

旺宏五廠 MKD20 機櫃 耐震防固檢核分析計算書

報告編號：2021-09-27

委託單位：欣濤科技有限公司

執行單位：國立陽明交通大學土木工程學系

報告撰寫人：黃淨慧

報告簽署人：王彥博 教授

報告審核人：陳冠銘結構技師

中華民國 110 年 9 月

摘要

本報告內容係有關旺宏五廠 MKD20 機櫃之防震現況評估與補強建議，共有 1 台設備。依照業主要求設計地震力=0.39g，進行分析檢核，並針對其不足者提出具體之補強建議，分析結果如機台計算書所示。

本設備位於 B 棟 3F，評估分析結果顯示，機台現況未裝設固定器，需裝設防震扣件。各設備所需防震扣件之型式及數量歸納於總表如後，防震扣件之平面配置計算圖詳機台計算書。

另外，因現場高架地板高度問題，拉桿組件與高架地板水平面的安裝角度考慮為 30 度到 90 度之間。

本報告內之所有固定器接合處的鐸道都一律採滿鐸，由於鐸材的強度大過母材，因此，凡採滿鐸者其強度視同母材(已屬保守)，不需要額外檢核。

設備防震加固評估總表

設備名稱	固定方式	數量
機櫃編號：C2	裝設 2 組 Type Za 固定器、 2 組 Type Za-1 固定器 及 4 組 Type P1 拉桿組件	M12 螺栓*8 根 Type P1 拉桿上座*4 組 5/16"Y 對 Y 伸縮器*4 支 1/4"膨脹螺栓*4 根

目錄

摘要.....	1
目錄.....	2
一、 設計地震力.....	3
二、 材料強度.....	6
三、 結論與建議.....	7
四、 機台計算書.....	8
機櫃編號：C2.....	8

SHITEK

一、設計地震力

本案有關設計力之依據，係遵照我國『建築物耐震設計規範及解說』第四章—附屬於建築物之結構物部分構體、非結構構材與設備地震力之規定(100 年版)。設備之最小設計總橫力計算如下：

$$F_{ph} = 0.4S_{DS}I_p \frac{a_p}{R_{pa}} \left[1 + 2 \frac{h_x}{h_n} \right] W_p$$

且 F_{ph} 必不大於：

$$F_{ph-max} = 1.6S_{DS}I_p W_p$$

且 F_{ph} 不得小於：

$$F_{ph-min} = 0.3S_{DS}I_p W_p$$

其中，

S_{DS} 為工址短周期設計水平譜加速度；

W_p 為構體、構材自重或設備操作載重；

a_p 為構體、構材或設備之共振放大係數；

R_{pa} 為構體、構材或設備等之容許地震反應折減係數，可依下

式計算；

$$\text{一般工址與近斷層區域： } R_{pa} = 1 + \frac{R_p - 1}{1.5}$$

$$\text{台北盆地： } R_{pa} = 1 + \frac{R_p - 1}{2.0}$$

F_{ph} 為構體、構材或設備等質心點之設計地震力；

I_p 為構體、構材或設備之用途係數；

h_x 為構體、構材或設備所在樓層 x 距基面之高度；

h_n 為建築物基面至屋頂之高度。

此外，構體、構材及設備之垂直地震力亦預加以適當考量，其最小設計垂直地震力如下：

$$\text{一般工址與台北盆地：} F_{pv} = \frac{1}{2} F_{ph}$$

$$\text{近斷層區域：} F_{pv} = \frac{2}{3} F_{ph}$$

當防震固定元件以工作應力法(allowable stress design)進行設計時，上述設計地震力應除以 1.4。

根據規範所列震區短周期與一秒周期之設計水平譜加速度係數(詳表 1)，旺宏廠房所在地(新竹市東區)之 $S_s^D = 0.7$ ，且由規範所列短周期結構之工址放大係數可知， $F_a = 1.0$ (第二類地盤，詳表 2)，因此工址短周期設計水平譜加速度 $S_{DS} = F_a S_s^D = 1.0 \times 0.7 = 0.7$ ，故 $0.4S_{DS} = 0.28$ (相當於設計地表加速度 0.28g)。

依業主要求，考慮 $0.4S_{DS} = 0.39$ 作為設計地震力(相當於設計地表加速度 0.39g)。

本案考慮用途係數 $I_p = 1.5$ ，設備之共振放大係數 $a_p = 1.0$ ，地震反應折減係數 $R_p = 2.5$ (一般電器設備)，因此 $R_{pa} = 1 + \frac{R_p - 1}{1.5} = 2$ 。

表 1 規範內容之短週期與一秒週期之設計水平譜加速度係數

縣市	鄉鎮市區	S_S^D	S_1^D	S_S^M	S_1^M	臨近之斷層
新竹縣	竹北市	0.7	0.35	0.9	0.5	
	竹東鎮	0.7	0.4	0.9	0.5	
	新埔鎮	0.7	0.35	0.8	0.5	
	關西鎮	0.7	0.4	0.9	0.5	
	湖口鄉	0.6	0.35	0.8	0.5	
	新豐鄉	0.6	0.35	0.8	0.45	
	芎林鄉	0.7	0.35	0.9	0.5	
	橫山鄉	0.7	0.4	0.9	0.5	
	北埔鄉	0.7	0.4	0.9	0.55	獅潭與神卓山斷層
	寶山鄉	0.7	0.4	0.9	0.5	獅潭與神卓山斷層
	峨眉鄉	0.8	0.45	1.0	0.55	獅潭與神卓山斷層
	尖石鄉	0.7	0.4	0.9	0.5	
	五峰鄉	0.7	0.4	0.9	0.5	獅潭與神卓山斷層
新竹市	東區	0.7	0.4	0.9	0.5	
	北區	0.7	0.35	0.9	0.5	
	香山區	0.7	0.4	0.9	0.5	

表 2 規範內容之短週期結構之工址放大係數

地盤分類	震區短週期水平譜加速度係數 S_S (S_S^D 或 S_S^M)				
	$S_S \leq 0.5$	$S_S = 0.6$	$S_S = 0.7$	$S_S = 0.8$	$S_S \geq 0.9$
第一類地盤	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
第二類地盤	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
第三類地盤	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0

二、材料強度

本案設備加固扣件材料若使用 SUS304 材料，其降伏應力(F_y)、極限應力(F_u)、容許剪應力(F_v)及容許拉應力(F_t)如下：

$$F_y = 2100 \text{ kgf/cm}^2, F_u = 5300 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_v = \min(0.4F_y, 0.3F_u) = 840 \text{ kgf/cm}^2$$



$$F_t = \min(0.6F_y, 0.5F_u) = 1260 \text{ kgf/cm}^2$$

此外，假設不鏽鋼螺栓(絲)之材料特性同為 SUS304 材料，其容許剪應力(F_{bv})及容許拉應力(F_{bt})如下：

$$F_{bv} = F_v = 840 \text{ kgf/cm}^2, F_{bt} = F_t = 1260 \text{ kgf/cm}^2$$

膨脹螺栓之規格強度如表 3 所示：

表 3 膨脹螺栓規格表

							材質	· SIOC 五彩電鍍製成。			
							特性	· 膨脹固定後，穩定性高。 · 硬度稍差之水泥，亦可使用。			
							用途	· 電梯、隔音牆、冷氣機、招牌、天車、衛浴設備等之固定。			
							尺寸				
編型 TYPE	牙徑 d (inch)	外徑 D (inch)	全長 L (mm)	管長 λ (mm)	鑽孔徑 (inch)	最低 埋入深 度 (mm)	混凝土強度 210 kgf/cm ²		混凝土強度 280 kgf/cm ²		
							極限 抗拉力 (kgf)	極限 抗剪力 (kgf)	極限 抗拉力 (kgf)	極限 抗剪力 (kgf)	
SH-220	1/4	3/8	50.80	31.75	3/8	31.75	650	500	650	500	
SH-325	3/8	1/2	63.50	38.10	1/2	38.10	1500	1450	2000	1450	
SH-440	1/2	11/16	101.60	50.80	11/16	50.80	2800	3000	3700	3000	
SH-550	5/8	7/8	127.00	63.50	7/8	63.50	3850	4600	5200	5100	

三、結論與建議

本報告內容係有關旺宏五廠 MKD20 機櫃之防震現況評估與補強建議，共有 1 台設備。依照業主要求設計地震力=0.39g，進行分析檢核，並針對其不足者提出具體之補強建議，分析結果如機台計算書所示。

本設備位於 B 棟 3F，評估分析結果顯示，機台現況未裝設固定器，需裝設防震扣件。

另外，因現場高架地板高度問題，拉桿組件與高架地板水平面的安裝角度考慮為 30 度到 90 度之間。

本報告內之所有固定器接合處的銲道都一律採滿銲，由於銲材的強度大過母材，因此，凡採滿銲者其強度視同母材(已屬保守)，不需要額外檢核。

四、機台計算書

機櫃編號：C2



設備外觀



固定現況

設備位於 B 棟 3F，高程(h)=13.5m，總樓高=25.5m。機台總長(L)=122cm，高(H)=200cm，寬(B)=60cm，重量為 1000kgf。

一、設計地震力

$$F_{ph}' = 0.4S_{DS}I_p \frac{a_p}{R_{pa}} \left[1 + 2 \frac{h_x}{h_n}\right] W_p = 0.39 \times 1.5 \times \frac{1}{2} \times \left[1 + 2 \times \frac{13.5}{25.5}\right] \times W_p = 0.6W_p$$

$$F_{ph-\max} = 1.6S_{DS}I_p W_p = 2.34W_p$$

$$F_{ph-\min} = 0.3S_{DS}I_p W_p = 0.44W_p$$

$$F_{ph-\min} < F_{ph}' < F_{ph-\max} \text{ 符合規範.}$$

二、防震設計檢核分析

採工作應力法設計， $F_{ph} = \frac{F_{ph}'}{1.4} = 0.43W_p$ ， $W_p = 1000\text{kgf}$

$$F_{ph} = 0.43W_p = 430\text{kgf}$$

$$F_{pv} = \frac{2}{3} \times 0.39 \times W_p = 0.26W_p = 260\text{kgf}$$

(A)機台往長向傾倒

機台的重心位於距地板高度 102.25cm 之位置，若水平地震力(F_{ph})向左，對 A 點取力矩，由地震導致設備向左傾倒力矩(順時鐘方向為正)為：

$$\Sigma M_A = W_p \times 55 - F_{ph} \times 102.25 - F_{pv} \times 55 = -3267.5\text{kgf} \cdot \text{cm}$$

傾倒力矩為逆時鐘方向，有傾倒之虞。

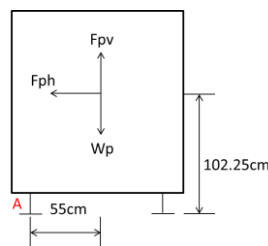


圖 4.1 機台傾倒分析模型示意圖(長向傾倒)

(B)機台往短向傾倒

機台的重心位於距地板高度 102.25cm 之位置，若水平地震力(F_{ph})向左，對 B 點取力矩，由地震導致設備向左傾倒力矩(順時鐘方向為正)為：

$$\Sigma M_B = W_p \times 28 - F_{ph} \times 102.25 - F_{pv} \times 28 = -23247.5\text{kgf} \cdot \text{cm}$$

傾倒力矩為逆時鐘方向，有傾倒之虞。

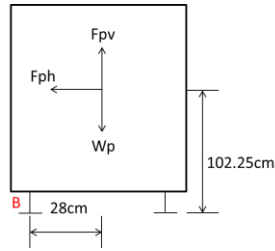


圖 4.2 機台傾倒分析模型示意圖(短向傾倒)

由上述計算可知，設備於短向傾倒所導致的傾倒力矩(M_B)較大，故將此作為設計值。

三、固定元件檢核

機台現況無固定，建議新增 2 組 Type Za 固定器及 2 組 Type Za-1 固定器，固定器配置如圖 4.3 所示。且因固定器所受拉力大於高架地板容許拉應力，為避免高架地板破壞，需裝設 Type P1 拉桿組件，將力量傳遞至 RC 樓板。



圖例	
Type Za 固定器+Type P1 拉桿組件	
Type Za-1 固定器+Type P1 拉桿組件	

圖 4.3 固定器裝設位置示意圖

- 註：因現場高架地板高度問題，拉桿與高架地板水平面的夾角考慮為 30 度到 90 度之間。

表 4.1 固定器數量統計表

名稱		固定器數量	螺栓數量
Type Za 固定器		2 組	M12 螺栓*4 根
Type Za-1 固定器		2 組	M12 螺栓*4 根
Type P1 拉桿組件	Type P1 拉桿上座	4 組	
	5/16"Y 對 Y 伸縮器	4 支	
	1/4"膨脹螺栓	4 根	



圖 4.4 拉桿組件裝設示意圖

固定器與螺栓材料為 SUS304： $F_v = 840\text{kgf}/\text{cm}^2$ ， $F_t = 1260\text{kgf}/\text{cm}^2$

SUS304 螺栓扭力規格表如表 4.2 所示：

表 4.2 SUS304 螺栓扭力規格表

螺桿	直徑(mm)	螺栓扭力(kgf-m)
M4	4	0.2
M5	5	0.3
M6	6	0.6
M8	8	1.4
M10	10	2.7
M12	12	4.7
M14	14	7.5
M16	16	11.1
M18	18	15.9
M20	20	21.8
M22	22	29.0
M24	24	37.6

在地震作用下，每組固定器所受之剪力計算如下：

$$V = \frac{F_{ph}}{2} = 215\text{kgf}$$

此外，為防止機台發生傾倒，每組固定器所須提供之拉力大小計算如下：

$$P_t = \frac{M_B / 56}{2} = 207.57\text{kgf}$$

Type Za 固定器

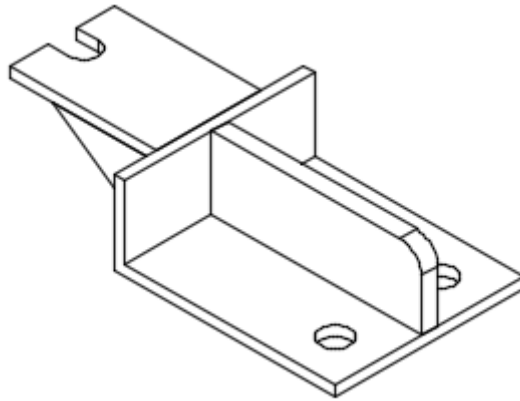


圖 4.5 Type Za 固定器示意圖

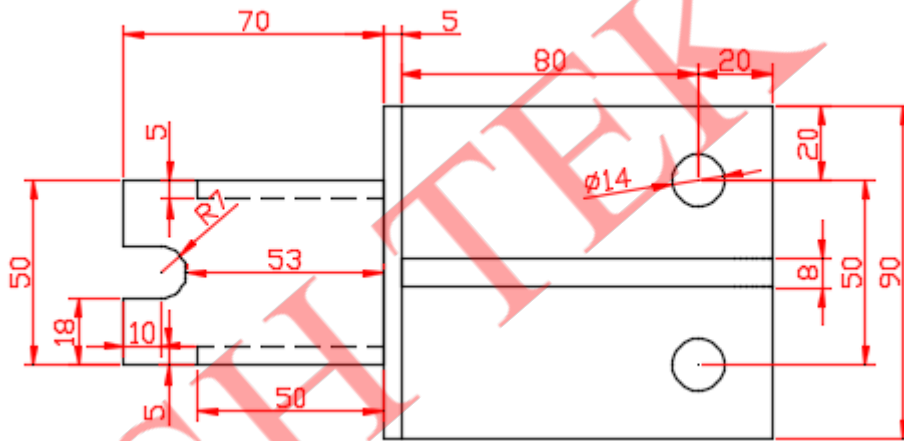


圖 4.6 Type Za 固定器上視圖(單位：mm)

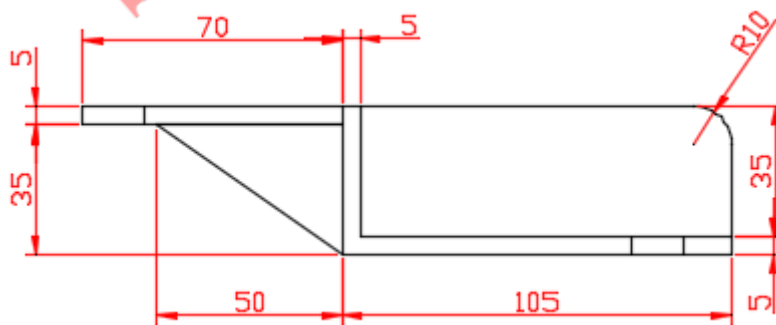


圖 4.7 Type Za 固定器側視圖(單位：mm)

Type Za-1 固定器

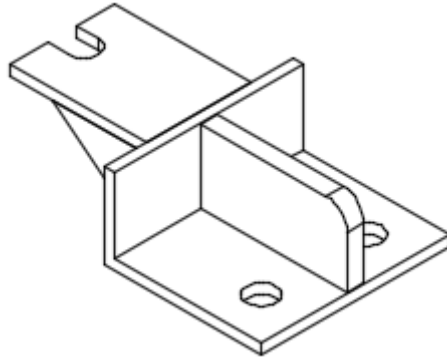


圖 4.8 Type Za-1 固定器示意圖

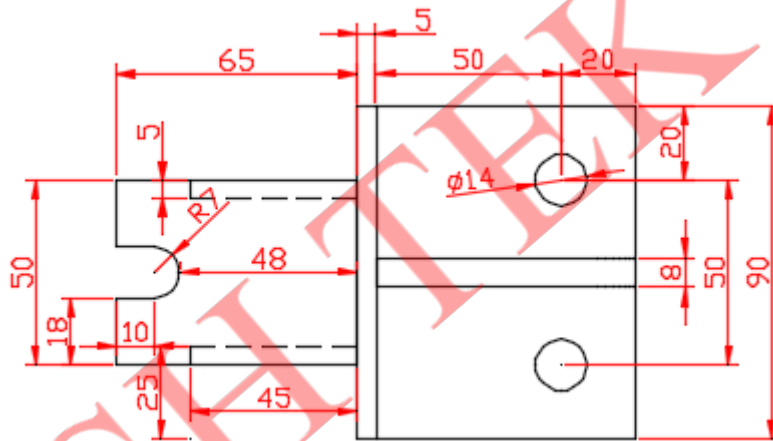


圖 4.9 Type Za-1 固定器上視圖(單位：mm)

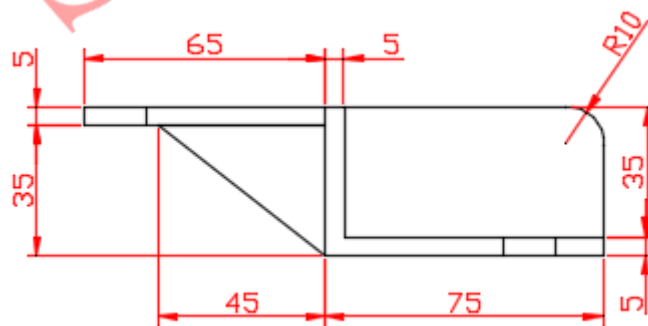


圖 4.10 Type Za-1 固定器側視圖(單位：mm)

Type P1 拉桿上座

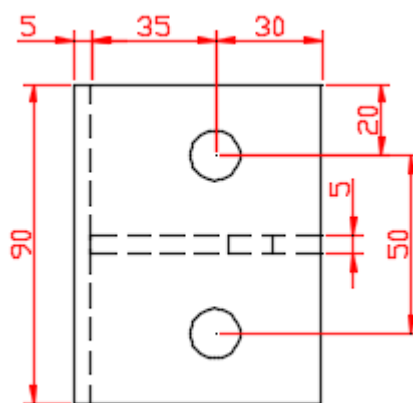
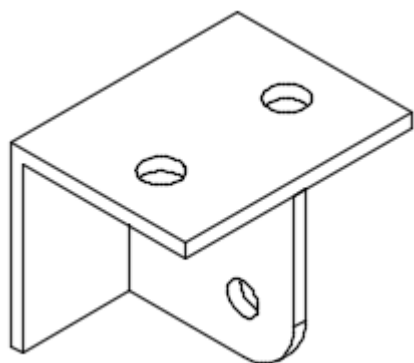


圖 4.11 Type P1 拉桿上座示意圖 圖 4.12 Type P1 拉桿上座上視圖(單位:mm)

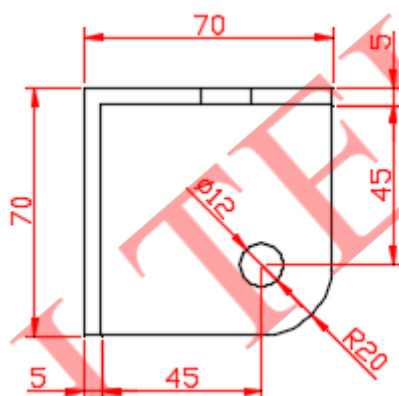


圖 4.13 Type P1 拉桿上座側視圖(單位:mm)

Type Za 固定器檢核

(A)水平上板檢核

1.撕裂強度檢核

剪力(V)作用在 Y 向

$$R_v = A_v F_v = 1.8 \times 0.5 \times 840 = 756 \text{kgf} > V = 215 \text{kgf} \quad \text{OK!}$$

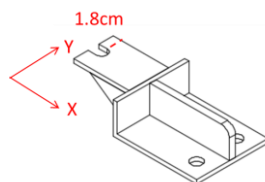


圖 4.14 撕裂路徑示意圖

2.撓曲應力強度檢核

機台於傾倒時，每組固定器承受拉力 $P_t = 207.57 \text{kgf}$ ，對水平上板產生一彎矩作用，其造成之撓曲應力分析如下：

$$\begin{aligned} \sigma_E &= \frac{My}{I} = \frac{P_t \times 6 \times (t + H - y_c)}{I} \\ &= \frac{207.57 \times 6 \times 2.58}{9.46} = 340.16 < 1260 \text{kgf} / \text{cm}^2 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

其中，基部抵抗彎矩之斷面慣性矩 I 計算如下：

$$\text{首先求得形心的距離 } y_c = \frac{t \times L \times \frac{t}{2} + 2 \times [H \times t \times (t + \frac{H}{2})]}{t \times L + 2 \times H \times t} = 1.42 \text{cm}$$

$$I = \frac{Lt^3}{12} + t \times L \times (y_c - \frac{t}{2})^2 + 2 \times [\frac{tH^3}{12} + H \times t \times (t + \frac{H}{2} - y_c)^2] = 9.46 \text{cm}^4$$

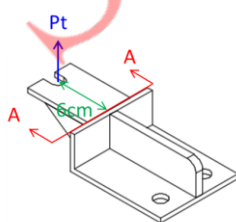


圖 4.15 固定器受拉拔力示意圖

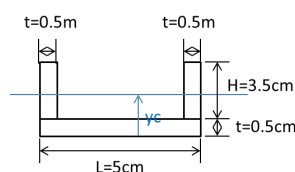


圖 4.16 水平上板橫斷面(A-A)示意圖

(B)垂直板檢核

撓曲應力強度檢核

機台於傾倒時，每組固定器承受側向力 $V = 215 \text{kgf}$ ，對垂直板產生一彎矩作用，其造成之撓曲應力分析如下：

$$\begin{aligned} \sigma_E &= \frac{My}{I} = \frac{V \times 3.5 \times (t + H - y_c)}{I} \\ &= \frac{215 \times 3.5 \times 6.89}{146.14} = 35.48 < 1260 \text{kgf} / \text{cm}^2 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

其中，基部抵抗彎矩之斷面慣性矩 I 計算如下：

$$\text{首先求得形心的距離 } y_c = \frac{t \times L \times \frac{t}{2} + [H \times t_1 \times (t + \frac{H}{2})]}{t \times L + H \times t_1} = 3.61 \text{ cm}$$

$$I = \frac{Lt^3}{12} + t \times L \times (y_c - \frac{t}{2})^2 + [\frac{t_1 H^3}{12} + H \times t_1 \times (t + \frac{H}{2} - y_c)^2] = 146.14 \text{ cm}^4$$

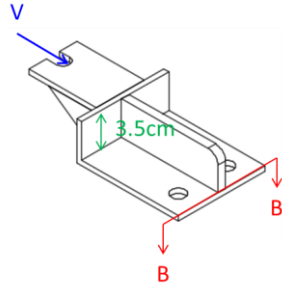


圖 4.17 固定器受側向力示意圖

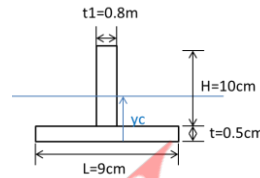


圖 4.18 垂直板橫斷面(B-B)示意圖

(C)水平下板檢核

1. 撓曲應力強度檢核

機台於傾倒時，每組固定器承受拉力 $P_t = 207.57 \text{ kgf}$ ，對水平下板產生一彎矩作用，其造成之撓曲應力分析如下：

$$\sigma_E = \frac{My}{I} = \frac{P_t \times 14.5 \times (t + H - y_c)}{I}$$

$$= \frac{207.57 \times 14.5 \times 2.8}{8.81} = 957.11 < 1260 \text{ kgf / cm}^2 \quad \text{OK!}$$

其中，基部抵抗彎矩之斷面慣性矩 I 計算如下：

$$\text{首先求得形心的距離 } y_c = \frac{t \times (L - 2\phi) \times \frac{t}{2} + [H \times t_1 \times (t + \frac{H}{2})]}{t \times (L - 2\phi) + H \times t_1} = 1.2 \text{ cm}$$

$$I = \frac{(L - 2\phi)t^3}{12} + t \times (L - 2\phi) \times (y_c - \frac{t}{2})^2 + \frac{t_1(H)^3}{12} + H \times t_1 \times (t + \frac{H}{2} - y_c)^2 = 8.81 \text{ cm}^4$$

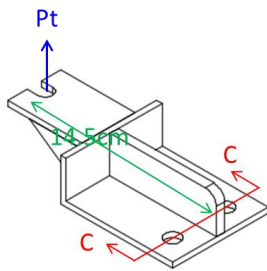


圖 4.19 固定器受拉拔力示意圖

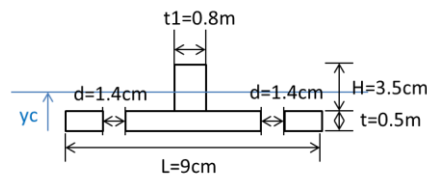


圖 4.20 水平下板橫斷面(C-C)示意圖

2. M12 螺栓強度檢核

(1)抗側向力(V)所需剪力強度：

$$R_{bv} = \frac{\pi \times 1.2^2}{4} \times 840 = 950.02 \text{kgf} > \frac{V}{2} = 107.5 \text{kgf} \quad \text{OK!}$$

(2)抗拉拔力(Pt)所需拉力強度：

$$R_{bt} = \frac{\pi \times 1.2^2}{4} \times 1260 = 1425.03 \text{kgf} > \frac{P_t}{2} = 103.79 \text{kgf} \quad \text{OK!}$$

(D)腳柱撓曲應力檢核

機台水平力將對腳柱產生一彎矩作用，其對腳柱($d=1.2\text{cm}$)所造成之彎曲應力分析如下：

$$\sigma_E = \frac{M_0 y}{I} = \left| \frac{(V \times a \times b \times (\ell^2 + b\ell - 3\ell^2 + b^2)) \times y_c}{2\ell^3 \times I} \right| = 36.15 < 1260 \text{kgf} / \text{cm}^2 \quad \text{OK!}$$

其中，基部抵抗彎矩之斷面慣性矩 I 計算如下：

$$\text{首先求得形心的距離 } y_c = \frac{1.2}{2} = 0.6 \text{cm}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 0.1 \text{cm}^4$$

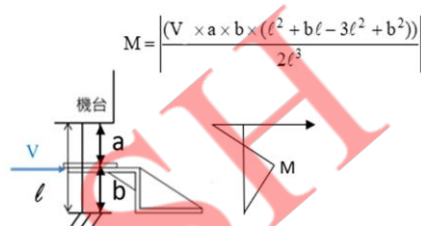


圖 4.21 腳柱受力示意圖

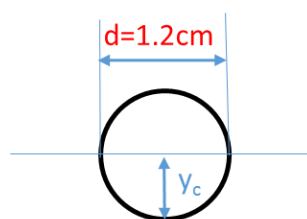


圖 4.22 腳柱橫斷面示意圖

Type Za-1 固定器檢核

(A)水平上板檢核

1.撕裂強度檢核

剪力(V)作用在 Y 向

$$R_v = A_v F_v = 1.8 \times 0.5 \times 840 = 756 \text{kgf} > V = 215 \text{kgf} \quad \text{OK!}$$

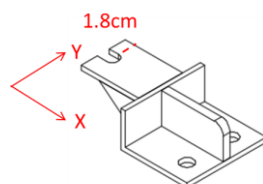


圖 4.23 撕裂路徑示意圖

2.撓曲應力強度檢核

機台於傾倒時，每組固定器承受拉力 $P_t = 207.57 \text{kgf}$ ，對水平上板產生一彎矩作用，其造成之撓曲應力分析如下：

$$\begin{aligned} \sigma_E &= \frac{My}{I} = \frac{P_t \times 5.5 \times (t + H - y_c)}{I} \\ &= \frac{207.57 \times 5.5 \times 2.58}{9.46} = 311.81 < 1260 \text{kgf} / \text{cm}^2 \quad \text{OK!} \end{aligned}$$

其中，基部抵抗彎矩之斷面慣性矩 I 計算如下：

$$\text{首先求得形心的距離 } y_c = \frac{t \times L \times \frac{t}{2} + 2 \times [H \times t \times (t + \frac{H}{2})]}{t \times L + 2 \times H \times t} = 1.42 \text{cm}$$

$$I = \frac{Lt^3}{12} + t \times L \times (y_c - \frac{t}{2})^2 + 2 \times [\frac{tH^3}{12} + H \times t \times (t + \frac{H}{2} - y_c)^2] = 9.46 \text{cm}^4$$

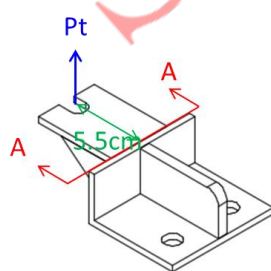


圖 4.24 固定器受拉拔力示意圖

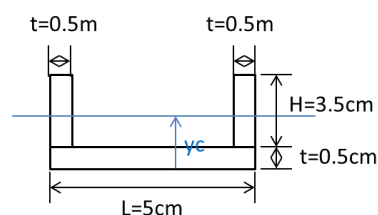


圖 4.25 水平上板橫斷面(A-A)示意圖

(B)垂直板檢核

撓曲應力強度檢核

機台於傾倒時，每組固定器承受側向力 $V = 215 \text{kgf}$ ，對垂直板產生一彎矩作用，其造成之撓曲應力分析如下：

$$\sigma_E = \frac{My}{I} = \frac{V \times 3.5 \times (t + H - y_c)}{I}$$

$$= \frac{215 \times 3.5 \times 5.17}{58.05} = 67.03 < 1260 \text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

其中，基部抵抗彎矩之斷面慣性矩 I 計算如下：

$$\text{首先求得形心的距離 } y_c = \frac{t \times L \times \frac{t}{2} + [H \times t_1 \times (t + \frac{H}{2})]}{t \times L + H \times t_1} = 2.33 \text{cm}$$

$$I = \frac{Lt^3}{12} + t \times L \times (y_c - \frac{t}{2})^2 + [\frac{t_1 H^3}{12} + H \times t_1 \times (t + \frac{H}{2} - y_c)^2] = 58.05 \text{cm}^4$$

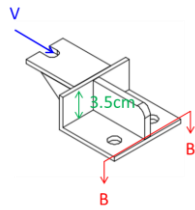


圖 4.26 固定器受側向力示意圖

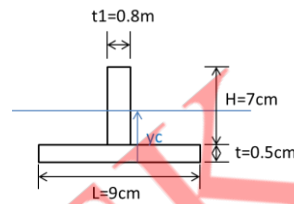


圖 4.27 垂直板橫斷面(B-B)示意圖

(C) 水平下板檢核

1. 撓曲應力強度檢核

機台於傾倒時，每組固定器承受拉力 $P_t = 207.57 \text{kgf}$ ，對水平下板產生一彎矩作用，其造成之撓曲應力分析如下：

$$\sigma_E = \frac{My}{I} = \frac{P_t \times 11 \times (t + H - y_c)}{I}$$

$$= \frac{207.57 \times 11 \times 2.8}{8.81} = 726.08 < 1260 \text{kgf/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

其中，基部抵抗彎矩之斷面慣性矩 I 計算如下：

$$\text{首先求得形心的距離 } y_c = \frac{t \times (L - 2\phi) \times \frac{t}{2} + [H \times t_1 \times (t + \frac{H}{2})]}{t \times (L - 2\phi) + H \times t_1} = 1.2 \text{cm}$$

$$I = \frac{(L - 2\phi)t^3}{12} + t \times (L - 2\phi) \times (y_c - \frac{t}{2})^2 + \frac{t_1(H)^3}{12} + H \times t_1 \times (t + \frac{H}{2} - y_c)^2 = 8.81 \text{cm}^4$$

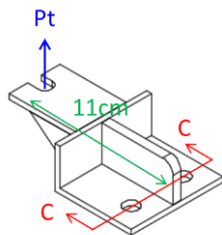


圖 4.28 固定器受拉拔力示意圖

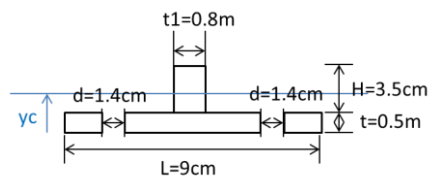


圖 4.29 水平下板橫斷面(C-C)示意圖

2. M12 螺栓強度檢核

(1)抗側向力(V)所需剪力強度：

$$R_{bv} = \frac{\pi \times 1.2^2}{4} \times 840 = 950.02 \text{kgf} > \frac{V}{2} = 107.5 \text{kgf} \quad \text{OK!}$$

(2)抗拉拔力(Pt)所需拉力強度：

$$R_{bt} = \frac{\pi \times 1.2^2}{4} \times 1260 = 1425.03 \text{kgf} > \frac{P_t}{2} = 103.79 \text{kgf} \quad \text{OK!}$$

(D)腳柱撓曲應力檢核

機台水平力將對腳柱產生一彎矩作用，其對腳柱($d=1.2\text{cm}$)所造成之彎曲應力分析如下：

$$\sigma_E = \frac{M_0 y}{I} = \left| \frac{(V \times a \times b \times (\ell^2 + b\ell - 3\ell^2 + b^2)) \times y_c}{2\ell^3 \times I} \right| = 36.15 < 1260 \text{kgf} / \text{cm}^2 \quad \text{OK!}$$

其中，基部抵抗彎矩之斷面慣性矩 I 計算如下：

首先求得形心的距離 $y_c = \frac{1.2}{2} = 0.6 \text{cm}$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 0.1 \text{cm}^4$$

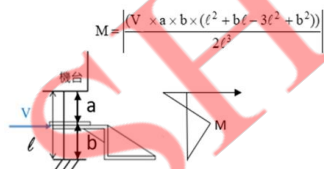


圖 4.30 腳柱受力示意圖

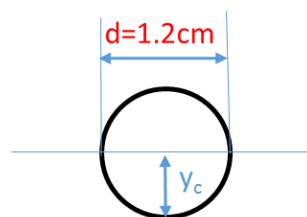


圖 4.31 腳柱橫斷面示意圖

Type P1 拉桿上座檢核

1. 拉桿(鬆緊器)設計

設備現況係直接以螺栓鎖在高架地板的面板上，由於高架地板之面板僅提供 100kgf 之抗拉能力，當設備傾倒時會將其拔起，造成破壞。建議螺栓下方須設置拉桿以提供抗傾倒之拉力。其中拉桿與高架地板水平面的夾角考慮介於 60 到 90 度之間。

- 註：因現場高架地板高度問題，拉桿與高架地板水平面的夾角考慮為 30 度到 90 度之間。

由先前計算可知，短邊傾倒力矩較大，因此以短邊為設計值。

故拉桿所須提供之拉力大小計算如下：

$$P_t = 207.57\text{kgf}$$

當拉桿與高架地板水平面夾角 30 度時，此拉桿之拉力

$$R = P_t \div \sin(30^\circ) = 415.14\text{kgf}$$

2. 設計檢核

拉桿組件強度檢核

拉桿組件主要由 Type P1 拉桿上座、5/16"Y 對 Y 伸縮器及 1/4" 不鏽鋼膨脹螺絲串聯而成，故其整體抗拉能力為其中之最小者所控制。

- (1) 5/16"伸縮器容許強度 $P_a=900\text{kgf}$
- (2) 1/4"套管式膨脹螺栓在混凝土強度 4000 psi (280 kgf/cm^2)的條件下，提供抗拉強度 $P_b=650\text{kgf}$
- (3) 當受拉拔破壞時，其最弱面為沿著孔徑開裂之撕裂型破壞，抵抗開裂之強度：

$$P_c = \tau_a A_{\text{tear}} = (840\text{kgf/cm}^2)(1.4\text{cm})(0.8\text{cm}) = 940.8\text{kgf}$$

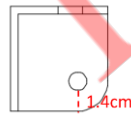


圖 4.32 拉桿上座撕裂示意圖

$$P_e = \min(P_a, P_b, P_c) = 650\text{kgf}$$

1. 假設拉桿與水平面夾角不低於 30 度，則

$$P_{\text{eff}} = P_e \times \sin(30^\circ) = 325\text{kgf} > P_t = 207.57\text{kgf} \quad \text{OK!}$$

2. 拉桿上座螺栓強度檢核

拉桿組件係以上方設備之固定螺栓(M12)對鎖固定。

- (1) 當拉桿與高架地板呈 90 度，此時有最大拉拔力。考慮不鏽鋼螺栓之抗拉強度為 $1,260\text{kgf/cm}^2$ ，則兩支螺栓提供之抗拉力：

$$R_{bt} = 2 \times \frac{\pi \times 1.2^2}{4} \times 1260 = 2850.05\text{kgf} > P_t = 207.57\text{kgf} \quad \text{OK!}$$

- (2) 當拉桿與高架地板呈 30 度時，此時有最大剪力。考慮不鏽鋼螺栓之抗剪強度為 840kgf/cm^2 ，則兩支螺栓提供之抗剪力：

$$R_{bv} = 2 \times \frac{\pi \times 1.2^2}{4} \times 840 = 1900.04\text{kgf} > R \cos(30^\circ) = 359.52\text{kgf} \quad \text{OK!}$$

- (3) 拉桿上座係以一支 $\phi = 0.78\text{cm}$ 螺栓插銷鎖到拉桿上，考慮螺栓插銷之抗剪強度為 840kgf/cm^2 ，則此螺栓提供之抗剪力

$$R_{bv} = 2 \times \frac{\pi \times 0.64^2}{4} \times 840 = 540.45\text{kgf} > R = 415.14\text{kgf} \quad \text{OK!}$$

四、結論

機台現況無固定，建議新增 2 組 Type Za 固定器、2 組 Type Za-1 固定器與 4 組 Type P1 拉桿組件，以提供足夠之抗震能力。

SH TEK