 1.074435 = 63.57208 \text{ m/s}$$

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2 = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 63.57208^2$$

$$= 2475.363 \text{ kN} = 2.47536 \text{ kN/m}^2$$

(iv) 擾動扭轉彎矩係數(C_T') :查表 C_T' 可得 $D/B=0.6$, $C_T'=0.0318$ (v) Peak Factor(g_f) :

$$g_f = \sqrt{2 \ln(600n_{tor}) + 1.2} = \sqrt{2 \ln(600 \times 0.8) + 1.2} = 3.680702$$

(vi) 約化風速(U^*) :

$$U^* = U_H / N_0 \sqrt{BD} = U_H / \left(\frac{2}{10 * \Delta Z} \frac{H}{B} \sqrt{D/B} \right) = U_H / \left(\frac{20 * \Delta Z}{H} \sqrt{D/B} \right) = 63.57208 / \left(\frac{20 * 4}{5} \sqrt{0.6} \right) = 5.12945$$

(vii) 擬共振因子(\hat{R}_T) :由 $U^*=5.1294$, $D/B=0.6$, 查表 \hat{R}_T , 可得

$$U^*=5.0 , \hat{R}_{T5.0} = 0.0571$$

$$U^*=5.2 , \hat{R}_{T5.2} = 0.0587$$

$$U^*=5.1294 \text{ 時} , \hat{R}_T = 0.0581352$$

(viii) 風力(W_T)

$$W_T = 1.8 q_H C_T' AB \frac{Z}{H} g_T \sqrt{1 + R_T}$$

$$= 1.8 \times 2.47538 \times 0.0318 \times 20.0 \times 3.6807 \times \sqrt{1 + \frac{1}{0.02} 0.0581352} = 20.61627$$

扭轉向公式計算結果

	q_H	C_T'	g_T	R_T	W_T
案例 1	2.475	0.0318	3.680	2.784	20.25
案例 2	2.475	0.0502	3.680	4.135	37.33
案例 3	3.175	0.0333	3.568	3.329	42.37
案例 4	2.700	0.1384	3.487	2.158	166.7

除了依據上述公式計算扭轉向設計風力之外，另行利用 4.5 節所附之扭轉向共振因子表格查 \hat{R}_T 後計算風力。由下表可知，二種方式所得結果相當一致。換言之，應用於工程實務時，可採用查表方式以避免使用繁複的經驗公式。

扭轉向表格方式計算結果

	q_H	C_T'	g_T	\hat{R}_T	R_T	W_T
案例 1	2.475	0.0318	3.680	0.2505	2.906	20.61
案例 2	2.475	0.0502	3.680	0.08285	4.142	37.33
案例 3	3.175	0.03332	3.568	0.0687	3.435	42.93
案例 4	2.700	0.1384	3.487	0.04593	2.296	170.3

4-4 規範之設計風力與風洞試驗計算值之比較

本節就一高層建築為例，就依據風洞試驗數據計算所得之設計風力與風力規範進行比較。標的建築為正方斷面之高層建築，高度分別為 100 公尺與 200 公尺，建築物高寬比 $H/B = 6$ ，建物位址地況又可區分為都市地區（地況 A）及開闊地區（地況 C）。基本設計風速為 42.5 m/s。建築物的自然週期為 $T = \text{樓層數}/10$ (sec)，阻尼比 = 0.01。

由圖 4.4.1 與圖 4.4.2 為 $H=100$ 公尺建築物在地況 C 的順風向及橫風向設計風力。由圖可知，地況 C 的設計風力，無論是順風向或橫風向都明顯大於地況 A。這主要是由於這二種地況都使用相同的基本設計風速（設定為 C 地況），因此造成了在屋頂高度的風速壓上有一倍以上的差距。在順風向方面，由於不同地況的陣風因子差異不大，因而二種地況間的設計風力差距近似於風速壓。在橫風向方面，除了風

速壓的差別之外，不同風速所對應的橫風向共振因子會進一步的擴大地況 C 與地況 A 之間的差距。由表 4.4.1 所列之頂樓設計風速與順、橫風向設計風力可知：建築物高度為 100 公尺時，地況 A 與地況 C 的頂樓高度設計風速比為 1：1.57，風速壓比為 1：2.46。順風向陣風反應因子比值為 1：1.05，橫風向共振因子比值為 1：5.3，因而造成的頂樓層順風向設計風速比值為 1：2.06，橫風向設計風速比值為 1：4.85。地況對於設計風速的影響，在建築物高度為 200 公尺時有相同的趨勢，頂樓層順風向設計風速比值為 1：1.31，橫風向設計風速比值為 1：3.27。

表 4.4.1 依據風力規範計算式所得之順風向及橫風向設計風力

	頂樓設計 風速 V_H	頂樓順風向 陣風因子 G_f	頂樓橫風向 共振因子 R_L	頂樓順風向 設計風力 (KN/m ²)	頂樓橫風向 設計風力 (KN/m ²)
Terrain A H=100	37.958	2.289	0.0726	2.845	4.176
Terrain C H=100	56.542	2.3977	0.385	5.853	20.253
Terrain A H=200	48.38	2.4925	0.18	6.612	9.674
Terrain C H=200	62.74	2.55	0.706	8.669	31.611

至於根據風洞實驗計算所得的設計風力與規範之間的比較，在順風向方面：建築物位於地況 A 時，中低樓層的設計風力依照規範計算所得較高，高樓層處則恰為相反，以風洞實驗計算值較高。建築物位於地況 C 時，依照規範計算所得的設計風力都較風洞實驗計算值高，在最高樓層處二者相近。規範計算式與風洞實驗估算風力之間，另一項明顯的不同處，在於二者的設計風力在建築物的高度分部上有相當差異。其中原因固然與風場特性、風力係數有關，另一項重要原因來自現行的風力規範基於「點狀結構」的基本概念，缺少了高層建築振態的考量。這項因素應於未來的風力規範中予以修正。在橫風向

設計風力方面：在地況 C 時，無論建築物高度為 100 公尺或 200 公尺，風力規範計算值均高於風洞試驗計算值；地況 A 則以風洞所得之值為高。這個差異的原因來自於在於日本風力規範(AIJ-96)對於橫風向設計風力中的共振因子， R_L ，是以開闊地形的橫風向風力頻譜為依據，並未考慮地況不同時，風場特性所造成的影響。未來應當加強這方面的實驗數據，以免當高層建築位於都市地區時，風力規範的橫風向設計風力估算可能出現低估的現象。

4-5 橫風向與扭轉向之規範建議式

4-5.1 橫風向之設計風力

風力規範條文：

建築物或地上獨立結構物應以合理的方法考慮橫風向風力。當建築物近似規則矩形柱體，且滿足 $3 \leq H/\sqrt{BD} \leq 6$ ， $0.2 \leq D/B \leq 5$ ， $n_0\sqrt{BD}/U_H \leq 0.4$ 時，得依照式 (4.13) 計算紊流與尾跡流所造成的橫風向風力。當矩形斷面建築物符合下列條件： $H/\sqrt{BD} \geq 4$ 且 $U_H > 0.83U_{Cr}^* n_0\sqrt{BD}$ 時，應進一步檢核避免在設計風速內發生渦散頻率與建築物自然頻率接近而產生之共振及空氣動力不穩定現象，必要時應進行風洞試驗。

矩形斷面建築物 Z 處高度橫風向風力 W_{Lz} ，計算如下：

$$W_{Lz} = 3q_H C'_L A \frac{z}{H} g_L \sqrt{1 + \frac{1}{\eta_f} R_L} \quad (4.13)$$

式中

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2$$

$$g_L = \sqrt{2 \ln(600n_0) + 1.2}$$

$$C'_L = 0.0082(D/B)^3 - 0.071(D/B)^2 + 0.22(D/B)$$

R_L 為橫風向共振因子，可採用表 (c.1) 或依下式計算之：

$$R_L = \frac{\pi S_L(n^*)}{4} \quad , \quad S_L(n^*) \text{ 為橫風向風力頻譜值}$$

$$S_L(n^*) = \sum_{j=1}^N \frac{4k_j(1+0.6\beta_j)\beta_j}{\pi} \frac{\left(\frac{n^*}{n_j}\right)}{\left[1 - \left(\frac{n^*}{n_j}\right)^2\right]^2 + 4\beta_j^2 \left(\frac{n^*}{n_j}\right)^2}$$

$$n^* = \frac{n_0 B}{U_H}$$

$$n_1 = \frac{0.12}{\left[1 + 0.38 \left(\frac{D}{B}\right)^2\right]^{0.89}}$$

$$n_2 = \frac{0.56}{\left(\frac{D}{B}\right)^{0.85}}$$

$$\beta_1 = \frac{\left(\frac{D}{B}\right)^4}{1.1 \left(\frac{D}{B}\right)^4 - 1.7 \left(\frac{D}{B}\right)^2 + 21} + \frac{0.12}{\left(\frac{D}{B}\right)}$$

$$\beta_2 = 0.28 \left(\frac{D}{B}\right)^{-0.34}$$

$$k_1 = 0.85 \quad ; \quad k_2 = 0.02$$

$$\frac{D}{B} < 3 \text{ 時, } N=1; \quad \frac{D}{B} \geq 3 \text{ 時, } N=2$$

條文解說：

建築物受風吹襲時，側風面會產生交替的渦散(vortex shedding)現象，致使建築物的橫向受不平衡風壓作用，產生橫向振動。渦散頻率 n ，通常由下式計算：

$$S = \frac{nB}{V} \quad (C1)$$

其中 V 為風速， B 為與風向垂直的建築物寬度， S 為史特赫(Strouhal)數。當建築物橫向之自然振動頻率 n_0 接近渦散頻率 n 時，便會發生結構共振。共振的振幅大時，會進一步產生鎖定(lock-in)現象，此時即使風速略增，但渦散頻率 n 仍會盯住 n_0 ，致使建築物產生極大的簡諧振動，因此應設法避免。在不會產生共振及鎖定的情況下，建築物之橫向振動係屬隨機振動。此時應計算橫風向之風力，並與順風向風力合併作用。我國橫風向風力參考日本建築學會之設計風

力相關建議條文(AIJ-96) [2.17]。橫風向風力之相關規定如下：

(1) 建築物或地上獨立結構物為矩形柱體：

(a) 矩形斷面建築物符合下列條件： $H/\sqrt{BD} \geq 4$ 且 $U_H > 8.3n_0\sqrt{BD}$ (史特赫數 0.1, 安全係數 1.2) 時, 應進一步檢核避免在設計風速內發生渦散頻率與建築物自然頻率接近而產生之共振及空氣動力不穩定現象, 必要時應進行風洞試驗。

(b) 矩形斷面建築物滿足細長比介於 3 至 6 之間 ($3 \leq H/\sqrt{BD} \leq 6$), 斷面深寬比介於 0.2 至 5 之間 ($0.2 \leq D/B \leq 5$), 無因次頻率大於 0.4 ($n_0\sqrt{BD}/U_H \leq 0.4$) 時, 其橫風向風力依規範 2-9 節計算之。此部分橫風向風力之主要依據為風洞模型實驗數據。其中 n_0 為建築物橫風向自然頻率, U_H 為屋頂設計風速。

(2) 建築物為圓柱體：

圓柱斷面建築物滿足 $H/D \geq 7$ 與 $U_H > 4.2n_0D$ (史特赫數 $S=0.2$, 安全係數 1.2) 時, 應依據式 (C2) 考慮建築物因渦散共振引起的橫風向風力。

$$W_{rz} = U_r^2 \frac{Z}{H} C_r A \quad (C2)$$

W_{rz} ：為高度 Z (m) 之橫風向風力(N)

$U_r = 5n_0D_m$ 渦散共振風速

n_0 ：基本振態自然頻率(Hz)

H ：建築高度(m)

D_m ： $2/3 H$ 處之圓柱直徑

C_r ：渦散共振之風力係數，如下表

A ：高度 Z 處之投影面積

$U_r D_m \text{ (m}^2/\text{s)}$	C_r	
	$\rho_f \sqrt{\eta_f} < 5$	$\rho_f \sqrt{\eta_f} \geq 5$
$U_r D_m < 3$ (亞臨界流 $R < 2 \times 10^5$)	$\frac{1.3}{\sqrt{\eta_f}} + \frac{1.8}{\rho_f \eta_f}$	$\frac{1.7}{\sqrt{\eta_f}}$
$3 \leq U_r D_m < 6$ (臨界流 $2 \times 10^5 \leq R < 4 \times 10^5$)	線性內插	線性內插
$6 \leq U_r D_m$ (超臨界流 $4 \times 10^5 \leq R$)	$\frac{0.53}{\sqrt{\eta_f}} + \frac{0.2}{\rho_f \eta_f}$	$\frac{0.57}{\sqrt{\eta_f}}$

表中，

η_f ：基本振態之阻尼比

$\rho_f = M / (H D_m D_B)$ ，為建築物密度 (kg/m³)

M ：建築物質量(kg)

D_B ：建築物基底直徑(m)

4-5.2 扭轉風荷載設計

規範條文：

建築物或地上獨立結構物應以合理的方法考慮風力造成的扭矩。當建築物近似規則矩形柱體，且滿足 $3 \leq H / \sqrt{BD} \leq 6$ ， $0.2 \leq D/B \leq 5$ ， $n_0 \sqrt{BD} / U_H \leq 0.4$ 時，得依照式 (C3) 計算紊流與尾跡流所造成的動態扭矩，並與順風向風力、橫風向風力同時作用在建築物上，必要時應進行風洞試驗。

矩形斷面建築物 Z 處高度橫風向風力 W_{Lz} ，計算如下：

$$M_{Tz} = 1.8 q_H C_T' AB \frac{z}{H} g_T \sqrt{1 + \frac{1}{\eta_f} R_T} \tag{C3}$$

式中

$$q_H = \frac{1}{2} \rho U_H^2$$

$$g_T = \sqrt{2 \ln(600n_{tor}) + 1.2}$$

$$C_T' = \left[0.0066 + 0.015 \left(\frac{D}{B} \right)^2 \right]^{0.78}$$

R_T 為扭矩共振因子，可採用表 (c.2) 或依下式計算之：

$$R_T = 0.036 K_T (U^*)^{2\beta_T} \frac{D(B^2 + D^2)^2}{L_{BD}^2 B^3}$$

其中

$$K_T = \begin{cases} \frac{-1.1 \left(\frac{D}{B} \right) + 0.97}{\left(\frac{D}{B} \right)^2 + 0.85 \left(\frac{D}{B} \right) + 3.3} + 0.17 & ; U^* \leq 4.5 \\ \frac{0.077 \left(\frac{D}{B} \right) - 0.16}{\left(\frac{D}{B} \right)^2 - 0.96 \left(\frac{D}{B} \right) + 0.42} + \frac{0.35}{\left(\frac{D}{B} \right)} + 0.095 & ; 6 \leq U^* \leq 10 \end{cases}$$

$$\beta_T = \begin{cases} \frac{\left(\frac{D}{B} \right) + 3.6}{\left(\frac{D}{B} \right)^2 - 5.1 \left(\frac{D}{B} \right) + 9.1} + \frac{0.14}{\left(\frac{D}{B} \right)} + 0.14 & ; U^* \leq 4.5 \\ \frac{0.44 \left(\frac{D}{B} \right)^2 - 0.0064}{\left(\frac{D}{B} \right)^4 - 0.26 \left(\frac{D}{B} \right)^2 + 0.1} + 0.2 & ; 6 \leq U^* \leq 10 \end{cases}$$

$U^* = \frac{U_H}{n_0 \sqrt{BD}}$ 為無因次風速， L_{BD} 為 B 、 D 中之大值。

當 $4.5 < U^* < 6$ 時， R_T 值計算如下：

$$R_T = R_{4.5} \exp \left(3.48 \ln \frac{R_6}{R_{4.5}} - \ln \frac{U^*}{4.5} \right)$$

其中， $R_{4.5}$ 與 R_6 分別為 U^* 為 4.5 與 6.0 時之 R_T 值。

條文解說：

一個具有對稱斷面，無偏心距的建築物，也會由於非對稱風壓而引起扭轉振動。我國風力規範之扭矩相關規定係參考日本建築學會之設計風力相關建議條文(AIJ-96) [2.17]而訂定。一個矩形柱體且無偏心的建築物，滿足細長比介於 3 至 6 之間 ($3 \leq H/\sqrt{BD} \leq 6$)，斷面深寬比介於 0.2 至 5 之間 ($0.2 \leq D/B \leq 5$)，無因次頻率大於 0.4 ($n_0\sqrt{BD}/U_H \leq 0.4$)時，其扭矩可依規範 2.10 節計算之。其中 n_0 為建築物橫風向自然頻率， U_H 為屋頂設計風速。此部分扭矩之主要依據為風洞模型實驗數據。

表 c.1 橫風阻共振因子, R_L

D/B	無因次風速, $U^*=U_H/n_0B$															
	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
0.20	0.0634	0.0926	0.1276	0.1683	0.2137	0.2624	0.3121	0.3601	0.4031	0.4382	0.4634	0.4777	0.4816	0.4763	0.4637	0.4460
0.30	0.0401	0.0607	0.0875	0.1218	0.1651	0.2188	0.2835	0.3585	0.4400	0.5208	0.5904	0.6383	0.6578	0.6493	0.6187	0.5744
0.35	0.0332	0.0506	0.0737	0.1039	0.1432	0.1939	0.2584	0.3380	0.4319	0.5340	0.6314	0.7063	0.7433	0.7377	0.6974	0.6368
0.40	0.0280	0.0429	0.0627	0.0891	0.1242	0.1706	0.2316	0.3109	0.4105	0.5281	0.6522	0.7598	0.8232	0.8275	0.7799	0.7019
0.45	0.0240	0.0368	0.0540	0.0770	0.1079	0.1495	0.2056	0.2809	0.3802	0.5058	0.6511	0.7927	0.8921	0.9170	0.8676	0.7729
0.50	0.0208	0.0319	0.0469	0.0670	0.0941	0.1310	0.1814	0.2506	0.3452	0.4712	0.6288	0.8005	0.9425	1.0016	0.9608	0.8525
0.55	0.0182	0.0280	0.0411	0.0587	0.0825	0.1149	0.1597	0.2219	0.3089	0.4293	0.5893	0.7814	0.9661	1.0735	1.0571	0.9427
0.60	0.0162	0.0247	0.0363	0.0518	0.0727	0.1012	0.1406	0.1958	0.2739	0.3846	0.5384	0.7380	0.9569	1.1211	1.1498	1.0433
0.65	0.0144	0.0221	0.0323	0.0460	0.0645	0.0896	0.1242	0.1727	0.2417	0.3408	0.4824	0.6770	0.9145	1.1330	1.2266	1.1503
0.70	0.0130	0.0199	0.0291	0.0413	0.0577	0.0798	0.1103	0.1528	0.2132	0.3003	0.4267	0.6069	0.8451	1.1024	1.2710	1.2532
0.75	0.0119	0.0181	0.0264	0.0374	0.0520	0.0717	0.0986	0.1359	0.1885	0.2643	0.3749	0.5356	0.7596	1.0321	1.2679	1.3341
0.80	0.0110	0.0166	0.0242	0.0341	0.0473	0.0650	0.0888	0.1217	0.1677	0.2334	0.3289	0.4688	0.6695	0.9344	1.2119	1.3708
0.85	0.0102	0.0155	0.0224	0.0315	0.0435	0.0595	0.0808	0.1099	0.1503	0.2074	0.2896	0.4096	0.5839	0.8252	1.1128	1.3471
0.90	0.0096	0.0145	0.0210	0.0295	0.0405	0.0550	0.0743	0.1003	0.1360	0.1858	0.2567	0.3591	0.5078	0.7183	0.9899	1.2641
0.95	0.0092	0.0138	0.0199	0.0278	0.0381	0.0515	0.0691	0.0926	0.1244	0.1682	0.2296	0.3172	0.4430	0.6222	0.8633	1.1407
1.00	0.0088	0.0133	0.0191	0.0266	0.0362	0.0487	0.0650	0.0864	0.1151	0.1540	0.2077	0.2829	0.3895	0.5403	0.7466	1.0022
1.10	0.0085	0.0127	0.0181	0.0251	0.0339	0.0450	0.0594	0.0778	0.1019	0.1335	0.1758	0.2329	0.3109	0.4178	0.5627	0.7512
1.20	0.0084	0.0126	0.0179	0.0245	0.0329	0.0433	0.0564	0.0729	0.0939	0.1208	0.1555	0.2007	0.2600	0.3382	0.4406	0.5723

D/B	無因次風速, $U^*=U_H/n_0B$															
	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
1.30	0.0086	0.0128	0.0181	0.0247	0.0328	0.0428	0.0551	0.0704	0.0893	0.1129	0.1425	0.1797	0.2267	0.2863	0.3613	0.4548
1.40	0.0090	0.0133	0.0186	0.0252	0.0333	0.0431	0.0550	0.0693	0.0868	0.1080	0.1339	0.1655	0.2041	0.2512	0.3084	0.3773
1.50	0.0094	0.0138	0.0193	0.0260	0.0341	0.0438	0.0553	0.0690	0.0854	0.1048	0.1279	0.1553	0.1878	0.2263	0.2715	0.3243
1.75	0.0103	0.0151	0.0209	0.0277	0.0358	0.0452	0.0560	0.0685	0.0826	0.0987	0.1169	0.1374	0.1603	0.1859	0.2142	0.2453
2.00	0.0107	0.0155	0.0212	0.0279	0.0357	0.0445	0.0544	0.0655	0.0778	0.0913	0.1061	0.1222	0.1396	0.1583	0.1783	0.1995
2.50	0.0092	0.0132	0.0180	0.0235	0.0297	0.0366	0.0442	0.0525	0.0614	0.0710	0.0813	0.0921	0.1034	0.1153	0.1277	0.1406
3.00	0.0091	0.0145	0.0231	0.0371	0.0503	0.0496	0.0463	0.0469	0.0502	0.0553	0.0613	0.0681	0.0755	0.0834	0.0917	0.1004
3.50	0.0061	0.0094	0.0142	0.0217	0.0338	0.0474	0.0493	0.0443	0.0421	0.0430	0.0457	0.0496	0.0542	0.0593	0.0649	0.0709
4.00	0.0042	0.0063	0.0093	0.0135	0.0201	0.0308	0.0440	0.0484	0.0431	0.0388	0.0375	0.0384	0.0405	0.0434	0.0469	0.0508
4.50	0.0030	0.0044	0.0064	0.0091	0.0129	0.0188	0.0283	0.0408	0.0472	0.0427	0.0369	0.0339	0.0332	0.0340	0.0356	0.0379
5.00	0.0021	0.0032	0.0046	0.0064	0.0088	0.0124	0.0178	0.0265	0.0382	0.0460	0.0428	0.0362	0.0318	0.0298	0.0295	0.0302

表 c.2 扭轉力共振因子, R_T

D/B	約化風速, $U^*=U_H/n_0B$																		
	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.2	5.5	5.8	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5
0.20	0.0126	0.0203	0.0304	0.0431	0.0586	0.0519	0.0496	0.0465	0.0438	0.0422	0.0444	0.0466	0.0487	0.0508	0.0528	0.0548	0.0568	0.0587	0.0606
0.35	0.0121	0.0179	0.0249	0.0331	0.0426	0.0456	0.0467	0.0484	0.0501	0.0511	0.0579	0.0649	0.0721	0.0797	0.0875	0.0956	0.1039	0.1124	0.1212
0.50	0.0139	0.0202	0.0277	0.0364	0.0464	0.0518	0.0540	0.0573	0.0607	0.0628	0.0768	0.0926	0.1102	0.1298	0.1512	0.1747	0.2003	0.2279	0.2578
0.55	0.0148	0.0215	0.0294	0.0387	0.0492	0.0534	0.0551	0.0575	0.0600	0.0615	0.0760	0.0924	0.1109	0.1316	0.1545	0.1797	0.2073	0.2375	0.2702
0.60	0.0157	0.0229	0.0315	0.0414	0.0528	0.0571	0.0587	0.0612	0.0637	0.0652	0.0805	0.0978	0.1173	0.1391	0.1632	0.1897	0.2188	0.2505	0.2848
0.65	0.0168	0.0245	0.0338	0.0446	0.0570	0.0630	0.0653	0.0689	0.0724	0.0746	0.0913	0.1101	0.1311	0.1543	0.1799	0.2079	0.2383	0.2713	0.3070
0.70	0.0180	0.0264	0.0365	0.0484	0.0620	0.0701	0.0734	0.0784	0.0834	0.0866	0.1046	0.1247	0.1468	0.1710	0.1974	0.2260	0.2569	0.2900	0.3255
0.75	0.0192	0.0284	0.0395	0.0526	0.0678	0.0776	0.0816	0.0878	0.0940	0.0979	0.1167	0.1372	0.1595	0.1836	0.2096	0.2375	0.2673	0.2990	0.3326
0.80	0.0206	0.0307	0.0429	0.0575	0.0744	0.0851	0.0895	0.0962	0.1030	0.1073	0.1260	0.1461	0.1678	0.1910	0.2156	0.2418	0.2695	0.2987	0.3293
0.90	0.0237	0.0359	0.0510	0.0692	0.0905	0.1007	0.1047	0.1108	0.1169	0.1207	0.1381	0.1565	0.1758	0.1959	0.2170	0.2389	0.2617	0.2853	0.3097
1.00	0.0272	0.0421	0.0610	0.0841	0.1115	0.1184	0.1211	0.1250	0.1289	0.1312	0.1472	0.1637	0.1807	0.1982	0.2161	0.2346	0.2535	0.2728	0.2925
1.10	0.0259	0.0410	0.0607	0.0851	0.1147	0.1158	0.1162	0.1168	0.1173	0.1177	0.1299	0.1425	0.1552	0.1682	0.1813	0.1947	0.2082	0.2219	0.2357
1.20	0.0250	0.0407	0.0616	0.0882	0.1210	0.1161	0.1143	0.1118	0.1095	0.1082	0.1181	0.1281	0.1382	0.1483	0.1585	0.1687	0.1791	0.1894	0.1998
1.35	0.0242	0.0414	0.0652	0.0965	0.1364	0.1215	0.1164	0.1094	0.1032	0.0996	0.1074	0.1151	0.1228	0.1305	0.1382	0.1458	0.1534	0.1610	0.1685
1.50	0.0241	0.0433	0.0712	0.1095	0.1601	0.1324	0.1234	0.1115	0.1014	0.0957	0.1023	0.1087	0.1152	0.1215	0.1278	0.1340	0.1401	0.1462	0.1522
1.60	0.0242	0.0451	0.0766	0.1210	0.1811	0.1427	0.1306	0.1150	0.1020	0.0948	0.1009	0.1069	0.1127	0.1185	0.1242	0.1298	0.1354	0.1408	0.1463
1.70	0.0244	0.0473	0.0830	0.1348	0.2069	0.1553	0.1396	0.1198	0.1037	0.0950	0.1008	0.1063	0.1118	0.1172	0.1225	0.1277	0.1328	0.1379	0.1429
1.80	0.0247	0.0499	0.0903	0.1510	0.2378	0.1702	0.1503	0.1258	0.1063	0.0961	0.1016	0.1069	0.1121	0.1172	0.1222	0.1272	0.1320	0.1368	0.1415

D/B	約化風速, $U^*=U_H/n_oB$																		
	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.2	5.5	5.8	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5
1.90	0.0250	0.0525	0.0984	0.1694	0.2735	0.1872	0.1626	0.1329	0.1097	0.0978	0.1031	0.1083	0.1133	0.1183	0.1231	0.1278	0.1325	0.1370	0.1415
2.00	0.0253	0.0552	0.1068	0.1892	0.3134	0.2058	0.1759	0.1406	0.1138	0.1002	0.1054	0.1104	0.1153	0.1202	0.1249	0.1295	0.1340	0.1384	0.1427
2.10	0.0255	0.0577	0.1152	0.2097	0.3556	0.2252	0.1899	0.1489	0.1183	0.1030	0.1081	0.1132	0.1180	0.1228	0.1274	0.1319	0.1363	0.1407	0.1449
2.20	0.0255	0.0598	0.1229	0.2293	0.3976	0.2444	0.2039	0.1574	0.1232	0.1063	0.1114	0.1164	0.1213	0.1260	0.1306	0.1351	0.1394	0.1437	0.1479
2.30	0.0254	0.0613	0.1292	0.2465	0.4358	0.2623	0.2171	0.1657	0.1283	0.1100	0.1152	0.1202	0.1250	0.1297	0.1343	0.1388	0.1432	0.1475	0.1517
2.40	0.0250	0.0621	0.1337	0.2598	0.4669	0.2777	0.2288	0.1735	0.1336	0.1141	0.1193	0.1244	0.1293	0.1340	0.1386	0.1431	0.1475	0.1518	0.1560
2.50	0.0246	0.0621	0.1359	0.2679	0.4876	0.2895	0.2384	0.1806	0.1388	0.1185	0.1238	0.1290	0.1339	0.1387	0.1434	0.1479	0.1524	0.1567	0.1609
2.60	0.0240	0.0614	0.1359	0.2705	0.4966	0.2971	0.2454	0.1867	0.1441	0.1233	0.1287	0.1339	0.1390	0.1438	0.1486	0.1532	0.1577	0.1621	0.1664
2.70	0.0233	0.0601	0.1339	0.2678	0.4937	0.3005	0.2498	0.1918	0.1493	0.1284	0.1340	0.1393	0.1444	0.1494	0.1542	0.1589	0.1635	0.1679	0.1723
2.80	0.0227	0.0585	0.1303	0.2607	0.4806	0.3000	0.2517	0.1958	0.1544	0.1339	0.1395	0.1450	0.1502	0.1553	0.1602	0.1650	0.1697	0.1742	0.1787
2.90	0.0222	0.0568	0.1258	0.2504	0.4596	0.2962	0.2515	0.1990	0.1595	0.1396	0.1454	0.1510	0.1564	0.1616	0.1666	0.1715	0.1763	0.1809	0.1855
3.00	0.0218	0.0551	0.1207	0.2380	0.4334	0.2899	0.2496	0.2015	0.1645	0.1457	0.1516	0.1573	0.1629	0.1682	0.1734	0.1784	0.1833	0.1881	0.1927
3.25	0.0214	0.0514	0.1077	0.2045	0.3601	0.2682	0.2404	0.2055	0.1772	0.1620	0.1685	0.1746	0.1806	0.1863	0.1919	0.1973	0.2025	0.2076	0.2126
3.50	0.0218	0.0489	0.0965	0.1741	0.2930	0.2449	0.2291	0.2083	0.1903	0.1802	0.1872	0.1939	0.2003	0.2065	0.2125	0.2184	0.2240	0.2295	0.2349
3.75	0.0230	0.0476	0.0882	0.1504	0.2407	0.2249	0.2193	0.2115	0.2044	0.2003	0.2079	0.2151	0.2221	0.2289	0.2354	0.2417	0.2478	0.2538	0.2596
4.00	0.0248	0.0476	0.0828	0.1336	0.2038	0.2104	0.2129	0.2165	0.2200	0.2221	0.2304	0.2383	0.2459	0.2533	0.2604	0.2672	0.2739	0.2804	0.2867
4.50	0.0304	0.0514	0.0801	0.1175	0.1648	0.1982	0.2122	0.2340	0.2568	0.2715	0.2813	0.2908	0.2998	0.3085	0.3169	0.3251	0.3330	0.3406	0.3481
5.00	0.0393	0.0602	0.0863	0.1179	0.1553	0.2047	0.2269	0.2629	0.3023	0.3287	0.3404	0.3515	0.3622	0.3726	0.3825	0.3922	0.4015	0.4106	0.4194

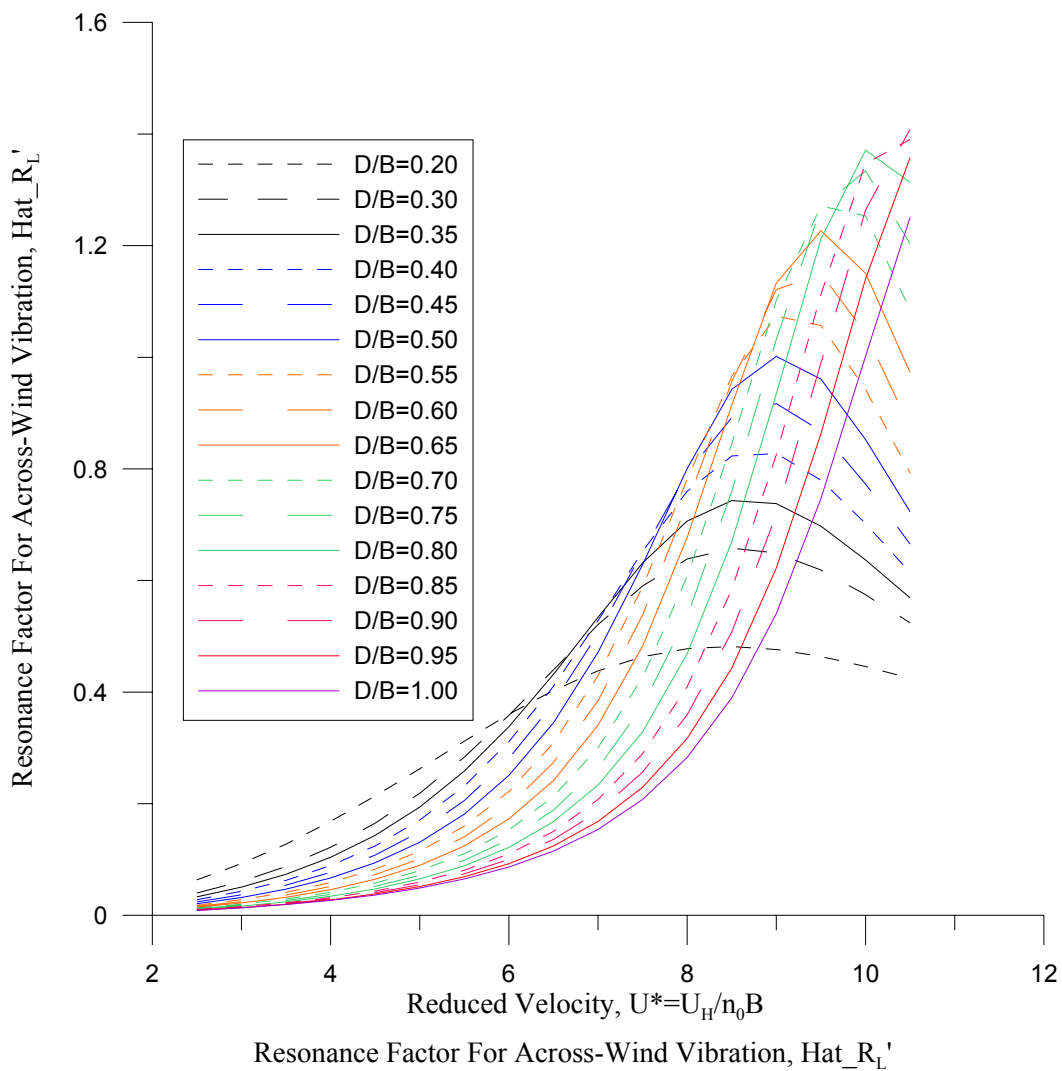


圖 4.1(a) 橫風向共振因子, \hat{R}_L'

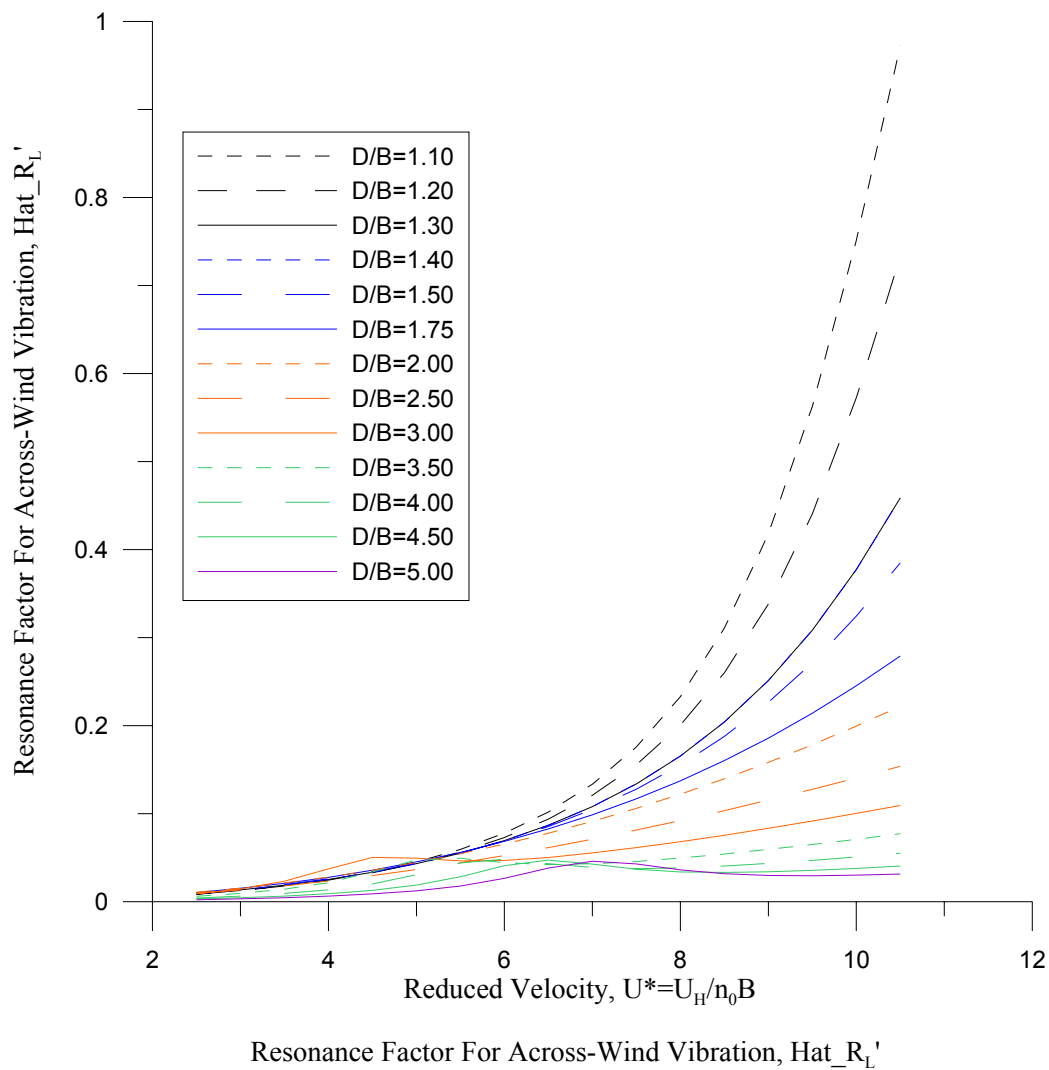


圖 4.1(b)橫風荷載共振因子， \hat{R}_L'

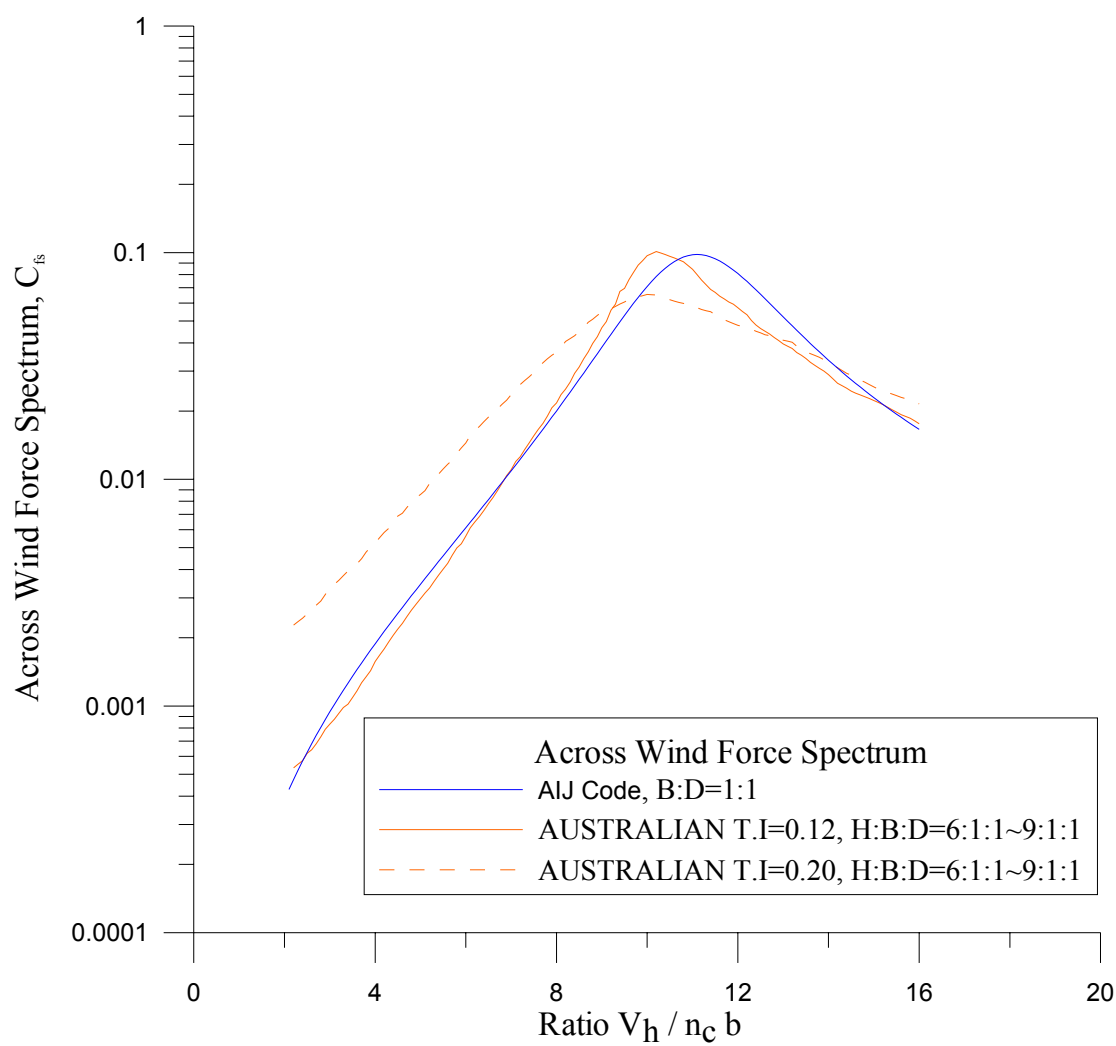


圖 4-2 日本、澳洲橫風向風荷載規範之比較

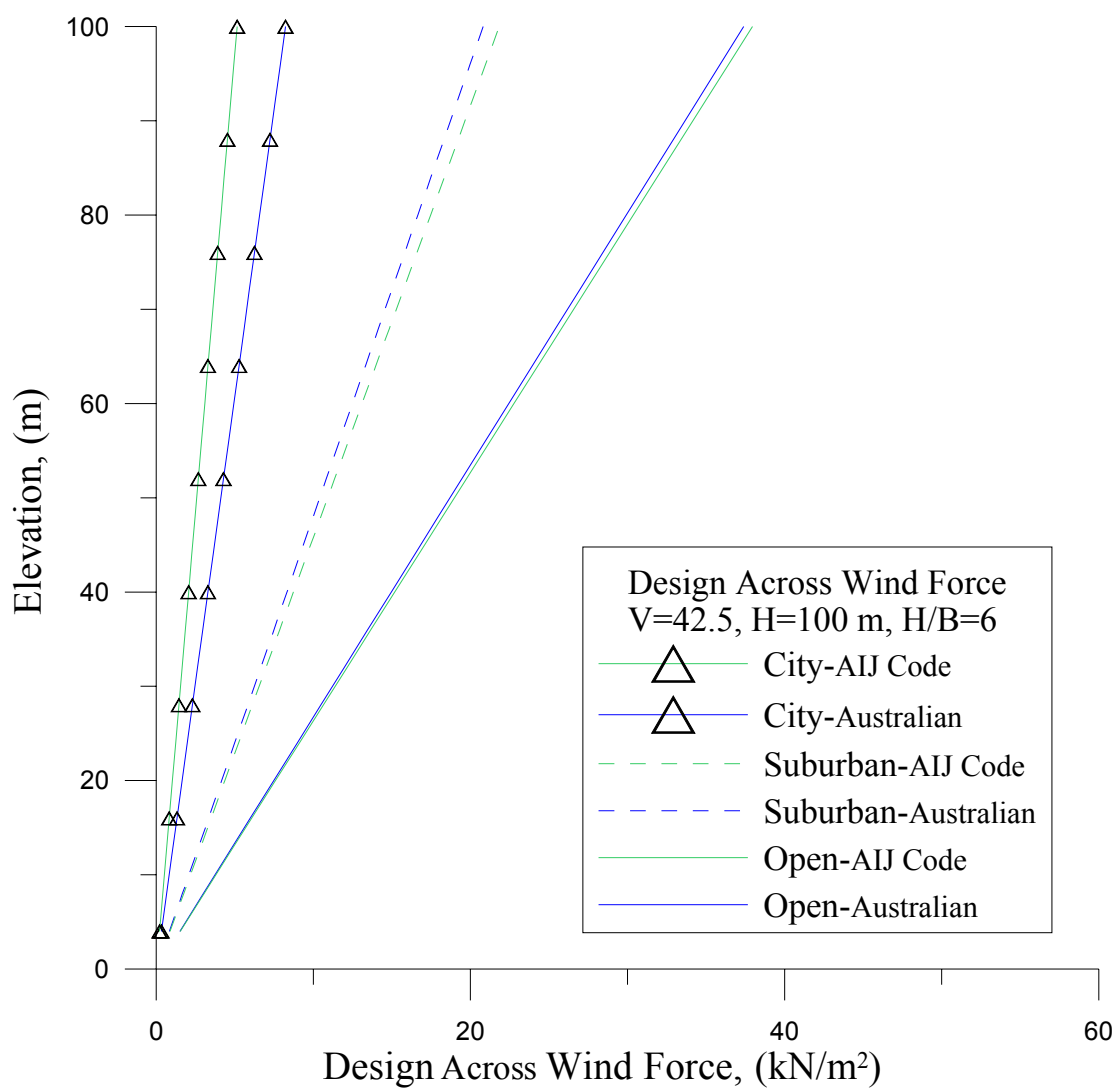


圖 4.3(a) 日本、澳洲橫風向設計風荷之比較， $H=100$ m

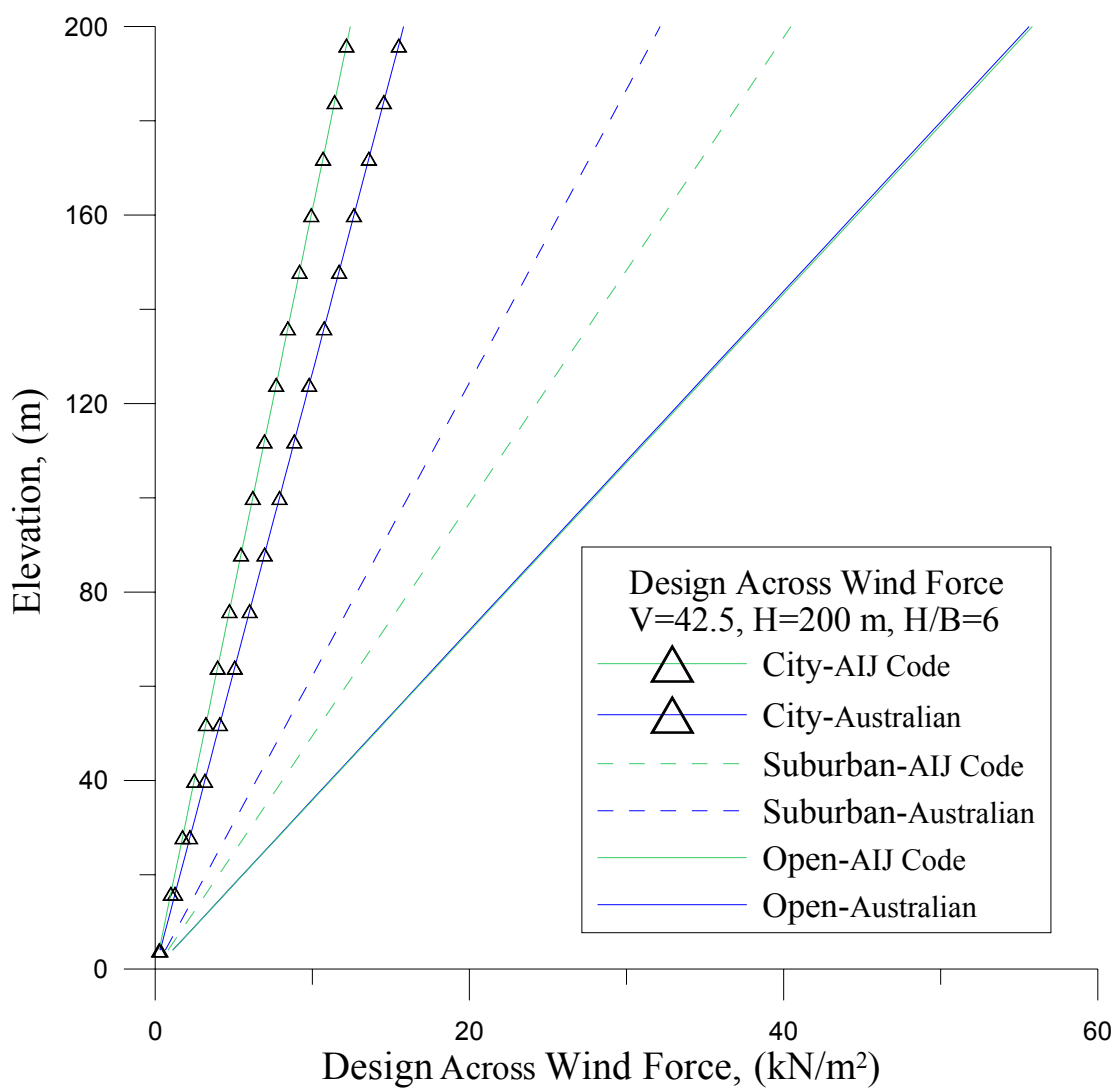


圖 4.3(b) 日本、澳洲橫風向設計風力之比較， $H=200$ m

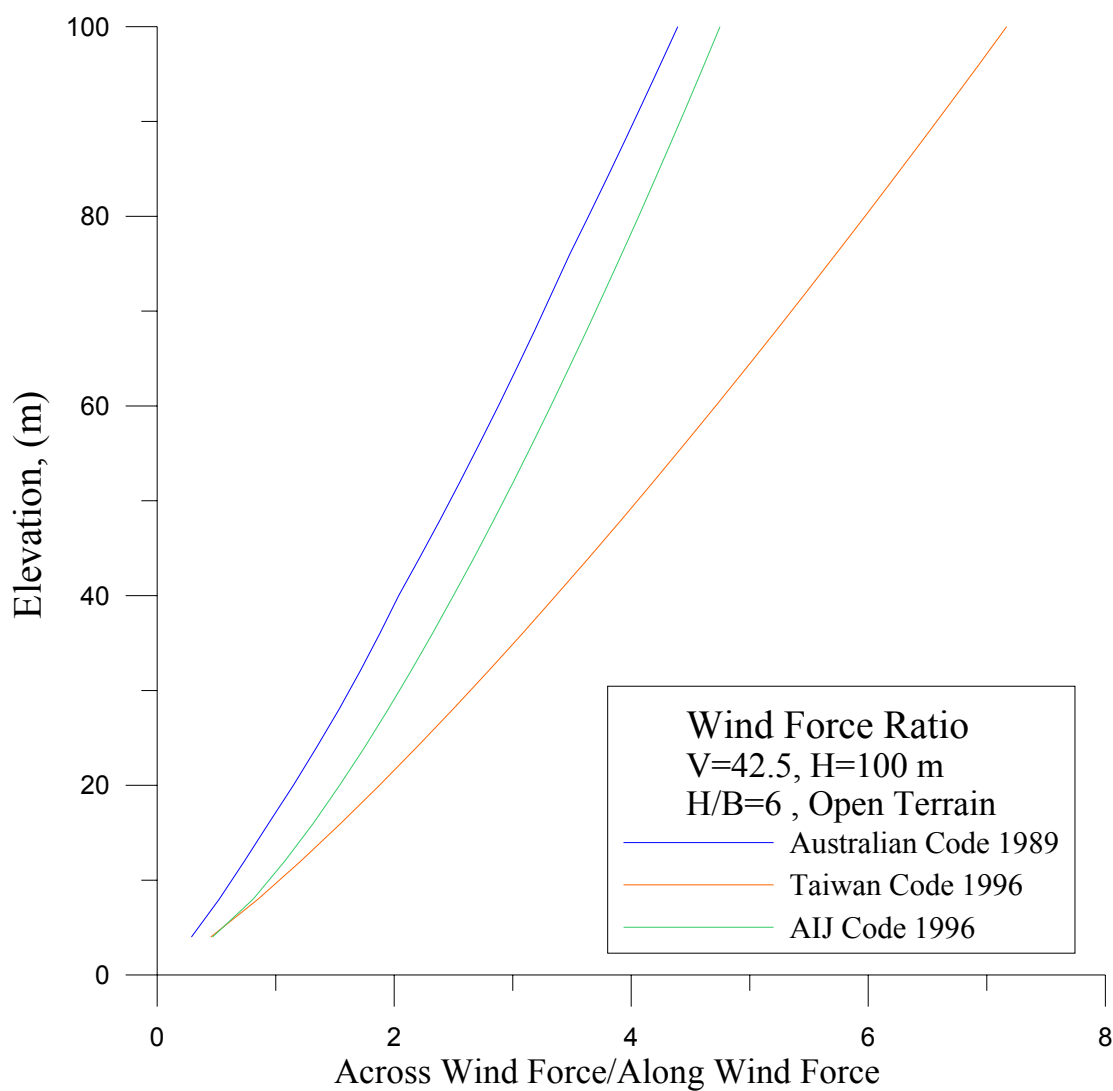


圖 4.4(a) 台灣、日本與澳洲之順風荷與橫風荷設計風荷之比值

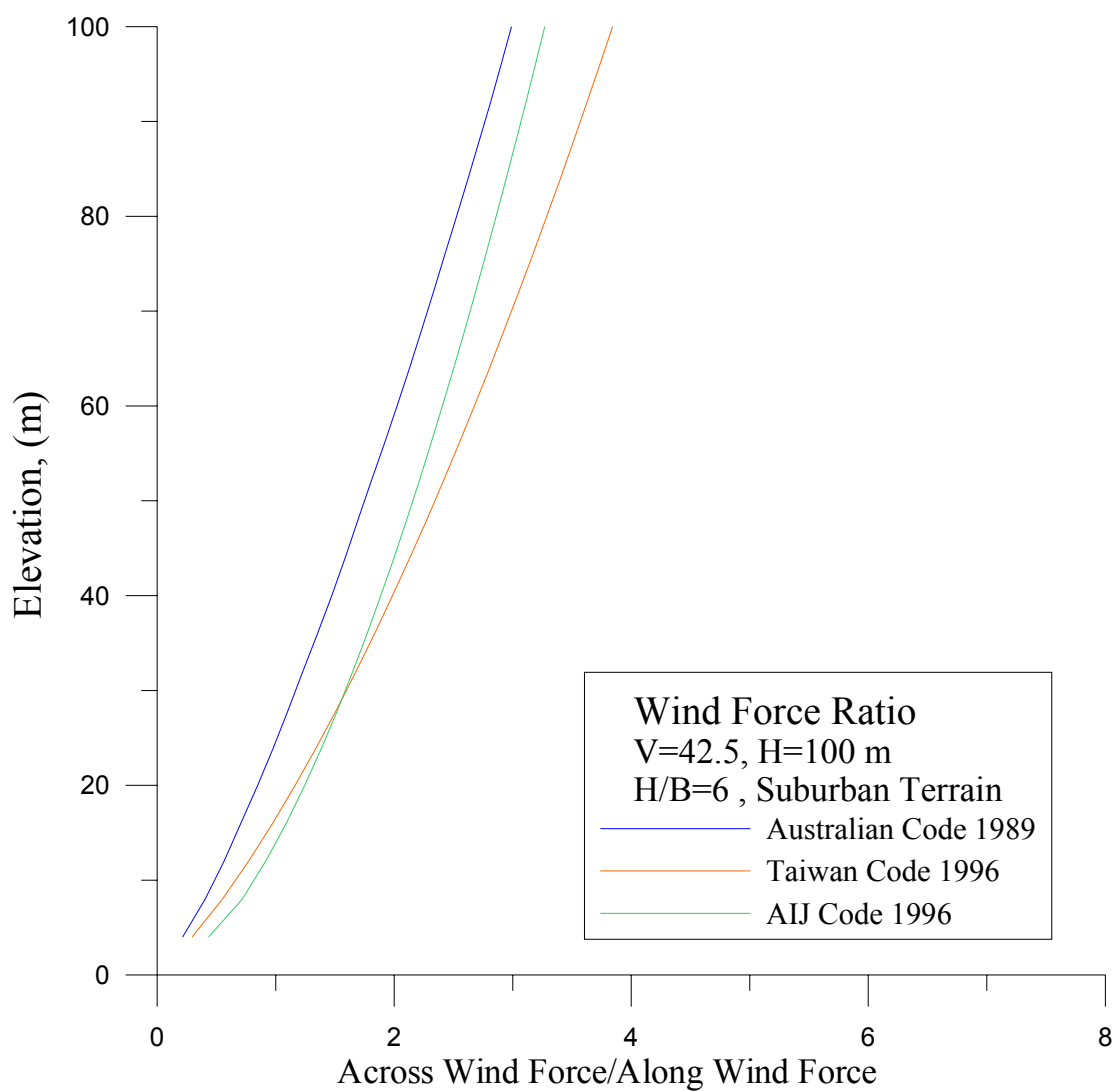


圖 4.4(b) 台灣、日本與澳洲之順風向與橫風向設計風荷之比值

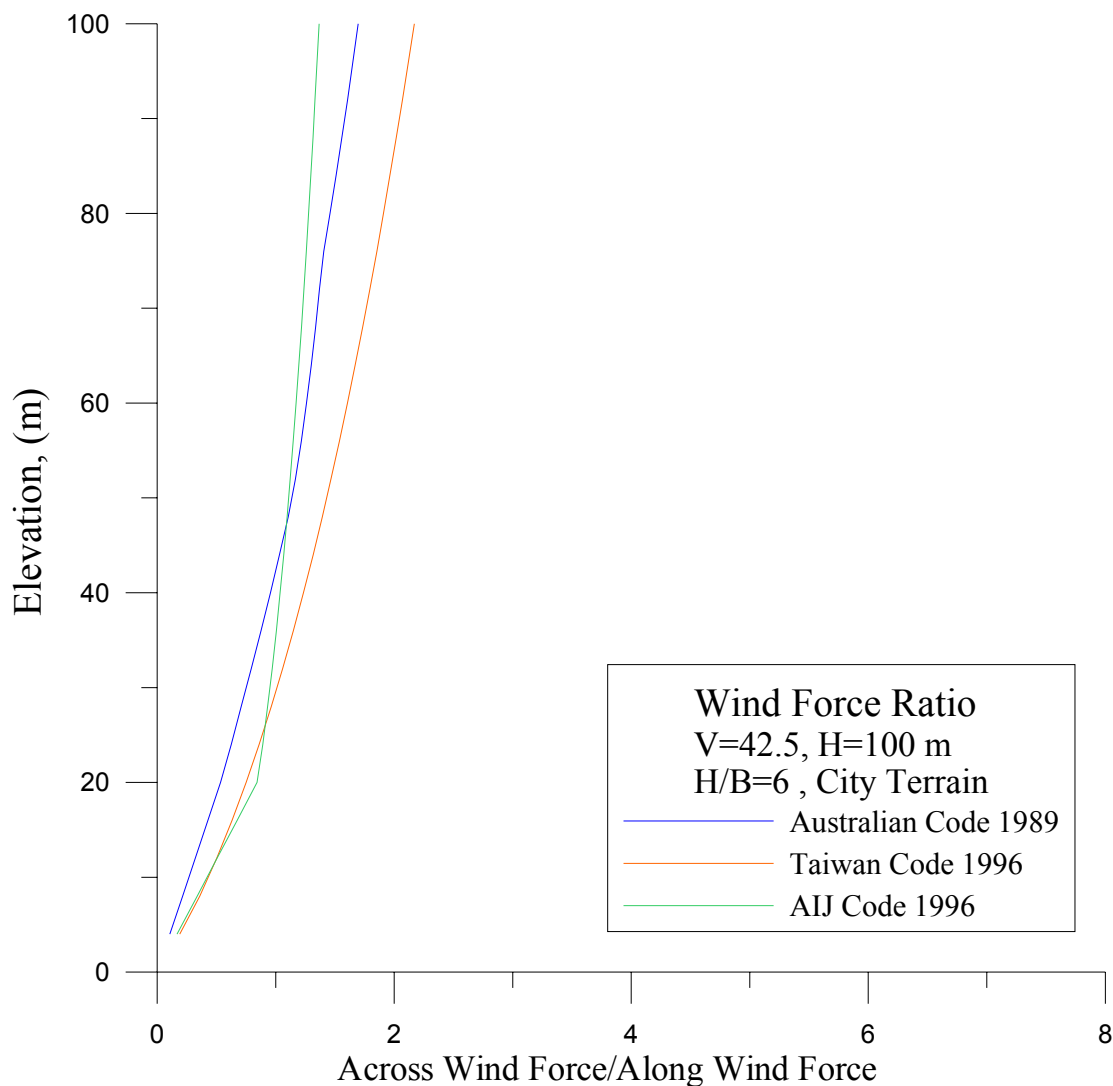


圖 4.4(c) 台灣、日本與澳洲之順風向與橫風向設計風荷之比值

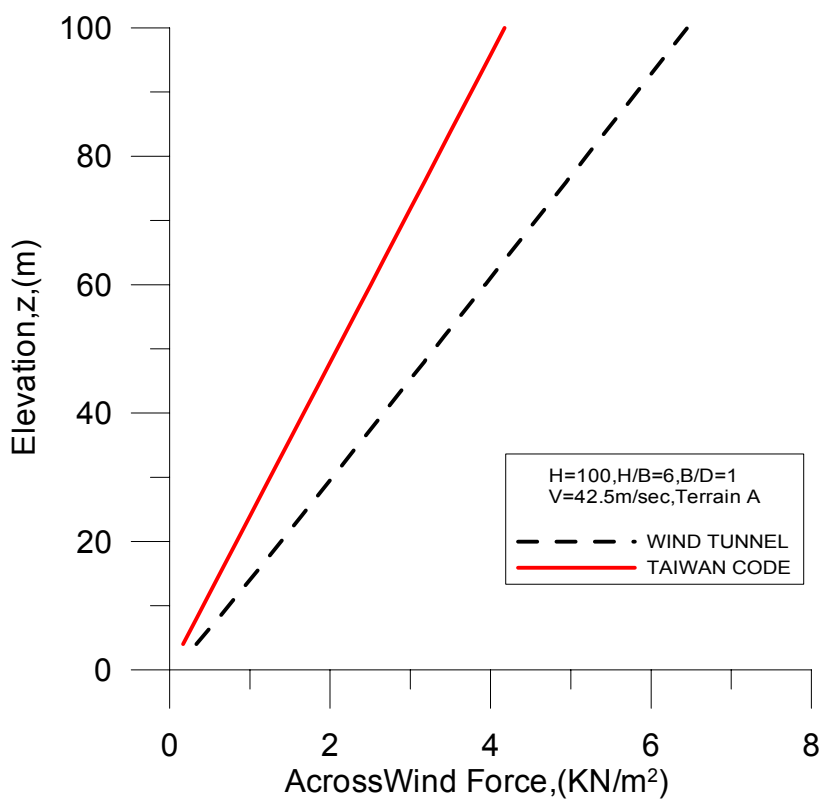
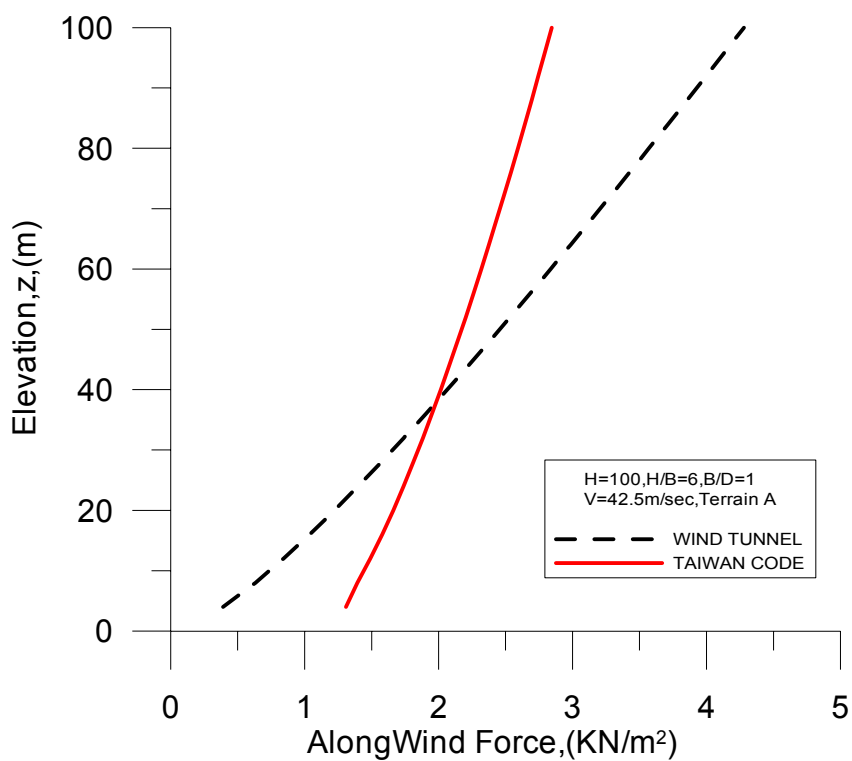


圖 4.4.1 規範與風洞實驗結果比較，地況A，H=100 (m)，H/B=6。

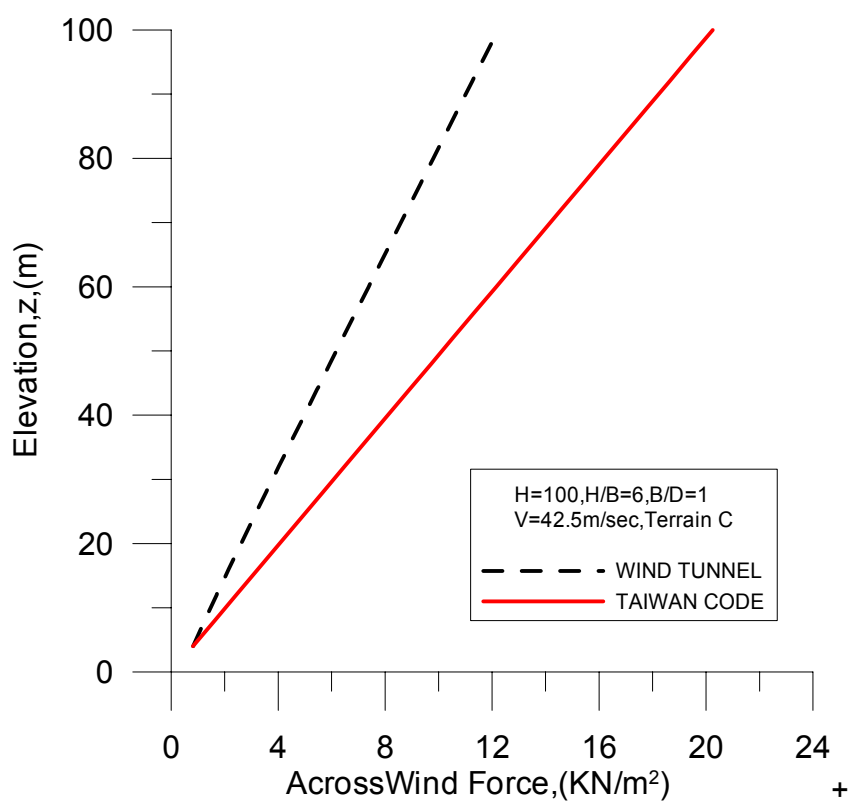
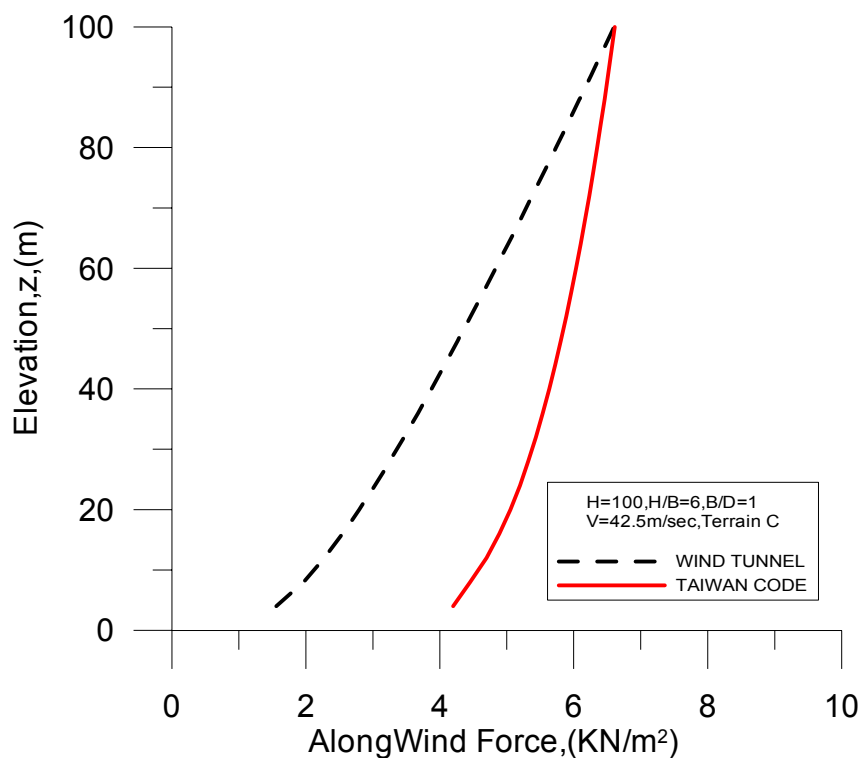


圖 4.4.2 規範與風洞實驗結果比較，地況 C， $H=100$ (m)， $H/B=6$ 。

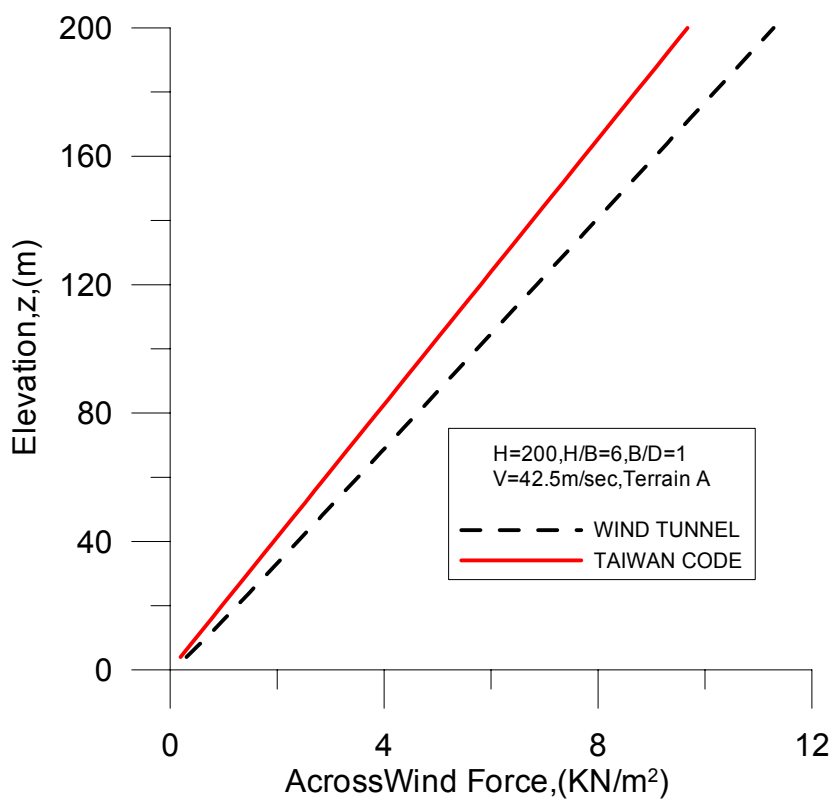
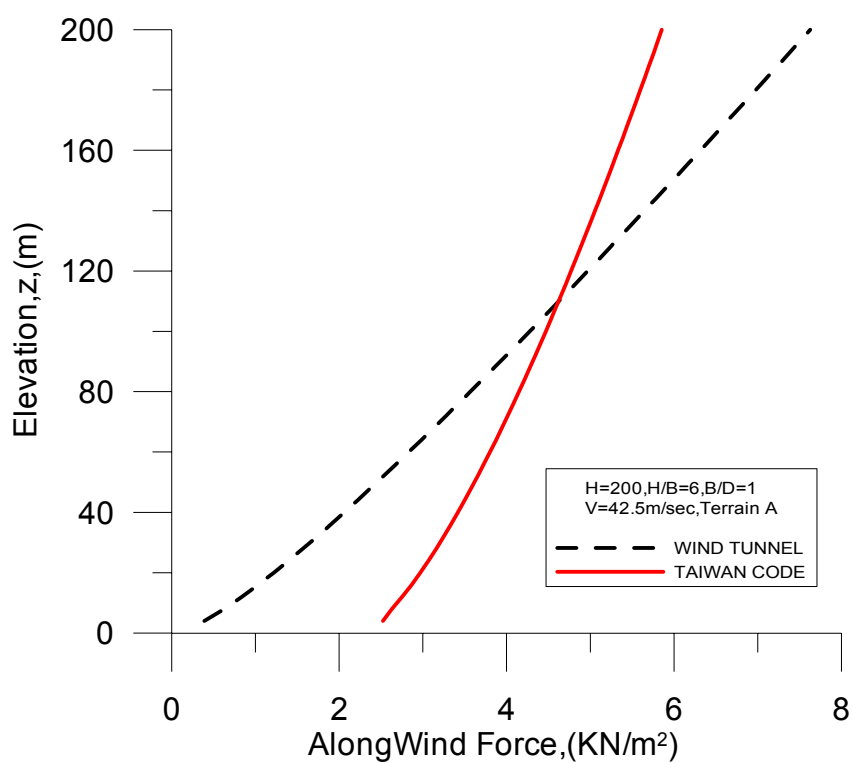


圖 4.4.3 規範與風洞實驗結果比較，地況A，H=200 (m)，H/B=6。

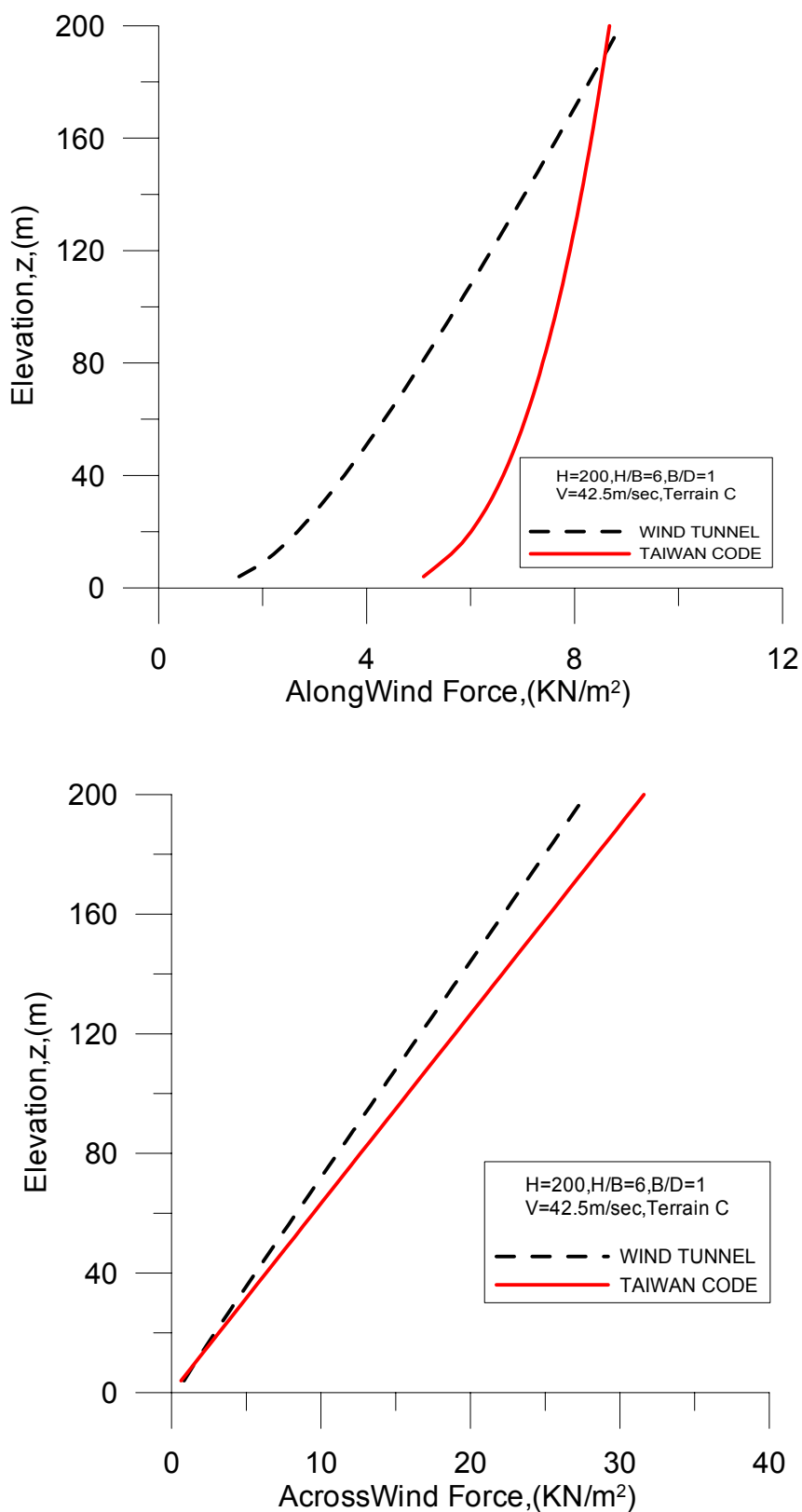
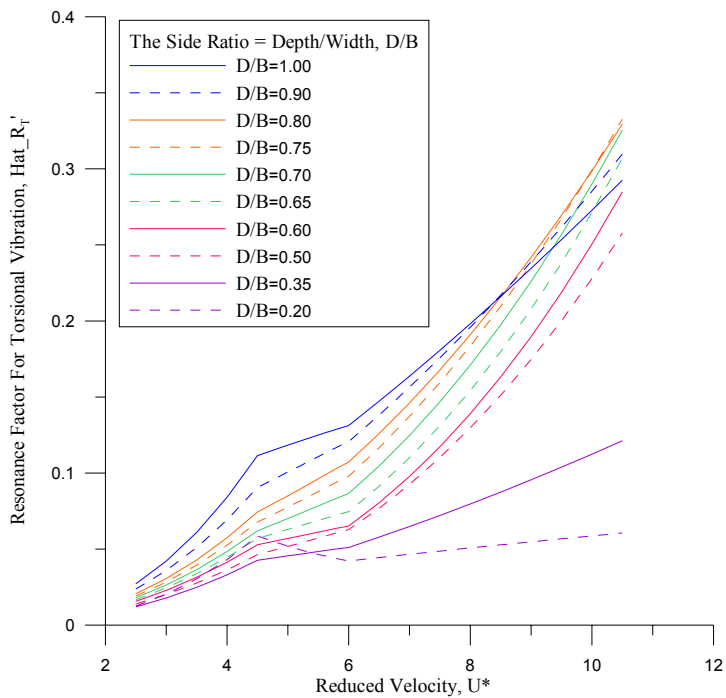
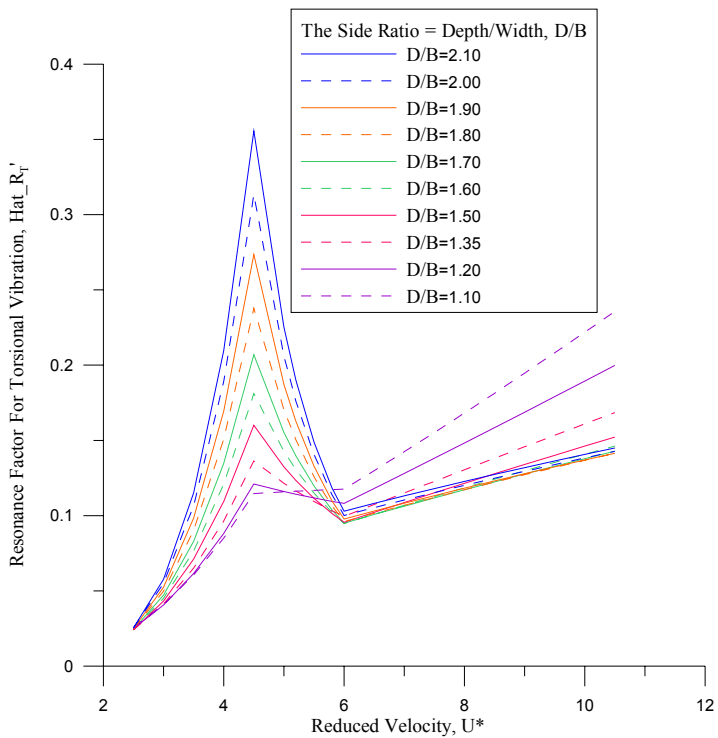


圖 4.4.4 規範與風洞實驗結果比較，地況 C，H=200 (m)，H/B=6。



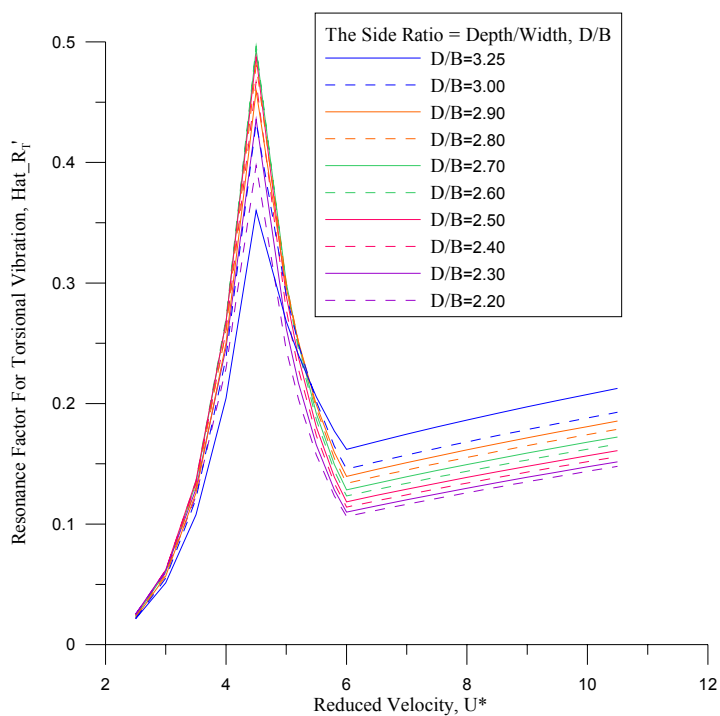
Resonance Factor For Torsional Vibration, \hat{R}_T'

圖 4.5(a) 扭轉風向共振因子, \hat{R}_T'



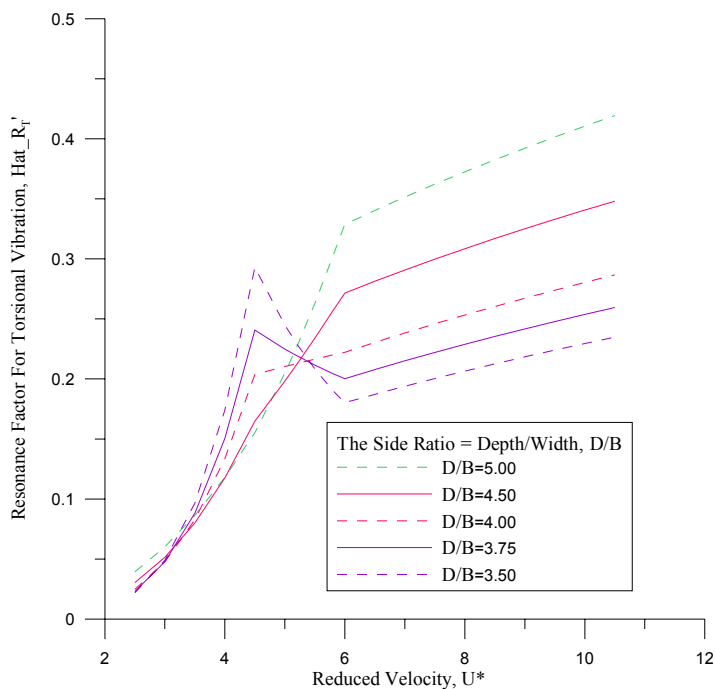
Resonance Factor For Torsional Vibration, \hat{R}_T'

圖 4.5(b) 扭轉風向共振因子, \hat{R}_T'



Resonance Factor For Torsional Vibration, \hat{R}_T'

圖 4.5(c) 扭轉荷共振因子, \hat{R}_T'



Resonance Factor For Torsional Vibration, \hat{R}_T'

圖 4.5(d) 扭轉荷共振因子, \hat{R}_T'

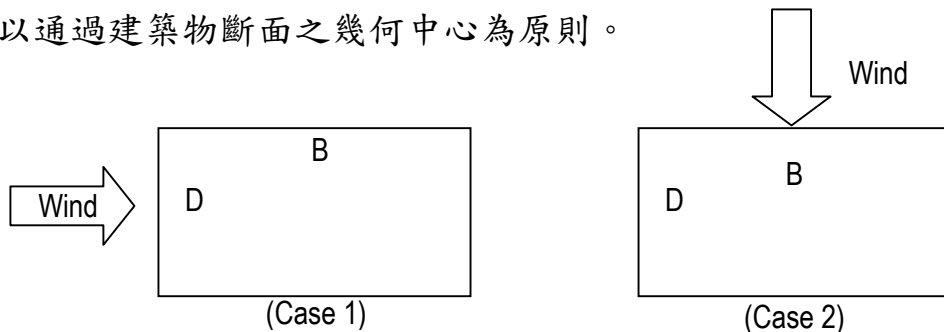
第五章 風力組合

5-1 前言

建築物的設計風力包含了順風向、橫風向及扭轉向設計風力。由於建築物所受到的實際風力受風向的影響很大，對於絕大多數的建築物而言，上述三種風力的最大值並不在同一風向角同時發生。若是需要考慮到各個風向角的風力，訂定合理的風力組合是一項值得深入探討的問題。由於在風力規範中，高層建築是以矩形斷面為建築物的基本幾何造型，重要的風力組合方式可分為二種風向與建築結構正交時的風力組合。

5-2 風力組合方法

建築物所受的最大順風向、橫風向與扭轉向風力並不會在相同風向發生，應分別考慮不同風向的影響。以下圖中矩形斷面為 $B \times D$ 的建築結構為例，應分別將 x 風向與 y 風向所產生的順風向、橫風向與扭轉向風力組合為二個載重組合，進行結構分析。設計時以二個載重組合計算結果之較大值為設計依據，為了考慮順風向與橫風向載重對於某些構件具有相同方向效應，如邊角柱的軸向力，可將三個風向的動態部分結構效應以適當方式組合。組合時假設扭轉向與橫風向為完全相關，可將這二方向之最大擾動風力部份相加。其次假設順風向與橫風向及扭轉向互為獨立，其動態結構反應之和可採用平方和開根號(SRSS)方式計算。最後再加上各方向之平均風力部份。本文之設計風載重不包含建築物質量中心與勁度中心不一致的偏心效應，施加载重時，順風向與橫風向之合力應以通過建築物斷面之幾何中心為原則。



(一) Loading Case 1: $\{F_{Dx}, F_{Lx}, F_{Tx}\}$

F_{Dx} : x 風向之順風向設計風力

F_{Lx} : x 風向之橫風向設計風力

F_{Tx} : x 風向之扭轉向設計風力

(二) Loading Case 2: $\{F_{Dy}, F_{Ly}, F_{Ty}\}$

F_{Dy} : y 風向之順風向設計風力

F_{Ly} : y 風向之橫風向設計風力

F_{Ty} : y 風向之扭轉向設計風力

構件設計強度：

$$W = \max.\{W_1, W_2\}$$

W_1 為 Loading Case 1 之結構效應，

W_2 為 Loading Case 2 之結構效應。

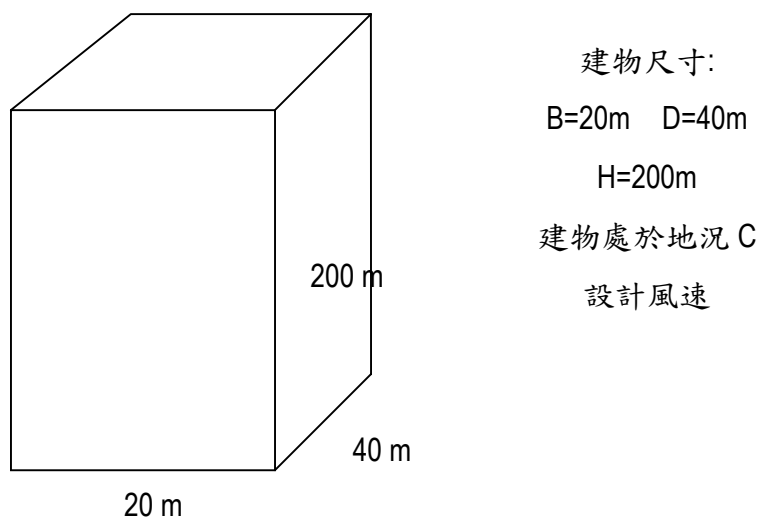
$$W_{1,2} = \bar{W}_D + \sqrt{(\hat{W}_D - \bar{W}_D)^2 + (|\hat{W}_L| + |\hat{W}_T|)^2}$$

\bar{W}_D 為順風向設計風力所造成的結構效應， \bar{W}_D 為順風向平均風力所造成的結構效應， \hat{W}_L 為橫風向設計風力所造成的結構效應， \hat{W}_T 為扭轉向設計風力所造成的結構效應。

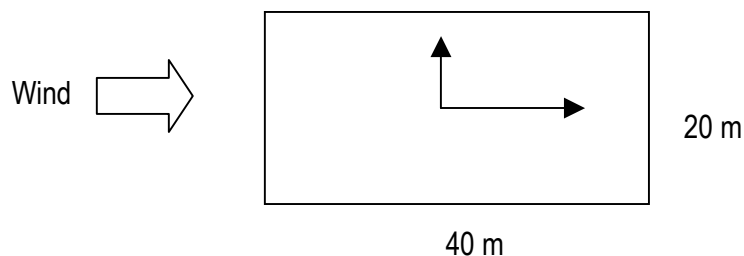
5-3 風力組合之計算案例

本文以下圖之高層建築為例，進行風力組合之案例計算。標的建築為矩形斷面 1:2 之高層建築，高度為 200 公尺，斷面在 x-軸向寬度為 40 公尺，y-軸向寬度 20 公尺，位於地況 C，基本設計風速 42.5 m/s。計

算設計風力時，應分別考慮 x-風向 (loading case 1)，與 y-風向 (loading case 2)。計算結果分別列於表 5.1 與圖 5.2-5.4。由於計算案例中建物的斷面深寬比為 1:2，因此 x、y 風向的設計風壓有明顯的差異。計算結果除了顯示橫風向的設計風力明顯大於順風向設計風力之外，橫風向與扭轉向設計風力同步增大，顯示二者間有良好的相關性，順風向則與之相反。



Case 1 (X-風向)



Case 2 (Y-風向)

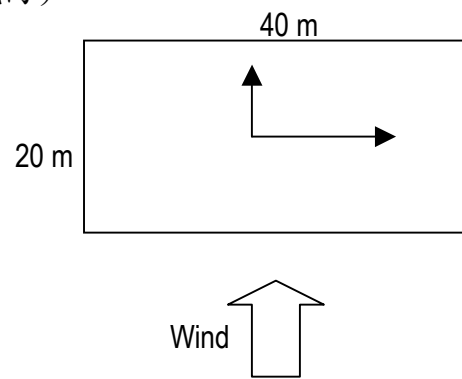


圖 5.1 風荷組合之計算案例

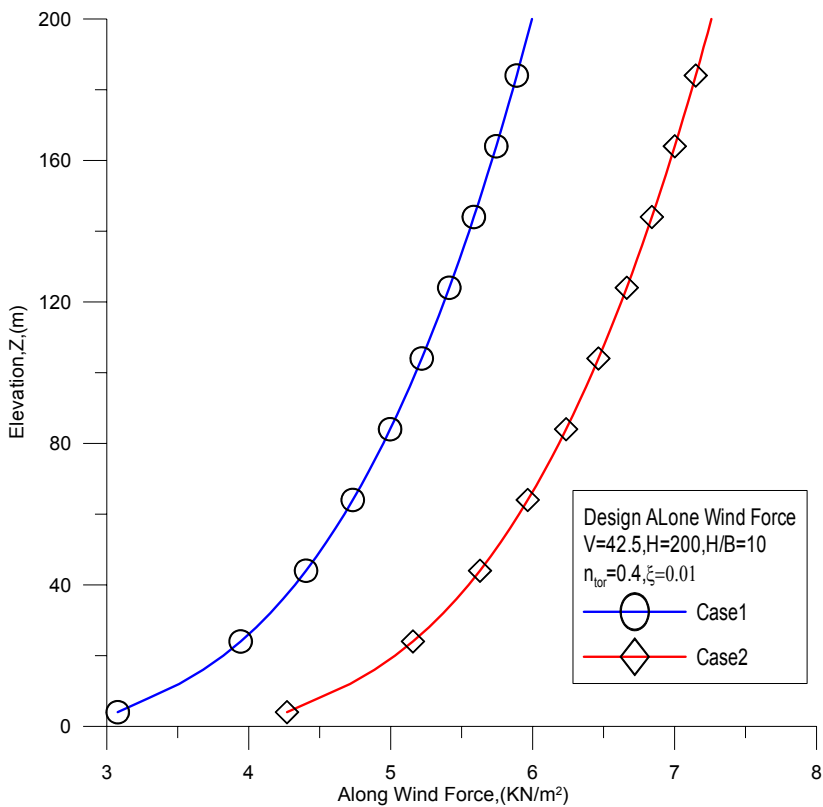


圖 5.2 順風向設計風載重

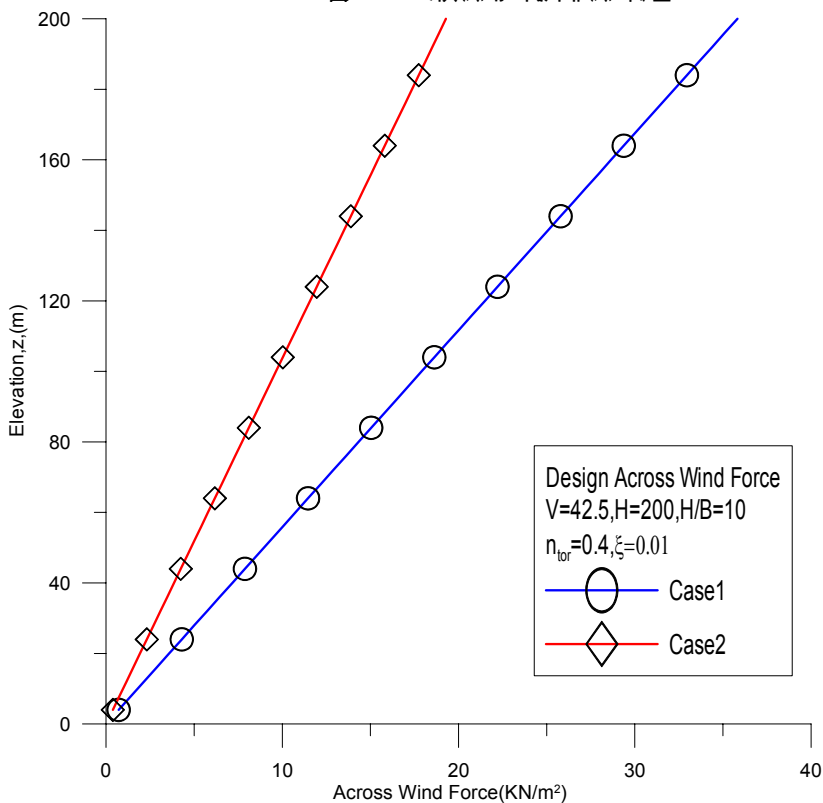


圖 5.3 橫風向設計風載重

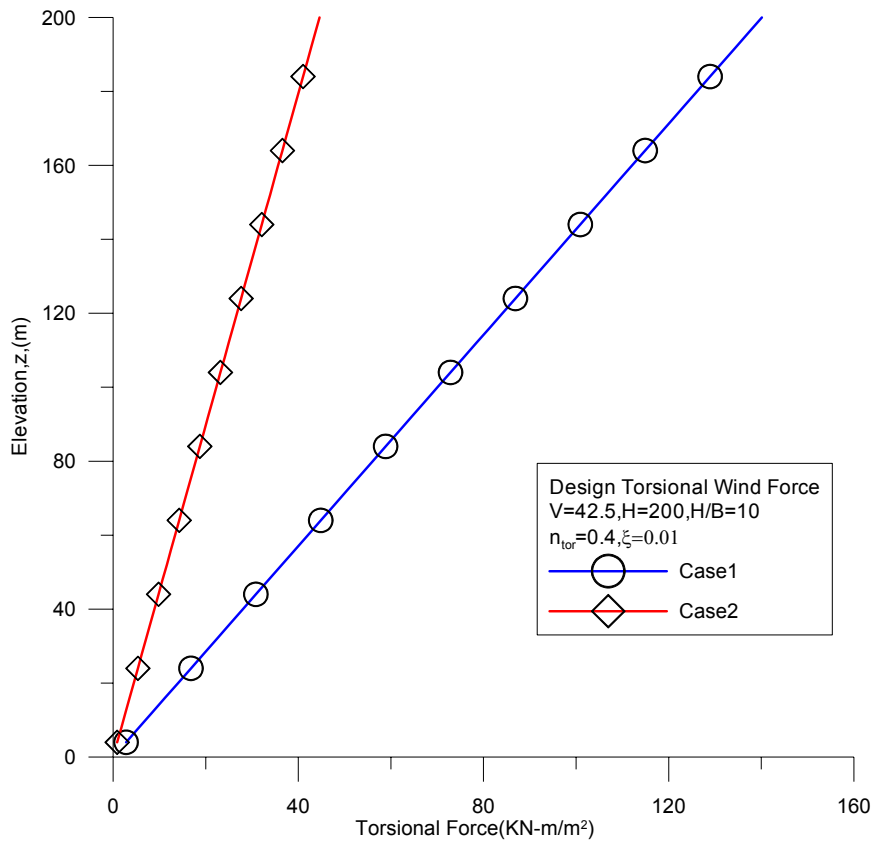


圖 5.4 扭轉設計風載重

表 5.1 設計風力之載重組合

高度(m)	設計風載重(KN/m ²)(KN/m ²)(KN-m/m ²)					
	Case1			Case2		
	順風向	橫風向	扭轉向	順風向	橫風向	扭轉向
8	3.30	1.43	5.61	5.92	0.77	1.78
16	3.68	2.87	11.21	6.43	1.54	3.57
24	3.94	4.30	16.82	6.79	2.31	5.35
32	4.15	5.73	22.42	7.07	3.09	7.13
40	4.33	7.16	28.03	7.31	3.86	8.92
48	4.48	8.60	33.63	7.51	4.63	10.70
56	4.61	10.03	39.24	7.69	5.40	12.48
64	4.73	11.46	44.85	7.86	6.17	14.27
72	4.84	12.89	50.45	8.01	6.94	16.05
80	4.95	14.33	56.06	8.14	7.71	17.83
88	5.04	15.76	61.66	8.27	8.49	19.62
96	5.13	17.19	67.27	8.40	9.26	21.40
104	5.22	18.63	72.88	8.51	10.03	23.18
112	5.30	20.06	78.48	8.62	10.80	24.97
120	5.38	21.49	84.09	8.72	11.57	26.75
128	5.45	22.92	89.69	8.82	12.34	28.53
136	5.52	24.36	95.30	8.92	13.11	30.32
144	5.59	25.79	100.90	9.01	13.89	32.10
152	5.65	27.22	106.51	9.09	14.66	33.88
160	5.71	28.65	112.12	9.18	15.43	35.67
168	5.77	30.09	117.72	9.26	16.20	37.45
176	5.83	31.52	123.33	9.34	16.97	39.23
184	5.89	32.95	128.93	9.41	17.74	41.02
192	5.94	34.39	134.54	9.49	18.51	42.80
200	6.00	35.82	140.14	9.56	19.28	44.58

註：風力單位為 kN/m²，kN · m/m²

第六章 舒適性評估標準之建議

6.1. 貢獻回顧

科技的發展，生活物質的提升，使得人類對生活品質的標準與要求也逐漸提高，與舒適度相關的各項標準也相繼新增與修訂。超高層建築之新建將對地面行人活動之區域附近環境風場造成改變，進而影響人類在此一區域活動之舒適性故對於新建超高層建築的環境風場評估已是設計時的必要條件之一。目前各國對於行人環境風場之舒適性評估研究與準則設定，除日本學者曾利用風洞試驗以人體實驗方式提出研究報告來訂定之，其它大多以西方國家之準則為依據，為瞭解處於亞熱帶地區之東方人對於風場環境之可接受度，本中心亦將擬定一套適合本國使用之評估方式及評估準則。其中各國有關的一些環境風場評估標準已知的條文或規定，簡述如下：

應用範圍方面，各國的標準多以活動方式來區分、如長時間停留、短時間停留、快步行走和慢步行走，或依接受程度之感受，區分為舒適、無法接受、到危險...等等，諸如此類的區分法。再針對上述各種組合狀態下最大容許風速及其發生機率去訂定之。最大容許風速之計算有平均風速和陣風風速兩種選擇。英國學者 Penwarden & Wise(1975)與加拿大學者 Isyumov & Davenport(1975)所提出之容許風速僅考慮平均風速(U_{mean})下，分析出的評估標準。而 Lawson & Penwarden(1975)、Hunt, Poulton & Mumford(1976)與 Melbourne(1978)等學者的結論裡則是使用方程式 $U = U_{mean} + kU_{rms}$ 計算陣風風速來進行分析。(其中 U_{rms} 表示風速變動劇烈程度：

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} ; k \text{ 為陣風因子}$$

各地學者和都市的研究評估標準列舉如表 6-1：

以風洞試驗來評估行人環境風場舒適性研究上，日本東京大學 Murakami, Uehara & Deguchi 等學者曾以人體風洞試驗利用照相及攝影

的方式紀錄人體行走步法，行走時的穩定性和反應。Hunt, Poulton & Mumford 等學者利用在受測者鞋底塗上顏料在畫線的紙上行走，藉而紀錄行走軌跡，並依照自己先前的足跡再走一次，觀察重複行走的情形下能夠與前次重合的程度，以判斷行走穩定性…等，都是一些值得參考的實驗方法。

6.2. 舒適性評估之研究

6.2.1 風洞實驗

實驗設置

本案實驗所使用之風洞設備為淡江大學第一號邊界層風洞，該風洞屬於吸入、開放型。風洞實驗段長 18.0 m，其斷面寬 3.2 m、高 2.0 m，風洞頂板高度可分七段調整，其最大調整高度為 0.4 m。十六槳葉之軸流式風扇 (axial fan) 其直徑為 2.2 m，由具 175 匹馬力之直流無段變速馬達帶動。風速可經由控制風扇之轉速而得到調整，其流速範圍為 0.7 m/s 至 15 m/s。風洞進口段之收縮比為 4:1，進口段設有蜂巢管及四層之阻尼網 (damping screen)，風洞內自由流之紊流強度約為 1%。風速測量所使用之儀器主要為皮托管 (pitot-static tube) 主要用於風洞內風速之量測。

實驗步驟概述

本實驗之進行方式主要參考西安大略大學風洞實驗室提出的行人舒適性準則進行試驗分類參考，分為長時間停留、短時間停留、慢步行走、快步行走。準則使用時，視各區域規劃使用的性質不同，選擇適當的評估標準。由上述分類條件中，進行下列四種情境的模擬：露天電影院、街頭候車處、公園等活動場地、人行道。

- (1) 露天電影院 (模擬長時間停留之分類): 模擬方式是在風洞內，放映電影長片，如處於露天電影院般，以其較能接近真實情境，讓受試者勿將注意力集中於感受風速強弱而過於敏感。因空間之限

制每次試驗進入 5 人，就坐後開始放映影片，並調整風速，每段風速試驗三十分鐘，讓受試者瞭解長時間受風吹襲之感受。每段風速試驗後，填寫問卷，回答對於該風速之感受程度

- (2) 街頭候車處(模擬短時間停留之分類): 模擬方式是在風洞內，放映廣告、長度約五至十分鐘，如處於街頭看外掛廣告動態看板(如台北車站新光大樓前)，其餘與上述同，但每段風速試驗為五至十分鐘。每段風速試驗後，填寫問卷，回答對於該風速之感受程度
- (3) 公園等活動場地(模擬慢步行走之分類): 模擬方式是要求受試者在風洞內活動或走動，其與模擬短時間站、坐之分類之分別在於受試者不能坐定或站定，需如同在公園散步或活動之狀況，在此狀況下，每段風速試驗為十分鐘。每段風速試驗後，填寫問卷，回答對於該風速之感受程度。
- (4) 人行道(模擬快步行走之分類): 一般而言，經過大樓附近人行道時間皆不會太久，故模擬方式是要求受試者快速的通過風洞，並來回經過 4 次後。填寫問卷，回答對於該風速之感受程度。

試驗風速分段是以蒲福風級及各國之研究為參考，分別採蒲福風級 2、3、4、5 級，相對於風速約為 3.1m/s，5.2m/s，7.8m/s，10.2m/s。

實驗結果分析

目前試驗結果，如表 6-2 至表 6-5 所示，由表可看出人們在不同情境下對於風速的感受程度。四種情境之比較圖參照圖 6-1。(其中 X 軸代表目前各國通用之蒲福風級，而 Y 軸代表感受不舒適的程度，數值越高代表越不舒服。不舒適程度之計算方法：以權重分配四種舒適感之分數，分別是沒感覺 1、舒服 2、還可以 3 及不舒服 4，在各風級下四種舒適感所佔的百分比乘上對應之權重後相加即為該風速之不舒適程度參考值。)

根據目前之實驗數據顯示：在長時間停留的狀況之下，風速越高感受到不舒服的比例越高，其餘情境狀況亦同。但在短時間停留、慢

步行走與快步行走這三種情境之間不同風速對應之不舒適程度則較無明顯差異。

6.2.2 實場調查

實驗步驟概述

在超高層建築之地面樓層附近或空曠地區等可能產生高風速的區域進行觀察後，選擇風速較大且人潮較多的地點並以腳架將儀器架設於離地面 1.5m 高處進行風速量測。量測儀器使用風杯式風速計，儀器內定值為每 2 秒鐘擷取一個資料點，配合筆記型電腦擷取數據，資料擷取間隔以一分鐘為最小，將一分鐘內所得之平均值輸出為該分鐘的代表風速，並同時紀錄該分鐘內最大陣風風速，亦即擷取卡上一分鐘紀錄兩個風速資料。在儀器架設一段時間之後開始進行問卷調查(問卷內容見附件 6-1)，對受訪者說明問卷目的並紀錄下受訪者狀態與填寫時間，配合筆記型電腦在調查時間內所紀錄下之氣溫、風速與風向等數據，爾後進行分析。目前為止實場調查地點，選擇了三個可能產生高風速的地點進行量測：(風速歷時見附件 6-2)

(1) 漁人碼頭情人橋上

大氣資料：量測時間內平均風速 U_{mean} 為 5.9m/s，風速範圍大約分布在蒲福風級之四到五級間；平均高風速 U_{hi} (每個時間點最大陣風風速合之平均值)為 7.2m/s；平均溫度為 30.8°C；風向由南風至接近六點後轉為東北風。

行人狀況：人潮眾多，絕大多數以觀光為目的，故以慢步行走的行人居多。

(2) 台北新光三越站前店地面廣場

大氣資料：飄細雨；量測時間內平均風速 U_{mean} 為 5.5m/s，風速範圍大約分佈在蒲福風級之三到四級間；平均高風速 U_{hi} 為 8.2m/s；平均溫度為 29.4°C；風向介於東北東風與東北風之間。

行人狀況：當天晚上輕度颱風登陸，風速雖沒有預期的高，但停留的行人卻是寥寥無幾，多為慢步通過。

(3) 淡水捷運站旁露天咖啡座及河邊廣場

大氣資料：量測時間內平均風速 U_{mean} 為 3.6m/s，風速範圍大約分佈在蒲福風級之二到三級間；平均高風速 U_{hi} 為 5.8m/s；平均溫度為 31.1°C；風向由南南東風至五點多左右轉為南南西風。

行人狀況：多數以到河邊放鬆心情、喝咖啡聊天為目的，故長時間停留者居多。

結果分析

在實測的當時依照風速在時間上的分佈和受訪者勾選的問卷來看，結果有以下情形：

(1) 漁人碼頭情人橋上

情人橋上的風速較高，但是因為風速大小變動的情況較不顯著，且行人大多數為遊客，一開始在心境上就有愉快的感受，故在慢步行走的人群中，女性僅有 5.56% 的人感到不舒適，男性則無；短時間停留而感到不舒適的也是少數，多數人以口頭陳述大風讓人感到舒適。整體分析下，在受訪的 55 人中僅有 9.09% 的人有不舒適的感覺。

(2) 台北新光三越站前店地面廣場

地面廣場風速略高，因為風速變動較鉅，是以有不舒適感的百分比比較大，在慢步行走的人群中，不舒適者男性佔 26.09%、女性佔 78.13%。推測短時間及長時間停留者的不舒適百分比必定更高。整體分析下，在受訪的 55 人中，有過半的人(56.36%)會有不舒適的感覺。

(3) 淡水捷運站旁露天咖啡座及河邊廣場

咖啡座及廣場的風速緩和，多數人以口頭陳述緩和的風讓人感到舒適，在長時間停留的人中，女性有 23.81% 的人感到不舒適，男性則無。整體分析下，在受訪的 48 人中僅有 10.42% 的人有不舒適的感覺。

台灣地區氣候特徵為夏季燠熱，冬季溼冷。本研究報告中之實場量測的氣候條件均為夏季，氣溫約 30°C 上下，因此在溫度的控制因子方面尚未能做出比較，但在此簡單做出幾項推測：

- (1) 女性對不舒適的感受較為敏感的多。
- (2) 大氣溫度為舒適度感受之一重要因子。夏季因氣溫較高，特定區間的風速反而有舒適的感覺，此一結果與一般愈高風速、愈不舒服的結論不符。
- (3) 週遭的情境也會影響行人的感受，漁人碼頭就是一個明顯的例子：受訪者多數口述透露，到漁人碼頭的目的即是欣賞風景，享受風的拂動，因此氣氛與景色亦會改變人的感受。
- (4) 比較漁人碼頭與新光三越兩個案例可發現漁人碼頭情人橋上的平均風速雖大但變動不劇烈，行人感受以舒適居多；新光三越地面廣場則是平均風速稍小但變動較大，行人較不舒適。由此可知高平均風速並非決定不舒適程度的唯一條件，因風速變動程度也是其中另一項重要關鍵。(見圖 6-2 及圖 6-3)

6.3. 結論及建議標準

由風洞實驗室與實場量測之關係(見圖 6-4)，可見得實驗室內之狀況與實際上有相當程度之差異性：實驗室內所得之曲線隨著風速的增強，不舒適的程度也快速上升，但實場調查之數據則無相似之趨勢，推測應與下列幾項因素有關：

- (1) 風洞實驗室內當風速逐漸增強的同時風扇轉速必然加快，噪音也隨之逐漸變大，很可能影響到受測者對風速的感覺。
- (2) 實場量測之氣溫可能佔有相當程度之影響，是以在氣溫較炎熱時風速提高的情形下，亦可能會造成不舒適程度的降低。

分析比較實驗所得結果，我們做出以下結論：

- (1) 調查及實驗結果顯示，風場環境對短時間停留與慢步行走、快步

行走等三種狀態所造成之影響，差距並不明顯，因此可同歸為“行人”一類。

- (2) 在漁人碼頭的案例顯示，天氣悶熱時，高風速反而提高了舒適度，故天候的因素很可能影響風場環境所造成的感覺。
- (3) 風速之 RMS 值(Root Mean Square)很可能是影響舒適度的因素之一，故評估時建議加上均方根風速 U_{rms} 值的考量。

由於目前實驗所得數據尚未量化，且尚有冬季或其他未得的資料，現階段並不足以藉此建立標準，故暫以實驗所得之結論，配合現有的評估標準中選擇最適合國人使用之標準。這裡建議採用 San Francisco(1989) 規範之架構，並選擇陣風因子 k 為 2.7(即 $U = U_{mean} + 2.7U_{rms}$)，待日後資料趨於完整之後，再重新依據整體之數據對現有規範進行必要的修正。建議標準如下：

建議標準	應用範圍	風速計算	風速範圍 (m/s)	發生機 率(%)	附註說明
參照 San Francisco City Code (1989)	長時間停留 (公共座位區)	U_e	> 3.1	< 10	$U_e = U_{mean} + 2.7U_{rms}$
	行人	U_e	> 4.9		
	危險	U_e	> 11.6	> 0.025	

表 6-1 各地學者和都市的研究評估標準

評估標準建立者	應用範圍	風速計算	風速範圍 (m/s)	發生機率 (%)	附註說明
Penwarden & Wise (1975)	不舒適需改善	U_{mean}	> 5.0	> 20	衣物拍動、灰塵揚起
Isyumov & Davenport (1975)	長時間停留	U_{mean}	> 3.6	< 1.5	發生機率依據：一天為 12 小時，分別以一週、一個月、一年內發生一小時的機率可得 1.5、0.3、0.02%
			> 5.4	< 0.3	
	短時間停留	U_{mean}	> 5.4	< 1.5	
			> 7.6	< 0.3	
	散步	U_{mean}	> 7.6	< 1.5	
			> 7.6	< 0.3	
有精神地行走	U_{mean}	> 9.8	< 1.5		
危險	U_{mean}	> 9.8	< 0.3		
		> 15.2	> 0.02		
Lawson & Penwarden (1975)	有遮蔽物區域	U_{mean}	> 3.4	< 0.4	$U_{\text{peak}} = U_{\text{mean}} + 2.68U_{\text{rms}}$
		U_{peak}	> 5.7		
	站立區	U_{mean}	> 5.5		
		U_{peak}	> 9.3		
	行走區	U_{mean}	> 8.0	> 0.2	
		U_{peak}	> 13.6		
	無法接受	U_{mean}	> 13.9		
		U_{peak}	> 23.7		
不舒適	其他風速				
Hunt, Poulton & Mumford (1976)	長時間停留	U_s	> 6.0	< 10	$U_s = U_{\text{mean}} + 3.0U_{\text{rms}}$
	廣場	U_s	> 9.0		
	無法接受	U_{mean}	> 9.0	> 10	
	行走區	其他風速			
Melbourne (1978)	長時間停留	U_{peak}	> 10.0	< 0.075	$U_{\text{peak}} = U_{\text{mean}} + 3.5U_{\text{rms}}$
	短時間停留	U_{peak}	> 13.0		

	行走	U_{peak}	> 16.0		
	無法接受	U_{peak}	> 23.0	> 0.075	
	不舒適	其他風速			
Murakami , Uehara & Deguchi (1978)	無影響	U_{3-sec}	5~10	-	U_{3-sec} 指 3 秒內之 U_{mean}
	行走不易	U_{3-sec}	10~15		
	行走困難	U_{3-sec}	15~20		
	危險	U_{3-sec}	> 20		
Boston (1981)	舒適	U	> 13.9	< 1	$U=U_{mean}+1.5U_{rms}$
	不舒適	U	> 13.9	> 1	
San Francisco (1989)	公共座位區	U_e	> 3.1	< 10	$U_e=U_{mean}+2.7U_{rms}$
	行人	U_e	> 4.9		
	危險	U_e	> 11.6	> 0.025	
丁育群 & 朱 佳仁教授 (1990)	宜人	U	> 5	< 10	住宅及風害敏感區 $U=U_{mean}+3.0U_{rms}$
	擾人	U	> 10	> 0.42	
	危險	U	> 20	> 0.033	
	宜人	U	> 5	< 14	工業及商業區 $U=U_{mean}+3.0U_{rms}$
	擾人	U	> 10	> 1.4	
	危險	U	> 20	> 0.033	

表 6-2 長時間站坐風阻試驗結果

長時間站坐								
	沒感覺		舒服		還可以		不舒服	
2 級風 (3.1 m/s)	6	24.0%	12	48.0%	7	28.0%		0.0%
3 級風 (5.2 m/s)		0.0%	11	44.0%	10	40.0%	4	16.0%
4 級風 (7.8 m/s)		0.0%		0.0%	8	32.0%	17	68.0%
5 級風 (10.1 m/s)		0.0%		0.0%	2	8.0%	23	92.0%

表 6-3 短時間站坐風阻試驗結果

短時間站坐								
	沒感覺		舒服		還可以		不舒服	
2 級風 (3.1 m/s)	3	11.5%	21	80.8%	2	7.7%		0.0%
3 級風 (5.2 m/s)	1	3.8%	20	76.9%	3	11.5%	2	7.7%
4 級風 (7.8 m/s)		0.0%	1	3.8%	20	76.9%	5	19.2%
5 級風 (10.1 m/s)		0.0%	2	7.7%	3	11.5%	21	80.8%

表 6-4 慢步行走風阻試驗結果

慢步行走								
	沒感覺		舒服		還可以		不舒服	
2 級風 (3.1 m/s)	6	23.1%	20	76.9%		0.0%		0.0%
3 級風 (5.2 m/s)	1	3.8%	15	57.7%	10	38.5%		0.0%
4 級風 (7.8 m/s)		0.0%	4	15.4%	15	57.7%	7	26.9%
5 級風 (10.1 m/s)		0.0%	1	3.8%	10	38.5%	15	57.7%

表 6-5 快步行走風阻試驗結果

快步行走								
	沒感覺		舒服		還可以		不舒服	
2 級風 (3.1 m/s)	8	32.0%	16	64.0%	1	4.0%		0.0%
3 級風 (5.2 m/s)	2	8.0%	17	68.0%	6	24.0%		0.0%
4 級風 (7.8 m/s)		0.0%	6	23.1%	10	38.5%	10	38.5%
5 級風 (10.1 m/s)		0.0%	2	8.3%	7	29.2%	15	62.5%

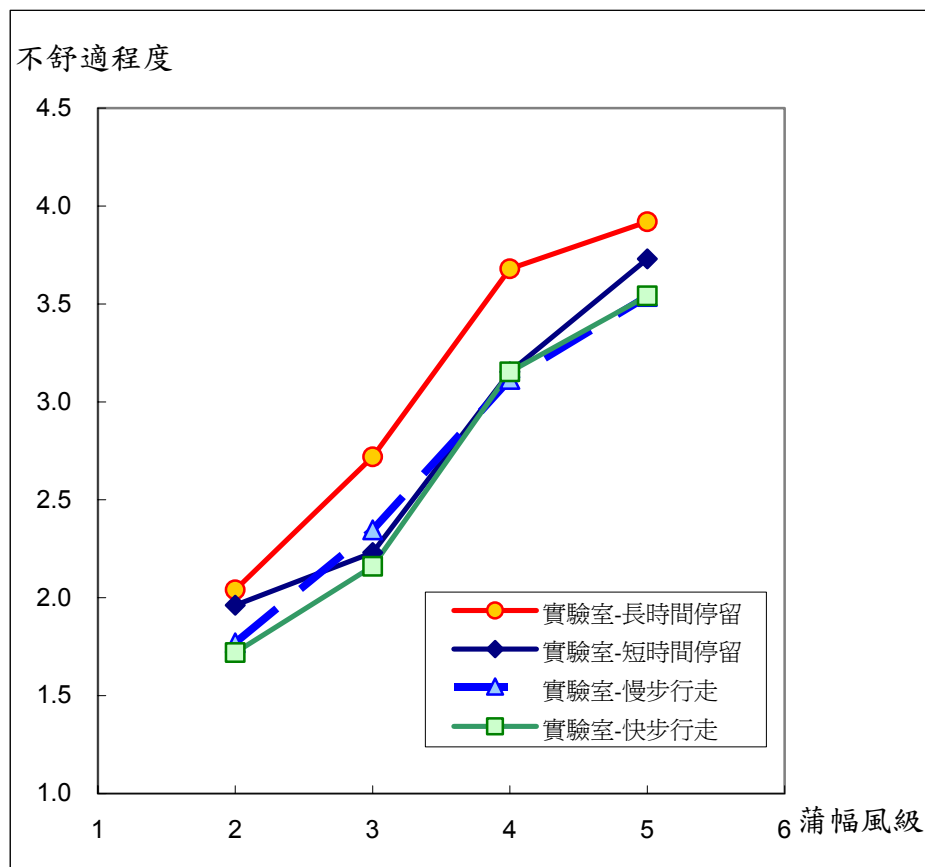


圖 6-1 四種情境下之風速與不舒適程度比較圖

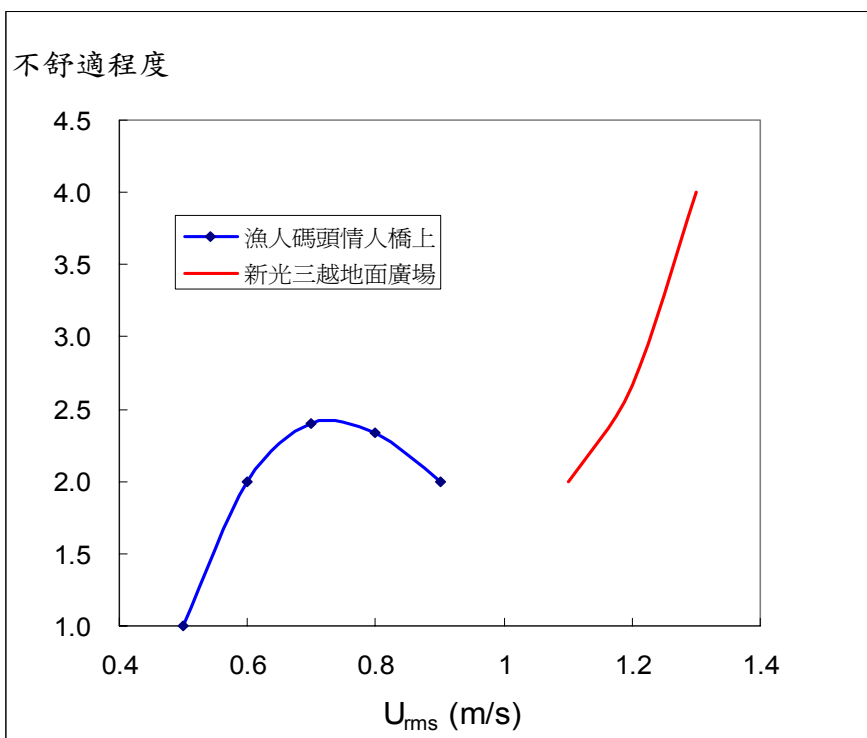


圖 6-2 擾動風速與不舒適程度比較圖

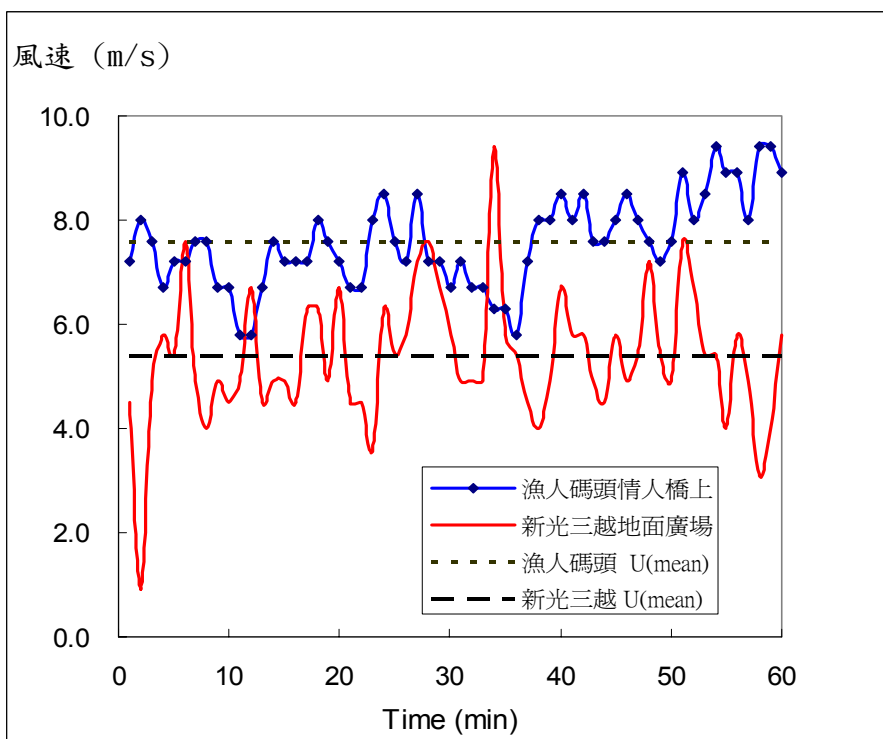


圖 6-3 漁人碼頭與新光三越個案風速資料圖

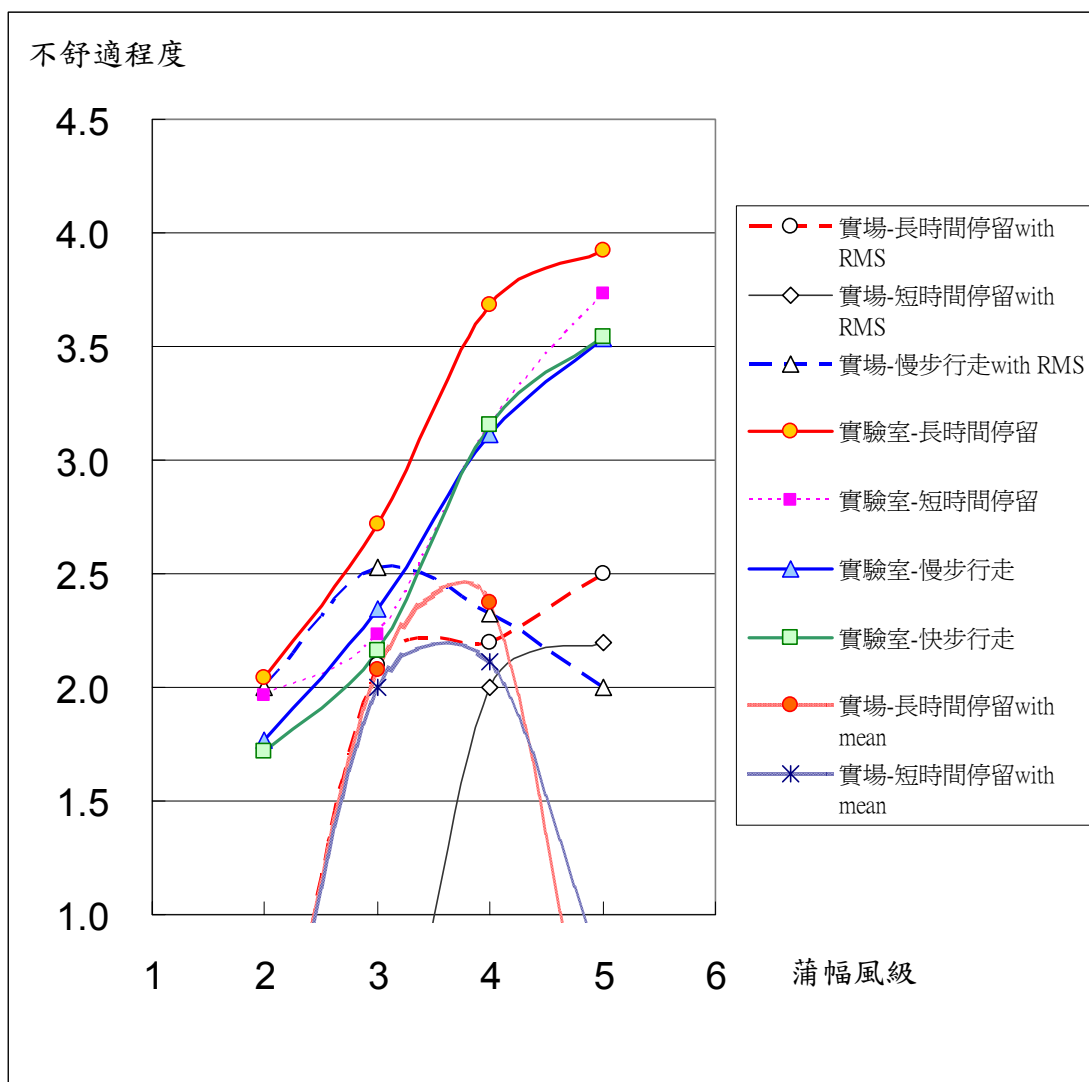


圖 6-4 風阻實驗與實場調查平均風速與不舒適程度比較圖

附件 6.1 風場環境對行人舒適性研究調查問卷

風場環境對行人舒適性研究

問卷調查

您好：

這是九十二年度接受內政部建研所委託專案計畫，由於經濟發展及地狹人稠之故，建築物有越蓋越高的趨勢，因而造成在鄰近街道，會有高風速產生，使得人們在附近活動時會產生不舒適感。本研究目的即在探討風場環境對於行人舒適性的評估，您的寶貴意見將是本研究的重要關鍵，在此勞您百忙中撥冗填答此問卷，俾使本研究能在您的協助下順利完成。本問卷採不具名方式勾填，所得之資料僅做學術性分析之用，敬請安心填答，衷心感謝您的賜答與協助。

淡江大學風工程研究中心

調查時間：_____：

受訪者狀態： 長時間停留

調查地點：_____

短時間停留

慢步行走

快步行走

受訪者填寫

性別： 男 女

年齡： 12歲以下

13~20歲

21~49歲

50歲以上

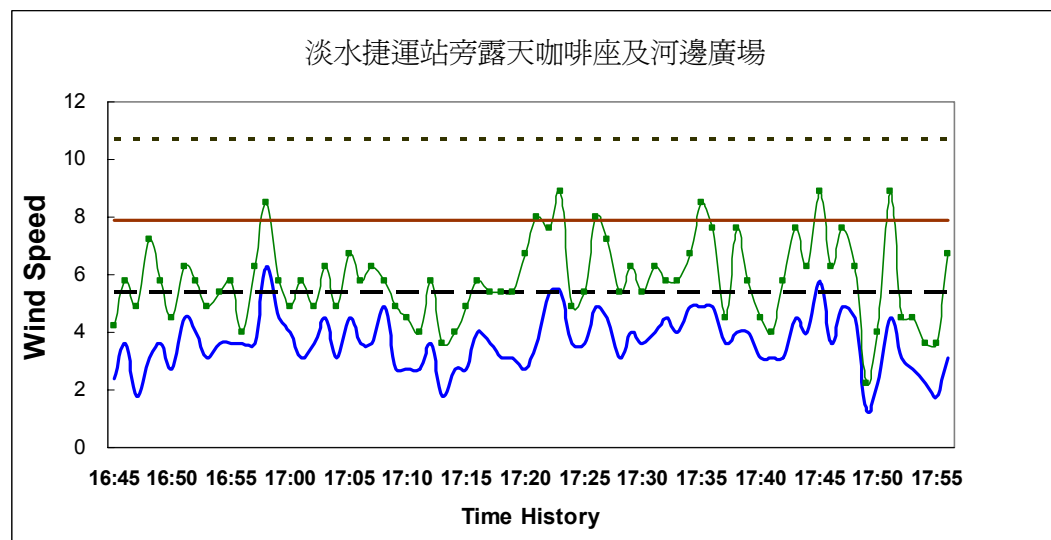
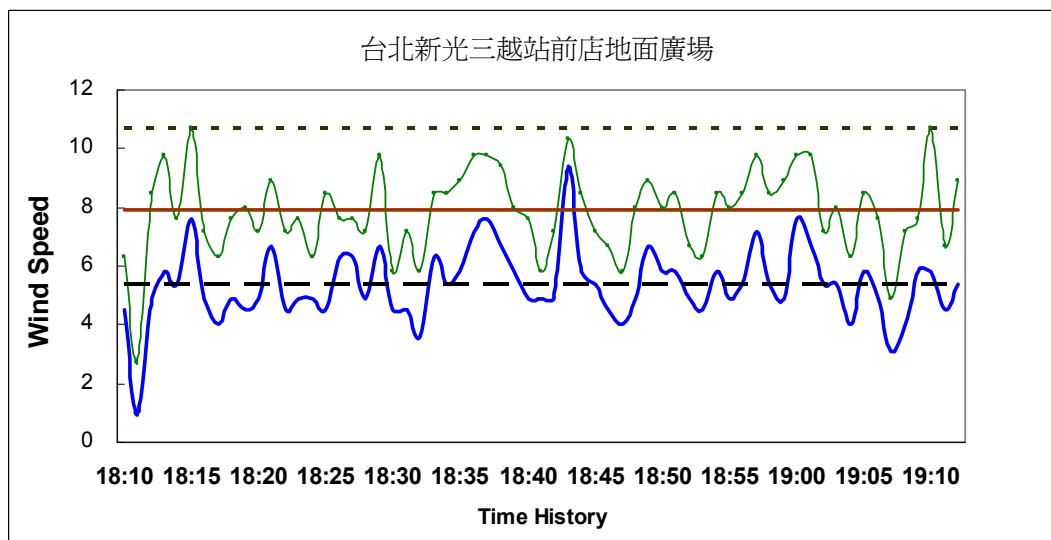
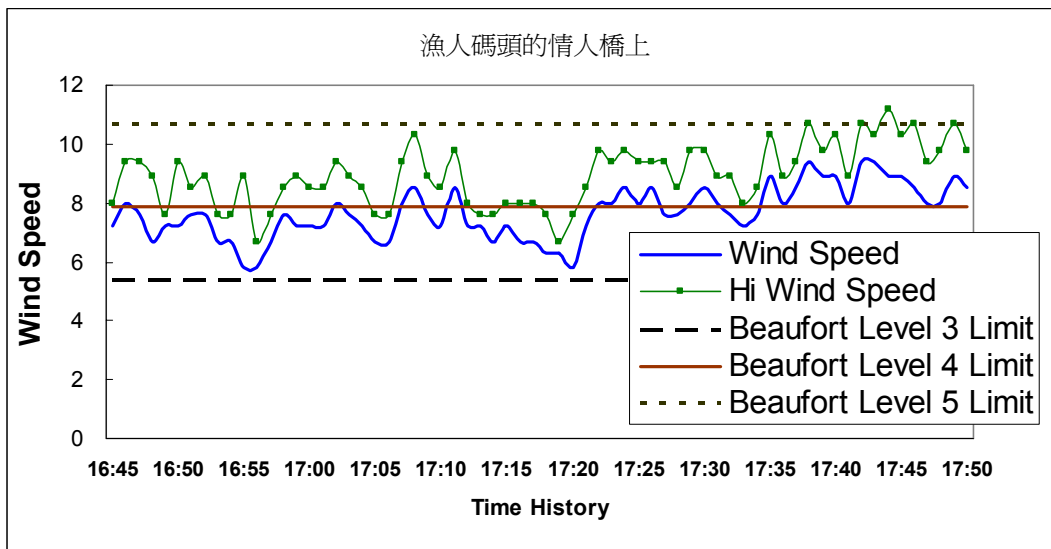
舒適度： 沒感覺

舒服

不舒服

非常不舒服

附件 6.2 實場調查風速資料庫



第七章 風荷載造成之結構物振動加速度對於人體之舒適性評估

台灣屬典型海島型氣候，夏季受太平洋環流影響，颱風頻仍，冬季則受東北季風侵襲。隨材料科技之日新月異，質量輕且強度高之材料陸續被引進土木及建築業，高層建築及高塔結構愈形普遍；馬來西亞吉隆坡的新地標雙塔（Twin Tower）大樓、台北新光大樓、高雄東帝士國際廣場大樓及正在興建中的 101 層台北國際金融中心大樓即為著名代表例子。這些土木結構因重量及勁度減小，更易受風載影響而產生變形，造成建築物之服務度（Serviceability）不足。另外，因結構實際受風之行為屬動態反應，這些高層建築物來回擺盪之振動現象亦常造成使用人員之不舒適（Discomfort）。

人員不舒適度通常取決於建物反應之加速度大小，其標準各國均異。我國規範中並無相關之規定，為建立相關準則作準備，本章之研究將參考各國之規範及文獻，以實驗室振動台試驗為測量方式，制定一套有系統之實驗流程，最後並提出一合理之舒適度標準，作為爾後國內制訂相關規範之參考。

本章內容包括下列五部分：I. 首先對目前各國規範中有關振動舒適度之相關規定作詳細回顧；II. 再者對有關振動舒適度之相關重要文獻作一回顧；III. 詳述實驗室振動台試驗及試驗結果；IV. 最後提出振動舒適度標準之歸納總結與建議；V. 另外附記計算建築物最大加速度之簡易計算公式。

7-1 各國規範中相關振動舒適度之相關規定

(A) ISO 規範 (ISO 6897-1984) 【文獻 7-1】

ISO 有關振動舒適度之規定主要針對普通成年人而訂，且不論感受者所持姿勢為何（或站、或坐、或躺）。其建議建築物由風引致振動的

容許最大加速度值(均方根)由圖 7-1 中之曲線 1 與圖 7-2 中之曲線 1、2 決定。容許最大加速度值與振動頻率相關,振動頻率範圍為 0.063 Hz ~1 Hz。圖 7-1 中之曲線 1 為適用於非常時間振動(如颱風或暴風雨)之一般用途之建築物之感受標準,建物反應之評估值為受風影響最惡劣之十分鐘區間之加速度均方根(rms)值;該標準之建立以 2% 受測人數出現負面抱怨為基準,對應之颱風或暴風雨之迴歸期為五年。圖 7-2 中之曲線為超過十分鐘常時間振動之特殊用途之建築物內人體之振動感受門檻,曲線 1 所示為最低門檻,特別是針對穩態(Stationary)之環境;曲線 2 之標準則是平均門檻,主要針對需執行精細之例行作業之建築物而言。

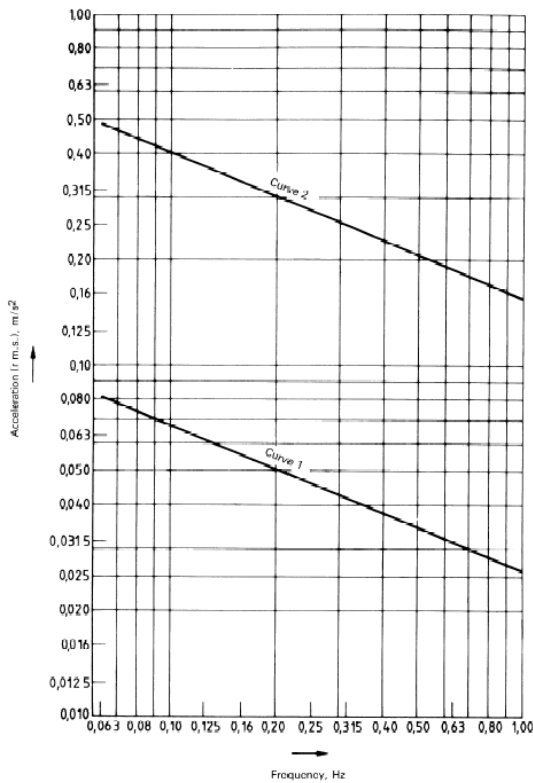


圖 7-1: 曲線 1 為一般用途建築物 (Building) 容許最大加速度值; 曲線 2 為離岸結構 (Off-Shore Fixed Structures) 容許最大加速度值

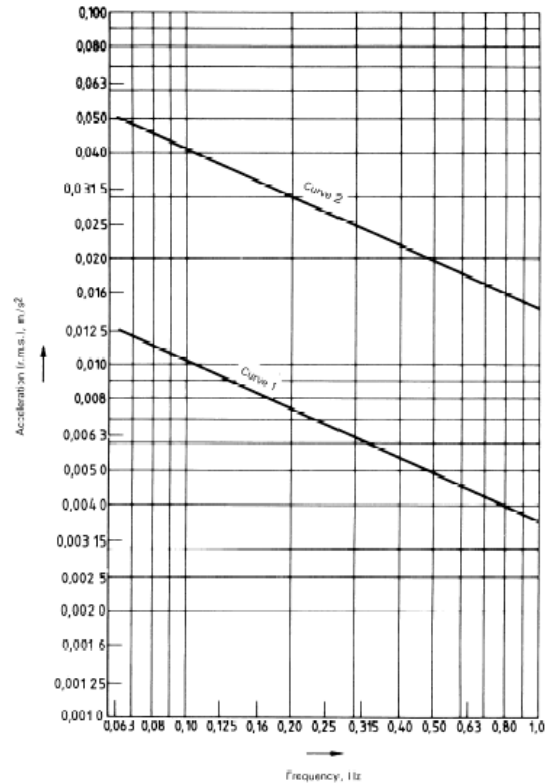


圖 7-2: 特殊用途建築物內人體之振動感受門檻; 曲線 1 為容許最大加速度值之最低門檻; 曲線 2 為容許最大加速度值之平均門檻

(B) 日本規範【圖 7-2】

日本建築學會曾提出有關建築物由風引致振動的相關性能評估方式，詳述如下：

1. 振動之對象

評估方式中所指之振動為因強風而產生的水平振動。考量建築物之自然頻率的範圍，振動頻率的範圍為 0.1 Hz 到 1.0 Hz。

2. 建築物之用途

建築物的用途主要分為居住用途及辦公用途兩種類，其適用之性能評估等級如表一所示。而較嚴格規範的建築物如醫院須考量住院病患是否受到打擾或是否會影響到手術過程，以及作為其他用途如旅館和展望台之高樓建築等，若有必要作出性能評估基準，可參考居住用途及辦公室用途之性能評估基準，再依個別之實際需要訂定適宜的標準。

3. 性能評估之概念

日本建築學會針對高樓建築物因風所產生之水平振動，施行居住使用性的適用等級之評估，並非決定以人體健康為考量的最大容許振動限度。

4. 性能評估之方法

圖 7-3 所示為性能評估之流程圖，其細部說明如下。若取得建築地點的風向及風速資料，以迴歸期 1 年的風速作為評估標準，所取的風速資料則以日最大風速為原則，通常採用最近的氣象觀測站的日最大風速資料。但若有建築地點的長期之有效風速資料的話，亦能採用。若有不同風向的風速的發生頻率資料，對於居住性能評估將更嚴密。再從建物形狀及構造斷面估算結構特性（自然頻率、振態及阻尼等），以理論計算或風洞實驗推斷風速和反應最大加速度反應的關係，配合已知的振動頻率，對應用於圖 7-4 的性能評估基準圖。檢討之前已先設定的性能欄是否適當，且考量符合實際需要的制振裝置及變更設計，不停重複上述的步驟，最後決定該建築物的性能評估標準及最大容許振動加速度。

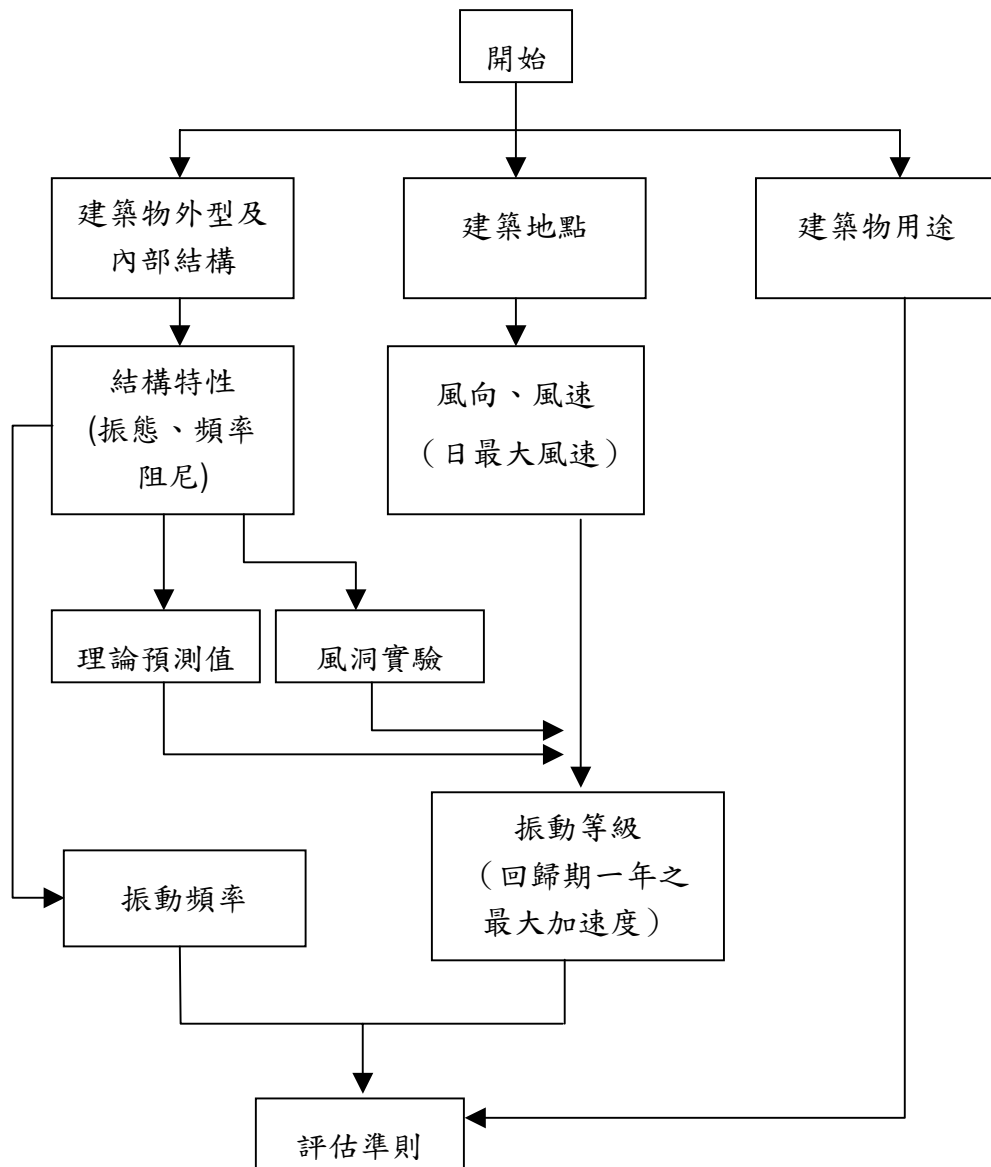


圖 7-3 性能評估之流程圖

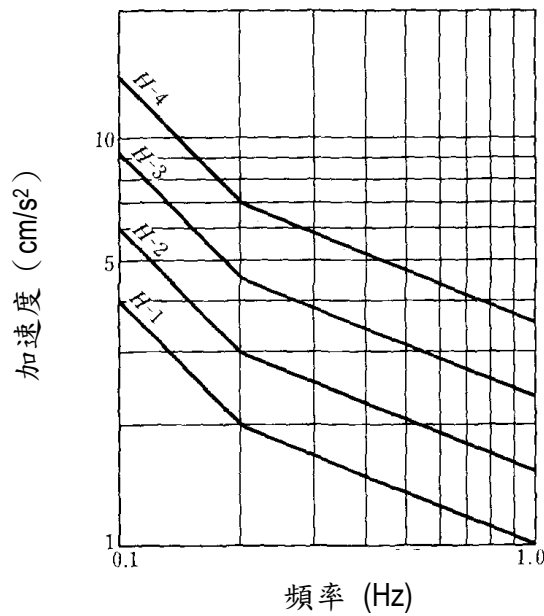


圖 7-4 水平振動之性能評估基準 (參自【文獻 7-2】)

表 7-1 不同建築物用途之性能評估標準 (參自【文獻 7-2】)

標準 建築物用途	標準 I	標準 II	標準 III
住宅	H-1	H-2	H-3
辦公室	H-2	H-3	H-4

i. 基準值設定之根據

根據文獻，以往對於長周期水平振動之感受標準的研究已有相當之成果，如圖 7-5 所示。以 ISO6897-1984-08 做參考(注意此處標示為最大值，為原先 ISO 標示 rms 值之 $\sqrt{2}$ 倍)，如圖 7-5 中之曲線 12，意指「敏感者之感覺範圍」。但即使在這個曲線之下，不代表 100%的人皆感覺不到振動。另一方面，由神田 (Kanda) 所實驗而得的感受範圍 (曲線 15)，則代表 1%之被實驗者的感覺範圍。一般來說，人類對刺激的反應存在著極大的

個人差異，要設定明確的界線的確相當困難。甚至沒有施加任何振動時，都有數位被實驗者回答「感覺到振動」，要從實驗的方式中求得 100% 的可信度是不可能的。因此可以將感受開始之界線，大約設在所有曲線資料中的最小值範圍附近，亦即圖 7-5 之虛線 A，設定此為在本準則之最小感受限度；其在頻率 1 Hz 為 0.5 cm/s²，0.2 Hz 為 1.0 cm/s²，0.1 Hz 則是 2.0 cm/s²。這些數值已整理在表 7-2 的 A 欄上半段。在圖 7-5 之虛線 A 中，頻率 1 Hz 到 0.2 Hz 的傾斜面，是以圖中曲線 12 (亦即 ISO6897-1984-08 (MIN)) 及曲線 15 為基準；而從 0.2 Hz 到 0.1 Hz 的傾斜面，則以圖中之曲線 3、5、11 的 Goto、Fujimoto、Vickery 之斜率為基礎。

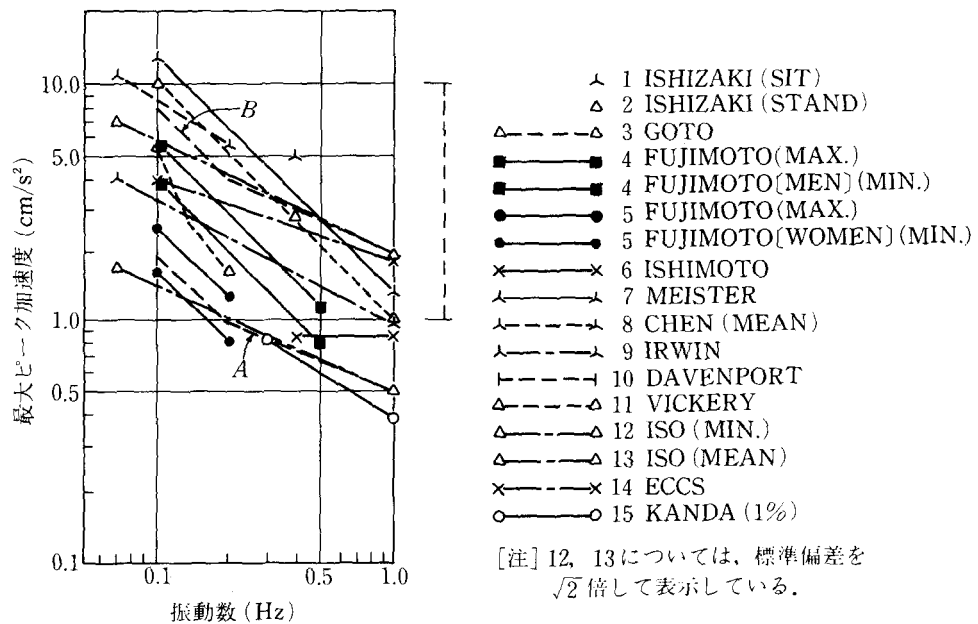


圖 7-5 以往有關感受門檻(最大加速度值)之研究(參自【文獻7-2】)

表 7-2 評估基準值(參自【文獻 7-2】)

振動數 (Hz) 種類		(最大加速度-cm/s ²)		
		0.1	0.2	1.0
A：最小知覺閾		2.0	1.0	0.5
最小知覺閾×2		4.0	2.0	1.0
B：平均知覺閾		8.00	4.00	2.00
平均知覺閾×1.75		14.00	7.00	3.50
基準值	第 1 曲線(H-1)	4.00	2.00	1.00
	第 2 曲線(H-2)	6.10	3.05	1.52
	第 3 曲線(H-3)	9.20	4.60	2.30
	第 4 曲線(H-4)	14.00	7.00	3.50

一般而言，若將振動的感受門檻提高，人們的反應會有感覺不安的傾向，即使沒有超過不舒服範圍。因此，於實際應用上不宜將容許值提高太多，而應設定為平均感受範圍，如圖 7-5 中之粗虛線 B 所示，其值在 1 Hz 為 2.0 cm/sec²，0.2 Hz 為 4.0 cm/sec²，0.1 Hz 為 8.0 cm/sec²。這些數值列於表 7-2B 欄上半段。在虛線 B 中，頻率 1Hz 到 0.2Hz 的傾斜面，是以圖中曲線 13 (亦即 ISO6897-1984-08 (MEAN)) 為基準；而從 0.2Hz 到 0.1Hz 的傾斜面，則以圖中之曲線 3、5、11 的 Goto、Fujimoto、Vickery 之斜率為基礎。

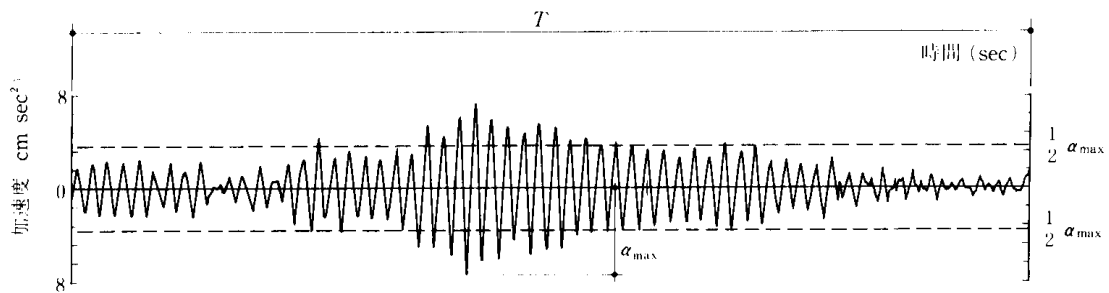
ii. 隨機振動結果

圖 7-5 中眾多的曲線為正弦波振動下之實驗結果，並非實際強風所產生的建築物之反應。若將正弦波振動的頂點值和隨機振動之最大值當為等值，則隨機振動之最大值以外的頂點值均較正弦波振動之頂點值小，因此欲準確地定義正弦波振動和隨機振動之對應關係存在相當困難度。

在此階段，暫且以暫定的對應關係來制定基準值。首先應注意的是，以上所述之最小感受限度乃是在實驗室以振動實驗取得，因為被實

驗者有「感覺振動」的潛意識，感受實驗結果有較一般生活上的感受敏感的傾向。甚至對於比一般等級還低的振動，有不只感覺1個波，而是數個波的傾向。經詳細考量後，將最小感受門檻的正弦振動之頂點值和隨機振動之最大值的對應關係設定為1:2之倍率關係。根據此設定，從5分鐘的實際波形中（如圖7-6），將最大值的1/2當基準，可得各頂點超過的程度。定量來說，超過最大值的1/2之頂點數佔全體頂點數之比率，大約為15~30%。表7-2的A欄下半段所列的數值，代表最後該評估的隨機振動之最大值，其對應到正弦振動之最小感受門檻為2倍之值。

當考慮平均感受限度時，則將上述對應倍率修正為1.75倍。理由是，在實驗中對於振動較大時產生之「不安感」，被實驗者會因為知道是實驗而較感安心，因此，即使在同一振動大小下，實驗中所感受到的將較實際建築物內所感受到的為遲頓。如前述，從5分鐘的實際波形中（如圖7-6），超過最大值的1/1.75之頂點數佔全體頂點數之比率，大約為10~20%。表7-2的B欄下半段所列之數值，代表最後該評估的隨機振動之最大值，其為正弦振動之平均感受門檻之1.75倍。



α_{max} : ランダム振動最大加速度

圖 7-6 隨機振動波形。新宿實測波形，1990年六月1日 22:10~22:15（參自【文獻7-2】）

iii. 評估基準之適用方法

在表7-2的下段（基準值）所示第一等級曲線（H-1）到第四等級曲線（H-4）分別是隨機振動的最小感受門檻至平均感受門檻間在對數軸上四等份之值。評估之建物用途區分為住宅和辦公室，每一用途均有三

個標準，每一標準對應到一等級曲線，如表一所列。以迴歸期 1 年所產生之振動為例，若從維持服務度性能的觀點，應採用標準 I 之標準，一般的標準可採用標準 II，標準 III 則為不得已情況時儘量不超越之基準值。四條評估曲線等級可換算成計算式

$$\alpha_{\max} = a \cdot n_0^b$$

其中 α_{\max} 為加速度最大值； n_0 為振動頻率； a 、 b 分別為係數及指數，如表 7-3 所列。

表 7-3 a、b 係數值 (參自【文獻 7-2】)

等級 \ 振動數	0.1 ≤ n ₀ ≤ 0.2		0.2 ≤ n ₀ ≤ 1.0	
	a	b	a	b
H-1	0.40		1.00	
H-2	0.60	-1.00	1.52	-0.43
H-3	0.92		2.30	
H-4	1.40		3.50	

(c) 澳洲規範【文獻 7-3】

澳洲規範對於建築物服務度 (Serviceability) 之規定為最大加速度不得超過 0.01g (約 10 cm/sec²)，可用於辦公室及住宅用途之建築物，相對應之風速迴歸期為 20 年。有關人體振動舒適度之規定則為自行參考文獻 Melbourne, W. H. and Cheung, J.C.J. (1988)【文獻 7-4】及 Melbourne, W. H. (1998)【文獻 7-5】(內容請見後述之文獻回顧)。

(d) 加拿大規範【文獻 7-6】

加拿大規範對於建築物服務度 (Serviceability) 中之振動限制有詳細規定，但為針對機械振動或人們活動引起的建築物樓版垂直向之節奏性連續振動，並不適用此處風力所引起之水平向振動情況。以下表 7-4 所

列為其規定，頻率範圍為 0~6 Hz，或可作為爾後之比較參考。

表 7-4 日本建築規範【文獻 7-6】建議之節奏性活動引致之垂直向加速度限度

用途	加速度限制
辦公室或住宅	0.4%~0.7% g (約 4~7 cm/sec ²)
餐廳或健身中心	1.5%~2.5% g (約 15~25 cm/sec ²)
只供作節奏性活動場地	4%~7% g (約 40~70 cm/sec ²)

(e) 美國 ASCE 規範【文獻 7-7】及英國規範【文獻 7-8】

美國規範及英國規範均無振動舒適度限制之相關條文。

7-2 有關振動舒適度之重要文獻回顧

早期 (1970 以前) 有關人們受振動之感受程度 (Perceptible Threshold) 之相關文獻寥寥可數且不易取得，但在 Melbourne and Cheung (1988) 【文獻 7-4】及 Melbourne (1998) 【文獻 7-5】已將其歸納整理 (容後詳述)。1970 年以後，適值紐約市世界貿易中心大樓設計階段之贊助，Chen and Robertson (1972) 【文獻 7-9】將不同姿勢之影響納入考慮範圍 (或站或行或坐)，指出人們感受限度之分佈近似對數常態分佈 (Log-Normal Distribution)，該研究應用機率概念，找出感受限度值與感受百分比 (Percent Perception，亦即認為該值以下為感受限度值之機率) 之對應關係，發覺人們對於感受限度之差異頗大，從 10% ~ 98% 感受百分比對應到之感受限度值差異將近 10 倍之多。另外，在芝加哥市 John Hancock Center 大樓設計階段之贊助下，Khan and Parmelee (1971) 【文獻 7-10】以振動平台模擬振動方式進行研究，受測者可以不同姿勢進行測試，結果發現姿勢之影響遠不及個體之個別差異，其結論是，感受到振動之最大加速度門檻應為 4 cm/sec²，感到不適之最大加速度門檻應為 20 cm/sec²。約同時期 Reed, J. W. (1971) 【文獻 7-11】及 Hansen and Reed et al. (1973)

【文獻 7-12】分別對 2 棟實際建築物之 64 位及 53 位受測者進行問卷調查，其中包括調查不適狀況出現時之反對出現頻率，以及調查業主（與設計工程師）對使用者出現不適之容許百分比，藉此首次將迴歸期之概念引進，最後訂出加速度均方根（rms）門檻標準為在 6 年迴歸期之風的作用下，使得建築物頂部 1/3 範圍內有 2% 人數百分比出現負面抱怨之振動值，其建議之加速度 rms 門檻為 5 cm/sec^2 。Irwin (1979)【文獻 7-13】及 Irwin(1986)【文獻 7-14】根據 70 年代及 80 年代的一些實驗與實測結果，歸納出兩條曲線，後為 ISO6897-1984-08【文獻 7-1】所引用，其一為最低振動感受門檻曲線（見圖 7-2 中之曲線 1），適用於超過十分鐘長時間振動之特殊用途之建築物，特別是針對穩態（Stationary）之環境；其二為適用於非常時間振動（如颱風或暴風雨）之一般用途之建築物之舒適度曲線（見圖 7-1 中之曲線 1），該標準之建立以 2% 受測人數出現負面抱怨為基準，對應之颱風或暴風雨之迴歸期為五年。

Melbourne and Cheung (1988)【文獻 7-4】及 Melbourne (1998)【文獻 7-5】對早期相關文獻之感受門檻標準作歸納整理，如圖 7-7 所示，注意圖上所標為加速度 rms 值，圖中包含前述之 Chen and Robertson (1973)【文獻 7-9】之結果與 Irwin (1979)【文獻 7-13】之最低門檻曲線。

該研究更提出修正公式將 Irwin(1986)【文獻 7-14】或 ISO6897-1984-08【文獻 7-1】之一般用途之建築物之舒適度曲線（圖 7-1 中之曲線 1，迴歸期 5 年之加速度 rms 值）

$$\sigma_{\dot{x}} = \exp(-3.65 - 0.41 \ln n) \quad \text{m/sec}^2$$

換算成任意迴歸期之最大加速度值，其公式如下：

$$\hat{\dot{x}} = \sqrt{2 \ln nT} \left(0.68 + \frac{\ln R}{5} \right) \exp(-3.65 - 0.41 \ln n) \quad \text{m/sec}^2$$

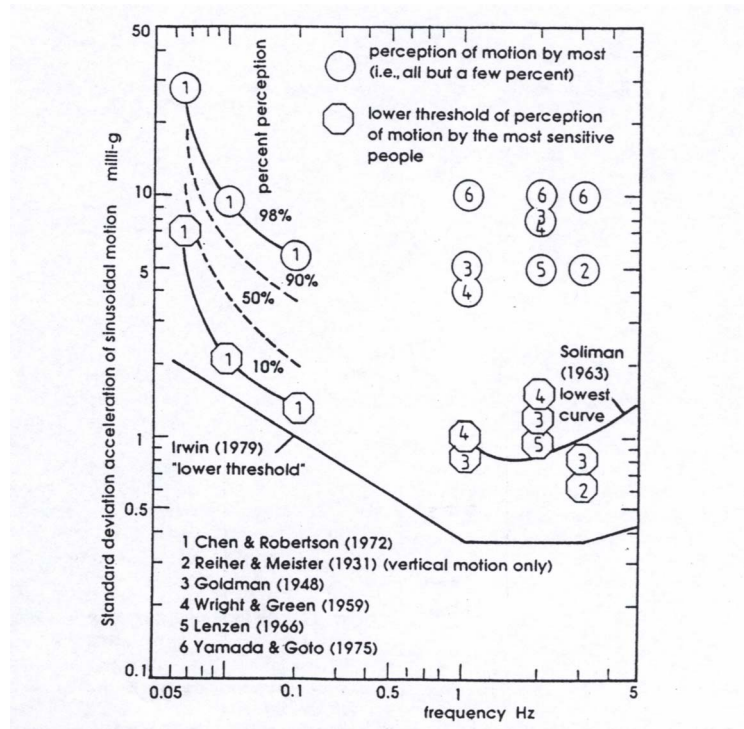


圖 7-7 水平之正弦波之感受門檻值 (參自【文獻 7-4】)

其中假設建築物振動為符合高斯（常態）分佈之隨機過程， $\sqrt{2 \ln nT}$ 為最大值與均方根（rms）之比值， n 為振動頻率， T 為時間長度； $\left(0.68 + \frac{\ln R}{5}\right)$ 則為對應於 R 年迴歸期風速結構反應與對應於 5 年迴歸期風速結構反應之比值，為一近似值，其乃根據 Gumbel 極值分佈擬合澳洲當地之風速資料，並假設風力正比於風速之 2.5 次方而推論出之近似值。圖 7-8 所示為其換算結果。

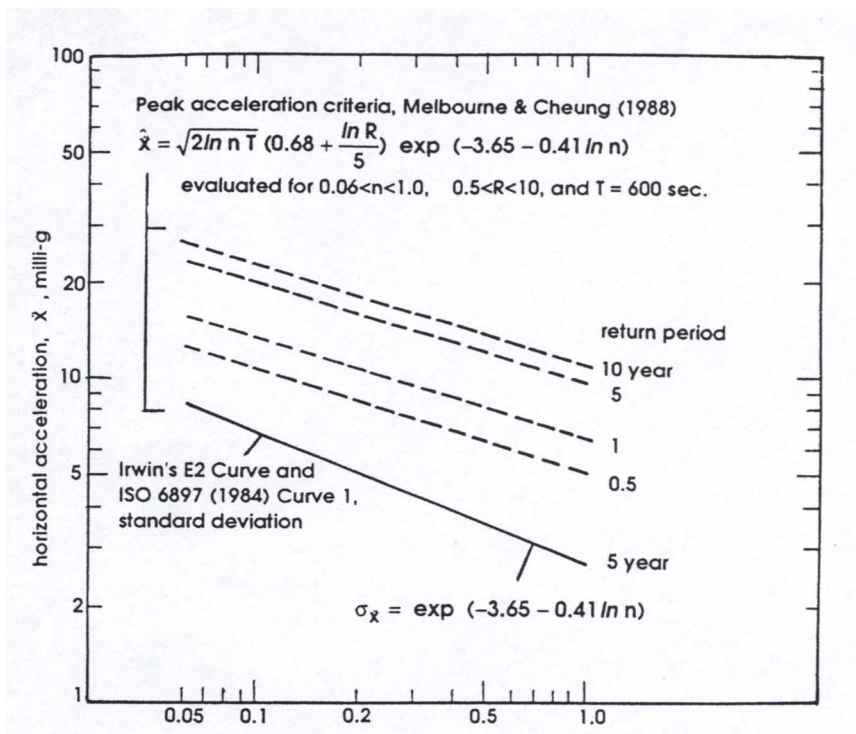


圖 7-8 水平向之舒適度標準 (參自【文獻 7-4】)

另外 Goto (1983)【文獻 7-15】將日本 70 年代至 80 年代初期之相關研究，包括振動台模擬試驗結果，歸納整理出表 7-5 結論：

表 7-5 Goto (1983)【文獻 7-15】建議之感受標準

最大加速度	感受程度
< 1 cm/sec ²	大部分人感覺不到振動
≒ 3 cm/sec ²	超過 50%人感覺到振動
≒ 6 cm/sec ²	工作中的人亦感覺到振動
10 cm/sec ² ~20 cm/sec ²	行走或行動感覺到異樣
> 20 cm/sec ²	開始感覺到暈眩

近年 Isyumov (1993)【文獻 7-16】及 Isyumov and Kilpatrick (1996)【文獻 7-17】有系統探討視覺與聽覺對感受振動的影響，其中亦將扭轉效應納入考慮，其結論如表 7-6 所列：

表 7-6 Isyumov (1993)【文獻 7-16】及 Isyumov et al. (1996)【文獻 7-17】建議之感受標準

	迴歸期 1 年	迴歸期 10 年
	1 小時內最大加速度限度, cm/sec ²	
住宅區	5~7	10~15
旅館	7~9	15~20
辦公場所	9~12	20~25
	1 小時內扭轉最大速度限度, 10 ⁻³ rad/sec	
所有場所	1.5	3.0

近年來有幾篇文獻藉助振動裝置或振動模擬台之使用，清楚描述相關實驗之設計與操作，值得參考。如 Nakata, Tamura and Otsuki (1993)【文獻 7-18】利用振動裝置於一實驗用塔進行 1~6Hz 之振動試驗，雖然其目標在探討低層建築之振動感受標準，並非本研究之相關主題，但過程與方法有相當參考價值。另外則是 Shioya and Kanda (1993)【文獻 7-19】，文中以振動模擬台探討人們在低頻 (0.125~0.315 Hz) 之窄頻隨機振動時之感受反應，考慮前後搖動或左右搖動，並比較與正弦波之異同；其實驗結果顯示，隨機振動之感受標準並不隨頻率而改變，與正弦波振動之結果大異其趣。

7-3 實驗室振動台試驗之試驗結果

對高層建築的受風水平反應，基本上為低阻尼結構引起之隨機振動反應，其頻寬落於第一自然頻率主導之狹窄頻帶附近。在目前階段，若欲以振動台模擬隨機振動反應進行舒適度實驗，恐在過程及操作上較為繁複，因此不建議採行。如同前述之大部分實驗研究，本實驗首先採正弦波 (Sinusoidal wave) 振動方式讓受測者進行舒適度實驗，待舒適度標準經統計分析的結果完成後，再假設隨機振動反應為高斯分佈之隨機過

程，依理論公式將結果轉換成適用於實際振動情況之最大加速度值。

(a) 實驗設備與架構：

採用淡江大學土木系之電動型振動模擬台作為模擬振動的設備，在振動台上建構一長 2.0m、寬 1.5m、高 2m 之小房間作為試驗空間，底部樓版以木心板架設，周圍牆壁則是以冷凍板架設而成；為方便進出，試驗空間的出入口是以一般的布簾架設而成；空間內布置電腦桌子椅子各一個，其平面圖如圖 7-9 所示，實體照片請見圖 7-10。

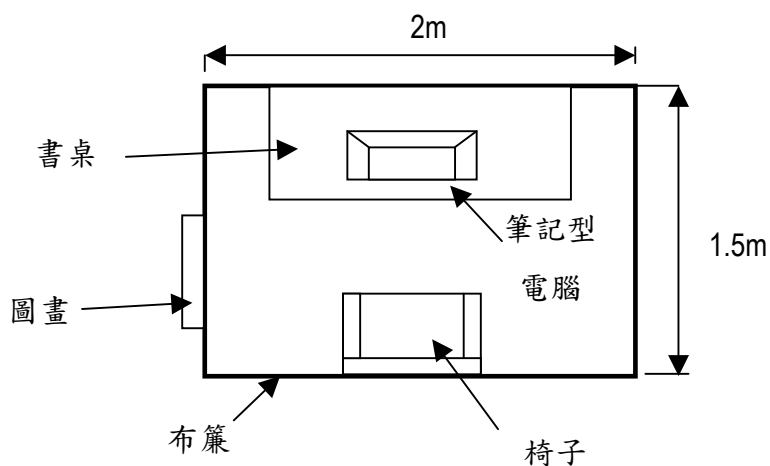


圖 7-9 振動台上試驗空間之平面圖



圖 7-10 試驗空間之實體照片

(b) 實驗參數之選取：

實驗參數包含正弦波之頻率與振幅，仿照 ISO 規範(ISO 6897-1984)【文獻 7-1】及日本規範【文獻 7-2】，低頻振動頻率範圍設在 0.1 Hz 到 1 Hz 間，分別為 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 Hz 共 6 組，振幅則設在 1 cm/sec² 到 10 cm/sec² 間，分別為 1, 2, 4, 6, 10 cm/sec² 共 5 組。因此每個受測者需接受總共 30 組不同組合之測試。

(c) 實驗注意事項：

(1)許多文獻均指出振動的方向及被試驗者的姿勢(坐.站.躺.等)都會造成不同的實驗結果，通常女生較男生敏感,小孩較大人敏感,站時較坐姿敏感。本實驗為初步研究，採取之之樣本為 20~25 歲之年輕人，不考慮性別差異，不規定以何種姿勢進行測試；但因空間限制，幾乎所有受測者均以坐姿及左右振動方式接受測試。(2)本實驗不探討聽覺及視覺

因素干擾的影響，因此在實驗的過程中，將要求受測者帶耳機，並將幕簾拉上，以避免聽覺及視覺的干擾。(3)為避免預期心理，受測者不知當時的頻率與加速度振幅是多少，且受測者做完每次實驗必須休息 15 分鐘左右，避免因連續的振動而造成生理上的慣性運動，更使視覺和聽覺產生疲乏。4.為使受試者在一般狀況下接受測試，所以空間內所擺置物品以生活化為主。

(d) 試驗流程

總共有 10 位 20~25 歲之受測者(8 位男生、2 為女生)依序於試驗震動台上，在不同加速度振幅及不同頻率的振動下進行測試，每次受測時間為 10 分鐘，受測者可在試驗空間內欣賞影片或玩一些小遊戲，盡量使受試者放鬆心情，感到自在。受測者事先被告知，在試驗後要填寫一份問卷，回答他們的感受程度。問卷內分四種感受程度 --- 程度一(無感覺)、程度二(感覺到振動但無任何不舒適)、程度三(感到振動且不舒適)、程度四(十分不舒適)。

(e) 試驗結果與分析：

試驗問卷結果如表七所列。由結果觀之，對每一頻率而言，落於任一級感受程度之加速度振幅臨界值將呈現機率分佈；因加速度振幅為正值，仿諸多文獻之作法，考慮其為對數常態(Log-Normal)分佈，以 Method of Moment 法進行擬合。程度二(感覺到振動但無任何不舒適)與程度三(感到振動且不舒適)分別對應於 ISO 規範(ISO 6897-1984)【文獻 7-1】之感受門檻標準與舒適度標準，因此以下只探討此二種情況。

首先由擬合結果計算加速度臨界值之 PDF 值(Probability Density Function)，其 PDF 值以下式表之：

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \zeta x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2 \right]$$

其中 ζ 為 $\ln x$ 之標準差(standard deviation)、 λ 為 $\ln x$ 之平均數(mean value)。程度二之 PDF 曲線如圖 7-11 所示，程度三之 PDF 曲線如圖 7-12 所示。

表 7-7 試驗問卷結果

測試狀況		人數				總人數統計	測試狀況		人數				總人數統計
頻率 (Hz)	加速度 (cm/s ²)	程度一	程度二	程度三	程度四		頻率 (Hz)	加速度 (cm/s ²)	程度一	程度二	程度三	程度四	
0.1	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0
0.1	1	5	4	1		10	0.6	1	6	4			10
0.1	2	4	5	1		10	0.6	2	2	8			10
0.1	4		9	1		10	0.6	4	1	2	6	1	10
0.1	6		6	4		10	0.6	6	1	2	6	1	10
0.1	10		4	5	1	10	0.6	10	2	1	4	3	10
0.2	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0
0.2	1	8	1	1		10	0.8	1	6	4			10
0.2	2	6	3	1		10	0.8	2	5	4	1		10
0.2	4	3	5	2		10	0.8	4	1	3	6		10
0.2	6		5	5		10	0.8	6		2	4	4	10
0.2	10		4	4	2	10	0.8	10		1	4	5	10
0.4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0.4	1	7	2	1		10	1	1	8	2			10
0.4	2	5	5			10	1	2	2	7	1		10
0.4	4	1	3	6		10	1	4	1	3	4	2	10
0.4	6	1	2	5	2	10	1	6		2	3	5	10
0.4	10		1	4	5	10	1	10			5	5	10

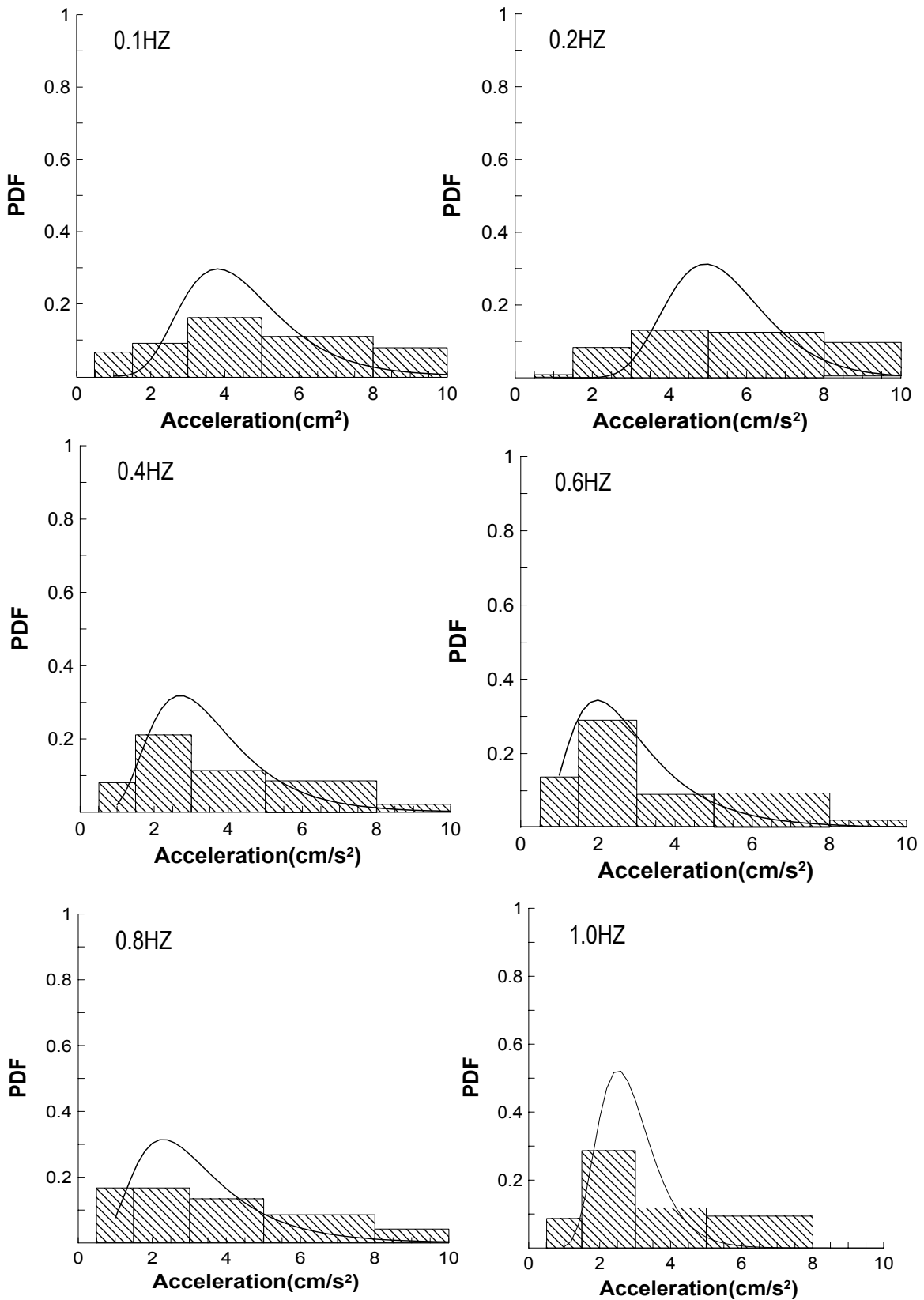


圖 7-11 程度二 (感覺到振動但無任何不舒適) 之 PDF 曲線

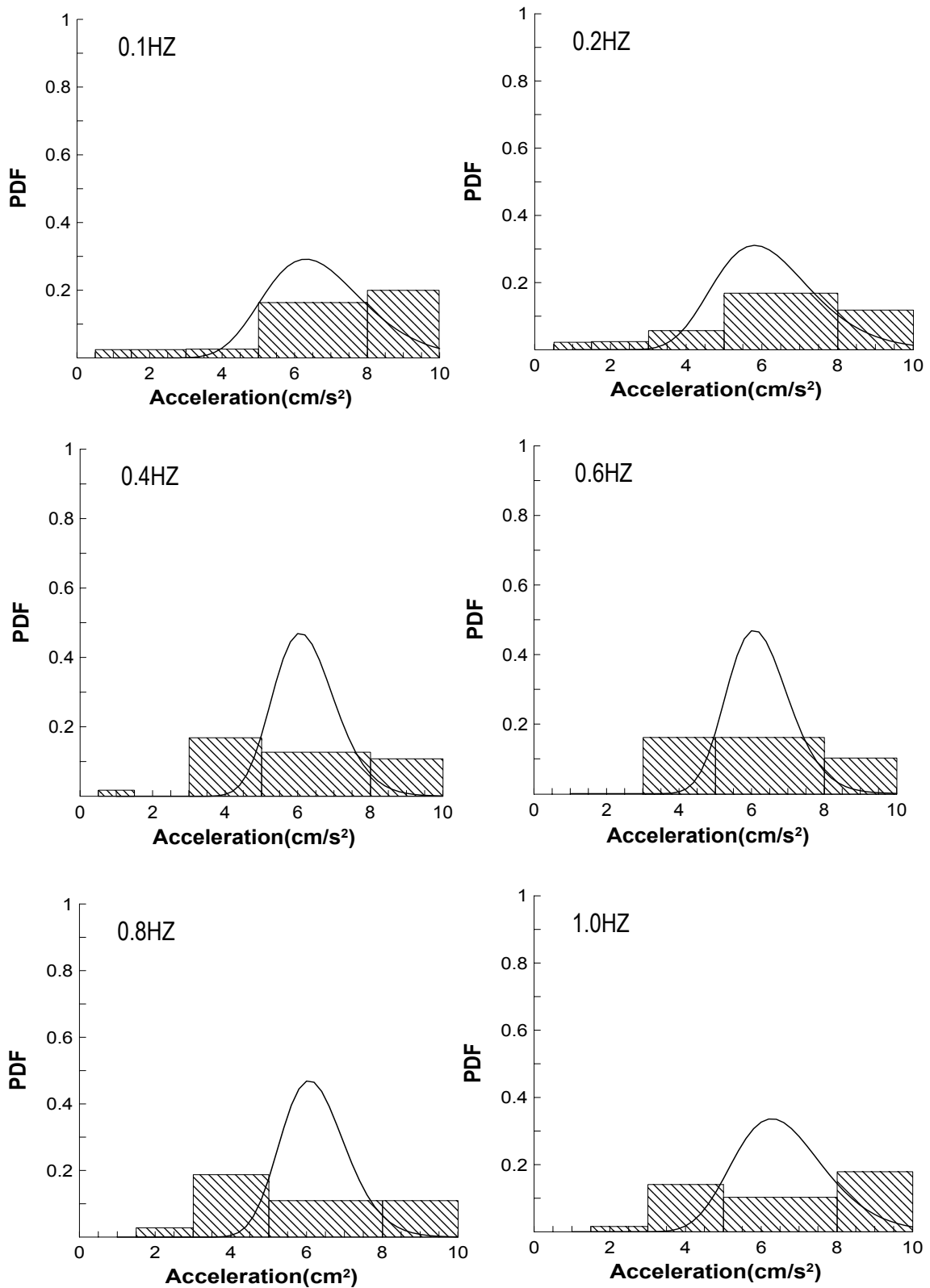


圖 7-12 程度三 (感到振動且不舒適) 之 PDF 曲線

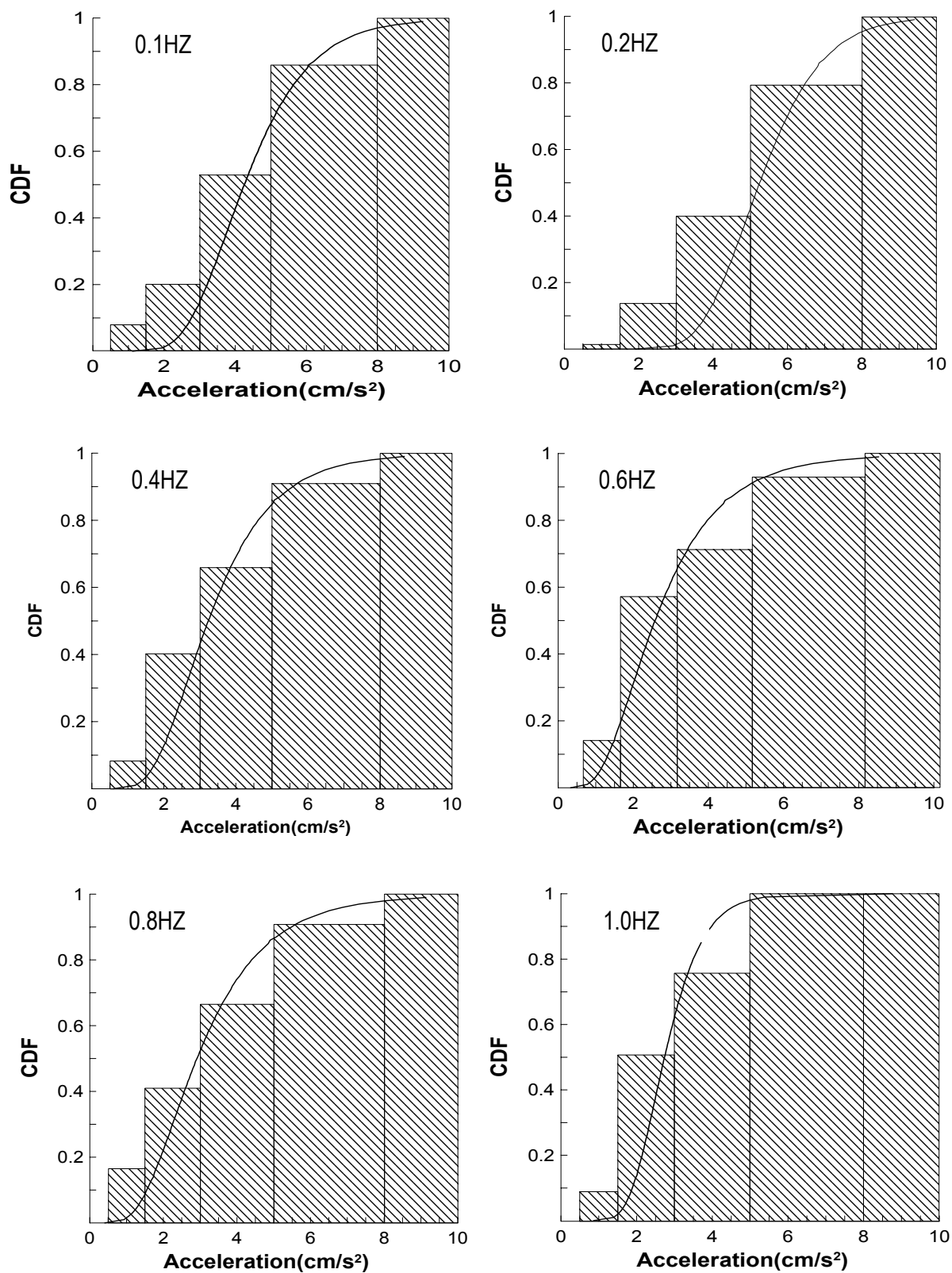


圖 7-13 程度二(感覺到振動但無任何不舒適)之 CDF 曲線

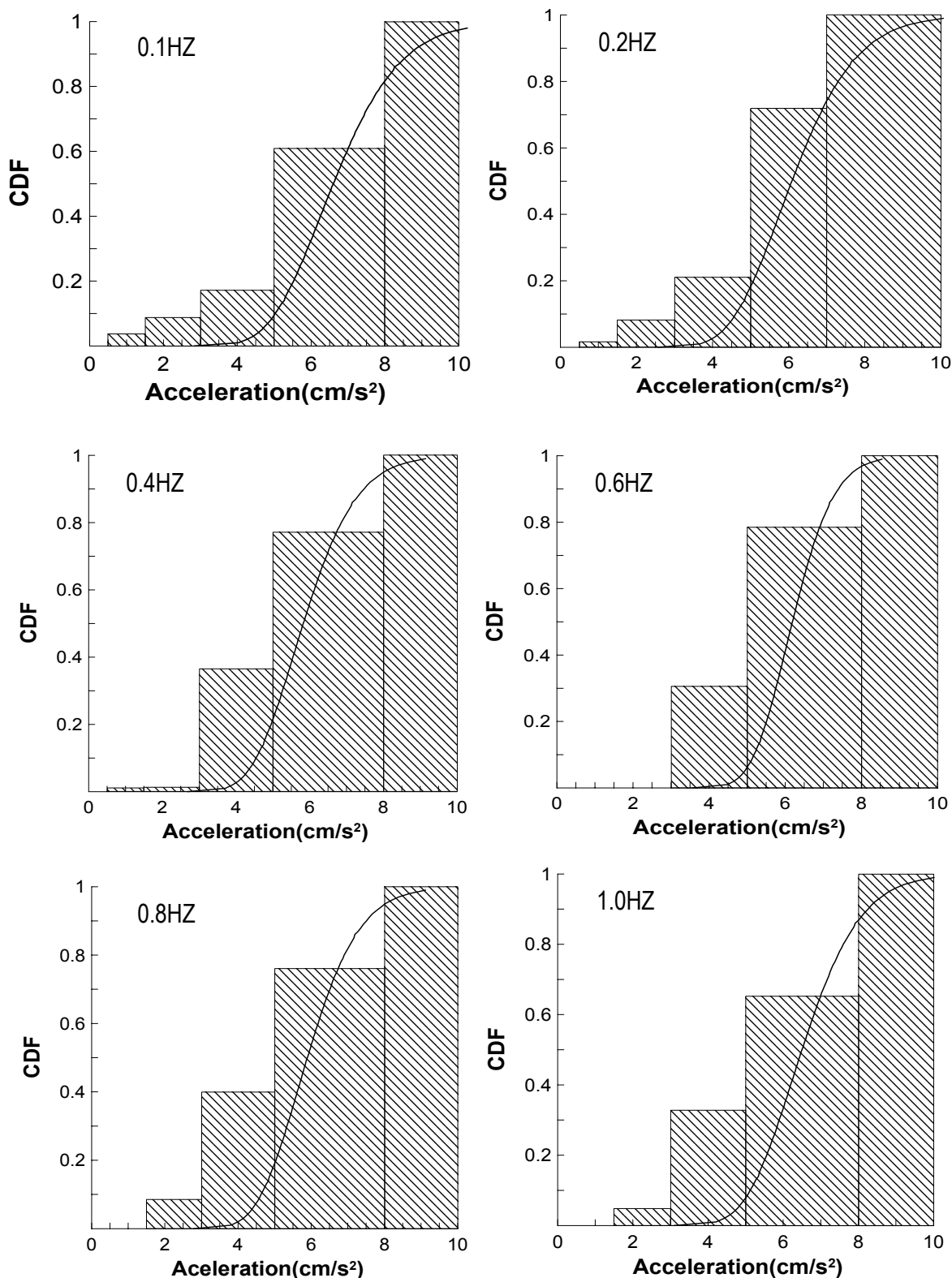


圖 7-14 程度三 (感到振動且不舒適) 之 CDF 曲線

再以數值積分求得加速度臨界值之 CDF (Cumulative Distribution Function) 值，表示如下：

$$P(X < a) = \int_{-\infty}^a \frac{1}{\sqrt{2\pi} \zeta x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta}\right)^2\right] dx$$

程度二之 CDF 曲線如圖 7-13 所示，程度三之 CDF 曲線如圖 7-14 所示。

CDF 值代表受測者認為該值以下為感受臨界值之機率，即感受百分比。在程度二與程度三之 CDF 值分別取 2%、10%、20%、30%、50%、90% 時之對應感受臨界值，對頻率作圖，得到加速度臨界值與頻率之關係圖，如圖 7-15 及圖 7-16，程度二之值均較程度三之值為小，實屬合理，但因現階段樣本數太少，結果可能不具代表性。注意圖 7-15 及圖 7-16 上所表示之加速度為最大加速度（正弦波之振幅大小）。

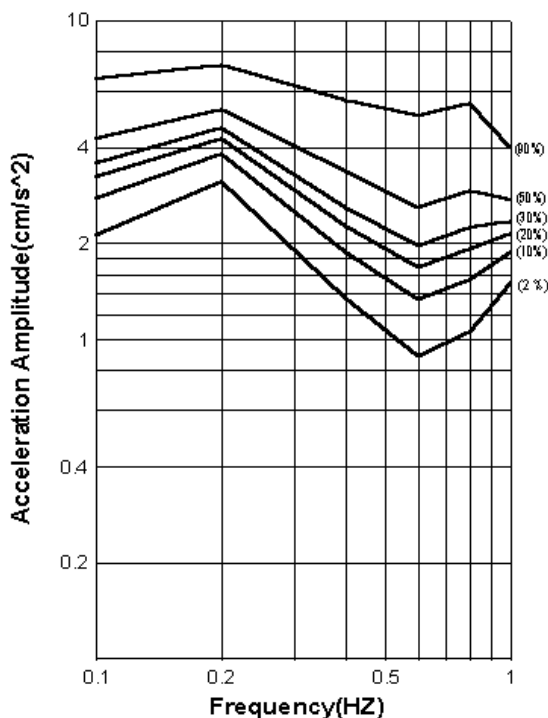


圖 7-15 程度二（感覺到振動但無任何不舒適）之標準

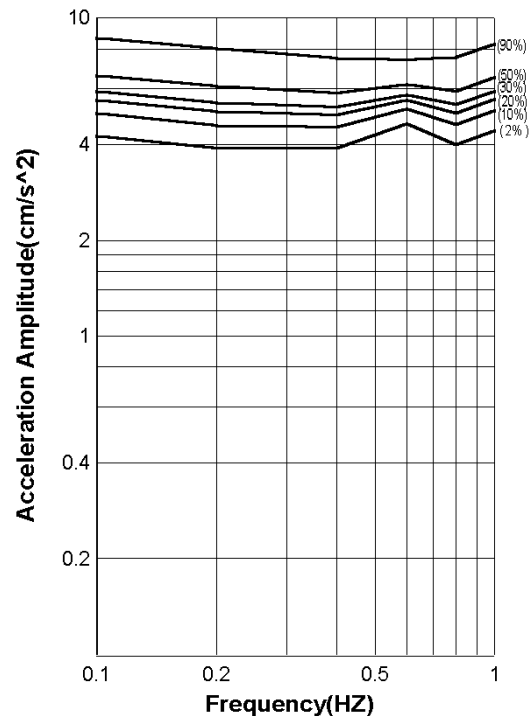


圖 7-16 程度三（感到振動且不舒適）之標準

7-4 振動舒適度標準之歸納總結與建議

由前述之各國規範回顧得知，對於振動舒適度標準有著墨者僅有 ISO 規範 (ISO 6897-1984)【文獻 7-1】、日本規範 AIJ【文獻 7-2】及澳洲規範【文獻 7-3】，其中澳洲規範則規定自行參酌文獻 Melbourne, W. H. and Cheung, J.C.J. (1988)【文獻 7-4】及 Melbourne, W. H.(1998)【文獻 7-5】，綜合三者，吾人有如下之討論。

ISO 6897-1984 對於振動有兩種標準，一為最小感受 (min) 門檻曲線及平均感受 (mean) 門檻曲線，適用於超過十分鐘常時間振動之特殊用途建築物內之振動，因此無所謂迴歸期；另一為對應颱風或暴風雨之迴歸期為五年且 2% 受測人數出現負面抱怨之感受標準。前者比照於本實驗之程度二情況，後者則比照於本實驗之程度三情況；風引起的振動舒適度標準應該為後者。另外，ISO 使用加速度之 rms 值作為舒適度標準之基準值，不論振動反應為正弦波或窄頻之隨機反應均適用。吾人在文獻回顧時對於 ISO 之標準訂定已有說明，其參考之數據應包含正弦波或窄頻之隨機反應兩者，但仍以加速度 rms 值作為基準值之作法，代表 ISO 認為加速度之 rms 值才是決定感受程度之基準值。應注意的是，若振動反應為正弦波，最大值與 rms 值之間倍數為 $\sqrt{2}$ 倍，若振動反應為高斯分佈之隨機過程，其倍數為 $\sqrt{2 \ln nT}$ 倍 (n 為振動頻率， T 為時間長度)。

反觀日本規範，其舒適度基準值為最大加速度，亦即結構窄頻隨機反應之最大加速度值，但對考慮之時間長短並無詳加規定。在日本規範之解說中得知，其最低等級 (H-1 曲線) 大致為 ISO 最小感受 (min) 門檻之 ($\sqrt{2} * 2$) 倍；而最高等級 (H-4 曲線) 大致為 ISO 平均感受 (mean) 門檻之 ($\sqrt{2} * 1.75$) 倍，兩者之倍數恰好約略等於高斯分佈之隨機過程之倍數 $\sqrt{2 \ln nT}$ ，實為巧合。另外，日本規範對於引用無迴歸期之 ISO 感受門檻，而卻選定迴歸期一年之原因則無清楚交代。吾人基本上認為日本規範之訂定過程頗具爭議，但因其在工程上之引用甚為普遍，仍具比較價值。

澳洲規範中 Melbourne, W. H. and Cheung, J.C.J. (1988)【文獻 7-4】及

Melbourne, W. H.(1998)【文獻 7-5】之建議內容請見前述。基本上採納 ISO 對應颱風或暴風雨之迴歸期為五年且 2%受測人數出現負面抱怨之感受標準為舒適度標準 (rms)，在依當地風速分佈及高斯分佈隨機過程之假設，換算成不同迴歸期之最大加速度值，其過程合理且嚴謹。

根據以上之討論，吾人認為 ISO 提出之舒適度標準為迴歸期五年且 2%受測人數出現負面抱怨之感受標準，乃為一合理假設，且為規範上使用之方便，應使用十分鐘內引起之最大加速度值作為基準值。因此將本實驗圖 7-16 中 2%曲線（先除 $\sqrt{2}$ ，再乘 $\sqrt{2 \ln nT}$ （ $T=600 \text{ sec}$ ）換算成高斯分佈十分鐘隨機過程之最大加速度值），與日本規範 H-1 曲線~H-4 曲線（換算成迴歸期五年，使用 ISO 之換算倍數 1/0.72）及 ISO 對應迴歸期為五年之舒適度曲線（乘 $\sqrt{2 \ln nT}$ （ $T=600 \text{ sec}$ ）換算成高斯分佈十分鐘隨機過程之最大加速度值）同時畫於圖 7-17。由於現階段本實驗之樣本數太少，結果可能不具代表性，在此只做為佐證之用。綜合以上結果，吾人建議採用 ISO 舒適度曲線之斜率，落在日本規範 H-1 曲線至 H-4 曲線中間之曲線（圖中粗紅線）應為現階段合理之迴歸期為五年之舒適度標準。其公式表示為

$$\ddot{x}_{max} = \frac{400}{11} \sqrt{2 \ln nT} \exp(-3.65 - 0.41 \ln n) \quad \text{cm/sec}^2$$

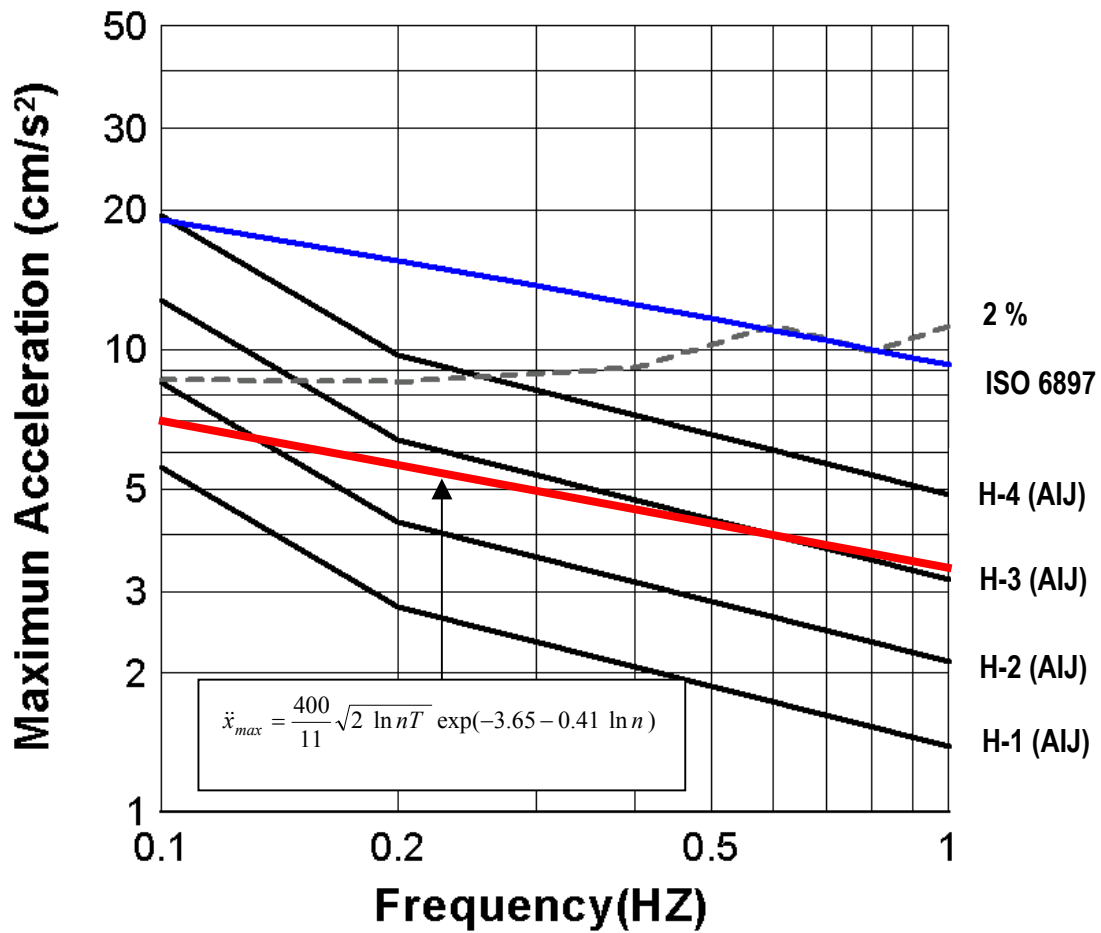


圖 7-17 建議之舒適度標準 (迴歸期 1 年)

7-5 建築物最大加速度之簡易計算公式

建築物最高樓層振動加速度(規範建議條文)

在五年回歸期的風速作用下，建築物最高樓層角隅之振動加速度尖峰值，應計及順風向振動、橫風向振動及扭轉振動所產生者，可分別計算，再依合宜的方法求得總加速度。

順風向振動引致建築物最高樓層之尖峰加速度 A_D 以下式計算：

$$A_D = \frac{1.128G - 1}{1.128G} \times \frac{D^* (2\pi f_n)^2}{(3.34)^2}$$

其中 D^* 為順風向設計風力作用下，經結構分析所得建築物最高樓層順風向之位移， f_n 為建築物順風向之自然頻率。 G 為普通建築之陣風反應因子；就柔性建築物言，陣風反應因子為 G_f ， G 及 G_f 可從規範查得。

橫風向及扭轉加速度 A_L 及 A_T 應依可信方法計算之，亦可採用風洞試驗結果。

【解說】

所謂建築物最高樓層指的是建築物經常有居住者使用的最高樓層。該樓層角隅之振動加速度尖峰值之計算，是基於順風向振動與橫風向及扭轉向振動不相關，橫風向振動與扭轉向振動完全相關的條件下為之。下圖為高層建築斷面及順風向、橫風向、扭轉向座標示意圖，

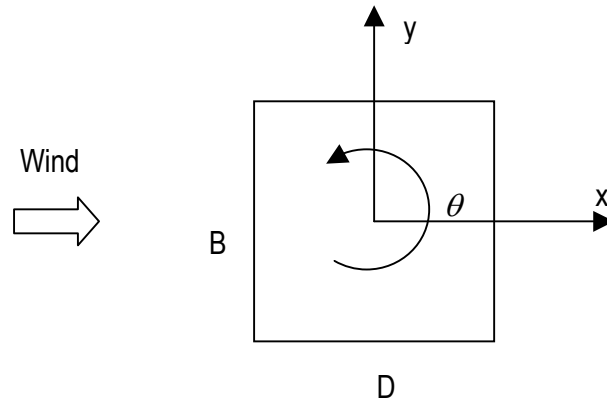


圖 7-18 高層建築斷面之順風向、橫風向、扭轉向座標示意圖

假設順風向振動與扭轉向振動之間為不相關，則建築物角隅處之順風向振動加速度為：

$$\text{瞬時加速度： } a_{xc}(t) = a_x(t) + \theta(t) \frac{B}{2}$$

$$\text{加速度變異數： } \sigma_{xc}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_\theta^2 \left(\frac{B}{2}\right)^2$$

假設橫風向振動與扭轉向振動之間為完全相關，則建築物角隅處之橫風向振動加速度為：

$$\text{瞬時加速度： } a_{yc}(t) = a_y(t) + \theta(t) \left(\frac{D}{2}\right)$$

$$\text{加速度變異數： } \sigma_{yc}^2 = \sigma_y^2 + \sigma_\theta^2 \left(\frac{D}{2}\right)^2 + \sigma_y \sigma_\theta D$$

建築物角隅處之水平方向振動加速度均方根值， σ_A ，可寫為：

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{xc}^2 + \sigma_{yc}^2} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_\theta^2 \left(\frac{B^2}{4} + \frac{D^2}{4}\right) + \sigma_y \sigma_\theta D}$$

建築物角隅處之水平方向振動尖峰加速度， \tilde{A} ，為：

$$\tilde{A} = \tilde{g} \sigma_A$$

\tilde{g} 為對應角隅處之水平方向振動的尖峰因子，因此 \tilde{A} 可用下式計算之：

$$\tilde{A} = \sqrt{A_D^2 + A_L^2 + A_T^2 \left(\frac{B^2}{4} + \frac{D^2}{4}\right) + D A_L A_T}$$

式中， A_D, A_L, A_T ，為 4.3 節所定義之順風向、橫風向與扭轉向之尖峰加速度。

參考文獻

- 1-1 Holmes, J. D., Wind Loading of Structures, Spon Press, 2001.
- 1-2 蔡益超、陳瑞華、項維邦，建築物風力規範條文、解說及示範例之研訂，中華民國結構工程學會研究報告 CSSE 85-05B，1996。
- 1-3 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI/ASCE 7-93 Standard, 1994.
- 1-4 AIJ Recommendations for Loads on Buildings, Architectural Institute of Japan, 1996.
- 6-1 Isyumov, N. and Davenport, A.G (1975) "The Ground Level Wind Environment in Build-up Areas", Proceedings of the 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Cambridge University Press, pp.403-422
- 6-2 Hunt, J.C.R., Poulton, E.C., and Mumford, J.C (1976) "The Effects of Wind on People: New Criteria Based on Wind Tunnel Experiments", Building Environment, 11, pp.15-38
- 6-3 Murakami, S., Uehara, K., and Deguchi, K (1978) "Wind Effects on Pedestrians: New Criteria Based on Out Door Observation of Over 2000 Persons"
- 6-4 Irwin, H.P.A.H (1981) "A Simple Omni-directional Sensor for Wind Tunnel Studies of Pedestrian-Level Winds" , J. of Wind Engineering and Industrial Areodyn, 7, pp219-239
- 6-5 Ratcliff, M.A., and Peterka, J.A.,(1990) "Comparison of Pedestrian Wind Acceptability criteria", J. of Wind Engineering and Industrial Areodyn, 36, pp791-800
- 6-6 丁育群&朱佳仁 (1990) "建築物之風場環境評估準則研議"，內政部建築研究所研究計畫, A40160
- 7-1 ISO6897-1984, Guidelines for the evaluation of the response of occupants of

- fixed structures, especially buildings and off-shore structures, to low-frequency horizontal motion (0.063 to 1 Hz), International Standard Organization, 1984.
- 7-2 AIJ Guidelines, Guidelines for the evaluation of habitability to building vibration, Architectural Institute of Japan, 1991.
- 7-3 AS/NZS 1170.2 Supplement 1:2002, Structural Design Actions-Wind Actions-Commentary (Supplement to AS/NZS 1170.2:2002), 2002.
- 7-4 Melbourne, W. H. and Cheung, J.C.J., "Designing for Serviceable Accelerations in Tall Buildings", *4th International Conference on Tall Buildings*, Hong Kong and Shanghai, 1988.
- 7-5 Melbourne, W. H., "Comfort Criteria for Wind-Induced Motion in Structures", *Structural Engineering International 1/98*, International Association of Bridge and Structural Engineering, 1998.
- 7-6 User's Guide - NBC 1995 Structural Commentaries (Part 4).
- 7-7 ASCE 7-02 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2002.
- 7-8 British Standard, Loading for Buildings-Part2: Code of Practice for Wind Loads, 2002.
- 7-9 Chen, P. W. and Roberston, L. E., "Human Perception Threshold of Horizontal Motion", *ASCE Journal of Structural Division*, Vol. 98, No. ST8, pp. 1681-1695, 1972.
- 7-10 Khan, F. R. and Parmelee, R. A., "Service Criteria for Tall Buildings for Wind Loading", *Proceedings of 3rd International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Tokyo, Japan, pp. 401-408, 1971.
- 7-11 Reed, J. W. "Wind Induced Motion and Human Comfort", *Research Report 71-42*, MIT, 1971.
- 7-12 Hansen, R.J., Reed, J. W. and Vanmarcke, E. H., "Human Response to Wind-induced Motion of Buildings", *ASCE Journal of Structural Division*, Vol.

- 99, No. ST7, pp. 1589-1605, 1973.
- 7-13 Irwin, A., "Human Response to Dynamic Motion of Structures", *The Structural Engineer*, No. 9, Vol. 56A, pp. 237-244, 1979.
- 7-14 Irwin, A., "Motion in Tall Buildings", *Proceedings of Conference on Tall Buildings and Urban Habitat-Second Century of the Skyscraper*, Van Nostrand, Chicago, pp. 759-778, 1986.
- 7-15 Goto, T., "Studies of Wind-Induced Motion of Tall Buildings Based on Occupants' Reactions", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 13, 1983, pp. 241-252.
- 7-16 Isyumov, N., "Criteria for Acceptable Wind-Induced Motions of Tall Buildings", *Proceedings of International Conference on Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat*, Rio de Janeiro, 1993.
- 7-17 Isyumov, N. and Kilpatrick, J., "Full Scale Experience with Wind-induced Motions of Tall Buildings", *ASCE Structures Congress*, Chicago, 1996.
- 7-18 Nakata, S., Tamura, Y. and Otsuki, T., "Habitability under Horizontal Vibration of Low Building", *International Colloquium on Structural Serviceability of Buildings*, Göteborg, Sweden, IABSE Reports, Vol. 69, pp. 39-44, 1993.
- 7-19 Shioya, K. and Kanda, J., "Human Perception Thresholds of Horizontal Motion", *International Colloquium on Structural Serviceability of Buildings*, Göteborg, Sweden, IABSE Reports, Vol. 65, pp. 45-52, 1993.

附錄A 採購評選委員會議記錄

副本

內政部建築研究所 函

受文者：鄭教授啟明

速別：最速件

密等及解密條件：

發文日期：中華民國九十二年三月六日

發文字號：建研工字第0920001250號

附件：

主旨：檢送本所九十二年度委託研究計畫「建築物風力規範之修訂研究(二)」、「加強磚造建築物耐震診斷與補強對策之研究」及「金屬帷幕牆設計技術手冊之編訂」等三案採購評選委員會議記錄，請 查照。

正本：淡江大學、中華民國建築學會、中華民國帷幕牆技術發展協會、邱顧問昌平、張教授國鎮、蔡教授益超、何副所長明錦、陳組長建忠、葉組長祥海、李專門委員盛義、鄭主任崇武、張主任碧瑤、劉博士俊研究員文欽、曹副研究員源暉
副本：鄭教授啟明、許教授茂雄、黃理事長清毅、本所秘書室、工程技术組

所長 蕭江碧

機關地址：台北市敦化南路二段三三三號十三樓
聯絡人：曹源暉
聯絡電話：(02) 27362389 轉 233
傳真電話：(02) 23774824
電子信箱：yhsao@abri.gov.tw

內政部建築研究所

九十二年度委託研究計畫「建築物風力規範之修訂研究(二)」、「加強磚造建築物耐震診斷與補強對策之研究」及「金屬帷幕牆設計技術手冊之編訂」等三案採購評選委員會會議紀錄

一、時間：九十二年二月二十六日(星期三)下午二時三十分

二、地點：本所會議室

三、主持人：葉組長祥海^代

四、出席單位及人員：詳出席簽到單

五、主席致詞：(略)

六、承辦單位說明：(略)

七、投標廠商簡報：(略)

八、綜合討論：

第一案「建築物風力規範之修訂研究(二)」

1、針對渦散分離現象所引發之橫風向及扭轉向風力，除考慮矩形斷面之高層建築外，建議一併探討其對圓筒型等其他斷面之建築物的影響。

2、建議研擬一個計算例，藉以比較只考慮順風向風力與加計其他因素時(如橫風向、扭轉向風力等)之差異性。

3、針對高層建築之舒適性評估，建議可藉由國內各高層建築內使用者之調查，以統計分析方法評估之。

4、建議多蒐集國外有關舒適性方面之文獻與規範。

記錄：曹源暉

5、建議蒐集國外針對建築物需進行風雨試驗、風洞試驗及安裝風力擺動感應器等之相關規定，做為國內風力規範修訂之參考。

第二案「加強磚造建築物耐震診斷與補強對策之研究」

- 1、對加強磚造建築物之研究中，建議考慮基礎型態之影響，而基地位於填土區或邊坡之情形，亦請一併考量。
- 2、分析探討加強磚造建築物之耐震能力時，應同時考量兩垂直向構架之耐震能力。
- 3、建議研究成果多以圖表表示，類似技術彙編之型式，以利政府單位宣導。

第三案「金屬帷幕牆設計技術手冊之編訂」

- 1、建議本案將帷幕牆失敗案例納入探討。
- 2、建議多蒐集國內外帷幕牆設計及施工相關規範。
- 3、為達規定之防火時效，建議本案能研擬設計例供設計者參考。
- 4、建議說明建築師與帷幕牆廠商間之互動關係，以及帷幕牆相關之檢測規定。

九、主席結論：

- 1、第一案「建築物風力規範之修訂研究(二)」評選結果由淡江大學獲得優先議約權。
- 2、第二案「加強磚造建築物耐震診斷與補強對策之研究」評選結果由中華民國建築學會獲得優先議約權。
- 3、第三案「金屬帷幕牆設計技術手冊之編訂」評選結果由中華民國帷幕牆技術發展協會獲得優先議約權。
- 4、請得標單位參酌綜合討論各委員意見修訂研究計畫後，依本所委託研究計畫作業要點等相關規定辦理簽約及後續作業。

十、散會：(下午四時十分)

內政部建築研究所

本所九十二年度委託研究計畫「建築物風力規範之修訂研究(二)」、「加強磚造建築物耐震診斷與補強對策之研究」及「金屬帷幕牆設計技術手冊之編訂」等三案採購評選委員會會議

一、時 間：九十二年二月二十六日(星期三)下午二時卅分正

二、地 點：本所會議室(台北市敦化南路二段三三三號十三樓)

三、主持人：何副所長明錦 葉祥為 記錄：曹飛鳴

四、出席人員：

採購評選委員

葉祥為
邱昌平
張國鎮

投標廠商

蔡明樹
許茂雄
林清貴

李專門委員盛義

列席 李盛義

鄭主任崇武

張主任碧瑤

張碧瑤

劉博士後研究員文欽

劉文欽

相關人員

[內 FA922145]

附錄B 期中報告會議紀錄

內政部建築研究所 函

受文者：鄭教授啟明

速別：普通件

密等及解密條件：

發文日期：中華民國九十二年七月十六日

發文字號：建研工字第0920003808號

附件：期中報告會議紀錄

主旨：檢送本所召開之「建築物設計載重規範之研訂」、「建築物風力規範之修訂研究(二)」研究案

期中報告會議紀錄乙份，請 查照。

正本：中華民國建築師公會全國聯合會、中華民國結構技師公會全國聯合會、中華民國土木技師公會全國聯合會、方教授富民、王經理亭復、甘副董事長錫滢、朱教授佳仁、邱顧問昌平、蔡教授益超、陳教授瑞華、鄭教授啟明
副本：本所工程技術組

所長 蕭江碧

機關地址：台北市敦化南路二段三三三號十三樓
聯絡人：林文山
聯絡電話：(〇二)二七三六二三八九轉三八〇

[M-FE92703S]

內政部建築研究所

本所「建築物設計載重規範之研訂」、「建築物風力規範之修訂研究(二)」期中簡報

- 一、時間：九十二年七月八日(星期二)下午二時卅分正
- 二、地點：本所會議室(台北市敦化南路二段三三三號十三樓)
- 三、主持人：蕭所長江碧
- 四、出席人員：

記錄：

專家學者：

方教授富民

王經理亭復

甘副董事長錫澄

公會團體：

中華民國建築師公會全國聯合會

中華民國結構技師公會全國聯合會

中華民國土木技師公會全國聯合會

(請假)

丁

(請假)

朱教授佳仁

邱顧問昌平

蔡教授益超

朱佳仁

邱昌平

鍾肇滿

報告人：

陳教授瑞華

陳瑞華

本所：

何副所長明錦

何明錦

葉主任秘書世文

葉組長祥海

葉祥海

李副研究員台光

曹副研究員源暉

曹源暉

林博士後研究員文山

林文山

相關人員

鄭教授啟明

鄭啟明

內政部建築研究所

「建築物設計載重規範之研訂」、「建築物風力規範之研修(二)」研究案期中審查會議紀錄

- 一、時間：九十二年七月八日(星期二)下午二時三十分整
- 二、地點：本所會議室
- 三、主持人：蕭所長江碧
- 四、出席單位及人員：詳出席簽到單(略)
- 五、主席致詞：(略)
- 六、執行單位簡報：(略)
- 七、綜合討論：

(一) 建築物設計載重規範之研訂

邱顧問昌平

- 1、規範內名詞之定義很重要，應參考現行技術規則、規範，要精準、慣用的不要改、前後要一致。
 - 2、許多文字用詞、敘述不明確，修改意見直接寫在期中報告書內，請研究團隊參採並酌正。
- 王協理亭復
- 1、建築技術規則建築構造編在第一章第一節、第三節載重等已有相當規定，執行上並無困難，其是否另編規範或直接修訂於規則條文上，須先予討論。若欲另訂規範，則報告中須予澄清。
 - 2、第25頁活載重範圍應將風力、地震力、雨水等產生之垂直載重排除。
 - 3、最小活載重似仍維持規則第十七條之表再加部分修訂。

記錄：林文山、曹源暉

4、第12頁自應變力似仍以「其它載重效應」為宜，應包含水壓、土壓、吊車載重、振動、溫度、衝擊載重、不均勻沉陷等之應力。

5、第20頁固定服務設備之重量應包含支持於結構體構材之水電構架、豎管、配電饋線、暖氣通風、空調系統等之重量。

6、第29頁車輛載重之集中載重面積並不是80公分見方，應為輪壓面積。

7、應加架空吊車載重(第31頁)，及維持規則第23條規定。

8、第32頁4.8節應為吊車之橫力。第4.9節增列活載重 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 不得折減及得折減之規定。

朱教授佳仁

1、若建築物內有游泳池、水塔，其樓板載重如何計算？可否加在第四章表格內？

中華民國土木技師公會全國聯合會 鍾技師肇滿

1、建築物設計載重乃設計建築物最重要之基本資料，故建議應有明確之結論，讓設計者有可遵循之依據。

2、第12頁所提「自應變力」建議加註英文名詞，本項並無進一步之數值分析，僅屬概念性之提醒設計者注意而已。

3、有關集中活載重之規定，以80公分見方之面積要求檢討各種使用狀況之容許應力，如教室、辦公室、商店等，建議將其它用途亦一併列入規定，可更為完整。

台灣科技大學 陳教授瑞華(說明)：

1、後續研究報告之文字敘述及符號說明會再加強。

2、游泳池之載重屬於靜載重；施工中載重屬於另一種載重規範，本計畫會有部分的規定要求；土、水壓力載

重將比照 ASCE 規範放入本研究內容中。

(二) 建築物風力規範之修訂研究(二)

邱顧問昌平

- 1、內容充實，章節文字表達清晰。
- 2、在舒適度方面，採用隔、減震措施之建築物是否列入考量？部分採用減震措施之建築物在強風作用下有可產生不悅之噪音。
- 3、部分文字敘述部份與符號定義建議再加強說明。

王協理亭復

- 1、報告書中各公式之符號代表意義宜予說明清楚。
- 2、有關風壓係數除由風洞試驗求得外，是否亦可以數值模擬分析求得？若可採用數值模擬時，可規定採用模擬方式及採用電腦程式之基本需求。
- 3、舒適度方面之規定主要應用在住宅及辦公室等高樓之居住者，對於公園、人行道上行人之舒適度似與本研究較無關。

朱教授佳仁

- 1、在風洞中模擬風速對人之舒適度影響，建議將不同年齡層之因素納入考量。
- 2、建議說明不同國家之規範對低層建築物風壓分布有何異同。

中華民國土木技師公會全國聯合會 鍾技師肇滿

1、本研究之目的主要在於修訂風力規範，既屬規範之研擬，其內容及用語謹詞宜簡單明瞭，所用符號亦不宜太複雜，讓設計者能輕易應用為宜，故建議後續研究成果儘量以簡易公式表達為原則。

2、風力組合是風力規範中最重要之部份，目前有純量組合與向量組合兩種，希望將來有較明確之結論，不宜交由設計者選用。

淡江大學 鄭教授啟明(說明)：

1、後續研究報告之文字敘述及符號說明會再加強。

2、風速壓數值模擬方面，目前尚未有國家將其放入規範中。

3、低層建築物之設計風力，本研究將考量提供簡易之計算公式。

八、主席結論：

1、請研究團隊參酌與會專家學者建議，於後續研究中納入考量，並充實研究內容。

2、委辦研究案中報告審查通過，請依合約規定辦理第二期款之撥付。

九、散會：(下午四時五十分)

附錄 C 期末報告會議記錄

內政部建築研究所 函

受文者：鄭教授啟明

速別：

密等及解密條件：

發文日期：中華民國九十二年十一月二十六日

發文字號：建研工字第0920006495號

附件：

主旨：檢送本所九十二年度研究計畫期末聯合研討會第十場次「耐震建築標章之設置與推廣」、「建築物設計載重規範之研訂」及「建築物風力規範之修訂研究(二)」研究案審查會議紀錄，請 查照。

正本：王協理亭復、李教授有豐、蔡教授益超、林教授耀煌、陳教授瑞華、鄭教授啟明、曹副研究員源暉

副本：財團法人中華建築中心、淡江大學、本所工程技術組

機關地址：台北市敦化南路二段三三三號十三樓
聯絡人：曹源暉
聯絡電話：(02)二七三六二三八九轉二三三
傳真電話：(02)二三七七四八二四
電子信箱：yhisaoo@abri.gov.tw

所長 蕭江碧

內政部建築研究所

九十二年度研究計畫期末聯合研討會第十場次會議紀錄

- 一、時間：九十二年十一月七日(星期五)下午一時十分整
- 二、地點：台北科技大學設計館八樓國際會議廳
- 三、主持人：葉組長祥海
- 四、主席致詞：(略)
- 五、執行單位簡報：(略)
- 六、綜合討論：

記錄：劉文欽、林文山、曹源暉

(一) 耐震建築標章之設置與推廣

李教授有豐

- 1、第三者察證與監造者的責任應釐清。
- 2、耐震標章之標的物規模與範圍應說明。
- 3、察證經費應參考美日制度之單價，並做比較。

蔡教授益超

- 1、新修訂耐震設計規範第七章「特別監督」制度可當作耐震標章法源，並參考該章內容研擬相關規定與辦法。
- 2、增加「使用、維護注意要點」等文件，並將其移交住戶管理委員會，當作認證之一環。
- 3、為推動「特別監督」制度，請加重有執行「特別監督」之加分比例。

王協理亭復

- 1、本案設置立意良好，所有表單已完備，只待落實施行。
- 2、耐震標章驗證者之責任及該標章對業主之保障應說明之。
- 3、查證工作之特別監造將花費很大人力，因此費率部分應再檢討。

4、每層查證一次並不足以保證施工品質，建議比照工程會品質評鑑辦法，以文件審查為主、現場查證為輔，則在費用與人力上較為可行。

(二) 建築物設計載重規範之研訂

王協理亭復

- 1、研究題目之「設計載重」事實上應包含靜載重、活載重、地震載重、風力載重等，是否在本研究規範中另予說明。
- 2、載重係數與抵抗係數兩者在強度設計中互相關連，本案僅規定修訂載重係數而抵抗係數(折減)未列入，似宜加以說明。
- 3、容許應力法載重組合與材料容許應力應互相關連，本案之材料容許應力亦宜予提示。
- 4、P.TI 中 E 為極限地震載重，似應為「設計地震」載重。
- 5、屋頂露台按實際使用情形核估可能偏小，造成既有建築物加建時有藉口予以降低活載重。宜維持原規範規定。

蔡教授益超

- 1、載重組合中活載重之載重係數用 1.9，風力載重係數用 1.8，較 ASCE 7 所用之 1.6 及 1.3 (不考慮風向效應) 高很多，似宜再降低。
- 2、載重組合 $0.9D+1.5W+1.6H$ 中，何以用 1.5W，而不用 1.8W，請查明。

李教授有豐

- 1、第二頁，意外載重，「仍符合強度與穩定性之要求」，強度部分可能要修正。
- 2、Self-straining force 翻譯成自應變力，請再探討。
- 3、裝修地板載重，在活載或靜載方面應如何處理。

(三) 建築物風力規範之修訂研究(二)

李教授有豐

- 1、建築物斷面形狀與風壓間之關係，應如何修正？是否有形狀效應係數。
- 2、鄰近之建築物可能會影響到設計建築物之風壓，可否說明考量方式。

蔡教授益超

- 1、本案相關研究成果已有部分納入修訂中之「建築物耐風設計規範」，值得肯定。
- 2、本案所進行之舒適度震動實驗與風速不舒服實驗，頗有意思，可進一步研究其與迴歸期之關係。

王協理亭復

- 1、本研究案既為規範之修訂，似宜將正在審查之規範草案一併顯示，說明哪些條文需修訂或增刪。
- 2、各國規範實例分析比較與探討中，宜說明影響風力差異之參數為何。
- 3、構件、構材或非結構之局部風力係數，似宜再予以深入探討。
- 4、人之舒適度分析是否納入規範，宜再斟酌。

七、結論：

- (一) 綜合討論之建議事項，請研究團隊參採辦理或妥予回應，同時請利用後續時間充實、修訂研究內容，於規定時程內完成研究成果報告。
- (二) 本場三案之期末簡報審查，請再檢核研究計畫需求，並依前項結論辦理後，同意結案。
- (三) 各研究案之結論與建議，及專家學者所提意見，可供本所賡續研究或推廣應用者，由本所承辦單位參採規劃辦理。

八、散會：(下午五時整)

審查意見與回覆

審查委員	審查意見	回覆
李教授 有豐	建築物斷面形狀與風壓間之關係，應如何修正？是否有形狀效應係數。	不同形狀之斷面有迥異之風壓特性，需個別進行風洞試驗以求得相關係數。
	鄰近之建築物可能會影響到設計建築物之風壓，可否說明考量方式。	鄰房之遮蔽效應會影響設計建築物之風壓，需個別進行風洞試驗以求得實際影響範圍。
蔡教授 益超	本案相關研究成果已有部分納入修訂中之「建築物耐風設計規範」，值得肯定。	
	本案所進行之舒適度振動實驗與風速不舒服實驗，頗有意思，可進一步研究其與回歸期之關係。	本期計畫僅為建立可行之分析實驗架構，希望能在下一年度之計畫中進行深入之分析。
王協理 亭復	本研究案既為規範之修訂，似宜將正在審查之規範草案一併顯示，說明哪些條文需修訂或增刪。	最新版本建築物風力規範已修訂告一段落，即將正式啟用。本案進行之研究多半針對風力規範之長期發展需求。
	各國規範實例分析比較與探討中，宜說明影響風力差異之參數為何。	遵照辦理。
	構件、構材或非結構之局部風力係數，似宜再予以深入探討。	本計畫以主要結構系統風力載重為研究之主軸，期待未來有機會能對其他構件進行討論。
	人之舒適度分析是否納入規範，宜再斟酌。	遵照辦理

附錄 D 專家座談會議記錄

風力規範之制定是風工程研究在實務上最重要之應用。除了針對規範內容做長時間之基礎研究，參考各國風力規範之內容與實際使用狀況亦是重要之研究課題。因此，本計畫一方面積極結合過去之基礎研究成果，比較探討各國規範之優劣處以提升目前規範之適用性；一方面配合淡江大學土木工程學系與風工程研究中心舉辦之國際風工研討會，於十一月十八日下午舉辦風力規範專家座談會，與國內外專家學者共同討論國外相關規範以及本計畫之研究成果。

座談會首先由香港科技大學土木系教授暨風洞實驗室主任 Kenny C. S. Kwok (郭中秀) 發表演講，介紹香港風力規範之發展。香港現在使用中之風力規範為 1983 年所制定，目前正進行新版之修訂。由於香港與台灣一樣處於颱風頻仍之處，加上地小人稠促使大量之高層建築興起，因此其風力規範相形更加重要。又因為許多高樓位於濱海地區使得地況分類與基本設計風速較為特殊。Kwok 教授針對這些議題詳細描述香港相關規範與未來之發展方向。

第二場由本計畫案之主持人鄭啟明教授與吳重成教授講述目前研究之成果。鑒於原有計畫內容繁複，因此提出下列三項較為重要之議題進行討論。包括 (1) 決定最恰當之基本設計風速機率模式；(2) 如何在高層建築順風向風力載重公式中，加入合適之結構動力特性；(3) 評論現行建築物風致擺動之人體舒適性評估標準。

風力規範專家座談議程表

時間		議程	主講(主持)人
13:20~14:45	100'	Introductions of Wind Codes	John D. Holmes, Rwey-Hua Cherng
		Wind Code Development in Hong Kong	Kenny C S Kwok
		Items and Regulations Needed for Further Verifications in Current Wind Code	Chii-Ming Cheng, Jong-Cheng Wu
		The Trend of Development on Future Wind Code	John D. Holmes
14:45~15:00	20'	Coffee Break	
15:00~16:50	110'	Open Forum	Chii-Ming Cheng
16:50~17:00	10'	Closing Ceremony	

最後由澳洲 JDH Consulting 負責人，美國 Louisiana State University 客座教授，國際風工程學會亞太區召集人 John D. Holmes，發表有關未來風力規範發展趨勢之演講。

本次專家座談會採開放性討論，以求對相關議題進行更深入之探討。各國學者也提供許多寶貴之意見，簡述如下：

(1) Prof. Yukio Tamura 針對設計風力之迴歸期指出，日本規範並未強制要求使用特定之迴歸期，而是依據各建築物之使用目的，進行可靠度分析而決定。對於日本風力規範而言，所使用之各類參數與公式皆經由日本各相關單位長時間實際驗證，以符合日本國內之環境。建議針對台灣本身特有之需求，在基礎實驗與實際使用上進行長期之研究與探討，方能發展出較適合當地之風力規範。而風致擺動之人體舒適性評估標準，日本目前正修訂 AIJ-93 相關規定。

(2) Prof. John D. Holmes 指出，對於基本設計風速而言，澳洲有區域性之風速資料可供參考。

(3) Prof. Kenny C. S. Kwok 對於風致擺動之舒適性評估標準，覺得人體對些微之加速度變化是難以查覺其差異，部分規範之做法其實用性有待商榷。

(4) 台灣科技大學營建工程系陳瑞華教授提醒，氣象站之風速資料會受周圍地形之影響。如台北氣象站之周圍環境一直改變，建築物高度不斷增加，因此風速資料需加以修正。

內政部建築研究所委託研究計劃『建築物風力規範之修訂研究(二)』期末專家學者座談會

- 一、執行單位：淡江大學 土木工程學系
- 二、開會時間：九十二年十一月十八日(星期二)下午一時三十分
- 三、開會地點：淡江大學覺生國際會議廳
- 四、主持人：鄭教授啟明
- 五、出席者：

張玉芳	鄭啟明	吳東山			
-----	-----	-----	--	--	--

蔡明樹	周學華	孫東和	張景鑽	陳振亨	陳若華
-----	-----	-----	-----	-----	-----

GPN : 1009205119
ISBN : 957-01-6228-7

建築物風力規範之修訂研究（二）

內政部建築研究所

九十二年十二月

建築物風力規範之修訂研究（二）

出版機關：內政部建築研究所

電話：（02）27362389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://abri.gov.tw>

出版年月：九十二年十二月

版（刷）次：初版

工本費：

GPN：1009205119

ISBN：957-01-6228-7