

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

具有熱穩定筒狀抗微振裝置之設計與研究

A Study on Micro-Vibration behavior of thermal stable pillar

研究生：李宗穎

指導教授：劉俊秀 博士
王端正 博士

中華民國 九十七年 九月

具有熱穩定筒狀抗微振裝置之設計與研究

研究生：李宗穎

指導教授：劉俊秀 博士

王端正 博士

國立交通大學土木工程研究所

摘要

高科技廠房的精密儀器常因不易察覺的微小振動或金屬熱漲冷縮的因素導致儀器的精準降低。而本研究旨在設計一個具有熱穩定性的基礎裝置來改善上述之問題。該裝置主要利用鋼材及鋁材以三層疊加之方式所組成，而儀器則設於該裝置的上方。本試驗主要以溫度為變數來量測該裝置的位移變化；以外力敲擊試驗分析此裝置之自然頻率及阻尼比。位移量測結果顯示，在相同尺寸模型中，本試驗基礎裝置的位移變化為單一鋼材裝置的五分之一，由此可知該裝置具有較佳的熱穩定性。最後再利用 ANSYS 有限元素軟體進行模態分析，用來驗證此裝置的模態及振動行為，作為日後研究及製成產品之參考。

關鍵字：熱穩定、自然頻率、ANSYS

A Study on Micro-Vibration behavior of thermal stable pillar

Student: Zong Ying LI

Advisor: Prof. Gin-Show Liou

Dr . Duan-Jen Wang

Institute of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University



Abstract

The precision of optical instrument and high-tech equipment may be curtailed by the thermal expansion (or contraction) of their pillar foundation and micro vibration of the pillar foundation. Therefore, The purpose of the thesis is to design a pillar device with thermal stability. The device is mainly composed of steel and aluminum materials. The experiment of the device is the measure the length change of the device due to temperature change, and nature frequency and damping ratio of the device. It is shown that the device has the property of thermal stability. And the natural

frequency and damping ratio one also obtained through impact loading that. In order to check the natural frequency, a finite element method is set up for the device. Their finite element modal can be employed in the future dynamic analysis of the device.

Key Words: Thermal stability, natural frequency, ANSYS



致謝

兩年的碩士生涯即將告一個段落，首先要感謝我的老師 劉俊秀教授，在一路的學習上耐心的指導，兩年來於治學處世之態度與嚴謹的精神，使我受益良多。

同時感謝在國家同步輻射研究中心裡的組長 王端正博士、組員 管建銑、賴惟揚，在研究與撰寫論文期間，各方面的鼎力相助，籌備實驗的大力相助，使得實驗的進行得以完善，在此謹致上最深的敬意與謝意。

論文口試期間，感謝口試委員 洪士林教授、鄭復平教授、黃炯憲教授給于我指導與寶貴的意見，讓我這本論文更加完整。

研究期間，特別感謝鍾瑜隆學長這段時間的指導，以及學弟們的協助幫忙，才得以完成此論文。以及好朋友羅開、銘浩在我撰寫論文時互相勉勵與協助。

最後感謝在我求學期間給我物質上和精神上最大幫助的家人，我的父母、女友，謝謝你們的支持與關懷，感謝你們。

目錄

摘要	i
Abstract.....	ii
致謝	iv
目錄	v
表目錄	vii
圖目錄	viii
第一章 緒論	1
1-1 研究動機與目的	1
1-2 本文內容	2
第二章 熱穩定筒狀抗微振裝置結構之設計	4
2-1 前言	4
2-2 材料之介紹及特性	4
2-3 熱穩定筒狀抗微振裝置模型之建立	8
第三章 熱穩定筒狀抗微振裝置之試驗	10
3-1 試驗之設備介紹	10
3-2 試驗之軟體介紹	12
3-3 熱穩定筒狀抗微振裝置之試驗	14
3-3-1 熱穩定筒狀抗微振裝置試驗方法	14
3-3-2 熱穩定筒狀抗微振裝置之試驗結果	15
第四章 熱穩定筒狀抗微振裝置之 ANSYS 分析	21
4-1 前言	21
4-2 ANSYS 分析步驟	22
4-2-1 前處理	22
4-2-2 加載及求解	25
4-2-3 後處理	26
4-3 熱穩定筒狀抗微振裝置之 ANSYS 模態分析	26
4-3-1 元件之幾何建立	26
4-3-2 網格元素種類選取	27
4-3-3 定義材料參數	28

4-3-4 網格的建立	28
4-3-5 邊建條件之建立	28
4-3-6 ANSYS 模態分析結果與討論	29
第五章 結論與建議	31
參考文獻	33



表目錄

表 2-1 材料之相關特性.....	34
表 3-1 溫度位移量測(室內).....	35
表 3-2 溫度位移量測(室外).....	37
表 3-3 溫度位移量測(加水).....	37
表 3-4 溫度位移量測(加砂).....	38



圖目錄

圖 2-1 第一層 立體圖 (鋼)	39
圖 2-2 第一層 正視圖 (mm)	39
圖 2-3 第一層上視圖(mm)	40
圖 2-4 第一層下方局部放大圖	40
圖 2-5 中間層 立體圖	41
圖 2-6 中間層 正視圖(mm)	42
圖 2-7 中間層 上視圖(mm)	42
圖 2-8 最內層 立體圖	43
圖 2-9 最內層 正視圖	44
圖 2-10 最內層 上視圖(mm)	44
圖 2-11 最內層 底部示意圖	45
圖 2-12 整個裝置結構立體圖	45
圖 2-13 (a) 整個裝置結構正視圖(mm)	46
圖 2-13 (b) 整個裝置結構上視圖	46
圖 2-14 整體結構變化示意圖	47
圖 3-1 LDS 訊號接收轉換器	48
圖 3-2 PCB 電子敲擊鎚	48
圖 3-3 PCB 加速規	49
圖 3-4 (a) ADAM 5000E 溫度位移監測器	49
圖 3-4 (b) 溫度位移監測顯示系統	50
圖 3-5 加速規內部元件	50
圖 3-6 加速規電阻原理	51
圖 3-7 Pro user guide 6.0 軟體運作	51
圖 3-8 強迫振動試驗	52
圖 3-9 中間層與內層間之空隙	52
圖 3-10 中間層與內層間之空隙裝滿工業用砂土	53
圖 3-11 垂直方向試驗	53
圖 3-12 (a) 裝置下方所擺的海綿軟墊	54
圖 3-12 (b) 垂直方向試驗下方加海綿軟墊	54

圖 3-13 (a) 水平方向試驗裝置之正視圖	55
圖 3-13 (b) 水平方向試驗裝置之上視圖	55
圖 3-14 水平方向試驗下方加海綿軟墊	56
圖 3-15 溫度位移感測器裝上裝置	57
圖 3-16 溫度監測器	58
圖 3-17 位移監測器	58
圖 3-18 人工監測之擺設	59
圖 3-19 衝擊錘輸入之力量(水平)	59
圖 3-20 加速度歷時圖(水平)	60
圖 3-21 所得到之頻率圖(水平)	60
圖 3-22 軟體介面之輸出結果(水平)	61
圖 3-23 衝擊錘輸入之力量(水平-加海棉)	61
圖 3-24 加速度歷時圖(水平-加海棉)	62
圖 3-25 所得到之頻率圖(水平-加海棉)	62
圖 3-26 軟體介面之輸出結果(水平-加海棉)	63
圖 3-27 衝擊錘輸入之力量(垂直)	63
圖 3-28 加速度歷時圖(垂直)	64
圖 3-29 所得到之頻率圖(垂直)	64
圖 3-30 軟體介面之輸出結果(垂直)	65
圖 3-31 衝擊錘輸入之力量(垂直-加海棉)	65
圖 3-32 加速度歷時圖(垂直-加海棉)	66
圖 3-33 敲擊所得之頻率圖(垂直-加海棉)	66
圖 3-34 軟體介面之輸出結果(垂直-加海棉)	67
圖 3-35 衝擊錘輸入之力量(加砂)	67
圖 3-36 加速度歷時圖(加砂)	68
圖 3-37 所得到之頻率圖(加砂)	68
圖 3-38 軟體介面之輸出結果(加砂)	69
圖 3-39 衝擊錘輸入之力量(加水)	69
圖 3-40 加速度歷時圖(加水)	70
圖 3-41 所得到之頻率圖(加水)	70
圖 3-42 軟體介面之輸出結果(加水)	71
圖 3-43 量測裝置內之溫度(室內)	71

圖 3-44	裝置外之溫度 (室內).....	72
圖 3-45	裝置之位移變動 (室內).....	72
圖 3-46	溫度與位移變化圖 (室內).....	73
圖 3-47	量測裝置內之溫度 (室外).....	73
圖 3-48	裝置外之溫度 (室外).....	74
圖 3-49	裝置之位移變動 (室外).....	74
圖 3-50	溫度與位移變化圖 (室外).....	75
圖 3-51	量測裝置內之溫度 (加水).....	75
圖 3-52	裝置外之溫度 (加水).....	76
圖 3-53	裝置之位移變動 (加水).....	76
圖 3-54	溫度與位移變化圖 (加水).....	77
圖 3-55	量測裝置內之溫度 (加砂).....	77
圖 3-56	裝置外之溫度 (加砂).....	78
圖 3-57	裝置之位移變動 (加砂).....	78
圖 3-58	溫度與位移變化圖 (加砂).....	79
圖 4-1	整體結構.....	80
圖 4-2	最外層(鋼材).....	81
圖 4-3	中間層(鋁材).....	81
圖 4-4	最內層(鋼材).....	82
圖 4-5	將 sat 檔匯入 ANSYS.....	82
圖 4-6	SOLID 45 元素.....	83
圖 4-7	密度參數設定 (鋼).....	83
圖 4-8	彈性模數與柏松比設定 (鋼).....	84
圖 4-9	密度參數設定 (鋁).....	84
圖 4-10	彈性模數與柏松比設定 (鋁).....	85
圖 4-11 (a)	有限元素模型.....	85
圖 4-11 (b)	有限元素模型邊界條件設定示意圖.....	86
圖 4-12	ANSYS 分析之模態輸出結—(A).....	87
圖 4-13	第一振型(116.13Hz)—(A).....	87
圖 4-14	第二振型(175.82Hz)—(A).....	88
圖 4-15	第三振型(299.07Hz)—(A).....	88
圖 4-16	第四振型(323.58Hz)—(A).....	89

圖 4-17 第五振型 (402.78Hz)—(A) 89
圖 4-18 第六振型 (720.71Hz)—(A) 90



第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

在當今高科技的時代裡，電子機械化的來臨，很多機械設備都加以取代人力的輸出，這樣不僅精簡人事的成本，也加速了產品的開發，所以對於機械設備的維護及改善是勢在必行的，機械設備在振動的環境下，機械本身性能常因震動的疲勞效應及共振現象，導致產品良率無法提高及產能無法增加，造成產品的損失及零件失效、疲勞損傷甚至更嚴重的會造成儀器破壞的現象。高科技廠房內許多儀器與設備都相當的精密及昂貴，設備運作時必然會產生振動，此因素往往會使機械電子設備產生誤差或失效，所以對結構進行優化設計、提升設備的抗振能力是保證產品性能和可靠性的重要手段。例如在飛機上，其振動的來源有引擎、氣流擾動及著地、滑行時機體本身的振動。一般為避免共振現象，機械設備的本身頻率應避開振動產生的頻率。

因此，才需對系統及內部構件的本身頻率和模態進行分析來改善結構之設計。這樣對於儀器設備的製程穩定度將會有所提升，進而增加產品的良率，例如，製程的量測、對準、曝光及影像辨識....等。

本研究主要就是為了要降低精密儀器產生之微小振動，由此設計一組具熱穩定基礎之裝置，將儀器裝設於上面，降低因微小

震動造成不穩定狀態。此測試模組主要裝設於精密儀器之基座，必須考慮環境所產生的熱的不穩定性，該裝置經由多次實驗後發現利用鋼、鋁兩種材料，以三層結構組成後的穩定性較佳，材料配置分別以第一層鋼鐵與第二層鋁上面固定，第三層鋼鐵與第二層鋁下面固定。利用此裝置來進行測試，先使用溫度、位移感測器（Archive Viewer）來量測它對於熱的穩定度，在使用 Photon-II/RT-Pro 頻譜訊號分析器來量測裝置的頻率，進一步的在此裝置加入有阻尼效果的材質來測試，最後使用有限元素軟體（ANSYS）加以分析，使我們可以從有限元素軟體的模擬與實際量測後的數值從事比較驗證，讓此裝置有設計與製造的參考。



1-2 本文內容

本論文共分五章，內容敘述如下：

第一章為研究動機與方法、論文架構。研究的方針為在探討高科技廠房內的精密儀器擺設之抗微振基座設計概念。

第二章為此裝置所使用的材料介紹、材料的特性、模型的建立。說明裝置如何設計、建構之。

第三章為試驗的設備與軟體介紹、振動頻譜量測及溫度位移的監測。來探討該裝置的自然頻率及熱的穩定性。

第四章為使用有限元素軟體（ANSYS）進行模態分析，用來驗證試驗所得到此裝置的自然頻率。

第五章為結論與建議。



第二章 熱穩定筒狀抗微振裝置結構之設計

2-1 前言

本研究就是要設計出一個抗微振之裝置，用來放置儀器使用，而造成結構裝置的微小振動因素很多，在許多結構上往往會因為環境的溫度影響，造成裝置熱漲冷縮的現象，導致結構的長度伸長縮短。所以本研究就是要設計一個具有熱穩定的結構裝置。在眾多材料當中，因瓦合金(invar)、石英(quartz)，這兩種材質它的熱膨脹係數都很低，但是價格高昂或易碎，所以本實驗選擇鋼材及鋁材這兩種材料，藉由它們互相之間熱膨脹係數為兩倍的關係，組合成一個三層的結構裝置，憑藉這特性使本研究之裝置即可達成熱穩定。假設只單以鋁或鋼材質同樣做成本研究裝置的高度，溫度變化約 8°C ，用鋁做成的裝置位移變動約為 $92\ \mu\text{m}$ ，鋼材位移變動約為 $46\ \mu\text{m}$ 。預期本研究裝置之位移變動比單一鋼材或鋁材來的小。甚至達到最佳化 $0\ \mu\text{m}$ 的狀況。

2-2 材料之介紹及特性

- 石英(Quartz)

石英是由矽原子和氧原子組合而成的，稱為二氧化矽。它的結構具有很好的壓電效應特性且具有很低的熱膨脹係數，對

於溫度效應的影響很小，就是因為這些特性，往往許多人選用石英作為元件的主要元素之一。廣泛運用於半導體上、光電材料上等許多高科技領域中。而它的加工主要是將石英錠、管、坩和棒材等材料，加工成許許多多石英組件和管、舟、環、槽等工業產品。而石英的熱膨脹係數為 $0.54 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。在溫度 $-100^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 範圍內，溫度影響裝置的伸長縮短改變非常小，幾乎不會因溫度效應的變化造成該裝置的變形，可說是極佳的材質，對於本研究是非常適用的材料，但是由於石英材料它的售價相當昂貴，且易碎，一根直徑約 10mm，長高約 500mm 的石英管售價就要上萬，所以本研究就沒有使用此材質來製成。



- 因瓦合金(Invar alloy)[1]

Invar alloy[1]主要是由 35%的鎳與 65%的鐵所組成，為一個面心立方結構。這材質在早期就被廣泛運用於精密儀上，也就是說當系統溫度上升時，體積也會跟著縮小，如此則會因為晶格的振動加大所產生的體積增加而互相抵消，因此就會有造成熱膨脹係數為零的現象。所以它的熱膨脹係數極低，能在很寬的溫度範圍內保持此裝置的長度不變。在早期居爾勞密研究鐵鎳合金的過程中發現此材質的熱膨脹係數很低，於是對於此合金展開了熱絡的研究，才讓後人很快的

認識它，常用來製造恆溫器和天文鐘的擺以及很多敏感溫度的設備。所以以這種熱膨脹係數這麼低的特性，許多工程師和設計者就不必擔心裝置熱漲冷縮後的尺寸變化，但因成本高昂，不適用本研究裝置的結構，所以也捨去此材質。

- 鋼

鋼或稱為鋼鐵、鋼材，是對於含碳量質量百分比介於 0.02% 至 2.04% 之間的鐵合金的統稱。在實際生產中，鋼往往根據用途的不同含有不同的合金元素，比如：錳、鎳、鈮等等。由於鋼較最初的生鐵有更好的物理、化學、機械之性能，所以很快地就得到大量的應用。但是由於科技技術條件的限制，人們對於鋼的應用一直受到鋼的產量的限制，直到十八世紀工業革命之後，鋼的應用才得到了突飛猛進的發展。鋼的熱膨脹係數為 $11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。它是有光澤的金屬，硬而有延展性，熔點為 1535°C ，沸點為 3000°C ，且有強的磁性，我所用的加速規可以很輕易的吸附在上面，來加以量測，並且有良好的可塑性和導熱性。

- 鋁

鋁材是一種輕金屬，其化合物在自然界中分布很廣，在工業技術的產品上應用日漸廣泛，甚至在我們的住家用於鋁門窗的建築建材也相當的普遍，在地表中鋁的含量約為 8%，

僅次於氧和矽，為第三位。而在金屬材料中，僅次於鋼材，為第二大金屬。它的導電性，硬度，延展性，抗腐蝕性相當良好，所以應用性相當的廣泛及普遍。它的煉製過程是由鋁土提煉出白色的氧化鋁粉末，而鋁土是煉鋁的主要原料，將提煉出來的氧化鋁加以電解，讓它還原成鋁金屬，然後即可製成各種可用的材料，是各行各業都需求的材料，例如機械、電子、汽車、土木、建築…等。是世界經濟發展的重要基礎材料。鋁的膨脹係數為 $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。差不多剛好是鋼材的兩倍，這就是本研究使用鋼、鋁這兩種材質的原因。鋁材質量輕、密度小，它的比重僅為鋼的三分之一，在這全球物價上漲的趨勢，油價的高時代，發展應用在交通工具上，即可減輕工具的重量，節省油耗。導電導熱性均良好，也易於加工，加入一定的合金，經加工鑄造，即可變成可塑性高的鋁合金。它的表面也有優良的表面處理技術，像是陽極化處理，包覆及塗裝等，適用於各用途。且經回收後，仍可重新使用，消耗性低，所以鋁材在應用上十分廣泛。

所以本研究選用鋼以及鋁這兩種材質來製作試體，因為捨去了 Invar alloy 和 Quartz 這低熱膨脹係數的材質。如表 2-1，有這四種材料的特性。所以使用鋼和鋁它們的熱膨脹係數剛好為對方的兩倍來製作此裝置，借此達成熱補償的效應，即達成裝置的熱穩定。

2-3 熱穩定筒狀抗微振裝置模型之建立

該設計裝置主要以三層材料組成，材料配置分別以第一層鋼鐵與第二層鋁上面固定，第三層鋼鐵與第二層鋁下面固定。

所使用的素材規格：

第一層：鐵直徑 165.2 mm，厚度 3.4mm。

第二層：鋁直徑 153 mm，厚度 12.5mm。

第三層：鐵直徑 139.8 mm，厚度 5mm。

經加工後之測試模型規格：

第一層：鐵 OD 165.2mm，ID 155.2mm，厚度 5mm。

第二層：鋁 OD 152mm，ID 135mm，厚度 8.5mm。

第三層：鐵 OD 114.3mm，ID 105.3mm，厚度 4.5mm。

裝置的外層全長 476mm，上層圓板直徑 210mm、厚度 8mm，中間層全長 484mm，上層圓板直徑 210mm、厚度 10mm，外層底部與中間層底部留有 2mm 空隙，中間層底部內縮 9mm 並與內層底部以螺栓接合，內層全長 475mm，內層頂部加蓋，以螺栓接合。如圖 2-1~圖 2-13 所示。

本研究利用鋼材、鋁材這兩種材質的受熱變形相互關係進行設計。鋁的熱膨脹係數剛好為鋼材的兩倍，當有熱效應發生時，假設最外層(鋼材)熱膨脹往上一個單位，而第二層(鋁材)因為與

外層上面以螺絲固定，所以會往下熱膨脹二個單位，第三層即最內層(鋼材)底部以螺絲與第二層(鋁材)下方固定，所以往上熱膨脹一個單位，即整個結構裝置就達成熱穩定。

如圖 2-14 所示，假設 $\delta_1 = \alpha\Delta TL_1$ ， $\delta_2 = \alpha\Delta TL_2$ ， $\delta_3 = \alpha\Delta TL_3$ 。當溫度效應發生時，假如當 δ_1 伸長 1 mm，因為最外層與中間層上方固定，所以 δ_3 會往下伸長 2 mm，而 δ_2 會往上伸長 1mm，所以 $\delta_1 - \delta_3 + \delta_2 = 0$ 即整體結構達成熱平衡穩定。



第三章 熱穩定筒狀抗微振裝置之試驗

3-1 試驗之設備介紹

本研究主要測量該設計之裝置的自然頻率，而所使用之儀器來自國家同步輻射研究中心（National Synchrotron Radiation Center）之儀器發展組。所使用的儀器有 LDS 訊號接收轉換器，如圖 3-1 所示。PCB 電子敲擊鎚，如圖 3-2 所示。PCB 加速規，如圖 3-3 所示。溫度位移監測設備，如圖 3-4 所示。

一、LDS 訊號接收轉換器：

此訊號儀器便於攜帶，real-time 分析器用於做快和準確的振動測量數據設計。它提供標準工業 USB 的便利和權力 2.0 界面，且帶著 2 到 4 條類比輸入通道來，以及一條波形源轉速表信號。它是一台快的 real-time 分析器，迅速的測量安裝相結合的即時處理，為多通道噪聲和振動分析的便於攜帶的動態的顯著分析器。PHOTON+offers 驚人性能在 FFT 分析器內與測量範圍 115 分貝和 84 kHz real-time 比率的動態範圍一起設計。它也用靈活的測量和處理訊號能力以易於使用 Windows Vista/XP applications 中為特色。立刻給你結果，並且使驗證數據成為可信。

二、PCB 電子式敲擊鎚：

電子式敲擊鎚是用來連接 LDS 的訊號接收器來測量，前端有一紅色軟木用來敲擊使之觸碰待測裝置，當敲擊觸碰到裝置時，LDS 訊號接收器會接收到一電阻，並透過軟體轉換成施力大小，此時即可以判別所敲擊之力量大小。而力量的大小取決於本身所敲擊的力道。而敲擊鎚的規格為 10 mv/lb (2.2mv/n) sensitivity, frequency range 為 8000 Hz, 0.34 lb (0.16kg) hammer mass (以上規格來源於譜威科技)。

三、PCB 加速規：

PCB 加速規是一種電子式的感測器，可輸出與振動加速度力成比例的電子信號，加速規由一個或數個盤形或條狀壓電元件組成，使用一個或數個耐震物質置放壓電元件上方或側邊，所以彈簧保持在適當的位置，如圖 3-5 所示。當振動外力加入時，加速規耐震物質會施加一變化的力量於壓電元件上，此壓電元件因壓電效應產生對應的電荷。

當加速規頻率增加到大約加速規共振頻率的三分之一時，耐震物質的加速度等於整個感應器的加速度。因此，壓電元件產生的電荷與施加到感應器的加速度成比例，由感應器的輸出端測量電荷量，可精確的測定振動的振幅，頻率與波形。

通常整個信號處理系統之主要功能為：

1. 將加速規之高輸出阻抗轉變為較低之阻抗。

2. 將加速規之微弱輸出信號加以放大，以提供做下一級電路處理。

信號處理電路有二種主要的形式：電壓放大器 (voltage amplifier) 即電荷放大器 (charge amplifier)，其中電壓放大器可提供相當高的阻抗給加速規，並且可維持在低輸入電容狀態下以避免靈敏度損失。另外在電荷放大器中卻是提供高輸入電容值及阻抗給加速規，如圖 3-6 所示即為使用電荷放大器，它允許與加速規以非常長的導線連接著(甚至可能達到 500 公尺以上)，而不會對整個加速規或前置放大器的系統靈敏度有所影響。有時為了達到處理靈敏度問題的目的，也可將信號處理電路採用其他方式的設計，如組合式網路或是低通濾波器，高通濾波器等電路，這類的電路可直接調整參數以達到典型的加速規靈敏度，也會使得測量系統之標準化逐漸可行，本設備是將信號處理電路合併在加速規之內部以利測量。

3-2 試驗之軟體介紹

本研究之軟體是和 3-1 節所介紹之儀器來配合使用，包括 RT Pro user guide 6.0 資訊擷取系統的軟體，如圖 3-7 所示。用來讀取自然頻率。

一、RT Pro user guide 6.0 資訊擷取系統之功能：

1. 訊號解析及波源。
2. 模型數據或資料的擷取。

3. 聲音資料擷取。
4. 高解析的聲音辨識系統。
5. 波長監測。
6. 簡化環境數據。
7. 受振試體的加速度、速度、位移監測。
8. FFT 轉換。
9. 獲得 data 後可連接轉換成其他軟體所需的格式，如 matlab、excel 等可供方便利用。

二、RT Pro user guide 6.0 之試驗設定：

Frequency range : 1Hz~500Hz

Sensor sensitivity : 10 V/G

Linear average

Hanning window

Analysis points : 2048

Analysis lines : 800

Frame number : 5



3-3 熱穩定筒狀抗微振裝置之試驗

3-3-1 熱穩定筒狀抗微振裝置試驗方法

一、敲擊試驗：

將待測裝置放在實驗室裡的地板上，如圖 3-8 所示。接著把加速規吸附在最內層的最上方，由於加速規下方有一個磁鐵即可吸附在設計之裝置上，在把加速規及電子敲擊鎚分別連接上 LDS 訊號接收器，LDS 訊號接收器有四個接收孔可連接訊號儀器，最後把接收器連結 PC，於 PC 上開啟 RT Pro user guide 6.0 資訊擷取系統，即開始量測。由於該設計裝置第二層與內層中間留有空隙，如圖 3-9 所示。用以加載有阻尼、熱傳導性佳等物質。而本試驗有裝入工地砂及水加以測量，如圖 3-10 所示。

當試驗設備及軟體都備妥之後，即可開始試驗，加速規直擺吸附在裝置上，如圖 3-11 所示。以測量該裝置垂直向之自然頻率，為了量測之數據讓人更具說服力，即在該裝置下方放一層軟墊，如圖 3-12 所示。以避開地面上，才不至於誤所得到的數據不是該裝置之頻率。

水平方向的試驗本人是以一個六面的小磁鐵吸附在裝置上，在把加速規橫擺吸附在磁鐵上，如圖 3-13 所示。即開始試驗，之後裝置下方仍然放一層軟墊，如圖 3-14 所示。

二、溫度及位移之監測：

把一支溫度感測棒放入裝置之中碰觸最外層的鐵，另一支放在裝置外用來量測外面的空氣溫度，連同位移監測器裝上，位移感測器的精度可到 1.000mm，溫度監測器如圖 3-16 所示。位移監測器如圖 3-17 所示。而位移監測的架設是以石英棒裝上架子，上方以 3 顆螺絲固定在內層上所預留的螺絲孔，而石英棒非常的脆弱，但好處是石英棒比較不會因外在環境的溫度變化而造成熱讓冷縮的現象。裝置如圖 3-18 所示。

3-3-2 熱穩定筒狀抗微振裝置之試驗結果

一、敲擊試驗：

● 水平方向：

水平方向試驗所得到之數據為，衝擊鎚輸入之力為 83 N，如圖 3-19 所示。加速度歷時圖，如圖 3-20 所示。所得到之自然頻率為 120 Hz，如圖 3-21 所示。軟體之輸出結果，如圖 3-22 所示。

裝置下方加海綿另外加以量測，所得到數據為，衝擊鎚輸入之力為 106 N，如圖 3-23 所示。加速度歷時圖，如圖 3-24 所示。所得到之自然頻率為 116.64Hz，如圖 3-25 所示。軟體之輸出結果，如圖 3-26 所示。

● 垂直方向：

垂直方向試驗所得到之數據為，衝擊錘輸入之力為 71.5 N，如圖 3-27 所示。加速度歷時圖，如圖 3-28 所示。所得到之自然頻率為 159.5 Hz，如圖 3-29 所示。軟體之輸出結果，如圖 3-30 所示。

裝置下方加海綿另外加以量測，所得到數據為，衝擊錘輸入之力為 134 N，如圖 3-31 所示。加速度歷時圖，如圖 3-32 所示。所得到之自然頻率為 156.26Hz，如圖 3-33 所示。軟體之輸出結果，如圖 3-34 所示。

- 裝置空隙加砂：

所得到之數據為，衝擊錘輸入之力為 67 N，如圖 3-35 所示。加速度歷時圖，如圖 3-36 所示。所得到之自然頻率為 242.98 Hz，如圖 3-37 所示。軟體之輸出結果，如圖 3-38 所示。

- 裝置空隙加水：

所得到之數據為，衝擊錘輸入之力為 87.5 N，如圖 3-39 所示。加速度歷時圖，如圖 3-40 所示。所得到之自然頻率為 254.57 Hz，如圖 3-41 所示。軟體之輸出結果，如圖 3-42 所示。

在本研究後面章節以 ANSYS 做模態分析當中得知，在給定的頻率範圍內並無垂直方向的振動，所以來探討實驗所量測的垂直方向的頻率不是真正該裝置的，依結構動力學[2]中，求阻尼比的公式有二種，一種是自由振動衰減曲線法（free vibration decay method），另一種是半功率頻寬法（half power bandwidth

method)。阻尼系統又有分為臨界阻尼系統、過阻尼系統、低阻尼系統。而臨界阻尼系統的阻尼比 $\xi=1$ ，過阻尼系統的阻尼比 $\xi>1$ ，低阻尼系統的阻尼比 $\xi<1$ ，在大部分結構振動系統裡均屬於低阻尼系統，本研究之裝置也屬於此系統。使用自由振動衰減曲線法求取阻尼比，即 $\delta = \ln \frac{u_1}{u_2} = 2\pi\xi \frac{\omega}{\omega_d} = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$ ，在代入 $\xi = \frac{\delta/2\pi}{\sqrt{1+(\delta/2\pi)^2}}$ ，即可求得。在水平方向試驗所求得的阻尼比為 $\xi=0.0442$ ，垂直方向試驗所求的阻尼比為 $\xi=0.0142$ ，而由於本裝置垂直方向比較堅固，阻尼比應該要較高，所以所量測到垂直方向的自然頻率應該不是該裝置的，所產生的頻率有可能是裝置造成彎曲所產生的。而加砂的試驗阻尼比為 $\xi=0.0573$ ，加水的試驗為 $\xi=0.0484$ 。

二、溫度及位移之監測：

使用兩支溫度感測器，把一支溫度感測棒放在裝置內底部碰觸最內層的鐵，用來量測裝置的溫度，另外一支放在裝置外，用來量測室外溫度，位移監測器仍然架著，即可開始量測。而加熱器是使用高約 140mm、寬 230mm、深 170mm 的電暖器來加熱，放置在裝置的左方，離裝置約 600mm。

這實驗主要的觀測重點就是當環境隨著溫度的變化效應，該

裝置的位移變化不會明顯的伸長或縮短，以達到該裝置最初所設計的理念，具有熱穩定的效果，驗證設計之合理性。而探討的方向以把裝置放在室內及室外做比較，以及在該裝置加入介質來看是否此介質的材料能加速改裝置熱傳導的效果。以下把溫度感測器放在裝置內空隙碰觸最外層的鐵筒稱 T1，放在裝置外及裝置外面的溫度簡稱 T2。

(A) 空筒放置於室內：

把待測的裝置放在室內 4 坪大的空間，將溫度及位移感測器分別裝上，當電源啟動時，當時的 $T1=29.2^{\circ}\text{C}$ ， $T2=27.8^{\circ}\text{C}$ ，位移量測器顯示的位移為 1.047mm，每 30 分鐘紀錄一次，等到 T1 與 T2 溫度達室溫時，開始以電熱器加溫，可以觀察到當 T2 的溫度變化隨著加熱上升很快，而裝置的溫度則慢慢的上升，當 T2 的溫度最高到 52°C 時，T1 才上升至 39.7°C ，過了一段時間，裝置溫度達到室溫時，觀察位移的變化，位移變化了 $15\mu\text{m}$ ，之後停止加溫，使裝置靜置，繼續觀察。最後裝置的最低溫度為 28.1°C ，最高溫度為 44.8°C ，位移最終只變動最大位移量為 $27\mu\text{m}$ ，所以此設計之裝置並不會有多大的位移變動，合於設計之概念。如圖 3-43~3-46 所示。如表 3-1 所示。

(B) 空筒放置於室外：

把裝置從室內拿到室外，利用這溫差來觀察它的變化，起始

裝置外的溫度為 29.6°C ，裝置的溫度為 27.4°C ，位移量測器顯示的位移為 4.053mm ，T1 溫度最高達 33.5°C ，T2 為 31.6°C ，位移也只變動了 $15\mu\text{m}$ ，在觀測當中發現裝置放在室外時比放在室內較快達到當時所量測在外的溫度，熱的傳導較快，相同的是該裝置的位移變動也不大。如圖 3-47~圖 3-50 所示。如表 3-2 所示。

(C) 於空筒空隙中加水:

由於本研究之裝置有留空隙，目的就是可以加入適當的材料，加速它的熱傳導，以達到該裝置熱穩定的設計。一開始 T1 溫度為 29.2°C ，T2 為 28.2°C ，位移初始為 1.025mm 。放置一段時間，開始加溫，T2 溫度最高達 40.7°C ，T1 最高達 38.1°C ，停止加溫之後，觀測它溫度的變化，發現加入水之後，溫度傳導較快，裝置裡量測的溫度很快就到達室溫，而位移最高也只變動了 $12\mu\text{m}$ ，如圖 3-51~圖 3-54 所示。如表 3-3 所示。

(D) 於空筒空隙中加砂:

加入的材質是屬於工地用的砂土，以小漏斗放在此裝置的空隙中，慢慢加砂到入，每到入一次就轉動一下裝置，好讓砂均勻的在空隙當中，到滿之後即開始量測，一開始 T1 溫度為 30.1°C ，T2 為 29.3°C ，位移為 0.989mm 。同樣地靜置一段時間之後開始加溫，最高溫度 T1 達 39.7°C ，T2 達

42.5°C，與加水比較發現，水比砂易於熱的傳導，加砂的裝置溫度比較慢才達到室溫，而位移的變動最大只達 25 μm，如圖 3-55~圖 3-58 所示。如表 3-4 所示。



第四章 熱穩定筒狀抗微振裝置之 ANSYS 分析

4-1 前言

隨著科技軟體的快速發展，發展出許多 CAE 計算軟體，如 ANSYS、ANSYS 的 LS-DYNA 模組、ABAQUS、MARC、ALGOR、ADINA、ASKA 等商用軟體。

ANSYS 軟體是融合結構、流體、電場、磁場、聲場、分析於一體的大型通用有限元素分析軟體。由世界上最大的有限元素分析軟體公司之一的美國 ANSYS 開發，它可以與多數 CAD 軟體界面結合，展現數據及數值的共享和交換，如 Pro/Engineer, NASTRAN, Alogor, I-DEAS, AutoCAD 等，是現代產品設計中的高階 CAD 工具之一。它能同時分析 MODEL 受到靜力、動力、流體及熱傳等多重物理現象影響時之變化，所以多應用在土木、機械、航太、材料、電子、生物、醫學工程等多種領域。其中的運算原理乃根據有限元素法（Finite element），因此當模型建立，並給它相關的參數設定，並加以網格化後，再來只需附加模型的邊界條件，即可直接利用有限原素法來計算。而在 ANSYS 建構模型的部份，可以利用三種方式，如，利用 GUI 介面建構模型、以指令方式建構模型、以 CAD 軟體建構模型，所以本研究即利用繪圖軟體（SOLIDWORKS）繪出模型，再輸入 ANSYS 介面，來

探討其動力特性。

4-2 ANSYS 分析步驟

軟體主要包括三個部分：前處理，分析計算和後處理。[前處理]提供了一個強大的實體建模及網格劃分工具，可以很方便地建構有限元素模型；[分析計算]包括結構分析（可進行線性分析、非線性分析和高度非線性分析）、流體動力學分析、電磁場分析、聲場分析、壓電分析以及多物理場的耦合分析，具有靈敏度分析及優化分析能力；[後處理]可將計算結果以色彩顯示、梯度顯示、立體切片顯示、透明及半透明顯示（可看到架構內部）等圖形模式顯示出來，也可將計算結果以圖表、曲線形式顯示或輸出。軟體提供了100種以上的單元類型，用來比擬工程中的各種結構和材料。

啟動 ANSYS 後，進入軟體畫面以後，程式停留在開始平台。從（主選單）即可進入各處理模組：PREP7（前處理模組），SOLUTION（求解模組），POST1（通用後處理模組），POST26（時間歷程後處理模組）。

4-2-1 前處理

前處理主要的分析流程包含定義元素的屬性（Element Attributes），建立實體模型（Solid Modeling），網格劃分（Meshing）。

一、定義元素的屬性 (Element Attributes)

元素的選取應用是一開始就要決定的，但往往是最難的動作。而元素的種類又可分為點元素，例如 MASS21。它是以質量點來代替物理系統中各部份，如此即可簡化元素的使用。點元素之後是線元素，線元素又包含了樑元素、管元素、Link 元素 例如 Beam3、Beam54、Pipe16、Link1。其中 Link 元素同時又可用來使用 Cable 等相關結構。

線元素之後就是薄殼元素，例如 Shell63、Shell191。使用的概念理論包含了薄殼、薄膜及厚板等相關理論。接下來再來就是體積元素，例如 Solid45、Solid95。只要將模型的體積是當切割，就可將體積格點化。

元素選定後，即可開始定義它的材料性質 (material property)，一開始是以線性材料為主要考量，反之就必須以非線性的模式重新設定。

二、建立實體模型 (Solid Modeling)

建構模型主要可以使用三種方法來建構，利用指令的方式來建構、利用 GUI 介面來建構、利用 CAD 軟體來建構。

● 以指令方式建構模型：

以指令的方式來輸入，要對其代號相當的熟，例如 要建立一個圓柱體積。以圓柱體積中心點之 X、Y 座標 (XC，YC) 為基

準，RAD1，RAD2 為圓柱之內外半徑，THETA1，THETA2為圓柱之起啟，終結角度。圓柱的高度為DEPTH，而當DEPTH=0 時則產生一塊圓形面積。輸入指令的格式為 [CYL4, XCENTER, YCENTER, RAD1, THETA1,RAD2, THETA2, DEPTH]。指令也可以全部建好在文字檔案裡，修改時也較方便。好處是可以透過指令直接改變幾何，缺點是要非常了解其建模指令。

- 利用 GUI 介面來建構模型：

即以 [Main > Preprocessor > Modeling > Create] 的方式來建構，可分為從上而下 (top-down) 以及由下而上 (bottom-up) 兩種模式。從上而下 (top-down) 的做法必須先建立基礎幾何單元，如 四方體、圓柱等。再將這些基礎單元透過布林運算 (Boolean operation) 的技巧組合起來。至於由下而上 (bottom-up) 的做法則是先建立結構物上的重要關鍵點，再將點連成線，線再連成面，而後面再合成一個體積，最後亦需透過布林運算完成實體模型，此方法的好處就是可以直接在介面上建構模型，缺點是比較複雜的模型不易建構。

- 利用 CAD 軟體來建構模型：

可利用 CAD 軟體例如 Auto Cad、Solid works 等繪圖軟體來建構模型，可經由 IGES、SAT、PARA 等轉換的方式匯入，可以說是相當方便。本研究就是利用此方法，於 Solid works 繪 3D 模型，以 SAT 檔匯入於 ANSYS 軟體中，即完成建構模型。此方

法的好處是較複雜的結構幾何易構建，缺點則是需要有 CAD 軟體的相關基礎。

三、網格劃分 (Meshing)

即 [Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Tool]，其方法分為自由網格 (free mesh) 與規則網格 (mapped mesh) 兩種。自由網格的限制比較少，規則網格法則有較多條件限制，其模形的幾何體積必須符合一定的要求，否則將無法網格化，因此需花費較多時間將實體模型作細部分割。至於規則網格化之計算結果較自由網格法準確。當網格化之後，前處理的部份就完成了。

4-2-2 加載及求解



完成有線元素模型之後，就可以設定邊界條件進而求解。分析一開始要選擇模型分析之形式，大致分為靜態分析 (static analysis)、模態分析 (modal analysis)、簡諧分析 (harmonic analysis)、暫態分析 (transient analysis)、子結構分析 (substructure analysis)、挫曲分析 (buckling analysis)。本研究是使用模態分析 (modal analysis)，進而求取結構之頻率。

ANSYS 將邊界條件區分五大類，為自由度約束 (DOF constraint)、集中式負載 (force)、表面負載 (surface load)、內部負載 (body force)、慣性負載 (inertia load)。當每次施加邊界後 ANSYS 就會將邊界條件加載的狀況顯現出來，邊界條件

設定完後即可求解。求解之結果會存到一輸出檔，若有新的邊界條件也可繼續設定求解。

4-2-3 後處理

後處理器是用來分析展現求解之結果和提取結果數據之工具。ANSYS 提供兩種後處理器分別為一般後處理（General Postprocessing）：為 /POST1 模組，是用來處理某一時間上的整體結構的反應，或者某特定時間或頻率下的結果。而時間歷時後處理（Time-History Postprocessing）：為 /POST26 模組，用來分析處理特定時間範圍內之模型指定節點上的某結果隨時間或頻率的變化情況來處理。在求解結束後，會在所儲存的目錄下產生一個結果記錄。例如 檔案名稱的格式為 Jobname.RST。

4-3 熱穩定筒狀抗微振裝置之 ANSYS 模態分析

4-3-1 元件之幾何建立

本研究裝置的幾何外型之建立是利用 CAD 軟體 Solid Works 繪出，接著再匯入 ANSYS 做有限元素的計算。裝置幾何的外層全長 476mm，上層圓板直徑 210mm、厚度 8mm，中間層全長 484mm，上層圓板直徑 210mm、厚度 10mm，外層底部與中間層底部留有 2mm 空隙，中間層底部內縮 9mm 並與內層底部以螺栓接合，內層全長 475mm，內層頂部加蓋，以螺栓接合。依照實體

模型建構完成之分析模型如圖 4-1~圖 4-5 所示。

4-3-2 網格元素種類選取

本裝置進行建模分析時採用 SOLID45 元素[3]進行分析，SOLID45[3]是用來建構 3D 實體結構的最基本元素，在此是指 ANSYS 最早發展的元素，如圖 4-6 所示。這個元素有 8 個位於頂點的節點（編號為 I, J, K, L, M, N, O, P），所以是屬於線性元素。每一個節點有 3 個自由度，分別為 UX, UY, UZ，亦即 X、Y、Z 三個方向的變位。這個元素的形狀通常是一個六面體（hexahedron），但是當某些節點重疊在一起時，這個元素可以退化（degenerate）成三角柱（prism）或是四面體（tetrahedron），如圖 4-6 右邊所示。當 ANSYS 在自動切割網格時，需要用到三角柱或四面體時會把某些節點重疊在一起。這個元素除了支援 linear elasticity 外，還支援 plasticity、creep 等非線性材料模式，及 large deflection、large strain 等幾何非線性功能；其他支援的功能包括 stress stiffening 等。SOLID45[3]雖然包含很多功能，但是因為其歷史非常悠久，所以並未包含較新發展的理論，尤其是大變形理論及新的材料模式，所以 ANSYS 後來發展其它元素來改善這些缺失，這些較新的元素編號都是以 18 開頭（例如 SOLID45[3]所相對應的 SOLID185 元素），以後我們統稱之為 18X elements。不

過對線性分析或簡單的非線性分析而言，所以用 SOLID45[3]或 SOLID185，其結果應該是一致的。

4-3-3 定義材料參數

本研究之裝置為鋼材及鋁材所製造，所定義材料參數包括彈性模數（Young's modulus）、柏松比（poisson ratio）、密度（density），並以等向性（isotropic）材料屬性去定義，鋼材之彈性模數為 2×10^{11} pa，柏松比為 0.266，密度為 7850 kg/m^3 ，鋁材之彈性模數為 6.8×10^{10} pa，柏松比為 0.33，密度為 2700 kg/m^3 。相關參數設定如圖 4-7~圖 4-10 所示。

4-3-4 網格的建立

選擇 meshing 選項中元素大小控制（size controls）的 mannul size，對建構之模型進行網格的劃分（meshing）生成有限元素模型，採用自由網格（free mesh）劃分網格，即可完成有限元素網格化之模型製作，如圖 4-11 所示。

4-3-5 邊建條件之建立

有了有限元素模型後，即開始進入求解器，使用求解器之 Modal Analysis，頻率範圍設定 0Hz 到 1000Hz，求取前 10 個模態。邊界條件的設定以下方固定 4 個點 中間點 XYZ=0，另外，旁邊兩點 YZ=0 一點為 XY=0。當邊界條件選定好後，即開始求解。

4-3-6 ANSYS 模態分析結果與討論

模態分析的目的就是要了解此設計裝置振動系統的自然頻率與模態振型，也就是利用有限元素法來求解出無阻尼自由振動系統的特徵植問題，在本研究模態分析裡，均假設為線性系統，即此裝置結構的變形很小，且材料性質均為線性。而在 ANSYS 模態分析裡提供裡一些模態抓取法，藉著搭配有線元素法來計算自然頻率與模態振型。在本分析裡先後使用 Subspace method、Block Lanczos method 兩種模態的抓取方法，但在使用 Subspace method 之後，ANSYS 出現了錯誤訊息，原因是本身電腦的記憶體不足以及硬碟儲存的空間不夠。所以本研究決定使用 ANSYS 裡面內定之模態抓取法為 Block Lanczos method，它的好處是適用於結構的對稱問題且收斂性快，可用於處理絕大部分的分析問題。在本研究模態分析裡，不改變模型的幾何條件及材料性質，只改變結構之邊界條件，則會產生不同的振動現象，因為不同的邊界條件將會改變此裝置的自然頻率與模態振型。

於裝置底部邊界條件設定 4 個點，裝置底部中間 A 點設定為 ALL DOF=0 另外 B、C 兩點設定 $UY=UZ=0$ ，D 點設定為 $UX=UY=0$ ，如圖 4-11(b)所示。設定頻率於 0~1000Hz 範圍抓取模態，共抓取 10 個模態，計算完後，在後處理 /POST1 部分，以

指令「SET,LIST」得到 8 個模態，分別為 116.13Hz、175.82Hz、299.07Hz、323.58Hz、402.78Hz、720.71Hz、841.11Hz、947.47Hz。而此 8 個模態的負荷增量 (load step) 均定義為 1，副增量 (substeps) 定義依頻率由 1 排到 8，依此類推。但在模態分析中，負荷增量和副增量只是用於模態的編號，如圖 4-12。取第一模態 116.13Hz 來看，與實驗所量測水平的第一模態值非常接近，就取此頻率當此裝置的自然頻率。接著使用 SET 指令可以查看各模態的振型，執行「SET,1,1,」再以「PLDISP,1」得到如圖 4-13 的第一模態振型。依此類推可分別得到第 2 到第 6 模態振型，如圖 4-14~圖 4-18 所示。以第一模態 116.13Hz 之振型來看，此裝置的上方會往水平方向(X 方向)來偏移，較符合水平方向的試驗。而我們從這幾個模態之振型所畫出的相對位移，它們的位移量大小並不是實際值，只當作參考用。

第五章 結論與建議

本研究是先以熱穩定的概念設計出此裝置，由工廠加工，約 500 mm 高的模型來試驗，主要的目的為試驗該裝置的自然頻率及熱膨脹率，來探討該裝置，並以有限元素軟體 ANSYS 加以分析它的模態。

1. 在溫度、位移的監測方面，以空筒、空筒加水和空筒加砂之量測數據取平均，當溫度變化平均約 12°C ，該裝置的位移變化平均在 $13\ \mu\text{m}$ 左右，比照單以鋼材做成 500mm 的高度，溫度變化約 12°C ，位移變動約為 $66\ \mu\text{m}$ 。所以該裝置的設計與當初以熱穩定的概念設計很吻合。另外把空筒裝置放在室內與室外做比較，發現於室外下，裝置的溫度很快與外在空氣達到平衡，因為在室外比在室內較有風吹的傳導。而在空筒加水的部份，則又更易於熱的傳導，加砂的部份比較沒有這麼明顯，可見所加入空筒的物質，它的熱傳導性越好越有助於裝置溫度的變化。
2. 在試驗的部份，水平方向所測量到的自然頻率接近 ANSYS 所分析出來的模態。敲擊所量測的自然頻率= 116.63Hz ，ANSYS 的第一模態= 116.13Hz 。在水平方向試驗所求得的阻尼比為

$\xi = 0.0442$ 。

3. 在垂直測量的部份，會比水平所測到的頻率來的高，因為垂直方向的振幅比水平相對的來的小，而本研究頻率的觀察範圍在 1000Hz 以內，所以其垂直的自然頻率大於 1000Hz。於 ANSYS 分析裡，1000Hz 範圍裡，並無看到有垂直方向的振動。
4. 在空筒裝置中加入工業砂及水於空隙中，所得到的頻率有相對提高，阻尼比也比空筒大，對於該裝置的剛性增加了不少，也多了有阻尼的作用。加砂的自然頻率=242.98Hz，加水的自然頻率=254Hz。加砂的試驗阻尼比為 $\xi = 0.0573$ ，加水的試驗為 $\xi = 0.04837$ 。



5. 在往後的研究建議尋找更有效的阻尼材質，或著有效改善該裝置之微小振動，及利用不同的溫度監測儀器多方面的觀察裝置的變化以及在任何的地點加以監測。

參考文獻

- [1] Peter Mohn, (1999) Nature 400, pp.18-19.
- [2] Ray W.Clough, Joseph Penzien, “ Dynamics of Structures ” McGraw Hill Inc.
- [3] 李輝煌 (2005), “ ,ANSYS 工程分析基礎與觀念, ” 高立圖書有限公司。
- [4] 康淵, 陳信吉 (2006), “ ,ANSYS 入門, ” 全華科技圖書有限公司。
- [5] Gordon Hayward, Senior Member, IEEE, and Jeremy Bennett (1996), “Assessing the Influence of Pillar Aspect Ratio on the behavior of 1-3 Connectivity Composite Transducers” IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, VOL. 43, NO. 1, pp. 98-107.
- [6] Huang Ju-hun. ,Fu Ming-fu. ,HE Cheng-hong. and YANG Guo-tai., (2000), “A Research on subsidence of the factory building’ s pillar foundation under workshop vibration” Journal of plasticity engineering, Vol.7, No.2, pp.1-6.

表 2-1 材料之相關特性

特性 材料	元素比例	熱膨脹係數 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	楊氏模數 (Mpa)	密度 (g/cm^3)
石英 (Quartz)	Si、O	0.5	7.4×10^4	2.2
因瓦合金 (Invar alloy)	Ni 35%+ Fe 65%	1.6	20×10^4	8
鐵 (Fe)		11.5	20×10^4	7.8
鋁 (Al)		23	6.8×10^4	2.7



表 3-1 溫度位移量測(室內)

時間(min)	溫度 T1	溫度 T2	位移(mm)
30	29.2	27.8	1.047
60	29.2	28.6	1.045
90	29.1	27.2	1.042
120	29.1	27.1	1.041
150	29.7	28.9	1.037
180	29.7	29	1.037
210	29.8	29.1	1.037
240	30.6	32.3	1.036
270	31.5	30.4	1.034
300	31.5	31.2	1.034
330	34	37	1.034
360	34.4	52	1.032
390	39.7	52	1.032
420	40.2	43.7	1.033
450	41.9	44.1	1.033
480	44.5	44.3	1.032
510	44.8	44.4	1.032
540	42.7	28.7	1.028
570	39.7	28.2	1.022
600	37.7	28.1	1.02
630	35.5	27.7	1.02
660	34.5	27.7	1.02
690	30.3	27.2	1.022
720	29.8	27.2	1.022
750	29.1	27.1	1.022
780	28.7	27.3	1.023
810	28.5	27	1.023
840	28.4	27.5	1.024
870	28.1	27.5	1.024
900	29.4	28.7	1.024

表 3-2 溫度位移量測(室外)

時間(min)	溫度 T1	溫度 T2	位移(mm)
30	27.4	29.6	4.053
60	28.8	29.7	4.053
90	30.4	30.2	4.051
120	30.4	30.4	4.051
150	30.6	30.4	4.051
180	31.7	30.8	4.05
210	31	30.8	4.049
240	32.1	32	4.044
270	32.1	31.9	4.037
300	32.2	32.3	4.037
330	33.5	31.6	4.038

表 3-3 溫度位移量測(加水)

時間(min)	溫度 T1	溫度 T2	位移(mm)
30	29.2	28.2	1.025
60	30.3	39.8	1.019
90	31.9	39.7	1.015
120	34.7	40.6	1.013
150	37.8	40.7	1.013
180	38.1	40.6	1.013
210	37.7	29.5	1.018
240	33.1	27.3	1.024
270	33	27.4	1.024
300	28.8	26.3	1.024
330	28.5	26.3	1.024
360	27.7	26.8	1.024
390	28.3	27.4	1.023
420	30	29.4	1.023

表 3-4 溫度位移量測(加砂)

時間(min)	溫度 T1	溫度 T2	位移(mm)
30	30.1	29.3	0.989
60	30	28	0.979
90	30.1	28.3	0.979
120	29.8	28	0.978
150	29.9	29.5	0.977
180	39.7	42.5	0.975
210	38.8	30.7	0.97
240	38.3	30.5	0.964
270	36.1	27.4	0.965
300	35.2	27.1	0.965
330	35.3	27.1	0.965
360	33.4	27.1	0.966
390	32.1	27	0.966
420	31.1	29.8	0.97
450	31.4	30	0.97
480	30.7	29.8	0.969
510	30	29.8	0.969
540	30.2	29.8	0.969
570	29.8	28.9	0.969
600	29.8	28.7	0.969

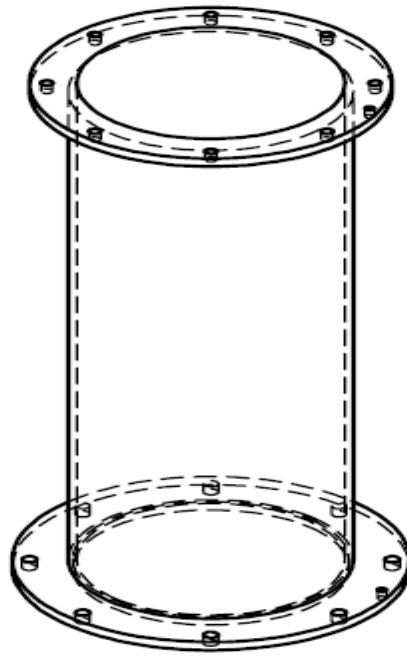


圖 2-1 第一層 立體圖 (鋼)

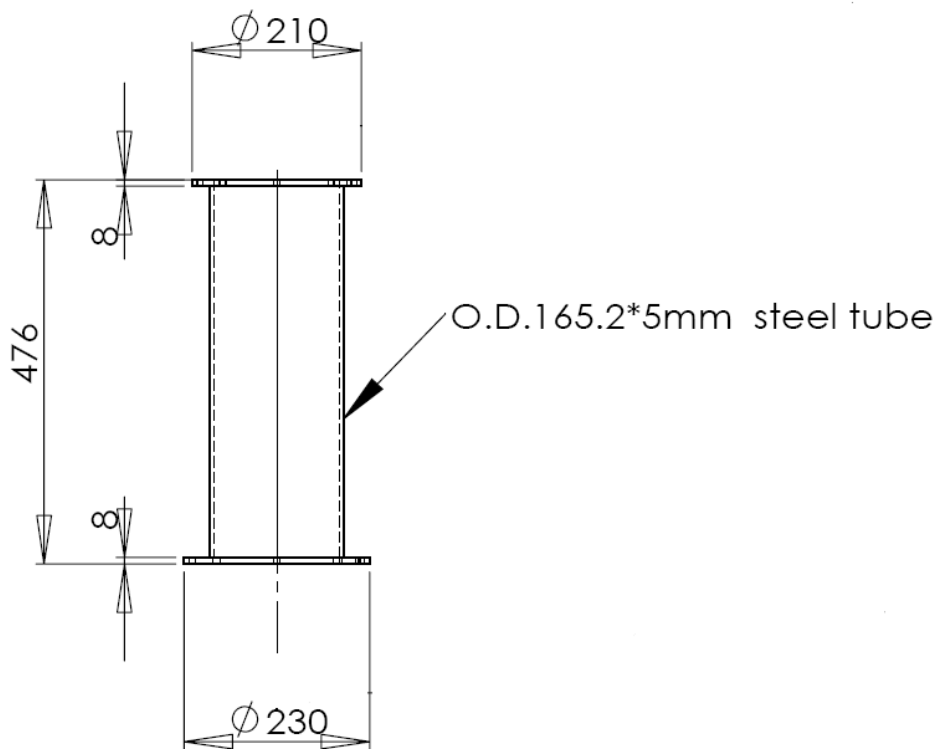


圖 2-2 第一層 正視圖 (mm)

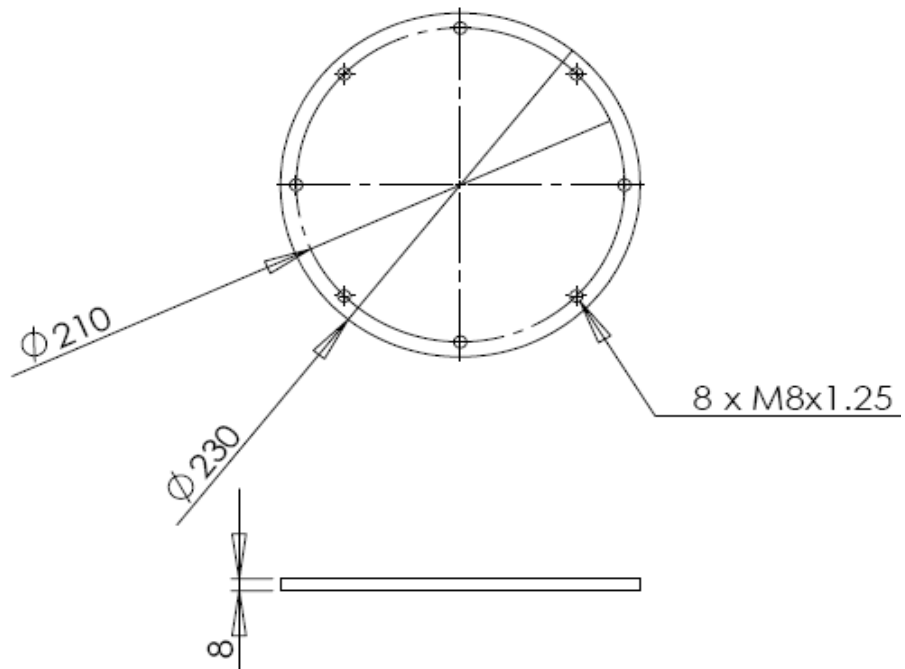


圖 2-3 第一層上視圖(mm)

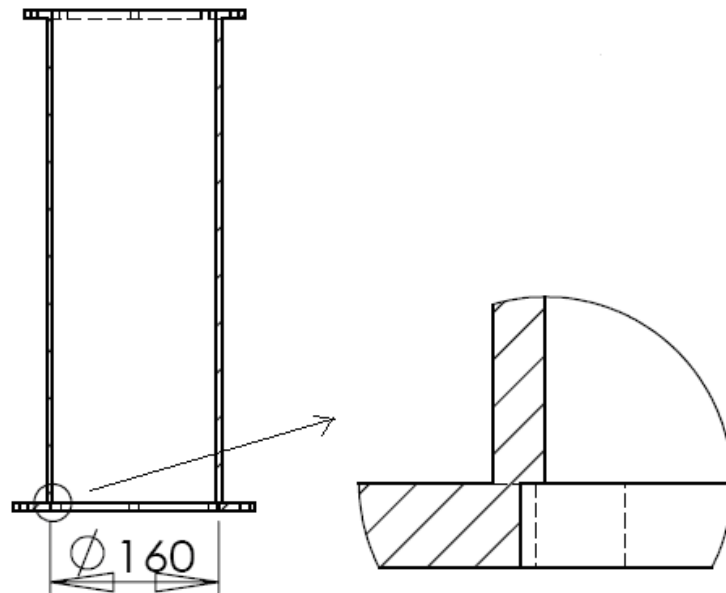


圖 2-4 第一層下方局部放大圖

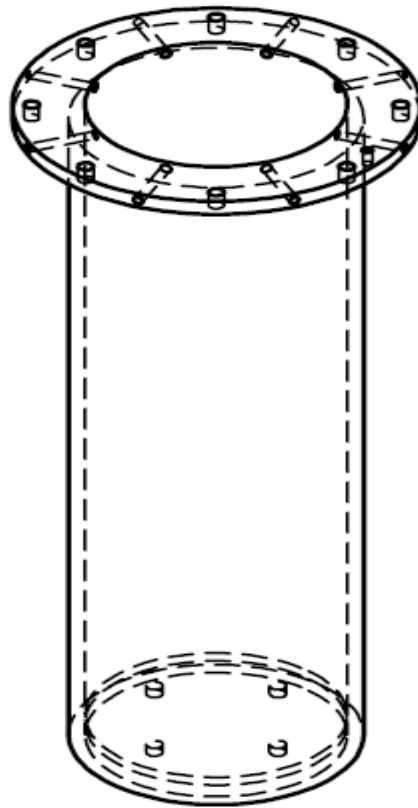


圖 2-5 中間層 立體圖

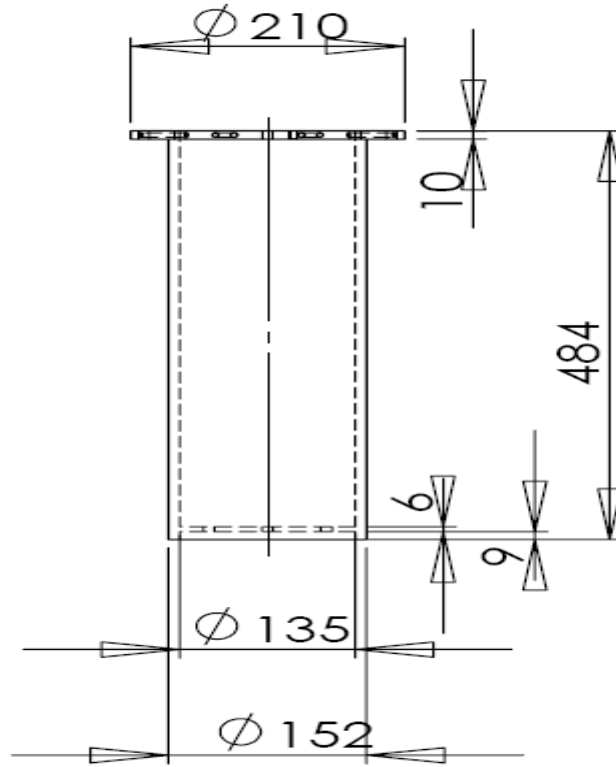


圖 2-6 中間層 正視圖(mm)

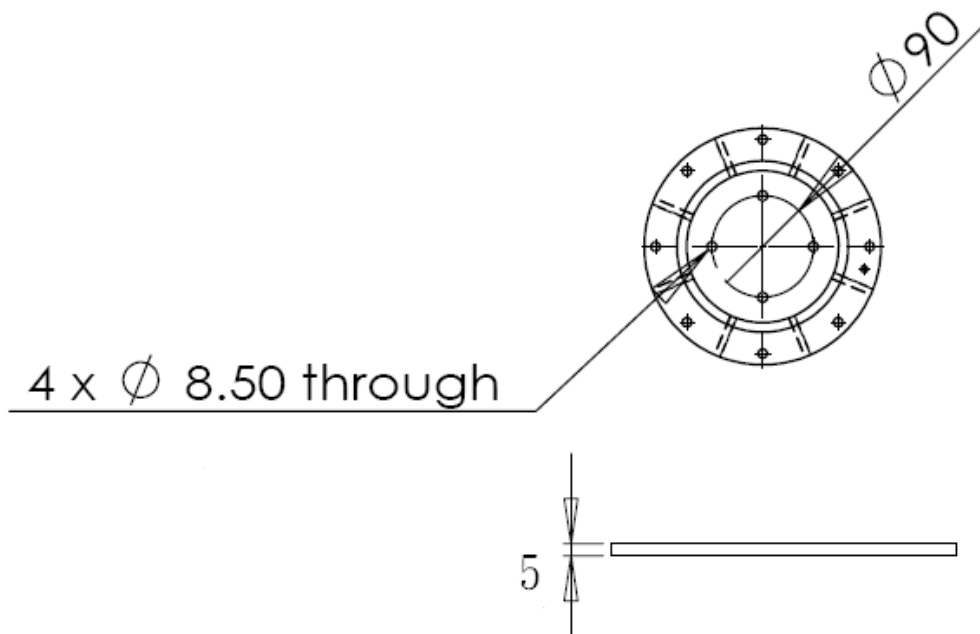


圖 2-7 中間層 上視圖(mm)

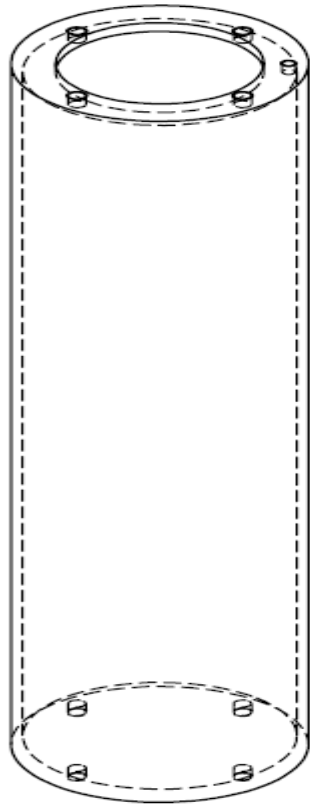


圖 2-8 最內層 立體圖

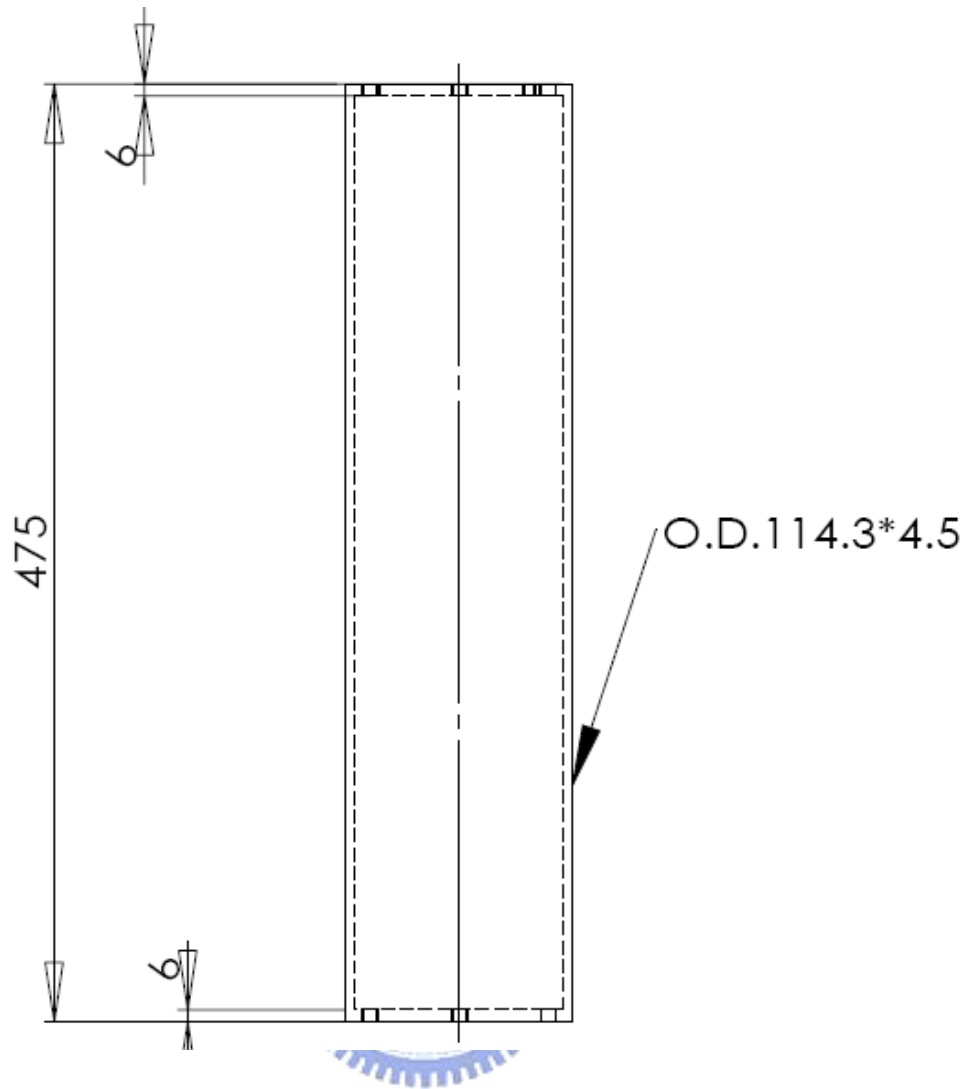


圖 2-9 最內層 正視圖

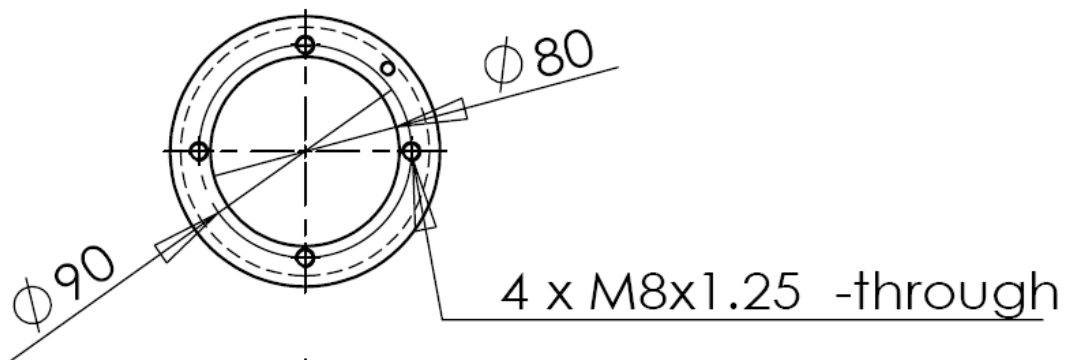


圖 2-10 最內層 上視圖(mm)

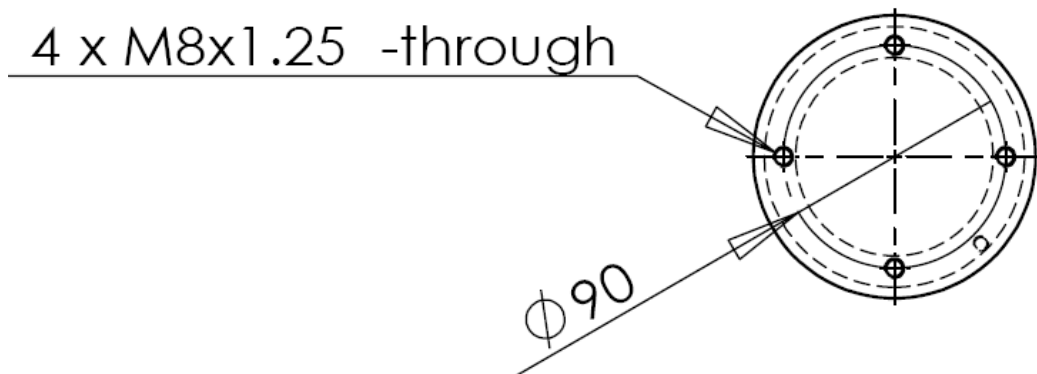


圖 2-11 最內層 底部示意圖

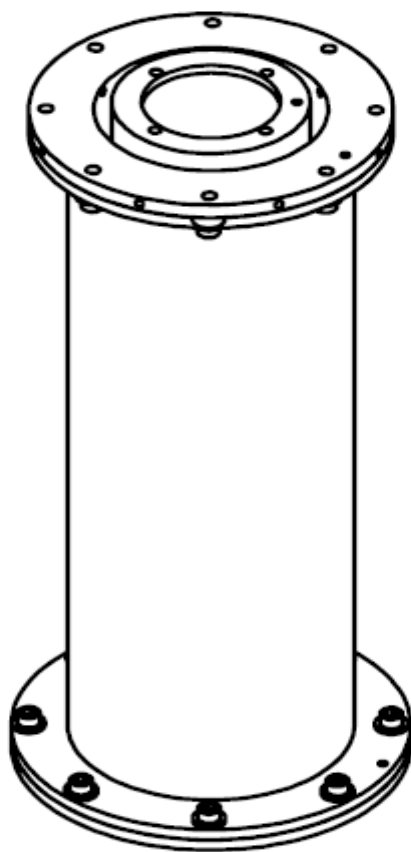


圖 2-12 整個裝置結構立體圖

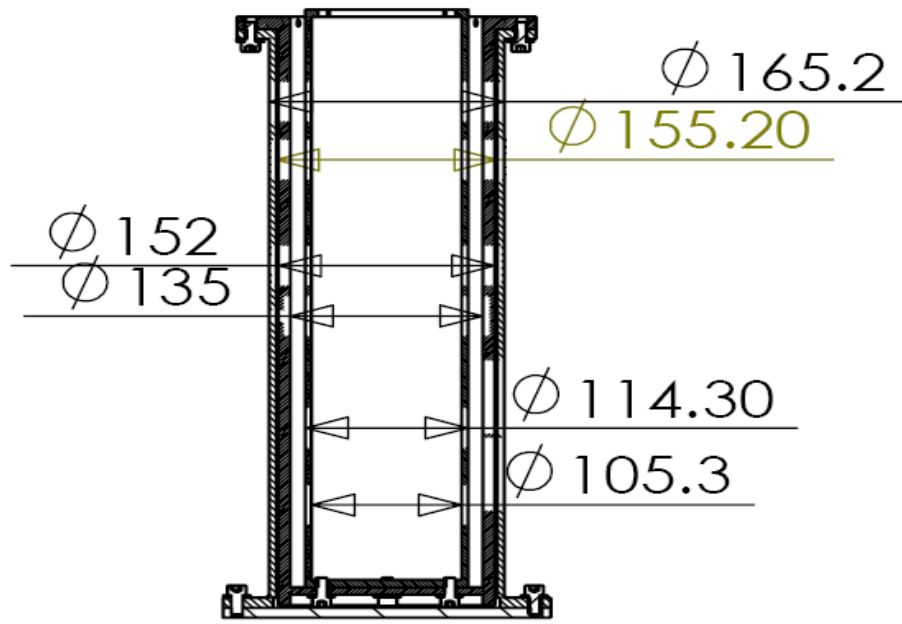


圖 2-13 (a) 整個裝置結構正視圖(mm)

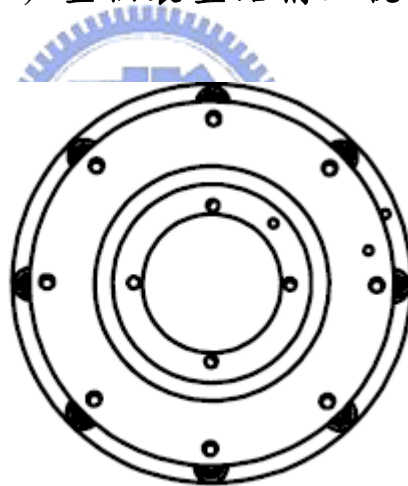


圖 2-13 (b) 整個裝置結構上視圖

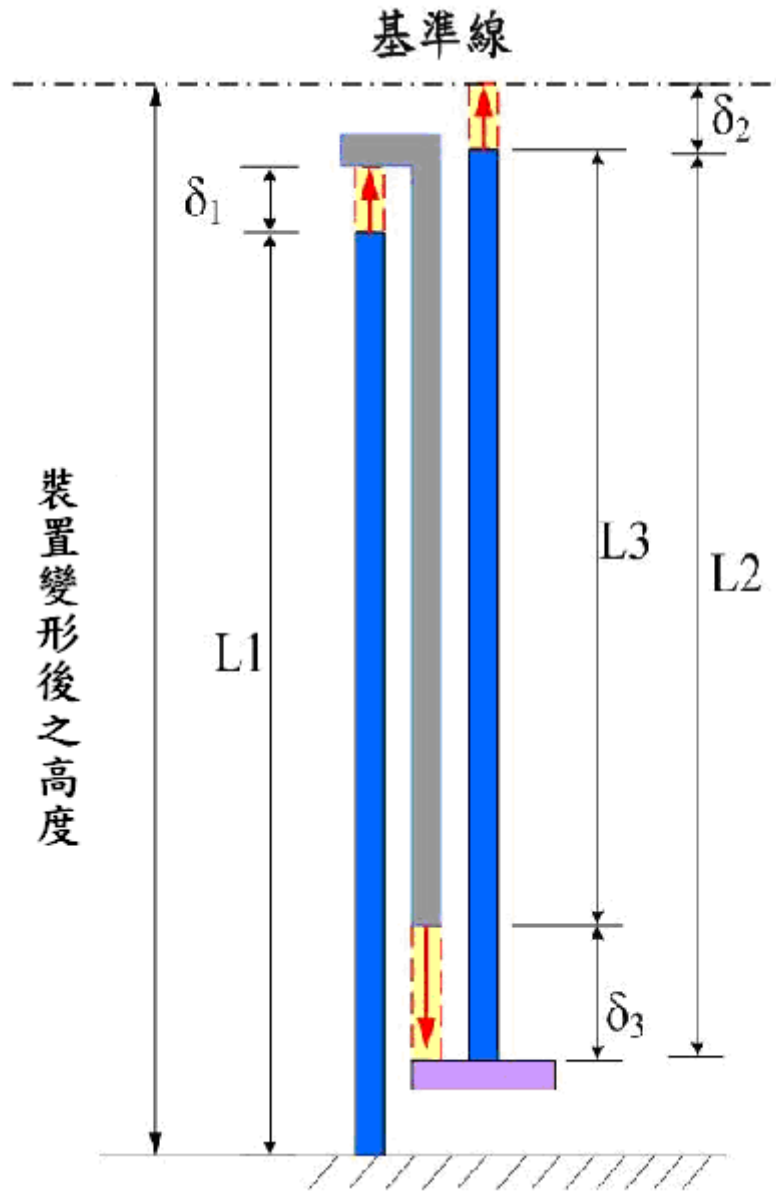


圖 2-14 整體結構變化示意圖



圖 3-1 LDS 訊號接收轉換器



圖 3-2 PCB 電子敲擊錘



圖 3-3 PCB 加速規

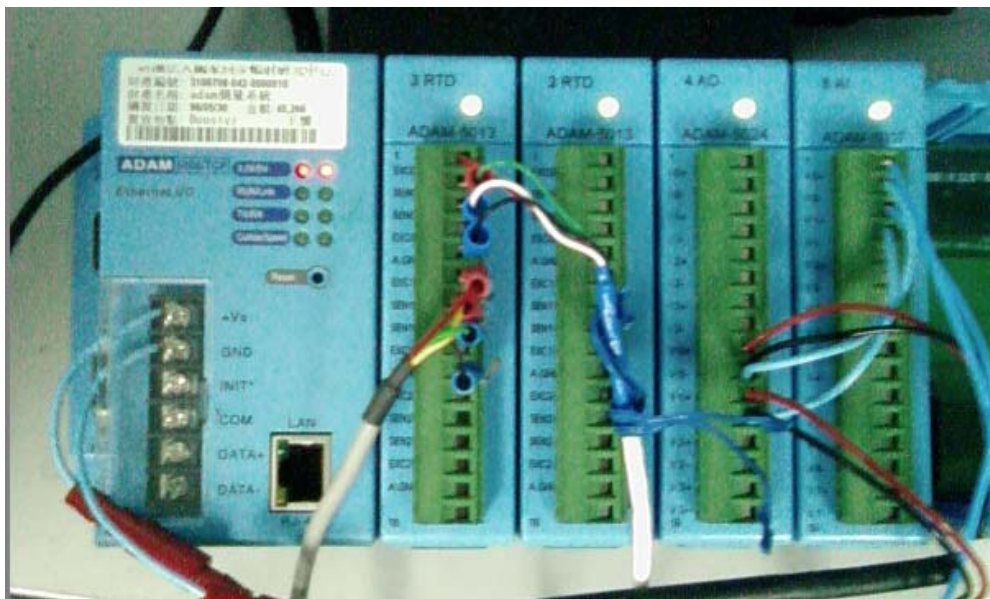


圖 3-4 (a) ADAM 5000E 溫度位移監測器

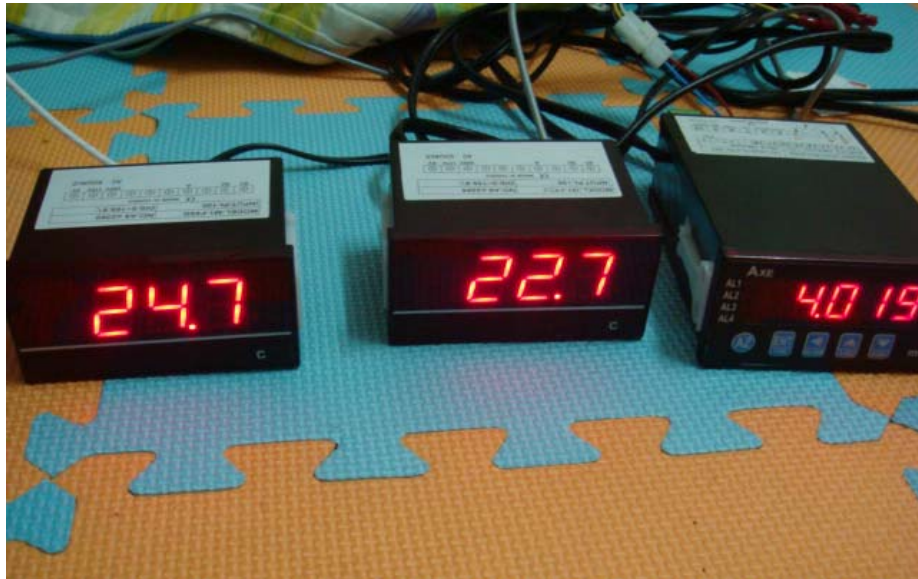


圖 3-4 (b) 溫度位移監測顯示系統

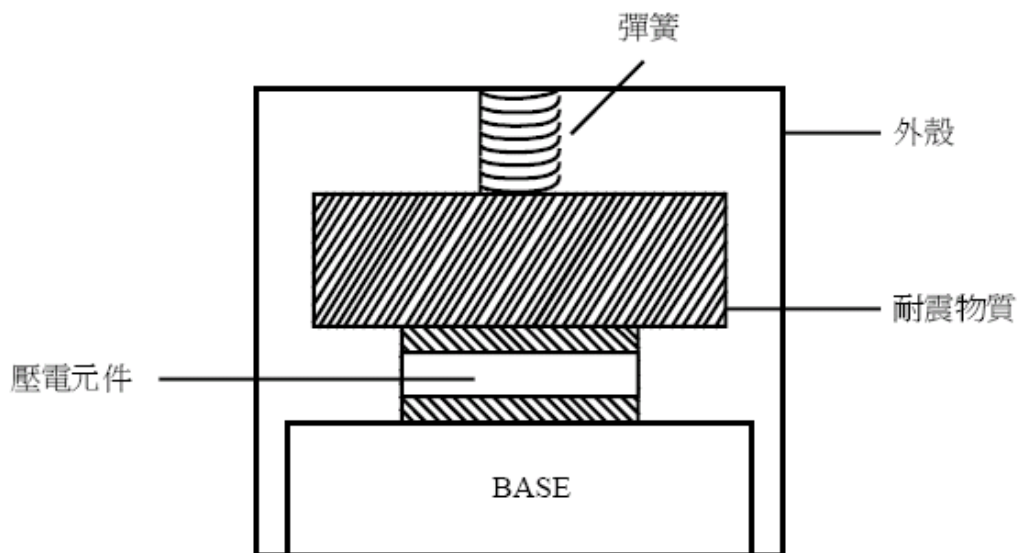


圖 3-5 加速規內部元件

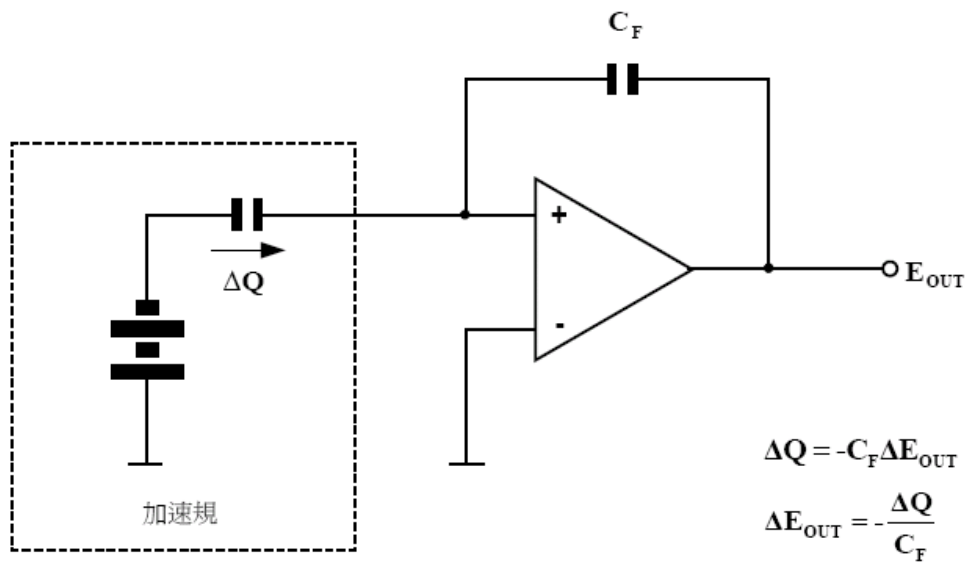


圖 3-6 加速規電阻原理

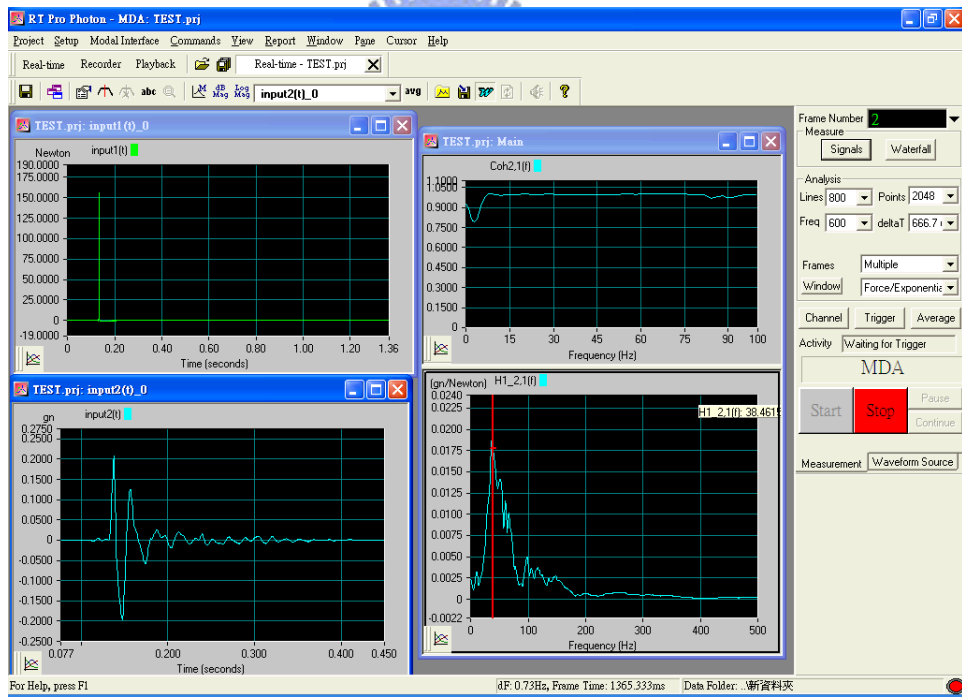


圖 3-7 Pro user guide 6.0 軟體運作



圖 3-8 強迫振動試驗

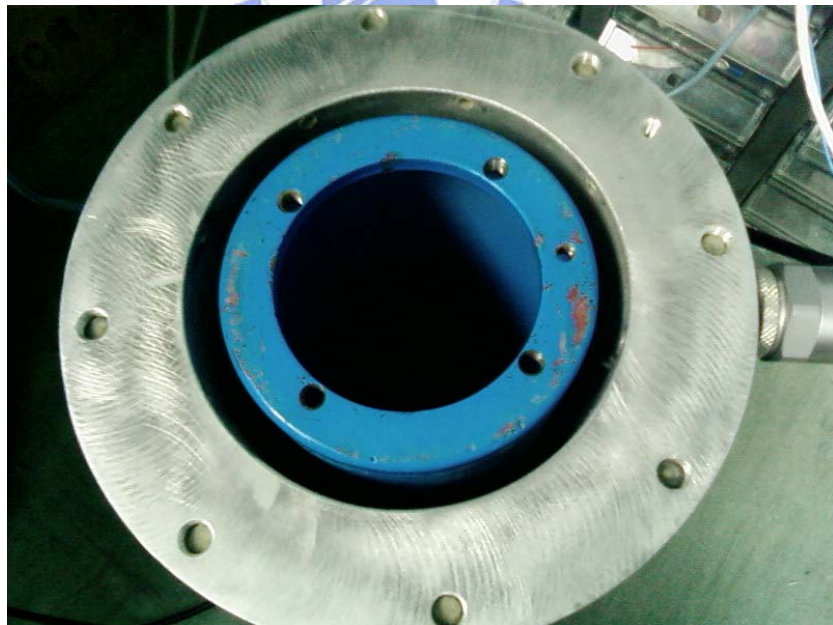


圖 3-9 中間層與內層間之空隙



圖 3-10 中間層與內層間之空隙裝滿工業用砂土

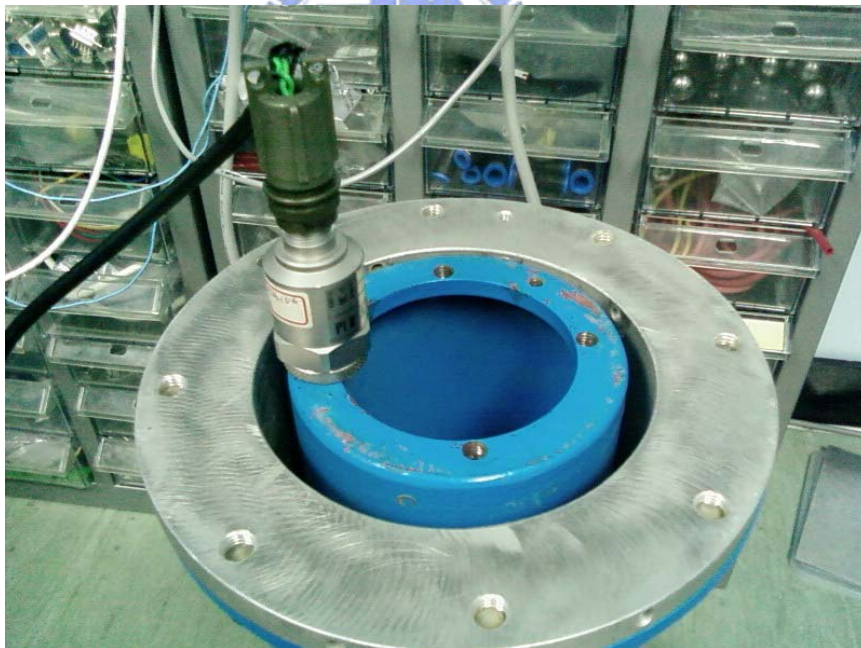


圖 3-11 垂直方向試驗



圖 3-12 (a) 裝置下方所擺的海綿軟墊



圖 3-12 (b) 垂直方向試驗下方加海綿軟墊

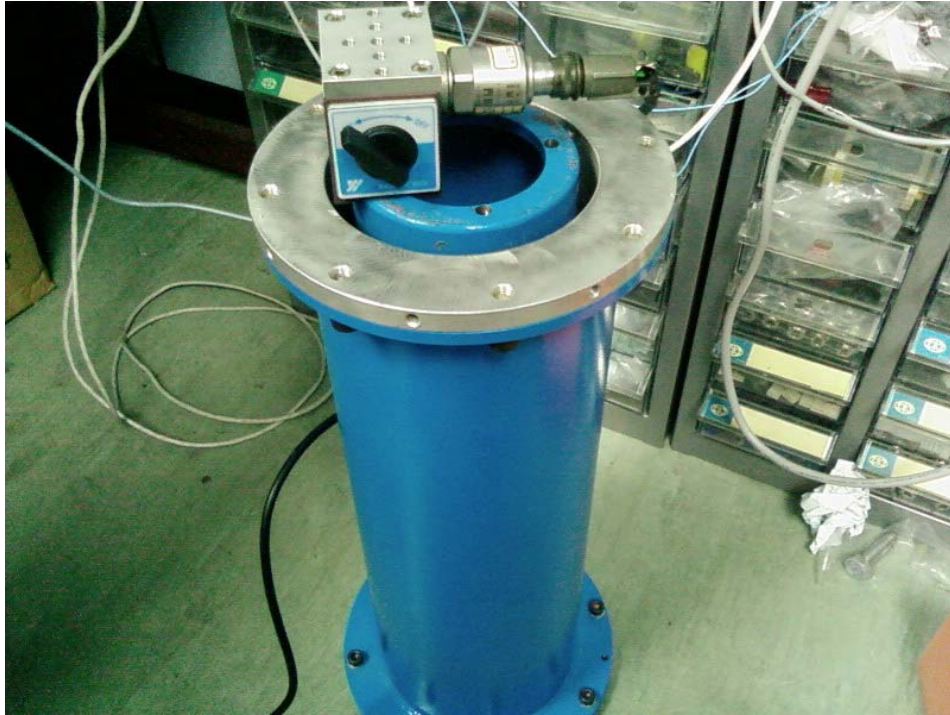


圖 3-13 (a) 水平方向試驗裝置之正視圖

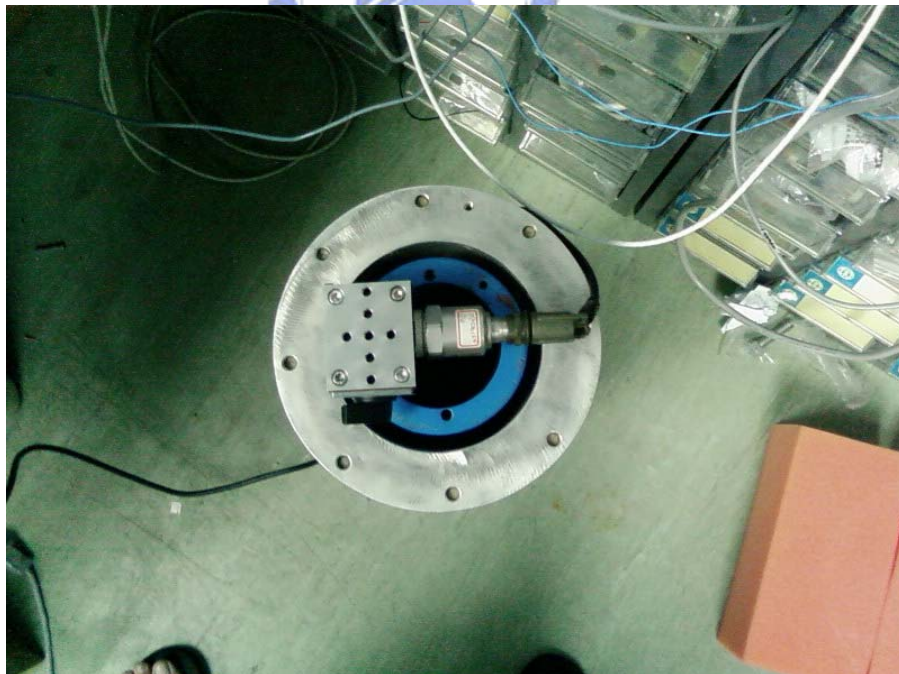


圖 3-13 (b) 水平方向試驗裝置之上視圖



圖 3-14 水平方向試驗下方加海綿軟墊





圖 3-15 溫度位移感測器裝上裝置



圖 3-16 溫度監測器



圖 3-17 位移監測器



圖 3-18 人工監測之擺設

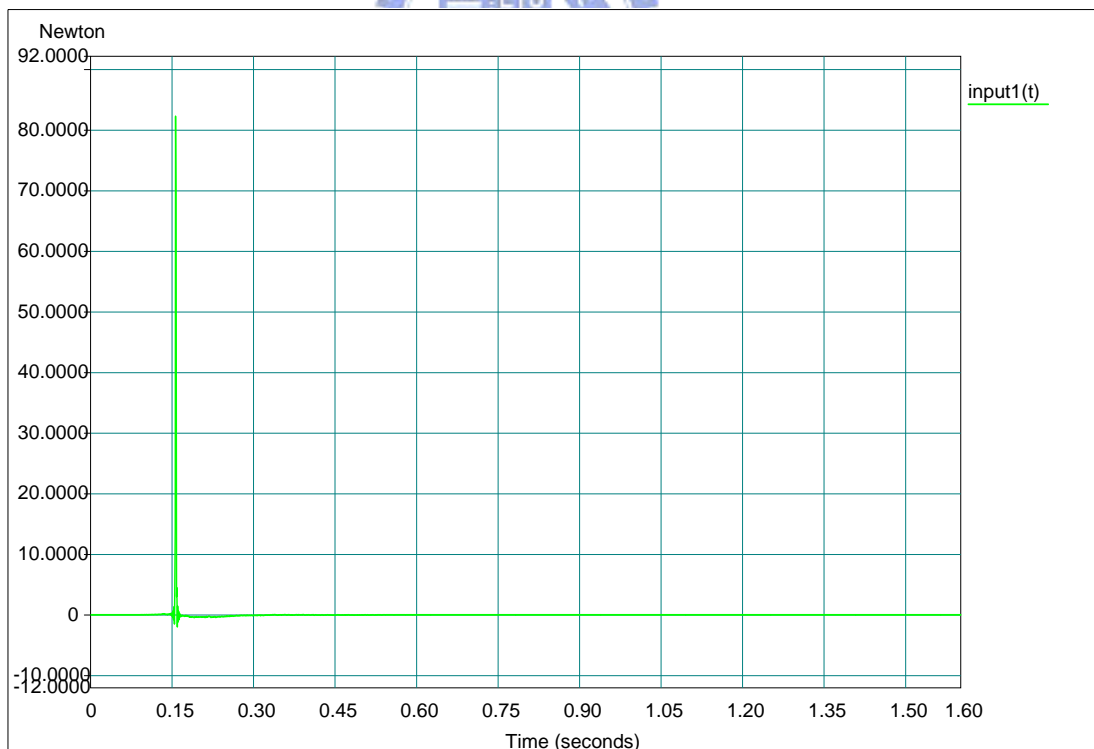


圖 3-19 衝擊鏈輸入之力量(水平)

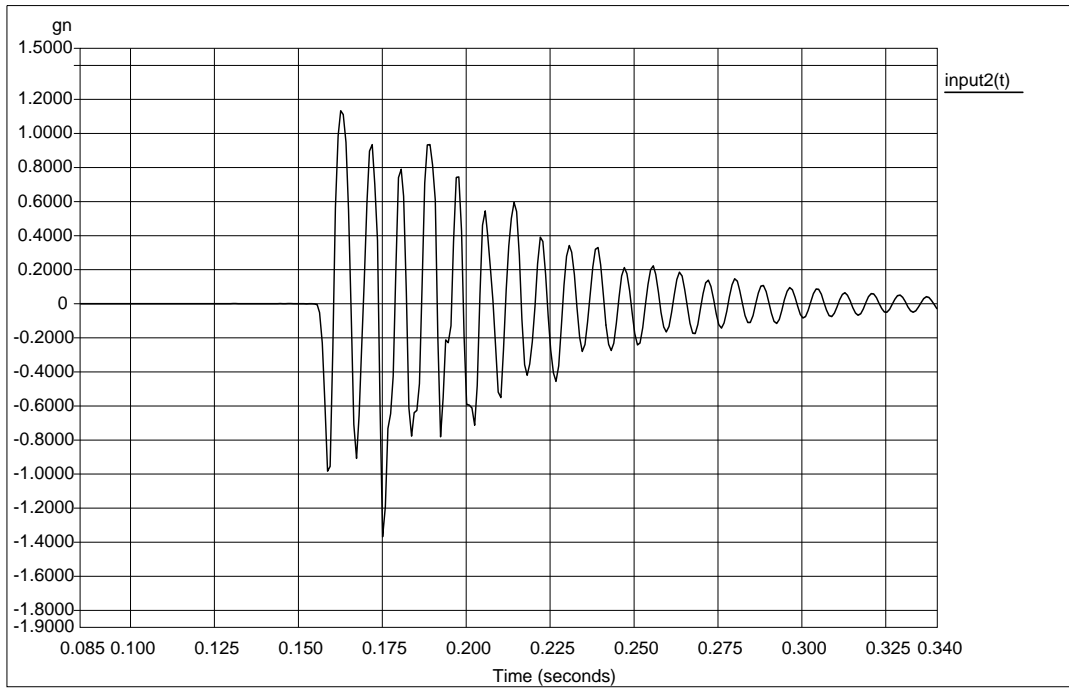


圖 3-20 加速度歷時圖(水平)

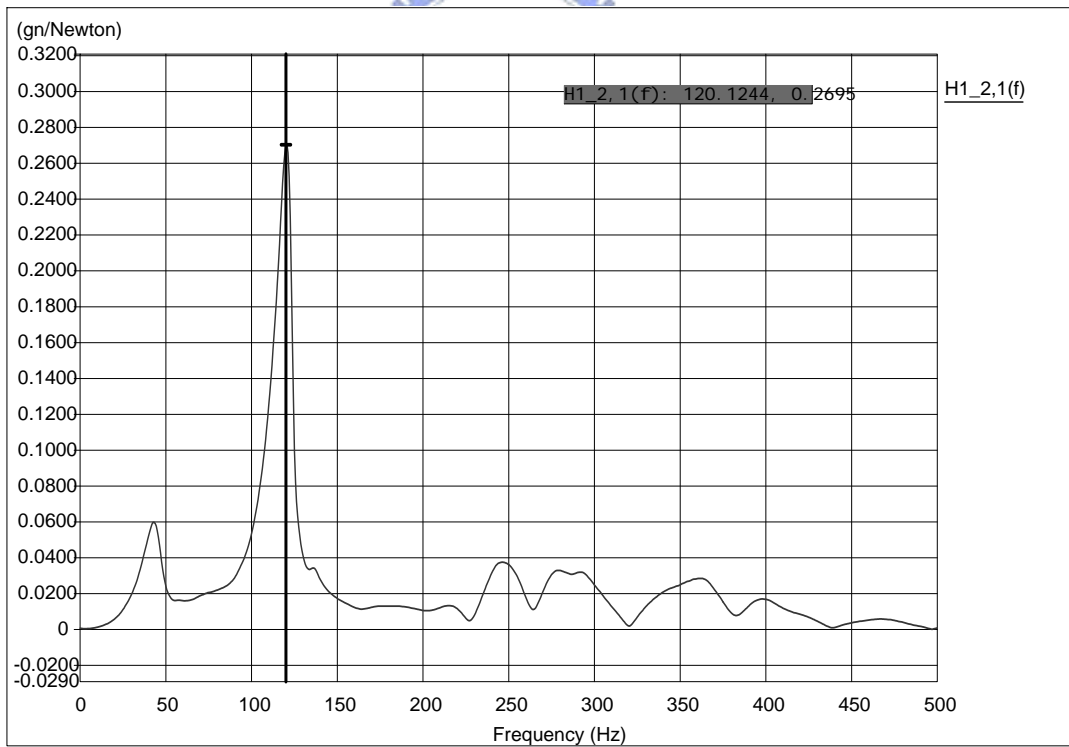


圖 3-21 所得到之頻率圖(水平)

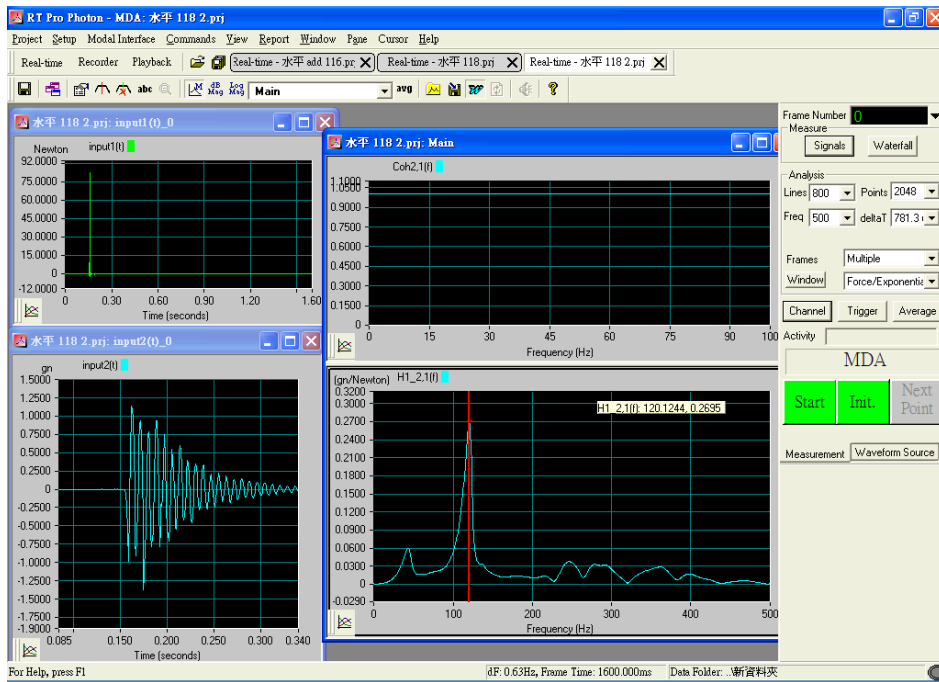


圖 3-22 軟體介面之輸出結果(水平)

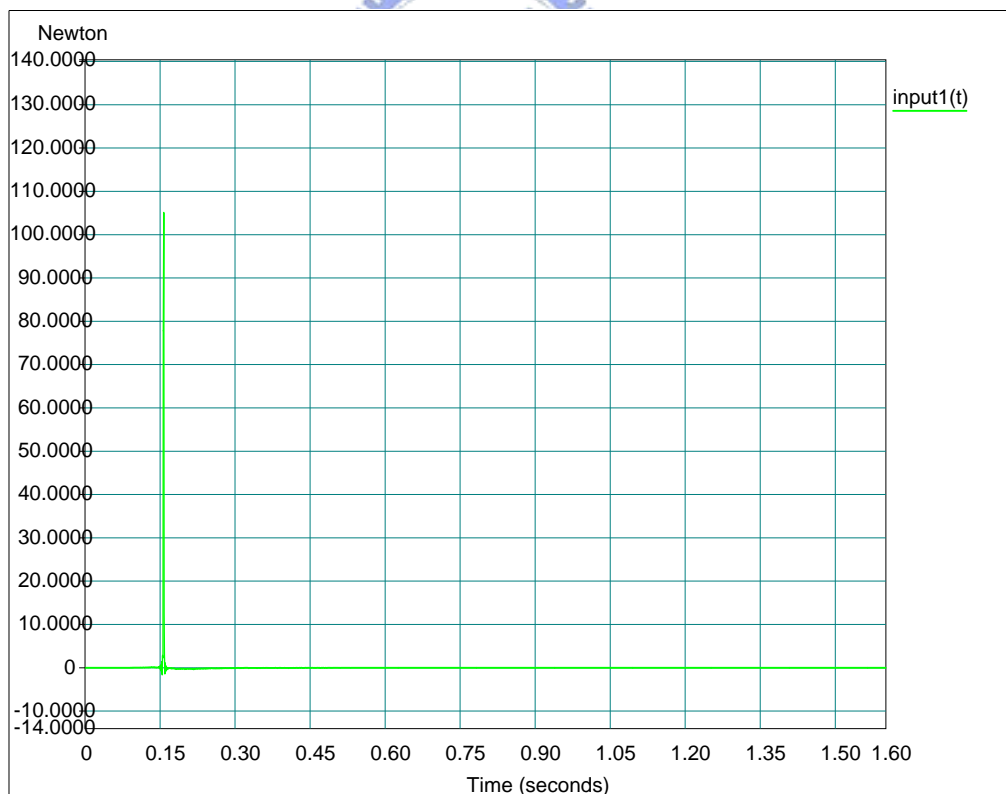


圖 3-23 衝擊鏈輸入之力量(水平-加海棉)

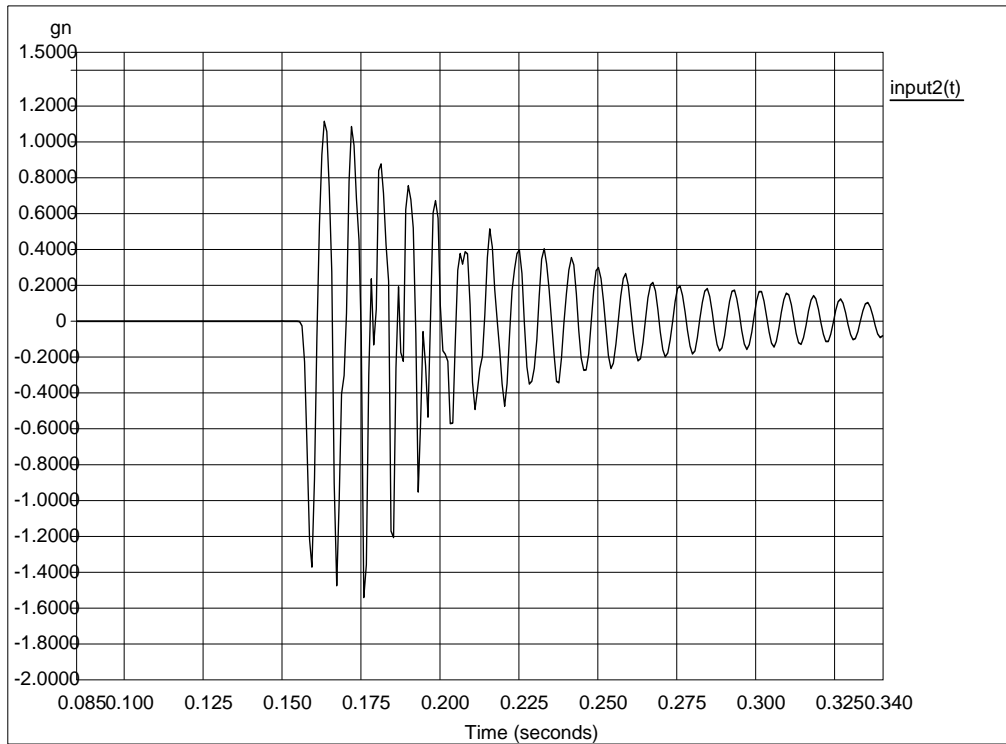


圖 3-24 加速度歷時圖(水平-加海棉)

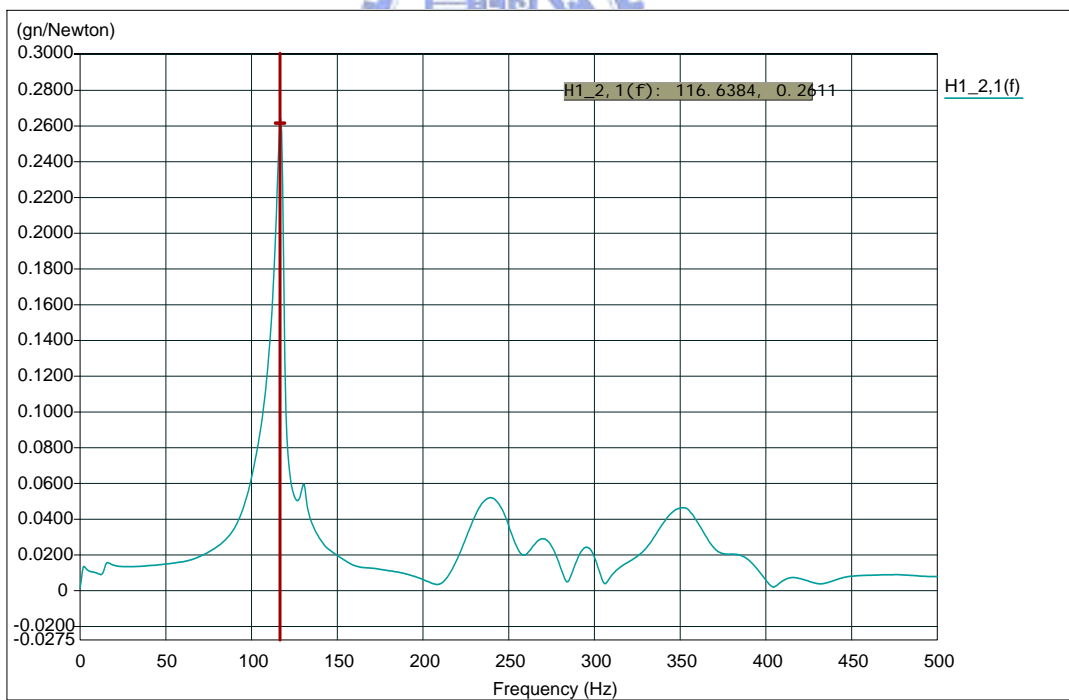


圖 3-25 所得到之頻率圖(水平-加海棉)

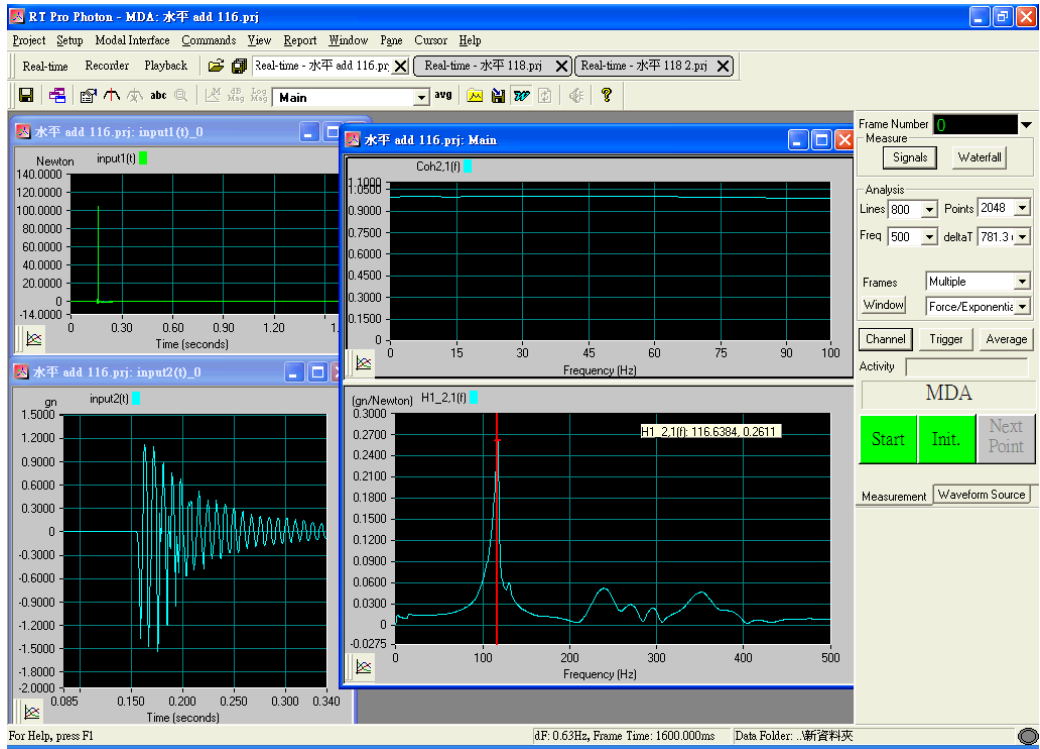


圖 3-26 軟體介面之輸出結果(水平-加海棉)

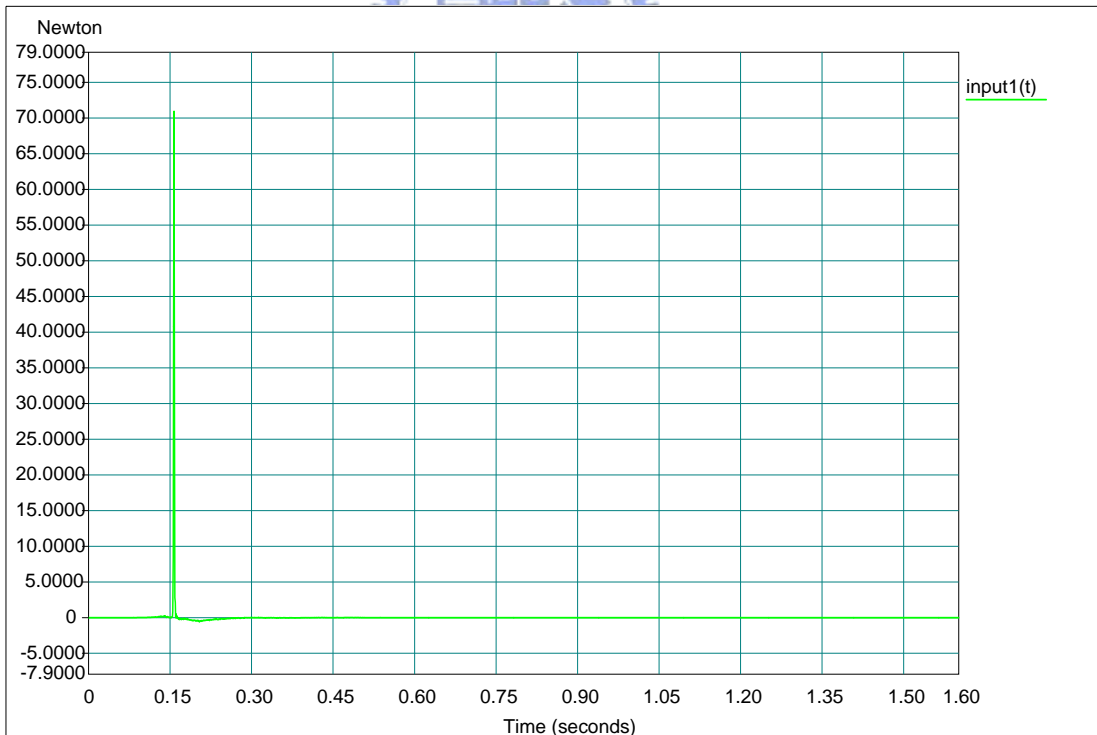


圖 3-27 衝擊鏈輸入之力量(垂直)

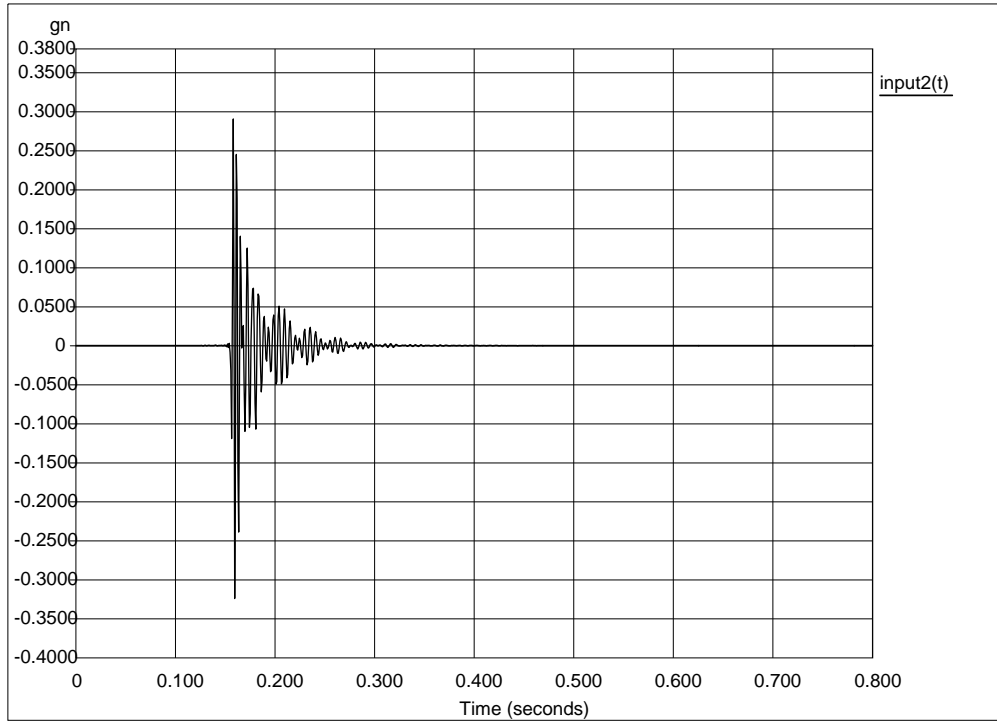


圖 3-28 加速度歷時圖(垂直)

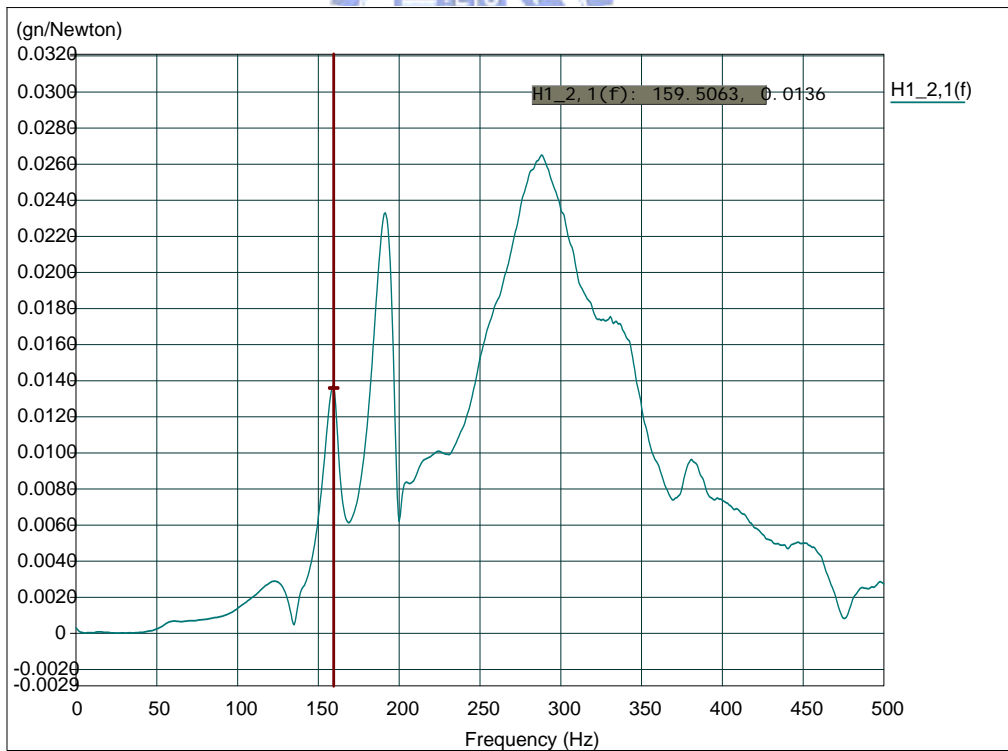


圖 3-29 所得到之頻率圖(垂直)

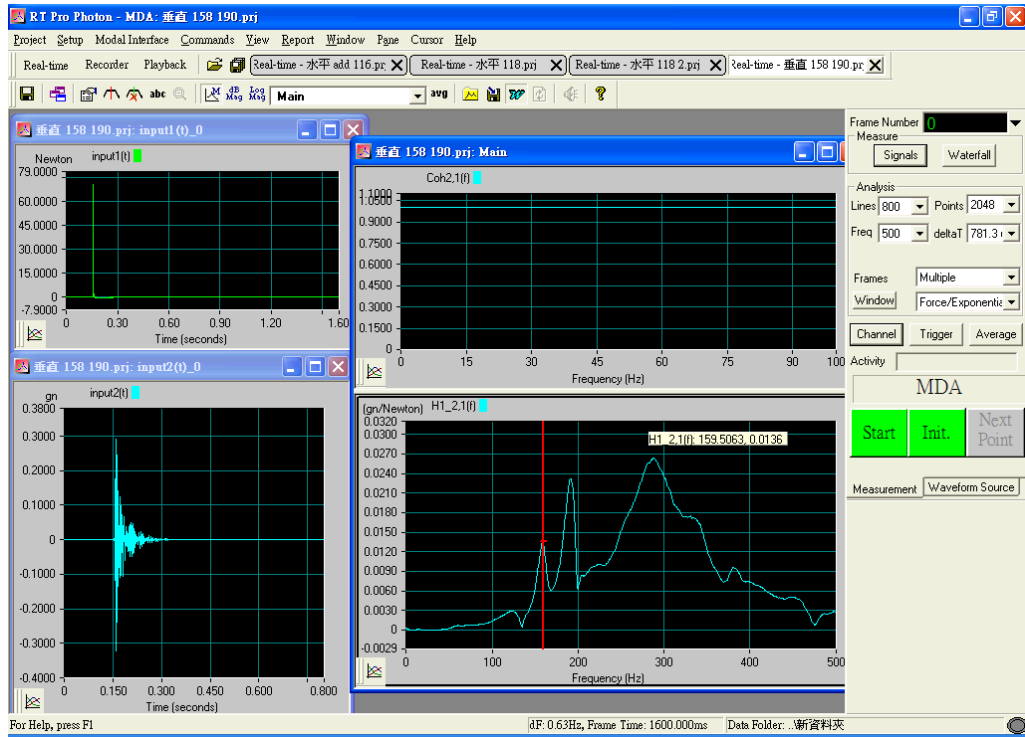


圖 3-30 軟體介面之輸出結果(垂直)

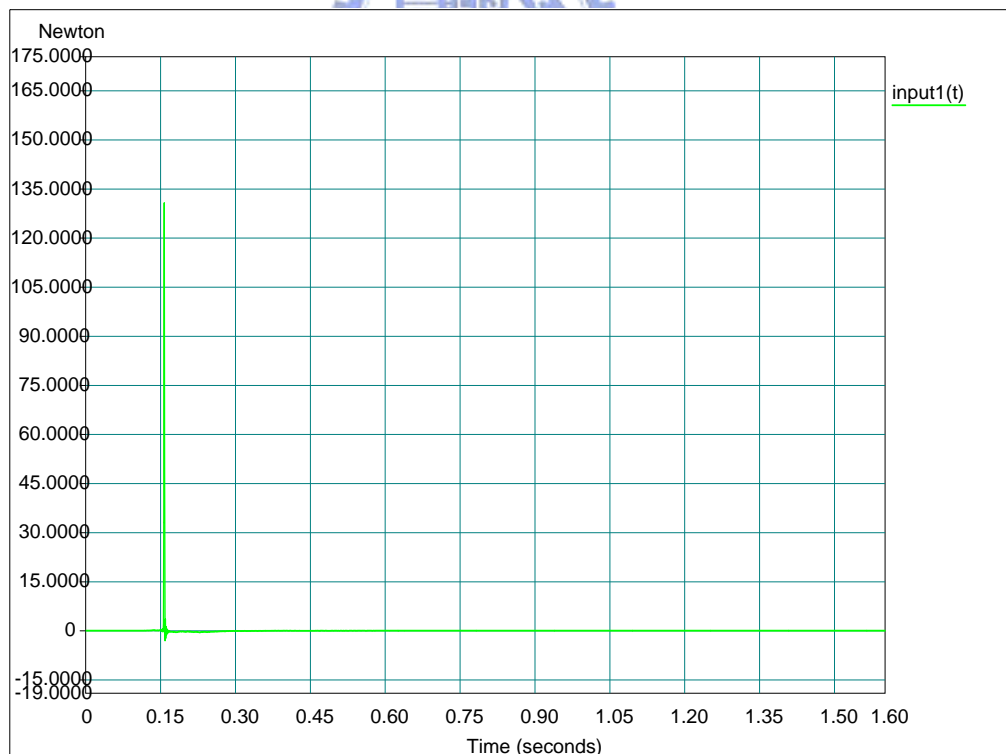


圖 3-31 衝擊鏈輸入之力量(垂直-加海棉)

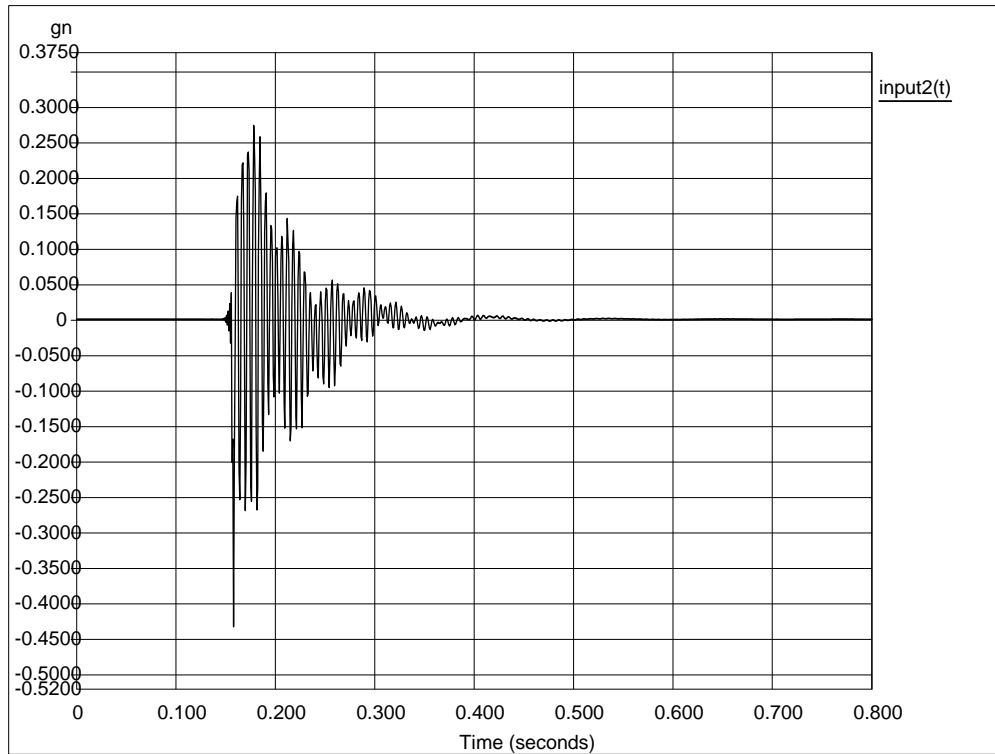


圖 3-32 加速度歷時圖(垂直-加海棉)

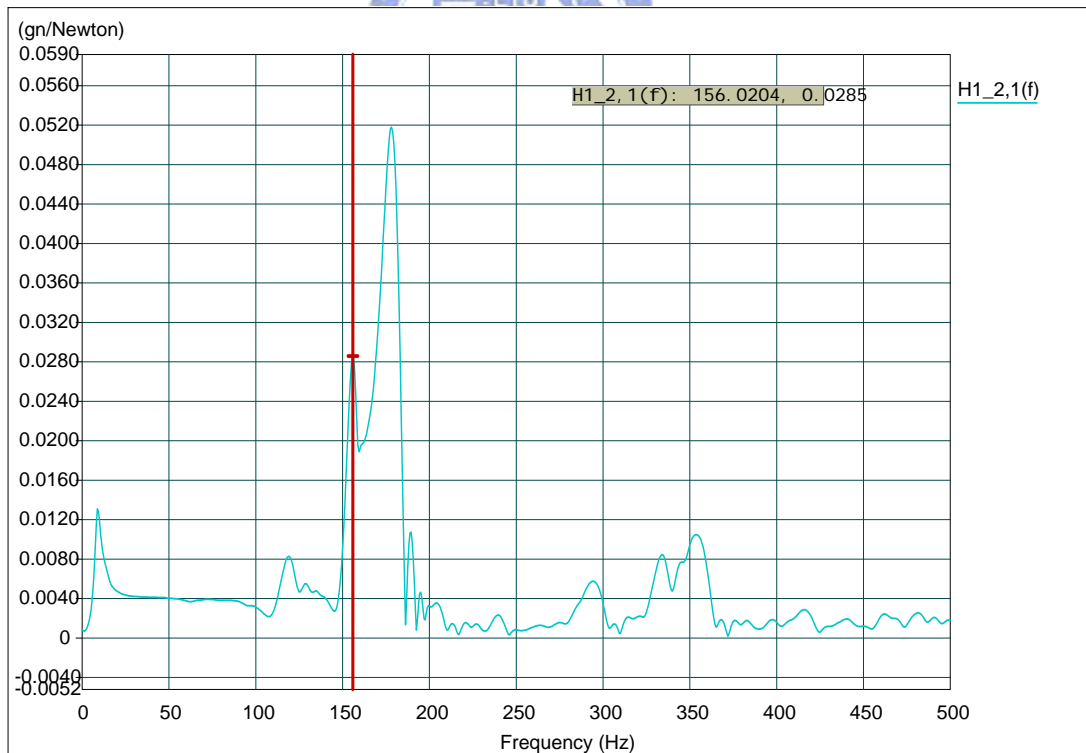


圖 3-33 敲擊所得之頻率圖(垂直-加海棉)

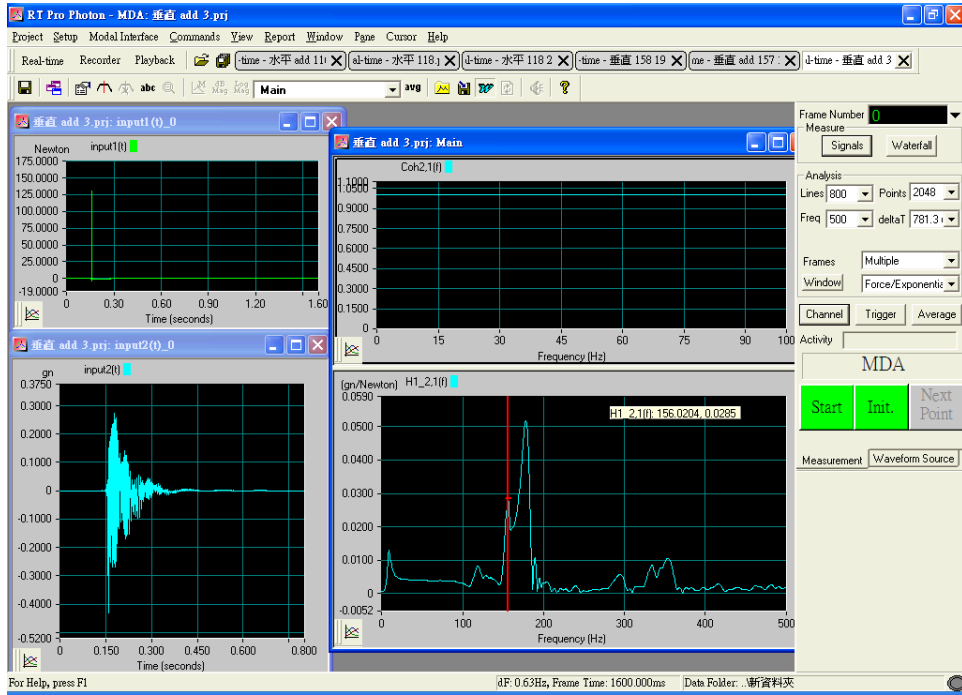


圖 3-34 軟體介面之輸出結果(垂直-加海棉)

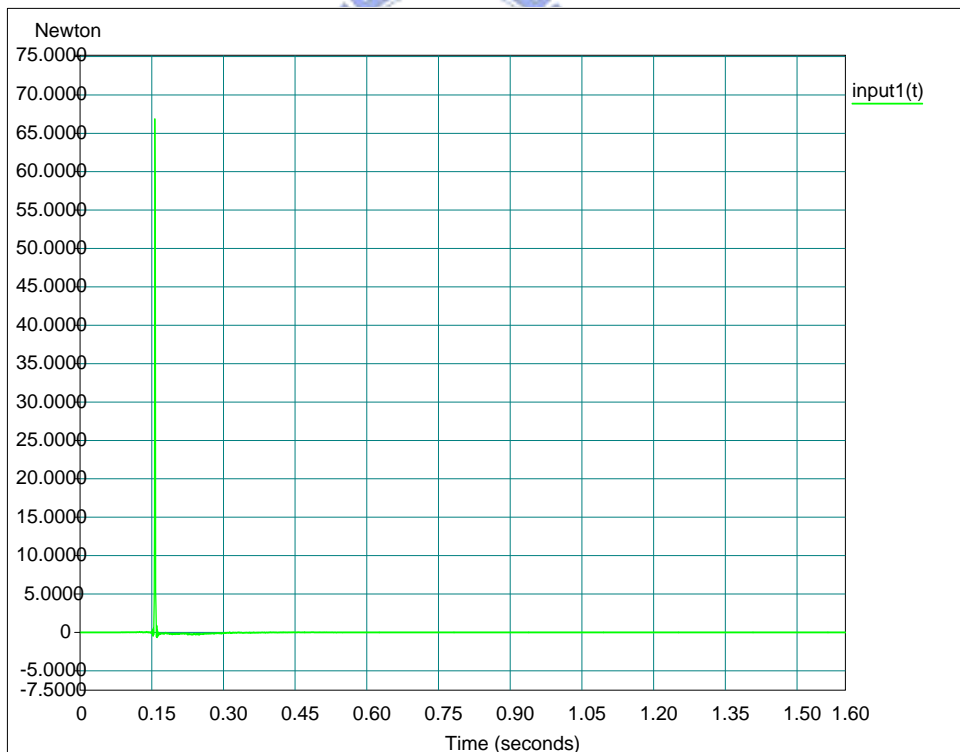


圖 3-35 衝擊錘輸入之力量 (加砂)

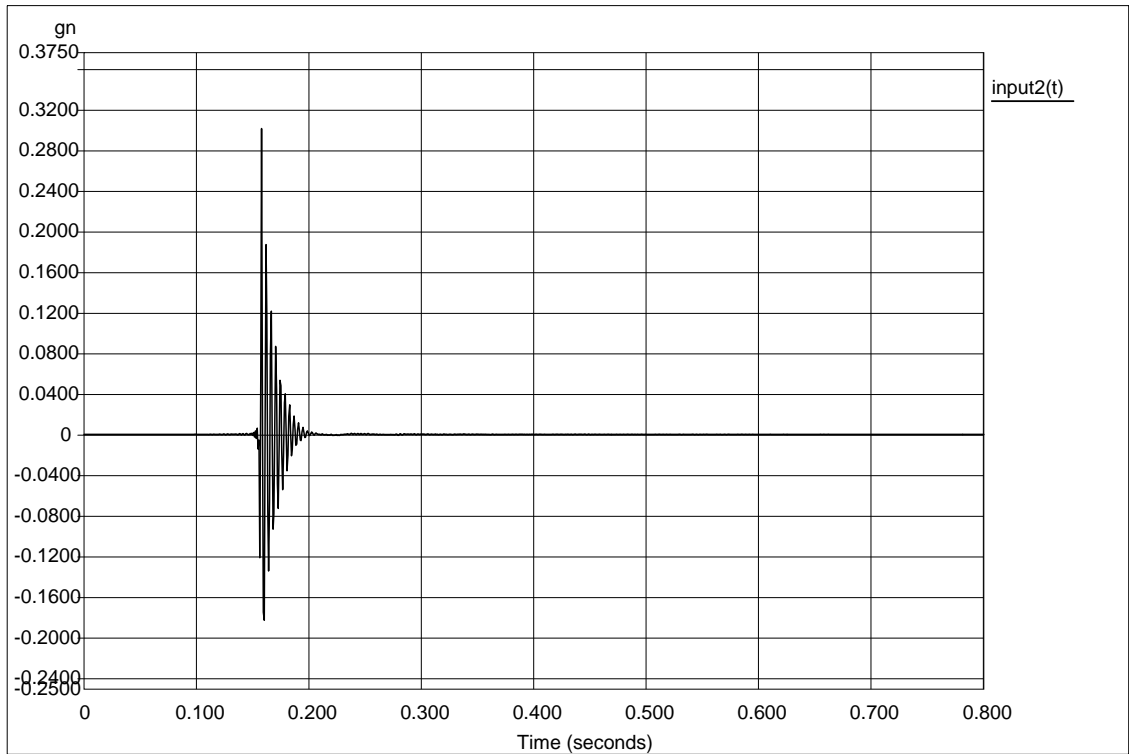


圖 3-36 加速度歷時圖 (加砂)

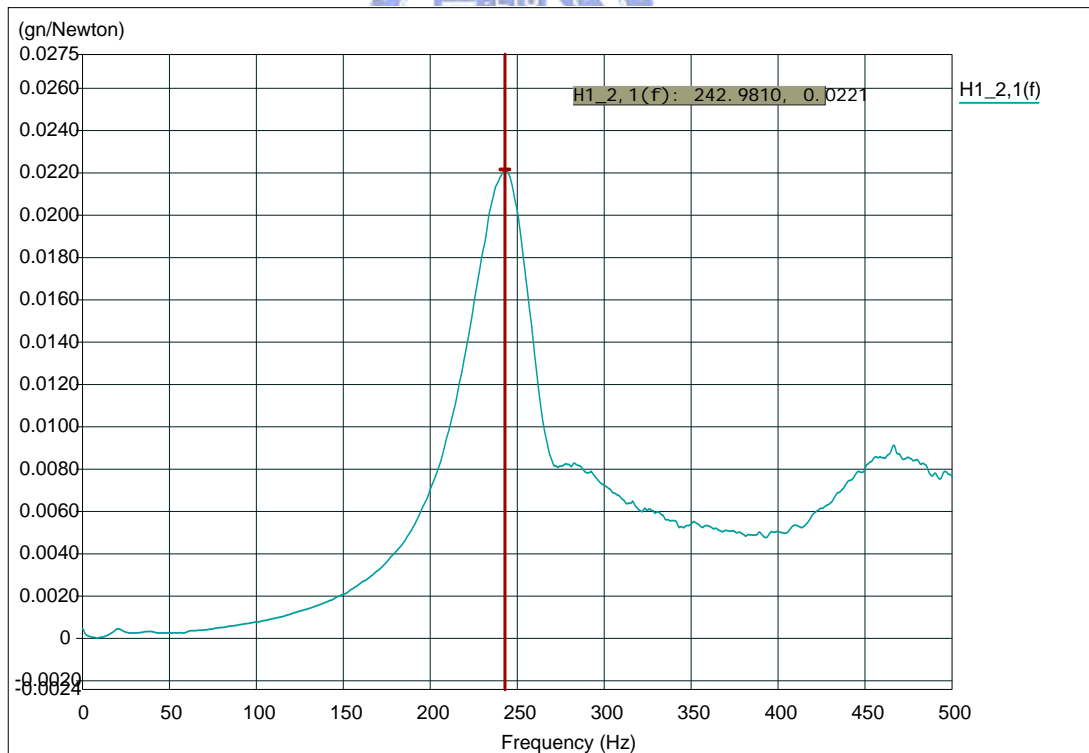


圖 3-37 所得到之頻率圖 (加砂)

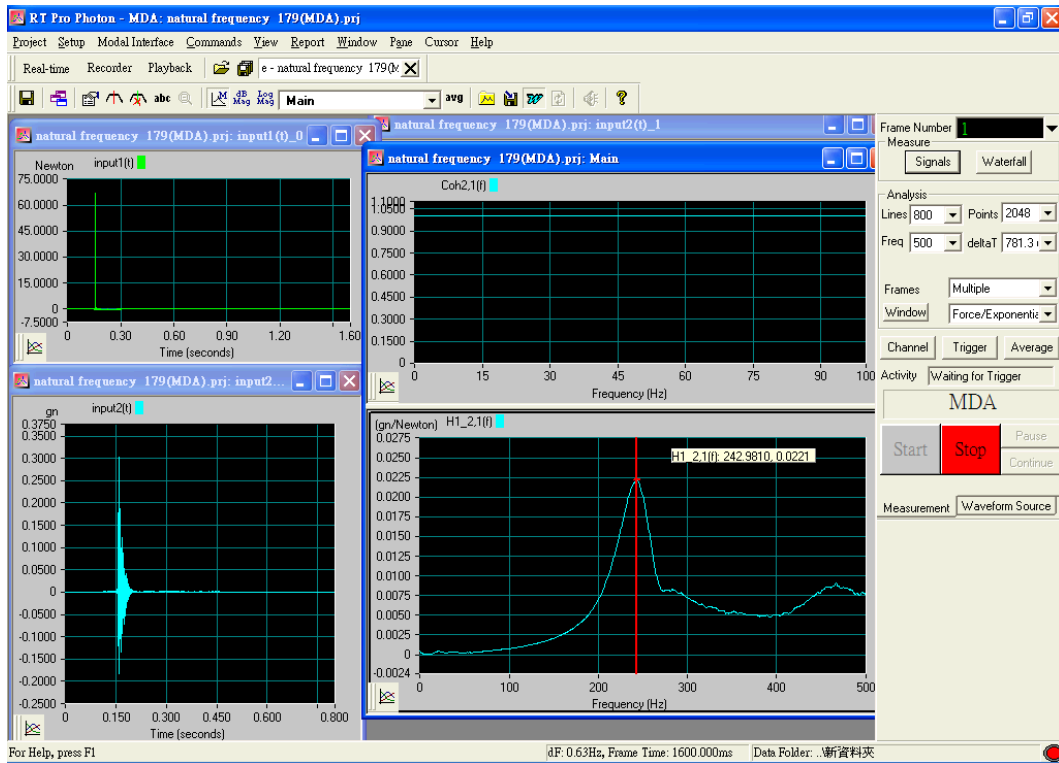


圖 3-38 軟體介面之輸出結果 (加砂)

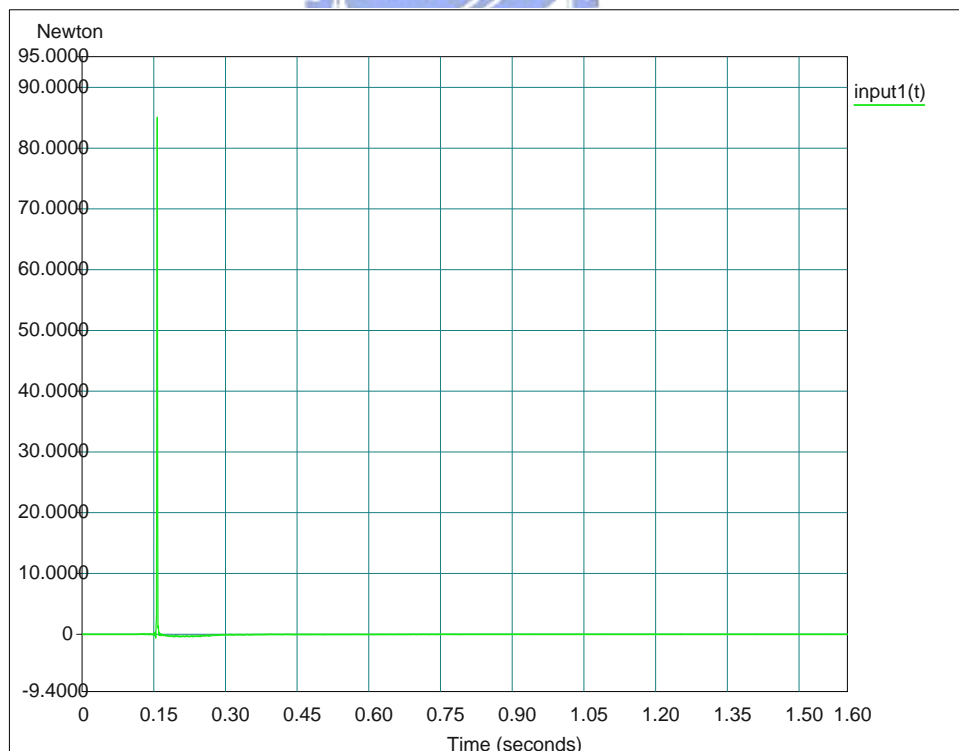


圖 3-39 衝擊錘輸入之力量 (加水)

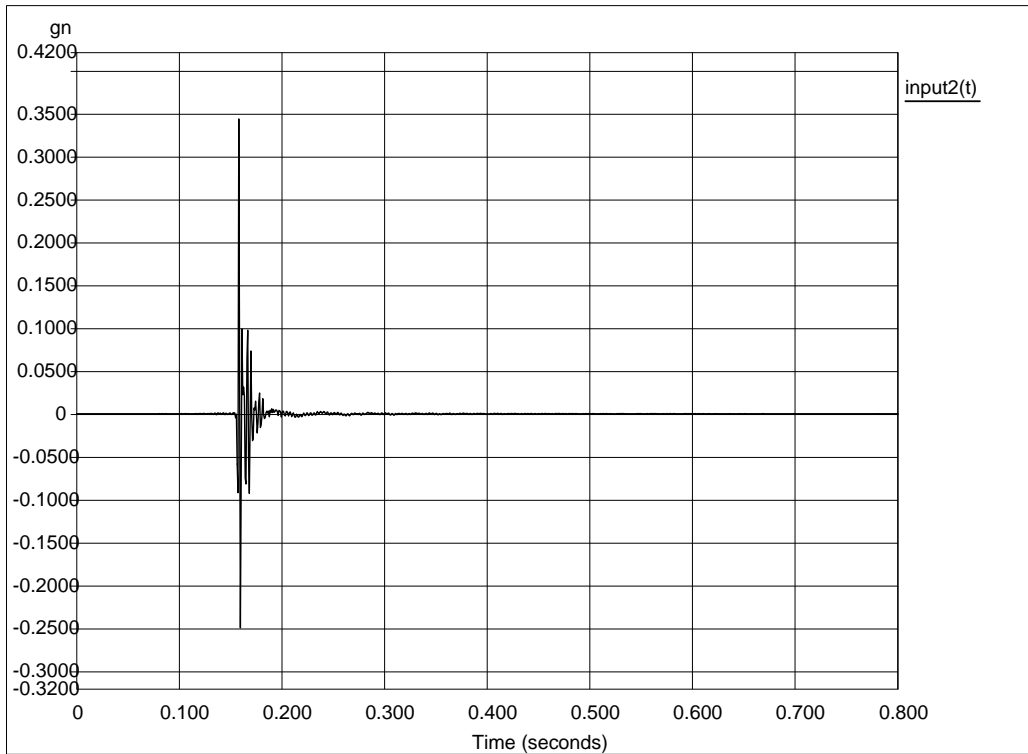


圖 3-40 加速度歷時圖 (加水)

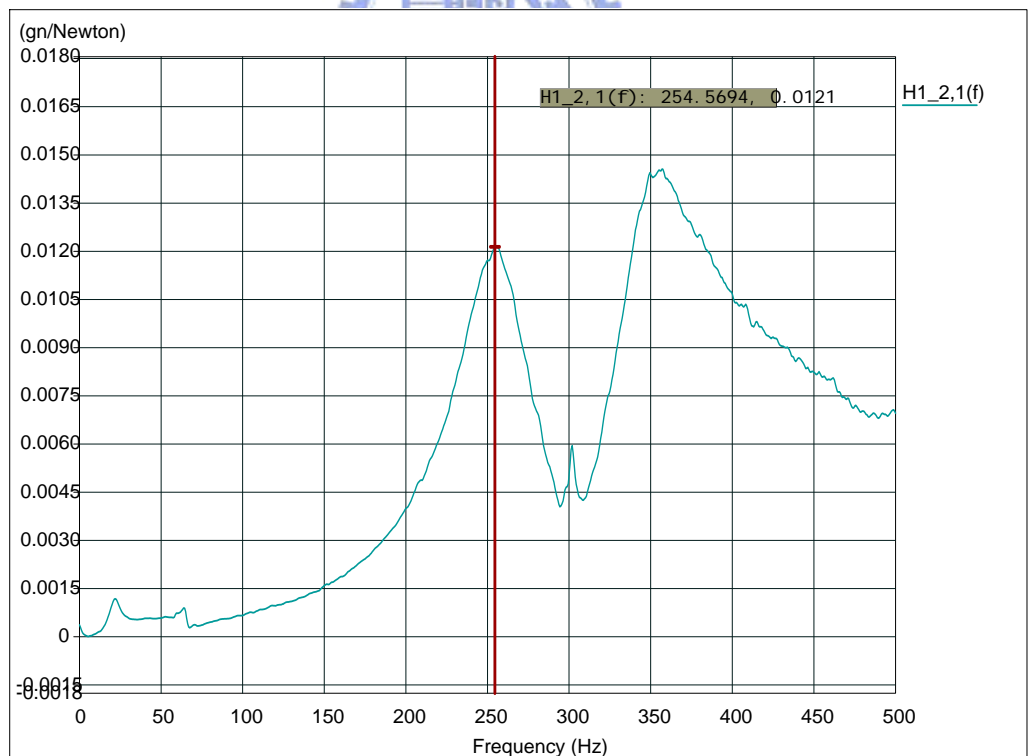


圖 3-41 所得到之頻率圖 (加水)

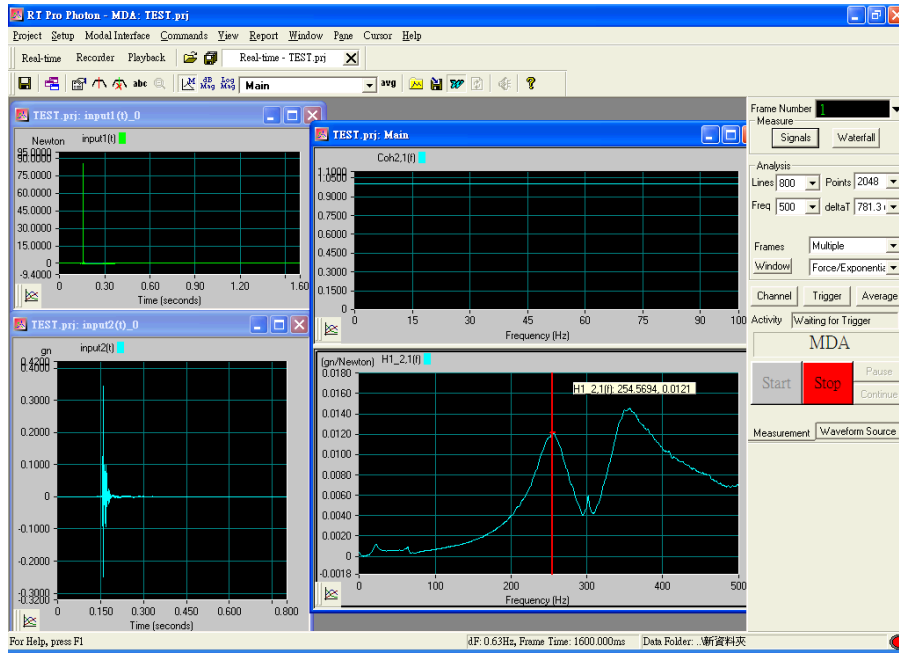


圖 3-42 軟體介面之輸出結果 (加水)

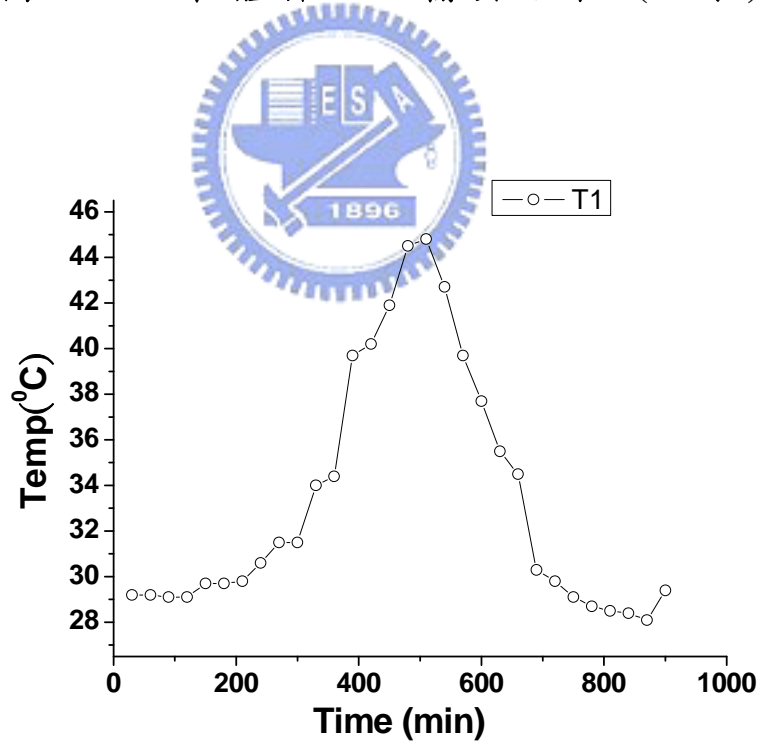


圖 3-43 量測裝置內之溫度 (室內)

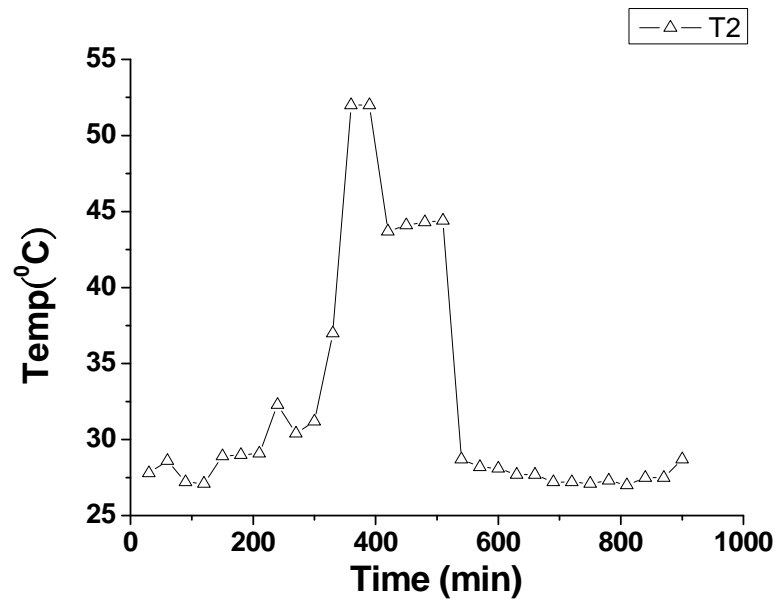


圖 3-44 裝置外之溫度 (室內)

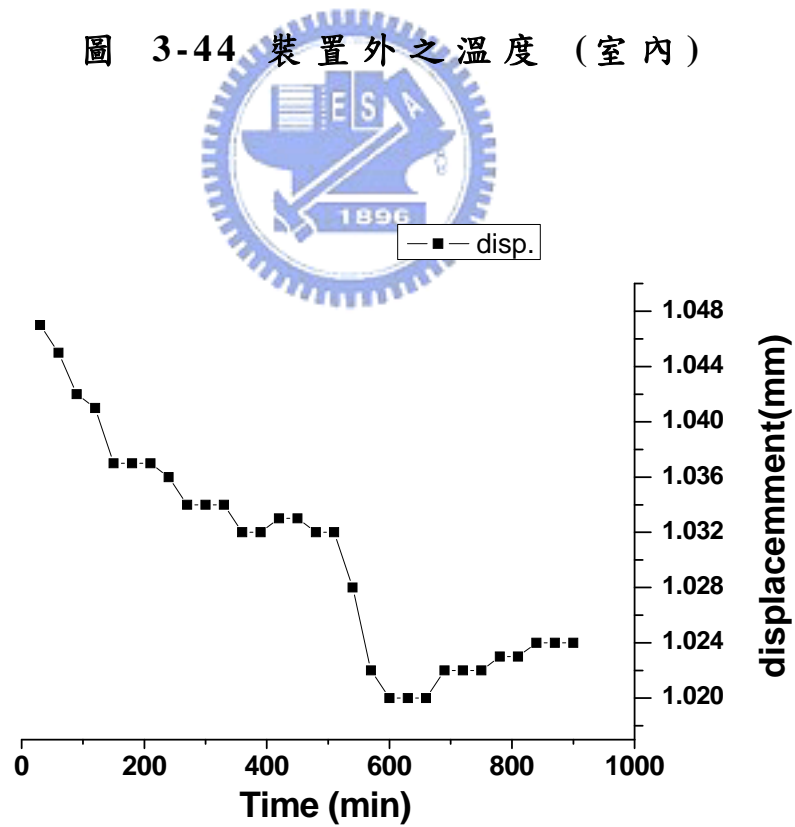


圖 3-45 裝置之位移變動 (室內)

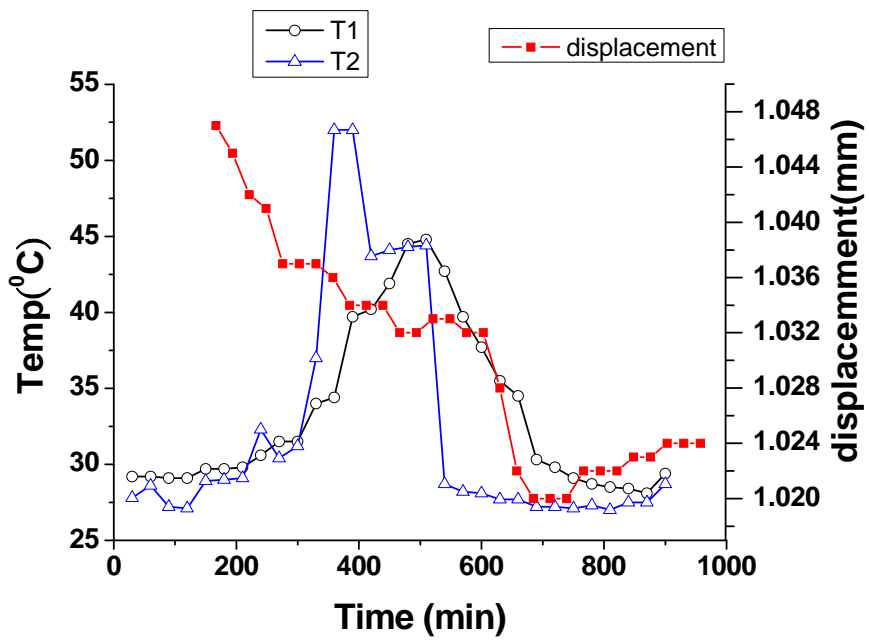


圖 3-46 溫度與位移變化圖 (室內)

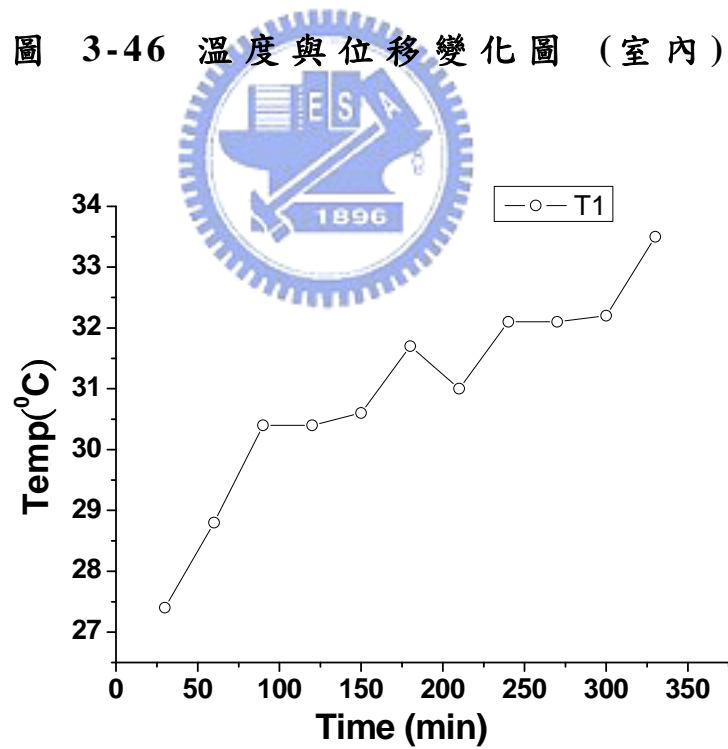


圖 3-47 量測裝置內之溫度 (室外)

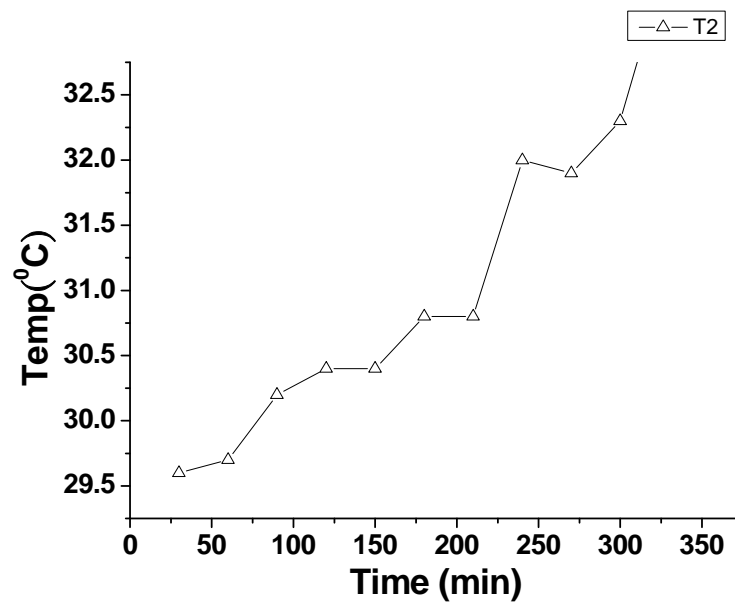


圖 3-48 裝置外之溫度 (室外)

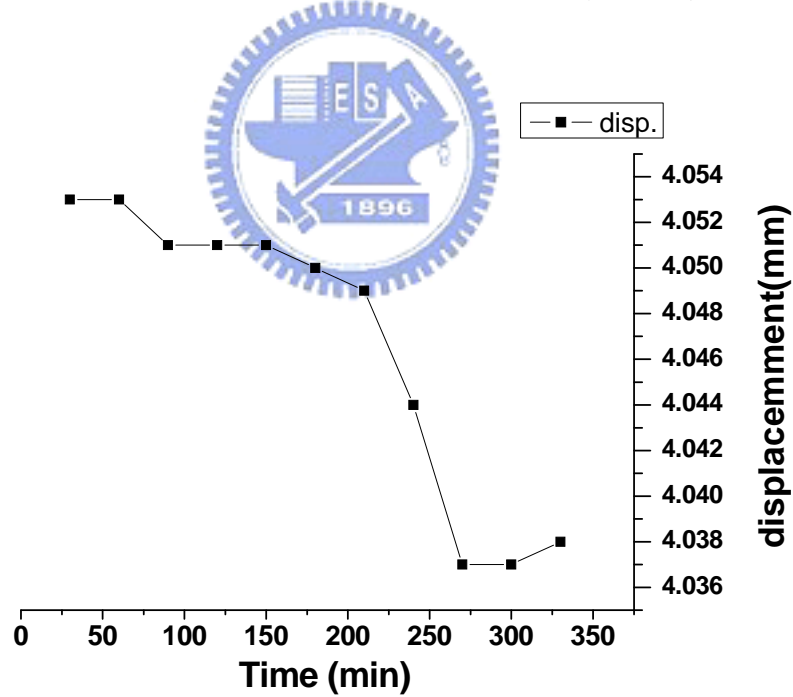


圖 3-49 裝置之位移變動 (室外)

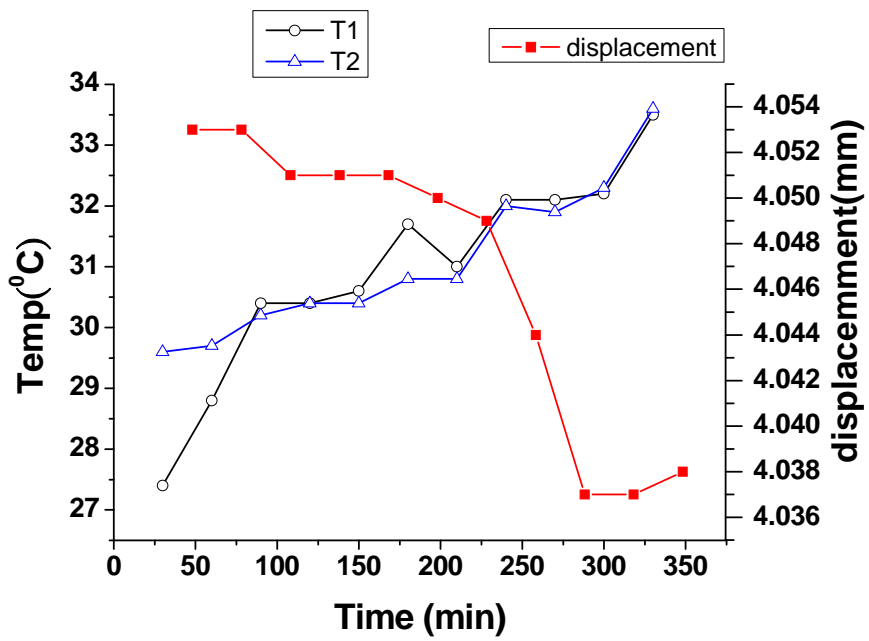


圖 3-50 溫度與位移變化圖 (室外)

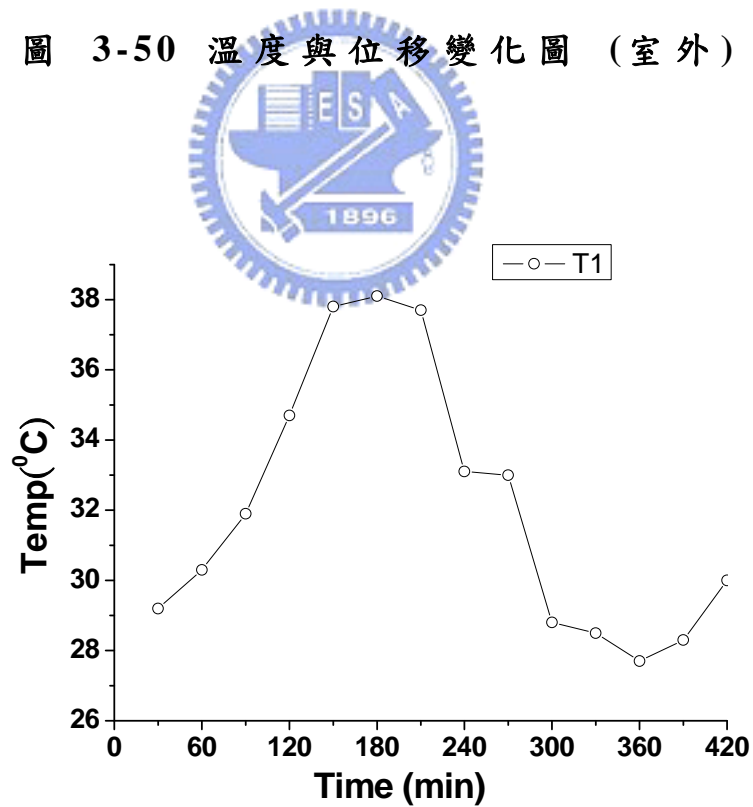


圖 3-51 量測裝置內之溫度 (加水)

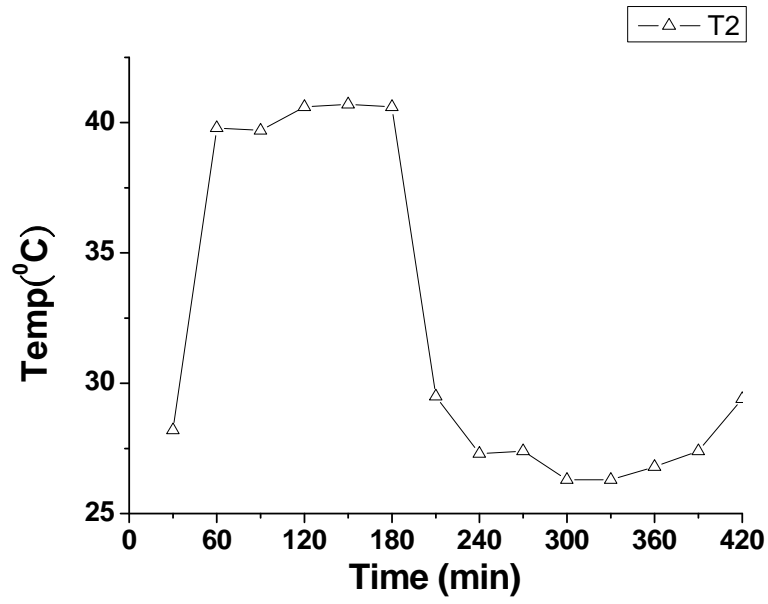


圖 3-52 裝置外之溫度 (加水)

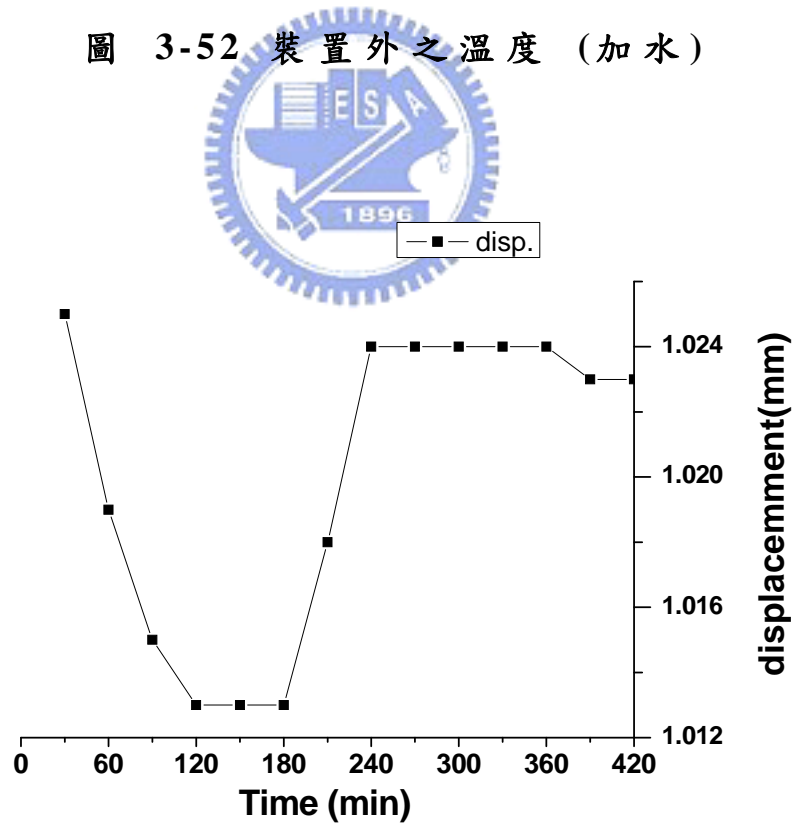


圖 3-53 裝置之位移變動 (加水)

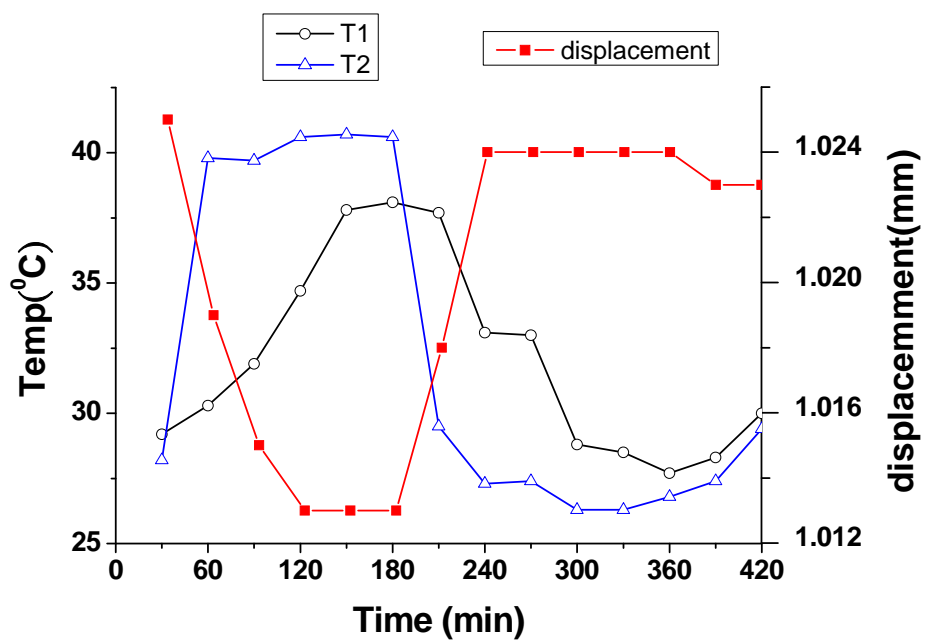


圖 3-54 溫度與位移變化圖 (加水)

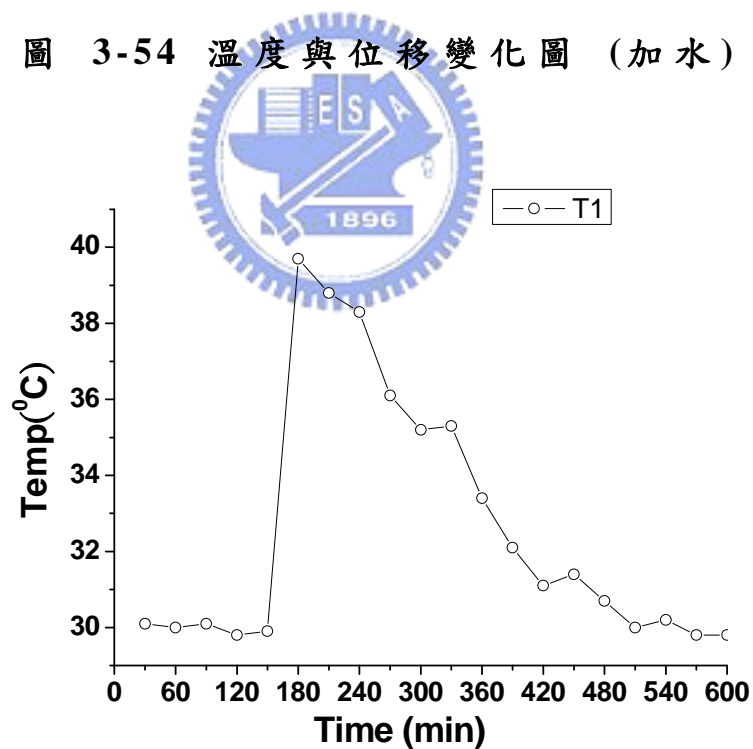


圖 3-55 量測裝置內之溫度 (加砂)

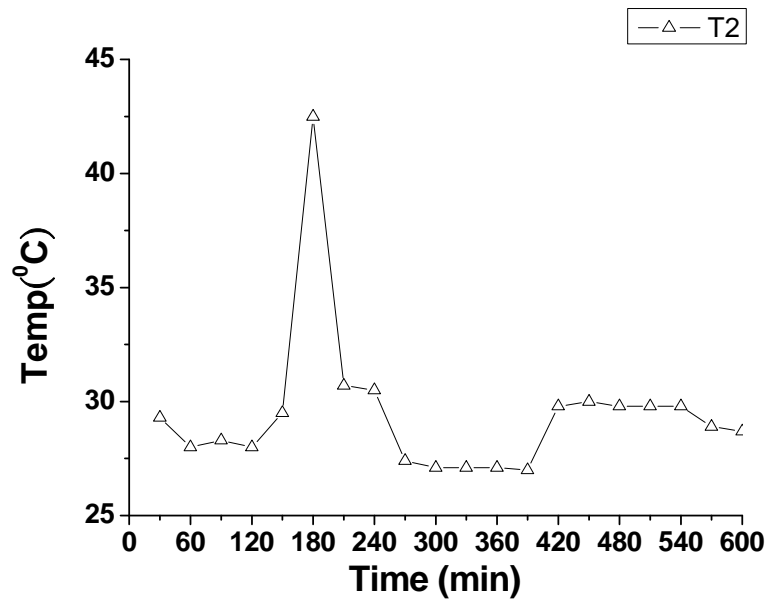


圖 3-56 裝置外之溫度 (加砂)

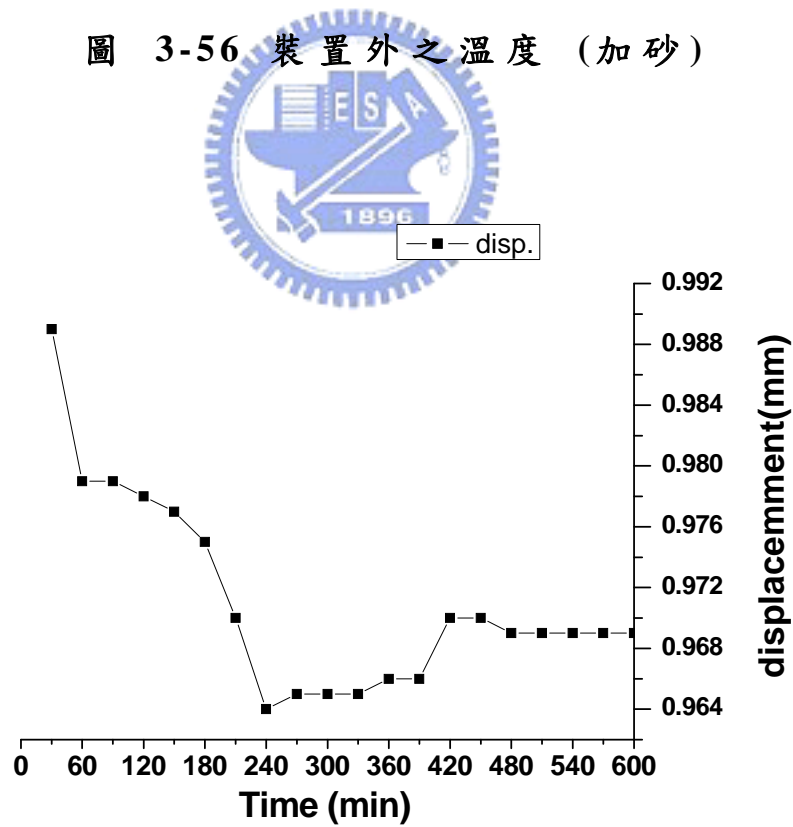


圖 3-57 裝置之位移變動 (加砂)

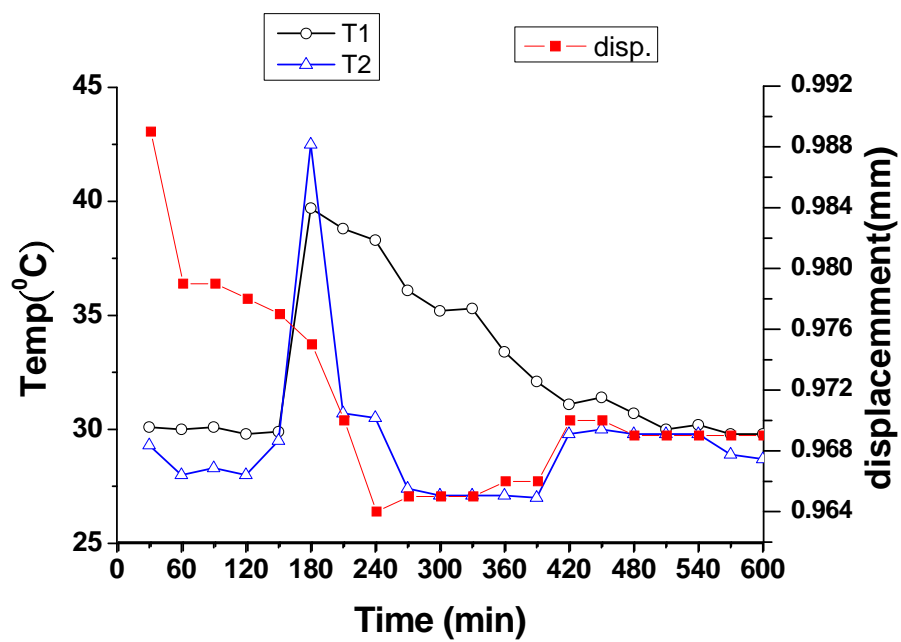


圖 3-58 溫度與位移變化圖 (加砂)



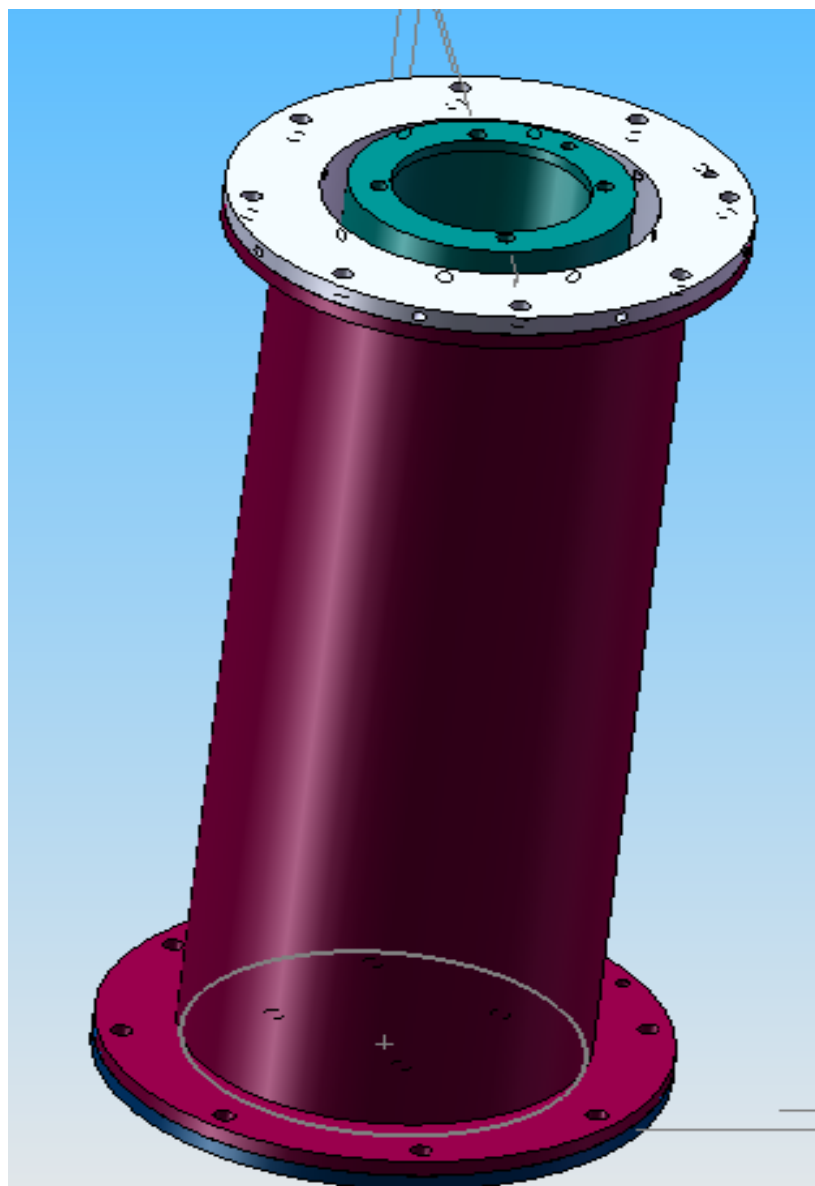


圖 4-1 整體結構

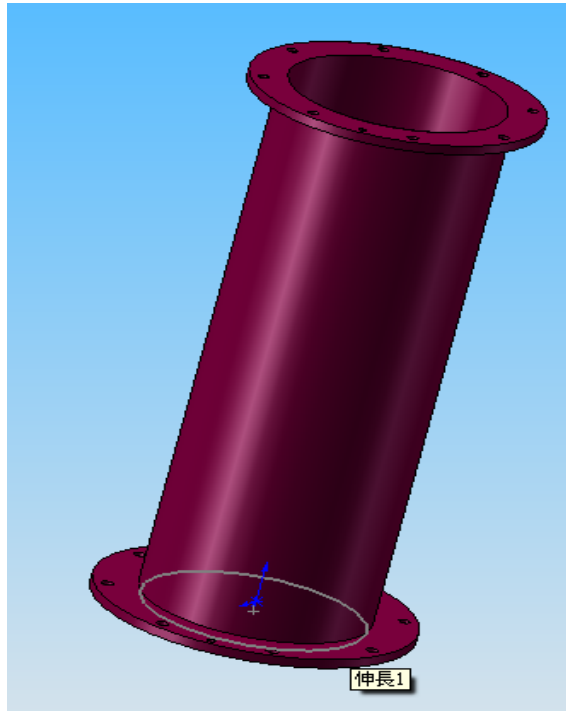


圖 4-2 最外層(鋼材)

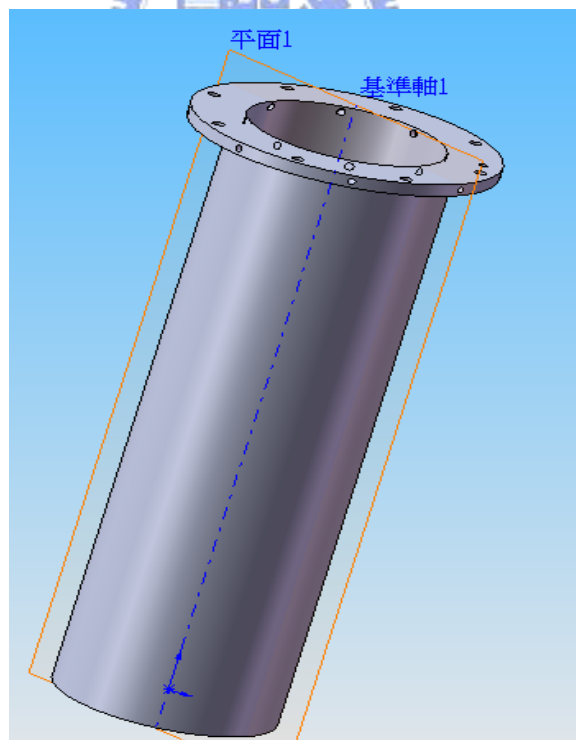


圖 4-3 中間層(鋁材)

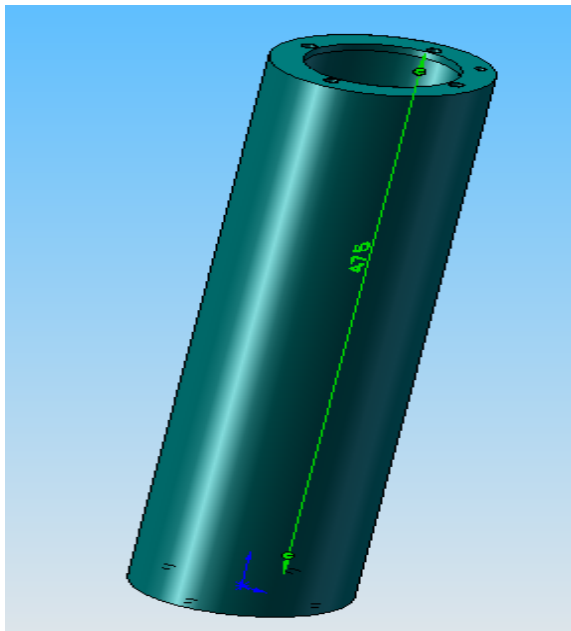


圖 4-4 最內層 (鋼材)

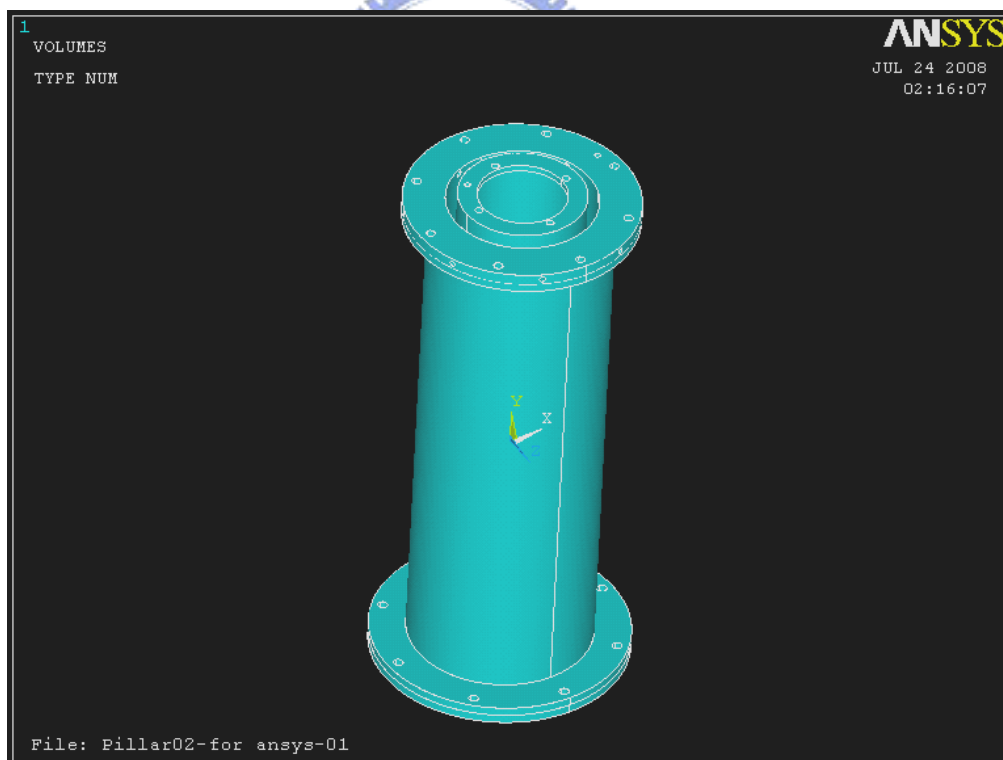


圖 4-5 將 sat 檔匯入 ANSYS

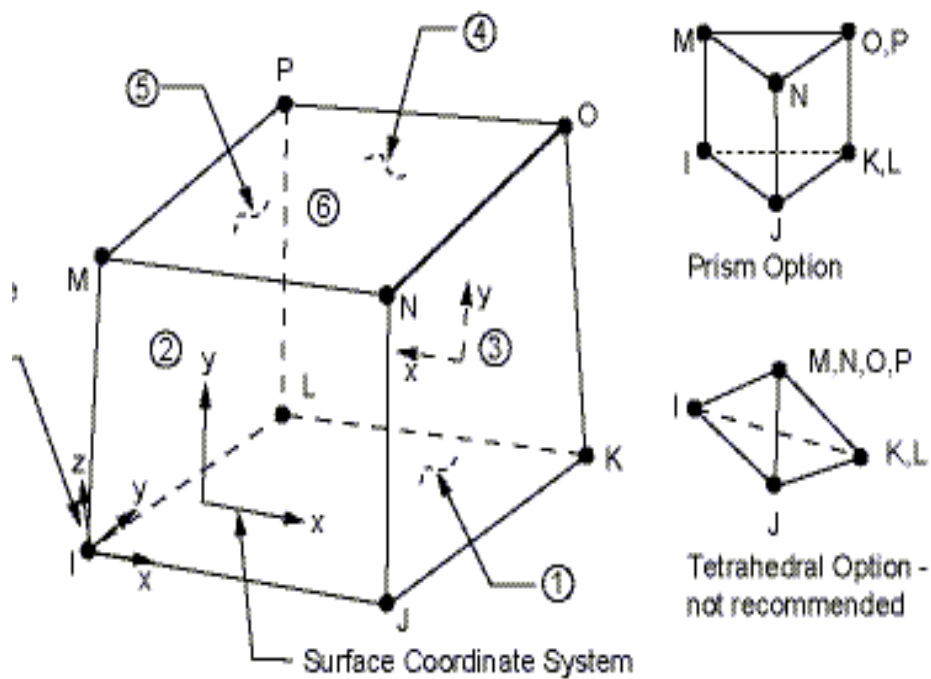


圖 4-6 SOLID 45 元素

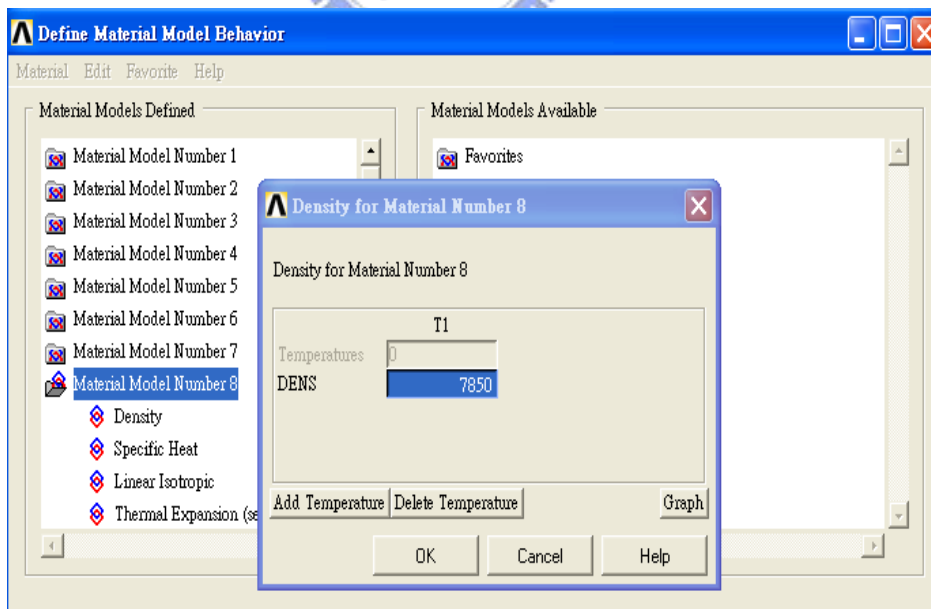


圖 4-7 密度參數設定 (鋼)

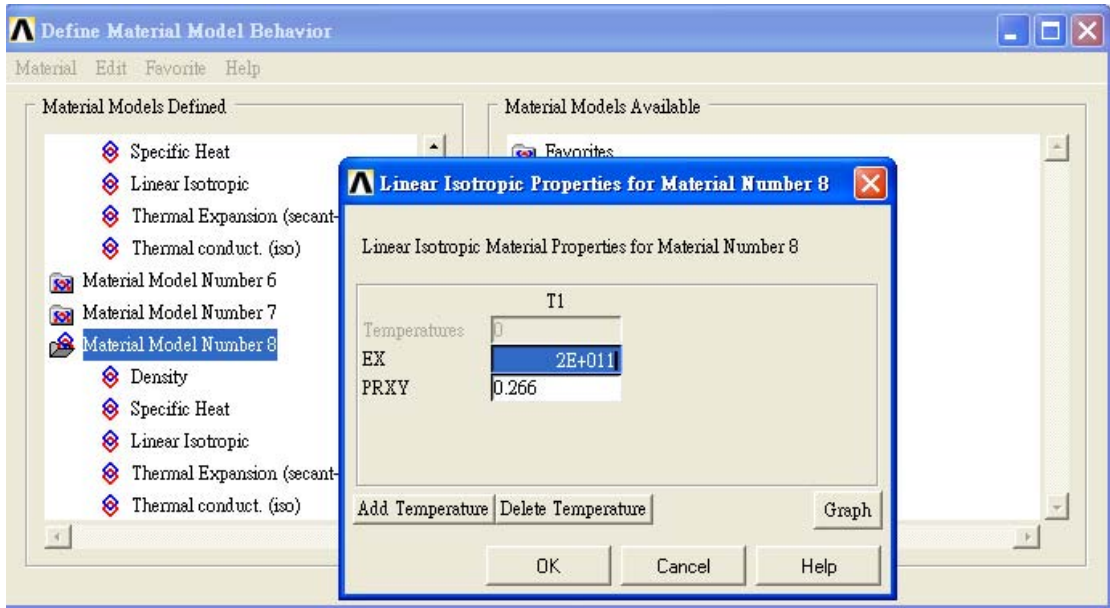


圖 4-8 彈性模數與柏松比設定 (鋼)

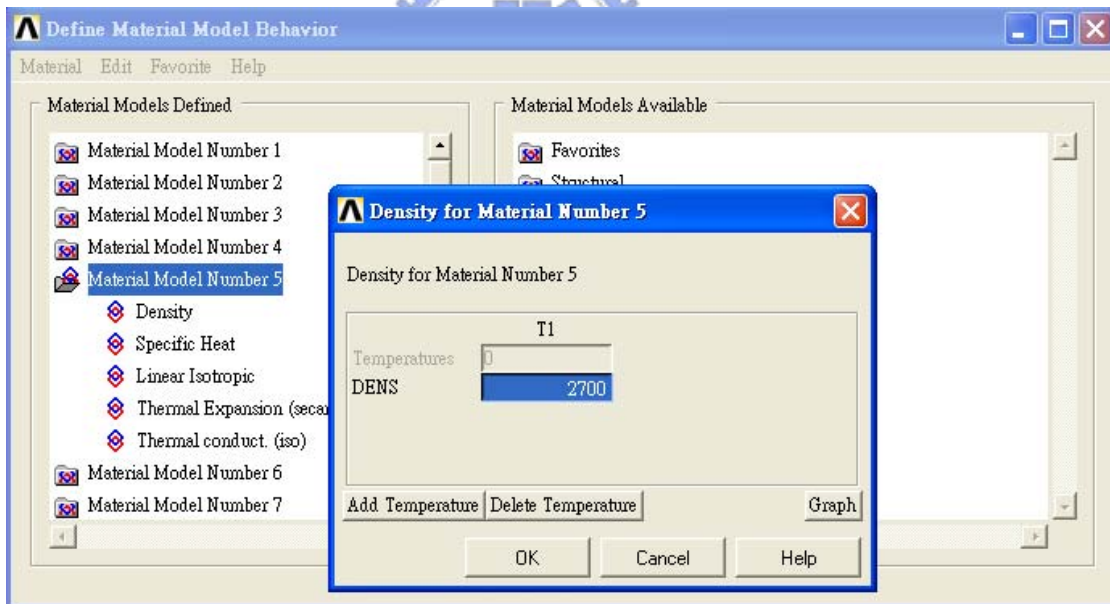


圖 4-9 密度參數設定 (鋁)

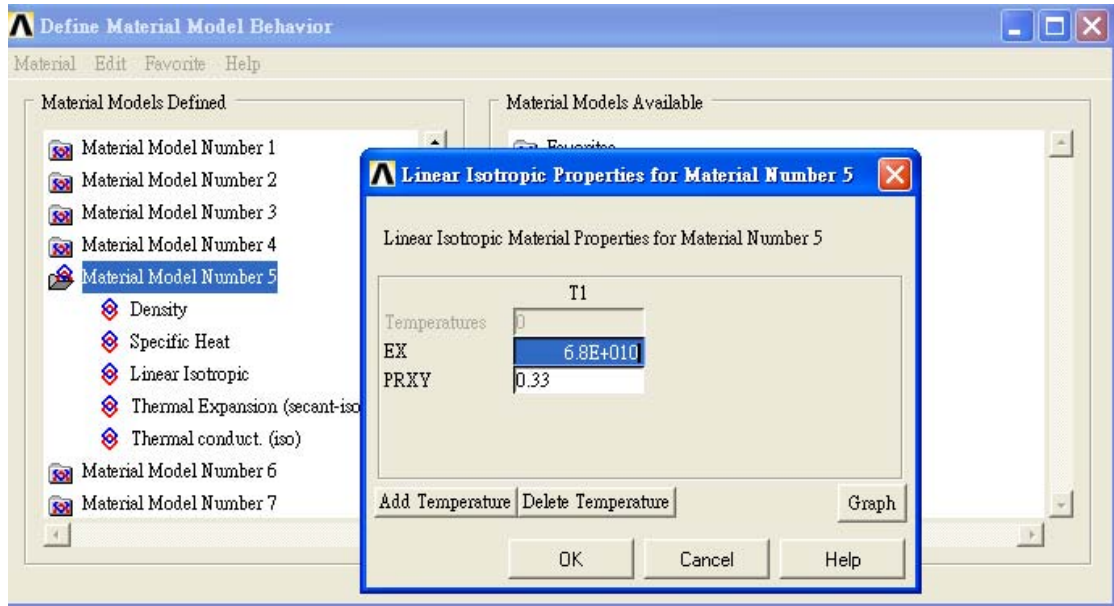


圖 4-10 彈性模數與柏松比設定 (鋁)

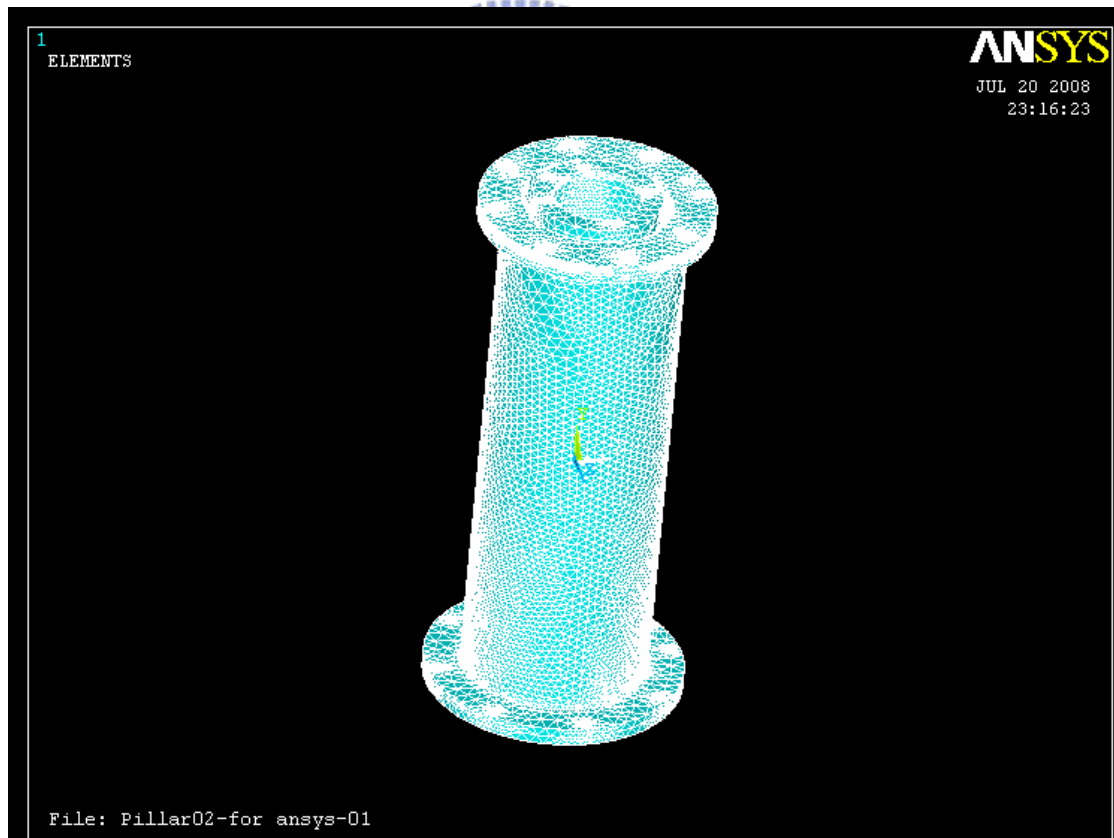


圖 4-11 (a) 有限元素模型

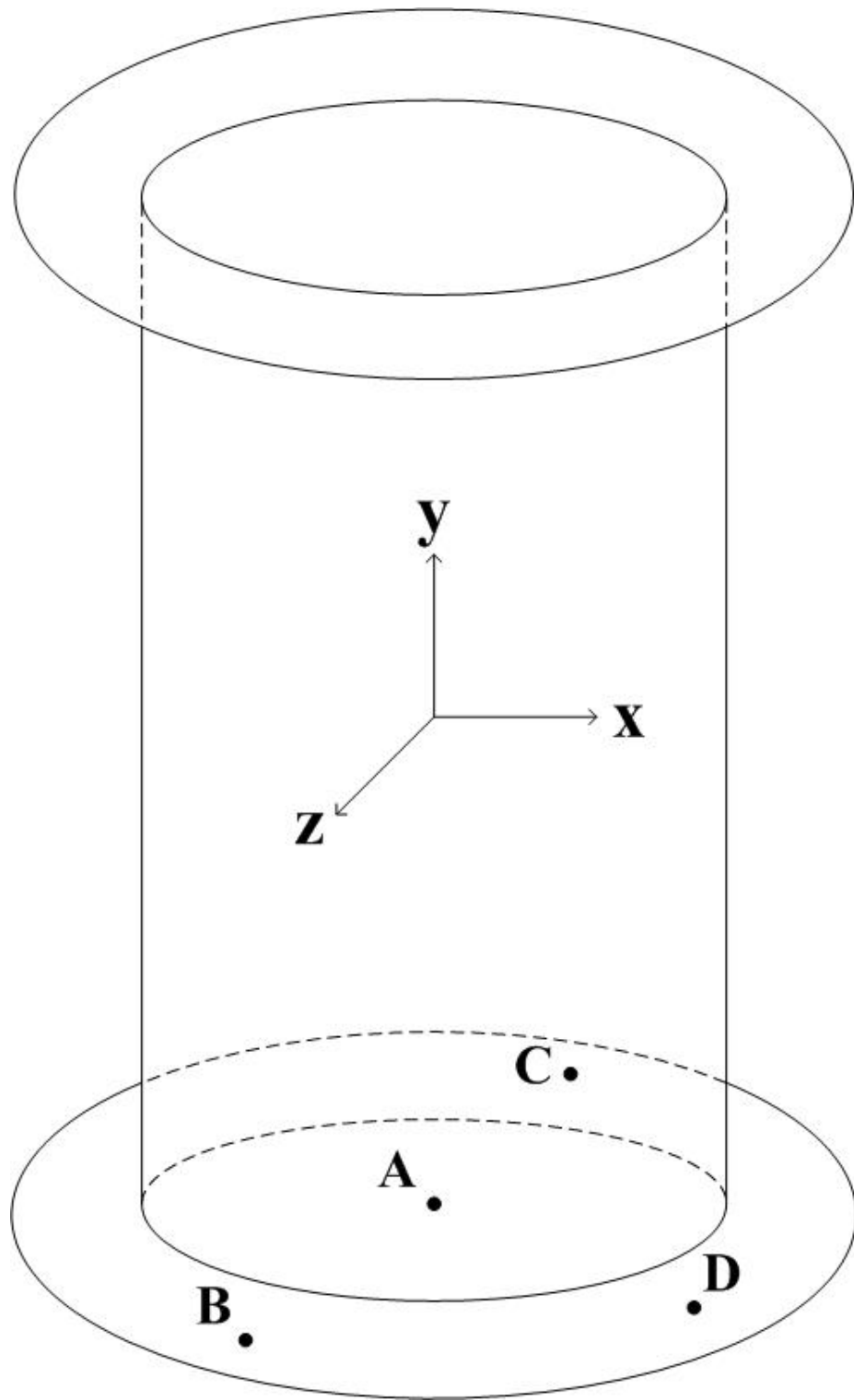


圖 4-11 (b) 有限元素模型邊界條件設定示意圖

***** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE *****

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	116.13	1	1	1
2	175.82	1	2	2
3	299.07	1	3	3
4	323.58	1	4	4
5	402.78	1	5	5
6	720.71	1	6	6
7	841.11	1	7	7
8	947.47	1	8	8

圖 4-12 ANSYS 分析之模態輸出結—(A)

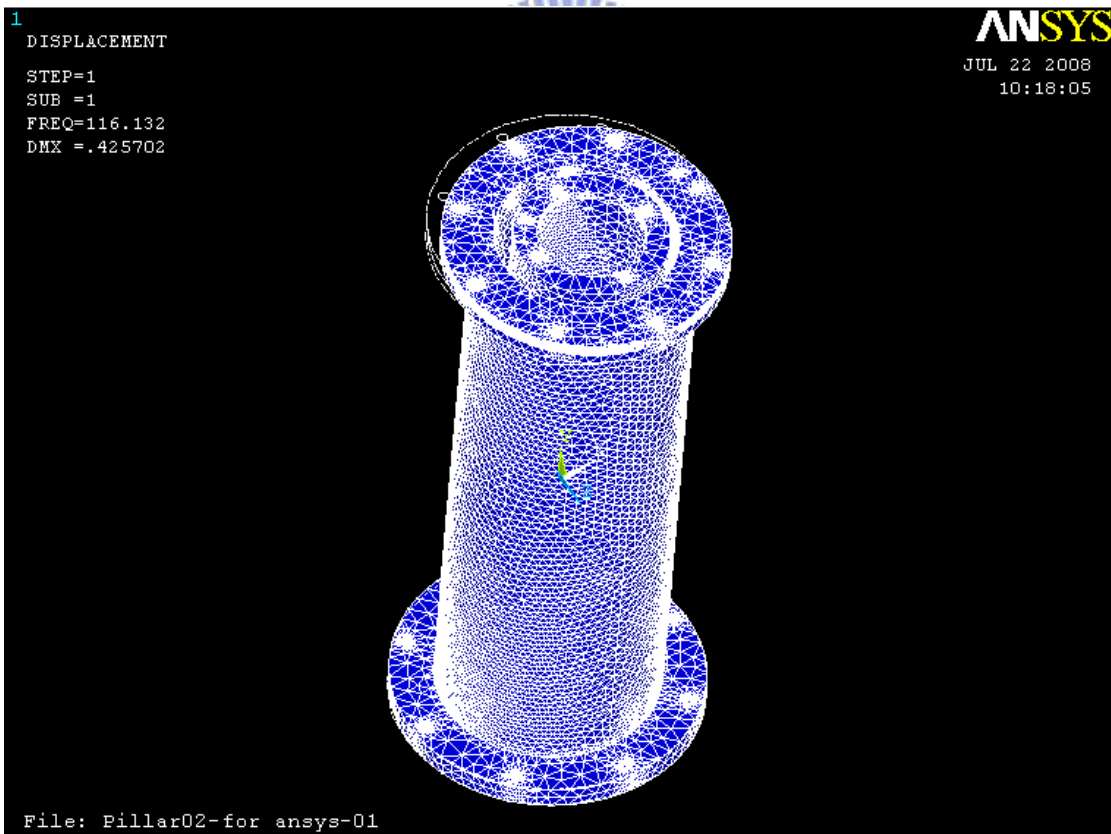


圖 4-13 第一振型 (116.13Hz)—(A)

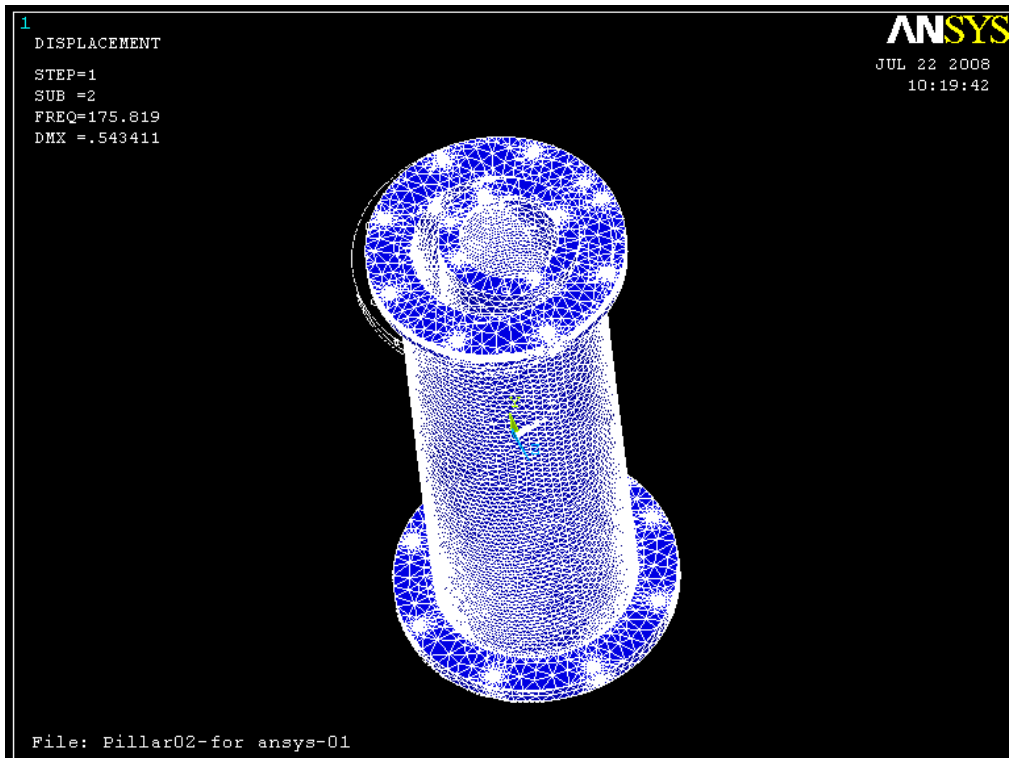


圖 4-14 第二振型(175.82Hz)—(A)

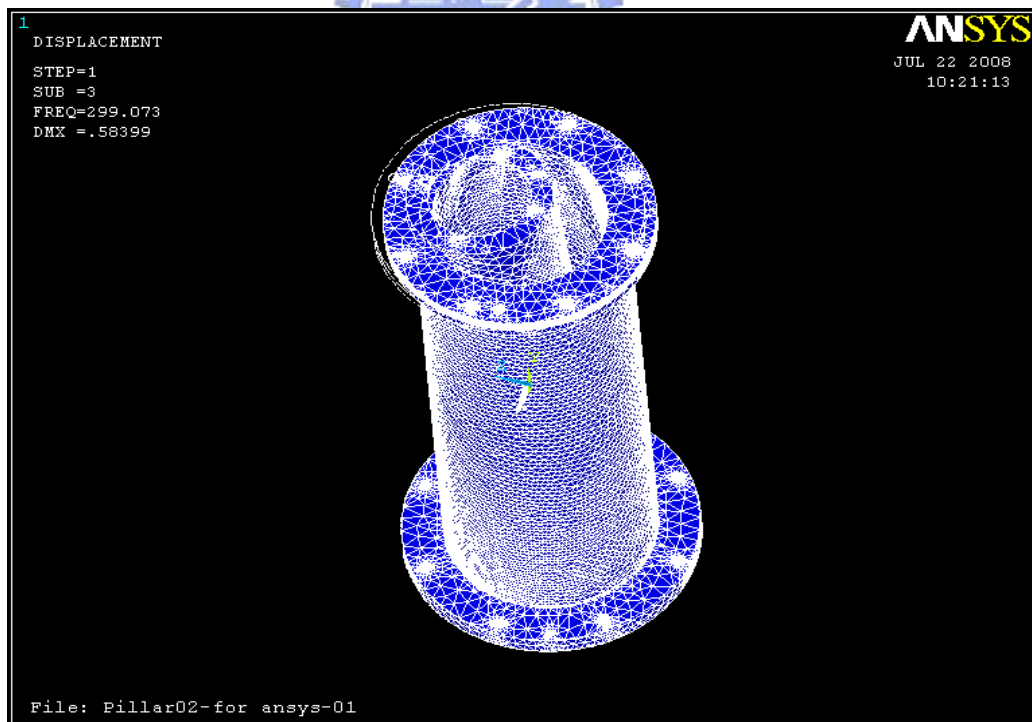


圖 4-15 第三振型(299.07Hz)—(A)

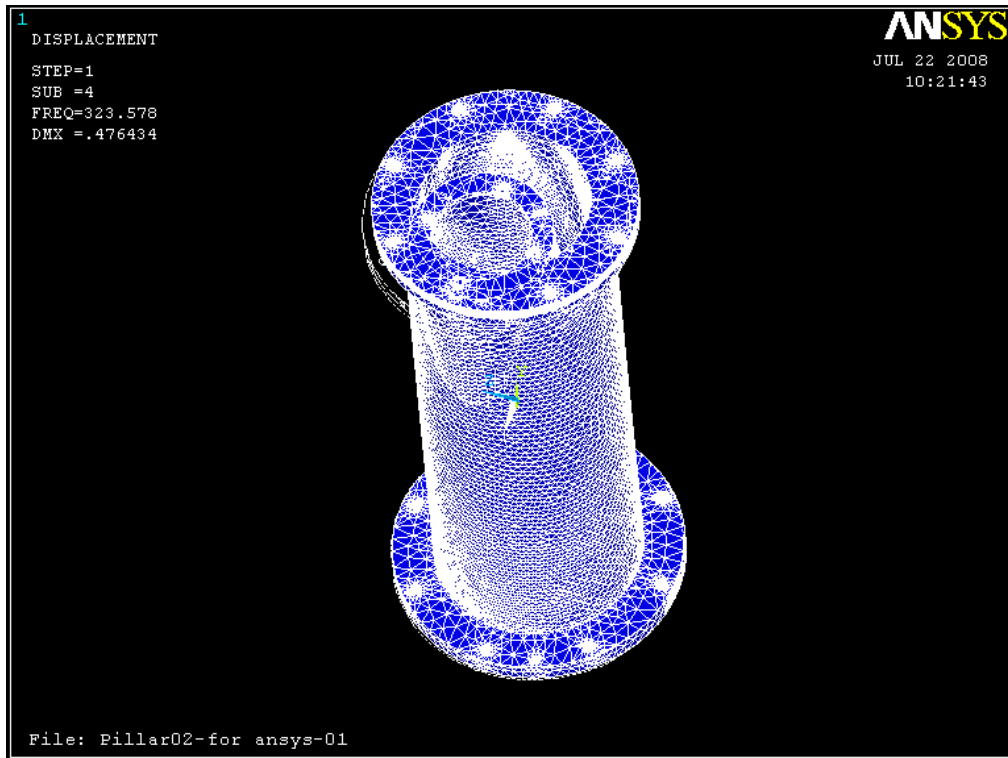


圖 4-16 第四振型 (323.58Hz)—(A)

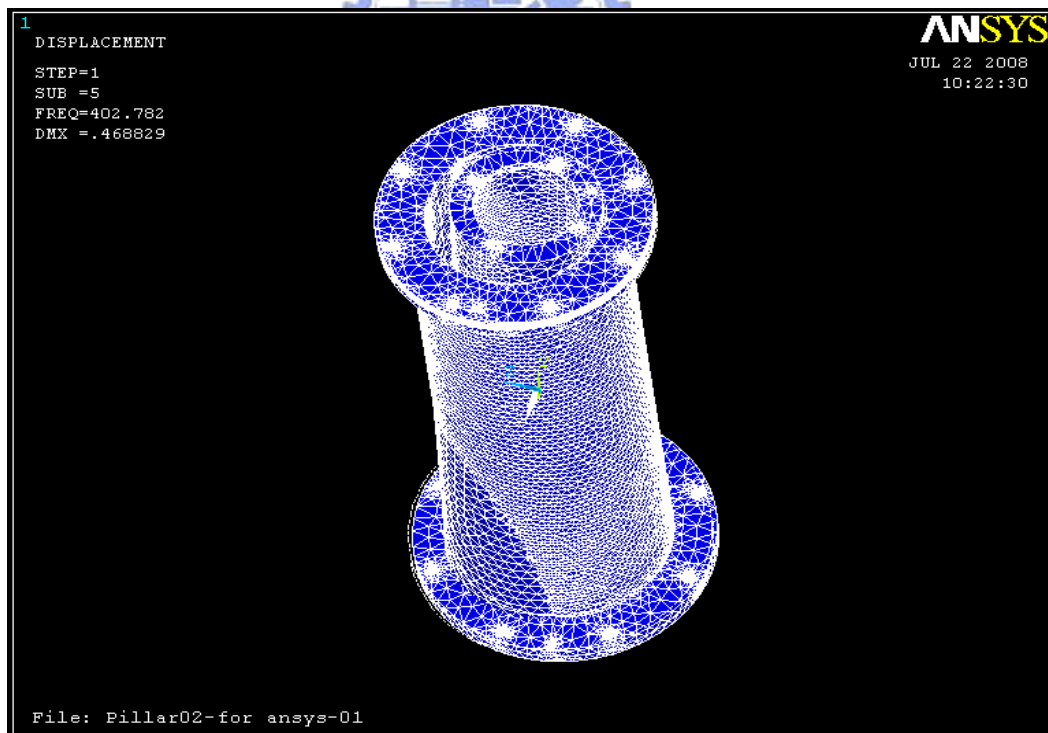


圖 4-17 第五振型 (402.78Hz)—(A)

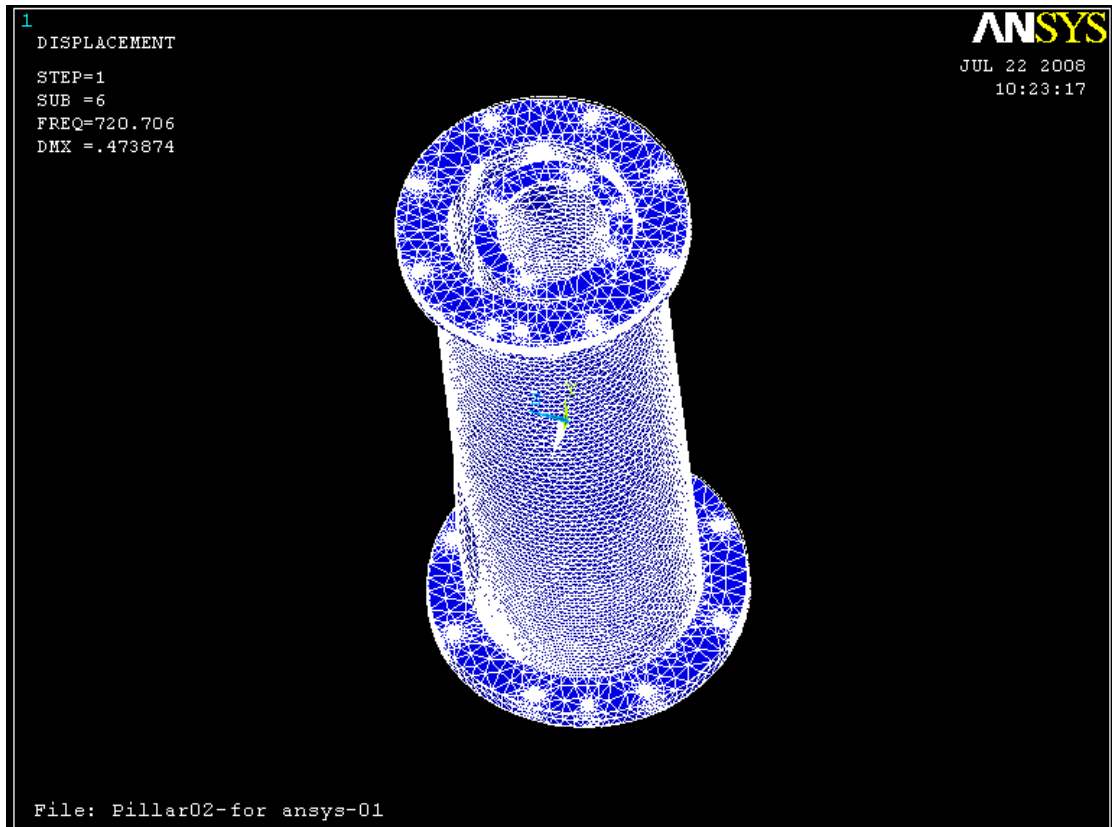


圖 4-18 第六振型 (720.71Hz)—(A)