

澳門 屋宇及橋樑結構之安全及荷載規章 (RSAEEP)

風力作用更新的諮詢文本

屋宇及橋樑結構之安全及荷載規章 (RSAEEP), 澳門 2008
更新 第三章 風力作用

(二零零八年四月十五日 修訂版)

第三章
風力作用

目錄

第十七條
(風力作用及其對建築物的影響)

1. 風力作用的特性描述及其設計分析方法	3
2. 適用範圍	3
3. 單位及定義.....	4
4. 有關於評估風力作用的統計及實驗分析的概念.....	5
5. 陣風風速的標準值及相應的基準期	5
6. 標準陣風風壓廓線的定義.....	6
7. 風力作用下結構安全性之驗算.....	7
8. 結構或構件所承受的風壓、風力及摩擦力.....	7

第十八條
(地形影響)

第十九條
(形狀系數)

1. 序言	8
2. 風壓系數 δ_p	9
3. 風力系數 δ_f	9
4. 摩擦力系數 δ_{fr}	9

第二十條
(動態結構的反應途徑)

1. 動力敏感的概念及準則	10
2. 應用限制	10

附件 3 – 風力作用

附錄 A – 地形系數 (C_t)	11
附錄 B – 風壓及摩擦力系數 (δ_p 及 δ_{fr})	15
附錄 C – 動力響應系數 (C_{dyn})	26
附錄 D – 使用規章標明外的結構使用年限及/或重現期時所採用的概率係數 C_{prob}	29

第三章 風力作用

第十七條 (風力作用及其對建築物的影響)

1. 風力作用的特性描述及其設計分析方法

澳門應被列為受強烈颱風吹襲的地區，一如鄰近的香港。

風力作用和風荷載的產生是一個複雜的現象，不僅在於風本身的物理特性，也源於建築物對附近風流場的改變（例如氣流平均速度和方向的改變、流分離、漩渦的形成，以及尾遺的發展）。

這些因素在建築物外牆表面產生強大的脈動風壓，從而形成強大的氣動力和局部位置上的脈動力。這些作用誘發建築物作橫向和扭轉方向振動，而振幅取決於相關風力荷載的脈動情況、建築物外牆的氣動力效應和結構的振動響應特性。

考慮到上述氣動風力的隨機特性和相應的結構動力響應效應，風力作用和其對結構及結構附件的效應的釐定，按漸增的嚴格性，可以從簡略分析計算或實驗的方法得到。

本風力規章的內容，只提供簡略計算的程序，用於定義和確定風力作用的特徵，或用於分析和模擬建築物及其他結構的風力效應。

本規章所採用的結構響應簡略計算模型，是基於簡略靜力分析法，即是以簡略和對動力等效的靜力分析法來確定相關構件的內力，以確保結構在預期年限內能滿足 RSA 中有關結構完全性及正常使用性的要求。

可是，對於一些較柔性及特殊的建築物，風隨機激勵所致的動力效應顯得更為重要，本規章中的簡略方法並不適用，因此，會要求進行完整的動力分析及實驗性的風洞測試。

2. 適用範圍

本風力規章的主要目的是定義澳門地區內經過適當系數修改的風荷載的標準值，按照簡略靜力分析法概念，用於結構分析及設計。

基於簡略模型概念，是用於風力作用的評估和結構響應效應分析兩方面，本風力規章一般適用於下列較常見和普通的結構：

- 高度不超過二百米的規則的建築結構；其構件（如牆壁、屋頂）和附帶的次構件（如煙囪、頂蓋、陽台）；
- 橋樑結構，不包括索橋，且跨度不超過二百米。

本風力規章也適用於一些中等柔性的建築結構（即第一自振頻率為 0.2Hz 至 1Hz）。在此情況下，這些建築結構應被判定為動力敏感，風力效應的計算應加入合適的動力響應系數（ $C_{dyn}>1$ ）調整，而簡略靜力分析法仍可使用。

然而，本風力規章並沒有對以下特殊情況的結構給出指引：

- 柔性結構，其第一自振頻率少於 0.2 Hz；
- 特殊的柔性結構，可能產生氣動彈性響應行為（例如旋渦、顫振、馳振），如電纜、桅杆、煙囪、格構式塔及索橋；
- 不規則的建築結構，例如帶有嚴重偏心生和扭轉振動可能的建築物，像那些不常見的或複雜的幾何形狀的建築結構；
- 除了第一振型外，其他振型也需要考慮的結構；
- 因密集建築物或障礙物造成“屏蔽效應”的被屏蔽的建築物；
- 除了順風向響應動力分量外，橫風向響應分量也重要的結構。

上述的特殊情況，會要求使用更精細的分析模型或實驗分析來釐定風力作用，例如利用模擬氣動彈性響應的風洞測試，結合全面的隨機風力作用的頻譜分析。

3. 單位及定義

本規章採用了 SI 單位系統，並採用以下定義：

- 風壓（風速）標準值 – 陣風風壓（風速）值，重現期為五十年。
- （一事件的）重現期 – 或一事件的平均重複間隔 – 是其年超越概率（以小數表示）的倒數（以年數表示）。例如：一個重現期為五十年的活動，將會平均在每五十年發生一次，亦即是其年被超越概率為 2%。
- （一事件的）年超越概率 – 任何一年內的超越概率（重現期的倒數）。例如：一個年超越概率為 0.002 的活動，其重現期為五百年，亦即是它會平均在每五百年發生一次。
- 建築物的年限（或基準期） – 建築物曝露於特定風力作用的預計時期，其間在預計保養程序，但沒有要求任何重大的主要結構維修下，符合所有預計的安全條件及正常操作要求。
- 廓線（風速或風壓） – 風速或風壓值隨高度的剖面變化。

- 封閉式建築物 – 有屋頂及全被外牆包圍，不透風的建築物（相對於“開敞式”建築物）。
- 開敞式框架 – 沒有外牆的結構。
- 寬度（建築物的） – 與風向垂直的水平尺寸。
- 建築物外牆 – 曝露於風力作用的結構的外圍表面（或覆蓋面）。

4. 有關於評估風力作用的統計及實驗分析的概念

風力作用的量化工作是根據一項由香港大學對澳門的風速記錄進行詳細統計的分析，基於其對風力規章的專門研究及擁有風洞試驗設備。

澳門風速數據的原始資料是採自澳門地球物理暨氣象台自 1952 年到 2005 年，在松山、大炮台、大潭山和友誼大橋錄得的連續風速記錄。由於這些每小時平均風時速的原始記錄受到風速儀所在地的地貌及局部地形影響，因此有必要進行風洞測驗，使用合適的澳門地區模型來對所有可用的風速記錄資料作標準化。

這項統計分析的結果列於表 III.1，其中列出了離海面 250 米高的每小時平均及陣風風速，當中考慮了不同的年超越概率，及假設了足夠的置信度為 99.5%。

表 III.1：不同的重現期，離海面 250 米高的平均及陣風風速

重現期 (年)	10	20	50	100	200	500
平均風速 (m/s)	48.1	52.0	56.6	59.8	62.9	66.7
陣風風速 (m/s)	60.7	65.6	71.9	75.5	79.4	84.2

5. 陣風風速的標準值及相應的基準期

本風力規章只適用於那些可以使用簡略力等效程序釐定風力作用的情況，詳細見本條第二款情況。

在上述應用情況下，本規章的“基本參考準則”是假設了離海面 250 米高，作用在結構的任何水平方向流動的陣風風速標準值為 71.9 米/秒。

這特定的陣風風速標準值發生在基準期為五十年的結構上（或結構的使用年期為 50 年），年超越概率為 2%，即相等於 R= 50 年的重現期。

為完善這個重要的澳門風力規章，須指出以下兩個相關的考慮：

- 上述的風力作用是以陣風風速值的標準強度及出現概率所標定，應理解為水平作用於結構上，亦不關乎風的吹襲方向。實際上，在上述的強風統計分析過程中已包括所有方向的風速。
- 整個澳門只作同一“地貌粗糙度”考慮，相當於在海面上流動的風。事實上，由於澳門在地理上呈現為一小範圍，所以任何地貌粗糙度的改變均不足以改變本地區風特徵。

6. 標準陣風風壓廓線的定義

在建築物外牆、屋頂或結構上的陣風風壓標準值，離地面沿高度的變化規律可以用陣風風壓廓線來描述。陣風風壓廓線的形狀取決於（1）平均風速及紊流度隨離地面高度的變化及（2）近地面的局部情況。

陣風風壓標準值， w_{kh} ，與陣風風速標準值， v_{kh} ，的關係式如下：

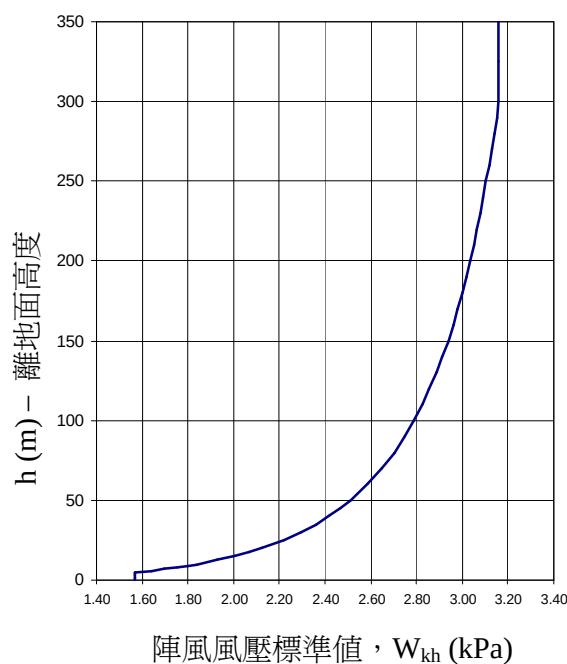
$$w_{kh} = \frac{1}{2} \delta v_{kh}^2$$

式中： δ 為空氣密度，在 20℃ 時，取值 1.20 kg/m^3

表 III.2 列出陣風風壓標準值廓線的圖示及相應數值：

表 III.2 – 陣風風速及風壓之標準值廓線的圖示和表列

h (m)	陣風標準值	
	風速 v_{kh} (m/s)	風壓 w_{kh} (kPa)
≥300	72.6	3.16
250	71.9	3.10
200	71.1	3.03
150	70.0	2.94
130	69.4	2.89
110	68.6	2.83
90	67.7	2.75
70	66.5	2.65
50	64.7	2.51
40	63.5	2.42
30	61.9	2.30
20	59.5	2.12
15	57.8	2.00
10	55.4	1.84
≤5	51.2	1.57



注解一：中間高度的數值，可用直線插值法求得。

注解二：除低矮的開啟式框架結構外，其他封閉式結構，陣風風壓於結構低部某一高度以下應為常數。該高度應是結構的寬度或總高度兩者中較小者，其壓力常數值取該高度之風壓（參閱附件 3 附錄 B 的 1.1.1 款）。

7. 風力作用下結構安全性之驗算

為確保與 RSA 有關於結構安全性之驗算的條文（第六至十條）有可靠的一致性，從風力作用的觀點上，指出下列各項：

- 進行 *正常使用極限狀態* 安全性之驗算時應使用陣風風壓的標準值，即相對於 $R=50$ 年的重現期。進行 *承载力極限狀態* 安全性之驗算時應使用陣風風壓的設計值（標準值乘以分項安全系數 $\gamma_q=1.5$ ），即相對於 $R=1000$ 年的重現期。
- 若風力作用不是荷載組合中的基本可變作用，風壓值應按以下的安全系數 $\psi_0 = 0.4$; $\psi_1 = 0.2$; $\psi_2 = 0$ 折減。對於有第二十七條第 3 款及第 5 款所提及之結構，其活荷載為荷載組合中基本作用，應使用 $\psi_0 = 0.6$ 。
- 經過恰當的修正並按照第三章，附件三，附錄 D 的要求，也可採用除本規章作為基本參考準則外的其他重現期（ R ）及/或使用年限（ L ）。一般來說，單純更改重現期是為改變倒塌概率，然而，單純更改使用年限的著眼點，是以發生嚴重破壞時，社會經濟方面的重要性來考慮。

8. 結構或構件所承受的風壓、風力及摩擦力

- a. 為了獲得完整定義的陣風風壓，本條第六款定義的陣風風壓標準值，在結構抗風設計上，還應考慮局部地形條件，結構曝露面的形狀和透風性，以及結構的動力響應等因素的影響。

這些影響，分別以 C_t 、 δ_p 或 δ_f 及 C_{dyn} 系數表示，且在下述的第十八條、十九條及二十條裏定義，並應接連應用到陣風的標準值 w_{kh} 。風力作用的標準值（風壓及風力）以下式表示：

$$\begin{aligned} p_h &= [w_{kh} \quad x \quad C_t] \quad x \quad \delta_p \quad x \quad C_{dyn} \\ F_h &= [w_{kh} \quad x \quad C_t] \quad x \quad \delta_f \quad x \quad C_{dyn} \quad x \quad A_h \end{aligned}$$

式中：

p_h 在高度 h ，垂直作用於表面的風壓（kPa）；

F_h 在高度 h ，垂直作用於表面的風力（kN）；

w_{kh} 陣風風壓在高度 h 的標準值（kPa）；

C_t 地形系數，在第十八條定義；

δ_p 或 δ_f 風壓或風力系數，在第十九條定義；
 C_{dyn} 動力響應系數，在第二十條定義；
 A_h 在高度 h 處，承受風壓 w_{kh} 作用的有效投影面積 (m^2)。

- b. 當與風向平行的表面上的風摩擦力作用相對於風，頗為重要且不可忽略時，除了上述垂直作用於風的表面的風壓或風力外，其相應的風摩擦力 (F_{fr}) 也應列入考慮。風摩擦力應按下式計算：

$$F_{fr} = [w_{kh} \times C_t] \times \delta_{fr} \times C_{dyn} \times A_{fr}$$

式中：

δ_{fr} 風摩擦力系數，在第十九條定義；
 A_{fr} 與風力平行的外層表面的參考面積 (m^2)；
 w_{kh}, C_t, C_{dyn} 參閱前述的第 8.a 項。

當所有與風向平行（或成一小傾角）的表面的面積總和等於或小於所有與風向成直角的外層表面總面積的四倍，作用於表面上的風摩擦力的效應一般不需要考慮。

第十八條 (地形效應)

當風沿山丘或山脊的迎風斜面向上移動時，風速會增大 – 風“加速”效應，當位於這類地形條件的建築物或結構，按附件三附錄 A 所定義的準則，被判定為有明顯風加速效應時，陣風風壓標準值 w_{kh} 應乘以地形系數 $C_t > 1$ 。

若地形條件被判定為不重要時，可取值 $C_t = 1$ 。

總括而言，本條採用了歐洲規範 EN 1991- 1- 4: 2005“附件 A.3 - 地形系數的數值計算”的概念，但因應澳門地區的有效陣風風壓值而作出了調整。

對於更複雜的地形條件，本規章給出的方法可能會低估了風加速效應，因此並不適用。在這特殊的地形條件下，會建議更詳細的研究；如進行風洞測試。

第十九條 (形狀系數)

1. 序言

要決定作用於建築物或結構的風力作用，除了定義標準陣風風壓本身外，也需考慮直接曝露於風力作用的建築物外牆（或覆蓋面）的形狀及透風性。這

可採用適當的形狀系數應用在陣風風壓上，對於較常見的形狀，會在本條裏描述及在附件三附錄 B 中說明。

形狀系數的三類為：風壓系數、風力系數及摩擦力系數。

2. 風壓系數 δ_p

風壓系數， δ_p ，是對某一特定表面而定義的（總括的及特定的局部部分），而相應的風壓以垂直方向作用在該表面。

建築物覆蓋面的風壓包括外風壓及內風壓部份。外風壓系數， δ_{pe} ，取決於表面的形狀及迎風向。內風壓系數， δ_{pi} ，則取決於建築物面層的透氣度（開孔面積與總面積之比及開孔面積的分佈）。

風壓系數， δ_p ，會是正值或負值，取決於“壓力效應”或“吸力效應”，通常與建築物面層是否曝露於迎風方向或屬屋頂面有關。設計時應考慮正負內外風壓組合的最不利情況。

另外，通常發生於牆壁或屋頂邊緣位置的局部作用，其相關的局部系數-外風壓系數列於附件 B 附錄 3。

局部風壓系數值是用於設計一些特別受風壓作用的位置上之小型構件及接件，如屋面結構的檁條及面板連接處，面層的陽台及窗戶。這些局部風壓只應用於次部件的設計，不應加到整個結構的外風壓上。

3. 風力系數 δ_f

整個建築物或結構所承受的整體風荷載，可以由其組件表面面積和相對從風壓系數(δ_p)得出的風壓分佈情況來釐定。另外，亦可使用風力系數(δ_f)來考慮相關的整體風力（合力）。

4. 摩擦力系數 δ_{fr}

當需要考慮與風向平行的表面或突出物（如：圓拱部份或搓板）所承受的切向風效應 - 風摩擦力時，應使用摩擦力系數 δ_{fr} 。參閱第十七條，第 8 款 b 的說明。

第二十條 （結構的動力響應）

1. 動力敏感的概念及準則

對於*動力敏感*結構，需於陣風風壓標準值廓線上應用動力響應系數 C_{dyn} (≥ 1)，以計算結構由風導致的相關動力響應行為。

根據建築結構的第一自振頻率 (n_a) 來判定該建築結構是*非動力敏感*或*動力敏感*，及計算其動力響應系數 (C_{dyn})：

- 若 n_a 大於 1Hz，該結構（或結構的構件）可以判定為*非動力敏感*及 C_{dyn} 可取值為 1；
- 若 n_a 值處於 0.2Hz 至 1Hz，該結構可以判定為*動力敏感*，則 C_{dyn} 應按照本規章附件三附錄 C 所載的*順風風向風振響應*作用來釐定；
- 若 n_a 小於 0.2Hz，則該結構不在本規章的應用範圍內。

另外亦可按以下的簡略準則，不需要計算第一自振頻率，來考慮結構的動力敏感性。

當建築結構出現下列任何情況，該建築結構可以判定為*動力敏感*：

- 結構高度超過一百米，或
- 結構高度超過最小的平面尺寸的五倍（最小平面尺寸指圍封結構主垂結構體的矩形包線中的較小長度）。

2. 應用限制

上述用於判定結構屬*動力敏感*或*非動力敏感*的簡略分類法，是源於本風力規章所採用的簡略模型及簡略分析方法。

即以上的簡略分類法，並不適用於第十七條第 2 款所定義的應用範圍外的結構，如那些有明顯動力響應及扭矩效應的較柔性結構。對於這類結構，其動力效應應根據相關文獻給出的建議及/或利用風洞模型測試進行研究。這類結構的精確動力響應，通常應由多於一個振動模式的響應振型組合及一個完整動力定義的風力作用得出。

C) 場地位於山崖及陡坡的上風斜坡：

- $0.05 < \phi \leq 0.3$ 及 $|X| \leq L_u/2$

D) 場地位於山崖及陡坡的下風斜坡：

- $\phi < 0.3$ 及 $X < 1.5 L_e$

- $\phi \geq 0.3$ 及 $X < 5 H$

3. 陣風風壓地形系數 (C_t) 的定義如下：

$C_t = 1$ 當 $\phi < 0.05$

$C_t = (1 + 1.50 \times s \times \phi)^2$ 當 $0.05 < \phi < 0.3$

$C_t = (1 + 0.45 \times s)^2$ 當 $\phi > 0.3$

此處：

s 地形位置因子，由圖 III.A.2 或圖 III.A.3 得出，該圖以上風斜坡的有效長度 L_e 縮尺繪製

ϕ 沿風向的上風斜坡 H/L_u (參閱圖III.A.2 及圖III.A.3)

L_e 上風斜坡有效長度，如下述定義：

- 當 $0.05 < \phi < 0.3$ (小坡度斜坡) $L_e = L_u$

- 當 $\phi > 0.3$ (大坡度斜坡) $L_e = H/0.3$

L_u 沿風向上風斜坡的實際長度

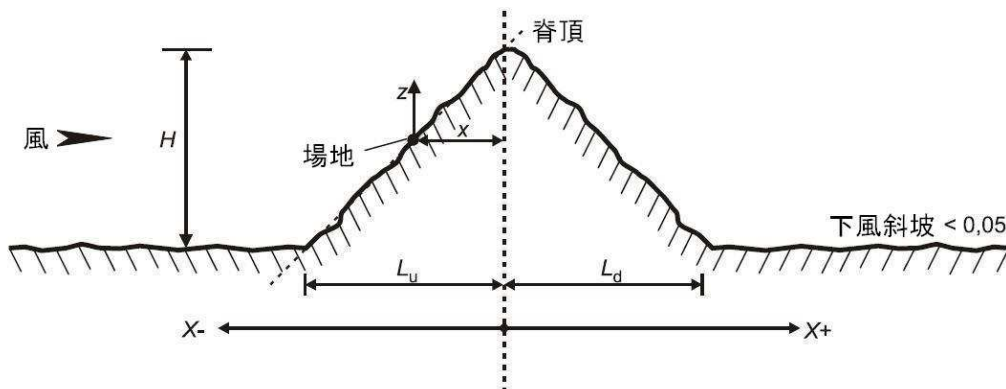
L_d 沿風向下風斜坡的實際長度

H 地形的有效高度

X 從場地到脊頂的水平距離

h_z 離場地地面的不同垂直高度 (沿 z 方向)，地形系數應用到相對高度的陣風風壓標準值上

4. 山谷中如因漏斗效應而沒出現風加速， C_t 可設為 1.0。對位於陡峭山谷的結構或跨越陡峭山谷的橋樑，需考慮因漏斗效應而產生的風速增大。



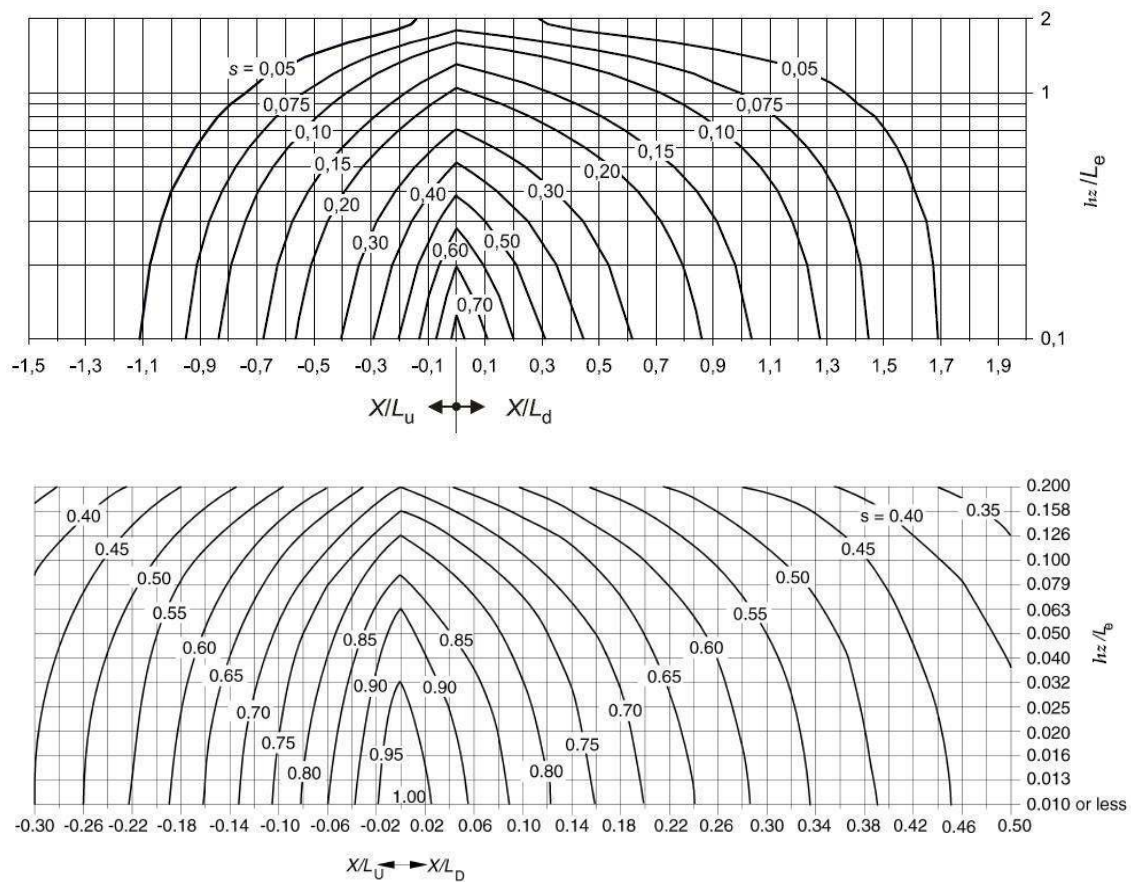
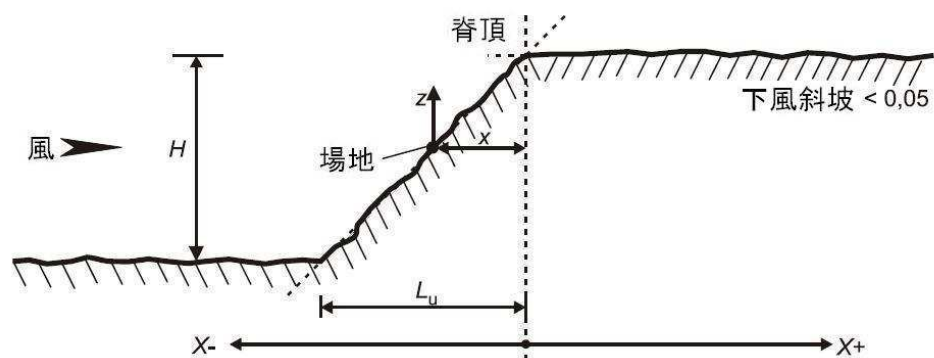


圖 III.A.2 – 山丘及山脊的地形位置因子



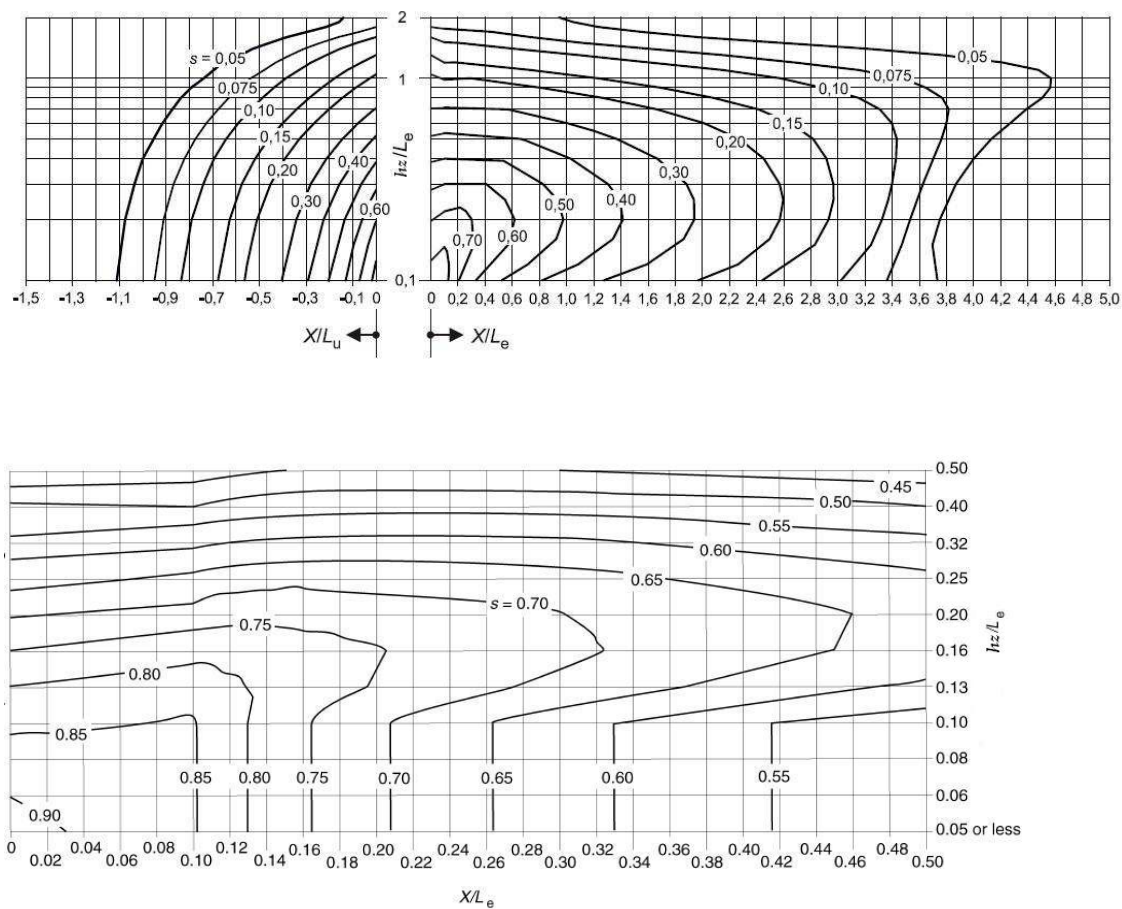


圖 III.A.3 – 山崖及陡坡的地形位置因子

認可：本附錄 A 的圖 III.A.2 及圖 III.A.3 取自英國標準 (British Standards)，於 2007 年 7 月 20 日經英國標準協會 (BSI) 授權，許可編號為 2007ET00200。

附錄 B – 風壓及摩擦力系數 (δ_p 及 δ_{fr})

本附錄列出常見的構造形狀的風壓及摩擦力系數，大體上按照葡國 1983 年的 RSA 規範及 EN1991-1-4:2005 的概念。

對於其他特殊形狀的風壓及摩擦力系數，以及風力系數（不包括在本規章），可參考其他規範或以適當的模型進行風洞實驗測試。然而，對任何與本規章相關概念的差異應作出合適的修正。

1. 建築物的風壓系數， δ_p

祇應用於一般矩形平面建築物的外風壓系數 δ_{pe} 及內風壓系數 δ_{pi} 。

1.1 外風壓系數， δ_{pe}

1.1.1 矩形平面建築物的垂直外牆

矩形平面建築物迎風牆，背風牆和側面牆（見表 III.B.1 中的 A、B、C、D 及 E 區）的壓力系數取決於建築物的高寬比 h/d ， h 為牆的最高高度， d 為平行於風向的建築物平面尺寸。

要得到正確的迎風牆風壓廓線，必須要定出基準高度 h_e 的定義。這個基準高度取決於 h/b 比例， b 為建築物的寬度，而可能出現如圖 III.B.1 的三種情況。

一般而言，建築物外牆的風壓可被考慮為均勻的，但這簡略假設不適用於側面牆。所以，必須按照參數 e 來把側面牆分區（A、B 及 C 區），如圖 III.B.2。每一區的壓力系數列於表 III.B.1。

也需注意背風牆（E 區）和側面牆（A、B 及 C 區）的基準高度 h_e 必定為建築物高度 h ，同時圖 III.B.1 的三種情況並不適用。

迎風面和背風面的壓力系數的向量相加可求得等效的沿風向淨值壓力系數。然而，當應用這等效淨值壓力系數時，由於迎風面及背風面的壓力缺乏相關性，容許淨值系數乘以一折減系數。折減系數為：當建築物 $h/d \geq 5$ 應乘以 1；當建築物 $h/d \leq 1$ 應乘以 0.85；而 h/d 的中間值，可用直線插值法求得。但以門式框架結構為例，不能應用此淨值系數，需獨立地考慮相關的迎風面及背風面的外風壓系數。

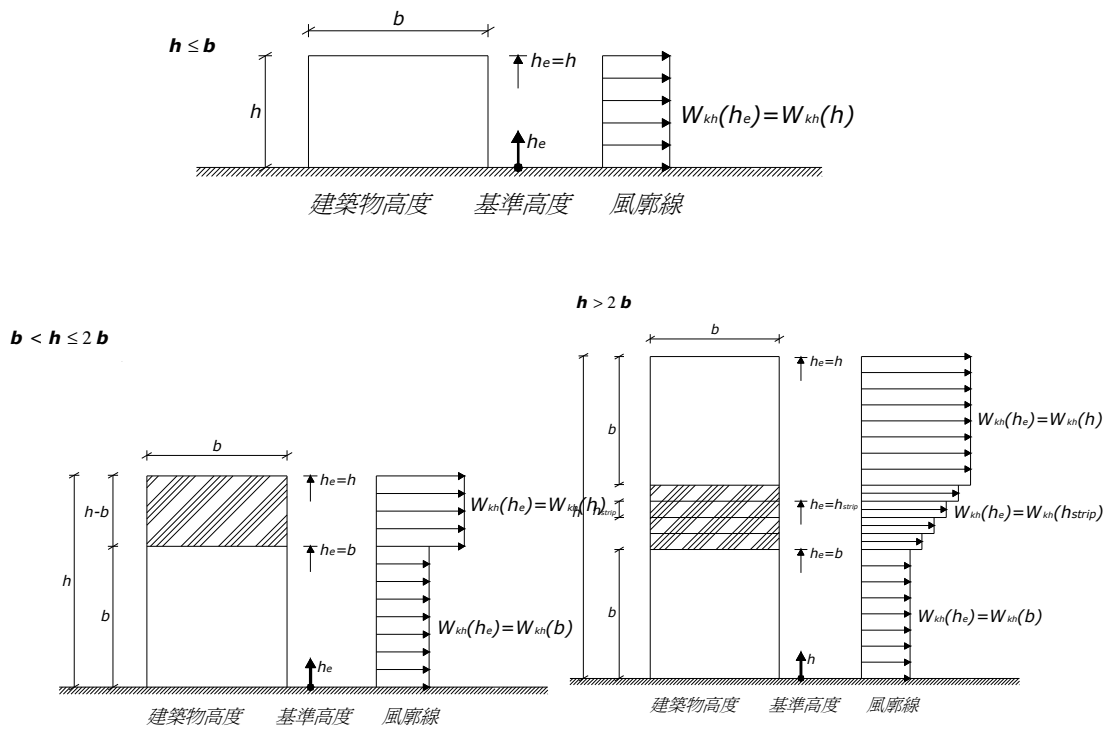


圖 III.B.1—矩形平面建築物的基準高度 h_e 及相應的迎風牆風壓廓線

屋面的建築物，如雙坡及單坡屋面。

注解 2：當高層建築 $h/d > 5$ ，常假定為高度動力敏感結構，故此超出本規章的適用範圍內。但仍可按照 EN1991-1-4:2005 所定義出此情況 $h/d > 5$ 的規定。值得注意的是其相關的概念需要有一個正確的理解來準確應用。

不同大小受面積的風荷表面所承受的外風壓系數可由 $\delta_{pe,10}$ 與面積修正系數相乘獲得。面積修正系數列於下表 III.B.2。

表 III.B.2– 面積修正系數

	受風面積 (m ²)	面積修正系數
局部作用	1	1.20
	5	1.06
整體作用	10	1.00
	50	0.95
	100	0.93
	500	0.88
	1000	0.86
	5000	0.82
	≤10000	0.80

注解：風荷面積的中間值，可用直線插值法求得。

1.1.2 雙坡屋面的外風壓系數

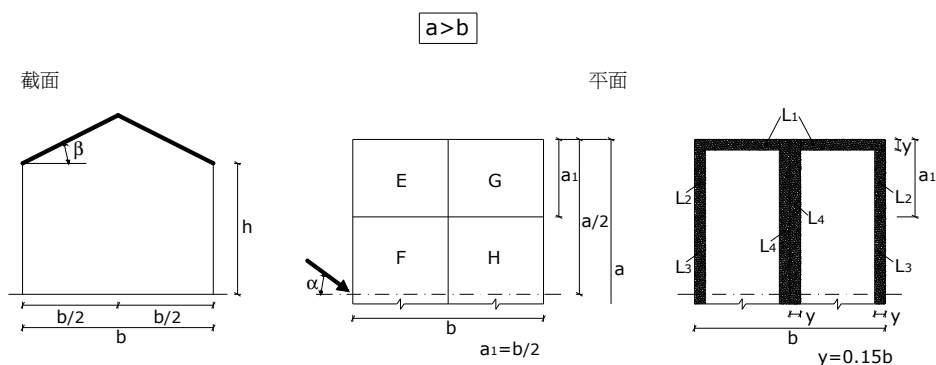


表 III.B.3— 雙坡屋面的外風壓系數

建築物 高寬比 h/b	β （角 度）	整體作用				局部作用			
		風向							
		α=0°		α=90°					
		E,F	G,H	E,G	F,H	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	0	-0.8	-0.4	-0.8	-0.4	-2.0	-2.0	-2.0	
	5	-0.9	-0.4	-0.8	-0.4	-1.4	-1.2	-1.2	-1.0
	10	-1.2	-0.4	-0.8	-0.6	-1.4	-1.4		-1.2
	20	-0.4	-0.4	-0.7	-0.6	-1.0			-1.2
	30	0	-0.4	-0.7	-0.6	-0.8			-1.1
	45	+0.3	-0.5	-0.7	-0.6				-1.1
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	0	-0.8	-0.6	-1.0	-0.6	-2.0	-2.0	-2.0	
	5	-0.9	-0.6	-0.9	-0.6	-2.0	-2.0	-1.5	-1.0
	10	-1.1	-0.6	-0.8	-0.6	-2.0	-2.0	-1.5	-1.2
	20	-0.7	-0.5	-0.8	-0.6	-1.5	-1.5	-1.5	-1.0
	30	-0.2	-0.5	-0.8	-0.8	-1.0			-1.0
	45	+0.2	-0.5	-0.8	-0.8				
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	0	-0.7	-0.6	-0.9	-0.7	-2.0	-2.0	-2.0	
	5	-0.7	-0.6	-0.8	-0.8	-2.0	-2.0	-1.5	-1.0
	10	-0.7	-0.6	-0.8	-0.8	-2.0	-2.0	-1.5	-1.2
	20	-0.8	-0.6	-0.8	-0.8	-1.5	-1.5	-1.5	-1.2
	30	-1.0	-0.5	-0.8	-0.7	-1.5			
	40	-0.2	-0.5	-0.8	-0.7	-1.0			
	50	+0.2	-0.5	-0.8	-0.7				

注解：表中沒有說明相應系數的情況下，不需考慮局部作用的特定值

1.1.3 單坡屋面的外風壓系數

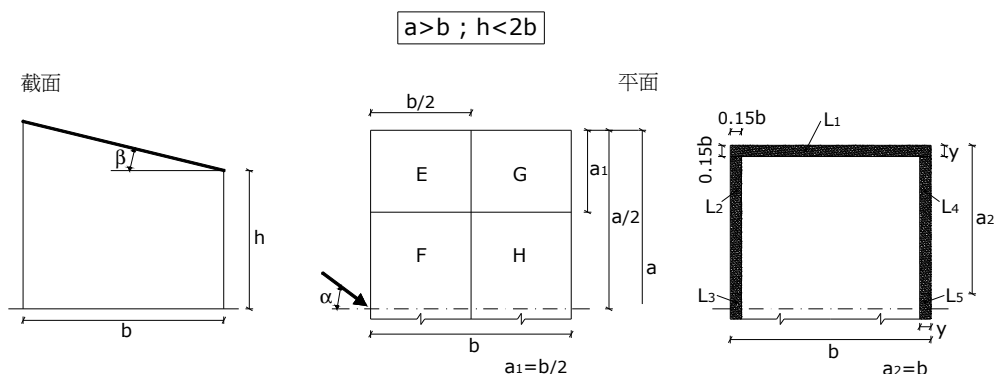


表 III.B.4— 單坡屋面的外風壓系數

β（角度）	整體作用										局部作用				
	風向, α														
	0°		45°		90°		135°		180°						
	E,F	G,H	E,F	G,H	E,G	F,H	E,F	G,H	E,F	G,H	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅
5 to 10	-1.0	-0.5	-1.0	-0.9	-1.0	-0.5	-0.9	-1.0	-0.5	-1.0	-2.0	-2.0	-1.5	-2.0	-1.5
15	-0.9	-0.5	-1.0	-0.7	-1.0	-0.5	-0.6	-1.0	-0.3	-1.0	-2.0	-1.8	-0.9	-1.8	-1.4
20	-0.8	-0.5	-1.0	-0.6	-0.9	-0.5	-0.5	-1.0	-0.2	-1.0	-2.0	-1.8		-1.8	-1.4
25	-0.7	-0.5	-1.0	-0.6	-0.8	-0.5	-0.3	-0.9	-0.1	-0.9	-2.0	-1.8			
30	-0.5	-0.5	-1.0	-0.6	-0.8	-0.5	-0.1	-0.6	0	-0.6	-2.0	-1.8			

注解：表中沒有說明相應系數的情況下，不需考慮局部作用的特定值

1.1.4 圓、橢圓或拋物線等拱形屋面的外風壓系數

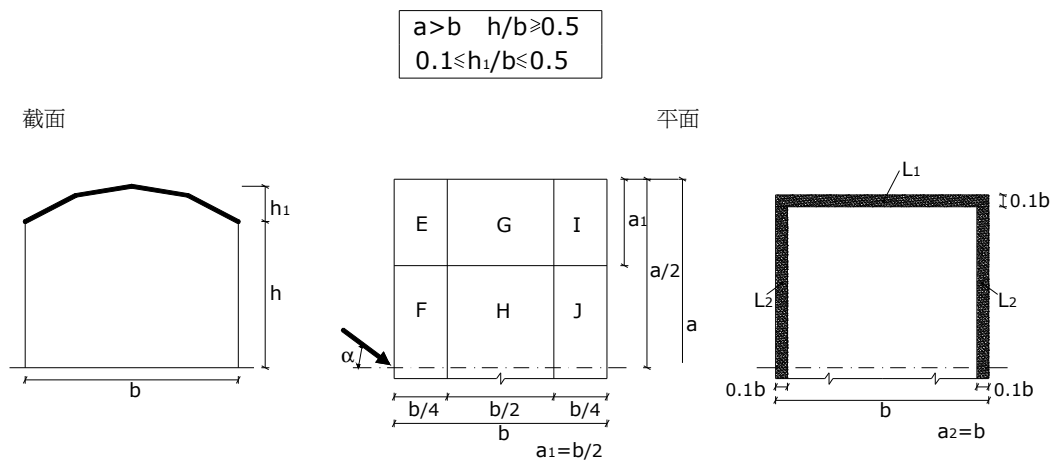


表 III.B.5 -圓、橢圓或拋物線等拱形屋面的外風壓系數

變化 h ₁ /b	整體作用					局部作用	
	風向, α						
	0°			90°			
	E, F	G, H	I, J	E, G, I	F, H, J	L ₁	L ₂
0.1	-0.9	-0.8	-0.5	-0.8	-0.6	-1.6	-1.8
0.2	-0.9 or 0 (＊)	-0.9	-0.5	-0.8	-0.6	-1.6	-1.8
0.3	-0.3 or +0.2 (＊)	-1.0	-0.5	-0.8	-0.6	-1.6	-0.6
0.4	+0.4	-1.1	-0.5	-0.8	-0.6	-1.6	
0.5	+0.7	-1.2	-0.5	-0.8	-0.6	-1.6	

(*) 必須考慮最不利狀況

注解：表中沒有說明相應系數的情況下，不需考慮局部作用的特定值

1.1.5 多跨雙坡屋面的外風壓系數

$$h < a$$

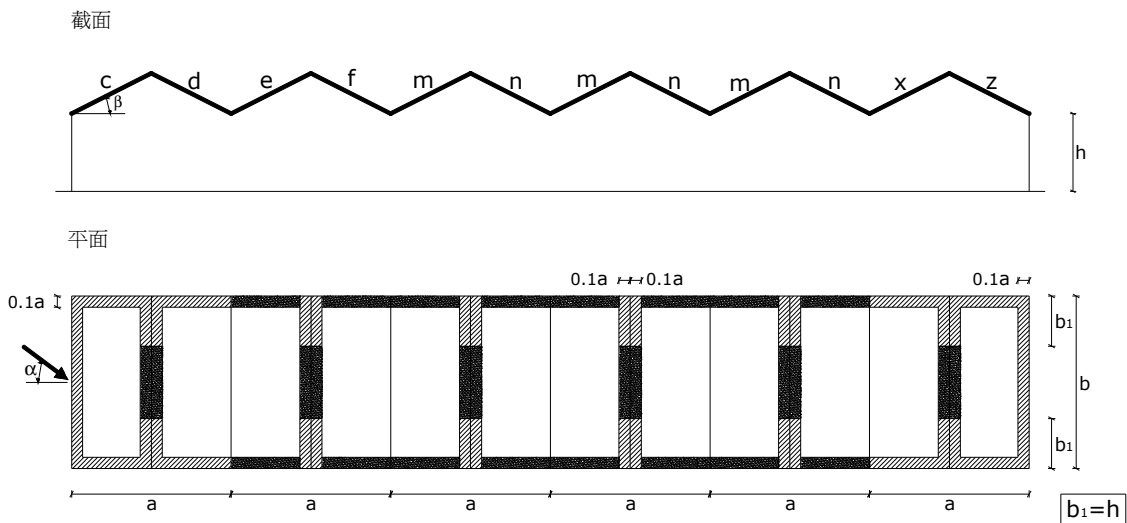


表 III.B.6— 多跨雙坡屋面的外風壓系數

- 整體作用

風向 $\alpha=0^\circ$									風向 $\alpha=90^\circ$		
β (角度)	斜屋面 δ_{pe} 系數								條狀分區 δ_{pe} 系數		
	c	d	e	f	m	n	x	z	b_1	b_2	b_3
5 to 10	-1.1	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.8	-0.6	-0.2
20	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.5			
30	-0.2	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.5			
45	+0.3	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2	-0.5			

- 局部作用

按上圖標示，局部作用的外風壓系數 δ_{pe} 如下：

斜線部份-2.0

陰影部份-1.5

1.1.6 多跨鋸齒形屋面的外風壓系數

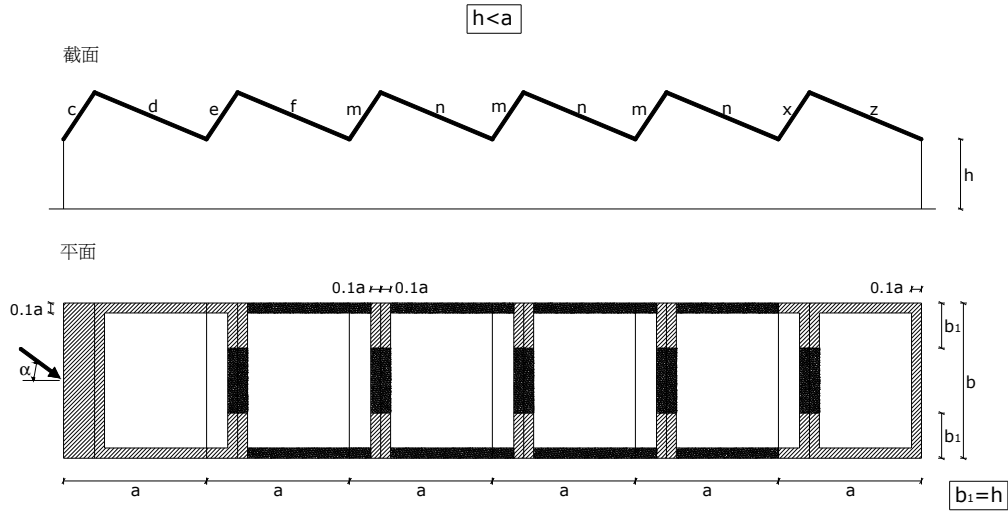
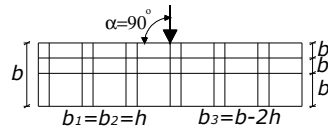


表 III.B.7 - 多跨鋸齒形屋面的外風壓系數

- 總體作用

斜屋面 δ_{pe} 系數								風向 $\alpha=90^\circ$		
c	d	e	f	m	n	x	z	條狀分區 δ_{pe} 系數		
風向 $\alpha=90^\circ$								b_1	b_2	b_3
+0.6	-0.7	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.3	-0.8	-0.6	-0.2
風向 $\alpha=180^\circ$										
-0.5	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.6	-0.1			

- 局部作用

按上圖標示，局部作用的外風壓系數 δ_{pe} 如下：

斜線部份-2.0

陰影部份-1.5

1.2 內風壓系數， δ_{pi}

當建築物的圍封表面完全阻塞風的流動進入（沒有透氣性）或有間隔物能完全阻礙內部氣流時，則不需應用內風壓系數。

於前述的 1.1.1 款中的建築物，在內部無隔離物或隔離物沒有阻塞氣流之情況，可以下列之簡略方式求取內風壓系數。內風壓系數受外牆（建築物覆蓋面）之開孔分佈情況及其特性影響。

簡略准則如下：

- 若建築物表面在強風吹襲時，存在著極少之開孔情況，所以建築物表面的透氣主要由一些窗戶的縫隙，排氣孔等（外洩的通道）所引起。可考慮下列之兩種情況求取內風壓系數：
 - 兩相對面的外牆屬透風，及其餘兩側面外牆為不透風：

風向垂直於透風表面	$\delta_{pi} = + 0.2$
風向垂直於不透風表面	$\delta_{pi} = - 0.3$
 - 四面外牆均為相近之透風性 $\delta_{pi} = - 0.3$
- 結構一個或多個表面上存在開孔，而其中一個表面在強風吹襲時的開孔情況較為顯著，其內風壓系數 δ_{pi} 應取值為該顯著開孔表面的外風壓系數 δ_{pe} 之 75%。若該表面的開孔位置位於特定之外風壓系數 δ_{pe} （局部作用時）的應用分區上，則應以此 δ_{pe} 值作為 δ_{pi} 。

2. 頂蓋的壓力系數， δ_p

頂蓋定義為沒有對氣流造成阻礙的固定牆壁之獨立屋面式結構。在這個情況下，風力作用是直接地和垂直作用於頂蓋斜面的內外側。表 III.B.8 所列的壓力系數已考慮了在所有風向下作用於頂蓋上及下表面的綜合影響。正值表示作用力方向為上到下，負值則表示由下到上。

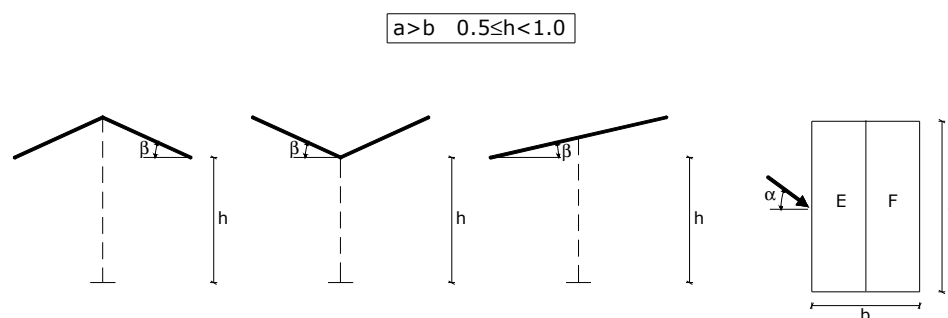


表 III.B.8 – 頂蓋壓力系數

頂蓋型式	β (角度)	風向 α (角度)	角度 δ_p 系數(*)	
			E	F
	5	0	-1.1 or +1.2	-1.0
	10		-1.1 or +1.4	-1.0
	15		-0.7 or +1.6	-1.0
	20		-0.3 or +1.8	-1.0
	25		-0.2 or +2.0	-0.8
	30		0 or +2.0	-0.7
	5	0	-1.2 or +0.8	-0.8 or +1.0
	10		-1.4 or +0.6	-0.6 or +1.0
	15		-1.6 or +0.4	-0.6 or +1.0
	20		-1.8 or +0.2	-0.6 or +0.7
	25		-2.0 or 0	-0.6 or +0.2
	30		-2.0 or 0	-0.6 or 0
	0	0 (風向面)	-1.5 or +1.5 (**)	-0.5 or +0.5 (**)
	5		-1.5 or +1.5 (**)	-0.55 or +0.55
	10		+1.55	+0.65
	15		+1.55	+0.7
	20		+1.6	+0.75
	25		+1.6	+0.85
	30		+1.65	+0.95
	0	180 (背風面)	-0.5 or +0.5 (**)	-1.5 or +1.5 (**)
	5		-0.55 or +0.55 (**)	-1.5 or +1.5 (**)
	10		-0.65	-1.55
	15		-0.7	-1.55
	20		-0.75	-1.6
	25		-0.85	-1.6
	30		-0.95	-1.65

(*)當同一斜面，相關的 β 及 α 系數顯示兩個不同 δ_p 值時，則考慮最不利情況。

(**)同時間考慮斜面 E 及 F 時，其系數的符號應相同。

3. 摩擦力系數， δ_{fr}

對於第十七條第 8.b 款提及的情況 – 當所有與風向平行（或成一小傾角）的表面的總面積等於或小於所有與風成直角的外層表面總面積的四倍 – 摩擦力的效應則應列入考慮。下列表 III.B.9 列出牆壁及屋面的摩擦力系數 δ_{fr} 。

表 III.B.9 – 牆壁、矮牆及屋面的摩擦力系數 δ_{fr}

表面	摩擦力系數 (δ_{fr})
光滑（即鋼材，光滑的混凝土）	0.01
粗糙（即粗糙的混凝土，瀝青面）	0.02
非常粗糙（波紋面，肋狀面，褶疊面）	0.04

計算這效應時應使用的基準面為 A_{fr} 。

對於單獨的垂直構件（如牆壁或板）或由不對氣流形成障礙的元件支撐的水平構件（如樓板、屋面），兩面基準面都應考慮。

對於封閉式建築物與風向平行的外層表面的摩擦力，基準面是位於上風屋檐或角落一段距離以外，相等於建築物 2 倍寬度或 4 倍高度兩者中較小值，參閱圖 III.B.3。

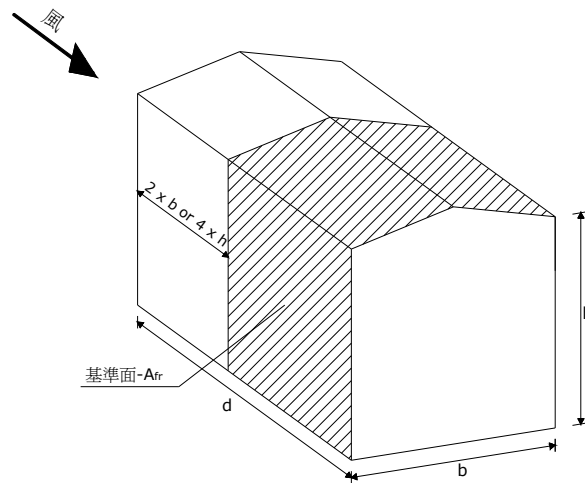


圖 III.B.3 – 摩擦力的基準面

附錄 C – 動力響應系數 (C_{dyn})

1. 本規章中關於應用在動力敏感結構上的動力響應系數的定義是根據澳洲/新西蘭標準 AS/NZS 1170.2:2002 的第六章第 6.2 款的概念和方法。
2. 除了本規章第十七條及第二十條中定義的簡略靜力等效法所限定的適用範圍外，動力響應系數(C_{dyn})只適用於第一自振頻率為 0.2 至 1Hz 之間的結構，且祇考慮“順風向”風振響應作用的分量，其他情況則需採用更詳盡的分析方法。
3. 如上述 AS/NZS 第 6.2 條款，動力響應系數主要取決於紊流度、屋面高度處的陣風風壓值、建築結構的高度及寬度、第一振型的自振頻率及阻尼比。
4. 根據上述 AS/NZS 條款所提及：

“計算結構高度處 (s) 的作用效應 (彎矩、剪力、構件力) 時，在結構高度 (z) 的風壓須乘以動力響應系數 (C_{dyn})。這系數取決於 (z) 及 (s) 兩者，並且 $s < z < h$ 。計算基底彎矩、結構頂部的位移及加速度時，應使用單一 C_{dyn} 值及 (s) 取值為零”。

上文中的參數 (z)，對應為本規章的 h_z 。

5. 系數 C_{dyn} 由以下表達式規定：

$$C_{dyn} = \frac{1 + 2I_h \left[g_v^2 B_s + \frac{H_s g_R^2 SE}{\zeta} \right]^{0.5}}{(1 + 2g_v I_h)} \quad (C_{dyn} \geq 1.0)$$

式中：

s – 計算動力響應系數及其結構作用效應的位置高度 (m)；

h – 結構的高度 (m)；

I_h – 結構頂的紊流度，取為：

$$I_h = \left(0.093 \left(\frac{h}{250} \right)^{-0.14} \right) / \sqrt{C_t}$$

式中：

C_t – 地形系數，定義於附錄三的附件 A；

g_v – 風速脈動的峰因子，取值 3.7

B_s – 背景因子，為脈動響應中慢變背景分量的量度，由低頻率風速脈動改變所導致，表達式如下：

$$B_s = \frac{1}{1 + \frac{[0.26(h-s)^2 + 0.46b_{sh}^2]^{0.5}}{L_h}}$$

式中：

b_{sh} 為結構高度 s 及 h 間的平均寬度

L_h 為高度 h 處的紊流長度尺度，等於：

$$L_h = 325 \times (h/250)^{0.39}。$$

H_s 共振響應的高度因數 ($= 1 + (s/h)^2$)

g_R 共振響應 (周期為 10 分鐘) 的峰因子如下：

$$g_R = \sqrt{[2 \ln(600 n_a)]}$$

當中：

n_a – 結構順風向的自振頻率，以 Hz 表示，可以表達式 $n_a = 46/h$ 計算或使用更詳細的分析方法

S 縮尺因子，如下：

$$S = \frac{1}{\left[1 + \frac{3.5 n_a h (1 + g_v I_h)}{\sqrt{w_{kh}^* / 0.0006}} \right] \left[1 + \frac{4 n_a b_{0h} (1 + g_v I_h)}{\sqrt{w_{kh}^* / 0.0006}} \right]}$$

當中：

b_{0h} – 為結構高度 0 及 h 間的平均寬度

w_{kh}^* – 已經地形系數修正後，在高度 h 的標準陣風風壓(kPa)，

意思是 $w_{kh}^* = w_{kh} \times C_t$

E 相等於風速紊流頻譜的 ($\pi/4$) 倍，如下給出：

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

當中：

N – 折減頻率： $n_a L_h [1 + (g_v I_h)] / (\sqrt{w_{kh}^* / 0.0006})$

ζ 結構的阻尼比

下表列出不同高度和寬度的動力反應系數作為參考例子，並假設建築物的不同高度(h)，寬度(d)及深度(b)：

- 結構的阻尼比為 $\zeta = 2.0\%$
- 正方形平面的結構 ($b=d$)
- 考慮結構的基底面 ($s=0$)
- 結構寬度沿高度不變 (即 $b = b_{sh} = b_{0h}$)
- 結構的自振頻率設定為 $46/h$ ，且
- 不考慮地形影響

寬度=深度 (m) 高度 (m)	30	40	50
200	(1.035)*	1.026	1.018
180	(1.031)*	1.022	1.014
160	(1.027)*	1.018	1.010
140	1.021	1.012	1.004
120	1.017	1.008	1.0**
100	1.011	1.001	1.0**

注解：中間值可用直線插值法求得。

(*)當 $h/d > 5$ – 參照附錄 B 中表 III.B.1 的注解 2

(**)若 C_{dyn} 值小於 1.0，可保守地假設結構為非動力敏感，且取 C_{dyn} 值等於 1.0，或可採用本規章以外的較精確的非簡略分析方法。上述情況可發生於高且寬的結構，而直接運用簡略方法時會建議降低與風向垂直的表面的陣風風壓值。（參閱 A Guide to AZ/NZS 1170.2:2002-Wind Actions）

附錄 D –使用規章標明外的結構使用年限及/或重現期時所採用的概率係數 C_{prob}

作為基本參考準則，本規章假設陣風風壓標準值的重現期為 $R=50$ 年，結構的年限為 $L=50$ 年，因而得出基準期五十年內標準風壓值的超越概率為 $\rho = 0.64$ 。

1. 結構的風力超越概率 (ρ)、重現期 (R) 及年限 (L) 之間的關係，根據概

率性概念可表達為： $\rho = 1 - (1 - 1/R)^L$

作為本規章所定義的平均風速及陣風風速標準值的依據，澳門風速的統計分析亦可以就改變規定年限或重現期，而修正相關的陣風風速或風壓標準值。

要達到以上目的，可將規定（重現期為 50 年，發生在結構 50 年年限內）的陣風風壓標準值乘以概率係數 (C_{prob})，來相應相同或其他年限 (L) 內，或不同的超越概率 (ρ) 而作修正。澳門的概率係數 (C_{prob}) 表達為：

$$C_{prob} = \frac{2.02 + \ln(L) - \ln(-\ln(1 - \rho))}{2.02 + \ln(50)}$$

當中： L 基準期（年）

ρ 基準期為 L 的超越概率

2. 如只要求修改本規章規定的結構年限 ($L=50$ 年)，但保持規定的超越概率（定義為 $R=50$ 年的重現期），應以上式及 $\rho=0.64$ 來計算相應的概率係數 (C_{prob})，如表 III.D.1 所示，並乘以規定的陣風風壓標準值。

3.

表 III.D.1：概率係數

屋宇或結構的類別	結構年限 (L) 以年表示	概率係數 (C_{prob})
臨時結構	10	0.73
可更換的構件，支座，主樑	10 to 25	0.73 - 0.88
農業用途及簡單的倉庫結構	15 to 30	0.80 - 0.91
一般的建築物及結構	50	1.00
重大防災結構，核設施，橋樑	100	1.12

注解：如採用其他的年限須按下式計算，而不可以使用直線插值法：

$$C_{prob} = \left(\frac{2.02 + \ln(L) - \ln(-\ln(1 - 0.64))}{2.02 + \ln(50)} \right)$$