

國家地震工程研究中心
NATIONAL CENTER FOR RESEARCH ON
EARTHQUAKE ENGINEERING

核電廠電氣盤體之
振動台試驗與模擬分析

柴駿甫 廖文義
林凡茹 賴姿妤 周佩芳 陳明毅

報告編號：NCREE-13-021

中華民國 102 年 11 月

核電廠電氣盤體之振動台試驗與模擬分析

The shaking table test and numerical simulation of MCC cabinet in
Nuclear Power Plant

*柴駿甫

**廖文義

***林凡茹

****賴姿妤

*****周佩芳

*****陳明毅

Juin-Fu Chai Wen-I Liao

Fan-Ru Lin

Zih-Yu Lai

Pei-Fung Chou

Ming-Yi Chen

* 國家地震工程研究中心研究員

** 國立台北科技大學土木與防災所教授

*** 國家地震工程研究中心助理研究員

**** 國家地震工程研究中心專案助理研究員

***** 國立台北科技大學土木與防災所研究生

***** 國立台灣大學土木工程學系研究生

國科會計畫編號：NSC 101-3113-P-042A-004

執行期間：101 年 03 月 17 日至 101 年 12 月 20 日

總計畫名稱：核設施結構耐震及安全相關設備地震驗證技術建立

總計畫主持人：陳正興

執行單位：國家地震工程研究中心

中華民國一百零二年十一月

November 2013

摘要

臺灣核能電廠運轉至今已有一段時間，期間核能電廠電氣盤體之盤內設備物需多次更新汰換及維護。本研究以臺灣龍門電廠餘熱移除系統 C 串 (RHR-C, Residual Heat Removal) 之馬達控制中心 (MCC, Motor control center) 電氣盤體機櫃作為研究對象，藉由振動台試驗了解 MCC 電氣盤體於受震下之動力反應與結構特性，試驗目的主要為探討以下項目：(一)、空櫃與櫃內含設備物之動力反應特性；(二)、不同量測位置(如：機櫃內、外部及不同高程處)之反應比較；(三)輸入波強度之影響；(四)櫃內有無抽屜型式之機櫃動力反應；(五)不同形式輸入地震波(如：主要涵蓋頻率範圍不同)對機櫃行為之影響。

除了探討臺灣核能電廠 MCC 電氣盤體之結構動力特性與盤內反應，另依據試驗機櫃之材料性質及尺寸進行電氣盤體動力反應之數值模擬，研究採用 SAP2000 分析軟體進行模型建立及動態反應模擬，其目的為模擬真實機櫃受震時之反應，並可提供往後參數分析及多盤體機櫃模擬之參考。

關鍵詞：MCC 電氣盤體、盤內反應譜、動力放大因子、數值模擬

ABSTRACT

According to the FSAR report of Lungmen Nuclear Power Plant (NPP4), the Motor-Control-Center (MCC) type cabinets and in-cabinet equipment belonging to the C loop of the Residual Heat Removal System (RHR-C loop) are regarded as the critical items and are selected to be the research target. In this study, the seismic behavior of MCC type cabinets was discussed through shake table tests. Independent five variables of tests included existence of simulated incabinet instruments, locations of measuring points (e.g. outside and inside positions of the cabinet), cubicle types (e.g. cubicles with or without drawers), and different types and levels of input motion.

In the second part of this study, numerical models were established with SAP2000 analysis software to simulate the seismic behavior of tested cabinets and to generate in-cabinet response spectrum (ICRS) for in-cabinet equipment. According to the system identification results and the material and dimension properties of the tested cabinets, the numerical models were adjusted to conform to shake table test results. The numerical models and analysis results can be used for the parametric analysis and multi-cabinet simulations in future studies.

Keywords : MCC cabinet, In-cabinet response spectrum, Numerical mode

目錄

摘要	II
ABSTRACT	III
目 錄	IV
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機與目的	1
1.2.1 研究動機	1
1.2.2 研究目的	2
1.3 文獻回顧	2
1.3.1 國外電氣盤體振動台試驗【1】	2
1.3.2 盤內反應譜相關文獻	3
1.3.2.1 國家技術信息服務 NTiS(NUREG CR-5203)【2】	3
1.3.2.2 美國能源部耐震評估程序-【3】	5
1.3.2.3 盤體動力放大因子評估研究	6
1.3.2.4 盤內反應譜相關研究	7
1.3.3 其他文獻	8
1.4 研究內容	9
第二章 實驗研究	12
2.1 核能電廠電氣盤體	12
2.2 實驗設備與結構	13
2.3 實驗規劃與流程	14
2.3.1 實驗規劃	14
2.3.2 實驗流程	14
2.4 實驗量測裝置	16
2.4.1 加速度規	16
2.4.2 磁環式位移計	17
第三章 實驗結果分析	33
3.1 機櫃之動力特性	33

3.1.1 機櫃自然頻率	33
3.1.2 機櫃阻尼比	35
3.2 加速度歷時反應.....	35
3.3 位移歷時反應.....	42
第四章 盤內反應譜分析與動力放大因子.....	96
4.1 前言.....	96
4.2 空櫃或質量櫃之影響 (BARE V.S. MASS).....	96
4.2.1 空櫃與含設備物機櫃之反應譜.....	96
4.2.2 空櫃與含設備物機櫃之放大因子.....	97
4.3 量測點位影響.....	97
4.3.1 不同高程處之盤內反應譜.....	98
4.3.2 不同高程處之盤內放大因子.....	98
4.3.3 機櫃內部與外部之反應譜比較.....	99
4.3.4 機櫃內部與外部之放大因子比較.....	99
4.4 輸入波強度影響.....	99
4.4.1 不同地震強度之盤內反應譜比較.....	100
4.4.2 不同地震強度之放大因子.....	100
4.5 不同輸入波之影響	101
4.5.1 不同地震波之反應譜比較.....	101
4.5.2 不同地震波之放大因子比較.....	102
4.6 動力放大因子總結	103
4.7 小結.....	103
第五章 數值模擬分析.....	138
5.1 前言.....	138
5.2 數值模型.....	138
5.3 數值模擬分析結果	140
5.4 小結.....	142
第六章 結論與建議.....	170
6.1 結論.....	170
6.2 未來研究方向.....	170

第一章 緒論

1.1 前言

核能電廠於全球各國已發展一段時間，經由 2011 年 3 月 11 日日本大地震福島電廠事件，可警惕國內電廠，應了解影響電廠爐心熔毀風險較高的餘熱移除系統(RHR)之電氣盤體設備物耐震性能之重要性，故本研究探討核電廠機櫃之耐震行為，以臺灣某核電廠相似之機櫃進行振動台試驗，了解機櫃受震下之加速度歷時、位移歷時、加速度峰值放大倍率、盤內反應譜與放大因子等之機櫃動力反應。並參考真實機櫃參數建立 3D 數值模型，模擬真實機櫃受震下之動力特性，以提供往後參數分析與多盤體機櫃之模擬參考。

1.2 研究動機與目的

1.2.1 研究動機

核能發電主要使用核燃料鈾等元素，進行核分裂連鎖反應釋放出大量熱能，再利用水蒸氣轉動蒸氣渦輪發電機而發電。一旦發生大地震，核能電廠即自動停止核分裂採取安全對策，但光此對策無法使核燃料立即冷卻，須靠水循環降溫冷卻，一旦喪失冷卻功能，將產生高溫的燃料棒融化，造成核子反應爐受損，放射性物質大量釋放到外部的危險。因此，核能電廠皆備有發生災害而喪失冷卻用水時的緊急注水系統。在 2011 年 3 月 11 日下午，日本東北地區外海發生芮氏規模 9 的大地震，並引發約 40 公尺高的海嘯，因地震造成福島核能電廠之電力無法提供，其中「緊急爐心冷卻系統(ECCS, Emergency Core Cooling System)」無法驅動，完全失去驅動冷卻系統動力。在此情況下，只好將海水注入反應爐內進行冷卻燃料棒作業，導致爐心毀壞，核廢料外洩至外部區域，其後造成之影響甚其嚴重。

由此可知，核能電廠防災安全措施若無法如期運作而導致爐心熔毀，即發生後續不可逆轉的災害。基於前車之鑑，本研究主要在探討台灣核電廠放置控制冷卻系統管線儀器之機櫃其耐震行為，以了解臺灣核電廠之耐震性能。

1.2.2 研究目的

經由核電廠 FSAR 報告中找出，電廠內造成爐心熔毀機率較高的設備主要為餘熱移除系統(RHR, Residual Heat Removal)C 串管線，而此管線之控制電路主要放置於馬達控制中心(MCC, Motor Control Center)機櫃內，餘熱移除系統主要功能為冷卻核子反應爐之爐心，避免核子反應爐受損，若反應爐受損將導致放射性物質大量釋放到外部的危險。為了確保核能電廠於強震來襲時，緊急安全機制可以正常運作，本研究訂製與核電廠相似之電氣盤體機櫃，於國家地震中心進行振動台試驗，藉由振動台試驗探討電氣盤體機櫃其外部結構與內部設備物之耐震行為，並建立數值模擬分析，觀察模擬機櫃於不同動態反應下之比對結果。

1.3 文獻回顧

1.3.1 國外電氣盤體振動台試驗【1】

Kim 等人【1】進行振動台試驗研究韓國核電廠機櫃系統之耐震行為，此試驗採用 480V 馬達控制中心(MCC, Motor Control Center)電氣盤體，輸入三種地震歷時，分別為韓國核電廠耐震設計反應譜(US NRC Reg. 1.60)、韓國核電廠均佈危害度反應譜(UHS, Uniform Hazard Spectrum)及韓國 Ulchin 核電廠主要輔助建物之樓板反應譜(PAB, Primary Aux Building)相符合之地震紀錄，其中，韓國均佈危害度反應譜(UHS)主要為用能量研究機櫃之高頻反應。此文獻為求出真實機櫃之放大因子，於機櫃外部隨不同高度放置三組加速規，並於機櫃內部繼電器(Relay)處設置加速規量測其盤內反應。

機櫃底部之接合方式採用真實核電廠之固定型式，轉接板以螺栓鎖固於振動台上，機櫃底部以焊接方式固定於轉接板上，另外，其研究結果發現機櫃之加速度反應會隨著機櫃高度增高而振幅變大，高度越低則反之。

由韓國振動台實驗可得知，機櫃外部之放大因子，於輸入地震歷時之頻率範圍與機櫃自然頻率達共振時，會產生較大之反應，但機櫃內部之放大因子則反之，由於機櫃內部構件(local components)造成之反應為構件個體反應(local mode)，與機櫃外部整體(global)所造成之反應不同；且放大因子

會隨量測位置不同，而產生不同變化。故加速度放大因子應隨機櫃之不同位置而有所變異。

將其試驗機櫃外部之放大因子計算結果與 NUREG/CR-5203【2】報告比較，可發現 NUREG/CR-5203【2】報告之盤內放大因子較為保守，放大因子的部分於未來仍需再加以探討。

1.3.2 盤內反應譜相關文獻

1.3.2.1 國家技術信息服務 NTIS(NUREG CR-5203)【2】

美國國家技術信息服務【2】於 1988 年提出電氣盤體之動力放大係數相關研究，利用機率法推算出具保守性之動力放大因子(AF, Amplification Factor)值，其動力放大因子(AF)定義，為輸出加速度反應譜值(設備物放置處)與輸入加速度反應譜值(機櫃底部)之比值。所採用的測試數據均為破壞試驗(fragility)或最高驗證等級(highest qualification level)結果，藉由統計 4-16Hz、16-40Hz 和 40-100Hz 等不同頻率範圍之反應譜最大值(peak)放大振幅、平均值(average)放大振幅與零週期(ZPA, zero period acceleration)放大振幅，而得該頻率範圍之中位數值及其對應之變異係數，進一步推算高可信度低失效率(HCLPF, High-Confident and Low-Probability of Failure, 亦即 95%高可信度，失效率不超過 5%)下極具保守性之動力放大因子(AF)值。HCLPF 值計算如(1.2)式與(1.3)式所示。

$$\text{High Confidence Value} = \text{Median}[1.645(\beta_r + \beta_u)] \quad (1.2) \quad \text{其中}$$

$$\beta_c = \sqrt{\beta_r^2 + \beta_u^2} \quad (1.3) \quad \beta_r: \text{隨機}$$

變異係數(coefficient of variation due to randomness)

β_u : 不確定變異係數(coefficient of variation due to uncertainties)

β_c : 總變異係數(total coefficient of variation)

依據上述分析，NUREG CR-5203 統計結果如表 1.1 所示，可知 MCC 電氣盤體零週期(ZPA)處放大振幅值為 3.3，且 β_u 與 β_r 所計算出之 β_c (total coefficient of variation)隨頻率增加而增加，可說明動力放大因子(AF)在高頻

區變異性較高。若僅採用破壞測試數據(fragility test data)，結果如表 1.2 所示，零週期(ZPA)處放大因子振幅為 3.0，略小於採用全部測試數據之統計結果，其不確定變異係數(β_u)變小而隨機變異係數(β_r)變大。

NUREG CR-5203 第 4 章提到不同參數對機櫃振幅放大因子的影響，包括(1)量測位置、機櫃頻率與結構模態、(2)安裝方式與不同機櫃面板勁度、(3)量測之機櫃方向、(4)輸入波大小及(5)阻尼比，分述如下：

- (1)、依據固定在機櫃不同位置的加速度規量測數據，可得到對應之動力放大因子(AF)之頻譜。獨立式設備物(free standing panel)之低頻區段($f < 16\text{Hz}$)動力放大因子(AF)同時受機櫃 global mode 和 local mode 影響，故低頻區段 AF 值有隨高度增加而增加之趨勢。高頻區段($f > 16\text{Hz}$)動力放大因子(AF) 主要受到機櫃內部薄板(Thin plate)等 local mode 影響，不同位置之盤內反應差異甚大。高頻區段 AF 值通常高於低頻區段，在”Idaho National Engineering Laboratory”報告中也有相同結論。該文認為高頻部分因控制系統之雜訊而不甚精確，因此只採用頻率小於 33Hz 的資料。
- (2)、機櫃安裝方式分為焊接(weld)與螺栓對接(bolt)兩種，其結果顯示對放大因子無影響性。若在機櫃面板(plate)上安裝加勁板，例如門板(door panel)，AF 值則會明顯降低。
- (3)、對於獨立放置之機櫃(free standing)，水平方向的 AF 值明顯比垂直方向 AF 值大，但高頻通常由 local mode 決定 AF 大小，且 FB(front-to-back)向會大於 SS(side-to-side)向並大於 V(vertical)向。
- (4)、AF 值與振動台輸入波大小有關。於低頻範圍，輸入地震波越大，所得到的 AF 值越小，但當輸入地震波大小達到較高層級(high level)時(例如：ZPA=2.0g)，AF 值則無明顯下降趨勢。
- (5)、阻尼比與放大因子之關係，除了反應譜波峰處與波谷處，阻尼比對振幅反應幾乎沒有影響；在高頻區段，較小的阻尼比會有較大的 AF 值；在波谷區，阻尼比越大其 AF 值越大。

1.3.2.2 美國能源部耐震評估程序-【3】

美國能源部(DOE, U.S. Department of Energy)於 1997 年提出核能設施多種設備物耐震評估程序【3】。DOE 提出盤內電驛之耐震需求，亦即盤內需求譜(IDS, In-Cabinet Demand Spectrum)，可採用盤內動力放大係數(AF, in-cabinet Amplification Factor)或是盤內反應譜(ICRS, In-Cabinet Response Spectra) 計算。

若以盤內動力放大係數 AF 值計算，可依據(1.4)式而得 IDS：

$$IDS = SDS \times AF \quad (1.4)$$

其中，

SDS：設備物耐震需求反應譜(Seismic Demand Spectrum)，其為設計地震作用下之樓板反應譜乘上調整係數而得

AF：盤內動力放大因子，AF 值如表 1.3 所示。

若以盤內反應譜(ICRS)計算 IDS，則以盤內反應譜中電驛(relay)自然頻率對應之譜加速度值，代替(1.4)式中之 AF，即可得對應之 IDS。盤內反應譜(ICRS)，求法有以下兩種：

1. 控制室之斜面操作台(Benchboards)或盤體(Panels)，其 ICRS 可依據 EPRI NP-7148 報告【4】之評估方法與程式計算而得之，但操作台與盤體的固定方式必須依照 EPRI NP-7148 報告【4】之規定，亦即必須確保其顯著自然頻率在 13Hz 以上。
2. 其他未包含在 EPRI NP-7148 報告【4】之盤體機櫃，可採數值分析或實體試驗方式獲得某特定機櫃之盤內反應譜，但須留意以下子構件之結構特性對於盤內反應譜的影響，包括局部構件撓度、錨定構件局部塑性變形、長圓形螺栓接合孔或鑽孔式螺栓接合等。

根據上述，盤內設備物需求譜(IDS)，可採用盤內動力放大因子(AF)或是盤內反應譜(ICRS) 計算。因此本文於 1.3.2.3 與 1.3.2.4 小節，分別探討盤體動力放大因子與盤內反應譜相關研究。

1.3.2.3 盤體動力放大因子評估研究

核電廠內含有多種型式之機櫃，並含有不同動力反應，EPRI NP-7146-SL 報告【5】中利用簡化方法定義保守的動力放大因子，而文中提到機櫃自然頻率式決定櫃內動力放大因子的一個重要因素，並提出計算其動力放大因子的方法：

利用機櫃盤內反應譜(ICRS, In-Cabinet Response Spectra)與底部反應譜(BRS, Base Response Spectra)加速度最大值之比值求得如式(1.5)，並乘上折減係數而得到有效動力放大因子如式(1.6)，其實驗結果發現動力放大因子(AF)隨機櫃自然頻率越高而慢慢下降，AF 值範圍為 2.37 至 5.82 間。

$$AF_g = \frac{S_{a1}(f_{x1,5\%})}{S_{a0}(f_{x0,5\%})} \quad (1.5)$$

$$AF_e = AF_g C_b C_m \quad (1.6)$$

其中，

AF_g ：總櫃內動力放大因子(gross in-cabinet amplification factor)

$S_{a0}(f, \xi)$ ：控制機櫃底部反應譜(BRS, controlling base response spectrum)

$S_{a1}(f, \xi)$ ：機櫃內部設備位置反應譜(in-cabinet response spectrum at the device location)

AF_e ：有效盤內動力放大因子(effective in-cabinet amplification factor)

C_b ：寬帶修正係數(broadband correction factor)

C_m ：多軸修正係數(multi-axis correction factor)

核電廠內之電驛數量眾多，含許多不同之動力反應，為使初步耐震評估作業具經濟性與適用性，Merz 和 Ibanez【6】建議之初步評估方法，為採用 GERS(Generic Equipment Ruggedness Spectra)作為電驛容量(Capacity)之依據，檢核是否大於電驛固定處之需求反應譜(Demand)，作為電驛耐震性能初步評估之準則。GERS 為 A-46【7】報告提出綜合多件電驛耐震性能測試，歸納折減而得具保守性之電驛耐震反應譜，亦即在該需求反應譜輸

入之下，電驛之耐震容量足使電驛於強震之中維持其機能。為快速求取電驛固定處之耐震需求，Merz 和 Ibanez【6】提出可將樓板反應譜乘上有效動力放大因子(AF_e ，Effective amplification factor)，作為電驛固定處之需求反應譜。依據馬達控制中心(MCC，Motor Control Center)電氣盤體實際測試結果，Merz 和 Ibanez【6】建議 MCC 電氣盤體之有效動力放大因子可採 3.0，而柔性盤體(Flexible panels)之有效動力放大因子則可採 6.0。

1.3.2.4 盤內反應譜相關研究

1.3.2.3 小節所提之動力放大因子概念，有助於快速篩選有耐震疑慮之盤內設備物，然而其動力放大因子值偏於保守，與樓板反應譜相乘而得之盤內設備物需求譜(IDS)亦失去真實性，因此近期有許多研究文章，著重於探討盤內反應譜(ICRS)之推導與設計機制。

由於進行數值模型分析或振動台實驗較花費時間與金錢，為簡化尋求 ICRS，Shi【8】提出直接採用設備物廠商提供之耐震性能驗證測試資料(自然頻率搜尋測試資料)，依照下列程序建立簡化之盤內設備物固定處 ICRS：

1. 依照耐震性能驗證測試資料求得盤內設備物固定處之三軸向自然頻率。
2. 辨識該盤體位置之樓板反應頻寬之主要頻率範圍。
3. 計算在樓板反應主要頻率範圍之簡諧波輸入下，盤內設備物固定處各自然頻率之動力放大因子值。
4. 考量多模態參與效應，計算 ICRS 之 ZPA(Zero Period Acceleration)。多模態參與效應係數值介於 1.25 至 1.50 之間。
5. 依據步驟 3 所得之盤內設備物固定處自然頻率之動力放大因子值，計算 ICRS 之譜加速度值。
6. 依據樓板反應譜加速度，以及步驟 4 所得之 ICRS 之 ZPA 與樓板反應譜 ZPA 的比值，計算非盤內設備物固定處自然頻率之譜加速度值。
7. 繪製頻率範圍為 1-33Hz 之 ICRS。

Shi【8】建議，ICRS 峰值處應拓寬 $\pm 15\%$ 頻率範圍，藉以涵蓋分析與測試技術上之不確定性。

當設備物廠商可提供盤內設備物固定處之自然頻率搜尋資料時，可採 Gupta 等人【9】提出之方法獲得簡化的 ICRS。Yang 和 Gupta【10】則依據 16 座機櫃之有限元素分析資料假設 Ritz vector，利用 Rayleigh-Ritz 方法求取盤體機櫃動力反應，而可求得 ICRS。Yang 和 Gupta【10】則修正並應用 Gupta 等人【9】提出之 Ritz vector，建立 INCABS 程式。Yang 和 Gupta【10】將盤體機櫃分為 Box、Internal frame、Benchboard、吊掛式盤體機櫃等四種類型，並依據盤體機櫃錨定條件計算其整體模態，依據盤內設備物固定處之盤體子構件型式(板、構架、已加勁之板)，計算其局部模態(local mode)。Gupta 等人【9】與 Yang 和 Gupta【10】提出之方法，是假設一個至兩個的顯著模態，即可計算具有精準度之 ICRS。

1.3.3 其他文獻

IEEE Std 344-2004【11】(IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations)為針對美國核電廠 Class 1E 設備之耐震性能驗證準則，證明 Class 1E 設備在數個特定中小型地震之後，承受特定大型地震期間以及震後仍能達到其性能要求。IEEE 344 不同於美國 AC156【12】、GR-63-CORE【13】以及 IEEE693【14】提供振動台輸入波應相容之平滑化設計需求反應譜(RRS, required response spectrum)，其僅為各種試驗與輸入波(包括單頻或多頻)設計等制訂原則性準則。

IEEE693【14】(IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations)為美國電廠之變電站設備物耐震設計準則，其適用範圍並不包括美國核電廠 Class 1E 設備物，內容包括變電站各式設備物耐震設計與測試等規定。IEEE693 提供設備物耐震性能驗證之平滑化設計需求反應譜(RRS, Required Response Spectrum)，實際測試時，振動台輸入波應與之相容。IEEE693 之耐震測試可分為兩種等級，在驗證等級測試(Qualification Levels)之下，設備物應完全無損壞，且繼續運轉。在性能等級測試(Performance Levels)之下，設備物可以有些微或無嚴重結構損壞，但仍應正常運轉。

IEEE693 已規定性能等級測試波之歷時峰值，檢驗等級測試之輸入波強度則為性能等級測試的 0.5 倍。性能等級測試波水平向與垂直向之加速度峰值，應分別達到 1.0g 與 0.8g。

1.4 研究內容

本研究採用與某核電廠相似之機櫃，進行動力分析及探討結構特性，該核能電廠之電氣盤體機櫃型式眾多，故本研究主要針對三種不同間層機櫃進行振動台試驗，間層高尺寸分別為 600mm(三層)、450mm(四層)及 300mm(六層)。實驗機櫃外部之寬(X 向)、深(Y 向)、高(Z 向)尺寸分別為 630mm×550mm×2350mm，機櫃總重約為 140kg，機櫃各間層內設備物重量均為 5kg。輸入波選用寬頻範圍之 IEEE693 規範的平滑化需求反應譜(IEEE693)與臺灣龍門電廠的樓板反應譜(OBE)，量測裝置含有加速度規與磁環式位移計，其架設位置於第二章詳細說明。

為求了解試驗機櫃之基本性能，將探討機櫃之自然結構頻率與阻尼比分析，並利用加速度規與磁環式位移計所得之加速度值及位移量，進行加速度歷時、加速度峰值放大倍率與位移模態之分析。並比較以下不同項目：(一)、機櫃內部有無設備物之影響；(二)、不同量測位置之反應；(三)、含抽屜及無抽屜之反應；(四)不同強度之輸入波；(五)不同頻寬範圍之地震輸入波，以了解機櫃之動力反應。

因機櫃內部放置多種重要設備物，故機櫃內部之耐震反應相當重要，一般盤內設備物設計及耐震需求，皆須提供盤內設備物錨定點之盤內反應譜，為確保不同自然頻率之盤內設備物之評估結果或耐震設計能達到規範要求。放大因子會隨著設備物種類不同與配置位置、配置方式之不同而有所變化，放大因子為受震下之機櫃內部反應譜與機櫃底部反應譜之比值。故本研究將於第四章探討機櫃於受震下之盤內反應譜與放大因子。

本研究採用 SAP2000 分析軟體進行模型建立及動力反應模擬比較，以 IEEE693-0.25g 地震波作為輸入地表波代表，並進行比較數值模型與試驗所得之加速度歷時、反應譜內涵及放大因子之差異性；建立數值模型目的為提供往後參數分析及多盤體模擬之參考。

表 1.1 MCC 振幅放大因子分析結果(所有測試資料) 【2】

Amplification		Median	β_u	β_r	High Confidence
Peak	4-16Hz	4.8	0.23	0.10	8.2
	16-40Hz	5.3	0.23	0.14	9.9
	40-100Hz	5.7	0.46	0.17	15.8
Average	4-16Hz	3.0	0.14	0.14	4.7
	16-40Hz	3.7	0.32	0.13	7.7
	40-100Hz	5.0	0.36	0.13	11.2
Zero Period		3.3	0.21	0.09	5.4

表 1.2 MCC 振幅放大因子分析結果(設備破壞測試) 【2】

Amplification	Median	β_u	β_r	High Confidence
Peak 4-16Hz	4.3	0.21	0.19	8.2
Average 4-16Hz	2.9	0.14	0.16	4.8
Zero Period	3.0	0.14	0.16	4.9

表 1.3 盤內動力放大係數(AF)列表【3】

No.	盤體機櫃種類	AF 值**
1	MCC 類盤體機櫃*	3
2	一般控制盤(Conventional Control Panel)或斜 面式操作台(Bench board)*	4.5***
3	開關器類(Switchgear type)機櫃，或是其他類似之 大型未固定式盤體*	7
4	其他種類之機櫃、盤體	****

* 盤體機櫃定義，可參考文獻【13】附錄 I 之說明

** 評估人員應參考【13】、【4】等文獻，確認盤體機櫃定義，方能使用 AF 值

*** 控制盤或斜面式操作台的固定方式必須依照文獻【13】之規定，AF 值方能採用 4.5。

但評估以下項目時，應使控制盤或操作台顯著自然頻率均在 13Hz 以上，而非文獻【13】制定之 11Hz：

1. 裝置於內部獨立式排架之設備物
2. 懸臂式附屬物，如固定於前方立面或側板之懸臂式翼牆
3. 控制盤或操作台之櫃門

**** 其他種類之機櫃、盤體，可依據文獻【4】，藉由測試而得某特定盤內設備物固定處之反應譜加速度峰值即其對應之動力放大因子，乘上折減係數後，即可得有效盤內動力放大因子。一般典型之窄頻動力放大係數反應譜，其折減係數為 0.6。

第二章 實驗研究

2.1 核能電廠電氣盤體

本研究採用臺灣核能電廠 MCC(Motor Control Center)機櫃為實驗之對象，其機櫃內部含有控制電路設備，為控制餘熱移除系統(RHR, Residual Heat Removal)之 C 串(簡稱 RHR-C 串)，RHR-C 串管路由管線、馬達、閥門...等設備所組成，而馬達與閥門啟動大多皆由電路控制，這些電路控制儀器放置於 MCC 機櫃內，可說明 MCC 機櫃為核能安全元件之一。本研究將探討與核能電廠 MCC(Motor Control Center)相似之電氣盤體機櫃於彈性範圍內之動力反應與反應譜特性。

所探討的 MCC 電氣盤體機櫃位於核能電廠一號機反應廠房(RB, Reactor Building) Room337 內，高程為海平面+4800mm 處，所在平面圖如圖 2.1 所示，圖中為 3F 平面圖之廠內特定樓層編號與真實樓層數不同。機櫃外觀如圖 2.2 所示，內部含有控制 RHR-C 串管路線之儀器。由九條不同間層數機櫃組合，單條機櫃尺寸寬、深、高分別為 508mm×508mm×2315mm；每條電氣盤體內含有不同間層尺寸，分別為 300mm、450mm、600mm 及 750mm。櫃內設備物大多為斷路器、變壓器、電驛、保護電驛、零材線料...等，每層總重量約 1.3kg 至 5.1kg 之間。九條機櫃藉由橫跨機櫃底部之兩條平行槽鋼連結，槽鋼分別焊接於機櫃前側(front)與後側(back)之底部與廠內預埋鋼板相接，並依據焊接圖進行施工。由圖 2.3 所示，最外圍邊界處焊接長度為 76.5mm，中間機櫃相連處焊接長度為 152.5mm，焊接厚度為 3mm，槽鋼頂部與單條機櫃底部連接由四顆 M16 螺栓於機櫃四個角落相接。

核電廠之電氣盤體機櫃款式眾多且內含有控制不同系統之設備物，本研究主要針對三層(層高 600mm)，四層(層高 450mm)及六層(層高 300mm)之三層不同間層數機櫃進行研究，後續文章中簡稱為 600mm，450mm 及 300mm 機櫃，不同機櫃盤內所擺置之設備物與重量依據電廠人員所提供之資料配置，如表 2.1 所示。設備物主要擺放位置與接合情況，不同間層尺寸機櫃皆有所不同，如圖 2.4 所示，設備物包含有變壓器、斷路器、監控傳送

器、保護電驛、線材...等，設備物與機櫃接合方式主要由螺栓鎖固於機櫃內側鋼板或抽屜後版上，如圖 2.5 所示。

依據現場巡查結果，盤內設備物多為吊掛式，少數為平放式。其中，核能電廠 600mm 機櫃最底層之盤內設備物為平放式，其餘均為吊掛式；450mm 之機櫃擺放方式較為不同，抽屜右側加製一片 Z 型板，Z 型板上方主要為電驛(relay)擺放處，如圖 2.4(b)所示；300mm 設備均擺放於機櫃抽屜後板上，如圖 2.4(c)所示。

2.2 實驗設備與結構

依據龍門電廠現地調查結果，製作與核能電廠電氣盤體相似之機櫃，其設計間層為 300mm×6 層、450mm×4 層及 600mm×3 層三種規格機櫃。試驗機櫃外部尺寸為寬(X 方向)、深(Y 方向)、高(Z 方向)分別為 630mm×550mm×2350mm，Y 方向為機櫃門方向(front-to-back)。機櫃重量約為 140kg，試體外觀如圖 2.6 所示。機櫃右側小門內為放置設備所連結之電纜線位置，機櫃頂部預留間層 300mm 及底部預留間層 250mm 為各機櫃間電纜線流通處。機櫃間層尺寸 300mm 及 450mm 內部含有抽屜，600mm 內部未含有抽屜，為一片垂直面板由六顆螺栓固定於機櫃內部垂直角鋼上。

機櫃底部之接合部分，臺灣核能電廠機櫃底部為兩條平行槽鋼焊接於預埋鋼板上，槽鋼頂部由螺栓與機櫃接合，圖 2.7 所示為模擬臺灣核能電廠機櫃底部之邊界條件。槽鋼焊接長度依核電廠所提供之工程焊接圖規定長度焊接，因本試驗試體為單條機櫃，故將機櫃前後兩側角落各焊接 76.5cm，焊接厚度為 3mm，試體底部焊接完工照片如圖 2.8 所示。

臺灣核能電廠之機櫃間層 300mm、450mm、600mm 內部之設備物重量為 1.3kg 至 1.5kg 之間，試驗機櫃採用相同重量之質量鋼塊加入，其重量分別有 1000g、600g、500g、400g、300g，並依照核能電廠電氣盤體設備物所在位置鎖固於每層機櫃後板或抽屜後板上；核電廠機櫃內部含有櫃內設備物大多為斷路器、變壓器、電驛、保護電驛、零材線料...等，每層總重量約 1.3kg 至 5.1kg 之間，故試驗機櫃每層以核電廠機櫃內設備物之最大重量 5kg 模擬，試驗質量塊擺放位置如圖 2.9 所示。由於電廠內機櫃頂部均含有

輸送電纜線之鋼管支撐，故試驗機櫃頂部加裝之 2kg 之質量塊模擬，如圖 2.10 所示。

2.3 實驗規劃與流程

2.3.1 實驗規劃

本實驗機櫃外觀與實驗順序，如圖 2.11 與表 2.2 所示。以下利用所制定之名稱代表不同間層數之機櫃，Case 1 為機櫃間層尺寸為 600mm，Case 2 為機櫃間層尺寸為 450mm，Case 3 為機櫃間層尺寸為 300mm；bare 表示為空櫃內部無質量塊之情況，mass 則為機櫃內含有質量塊之情況，實驗探討影響機櫃反應之項目分別為：(一)、空櫃不含設備質量與含質量之機櫃；(二)、不同量測位置(如機櫃內、外部與不同高程處之盤內反應)；(三)、輸入波不同強度之影響；(四)、機櫃內部有無抽屜之反應；(五)、不同頻寬範圍之地震波影響。

2.3.2 實驗流程

實驗流程之地表輸入波分別為 IEEE693 試驗波與 OBE 試驗波，兩種試驗波皆為寬頻範圍。首先，說明 IEEE693 為地表輸入波選用情況，IEEE344【11】與 IEEE693【14】均為美國電廠之耐震規範；IEEE344 為針對美國核能電廠 Class 1E 設備之耐震性能驗證準則，證明 Class 1E 設備在遇到特定地震後仍能達到其性能要求，但 IEEE344 之輸入波可能會使電氣盤體機櫃進入塑性反應，其因為 IEEE344 為美國核電廠某特定點之樓板反應譜，美國位於地震較少之地區，臺灣位在強震較多之地區，因本研究主在探討機櫃於彈性範圍內之結構特性，故不選用 IEEE344 規定之輸入波；IEEE693 適用範圍雖不包含核能電廠安全相關設備物，即為美國核能電廠 Class1E 設備物，但本研究輸入波仍使用 IEEE693 之規定，其主要原因為在探討電氣盤體機櫃於彈性範圍內之結構特性；本研究採用 IEEE693 平滑化之需求反應譜(RRS, Required Response Spectrum)，如圖 2.12 所示。而 OBE 輸入波為使用龍門電廠之樓板反應譜，如圖 2.13 所示，OBE 測試波譜加速度之水平向為 0.26g，垂直方向為 0.76g，採用阻尼比為 0.02。OBE 原始地震歷時，

以中央氣象局在該核能電廠附近之測站，依據 2002 年至 2008 年規模 3.0 以上、峰值 10gal 以上之地震歷時資料進行篩選，最後採用龍門電廠內自由場 TAP105 測站之 2004 年 0706 地震歷時為原始地表歷時，如圖 2.14 所示，OBE 設計樓板反應譜相容之需求反應譜如圖 2.15 所示，OBE 試驗波之原始地震歷時相關資料如表 2.3 所示。而 SSE 樓板反應譜相容之 SSE 試驗波將導致電氣盤體機櫃進入於塑性範圍內，故不選用 SSE 試驗波。

本實驗共含四種輸入波，主要測試波為 IEEE693 與 OBE 人造歷時，於輸入主要地震歷時前，先進行白噪音測試(White noise testing)與衝擊載重波測試(Impact pulse testing)，進而得到盤體之結構動力特性。白噪音試驗目的為找出盤體之自然頻率，輸入波峰值為 0.05g，頻率範圍為 1~50Hz，由轉換函數(Transition function)求得結構自然頻率。衝擊載重波試驗目的為藉由自由振動反應區段，進行結構模態分析。主要測試波，首先為 IEEE693 之人造歷時，其地震力大小為 0.5g，分別進行 50%(0.25g)、75%(0.375g)及 100%(0.5g)試驗，而 OBE 之人造地震歷時，其地震力大小為 0.47g，分別進行 50%(0.24g)及 100%(0.47g)試驗，藉由兩種測試波探討彈性範圍內之結構動力反應、盤內反應譜、動力放大因子。上述除了白噪音試驗為單軸向輸入波，其餘皆為三軸向輸入波，振動台實驗流程如表 2.4 所示。

在進行實驗前，測試波以經由振動台空台試驗與性能調整，為確保實驗時振動台輸入歷時能夠達到測試波之需求，其中 IEEE693 測試波有其相關規定，為以下表示：

- 1、正弦波掃描自然頻率測試：依據 IEEE693 A.1.2.1 Resonant frequency search test 規定，搜尋機櫃水平與垂直三方向之自然頻率(Natural frequency)。加載前後均應進行設備物自然頻率搜尋測試，以觀察加載前後設備物自然頻率(Fundamental Frequency)變動是否超過 20%，由於本實驗探討目的為彈性階段之機櫃反應，故並未於加載後進行設備物自然頻率搜尋。
- 2、三軸向測試波測試：本研究人造地震歷時測試，為採用 IEEE693 規定之測試波需求反應譜(RRS)，以及 IEEE 網站提供、已與三軸向 RRS 反應譜相容之 IEEE-693 隨機測試波【14】，該測試波已經過 1Hz 以

上的高通濾波處理。需求反應譜為採 IEEE693 A.1.2.2.1 Triaxial analysis and testing 阻尼比 2%之高震區需求反應譜，其譜加速度值 (S_a ，單位為 g)可依下式求之：

$$\begin{aligned}
 S_a &= 1.144\beta \cdot f && \text{for } 0.0\text{Hz} \leq f \leq 1.1\text{Hz} \\
 S_a &= 1.25\beta && \text{for } 1.1\text{Hz} \leq f \leq 8.0\text{Hz} \\
 S_a &= (13.2\beta - 5.28)/f - 0.4\beta + 0.66 && \text{for } 8.0\text{Hz} \leq f \leq 33\text{Hz}, S_a = 1.144, \text{ for } 0 \leq f \leq 1.1\text{Hz}, \\
 S_a &= 0.5 && \text{for } f > 8.0\text{Hz} \\
 \beta &= [3.21 - 0.68 \cdot \ln(d)] && d: \text{damping ratio}, 0.02
 \end{aligned}$$

IEEE693 原始三軸測試波如圖 2.16 所示，原始測試波歷時峰值如表 2.5 所示。依據 IEEE693 規定，垂直測試波峰值應至少水平向測試波峰值之 80%。

2.4 實驗量測裝置

實驗使用之量測裝置有加速度規與磁環式位移計，如圖 2.17 所示，配置圖如圖 2.18 所示，圖中正方形代表為加速度規，紅色代表 X 方向，藍色代表 Y 方向，黑色代表 Z 方向；實心圓形代表為磁環式位移計。實驗中機櫃外側之加速度規與磁環式位移計架設照片如圖 2.19 所示。加速度規與磁環式位移計裝置位置規畫，詳述於 2.4.1 與 2.4.2 小節。

2.4.1 加速度規

加速度規(Accelerometer)主要放置在機櫃外側與內側，用來量測機櫃不同高程與機櫃內外側 X、Y、Z 三方向的地震力輸入之絕對加速度。機櫃外側部分於頂部放置兩組加速度規，為 A1(X、Y、Z)、A2(X、Y、Z)，機櫃中間層放置一組，為 A3(X、Y)，振動台台面放置一組，為 AT(X、Y、Z)；內側部分主要裝置在機櫃內層背板後側與抽屜背板後側，依不同層數所放置之加速度規數量，其中，Case 2 機櫃組數多放置四組加速度規於機櫃抽屜 Z 型板上。而 Case 1 機櫃內部加速度規放置於間層背板共三組，為 A4(X、Y、Z)、A5(X、Y、Z)、A6(X、Y、Z)，整體加速度規總顆數共 20 顆；於 Case 2 層機櫃內部加速度規共有八組，於機櫃抽屜背板放置四組，為 A4(X、Y、Z)、A6(X、Y、Z)、A8(X、Y、Z)、A10(X、Y、Z)，另外四組放置於機櫃抽屜 Z 型板上，為 A5(X、Y、Z)、A7(X、Y、Z)、A9(X、Y、Z)、A11(X、

Y、Z)，整體加速度規顆數共 35 顆；於 Case 3 層機櫃內部加速度規共有 6 組，為 A4(X、Y、Z)、A5(X、Y、Z)、A6(X、Y、Z)、A7(X、Y、Z)、A8(X、Y、Z)、A9(X、Y、Z)，放置於機櫃內層背板後側，整體加速度規共 29 顆。加速度規配置位置，如表 2.6 與圖 2.20 至圖 2.23 所示，輸出單位為 g。量測點名稱 A 代表為加速度規，數字為放置不同點處之位置，X、Y、Z 代表為量測之方向。

2.4.2 磁環式位移計

磁環式位移計共設有 12 支，用來量測各層平行地震輸入方向之機櫃外框 X、Y 方向之相對位移。X 方向架設於機櫃右側面(N 側面)，擺置位置於振動台台面 1 支(DTX)，機櫃底部槽鋼頂部 1 支(DBX)，機櫃中央處 2 支(DMX_E、DMX_W)，機櫃頂部 2 支(DTX_E、DTX_W)；Y 方向架設於機櫃背面(W 側面)，擺置位置於振動台台面 1 支(DTY)，機櫃底部槽鋼頂部 1 支(DBY)，機櫃中間 2 支(DMY_N、DMY_S)，機櫃頂部 2 支(DTY_N、DTY_S)。由相對位移找出機櫃側板之模態狀況，以了解地震歷時之位移反應，架設情況如圖 2.24 所示，輸入單位為 mm。量測點名稱 D 代表位移，X、Y 代表為量測方向。

表 2.1 電氣盤體盤內配件重量

條 層層	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	無	斷路器 零料線材 1.3kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 零料線材 4.6kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 零料線材 4.6kg	保護電譯 79RY×2 監控傳送 器變壓器 零料線材 3.9kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 零料線材 4.6kg	保護電譯 79RY×2 監控傳送 器變壓器 零料線材 3.9kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 接地用故 障保護電 譯 變壓器 零料線材 5.1kg	電驛 零料線材 1.4kg
B	變壓器 監控傳送 器 零料線材 3.9kg	斷路器 零料線材 1.3kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 零料線材 4.6kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 接地用故 障保護電 譯 變壓器 零料線材 5.1kg	保護電譯 79RY×2 監控傳送 器變壓器 零料線材 3.9kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 零料線材 4.6kg	保護電譯 79RY×2 監控傳送 器 變壓器 零料線材 3.9kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 接地用故 障保護電 譯 變壓器 零料線材 5.1kg	無
C	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 4.6kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 接地用故 障保護電 譯 變壓器 零料線材 5.1kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 零料線材 4.6kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 接地用故 障保護電 譯 變壓器 零料線材 5.1kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 零料線材 4.6kg	無	保護電譯 79RY×2 監控傳送 器變壓器 零料線材 3.9kg	斷路器 保護電譯 79RY×27 變壓器 零料線材 4.6kg	斷路器 ×19 零料線材 6.3kg
D	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 4.6kg	斷路器 零料線材 1.3kg	保護電譯 79RY×2 監控傳輸 器 變壓器 零料線材 3.9kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 零料線材 3.6kg	斷路器 零料線材 1.3kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 接地用故 障保護電 譯 變壓器 零料線材 5.1kg	保護電譯 79RY×2 監控傳送 器變壓器 零料線材 3.9kg	斷路器 保護電譯 79RY×2 變壓器 零料線材 4.6kg	監控傳送 器 零料線材 900g
E									

表 2.2 實驗順序

		Floor size (mm)	Floor number	Total weight (kg)
Case 1	bare	600	3	0
	mass	600	3	20
Case 2	bare	450	4	0
	mass	450	4	20
Case 3	bare	300	6	0
	mass	300	6	30

表 2.3 TAP105 測站資料

Station	Strength	Dist	PGA_Z	PGA_NS	PGA_EW	Duration(sec)
TAP105	3	43.43	13.28	7.12	13.1	40
Filename	S_lon	S_lat	Depth	Magnitude	Azimuth	
T567001.064	121.84	24.65	6.39	5.9	11	

表 2.4 振動台實驗流程

Test Program					
	Input Motion	X-Direction (NS)	Y-Direction (EW)	Z-Direction (V)	Duration (sec)
		Peak Ground Acceleration (g)	Peak Ground Acceleration (g)	Peak Ground Acceleration (g)	
Case 1_bare Case 1_mass Case 2_bare Case 2_mass Case 3_bare Case 3_mass	White noise-X	0.05			90
	White noise-Y		0.05		90
	White noise-Z			0.05	90
	Impact pulse	0.1	0.1	0.1	45
	IEEE693 0.5g-50%	0.25	0.25	0.2	40
	IEEE693 0.5g-75%	0.375	0.375	0.3	40
	IEEE693 0.5g-100%	0.5	0.5	0.4	40
	OBE 0.47g-50%	0.24	0.21	0.69	40
OBE 0.47g-100%	0.47	0.42	1.37	40	

表 2.5 IEEE693 測試波原始歷時峰值列表

Direction	Peak Acceleration (g)	Peak Velocity (cm/sec)	Peak Displacement (cm)
X	1.02	62.992	5.588
Y	1.03	71.12	8.636
Z	0.89	45.974	5.588

表 2.6 加速度規量測位置

Cabinet Type	Accelerometer Number	Position
Case 1(600mm) Case 2(450mm) Case 3(300mm)	AT	振動台底部
	A1	機櫃外側頂層
	A2	機櫃外側頂層
	A3	機櫃外側中間層
Case 1 (600mm)	A4	機櫃內側底部第一層
	A5	機櫃內側底部第二層
	A6	機櫃內側底部第三層
Case2 (450mm)	A4	機櫃內側底部第一層後板
	A5	機櫃內側底部第一層 Z 型板
	A6	機櫃底部內側底二層後板
	A7	機櫃底部內側第二層 Z 型板
	A8	機櫃底部內側第三層後板
	A9	機櫃底部內側第三層 Z 型板
	A10	機櫃底部內側第四層後板
A11	機櫃底部內側第四層 Z 型板	
Case 3 (300mm)	A4	機櫃內側底部第一層
	A5	機櫃內側底部第二層
	A6	機櫃內側底部底三層
	A7	機櫃內側底部第四層
	A8	機櫃內側底部第五層
	A9	機櫃內側底部第六層



圖 2.1 龍門電廠 MCC 電氣盤體位置 (Room 337)



圖 2.2 龍門電廠 MCC 電氣盤體之機櫃

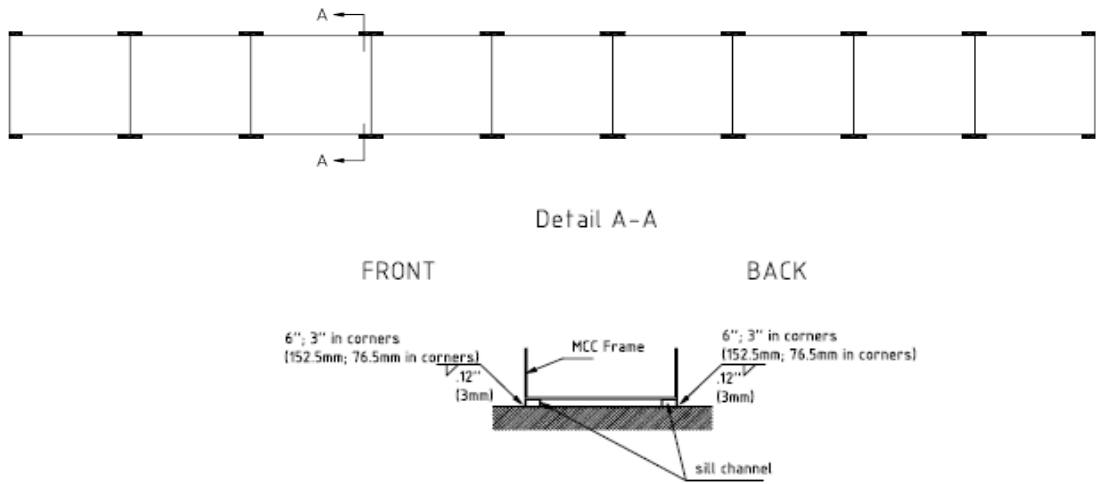
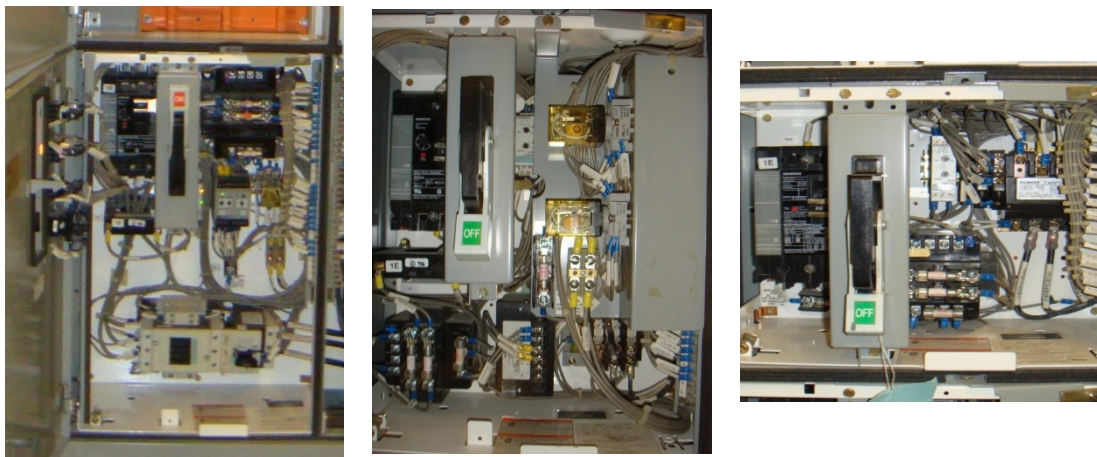


圖 2.3 核能電廠機櫃底部焊接施工圖



(a) Case 1 (600mm) (b) Case 2 (450mm) (c) Case 3 (300mm)

圖 2.4 核電廠不同間層尺寸之櫃內設備物擺置情況



圖 2.5 櫃內設備物鎖固情況



(a) 600mm×3



(b) 450mm×4

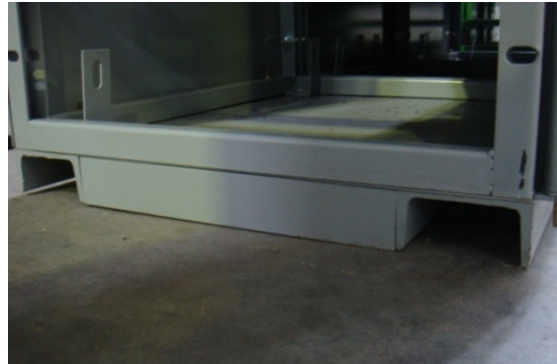


(c) 300mm×3

圖 2.6 電氣盤體之機櫃外觀圖



(a)核電廠電氣盤體



(b) 試驗電氣盤體

圖 2.7 MCC 電氣盤體底部槽鋼情況



(a) 試體正面

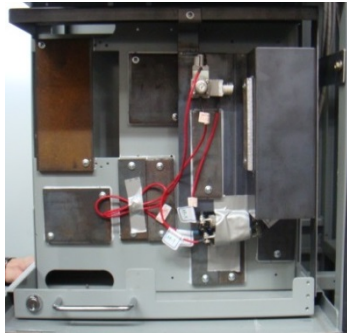


(b) 試體背面

圖 2.8 試體底部焊接完工圖



(a) Case 1 (600mm)



(b) Case 2 (450mm)



(c) Case 3 (300mm)

圖 2.9 試驗機櫃不同間層尺寸之機櫃設備物擺置情況



(a)核能電廠機櫃頂部鋼管



(b)試驗機櫃頂部模擬質量塊

圖 2.10 機櫃頂部情況



(a) 600mm×3



(b) 600mm_bare



(c) 600mm_mass



(d) 450mm×4



(e) 450mm_bare



(f) 450mm_mass



(g) 300mm×6



(h) 300mm_bare



(i) 300mm_mass

圖 2.11 機櫃外觀

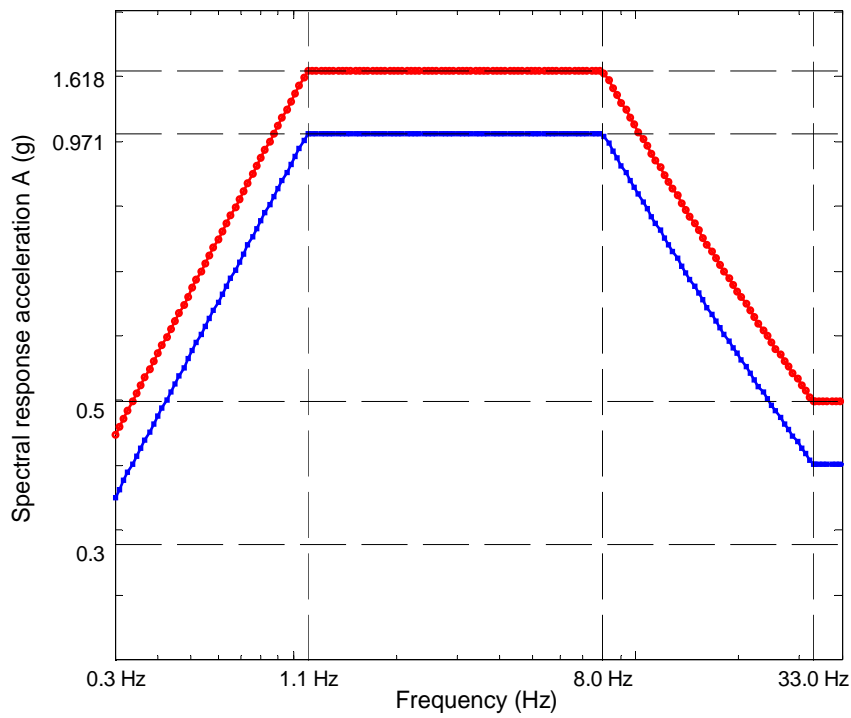


圖 2.12 IEEE693 需求反應譜

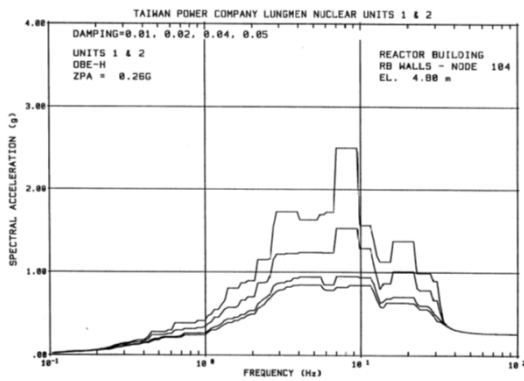


FIGURE B-13 WIDENED ENVELOPED FLOOR RESPONSE SPECTRA

(a) OBE-H(水平向) PGA=0.26g

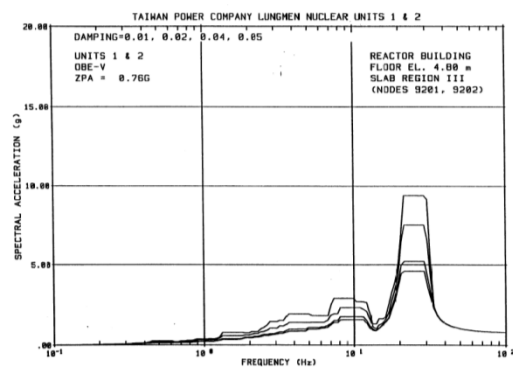
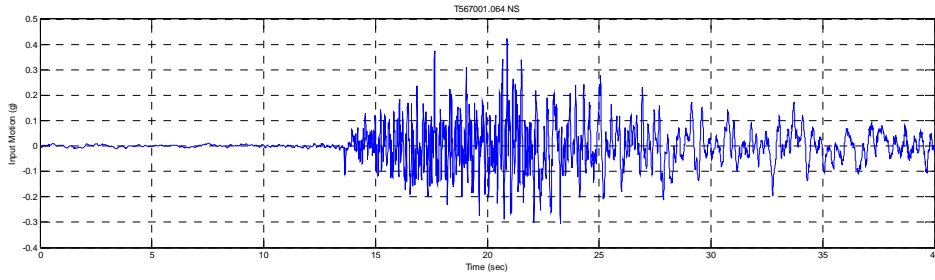


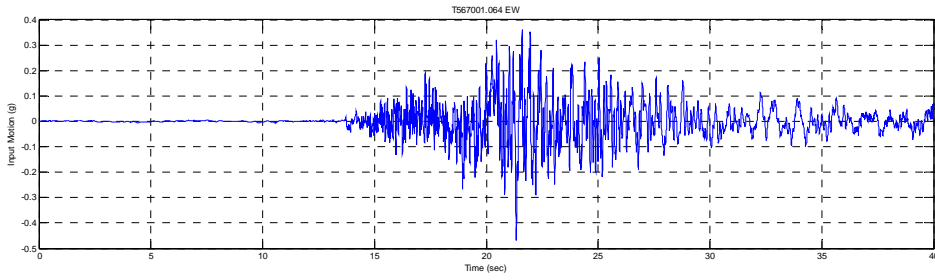
FIGURE B-39 WIDENED ENVELOPED FLOOR RESPONSE SPECTRA

(b) OBE-V(垂直向) PGA=0.76g

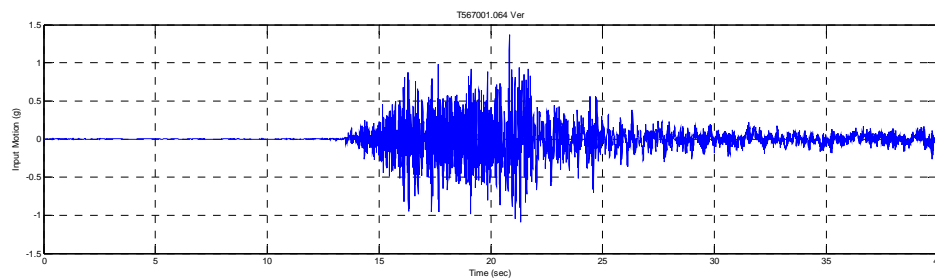
圖 2.13 龍門電廠樓板反應譜



(a) X 方向



(b) Y 方向



(c) Z 方向

圖 2.14 OBE 測試波地震歷時

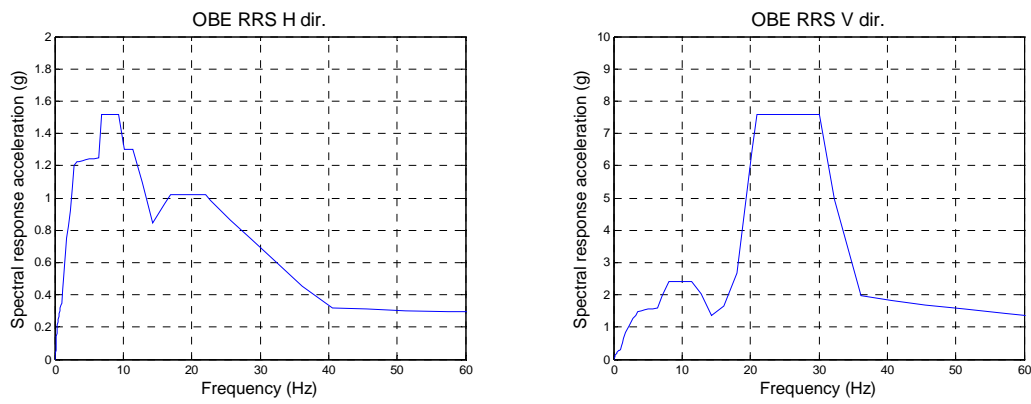


圖 2.15 OBE 需求反應譜

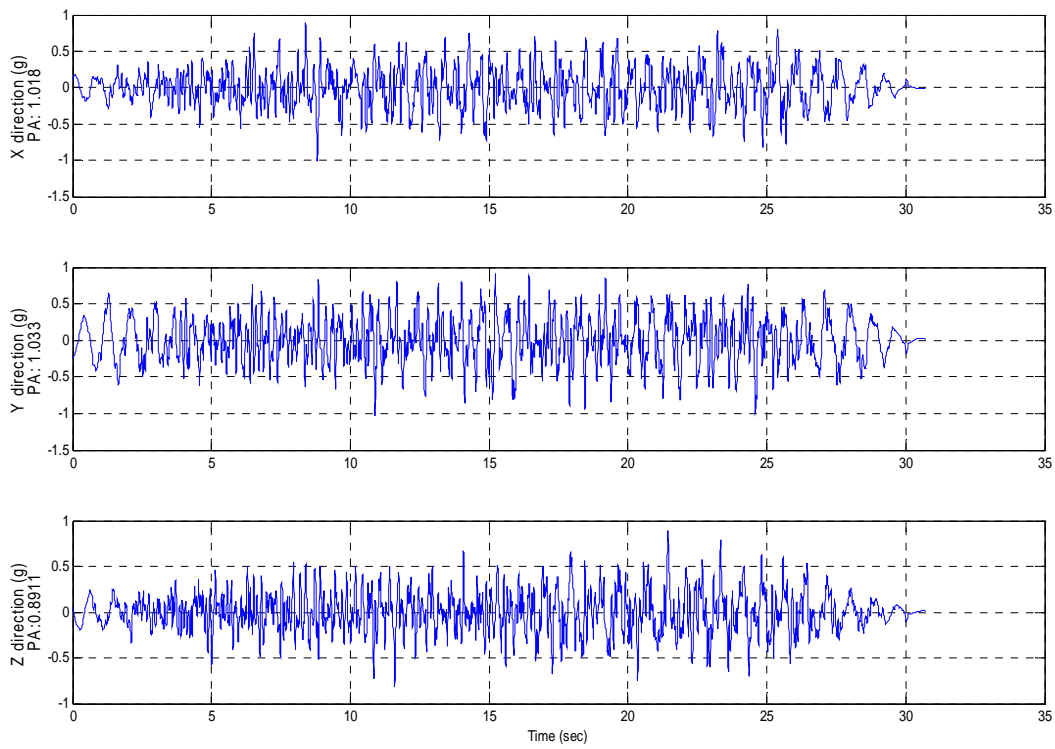


圖 2.16 IEEE693 官方人造隨機測試波

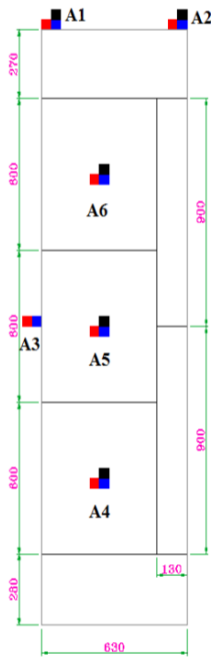


(a) 加速度規

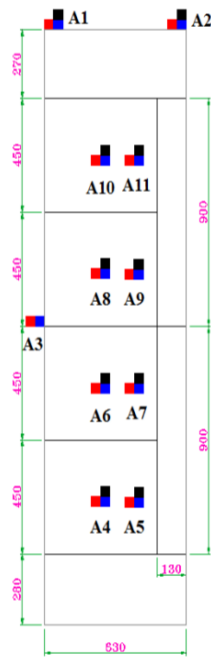


(b) 磁環式位移計

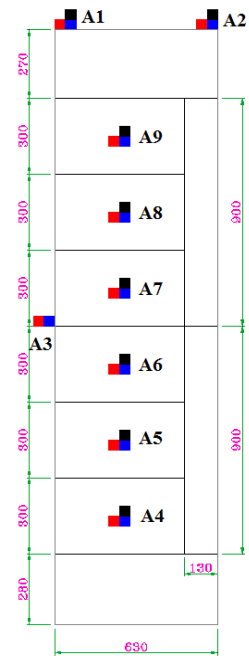
圖 2.17 實驗量測裝置



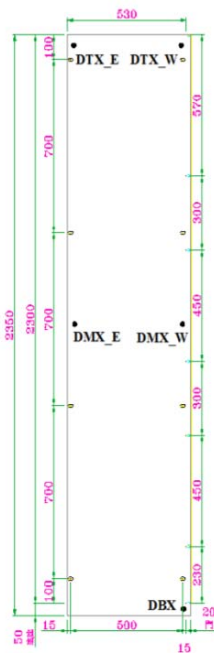
(a) 600mm
機櫃正面圖



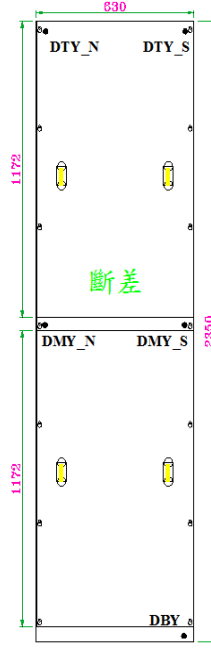
(b) 450mm
機櫃正面圖



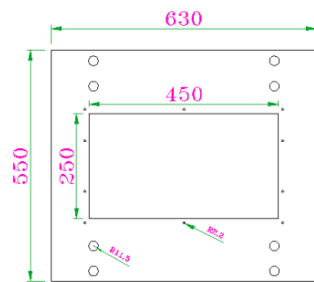
(c) 300mm
機櫃正面圖



(d) 機櫃側面圖



(e) 機櫃背面圖



(f) 機櫃底部圖

圖 2.18 電氣盤體量測裝置配置圖



(a) 600mm×3 層



(b) 450mm×4 層



(c) 300mm×6 層

圖 2.19 振動台實驗量測器現場架設圖



(a) 機櫃頂部加速規(A1、A2)



(b) 機櫃中間層加速規(A3)

圖 2.20 機櫃外部加速度規放置位置

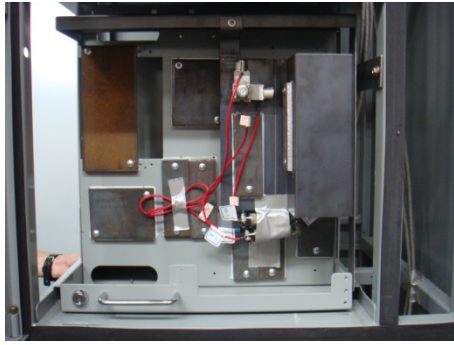


(a) 機櫃內部加速度規(A4)



(b) 機櫃內部加速度規(A6)

圖 2.21 機櫃內部加速度規 (600mm×3 層)

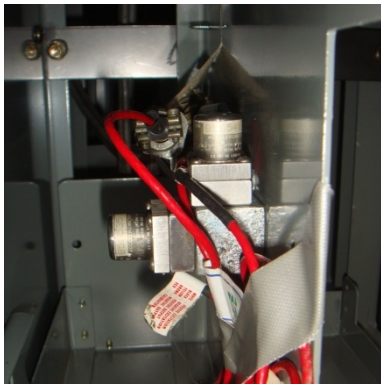


(a) 機櫃內部加速度規(Z型板)正面圖

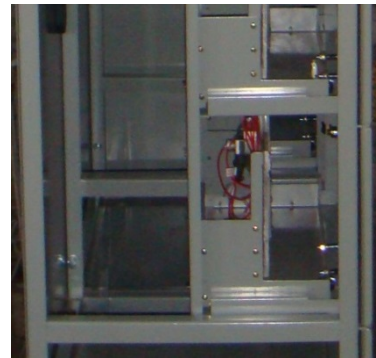


(b) 機櫃內部加速規側面圖

圖 2.22 機櫃內部加速度規 (450mm×4 層)



(a) 機櫃內部加速度規



(b) 機櫃內部加速規側面圖

圖 2.23 機櫃內部加速度規 (300mm×6 層)

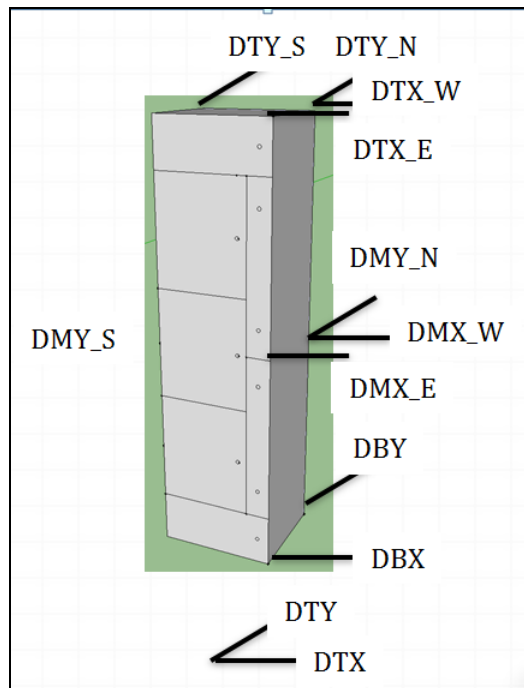


圖 2.24 磁環式位移計量測位置 (600mm×3 層)

第三章 實驗結果分析

3.1 機櫃之動力特性

本文以探討臺灣核能電廠之相似電氣盤體機櫃，其機櫃間層尺寸分別為 Case 1(600mm)、Case 2(450mm)與 Case 3(300mm)三種機櫃，受震下機櫃之結構動力特性進行分析以及探討；本章節對機櫃探討部分，以先進行機櫃結構之自然頻率分析、阻尼比分析、加速度歷時分析以及加速度放大倍率、位移量分析之部分。

3.1.1 機櫃自然頻率

機櫃結構之自然頻率，透過 0.05g 單軸向白噪音(White noise)試驗而得；自然頻率值分析方法，利用機櫃底層加速度歷時(AT)之自身相關函數(auto correlation function)如式 3.1，和機櫃頂層絕對加速度歷時(A1 或 A2)之交叉相關函數(cross correlation function)如式 3.2，進行相除為該點之轉換函數(Transfer function)如式 3.3 所示，由轉換函數可觀察出機櫃之結構特性。

$$R_{AT}(\tau) = E[A_T(t)A_T(t+\tau)] \quad (\text{式 3.1})$$

$$R_{ATA_i}(\tau) = E[A_T(t)A_i(t+\tau)], i=1, 2, \dots, n \quad (\text{式 3.2})$$

$$TR_{A_i} = \left| \frac{R_{A_i}}{R_{AT}} \right|, i=1, 2, \dots, n \quad (\text{式 3.3})$$

其中，

R_{AT} ：地表點 A_T 之自身相關函數

$A_T(t)$ ：地表點(A_T)之某 t 時間之加速度值

$A_T(t+\tau)$ ：地表點(A_T)於 t 時間點經過 τ 時間點之加速度值

E ：隨時間改變之加速度平均值

R_{ATA_i} ： $A_T A_i$ 點之交叉相關函數

$A_i(t+\tau)$ ：加速度點(A_i)於 t 時間點經過 τ 時間點之加速度值

TR_{Ai} : A_i 點之轉換函數

實驗機櫃之轉換函數結果如表 3.1 所示，表中 A1 為靠近門前側之加速度規，A2 為靠近機櫃後側之加速度規，A1 點與 A2 點頻率值相似，以下均以 A1 點頻率值作為比較；Case 1、Case 2 及 Case 3 空櫃之第一模態 X 方向頻率分別為 12.70Hz、13.28Hz、12.50Hz，Y 方向頻率分別為 15.82Hz、18.75Hz 及 15.04Hz；質量櫃之第一模態頻率於 Case 1、Case 2 及 Case 3 分別為 11.91Hz、12.11Hz 及 10.74Hz，Y 方向頻率為 14.26Hz、14.65Hz 及 12.11Hz。此外，由於機櫃垂直向(Z 方向)之轉換函數無法清楚判讀主要頻率，因其放大效應並不明顯，故不探討垂直方向，本章節將著重於探討機櫃之水平方向(X、Y)之動力特性。

由上述之機櫃自然頻率分析結果，可知機櫃整體反應於 X 方向自然頻率均略小於 Y 方向自然頻率，代表機櫃 Y 方向為整體反應之強軸向，X 方向為整體機櫃反應之弱軸向。如表 3.2 及圖 3.1 所示，當機櫃重量內含質量塊時，不論機櫃間層尺寸為何，頻率均隨著質量塊增加而減小；且當質量塊增加時，頻率之變化率(Ratio)Y 方向較 X 方向明顯，與空櫃之頻率比較時，X、Y 方向差異值有略為減少的趨勢。如圖 3.2 所示，空櫃(Bare)第一模態反應 X 方向，Case 1(600mm)機櫃與 Case 2(450mm)跟 Case 3(300mm)機櫃，頻率差異不大，但在 Y 方向可看出 Case 2(450mm)機櫃頻率大於 Case 1(600mm)及 Case 3(300mm)機櫃；在櫃內不同質量塊重量部分，頻率相異甚小。

若將機櫃內加速度歷時與底層加速度歷時進行轉換函數，如圖 3.3 至圖 3.5 所示，可發現轉換函數均隨著加速度規擺放位置高度越高，振幅有放大的趨勢，除了 Case 2(450mm)機櫃 Y 方向，其主要原因為 450mm 機櫃內部之抽屜右側加裝一塊 Z 型板，如圖 2.22(a)所示，Z 型板面外方向(即 Y 方向)懸空且勁度較低，僅由三支(M6)螺栓固定於機櫃抽屜頂端及側端，由圖 3.4(d)可知，Z 型板面外方向(Y 向)轉換函數振幅值較大，所對應之頻率較機櫃本身頻率低，代表 Z 型板額外的顯著頻率可能會對上部電驛(relay)造成功能性損壞。最後，不論機櫃內部是否含有抽屜，位於機櫃內部之加速度反應譜於高頻部分均產生較大之振幅值，為內部面板或抽屜所造成的高頻反應。

3.1.2 機櫃阻尼比

機櫃阻尼比(ξ)透過 0.05g 單軸向白噪音試驗(White noise test)進行轉換函數，由半功率法(Half-Power Method)求得。半功率法為依據簡諧振動共振時之振幅放大因子曲線進行阻尼比推算，如圖 3.6 所示，由頻譜響應曲線圖之縱座標找尋最大振幅值(y_{\max})，再取最大振幅值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ，依據此值($y_{\max} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$)做一水平線與曲線之交點，其曲線交點所對應之頻率分別為 f_1 與 f_2 ，將 f_1 與 f_2 代入 (3.1)式，即可求得機櫃之阻尼比。

$$\xi = \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} \quad (3.1)$$

其中，

ξ ：阻尼比(damping ratio);

f_1 ： $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍最大振幅值($y_{\max} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$)對應之第一個頻率值;

f_2 ： $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍最大振幅值($y_{\max} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$)對應之第二個頻率值;

本文以機櫃頂部加速度規(A1、A2)量測所得知之轉換函數圖，推算機櫃整體反應阻尼比，不同試驗之機櫃阻尼比可由如表 3.3 所示。由表 3.3 機櫃阻尼比可知，X 方向阻尼比介於 3.12%~4.54%之間，Y 方向阻尼比介於 2.58%~4.85%之間；將空櫃(bare)與含質量塊機櫃(mass)之阻尼比進行比對，再比較 Case 2 與 Case 3 發現當機櫃增加質量塊，阻尼比隨之減少，顯示阻尼比與質量之間呈反比關係，但 Case 1 機櫃則無此現象，初步判斷其原因為櫃內構件型態不同(如抽屜或單一面板)導致阻尼結果不相同。

3.2 加速度歷時反應

每組實驗組別之機櫃外部共放置三組加速度規，分別為頂層兩組(A1、A2)與中間層一組(A3)；機櫃內部加速度規放置位置，於不同組別機櫃放置不同數量之加速度規，Case 1 (600mm)放置三組(A4~A6)，Case 2 (450mm)放置八組(A4~A11)，Case 3 (300mm)放置六組(A4~A9)，其中，Case 2(450mm)內部抽屜有增設 Z 型板，Z 型板上加設一組加速度規探討其動力反應，如圖 2.21 至圖 2.23 所示，每組加速度規放置於機櫃內部間層後側面板，面板

及抽屜前側為質量塊放置處，據以了解櫃內設備物改變重量時，加速度放大倍率與空櫃內層加速度變化情形。最後，使用振動台台面加速度量測資料(AT)，將所量測之加速度歷時最大值進行相除，可得到機櫃整體之加速度放大倍率(AF_{ZPA})。表 3.4 至表 3.9 為 IEEE693 地震力與 OBE 地震力之加速度最大值列表。

本文加速度放大倍率定義為機櫃上量測點之最大加速度值($A_{max,local}$)與機櫃底部加速度最大值($A_{max,base}$)進行相除，即為該位置之加速度放大倍率(AF_{ZPA})。表 3.10 至表 3.27 為地震力 IEEE693 與 OBE 試驗之各量測點加速度放大倍率，Case 3 (300mm)盤內之 A8 加速度規，因於實驗中加速規訊號產生問題，故以下比較均不採取 A8 點位之實驗數據。不同項目比較影響分述如下：

(一) 機櫃內部有無設備物 (bare、mass)

圖 3.7 至圖 3.8 為 IEEE693 與 OBE 試驗之加速度放大倍率，均以最大地震力作為代表，比較 Case1、Case2 及 Case3 機櫃內部有無質量塊之加速度放大倍率，主要在探討機櫃內質量增減對於加速度放大倍率之規律性。由 Case 1 (600mm)觀察，IEEE693 地震力與 OBE 地震力反應均為質量櫃(mass)之櫃內加速度放大倍率大於空櫃(bare)放大倍率。觀察 Case 2 (450mm)含抽屜之組別可得知，質量櫃(mass)之加速度放大倍率均大於空櫃(bare)。而抽屜組別 Case 3 反應與 Case 2 相同，故以下比較均以 Case 2 作為代表。

以上不同組別機櫃各方向加速度放大倍率多數呈現機櫃質量增加其加速度放大因子越大，少部分呈現不規則變化，說明機櫃內部重量，不為影響加速度放大倍率之主要因素。

(二)含抽屜及無抽屜之型式(600mm、450mm 與 300mm)

由於機櫃內部間層數量不同，本報告均以機櫃內部最頂層之加速規所量測之加速度放大倍率作為代表比較之。圖 3.9 為空櫃不同間層之放大倍率比較圖，圖(a)為地震力 IEEE693-0.25g，圖(b)為地震力 OBE-50%，圖(c)為地震力 IEEE693-0.5g，圖(d)為地震力 OBE-100%下之放大倍率比較結果。

以下說明不同方向下各組別機櫃空櫃狀態之放大因子反應比較結果：X 方向之圖(b)與圖(c)之加速度放大倍率 Case 3 大於 Case 2 大於 Case 1，圖(a)與圖(d)之加速度放大倍率為 Case 2 皆大於 Case 1 與 Case 3；Y 方向於 IEEE693 地震下加速度放大倍率為 Case 2 大於 Case 3 大於 Case 1，於 OBE 地震下為 Case 3 大於 Case 2 大於 Case 1；Z 方向均為 Case 2 大於 Case 3 與 Case 1。

圖 3.10 可得知各組別含質量塊之機櫃放大因子反應比較結果：大部分反應比較結果為 Case 2 (450mm)大於 Case 3 (300mm)大於 Case 1 (600mm)，除 IEEE693-0.25g 地震 X 方向與 OBE 地震 Z 方向之外，其加速度放大倍率皆為 Case 3 (300mm)大於 Case 2 (450mm)大於 Case 1 (600mm)。

統整以上比較結果，可觀察出含有抽屜型式之機櫃(Case 2、Case 3)之加速度放大倍率均高於無抽屜型式之機櫃(Case 1)，其原因為機櫃內部抽屜受到強震下產生碰撞運動，造成盤內加速度反應產生較大之振幅，導致加速度放大因子大於無抽屜型式之機櫃。

(三)不同強度之輸入波

(1)、IEEE693 試驗(0.25g、0.375g、0.5g)

圖 3.11 為 Case 1 (600mm)機櫃之無抽屜組別，由 X 方向可看出當地震輸入波強度越高，加速度放大倍率越小，並可觀察出加速度放大倍率(AF_{ZPA})隨高度增加而有放大的情況。Y 方向之加速度放大倍率之輸入波與量測高度之趨勢並不顯著，主要為 Y 方向為機櫃後面板之面外方向，地震力作用下，後側面板產生各別之面外方向局部震動模態(local mode)，導致放大倍率呈現變化及無規律性。X 向加速度放大倍率約為 1.1~2.2 倍，Y 方向加速度放大倍率約為 1.3~2.2 倍，Z 方向平均放大倍率為 1.0~1.1 倍，可得知垂直向放大反應較不顯著。

Case 2 (450mm)為含抽屜型式之機櫃，機櫃抽屜內多加設 Z 型板，主要放置電驛(relay)之處，為抽屜面外方向；圖 3.12 為 Case 2 (450mm)機櫃之加速度放大倍率，輸入波強度對於放大倍率無較明顯的規律，但發現 Z 型板之加速規(A5、A7、A9、A11)加速度放大倍率均大於放置於抽屜後板之加

速規(A4、A6、A8、A10)加速度放大倍率，其主要原因為 Z 型板本身勁度較低，產生較大之振動而提升放大倍率。高度方面，X 方向之加速度放大倍率有隨高度越高倍率越大之趨勢，於抽屜後板之加速度放大倍率為 1.6~4.3 倍，Z 型板之加速度放大倍率為 2.0~5.7 倍；Y 方向於高度並無明顯規律性，抽屜後板之加速度放大倍率為 2.3~4.9 倍，Z 型板之加速度放大倍率為 2.9~7.2 倍；Z 方向於抽屜後板之加速度放大倍率均約為 1.5 倍，Z 型板之加速度放大倍率均大於 3。由以上結果可歸納出，機櫃內抽屜加裝之 Z 型板由於勁度低於抽屜，故當地震來臨時，會產生較大之加速度放大倍率，而導致放置於 Z 型板上的電驛(relay)容易產生顫振(chatter)進而產生電氣設備無效之訊號傳遞。

Case 3 (300mm)為含抽屜之機櫃組別，如圖 3.13 所示，地震輸入波強度對於加速度放大倍率並無明顯規律。X 方向之加速度放大倍率有隨高度提升倍率越大之情況，放大倍率為 1.1~4.4 倍；Y 方向之加速度放大倍率較無隨高度變化之趨勢，放大倍率均為 1.4~3.1 倍；Z 方向放大倍率為 1.1~1.8 倍，顯示垂直向較無放大現象。

(2)、OBE 試驗(50%、100%)

Case 1 (600mm)不含抽屜之機櫃，其加速度放大倍率以圖 3.14 所示，三方向之加速度放大倍率均隨高度提升而有變大之趨勢。X 方向可看出輸入波強度越高，加速度放大倍率越高，加速度放大倍率為 1.2~2.8 倍；Y 方向之輸入波強度越高，加速度放大倍率則越小，Y 向加速度放大倍率為 1.6~3.5 倍；Z 方向之加速度放大倍率為 1.05~1.2 倍，可看出垂直向較無放大效果。

Case 2 (450mm)為機櫃內含抽屜並於抽屜面外方向加設 Z 型板之組別，由圖 3.15 可看出地震波輸入強度與加速度放大倍率無明顯趨勢，但可觀察出加速度放大倍率於 Z 型板均高於機櫃後面板，X 方向之 Z 型板之加速度放大倍率為 3.0~9.1 倍，機櫃後板之加速度放大倍率為 2.2~6.8 倍，Y 方向之 Z 型板之加速度放大倍率為 4.7~12.1 倍，機櫃後面板之加速度放大倍率 2.7~8.1 倍，垂直向之 Z 板加速度放大倍率為 1.6~6.9 倍，機櫃後板放

大倍率為 1.2~2.1 倍。

Case 3 (300mm)為內含抽屜之機櫃，如圖 3.16 所觀察，輸入波強度對於放大倍率無明顯規律性，X 方向之加速度放大倍率為 1.6~3.7 倍，Y 方向之加速度放大倍率為 1.4~5 倍，Z 向之加速度放大倍率為 1.1~3.3 倍。

統整以上不同輸入地震力強度結果，可觀察出機櫃內部面外方向(Y 方向)之放大倍率均無規律性，由於主要櫃內之面外方向反應均由機櫃本身內部面板局部運動(local)而產生。而 X 方向之放大效應會隨地震波頻寬範圍型式不同，而有隨地震強度越大產生放大或縮小現象。最後，垂直方向(Z 方向)於盤外或盤內之放大倍率均接近於 1。

(四)不同頻寬範圍之地震波(IEEE693、OBE)

本文之電氣盤體機櫃實驗，共輸入兩種地震波型式，一種為 IEEE693 規範之寬頻反應譜，其主要頻率範圍為 1.1Hz 至 8.0Hz，如圖 2.12 所示，另一為臺灣核能電廠之 OBE 樓板寬頻反應譜(OBE)，主要頻率範圍為 3Hz 至 12Hz，次要頻率範圍為 18Hz 至 23Hz，如圖 2.15。輸入兩種不同地震波型式，比較方式為 IEEE693-0.25g 與 OBE-50%，比對名稱以 0.25g 為表示，IEEE693-0.5g 與 OBE-100%作為比較，以 0.5g 名稱為代表，觀察機櫃之動力反應。

圖 3.17 至圖 3.19 為 Case 1 (600mm)之不同地震型式比較圖。圖 3.17 為 X 方向之不同地震波之加速度放大倍比較圖，圖(a)與圖(b)為 IEEE693 試驗與 OBE 試驗之地震力為 0.25g 之比較圖，可看出櫃內反應為 IEEE693 試驗比 OBE 試驗易造成機櫃較大之反應，但於地震力 0.5g 時，櫃內反應為 OBE 試驗比 IEEE693 試驗有較大反應；圖 3.18 可觀察出，Y 方向 0.25g 及 0.5g 地震波為 OBE 試驗比 IEEE693 試驗有較大之放大倍率；從圖 3.19 可看出 Z 方向之加速度放大倍率均為 OBE 試驗比 IEEE693 試驗較大，主要由於 Z 方向輸入波 OBE 反應大於 IEEE693 反應，故造成此結果。X 方向之地震波 0.25g 之加速度放大倍率為 1.25~2.71 倍，地震波 0.5g 之加速度放大倍率為 1.08~2.83 倍；Y 方向地震波 0.25g 之加速度放大倍率為 1.40~3.54 倍，地震波 0.5g 之加速度放大倍率為 1.37~3.23 倍；Z 方向地震波 0.25g 與 0.5g 之加

速度放大倍率均為 1.2 倍以內。

Case 2 之不同地震波加速度放大倍率為圖 3.20 至圖 3.22。從圖 3.20 可觀察出 X 方向 OBE 之加速度放大倍率比 IEEE693 加速度放大倍率高；圖 3.21 辨別出 Y 方向之加速度放大倍率為 OBE 試驗較 IEEE693 試驗反應要高；Z 方向之加速度放大倍率較無規律性，但可觀察出放置於 Z 型板上之反應於不同輸入地震型式下，放大倍率均高於放置於抽屜後板上之加速度反應，且從圖 3.22 可看出，地震波 0.25g 均為 OBE 試驗比 IEEE693 試驗反應高，但當地震波為 0.5g 時之加速度放大倍率均為 IEEE693 試驗比 OBE 試驗高。Case 2 (450mm) 之 X 方向加速度放大倍率於地震波 0.25g 為 1.51~9.13 倍，地震波 0.5g 之放大倍率為 1.37~8.26 倍；Y 方向於地震波 0.25g 之加速度放大倍率為 1.30~12.15 倍，地震波 0.5g 之加速度放大倍率為 1.22~11.0 倍；Z 方向於地震波 0.25g 之加速度放大倍率平均為 2.73 倍，地震波 0.5g 之平均加速度放大倍率為 2.99 倍。

Case 3 為 300mm 內含抽屜之機櫃，如圖 3.23 至圖 3.25 所示，OBE 試驗之加速度放大倍率大部分大於 IEEE693 試驗。X 方向之加速度放大倍率於地震波 0.25g 時為 1.15~3.76 倍，地震波 0.5g 倍率為 1.07~4.40 倍；Y 方向地震波為 0.25g 之加速度放大倍率為 0.84~4.36 倍，地震波 0.5g 之放大倍率為 1.12~5.02 倍；Z 方向於地震波 0.25g 之加速度放大倍率平均為 1.95 倍，地震波 0.5g 之平均放大倍率為 1.58 倍。

由以上可知，不同尺寸之機櫃(600mm、450mm、300mm)輸入波，於不同型式之地震波及相同地震輸入波強度下之加速度放大倍率大致上為 OBE 試驗加速度放大倍率較 IEEE-693 試驗高。

(五)、加速度放大倍率總結

加速度放大倍率會隨不同因素而有所不同變化，將不同間層數組別之機櫃(600mm、450mm 及 300mm)進行加速度放大倍率之比較，輸入波採用 IEEE693-0.5g 及 OBE-100%，比較結果如圖 3.26 及 3.27 所示，橫軸為加速度放大倍率，縱軸為加速度顆數，圖中之加速度放大倍率為 1 時，為加速度放大倍率採用 1~2 倍之間，圖中之放大倍率為 2 時，加速度放大倍率為

2~3 倍之間，而圖中之放大倍率 3 到 11 倍，皆使用此方式代表；由圖 3.26 可觀察出含抽屜型式之組別，其加速度放大倍率落於 1 倍到 11 倍，而未含抽屜型式之組別，其放大倍率落在在 1 倍到 3 倍之間。而圖 3.27 總和之加速度放大倍率所示，可得知臺灣核電廠之加速度放大倍率主要在 1 倍到 2 倍居多。

(六)、小結

加速度放大倍率為各量測點之最大加速度值與震動台面之加速度值進行相除，匯整以上小節之結果，櫃內質量塊重量與輸入之地震強度雖會改變加速度值反應，但對加速度放大倍率較無明顯規律性之變化趨勢。試驗機櫃共有三種不同間層尺寸，分別為 Case 1 (600mm)、Case 2 (450mm)、Case 3 (300mm)之機櫃，由加速度放大倍率可得知機櫃間層內為抽屜型式(Case 2、Case 3)之加速度放大倍率均高於無抽屜型式之機櫃(Case 1)，含抽屜型式之放大倍率落在在 1~11 倍，無抽屜型式之放大倍率落於 1~3 倍；由於 Case 1 (600mm)型式較單純，故以下均以此型式作為主要探討分析對象，由 X 方向觀察，IEEE693 試驗波可看出隨地震力強度增加而加速度放大倍率減少，OBE 試驗波則反之，可看出輸入波型式之不同，造成加速度放大倍率趨勢亦不同；Y 方向之加速度放大倍率則無明顯規律性，由於 Y 向為機櫃後面板之面外方向，於地震作用下，後面板將產生各自之面外方向震動，導致放大倍率無規律性。另外，由上述結果可知，各機櫃之加速度放大倍率大致隨量測高度增加而提升，與 Kim 等人【1】所得結論相同，且機櫃內部含有抽屜之放大倍率均大於無抽屜之放大倍率。

此外，由 Case 2 (450mm)放大倍率分析結果可得，Z 型板放大倍率較一般櫃內反應高，但由核能電廠現地初步勘查可知，Z 型板主要功能為電驛 (relay)放置處，故須注意其加速度放大效應對於電驛之影響。

3.3 位移歷時反應

位移計採用磁環式位移計，主要量測機櫃之底部、中間層及頂部之相對位移變化情況，X 方向共放置六組，分別裝置於機櫃頂部兩組(DTX_E、DTX_W)、機櫃中間層兩組(DMX_E、DMX_W)、機櫃底部位於槽鋼頂部一組(DBX)、振動台台面一組(DTX)；Y 方向共放置六組，機櫃頂部放置兩組(DTY_N、DTY_S)、機櫃中間層一組(DMY_N、DMY_S)、機櫃底部於槽鋼頂部一組(DBY)、振動台台面一組(DTY)，於地震歷結束時量測位移歷時資料，機櫃各位置之相對最大位移量，統整於表 3.28 至表 3.32 中。以下為機櫃頂部之最大相對位移量與所對應的時間下各量測點之位移變化量依不同情況最為比較，以下為不同之項目比較：

(一)機櫃內部有無設備物

圖 3.28 為各機櫃組別之相對位移圖，實線代表空櫃(bare)，虛線代表質量櫃(mass)，由 Case 1 (600mm)櫃內無抽屜之情況可觀察出，X 方向為於機櫃內部重量改變時對其相對位移影響不大，而 Y 方向當輸入地震力強度越大時，將產生較大之位移量，如圖 3.28(a)、圖 3.28(b)所示。Case 2 (450mm)櫃內含抽屜之情況，X 方向較無規律性，Y 方向與 Case 1 組別相同，機櫃內部重量改變對其位移量無明顯之影響，除 OBE-100%之地震波，空櫃之位移量較質量櫃之位移量大，如圖 3.28(c)、圖 3.28(d)所示。Case 3 (300mm)為櫃內有含抽屜之機櫃，如圖 3.28(d)所示，X 方向當機櫃內部設備物重量增加時，其位移量大於空櫃時之位移量，除 OBE-50%之地震波，如圖 3.28(f)所示，但其 Y 方向之位移量較無規律性。

統整以上結果表示，櫃內設備物之重量對機櫃整體外部之相對位移較無影響，不列入為主要影響參數。

(二)不同間層數之機櫃 (600mm、450mm、300mm)

由於機櫃外部尺寸相同，擺放磁環式位移計之位置亦相同，主要位移量為機櫃外部框架所影響，並非機櫃內部各別構件運動所導致，故不同間層數之機櫃組別對其外部位移量影響不明顯。

(三) 不同強度之輸入波 (0.25g、0.375g、0.5g)

如圖 3.28 所示，藍線代表輸入波為 IEEE693_0.25g，紅線表示輸入波為 IEEE693_0.375g，紫線代表輸入波為 IEEE693_0.5g，黑線代表輸入波為 OBE_50%，綠線代表為 OBE_100%。可發現當輸入波強度越高時，其位移量隨之變大，以 Case 1 (600mm)_bare 為例，輸入波 IEEE693_0.25g 時，頂部位移量約為 3.3mm，輸入波 IEEE693_0.375g 時，位移量約為 4.96mm，輸入波 IEEE693_0.5g 時，位移量約為 6.21mm；而輸入波 OBE-50%時，位移量約為 3.64mm，輸入波 OBE-100%時，位移量約為 7.07mm。

(四) 不同頻寬範圍之地震波

本文實驗含有兩種輸入波，一種為 IEEE693 試驗波，地震大小共分為 0.25g、0.375g、0.5g，另外一為 OBE 試驗波，分為 50%(0.24g)及 100%(0.47g)，比較方式採用相似地震波大小進行比對，IEEE693-0.25g 試驗波與 OBE-50% 試驗波比對，以 0.25g 為代表，IEEE693-0.5g 試驗波與 OBE-50%試驗波比較分析結果，以 0.5g 為代表，如圖 3.28 所示。Case 1 (600mm)之機櫃中以 OBE 試驗波造成較大之位移量；Case 2 (450mm)之機櫃，頂部位移量比較結果 OBE 地震波較 IEEE693 地震波大；Case 3 (300mm)之位移量，X 方向在地震強度 0.5g 時為 IEEE693 地震波較 OBE 地震波高，但在地震波強度 0.25g 時，為 OBE 試驗波之位移量較 IEEE693 地震波高。由以上可知，OBE 試驗波造成之位移量大致上比 IEEE693 試驗波大，且主要發生位置於機櫃頂部。

由以上不同項目比較之結果，機櫃相對位移主要受到輸入波強度及不同輸入波之影響，並會隨量測位置越高相對位移量越大，但機櫃內部質量塊及機櫃間層組別參數，則對相對位移無明顯之影響。

表 3.1 White noise 0.05g 之系統識別結果

	White noise 0.05g X-dir.		White noise 0.05g Y-dir.	
	1 st Mode frequency (Hz)		1 st Mode frequency (Hz)	
	A1	A2	A1	A2
Case 1_bare (600mm)	12.70	12.70	15.82	15.82
Case 1_mass (600mm)	11.91	11.91	14.26	14.26
Case 2_bare (450mm)	13.28	13.28	18.75	18.75
Case 2_mass (450mm)	12.11	12.11	14.65	14.65
Case 3_bare (300mm)	12.50	12.50	15.04	15.04
Case 3_mass (300mm)	10.74	10.74	12.11	10.74

表 3.2 機櫃含設備物之頻率變化

	Mass or Bare		
	Bare	Mass	Ratio (%)*
Case 1 (600mm)_X	12.70	11.91	6
Case 1 (600mm)_Y	15.82	14.26	10
$f_Y - f_X^{**}$	3.12	2.35	
Case 2 (450mm)_X	13.28	12.11	9
Case 2 (450mm)_Y	18.75	14.65	22
$f_Y - f_X^{**}$	5.47	2.54	
Case 3 (300mm)_X	12.50	10.74	14
Case 3 (300mm)_Y	15.04	12.11	19
$f_Y - f_X^{**}$	2.54	1.37	

註記:

*表示空櫃與質量櫃之差異比

**表示 Y 方向與 X 方向之頻率差異

表 3.3 機櫃結構阻尼比

	White noise 0.05g X-dir.	White noise 0.05g Y-dir.
	Damping ratio (%)	Damping ratio (%)
Case 1_bare (600mm)	4.53	2.58
Case 1_mass (600mm)	4.54	3.03
Case 2_bare (450mm)	4.47	4.38
Case 2_mass (450mm)	3.60	3.02
Case 3_bare (300mm)	4.35	4.85
Case 3_mass (300mm)	3.12	3.77

表 3.4 Case1(600mm) IEEE693 絕對加速度歷時峰值表

IEEE693-0.5g						
Accelerometer Number	Case 1_bare			Case 1_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
AT_X	0.235	0.368	0.578	0.237	0.359	0.564
AT_Y	0.278	0.410	0.559	0.279	0.394	0.558
AT_Z	0.204	0.288	0.313	0.185	0.303	0.308
A1_X	0.590	0.929	1.520	0.626	0.932	1.350
A1_Y	0.583	0.720	1.020	0.505	0.872	1.270
A1_Z	0.221	0.306	0.332	0.202	0.300	0.331
A2_X	0.496	0.741	1.110	0.505	0.713	1.210
A2_Y	0.585	0.783	1.020	0.637	0.802	1.160
A2_Z	0.216	0.325	0.344	0.195	0.371	0.365
A3_X	0.482	0.678	1.030	0.456	0.624	0.920
A3_Y	0.390	0.540	0.764	0.418	0.681	0.927
A4_X	0.321	0.486	0.622	0.336	0.429	0.656
A4_Y	0.451	0.623	0.773	0.507	0.761	1.070
A4_Z	0.215	0.291	0.322	0.180	0.333	0.326
A5_X	0.416	0.605	0.880	0.438	0.560	0.892
A5_Y	0.523	0.664	0.950	0.519	0.822	0.937
A5_Z	0.214	0.295	0.318	0.179	0.336	0.327
A6_X	0.493	0.713	1.080	0.527	0.697	1.040
A6_Y	0.557	0.778	0.998	0.629	0.768	1.120
A6_Z	0.214	0.314	0.320	0.189	0.314	0.333

表 3.5 Case1(600mm) OBE 絕對加速度歷時峰值表

OBE-0.47g				
Accelerometer Number	Case 1_bare		Case1_mass	
	50%	100%	50%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
AT_X	0.252	0.521	0.252	0.519
AT_Y	0.233	0.449	0.234	0.452
AT_Z	0.705	1.320	0.679	1.300
A1_X	0.635	1.330	0.683	1.330
A1_Y	0.533	0.964	0.587	0.910
A1_Z	0.753	1.450	0.733	1.470
A2_X	0.558	1.180	0.608	1.470
A2_Y	0.797	1.450	0.829	1.270
A2_Z	0.783	1.420	0.753	1.380
A3_X	0.460	0.801	0.454	0.902
A3_Y	0.397	0.731	0.374	0.736
A4_X	0.316	0.645	0.353	0.784
A4_Y	0.413	0.806	0.741	0.930
A4_Z	0.787	1.430	0.796	1.530
A5_X	0.390	0.917	0.434	0.961
A5_Y	0.617	0.956	0.537	0.973
A5_Z	0.786	1.460	0.803	1.570
A6_X	0.469	1.050	0.460	1.110
A6_Y	0.672	0.955	0.646	1.230
A6_Z	0.804	1.450	0.780	1.550

表 3.6 Case2(450mm) IEEE693 絕對加速度歷時峰值表

IEEE693-0.5g						
Accelerometer Number	Case 1_bare			Case 1_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
AT_X	0.249	0.359	0.578	0.258	0.398	0.589
AT_Y	0.267	0.394	0.561	0.269	0.388	0.558
AT_Z	0.175	0.307	0.310	0.199	0.308	0.312
A1_X	0.507	0.672	0.943	0.524	0.797	1.240
A1_Y	0.462	0.629	0.833	0.443	0.786	0.934
A1_Z	0.186	0.317	0.333	0.217	0.310	0.347
A2_X	0.444	0.576	0.929	0.574	0.798	1.410
A2_Y	0.485	0.650	0.934	0.434	0.615	0.972
A2_Z	0.179	0.307	0.330	0.199	0.330	0.310
A3_X	0.405	0.533	0.793	0.389	0.613	0.988
A3_Y	0.348	0.479	0.706	0.360	0.576	0.683
A4_X	0.376	0.486	0.961	0.478	0.705	0.913
A4_Y	0.695	1.100	1.430	0.904	1.290	1.600
A4_Z	0.227	0.379	0.443	0.317	0.438	0.469
A5_X	0.486	0.673	1.020	0.561	0.784	1.360
A5_Y	1.140	1.720	1.790	1.080	1.490	1.710
A5_Z	0.538	1.060	1.360	0.989	1.030	1.300
A6_X	0.439	0.599	0.974	0.481	0.703	1.080
A6_Y	0.736	0.986	1.280	0.819	1.090	1.600
A6_Z	0.237	0.384	0.488	0.296	0.459	0.506

表 3.6 Case2(450mm) IEEE693 絕對加速度歷時峰值表(續)

IEEE693-0.5g						
Accelerometer Number	Case 2_bare			Case 2_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
A7_X	0.524	1.200	1.440	0.652	0.945	1.220
A7_Y	0.937	1.490	1.750	1.280	1.660	2.110
A7_Z	0.539	1.020	1.590	1.120	1.120	1.400
A8_X	0.514	0.644	1.040	0.456	0.763	1.330
A8_Y	0.855	1.050	1.380	0.866	1.060	1.600
A8_Z	0.207	0.384	0.569	0.257	0.403	0.503
A9_X	0.599	0.817	1.350	0.545	0.823	1.720
A9_Y	0.843	1.150	1.700	0.950	1.550	1.770
A9_Z	0.317	0.523	1.040	0.383	0.627	1.010
A10_X	0.653	0.889	1.730	0.595	1.180	2.540
A10_Y	0.900	1.600	2.000	0.964	1.670	2.770
A10_Z	0.261	0.503	0.829	0.391	0.786	1.690
A11_X	1.030	1.550	2.610	1.180	2.270	3.210
A11_Y	1.390	2.260	3.040	1.710	2.800	3.980
A11_Z	1.080	1.520	2.490	1.630	2.910	3.890

表 3.7 Case2(450mm) OBE 絕對加速度歷時峰值表

OBE-0.47g				
Accelerometer Number	Case 2_bare		Case 2_mass	
	50%	100%	50%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
AT_X	0.252	0.523	0.254	0.540
AT_Y	0.232	0.450	0.247	0.462
AT_Z	0.677	1.300	0.698	1.350
A1_X	0.473	0.893	0.484	1.320
A1_Y	0.479	0.788	0.466	0.899
A1_Z	0.769	1.420	0.815	1.430
A2_X	0.606	1.310	0.672	1.320
A2_Y	0.480	0.765	0.456	0.730
A2_Z	0.700	1.270	0.768	1.340
A3_X	0.504	0.877	0.398	0.961
A3_Y	0.334	0.562	0.376	0.673
A4_X	0.874	1.400	0.637	1.760
A4_Y	0.798	2.220	1.260	2.830
A4_Z	0.864	2.090	1.170	2.330
A5_X	0.940	1.690	1.700	2.800
A5_Y	2.180	3.440	1.540	2.990
A5_Z	2.770	4.390	2.950	5.670
A6_X	0.856	1.580	0.979	1.670
A6_Y	0.830	1.760	2.010	2.800
A6_Z	0.942	2.510	1.380	2.840

表 3.7 Case2(450mm) OBE 絕對加速度歷時峰值表(續)

OBE-0.47g				
Accelerometer Number	Case 2_bare		Case 2_mass	
	50%	100%	50%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
A7_X	1.380	2.580	1.510	2.540
A7_Y	1.880	4.440	2.670	4.390
A7_Z	2.690	6.550	4.860	7.000
A8_X	0.554	1.320	0.706	1.450
A8_Y	0.637	1.670	0.913	2.210
A8_Z	0.808	2.220	1.020	1.950
A9_X	0.753	2.020	1.170	1.950
A9_Y	1.090	2.390	1.480	3.300
A9_Z	1.140	3.050	1.670	3.840
A10_X	0.569	2.090	1.180	3.690
A10_Y	0.833	1.910	1.610	2.390
A10_Z	0.884	2.550	1.310	2.920
A11_X	0.951	3.320	2.320	4.460
A11_Y	1.170	3.250	3.000	5.080
A11_Z	2.180	6.460	4.310	7.380

表 3.8 Case3(300mm) IEEE693 絕對加速度歷時峰值表

IEEE693-0.5g						
Accelerometer Number	Case 3_bare			Case 3_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
AT_X	0.252	0.385	0.565	0.243	0.365	0.582
AT_Y	0.293	0.440	0.557	0.279	0.409	0.553
AT_Z	0.206	0.299	0.311	0.195	0.298	0.311
A1_X	0.502	0.791	1.240	0.559	0.770	1.460
A1_Y	0.492	0.762	0.960	0.667	0.927	1.000
A1_Z	0.242	0.317	0.342	0.242	0.325	0.377
A2_X	0.441	0.771	1.460	0.517	0.856	1.570
A2_Y	0.662	0.994	1.140	0.689	0.913	1.310
A2_Z	0.234	0.344	0.338	0.210	0.299	0.348
A3_X	0.426	0.595	0.904	0.417	0.602	0.970
A3_Y	0.351	0.570	0.623	0.377	0.570	0.715
A4_X	0.272	0.408	0.607	0.280	0.462	0.997
A4_Y	0.457	0.585	0.833	0.413	0.585	0.842
A4_Z	0.241	0.349	0.377	0.248	0.330	0.387
A5_X	0.350	0.530	0.824	0.359	0.514	1.190
A5_Y	0.517	0.742	0.809	0.481	0.747	0.958
A5_Z	0.262	0.333	0.413	0.257	0.367	0.439
A6_X	0.368	0.615	0.827	0.393	0.677	1.590
A6_Y	0.481	0.819	0.823	0.685	0.844	1.070
A6_Z	0.262	0.340	0.385	0.273	0.381	0.511

表 3.8 Case3(300mm) IEEE693 絕對加速度歷時峰值表(續)

IEEE693-0.5g						
Accelerometer Number	Case 3_bare			Case 3_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
A7_X	0.401	0.573	1.040	0.426	0.618	1.570
A7_Y	0.245	0.798	1.180	0.581	0.742	0.996
A7_Z	0.245	0.350	0.375	0.274	0.399	0.516
A8_X	0.556	0.978	1.370	0.496	0.762	2.190
A8_Y	1.370	1.720	2.600	0.722	0.894	1.290
A8_Z	0.394	0.568	0.547	0.345	0.391	0.572
A9_X	0.467	0.752	1.790	0.723	1.210	2.560
A9_Y	0.775	1.170	1.520	0.863	1.240	1.480
A9_Z	0.190	0.292	0.354	0.289	0.419	0.562

表 3.9 Case3(300mm) OBE 絕對加速度歷時峰值表

OBE-0.47g				
Accelerometer Number	Case 3_bare		Case 3_mass	
	50%	100%	50%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
AT_X	0.265	0.505	0.251	0.524
AT_Y	0.236	0.454	0.241	0.449
AT_Z	0.738	1.300	0.661	1.330
A1_X	0.583	1.260	0.650	1.150
A1_Y	0.661	1.200	0.847	1.480
A1_Z	0.859	1.600	1.870	1.530
A2_X	0.996	1.350	0.903	1.300
A2_Y	0.678	1.050	0.509	1.190
A2_Z	0.818	1.340	1.780	1.450
A3_X	0.607	0.861	0.464	0.837
A3_Y	0.405	0.747	0.500	0.728
A4_X	0.473	0.817	0.490	0.957
A4_Y	0.634	1.020	0.345	1.360
A4_Z	0.989	1.960	2.090	2.910
A5_X	0.565	1.020	0.481	1.070
A5_Y	0.749	1.550	0.435	1.090
A5_Z	0.999	2.280	2.040	2.590
A6_X	0.544	1.030	0.403	1.230
A6_Y	0.680	1.130	0.521	1.020
A6_Z	0.996	2.000	1.990	2.550

表 3.9 Case3(300mm) OBE 絕對加速度歷時峰值表(續)

OBE-0.47g				
Accelerometer Number	Case 3_bare		Case3_mass	
	50%	100%	50%	100%
	PA(g)	PA(g)	PA(g)	PA(g)
A7_X	0.457	1.350	0.640	1.450
A7_Y	0.960	1.180	0.863	1.620
A7_Z	0.927	1.940	2.190	2.550
A8_X	0.752	1.460	0.642	1.700
A8_Y	1.080	2.260	0.642	1.940
A8_Z	0.906	1.730	1.290	3.470
A9_X	0.670	1.610	0.663	1.490
A9_Y	1.030	2.280	1.020	2.020
A9_Z	0.825	1.690	2.410	3.900

表 3.10 Case1(600mm) IEEE693 -X 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_X						
Accelerometer Number	Case 1_bare			Case 1_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_X	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_X	2.51	2.52	2.63	2.64	2.60	2.39
A2_X	2.11	2.01	1.92	2.13	1.99	2.15
A3_X	2.05	1.84	1.78	1.92	1.74	1.63
A4_X	1.37	1.32	1.08	1.42	1.19	1.16
A5_X	1.77	1.64	1.52	1.85	1.56	1.58
A6_X	2.10	1.94	1.87	2.22	1.94	1.84

表 3.11 Case1(600mm) IEEE693 -Y 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_Y						
Accelerometer Number	Case 1_bare			Case 1_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_Y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Y	2.10	1.76	1.82	1.81	2.21	2.28
A2_Y	2.10	1.91	1.82	2.28	2.04	2.08
A3_Y	1.40	1.32	1.37	1.50	1.73	1.66
A4_Y	1.62	1.52	1.38	1.82	1.93	1.92
A5_Y	1.88	1.62	1.70	1.86	2.09	1.68
A6_Y	2.00	1.90	1.79	2.25	1.95	2.01

表 3.12 Case1(600mm) IEEE693 -Z 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_Z						
Accelerometer Number	Case 1_bare			Case 1_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_Z	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Z	1.08	1.06	1.06	1.09	0.99	1.07
A2_Z	1.06	1.13	1.10	1.05	1.22	1.19
A4_Z	1.05	1.01	1.03	0.97	1.10	1.06
A5_Z	1.05	1.02	1.02	0.97	1.11	1.06
A6_Z	1.05	1.09	1.02	1.02	1.04	1.08

表 3.13 Case1(600mm)OBE -X 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_X				
Accelerometer Number	Case 1_Bare		Case 1_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_X	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_X	2.52	2.55	2.71	2.56
A2_X	2.21	2.26	2.41	2.83
A3_X	1.83	1.54	1.80	1.74
A4_X	1.25	1.24	1.40	1.51
A5_X	1.55	1.76	1.72	1.85
A6_X	1.86	2.02	1.83	2.14

表 3.14 Case1(600mm)OBE -Y 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_Y				
Accelerometer Number	Case 1_Bare		Case 1_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_Y	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Y	2.29	2.15	2.51	2.01
A2_Y	3.42	3.23	3.54	2.81
A3_Y	1.70	1.63	1.60	1.63
A4_Y	1.77	1.80	3.17	2.06
A5_Y	2.65	2.13	2.29	2.15
A6_Y	2.88	2.13	2.76	2.72

表 3.15 Case1(600mm)OBE -Z 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_Z				
Accelerometer Number	Case 1_Bare		Case 1_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_Z	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Z	1.07	1.10	1.08	1.13
A2_Z	1.11	1.08	1.11	1.06
A4_Z	1.12	1.08	1.17	1.18
A5_Z	1.11	1.11	1.18	1.21
A6_Z	1.14	1.10	1.15	1.19

表 3.16 Case2(450mm)IEEE693 -X 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_X						
Accelerometer Number	Case 2_bare			Case 2_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_X	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_X	2.04	1.87	1.63	2.03	2.00	2.11
A2_X	1.78	1.60	1.61	2.22	2.01	2.39
A3_X	1.63	1.48	1.37	1.51	1.54	1.68
A4_X	1.51	1.35	1.66	1.85	1.77	1.55
A5_X	1.95	1.87	1.76	2.17	1.97	2.31
A6_X	1.76	1.67	1.69	1.86	1.77	1.83
A7_X	2.10	3.34	2.49	2.53	2.37	2.07
A8_X	2.06	1.79	1.80	1.77	1.92	2.26
A9_X	2.41	2.28	2.34	2.11	2.07	2.92
A10_X	2.62	2.48	2.99	2.31	2.96	4.31
A11_X	4.14	4.32	4.52	4.57	5.70	5.45

表 3.17 Case2(450mm)IEEE693 -Y 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_Y						
Accelerometer Number	Case 2_bare			Case 2_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_Y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Y	1.73	1.60	1.48	1.65	2.03	1.67
A2_Y	1.82	1.65	1.66	1.61	1.59	1.74
A3_Y	1.30	1.22	1.26	1.34	1.48	1.22
A4_Y	2.60	2.79	2.55	3.36	3.32	2.87
A5_Y	4.27	4.37	3.19	4.01	3.84	3.06
A6_Y	2.76	2.50	2.28	3.04	2.81	2.87
A7_Y	3.51	3.78	3.12	4.76	4.28	3.78
A8_Y	3.20	2.66	2.46	3.22	2.73	2.87
A9_Y	3.16	2.92	3.03	3.53	3.99	3.17
A10_Y	3.37	4.06	3.57	3.58	4.30	4.96
A11_Y	5.21	5.74	5.42	6.36	7.22	7.13

表 3.18 Case2(450mm)IEEE693 -Z 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_Z						
Accelerometer Number	Case 2_bare			Case 2_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_Z	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Z	1.06	1.03	1.07	1.09	1.01	1.11
A2_Z	1.02	1.00	1.06	1.00	1.07	0.99
A4_Z	1.30	1.23	1.43	1.59	1.42	1.50
A5_Z	3.07	3.45	4.39	4.97	3.34	4.17
A6_Z	1.35	1.25	1.57	1.49	1.49	1.62
A7_Z	3.08	3.32	5.13	5.63	3.64	4.49
A8_Z	1.18	1.25	1.84	1.29	1.31	1.61
A9_Z	1.81	1.70	3.35	1.92	2.04	3.24
A10_Z	1.49	1.64	2.67	1.96	2.55	5.42
A11_Z	6.17	4.95	8.03	8.19	9.45	12.47

表 3.19 Case2(450mm)OBE -X 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_X				
Accelerometer Number	Case 2_bare		Case 2_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_X	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_X	1.88	1.71	1.91	2.44
A2_X	2.40	2.50	2.65	2.44
A3_X	2.00	1.68	1.57	1.78
A4_X	3.47	2.68	2.51	3.26
A5_X	3.73	3.23	6.69	5.19
A6_X	3.40	3.02	3.85	3.09
A7_X	5.48	4.93	5.94	4.70
A8_X	2.20	2.52	2.78	2.69
A9_X	2.99	3.86	4.61	3.61
A10_Z	2.26	4.00	4.65	6.83
A11_Z	3.77	6.35	9.13	8.26

表 3.20 Case2(450mm)OBE -Y 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_Y				
Accelerometer Number	Case 2_bare		Case 2_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_Y	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Y	2.06	1.75	1.89	1.95
A2_Y	2.07	1.70	1.85	1.58
A3_Y	1.44	1.25	1.52	1.46
A4_Y	3.44	4.93	5.10	6.13
A5_Y	9.40	7.64	6.23	6.47
A6_Y	3.58	3.91	8.14	6.06
A7_Y	8.10	9.87	10.81	9.50
A8_Y	2.75	3.71	3.70	4.78
A9_Y	4.70	5.31	5.99	7.14
A10_Y	3.59	4.24	6.52	5.17
A11_Y	5.04	7.22	12.15	11.00

表 3.21 Case2(450mm)OBE -Z 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_Z				
Accelerometer Number	Case 2_bare		Case 2_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_Z	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Z	1.14	1.09	1.17	1.06
A2_Z	1.03	0.98	1.10	0.99
A4_Z	1.28	1.61	1.68	1.73
A5_Z	4.09	3.38	4.23	4.20
A6_Z	1.39	1.93	1.98	2.10
A7_Z	3.97	5.04	6.96	5.19
A8_Z	1.19	1.71	1.46	1.44
A9_Z	1.68	2.35	2.39	2.84
A10_Z	1.31	1.96	1.88	2.16
A11_Z	3.22	4.97	6.17	5.47

表 3.22 Case3(300mm)IEEE693-X 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_X						
Accelerometer Number	Case 3_bare			Case 3_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_X	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_X	1.99	2.05	2.19	2.30	2.11	2.51
A2_X	1.75	2.00	2.58	2.13	2.35	2.70
A3_X	1.69	1.55	1.60	1.72	1.65	1.67
A4_X	1.08	1.06	1.07	1.15	1.27	1.71
A5_X	1.39	1.38	1.46	1.48	1.41	2.04
A6_X	1.46	1.60	1.46	1.62	1.85	2.73
A7_X	1.59	1.49	1.84	1.75	1.69	2.70
A9_X	1.85	1.95	3.17	2.98	3.22	4.40

表 3.23 Case3(300mm)IEEE693-Y 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_Y						
Accelerometer Number	Case 3_bare			Case 3_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_Y	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Y	1.68	1.73	1.72	2.39	2.27	1.81
A2_Y	2.26	2.26	2.05	2.47	2.23	2.37
A3_Y	1.20	1.30	1.12	1.35	1.39	1.29
A4_Y	1.56	1.33	1.50	1.48	1.43	1.52
A5_Y	1.76	1.69	1.45	1.72	1.83	1.73
A6_Y	1.64	1.86	1.48	2.46	2.06	1.93
A7_Y	0.84	1.81	2.12	2.08	1.81	1.80
A9_Y	2.65	2.66	2.73	3.09	3.03	2.68

表 3.24 Case3(300mm)IEEE693-Z 方向加速度放大倍率

IEEE693-0.5g_Z						
Accelerometer Number	Case 3_bare			Case 3_mass		
	50%	75%	100%	50%	75%	100%
	AF	AF	AF	AF	AF	AF
AT_Z	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Z	1.17	1.06	1.10	1.24	1.09	1.21
A2_Z	1.14	1.15	1.09	1.08	1.00	1.12
A4_Z	1.17	1.17	1.21	1.27	1.11	1.24
A5_Z	1.27	1.11	1.33	1.32	1.23	1.41
A6_Z	1.27	1.14	1.24	1.40	1.28	1.64
A7_Z	1.19	1.17	1.21	1.41	1.34	1.66
A9_Z	1.91	1.90	1.76	1.77	1.31	1.84

表 3.25 Case3(300mm)OBE-X 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_X				
Accelerometer Number	Case 3_bare		Case 3_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_X	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_X	2.20	2.50	2.59	2.19
A2_X	3.76	2.67	3.60	2.48
A3_X	2.29	1.70	1.85	1.60
A4_X	1.78	1.62	1.95	1.83
A5_X	2.13	2.02	1.92	2.04
A6_X	2.05	2.04	1.61	2.35
A7_X	1.72	2.67	2.55	2.77
A9_X	2.53	3.19	2.64	2.84

表 3.26 Case3(300mm)OBE-Y 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_Y				
Accelerometer Number	Case 3_bare		Case 3_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_Y	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Y	2.80	2.64	3.51	3.30
A2_Y	2.87	2.31	2.11	2.65
A3_Y	1.72	1.65	2.07	1.62
A4_Y	2.69	2.25	1.43	3.03
A5_Y	3.17	3.41	1.80	2.43
A6_Y	2.88	2.49	2.16	2.27
A7_Y	4.07	2.60	3.58	3.61
A9_Y	4.36	5.02	4.23	4.50

表 3.27 Case3(300mm)OBE-Z 方向加速度放大倍率

OBE-0.47g_Z				
Accelerometer Number	Case 3_bare		Case 3_mass	
	50%	100%	50%	100%
	AF	AF	AF	AF
AT_Z	1.00	1.00	1.00	1.00
A1_Z	1.16	1.23	2.83	1.15
A2_Z	1.11	1.03	2.69	1.09
A4_Z	1.34	1.51	3.16	2.19
A5_Z	1.35	1.75	3.09	1.95
A6_Z	1.35	1.54	3.01	1.92
A7_Z	1.26	1.49	3.31	1.92
A9_Z	1.23	1.33	1.95	2.61

表 3.28 各量測位置之最大相對位移值(IEEE693-0.25g)

Maximum Relative Displacement (IEEE693-0.25g)						
Units : mm	Test 1 (600mm)		Test 2 (450mm)		Test 3 (300mm)	
	bare	mass	bare	mass	bare	mass
DTX_E	3.30	3.07	3.13	2.52	2.91	3.95
DTX_W	2.47	2.49	1.99	2.13	1.71	2.55
DMX_E	2.12	2.08	2.23	2.36	2.16	2.19
DMX_W	2.11	2.22	1.87	4.02	2.46	3.52
DBX	2.68	2.92	2.31	2.34	2.13	2.11
DTY_N	2.42	1.92	1.93	1.36	3.37	3.29
DTY_S	1.80	1.71	1.77	1.44	2.63	2.42
DMY_N	2.12	2.08	2.23	2.36	2.16	2.19
DMY_S	1.67	1.24	1.22	1.15	1.97	1.68
DBY	2.01	1.13	0.977	2.22	1.12	0.72

表 3.29 各量測位置之最大相對位移值(IEEE693-0.375g)

Maximum Relative Displacement (IEEE693-0.375g)						
Units : mm	Test 1 (600mm)		Test 2 (450mm)		Test 3 (300mm)	
	Bare	mass	Bare	mass	bare	mass
DTX_E	4.96	4.50	4.21	4.61	3.99	5.45
DTX_W	3.25	3.60	4.14	3.98	3.09	4.65
DMX_E	3.08	3.25	2.69	4.12	3.29	3.26
DMX_W	3.27	3.30	2.45	6.79	3.29	4.45
DBX	4.21	4.58	3.31	3.85	2.87	2.87
DTY_N	3.75	3.56	2.92	2.14	4.50	5.37
DTY_S	2.52	3.22	3.07	2.64	3.17	3.55
DMY_N	3.08	3.25	2.69	4.12	3.29	3.26
DMY_S	2.48	2.51	2.04	1.81	1.99	2.35
DBY	2.91	1.97	1.39	3.31	0.99	0.95

表 3.30 各量測位置之最大相對位移值(IEEE693-0.5g)

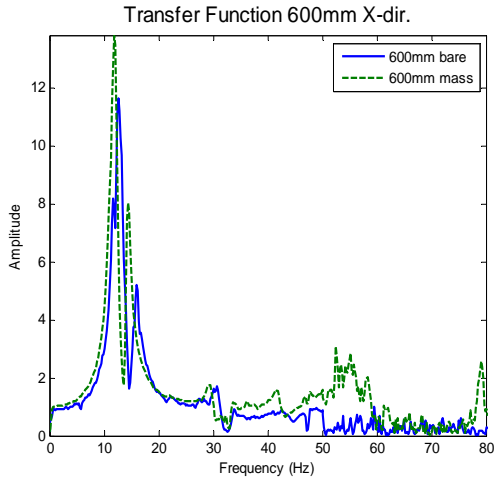
Maximum Relative Displacement (IEEE693-0.5g)						
Units : mm	Test 1 (600mm)		Test 2 (450mm)		Test 3 (300mm)	
	bare	Mass	Bare	mass	bare	mass
DTX_E	6.21	6.08	6.88	8.38	8.22	10.1
DTX_W	5.59	6.46	9.52	7.77	6.70	8.19
DMX_E	4.03	4.38	4.63	6.13	4.46	5.53
DMX_W	3.73	5.09	3.56	11.1	6.04	7.55
DBX	4.78	5.05	3.87	5.21	3.26	3.28
DTY_N	4.37	4.35	4.84	3.71	6.00	6.90
DTY_S	2.96	5.61	4.45	4.26	3.78	4.49
DMY_N	4.03	4.38	4.63	6.13	4.45	5.53
DMY_S	2.73	4.23	2.97	2.53	2.39	2.49
DBY	3.31	1.98	1.75	3.96	1.10	1.02

表 3.31 各量測位置之最大相對位移值(OBE-50%)

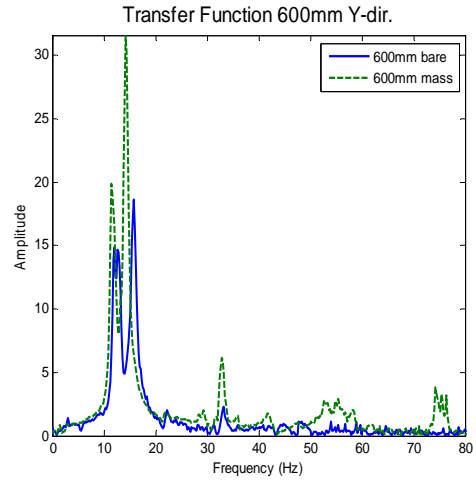
Maximum Relative Displacement (OBE-50%)						
Units : mm	Test 1 (600mm)		Test 2 (450mm)		Test 3 (300mm)	
	bare	Mass	bare	Mass	Bare	mass
DTX_E	3.64	3.19	3.11	3.99	4.30	4.29
DTX_W	2.93	3.32	2.45	3.86	2.14	2.08
DMX_E	2.95	2.78	2.11	1.79	2.42	3.78
DMX_W	2.21	2.54	3.04	3.94	3.15	3.05
DBX	3.62	3.96	2.81	2.01	2.77	1.97
DTY_N	3.76	2.19	2.86	2.02	2.95	2.65
DTY_S	2.69	2.08	2.62	2.28	2.06	1.82
DMY_N	2.95	2.78	2.11	1.79	2.42	3.78
DMY_S	2.88	1.15	1.35	1.08	2.32	1.95
DBY	2.70	0.983	1.42	2.47	1.31	1.14

表 3.32 各量測位置之最大相對位移值(OBE-100%)

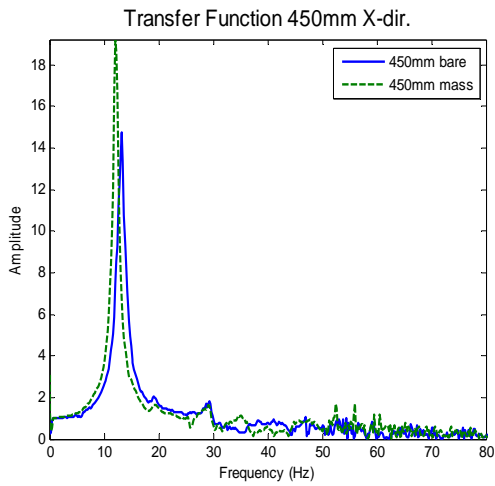
Maximum Relative Displacement (OBE-100%)						
Units : mm	Test 1 (600mm)		Test 2 (450mm)		Test 3 (300mm)	
	bare	mass	bare	mass	bare	Mass
DTX_E	7.07	7.92	6.40	10.7	8.32	8.41
DTX_W	4.14	6.35	9.37	10.8	5.04	7.30
DMX_E	4.27	5.77	3.47	4.98	4.64	4.75
DMX_W	3.55	4.50	3.52	15.7	5.80	6.72
DBX	7.54	8.93	5.88	4.75	4.34	4.44
DTY_N	8.82	4.87	6.62	5.80	5.69	6.05
DTY_S	6.66	4.38	6.81	5.04	3.71	3.96
DMY_N	4.27	5.77	3.47	4.98	4.64	4.75
DMY_S	6.99	3.13	2.51	2.49	4.73	4.31
DBY	6.04	2.25	3.54	5.76	2.78	2.46



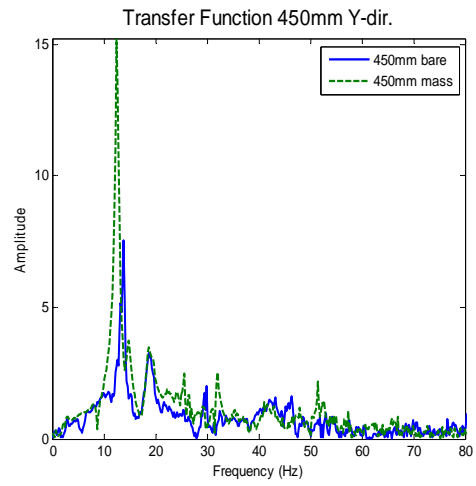
(a) 600mm X_direction



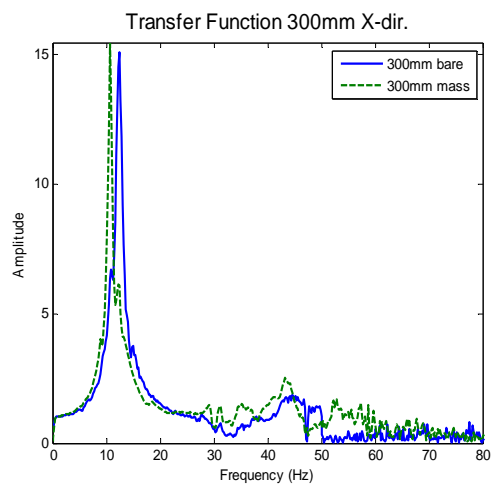
(b) 600mm Y_direction



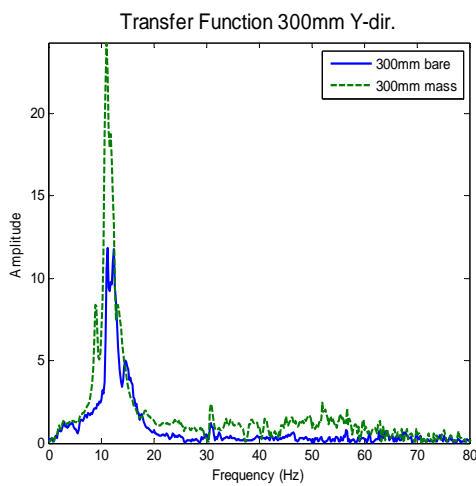
(c) 450mm X_direction



(d) 450mm Y_direction

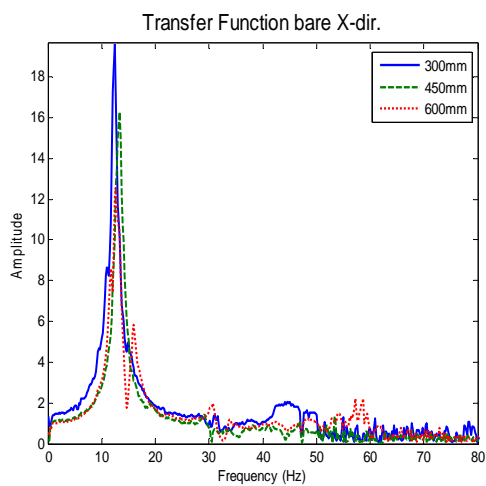


(e) 300mm X_direction

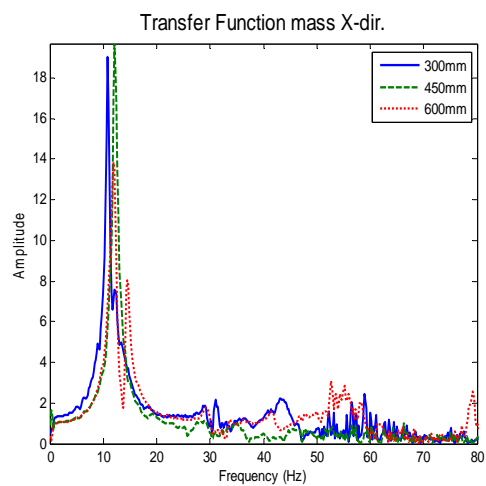


(f) 300mm Y_direction

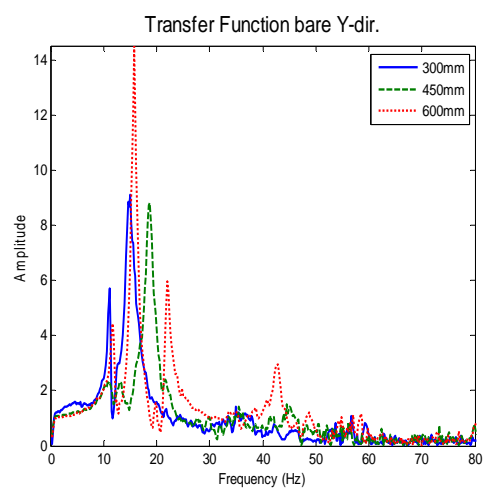
圖 3.1 機櫃於不同質量之第一模態頻率比較



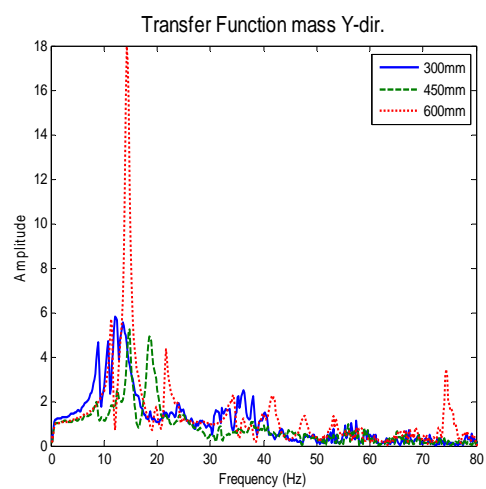
(a) Bare X_direction



(b) Mass X_direction

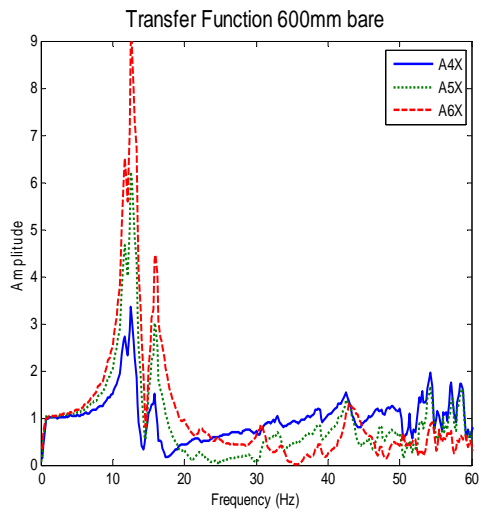


(c) Bare Y_direction

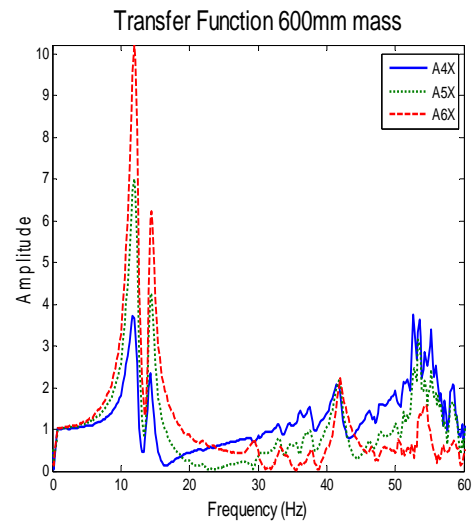


(d) Mass Y_direction

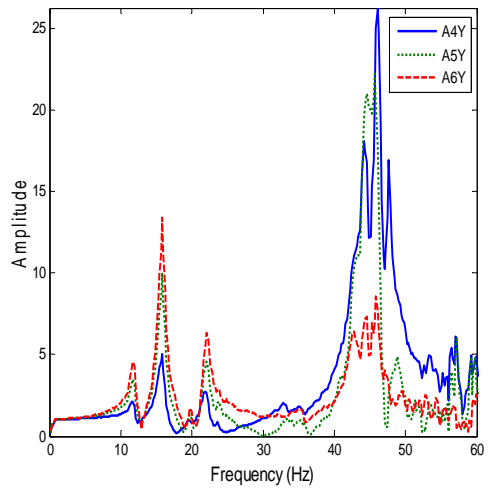
圖 3.2 不同機櫃間層第一模態比較



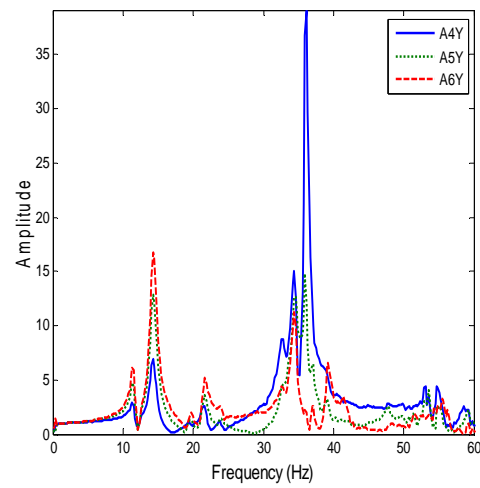
(a) Bare_X direction
Transfer Function 600mm bare



(b) Mass_X direction
Transfer Function 600mm mass

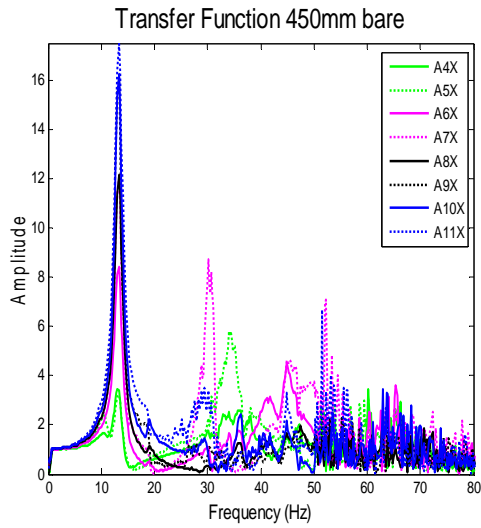


(c) Bare_Y direction
Transfer Function 600mm bare

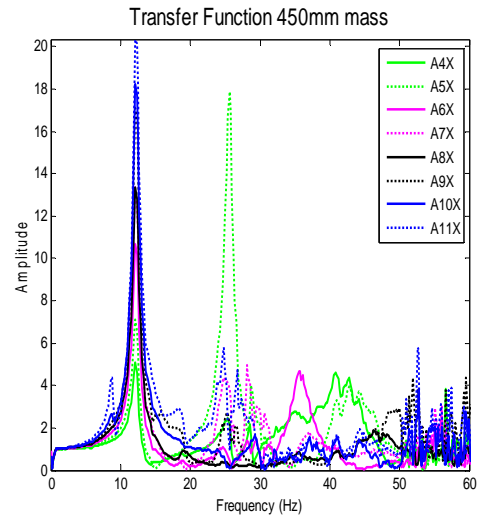


(d) Mass_Y direction
Transfer Function 600mm mass

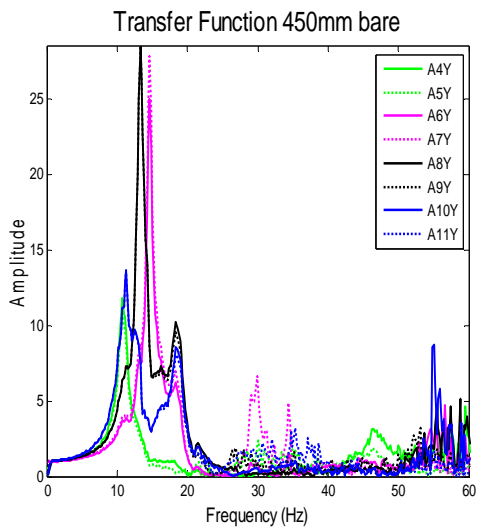
圖 3.3 Case 1(600mm)機櫃加速度轉換函數圖



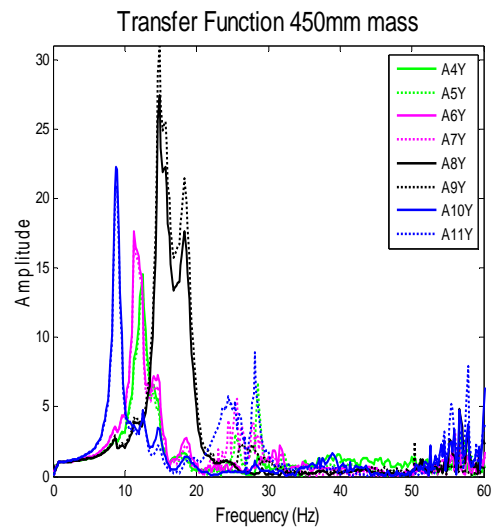
(a) Bare_X direction



(b) Mass_X direction

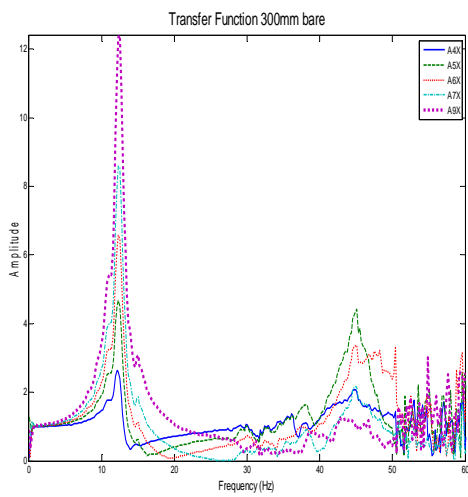


(c) Bare_Y direction

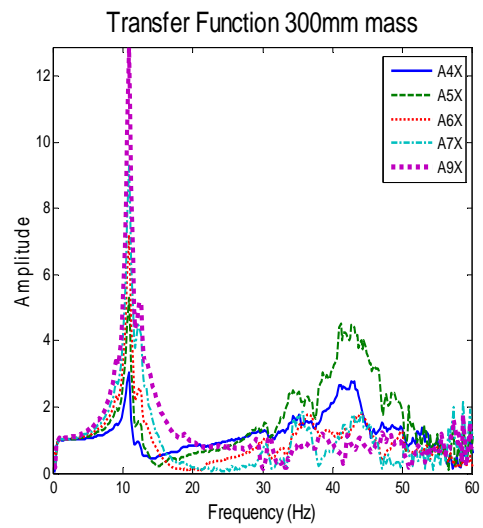


(d) Mass_Y direction

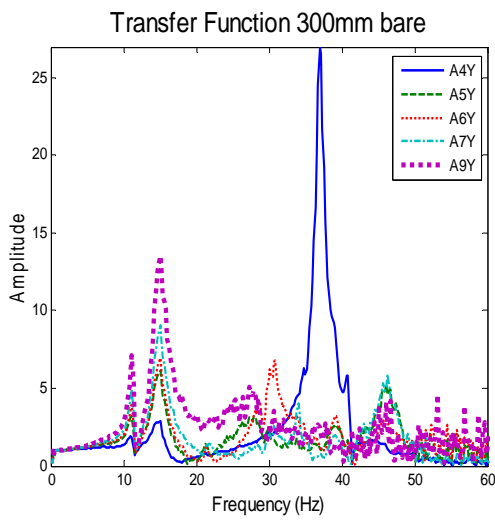
圖 3.4 Case 2(450mm)機櫃加速度轉換函數圖



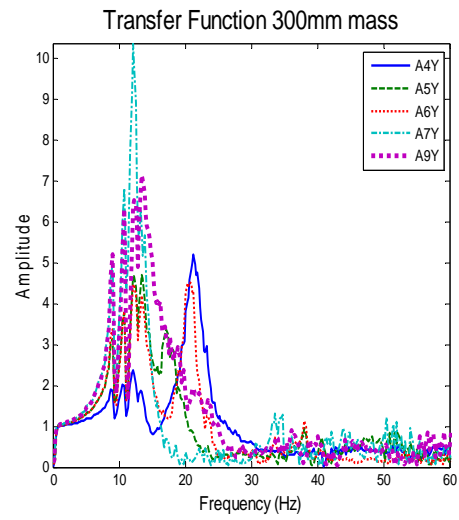
(a) Bare_X direction



(b) Mass_X direction



(c) Bare_Y direction



(d) Mass_Y direction

圖 3.5 Case 3(300mm)機櫃加速度轉換函數圖

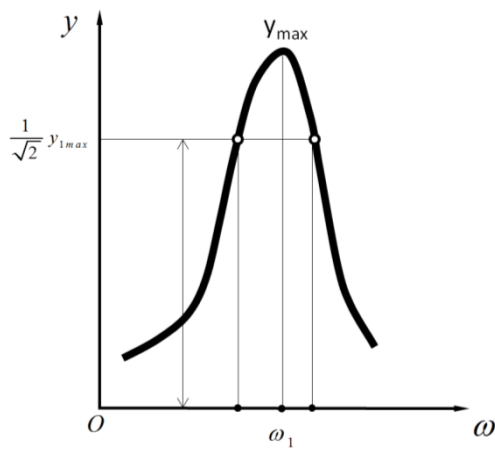
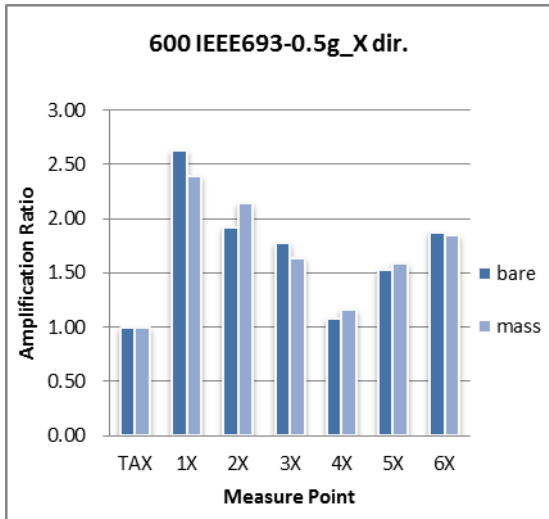
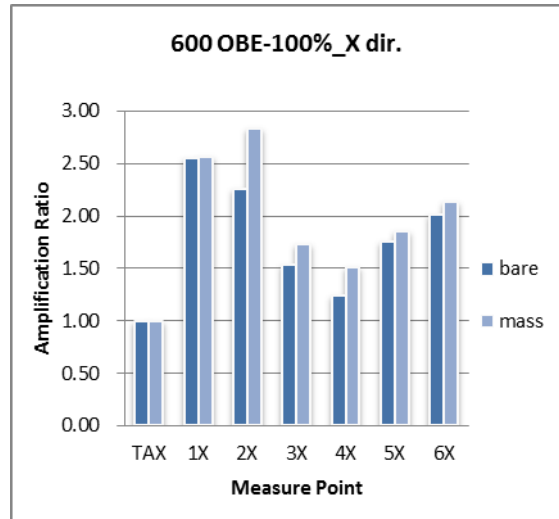


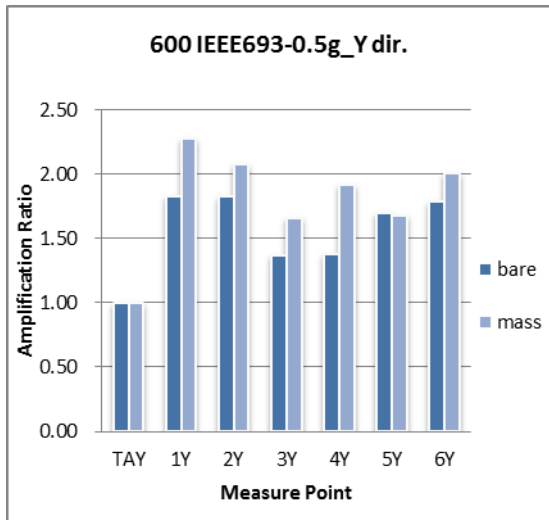
圖 3.6 頻譜響應曲線圖



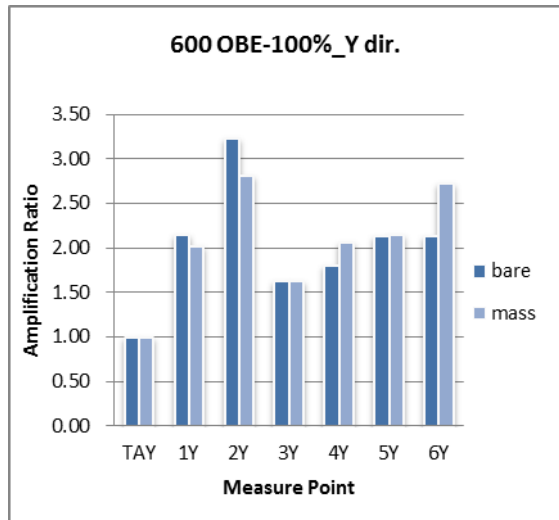
(a) IEEE693-0.5g_X



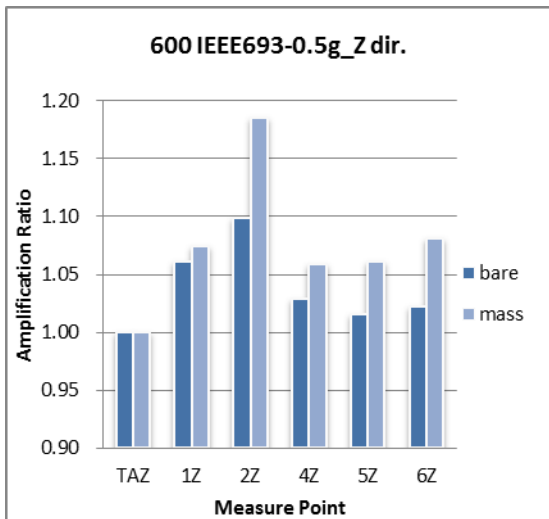
(b) OBE-100%_X



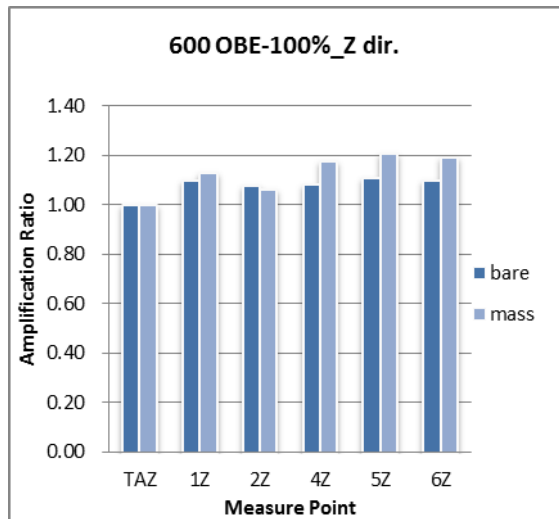
(c) IEEE693-0.5g_Y



(d) OBE-100%_Y

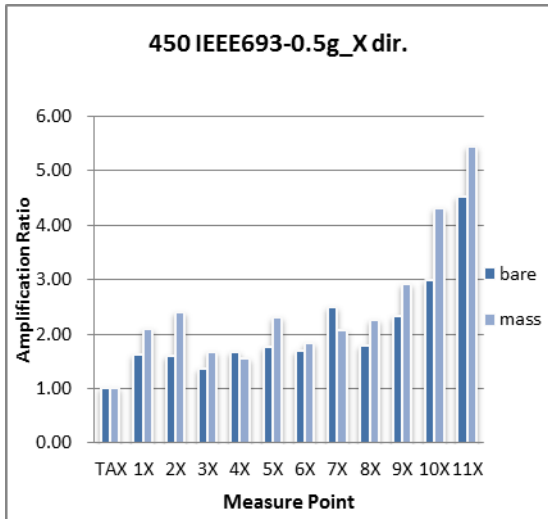


(e) IEEE693-0.5g_Z

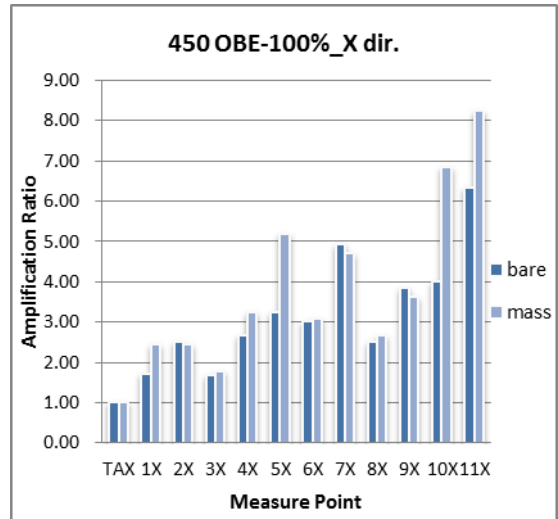


(f) OBE-100%_Z

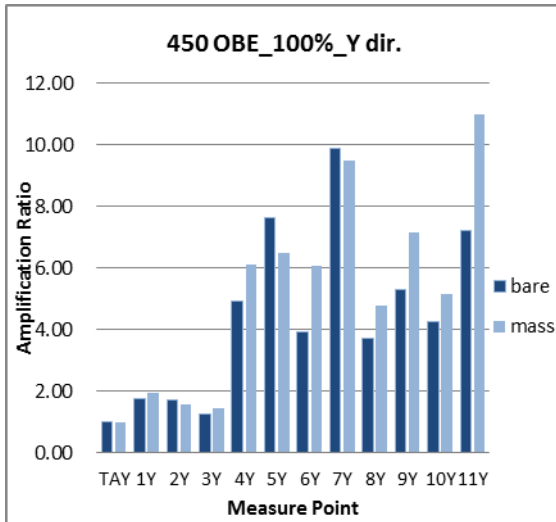
圖 3.7 Case 1(600mm)-0.5g 加速度放大倍率



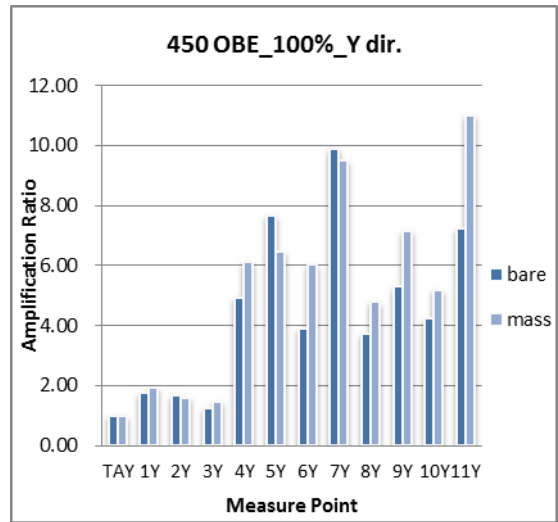
(a) IEEE693-0.5g_X



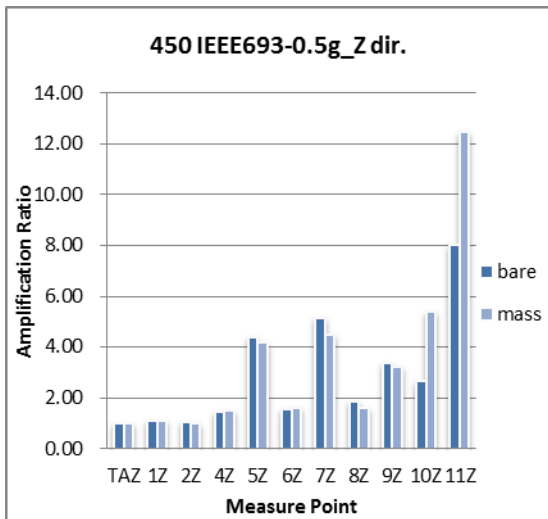
(b) OBE-100%_X



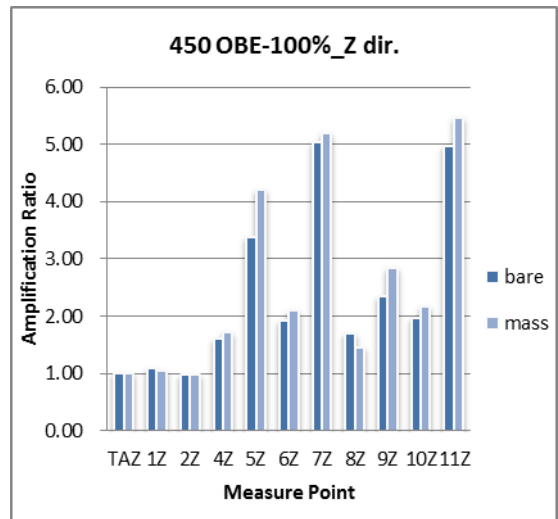
(c) IEEE693-0.5g_Y



(d) OBE-100%_Y

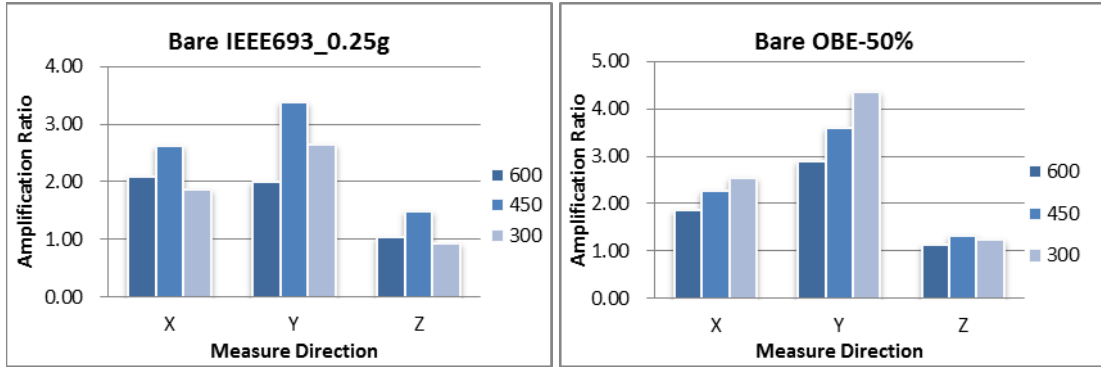


(e) IEEE693-0.5g_Z



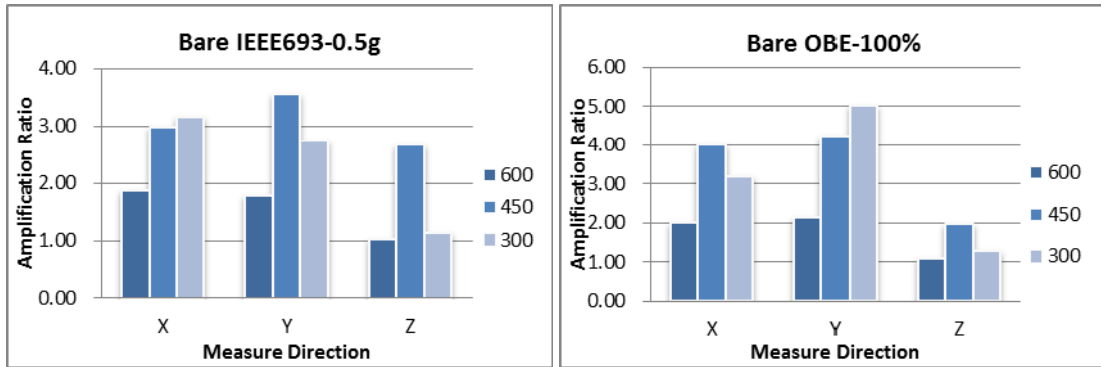
(f) OBE-100%_Z

圖 3.8 Case 2(450mm)-0.5g 加速度放大倍率



(a) IEEE693-0.25g

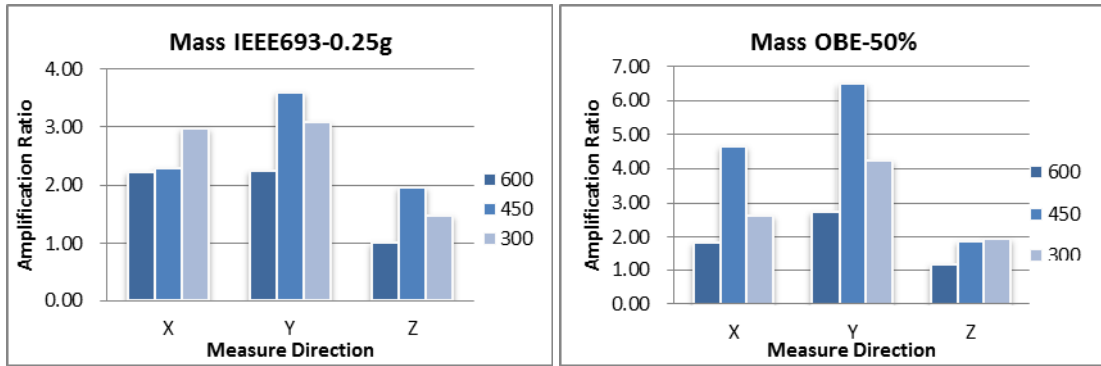
(b) OBE-50%



(c) IEEE693-0.5g

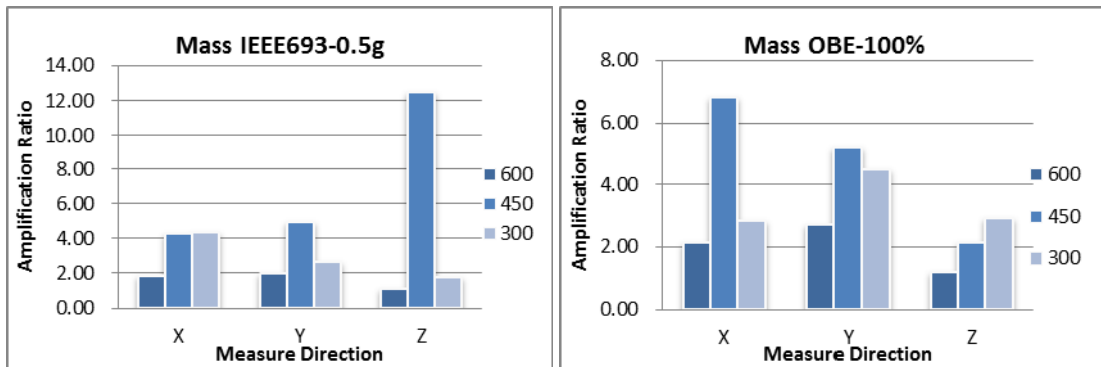
(d) OBE-100%

圖 3.9 空櫃於不同間層加速度放大倍率



(a) IEEE693-0.25g

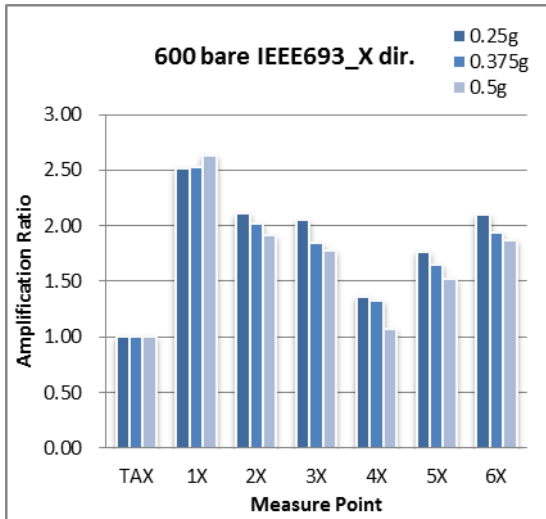
(b) OBE-50%



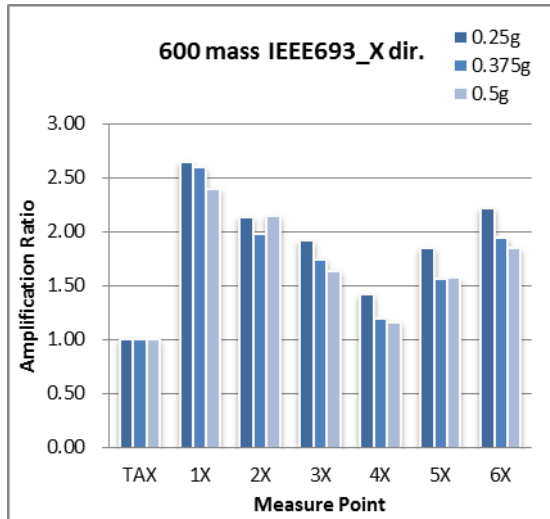
(c) IEEE693-0.5g

(d) OBE-100%

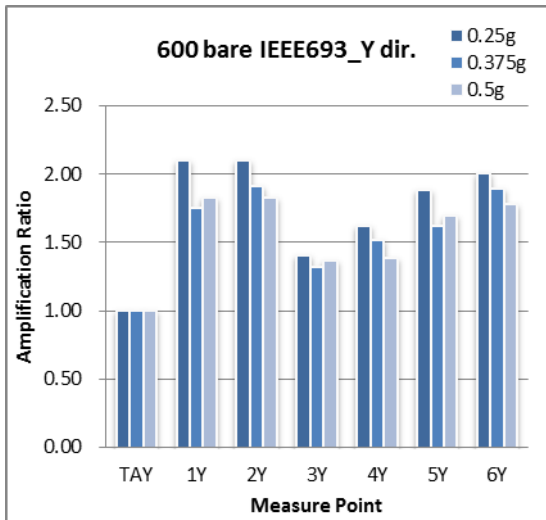
圖 3.10 質量櫃不同間層加速度放大倍率



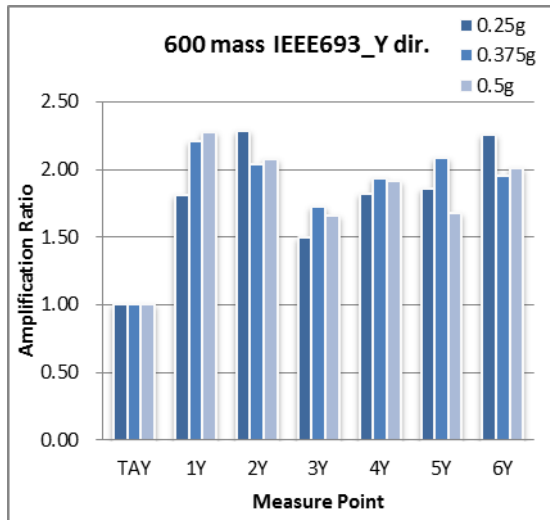
(a) Case 1(600mm) bare_X



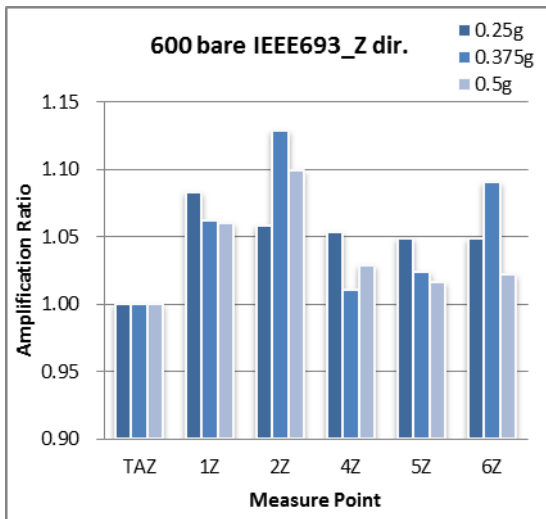
(b) Case 1(600mm) mass_X



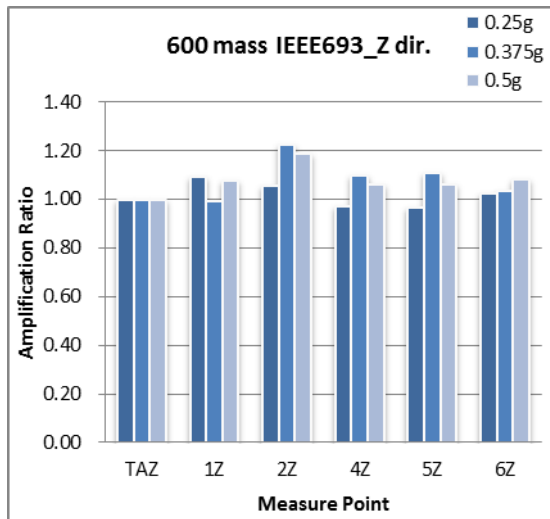
(c) Case 1(600mm) bare_Y



(d) Case 1(600mm) mass_Y

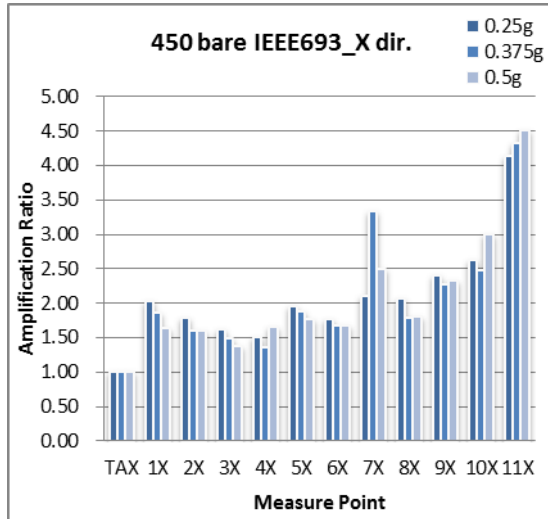


(e) Case 1(600mm) bare_Z

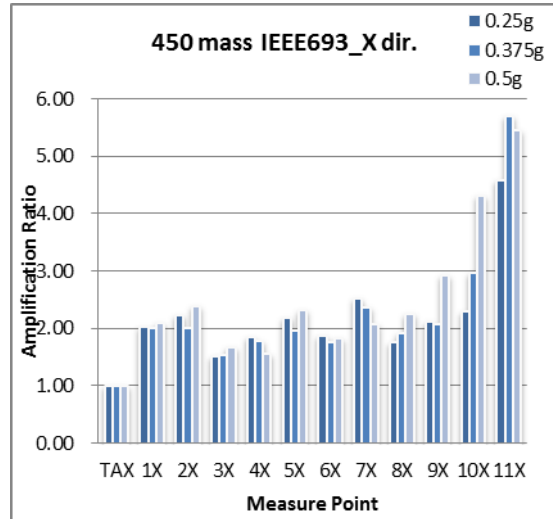


(f) Case 1(600mm) mass_Z

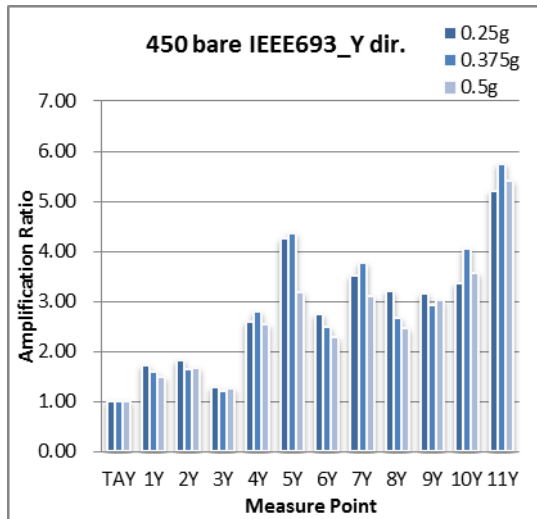
圖 3.11 Case 1 不同地震強度於 IEEE693 之加速度放大倍率比較



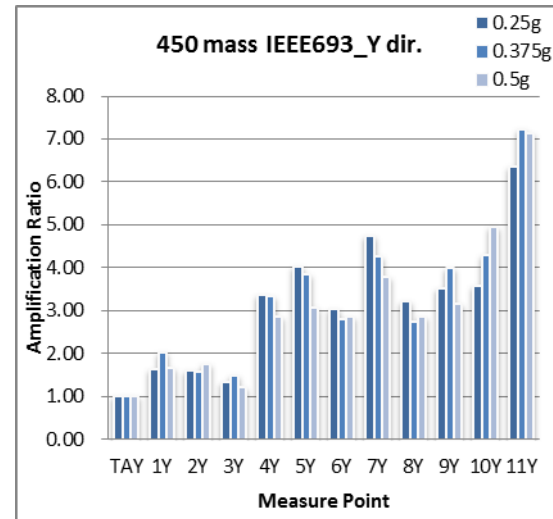
(a) Case 2(450mm) bare_X



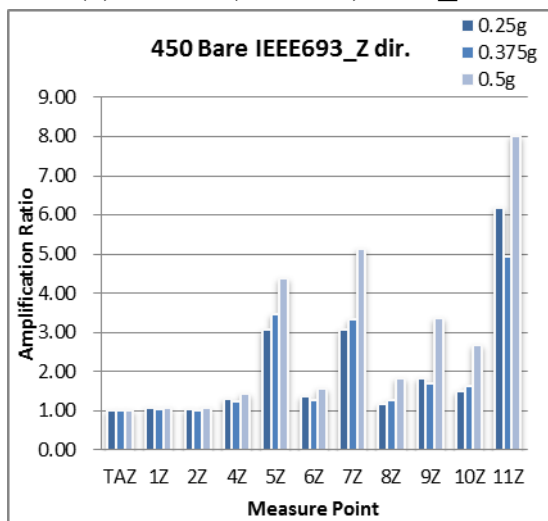
(b) Case 2(450mm) mass_X



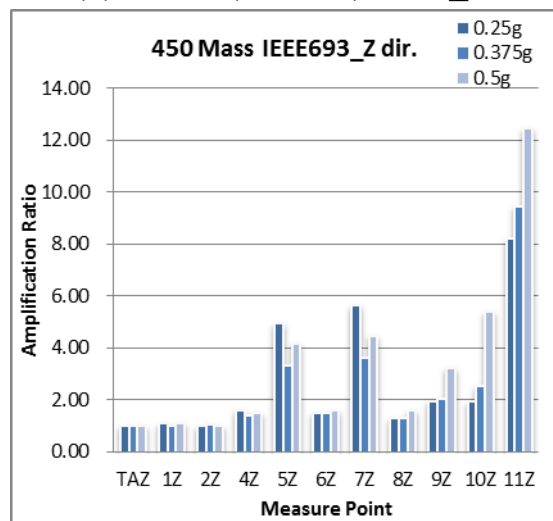
(c) Case 2(450mm) bare_Y



(d) Case 2(450mm) mass_Y

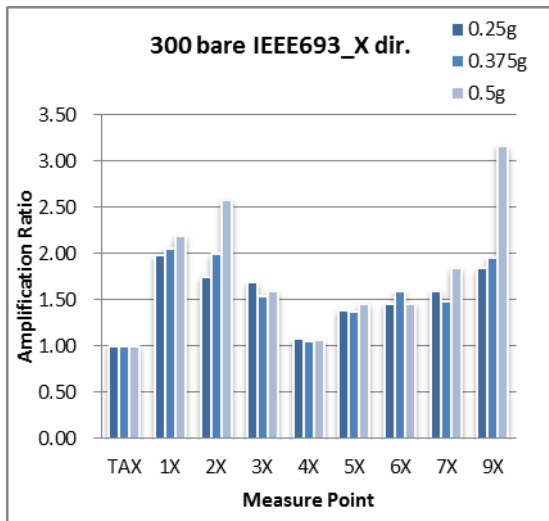


(e) Case 2(450mm) bare_Z

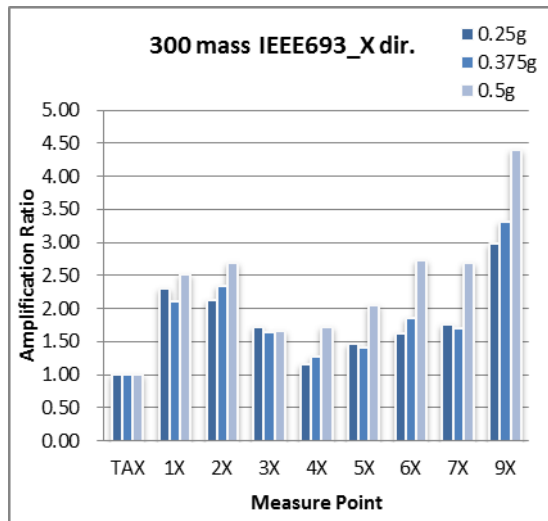


(f) Case 2(450mm) mass_Z

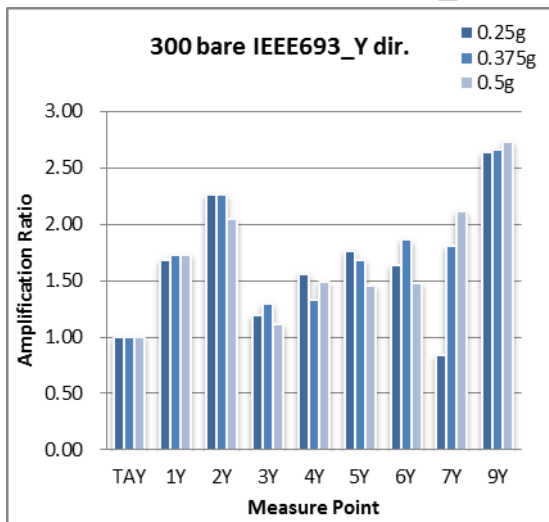
圖 3.12 Case 2 不同地震強度於 IEEE693 之加速度放大倍率比較



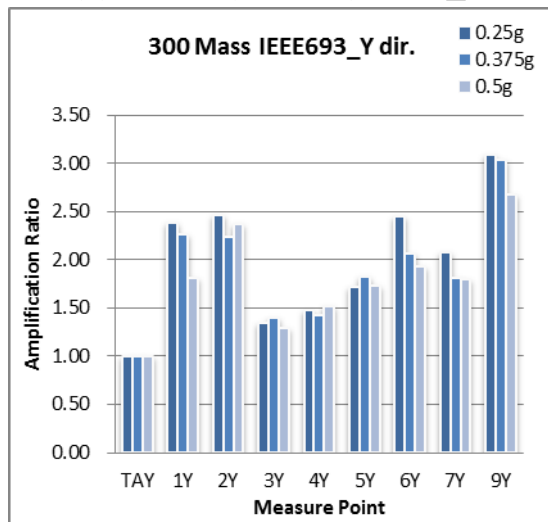
(a) Case 3(300mm) bare_X



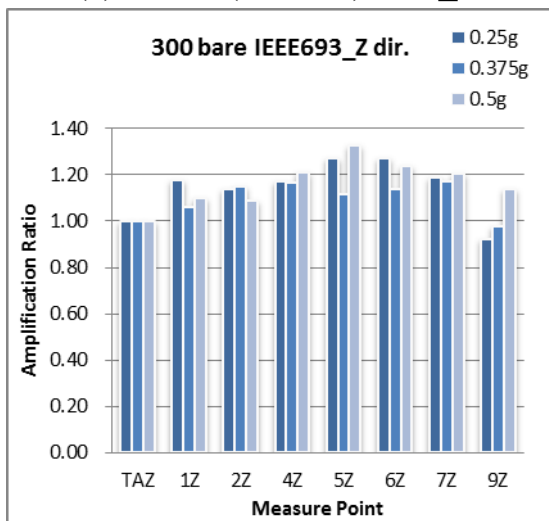
(b) Case 3(300mm) mass_X



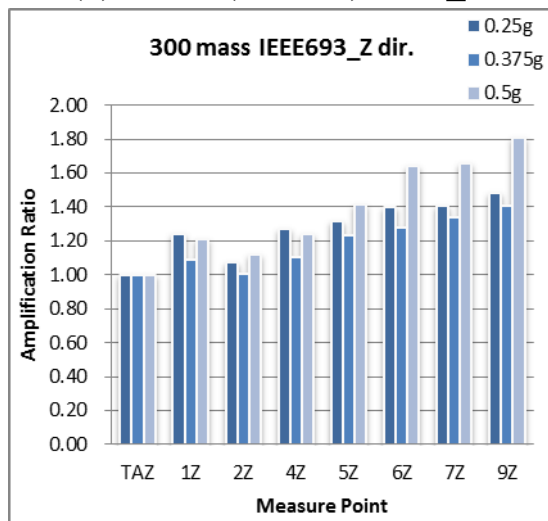
(c) Case 3(300mm) bare_Y



(d) Case 3(300mm) mass_Y

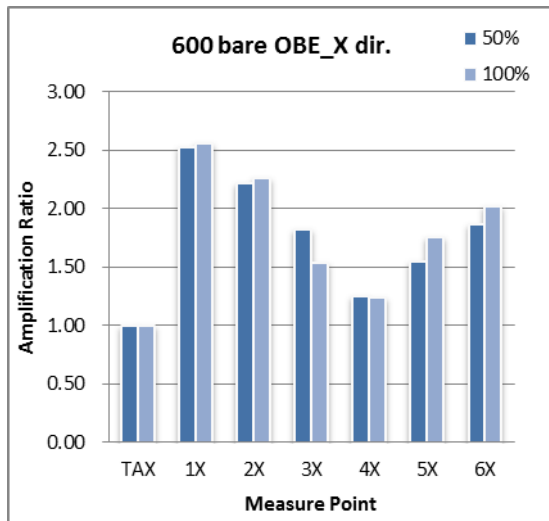


(e) Case 3(300mm) bare_Z

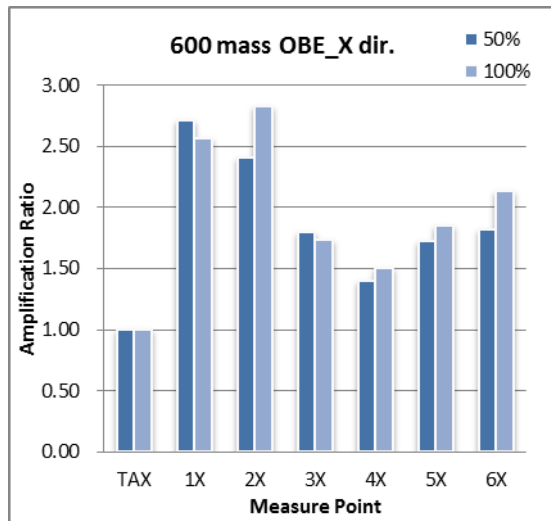


(f) Case 3(300mm) mass_Z

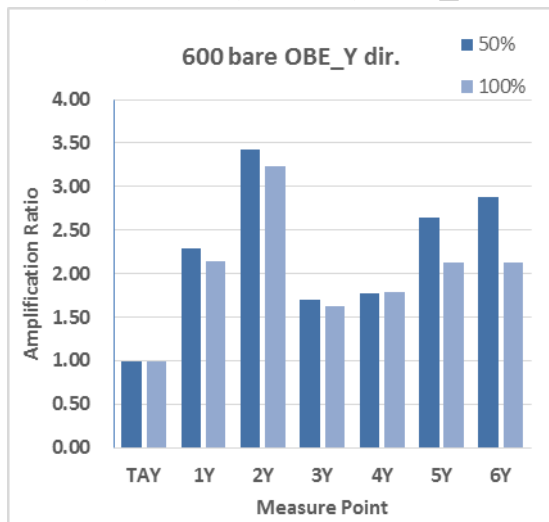
圖 3.13 Case 3 不同地震強度於 IEEE693 之加速度放大倍率比較



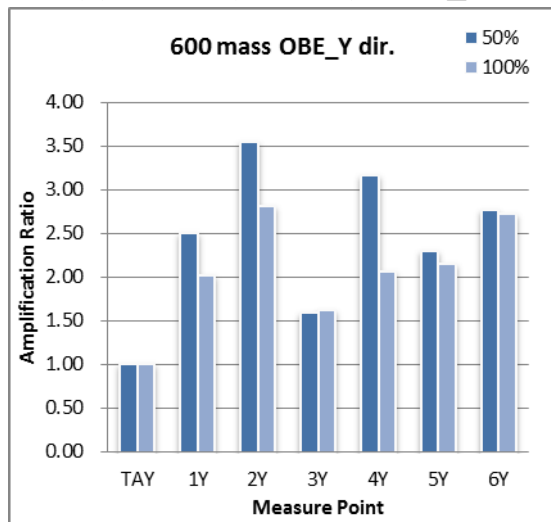
(a) Case 1(600mm) bare_X



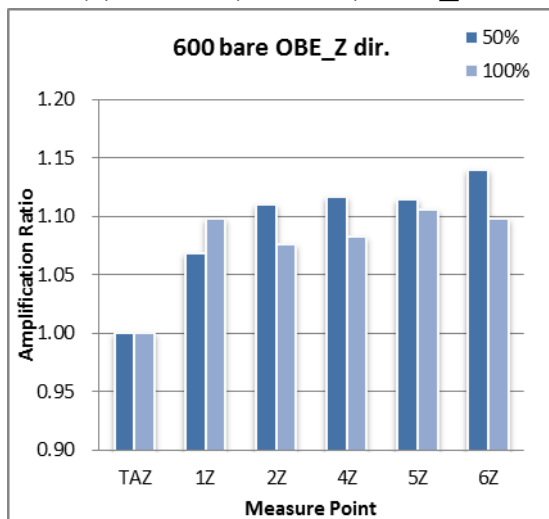
(b) Case 1(600mm) mass_X



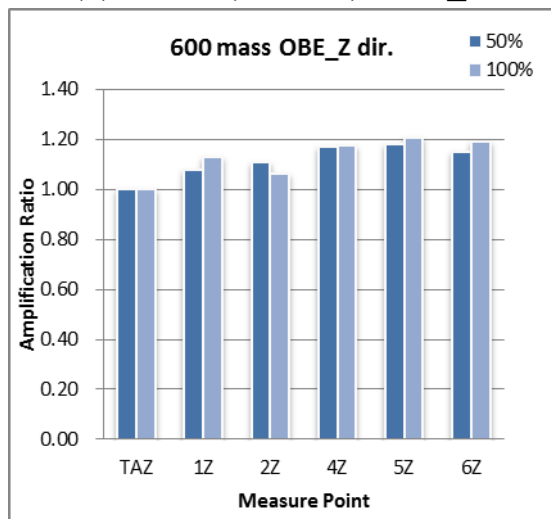
(c) Case 1(600mm) bare_Y



(d) Case 1(600mm) mass_Y

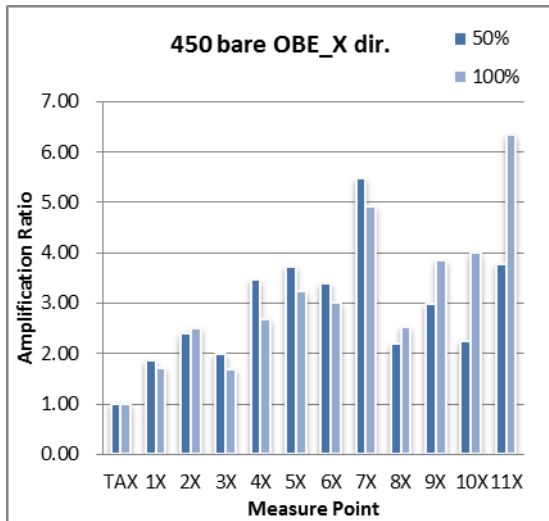


(e) Case 1(600mm) bare_Z

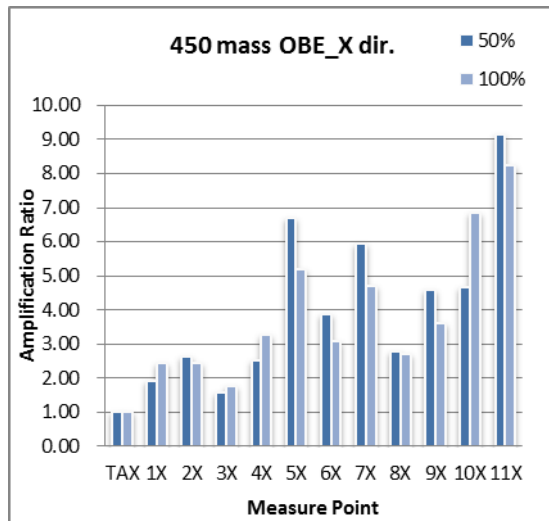


(f) Case 1(600mm) mass_Z

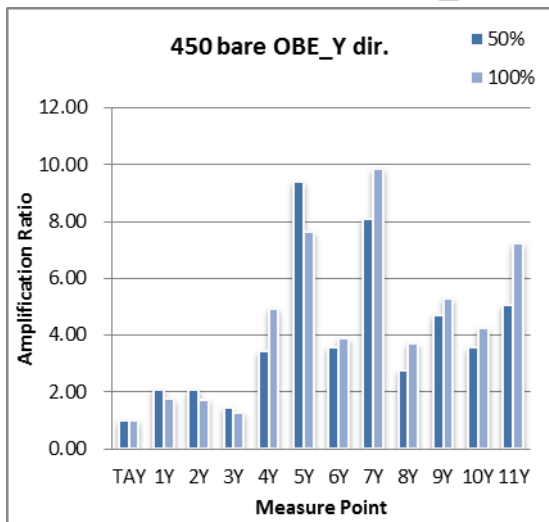
圖 3.14 Case 1 不同地震強度於 OBE 之加速度放大倍率比較



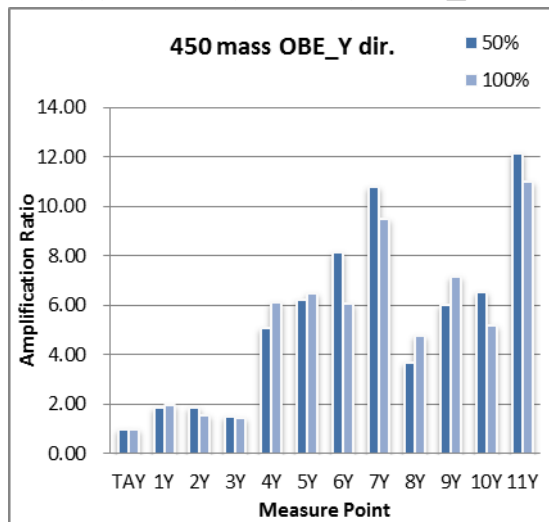
(a) Case 2(450mm) bare_X



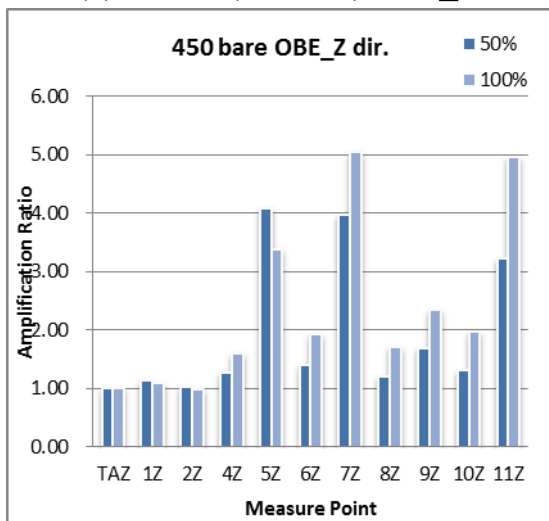
(b) Case 2(450mm) mass_X



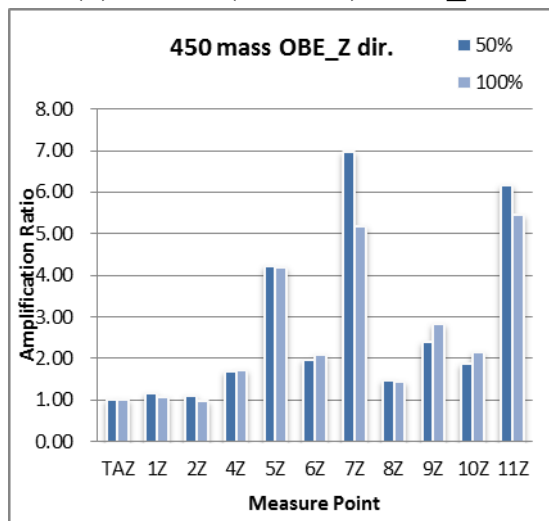
(c) Case 2(450mm) bare_Y



(d) Case 2(450mm) mass_Y

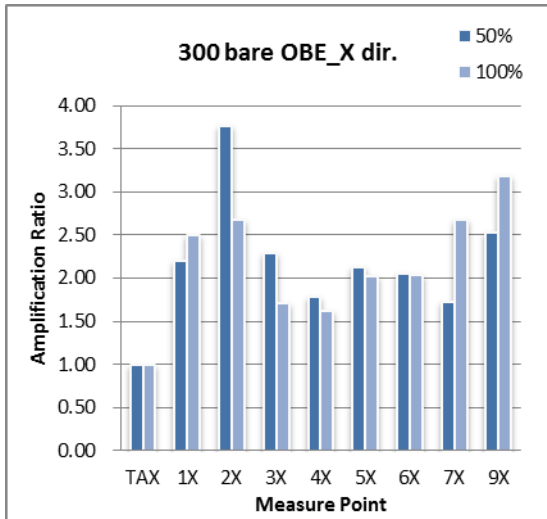


(d) Case 2(450mm) bare_Z

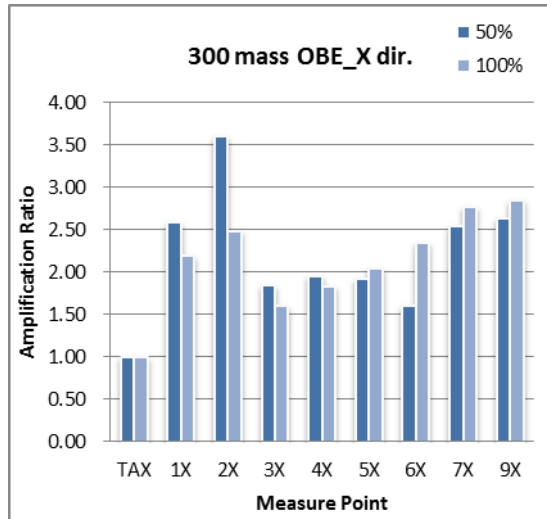


(d) Case 2(450mm) mass_Z

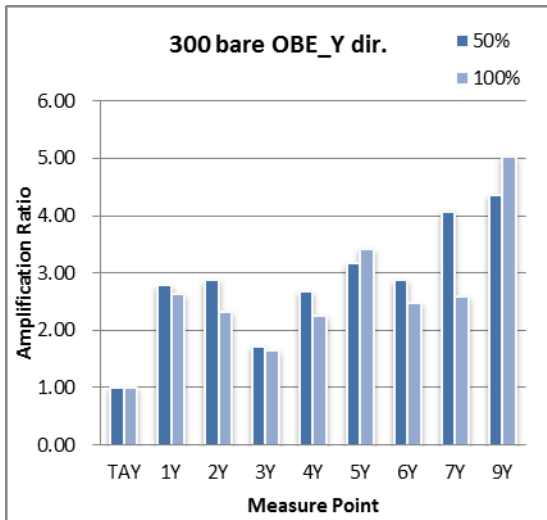
圖 3.15 Case 2 不同地震強度於 OBE 之加速度放大倍率比較



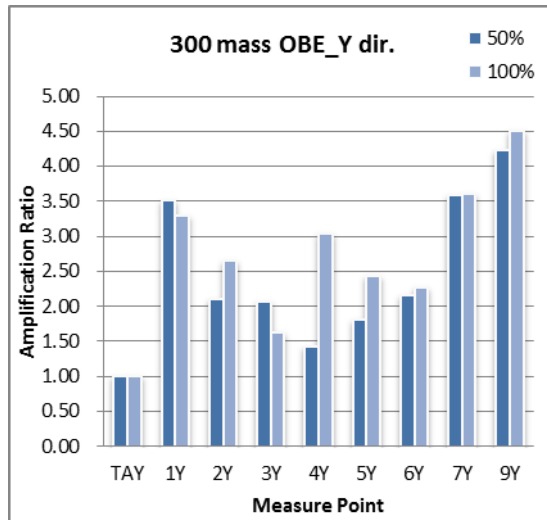
(a) Case 3(300mm) bare_X



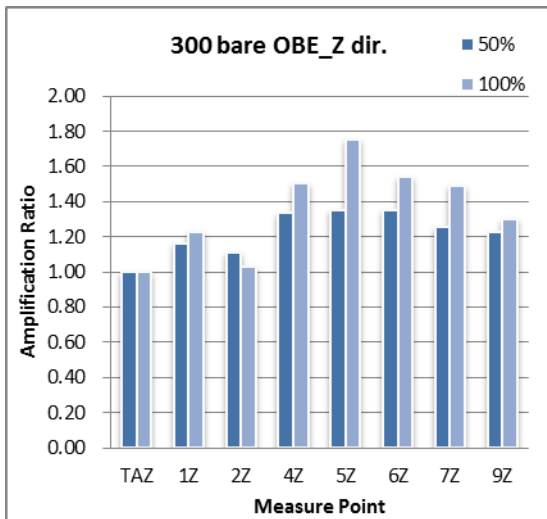
(b) Case 3(300mm) mass_X



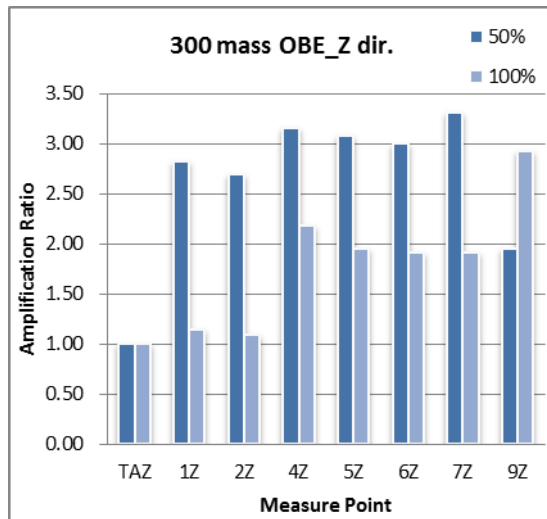
(c) Case 3(300mm) bare_Y



(d) Case 3(300mm) mass_Y

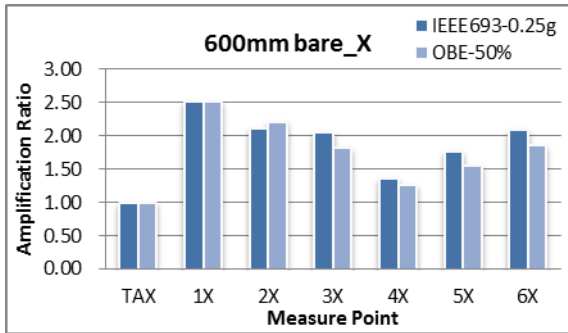


(e) Case 3(300mm) bare_Z

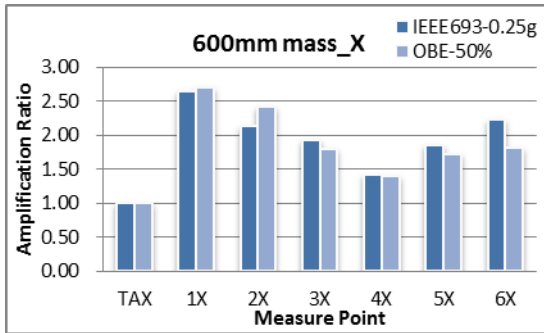


(f) Case 3(300mm) mass_Z

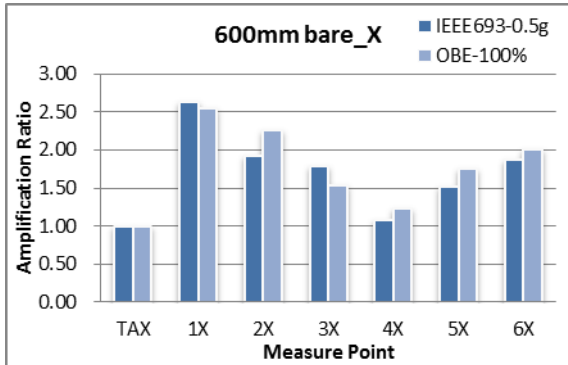
圖 3.16 Case 3 不同地震強度於 OBE 之加速度放大倍率比較



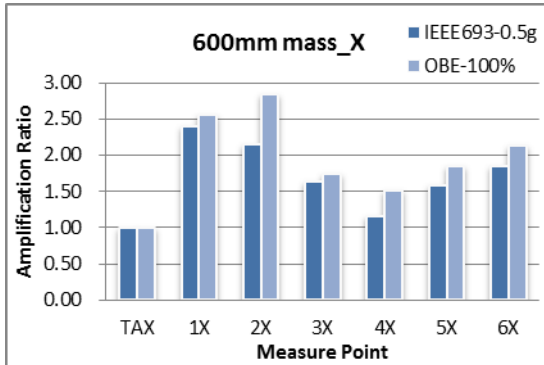
(a) Case 1(600mm) bare



(b) Case 1(600mm) mass

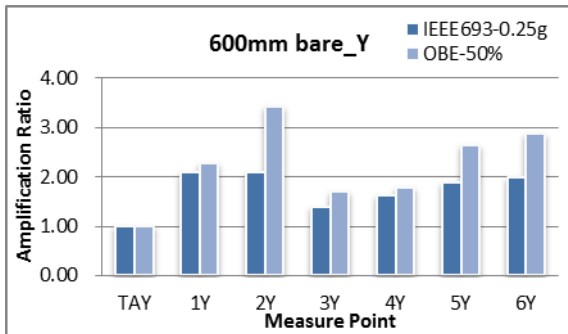


(c) Case 1(600mm) bare

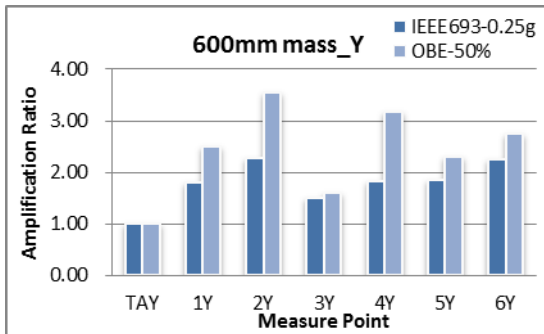


(d) Case 1(600mm) mass

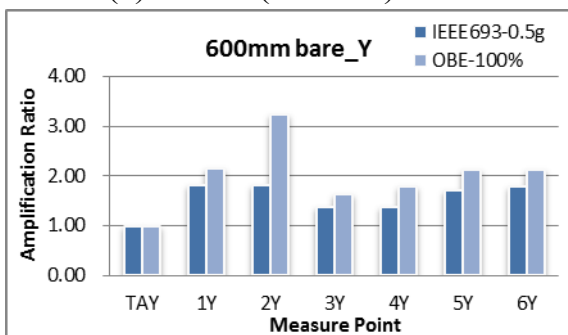
圖 3.17 Case1 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_X direction



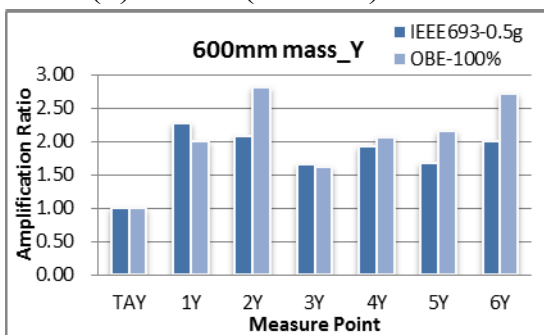
(a) Case 1(600mm) bare



(b) Case 1(600mm) mass

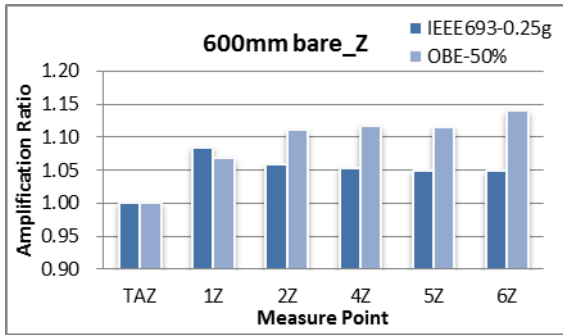


(c) Case 1(600mm) bare

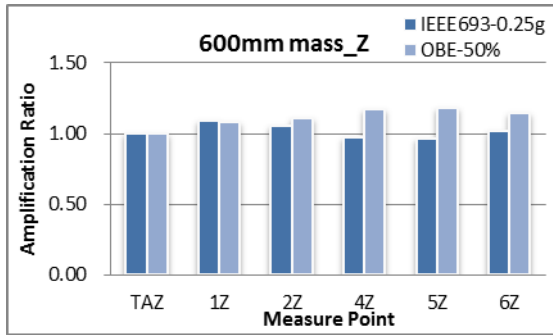


(d) Case 1(600mm) mass

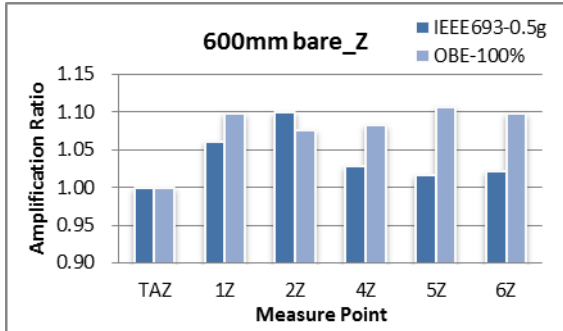
圖 3.18 Case 1 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_Y direction



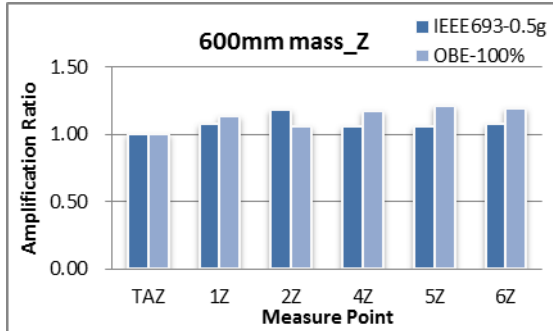
(a) Case 1(600mm) bare



(b) Case 1(600mm) mass

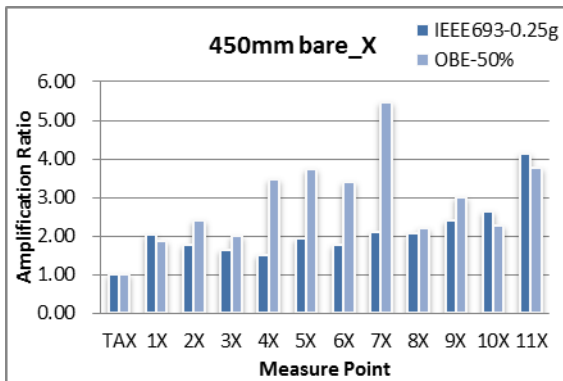


(c) Case 1(600mm) bare

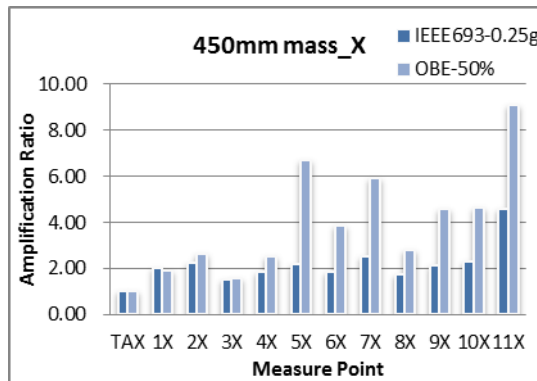


(d) Case 1(600mm) mass

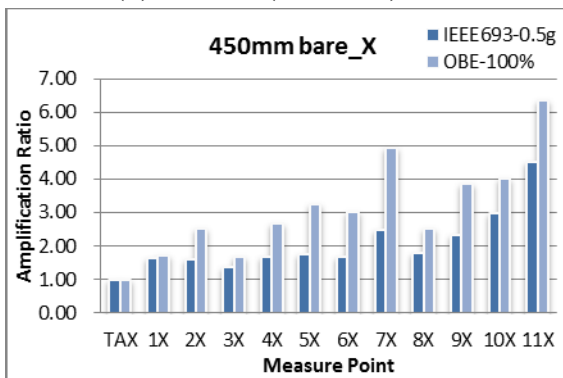
圖 3.19 Case 1 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_Z direction



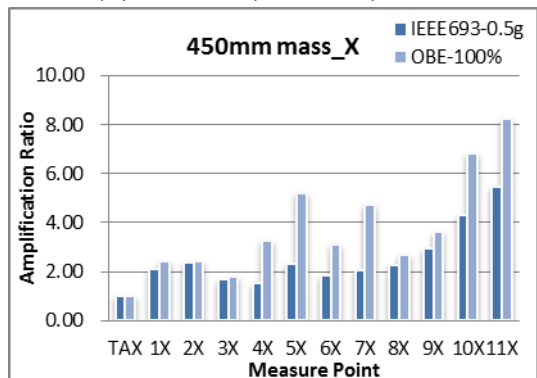
(a) Case 2(450mm) bare



(b) Case 2(450mm) mass

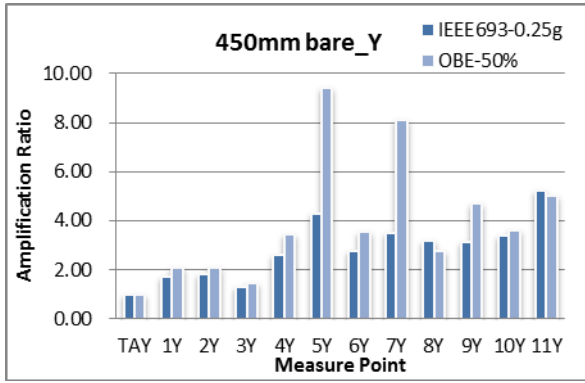


(c) Case 2(450mm) bare

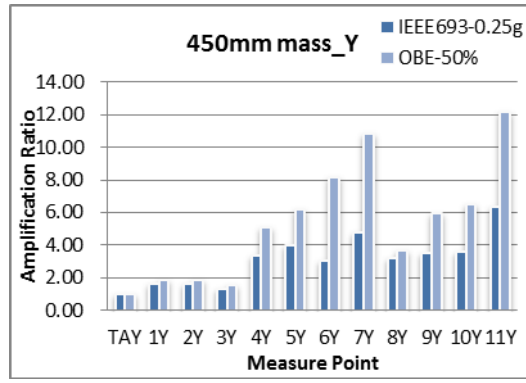


(d) Case 2(450mm) mass

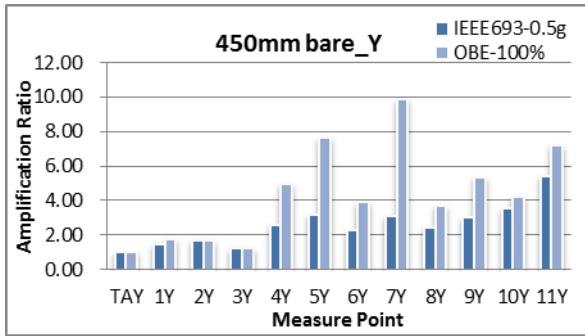
圖 3.20 Case 2 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_X direction



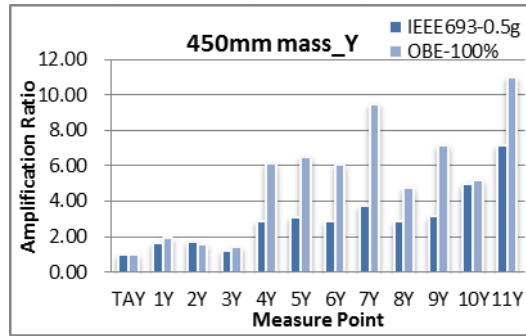
(a) Case 2(450mm) bare



(b) Case 2(450mm) mass

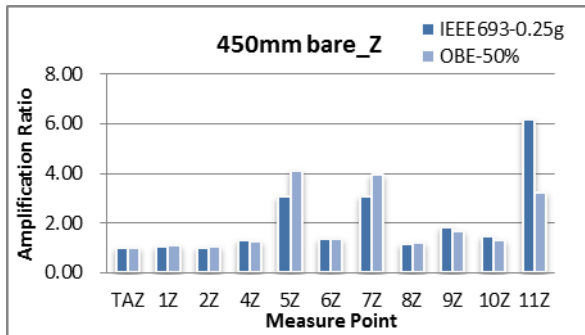


(c) Case 2(450mm) bare

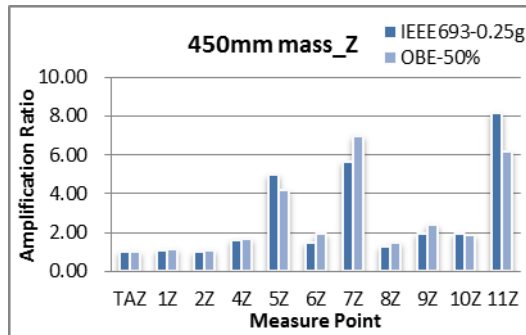


(d) Case 2(450mm) mass

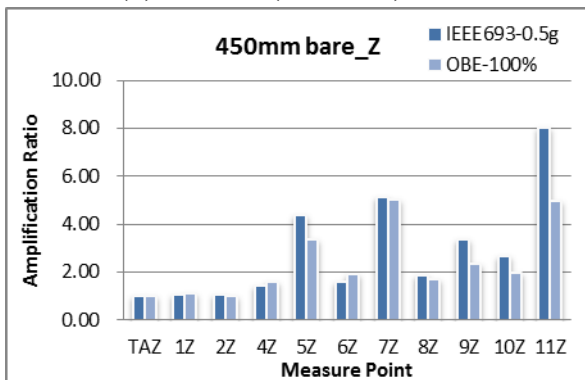
圖 3.21 Case 2 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_Y



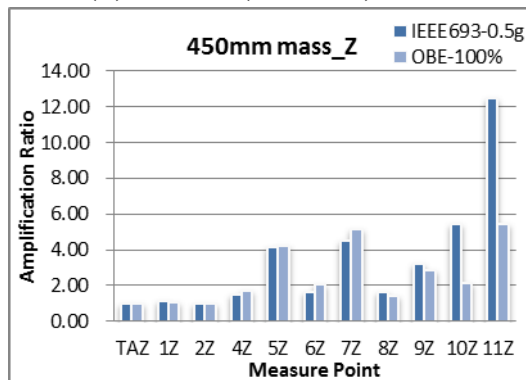
(a) Case 2(450mm) bare



(b) Case 2(450mm) mass

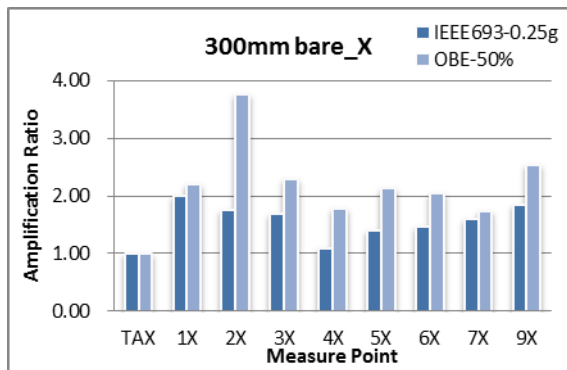


(c) Case 2(450mm) bare

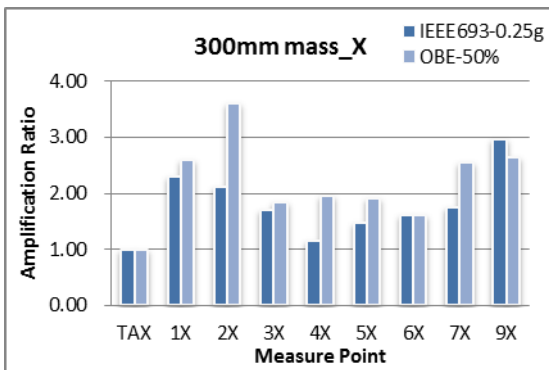


(d) Case 2(450mm) mass

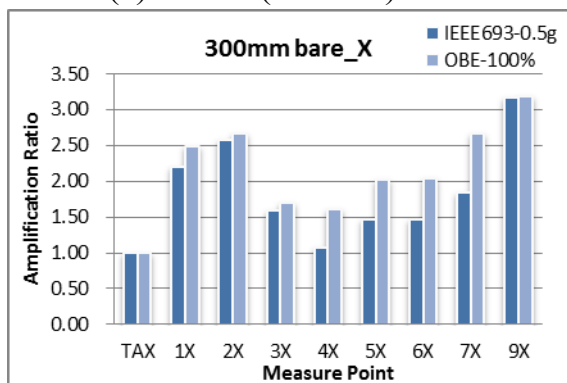
圖 3.22 Case 2 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_Z direction



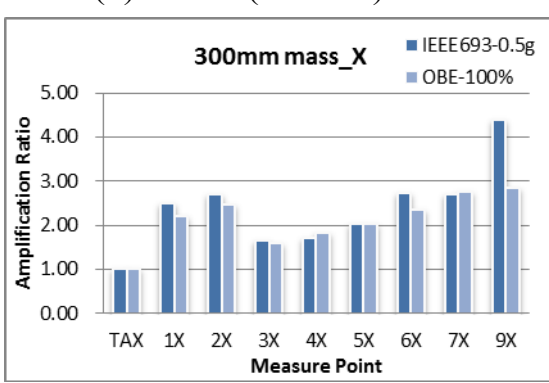
(a) Case 3(300mm) bare



(b) Case 3(300mm) mass

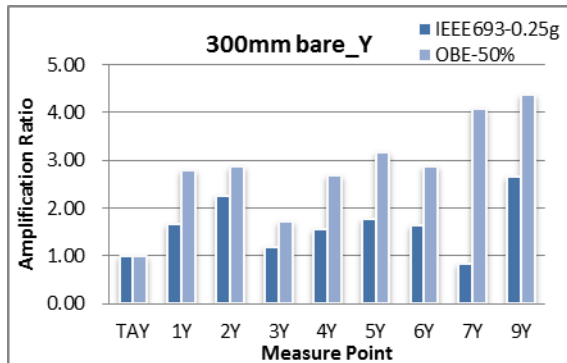


(c) Case 3(300mm) bare

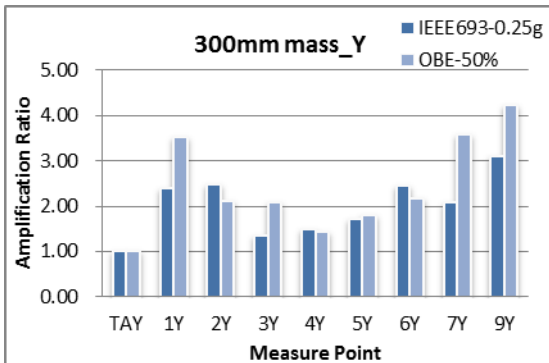


(d) Case 3(300mm) mass

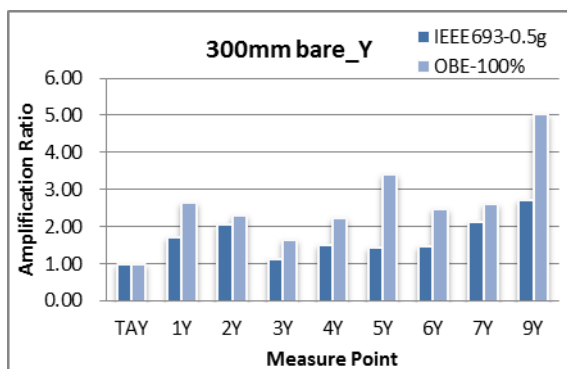
圖 3.23 Case 3 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_X direction



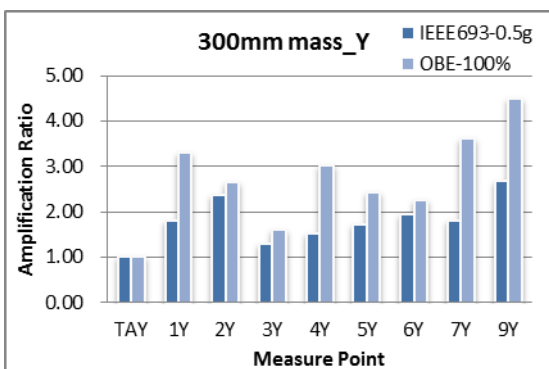
(a) Case 3(300mm) bare



(b) Case 3(300mm) mass

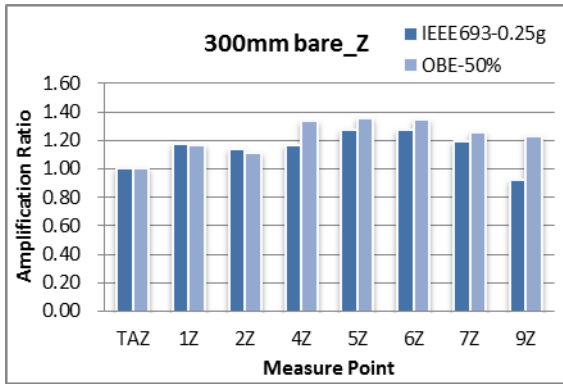


(c) Case 3(300mm) bare

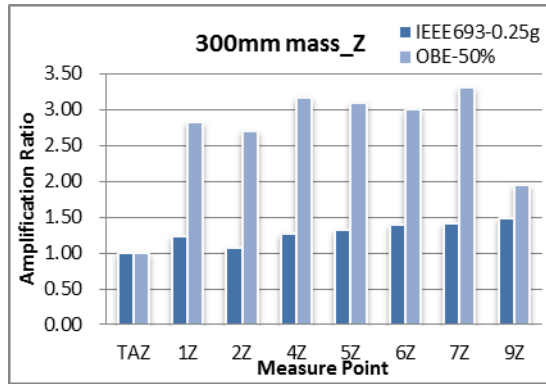


(d) Case 3(300mm) mass

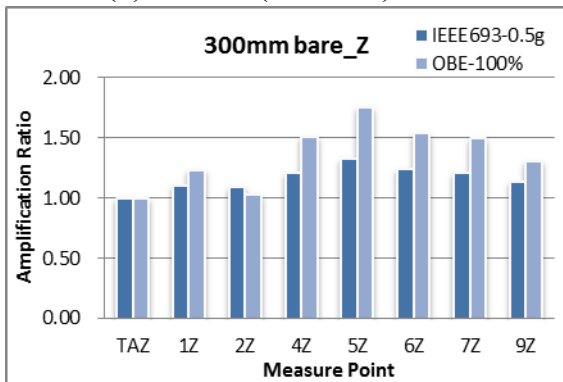
圖 3.24 Case 3 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_Y direction



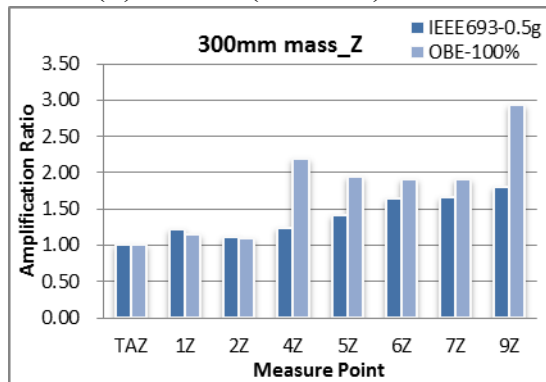
(a) Case 3(300mm) bare



(b) Case 3(300mm) mass



(c) Case 3(300mm) bare



(d) Case 3(300mm) mass

圖 3.25 Case 3 不同輸入地震波之加速度放大倍率比較_Z direction

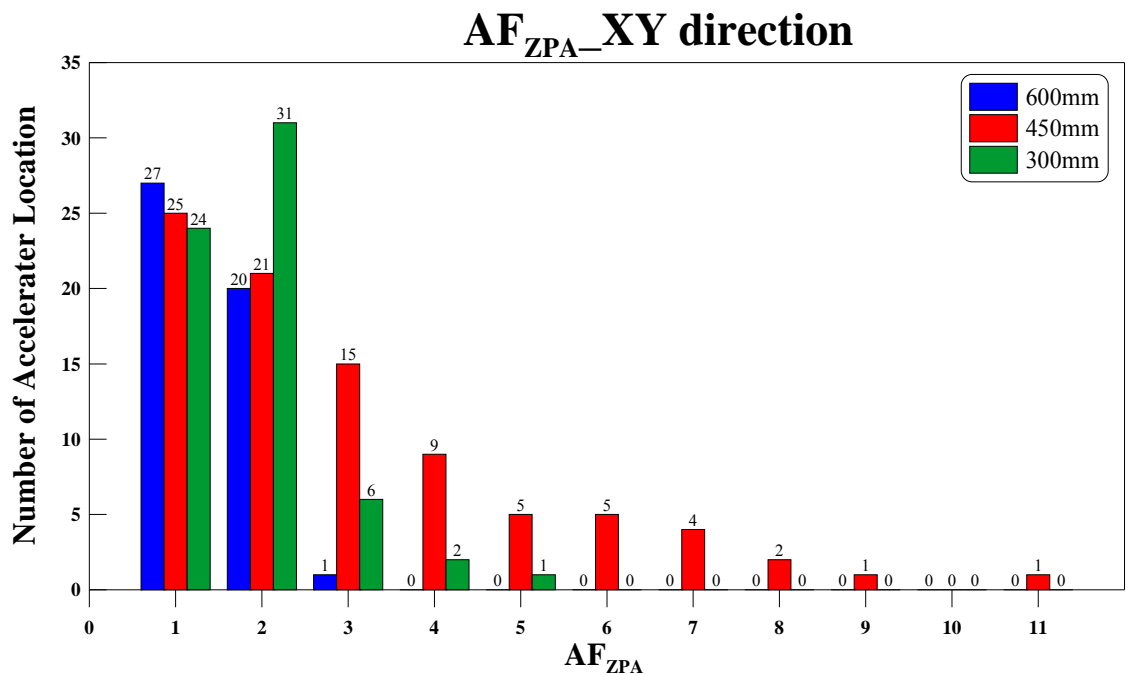


圖 3.26 不同間層數之加速度放大倍率_XY 方向

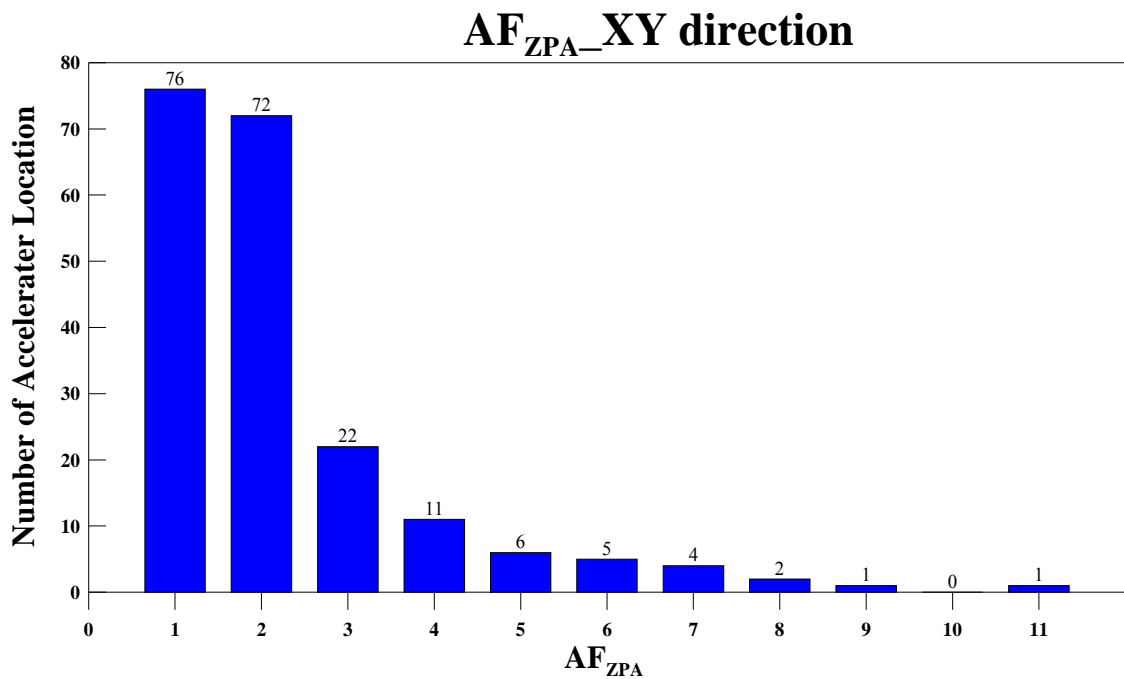
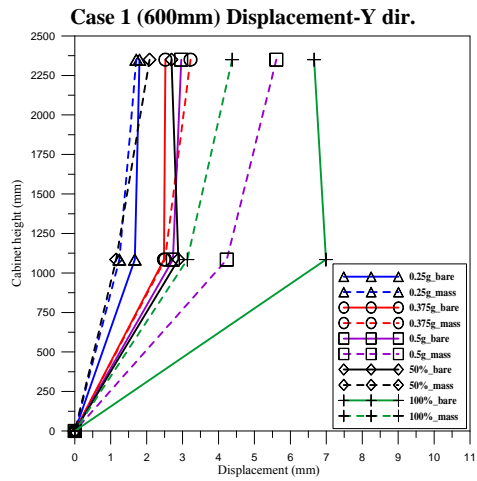
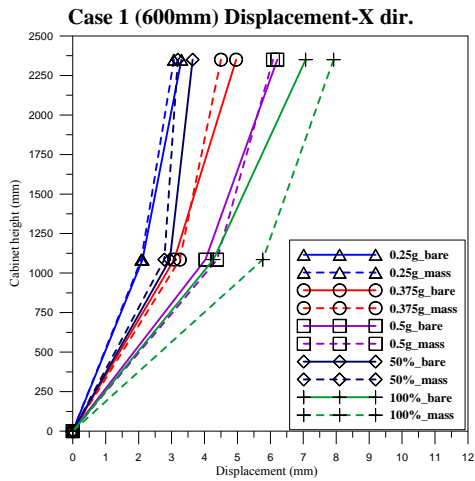
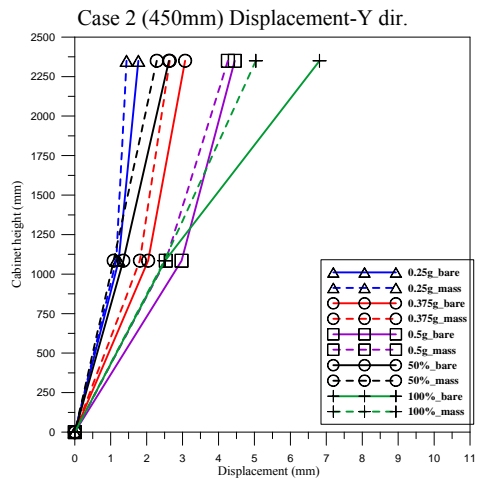
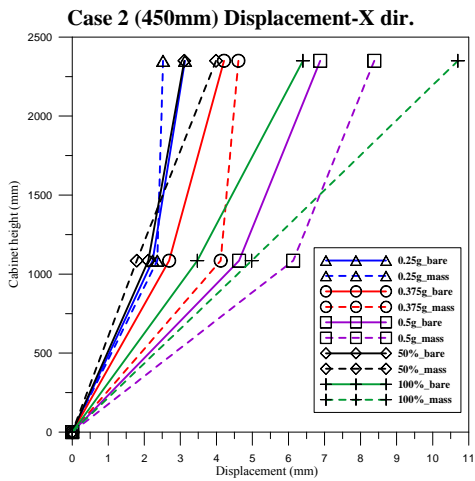


圖 3.27 加速度放大倍率總和_XY 方向



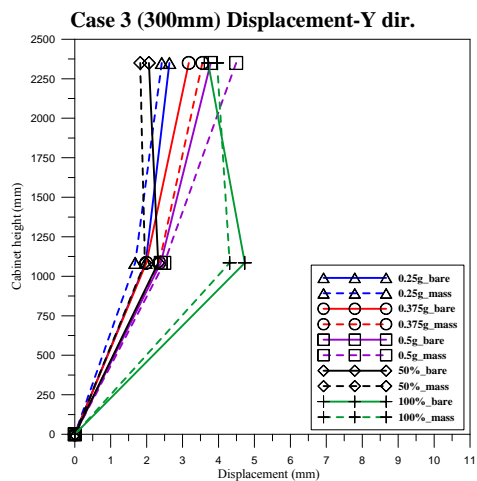
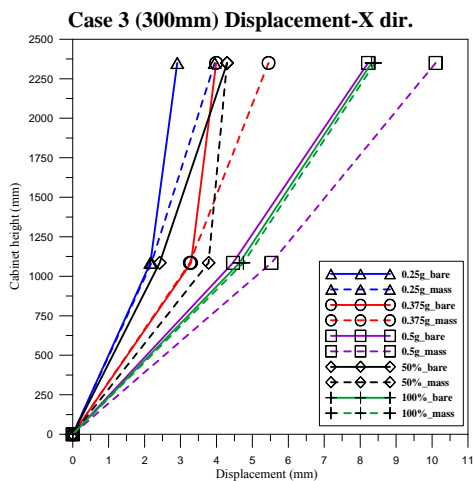
(a) 600mm Displacement-X dir.

(b) 600mm Displacement-Y dir.



(c) 450mm Displacement-X dir.

(d) 450mm Displacement-Y dir.



(e) 300mm Displacement-X dir.

(f) 300mm Displacement-Y dir.

圖 3.28 機櫃之各點量測位移

第四章 盤內反應譜分析與動力放大因子

4.1 前言

核電廠之電氣盤體結構多樣性，盤內設備種類、配置位置及方式之不同，導致盤內設備物耐震需求皆為不同。一般針對盤內設備物設計與評估之耐震需求，需提供盤內設備物錨定點之盤內反應譜，為確保不同自然頻率之盤內設備物之評估結果或抗震設計均能達到規範之要求。

於第一章所述，NRC/NUREG CR-5203【2】以動力放大因子 (Amplification Factor, AF) 探討 MCC 電氣盤體之盤內反應譜特性。其動力放大因子定義為試驗中之機櫃內部設備物(local)加速度反應譜與機櫃底部(base)加速度反應譜之 TRS 比值，TRS(Test Response Spectrum)比值即為 TRS_{loc}/TRS_{base} ，由此可知 AF 值為頻率之函數。

本章節將試驗機櫃外部頂層加速度規(A1、A2)、中間層加速度規(A3)與內部間層加速度規(A4~A11)轉換成反應譜，並與底部加速度規(AT)反應譜相除而得動力放大因子(AF)，以下為不同變異參數試驗結果之比較。

4.2 空櫃或質量櫃之影響 (Bare v.s. Mass)

試驗名稱 bare 為無設備物之機櫃組別，mass 為含設備物之機櫃組別，分別進行 Case 1 (600mm)、Case 2 (450mm)與 Case 3 (300mm) 三種組別，依櫃內設備物重量不同分別探討盤內反應譜及加速度放大倍率之比較。

以下均採用地震力 IEEE693-0.5g 以及 OBE-100%，於櫃內最頂層量測位置作為代表說明，Case 1 (600mm)量測點為 A6，Case 2 (450mm) 量測點為 A10 及 A11，Case 3 (300mm)量測點為 A9，藍線實線為無設備物機櫃(bare)，綠色虛線為含設備物機櫃(mass)。

4.2.1 空櫃與含設備物機櫃之反應譜

圖 4.1 與圖 4.2 為機櫃內部頂層加速度反應譜，於 Case 1 (600mm)中可看出機櫃之 X 與 Z 方向，對機櫃內部不同重量之組別較無明顯之影響，而 Y 方向反應均可看出機櫃內部放置質量塊(儀器設備)之反應均大於空櫃反

應。X 方向為機櫃內部面板之面內方向，其勁度較大；Y 方向為機櫃內部面板之面外方向，勁度較小，並產生較大之局部模態反應(local)，質量塊固定於內部面板面外方向(Y 方向)上，易造成面板勁度變大，而反應譜主要對應頻率降低。

Case 2 (450mm)與 Case 3 (300mm)為機櫃內部含有抽屜之機櫃組別，因抽屜本身之自體運動行為較顯著，故 X、Y 及 Z 方向三方向之反應譜反應較無規律性，本章節以 Case 3 作為抽屜組別之代表，由圖 4.2 可觀察出抽屜所產生之振動量造成固定於抽屜上之質量塊震動量不一致，導致量測之加速度反應譜呈現無規律性，但整體反應之比較可得知櫃內含有質量塊之反應於高頻部分大於空櫃之反應。

4.2.2 空櫃與含設備物機櫃之放大因子

放大因子主要擷取頻率 0~20Hz 間之反應進行觀察，由於機櫃整體反應(global mode)基本頻率介於 7~20Hz 之間；20Hz 以上之放大反應為高頻反應，主要發生於櫃內之量測點(例：面板、抽屜)，將量測到較大之放大因子值，其稱之為機櫃局部反應(local mode)，以無抽屜組別(Case 1)及含抽屜組別(Case 3)為代表作為比較，如圖 4.3 至圖 4.4 所示。

由圖 4.3 至圖 4.4 觀察出當質量塊增加時，於頻率範圍 7~20Hz 間，放大因子無明顯之變化，但於頻率範圍 20Hz 以上之高頻區，均呈現不規則之變化，且可發現面外方向(Y 方向)之面板含質量部分，其放大因子於高頻區內之尖峰值所對應之頻率較無質量塊所對應之頻率低，並比低頻區之放大倍率高許多，可說明櫃內質量塊增加會帶來面板模態頻率隨之下降，但對整體機櫃頻率較無顯著影響。

4.3 量測點位影響

機櫃內部本身含有不同高程之設備物以及內部與外部之間有不同之加速度反應，經由不同高程及櫃內外所量測之加速度值，再利用傅立葉函數轉換成反應譜以及放大因子，藉此判別高度以及機櫃內外與反應譜、放大因子之間之關聯性。以下反應譜與放大因子比較以地震力 IEEE693-0.5g 作

為代表。

4.3.1 不同高程處之盤內反應譜

圖 4.5 為 Case 1 (600mm)機櫃組別試驗波為 IEEE693-0.5g 之結果，內部量測點位為 A4、A5 及 A6，由 X 方向可看出加速度反應譜值隨高度上升而增加，Y 方向加速度反應譜值於低頻部分($f < 25\text{Hz}$)，反應與 X 方向相同，但於中高頻部分($f > 25\text{Hz}$)反應譜值不隨高度變化，Z 方向櫃內加速度反應譜值皆相似，可說明垂直方向反應不隨高度而變化；由此結果可發現當高度增加時，反應譜之峰值所對應之頻率有變化的趨勢，地震力(IEEE693-0.5g)反應譜峰值所對應之頻率均比小振幅震動之白噪音測試(White noise)所量測機櫃頻率低。

Case 2 (450mm)及 Case 3 (300mm)為含抽屜之機櫃組別，以 Case 2 為含抽屜組別之代表。圖 4.6 至圖 4.7 為機櫃 450mm 之盤內反應譜，試驗波為 IEEE693-0.5g，由圖中觀察到含抽屜之機櫃組別 Case 2 (450mm)與未含抽屜組別 Case 1 (600mm)機櫃反應相似，X 及 Y 方向於低頻處反應譜加速度最大值隨高度增加而增加，而中高頻部分之加速度值並不隨高度值放大，Z 方向則不隨高度而改變。圖 4.6 為 Case 2 (450mm)機櫃架設量測點 A11 抽屜 Z 型板反應，圖 4.7 為機櫃量測點 A10 於機櫃內間層後部面板反應，可發現勁度較低的 Z 型板其加速度反應譜與放大因子均比勁度較高的後面板高。

4.3.2 不同高程處之盤內放大因子

放大因子主要觀察頻率範圍為 0~25Hz 之間，如圖 4.8 至 4.10 所示，代表不同間層數之機櫃組別與試驗輸入波之放大因子，觀察出 X、Y 方向之加速度放大因子均隨高度提升而升高，Z 方向之加速度放大倍率於 Case 1 (600mm)為 1~1.6 倍；含抽屜組別以 Case 2 作為代表，抽屜後版與 Z 行板反應均不隨高度的增加而增加，且呈現不規律的放大變化，可說明機櫃抽屜多為個體震動，與機櫃整體之間的相互反應較小。

4.3.3 機櫃內部與外部之反應譜比較

一般建築物外部構架與內部構架勁度值高，可視為一剛性體，故其外部量測之加速度反應與內部加速度反應，應相差甚小，為探討電氣盤體與一般結構物之差異性，於此比較相近高程處之加速度反應譜及放大因子，分析櫃內外之動力行為與結構物之差異。

以下為不同組別機櫃之比較點位說明，櫃外量測點位頂層均以 A1 及 A2 為代表，中間層以 A3 為代表；櫃內部分 Case 1(600mm)以 A6 點與櫃外頂層作為比對，A5 點與櫃外中間層作為比對；Case 2 (450mm)以 A10、A11 與櫃外頂層作為比對，A6、A7 與櫃外中間層作為比對；Case 3 (300mm)以 A9 與櫃外頂層作為比對，A6 點位與櫃外中間層作為比對。其反應譜比對結果如圖 4.11 至圖 4.13 所示，實線代表櫃外反應，虛線代表櫃內反應。

由圖 4.11 至圖 4.13 可觀察出，X 方向於低頻區域，中間層櫃內反應均略小於或等於櫃外反應，但於高頻區間為櫃內反應均大於櫃外反應。Y 方向之加速度反應譜櫃內反應均大於櫃外反應，其原因為櫃內量測位置於機櫃後板或抽屜後板上，後板受震時易造成面外方向晃動，故產生有較大之加速度反應。Z 方向部分於低頻處均無明顯變化，但於含抽屜之機櫃組別，於高頻部分櫃內反應均大於櫃外反應，代表抽屜受震時所引發之上下跳動反應，造成機櫃內所量測到的高頻反應顯著。

4.3.4 機櫃內部與外部之放大因子比較

圖 4.14 至圖 4.16 為電氣盤體外部與內部之放大因子，其反應結果與反應譜相似，櫃內放大因子均大於櫃外反應，且放大因子均隨高度提升，倍率變大的趨勢。放大係數採用機櫃自然頻率範圍($f < 20\text{Hz}$)內之高峰處，X、Y 方向約為 2~7 之間，Z 方向為 1~2 之間。

4.4 輸入波強度影響

台灣地區地震頻繁，不同之地震大小與性質對電廠設備之影響含有不同之反應，本章節探討不同地震強度對電氣盤體之盤內反應。以下均以放置於機櫃內部頂層之加速度反應作為代表，Case 1 (600mm)加速度規為

A6, Case 2 (450mm)加速度規為 A10、A11, Case 3 (300mm)加速度規為 A9。地震輸入波分別為 IEEE693 以及 OBE, IEEE693 輸入波強度包含 0.5g_50% (0.25g)、0.5g_75% (375g)、0.5g_100% (0.5g), 而 OBE 輸入波強度分為 0.47g_50% (0.24g)、0.47g_100% (0.47g), 其比較結果如下:

4.4.1 不同地震強度之盤內反應譜比較

圖 4.17 為 Case 1 (600mm)於不同地震強度下之加速度反應譜變化, 由圖可觀察出 X、Y 方向之輸入波強度越大, 其反應振幅越大; 但 Z 方向之反應低頻處較無放大之趨勢, 但高頻處隨地震強度越大而反應越大。並可發振幅變大時, 其峰值所對應之頻率有逐漸縮小的趨勢, 表示較大之地震歷時造成機櫃頻率降低。

圖 4.18 至圖 4.19 為 Case 2 (450mm)機櫃組別於不同地震強度大小之比較圖, 可看出加速規放置於抽屜後板或 Z 型板上, X 及 Y 方向均隨輸入地震強度增加而反應變大; Z 方向於 IEEE693 試驗波頻率範圍小於 10Hz 時, 輸入波強度峰值(PGA)0.375g 及 0.5g 反應幾乎重疊, 當頻率大於 10Hz 時, 其反應為地震力越大時, 加速度反應譜值越大。

圖 4.20 為 Case 3 (300mm)機櫃組別中, X 方向均隨著地震波強度增強而振幅變高, Y 與 Z 方向於低頻時, 其輸入波峰值(PGA)為 0.375g 與 0.5g 反應放大反應較不明顯。

根據以上, 可得到當櫃內設備物受到地震力越大時, 其反應也隨之變大, 並發現加速度反應譜尖峰值所對應之頻率隨之減少, 代表機櫃內部材料開始進入降伏階段。

4.4.2 不同地震強度之放大因子

放大因子為設備物之加速度反應譜與地表加速度反應譜之比值, 當反應譜值隨地震力增高而放大時, 其放大因子不一定會隨之變大, 由於機櫃主要頻率範圍 20Hz 以內, 故在採用頻率範圍為 20Hz 以下之放大反應最大值作為代表。如圖 4.21 所示, 為 Case 1 (600mm)櫃內無抽屜之機櫃組別, X、Y 方向可看出當地震力增加而放大因子振幅減少, 與反應譜趨勢相反, 而 Z

方向則無放大反應，其 AF 值約為 1。

圖 4.22 至圖 4.23 為 Case 2(450mm)櫃內含有抽屜組別放置於後板(A10)加速度規之放大因子圖，發現地震力越大，其放大因子並無放大之現象，但 Y 方向之放大倍率均比 X 方向倍率大，主要為抽屜後板面外方向勁度較低，所產生之放大反應較平行後板方向(X 方向)反應大。圖 4.23 為 Case 2 (450mm)機櫃內部之 Z 型板上之放大因子圖，放大因子並無隨地震力強度增高而變化，但可看出 Y 方向反應較 X 方向反應大，而高頻反應遠大於後板上之反應，表示 Z 型板之高頻振動量較大。

圖 4.24 為 Case 3 (300mm)櫃內有抽屜之組別，放大因子均無隨著地震力增加而放大因子變大現象，但可發現 A9 加速度規 X、Y 方向，所量測到之放大因子值約為 4。且大多數組別為地震力增加而放大因子減小，Z 方向 AF 值近似於 1。

4.5 不同輸入波之影響

一般地震波有不同型式，所造成建築物及設備有不同之影響，本研究試驗有兩種不同型式之地震波，分別為 IEEE693 試驗波及 OBE 試驗波，IEEE693 代表輸入波峰值(PGA)有 0.25g 及 0.5g，OBE 輸入波峰值(PGA)各為 50%(即 0.24g)與 100%(即 0.47g)，本章節將進行相似之地震波強度，進行不同型式地震波比對，以 IEEE693-0.25g 對應 OBE-50%，使用 0.25g 為代表，IEEE693-0.5g 對應 OBE-100%，採用 0.5g 表示，並探討不同之型式之地震波對於電氣盤體之櫃內反應，以下均為機櫃內部頂層為各組代表，Case 1 (600mm)為 A6，Case 2 (450mm)為 A10、A11，Case 3 (300mm)為 A9。其比較結果如下：

4.5.1 不同地震波之反應譜比較

如圖 4.25 至圖 4.28 為 IEEE693 試驗波與 OBE 試驗波比較圖，藍色實線代表為 IEEE693-0.25g，綠色實線代表 IEEE693-0.5g，紅色虛線代表 OBE-50% (即 PGA=0.24g)，粉紅色虛線代表為 OBE-100% (PGA=0.47g)。圖 4.25 為 Case 1 (600mm)於不同輸入波反應譜比較圖，由圖中可發現 X 方向，

相同地震強度下，OBE 試驗波反應較 IEEE693 試驗波反應大，Y 方向低頻部分於相同地震強度下，OBE 試驗波反應小於或等於 IEEE693 試驗波，但在高頻部分，為 OBE 試驗波反應大於 IEEE693 試驗波，Z 方向之加速度反應譜，均為 OBE 試驗波反應大於 IEEE693 試驗波。其中，輸入波 OBE 主要頻率範圍落於較高頻處，而 IEEE693 頻率範圍落於較低頻處，故機櫃所量測之加速度反應於低頻處，IEEE693 大於 OBE 反應，而高頻處之反應 OBE 大於 IEEE693。

圖 4.26 至圖 4.27 為 Case 2 (450mm)內含抽屜之機櫃組別，可發現 X 方向於低頻區之峰值，其 IEEE693 試驗波與 OBE 試驗波反應相似，但發現在高頻部分皆為 OBE 試驗波反應大於 IEEE693 試驗波，Y 方向均為低頻區之反應為 IEEE693 試驗波大於 OBE 試驗波，但在高頻區反應則反之，OBE 試驗波反應較 IEEE693 試驗波大，Z 方向反應則皆為 OBE 輸入波大於 IEEE693 輸入波。

圖 4.29 為 Case 3 (300mm)內含抽屜組別機櫃於不同地震波之反應譜圖，觀察機櫃自然頻率範圍($f < 20\text{Hz}$)，可發現 X 方向皆為 IEEE693 試驗波小於 OBE 試驗波，Y 方向為 IEEE693 試驗波與 OBE 試驗波反應相似，Z 方向之加速度反應譜，為 OBE 試驗波反應大於 IEEE693 試驗波。

綜合以上結果，發現 X 方向均為 OBE 試驗波大於 IEEE693 試驗波，Y 方向反應為 OBE 試驗波略小於或等於 IEEE693 試驗波，Z 方向為 OBE 試驗波反應均比 IEEE693 試驗波反應高。觀察出 IEEE693 地震力主要頻率落在低頻處($f < 20\text{Hz}$)，OBE 地震力主要頻率落在高頻處($f > 20\text{Hz}$)，代表機櫃受到不同地震型下其反應頻率皆不一定。

4.5.2 不同地震波之放大因子比較

圖 4.29 至圖 4.32 為電氣盤體於不同地震波之加速度放大因子，由於機櫃自然頻率落於 20Hz 內，故放大倍率之觀察範圍為 20Hz 以內之最大反應，由圖可觀察到 X、Y 方向 IEEE693 輸入波與 OBE 輸入波反應相似，Z 方向在 10Hz 以下為 IEEE693 試驗波反應與 OBE 試驗波反應均相同，但可發現在高頻區域($f > 20\text{Hz}$)，X 及 Y 方向均為 OBE 放大反應較 IEEE693 試驗高，

但 Z 方向則為 IEEE693 輸入波放大反應較 OBE 輸入波高。

4.6 動力放大因子總結

綜合以上不同間層組合之機櫃動力放大因子(AF)，輸入波採用 IEEE693-0.5g 及 OBE-100%進行動力放大因子比較，由轉換函數可得機櫃之自然頻率，主要落於 20Hz 以內，故動力放大因子之觀察範圍選取 20Hz 以內之最大反應，由於本試驗所量測之垂直方向反應相較於水平方向較不明顯，故無比較 Z 方向之動力放大因子，圖 4.33 及圖 4.34 為機櫃 AF 之統整比較圖，圖 4.33 為不同組合機櫃之動力放大因子圖，可發現內含抽屜組合之機櫃(Case 2 及 Case 3)其放大因子主要落於 1~3 倍居多，未含抽屜組合(Case 1)之放大因子主要在 2~3 倍。而由圖 4.34 總水平方向(XY 向)統合圖中可觀察出臺灣核電廠 MCC 電氣盤體之主要動力放大因子落於 2~3 倍之間。

4.7 小結

反應譜部分：

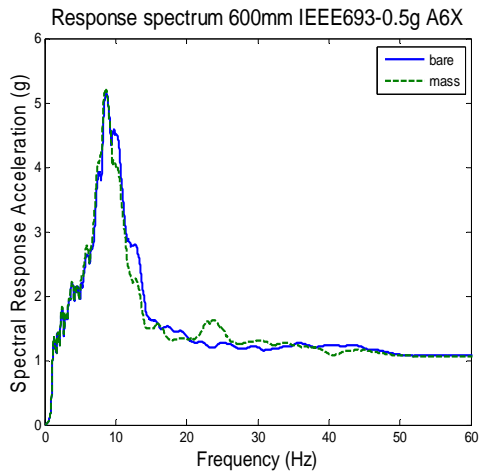
1. 試驗機櫃內部改變設備物重量，低頻區域之機櫃反應無顯著差異，但於高頻部分質量櫃(mass)反應大於空櫃(bare)之反應。
2. 由不同量測點位之反應譜比較，X 及 Y 方向反應均隨量測高度增加而反應提升，櫃內反應均大於櫃外反應，且發現當高度增加時，反應譜之峰值所對應之頻率有變小趨勢，強震反應峰值所對應之頻率皆低於白噪音試驗之頻率；Z 方向之反應，受到櫃內有無抽屜之影響，無抽屜型式之反應無明顯變化，但含有抽屜組別反應於高頻部分有明顯放大反應，表示抽屜受震時，有上下跳動反應。
3. 輸入波強度不同，其反應為隨強度增加而反應變大，並發現加速度反應譜尖峰值所對應之頻率隨之減少，代表機櫃內部材料開始進入降伏階段。
4. 不同型式之輸入波，X 方向均為 OBE 試驗波大於 IEEE693 試驗波，Y 向反應為 OBE 試驗波略小於或等於 IEEE693 試驗波，Z 方向為 OBE

試驗波反應均比 IEEE693 試驗波反應高。可發現 IEEE693 地震力主要頻率落在低頻處($f < 20\text{Hz}$)，OBE 地震力主要頻率落在高頻處($f > 20\text{Hz}$)，代表機櫃受到不同地震類型，其受震反應頻率皆不一樣。

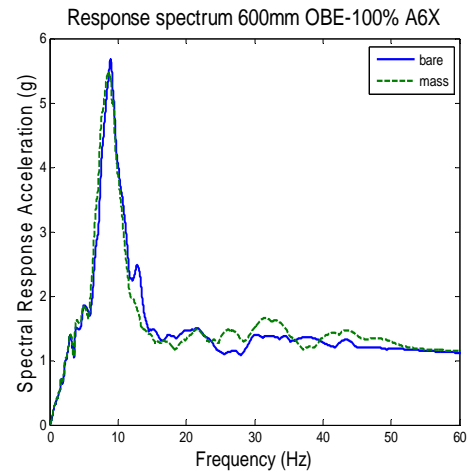
放大因子之部分：

1. 當機櫃內有無設備物時，低頻範圍空櫃與質量櫃反應差異不大，高頻部分為質量櫃反應大於空櫃反應，且高頻部分之尖峰值頻率較空櫃頻率低，其原因為機櫃內部增加質量塊時，會導致面板模態頻率降低，但對整體機櫃之頻率較無影響。
2. 不同點位量測位置比較，發現加速度放大因子反應與反應譜所顯示之趨勢相似。
3. 地震強度之不同，可發現地震力增加其放大因子並無放大之現象。
4. 不同型式之地震波其放大因子反應，於低頻區 IEEE693 輸入波與 OBE 輸入波反應相似，但在高頻部分，X 及 Y 方向均為 OBE 輸入波反應均大於 IEEE693 輸入波，Z 方向則為 IEEE693 輸入波較 OBE 輸入波高。

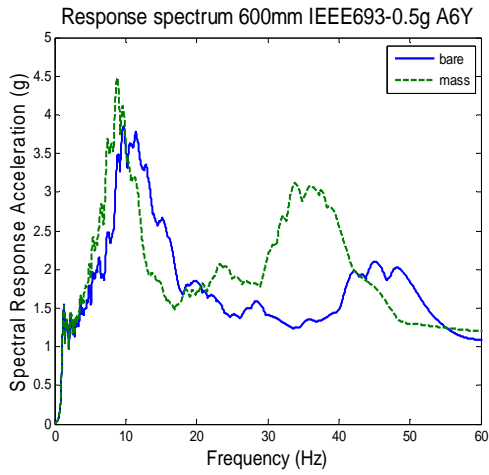
由以上不同項目比較結果，影響盤內反應譜(ICRS)及放大因子(AF)主要為設備物之高度，其次為輸入波大小，並可發現機櫃內部加速度反應均高於機櫃外部之加速度反應，且 OBE 試驗波對機櫃造成之主要頻率位於高頻範圍，則 IEEE693 試驗波造成機櫃主要頻率範圍均在低頻部分。而動力放大因子主要會隨高度提升，其放大倍率也會隨之變大，故要計算簡化之動力放大因子，可由櫃內之最高處所得之加速度反應譜與底部反應譜相除所得，本實驗之 AF 值主要落於 2~3 倍居多，接近文獻【6】中所建議之 AF 值 3.0。



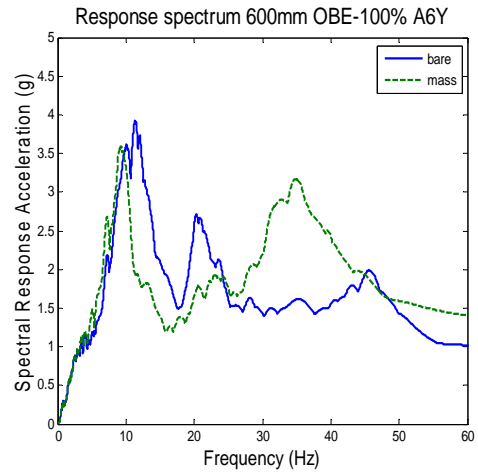
(a) IEEE693-0.5g_X



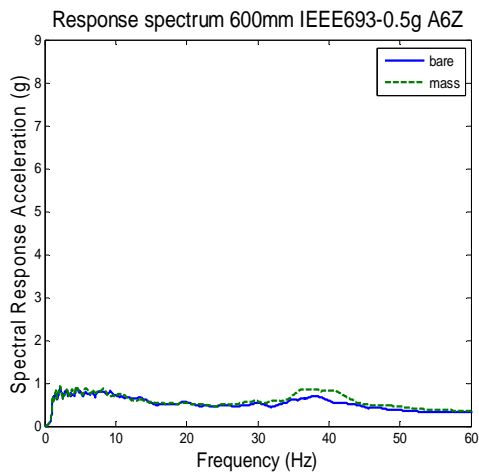
(b) OBE-100%_X



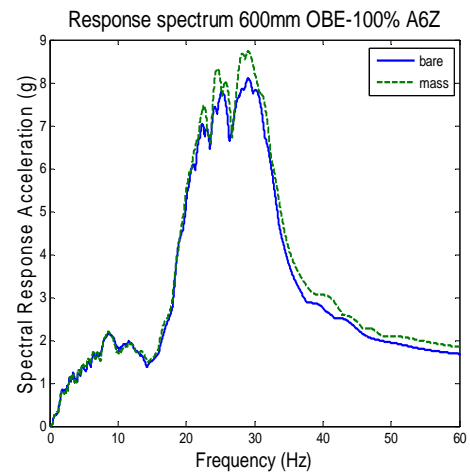
(c) IEEE693-0.5g_Y



(d) OBE-100%_Y

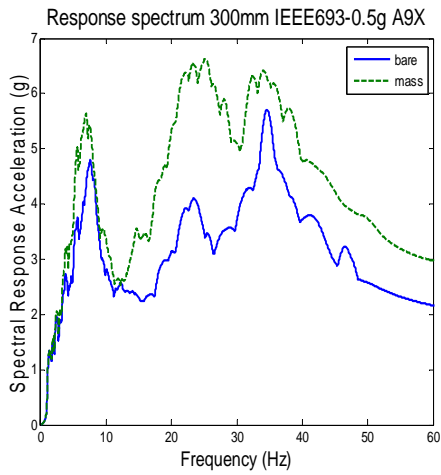


(e) IEEE693-0.5g_Z

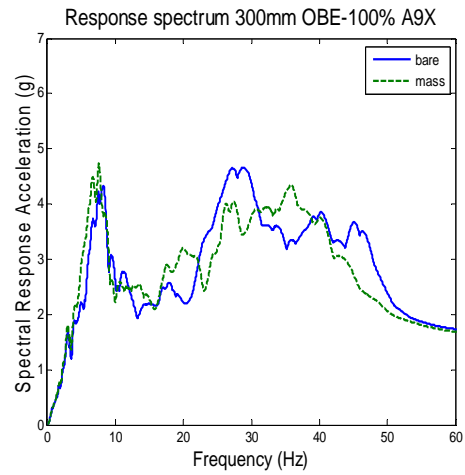


(f) OBE-100%_Z

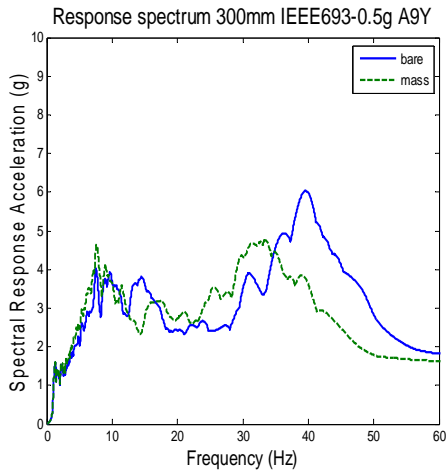
圖 4.1 Case 1 (600mm) 櫃內有無設備物之反應譜



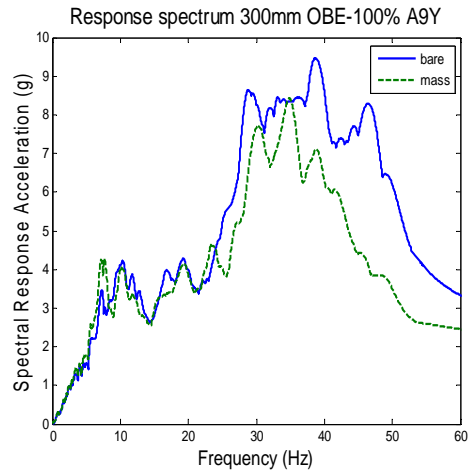
(a) IEEE693-0.5g_X



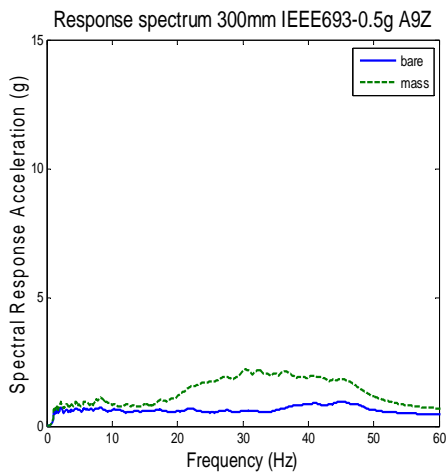
(b) OBE-100%_X



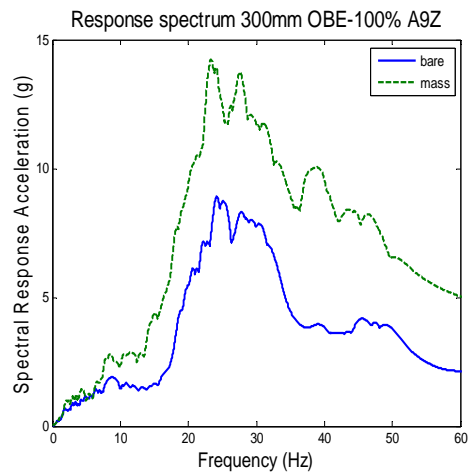
(c) IEEE693-0.5g_Y



(d) OBE-100%_Y

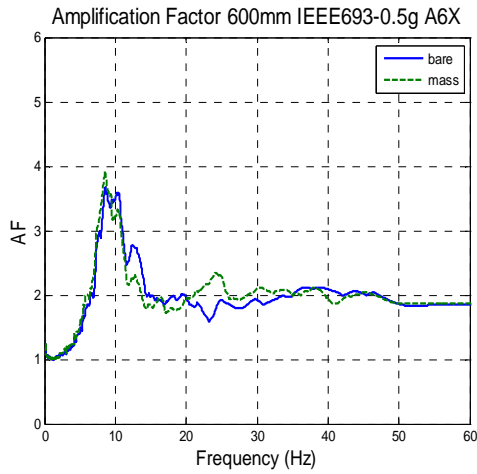


(e) IEEE693-0.5g_Z

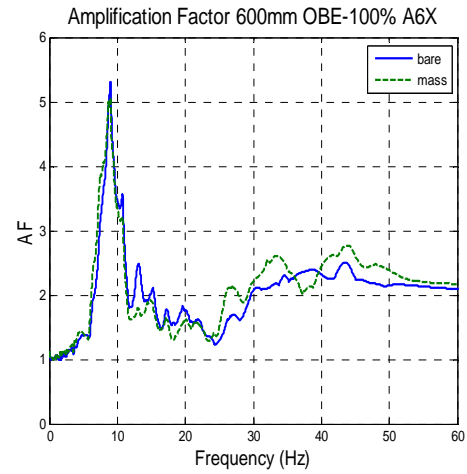


(f) OBE-100%_Z

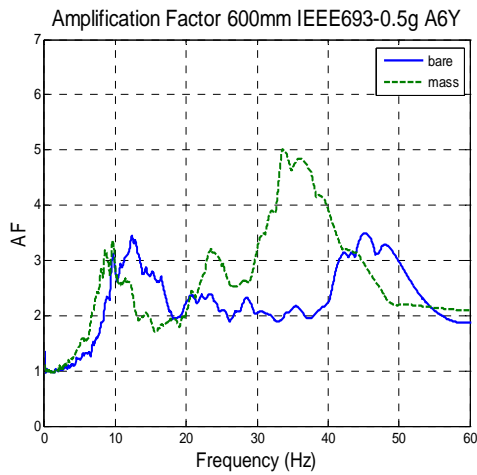
圖 4.2 Case 3 (300mm) 櫃內有無設備物之反應譜



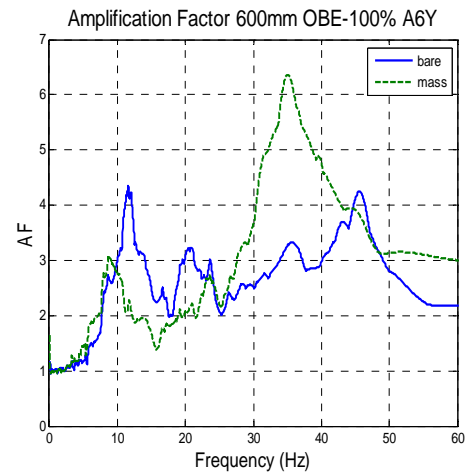
(a) IEEE693-0.5g_X



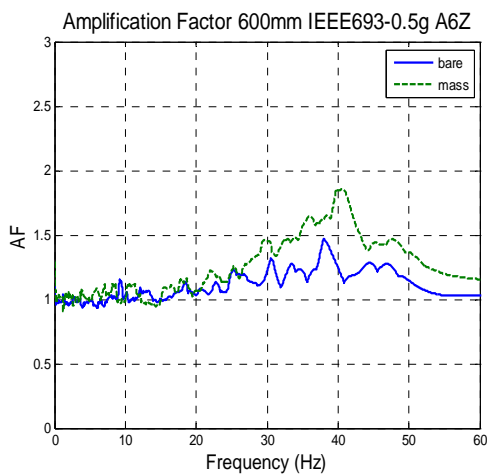
(b) OBE-100%_X



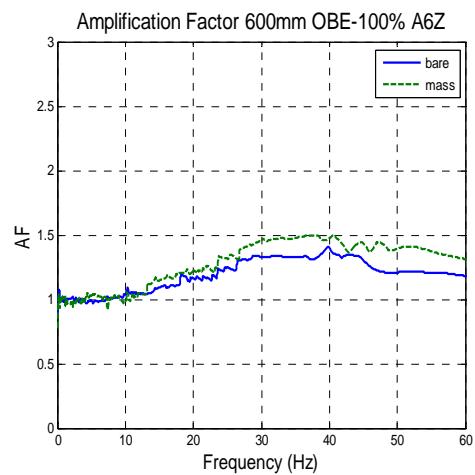
(c) IEEE693-0.5g_Y



(d) OBE-100%_Y

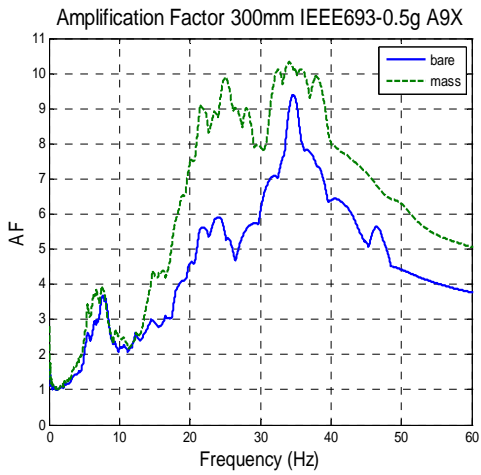


(e) IEEE693-0.5g_Z

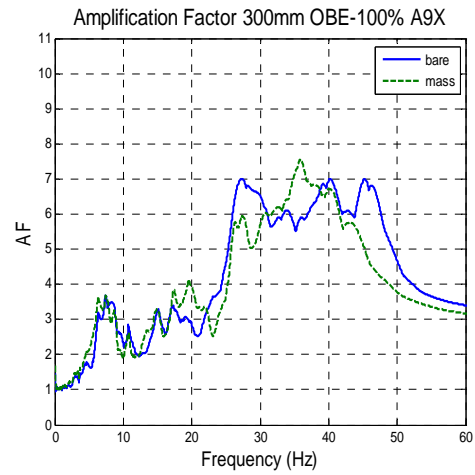


(f) OBE-100%_Z

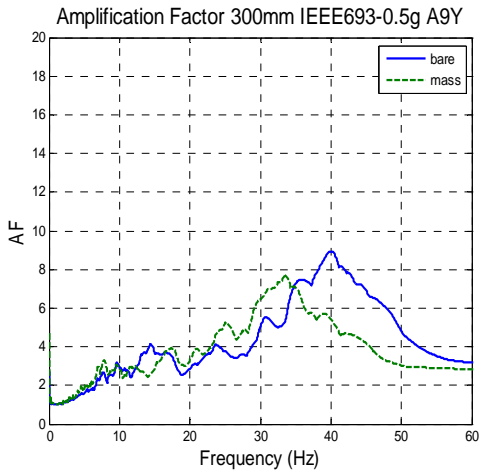
圖 4.3 Case 1 (600mm) 櫃內有無設備物之放大因子



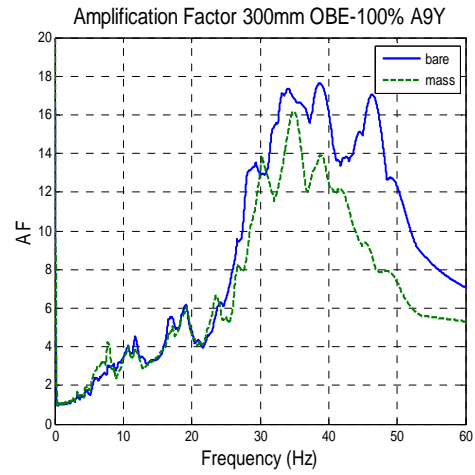
(a) IEEE693-0.5g_X



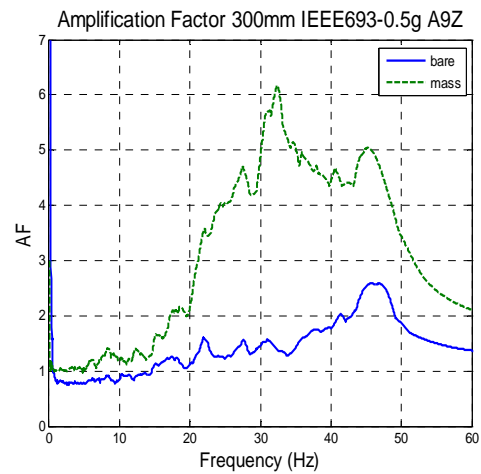
(b) OBE-100%_X



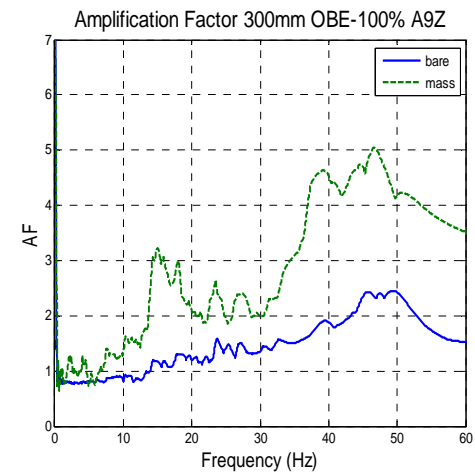
(c) IEEE693-0.5g_Y



(d) OBE-100%_Y

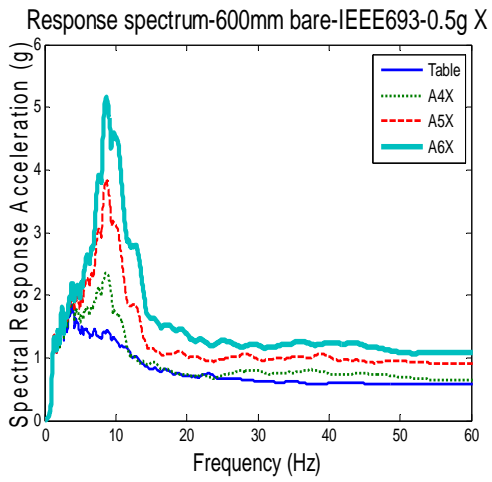


(e) IEEE693-0.5g_Z

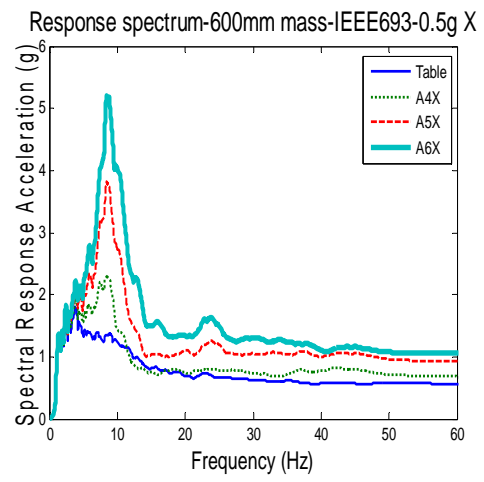


(f) OBE-100%_Z

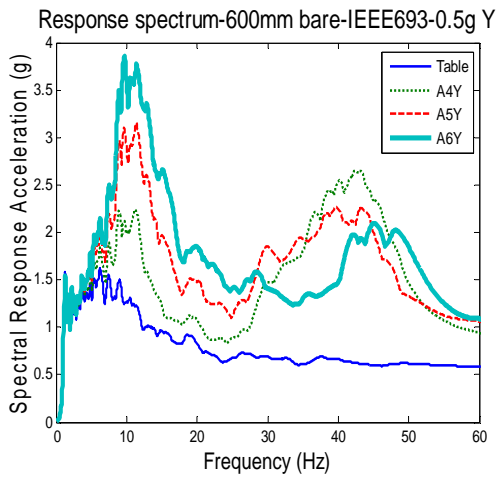
圖 4.4 Case 3 (300mm) 櫃內有無設備物之放大因子



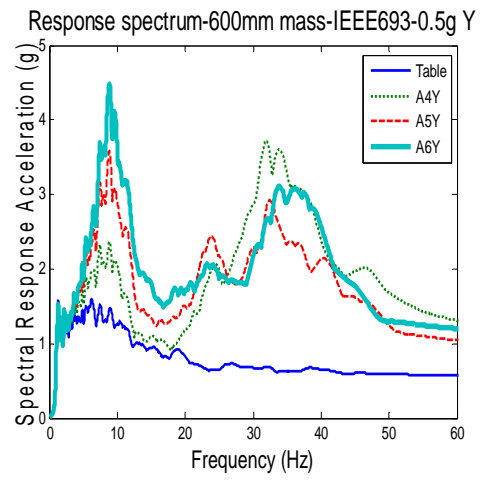
(a) Case 1 (600mm) bare_X



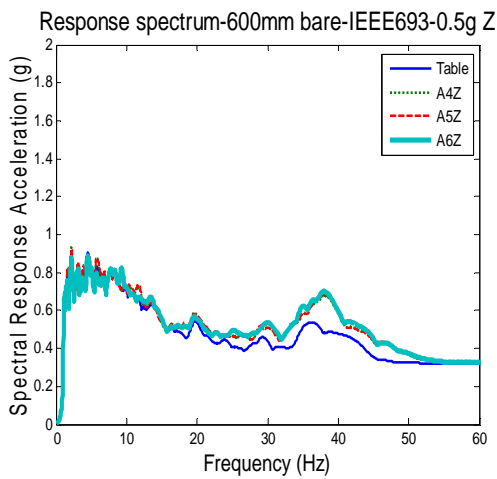
(b) Case 1 (600mm) mass_X



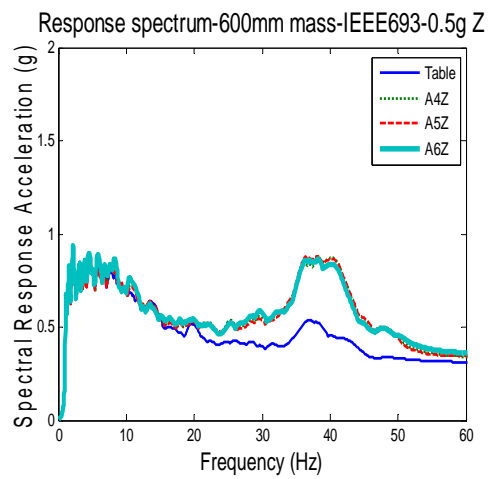
(c) Case 1 (600mm) bare_Y



(d) Case 1 (600mm) mass_Y

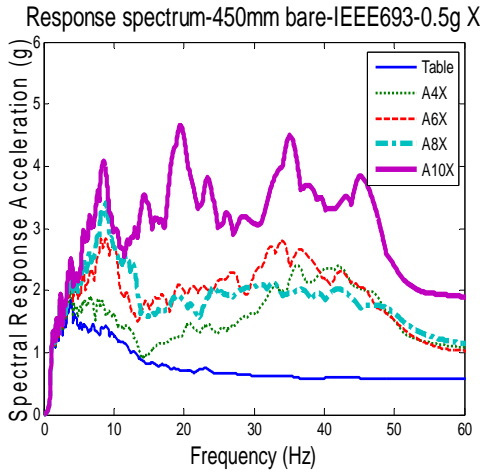


(e) Case 1 (600mm) bare_Z

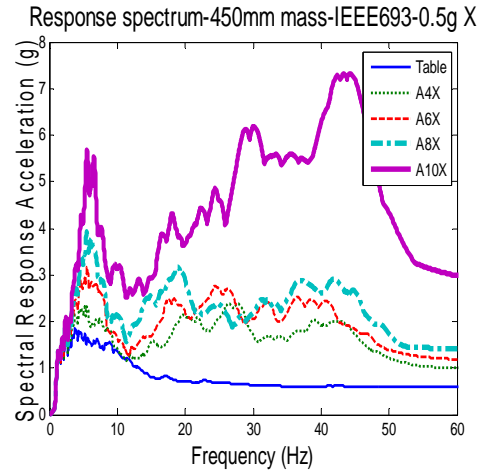


(f) Case 1 (600mm) mass_Z

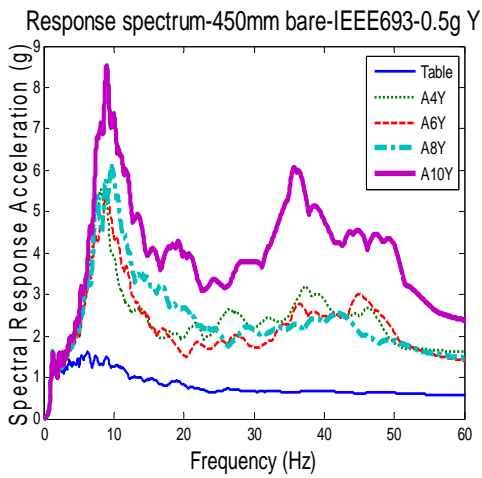
圖 4.5 Case 1 (600mm)_IEEE693-0.5g 盤內反應譜比較



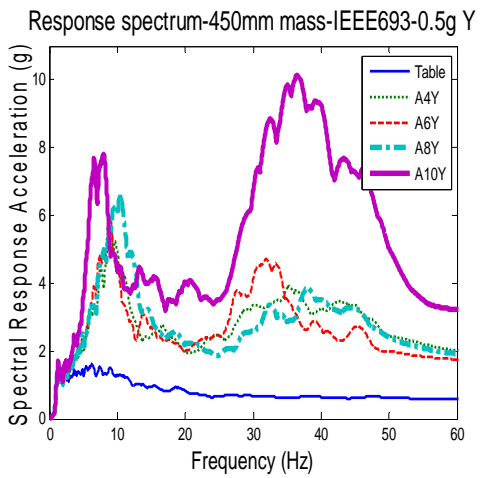
(a) Case 2 (450mm) bare_X



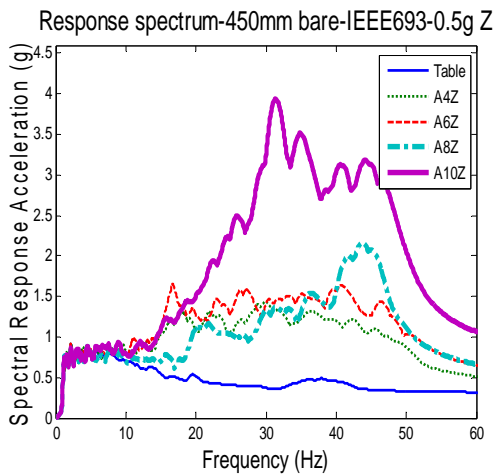
(b) Case 2 (450mm) mass_X



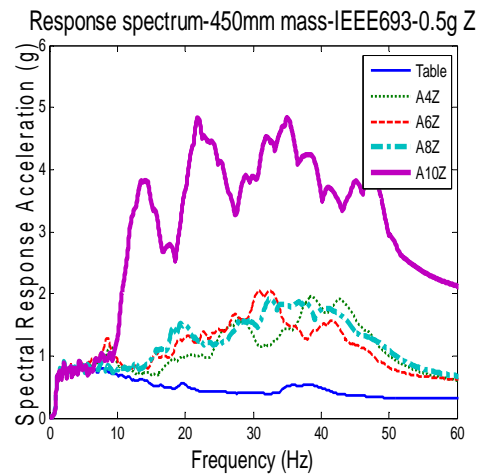
(c) Case 2 (450mm) bare_Y



(d) Case 2 (450mm) mass_Y

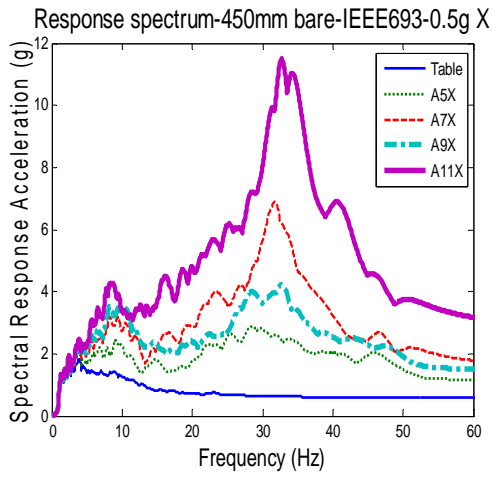


(e) Case 2 (450mm) bare_Z

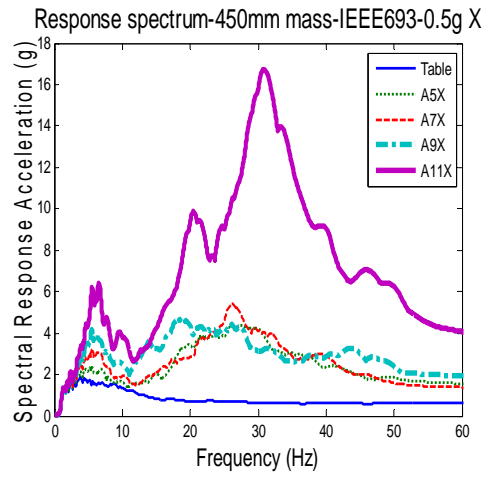


(f) Case 2 (450mm) mass_Z

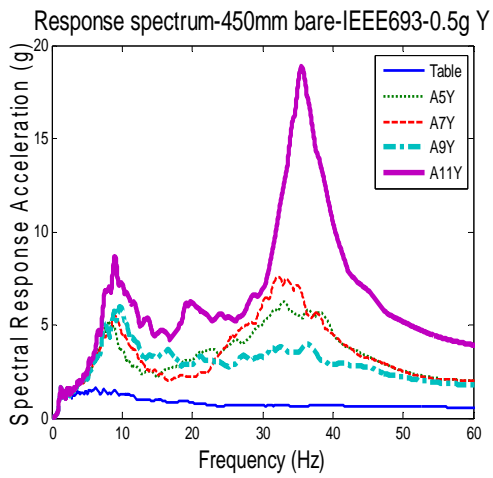
圖 4.6 Case 2 (450mm)_IEEE693-0.5g 盤內反應譜比較



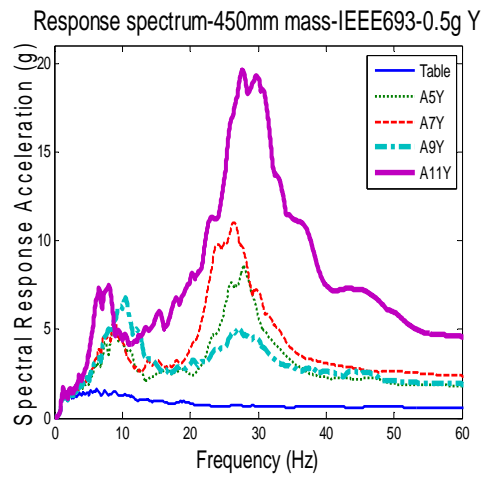
(a) Case 2 (450mm) bare_X



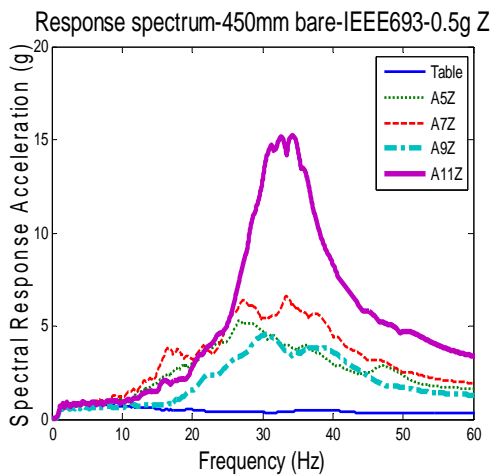
(b) Case 2 (450mm) mass_X



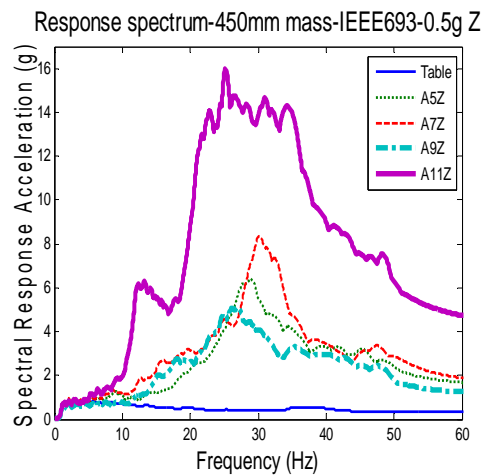
(c) Case 2 (450mm) bare_Y



(d) Case 2 (450mm) mass_Y

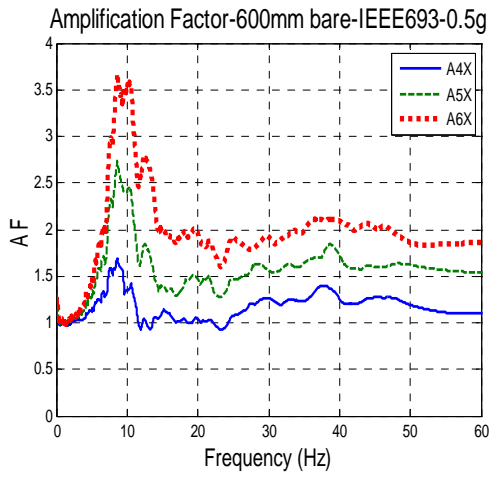


(e) Case 2 (450mm) bare_Z

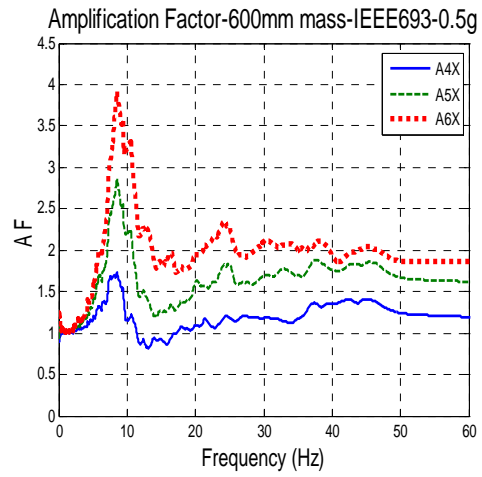


(f) Case 2 (450mm) mass_Z

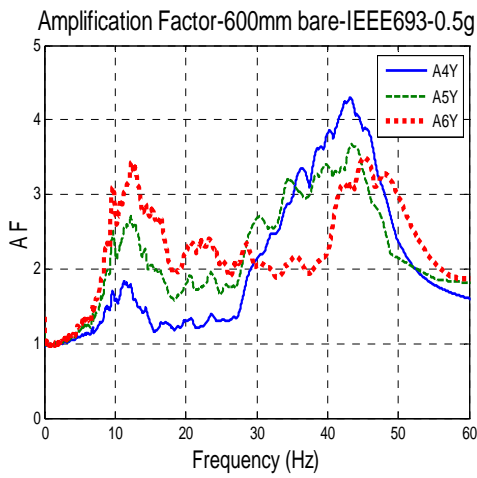
圖 4.7 Case 2 (450mm)_IEEE693-0.5g 盤內反應譜比較_Z 型板



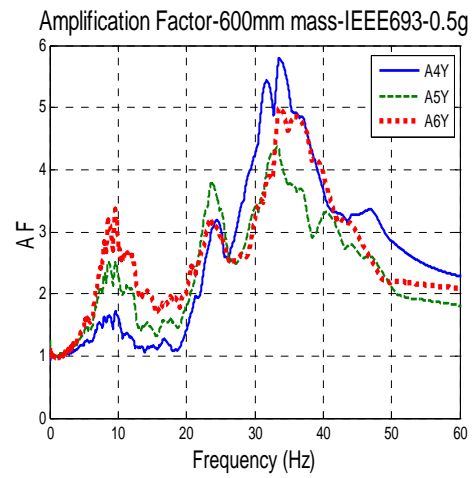
(a) Case 1 (600mm) bare_X



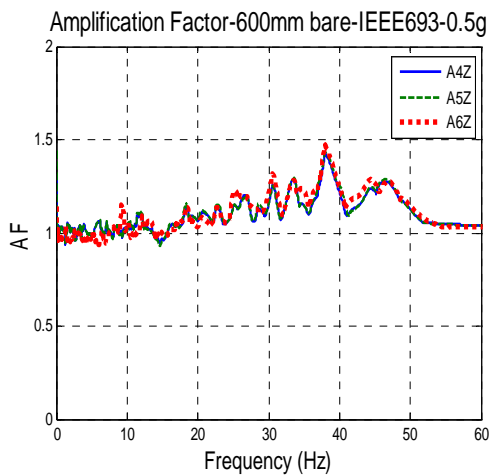
(b) Case 1 (600mm) mass_X



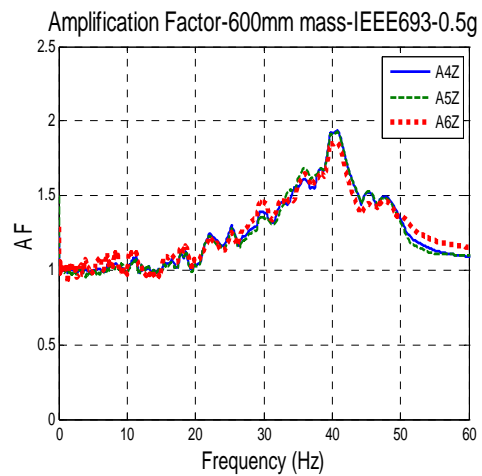
(c) Case 1 (600mm) bare_Y



(d) Case 1 (600mm) mass_Y

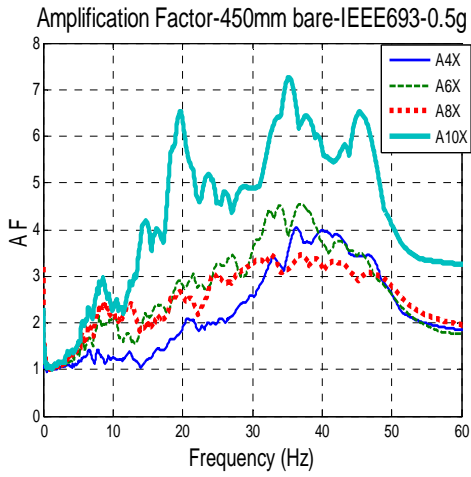


(e) Case 1 (600mm) bare_Z

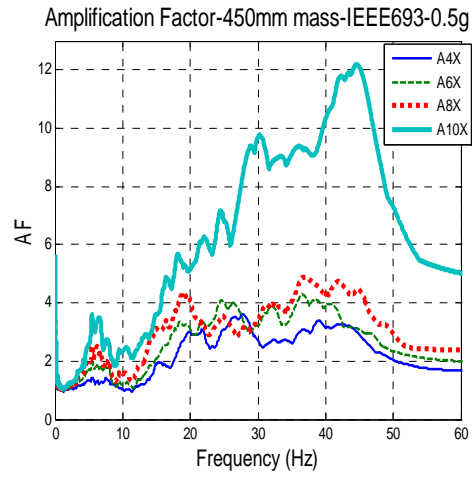


(f) Case 1 (600mm) mass_Z

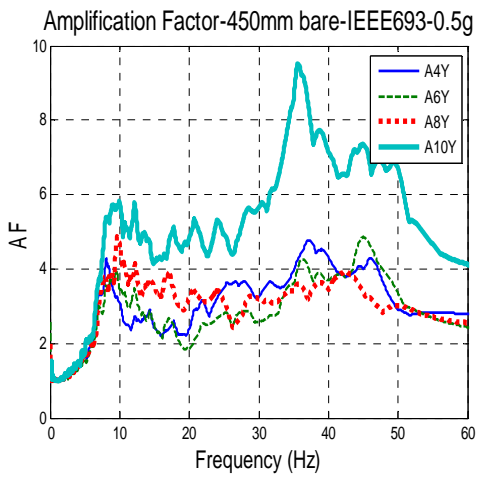
圖 4.8 Case 1 (600mm)_IEEE693-0.5g 盤內放大因子比較



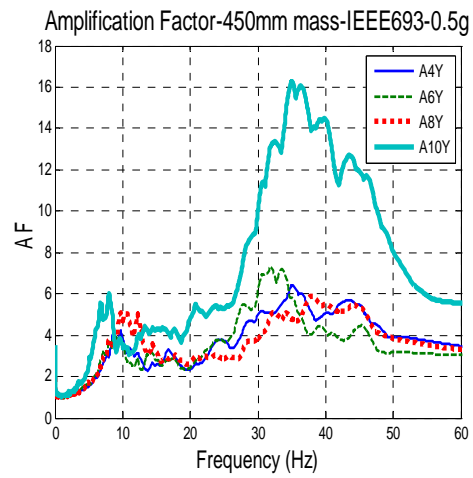
(a) Case 2 (450mm) bare_X



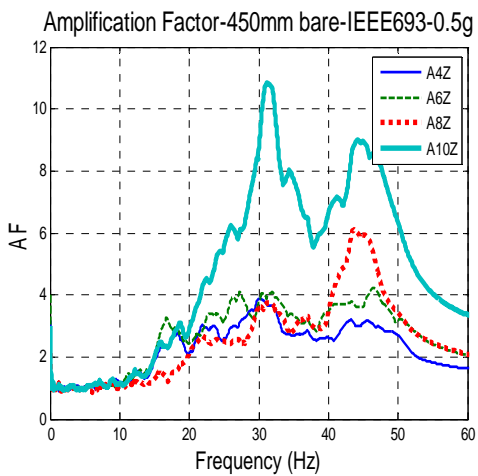
(b) Case 2 (450mm) mass_X



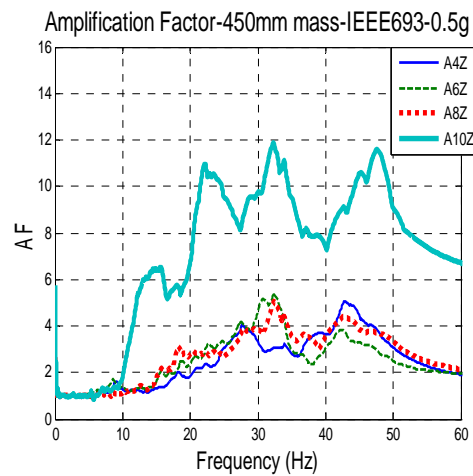
(c) Case 2 (450mm) bare_Y



(d) Case 2 (450mm) mass_Y

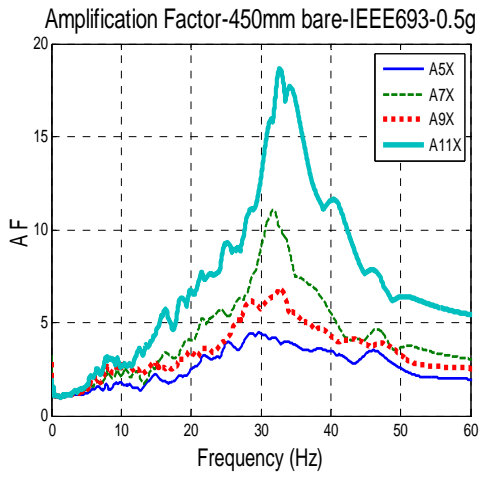


(e) Case 2 (450mm) bare_Z

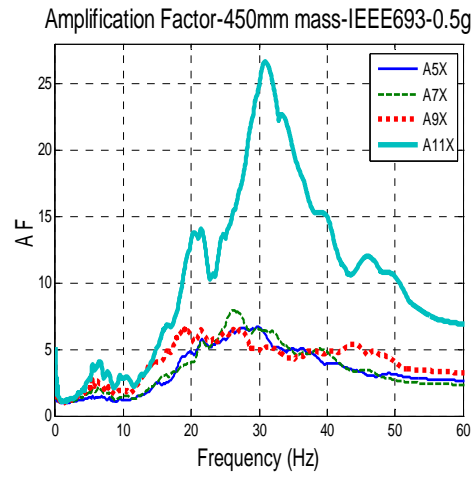


(f) Case 2 (450mm) mass_Z

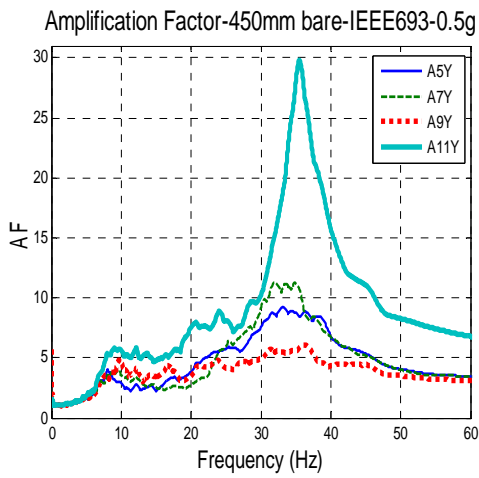
圖 4.9 Case 2 (450mm)_IEEE693-0.5g 盤內放大因子比較



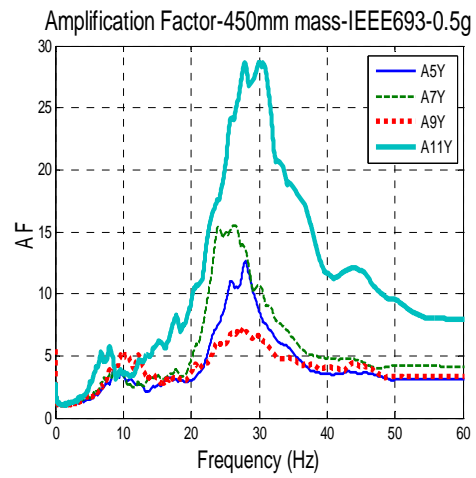
(a) Case 2 (450mm) bare_X



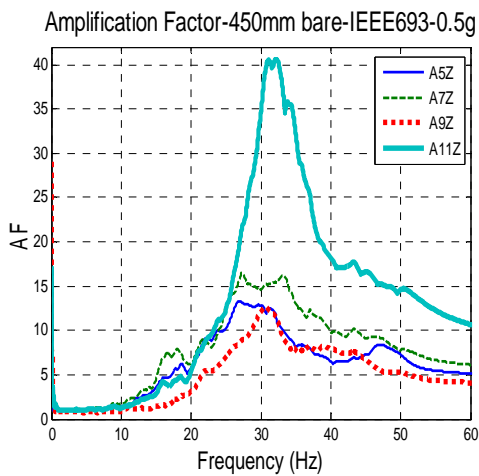
(b) Case 2 (450mm) mass_X



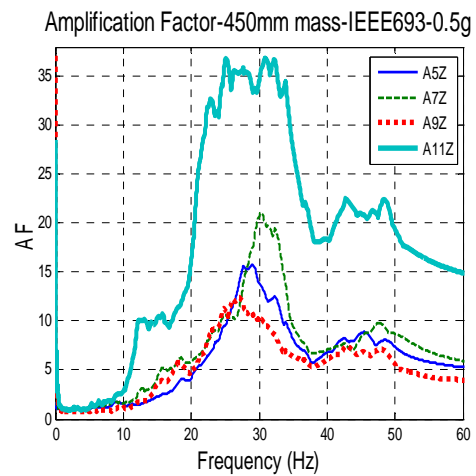
(c) Case 2 (450mm) bare_Y



(d) Case 2 (450mm) mass_Y

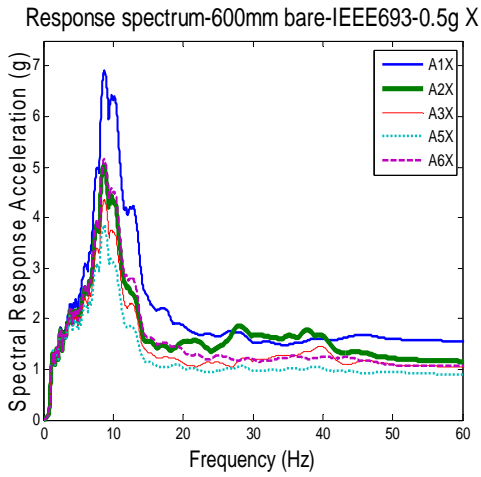


(e) Case 2 (450mm) bare_Z

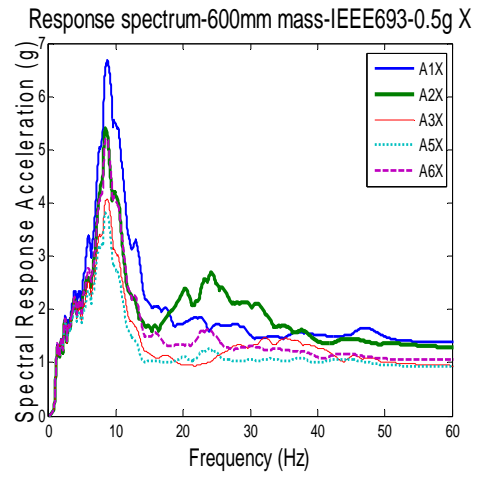


(f) Case 2 (450mm) mass_Z

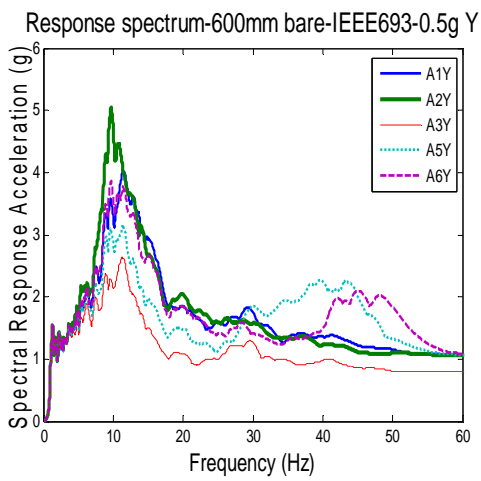
圖 4.10 Case 2 (450mm)_IEEE693-0.5g 盤內放大因子比較_Z型板



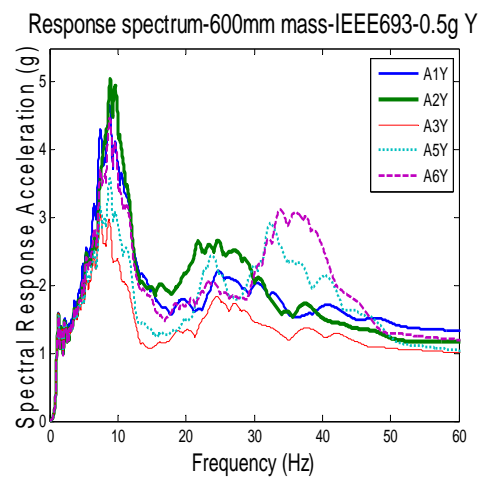
(a) Case 1 (600mm) bare_X



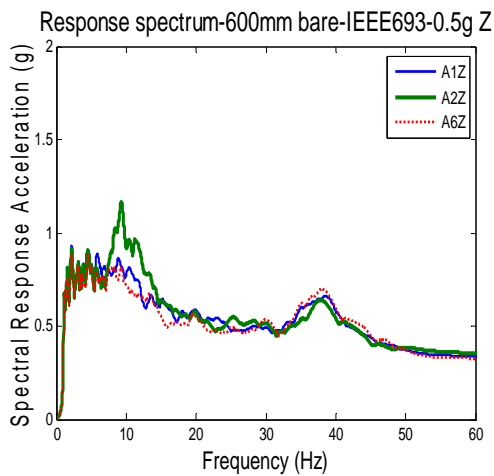
(b) Case 1 (600mm) mass_X



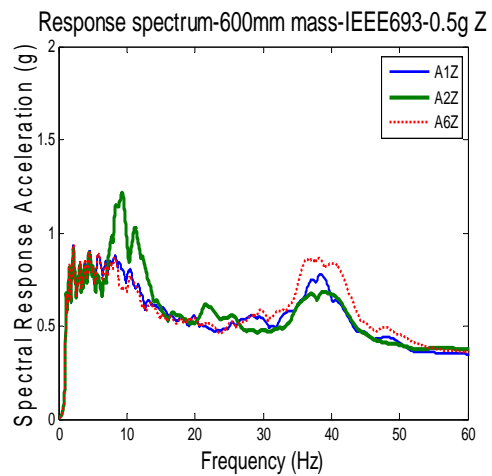
(c) Case 1 (600mm) bare_Y



(d) Case 1 (600mm) mass_Y

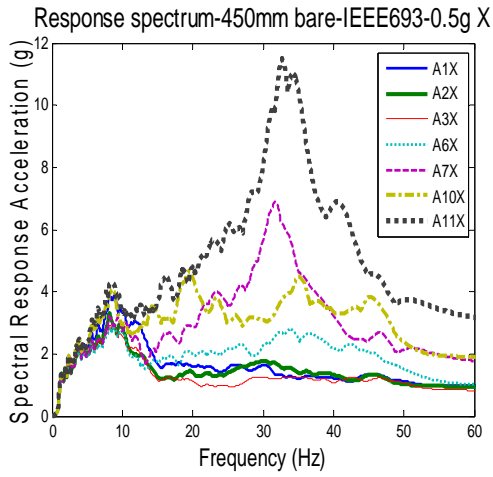


(e) Case 1 (600mm) bare_Z

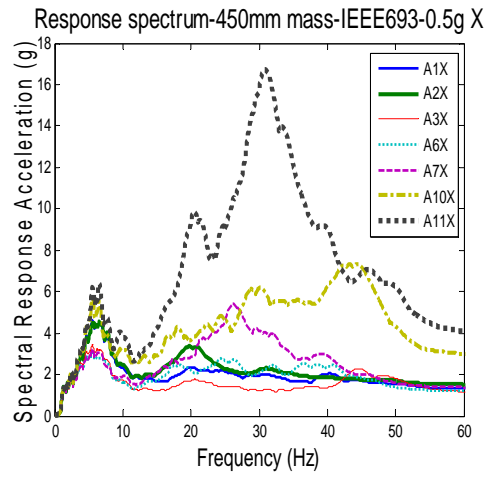


(f) Case 1 (600mm) mass_Z

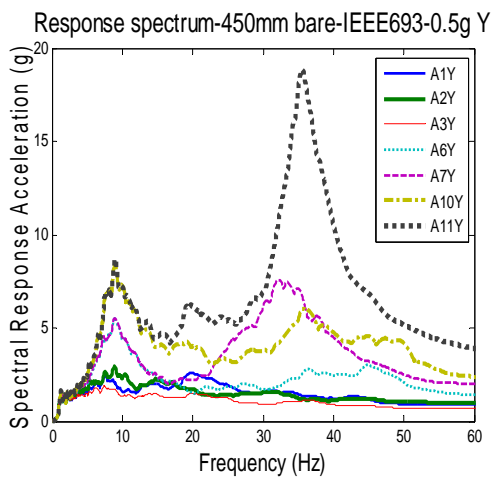
圖 4.11 Case 1 (600mm)_IEEE693-0.5g 櫃內櫃外反應譜比較



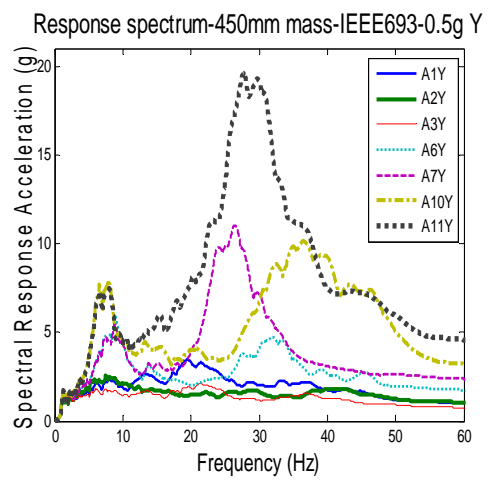
(a) Case 2 (450mm) bare_X



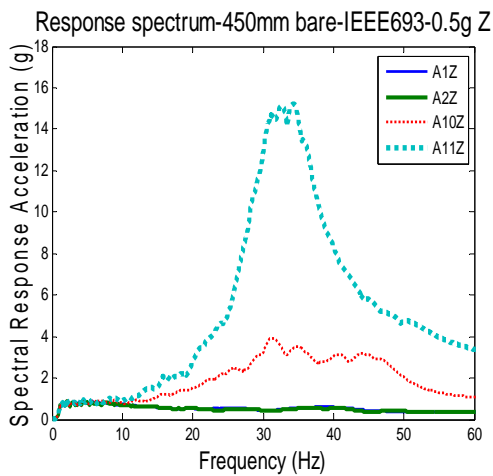
(b) Case 2 (450mm) mass_X



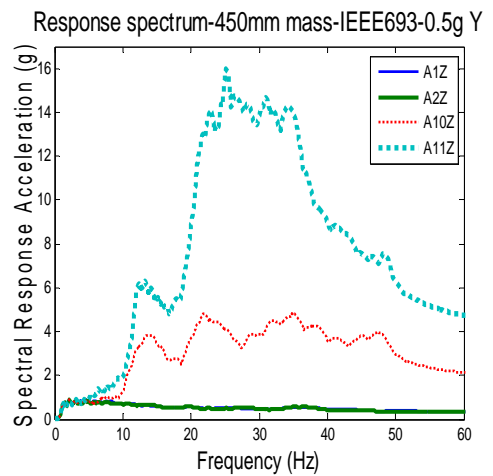
(c) Case 2 (450mm) bare_Y



(d) Case 2 (450mm) mass_Y

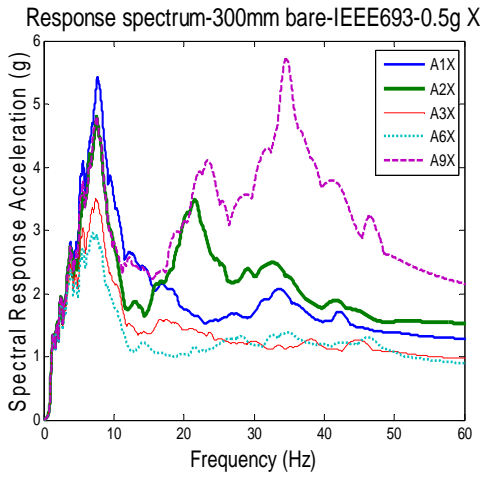


(e) Case 2 (450mm) bare_Z

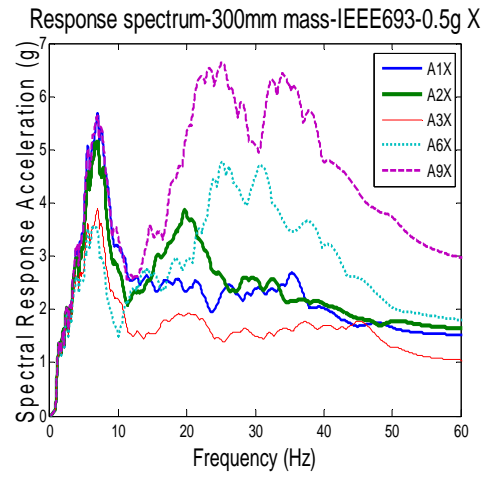


(f) Case 2 (450mm) mass_Z

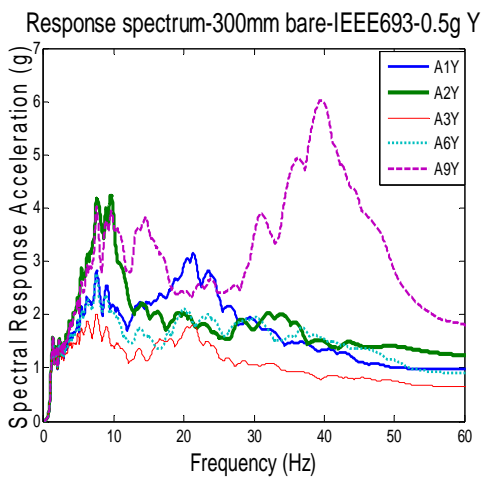
圖 4.12 Case 2 (450mm)_IEEE693-0.5g 櫃內櫃外反應譜比較



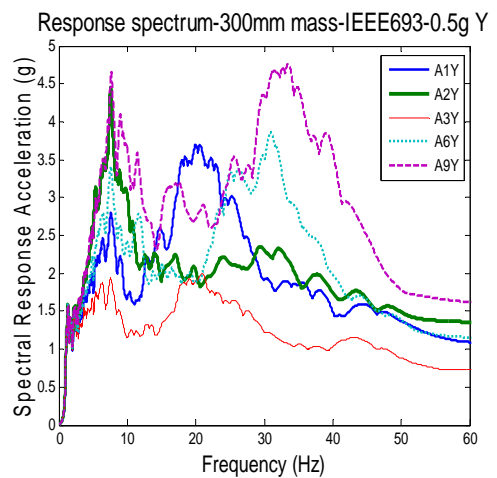
(a) Case 3 (300mm) bare_X



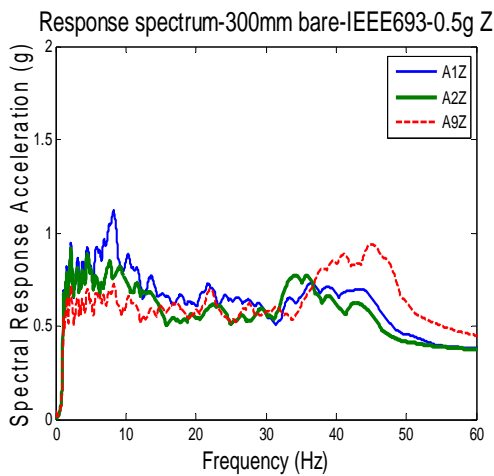
(b) Case 3 (300mm) mass_X



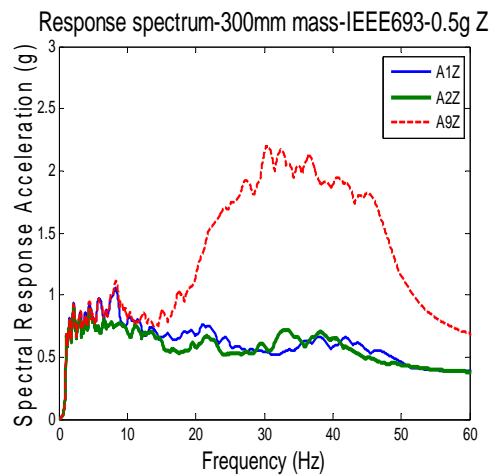
(c) Case 3 (300mm) bare_Y



(d) Case 3 (300mm) mass_Y

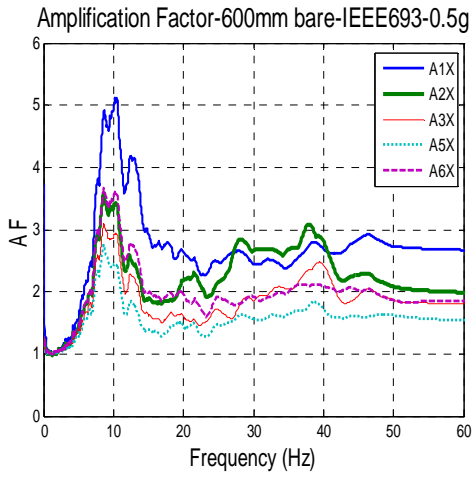


(e) Case 3 (300mm) bare_Z

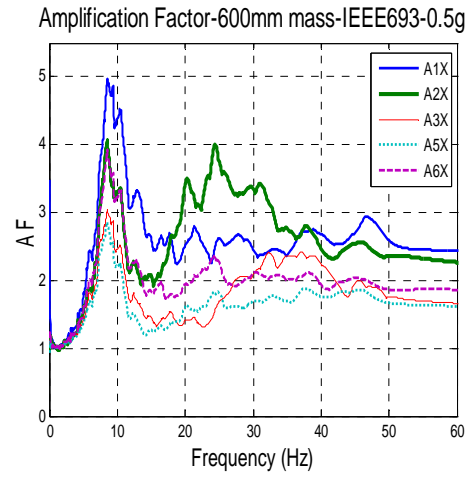


(f) Case 3 (300mm) mass_Z

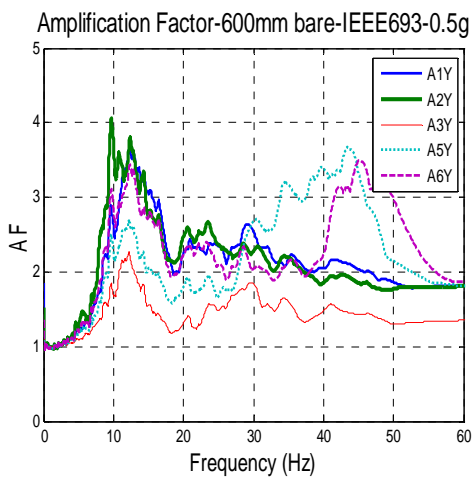
圖 4.13 Case 3 (300mm)_IEEE693-0.5g 櫃內櫃外反應譜比較



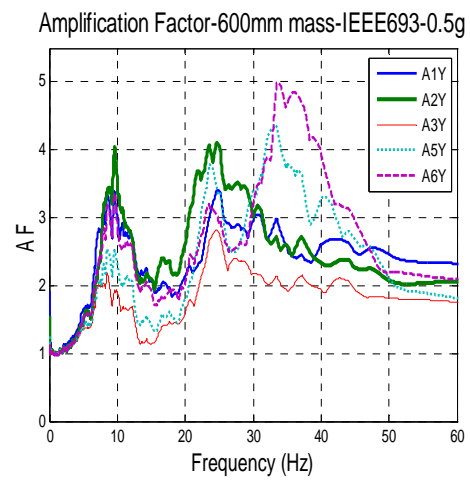
(a) Case 1 (600mm) bare_X



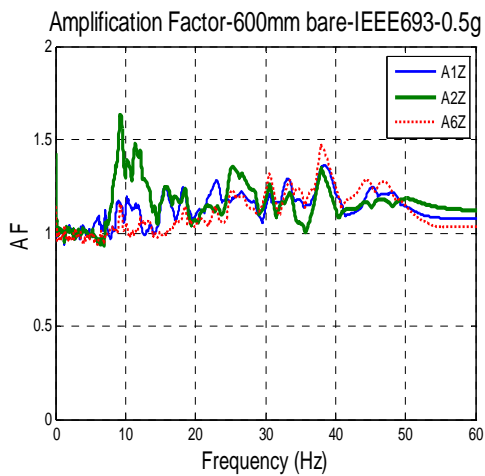
(b) Case 1 (600mm) mass_X



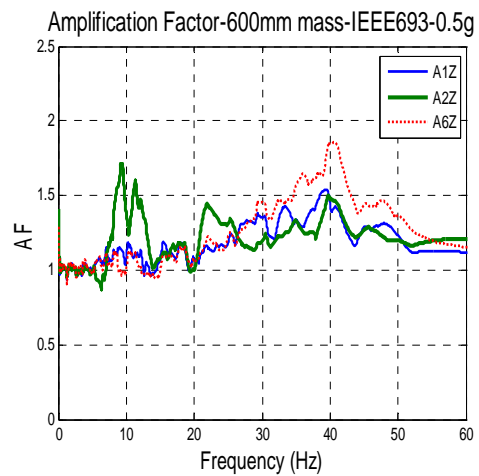
(c) Case 1 (600mm) bare_Y



(d) Case 1 (600mm) mass_Y

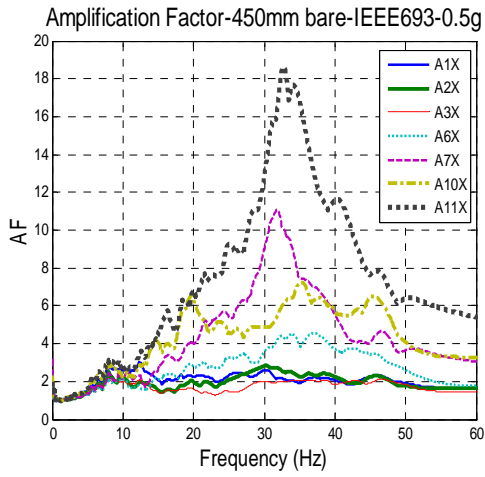


(e) Case 1 (600mm) bare_Z

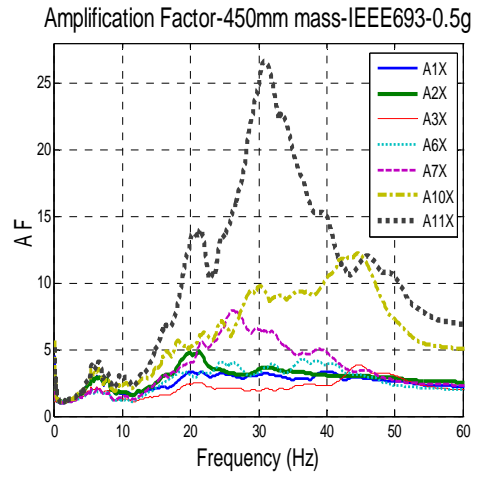


(f) Case 1 (600mm) mass_Z

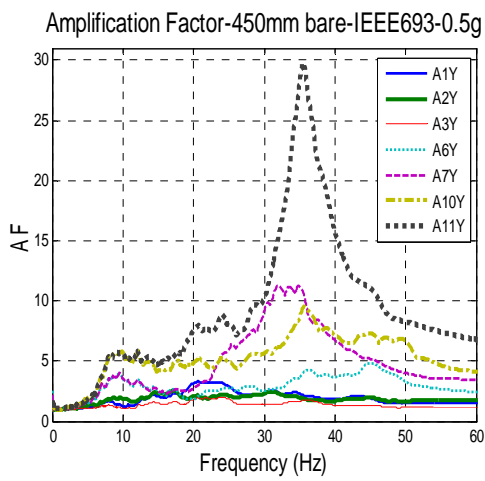
圖 4.14 Case 1 (600mm)_IEEE693-0.5g 櫃內櫃外放大因子比較



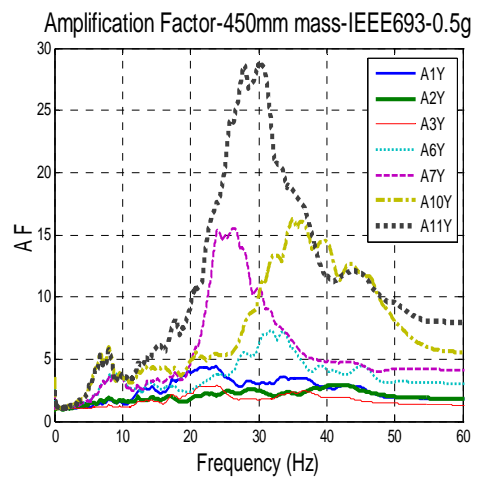
(a) Case 2 (450mm) bare_X



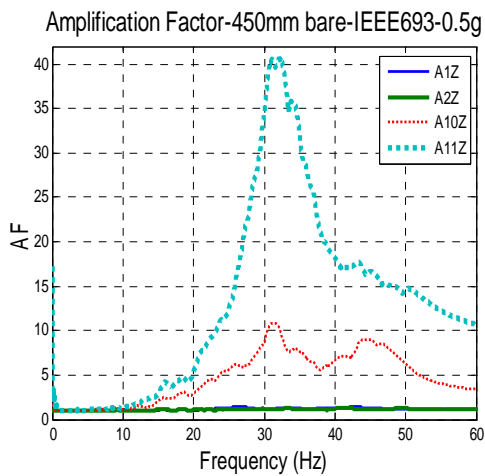
(b) Case 2 (450mm) mass_X



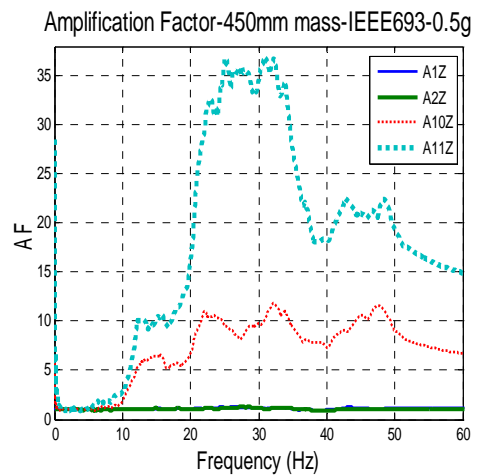
(c) Case 2 (450mm) bare_Y



(d) Case 2 (450mm) mass_Y

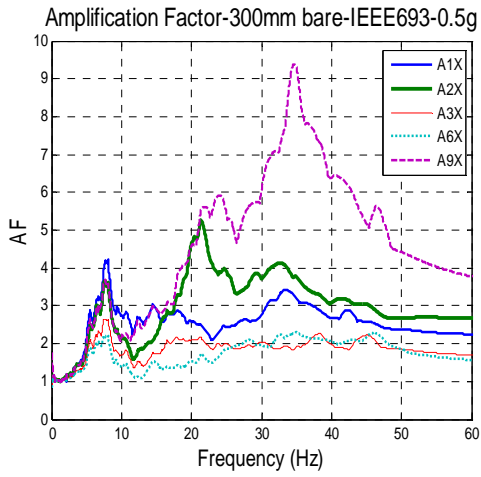


(e) Case 2 (450mm) bare_Z

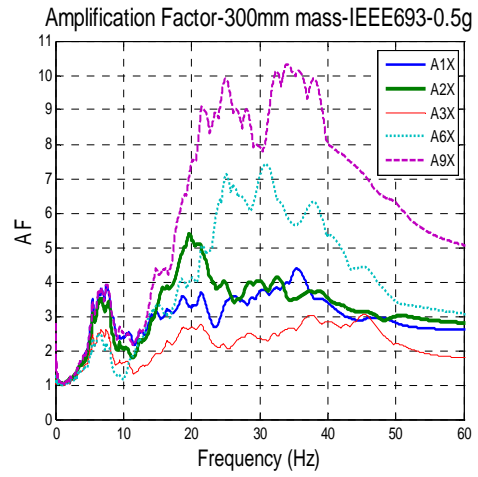


(f) Case 2 (450mm) mass_Z

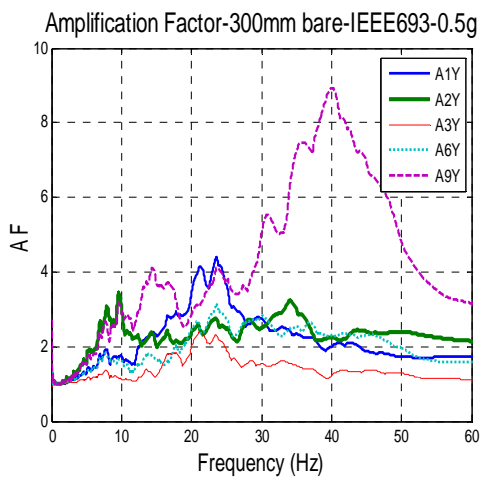
圖 4.15 Case 2 (450mm)_IEEE693-0.5g 櫃內櫃外放大因子比較



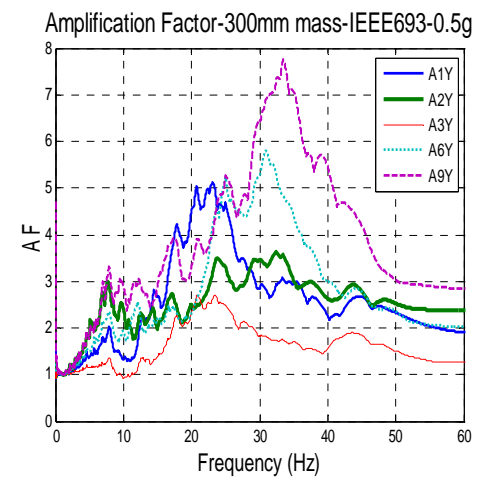
(a) Case 3 (300mm) bare_X



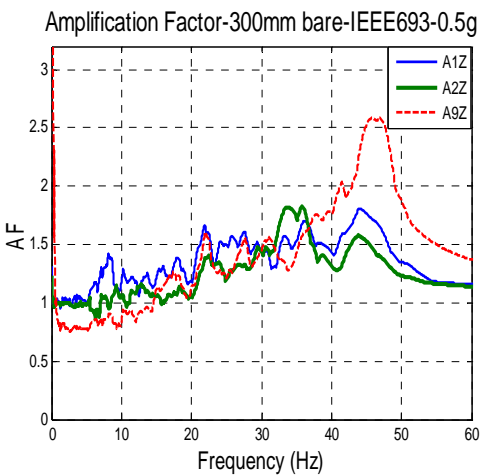
(b) Case 3 (300mm) mass_X



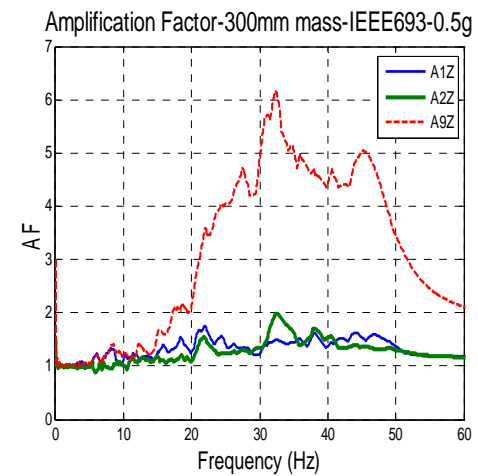
(c) Case 3 (300mm) bare_Y



(d) Case 3 (300mm) mass_Y

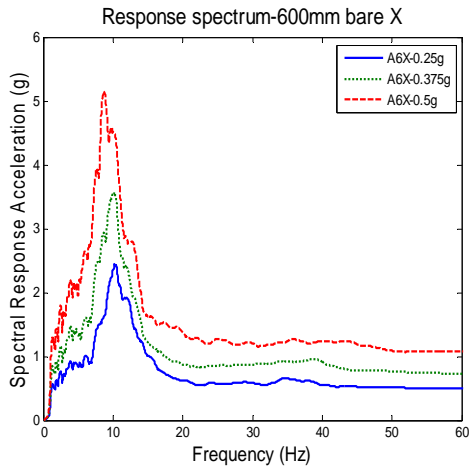


(e) Case 3 (300mm) bare_Z

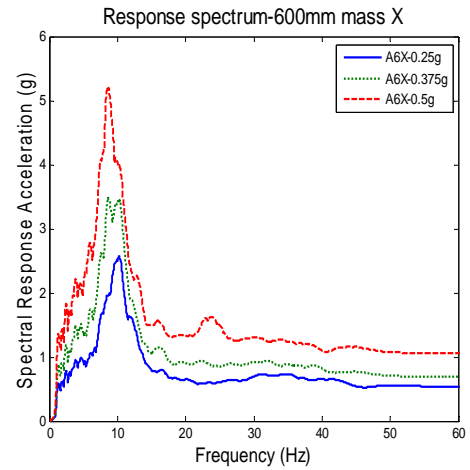


(f) Case 3(300mm) mass_Z

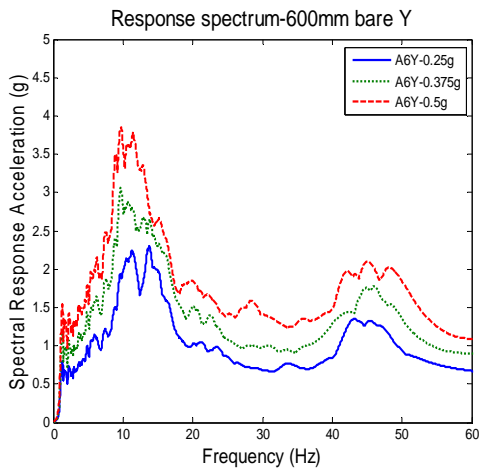
圖 4.16 Case 3 (300mm)_IEEE693-0.5g 櫃內櫃外放大因子比較



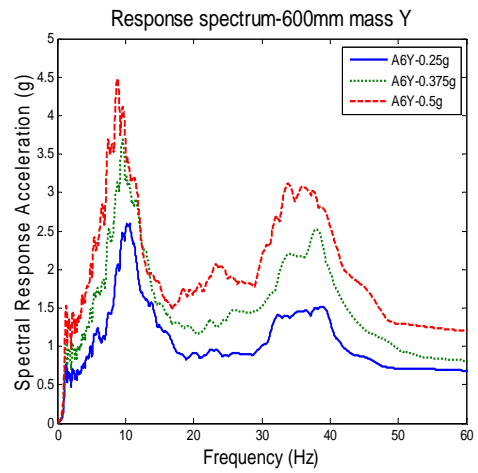
(a) IEEE693 bare_X



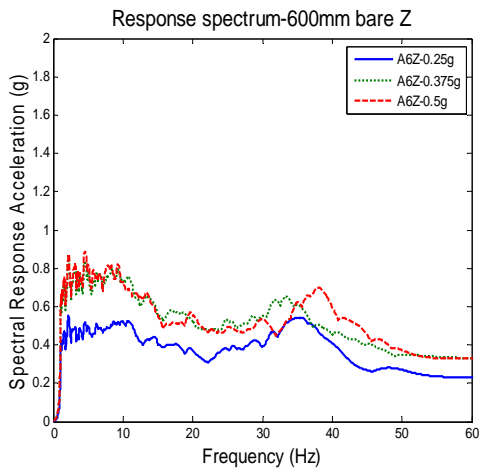
(b) IEEE693 mass_X



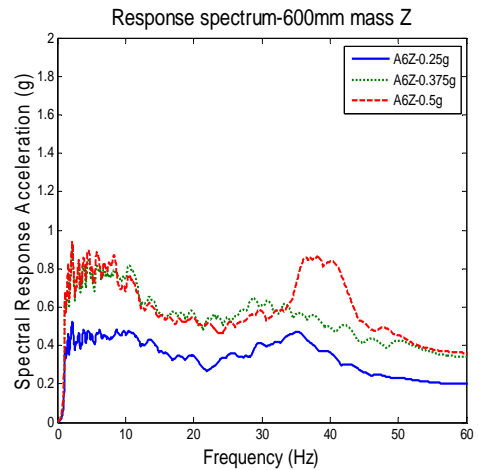
(c) IEEE693 bare_Y



(d) IEEE693 mass_Y

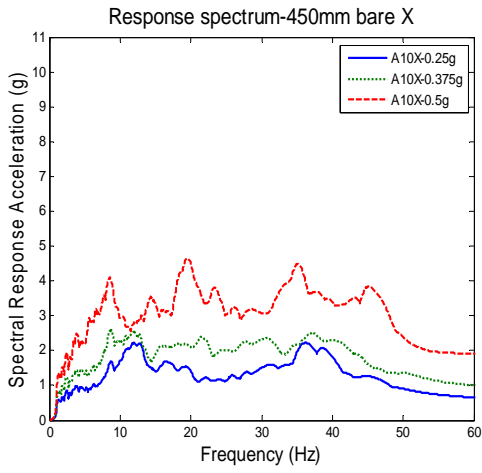


(e) IEEE693 bare_Z

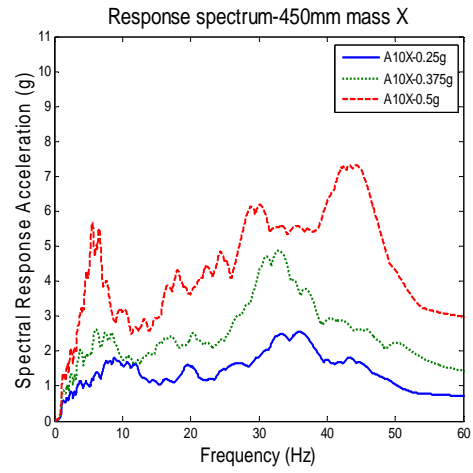


(f) IEEE693 mass_Z

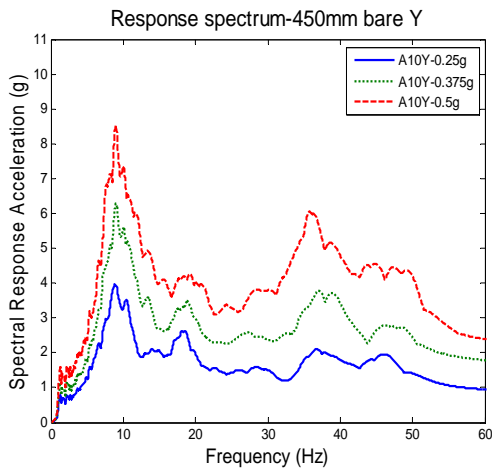
圖 4.17 Case 1 (600mm) 輸入波 IEEE693 不同震度之櫃內反應譜比較



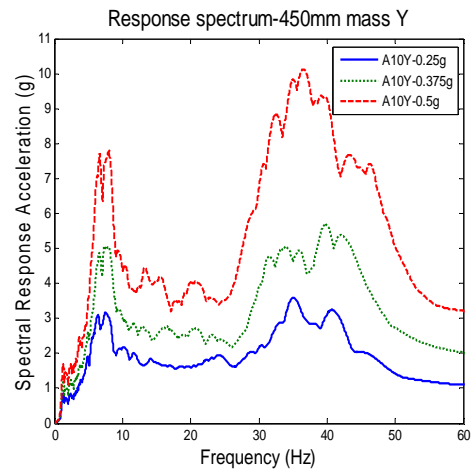
(a) IEEE693 bare_X



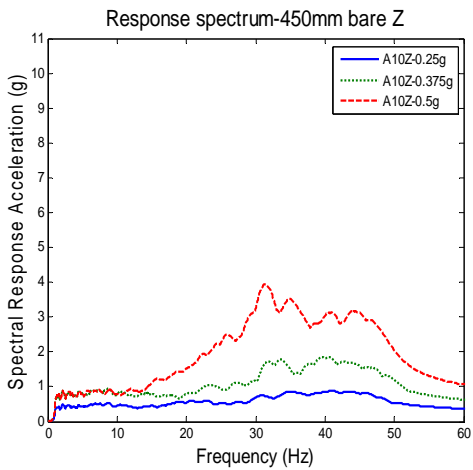
(b) IEEE693 mass_X



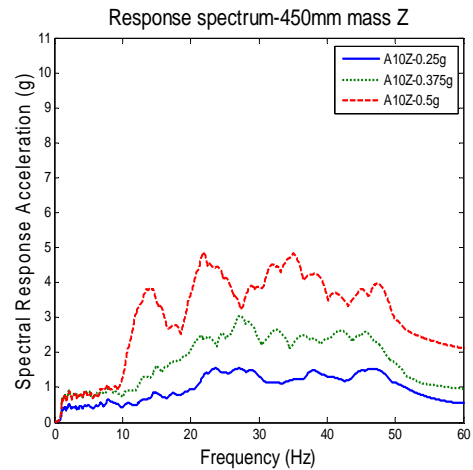
(c) IEEE693 bare_Y



(d) IEEE693 mass_Y

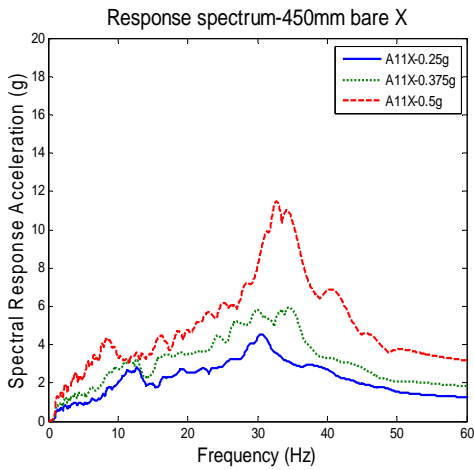


(e) IEEE693 bare_Z

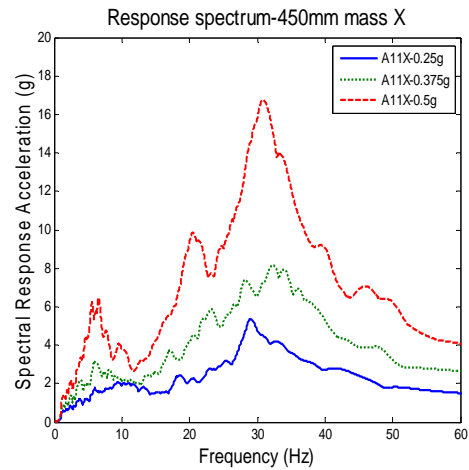


(f) IEEE693 mass_Z

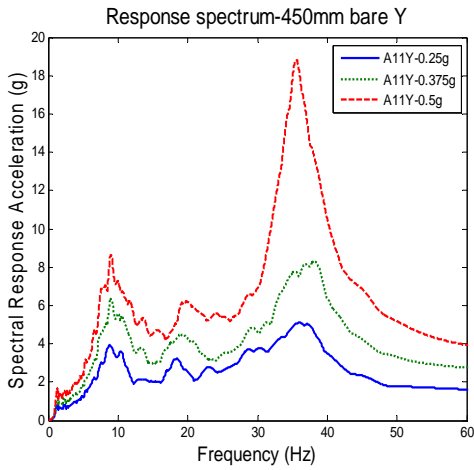
圖 4.18 Case 2 (450mm) 輸入波 IEEE693 不同震度之櫃內反應譜比較



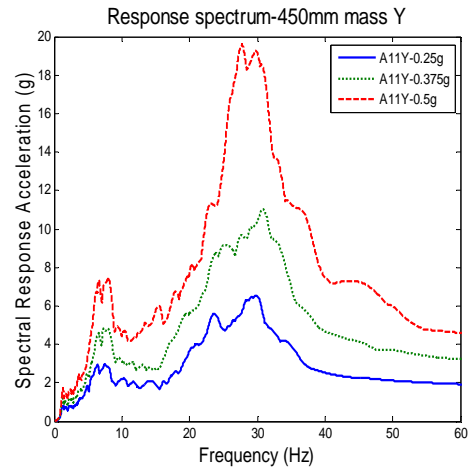
(a) IEEE693 bare_X



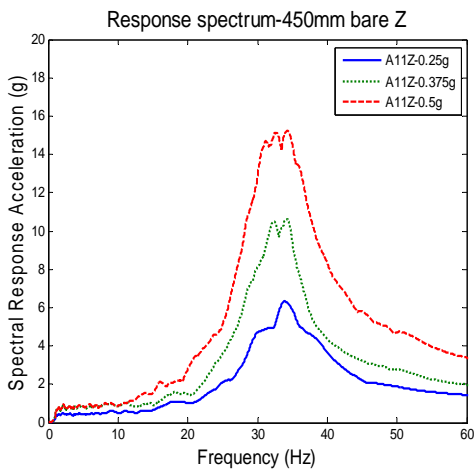
(b) IEEE693 mass_X



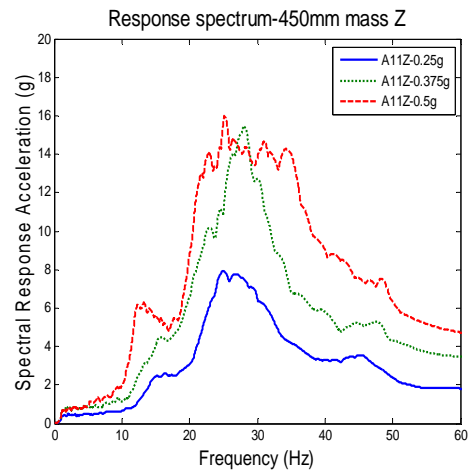
(c) IEEE693 bare_Y



(d) IEEE693 mass_Y

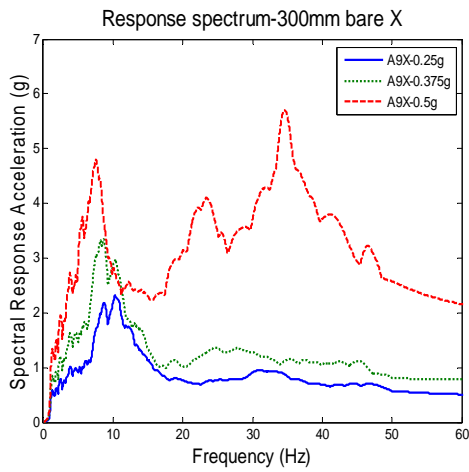


(e) IEEE693 bare_Z

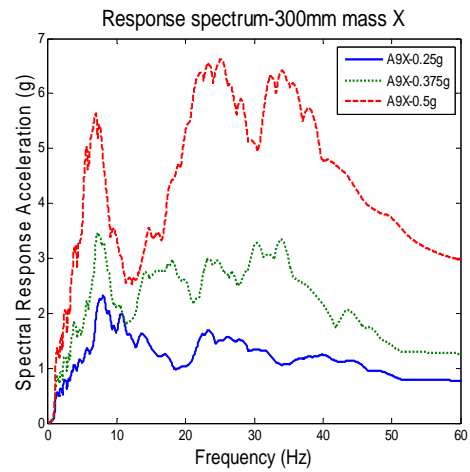


(f) IEEE693 mass_Z

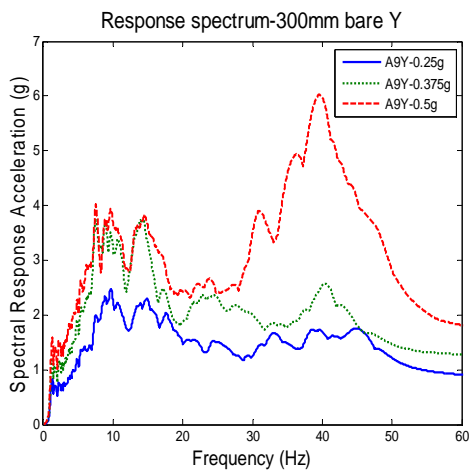
圖 4.19 Case 2 (450mm) 輸入波 IEEE693 不同震度之櫃內反應譜比較_Z



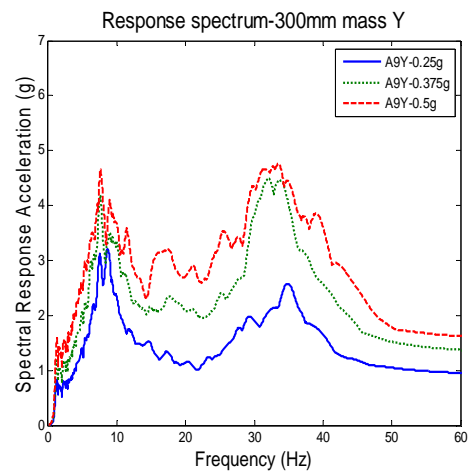
(a) IEEE693 bare_X



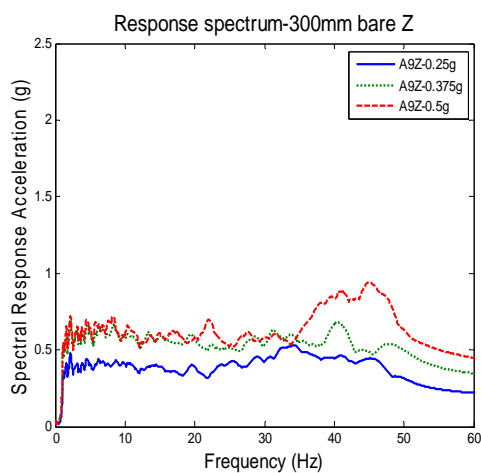
(b) IEEE693 mass_X



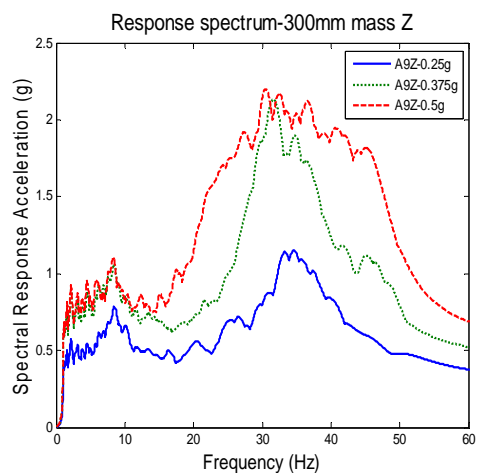
(c) IEEE693 bare_Y



(d) IEEE693 mass_Y

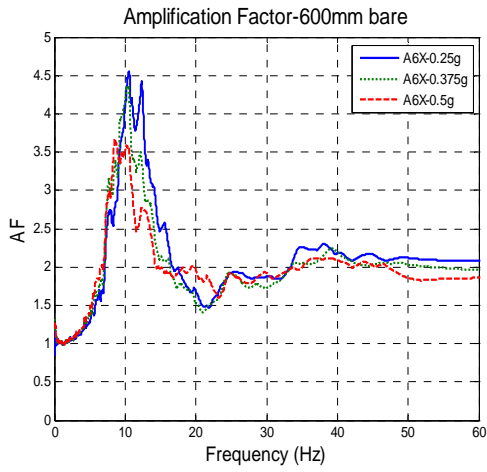


(e) IEEE693 bare_Z

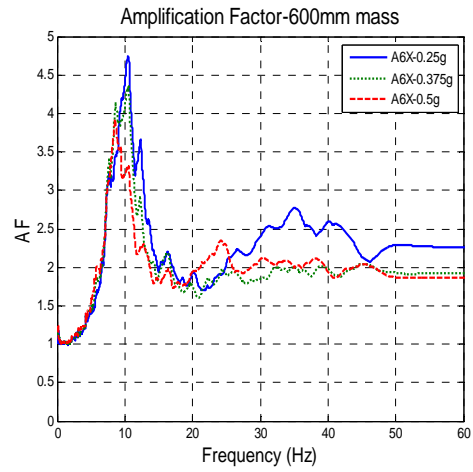


(f) IEEE693 mass_Z

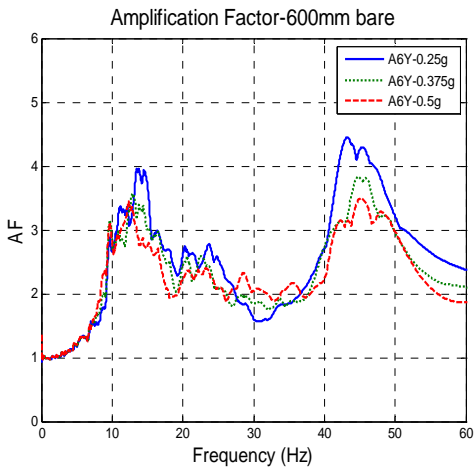
圖 4.20 Case 3 (300mm) 輸入波 IEEE693 不同震度之櫃內反應譜比較



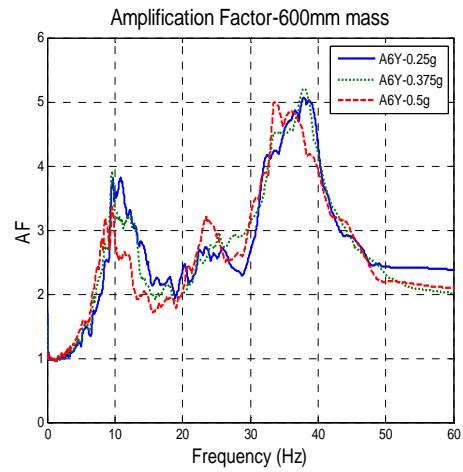
(a) IEEE693 bare_X



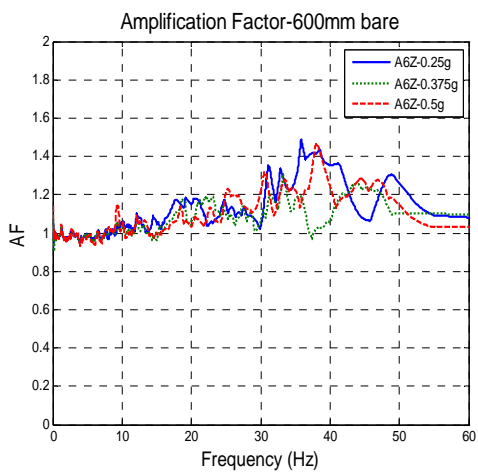
(b) IEEE693 mass_X



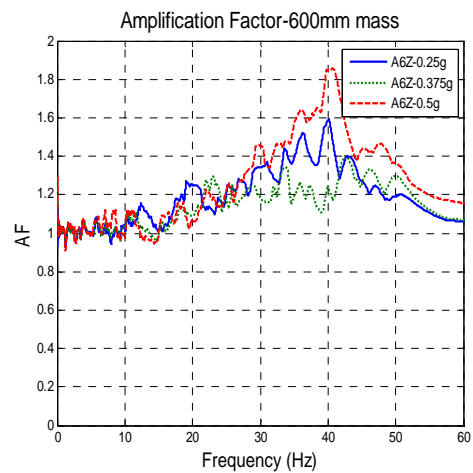
(c) IEEE693 bare_Y



(d) IEEE693 mass_Y

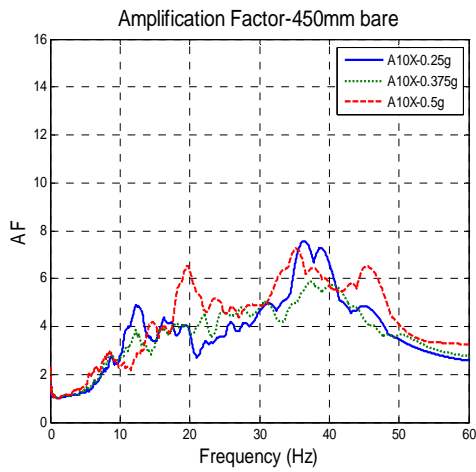


(e) IEEE693 bare_Z

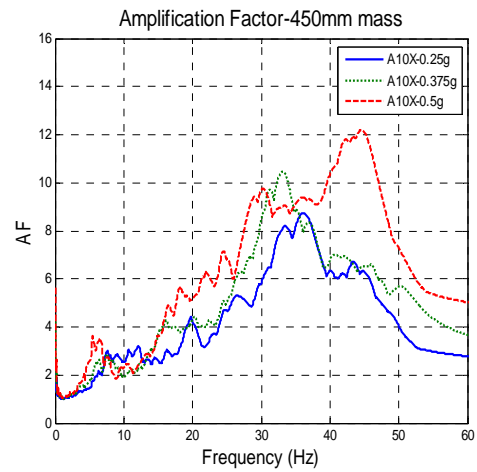


(f) IEEE693 mass_Z

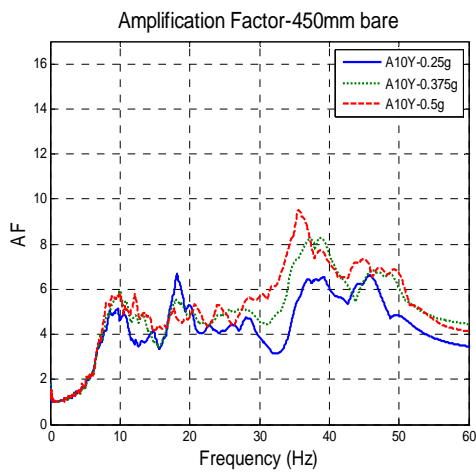
圖 4.21 Case 1 (600mm) 輸入波 IEEE693 不同震度之放大因子



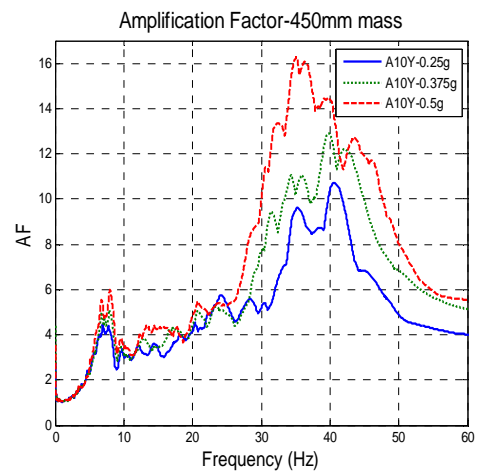
(a) IEEE693 bare_X



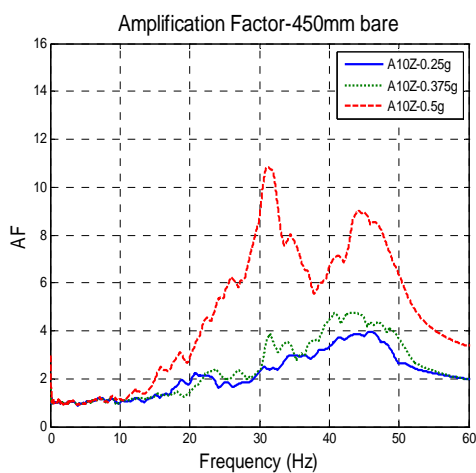
(b) IEEE693 mass_X



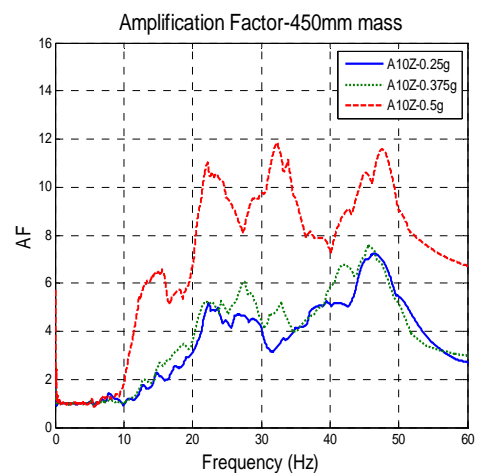
(c) IEEE693 bare_Y



(d) IEEE693 mass_Y

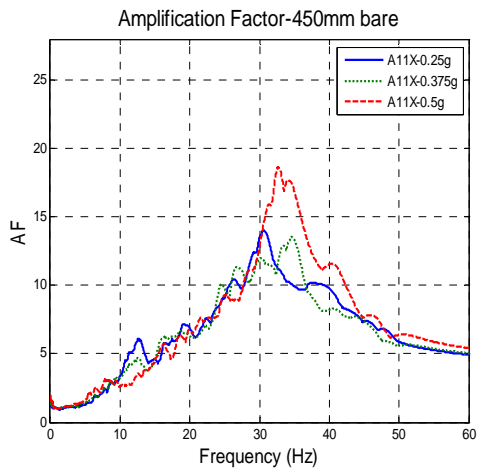


(e) IEEE693 bare_Z

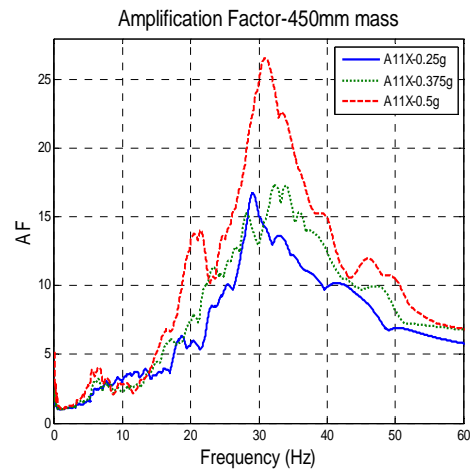


(f) IEEE693 mass_Z

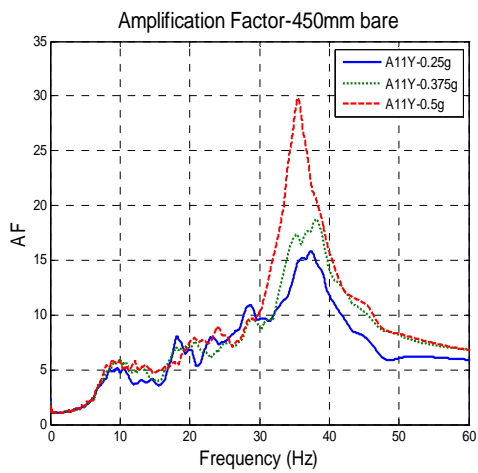
圖 4.22 Case 2 (450mm) 輸入波 IEEE693 不同震度之放大因子



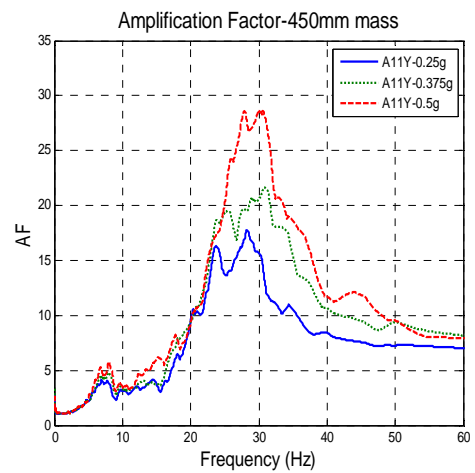
(a) IEEE693 bare X



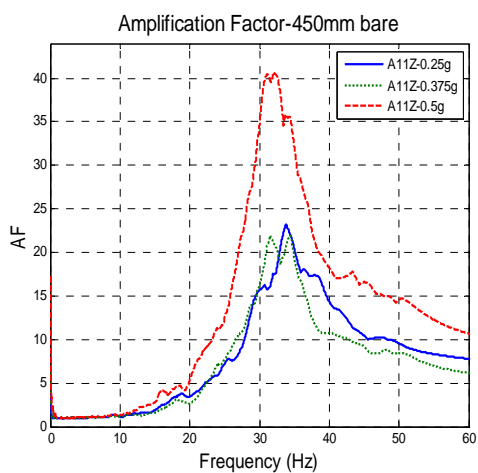
(b) IEEE693 mass X



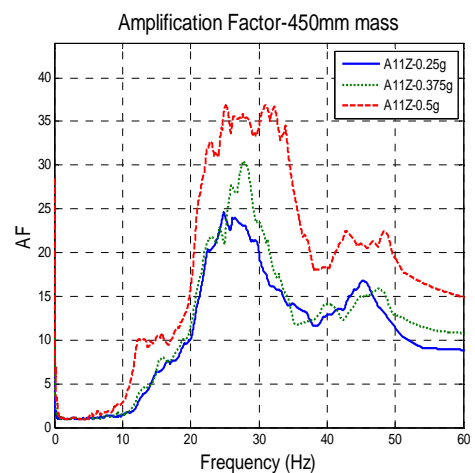
(c) IEEE693 bare Y



(d) IEEE693 mass Y

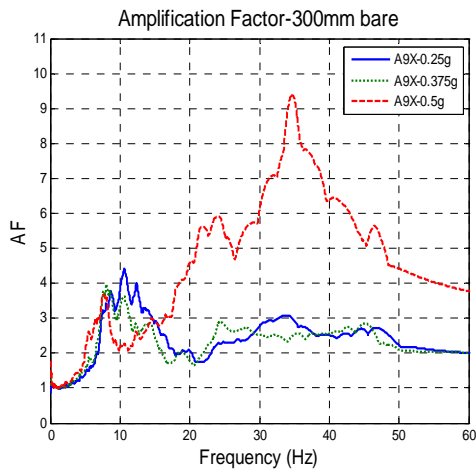


(e) IEEE693 bare Z

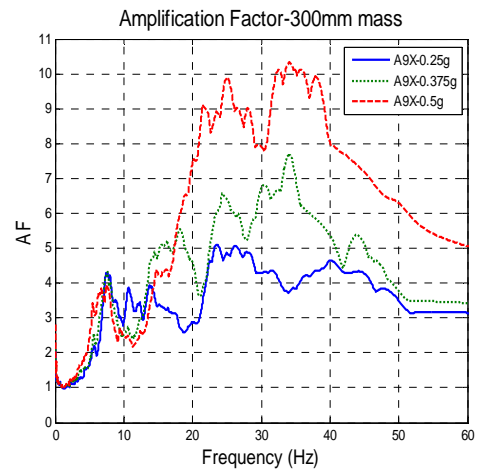


(f) IEEE693 mass Z

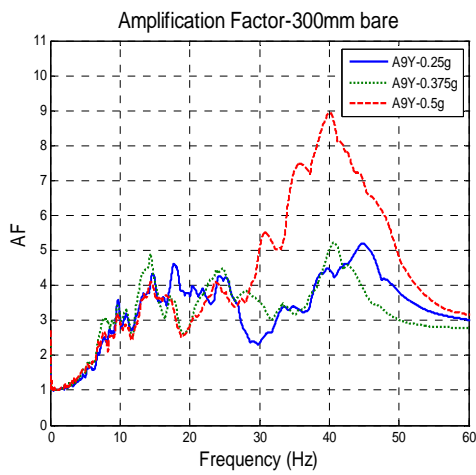
圖 4.23 Case 2 (450mm) 輸入波 IEEE693 不同震度之放大因子_Z



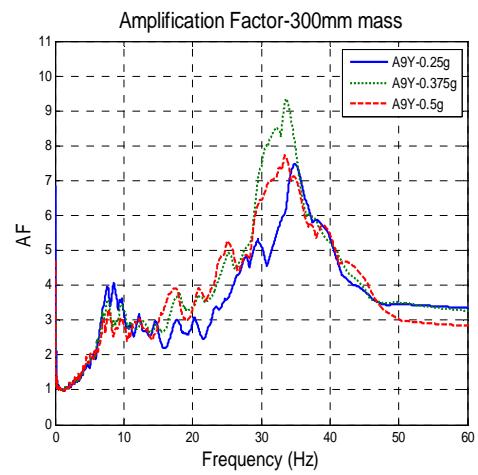
(a) IEEE693 bare X



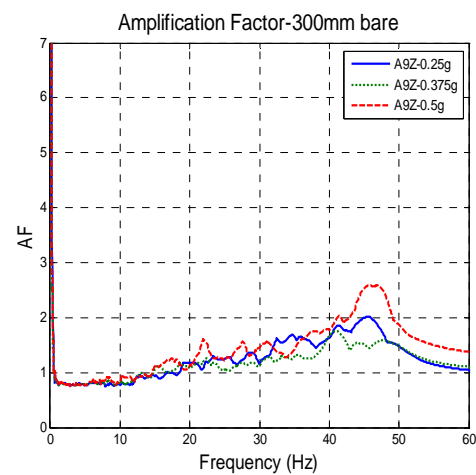
(b) IEEE693 mass X



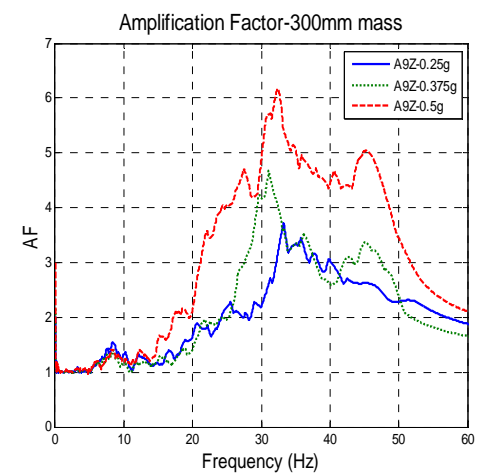
(c) IEEE693 bare Y



(d) IEEE693 mass Y

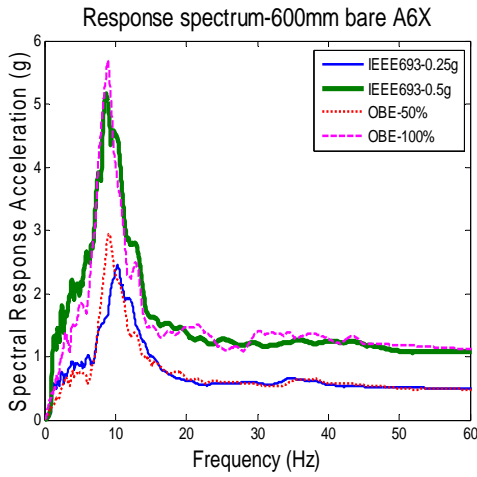


(e) IEEE693 bare Z

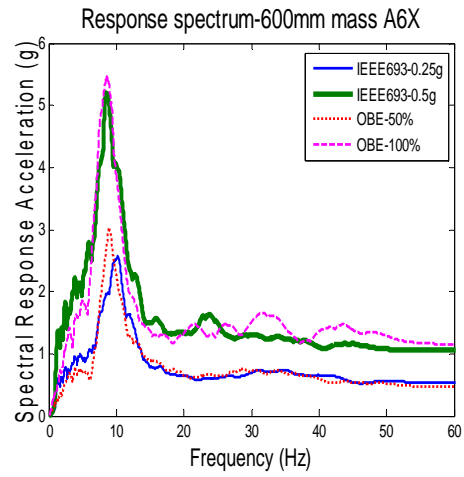


(f) IEEE693 mass Z

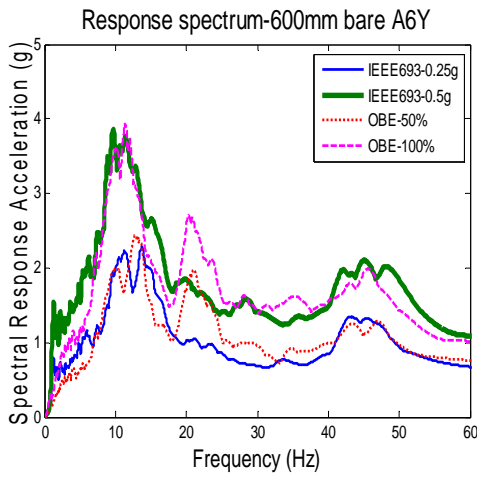
圖 4.24 Case 3 (300mm) 輸入波 IEEE693 不同震度之放大因子



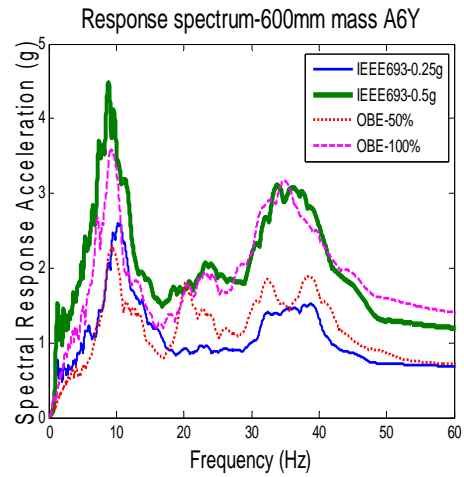
(a) Case 1(600mm)空櫃_X



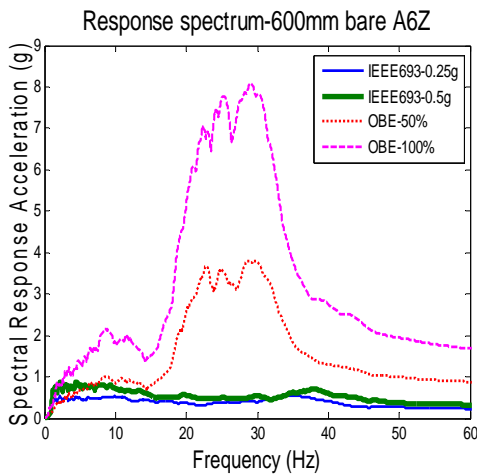
(b) Case 1(600mm)質量櫃_X



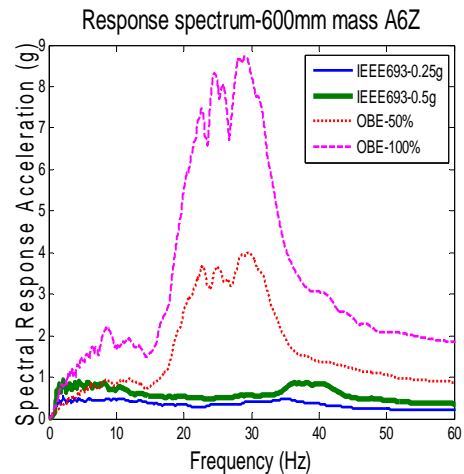
(c) Case 1(600mm)空櫃_Y



(d) Case 1(600mm)質量櫃_Y

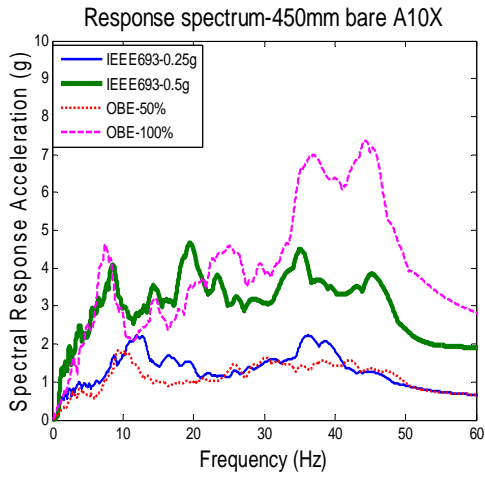


(e) Case 1(600mm)空櫃_Z

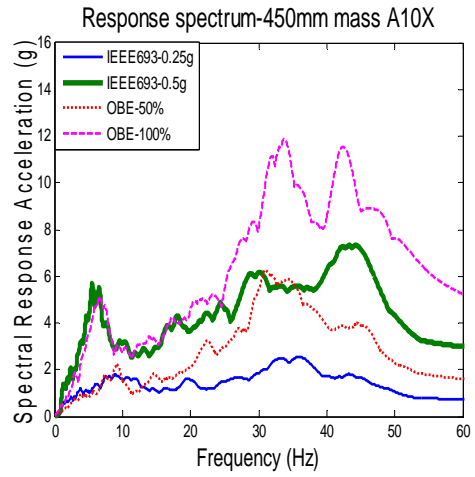


(f) Case 1(600mm)質量櫃_Z

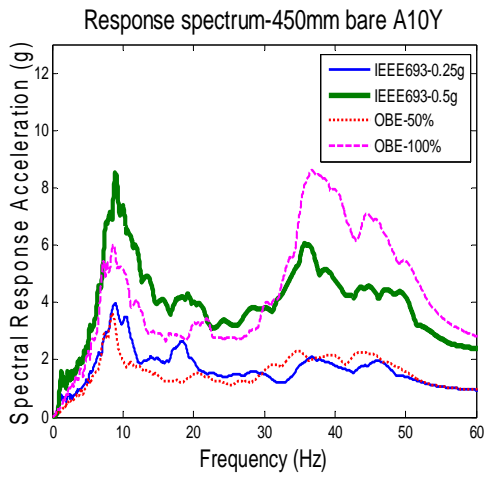
圖 4.25 Case 1 (600mm) 不同輸入波之反應譜比較



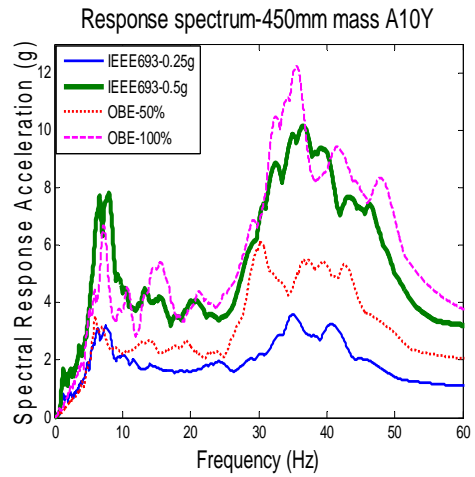
(a) Case 2(450mm)空櫃_X



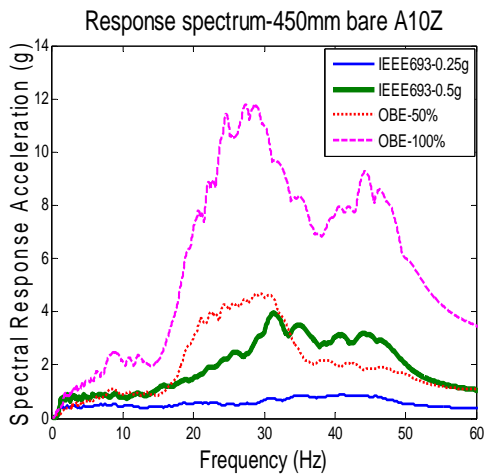
(b) Case 2(450mm)質量櫃_X



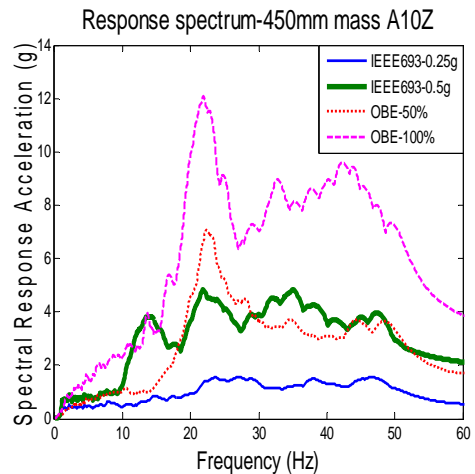
(c) Case 2(450mm)空櫃_Y



(d) Case 2(450mm)質量櫃_Y

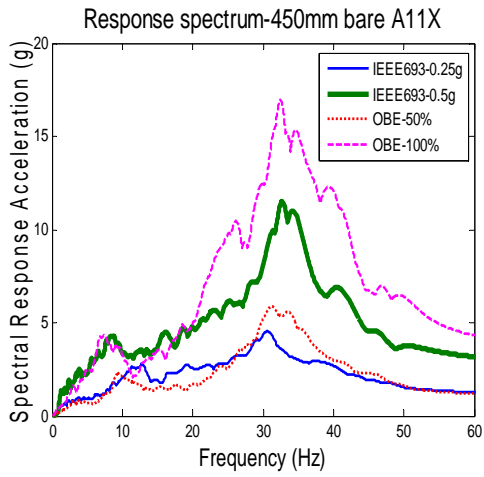


(e) Case 2(450mm)空櫃_Z

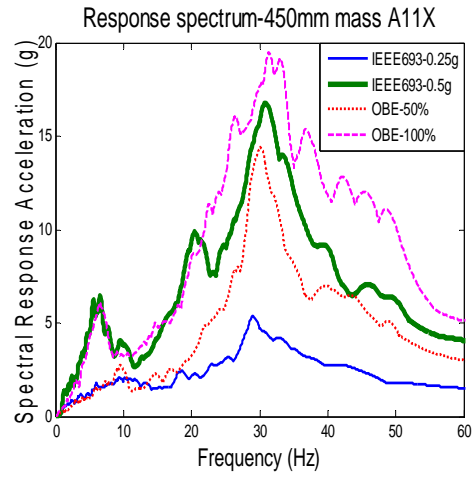


(f) Case 2(450mm)質量櫃_Z

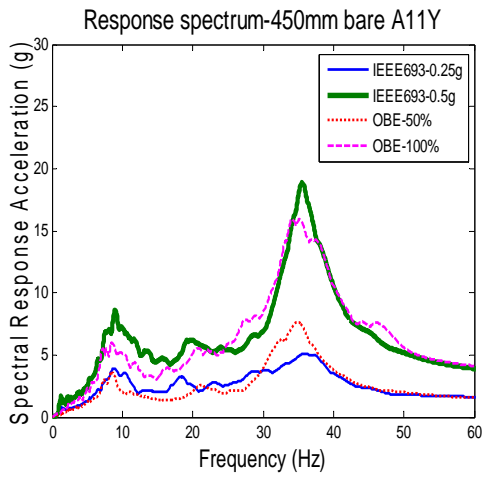
圖 4.26 Case 2 (450mm) 不同輸入波之反應譜比較



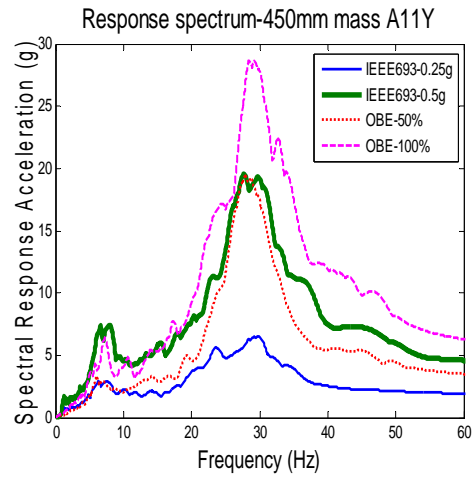
(a) Case 2(450mm)空櫃_X



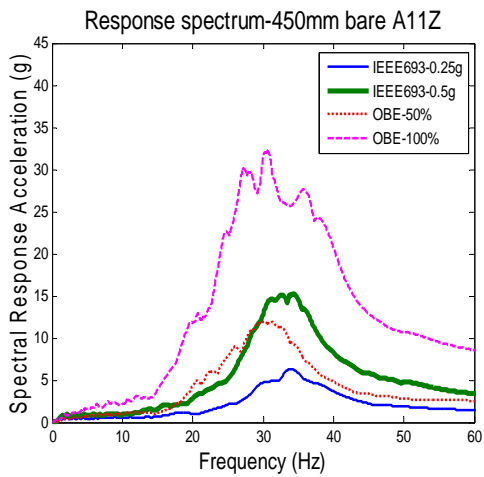
(b) Case 2(450mm)質量櫃_X



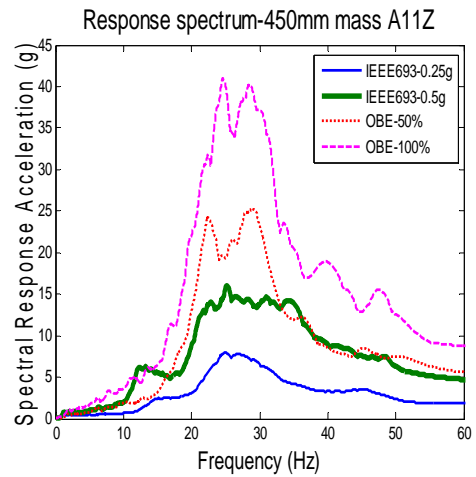
(c) Case 2(450mm)空櫃_Y



(d) Case 2(450mm)質量櫃_Y

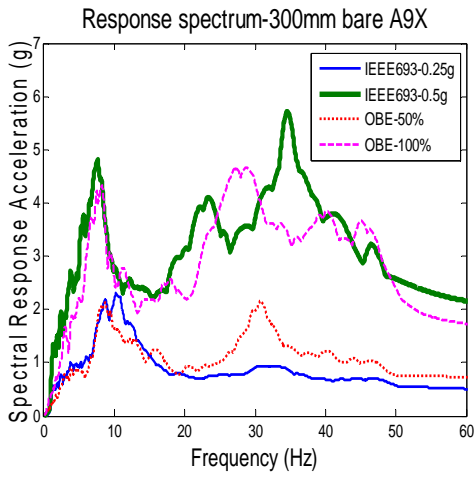


(e) Case 2(450mm)空櫃_Z

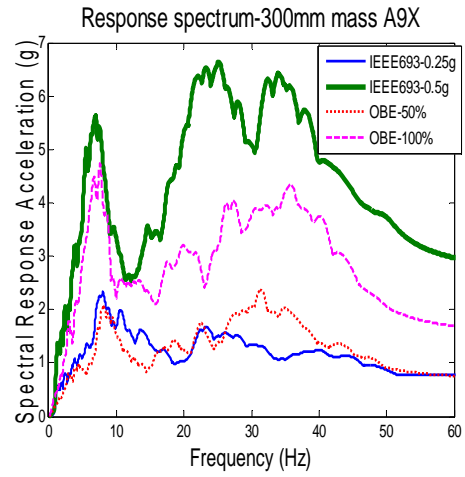


(f) Case 2(450mm)質量櫃_Z

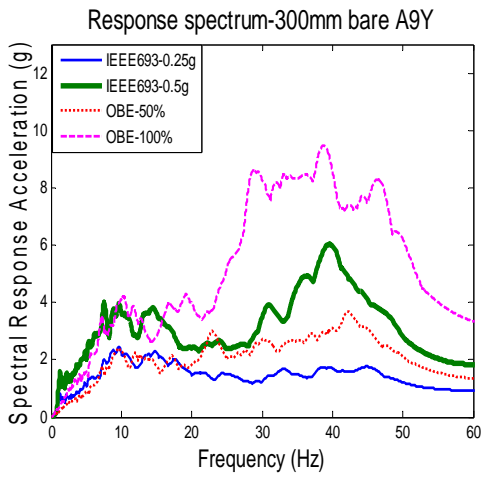
圖 4.27 Case 2 (450mm) 不同輸入波之反應譜比較_Z



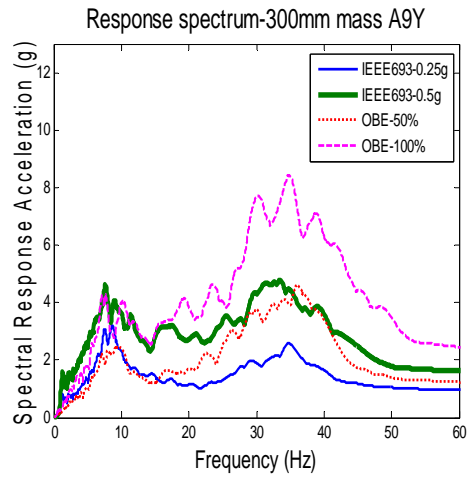
(a) Case 3(300mm)空櫃_X



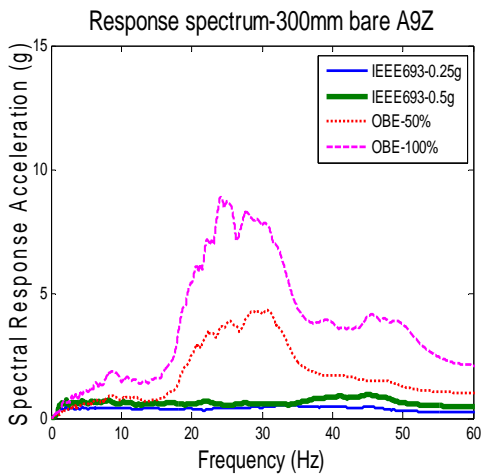
(b) Case 3(300mm)質量櫃_X



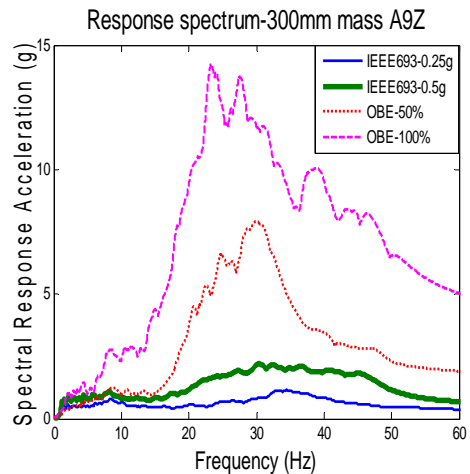
(c) Case 3(300mm)空櫃_Y



(d) Case 3(300mm)質量櫃_Y

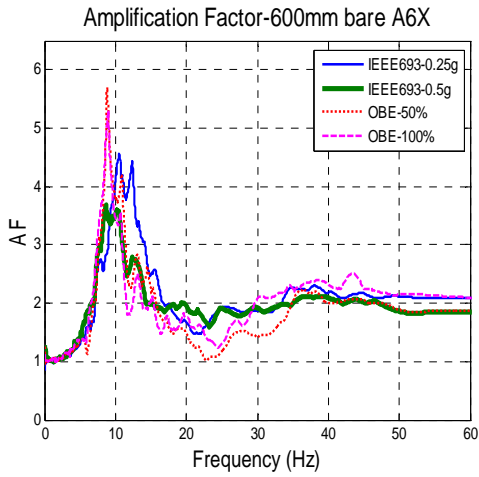


(e) Case 3(300mm)空櫃_Z

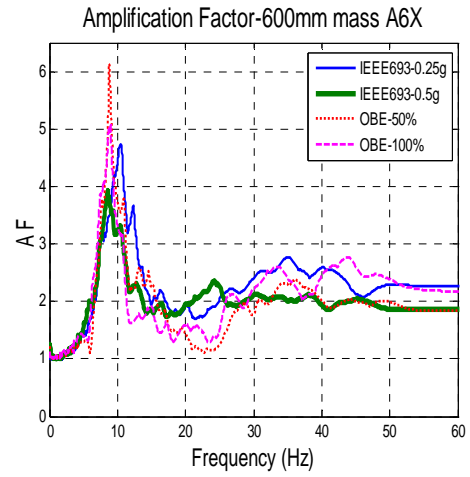


(f) Case 3(300mm)質量櫃_Z

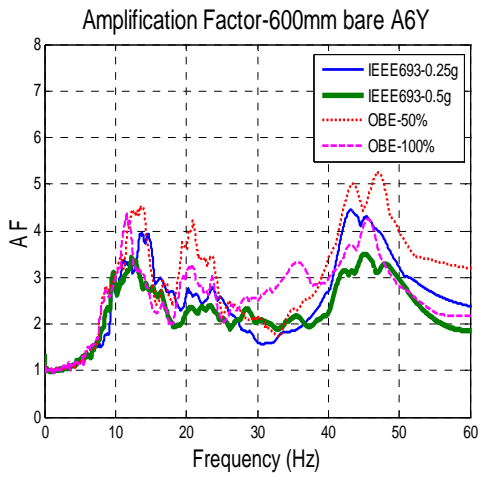
圖 4.28 Case 3 (300mm) 不同輸入波之反應譜比較



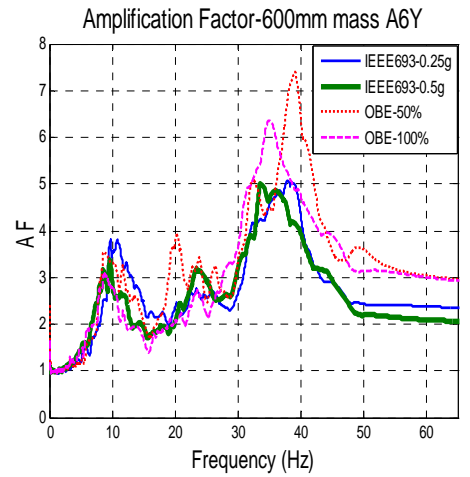
(a) Case 1(600mm)空櫃_X



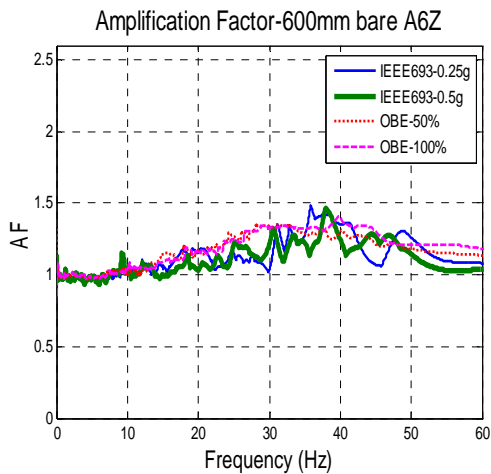
(b) Case 1(600mm)質量櫃_X



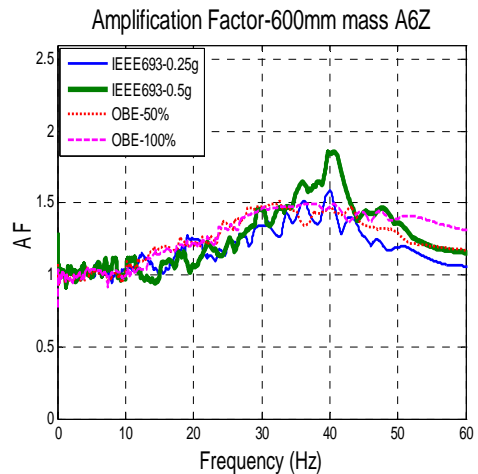
(c) Case 1(600mm)空櫃_Y



(d) Case 1(600mm)質量櫃_Y

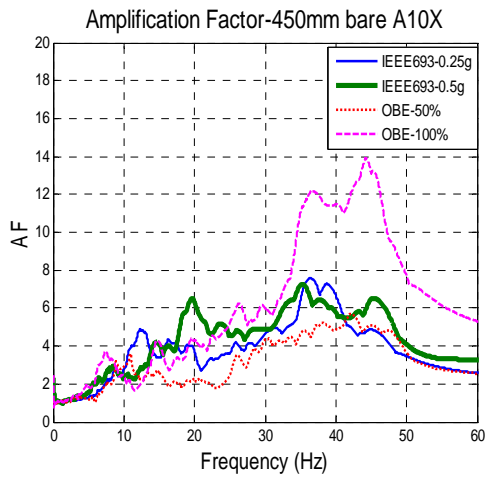


(e) Case 1(600mm)空櫃_Z

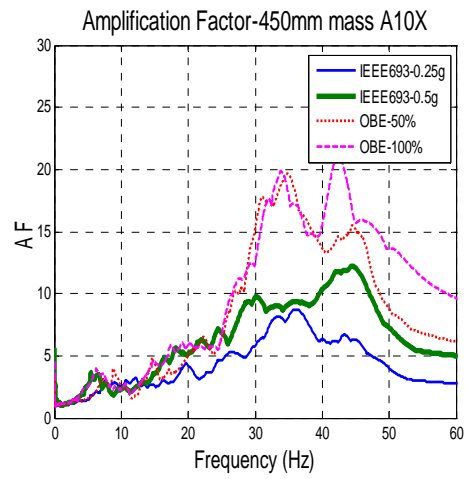


(f) Case 1(600mm)質量櫃_Z

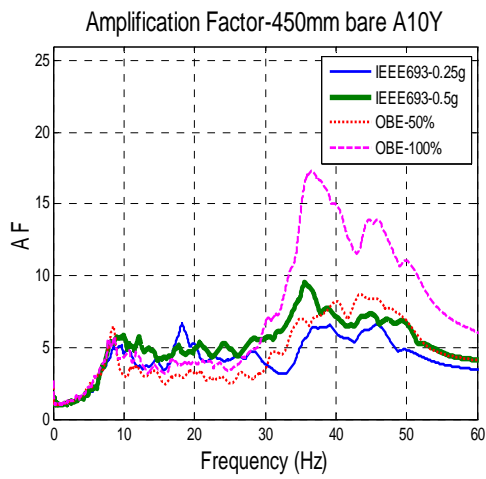
圖 4.29 Case 1 (600mm) 不同輸入波之放大因子



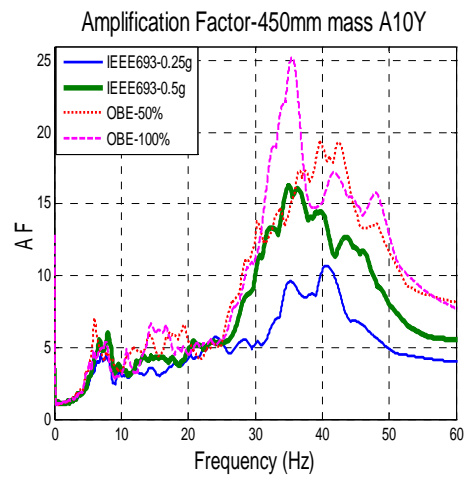
(a) Case 2(450mm)空櫃_X



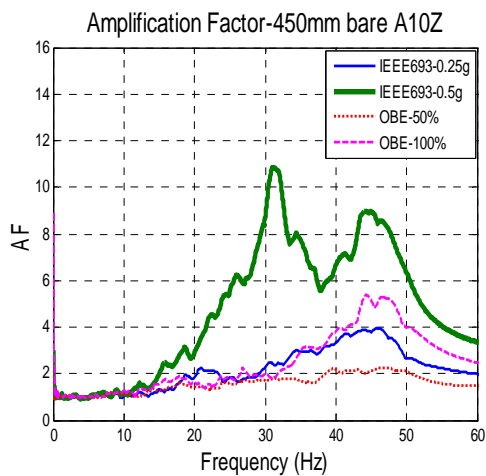
(b) Case 2(450mm)質量櫃_X



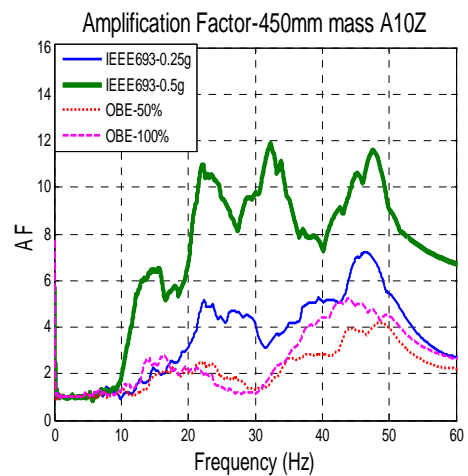
(c) Case 2(450mm)空櫃_Y



(d) Case 2(450mm)質量櫃_Y

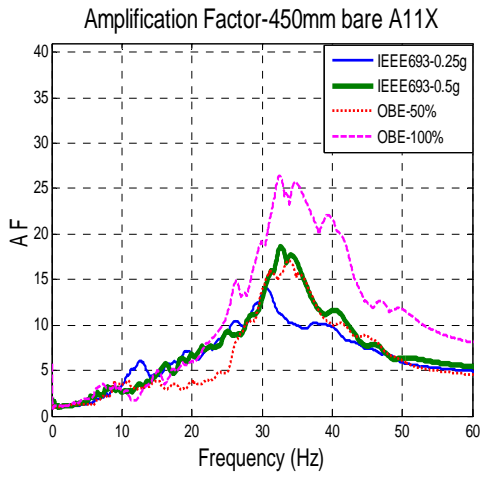


(e) Case 2(450mm)空櫃_Z

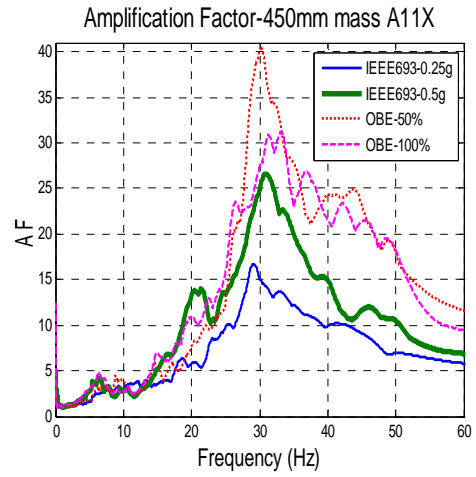


(f) Case 2(450mm)質量櫃_Z

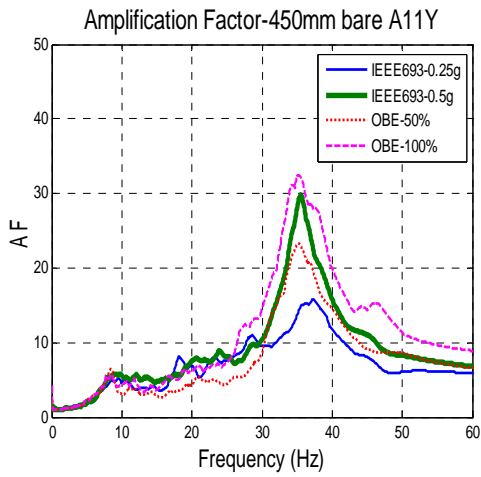
圖 4.30 Case 2 (450mm) 不同輸入波之放大因子



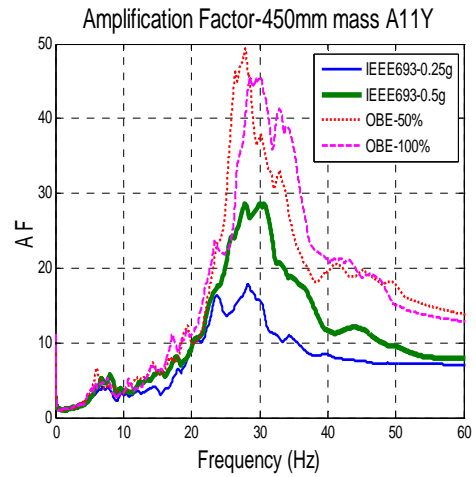
(a) Case 2(450mm)空櫃_X



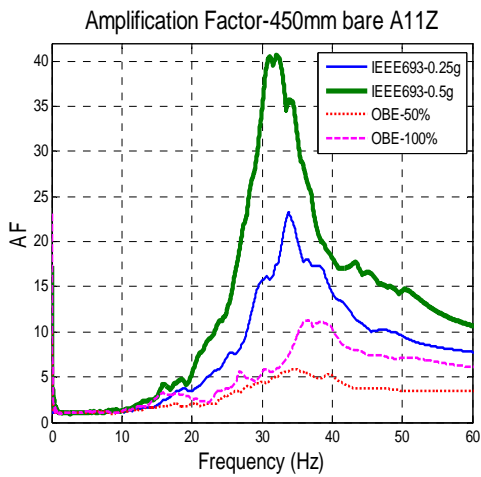
(b) Case 2(450mm)質量櫃_X



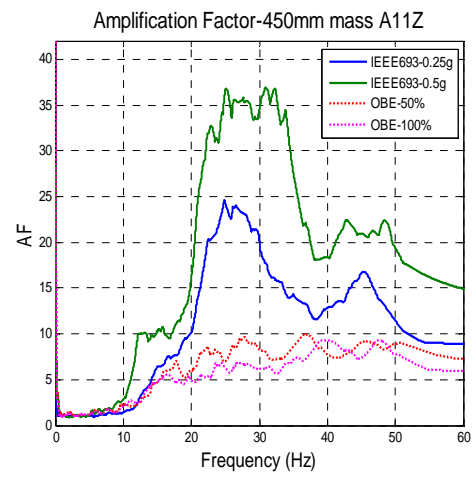
(c) Case 2(450mm)空櫃_Y



(d) Case 2(450mm)質量櫃_Y

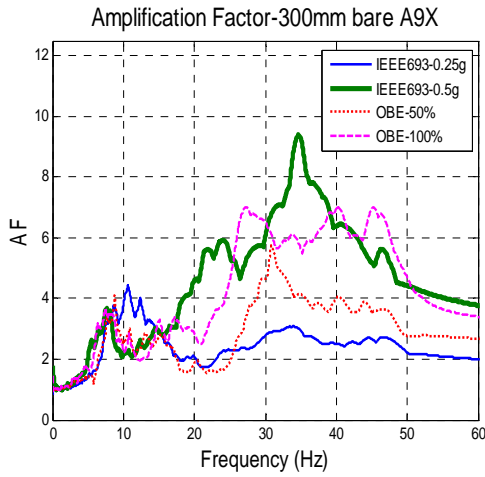


(e) Case 2(450mm)空櫃_Z

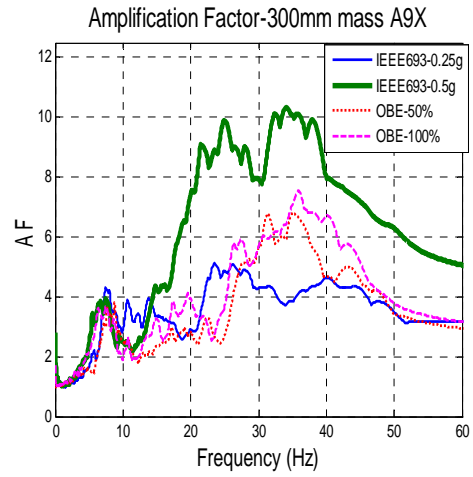


(f) Case 2(450mm)質量櫃_Z

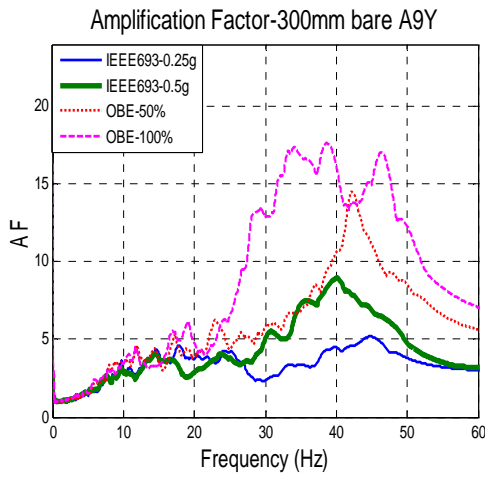
圖 4.31 Case 2 (450mm) 不同輸入波之放大因子_Z



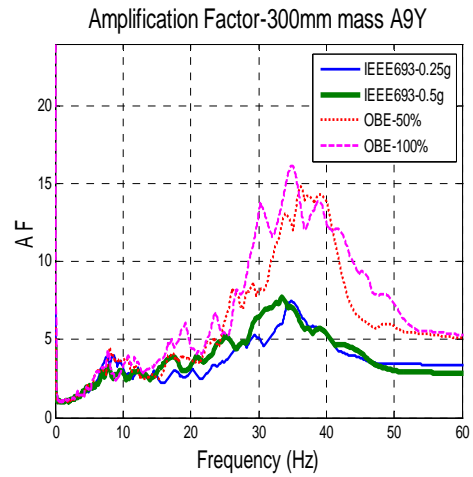
(a) Case 3(300mm)空櫃_X



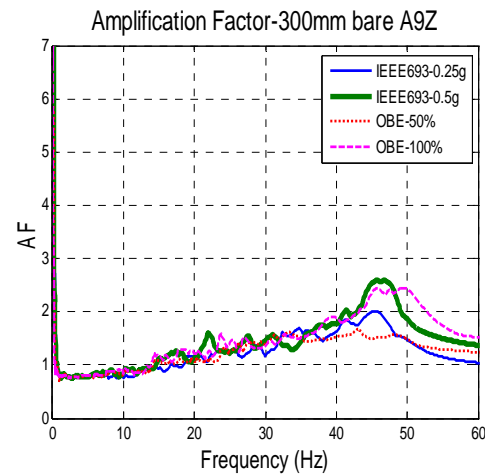
(b) Case 3(300mm)質量櫃_X



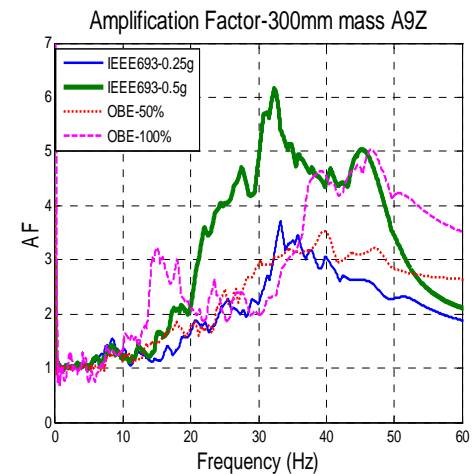
(c) Case 3(300mm)空櫃_Y



(d) Case 3(300mm)質量櫃_Y



(e) Case 3(300mm)空櫃_Z



(f) Case 3(300mm)質量櫃_Z

圖 4.32 Case 3 (300mm) 不同輸入波之放大因子

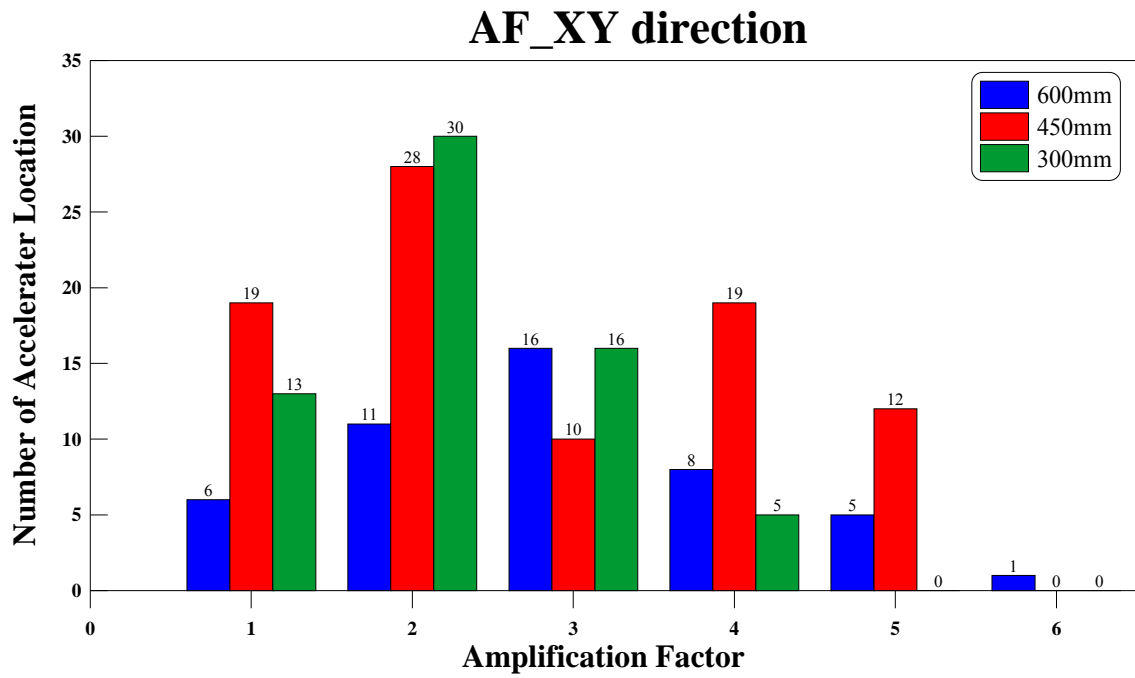
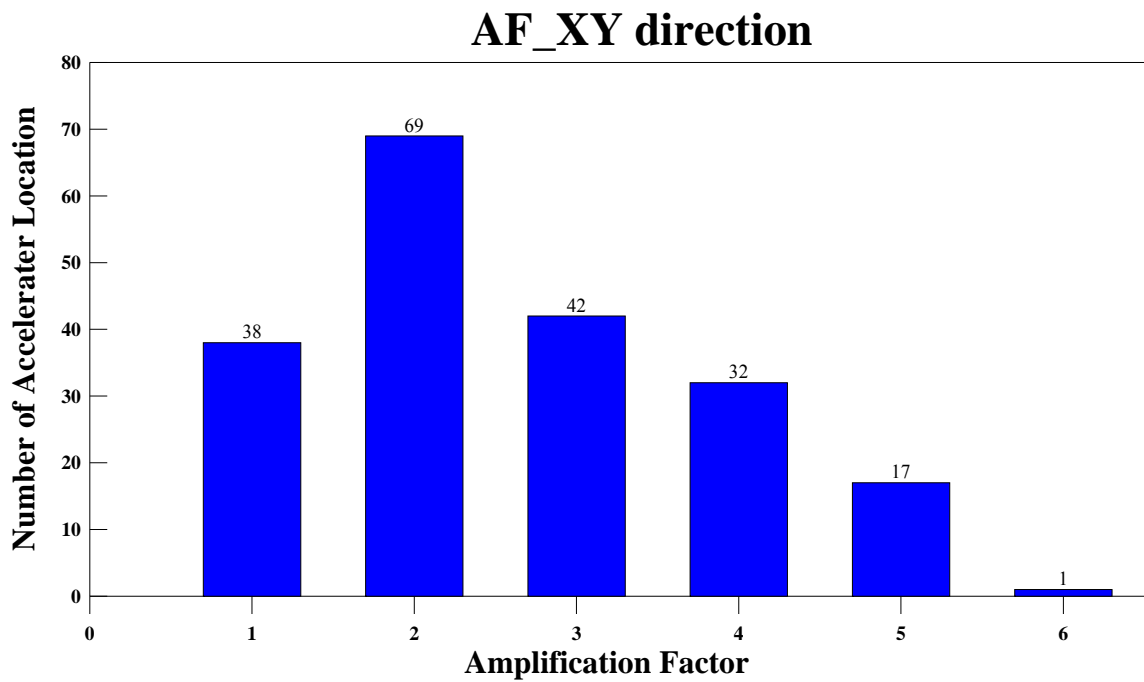


圖 4.33 動力放大因子之不同組合統整_XY 方向



圖

4.34 動力放大因子之總統整_XY 方向

第五章 數值模擬分析

5.1 前言

數值模擬分析採用 SAP2000 分析軟體進行電氣盤體之模擬，依據試驗機櫃之材料性質及尺寸大小作為所需參數之輸入，並進行數值模型建立，材料性質部分以機櫃相同材料試片進行拉伸試驗而得之。本模擬採用 IEEE693-0.25g 地震波作為輸入地表運動，並比較數值模型與試驗所得之加速度歷時、反應譜內涵及放大因子的差異性。此數值模型主要目標為提供往後參數分析及多盤體機櫃模擬之參考。

5.2 數值模型

本試驗之數值模擬採用 SAP2000 分析軟體進行模型建立，機櫃主要框架採用梁元素(*beam*)，而面板採用殼元素(*shell*)模擬之，材料參數均由機櫃材料試片進行拉伸試驗所量測，如楊氏模數(E)，降伏強度(F_y)與極限強度(F_u)...等等。本文數值模擬機櫃分為空櫃(*bare*)及質量櫃(*mass*)，空櫃為機櫃內部無放置設備物狀態，質量櫃為機櫃每層間層放置 5kg 重之質量塊模擬電廠內部設備物重量，Case 1 (600mm)機櫃於最底層間層多加裝 5kg 質量塊，其總質量塊重量為 20kg 重，Case 2 (450mm)共加 20kg 質量塊，Case 3 (300mm)共加 30kg 質量塊，如表 2.2 所示。

材料因受拉力而伸長，其內部產生單位面積的抵抗力，稱之為應力(*stree*)，單位長度伸長量稱為應變(*strain*)，而材料之應力與應變關係可藉拉伸試驗獲得。

進行數值模擬時，需輸入材料各種參數值，如楊氏模數(E)與降伏強度(F_y)，採用與本試驗機櫃面板之相同材料進行拉伸試驗。機櫃所使用材料為 JIS G3131 SPHC(熱軋鋼)，厚度為 2mm，依據 CNS【16】規定之標準試片，試片尺寸採用 5 號板狀試片，試驗外觀形狀如圖 5.1 所示，試驗片寬度(W)為 25mm，試片上有兩標點，其間距稱為標點距離(*gauge length*)，標點距離(L)為 50mm，平行部長度(P)為 60mm，肩度半徑(R)為 20mm，夾持端寬度(B)為 33mm，試驗試片尺寸規格如表 5.1 所示。

試驗試片上於標稱點位處黏貼應變計，量測彈性範圍內之軸向變形，可求得楊氏模數(E)以及量測降伏強度(F_y)；由於應變計之位移量限制，故當試片進入至降伏階段，改採用彈簧式位移計量測材料之極限強度值(F_u)所對應之位移量。本試驗使用台灣大學志弘館材料試驗室中之 10 噸萬能試驗機進行拉伸試驗，並取三組試片作為代表，試片資料如表 5.2 所示，試驗設備如圖 5.2 所示。

試片置於試驗機上受拉，試驗時須非常緩慢增加拉力，平行部應變增加率需控制在 20~80%/min，直到試片斷裂。在此過程中可記錄拉力 F 與兩標點間之伸長量 ΔL 。隨後，可計算平均拉應力 $\sigma = F/A$ ，其中 A 為試驗原始截面積。平均應變可計算為 $\varepsilon = \Delta L/L$ ，其中 L 為原始試片長度標點距離。將此資料繪製於座標圖上，可繪描出該試片材料之應力應變曲線(stress-strain curve)。圖 5.3 為典型延性材料之應力-應變曲線圖，圖中曲線由 O 到 P 成一直線，在此範圍內應力與應變成正比，其比例常數 E 代表材料之楊氏模數(Young's modulus)， P 點之應力稱為比例限界(proportional limit)。至 Y 點時，應力幾乎不變，但應變卻明顯增加，此現象稱之為降伏(yielding)，而 Y 點與 Y 點的應力分別稱為降伏點(yielding point)與降伏應力(yielding stress)；到 H 點應力又隨著應變增加而增加，此現象稱之為應變硬化(strain hardening)；應力一直增加至 U 點，該點應力為試片材料所能達到之最大值，該應力稱為該材料之極限應力(ultimate stress)或極限強度(ultimate strength)。若超過 U 點後，應力開始下降，直到斷裂為止。

由試驗結果，可得知試片之伸長率約為 41.6%~42.6%，降伏強度(F_y)約為 269MPa~299 MPa，抗拉強度(F_u)約為 377MPa~384MPa，楊氏模數(E)可由應力應變圖之斜率求得，約為 188000 MPa~203000 MPa，拉伸試驗結果數據如表 5.3 所示，應力應變曲線如圖 5.4 所示。

數值模型建立步驟為先輸入材料性質，依據真實機櫃之構架尺寸、斷面形狀等依序建立，並輸入邊界條件，判別模型之主要頻率，最後輸入地震歷時並分析其動態特性。含質量塊之機櫃，外部框架建構完成在於機櫃後板進行質量加載，其位置採取真實機櫃質量塊擺放位置進行輸入。

本文試驗之電氣盤體材料使用 JIS G3131 SPHC(熱軋鋼)，單位重為

$7.0 \times 10^{-5} \text{N/mm}^3$ ，楊氏模數採用拉伸試驗平均值 $E=195260.94 \text{MPa}$ ，柏松比 (Poisson's Ratio) 為 0.3，降伏強度與極限強度均採用拉伸試驗所得之數據平均值，分別為 $F_y=283.19 \text{MPa}$ 及 $F_u=378.32 \text{MPa}$ 。試驗機櫃框架主要是由口型鋼、L 型鋼與薄面板組成，機櫃構架尺寸示意圖如圖 5.5 所示，口型鋼架分為兩種尺寸，主要口型鋼厚度為 2.01mm，寬為 30mm，高為 30mm，為機櫃主要之框架，次要口型鋼架厚度、寬度、高度分別為 2.01mm \times 80mm \times 20mm，位於機櫃外側背板之中間處；L 型鋼之厚度 2.01mm，寬為 20mm，高為 35mm，主要位於機櫃內部，其功能為固定內部間層之邊柱；薄面板型式為 Shell-Thin，主要板厚為 1.02mm，為機櫃外部面板厚度，次要板厚為 2.35mm，為機櫃內層板厚。

機櫃外部框架採用足尺模擬，依據試驗機櫃尺寸輸入，機櫃底部由 Hinge 模擬螺栓接合槽鋼處，分別設置於機櫃四個角落。機櫃構件連接處由現場調查可知，分為焊接、螺栓對接、門栓及抽屜卡榫、門板軸承鉸等方式，而除了焊接外，其他連接構件之力學方式，易受組裝施工水準、留設縫隙、現場人員操作狀態等因素影響；本文以簡化模擬程序，採用 Linear Link 元件模擬上述變異性高或具非線性特性之連接構件，如門板卡榫與門板旋轉處之軸承鉸，以及機櫃外部面板及櫃內面板邊界利用螺栓鎖固處，提供面板與門板之側向勁度與邊界條件，連接構件模擬之設定方式如表 5.4 所示，其中「※」代表勁度值為極大值，模擬此方向之自由度近似於固接 (fix)；「O」表示此方向自由度可任意移動；「A」代表含有一勁度值，由於此螺栓勁度因人為操作組裝因素影響，勁度值於數值模型中需加以調整。完成之框架模型如圖 5.6，加入外部面板之機櫃模型則如圖 5.7 所示。

5.3 數值模擬分析結果

數值模型完成時，為確認模型之準確性，觀察所建立之數值模型與試驗機櫃數據結果差異，以下均採用輸入地震波 IEEE693-0.25g 試驗所使用之紀錄，採用半功率法 (half-power method) 所求得之第一模態及第二模態之阻尼比，如表 3.3 所示，而空櫃高頻模態之阻尼比採用 0.1%，質量櫃阻尼比為 0.8%，並分別進行空櫃及質量櫃之加速度歷時、反應譜及放大因子與試

驗機櫃量測結果進行比對；依據試驗機櫃組別，共建置三種不同間層機櫃，尺寸為 600mm×3 層(Case 1)、450mm×4 層(Case 2)及 300mm×6 層(Case 3)三種規格機櫃，而 450mm×4 層(Case 2)機櫃及 300mm×6 層(Case 3)機櫃為內含抽屜型式，由實驗數據結果顯示，含抽屜型式之櫃內反應，均含有各別抽屜碰撞所產生不同之加速度反應，數值模擬部分目前無法準確模擬抽屜部分，故本文將不比對盤內部分，而比對點位採取櫃外 A1 組別作為代表；無抽屜型式之機櫃 600mm×3(Case 1)比對點位以 A1、A4、A6 組別作為代表。

本次數值模型頻率與實驗機櫃頻率比對結果如表 5.5 所示，由模態分析結果可知，如圖 5.8 所示，第一模態主要方向為機櫃水平 X 方向，第二模態為機櫃水平之 Y 方向，第三模態為機櫃扭轉反應，第四模態至第六模態為機櫃內板之個別運動，本模擬機櫃之頻率為採用空櫃與質量櫃區間之頻率內涵，並修正數值模型 linear link 參數值使其頻率值近似於實驗所量測到之頻率。

Case 1 數值模型與實驗之加速度反應比對結果如圖 5.9 至圖 5.14 所示，由加速度歷時波形可知，數值模型 X、Y 方向主要反應與實驗反應大致相近，但由於數值模型中無法準確模擬實驗中機櫃構件相互擠壓碰撞之反應，故歷時高頻部分之波形與峰值有些許差異；Z 方向比對方面由於機櫃垂直方向於實驗中並無顯著動力放大效應，與數值模型垂直方向設定相符，故能準確模擬出 Z 方向反應。圖 5.15 至圖 5.17 為 A1、A4、A6 組數之數值模型與實驗之反應譜比對，X 與 Y 方向之峰值皆相近於實驗峰值，但在 X 方向數值模型低估於實驗機櫃，Y 方向則為數值模型高估於實驗機櫃。圖 5.18 至圖 5.20 為數值模型與實驗機櫃之加速度放大因子比較圖，比較點位依序為 A1、A4、A6 之組別，X、Y、Z 方向放大因子頻率接近於實驗機櫃，其分析結果與試驗結果反應譜圖相近，X 及 Z 方向為數值模型低估實驗機櫃，Y 方向則為數值模型高估於實驗機櫃。

圖 5.21 至圖 5.28 為 Case 2 及 Case 3 之動力分析結果，與 Case 1 比較動力反應相比，Case 2、Case 3 模擬之動力反應較不符合試驗結果。由於 Case 2 與 Case 3 為含抽屜組別，數值模型難以模擬抽屜於強震中滑動及與

其他構件碰撞反應，故分析結果差異性較無抽屜組別高。

5.4 小結

電氣盤體構件連結部分非完全固接，易受施工品質與使用狀態影響，導致電氣盤體動力特性具高度不確定性。NUREG CR-5203 報告【2】中曾提及盤體自然頻率於強震中並非定值現象，本論文於實驗中發現，空櫃自然頻率不僅受到輸入波種類影響，亦受到地震力大小之影響，例如：機櫃之自然頻率隨輸入波強度增加而頻率下降，主要原因為強度越高之輸入波較能激發構件間相互碰撞擠壓等消散能量，並提供盤內結構較高之阻尼比，使盤體頻率產生略微降低之現象，如表 5.6 所示；當機櫃內部質量增加(質量櫃)，其頻率均比空櫃反應小。

本文以地震力 IEEE693-0.25g 試驗之機櫃真實受震反應作為比對，Case 1 (600mm)機櫃外部以頂部 A1 點作為代表，盤內以 A4 及 A6 點作為代表。由反應譜可得知機櫃盤內較低點位 A4 高頻部分反應較機櫃盤內高點為 A6 顯著，主要由內板之獨立運動所造成，其模擬動力反應與試驗結果相似；Case 2 與 Case 3 為含抽屜組別之機櫃，其構件碰撞反應，現階段數值模型仍無法準確模擬。

表 5.1 拉伸試驗片設計尺寸規格

單位：mm

寬度 W	標點距離 L	平行部長度 P	肩部半徑 R	厚度 T	夾持端寬度 B
25	50	60	20	2	33

表 5.2 拉伸試驗片資料

單位：mm

試片編號	平行部厚度	平行部寬度	標點原始距離
試片一 (Test 1)	2.00	25.16	50.40
試片二 (Test 2)	2.01	25.16	49.84
試片三 (Test 3)	2.01	25.18	50.16

表 5.3 拉伸試驗結果數據

試片編號	伸長率(%)	楊氏模數 E (MPa)	降伏強度 F_y (MPa)	抗拉強度 F_u (MPa)
試片一 (Test 1)	42.6	299.64	384.45	203340.08
試片二 (Test 2)	41.6	269.05	377.68	194259.91
試片三 (Test 3)	42.3	269.81	376.03	188182.83

表 5.4 機櫃連接構件設定方式

自由度 連接構件名稱	U1	U2	U3	R1	R2	R3
門板卡榫(K1)	A	A	※	※	※	※
門板旋轉處(K2)	A	A	※	※	※	O
機櫃外底部面板(K3)	A	A	※	※	※	※
機櫃外背部中間面板(K4-B)	A	A	※	※	※	※
機櫃左外部中間面板(K4-L)	A	A	※	※	※	※
機櫃右外部中間面板(K4-R)	A	A	※	※	※	※
機櫃外頂部面板(K5)	A	A	※	※	※	※

表 5.5 數值模型頻率與模態參與質量比

Modal Participating Mass Ratios (Case 1)						
Units		Frequency (Experiment)	Frequency (Numerical)	UX	UY	RZ
		Hz	Hz	%	%	%
bare	Mode 1	10.16	9.81	94	1.69	24
	Mode 2	13.48	11.39	1.60	92	28
	Mode 3		15.73	0.39	0.61	44
	Mode 4		43.18	0.00	0.47	0.11
	Mode 5		43.47	0.00	0.00	0.00
	Mode 6		44.04	0.00	0.03	0.00
mass	Mode 1	9.53	9.78	93	1.65	24
	Mode 2	10.08	11.36	1.56	92	28
	Mode 3		15.73	0.38	0.59	44
	Mode 4		31.36	0.00	0.00	0.14
	Mode 5		31.54	0.00	0.00	0.00
	Mode 6		31.97	0.00	0.05	0.01
Modal Participating Mass Ratios (Case 2)						
Units		Frequency (Experiment)	Frequency (Numerical)	UX	UY	RZ
		Hz	Hz	%	%	%
bare	Mode 1	11.49	10.18	94	0.11	19
	Mode 2	17.38	16.24	0.09	92	31
mass	Mode 1	8.89	10.13	94	0.10	19
	Mode 2	15.13	16.17	0.09	92	31
Modal Participating Mass Ratios (Case 3)						
Units		Frequency (Experiment)	Frequency (Numerical)	UX	UY	RZ
		Hz	Hz	%	%	%
bare	Mode 1	9.92	9.36	94	0.36	27
	Mode 2	8.11	7.73	0.38	94	23
mass	Mode 1	9.07	9.32	93	0.35	27
	Mode 2	7.48	7.69	0.36	93	23

表 5.6 機櫃自然頻率實驗值

Transfer Function frequency (Case 1)							
Units		White noise (Hz)	IEEE693			OBE	
			0.25g	0.375g	0.5g	50%	100%
bare	X-dir.	12.70	10.74	10.16	10.16	12.3	11.52
	Y-dir.	15.82	13.67	13.48	13.48	14.06	13.48
mass	X-dir.	11.91	10.16	9.96	8.98	12.30	9.18
	Y-dir.	14.26	10.35	10.35	8.40	10.74	9.18
Transfer Function frequency (Case 2)							
Units		White noise (Hz)	IEEE693			OBE	
			0.25g	0.375g	0.5g	50%	100%
bare	X-dir.	13.28	12.11	11.72	10.74	12.30	11.52
	Y-dir.	18.75	17.77	17.77	16.60	17.38	17.38
mass	X-dir.	12.11	10.74	6.84	6.84	11.52	6.64
	Y-dir.	14.65	17.97	17.58	15.82	17.38	14.26
Transfer Function frequency (Case 3)							
Units		White noise (Hz)	IEEE693			OBE	
			0.25g	0.375g	0.5g	50%	100%
bare	X-dir.	12.50	10.94	11.72	6.84	12.50	8.01
	Y-dir.	15.04	10.35	10.35	10.35	10.74	7.23
mass	X-dir.	10.74	7.42	6.84	6.84	8.98	8.01
	Y-dir.	10.74	7.81	7.81	7.81	7.23	7.23

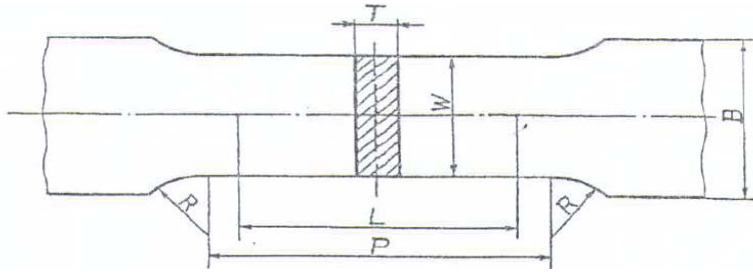
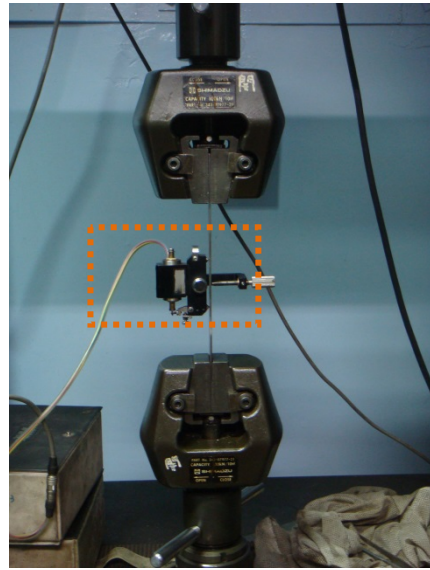


圖 5.1 拉伸試驗片形狀



(a) 10 噸萬能試驗機



(b) 彈簧式位移計

圖 5.2 拉伸試驗設備

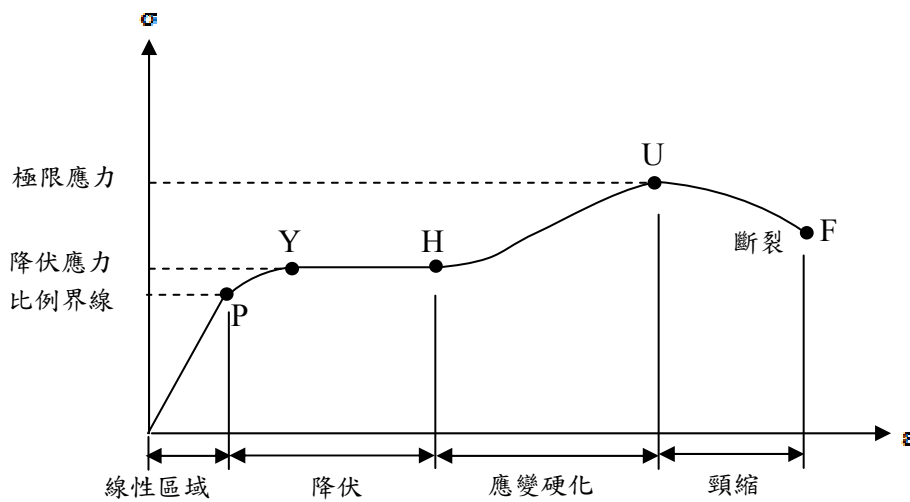


圖 5.3 延性材料應力-應變圖

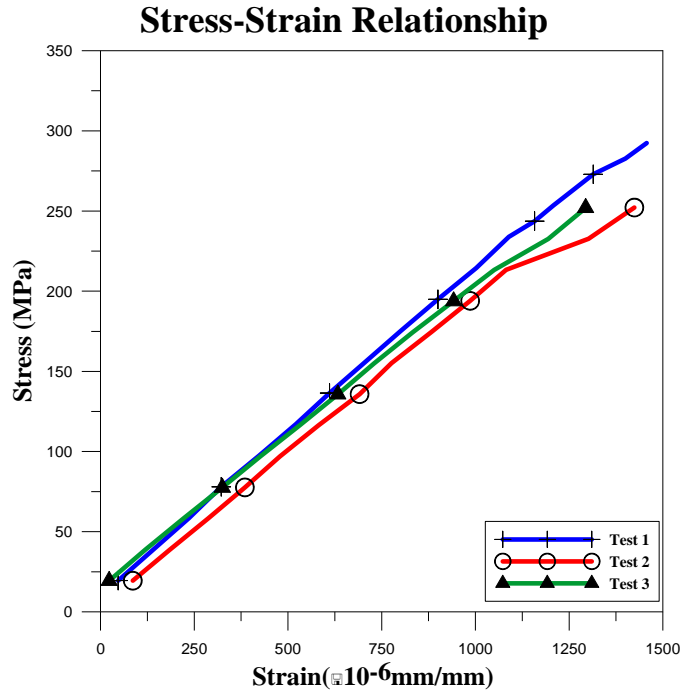


圖 5.4 試驗片之應力-應變曲線圖

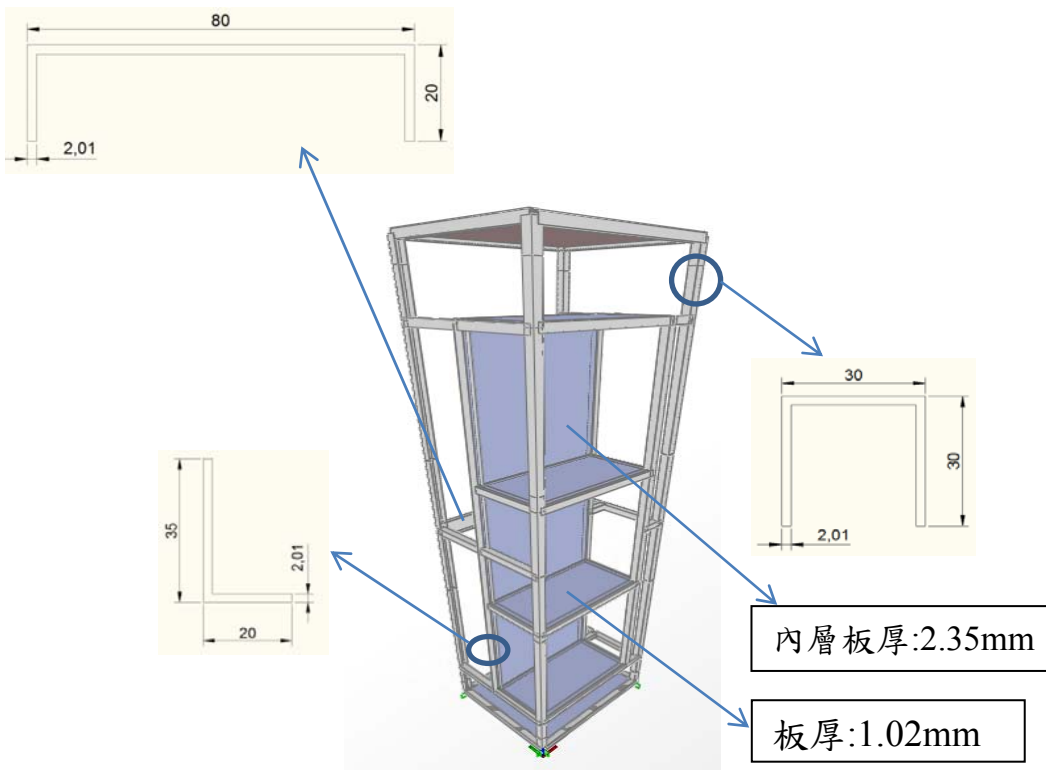
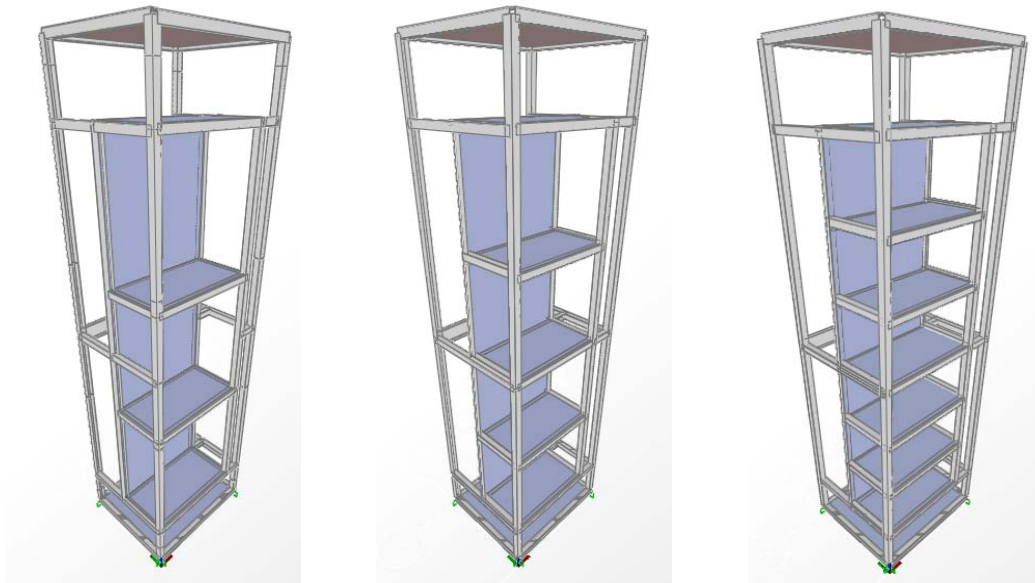


圖 5.5 數值模型構件資料

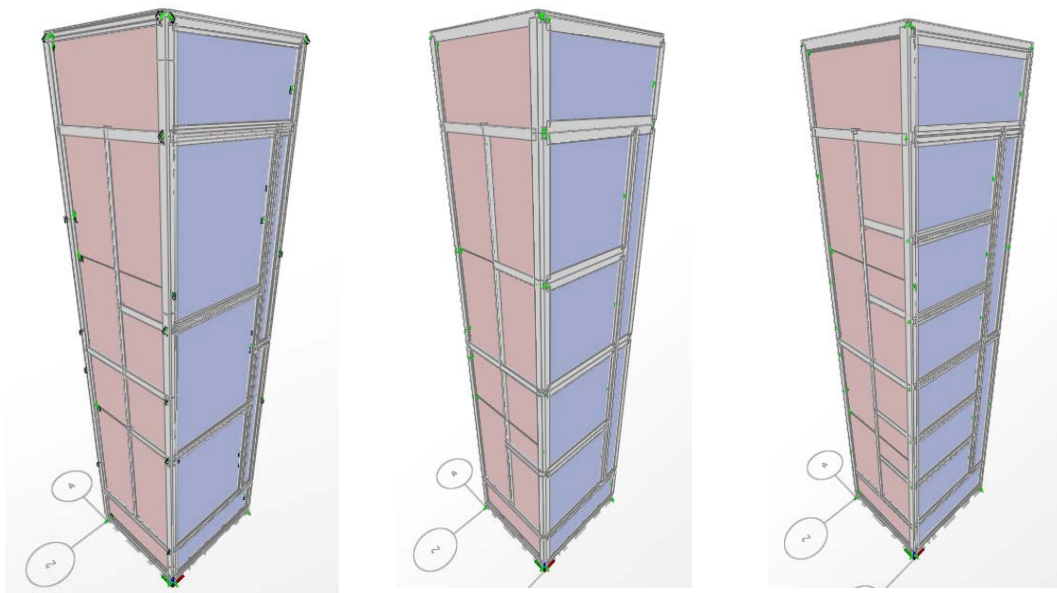


(a) Case 1 (600mm)

(b) Case 2 (450mm)

(c) Case 3 (300mm)

圖 5.6 數值模型外觀(框架)

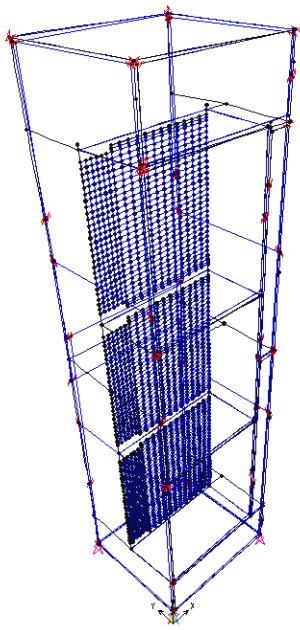


(a) Case 1 (600mm)

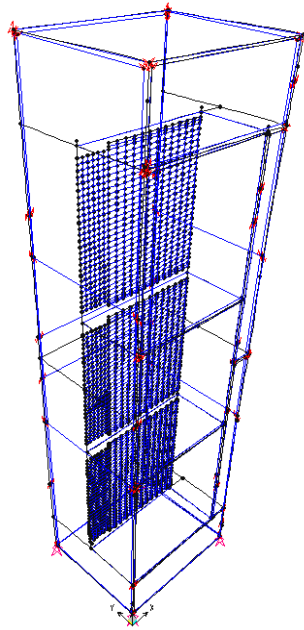
(b) Case 2 (450mm)

(c) Case 3 (300mm)

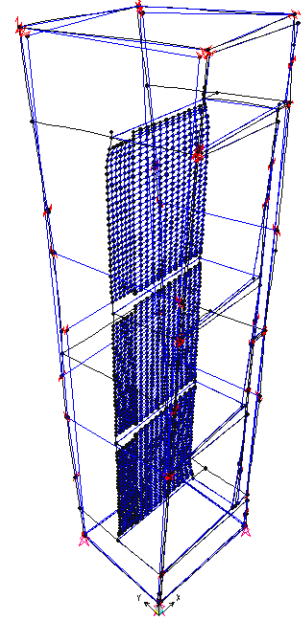
圖 5.7 數值模型外觀(含面板)



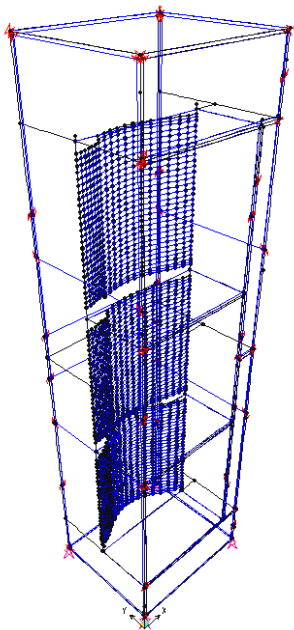
(a) First mode



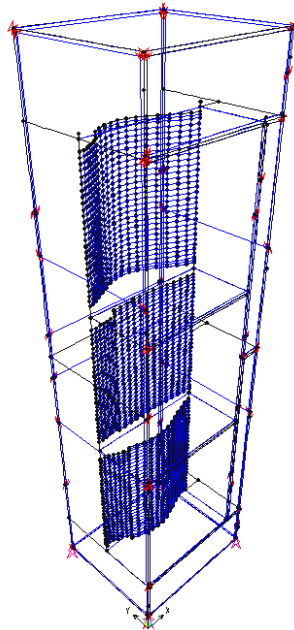
(b) Second mode



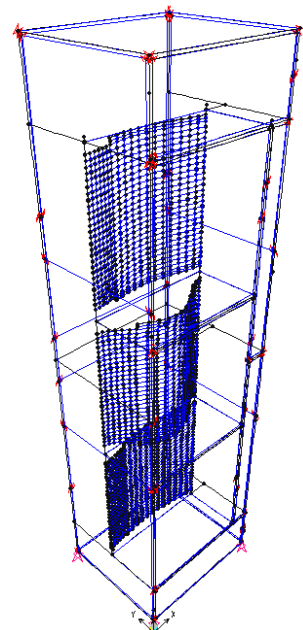
(c) Third mode



(e) Fourth mode

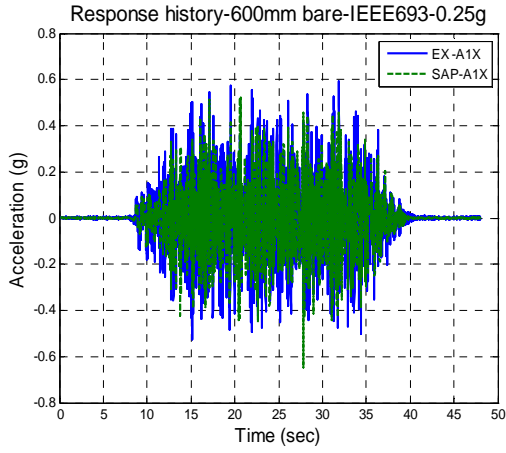


(f) fifth mode

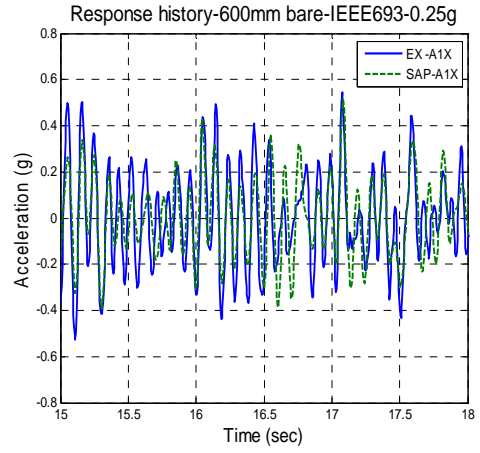


(g) sixth mode

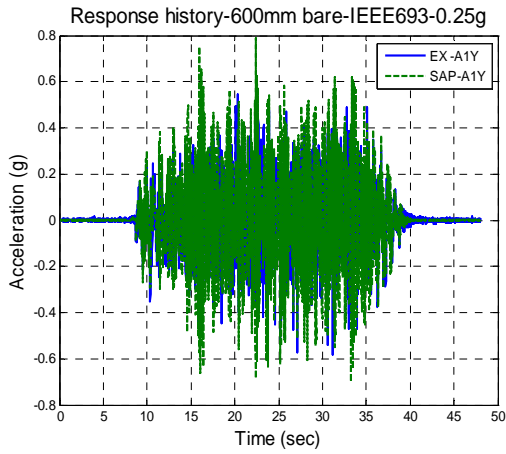
圖 5.8 數值模型之模態形狀



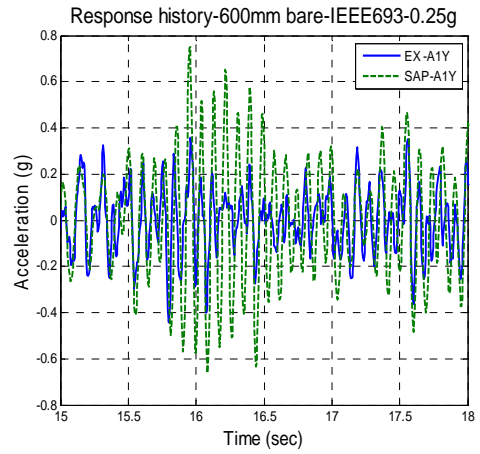
(a) A1X 加速度歷時圖比較



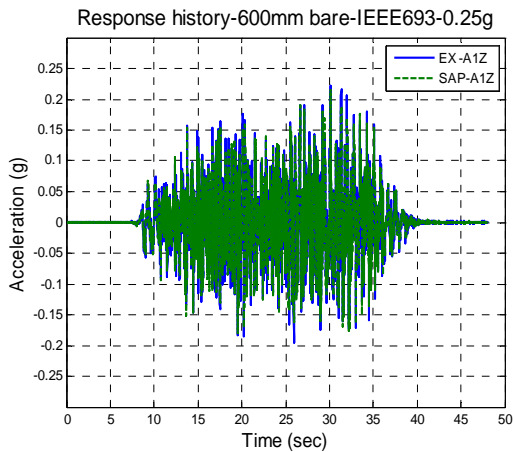
(b) A1X 加速度歷時放大圖比較



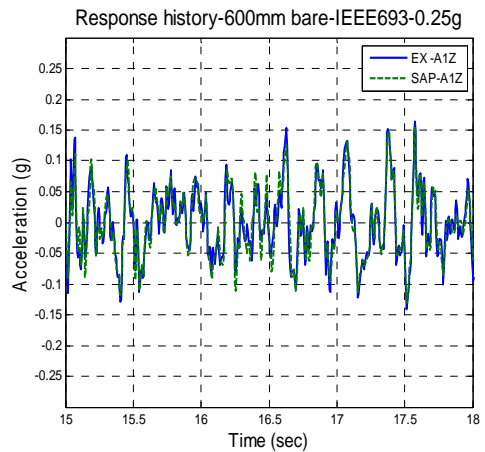
(c) A1Y 加速度歷時圖



(d) A1Y 加速度歷時放大圖比較

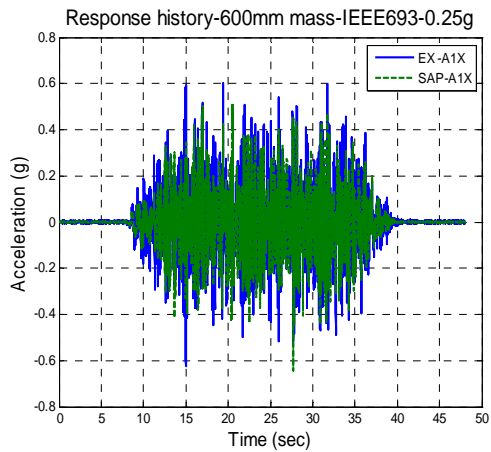


(e) A1Z 加速度歷時圖

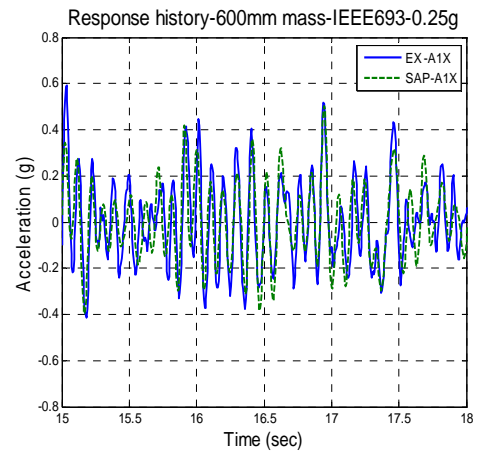


(f) A1Z 加速度歷時放大圖比較

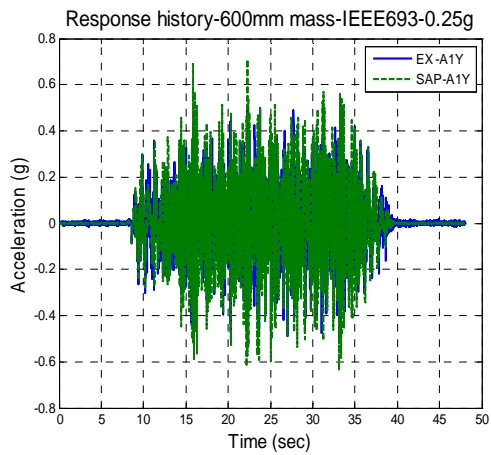
圖 5.9 Case 1 (600mm) A1 空櫃之加速度歷時比較



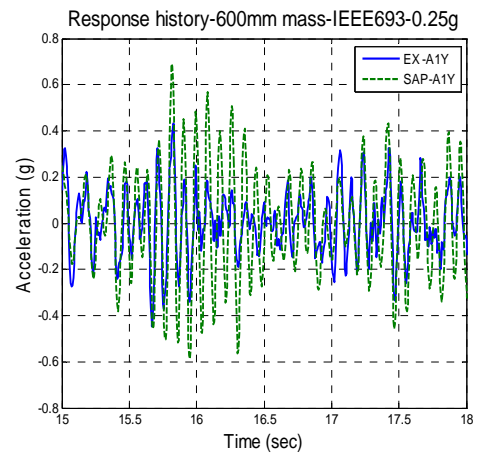
(a) A1X 加速度歷時圖比較



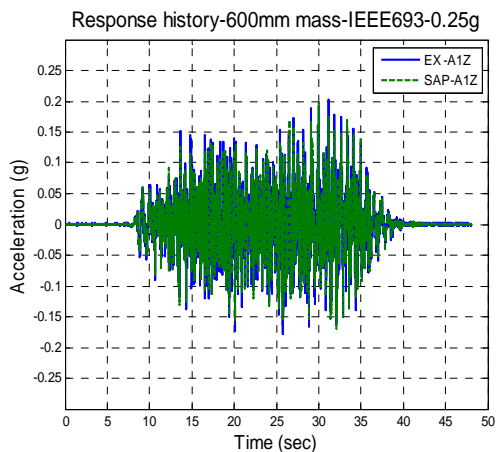
(b) A1X 加速度歷時放大圖比較



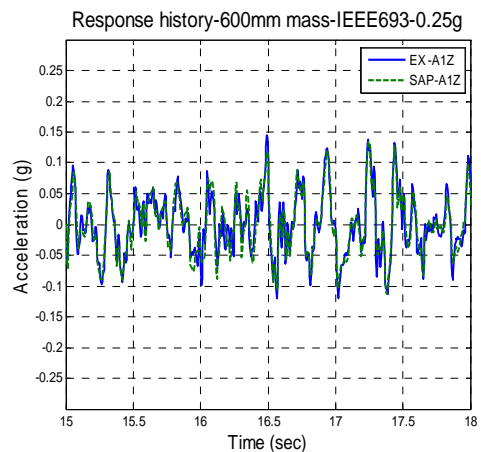
(c) A1Y 加速度歷時圖



(d) A1Y 加速度歷時放大圖比較

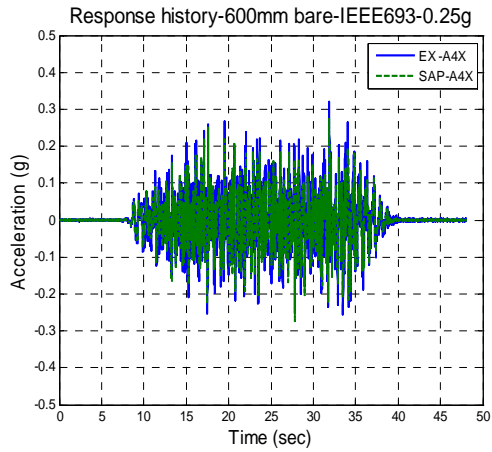


(e) A1Z 加速度歷時圖

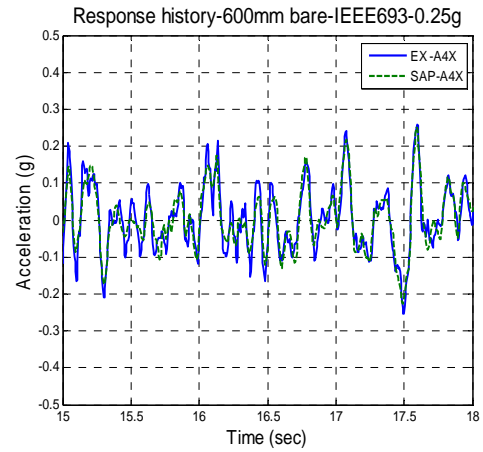


(f) A1Z 加速度歷時放大圖比較

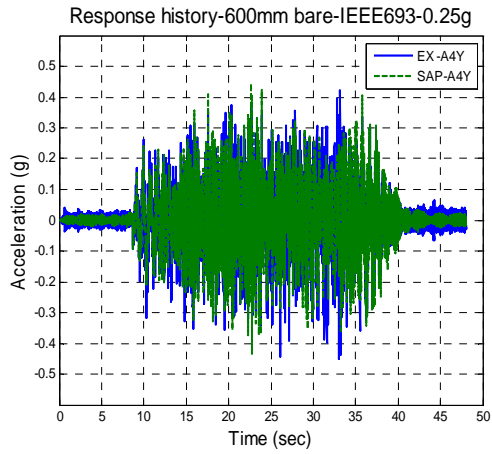
圖 5.10 Case 1 (600mm) A1 質量櫃之加速度歷時比較



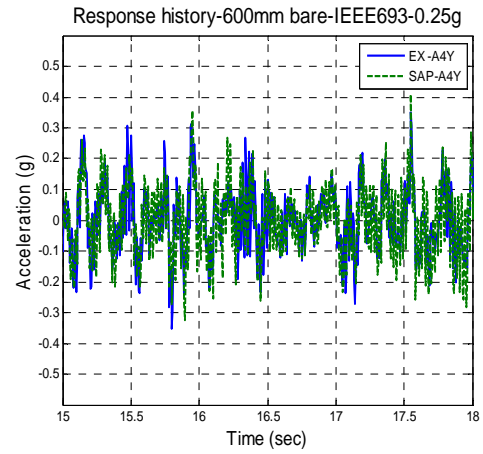
(a) A4X 加速度歷時圖比較



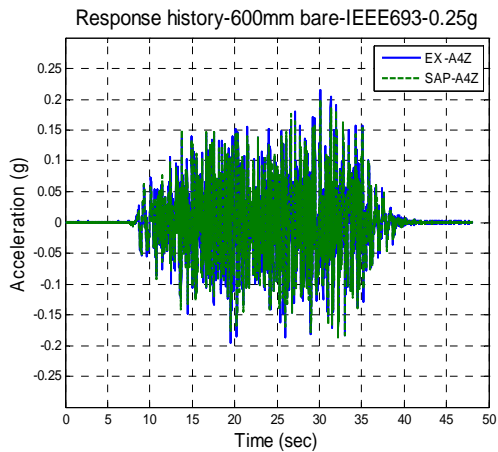
(b) A4X 加速度歷時放大圖比較



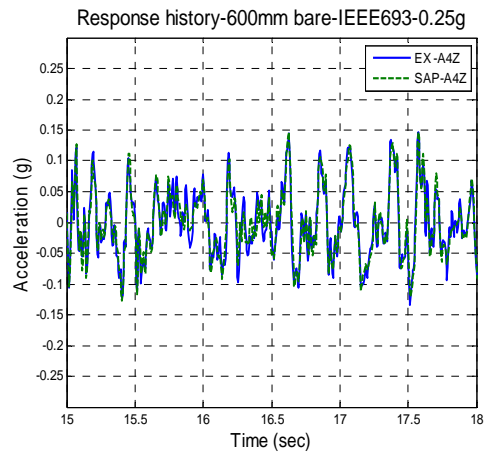
(c) A4Y 加速度歷時圖



(d) A4Y 加速度歷時放大圖比較

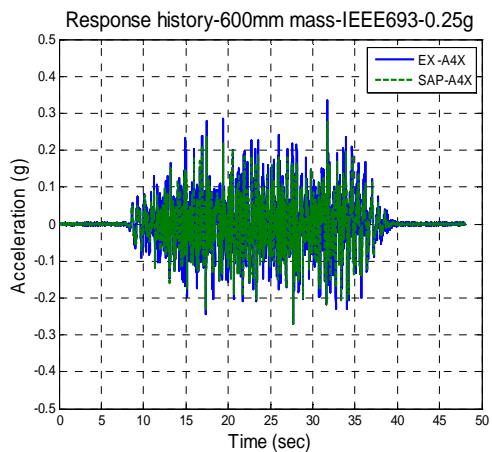


(e) A4Z 加速度歷時圖

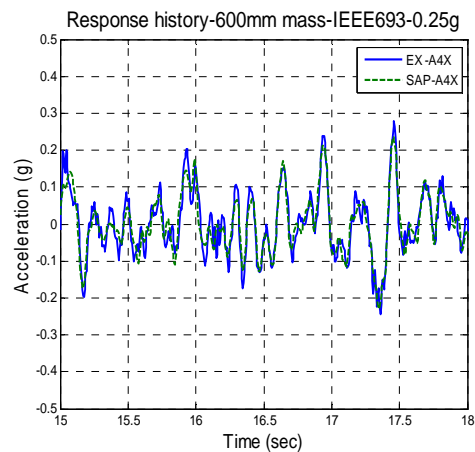


(f) A4Z 加速度歷時放大圖比較

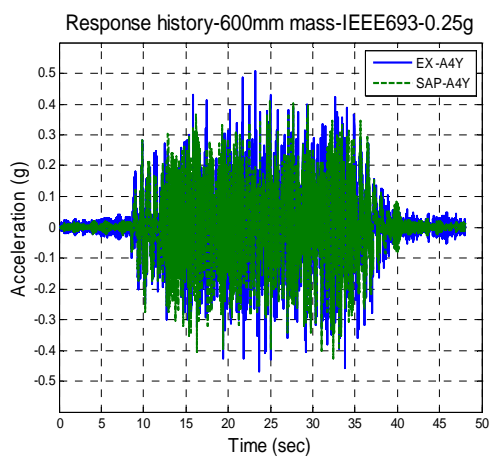
圖 5.11 Case 1 (600mm) A4 空櫃之加速度歷時比較



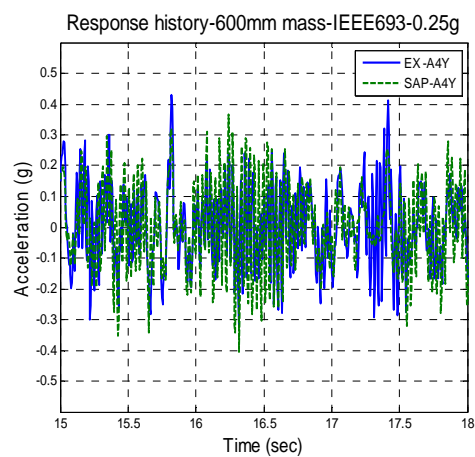
(a) A4X 加速度歷時圖比較



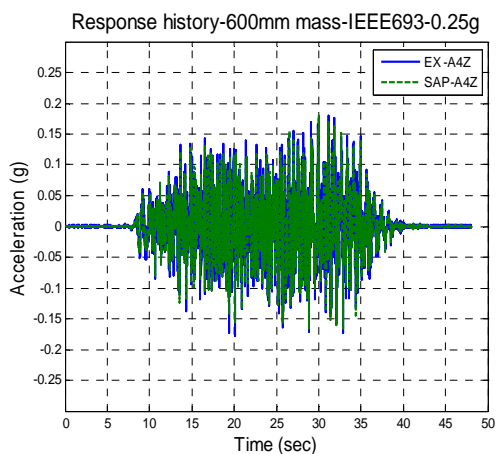
(b) A4X 加速度歷時放大圖比較



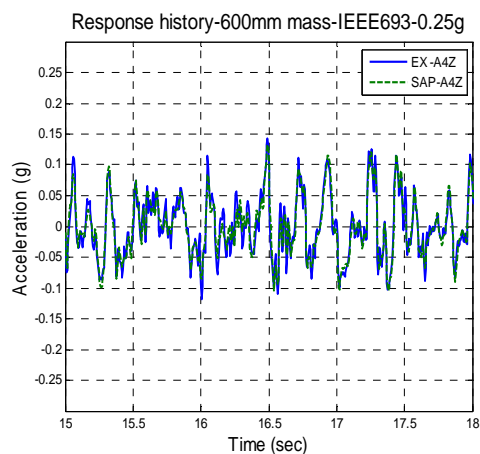
(c) A4Y 加速度歷時圖



(d) A4Y 加速度歷時放大圖比較

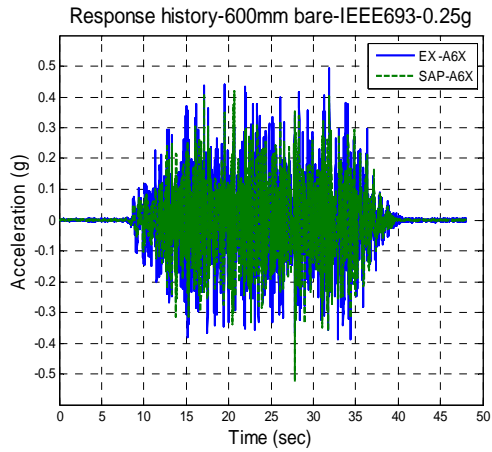


(e) A4Z 加速度歷時圖

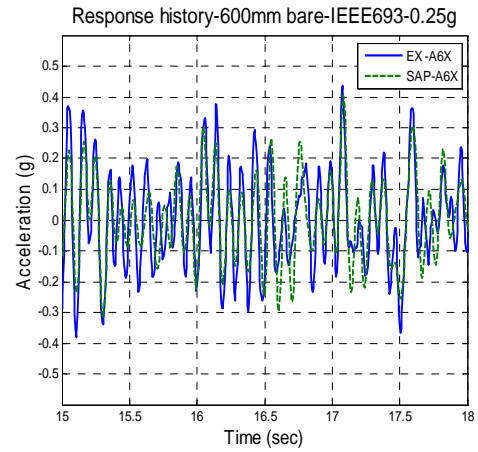


(f) A4Z 加速度歷時放大圖比較

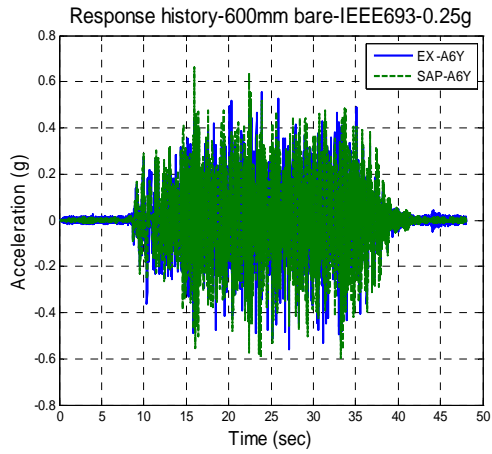
圖 5.12 Case 1 (600mm) A4 質量櫃之加速度歷時比較



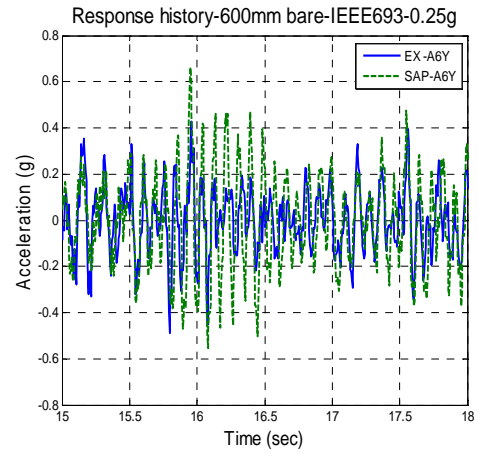
(a) A6X 加速度歷時圖比較



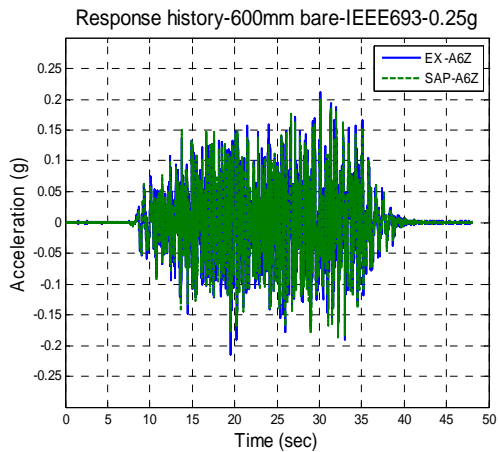
(b) A6X 加速度歷時放大圖比較



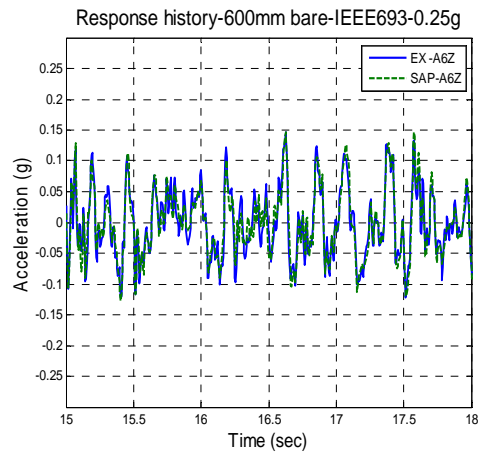
(c) A6Y 加速度歷時圖



(d) A6Y 加速度歷時放大圖比較

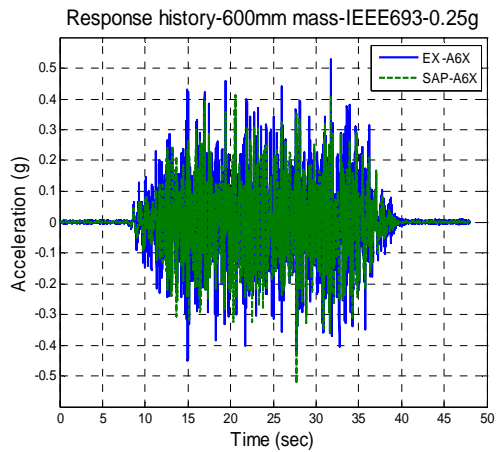


(e) A6Z 加速度歷時圖

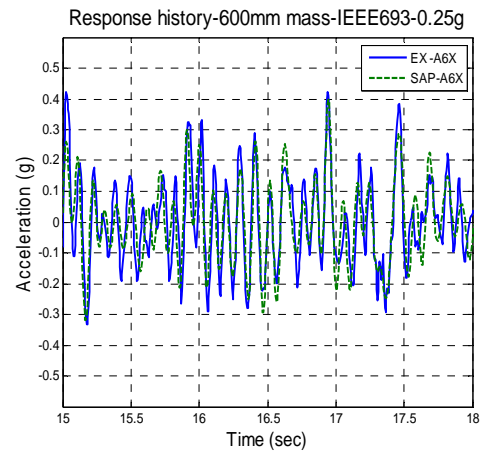


(f) A6Z 加速度歷時放大圖比較

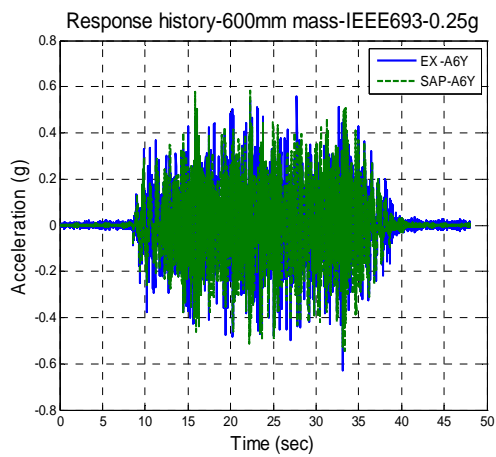
圖 5.13 Case 1 (600mm) A6 空櫃之加速度歷時比較



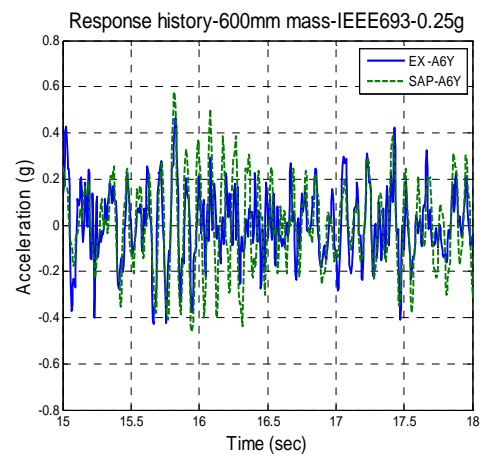
(a) A6X 加速度歷時圖比較



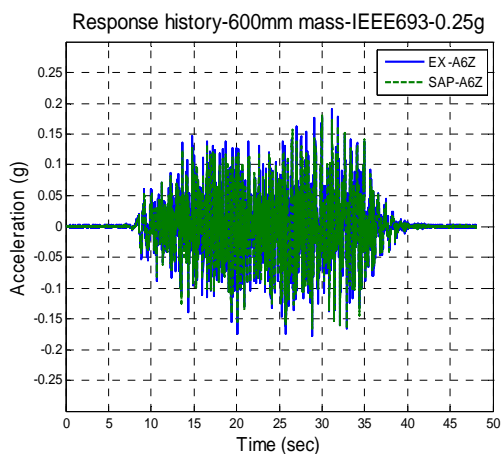
(b) A6X 加速度歷時放大圖比較



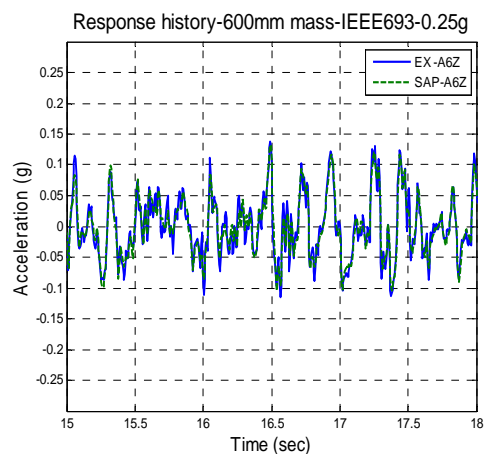
(c) A6Y 加速度歷時圖



(d) A6Y 加速度歷時放大圖比較

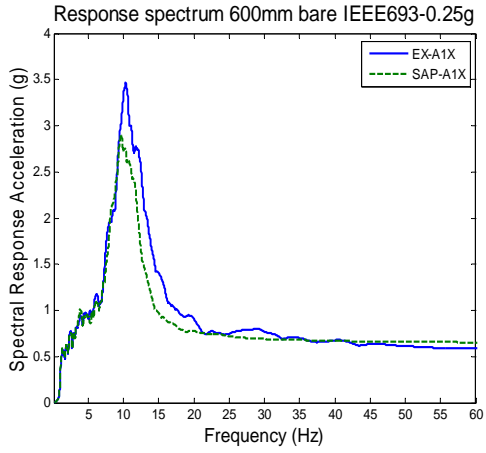


(e) A6Z 加速度歷時圖

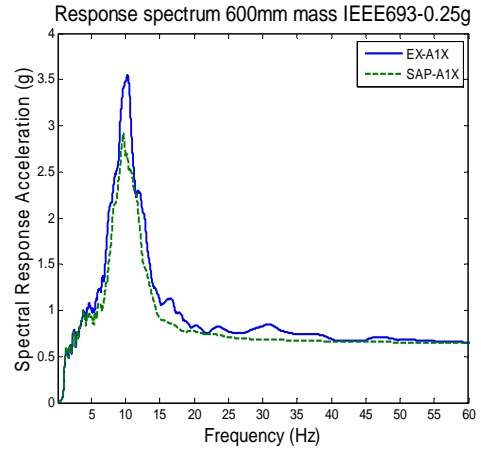


(f) A6Z 加速度歷時放大圖比較

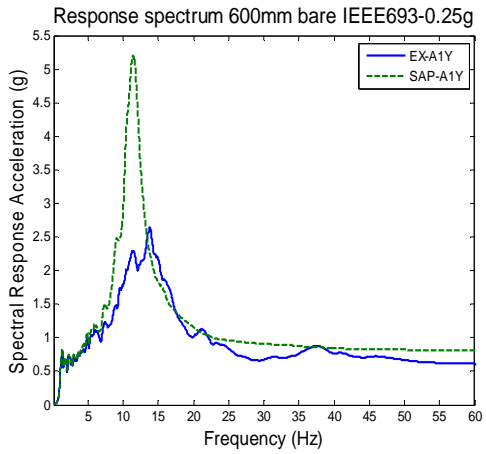
圖 5.14 Case 1 (600mm) A6 質量櫃之加速度歷時比較



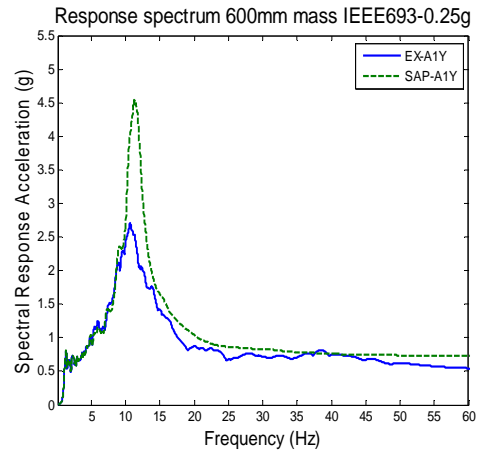
(a) Case 1 A1X 空櫃反應譜



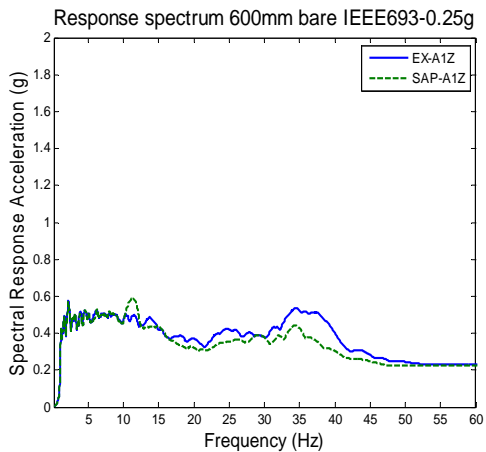
(b) Case 1 A1X 質量櫃反應譜



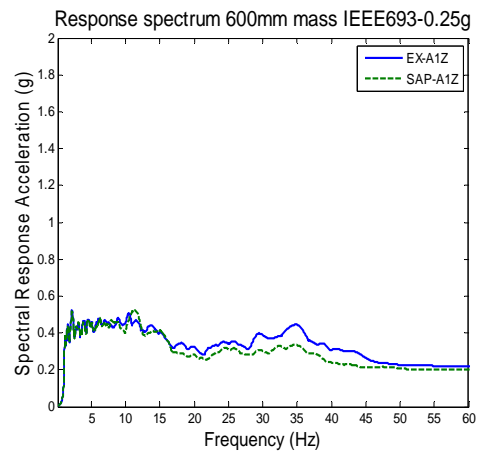
(c) Case 1 A1Y 空櫃反應譜



(d) Case 1 A1Y 質量櫃反應譜

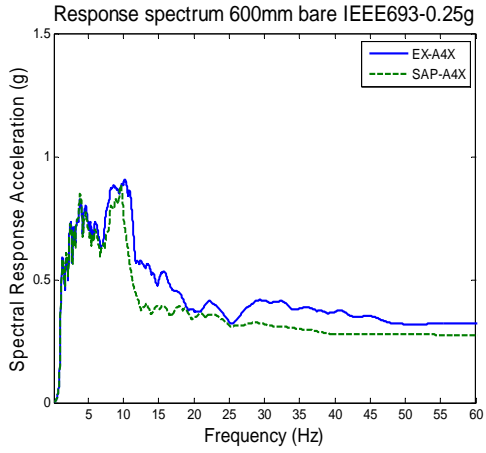


(e) Case 1 A1Z 空櫃反應譜

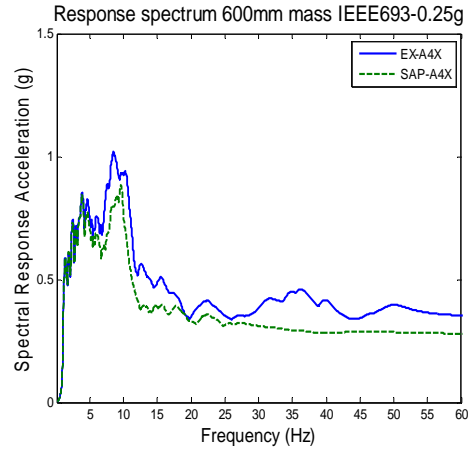


(f) Case 1 A1Z 質量櫃反應譜

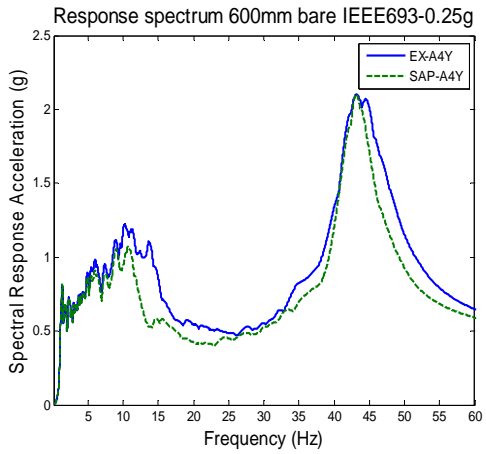
圖 5.15 Case 1 (600mm)A1 空櫃與質量櫃之反應譜比較



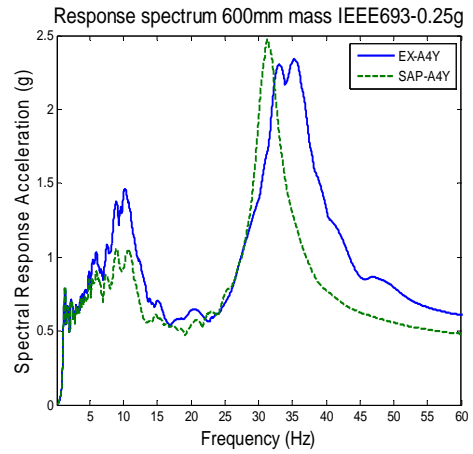
(a) Case 1 A4X 空櫃反應譜



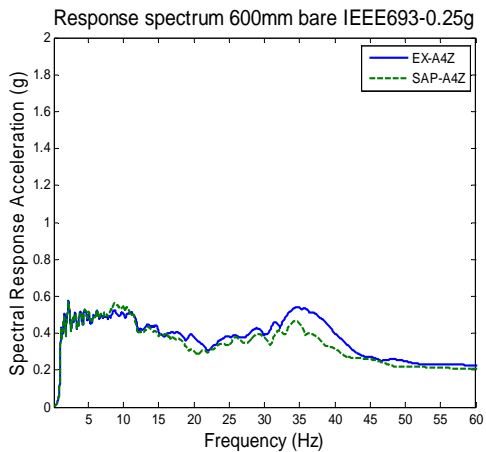
(b) Case 1 A4X 質量櫃反應譜



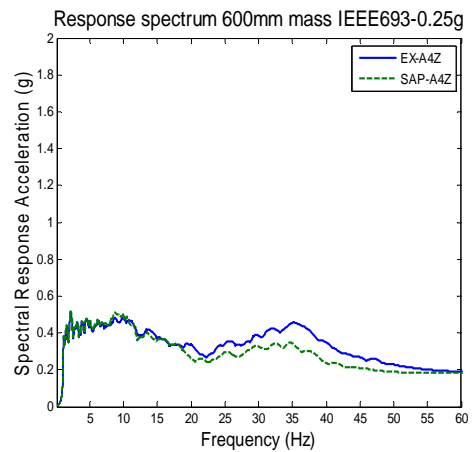
(c) Case 1 A4Y 空櫃反應譜



(d) Case 1 A4Y 質量櫃反應譜

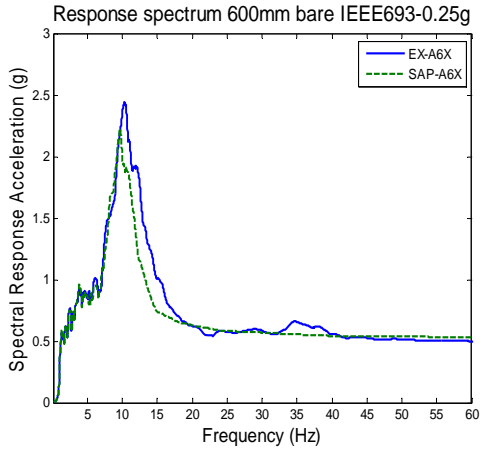


(e) Case 1 A4Z 空櫃反應譜

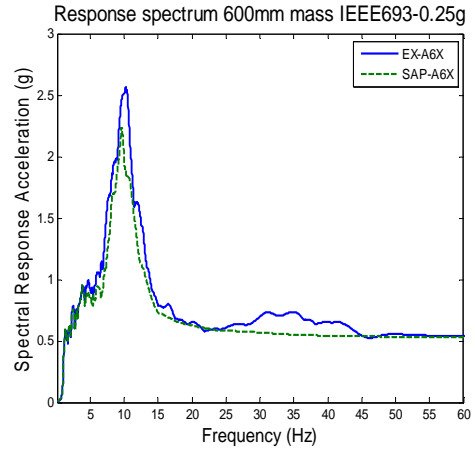


(f) Case 1 A4Z 質量櫃反應譜

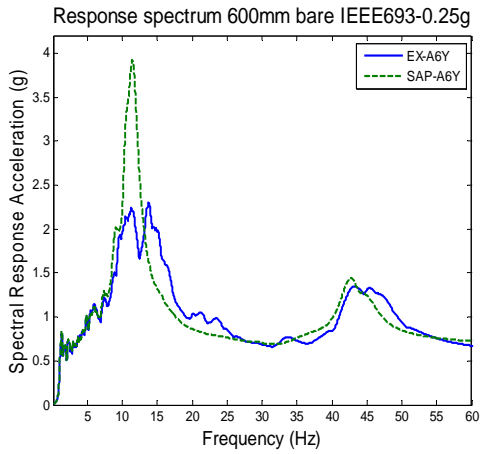
圖 5.16 Case 1 (600mm) A4 空櫃與質量櫃之反應譜比較



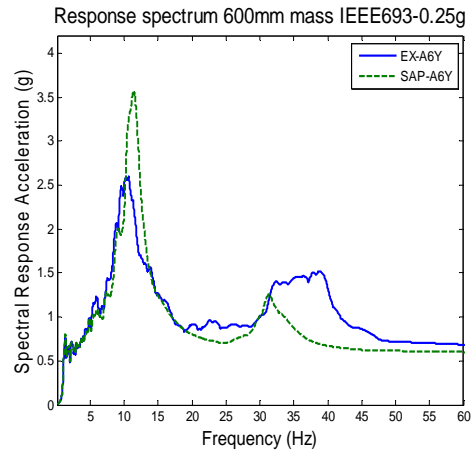
(a) Case 1 A6X 空櫃反應譜



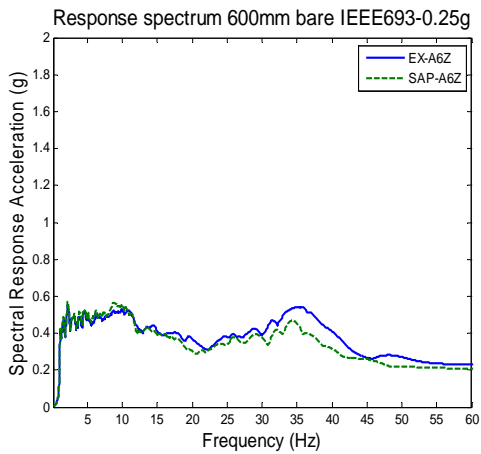
(b) Case 1 A6X 質量櫃反應譜



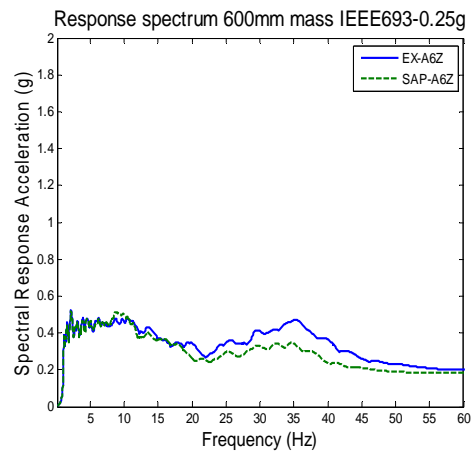
(c) Case 1 A6Y 空櫃反應譜



(d) Case 1 A6Y 質量櫃反應譜

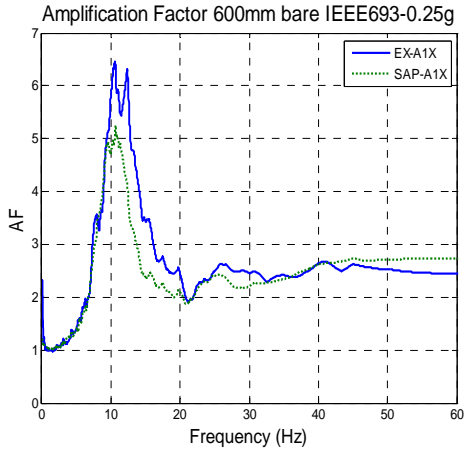


(e) Case 1 A6Z 空櫃反應譜

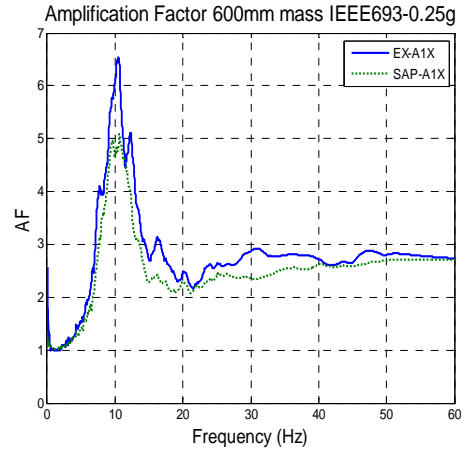


(f) Case 1 A6Z 質量櫃反應譜

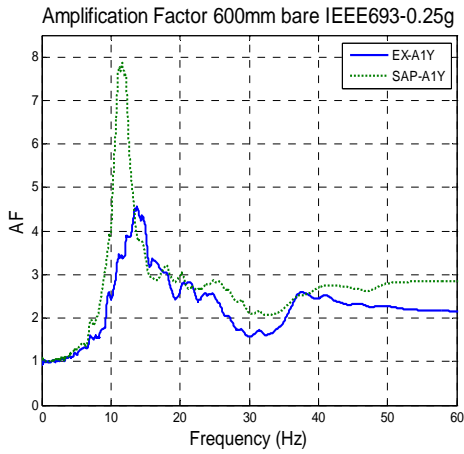
圖 5.17 Case 1 (600mm_A6 空櫃與質量櫃之反應譜比較



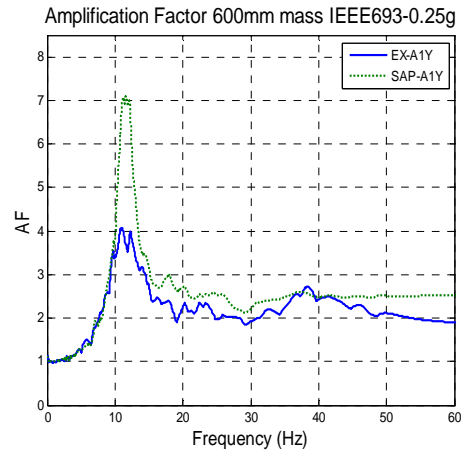
(a) Case 1 A1X 空櫃放大因子



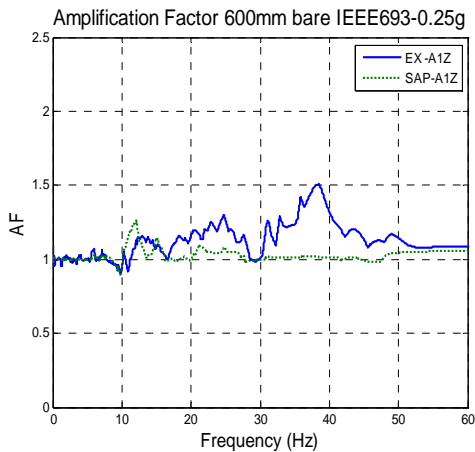
(b) Case 1 A1X 質量櫃放大因子



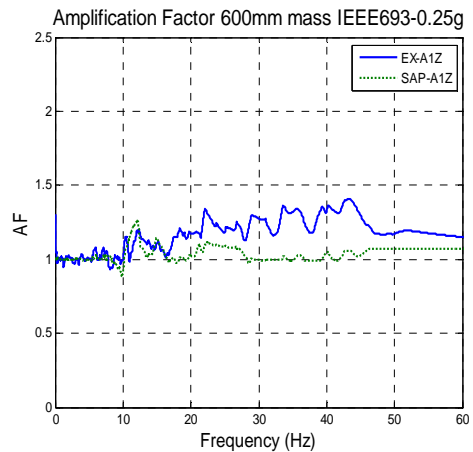
(c) Case 1 A1Y 空櫃放大因子



(d) Case 1 A1Y 質量櫃放大因子

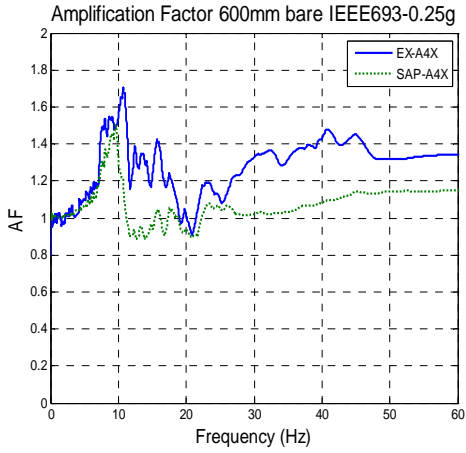


(e) Case 1 A1Z 空櫃放大因子

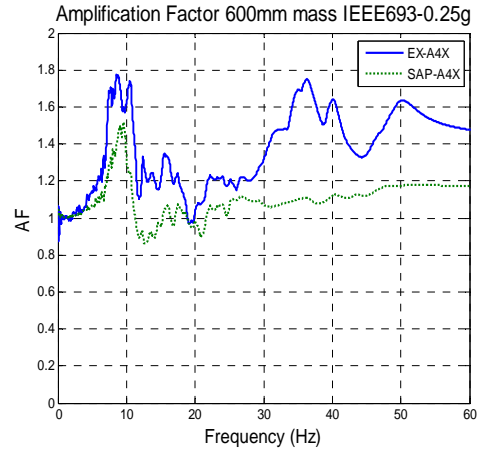


(f) Case 1 A1Z 質量櫃放大因子

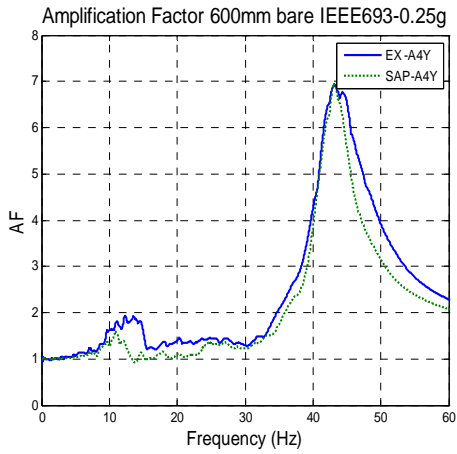
圖 5.18 Case 1 (600mm) A1 空櫃與質量櫃之放大因子比較



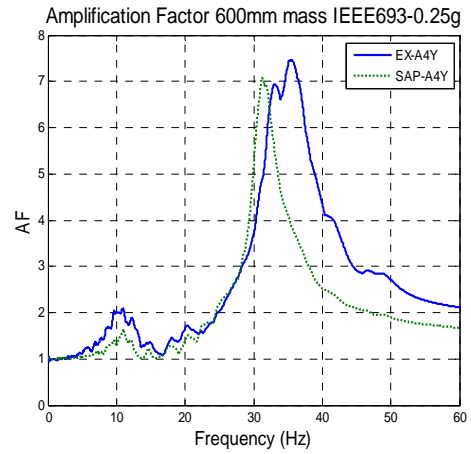
(a) Case 1 A4X 空櫃放大因子



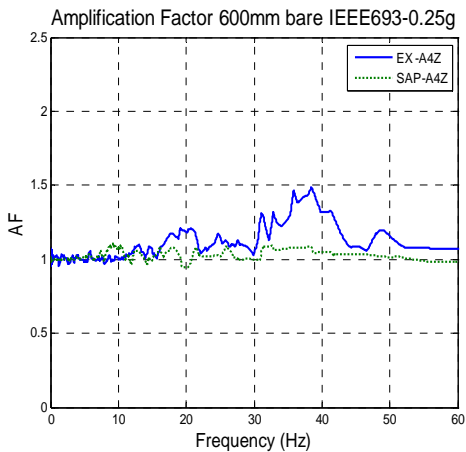
(b) Case 1 A4X 質量櫃放大因子



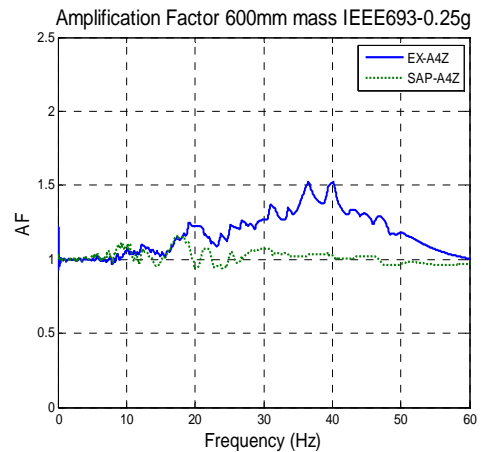
(c) Case 1 A4Y 空櫃放大因子



(d) Case 1 A4Y 質量櫃放大因子

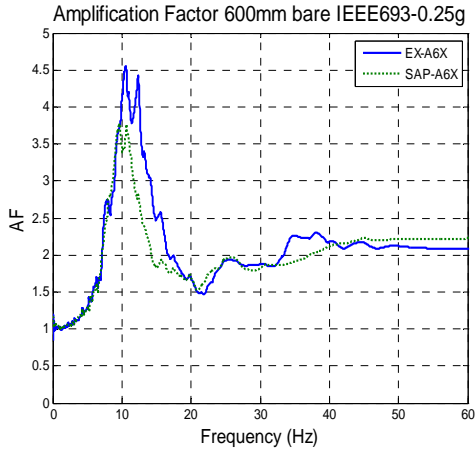


(e) Case 1 A4Z 空櫃放大因子

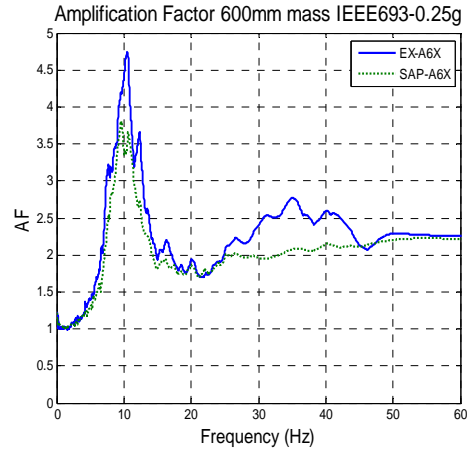


(f) Case 1 A4Z 質量櫃放大因子

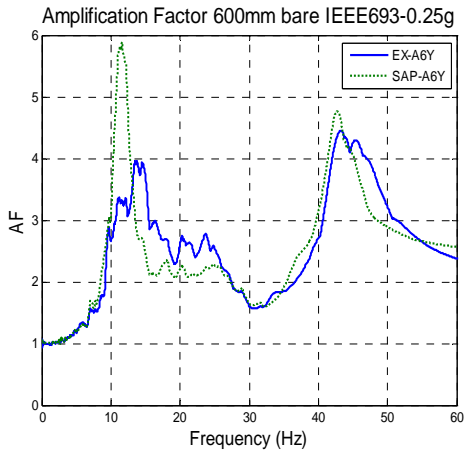
圖 5.19 Case 1 (600mm) A4 空櫃與質量櫃之放大因子比較



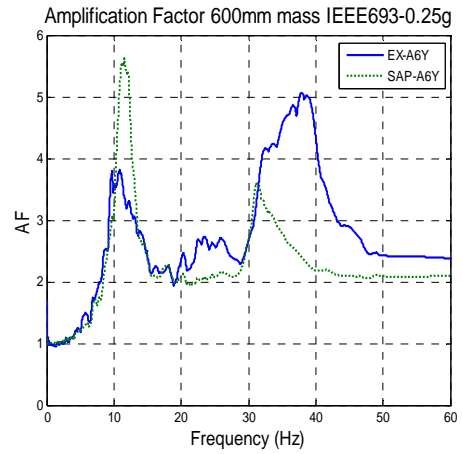
(a) Case 1 A6X 空櫃放大因子



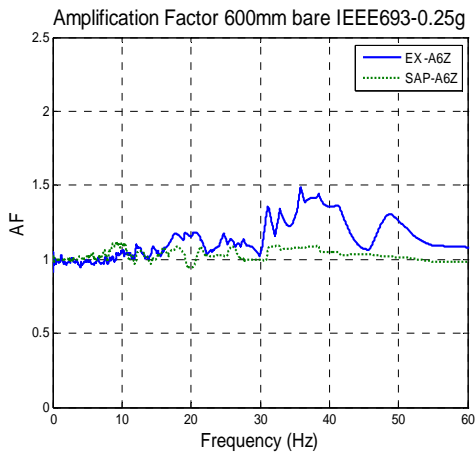
(b) Case 1 A6X 質量櫃放大因子



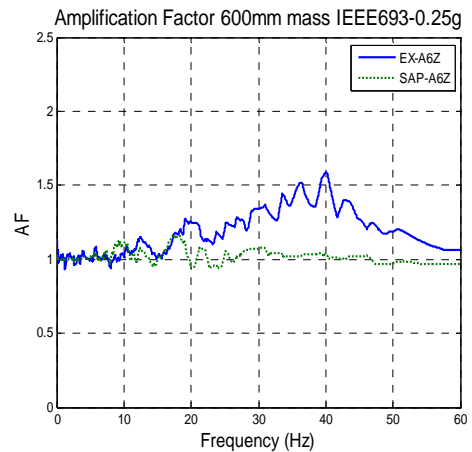
(c) Case 1 A6Y 空櫃放大因子



(d) Case 1 A6Y 質量櫃放大因子

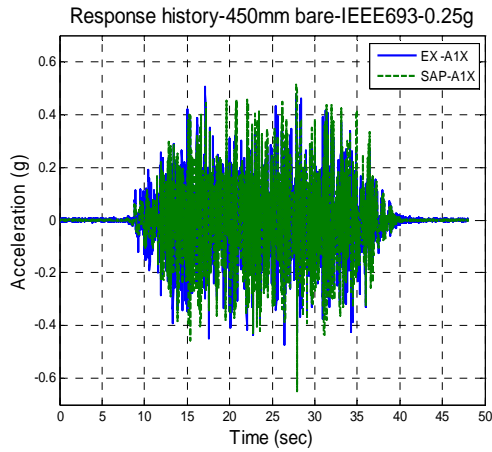


(e) Case 1 A6Z 空櫃放大因子

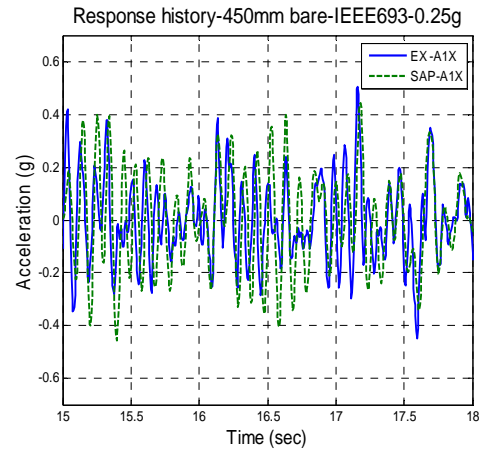


(f) Case 1 A6Z 質量櫃放大因子

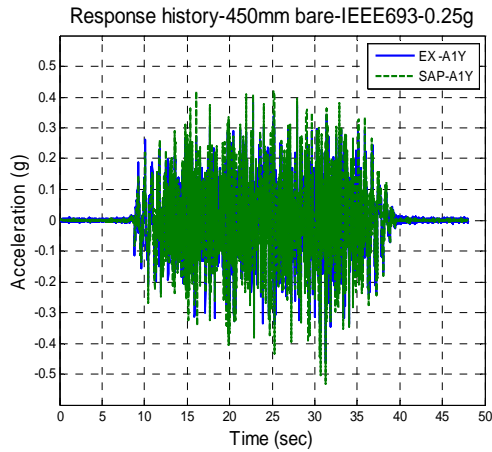
圖 5.20 Case 1 (600mm) A6 空櫃與質量櫃之放大因子比較



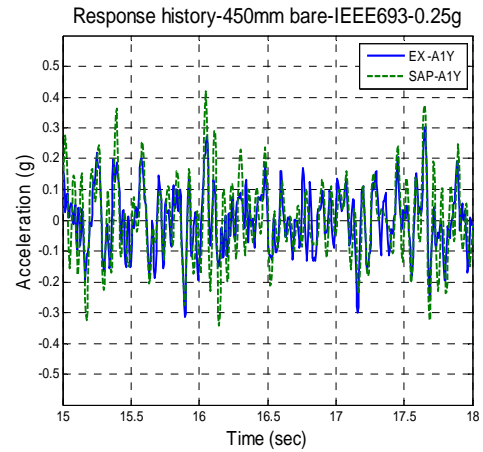
(a) A1X 加速度歷時圖比較



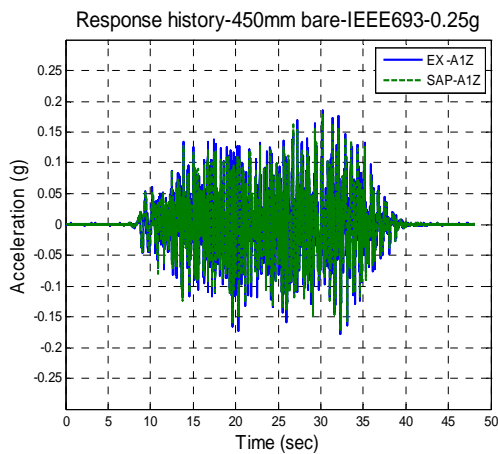
(b) A1X 加速度歷時放大圖比較



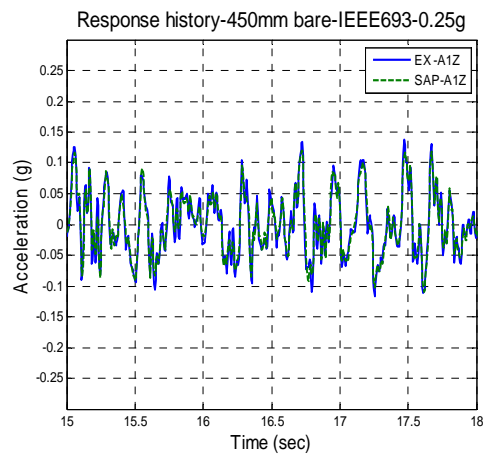
(c) A1Y 加速度歷時圖



(d) A1Y 加速度歷時放大圖比較

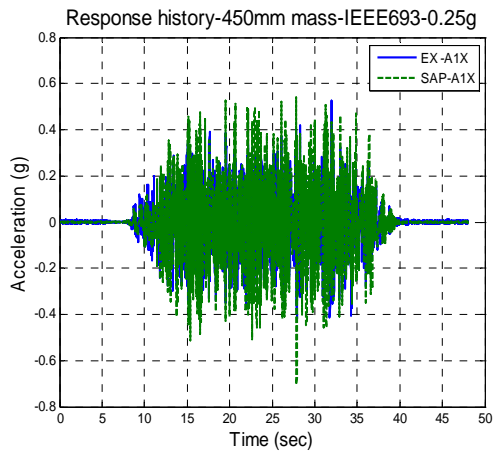


(e) A1Z 加速度歷時圖

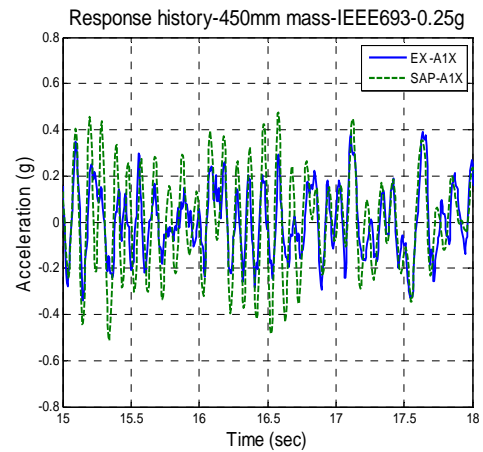


(f) A1Z 加速度歷時放大圖比較

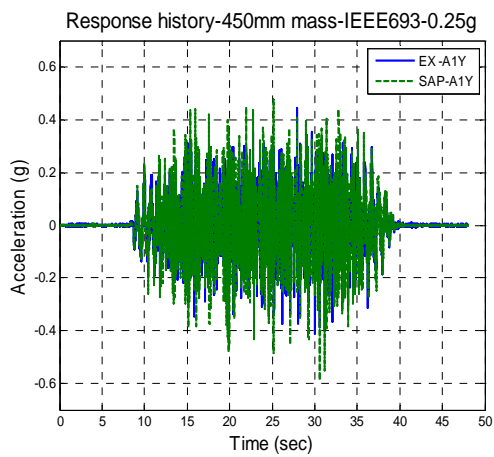
圖 5.21 Case 2 (450mm) A1 空櫃之加速度歷時比較



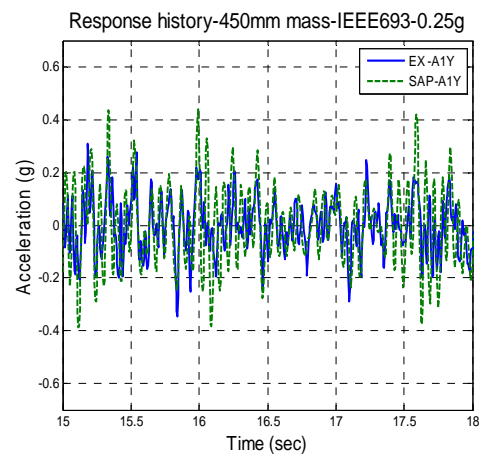
(a) A1X 加速度歷時圖比較



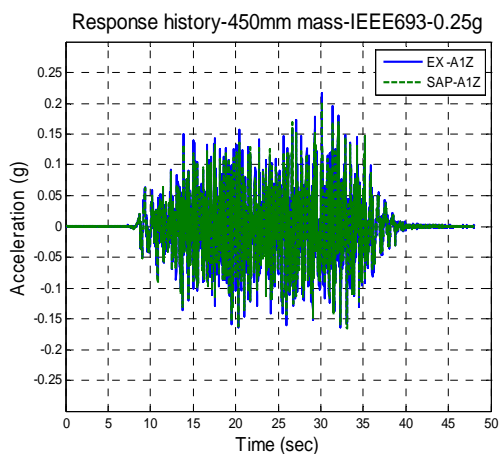
(b) A1X 加速度歷時放大圖比較



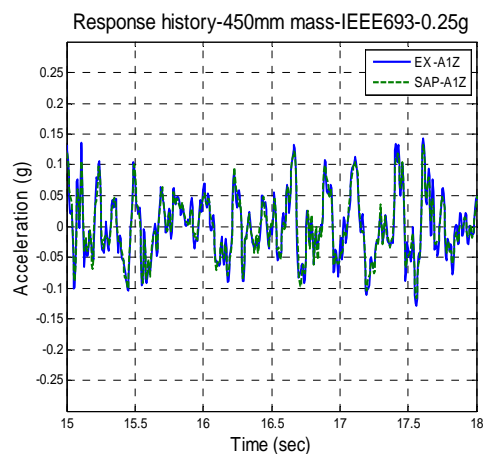
(c) A1Y 加速度歷時圖



(d) A1Y 加速度歷時放大圖比較

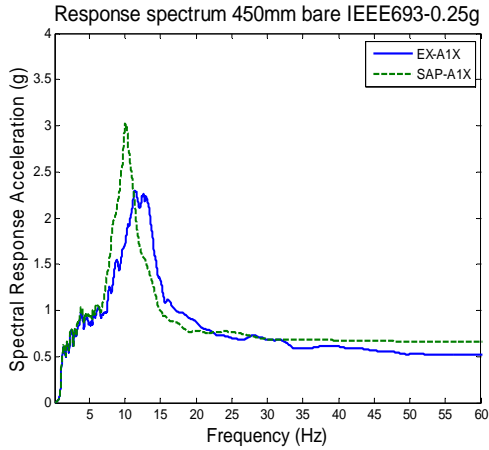


(e) A1Z 加速度歷時圖

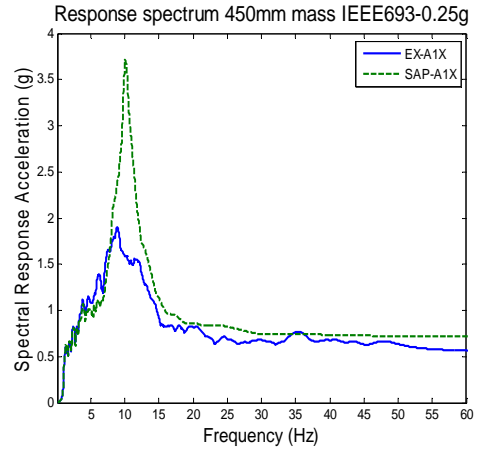


(f) A1Z 加速度歷時放大圖比較

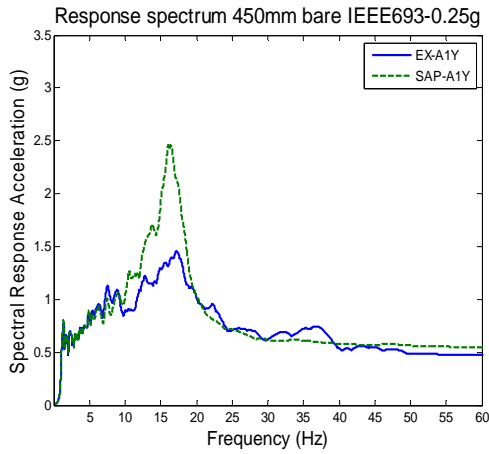
圖 5.22 Case 2 (450mm) A1 質量櫃之加速度歷時比較



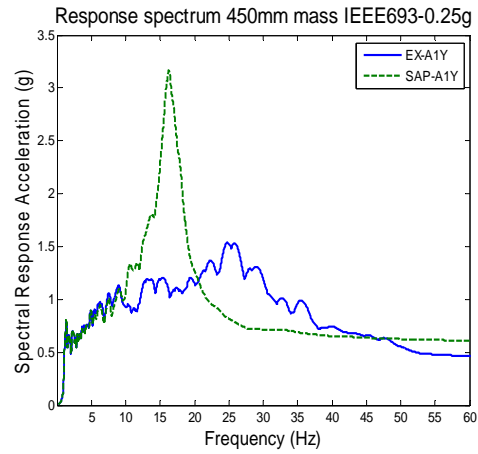
(a) Case 2 A1X 空櫃反應譜



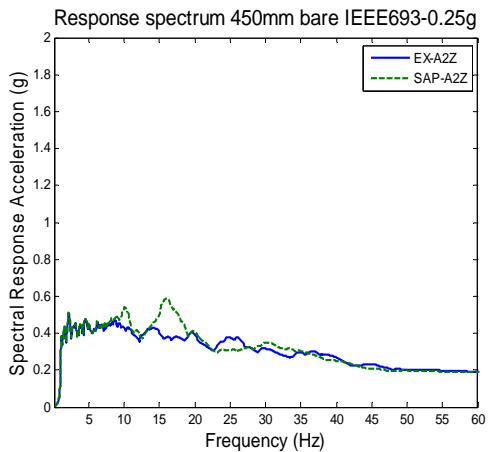
(b) Case 2 A1X 質量櫃反應譜



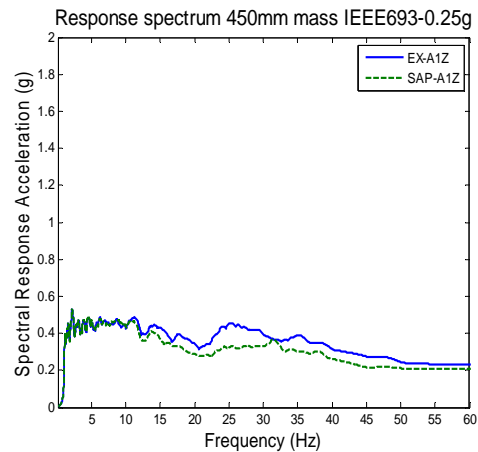
(c) Case 2 A1Y 空櫃反應譜



(d) Case 2 A1Y 質量櫃反應譜

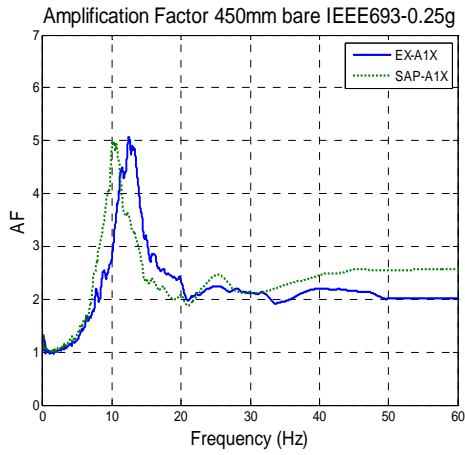


(e) Case 2 A1Z 空櫃反應譜

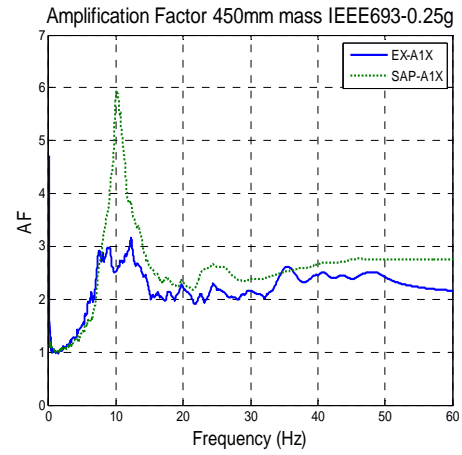


(f) Case 2 A1Z 質量櫃反應譜

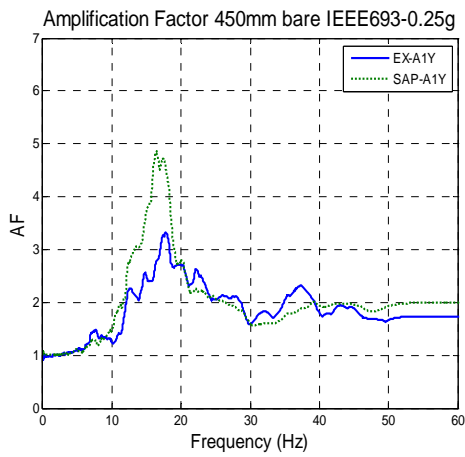
圖 5.23 Case 2 (450mm) A1 空櫃與質量櫃之反應譜比較



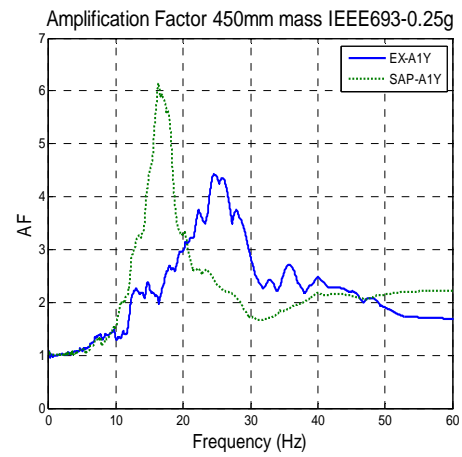
(a) Case 2 A1X 空櫃放大因子



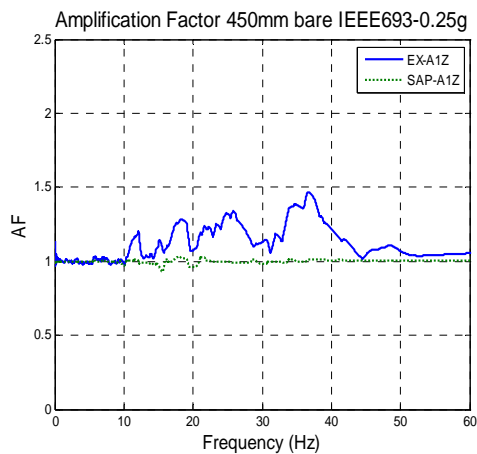
(b) Case 2 A1X 質量櫃放大因子



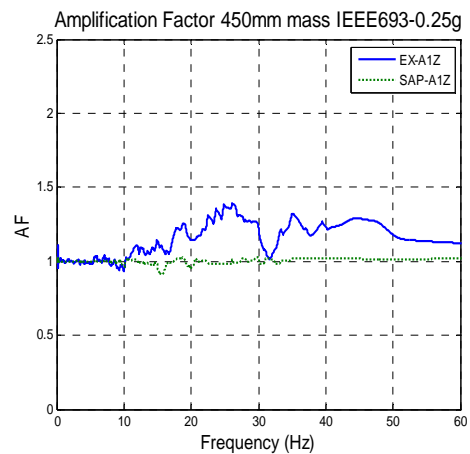
(c) Case 2 A1Y 空櫃放大因子



(d) Case 2 A1Y 質量櫃放大因子

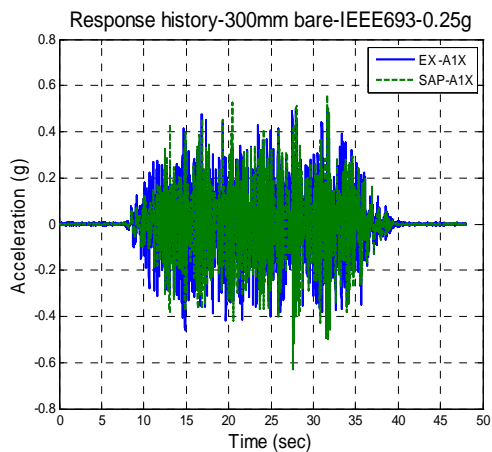


(e) Case 2 A1Z 空櫃放大因子

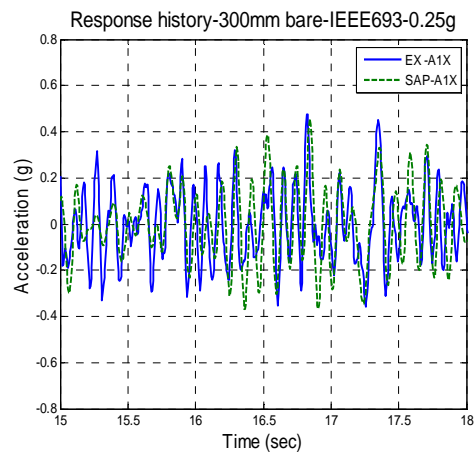


(f) Case 2 A1Z 質量櫃放大因子

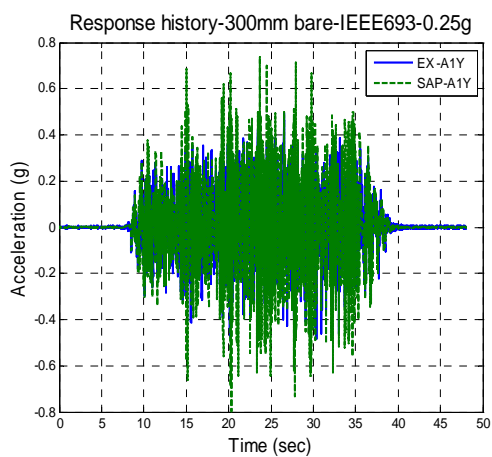
圖 5.24 Case 2 (450mm) A1 空櫃與質量櫃之放大因子比較



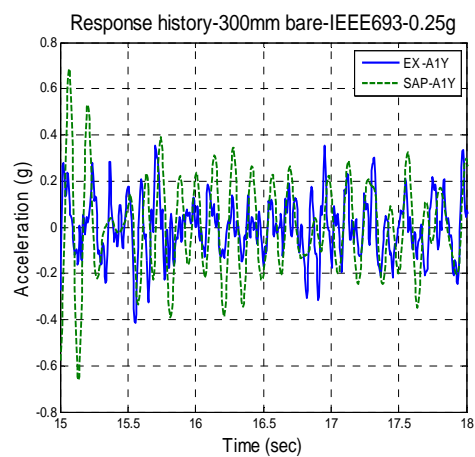
(a) A1X 加速度歷時圖比較



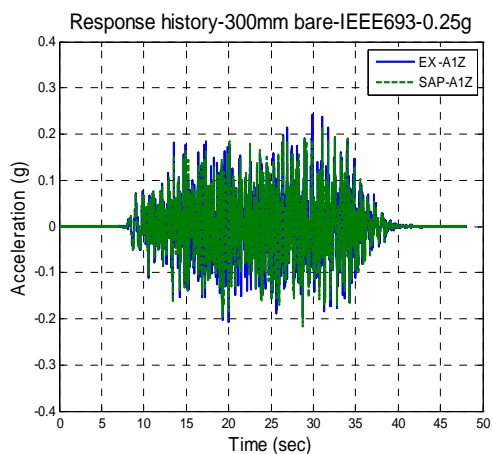
(b) A1X 加速度歷時放大圖比較



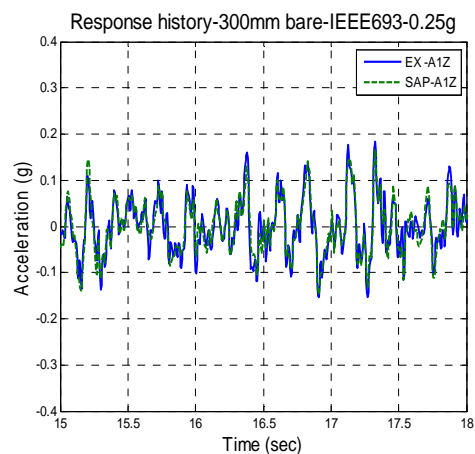
(c) A1Y 加速度歷時圖



(d) A1Y 加速度歷時放大圖比較

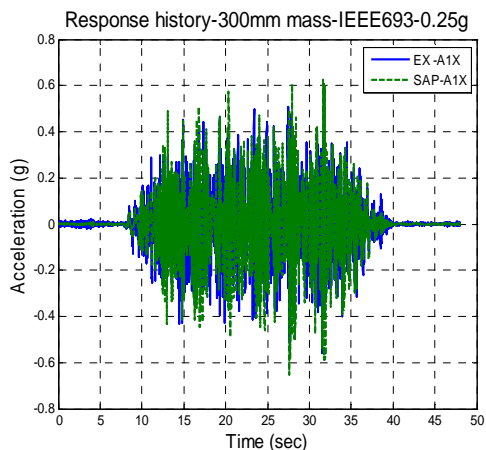


(e) A1Z 加速度歷時圖

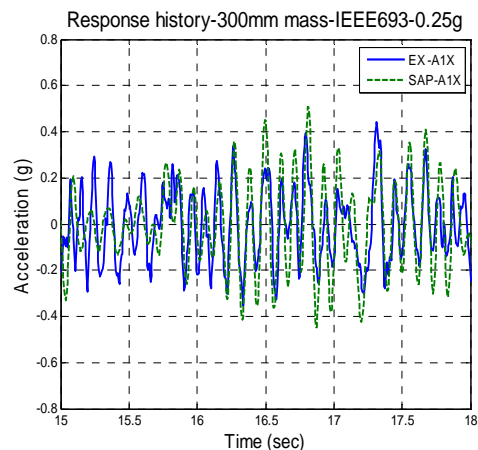


(f) A1Z 加速度歷時放大圖比較

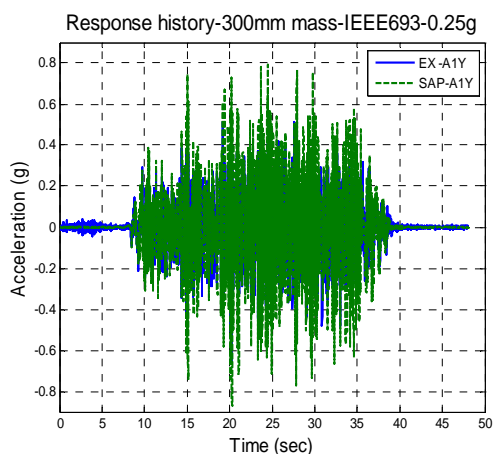
圖 5.25 Case 3 (300mm) A1 空櫃之加速度歷時比較



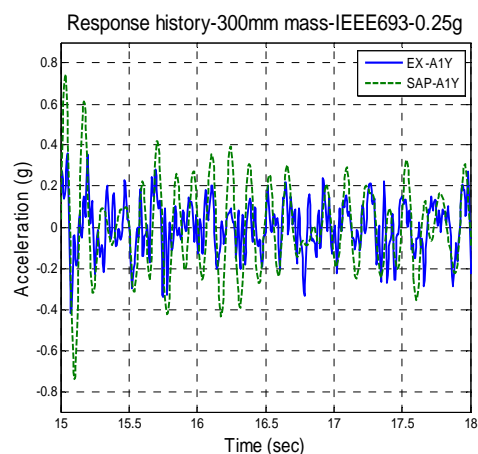
(a) A1X 加速度歷時圖比較



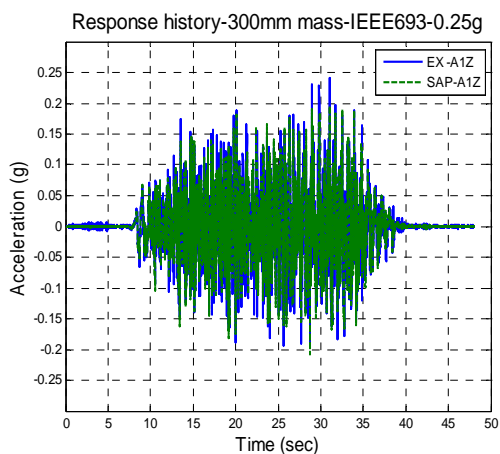
(b) A1X 加速度歷時放大圖比較



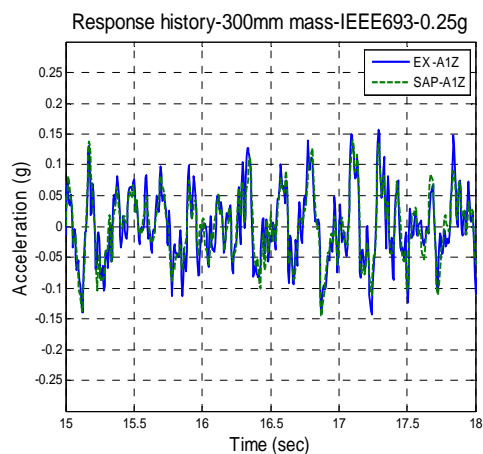
(c) A1Y 加速度歷時圖



(d) A1Y 加速度歷時放大圖比較

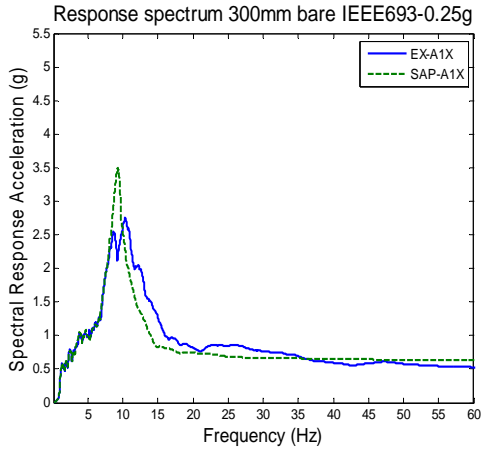


(e) A1Z 加速度歷時圖

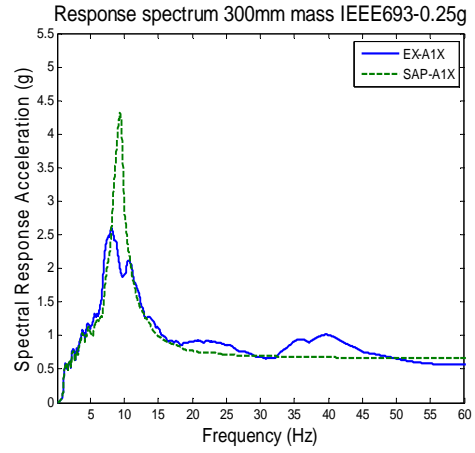


(f) A1Z 加速度歷時放大圖比較

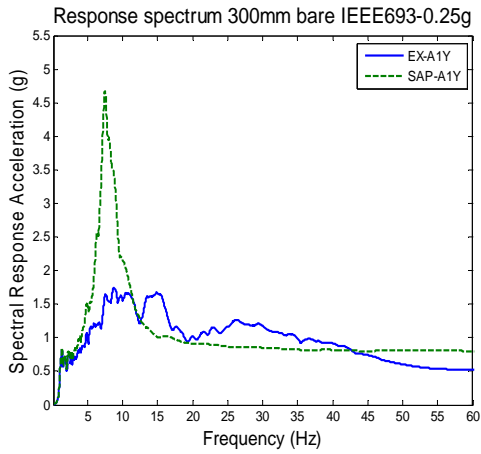
圖 5.26 Case 3 (300mm) A1 質量櫃之加速度歷時比較



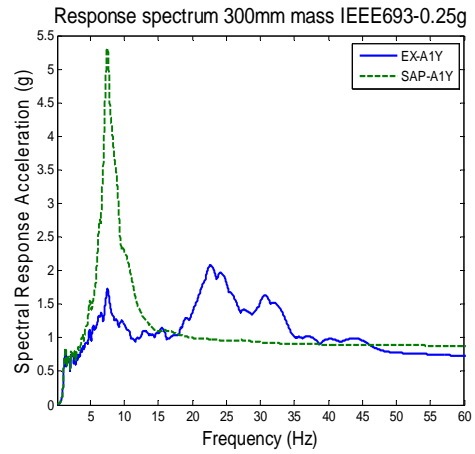
(a) Case 3 A1X 空櫃反應譜



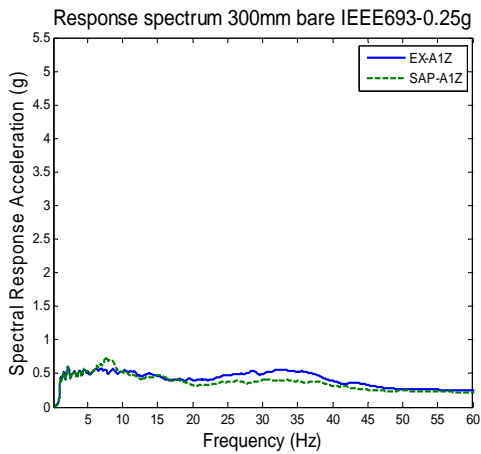
(b) Case 3 A1X 質量櫃反應譜



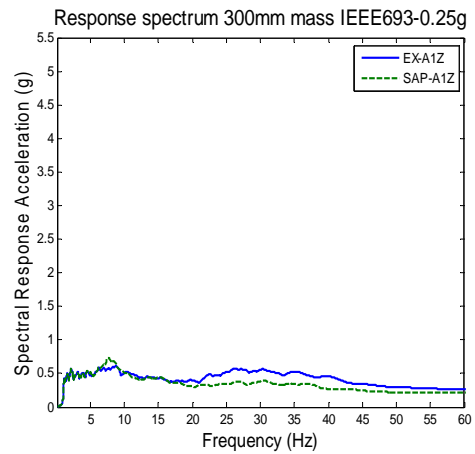
(c) Case 3 A1Y 空櫃反應譜



(d) Case 3 A1Y 質量櫃反應譜

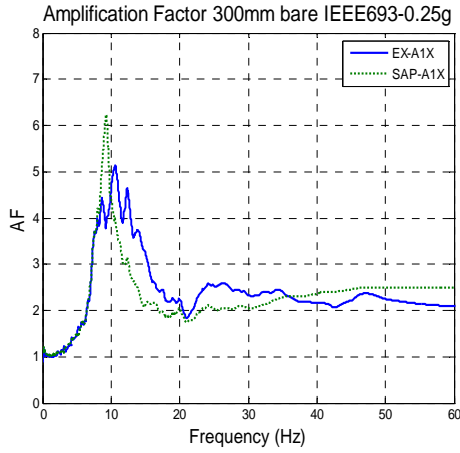


(e) Case 3 A1Z 空櫃反應譜

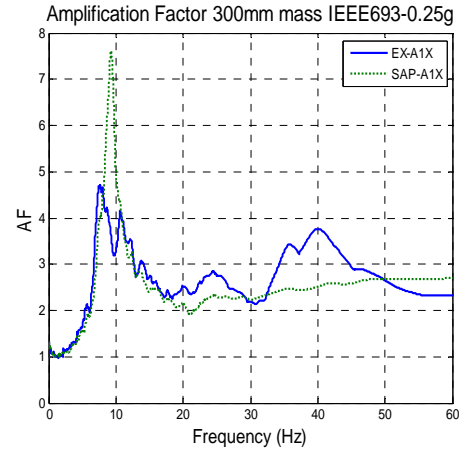


(f) Case 3 A1Z 質量櫃反應譜

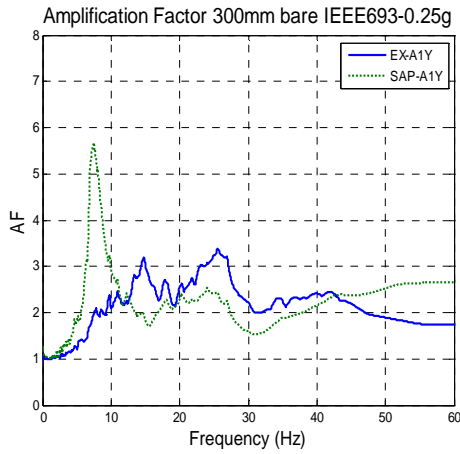
圖 5.27 Case 3 (300mm) A1 空櫃與質量櫃之反應譜比較



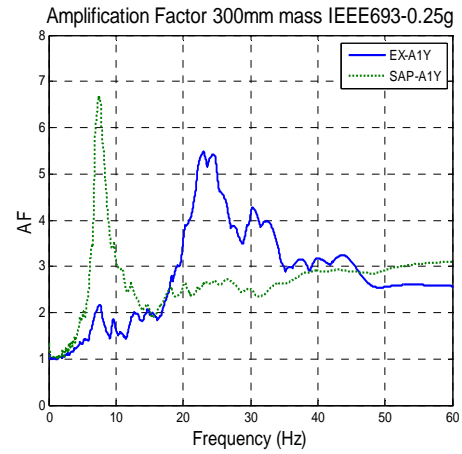
(a) Case 3 A1X 空櫃放大因子



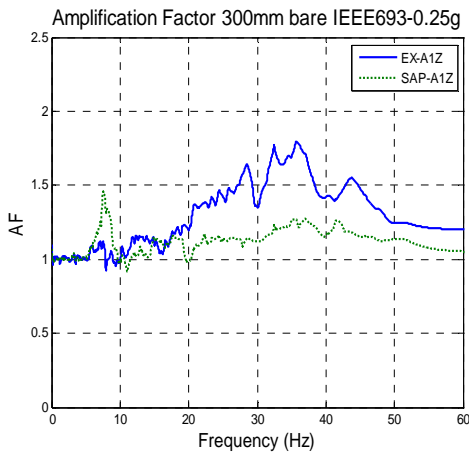
(b) Case 3 A1X 質量櫃放大因子



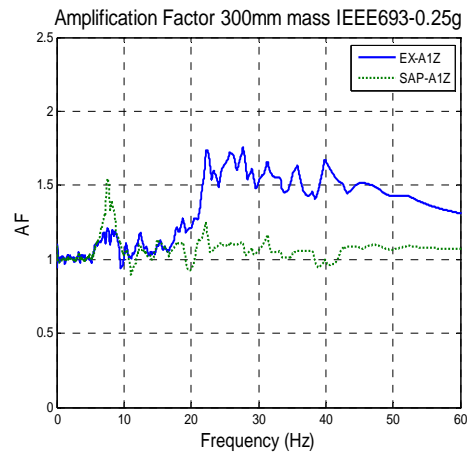
(c) Case 3 A1Y 空櫃放大因子



(d) Case 3 A1Y 質量櫃放大因子



(e) Case 3 A1Z 空櫃放大因子



(f) Case 3 A1Z 質量櫃放大因子

圖 5.28 Case 3 (300mm) A1 空櫃與質量櫃之放大因子比較

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究之電氣盤體機櫃於振動台試驗，為使用與臺灣核能電廠相似之單條機櫃模擬，機櫃間層尺寸分別為 600mm×3 層(Case 1)、450mm×4 層(Case 2)及 300mm×6 層(Case 3)，利用 White noise 白噪音測試波，峰值為 0.05g，進行機櫃主要軸向自然頻率搜尋，得到機櫃無盤內設備物時之原始自然頻率。於櫃內加裝質量塊模擬盤內設備物放置情況，並利用峰值為 0.05g 之 White noise 進行機櫃結構系統識別，發現櫃內質量增加時，機櫃之自然頻率隨之下降。阻尼比部分，於含有抽屜之組別可觀察出當質量增加時阻尼比隨之下降，但不含抽屜之組別，阻尼比反應則為反之，判斷為櫃內構件型態不同(如抽屜或單一面板)導致阻尼結果不相同。

藉由加速度歷時反應而得之加速度放大倍率(AF_{ZPA})，隨著量測高度增加而提升，且含抽屜之機櫃內部放大倍率更為顯著。位移歷時反應為隨地震力強度增加而反應變大；機櫃內增設之質量變化及機櫃間層數量，對於位移歷時反應影響較無顯著之趨勢。盤內反應譜分析方面，由實驗分析結果可知，影響反應譜(RS)及放大因子(AF)主要參數為設備物高度，其次為輸入波大小，並可發現機櫃內部加速度反應均高於機櫃外部之加速度反應，且 OBE 試驗波對機櫃造成之主要頻率位於高頻範圍，則 IEEE693 試驗波造成機櫃主要頻率範圍落於在低頻部分。

本研究之數值模型為使用 SAP2000 分析軟體，模擬機櫃頻率與模態、加速度歷時反應、盤內反應譜與加速度放大因子與真實機櫃反應相似，但目前數值模型仍無法準確模擬櫃內含抽屜產生之高頻反應，以及自然頻率隨輸入波提升而降低，且隨輸入波種類不同而改變之現象。

6.2 未來研究方向

本文以臺灣核能電廠單盤體機櫃進行振動台試驗，並為進行單盤體機櫃模型分析，但核能電廠機櫃大多為多盤體機櫃，於未來可朝多盤體電氣盤體進行分析並探討。

由實驗可以發現，內含抽屜型式之機櫃其動態反應較不規律性，其因為抽屜右上部跟左下部為由卡榫跟機櫃本身作結合，但每個卡榫間之細縫大小不一，導致抽屜於受震時，其反應較不規律，故內含抽屜之機櫃於進行實驗時，建議卡榫部分須完全固定住，以降低含抽屜機櫃反應的不確定性。實驗後，須再進行一次白噪音試驗，了解機櫃受震後之基本結構頻率是否與實驗前差異甚多。

由於 MCC 電氣盤體部分構件為螺栓連接，自然頻率易隨輸入波強度及不同輸入波而有所變化。本數值模型構件材料特性採用線彈性部分，較難準確模擬出上述電氣盤體動力反應特性，於未來研究方面，建議可採用具非線性數值模擬進行分析，以提升盤內反應譜模擬結果之準確性。而本數值模擬機櫃之內含抽屜型式，未能模擬出抽屜型式之動態反應，故未來研究方面仍可朝這方面進行探討。

参考文献

- [1] Min Kyu Kim , In-Kil Choi , Jeong-Moon Seo ,*Nuclear Engineering and Design*, Nuclear Engineering and Design 341-355,2012.
- [2] NURGE/CR-5203, *Dynamic Amplification of Electrical Cabinets*. U.S. National Technical Information Service, June 1988.
- [3] U.S. Department of Energy, DOE/EH-0545, Seismic evaluation procedure for equipment in U.S. Department of Energy facilities, U.S. Department of Energy, USA, March 1997.
- [4] EPRI Report NP-7148, Procedure for Evaluating Nuclear Power Plant Relay Seismic Functionality, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, prepared by MPR Associates,Inc.,1990.
- [5] EPRI Report NP-7146-SL,Development of In-Cabinet Amplified Response Spectra for Electrical Benchboards and Panels, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, prepared by Stevenson & Associates,Inc.,1990.
- [6] K.L. Merz and P. Ibanez, Guidelines for estimation of cabinet dynamic amplification, ANCO Engineers, Inc., Nuclear Engineering and Design vol. 123, p.p. 247-255, North-Holland, 1990.
- [7] T. Y. Chang, Seismic qualification of equipment in operating nuclear power plants, USNRE, NUREG-1030, 1985.
- [8] Shi Z.T., A simplified approach to generate in-cabinet amplified response spectrum , Raytheon Engineers and Constructors, Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 14), Lyon, France, August 17-22, 1997.
- [9] Abhinav Gupta, S.K. Rustogi, Ajaya K. Gupta, Ritz vector approach for evaluating incabinet response spectra, Center for Nuclear Power Plant Structures, Equipment and Piping, North Carolina State University, Nuclear Engineering and Design vol. 190, p.p. 255–272, 1999.
- [10]Jianfeng Yang, Abhinav Gupta, INCABS: A Computer Program for

- Evaluating Incabinet Spectra, Transactions, SMiRT 16, Washington DC, August, 2001.
- [11]IEEE Std. 344TM-2004, IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations, IEEE-SA Standards Board, 2004.
- [12]AC156, Acceptance Criteria for Seismic Qualification by Shake-table Testing of Nonstructural Components and Systems, ICC Evaluation Service inc., 2007.
- [13]GR-63-CORE, Network Equipment Building System (NEBS) Requirements: Physical Protection, Issue2, April 2002.
- [14]IEEE Std. 693TM, IEEE Recommended Practice for Seismic Design of Substations, IEEE-SA Standards Board, 2005.
- [15]Taiwan power Company, 1998. Lungmen project fourth nuclear power plant units 1&2, Seismic Analysis of the Reactor Buildings, appendix AD: Enveloped Floor Acceleration Response Spectra for OBE, Taiwan: Taiwan power Company.
- [16]中國國家標準(CNS)總號2112類別G2014，”金屬材料拉伸試驗試片”，經濟部標準檢驗局，2000.
- [17]柴駿甫、林凡茹，「非結構耐震性能修復與試驗準則之研究」，台北，國家地震工程研究中心報告，編號NCREE-10-006，2010
- [18]柴駿甫、林凡茹、賴姿妤、林震宇、周佩芳、黃振綱，「核能電廠-電氣盤體振動台實驗研究」，國家地震工程研究中心報告，編號NCERR-12-006，2012
- [19]柴駿甫、賴姿妤、林凡茹、周佩芳、陳明毅，「大型安全相關核能設備縮尺試驗驗證分析報告」，科發基金補助計畫成果報告，2012
- [20]聯邦工程顧問股份有限公司，李森柟，「SAP2000入門與工程上之應用」，台北，科技圖書公司，2002
- [21]聯邦工程顧問股份有限公司，李森柟，「SAP2000結構設計實務(V8&V9)」，台北，科技圖書公司，2005

[22] 中國建築標準設計研究院，「SAP2000 中文版使用指南」，北京，金土木軟件技術有限公司，2006