

帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬

內政部建築研究所協同研究報告
106 年度

帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬

內政部建築研究所 協同研究報告

中華民國 106 年 12 月

10615B0001

帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬

研究主持人：鄭元良
協同主持人：陳瑞華
研究員：高士哲、郭建源、許敬昫、張淇喻
研究助理：張琪棉、林雨石
研究期程：中華民國 106 年 2 月至 106 年 12 月

內政部建築研究所 協同研究報告

中華民國 106 年 12 月

目次

目次.....	I
表次.....	IV
圖次.....	VI
摘要.....	X
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究內容與步驟.....	2
第三節 本報告章節架構.....	2
第二章 帷幕牆受風破壞案例之回顧.....	5
第一節 國內破壞案例.....	5
第二節 國外破壞案例.....	6
第三章 常見帷幕牆系統之回顧.....	9
第一節 直橫料式系統(Stick System).....	10
第二節 窗間牆系統(Column-Cover-and-Spandrel System).....	11
第三節 格板系統(Panel System).....	12
第四節 複合式系統或半單元式系統(The-Unit-and-Mullion System).....	13
第五節 單元式系統(Unitized System).....	14
第四章 帷幕牆系統各構件設計風壓之決定.....	17
第一節 高度不超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計算.....	17
第二節 高度超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計算.....	21
第五章 帷幕牆系統結構耐風設計原則.....	25
第一節 直橫料式系統之耐風結構設計原則.....	25
第二節 單元式系統之耐風結構設計.....	31
第六章 高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆設計例.....	35

第一節 帷幕牆各構件設計風壓	35
第二節 直料與橫料設計檢核	46
第三節 繫件設計檢核	55
第四節 面材設計檢核	72
第七章 高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例	75
第一節 帷幕牆各構件設計風壓	75
第二節 直料與橫料設計檢核	86
第三節 繫件設計檢核	92
第四節 面材設計檢核	112
第八章 高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例	115
第一節 帷幕牆各構件設計風壓	115
第二節 直料與橫料設計檢核	126
第三節 繫件設計檢核	132
第四節 面材設計檢核	152
第九章 結論與建議	155
第一節 結論	155
第二節 建議	156
附錄一 期初審查意見及回應一覽表	157
附錄二 期中審查意見及回應一覽表	161
附錄三 第一次專家座談會議及回應一覽表	165
附錄四 第二次專家座談會議及回應一覽表	173
附錄五 期末審查意見及回應一覽表	175
附錄六 帷幕牆耐風設計技術手冊(初稿)	177
第一章 手冊導覽	187
第一節 編撰目的	187
第二節 內容架構	187

第二章 帷幕牆系統耐風設計原則	189
第一節 帷幕牆系統各構件設計風壓之決定	189
第二節 直橫料式帷幕牆系統結構耐風設計原則	193
第三節 單元式帷幕牆系統結構耐風設計原則	197
第三章 高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆設計例	201
第一節 帷幕牆各構件設計風壓	201
第二節 直料與橫料設計檢核	212
第三節 繫件設計檢核	221
第四節 面材設計檢核	238
第四章 高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例	241
第一節 帷幕牆各構件設計風壓	241
第二節 直料與橫料設計檢核	252
第三節 繫件設計檢核	258
第四節 面材設計檢核	278
第五章 高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例	281
第一節 帷幕牆各構件設計風壓	281
第二節 直料與橫料設計檢核	292
第三節 繫件設計檢核	298
第四節 面材設計檢核	318
附錄 一 「建築物耐風設計規範」中之用途係數、基本設計風速及風速垂直分布	321
附錄 二 「建築物耐風設計規範」中之外風壓係數	325
參考書目	331
參考書目	332

表次

表 6-1	第三章設計例之建築物資料與工址風環境.....	37
表 6-2	第三章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m ²).....	44
表 6-3	第三章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m ²).....	45
表 6-4	第三章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質.....	47
表 6-5	玻璃種類係數表.....	73
表 7-1	第四章設計例之建築物資料與工址風環境.....	77
表 7-2	第四章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m ²).....	84
表 7-3	第四章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m ²).....	84
表 7-4	第四章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質.....	87
表 7-5	玻璃種類係數表.....	114
表 8-1	第五章設計例之建築物資料與工址風環境.....	117
表 8-2	第五章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m ²).....	124
表 8-3	第五章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m ²).....	124
表 8-4	第五章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質.....	127
表 8-5	玻璃種類係數表.....	154

圖次

圖 2-1 美侖飯店餐廳玻璃帷幕牆破壞後場景.....	6
圖 2-2 利澤垃圾焚化廠萊特板破壞後場景.....	6
圖 3-1 直橫料系統之示意圖.....	10
圖 3-2 窗間牆系統之示意圖.....	11
圖 3-3 格板系統之示意圖.....	12
圖 3-4 複合式系統或半單元式系統之示意圖.....	13
圖 3-5 單元式系統之示意圖.....	15
圖 4-1 面材寬度及跨距長度之示意圖.....	18
圖 4-2 承受風壓及有效受風面積示意圖.....	錯誤! 尚未定義書籤。
圖 4-3 高度不超過 18 公尺建築物之局部構材耐風設計流程圖.....	20
圖 4-4 高度超過 18 公尺建築物之局部構材耐風設計流程圖.....	23
圖 5-1 直橫料式系統構件位置.....	25
圖 5-2 直橫料式系統直料結構分析示意圖.....	26
圖 5-3 直橫料式系統橫料結構分析示意圖.....	28
圖 5-4 單元式系統構件位置.....	31
圖 5-5 單元式系統直料結構分析示意圖.....	32
圖 5-6 單元式系統橫料結構分析示意圖.....	33
圖 6.1 第六章設計例帷幕牆示意圖.....	35
圖 6.2 第六章設計例之帷幕牆構件位置放大圖.....	36
圖 6.3 第六章設計例之面材、直料及橫料之承受風壓面積.....	39
圖 6.4 第六章設計例之帷幕牆直料及繫件平剖圖.....	40
圖 6.5 第六章設計例之帷幕牆橫料截面圖.....	40
圖 6.6 第六章設計例之帷幕牆系統剖面圖.....	46
圖 6.7 第六章設計例之直料結構圖.....	48
圖 6.8 第六章設計例之剪力、彎矩及變形圖.....	49
圖 6.9 第六章設計例之公單元斷面及對稱斷面圖.....	50
圖 6.10 第六章設計例之母單元斷面及對稱斷面圖.....	52
圖 6.11 第六章設計例之(A)橫料(水槽料與下橫料)風力作用結構圖(B)下橫料玻璃載重作用結構圖.....	53
圖 6.12 第六章設計例之帷幕牆繫件剖面圖.....	55
圖 6.13 第六章設計例之帷幕牆繫件平面圖.....	56
圖 6.14 第六章設計例之力傳導平面圖.....	58
圖 6.15 第六章設計例之繫件有效受風面積.....	59
圖 6.16 第六章設計例之 A 處螺栓受力圖.....	62
圖 6.17 第六章設計例之樓板上鋁板之受力圖.....	64
圖 6.18 第六章設計例之 B 處螺栓剪力圖.....	66

圖 6.19 第六章設計例之 C 處螺栓受力圖	68
圖 6.20 第六章設計例之 L 型鋁板受力	70
圖 6.21 第六章設計例之 D 處結構矽膠位置圖	71
圖 6.22 第六章設計例之玻璃強度及變形曲線圖	73
圖 7.1 第七章計算例之帷幕牆示意圖	75
圖 7.2 第七章計算例之帷幕牆構件位置放大圖	76
圖 7.3 第七章計算例之面材、直料及橫料之承受風壓面積	79
圖 7.4 第七章計算例之帷幕牆直料及繫件平剖圖	80
圖 7.5 第七章計算例之帷幕牆系統剖面圖	86
圖 7.6 第七章計算例之直料結構圖	88
圖 7.7 第七章計算例之剪力彎矩及變形圖	88
圖 7.8 第七章計算例之(A)橫料風力作用結構圖(B)橫料玻璃載重作用結構圖	90
圖 7.9 第七章計算例之帷幕繫件剖面圖	92
圖 7.10 第七章計算例之帷幕繫件平面圖	93
圖 7.11 第七章計算例之力傳導平面圖	96
圖 7.12 第七章計算例之繫件有效受風面積	96
圖 7.13 第七章計算例之 A 處螺栓受力圖	99
圖 7.14 第七章計算例之樓板上鋁板之受力	101
圖 7.15 第七章計算例之 B 處螺栓剪力圖	103
圖 7.16 第七章計算例之 C 處螺栓受力圖	105
圖 7.17 第七章計算例之 L 型鋁板受力	107
圖 7.18 第七章計算例之 D 處結構矽膠位置圖	108
圖 7.19 第七章計算例之直橫料連接處細部圖	109
圖 7.20 第七章計算例之型鋼受力圖	110
圖 7.21 第七章計算例之玻璃強度及變形曲線圖	113
圖 8.1 第八章計算例之帷幕牆示意圖	115
圖 8.2 第八章計算例之帷幕牆構件位置放大圖	116
圖 8.3 第八章計算例之面材、直料及橫料之承受風壓面積	119
圖 8.4 第八章帷幕牆平剖圖	120
圖 8.5 第八章計算例之帷幕牆系統剖面圖	126
圖 8.6 第八章計算例之直料結構圖	128
圖 8.7 第八章計算例之剪力彎矩及變形圖	128
圖 8.8 第八章計算例之(A)橫料風力作用結構圖(B)橫料玻璃載重作用結構圖	130
圖 8.9 第八章計算例之帷幕繫件剖面圖	132
圖 8.10 第八章計算例之帷幕繫件平面圖	133
圖 8.11 第八章計算例之力傳導平面圖	136
圖 8.12 第八章計算例之繫件有效受風面積	136
圖 8.13 第八章計算例之 A 處螺栓受力圖	139

圖 8.14	第八章計算例之樓板上鋁板之受力	141
圖 8.15	第八章計算例之 B 處螺栓剪力圖	143
圖 8.16	第八章計算例之 C 處螺栓受力圖	145
圖 8.17	第八章計算例之 L 型鋁板受力	147
圖 8.18	第八章計算例之 D 處結構矽膠位置圖	148
圖 8.19	第八章計算例之直橫料連接處細部圖	149
圖 8.20	第八章計算例之型鋼受力圖	150
圖 8.21	第八章計算例之玻璃強度及變形曲線圖	153

摘要

關鍵詞：帷幕牆、耐風規範、結構設計

壹、研究緣起

帷幕牆系統是建築構造中重要的一環，其設計不僅要符合水密性與氣密性等功能性之需求，更一定要符合結構安全之標準。帷幕牆系統基本上包括牆體本身及支撐構件，必須根據各種可能最大外力妥適設計，以確保其結構安全，其中結構耐風設計扮演非常關鍵的角色，尤其對高層建築而言，設計風壓常主控牆體本身及支撐構件之設計。現行建築物耐風設計規範於民國 103 年 6 月 12 日修正頒佈，並自民國 104 年 1 月 1 日起施行，其中對規則矩形斷面建築之外部被覆物及局部構材之設計風壓有詳盡的規定。但目前一般的帷幕牆系統結構設計者通常不太熟悉相關規定，部分反應現行規範之計算流程繁複，而改以經驗或早期國內外規定作設計，此種設計在未來建築生命週期內強風侵襲時之安全性頗值得憂慮。本計劃將讓帷幕牆系統結構設計者熟悉建築物耐風設計規範之相關規定，減少錯誤之判斷與應用。同時，部份工程顧問公司結構設計審核人員反應帷幕牆業界對耐風設計觀念未臻正確。因此，有必要研擬帷幕牆系統結構耐風設計手冊。

貳、研究方法與過程

本計劃首先回顧常見之帷幕牆系統與其組成構件，並探討其風壓傳導機制。參考並彙整建築物耐風設計規範(2015)及建築物耐風設計技術手冊(2017)之相關資料，建立有關局部構材及外部被覆物設計風壓之計算程序。具體而言，將針對獨立矩形柱狀建築(高度超過 18 公尺或低於 18 公尺)之局部構材(支撐構件)及外部被覆物(牆體)，根據耐風設計規範「第二章 建築物設計風力之計算」中之風速壓計算方式及「第三章 局部構材及外部被覆物之設計風壓」中之封閉式與部分封閉式建築物局部構件設計風壓之計算方式，考慮建築物之位置、重要性、封閉性、週遭地況與週遭特殊地形及構件之位置與有效受風面積，建立每一來風方向下之設計風壓計算流程。其次，建立帷幕牆系統之結構耐風設計流程，包括決定所設計帷幕牆系統之組成構件、位置及其風壓傳導機制；根據建築物特性及每一構件之位置與有效受風面積，分別計算對應之設計風壓；再依設計風壓，分別計算構件之抗彎強度需求及變形需求。以前述流程為基礎，建立常見帷幕牆系統之結構耐風設計計算例(直橫料式系統及單元式系統)。最後，研擬帷幕牆系統結構耐風設計手冊，其內容除綜合前述研究成果外，同時增加手冊編撰目的與手冊內容架構。手冊章節包含帷幕牆系統耐風設計原則；高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆系統及直橫料式帷幕牆系統計算例；高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆系統計算例。

參、重要發現

本研究案的具體成果如下：

1. 帷幕牆系統設計風壓計算程序之建立
此部分包括決定帷幕牆系統面材、直料及橫料設計風壓，設計者可遵循此例決定帷幕牆系統設計風壓。
2. 帷幕牆系統結構耐風設計原則之建立
已初步分別建立直橫料式系統以及單元式系統各構件設計及檢核的原則及標準。
3. 帷幕牆系統結構耐風設計計算例之建立
結合帷幕牆系統設計風壓計算程序以及帷幕牆系統結構耐風設計原則，完成帷幕牆系統結構耐風設計之計算例。
4. 帷幕牆系統結構耐風設計手冊之研擬
帷幕牆系統結構耐風設計手冊其內容除綜合前述研究成果外，同時增加手冊編撰目的與手冊內容架構。手冊章節包含帷幕牆系統耐風設計原則；高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆系統及直橫料式帷幕牆系統計算例；高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆系統計算例。

肆、重要建議事項

根據重要發現，本研究提出下列建議事項：

【建議一】

建議出版「帷幕牆系統結構耐風設計手冊」並辦理推廣講習會議：短期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：臺灣帷幕牆技術發展協會、社團法人中華民國風工程學會

目前中小型帷幕牆業者在帷幕牆系統之結構設計並無相關手冊可參考，常因各種不同變數對參數使用有所疑義，而忽略或簡化耐風評估，影響其結構安全，故建議出版「帷幕牆系統結構耐風設計手冊」，並辦理講習會議向帷幕牆業者推廣耐風設計方法，並依示範例執行結構風力分析與材料檢核。

【建議二】

建議未來參照國內外最新發展，定期修正及增補“建築物耐風設計規範”中外部被

覆物及局部構材設計風壓之計算：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會

國內外對於”建築物耐風設計規範”中外部被覆物及局部構材設計風壓之計算尚無一”完全和現地測量相同風壓”之方法，各國仍在此方面持續努力中，而對於帷幕牆結構設計上此風壓參數為一重要數值，故需參照國內外最新發展，如國外既有規範及參考國內外風洞實驗資料進行統計分析，定期修正及增補”建築物耐風設計規範”中外部被覆物及局部構材設計風壓之計算，包括其隨有效受風面積之變化。

ABSTRACT

Keywords : curtain wall 、 wind resistant design code 、 structural design

The curtain wall system, consisting of the wall and supporting members, is an important part of a building structure. Its design must satisfy safety and serviceability requirements. For a high-rise building, wind-resistant design usually dominates the members' strengths. The current Taiwan wind resistant design code specifies the design wind pressure for components and claddings. This study intends to provide the engineers the procedure for determining the design wind pressures and structural design examples. Finally, a curtain wall system wind resistant design handbook is developed, including design examples for the unitized curtain wall system of a building with a height exceeding 18 meters, the stick curtain wall system of a building with a height exceeding 18 meters and the stick curtain wall system of a building with a height less than or equal to 18 meters.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

帷幕牆系統是建築構造中重要的一環，其設計不僅要符合水密性與氣密性等功能性之需求，更一定要符合結構安全之標準。帷幕牆系統基本上包括牆體本身及支撐構件，必須根據各種可能最大外力妥適設計，以確保其結構安全，其中結構耐風設計扮演非常關鍵的角色，尤其對高層建築而言，設計風壓常主控牆體本身及支撐構件之設計。現行「建築物耐風設計規範」(以下簡稱「耐風規範」)於民國 103 年 6 月 12 日修正頒佈，並自民國 104 年 1 月 1 日起施行，其中對規則矩形斷面建築之外部被覆物及局部構材之設計風壓有詳盡的規定。但目前一般的帷幕牆系統結構設計者通常不太熟悉相關規定，部分反應現行規範之計算流程繁複，而改以經驗或早期國內外規定作設計，此種設計在未來建築生命週期內強風侵襲時之安全性頗值得憂慮。本計劃將讓帷幕牆系統結構設計者熟悉「建築物耐風設計規範」之相關規定，減少錯誤之判斷與應用。同時，部份工程顧問公司結構設計審核人員反應帷幕牆業界對耐風設計觀念未臻正確。因此，有必要研擬帷幕牆系統結構耐風設計手冊。

貳、預期目標

- 1、完成帷幕牆系統結構耐風設計手冊草案。
- 2、研擬帷幕牆系統在設計風壓下之結構分析方法，供設計者正確執行牆體本身及支撐構件之結構耐風設計。
- 3、建構帷幕牆系統結構耐風設計方法，導正業界耐風設計觀念，減少錯誤設計風險。

第二節 研究內容與步驟

壹、研究內容

本計畫針對近似規則矩形柱體建築物，研擬帷幕牆系統結構耐風設計手冊。先介紹國內「建築物耐風設計規範」，特別闡述其中與帷幕牆系統相關部分一局部構材及外部被覆物之設計風壓。再以流程圖方式逐步呈現如何根據建築物資料、工址風環境資料及帷幕牆系統配置，依每一來風方向，分別依規範計算牆體本身(外部被覆物)及支撐構件(局部構材)之設計風壓。同時提供數個帷幕牆系統結構耐風設計計算例，根據已知之帷幕牆配置，示範如何先根據前述計算流程圖得到各設計風壓；再以結構分析分別決定各牆體本身及支撐構件之耐風強度需求及變形量。最後，根據上述研究成果，編撰帷幕牆系統結構耐風設計手冊。

貳、研究步驟

1. 回顧常見之帷幕牆系統與其組成構件。
2. 建立設計風壓之計算程序。
3. 建立帷幕牆系統之結構耐風設計原則。
4. 建立帷幕牆系統結構耐風設計計算例。
5. 研擬帷幕牆系統結構耐風設計手冊。

第三節 本報告章節架構

本研究將介紹由 American Architectural Manufacturers Association 提出的五種帷幕牆系統，分別為直橫料式系統、窗間牆系統、格板系統、複合式系統及單元式系統。國內針對超過 18 公尺建築物通常採用單元式或直橫料式系統，但對不超過 18 公尺建築物，只採用直橫料式系統，故本研究將針對高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆系統、高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆系統及高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆系統三種情況分別擬定設計示範例。

根據上述研究內容，除本章外，本文之章節架構如下。第二章及第三章分別為帷幕牆受風破壞案例及常見帷幕牆系統之回顧。第四章建立帷幕牆系統各構件設計風壓之決定。第五章建立帷幕牆系統結構耐風設計原則。第六章為高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆設計例。第七章為高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例。第八章為高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例。第

九章為結論與建議。

第二章 帷幕牆受風破壞案例之回顧

帷幕牆系統遭受風壓、隨風飄散物撞擊或溫差效應時破壞之可能成因包含支撐系統(如直料、橫料或繫件等)或面材(如玻璃、鋁版或混凝土版等)的設計強度不足或變形過大。本報告從第四章開始針對帷幕牆耐風設計作詳盡的探討，以確保相關支撐系統及面材符合設計強度與變形的要求。

帷幕牆之破壞樣態及其成因繁多，本章著重於帷幕牆受風破壞案例之回顧，將彙整相關文獻及新聞報導，簡要歸納成以下兩節。

第一節 國內破壞案例

國內帷幕牆受風破壞案例甚多，各家新聞媒體曾報導利澤垃圾焚化廠(2015；杜鵑颱風)、新光人壽陽光科技大樓(2005；泰利颱風)及地球村(2016；梅姬颱風)等破壞案例，但資料不甚完整與精確，且欠缺後續追蹤報導。在「建築物受風災損壞原因實際案例調查研究」(陳瑞鈴、張景鐘等，2012)中有較詳盡之風災調查，包含美侖飯店(2005；海棠颱風)、利澤垃圾焚化廠(2008；薔蜜颱風)及和平電廠(2004；納坦颱風)，分別簡述如下。

壹、花蓮美侖飯店

於 2005 年 7 月海棠颱風登陸期間，餐廳之玻璃帷幕牆從一邊開始破壞，開口使得建築物內風壓急速上升，引致其他玻璃破壞如圖 2-1 所示，甚至造成飯店大門的破壞。其中，可能破壞成因包含隨風飄散物的撞擊、玻璃帷幕牆所採用的懸吊支架支撐力不足、工人未確實按圖施工或是維護人員未完整的對玻璃帷幕牆的結構系統做詳細檢查與維護。



圖 2-1 美侖飯店餐廳玻璃帷幕牆破壞後場景
(資料來源：陳瑞鈴、張景鐘等，2012)

貳、利澤垃圾焚化廠

於 2008 年 9 月薈蜜颱風登陸期間，該廠房部分外牆之外部被覆物為輕質預鑄式水泥板（萊特板），該材料可能因為抗風強度不足而產生預期外的破壞如圖 2-2 所示，開口使得建築物內風壓急速上升，引致其他萊特板破壞及鐵皮屋頂被掀起，損毀的萊特板隨風飄散，撞毀焚化設備、電力系統及行政大樓的玻璃窗等，甚至是內部裝潢。



圖 2-2 利澤垃圾焚化廠萊特板破壞後場景
(資料來源：陳瑞鈴、張景鐘等，2012)

參、和平電廠

於 2004 年 10 月納坦颱風導致煤倉 Dome B 屋頂的上半部結構崩壞。於 2005 年 7 月海棠颱風造成煤倉 Dome A 跟煤倉 Dome C 屋頂的上半部結構造成嚴重破壞。其中，可能破壞成因包含隨風飄散物的撞擊，及結構上開口使煤倉由「封閉式建築物」轉為「部分封閉式建築物」，導致意料之外的破壞等。

第二節 國外破壞案例

本節簡述國外破壞案例，包含 John Hancock Tower(1970)、Super Photon ring-8 GeV(2004)、Louisiana Superdome(2005) 及 Sultan Mizan Zainal Abidin Stadium(2009)。

貳、John Hancock Tower

在 1970 年代，這棟位於美國波士頓之建築物，因為工程上的缺失而在工程

界留名，其中包括從 1971 年完工驗收延宕至 1976 年，使得成本從七千五百萬美元增加到一億七千五百萬美元。

建築物在每小時 72 公里風速之吹襲下，其表面之藍色反光玻璃掉落到鄰近人行道上。事後數個風洞試驗結果指出原設計未考慮因結構扭曲造成之玻璃變位，未妥適考慮熱應力的反覆作用且內外玻璃間的膠合材料過於剛硬。最後斥資五百萬到七百萬美元，更換該建築物所有玻璃面板。

此外，當風吹襲建築物時，位於較高層的使用者會感到頭暈。為了減緩風所產生的晃動，於第 58 層兩側加裝兩個調質阻尼器位，其成本約為三百萬美元。另外，為了確保該建築物受風的穩定性而加裝鋼斜撐，其成本約為五百萬美元。

參、Super Photon ring-8 GeV (S P ring-8)

於 2004 年 8 月佳芭颱風對日本兵庫縣的 S P ring-8，造成南側屋頂的一部分損壞，及樓內的雨水浸濕。大約一個星期後桑達颱風登陸，在東北側屋頂被損壞。其中，可能破壞成因包含折板屋頂無法承擔風力而彎曲變形、螺栓發生破損或劣化，亦或是在颱風來臨時螺栓發生滑動而導致屋頂沒有支撐而破壞等。

肆、Louisiana Superdome

於 2005 年 8 月卡崔娜颱風登陸美國路易西安納州，造成紐奧良巨蛋的屋頂被掀開了一半以上。其中，可能破壞成因包含水氣經由貫穿整個屋頂的孔洞使結構發生腐蝕，孔開使得建築物內風壓急速上升，造成大部分外層的薄板發生變形，脫離主構架，甚至飛散到鄰近區域。

伍、Sultan Mizan Zainal Abidin Stadium

於 2009 年 6 月 2 日在馬來西亞的體育館屋頂倒塌。其中，可能破壞成因包含設計強度不足、結構幾何所造成的應力集中、施工督導不周、材料品質不良、大跨度設計使結構因熱脹冷縮而產生殘留應力與屋頂受風面積過大。

第三章 常見帷幕牆系統之回顧

建築之目的，乃在提供人類一個遮風、蔽日、防雨及免受野獸侵襲之遮蔽物(Shelter)，而作法則在圍塑一個舒適而安全之空間，因此人類所有建築活動主要是為滿足此一需求(WBDG, 2016)。現代建築之旨趣，不論其文化、流派、功能、造型、結構、材料，多在撐起足以圍塑空間之「牆」以達到建築之活動及目的。建築上對牆的觀念，過去一直停留在“屏障”(Barrier)的階段，認為外牆的功能就在阻隔室內外。而從現代建築之觀點思考之，其實它是一個“濾網”(Filter)，將室內外有利的因素引入室內，而不利的阻隔在室外，並將室內因為人類活動或機器運轉所產生的不良因素，如廢氣及熱氣等排至室外，以維護一舒適、健康、衛生和安全的室內環境。十九世紀工業革命發生後，都市化及工業領域日漸發展，交互改變人類聚落環境，居住都市的人口不斷增加。由於土地資源有限，建築物急速發展的最後結果乃向天空伸展。於是工業化生產，施工快速，不受天候影響的帷幕牆自然成為當今高層建築之外牆主流。

帷幕牆係指牆面利用玻璃、金屬板或輕石材等材料的薄牆，是現代化建築中經常使用的一種建築外圍護牆或裝飾性結構。其框架接裝於建築物結構上，但帷幕牆本身並不需要承擔結構物樓板的重量。利用鋁來做外框的帷幕牆可追溯至1930年代，鋁框帷幕牆在第二次世界大戰之後快速且廣泛的世界各地的高層建築物上(維基百科, 2017)。

帷幕牆的構造方式按照 AAMA(American Architectural Manufacturers Association)出版的帷幕牆設計手冊(CW-DG-1-96)，其種類有五種：直橫料式(Stick System)、窗間牆式(Column-Cover-and-Spandrel System)、格版式(Panel System)、複合式或半單元式(Unit-and-Mullion System)及單元式(Unitized System)，各系統的細節將在此章後段依節介紹。

帷幕牆除了滿足實用性、美觀性，還必須滿足以下物理功能(金屬帷幕牆設計技術手冊, 2003)：

1. 水：阻擋雨、雪之進入，包括可能因風而帶入之水蒸氣，並排出可能凝聚於壁體內之結露水及收集導出可能侵入外牆之水份。
2. 風：阻擋空氣流動，並進而控制之，滿足人體舒適感。
3. 光和熱：以阻隔或反射方式避免過度過強之直接日照、及熱能之傳導、幅射和對流，並能保溫。
4. 音：阻擋並吸收外界之噪音，通常是車輛及飛機或是工廠之作業聲。
5. 火：阻隔火燄發生時在各樓層間蔓延，並防止有害人體之氣體在各層流竄。

6. 結構：必須能夠承載自重並傳遞加諸其上的風力、地震力，並且堅固足以防患竊盜。
7. 排煙：火災時能啟動排煙機能。
8. 逃生：當火災發生時可以緊急逃生或進入撲滅。

第一節 直橫料式系統(Stick System)

根據圖 3-1，將帷幕牆之元件在工地逐一施作，首先在樓板裝上固定用繫件(Anchor)，然後是直料(Mullion)，再次是橫料(Horizontal Rail)，安裝上層間板(Spandrel Panel)後再加上其餘橫料，最後加上玻璃及內部膠條(Interior Trim)。其中直料與橫料之空間相關位置會隨不同設計而有改變。

此種工法是在工地上切成實際尺寸，好處是材料節省、搬運費用低廉、材料之尺寸較具彈性，缺點是工地的施工時間長、人事費用高且品質也不容易控制，但在總成本上算起來比較便宜，因此還是被廣泛採用。

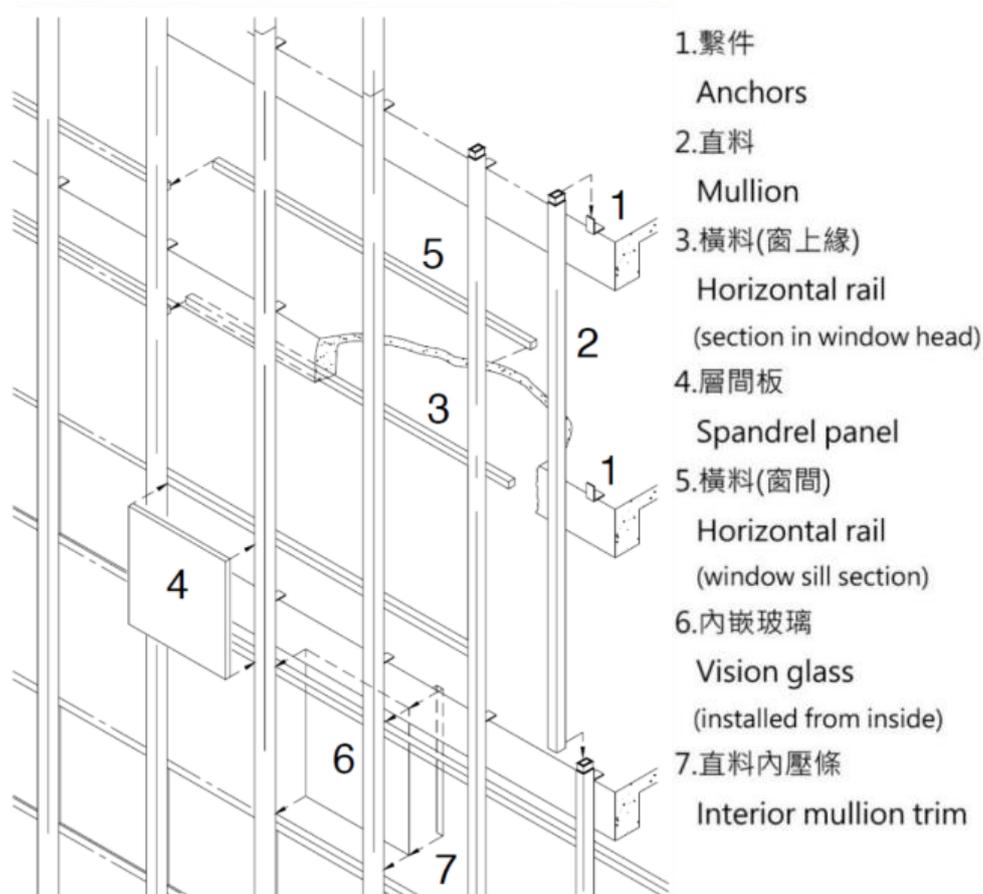


圖 3-1 直橫料式系統之示意圖

(資料來源：圖形節錄自 AAMA CW-DG-1-96)

第二節 窗間牆系統(Column-Cover-and-Spandrel System)

根據圖 3-2 窗間牆系統之施工步驟，首先在結構柱上安裝柱包板(Column Cover Section)，再次是層間板(Spandrel Panel)，最後安裝玻璃(Glazing Infill)，如此重覆施工程序。

窗間牆和柱包板之材質包羅萬象，有花崗石(Granite)有瓷磚(Brick Veneer)也有纖維強化水泥板(Glass Fiber Reinforcing Concrete)或鋁蜂巢板(Honey Comb)、鋁板、不鏽鋼板等材料，各種造型千奇百樣是建築師充分發揮創作之空間，過去 15 年來這種施工法大行其道，由於安裝之程序簡單，大部份之裝配都在工廠作業，因此品質得以控制，但工地之吊車佔用時間也相對增長。

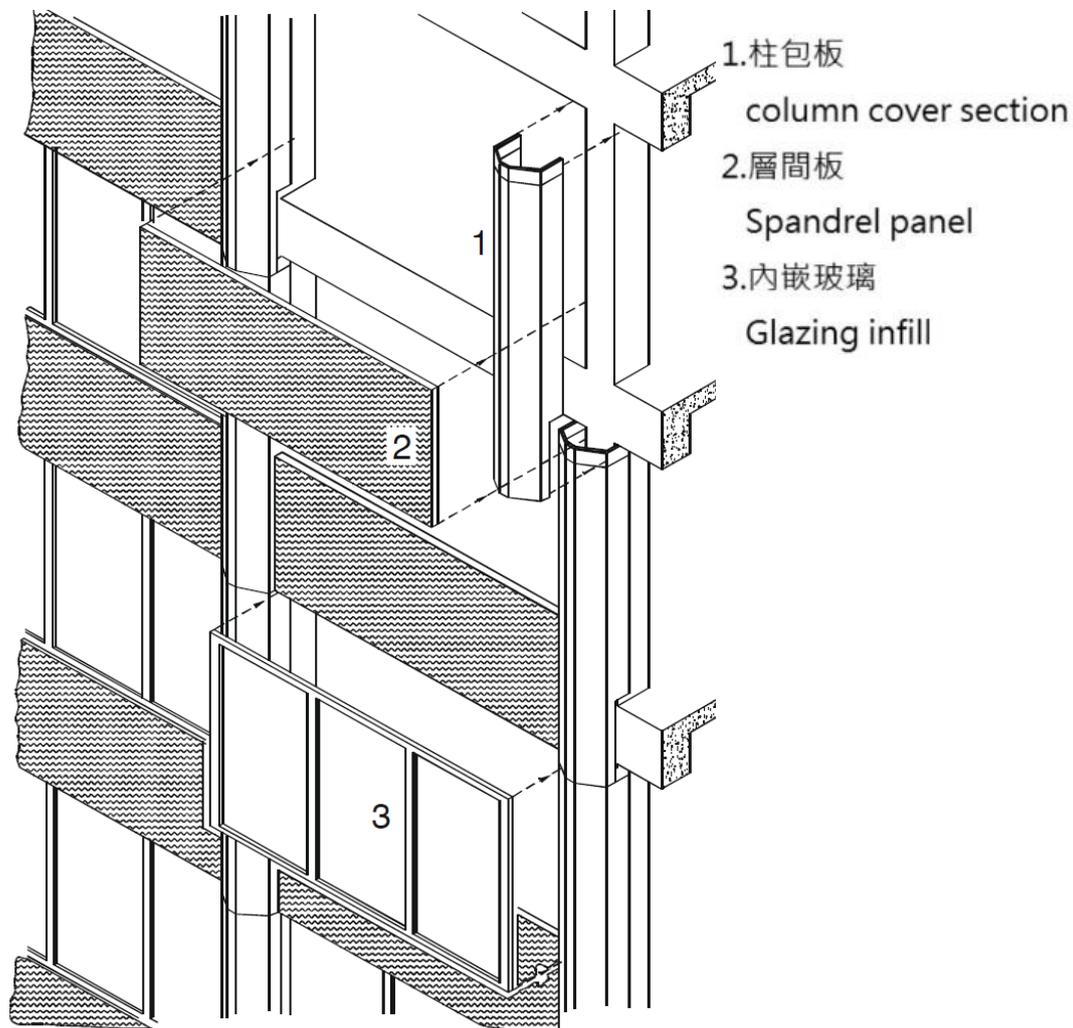


圖 3-2 窗間牆系統之示意圖

(資料來源：圖形節錄自 AAMA CW-DG-1-96)

第三節 格板系統(Panel System)

根據圖 3-3 格板系統類似單元式系統，不同的部分是單元式系統是由許多小零件組合而成，格板系統則是指如預鑄水泥(Precast Concrete)或金屬板沖壓而成之單片系統，若外形複雜時採用這種方法價格會很高，若外型為簡單的外牆設計，並適用於大量複製則可考慮，如用於工業用廠房或辦公室。

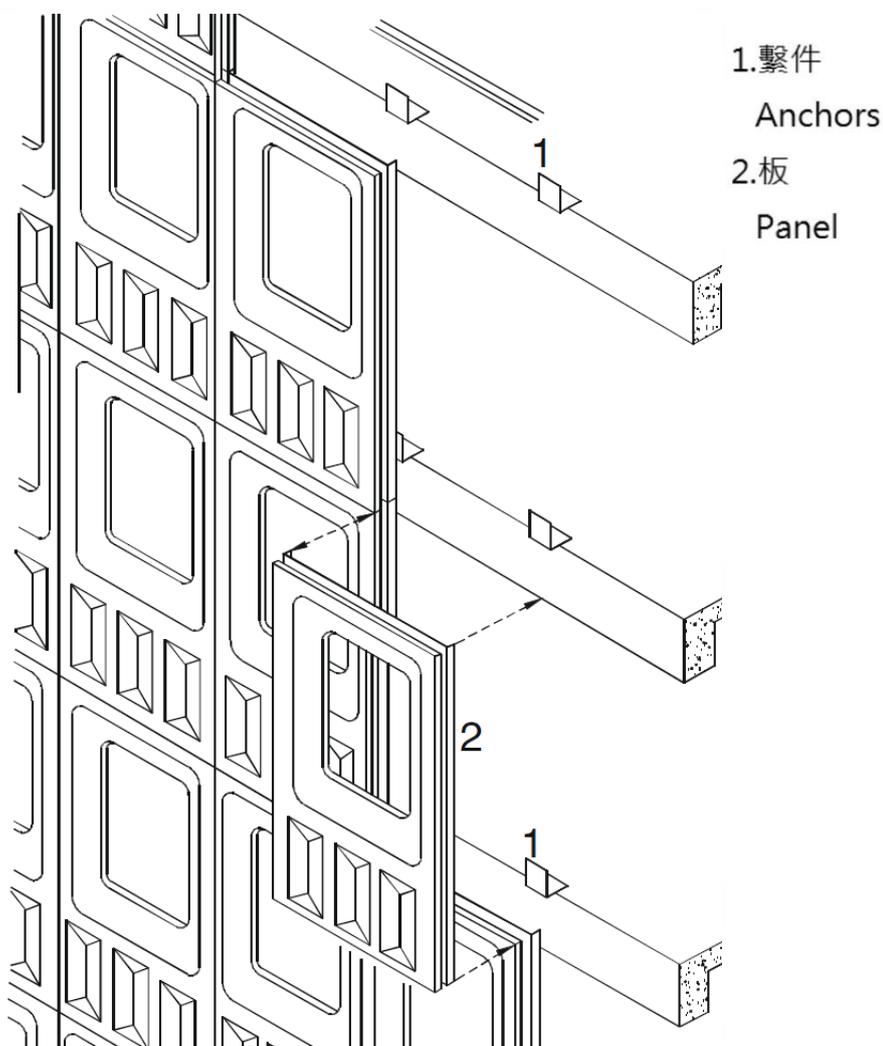


圖 3-3 格板系統之示意圖

(資料來源：圖形節錄自 AAMA CW-DG-1-96)

第四節 複合式系統或半單元式系統(The-Unit-and-Mullion System)

根據圖 3-4 此系統介於直橫料式系統及單元式系統之間，可說是改良的直橫料系統，把部分組件在工廠組合，部分在工地組合，以便有效的控制品質，也減少工地組合的時間。

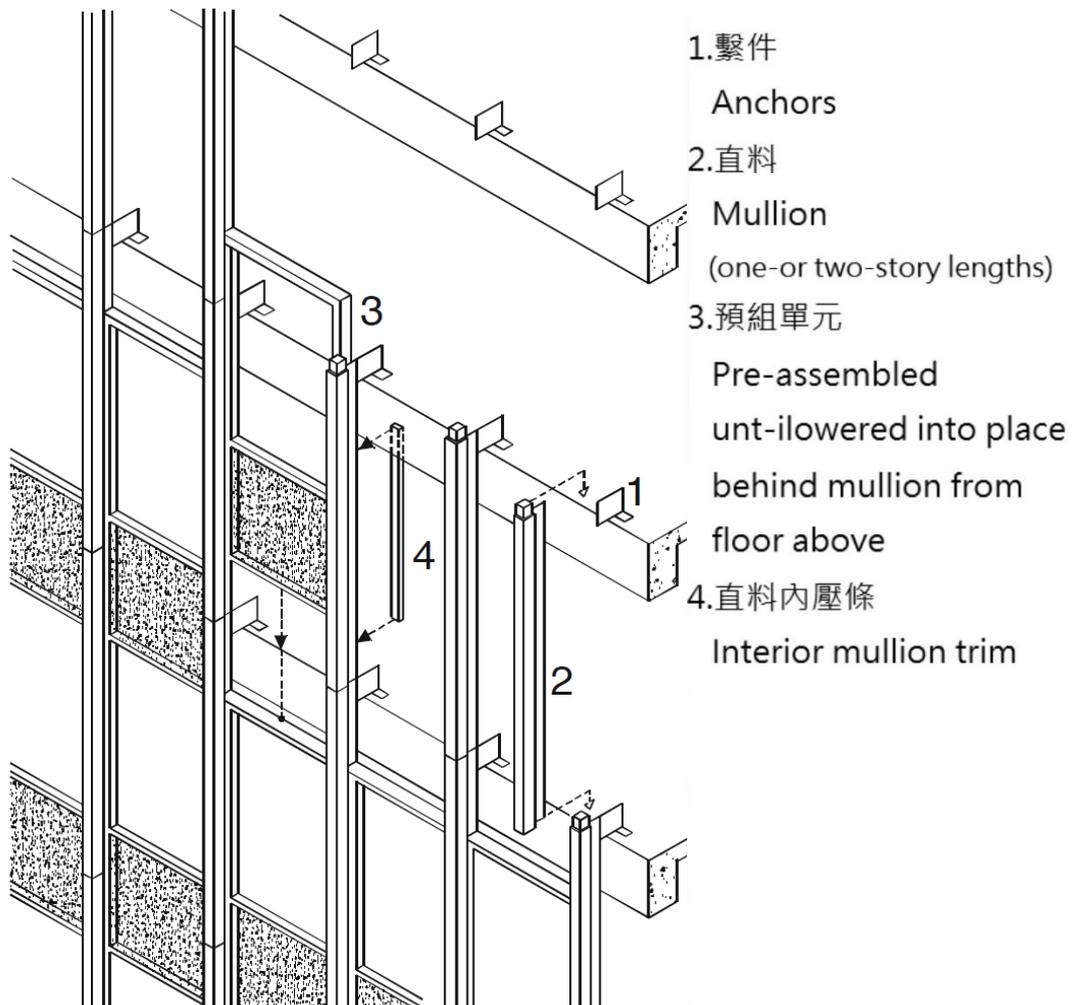


圖 3-4 複合式系統或半單元式系統之示意圖
(資料來源：圖形節錄自 AAMA CW-DG-1-96)

第五節 單元式系統(Unitized System)

根據圖 3-5，單元式系統分為繫件以及預組單元，此系統把帷幕牆組合規格化，做成適合安裝之單元，然後一個單元接一個單元固定於結構系統上。每一單元都預先在廠房裡組合，並加上玻璃，花崗石、鋁板或不銹鋼以及橡膠墊(Lock Strip Gasket)或填縫劑(Silicone Sealant)，鋁擠型及鋁板表面也經過噴漆以及陽極處理過，故品質之控制比較容易。現場施工時，單元與單元間四邊皆以公母鋁擠型相嵌，再以繫件固定於結構體。

單元式系統在 70 年代後，由於工地建築工人之短缺，施工品質不易控制等因素，開始逐漸流行，而近年已經成為超高層建築之主流。完成後的單元在安裝後只要清潔工人清洗後即告完成。由於安裝迅速，故非常有利於超高層建築的工期控制。

單元式系統除了在施工上的便利外，一般來說對於層間位移(Floor Drift)的承受性較好，尤其現代施工講究鋼結構材料之節省，會大幅地增加層間位移量。單元式系統在每一單元間都有保留間隔空隙，足以伸縮吸收層間位移以及樓板上下活載重的撓度，使得每一單元不會受到擠壓、變形甚至破壞的情形。

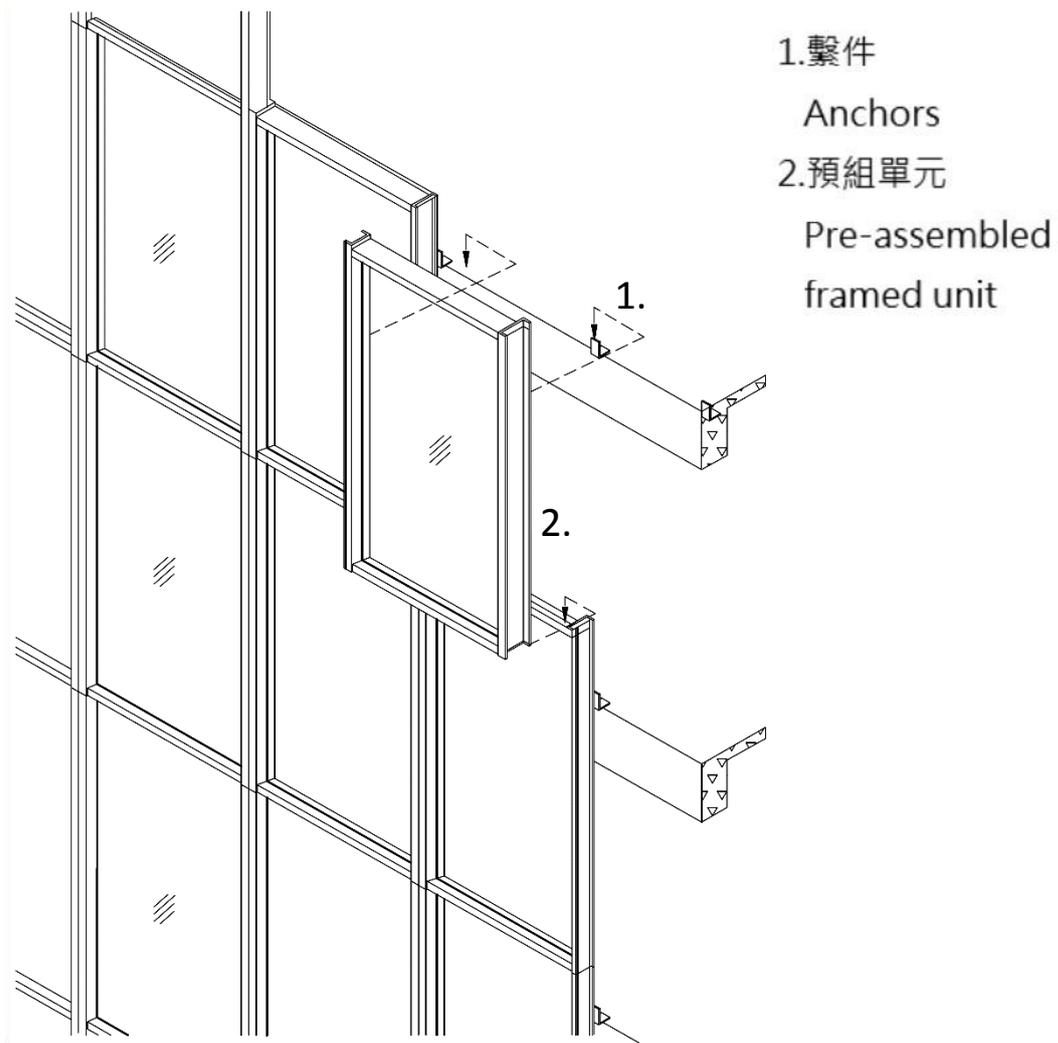


圖 3-5 單元式系統之示意圖

(資料來源：圖形節錄自 AAMA CW-DG-1-96)

第四章 帷幕牆系統各構件設計風壓之決定

帷幕牆系統內含之構件包括面材、直料、橫料及繫件；根據「耐風規範」第一章之定義，面材為外部被覆物，而直料、橫料及繫件為局部構材，其中外部被覆物將所受風力傳至局部構材，局部構材再將所受風力傳送到主要風力抵抗系統。

本章第一節與第二節分別根據「耐風規範」第三章之規定，針對高度不超過 18 公尺建築物及高度超過 18 公尺建築物，建立外部被覆物及局部構材之設計風壓計算流程(陳瑞華，2017)。

第一節 高度不超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓

計算

圖 4-2 為高度不超過 18 公尺封閉式或部分封閉式建築物之局部構材及外部被覆耐風設計風壓計算流程圖。設計風壓之計算分為四個步驟，先蒐集建築物與工址風環境資料，再針對每一構件分別決定其外風壓係數、計算各來風方向下之設計風壓及決定最大設計正風壓和負風壓，下面各小節將分別說明上述步驟。

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

建築物資料包含建築物尺寸、牆面與屋頂開口面積、用途係數 I 、所有局部構材或外部被覆物的尺寸與配置；工址風環境包含基本設計風速 $V_{10}(C)$ 、建築物周邊地形以及牆面上風側地況。其中，用途係數依照建築物之重要性而決定；基本設計風速依建築物所在位置而定；開口面積為在設計風速下，建築物表面會造成內外空氣流通之開孔面積；地況種類依建築物附近地表粗糙度而定。更詳細資料可參考「耐風規範」2.3 節至 2.5 節。

貳、決定外風壓係數

根據「耐風規範」，外風壓係數(GC_p)是根據局部構材或外部被覆物之有效受風面積(而非承受風壓面積)，對照「耐風規範」圖 3.1(a)-(d)來決定。

所謂承受風壓面積為跨距長度與寬度之乘積；而有效受風面積為跨距長度與“有效寬度”之乘積。根據「耐風規範」，有效寬度不必小於跨距長度的 $1/3$ ；

也就是說，若寬度大於跨距長度的 1/3，則有效寬度為寬度；若寬度小於跨距長度的 1/3，則有效寬度為跨距長度的 1/3。對外牆扣件而言，有效受風面積不得大於單一扣件之受風面積，外牆扣件即為本研究中之繫件。

舉例而言，圖 4-1 面材之承受風壓面積為 $1m \times 3.3m = 3.3m^2$ ，而有效寬度為 $\max(1m, 3.3m/3) = 1.1m$ ，故有效受風面積為 $1.1m \times 3.3m = 3.63m^2$ 。本研究於第六章至第八章設計例中將詳細說明如何決定面材、直料、橫料及繫件之承受風壓面積及有效受風面積。

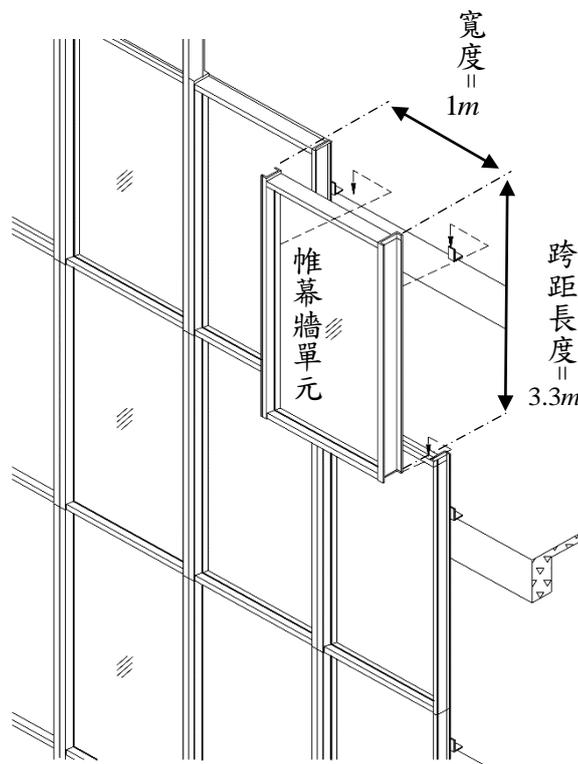


圖 4-1 面材寬度及跨距長度之示意圖

(資料來源:本研究整理)

參、計算各來風方向下之設計風壓

本節考慮高度不超過 18 公尺、近似規則矩形建築物外部被覆物及局部構材之設計風壓，根據「耐風規範」式(3.1)，其計算式如下

$$p = q(h)[(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (4.1)$$

其中， (GC_p) 為外風壓係數、 $q(h)$ 為平均屋頂高度 h 處之風速壓以及 (GC_{pi}) 為內風壓係數。後續計算例中將詳述如何在各來風方向下，利用「耐風規範」第二章計

算上述參數值。由式(4.1)計算所得之設計風壓將作用於外部被覆物或局部構材之承受風壓面積(Tributary Area)。

肆、決定最大設計正風壓和負風壓

從上述所有考量各來風方向中，分別選取局部構材或外部被覆物之最大設計正風壓和負風壓。其細節將詳述於本報告設計例。

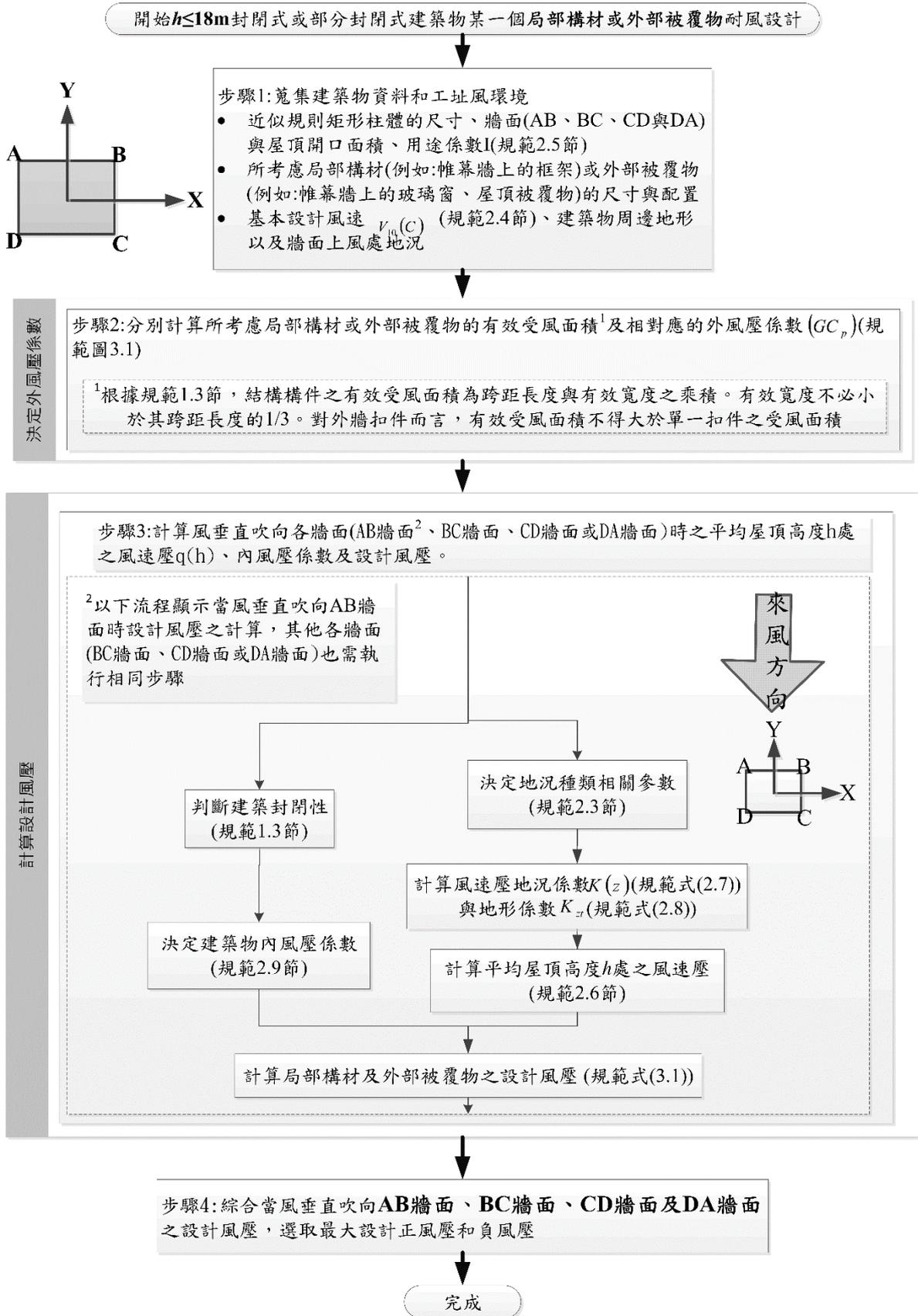


圖 4-2 高度不超過 18 公尺建築物之局部構材耐風設計流程圖
(資料來源: 本研究整理)

第二節 高度超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計

算

圖 4-3 為高度不超過 18 公尺封閉式或部分封閉式建築物之局部構材及外部被覆耐風設計風壓計算流程圖。設計風壓之計算分為四個步驟，先蒐集建築物與工址風環境資料，再針對每一構件分別決定其外風壓係數、計算各來風方向下之設計風壓及決定最大設計正風壓和負風壓，下面各小節將分別說明上述步驟。

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

建築物資料包含建築物尺寸、牆面與屋頂開口面積、用途係數 I 、所有局部構材或外部被覆物的尺寸與配置；工址風環境包含基本設計風速 $V_{10}(C)$ 、建築物周邊地形以及牆面上風側地況。其中，用途係數依照建築物之重要性而決定；基本設計風速依建築物所在位置而定；開口面積為在設計風速下，建築物表面會造成內外空氣流通之開孔面積；地況種類依建築物附近地表粗糙度而定。更詳細資料可參考「耐風規範」2.3 至 2.5。

貳、決定外風壓係數

根據「耐風規範」，外風壓係數(GC_p)是根據局部構材或外部被覆物之有效受風面積(而非承受風壓面積)，對照圖「耐風規範」圖 3.2 來決定。

根據圖 4-1，所謂承受風壓面積為跨距長度與寬度之乘積。而有效受風面積為跨距長度與有效寬度之乘積；根據「耐風規範」，有效寬度不必小於跨距長度的 $1/3$ ；也就是說，若寬度大於跨距長度的 $1/3$ ，則有效寬度為寬度；若寬度小於跨距長度的 $1/3$ ，則有效寬度為跨距長度的 $1/3$ ，如錯誤! 找不到參照來源。對外牆扣件而言，有效受風面積不得大於單一扣件之受風面積，外牆扣件即為本研究中之繫件。本研究設計例中將說明如何決定面材、直料、橫料及繫件之承受風壓面積及有效受風面積。

參、計算各來風方向下之設計風壓

本節考慮高度超過 18 公尺、近似規則矩形建築物外部被覆物及局部構材之設計風壓，根據「耐風規範」式(3.2)，其計算式如下

$$p = q(GC_p) - q_i(GC_{pi}) \quad (4.2)$$

其中， (GC_p) 為外風壓係數、 $q(h)$ 為平均屋頂高度 h 處之風速壓以及 (GC_{pi}) 為內風壓係數。

對迎風面牆，風速壓 q 採 $q(z)$ ；對背風面牆、側牆與屋頂，風速壓 q 採 $q(h)$ ；封閉式建築物或內風壓取負值之部分封閉式建築物，風速壓 q_i 採 $q(h)$ ；對內風壓取正值之部分封閉式建築物， q_i 採 $q(z_{h_0})$ 或 $q(h)$ ，其中， z_{h_0} 為會影響正值內風壓之最高開口高度。本手冊取 $q_i = q(h)$ ，故式(2.2)可寫為

$$p = q(GC_p) - q(h)(GC_{pi}) \quad (4.3)$$

後續計算例中將詳述如何在各來風方向下，利用「耐風規範」第二章計算上述參數值。由式(4.3)計算所得之設計風壓將作用於外部被覆物或局部構材之承受風壓面積(Tributary Area)。

肆、決定最大設計正風壓和負風壓

從上述所有考量各來風向中，分別選取局部構材或外部被覆物之最大設計正風壓和負風壓。其細節將詳述於本報告設計例。

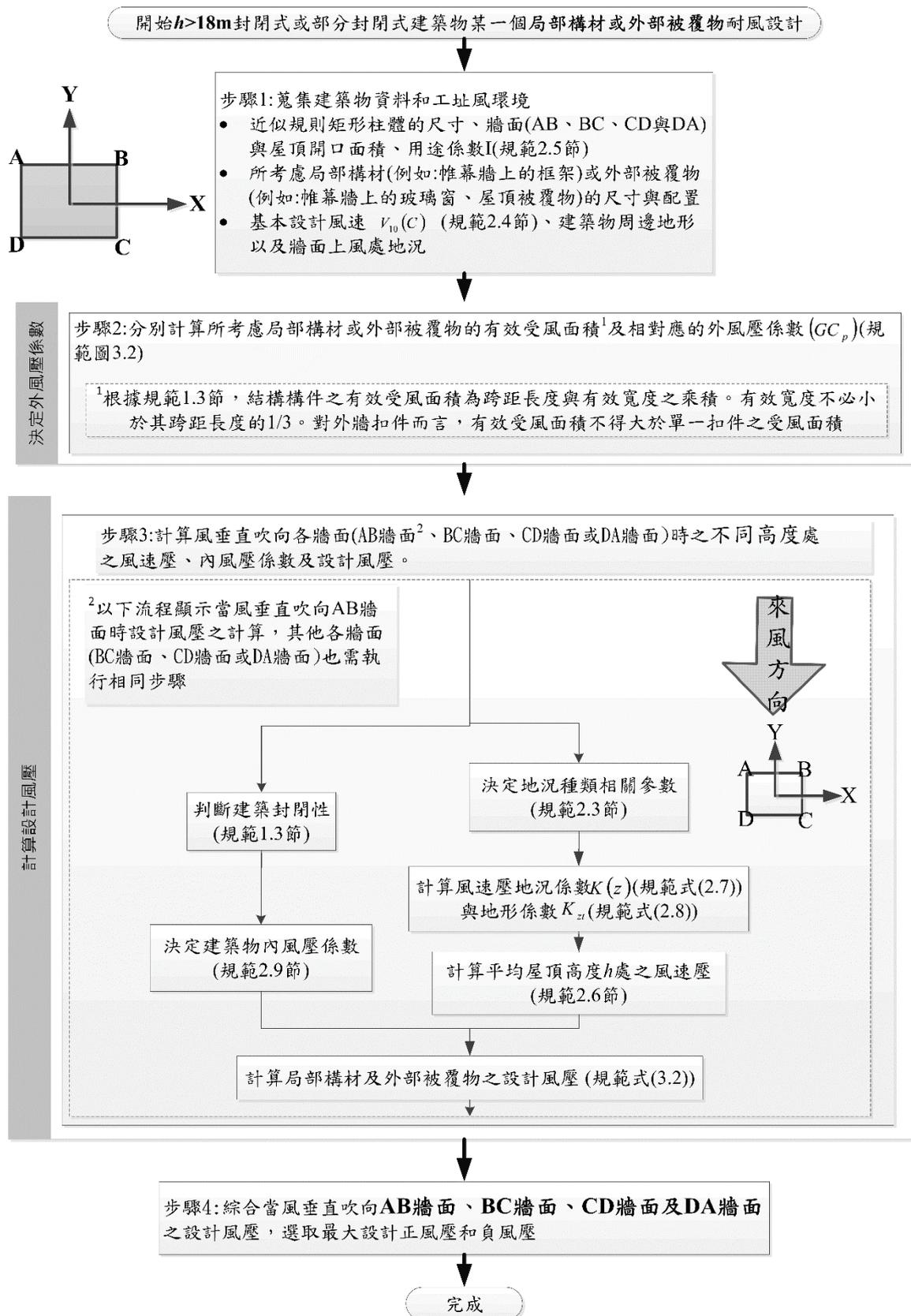


圖 4-3 高度超過 18 公尺建築物之局部構材耐風設計流程圖 (資料來源: 本研究整理)

第五章 帷幕牆系統結構耐風設計原則

本文於第三章已簡單回顧五種不同帷幕牆系統及其組成構件，本章將針對其中在台灣應用最廣泛的單元式系統和直橫料系統，分別介紹其各構件結構耐風分析與設計的原則與檢核標準。

第一節 直橫料式系統之耐風結構設計原則

壹、構件組成及相關圖形

直橫料式系統之構件分別為直料、橫料、繫件以及面材，直料、橫料以及繫件定義如 AAMA(2005)，面材包括內嵌玻璃及層間板，如圖 5-1，其中直料和橫料同時承受風壓。

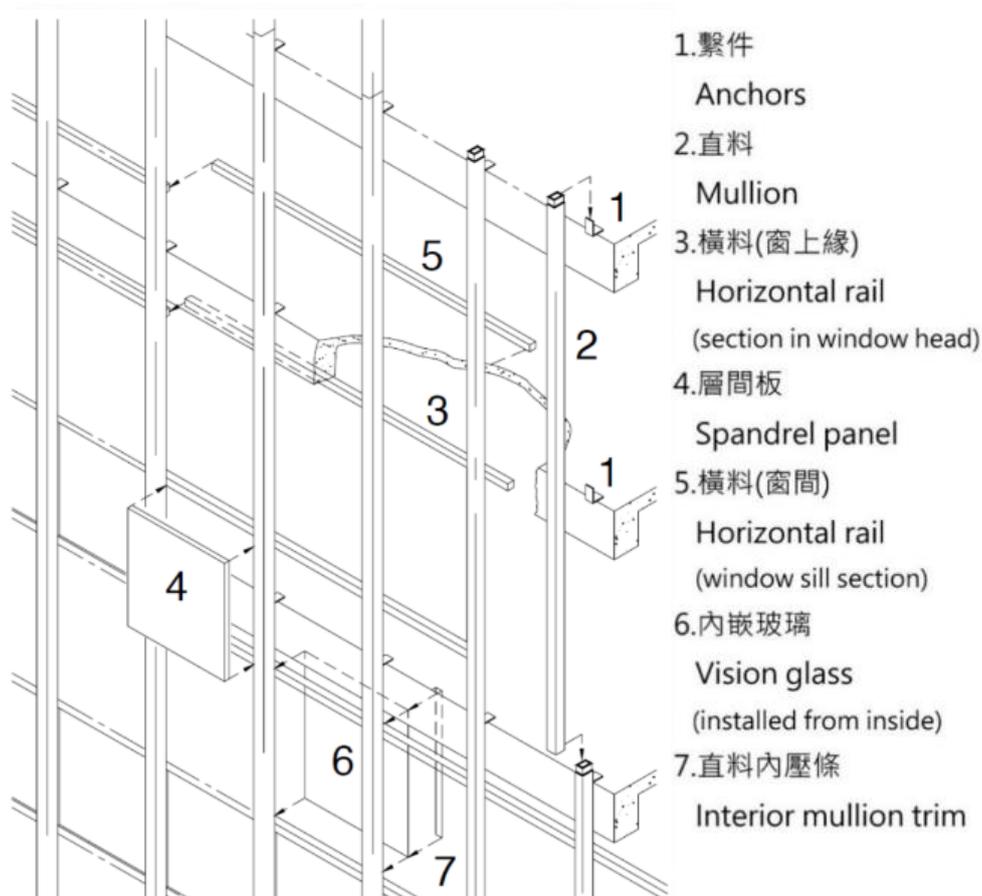


圖 5-1 直橫料式系統構件位置

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

貳、面材、直料及橫料所受設計風壓(風力)之決定

各構件設計風壓之決定請參照第四章帷幕牆系統各構件設計風壓之決定，詳細計算可參照第六、七及八章帷幕牆計算例。

參、直料之耐風設計(含檢核)

直料之長度可能橫跨一個或多個樓層，但作變形或應力分析時通常只取幾個樓層(例如可能為1層(陳郁潔, 2017)、2層(林士秀, 2017)或4層(Wong, 2007))，其中由彈性梁理論公式得知，在多跨連續梁受均佈載重時，三跨連續梁具有最大變形量(AISC, 2011)，故本文後續分析直料時將採用此一假設。

直料系統邊界條件設置上，不論直料長度為樓層高或橫跨多層樓之設計，皆將繫件處視為鉸支承(Hinge)；而直料以套筒連接處雖近似剛性連接，但國內實務上為了使設計更保守，假設此處無法傳遞彎矩，將其視為銷釘(Pin)，本文後續之計算範例將採用此一假設。圖 5-2 為直橫料式系統直料結構分析示意圖。

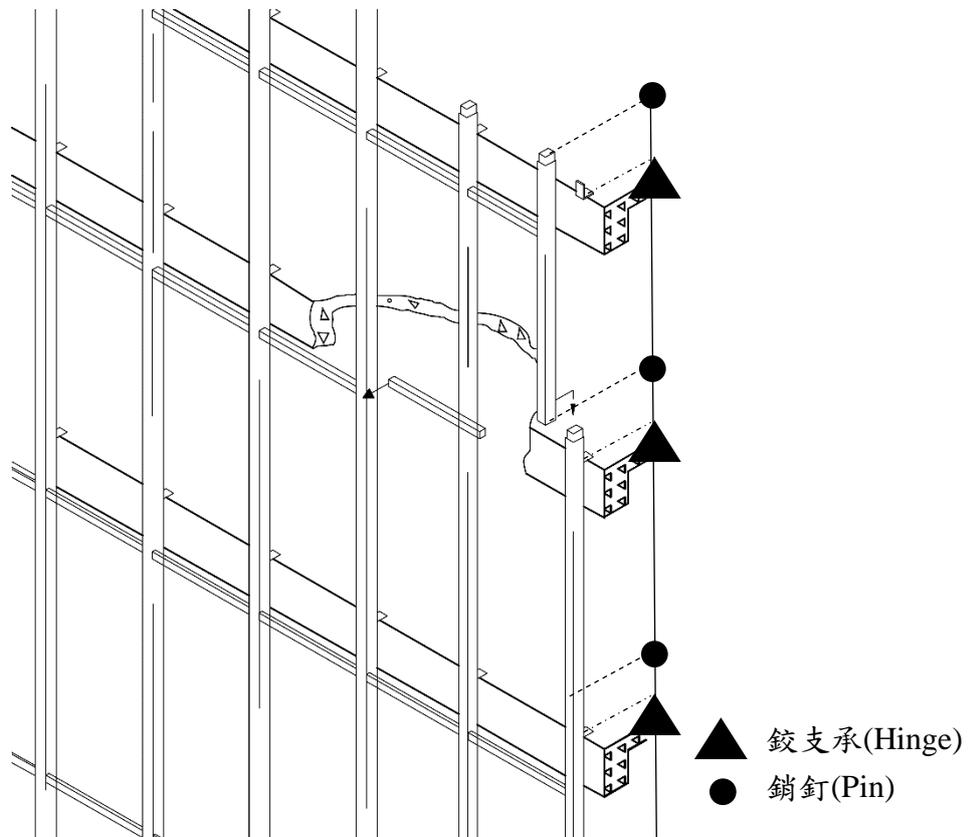


圖 5-2 直橫料式系統直料結構分析示意圖

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

直料構件檢核中，必須滿足變形需求目前收集到之直料變形檢核標準已列於表 5-1，其中不論直料分析時橫跨幾層樓，檢核表中的 L 皆視為兩個繫件之間的長度，本研究將採用中華民國國家標準。直橫料式系統之直料因由套筒相連接，故套筒必須能承受結構物的層間變位。

另需檢核直料因風力造成之撓曲應力、扭轉效應應力以及側向扭轉挫曲。其中由風力而產生之撓曲應力應由強軸向抵抗，應力檢核標準可參照 Aluminum Design Manual(AA, 2005)。

表 5-1 直料變形檢核

資料來源	設計風壓所造成直料側向變形之上限
中華民國國家標準(CNS)(2006)	L/175 (L<4115mm) L/240 + 6.4 mm (4115mm<L<12200mm)
International Building Code(2012)	min[L/175, 19 mm]
American Society for Testing and Materials (2012)	L/175
American Architectural Manufacturers Association (2015)	L/175 (L<4110mm) L/240 + 6.35 mm (1/4 in) (L>4110mm)
金屬帷幕牆手冊(2003)	min[L/175, 19 mm]
參考案例(陳郁潔, 2017)	L/175 (L<4.115m) L/240+6mm(L>4.115m) min[L/360, 12.7mm] (框架內嵌石材, 非玻璃)
參考案例(賴映宇, 2017)	L/240 + 0.63cm
參考案例(林士秀, 2017)	L/175(L<4115mm) L/240 + 0.635cm (L>4115mm) 2L/175(Cantilever arm)

(資料來源：AAMA TIR-A11-15；金屬帷幕牆手冊，2003；陳郁潔，2017；賴映宇，2017；林士秀，2017)

肆、橫料之耐風設計(含檢核)

橫料分析上，可視為單一簡支梁，其結構圖如下圖 5-3。橫料不僅受風壓影響，亦需承載上方玻璃以及自身重量。

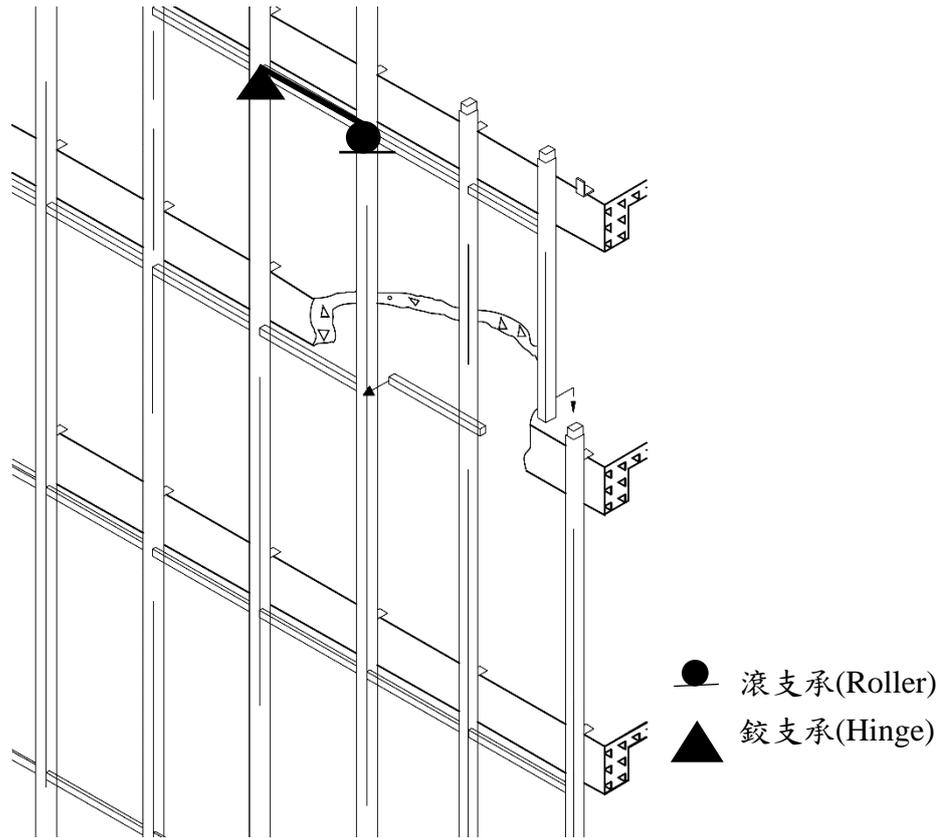


圖 5-3 直橫料式系統橫料結構分析示意圖

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

橫料構件檢核中，除了須滿足變形需求外，亦需檢核撓曲應力。其中撓曲應力分為強軸撓曲應力以及弱軸撓曲應力，強軸為風載方向，弱軸為自重方向。現今已有一些建築規範及標準來檢核橫料之變形量列於表 5-2，本研究中橫料設計風壓檢核將採用 AAMA 之標準；靜載重檢核將採用金屬帷幕牆手冊之標準；應力檢核標準可參照 Aluminum Design Manual(AA，2005)。

表 5-2 橫料變形檢核

資料來源	設計風壓所造成側向變形之上限	靜載重所造成側向變形之上限
International Building Code(2012)	$\min[L/175, 19 \text{ mm}]$	
American Society for Testing and Materials (2012)	L/175	
American Architectural Manufacturers Association (2015)	L/175 (L<4110mm) L/240 + 6.35 mm (1/4 in) (L>4110mm)	
金屬帷幕牆手冊(2003)	L/240	L/360 或 3.2 mm
參考案例(陳郁潔，2017)	L/240	3mm
參考案例(賴映宇，2017)	L/240 + 0.63cm	3.2 mm

參考案例(林士秀，2017)	L/175	3.2 mm
----------------	-------	--------

(資料來源：AAMA TIR-A11-15；金屬帷幕牆手冊，2003；陳郁潔，2017；賴映宇，2017；林士秀，2017)

伍、繫件之耐風設計(含檢核)

分析繫件時，外力來源包括正負風壓及帷幕牆的自重，正負風壓作用於直橫料及面板上，再經由繫件傳入結構體，故在繫件檢核時，需了解外力傳遞路徑。

雖然負風壓通常大於正風壓，但正負風壓之方向可能使得彎矩形成互相抵銷或是疊合增長的情況，故在分析時，正負風壓皆須納入考慮。

繫件之螺栓需要計算因外力造成的剪力與拉拔力，再檢核所使用之螺栓強度是否足夠。另需檢核連接用鋼(鋁)板之抗彎強度。

陸、結構矽膠與蓋板

結構矽膠填充於鋁擠型和面材間的空隙，蓋板固定於鋁擠型和面材交接處表面，其目的皆在於防止玻璃脫離鋁擠型，故需檢核負風壓作用下，結構矽膠之容許拉應力是否大於矽膠斷面應力。

柒、面材之耐風設計(含檢核)

若面材採用玻璃，在設計風壓作用下，需檢核其強度及變形。首先參閱 ASTM E1300(2016)，依照玻璃厚度、長、寬及束制條件對應出未係數化載重，再乘上玻璃種類之係數可得容許強度，其值需大於面材設計風壓。其次使用有限元素軟體分析，或參閱 ASTM E1300(2016)，依照設計風壓、玻璃面積及長短邊比對應出玻璃變形，其值需小於容許變形。其中變形檢核標準列於表 5-3，本研究中面材變形檢核將採用 35 毫米的容許變形(金屬帷幕牆手冊，2003)。

表 5-3 面材變形檢核

金屬帷幕牆手冊(2003)	鋁板： L/90 or 19mm (100% 設計風壓) 玻璃： 35 mm(100% 設計風壓)
參考案例(陳郁潔，2017)	玻璃： L/90 or 25mm (50% 設計風壓) 35mm (100% 設計風壓) 鋁板：

	L/90 or 25mm (100% 設計風壓)
參考案例(林士秀，2017)	玻璃： L/90 or 25mm (50% 設計風壓) 35mm (100% 設計風壓) 鋁板： L/60

(資料來源：金屬帷幕牆手冊，(2003)；陳郁潔，2017；林士秀，2017)

第二節 單元式系統之耐風結構設計

壹、構件組成及相關圖形

圖 5-4 為單元式系統之示意圖，施工上分為繫件與預組單元，每一單元間四邊皆採用公母式鋁擠型嵌接，嵌接後水平向鋁擠型在分析時視為橫料，其中預組單元上方水平向鋁擠型稱為水槽料，下方水平向鋁擠型稱為下橫料，垂直向鋁擠型在分析時視為直料；面材包括預組單元中鑲嵌玻璃或鋁板。

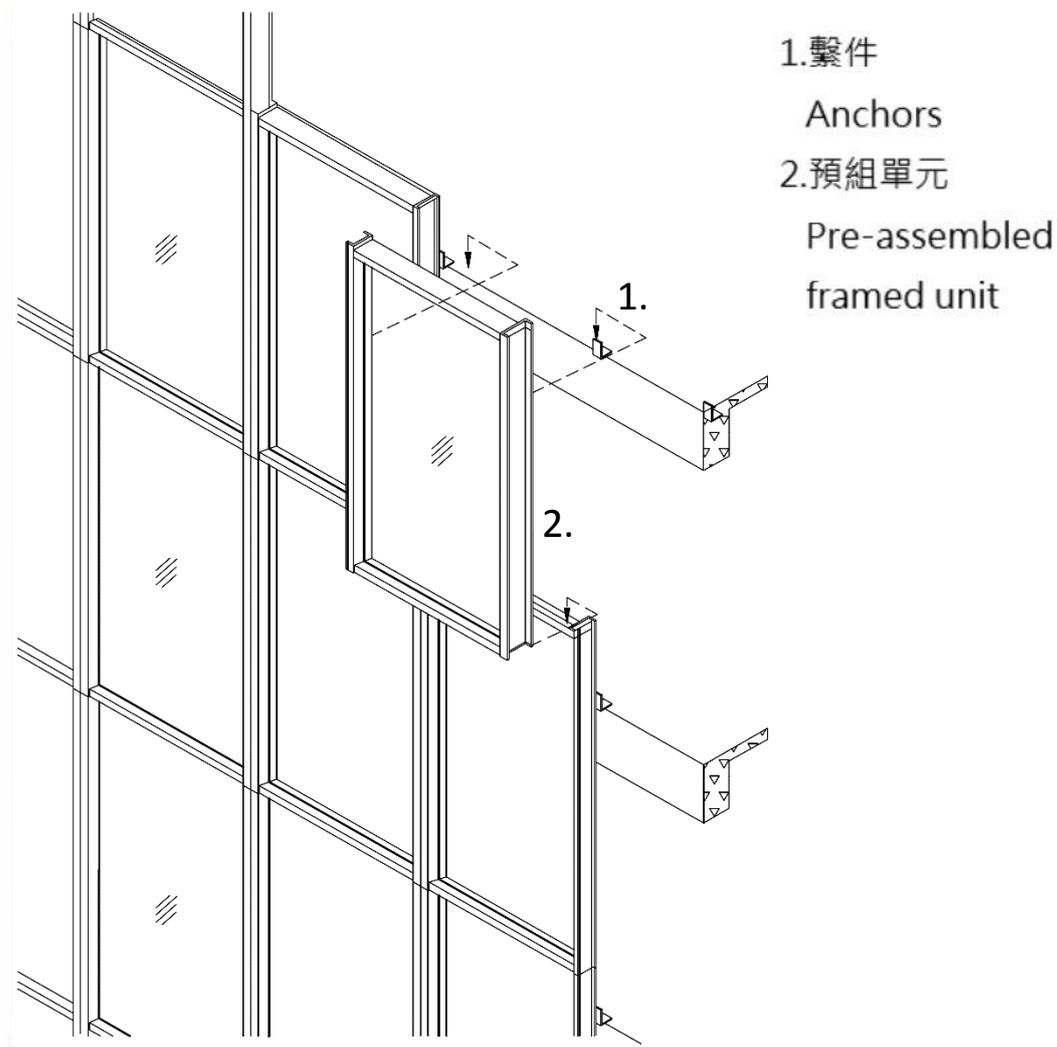


圖 5-4 單元式系統構件位置

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

貳、面板、直料及橫料所受設計風壓(風力)之決定

各構件設計風壓之決定請參照第四章帷幕牆系統各構件設計風壓之決定，詳細計算可參照第六、七及八章帷幕牆計算例。

參、直料之耐風設計(含檢核)

直料分析時將繫件處視為鉸支承(Hinge)；而一般將垂直向鋁擠型下端洗出插槽，以和部分下方橫料以及下方垂直向鋁擠型相連，為了滿足此施工需求，假設此處無法傳遞彎矩，將其視為銷釘(Pin)。本文後續分析直料時將採用三層樓直料進行分析，圖 5-5 為單元式系統直料結構分析示意圖。

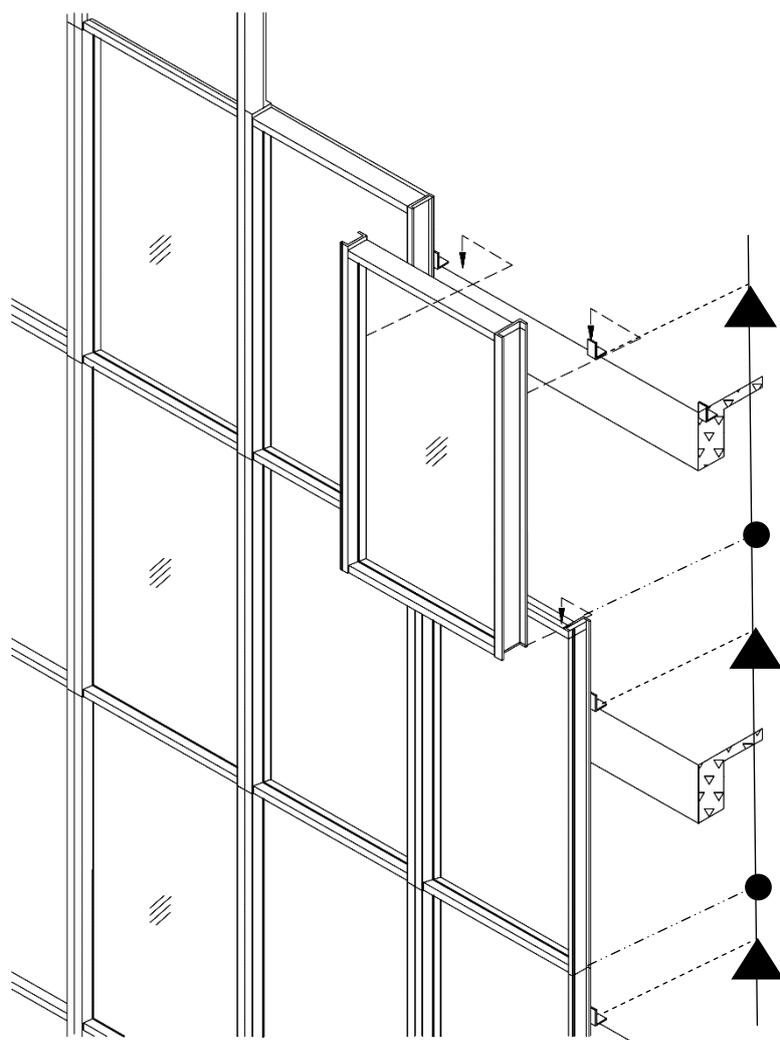


圖 5-5 單元式系統直料結構分析示意圖

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

直料構件檢核中，必須滿足變形需求目前收集到之直料變形檢核標準已列於表 5-1，其中不論直料分析時橫跨幾層樓，檢核表中的 L 皆視為兩個繫件之間的長度，本研究將採用中華民國國家標準。

另需檢核直料因風力造成之撓曲應力、扭轉效應應力以及側向扭轉挫曲。其中由風力而產生之撓曲應力應由強軸向抵抗，應力檢核標準可參照 Aluminum

Design Manual(AA, 2005)。

肆、橫料之耐風設計(含檢核)

橫料分析上,可視為單一簡支梁。其結構圖如圖 5-6。橫料不僅受風壓影響,亦需承載上方玻璃以及自身重量,其中由下橫料承受上方玻璃重量。

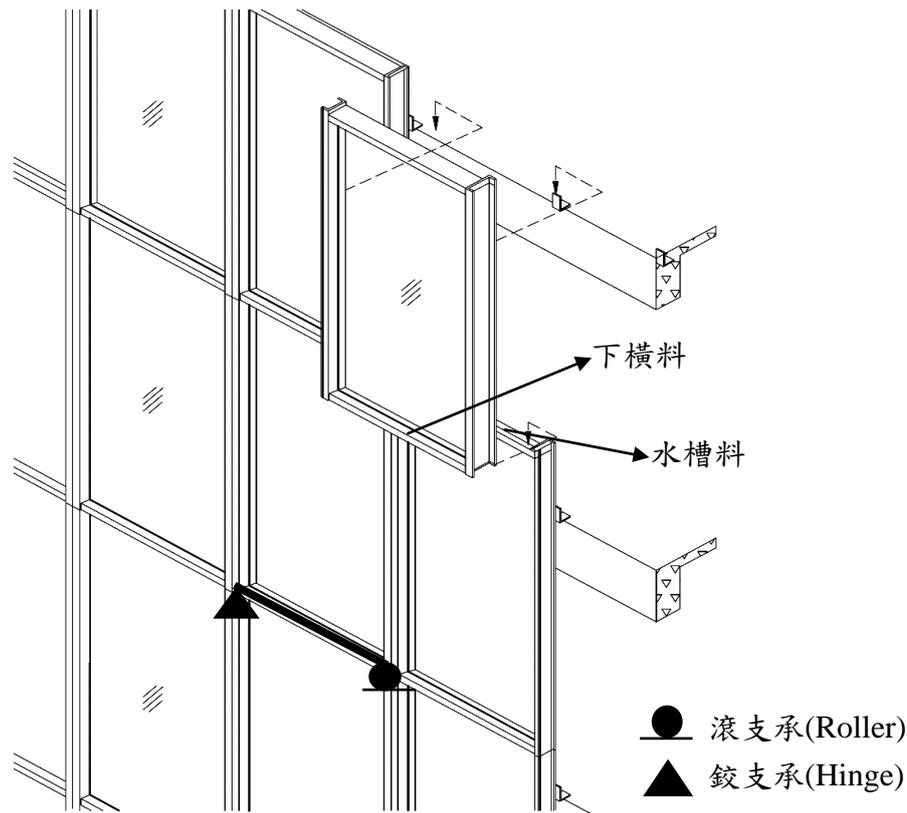


圖 5-6 單元式系統橫料結構分析示意圖

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

橫料構件檢核中,除了須滿足變形需求外,亦需檢核撓曲應力。其中撓曲應力分為強軸撓曲應力以及弱軸撓曲應力,強軸為風載方向,弱軸為自重方向。現今已有一些建築規範及標準來檢核橫料之變形量列於表 5-2,本研究中橫料設計風壓檢核將採用 AAMA 之標準;靜載重檢核將採用金屬帷幕牆手冊之標準;應力檢核標準可參照 Aluminum Design Manual(AA, 2005)。

伍、繫件之耐風設計(含檢核)

分析繫件時,外力來源包括正負風壓及帷幕牆的自重,正負風壓作用於直橫料及面板上,再經由繫件傳入結構體,故在繫件檢核時,需了解外力傳遞路徑。

雖然負風壓通常大於正風壓，但正負風壓之方向可能使得彎矩形成互相抵銷或是疊合增長的情況，故在分析時，正負風壓皆須納入考慮。

繫件之螺栓需要計算因外力造成的剪力與拉拔力，再檢核所使用之螺栓強度是否足夠。另需檢核連接用鋼(鋁)板之抗彎強度。

陸、 結構矽膠與蓋板

結構膠填充於鋁擠型和面材間的空隙，蓋板固定於鋁擠型和面材交接處表面，其目的皆在於防止玻璃脫離鋁擠型，故需檢核負風壓作用下，結構矽膠之容許拉應力是否大於矽膠斷面應力。

柒、 面材之耐風設計(含檢核)

若面材採用玻璃，在設計風壓作用下，需檢核其強度及變形。首先參閱 ASTM E1300(2016)，依照玻璃厚度、長、寬及束制條件對應出未係數化載重，再乘上玻璃種類之係數可得容許強度，其值需大於面材設計風壓。其次使用有限元素軟體分析，或參閱 ASTM E1300(2016)，依照設計風壓、玻璃面積及長短邊比對應出玻璃變形，其值需小於容許變形。其中變形檢核標準列於表 5-3，本研究中面材變形檢核將採用 35 毫米的容許變形(金屬帷幕牆手冊，2003)。

第六章 高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆設計例

一辦公大樓平面尺寸為 $38m \times 36m$ ，建築物高度為 $112.2m$ ，位於台北市，假設建築物四面上風處為 B 地況，且無特殊地形。假設整棟大樓皆採用高 $3.3m$ 且寬 $2m$ 之單元式帷幕牆單元，如圖 6.1。

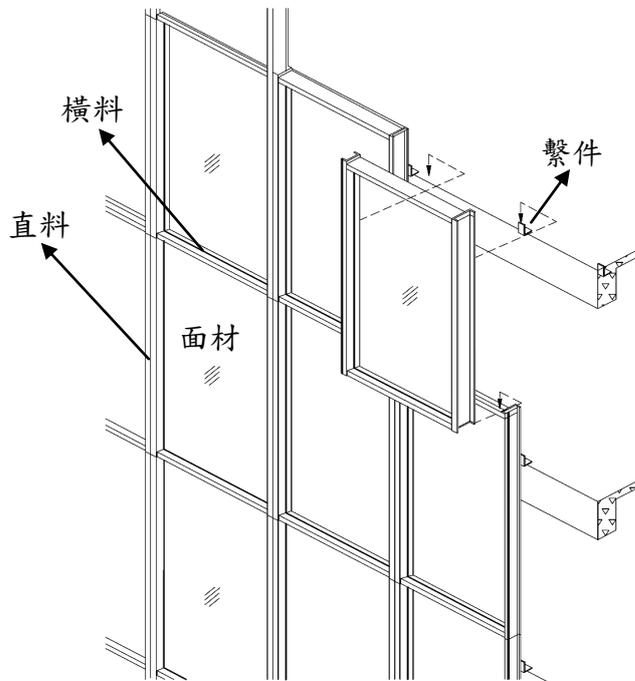
單元式帷幕牆系統在施工上分為繫件與預組單元，其中預組單元包括面材(玻璃)及圍束面材之公母式鋁擠型。不同單元間四邊皆採用公母式鋁擠型嵌接，嵌接後水平向鋁擠型在分析時視為橫料，垂直向鋁擠型在分析時視為直料。

本範例針對此一超過 18 公尺建築物承受最大風壓之單元式帷幕牆構件，先決定面材、直料、橫料及繫件之設計風壓(力)，再依序檢核各構件之強度及變形。

第一節 帷幕牆各構件設計風壓

理論上可根據表面風壓之分佈情況，將整面帷幕牆分為若干區域設計帷幕牆構件；但為簡化設計，故本範例只分析設計 AB 牆面承受最大風壓之帷幕牆構件，其中 AB 牆面定義於表 6-1；根據圖 6.2，分別為 AB 牆面位於頂層角隅處面材(c-e-f-g-a)、繫件(h點)、橫料(c-d及e-f)以及頂部三層直料(a-e-c-b)。

圖 6.1 第六章設計例帷幕牆示意圖



(資料來源：本研究整理)

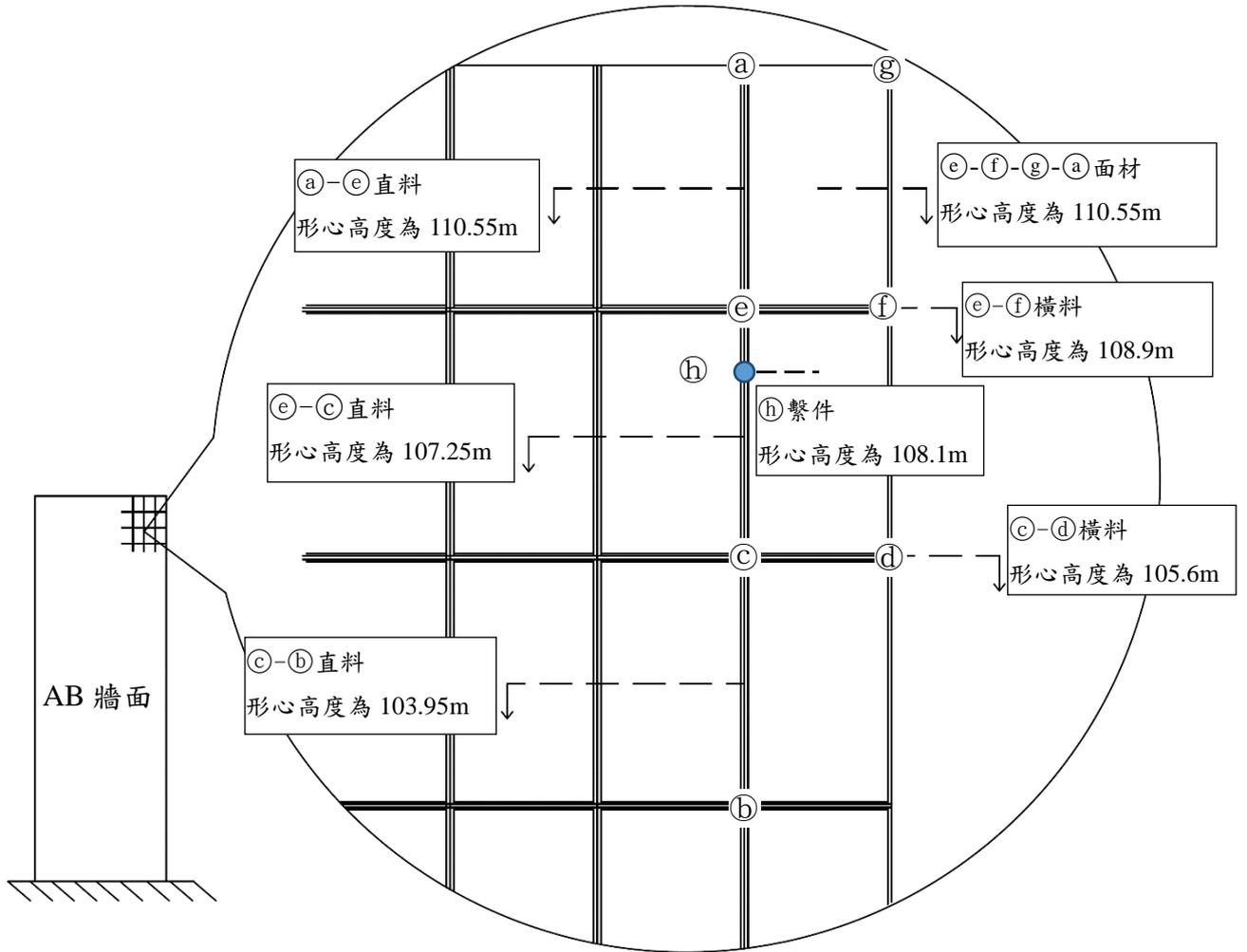


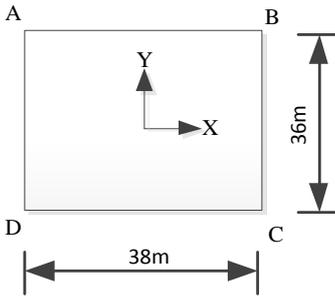
圖 6.2 第六章設計例之帷幕牆構件位置放大圖

(資料來源：本研究整理)

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

依據第四章第一節「高度超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計算」之流程，計算前述帷幕牆構件之設計風壓。根據圖 2.2 可知，執行耐風設計時，先要蒐集建築物與工址風環境資料，本節擬定建築物之資料與工址風環境如下表 6-1 所示。

表 6-1 第六章設計例之建築物資料與工址風環境

建築物資料	尺寸	平面尺寸 $38m \times 36m$; 建築物高度 112.2m (不含屋頂突出物)	
	開口面積	在颱風區內，建築物的玻璃容易受周遭的植栽、招牌或屋頂所造成的隨風飄散物的撞擊而成為開口。本例假設各牆面之總面積有 1% 破損而造成開口，其餘無開口。	
	用途係數 I	根據規範 2.5 節， $I = 1.1$ 、 1.0 或 0.9 。本例取 $I = 1.0$ 。	
	局部構材及外部被覆物	考慮位於 AB 牆面上角隅處之面材為 $2m$ 寬 \times $3.3m$ 高之玻璃，其形心高度為 $110.55m$ ，如圖 6.2 (e)-(f)-(g)-(a) 直料長 $3.6m \times 3$ (橫跨三樓層)，其形心高度分別為 110.55 、 107.25 及 $103.95m$ ，如圖 6.2 (a)-(e)-(c)-(b) 上橫料長 $2m$ ，其形心高度為 $112.2m$ ，如圖 6.2 (e)-(f) 下橫料長 $2m$ ，其形心高度為 $108.9m$ ，如圖 6.2 (c)-(d) 繫件，其形心高度為 $108.1m$ ，如圖 6.2 (h)	
工址風環境	基本設計風速 $V_{10}(C)$	根據規範 2.4 節，台北市的 $V_{10}(C) = 42.5m/s$ 。	
	地況	AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面上風側地況皆為地況 B。	
	地形	無特殊地形。	

(資料來源：本研究整理)

貳、各構件有效受風面積及外風壓係數之計算

針對圖 6.2 所考慮之直料、橫料及面材，於圖 6.3 中標示出相對應之承受風壓面積及公母單元之配置。面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之跨距長度為 $3.3m$ ，寬度為 $2m$ ，則承受風壓面積為 $3.3 \times 2 = 6.6m^2$ 。由於有效寬度為 $\max(2m, 3.3m/3) = 2m$ ，故面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之有效受風面積為 $3.3 \times 2 = 6.6m^2$ 。

參考帷幕牆俯視斷面圖 6.4，單元式帷幕牆之直料鋁擠型分為公單元及母單元，部分左側玻璃所受風力傳遞至直料公單元鋁擠型，部分右側玻璃所受風力傳遞至直料母單元鋁擠型。其次，根據圖 6.3，依照龜殼式載重分配法，每一層之直料公(母)單元鋁擠型承受風壓面積為 $(3.3+1.3) \times 1 \times 1/2 = 2.3m^2$ 。為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述梯形面積以等值長方形面積(跨距長度為 3.3m，寬度為 $\frac{2.3}{3.3}m$ 取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{2.3}{3.3}m, 3.3m/3\right) = 1.1m$ ，故每一層直料公(母)單元(Ⓐ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓓ或Ⓓ-Ⓔ)鋁擠型有效受風面積為 $3.3 \times 1.1 = 3.63m^2$ 。

參考圖 6.3，單元式帷幕牆之橫料鋁擠型分為公單元及母單元，接下來依據工程實務，將橫料公單元鋁擠型稱為水槽料；橫料母單元鋁擠型稱為下橫料，如圖 3.4 所示。部分上側玻璃所受風力傳遞至下橫料，部分下側玻璃所受風力傳遞至水槽料。其次，依照龜殼式載重分配法，水槽料及下橫料承受風壓面積皆為 $2 \times 1 \times 1/2 = 1m^2$ 。為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述三角形面積以等值長方形(跨距長度為 2m，寬度為 $\frac{1}{2}m$)取代，而有效寬度為

$\max\left(\frac{1}{2}m, 2m/3\right) = 2/3m$ ，故水槽料Ⓒ-Ⓕ及下橫料Ⓒ-Ⓖ有效受風面積皆為 $2 \times 2/3 = 1.33m^2$ 。

針對圖 6.2 所考慮之繫件，根據圖 6.3，其左(右)側之承受風壓面積為面材承受風壓面積之一半；引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，繫件左(右)側有效受風面積不得大於其承受風壓面積，故繫件左(右)側有效受風面積為其承受風壓面積 $3.3 \times 2 \times \frac{1}{2} = 3.3m^2$ 。

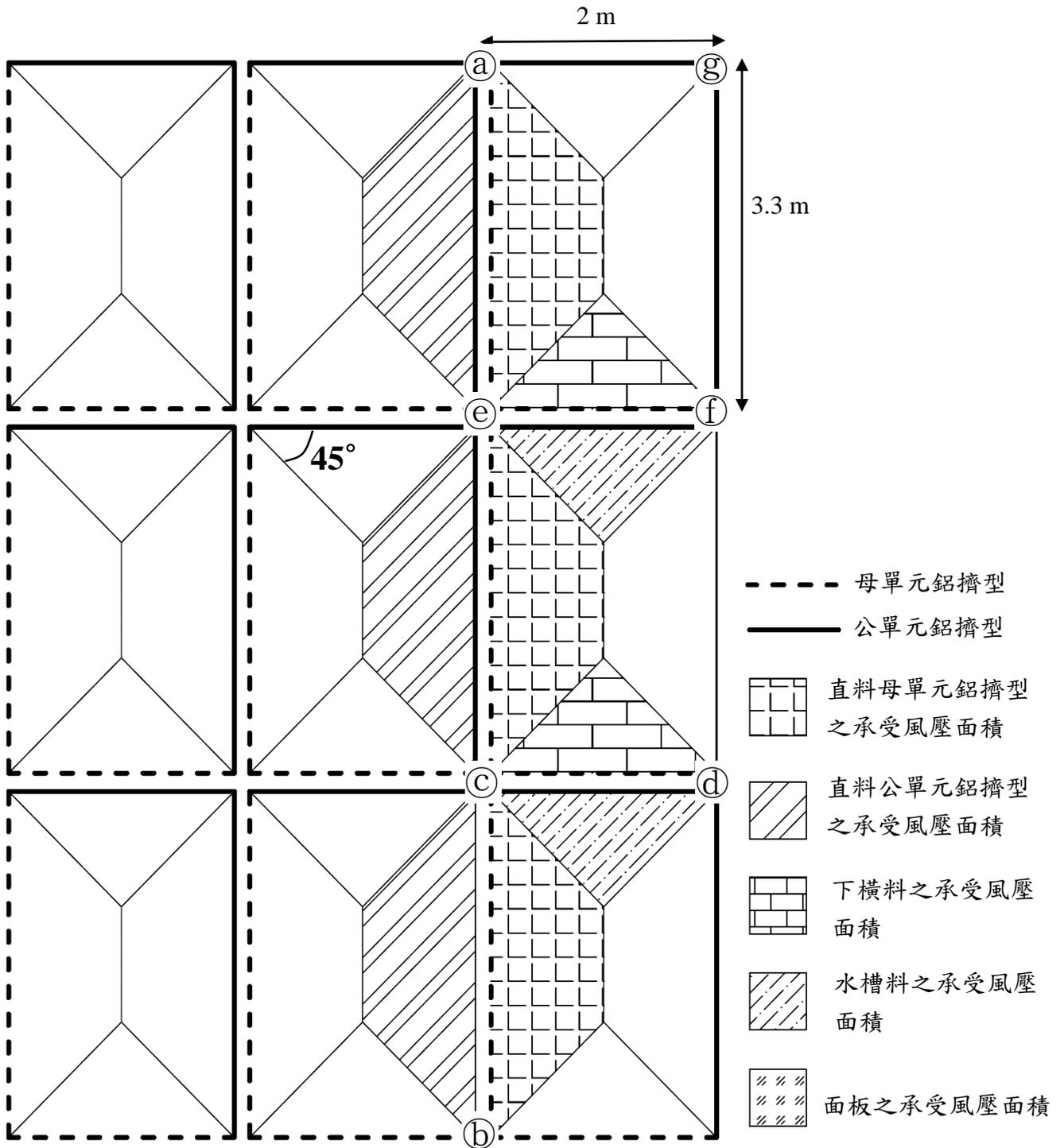


圖 6.3 第六章設計例之面材、直料及橫料之承受風壓面積
(資料來源：本研究整理)

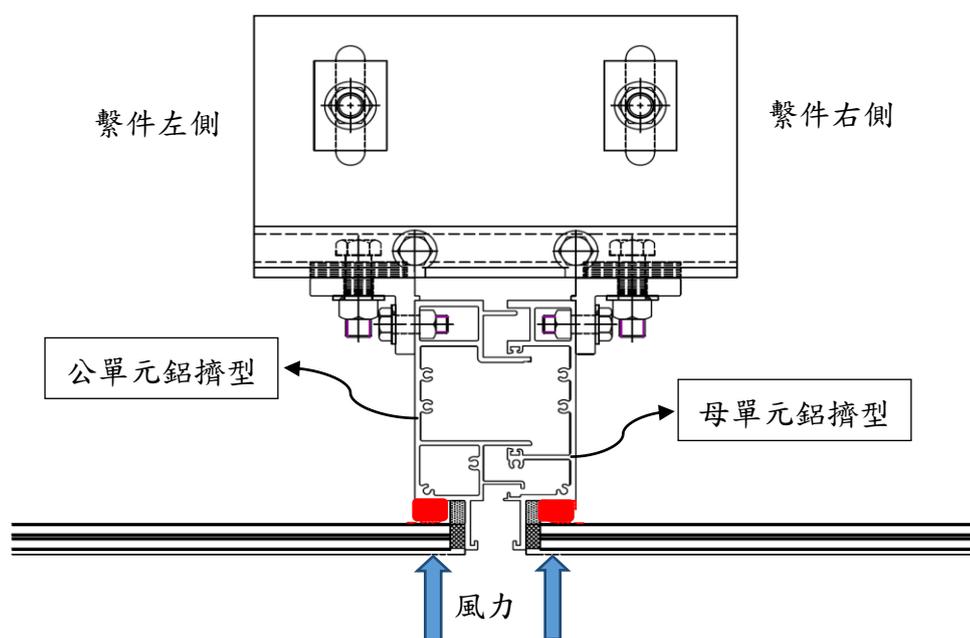


圖 6.4 第六章設計例之帷幕牆直料及繫件平剖圖
(資料來源：本研究整理)

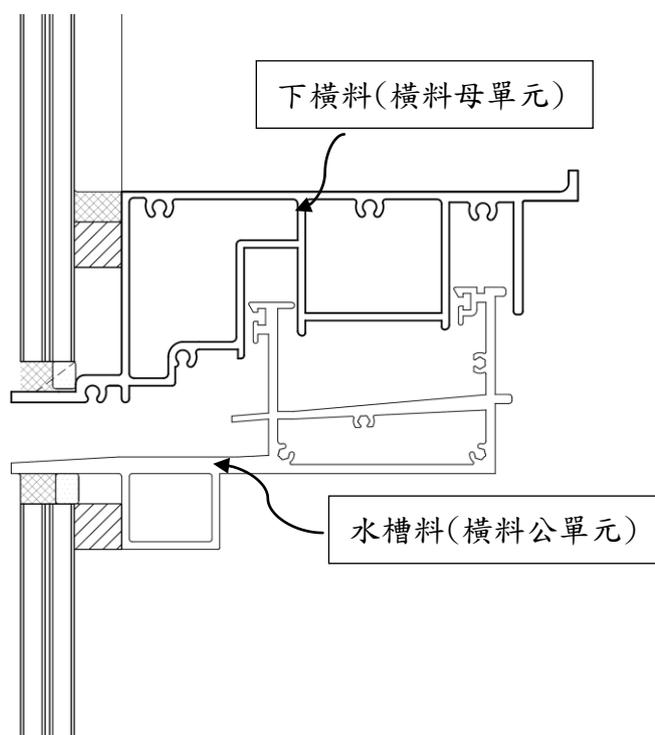


圖 6.5 第六章設計例之帷幕牆橫料截面圖
(資料來源：本研究整理)

「耐風規範」中外風壓區域之寬度 $a = \max(0.1 \times \min(B, L), 0.9m) = 3.6m$ ，其中 B 及 L 分別為垂直於風向之建築物水平尺寸及平行於風向之建築物水平尺寸。根據附錄二「耐風規範」圖 3.2，由於所考慮之面材、直料、橫料及繫件距建築邊緣之水平距離皆小於 a ，故皆位於外牆之⑤區。由於面材的有效受風面積為 $6.6m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.6 和 -3.1。由於每一層直料公(母)單元鋁擠型的有效受風面為 $3.63m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.8 和 -3.4。由於水槽料及下橫料的有效受風面為 $1.33m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.9 和 -3.8。由於繫件左(右)側的有效受風面積為 $3.3m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.8 和 -3.5。

參、設計風壓之計算

使用「耐風規範」第三章，所考慮可能之來風方向下包括來風垂直 AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面，計算各構件所承受之設計風壓。

來風垂直 AB 牆面

【步驟1】列出與該風向相關之設計參數

當風垂直吹向 AB 牆面時，根據表 6-1，垂直於風向之建築物水平尺寸 $B = 38m$ ，平行於風向之建築物水平尺寸 $L = 36m$ 。根據「耐風規範」表 2.2，地況 B 相關參數 $\alpha = 0.25$ ； $z_g = 400m$ 。

【步驟2】判斷建築物封閉性及決定內風壓係數

根據建築物資料可知外牆面開口率皆為 1%。根據「耐風規範」1.3 節，建築物不屬於開放式建築物。根據建築物資料，計算迎風向外牆面之總面積 $A_g = 4263.6m^2$ 、迎風向外牆面之總開口面積 $A_0 = 42.64m^2$ 、非迎風向之各牆面(含屋頂)總面積 $A_{gi} = 12790m^2$ 與非迎風向之各牆面(含屋頂)總開口面積 $A_{oi} = 127.92m^2$ 。因無法同滿足以下各條件(1) $A_0 > 1.10A_{oi}$ ，(2) $A_0 > 0.37m^2$ 或 $0.01A_g$ (二者取最小)，(3) $\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.20$ ，根據「耐風規範」1.3 節，建築物屬於封閉式建築物。

由於建築物屬於封閉式建築物，參考「耐風規範」表 2.17，建築物的內風壓係數為 ± 0.375 。

【步驟3】計算風速壓地況係數 $K(z)$ 與地形係數 K_{zt}

根據「耐風規範」式(2.7)，

$$K(z) = 2.774 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5}; \quad z > 5m$$

$$= 2.774 \left(\frac{5}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5}; \quad z \leq 5m$$

根據「耐風規範」式(2.8)，計算 K_{zt} ：因工址附近無特殊地形， $K_{zt} = 1$ 。

【步驟4】 計算高度 z 處之風速壓

高度 z 處之風速壓

因此，當風垂直吹向 AB 牆面時，不同高度之風速壓為

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2; \quad z > 5m$$

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2; \quad z \leq 5m$$

【步驟5】 分別計算面材、直料、橫料及繫件之設計風壓

風垂直吹向 AB 牆面時，AB 牆為迎風面牆，所考慮面材、直料、橫料及繫件均承受正風壓。封閉式或部分封閉式建築物高度超過 18 公尺者，其局部構材及外部被覆物之設計風壓根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(z)$ 。

面材形心離地高度 $z = 110.55m$

$$q(z = 110.55m) = 300.63 \left(\frac{110.55}{400} \right)^{0.5} = 158.05 \text{ kgf/m}^2$$

而在建築高 h 處

$$q(h = 112.2m) = 300.63 \left(\frac{112.2}{400} \right)^{0.5} = 159.22 \text{ kgf/m}^2$$

迎風面牆的面材(GC_p)取正值為 1.6。根據「耐風規範」式(3.2)，該面材設計正風壓為 $p(z = 110.55m) = 158.05 \times 1.6 - 159.22 \times (\pm 0.375) = 274.83 \text{ kgf/m}^2$ (取大值)。

仿照上述計算面材設計風壓之流程，可計算並彙整面材、橫料之水槽料及下橫料、每一層直料公(母)單元鋁擠型及繫件單側的設計正風壓，列於表 6-2。

來風垂直 BC 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 BC 牆面時，本計算例考慮帷幕牆所在之 AB 牆為側牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓，其值根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(h)$ 。

側牆的面材 (GC_p) 要取負值 -3.1，該面材設計負風壓為 $p(z = 110.55m) = 159.22 \times (-3.1) - 159.22 \times (\pm 0.375) = -553.30 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

彙整面材、橫料之水槽料及下橫料、每一層直料公(母)單元鋁擠型及繫件單側的設計負風壓，將數值分析結果列於表 6-2。

來風垂直 CD 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 CD 牆面時，AB 牆為背風面牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓，其值根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(h)$ 。背風面牆的 (GC_p) 要取負值 -3.1，該面材設計負風壓為 $p = -553.30 \text{ kgf} / \text{m}^2$ 。

彙整面材、橫料之水槽料及下橫料、每一層直料公(母)單元鋁擠型及繫件單側的設計負風壓，將數值分析結果列於表 6-2。

風垂直 DA 牆面

根據建築物資料與工址風環境可知，建築物以 Y 軸為對稱軸，BC 牆面與 DA 牆面開口面積相同，BC 牆面與 DA 牆面上風側地況相同，以及建築物周邊地形相同。因此，當風垂直吹向 DA 牆面時，其結果與當風垂直吹向 BC 牆面的結果相同。

表 6-2 第六章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m²)

	來風垂直 AB 牆面	來風垂直 BC 牆面	來風垂直 CD 牆面	來風垂直 DA 牆面
面材 ㉔-㉕-㉖-㉗	312.58	-553.3	-553.3	-553.3
橫料 ㉔-㉕ 水槽料	357.75	-664.75	-664.75	-664.75
橫料 ㉔-㉕ 下橫料	357.75	-664.75	-664.75	-664.75
橫料 ㉔-㉕ 水槽料	353.2	-664.75	-664.75	-664.75
橫料 ㉔-㉕ 下橫料	353.2	-664.75	-664.75	-664.75
直料 ㉔-㉕ 公單元鋁擠型	344.19	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 母單元鋁擠型	344.19	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 公單元鋁擠型	339.91	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 母單元鋁擠型	339.91	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 公單元鋁擠型	335.57	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 母單元鋁擠型	335.57	-601.06	-601.06	-601.06
繫件 ㉖ 單側	344.19	-616.98	-616.98	-616.98

(資料來源：本研究整理)

肆、最大設計正風壓與負風壓之選取

根據表 6-2 中面材、橫料之水槽料及下橫料、每一層直料公(母)單元鋁擠型及繫件單側在各來風向正負風壓值中，分別選取其最大設計正風壓和負風壓，列於表 6-3。

於表 6-3 中，每一層直料公(母)單元鋁擠型單位長度正(負)風力為每一層直料公(母)單元鋁擠型設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以每一層直料高；水槽料及下橫料之單位長度正(負)風力為水槽料及下橫料設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以橫料寬。

通常鋁製結構以 ASD 做設計，因此載重組合中，風力載重前所乘係數為 1。

表 6-3 第六章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m²)

	承受風壓面積(m ²)	最大正風壓(kgf/m ²)	最大負風壓(kgf/m ²)	單位長度正風力(kgf/m)	單位長度負風力(kgf/m)
面材⑤-⑥-⑦-⑧-⑨	6.6	312.58	-553.3		
橫料⑤-⑥水槽料	1	357.75	-664.75	178.88	-332.38
橫料⑤-⑥下橫料	1	357.75	-664.75	178.88	-332.38
橫料③-④水槽料	1	353.20	-664.75	176.60	-332.38
橫料③-④下橫料	1	353.20	-664.75	176.60	-332.38
直料①-②公單元鋁擠型	2.3	344.19	-601.06	239.89	-418.92
直料①-②母單元鋁擠型	2.3	344.19	-601.06	239.89	-418.92
直料③-④公單元鋁擠型	2.3	339.91	-601.06	236.91	-418.92
直料③-④母單元鋁擠型	2.3	339.91	-601.06	236.91	-418.92
直料⑤-⑥公單元鋁擠型	2.3	335.57	-601.06	233.88	-418.92
直料⑤-⑥母單元鋁擠型	2.3	335.57	-601.06	233.88	-418.92
繫件⑧單側	3.3	344.19	-616.98		

(資料來源：本研究整理)

第二節 直料與橫料設計檢核

帷幕牆系統剖面如圖 6.6，直料長度為 3.3 公尺；橫料長度為 2 公尺；直料相互連接處至繫件與直料相接處為 0.8 公尺，依循第五章邊界條件設置原則，繫件與直料相接處為鉸支承(Hinge)，直料相互連接處為銷釘(Pin)。直料及橫料鋁擠型採用 6063-T5，其楊氏係數(E)為 $7.101 \times 10^9 \text{ kgf}/\text{m}^2$ ，柏松比(ν)為 0.33，降伏強度為 $F_{y,a} = \min(F_{cy}, F_{ty}) = \min(11.25, 11.25) = 11.25 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ ，極限強度($F_{u,a}$)為 $22 \text{ ksi} = 15.47 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ ；假設採用之直橫料形狀與斷面性質如表 6-4 所示，且於直料中點公母鋁擠形間加上互扣件，以減少無側撐長度。

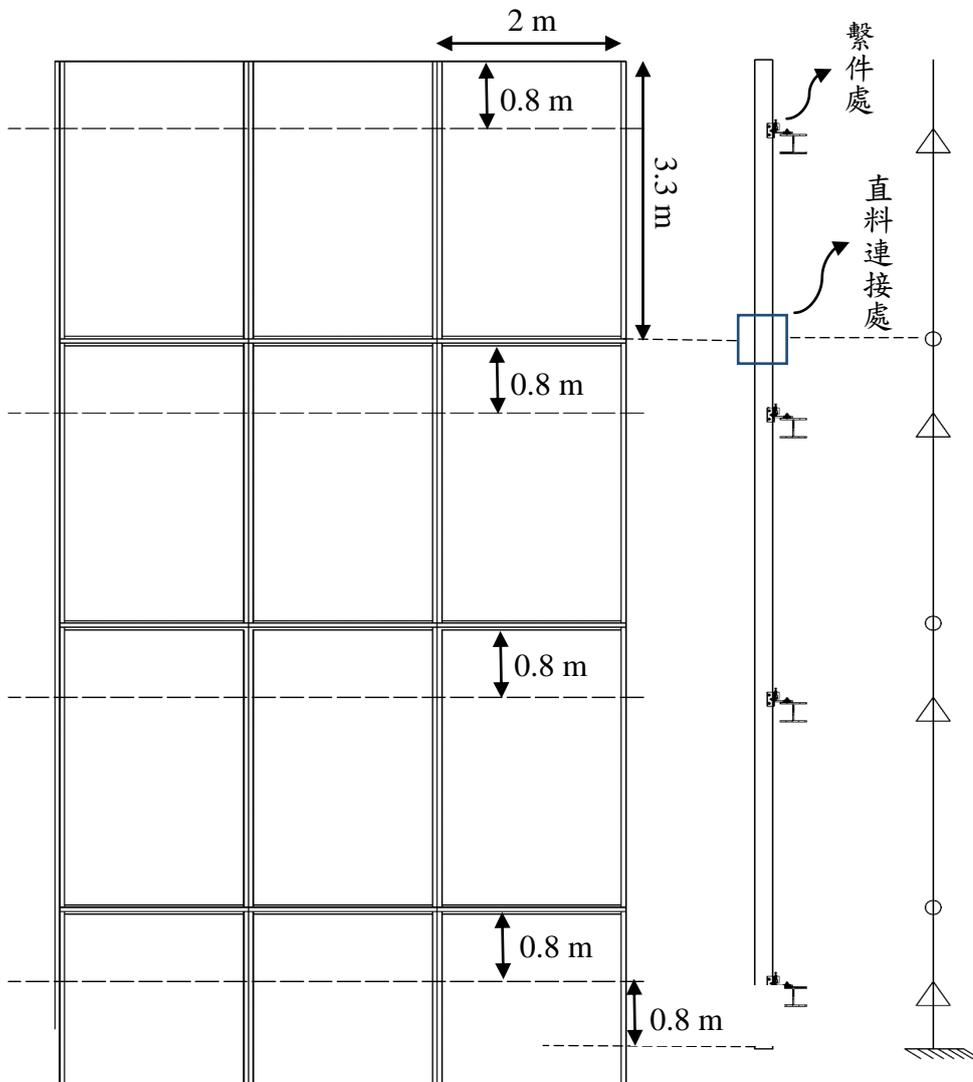
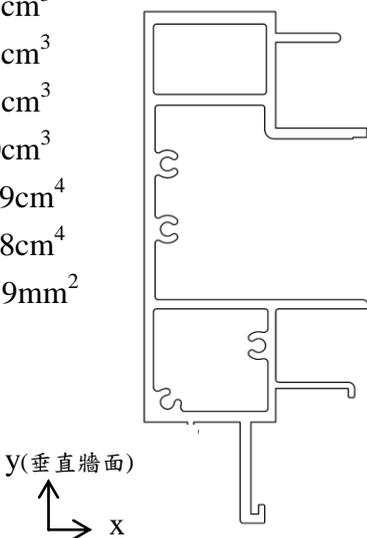
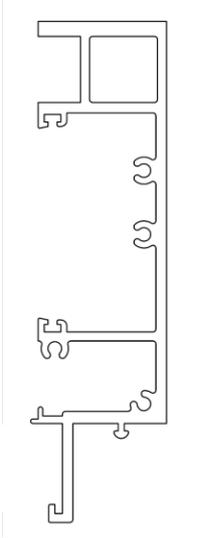
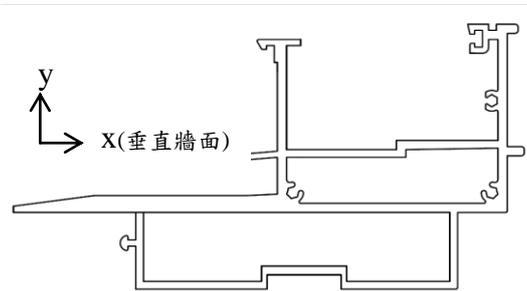
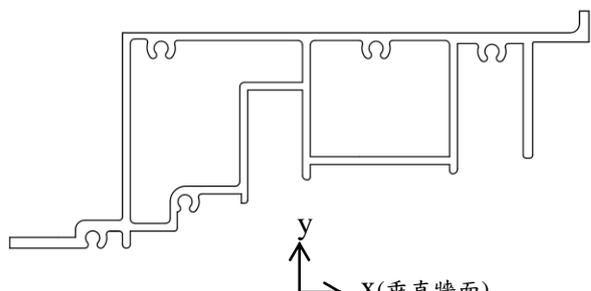


圖 6.6 第六章設計例之帷幕牆系統剖面圖

(資料來源：本研究整理)

表 6-4 第六章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質

直料鋁擠型俯視平面圖			
斷面性質	公單元	斷面性質	母單元
斷面模數 $S_{y2} = 38\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{y1} = 25\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x2} = 78\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x1} = 60\text{cm}^3$ 慣性矩 $I_y = 109\text{cm}^4$ 慣性矩 $I_x = 598\text{cm}^4$ 斷面積 $A = 2259\text{mm}^2$		斷面模數 $S_{y2} = 19\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{y1} = 11\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x2} = 66\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x1} = 48\text{cm}^3$ 慣性矩 $I_y = 32\text{cm}^4$ 慣性矩 $I_x = 495\text{cm}^4$ 斷面積 $A = 1600\text{mm}^2$	
橫料鋁擠型鉛直剖面圖			
水槽料	下橫料		
			
斷面模數 $S_{y2} = 57\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{y1} = 41\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x2} = 28\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x1} = 18\text{cm}^3$ 慣性矩 $I_y = 412\text{cm}^4$ 慣性矩 $I_x = 94\text{cm}^4$ 斷面積 $A = 1851\text{mm}^2$	斷面模數 $S_{y2} = 33\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{y1} = 32\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x2} = 18\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x1} = 15\text{cm}^3$ 慣性矩 $I_y = 257\text{cm}^4$ 慣性矩 $I_x = 52\text{cm}^4$ 斷面積 $A = 1512\text{mm}^2$		

(資料來源：本研究整理)

壹、直料分析及檢核

三層直料整體分析

直料只考慮風力對其之影響，而自重的影響甚小故在此忽略，採用表 6-3

直料公(母)單元(Ⓐ-Ⓒ和Ⓔ-Ⓕ和Ⓖ-Ⓙ)單位長度最大設計負風力

$F_{-w} = -418.92 \text{ kgf/m}$ 設計帷幕牆直料。根據結構圖 6.7，以 ANSYS 軟體進行三層

直料受單位長度最大設計負風力(含公單元與母單元)之分析，其中以強軸(I_x)抵抗風力。圖 6.8 為剪力、彎矩及變形圖，其中最大變形量為 7.17mm，最大彎矩(M)為 $5.1735 \times 10^6 \text{ Ngmm}$ (527370 kgf gmm)。

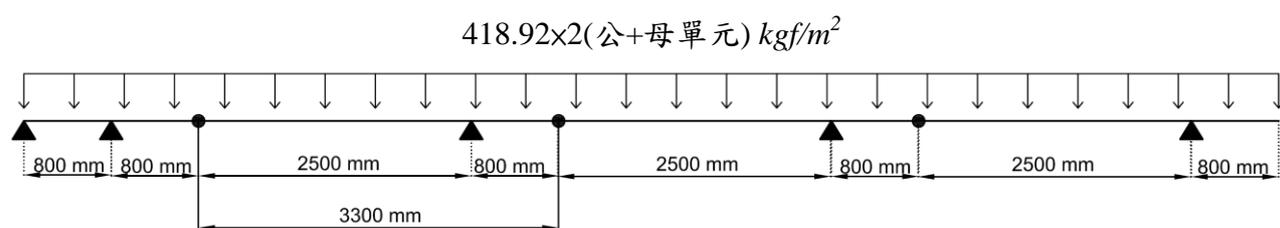


圖 6.7 第六章設計例之直料結構圖

(資料來源：本研究整理)

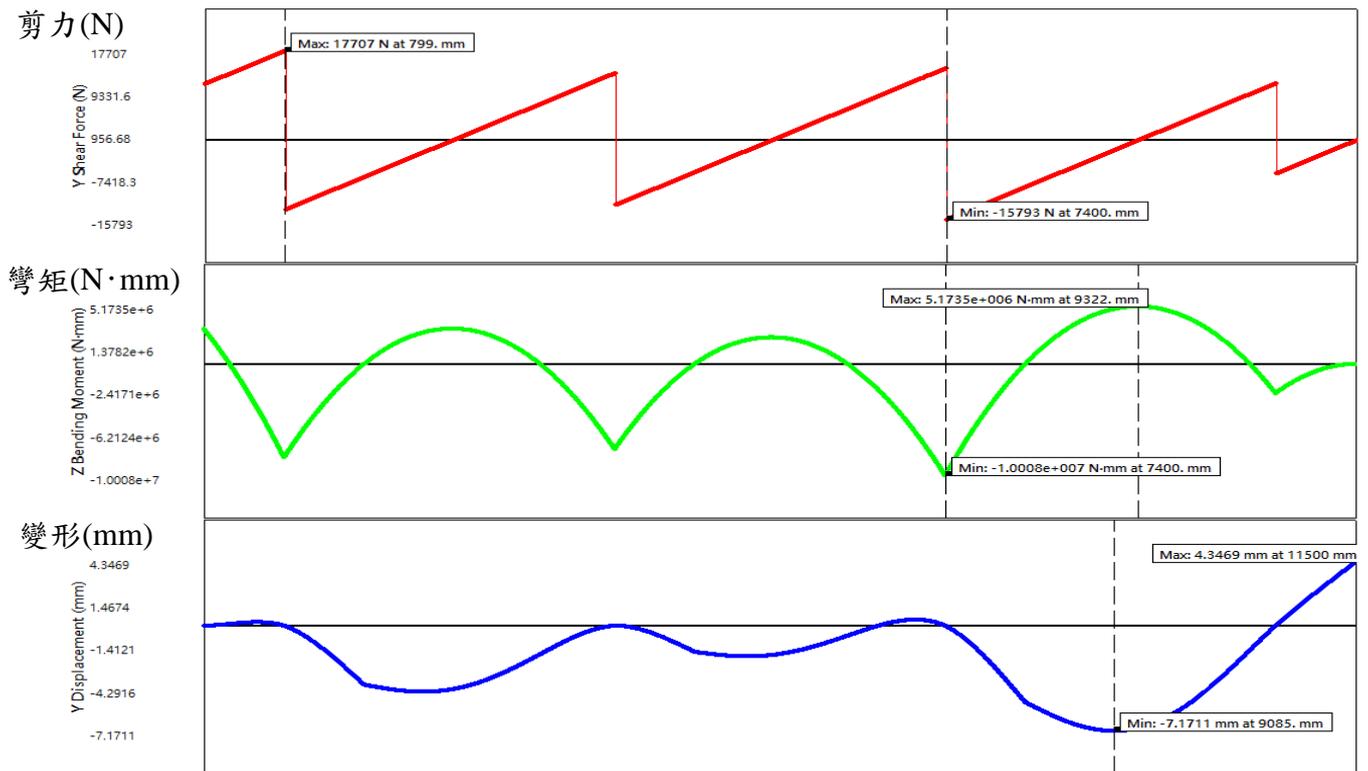


圖 6.8 第六章設計例之剪力、彎矩及變形圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

$$\text{最大變形量 } \delta_{\max} = 7.17 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形量 } \delta_a = \frac{L_c}{175} = 18.86 \text{ mm}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

公單元應力檢核

上述整體分析直料之慣性矩為公單元慣性矩(I_x)加上母單元慣性矩(I_x)，

故依照慣性矩比例分配可得公單元彎矩為

$$M_{\max} = M \cdot \frac{\text{公單元} I_x}{\text{公單元} I_x + \text{母單元} I_x} = 527370 \cdot \frac{598}{598 + 459} = 288533 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{288533.632}{60000} = 4.81 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 Aluminum Design Manual Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過。

本例以 AA(2005)中適用於對稱斷面之公式檢核側向扭轉挫屈，故需先根據公單元之形心位置，建立兩個對稱斷面，如圖 6.9 所示，再選擇其中慣性矩較小者圖 6.9(b)進行側向扭轉挫屈檢核，其基本參數如下：Y 軸慣性矩 $I_y = 121\text{cm}^4$ ；

斷面模數 $S_c = 77.26$ ；斷面扭轉常數為斷面所有肢材的慣性矩總和

$$J = \sum \frac{\text{寬} \times \text{厚}^3}{3} = 3.1408\text{cm}^4$$

；因在直料跨距中點，公母鋁擠型之間加入互扣件，

故無側撐長度 $L_b = \frac{330}{2}\text{cm} = 165\text{cm}$ ；斷面深度 $d = 15.3\text{cm}$ ；有效長度係數

$k_y = 1.0$ (取保守值)，故有效迴轉半徑

$$r_{ye} = \left(\frac{1}{1.7}\right) \sqrt{\frac{I_y d}{S_c} \left[0.5 + \sqrt{1.25 + 0.152 \frac{J}{I_y} \left(\frac{k_y L_b}{d}\right)^2} \right]} = 3.87$$

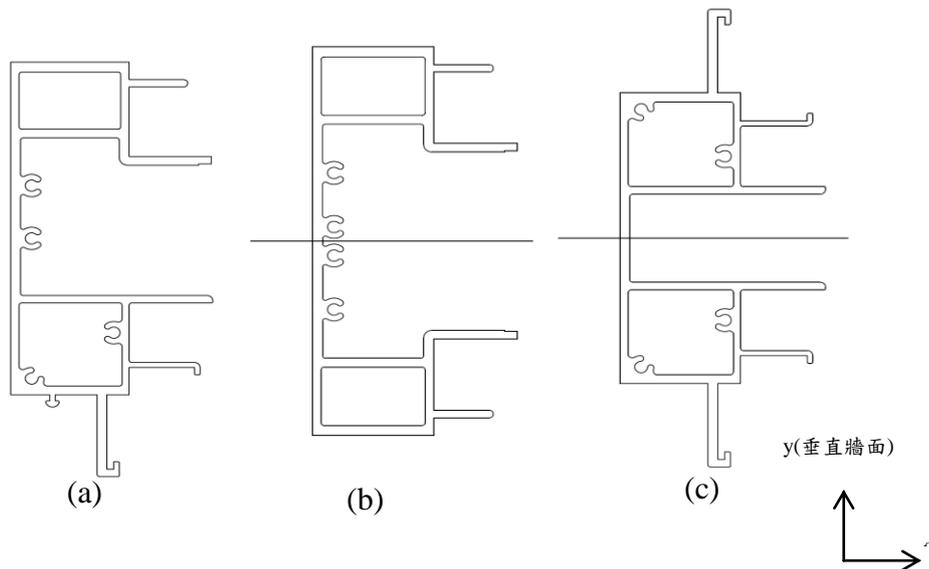


圖 6.9 第六章設計例之公單元斷面及對稱斷面圖

(資料來源：本研究整理)

藉由上述參數，參考 ADM(AA,2005)Table3.4-3 容許應力公式表，當 $\frac{L_b}{r_{ye}}$ 為

42.62，則容許應力 $F_{b0} = \frac{1}{n_y} \left(B_c - \frac{D_c L_b}{1.2 r_y \sqrt{C_b}} \right) = 61.76 \text{ MPa}$ ，其中

$$B_c = F_{cy} \left[1 + \left(\frac{F_{cy}}{15510} \right)^{1/2} \right], \quad D_c = \frac{B_c}{10} \left(\frac{B_c}{E} \right)^{1/2}, \quad C_b = 1。計算容許撓曲應力為$$

$$F_{LTB} = \min(F_{b0}, \frac{F_{y,a}}{1.65}) = 61.76 \text{ MPa} = 6.3 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} <$ 容許撓曲應力 F_{LTB} ，檢核通過。

母單元應力檢核

上述分析時直料之慣性矩為公單元慣性矩(I_x)加上母單元慣性矩(I_x)，故依照慣性矩比例分配可得母單元彎矩為

$$M_{\max} = M \cdot \frac{\text{母單元} I_x}{\text{公單元} I_x + \text{母單元} I_x} = 527370 \cdot \frac{459}{598 + 459} = 229009.3 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{229009.3}{48000} = 4.771 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3 } f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過。

本例以 AA(2005)中適用於對稱斷面之公式檢核側向扭轉挫屈，故需先根據母單元之形心位置，建立兩個對稱斷面，如圖 6.10 所示，再選擇其中慣性矩較小者圖 6.10(b)進行側向扭轉挫屈檢核，其基本參數如下：Y 軸慣性矩 $I_y = 34 \text{ cm}^4$ ；斷面模數 $S_c = 63.26$ ；斷面扭轉常數為斷面所有肢材的慣性矩總和

$$J = \sum \frac{\text{寬} \times \text{厚}^3}{3} = 0.49 \text{ cm}^4；因在直料跨距中點，公母鋁擠型之間加入互扣件，故$$

無側撐長度 $L_b = \frac{330}{2} \text{ cm} = 165 \text{ cm}$ ；斷面深度 $d = 15.3 \text{ cm}$ ；有效長度係數 $k_y = 1.0$ ，

$$\text{故有效迴轉半徑 } r_{ye} = \left(\frac{1}{1.7}\right) \sqrt{\frac{I_y d}{S_c} \left[0.5 + \sqrt{1.25 + 0.152 \frac{J}{I_y} \left(\frac{k_y L_b}{d}\right)^2} \right]} = 2.21$$

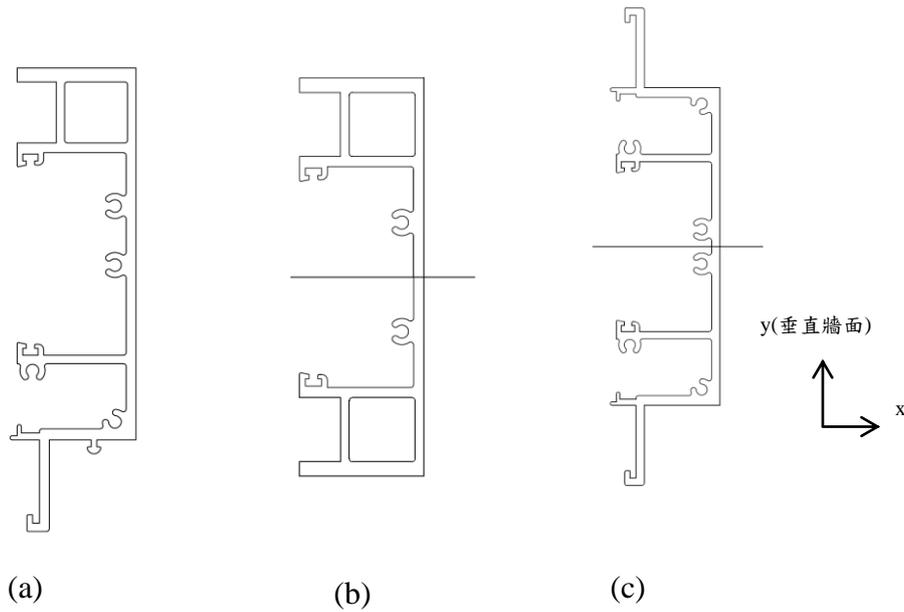


圖 6.10 第六章設計例之母單元斷面及對稱斷面圖

(資料來源：本研究整理)

藉由上述參數，參考 AA (2005)Table3.4-3 容許應力公式表，當 $\frac{L_b}{r_{ye}}$ 為 74.43，

則容許應力 $F_{b0} = \frac{\pi^2 EC_b}{n_y \left(\frac{L_b}{1.2r_y} \right)^2} = 53.9 MPa$ ，其中 $C_b = 1$ 、 $n_y = 1.65$ ，計算容許撓曲

應力為 $F_{LTB} = \min(F_{b0}, \frac{F_{y,a}}{1.65}) = 53.9 MPa = 5.5 \frac{kgf}{mm^2}$ 。

應力 $f_{bx} <$ 容許撓曲應力 F_{LTB} ，檢核通過。

貳、橫料分析及檢核

橫料分析中需考慮風力及靜載重的影響。其中風力採用表 6-3 橫料(©)-(f)和 ©-(d)水槽料及下橫料單位長度最大設計負風力 $F_{-w} = -332.37 \frac{kgf}{m}$ ，由水槽料及

下橫料的強軸(I_y)共同抵抗；靜載重因鋁擠型自重相對較小，故只考慮玻璃載重

$F_g = 3.3m \cdot 2m \cdot \text{單位面積重} 15 \frac{kgf}{m^2} = 99 kgf$ ，且根據工程實務，玻璃載重只由下

橫料之弱軸(I_x)抵抗。

橫料整體分析

橫料分析自由體圖可視為一簡支梁，將橫料材料特性及斷面代入結構力學公式，可求得變形量及應力，圖 6.11(a)為風力均勻作用於橫料(水槽料與下橫料)之結構圖，圖 6.11(b)為玻璃載重作用於下橫料之結構圖，其中根據工程實務，玻璃載重集中於墊塊位置，即距兩端支撐各四分之一跨距處。

$$\text{風力造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{5(2F_{-w})L_h^4}{384E(I_y)_{\text{水槽料+下橫料}}} = \frac{10 \times 0.33238 \times 2000^4}{384 \times 7101 \times 669 \times 10^4} = 2.79 \text{ mm}$$

$$\text{自重造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{11\left(\frac{F_g}{2}\right)L_h^3}{384E(I_x)_{\text{下橫料}}} = \frac{11 \times 99 \times 2000^3}{768 \times 7101 \times 52 \times 10^4} = 3.07 \text{ mm}$$

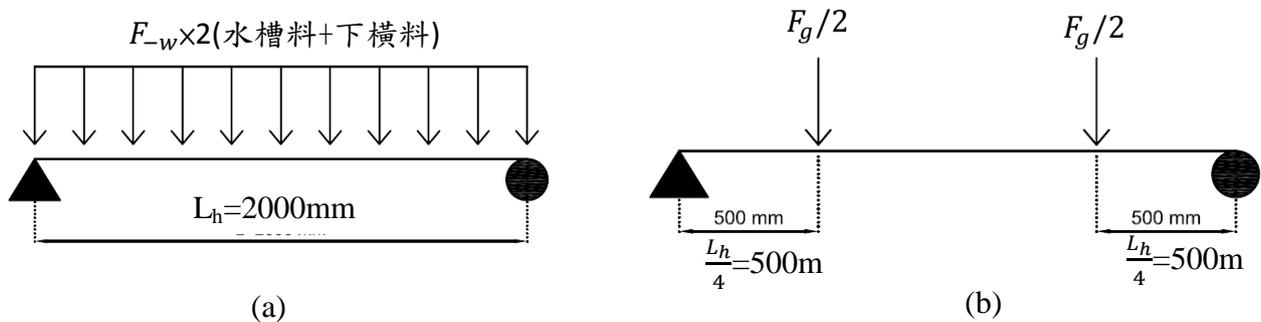


圖 6.11 第六章設計例之(a)橫料(水槽料與下橫料)風力作用結構圖(b)下橫料玻璃載重作用結構圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

風力：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 2.79 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = \frac{L_h}{175} = \frac{2000}{175} = 11.429 \text{ mm}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

玻璃載重：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 3.07 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = 3.2 \text{ mm (工程界實務假設)}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

水槽料應力檢核

風力：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_{-w} L_h^2}{8} = \frac{0.33238 \times 2000^2}{8} = 166190 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{by} = \frac{M_{\max}}{S_{y1}} = \frac{166190}{41000} = 4.053 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{by} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

下橫料應力檢核

風力：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_{-w} L_h^2}{8} = \frac{0.33238 \times 2000^2}{8} = 166190 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{by} = \frac{M_{\max}}{S_{y1}} = \frac{166190}{32000} = 5.19 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{by} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

玻璃載重：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_g L_h}{8} = \frac{99 \times 2000}{8} = 24750 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{24750}{15000} = 1.65 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{容許應力參考 ADM(AA,2005) } f_b = \frac{1.3F_{y,a}}{1.65} = 8.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

第三節 繫件設計檢核

帷幕牆繫件剖面圖及平面圖分別如圖 6.12 及圖 6.13 所示，繫件包括 L 型鋁板、樓板上鋁板及相關之螺栓與母材。連接樓板及樓板上鋁板之鋸齒螺栓有兩顆，其中一顆位於 A 處，其規格假設採用 A325 M16 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 8mm 之板。直料與 L 型鋁板以四顆螺栓連結，其中位於 B 處之螺栓通常遭受較大應力，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。L 型鋁板與樓板上鋁板間以兩顆鋸齒螺栓連接，其中一顆位於 C 處，其規格假設採用 A325 M16 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。D 為帶寬 30mm，強度為 20psi 之結構矽膠。

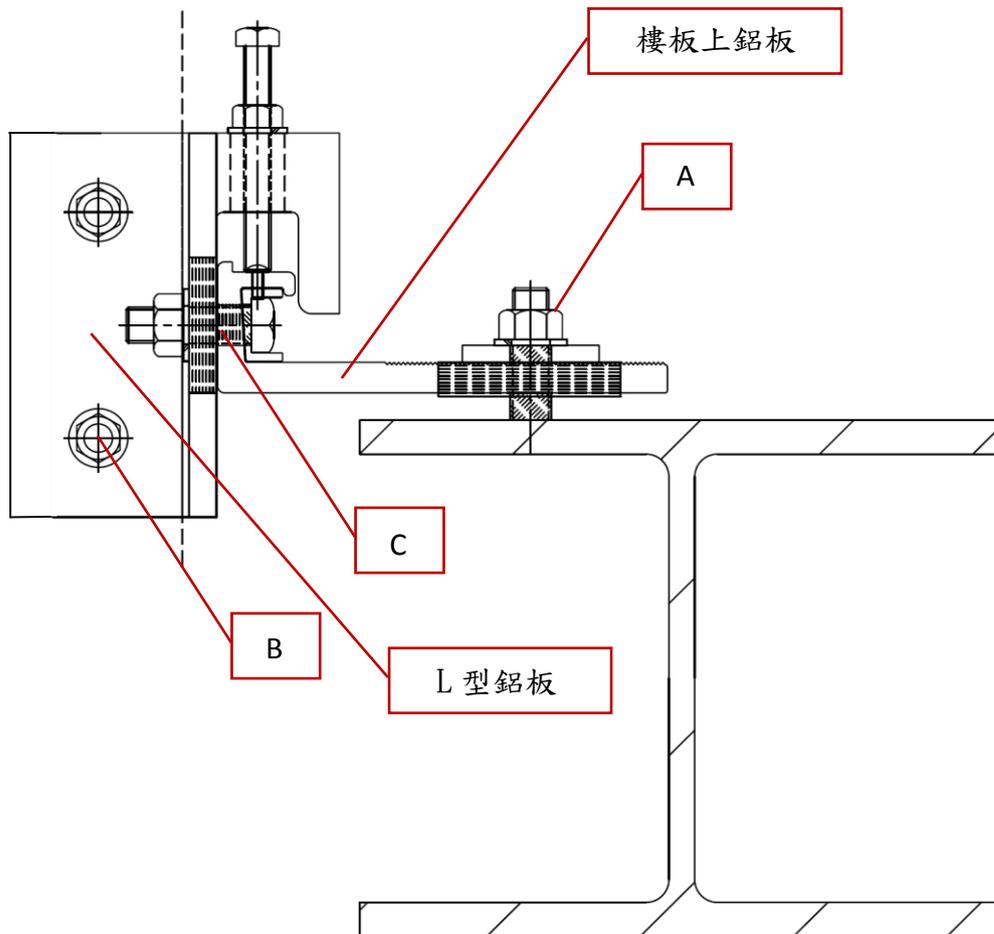


圖 6.12 第六章設計例之帷幕牆繫件剖面圖

(資料來源：本研究整理)

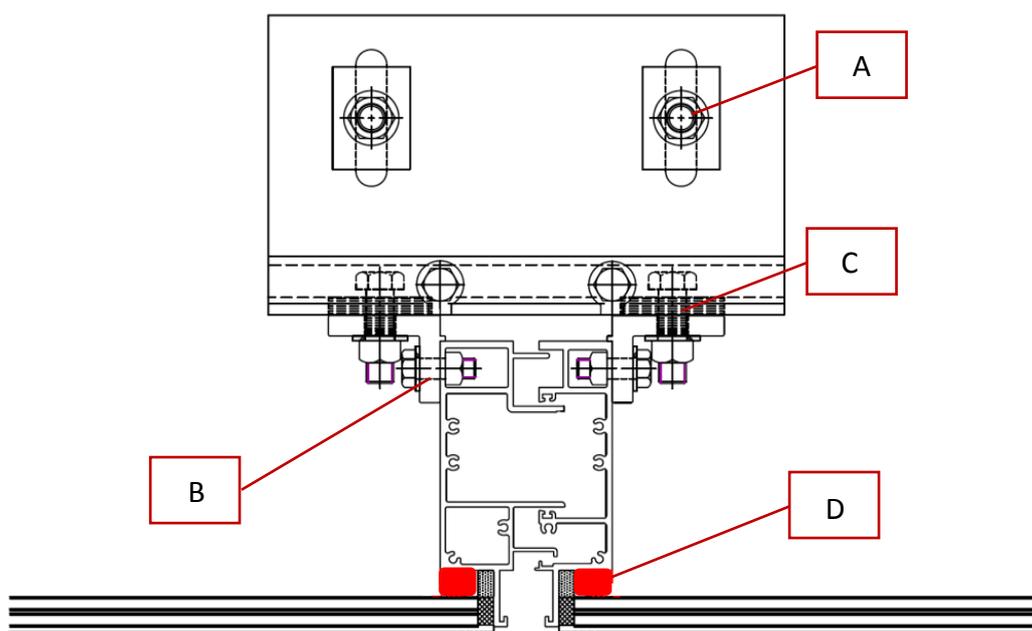


圖 6.13 第六章設計例之帷幕牆繫件平面圖
(資料來源：本研究整理)

壹、螺栓檢核公式

根據 AAMA TIR-A9，螺栓檢核公式如下：

螺栓容許剪力 F_V

$$F_V = A_r \times \min \left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b} \right) \times n_s$$

其中 A_r 為螺栓抗剪斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

母材容許承壓 F_B

$$F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s$$

其中 d_b 為螺栓直徑， t_p 為母材厚度， F_{up} 為母材承壓應力， n_s 為螺栓個數

螺栓容許張力 F_T

$$F_T = A_s \times \min \left(0.4 F_{u,b}, 0.75 F_{y,b} \right) \times n_s$$

其中 A_s 為螺栓抗拉斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

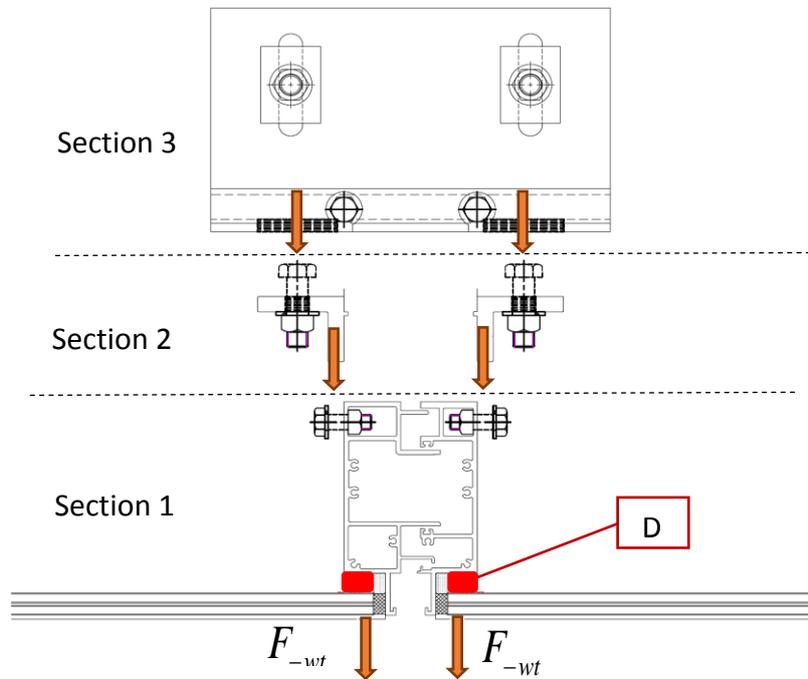
螺栓抗拉抗剪聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T} \right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)} \right)^2 < 1$$

其中 F_{ten} 為螺栓拉力， F_{shear} 為螺栓剪力

壹、繫件設計載重之決定

繫件設計載重可由兩種方法決定，分別為以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積與直料與橫料之設計風壓轉移至繫件。圖 6.14 標示繫件Ⓜ單側所受



設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，並繪製出正(負)風力傳導路徑。

(a) 負風力傳導圖

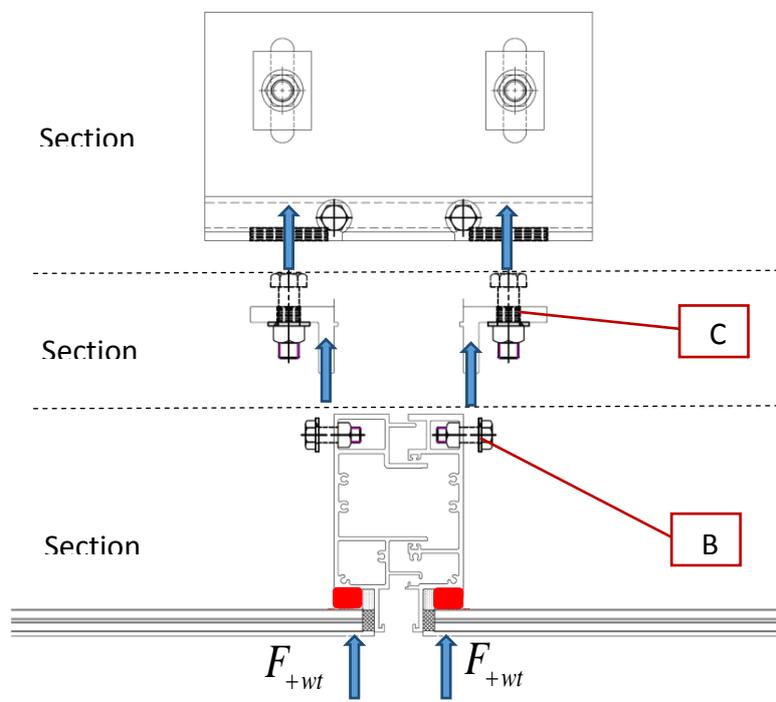
(b) 正風力傳導圖

圖 6.14 第六章設計例之力傳導平面圖

(資料來源：本研究整理)

繫件設計風力

若以耐風規範中外牆扣件計算繫件有效受風面積之方法計算，繫件單側有效



受風面積如圖 6.15 斜線區域。

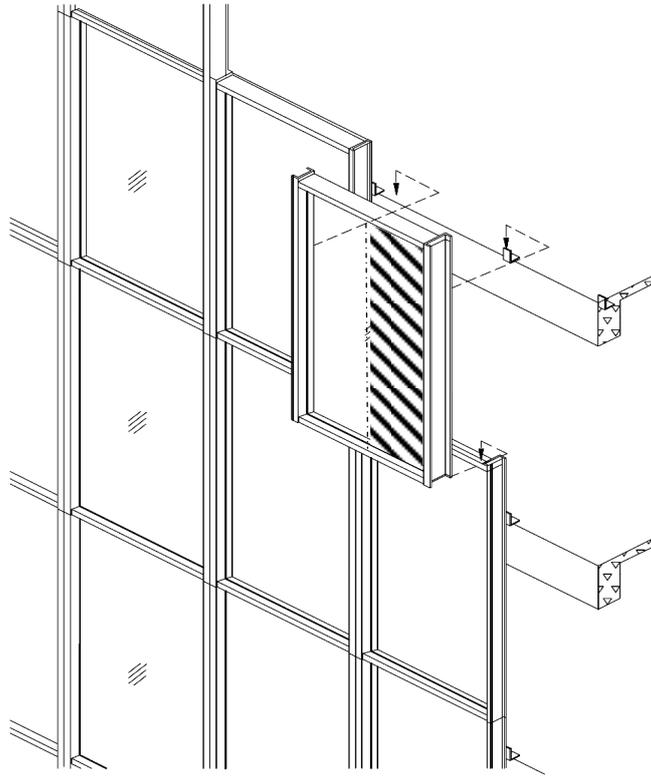


圖 6.15 第六章設計例之繫件有效受風面積

(資料來源：本研究整理)

繫件⑧單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，為表 6-3 中繫件⑧最大正(負)風壓乘上面材一半的面積

設計正風力 F_{+wt}

$$F_{+wt} = 344.19 \text{ kgf/m} \times \frac{3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2} = 1135.8 \text{ kgf}$$

設計負風力 F_{-wt}

$$F_{-wt} = -616.98 \text{ kgf/m} \times \frac{3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2} = -2036 \text{ kgf}$$

設計靜載重 F_d

此帷幕牆單元採用一組直橫料以及全玻璃面板，其單位重約略為 45 kgf/m^2 ，

而繫件單側所承受之靜載重 F_d 為

$$F_d = \frac{(45 \text{ kgf/m}^2 \times 3.3 \text{ m} \times 2 \text{ m})}{2} = 148.5 \text{ kgf}$$

本計算例以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積之方法決定，故後續計算採用之繫件單側設計正風力 F_{+wf} 為 1135.8 kgf ，繫件單側設計正風力 F_{-wf} 為 -2036 kgf ，繫件單側靜載重 F_d 為 148.5 kgf 。

參、A 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M16 螺栓

$$\text{直徑} \quad d_b = 16 \text{ mm}$$

$$\text{抗拉斷面積} \quad A_s = 198 \text{ mm}^2$$

$$\text{抗剪斷面積} \quad A_r = 133.6 \text{ mm}^2$$

$$\text{極限強度} \quad F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.84 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{降伏強度} \quad F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.72 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{螺栓顆數} \quad n_s = 1$$

6061T6 母材

$$\text{厚度} \quad t_p = 8 \text{ mm}$$

$$\text{承壓應力} \quad F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

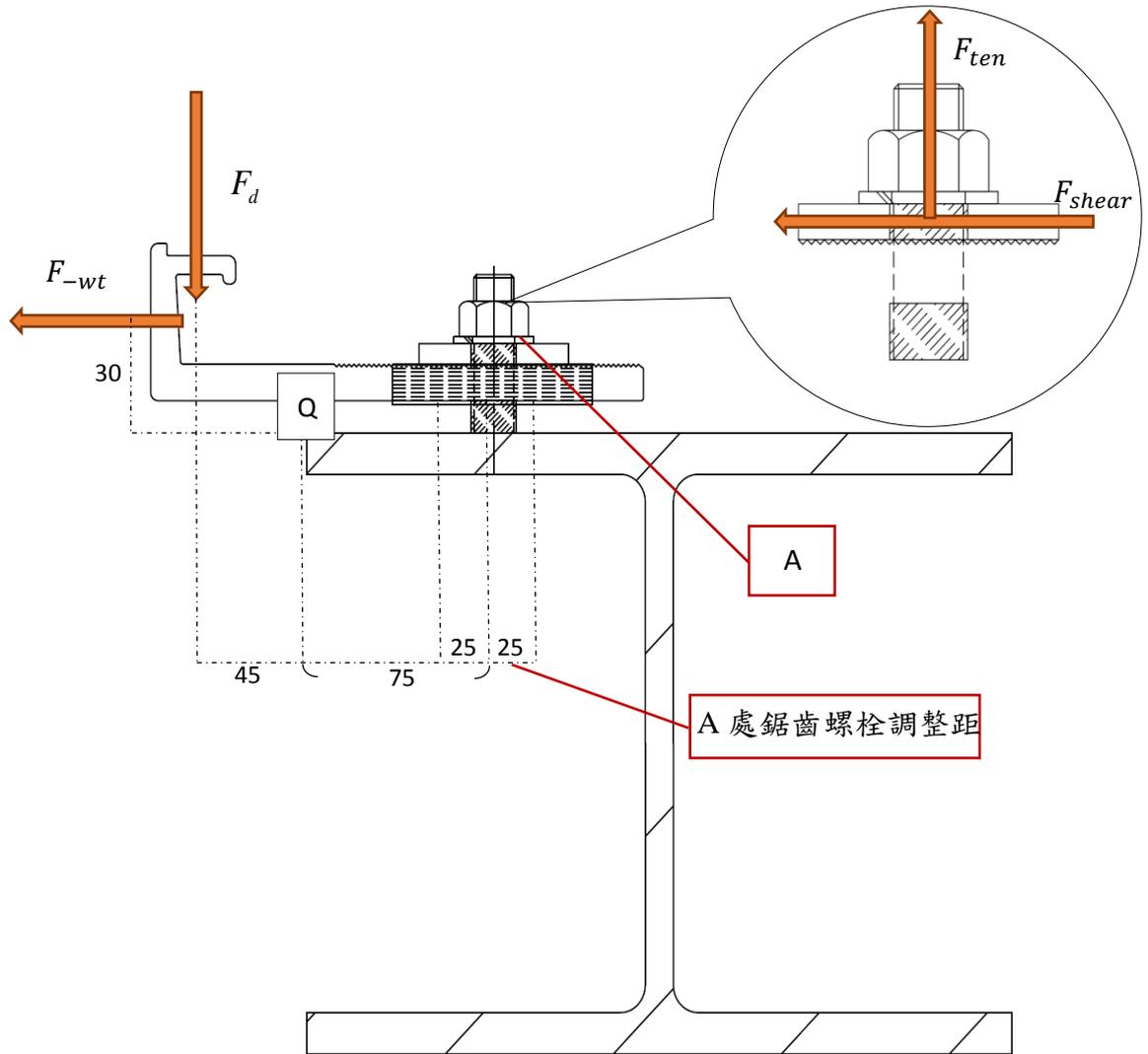


圖 6.16 第六章設計例之 A 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

參考圖 6.16，以 Q 點為力矩平衡支點，且考慮鋸齒螺栓可能移動範圍後產生的最大值

$$\text{抵抗負風壓螺栓拉力} \frac{F_d \times 45 \text{ mm} + |F_{-wt}| \times 30 \text{ mm}}{0.85(75 - 25) \text{ mm}} = 1594.5 \text{ kgf}$$

同理，

$$\text{抵抗正風壓螺栓壓力} \frac{|F_{+wt}| \times 30 \text{ mm} - F_d \times 45 \text{ mm}}{0.85(75 - 25) \text{ mm}} = 644.5 \text{ kgf}$$

故螺栓拉力 F_{ten} 為 1594.5kgf

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min \left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b} \right) \times n_s = 6680\text{kgf}$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過。

螺栓剪力檢核

$$\text{螺栓剪力 } F_{shear} = \max(|F_{+wt}|, |F_{-wt}|) = 2036\text{kgf}$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min \left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b} \right) \times n_s = 2603\text{kgf}$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 3420\text{kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

螺栓聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T} \right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)} \right)^2 = 0.65 < 1 \quad , \text{檢核通過。}$$

肆、樓板上鋁板之檢核

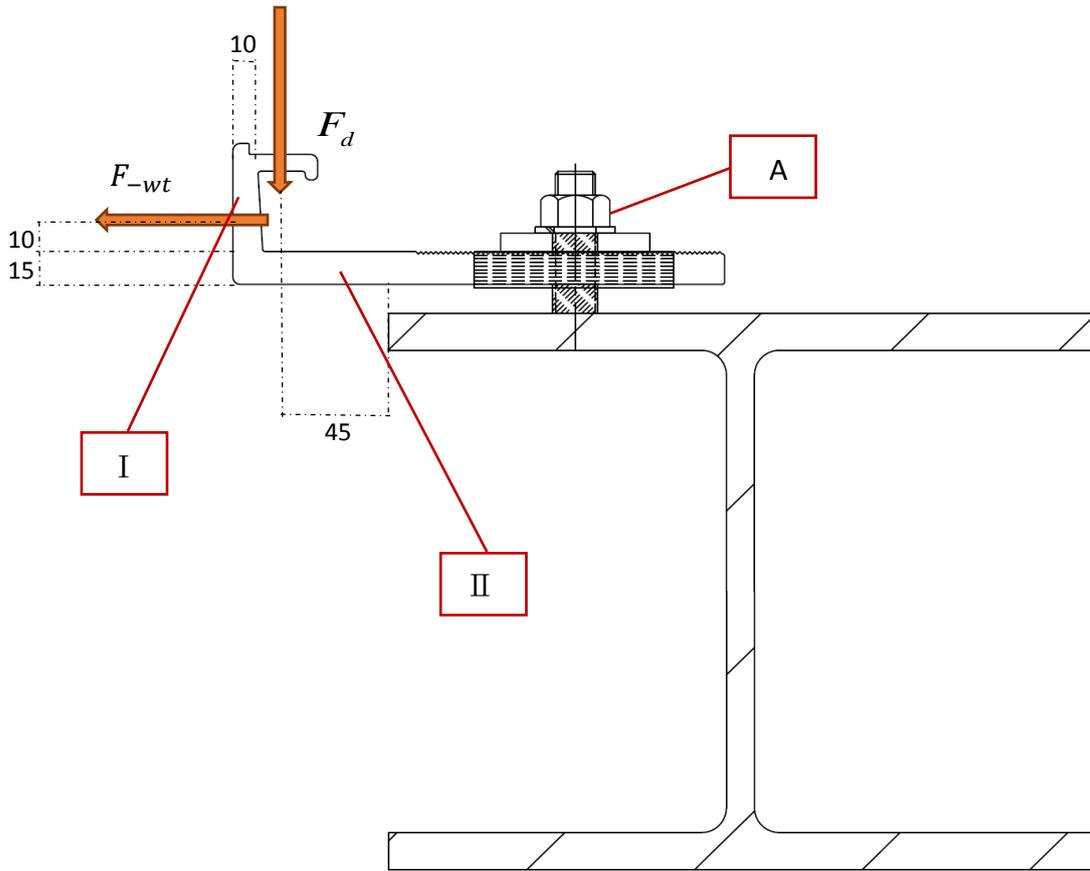


圖 6.17 第六章設計例之樓板上鋁板之受力圖

(資料來源：本研究整理)

鋁板 I 段彎曲應力檢核

由於鋁板所受之負風力包括左右兩側，且力偏心距 $e = 10mm$ ，形成之偏心彎矩 M_{bl}

$$M_{bl} = 2F_{-wt} \times e = 40720 \text{ kgf gmm}$$

板寬 $b = 250mm$ ，板厚 $t = 10mm$ ，偏心彎矩 M_{bl} 對 I 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bl}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 9.77 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

鋁板 II 段彎曲應力檢核

由負風力 $2F_{-wt}$ 與其力偏心距 $e_w = (10 + \frac{15}{2})mm$ ，和靜載重 $2F_d$ 與在鋸齒螺栓

移動後其最大力偏心矩 $e_d = (45 + 25)mm$ 形成之偏心彎矩 M_{bII}

$$M_{bII} = 2F_{-wt} \times e_w + 2F_d \times e_d = 92051 \text{ kgf gnm}$$

板寬 $b = 250mm$ ，板厚 $t = 15mm$ ，偏心彎矩 M_{bII} 對 II 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bII}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 9.81 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

伍、B 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.54 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

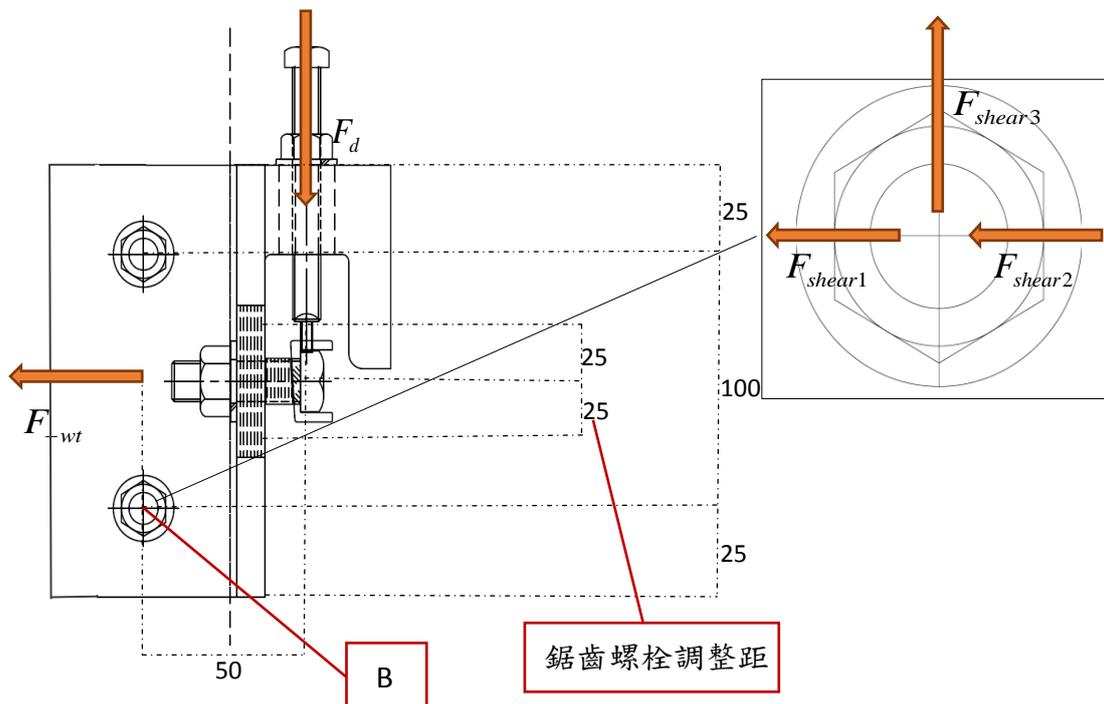


圖 6.18 第六章設計例之 B 處螺栓剪力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓剪力檢核

螺栓剪力由 F_{shear1} ， F_{shear2} 以及 F_{shear3} 組成，其值在負風壓作用且當鋸齒螺栓向

下移動 25mm 時為最大。其中 F_{shear1} 為螺栓水平抵抗風力之反力，當鋸齒螺栓向

下移動 25mm 時， F_{shear1} 為 $\frac{3}{4}F_{wt}$ ； F_{shear2} 為靜載重扭矩平衡而產生，

$$F_{shear2} = \frac{F_d \times 50mm}{100mm} = 74.25kgf；F_{shear3} 為螺栓垂直抵抗靜載重之反力，F_{shear3} = \frac{1}{2}F_d；$$

故螺栓承受剪力之最大值 F_{shear} 為

$$F_{shear} = \sqrt{(F_{shear1} + F_{shear2})^2 + F_{shear3}^2} = 1603kgf$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s = 1624kgf$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 1923.6kgf$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

陸、C 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M16 螺栓

直徑 $d_b = 16 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 198 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 133.6 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.84 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

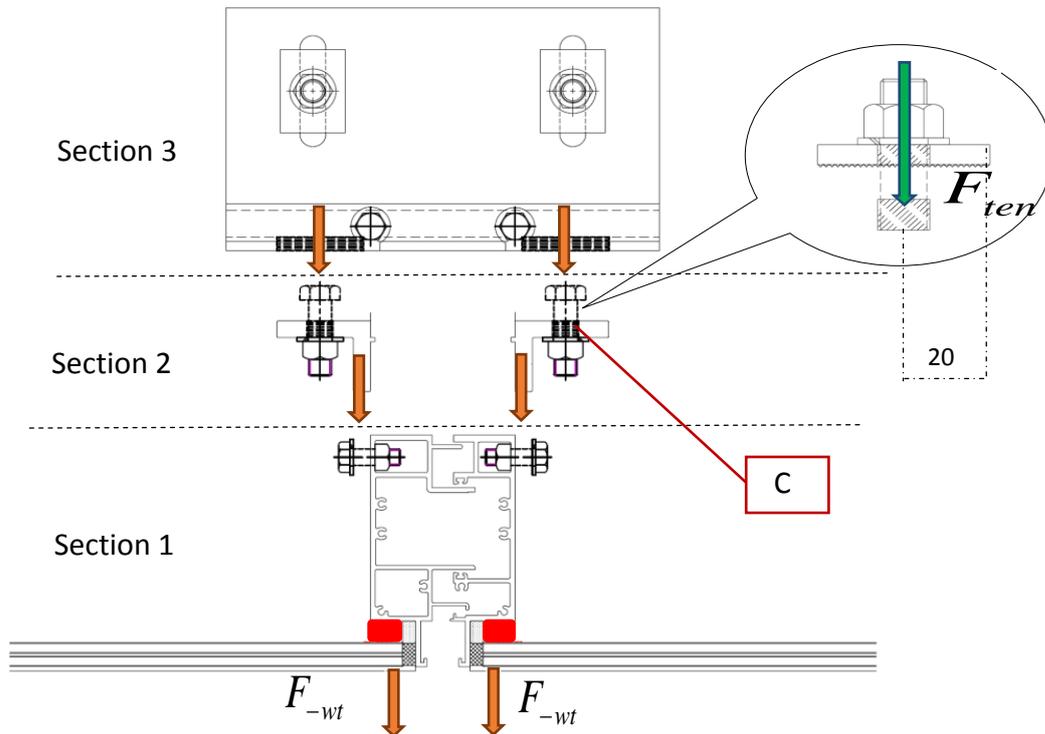


圖 6.19 第六章設計例之 C 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

抵抗正風壓螺栓拉力 $F_{+ten} = F_{+w} = 1135.8kgf$

抵抗負風壓時，最大螺栓拉力為抵抗鋁板彎矩形成的的拉拔力

$$F_{-ten} = \frac{F_{-w} \times 40mm}{20mm} = 4072kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} = \max(F_{+ten}, F_{-ten}) = 4072kgf$

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min\left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b}\right) \times n_s = 6680kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過

在工程實務上因為鋁料有垂直向長孔，靜載重無法傳遞，故此螺栓不會承受靜載重造成之剪力。

柒、L 型鋁板之檢核

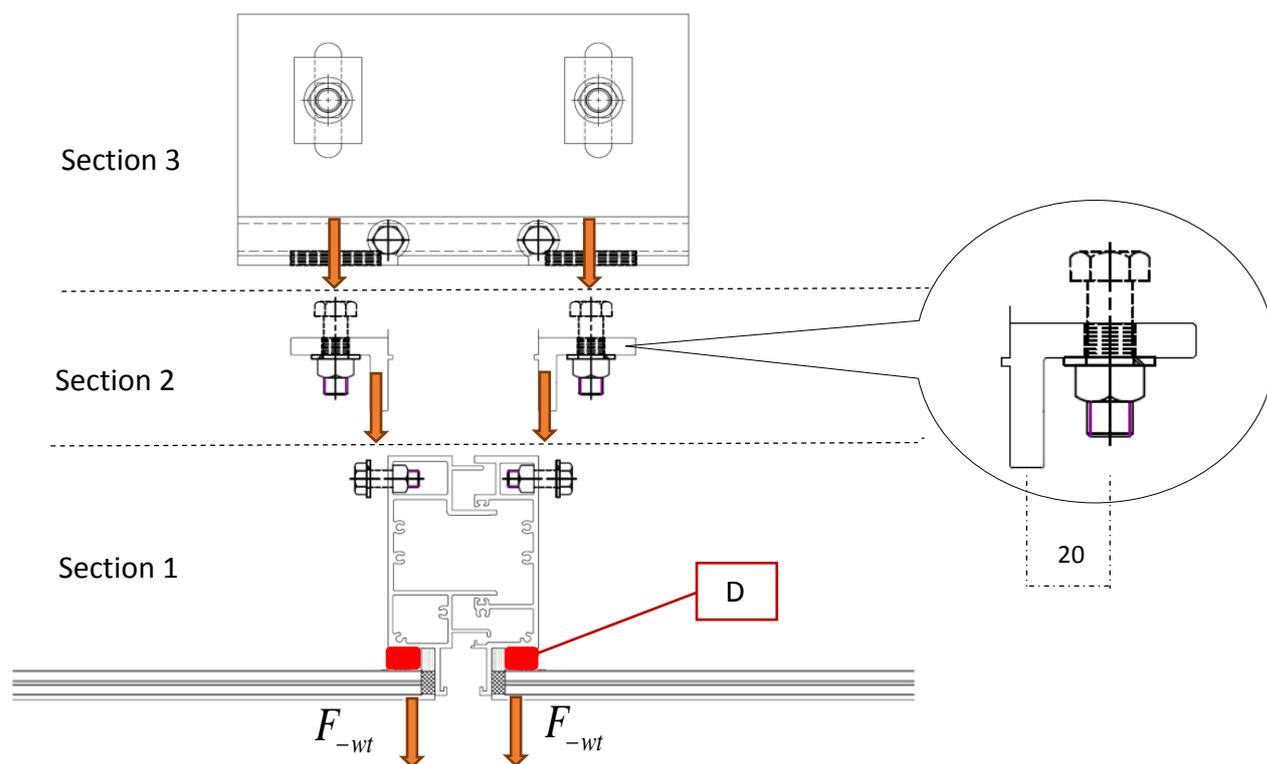


圖 6.20 第六章設計例之 L 型鋁板受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板彎曲應力檢核

由負風力 F_{-wt} 與其力偏心距 $e = 20mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = F_{-wt} \times e = 40720 \text{kgf} \cdot \text{gmm}$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 12mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 11.31 \text{kgf} / \text{mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{kgf} / \text{mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{kgf} / \text{mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} <$ 容許彎曲應力 F_B ，檢核通過。

捌、D 結構矽膠

帶寬 $b_t = 3.0\text{m}$

容許拉應力 $F_t = 20\text{psi} = 14060\text{kgf}/\text{m}^2$

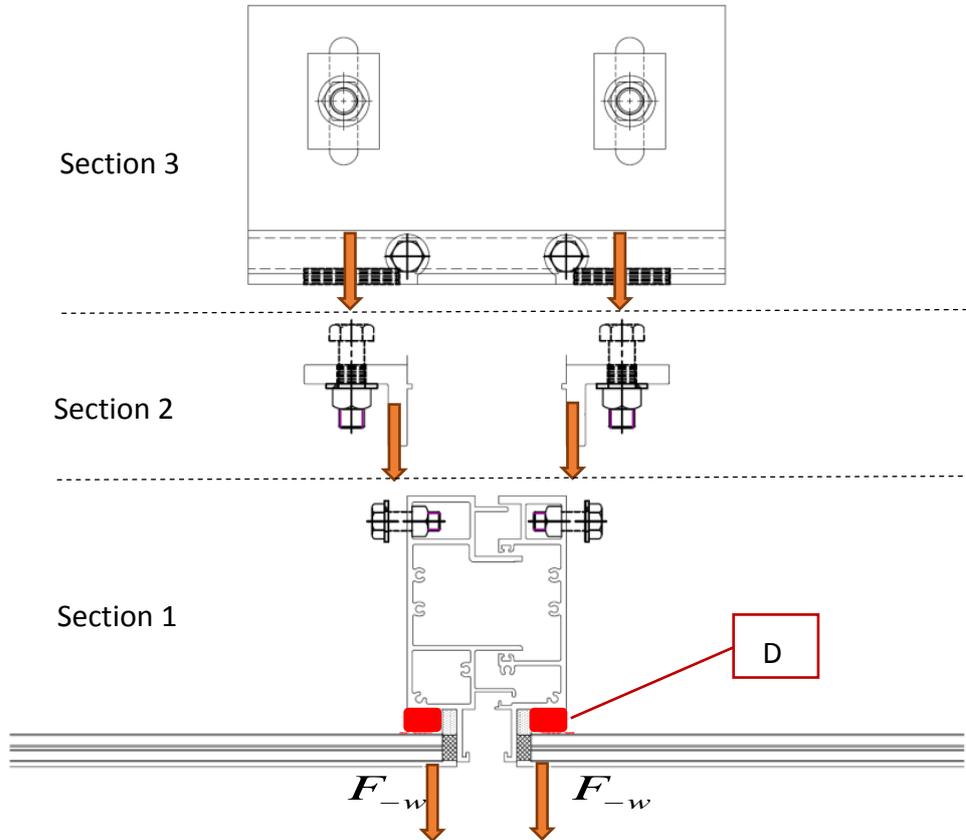


圖 6.21 第六章設計例之 D 處結構矽膠位置圖

(資料來源：本研究整理)

矽膠拉力檢核

參考本章第一節表 6-3，面材之最大設計負風壓為 $-553.3\text{kgf}/\text{m}^2$ ，因此

$$\text{矽膠拉力 } F_{ten} \text{ 為 } \frac{553.3\text{kgf}/\text{m}^2 \times 3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2 \times (3.3\text{m} + 2\text{m})} = 344.5\text{kgf}/\text{m}$$

$$\text{容許拉力 } F_T = F_t \times b_t = 421.8\text{kgf}/\text{m}$$

矽膠拉力 $F_{ten} < \text{容許拉力 } F_T$ ，檢核通過。

第四節 面材設計檢核

面材④-⑤-⑥-⑦假設採用高 3.3m 寬 2m 厚度為 16mm 單層完全回火玻璃 (fully tempered glass)，根據表 6-3 讀取最大負風壓為 $-553.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ ，參照 ASTM E1300(2016)做面材檢核。

面材變形檢核

本例為四邊膠和固定之玻璃且厚度為 16mm，風壓乘上面材面積的平方得到 $553.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times (3.3\text{m} \times 2\text{m})^2 = 236.2 \text{kNgn}^2$ ，長寬比 $AR = \frac{\text{長}}{\text{寬}} = \frac{3.3}{2} = 1.65$ ，依照圖

6.22 第六章設計例之玻璃強度及變形曲線圖(b)，面材變形約略為 27mm。

面材容許變形=35mm(根據金屬帷幕牆技術手冊)

面材變形 < 容許變形，檢核通過。

面材強度檢核

玻璃高 3.3m、寬 2m，四邊膠和固定且厚度為 16mm，對照圖 6.22(a)得未係數化的承壓強度(Nonfactored Load)2.8kPa。由於玻璃為完全回火玻璃，且台灣設計風速為 10 分鐘平均，遠大於圖 6.22(a)中所使用之 3 秒鐘平均，故參照表 6-5，採用長延時(Long Duration Load)係數 3.0，玻璃承壓強度為

$$2.8\text{kPa} \times 3 = 856.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

面材承壓 $553.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} < \text{容許承壓 } 856.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ ，檢核通過。

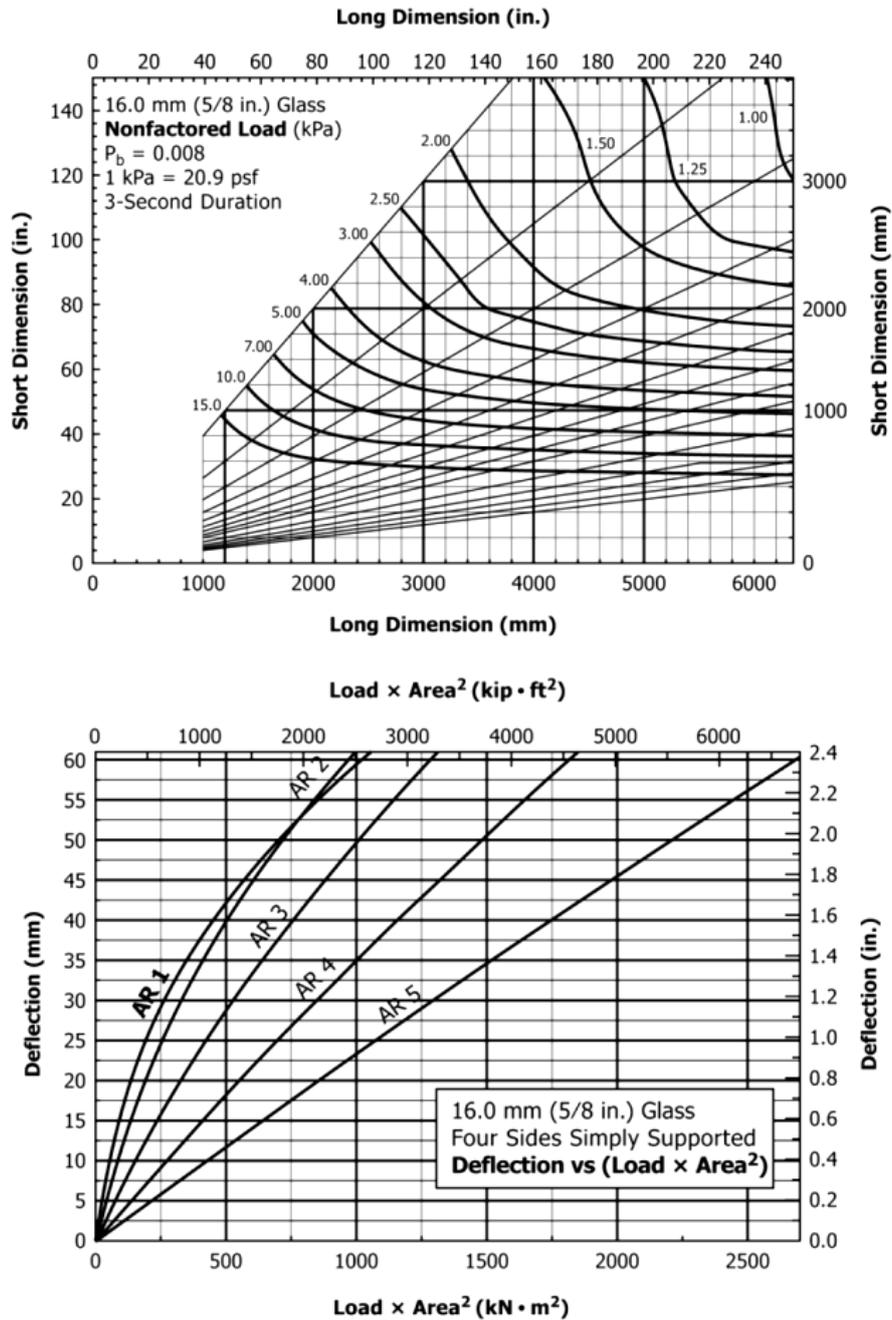


FIG. A1.11 (upper chart) Non-Factored Load Chart for 16.0 mm (5/8 in.) Glass with Four Sides Simply Supported (lower chart) Deflection Chart for 16.0 mm (5/8 in.) Glass with Four Sides Simply Supported

圖 6.22 第六章設計例之玻璃強度及變形曲線圖

(資料來源：擷取自 ASTM E1300，FIG. A1.10，2016)

表 6-5 玻璃種類係數表

TABLE 1 Glass Type Factors (GTF) for a Single Lite of Monolithic or Laminated Glass (LG)

Glass Type	GTF	
	Short Duration Load (3 s)	Long Duration Load (30 days)
AN	1.0	0.43
HS	2.0	1.3
FT	4.0	3.0

(資料來源：擷取自 ASTM E1300，TABLE 1，2016)

第七章 高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例

一辦公大樓平面尺寸為 $38m \times 36m$ ，樓高約 $112.2m$ ，女兒牆高度為 $1.2m$ ，位於台北市，假設建築物四面上風處為B地況，且無特殊地形。外牆使用直橫料式帷幕牆系統，假設整棟大樓皆採用高 $3.3m$ 、寬 $2m$ 之帷幕牆單元，如圖 7.1。

本範例針對此一超過 18 公尺建築物承受最大風壓之直橫料式帷幕牆構件，先決定面材、直料、橫料及繫件之設計風壓(力)，再依序檢核各構件之強度及變形。

第一節 帷幕牆各構件設計風壓

理論上可根據表面風壓之分佈情況，將整面帷幕牆分為若干區域設計帷幕牆構件；但為簡化設計，故本範例只分析設計AB牆面承受最大風壓之帷幕牆構件，其中AB牆面定義於表 7-1；根據圖 7.2，分別為AB牆面位於頂層角隅處面材(e-f-g-a)、繫件(h點)、橫料(c-d及e-f)以及頂部三層直料(a-e-c-b)。

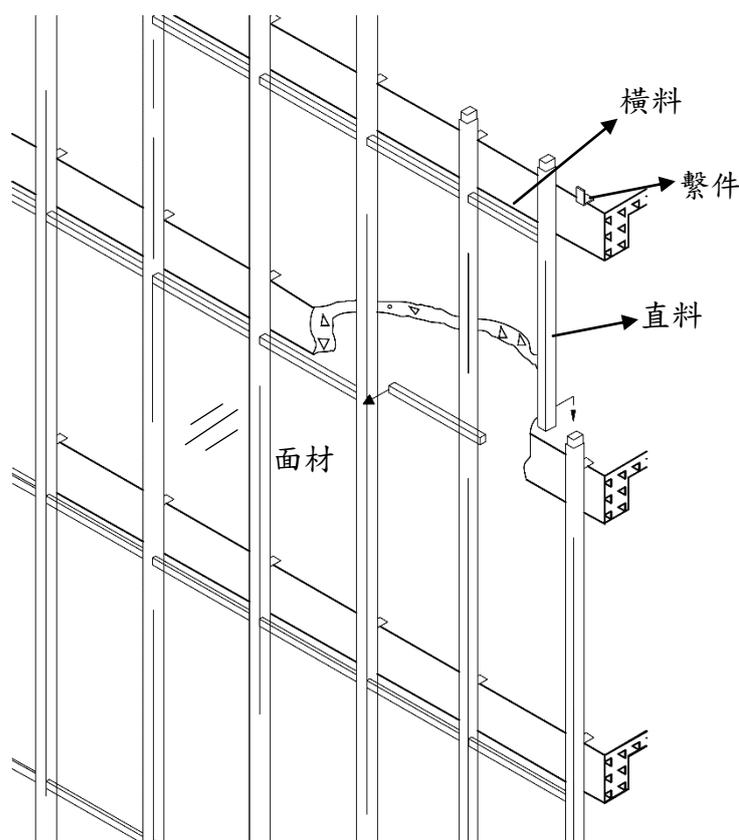


圖 7.1 第七章計算例之帷幕牆示意圖

(資料來源：本研究整理)

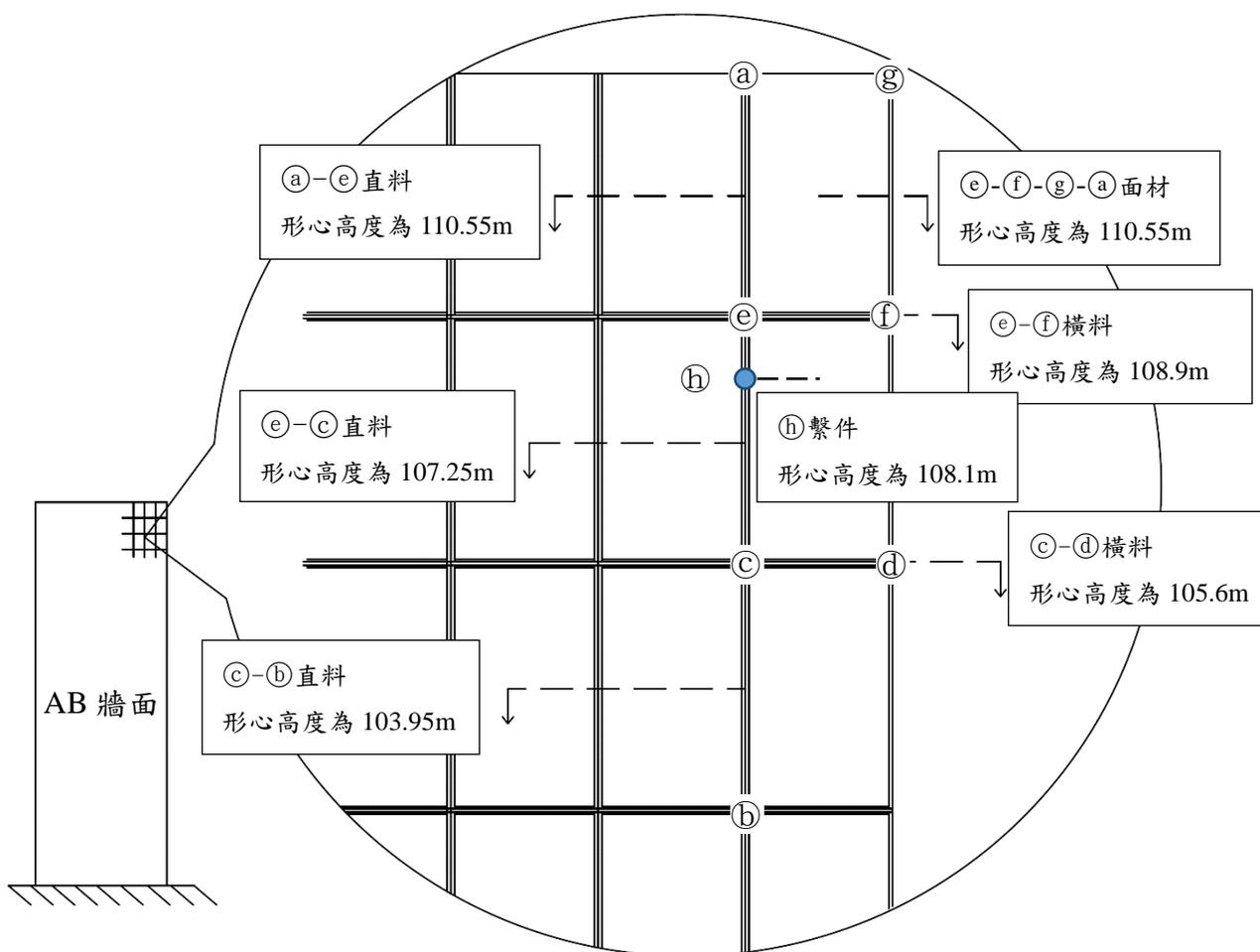


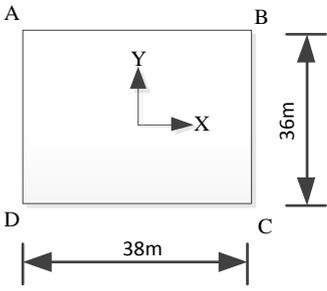
圖 7.2 第七章計算例之帷幕牆構件位置放大圖

(資料來源：本研究整理)

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

依據第四章第一節「高度超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計算」之流程，計算前述帷幕牆構件之設計風壓。根據圖 2.2，執行耐風設計時，先要蒐集建築物與工址風環境資料，本節擬定建築物之資料與工址風環境如下表 7-1 所示。

表 7-1 第七章設計例之建築物資料與工址風環境

建築物資料	尺寸	平面尺寸 $38m \times 36m$; 建築物高度 112.2m (不含屋頂突出物)	
	開口面積	在颱風區內，建築物的玻璃容易受周遭的植栽、招牌或屋頂所造成的隨風飄散物的撞擊而成為開口。本例假設各牆面之總面積有 1% 破損而造成開口，其餘無開口。	
	用途係數 I	根據規範 2.5 節， $I = 1.1$ 、 1.0 或 0.9 。本例取 $I = 1.0$ 。	
	局部構材及外部被覆物	考慮位於 AB 牆面上角隅處之 面材為 $2m$ 寬 \times $3.3m$ 高之玻璃，其形心高度為 $110.55m$ ，如圖 7.2 第七章計算例之帷幕牆構件位置放大圖 (e)-(f)-(g)-(a)) 直料長 $3.6m \times 3$ (橫跨三樓層)，其形心高度分別為 110.55 、 107.25 及 $103.95m$ ，如圖 7.2 (a)-(e)-(c)-(b)) 上橫料長 $2m$ ，其形心高度為 $112.2m$ ，如圖 7.2 (e)-(f)) 下橫料長 $2m$ ，其形心高度為 $108.9m$ ，如圖 7.2 (c)-(d)) 繫件，其形心高度為 $108.1m$ ，如圖 7.2 (h))	
工址風環境	基本設計風速 $V_{10}(C)$	根據規範 2.4 節，台北市的 $V_{10}(C) = 42.5m/s$ 。	
	地況	AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面上風側地況皆為地況 B。	
	地形	無特殊地形。	

(資料來源：本研究整理)

貳、各構件有效受風面積及外風壓係數之計算

針對圖 7.2 所考慮之直料、橫料、面材及繫件，於圖 7.3 中標示出相對應之承受風壓面積。面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之跨距長度為 $3.3m$ ，寬度為 $2m$ ，則承受風壓面

積為 $3.3 \times 2 = 6.6m^2$ 。由於有效寬度為 $\max(2m, 3.3m/3) = 2m$ ，故面材 ㉔-㉕-㉖-㉗ 之有效受風面積為 $3.3 \times 2 = 6.6m^2$ 。

直橫料式系統平剖圖為圖 7.4，直料鋁擠型為一體成形，部分左側玻璃所受風力由 ㉑ 傳遞至直料鋁擠型，部分右側玻璃所受風力由 ㉑ 傳遞至直料鋁擠型。其次，根據圖 7.3，依照龜殼式載重分配法，同時參考圖 7.2 直料之配置，直料左側(右側)承受風壓面積為 $(3.3+1.3) \times 1 \times 1/2 = 2.3m^2$ 。為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述梯形面積以等值長方形面積(跨距長度為 3.3m，寬度為 $\frac{2.3}{3.3}m$)取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{2.3}{3.3}m, 3.3m/3\right) = 1.1m$ ，故直料(㉘-㉙或㉚-㉛或㉜-㉝)左(右)側有效受風面積為 $3.3 \times 1.1 = 3.63m^2$ 。

橫料鋁擠型亦為一體成形，部分上側玻璃所受風力傳遞至橫料鋁擠型，部分下側玻璃所受風力傳遞至橫料鋁擠型。其次，根據圖 7.3，依照龜殼式載重分配法，橫料上(下)側承受風壓面積為 $2 \times 1 \times 1/2 = 1m^2$ ，為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述三角形面積以等值長方形(跨距長度為 2m，寬度為 $\frac{1}{2}m$)取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{1}{2}m, 2m/3\right) = 2/3m$ ，故橫料(㉞-㉟或㊱-㊲)上(下)側有效受風面積為 $2 \times 2/3 = 1.33m^2$ 。

針對圖 7.2 所考慮之繫件，根據圖 7.3，其左(右)側之承受風壓面積為面材承受風壓面積之一半；引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，繫件左(右)側有效受風面積不得大於其承受風壓面積，故繫件左(右)側有效受風面積為其承受風壓面積 $3.3 \times 2 \times \frac{1}{2} = 3.3m^2$ 。

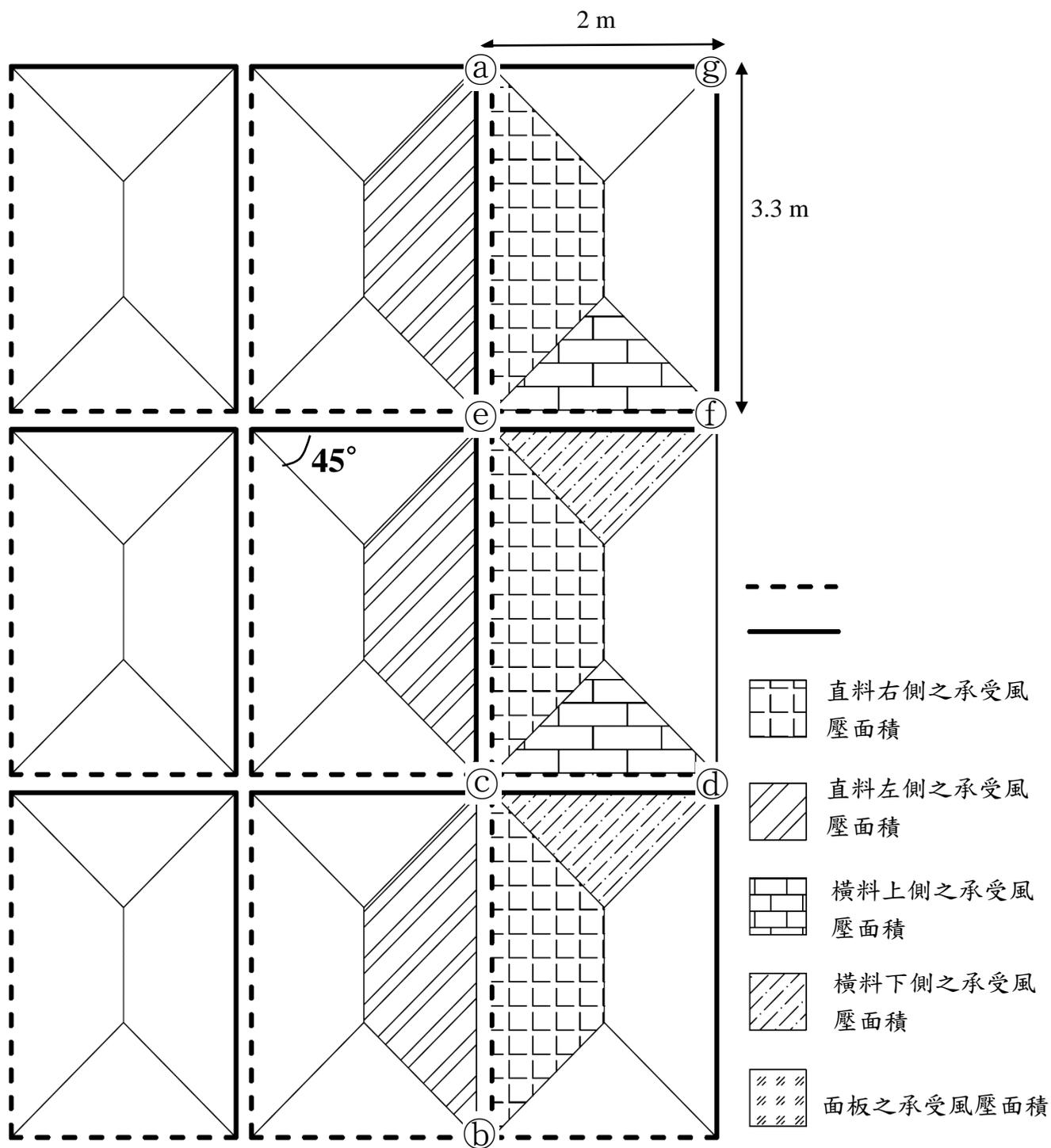


圖 7.3 第七章計算例之面材、直料及橫料之承受風壓面積
(資料來源：本研究整理)

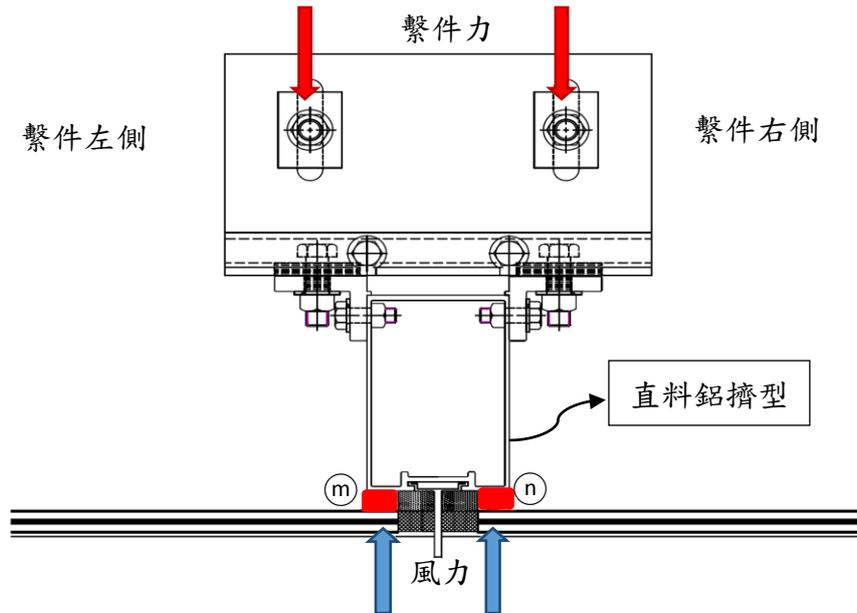


圖 7.4 第七章計算例之帷幕牆直料及繫件平剖面

(資料來源：本研究整理)

「耐風規範」中外風壓區域之寬度 $a = \max(0.1 \times \min(B, L), 0.9m) = 3.6m$ ，其中 B 及 L 分別為垂直於風向之建築物水平尺寸及平行於風向之建築物水平尺寸。根據附錄二「耐風規範」圖 3.2，由於所考慮之面材、直料、橫料及繫件距建築邊緣之水平距離皆小於 a ，故皆位於外牆之⑤區。由於面材的有效受風面積為 $6.6m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.6 和 -3.1。由於每一層直料左(右)側的有效受風面為 $3.63m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.8 和 -3.4。由於上(下)橫料上(下)側的有效受風面為 $1.33m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.9 和 -3.8。由於繫件左(右)側的有效受風面積為 $3.3m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.8 和 -3.5。

參、設計風壓之計算

使用「耐風規範」第三章，所考慮可能之來風方向下包括來風垂直 AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面，計算各構件所承受之設計風壓。

來風垂直 AB 牆面

【步驟1】列出與該風向相關之設計參數

當風垂直吹向 AB 牆面時，根據表 4-1，垂直於風向之建築物水平尺寸 $B = 38m$ ，與平行於風向之建築物水平尺寸 $L = 36m$ 。根據「耐風規範」表 2.2，地況 B 相關參數 $\alpha = 0.25$ ； $z_g = 400m$ 。

【步驟2】判斷建築物封閉性及決定內風壓係數

根據建築物資料可知外牆面開口率皆為 1%。根據「耐風規範」1.3 節，建築物不屬於開放式建築物。根據建築物資料，計算迎風向外牆面之總面積 $A_g = 4263.6m^2$ 、迎風向外牆面之總開口面積 $A_0 = 42.64m^2$ 、非迎風向之各牆面(含屋頂)總面積 $A_{gi} = 12790m^2$ 與非迎風向之各牆面(含屋頂)總開口面積 $A_{oi} = 127.92m^2$ 。因無法同滿足以下各條件(1) $A_0 > 1.10A_{oi}$ ，(2) $A_0 > 0.37m^2$ 或 $0.01A_g$ (二者取最小)，(3) $\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.20$ ，根據「耐風規範」1.3 節，建築物屬於封閉式建築物。

由於建築物屬於封閉式建築物，參考「耐風規範」表 2.17，建築物的內風壓係數為 ± 0.375 。

【步驟3】 計算風速壓地況係數 $K(z)$ 與地形係數 K_{zt}

根據「耐風規範」式(2.7)，

$$\begin{aligned} K(z) &= 2.774 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} ; z > 5m \\ &= 2.774 \left(\frac{5}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} ; z \leq 5m \end{aligned}$$

根據「耐風規範」式(2.8)，計算 K_{zt} ：因工址附近無特殊地形， $K_{zt} = 1$ 。

【步驟4】 計算高度 z 處之風速壓

高度 z 處之風速壓

因此，當風垂直吹向 AB 牆面時，不同高度之風速壓為

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2 ; z > 5m$$

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2 ; z \leq 5m$$

【步驟5】 分別計算面材、直料、橫料及繫件之設計風壓

風垂直吹向 AB 牆面時，AB 牆為迎風面牆，所考慮面材、直料、橫料及繫件均承受正風壓。封閉式或部分封閉式建築物高度超過 18 公尺者，其局部構

材及外部被覆物之設計風壓根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(z)$ 。

面材形心離地高度 $z = 110.55m$

$$q(z = 110.55m) = 300.63 \left(\frac{110.55}{400} \right)^{0.5} = 158.05 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

而在建築高 h 處

$$q(h = 112.2m) = 300.63 \left(\frac{112.2}{400} \right)^{0.5} = 159.22 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

迎風面牆的面材(GC_p)取正值為 1.6。根據「耐風規範」式(3.2)，該面材設計正風壓為 $p(z = 110.55 m) = 158.05 \times 1.6 - 159.22 \times (\pm 0.375) = 274.83 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

仿照上述計算面材設計風壓之流程，可計算並彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側的設計正風壓及繫件單側的設計正風壓，列於表 7-2。

來風垂直 BC 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 BC 牆面時，本計算例考慮帷幕牆所在之 AB 牆為側牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓。其值根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(h)$ 。

側牆的面材(GC_p)要取負值 -3.1，該面材設計負風壓為 $p(z = 110.55m) = 159.22 \times (-3.1) - 159.22 \times (\pm 0.375) = -553.30 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件的設計負風壓，將數值分析結果列於表 7-2。

來風垂直 CD 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 CD 牆面時，AB 牆為背風面牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓。其值根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(h)$ 。背風面牆的(GC_p)

要取負值-3.1，該面材設計負風壓為 $p = -553.30 \text{ kgf/m}^2$ 。

彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件的設計負風壓，將數值分析結果列於表 7-2。

風垂直 DA 牆面

根據建築物資料與工址風環境可知，建築物以 Y 軸為對稱軸，BC 牆面與 DA 牆面開口面積相同，BC 牆面與 DA 牆面上風側地況相同，以及建築物周邊地形相同。因此，當風垂直吹向 DA 牆面時，其結果與當風垂直吹向 BC 牆面的結果相同。

表 7-2 第七章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m²)

	來風垂直 AB 牆面	來風垂直 BC 牆面	來風垂直 CD 牆面	來風垂直 DA 牆面
面材Ⓔ-Ⓕ-Ⓖ-Ⓐ	312.58	-553.3	-553.3	-553.3
橫料Ⓔ-Ⓕ上側	357.75	-664.75	-664.75	-664.75
橫料Ⓔ-Ⓕ下側	357.75	-664.75	-664.75	-664.75
橫料Ⓒ-Ⓓ上側	353.2	-664.75	-664.75	-664.75
橫料Ⓒ-Ⓓ下側	353.2	-664.75	-664.75	-664.75
直料Ⓐ-Ⓔ左側	344.19	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓐ-Ⓔ右側	344.19	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓔ-Ⓒ左側	339.91	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓔ-Ⓒ右側	339.91	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓒ-Ⓓ左側	335.57	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓒ-Ⓓ右側	335.57	-601.06	-601.06	-601.06
繫件Ⓕ單側	344.19	-616.98	-616.98	-616.98

(資料來源：本研究整理)

肆、最大設計正風壓與負風壓之選取

根據表 7-2 中面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件單側在各來風向正負風壓值中，分別選取其最大設計正風壓和負風壓，列於表 7-3。

於表 7-3 中，每一層直料左(右)側單位長度正(負)風力為每一層直料左(右)側設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以每一層直料高；上(下)橫料上(下)側之單位長度正(負)風力為上(下)橫料上(下)側設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以橫料寬。

通常鋁製結構以 ASD 做設計，因此載重組合中，風力載重前所乘係數為 1。

表 7-3 第七章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m²)

	承受風壓面積(m ²)	最大正風壓(kgf/m ²)	最大負風壓(kgf/m ²)	單位長度正風力(kgf/m)	單位長度負風力(kgf/m)
面材⑤-⑥-⑦-⑧-⑨	6.6	312.58	-553.3		
橫料⑤-⑥上側	1	357.75	-664.75	178.88	-332.38
橫料⑤-⑥下側	1	357.75	-664.75	178.88	-332.38
橫料③-④上側	1	353.20	-664.75	176.60	-332.38
橫料③-④下側	1	353.20	-664.75	176.60	-332.38
直料①-②左側	2.3	344.19	-601.06	239.89	-418.92
直料①-②右側	2.3	344.19	-601.06	239.89	-418.92
直料⑤-⑥左側	2.3	339.91	-601.06	236.91	-418.92
直料⑤-⑥右側	2.3	339.91	-601.06	236.91	-418.92
直料③-④左側	2.3	335.57	-601.06	233.88	-418.92
直料③-④右側	2.3	335.57	-601.06	233.88	-418.92
繫件⑩單側	3.3	344.19	-616.98		

(資料來源：本研究整理)

第二節 直料與橫料設計檢核

帷幕牆系統剖面如圖 7.5，直料長度為 3.3 公尺；橫料長度為 2 公尺；直料相互連接處至繫件與直料相接處為 0.8 公尺，依循第五章邊界條件設置原則，繫件與直料相接處為鉸支承(Hinge)，直料相互連接處為銷釘(Pin)。直料及橫料鋁擠型採用 6063-T5，其楊氏係數(E)為 $7.101 \times 10^9 \text{ kgf/m}^2$ ，柏松比(ν)為 0.33，降伏強度為 $F_{y,a} = \min(F_{cy}, F_{ty}) = \min(11.25, 11.25) = 11.25 \text{ kgf/mm}^2$ ，極限強度($F_{u,a}$)為 $22 \text{ ksi} = 15.47 \text{ kgf/mm}^2$ ；假設採用之直橫料形狀與斷面性質如表 7-4 所示。

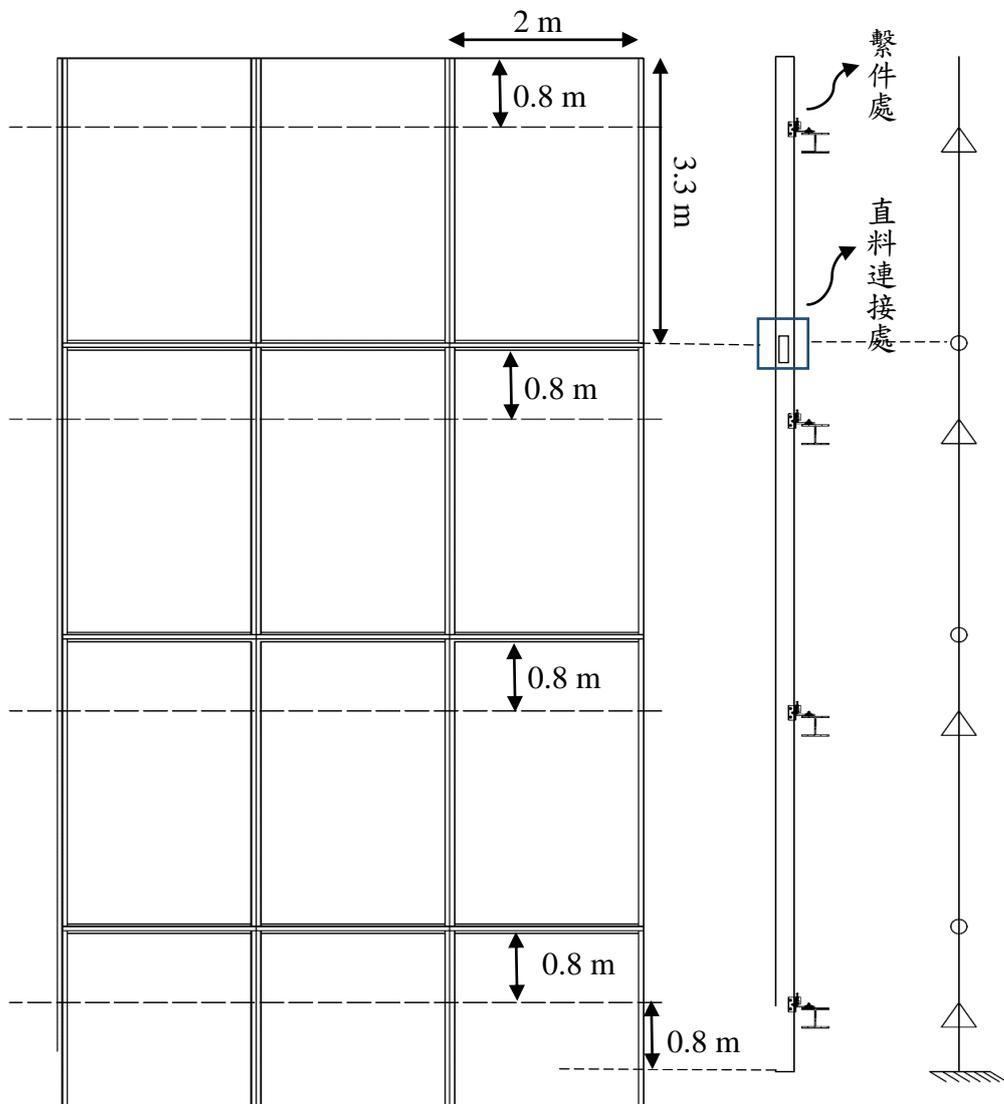


圖 7.5 第七章計算例之帷幕牆系統剖面圖

(資料來源：本研究整理)

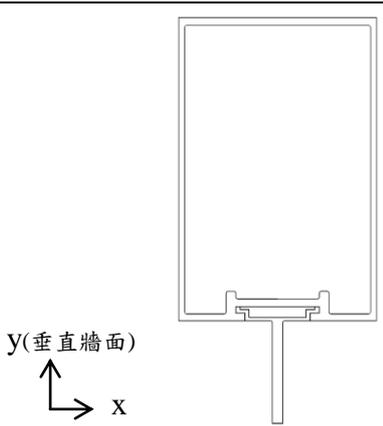
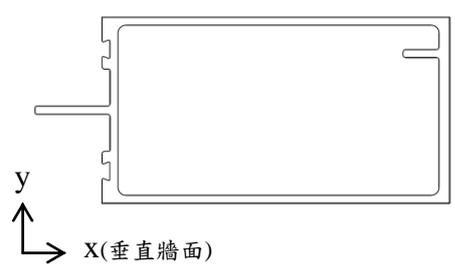
斷面模數 $Sy2 = 53cm^3$ 斷面模數 $Sy1 = 53cm^3$ 斷面模數 $Sx2 = 122cm^3$ 斷面模數 $Sx1 = 93cm^3$ 慣性矩 $Iy = 213cm^4$ 慣性矩 $Ix = 1174cm^4$ 斷面積 $A = 2224 mm^2$	
橫料鋁擠型鉛直剖面圖	
斷面模數 $Sy2 = 53 cm^3$ 斷面模數 $Sy1 = 40 cm^3$ 斷面模數 $Sx2 = 31 cm^3$ 斷面模數 $Sx1 = 30 cm^3$ 慣性矩 $Iy = 355 cm^4$ 慣性矩 $Ix = 107 cm^4$ 斷面積 $A = 1380 mm^2$	

表 7-4 第七章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質

(資料來源：本研究整理)

壹、直料分析及檢核

直料因由套筒相連接，故套筒必須能承受結構物的層間變位，以避免帷幕牆系統破壞，本計算例不考慮套筒變形之情況。

三層直料整體分析

直料只考慮風力對其之影響，而自重的影響甚小故在此忽略，採用表 7-3 直料(Ⓐ-Ⓒ)和(Ⓒ-Ⓒ)和(Ⓒ-Ⓑ)左(右)側單位長度最大設計負風力

$F_w = -418.92 \text{ kgf/m}$ 設計帷幕牆直料。根據結構圖 4.6。以 ANSYS 軟體進行三層

直料受單位長度最大設計負風力之分析，其中以強軸(I_x)抵抗風力。圖 7.7 為剪力、彎矩及變形圖，其中最大變形量為 6.552mm，最大彎矩(M)為

$5.1735 \times 10^6 \text{ Ngnm}$ (527370 kgf gnm)。

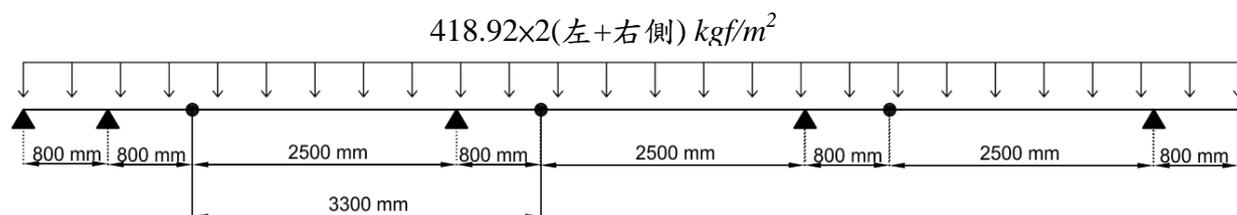


圖 7.6 第七章計算例之直料結構圖

(資料來源：本研究整理)

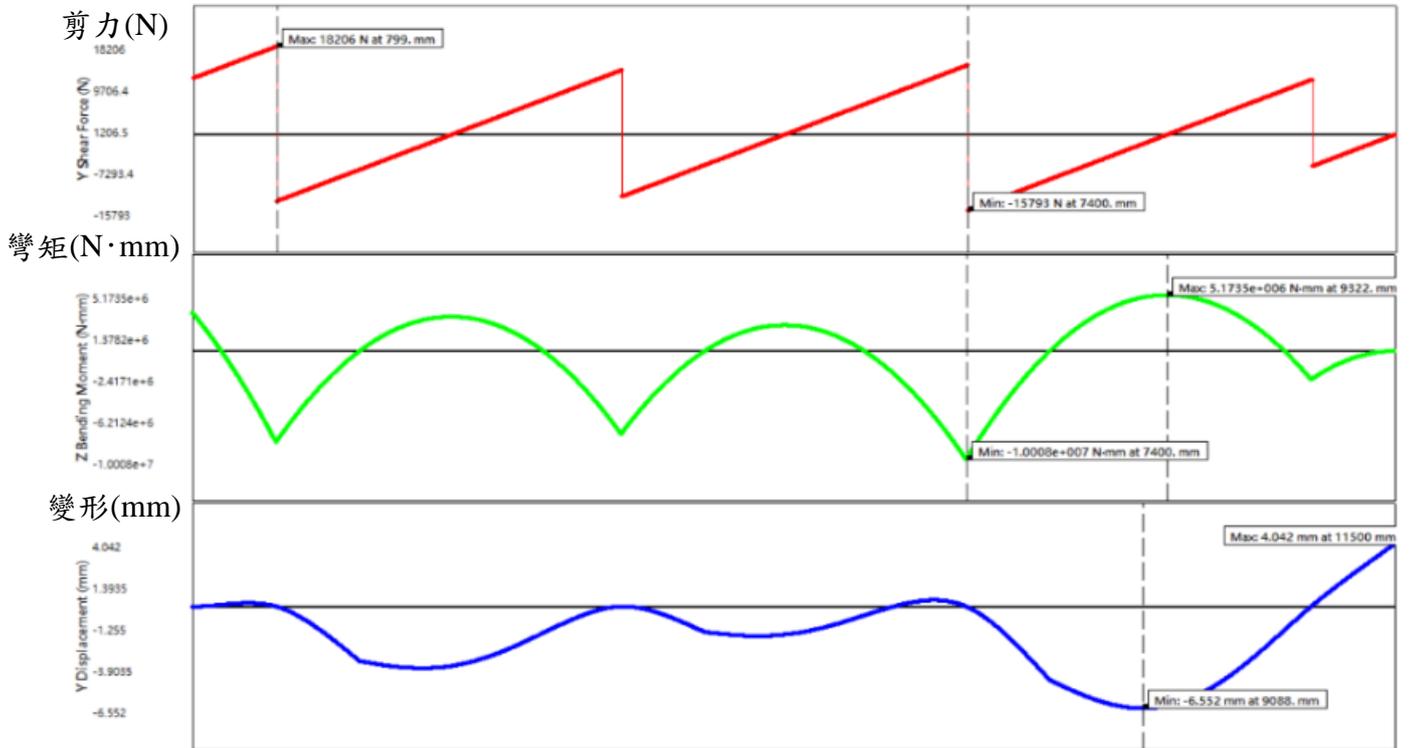


圖 7.7 第七章計算例之剪力彎矩及變形圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

最大變形量 $\delta_{\max} = 6.552 \text{ mm}$

容許變形量 $\delta_a = \frac{L_c}{175} = 18.86 \text{ mm}$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

直料應力檢核

應力 $f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{527370}{93000} = 5.67 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

應力 $f_{bx} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

參照 ADM(AA,2005)，採用斷面為一閉合斷面形狀之側向扭轉挫屈計算公式，其基本參數如下：Y 軸慣性矩 $I_y = 213 \text{ cm}^4$ ；斷面模數 $S_c = 93$ ；斷面扭轉常數為斷面所有肢材的慣性矩總和 $J = \sum \frac{\text{寬} \times \text{厚}^3}{3} = 1.049 \text{ cm}^4$ ；無側撐長度 $L_b = 330 \text{ cm}$ 。

藉由上述參數，參考 AA (2005)Table3.4-3 容許應力公式表，當 $\left(\frac{L_b S_c}{0.5 \sqrt{I_y J}} \right)$ 為 4106，則容許應力 $F_{b0} = \frac{\pi^2 E C_b}{2.56 n_y \left(\frac{L_b S_c}{0.5 C_b \sqrt{I_y J}} \right)} = 2589 \text{ MPa}$ 。其中 $n_y = 1.65$ 、 $C_b = 1$ 。

計算容許撓曲應力為 $F_{LTB} = \min(F_{b0}, \frac{F_{y,a}}{1.65}) = 66.67 \text{ MPa} = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

應力 $f_{bx} <$ 容許撓曲應力 F_{LTB} ，檢核通過。

貳、橫料分析及檢核

橫料分析中需考慮風力及靜載重的影響。其中風力採用表 7-3 橫料上(下)側 (e)-(f)和(c)-(d)單位長度最大設計負風力 $F_w = -332.38 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$ ；靜載重因鋁擠型自重相對較小，故只考慮玻璃載重 $F_g = 3.3 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{單位面積重} 15 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 99 \text{ kgf}$ 。

橫料整體分析

橫料分析自由體圖可視為一簡支梁，將橫料材料特性及斷面代入結構力學公式，可分析求得變形量及應力，圖 7.8(a)為風力均勻作用於橫料之結構圖，圖 7.8(b)為玻璃載重作用於橫料之結構圖，其中根據工程實務，玻璃載重集中於墊塊位置，即距兩端支撐各四分之一跨距處。

$$\text{風力造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{5(2F_w)L_h^4}{384EI_x} = \frac{5 \times 0.33238 \times 2 \times 2000^4}{384 \times 7101 \times 355 \times 10^4} = 5.49 \text{ mm}$$

$$\text{自重造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{11 \frac{F_g}{2} L_h^3}{384EI_y} = \frac{11 \times 99 \times 2000^3}{768 \times 7101 \times 107 \times 10^4} = 1.63 \text{ mm}$$

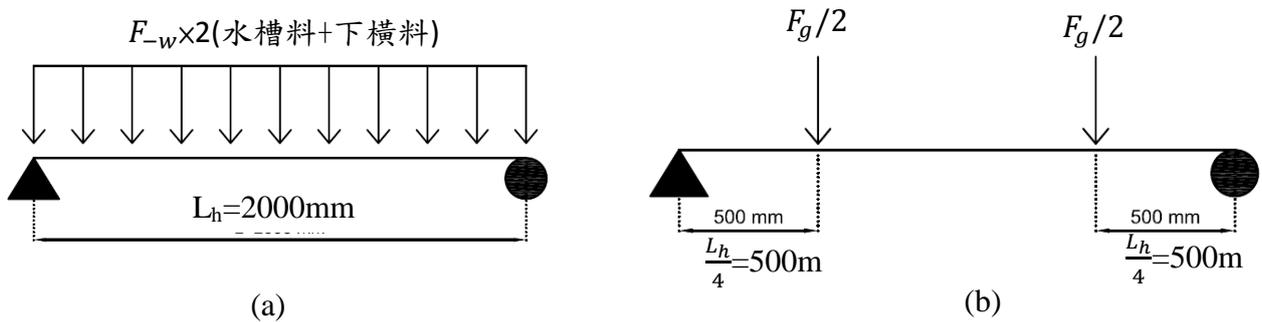


圖 7.8 第七章計算例之(a)橫料風力作用結構圖(b)橫料玻璃載重作用結構圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

風力：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 5.49 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = \frac{L_h}{175} = \frac{2000}{175} = 11.429 \text{ mm}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過

玻璃載重：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 1.63 \text{ mm}$$

容許變形 $\delta_a = 3.2 \text{ mm}$ (工程界實務假設)

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過

橫料應力檢核

風力：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_w L_h^2}{8} = \frac{0.33238 \times 2000^2}{8} = 166190 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{by} = \frac{M_{\max}}{S_{y1}} = \frac{166190}{40000} = 4.15 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{by} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過

玻璃載重：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_g L_h}{8} = \frac{99 \times 2000}{8} = 24750 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{24750}{30000} = 0.83 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) 3.4-3

$$f_b = \frac{1.3F_{y,a}}{1.65} = 8.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過

第三節 繫件設計檢核

帷幕牆繫件剖面圖及平面圖如圖 7.9 及圖 7.10，繫件包括 L 型鋁板、樓板上鋁板及相關之螺栓與母材。連接樓板及樓板上鋁板之鋸齒螺栓有兩顆，其中一顆位於 A 處，其規格假設採用 A325 M16 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 8mm 之板。直料與 L 型鋁板以四顆螺栓連結，其中位於 B 處之螺栓通常遭受較大應力，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。L 型鋁板與樓板上鋁板間以兩顆鋸齒螺栓連接，其中一顆位於 C 處，其規格假設採用 A325 M16 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。D 為帶寬 30mm，強度為 20psi 之結構矽膠。

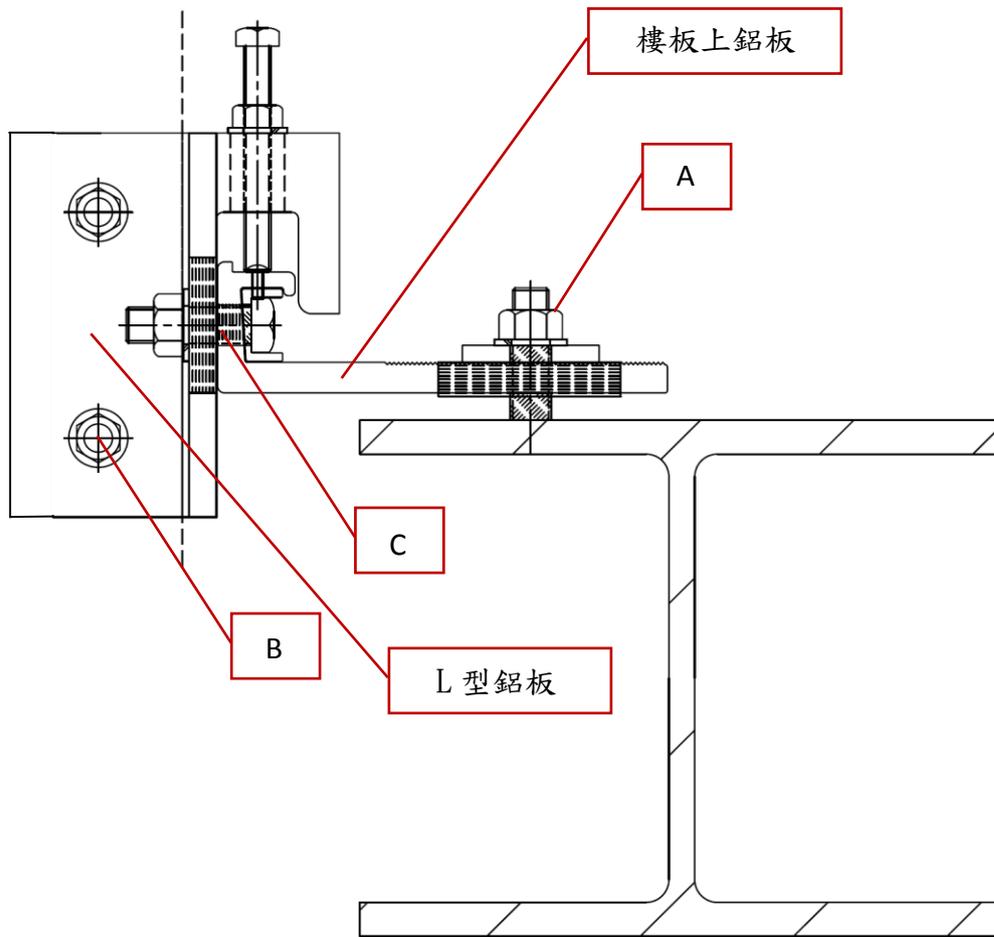


圖 7.9 第七章計算例之帷幕繫件剖面圖

(資料來源：本研究整理)

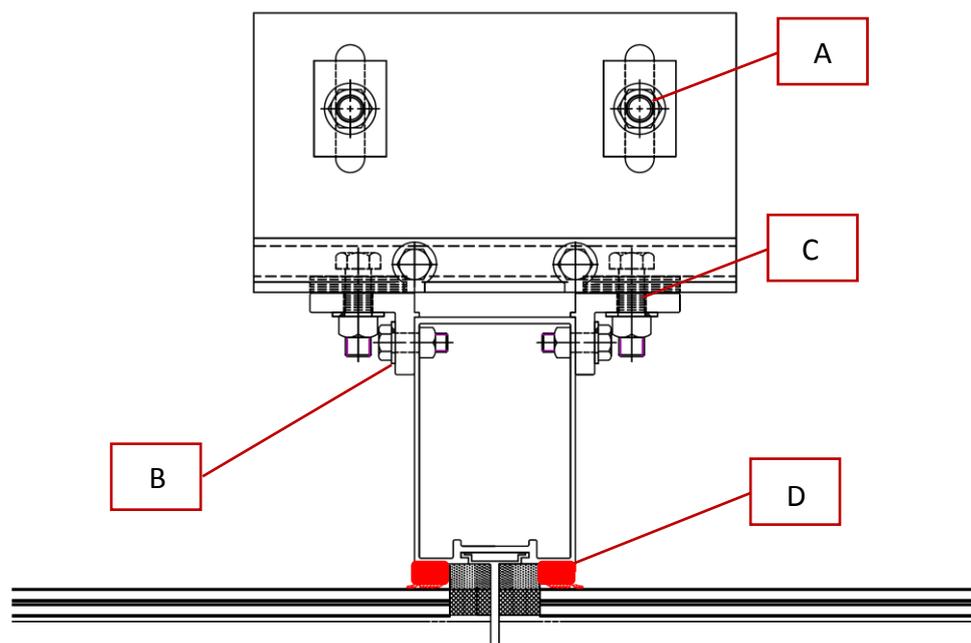


圖 7.10 第七章計算例之帷幕繫件平面圖
(資料來源：本研究整理)

壹、螺栓檢核公式

根據 AAMA TIR-A9，螺栓檢核公式如下：

螺栓容許剪力 F_V

$$F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_r 為螺栓抗剪斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

母材容許承壓 F_B

$$F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s$$

其中 d_b 為螺栓直徑， t_p 為母材厚度， F_{up} 為母材承壓應力， n_s 為螺栓個數

螺栓容許張力 F_T

$$F_T = A_s \times \min\left(0.4 F_{u,b}, 0.75 F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_s 為螺栓抗拉斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

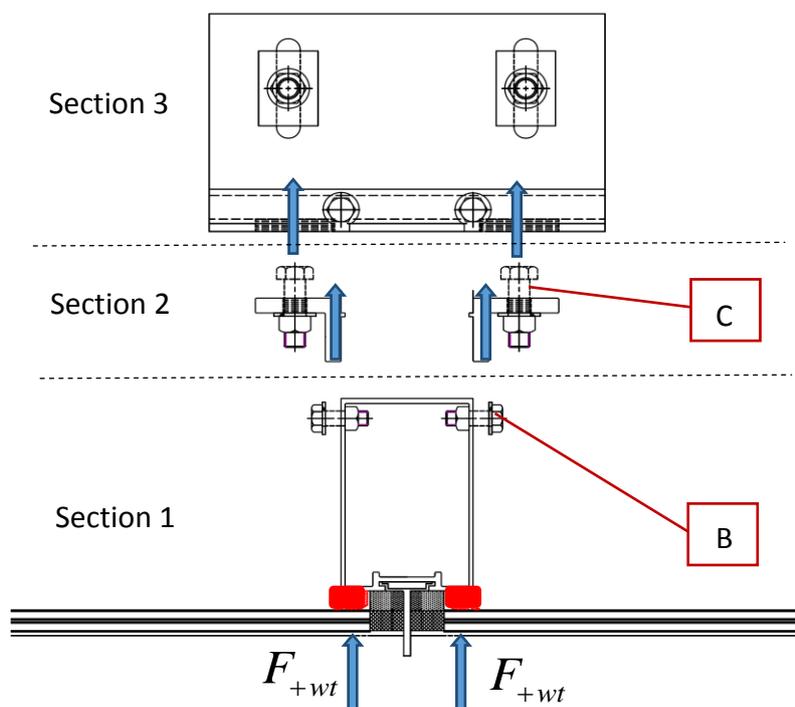
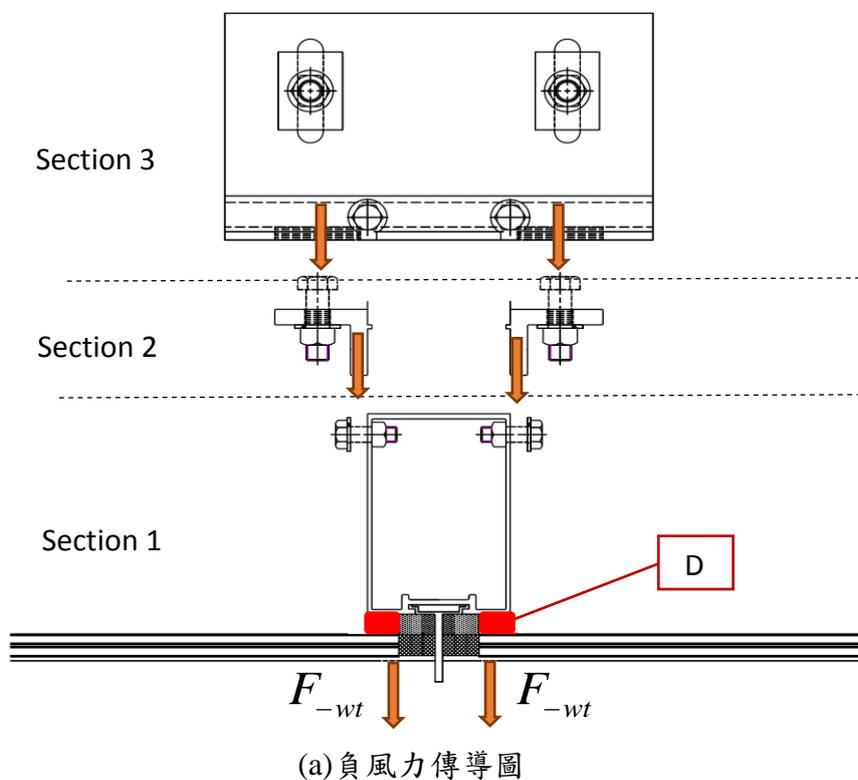
螺栓抗拉抗剪聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T}\right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)}\right)^2 < 1$$

其中 F_{ten} 為螺栓拉力， F_{shear} 為螺栓剪力

貳、繫件設計載重之決定

繫件設計載重可由兩種方法決定，分別為以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積與直料與橫料之設計風壓轉移至繫件。圖 7.11 標示繫件⑧單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，並繪製出正(負)風力傳導路徑。



(b)正風力傳導圖

圖 7.11 第七章計算例之力傳導平面圖

(資料來源：本研究整理)

繫件設計風力

若以耐風規範中外牆扣件計算繫件有效受風面積之方法計算，繫件單側有效受風面積如圖 7.12 斜線區域。

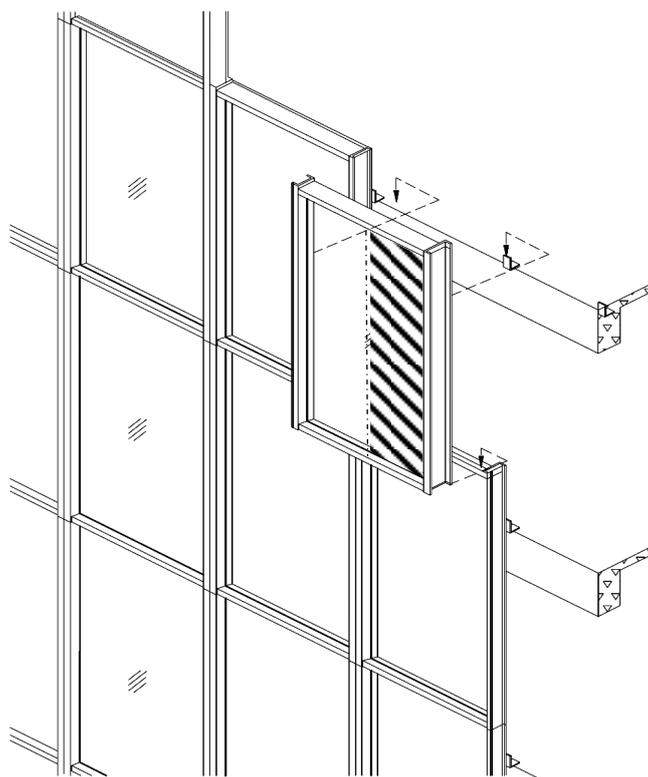


圖 7.12 第七章計算例之繫件有效受風面積

(資料來源：本研究整理)

繫件(h)單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，為表 7-3 中繫件(h)之最大正(負)風壓乘上面材一半的面積

設計正風力 F_{+wt}

$$F_{+wt} = 344.19 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \times \frac{3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2} = 1135.8\text{kgf}$$

設計負風力 F_{-wt}

$$F_{-wt} = -616.98 \text{ kgf/m} \times \frac{3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2} = -2036 \text{ kgf}$$

設計靜載重 F_d

此帷幕牆單元採用一組直橫料以及全玻璃面板，其單位重約略為 45 kgf/m^2 ，

而繫件單側所承受之靜載重 F_d 為

$$F_d = \frac{(45 \text{ kgf/m}^2 \times 3.3\text{m} \times 2\text{m})}{2} = 148.5 \text{ kgf}$$

本計算例以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積之方法決定，故後續計算採用之繫件單側設計正風力 F_{+wt} 為 1135.8 kgf ，繫件單側設計正風力 F_{-wt} 為 -2036 kgf ，繫件單側靜載重 F_d 為 148.5 kgf 。

參、A 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M16 螺栓

直徑 $d_b = 16 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 198 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 133.6 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.84 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.72 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 8 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

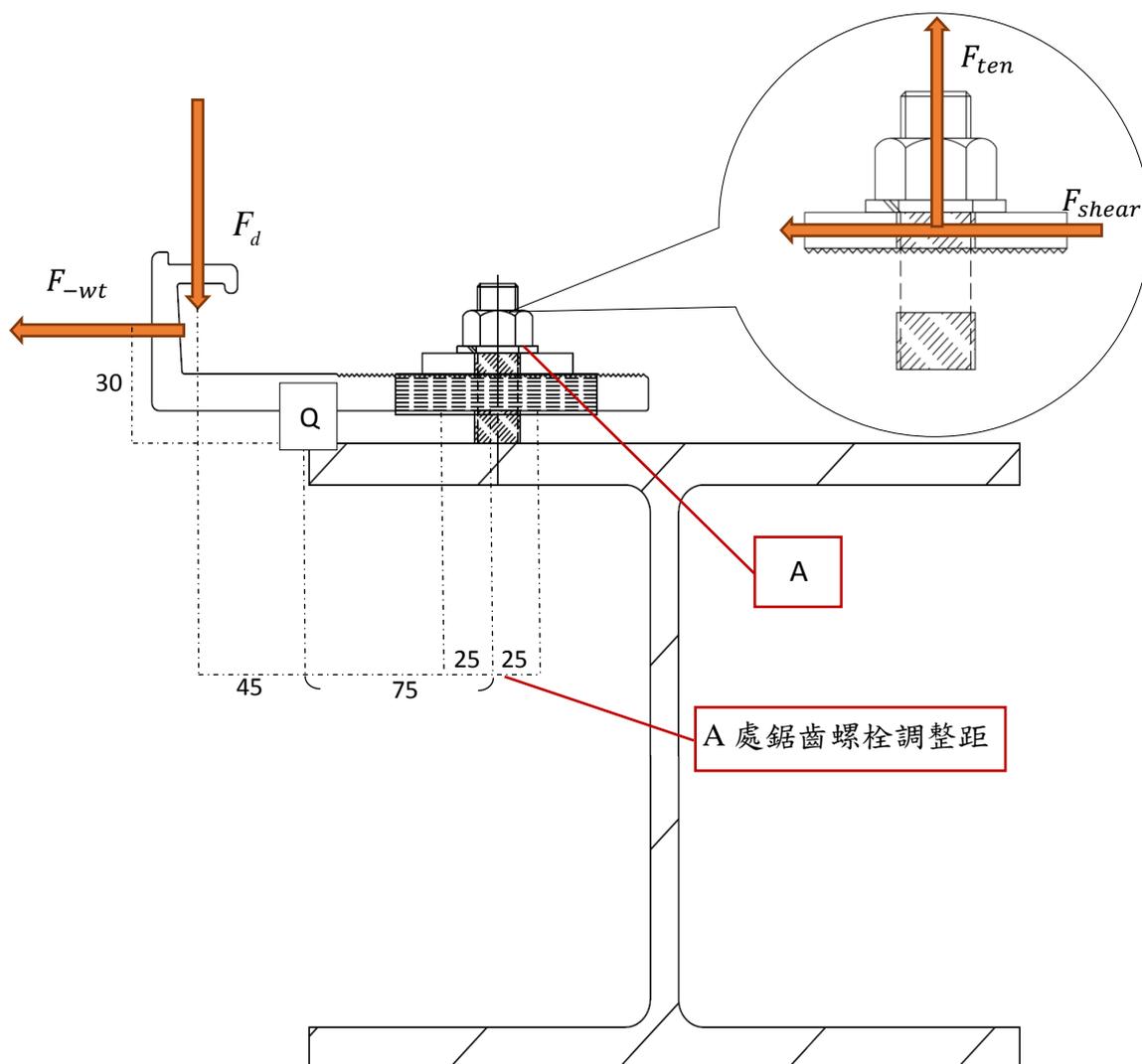


圖 7.13 第七章計算例之 A 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

參考圖 7.13，以 Q 點為力矩平衡支點，且考慮鋸齒螺栓可能移動範圍後產生的最大值

$$\text{抵抗負風壓螺栓拉力 } F_{ten} = \frac{F_d \times 45\text{mm} + |F_{-wt}| \times 30\text{mm}}{0.85(75 - 25)\text{mm}} = 1594.5\text{kgf}$$

同理，

$$\text{抵抗正風壓螺栓壓力 } F_{ten} = \frac{|F_{+wt}| \times 30\text{mm} - F_d \times 45\text{mm}}{0.85(75 - 25)\text{mm}} = 644.5\text{kgf}$$

故螺栓拉力 F_{ten} 為 1594.5kgf

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min \left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b} \right) \times n_s = 6680\text{kgf}$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過。

螺栓剪力檢核

$$\text{螺栓剪力 } F_{shear} = \max(|F_{+wt}|, |F_{-wt}|) = 2036\text{kgf}$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min \left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b} \right) \times n_s = 2603\text{kgf}$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 3420\text{kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

螺栓聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T} \right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)} \right)^2 = 0.65 < 1 \quad , \text{檢核通過。}$$

肆、樓板上鋁板之檢核

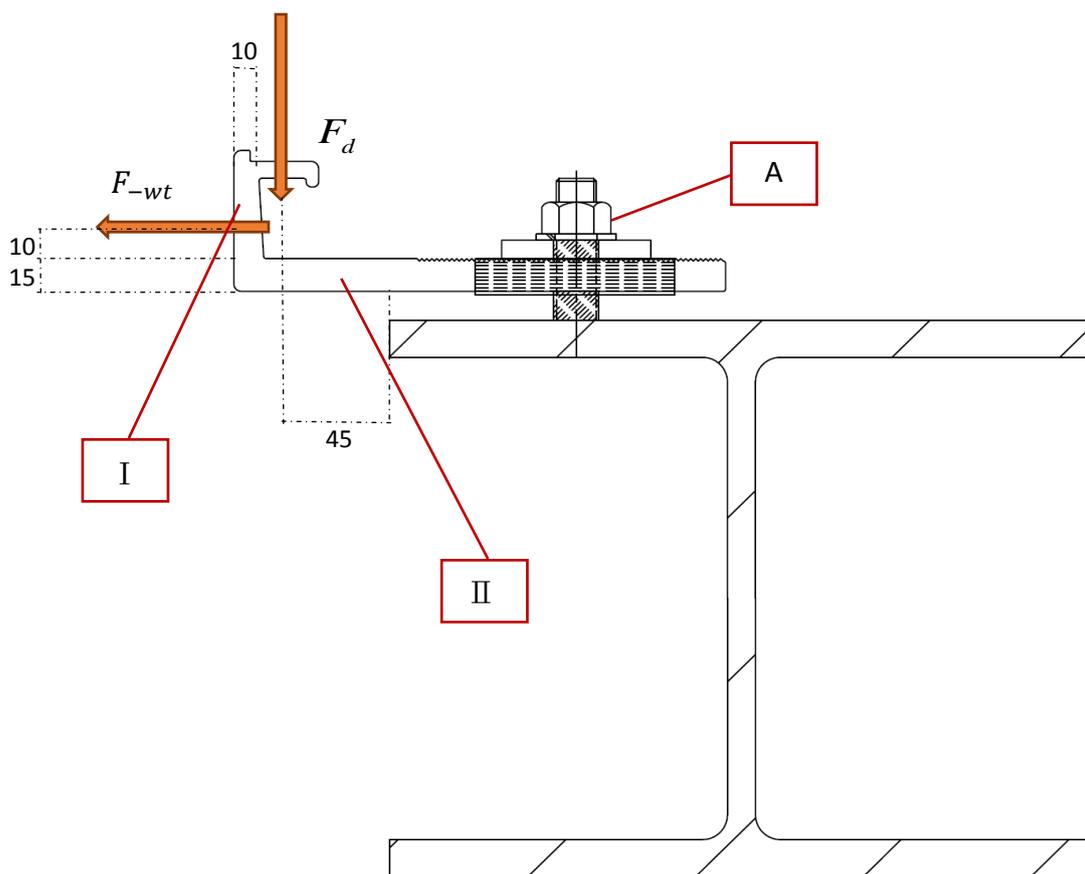


圖 7.14 第七章計算例之樓板上鋁板之受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板 I 段彎曲應力檢核

由於鋁板所受之負風力包括左右兩側，且力偏心距 $e = 10\text{mm}$ ，形成之偏心彎矩 M_{bl}

$$M_{bl} = 2F_{-wt} \times e = 40720\text{kgf}\cdot\text{gmm}$$

板寬 $b = 250\text{mm}$ ，板厚 $t = 10\text{mm}$ ，偏心彎矩 M_{bl} 對 I 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bl}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 9.77\text{kgf}/\text{mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6\text{kgf}/\text{mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38\text{kgf}/\text{mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

鋁板Ⅱ段彎曲應力檢核

由負風力 $2F_{-wt}$ 與其力偏心距 $e_w = (10 + \frac{15}{2})mm$ ，和靜載重 $2F_d$ 與在鋸齒螺栓

移動後其最大力偏心距 $e_d = (45 + 25)mm$ 形成之偏心彎矩 M_{bII}

$$M_{bII} = 2F_{-wt} \times e_w + 2F_d \times e_d = 92051 \text{kgf} \cdot \text{gmm}$$

板寬 $b = 250mm$ ，板厚 $t = 15mm$ ，偏心彎矩 M_{bII} 對Ⅱ段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bII}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 9.81 \text{kgf} / \text{mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{kgf} / \text{mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{kgf} / \text{mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

伍、B 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$
 抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$
 抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$
 極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 845.4 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 457.5 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 267.8 \text{ kgf/mm}^2$

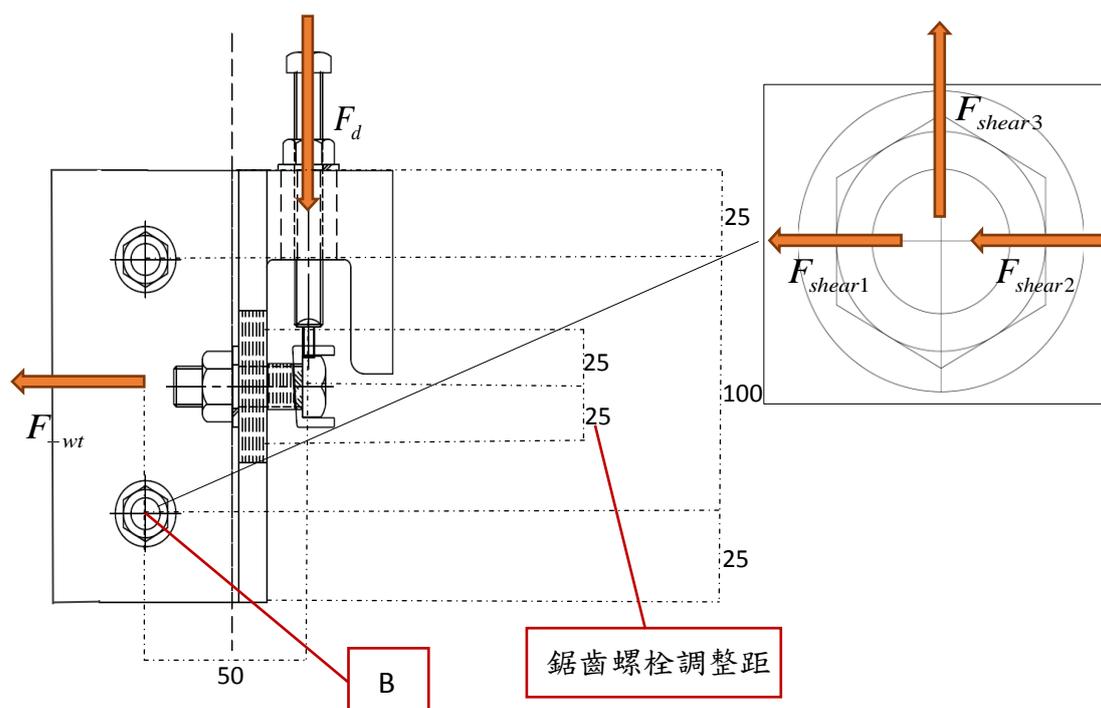


圖 7.15 第七章計算例之 B 處螺栓剪力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓剪力檢核

螺栓剪力由 F_{shear1} ， F_{shear2} 以及 F_{shear3} 組成，其值在負風壓作用且當鋸齒螺栓向

下移動 25mm 時為最大。其中 F_{shear1} 為螺栓水平抵抗風力之反力，當鋸齒螺栓向

下移動 25mm 時， F_{shear1} 為 $\frac{3}{4}F_{-wt}$ ； F_{shear2} 為靜載重扭矩平衡而產生，

$$F_{shear2} = \frac{F_d \times 50mm}{100mm} = 74.25kgf；F_{shear3} 為螺栓垂直抵抗靜載重之反力，F_{shear3} = \frac{1}{2}F_d；$$

故螺栓承受剪力之最大值 F_{shear} 為

$$F_{shear} = \sqrt{(F_{shear1} + F_{shear2})^2 + F_{shear3}^2} = 1603kgf$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s = 1624kgf$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 1923.6kgf$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

陸、C 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M16 螺栓

直徑 $d_b = 16 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 198 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_v = 133.6 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.54 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

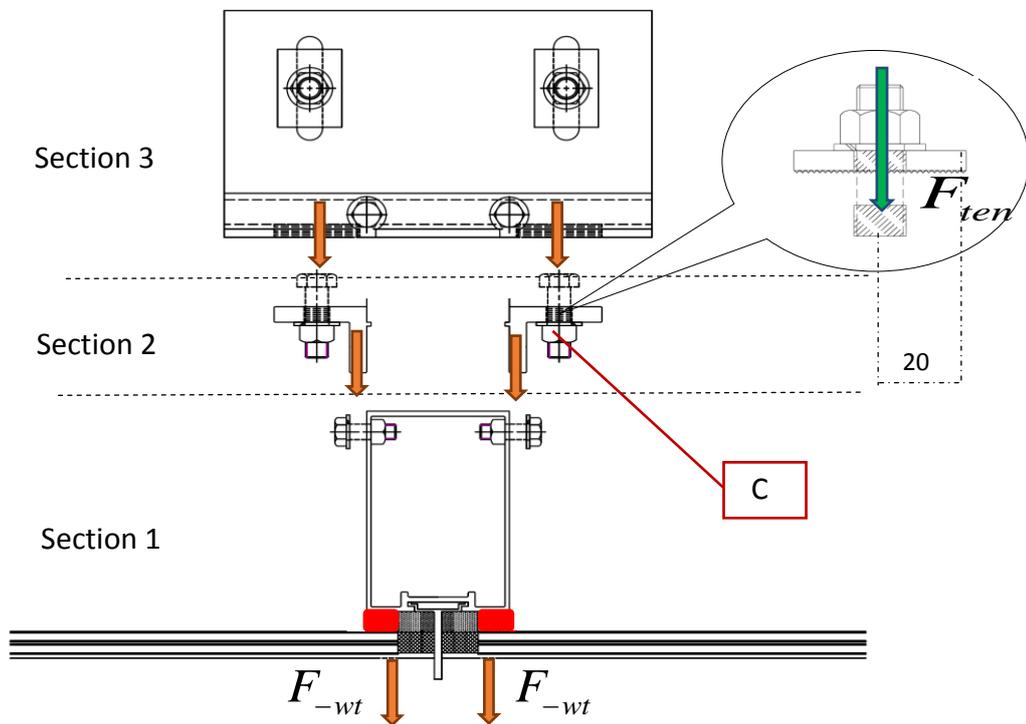


圖 7.16 第七章計算例之 C 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

抵抗正風壓螺栓拉力 $F_{+ten} = F_{+w} = 1135.8kgf$

抵抗負風壓時，最大螺栓拉力為抵抗鋁板彎矩形成的的拉拔力

$$F_{-ten} = \frac{F_{-w} \times 40mm}{20mm} = 4072kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} = \max(F_{+ten}, F_{-ten}) = 4072kgf$

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min\left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b}\right) \times n_s = 6680kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過

在工程實務上因為鋁料有垂直向長孔，靜載重無法傳遞，故此螺栓不會承受靜載重造成之剪力。

柒、L 型鋁板之檢核

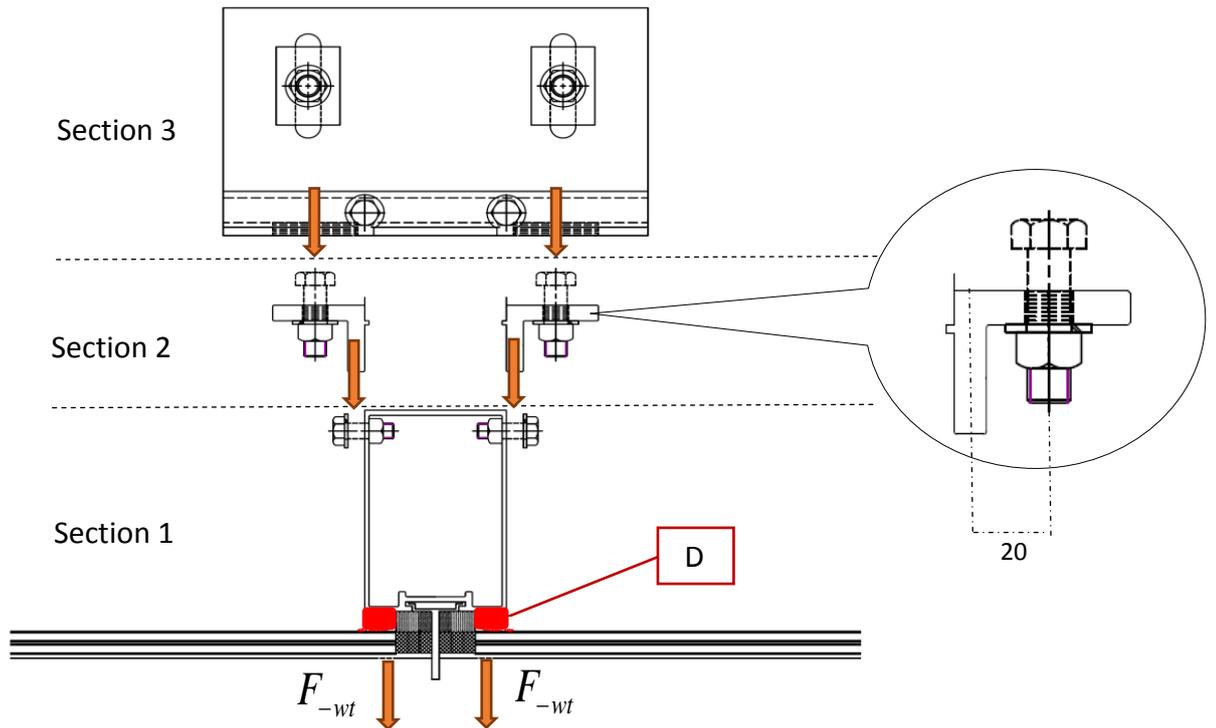


圖 7.17 第七章計算例之 L 型鋁板受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板彎曲應力檢核

由負風力 F_{-wt} 與其力偏心距 $e = 20mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = F_{-wt} \times e = 40720 \text{ kgf gmm}$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 12mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 11.31 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

捌、D 結構矽膠

帶寬 $b_t = 3.0\text{m} \neq 0.0i$

容許拉應力 $F_t = 20\text{psi} = 14060\text{kgf}/\text{m}^2$

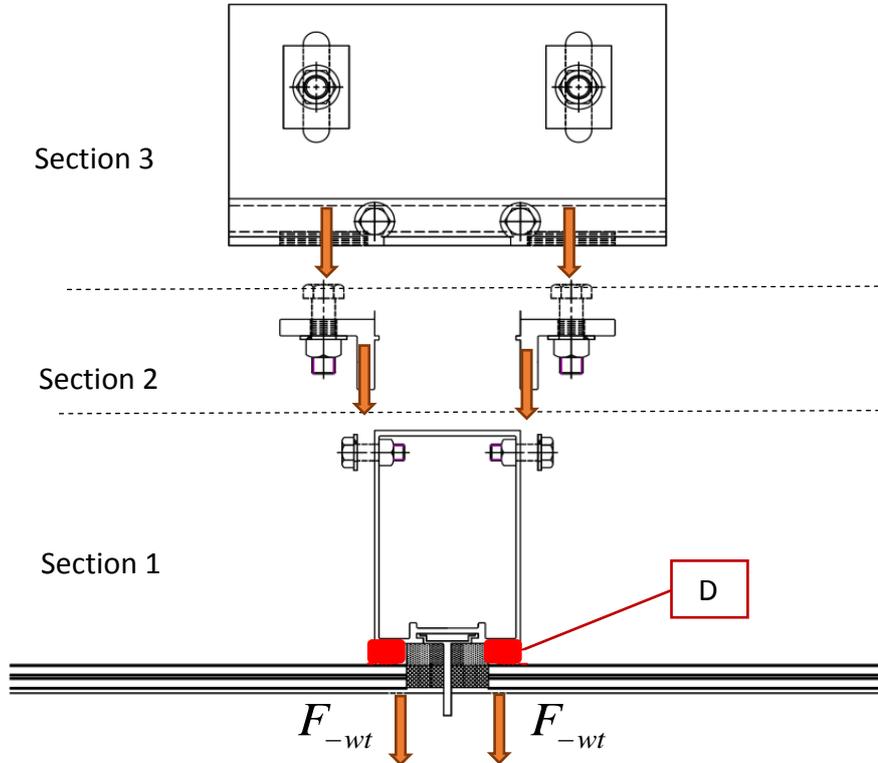


圖 7.18 第七章計算例之 D 處結構矽膠位置圖

(資料來源：本研究整理)

矽膠拉力檢核

參考本章第一節表 7-3，面材之最大設計負風壓為 $-553.3\text{kgf}/\text{m}^2$ ，因此

$$\text{矽膠拉力 } F_{ten} \text{ 為 } \frac{553.3\text{kgf}/\text{m}^2 \times 3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2 \times (3.3\text{m} + 2\text{m})} = 344.5\text{kgf}/\text{m}$$

$$\text{容許拉力 } F_T = F_t \times b_t = 421.8\text{kgf}/\text{m}$$

矽膠拉力 $F_{ten} < \text{容許拉力 } F_T$ ，檢核通過。

玖、直橫料連接處檢核

使用六顆 304SS A2-70 M6 不鏽鋼螺絲

直徑 $d_b = 6 \text{ mm}$

螺絲根面積 $A_R = 18.06 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,s} = 105 \text{ ksi} = 73.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

降伏強度 $F_{y,s} = 62.5 \text{ ksi} = 45 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

螺絲顆數 $n_s = 1$

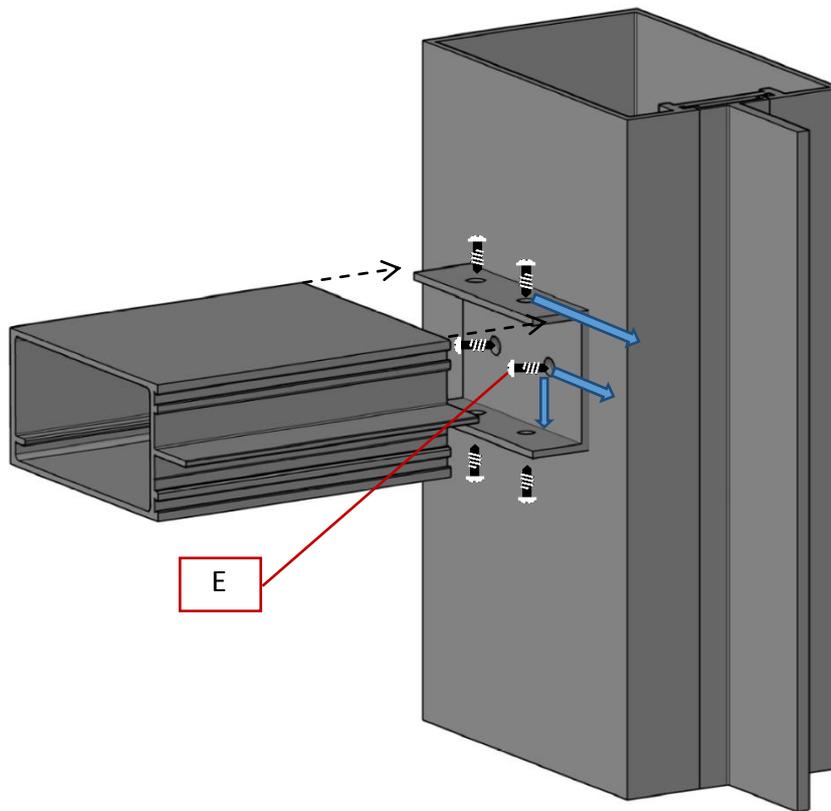


圖 7.19 第七章計算例之直橫料連接處細部圖
(資料來源：本研究整理)

螺絲剪力檢核

參考圖 7.19，六顆螺絲中受橫料負風力以及靜載重形成之最大剪力者為 E 螺絲，故分析 E 螺絲做為設計檢核依據。

根據表 7-3 中，橫料單位長度負風力為 -332.38 kgf/m ，而 E 螺絲處所承受之橫料負風力為

$$F_{-w} = \frac{332.38 \text{ kgf/m} \times 1\text{m}}{2} = 166.19 \text{ kgf}$$

靜載重為一面玻璃及一支橫料之重量，其單位重約略為 20 kgf/m^2 ，而 E 螺

絲處所承受之靜載重 F_{db} 為

$$F_{db} = \frac{(20 \text{ kgf/m}^2 \times 3.3\text{m} \times 1\text{m})}{2} = 33 \text{ kgf}$$

$$a \text{ 螺絲所受剪力 } F_{shear} = \sqrt{F_{-w}^2 + F_{db}^2} = 169.4 \text{ kgf}$$

$$\text{容許剪力 } F_V = n_s \times A_R \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,s}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,s}\right) = 307.89 \text{ kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過。

型鋼檢核

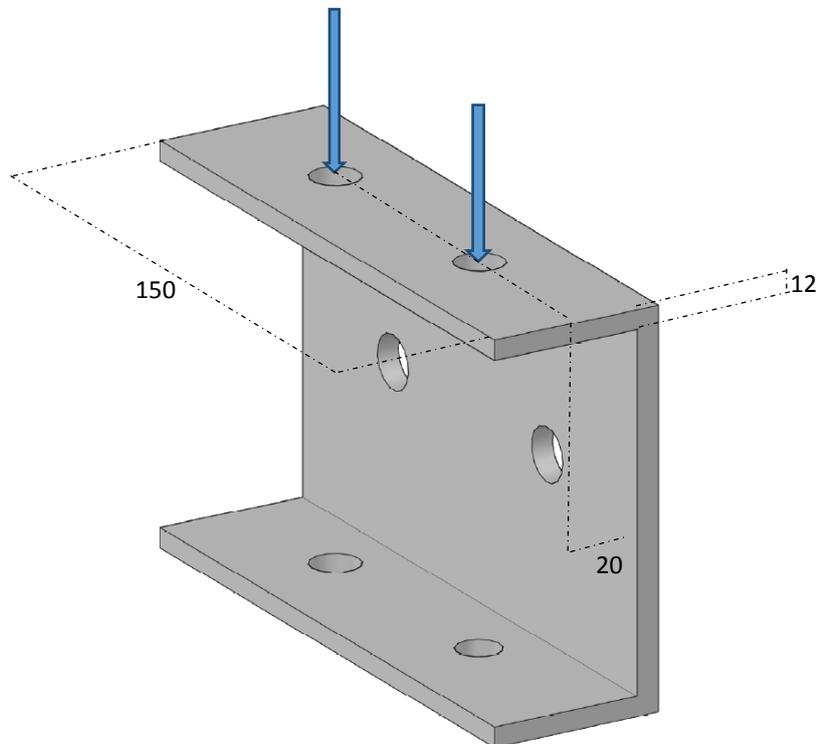


圖 7.20 第七章計算例之型鋼受力圖

(資料來源：本研究整理)

不鏽鋼板彎曲應力檢核

由靜載重 F_{db} 與其力偏心距 $e = 20mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = 2F_{db} \times e = 1320kgf \cdot gmm$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 12mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 0.37kgf/mm^2$$

不鏽鋼板降伏應力 $F_y = 21kgf/mm^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = 0.6F_y = 12.6kgf/mm^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} <$ 容許彎曲應力 F_B ，檢核通過。

第四節 面材設計檢核

面材④-⑤-⑥-⑦假設採用高 3.3m 寬 2m 厚度為 16mm 單層完全回火玻璃 (fully tempered glass)，根據表 7-3 讀取最大負風壓為 -553.3 kgf/m^2 ，參照 ASTM E1300(2016)做面材檢核。

面材變形檢核

本例為四邊膠和固定之玻璃且厚度為 16mm，風壓乘上面材面積的平方得到 $553.3 \text{ kgf/m}^2 \times (3.3\text{m} \times 2\text{m})^2 = 236.2 \text{ kNgn}^2$ ，長寬比 $AR = \frac{\text{長}}{\text{寬}} = \frac{3.3}{2} = 1.65$ ，依照圖 7.21(b)，面材變形約略為 27mm。

面材容許變形=35mm(根據金屬帷幕牆技術手冊)

面材變形 < 容許變形，檢核通過。

面材強度檢核

玻璃高 3.3m、寬 2m，四邊膠和固定且厚度為 16mm，對照圖 7.21 (a)得未係數化的承壓強度(Nonfactored Load)2.8kPa。由於玻璃為完全回火玻璃，且台灣設計風速為 10 分鐘平均，遠大於圖 7.21(a)中所使用之 3 秒鐘平均，故參照表 7-5，採用長延時(Long Duration Load)係數 3.0，玻璃承壓強度為

$$2.8\text{kPa} \times 3 = 856.3 \text{ kgf/m}^2$$

面材承壓 $553.3 \text{ kgf/m}^2 < \text{容許承壓 } 856.3 \text{ kgf/m}^2$ ，檢核通過。

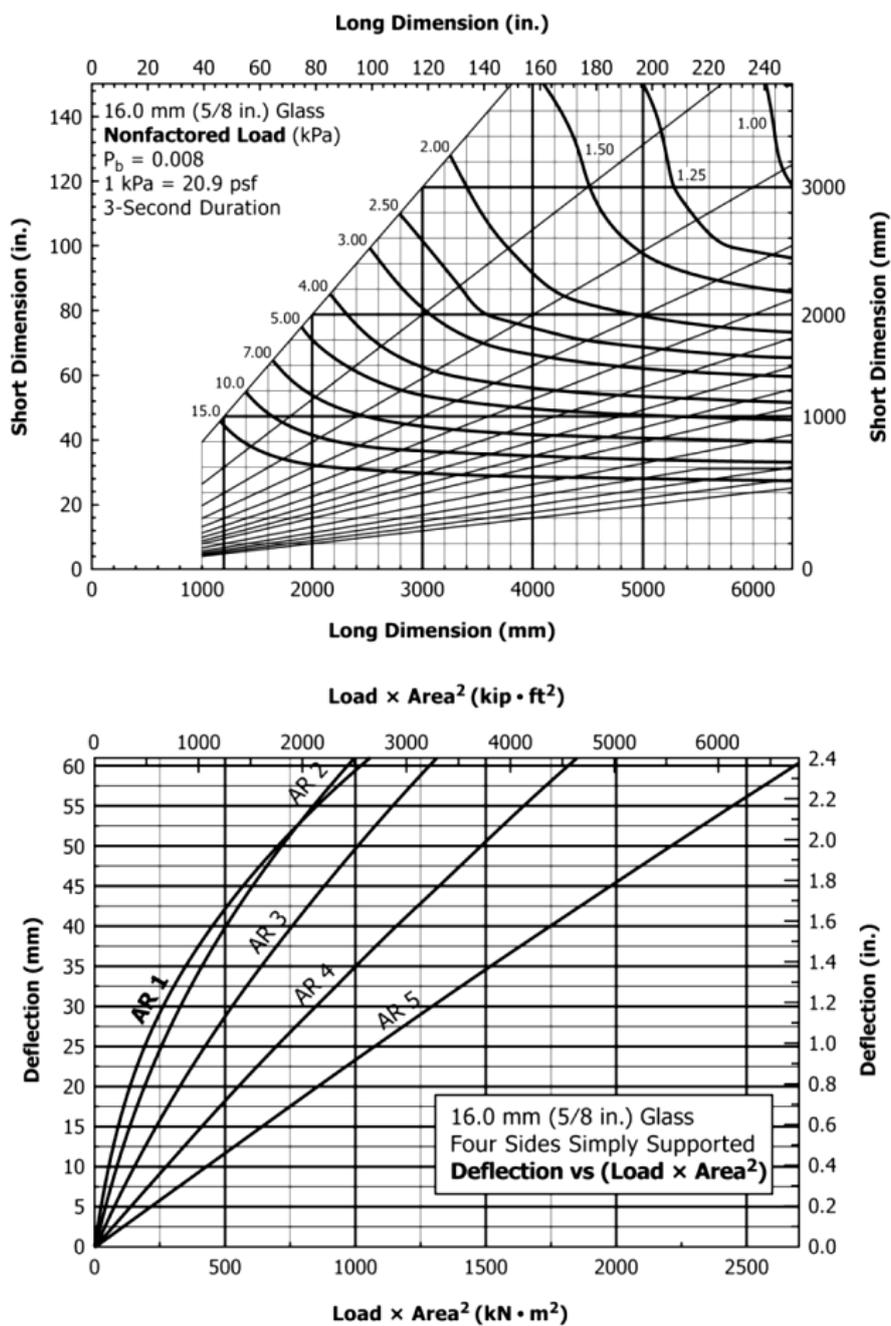


FIG. A1.11 (upper chart) Non-Factored Load Chart for 16.0 mm (5/8 in.) Glass with Four Sides Simply Supported (lower chart) Deflection Chart for 16.0 mm (5/8 in.) Glass with Four Sides Simply Supported

圖 7.21 第七章計算例之玻璃強度及變形曲線圖
 (資料來源：擷取自 ASTM E1300，FIG. A1.10，2016)

表 7-5 玻璃種類係數表

TABLE 1 Glass Type Factors (GTF) for a Single Lite of Monolithic or Laminated Glass (LG)

Glass Type	GTF	
	Short Duration Load (3 s)	Long Duration Load (30 days)
AN	1.0	0.43
HS	2.0	1.3
FT	4.0	3.0

(資料來源：擷取自 ASTM E1300，TABLE 1，2016)

第八章 高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例

一建築平面尺寸為 $20m \times 10m$ ，建築物高度為 $16.5m$ ，位於台北市，假設建築物四面上風處為 B 地況，且無特殊地形。外牆使用直橫料式帷幕牆系統，假設整棟大樓皆採用高 $3.3m$ 、寬 $0.5m$ 之帷幕牆單元，如圖 8.1。

本範例針對此一不超過 18 公尺建築物承受最大風壓之直橫料式帷幕牆構件，先決定面材、直料、橫料之設計風壓(力)及繫件，再依序檢核各構件之強度及變形。

第一節 帷幕牆各構件設計風壓

理論上可根據表面風壓之分佈情況，將整面帷幕牆分為若干區域設計帷幕牆構件；但為簡化設計，故本範例只分析設計 AB 牆面承受最大風壓之帷幕牆構件，其中 AB 牆面定義於表 8-1；根據圖 8.2，分別為 AB 牆面位於頂層角隅處面材(©-f-g-a)、繫件(Ⓜ點)、橫料(c-d及e-f)以及頂部三層直料(a-e-c-b)。

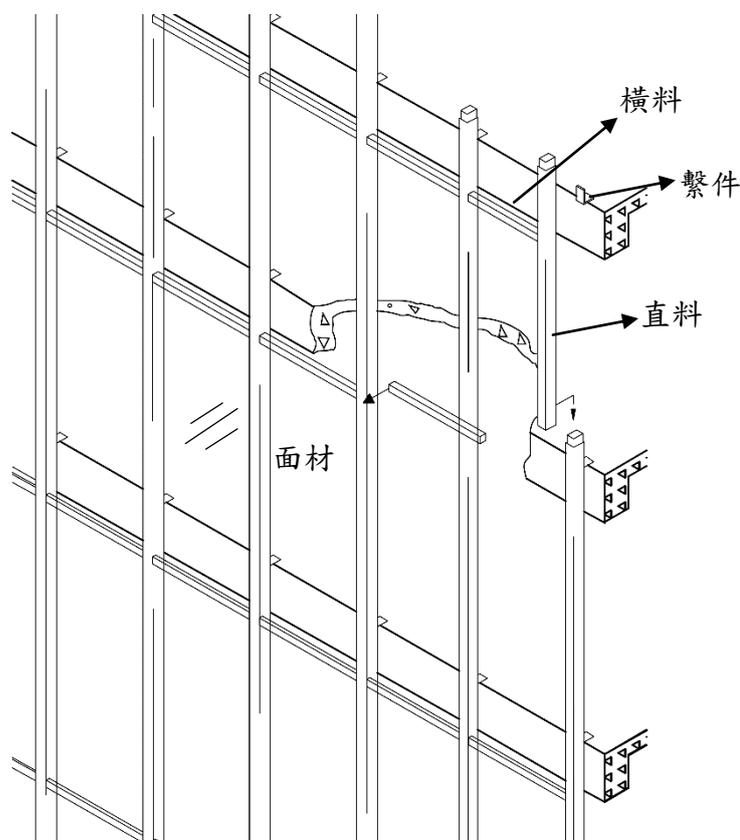


圖 8.1 第八章計算例之帷幕牆示意圖

(資料來源：本研究整理)

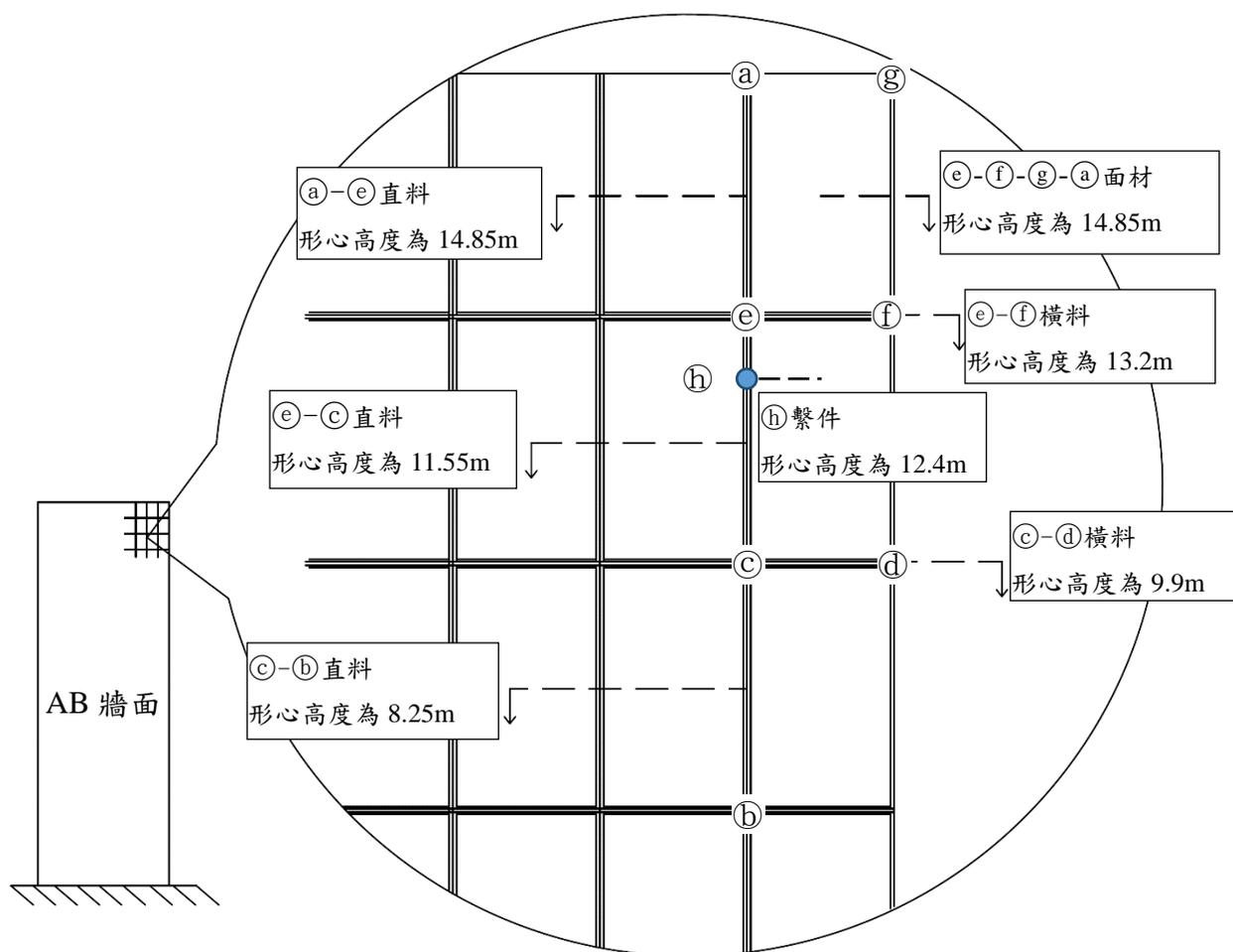


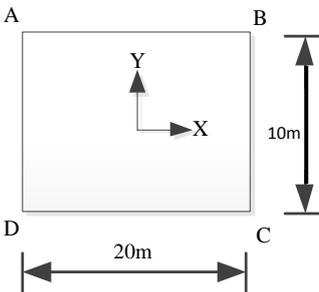
圖 8.2 第八章計算例之帷幕牆構件位置放大圖

(資料來源：本研究整理)

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

依據第四章第二節「高度不超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計算」之流程，計算前述帷幕牆構件之設計風壓。根據圖 2.1 知，執行耐風設計時，先要蒐集建築物與工址風環境資料，本節擬定建築物之資料與工址風環境如下表 8-1 所示。

表 8-1 第八章設計例之建築物資料與工址風環境

建築物資料	尺寸	平面尺寸 $10m \times 20m$ ； 建築物高度 16.5m (不含屋頂突出物)	
	開口面積	在颱風區內，建築物的玻璃容易受周遭的植栽、招牌或屋頂所造成的隨風飄散物的撞擊而成為開口。本例假設各牆面之總面積有 1% 破損而造成開口，其餘無開口。	
	用途係數 I	根據規範 2.5 節， $I = 1.1$ 、 1.0 或 0.9 。本例取 $I = 1.0$ 。	
	局部構材及外部被覆物	考慮位於 AB 牆面上角隅處之 面材為 $0.5m$ 寬 \times $3.3m$ 高之玻璃，其形心高度為 $14.85m$ ，如圖 8.2 (e)-(f)-(g)-(a) 直料長 $3.3m \times 3$ (橫跨三樓層)，其形心高度分別為 14.85 、 11.55 及 $8.25m$ ，如圖 8.2(a)-(e)-(c)-(b) 面材上方橫料長 $0.5m$ ，形心高度為 $13.2m$ ，如圖 8.2(e)-(f) 面材下方橫料長 $0.5m$ ，形心高度為 $9.9m$ ，如圖 8.2(c)-(d) 繫件，其形心高度為 $12.4m$ ，如圖 8.2(h)	
工址風環境	基本設計風速 $V_{10}(C)$	根據規範 2.4 節，台北市的 $V_{10}(C) = 42.5m/s$ 。	
	地況	AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面上風側地況皆為地況 B。	
	地形	無特殊地形。	

(資料來源：本研究整理)

貳、各構件有效受風面積及外風壓係數之計算

針對圖 8.2 所考慮之直料、橫料、面材及繫件，於圖 8.3 中標示出相對應之承受風壓面積。面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之跨距長度為 $3.3m$ ，寬度為 $0.5m$ ，則承受風壓面積為 $3.3 \times 0.5 = 1.65m^2$ 。由於有效寬度為 $\max(0.5m, 3.3m/3) = 1.1m$ ，故面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之有效受風面積為 $3.3 \times 1.1 = 3.63m^2$ 。

直橫料式系統平剖圖為圖 8.4，直料鋁擠型為一體成形，部分左側玻璃所受風力由⑩傳遞至直料鋁擠型，部分右側玻璃所受風力由⑪傳遞至直料鋁擠型。其次，根據圖 8.3，依照龜殼式載重分配法，同時參考圖 8.2 直料之配置，每一層直料之左側(右側)承受風壓面積為 $(3.3+2.8) \times 0.25 \times 1/2 = 0.7625m^2$ 。為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述梯形面積以等值長方形面積(跨距長度為 0.75m，寬度為 $\frac{0.125}{0.75} = \frac{1}{6}m$)取代，而有效寬度為

$\max\left(\frac{61}{264}m, 3.3m/3\right) = 1.1m$ ，故直料(Ⓐ-Ⓔ或Ⓔ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓑ)左(右)側有效受風面積為 $3.3 \times 1.1 = 3.63m^2$ 。

橫料鋁擠型亦為一體成形，部分上側玻璃所受風力傳遞至橫料鋁擠型，部分下側玻璃所受風力傳遞至橫料鋁擠型。其次，根據圖 8.3，依照龜殼式載重分配法，橫料上(下)側承受風壓面積為 $0.5 \times 0.25 \times 1/2 = 0.0625m^2$ ，為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述三角形面積以等值長方形(跨距長度為 0.5m，寬度為 $\frac{1}{8}m$)取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{1}{8}m, 0.5m/3\right) = 1/6m$ ，故橫料(Ⓒ-Ⓕ或Ⓒ-Ⓓ)上(下)側有效受風面積為 $0.5 \times 1/6 = \frac{1}{12}m^2$ 。

針對圖 8.2 所考慮之繫件，根據圖 4.3，其左(右)側之承受風壓面積為面材承受風壓面積之半；引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，繫件左(右)側有效受風面積不得大於其承受風壓面積，故繫件左(右)側有效受風面積為其承受風壓面積 $3.3 \times 0.5 \times \frac{1}{2} = 0.825m^2$ 。

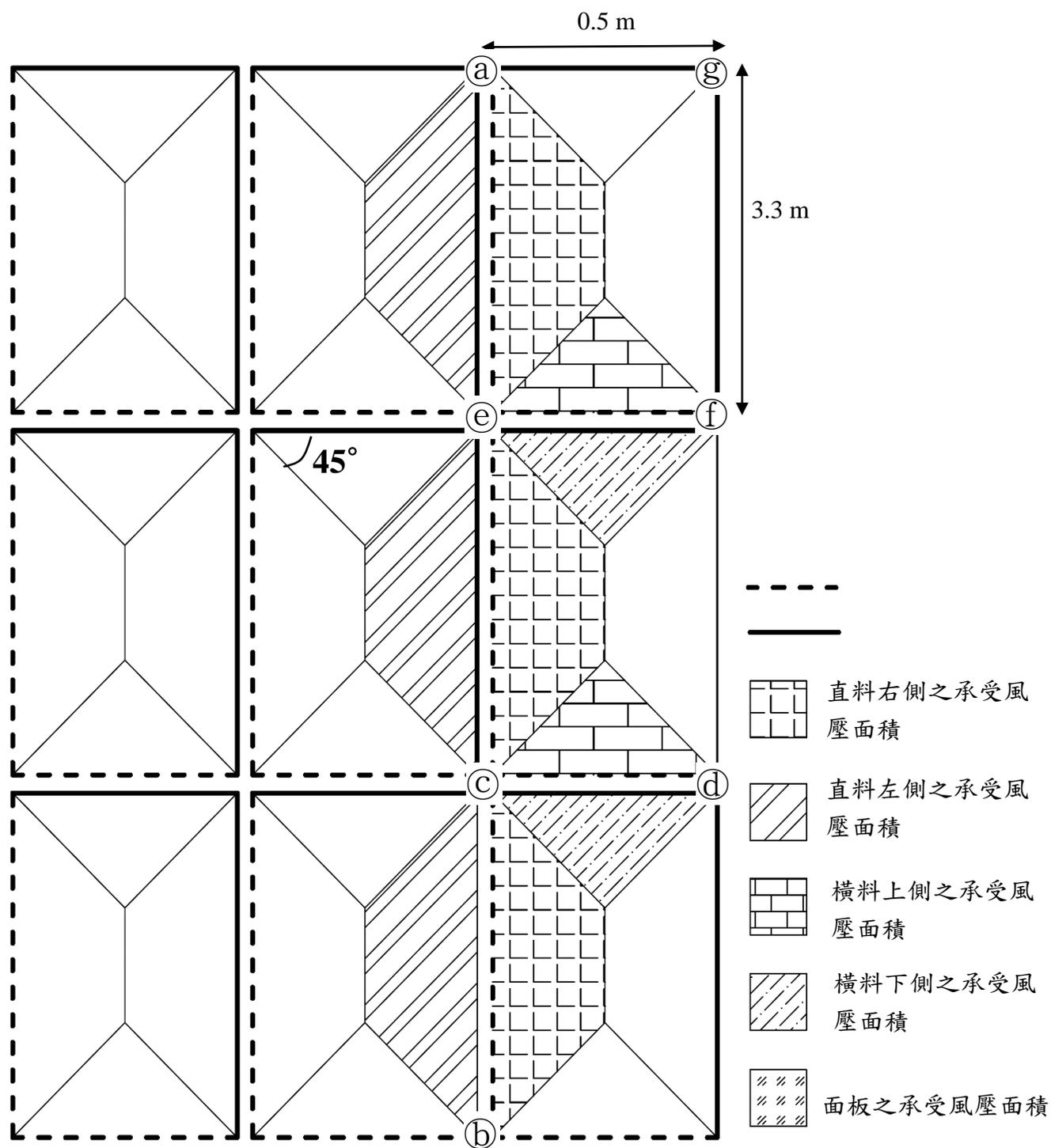


圖 8.3 第八章計算例之面材、直料及橫料之承受風壓面積
(資料來源：本研究整理)

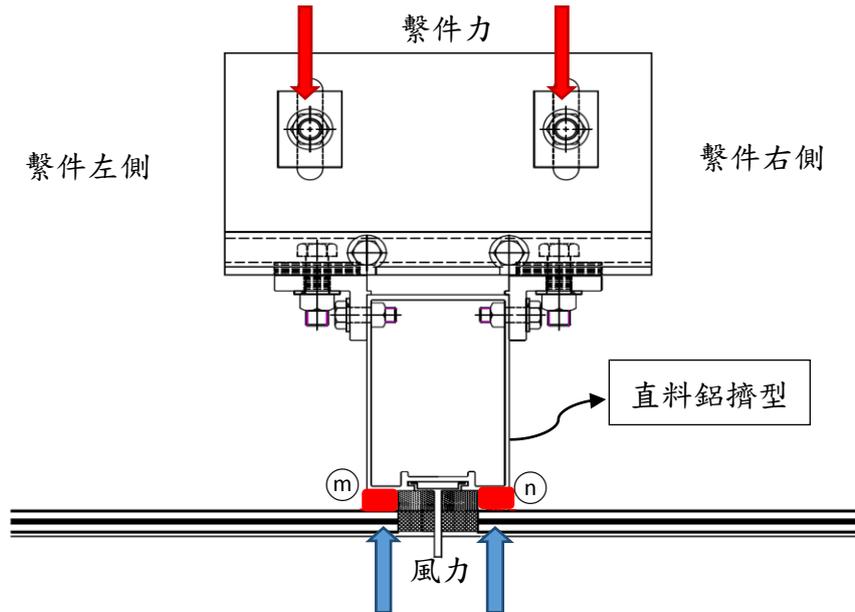


圖 8.4 第八章帷幕牆平剖圖

(資料來源：本研究整理)

根據附錄二「耐風規範」圖 3.1(a)，外風壓區域之寬度 a 取 $0.4h(0.4 \times 16.5m = 6.6m)$ 或最小寬度的 10% ($10\% \times 10m = 1m$) 中較小者，但 a 不能小於 0.9 m 或最小寬度的 4% ($4\% \times 10m = 0.4m$)，故 $a=1m$ 。由於所考慮之面材、直料、橫料及繫件距建築邊緣之水平距離皆小於 a ，故皆位於外牆之⑤區。由於面材的有效受風面積為 $3.63m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.7 和 -2.3。由於直料(Ⓐ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓓ)公(母)單元鋁擠型的有效受風面為 $3.63m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.7 和 -2.3。由於橫料(Ⓒ-Ⓕ或Ⓒ-Ⓖ)公(母)單元鋁擠型的有效受風面為 $0.0833m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.9 和 -2.7。由於繫件左(右)側的有效受風面積為 $0.825m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.9 和 -2.7。

參、設計風壓之計算

使用「耐風規範」第三章，所考慮可能之來風方向下包括來風垂直 AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面，計算各構件所承受之設計風壓。

來風垂直 AB 牆面

【步驟1】列出與該風向相關之設計參數

當風垂直吹向 AB 牆面時，根據表 8-1，垂直於風向之建築物水平尺寸 $B=10m$ ，與平行於風向之建築物水平尺寸 $L=20m$ 。根據「耐風規範」表 2.2，

地況 B 相關參數 $\alpha = 0.25$; $z_g = 400$ m 。

【步驟2】判斷建築物封閉性及決定內風壓係數

根據建築物資料可知外牆面開口率皆為1%。根據「耐風規範」1.3 節，建築物不屬於開放式建築物。根據建築物資料，計算迎風向外牆面之總面積 $A_g = 165m^2$ 、迎風向外牆面之總開口面積 $A_0 = 1.65m^2$ 、非迎風向之各牆面(含屋頂)總面積 $A_{gi} = 1025m^2$ 與非迎風向之各牆面(含屋頂)總開口面積 $A_{oi} = 8.25m^2$ 。因為無法同時滿足以下各條件(1) $A_0 > 1.10A_{oi}$ ，(2) $A_0 > 0.37m^2$ 或 $0.01A_g$ (二者取最小)，(3) $\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.20$ ，故建築物屬於封閉式建築物。

由於建築物屬於封閉式建築物，參考「耐風規範」表 2.17，建築物的內風壓係數為 ± 0.375 。

【步驟3】計算風速壓地況係數 $K(z)$ 與地形係數 K_{zt}

根據「耐風規範」式(2.7)，

$$\begin{aligned} K(z) &= 2.774 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} ; z > 5\text{m} \\ &= 2.774 \left(\frac{5}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} ; z \leq 5\text{m} \end{aligned}$$

根據「耐風規範」式(2.8)，計算 K_{zt} ：因工址附近無特殊地形， $K_{zt} = 1$ 。

【步驟4】計算高度 z 處之風速壓

高度 z 處之風速壓

因此，當風垂直吹向 AB 牆面時，不同高度之風速壓為

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2 ; z > 5\text{m}$$

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2 ; z \leq 5\text{m}$$

【步驟5】分別計算面材、直料、橫料及繫件之設計風壓

風垂直吹向 AB 牆面時，AB 牆為迎風面牆，所考慮面材、直料、橫料及繫件均承受正風壓。封閉式或部分封閉式建築物高度小於等於 18 公尺者，其局部構材及外部被覆物之設計風壓根據「耐風規範」式(3.1)計算。

$$q(h) = q(z = 16.5m) = 300.63 \left(\frac{16.5}{400} \right)^{0.5} = 61.06 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

迎風面牆的面材(GC_p)取正值為 1.7。根據「耐風規範」式(3.1)，該面材設計正風壓為 $61.06 \times 1.7 - 61.06 \times (\pm 0.375) = 126.7 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

仿照上述計算面材設計風壓之流程，可計算並彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側的設計正風壓及繫件單側的設計正風壓，列於表 8-2。

來風垂直 BC 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 BC 牆面時，本計算例考慮帷幕牆所在之 AB 牆為側牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓。其值根據「耐風規範」式(3.1)計算。

側牆的面材(GC_p)要取負值 -2.3，該面材設計負風壓為 $61.06 \times (-2.3) - 61.06 \times (\pm 0.375) = -163.36 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件單側的設計負風壓，將數值分析結果列於表 8-2。

來風垂直 CD 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 CD 牆面時，AB 牆為背風面牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓。其值根據「耐風規範」式(3.1)計算。背風面牆的(GC_p)要取負值-2.3，

該面材設計負風壓為 $p = -163.36 \text{ kgf/m}^2$ 。

彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件單側的設計負風壓，將數值分析結果列於表 8-2。

風垂直 DA 牆面

根據建築物資料與工址風環境可知，建築物以 Y 軸為對稱軸，BC 牆面與 DA 牆面開口面積相同，BC 牆面與 DA 牆面上風側地況相同，以及建築物周邊地形相同。因此，當風垂直吹向 DA 牆面時，其結果與當風垂直吹向 BC 牆面的結果相同。

表 8-2 第五章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m²)

	來風垂直 AB 牆面	來風垂直 BC 牆面	來風垂直 CD 牆面	來風垂直 DA 牆面
面材⑤-⑥-⑦-⑧	138.91	-187.76		
橫料⑤-⑥上側	138.91	-187.76	-187.76	-187.76
橫料⑤-⑥下側	138.91	-187.76	-187.76	-187.76
橫料③-④上側	138.91	-187.76	-187.76	-187.76
橫料③-④下側	138.91	-187.76	-187.76	-187.76
直料①-②左側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料①-②右側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料③-④左側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料③-④右側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料⑤-⑥左側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料⑤-⑥右側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
繫件⑧單側	126.7	-163.36		

(資料來源：本研究整理)

肆、最大設計正風壓與負風壓之選取

根據表 8-2 中面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件單側在各來風向正負風壓值中，分別選取其最大設計正風壓和負風壓，列於表 8-3。

於表 8-3 中，每一層直料左(右)側單位長度正(負)風力為每一層直料左(右)側設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以每一層直料高；上(下)橫料上(下)側之單位長度正(負)風力為上(下)橫料上(下)側設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以橫料寬。

通常鋁製結構以 ASD 做設計，因此載重組合中，風力載重前所乘係數為 1。

表 8-3 第五章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m²)

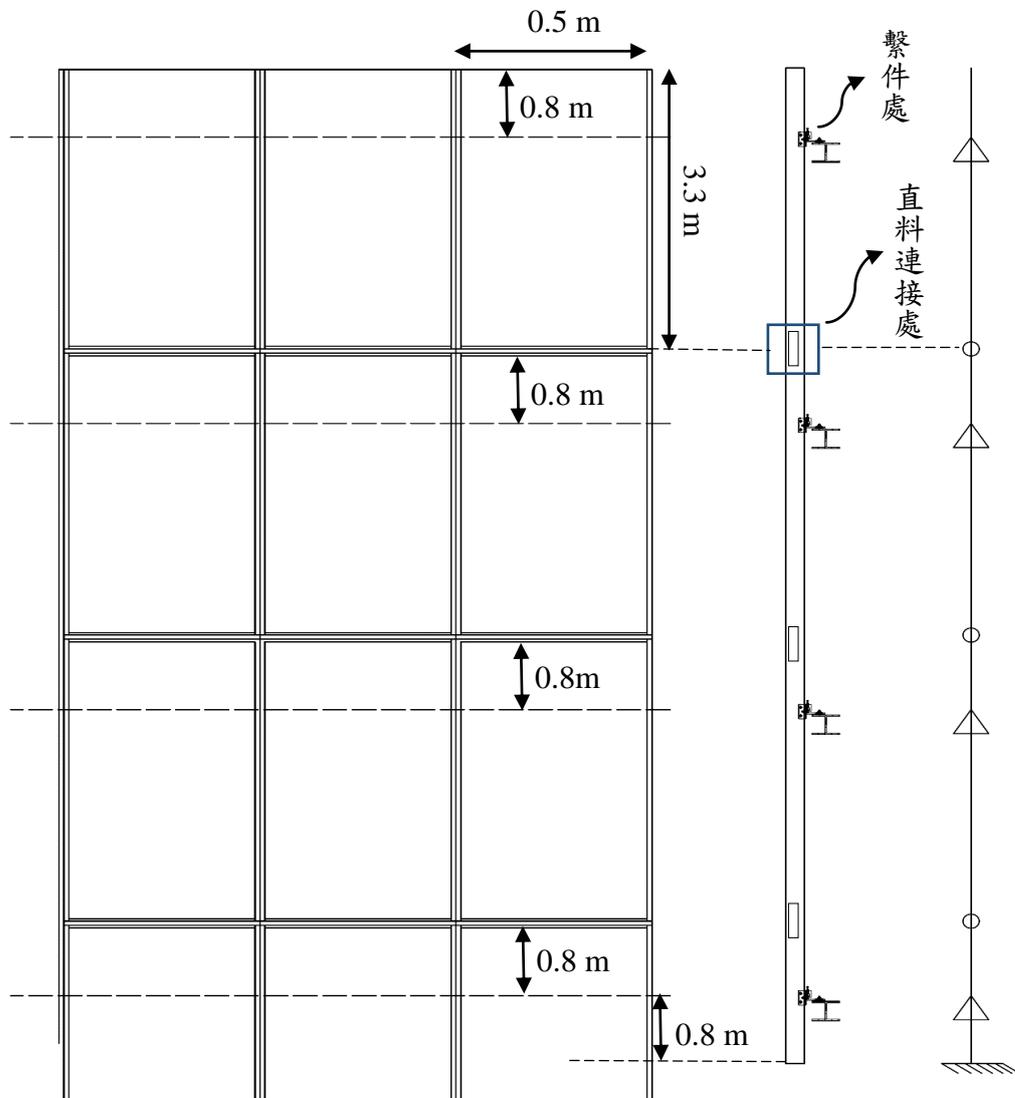
	承受風壓 面積(m ²)	最大正風壓 (kgf/m ²)	最大負風壓 (kgf/m ²)	單位長度正 風力(kgf/m)	單位長度負 風力(kgf/m)
面材㉔-㉕-㉖-㉗	1.65	138.91	-187.76		
橫料㉔-㉕上側	0.0625	138.91	-187.76	17.36	-23.47
橫料㉔-㉕下側	0.0625	138.91	-187.76	17.36	-23.47
橫料㉔-㉕上側	0.0625	138.91	-187.76	17.36	-23.47
橫料㉔-㉕下側	0.0625	138.91	-187.76	17.36	-23.47
直料㉔-㉕左側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料㉔-㉕右側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料㉔-㉕左側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料㉔-㉕右側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料㉔-㉕左側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料㉔-㉕右側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料㉔-㉕左側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料㉔-㉕右側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
繫件㉖單側	0.825	138.91	-187.76		

(資料來源：本研究整理)

第二節 直料與橫料設計檢核

帷幕牆系統剖面如圖 8.5，直料長度為 3.3 公尺；橫料長度為 0.5 公尺；直料相互連接處至繫件與直料相接處為 0.8 公尺，依循第五章邊界條件設置原則，繫件與直料相接處為鉸支承(Hinge)，直料相互連接處為銷釘(Pin)。直料及橫料鋁擠型採用 6063-T5，其楊氏係數(E)為 $7.101 \times 10^9 \text{ kgf}/\text{m}^2$ ，柏松比(ν)為 0.33，降伏強度為 $F_{y,a} = \min(F_{cy}, F_{ty}) = \min(11.25, 11.25) = 11.25 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ ，極限強度($F_{u,a}$)為 $22 \text{ ksi} = 15.47 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ ；假設採用直橫料形狀與斷面性質如表 8-4 所示。

圖 8.5 第八章計算例之帷幕牆系統剖面圖



(資料來源：本研究整理)

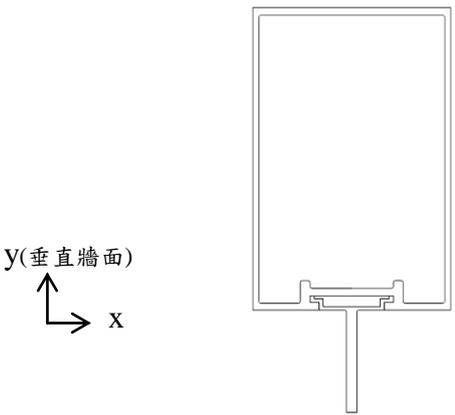
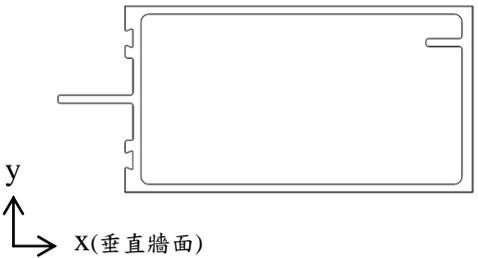
斷面模數 $Sy2 = 15\text{cm}^3$		
斷面模數 $Sy1 = 15\text{cm}^3$		
斷面模數 $Sx2 = 35\text{cm}^3$		
斷面模數 $Sx1 = 27\text{cm}^3$		
慣性矩 $Iy = 40\text{cm}^4$		
慣性矩 $Ix = 222\text{cm}^4$		
斷面積 $A = 969\text{mm}^2$		
橫料鋁擠型鉛直剖面圖		
斷面模數 $Sy2 = 15\text{cm}^3$		
斷面模數 $Sy1 = 12\text{cm}^3$		
斷面模數 $Sx2 = 8.8\text{cm}^3$		
斷面模數 $Sx1 = 8.6\text{cm}^3$		
慣性矩 $Iy = 20\text{cm}^4$		
慣性矩 $Ix = 67\text{cm}^4$		
斷面積 $A = 601\text{mm}^2$		

表 8-4 第八章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質

(資料來源：本研究整理)

壹、直料分析及檢核

直料因由套筒相連接，故套筒必須能承受結構物的層間變位，以避免帷幕牆系統破壞，本計算例不考慮套筒變形之情況。

三層直料整體分析

直料只考慮風力對其之影響，而自重的影響甚小故在此忽略，採用表 8-3

直料(Ⓐ-Ⓒ)和(Ⓒ-Ⓒ)和(Ⓒ-Ⓑ)左(右)側單位長度最大設計負風力 $F_{-w} = -37.75\text{kgf}/\text{m}$

設計帷幕牆直料。根據結構圖 8.6，以 ANSYS 進行三層直料受單位長度最大設計負風力之分析，其中以強軸(I_x)抵抗風力。圖 8.7 為剪力、彎矩及變形圖，其中最大變形量為 3.17mm，最大彎矩(M)為 466200 Ngnm (47523 kgf gnm)。

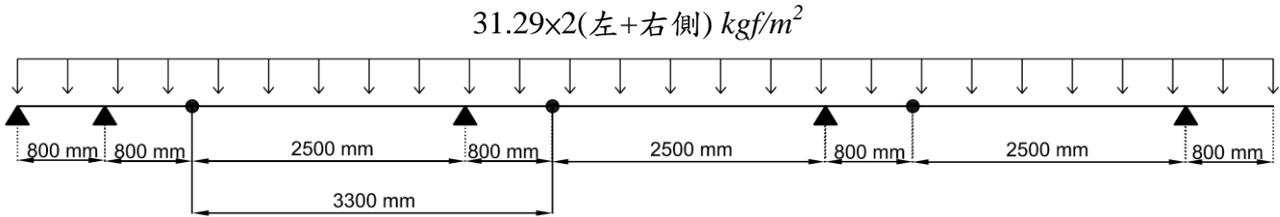


圖 8.6 第八章計算例之直料結構圖

(資料來源：本研究整理)

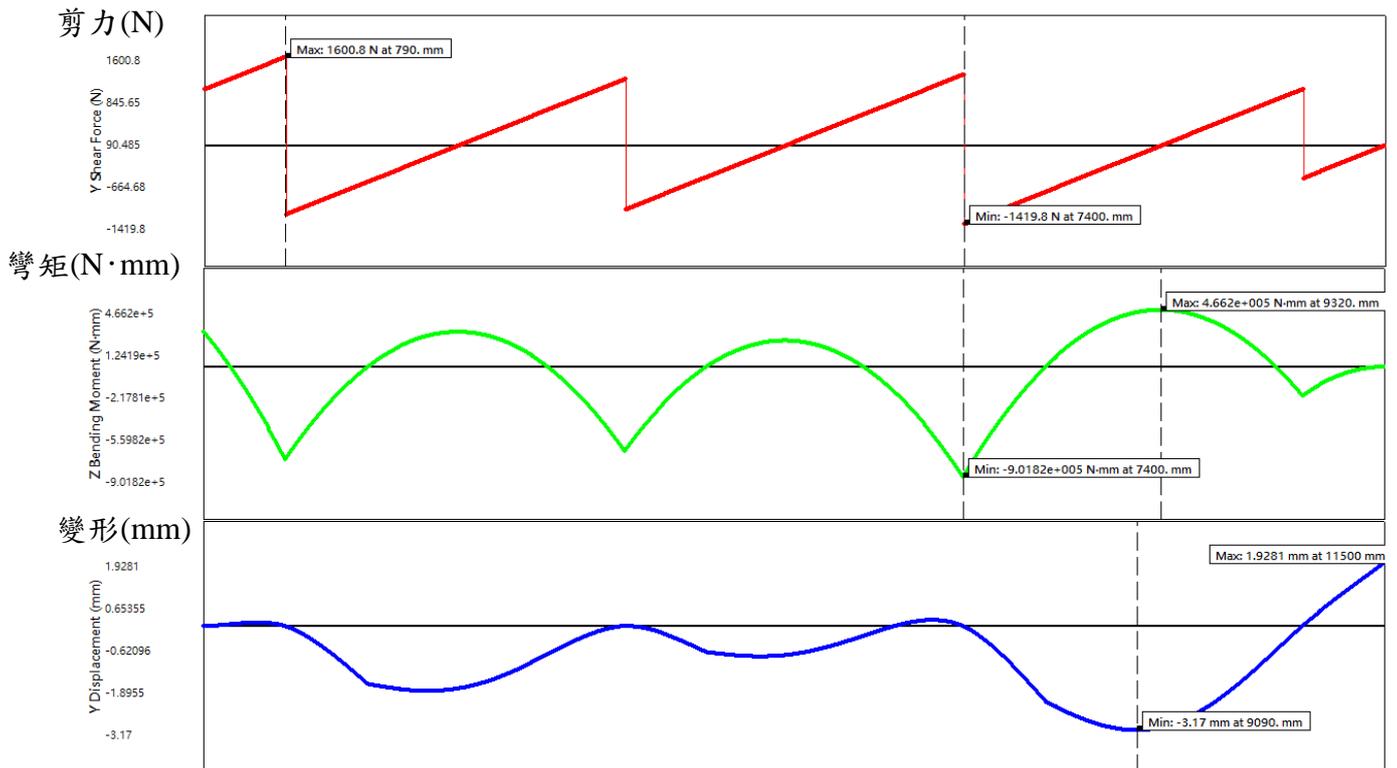


圖 8.7 第八章計算例之剪力彎矩及變形圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

最大變形量 $\delta_{\max} = 3.17 \text{ mm}$

容許變形量 $\delta_a = \frac{L_c}{175} = 18.86 \text{ mm}$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

直料應力檢核

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{47532}{8800} = 5.4 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過。

參照 ADM(AA,2005)，採用斷面為一閉合斷面形狀之側向扭轉挫屈計算公式，其基本參數如下：Y 軸慣性矩 $I_y = 40 \text{ cm}^4$ ；斷面模數 $S_c = 27$ ；斷面扭轉常數為斷

面所有肢材的慣性矩總和 $J = \sum \frac{\text{寬} \times \text{厚}^3}{3} = 0.199 \text{ cm}^4$ ；無側撐長度 $L_b = 330 \text{ cm}$ 。

藉由上述參數，參考 ADM(AA,2005)Table 3.4-3 容許應力公式表，當

$$\left(\frac{L_b S_c}{0.5 C_b \sqrt{I_y J}}\right) = 6315，\text{則容許應力 } F_{b0} = \frac{1}{n_y} \left(B_c - 1.6 D_c \sqrt{\frac{L_b S_c}{0.5 C_b \sqrt{I_y J}}} \right) = 2087 \text{ MPa}，$$

$$\text{其中 } n_y = 1.65、C_b = 1、B_c = F_{cy} \left[1 + \left(\frac{F_{cy}}{15510} \right)^{1/2} \right] = 119.3 \text{ MPa}、$$

$$D_c = \frac{B_c}{10} \left(\frac{B_c}{E} \right)^{1/2} = 0.49 \text{ MPa}。 \text{計算容許撓曲應力為}$$

$$F_{LTB} = \min\left(F_{b0}, \frac{F_{y,a}}{1.65}\right) = 66.67 \text{ MPa} = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}。$$

應力 $f_{bx} <$ 容許撓曲應力 F_{LTB} ，檢核通過。

貳、橫料分析及檢核

橫料分析中需考慮風力及靜載重的影響。其中風力採用表 8-3 橫料上(下)側 (e)-(f)和(c)-(d)單位長度最大設計負風力 $F_{-w} = -23.47 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$ ；靜載重因鋁擠型自

重相對較小，故只考慮玻璃載重 $F_g = 3.3m \cdot 2m \cdot \text{單位面積重} 15 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 99 \text{ kgf}$ 。

橫料整體分析

橫料分析自由體圖可視為一簡支梁，將橫料材料特性及斷面代入結構力學公式，可分析求得變形量及應力，圖 8.8(a)為風力均勻作用於橫料之結構圖，圖 8.8(b)為玻璃載重作用於橫料之結構圖，其中根據工程實務，玻璃載重集中於墊塊位置，即距兩端支撐各四分之一跨距處。

$$\text{風力造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{5(2F_w)L_h^4}{384EI_x} = \frac{10 \times 0.02347 \times 500^4}{384 \times 7101 \times 67 \times 10^4} = 0.008 \text{ mm}$$

$$\text{自重造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{11 \frac{F_g}{2} L_h^3}{384EI_y} = \frac{11 \times 5.625 \times 500^3}{768 \times 7101 \times 20 \times 10^4} = 0.007 \text{ mm}$$

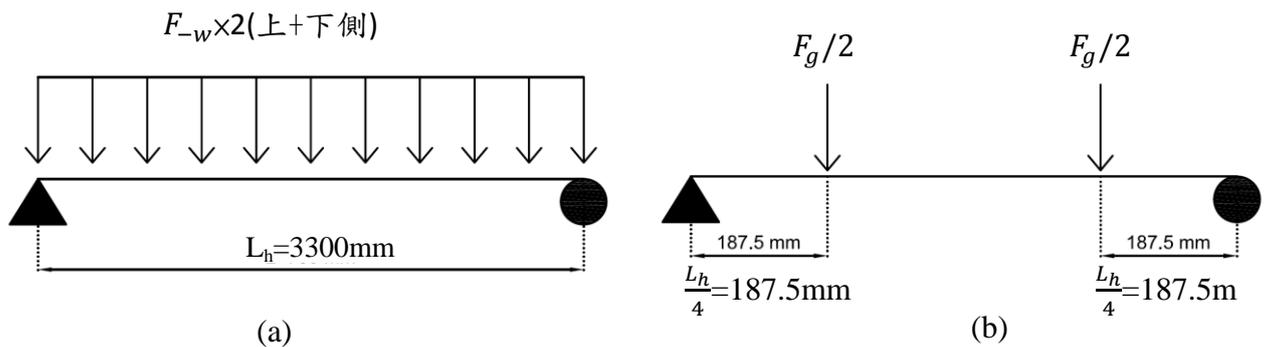


圖 8.8 第八章計算例之(a)橫料風力作用結構圖(b)橫料玻璃載重作用結構圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

風力：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 0.008 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = \frac{L_h}{175} = \frac{500}{175} = 2.86 \text{ mm}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過

玻璃載重：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 0.007 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = 3.2 \text{ mm (工程界實務假設)}$$

$$\text{最大變形量 } \delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a, \text{ 檢核通過}$$

橫料應力檢核

風力：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_w L_h^2}{8} = \frac{0.02347 \times 500^2}{8} = 733.4375 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{by} = \frac{M_{\max}}{S_{y1}} = \frac{733.4375}{15000} = 0.05 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{應力 } f_{by} < \text{容許應力 } f_b, \text{ 檢核通過}$$

玻璃載重：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_g L_h}{8} = \frac{5.625 \times 500}{8} = 351.5625 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{351.5625}{8600} = 0.04 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \frac{1.3F_{y,a}}{1.65} = 8.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{應力 } f_{bx} < \text{容許應力 } f_b, \text{ 檢核通過}$$

第三節 繫件設計檢核

帷幕牆繫件剖面圖及平面圖如圖 8.9 及圖 8.10，繫件包括 L 型鋁板、樓板上鋁板及相關之螺栓與母材。連接樓板及樓板上鋁板之鋸齒螺栓有兩顆，其中一顆位於 A 處，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。直料與 L 型鋁板以四顆螺栓連結，其中位於 B 處之螺栓通常遭受較大應力，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。L 型鋁板與樓板上鋁板間以兩顆鋸齒螺栓連接，其中一顆位於 C 處，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。D 為帶寬 6mm，強度為 20psi 之結構矽膠。

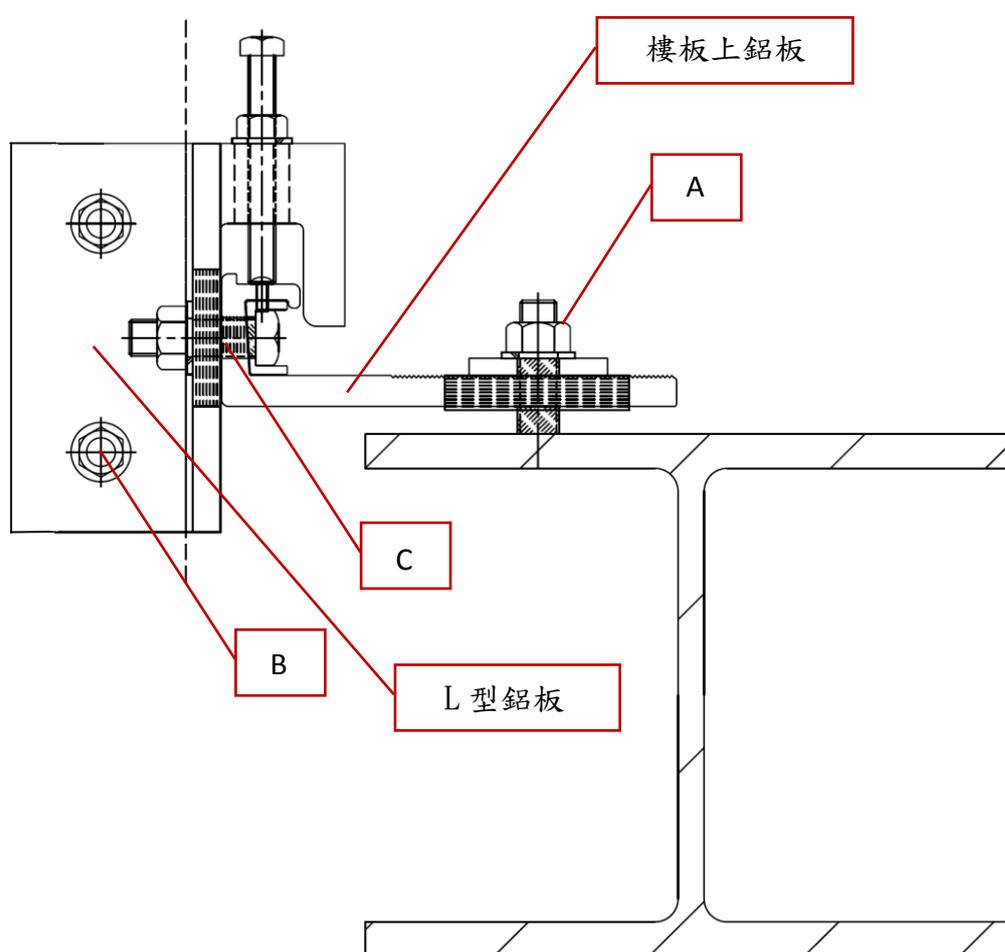


圖 8.9 第八章計算例之帷幕繫件剖面圖

(資料來源：本研究整理)

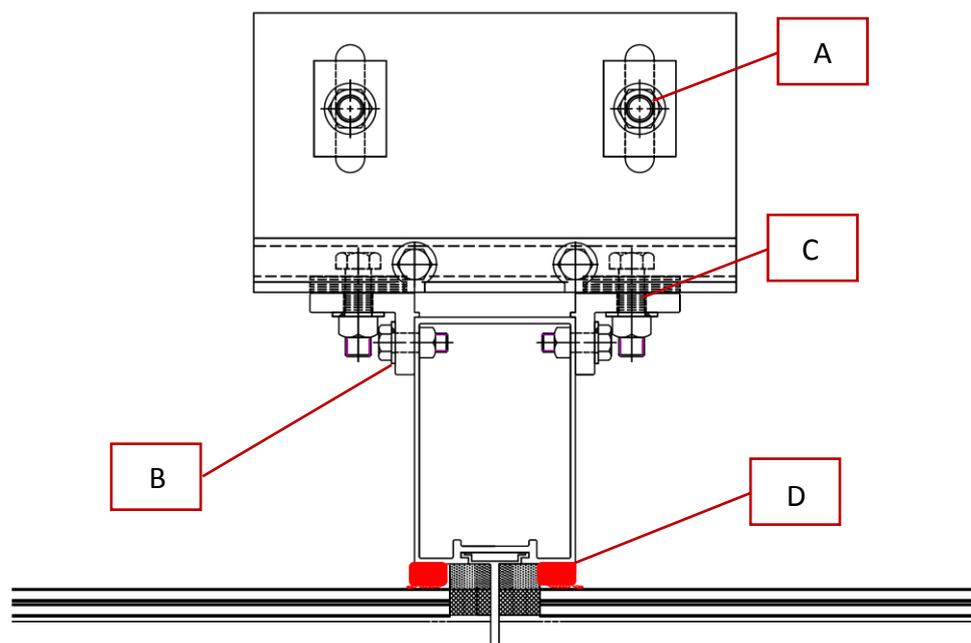


圖 8.10 第八章計算例之帷幕繫件平面圖
(資料來源：本研究整理)

壹、螺栓檢核公式

根據 AAMA TIR-A9，螺栓檢核公式如下：

螺栓容許剪力 F_V

$$F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_r 為螺栓抗剪斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

母材容許承壓 F_B

$$F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s$$

其中 d_b 為螺栓直徑， t_p 為母材厚度， F_{up} 為母材承壓應力， n_s 為螺栓個數

螺栓容許張力 F_T

$$F_T = A_s \times \min\left(0.4 F_{u,b}, 0.75 F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_s 為螺栓抗拉斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

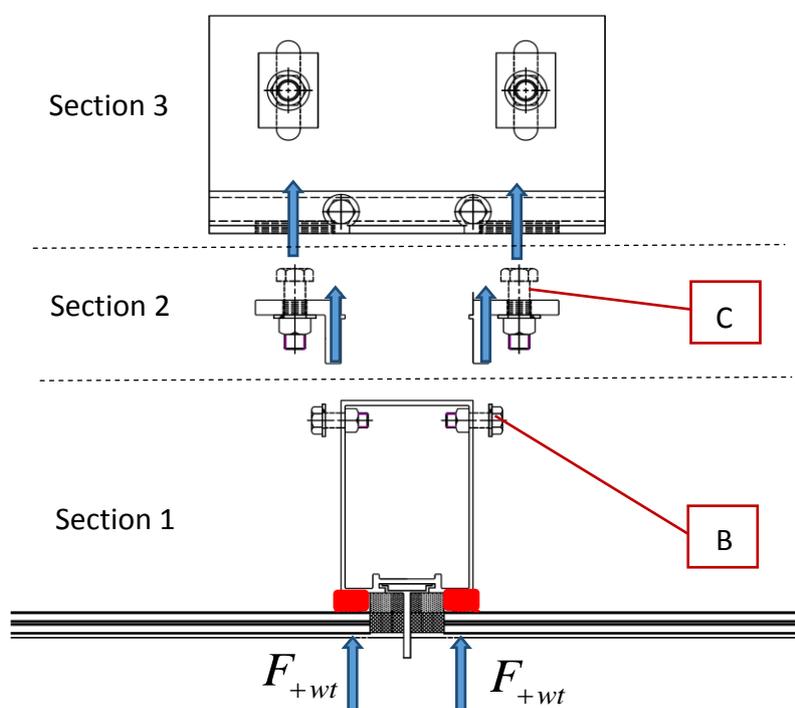
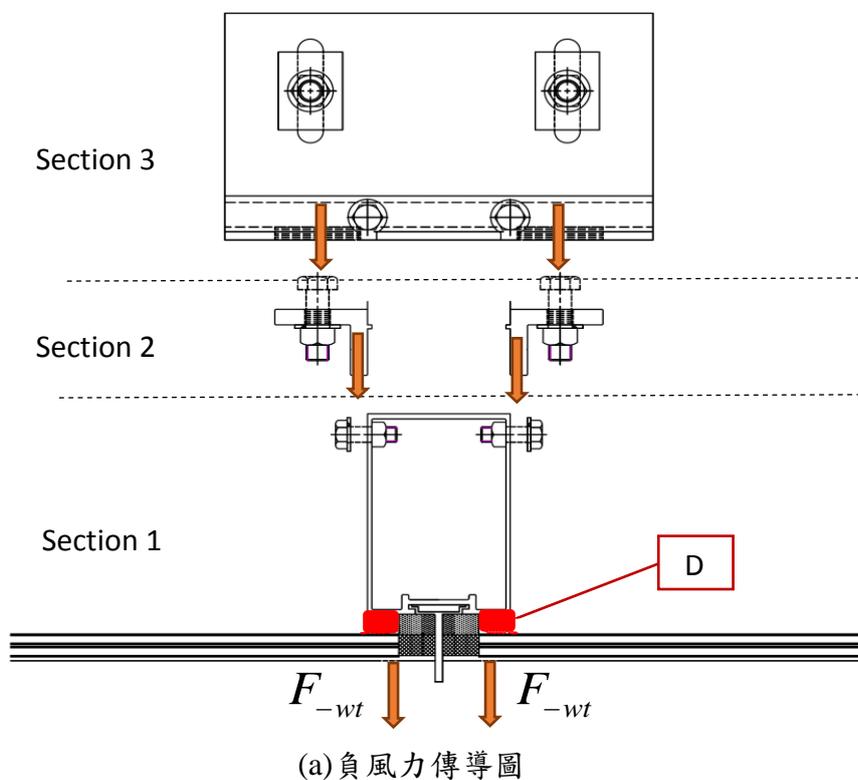
螺栓抗拉抗剪聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T}\right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)}\right)^2 < 1$$

其中 F_{ten} 為螺栓拉力， F_{shear} 為螺栓剪力

貳、繫件設計載重之決定

繫件設計載重可由兩種方法決定，分別為以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積與直料與橫料之設計風壓轉移至繫件。圖 8.11 標示繫件⑧單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，並繪製出正(負)風力傳導路徑。



(b)正風力傳導圖

圖 8.11 第八章計算例之力傳導平面圖

(資料來源：本研究整理)

繫件設計風力

若以耐風規範中外牆扣件計算繫件有效受風面積之方法計算，繫件單側有效受風面積如圖 8.12 斜線區域。

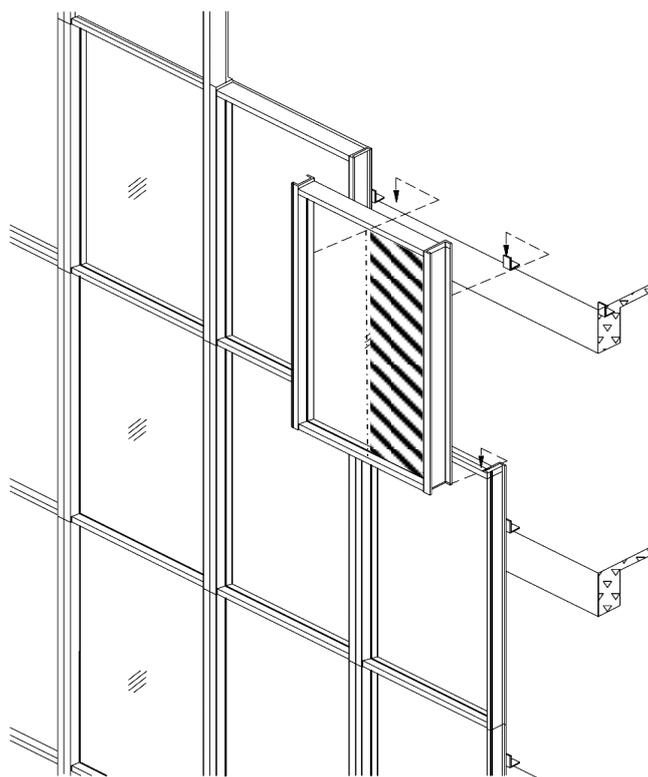


圖 8.12 第八章計算例之繫件有效受風面積

(資料來源：本研究整理)

繫件(h)單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，為表 7-3 中繫件(h)之最大正(負)風壓乘上面材一半的面積

設計正風力 F_{+wt}

$$F_{+wt} = 138.91 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \times \frac{3.3\text{m} \times 0.5\text{m}}{2} = 114.6\text{kgf}$$

設計負風力 F_{-wt}

$$F_{-wr} = -187.76 \text{ kgf/m} \times \frac{3.3\text{m} \times 0.5\text{m}}{2} = -154.9 \text{ kgf}$$

設計靜載重 F_d

此帷幕牆單元採用一組直橫料以及全玻璃面板，其單位重約略為 30 kgf/m^2 ，

而繫件單側所承受之靜載重 F_d 為

$$F_d = \frac{(30 \text{ kgf/m}^2 \times 0.75\text{m} \times 0.5\text{m})}{2} = 5.625 \text{ kgf}$$

本計算例中兩種決定風力之方式所求得之值相同，故後續計算採用之繫件單側設計正風力 F_{+wr} 為 114.6 kgf ，繫件單側設計正風力 F_{-wr} 為 -154.9 kgf ，繫件單側靜載重 F_d 為 5.625 kgf 。

參、A 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

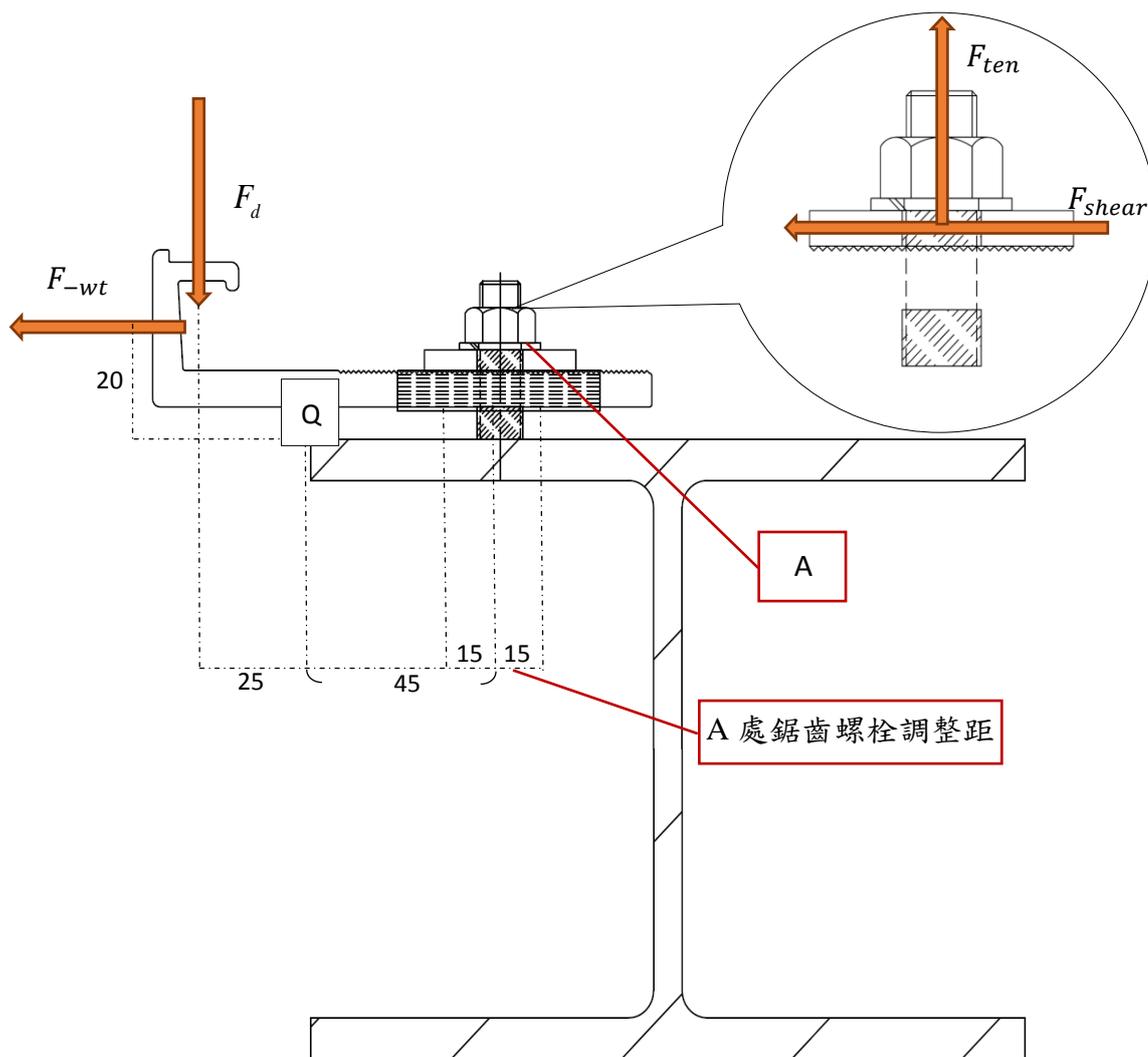


圖 8.13 第八章計算例之 A 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

參考圖 8.13，以 Q 點為力矩平衡支點，且考慮鋸齒螺栓可能移動範圍後產生的最大值

$$\text{抵抗負風壓螺栓拉力} \frac{F_d \times 25 \text{ mm} + |F_{-wt}| \times 20 \text{ mm}}{0.85(45 - 15) \text{ mm}} = 127 \text{ kgf}$$

同理，

$$\text{抵抗正風壓螺栓壓力} \frac{|F_{+wt}| \times 20 \text{ mm} - F_d \times 25 \text{ mm}}{0.85(45 - 15) \text{ mm}} = 84.3 \text{ kgf}$$

故螺栓拉力 F_{ten} 為 127 kgf

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min \left(0.4F_u, 0.75F_y \right) \times n_s = 3090\text{kgf}$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過。

螺栓剪力檢核

$$\text{螺栓剪力 } F_{shear} = \max(|F_{+wt}|, |F_{-wt}|) = 154.9\text{kgf}$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min \left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b} \right) \times n_s = 1624\text{kgf}$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 1923.6\text{kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

螺栓聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T} \right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)} \right)^2 = 0.01 < 1 \quad , \text{ 檢核通過。}$$

肆、樓板上鋁板之檢核

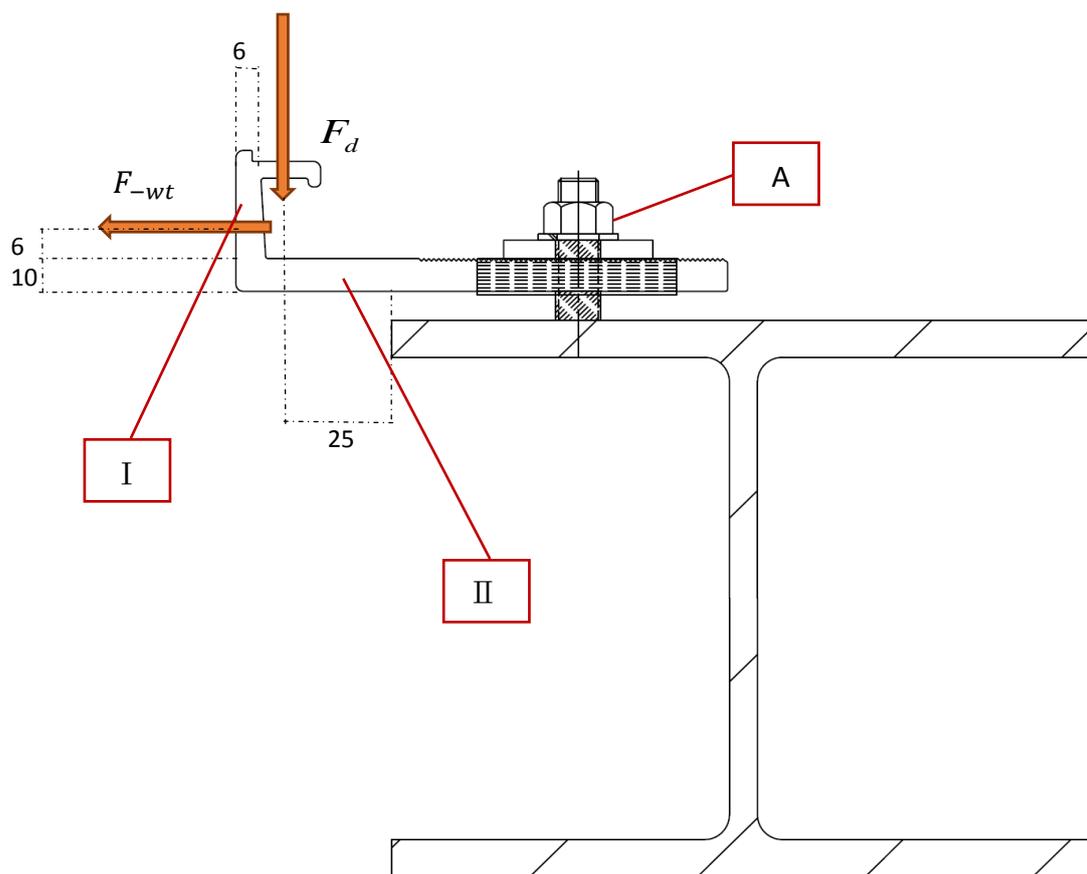


圖 8.14 第八章計算例之樓板上鋁板之受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板 I 段彎曲應力檢核

由負風力 $2F_{-wt}$ 與其力偏心距 $e = 6mm$ ，形成之偏心彎矩 M_{bl}

$$M_{bl} = 2F_{-wt} \times e = 1858.8 \text{ kgf gnm}$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 6mm$ ，偏心彎矩 M_{bl} 對 I 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bl}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 2.06 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

鋁板Ⅱ段彎曲應力檢核

由負風力 $2F_{-wt}$ 與其力偏心距 $e_w = (6 + \frac{10}{2})mm$ ，和靜載重 $2F_d$ 與其力偏心矩

$e_d = 25mm$ 形成之偏心彎矩 M_{bII}

$$M_{bII} = 2F_{-wt} \times e_w + 2F_d \times e_d = 3689.1 \text{ kgf} \cdot \text{gnm}$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 10mm$ ，偏心彎矩 M_{bII} 對Ⅱ段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bII}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 0.393 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf} / \text{mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

伍、B 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$
 抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$
 抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$
 極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.54 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.7 \text{ kgf/mm}^2$

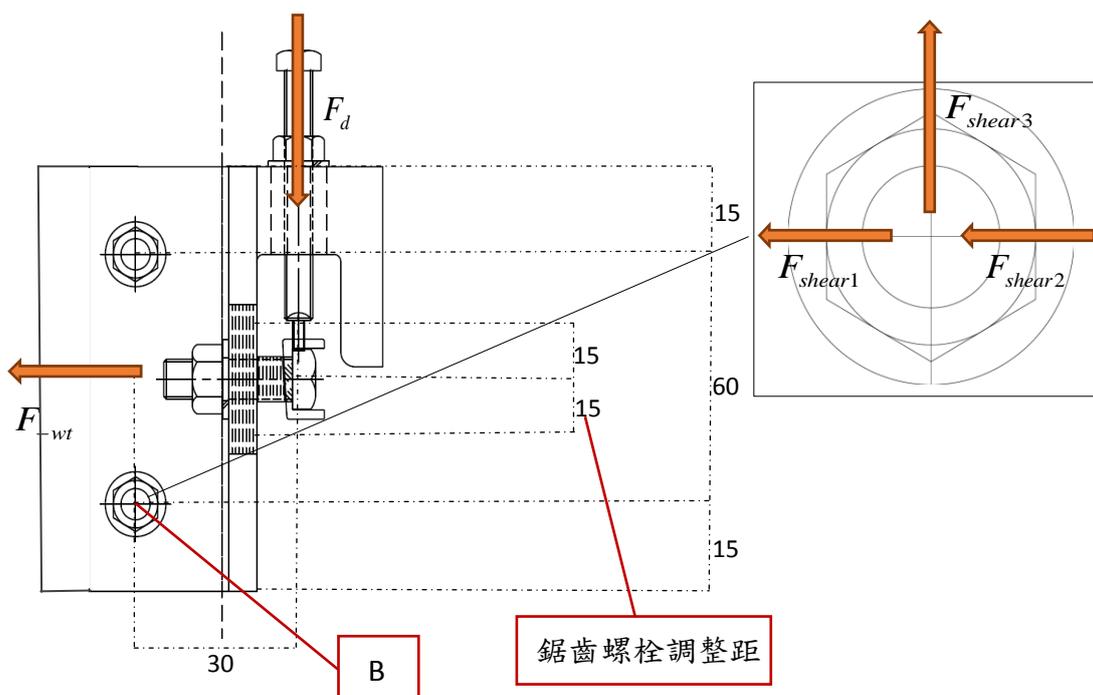


圖 8.15 第八章計算例之 B 處螺栓剪力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓剪力檢核

螺栓剪力由 F_{shear1} ， F_{shear2} 以及 F_{shear3} 組成，其值在負風壓作用且當鋸齒螺栓向

下移動 15mm 時為最大。其中 F_{shear1} 為螺栓水平抵抗風力之反力，當鋸齒螺栓向

下移動 15mm 時， F_{shear1} 為 $\frac{3}{4}F_{-wt}$ ； F_{shear2} 為靜載重扭矩平衡而產生，

$$F_{shear2} = \frac{F_d \times 30mm}{60mm} = 2.81kgf；F_{shear3} 為螺栓垂直抵抗靜載重之反力，F_{shear3} = \frac{1}{2}F_d；$$

故螺栓承受剪力之最大值 F_{shear} 為

$$F_{shear} = \sqrt{(F_{shear1} + F_{shear2})^2 + F_{shear3}^2} = 119kgf$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}}F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}}F_{y,b}\right) \times n_s = 1624kgf$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 1923.6kgf$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

陸、C 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.54 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.75 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

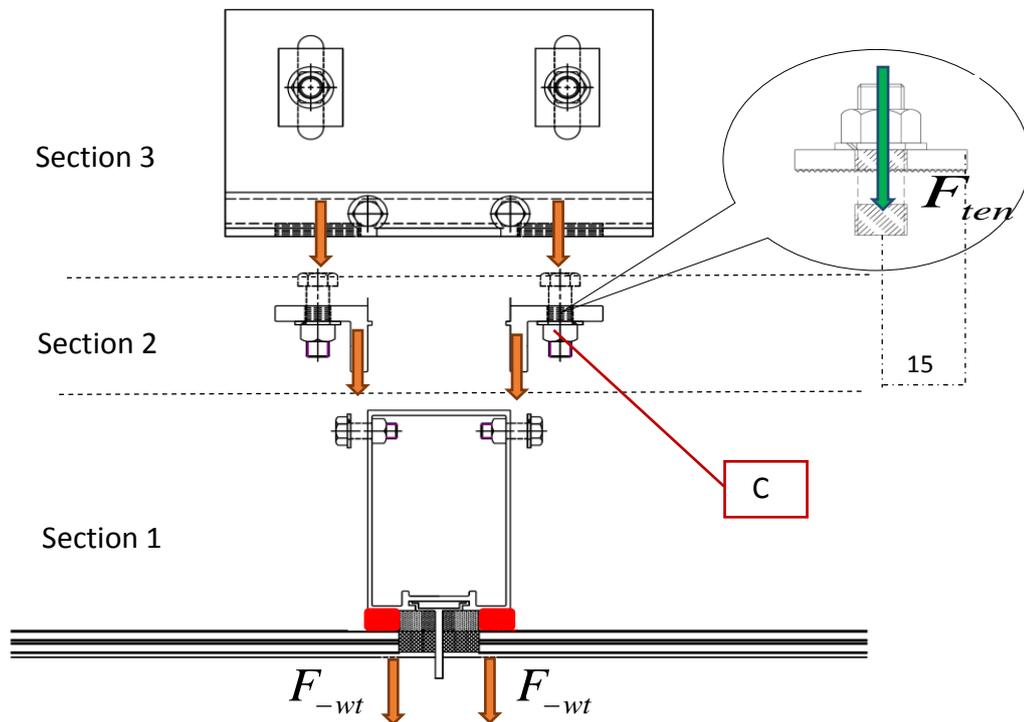


圖 8.16 第八章計算例之 C 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

抵抗正風壓螺栓拉力 $F_{+ten} = F_{+w} = 114.6 \text{ kgf}$

抵抗負風壓時，最大螺栓拉力為抵抗鋁板彎矩形成的的拉拔力

$$F_{-ten} = \frac{F_{-w} \times 30mm}{15mm} = 154.9kgf$$

$$\text{螺栓拉力 } F_{ten} = \max(F_{+ten}, F_{-ten}) = 154.9kgf$$

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min\left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b}\right) \times n_s = 3090kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過

在工程實務上因為鋁料有垂直向長孔，靜載重無法傳遞，故此螺栓不會承受靜載重造成之剪力。

柒、L 型鋁板之檢核

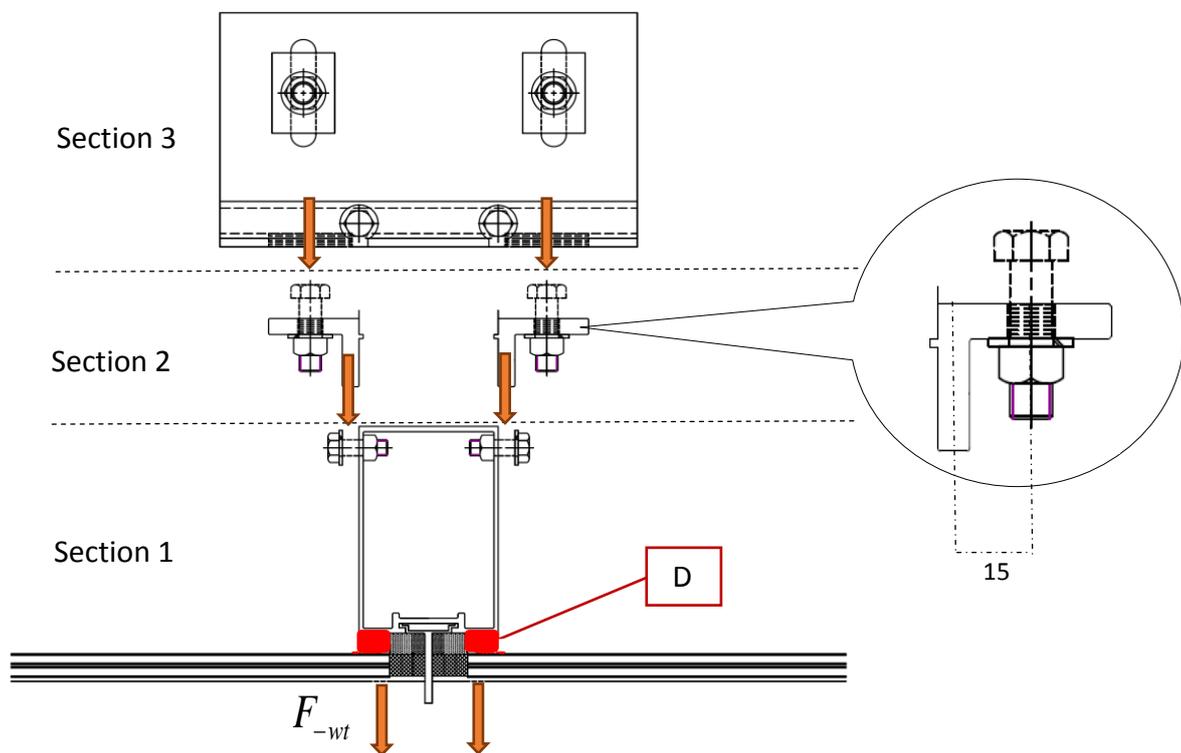


圖 8.17 第八章計算例之 L 型鋁板受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板彎曲應力檢核

由負風力 F_{-wt} 與其力偏心距 $e = 15mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = F_{-wt} \times e = 2323.5 \text{ kgf gmm}$$

板寬 $b = 90mm$ ，板厚 $t = 7mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 3.16 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

捌、D 結構矽膠

帶寬 $b_t = 3.0m \neq 0.0i$

容許拉應力 $F_t = 20psi = 14060 \text{ kgf}/m^2$

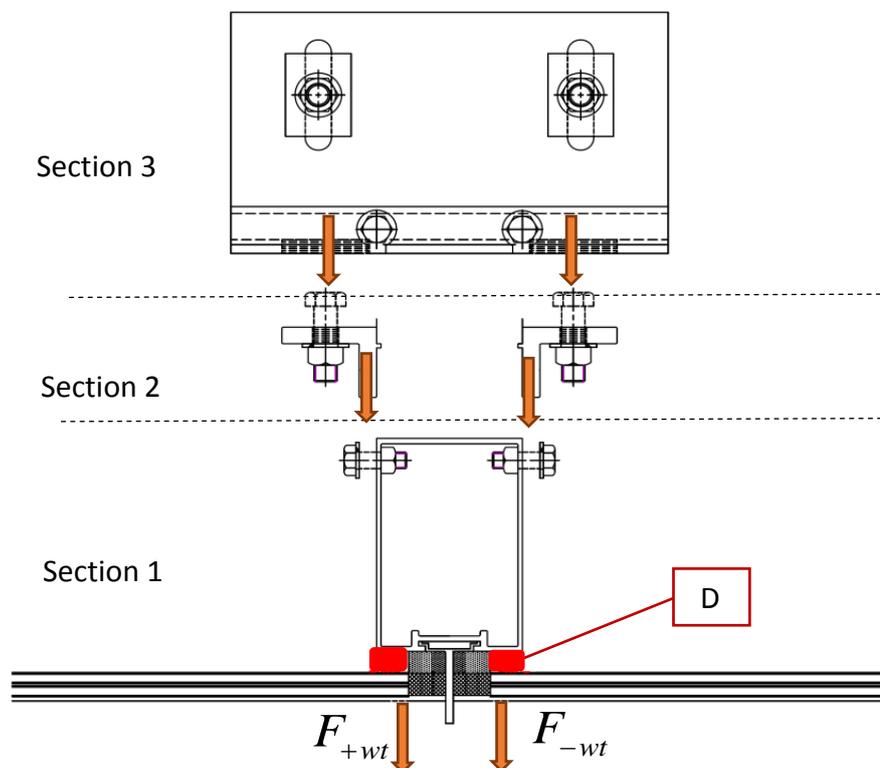


圖 8.18 第八章計算例之 D 處結構矽膠位置圖

(資料來源：本研究整理)

矽膠拉力檢核

參考本章第一節表 8-3，面材之最大設計負風壓為 $-187.76 \text{ kgf}/m^2$ ，因此

$$\text{矽膠拉力 } F_{ten} \text{ 為 } \frac{187.76 \text{ kgf}/m^2 \times 3.3m \times 0.5m}{2 \times (3.3m + 0.5m)} = 40.76 \text{ kgf}/m$$

$$\text{容許拉力 } F_T = F_t \times b_t = 84.36 \text{ kgf}/m$$

矽膠拉力 $F_{ten} < \text{容許拉力 } F_T$ ，檢核通過。

玖、直橫料連接處檢核

使用六顆 304SS A2-70 M6 不鏽鋼螺絲

直徑 $d_b = 6 \text{ mm}$

螺絲根面積 $A_R = 18.06 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,s} = 105 \text{ ksi} = 73.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

降伏強度 $F_{y,s} = 62.5 \text{ ksi} = 45 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

螺絲顆數 $n_s = 1$

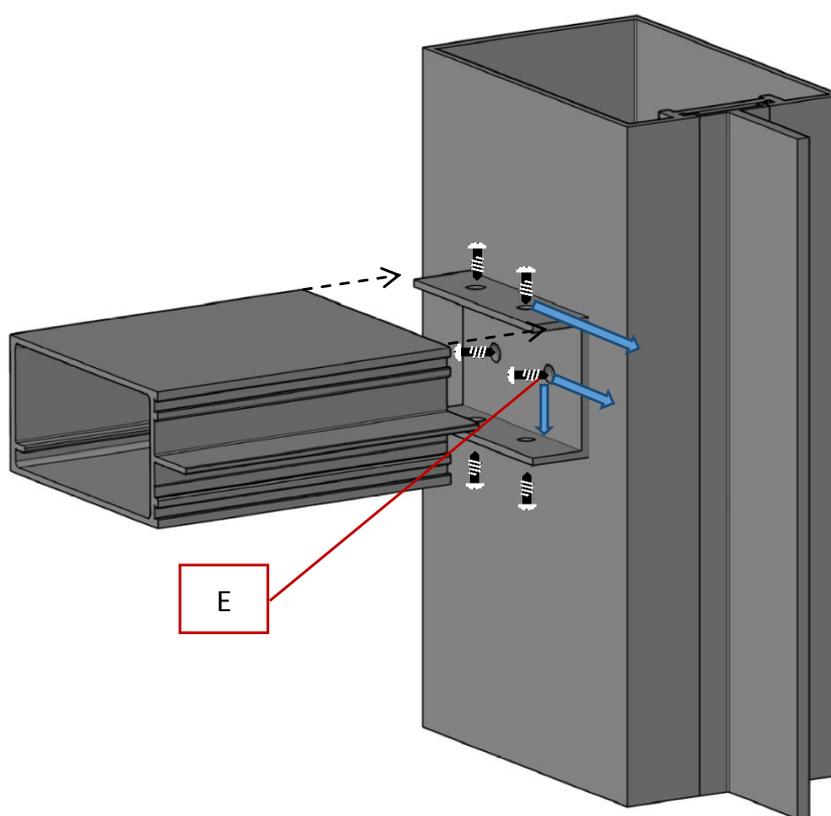


圖 8.19 第八章計算例之直橫料連接處細部圖
(資料來源：本研究整理)

螺絲剪力檢核

參考圖 8.19，六顆螺絲中受橫料負風力以及靜載重形成之最大剪力者為 E 螺絲，故分析 E 螺絲做為設計檢核依據。

根據表 8-3 中，橫料單位長度負風力為 $-23.47 \text{ kgf}/\text{m}$ ，而 E 螺絲處所承受之橫料負風力為

$$F_{-w} = \frac{23.47 \text{ kgf}/\text{m} \times 0.25\text{m}}{2} = 2.93 \text{ kgf}$$

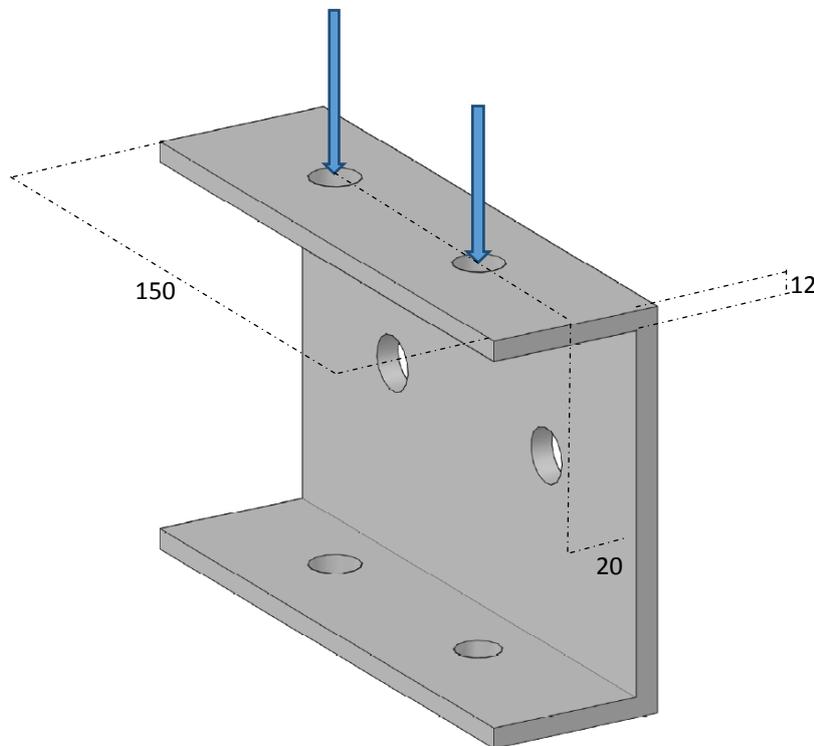
靜載重為一面玻璃及一支橫料之重量，其單位重約略為 $20 \text{ kgf}/\text{m}^2$ ，而 E 螺絲處所承受之靜載重 F_{db} 為

$$F_{db} = \frac{(20 \text{ kgf}/\text{m}^2 \times 3.3\text{m} \times 0.25\text{m})}{2} = 8.25 \text{ kgf}$$

a 螺絲所受剪力 $F_{shear} = \sqrt{F_{-w}^2 + F_{db}^2} = 8.75 \text{ kgf}$

$$\text{容許剪力 } F_V = n_s \times A_R \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,s}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,s}\right) = 307.89 \text{ kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過。



型鋼檢核

圖 8.20 第八章計算例之型鋼受力圖

(資料來源：本研究整理)

不鏽鋼板彎曲應力檢核

由靜載重 F_{db} 與其力偏心距 $e = 12mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = 2F_{db} \times e = 198kgf \cdot gnm$$

板寬 $b = 90mm$ ，板厚 $t = 6mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 0.36 \text{ kgf/mm}^2$$

不鏽鋼板降伏應力 $F_y = 21 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = 0.6F_y = 12.6 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

第四節 面材設計檢核

面材④-⑤-⑥-⑦假設採用高 3.3m 寬 0.5m 厚度為 6mm 單層退火玻璃 (Annealed glass)，根據表 8-3 讀取最大負風壓為 $-187.76 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ ，參照 ASTM E1300(2016)做面材檢核。

面材變形檢核

本例為四邊膠和固定之玻璃且厚度為 6mm，風壓乘上面材面積的平方得到 $187.76 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times (3.3\text{m} \times 0.5\text{m})^2 = 5.015 \text{kNgn}^2$ ，長寬比 $AR = \frac{\text{長}}{\text{寬}} = \frac{3.3}{0.5} = 6.6$ ，依圖

8.21(b)，面材變形約略為 6.2mm。

面材容許變形=35mm(根據金屬帷幕牆技術手冊)

面材變形 < 容許變形，檢核通過。

面材強度檢核

玻璃高 3.3m、寬 0.5m，四邊膠和固定且厚度為 16mm，對照圖 8.21(a)得未係數化的承壓強度(Nonfactored Load)7kPa。由於玻璃為完全回火玻璃，且台灣設計風速為 10 分鐘平均，遠大於圖 8.21(a)中所使用之 3 秒鐘平均，故參照表 8-5，採用長延時(Long Duration Load)係數 0.43，玻璃承壓強度為

$$7\text{kPa} \times 0.43 = 306.8 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}。$$

面材承壓 $187.76 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} < \text{容許承壓 } 306.8 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ ，檢核通過。

ASTM E1300 - 16

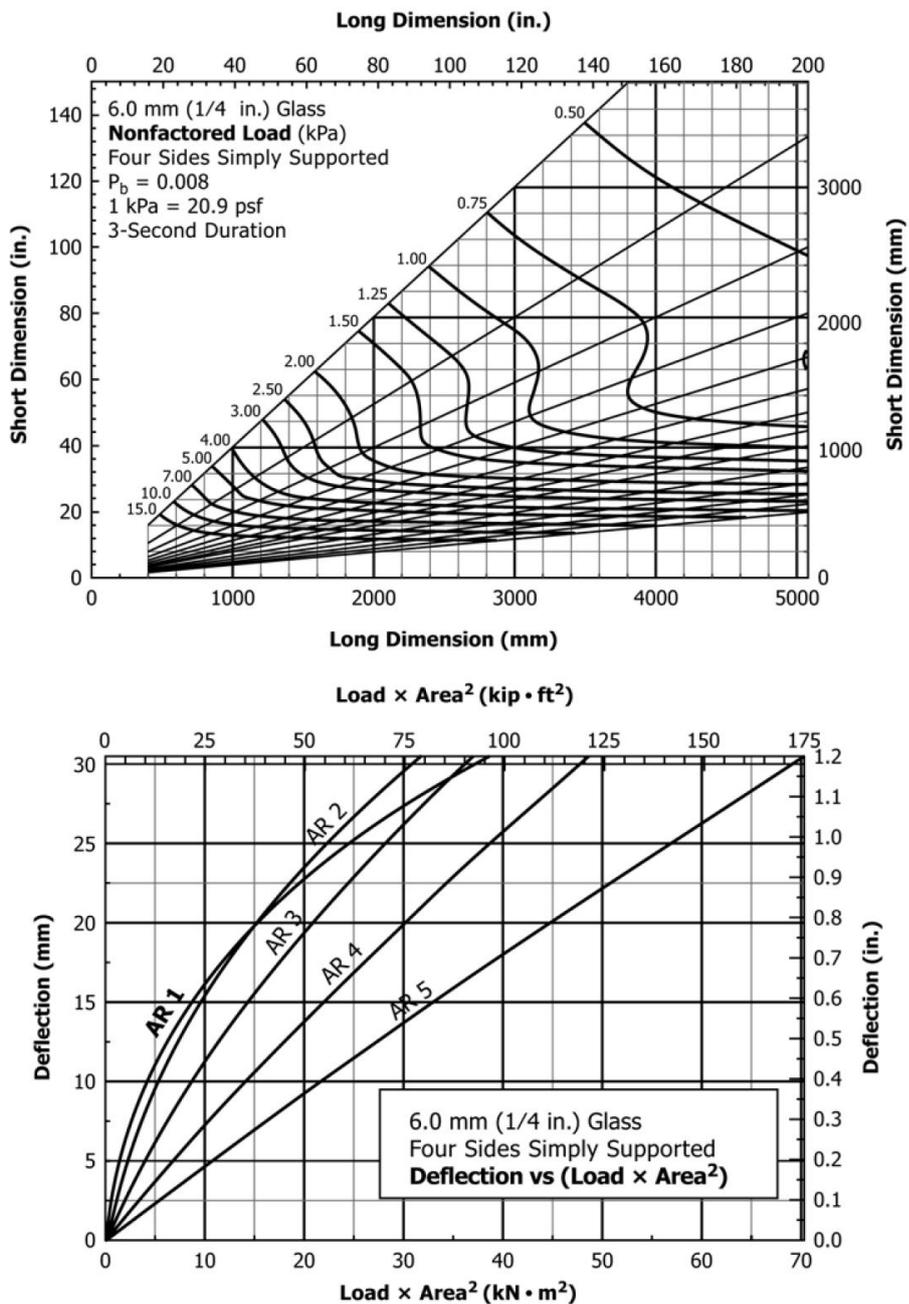


FIG. A1.7 (upper chart) Non-Factored Load Chart for 6.0 mm (1/4 in.) Glass with Four Sides Simply Supported (lower chart) Deflection Chart for 6.0 mm (1/4 in.) Glass with Four Sides Simply Supported

圖 8.21 第八章計算例之玻璃強度及變形曲線圖
 (資料來源：擷取自 ASTM E1300，FIG. A1.10，2016)

表 8-5 玻璃種類係數表

Glass Type	GTF	
	Short Duration Load (3 s)	Long Duration Load (30 days)
AN	1.0	0.43
HS	2.0	1.3
FT	4.0	3.0

(資料來源：擷取自 ASTM E1300，TABLE 1，2016)

第九章 結論與建議

第一節 結論

本研究以我國「建築物耐風設計規範及解說」及本所出版之「建築物耐風設計技術手冊」為藍本，首先回顧常見之帷幕牆系統及其組成構件，並了解其風壓傳導機制，探討有關局部構材及外部被覆物設計風壓之計算程序，其次建立帷幕牆系統之結構耐風設計與受風力分析檢核流程，且示範 3 個不同系統之計算方法；最後，研擬帷幕牆系統結構耐風設計手冊。相關結論說明如下：

1. 建立帷幕牆系統設計風壓計算程序

對於獨立矩形柱狀建築(高度超過 18 公尺或低於 18 公尺)之局部構材(支撐構件)及外部被覆物(牆體)，根據耐風設計規範「第二章 建築物設計風力之計算」中之風速壓計算方式，及「第三章 局部構材及外部被覆物之設計風壓」，封閉式與部分封閉式建築物局部構件設計風壓之計算方式，考慮建築物之位置、重要性、封閉性、週遭地況與週遭特殊地形及構件之位置與有效受風面積，建立每一來風方向下之設計風壓計算流程。

2. 研擬帷幕牆系統結構受風力分析與構材安全檢核原則

本研究分別建立直橫料式系統以及單元式系統各構件設計及檢核的原則及標準。構材檢核包括直料、橫料、面板、繫件及結構矽膠與蓋板等。帷幕牆系統之結構受風力分析流程，包括決定所設計帷幕牆系統之組成構件、位置及其風壓傳導機制；根據建築物特性及每一構件之位置與有效受風面積，分別計算對應之設計風壓；再依設計風壓，分別計算構件之抗彎強度需求及變形需求。

3. 完成帷幕牆系統結構耐風設計計算例

本計畫結合帷幕牆系統設計風壓計算程序以及帷幕牆系統結構受風力分析原則，完成 3 個帷幕牆系統結構耐風設計之計算例。包括高度超過 18 公尺建築物之單元式帷幕牆設計例、高度超過 18 公尺建築物之直橫料式帷幕牆設計例、高度小於 18 公尺建築物之直橫料式帷幕牆設計例，以上設計算例均從設計風壓計算開始，再分析構件受力，最後檢核構材安全。每一流程均有詳細計算公式與數據，可供業者依步驟進行分析與檢核。

4. 研擬帷幕牆系統結構耐風設計手冊草案

帷幕牆系統結構耐風設計手冊其內容除綜合前述研究成果外，同時增加手冊編撰目的與手冊內容架構。手冊章節包含帷幕牆系統耐風設計原則；高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆系統及直橫料式帷幕牆系統計算例；高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆系統計算例。

第二節建議

【建議一】

建議出版「帷幕牆系統結構耐風設計手冊」並辦理推廣講習會議：短期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：臺灣帷幕牆技術發展協會、社團法人中華民國風工程學會

目前中小型帷幕牆業者在帷幕牆系統之結構設計並無相關手冊可參考，常因各種不同條件，對參數使用有所疑義，而忽略或簡化耐風評估，影響結構安全。本研究已詳實的建立帷幕牆系統風壓設計與受風分析檢核流程，並以實際數據研擬計算例，利於業界參考使用。因此，建議出版「帷幕牆系統結構耐風設計手冊」，並辦理講習會議，以推廣耐風設計方法，並依示範例執行結構風力分析與材料檢核。

【建議二】

建議未來參照國內外最新發展，定期修正及增補「建築物耐風設計規範及解說」

外部被覆物及局部構材設計風壓之計算：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：社團法人中華民國風工程學會

國內外對於“建築物耐風設計規範”中外部被覆物及局部構材設計風壓之計算尚無一“完全和現地測量相同風壓”之方法，各國仍在此方面持續努力中，而對於帷幕牆結構設計上此風壓參數為一重要數值，故需參照國內外最新發展，如國外既有規範及參考國內外風洞實驗資料進行統計分析，定期修正及增補“建築物耐風設計規範”中外部被覆物及局部構材設計風壓之計算，包括其隨有效受風面積之變化。

附錄一 期初審查意見及回應一覽表

內政部建築研究所

106 年度「建築技術多元創新與推廣應用精進計畫」

第 1 案「帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬」

期初報告評選委員發言單及廠商回應一覽表

項次	評選意見	廠商回應
1	建議帷幕牆系統結構設計手冊能納入耐震、水密及氣密等性能考量。	本手冊主要針對耐風之性能考量，包括在風力作用下之結構安全、水密及氣密。
2	對設計者而言，最重要的是設計風壓，變形需求及使用便利性等。	本手冊將提供設計風壓及變形需求，同時注重使用者便利。
3	外牆立面造型凹凸變化之風壓如何考量較妥適？	若立面凹凸較劇烈目前規範不考慮，故本手冊不考慮。
4	屋頂造型對整棟建築物之外牆風壓影響為何？	屋頂造型主要影響屋頂構件之局部構材，故本手冊不考慮。
5	本研究僅針對矩形柱體建築物，但圓弧型建築亦存在，是否另案研究或概略補充說明，俾供工程師使用參考。	建議未來其他計畫可納入考量。
6	雨遮或遮陽板對外牆風壓之影響如何？	雨遮或遮陽板未大量影響外牆之受風面積時可參考本手冊。

7	帷幕牆種類眾多，各種帷幕牆皆有其計算方式，可否列出主要檢核項目，以適用所有類別。	遵照辦理。
8	宜列出期中報告預定執行內容，以能如期如質完成計畫。	<ol style="list-style-type: none"> 1.完成回顧帷幕牆系統 2.完成收集結構設計範例 3.完成首次專家座談 4.完成決定設計風壓 5.盡可能舉行第二次專家座談 6.部分完成決定結構計算例形式 7.部分完成建立結構計算例
9	變形性能的標準宜與 CNS 或工程會規範連結，以兼顧氣密性及服務性。	遵照辦理。
10	應參考國外範例以求周延，另建議補充創意回饋項目。	將參考國外範例，在本手冊內做適當引用。
11	本案設計手冊建議仍需先有相關解說之內容說明。	遵照辦理。
12	帷幕牆不論何種工法，相關繫件不會只有單一方向固定座，應有水平垂直及前後三向之安裝固定調整，此固定方式是否對於耐風性能造成影響應先探討。	遵照辦理。

13	建議應考量單元之玻璃、金屬、PC 等材質不同之接合問題。	感謝委員的建議，本研究將參考國外文獻做適當引用。
14	建議未來應朝其他造型考量外牆耐風設計問題。	建議未來其他計畫可納入考量。
15	本案建議加強說明如何與 CNS 帷幕牆耐風測試標準結合，並就設計風壓大小如何求得加以闡述。	遵照辦理。
16	建議蒐集帷幕牆破壞案例，並提出可能改善對策或設計時應注意事項。	遵照辦理。
17	本手冊規劃將由何單位發行？使用者或潛在使用者是誰？有多少人？	建議未來與建研所研討商議。
18	面對技師或公會抱怨耐風規範過於複雜建議簡化，對於此問題本手冊該如何因應，請說明。	本手冊將以 104 年版耐風設計規範為根據。建議未來規範修改時可納入考量。
19	本研究價值何在？建議提出實際災害案例說明，並與民生社會關係連結，以使本研究成果更能呼應民眾需求。	感謝委員的建議，本研究將參考國外文獻做適當引用，並建議未來與建研所研討商議。
20	資料蒐集費及翻譯費請列在本所預估經費，前 3 個月經費動支達 80% 以上。文獻、書籍收集分析、翻譯等電子檔分期集結交存本所，並於第 1 個月	

	提供目錄與執行計畫與本所洽商實施。	
--	-------------------	--

附錄二 期中審查意見及回應一覽表

內政部建築研究所

106 年度「建築技術多元創新與推廣應用精進計畫」

第 1 案「帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬」

期中報告評選委員發言單及廠商回應一覽表

項次	審查委員意見	回應
1	<p>甲:上海的帷幕牆有簽證與審查,台灣確實有必要做帷幕牆的規範以及審查制度,而耐風部份以及整個設計手冊該如何結合以及取捨。</p> <p>乙:帷幕牆耐風設計是帷幕牆系統結構設計規範中重要環節之一,今年完成之耐風設計手冊應考慮未來將何互相結合?</p> <p>丙:國內帷幕牆的確是高樓設計裡面最為混亂的一塊,建議主管單位對於以後的有更強烈的規範。</p>	<p>本計畫所完成之手冊著重於帷幕牆耐風設計,建議未來能綜合考慮各種因素建立完整的帷幕牆設計手冊,做為國內帷幕牆設計的依據。</p>
2	<p>甲:建築物受強風下也會有自身之變形產生,帷幕牆除了承擔本身的受風壓之外,如何因應結構物變形造成的影響,建議適度說明。</p> <p>乙:對於三層樓的直料設計時應考慮高樓建築的變位影響。</p>	<p>手冊中將提醒設計者需設計適當之繫件滑動機制,使得帷幕牆系統可承受由設計風力或地震力所造成之層間變位角 5/1000</p>
3	<p>編成手冊時,建議納入結構繫件耐久性考量。</p>	<p>手冊中將建議設計者需妥適考慮繫件之耐疲勞性及耐候性。</p>
4	<p>甲:自重方向在強弱軸配置需要解釋清楚。</p> <p>乙:建議將內風壓也納入載重組合。</p>	<p>橫料構件檢核中,除了須滿足變形需求外,亦需檢核剪力以及撓曲應力。其中撓曲應力分為強軸撓曲應力以及弱軸撓曲應力,強軸為</p>

		<p>風載方向，弱軸為自重方向。</p> <p>載重組合是否只有 W 以及 D+W 兩種，其中 W 必須考慮正負內外風壓之組合。</p>
5	<p>甲:帷幕牆以及主結構間通常有間隙，可能要有防火塞的考量。</p> <p>乙:現在強制規定樓板之間要放防火層間塞，對應力分析結果會不會有差?</p>	<p>關於目前業界使用防火層間塞是否對應力造成影響，會再請教相關專家。</p>
6	<p>帷幕牆與太陽光電整合系統可能會有關，是否可以納入參考手冊，因太陽光電系統一些結構設計會需要考慮到結構耐風設計。</p>	<p>若太陽光電系統為帷幕牆形式，則可依本計畫完成手冊做耐風設計。</p>
7	<p>甲:在帷幕牆設計上，特別是繫件，是否和整體結構設計放在一起考慮?</p> <p>乙:帷幕牆設計考慮的風壓和建築物設計時考慮的風壓是否有一致，是否有額外考慮結構贅餘度之影響?</p>	<p>設計整體結構所使用設計風壓和設計帷幕牆所使用設計風壓完全不同，須分別遵循耐風設計規範之規定。</p>
8	<p>甲:在耐風設計要考慮封閉或是非封閉式，若是對於一些特別的案例，如非封閉式必須嚴正考慮內風壓的部分。</p> <p>乙:帷幕牆大部分都有開口開窗，開窗與否受風壓影響能否再多點額外考量。</p> <p>丙:開窗部分的位置會不會對於帷幕牆設計有很大的影響，特別是綠建築的盛行強調開窗，是否要將開口影響納入手冊之中。</p> <p>丁:設計例中以牆面總面積的破損率評估是否為封閉式(或部分封閉式)建築物，這種評估方式對於建築物部份樓層有大面積的無隔間空間規劃時可能並不保守。</p>	<p>耐風規範中對部分封閉式以及封閉式建築物的風壓係數有明確的規定，其中開口被定義為在設計風速下，建築物表面會造成內外空氣流通之開孔(包括可能破損之外部被覆物)。</p>

9	帷幕牆之有效受風面積與實際受風面積差別為何?	將於手冊中詳細說明。
10	極端氣候盛行下，強風豪雨出現機會可能越來越大，試問如何在成本控制內，盡可能地提高帷幕牆安全性?	本計畫完成手冊將提供符合安全的最低標準，若業主經費有餘裕，可將安全標準酌以提高。
11	建議做成可以直接對應的表格，以方便設計時直接查詢。	結構耐風設計有一定複雜度，無法提供簡單表格做設計。
12	<p>報告書 PAGE 52 圖 5-5 pin and hinge 部分有畫錯，請修改。</p> <p>期末報告請附上期初會議意見回覆及專家座談記錄。</p> <p>參考文獻的格式應該照建研所格式寫。</p> <p>檢核圖表缺乏 CNS 的規定，建議納入。 建議圖表要全部重畫，因為要出版成手冊解析度有需求。</p> <p>手冊的用語希望能簡單化或是輔以圖表解釋。</p>	遵照辦理
13	玻璃安全的玻璃規格，龜殼法是否合適，或許可以再運用更精確之軟體分析。	龜殼法是用於求取直橫料之受風面積。將以材料力學或是軟體分析求取玻璃面板變形量。
14	報告中，建議部分之國外的發展，是否要做一個國內外對照表	遵照辦理
15	L 的取用，是淨跨度還是全跨度	L 是兩個 hinge 間之距離。
16	引用的手冊資料，國內工協會團體是否已經有手冊，規範等，建議作了解以及連繫	遵照辦理
17	應該找實例佐證其可應用性	遵照辦理

18	廠商的主導性高於結構計算的部分，建議了解國內大部份廠商遵循的標準規範設計章節	遵照辦理
19	帷幕牆有五種系統以及 18M 以上或以下之建築物，為甚麼選取特定案例，請於手冊說明。	業界計算例大部分只分單元式以及直橫料式系統，而本計畫預定做單元式 18M 以上建物、單元式 18M 以下建物、直橫料式 18M 以上建物、直橫料式 18M 以下建物四種為計算例。

附錄三 第一次專家座談會議及回應一覽表

建築技術多元創新與推廣應用精進計畫協同研究計畫(三)

第 1 案 帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬

第一次專家座談(4月21日) 會議記錄

一、時間：106年4月21日(星期五)早上10時30分

二、地點：內政部建築研究所13樓簡報室

三、主持人：陳教授瑞華

記錄：林雨石、張琪棉

四、出席人員：

建築技術多元創新與推廣應用精進計畫協同研究計畫(三)-第一案帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬		
第一次(106/4/21)專家座談會簽到單		
姓名	職稱	簽到
陳建忠	組長	陳建忠
郭建源	研究員	郭建源
陳郁潔	總經理	陳郁潔
周子森	經理	周子森
賴映宇	結構技師	賴映宇
林士秀	負責人	林士秀
葉文凱	總經理	葉文凱
陳瑞華	副教授	陳瑞華
錢俊達	研究生	錢俊達
羅文蔚	研究生	羅文蔚
林雨石	研究生	林雨石
張琪棉	研究生	張琪棉

五、主席致詞：(略)

六、執行單位簡報：(略)

七、綜合討論意見：

陳組長建忠：

1. 手冊發行後，主要服務對象為大型廠商(有專業技師)
或是中小型廠商？
2. 未來手冊中之規定是否有法律約束力？
3. 其他政府單位提供之風速和風壓的資訊是否與建築物
耐風設計規範相同？

郭研究員建源：

1. CNS 風壓應該是指該層樓高度的設計風壓
2. 建議在手冊開頭能盡量圖形化，以利非專業人士能較
清晰的了解

陳總經理郁潔：

1. 台灣大部分的技師並不專業於帷幕牆設計的領域，而
本手冊會有利於技師設計之用。
2. 建築物要考慮耐風的部分是非常複雜，且很難訂定
值。

3. 若是有需要關於鋁材料的資訊，可以幫忙提供，建議這次先將範圍固定在金屬與玻璃帷幕牆。

周經理子森:

1. 肯定此議題，並希冀此手冊可推到法律位階，規範國內設計。
2. 國內應該以單元式與直橫料式為大宗，國內現在絕大部分都還是依循美國的規定。

賴技師映宇:

1. 國外有鋁製造商的鋁專用手冊。
2. 建議在設計手冊可以加入雨遮的風力設計。
3. 實務面上有些建築師或業主常會指定固定的正風壓(如負風壓為正風壓的 1.5 倍)，希望國內能制定自己的規定

林董事長士秀:

1. 國內廠商品質參差不齊且都憑藉經驗來設計，若有了手冊，對於無論技師或是顧問或是中小型營造廠，會有規範性的約束，且利於技師在設計帷幕牆有依據。有些小案子業主可能不會聘任結構技師簽證，故或許需要本手冊。

2. 台灣曾經有流行過無框式帷幕牆(點式玻璃、點支撐玻璃)，以點為支撐，主要需要玻璃面板的強度分析。而膠合玻璃因挖孔造成之等效厚度有德國的規範，國內也有相應的一些規定。玻璃若挖四個孔或是六個孔都有解析公式，若大於六個孔可能需要有限元素分析。建議手冊可以納入此種帷幕牆系統，若有需求可以提供相關資料。

葉總經理文凱:

1. 業界的帷幕牆材料用的很廣泛，除了金屬、玻璃，也還有如水泥、輕石板等.....，希望直接將範圍收窄至金屬和玻璃帷幕牆。
2. 帷幕牆必須要遵循建築披覆物的耐風規範，可以讓業主和技師能清楚明確的遵循，且希望依現實案例條件(如高度不同，風力區域的界定)來編撰手冊。
3. 業界使用很多鋁材料，國內相對缺少鋁的資訊，若是能將鋁的資訊也納入手冊，因為手冊除了設計端之外，也希望能在現場(如監工，現場工程師)能有鋁的材料資料可以參考。
4. 日本的帷幕牆系統分類完善，或許可以參考。

5. 希望能提供耐風設計規範之規定，(單元的選擇建議)。

項次	審查委員意見	回應
1	<p>甲、未來手冊中之規定是否有法律約束力?</p> <p>乙、肯定此議題，並希冀此手冊可推到法律位階，規範國內設計。</p>	<p>謝謝指教，並建議未來能綜合考慮各種因素建立完整的帷幕牆設計手冊，做為國內帷幕牆設計的依據。</p>
2	<p>建議在手冊開頭能盡量圖形化，以利非專業人士能較清晰的了解。</p>	<p>遵照辦理。</p>
3	<p>甲、台灣大部分的技師並不專業於帷幕牆設計的領域，而本手冊會有利於技師設計之用。</p> <p>乙、國內廠商品質參差不齊且都憑藉經驗來設計，若有了手冊，對於無論技師或是顧問或是中小型營造廠，會有規範性的約束，且利於技師在設計帷幕牆有依</p>	<p>謝謝指教，並建議未來廣泛宣導。</p>

	<p>據。有些小案子業主可能不會聘任結構技師簽證，故或許需要本手冊</p>	
4	<p>建議在設計手冊可以加入雨遮的風力設計。</p>	<p>本計畫所完成之手冊著重於帷幕牆耐風設計，建議未來其他計畫可納入考量。</p>
5	<p>實務面上有些建築師或業主常會指定固定的正風壓(如負風壓為正風壓的 1.5 倍)，希望國內能制定自己的規定。</p>	<p>本手冊將以 104 年版耐風設計規範為根據。 建議未來規範修改時可納入考量。</p>
6	<p>台灣曾經有流行過無框式帷幕牆(點式玻璃、點支撐玻璃)，以點為支撐，主要需要玻璃面板的強度分析。而膠合玻璃因挖孔造成之等效厚度有德國的規範，國內也有相應的一些規定。玻璃若挖四個孔或是六個孔都有解析公式，若大於六個孔可能需要有限元素分析。建議手冊可以納入此種帷</p>	<p>感謝委員的建議與幫忙 由於業界計算例大部分只分單元式以及直橫料式系統，故目前本計畫預定做單元式 18M 以上建物、單元式 18M 以下建物、直橫料式 18M 以上建物、直橫料式 18M 以下建物四種為計算例。</p>

	幕牆系統，若有需求可以提供相關資料。	
7	業界的帷幕牆材料用的很廣泛，除了金屬、玻璃，也還有如水泥、輕石板等……，希望直接將範圍收窄至金屬和玻璃帷幕牆。	遵照辦理。
8	帷幕牆必須要遵循建築披覆物的耐風規範，可以讓業主和技師能清楚明確的遵循，且希望依現實案例條件(如高度不同，風力區域的界定)來編撰手冊。	本手冊將以 104 年版耐風設計規範為根據，並採納委員建議做為編撰手冊之考慮。
9	甲、若是有需要關於鋁材料的資訊，可以幫忙提供，建議這次先將範圍固定在金屬與玻璃帷幕牆。 乙、國內應該以單元式與直橫料式為大宗，且現在絕大部分都還是依循美國的規定。	感謝委員的建議與幫忙。
10	業界使用很多鋁材料，國內相對	感謝委員的建議，本手冊著

	<p>缺少鋁的資訊，若是能將鋁的資訊也納入手冊，因為手冊除了設計端之外，也希望能在現場(如監工，現場工程師)能有鋁的材料資料可以參考。</p>	<p>重於設計準則以及計算例的示範。若是引用材料性質，會詳加標示出處。</p>
--	---	---

附錄四 第二次專家座談會議及回應一覽表

內政部建築研究所

建築技術多元創新與推廣應用精進計畫協同研究計畫(三)

第 1 案 帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬

第一次專家座談(10月6日) 會議記錄

一、時間：106年10月6日(星期五)早上10時30分

二、地點：內政部建築研究所13樓簡報室

三、主持人：陳教授瑞華

記錄：林雨石、張琪棉

四、出席人員：

內政部建築研究所

106年度「建築技術多元創新與推廣應用精進計畫協同研究計畫(三)-第一案帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬」

第二次專家座談會議(106/10/06)簽到簿

時間:106年10月6日(星期五) 早上10時30分			
地點:大坪林聯合開發大樓13F(新北市新店區北新路3段200號)			
主席:		記錄:	
出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
陳建忠 組長	郭建源	副研究員	葉姩姩
郭建源 研究員	陳郁潔		
陳郁潔 總經理	陳楚文		
陳楚文 技師	胡銘煌		
胡銘煌 總監	周子森		
周子森 經理	劉士源		
劉士源 技師	賴映宇		
賴映宇 技師	陳瑞華		
陳瑞華 教授	張琪棉		
張琪棉 研究生	林雨石		
林雨石 研究生	林逸崧		
林逸崧 研究生	周廷威		
周廷威 研究生			

項次	審查委員意見	回應
1	相對於帷幕牆構件強度之設計，業界更需要的是對於特殊造型建築的風壓估計，特別是格柵、雨遮等等附屬構造物的設計原則	本計畫所完成之手冊著重於帷幕牆耐風設計，建議未來能綜合考慮各種因素與其他造型建立建築物外部被覆物設計手冊，做為國內帷幕牆設計的依據。
2	設計手冊若要給非熟練之工程師參考、練習，則細節應該更加詳細，譬如容許應力值等……。	遵照辦理。
3	應有必要檢核扭轉挫屈效應，特別是位於開口周遭。 鋁擠型為不規則斷面，以往做 1.5 倍風壓測試時常因鋁料扭轉，造成壓力外洩，所以本報告範例來說應該做扭轉檢核。	會在期末報告展現扭轉挫屈之檢核過程。
4	直料以連續樑模擬，但左端的固定端可能造成誤用，因鋁料幾乎無法做成固定端。	將修改成鉸支承以避免使用者誤解誤用。
5	B 螺栓之拉力因為開口斷面，故不抗扭，因此此處應無拉力，C 螺栓才有拉力。 B 螺栓受剪，故應評估螺栓至鋁板邊距是否太小(如剪力撕裂)。 結構矽膠標示錯誤。	遵照辦理，並將修改圖示避免誤解。
6	A 螺栓的力偶矩要乘上 0.85 的係數。	遵照辦理。
7	結構矽膠強度一般應為 20psi	遵照辦理。
8	業界實務中，18 公尺以下，幾乎不採用單元式系統，只有直橫料式系統。	遵照辦理，本報告之示範例 18 公尺以下之系統將只呈現直橫料式帷幕牆系統。
9	依照工程實務玻璃自重僅由母單元承受，業界實務計算應該是由下橫料承受。	手冊之中橫料之公母鋁擠型單元，改為業界實務常用之水槽料與下橫料。

附錄五 期末審查意見及回應一覽表

內政部建築研究所

106 年度「建築技術多元創新與推廣應用精進計畫」

第 1 案「帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬」

期末報告評選委員發言單及廠商回應一覽表

1	建議將所需使用之載重組合納入，供設計者參考。	通常鋁製結構以 ASD 做設計，因此載重組合中，風力載重前所乘係數為 1。
2	鋁帷幕牆和鋼材(包括鋼結構、螺栓等)，因電位差不同，其二種材質的接合處有鏽蝕的問題，要如何因應建議放入手冊。 建築物的生命週期很長，整個生命週期必經過必要的保養及維護。帷幕牆也不例外，填縫材、鋁材、玻璃都有更新的必要，是否要將必要的檢查、保養及更新週期作一描述。	建議未來建立完整的帷幕牆設計手冊，涵蓋各個面向。
3	將面材、直橫料依受風面積分別訂定設計風力符合學理，但反將問題複雜化，因分的過細會使工程師出現錯誤的機率增加，是否可以取最極端風壓值來設計檢核;另風雨試驗測試風力應為何者，亦有爭議。	手冊草案中針對帷幕牆系統之不同構件，根據其有效受風面積分別決定對應之設計風壓；若使用者取用各構件設計風壓之最大值作統一設計，設計會過於保守。另外，於風雨試驗中建議採用面板設計風壓。
4	英文摘要內容遺漏，請於修正版報告補充。 P158 倒數第三行文字不正常顯示，請修正。 有關報告頁碼 51、59、61、91、99、135、143、145 帷幕框架繫件與鋼梁連接介面，缺乏一塊連接片使螺栓懸空，請修正。 頁碼 128 中 18M 以下直橫料分析，直橫固定件間距 0.75m，實務上似乎	期末報告中文字、圖表及頁碼之缺漏及錯誤部分將會詳實修正。 將於手冊草案中加入符號表，並說明釐清一般設計常犯錯誤。

	<p>不常見，建議作調整。 建議加符號表。 預期成果之一為導正業界耐風設計觀念，以減低錯誤設技風險。惟台灣業界之耐風設計觀念不正之處為何，如何導正應在報告中補充敘明。 附錄二 p167 圖 3.1(a)斜角屋頂 θ 角、G_{Cp} 之曲線標註，p168 圖表之橫軸的標註是否再檢校一致性。 期末報告第 189 頁附錄六，其手冊名稱有二，且與本案案名有所出入，是否誤繕？請查明。</p>	
5	<p>手冊中請標註載重計算時單位 kgf、m，強度及撓度計算單位 kgf、mm，以防使用者誤判。</p>	於各計算式中清楚標記單位。
6	<p>設計手冊初稿建議可分送相關技師公會(結構技師、土木技師)讓會員試用，以確保手冊實用性。 有關本案成果「帷幕牆系統結構耐風設計手冊」後續工作，歡迎在座民間團體與本所合作，共同推廣，而民間團體可號召會員參與，促使短期內達到推廣效益。 本案所列是否即為率定之計算標準格式。</p>	會召開專家座談邀請各專家參加，一同審核，以確保手冊內容正確性以及適用性。
7	<p>既然常見的帷幕牆設計有五類，本報告中介紹其中在台灣常見之兩類系統，是否可能請建研所在未來規劃第二次協辦案計畫，完善其他三類計算例。 本報告書第一項建議十分值得在未來依序進行。考量到耐風設計規範修訂不易且建研所實際上已經累積了不少研究成果，建議未來協辦性質可以朝「範例手冊」的擬定為主，以每年一件協辦案方式，不進行風洞試驗而以文獻為主進行範例說明。</p>	謝謝指教，將和建研所做進一步討論。

附錄六 帷幕牆耐風設計技術手冊(初稿)

帷幕牆耐風設計技術手冊(初稿)

目次

第一章 手冊導覽	7
第一節 編撰目的	7
第二節 內容架構	7
第二章 帷幕牆系統耐風設計原則	9
第一節 帷幕牆系統各構件設計風壓之決定	9
第二節 直橫料式帷幕牆系統結構耐風設計原則	13
第三節 單元式帷幕牆系統結構耐風設計原則	17
第三章 高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆設計例	21
第一節 帷幕牆各構件設計風壓	21
第二節 直料與橫料設計檢核	32
第三節 繫件設計檢核	41
第四節 面材設計檢核	58
第四章 高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例	61
第一節 帷幕牆各構件設計風壓	61
第二節 直料與橫料設計檢核	72
第三節 繫件設計檢核	78
第四節 面材設計檢核	98
第五章 高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例	101
第一節 帷幕牆各構件設計風壓	101
第二節 直料與橫料設計檢核	112
第三節 繫件設計檢核	118
第四節 面材設計檢核	138
附錄 一 「建築物耐風設計規範」中之用途係數、基本設計風速及風速垂直分布	141
附錄 二 「建築物耐風設計規範」中之外風壓係數	145

參考書目.....151

表次

表 3-1	第三章設計例之建築物資料與工址風環境	17
表 3-2	第三章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m ²)	24
表 3-3	第三章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m ²)	25
表 3-4	第三章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質	27
表 3-5	玻璃種類係數表	54
表 4-1	第四章設計例之建築物資料與工址風環境	57
表 4-2	第四章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m ²)	64
表 4-3	第四章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m ²)	64
表 4-4	第四章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質	67
表 4-5	玻璃種類係數表	94
表 5-1	第五章設計例之建築物資料與工址風環境	97
表 5-2	第五章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m ²)	104
表 5-3	第五章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m ²)	105
表 5-4	第五章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質	107
表 5-5	玻璃種類係數表	134

圖次

圖 2.1	高度不超過 18 公尺建築物之局部構材耐風設計流程圖	12
圖 2.2	高度超過 18 公尺建築物之局部構材耐風設計流程圖	13
圖 2.3	直橫料式系統構件位置	14
圖 2.4	直橫料式系統直料結構分析示意圖	15
圖 2.5	直橫料式系統橫料結構分析示意圖	16
圖 2.6	單元式系統構件位置	18
圖 2.7	單元式系統直料結構分析示意圖.....	19
圖 2.8	單元式系統橫料結構分析示意圖.....	20
圖 3.1	第三章設計例帷幕牆示意圖	22
圖 3.2	第三章設計例之帷幕牆構件位置放大圖	23
圖 3.3	第三章設計例之面材、直料及橫料之承受風壓面積.....	26
圖 3.4	第三章設計例之帷幕牆直料及繫件平剖圖	27
圖 3.5	第三章設計例之帷幕牆橫料截面圖	27
圖 3.6	第三章設計例之帷幕牆系統剖面圖	33
圖 3.7	第三章設計例之直料結構圖	35
圖 3.8	第三章設計例之剪力、彎矩及變形圖	36
圖 3.9	第三章設計例之公單元斷面及對稱斷面圖	37
圖 3.10	第三章設計例之母單元斷面及對稱斷面圖	39
圖 3.11	第三章設計例之(A)橫料(水槽料與下橫料)風力作用結構圖(B)下橫料玻璃載重作用結構圖.....	40
圖 3.12	第三章設計例之帷幕牆繫件剖面圖.....	42
圖 3.13	第三章設計例之帷幕牆繫件平面圖	43
圖 3.14	第三章設計例之力傳導平面圖	45
圖 3.15	第三章設計例之繫件有效受風面積	46
圖 3.16	第三章設計例之 A 處螺栓受力圖	49
圖 3.17	第三章設計例之樓板上鋁板之受力圖	51
圖 3.18	第三章設計例之 B 處螺栓剪力圖	53
圖 3.19	第三章設計例之 C 處螺栓受力圖	55
圖 3.20	第三章設計例之 L 型鋁板受力	57
圖 3.21	第三章設計例之 D 處結構矽膠位置圖	58
圖 3.22	第三章設計例之玻璃強度及變形曲線圖.....	60
圖 4.1	第四章計算例之帷幕牆示意圖	62
圖 4.2	第四章計算例之帷幕牆構件位置放大圖	63
圖 4.3	第四章計算例之面材、直料及橫料之承受風壓面積.....	66
圖 4.4	第四章計算例之帷幕牆直料及繫件平剖圖	67
圖 4.5	第四章計算例之帷幕牆系統剖面圖	73

圖 4.6	第四章計算例之直料結構圖	75
圖 4.7	第四章計算例之剪力彎矩及變形圖	75
圖 4.8	第四章計算例之(A)橫料風力作用結構圖(B)橫料玻璃載重作用結構圖 ...	77
圖 4.9	第四章計算例之帷幕繫件剖面圖.....	79
圖 4.10	第四章計算例之帷幕繫件平面圖.....	80
圖 4.11	第四章計算例之力傳導平面圖.....	83
圖 4.12	第四章計算例之繫件有效受風面積	83
圖 4.13	第四章計算例之 A 處螺栓受力圖	86
圖 4.14	第四章計算例之樓板上鋁板之受力	88
圖 4.15	第四章計算例之 B 處螺栓剪力圖	90
圖 4.16	第四章計算例之 C 處螺栓受力圖	92
圖 4.17	第四章計算例之 L 型鋁板受力	94
圖 4.18	第四章計算例之 D 處結構矽膠位置圖	95
圖 4.19	第四章計算例之直橫料連接處細部圖	96
圖 4.20	第四章計算例之型鋼受力圖	97
圖 4.21	第四章計算例之玻璃強度及變形曲線圖.....	100
圖 5.1	第五章計算例之帷幕牆示意圖	102
圖 5.2	第五章計算例之帷幕牆構件位置放大圖	103
圖 5.3	第五章計算例之面材、直料及橫料之承受風壓面積.....	106
圖 5.4	第五章帷幕牆平剖圖	107
圖 5.5	第五章計算例之帷幕牆系統剖面圖	113
圖 5.6	第五章計算例之直料結構圖	115
圖 5.7	第五章計算例之剪力彎矩及變形圖	115
圖 5.8	第五章計算例之(A)橫料風力作用結構圖(B)橫料玻璃載重作用結構圖 ..	117
圖 5.9	第五章計算例之帷幕繫件剖面圖.....	119
圖 5.10	第五章計算例之帷幕繫件平面圖.....	120
圖 5.11	第五章計算例之力傳導平面圖.....	123
圖 5.12	第五章計算例之繫件有效受風面積	123
圖 5.13	第五章計算例之 A 處螺栓受力圖	126
圖 5.14	第五章計算例之樓板上鋁板之受力	128
圖 5.15	第五章計算例之 B 處螺栓剪力圖	130
圖 5.16	第五章計算例之 C 處螺栓受力圖	132
圖 5.17	第五章計算例之 L 型鋁板受力	134
圖 5.18	第五章計算例之 D 處結構矽膠位置圖	135
圖 5.19	第五章計算例之直橫料連接處細部圖	136
圖 5.20	第五章計算例之型鋼受力圖	137
圖 5.21	第五章計算例之玻璃強度及變形曲線圖.....	140

符號表

A	各範例中鋁擠型斷面積
A_r	螺栓抗剪斷面積
AR	面材長寬比
A_R	螺絲根面積
A_s	螺栓抗拉斷面積
A_g	受正值外風壓牆面總面積
A_{gi}	各牆面（含屋頂，但不含 A_g ）之總面積
A_0	受正值外風壓牆面總開口面積
A_{0i}	各牆面（含屋頂，但不含 A_0 ）之總開口面積
a	外風壓區域之寬度
B	垂直於風向之建築物水平尺寸
b	鋁板斷面寬
b_s	結構矽膠帶寬
C_b	依彎矩梯度修正之係數
d	斷面深度
d_b	螺栓直徑
E	鋁之楊氏係數
e	力偏心距
e_d	靜載之力偏心距
e_w	風力之力偏心距
F_{+wt}	繫件單側所受設計正風力
f_b	各範例中鋁擠型容許應力
F_B	母材容許承壓
F_{b0}	考慮側向扭轉挫屈之容許應力
f_{bx}	各範例中鋁擠型所受 x 向應力
f_{by}	各範例中鋁擠型所受 y 向應力
F_d	繫件單側設計靜載重
F_{db}	螺絲所受靜載重
F_g	玻璃載重
F_{LTB}	容許撓曲應力
F_{shear}	螺栓剪力
F_T	螺栓容許張力
F_t	結構矽膠容許拉應力
F_{ten}	螺栓拉力
F_u	6063-T5 鋁之極限強度
$F_{u,b}$	螺栓之極限強度

$F_{u,s}$	螺絲極限強度
F_{up}	母材承壓應力
F_V	螺栓容許剪力
F_{-w}	單位長度最大設計負風力
F_{-wt}	繫件單側所受設計負風力
$F_{y,a}$	6063-T5 鋁之降伏強度
$F_{y,b}$	螺栓之降伏強度
$F_{y,s}$	螺絲降伏強度
(GC _p)	外風壓係數
(GC _{pi})	內風壓係數
I	用途係數
I_x	各範例中鋁擠型 X 向慣性矩
I_y	各範例中鋁擠型 Y 向慣性矩
J	斷面扭轉常數
$K(z)$	高度 z 處風速壓地況係數。
K_{zt}	地形係數
K_y	有效長度係數
L	平行於風向之建築物水平尺寸
L_c	直料分析中兩個繫件之間的長度
L_h	各範例中橫料長度
L_b	無側撐長度
M	各範例中最大彎矩量
M_{bI}	樓板上鋁板短邊偏心彎矩
M_{bII}	樓板上鋁板長邊偏心彎矩
M_b	鋁板之偏心彎矩
M_{max}	各範例中鋁擠型最大彎矩量
n_s	螺栓(絲)顆數
n_y	降伏強度之安全係數
p	封閉式或部分封閉式建築物所受之設計風壓
$q(h)$	離地面 $z=h$ 公尺高之風速壓
$q(z)$	離地面 z 公尺高之風速壓
r_{ye}	有效迴轉半徑
S_x	各範例中鋁擠型 X 向斷面模數
S_y	各範例中鋁擠型 Y 向斷面模數
t	鋁板斷面厚
t_p	母材厚度
$V_{10}(c)$	基本設計風速
z_g	梯度高度

α	相對於 10 分鐘平均風速垂直分布法則的指數
δ_a	各範例中容許變形量
δ_{max}	各範例中最大變形量
ν	鋁之柏松比

第一章 手冊導覽

第一節 編撰目的

帷幕牆系統是建築構造中重要的一環，其設計不僅要符合水密性與氣密性等功能性之需求，更一定要符合結構安全之標準。帷幕牆系統基本上包括牆體本身及支撐構件，必須根據各種可能最大外力妥適設計，以確保其結構安全，其中結構耐風設計扮演非常關鍵的角色，尤其對高層建築而言，設計風壓常主控牆體本身及支撐構件之設計。現行「建築物耐風設計規範」(以下簡稱「耐風規範」)於民國 103 年 6 月 12 日修正頒佈，並自民國 104 年 1 月 1 日起施行，其中對規則矩形斷面建築之外部被覆物及局部構材之設計風壓有詳盡的規定。但目前一般的帷幕牆系統結構設計者通常不太熟悉相關規定，部分反應現行規範之計算流程繁複，而改以經驗或早期國內外規定作設計，此種設計在未來建築生命週期內強風侵襲時之安全性頗值得憂慮。本手冊係根據內政部建築研究所計畫成果報告「帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬」(鄭元良、陳瑞華、高士哲、張琪棉、林雨石，2017)編撰而成，將讓帷幕牆系統結構設計者熟悉「建築物耐風設計規範」之相關規定，減少錯誤之判斷與應用。

第二節 內容架構

國內常見之帷幕牆系統分為直橫料式以及單元式。直橫料式帷幕牆為將帷幕牆構件依序於工地施作，包括繫件、直料、橫料及面材(如玻璃、鋁板或混凝土板等)。單元式帷幕牆為於工廠中將帷幕牆構件規格化，做成適合安裝之預組單元，然後於現場先將繫件固定於結構系統上，再將預組單元間四邊以公母式鋁擠型嵌接，嵌接後水平向鋁擠型在分析時視為橫料，垂直向鋁擠型在分析時視為直料。

本手冊第二章簡介帷幕牆系統耐風設計原則，其第一節說明如何根據「耐風規範」決定帷幕牆系統各構件設計風壓，包括面材、繫件、直料及橫料。第二節及第三節分別針對國內常見之直橫料式以及單元式帷幕牆系統，簡介各構件結構耐風分析與設計的原則與檢核標準。

國內工程實務針對高度超過 18 公尺之建築物通常採用單元式或直橫料式帷幕牆，但對高度不超過 18 公尺之建築物，只採用直橫料式帷幕牆，故本手冊第三章為高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆系統設計例；第四章為高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆系統設計例；第五章為高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆系統設計例。

第二章 帷幕牆系統耐風設計原則

第一節 帷幕牆系統各構件設計風壓之決定

帷幕牆系統內含之構件包括面材、直料、橫料及繫件；根據「耐風規範」第一章之定義，面材為外部被覆物，而直料、橫料及繫件為局部構材，其中外部被覆物將所受風力傳至局部構材，局部構材再將所受風力傳送到主要風力抵抗系統。

圖 2-1 及圖 2-2 分別為高度不超過 18 公尺及高度超過 18 公尺封閉式或部分封閉式建築物之局部構材及外部被覆耐風設計風壓計算流程圖。設計風壓之計算分為四個步驟，先蒐集建築物與工址風環境資料，再針對每一構件分別決定其外風壓係數、計算各來風方向下之設計風壓及決定最大設計正風壓和負風壓，下面各小節將分別說明上述步驟。

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

建築物資料包含建築物尺寸、牆面與屋頂開口面積、用途係數 I 、帷幕牆每一構件的尺寸與配置；工址風環境包含基本設計風速 $V_{10}(C)$ 、建築物周邊地形以及各牆面上風側地況。其中，用途係數依照建築物之重要性而決定；基本設計風速依建築物所在位置而定；地況種類依建築物附近地表粗糙度而定；詳細資料請參考附錄一。開口面積為在設計風速下，建築物表面會造成內外空氣流通之開孔面積，其大小會影響建築物之封閉性及內風壓係數，其計算請參考第三、四及五章之設計例。

貳、決定外風壓係數

根據「耐風規範」，外風壓係數(GCp)是根據被設計局部構材或外部被覆物之有效受風面積(而非承受風壓面積)來決定，其中高度不超過 18 公尺建築物之局部構材或外部被覆物係依據「耐風規範」圖 3.1(a)-(d)(同時列於附錄二)；高度超過 18 公尺建築物之局部構材或外部被覆物係依據「耐風規範」圖 3.2(同時列於附錄二)。

被設計構件之承受風壓面積為其跨距長度與寬度之乘積，而有效受風面積為其跨距長度與有效寬度之乘積。根據「耐風規範」，有效寬度不必小於跨距長度的 1/3；也就是說，若寬度大於跨距長度的 1/3，則有效寬度為寬度；若寬度小於跨距長度的 1/3，則有效寬度為跨距長度的 1/3。此外，對繫件而言，其有效受風面積不得大於單一繫件之承受風壓面積。本研究於第三、四及五章設計例中將詳

細說明如何決定面材、直料、橫料及繫件之承受風壓面積及有效受風面積。

參、計算各來風方向下之設計風壓

高度不超過 18 公尺、近似規則矩形建築物外部被覆物及局部構材之設計風壓，根據「耐風規範」式(3.1)，其計算式如下

$$p = q(h)[(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (2.1)$$

其中， (GC_p) 為外風壓係數、 $q(h)$ 為平均屋頂高度 h 處之風速壓以及 (GC_{pi}) 為內風壓係數。

高度超過 18 公尺、近似規則矩形建築物外部被覆物及局部構材之設計風壓，根據「耐風規範」式(3.2)，其計算式如下

$$p = q(GC_p) - q_i(GC_{pi}) \quad (2.2)$$

其中，對迎風面牆，風速壓 q 採 $q(z)$ ；對背風面牆、側牆與屋頂，風速壓 q 採 $q(h)$ ；封閉式建築物或內風壓取負值之部分封閉式建築物，風速壓 q_i 採 $q(h)$ ；對內風壓取正值之部分封閉式建築物， q_i 採 $q(z_{h_0})$ 或 $q(h)$ ，其中， z_{h_0} 為會影響正值內風壓之最高開口高度。本手冊取 $q_i = q(h)$ ，故式(2.2)可寫為

$$p = q(GC_p) - q(h)(GC_{pi}) \quad (2.3)$$

在本手冊後續計算例中將詳述如何在各來風方向下，利用「耐風規範」第二章計算上述參數值。由式(2.1)或(2.3)計算所得之設計風壓將作用於外部被覆物或局部構材之承受風壓面積(Tributary Area)。

肆、決定各構件最大設計正風壓和負風壓

從上述所有考量各來風方向中，針對各構件分別選取其最大設計正風壓和負風壓，其細節將詳述於本手冊計算例。

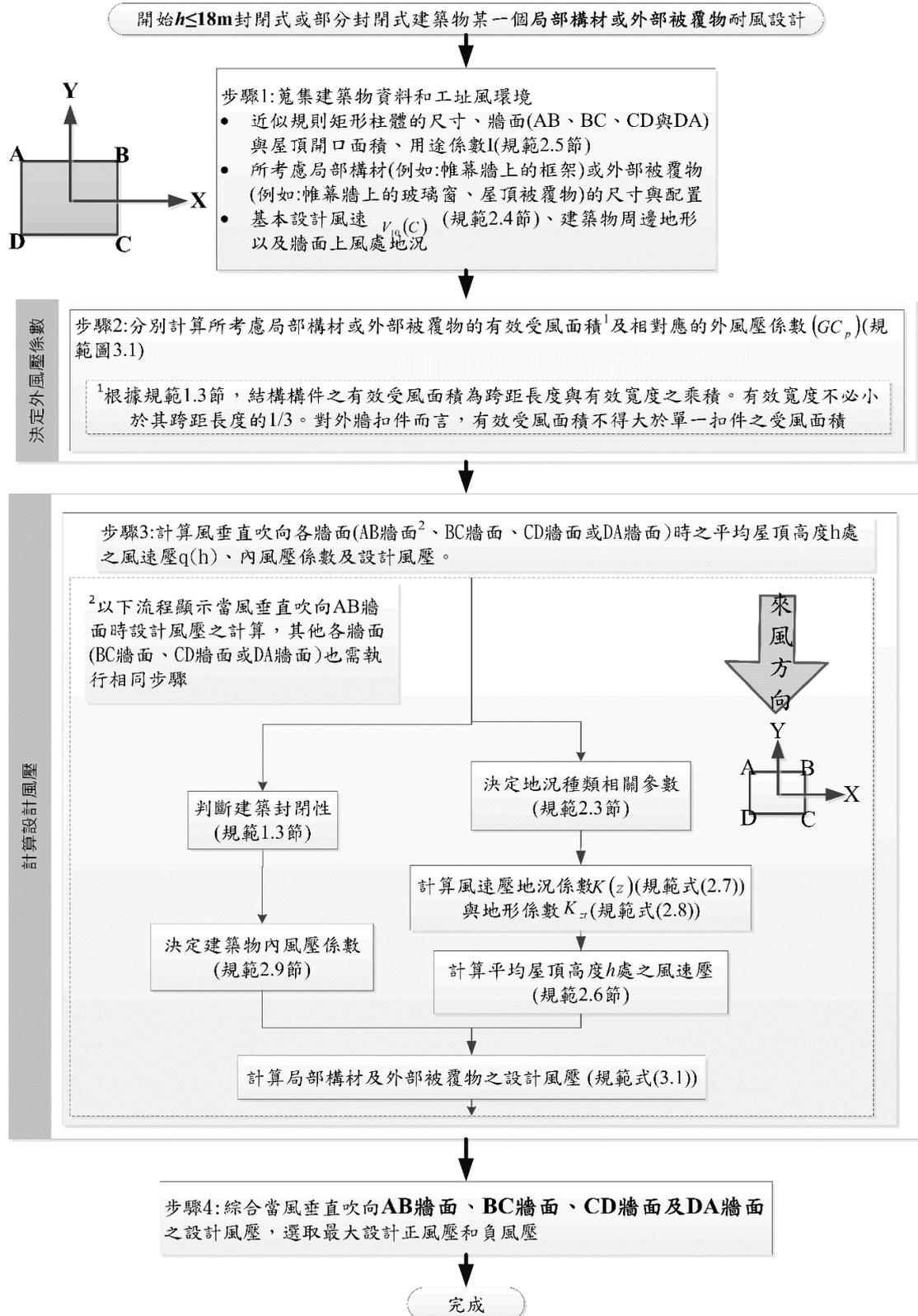


圖 2.1 高度不超過 18 公尺建築物之局部構材耐風設計流程圖
(資料來源: 本研究整理)

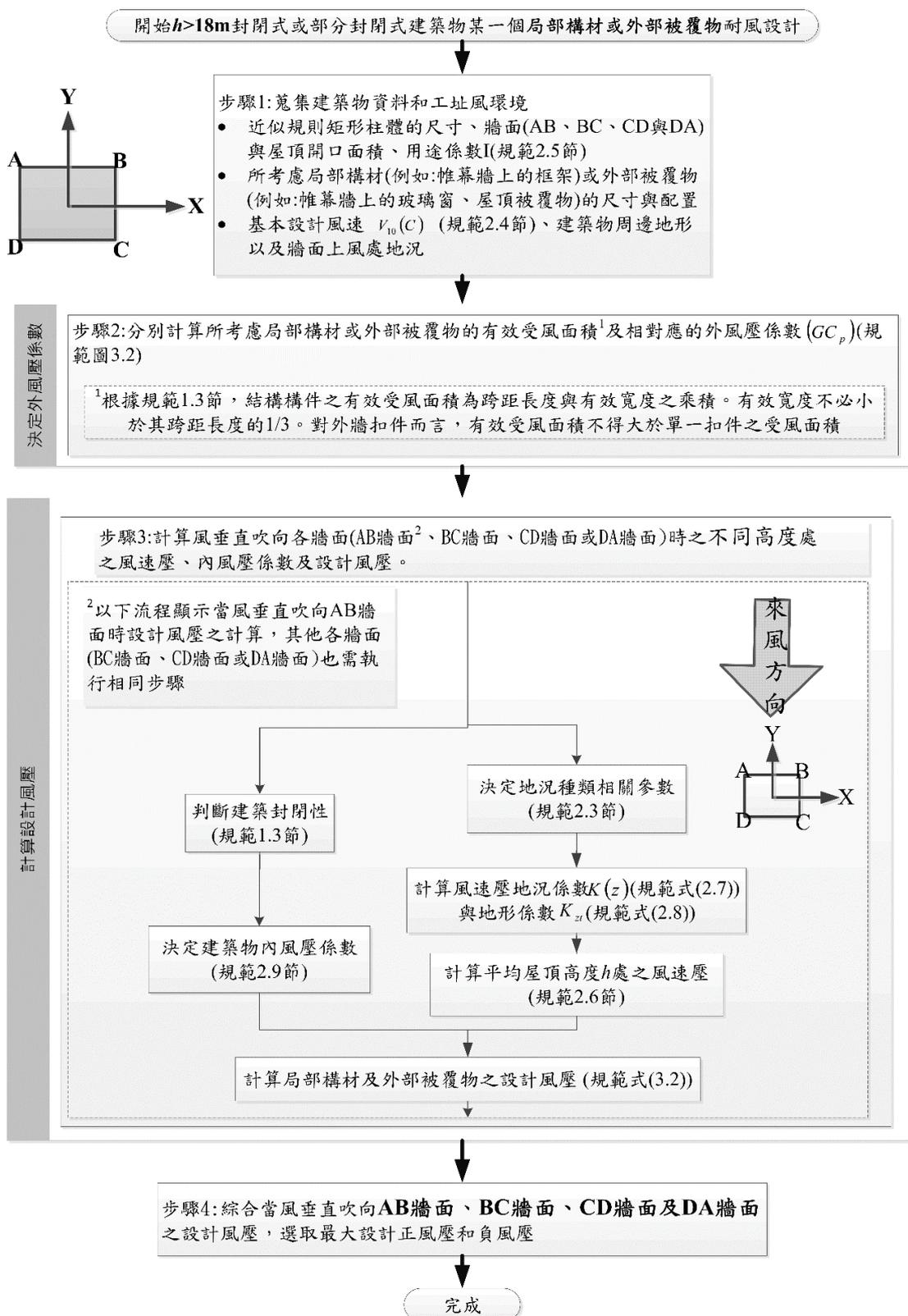


圖 2.2 高度超過 18 公尺建築物之局部構材耐風設計流程圖
(資料來源：本研究整理)

第二節 直橫料式帷幕牆系統結構耐風設計原則

本節將針對在台灣應用廣泛的直橫料系統，介紹其各構件結構耐風分析與設計的原則與檢核標準。

貳、構件組成及相關圖形

圖 2-4 為直橫料式系統之示意圖，其構件包括直料、橫料、繫件以及面材，其中面材包括內嵌玻璃及層間板。

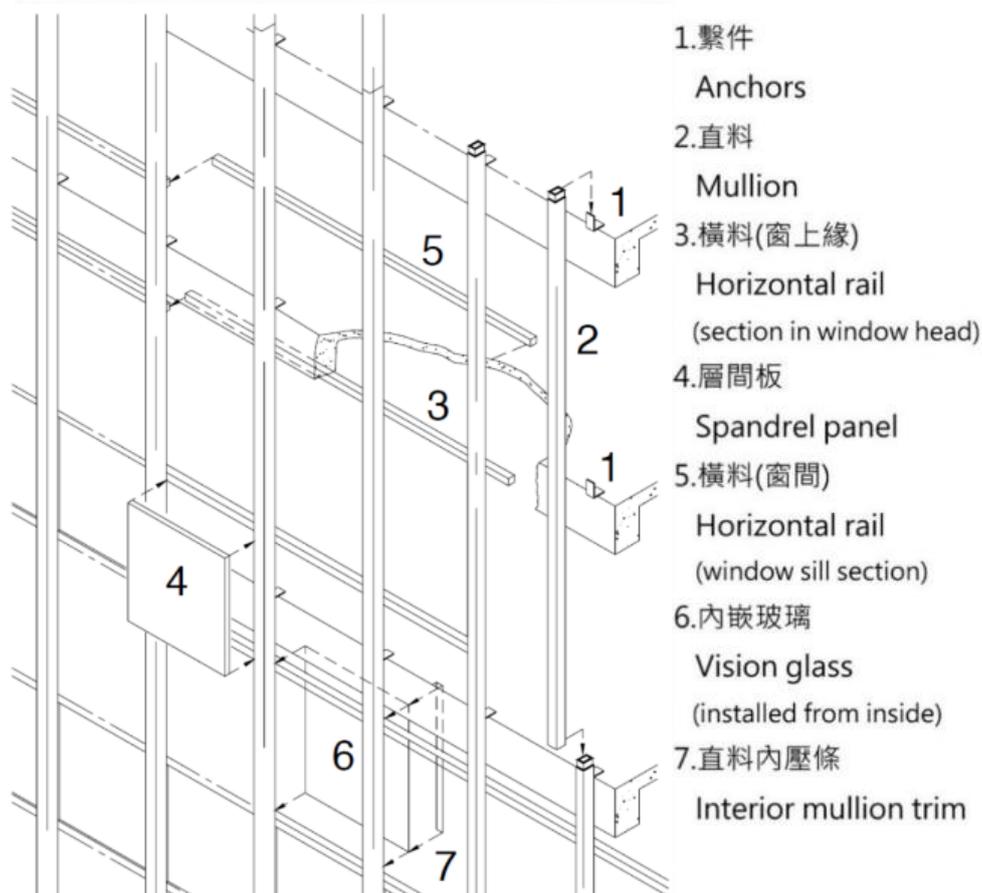


圖 2.3 直橫料式系統構件位置

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

貳、面材、直料、橫料及繫件所受設計風壓(風力)之決定

各構件設計風壓之決定原則請參照第二章第一節，詳細計算可參照第三、四及五章設計例。

參、直料之耐風設計(含檢核)

直料之長度可能橫跨一個或多個樓層，無論直料長度為何，一般將直料與繫件相接處視為鉸支承(Hinge)。而直料間以套筒連接處雖近似剛性連接，但國內

實務上為了使設計更保守，假設此處無法傳遞彎矩，將其視為銷釘(Pin)，本文後續之計算範例將採用此一假設。圖 2-5 為直橫料式系統直料結構分析示意圖。

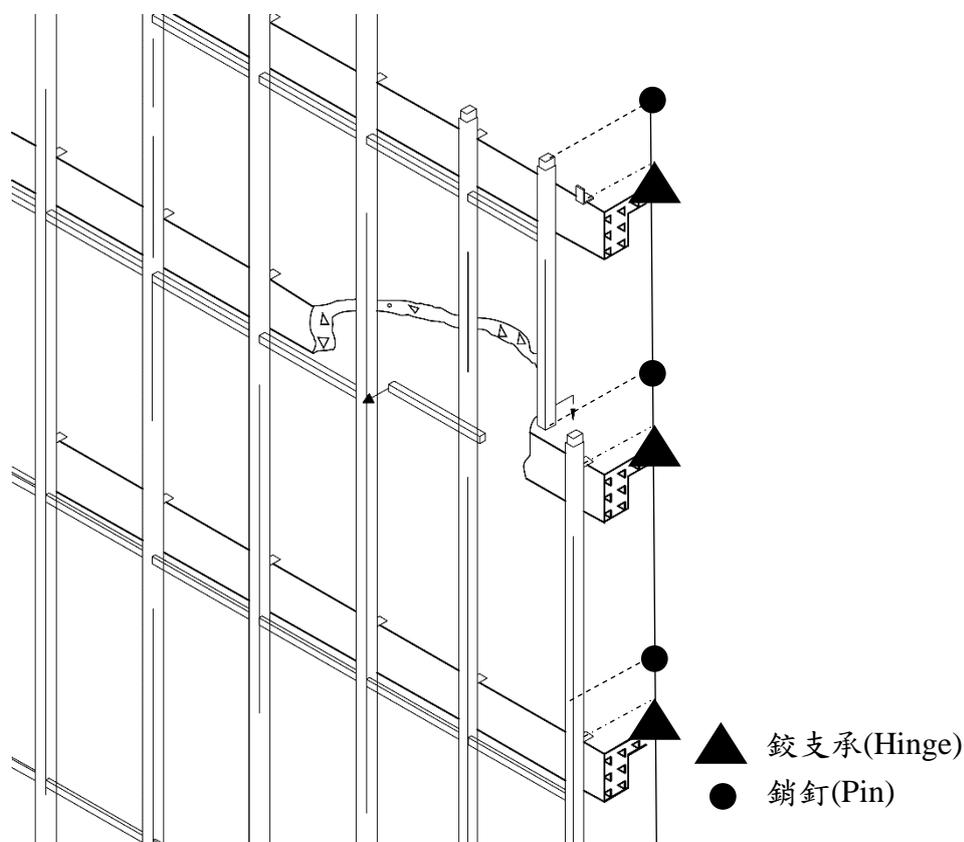


圖 2.4 直橫料式系統直料結構分析示意圖

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

直料構件檢核中，必須滿足變形需求。若 L_c 為兩個繫件之距離，根據中華民國國家標準(CNS14280,2006)，當 L_c 小於 4115mm 時，直料側向容許變形量為 $L_c/175$ ；而當 L_c 介於 4115mm 與 12200mm 時，直料側向容許變形量為 $L_c/240 + 6.4$ mm。直橫料式系統之直料因由套筒相連接，故套筒必須能承受結構物的層間變位。

另需檢核直料因風力造成之撓曲應力、扭轉效應應力以及側向扭轉挫曲。其中由風力而產生之撓曲應力應由強軸向抵抗，應力檢核標準可參照 Aluminum Design Manual(AA, 2005)。

肆、橫料之耐風設計(含檢核)

橫料分析上，可視為單一簡支梁，其結構圖如圖 2-6。橫料不僅受風壓影響，亦需承載上方玻璃以及自身重量。

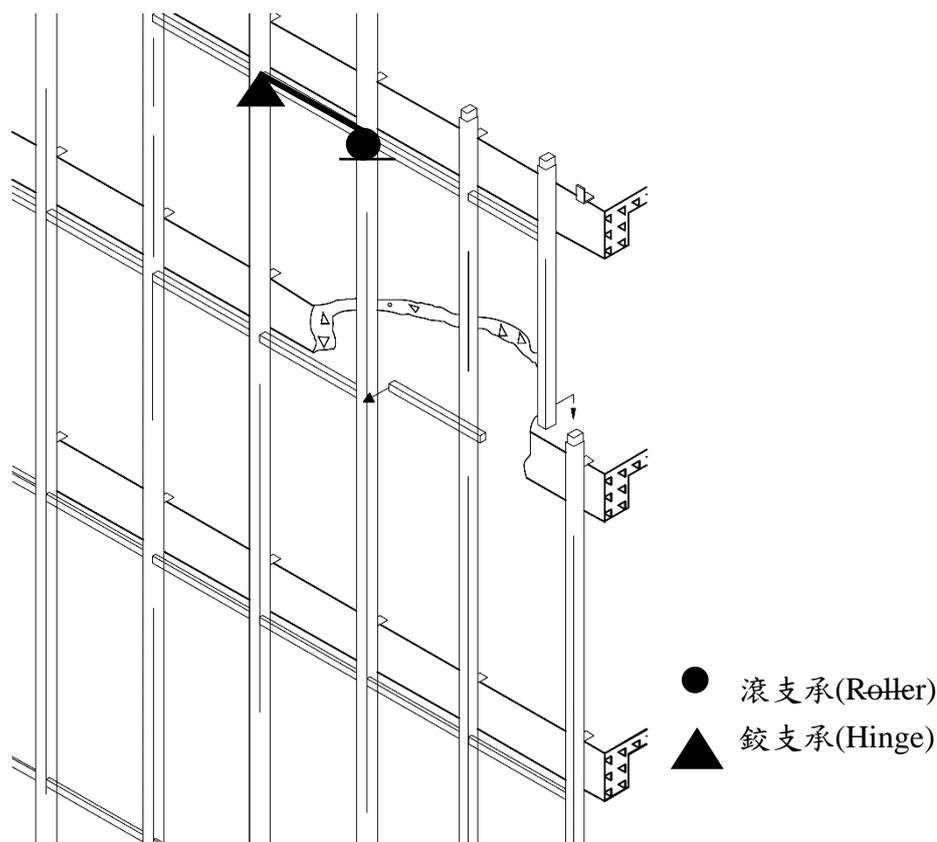


圖 2.5 直橫料式系統橫料結構分析示意圖

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

橫料構件檢核中，除了須滿足變形需求外，亦需檢核撓曲應力。其中撓曲應力分為強軸撓曲應力以及弱軸撓曲應力，強軸為風載方向，弱軸為自重方向。

若 L_h 為一支橫料的長度，根據中華民國國家標準(CNS14280,2006)，當 L_h 小於 4115mm 時，風力作用下橫料側向容許變形量為 $L_h / 175$ ；而當 L_h 介於 4115mm 與 12200mm 時，風力作用下橫料側向容許變形量為 $L_h / 240 + 6.4 \text{ mm}$ 。根據金屬帷幕牆手冊(2003)，靜載重作用下橫料容許變形量為 $\min(L_h/360, 3.2 \text{ mm})$ 。

另需檢核撓曲應力，其中由受風力而產生之撓曲應力應由強軸向抵抗。應力檢核標準可參照 Aluminum Design Manual(AA, 2005)。

伍、繫件之耐風設計(含檢核)

分析繫件時，外力來源包括正負風壓及帷幕牆的自重，正負風壓作用於直橫料及面板上，再經由繫件傳入結構體，故在繫件檢核時，需了解外力傳遞路徑。

雖然負風壓通常大於正風壓，但正負風壓之方向可能使得彎矩形成互相抵銷

或是疊合增長的情況，故在分析時，正負風壓皆須納入考慮。

繫件之螺栓需要計算因外力造成的剪力與拉拔力，再檢核所使用之螺栓強度是否足夠。另需檢核連接用鋼(鋁)板之抗彎強度。

陸、結構矽膠與蓋板之耐風設計(含檢核)

結構矽膠填充於鋁擠型和面材間的空隙，蓋板固定於鋁擠型和面材交接處表面，其目的皆在於防止玻璃脫離鋁擠型，故需檢核負風壓作用下，結構矽膠之容許拉應力是否大於矽膠斷面應力。

柒、面材之耐風設計(含檢核)

若面材採用玻璃，在設計風壓作用下，需檢核其強度及變形。首先參閱 ASTM E1300(2016)，依照玻璃厚度、長、寬及束制條件對應出未係數化載重，再乘上玻璃種類之係數可得容許強度，其值需大於面材設計風壓。其次使用有限元素軟體分析，或參閱 ASTM E1300(2016)，依照設計風壓、玻璃面積及長短邊比對應出玻璃變形，其值需小於 35 毫米(金屬帷幕牆手冊，2003)。

第三節 單元式帷幕牆系統結構耐風設計原則

本節將針對在台灣應用廣泛的單元式系統，介紹其各構件結構耐風分析與設計的原則與檢核標準。

壹、構件組成及相關圖形

圖 2-7 為單元式系統之示意圖，施工上分為繫件與預組單元，每一單元間四邊皆採用公母式鋁擠型嵌接，嵌接後水平向鋁擠型在分析時視為橫料，其中預組單元上方水平向鋁擠型稱為水槽料，下方水平向鋁擠型稱為下橫料，垂直向鋁擠型在分析時視為直料；面材包括預組單元中鑲嵌玻璃或鋁板。

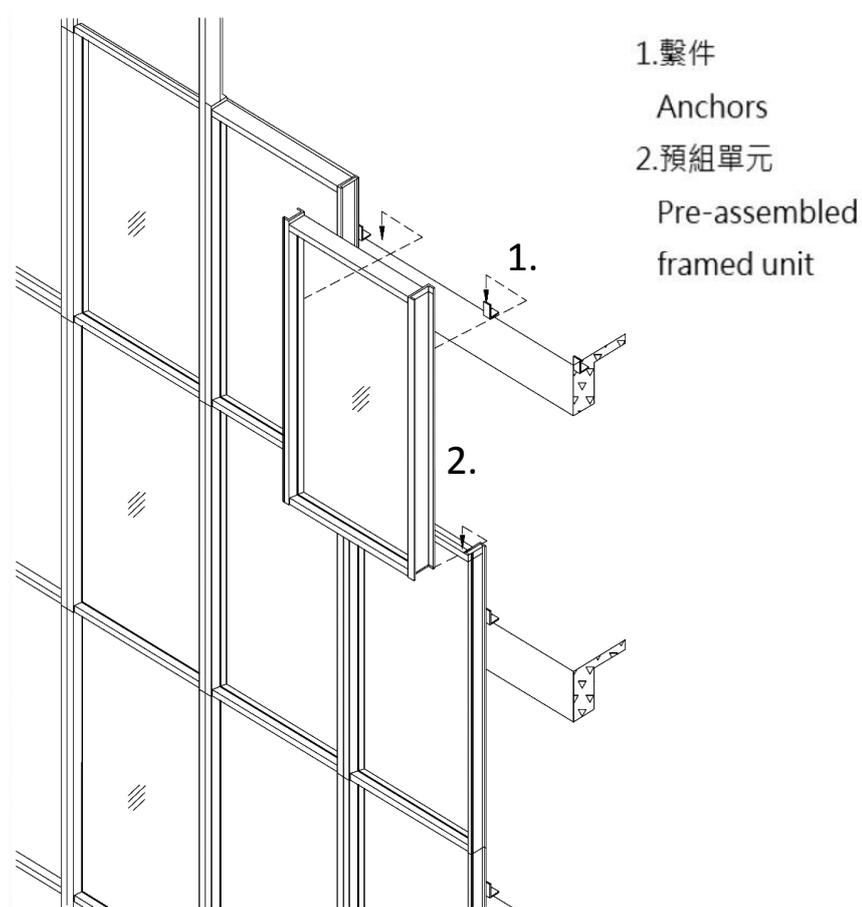


圖 2.6 單元式系統構件位置

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

貳、面材、直料、橫料及繫件所受設計風壓(風力)之決定

各構件設計風壓之決定原則請參照第二章第一節，詳細計算可參照第三、四及五章設計例。

參、直料之耐風設計(含檢核)

直料分析時將繫件處視為鉸支承(Hinge)；而一般將垂直向鋁擠型下端洗出插槽，以和部分下方橫料以及下方垂直向鋁擠型相連，為了滿足此施工需求，假設此處無法傳遞彎矩，將其視為銷釘(Pin)。圖 2-8 為單元式系統直料結構分析示意圖。

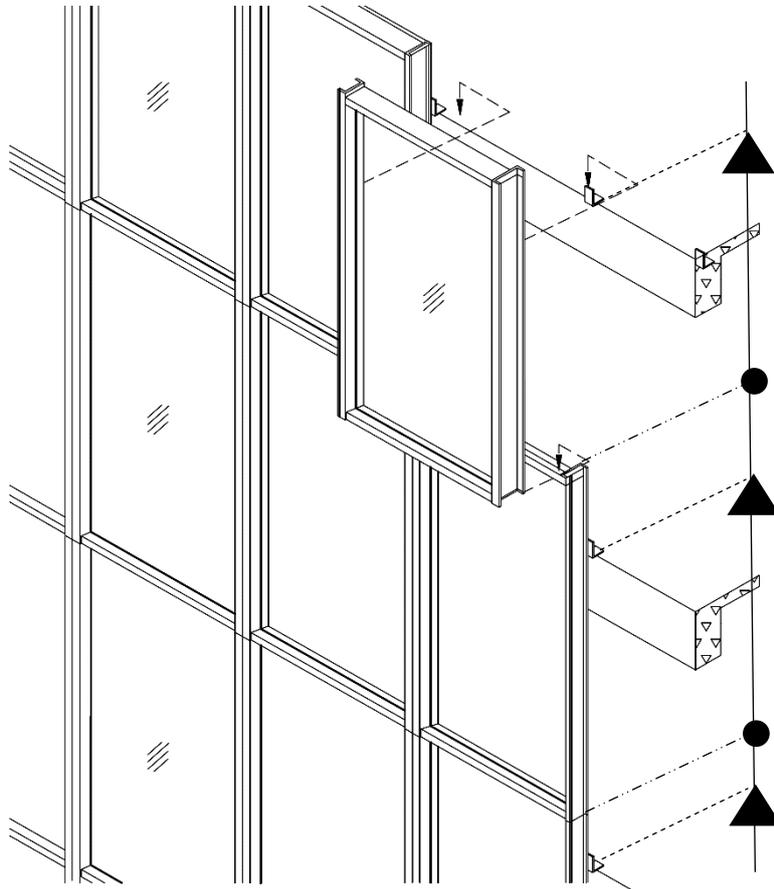


圖 2.7 單元式系統直料結構分析示意圖

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

直料構件檢核中，必須滿足變形需求。若 L_c 為兩個繫件之距離，根據中華民國國家標準(CNS14280,2006)，當 L_c 小於 4115mm 時，直料側向容許變形量為 $L_c/175$ ；而當 L_c 介於 4115mm 與 12200mm 時，直料側向容許變形量為 $L_c/240 + 6.4$ mm。

另需檢核直料因風力造成之撓曲應力、扭轉效應應力以及側向扭轉挫曲。其中由風力而產生之撓曲應力應由強軸向抵抗，應力檢核標準可參照 Aluminum Design Manual(AA, 2005)。

肆、橫料之耐風設計(含檢核)

橫料分析上，可視為單一簡支梁，其結構圖如下圖 2-9。橫料不僅受風壓影響，亦需承載上方玻璃以及自身重量，其中由下橫料承受上方玻璃重量。

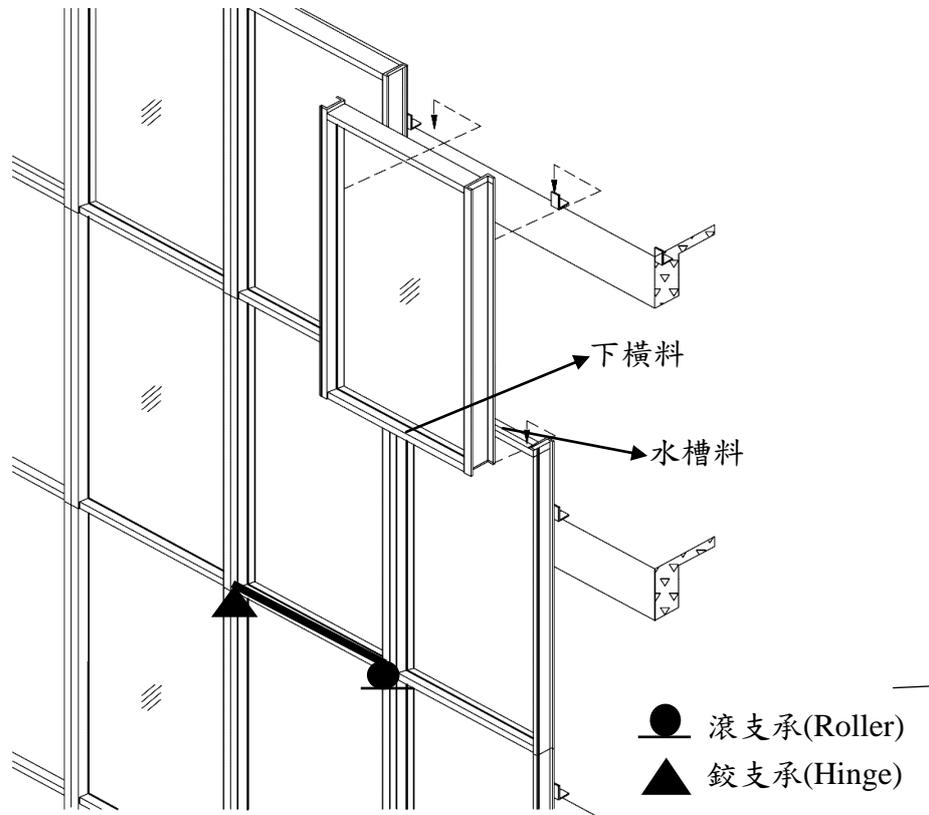


圖 2.8 單元式系統橫料結構分析示意圖

(資料來源：圖形修改自 AAMA CW-DG-1-96)

橫料構件檢核中，除了須滿足變形需求外，亦需檢核撓曲應力。其中撓曲應力分為強軸撓曲應力以及弱軸撓曲應力，強軸為風載方向，弱軸為自重方向。

若 L_h 為一支橫料的長度，根據中華民國國家標準(CNS14280,2006)，當 L_h 小於 4115mm 時，風力作用下橫料側向容許變形量為 $L_h / 175$ ；而當 L_h 介於 4115mm 與 12200mm 時，風力作用下橫料側向容許變形量為 $L_h / 240 + 6.4 \text{ mm}$ 。根據金屬帷幕牆手冊(2003)，靜載重作用下橫料容許變形量為 $\min(L_h/360, 3.2 \text{ mm})$ 。

另需檢核撓曲應力，其中由受風力而產生之撓曲應力應由強軸向抵抗。應力檢核標準可參照 Aluminum Design Manual(AA，2005)。

伍、繫件之耐風設計(含檢核)

分析繫件時，外力來源包括正負風壓及帷幕牆的自重，正負風壓作用於直橫料及面板上，再經由繫件傳入結構體，故在繫件檢核時，需了解外力傳遞路徑。

雖然負風壓通常大於正風壓，但正負風壓之方向可能使得彎矩形成互相抵銷或是疊合增長的情況，故在分析時，正負風壓皆須納入考慮。

繫件之螺栓需要計算因外力造成的剪力與拉拔力，再檢核所使用之螺栓強度是否足夠。另需檢核連接用鋼(鋁)板之抗彎強度。

陸、結構矽膠與蓋板之耐風設計(含檢核)

結構膠填充於鋁擠型和面材間的空隙，蓋板固定於鋁擠型和面材交接處表面，其目的皆在於防止玻璃脫離鋁擠型，故需檢核負風壓作用下，結構矽膠之容許拉應力是否大於矽膠斷面應力。

柒、面材之耐風設計(含檢核)

若面材採用玻璃，在設計風壓作用下，需檢核其強度及變形。首先參閱 ASTM E1300(2016)，依照玻璃厚度、長、寬及束制條件對應出未係數化載重，再乘上玻璃種類之係數可得容許強度，其值需大於面材設計風壓。其次使用有限元素軟體分析，或參閱 ASTM E1300(2016)，依照設計風壓、玻璃面積及長短邊比對應出玻璃變形，其值需小於 35 毫米(金屬帷幕牆手冊，2003)。

第三章 高度超過 18 公尺建築物單元式帷幕牆設計例

一辦公大樓平面尺寸為 $38m \times 36m$ ，建築物高度為 $112.2m$ ，位於台北市，假設建築物四面上風處為B地況，且無特殊地形。假設整棟大樓皆採用高 $3.3m$ 且寬 $2m$ 之單元式帷幕牆單元，如圖 3-1。

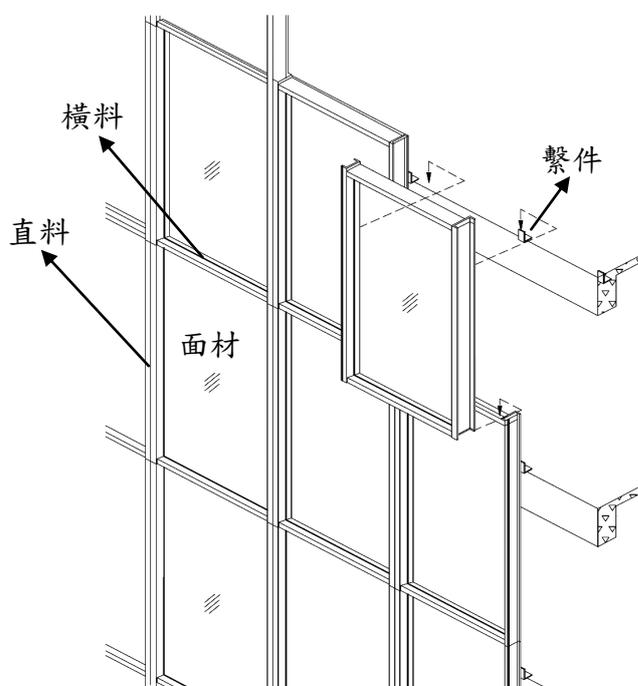
單元式帷幕牆系統在施工上分為繫件與預組單元，其中預組單元包括面材(玻璃)及圍束面材之公母式鋁擠型。不同單元間四邊皆採用公母式鋁擠型嵌接，嵌接後水平向鋁擠型在分析時視為橫料，垂直向鋁擠型在分析時視為直料。

本範例針對此一超過 18 公尺建築物承受最大風壓之單元式帷幕牆構件，先決定面材、直料、橫料及繫件之設計風壓(力)，再依序檢核各構件之強度及變形。

第一節 帷幕牆各構件設計風壓

理論上可根據表面風壓之分佈情況，將整面帷幕牆分為若干區域設計帷幕牆構件；但為簡化設計，故本範例只分析設計AB牆面承受最大風壓之帷幕牆構件，其中AB牆面定義於表 3-1；根據圖 3-2，分別為AB牆面位於頂層角隅處面材(c-f-g-a)、繫件(h點)、橫料(c-d及e-f)以及頂部三層直料(a-e-c-b)。

圖 3.1 第三章設計例帷幕牆示意圖



(資料來源：本研究整理)

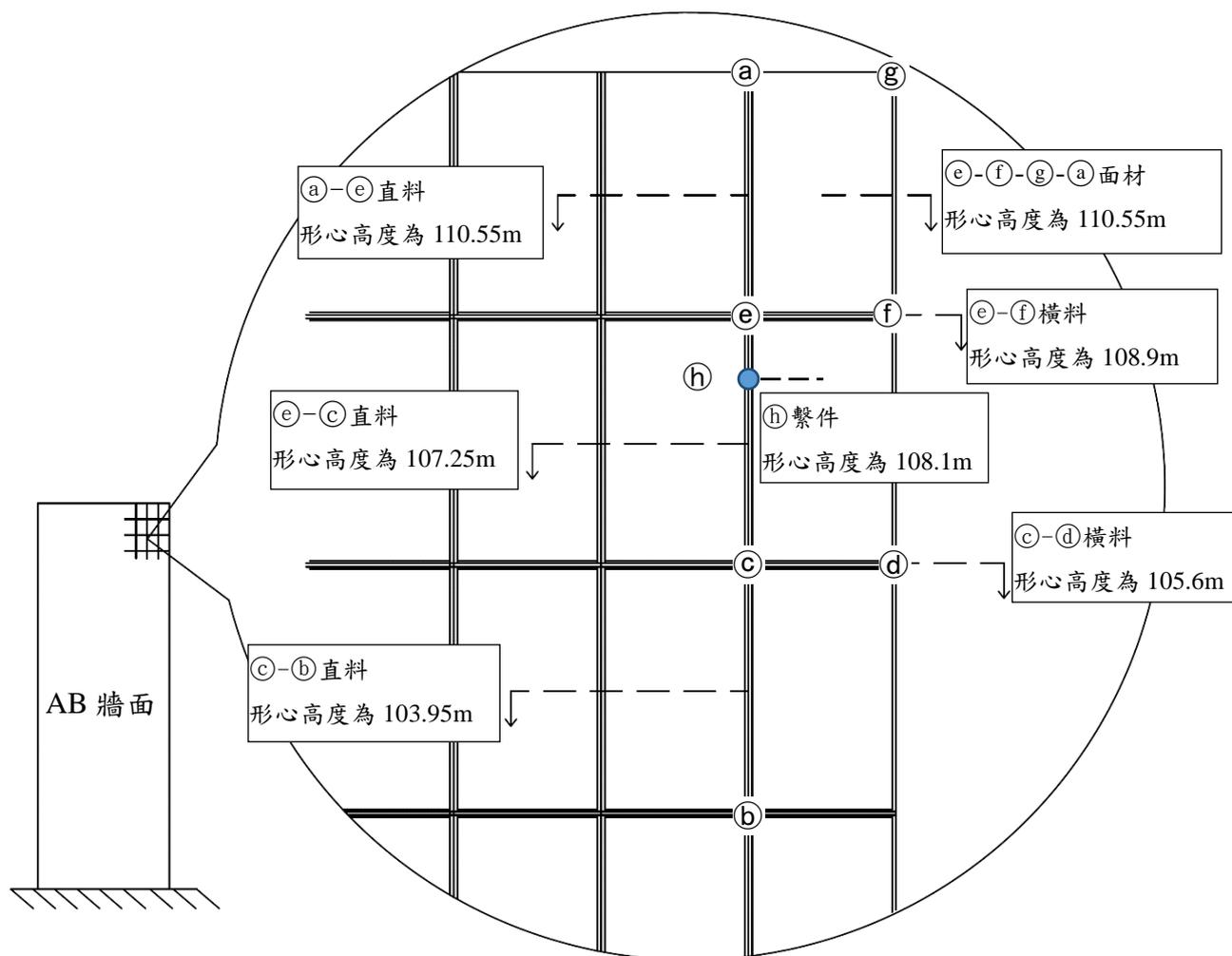


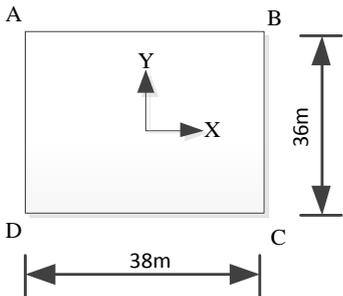
圖 3.2 第三章設計例之帷幕牆構件位置放大圖

(資料來源：本研究整理)

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

依據第二章第一節「高度超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計算」之流程，計算前述帷幕牆構件之設計風壓。根據圖 2-2 可知，執行耐風設計時，先要蒐集建築物與工址風環境資料，本節擬定建築物之資料與工址風環境如下表 3-1 所示。

表 3-1 第三章設計例之建築物資料與工址風環境

建築物資料	尺寸	平面尺寸 $38m \times 36m$ ； 建築物高度 $112.2m$ (不含屋頂突出物)	
	開口面積	在颱風區內，建築物的玻璃容易受周遭的植栽、招牌或屋頂所造成的隨風飄散物的撞擊而成為開口。本例假設各牆面之總面積有1% 破損而造成開口，其餘無開口。	
	用途係數 I	根據規範 2.5 節， $I = 1.1$ 、 1.0 或 0.9 。本例取 $I = 1.0$ 。	
	局部構材及外部被覆物	考慮位於 AB 牆面上角隅處之 面材為 $2m$ 寬 \times $3.3m$ 高之玻璃，其形心高度為 $110.55m$ ，如圖 3-2 (e)-(f)-(g)-(a) 直料長 $3.6m \times 3$ (橫跨三樓層)，其形心高度分別為 110.55 、 107.25 及 $103.95m$ ，如圖 3-2 (a)-(e)-(c)-(b) 上橫料長 $2m$ ，其形心高度為 $112.2m$ ，如圖 3-2 (e)-(f) 下橫料長 $2m$ ，其形心高度為 $108.9m$ ，如圖 3-2 (c)-(d) 繫件，其形心高度為 $108.1m$ ，如圖 3-2 (h)	
工址風環境	基本設計風速 $V_{10}(C)$	根據規範 2.4 節，台北市的 $V_{10}(C) = 42.5m/s$ 。	
	地況	AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面上風側地況皆為地況 B。	
	地形	無特殊地形。	

(資料來源：本研究整理)

貳、各構件有效受風面積及外風壓係數之計算

針對圖 3-2 所考慮之直料、橫料及面材，於圖 3-3 中標示出相對應之承受風壓面積及公母單元之配置。面材 e-f-g-a 之跨距長度為 $3.3m$ ，寬度為 $2m$ ，則承受風壓面積為 $3.3 \times 2 = 6.6m^2$ 。由於有效寬度為 $\max(2m, 3.3m/3) = 2m$ ，故面材 e-f-g-a 之有效受風面積為 $3.3 \times 2 = 6.6m^2$ 。

參考帷幕牆俯視斷面圖 3-4，單元式帷幕牆之直料鋁擠型分為公單元及母單

元，部分左側玻璃所受風力傳遞至直料公單元鋁擠型，部分右側玻璃所受風力傳遞至直料母單元鋁擠型。其次，根據圖 3-3，依照龜殼式載重分配法，每一層之直料公(母)單元鋁擠型承受風壓面積為 $(3.3+1.3) \times 1 \times 1/2 = 2.3m^2$ 。為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述梯形面積以等值長方形面積(跨距長度為 3.3m，寬度為 $\frac{2.3}{3.3}m$ 取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{2.3}{3.3}m, 3.3m/3\right) = 1.1m$ ，故每一層直料公(母)單元(Ⓐ-Ⓔ 或 Ⓔ-Ⓒ 或 Ⓒ-Ⓑ)鋁擠型有效受風面積為 $3.3 \times 1.1 = 3.63m^2$ 。

參考圖 3-3，單元式帷幕牆之橫料鋁擠型分為公單元及母單元，接下來依據工程實務，將橫料公單元鋁擠型稱為水槽料；橫料母單元鋁擠型稱為下橫料，如圖 3.4 所示。部分上側玻璃所受風力傳遞至下橫料，部分下側玻璃所受風力傳遞至水槽料。其次，依照龜殼式載重分配法，水槽料及下橫料承受風壓面積皆為 $2 \times 1 \times 1/2 = 1m^2$ 。為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述三角形面積以等值長方形(跨距長度為 2m，寬度為 $\frac{1}{2}m$)取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{1}{2}m, 2m/3\right) = 2/3m$ ，故水槽料Ⓒ-Ⓕ及下橫料Ⓒ-Ⓓ有效受風面積皆為 $2 \times 2/3 = 1.33m^2$ 。

針對圖 3-2 所考慮之繫件，根據圖 3.3，其左(右)側之承受風壓面積為面材承受風壓面積之一半；引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，繫件左(右)側有效受風面積不得大於其承受風壓面積，故繫件左(右)側有效受風面積為其承受風壓面積 $3.3 \times 2 \times \frac{1}{2} = 3.3m^2$ 。

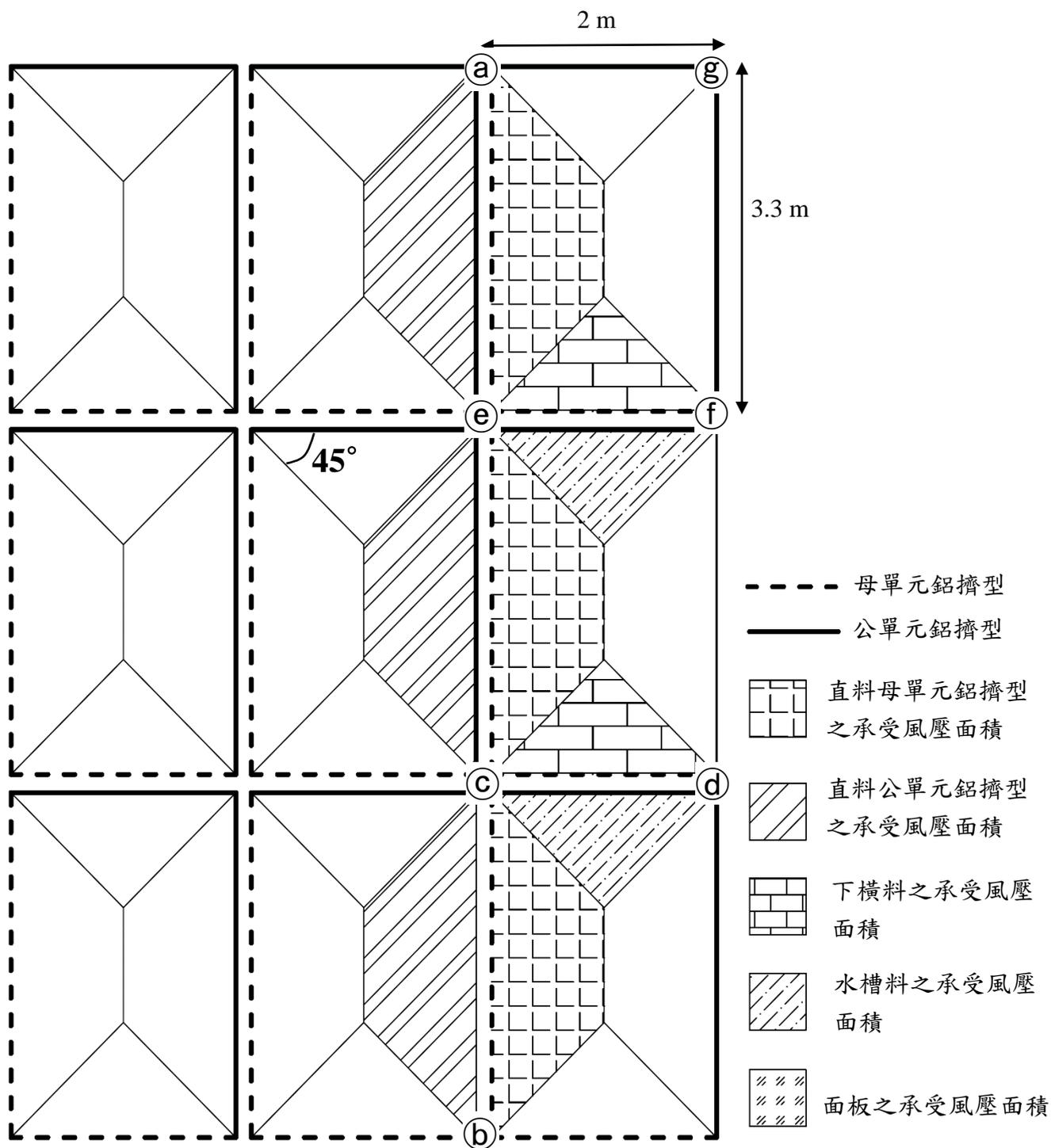


圖 3.3 第三章設計例之面材、直料及橫料之承受風壓面積
(資料來源：本研究整理)

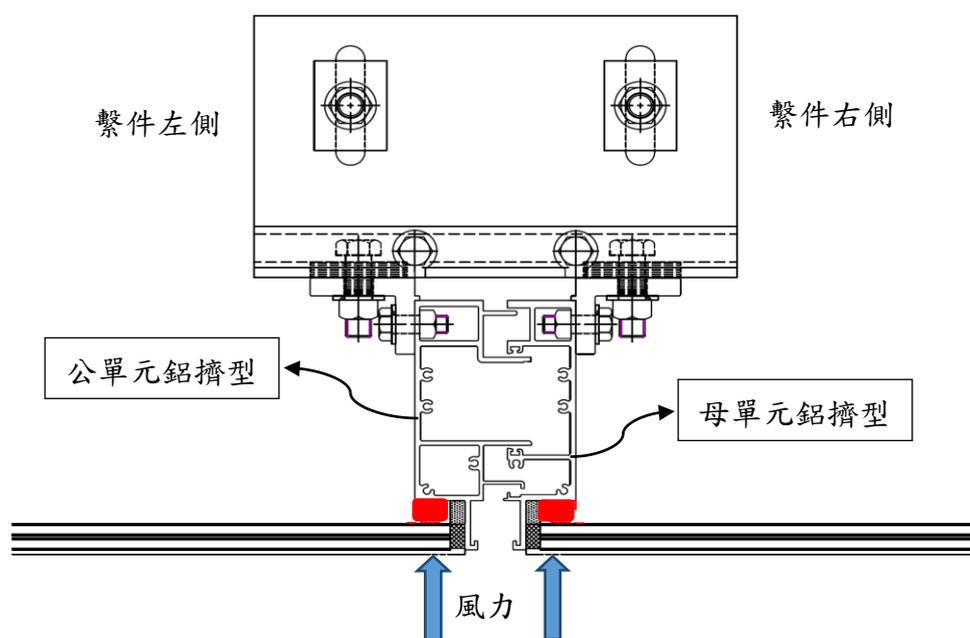


圖 3.4 第三章設計例之帷幕牆直料及繫件平剖圖
(資料來源：本研究整理)

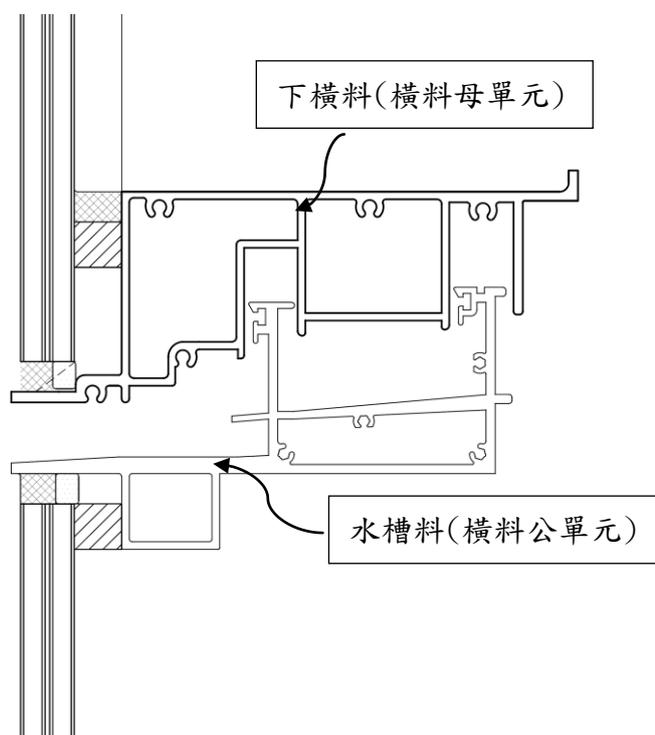


圖 3.5 第三章設計例之帷幕牆橫料截面圖
(資料來源：本研究整理)

「耐風規範」中外風壓區域之寬度 $a = \max(0.1 \times \min(B, L), 0.9m) = 3.6m$ ，其中 B 及 L 分別為垂直於風向之建築物水平尺寸及平行於風向之建築物水平尺寸。根據附錄二「耐風規範」圖 3.2，由於所考慮之面材、直料、橫料及繫件距建築邊緣之水平距離皆小於 a ，故皆位於外牆之⑤區。由於面材的有效受風面積為 $6.6m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.6 和 -3.1。由於每一層直料公(母)單元鋁擠型的有效受風面為 $3.63m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.8 和 -3.4。由於水槽料及下橫料的有效受風面為 $1.33m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.9 和 -3.8。由於繫件左(右)側的有效受風面積為 $3.3m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.8 和 -3.5。

參、設計風壓之計算

使用「耐風規範」第三章，所考慮可能之來風方向下包括來風垂直 AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面，計算各構件所承受之設計風壓。

來風垂直 AB 牆面

【步驟6】列出與該風向相關之設計參數

當風垂直吹向 AB 牆面時，根據表 3-1，垂直於風向之建築物水平尺寸 $B = 38m$ ，平行於風向之建築物水平尺寸 $L = 36m$ 。根據「耐風規範」表 2.2，地況 B 相關參數 $\alpha = 0.25$ ； $z_g = 400m$ 。

【步驟7】判斷建築物封閉性及決定內風壓係數

根據建築物資料可知外牆面開口率皆為 1%。根據「耐風規範」1.3 節，建築物不屬於開放式建築物。根據建築物資料，計算迎風向外牆面之總面積 $A_g = 4263.6m^2$ 、迎風向外牆面之總開口面積 $A_0 = 42.64m^2$ 、非迎風向之各牆面(含屋頂)總面積 $A_{gi} = 12790m^2$ 與非迎風向之各牆面(含屋頂)總開口面積 $A_{oi} = 127.92m^2$ 。因無法同滿足以下各條件(1) $A_0 > 1.10A_{oi}$ ，(2) $A_0 > 0.37m^2$ 或 $0.01A_g$ (二者取最小)，(3) $\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.20$ ，根據「耐風規範」1.3 節，建築物屬於封閉式建築物。

由於建築物屬於封閉式建築物，參考「耐風規範」表 2.17，建築物的內風壓係數為 ± 0.375 。

【步驟8】計算風速壓地況係數 $K(z)$ 與地形係數 K_{zt}

根據「耐風規範」式(2.7)，

$$K(z) = 2.774 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5}; \quad z > 5m$$

$$= 2.774 \left(\frac{5}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5}; \quad z \leq 5m$$

根據「耐風規範」式(2.8)，計算 K_{zt} ：因工址附近無特殊地形， $K_{zt} = 1$ 。

【步驟9】 計算高度 z 處之風速壓

高度 z 處之風速壓

因此，當風垂直吹向 AB 牆面時，不同高度之風速壓為

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2; \quad z > 5m$$

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2; \quad z \leq 5m$$

【步驟10】 分別計算面材、直料、橫料及繫件之設計風壓

風垂直吹向 AB 牆面時，AB 牆為迎風面牆，所考慮面材、直料、橫料及繫件均承受正風壓。封閉式或部分封閉式建築物高度超過 18 公尺者，其局部構材及外部被覆物之設計風壓根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(z)$ 。

面材形心離地高度 $z = 110.55m$

$$q(z = 110.55m) = 300.63 \left(\frac{110.55}{400} \right)^{0.5} = 158.05 \text{ kgf/m}^2$$

而在建築高 h 處

$$q(h = 112.2m) = 300.63 \left(\frac{112.2}{400} \right)^{0.5} = 159.22 \text{ kgf/m}^2$$

迎風面牆的面材(GC_p)取正值為 1.6。根據「耐風規範」式(3.2)，該面材設計正風壓為 $p(z = 110.55m) = 158.05 \times 1.6 - 159.22 \times (\pm 0.375) = 274.83 \text{ kgf/m}^2$ (取大值)。

仿照上述計算面材設計風壓之流程，可計算並彙整面材、橫料之水槽料及下橫料、每一層直料公(母)單元鋁擠型及繫件單側的設計正風壓，列於表 3-2。

來風垂直 BC 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 BC 牆面時，本計算例考慮帷幕牆所在之 AB 牆為側牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓，其值根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(h)$ 。

側牆的面材 (GC_p) 要取負值 -3.1，該面材設計負風壓為 $p(z = 110.55m) = 159.22 \times (-3.1) - 159.22 \times (\pm 0.375) = -553.30 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

彙整面材、橫料之水槽料及下橫料、每一層直料公(母)單元鋁擠型及繫件單側的設計負風壓，將數值分析結果列於表 3-2。

來風垂直 CD 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 CD 牆面時，AB 牆為背風面牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓，其值根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(h)$ 。背風面牆的 (GC_p) 要取負值 -3.1，該面材設計負風壓為 $p = -553.30 \text{ kgf} / \text{m}^2$ 。

彙整面材、橫料之水槽料及下橫料、每一層直料公(母)單元鋁擠型及繫件單側的設計負風壓，將數值分析結果列於表 3-2。

風垂直 DA 牆面

根據建築物資料與工址風環境可知，建築物以 Y 軸為對稱軸，BC 牆面與 DA 牆面開口面積相同，BC 牆面與 DA 牆面上風側地況相同，以及建築物周邊地形相同。因此，當風垂直吹向 DA 牆面時，其結果與當風垂直吹向 BC 牆面的結果相同。

表 3-2 第三章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m²)

	來風垂直 AB 牆面	來風垂直 BC 牆面	來風垂直 CD 牆面	來風垂直 DA 牆面
面材 ㉔-㉕-㉖-㉗	312.58	-553.3	-553.3	-553.3
橫料 ㉔-㉕ 水槽料	357.75	-664.75	-664.75	-664.75
橫料 ㉔-㉕ 下橫料	357.75	-664.75	-664.75	-664.75
橫料 ㉔-㉕ 水槽料	353.2	-664.75	-664.75	-664.75
橫料 ㉔-㉕ 下橫料	353.2	-664.75	-664.75	-664.75
直料 ㉔-㉕ 公單元鋁擠型	344.19	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 母單元鋁擠型	344.19	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 公單元鋁擠型	339.91	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 母單元鋁擠型	339.91	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 公單元鋁擠型	335.57	-601.06	-601.06	-601.06
直料 ㉔-㉕ 母單元鋁擠型	335.57	-601.06	-601.06	-601.06
繫件 ㉔ 單側	344.19	-616.98	-616.98	-616.98

(資料來源：本研究整理)

肆、最大設計正風壓與負風壓之選取

根據表 3-2 中面材、橫料之水槽料及下橫料、每一層直料公(母)單元鋁擠型及繫件單側在各來風向正負風壓值中，分別選取其最大設計正風壓和負風壓，列於表 3-3。

於表 3-3 中，每一層直料公(母)單元鋁擠型單位長度正(負)風力為每一層直料公(母)單元鋁擠型設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以每一層直料高；水槽料及下橫料之單位長度正(負)風力為水槽料及下橫料設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以橫料寬。

通常鋁製結構以 ASD 做設計，因此載重組合中，風力載重前所乘係數為 1。

表 3-3 第三章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m²)

	承受風壓面積(m ²)	最大正風壓(kgf/m ²)	最大負風壓(kgf/m ²)	單位長度正風力(kgf/m)	單位長度負風力(kgf/m)
面材Ⓔ-Ⓕ-Ⓖ-Ⓐ	6.6	312.58	-553.3		
橫料Ⓔ-Ⓕ水槽料	1	357.75	-664.75	178.88	-332.38
橫料Ⓔ-Ⓕ下橫料	1	357.75	-664.75	178.88	-332.38
橫料Ⓒ-Ⓓ水槽料	1	353.20	-664.75	176.60	-332.38
橫料Ⓒ-Ⓓ下橫料	1	353.20	-664.75	176.60	-332.38
直料Ⓐ-Ⓒ公單元鋁擠型	2.3	344.19	-601.06	239.89	-418.92
直料Ⓐ-Ⓒ母單元鋁擠型	2.3	344.19	-601.06	239.89	-418.92
直料Ⓒ-Ⓒ公單元鋁擠型	2.3	339.91	-601.06	236.91	-418.92
直料Ⓒ-Ⓒ母單元鋁擠型	2.3	339.91	-601.06	236.91	-418.92
直料Ⓒ-Ⓑ公單元鋁擠型	2.3	335.57	-601.06	233.88	-418.92
直料Ⓒ-Ⓑ母單元鋁擠型	2.3	335.57	-601.06	233.88	-418.92
繫件Ⓕ單側	3.3	344.19	-616.98		

(資料來源：本研究整理)

第二節 直料與橫料設計檢核

帷幕牆系統剖面如圖 3-6，直料長度為 3.3 公尺；橫料長度為 2 公尺；直料相互連接處至繫件與直料相接處為 0.8 公尺，依循第二章邊界條件設置原則，繫件與直料相接處為鉸支承(Hinge)，直料相互連接處為銷釘(Pin)。直料及橫料鋁擠型採用 6063-T5，其楊氏係數(E)為 $7.101 \times 10^9 \text{ kgf}/\text{m}^2$ ，柏松比(ν)為 0.33，降伏強度為 $F_{y,a} = \min(F_{cy}, F_{ty}) = \min(11.25, 11.25) = 11.25 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ ，極限強度($F_{u,a}$)為 $22 \text{ ksi} = 15.47 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ ；假設採用之直橫料形狀與斷面性質如表 3-4 所示，且於直料中點公母鋁擠形間加上互扣件，以減少無側撐長度。

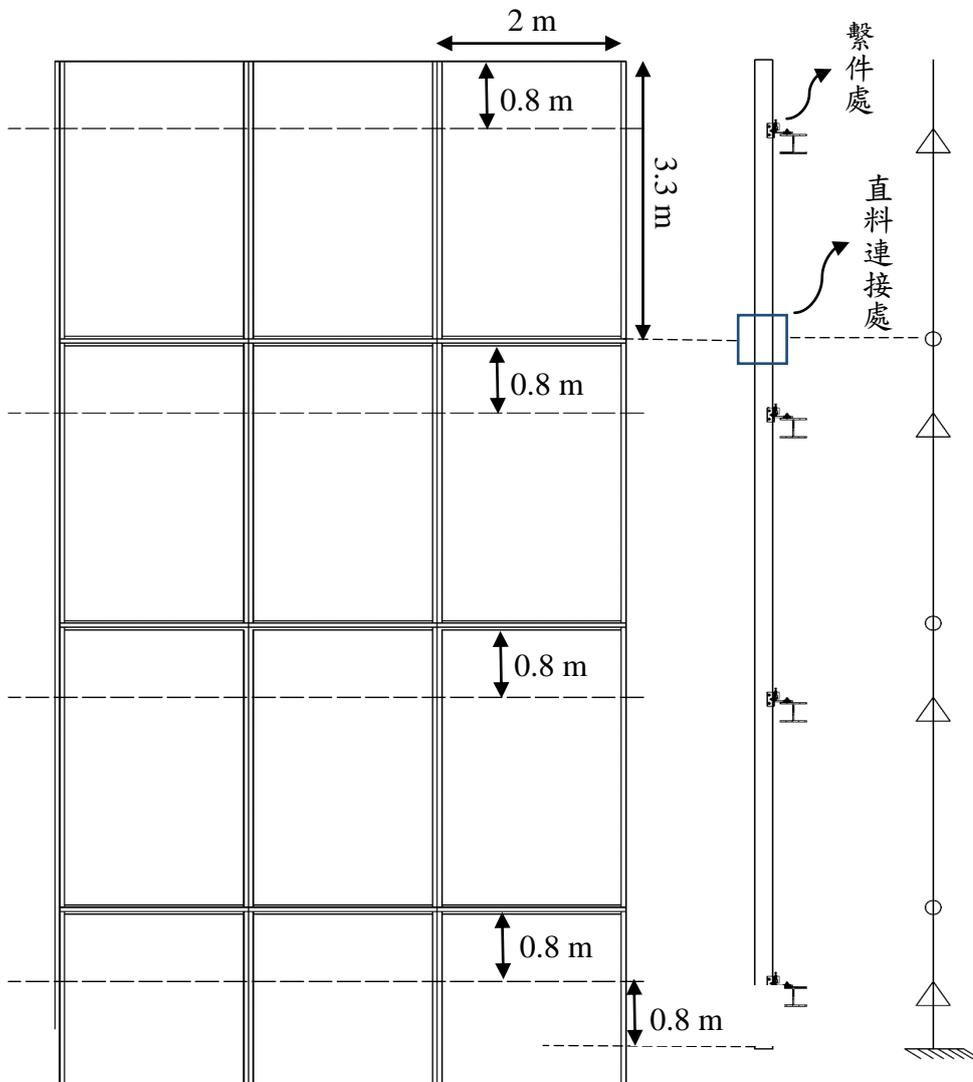
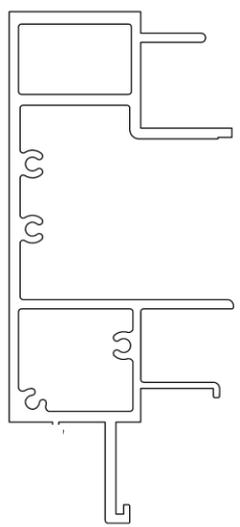
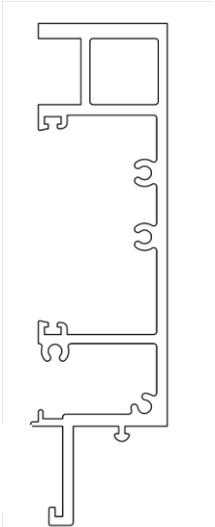
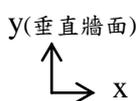
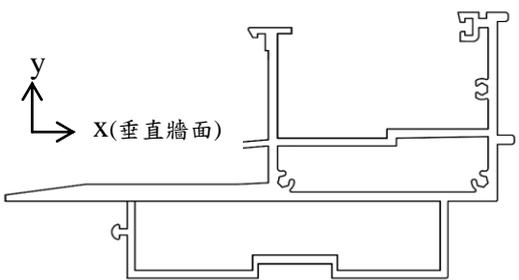
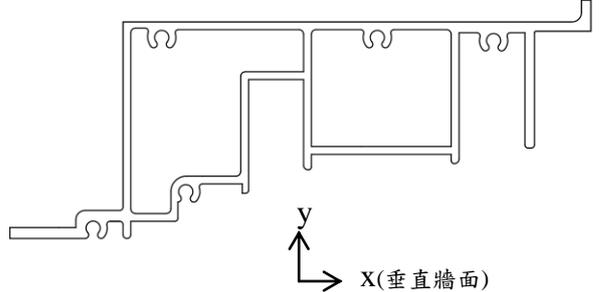


圖 3.6 第三章設計例之帷幕牆系統剖面圖

(資料來源：本研究整理)

表 3-4 第三章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質

直料鋁擠型俯視平面圖			
斷面性質	公單元	斷面性質	母單元
斷面模數 $S_{y2} = 38\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{y1} = 25\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x2} = 78\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x1} = 60\text{cm}^3$ 慣性矩 $I_y = 109\text{cm}^4$ 慣性矩 $I_x = 598\text{cm}^4$ 斷面積 $A = 2259\text{mm}^2$		斷面模數 $S_{y2} = 19\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{y1} = 11\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x2} = 66\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x1} = 48\text{cm}^3$ 慣性矩 $I_y = 32\text{cm}^4$ 慣性矩 $I_x = 495\text{cm}^4$ 斷面積 $A = 1600\text{mm}^2$	
			
橫料鋁擠型鉛直剖面圖			
水槽料	下橫料		
			
斷面模數 $S_{y2} = 57\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{y1} = 41\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x2} = 28\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x1} = 18\text{cm}^3$ 慣性矩 $I_y = 412\text{cm}^4$ 慣性矩 $I_x = 94\text{cm}^4$ 斷面積 $A = 1851\text{mm}^2$	斷面模數 $S_{y2} = 33\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{y1} = 32\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x2} = 18\text{cm}^3$ 斷面模數 $S_{x1} = 15\text{cm}^3$ 慣性矩 $I_y = 257\text{cm}^4$ 慣性矩 $I_x = 52\text{cm}^4$ 斷面積 $A = 1512\text{mm}^2$		
			

(資料來源：本研究整理)

壹、直料分析及檢核

三層直料整體分析

直料只考慮風力對其之影響，而自重的影響甚小故在此忽略，採用表 3-3

直料公(母)單元(Ⓐ-Ⓒ和Ⓒ-Ⓒ和Ⓒ-Ⓑ)單位長度最大設計負風力

$F_{-w} = -418.92 \text{ kgf/m}$ 設計帷幕牆直料。根據結構圖 3-7，以 ANSYS 軟體進行三層

直料受單位長度最大設計負風力(含公單元與母單元)之分析，其中以強軸(I_x)抵抗風力。圖 3-8 為剪力、彎矩及變形圖，其中最大變形量為 7.17mm，最大彎矩(M)為 $5.1735 \times 10^6 \text{ Ngmm}$ (527370 kgf gmm)。

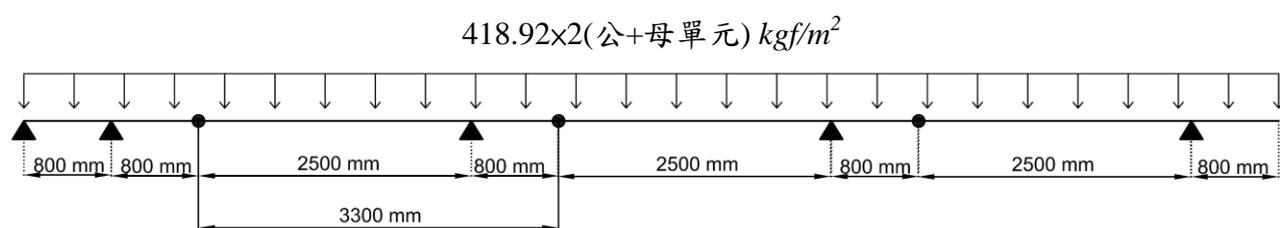


圖 3.7 第三章設計例之直料結構圖

(資料來源：本研究整理)

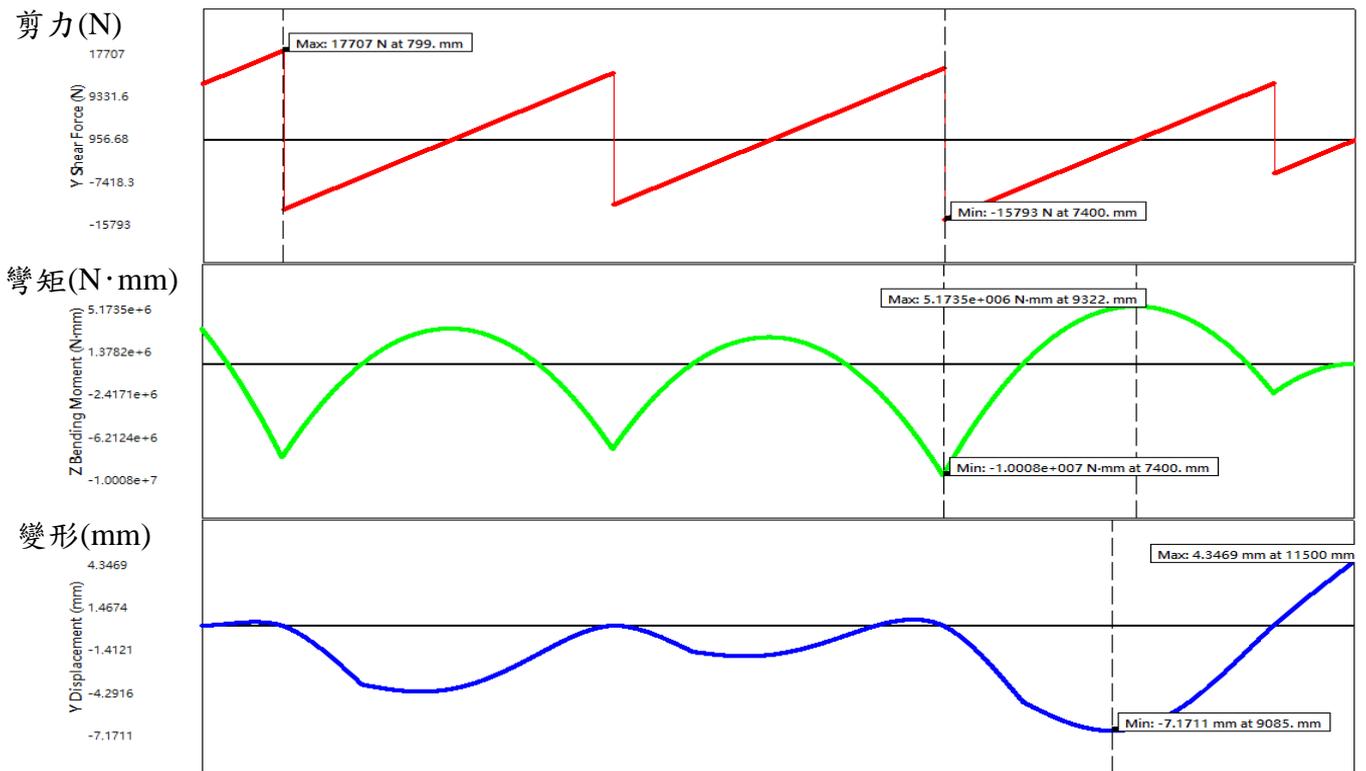


圖 3.8 第三章設計例之剪力、彎矩及變形圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

$$\text{最大變形量 } \delta_{\max} = 7.17 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形量 } \delta_a = \frac{L_c}{175} = 18.86 \text{ mm}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

公單元應力檢核

上述整體分析直料之慣性矩為公單元慣性矩(I_x)加上母單元慣性矩(I_x)，

故依照慣性矩比例分配可得公單元彎矩為

$$M_{\max} = M \cdot \frac{\text{公單元} I_x}{\text{公單元} I_x + \text{母單元} I_x} = 527370 \cdot \frac{598}{598 + 459} = 288533 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{288533.632}{60000} = 4.81 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 Aluminum Design Manual Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過。

本例以 AA(2005)中適用於對稱斷面之公式檢核側向扭轉挫屈，故需先根據公單元之形心位置，建立兩個對稱斷面，如圖 3-9 所示，再選擇其中慣性矩較小者

圖 3-9(b)進行側向扭轉挫屈檢核，其基本參數如下：Y 軸慣性矩 $I_y = 121\text{cm}^4$ ；

斷面模數 $S_c = 77.26$ ；斷面扭轉常數為斷面所有肢材的慣性矩總和

$$J = \sum \frac{\text{寬} \times \text{厚}^3}{3} = 3.1408\text{cm}^4$$

；因在直料跨距中點，公母鋁擠型之間加入互扣件，

故無側撐長度 $L_b = \frac{330}{2}\text{cm} = 165\text{cm}$ ；斷面深度 $d = 15.3\text{cm}$ ；有效長度係數

$k_y = 1.0$ (取保守值)，故有效迴轉半徑

$$r_{ye} = \left(\frac{1}{1.7}\right) \sqrt{\frac{I_y d}{S_c} \left[0.5 + \sqrt{1.25 + 0.152 \frac{J}{I_y} \left(\frac{k_y L_b}{d}\right)^2}\right]} = 3.87$$

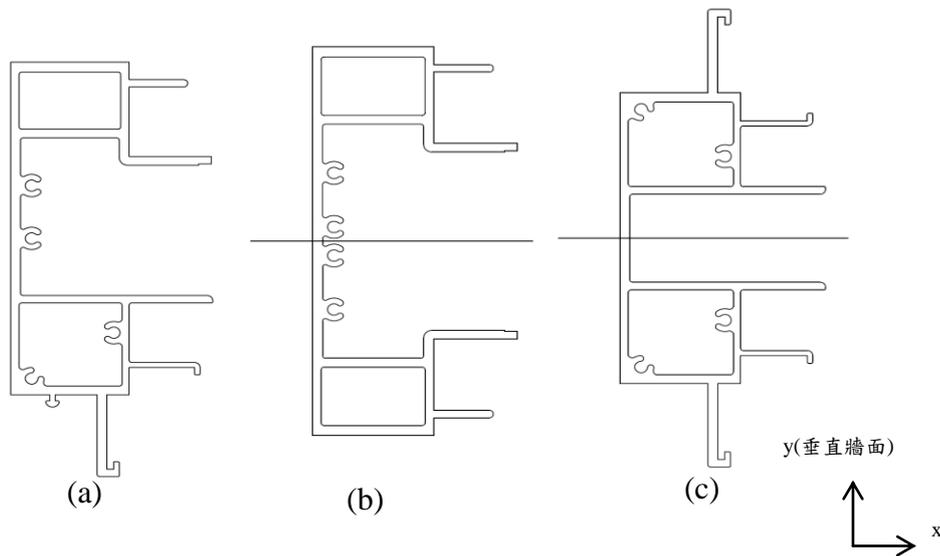


圖 3.9 第三章設計例之公單元斷面及對稱斷面圖

(資料來源：本研究整理)

藉由上述參數，參考 ADM(AA,2005)Table3.4-3 容許應力公式表，當 $\frac{L_b}{r_{ye}}$ 為

42.62，則容許應力 $F_{b0} = \frac{1}{n_y} \left(B_c - \frac{D_c L_b}{1.2 r_y \sqrt{C_b}} \right) = 61.76 \text{ MPa}$ ，其中

$$B_c = F_{cy} \left[1 + \left(\frac{F_{cy}}{15510} \right)^{1/2} \right], \quad D_c = \frac{B_c}{10} \left(\frac{B_c}{E} \right)^{1/2}, \quad C_b = 1。 \text{計算容許撓曲應力為}$$

$$F_{LTB} = \min(F_{b0}, \frac{F_{y,a}}{1.65}) = 61.76 \text{ MPa} = 6.3 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} < \text{容許撓曲應力 } F_{LTB}$ ，檢核通過。

母單元應力檢核

上述分析時直料之慣性矩為公單元慣性矩(I_x)加上母單元慣性矩(I_x)，故依照慣性矩比例分配可得母單元彎矩為

$$M_{\max} = M \cdot \frac{\text{母單元 } I_x}{\text{公單元 } I_x + \text{母單元 } I_x} = 527370 \cdot \frac{459}{598 + 459} = 229009.3 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{229009.3}{48000} = 4.771 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3 } f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

本例以 AA(2005)中適用於對稱斷面之公式檢核側向扭轉挫屈，故需先根據母單元之形心位置，建立兩個對稱斷面，如圖 3-10 所示，再選擇其中慣性矩較小者圖 3-10(b)進行側向扭轉挫屈檢核，其基本參數如下：Y 軸慣性矩 $I_y = 34 \text{ cm}^4$ ；斷面模數 $S_c = 63.26$ ；斷面扭轉常數為斷面所有肢材的慣性矩總和

$$J = \sum \frac{\text{寬} \times \text{厚}^3}{3} = 0.49 \text{ cm}^4； \text{因在直料跨距中點，公母鋁擠型之間加入互扣件，故}$$

無側撐長度 $L_b = \frac{330}{2} \text{ cm} = 165 \text{ cm}$ ；斷面深度 $d = 15.3 \text{ cm}$ ；有效長度係數 $k_y = 1.0$ ，

$$\text{故有效迴轉半徑 } r_{ye} = \left(\frac{1}{1.7}\right) \sqrt{\frac{I_y d}{S_c} \left[0.5 + \sqrt{1.25 + 0.152 \frac{J}{I_y} \left(\frac{k_y L_b}{d}\right)^2} \right]} = 2.21$$

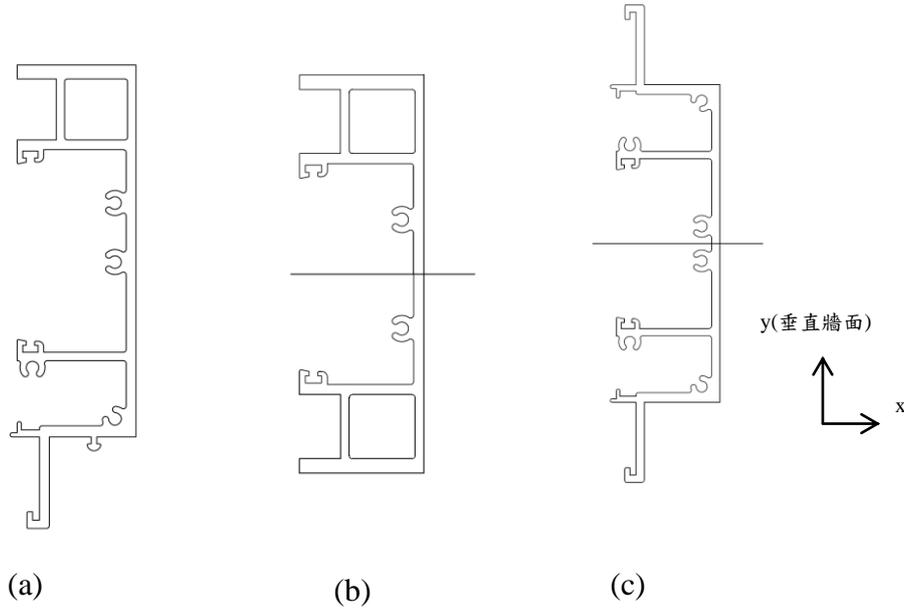


圖 3.10 第三章設計例之母單元斷面及對稱斷面圖

(資料來源：本研究整理)

藉由上述參數，參考 AA (2005)Table3.4-3 容許應力公式表，當 $\frac{L_b}{r_{ye}}$ 為 74.43，

則容許應力 $F_{b0} = \frac{\pi^2 EC_b}{n_y \left(\frac{L_b}{1.2r_y} \right)^2} = 53.9 MPa$ ，其中 $C_b = 1$ 、 $n_y = 1.65$ ，計算容許撓曲

應力為 $F_{LTB} = \min(F_{b0}, \frac{F_{y,a}}{1.65}) = 53.9 MPa = 5.5 \frac{kgf}{mm^2}$ 。

應力 $f_{bx} <$ 容許撓曲應力 F_{LTB} ，檢核通過。

貳、橫料分析及檢核

橫料分析中需考慮風力及靜載重的影響。其中風力採用表 3-3 橫料(©)-(f)和 ©-(d)水槽料及下橫料單位長度最大設計負風力 $F_{-w} = -332.37 \frac{kgf}{m}$ ，由水槽料及

下橫料的強軸(I_y)共同抵抗；靜載重因鋁擠型自重相對較小，故只考慮玻璃載重

$F_g = 3.3m \cdot 2m \cdot \text{單位面積重} 15 \frac{kgf}{m^2} = 99 kgf$ ，且根據工程實務，玻璃載重只由下

橫料之弱軸(I_x)抵抗。

橫料整體分析

橫料分析自由體圖可視為一簡支梁，將橫料材料特性及斷面代入結構力學公式，可求得變形量及應力，圖 3-11(a)為風力均勻作用於橫料(水槽料與下橫料)之結構圖，圖 3-11(b)為玻璃載重作用於下橫料之結構圖，其中根據工程實務，玻璃載重集中於墊塊位置，即距兩端支撐各四分之一跨距處。

$$\text{風力造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{5(2F_{-w})L_h^4}{384E(I_y)_{\text{水槽料+下橫料}}} = \frac{10 \times 0.33238 \times 2000^4}{384 \times 7101 \times 669 \times 10^4} = 2.79 \text{ mm}$$

$$\text{自重造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{11\left(\frac{F_g}{2}\right)L_h^3}{384E(I_x)_{\text{下橫料}}} = \frac{11 \times 99 \times 2000^3}{768 \times 7101 \times 52 \times 10^4} = 3.07 \text{ mm}$$

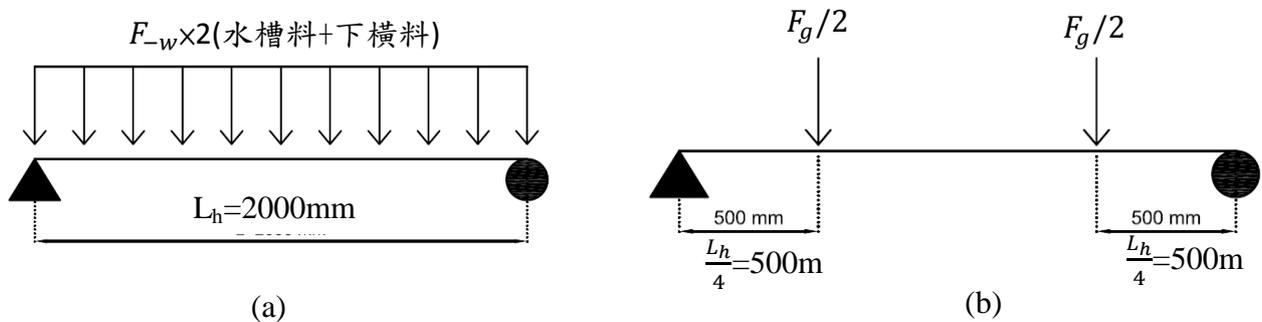


圖 3.11 第三章設計例之(a)橫料(水槽料與下橫料)風力作用結構圖(b)下橫料玻璃載重作用結構圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

風力：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 2.79 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = \frac{L_h}{175} = \frac{2000}{175} = 11.429 \text{ mm}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

玻璃載重：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 3.07 \text{ mm}$$

容許變形 $\delta_a = 3.2 \text{ mm}$ (工程界實務假設)

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

水槽料應力檢核

風力：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_w L_h^2}{8} = \frac{0.33238 \times 2000^2}{8} = 166190 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{by} = \frac{M_{\max}}{S_{y1}} = \frac{166190}{41000} = 4.053 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{by} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

下橫料應力檢核

風力：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_w L_h^2}{8} = \frac{0.33238 \times 2000^2}{8} = 166190 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{by} = \frac{M_{\max}}{S_{y1}} = \frac{166190}{32000} = 5.19 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{by} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

玻璃載重：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_g L_h}{8} = \frac{99 \times 2000}{8} = 24750 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{24750}{15000} = 1.65 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{容許應力參考 ADM(AA,2005) } f_b = \frac{1.3F_{y,a}}{1.65} = 8.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

第三節 繫件設計檢核

帷幕牆繫件剖面圖及平面圖分別如圖 3-12 及圖 3-13 所示，繫件包括 L 型鋁板、樓板上鋁板及相關之螺栓與母材。連接樓板及樓板上鋁板之鋸齒螺栓有兩顆，其中一顆位於 A 處，其規格假設採用 A325 M16 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 8mm 之板。直料與 L 型鋁板以四顆螺栓連結，其中位於 B 處之螺栓通常遭受較大應力，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。L 型鋁板與樓板上鋁板間以兩顆鋸齒螺栓連接，其中一顆位於 C 處，其規格假設採用 A325 M16 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。D 為帶寬 30mm，強度為 20psi 之結構矽膠。

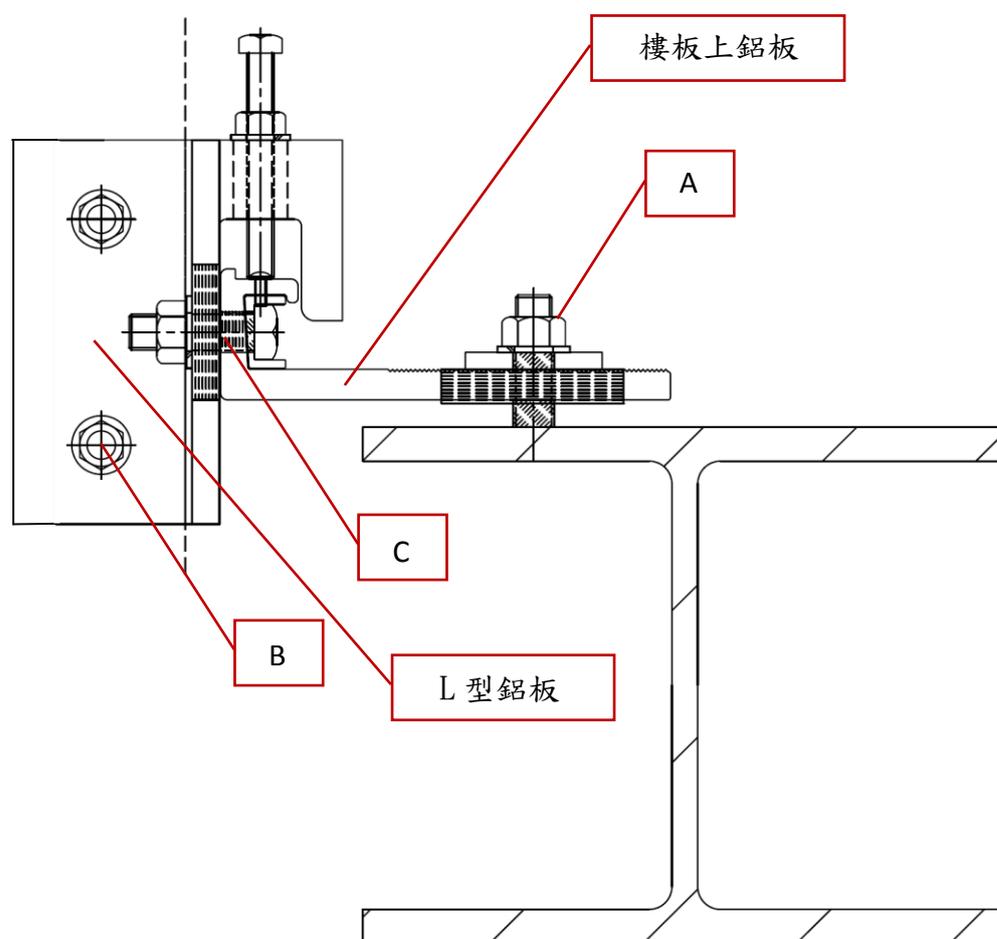


圖 3.12 第三章設計例之帷幕牆繫件剖面圖

(資料來源：本研究整理)

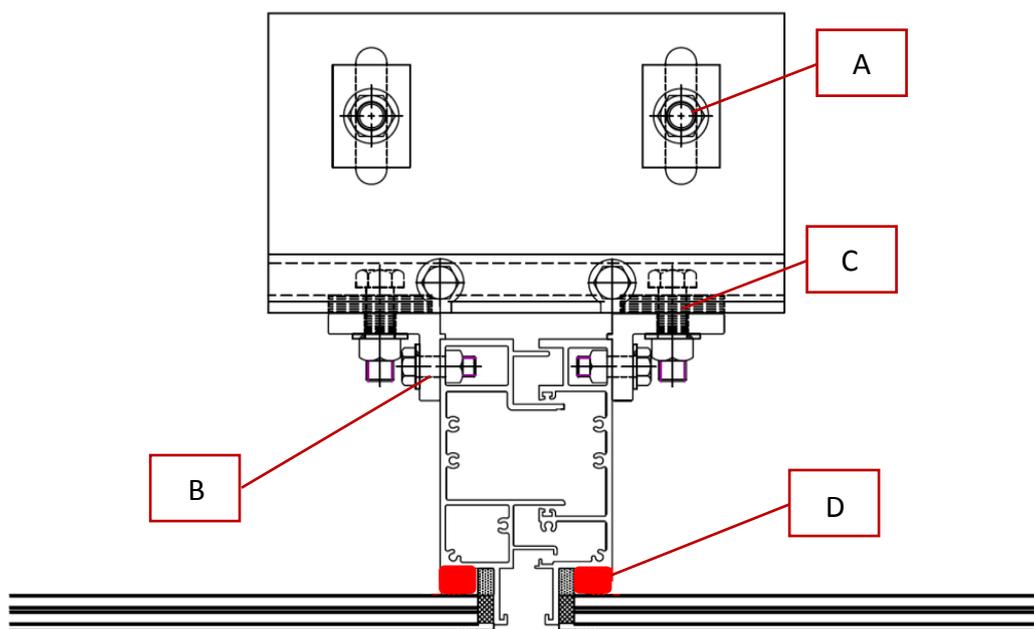


圖 3.13 第三章設計例之帷幕牆繫件平面圖
(資料來源：本研究整理)

壹、螺栓檢核公式

根據 AAMA TIR-A9，螺栓檢核公式如下：

螺栓容許剪力 F_V

$$F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_r 為螺栓抗剪斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

母材容許承壓 F_B

$$F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s$$

其中 d_b 為螺栓直徑， t_p 為母材厚度， F_{up} 為母材承壓應力， n_s 為螺栓個數

螺栓容許張力 F_T

$$F_T = A_s \times \min\left(0.4 F_{u,b}, 0.75 F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_s 為螺栓抗拉斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

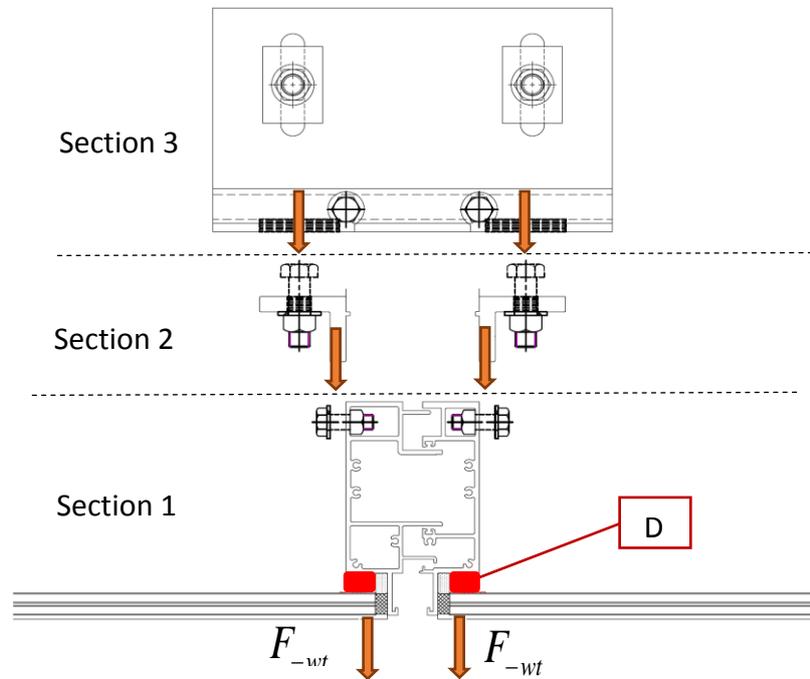
螺栓抗拉抗剪聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T}\right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)}\right)^2 < 1$$

其中 F_{ten} 為螺栓拉力， F_{shear} 為螺栓剪力

參、繫件設計載重之決定

繫件設計載重可由兩種方法決定，分別為以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積與直料與橫料之設計風壓轉移至繫件。圖 3-14 標示繫件Ⓜ單側所受



設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，並繪製出正(負)風力傳導路徑。

(a) 負風力傳導圖

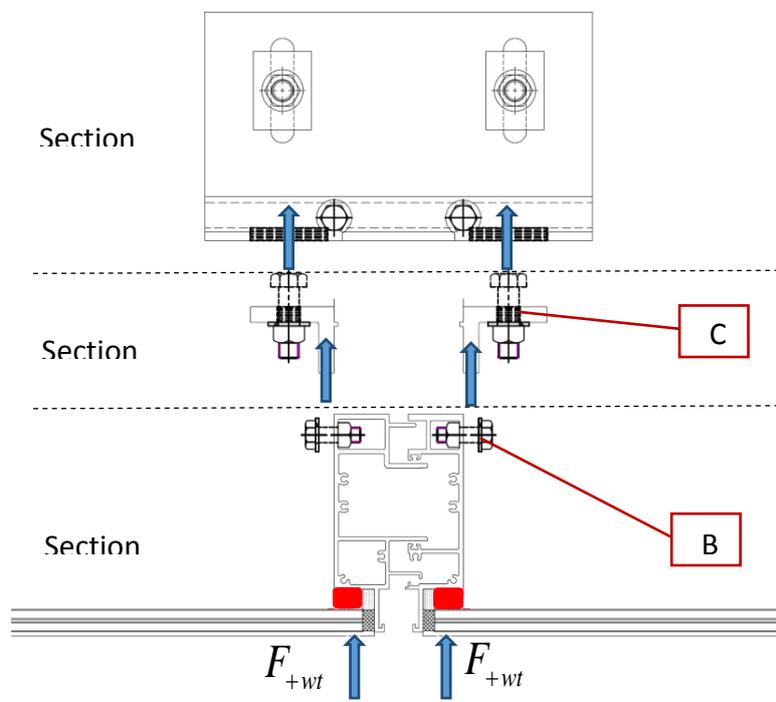
(b) 正風力傳導圖

圖 3.14 第三章設計例之力傳導平面圖

(資料來源：本研究整理)

繫件設計風力

若以耐風規範中外牆扣件計算繫件有效受風面積之方法計算，繫件單側有效



受風面積如圖 3-15 斜線區域。

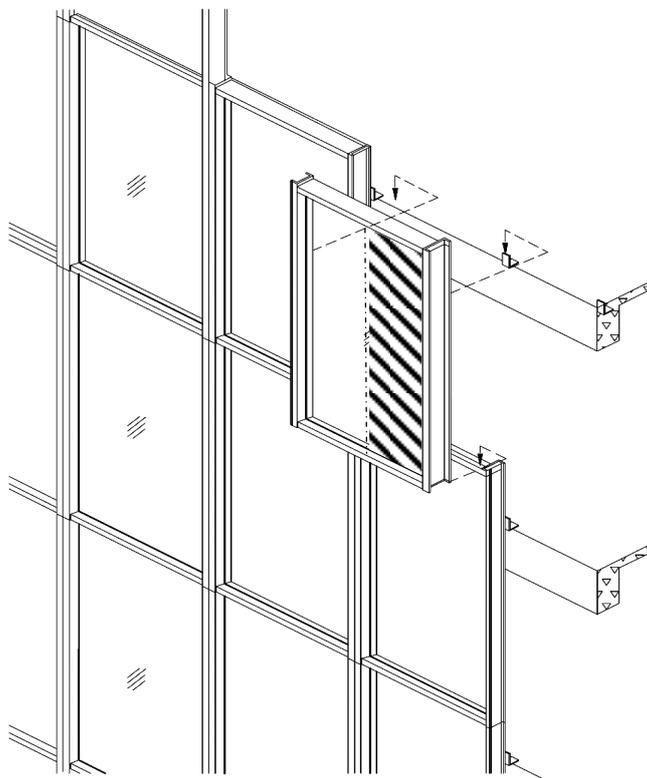


圖 3.15 第三章設計例之繫件有效受風面積
(資料來源：本研究整理)

繫件⑧單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，為表 3-3 中繫件⑧最大正(負)風壓乘上面材一半的面積

設計正風力 F_{+wt}

$$F_{+wt} = 344.19 \text{ kgf/m} \times \frac{3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2} = 1135.8 \text{ kgf}$$

設計負風力 F_{-wt}

$$F_{-wt} = -616.98 \text{ kgf/m} \times \frac{3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2} = -2036 \text{ kgf}$$

設計靜載重 F_d

此帷幕牆單元採用一組直橫料以及全玻璃面板，其單位重約略為 45 kgf/m^2 ，

而繫件單側所承受之靜載重 F_d 為

$$F_d = \frac{(45 \text{ kgf/m}^2 \times 3.3 \text{ m} \times 2 \text{ m})}{2} = 148.5 \text{ kgf}$$

本計算例以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積之方法決定，故後續計算採用之繫件單側設計正風力 F_{+wt} 為 1135.8 kgf ，繫件單側設計正風力 F_{-wt} 為 -2036 kgf ，繫件單側靜載重 F_d 為 148.5 kgf 。

參、A 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M16 螺栓

直徑 $d_b = 16 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 198 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 133.6 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.4 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 8 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

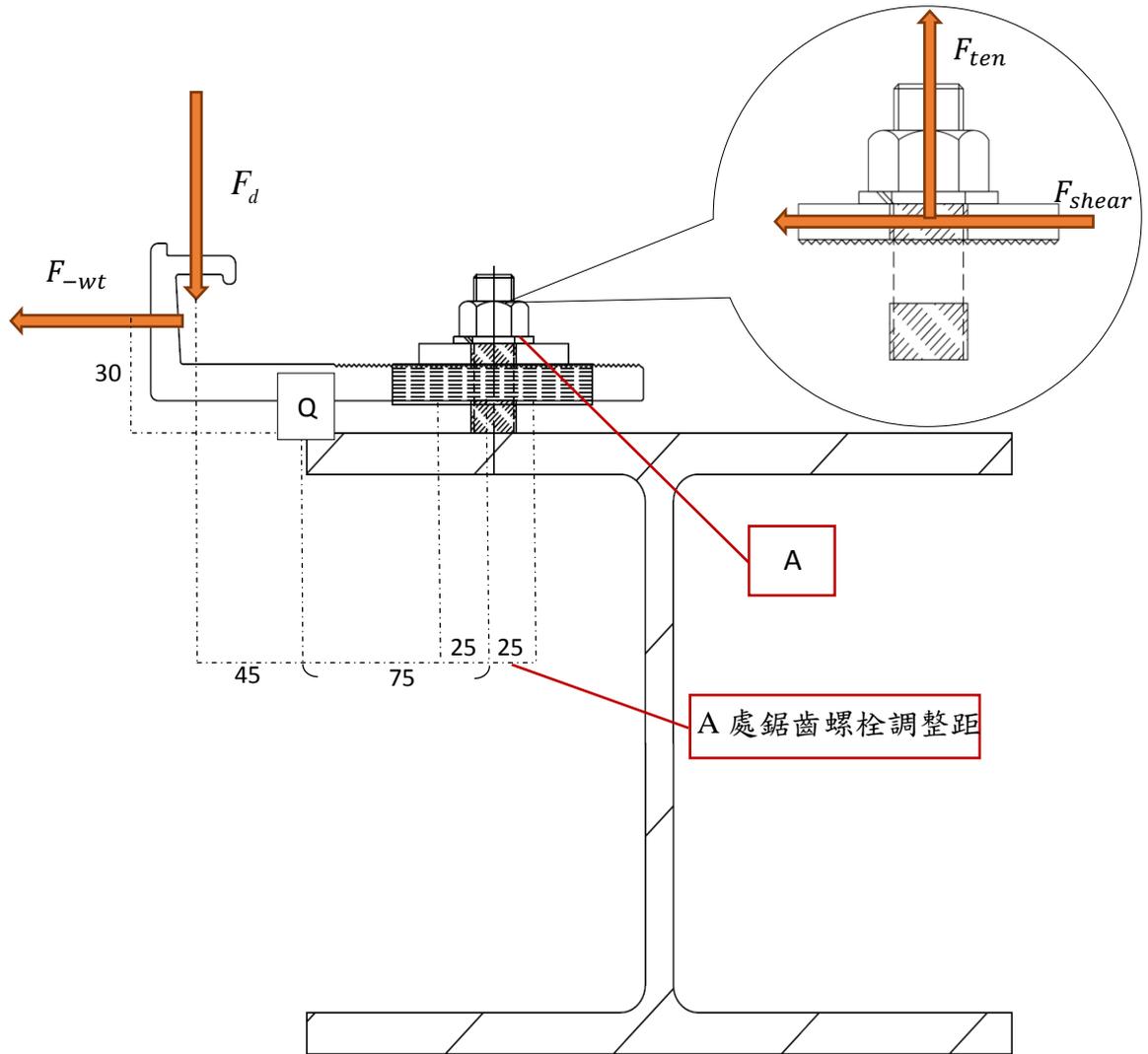


圖 3.16 第三章設計例之 A 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

參考圖 3-16，以 Q 點為力矩平衡支點，且考慮鋸齒螺栓可能移動範圍後產生的最大值

$$\text{抵抗負風壓螺栓拉力} \frac{F_d \times 45 \text{ mm} + |F_{-wt}| \times 30 \text{ mm}}{0.85(75 - 25) \text{ mm}} = 1594.5 \text{ kgf}$$

同理，

$$\text{抵抗正風壓螺栓壓力} \frac{|F_{+wt}| \times 30 \text{ mm} - F_d \times 45 \text{ mm}}{0.85(75 - 25) \text{ mm}} = 644.5 \text{ kgf}$$

故螺栓拉力 F_{ten} 為 1594.5 kgf

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min\left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b}\right) \times n_s = 6680\text{kgf}$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過。

螺栓剪力檢核

$$\text{螺栓剪力 } F_{shear} = \max(|F_{+wt}|, |F_{-wt}|) = 2036\text{kgf}$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}}F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}}F_{y,b}\right) \times n_s = 2603\text{kgf}$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 3420\text{kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

螺栓聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T}\right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)}\right)^2 = 0.65 < 1 \quad , \text{ 檢核通過。}$$

肆、樓板上鋁板之檢核

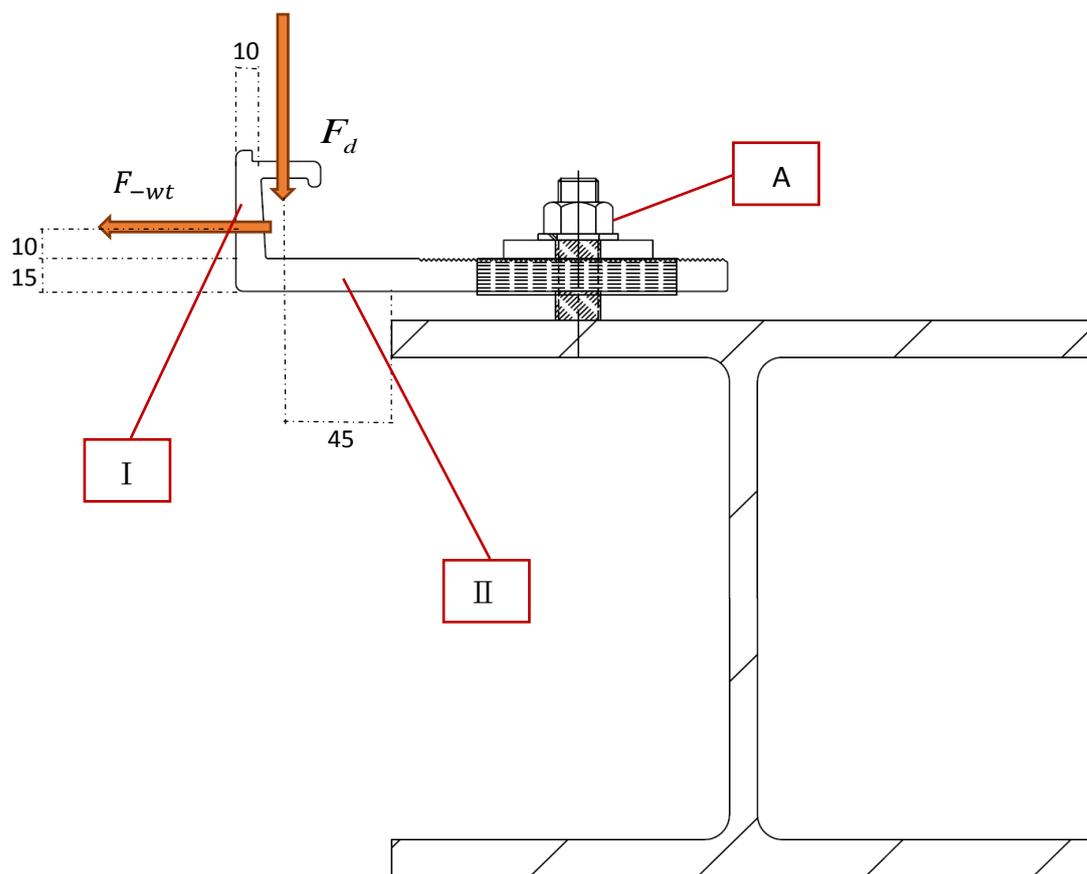


圖 3.17 第三章設計例之樓板上鋁板之受力圖

(資料來源：本研究整理)

鋁板 I 段彎曲應力檢核

由於鋁板所受之負風力包括左右兩側，且力偏心距 $e = 10\text{mm}$ ，形成之偏心彎矩 M_{bl}

$$M_{bl} = 2F_{-wt} \times e = 40720\text{kgf}\cdot\text{gmm}$$

板寬 $b = 250\text{mm}$ ，板厚 $t = 10\text{mm}$ ，偏心彎矩 M_{bl} 對 I 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bl}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 9.77\text{kgf}/\text{mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6\text{kgf}/\text{mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38\text{kgf}/\text{mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

鋁板 II 段彎曲應力檢核

由負風力 $2F_{-wt}$ 與其力偏心距 $e_w = (10 + \frac{15}{2})mm$ ，和靜載重 $2F_d$ 與在鋸齒螺栓

移動後其最大力偏心矩 $e_d = (45 + 25)mm$ 形成之偏心彎矩 M_{bII}

$$M_{bII} = 2F_{-wt} \times e_w + 2F_d \times e_d = 92051 \text{ kgf gnm}$$

板寬 $b = 250mm$ ，板厚 $t = 15mm$ ，偏心彎矩 M_{bII} 對 II 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bII}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 9.81 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

下移動 25mm 時為最大。其中 F_{shear1} 為螺栓水平抵抗風力之反力，當鋸齒螺栓向

下移動 25mm 時， F_{shear1} 為 $\frac{3}{4}F_{wt}$ ； F_{shear2} 為靜載重扭矩平衡而產生，

$$F_{shear2} = \frac{F_d \times 50mm}{100mm} = 74.25kgf；F_{shear3} 為螺栓垂直抵抗靜載重之反力，F_{shear3} = \frac{1}{2}F_d；$$

故螺栓承受剪力之最大值 F_{shear} 為

$$F_{shear} = \sqrt{(F_{shear1} + F_{shear2})^2 + F_{shear3}^2} = 1603kgf$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s = 1624kgf$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 1923.6kgf$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

陸、C 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M16 螺栓

直徑 $d_b = 16 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 198 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 133.6 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.4 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

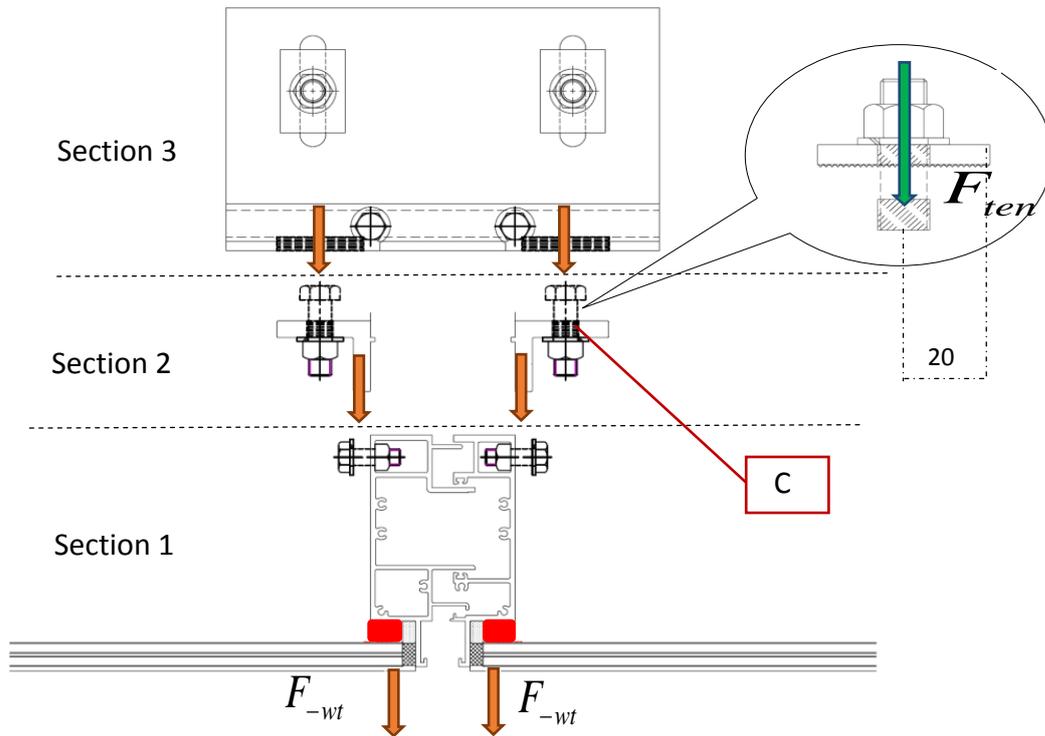


圖 3.19 第三章設計例之 C 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

抵抗正風壓螺栓拉力 $F_{+ten} = F_{+w} = 1135.8kgf$

抵抗負風壓時，最大螺栓拉力為抵抗鋁板彎矩形成的的拉拔力

$$F_{-ten} = \frac{F_{-w} \times 40mm}{20mm} = 4072kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} = \max(F_{+ten}, F_{-ten}) = 4072kgf$

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min\left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b}\right) \times n_s = 6680kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過

在工程實務上因為鋁料有垂直向長孔，靜載重無法傳遞，故此螺栓不會承受靜載重造成之剪力。

柒、L 型鋁板之檢核

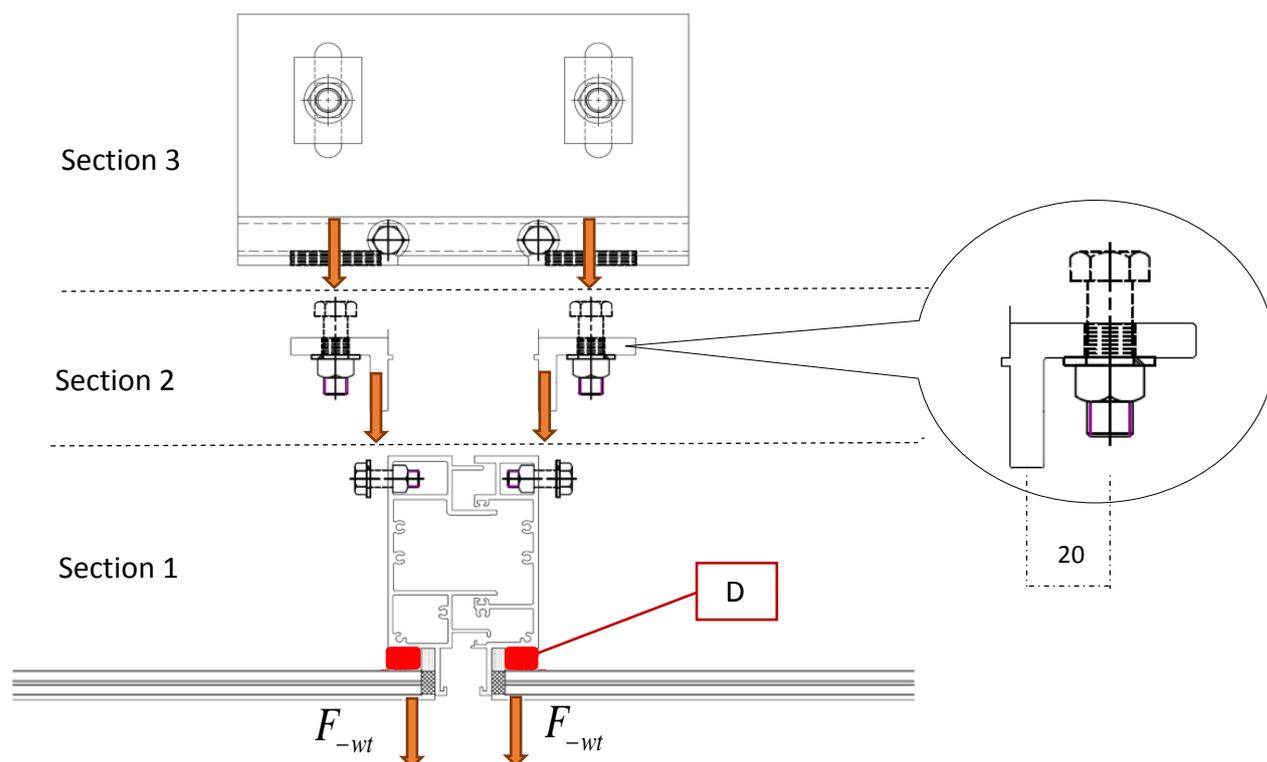


圖 3.20 第三章設計例之 L 型鋁板受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板彎曲應力檢核

由負風力 F_{-wt} 與其力偏心距 $e = 20mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = F_{-wt} \times e = 40720 \text{ kgf gmm}$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 12mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 11.31 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} <$ 容許彎曲應力 F_B ，檢核通過。

捌、D 結構矽膠

帶寬 $b_t = 30\text{mm} = 0.03\text{m}$

容許拉應力 $F_t = 20\text{psi} = 14060 \text{ kgf}/\text{m}^2$

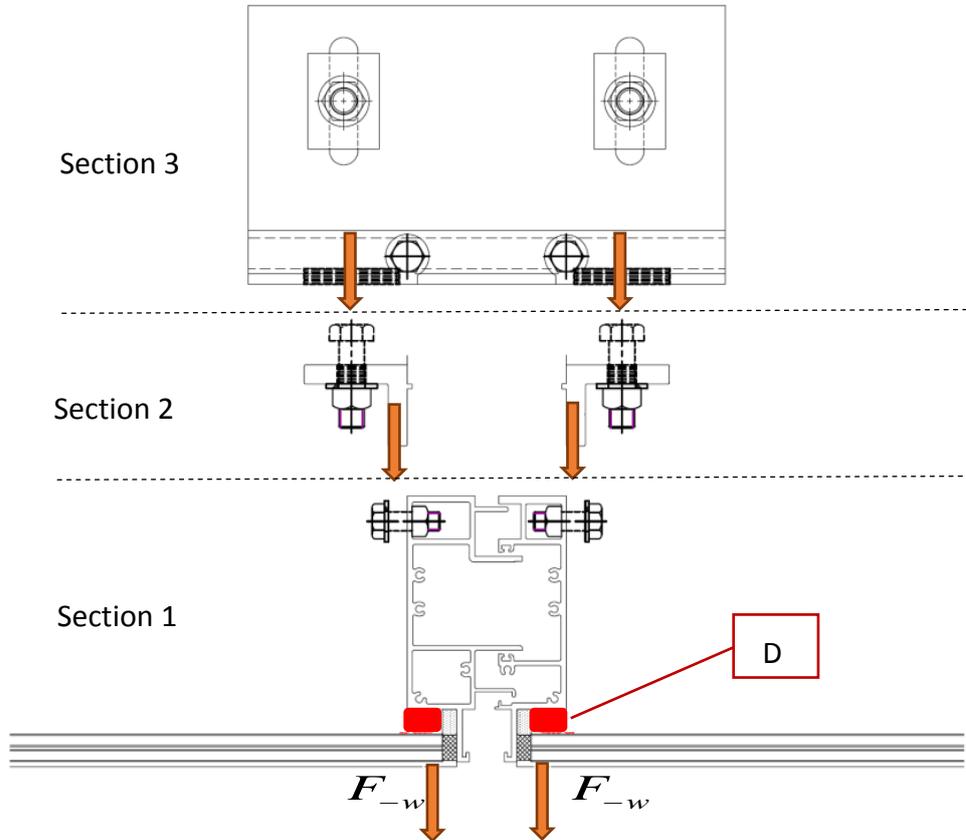


圖 3.21 第三章設計例之 D 處結構矽膠位置圖

(資料來源：本研究整理)

矽膠拉力檢核

參考本章第一節表 3-3，面材之最大設計負風壓為 $-553.3 \text{ kgf}/\text{m}^2$ ，因此

$$\text{矽膠拉力 } F_{ten} \text{ 為 } \frac{553.3 \text{ kgf}/\text{m}^2 \times 3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2 \times (3.3\text{m} + 2\text{m})} = 344.5 \text{ kgf}/\text{m}$$

$$\text{容許拉力 } F_T = F_t \times b_t = 421.8 \text{ kgf}/\text{m}$$

矽膠拉力 $F_{ten} < \text{容許拉力 } F_T$ ，檢核通過。

第四節 面材設計檢核

面材④-⑤-⑥-⑦假設採用高 3.3m 寬 2m 厚度為 16mm 單層完全回火玻璃 (fully tempered glass)，根據表 3-3 讀取最大負風壓為 $-553.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ ，參照 ASTM E1300(2016)做面材檢核。

面材變形檢核

本例為四邊膠和固定之玻璃且厚度為 16mm，風壓乘上面材面積的平方得到 $553.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times (3.3\text{m} \times 2\text{m})^2 = 236.2\text{kNgn}^2$ ，長寬比 $AR = \frac{\text{長}}{\text{寬}} = \frac{3.3}{2} = 1.65$ ，依照圖

3-22 第三章設計例之玻璃強度及變形曲線圖(b)，面材變形約略為 27mm。

面材容許變形=35mm(根據金屬帷幕牆技術手冊)

面材變形 < 容許變形，檢核通過。

面材強度檢核

玻璃高 3.3m、寬 2m，四邊膠和固定且厚度為 16mm，對照圖 3-22(a)得未係數化的承壓強度(Nonfactored Load)2.8kPa。由於玻璃為完全回火玻璃，且台灣設計風速為 10 分鐘平均，遠大於圖 3-22(a)中所使用之 3 秒鐘平均，故參照表 3-5，採用長延時(Long Duration Load)係數 3.0，玻璃承壓強度為

$$2.8\text{kPa} \times 3 = 856.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

面材承壓 $553.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} < \text{容許承壓 } 856.3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ ，檢核通過。

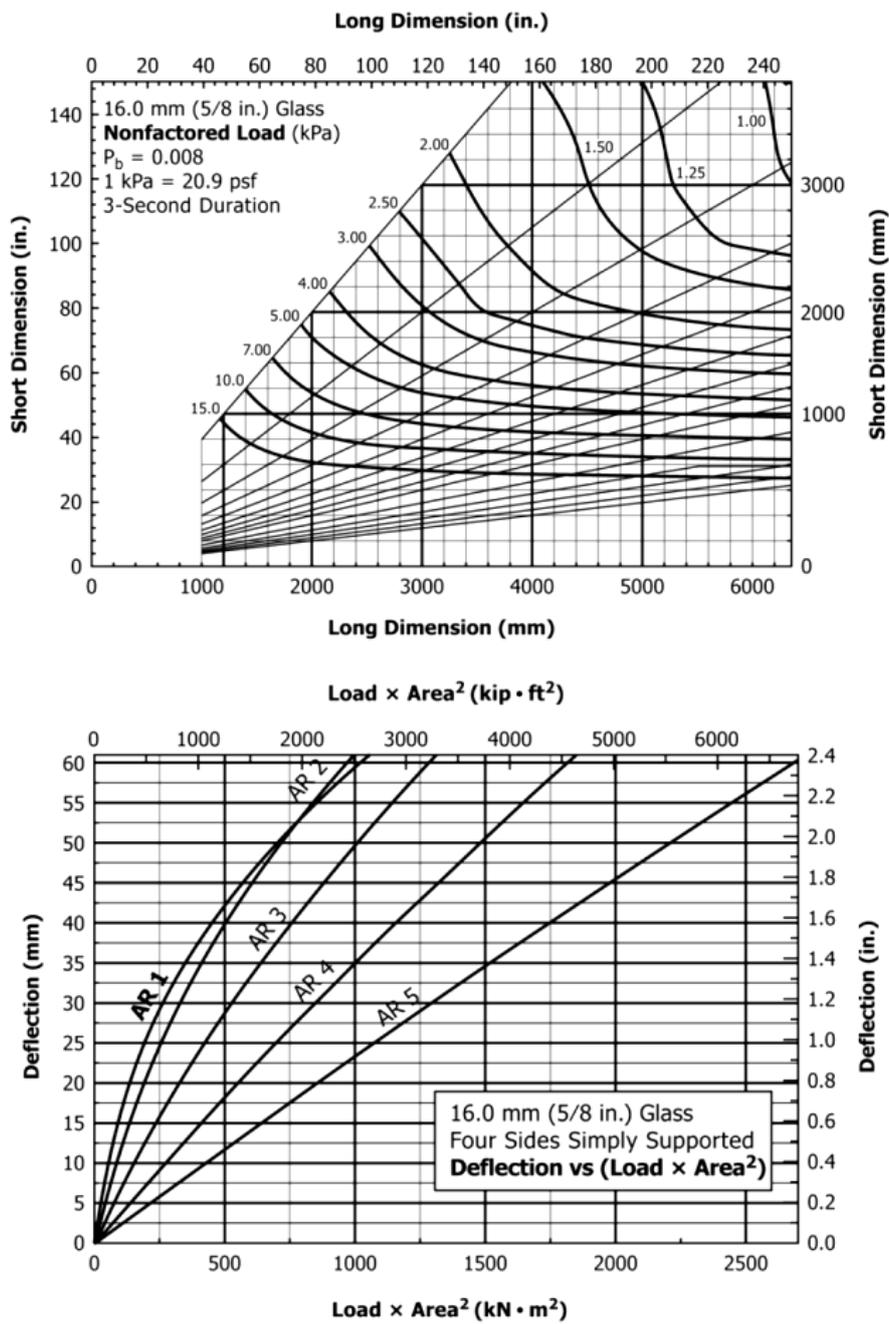


FIG. A1.11 (upper chart) Non-Factored Load Chart for 16.0 mm (5/8 in.) Glass with Four Sides Simply Supported (lower chart) Deflection Chart for 16.0 mm (5/8 in.) Glass with Four Sides Simply Supported

圖 3.22 第三章設計例之玻璃強度及變形曲線圖

(資料來源：擷取自 ASTM E1300，FIG. A1.10，2016)

表 3-5 玻璃種類係數表

TABLE 1 Glass Type Factors (GTF) for a Single Lite of Monolithic or Laminated Glass (LG)

Glass Type	GTF	
	Short Duration Load (3 s)	Long Duration Load (30 days)
AN	1.0	0.43
HS	2.0	1.3
FT	4.0	3.0

(資料來源：擷取自 ASTM E1300，TABLE 1，2016)

第四章 高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例

一辦公大樓平面尺寸為 $38m \times 36m$ ，樓高約 $112.2m$ ，女兒牆高度為 $1.2m$ ，位於台北市，假設建築物四面上風處為B地況，且無特殊地形。外牆使用直橫料式帷幕牆系統，假設整棟大樓皆採用高 $3.3m$ 、寬 $2m$ 之帷幕牆單元，如圖 4.1。

本範例針對此一超過 18 公尺建築物承受最大風壓之直橫料式帷幕牆構件，先決定面材、直料、橫料及繫件之設計風壓(力)，再依序檢核各構件之強度及變形。

第一節 帷幕牆各構件設計風壓

理論上可根據表面風壓之分佈情況，將整面帷幕牆分為若干區域設計帷幕牆構件；但為簡化設計，故本範例只分析設計AB牆面承受最大風壓之帷幕牆構件，其中AB牆面定義於表 4-1；根據圖 4.2，分別為AB牆面位於頂層角隅處面材(©-f-g-a)、繫件(h點)、橫料(c-d及e-f)以及頂部三層直料(a-e-c-b)。

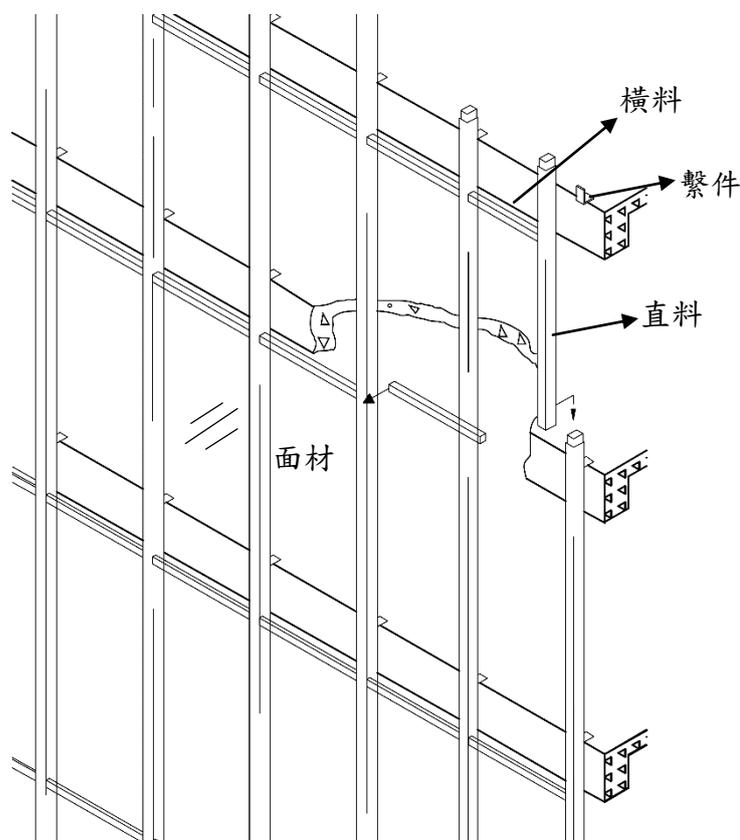


圖 4.1 第四章計算例之帷幕牆示意圖

(資料來源：本研究整理)

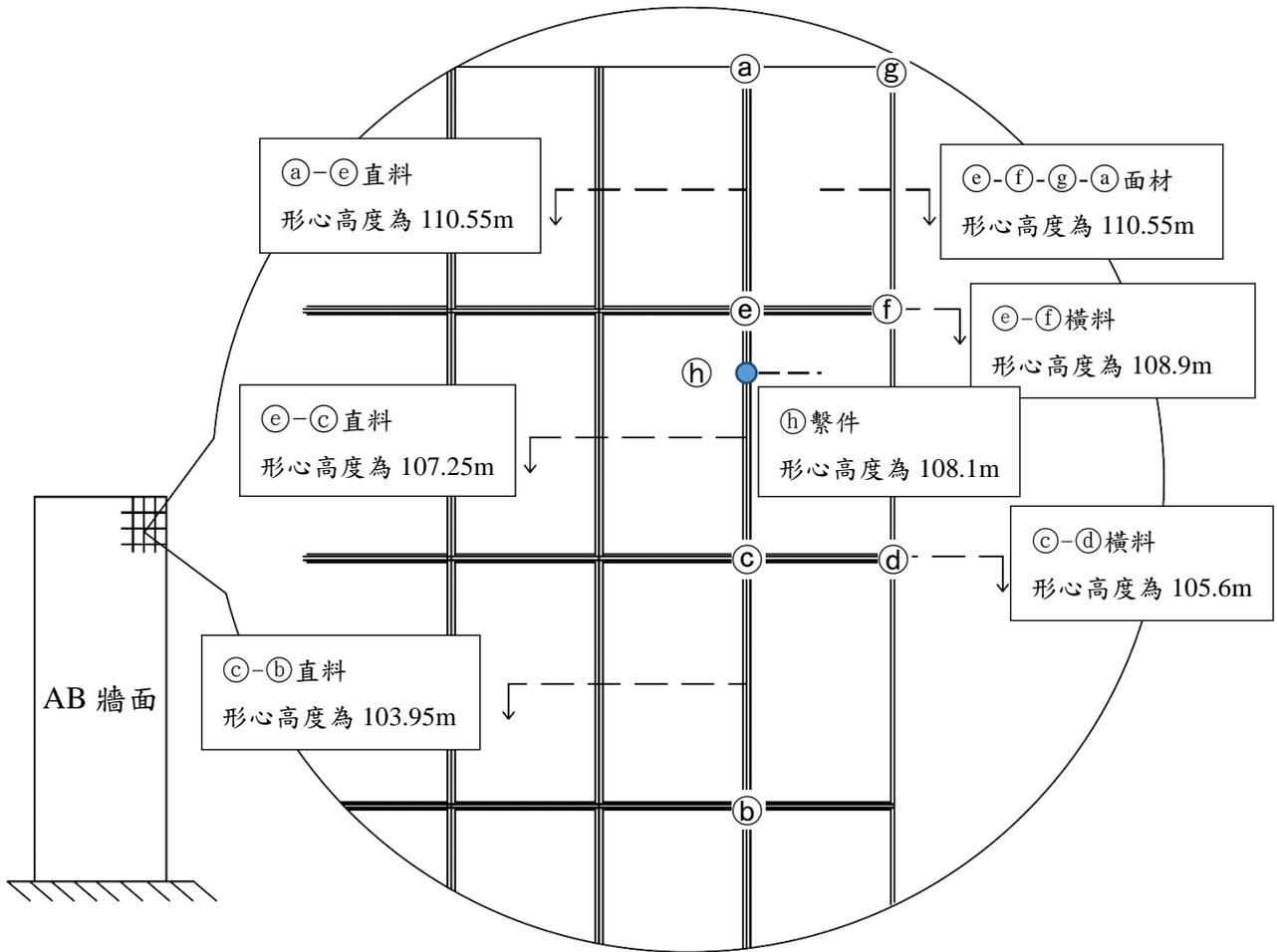


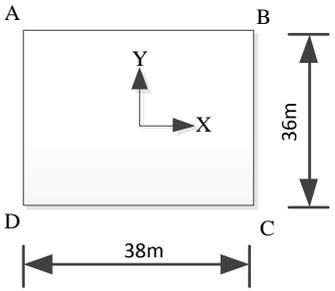
圖 4.2 第四章計算例之帷幕牆構件位置放大圖

(資料來源：本研究整理)

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

依據第二章第一節「高度超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計算」之流程，計算前述帷幕牆構件之設計風壓。根據圖 2.2，執行耐風設計時，先要蒐集建築物與工址風環境資料，本節擬定建築物之資料與工址風環境如下表 4-1 所示。

表 4-1 第四章設計例之建築物資料與工址風環境

建築物資料	尺寸	平面尺寸 $38m \times 36m$; 建築物高度 112.2m (不含屋頂突出物)	
	開口面積	在颱風區內，建築物的玻璃容易受周遭的植栽、招牌或屋頂所造成的隨風飄散物的撞擊而成為開口。本例假設各牆面之總面積有 1% 破損而造成開口，其餘無開口。	
	用途係數 I	根據規範 2.5 節， $I = 1.1$ 、 1.0 或 0.9 。本例取 $I = 1.0$ 。	
	局部構材及外部被覆物	考慮位於 AB 牆面上角隅處之面材為 $2m$ 寬 \times $3.3m$ 高之玻璃，其形心高度為 $110.55m$ ，如圖 4.2 (e)-(f)-(g)-(a) 直料長 $3.6m \times 3$ (橫跨三樓層)，其形心高度分別為 110.55 、 107.25 及 $103.95m$ ，如圖 4.2 (a)-(e)-(c)-(b) 上橫料長 $2m$ ，其形心高度為 $112.2m$ ，如圖 4.2 (e)-(f) 下橫料長 $2m$ ，其形心高度為 $108.9m$ ，如圖 4.2 (c)-(d) 繫件，其形心高度為 $108.1m$ ，如圖 4.2 (h)	
工址風環境	基本設計風速 $V_{10}(C)$	根據規範 2.4 節，台北市的 $V_{10}(C) = 42.5m/s$ 。	
	地況	AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面上風側地況皆為地況 B。	
	地形	無特殊地形。	

(資料來源：本研究整理)

貳、各構件有效受風面積及外風壓係數之計算

針對圖 4.2 所考慮之直料、橫料、面材及繫件，於圖 4.3 中標示出相對應之承受風壓面積。面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之跨距長度為 $3.3m$ ，寬度為 $2m$ ，則承受風壓面積為 $3.3 \times 2 = 6.6m^2$ 。由於有效寬度為 $\max(2m, 3.3m/3) = 2m$ ，故面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之

有效受風面積為 $3.3 \times 2 = 6.6m^2$ 。

直橫料式系統平剖圖為圖 4.4，直料鋁擠型為一體成形，部分左側玻璃所受風力由⑩傳遞至直料鋁擠型，部分右側玻璃所受風力由⑪傳遞至直料鋁擠型。其次，根據圖 4.3，依照龜殼式載重分配法，同時參考圖 4.2 直料之配置，直料左側(右側)承受風壓面積為 $(3.3+1.3) \times 1 \times 1/2 = 2.3m^2$ 。為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述梯形面積以等值長方形面積(跨距長度為 3.3m，寬度為 $\frac{2.3}{3.3}m$)取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{2.3}{3.3}m, 3.3m/3\right) = 1.1m$ ，故直料(Ⓐ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓑ)左(右)側有效受風面積為 $3.3 \times 1.1 = 3.63m^2$ 。

橫料鋁擠型亦為一體成形，部分上側玻璃所受風力傳遞至橫料鋁擠型，部分下側玻璃所受風力傳遞至橫料鋁擠型。其次，根據圖 4.3，依照龜殼式載重分配法，橫料上(下)側承受風壓面積為 $2 \times 1 \times 1/2 = 1m^2$ ，為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述三角形面積以等值長方形(跨距長度為 2m，寬度為 $\frac{1}{2}m$)取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{1}{2}m, 2m/3\right) = 2/3m$ ，故橫料(Ⓒ-Ⓕ或Ⓒ-Ⓖ)上(下)側有效受風面積為 $2 \times 2/3 = 1.33m^2$ 。

針對圖 4.2 所考慮之繫件，根據圖 4.3，其左(右)側之承受風壓面積為面材承受風壓面積之一半；引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，繫件左(右)側有效受風面積不得大於其承受風壓面積，故繫件左(右)側有效受風面積為其承受風壓面積 $3.3 \times 2 \times \frac{1}{2} = 3.3m^2$ 。

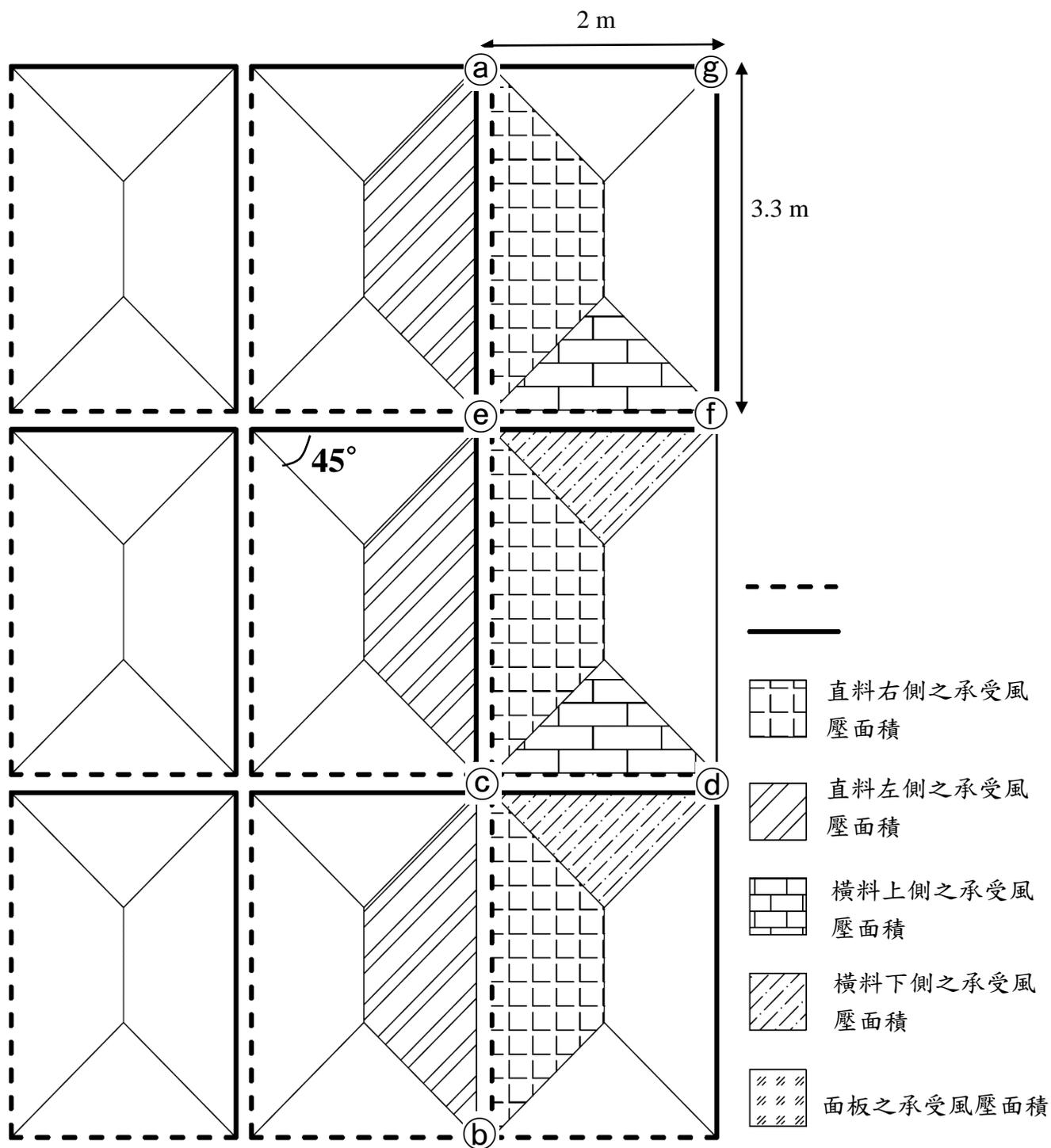


圖 4.3 第四章計算例之面材、直料及橫料之承受風壓面積
(資料來源：本研究整理)

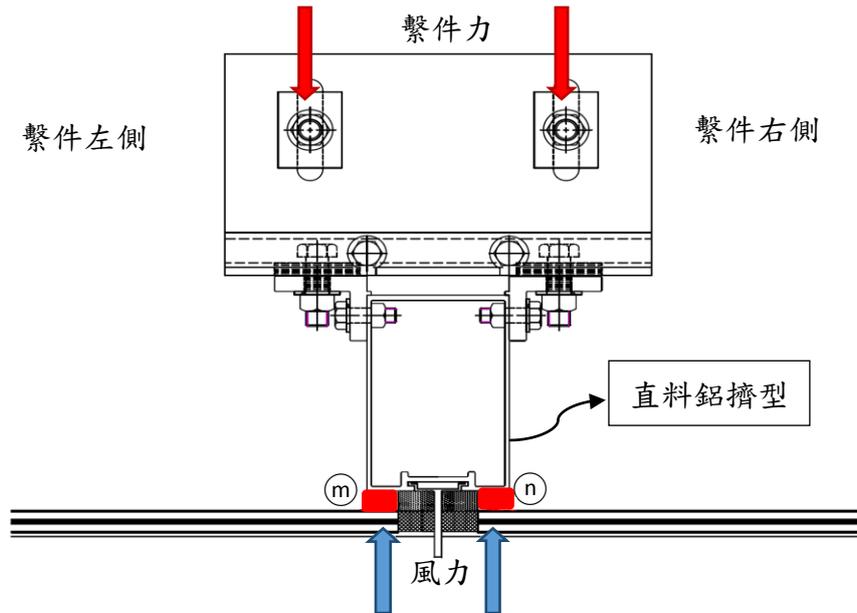


圖 4.4 第四章計算例之帷幕牆直料及繫件平剖面圖

(資料來源：本研究整理)

「耐風規範」中外風壓區域之寬度 $a = \max(0.1 \times \min(B, L), 0.9m) = 3.6m$ ，其中 B 及 L 分別為垂直於風向之建築物水平尺寸及平行於風向之建築物水平尺寸。根據附錄二「耐風規範」圖 3.2，由於所考慮之面材、直料、橫料及繫件距建築邊緣之水平距離皆小於 a ，故皆位於外牆之⑤區。由於面材的有效受風面積為 $6.6m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.6 和 -3.1。由於每一層直料左(右)側的有效受風面為 $3.63m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.8 和 -3.4。由於上(下)橫料上(下)側的有效受風面為 $1.33m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.9 和 -3.8。由於繫件左(右)側的有效受風面積為 $3.3m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.8 和 -3.5。

參、設計風壓之計算

使用「耐風規範」第三章，所考慮可能之來風方向下包括來風垂直 AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面，計算各構件所承受之設計風壓。

來風垂直 AB 牆面

【步驟6】列出與該風向相關之設計參數

當風垂直吹向 AB 牆面時，根據表 4-1，垂直於風向之建築物水平尺寸 $B = 38m$ ，與平行於風向之建築物水平尺寸 $L = 36m$ 。根據「耐風規範」表 2.2，地況 B 相關參數 $\alpha = 0.25$ ； $z_g = 400m$ 。

【步驟7】判斷建築物封閉性及決定內風壓係數

根據建築物資料可知外牆面開口率皆為1%。根據「耐風規範」1.3節，建築物不屬於開放式建築物。根據建築物資料，計算迎風向外牆面之總面積 $A_g = 4263.6m^2$ 、迎風向外牆面之總開口面積 $A_0 = 42.64m^2$ 、非迎風向之各牆面(含屋頂)總面積 $A_{gi} = 12790m^2$ 與非迎風向之各牆面(含屋頂)總開口面積 $A_{oi} = 127.92m^2$ 。因無法同滿足以下各條件(1) $A_0 > 1.10A_{oi}$ ，(2) $A_0 > 0.37m^2$ 或 $0.01A_g$ (二者取最小)，(3) $\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.20$ ，根據「耐風規範」1.3節，建築物屬於封閉式建築物。

由於建築物屬於封閉式建築物，參考「耐風規範」表 2.17，建築物的內風壓係數為 ± 0.375 。

【步驟8】 計算風速壓地況係數 $K(z)$ 與地形係數 K_{zt}

根據「耐風規範」式(2.7)，

$$\begin{aligned} K(z) &= 2.774 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} ; z > 5m \\ &= 2.774 \left(\frac{5}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} ; z \leq 5m \end{aligned}$$

根據「耐風規範」式(2.8)，計算 K_{zt} ：因工址附近無特殊地形， $K_{zt} = 1$ 。

【步驟9】 計算高度 z 處之風速壓

高度 z 處之風速壓

因此，當風垂直吹向 AB 牆面時，不同高度之風速壓為

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2 ; z > 5m$$

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2 ; z \leq 5m$$

【步驟10】 分別計算面材、直料、橫料及繫件之設計風壓

風垂直吹向 AB 牆面時，AB 牆為迎風面牆，所考慮面材、直料、橫料及繫件均承受正風壓。封閉式或部分封閉式建築物高度超過 18 公尺者，其局部構

材及外部被覆物之設計風壓根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(z)$ 。

面材形心離地高度 $z = 110.55m$

$$q(z = 110.55m) = 300.63 \left(\frac{110.55}{400} \right)^{0.5} = 158.05 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

而在建築高 h 處

$$q(h = 112.2m) = 300.63 \left(\frac{112.2}{400} \right)^{0.5} = 159.22 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

迎風面牆的面材(GC_p)取正值為 1.6。根據「耐風規範」式(3.2)，該面材設計正風壓為 $p(z = 110.55 m) = 158.05 \times 1.6 - 159.22 \times (\pm 0.375) = 274.83 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

仿照上述計算面材設計風壓之流程，可計算並彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側的設計正風壓及繫件單側的設計正風壓，列於表 4-2。

來風垂直 BC 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 BC 牆面時，本計算例考慮帷幕牆所在之 AB 牆為側牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓。其值根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(h)$ 。

側牆的面材(GC_p)要取負值 -3.1，該面材設計負風壓為 $p(z = 110.55m) = 159.22 \times (-3.1) - 159.22 \times (\pm 0.375) = -553.30 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件的設計負風壓，將數值分析結果列於表 4-2。

來風垂直 CD 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 CD 牆面時，AB 牆為背風面牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓。其值根據「耐風規範」式(3.2)計算，其中 q 採 $q(h)$ 。背風面牆的(GC_p)

要取負值-3.1，該面材設計負風壓為 $p = -553.30 \text{ kgf/m}^2$ 。

彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件的設計負風壓，將數值分析結果列於表 4-2。

風垂直 DA 牆面

根據建築物資料與工址風環境可知，建築物以 Y 軸為對稱軸，BC 牆面與 DA 牆面開口面積相同，BC 牆面與 DA 牆面上風側地況相同，以及建築物周邊地形相同。因此，當風垂直吹向 DA 牆面時，其結果與當風垂直吹向 BC 牆面的結果相同。

表 4-2 第四章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m²)

	來風垂直 AB 牆面	來風垂直 BC 牆面	來風垂直 CD 牆面	來風垂直 DA 牆面
面材Ⓔ-Ⓕ-Ⓖ-Ⓐ	312.58	-553.3	-553.3	-553.3
橫料Ⓔ-Ⓕ上側	357.75	-664.75	-664.75	-664.75
橫料Ⓔ-Ⓕ下側	357.75	-664.75	-664.75	-664.75
橫料Ⓒ-Ⓓ上側	353.2	-664.75	-664.75	-664.75
橫料Ⓒ-Ⓓ下側	353.2	-664.75	-664.75	-664.75
直料Ⓐ-Ⓔ左側	344.19	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓐ-Ⓔ右側	344.19	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓔ-Ⓒ左側	339.91	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓔ-Ⓒ右側	339.91	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓒ-Ⓓ左側	335.57	-601.06	-601.06	-601.06
直料Ⓒ-Ⓓ右側	335.57	-601.06	-601.06	-601.06
繫件Ⓕ單側	344.19	-616.98	-616.98	-616.98

(資料來源：本研究整理)

肆、最大設計正風壓與負風壓之選取

根據表 4-2 中面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件單側在各來風向正負風壓值中，分別選取其最大設計正風壓和負風壓，列於表 4-3。

於表 4-3 中，每一層直料左(右)側單位長度正(負)風力為每一層直料左(右)側設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以每一層直料高；上(下)橫料上(下)側之單位長度正(負)風力為上(下)橫料上(下)側設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以橫料寬。

通常鋁製結構以 ASD 做設計，因此載重組合中，風力載重前所乘係數為 1。

表 4-3 第四章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m²)

第七章 高度超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計範例

	承受風壓面積(m ²)	最大正風壓(kgf/m ²)	最大負風壓(kgf/m ²)	單位長度正風力(kgf/m)	單位長度負風力(kgf/m)
面材Ⓔ-Ⓕ-Ⓖ-Ⓐ	6.6	312.58	-553.3		
橫料Ⓔ-Ⓕ上側	1	357.75	-664.75	178.88	-332.38
橫料Ⓔ-Ⓕ下側	1	357.75	-664.75	178.88	-332.38
橫料Ⓒ-Ⓓ上側	1	353.20	-664.75	176.60	-332.38
橫料Ⓒ-Ⓓ下側	1	353.20	-664.75	176.60	-332.38
直料Ⓐ-Ⓒ左側	2.3	344.19	-601.06	239.89	-418.92
直料Ⓐ-Ⓒ右側	2.3	344.19	-601.06	239.89	-418.92
直料Ⓔ-Ⓒ左側	2.3	339.91	-601.06	236.91	-418.92
直料Ⓔ-Ⓒ右側	2.3	339.91	-601.06	236.91	-418.92
直料Ⓒ-Ⓑ左側	2.3	335.57	-601.06	233.88	-418.92
直料Ⓒ-Ⓑ右側	2.3	335.57	-601.06	233.88	-418.92
繫件Ⓕ單側	3.3	344.19	-616.98		

(資料來源：本研究整理)

第二節 直料與橫料設計檢核

帷幕牆系統剖面如圖 4.5，直料長度為 3.3 公尺；橫料長度為 2 公尺；直料相互連接處至繫件與直料相接處為 0.8 公尺，依循第二章邊界條件設置原則，繫件與直料相接處為鉸支承(Hinge)，直料相互連接處為銷釘(Pin)。直料及橫料鋁擠型採用 6063-T5，其楊氏係數(E)為 $7.101 \times 10^9 \text{ kgf/m}^2$ ，柏松比(ν)為 0.33，降伏強度為 $F_{y,a} = \min(F_{cy}, F_{ty}) = \min(11.25, 11.25) = 11.25 \text{ kgf/mm}^2$ ，極限強度($F_{u,a}$)為 $22 \text{ ksi} = 15.47 \text{ kgf/mm}^2$ ；假設採用之直橫料形狀與斷面性質如表 4-4 所示。

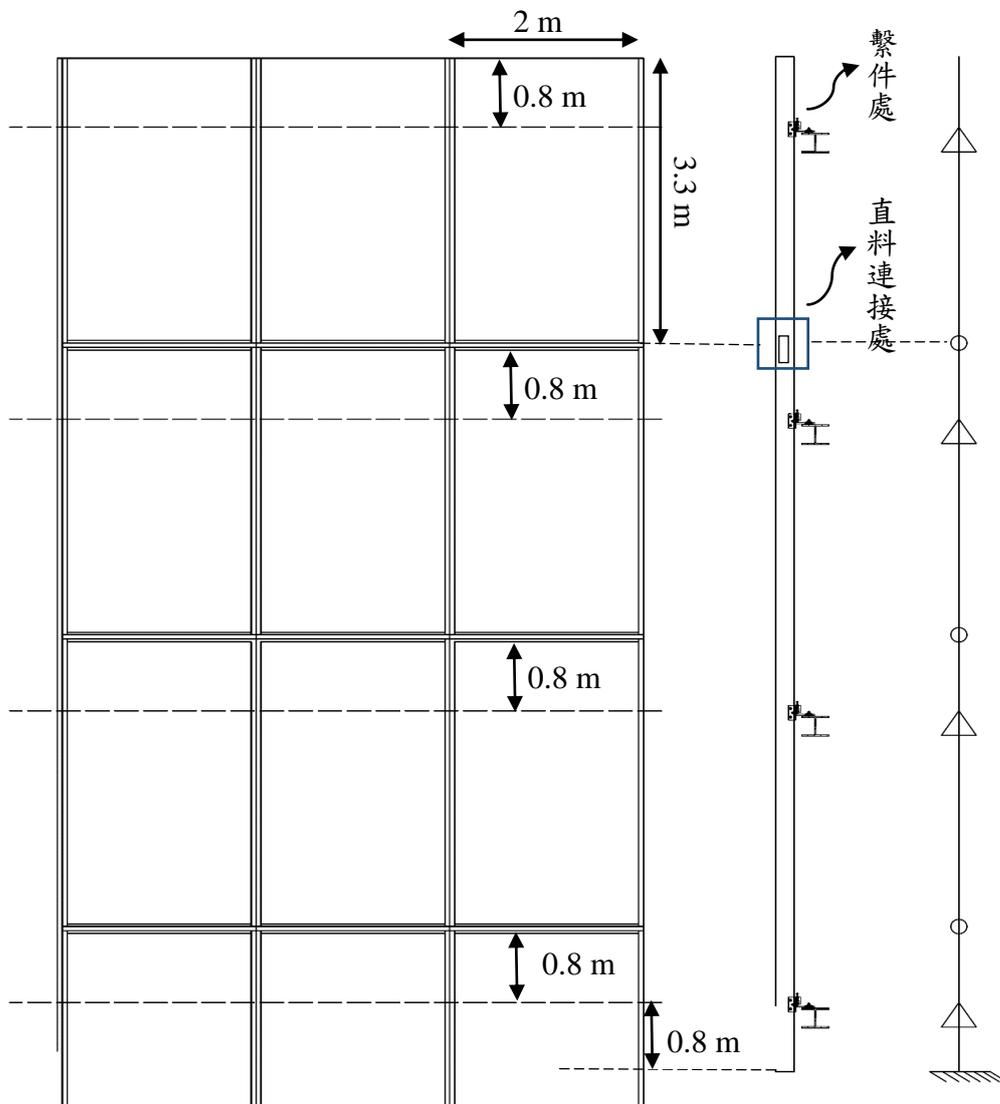


圖 4.5 第四章計算例之帷幕牆系統剖面圖

(資料來源：本研究整理)

斷面模數 $Sy2 = 53cm^3$ 斷面模數 $Sy1 = 53cm^3$ 斷面模數 $Sx2 = 122cm^3$ 斷面模數 $Sx1 = 93cm^3$ 慣性矩 $Iy = 213cm^4$ 慣性矩 $Ix = 1174cm^4$ 斷面積 $A = 2224 mm^2$	
橫料鋁擠型鉛直剖面圖	
斷面模數 $Sy2 = 53 cm^3$ 斷面模數 $Sy1 = 40 cm^3$ 斷面模數 $Sx2 = 31 cm^3$ 斷面模數 $Sx1 = 30 cm^3$ 慣性矩 $Iy = 355 cm^4$ 慣性矩 $Ix = 107 cm^4$ 斷面積 $A = 1380 mm^2$	

表 4-4 第四章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質

(資料來源：本研究整理)

壹、直料分析及檢核

直料因由套筒相連接，故套筒必須能承受結構物的層間變位，以避免帷幕牆系統破壞，本計算例不考慮套筒變形之情況。

三層直料整體分析

直料只考慮風力對其之影響，而自重的影響甚小故在此忽略，採用表 4-3 直料(Ⓐ-Ⓒ)和(Ⓒ-Ⓒ)和(Ⓒ-Ⓑ)左(右)側單位長度最大設計負風力

$F_w = -418.92 \text{ kgf/m}$ 設計帷幕牆直料。根據結構圖 4.6。以 ANSYS 軟體進行三層

直料受單位長度最大設計負風力之分析，其中以強軸(I_x)抵抗風力。圖 4.7 為剪力、彎矩及變形圖，其中最大變形量為 6.552mm，最大彎矩(M)為

$5.1735 \times 10^6 \text{ Ngnm}$ (527370 kgf gnm)。

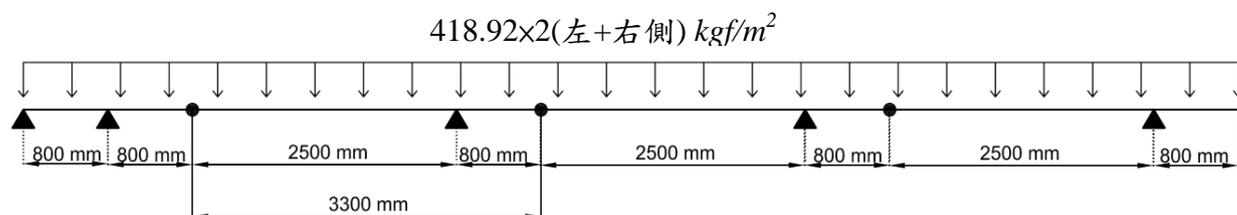


圖 4.6 第四章計算例之直料結構圖

(資料來源：本研究整理)

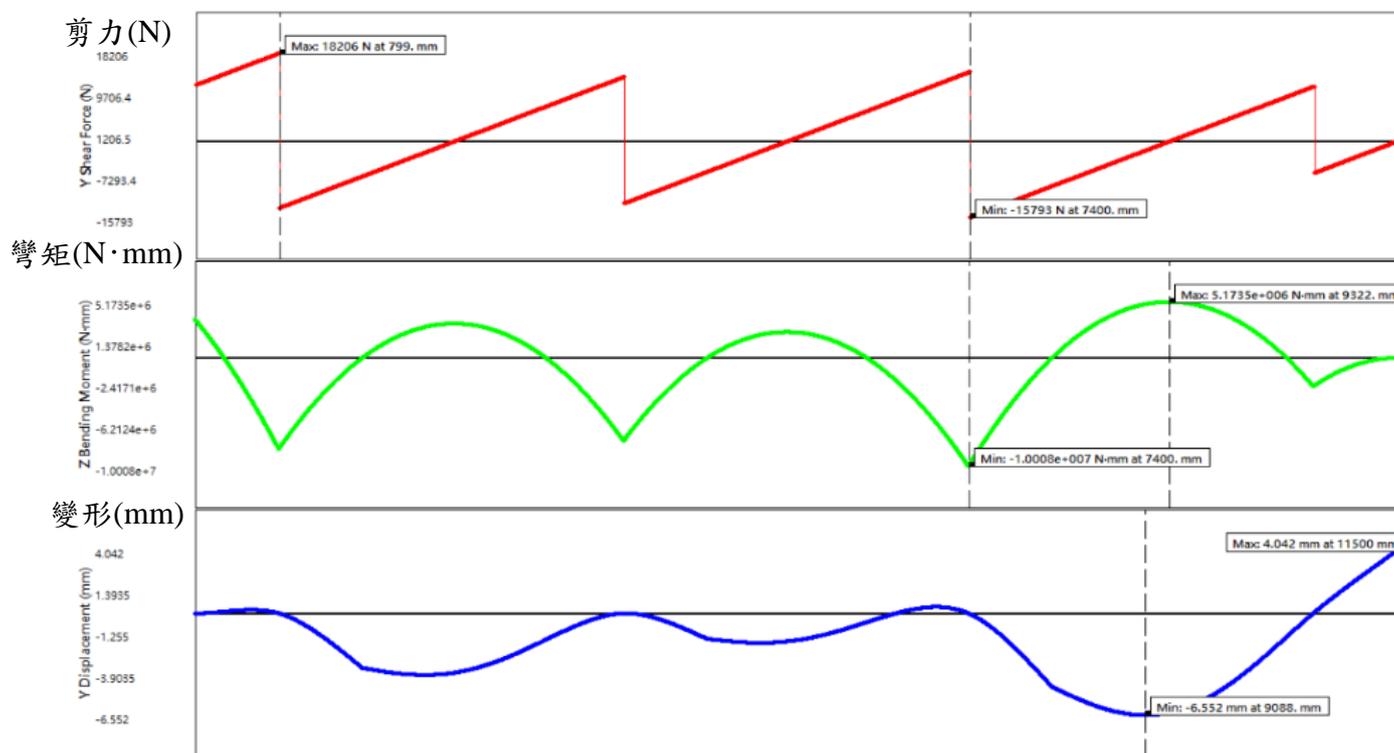


圖 4.7 第四章計算例之剪力彎矩及變形圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

最大變形量 $\delta_{\max} = 6.552 \text{ mm}$

容許變形量 $\delta_a = \frac{L_c}{175} = 18.86 \text{ mm}$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

直料應力檢核

應力 $f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{527370}{93000} = 5.67 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

應力 $f_{bx} < \text{容許應力 } f_b$ ，檢核通過。

參照 ADM(AA,2005)，採用斷面為一閉合斷面形狀之側向扭轉挫屈計算公式，其基本參數如下：Y 軸慣性矩 $I_y = 213 \text{ cm}^4$ ；斷面模數 $S_c = 93$ ；斷面扭轉常數為斷面所有肢材的慣性矩總和 $J = \sum \frac{\text{寬} \times \text{厚}^3}{3} = 1.049 \text{ cm}^4$ ；無側撐長度 $L_b = 330 \text{ cm}$ 。

藉由上述參數，參考 AA (2005)Table3.4-3 容許應力公式表，當 $\left(\frac{L_b S_c}{0.5 \sqrt{I_y J}} \right)$ 為 4106，則容許應力 $F_{b0} = \frac{\pi^2 E C_b}{2.56 n_y \left(\frac{L_b S_c}{0.5 C_b \sqrt{I_y J}} \right)} = 2589 \text{ MPa}$ 。其中 $n_y = 1.65$ 、 $C_b = 1$ 。

計算容許撓曲應力為 $F_{LTB} = \min(F_{b0}, \frac{F_{y,a}}{1.65}) = 66.67 \text{ MPa} = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$

應力 $f_{bx} <$ 容許撓曲應力 F_{LTB} ，檢核通過。

貳、橫料分析及檢核

橫料分析中需考慮風力及靜載重的影響。其中風力採用表 4-3 橫料上(下)側 (e)-(f)和(c)-(d)單位長度最大設計負風力 $F_w = -332.38 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$ ；靜載重因鋁擠型自重相對較小，故只考慮玻璃載重 $F_g = 3.3 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{單位面積重} 15 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 99 \text{ kgf}$ 。

橫料整體分析

橫料分析自由體圖可視為一簡支梁，將橫料材料特性及斷面代入結構力學公式，可分析求得變形量及應力，圖 4.8(a)為風力均勻作用於橫料之結構圖，圖 4.8(b)為玻璃載重作用於橫料之結構圖，其中根據工程實務，玻璃載重集中於墊塊位置，即距兩端支撐各四分之一跨距處。

$$\text{風力造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{5(2F_w)L_h^4}{384EI_x} = \frac{5 \times 0.33238 \times 2 \times 2000^4}{384 \times 7101 \times 355 \times 10^4} = 5.49 \text{ mm}$$

$$\text{自重造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{11 \frac{F_g}{2} L_h^3}{384EI_y} = \frac{11 \times 99 \times 2000^3}{768 \times 7101 \times 107 \times 10^4} = 1.63 \text{ mm}$$

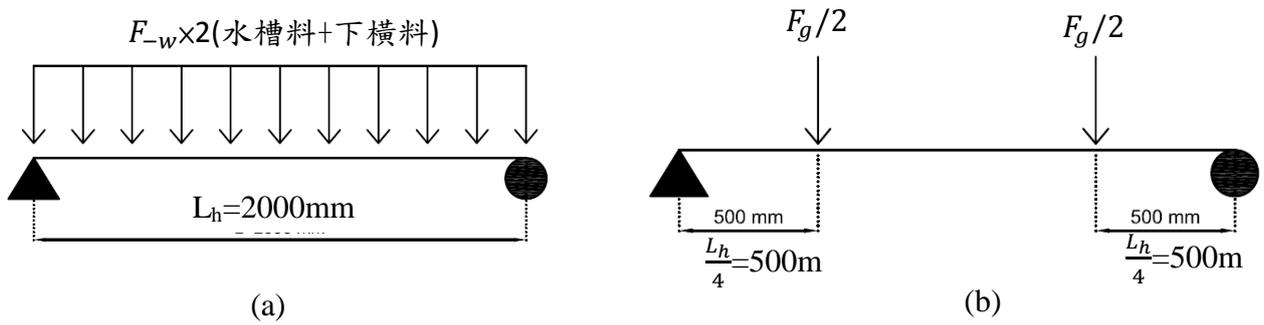


圖 4.8 第四章計算例之(a)橫料風力作用結構圖(b)橫料玻璃載重作用結構圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

風力：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 5.49 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = \frac{L_h}{175} = \frac{2000}{175} = 11.429 \text{ mm}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過

玻璃載重：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 1.63 \text{ mm}$$

容許變形 $\delta_a = 3.2 \text{ mm}$ (工程界實務假設)

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過

橫料應力檢核

風力：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_w L_h^2}{8} = \frac{0.33238 \times 2000^2}{8} = 166190 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{by} = \frac{M_{\max}}{S_{y1}} = \frac{166190}{40000} = 4.15 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{by} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過

玻璃載重：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_g L_h}{8} = \frac{99 \times 2000}{8} = 24750 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{24750}{30000} = 0.83 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) 3.4-3

$$f_b = \frac{1.3F_{y,a}}{1.65} = 8.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過

第三節 繫件設計檢核

帷幕牆繫件剖面圖及平面圖如圖 4.9 及圖 4.10，繫件包括 L 型鋁板、樓板上鋁板及相關之螺栓與母材。連接樓板及樓板上鋁板之鋸齒螺栓有兩顆，其中一顆位於 A 處，其規格假設採用 A325 M16 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 8mm 之板。直料與 L 型鋁板以四顆螺栓連結，其中位於 B 處之螺栓通常遭受較大應力，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。L 型鋁板與樓板上鋁板間以兩顆鋸齒螺栓連接，其中一顆位於 C 處，其規格假設採用 A325 M16 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。D 為帶寬 30mm，強度為 20psi 之結構矽膠。

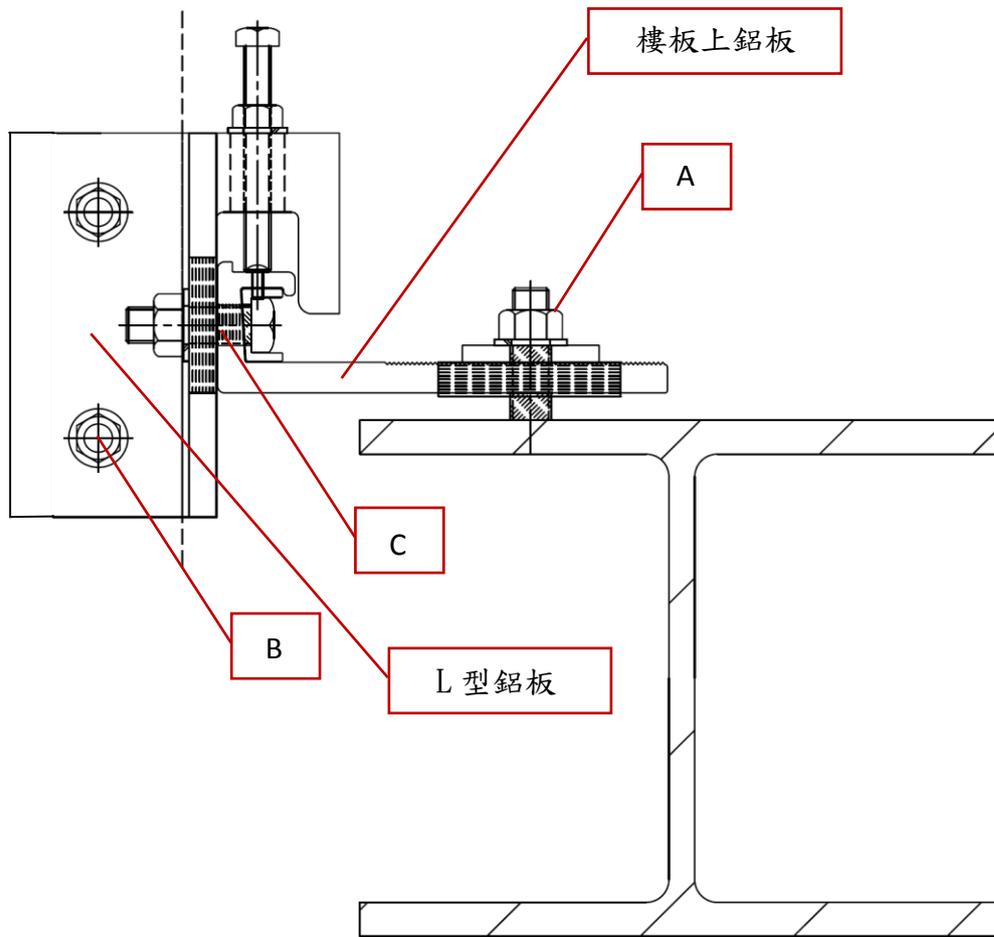


圖 4.9 第四章計算例之帷幕繫件剖面圖

(資料來源：本研究整理)

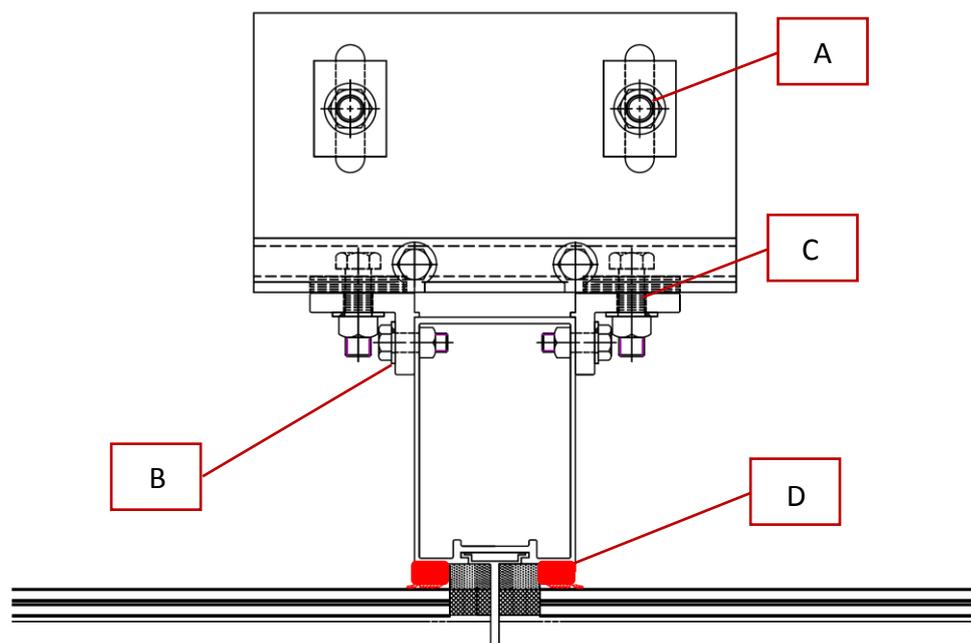


圖 4.10 第四章計算例之帷幕繫件平面圖
(資料來源：本研究整理)

壹、螺栓檢核公式

根據 AAMA TIR-A9，螺栓檢核公式如下：

螺栓容許剪力 F_V

$$F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_r 為螺栓抗剪斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

母材容許承壓 F_B

$$F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s$$

其中 d_b 為螺栓直徑， t_p 為母材厚度， F_{up} 為母材承壓應力， n_s 為螺栓個數

螺栓容許張力 F_T

$$F_T = A_s \times \min\left(0.4 F_{u,b}, 0.75 F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_s 為螺栓抗拉斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

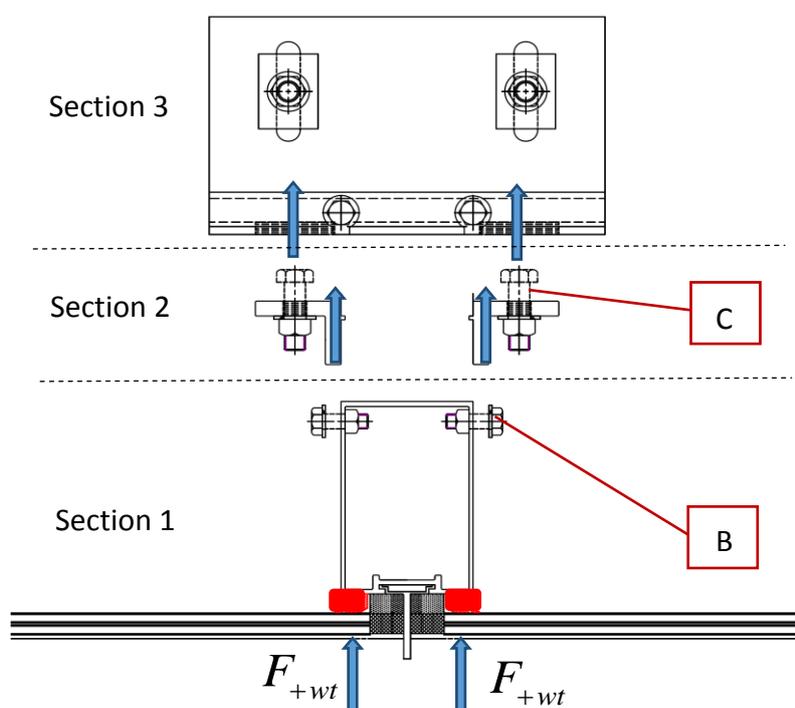
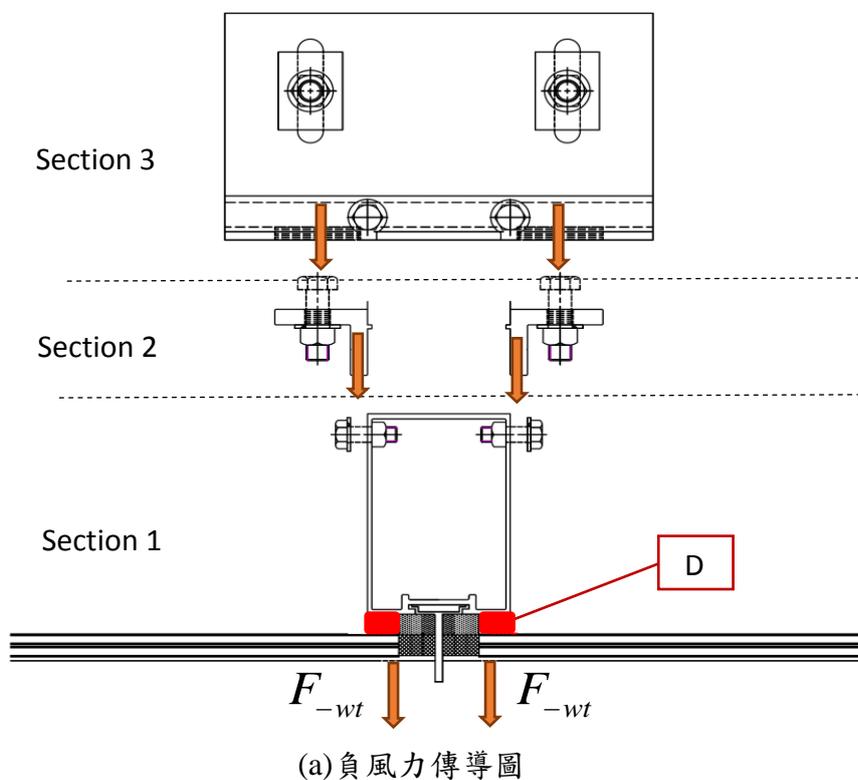
螺栓抗拉抗剪聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T}\right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)}\right)^2 < 1$$

其中 F_{ten} 為螺栓拉力， F_{shear} 為螺栓剪力

貳、繫件設計載重之決定

繫件設計載重可由兩種方法決定，分別為以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積與直料與橫料之設計風壓轉移至繫件。圖 4.11 標示繫件⑧單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，並繪製出正(負)風力傳導路徑。



(b)正風力傳导图

圖 4.11 第四章計算例之力傳導平面圖

(資料來源：本研究整理)

繫件設計風力

若以耐風規範中外牆扣件計算繫件有效受風面積之方法計算，繫件單側有效受風面積如圖 4.12 斜線區域。

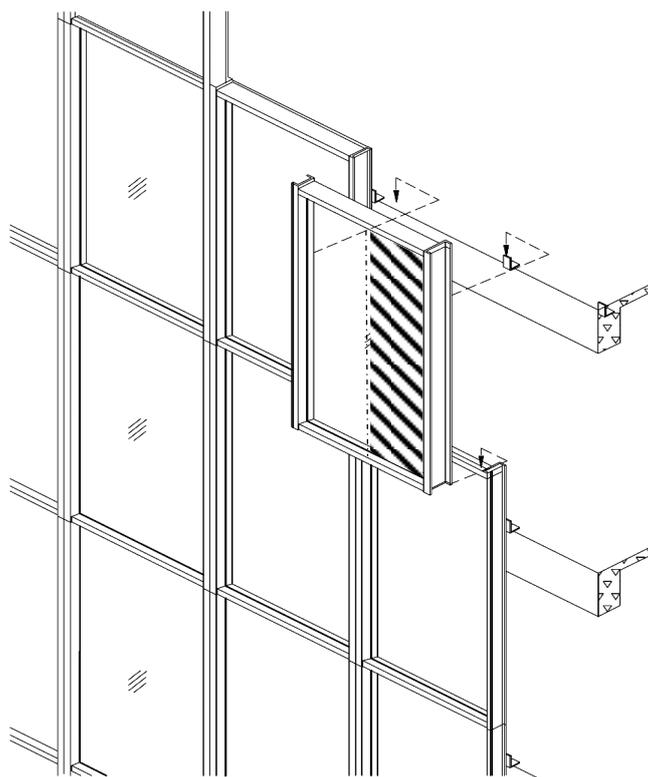


圖 4.12 第四章計算例之繫件有效受風面積

(資料來源：本研究整理)

繫件Ⓜ單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，為表 4-3 中繫件Ⓜ之最大正(負)風壓乘上面材一半的面積

設計正風力 F_{+wt}

$$F_{+wt} = 344.19 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \times \frac{3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2} = 1135.8\text{kgf}$$

設計負風力 F_{-wt}

$$F_{-wt} = -616.98 \text{ kgf/m} \times \frac{3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2} = -2036\text{kgf}$$

設計靜載重 F_d

此帷幕牆單元採用一組直橫料以及全玻璃面板，其單位重約略為 45 kgf/m^2 ，

而繫件單側所承受之靜載重 F_d 為

$$F_d = \frac{(45 \text{ kgf/m}^2 \times 3.3\text{m} \times 2\text{m})}{2} = 148.5\text{kgf}$$

本計算例以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積之方法決定，故後續計算採用之繫件單側設計正風力 F_{+wt} 為 1135.8kgf ，繫件單側設計正風力 F_{-wt} 為 -2036kgf ，繫件單側靜載重 F_d 為 148.5kgf 。

參、A 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M16 螺栓

直徑 $d_b = 16 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 198 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 133.6 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.4 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 8 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

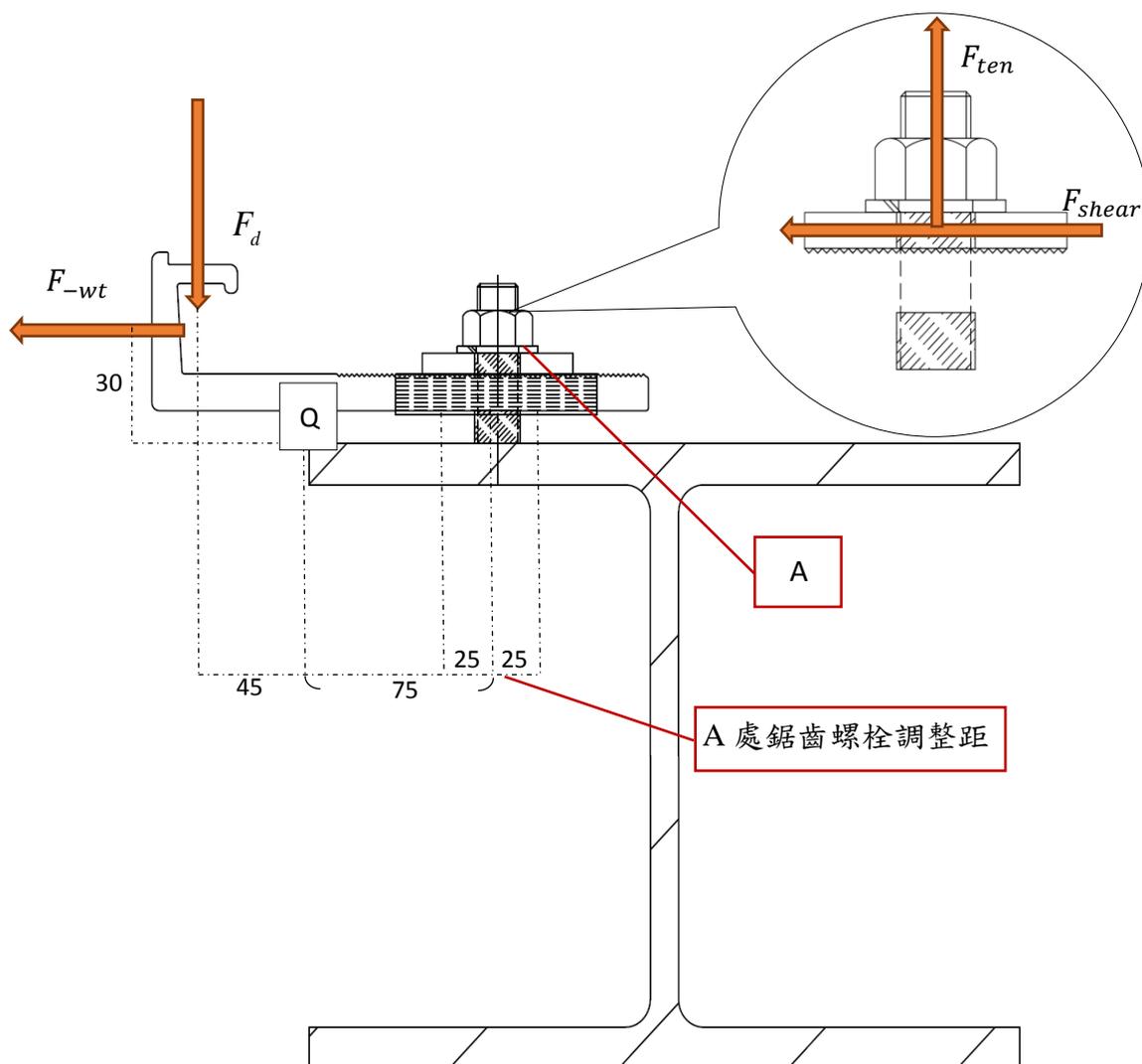


圖 4.13 第四章計算例之 A 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

參考圖 4.13，以 Q 點為力矩平衡支點，且考慮鋸齒螺栓可能移動範圍後產生的最大值

$$\text{抵抗負風壓螺栓拉力 } F_{ten} = \frac{F_d \times 45 \text{ mm} + |F_{-wt}| \times 30 \text{ mm}}{0.85(75 - 25) \text{ mm}} = 1594.5 \text{ kgf}$$

同理，

$$\text{抵抗正風壓螺栓壓力 } F_{ten} = \frac{|F_{+wt}| \times 30 \text{ mm} - F_d \times 45 \text{ mm}}{0.85(75 - 25) \text{ mm}} = 644.5 \text{ kgf}$$

故螺栓拉力 F_{ten} 為 1594.5 kgf

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min\left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b}\right) \times n_s = 6680\text{kgf}$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過。

螺栓剪力檢核

$$\text{螺栓剪力 } F_{shear} = \max(|F_{+wt}|, |F_{-wt}|) = 2036\text{kgf}$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}}F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}}F_{y,b}\right) \times n_s = 2603\text{kgf}$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 3420\text{kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

螺栓聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T}\right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)}\right)^2 = 0.65 < 1 \quad , \text{檢核通過。}$$

肆、樓板上鋁板之檢核

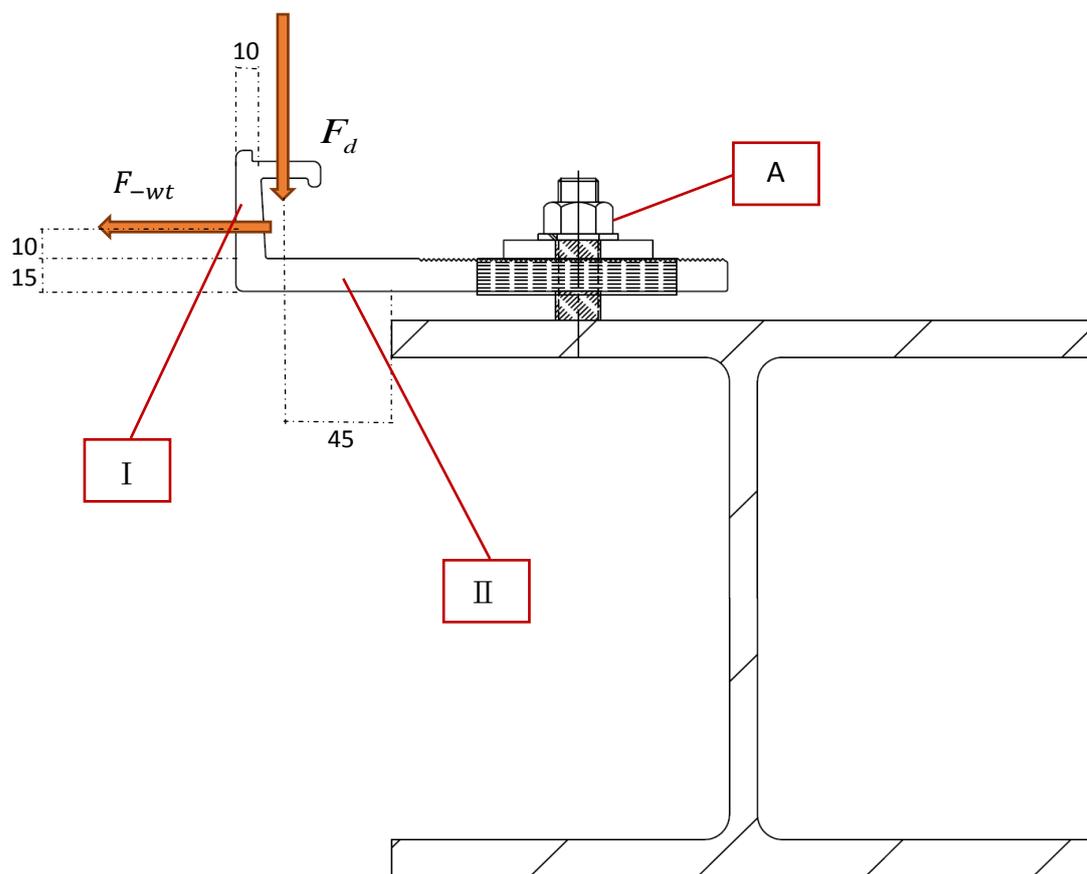


圖 4.14 第四章計算例之樓板上鋁板之受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板 I 段彎曲應力檢核

由於鋁板所受之負風力包括左右兩側，且力偏心距 $e = 10mm$ ，形成之偏心彎矩 M_{bl}

$$M_{bl} = 2F_{-wt} \times e = 40720 \text{ kgf gnm}$$

板寬 $b = 250mm$ ，板厚 $t = 10mm$ ，偏心彎矩 M_{bl} 對 I 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bl}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 9.77 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

鋁板Ⅱ段彎曲應力檢核

由負風力 $2F_{-wt}$ 與其力偏心距 $e_w = (10 + \frac{15}{2})mm$ ，和靜載重 $2F_d$ 與在鋸齒螺栓

移動後其最大力偏心距 $e_d = (45 + 25)mm$ 形成之偏心彎矩 M_{bII}

$$M_{bII} = 2F_{-wt} \times e_w + 2F_d \times e_d = 92051 \text{kgf} \cdot \text{gmm}$$

板寬 $b = 250mm$ ，板厚 $t = 15mm$ ，偏心彎矩 M_{bII} 對Ⅱ段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bII}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 9.81 \text{kgf} / \text{mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{kgf} / \text{mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{kgf} / \text{mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

伍、B 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$
 抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$
 抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$
 極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.4 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

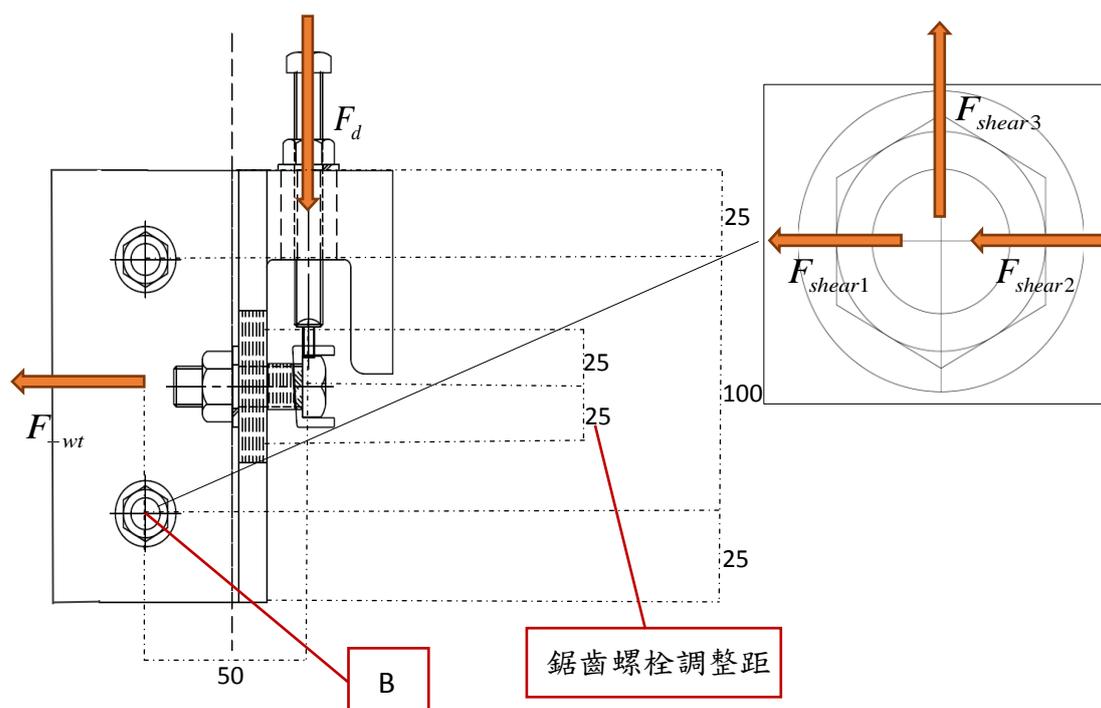


圖 4.15 第四章計算例之 B 處螺栓剪力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓剪力檢核

螺栓剪力由 F_{shear1} ， F_{shear2} 以及 F_{shear3} 組成，其值在負風壓作用且當鋸齒螺栓向

下移動 25mm 時為最大。其中 F_{shear1} 為螺栓水平抵抗風力之反力，當鋸齒螺栓向

下移動 25mm 時， F_{shear1} 為 $\frac{3}{4}F_{wt}$ ； F_{shear2} 為靜載重扭矩平衡而產生，

$$F_{shear2} = \frac{F_d \times 50mm}{100mm} = 74.25kgf；F_{shear3} 為螺栓垂直抵抗靜載重之反力，F_{shear3} = \frac{1}{2}F_d；$$

故螺栓承受剪力之最大值 F_{shear} 為

$$F_{shear} = \sqrt{(F_{shear1} + F_{shear2})^2 + F_{shear3}^2} = 1603kgf$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s = 1624kgf$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 1923.6kgf$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

陸、C 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M16 螺栓

直徑 $d_b = 16 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 198 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 133.6 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.4 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

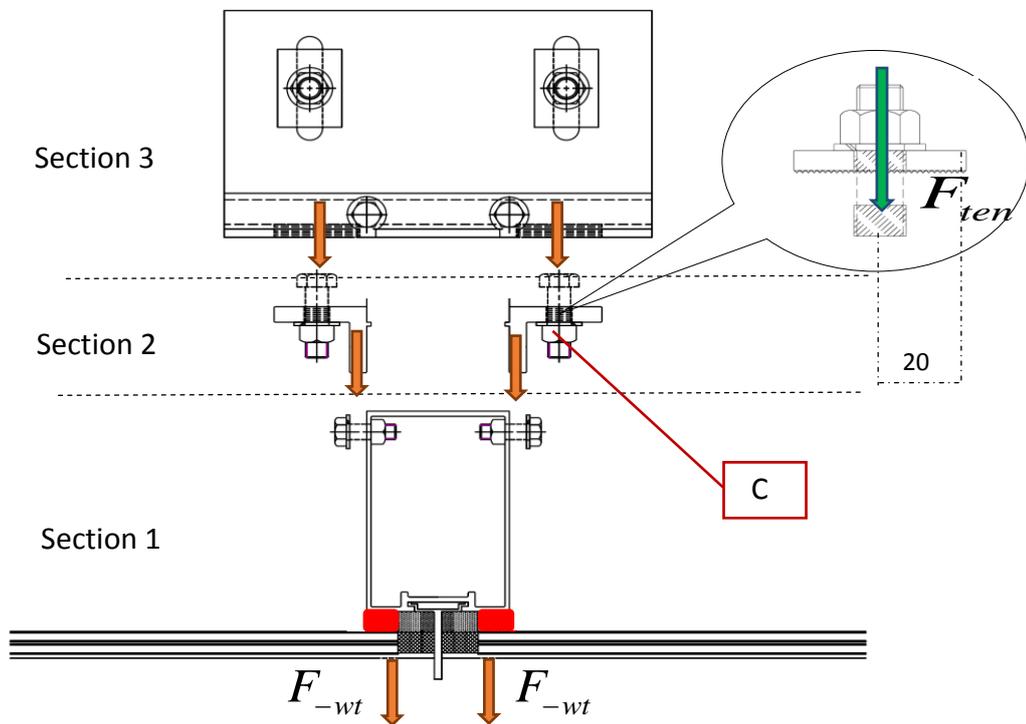


圖 4.16 第四章計算例之 C 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

抵抗正風壓螺栓拉力 $F_{+ten} = F_{+w} = 1135.8kgf$

抵抗負風壓時，最大螺栓拉力為抵抗鋁板彎矩形成的的拉拔力

$$F_{-ten} = \frac{F_{-w} \times 40mm}{20mm} = 4072kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} = \max(F_{+ten}, F_{-ten}) = 4072kgf$

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min\left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b}\right) \times n_s = 6680kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過

在工程實務上因為鋁料有垂直向長孔，靜載重無法傳遞，故此螺栓不會承受靜載重造成之剪力。

柒、L 型鋁板之檢核

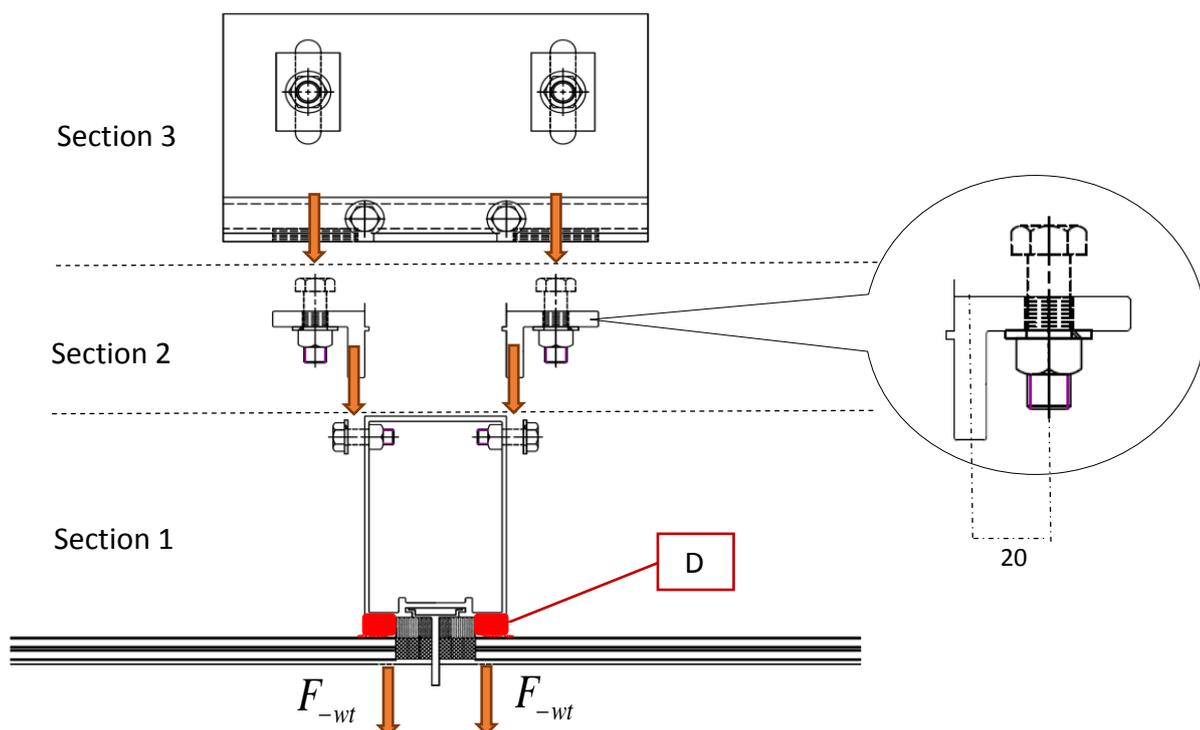


圖 4.17 第四章計算例之 L 型鋁板受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板彎曲應力檢核

由負風力 F_{-wt} 與其力偏心距 $e = 20mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = F_{-wt} \times e = 40720 \text{ kgf gmm}$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 12mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 11.31 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

捌、D 結構砂膠

帶寬 $b_t = 30\text{mm} = 0.03\text{m}$

容許拉應力 $F_t = 20\text{psi} = 14060\text{kgf}/\text{m}^2$

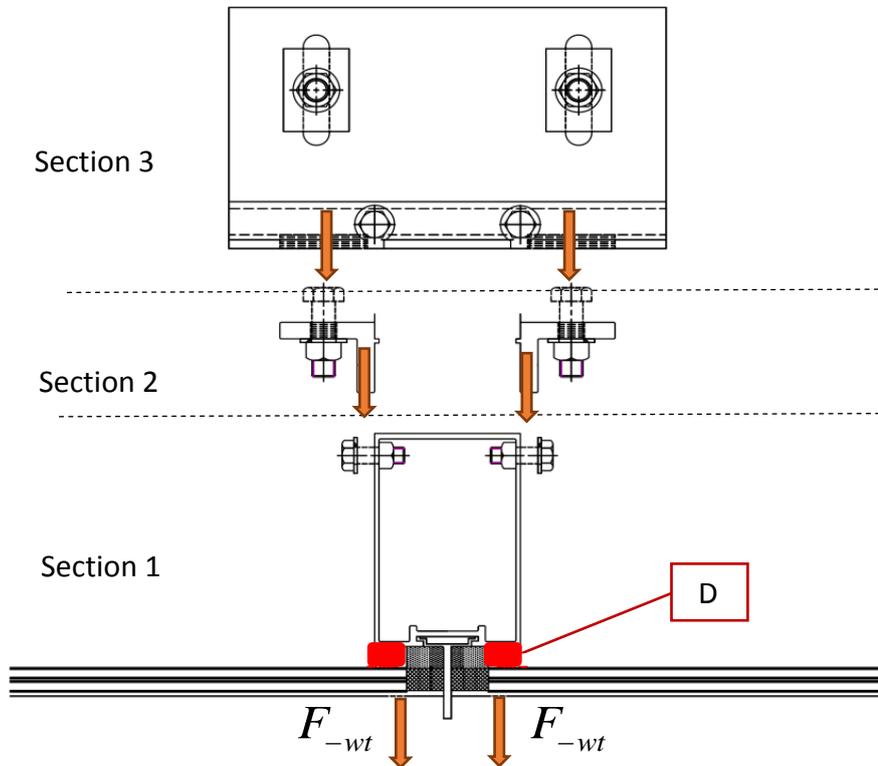


圖 4.18 第四章計算例之 D 處結構矽膠位置圖

(資料來源：本研究整理)

矽膠拉力檢核

參考本章第一節表 4-3，面材之最大設計負風壓為 $-553.3\text{kgf}/\text{m}^2$ ，因此

$$\text{矽膠拉力 } F_{ten} \text{ 為 } \frac{553.3\text{kgf}/\text{m}^2 \times 3.3\text{m} \times 2\text{m}}{2 \times (3.3\text{m} + 2\text{m})} = 344.5\text{kgf}/\text{m}$$

$$\text{容許拉力 } F_T = F_t \times b_t = 421.8\text{kgf}/\text{m}$$

矽膠拉力 $F_{ten} < \text{容許拉力 } F_T$ ，檢核通過。

玖、直橫料連接處檢核

使用六顆 304SS A2-70 M6 不鏽鋼螺絲

直徑 $d_b = 6 \text{ mm}$

螺絲根面積 $A_R = 18.06 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,s} = 105 \text{ ksi} = 73.82 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,s} = 62.5 \text{ ksi} = 43.9 \text{ kgf/mm}^2$

螺絲顆數 $n_s = 1$

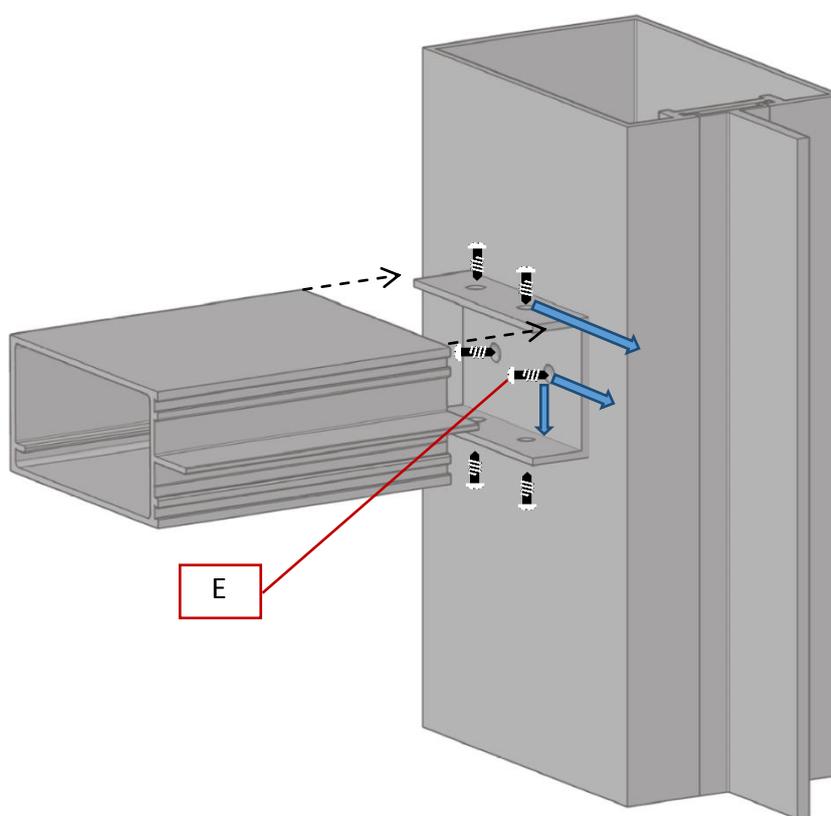


圖 4.19 第四章計算例之直橫料連接處細部圖
(資料來源：本研究整理)

螺絲剪力檢核

參考圖 4.19，六顆螺絲中受橫料負風力以及靜載重形成之最大剪力者為 E 螺絲，故分析 E 螺絲做為設計檢核依據。

根據表 4-3 中，橫料單位長度負風力為 -332.38 kgf/m ，而 E 螺絲處所承受之橫料負風力為

$$F_{-w} = \frac{332.38 \text{ kgf/m} \times 1\text{m}}{2} = 166.19 \text{ kgf}$$

靜載重為一面玻璃及一支橫料之重量，其單位重約略為 20 kgf/m^2 ，而 E 螺

絲處所承受之靜載重 F_{db} 為

$$F_{db} = \frac{(20 \text{ kgf/m}^2 \times 3.3\text{m} \times 1\text{m})}{2} = 33 \text{ kgf}$$

a 螺絲所受剪力 $F_{shear} = \sqrt{F_{-w}^2 + F_{db}^2} = 169.4 \text{ kgf}$

$$\text{容許剪力 } F_V = n_s \times A_R \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,s}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,s}\right) = 307.89 \text{ kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過。

型鋼檢核

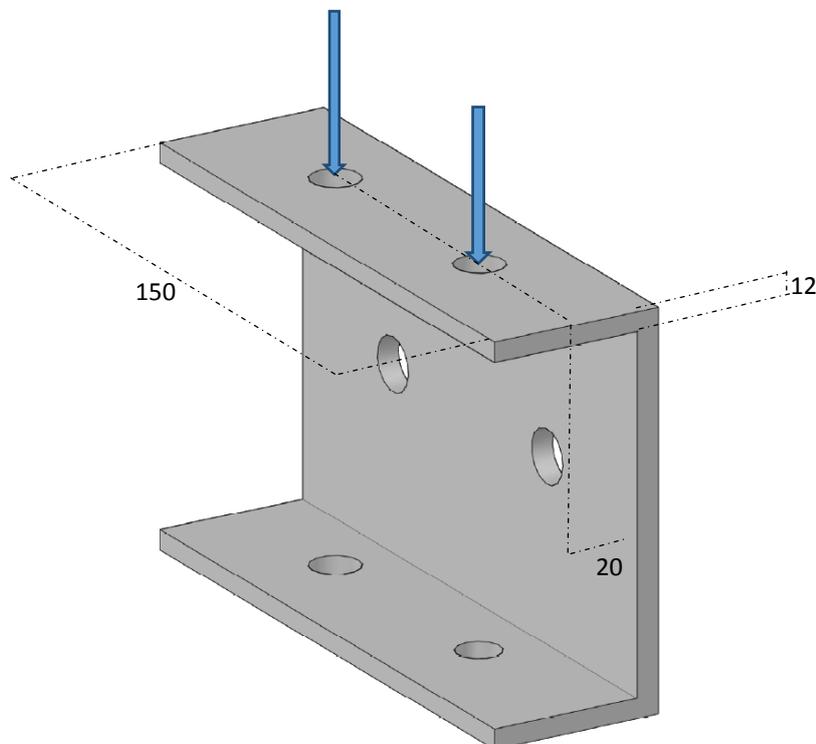


圖 4.20 第四章計算例之型鋼受力圖

(資料來源：本研究整理)

不鏽鋼板彎曲應力檢核

由靜載重 F_{db} 與其力偏心距 $e = 20mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = 2F_{db} \times e = 1320kgf \cdot gmm$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 12mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 0.37kgf/mm^2$$

不鏽鋼板降伏應力 $F_y = 21kgf/mm^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = 0.6F_y = 12.6kgf/mm^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} <$ 容許彎曲應力 F_B ，檢核通過。

第四節 面材設計檢核

面材④-⑤-⑥-⑦假設採用高 3.3m 寬 2m 厚度為 16mm 單層完全回火玻璃 (fully tempered glass)，根據表 4-3 讀取最大負風壓為 -553.3 kgf/m^2 ，參照 ASTM E1300(2016)做面材檢核。

面材變形檢核

本例為四邊膠和固定之玻璃且厚度為 16mm，風壓乘上面材面積的平方得到 $553.3 \text{ kgf/m}^2 \times (3.3\text{m} \times 2\text{m})^2 = 236.2 \text{ kNgn}^2$ ，長寬比 $AR = \frac{\text{長}}{\text{寬}} = \frac{3.3}{2} = 1.65$ ，依照圖

4.21(b)，面材變形約略為 27mm。

面材容許變形=35mm(根據金屬帷幕牆技術手冊)

面材變形 < 容許變形，檢核通過。

面材強度檢核

玻璃高 3.3m、寬 2m，四邊膠和固定且厚度為 16mm，對照圖 4.21(a)得未係數化的承壓強度(Nonfactored Load)2.8kPa。由於玻璃為完全回火玻璃，且台灣設計風速為 10 分鐘平均，遠大於圖 4.21(a)中所使用之 3 秒鐘平均，故參照表 4-5，採用長延時(Long Duration Load)係數 3.0，玻璃承壓強度為

$$2.8\text{kPa} \times 3 = 856.3 \text{ kgf/m}^2$$

面材承壓 $553.3 \text{ kgf/m}^2 < \text{容許承壓 } 856.3 \text{ kgf/m}^2$ ，檢核通過。

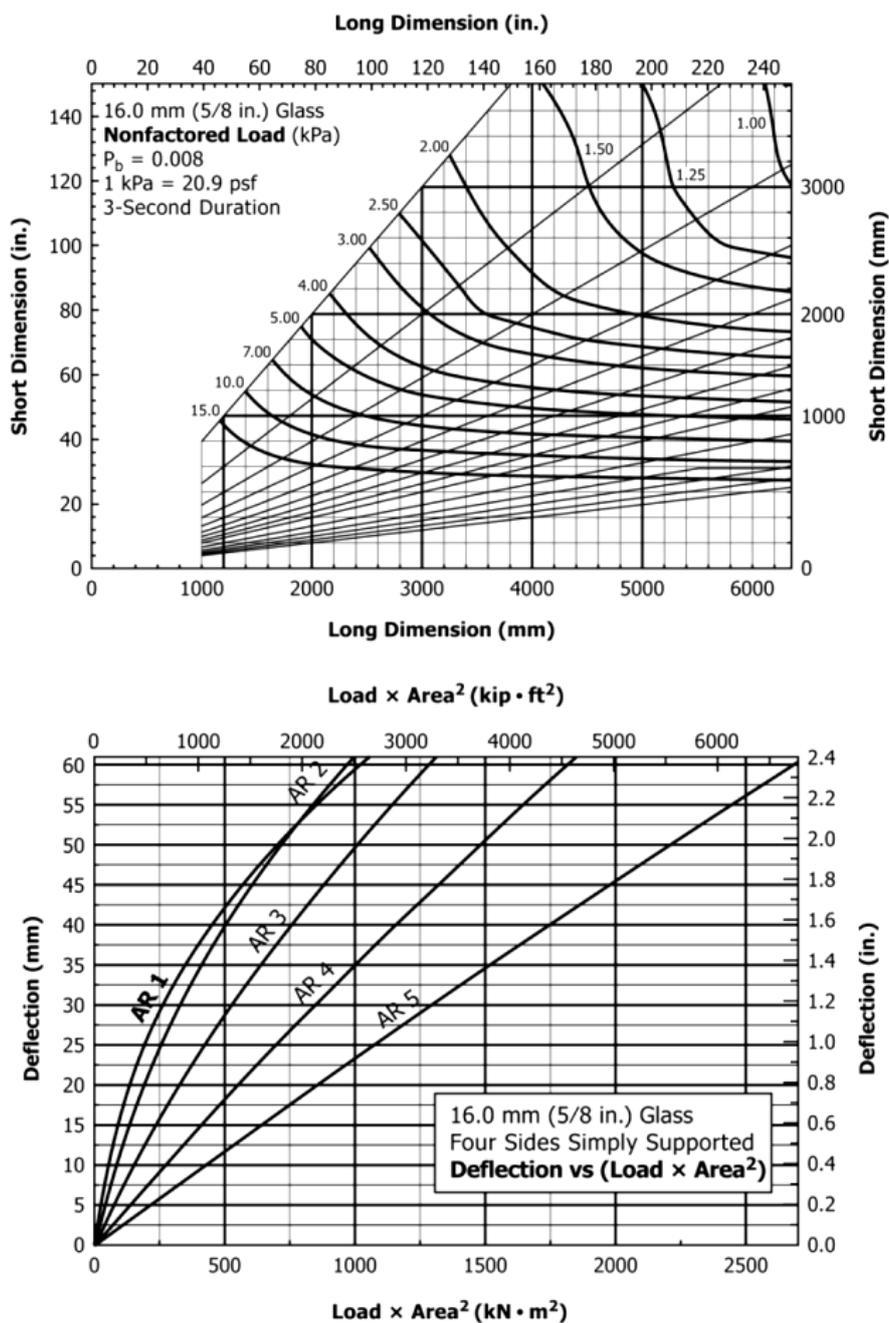


FIG. A1.11 (upper chart) Non-Factored Load Chart for 16.0 mm (5/8 in.) Glass with Four Sides Simply Supported (lower chart) Deflection Chart for 16.0 mm (5/8 in.) Glass with Four Sides Simply Supported

圖 4.21 第四章計算例之玻璃強度及變形曲線圖
(資料來源：擷取自 ASTM E1300，FIG. A1.10，2016)

表 4-5 玻璃種類係數表

TABLE 1 Glass Type Factors (GTF) for a Single Lite of Monolithic or Laminated Glass (LG)

Glass Type	GTF	
	Short Duration Load (3 s)	Long Duration Load (30 days)
AN	1.0	0.43
HS	2.0	1.3
FT	4.0	3.0

(資料來源：擷取自 ASTM E1300，TABLE 1，2016)

第五章 高度不超過 18 公尺建築物直橫料式帷幕牆設計例

一建築平面尺寸為 $20m \times 10m$ ，建築物高度為 16.5m，位於台北市，假設建築物四面上風處為 B 地況，且無特殊地形。外牆使用直橫料式帷幕牆系統，假設整棟大樓皆採用高 3.3m、寬 0.5m 之帷幕牆單元，如圖 5.1。

本範例針對此一不超過 18 公尺建築物承受最大風壓之直橫料式帷幕牆構件，先決定面材、直料、橫料之設計風壓(力)及繫件，再依序檢核各構件之強度及變形。

第一節 帷幕牆各構件設計風壓

理論上可根據表面風壓之分佈情況，將整面帷幕牆分為若干區域設計帷幕牆構件；但為簡化設計，故本範例只分析設計 AB 牆面承受最大風壓之帷幕牆構件，其中 AB 牆面定義於表 5-1；根據圖 5.2，分別為 AB 牆面位於頂層角隅處面材(©-f-g-a)、繫件(h點)、橫料(c-d及e-f)以及頂部三層直料(a-e-c-b)。

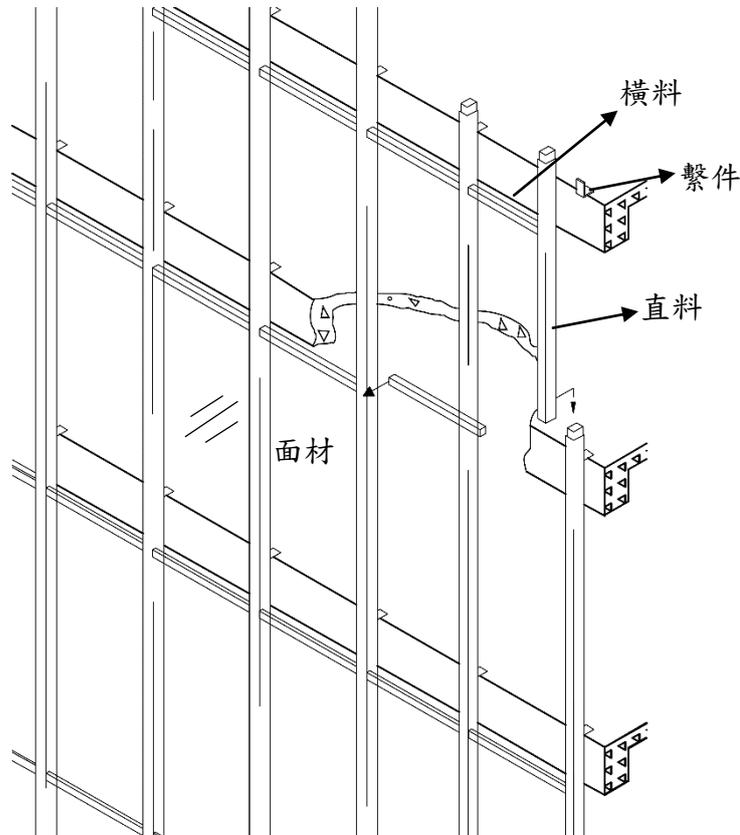


圖 5.1 第五章計算例之帷幕牆示意圖

(資料來源：本研究整理)

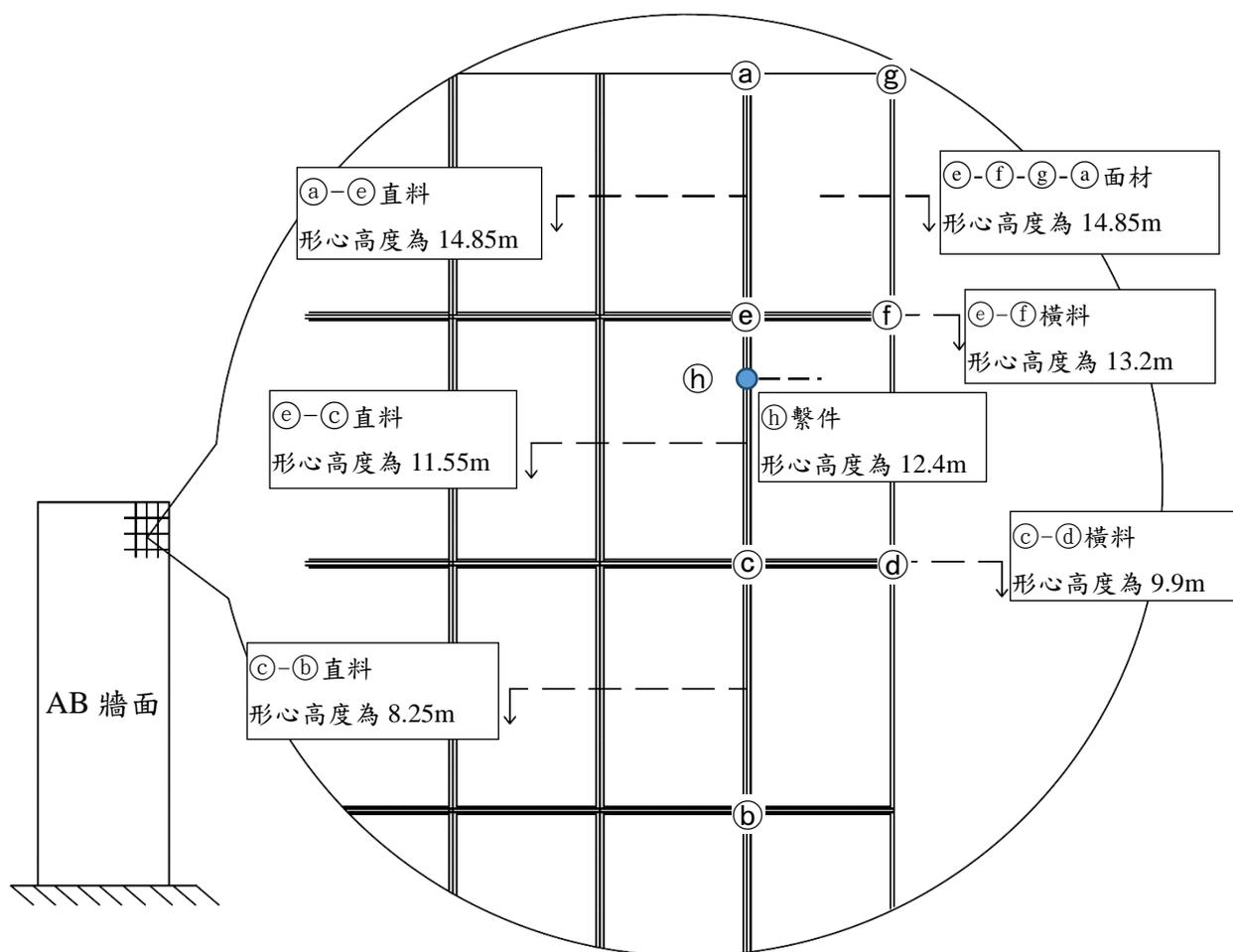


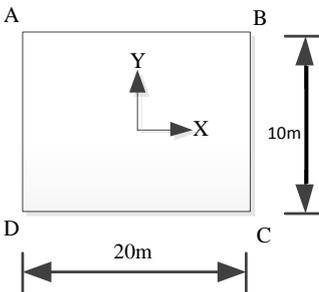
圖 5.2 第五章計算例之帷幕牆構件位置放大圖

(資料來源：本研究整理)

壹、蒐集建築物與工址風環境資料

依據第二章第二節「高度不超過 18 公尺建築物外部被覆物及局部構材設計風壓計算」之流程，計算前述帷幕牆構件之設計風壓。根據圖 2.1 知，執行耐風設計時，先要蒐集建築物與工址風環境資料，本節擬定建築物之資料與工址風環境如下表 5-1 所示。

表 5-1 第五章設計例之建築物資料與工址風環境

建築物資料	尺寸	平面尺寸 $10m \times 20m$ ； 建築物高度 16.5m (不含屋頂突出物)	
	開口面積	在颱風區內，建築物的玻璃容易受周遭的植栽、招牌或屋頂所造成的隨風飄散物的撞擊而成為開口。本例假設各牆面之總面積有 1% 破損而造成開口，其餘無開口。	
	用途係數 I	根據規範 2.5 節， $I = 1.1$ 、 1.0 或 0.9 。本例取 $I = 1.0$ 。	
	局部構材及外部被覆物	考慮位於 AB 牆面上角隅處之 面材為 $0.5m$ 寬 \times $3.3m$ 高之玻璃，其形心高度為 $14.85m$ ，如圖 5.2 (e)-(f)-(g)-(a) 直料長 $3.3m \times 3$ (橫跨三樓層)，其形心高度分別為 14.85 、 11.55 及 $8.25m$ ，如圖 5.2(a)-(e)-(c)-(b) 面材上方橫料長 $0.5m$ ，形心高度為 $13.2m$ ，如圖 5.2(e)-(f) 面材下方橫料長 $0.5m$ ，形心高度為 $9.9m$ ，如圖 5.2(c)-(d) 繫件，其形心高度為 $12.4m$ ，如圖 5.2(h)	
工址風環境	基本設計風速 $V_{10}(C)$	根據規範 2.4 節，台北市的 $V_{10}(C) = 42.5m/s$ 。	
	地況	AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面上風側地況皆為地況 B。	
	地形	無特殊地形。	

(資料來源：本研究整理)

貳、各構件有效受風面積及外風壓係數之計算

針對圖 5.2 所考慮之直料、橫料、面材及繫件，於圖 5.3 中標示出相對應之承受風壓面積。面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之跨距長度為 $3.3m$ ，寬度為 $0.5m$ ，則承受風壓面積為 $3.3 \times 0.5 = 1.65m^2$ 。由於有效寬度為 $\max(0.5m, 3.3m/3) = 1.1m$ ，故面材 (e)-(f)-(g)-(a) 之有效受風面積為 $3.3 \times 1.1 = 3.63m^2$ 。

直橫料式系統平剖圖為圖 5.4，直料鋁擠型為一體成形，部分左側玻璃所受風力由⑩傳遞至直料鋁擠型，部分右側玻璃所受風力由⑪傳遞至直料鋁擠型。其次，根據圖 5.3，依照龜殼式載重分配法，同時參考圖 5.2 直料之配置，每一層直料之左側(右側)承受風壓面積為 $(3.3+2.8) \times 0.25 \times 1/2 = 0.7625m^2$ 。為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述梯形面積以等值長方形面積(跨距長度為 0.75m，寬度為 $\frac{0.125}{0.75} = \frac{1}{6}m$)取代，而有效寬度為

$\max\left(\frac{61}{264}m, 3.3m/3\right) = 1.1m$ ，故直料(Ⓐ-Ⓔ或Ⓔ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓑ)左(右)側有效受風面積為 $3.3 \times 1.1 = 3.63m^2$ 。

橫料鋁擠型亦為一體成形，部分上側玻璃所受風力傳遞至橫料鋁擠型，部分下側玻璃所受風力傳遞至橫料鋁擠型。其次，根據圖 5.3，依照龜殼式載重分配法，橫料上(下)側承受風壓面積為 $0.5 \times 0.25 \times 1/2 = 0.0625m^2$ ，為了引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，可將前述三角形面積以等值長方形(跨距長度為 0.5m，寬度為 $\frac{1}{8}m$)取代，而有效寬度為 $\max\left(\frac{1}{8}m, 0.5m/3\right) = 1/6m$ ，故橫料(Ⓒ-Ⓕ或Ⓒ-Ⓓ)上(下)側有效受風面積為 $0.5 \times 1/6 = \frac{1}{12}m^2$ 。

針對圖 5.2 所考慮之繫件，根據圖 4.3，其左(右)側之承受風壓面積為面材承受風壓面積之半；引用「耐風規範」對於有效受風面積之計算，繫件左(右)側有效受風面積不得大於其承受風壓面積，故繫件左(右)側有效受風面積為其承受風壓面積 $3.3 \times 0.5 \times \frac{1}{2} = 0.825m^2$ 。

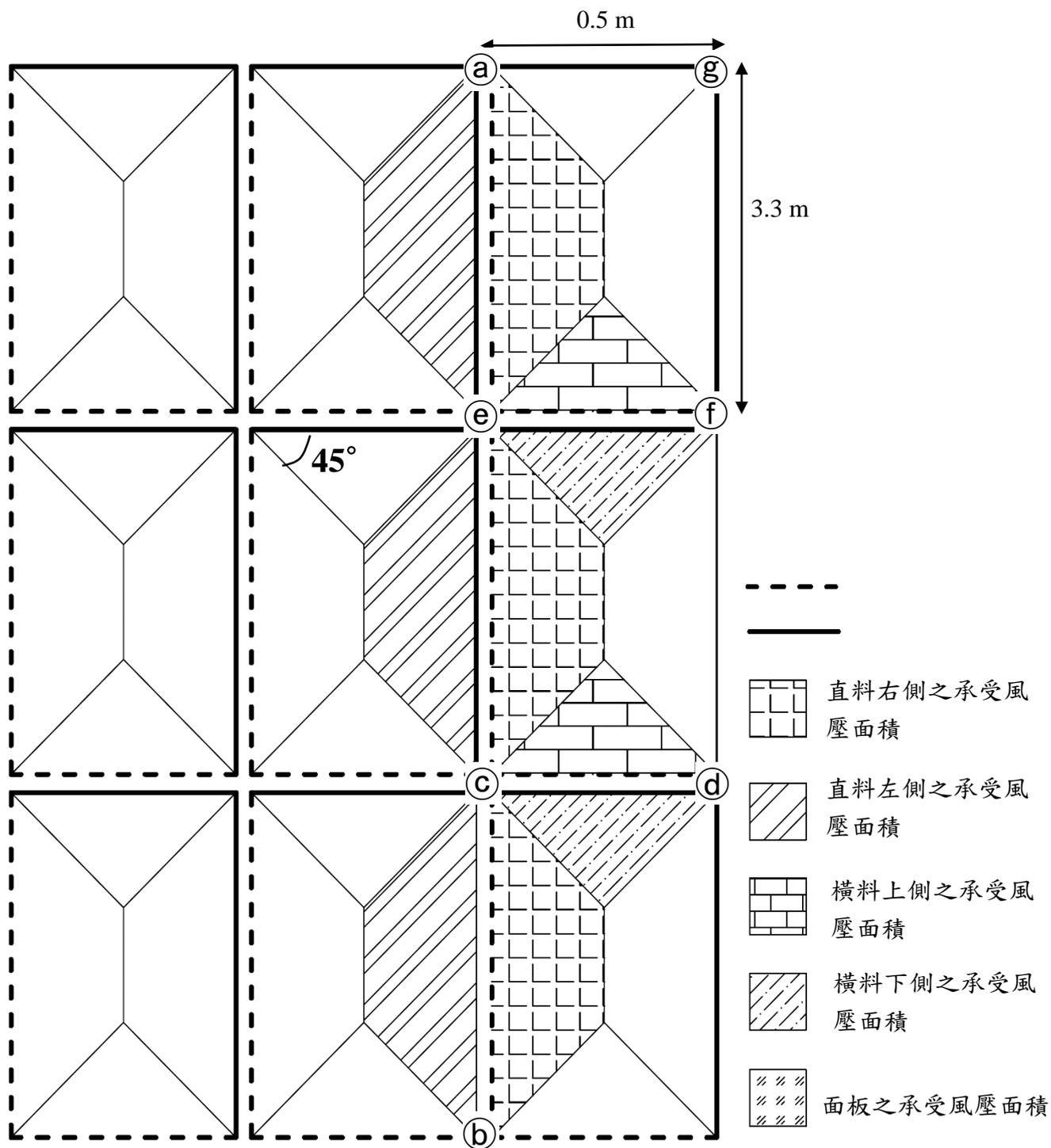


圖 5.3 第五章計算例之面材、直料及橫料之承受風壓面積
(資料來源：本研究整理)

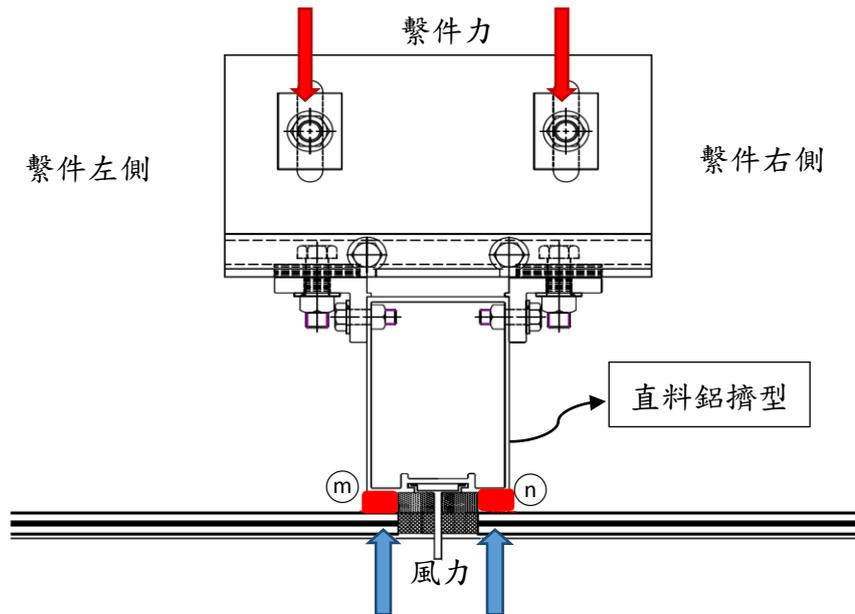


圖 5.4 第五章帷幕牆平剖圖

(資料來源：本研究整理)

根據附錄二「耐風規範」圖 3.1(a)，外風壓區域之寬度 a 取 $0.4h(0.4 \times 16.5m = 6.6m)$ 或最小寬度的 10% ($10\% \times 10m = 1m$) 中較小者，但 a 不能小於 0.9 m 或最小寬度的 4% ($4\% \times 10m = 0.4m$)，故 $a=1m$ 。由於所考慮之面材、直料、橫料及繫件距建築邊緣之水平距離皆小於 a ，故皆位於外牆之⑤區。由於面材的有效受風面積為 $3.63m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.7 和 -2.3。由於直料(Ⓐ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓒ或Ⓒ-Ⓓ)公(母)單元鋁擠型的有效受風面為 $3.63m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.7 和 -2.3。由於橫料(Ⓒ-Ⓕ或Ⓒ-Ⓖ)公(母)單元鋁擠型的有效受風面為 $0.0833m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.9 和 -2.7。由於繫件左(右)側的有效受風面積為 $0.825m^2$ ，故正值和負值外風壓係數分別為 1.9 和 -2.7。

參、設計風壓之計算

使用「耐風規範」第三章，所考慮可能之來風方向下包括來風垂直 AB 牆面、BC 牆面、CD 牆面與 DA 牆面，計算各構件所承受之設計風壓。

來風垂直 AB 牆面

【步驟6】列出與該風向相關之設計參數

當風垂直吹向 AB 牆面時，根據表 5-1，垂直於風向之建築物水平尺寸 $B=10m$ ，與平行於風向之建築物水平尺寸 $L=20m$ 。根據「耐風規範」表 2.2，

地況 B 相關參數 $\alpha = 0.25$; $z_g = 400$ m 。

【步驟7】 判斷建築物封閉性及決定內風壓係數

根據建築物資料可知外牆面開口率皆為1%。根據「耐風規範」1.3 節，建築物不屬於開放式建築物。根據建築物資料，計算迎風向外牆面之總面積 $A_g = 165m^2$ 、迎風向外牆面之總開口面積 $A_0 = 1.65m^2$ 、非迎風向之各牆面(含屋頂)總面積 $A_{gi} = 1025m^2$ 與非迎風向之各牆面(含屋頂)總開口面積 $A_{oi} = 8.25m^2$ 。因為無法同時滿足以下各條件(1) $A_0 > 1.10A_{oi}$ ，(2) $A_0 > 0.37m^2$ 或 $0.01A_g$ (二者取最小)，(3) $\frac{A_{oi}}{A_{gi}} \leq 0.20$ ，故建築物屬於封閉式建築物。

由於建築物屬於封閉式建築物，參考「耐風規範」表 2.17，建築物的內風壓係數為 ± 0.375 。

【步驟8】 計算風速壓地況係數 $K(z)$ 與地形係數 K_{zt}

根據「耐風規範」式(2.7)，

$$\begin{aligned} K(z) &= 2.774 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} ; z > 5m \\ &= 2.774 \left(\frac{5}{z_g} \right)^{2\alpha} = 2.774 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} ; z \leq 5m \end{aligned}$$

根據「耐風規範」式(2.8)，計算 K_{zt} ：因工址附近無特殊地形， $K_{zt} = 1$ 。

【步驟9】 計算高度 z 處之風速壓

高度 z 處之風速壓

因此，當風垂直吹向 AB 牆面時，不同高度之風速壓為

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{z}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2 ; z > 5m$$

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [I V_{10}(C)]^2 = 300.63 \left(\frac{5}{400} \right)^{0.5} \text{ kgf/m}^2 ; z \leq 5m$$

【步驟10】 分別計算面材、直料、橫料及繫件之設計風壓

風垂直吹向 AB 牆面時，AB 牆為迎風面牆，所考慮面材、直料、橫料及繫件均承受正風壓。封閉式或部分封閉式建築物高度小於等於 18 公尺者，其局部構材及外部被覆物之設計風壓根據「耐風規範」式(3.1)計算。

$$q(h) = q(z = 16.5m) = 300.63 \left(\frac{16.5}{400} \right)^{0.5} = 61.06 \text{ kgf} / \text{m}^2$$

迎風面牆的面材(GC_p)取正值為 1.7。根據「耐風規範」式(3.1)，該面材設計正風壓為 $61.06 \times 1.7 - 61.06 \times (\pm 0.375) = 126.7 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

仿照上述計算面材設計風壓之流程，可計算並彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側的設計正風壓及繫件單側的設計正風壓，列於表 5-2。

來風垂直 BC 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 BC 牆面時，本計算例考慮帷幕牆所在之 AB 牆為側牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓。其值根據「耐風規範」式(3.1)計算。

側牆的面材(GC_p)要取負值 -2.3，該面材設計負風壓為 $61.06 \times (-2.3) - 61.06 \times (\pm 0.375) = -163.36 \text{ kgf} / \text{m}^2$ (取大值)。

彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件單側的設計負風壓，將數值分析結果列於表 5-2。

來風垂直 CD 牆面

四個牆面上風側地況皆相同且建築物周邊無特殊地形，因此，風速壓與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。由於四個牆面開口率皆相同，因此，內風壓係數與風垂直吹向 AB 牆面的結果相同。

風垂直吹向 CD 牆面時，AB 牆為背風面牆，所考慮面材、直料及橫料均承受負風壓。其值根據「耐風規範」式(3.1)計算。背風面牆的(GC_p)要取負值-2.3，

該面材設計負風壓為 $p = -163.36 \text{ kgf/m}^2$ 。

彙整面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件單側的設計負風壓，將數值分析結果列於表 5-2。

風垂直 DA 牆面

根據建築物資料與工址風環境可知，建築物以 Y 軸為對稱軸，BC 牆面與 DA 牆面開口面積相同，BC 牆面與 DA 牆面上風側地況相同，以及建築物周邊地形相同。因此，當風垂直吹向 DA 牆面時，其結果與當風垂直吹向 BC 牆面的結果相同。

表 5-2 第五章設計例在不同來風方向下之設計正負風壓(kgf/m²)

	來風垂直 AB 牆面	來風垂直 BC 牆面	來風垂直 CD 牆面	來風垂直 DA 牆面
面材⑤-⑥-⑦-⑧	138.91	-187.76		
橫料⑤-⑥上側	138.91	-187.76	-187.76	-187.76
橫料⑤-⑥下側	138.91	-187.76	-187.76	-187.76
橫料③-④上側	138.91	-187.76	-187.76	-187.76
橫料③-④下側	138.91	-187.76	-187.76	-187.76
直料①-②左側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料①-②右側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料③-④左側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料③-④右側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料⑤-⑥左側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
直料⑤-⑥右側	126.7	-163.36	-163.36	-163.36
繫件⑧單側	126.7	-163.36		

(資料來源：本研究整理)

肆、最大設計正風壓與負風壓之選取

根據表 5-2 中面材、橫料上(下)側、每一層直料左(右)側及繫件單側在各來風向正負風壓值中，分別選取其最大設計正風壓和負風壓，列於表 5-3。

於表 5-3 中，每一層直料左(右)側單位長度正(負)風力為每一層直料左(右)側設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以每一層直料高；上(下)橫料上(下)側之單位長度正(負)風力為上(下)橫料上(下)側設計風壓乘上對應之承受風壓面積，再除以橫料寬。

通常鋁製結構以 ASD 做設計，因此載重組合中，風力載重前所乘係數為 1。

表 5-3 第五章設計例之最大設計正負風壓(kgf/m²)

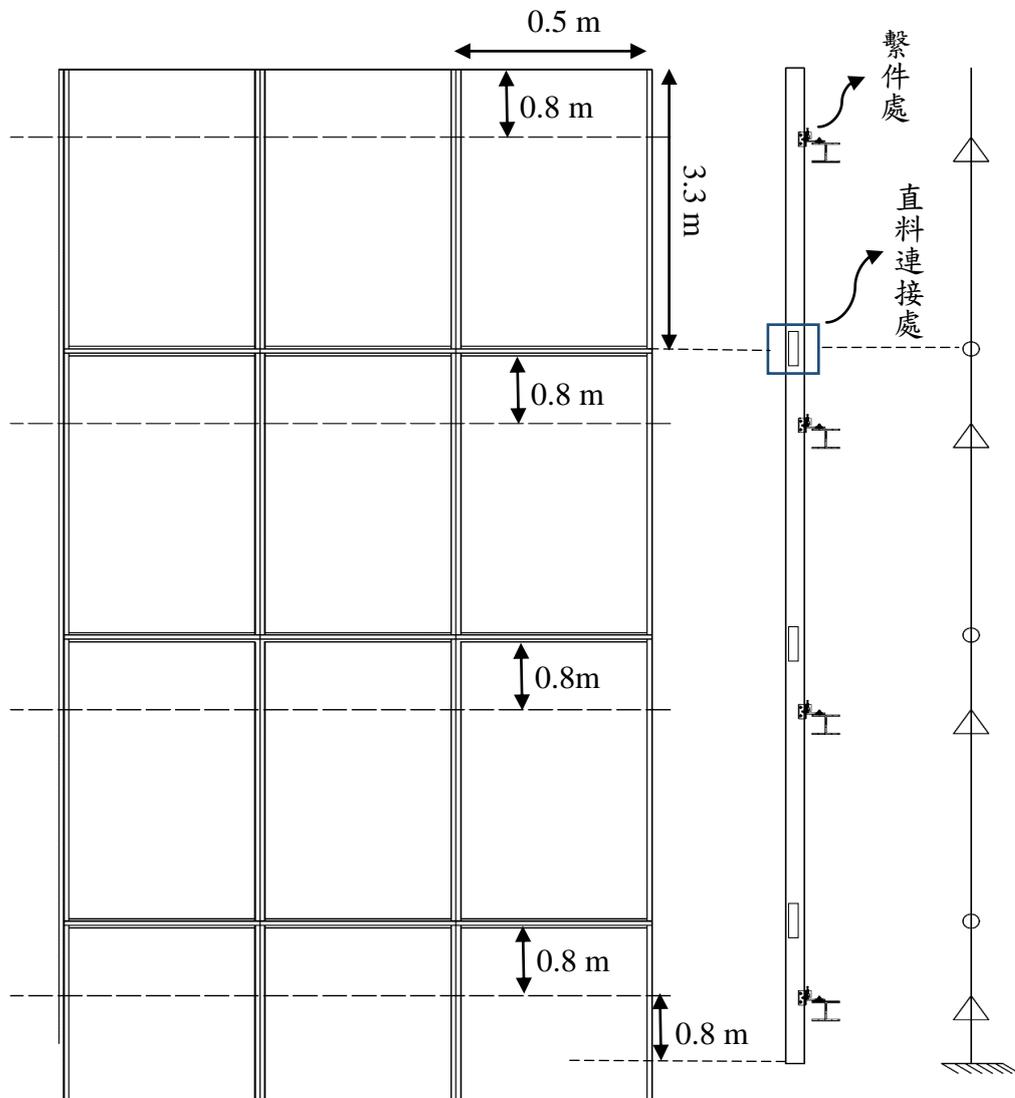
	承受風壓 面積(m ²)	最大正風壓 (kgf/m ²)	最大負風壓 (kgf/m ²)	單位長度正 風力(kgf/m)	單位長度負 風力(kgf/m)
面材Ⓔ-Ⓕ-Ⓖ-Ⓐ	1.65	138.91	-187.76		
橫料Ⓔ-Ⓕ上側	0.0625	138.91	-187.76	17.36	-23.47
橫料Ⓔ-Ⓕ下側	0.0625	138.91	-187.76	17.36	-23.47
橫料Ⓒ-Ⓓ上側	0.0625	138.91	-187.76	17.36	-23.47
橫料Ⓒ-Ⓓ下側	0.0625	138.91	-187.76	17.36	-23.47
直料Ⓐ-Ⓒ左側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料Ⓐ-Ⓒ右側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料Ⓔ-Ⓒ左側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料Ⓔ-Ⓒ右側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料Ⓒ-Ⓑ左側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
直料Ⓒ-Ⓑ右側	0.7625	126.7	-163.36	29.28	-37.75
繫件Ⓕ單側	0.825	138.91	-187.76		

(資料來源：本研究整理)

第二節 直料與橫料設計檢核

帷幕牆系統剖面如圖 5.5，直料長度為 3.3 公尺；橫料長度為 0.5 公尺；直料相互連接處至繫件與直料相接處為 0.8 公尺，依循第二章邊界條件設置原則，繫件與直料相接處為鉸支承(Hinge)，直料相互連接處為銷釘(Pin)。直料及橫料鋁擠型採用 6063-T5，其楊氏係數(E)為 $7.101 \times 10^9 \text{ kgf}/\text{m}^2$ ，柏松比(ν)為 0.33，降伏強度為 $F_{y,a} = \min(F_{cy}, F_{ty}) = \min(11.25, 11.25) = 11.25 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ ，極限強度($F_{u,a}$)為 $22 \text{ ksi} = 15.47 \text{ kgf}/\text{mm}^2$ ；假設採用直橫料形狀與斷面性質如表 5-4 所示。

圖 5.5 第五章計算例之帷幕牆系統剖面圖



(資料來源：本研究整理)

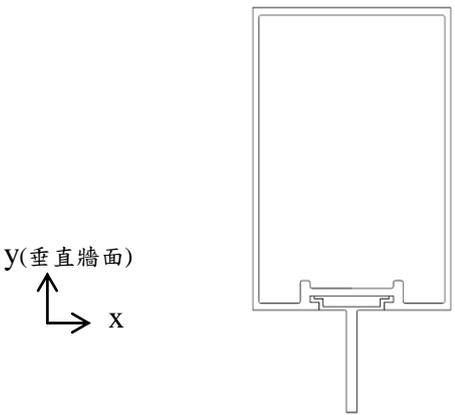
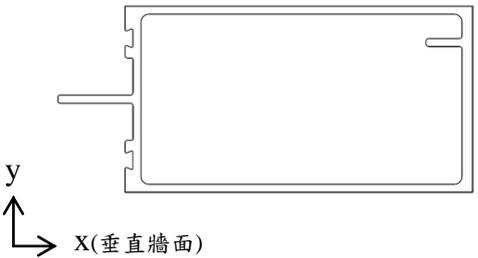
斷面模數 $S_{y2} = 15\text{cm}^3$		
斷面模數 $S_{y1} = 15\text{cm}^3$		
斷面模數 $S_{x2} = 35\text{cm}^3$		
斷面模數 $S_{x1} = 27\text{cm}^3$		
慣性矩 $I_y = 40\text{cm}^4$		
慣性矩 $I_x = 222\text{cm}^4$		
斷面積 $A = 969\text{mm}^2$		
橫料鋁擠型鉛直剖面圖		
斷面模數 $S_{y2} = 15\text{cm}^3$		
斷面模數 $S_{y1} = 12\text{cm}^3$		
斷面模數 $S_{x2} = 8.8\text{cm}^3$		
斷面模數 $S_{x1} = 8.6\text{cm}^3$		
慣性矩 $I_y = 20\text{cm}^4$		
慣性矩 $I_x = 67\text{cm}^4$		
斷面積 $A = 601\text{mm}^2$		

表 5-4 第五章設計例之直料及橫料鋁擠型斷面性質

(資料來源：本研究整理)

壹、直料分析及檢核

直料因由套筒相連接，故套筒必須能承受結構物的層間變位，以避免帷幕牆系統破壞，本計算例不考慮套筒變形之情況。

三層直料整體分析

直料只考慮風力對其之影響，而自重的影響甚小故在此忽略，採用表 5-3

直料(Ⓐ-Ⓒ)和(Ⓒ-Ⓒ)和(Ⓒ-Ⓑ)左(右)側單位長度最大設計負風力 $F_{-w} = -37.75\text{kgf/m}$

設計帷幕牆直料。根據結構圖 5.6，以 ANSYS 進行三層直料受單位長度最大設計負風力之分析，其中以強軸(I_x)抵抗風力。圖 5.7 為剪力、彎矩及變形圖，其中最大變形量為 3.17mm，最大彎矩(M)為 466200 Ngnm (47523 kgf gnm)。

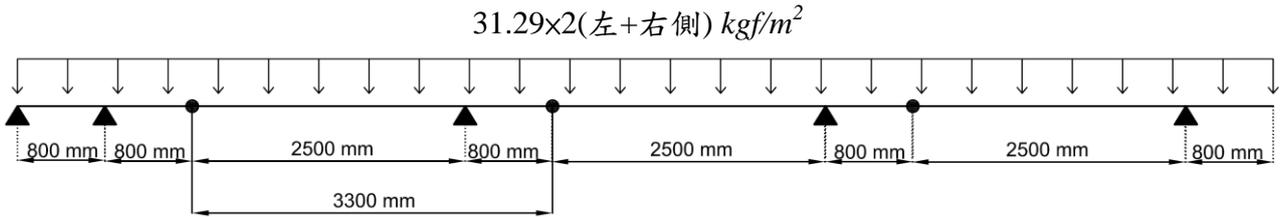


圖 5.6 第五章計算例之直料結構圖

(資料來源：本研究整理)

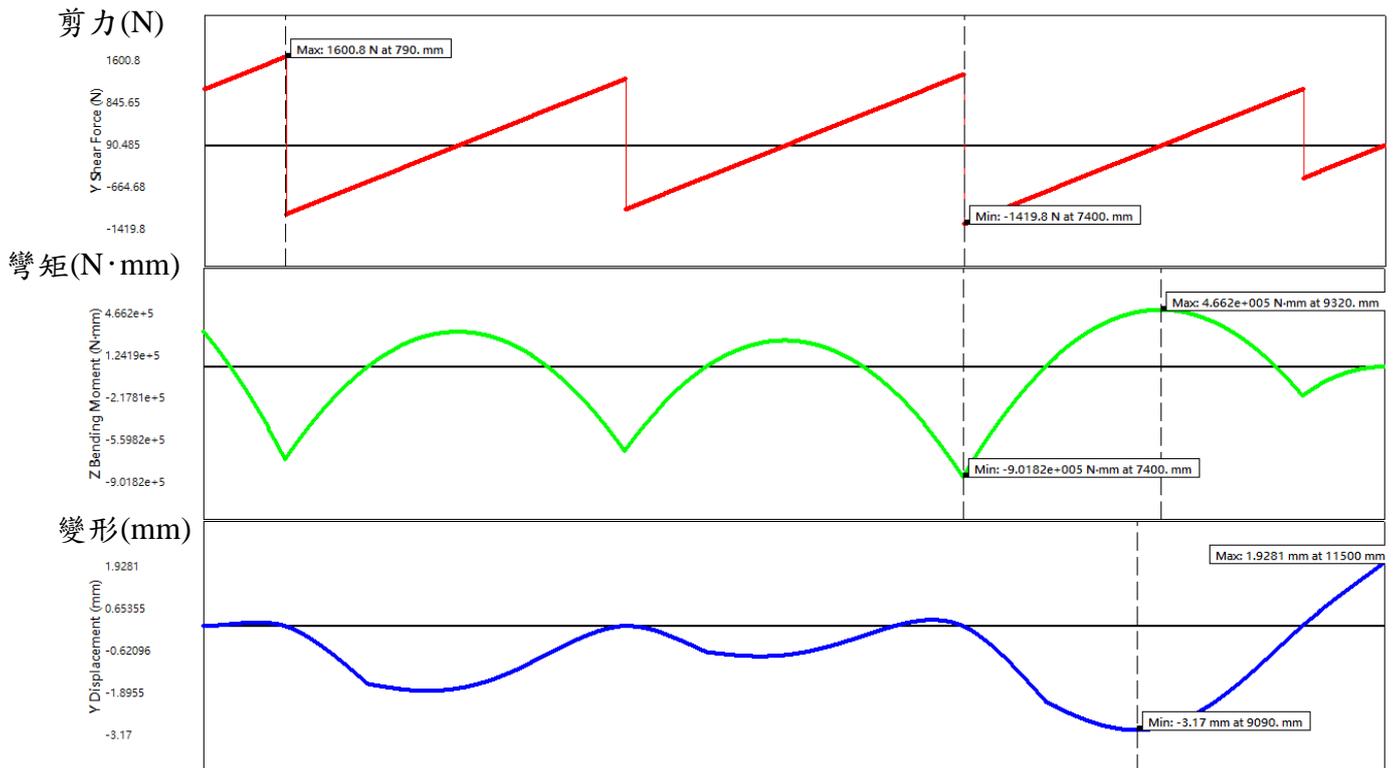


圖 5.7 第五章計算例之剪力彎矩及變形圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

最大變形量 $\delta_{\max} = 3.17\text{mm}$

容許變形量 $\delta_a = \frac{L_c}{175} = 18.86\text{ mm}$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過。

直料應力檢核

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{47532}{8800} = 5.4 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

應力 $f_{bx} <$ 容許應力 f_b ，檢核通過。

參照 ADM(AA,2005)，採用斷面為一閉合斷面形狀之側向扭轉挫屈計算公式，其基本參數如下：Y 軸慣性矩 $I_y = 40 \text{ cm}^4$ ；斷面模數 $S_c = 27$ ；斷面扭轉常數為斷

面所有肢材的慣性矩總和 $J = \sum \frac{\text{寬} \times \text{厚}^3}{3} = 0.199 \text{ cm}^4$ ；無側撐長度 $L_b = 330 \text{ cm}$ 。

藉由上述參數，參考 ADM(AA,2005)Table3.4-3 容許應力公式表，當

$$\left(\frac{L_b S_c}{0.5 C_b \sqrt{I_y J}}\right) = 6315，\text{則容許應力 } F_{b0} = \frac{1}{n_y} \left(B_c - 1.6 D_c \sqrt{\frac{L_b S_c}{0.5 C_b \sqrt{I_y J}}} \right) = 2087 \text{ MPa}，$$

$$\text{其中 } n_y = 1.65、C_b = 1、B_c = F_{cy} \left[1 + \left(\frac{F_{cy}}{15510} \right)^{1/2} \right] = 119.3 \text{ MPa}、$$

$$D_c = \frac{B_c}{10} \left(\frac{B_c}{E} \right)^{1/2} = 0.49 \text{ MPa}。 \text{計算容許撓曲應力為}$$

$$F_{LTB} = \min\left(F_{b0}, \frac{F_{y,a}}{1.65}\right) = 66.67 \text{ MPa} = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}。$$

應力 $f_{bx} <$ 容許撓曲應力 F_{LTB} ，檢核通過。

貳、橫料分析及檢核

橫料分析中需考慮風力及靜載重的影響。其中風力採用表 5-3 橫料上(下)側 (e)-(f)和(c)-(d)單位長度最大設計負風力 $F_{-w} = -23.47 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$ ；靜載重因鋁擠型自

重相對較小，故只考慮玻璃載重 $F_g = 3.3m \cdot 2m \cdot \text{單位面積重} 15 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 99 \text{ kgf}$ 。

橫料整體分析

橫料分析自由體圖可視為一簡支梁，將橫料材料特性及斷面代入結構力學公式，可分析求得變形量及應力，圖 5.8(a)為風力均勻作用於橫料之結構圖，圖 5.8(b)為玻璃載重作用於橫料之結構圖，其中根據工程實務，玻璃載重集中於墊塊位置，即距兩端支撐各四分之一跨距處。

$$\text{風力造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{5(2F_{-w})L_h^4}{384EI_x} = \frac{10 \times 0.02347 \times 500^4}{384 \times 7101 \times 67 \times 10^4} = 0.008 \text{ mm}$$

$$\text{自重造成最大變形 } \delta_{\max} = \frac{11 \frac{F_g}{2} L_h^3}{384EI_y} = \frac{11 \times 5.625 \times 500^3}{768 \times 7101 \times 20 \times 10^4} = 0.007 \text{ mm}$$

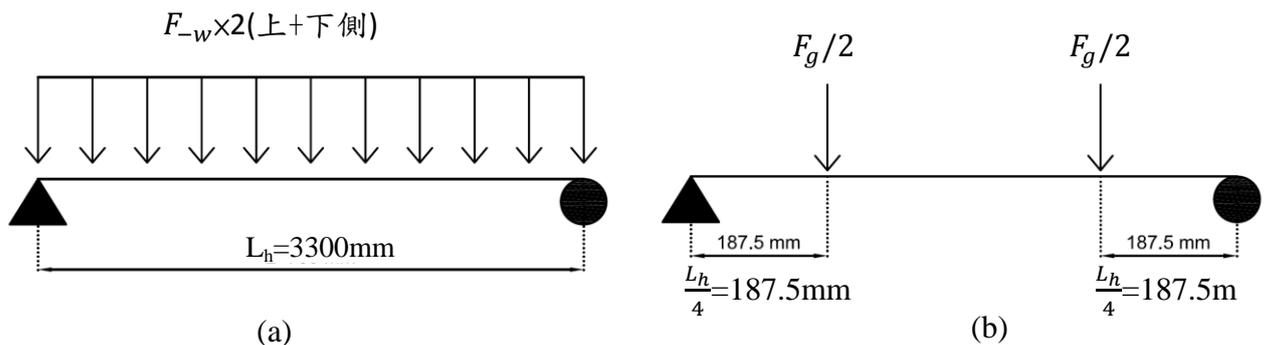


圖 5.8 第五章計算例之(a)橫料風力作用結構圖(b)橫料玻璃載重作用結構圖

(資料來源：本研究整理)

變形檢核

風力：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 0.008 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = \frac{L_h}{175} = \frac{500}{175} = 2.86 \text{ mm}$$

最大變形量 $\delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a$ ，檢核通過

玻璃載重：

$$\text{最大變形 } \delta_{\max} = 0.007 \text{ mm}$$

$$\text{容許變形 } \delta_a = 3.2 \text{ mm (工程界實務假設)}$$

$$\text{最大變形量 } \delta_{\max} < \text{容許變形量 } \delta_a, \text{ 檢核通過}$$

橫料應力檢核

風力：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_w L_h^2}{8} = \frac{0.02347 \times 500^2}{8} = 733.4375 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{by} = \frac{M_{\max}}{S_{y1}} = \frac{733.4375}{15000} = 0.05 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \min\left(\frac{F_{y,a}}{1.65}, \frac{F_{u,a}}{1.95}\right) = 6.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{應力 } f_{by} < \text{容許應力 } f_b, \text{ 檢核通過}$$

玻璃載重：

$$\text{彎矩 } M_{\max} = \frac{F_g L_h}{8} = \frac{5.625 \times 500}{8} = 351.5625 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{應力 } f_{bx} = \frac{M_{\max}}{S_{x1}} = \frac{351.5625}{8600} = 0.04 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

容許應力參考 ADM(AA,2005) Table 3.4-3

$$f_b = \frac{1.3F_{y,a}}{1.65} = 8.8 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{應力 } f_{bx} < \text{容許應力 } f_b, \text{ 檢核通過}$$

第三節 繫件設計檢核

帷幕牆繫件剖面圖及平面圖如圖 5.9 及圖 5.10，繫件包括 L 型鋁板、樓板上鋁板及相關之螺栓與母材。連接樓板及樓板上鋁板之鋸齒螺栓有兩顆，其中一顆位於 A 處，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。直料與 L 型鋁板以四顆螺栓連結，其中位於 B 處之螺栓通常遭受較大應力，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。L 型鋁板與樓板上鋁板間以兩顆鋸齒螺栓連接，其中一顆位於 C 處，其規格假設採用 A325 M12 螺栓，母材為 6061T6 厚度為 6mm 之板。D 為帶寬 6mm，強度為 20psi 之結構矽膠。

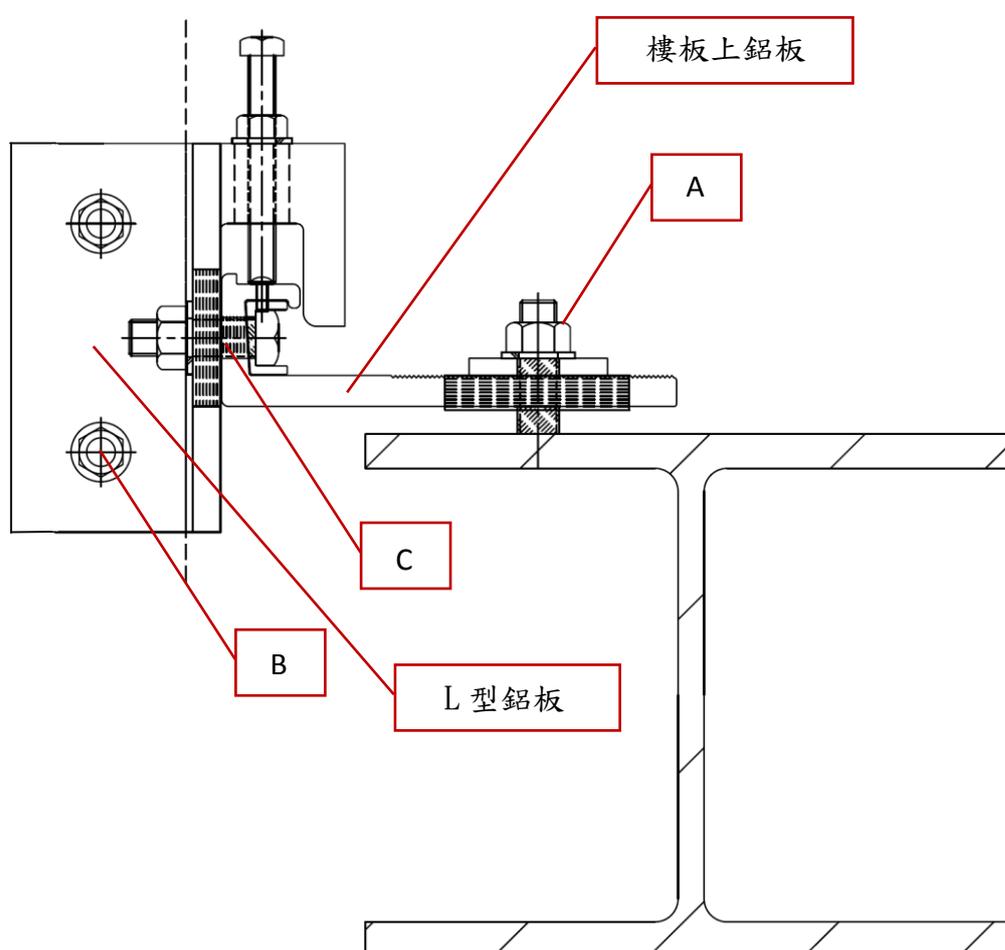


圖 5.9 第五章計算例之帷幕繫件剖面圖

(資料來源：本研究整理)

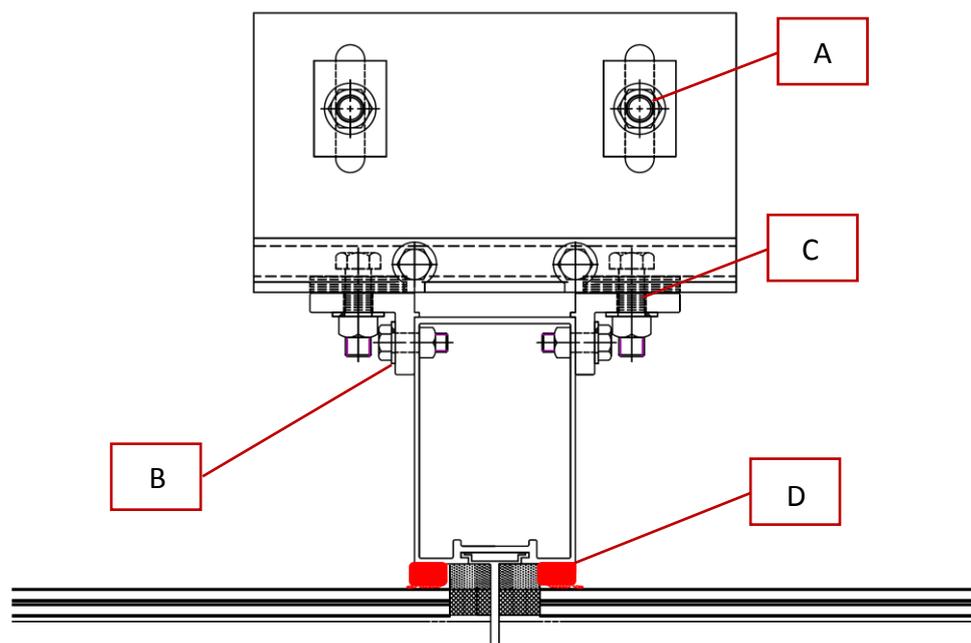


圖 5.10 第五章計算例之帷幕繫件平面圖
(資料來源：本研究整理)

壹、螺栓檢核公式

根據 AAMA TIR-A9，螺栓檢核公式如下：

螺栓容許剪力 F_V

$$F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_r 為螺栓抗剪斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

母材容許承壓 F_B

$$F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s$$

其中 d_b 為螺栓直徑， t_p 為母材厚度， F_{up} 為母材承壓應力， n_s 為螺栓個數

螺栓容許張力 F_T

$$F_T = A_s \times \min\left(0.4 F_{u,b}, 0.75 F_{y,b}\right) \times n_s$$

其中 A_s 為螺栓抗拉斷面積， $F_{u,b}$ 為螺栓極限強度， $F_{y,b}$ 為螺栓降伏強度， n_s 為螺栓個數

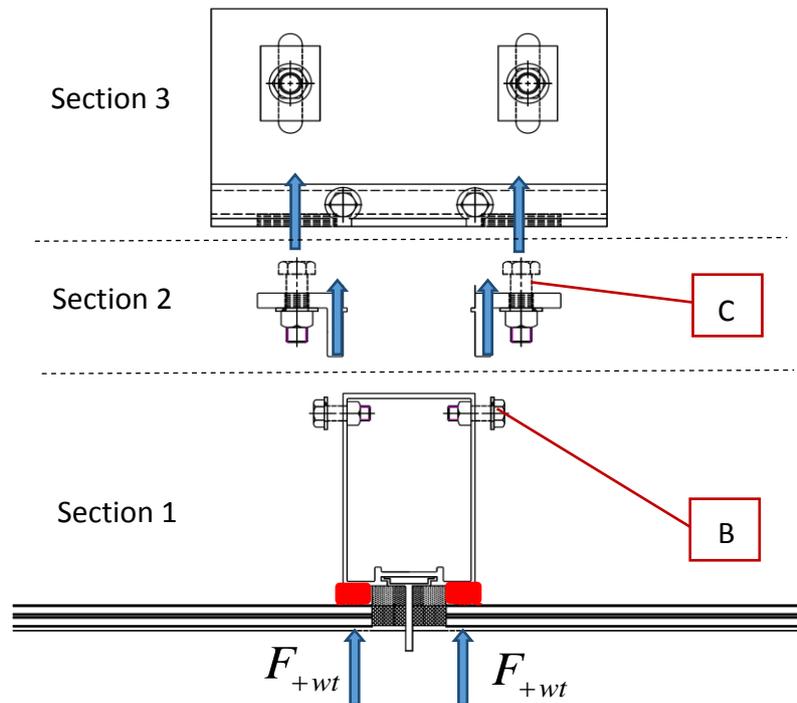
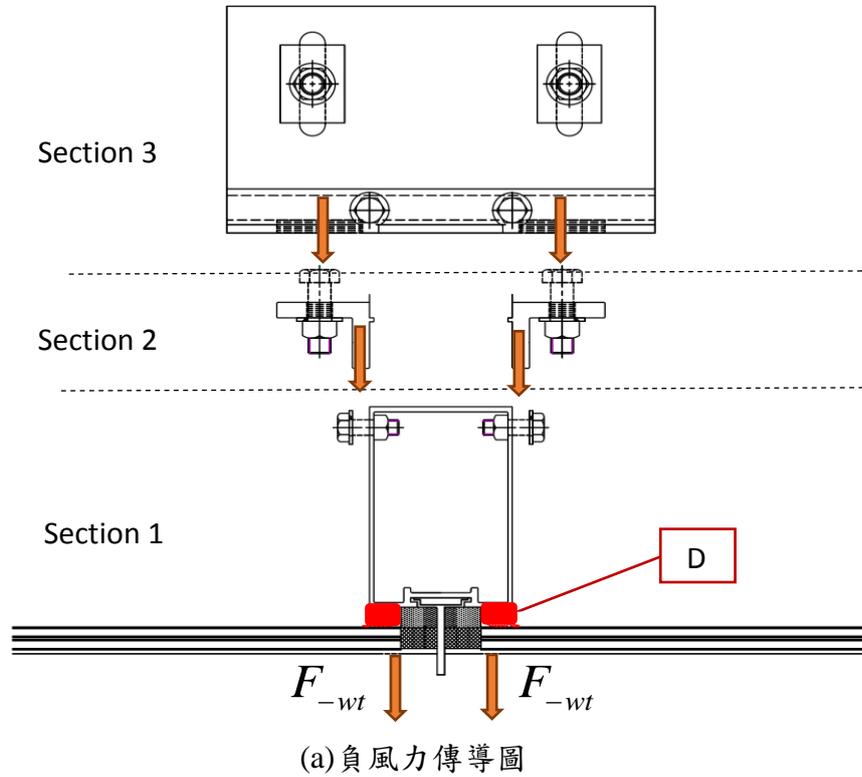
螺栓抗拉抗剪聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T}\right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)}\right)^2 < 1$$

其中 F_{ten} 為螺栓拉力， F_{shear} 為螺栓剪力

貳、繫件設計載重之決定

繫件設計載重可由兩種方法決定，分別為以耐風規範中外牆扣件計算繫件承受風壓面積與直料與橫料之設計風壓轉移至繫件。圖 5.11 標示繫件⑧單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，並繪製出正(負)風力傳導路徑。



(b)正風力傳導圖

圖 5.11 第五章計算例之力傳導平面圖

(資料來源：本研究整理)

繫件設計風力

若以耐風規範中外牆扣件計算繫件有效受風面積之方法計算，繫件單側有效受風面積如圖 5.12 斜線區域。

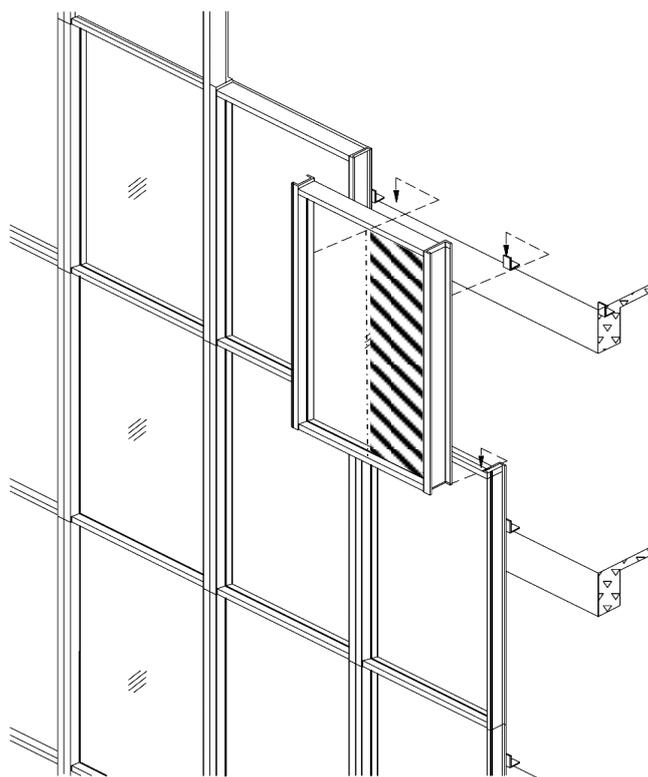


圖 5.12 第五章計算例之繫件有效受風面積

(資料來源：本研究整理)

繫件Ⓜ單側所受設計正(負)風力 F_{+wt} (F_{-wt})，為表 4-3 中繫件Ⓜ之最大正(負)風壓乘上面材一半的面積

設計正風力 F_{+wt}

$$F_{+wt} = 138.91 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \times \frac{3.3\text{m} \times 0.5\text{m}}{2} = 114.6\text{kgf}$$

設計負風力 F_{-wt}

$$F_{-wt} = -187.76 \text{ kgf/m} \times \frac{3.3\text{m} \times 0.5\text{m}}{2} = -154.9 \text{ kgf}$$

設計靜載重 F_d

此帷幕牆單元採用一組直橫料以及全玻璃面板，其單位重約略為 30 kgf/m^2 ，

而繫件單側所承受之靜載重 F_d 為

$$F_d = \frac{(30 \text{ kgf/m}^2 \times 0.75\text{m} \times 0.5\text{m})}{2} = 5.625 \text{ kgf}$$

本計算例中兩種決定風力之方式所求得之值相同，故後續計算採用之繫件單側設計正風力 F_{+wt} 為 114.6 kgf ，繫件單側設計正風力 F_{-wt} 為 -154.9 kgf ，繫件單側靜載重 F_d 為 5.625 kgf 。

參、A 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.4 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

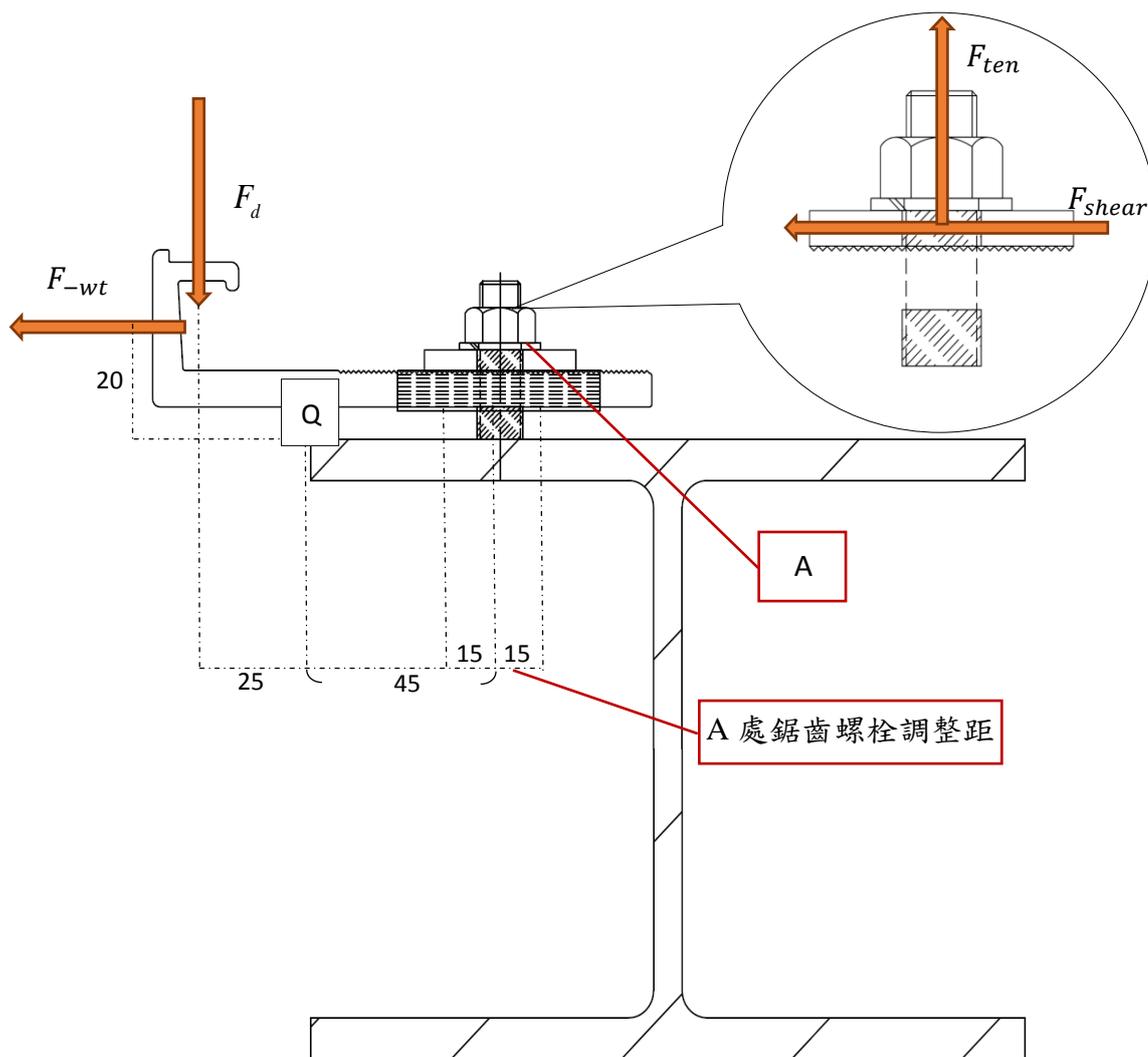


圖 5.13 第五章計算例之 A 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

參考圖 5.13，以 Q 點為力矩平衡支點，且考慮鋸齒螺栓可能移動範圍後產生的最大值

$$\text{抵抗負風壓螺栓拉力} \frac{F_d \times 25 \text{ mm} + |F_{-wt}| \times 20 \text{ mm}}{0.85(45 - 15) \text{ mm}} = 127 \text{ kgf}$$

同理，

$$\text{抵抗正風壓螺栓壓力} \frac{|F_{+wt}| \times 20 \text{ mm} - F_d \times 25 \text{ mm}}{0.85(45 - 15) \text{ mm}} = 84.3 \text{ kgf}$$

故螺栓拉力 F_{ten} 為 127 kgf

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min \left(0.4F_u, 0.75F_y \right) \times n_s = 3090\text{kgf}$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過。

螺栓剪力檢核

$$\text{螺栓剪力 } F_{shear} = \max(|F_{+wt}|, |F_{-wt}|) = 154.9\text{kgf}$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min \left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,b} \right) \times n_s = 1624\text{kgf}$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 1923.6\text{kgf}$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

螺栓聯合應力比

$$\left(\frac{F_{ten}}{F_T} \right)^2 + \left(\frac{F_{shear}}{\min(F_V, F_B)} \right)^2 = 0.01 < 1 \quad , \text{ 檢核通過。}$$

肆、樓板上鋁板之檢核

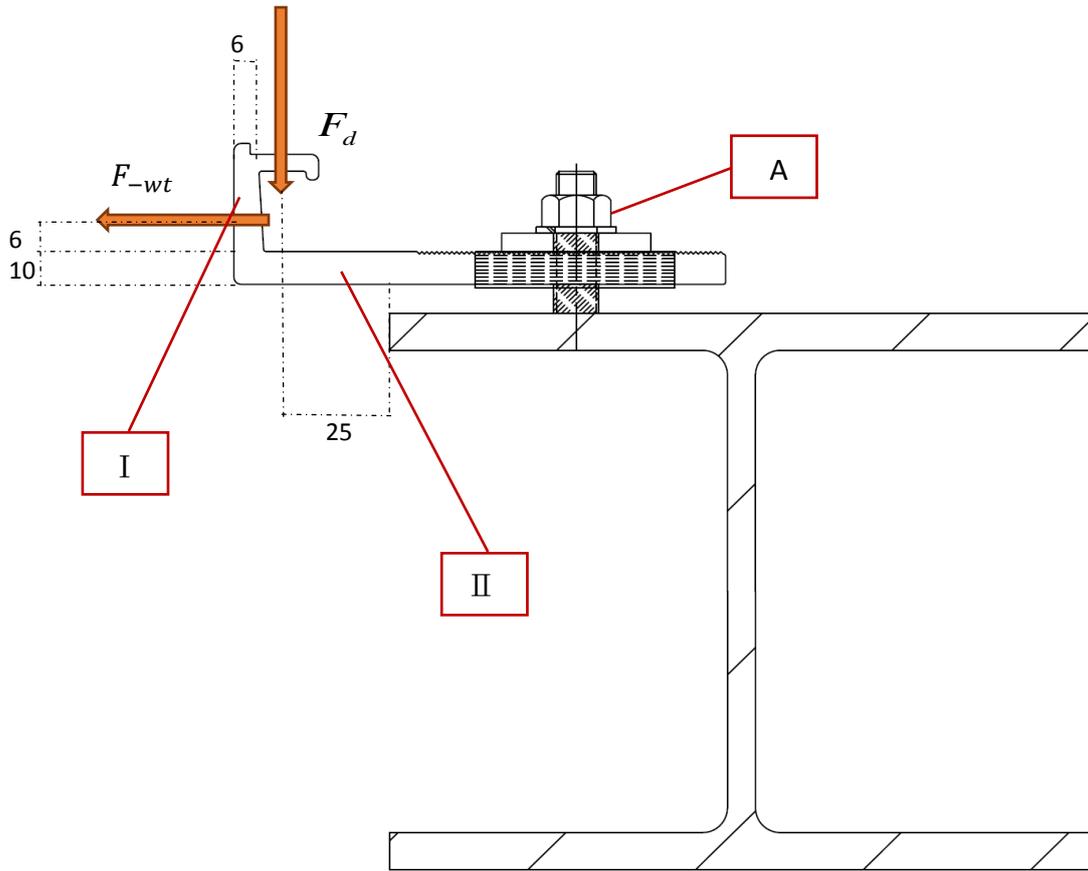


圖 5.14 第五章計算例之樓板上鋁板之受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板 I 段彎曲應力檢核

由負風力 $2F_{-wt}$ 與其力偏心距 $e = 6mm$ ，形成之偏心彎矩 M_{bl}

$$M_{bl} = 2F_{-wt} \times e = 1858.8 \text{ kgf} \cdot \text{gmm}$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 6mm$ ，偏心彎矩 M_{bl} 對 I 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bl}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 2.06 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf} / \text{mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

鋁板 II 段彎曲應力檢核

由負風力 $2F_{-wt}$ 與其力偏心距 $e_w = (6 + \frac{10}{2})mm$ ，和靜載重 $2F_d$ 與其力偏心矩

$e_d = 25mm$ 形成之偏心彎矩 M_{bII}

$$M_{bII} = 2F_{-wt} \times e_w + 2F_d \times e_d = 3689.1 \text{ kgf gnm}$$

板寬 $b = 150mm$ ，板厚 $t = 10mm$ ，偏心彎矩 M_{bII} 對 II 段造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_{bII}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 0.393 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

伍、B 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

- 直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$
- 抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$
- 抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$
- 極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.4 \text{ kgf/mm}^2$
- 降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$
- 螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

- 厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$
- 承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

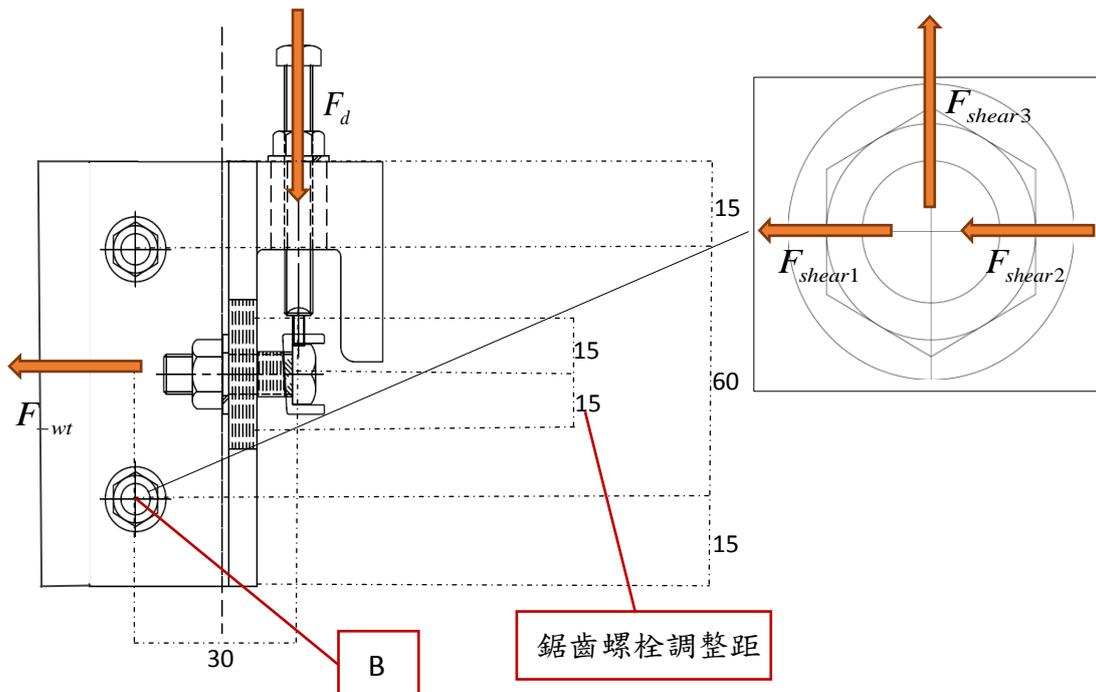


圖 5.15 第五章計算例之 B 處螺栓剪力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓剪力檢核

螺栓剪力由 F_{shear1} ， F_{shear2} 以及 F_{shear3} 組成，其值在負風壓作用且當鋸齒螺栓向

下移動 15mm 時為最大。其中 F_{shear1} 為螺栓水平抵抗風力之反力，當鋸齒螺栓向

下移動 15mm 時， F_{shear1} 為 $\frac{3}{4}F_{-wt}$ ； F_{shear2} 為靜載重扭矩平衡而產生，

$$F_{shear2} = \frac{F_d \times 30mm}{60mm} = 2.81kgf; F_{shear3} \text{ 為螺栓垂直抵抗靜載重之反力, } F_{shear3} = \frac{1}{2}F_d;$$

故螺栓承受剪力之最大值 F_{shear} 為

$$F_{shear} = \sqrt{(F_{shear1} + F_{shear2})^2 + F_{shear3}^2} = 119kgf$$

$$\text{容許剪力 } F_V = A_r \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}}F_{u,b}, \frac{0.75}{\sqrt{3}}F_{y,b}\right) \times n_s = 1624kgf$$

$$\text{母材容許承壓 } F_B = d_b \times t_p \times F_{up} \times n_s = 1923.6kgf$$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{母材容許承壓 } F_B$ ，檢核通過。

陸、C 處螺栓與母材之檢核

使用 A325-M12 螺栓

直徑 $d_b = 12 \text{ mm}$

抗拉斷面積 $A_s = 91.5 \text{ mm}^2$

抗剪斷面積 $A_r = 83.35 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,b} = 120 \text{ ksi} = 84.4 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,b} = 65 \text{ ksi} = 45.7 \text{ kgf/mm}^2$

螺栓顆數 $n_s = 1$

6061T6 母材

厚度 $t_p = 6 \text{ mm}$

承壓應力 $F_{up} = 38 \text{ ksi} = 26.72 \text{ kgf/mm}^2$

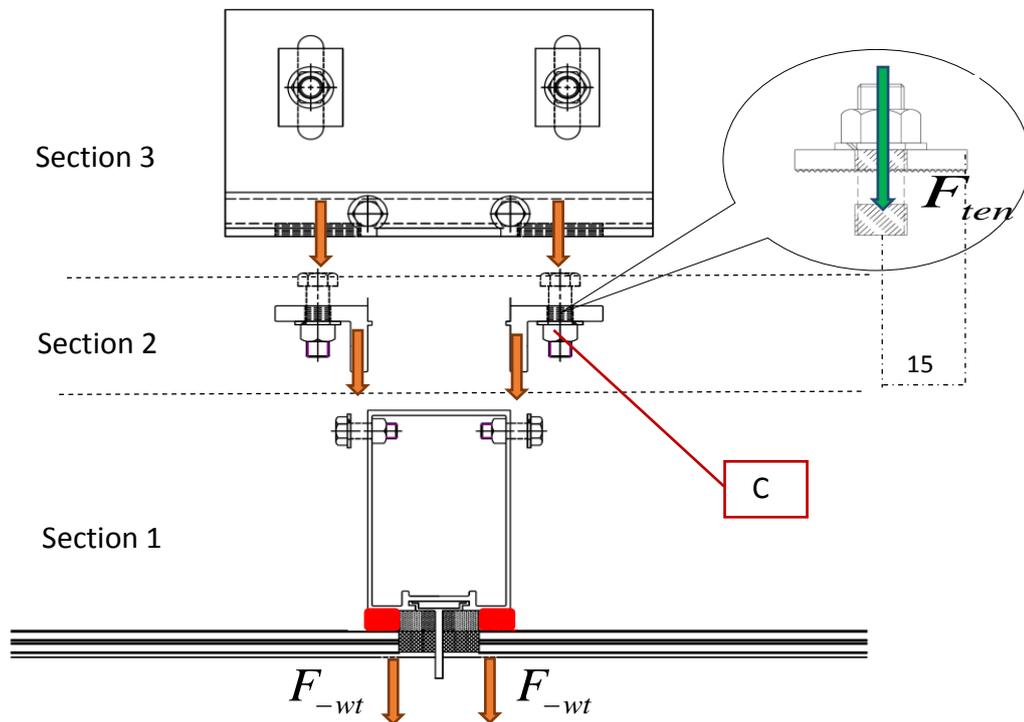


圖 5.16 第五章計算例之 C 處螺栓受力圖

(資料來源：本研究整理)

螺栓拉力檢核

抵抗正風壓螺栓拉力 $F_{+ten} = F_{+w} = 114.6 \text{ kgf}$

抵抗負風壓時，最大螺栓拉力為抵抗鋁板彎矩形成的的拉拔力

$$F_{-ten} = \frac{F_{-w} \times 30mm}{15mm} = 154.9kgf$$

$$\text{螺栓拉力 } F_{ten} = \max(F_{+ten}, F_{-ten}) = 154.9kgf$$

$$\text{容許張力 } F_T = A_s \times \min\left(0.4F_{u,b}, 0.75F_{y,b}\right) \times n_s = 3090kgf$$

螺栓拉力 $F_{ten} < \text{容許張力 } F_T$ ，檢核通過

在工程實務上因為鋁料有垂直向長孔，靜載重無法傳遞，故此螺栓不會承受靜載重造成之剪力。

柒、L 型鋁板之檢核

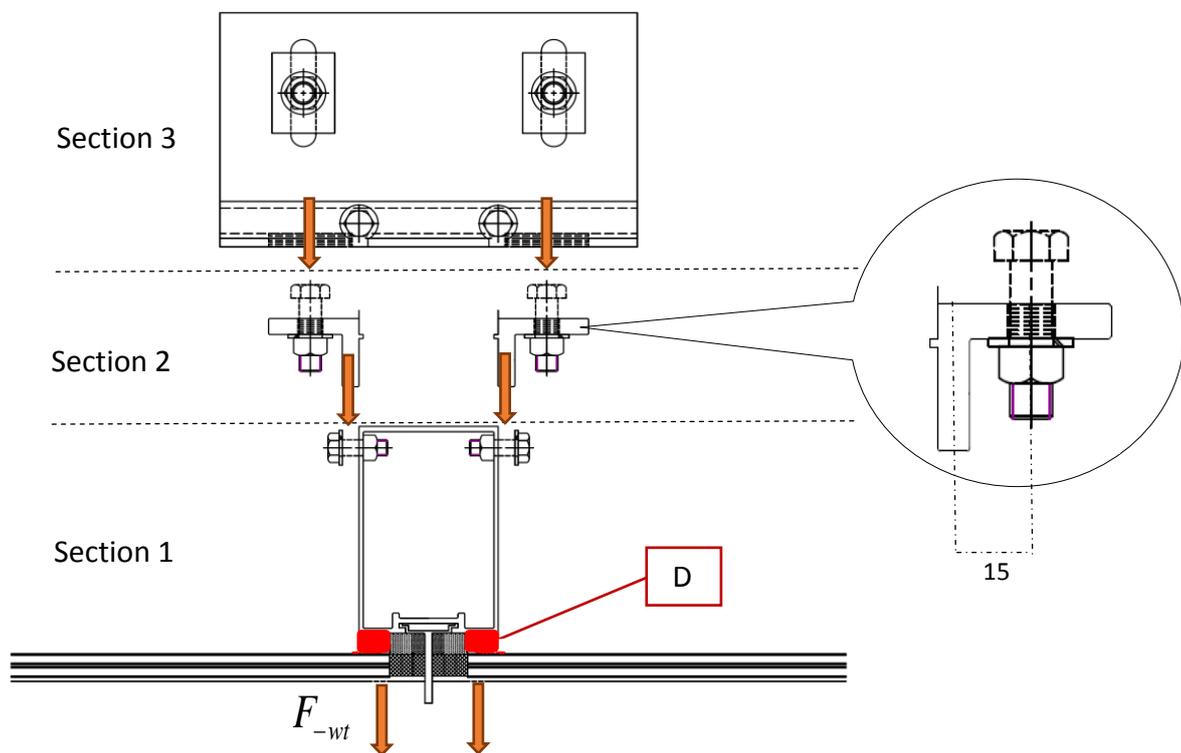


圖 5.17 第五章計算例之 L 型鋁板受力

(資料來源：本研究整理)

鋁板彎曲應力檢核

由負風力 F_{-wt} 與其力偏心距 $e = 15mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = F_{-wt} \times e = 2323.5 \text{ kgf gnm}$$

板寬 $b = 90mm$ ，板厚 $t = 7mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 3.16 \text{ kgf/mm}^2$$

鋁板降伏應力 $F_y = 24.6 \text{ kgf/mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = \frac{1.3F_y}{1.65} = 19.38 \text{ kgf/mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} <$ 容許彎曲應力 F_B ，檢核通過。

捌、D 結構矽膠

帶寬 $b_t = 30\text{mm} = 0.03\text{m}$

容許拉應力 $F_t = 20\text{psi} = 14060\text{kgf}/\text{m}^2$

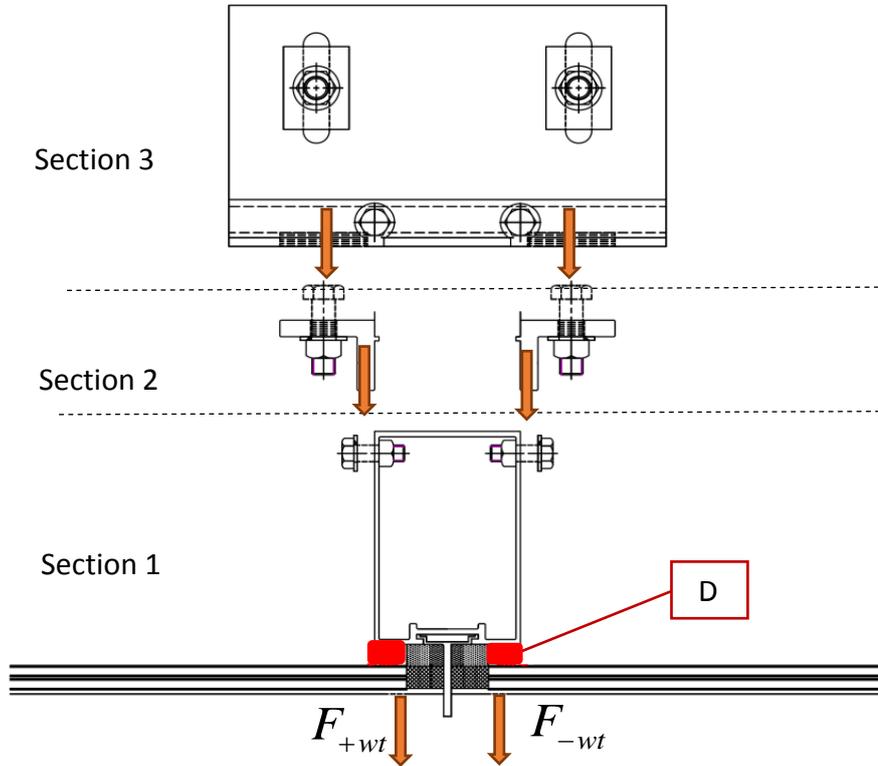


圖 5.18 第五章計算例之 D 處結構矽膠位置圖

(資料來源：本研究整理)

矽膠拉力檢核

參考本章第一節表 5-3，面材之最大設計負風壓為 $-187.76\text{kgf}/\text{m}^2$ ，因此

$$\text{矽膠拉力 } F_{ten} \text{ 為 } \frac{187.76\text{kgf}/\text{m}^2 \times 3.3\text{m} \times 0.5\text{m}}{2 \times (3.3\text{m} + 0.5\text{m})} = 40.76\text{kgf}/\text{m}$$

$$\text{容許拉力 } F_T = F_t \times b_t = 84.36\text{kgf}/\text{m}$$

矽膠拉力 $F_{ten} < \text{容許拉力 } F_T$ ，檢核通過。

玖、直橫料連接處檢核

使用六顆 304SS A2-70 M6 不鏽鋼螺絲

直徑 $d_b = 6 \text{ mm}$

螺絲根面積 $A_R = 18.06 \text{ mm}^2$

極限強度 $F_{u,s} = 105 \text{ ksi} = 73.82 \text{ kgf/mm}^2$

降伏強度 $F_{y,s} = 62.5 \text{ ksi} = 43.9 \text{ kgf/mm}^2$

螺絲顆數 $n_s = 1$

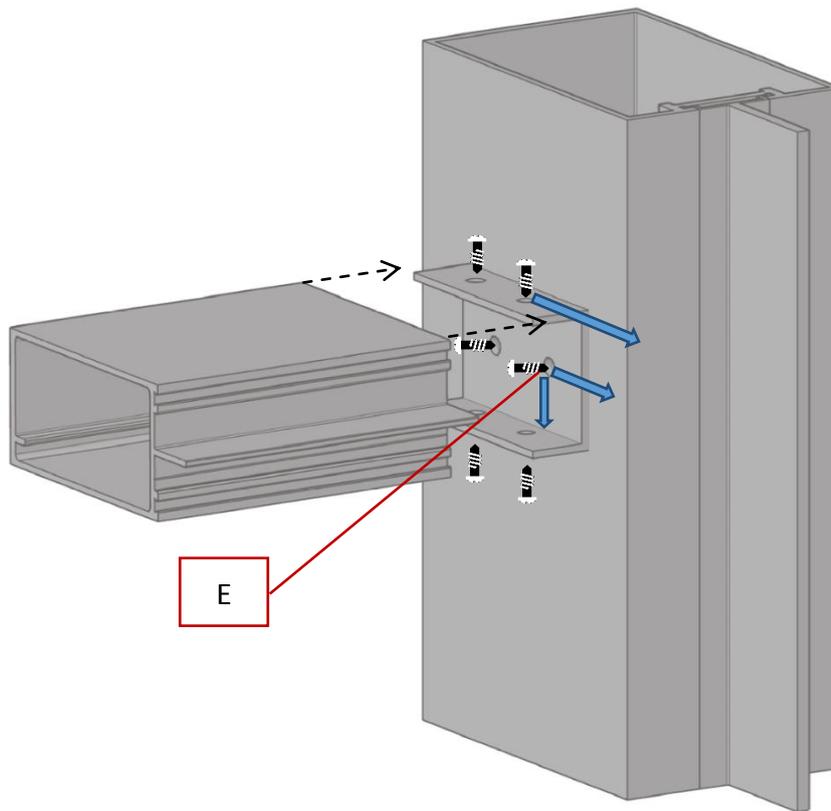


圖 5.19 第五章計算例之直橫料連接處細部圖

(資料來源：本研究整理)

螺絲剪力檢核

參考圖 5.19，六顆螺絲中受橫料負風力以及靜載重形成之最大剪力者為 E 螺絲，故分析 E 螺絲做為設計檢核依據。

根據表 5-3 中，橫料單位長度負風力為 -23.47 kgf/m ，而 E 螺絲處所承受之橫料負風力為

$$F_{-w} = \frac{23.47 \text{ kgf/m} \times 0.25 \text{ m}}{2} = 2.93 \text{ kgf}$$

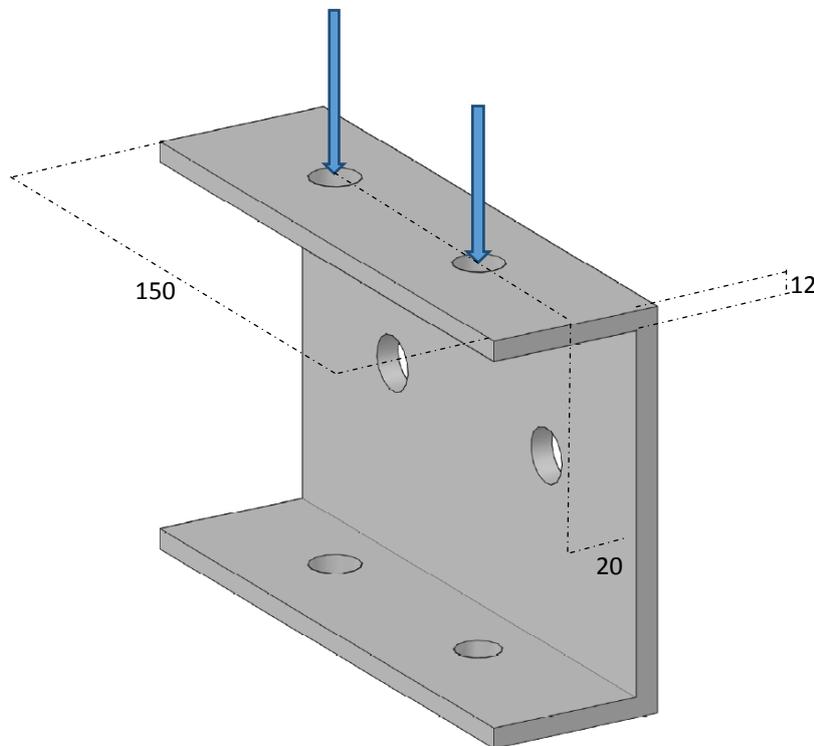
靜載重為一面玻璃及一支橫料之重量，其單位重約略為 20 kgf/m^2 ，而 E 螺絲處所承受之靜載重 F_{db} 為

$$F_{db} = \frac{(20 \text{ kgf/m}^2 \times 3.3 \text{ m} \times 0.25 \text{ m})}{2} = 8.25 \text{ kgf}$$

a 螺絲所受剪力 $F_{shear} = \sqrt{F_{-w}^2 + F_{db}^2} = 8.75 \text{ kgf}$

容許剪力 $F_V = n_s \times A_R \times \min\left(\frac{0.4}{\sqrt{3}} F_{u,s}, \frac{0.75}{\sqrt{3}} F_{y,s}\right) = 307.89 \text{ kgf}$

螺栓剪力 $F_{shear} < \text{容許剪力 } F_V$ ，檢核通過。



型鋼檢核

圖 5.20 第五章計算例之型鋼受力圖

(資料來源：本研究整理)

不鏽鋼板彎曲應力檢核

由靜載重 F_{db} 與其力偏心距 $e=12mm$ ，形成之偏心彎矩 M_b

$$M_b = 2F_{db} \times e = 198 \text{kgf} \cdot \text{gmm}$$

板寬 $b=90mm$ ，板厚 $t=6mm$ ，偏心彎矩 M_b 造成板彎曲應力

$$F_{ben} = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2} = 0.36 \text{kgf} / \text{mm}^2$$

不鏽鋼板降伏應力 $F_y = 21 \text{kgf} / \text{mm}^2$ ，容許彎曲應力

$$F_B = 0.6F_y = 12.6 \text{kgf} / \text{mm}^2$$

板彎曲應力 $F_{ben} < \text{容許彎曲應力 } F_B$ ，檢核通過。

第四節 面材設計檢核

面材④-⑤-⑥-⑦假設採用高 3.3m 寬 0.5m 厚度為 6mm 單層退火玻璃 (Annealed glass)，根據表 5-3 讀取最大負風壓為 $-187.76 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ ，參照 ASTM E1300(2016)做面材檢核。

面材變形檢核

本例為四邊膠和固定之玻璃且厚度為 6mm，風壓乘上面材面積的平方得到 $187.76 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \times (3.3\text{m} \times 0.5\text{m})^2 = 5.015 \text{kNgn}^2$ ，長寬比 $AR = \frac{\text{長}}{\text{寬}} = \frac{3.3}{0.5} = 6.6$ ，依圖

5.21(b)，面材變形約略為 6.2mm。

面材容許變形=35mm(根據金屬帷幕牆技術手冊)

面材變形 < 容許變形，檢核通過。

面材強度檢核

玻璃高 3.3m、寬 0.5m，四邊膠和固定且厚度為 16mm，對照圖 5.21(a)得未係數化的承壓強度(Nonfactored Load)7kPa。由於玻璃為完全回火玻璃，且台灣設計風速為 10 分鐘平均，遠大於圖 5.21(a)中所使用之 3 秒鐘平均，故參照表 5-5，採用長延時(Long Duration Load)係數 0.43，玻璃承壓強度為

$$7\text{kPa} \times 0.43 = 306.8 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}。$$

面材承壓 $187.76 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} < \text{容許承壓 } 306.8 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ ，檢核通過。

ASTM E1300 - 16

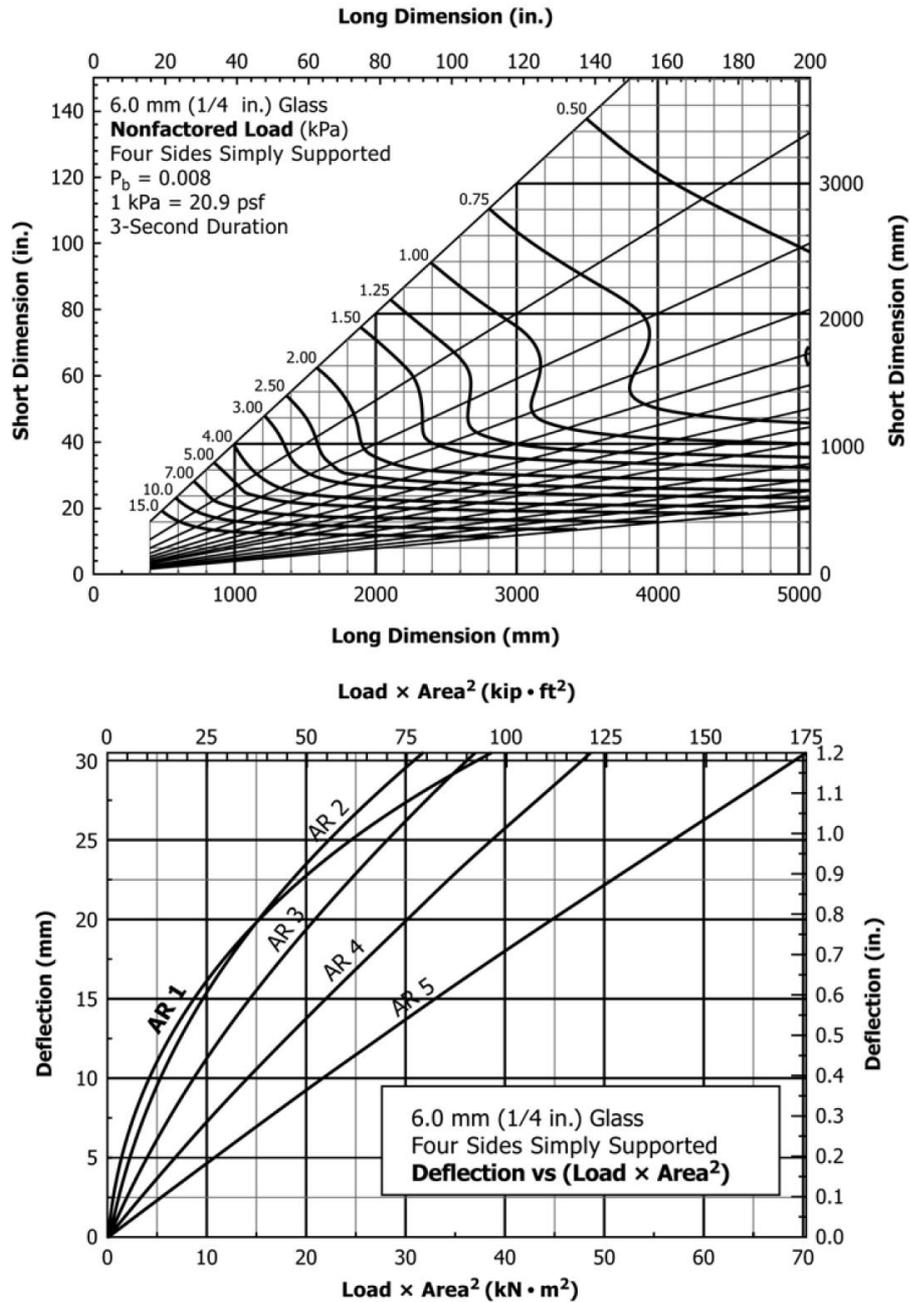


FIG. A1.7 (upper chart) Non-Factored Load Chart for 6.0 mm (1/4 in.) Glass with Four Sides Simply Supported (lower chart) Deflection Chart for 6.0 mm (1/4 in.) Glass with Four Sides Simply Supported

圖 5.21 第五章計算例之玻璃強度及變形曲線圖
 (資料來源：擷取自 ASTM E1300，FIG. A1.10，2016)

表 5-5 玻璃種類係數表

Glass Type	GTF	
	Short Duration Load (3 s)	Long Duration Load (30 days)
AN	1.0	0.43
HS	2.0	1.3
FT	4.0	3.0

(資料來源：擷取自 ASTM E1300，TABLE 1，2016)

附錄一 「建築物耐風設計規範」中之用途係數、基本設計

風速及風速垂直分布

壹、用途係數(「耐風規範」2.5節)

一般建築物之基本設計風速係對應於 50 年回歸期，為提高重要建築物之基本設計風速為 100 年回歸期，並降低重要性較低建築物之基本設計風速為 25 年回歸期，訂定用途係數 I。

第一類建築物

風災發生後，必需維持機能以救濟大眾之重要建築物與相關之附屬或獨立結構物， $I=1.1$ 。

- (1) 中央、直轄市及縣(市)政府、鄉鎮市(區)公所之辦公廳舍。
- (2) 消防、警務及電信單位執行公務之建築物。
- (3) 國中、國小學校之校舍。
- (4) 教學醫院、區域醫院、署市立醫院或政府指定醫院。
- (5) 發電廠、自來水廠與供電、供水直接有關之廠房與建築物。
- (6) 其他經中央主管機關認定之建築物。

第二類建築物

儲存多量具有毒性、爆炸性等危險物品之建築物與相關之附屬或獨立結構物， $I=1.1$ 。

第三類建築物

下列供公眾使用之建築物與相關之附屬或獨立結構物， $I=1.1$ 。

- (1) 教育文化類：幼稚園；各級學校之校舍(第一類建築物之外)；集會堂、活動中心；圖書館、資料館；博物館、美術館、展覽館；寺廟、教堂；補習班；體育館。
- (2) 衛生及社會福利類：醫院、診所(第一類建築物之外)；安養、療養、扶養、教養場所；殯儀館。
- (3) 營業類：餐廳；百貨公司、商場、超級市場、零售市場；批發量販營業場所；展售場、觀覽場。
- (4) 娛樂類：電影院、演藝場所、歌廳；舞廳、舞場、夜總會；錄影節目播映、視聽歌唱營業場所；保齡球館。
- (5) 工作類：金融證券營業交易場所之營業廳。
- (6) 遊覽交通類：車站、航運站。
- (7) 其他經中央主管機關指定之建築物。

一棟建築物如係混合使用，上述供公眾使用場所累計樓地板面積超過三千平方公尺或總樓地板面積百分之二十以上時，用途係數才需用 1.1。如一棟建築物單種用途使用時，必需總樓地板面積超過一千平方公尺，用途係數才需用 1.1。

第四類建築物

建築物破壞時，對人類之生命危害度小，如臨時性設施及非居住性儲藏設施等， $I=0.9$ 。

第五類建築物

其他一般建築物與相關之附屬或獨立結構物， $I=1.0$ 。

貳、基本設計風速(「耐風規範」2.4節)

任一地點之基本設計風速 $V_{10}(C)$ ，係假設該地點之地況種類為C類，離地面10公尺高，相對於50年回歸期之10分鐘平均風速，其單位為m/s。

臺灣地區各地之基本設計風速，分為下列各區：

一、臺灣本島地區：

(一) 每秒四十七·五公尺區：

花蓮縣：花蓮市、吉安鄉。

屏東縣：恆春鎮、滿州鄉。

(二) 每秒四十二·五公尺區：

基隆市。

臺北縣：貢寮鄉、雙溪鄉、坪林鄉、瑞芳鎮、平溪鄉、石碇鄉、深坑鄉、汐止市、萬里鄉、金山鄉、石門鄉、三芝鄉、淡水鎮。

臺北市。

屏東縣：車城鄉、牡丹鄉、枋山鄉、獅子鄉、枋寮鄉、春日鄉。

宜蘭縣：南澳鄉、蘇澳鎮、冬山鄉、五結鄉、壯圍鄉、頭城鎮。

花蓮縣：玉里鎮、瑞穗鄉、豐濱鄉、光復鄉、鳳林鎮、壽豐鄉、新城鄉、秀林鄉。

臺東縣：達仁鄉、大武鄉、太麻里鄉、長濱鄉。

(三) 每秒三十七·五公尺區：

臺北縣：烏來鄉、新店市、三峽鎮、五股鄉、蘆洲市、三重市、泰山鄉、新莊市、板橋市、中和市、永和市、土城市、樹林市、鶯歌鎮、林口鄉、八里鄉。

桃園縣：各鄉、鎮、市。

新竹縣：新豐鄉、湖口鄉、新埔鎮、關西鎮、橫山鄉、尖石鄉。

臺中縣：和平鄉。

南投縣：信義鄉。

臺南縣：七股鄉。

臺南市。

高雄縣：林園鄉、大寮鄉、大樹鄉、燕巢鄉、大社鄉、仁武鄉、鳥松鄉、鳳山市、橋頭鄉、岡山鎮、梓官鄉、彌陀鄉、永安鄉、茄萣鄉、路竹鄉、湖內鄉、桃源鄉。

高雄市。

屏東縣：佳冬鄉、林邊鄉、東港鎮、新埤鄉、來義鄉、泰武鄉、萬巒鄉、潮州鎮、竹田鄉、崁頂鄉、南州鄉、萬丹鄉、新園鄉、麟洛鄉、瑪家鄉、內埔鄉、長治鄉、

屏東市、九如鄉、鹽埔鄉、里港鄉、高樹鄉、三地門鄉、霧臺鄉。

宜蘭縣：大同鄉、三星鄉、員山鄉、羅東鎮、宜蘭市、礁溪鄉。

花蓮縣：富里鄉、卓溪鄉、萬榮鄉。

臺東縣：金峰鄉、卑南鄉、臺東市、東河鄉、鹿野鄉、延平鄉、關山鎮、池上鄉、海端鄉、成功鎮。

(四) 每秒三十二·五公尺區：

新竹縣：五峰鄉、北埔鄉、峨眉鄉、竹東鎮、寶山鄉、芎林鄉、竹北市。

新竹市。

苗栗縣：各鄉、鎮、市。

臺中縣：東勢鎮、新社鄉、太平市、石岡鄉、豐原市、潭子鄉、神岡鄉、大雅鄉、大肚鄉、龍井鄉、沙鹿鎮、梧棲鎮、清水鎮、后里鄉、外埔鄉、大安鄉、大甲鎮。

臺中市。

彰化縣：伸港鄉、線西鄉、和美鎮。

南投縣：仁愛鄉。

雲林縣：口湖鄉、水林鄉、四湖鄉。

嘉義縣：布袋鎮、義竹鄉、鹿草鄉、太保市、六腳鄉、朴子市、東石鄉。

臺南縣：(除七股鄉、白河鎮外)各鄉、鎮、市。

高雄縣：阿蓮鄉、田寮鄉、旗山鎮、美濃鎮、內門鄉、杉林鄉、六龜鄉、茂林鄉、甲仙鄉、三民鄉。

(五) 每秒二十七·五公尺區：

臺中縣：烏日鄉、霧峰鄉、大里市。

彰化縣：鹿港鎮、福興鄉、芳苑鄉、大城鄉、二林鎮、埔鹽鄉、竹塘鄉、埤頭鄉、溪湖鎮、溪州鄉、二水鄉、彰化市、花壇鄉、芬園鄉、秀水鄉、大村鄉、員林鎮、社頭鄉、埔心鄉、永靖鄉、田尾鄉、北斗鎮、田中鎮。

南投縣：草屯鎮、南投市、名間鄉、中寮鄉、國姓鄉、埔里鎮、魚池鄉。

雲林縣：麥寮鄉、臺西鄉、東勢鄉、崙背鄉、褒忠鄉、元長鄉、北港鎮、土庫鎮、二崙鎮、西螺鎮、虎尾鎮、大埤鄉、荊桐鄉、斗六市、斗南鎮、古坑鄉、林內鄉。

嘉義縣：新港鄉、水上鄉、溪口鄉、民雄鄉、大林鎮、梅山鄉、竹崎鄉、中埔鄉、番路鄉、大埔鄉、阿里山鄉。

嘉義市。

臺南縣：白河鎮。

(六) 每秒二十二·五公尺區：

南投縣：竹山鎮、水里鄉、集集鎮、鹿谷鄉。

二、 外島地區：

金門：每秒三十五公尺。

馬祖：每秒四十二公尺。

彭佳嶼：每秒五十七公尺。

澎湖縣(各鄉、鎮)：每秒三十三公尺。

東吉島：每秒四十五公尺。

蘭嶼：每秒六十五公尺。

綠島：每秒六十五公尺。

琉球：每秒四十公尺。

參、風速之垂直分布(「耐風規範」2.3 節)

風速隨距地面高度增加而遞增，與地況種類有關，依下列指數律公式計算之：

$$\frac{V_z}{V_{10}} = \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha; 0 \leq z \leq z_g \dots\dots\dots(2.5)$$

其中，

V_z : 高度 z 處之風速(m/sec)。

V_{10} : 10 公尺高之風速(m/sec)。

α : 相對於 10 分鐘平均風速之垂直分布法則的指數，與地況種類有關，見表 2.2。

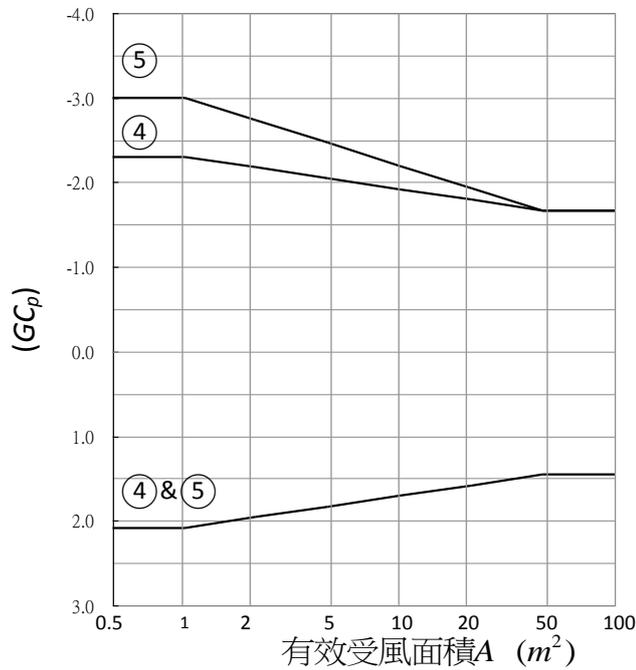
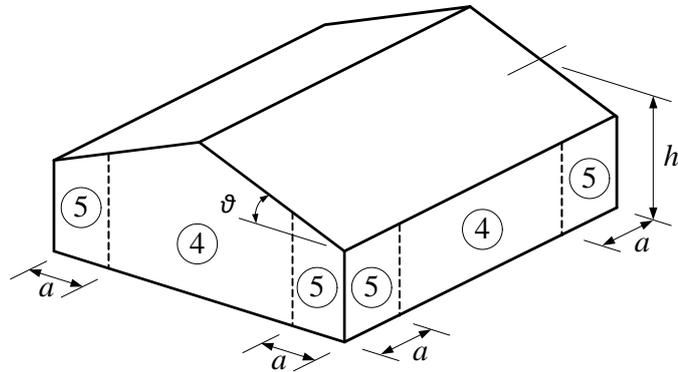
z_g : 梯度高度(m)，與地況種類有關，見表 2.2。

地況種類依建築物所在位置及其附近地表特性而定，分成以下三類：

- (1) 地況 A：大城市市中心區，至少有 50%之建築物高度大於 20 公尺者。建築物迎風向之前方至少 800 公尺或建築物高度 10 倍的範圍（兩者取大值）係屬此種條件下，才可使用地況 A。
- (2) 地況 B：大城市市郊、小市鎮或有許多像民舍高度（10~20 公尺），或較民舍為高之障礙物分布其間之地區者。建築物迎風向之前方至少 500 公尺或建築物高度 10 倍的範圍（兩者取大值）係屬此種條件下，方可使用地況 B。
- (3) 地況 C：平坦開闊之地面或草原或海岸或湖岸地區，其零星座落之障礙物高度小於 10 公尺者。

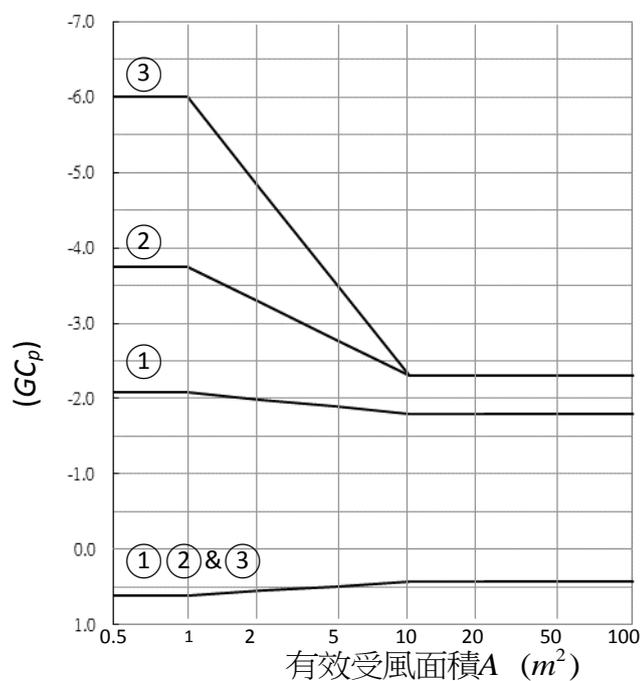
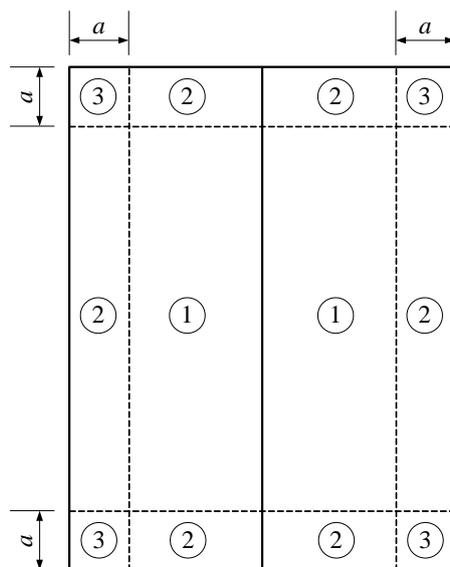
若附近地況為介於地況 A 與地況 B 間或地況 B 與地況 C 間之過渡地況，原則上應採用會產生較大風力之地況，但也可利用可信賴之合理分析法，決定此一過渡地況之風速垂直分布。

附錄二 「建築物耐風設計規範」中之外風壓係數



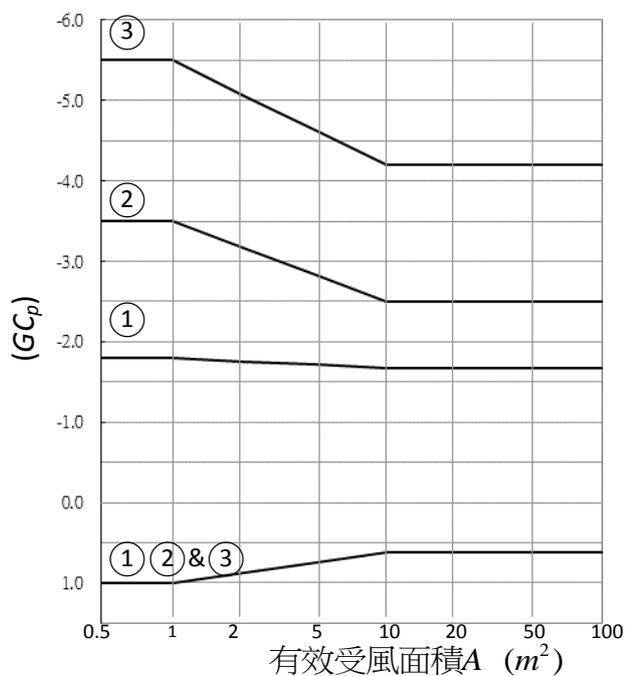
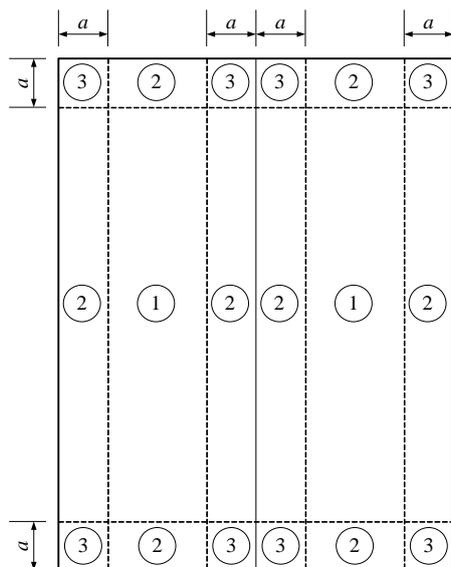
- 註：1. 當 $\theta \leq 10^\circ$ 時，牆之外風壓係數將可降低 10%。
 2. 正值，表示壓力指向表面作用；負號則表示壓力遠離表面作用。
 3. 每個部份應依最大正負壓力設計之。
 4. a : 取 $0.4h$ 或最小寬度的 10%，兩者中較小者。
 但 a 不能小於 0.9 m 或最小寬度的 4%。

「耐風規範」圖 3.1(a) 外牆外風壓係數 ($h \leq 18$ m 封閉式或部份封閉式建築物之局部構件及外部被覆物)



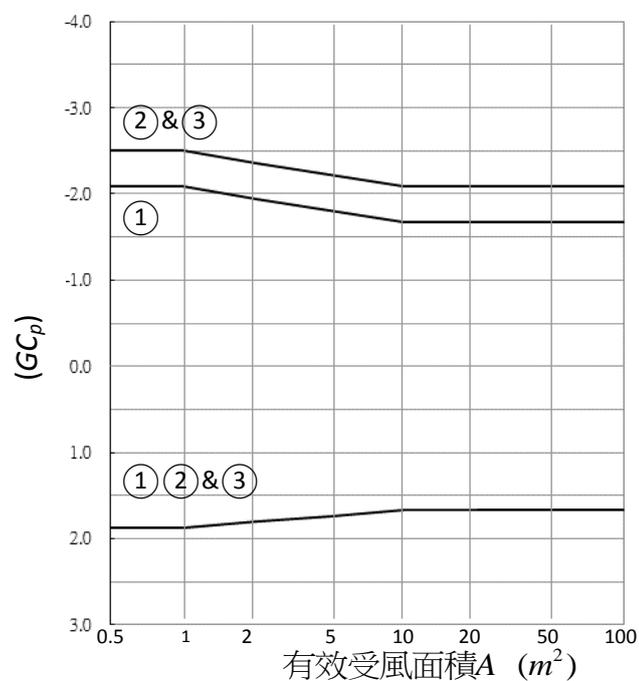
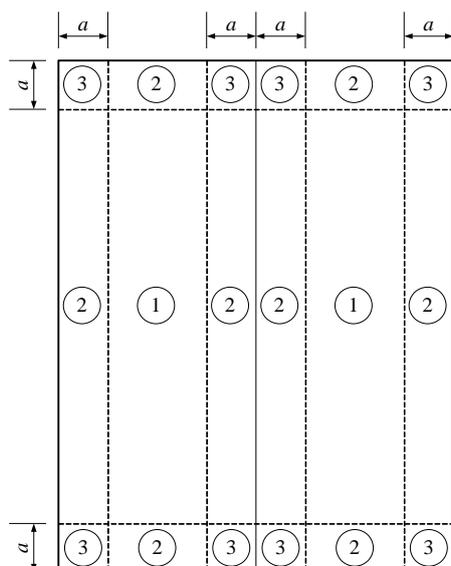
- 註: 1. $\theta \leq 7^\circ$ 時, 若屋頂四周有高度 ≥ 0.9 m 之女兒牆, ③區可以當②區處理。
2. 正值, 表示壓力指向表面作用; 負號則表示壓力遠離表面作用。
3. 每個部份應依最大正負壓力設計之。
4. a : 取 $0.4h$ 或最小寬度的 10%, 兩者中較小者。但 a 不能小於 0.9 m 或最小寬度的 4%。

「耐風規範」圖 3.1(b) $\theta \leq 7^\circ$ 屋頂外風壓係數 ($h \leq 18$ m 封閉式或部份封閉式建築物之局部構件及外部被覆物)



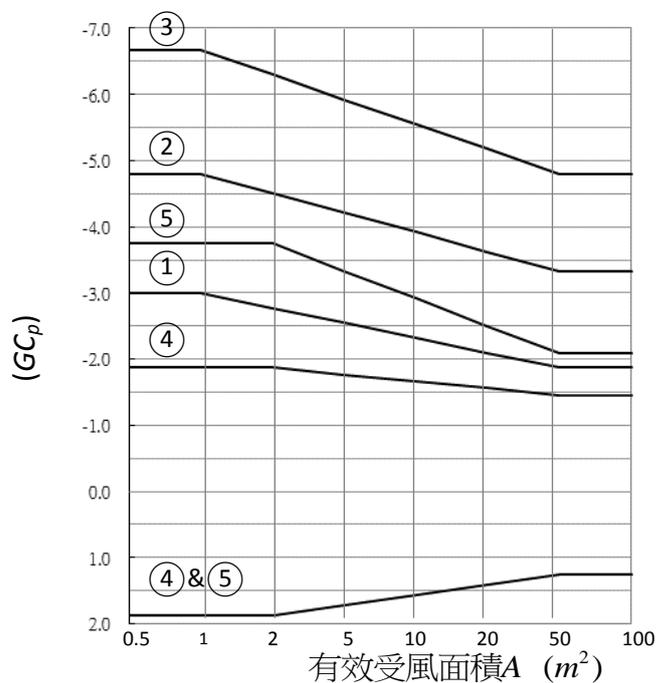
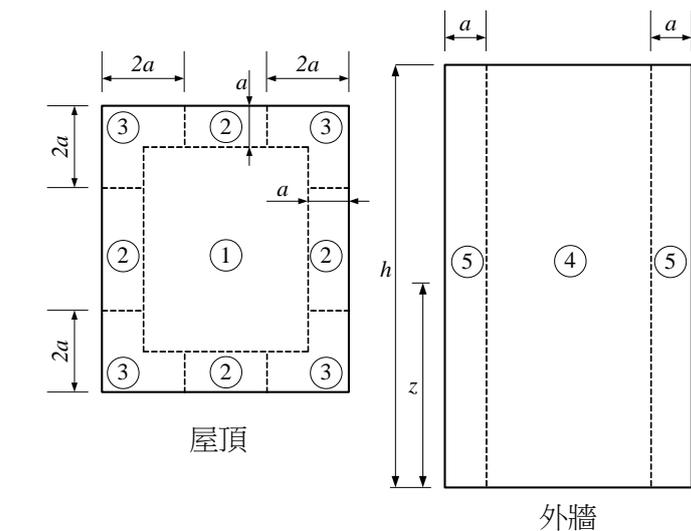
- 註：1. 正值，表示壓力指向表面作用；負號則表示壓力遠離表面作用。
2. 每個部份應依最大正負壓力設計之。
3. a ：取 $0.4h$ 或最小寬度的 10%，兩者中較小者。但 a 不能小於 0.9 m 或最小寬度的 4%。

「耐風規範」圖 3.1(c) $7^\circ < \theta \leq 27^\circ$ 屋頂外風壓係數 ($h \leq 18$ m 封閉式或部份封閉式建築物之局部構件及外部被覆物)



- 註：1. 正值，表示壓力指向表面作用；負號則表示壓力遠離表面作用。
2. 每個部份應依最大正負壓力設計之。
3. a ：取 $0.4h$ 或最小寬度的 10%，兩者中較小者。但 a 不能小於 0.9 m 或最小寬度的 4%。

「耐風規範」圖 3.1(d) $27^\circ < \theta \leq 45^\circ$ 屋頂外風壓係數 ($h \leq 18$ m 封閉式或部份封閉式建築物之局部構件及外部被覆物)



- 註：1. 每個部份應依最大正負壓力設計之。
 2. 若有高於 0.9 m 之女兒牆圍於屋頂四周，且 $\theta \leq 10^\circ$ ，則③區可納入②區處理。
 3. 正值，表示壓力指向表面作用；負號則表示壓力遠離表面作用。
 4. a ：最小寬度的 10%，但不小於 0.9 m。
 5. 若 $\theta > 10^\circ$ ，則設計屋頂所用之(GC_p)由圖 3.1(c)或圖 3.1(d)決定。

「耐風規範」圖 3.2 外牆與屋頂外風壓係數 ($h > 18$ m 封閉式或部份封閉式建築物之局部構件及外部被覆物)

參考書目

中文部分

1. 中華民國國家標準(CNS)，帷幕牆及其附屬門、窗物理性能試驗總則，2006
2. 內政部營建署，「建築物耐風設計規範及解說」，2015。
3. 陳瑞華主編，「建築物耐風設計技術手冊」，內政部建築研究所，2017。
4. 鄭元良、陳瑞華、高士哲、張琪棉、林雨石，「帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬」，內政部建築研究所計畫成果報告，2017。
5. 黃清毅、徐金水、陳文樹、謝志勤、林文昌、林清斐，「金屬帷幕牆設計技術手冊」，內政部建築研究所研究報告，2003。

英文部分

1. American Architectural Manufacturers Association, *Curtain Wall Design Guide Manual*, AMA CW-DG-1-96 (1996)
2. American Architectural Manufacturers Association, *Maximum Allowable Deflection of Framing Systems for Building Cladding Components at Design Wind Loads*, AMA TR-A11-15(2015)
3. American Society for Testing and Materials, *Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Building*, ASTM E1300-16(2016)
4. The Aluminum Association(AA), *Aluminum Design Manual(ADM)*(2005)

參考書目

中文部分

1. 中華民國國家標準(CNS)，帷幕牆及其附屬門、窗物理性能試驗總則，2006
2. 內政部營建署，「建築物耐風設計規範及解說」，2015。
3. 林士秀，帷幕牆系統結構設計案例，2017
4. 陳郁潔，帷幕牆系統結構設計案例，2017
5. 陳瑞華，「建築物耐風設計技術手冊」，內政部建築研究所，2017。
6. 陳瑞鈴、張景鐘、陳怡玢、羅立旻、張家晟，「建築物受風災損壞原因實際案例調查研究」，內政部建築研究所研究報告，2012。
7. 黃清毅、徐金水、陳文樹、謝志勤、林文昌、林清斐，「金屬帷幕牆設計技術手冊」，內政部建築研究所研究報告，2003。
8. 鄭元良、陳瑞華、高士哲、張琪棉、林雨石，「帷幕牆系統結構耐風設計手冊研擬」，內政部建築研究所計畫成果報告，2017。
9. 賴映宇，帷幕牆系統設計案例，2017
10. <https://www.travelnews.tw/news> (2015/9/29；杜鵑颱風) (擷取日期: 2017/4/15)
11. <http://news.tvbs.com.tw/life/429049> (2005/9/1；泰利颱風) (擷取日期: 2017/4/15)
12. <http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20160928/957628/> (2016/9/28；梅姬颱風) (擷取日期: 2017/4/15)
13. <http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20150807/664487/> (2015/8/7；杜鵑颱風) (擷取日期: 2017/4/15)
14. <http://news.ltn.com.tw/news/local/paper/246903> (2009/9/30；薔蜜颱風) (擷取日期: 2017/4/15)
15. <http://news.ltn.com.tw/index.php/news/focus/paper/25644>(2005/07/19；海棠颱風) (擷取日期: 2017/4/15)

英文部分

1. American Architectural Manufacturers Association, *Curtain Wall Design Guide Manual*, AAMA CW-DG-1-96 (1996)
2. American Architectural Manufacturers Association, *Maximum Allowable Deflection of Framing Systems for Building Cladding Components at Design Wind Loads*, AAMA TR-A11-15(2015)
3. American Institute of Steel Construction, *ASCI Steel Construction Manual 14th Edition*(2011)
4. American Society for Testing and Materials, *Standard Practice for Determining Load Resistance of Glass in Building* , ASTM E1300-16(2016)
5. International Building Code, Section 2403.3(2012)
6. National Institute of Building Sciences, *Building Envelope Design Guide* (Whole

- Building Design Guide) ,2016
- 7.The Aluminum Association(AA), *Aluminum Design Manual(ADM)*(2005)
 - 8.Wong wan sie, Winxie (2007). Analysis and Design of Curtain Wall Systems for High Rise Buildings, (University of Southern Queensland). Retrieved from https://eprints.usq.edu.au/3883/1/Wong_Wan_Sie_2007.pdf
 - 9.Wikipedia, John Hancock Tower,2017