



註冊專門行業承造商制度
Registered Specialist
Trade Contractors Scheme

扎鐵專門行業 優質作業手冊

附錄4

應用在厚度為2500mm
至3000mm之間花籃或
厚樓板的鐵欉仔設計校核

項目策劃





免責聲明

本出版物僅供一般參考。本出版物可能包括（但不限於）：(a) 使用第三方從不同來源提供的信息所準備的內容，(b) 第三方提供的訊息，以及 (c) 互聯網網站上指向第三方訊息的連結。建造業議會已盡合理努力確保本出版物的準確性。但讀者在使用本出版物訊息前應直接參考訊息原文和本出版物提及的法律要求，或向專業顧問尋求適當獨立建議。

讀者不應將本出版物視為或依賴本出版物來代替專業建議。本出版物如有更改，恕不另行通知。本出版物沒有就任何特定目的的可靠性、完整性、準確性或適用性作任何聲明、陳述或保證（明示或暗示）。

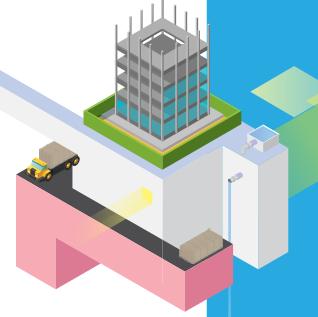
建造業議會根據合同法、侵權法或其他法律，對於任何一方可能因與本出版物提供訊息或因與本出版物的任何遺漏而引起或招致或遭受的任何損失、費用、損害或傷害，不會承擔任何責任。

© 2023 建造業議會

目錄

附頁	工程計算英漢常用辭彙	03
1	概述	05
2	設計假設	06
3	類別4A 3m厚樓面；12層面鐵；Y40mm Type II 企身頂 @1200 x 1200；Y16橫拉鐵	07
3.1	設計概要	07
3.2	強度、剛度和穩定性檢查	08
3.3	安全設計參考	18
4	類別4B 3m厚樓面；18層面鐵；Y40mm Type II 企身頂 @1000 x 1000；Y20橫拉鐵	21
4.1	設計概要	21
4.2	強度、剛度和穩定性檢查	22
4.3	安全設計參考	32
5	參考資料	35

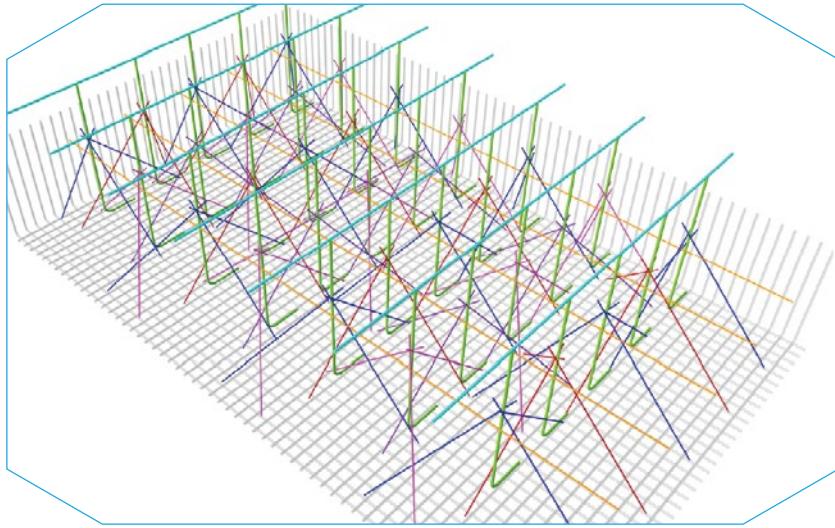
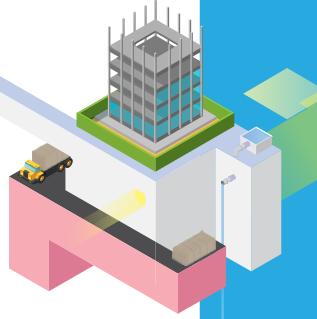
工程計算 英漢常用辭彙



Area moment of inertia (I)	截面面積慣性矩
Bearer / Bearer bar	承托鐵
Buckling capacity	壓曲承載力
Dead load	恒載（死荷載）
Cross-section area	橫截面面積
Diameter	直徑
Effective height (z_e)	有效高度
Effective length (l_e)	有效長度
Factor of safety	安全系數
Factored total load	設計總荷載
Half-perimeter length	半周界長度
Horizontal force	橫向力
Horizontal load	水準荷載
Horizontal tie	橫拉鐵
Imposed load	外加荷載
Lacing bar	橫拉鐵
Layers of top reinforcement bar	面鐵層數
Lateral stability	側向穩定性
Length (L)	長度
Limit of deflection (y)	撓度極限
Load (w) / Load applied	荷載 / 施加的荷載
Maximum Bending moment (M_x)	最大彎矩
Maximum deflection	最大撓度
Maximum tensile force	最大拉力
Maximum tensile strength	最大抗拉強度

Maximum (Max.) tensile stress	最大拉應力
Modulus of elasticity (E)	彈性模量
Net pressure coefficients (C_p)	淨壓力系數
Net pressure on surface (P)	作用在表面淨壓力
Nominal mass per metre (m)	標稱每米質量
Norminal cross-sectional area	標稱截面面積
Norminal diameter	標稱直徑
Nominal horizontal force (f_h)	標稱水準力
Racking bar	交叉斜撐
Radius of gyration (r)	回轉半徑
Size factor (S_s)	尺寸因數
Slenderness ratio (l)	細高比
Steel chair	鐵櫈仔
Tensile stress	拉應力
Tied by two round of steel wires	綁2圈鐵線
Tying wire / wire	鐵線
Total load	總荷載
Tributary area	受力面積
Tripod	交叉斜撐
Ultimate tensile strength	極限抗拉強度
U-shaped clip	U套
Vertical supporting bar	企身頂
Weight of top reinforcement	面鐵重量
Wind load	風荷載
Wind reference pressure ($Q_{o,z} / Q_z$)	風基準壓力
Yield strength (σ_y)	屈服強度

概述



鐵桿仔支撐面鐵圖示

大型樁帽、厚地基結構或建築物中的轉換層涉及數百噸鋼筋帶來的抗受拉力。厚樓面鋼筋通常使用較大直徑和緊密的間距，樓板結構頂部的鋼筋必須得到適當支撐和固定，直到混凝土達到足夠強度支撐自身重量。

在香港，常用40mm的Type II型鋼筋來支撐結構鋼筋。豎直的40mm支撐鋼筋（亦稱企身頂，Vertical Supporting bars）與交叉斜撐（Racking Bars）、橫拉鐵（Lacing Bars）和承托鐵（Bearer Bars）一起安裝，形成一個臨時平台以支撐結構鋼筋（面鐵）的自重荷載和施工時所形成的附加荷載（包括施工人員、工具、臨時散放的鋼筋等）。豎直40mm支撐鋼筋的佈置和間距取決於樓板厚度和頂部的結構鋼筋層數。不同尺寸的Type II型鋼筋也可彎曲成鐵桿仔來支撐較少層數的結構鋼筋。

在本設計校核報告中，我們根據現行標準、行業守則和臨時工作設計的優質作業，檢查鋼筋支撐系統的安全性，並提供關於鋼筋支撐系統強度、穩定性的設計計算、其安全系數及安裝時宜採取的措施。

2

設計假設

鋼筋臨時支架是一個臨時建造物，其設計基於BS 5975:2019 (Code of practice for temporary works procedures and the permissible stress design of falsework) 和BS EN 12811:2003 (Temporary works equipment – Part 1: Scaffolds – Performance requirements and general design) 標準。臨時支撐結構的高度小於10m，因此無需使用BS EN 12812規定的極限狀態設計（Limit State Design）。

本報告假定工作平台的附加荷載為 1.5 KN/m^2 ，並施加 2 KN 集中荷載進行檢驗。由於鋼筋支架的頂部用於支撐結構鋼筋網（由多層鋼筋組成以滿足設計需求），而並非真正的工作平台（即僅作臨時支撐用途；沒有踏板及防護護欄等），因此 1.5 KN/m^2 的附加荷載應該足夠。

樓板底鐵由混凝土磚支撐，提供足夠強度抵抗鋼筋的縱向及橫向荷載，以及假設用於製作混凝土磚的混凝土強度等級等於或高於樓板混凝土。計算重點在於用來承托頂部結構鋼筋（面鐵）的鋼筋支架（鐵櫈仔），其高度可能高達 2m^{\bullet} 。本報告中承托面鐵的支撐鋼筋高度介乎 1m 到 3m （使用單根鋼筋彎曲成鐵櫈仔可以提供較低的支撐高度，厚度超過 3m 的樓板並不常見）。

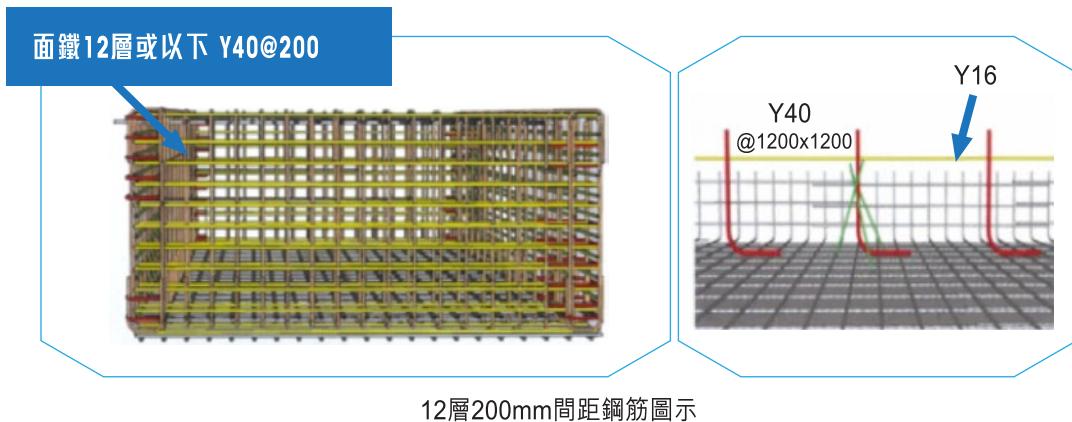
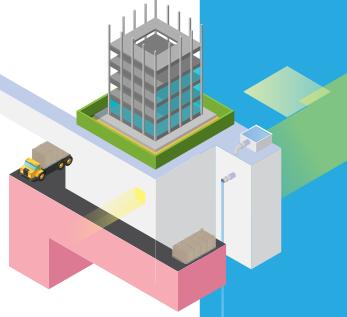
本刊物在考慮恆載和附加荷載所形成的複合荷載的前提下，對鋼筋支架（鐵櫈仔）的強度、剛度和穩定性進行檢查。

^① 據勞工處(2008)的指南，任何高於 2M 的工作平台必須由合格結構工程師設計並獲批准使用。詳情請參閱屋宇署《2009年地盤監督作業守則》，了解有關處理臨時工作的詳細資訊。

3

類別 4A

3m厚樓面；12 層面鐵；
Y40mm Type II 企身頂 @1200 x 1200；Y16 橫拉鐵



3.1

設計概要

3.1.1 重力荷載 (Gravity Load)

面鐵由最多12層Y40鋼筋組成，間距為200mm。使用間距為1200mm的Y40承托鐵將垂直荷載傳遞到Y40支撐鋼筋（企身頂）上。

3.1.2 橫向荷載 (Lateral Load)

每枝垂直Y40支撐鋼筋（企身頂）的橫向穩定性由三枝Y16 交叉斜撐、一枝Y16 橫拉鐵和一枝承托鐵提供支撐（40mm 支撐鋼筋頂部使用U套綁定Y40面鐵鋼筋）。橫向荷載來自（1）非垂直安裝的40mm支撐鋼筋，允許2.5% 傾斜度，或1.0% 傾斜度和其他意外的橫向幹擾力（參考自 BS5975:2008 19.2.9.1 最小穩定度）；（2）風力假設由交叉斜撐和橫拉鐵傳輸至相鄰的Y40 支撐鋼筋，而40 支撐鋼筋是不承受風所施加的荷載。

3.1.3 重力荷載傳遞機制

重力荷載通過 U 套、Y40 承托鐵和 Y40 企身頂傳遞。12 層 Y40 面鐵的恆載和外加荷載通過重力荷載傳遞機制，由 U 套和 Y40 承托鐵傳輸至 Y40 企身頂，並用鐵線將其與底鐵紮穩。

3.1.4 橫向荷載傳遞機制和抗力

根據屋宇署《香港風力效應作業守則2019年》計算風力，交叉斜撐能抵抗橫向荷載，企身頂之間的橫拉鐵和交叉斜撐進一步提供穩定性。

3.2

強度、剛度和穩定性檢查

Y40 支撐鋼筋（企身頂）、承托鐵和交叉斜撐利用退火鐵線(annealed wires)綁定，已檢查Y40支撐鋼筋（企身頂）、承托鐵和交叉斜撐的強度和撓度（如適用）。

根據BS5975:2019規定，允許應力設計方法(permissible stress design method) 的安全系數 (F.O.S) 採用以下原則計算：

如採用允許應力設計方法，例如承托鐵的彎曲失效 (bending failure)，屈服強度 (yield strength)的失效安全系數 (F.O.S) 取1.60。對於上述情況如採用極限狀態設計法 (Limit state design method)，恆載載荷系數取1.4，外加荷載系數取1.6，可以得出與上述允許應力設計法相約的驗算結果；對於其他結構失效模式 (Failure modes) (例如結構失穩 (stability check) 等)，安全系數 (F.O.S) 取2.0。

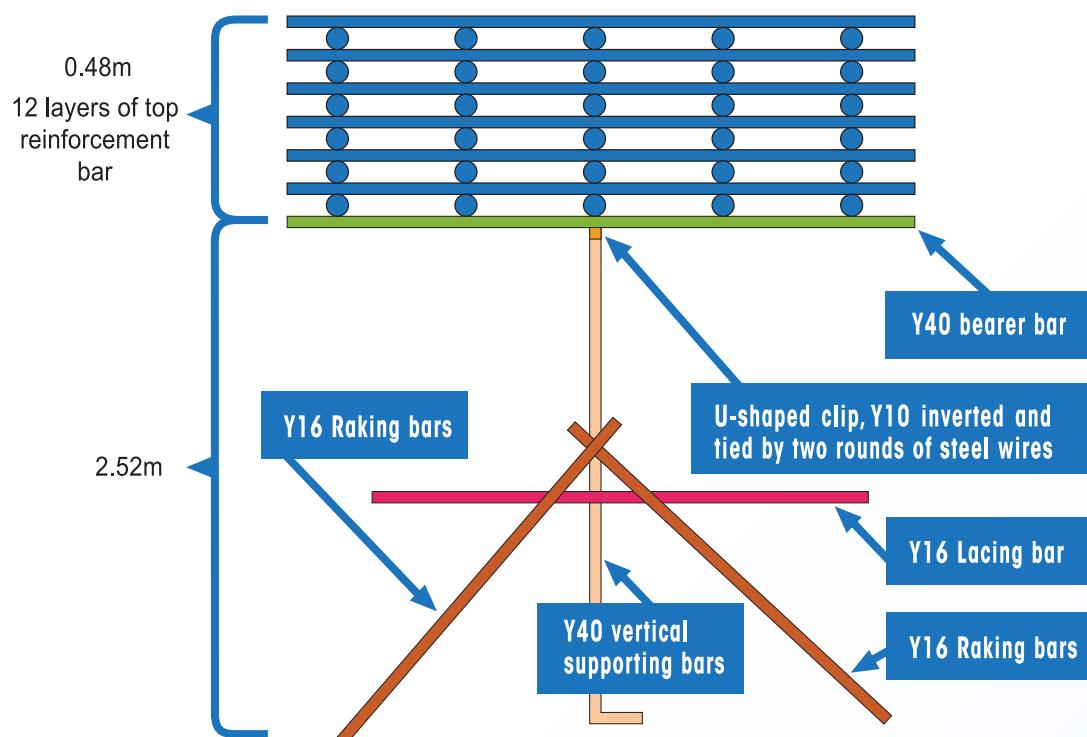


3.2.1 Y40支撐鋼筋 (壓曲柱Buckling column)

- 荷載類型

荷載類型 (Type of Loads)	荷載的性質和取值 (Nature and Values of Loads)
恒載 (Dead Loads)	鋼筋總重量轉移到40mm支撐鋼筋
外加荷載 (Imposed Loads)	1.5 KN/m ² 設計 (2KN可移動集中荷載(movable point load)用於檢查)，參見[5] 勞工處《金屬棚架工作安全守則（2013年3月第2版）》
橫向荷載 (Lateral Loads)	風力，參見[3] 屋宇署《香港風力效應作業守則2019年》；非垂直安裝的支撐鋼筋所產生的橫向荷載，參見[8] BS 5975:2019. Code of practice for temporary works procedures and the permissible stress design of falsework, BSI.

表 1：計算Y40支撐鋼筋承載能力時需考慮的荷載類型



Y40支撐鋼筋的荷載圖示（保護層厚度並不計算在內）

• 設計數據及假設

Loads applied	: 總計 (不加權重的總和)
Radius of gyration (r)	: $R/2 = 20\text{ mm}$
Length (L)	: 企身頂長度 = 2520mm
Effective length (l_e)	: Pin-pin = 2520 mm (未顯示垂直鋼筋之間的交叉撐杆)
Slenderness ratio	: 150
Steel bar yield strength (p_y)	: 500 MPa
Modulus of elasticity (E)	: 205,000 N/mm ²
Area moment of inertia (I)	: $I = \frac{1}{4} \pi r^4 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 20^4 \times 10^{-12}$ $= 1.256 \times 10^{-7}\text{m}^4$
Nominal mass per metre	: 表2 — 標稱截面面積和標稱每米質量 = 9.864 kg

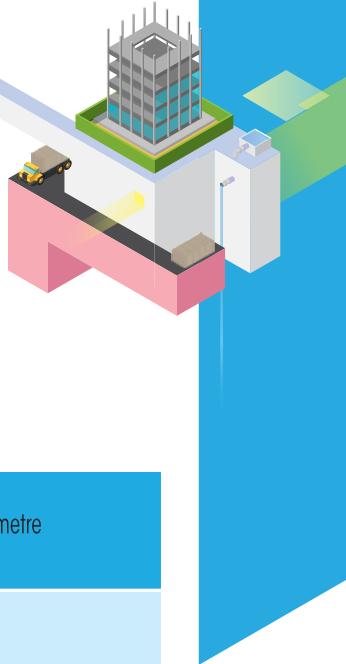


表 2：標稱截面面積和標稱每米質量

Nominal diameter,d (mm)	Nominal cross-sectional area, A_n (mm ²)	Nominal mass per metre (kg)
6 ^a	28.3	0.222
8	50.3	0.395
10	78.5	0.617
12	113.1	0.888
16	201.1	1.579
20	314.2	2.466
25	490.9	3.854
32	804.3	6.313
40	1256.6	9.864
50 ^a	1963.5	15.413

^a These are non-preferred sizes

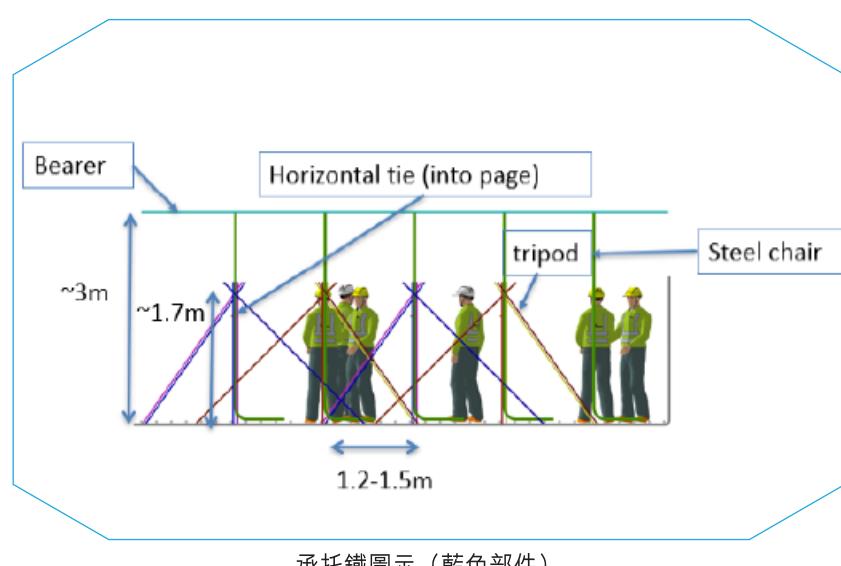
(參見 Construction Standard CS2:2012 - Steel Reinforcing Bars for the Reinforcement of Concrete)

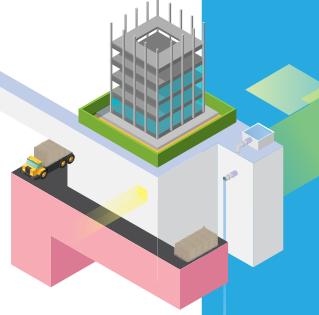
• 壓曲能力檢查

Steel bar yield strength, p_y	= 500 MPa
Length, L	= 2520 mm
Effective length, L_e	= 2520 mm
Radius of gyration, r	= 20 mm
Slenderness ratio, l	= 150
Modulus of elasticity, E	= 205000 N/mm ²

Area moment of inertia, I	= $(\pi r^4)/4 = 1.256 \times 10^{-7} \text{ m}^4$
Nominal mass per metre, m	= 9.864 kg
Weight of top reinforcement:	Y40 @ 200mm with 12 layers
Assume the tributary area is	1.2 m x 1.2 m
Load of Y40 bar	= 9.864×0.0098665 = 0.09732 kN/m
Total load, w	= $(1.5 + 12 \times 0.09732 / 0.2) \times 1.2 \times 1.2$ = 10.569 kN
Buckling Capacity	= $\frac{\pi^2 EI}{KL^2}$ = $\pi^2 \times 205000 \times 125600 / (1 \times 2520^2) \times 1 / 1000$ = 40.02 kN
Factor of safety	= $40.02 / 10.569$ = 3.79 > 2 <u>O.K.</u>

3.2.2 Y40 承托鐵





• 設計假設

假設Y40承托鐵為簡單支撐樑(simply supported beam)，具有1,200mm跨度。

• 彎曲應力檢查

$$\text{Steel bar yield strength, } p_y = 500 \text{ MPa}$$

$$\text{Weight of top reinforcement: Y40 @ 200mm with 12 layers}$$

$$\text{Assume the tributary area is } 1.2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Load of Y40 bar} &= 9.864 \times 0.0098665 \\ &= 0.09732 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total load, } w &= (1.5 + 12 \times 0.09732 / 0.2) \times 1.2 \\ &= 8.807 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maximum bending moment, } M_x &= 1/8 wL^2 \\ &= 1.8 \times 8.807 \times 1.2^2 \\ &= 1.585 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Max tensile stress} &= My/l \\ &= 1.585 \times 10^6 \times 20 / 125600 \\ &= 252.44 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Factor of Safety} &= 500 / 252.4 \\ &= 1.98 \\ &> 1.65 \quad \underline{\text{O.K.}} \quad \text{BS 5975:2019} \end{aligned}$$

• 剛度檢查

$$\begin{aligned} \text{Suggested limit of deflection, } y &= L/200 \\ &= 1200/200 \\ &= 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maximum deflection} &= 5wL^4 / 384EI \\ &= 5 \times 1.5 \times 1200^4 / (384 \times 205000 \times 125600) \\ &= 1.573 \text{ mm} \\ &< 6.00 \text{ mm} \quad \underline{\text{O.K.}} \end{aligned}$$

3.2.3 Y16交叉斜撐

- 荷載類型

荷載類型 (Items)	荷載的性質和值 (Type of Loads)
1	風力 — 表 4. 風壓參考
2	非垂直安裝的Y40支撐鋼筋所引起的橫向荷載（傾斜度小於0.75%）

表 3：計算Y16交叉斜撐承載能力時需考慮的荷載類型^②

Wind Reference Pressure at Effective Height

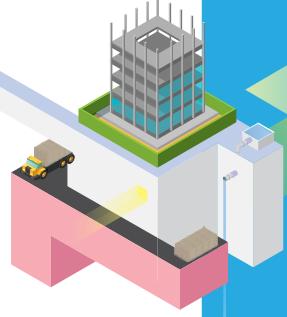
Wind reference pressures of this Code are provided at effective height for open exposure, Z_e , as in Table 3-1 below. Z_e is defined in clause 3.3

Table 3.1 Wind reference pressure, $Q_{o,z}$

Effective height Z_e (m)	Wind reference pressure $Q_{o,z}$ (kPa)	Effective height Z_e (m)	Wind reference pressure $Q_{o,z}$ (kPa)
≤ 2.5	1.59	150	3.05
5	1.77	200	3.20
10	1.98	250	3.31
20	2.21	300	3.41
30	2.36	400	3.57
50	2.56	500	3.70
75	2.73	> 500	Seek specialist advise
100	2.86	For any effective height between 2.5m and 500m, the pressure can be calculated as: $Q_{o,z} = 3.7(Z_e/500)^{0.16}$ - Equation 3-2	

表 4：風壓參考 (參見 表3.1《香港風力效應作業守則2019年》)

② 施加於工作平台的橫向載荷請參考屋宇署《2011 年鋼結構作業守則（2023年修訂版）》。



• 側向穩定性檢查：風力

Wind load calculation

From Clause 2.3 - Wind Effects, 2019 - Hong Kong

$$P = Q_z C_p S_s \quad \text{Equation 2-3a}$$

Effective height, Z_e = 3 m

Wind reference pressure, $Q_{o,z}$ = $3.7(Z_e/500)^{0.16}$ = 1.632 kPa Equation 3-2

Wind reference pressure, Q_z = $0.37 \times Q_{o,z}$ = 0.37×1.632 = 0.604 kPa Clause 2.5

Net pressure coefficients, C_p = 1.10 Table 4-1

Assume tributary area = 1m x 3m

Half-perimeter length, $L_{0.5p}$ = $1 + 3$ = 4m Clause 5.1

Size factor, S_s = 1.070 Figure 5-2

Net pressure on surface, P = $0.604 \times 1.1 \times 1.07$ = 0.71 kPa

Notional horizontal force

From table 2.2 - The Structural Use of Steel, 2011 - Hong Kong

Notional horizontal force for temporary works

Factored total load = $8.759 \times 1.4 + 1.5 \times 1.6$ = 14.7 kN

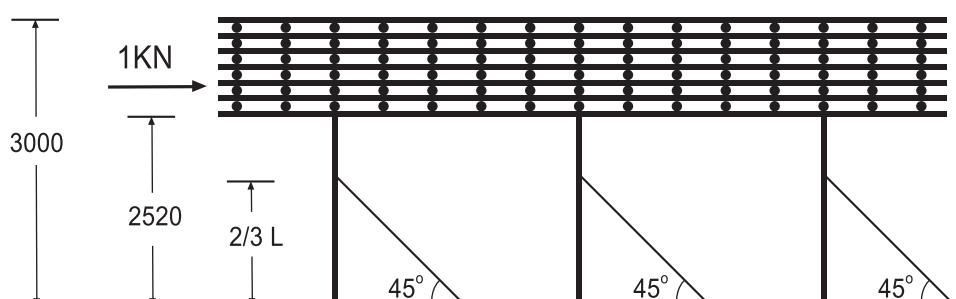
Notional horizontal force, f_h = $1\% \times 14.7$ = 0.147 kN
 < 1 kN (minimum notional lateral pressure)
 Use 1kN

$P = 0.71 < \text{Notional horizontal force} = 1$

Horizontal load = 1 kN

Steel bar yield strength, p_y	= 500 MPa
Length, L	= 2376 mm
Effective length, L_e	= 2376 mm
Radius of gyration, r	= 8 mm
Slenderness ratio, l	= 297.0
Modulus of elasticity, E	= 205000 N/mm ²
Area moment of inertia, I	= $(\pi r^4)/4 = 3.22 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Nominal mass per metre, m	= 1.579 kg
Buckling Capacity	$= \frac{\pi^2 EI}{KL^2}$ $= \pi^2 \times 205000 \times 3217 / (1 \times 2376^2) \times 1 / 1000$ $= 1.153 \text{ kN}$
Factor of Safety	$= 1.153 \times 3 / 1$ $= 3.46$ $> 2 \text{ O.K.}$

• 側向穩定性檢查：Y40支撐鋼筋的傾斜載荷^③



交叉斜撐示意圖（假設厚樓板最小寬度3m；至少有4排企身頂和交叉斜撐）

$$\begin{aligned}
 \text{Factor of safety on horizontal force} &= 1.153 \times 4 \cos(45) / 1 \\
 &= 3.26 \\
 &> 2 \text{ O.K.}
 \end{aligned}$$

③ 即由非垂直安裝Y40支撐鋼筋所導致的橫向載荷。



3.2.4 鐵線（綁紮交叉斜撐和企身頂）

• 設計資料及假設

From Concrete Work - Specification Library 2018 (Batch 1) Edition, 2020

Diameter of Tying wire	:	
For bars of 20mm diameter and over	:	1.2mm
For bars up to and including 16mm diameter	:	0.9mm

Assumption (From Method Statement)

Diameter of wire	= 1.2 N/mm ²
Material Type	= Low Carbon Steel
Manufacturer / Origin	= High Speed Co.
Grade	= Q195
Cross-Section Area by Calculated	= 418 mm ²
Maximum Tensile Force	= 481 N
Ultimate tensile strength	= 418 N/mm ²

Assumption (From Method Statement)

Diameter of wire	= 0.9 N/mm ²
Material Type	= Low Carbon Steel
Manufacturer / Origin	= High Speed Co.
Grade	= Q195
Cross-Section Area by Calculated	= 0.665 mm ²
Maximum Tensile Force	= 296 N
Ultimate tensile strength	= 445 N/mm ²

• 拉力強度檢查

Horizontal force = 1 kN

(Refer to the checking on lateral stability - wind load for Y16 racking bar)

0.9mm diameter wire (Assume min. 5 rods)

Maximum tensile Strength = 296 N

= $296 \times 2 \times 5$ (double wires)

= 2960 N

> 1000 N O.K.

Factor of safety = $2960/1000$

= 2.96

> 2.0 O.K.

3.3

安全設計參考

Y40 Type II 企身頂支撐鋼筋設計間距@1200 x 1200(mm)，如特殊情況下（例如施工偏差、邊角處設計）須調整間距，採用1250 x 1250(mm)間距仍可接受。

3.3.1 Y40支撐鋼筋 (壓曲柱Buckling column)

• 壓曲能力檢查

Steel bar yield strength, p_y = 500 MPa

Length, L = 2520 mm

Effective length, L_e = 2520 mm

Radius of gyration, r = 20 mm

Slenderness ratio, l = 150

Modulus of elasticity, E = 205000 N/mm²



Area moment of inertia, I
Nominal mass per metre, m

$$= (\pi r^4)/4 = 1.256 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$= 9.864 \text{ kg}$$

Weight of top reinforcement:
Assume the tributary area is

$$\text{Y40 @ 200mm with 12 layers}$$

$$1.25 \text{ m} \times 1.25 \text{ m}$$

Load of Y40 bar

$$= 9.864 \times 0.0098665$$

$$= 0.09732 \text{ kN/m}$$

Total load, w

$$= (1.5 + 12 \times 0.09732 / 0.2) \times 1.25 \times 1.25$$

$$= 11.468 \text{ kN}$$

Buckling Capacity

$$= \frac{\pi^2 EI}{KL^2}$$

$$= \pi^2 \times 205000 \times 125600 / (1 \times 2520^2) \times 1 / 1000$$

$$= 40.02 \text{ kN}$$

Factor of Safety

$$= 40.02 / 11.468$$

$$= 3.49$$

$$> 2 \quad \underline{\text{O.K.}}$$

3.3.2 Y40 承托鐵

• 彎曲能力檢查

Steel bar yield strength, p_y

= 500 MPa

Weight of top reinforcement: Y40 @ 200mm with 12 layers

Assume the tributary area is 1.25 m x 1 m

Load of Y40 bar

$$= 9.864 \times 0.0098665$$

$$= 0.09732 \text{ kN/m}$$

Total load, w

$$= (1.5 + 12 \times 0.09732 / 0.2) \times 1.25$$

$$= 9.174 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum bending moment, } M_x &= \frac{1}{8} wL^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 9.174 \times 1.25^2 \\
 &= 1.792 \text{ kNm} \\
 \\
 \text{Maximum tensile stress} &= My/I \\
 &= 1.792 \times 10^6 \times 20 / 125600 \\
 &= 285.33 \text{ MPa} \\
 \\
 \text{Factor of Safety} &= 500 / 285.3 \\
 &= 1.75 \\
 &> 1.65 \quad \underline{\text{O.K.}} \quad \text{BS 5975:2019}
 \end{aligned}$$

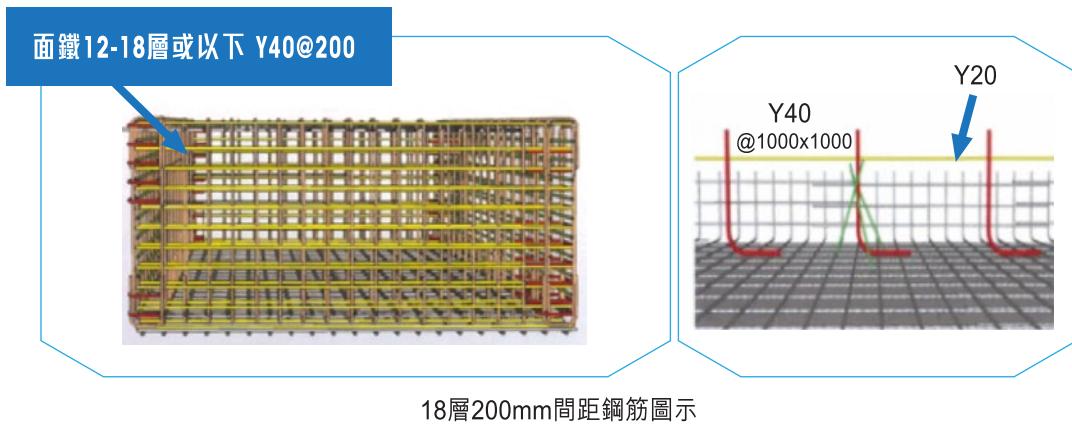
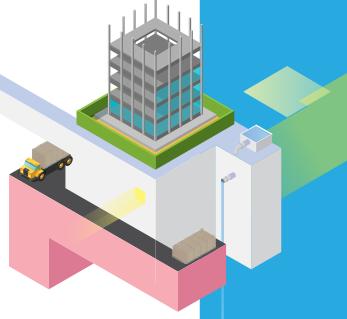
• 剛度檢查

$$\begin{aligned}
 \text{Suggested limit of deflection, } y &= L/200 \\
 &= 1250/200 \\
 &= 6.25 \text{ mm} \\
 \\
 \text{Maximum deflection} &= 5wL^4 / 384EI \\
 &= 5 \times 1.5 \times 1250^4 / (384 \times 205000 \times 125600) \\
 &= 1.852 \text{ mm} \\
 &< 6.25 \text{ mm} \quad \underline{\text{O.K.}}
 \end{aligned}$$

4

類別 4B

3m厚樓面；18 層面鐵；
Y40mm Type II 企身頂 @1000 x 1000；Y20 橫拉鐵



4.1

設計概要

4.1.1 重力荷載 (Gravity Load)

面鐵由最多18層Y40鋼筋組成，間距為200mm。使用間距為1000mm的Y40承托鐵將垂直荷載傳遞到Y40支撐鋼筋（企身頂）上。

4.1.2 橫向荷載 (Lateral Load)

每枝垂直Y40支撐鋼筋（企身頂）的橫向穩定性由三枝Y16交叉斜撐、一枝Y16橫拉鐵和一枝承托鐵提供支撐（40mm支撐鋼筋頂部使用U套綁定Y40面鐵鋼筋）。橫向荷載來自（1）非垂直安裝的40mm支撐鋼筋，允許2.5%傾斜度，或1.0%傾斜度和其他意外的橫向幹擾力（參考自 BS5975:2008 19.2.9.1 最小穩定度）；（2）風力假設由交叉斜撐和橫拉鐵傳輸至相鄰的Y40支撐鋼筋，而Y40支撐鋼筋是不承受風所施加的荷載。

4.1.3 重力荷載傳遞機制

重力荷載通過 U 套、Y40 承托鐵和 Y40 企身頂傳遞。18 層 Y40 面鐵的恆載和外加荷載通過重力荷載傳遞機制，由 U 套和 Y40 承托鐵傳輸至 Y40 企身頂，並用鐵線將其與底鐵紮穩。

4.1.4 橫向荷載傳遞機制和抗力

根據屋宇署《香港風力效應作業守則2019年》計算風力，交叉斜撐能抵抗橫向荷載，企身頂之間的橫拉鐵和交叉斜撐進一步提供穩定性。

4.2

強度、剛度和穩定性檢查

Y40 支撐鋼筋（企身頂）、承托鐵和交叉斜撐利用退火鐵線(annealed wires)綁定，已檢查Y40 支撐鋼筋（企身頂）、承托鐵和交叉斜撐的強度和撓度（如適用）。

根據BS5975:2019規定，允許應力設計方法(permissible stress design method) 的安全系數 (F.O.S) 採用以下原則計算：

如果採用允許應力設計方法，屈服強度(yield strength)的失效安全系數 (F.O.S) 取1.60，例如承托鐵的彎曲失效 (bending failure)。對於上述情況如採用極限狀態設計法 (Limit state design method) ，恆載載荷系數取1.4，外加荷載系數取1.6，可以得出與上述允許應力設計法相約的驗算結果；對於其他結構失效模式 (Failure modes) （例如結構失穩 (stability check) 等），安全系數 (F.O.S) 取2.0。

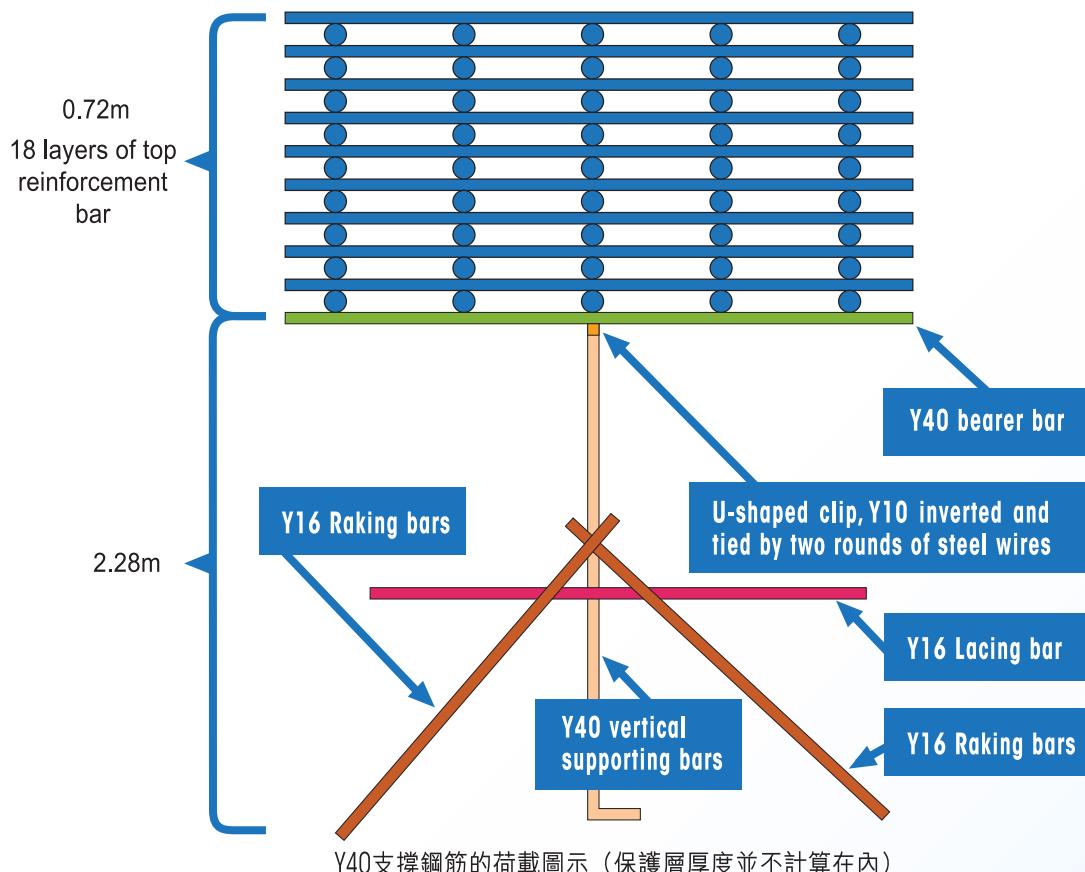


4.2.1 Y40支撐鋼筋 (壓曲柱Buckling column)

• 荷載類型

荷載類型 (Type of Loads)	荷載的性質和取值 (Nature and Values of Loads)
恒載 (Dead Loads)	鋼筋總重量轉移到40mm支撐鋼筋
外加荷載 (Imposed Loads)	1.5 KN/m ² 設計 (2KN可移動集中荷載(movable point load)用於檢查)，參見[5] 勞工處《金屬棚架工作安全守則（2013年3月第2版）》
橫向荷載 (Lateral Loads)	風力，參見[3] 屋宇署《香港風力效應作業守則2019年》；非垂直安裝的支撐鋼筋所產生的橫向荷載，參見[8] BS 5975:2019. Code of practice for temporary works procedures and the permissible stress design of falsework, BSI.

表 5：計算Y40支撐鋼筋承載能力時需考慮的荷載類型



• 設計數據及假設

Loads applied	: 總計 (不加權重的總和)
Radius of gyration (r)	: $R/2 = 20 \text{ mm}$
Length (L)	: 企身頂長度 = 2280mm
Effective length (l_e)	: Pin-pin = 2280 mm (未顯示垂直鋼筋之間的交叉撐杆)
Slenderness ratio	: 150
Steel bar yield strength (p_y)	: 500 MPa
Modulus of elasticity (E)	: 205,000 N/mm ²
Area moment of inertia (I)	: $I = \frac{1}{4} \pi r^4 = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 20^4 \times 10^{-12}$ $= 1.256 \times 10^{-7} \text{ m}^4$
Nominal mass per metre	: 表2 — 標稱截面面積和標稱每米質量 = 9.864 kg



表 2：標稱截面面積和標稱每米質量

Table2 : Nominal cross-sectional area and nominal mass per metre

Nominal diameter,d (mm)	Nominal cross-sectional area, A_n (mm ²)	Nominal mass per metre (kg)
6 ^a	28.3	0.222
8	50.3	0.395
10	78.5	0.617
12	113.1	0.888
16	201.1	1.579
20	314.2	2.466
25	490.9	3.854
32	804.3	6.313
40	1256.6	9.864
50 ^a	1963.5	15.413

^a These are non-preferred sizes

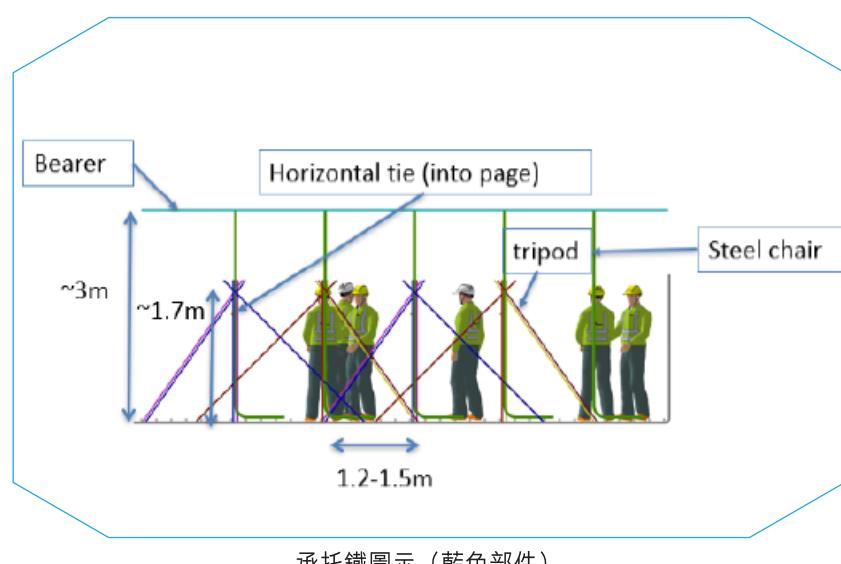
(參見 Construction Standard CS2:2012 - Steel Reinforcing Bars for the Reinforcement of Concrete)

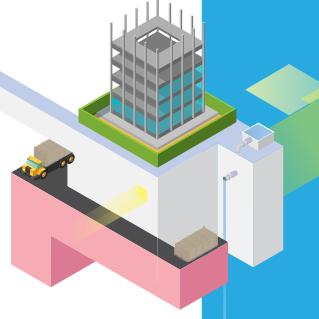
• 壓曲能力檢查

Steel bar yield strength, p_y	= 500 MPa
Length, L	= 2280 mm
Effective length, L_e	= 2280 mm
Radius of gyration, r	= 20 mm
Slenderness ratio, l	= 150
Modulus of elasticity, E	= 205000 N/mm ²

Area moment of inertia, I	= $(\pi r^4)/4 = 1.256 \times 10^{-7} \text{ m}^4$
Nominal mass per metre, m	= 9.864 kg
Weight of top reinforcement:	Y40 @ 200mm with 18 layers
Assume the tributary area is	1 m x 1 m
Load of Y40 bar	= 9.864×0.0098665 = 0.09732 kN/m
Total load, w	= $(1.5 + 18 \times 0.09732 / 0.2) \times 1 \times 1$ = 10.259 kN
Buckling Capacity	= $\frac{\pi^2 EI}{KL^2}$ = $\pi^2 \times 205000 \times 125600 / (1 \times 2280^2) \times 1 / 1000$ = 48.88 kN
Factor of safety	= 48.88/10.259 = 4.77 > 2 <u>O.K.</u>

4.2.2 Y40 承托鐵





• 設計假設

假設Y40承托鐵為簡單支撐樑(simply supported beam)，具有1,000mm跨度。

• 彎曲應力檢查

Steel bar yield strength, p_y = 500 MPa

Weight of top reinforcement: Y40 @ 200mm with 18 layers

Assume the tributary area is 1. m x 1 m

$$\begin{aligned} \text{Load of Y40 bar} &= 9.864 \times 0.0098665 \\ &= 0.09732 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total load, } w &= (1.5 + 18 \times 0.09732 / 0.2) \times 1 \\ &= 10.259 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maximum bending moment, } M_x &= 1/8 wL^2 \\ &= 1.8 \times 10.259 \times 1^2 \\ &= 1.282 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Max tensile stress} &= My/l \\ &= 1.282 \times 10^6 \times 20 / 125600 \\ &= 204.20 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Factor of Safety} &= 500 / 204.2 \\ &= 2.45 \\ &> 1.65 \quad \underline{\text{O.K.}} \quad \text{BS 5975:2019} \end{aligned}$$

• 剛度檢查

$$\begin{aligned} \text{Suggested limit of deflection, } y &= L/200 \\ &= 1000/200 \\ &= 5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maximum deflection} &= 5wL^4 / 384EI \\ &= 5 \times 1.5 \times 1000^4 / (384 \times 205000 \times 125600) \\ &= 0.759 \text{ mm} \\ &< 5.00 \text{ mm} \quad \underline{\text{O.K.}} \end{aligned}$$

4.2.3 Y16交叉斜撐

- 荷載類型

荷載類型 (Items)	荷載的性質和值 (Type of Loads)
1	風力 — 表 4. 風壓參考
2	非垂直安裝的Y40支撐鋼筋所引起的橫向荷載（傾斜度小於0.75%）

表 6：計算Y16交叉斜撐承載能力時需考慮的荷載類型④

Wind Reference Pressure at Effective Height

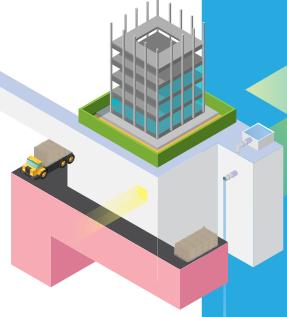
Wind reference pressures of this Code are provided at effective height for open exposure, Z_e , as in Table 3-1 below. Z_e is defined in clause 3.3

Table 3.1 Wind reference pressure, $Q_{o,z}$

Effective height Z_e (m)	Wind reference pressure $Q_{o,z}$ (kPa)	Effective height Z_e (m)	Wind reference pressure $Q_{o,z}$ (kPa)
≤ 2.5	1.59	150	3.05
5	1.77	200	3.20
10	1.98	250	3.31
20	2.21	300	3.41
30	2.36	400	3.57
50	2.56	500	3.70
75	2.73	> 500	Seek specialist advise
100	2.86	For any effective height between 2.5m and 500m, the pressure can be calculated as: $Q_{o,z} = 3.7(Z_e/500)^{0.16}$ - Equation 3-2	

表 4：風壓參考 (參見 表3.1《香港風力效應作業守則2019年》)

④ 施加於工作平台的橫向載荷請參考屋宇署《2011 年鋼結構作業守則（2023年修訂版）》。



• 側向穩定性檢查：風力

Wind load calculation

From Clause 2.3 - Wind Effects, 2019 - Hong Kong

$$P = Q_z C_p S_s \quad \text{Equation 2-3a}$$

Effective height, Z_e = 3 m

Wind reference pressure, $Q_{o,z}$ = $3.7(Z_e/500)^{0.16}$ = 1.632 kPa Equation 3-2

Wind reference pressure, Q_z = $0.37 \times Q_{o,z}$ = 0.37×1.632 = 0.604 kPa Clause 2.5

Net pressure coefficients, C_p = 1.10 Table 4-1

Assume tributary area = 1m x 3m

Half-perimeter length, $L_{0.5p}$ = $1 + 3$ = 4m Clause 5.1

Size factor, S_s = 1.070 Figure 5-2

Net pressure on surface, P = $0.604 \times 1.1 \times 1.07$ = 0.71 kPa

Notional horizontal force

From table 2.2 - The Structural Use of Steel, 2011 - Hong Kong

Notional horizontal force for temporary works

Factored total load = $8.759 \times 1.4 + 1.5 \times 1.6$ = 14.7 kN

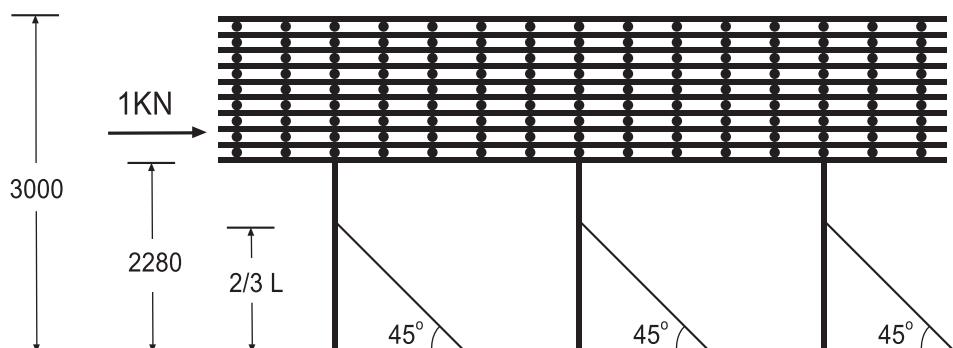
Notional horizontal force, f_h = $1\% \times 14.7$ = 0.147 kN < 1 kN (minimum notional lateral pressure)
Use 1kN

$P = 0.71 < \text{Notional horizontal force} = 1$

Horizontal load = 1 kN

Steel bar yield strength, p_y	= 500 MPa
Length, L	= 2150 mm
Effective length, L_e	= 2150 mm
Radius of gyration, r	= 8 mm
Slenderness ratio, l	= 268.8
Modulus of elasticity, E	= 205000 N/mm ²
Area moment of inertia, I	= $(\pi r^4)/4 = 3.22 \times 10^{-9} \text{ m}^4$
Nominal mass per metre, m	= 1.579 kg
Buckling Capacity	$= \frac{\pi^2 EI}{KL^2}$ $= \pi^2 \times 205000 \times 3217 / (1 \times 2150^2) \times 1 / 1000$ $= 1.408 \text{ kN}$
Factor of Safety	$= 1.408 \times 3 / 1$ $= 4.22$ $> 2 \text{ O.K.}$

• 側向穩定性檢查：Y40支撐鋼筋的傾斜載荷*



交叉斜撐示意圖（假設厚樓板最小寬度3m；至少有4排企身頂和交叉斜撐）

$$\begin{aligned}
 \text{Factor of safety on horizontal force} &= 1.408 \times 4 \cos(45^\circ) / 1 \\
 &= 3.98 \\
 &> 2 \text{ O.K.}
 \end{aligned}$$

* 即由非垂直安裝Y40支撐鋼筋所導致的橫向載荷。



4.2.4 鐵線（綁紮交叉斜撐和企身頂）

• 設計資料及假設

From Concrete Work - Specification Library 2018 (Batch 1) Edition, 2020

Diameter of Tying wire	:	
For bars of 20mm diameter and over	:	1.2mm
For bars up to and including 16mm diameter	:	0.9mm

Assumption (From Method Statement)

Diameter of wire	= 1.2 N/mm ²
Material Type	= Low Carbon Steel
Manufacturer / Origin	= High Speed Co.
Grade	= Q195
Cross-Section Area by Calculated	= 418 mm ²
Maximum Tensile Force	= 481 N
Ultimate tensile strength	= 418 N/mm ²

Assumption (From Method Statement)

Diameter of wire	= 0.9 N/mm ²
Material Type	= Low Carbon Steel
Manufacturer / Origin	= High Speed Co.
Grade	= Q195
Cross-Section Area by Calculated	= 0.665 mm ²
Maximum Tensile Force	= 296 N
Ultimate tensile strength	= 445 N/mm ²

• 拉力強度檢查

Horizontal force = 1 kN

(Refer to the checking on lateral stability - wind load for Y16 racking bar)

0.9mm diameter wire (Assume min. 5 rods)

Maximum tensile Strength = 296 N

= $296 \times 2 \times 5$ (double wires)

= 2960 N

> 1000 N O.K.

Factor of safety = $2960/1000$

= 2.96

> 2.0 O.K.

4.3

安全設計參考

Y40 Type II 企身頂支撐鋼筋設計間距@1000 x 1000(mm)，如特殊情況下（例如施工偏差、邊角處設計）須調整間距，採用1100 x 1100(mm)間距仍可接受。

4.3.1 Y40支撐鋼筋 (壓曲柱Buckling column)

• 壓曲能力檢查

Steel bar yield strength, p_y = 500 MPa

Length, L = 2280 mm

Effective length, L_e = 2280 mm

Radius of gyration, r = 20 mm

Slenderness ratio, l = 150

Modulus of elasticity, E = 205000 N/mm²



Area moment of inertia, I
Nominal mass per metre, m

$$= (\pi r^4)/4 = 1.256 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$= 9.864 \text{ kg}$$

Weight of top reinforcement:
Assume the tributary area is

$$\text{Y40 @ 200mm with 18 layers}$$

$$1.1 \text{ m} \times 1.1 \text{ m}$$

Load of Y40 bar

$$= 9.864 \times 0.0098665$$

$$= 0.09732 \text{ kN/m}$$

Total load, w

$$= (1.5 + 18 \times 0.09732 / 0.2) \times 1.1 \times 1.1$$

$$= 12.413 \text{ kN}$$

Buckling Capacity

$$= \frac{\pi^2 EI}{KL^2}$$

$$= \pi^2 \times 205000 \times 125600 / (1 \times 2280^2) \times 1 / 1000$$

$$= 48.88 \text{ kN}$$

Factor of Safety

$$= 48.88 / 12.413$$

$$= 3.94$$

$$> 2 \quad \underline{\text{O.K.}}$$

4.3.2 Y40 承托鐵

• 彎曲能力檢查

Steel bar yield strength, p_y
Weight of top reinforcement:
Assume the tributary area is

$$= 500 \text{ MPa}$$

$$\text{Y40 @ 200mm with 18 layers}$$

$$1.1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

Load of Y40 bar

$$= 9.864 \times 0.0098665$$

$$= 0.09732 \text{ kN/m}$$

Total load, w

$$= (1.5 + 18 \times 0.09732 / 0.2) \times 1.3$$

$$= 11.285 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum bending moment, } M_x &= \frac{1}{8} wL^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 11.285 \times 1.1^2 \\
 &= 1.707 \text{ kNm} \\
 \\
 \text{Maximum tensile stress} &= My/I \\
 &= 1.707 \times 10^6 \times 20 / 125600 \\
 &= 271.79 \text{ MPa} \\
 \\
 \text{Factor of Safety} &= 500 / 271.8 \\
 &= 1.84 \\
 &> 1.65 \quad \underline{\text{O.K.}} \quad \text{BS 5975:2019}
 \end{aligned}$$

• 剛度檢查

$$\begin{aligned}
 \text{Suggested limit of deflection, } \gamma &= L/200 \\
 &= 1100/200 \\
 &= 5.5 \text{ mm} \\
 \\
 \text{Maximum deflection} &= 5wL^4 / 384EI \\
 &= 5 \times 1.5 \times 1100^4 / (384 \times 205000 \times 125600) \\
 &= 1.111 \text{ mm} \\
 &< 5.50 \text{ mm} \quad \underline{\text{O.K.}}
 \end{aligned}$$

6

參考資料



- ① 屋宇署（2021）：2009年地盤監督作業守則（2021年修訂版）
- ② 屋宇署（2023）：2011年鋼結構作業守則（2023年修訂版）（只提供英文版本）
- ③ 屋宇署（2019）：香港風力效應作業守則2019年（只提供英文版本）
- ④ 勞工處（2002）：安全管理工作守則（2002年4月初版）
- ⑤ 勞工處（2013）：金屬棚架工作安全守則（2013年3月第2版）
- ⑥ The British Standards Institution (2003).Temporary works equipment —Part 1: Scaffolds — Performance requirements and general design (BS EN 12811:2003)（只提供英文版本）
- ⑦ The British Standards Institution (2008).Falsework - Performance requirements and general design, 2008 (BS EN 12812:2008).United Kingdom.（只提供英文版本）
- ⑧ The British Standards Institution (2019).Code of practice for temporary works procedures and the permissible stress design of falsework (BS 5975:2019).United Kingdom.（只提供英文版本）
- ⑨ Labour Department (2008).A Guide to Ladders and Elevated Working Platforms, April 2008 .HKSAR.（只提供英文版本）
- ⑩ The Concrete Society (2012).Formwork: A Guide to Good Practice, 3rd Edition.United Kingdom.（只提供英文版本）
- ⑪ Pallet, P.F., & Filip, R. (Eds.).(2018).Temporary works: principles of design and construction.Ice Publishing.（只提供英文版本）



