

曲面建築外牆垂直遮陽板淨風壓研究

傅仲麟^{1*} 許志霖²

¹*淡江大學風工程研究中心 研究員

²廣懋材料科技股份有限公司 總經理

摘要

遮陽板相對於建築的整體尺寸，遮陽板尺寸很小，進行外牆風洞試驗時，難以在縮尺模型上直接模擬，因此在一般建築物的風洞試驗研究中常常被簡化或者忽略。而本研究採較大縮尺模型試驗，採用 3D 列印方式，精細模擬出取得大樓外牆垂直遮陽板及整座建築模型，進行大樓外牆各區域之垂直遮陽板之淨風壓特性之研究。研究之主建築物為兩座類橢圓之曲面建築大樓，包含南棟及北棟大樓為長條型曲面建築，南向及北向是長邊，其曲率較小；東、西向是短邊，曲率較大。從兩棟建築各立面淨風壓比可知，除了東西兩側曲率較大處，及阳台、屋頂造型變化較大處，垂直遮陽板淨風壓比會達 0.8~1.2 間，其餘大部分區域，淨風壓比皆小於 0.7。也就是說大部分區域垂直遮陽板之淨風壓會低於表面設計風壓。另外，若在兩建築之間有縮流效應，風速增加，在兩建築間之垂直遮陽板淨風壓比也會稍微增加。

關鍵字：風洞試驗，遮陽板，淨風壓

Keywords: Wind Tunnel Test, Sunshades, Net Pressure

1. 前言

目前許多大型商業建築外牆設計多採帷幕系統，為了顯示建築立面之獨特性，並希望有遮陽之需求，會在外牆設計各種遮陽板。而遮陽板此類小尺寸構件，常會在強烈颱風來襲的情形下受損。因此，近年來，此類外牆構件的抗風能力備受關注。

目前世界各國的耐風設計規範中，較無針對遮陽板此種外牆附屬構件，提供設計參考。但在 AWES Handbook (2022) 中，針對各類型的遮陽板，有提供遮陽板調整因子， K_s ，外牆風壓係數乘上 K_s ，依據遮陽板類型及位於牆面不同區域，將外牆風壓進行放大或折減。一般而言，位於牆面邊緣區域之遮陽板通常風壓會放大，而位於牆面中央區域之遮陽板通常風壓會折減。此外，遮陽板也會對該區域之外牆局部風壓有影響，通常迎風面風壓會稍有放大，但側風面風壓則會稍有折減。

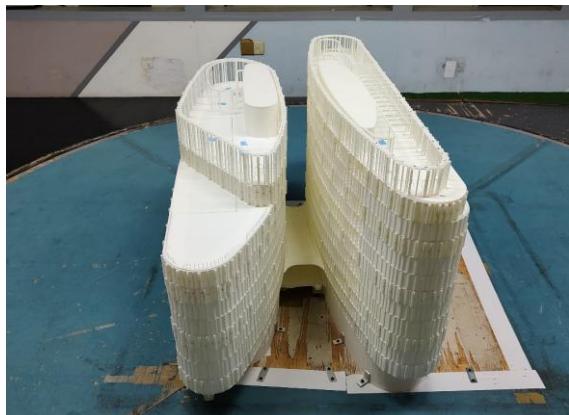
Lau & Rofail (2023) 針對水平突出式遮陽板的風壓進行試驗研究；作者彙整 8 個實際商業案之立面壓力風洞量測，再配合 1:100 標準模型測試，比對 2022 年 AWES Handbook 所給的遮陽係數 K_s 。結果指出：① 遮陽淨壓係數 $C_{p,n}$ 隨高度 z/H 及至側牆水平距離 x/b 增大，頂

層邊帶風壓最高；② AWES 之 K_s 對邊緣區預測準確，對中央區略保守。

Rofail & Truong (2024)是繼 2023 年 Lau & Rofail 針對水平遮陽之後，首度同時統計與試驗水平、貼壁垂直、離壁垂直三類遮陽元件的淨風壓係數。研究蒐集 21 座商業案 façade 風洞試驗，並以 1:100、1:50 雙比例標準模型驗證雷諾數效應，最終提出可直接納入 AS/NZS 1170.2 後續修訂的設計係數。

2. 研究內容及方法

研究案之主建築物為兩座類橢圓之曲面建築大樓，包含南棟及北棟，南棟為 13 層樓，高度含屋突約為 63 m；北棟為 11 層樓，高度含屋突約為 59 m，如圖 1 所示，本大樓以建築平面來看，是為長條型曲面建築，南向及北向是長邊，其曲率較小；東、西向是短邊，曲率較大。外牆表面之垂直遮陽板造型如圖 2 所示。



圖一：兩棟曲面建築大樓試驗模型



圖二：大樓表面垂直遮陽板

本次試驗主要是針對建築物表面垂直遮陽板之淨風壓(遮陽板之左右壓差)進行量測，因遮陽板深度尺寸僅約 25cm，相較於建築整體尺寸(寬度超過 100 公尺)，比例極小。因此，若採用一般 1/300 縮尺之模型進行風洞試驗，在模型上垂直遮陽板深度不足 1mm，其受風特性無法量測。因此，實驗設計時，將模型放大至 1/100 縮尺，並將壓力量測處之垂直遮陽板再予以稍放大，使得垂直遮陽板深度能達到約 4~5mm，可安裝壓力量測管線之尺寸，且使得該處之受風特性更為明顯。量測時，會於垂直遮陽板左右兩側安裝風壓量測點，量測垂直遮陽板左右兩側之風壓(P_L 及 P_R)，該單一壓力量測點所量測之風壓亦可代表建築物表面壓力。而垂直遮陽板所受之淨風壓為左右兩側風壓之差值($P_{net} = |P_L - P_R|$)。

本案北棟在模型垂直遮陽板處選擇 267 處，進行壓力量測孔布設，因每一處需量測左右兩側風壓，因此共開設 534 個風壓孔。而南棟較高，因此在模型垂直遮陽板處選擇 320 處，進行壓力量測孔布設，因每一處需量測左右兩側風壓，因此共開設 640 個風壓孔。設置風壓孔時為加強考慮外牆曲率較高處等易產生氣流分離處，變化較大區域，風壓孔設置較為密集，以確實掌握風力擾動較嚴重區域的壓力分佈。

本案風洞試驗是在淡江大學風工程研究中心第二風洞實驗館完成。風洞的試驗段 2.0m 高、3.2m 寬、18.0m 長，試驗段設有 3.0m 直徑轉盤。以主建築物，置於風洞試驗段轉盤上，進行風壓數據量測。實驗以正北風向起，風壓及風力試驗每 10 度進行一次量測，共計 36 個風向角。

其上游大氣邊界層流場特性，風向為北向、西北、東北向時，較接近開闊地形與鄉鎮地形間之地況，其風速剖面接近指數為 0.2 之指數律風速剖面；其他風向接近鄉鎮地形，其風速剖面接近指數為 0.25 之指數律風速剖面，本案使用錐形擾流板和配套之粗糙元及龍齒組合，於風洞試驗段內建立大氣邊界層流場。

3. 試驗結果與討論

3.1 各風向平均風壓係數分布

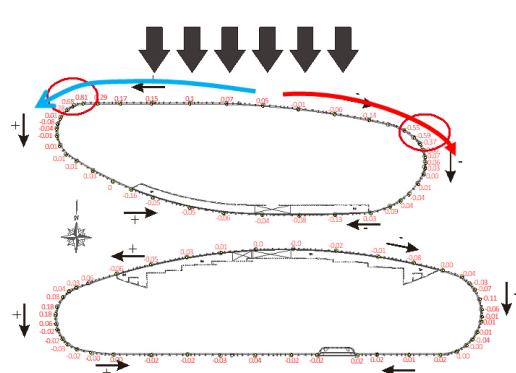
試驗數據會呈現平均淨風壓係數，與最大(最小)淨風壓係數，探討各區域橢圓建築各區域，遮陽板淨風壓係數的特性。因試驗數據相當龐大，因此先提出建築物具代表性代表樓層(此處選擇約 2/3 高度處樓層-8 樓)，幾個代表風向的平均淨風壓係數分布，進行說明。

淨風壓係數之定義：

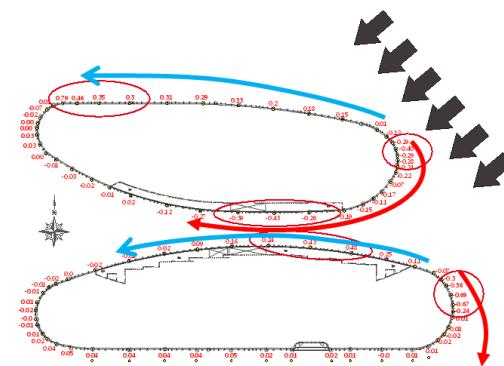
$$C_{p_{net}} = \frac{P_{net}}{0.5\rho U_h^2}, h = \text{building height}$$

而以建築物中心為軸，逆時針方向之風力，代表正值淨風壓係數，順時針方向之風力，代表負值淨風壓係數(如圖 3 所示)。圖 3 代表風向為北風，北棟北側受到風力直接吹襲，其表面應為正壓，氣流接觸到牆面後會朝左右流動，如紅色及藍線條所示。從圖上可觀察到，在北棟東北區及西北區，有較大的淨風壓係數出現(較大淨風壓區域以紅色圓圈標示出)，大約為 0.6~1.0 間，此區域應為氣流分離區，會造成風速加速，進而產生較大的淨風壓。而南棟因受北棟阻擋，落在北棟的尾流區域，其各處淨風壓皆偏低。

圖 4 代表風向為東北風，北棟北向區域之垂直遮陽板淨風壓，由東往西逐漸增加，淨風壓較大的區域，主要在西北區。此外，在東側外牆曲率較大處，南北棟之垂直遮陽板皆有較大淨風壓；此外，兩棟建築物中間(北棟南向及南棟北向)之垂直遮陽板，因氣流在該處因縮流效應，風速增加，因此在這兩區域之淨風壓也會較大。



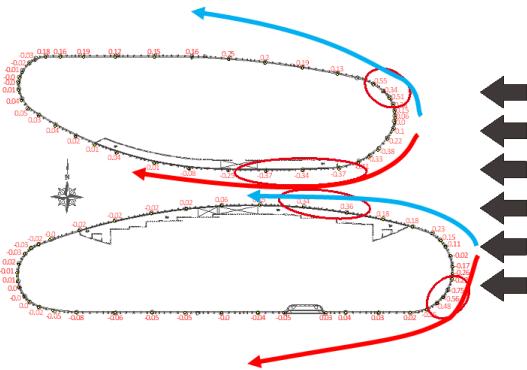
圖三：八樓之平均風壓係數分布(北風)



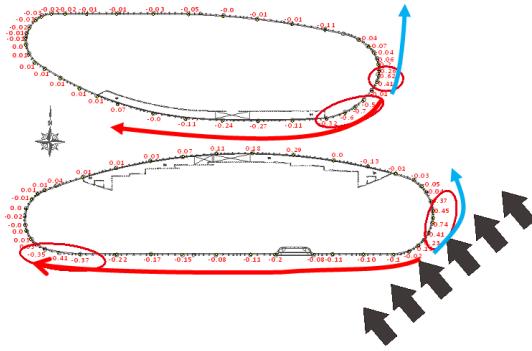
圖四：八樓之平均風壓係數分布(東北風)

圖 5 代表風向為東風，北棟東北區域及南棟東南區域，為氣流分離區域，該處之垂直遮陽板淨風壓，明顯較大。此外，兩棟建築物中間(北棟南向及南棟北向)之之垂直遮陽板，因氣流在該處因縮流效應，風速增加，因此在這兩區域之淨風壓也會較大。

圖 6 代表風向為東南風，北棟東側及東南側區域，是垂直遮陽板淨風壓較大的區域。南棟東側曲率較大區域之垂直遮陽板有較大淨風壓；此外，南棟南向之垂直遮陽板越往西側移動淨風壓也會越大。



圖五：八樓之平均風壓係數分布(東風)



圖六：八樓之平均風壓係數分布(東南風)

南風特性與北風相似，在南棟東南區及西南區，有較大的淨風壓係數出現，大約為 0.6~0.9 之間，此區域為氣流分離區，會造成風速加速，進而產生較大的淨風壓。其他風向之淨風壓特性與其對稱之風向相近，較大的淨風壓，會發生在東西側接近曲率最大之區域，其次會發生在兩棟建築中間，縮流加速處。

3.2 外牆設計風壓與設計淨風壓比較

因建築外牆設計是採用極值風壓來進行設計依據，因此後續提出的設計風壓，是將 36 個風向角條件下，模型上所有測點之量測到的風壓。透過極值分佈(Gumbel distribution)取得每一個壓力測點，在各風向的極值風壓，最後取所有風向中極值風壓的極大值(負壓取極小值)，作為設計風壓；垂直遮陽板之設計淨風壓亦採相同方式計算。

為提供參考比較使用，先提出各風壓量測點處之設計風壓，因垂直遮陽板之左右兩側風壓測點位置，距外牆相當接近，因此取兩側風壓之較大值作為該處之外牆設計風壓。以下之比較，是將試驗結果換算至台北市設計風速條件下之設計風壓來進行比較。因篇幅限制，我們針對北棟之風壓特性進行探討。

3-2-1 外牆風壓分布

以北棟而言，在北向、東向及西向立面，正壓部分，皆隨高度增加而正壓變大。而在南向立面處，因受南棟大樓之阻擋，因此其正風壓偏低，且分布較不規則。在負壓部分，以建築平面來看，東向及西向其建築外牆曲率較大，因此其負風壓較大，而北向及南向，外牆曲率較小，負風壓值亦較低。

3-2-2 垂直遮陽板淨風壓分布

同步量測垂直遮陽板左右兩側之風壓，並即時進行壓差計算，可以得到該垂直遮陽板每個瞬時的淨風壓。透過極值風壓分析，可以獲得每一個量測遮陽板，在各風向的淨風壓極值。

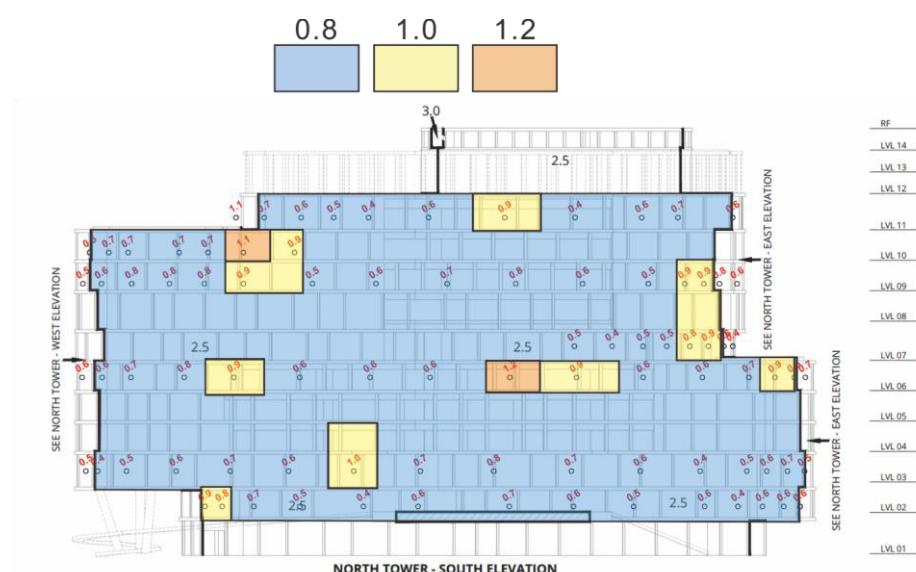
以北棟而言，在北向立面中央部分建築表面曲率小，垂直遮陽板兩側壓差較小，淨風壓較低。但往兩側移動及往上，曲率變大或造型改變處，兩側壓差會明顯增加，淨風壓變大。而東、西向立面，是建築表面曲率較大處，垂直遮陽板兩側壓差較大，淨風壓較高。但南向立面，因為此立面在南北棟之間，有縮流的效應，東西向氣流風速較大，因此會有較北向立面稍大的淨風壓。

3-2-3 垂直遮陽板淨風壓比例因子

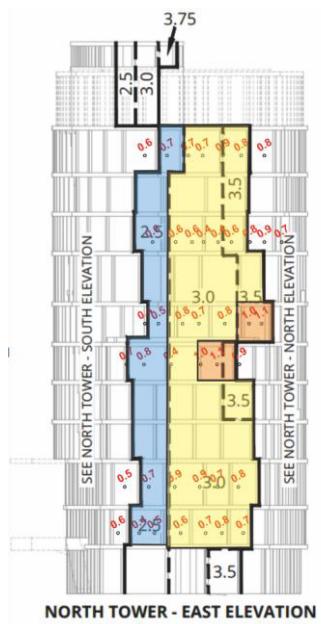
若將本次試驗所得之垂直遮陽板之淨風壓與外牆風壓進行比較，我們定義一個淨風壓比例因子 R 代表淨風壓與外牆風壓之比值，來評估各個位置垂直垂直遮陽板之淨風壓，與外牆風壓比較是放大還是降低。



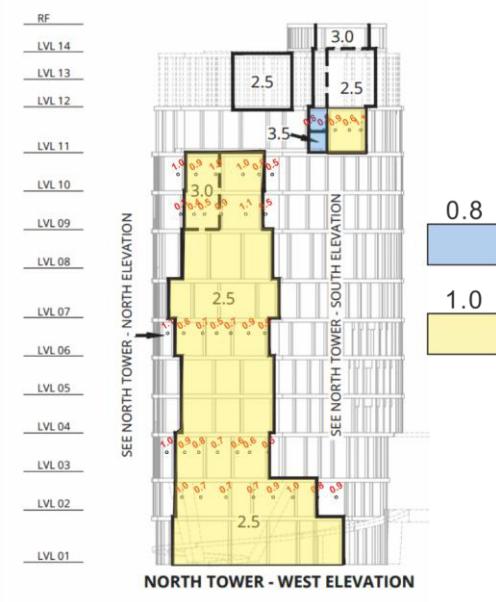
圖七：北棟北向垂直遮陽板淨風壓比分區圖



圖八：北棟北向垂直遮陽板淨風壓比分區圖



圖九：北棟東向直遮陽板淨風壓比分區圖



圖十：北棟北向垂直遮陽板淨風壓比分區圖

北棟垂直遮陽板之淨風壓比。在北向立面中央部分，建築表面曲率小，淨風壓比約為 0.4~0.7 間。但往兩側移動及造型改變處，如 2 樓左側、6 樓右側陽台周邊、10 樓左側陽台周邊及 R1 等造型變化較大處，其淨風壓變大，淨風壓比約為 0.8~1.1 間。南向立面：通常在立面中央部分，淨風壓比會偏低，但因此立面在於南北棟之間，有縮流效應，風速會稍大，因此在中央部分區域淨風壓比仍會大於 0.7。但是大部分區域淨風壓比還是低於 0.7。東向及西向立面曲率較大處，因此垂直遮陽板兩側壓差較大，淨風壓比幾乎皆在 0.7~1.1 間，僅有少數測點低於 0.7。

4. 結論

從建築各立面淨風壓比可知，除了東西兩側曲率較大處，及陽台、屋頂造型變化較大處，垂直遮陽板淨風壓比會達 0.8~1.2 間，其餘大部分區域，淨風壓比皆小於 0.8。也就是說大部分區域垂直遮陽板之淨風壓會低於表面設計風壓。另外，若在兩建築之間有縮流效應，風速增加，在兩建築間之垂直遮陽板淨風壓比也會稍微增加。

5. 參考文獻

- [1] R.G.J. Flay, J.D. Ginger, J.D. Holmes, K.C.S. Kwok, M.S. Mason, L. Noicos, R. Turner and G.S. Wood. WIND LOADING HANDBOOK FOR AUSTRALIA AND NEW ZEALAND,2022, Australasian Wind Engineering Society.
- [2] Raymond Lau, Antonios Rofail , Wind Loads on Sunshade Elements: Horizontal Sunshades, 2023, 21st AWES Wind Engineering Workshop.
- [3] Antonios Rofail, Nicholas Truong, Wind Loads on Sunshade Elements: Horizontal and Vertical Sunshades, 2024, 22nd AWES Wind Engineering Workshop, Townsville