

雁沱實驗室系統整合測試暨
雁沱性能驗證研究(1)

內政部建築研究所協作研究報告

應用實驗館系統整合測試暨 應用性能驗證研究(1)

研究單位：內政部建築研究所

計畫主持人：葉組長祥海

共同主持人：甘教授君易

研究人員：鄭教授啟明、吳教授國昌、胡教授志忠

研究助理：陳技士子良、李信宏、蔡明樹

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國九十三年十二月

摘要

關鍵詞：風洞實驗館、性能驗證實驗

本計畫主要目的為協助內政部建研所建置風洞實驗館，包含建立風洞系統及相關性能實驗驗證，以測試該風洞是否符合內政部建築研究所規劃之性能及品質要求。風洞基本上為一閉迴路系統，具有兩個測試區，測試區截面分別為 $4\text{m}\times 2.6\text{m}$ 及 $6\text{m}\times 2.6\text{m}$ ，最高速度可達 30m/s 以上，當從事煙霧擴散實驗時，該閉迴路風洞可切換為開放式風洞。風洞實驗館主要硬體包含：建築物、風洞本體、風扇、變頻器及儀器設備等，已於民國 93 年 5 月底完成驗收。隨後進行風洞基本性能測試，測試項目包含：風洞運轉之穩定性測試、風扇變頻器特性試驗、測試區流場之測試(測試區截面速度分佈不均勻度及紊流強度)，以上基本性能測試由主持人甘君易教授負責。本計畫協同主持人鄭啟明教授製作完成一橋樑測試模型，使用所購置量測儀器設備，在風洞第二測試區進行實際測試，以利未來從事實際的橋樑模型測試工作。本計畫另一協同主持人吳國昌教授完成了煙流擴散實驗，得到預期測試結果，為未來從事污染擴散的測試工作奠定基礎。

ABSTRACT

Keywords : simulation of wind effects on bridges, validation program, training course

The construction and calibration of the ABRI Building Aerodynamic Wind Tunnel Laboratory are scheduled to be completed by the spring of 2004. Following the calibration, a series of experiments, referred to as the validation program here, will be conducted out in the year of 2004, with the goal of validating the wind tunnel capabilities. The validation program will be implemented by comparing the experimental results obtained with those known in the literatures. Specifically, the validation program will be performed with the experiments on simulation of wind effects on bridges.

Moreover, in this project a set of training courses on operation and maintenance of the ABRI wind tunnel will be offered to the technicians of ABRI, to prepare them for future operation of the tunnel facility.

目 錄

第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究方法.....	2
1.3 成果內容.....	2
第二章 壓敏.....	4
2.1 前言.....	4
2.2 壓敏驗收及基本性能測試.....	4
第三章 壓敏變頻器.....	6
3.1 前言.....	6
3.2 壓敏變頻器目前工程進度.....	6
第四章 壓滌水體.....	7
4.1 前言.....	7
4.2 壓滌水體工程進度.....	8
第五章 量測儀器採購.....	10
5.1 前言.....	10
5.2 目前進度說明.....	10
第六章 壓滌基本性能測試實驗.....	11
6.1 前言.....	11
6.2 測試項目.....	11
6.2.1 壓滌運轉之穩定性.....	11
6.2.2 壓敏變頻器試驗.....	13

6.2.3	測諗再流場之測諗.....	13
6.2.4	流場偏向率.....	14
6.2.5	測諗再軸向壓力梯度.....	16
6.2.6	測諗再邊界層厚度量測.....	16
6.3	量測儀器.....	17
6.4	風洞基本性能驗證初步結果.....	18
6.4.1	風洞運轉之穩定性分析.....	18
6.4.2	風洞變頻器特性實驗.....	20
6.4.3	測諗再均勻度及紊流強度.....	20
6.4.4	邊界層量測結果.....	22
6.4.5	流場偏向率.....	22
6.4.6	軸向壓力梯度.....	22
6.5	基本性能測試結論.....	23
第二章	橋樑斷面模型試驗.....	24
7.1	前言.....	24
7.2	橋樑空氣動力基本理論.....	25
7.2.1	橋樑空氣動力穩定特性.....	25
7.2.2	扭轉不穩定.....	26
7.2.3	顫振.....	26
7.2.4	抖振反應.....	26
7.2.5	渦流顫振.....	27
7.2.6	基本方程式.....	28

7.3	風力係數及顛振導數.....	29
7.3.1	風力係數.....	29
7.3.2	顛振導數.....	30
7.4	顛振與抖振之評估方法.....	30
7.4.1	顛振之臨界風速之評估模式.....	30
7.4.2	橋樑斷面模型製作.....	33
7.4.3	斷面模型使用之端版效應.....	34
7.4.4	實驗儀器介紹.....	35
7.5	橋樑試驗之風洞設計與規劃.....	37
7.5.1	端版配置.....	37
7.5.2	橋樑斷面模型試驗-平板斷面.....	37
7.5.3	橋樑斷面模型試驗-常屏溪橋斷面.....	38
7.5.4	橋樑斷面模型試驗內容.....	38
7.6	斷面模型風洞試驗結果.....	38
7.6.1	風力係數.....	38
7.6.2	顛振導數.....	39
7.6.3	常屏溪橋斷面之顛振臨界風速.....	41
7.7	橋樑測試實驗結論與建議.....	42
7.7.1	第二試驗段儀器設備使用心得.....	42
7.7.2	橋樑測試實驗結論.....	43
第八章	煙流擴散.....	47
8.1	前言.....	47

8.2 理論背景.....	47
8.2.1 大氣運動之模擬參數.....	47
8.2.2 污染物質之模擬參數.....	49
8.2.3 大氣邊界層內擴散之物理模擬試驗.....	50
8.2.3.1 對模擬參數之考慮.....	51
8.2.3.2 對煙向廢氣上升流之考慮.....	52
8.3 實驗方法.....	57
8.3.1 風速量測.....	57
8.3.2 煙氣之模擬.....	57
8.3.3 釋放系統.....	57
8.3.4 採樣點之佈設.....	58
8.3.5 示蹤氣體之採樣與分析.....	59
8.4 煙流擴散實驗結果.....	60
第九章 教育訓練.....	61
第十章 結語.....	62
參考文獻.....	63

第一章 緒論

1.1 前言

內政部建研所於93年5月底在成功大學歸仁校區完成風洞設備驗收[1, 2, 3]，該風洞主要性能說明如下：其為一閉迴路系統，具有兩個測試區，測試區截面分別為 $4\text{m}\times 2.6\text{m}$ 及 $6\text{m}\times 2.6\text{m}$ ，最高速度可達 30m/s ，該風洞之測試區位於建築物內，其餘部分則裸露於室外，整體而言該風洞本體之總長度為 77.9m ，最大寬度為 9.12m ，最大高度則為 15.9m 。

該建築風洞實驗館將用於探討建築物(含橋樑)外部風環境及其受風力作用時之各項紊動力現象與反應，預期之研究工作項目包含建築物風環境研究、建築物承受風力之研究、建築物受風力作用之反應及公共設施耐風性能研究等[4, 5, 6]。除建築物風工程研究外，該風洞實驗室更可與國內學術界合作從事流體力學相關研究，由於該風洞之測試區具有較大的截面積與空間，此一特點可以解決在一般小型風洞中實驗量測上所遭遇的空間解析度不足的問題，因此該室之風洞將可為國內流體力學實驗研究提供一個更好的實驗環境選擇。

整個實驗館籌建過程中所涵蓋的工作項目包含：風洞本體及其它組件的設計、發包、監造與組裝監工、風洞實驗館建物的規劃、儀器設備規格研擬及採購等。截至目前為止該風洞實驗館主要硬體包含風洞本體、風扇及變頻器等，均已於93年5月完成安裝驗收。

待風洞本體、風扇及變頻器等完成驗收後，即進行風洞基本性能測試，以確認風洞基本性能可滿足設計要求。測試項目包含：風洞運轉之穩定性測試、風扇變頻器特性試驗、測試區流場之測試(測試區截面速度分佈不均勻度低於 0.5% 及紊流強度低於 1%)，基本性能測

試擬日甘君易教授主持於該廠進行。本計畫將配合使用製作完成之橋樑測試模型，同時整合相關的量測儀器設備，日本計畫另一個協作主持人鄭啟明教授以進行實際測試，並藉由實驗之進行來整合相關的量測儀器設備，以利未來從事實際的廠內模型測試工作。

1.2 研究方法

整體而言，廠內實驗館之籌建涉及許多不同領域，諸如建築學、流體力學、設計、製造、監造、組裝、採購、驗收等，為使各工作項目能順利進行並相互協調，本計畫主持人將負責整個計畫的綜整管理、進度協調、工作調配等，並定期舉行會議，議決分工事項及討論各工程之執行進度，檢討籌建過程及驗收所發生之問題並尋求解決方法。

待廠內本體、廠內及變頻器驗收後，即展開對該廠內基本性能測試，以確認廠內基本性能可滿足設計要求。為了更進一步建立廠內館之試驗能量，本計畫將配合使用製作完成之橋樑測試模型，同時整合相關的量測儀器設備，以進行實際測試。並於實驗過程中舉行會議，解決該廠內所遭遇相關問題。

同時本計畫將培訓廠內實驗館操作與維護所需之技術人才，培訓內容包含：廠內系統之操作與保養，及主要量測儀器之操作等。另外，本計畫成員亦將協助水政部建研所完成 93 年度的儀器設備採購。

1.3 成果內容

截至目前為止廠內本體、廠內及變頻器已於 93 年 5 月底分別完成驗收及相關教育訓練。此外廠內性能驗證亦正在進行，因此日參與本計畫的成員帶領研究生及臨時工，分別負責執行不同的實驗項目，

包括：風洞基本性能測試(苗君易教授)、橋樑試驗(鄭啟明教授)及煙流擴散試驗(吳國昌教授)等，每一實驗項目將依 91 年之規劃內容進行[3]。本報告將針對風洞本體、風扇、變頻器及量測儀器之採購及驗收作一說明，此外風洞性能驗證實驗進度亦包含在本報告中。報告內容分別為以下幾個主要章節：風扇、風扇變頻器、風洞本體、量測儀器及風洞性能驗證實驗。

第二章 風扇

2.1 前言

風扇的主要功能除了供給氣流起始動能外，並補充氣流在風浦迎路中流動所產生之壓力損失；本風浦之風扇位於第二測試區後，為圓形管路結構，該風扇搭配尾罩(nacelle)、預轉片及平整片等，構成風浦之驅動系統。

為了避免風扇馬達震動影響流場品質，該風扇主體座落於獨立一基礎與建築結構分開，此外風扇管道以軟質緩衝墊(compensator)與前後管路相接。該風扇目前於93年5月26日驗收完成，其基本性能簡述如下要求如下所述：

- (1)型式：直接傳動軸流式風扇。
- (2)風速調整方式：以變頻器(inverter)控制馬達轉速(變頻器於下一章詳述)。
- (3)風扇直徑為4.75m，風扇整體長度約7.62m，風扇中心體(center body)包含驅動馬達及避免尾流形成之尾錐(tail cone)。
- (4)最低穩定風量不大於 $12\text{m}^3/\text{s}$ 。
- (5)風扇馬達(大馬)最大馬力為500kW。
- (6)在風量為 $390\text{m}^3/\text{s}$ 時，風壓提升至少為1000Pa(total pressure rise)，風扇效率至少為85%。
- (7)風扇本身具有強制空氣冷卻裝置。

2.2 風扇驗收及基本性能測試

風扇已於92年底完成組裝，德國豪頓公司於93年3月22日派遣原廠技師來台進行測試(圖2)，93年4月2日會同內政部建築研究所代表、籌建小組代表、中鏢公司代表及變頻器廠商代表完成試

車，並進行「風浦整體整合試車檢討會議」確認試車結果（附件一），測試結果之最高轉速為 350rpm 時，第一測試段所量得風速已達 37.6m/s 超過合約規範 30m/s，在此轉速下風扇性能為 87%亦合乎規範中所要求 85%；規範中要求在風扇操作轉速範圍內，距離風扇 6 公尺位置處，最大噪音為 85db(A)，實際測試結果為 80db 符合要求，豪頓公司的測試結果數據如附件二。

因豪頓公司測試時 3300V 電源發生跳電，故只測試至轉速 350rpm，籌備小組於 93 年 4 月 29 日再次會同豪頓公司代表進行測試，此次轉速測試至最高轉速 390rpm，第一測試區所測得平均風速為 36.4m/s，最高轉速時風扇所提供壓力升 1243Pa，籌備小組所測得結果與德國豪頓公司相近，亦都合乎合約中所要求，籌建小組測試報告如附件三。

93 年 5 月 21 日日台灣豪頓公司派代表對建研所相關人員進行教育訓練。

93 年 5 月 26 日日建研所代表、籌建小組代表及廠商代表完成估驗（如圖 1）進行驗收。

第三章 庫 翁 變 頻 器

3.1 前 言

日於本變頻器、庫 沛 本體及庫 翁採獨立發包，因此有意投標廠商需配合庫 翁得標廠商所採用馬達來設計本變頻器，此外本變頻器得標廠商亦需配合庫 沛 本體及庫 翁安裝工程進度，以利變頻器的安裝、試車及調整。變頻器基本規格如下：

輸出馬力：500KW

使用電壓：三相 3300VOLTS

使用馬達：500KW 16P 3 PHASE 3300VOLTS 52 Hz

SPEED：390 RPM

3.2 庫 翁 變 頻 器 安 裝 進 度

庫 翁變頻器已於 92 年 11 月底完成組裝估驗，93 年 3 月 20 日變頻器廠商仕 大 公司派遣美國原廠技師協助測試，於 93 年 3 月 26 日完成變頻器部分測試，其測試結果與合約中所規範相符合（附件四）。93 年 4 月 2 日會同 政 部 建 築 研 究 所 代 表、籌 建 小 組 代 表 及 其 他 二 家 廠 商 代 表 完 成 庫 沛 整 合 試 車（附件一）。

93 年 5 月 19 日日仕 大 公司派代表對建研所相關人員進行教育訓練

93 年 5 月 26 日日建研所代表、籌建小組代表及廠商代表完成估驗(如圖 1) 進行驗收。

第四章 風洞本體

4.1 前言

本風洞本體乃根據風洞實驗室籌建小組所擬定之規範而設計[1]，該風洞基本上為一閉迴路系統，具有兩個測試區，此外本風洞之設計亦考慮到污染擴散實驗或煙霧視流實驗對風洞本體及工作氣體可能造成之污染，因此當從事煙霧相關實驗時，該閉迴路風洞可切換為開放式風洞。該風洞之氣流流動由一500kW (671HP)馬達的風扇所驅動，此風扇由一變頻器所控制，藉由風扇轉速的改變而達到對氣流速度之控制，氣流經風扇加壓後通過第三及第四轉角區進入整流段。整流段包含一層蜂巢網格及三層整流紗網，可有效的消除流場中之二次流及降低紊流強度，並使速度場均勻分佈[1]。

隨後流體通過一縮收比為4.71:1的收縮段，進一步降低流場中的紊流擾動強度而得到均勻流分佈及低紊流強度之出口流場。實驗時可於測試區中置入spire及trip等障礙物，以達到建築風工程實驗要求之邊界層厚度。

在第一測試區中配置有3個旋轉盤(turn table)，第一轉盤直徑1m安置於距測試區入口3m處，而第二及第三轉盤直徑3m，其中心位置分別距測試區入口約25.5m或31.5m處，並以機械控制使其可作旋轉及上下運動，其中turn table 1處之流場速度分佈均勻，適合從事一般流體力學研究，而turn table 2與3則以建築物受風力作用的空氣動力學研究及污染擴散實驗為主。測試區中面對控制室的側壁由強化玻璃所構成，此有利於實驗時對流場的監控及觀測，而可掀式側壁視窗則置於測試區入口下游9~12m、18~21m及30~33m之兩側處。測試區中亦設有移動機構，其採用整組手推方式移動，移動範圍涵蓋測試區所有軸向距離，移至定位後，移動機構本體亦能做三軸運動並且電腦控制以

協助量測流場中各點位置的物理量。測試區的上蓋板為手動控制的可調整曲面，適當調整之曲面可有效消除流場中因測試模型存在，所造成之阻礙效應、或因邊界層效應及黏滯阻力所造成之軸向壓力梯度。

流體通過第一測試區後，經過2個轉角段進入另一整流段，此整流段包含有3層整流網，而後流體進入第二測試區。

在第二測試區中配置有1個旋轉盤，其中心位置距測試區入口為15m（稱為 turn table 4），轉盤的直徑為3m，轉盤以手動方式作旋轉及上下運動。Turn table 4 將以橋樑測試為主要用途，測試區中面對控制室的側壁亦為可透視壁面，其可掀式側壁視窗置於測試區入口下游3~6m、5~21m之兩側處。

該風洞本體於民國91年4月10日已由中國鑄鐵公司得標，以下說明風洞本體目前工程進度。

4.2 風洞本體工程進度

中鑄公司於92年10月3日開始進場組裝，於92年12月23日完成風洞本體組裝，日建研所代表、風洞籌建小組代表及中鑄公司代表完成估驗（附件五），中鑄公司隨即進行細部裝修及測試。籌建小組測試過程發現部分設計上不足的部分，因為會影響以後風洞操作人員不便，日籌建小組向建研所反映後，建研所陳瑞玲組長遂主持「建築分動實驗設備風洞本體部分」變更設計會議，會中日籌備小組代表向審查委員提出變更之原因，審查委員亦同意修改，所增加費用由中鑄公司自行吸收（附件六）。

中鑄公司於93年3月26日前完成風洞本體試車作業（附件七），且於93年4月2日會同建研所代表、籌建小組代表及其他廠商代表完成風洞整合試車（附件一），93年5月18日中鑄公司完成合約中

教育訓練，93年5月26日日建研所代表、籌建小組代表及廠商代表
完成驗收（如圖1）。

第五章 量測儀器採購

5.1 前言

由於風洞實驗館主體硬體（建築物、風洞本體、風扇、變頻器及量測儀器）均於民國93年5月底完成風洞實驗館整體的系統建置及整合，因此，為配合風洞本體系統驗收後之性能實驗，風洞籌建小組已於91年度規劃數個風洞性能實驗項目[3]，包括：風洞基本性能測試、小邊界層發展之風洞試驗、橋樑試驗、高層建築在平滑流場及邊界層流場之實驗、煙流擴散特性之檢定等，本計畫將於93年風洞驗收後優先完成風洞基本性能測試，以配合風洞之驗收，待基本性能測試滿足設計要求後，隨即進行其它實驗項目。然為使後續其它已規劃之實驗項目能順利進行不致中斷(於93年進行)，本年度亦將配合完成小邊界層發展之模型製作、橋樑測試模型製作及高層建築模型製作等。

因此為順利上述各項實驗之進行，本計畫將依據 91 年風洞小組成員所擬定之儀器需求及規格[2]，偕同成大航太科技研究中心負責執行儀器設備的採購及驗收。

5.2 目前進度說明

93 年度所採購的量測儀器為新台幣捌佰壹拾萬圓整（附件八），本年所量測儀器採購需要招標共計有六項，於 93 年 4 月 19 日第一次開標，有四項順利完成招標，其餘 2 項因參標廠商不足流標，93 年 4 月 30 日辦理第二次招標均順利標出，量測儀器採購目前進度及結餘如附件九。

第六章 風洞基本性能測試實驗

6.1 前言

風洞建構完成後，風洞設計者所關心的不外乎風洞性能是否符合原先設計之要求，因此本實驗規劃之目的即針對本風洞整體之基本性能作一初步測試，待風洞基本性能滿足設計需求後，再進行其它驗收實驗項目，意即該基本性能測試結果將作為其它更進一步驗收實驗項目執行時之參考。

本計畫之工作項目包含風洞本體（包含風扇、風扇變頻器）試車驗收、風洞性能實驗之執行、數據比對、人員訓練及協助儀器設備採購等，為使各工作項目能依既定時程進行，本計畫主持人及共同主持人將負責整個計畫的綜整管理、進度協調及工作調配等，並定期舉行會議，議決分工事項及討論計畫執行進度，檢討計畫執行過程所發生的問題並尋求解決方法（附件十）。

6.2 基本性能測試實驗項目規劃

6.2.1 風洞運轉之穩定性

風洞運轉之穩定性主要為探討測試區中平均速度及溫度對時間的變化關係。

由於風洞實驗一般均要求測試區入流流速須為定常流情況（非定常流實驗除外），以探討在該定風速條件下之相關流場特性，因此就本風洞而言，首先當使冊者給予一設定速度後，測試區中速度隨時間之變化即為本項測試重點之一，該測試結果將有助於了解本風洞測試區速度到達設定速度所需之時間。除此之外，當測試區中的平均速度到達設定速度後，該速度信號是否包含非定常擾動分量亦為本測試所

關切之問題，造成非定常擾動分量的主要來源包含[7,8]：(1)風扇運轉性能不佳所造成之逾期性速度擾動，(2)風浦本體本身設計不良，導致管道內流場分離造成逾期性或非逾期性之速度擾動等。若測試結果發現上述不預期之速度擾動現象，則風浦設計者應設法尋找該速度擾動源並解決之。

另一方面，風浦開始運轉時，通常溫度會隨時間逐漸上升，直到與外界達成熱平衡後，風浦中的氣流溫度才會達到穩定狀態。一般而言，導致氣體溫度上升或變化的主要原因包含：(1)由於氣流運動與風浦管壁摩擦所產生之熱源，(2)機械組件(如風扇)運轉所產生之熱源，(3)風浦外界環境溫度變化之影響等。由於風浦中所使用之量測儀器，一般而言均無法完全避免氣流溫度變化所造成之量測誤差，特別是熱線測速儀更是必須在受量測氣流恆溫的情況下，才能有準確之速度量測結果。基於上述原因，有必要了解風浦運轉過程，氣流溫度隨時間變化之特性，以作為量測儀器使用之參考。

速度及溫度變化量測將分別於第一測試區及第二測試區進行，風速之量測點將選擇於測試區的中央位置，量測儀器可選擇使用皮托管與薄膜式壓力感測器方式(圖3)或者使用熱線測速儀(圖4)，由於本測試之速度響應要求並非很高，主要為評估平均速度隨時間之變化，且單一組測試時間甚至可能長達5個小時以上，因此為免去熱線測速儀較為繁複之校正程序及受溫度影響所造成量測誤差，使用皮托管加薄膜式壓力感測器方式會是較適當之選擇。風浦中溫度之量測則可使用一般熱電偶溫度感測器。

測試過程將即時紀錄測試區中速度及溫度，測試時間將視實際情況予以調整，建議初始測試時，可將測試時間拉長至5小時，待檢視測試結果後，再予以斟酌調整。測試條件至少需包含：最低穩定風速

(指測試區中之速度)、中等風速及最高風速情況下，分別進行。

6.2.2 風扇變頻器特性試驗

本風洞風扇之控制乃由變頻器所控制，經由調整變頻器之頻率來改變測試區中之速度，然而值得一提的是，風洞測試區中放置不同測試模型時會造成不同壓損值，因此假設測試區中要求之設定速度不變時，則不同測試模型可能需調整變頻器頻率。

因此本測試之目的僅在於初步測試變頻器之控制性能，測試乃在空風洞情況下進行，主要探討：(1)風扇轉速與變頻器頻率之關係，(2)測試區中平均速度及紊流強度與變頻器頻率的關係。後者可幫助使用者了解該變頻器之最高及最低穩定轉速。

6.2.3 測試區流場之量測

測試區流場之量測主要將探討在不同速度下測試區不同截面的速度及紊流強度分佈。

風洞測試區流場品質之優劣，會直接影響到風洞實驗結果之可信度，因此設法改良或改善風洞流場品質直至某一可接受程度，為風洞使用者所需面臨的一嚴肅課題。一般而言，風洞流場品質乃以風洞測試區截面平均速度分佈的不均勻度小於 $\pm 0.5\%$ 及測試區軸向紊流強度低於 1% 來作為評判的標準。雖然本風洞將來之主要目的為從事建築物相關空氣動力學研究(通常會以人為方式擾亂入流流場)，然而該風洞另一目的為提供國外研究學者從事一般流體力學研究，因此高品質流場之要求仍是有必要的，且良好品質之流場，將有易於以人為方式控制測試區內的流場型態。本風洞流場品質校驗將以上述之不均勻度及紊流強度為參考依據。

本實驗項目將在不卍速度下量測兩測試區不卍截面速度及紊流強度分布。實驗將分別於風洞館第一測試區(2F)及第二測試區(B1F)進行測試。預計在第一測試區進行3組流速(低速、中速及高速)試驗，量測截面分別在第一迎轉盤中心(下游3m處)及下游取2個不卍位置之截面共3處進行測試，每一截面量測20點；而第二測試區預計進行2組流速(低速及高速)試驗，每組流速各量測兩個截面，分別位於第二測試區入口處及唯一迎轉盤中心截面，每一截面估計量測20點。量測過程中須待測試區中風速及溫度均達穩定方可進行，量測儀器主要以熱線測速儀(Hot-Wire)及皮托管為主。

均勻度的兩倍標準差定義如下：

$$|\Delta U_{0.2\sigma}| = 2 \times \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U}_0)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

紊流強度(Turbulent Intensity)之定義：

$$T.I. = \frac{\overline{(u')^2}^{\frac{1}{2}}}{U_0}$$

6.2.4 流場偏角

通常各項風洞實驗皆會假設流場為均勻流(Uniform flow)，倘若流場的偏角太大，會造成實驗上相當大的誤差，因此流場偏角(Flow Angularity)也是風洞基本性能測試的一項重要課題。量測流場偏角有許多方法，如3-D熱線測速儀、五孔皮托管、雷射測速儀(LDV)...等，而本次實驗測試吾人選擇三孔的cobra probe皮托管配合壓力轉換器來量取流場偏角，速度及量取截面的設定與前一項測試。

普遍所量測的偏角為上升流(Upflow)及橫向流(Cross-flow)，因

此三孔皮托管主要量取流場的 α 角(pitch angle)或 β 角(Yaw angle)，透過先前的校驗所求的修正係數 K_1 及 K_2 ，與三個壓力孔的靜壓值比較計算後便能得到 $\Delta\alpha$ 及 $\Delta\beta$ 。

偏向角的兩倍標準差定義如下：

$$|\Delta\alpha_{2\sigma}| = 2 \times \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha}_0)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

如圖 5 所示量取 P_0 、 P_1 及 P_2 等壓力，利用 Eq.3-1 及 Eq.3-2 分別探討偏向角對於 K_1 、 K_2 值及速度之影響，並以 Cobra Probe 三孔半徑和(2.31 mm)作為特徵長度 L ； 0° 偏向角之速度為特徵速度，求得其雷諾數。

$$\frac{1}{2} \rho_{air} U_\infty^2 = K_1 \left(P_0 - \frac{1}{2} (P_1 + P_2) \right) \dots\dots\dots(3-1)$$

$$\alpha = K_2 \frac{P_1 - P_2}{P_0 - \frac{1}{2} (P_1 + P_2)} \dots\dots\dots(3-2)$$

$P_0; P_1; P_2$: Cobra probe 全壓與參考壓力之差(P_a)

K_1, k_2 : Cobra probe 之校驗係數

α : 偏向角(deg)

Cobra probe 的校驗

1. 將 Cobra probe 與量角器校正，使 Cobra probe 與量角器成一直線(若 Cobra probe 與自由流程一直線時，則 P_1 與 P_2 壓力值將會很接近)。
2. 將 Cobra probe 至於庫沱中，注意其 Cobra probe 須位於庫沱測試段

中間位置。

3. 改變風扇轉速，量取 $\pm 50^\circ$ 之間 P0、P1 及 P2 壓力值記錄並分析。

6.2.5 測試區軸向壓力梯度

測試區由於邊界層成長的效應，會造成測試區中心平均流速愈往下游愈快，而產生一壓力梯度(壓力會沿下游方向慢慢下降)，因此若要了解邊界層成長的情形，量取測試區中心軸向壓力梯度即可得知，此軸向壓力梯度可作為未來進行邊界層發展實驗的重要參考資料。

通常量取中心壓力梯度會使用長靜壓管(Long Static Tube)，從入口處穿越測試區到出口處來測量，但由於風洞實驗館的兩測試區皆設置有三維移動機構，因此只要在移動機構上架設一支皮托管，即可量取中心壓力梯度。兩個測試區皆量測七點，第一測試區軸向長度約 36.5m，設定每隔 6m 量取一點；第二測試區軸向長度為 21m，則設定每隔 3.5m 量取一點。第一測試區設定 3 組流速，第二測試區設定 2 組流速進行實驗，如前所述。

6.2.6 測試區邊界層厚度量測

測試區的流場邊界層會隨流體運動而成長，造成測試區自由流的流速越往下游有加速的現象，使流場壓力梯度的變化。吾人以皮托管配合移動機構便可以量測出流場邊界層厚度，每個測試區預計量取 3 個不同截面位置的邊界層厚度，進而與文獻中所預測的邊界層厚度作比較。第一測試區入口因原本預計要進行擴散試驗所以留有一個約 10cm 的間隙，此次測試在量取入口邊界層時亦有考慮其效應，在入口截面實驗過程分為間隙有無以膠帶貼平，以比較出其差異。

6.3 量測儀器

進行庫沛基本性能測試所需之儀器設備，至少包含以下所述：

1. 壓力量測系統(pressure measurement system)

- A. 皮托管(Pitot tube):目前所使用約有兩種形式，一為較常見 90 度彎管型皮托管(圖 3 所示)，目前使用在量取第一及第二測試區之入口流速，另一為直線型式，可配合三維移動機構來量取測試區各截面之速度均勻度及軸向速度分佈。
- B. 壓力轉換器(pressure transducer):為 Validyne DP-103 型薄膜式壓力轉換器(圖 3 所示)，所量取兩端輸入之壓力差，以類比電壓形式輸出，輸出電壓在 $\pm 10V$ 之間。正壓接在 pitot tube 的全壓口，而負壓則接在 pitot tube 的靜壓口，藉此得到動壓差，進而換算出平均速度。
- C. cobra probe: 本次實驗預計使用三孔的 cobra probe (圖 5 所示)是由三支外徑 1.07mm，內徑 0.77mm 之不銹鋼圓管所構成，並排貼緊於垂直自身轉軸的平面上，尖端指向自來流方向，而兩側圓管對稱切削，與自來流夾 45 度角。

2. 速度/溫度量測系統(velocity/temperature measurement system)

本實驗使用 DANTEC 之定溫熱線測速儀(constant temperature hot-wire anemometer)從事流場瞬間流速量測，此儀器具 50Khz 高頻響應能力，由於熱線測速儀之電子串接線路可能有飄移(drifting)發生，所以每次使用之前都必須校驗以避免造成實驗誤差，Hot-Wire 每次校驗後約可維持兩個小時。熱線測速儀依其操作原理不同，約可分為定電流熱線測速儀(CCA)及定溫測速儀(CTA)

兩種，其量測原理乃利用惠斯通電橋(Wheatstone's bridge)之平衡作用，CCA 是利用保持通過感測器的電流為定值，而得到電阻與熱散失的關係，為維持熱線溫度在一定值，當氣流通過此熱線表面帶走熱量使溫度降低時，必須補充相當的電流，因此流速越快會得到越高的電壓值，CTA 是利用由授線路保持感測器的溫度(或電阻)為定值，而由授放大器的輸出電壓得到與熱散失間的關係。

熱線材料是由 90%的白金(platinum)和 10%的銠合金(rhodium)組成，直徑為 $5\mu\text{m}$ 。在使用前，以校驗過的壓力轉換器校驗之。由於熱線測速儀的靈敏度及特性隨流場溫度與本身電阻而有所改變，因此校驗後之探針使用一段時間後，就必須重新校驗一次，以得到較準確之校驗係數。

3.數據收集系統(data acquisition system)

實驗所量得之類比訊號先由 IOtech ADC-488/8SA 資料收集系統作數位類比轉換(analog-digital converter)，此系統共有八組輸入端，最高取樣速率(sample rate)為 100KHz，具有 16bit 之解析度，精確度(accuracy)達 0.02%。數位化的信號以大於 200kb/s 的速率經由 IEEE-488 介面傳回電腦，再用 VB6.0 所撰寫好的程式運算並儲存。

4.拍照攝影與錄影系統(photograph and video recording system)

5.示波器、數據位電表、信號產生器等基本電子信號檢測儀器。

6.4 風洞基本性驗證實驗初步結果

6.4.1 風洞運轉之穩定性分析

本實驗主要在探討測試區中平均速度及溫度對時間的關係，即給定一速度後，量取測試區中速度隨時間的變化，此測試結果將有助於了解本風洞測試區到達設定速度所須之時間。再者，風洞運轉後，整體溫度會隨時間而逐漸上升，至到與外界達成熱平衡後，風洞內部氣流溫度才會平穩，為避免因溫度上升而產生量測上的誤差，有必要了解風洞運轉過程，氣流溫度隨時間變化之特性。

但與外界要達成熱平衡必須在外界之氣溫變化不大(即穩定狀態下)，若外界的環境變化過大則無法在短時間內便達到熱平衡。早期在風洞館進行實驗時，發現在白天正午或日夜交替的時候溫升非常的大，曾經在風洞運轉不到一小時的時間內溫度上升近 10°C ，有鑑於此，本實驗的量測時間在晚上 23:00~01:00 之間。同時使用皮托管及溫度感測器量取第一測試區之入口流速與溫度隨時間之變化關係，速度設定在 6.7m/s ，基本上每隔 3 分鐘取一點共取 120 分鐘 41 點，待風扇轉速固定之後開始量測，測量位置不變，結果如圖 6 所示。發現在此時段時間內的溫度上升並不大，速度幾乎維持在 $24.7^{\circ}\text{C}\sim 24.8^{\circ}\text{C}$ 左右，溫度變化的不確定度大約在 $\pm 0.58\%$ 。而速度的變化並無明顯的上升或下降，但隨時間的變化值則較大，速度改變的不確定度約在 $\pm 2.8\%$ ，初步判斷速度的改變值會偏高是因為入口皮托管隨風洞運轉而震動所造成，為了使入口參考速度的不確定度減低並

成為未來設定速度的參考值，有必要重新思考感測器安裝的方式及位置，以增加實驗數據的可信度。

而圖 7 為風扇轉速與速度之關係，其中速度分別為第一測試區及第二測試區之入口流速，風扇轉速與速度呈現線性之關係，所率定出來之線性關係式如圖 7 所示，可作為日後設定速度的參考關係式。未來改進儀器及感測器本身的誤差後，可再與此兩關係式做比對。

6.4.2 風扇變頻器特性實驗

本實驗主要之目的在於初步測試變頻器之控制性能，了解風扇之轉速是否會與變頻器呈現線性之關係。實驗主要在空風浦的時候進行，風扇由低負荷(6rpm)運轉至高負荷(390rpm)共設定 13 個轉速，由控制台面板上記錄每一轉速之變頻器頻率，結果如圖 8 所示。結果顯示出風扇轉速與變頻器頻率呈現正比的線性關係，得知風扇變頻器的性能頗佳，在 60rpm 至 390rpm 的範圍內皆為風扇的操作範圍，不需擔心風扇因為風阻的增加而使感應馬達的扭矩降低而降低速度。

6.4.3 測試區均勻度及紊流強度

本實驗目前以第一測試區(2F)為主要的測量範圍，所使用的感測器主要有 pitot tube 及熱線測速儀。圖 9 為軸向下游 2.5m 所量測出的平均速度分布圖，圖 10 為平均速度剖面圖，速度設定在 6.8m/s。由圖 6 可看出在離左右壁面各 80cm 處，速度有突然降下來的趨勢，且最高速度分布在截面中心偏下方處，初步判斷是受到三維移動機構所造成的影響，未來將深入探討移動機構及其軌道所造成的阻塞效應與渦流的影響。取中心截面 20 點(如圖 10 所示)作均勻度分析，所得到

的結果為± 2.6%，並非十分理想。

圖 11 及圖 12 為第一測試區下游 15m 之平均速度分布圖及下游 15m 之二維平均速度剖面圖。可看出在 Y 軸中心點兩側約 120cm 仍然會有速度驟降的趨勢，且速度依舊在截面下方處較高，因此判斷造成此影響的原因並非只存在入口處，另外亦可發現由於邊界層成長的關係，使得 Z=30cm 處的速度下降許多。而取下游 15m 截面中心 20 點(如圖 12 所示)作均勻度分析，所得到的結果為± 2.2%。

圖 13 及圖 14 為使用 Hot-wire 所量測出來之下游 25.5m 速度分佈圖及剖面圖，發現由於邊界層成長的關係使中心的速度比旁邊增快許多，而取截面中心所得到的速度均勻度約為± 2.2%。

而圖 15 為第一測試區下游 25.5m 之紊流強度分佈圖，圖 16 為第一測試區下游 25.5m 之紊流強度剖面圖，由圖 16 可看出 Z=30cm 處，由於邊界層長厚而使得紊流強度變化達 1%~2.5%，而其餘未受邊界層影響之範圍，紊流強度皆小於 0.7%，符合我們先前所制定之規範。入口流場的紊流強度目前因電磁放應干擾下，所測得數據中因雜訊太大，故無法估計出入口的紊流強度。未來將解決在入口處所遇到的雜訊干擾問題，確認入口處之紊流強度。而圖 17 中可看出從下游 17m 至 30m 之軸向紊流強度分佈，每一點的紊流強度皆小於 0.3%，合乎我們的需求。

6.4.4 邊界層量測結果

空庫流之邊界層 $\delta(x)$ 可用紊流邊界層理論加以預測 [12]：

$$\delta(x) = \frac{0.376 \cdot x}{\text{Re}_x^{1/5}} \dots\dots\dots(3-3)$$

$$\text{Re}_x = \frac{U_0 x}{\nu} \dots\dots\dots(3-4)$$

$\delta(x)$ 為邊界層之厚度(m)， Re_x 為隨 X 改變之雷諾數。根據以上公式可推算出， $X=2.5\text{m}$ 時邊界層厚度約 6cm，而 $X=15\text{m}$ 時邊界層厚度約 24cm，這與圖 17 及圖 18 使用皮托管所實際測量之結果，十分接近。

6.4.5 流場偏向系

目前尚未將 Cobra probe 的校驗機構架設，將於後續計畫執行，並完成 Cobra probe 校驗，並進行流場偏向系量測。

6.4.6 軸向壓力梯度

測試區由於邊界層成長的效應，會造成測試區中心平均流速愈往下游愈快，而產生一壓力梯度(壓力會慢慢下降)，因此若要了解邊界層成長的情形，量取測試區軸向中心的壓力梯度即可得知，軸向中心壓力梯度可作為未來進行邊界層發展實驗的重要參考資料。而目前所測量的軸向壓力梯度為動壓梯度(即速度梯度)，由圖 19 可看出而軸向中心之速度隨著往下游移動，速度亦隨著增加，3~23m 速度約上升 0.43%，未來可調整上蓋板來使中心之速度更均勻。

6.5 基本性能測試實驗結論

經過庫崩之穩定性分析後，發現庫崩較適宜在晚上進行實驗，較不會受到外界環境的影響。目前在第一測試區所測得三個截面(2.5m、15m、25.5m)之速度均勻度約在2%~2.6%之間，還未達到我們原先0.5%的需求，首先規劃將改善儀器設備本身的誤差(如感測器震動問題、壓力轉換器適用範圍、壓力管線過長、移動機構.....等)，若確認非儀器之問題，則要往庫崩主體來探討。第一測試區之軸向紊流強度及下游25.5m截面中心紊流強度，皆小於0.7%，有達到原先設計1%之要求，未來將解決入口處雜訊干擾之問題，以便收集更完整的資料。而目前在第一測試區所量得之邊界層厚度，與理論值做比較，還算在合理的範圍之內，誤差不大。

第二章 橋樑斷面模型試驗

7.1 前言

著名的1940年 Tacoma Narrows 懸吊橋崩塌事件，便是由於所採用的橋面版斷面具有高度空氣動力不穩定性，使得該橋在風速約略為當時設計風速一半的情況下，因顫振而崩毀。此後，工程界開始重視橋樑的空氣動力不穩定性。過去數十年間，橋樑空氣動力理論的演進加上工程計算能力的大幅增強，使得工程界得以逐步克服伴隨大跨徑而來的空氣動力不穩定現象。國際上懸吊橋跨徑早已已超越 1000 公尺，最長的則是跨越瀨戶水海，連接四國、本州的 Akashi-Kaikyo 橋，其總長 3911 公尺，中央跨徑長達 1991 公尺。斜張橋的發展較懸吊橋晚，但在 1956 年瑞典的 *Strömsund measurement Group* 橋完成，開展現代斜張橋的先端以來，發展極為迅速，近年來已逐漸成為大跨徑橋樑的主流，主跨長度也已逼近 1000 公尺。國內最長的斜張橋為南二高跨越高屏溪的高屏溪橋，全長 510 公尺，主跨 330 公尺為鋼結構，副跨 180 公尺為預力混凝土結構。由於斜張橋具有特殊的美學外觀，容易與自然環境結合而形成地標，可以預見，未來國內仍會出現跨徑不一的斜張橋樑。

橋樑的氣動力現象基本上是流體與鈍狀彈性體之間的互制行為，由於橋樑結構的複雜性，目前無法以純理論模式或數值方法解析之。特別是風與結構間的互制現象，必須依賴風洞物理模型實驗。橋樑的風洞模型實驗大體可分為全橋模型實驗 (Full Model) 與斷面模型 (Section Model) 兩大類。斷面模型則是採用主跨斷面的二維模型，在均勻流場中量測橋樑斷面的風力係數及顫振導數，提供振顫臨界風速與動態反應計算模式之用。除此之外，斷面模型的設計對於橋樑垂直與扭轉基本振態的質量與頻率做適當模擬時，也可以量測橋樑的動

態反應作為初期設計的參考。國內已有學者採用斷面模型試驗從事橋樑空氣動力穩定相關的研究工作[8,9,10]。全橋模型實驗是對於原型橋樑儘可能的作完全縮尺模擬，直接以實驗方式求取橋樑的顫振臨界風速或是橋樑在一般風速的動態反應。由於縮尺的限制，全橋模型實驗所需的風洞試驗段斷面寬大多在 5.0m 以上，一般的大氣邊界層風洞並不適於從事此類型實驗。過去限於實驗室條件不足，國內無法從事此項研究工作，連帶的使得國內斜張橋工程的風洞實驗必須仰賴國外實驗室。建築研究所規劃興建中的風洞實驗室第二試驗段斷面寬度為 6 公尺，雖然較之國際間橋樑實驗專用之風洞，斷面寬度仍屬較窄者，然而由於台灣地區橋樑跨度有限，新建完成的風洞實驗室應滿足國內絕大多數橋樑風洞實驗的需求。本計畫的目的在於使建築研究所新建風洞的第二測試段，進行一個簡易的橋樑斷面模型實驗，藉以驗證該測試段的性能、實驗室所採購有關結構氣動力及氣彈力實驗的相關儀器設備，並協助該實驗室建構橋樑斷面模型實驗的基本架構。計畫中將應用斷面模型實驗量測橋樑的各項氣動力參數，再以數值方法探討斜張橋的氣動力特性，並與現有之實驗數據進行比對。未來國內從事橋樑工程研究的學者，可使用此項風洞設備從事橋樑之全橋或斷面模型試驗。

7.2 橋樑空氣動力基本理論

7.2.1 橋樑空氣動力穩定特性[11]

橋樑所受的風力作用可分為平均風力所造成的靜力效應與擾動風力所產生的動態效應兩大類。橋樑的受風靜力效應對於橋樑空氣動力穩定性可能出現的影響是扭轉發散現象(torsional divergence)。橋樑的風力動態反應方面，較為顯著的氣動力效應可分為下列幾種：(1)

顫振(Flutter); (2)渦致振動 (Vortex-induced vibration) ; (3)抖振 (Buffeting)。以下就橋樑可能發生的空氣動力不穩定現象，逐一說明於後。

7.2.2 扭轉不穩定

扭轉不穩定現象為一單自由度運動；其發生之原因為扭轉向風力隨風攻角的增加而遞增，當橋樑斷面承受風力而產生扭轉位移時，意謂著風攻角已增加了 $\Delta\alpha$ ，所造成的扭轉彎矩亦將隨之增加，此時橋樑斷面必須以更大的抵抗彎矩來與之抗衡，如此反覆作用，當到達某一風速時，橋樑斷面所承受的扭轉彎矩超過橋樑斷面所能抵抗的能力時，將使橋樑結構產生不穩定之現象而破壞。此種不穩定現象類似結構物之挫屈破壞，故橋樑的設計風速小，必須避免此種破壞的發生。

7.2.3 顫振

顫振是一種橋體振動引發的空氣彈力現象，橋體經由「結構-流體」互制現象，在流場中汲取與結構運動正相關的能量，改變原橋樑系統的勁度與阻尼。當風速到達某一臨界狀態時，橋體振動所引發之氣動力阻尼會抵消結構之阻尼，而使結構產生發散現象，此時所對應的風速即是橋樑的顫振臨界風速。顫振臨界風速代表了橋樑空氣不穩定的產生風速處，設計懸索支撐橋樑時，必須要避免發生顫振現象。換言之，顫振臨界風速應明顯高於通常結構的設計風速，一般採 500 年中歸期風速作為顫振臨界風速的設計標準為宜。

7.2.4 抖振反應

抖振，是由於逼近流的擾動風速對結構系統造成一不穩定載重而

產生的振動現象。由於目前並沒有強而有效的亂流解析模型，因此在實際應用上為假設外才符合準穩定定理 (Quasi-Steady theory) 然後使用散漫振動理論 (Random Vibration theory) 來分析。

一般抖振效應不僅與紊流特性有關，也和橋樑斷面之幾何形狀及橋樑基本振態有關。橋樑的抖振效應通常不會導致橋體的破壞，但在設計風速下，若橋樑斷面有太大的位移量，會引起車輛和行人感到不適，亦可能在長期作用下使得橋樑材料有疲乏 (fatigue) 之虞。

7.2.5 渦流顫振

渦流顫振發生的原因為流體流經鈍體產生分離後，使得結構體的上下側交互產生週期性的渦漩，由於上下側的渦漩形成時間不一致，造成結構體上下側壓力的不均，而導致結構物在垂直方向振動，即為渦流顫振現象。當渦散頻率與橋樑結構體某一振態之頻率一致時，則會造成共振 (resonance) 現象，使得渦散頻率被鎖在結構物基本自然頻率上，直到風速增加至脫離紊流與結構體交互作用之影響。

渦散頻率一般以無因次化頻率表示即為史特赫數 (Strouhal No.) 其定義為：

$$S_r = \frac{f_s \times D}{U} \quad (7-1)$$

其中， f_s ：渦散頻率、 D ：結構特徵尺度[11]。

渦散頻率 (f_s) 會隨無因次化風速 ($U_r = U / f_r D$) 而改變，但渦散頻率若與結構物的特徵頻率 (eigen-frequency)，或與強制振動頻率 (f_r) 相近時，共振區形成；此時，渦散頻率受特徵頻率或強制振動頻率牽制而不再隨無因次化速度改變，於共振區必有強烈的紊動力現象，即為鎖住現象。鎖住現象會使結構物產生較大的位移反應，導致結構物

安全性及舒適性的疑慮。

7.2.6 基本運動方程式

橋樑承受風力作用時，其主樑所承受之外力可分為橋體自激力和亂流效應，運動方程式可寫為 [12]：

$$m_x(\ddot{x} + 2\xi_x\omega_x\dot{x} + \omega_x^2x) = D_f + D_b \quad (7-2)$$

$$m_y(\ddot{y} + 2\xi_y\omega_y\dot{y} + \omega_y^2y) = L_f + L_b \quad (7-3)$$

$$I(\ddot{\alpha} + 2\xi_\alpha\omega_\alpha\dot{\alpha} + \omega_\alpha^2\alpha) = M_f + M_b \quad (7-4)$$

式中 m_x, m_y, I ：順風向、垂直向及扭轉向之質量，

ξ_x, ξ_y, ξ_α ：順風向、垂直向及扭轉向之阻尼比，

$\omega_x, \omega_y, \omega_\alpha$ ：順風向、垂直向及扭轉向之自然頻率，

D_f, L_f, M_f ：順風向、垂直向及扭轉向之自激力，

單位長度橋面版之自激力經忽略氣動力慣性以及其他次要項後，在垂直向 L 、順風向 D 及扭轉向 M 的分量可寫為：

$$D_f(t) = \frac{1}{2}\rho U^2(2B)(K) \left[P_1^*(K)\frac{\dot{x}(t)}{U} + P_2^*(K)\frac{B\dot{\alpha}(t)}{U} + KP_3^*(K)\alpha(t) \right] \quad (7-5)$$

$$L_f(t) = \frac{1}{2}\rho U^2(2B)(K) \left[H_1^*(K)\frac{\dot{y}(t)}{U} + H_2^*(K)\frac{B\dot{\alpha}(t)}{U} + KH_3^*(K)\alpha(t) \right] \quad (7-6)$$

$$M_f(t) = \frac{1}{2}\rho U^2(2B^2)(K) \left[A_1^*(K)\frac{\dot{y}(t)}{U} + A_2^*(K)\frac{B\dot{\alpha}(t)}{U} + KA_3^*(K)\alpha(t) \right] \quad (7-7)$$

式中 H_1^*, H_2^*, H_3^* 代表了橋體振動時，其垂直向速度、扭轉向角速度及角位移在垂直向所引發的自激力係數， A_j^* 及 P_j^* 則分別為橋體振動時，在扭轉向以及順風向所引發的自激力係數。 H_j^* 、 A_j^* 及 P_j^* 統稱為顫振導數 (flutter Derivatives)。各項顫振導數為橋面版幾何形狀、無

因次化頻率（或無因次化風速）及流場特性的函數； $K = \frac{B\omega}{U}$ 為無因次化頻率， ω 為結構振動的圓周頻率 $=2\pi n$ ； B 為橋面版寬度； ρ 為空氣密度； U 為平均風速。

亂流擾動力在忽略微量橋體運動的影響後，可表示為：

$$D_b(t) = \frac{1}{2} \rho U^2 B C_D(\alpha_0) \frac{A}{B} \left(\frac{2u(x,t)}{U} \right) \quad (7-8)$$

$$L_b(t) = \frac{1}{2} \rho U^2 B \left\{ C_L(\alpha_0) \frac{2u(x,t)}{U} + \left[\frac{dC_L}{d\alpha} \right]_{\alpha=\alpha_0} + \frac{A}{B} C_D(\alpha_0) \right\} \frac{w(x,t)}{U} \quad (7-9)$$

$$M_b(t) = \frac{1}{2} \rho U^2 B^2 \left\{ \left[C_M(\alpha_0) + C_D(\alpha_0) \frac{Ar}{B^2} \right] \frac{2u(x,t)}{U} + \left[\frac{dC_M}{d\alpha} \right]_{\alpha=\alpha_0} \frac{w(x,t)}{U} \right\} \quad (7-10)$$

其中：附標 b 代表亂流效應； u 、 v 分別為順風向、垂直向之擾動風速； C_D, C_L, C_M 分別為順風向、垂直向及扭轉向之風力係數； α_0 是平均風攻角； A 是單位長度橋面版在垂直向上的投影面積； r 為橋面版質量中心到有效旋轉軸之距離。

本計畫即是以風洞物理模擬實驗量測斜張橋的顫振導數以及風力係數，分析斜張橋的顫振臨界風速與抖振動態反應。

7.3 風力係數及顫振導數

7.3.1 風力係數

風力係數為結構物受到風力作用大小的指標。斷面風洞試驗中的風力係數量測，主要利用應變計求取長時間的平均受力。主要量測托曳向 C_D 、垂直向 C_L 與扭轉向 C_M 三方向之風力係數。其量測流場為平滑流場，在風攻角 $+10^0$ 至 -10^0 且間距為 1^0 共 21 個角度下，量測其橋樑在各角度下所承受之風力。其三方向之風力係數關係式如下：

$$C_D = \frac{\overline{F_D}}{0.5\rho U^2 DL} \quad (7-11)$$

$$C_L = \frac{\overline{F_L}}{0.5\rho U^2 BL} \quad (7-12)$$

$$C_M = \frac{\overline{F_M}}{0.5\rho U^2 B^2 L} \quad (7-13)$$

其中 $\overline{F_D}$ 、 $\overline{F_L}$ 、 $\overline{F_M}$ ：分別為橋樑所受的風力，平均拖曳力、垂直力及扭轉力。 B ：橋樑斷面寬。 L ：模型長度。

7.3.2 顫振導數

1971年 Scanlan 與 Tomko [13] 根據即有的實驗模式與類似機翼的相似理論，建構出一系列橋樑斷面扭轉角 (A_1^* 、 A_2^* 、 A_3^*) 與垂直角 (H_1^* 、 H_2^* 、 H_3^*) 之顫振導數，其實驗方式至今仍被廣泛使用。其所代表的物理意義如表 2 所示。

風洞試驗主要利用短距雷射測距儀量測斷面受風下垂直角與扭轉角之位移歷時反應。橋樑斷面主要分別量測為扭轉角與垂直角之顫振導數。其量測流場為平滑流場，在風攻角 $+6^\circ$ 至 -6° 且間距為 2° 共 7 個角度下，量測其橋樑振動所引發的氣動力反應。

7.4 橋樑縮尺模擬相似律及風洞試驗設備

7.4.1 模擬相似率

模型進行風洞實驗時，須遵守模型氣動力相似性模擬原則，包括風洞流場特性、模型特徵長度縮尺、空氣密度及黏滯力、風速、及因重力影響所導致的加速度...等。

這些物理上的特質則以下述幾點討論[11,12]

(1) 雷諾數 (Reynolds Number (Re)):

$$\frac{\rho UD}{\nu} = \frac{\text{流體慣性力}}{\text{流體黏滯力}} \quad (7-14)$$

雷諾數為空氣的慣性力與黏滯力的比值，配合不同的風速 (U) 以及特徵尺度 (D) 便可得到實驗所需的雷諾數。

$$\left(\frac{\rho UD}{\nu} \right)_m = \left(\frac{\rho UD}{\nu} \right)_p \quad (7-15)$$

式中下標 m 為模型， p 為原型。

可是一般的風洞實驗無法達到 $Re = 10^7 \sim 10^8$ 之實場狀況。在縮尺模擬中，大氣邊界層的雷諾數超過 10^5 時，以及鈍體氣動實驗之雷諾數超過 10^4 時，縮尺模擬的流場特性已不受雷諾數大小的影響。本研究計劃中各項實驗的雷諾數均保持在 5.6×10^4 以上，以滿足雷諾數獨立性的模擬要求。

(2) 福祿數 (Froude Number):

$$\left(\frac{U^2}{Dg} \right)_m = \left(\frac{U^2}{Dg} \right)_p \quad (7-16)$$

福祿數為空氣的慣性力和重力或浮力或造成之垂直力的比值為滿足垂直向動力特性上的一致。當縮尺模型需考慮重力影響時，則

模型與原型間須滿足福祿數的相似性要求。

(3) 密度比 (Density Ratio)

$$\frac{\rho_s}{\rho_f} = \frac{\text{結構平均質量密度}}{\text{空氣平均質量密度}} = \frac{\text{結構的慣性力}}{\text{空氣的慣性力}} \quad (7-17)$$

密度比代表了結構慣性力和空氣慣性力的比值。所以模型應依實場結構的密度來模擬，模型密度比應符合原型。

$$\left(\frac{\rho_s}{\rho_f} \right)_m = \left(\frac{\rho_s}{\rho_f} \right)_p \quad (7-18)$$

(4) 彈性比 (或稱 Cauchy Number)

$$\frac{E}{\rho U^2} = \frac{\text{結構的彈性力}}{\text{流體的慣性力}} \quad (7-19)$$

由於勁度比的模擬將影響結構的自然頻率，故須將模型的勁度比模擬和原型相同。然而在模型的製作上，對於勁度比的模擬相當困難，所以一般在實際的運用上是以質量比與史特赫數 (Strouhal Number) 為模擬基準。換句話說，若模型和原型能夠符合質量的模擬，且滿足史特赫數時，則勁度比即能符合。

$$\left(\frac{f_0 D}{U} \right)_m = \left(\frac{f_0 D}{U} \right)_p \quad (7-20)$$

其中 f_0 ：為結構的自然頻率

由於模型與原型之間必須保持頻率比一致，則必須滿足

$$\left(\frac{f_i}{f_j} \right)_m = \left(\frac{f_i}{f_j} \right)_p \quad (7-21)$$

(模型*i*振態與*j*振態的頻率比應與原型相同)

(5) 阻尼比 (Damping Ratio)

阻尼比為結構振動週期中的能量損耗率，因此阻尼比的大小將影響結構位移反應的大小，所以為預測結構反應很重要的一項參數。

$$(\xi)_m = (\xi)_p \quad (7-22)$$

所以模型的阻尼必須和原型相同。

7.4.2 橋樑斷面模型製作

模型之縮尺比例有一定之原則與依據，其主要考量與下列幾項要點有關：

1. 必須考慮到阻塞比，因此模型斷面不宜過大。
2. 風速之限制：本計劃之最大有效風速為 30m/s。
3. 模型之質量與轉動慣量(Polar Mass Moment Inertia)在模型製作上是否可以滿足縮尺比例。
4. 為求實驗之正確性，模型的制作必須盡可能與原型橋樑結構之縮尺相符，如原橋之交通護欄(Traffic-Barriers)、擾流板(fairing)幾何形狀之線條，都要完整的被複製，缺一不可。

斷面模型製作上的原則，便是確保模型完成後具有質量輕及勁度高的特性；因此在製作模型時，使用箱型空心鋁條，以求降低主框架質量，如此在整體斷面模型總質量不變之前提下，可留給諱頻冊的砝碼及彈簧有較大的彈性空間）作為結構主構件的副架系統，使用保麗龍或珍珠板作為填充材料，再以壁紙披覆作為最外層。為符合原型（prototype）橋樑樑結構的動力行為，斷面模型的頻率特性是藉日模型的諱頻冊砝碼及彈簧支撐系統來諱整與提供；而斷面模型的阻尼特性則遵循模型製作之簡化原則，諱整模型阻尼比，視實驗要求而增加阻尼的輔助系統。

由上述可知，本實驗之斷面模型是日主框架（main frame）、側框架（side frame）、諱頻冊砝碼及彈簧與填充材料（保麗龍或珍珠板）為主要構件，此外還包括模擬交通護欄等較細微的次要構件，所組合而成的一完整斷面模型。

7.4.3 斷面模型使用之端板效應

二維流場風洞實驗被用來作為橋樑與結構物的氣動力研究已相當普遍，因此如何確保模型在二維流場中進行將是實驗的首要工作。實驗時由於風洞硬體設施的影響，造成模型長度無法完全延伸，因此往往會受到風洞牆壁所產生的邊界層效應的影響，而破壞了原有流場的二維特性。所以端板的設置可以避免一些實驗設備如：側框架、諱

頻率的彈簧、雷射位儀計及接線裝備等對模型周圍流場的干擾。由以上的探討可知端板設置的基本功能主要有二：

1. 要能消除庫沓牆壁所產生的邊界層效應。
2. 為產生流場的二維流況。

至於端板尺寸對流場的影響，根據 Kubo et al., [14]的研究指出，端板在迎風面突出的長度，對模型並無太大的作用，但在背風面延伸的長度將會影響尾跡發展的長度，一般建議至少需大於產生第一個渦漩的形成區 (vortex formation region)，如此才能防止實驗量測區以外的流體進入渦漩形成區，以避免模型之背壓處有壓力回復的現象 (pressure recovery)。此外，依據卡門渦散理論 (Karman vortex shedding theory)，則推估第一個渦漩形成區的長度約為 $4.28D$ ，其中 D 為模型的寬度。

另外，根據 Obasajue et al., [9]的研究，端板於流場中的位置須與流線呈平行，因為端板邊緣亦可能造成流體在周圍產生邊界層，而失去了端板原有的基本功能；所以端板前緣一般應製作成尖狀且外斜之直角三角形，以避免流體流經端板前緣時造成分離剪流，而影響了實驗的結果。

7.4.4 實驗儀器介紹

A. 風速量測—皮托管

本實驗採用皮托管-壓力轉換器系統進行平滑流場平均流速的量測；由皮托管所量測到的壓強變化，經壓力電壓轉換器轉換為類比電壓值，經由放大器處理，再藉由類比/數位 (A/D) 轉換器將類比訊號轉換為數位訊號，最後經電腦讀取、記錄與分析。

將所得電壓值代入經由壓強 (即微壓計水柱高差) 與電壓 (即鐵餅電壓差值) 率定 (calibration) 後之關係式 $\Delta H = A \times \Delta E + B$ ，藉此將電壓值 (ΔE) 轉換為相對應之水柱高差 (ΔH)，再利用伯努利方程式 (Bernoulli equation)，即可計算出流速。伯努利方程式，如下所示：

$$U = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta H \cdot \rho_w}{\rho}} \quad (7-23)$$

其中； ΔH ：微壓計水柱高差 (mm)。 ρ_w ：蒸餾水密度 (約為 1.0g/cm^3)。 ρ ：空氣密度 (約為 $1.128 \sim 1.293 \text{kg/m}^3$)。 g ：重力加速度 (9.81m/sec^2)。

B. 位移量測—雷射測距儀

雷射測距儀由二個部份構成：(1) 雷射源 (Laser Head)；(2) 雷射控制器 (Controller)。量測原理為雷射光由雷射發射至感應板 (反射板) 上，操作時必須使其正交 (Normal) 以減少誤差，可直接讀得雷射頭與感應板之距離 (率定關係為 $1 \text{volt} = 1 \text{cm}$)，使用前需先執行儀器歸零步驟。

短距離測距儀之有效範圍為 6.5 公分~9.5 公分。若令兩側雷射測距儀於某瞬時所量資料之差為 $r(t)$ ，此二測距儀之間距為 L ，假設扭轉角為小角度 $\theta(t)$ ，則其可表示為 $\theta(t) = \frac{r(t)}{L}$ 。雷射測距儀的資料亦由類比／數位轉換器將訊號轉為數位資料，再由電腦記錄、分析。

C. 受力量測—應變片及應變訊號放大器

橋樑受壓作用後，應力係數的量測最主要採用以應變片 (Strain Gages) 所製作的力感應器進行量測，其原理是由訊號放大器 (Signal Conditioning Amplifier) 提供應變片電壓，而此電壓值再經由訊號放大器轉換成毫安培 (mA) 的電流，然後電流在應力作用下，經過應變片的電阻值即可得應變電壓值，由應變片所產生的應變電壓值，經由應變訊號放大器放大後，透過轉換系統量測出電壓的變化，經電腦讀取、記錄及程式分析，即可求得橋樑模型所承受之應力係數。

7.5 橋樑試驗之壓滯設計與規劃

7.5.1 端板配置

實驗用端板主要架設在壓滯試驗段中央，並利用端板下兩軌道變換端板間之距離。兩側端板主要是以鋁條與壓克力板及三角型木板所構成，並於端板軸向及順應向各設立一固定點，將模型與其間利用鉗線連結，使此兩方向位移受到束制。如圖 20 所示。

7.5.2 橋樑斷面模型試驗—平板斷面

平板橋樑斷面長 1.5 公尺、寬 0.32 公尺、深 0.4 公尺，如圖 20。主要以箱形空心鋁材作為結構主構件之鉗架系統，使用高密度保麗龍包覆。

7.5.3 橋樑斷面模型試驗—高屏溪橋斷面

圖 21 為高屏溪橋之錘樑部分外觀圖，根據以上種種之條件與限制且根據相似性法則，可將橋樑模型與橋樑原型之比例訂為 1:100、速度縮尺為 1:10、時間縮尺為 1:10，橋面版長度為 1.50 公尺，且剛性必須足夠，不能有扭曲的現象發生，高屏溪橋樑斷面模型設計如圖 22，根據模擬相似率所訂定的風洞試驗模型縮尺參數如附表 2。

7.5.4 橋樑斷面模型試驗內容

斷面模型試驗主要實驗內容分為：(1) 風力係數、(2) 顫振導數、(3) 顫振臨界風速、(4) 欄杆影響，其內容如表 4 所示。

7.6 斷面模型風洞試驗結果

7.6.1 風力係數

風力係數為結構物受風力大小的指標，本實驗所量測之風力係數於平滑流場中進行，量測十一個風攻角 ($-5^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，間隔 1°)，以瞭解風攻角對平均阻力係數 (C_D)、平均昇力係數 (C_L)、平均扭力係數 (C_M) 之影響。

A 深寬比為 8 ($B/D=8$) 之平板橋樑斷面

圖 23 為拖曳向平均風力係數，無論正負攻角其值皆為正值，且隨風攻角增加而稍微增大。圖 24 垂直向平均風力係數，若垂直向風力係數為正值，表示模型受到上舉的風力；若為負值表示模型受到下壓的風力。因此從圖中可看出在正攻角時，模型受到上舉的風力隨攻角遞增有遞增的現象，反之亦有隨攻角遞增其下壓的風力亦遞增。

圖 25 扭轉向平均壓力係數，其值為正值顯示模型受風下之上舉力大於下壓力，表示模型受到順時針的壓力，反之，則受到逆時針的壓力影響。由於此橋樑斷面為一對稱斷面，因此正負攻角其值有對稱的趨勢，若利用已知資料做為比較，則可看出本次試驗值與已知資料接近。

B 高屏溪橋樑斷面

圖 26 為扭轉向平均壓力係數，無論正負攻角其值皆為正值，且隨風攻角增加而稍微增大。圖 27 垂直向平均壓力係數，從圖中可看出約在正四度角，小於正四度之攻角其模型受到下壓力較嚴重且隨攻角遞減有遞增的現象，表示高屏溪橋樑模型較易受到下壓力的影響。圖 28 扭轉向平均壓力係數隨攻角遞增而有增大的趨勢，因本斷面形狀並非對稱，造成其最小值並未發生在零度攻角處。

7.6.2 顫振導數

橋樑斷面模型之顫振導數之實驗於平滑流場中進行，並於三個風攻角 ($-3^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，間隔 3°)，用以瞭解各風攻角下對垂直與扭轉向顫振導數之影響。

A 深寬比為 8 ($B/D=8$) 之平板橋樑斷面

圖 29 為顫振導數 A_2^* 在各攻角的變化， A_2^* 是橋樑斷面的扭轉向氣動力阻尼參數，對於顫振型態傾向於單自由度顫振的橋樑斷面為一重要的參數。只要掌握 A_2^* 由負轉正時所對應的無因次化風速值，即可約略表示顫振效應發生之處。由圖中可看出在正三度攻角較零度與負三度攻角有較早發生由負轉正的現象，其表示正三度攻角其模型有較不

穩定的趨勢，其顫振臨界風速則較低。

圖 30 為顫振導數 A_3^* 在各攻角的變化， A_3^* 是橋樑斷面的扭轉向氣動力勁度參數，當其值隨無因次化風速的增加而往正值遞增，即代表橋樑斷面扭轉向的有效勁度降低，扭轉頻率隨之下降；增加的幅度越大，則扭轉與垂直頻率比越小，代表橋樑更易產生氣動力振態耦合而降低其穩定性。由圖中可知各攻角下之值均無明顯差異，表示對於攻角的變化對於氣動力穩定性的影響較輕微。

圖 31 為顫振導數 H_1^* 在各攻角的變化， H_1^* 是橋樑斷面的垂直向氣動力阻尼參數，隨風速的增加其值逐漸遞減，表示隨著風速的增加而垂直氣動力阻尼對其垂直向運動之有效阻尼所提供的正貢獻將越大，有助於橋樑斷面在垂直向振幅的穩定性。由圖中可知各攻角下之值均無明顯差異，表示對於攻角的變化對於垂直向振幅的穩定性影響較輕微。

圖 32 顫振導數 A_1^* 在各攻角的變化量， A_1^* 代表橋樑垂直向的振動對於扭轉向氣動力阻尼的影響。在零度攻角其值隨無因次化風速遞增而增加，其正負三度則無明顯規律。

圖 33 顫振導數 H_2^* 在各攻角的變化量， H_2^* 代表橋樑扭轉向的振動對於垂直向氣動力阻尼的貢獻。由圖中可看出，當攻角為負三度及正三度攻角時，隨無因次化風速增加而從負值轉至正值，再依次遞減。而零度攻角則隨無因次化風速增加其負值越大。

圖 34 顫振導數 H_3^* 在各攻角的變化量， H_3^* 代表橋樑扭轉向的振動所引發的垂直向氣動力勁度。由圖中可知隨無因次化風速增加其值有遞增的現象，而在零度攻角部份在低風速下有跳動的現象。

B 高屏溪橋樑斷面

圖35 為顫振導數 A_2^* 在各攻角的變化， A_2^* 是橋樑斷面的扭轉向氣動阻尼參數，由圖中可看出在負三度攻角時，其值恆為負值，表示在負三度攻角下不易產生顫振反應，在零度及正三度攻角下則易產生顫振不穩定的現象。

圖36 為顫振導數 A_3^* 在各攻角的變化， A_3^* 是橋樑斷面的扭轉向氣動力勁度參數，由圖中可知，當攻角為負三度時，因其值隨無因次化風速的增加而往正值遞增且增加的幅度較其他攻角大，即代表橋樑斷面扭轉向的有效勁度降低，扭轉頻率隨之下降，則扭轉與垂直頻率比越小，代表負三度攻角較其他攻角更易產生氣動共振態耦合而降低其穩定性。

圖37 為顫振導數 H_1^* 在各攻角的變化， H_1^* 是橋樑斷面的垂直向氣動阻尼參數，在三個攻角方面均隨風速的增加其值逐漸遞減，在低無因次化風速時，其風攻角的變化對於其氣動阻尼參數並無明顯變化；在較高無因次化風速下，正三度攻角遞減明顯，表示隨風速的增加而垂直氣動阻尼對其垂直向運動之有效阻尼所提供的正貢獻將愈大，其垂直向振幅的穩定性較其他攻角佳。

7.6.3 高屏溪橋樑斷面之顫振臨界風速

當風速到達某一臨界狀態時，橋體振動所引發之氣動阻尼會抵消結構之阻尼，而使結構產生發散現象，此時所對應風速的即是橋樑的顫振臨界風速。本試驗使用符合原型橋樑基本動力特性的斷面模

型，直接測試顫振臨界風速。

經平滑流場下之風洞實驗得到扭轉向及垂直向的振動反應，其中圖38及圖39中(a)圖為平均值、(b)圖為均方根值、(c)圖為極大值。由扭轉向振動反應之圖(c)中，數值突然跳升的風速可約略指出在不同攻角條件下，其顫振臨界風速發生的位置。從圖38(c)扭轉反應與圖39(c)垂直反應中發現。亦可從扭轉向反應圖中發現當正攻角越大，其臨界風速有往前移動的現象，表示當攻角遞增其氣動力穩定性有降低的趨勢。將試驗發生顫振時之無因次化風速轉換成實場風速後如表5，由表中亦可看出當正攻角遞增時，實場臨界風速亦有降低的現象。

7.7 橋樑測試實驗結論與建議

7.7.1 第二試驗段儀器設備使用心得

A. 風洞第二試驗段、風速範圍 2m/s~12m/s

- 風洞運轉兩小時、試驗段溫度約上升十度，因此會影響到試驗儀器之量測。
- 風洞小天車機構可能對於風場量測會有影響，現階段無法直接驗證天車對於流場的影響。
- 由於建築試驗館之用电量受限制，可能在未來造成風洞試驗無法進行長時間的連續試驗工作。
- 風洞試驗館周圍生活機能不足(照明、膳食、居住)

B. 試驗過程中曾使用皮托管、壓力計、壓力轉換計、雷射位移計、採樣系統(採樣卡、電腦)、應變訊號調節儀等儀器設備。

- 採樣系統速度較 Dos 系統耗時，實驗數據經採樣系統分析後會出現 bug，應予改善。

7.7.2 橋樑測評實驗結論

A. 儀器設備測試結果

- 量測儀器性能均經測試，除採樣系統需略予改善外，其他儀器設備功能合乎庫沱試驗所需。
- 庫沱本體性能尚有改善空間，仍需作進一步調整測試。

B. 試驗結果

已完成兩階段之庫沱試驗，其項目如表 6 所示，其結果分述如下：

- 在壓力係數方面：

(1) 平均阻力係數 (C_D) 為拖曳向平均壓力係數：平板橋樑

斷面與高屏溪橋樑斷面無論正負攻角其值皆為正值，且

隨攻角增加而稍微增大。

(2) 平均昇力係數 (C_L) 為垂直向平均壓力係數：平板橋樑

斷面模型受到上舉的壓力隨攻角遞增有遞增的現象，反

之亦有隨攻角遞增其下壓的壓力亦遞增；高屏溪橋樑斷

面約以正四度界，小於正四度之攻角其模型受到下壓力較嚴重且隨攻角遞減有遞增的現象，表示高屏溪橋模型較易受到下壓力的影響。

(3) 平均扭力係數(C_M)為扭轉向平均壓力係數：由於平板橋樑斷面為一對稱斷面，因此正負攻角其值有對視的趨勢；高屏溪橋樑斷面，平均壓力係數隨攻角遞增而有增大的趨勢，且因形狀並非對稱，造成其最小值並未發生在零度攻角處。

(4) 若利用已知資料做為比較，則可看出本次試驗值之平均阻力係數(C_D)、平均昇力係數(C_L)、平均扭力係數(C_M)與已知資料接近。

● 在顫振導數方面：

(1) A_2^* ：代表橋樑斷面的扭轉向氣動力阻尼參數。平板橋樑斷面在正三度攻角較零度與負三度攻角有較早發生由負轉正的現象，其表示正三度攻角其模型有較不穩定的趨勢，其顫振臨界風速則較低。高屏溪橋樑斷面在負三度攻角時，其值恆為負值，表示在負三度攻角下不易產生顫振反應，在零度及正三度攻角下則易產生顫振不穩定的現象。

(2) A_3^* ：代表橋樑斷面的扭轉向氣動力勁度參數。平板橋樑斷

而對於攻角的變化對於氣動穩定性的影響較輕微。高屏溪橋樑斷面負三度攻角較其他攻角更易產生氣動振態耦合而降低其穩定性。

(3) H_1^* : 代表橋樑斷面的垂直向氣動阻尼參數。平板橋樑斷面與高屏溪橋樑斷面，在三個攻角方面均隨無因次化速度增加其值逐漸遞減，在低無因次化速度時，其無因次化攻角的變化對於其氣動阻尼參數並無明顯變化；在較高無因次化速度下，高屏溪橋樑斷面之正三度攻角遞減明顯，表示其垂直向振幅的穩定性較其他攻角佳。

(4) A_1^* : 代表橋樑垂直向的振動對於扭轉向氣動阻尼的影響。在零度攻角其值隨無因次化速度遞增而增加，其正負三度則無明顯規律。

(5) H_2^* : 代表橋樑扭轉向的振動對於垂直向氣動阻尼的貢獻。平板橋樑斷面在攻角為負三度及正三度攻角時，隨無因次化速度增加而從正貢獻轉至負貢獻。而零度攻角則隨無因次化速度增加其正貢獻越大。

(6) H_3^* : 代表橋樑扭轉向的振動所引發的垂直向氣動勁度。平板橋樑斷面在各攻角變化下，其隨無因次化速度增加其值有遞增的現象，表示隨速度的遞增對橋樑產生負貢獻。

- 在亭屏溪橋樑斷面之顫振臨界風速方面：亭屏溪橋樑斷面在正三攻角時其顫振臨界風速約在 108.05m/s 左右，隨攻角轉為負值其風速遞增，表示隨攻角變為負攻角時，其橋樑斷面較不易發生顫振不穩定的現象。

第八章 煙流擴散實驗

8.1 前言

在風洞建造完成之後將風洞的頂版降至沿風洞軸向（順風方向）壓力梯度為零的情況下，檢測空風洞的性能特徵。由於在空風洞在測試轉盤上將會有一定厚度的紊流邊界層形成，在無任何其他模擬地形地物存在的情況下，這應代表著在實場上，相當平滑（如大平原），地面上的流場特性。流場在橫方向（垂直於主流方向）應相當均勻。在這個自然形成的邊界層（其厚度有待進一步量測確定）進行煙流擴散實驗用來檢定其擴散特性是否與大氣邊界層的擴散特性相似，屆時也可用於進一步確認空風洞橫方向流場特性的均勻程度。

8.2 理論背景

主導大氣及煙流運動之基本方程，乃流體動力學中之質量、動量及能量守恆方程。從對這些方程的尺度分析中可以得到風洞物理模擬所需之一組完整之參數[15, 16]。這些相似法則，可概括分為(1)動力相似（dynamic similarity），(2)熱力相似（thermodynamic similarity），以及(3)幾何相似（geometrical similarity），在以下各節中將對這些相似法則加以討論。

8.2.1 大氣運動之模擬參數

使用以角速度 Ω 轉動之地球為參考座標，流體運動可以用下列方程式來表述[17]：

動量守恆方程式：

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{U_j \partial U_i}{\partial x_j} + 2\varepsilon_{ijk} U_k \Omega_j = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \delta P}{\partial x_i} + \frac{g}{T_0} \delta T \delta_{3i} + \frac{\nu \partial^2 U_i}{\partial x_k \partial x_k} \quad (8.1)$$

質量守恆方程：

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (8.2)$$

能量守恆方程：

$$\frac{\partial \delta T}{\partial t} + \frac{\partial \delta T}{\partial x_i} U_i = \kappa \frac{\partial^2 \delta T}{\partial x_i \partial x_i} \quad (i=1,2,3) \quad (8.3)$$

上式中 x_1, x_2, x_3 分別為順風向、橫風向及垂直方向之座標。 U_i 為瞬間流速， δP 及 δT 分別為偏離中性大氣之壓力及溫度差， ρ_0 及 T_0 分別為中性大氣之密度及溫度（高程 z 之函數）， ν 為運動黏滯係數， κ 為熱擴散係數。

將(8.1)，(8.2)及(8.3)三方程，以下列各參考量進行無因次化： L ，長度尺度； U_R ，速度； ρ_R ，密度； δT_R ，溫度差；以及 Ω_R ，角速度，亦即： $x'_i = \frac{x_i}{L}$ ； $U'_i = \frac{U_i}{U_R}$ ； $t' = \frac{U_R}{L} t$ ； $\rho' = \frac{\rho_0}{\rho_R}$ ； $\delta P' = \frac{\delta P}{P_R U_R^2}$ ； $\delta T' = \frac{\delta T}{\delta T_R}$ ；

$\Omega'_j = \frac{\Omega_j}{\Omega_R}$ ，吾人可得

$$\frac{\partial U'_i}{\partial t'} + U'_j \frac{\partial U'_i}{\partial x'_j} + \frac{2}{R_0} \varepsilon_{ijk} U'_k \Omega'_j = -\frac{1}{\rho'} \frac{\partial \delta P'}{\partial x'_i} + \frac{1}{F_r^2} \delta T' \delta_{3i} + \frac{1}{R_e} \frac{\partial^2 U'_i}{\partial x'_j \partial x'_j} \quad (8.4)$$

$$\frac{\partial U'_i}{\partial x'_i} = 0 \quad (8.5)$$

$$\frac{\partial \delta T'}{\partial t'} + U'_i \frac{\partial \delta T'}{\partial x'_i} = \frac{1}{P_e} \frac{\partial^2 \delta T'}{\partial x'_i \partial x'_i} \quad (8.6)$$

式中：

$$R_0 \equiv \frac{U_R}{L \Omega_R}$$

為通常所稱之羅斯培數(Rossby number)

$$F_r \equiv \frac{U_R}{(gL\delta T_R/T_0)^{1/2}} \quad \text{為密度福祿數(Densimetric Froude number)}$$

$$R_e \equiv \frac{U_R L}{\nu} \quad \text{為雷諾數(Reynolds number)}$$

$$P_e \equiv \frac{U_R L}{\kappa} \quad \text{為培克烈數(Peclet number)}$$

就相似模擬的角度而言，方程(8.4)至(8.6)配以適當的邊界條件，可完全界定一個流場的特徵。任何兩個流場，例如原型流場與模型流場，的運動方程式，如(8.4)至(8.6)三式中的常數 R_0 ， F_r ， R_e 及 P_e 以及無因次化的邊界條件完全相同，則其各自的無因次解 U'_1 ， U'_2 ， U'_3 ， δ'_p 及 $\delta T'$ 應完全相同，換言之，在模型與原型之間可得到完全的相似模擬。

8.2.2 污染物質擴散之模擬參數

上節之討論完全侷限在流場特徵的相似模擬。當考慮污染物質在大氣中的擴散時，首先必須假定污染物質為完全被動的污染物質 (passive contaminant)，換言之，污染物對(8.4)至(8.6)的運動方程式不會產生影響，污染物在擴散的過程中亦不會產生化學或光學變化。在此種狀況下，可以從分子擴散方程式中得到另外一個參數。

$$\frac{\partial \chi}{\partial t} + U_i \frac{\partial \chi}{\partial x_i} = \alpha \frac{\partial^2 \chi}{\partial x_i \partial x_i} \quad (8.7)$$

式中 χ 代表瞬時濃度， α 為分子擴散係數，將式(8.7)中之 χ 以 χ_R 無因次化($\chi' = \chi/\chi_R$)可得到

$$\frac{\partial \chi'}{\partial t'} + U'_i \frac{\partial \chi'}{\partial x'_i} = \frac{1}{R_e \cdot S_c} \frac{\partial^2 \chi'}{\partial x'_i \partial x'_i} \quad (8.8)$$

上式中 $S_c \equiv \nu/\alpha$ 為休密特數(Schmidt number)。

方程(8.4)，(8.5)，(8.6)及(8.8)組成一描述被動污染物質在大氣中或模型實驗中擴散的方程組。如果上列各無因次參數及邊界條件完全一致，則污染物質在模型實驗中的擴散與所對應的實場大氣擴散應完全相似。

8.2.3 大氣邊界層內擴散之物理模擬試驗

地表附近空氣的移動受到地表之起伏、建築物、林木作物分佈等的摩擦作用影響，使得平均風速隨高度而變，形成一垂直分佈剖面，越接近地表，風速越慢；換言之，此「風速剖面」直接受到地表粗糙狀況之影響。而影響所及的範圍就稱之為「大氣邊界層」。在邊界層頂部之風速通常稱之為梯度風速(gradient wind)。

一般大氣擴散及風力工程之應用所涉及的問題大都發生在風勢不太弱的情況之下，近地表上數百公尺高度的大氣邊界層範圍之內。在此風速情況下，大氣機械紊流作用遠超過熱對流作用。由於紊流的強制混合趨向於形成中性層差。所以本節對大氣邊界層及其模擬的討論僅限於中性層差的大氣邊界層。

大氣邊界層的厚度，在中性層差的情況之下，視風的強度、地表粗糙程度及所在的緯度而定，通常在數百公尺至數公里之間。本案的風洞物理模擬實驗，很重要的一項工作即是在模擬邊界層高度內大氣流動的一些特性，這些特性之中包括有平均風速特性及紊流特徵。模擬相似率是通過上二節的分析得到。除此之外，在風洞的模擬實驗中對煙流之上昇，對邊界層逼近流之一些邊界條件亦必須納入考量。

8.2.3.1 對模擬參數之考慮

在邊界層厚流中，應用縮尺模型進行物理模擬實驗，一般言之，即使是應用大型之邊界層厚流，前二節所述之三個無因次參數亦無法同時都能得到滿足。所幸，視問題的不同，在某些情況之下，可以放鬆一些參數的相似性要求。

(1) 羅斯培數， R_0 ，代表科氏力 (Coriolis force) 對大氣運動的影響程度，在厚流實驗中對科氏力模擬有極大的困難，無法達到在原型與模型間羅斯培數相等的要求。但是在模擬邊界層氣流運動時，如果所考慮之尺度不大，如本案之微尺度 (microscale) 煙流現象，在中性或穩定之大氣以及相對不大崎嶇的地形情況下，地球自轉對流場所產生的影響可謂極小。一般言之，在水平距離小於十公里 (Snyder[16] 建議不超過五公里)，垂直距離不超過一公里的情況下，此項效應可以忽略。

(2) 雷諾數， R_e ，為慣性力與黏滯力之比值，在擴散實驗中，原型與模型之雷諾數無法達到相等，但雷諾數的不等，並非一個嚴重的限制，Halitsky[18] 指出在方形模型所遭之流場，當雷諾數達 11,000 時，所量測到的污染濃度值已不再隨雷諾數而變化。美國環保局 (EPA) 之模擬準則 [16] 裡亦建議在有稜角之建築物四周，當雷諾數超過 11,000 時，其氣流流場之特性應該相似。

(3) 培克烈數， P_e ，及雷諾-休密特數， $R_e \cdot S_c$ ，可分別寫成：

$$P_e = \frac{U_R L}{\kappa} = \frac{U_R L}{\nu} \cdot \frac{\nu}{\kappa} = R_e \cdot P_r$$

式中 P_r 為普朗特數 (Prandtl number)，以及

$$R_e \cdot S_c = \frac{U_R L}{\nu} \cdot \frac{\nu}{\alpha} = \frac{U_R L}{\alpha}$$

此二無因次參數具有同樣之形式，即為雷諾數與一分子傳輸係數比之乘積。普朗特數為動量擴散 (momentum diffusivity) 與熱擴散

(thermal diffusivity)之比，休密特數則為動量擴散與質量擴散(mass diffusivity)之比。可見普朗特數與休密特數皆為流體本身之性質而非流場之性質。如果以空氣為介質進行擴散之物理模擬實驗，在原型與模型之間其普朗特數及休密特數（對幾乎任何釋入空氣中之污染氣體）幾乎相等。所以在衡量培克烈數與雷諾-休密特數是否相當時，重點不在普朗特數與休密特數，而在雷諾數；如果一個流場之雷諾數足夠高，則其間污染物質之傳輸主要是由紊流中之大型結構所帶動，分子傳輸部份之貢獻極為微小。所以美國環保署之模擬準則[16]中指出，在原型與模型間培克烈數或雷諾-休密特數相等之要求並不重要，只要雷諾數足夠高，流場顯示出其對雷諾數之獨立性即可。

(1)福祿數， F_r ，為慣性力與浮升力比值之平方根，與李查遜數(Richardson number)之平方根成倒數關係。在模擬大氣擴散的實驗中福祿數應該是一個最重要的參數。通常有二個福祿數必須考慮，即大氣流之福祿數以及煙囪排氣之福祿數。在實驗中為達到與原型相似的較小福祿數值，必須將風速之風速調低，但為了達到模型與原型間雷諾數相似的要求又必須儘可能將風速提高。此一互相矛盾兩極化的要求，其解決方法是在滿足福祿數相似之要求下，儘可能提高風速的運轉風速以保證流場特性的雷諾數獨立性。

8.2.3.2 對煙囪廢氣昇流之考慮

如前所述模擬邊界層中之擴散現象，必須對煙流之上升加以考慮。有關對模擬廢氣煙流上昇之討論可於 Strom & Halitsky[19]，Cermak[15]，Isyumov & Tanaka[20]，以及 Snyder[16]等之論文中見到。

廢氣昇流之相關變數有：

H_s : 煙囪高度

D : 煙囪直徑 (或有放水才直徑)

W_s : 煙囪排氣之垂直接速

U : 煙囪厝遭之橫向來流速度

ρ_s : 煙氣密度

ρ_a : 環境空氣密度

$\Delta\rho$: $\rho_a - \rho_s$, 空氣與煙流之密度差

g : 重力加速度

對自動量放應(momentum effect)及浮昇才放應(buoyancy effect)所主宰之煙流，其相關的模擬參數如下：

(1) 煙囪垂向排氣與厝遭橫向來流速度之比值， W_s/U 或自動量通量 (momentum flux)之比值， $\rho W_s^2 / \rho_a U^2$ ；

(2) 基於煙氣與厝遭空氣之密度差及煙囪直徑之福祿數 (慣性才與浮升才之比)，(a)以煙氣密度作為參考密度之福祿數 $F_{rs} = W_s / (gD\Delta\rho / \rho_s)^{1/2}$ ，(b)以厝遭空氣密度作為參考密度之福祿數 $F_{ra} = W_s / (gD\Delta\rho / \rho_a)^{1/2}$ ；

(3) 煙流與厝遭空氣之密度比， ρ_s / ρ_a ，或密度差比 $\Delta\rho / \rho_a = (\rho_a - \rho_s) / \rho_a$ ；

(4) 煙氣之雷諾數， $R_{es} = W_s D / \nu$ ，以及厝遭來流之雷諾數 $R_e = UD / \nu$ ；

(5) 幾何尺度比， D / H_s

上述之模擬參數，可綜合煙流幾何現象之尺度關係；

$$\frac{l_m}{H_s} = \frac{1}{2} \left[\frac{\rho_s W_s^2}{\rho_a U^2} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{D}{H_s} \right] \quad (8.9)$$

$$\frac{l_B}{H_s} = \frac{1}{4} [F_{ra}]^{-2} \left[\frac{D}{H_s} \right] \left[\frac{\rho_s W_s^2}{\rho_a U^2} \right]^{\frac{3}{2}} \left[\frac{\rho_a}{\rho_s} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (8.10)$$

式中 l_m 及 l_B 分別為煙氣昇流現象之動量尺度 (momentum length) 與浮力尺度 (buoyancy length)。煙流上昇之弧形軌跡及高度可由 l_m 與 l_B 表示。在模擬煙囪廢氣昇流之實驗中，在原型與模型間如何保持(5.9)與(5.10)式中，各括弧內之參數相似必須審慎考量。

由於在風洞實驗中，使用縮尺模型，如在模型與原型間保持密度比與動量通量比相似，則同時欲維持福祿數相似性非常困難，蓋風洞中之流速必須以方根之方式縮小，以致遭遇到低流速下維持流場穩定上的困難，有關對此問題之討論及範例，可在張能復等人[21]之報告中見到。

(A) 近場煙流行為之模擬

根據上述參數對模擬近場煙流行為，美國環保署[16]之指引中，提出如下建議：

(1) 煙氣下沖之問題 — 煙氣下沖進入圓柱型煙囪尾流區之模擬相似要求。

(a) 如原型煙囪的雷諾數 $R_e (=UD/\nu)$ 大於 10^5 ，則模型之雷諾數亦應維持在大於 10^5 ，如使用模型外表加粗等之技巧，則此項雷諾數之要求至多可減少一半；

(b) 如原型煙囪之雷諾數小於 10^5 ，則模型之雷諾數大於 400 即可；

(c) W_s/U , ρ_s/ρ_a 以及 $W_s/(gD\Delta\rho/\rho_a)^{1/2}$ 三參數在原型與模型間必須相似。

(2) 無煙氣下沖之問題 — 在地形地物等之紊動影響之下之煙流擴散模擬相似要求。

(a) 煙氣的雷諾數儘可能提高，最好能超過 15,000，如果必須將煙氣之雷諾數減小至小於 2,300，則可能需將煙筒內壁加粗以保證其紊流溢出，如果必須將煙氣之雷諾數減至小於 300，則需更謹慎的探討。

(b) W_s/U , ρ_s/ρ_a 以及 $W_s/(gD\Delta\rho/\rho_a)^{1/2}$ 三參數在原型與模型間必須相似。這些相似要求通常侷限模型之縮尺不得小於 1/400。

(B) 遠場煙流行為之模擬

考慮到初始動量及浮力，Briggs[22]之煙流軌跡方程可寫成：

$$\left\{ \frac{\Delta h}{H_s} \right\}^3 = \frac{3}{\beta_1^2} \left[\frac{\rho_s W_s^2}{\rho_a U^2} \cdot \frac{D^2}{4H_s^2} \right] \left[\frac{x}{H_s} \right] + \frac{3}{\beta_2^2} \left[\frac{gD^2 W_s \Delta\rho}{4\rho_a U^3 H_s} \right] \left[\frac{x}{H_s} \right]^2 \quad (8.11)$$

$$= \frac{3}{\beta_1^2} \left[\frac{l_m}{H_s} \right]^2 \left[\frac{x}{H_s} \right] + 4.2 \left[\frac{l_B}{H_s} \right] \left[\frac{x}{H_s} \right]^2 \quad (8.12)$$

式中 Δh 為煙流上昇高度， x 為煙流距煙筒之下游距離， β_1 及 β_2 為捲增常數(entrainment coefficients)， $\beta_1 = 1/3 + U/W_s$ ， $\beta_2 = 0.6$ 。

根據 Briggs[22]，

$$l_m = \frac{1}{2} \left[\frac{\rho_s}{\rho_a} \right]^{1/2} \frac{W_s D}{U} \quad (8.13)$$

$$l_B = g \frac{D^2 W_s \Delta\rho}{4 U^3 \rho_a} \quad (8.14)$$

l_m 及 l_B 可分別視為因動量及浮升力所造成煙流曲線的初始半徑。由 (5.12) 式可看出接近煙囪的煙流由初始動量主控，隨著煙氣之下飄，浮升力逐漸接替成為主控因素。

對遠場煙流，Hoult[23]建議，在避免煙氣下沖的條件下，可忽略對初始動量的之要求，而以下式來模擬：

$$\left(\frac{l_B}{H_s}\right)_m = \left(\frac{l_B}{H_s}\right)_p \quad (8.15)$$

式中足碼 m 及 p 分別代表模型及原型。此種模擬方法的優勢是在滿足(8.15)式之情況下，可扭曲、改變 ρ_s ， ρ_a ， W_s ， D 或 U 之數值。

根據上述討論，對模擬遠場煙流行為，美國環保署之指引中 (Snyder, 1981)，提出如下之建議：

- (1) 保證煙氣釋流之紊流特性
- (2) 根據“精確度”的不同，可採用：
 - (a) 滿足 l_m/H_s 及 l_B/H_s 之相似
 - (i) 滿足幾何相似率，
 - (ii) 扭曲煙囪之直徑，但須避免煙氣下衝，或
 - (b) 滿足 l_B/H_s 之相似
 - (i) 滿足幾何相似率，
 - (ii) 扭曲煙囪之直徑，但須避免煙氣下衝。

8.3 實驗方法

8.3.1. 風速量測

本實驗風速量測所使用之儀器包括有：

- 1.皮托管 (pitot-static tube)：用於風速之監控 (如圖八)。
- 2.煙線 (smoke wire)：用於風速在 1.2 米/秒以下風速之量測與監控。
- 3.恒溫式熱膜風速儀 (Constant-temperature hot-film anemometer)：用於風速剖面及紊流特性之量測 (包括軸向及垂向之平均流速 U 及 W ，以及紊流強度 $\sqrt{u^2}/U$ 及 $\sqrt{w^2}/U$)。整個儀器系統包括：
 - (i) IFA-300 智慧型風速儀 (anemometer)，
 - (ii) TSI Model 1243 邊界層 “X” 型探針 (“X” probe)，
 - (iii) TSI Model 1125 探針率定器 (probe calibration)。“X” 型探針之率定是根據製造廠商 TSI 所設定之標準程序。

日風速儀所輸出之電子訊號經過類比/數位轉換器 (A/D converter) 之二個頻道，由電腦系統之讀入進行計算、分析及紀錄存檔。

8.3.2 煙霧之模擬

初步考慮只將中性浮力之煙流以抬升源之方式釋入邊界層內。模擬之煙霧將以 1% 之甲烷與空氣混和。

8.3.3 釋放系統

示蹤氣體 (tracer) 包括日甲烷、空氣所組合而成之混合氣體。混合氣體之百分比是經由兩架單管之浮子流量計 (single tube flowmeter) 所控制。

非標準狀況及非空氣之流體其相等於標準狀況下之空氣流量可

以下式計算得到。

$$Q_{air} = K_{gas} \times Q_{gas} = \left(G \times \frac{T_{act}}{T_0} \times \frac{P_0}{P_{act}} \right)^{\frac{1}{2}} \times Q_{gas} \quad (8.16)$$

式中 Q_{air} : 標準狀況下之相等空氣流量

Q_{gas} : 所冊氣體之流量

G : 所冊氣體之比重

T_{act} : 使用狀況之絕對溫度 ($^{\circ}k$)

T_0 : 標準狀況時之絕對溫度 ($^{\circ}k$)

P_{act} : 使用狀況之大氣壓力

P_0 : 標準狀況下之大氣壓力 (14.7psia)

自釋放閘門所控制之氣體經混氣管混合後，經日模型之排放源排放入庫池之試驗段內。

8.3.4 採樣點之佈設

在模型上庫之地面上設有一背景濃度之採樣點。釋放源之濃度採樣點則設在混氣管之出口處。垂直採樣架上共將約設有 15 個採樣點。垂直採樣架是被安裝在庫池內之天車上。模型上，地表濃度採樣點是分佈在以釋放源為起點沿著庫內之主軸線兩旁 $\pm 18^{\circ}$ 之扇形面上。

8.3.5 示蹤氣體之採樣與分析

示蹤氣體之採樣與分析是日一架筆書所自行設計之氣體採樣系統與一架氣相層析儀 (gas chromatograph) 經日介面板併入日電腦所

控制之中心數據採集、處理、分析及結果展示系統。

筆者自行設計製造之氣體採樣系統是一架先進之採樣系統，它可同時採集 48 個樣本，所採樣本不為外界環境所污染，表現穩定，能在相當寬之濃度範圍內採集到重複性高之樣本，對採樣器設有標準之檢定程序，以確保採樣器之性能表現。

單管 (single column) 氣相層析儀包括有：

1. 火焰離子化偵測器 (flame-ionization detector)
2. 自動溫度控制器 (automatic temperature controller)
3. 差分電表 (differential electrometer)
4. 流動系統 (flow system) - 包括壓力調控及壓力表 (pressure regulator and pressure gauge)

氣相層析儀使用前之率定包括有經日標準濃度之混合氣體，以及實驗室所自行混和之不同濃度之氣體進行系統之線性 - 非線性反應之率定，以及零點偏移量 (zero shift) 之確定。

所能量測到之濃度下限，由儀器之靈敏度及背景濃度 (background concentration) 所定。在整個濃度之測試過程中，背景濃度之量測都包括在內，每一測點之濃度值都經由背景濃度加以修正。

所量測到之濃度值 C_{mea} ，(單位為 ppm)，背景濃度值 C_{bg} ，以及釋放源濃度值， C_s 可經由下式轉變為模型之濃度係數， C_m

$$C_m = \frac{C_{mea} - C_{bg}}{C_s} \quad (8.17)$$

8.4 煙流擴散實驗結果

進行擴散實驗之前先對流場作一初步的測試，其空滯水平風壓分佈穩定，上下震盪的幅度約為百分之一（圖 42），下游約 25 米處（第二迎轉盤）所量得的邊界厚度約 30cm 厚（圖 43）。為模擬大氣邊界條件，於測試區上游安置粗糙元（如圖 40 及圖 41）以增加邊界層厚度，經量測後邊界層厚度增加為 170cm 厚。在迎轉盤中心處設置一模擬煙囪排放擴散氣體，於排放源下游 1m、2m、3m 及 3.5m 處採集氣體，經日氣體分析儀可測得其濃度，圖 45 及圖 46 分別為不同距離下水平及垂直方向濃度分佈。

第七章 教育訓練

本計畫亦將協助完成協助內政部建研所培訓庫滄操作與維護所需人才，以落實培訓庫滄操作與維護所需人才的目的；而教育訓練包含了儀器設備的教育訓練及性能驗證實驗的教育訓練。

中鏘公司、仕大電機及豪頓公司三家設備廠商已於今年5月中自庫滄驗收時完成了相關的教育訓練，而量測儀器部分有皮托公司及鑫詳科技兩家廠商分別針對多孔式壓力掃描閥及示波器、數位電表與電源供應器等相關儀器進行操作示範（如圖47）。

庫滄基本性能測試實驗於93年12月23日進行相關教育訓練，內容包含有皮托管與熱線測速儀介紹、基本性能實驗項目、基本性能實驗結果及實際示範皮托管及熱線測速儀操作（如圖48）。

第一章 結語

歷經三年時程，很高興能順利完成此風洞的籌建工作。此風洞的硬體驗收在今年五月底完成，隨即進行一系列實驗測試項目，其目的為驗證本風洞的性能。整體而言，所得的測試結果顯示風洞測試區流場品質正在逐項驗證之中，另外完成了橋樑斷面測試項目，與煙流擴散測試項目。由這些實驗結果進一步描繪出此風洞已具備大型建築物模型測試能力相信假以時日，用心經營，這個實驗室能為我國的建築界產官學研究做很多的工作，屆時亦可藉此實驗室的成果促進國際科技交流。

另一個角度而言，由於本風洞剛籌建完成，其各項性能有待進一步確認，而測試的技巧也有待發展建立，這些工作均需要人才與時間的投入，期此風洞的建立能吸引更多人投入，所累積的成果，才是實驗室最重要的資產。

在此特別感謝內政部建築研究所的同仁、成大航太中心及相關單位同仁的協助，使得在籌建過程工作進行順利。

參考文獻

1. 蕭江碧、甘若易，內政部建築研究所研究計畫期末報告，「風洞實驗館實驗設施建置及系統設計之研究」，民國90年。
2. 甘若易、朱佳仁，內政部建築研究所研究計畫期末報告，「風洞實驗館實驗設備監造及營運規劃之研究，子計畫一：實驗設備監造及分項設備整合研究」，民國91年。
3. 唐榮華、鄭啟明，內政部建築研究所研究計畫期末報告，「風洞實驗館實驗設備監造及營運規劃之研究，子計畫二：基本性能實驗項目及營運規劃研究」，民國91年。
4. Prandtl L (1927), "U"ber den Reibungswiderstand stro"mender Luft." Ergebnisse AVA Go"ttingen III: 1-5
5. Cermak, J. E., "Applications of fluid mechanics to wind engineering – a freeman scholar lecture," Trans. of the ASME, J. of Fluids Eng., vol. 97, pp. 9-38, 1975.
6. Cermak, J. E., "Aerodynamics of building," Annual Review of Fluid Mechanics," vol. 8, pp. 75-106, 1976.
7. Houghton, E. L., & Carruther, N. B. *Wind forces on building and structures*, John Willy & Sons, New York, 1976.
8. Obasaju, E. D., Ermshaus, R. and Naudasher, E. (1989), "Vortex induced stream wise oscillations of square-section cylinder in a uniform stream", *Journal of Fluid Mech.*, Vol. 213, pp.171-189.
9. 鄭啟明，林靖溢，葉博立，"以斷面模型實驗探討斜張橋之顫振特性"，結構工程，第十六卷，第四期，第85~98頁，2001。
10. Cheng, C.M., Lin, Y.Y., "The Effects of Deck Shape and

Oncoming Turbulence on the Bridge Aerodynamics” Presented at The Inaugural Meeting of Wind Engineering Research Center at Tokyo Institute of Polytechnics, Atsugi/Japan, 2001.

11. Simiu, E. and Scanlan, R. H. " Wind Effects on Structures " , *John Wiley & Sons*,N.Y. (1986)
12. 林堉溢，鄭啟明，蔡子立，1997，"斜張橋受庫載重之顫振及亂流效應分析"，*結構工程*，第十二卷，第一期，pp.107-117。
13. Scanlan, R. H. and Tonko, J. J. "Airfoil and Bridge Deck Flutter Derivative", *Journal of Engineering Mechanics Division*, ASCE, Vol.97, pp.1717-1737 (1971)
14. Kubo, Y., Miyazaki, M. and Kato, K. (1989), "Effect of end plate and blockage of structure members on drag force", *Journal of Wind Eng. and Industrial Aerodynamics*, 32, pp.329-342.
15. Cermak, J.E., "Application of fluid mechanics to wind engineering," A Freeman Scholar Lecture. ASME J. of Fluids Engng., **97**, no.1, pp.9-38, 1975.
16. Snyder,W.H., "Guideline for fluid modeling of atmospheric diffusion," EPA-600/8-81-009, 1981.
17. Lumley, J.L. & Panofsky, H.A., "The structure of Atmospheric Turbulence," Interscience, N.Y. , p.239, 1964.
18. Halitsky, J. "Validation of scaling procedures for wind tunnel model testing of diffusion near building," Report No.TR-69-8, Geophysical Sciences Laboratory, New York University, 90 p, 1969.
19. Strom, G.H. & Halitsky, J., "Important considerations in the use of the wind tunnel for pollution studies of power plants," Paper

- No.54SA-41 ASME Semi-Annual Meeting, Pittsburgh, PA, 1954.
20. Isyumov, N. & Tanaka, H. "Wind tunnel modeling of stack gas dispersion difficulties and approximations," Wind engineering (ed. By Cermak, J.E.), Pergamon Press, Oxford, 2 , pp.987-1001, 1979.
 21. 張能復，「台北市八湖垃圾焚化廠廢氣排放對廠址附近環境空氣品質的影響」，研究報告 424p, 1988.
 22. Briggs, G.A., "Plume rise predictions," ATDL No. 75/15, Atmos. Turb. and Diff. Lab., NOAA Environ Res. Lab., Oak Ridge, TN, 53p, 1975
 23. Hoult, D. P. "Simulation of buoyant pollutants in the atmospheric boundary layer flow studies in air and water pollution," ASME, N. Y., pp. 61-69, 1973.

附 圖



圖 1. 93 年 5 月 26 日 庫 滙 驗 收

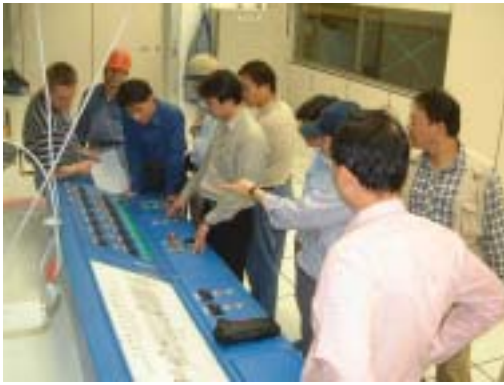
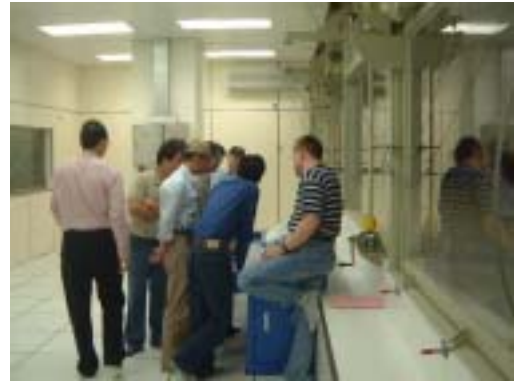


圖2 庫 蔚 測 試 現 況 暨 庫 蔚 試 車 檢 討 會 議

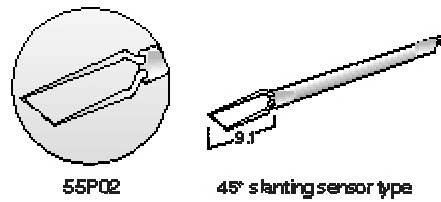


皮托管

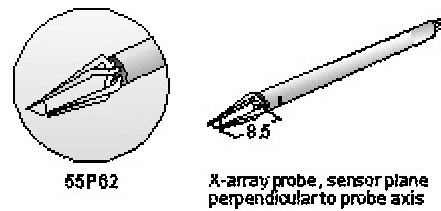


薄膜式壓力傳送器

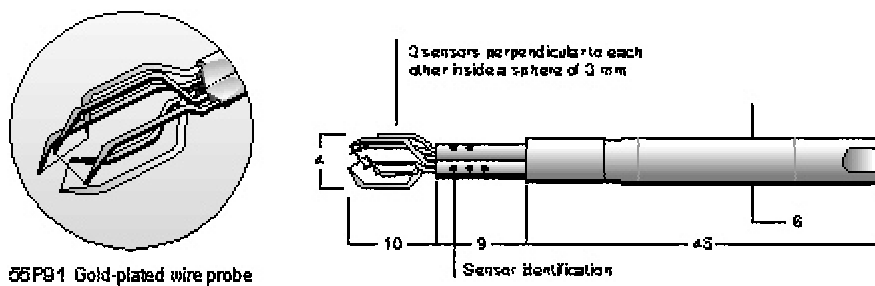
圖3 皮托管及薄膜式壓力傳送器圖



(a) 一維量測之熱線探針



(b) 二維量測之熱線探針



(c) 三維量測之熱線探針

圖4 不同型式之熱線探針示意圖



圖5 三孔的cobra probe 圖

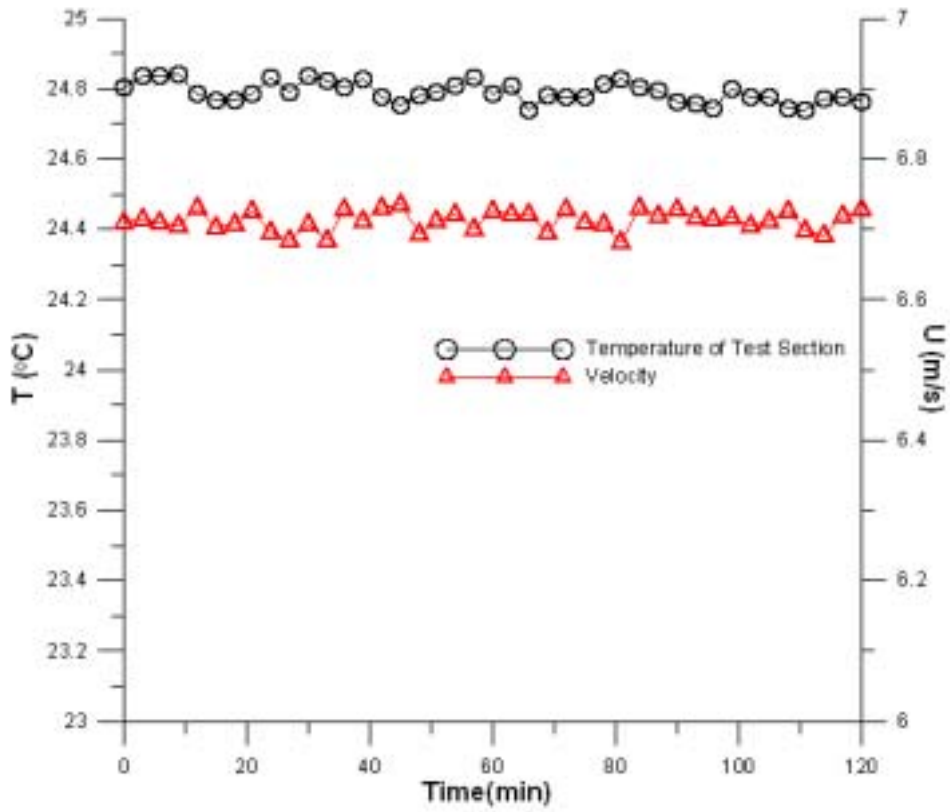


圖6 風扇運轉時間與其溫度、第一測試區入口速度之關係圖

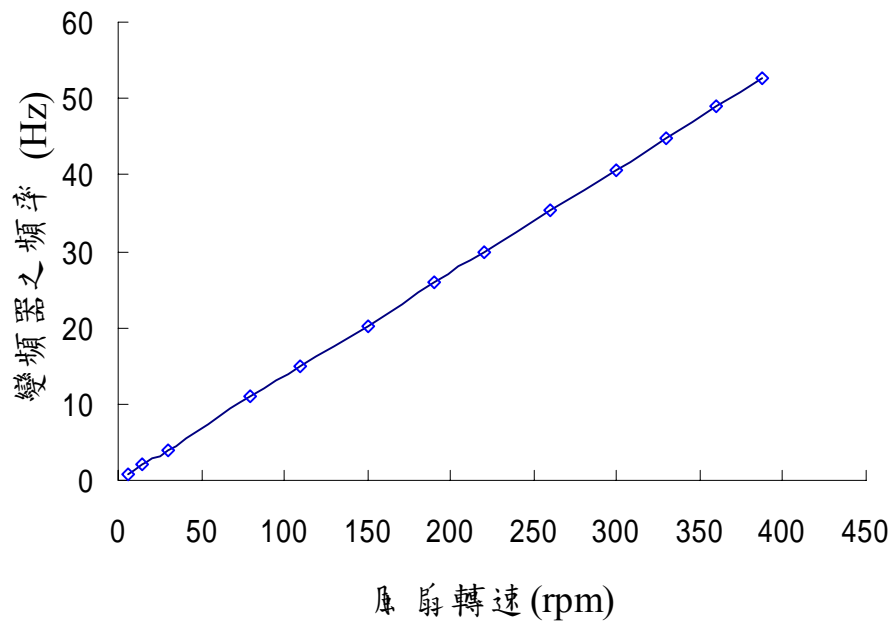


圖 7 原動機轉速與變頻器頻率之關係圖

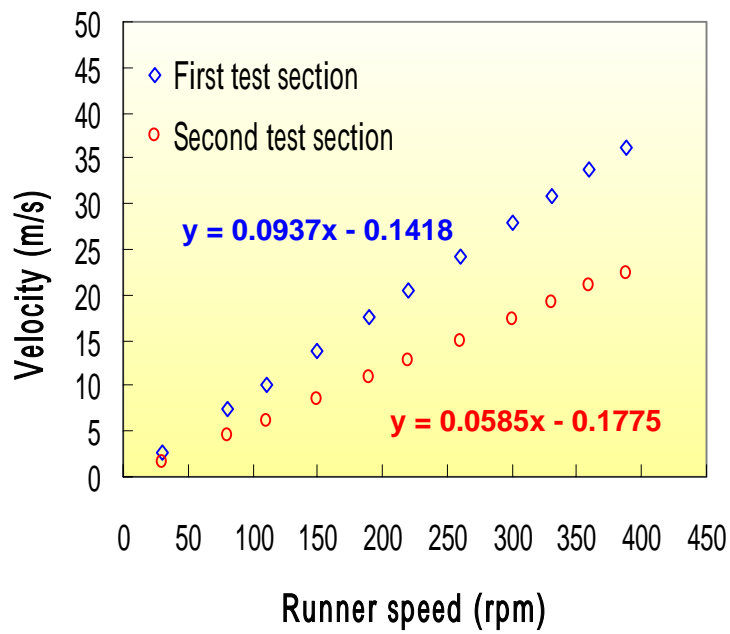


圖 8 原動機轉速與速度之關係圖

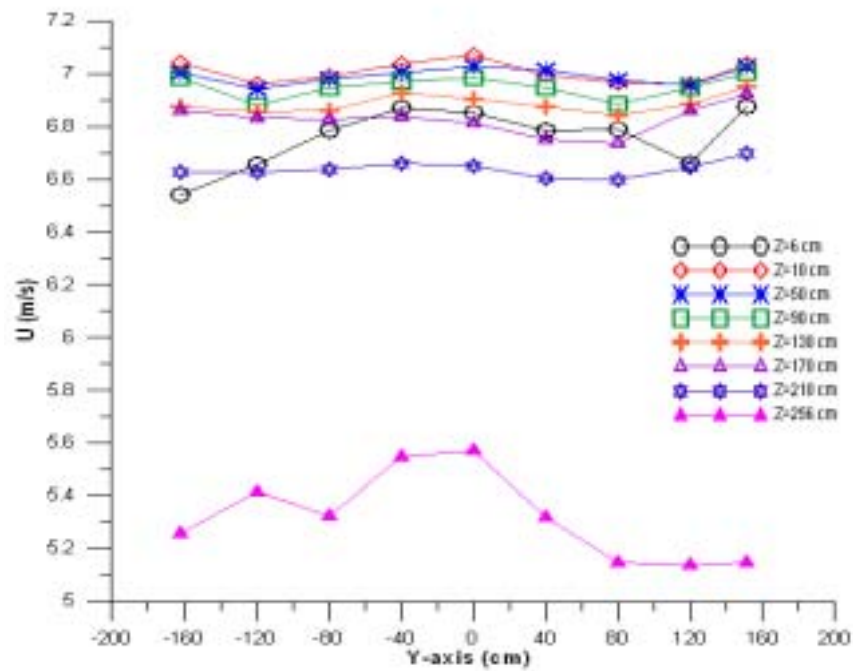


圖 9 第一測試區下游 2.5m 之平均速度分布圖

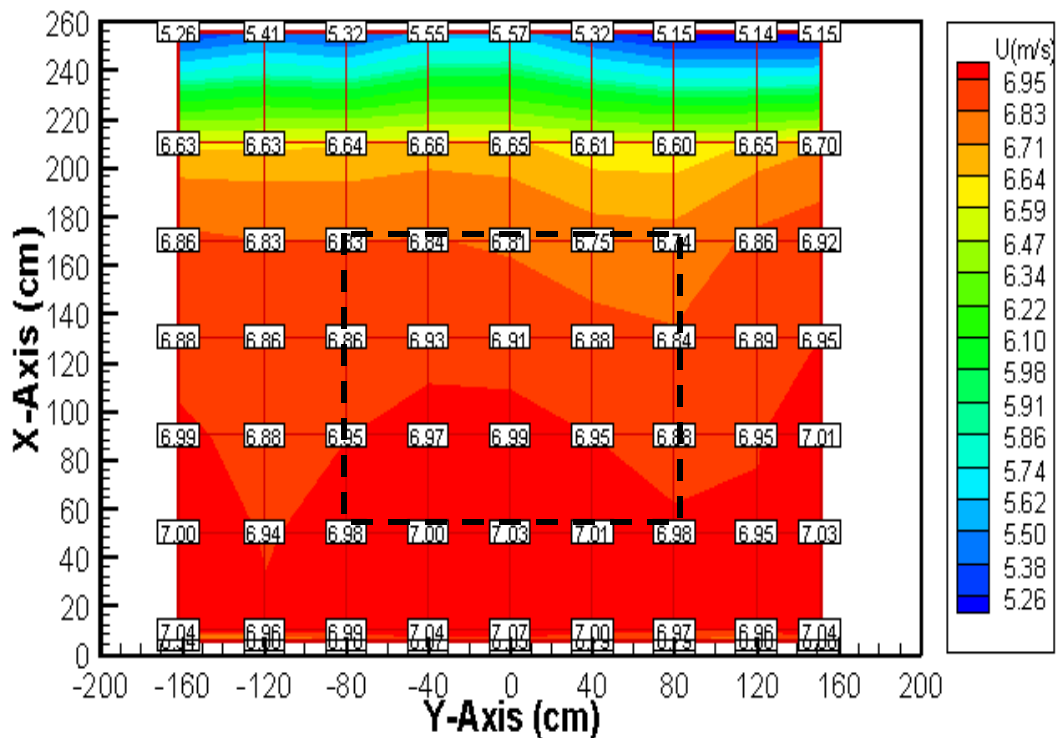


圖 10 第一測試區下游 2.5m 之二維平均速度剖面圖

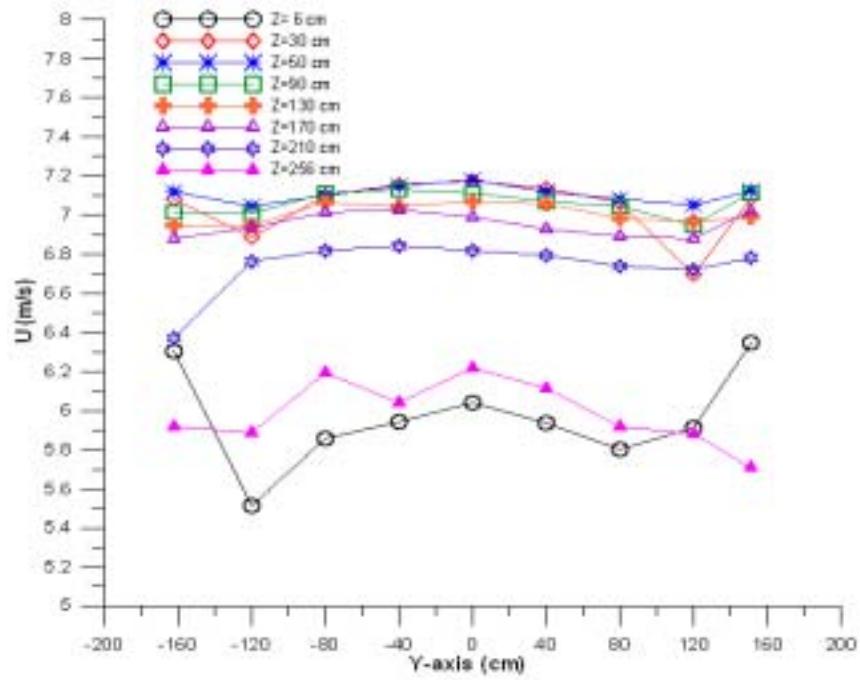


圖 11 第一測試區下游 15m 之平均速度分布圖

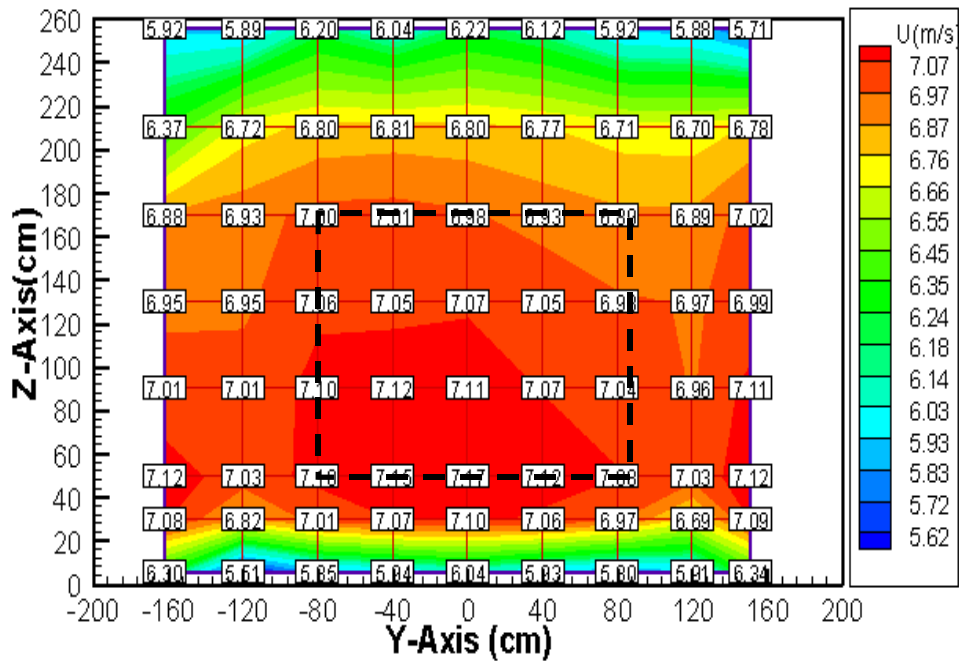


圖 12 第一測試區下游 15m 之二維平均速度剖面圖

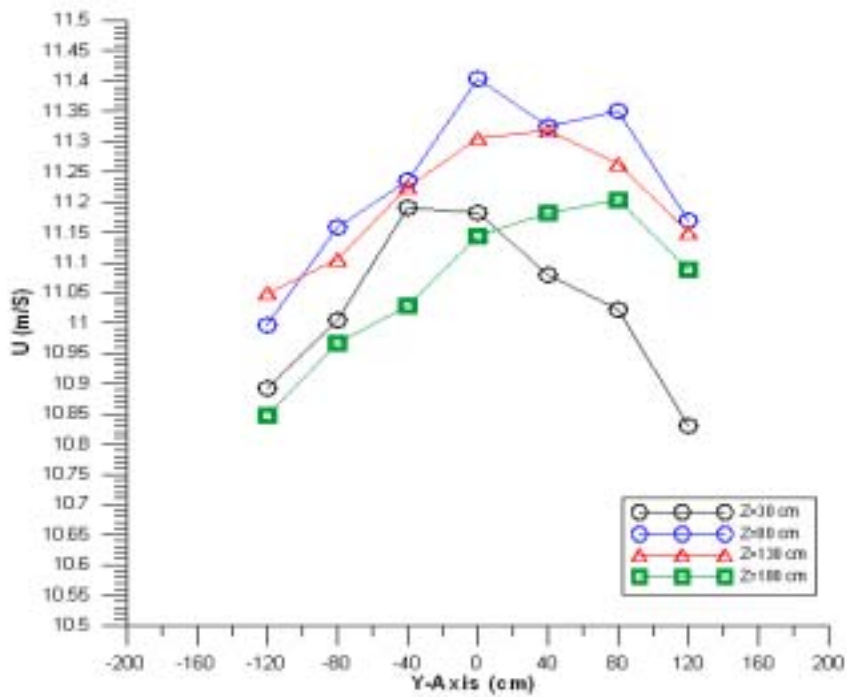


圖 13 第一測試區下游 25.5m 之平均速度分布圖

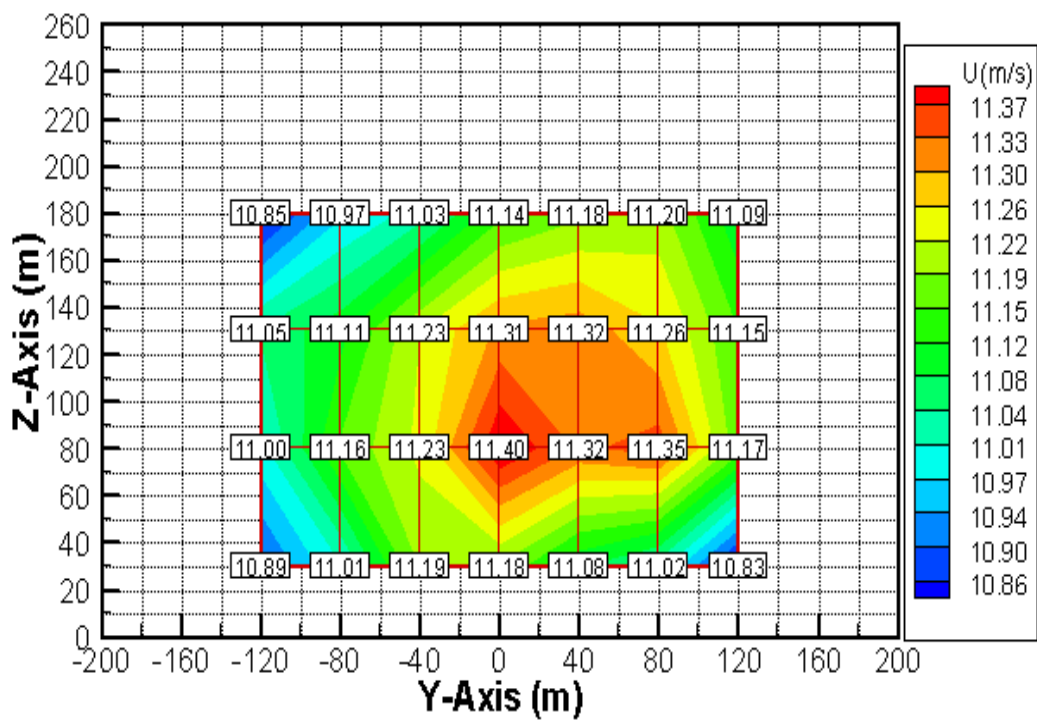


圖 14 第一測試區下游 25.5m 之平均速度剖面圖

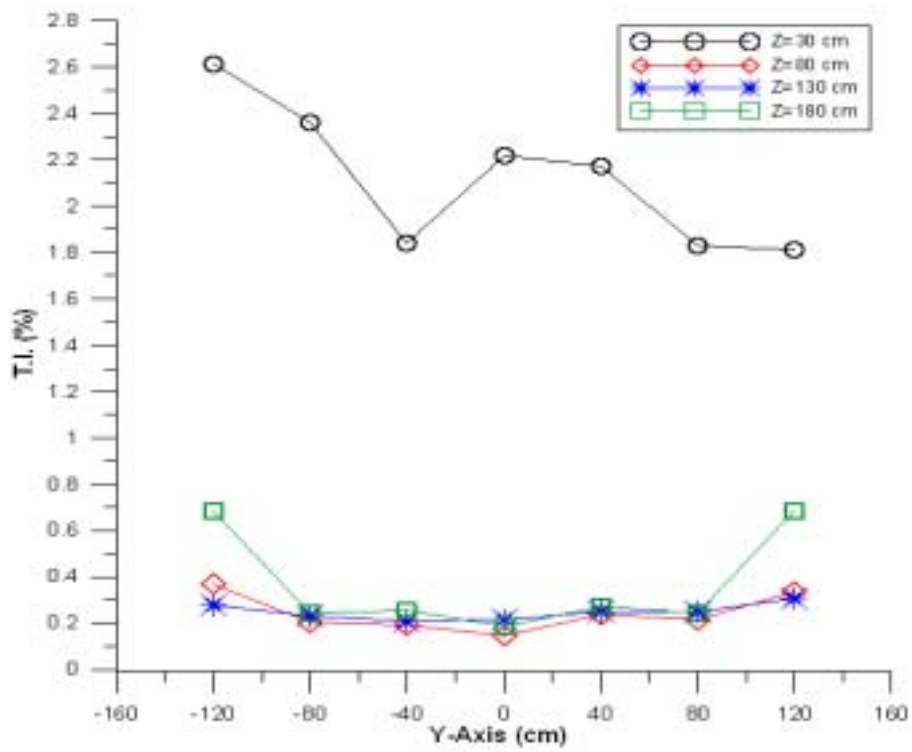


圖 15 第一測試區下游 25.5m 之紊流強度分布圖

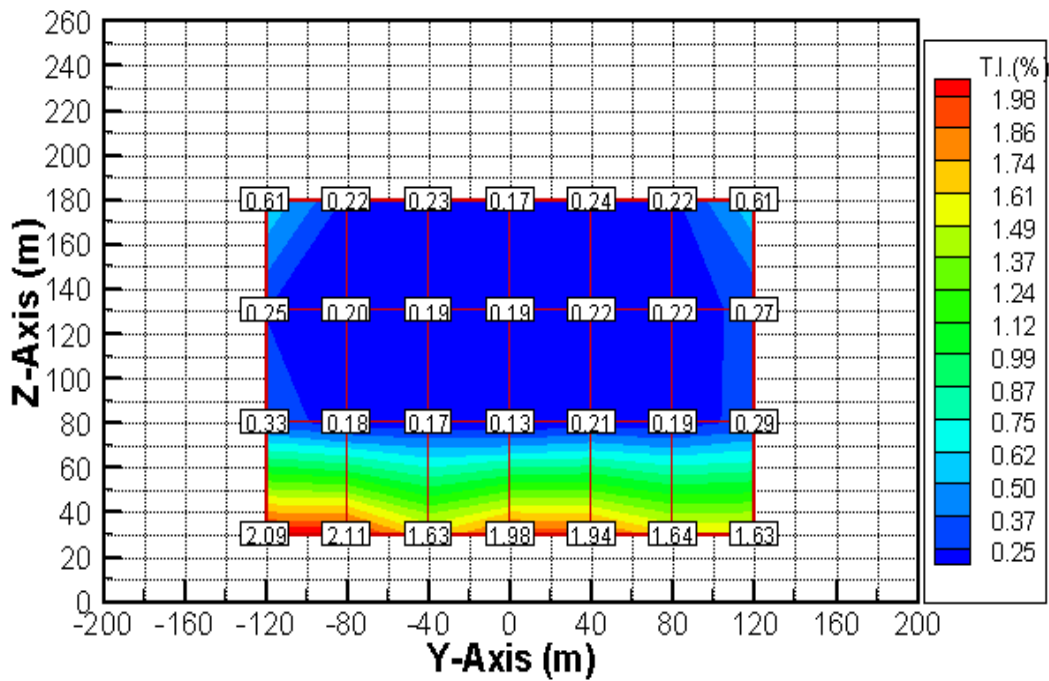


圖 16 第一測試區下游 25.5m 之紊流強度剖面圖

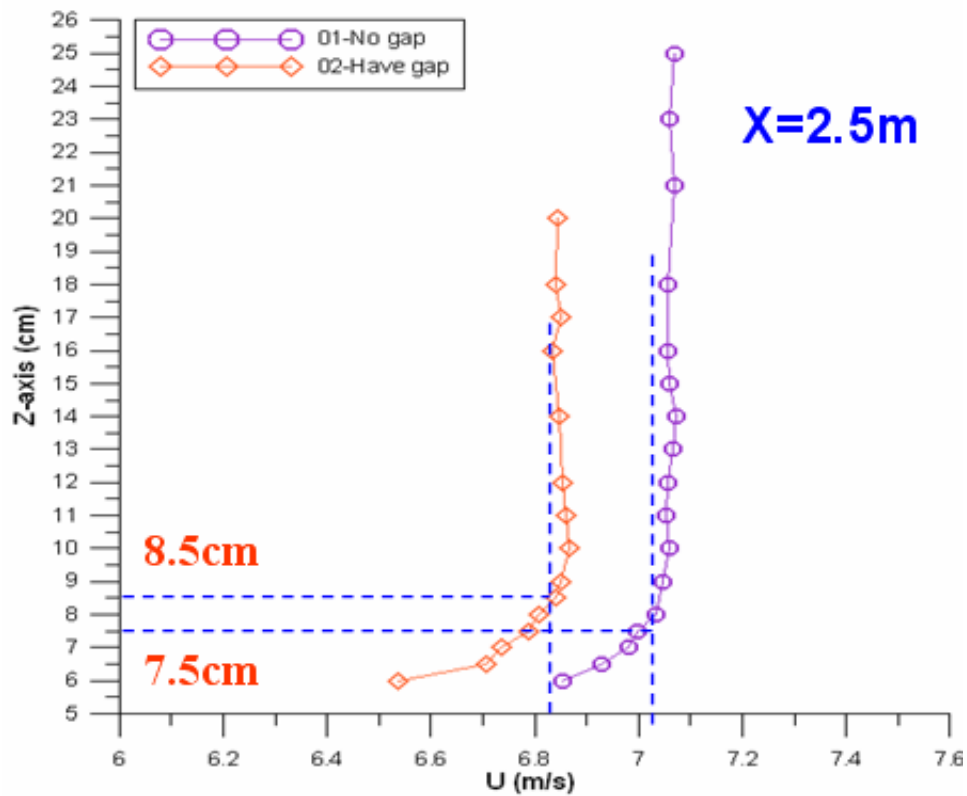


圖 17 第一測試區下游 3m 邊界層厚度

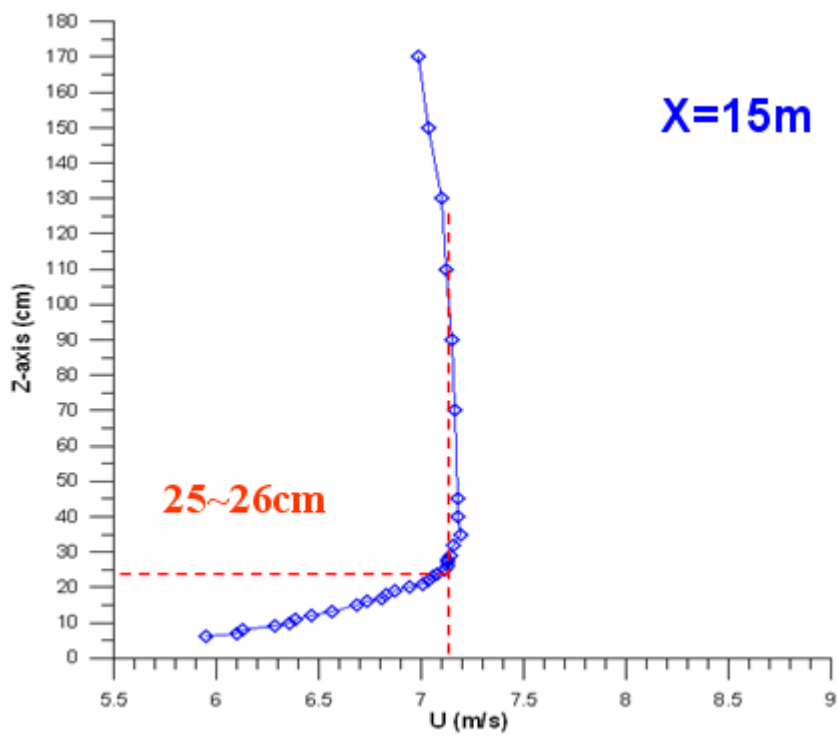


圖 18 第一測試區下游 15m 邊界層厚度

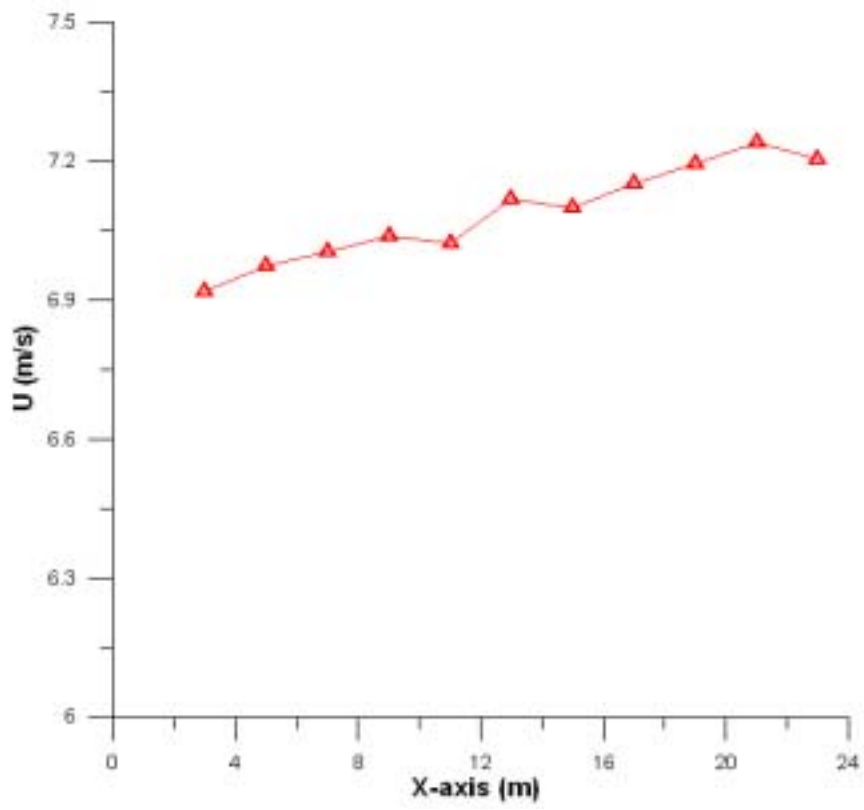


圖 19 軸向速度梯度



圖 20 平板橋樑斷面架設於厚滷水兩端板之間

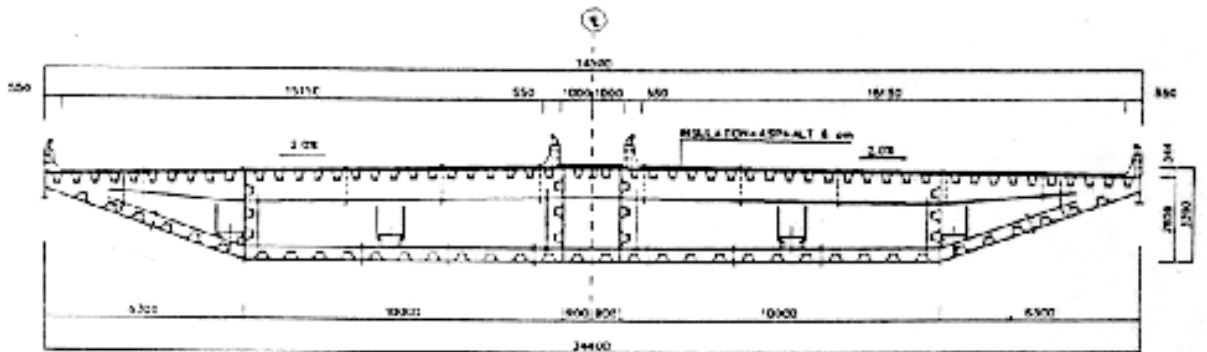


圖 21 高屏溪橋原型斷面之鋼構造部份 (steel section)

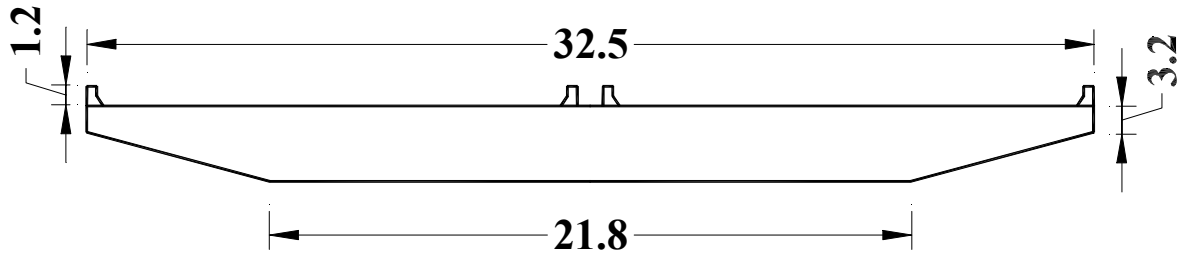


圖 23 高屏溪橋樑斷面模型之尺寸

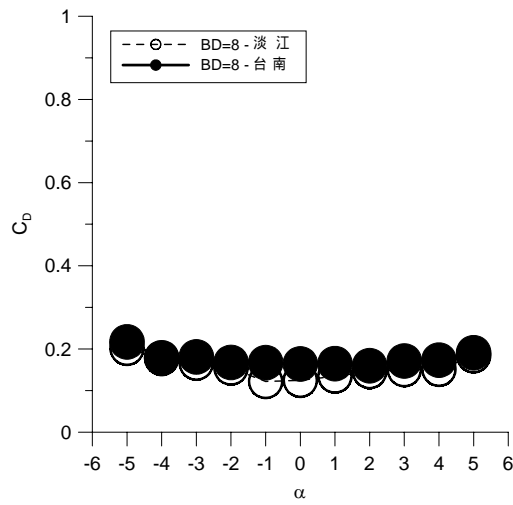


圖 23 平板橋樑斷面之沿電向平均壓力係數

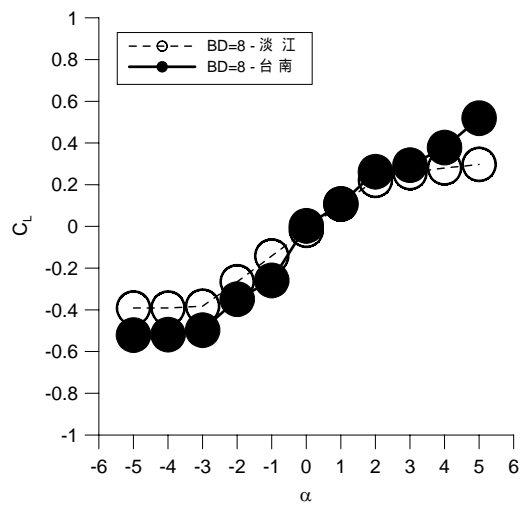


圖 24 平板橋樑斷面之垂直向平均壓力係數

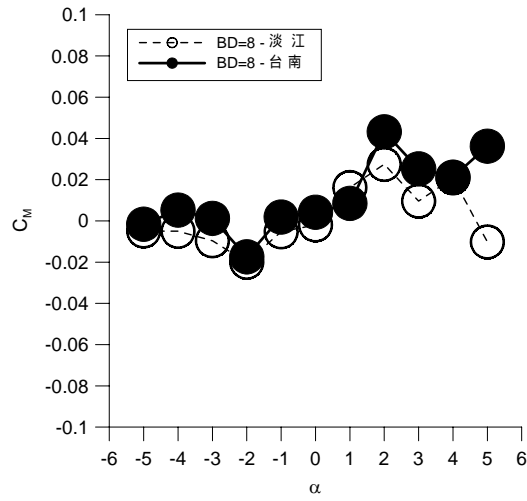


圖 25 平板橋樑斷面之扭轉向平均應力係數

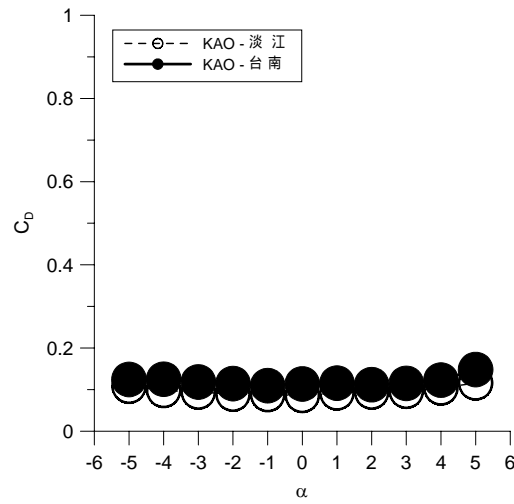


圖 26 高屏溪橋樑斷面之撓電向平均應力係數

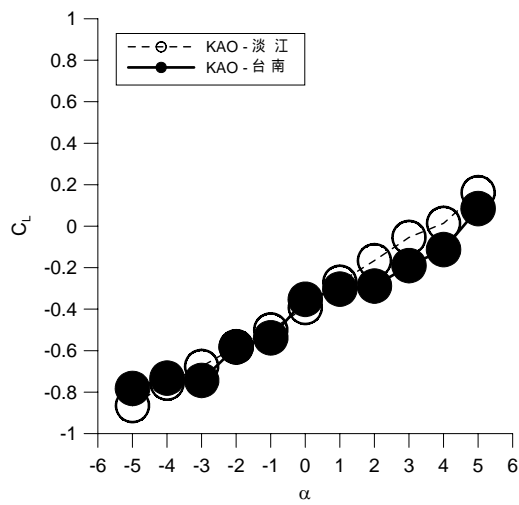


圖 27 高屏溪橋樑斷面之垂直向平均應力係數

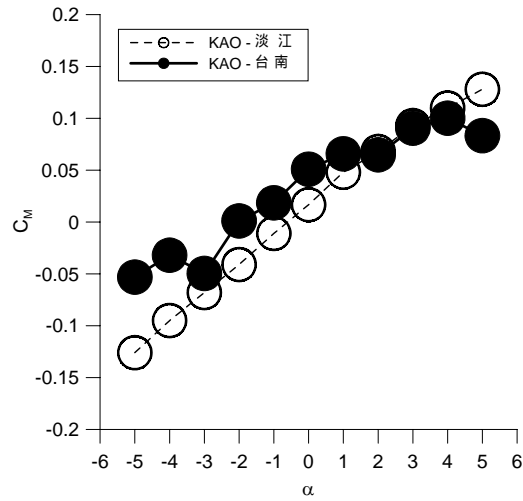


圖 28 高屏溪橋樑斷面之扭轉向平均應力係數

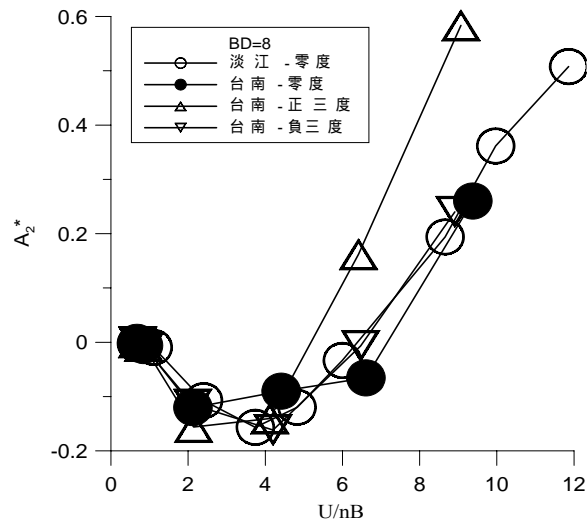


圖 29 平板橋樑斷面之非耦合項顫振導數 (A_2^*)

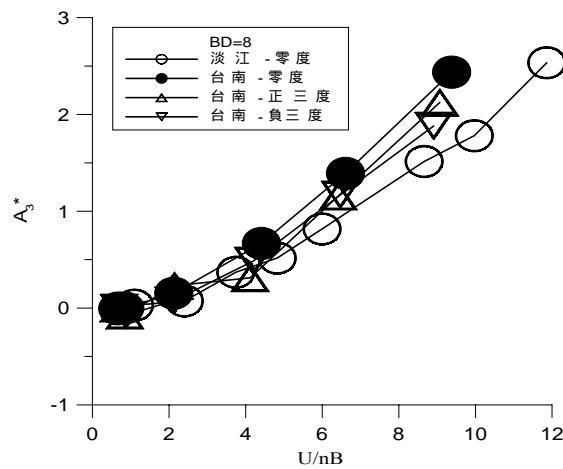


圖 30 平板橋樑斷面之非耦合項顫振導數 (A_3^*)

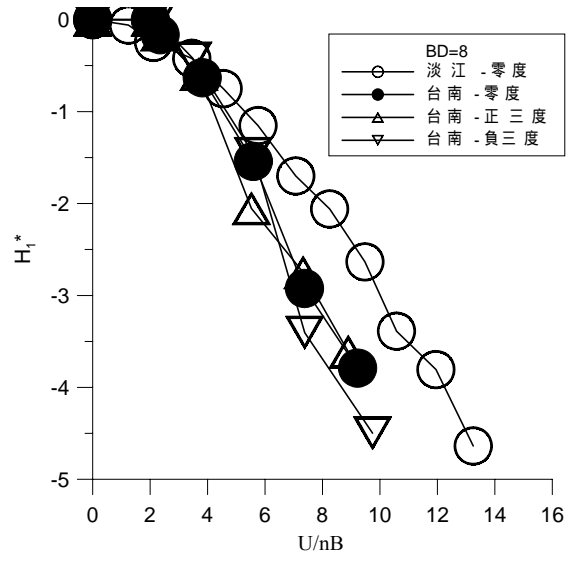


圖31 平板橋樑斷面非耦合項顫振導數 (H_1^*)

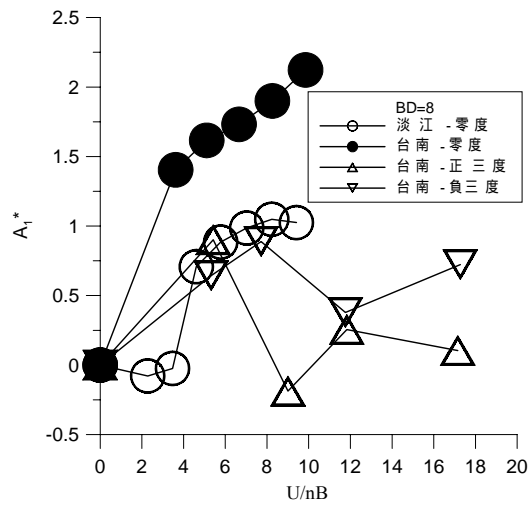


圖32 平板橋樑斷面之耦合項顫振導數 (A_1^*)

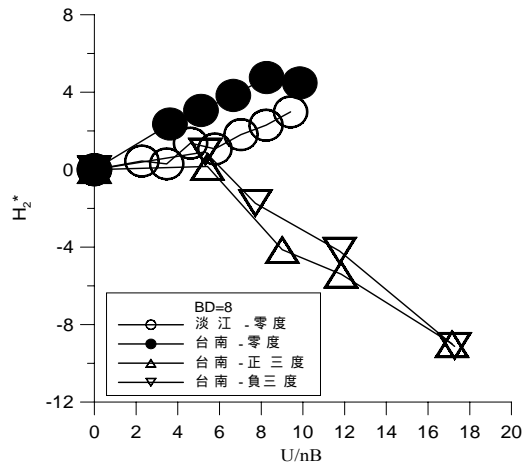


圖33 平板橋樑斷面之耦合項顫振導數 (H_2^*)

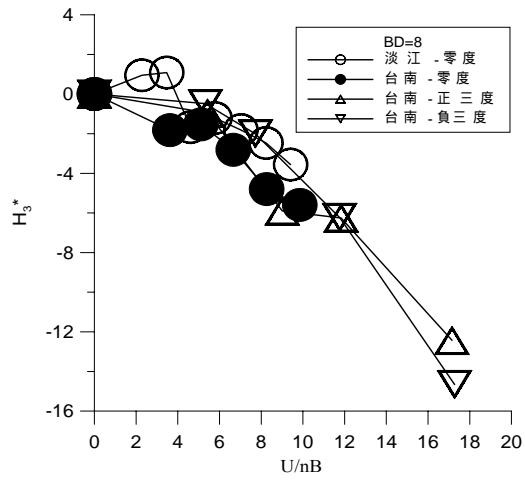


圖34 平板橋樑斷面之耦合項顫振導數 (H_3^*)

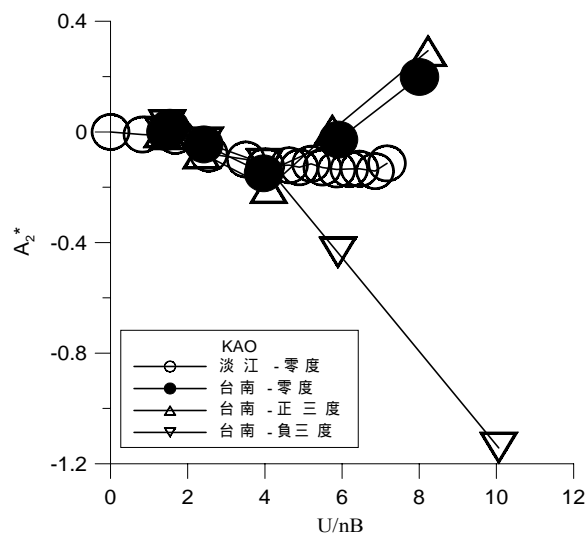


圖35 高屏溪橋樑斷面之非耦合項顫振導數 (A_2^*)

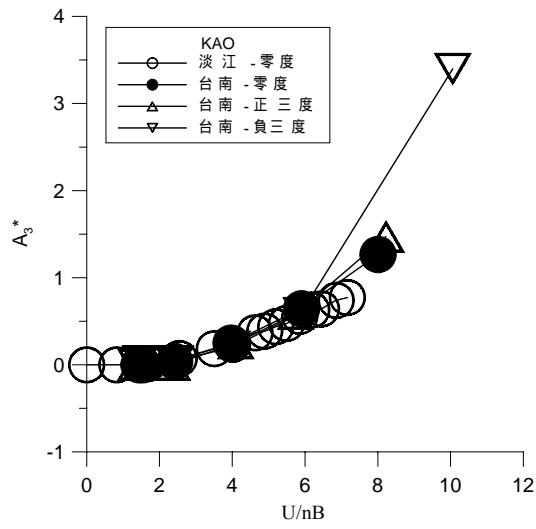


圖36 高屏溪橋樑斷面之非耦合項顫振導數 (A_3^*)

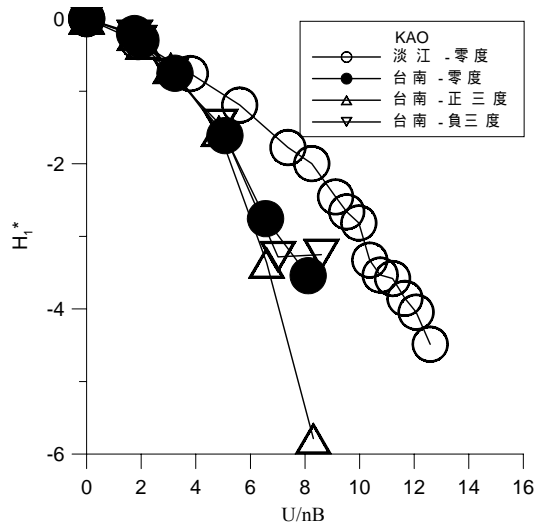
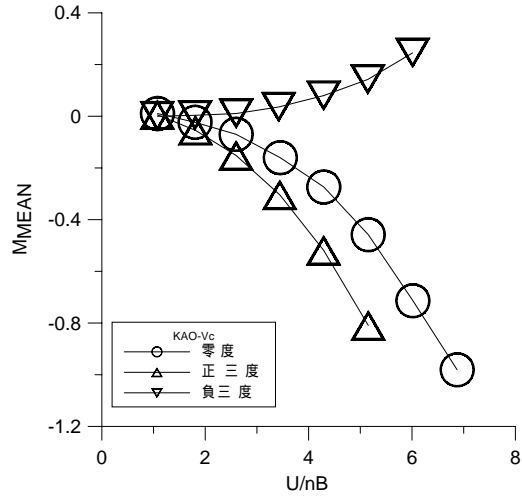
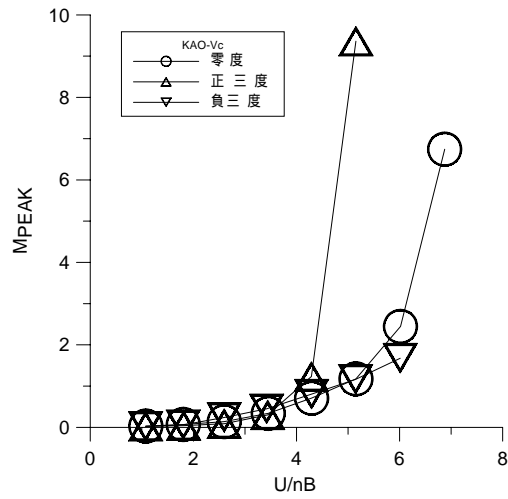


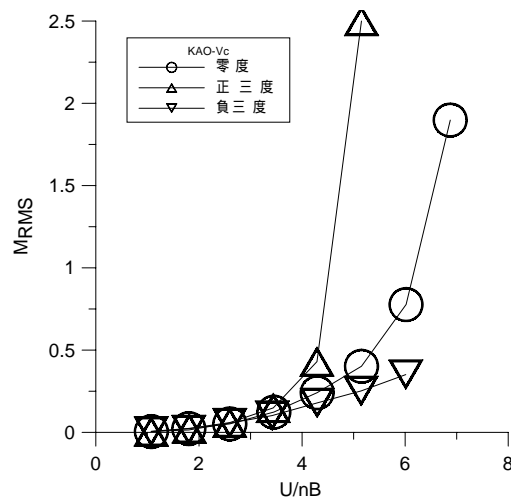
圖 37 高屏溪橋樑斷面之非耦合項顫振導數 (H_1^*)



(a) Mean

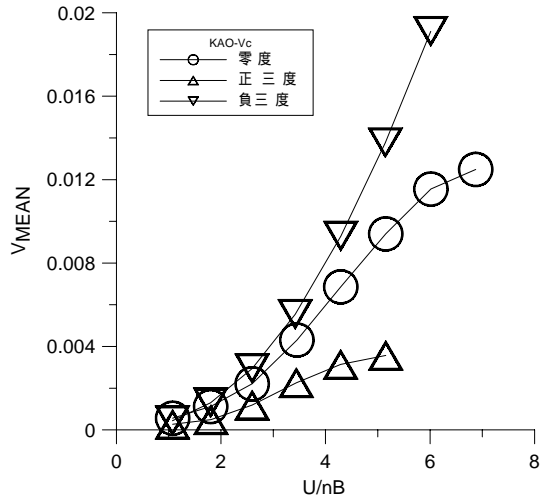


(b) R.M.S

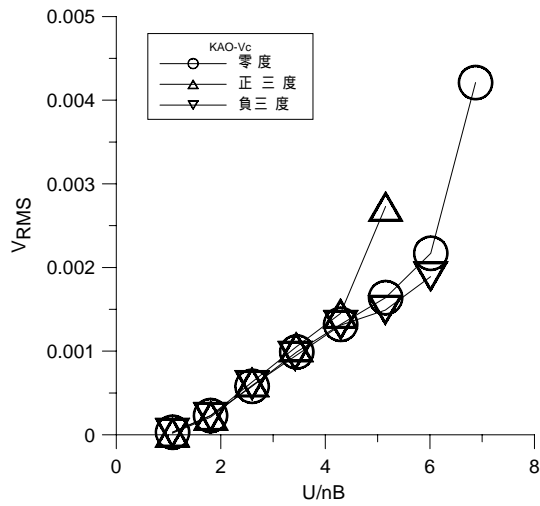


(c) Peak

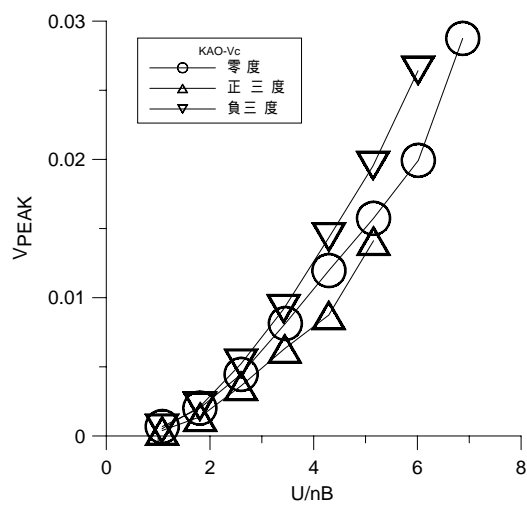
圖38 高屏溪橋樑斷面模擬第一扭轉頻率與第一垂直頻率之扭轉角反應



(a) Mean



(b) R.M.S



(c) Peak

圖39 高屏溪橋樑斷面模擬第一扭轉頻率與第一垂直頻率之垂直向反應



圖 40 煙流實驗皮托管參考位置



圖 41 煙流實驗可視化試驗

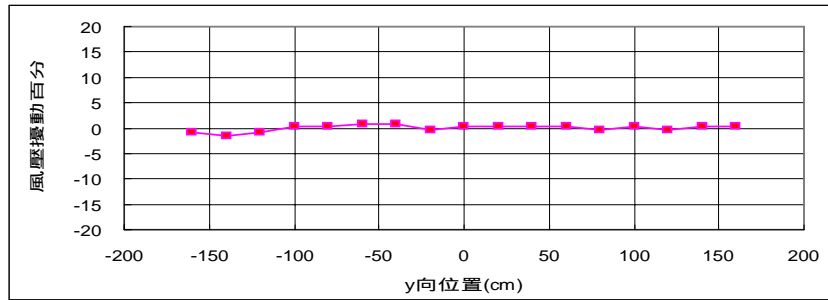
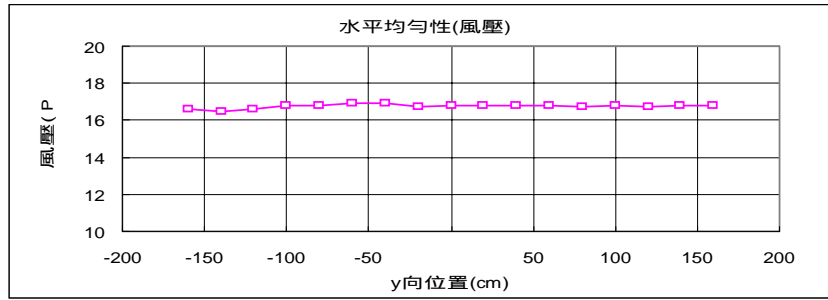


圖 42 空庫滯水平庫場特性

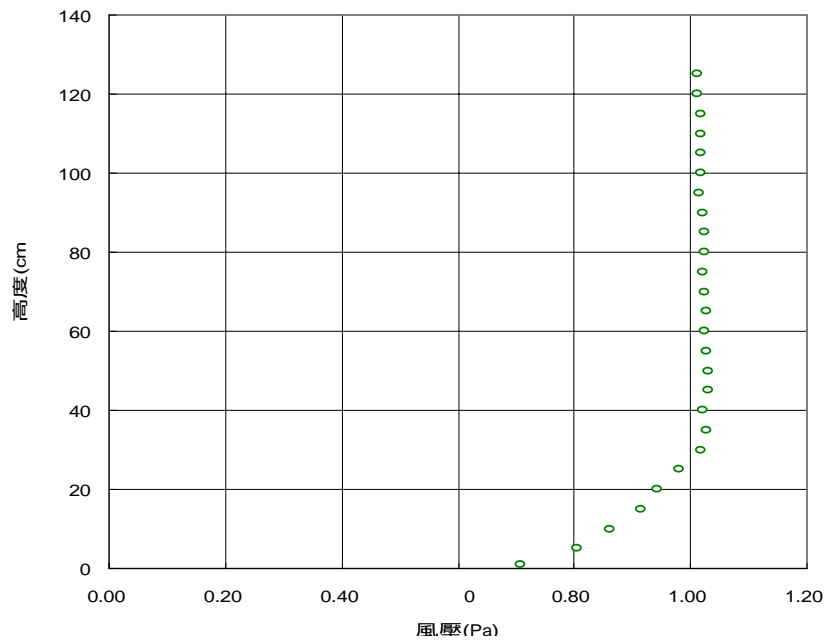


圖 43 空庫滯垂直庫場特性

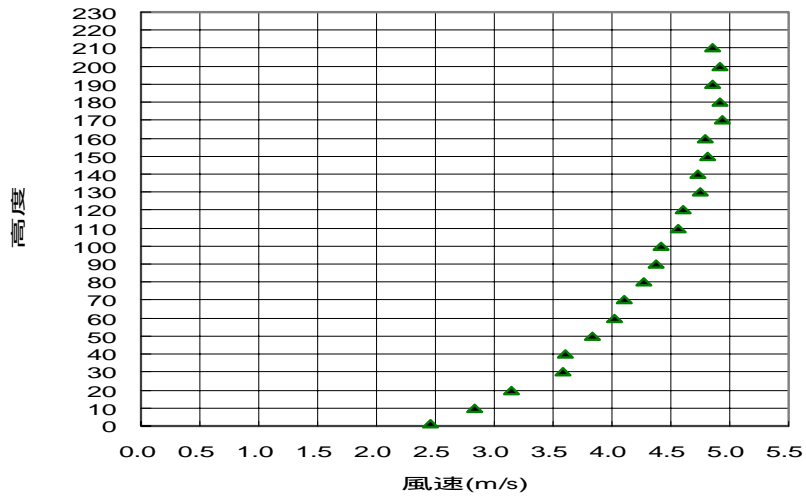


圖 44 模擬邊界層之實驗結果

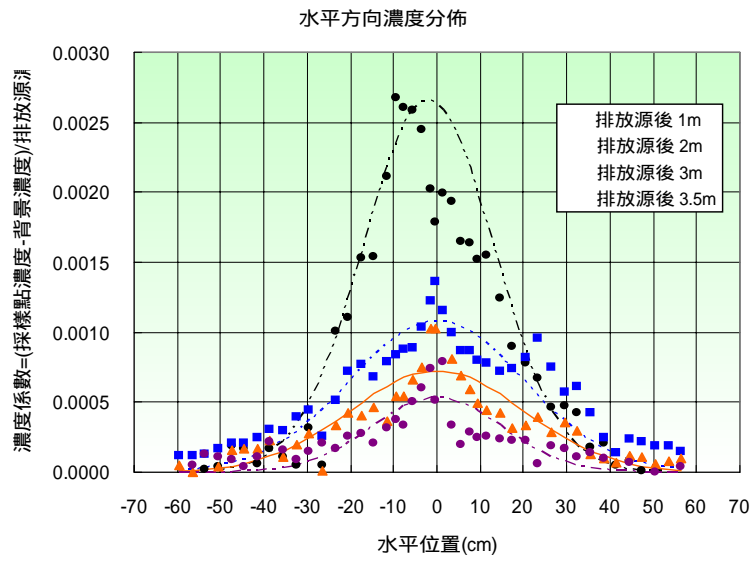


圖 45 不同距離下水平方向濃度分佈

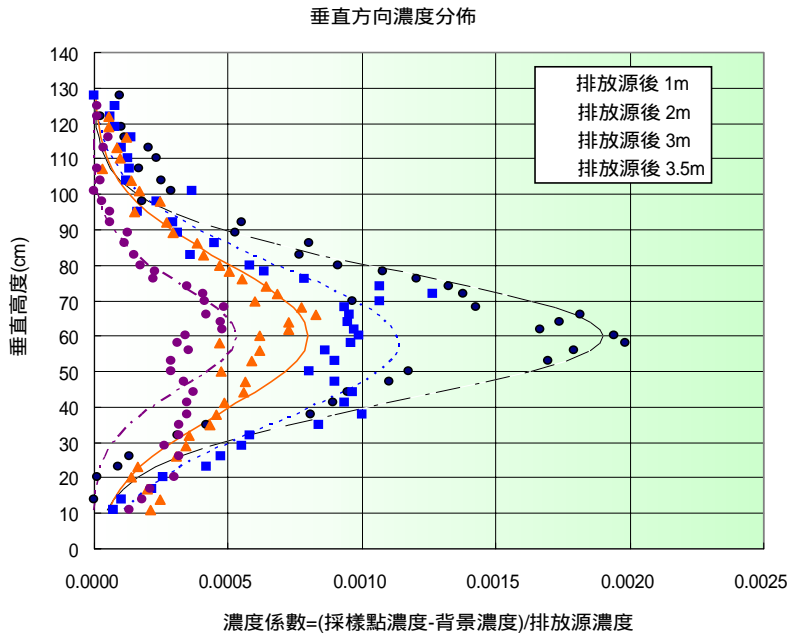
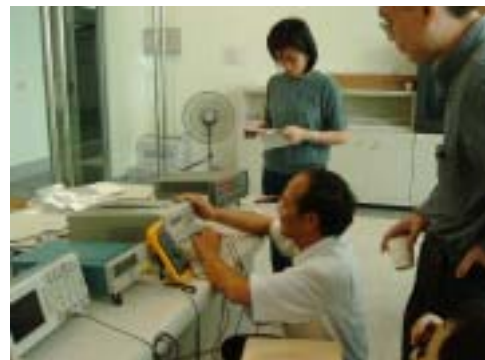
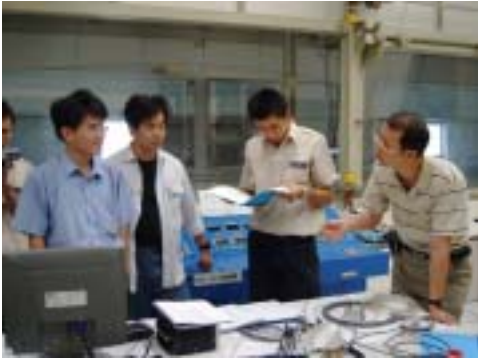


圖 46 不同距離下垂直方向濃度分佈



A 皮托科技

B 鑫詳科技

圖 47 量測儀器廠商教育訓練情形



圖 48 流場基本性能測試實驗教育訓練情形

附 表

方向	顫振導數	代表之物理意義
垂直向	H_1^*	橋體於垂直向之振動速度，所引發之垂直向氣動力阻尼
	H_2^*	橋體於扭轉向之振動速度，所引發之垂直向氣動力阻尼
	H_3^*	橋體於扭轉向之振動位移，所引發之垂直向氣動力勁度
撓曲向	P_1^*	橋體於撓曲向之振動速度，所引發之撓曲向氣動力阻尼
	P_2^*	橋體於扭轉向之振動速度，所引發之撓曲向氣動力阻尼
	P_3^*	橋體於扭轉向之振動位移，所引發之撓曲向氣動力勁度
扭轉向	A_1^*	橋體於垂直向之振動速度，所引發之扭轉向氣動力阻尼
	A_2^*	橋體於扭轉向之振動速度，所引發之扭轉向氣動力阻尼
	A_3^*	橋體於扭轉向之振動位移，所引發之扭轉向氣動力勁度

表 1 顫振導數代表之物理意義

<i>Parameters</i>	符號	斷面模型
幾何縮尺	λ_L	1/100
速度縮尺	λ_V	1/10
時間縮尺	$\lambda_T = \lambda_L / \lambda_V$	1/10
頻率縮尺	$\lambda_f = 1 / \lambda_T$	10
密度縮尺	λ_ρ	1
阻尼比	λ_ξ	1

表 2 橋樑實驗模型縮尺參數一覽表

	原型橋樑	縮尺後理論值	斷面模型
寬 (m)	34.504	0.345	0.345
單位長度質量 (Kg/m)	287	2.87	2.87
垂直向頻率 (Hz)	0.268	2.675	2.77
扭轉向頻率 (Hz)	0.6077	6.077	6.10
頻率比	2.27	2.27	2.20

表 3 橋樑實驗模型縮尺一覽表

試驗項目	原攻角變化	平板斷面	高屏溪橋斷面
原力係數	+5° 至 -5° 間距為 1°	◎	◎
顫振導數	+3° 至 -3° 間距為 3°	◎	◎
欄杆影響	0°	—	◎
顫振臨界原速	+3° 至 -3° 間距為 3°	—	◎

表 4 斷面模型原非試驗分項表

原攻角	無因次化原速 (U/nB)	實場顫振臨界原速 (m/s)
-3°	> 14.47	> 126.06
0°	14.47	144.13
3°	10.84	108.05

表 5 高屏溪橋樑斷面模擬第一扭轉頻率與
第一垂直頻率之顫振臨界原速轉換

試驗項目	原攻角變化	平板斷面	高屏溪橋斷面
原力係數	+5° 至 -5° 間距為 1°	◎	◎
顫振導數	+3° 至 -3° 間距為 3°	◎	◎
欄杆影響	0°	—	◎
顫振臨界原速	+3° 至 -3° 間距為 3°	—	◎

表六 斷面模型原速試驗分項表

「庫沱實驗館系統整合測試暨庫沱性能驗證研究 (I)」
期中審查會議結果答詢

期中會議建議事項	籌建小組答覆說明
<p>方教授富民：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 庫沱試驗段(test section)測試除 10、20、30 m/s 庫速外，應加入更低庫速(如 1 至 5 m/s)之情況，以符合庫工程試驗之需求。 2. 在大庫庫沱試驗中，日於試驗量測處係位於試驗段之後段，截面積落二次流(secondary flow)之效應不容忽視。應考慮檢視其規模與強度，以為未來庫沉品質改善之依據。對試驗者而言，至少可作為試驗規劃之考量。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已加入以後實驗規劃。 2. 遵照辦理
<p>陳教授若華：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議利用驗證庫沱性能階段，保留操作過程之程序及注意事項以供建立標準操作程序。 2. 目前測試資料應加以整理保存，建立基本性能資料及圖表，以供日後定期驗證實驗室性能。 3. 庫沱實驗室的成長除硬體設備的建置之外，研究團隊的長期支持亦十分重要。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已開始逐步建立相關庫沱操作等相關操作作業程序。 2. 測試實驗的相關結果會彙整於期末報告或成果報告之中。 3. 建請建研所研究辦理。
<p>蕭教授葆羲：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 基本項目皆依約完成，值得肯定。 2. 有關庫沱基本性能之檢測，例如庫速均勻度、背景紊流強度，在期末報告應提出，以確定該庫沱之基本性能是否與設計一致。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 遵照辦理。

<p>王建築師立信(中華民國建築師公會全國聯合會代表):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議期末報告是否能增列庫汴實驗室建立的標準,以利民間有興趣投資庫汴實驗室有所依歸。 2. 建議對庫汴實驗數據的穩定性需再加強或瞭解其影響因子並尋求改善,方有助於未來建研所庫汴實驗公信力的建立及實驗品質的提昇。 3. 後續維修之經費,應每年編列,以利永續經營及品質保證。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.這次計畫並無規劃相關的研究項目,所以期末報告中無法建立相關標準。 2.基本性能測試實驗目的為瞭解庫汴
<p>廖技師子劍(中華民國土木技師公會全國聯合會代表):</p> <p>請研究庫汴完成後各年度操作維護費冊若干,並估計其經費來源如政府負擔若干,民間案件收入若干。</p>	<p>這次計畫並無規劃相關的研究項目,所以期末報告中無法建立相關標準。</p>
<p>盧教授博堅(中華民國庫工程學會代表):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 庫汴基本性能符合要求。 2. 低庫速段對將來應冊上很多,應測試其穩定度。 3. 應設置即時儀器校正的設施,在試驗前、試驗後校正儀器以增加其精確度。 4. 建立多頻道、多功能快速取樣系統。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.感謝委員肯定。 2.庫汴測試實驗會考慮測試之穩定度。 3.有購買部分校正儀器設備,可於實驗前後校正量測儀器。 4.儀器採購中有編列預算購買相關設備,已完成採購。

表七 期中審查會議結果答詢表

「庫汴實驗館系統整合測試暨庫汴性能驗證研究 (1)」

期末審查會議結果答詢

期末會議建議事項	籌建小組答覆說明
<p>方教授富氏：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 請增加進行橋樑與煙流試驗時遭遇之困難與建議。 2. 第一測試區截面速度均勻度不盡理想，極可能是因為收縮段收縮比不高之故，應考慮在整流紗網方面尋求改善。此外，請補列本截面紊流強度變化(等值圖)。 3. 為提供未來使用者參考，建議以表格詳列三個轉盤位置流場品質之相關資料(均勻度、紊流強度、邊界層厚度、縱向壓力梯度等)。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 會將意見轉知負責相關實驗的委員。 2. 基本性能相關測試持續進行中。 3. 基本性能相關測試持續進行中。
<p>陳教授振華：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計劃之庫汴性能與測試成果已達國際水準，且所進行的性能試驗、橋樑試驗與擴散試驗等，皆顯示本庫汴具有完整且足夠得試驗能量。 2. 在基本性能測試方面，溫度變化是影響實驗數據之重要原因，可進行了解與研擬對策。 3. 橋樑實驗已驗證本庫汴另一可研究之性能，此橋樑試驗之人員培訓是否納入人員訓練計劃中。 4. 庫汴試驗之性能校正測試結果之圖表製作，可供後續研究人員之參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 基本性能相關測試持續進行中。 3. 相關培訓計畫會轉請鄭教授安排。 4. 基本性能相關測試持續進行中。

<p>林教授立賢：</p> <p>1.當庫沛實驗室在「運作」時是否能撰寫其「運作時注意事項」以確保生命財產之安全。</p> <p>2.報告表之“圖”與“表”，希望能作說明，以利讀取試驗結果。</p> <p>3.第 13 頁；請說明庫崩轉速與變頻器頻率的關係，以利應用。</p> <p>請敘述各種試驗模型製作條件及測試範圍，另說明合格與否之判斷條件。</p> <p>第 72 頁；請說明圖 11 之 ($z=6\text{cm}$)結果，其變化是因何種原因所產生。</p>	<p>1.庫沛開關機操作程序已經有制訂。</p> <p>2.遵照辦理。</p> <p>3.已於審查會中答覆。</p> <p>4.已於審查會中答覆。</p> <p>5.基本性能相關測試持續進行中。</p>
<p>陳教授大農：</p> <p>1.已完成預期成果第 1、2 項庫沛本體、庫崩、變頻器之試車及測試，證明可提供實驗驗證之運作，但需作長期之微諒。</p> <p>2.以橋樑測試(以高層斜張橋)在淡水與本實驗室測試結果比對，可證明其測試之可用性。</p> <p>3.軟硬體之設施與性能可繼續測試驗證其性能，但實驗人員之培訓在本計畫中之要求，尚未完成或尚未作說明。此將無法傳承試驗技術與經驗，直接影響測試成果與品質。</p>	<p>1.建請使用單位注意相關細節。</p> <p>2.感謝委員肯定。</p> <p>3.已經進行相關人員教育訓練。</p>

表八 期末審查會議結果答詢

附 錄

內政部建築研究所建築風洞實驗設備
工程協調會議

主旨：風洞試車檢討會議

地點：建研所性能實驗群會議室

時間：93年04月02日

會議主持人：甘若易 教授

出席者：如會議出席簽名紀錄

記錄：李信宏

會議決議事項：

- 1、試車過程建研所性能實驗群、風洞籌備小組、中錙、豪頓及仕大皆派員出席參與，試車過程因考慮上蓋板承受性，當轉速達到360rpm時3300V電源發生跳電，故風扇轉速只測至350rpm，此時第一測試段風速已超過合約中30m/s合乎標準，整體試車完成。
- 2、風扇在轉速350rpm時，風扇性能為87%合乎合約中標準，噪音亦滿足規範中所要求如附件，豪頓公司風扇性能及空義動力測試如附件。
- 3、風扇最高轉速可達390rpm，日後籌備小組繼續進行測試，而豪頓公司亦會派員出席。
- 4、中錙公司、豪頓公司及仕大電機等廠商將分別把測試報告行文至內政部建築研究所。

Architecture & Building Research Institute

Test Report

Aerodynamic test on wind tunnel fan 475GN+3EME

for

ABRI wind tunnel

2004-04-29

Table of Contents

1. Measurement Instruments

1-1 Specifications of Measurement Instruments

1-2 Measurement the correction relation of pressure transducer

2. Measurement of the static fan pressure rise and velocity of first test

section

2-1 The sketch map of the experiments

2-2 The results of experiments

2-2-1. Evaluation Velocity in First Test Section (2F)----section 0

2-2-2 Evaluation Static Pressure Rise in Fan Region (B1)

----section 1 and section 2

2-2-3. Evaluation Fan Power

1 Measurement Instruments

1-1 Specifications of Measurement Instruments

- Pressure transducer : Vaydye DP45-22 (0~1400pa)
- A/D Converter : **IOTech ADC-488/8SA**
- Thermocouple : FLUKE 54II (Display Resolution $0.01^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}/\text{K} < 1000^{\circ}$)

1-2 Measurement the correction relation of pressure transducer

Before measurement the static pressure rise, we use the pressure calibrator(Druck DPI-610) to calibrate the pressure transducer. The pressure calibrator can be supplied with full scale different output range of 25 mbar.

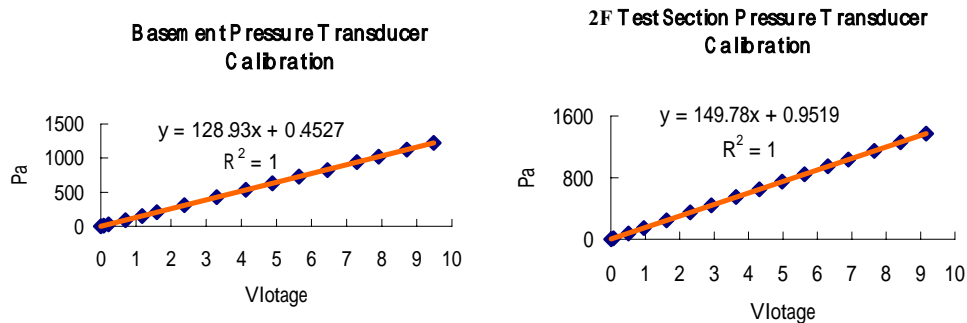


Fig.1 The calibration of pressure transducers

2 Measurement of the static fan pressure rise and velocity of first test section

2-1 The sketch map of the experiments

Position and designation of cross sections

First test section (2F)---Section 0

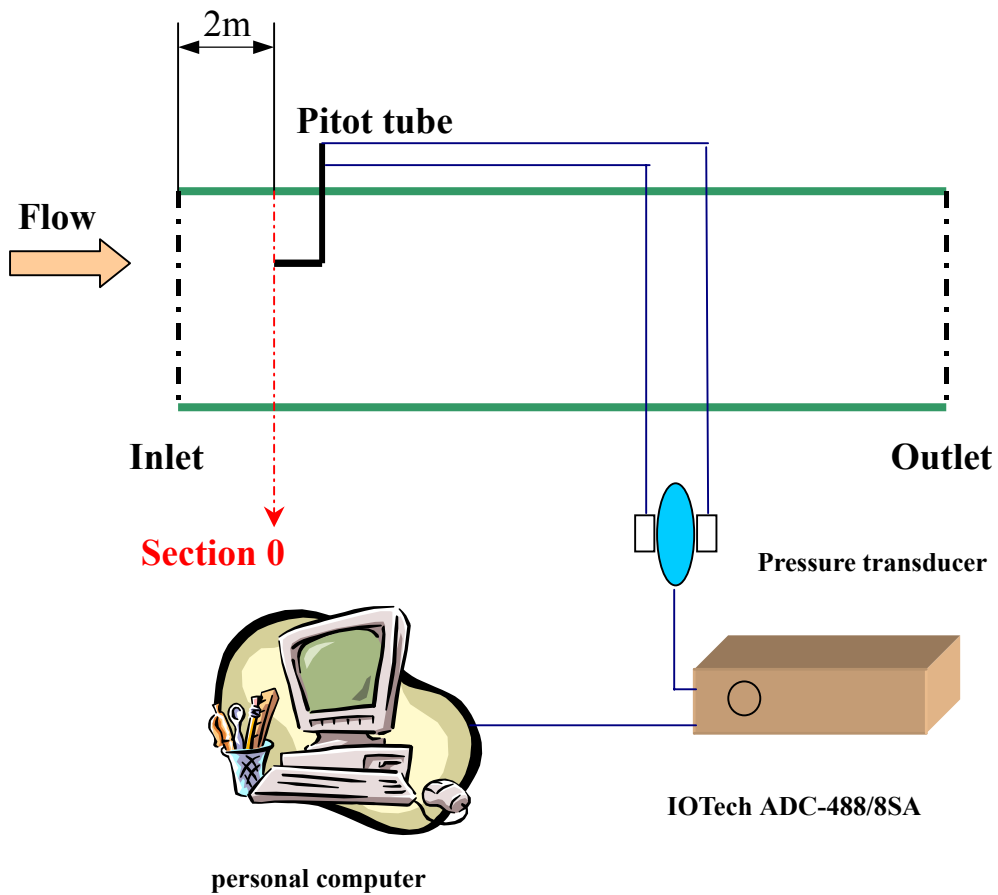


Fig 2 The sketch map of the velocity experiment

Fan region(B1)--- Section 1 and Section 2

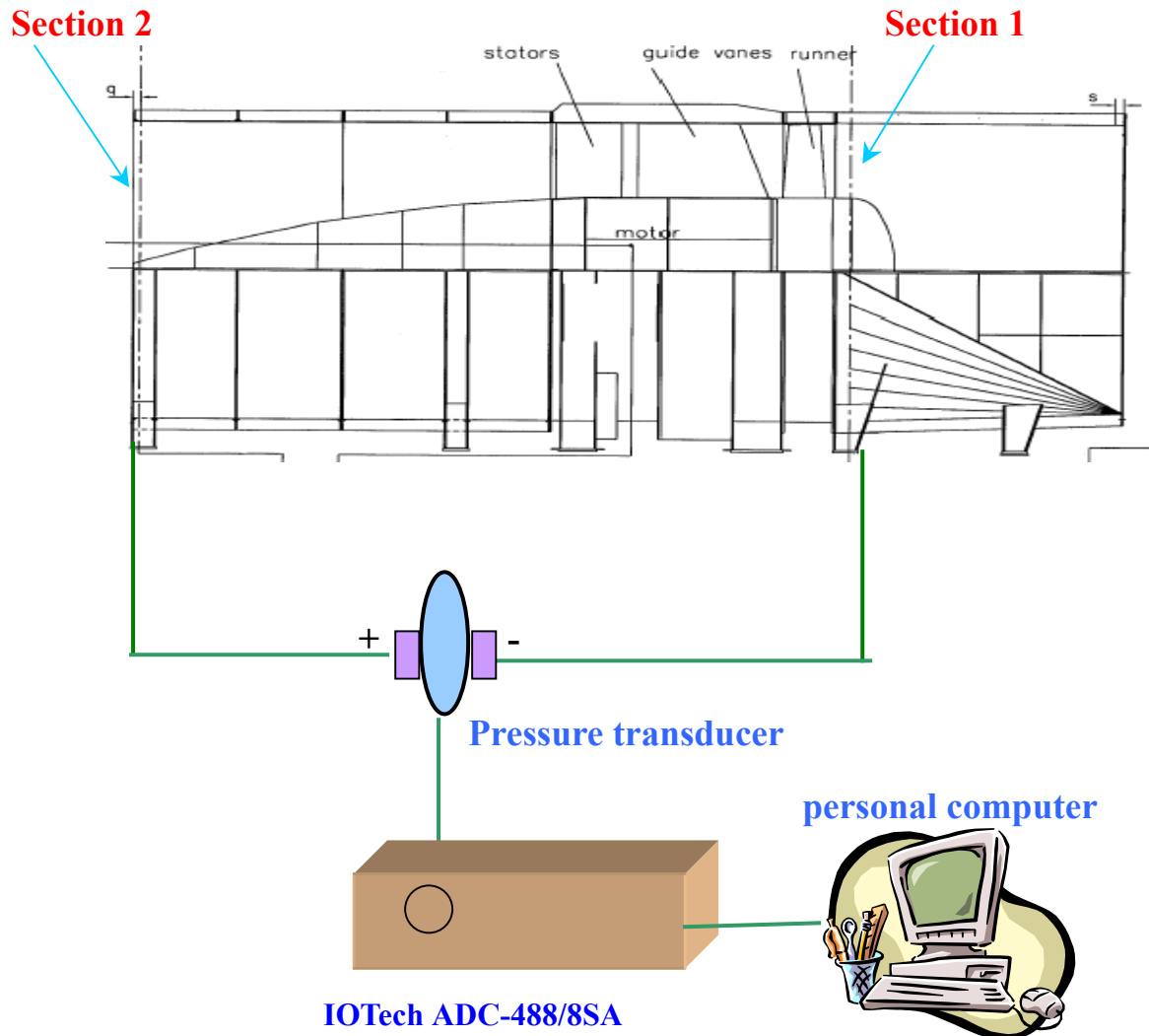


Fig 3 The sketch map of the fan pressure rise experiment

2-2 The results of experiments

Compared with ABRI and Howden results of the test :

2-2-1. Evaluation Velocity in First Test Section (2F)-----section 0

EXP 1: Open the Downstream Flaps (2004-04-29 morning)

Input	Measure Values		Evaluation Values		
	Voltage average	Temperature ($^{\circ}C$)	Dynamic pressure (Pa)	Density (kg/m^3)	Velocity (m/s)
20	-0.001	29.5	1.157	1.167	1.408
50	0.05	30.3	8.253	1.164	3.765
100	0.287	31.1	43.866	1.161	8.692
150	0.689	31.8	104.176	1.158	13.410
200	1.276	32.3	192.089	1.156	18.225
250	2.029	33	304.885	1.154	22.987
300	2.946	33.9	442.137	1.151	27.722
330	3.605	34.6	540.892	1.148	30.697
350	4.042	35.5	606.392	1.145	32.550
360	4.291	36.2	643.723	1.142	33.575
370	4.547	36.7	682.030	1.140	34.588
380	4.754	38.3	713.032	1.134355	35.456
390	4.982	38.8	747.192	1.132537	36.324

Table1. Experiment data of each runner speed in **Section 0** for **ABRI (EXP1)**.

EXP2: Close the Downstream Flaps (2004-04-29 afternoon)

Input	Measure Values		Evaluation Values		
	Voltage	Temperature ($^{\circ}C$)	Dynamic pressure (Pa)	Density (kg/m^3)	Velocity (m/s)
100	0.281	35.5	43.077	1.145	8.676
200	1.275	36.3	191.874	1.142	18.334
300	2.945	37.7	442.028	1.137	27.89
350	4.054	39	608.121	1.132	32.781
390	4.985	40.2	747.663	1.127	36.418

Table2. Experiment data of each runner speed in **Section 0** for **ABRI (EXP2)**.

Voith Howden : Measurement Data—section 0

Input	Measure Values		Evaluation Values	
	Dynamic pressure	coor. (Pa)	Density (kg/m^3)	Velocity (m/s)
Runner speed (RPM)				

50	11	1.163	4.4
100	60	1.163	10.2
150	141	1.172	15.5
200	256	1.168	20.9
250	403	1.163	26.3
300	601	1.158	32.2
330	727	1.156	35.5
350	815	1.151	37.6

Table3. Measurement data of each runner speed in **Section 0** for **Howden**

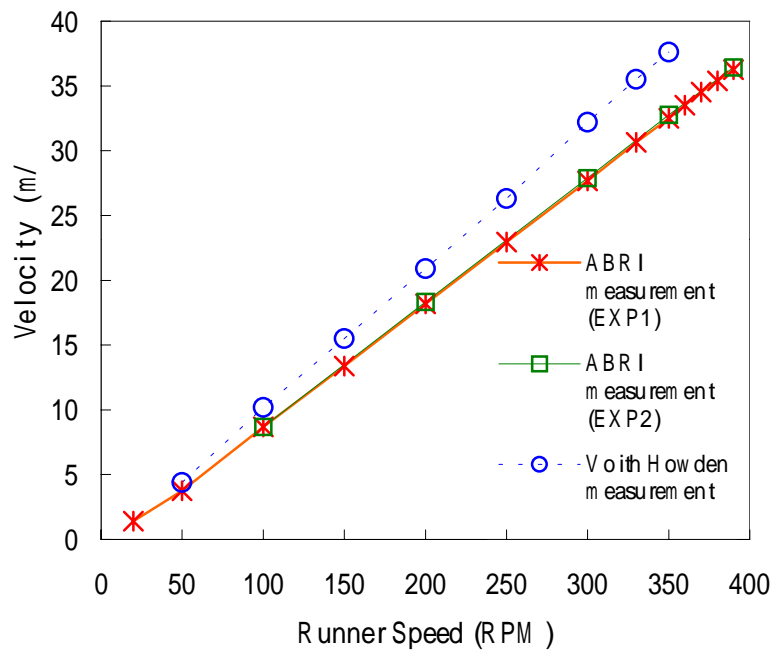


Fig 4. Velocity profile of each runner speed in **Section 0** for **ABRI** and **Howden**.

2-2-2 Evaluation Static Pressure Rise in Fan Region (B1)

----section 1 and section 2

EXP 1: Open the Downstream Flaps (2004-04-29 morning)

Input	Measure Values	Evaluation Values
Runner speed (RPM)	Voltage average (V)	Static pressure rise ΔP_{st1-2} (Pa)
20	0.017	2.696
50	0.169	22.188
100	0.677	87.695
150	1.52	196.761
200	2.705	349.232
250	4.242	547.43
300	6.056	781.202
330	7.399	954.354
350	8.231	1061.678
360	8.501	1096.484
370	9.18	1184.03
380	9.640	1243.338
390	10.085	1300.712

Table4. Experiment data of each runner speed in **Fan Region** for **ABRI** (EXP1).

EXP 2: Close the Downstream Flaps (2004-04-29 morning)

Input	Measure Values	Evaluation Values
Runner speed (RPM)	Voltage average (V)	Static pressure rise (Pa)
100	0.668	86.61
200	2.664	343.956
300	5.999	773.966
350	8.136	1049.406
390	9.95	1283.306

Table5. Experiment data of each runner speed in **Fan Region** for **NCKU** (EXP2).

Input	Measure Values	Evaluation Values
Runner speed (RPM)	Static pressure rise ΔP_{st1-2} (Pa)	Total pressure rise (Pa)
50	19	16
100	85	71
150	198	163
200	353	290
250	550	452
300	785	641
330	949	776
350	1060	869

Table6. Measurement data of each runner speed in **Fan Section** for **Howden**

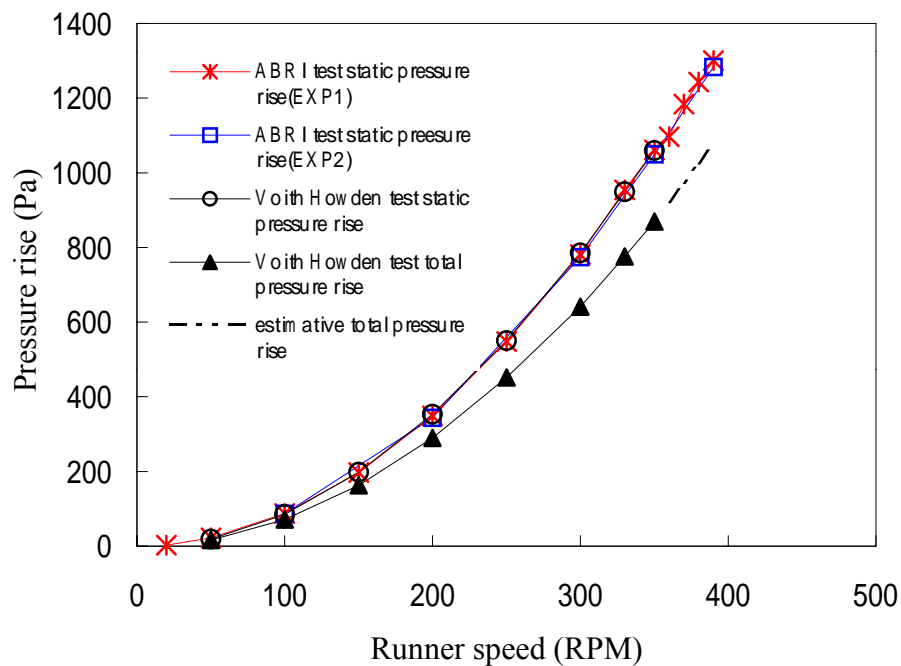


Fig 5. Static and total pressure rise of each runner speed in **Fan Region** for **ABRI** and **Howden** .

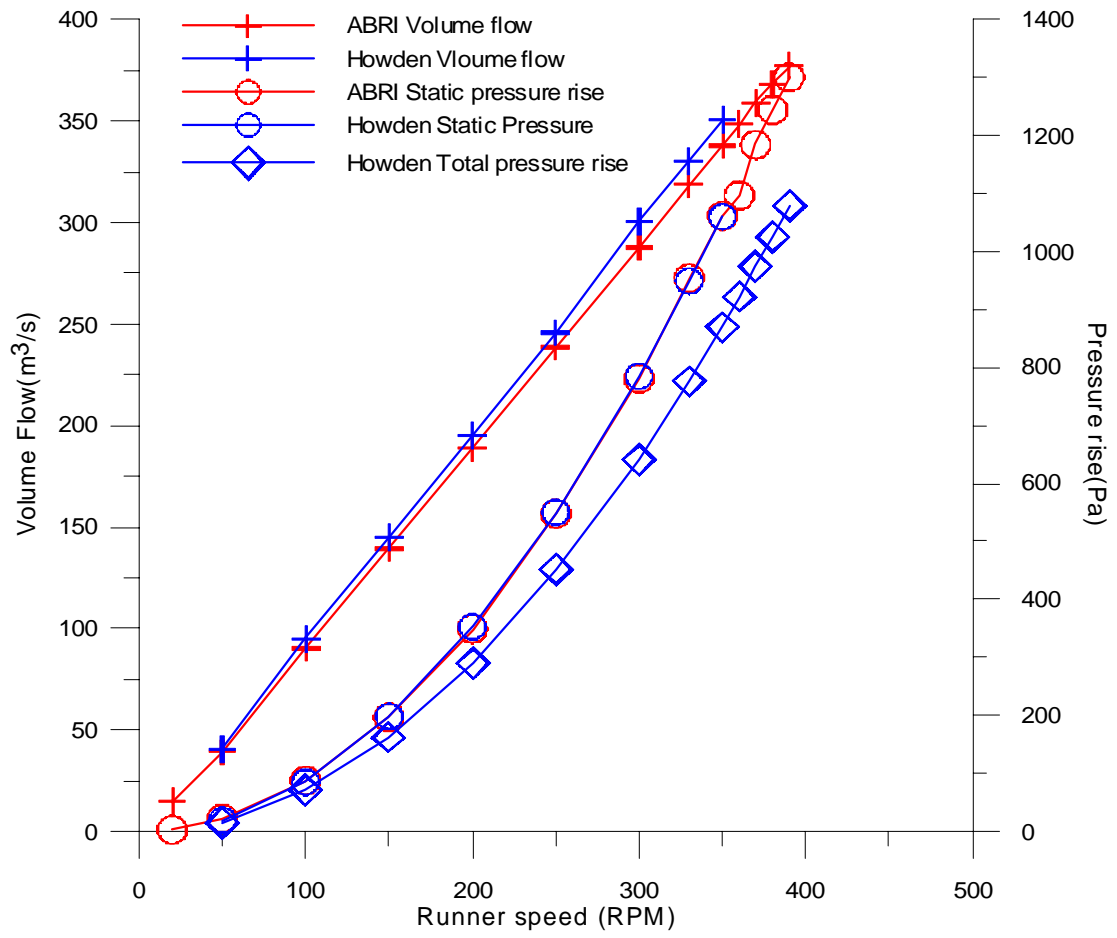


Fig 7. Static and total pressure rise and volume flow rate of each runner speed in **Fan Region** for **ABRI and Howden** .

2-2-3. Evaluation Fan Power

EXP 1: Open the Downstream Flaps (2004-04-29 morning)

Time	Runner speed (RPM)	Voltage	Current	Power (KW)
1049	20	170	63.4	10.778
1055	50	430	63.1	27.133
1103	100	858	63.5	54.483
1110	150	1287	65.1	83.784
1116	200	1724	69.3	119.473
1123	250	2160	76.6	165.456
1128	300	2600	88.5	230.100
1131	330	2866	98.5	282.301
1135	350	3041	105.5	320.826
1140	360	3132	110.4	345.773
1145	370	3125	114.2	356.875
1155	380	3251	119.8	389.470
1200	390	3302	124.9	412.420

Table7. Fan power of each runner speed for **ABRI** (EXP1).

EXP 2: Close the Downstream Flaps (2004-04-29 morning)

Time	Runner speed (RPM)	Voltage	Current	Power (KW)
1320	100	859	63.7	54.718
1328	200	1725	69.2	119.37
1342	300	2597	87.8	228.017
1350	350	3041	105.2	319.913
1355	390	3170	126.5	401.005

Table8. Fan power of each runner speed for **ABRI** (EXP2).

Voith Howden measurement data:

Runner speed (RPM)	Power (KW)
50	1.9
100	6.8
150	27.3
200	65.4
250	125.7
300	222
330	294.7
350	350

Table9. Fan power of each runner speed for **Howden** .

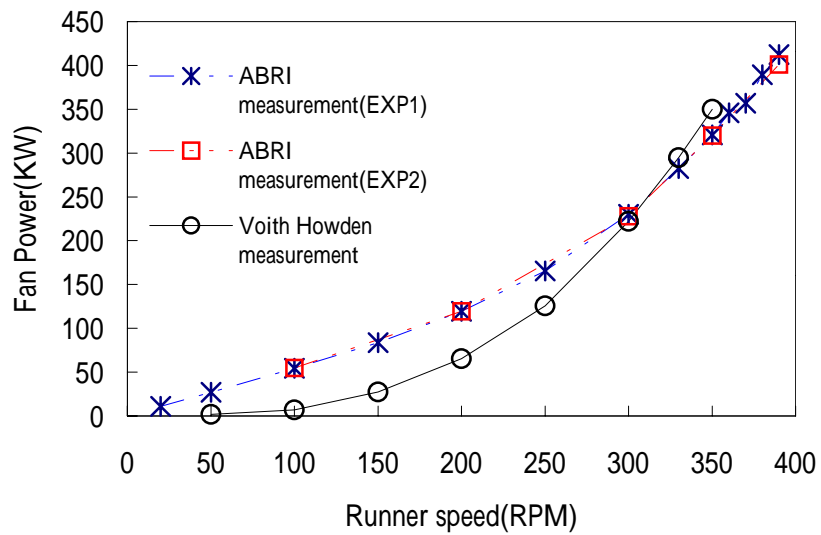


Fig6. Fan power distribution of each runner speed for **Howden** and **ABRI** .

Tanmen - Parameter Dump
Drive Software - Version 2.4.0 01-22-03

March 30, 2004 4:53 A.M.

Description	ID	Lvl
(讀取數據條件如下)		
Main - Sec. level: 8	5	0
Motor	1	0
Motor parameter	1000	0
Motor frequency = 52.0 Hz	*1020	5
Full load speed = 382.0 rpm	*1030	5
Motor voltage = 3300.0 V	*1040	5
Full load current = 138.0 A	*1050	5
No load current = 44.0 %	*1060	5
Motor kW Rating = 500.0 kW	*1010	5
Leakage inductance = 16.0 %	1070	5
Stator resistance = 1.95 %	*1080	5
Inertia = 30.0 Kgm2	1090	5
Limits	1120	0
Overload select = Constant	1130	0
Overload Pending = 100.0 %	1139	0
Overload = 130.0 %	1140	0
Overload timeout = 60.0 sec	1150	0
Speed Derate Curve	1151	0
0 Percent Break Point = 0.0 %	1152	0
10 Percent Break Point = 31.6 %	1153	0
17 Percent Break Point = 41.2 %	1154	0
25 Percent Break Point = 50.0 %	1155	0
50 Percent Break Point = 70.7 %	1156	0
100 Percent Break Point = 100.0 %	1157	0
Motor trip volts = 3800.0 V	*1160	0
Maximum Load Inertia = 2850.0 Kgm2	*1159	0
Overspeed = 130.0 %	1170	0
Underload enable = Disable	1180	0
I underload = 10.0 %	1182	0
Under load timeout = 10.0 sec	1186	0
Motor torque limit 1 = 100.0 %	1190	0
Regen torque limit 1 = -0.300 %	*1200	0
Motor torque limit 2 = 100.0 %	1210	7
Regen torque limit 2 = -0.250 %	1220	7
Motor torque limit 3 = 100.0 %	1230	7
Regen torque limit 3 = -0.250 %	1240	7
Phase Imbalance Limit = 40.0 %	1244	0
Ground Fault Limit = 5.00 %	1245	0
Ground Fault Time Constant = 0.0170 sec	1246	0
Encoder	1280	0
Encoder 1 PPR = 720	1290	0
Encoder filter gain = 0.0	1300	7
Encoder loss threshold = 0.0 %	1310	7
Encoder loss response = stop (fault)	1320	7

Drive	2 0
Drive parameters	2000 0
Rated input voltage = 2300.0 V	*2010 0
Rated input current = 155.0 A	*2020 0
Rated output voltage = 3300.0 V	*2030 0
Rated output current = 200.0 A	*2040 0
Control loop type = CLVC	2050 7
Speed setup	2060 0
Ratio control = 1.00 %	2070 0
Speed fwd max limit 1 = 100.0 %	2080 0
Speed fwd min limit 1 = 0.0 %	2090 0
Speed fwd max limit 2 = 100.0 %	2100 7
Speed fwd min limit 2 = 0.0 %	2110 7
Speed fwd max limit 3 = 100.0 %	2120 7
Speed fwd min limit 3 = 0.0 %	2130 7
Speed rev max limit 1 = 0.0 %	*2140 0
Speed rev min limit 1 = 0.0 %	2150 0
Speed rev max limit 2 = -100.0 %	2160 7
Speed rev min limit 2 = 0.0 %	2170 7
Speed rev max limit 3 = -100.0 %	2180 7
Speed rev min limit 3 = 0.0 %	2190 7
Zero speed = 0.0 %	2200 0
Speed ramp setup	2260 0
Accel time 1 = 400.0 sec	*2270 0
Decel time 1 = 200.0 sec	*2280 0
Accel time 2 = 5.00 sec	2290 7
Decel time 2 = 5.00 sec	2300 7
Accel time 3 = 5.00 sec	2310 7
Decel time 3 = 5.00 sec	2320 7
Jerk rate = 1.00	*2330 0
Critical freq	2340 0
Skip center freq 1 = 15.0 Hz	2350 0
Skip center freq 2 = 30.0 Hz	2360 0
Skip center freq 3 = 45.0 Hz	2370 0
Skip bandwidth 1 = 0.0 Hz	2380 0
Skip bandwidth 2 = 0.0 Hz	2390 0
Skip bandwidth 3 = 0.0 Hz	2400 0
Spinning load	2420 0
Spinning load mode = Forward	*2430 0
Scan and threshold = 20.0 %	2440 0
Current Level SetPoint = 15.0 %	2450 0
Current ramp = 0.0100 sec	2460 0
Max current = 50.0 %	2470 0
Frequency scan rate = 3.00 sec	2480 0
Cool time setup	2490 0
Cool stop timer = 0.800 sec	2500 0
Cool run timer = 0.800 sec	2510 0

Cells	2530	0
Installed cells/phase = 3	*2530	5
Mix cell count (a2I) = 2	*2540	5
Cell voltage = 630	2550	5
Thermistor warn level = 30.0 %	2560	5
Converter settling time = 200.0 msec	2570	5
Max back EMF decay time = 7.00 sec	2580	5
Bypass type = Mech	2590	7
Fast bypass = Enable	*2600	7
Neutral connection = T1	*2630	7
	2700	7
Sync transfer	2710	7
Phase I gain = 2.00	2720	7
Phase P gain = 4.00	2730	7
Phase offset = 0.0 deg	2740	7
Phase error threshold = 1.50 deg	2750	7
Frequency offset = 0.0 %	2760	7
Up transfer timeout = 0.0 sec	2770	7
Down transfer timeout = 0.0 sec		
	2800	5
External I/O	*2810	5
Analog inputs = 2	*2820	5
Analog outputs = 4	*2830	5
Digital inputs = 12	*2840	5
Digital outputs = 12	2850	5
Watch timeout = 0.0 sec		
	2900	0
Output Connection	2910	0
Filter CT sec turns = 0.0	2920	0
Filter inductance = 0.0 %	2930	0
Filter capacitance = 0.0 %	2940	0
Cable resistance = 0.0 %	2950	0
Filter damping gain = 0.500		
	3	0
Stability	3000	7
Input processing	3010	7
PLL prop gain = 70.0	3020	7
PLL integral gain = 3840.0	3030	7
Input current scaler = 1.00	3035	7
CT secondary turns = 200	3040	7
Input voltage scaler = 1.00		
Output processing	3050	7
Low freq comp	3060	7
Low Freq Wo = 12.6 Rad	3070	7
Low freq com gain = 1.00	3080	7
S/W compensator pole = 2.00	3090	7
Flux control	3100	7
Flux reg prop gain = 1.72	3110	7
Flux reg integral gain = 1.00	3120	7
Flux filter time const = 0.0667	3130	7
Flux demand = 1.00	3150	7
Flux ramp rate = 0.500 sec	3160	7

Energy saver min IMX = 10000	3190	7
Idc DC = 10.0 %		
Speed loop	3200	7
Speed reg prop gain = 0.0200	3210	7
Speed reg integral gain = 0.0460	3220	7
Speed reg KF gain = 0.600	3230	7
Speed filter time const = 0.0488	3240	7
Current loop	3250	7
Current reg prop gain = 0.500	3260	7
Current reg integ gain = 25.0	3270	7
Prop gain during brake = 0.160	3280	7
Integ gain during brake = 9.60	3290	7
Stator res est	3300	7
Stator resistance est = Off	3310	7
Stator res filter gain = 0.0	3320	7
Stator res integ gain = 0.00200	3330	7
Braking	3350	7
Enable braking = Off	3360	7
Pulsation frequency = 277.5 Hz	*3370	7
Brake power lost = 0.250 %	3390	7
VD Loss Max = 0.250	3400	7
Braking constant = 1.05	3410	7
Output current scaler = 1.00	3440	7
Output voltage scaler = 1.00	3450	7
Control loop test	3460	7
Test type = Speed	3470	7
Test positive = 30.0 %	3480	7
Test negative = -30.0 %	3490	7
Test time = 30.1 sec	3500	7
Dead time comp = 16.0 usec	3550	7
Feed forward constant = 0.0	3560	7
Carrier frequency = 601.3 Hz	*3580	7
Auto	4	5
Speed profile	4000	5
Entry point = 0.0 %	4010	5
Exit point = 100.0 %	*4020	5
Entry speed = 0.0 %	4030	5
Exit speed = 100.0 %	*4040	5
Amp off = 0.0 %	4050	5
Delay off = 0.500 sec	4060	5
Auto on = 0.0 %	4070	5
Delay on = 0.500 sec	4080	5
Analog inputs	4090	5
Analog input #1	4100	5
Source = Ext 1	4105	5

Type = 4 - 20ma	4110	5
Min input = 0.0 %	4120	5
Max input = 100.0 %	4130	5
Loss point threshold = 15.0 %	4140	5
Loss of signal action = Stop	*4150	5
Loss of signal setpoint = 20.0 %	4160	5
Analog input #2		
Source = Off	4170	5
Type = 4 - 20ma	4175	5
Min input = 0.0 %	4180	5
Max input = 100.0 %	4190	5
Loss point threshold = 15.0 %	4200	5
Loss of signal action = Preset	4210	5
Loss of signal setpoint = 20.0 %	4220	5
	4230	5
Analog input #3		
Source = Off	4232	5
Type = 4 - 20ma	4233	5
Min input = 0.0 %	4234	5
Max input = 100.0 %	4235	5
Loss point threshold = 15.0 %	4236	5
Loss of signal action = Preset	4237	5
Loss of signal setpoint = 20.0 %	4238	5
	4239	5
Auxiliary input #1		
Source = Off	4500	5
Type = 4 - 20ma	4510	5
Min input = 0.0 %	4520	5
Max input = 100.0 %	4530	5
Loss point threshold = 15.0 %	4540	5
Loss of signal action = Preset	4550	5
Loss of signal setpoint = 20.0 %	4560	5
	4570	5
Auxiliary input #2		
Source = Off	4580	5
Type = 4 - 20ma	4590	5
Min input = 0.0 %	4600	5
Max input = 100.0 %	4610	5
Loss point threshold = 15.0 %	4620	5
Loss of signal action = Preset	4630	5
Loss of signal setpoint = 20.0 %	4640	5
	4650	5
Analog outputs		
Analog output #1		
Analog variable = Motor Speed	4660	5
Output module type = Unip	*4662	5
Full range = 100.0 %	4663	5
	*4664	5
Analog output #2		
Analog variable = Total Current	4665	5
Output module type = Unip	4666	5
Full range = 139.0 %	4667	5
	*4668	5

Analog output #3	4669	5
Analog variable = Motor Voltage	*4670	5
Output module type = Unip	4671	5
Full range = 112.0 %	*4672	5
Analog output #4	4673	5
Analog variable = Motor Speed	*4674	5
Output module type = Unip	4675	5
Full range = 119.0 %	*4676	5
Speed setpoints	4240	5
Speed setpoint 1 = 0.0 rpm	4250	5
Speed setpoint 2 = 0.0 rpm	4260	5
Speed setpoint 3 = 0.0 rpm	4270	5
Speed setpoint 4 = 0.0 rpm	4280	5
Speed setpoint 5 = 0.0 rpm	4290	5
Speed setpoint 6 = 0.0 rpm	4300	5
Speed setpoint 7 = 0.0 rpm	4310	5
Speed setpoint 8 = 0.0 rpm	4320	5
Jog speed = 0.0 rpm	4330	5
Safety setpoint = 0.0 rpm	4340	5
Incremental speed setup	4970	7
Speed increment 1 = 1.00 %	4971	7
Speed decrement 1 = 1.00 %	4972	7
Speed increment 2 = 5.00 %	4973	7
Speed decrement 2 = 5.00 %	4974	7
Speed increment 3 = 10.0 %	4975	7
Speed decrement 3 = 10.0 %	4976	7
PID select	4350	5
Prop gain = 0.390	4360	5
Integral gain = 0.390	4370	5
Diff gain = 0.0	4380	5
Min clamp = 0.0 %	4390	5
Max clamp = 100.0 %	4400	5
Setpoint = 0.0 %	4410	5
Comparator setup	4800	5
Comparator 1 setup	4810	5
Comp 1 A in variable = Manual value	4811	5
Comp 1 B in variable = Manual value	4812	5
Comp 1 manual value = 0.0 %	4813	5
Compare 1 type = Off	4815	5
Comparator 2 setup	4820	5
Comp 2 A in variable = Manual value	4821	5
Comp 2 B in variable = Manual value	4822	5
Comp 2 manual value = 0.0 %	4823	5
Compare 2 type = Off	4825	5
Comparator 3 setup	4830	5
Comp 3 A in variable = Manual value	4831	5
Comp 3 B in variable = Manual value	4832	5

Comp 30 manual value = 0.0 %	4492	5
Compare 30 type = Off	4494	5
Comparator 31 setup	4496	5
Comp 31 A in variable = Manual value	4497	5
Comp 31 B in variable = Manual value	4498	5
Comp 31 manual value = 0.0 %	4499	5
Compare 31 type = Off	4501	5
Comparator 32 setup	4502	5
Comp 32 A in variable = Manual value	4503	5
Comp 32 B in variable = Manual value	4504	5
Comp 32 manual value = 0.0 %	4505	5
Compare 32 type = Off	4507	5
Logs	6	0
Historic log	6250	0
Store in Event Log = On	6255	7
Historic log variable 1 = Mtr Speed	6260	0
Historic log variable 2 = Spd Dmd	6270	0
Historic log variable 3 = Trq I Cmd	6280	0
Historic log variable 4 = Trq I Fdbk	6290	0
Historic log variable 5 = I Total Out	6300	0
Historic log variable 6 = Mag I Fdbk	6310	0
Historic log variable 7 = Mtr Flux	6320	0
Drive protect	7	0
Input protection	7000	0
Single phasing	7010	0
SPD prop gain = 0.0	7020	0
SPD integral gain = 0.00100	7030	0
SPD threshold = 50.0 %	7040	0
Undervoltage prop gain = 0.0	7060	0
Undervoltage integ gain = 0.00100	7070	0
1 Cyc Protect integ gain = 0.00250	7080	0
1 Cycle Protect Limit = 50.0 %	7081	0
Xformer tap setting = +5 %	*7050	0
Xformer thermal gain = 0.0133	7090	0
Xformer protection const = 0.375	7100	0
Phase Imbalance Limit = 40.0 %	7105	0
Ground Fault Limit = 40.0 %	7106	0
Ground Fault Time Const = 0.200 sec	7107	0
Drive IOC setpoint = 150.0 %	7110	0
Cell Overload Level = 100.0 %	7112	7
Auto reset enable = No	7120	7
Auto reset time = 1.00 sec	7130	0
Auto reset attempts = 4	7140	0
Auto reset memory time = 10.0 sec	7150	0
Meter	8	0
Display params	8000	0
Status variable 1 = ITOT	*8001	0

Data To Drive Reg 59 = None	9659	7
Data To Drive Reg 60 = None	9660	7
Data To Drive Reg 61 = None	9661	7
Data To Drive Reg 62 = None	9662	7
Data To Drive Reg 63 = None	9663	7
Data To Drive Reg 64 = None	9664	7
Network 2 Configure	9914	7
Network 2 Type = None	9915	7
SCP & serial functions	9110	0
Menu based Timer setup	9111	7
MenuTimer1 = 0.0 sec	9112	7
MenuTimer2 = 0.0 sec	9113	7
MenuTimer3 = 0.0 sec	9114	7
MenuTimer4 = 0.0 sec	9115	7
MenuTimer5 = 0.0 sec	9116	7
MenuTimer6 = 0.0 sec	9117	7
MenuTimer7 = 0.0 sec	9118	7
MenuTimer8 = 0.0 sec	9119	7
MenuTimer9 = 0.0 sec	9121	7
MenuTimer10 = 0.0 sec	9122	7
MenuTimer11 = 0.0 sec	9123	7
MenuTimer12 = 0.0 sec	9124	7
MenuTimer13 = 0.0 sec	9125	7
MenuTimer14 = 0.0 sec	9126	7
MenuTimer15 = 0.0 sec	9127	7
MenuTimer16 = 0.0 sec	9128	7
Select system program = 180A0192.HEX	*9145	7
Multiple config files = OFF	9185	5
TCP/IP server name = 172.17.106.190	*9000	0
Graphing	10	0
Time scale = 100.0 sec	*10000	0
Variable 1	10010	0
Graph variable = Speed dmsl	*10020	0
Offset = -400.0	*10030	0
Scale factor = 400.0	*10040	0
Variable 2	10050	0
Graph variable = Mtr speed	*10060	0
Offset = -300.0	*10070	0
Scale factor = 300.0	*10080	0
Variable 3	10090	0
Graph variable = Iqs	*10100	0
Offset = 0.0	10110	0
Scale factor = 1.00	10120	0
Variable 4	10130	0
Graph variable = Idh	*10140	0
Offset = 0.0	10150	0

Scale factor = 1.00	10160 0
Variable 5	10170 0
Graph variable = Out freq	*10180 0
Offset = -400.0	*10190 0
Scale factor = 400.0	*10200 0
Variable 6	10210 0
Graph variable = Spd ref	*10220 0
Offset = -400.0	*10230 0
Scale factor = 400.0	*10240 0
Variable 7	10250 0
Graph variable = None	10260 0
Offset = 0.0	10270 0
Scale factor = 1.00	10280 0
Variable 8	10290 0
Graph variable = None	10300 0
Offset = 0.0	10310 0
Scale factor = 1.00	10320 0
Variable 9	10330 0
Graph variable = None	10340 0
Offset = 0.0	10350 0
Scale factor = 1.00	10360 0
Variable 10	10370 0
Graph variable = None	10380 0
Offset = 0.0	10390 0
Scale factor = 1.00	10400 0
DACs setup	10500 8
DAC 1 variable = None	10510 8
DAC 1 scaler = 0.0	10520 8
DAC 2 variable = None	10530 8
DAC 2 scaler = 0.0	10540 8
DAC 3 variable = None	10550 8
DAC 3 scaler = 0.0	10560 8
DAC 4 variable = None	10570 8
DAC 4 scaler = 0.0	10580 8
DAC 5 variable = None	10590 8
DAC 5 scaler = 0.0	10600 8
DAC 6 variable = None	10610 8
DAC 6 scaler = 0.0	10620 8
Select language = English	9081 0



Three Phase Readings - 03/30/04 03:57:35

Location: Aerospace Research Center of National C.E. University - Tainan, Taiwan
 Circuit/Phase: Floor 41B - 100RDM
 Date: 03/30/04 03:57:35
 Observer: James Huang
 Readings from Clamp-on CT to A-phase and PT in Switchgear Cabinet

Summary Information

		Voltage		Current	
Frequency	59.98	RMS	113.09		6.23
Power		Peak	162.92		11.61
KW	34.82	DC Offset	0.05		-0.02
KVA	39.61	Crest	1.44		1.96
KVAR	-13.21	THD Res	1.54		4.95
Peak KW	*	THD Pos	1.54		4.98
Phase	18° lag	IRMS	1.74		1.33
Total PF	0.85	KFactor			1.81
DPF	0.96				

Harmonic Information

Order	3 Phase			3 Phase			3 Phase Power (KW)
	Freq	V Mag	%V RMS	V Mag	%I RMS	∠ φ°	
DC	0	0.05	0.04	0	0.02	0.32	0
1	59.98	113.09	100	0	6.08	97.65	-33
2	119.95	0.1	0.09	46	0.02	0.32	-158
3	179.93	0.28	0.25	-131	0.02	0.74	156
4	239.9	0.03	0.03	51	0.02	0.30	-56
5	299.88	1.55	1.37	3	0.14	2.25	172
6	359.86	0.04	0.03	148	0.02	0.32	-132
7	419.83	0.59	0.52	112	0.24	3.85	-71
8	479.81	0.02	0.02	177	0.02	0.32	38
9	539.79	0.24	0.21	49	0.02	0.32	55
10	599.76	0.01	0.01	141	0.01	0.16	-112
11	659.74	0.22	0.19	8	0.12	1.93	111
12	719.71	0.02	0.02	34	0	0.01	130
13	779.69	0.16	0.15	-77	0.12	1.95	-106
14	839.66	0.02	0.02	0	0	0.01	-72
15	899.64	0.09	0.08	-154	0.08	1.28	34
16	959.62	0.02	0.02	39	0.02	0.32	83
17	1019.59	0.06	0.06	49	0.14	2.25	-130
18	1079.57	0.02	0.02	-180	0	0.01	0
19	1139.54	0.09	0.08	73	0.02	0.32	-34
20	1199.52	0.01	0.01	-77	0	0.01	-143
21	1259.5	0.02	0.02	30	0.02	0.32	27
22	1319.47	0.01	0.01	-51	0	0.01	-117
23	1379.45	0.1	0.09	178	0.03	0.48	174
24	1439.42	0.02	0.02	105	0	0.01	398
25	1499.4	0.05	0.05	129	0.02	0.32	-105
26	1559.38	0.01	0.01	34	0	0.02	-32
27	1619.35	0.05	0.05	68	0.01	0.16	-73
28	1679.33	0.02	0.02	-154	0	0.01	-142
29	1739.3	0.14	0.08	-82	0.02	0.32	14
30	1799.28	0.01	0.01	-173	0	0.01	70
31	1859.25	0.05	0.04	-108	0.01	0.16	113

Three Phase Readings - 01/09/04 03:50:38

Location: Aerospace Research Center of National C.K. University - Tainan, Taiwan
 Circuit: Phase/Phase 41B - 200KPM
 Date: 01/09/04 03:50:38
 Observer: James Huang
 Readings from Clamp-on CT to A-phase and PT in Switchgear Cabinet.

Summary Information

		Voltage	Current
Frequency	59.98	RMS 114.27	15.99
Power		Peak 164.3	27.87
KW	90.79	DC Offset 0.09	-0.23
KVA	94.94	Crest 1.44	1.74
KVAR	-27.75	THD Row 1.67	4.93
Peak KW	*	THD Fund 1.67	4.97
Phase	77 deg	HRMS 1.9	2.28
Total PF	0.96	KFactor	1.56
DPF	0.96		

Harmonics Information

	Freq	V Mag	%V RMS	3 Phase V φ°	I Mag	%I RMS	3 Phase I φ°	3 Phase Power (KW)
DC	0	0.09	0.08	0	0.11	0.69	0	*
1	59.98	114.27	100	0	15.82	98.95	-22	*
2	119.95	0.11	0.1	32	0.02	0.13	-138	*
3	179.91	0.41	0.36	-120	0.82	5.13	98	*
4	239.8	0.02	0.02	88	0.01	0.06	-66	*
5	299.78	1.75	1.52	-5	0.68	4.25	125	*
6	359.66	0.05	0.04	-180	0.01	0.06	-34	*
7	419.63	0.46	0.4	102	1.02	6.38	-88	*
8	479.61	0.02	0.02	177	0.01	0.06	-79	*
9	539.58	0.23	0.21	58	0.02	0.13	70	*
10	599.56	0.01	0.01	8	0.02	0.13	-125	*
11	659.54	0.29	0.25	4	0.22	1.38	89	*
12	719.51	0.01	0.01	-13	0.01	0.06	-150	*
13	779.49	0.09	0.08	-69	0.12	0.75	-162	*
14	839.46	0.02	0.02	146	0.02	0.13	150	*
15	899.44	0.19	0.16	-115	0.11	0.69	-4	*
16	959.42	0.02	0.02	170	0.02	0.13	115	*
17	1019.39	0.09	0.08	-89	0.21	1.31	165	*
18	1079.37	0.02	0.02	-8	0.02	0.13	91	*
19	1139.35	0.1	0.09	21	0.14	0.88	-131	*
20	1199.32	0.02	0.02	-9	0.02	0.13	40	*
21	1259.3	0.04	0.03	-102	0.08	0.50	-97	*
22	1319.27	0.02	0.02	75	0.01	0.06	0	*
23	1379.25	0.09	0.07	-139	0.06	0.31	-34	*
24	1439.22	0.01	0.01	27	0.01	0.06	-51	*
25	1499.2	0.05	0.05	72	0.05	0.31	149	*
26	1559.18	0.01	0.01	134	0.01	0.06	-48	*
27	1619.15	0.06	0.05	0	0.04	0.25	136	*
28	1679.13	0.01	0.01	-41	0.01	0.06	-82	*
29	1739.11	0.09	0.08	-16	0.02	0.13	-150	*
30	1799.08	0.02	0.02	-109	0.02	0.13	179	*
31	1859.06	0.02	0.02	-158	0.03	0.19	-42	*

Three Phase Readings - 03/06/04 03:40:15

Location: Aerospace Research Center of National C.K. University - Tainan, Taiwan

Circuit/Phase/Phase #1B - 300RPM

Date: 03/06/04 03:40:15

Observer: James Huang

Readings from Clamp-on CT to A-phase and PT in Switchgear Cabinet * PT = 3300V/110V

Summary Information

			Voltage	Current
Frequency	59.98	RMS	113.6	40.23
Power		Peak	162.91	58.83
KW	229.49	DC Offset	0.02	-0.25
KVA	237.39	Crest	1.43	1.45
KVAR	-61.49	THD RMS	1.33	3.63
Peak KW	*	THD Peak	1.39	3.72
Phase	15° lag	HRMS	1.48	2.96
Total PF	0.97	KFactor		1.37
DPF	0.97			

Harmonics Information

	Freq.	3 Phase		3 Phase		3 Phase		3 Phase Power (KW)
		V Mag	%V RMS	V φ°	I Mag	%I RMS	I φ°	
DC	0	0.02	0.02	0	0.26	0.65	0	*
1	59.98	113.6	100	0	40.15	99.74	-15	*
2	119.95	0.03	0.03	22	0.03	0.07	-94	*
3	179.93	0.31	0.28	-148	0.45	1.12	101	*
4	239.9	0	0	-73	0.01	0.02	155	*
5	299.88	1.2	1.06	5	0.85	2.11	114	*
6	359.86	0.02	0.02	129	0.03	0.07	-92	*
7	419.83	0.34	0.3	112	0.02	2.29	-94	*
8	479.81	0.02	0.02	158	0.02	0.05	-55	*
9	539.78	0.24	0.21	65	0.02	0.05	-86	*
10	599.76	0.01	0.01	-99	0.02	0.05	-26	*
11	659.74	0.38	0.34	-6	0.61	1.52	71	*
12	719.71	0.03	0.03	138	0.01	0.02	-110	*
13	779.69	0.19	0.17	-44	0.29	0.72	98	*
14	839.66	0.01	0.01	-158	0.01	0.02	-163	*
15	899.64	0.19	0.17	-157	0.11	0.27	-146	*
16	959.62	0.05	0.05	34	0.01	0.02	-180	*
17	1019.59	0.42	0.37	150	0.71	1.76	46	*
18	1079.57	0.02	0.02	148	0.01	0.02	130	*
19	1139.54	0.16	0.14	-157	0.56	1.39	110	*
20	1199.52	0.01	0.01	-94	0.01	0.02	100	*
21	1259.5	0.10	0.09	50	0.12	0.30	85	*
22	1319.47	0.02	0.02	-137	0.02	0.05	-43	*
23	1379.45	0.08	0.07	150	0.09	0.22	-160	*
24	1439.42	0.01	0.01	148	0.03	0.07	58	*
25	1499.4	0.04	0.03	168	0.13	0.32	-80	*
26	1559.38	0.02	0.02	19	0.01	0.02	166	*
27	1619.35	0.04	0.03	3	0.03	0.07	-29	*
28	1679.33	0.01	0.01	0	0.01	0.02	25	*
29	1739.3	0.06	0.06	-141	0.07	0.17	71	*
30	1799.28	0.01	0.01	180	0.01	0.02	0	*
31	1859.25	0.09	0.08	-147	0.14	0.35	301	*

Time Phase Readings - 03/09/04 03:35:21

Location: Aerospace Research Center of National C.K. University - Taipei, Taiwan
 Circuit/Phase: Phase 41B - 320KPM
 Date: 03/09/04 03:35:21
 Observer: James Huang
 Readings from: Clamp-on CT to A-phase and PT in Switchgear Cabinet * PT = 3300V/139V

Summary Information

		RMS	Voltage	Current
Frequency	59.98		113.6	60.98
Power		Peak	162.91	95.24
KW	349.48	DC Offset	0.02	-0.25
KVA	328.95	Creep	1.43	1.45
KVAR	-87.68	THD Res	1.22	3.21
Peak KW	*	THD Pos	1.22	3.23
Phase	14° lag	HRMS	1.44	2.98
Total PF	0.97	KFactor		1.31
DFF	0.98			

Harmonic Information	Freq.	V Mag		3 Phase		1 Mag		3 Phase		3 Phase Power (KW)
		V	%V RMS	V	φ'	V	%V RMS	V	φ'	
DC	0	0.02	0.02	0	0	0.23	0.54	0	0	*
1	59.98	113.6	100	0	0	62.86	99.81	-15	*	*
2	119.95	0.02	0.02	20	20	0.04	0.03	-84	*	*
3	179.93	0.22	0.19	-148	-148	0.48	0.78	101	*	*
4	239.9	0	0	-73	-73	0.02	0.03	155	*	*
5	299.88	1.34	0.95	0	0	0.98	1.61	114	*	*
6	359.86	0.01	0.01	129	129	0.04	0.07	-92	*	*
7	419.83	0.32	0.28	112	112	1.12	1.84	-84	*	*
8	479.81	0	0	158	158	0.03	0.05	-53	*	*
9	539.78	0.22	0.19	65	65	0.03	0.05	-85	*	*
10	599.76	0.01	0.01	-81	-81	0.03	0.05	-26	*	*
11	659.74	0.28	0.25	-6	-6	0.71	1.16	71	*	*
12	719.71	0.01	0.01	138	138	0.02	0.03	-110	*	*
13	779.69	0.12	0.11	-44	-44	0.53	0.54	98	*	*
14	839.66	0.06	0.05	-158	-158	0.02	0.03	-163	*	*
15	899.64	0.12	0.11	-157	-157	0.14	0.23	-146	*	*
16	959.62	0.01	0.01	34	34	0.02	0.03	-180	*	*
17	1019.59	0.38	0.33	150	150	0.78	1.28	46	*	*
18	1079.57	0.21	0.01	348	348	0.02	0.03	150	*	*
19	1139.54	0.12	0.11	-157	-157	0.78	1.28	110	*	*
20	1199.52	0.01	0.01	-94	-94	0.02	0.03	100	*	*
21	1259.5	0.1	0.09	56	56	0.14	0.23	85	*	*
22	1319.47	0.01	0.01	-137	-137	0.03	0.05	-43	*	*
23	1379.45	0.04	0.04	150	150	0.12	0.20	-160	*	*
24	1439.42	0.01	0.01	148	148	0.04	0.07	58	*	*
25	1499.4	0.04	0.04	158	158	0.14	0.23	-80	*	*
26	1559.38	0.01	0.01	19	19	0.01	0.02	166	*	*
27	1619.35	0.04	0.04	3	3	0.03	0.05	-29	*	*
28	1679.33	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02	25	*	*
29	1739.3	0.06	0.05	-141	-141	0.09	0.15	71	*	*
30	1799.28	0.01	0.01	180	180	-0.01	0.02	0	*	*
31	1859.25	0.09	0.08	-147	-147	0.18	0.30	101	*	*



CUSTOMER AND SITE INFORMATION

CUSTOMER NAME
STREET ADDRESS

SH-Ta Corporation - End User / Ministry of the Interior

CITY, ST, ZIP

4F,32,SEC 3, CHENG THE RD.

Taipei, ROC 103, Taiwan

PRIMARY CONTACT
PHONE NUMBER
FAX NUMBER
E-MAIL

James Hwang - SH Ta
(886-2) 2597-5458
(886-2) 2595 4571
ata02@giga.com.tw

SITE LOCATION

SALES ORDER NUMBER
DRIVE PART NUMBER
APPLICATION

Aerospace Research Center of National C.K. University - Tainan, Taiwan
HR9192935.01
31000125.00 - DC 0318 - s/n 08903 - Harmony 3300V, sz2, Air Cooled
Wind Tunnel for Testing of Architectural Designs

FSR

Kenneth M. Collins

PRE-COMMISSIONING

DESCRIPTION	BY	DATE
After completion of the Factory Acceptance Test (FAT). All items in the Scope of Material Supply are delivered to the Plant for receipt inspection and storage prior to installation in the final plant location.	KMC	03/24/04
All shipping sections include fork lift skid type bases and provisions for lifting.		
The VFD shipping splits and split weights are defined by ASIRobicon drawings.		
Instructions for receiving, off-loading, handling, lifting (overhead, forklift and roller), placement, anchoring and connecting of cabinets is defined by ASIRobicon User's Manual: 902231,902232,902233. Customer or Customer's Agent is responsible for these tasks. Received in Good Condition - Ken Collins - 3/25/04		
After location of the shipping splits into the installed location (including bolting and anchoring of the shipping sections) the ASIRobicon Pre-Commissioning team will arrive at the site to commence the pre-commissioning process.	KMC	03/24/04
The pre-commissioning team will inspect the installation and will torque check the cabinet connections and will remove all rear access panels. Note: All electrical connections shall be torqued and marked.	KMC	03/24/04
The control wire plugs at each shipping split will be re-connected and will be re-wrapped. Plugs are color coded and/or mechanically configured to prevent mis-connection. Wires on each side of the plug are numbered to support verification.	KMC	03/24/04
The ground bond jumpers will be reconnected. Ensure that the entire system is earth grounded at one of the system grounding points. Confirm what type of cable the customer is using for the motor connections. If it is a shielded cable only one end of the shield can be grounded. It must be grounded at the drive.	KMC	03/24/04
In the NXG controls locate the Modulator board and move the battery jumper to the lower position (pins 1 and 2) to enable the battery before applying any control power. Check the drawing for a jumper listing.	KMC	03/24/04
Check and note below if the transformer neutral is grounded? Is transformer neutral grounded - Note yes or no on form	Yes/No	NO
In the output cabinet locate the cell by-pass board. Verify that the "J1 jumper" is in the 1200 amp position. Do not apply power until this has been verified.	N/A	
At this time, it is necessary to have a control power and auxiliary power source connected per the VFD schematics to allow the pre-commissioning process to continue.		

PRE-COMMISSIONING

DESCRIPTION	BY	DATE
Interconnection of these power supply sources is the responsibility of Customer. It is noted that temporary power sources can be utilized. Power is required to test the control. (480VAC / 70 ACA 50/60 HZ)		
If the VFD has cell bypass, verify the contactor per the tech note. For 1200 amp contactors only.	N/A	
-Energize each contactor using DC Power Supply. Verify drop out (See Tech Note)	N/A	
Check attenuator resistors and Hall effects building resistors. Reference FAT plan for correct values. Confirm input CTs match drawing	KMC	03/24/04
Install output connections to power cells. If bus work does not line-up loosen connection at T1 and T2 on cell and at the connection on the bypass contactor.		
Confirm the following parameters:		
Rated input current menu 2020	155A	3300V
Rated output current menu 2040	200A	0-3300V
Neutral connection menu 2830	T1	
CT Turns menu 3038	200	
Align bus		
Tighten cell bus links first		
Tighten bypass contactor connections last		
Torque to specification and torque mark	KMC	03/25/04
Note: Do not twist or distort connections to T1 or T2 or bypass contactors.		
Prepare to backfeed the drive and modulate with a variac. Variac the drive up to rated cell voltage or as close as possible, let the drive stay at this level for 1 hour to form the cell buss capacitors, with the links in modulate the cells. Refer to ASIRobicon User's Manual 902231,902232,902233		
At the end of the pre-commissioning a copy of the pre-commissioning report should be left with the responsible site manager.		
Note: Instruct customer not to terminate MV at motor output until start of commissioning cycle. The customer must sign below acknowledging not to connect the motor leads.		
Customer's signature		

COMMISSIONING

DESCRIPTION	BY	DATE
Verify Customer connections		
Verify customers power connections	KMC	2004/3/25
Verify phase sequence of motor.	KMC	2004/3/25
Verify customers grounding connections	KMC	2004/3/25
Verify system grounds	KMC	2004/3/25
Verify TB2 connections	KMC	2004/3/25
Verify Hardwired I/O per SOP Test Document)	KMC	2004/3/25
Verify DCS operation with customer.	KMC	2004/3/25
Verify options (Fast Bypass, Sync transfer, communications etc)	KMC	2004/3/25
External Hardware (Mullin, external meters, PQM, etc) write in others	KMC	2004/3/25
Energize MV input with motor disconnected. Leave the power on the drive for at least 1 hour. If possible leave the power on overnight.	KMC	2004/3/25
Complete open loop tests.		
Verify control is working in open load test mode		
Verify cell bypass on each cell		
Remove fiber optic link. Contactor will close.		
Verify all cells bypass correctly.	KMC	2004/3/25
Connect Motor	KMC	2004/3/25
Bump motor for phase rotation	KMC	2004/3/25
Run motor uncoupled and verify speed ranges and feedbacks.	not possible	
Couple motor	KMC	2004/3/26
Note: if motor parameters are loaded in parameter let do not use auto-tune feature.		
Verify sequence of Operation according to SOP test documents	KMC	2004/3/27
Complete speed loop and spinning load tuning	KMC	2004/3/27
Verify Alarm indications (SOP Test and Alarm test Procedure)	KMC	2004/3/27
Verify DCS address across serial link	n/a	2004/3/27
Once system has reached the process design operating condition utilize the PC Tool Suite record the following VFD data:		
Plant Load At Test Point		
Voltage VFD Input		
Current VFD Input		
Power Factor VFD Input		
Voltage VFD Output		
Current VFD Output		
Speed Demand		
Motor Speed (RPM)		

COMMISSIONING

DESCRIPTION	BY	DATE
Check the SO# for spares. Confirm they are on site. Test in the system	KMC	2003/3/30
Note: If plant is operated across a load range take load data at incremental load points to obtain a profile of the VFD operation as part of the process.		

[Handwritten Signature]
03/31/04
ASI Robicon
Sr. F. Service Rep.



內政部建築研風洞實驗設備風洞本體組裝完成

估驗記錄

- (一) 時間：九十二年十二月二十三日上午十點整
- (二) 會合地點：性能實驗群建築風洞實驗館
- (三) 估驗人員：

內政部建築研究所 呂文弘 邱中
風洞設備小組 周志華 傅子良
中國鋼鐵股份有限公司 薛耀崑

(四) 工作記錄

- 1 在廠商帶領檢視已完成組裝之風洞本體，經風洞設備小組現場審視，確認組裝完成無虞。
 - 2 檢附風洞本體組裝完成照片如附件一。
 - 3 本案風洞本體已組裝完成，其非鋼構部分之細部裝修需於93年2月10日前完成。
- (以下空白)

(五) 建議事項

建議換氣口縫隙宜減小(請廠商修正調整)

(以下空白)

內政部建築研究所 函

受文者：陳技士子良

類別：普通件

密等及解密條件：

發文日期：中華民國九十三年三月十九日

發文字號：建研環字第0930001601號

附件：如主旨

主旨：檢送本所採購「建築風洞實驗設備風洞本體部分」案變更設計審查會議紀錄乙份如附，請

查照。

正本：林教授顯群、蕭教授葆義、苗教授若昂、周教授榮華、任教授森河、陳技士子良、蔡經長釋海、張專門委員秋勝、張主任碧瑛、
中國鋼鐵股份有限公司

副本：本所環境控制組、張助理研究員恭銘（均含附件）

機關地址：台北市敦化南路二段三三三號十三樓
聯絡人：張恭銘
聯絡電話：(06) 3300504轉2101
傳真電話：(06) 3300480
電子信箱：dm2@abn.gov.tw

所長 蕭江碧

五、主席致詞：(略)。

六、承辦單位報告：(略)

七、風洞設備小組簡報：(略)

八、與會審查委員發言要點：

蕭教授孫義(陳教授遠斌代)：

1 對於第一、二測試段上蓋板之材質由三夾板擬變更為透明PC板，將有益於風洞本體使用性與耐久性。

2 風洞本體觀測視窗材質由10 mm厚強化玻璃擬變更為20 mm厚之透明壓克力板，應可對未來實驗操作人員安全性有更深一層的保障。

3 總結本次所擬變更項目對未來風洞實驗能有較高的安全性與便利性，尚屬合宜且可以接受。

林教授顯群(沈教授銘秋代)：

1 以壓克力板取代強化玻璃，安全性較高，且未來如有需要時，亦可做局部更換。

2 其餘變更項目均屬可行。

九、結論：

1 所提變更內容經風洞設備小組完成初審及本次與會出席委員審查結果，均表同意。

2 本次變更項目經中鋼公司估算，將增加額外成本約六十七萬四千九百零四元整，但對於本契約履約期限並無影響。

3 為期本契約能順利如期完工驗收考量，中鋼公司同意負擔本變更所增加費用以爭取行政作業時效。

十、散會(下午五時正)。

內政部建築研究所
建築風洞實驗設備風洞本體部分試車紀錄

項目：第一轉角段台車
時間：93年2月25日

馬達減速機規格：0.75 KW, 220 V, 3 相, R:1/273, 星外形・E 級絕緣・
耐熱車，額定電流：3.1 Amp

項次	說明	測試結果
1	軸承滑脂確認(共 8 個)	確認
2	走行測試	東行、西行運轉平順
3	原點回歸測試	東西向 ± 1.0 mm
		南北向 ± 1.0 mm
4	極限開關作動測試	東側 作動確實
		西側 作動確實
5	運轉電流 (安培)	東行 1.9 ± 1
		西行 1.9 ± 1



風洞整備小組： 陳子良 中機： 葉利 中機： 葉利
 93.2.25

內政部建築研究所
建築風洞實驗設備風洞本體部分試車紀錄

項目：第一測試段上蓋板升降機構
時間：93年2月5日

項目	軸承滑脂 確認	升降動作是否平順		極限開關作動確認	
		升	降	上限點	下限點
1	OK	是	是	OK	OK
2	OK	是	是	OK	OK
3	OK	是	是	OK	OK
4	OK	是	是	OK	OK
5	OK	是	是	OK	OK
6	OK	是	是	OK	OK
7	OK	是	是	OK	OK
8	OK	是	是	OK	OK
9	OK	是	是	OK	OK
10	OK	是	是	OK	OK
11	OK	是	是	OK	OK
12	OK	是	是	OK	OK
13	OK	是	是	OK	OK
14	OK	是	是	OK	OK
15	OK	是	是	OK	OK
16	OK	是	是	OK	OK



馬達減速機規格：0.2 KW, 220V, 3相, R:1/273, 耐熱車。



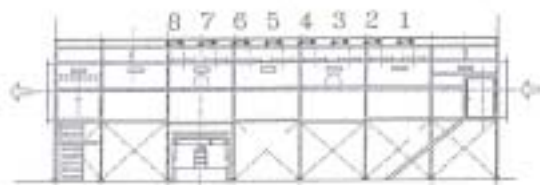
風洞籌備小組：陳子良
中調：李維權
中調：李維權
中調：李維權

內政部建築研究所
建築風洞實驗設備風洞本體部分試車紀錄

項目：第二測試段上蓋板升降機構
時間：93年2月25日

項目	軸承滑脂 確認	升降動作是否平順		極限閉關動作確認	
		升	降	上限點	下限點
1	OK	是	是	OK	OK
2	OK	是	是	OK	OK
3	OK	是	是	OK	OK
4	OK	是	是	OK	OK
5	OK	是	是	OK	OK
6	OK	是	是	OK	OK
7	OK	是	是	OK	OK
8	OK	是	是	OK	OK

馬達減速機規格：0.2 KW, 220V, 3相, R:1/273, 附煞車。



風洞籌備小組： 蔡明忠 中綱： 蔡明忠 中機： 蔡明忠

內政部建築研究所
建築風洞實驗設備風洞本體部分試車紀錄

項目：第一測試段直徑1米固定式迴轉盤
時間：93年3月11日

項次	功能需求	測試結果
1	迴轉定位精度 ≤ 1 度。	0.1 度
2	盤面昇降行程 ≥ 600 mm。	600 mm
3	迴轉速度 0.5-1.0 rpm。	0.8 rpm，運轉平順。
4	可在第一控制室內由電腦控制及現場手動控制，且能定位於任一角度。	可在控制室內(第一)由電腦控制及在現場手動控制，能定位於任一角度。
5	盤面轉動時，須採：盤面下降→迴轉→上昇的操作控制模式。	操作模式：盤面下降(12mm)→迴轉→上昇，運轉平順。
6	設有原點(Home)按鈕，下指令後盤面就可自動回到原點位置，關機再啟動時盤面需有主動回到原點位置的功能。	1. 按原點按鈕，盤面可自動回到原點位置。 2. 關機再啟動盤面可主動回到原點位置。
規格	升降馬達減速機規格	YASUKAWA FECQ-T1 400Wx220Vx3 ϕ
	迴轉伺服馬達規格	三菱 1 KW 220V 3 ϕ
	馬達運轉電流(安培)： (升降馬達額定電流：1.9) (迴轉馬達額定電流：NA)	昇：1.4 降：1.4 迴轉：1.0



風洞籌備小組：

陳永

中綱：

葉耀
93.3.11

監製：

陳曼
92.3.11

內政部建築研究所
建築風洞實驗設備風洞本體部分試車紀錄

項目：第二測試段直徑 2.6 米固定式迴轉盤
時間：93 年 3 月 11 日

項次	功 能 需 求	測 試 結 果
1	迴轉定位精度 ≤ 1 度。	0.1 度
2	盤面升降行程 ≥ 600 mm。	606 mm
3	迴轉速度 0.5~1.0 rpm。	0.8 rpm，運轉平順。
4	可在第二控制室內由電腦控制及現場手動控制，且能定位於任一角度。	可在第二控制室內由電腦控制及在現場手動控制，能定位於任一角度。
5	盤面轉動時，須採：盤面下降→迴轉→上升的操作控制模式。	操作模式：盤面下降(12mm)→迴轉→上升，運轉平順。
6	設有原點(Home)按鈕，下指令後盤面就可自動回到原點位置，關機再啟動時盤面需有主動回到原點位置的功能。	1. 在按原長按鈕盤面可自動回到原長位置。 2. 關機再啟動盤面可自動回到原長位置。
7	內、外盤之間附有插銷，實驗時須能在現場手動選擇 a. 只有內盤可迴轉，b. 內、外盤連結在一起動作(在原點位置)等兩種操作模式。	a. 內、外盤可連結在一起動作 b. 可外盤不動只有內盤迴轉
規格	升降馬達減速機規格	YASUKAWA FECQ-T1 400Wx220Vx3 ϕ
	迴轉伺服馬達規格	三菱 1 KW 220V 3 ϕ
	馬達運轉電流(安培)： (升降馬達額定電流：1.9) (迴轉馬達額定電流：NA)	昇：1.5 降：1.4 迴轉：1.0



風洞籌備小組： 陳善 中鋼： 葉朝山 93.3.11 監製： 陳善 93.3.11

內政部建築研究所
建築風洞實驗設備風洞本體部分試車紀錄

項目：第一測試段三維移動機構

時間：93年7月 日

項次	功能需求	測試結果
1	在 X 軸向(測試段縱向)上,可以手動方式位移,且可隨時固定於軌道	軌道長 33.8 米,可手動移動並可隨時固定在軌道上。
2	三維可移動範圍: X 軸向 4.0m, Y 軸向(水平橫向)3.2m, Z 軸向(垂直方向)1.8m。	X 軸向 4,005mm, Y 軸向 3,240mm, Z 軸向 1,820mm, 走行平順。
3	定位精度: 1 mm/1m。	≤ 1 mm/1m
	X、Y、Z 軸速度 ≤ 6 m/min。	X 軸向: 3.6 m/min Y 軸向: 3.6 m/min Z 軸向: 3.6 m/min
4	三維移動機構可在第一控制室內由電腦控制及現場手動控制,且能定位於任一位置。	可在第一控制室內由電腦控制及在現場手動控制,可以定位於任一位置
規格	伺服馬達規格: X 軸向(2 台) Y 軸向(1 台) Z 軸向(1 台)	X 軸: 三菱 1 KW 220V 3 φ Y 軸: 三菱 1 KW 220V 3 φ Z 軸: 國際 0.2 KW 220V 3 φ
	馬達運轉電流(安培): (X 軸向馬達額定電流: NA) (Y 軸向馬達額定電流: NA) (Z 軸向馬達額定電流: NA)	X 軸向 1: 2.4 X 軸向 2: 2.3 Y 軸向 : 0.5 Z 軸向 : NA



風洞籌備小組:

陳

中:

葉 耀 宗
93.3.11

監:

陳 冠 廷
93.3.11

內政部建築研究所
建築風洞實驗設備風洞本體部分試車紀錄

項目：第二測試段三維移動機構

時間：93年3月11日

項次	功能需求	測試結果
1	在 X 軸向(測試段縱向)上, 可以手動方式位移, 且可隨時固定於軌道	軌道長 17.2 米, 可手動移動並可隨時固定在軌道上。
2	三維可移動範圍: X 軸向 4.0m, Y 軸向(水平橫向)5.2m, Z 軸向(垂直方向)1.8m。	X 軸向 4,005mm, Y 軸向 5,203mm, Z 軸向 1,820mm, 走行平順。
3	定位精度: 1 mm/1m。	≤ 1 mm/1m
	X、Y、Z 軸速度 ≤ 6 m/min。	X 軸向: 3.6 m/min Y 軸向: 3.6 m/min Z 軸向: 3.6 m/min
4	三維移動機構可在第二控制室內由電腦控制及現場手動控制, 且能定位於任一位置。	可在第一控制室內由電腦控制及在現場手動控制, 可以定位於任一位置
規格	伺服馬達規格: X 軸向(2 台) Y 軸向(1 台) Z 軸向(1 台)	X 軸: 三菱 1 KW 220V 3φ Y 軸: 三菱 1 KW 220V 3φ Z 軸: 國際 0.2 KW 220V 3φ
	馬達運轉電流(安培): (X 軸向馬達額定電流: NA) (Y 軸向馬達額定電流: NA) (Z 軸向馬達額定電流: NA)	X 軸向 1: 2.4 X 軸向 2: 2.3 Y 軸向 : 0.5 Z 軸向 : NA

風洞籌備小組:

林 弘 中調:

景 耀 山
93.3.11
林 弘

監製:

陳 昌 合
93.3.11



內政部建築研究所
建築風洞實驗設備風洞本體部分試車紀錄

項目：充氣氣密條
時間：93年4月26日

項次	名稱	設定壓力 (kg/cm ²)	充氣測試			洩氣測試			是否 滿意
			現場	控制室		現場	控制室		
				第一	第二		第一	第二	
1	第一測試段入口	0.28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	否
2	第一測試段北側	0.28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	否
3	第一測試段南側	0.28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	否
4	第一轉角段入口	0.28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	否
5	第一轉角段出口	0.29	OK	OK	OK	OK	OK	OK	否
6	第二測試段北側	0.28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	否
7	第二測試段南側	0.28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	否



風洞籌備小組： 陳永 中機： 薛耀光 中機： 陳永

內政部建築研究所建築應用實驗館
應用籌建小組

受文者：內政部建築研究所

主旨：函送應用籌建小組代辦貴所應用實驗館93年度儀器設備採購計畫表，預算金額為捌百壹拾萬元，如附件，請查照。

說明：

1. 附件一為採購計畫案之各項儀器設備需求表。
2. 附件二為採購計畫案之執行時程表。

召集人：甘君易 教授

聯絡人：成大航太所研究生 李信宏 06-2757575 ext 63626

93 年度風洞館儀器設備採購 預定執行進度及結果表

93.7.20 製表

項次	品名	單位	預算金額 (元)	決標金額 (元)	備註
壹	六軸力感測器設備	項	525,000	470,000	93.04.19 開標，決標，預定 93.06.19 交貨。 93.06.20 點交建研所。
貳	氫離子雷射、雷射密閉循環冷卻系統及光學平臺	項	1,800,000	1,530,000	93.04.19 開標，因參標廠商家數 不足流標，93.05.06 辦理第二次 招標，決標，預定 93.08.03 交 貨。
參	資料擷取系統	項	463,120	380,000	93.04.19 開標，決標，預定 93. 07.04 交貨。 93.06.17 點交建研所。
肆	皮托管、應變規片、訊號線等、	項	286,610	225,000	93.04.19 開標，決標，預定 93. 06.19 交貨。 93.06.17 點交建研所。
伍	單軸加速規、三軸加速規及配件	項	392,440	338,000	93.04.19 開標，決標，預定 93. 06.19 交貨。 93.06.30 點交建研所。
柒	個人電腦介面卡及電纜線	項	78,153	78,153	93.04.08 交貨。 未超過十萬元不辦理招標。 93.05.05 點交建研所。
捌	個人電腦、應用軟體	項	133,669	125,185	93.04.20 送件，93.05.07 交貨。 (中信標產品) 不辦理招標。 93.05.07 點交建研所。
玖	風洞實驗工作台架模型置物架等	項	1,822,000	1,600,000	93.04.19 招標，因參標廠商家數 不足流標，93.05.06 第二次招 標，決標，預定 93.07.04 完工。
拾	精密定盤	項	98,000	89,500	93.05.05 交貨。 未超過十萬元不辦理招標。 93.05.05 點交建研所。
拾壹	金屬工作桌含虎鉗	項	96,000	96,000	93.04.23 交貨。 未超過十萬元不辦理招標。 93.05.05 點交建研所。
拾貳	立型鑽床、桌上型高速鑽床及零件整理櫃	項	86,500	75,470	93.04.13 交貨。 未超過十萬元不辦理招標。 93.05.05 點交建研所。
拾參	精密量具數位卡尺 數位高度計	項		88,590	93.05.06 請購。 未超過十萬元不辦理招標。 93.05.26 點交建研所。
拾肆	鋁擠型材料	項		19,500	93.05.07 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。 93.05.26 點交建研所。

拾伍	油壓板車、油壓吊車、油壓堆高機	項		56,700	93.05.06 請購。 未超過十萬元不辦理招標。 93.05.28 點交建研所。
拾陸	捲揚機及吊架	項		57,800	93.05.17 請購。 未超過十萬元不辦理招標。 93.06.24 點交建研所。
拾柒	壓力感應器隔膜片	項		63,000	93.05.17 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。 93.06.17 點交建研所。
拾捌	錶頭壓克力蓋板	項		33,000	93.05.06 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。 93.06.17 點交建研所。
拾玖	控制點壓克力操作流程板	項		9,000	93.05.06 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。 93.06.17 點交建研所。
貳拾	無熔絲開關、繼電器	項		20,000	93.05.06 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。 93.06.17 點交建研所。
貳壹	電動工具一批	項		97,050	93.05.21 請購。 未超過十萬元不辦理招標。 93.06.17 點交建研所。
貳貳	木工電鋸工作平台	項		28,750	93.05.20 請購。 未超過十萬元不辦理招標。 93.06.24 點交建研所。
貳參	溫度顯示傳送器及感溫棒	項		23,814	93.05.20 請購。 未超過十萬元不辦理招標。 93.06.17 點交建研所。
貳肆	手推車及工具車	項		46,800	93.06.04 請購。 未超過十萬元不辦理招標。 93.07.07 點交建研所。
貳伍	手工具及絲攻等一批	項		98,653	93.06.09 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。
貳陸	粗糙元鑄鐵模型 (朱佳仁)	項		96,000	93.06.04 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。
貳柒	粗糙元鑄鐵翻砂木模 (朱佳仁)	項		31,000	93.06.04 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。
貳捌	橋樑斷面實驗 端板鐵架製作(鄭啟明)	項		93,000	93.06.15 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。 93.07.13 點交建研所。
貳玖	不銹鋼管一批	項		24,130	93.06.15 請購。(消耗品) 未超過十萬元不辦理招標。
參拾	測試段平台台車、爬梯、控制室頂護欄	項		90,000	93.07.12 請購。 未超過十萬元不辦理招標。
參壹	甲烷、氫氣、混合氣 (吳國昌)	項		3,599	93.07.12 請購。(消耗品) 未超過一萬元不辦理點交。
參貳	氮氣 (吳國昌)	項		550	93.07.12 請購。(消耗品) 未超過一萬元不辦理點交。
參參	信號校正器	項		99,225	93.07.12 請購。 未超過十萬元不辦理招標。

總 計	6,016,855
-----	-----------

預算總金額：

儀器設備採購總金額	8,100,000
委託代辦作業管理費	513,752
總 計	8,613,752

內政部建築研究所建築風洞實驗館籌建小組
93年度第一次會議記錄

地點：建研所性能實驗群風洞館

時間：93年4月23日 14:00~17:30

主持人：曾召集人若易

出席者：陳組長瑞玲、曹研究源暉、張副研究恭銘、唐教授榮華、鄭教授啟明、朱教授佳仁、任教授森珂、陳技士子良、胡博士志忠、李信宏、高義明

- 主旨：
- 一、開始進風洞實驗的時間(必須先完成移動機構拆除)
 - 二、各位委員風洞驗證實驗進場時間協調
 - 三、教育訓練規劃
 - 四、儀器設備使用及使用空間
 - 五、模型製作相關事宜
 - 六、其他事項

報告：(略)

討論事項：

記錄：李信宏

一、開始進風洞實驗的時間(必須先完成移動機構拆除)：

1. 預計6月10日完成風洞驗收，之後各位老師即可進場實驗。
2. 曾教授提出，由於測試區內三維移動機構及兩側軌道的影響，會造成流場的擾動量很大，建議應將兩測試區內的移動機構切除。
3. 鄭老師及朱老師認為Z軸移動機構的影響會比兩側大。
4. 唐老師與陳子良先生覺得應當先測量一次流場，了解影響有多大。
5. 陳組長建議先做流場量測後，確認是否有切除的必要。

主席結論：6月10日完成驗收後，先做測試區流場測試，確實了解移動機構對流場的影響有多大。

二、各位委員風洞驗證實驗進場時間協調：

1. 曾教授首先請各老師提出進場時間，並指出基本風洞校驗的時間可以配合各位老師進行調整。
2. 鄭老師分為兩段時期做實驗，第一階段預計為6月28日到7月2日，第二階段時間則為8月2日到8月6日。
3. 朱老師的進場時間選擇在7月12日到7月20日。
4. 而唐老師與任老師時間，8月9日到9月10日為期一個月。

契約容量供電問題：

主席結論：由於建研所有夏月契約容量的問題(上限 300KW)，因此正式做風洞實驗時應先與其他實驗室或實驗館協調時間，最好提前協調。才可改為晚上做實驗，便沒有用電衝突的問題。有關協調使用時間由建研所相關承辦人員負責進行協調。甘教授建議提高今年夏月契約容量 500KW 的電源較為洽當。

三、教育訓練規劃(每一驗證實驗做完後提供一項教育訓練並撰寫一份技術報告)：

1. 甘教授首先說明教育訓練是必要的，要讓建研所的同仁了解各項實驗如何操作，希望各老師能夠安排。
2. 陳組長則認為建研所是扮演一管理者的角色，因此讓建研所的人了解各項實驗以及風洞如何使用是必要的，而教育訓練理想上以一天為原則，早上理論解說下午進行實作。
3. 技術報告即為結案報告，結案報告使用 Wind Engineering 的格式，請鄭啟明老師提供格式。

四、儀器設備使用及使用空間：

1. 儀器的使用應該填寫建研所所提供的格式。
2. 電腦及印表機只要有家具即擺上去，不須再填寫借條。
3. 至於桌子、椅子....等家具問題，陳組長允諾不是問題，只要提報馬上可解決。

五、模型製作相關事宜：

由各老師自行準備模型製作，經費方面於 93 年度皆有編列每位委員模型製作的費用，單據統一日成大核銷。

六、其他事項：

1. 住的方面：

建研所建議：各老師的學生可以住在防火實驗室的宿舍，住宿費每天 300 元報銷。

2. 差旅費方面：

基本上只能報一名研究助理，如果其他助理建請建研所另案處理。

3. 變頻器開關問題：

應該加裝一電動開關在變頻器上，避免上游開關因過度使用而壞掉，另外加裝開關的費用由儀器設備購案的節餘款優先支用。