

環境振動反應譜分析之研究

研究生：林迪凱

指導教授：劉俊秀 教授

國立交通大學土木工程學系

摘 要

本文是在探討如何去建立高科技廠房對環境振動之反應，吾人先利用微振動量測儀器去量測時間域之速度資料，透過快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform) 將資料轉換到頻率域來做分析，再由速度相關函數的能譜密度函數 (Power Spectral Density)，來求得 1/3 倍頻的速度均方根振動量。而吾人一共在國立交通大學的運動場進行兩次量測試驗，更可以確保資料量測的準確度。

再者，吾人又可以由受到一動態擾動的運動方程式，去求解單自由系統的絕對加速度、絕對速度、及絕對位移的系統反應，然後在再繪製在不同阻尼比下的反應譜 (Response Spectra)，透過反應譜的分析，我們更可以知道在不同阻尼比下的系統反應是如何。

Response Spectra of Ambient Vibration

Student: Ti-Kai Lin

Adviser: Gin-Show Liou

Department of Civil Engineering
National Chiao-Tung University

Abstract

The thesis is to investigate the responses of hi-tech factory structure to the ambient vibrations. First, the author employed the ambient instrument (spc-51) to measure the speed data in time domain and subsequently transferred it to frequency domain through Fast Fourier Transform. The speed data were taken twice at gym field of National Chiao-Tung University at different dates. After the data were taken, the values of one-third octave band were calculated in order to understand the magnitude of ambient vibrations.

Secondly, the author calculated the absolute acceleration, absolute speed and absolute displacement responses of a single-degree-of-freedom system through equations of motion. Then Response Spectra of the ambient vibration with different damping ratios were calculated in order to shed some light on the amplification of the vibrations due to structural system.

誌謝

本論文得以完成，仰賴吾師 劉俊秀教授細心的指導，在老師 2 年來的諄諄教誨之下，對於結構與數值的觀念更加清晰，在這兩年的求學過程中，讓我深刻體會到老師學術上的成就是如此的偉大，而老師為人處事的風範更是為人所敬仰，在此特地感謝老師兩年的教導。

在學校裡，鐘瑜隆學長讓我見識到對於學術研究的熱忱與他驚人的實力，而學長時時刻刻關心著我們的論文，更是除了老師以外，最熱心的指導老師，而學長對於我們的論文，不斷提供意見，讓我們知道關鍵在哪裡、錯誤在哪裡，在這邊也希望學長能夠以傲人的研究成果迅速得到博士學位。



在研究室的生活裡，有了賴駿仁學長的打點，一切都是那麼井然有序，學長對於老師的行事風格鉅細靡遺，在學長指點下，我們更懂得如何與老師溝通，使老師與我們之間沒有任何的溝通斷層，感謝學長的指導，也希望學長往後能順順利利。

在這裡特別要感謝李建良博士，在課業方面給我非常多的意見，讓我在研究的路途中，有如有一盞明亮的燈塔指引著我，不至於跌跌撞撞，找不到方向。

這兩年間，承蒙研究所同期的同學們的照顧，羅伯、大餅、建銘、

小老闆、澤許、勁威、建芳、戴家信、冠華、昭鋼、凱明、簡小詳、林純儀、蘇耿崧、啟竟、阿蛇、小新、老大、奉季祥以及我最敬愛的兩個學弟柏濤、曹哥等，沒有你們這些打球、打屁的伙伴們，這兩年恐怕又是空白渡過，平日大家互相討論研究的辛苦，享受贏球的快感，這種同甘共苦的情誼將成為我們共同的回憶。

還要特別感謝學妹即如、馨方、小韻，以及我要好的朋友怡陵、琦琦、淳涵、宜靜、阿福、丹丹等，在這些日子的陪伴，使我的研究生生活過的多采多姿，謝謝你們。

還有我親愛的佩怡，在研究所忙碌的生活中，常常沒有時間能夠陪他，儘管偶有抱怨，依然很貼心的體諒我時間上的不便，她會在我最忙碌、最無奈的時候安慰我，給我加油打氣，我很幸運能夠認識佩怡，能成為她的男朋友是我的榮幸。

最後我要感謝我的家人，他們給我最大信任，讓我能順利有自信的一路走來，再一次感謝父母對我的養育之恩，讓我完成碩士學業，這份榮耀與你們共享。

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	III
表目錄.....	IX
圖目錄.....	X
第一章 緒論	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究背景.....	2
1.3 文獻回顧.....	3
1.4 研究目的及方法.....	4
1.5 研究內容.....	4
第二章 微振動理論與量測分析	6
2.1 微振動理論.....	6
2.1.1 微振動量測的優點：	6
2.2 微振動量測分析.....	7
2.2.1 速度相關函數.....	7
2.2.2 能譜密度函數(power spectral density function)	10

2.2.3	1/3 倍頻速度均方根(root-mean-square)振動量	11
2.3	八度音程頻帶(octave bands) 及 1/3 八度音程頻帶(one-third octave bands).....	11
2.4	振動標準.....	14
2.5	現地量測介紹.....	14
2.5.1	量測時間.....	15
2.5.2	量測地點.....	15
2.5.3	量測取樣.....	16
2.6	現地量測分析.....	16
2.6.1	第一次量測 (2003/8/6).....	16
2.6.2	第二次量測 (2004/4/6).....	17
2.6.3	求振動平均值.....	17
第三章	反應譜的製作	18
3.1	反應譜的分析.....	18
3.1.1	單自由度彈性系統.....	18
3.2.2	反應譜之建立.....	19
3.3	時間域分析法.....	21
3.3.1	Duhamel 積分式.....	21
3.3.2	Duhamel 積分式之數值計算.....	23
3.4	狀態空間法 (State Space Representation).....	25

3.5	頻率域分析.....	28
3.6	反應譜的繪製.....	30
3.7	探討系統頻率下的最大的振動量反應.....	31
3.8	時間域分析法與頻率域分析法之比較.....	31
第 4 章	結果與討論.....	32
4.1	實地量測.....	32
4.1.1	實地量測時不良的因素.....	32
4.1.2	實地量測時的疏失.....	32
4.2	1/3 倍頻振動量來探討.....	33
4.2.1	第一次量測.....	33
4.2.2	第二次量測.....	35
4.2.3	兩次量測的比較.....	35
4.3	速度的平均振動量.....	37
4.3.1	第一次量測.....	37
4.3.2	第二次量測.....	38
4.3.3	兩次量測的比較.....	38
4.4	反應譜的探討.....	39
4.4.1	第一次量測.....	39
4.4.2	第二次量測.....	40

4.4.3	兩次量測的比較.....	41
4.5	利用絕對速度求系統頻率下的最大反應	42
4.5.1	不同阻尼比的最大振動量.....	42
4.5.2	絕對速度和地表速度的 dB 值比較.....	42
第五章	結論與建議.....	44
5.1	結論.....	44
5.2	建議.....	45
參考文獻.....		47



表目錄

表 2.1 倍頻與 1/3 倍頻的對照表	51
表 2.2 標準曲線適用範圍	52
表 2.3 集錄系統規格	53
表 2.4 速度計規格	53
表 3.1 反應譜值間之關係	54



圖目錄

圖 2.1 振動標準曲線	55
圖 2.2 集錄系統 Spc-51	55
圖 2.3 速度計 VSE-15D.....	55
圖 2.4 國立交通大學運動場示意圖	56
圖 2.5 測站 1 各時間的速度均方根值(第一次).....	57
圖 2.6 測站 2 各時間的速度均方根值(第一次).....	58
圖 2.7 測站 3 各時間的速度均方根值(第一次).....	59
圖 2.8 測站 4 各時間的速度均方根值(第一次).....	60
圖 2.9 測站 5 各時間的速度均方根值(第一次).....	61
圖 2.10 測站 1 各時間的速度均方根值(第二次).....	62
圖 2.11 測站 1 各時間的速度均方根值(第二次).....	63
圖 2.12 測站 3 各時間的速度均方根值(第二次).....	64
圖 2.13 測站 4 各時間的速度均方根值(第二次).....	65
圖 2.14 測站 5 各時間的速度均方根值(第二次).....	66
圖 2.15 測站 1 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)	67
圖 2.16 測站 2 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)	68
圖 2.17 測站 3 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)	69
圖 2.18 測站 4 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)	70

圖 2.19	測站 5 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)	71
圖 2.20	測站 1 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)	72
圖 2.21	測站 2 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)	73
圖 2.22	測站 3 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)	74
圖 2.23	測站 4 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)	75
圖 2.24	測站 5 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)	76
圖 2.25	每個方向的平均值	77
圖 2.26	2 點每個方向跟平均值所做的比較(第一次)	78
圖 2.27	2 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第一次)	79
圖 2.28	3 點每個方向跟平均值所做的比較(第一次)	80
圖 2.29	3 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第一次)	81
圖 2.30	9 點每個方向跟平均值所做的比較(第一次)	82
圖 2.31	9 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第一次)	83
圖 2.32	10 點每個方向跟平均值所做的比較(第一次)	84
圖 2.33	10 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第一次)	85
圖 2.34	2 點每個方向跟平均值所做的比較(第二次)	86
圖 2.35	2 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第二次)	87
圖 2.36	3 點每個方向跟平均值所做的比較(第二次)	88
圖 2.37	3 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第二次)	89

圖 2.38	9 點每個方向跟平均值所做的比較(第二次)	90
圖 2.39	9 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第二次)	91
圖 2.40	10 點每個方向跟平均值所做的比較(第二次)	92
圖 2.41	10 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第二次)	93
圖 2.42	2 點所有平均方向二次量測的比較	94
圖 2.43	2 點 30 分所有平均方向二次量測的比較	95
圖 2.44	3 點所有平均方向二次量測的比較	96
圖 2.45	3 點 30 分所有平均方向二次量測的比較	97
圖 2.46	9 點所有平均方向二次量測的比較	98
圖 2.47	9 點 30 分所有平均方向二次量測的比較	99
圖 2.48	10 點所有平均方向二次量測的比較	100
圖 2.49	10 點 30 分所有平均方向二次量測的比較	101
圖 2.50	南北向所有時間平均的兩次量測比較	102
圖 2.51	東西向所有時間平均的兩次量測比較	103
圖 2.52	垂直向所有時間的兩次量測比較	104
圖 2.53	南北向所有時間的兩次量測統計分析比較	105
圖 2.54	東西向所有時間的兩次量測統計分析比較	106
圖 2.55	垂直向所有時間的兩次量測統計分析比較	107
圖 3.1	一般動態載重與微衝量之反應	108

圖 3.2 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.01$ (第一次)	109
圖 3.3 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.05$ (第一次)	110
圖 3.4 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.1$ (第一次)	111
圖 3.5 絕對速度反應譜 $\xi = 0.01$ (第一次)	112
圖 3.6 絕對速度反應譜 $\xi = 0.05$ (第一次)	113
圖 3.7 絕對速度反應譜 $\xi = 0.1$ (第一次)	114
圖 3.8 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.01$ (第二次)	115
圖 3.9 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.05$ (第二次)	116
圖 3.10 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.1$ (第二次)	117
圖 3.11 絕對速度反應譜 $\xi = 0.01$ (第二次)	118
圖 3.12 絕對速度反應譜 $\xi = 0.05$ (第二次)	119
圖 3.13 絕對速度反應譜 $\xi = 0.1$ (第二次)	120
圖 3.14 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.01$ (第一次)	121
圖 3.15 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.05$ (第一次)	122
圖 3.16 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.1$ (第一次)	123
圖 3.17 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.01$ (第一次)	124
圖 3.18 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.05$ (第一次)	125
圖 3.19 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.1$ (第一次)	126
圖 3.20 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.01$ (第二次)	127

圖 3.21 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.05$ (第二次).....	128
圖 3.22 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.1$ (第二次).....	129
圖 3.23 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.01$ (第二次).....	130
圖 3.24 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.05$ (第二次).....	131
圖 3.25 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.1$ (第二次).....	132
圖 3.26 絕對速度求系統頻率的 $\xi = 0.01$ (第一次).....	133
圖 3.27 絕對速度求系統頻率的 $\xi = 0.05$ (第一次).....	134
圖 3.28 絕對速度求系統頻率的 $\xi = 0.1$ (第一次).....	135
圖 3.29 絕對速度求系統頻率的 $\xi = 0.01$ (第二次).....	136
圖 3.30 絕對速度求系統頻率的 $\xi = 0.05$ (第二次).....	137
圖 3.31 絕對速度求系統頻率的 $\xi = 0.1$ (第二次).....	138
圖 3.32 時間域及頻率域求解下系統頻率最大反應比較(第一次) ...	139
圖 3.33 時間域及頻率域求解下系統頻率最大反應比較(第二次) ...	140
圖 4.1 一般量測與速度平均值比較	141
圖 4.2 地表速度與絕對速度振動量比較 $\xi = 0.01$	142
圖 4.3 地表速度與絕對速度振動量比較 $\xi = 0.05$	143
圖 4.4 地表速度與絕對速度振動量比較 $\xi = 0.1$	144

第一章 緒論

1.1 研究動機

隨著半導體製程技術的進步，元件尺寸朝向細微化，使得晶圓生產作業環境之要求較已往更為嚴苛，特別是微振動(micro-vibration)問題。而且近年來國內高科技產業蓬勃發展，半導體及光電產業廠房林立，其中以新竹科學園區最為密集，台南科學園區亦漸次開發。引起微振動的因素包括：廠房內人員的走動；機械設備（馬達、風扇、幫浦、排風管等）的運轉；由廠房外傳遞進來的擾動，例如風力、車輛往來、鄰近建築工地打樁施工等。

由於半導體或光電製程設備如雷射(laser)及光學(optical)儀器對於微振動相當敏感，加上國內因高鐵的興建，沿途所經科學園區內之高科技廠房，可能受到環境微動污染，進而影響生產良率(yield)。因此，晶圓廠房及其周邊基地之微振動問題能否有效防治，為國內高科技產業維繫競爭優勢的關鍵之一。

由於這些振動量都相當的小，人體是感受不出來的，但是對精密的儀器會造成相當程度的損傷，故我們需用微振動量測儀器，去找尋對高科技廠房的危害因子，並加以改善。

1.2 研究背景

在日常生活中，地表無時無刻都有在振動，大則有如地震般的劇烈搖動，輕則到人們幾乎無法感受的到的振動，卻需要透過精密的量測儀器去量測，才能得知地表是真的有在做振動，我們稱之為微振動(micro-vibration)，顧名思義就是，人無法感受的振動，需經過儀器來告訴我們地表有在輕微的振動。

一般而言，我們可以將振動分成自然振動、環境振動，以地震所造成的地表振動對我們來講感受比較深刻，我們稱之為自然振動，其他如：山崩、土石流、颱風等造成的振動，雖然遠不及地震所造成的影響，影響也較為有限。但是這些自然力所造成的地表振動，都稱之為自然振動。



至於如行駛中的汽車、工程施工中的怪手、工廠機器的運轉等，是因為人為因素所造成的振動，因為存在我們生活環境之中，故可以稱之為環境振動。

而微振動(micro-vibration)通常發生的原因，可能是環境振動引起的，也可能是自然振動所引起的，雖然這輕微的振動在我們生活中，並不會造成困擾。但是由於二十一世紀的到來，這些輕微的振動會對高精密工業的生產，造成相當大的影響，所以本文就是要探討微振動(micro-vibration)對高科技產業的影響。

1.3 文獻回顧

近年來國內高科技產業蓬勃發展，半導體及光電產業廠房林立，其中以新竹科學園區最為密集，台南科學園區亦漸次開發。半導體製程由於微影(lithography)技術的提昇[1]，促使影像技術快速發展，晶圓製造(wafer fabrication)微細化技術一日千里，目前更邁向奈米(nanometer, $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)的新紀元，預估90奈米乃至於65奈米之製程技術亦將陸續開發出來。然而，隨著元件特徵尺寸細微化，使得晶圓生產作業環境之要求較已往更為嚴苛，例如微振動(micro-vibration)之標準等[2-4]。引起微振動的因素包括：廠房內人員的走動；機械設備(馬達、風扇、幫浦、排風管等)的運轉；由廠房外傳遞進來的擾動，例如風力、車輛往來、鄰近建築工地打樁施工等。由於半導體或光電製程設備如雷射(laser)及光學(optical)儀器對於微振動相當敏感，加上國內因高鐵的興建[5,6]，沿途所經科學園區內之高科技廠房，可能受到環境微動污染，進而影響生產良率(yield)。因此，晶圓廠房及其周邊基地之微振動問題能否有效防治，誠為國內高科技產業維繫競爭優勢的關鍵之一。

本文是利用 $1/3$ 倍頻速度均方根振動量及振動反應譜製作，去探討系統頻率下的最大振動量。

1.4 研究目的及方法

假設如果要在國立交通大學的體育場，要去蓋一座高科技的晶元場，並且去探討這個地點適不適合。而確認廠房之微振動量，並與規格進行比較，將是微振動防治的首要工作。配合建廠之每一階段，進行微振量測與分析[7-13]，若發現振動量過大，即可及早尋求改善的措施，可收事半功倍之效，故吾人可以先去收集一些相關的資料，然後再去分析。

本研究主要的是利用微振動量測的理論，先利用微振動量測儀器在三個不同日期，去量測他的速度資料，在透過快速傅立葉轉換(F.F.T)求得能譜密度函數(power spectral density function)，再來我們可以依據定義利用能譜密度函數，去求得三分之一倍頻之速度均方根的振動量(root-mean-square value)。

再者就是，透過速度的資料去作反應譜(response spectra)的分析，看看在不同阻尼比下，在頻率(frequency)與反應值的關係。

1.5 研究內容

本論文後續各章節內容大概如下：第二章 微振動理論與量測分析，主要介紹 1/3 倍頻的速度均方根求解，還有國立交通大學的運動場量測實例分析。第三章 反應譜的製作，以求解運動方程式的方法，

主要去介紹 Duhamel 積分式跟狀態空間法，如何去求解單自由度系統的運動方程式，然後去介紹反應譜的製作。第四章 結果與討論，利用 matlab 商用軟體去撰寫一些程式，去求 1/3 倍頻的速度均方根振動量，在畫出 dB 值來，然後透過一些反應譜的比較，來看看兩次量測試驗的差異在哪裡，第五章 結論與建議，將本研究做統整來說明，並且建議可不可以用商用軟體來跟實地量測來分析比較。



第二章 微振動理論與量測分析

2.1 微振動理論

一般而言，幾乎所有的結構物均因為其周圍環境的影響，而受到一些經常性的動態力。而這些激振力的來源很多，例如風力、工程施工影響、車輛造成的振動、設備機器之作用等等。這些力對於結構物的作用力均非常微小，可視為環境振動(Ambient Vibration)，其振動大小為 $10^{-5} \sim 10^{-3} g$ 。近幾年來，因為科技的進步，吾人為了量取這些振動的訊號，就有高靈敏度的振動計(如速度計、加速度計等)快速的發展並廣泛被使用，所以可以精確地量測一些極微弱之振動訊號。故如今，微振動量測試驗越來越普及了，而一些高科技廠房也常常透過微振量測試驗，去找出振動源。

2.1.1 微振動量測的優點：

1. 量測時機動性高，可以依想量測位置隨意變更，且不需要有力量的輸入來源。
2. 記錄資料的擷取可長可短，擷取資料時間越長可以增加其準確度。
3. 建築物在微振之小振幅情況下。比地震狀況下更線性化，且假設激振力為平穩過程，在單一量測記錄中表現為線彈性行為，則只

要根據輸入反應記錄，所求得之動力參數，並不會因時間不同而改變。

2.2 微振動量測分析

根據訊號處理與隨機振動的知識，可以提出一套微振量測的分析方法。首先介紹高科技廠房微振動量測理論，吾人先由三分之一倍頻的定義及性質，去探討頻率寬帶之劃分及上下界頻率與中心頻率之關係。而再求取三分之一倍頻的速度均方根振動量之前，我們要先由量的速度資料，去求得速度自相關函數(auto correlation function)，依序求得振動訊號之能譜密度函數(power spectral density function)，對能譜密度函數在頻率寬帶內積分，即為該頻率寬帶內振動量之均方值。

而由於數位化之量測乃大勢之所趨，遂提出在離散時間域相對應之分析方法，並將振動量之均方根值表示為分貝值，以與振動規格比較。

2.2.1 速度相關函數

相關函數是由變異函數(Covariance function)所推導而來的，變異函數可表示兩不同的隨機訊號(random signal) $x(t)$ 及 $y(t)$ 兩者間

是否線性相關，以及其線性相關的程度，現在有兩隨機訊號 $x(t)$ 及 $y(t)$ ，若其時間 t 為 $0 \rightarrow T$ 秒，則兩者間的變異函數 $C_{xy}(\tau)$ 其定義如下

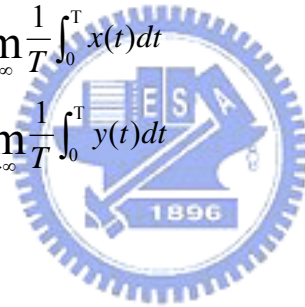
$$C_{xy}(\tau) = E[(x(t) - \mu_x)(y(t + \tau) - \mu_y)]$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - \mu_x)(y(t + \tau) - \mu_y) dt \quad (2.1)$$

上式中

$$\mu_x = E[x(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2.2a)$$

$$\mu_y = E[y(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt \quad (2.2b)$$



故方程式(2.1)可得

$$C_{xy}(\tau) = E[(x(t) - \mu_x)(y(t + \tau) - \mu_y)]$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t + \tau) dt - \mu_y \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt - \mu_x \frac{1}{T} \int_0^T y(t + \tau) dt + \mu_x \mu_y \frac{1}{T} \int_0^T 1 dt \right]$$

$$= R_{xy}(\tau) - \mu_y \mu_x - \mu_x \mu_y - \mu_x \mu_y$$

$$= R_{xy}(\tau) - \mu_x \mu_y \quad (2.3)$$

其中

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt \quad (2.4)$$

$R_{xy}(\tau)$ 是隨機訊號 $x(t)$ 及 $y(t)$ 間的互相關函數 (cross correlation function)，當 $x(t)=y(t)$ 時(2.1)可寫成

$$\begin{aligned} C_{xx} &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - \mu_x)(x(t+\tau) - \mu_x)dt \\ &= R_{xx}(\tau) - \mu_x^2 \end{aligned} \quad (2.5)$$

其中



$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt \quad (2.6)$$

$R_{xx}(\tau)$ 稱為隨機訊號 $x(t)$ 的自相關函數 (auto correlation function)

而微振為往復振盪訊號，振動源繁多且複雜，而由微振速度訊號 $\dot{x}(t)$ 在兩個時間點的速度自相關函數 $R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau)$ 為與兩點之絕對時間無關，僅與兩點之間相對時間有關。速度自相關函數 $R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau)$ 為隨機訊號在兩時間點之二次統計矩，故速度自相關函數 $R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau)$ 並非隨機函數，而其單位為速度之平方；速度自相關函數 $R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau)$ 為偶函數，兩時間點

之差無論正負，其相關性不變，即 $R_{\dot{x}\dot{x}}(-\tau) = R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau)$ ；同一時間點之相關性最高，即 $R_{\dot{x}\dot{x}}(-\tau) \leq R_{\dot{x}\dot{x}}(0)$ ；若時間差為 τ_1 之相關性 $R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau_1)$ 等同於時間差為零之相關性 $R_{\dot{x}\dot{x}}(0)$ ，即 $R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau_1) = R_{\dot{x}\dot{x}}(0)$ ，則微振速度訊號 $\dot{x}(t)$ 具有週期性，且週期為 τ_1 。因此微振速度訊號 $\dot{x}(t)$ 之速度自相關函數 $R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau)$ 仍能保留訊號本身之頻率內涵。

2.2.2 能譜密度函數(power spectral density function)

能譜密度函數可由上一章節所提到的速度自相關函數在經由傅立業轉換(Fourier transform)所得到速度自能譜密度函數 $S_{\dot{x}\dot{x}}(f)$ 可表示如下：



$$S_{\dot{x}\dot{x}}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (2.7)$$

$$R_{\dot{x}\dot{x}}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\dot{x}\dot{x}}(f) e^{i2\pi f\tau} df \quad (2.8)$$

一般作法都是將資料分斷處理，故方程式(2.7)可表示成

$$S_{\dot{x}\dot{x}}(f) = \frac{2}{N_d T} \sum_{k=1}^{N_d} \dot{X}_k(f) * \dot{X}_k(f) \quad (2.9)$$

其中 N_d 為資料分斷筆數， $N_d T$ 為總取樣時間長度

在以前在沒有快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform)，通常都是先求得速度自相關函數，再求速度自能譜密度函數，但有 FFT 時直接由(2.9)式，可求得能譜密度函數。

2.2.3 1/3 倍頻速度均方根(root-mean-square)振動量

當吾人由式(2.9)求得能譜密度函數，與速度均方根振動量之間的關析，估計 1/3 倍頻速度均方根均方根振動量為：

$$V_{rms}(i) = \left[\int_{f_{low}(i)}^{f_{high}(i)} S_{\ddot{x}\ddot{x}}(f) df \right]^{1/2} \quad (2.10)$$



其中， $f_{low}(i)$ 與 $f_{high}(i)$ 為 1/3 倍頻的上下限，上限界範圍請參考表 2.1 所示，將所求得的速度均方根轉換成 dB 值：

$$20 \log \frac{V_{rms}(i)}{V_0} \quad (2.11)$$

其中 V_0 取為 $1 \cdot 10^{-6} \text{ in/sec}$ 或 $2.54 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 。

2.3 八度音程頻帶(octave bands) 及 1/3 八度音程

頻帶(one-third octave bands)

在工程應用上，某些物理量的頻率分佈相當寬廣，為了訊號分析之目的，工程師便將此一寬廣的頻率範圍，分成若干個易於使用的頻帶 (bands)，例如八度音程頻帶(octave bands)及1/3八度音程頻帶(one-third octave bands)等。八度音程之名稱源自樂理，例如低音Do之頻率為261.63 Hz，而高八度Do之頻率則為523.25 Hz，即每隔八個音程(即八度)，頻率正好相差一倍，故以此命名。在八度音程(倍頻)之頻譜上，各頻寬之中心頻率(center frequency)依序為1Hz、 1×2^1 Hz、 1×2^2 Hz等類推。在1/3八度音程(三分之一倍頻)之頻譜上，將八度音程之每一倍頻寬帶再細分為三個寬帶，故相鄰兩中心頻率之比值為1Hz、 $1 \times 2^{1/3}$ Hz、 $1 \times 2^{2/3}$ Hz等。

假設三分之一倍頻頻譜上，第 N 個頻帶之中心頻率為 f_{nc} ，帶寬為 f_{nw} ，上下限的頻率分別為 f_n 、 f_{n-1} ，故在三分之一倍頻之頻譜上，第 N 個頻率帶寬 f_{nw} 為

$$f_{nw} = f_n - f_{n-1} \quad (2.12)$$

上、下界頻率之比值為：

$$f_n = 2^{1/3} f_{n-1} = 1.260 f_{n-1} \quad (2.13)$$

中心頻率並非指上下界頻率 f_i 及 f_{i-1} 之代數平均，而是兩者之幾何平均：

$$f_{nc} = \sqrt{f_{n-1} f_n} = 2^{1/6} f_{n-1} = 2^{-1/6} f_n \quad (2.14)$$

將方程式(2.13)代入(2.14) 上下界頻率 f_n 及 f_{n-1} 可以中心頻率 f_{ic} 表示為：

$$f_n = 2^{1/6} f_{nc} = 1.122 f_{nc} \quad (2.15a)$$

$$f_{n-1} = 2^{-1/6} f_{nc} = 0.891 f_{nc} \quad (2.15b)$$

依據方程式(2.14)，兩相鄰的中心頻率的關係如下：

$$f_{nc} = \sqrt{f_{n-1} f_n} = 2^{1/3} f_{n-1,c} \quad (2.16)$$

藉由式(2.12)~(2.16)我們可以知道用已知道的中心頻率，去推求得知各頻帶之上下界頻率和帶寬。

現在利用中心頻率 $f_n = 5\text{Hz}$ 之頻帶為例，分別求得上下界頻率，

和頻率帶寬如下：

$$f_n = 1.122f_{nc} = 5.61Hz$$

$$f_{n-1} = 0.891f_{nc} = 4.455Hz$$

$$f_{nw} = f_n - f_{n-1} = 5.61 - 4.455 = 1.155Hz$$

根據美國國家標準局(ANSI)，八度音程(倍頻)頻帶 1/3 八度音程(三分之一倍頻) 頻帶之下界頻率、中心頻率及上界頻率列於表 2.1。

2.4 振動標準



高科技晶圓廠之震動防治標準，目前晶圓廠之要求規範大都採用 Gordon 提出之表示法。而 Gordon 之表示法與1981年國際標準組織 ISO2631 之規範相似，均是建議採用1/3 八音階之頻寬(one-third octave band)。表2.2為圖2.1中各曲線之介紹。

2.5 現地量測介紹

本研究所採用的集錄系統，是採用日本東京測振公司所製造之 Sps-51，其規格如表2.3及圖2.2所示。而量測的感應器所使用的是速度計為VSE-15D，其規格如表2.4和圖2.3所示，利用這些儀器去量測

國立交通大學的運動場之微振量。

2.5.1 量測時間

本研究是為了要探討當量測時間分別為在晚上和白天的情況下的比較。還有當學校在放暑假期間，跟在上課時間分別進行分析，故吾人在2003年8月6日，利用學校正巧在放暑假時間，學校人和車子都比較稀少，進行第一次的量測記錄。在2004年4月6日，利用學校正逢在上課期間，在早上時的擾動源比較多情況下，去進行第二次的量測。本研究在探討24小時內，當擾動源少的時候，和擾動源多的時候，它們之間是否符合高科技廠房之振動標準。由於量測時間是要探討全天性，故從凌晨二點開始，每半小時量測一次，量測到中午為止。

2.5.2 量測地點

本研究利用國立交通大學的運動場，進行量測分析。由於需要量測的範圍過大，故只能利用操場進行量測，吾人取半徑為50公尺的圓，每邊各佈置1點外加中間一點，共五點。每個點分別擺設南北向、東西向、垂直向共三個方向，故吾人需要15個速度計。擺設方向請參考圖2.4。

2.5.3 量測取樣

本研究取樣頻率為200Hz，資料擷取長度為5分鐘。

2.6 現地量測分析

本研究進行兩次的量測試驗，吾人將凌晨2點到早上12點之間，所量測到的數據，取2點~4點、9點~11點共8次記錄，分別去計算它的1/3倍頻速度均方根的振動量，對應各頻帶之中心頻率，求取相對應之分貝平均值、包絡線、最小值然後再去加減標準偏差(由統計的觀點，吾人可以經由資料之標準偏差判斷資料的可信度)。



2.6.1 第一次量測 (2003/8/6)

本次量測是利用學校放暑假期間，校園活動比較少，故學校運動場人比較少時，進行的初次量測。圖2.5~圖2.9為測站1~5的三個方向表示圖，分別依序為南北向、東西向、垂直向，從凌晨到中午進行量測，分別取了8個時間，去求解它的1/3速度均方根振動量。然後因為怕資料的信賴程度問題，吾人再去做統計理論分析，依圖2.15~圖2.19表示之。

2.6.2 第二次量測 (2004/4/6)

第二次量測，吾人考慮當早上環境振動源比較多的情況下，看它的速度均方根振動量，相對於第一次量測時，環境振動源比較少時，看他是否振動量會比第一次量測時大，而圖2.10～圖2.14是它的1/3速度均方根振動量，而圖2.20～圖2.24是他統計理論分析。

2.6.3 求振動平均值

因為每個點在每個方向，它的振動情況都是不一樣的，吾人將每個時間所量測到的同一方向如圖2.25所示，一共有5個測點、有3個不同方向、每個方向有5個Channel，將它的速度資料先去求平均，然後再用平均值去做1/3速度均方根振動量，圖2.26～圖2.33是第一次量測分析時，從2點～11點間的每個方向跟平均值去做比較。圖2.34～圖2.41是第二次量測分析，從2點～11點間的每個方向跟平均值去做比較。而我們分別把平均值拿出來比較，由第一次量測跟第二次量測的平均值，去做比較分析圖2.42～圖2.49，而圖2.50～圖2.52是將所有時間的所有方向，用平均值去做1/3速度均方根振動量的統計理論分析。

第三章 反應譜的製作

3.1 反應譜的分析

一個結構物受到動力擾動的外在反應參數下，可由反應譜分析中表示出來。而此反應譜亦即可直接表示出，任何一個單自由度結構物在已經到振動週期與阻尼比的情況下，受到該次動力擾動下的最大反應。而探討結構物受到微振的作用力，我們可以分析其結構物的各項行為。

3.1.1 單自由度彈性系統

單自由度彈性系統(Single Degree of Freedom System) 為研究結構受振反應之動力分析最常用的一種模式，其運動方程式可表示為

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g \quad (3.1)$$

$$\ddot{u}(t) + 2\xi\omega\dot{u}(t) + \omega^2u(t) = -\ddot{u}_g \quad (3.2)$$

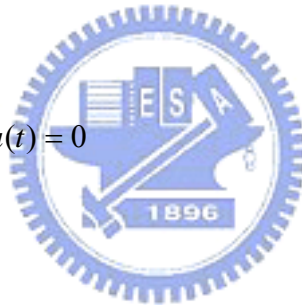
其中 m 、 c 、 k 分別表示該系統之質量、阻尼及勁度， $\ddot{u}(t)$ 、 $\dot{u}(t)$ 及 $u(t)$ 表示系統之相對加速度、相對速度與相對位移， ω 為結構的自然頻率， ξ 為結構物的阻尼比， \ddot{u}_g 為作用於系統之外力。一般反應譜是假

設一單自由度系統在特定阻尼比(Damping Ratio)下，改變其自然頻率，求出系統於特定擾動 \ddot{u}_g 作用下之各項反應，並將最大值記下而得到對應特定阻尼比之反應譜曲線。改變系統阻尼係數重複上述步驟，如此可得對應不同阻尼比之單自由度系統反應譜曲線。

3.2.2 反應譜之建立

對於支承受地震力作用之單自由度彈性系統，(3.1)式之運動方程式可改寫為

$$m\ddot{u}'(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (3.3)$$



其中 $\ddot{u}'(t)$ 為系統絕對加速度，即 $\ddot{u}'(t) = \ddot{u}(t) + \ddot{u}_g$ 。

所謂地震反應譜即是單自由度系統在已知動力擾動作用下，由系統產生之最大反應所描繪出的曲線。故定義出下式

$$S_D = |u(t)|_{\max} ; S_V = |\dot{u}(t)|_{\max} ; S_A = |\ddot{u}'(t)|_{\max} \quad (3.4)$$

S_A 是絕對加速度之最大值，定義為頻譜加速度(Spectral Acceleration)， S_V 是頻譜速度(Spectral Velocity)，為系統最大

相對速度(Maximum Relative Velocity)， S_D 頻譜位移(Spectral Displacement)，為系統最大相對位移(Maximum Relative Displacement)。對無阻尼系統而言，(3.3)可以改寫成

$$m\ddot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (3.5)$$

由(3.5)式看出，系統之絕對加速度於任何時間均與相對位移成正比即

$$S_A = \omega^2 * S_D \quad (3.6)$$



式中 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 為系統之自然頻率

在考慮系統有阻尼時，可由微積分的基本概念合理地推斷當相對速度等於零時，即(3.3)式中 $\dot{u}(t) = 0$ 時，系統之相對變位 $u(t)$ 將為最大值，因此可得系統加速度與位移之間的關係仍如(3.6)式所示。另外為了分析上的方便，定義下式之值為最大相對擬速度(Maximum Pseudo-Velocity)。

$$PS_V = \omega * S_D = \frac{S_A}{\omega} \quad (3.7)$$

$$PS_A = \omega^2 * S_D \quad (3.8)$$

反應譜之間的關係可由表3.1來參考，求解反應譜的方法一般可分為時間域(Time Domain)分析法及頻率域(Frequency Domain)分析法。在時間域分析，可以利用Duhamel積分式直接求解；而頻率域分析，則利用傅立葉轉換(Fourier Transform)將動力方程式轉到複數頻率域內求解頻率域反應，再轉回到時間域中。而另外一個，也就是本文會提到利用狀態空間法，去求解運動方程式。



3.3 時間域分析法

3.3.1 Duhamel 積分式

如圖 3.1 所示，假設有一組地震加速度 $\ddot{u}_g(t)$ ，當有一個單自由度阻尼結構再受到時間 τ 時受到一個微衝量 $\ddot{u}_g(t)d\tau$ ，則此系統在時間 $t > \tau$ 後的反應 $du(t)$ 為：

$$du(t) = \frac{\ddot{u}_g(\tau)d\tau}{\omega_d} e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) \quad (3.9a)$$

$$du(t) = \frac{\ddot{u}_g(\tau)d\tau}{m\omega_d} e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) \quad (3.9b)$$

式(3.9a)是無阻尼狀況下，而(3.9b)是含阻尼狀況下。疊加從 $\tau = 0$ 至 $\tau = t$ 之各微衝量作用後之各微位移反應，使得時刻 t 之總位移反應 $u(t)$ ，此即

$$u(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) \sin \omega(t-\tau) d\tau \quad (3.10a)$$

$$u(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_d(t-\tau) d\tau \quad (3.10b)$$

式(3.10a)是無阻尼狀況下，而(3.10b)是含阻尼狀況下。且式(3.10)可以表示為



$$u(t) = \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) h(t-\tau) d\tau \quad (3.11)$$

式(3.10)跟式(3.11)稱為杜哈美積分(Duhamel's integral)或褶積積分(convolution integral)，以數學術語言之，及反應 $u(t)$ 為激振力 $\ddot{u}_g(t)$ 與單位脈衝反應函數之摺積。

若系統於 $t=0$ 時具有初始位移 $u(0) = u_0$ 及初始速度 $\dot{u}(0) = \dot{u}_0$ ，則式(3.10)要需要在加上初始條件所產生的自由振動反應部分即可，此即為

$$u(t) = u_0 \cos \omega t + \frac{\dot{u}_0}{\omega} \sin \omega t + \frac{1}{m\omega} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) \sin \omega(t-\tau) d\tau \quad (3.12a)$$

$$u(t) = e^{-\xi\omega t} \left(u_0 \cos \omega_d t + \frac{\dot{u}_0 + \xi\omega u_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right) + \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) d\tau \quad (3.12b)$$

式(3.12a)是無阻尼狀況下，而(3.12b)是含阻尼狀況下。

3.3.2 Duhamel 積分式之數值計算

Duhamel 積分式，為求解系統位移反應之最具代表性，但是杜氏積分之閉合解實有困難，而激振力大多都是經由實驗量測數據得之，如地震所引起的振動，或者經由微振量測儀器量測到的振動，故此時需用數值方法去分析之。

對無阻尼之單自由度系統反應，展開其 Duhamel 積分式 [式 (3.10a)]，得

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{1}{m\omega} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) (\sin \omega t \cos \omega \tau - \cos \omega t \sin \omega \tau) d\tau \\ &= A(t) \sin \omega t - B(t) \cos \omega t \end{aligned} \quad (3.13)$$

其中

$$A(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (3.14a)$$

$$B(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) \sin \omega \tau d\tau \quad (3.14b)$$

對含阻尼之單自由度系統，展開式(3.10b)可得

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{1}{m\omega_d} e^{-\xi\omega t} \int_0^t e^{\xi\omega\tau} \ddot{u}_g(\tau) (\sin \omega_d t \cos \omega_d \tau - \cos \omega_d t \sin \omega_d \tau) d\tau \\ &= A(t)e^{-\xi\omega t} \sin \omega_d t - B(t)e^{-\xi\omega t} \cos \omega_d t \end{aligned} \quad (3.15)$$

式中



$$A(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t e^{\xi\omega\tau} \ddot{u}_g(\tau) \cos \omega_d \tau d\tau \quad (3.16a)$$

$$B(t) = \frac{1}{m\omega_d} \int_0^t e^{\xi\omega\tau} \ddot{u}_g(\tau) \sin \omega_d \tau d\tau \quad (3.16b)$$

欲數值計算式(3.14)或式(3.16)得先利用 $\ddot{u}_g(\tau)$ 、 $\cos \omega \tau$ 、 $\sin \omega \tau$ 等函數圖形取適當距離 $\Delta \tau$ ，可利用一些近似法去求解，例如：矩形法、梯形法、辛普森法去求解。

3.4 狀態空間法 (State Space Representation)

狀態空間法是利用矩陣相乘相加原理，來計算系統的運動方程式，在單自由度的系統中，吾人可以將式(3.1)改寫成

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g$$

$$\text{或 } m\ddot{u}'(t) + c\dot{u}'(t) + ku'(t) = c\dot{u}_g + ku_g \quad (3.17)$$

由於吾人量測到的是速度的資料，如果將速度微分變成加速度，雖然比較方便，但是卻可能會造成比較大的誤差，故將速度積分變成位移，由於積分是定積分故沒有常數，在利用狀態空間法去求解式(3.17)，只要輸入 \dot{u}_g 跟 u_g ，便可以直接一次求得 $\ddot{u}'(t)$ 、 $\dot{u}'(t)$ 、 $u'(t)$ ，故將方程式(3.17)展開

$$m\ddot{u}'(t) = -c\dot{u}'(t) - ku'(t) + c\dot{u}_g + ku_g \quad (3.18)$$

可將式(3.18)表示成矩陣向量形式

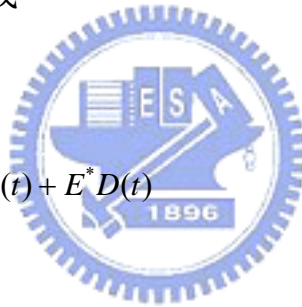
$$\begin{bmatrix} \dot{u}' \\ \ddot{u}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -m^{-1}k & -m^{-1}c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u' \\ \dot{u}' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m^{-1}c \end{bmatrix} \dot{u}_g + \begin{bmatrix} 0 \\ -m^{-1}k \end{bmatrix} u_g \quad (3.19)$$

令

$$\begin{aligned}
Z(t) &= \begin{bmatrix} u^t(t) \\ \dot{u}^t(t) \end{bmatrix} \\
A^* &= \begin{bmatrix} 0 & I \\ -m^{-1}k & -m^{-1}c \end{bmatrix} \\
B^* &= \begin{bmatrix} 0 \\ -m^{-1}c \end{bmatrix} \\
E^* &= \begin{bmatrix} 0 \\ -m^{-1}k \end{bmatrix} \\
V(t) &= \dot{u}_g \\
D(t) &= u_g
\end{aligned}$$

代入式(3.19)，即可寫成

$$\dot{Z}(t) = A^*Z(t) + B^*V(t) + E^*D(t) \quad (3.20)$$



將式(3.20)使用 Laplace Transformation

$$Z(s) = H(s)Z(t_0) + H(s)G(s) \quad (3.21)$$

其中

$$H(s) = (sI - A^*)^{-1}$$

$$G(s) = B^*V(s) + E^*D(s)$$

將式(3.21)做inverse Laplace Transformation

$$z(t) = e^{A^*(t-t_0)}z(t_0) + \int_{t_0}^t e^{A^*(t-\tau)}[B^*V(\tau) + E^*D(\tau)]d\tau$$

當 $t_0 = (k-1)\Delta t, t = k\Delta t$ ，並且 $z[k] = z(k\Delta t), V(k) = V(k\Delta t)$ 及式(3.22)可以表示成

$$V(\tau) = \frac{k\Delta t - \tau}{\Delta t}V[(k-1)\Delta t] + \frac{\tau - (k-1)\Delta t}{\Delta t}V[k\Delta t] \quad (3.23a)$$

$$D(\tau) = \frac{k\Delta t - \tau}{\Delta t}D[(k-1)\Delta t] + \frac{\tau - (k-1)\Delta t}{\Delta t}D[k\Delta t] \quad (3.23b)$$

其中 $(k-1)\Delta t \leq \tau \leq k\Delta t$ ，式(3.20)可由式(3.22)和差分方程式(3.23)求得如下

$$z[k] = Az[k-1] + B_0V[k-1] + B_1V[k] + E_0D[k-1] + E_1D[k]$$

其中

$$A = e^{A^*\Delta t}$$

$$B_0 = \left[(A^*)^{-1} A + \frac{1}{\Delta t} (A^*)^{-2} (I - A) \right] B^*$$

$$B_1 = \left[-(A^*)^{-1} + \frac{1}{\Delta t} (A^*)^{-2} (A - I) \right] B^*$$

$$E_0 = \left[(A^*)^{-1} A + \frac{1}{\Delta t} (A^*)^{-2} (I - A) \right] E^*$$

$$E_1 = \left[-(A^*)^{-1} + \frac{1}{\Delta t} (A^*)^{-2} (A - I) \right] E^*$$

3.5 頻率域分析

將方程式(3.17)改寫成如下：



$$\ddot{u}'(t) + 2\xi\omega\dot{u}'(t) + \omega^2 u'(t) = 2\xi\omega\dot{u}_g + \omega^2 u_g \quad (3.24)$$

利用 FFT 轉換

$$-\omega^2 V(\omega) + 2i\xi\omega\omega V(\omega) + \omega^2 V(\omega) = 2\xi\omega\dot{V}_g + \omega^2 V_g \quad (3.25)$$

式中

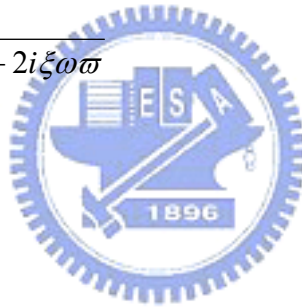
$$V(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-i\omega t} dt \quad (3.26)$$

$$\ddot{V}_g(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{u}_g(t)e^{-i\omega t} dt \quad (3.27)$$

令

$$Hw1 = \frac{2\xi\omega}{(\omega^2 - \omega^2) + 2i\xi\omega\omega} \quad (3.28a)$$

$$Hw2 = \frac{\omega^2}{(\omega^2 - \omega^2) + 2i\xi\omega\omega} \quad (3.28b)$$



即

$$V(\omega) = Hw1 * \dot{V}_g + Hw2 * V_g \quad (3.29)$$

將式(3.29)做快速傅立葉反轉換(Inverse Fast Fourier transform)

即可得到時間域中結構物反應。

$$u'(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} V(\omega)e^{-i\omega t} dt \quad (3.30)$$

3.6 反應譜的繪製

假設結構物是線彈性結構，當吾人知道結構物的自然頻率(或週期 T)及阻尼比時，即可此運動方程式得到一個最大反應值 $|u(t)|_{\max}$ ，若固定一個阻尼比，改變結構的振動週期(或頻率)，即可以得到一條震譜曲線。

吾人利用狀態空間法去解運動方程式(3.17)，求得絕對加速度、絕對速度、絕對位移，以頻率跟1/3倍頻的中心頻率一樣，從1Hz~20Hz取了14個頻率，去製作它在這些頻率下的絕對加速度和絕對速度的反應譜。

吾人分別取阻尼比 ξ 為0.01、0.05、0.1，探討在不同阻尼比下，所得到的反應譜值的差別。由於量測到的速度訊號相當的多，如果要一一來比較的話，將會耗費相當大的時間，故可將所有的資料都分成三個不同方向來做比較分析，圖3.2~圖3.7分別是在阻尼比為0.01、0.05及0.1的絕對加速度和絕對速度，在第一次量測中的反應譜值，圖3.8~圖3.13是在第二次量測不同阻尼比下的反應譜，一般我們結構物的的阻尼比大概在0.05，故我們做到 $\xi=0.1$ 就可以了。

而為了想知道這些資料的可信度，吾人也去做一些統計分析計算它的標準差，圖3.14~圖3.25就是兩次量測的統計分析。

3.7 探討系統頻率下的最大的振動量反應

由於吾人量測到的速度都是地表速度，為了更加準確去分析國立交通大學的運動場振動量，可以利用式(3.17)去求得它的 \dot{u}' (絕對速度)，然後在利用絕對速度的速度歷時，去計算它的1/3倍頻速度均方根振動量。圖3.26～圖3.31分別是阻尼比在0.01、0.05、0.1時的振動量。

3.8 時間域分析法與頻率域分析法之比較

為了比較時間域分析與頻率域分析之間的差異，圖 3.32 和圖 3.33 是在時間域及頻率域求解下，二次量測於系統頻率下最大反應的平均值比較，由圖可以看出來，不管在頻率域求解，或者在時間域求解，差 1-2 dB 表示速度大小差了 10% 左右，其原因是因為初始條件的關係，一般來說以頻率域分析較為準確。

第 4 章 結果與討論

4.1 實地量測

本文利用微振動量測儀器，在國立交通大學的運動場做微動量測的分析，從兩點開始每半個鐘頭量測一次，量測時間一次 5 分鐘、取樣頻率為 200Hz。

4.1.1 實地量測時不良的因素

由於我們在佈置感應器(sensor)時，由於運動場上泥土相當的多，使得有時候感應器的接頭會有沙子跑進去，造成接收到的訊號可能會有雜訊或者是不良的訊號，而且感應器本身是各很精密的儀器，只要受到大一點的振動，可能會使感應器再接受訊號時造成不穩，故微振動量測試驗時，儘量要避掉這些問題。

4.1.2 實地量測時的疏失

由於上節種種的因素，加上第一次量測時對儀器的熟練度不夠，且對訊號不夠瞭解，故當有一個感應器發生問題，卻沒有查覺，而事後再畫時間跟速度的歷時圖時，卻發覺第一次量測的時候，在第三個測站的南北方向(CH7)，於凌晨量測的時刻，訊號發生問題且造成錯

誤。

吾人在做分析時可以將不當的訊號拿掉，故對於錯誤結果並不是那麼在乎。由於有了第一次的經驗，故在第二次量測的時，將會造成量測時的不良因素避免掉，所以第二次量測就沒有第一次量測時的問題發生，最後我們將量測到的值去進行分析，看看其差異性。

4.2 1/3 倍頻振動量來探討

4.2.1 第一次量測

吾人在量測時分別取了凌晨的 4 次量測資料(2:00~4:00)及接近中午(9:00~11:00)的 4 次量測資料來探討，在第一次量測中，由於感應器及人為的疏忽，導致圖 2.7 所示的 CH7(南北方向)，於凌晨 2:00~4:00 之間量測的訊號是錯誤的。

圖 2.5~圖 2.9 是第一次量測時的 1/3 倍頻速度均方根振動量，由圖可知，均是在中心頻率 3.15Hz~4Hz 之間算出來的 dB 值，相對於在其他頻率下是比較大一點的，而峰值(peak)是出現在中心頻率 3.15Hz，而求得的振動量大概就是介於 35dB~40dB 之間。且由凌晨時間量測時和早上時間量測時，所得到的 dB 值可以看出來在早上時，由於學校環境振動來源比較多，由結果可以看出來在中心頻率 1.25Hz 以上，於白天量測到的振動量，相對於在凌晨環境振動源比較少的情

況下，兩者相差 5dB~10dB 左右。

吾人發現在中心頻率 10Hz~20Hz 之間，它的擾動源在每一個測站點、不同時間、不同方向，可以看出他振動量性質是比較不一致性的，故我們可以知道頻率 10Hz 以上在早上量測到的環境振動，其擾動源是比較特別的，例如測站點 1 所量測的，如圖 2.5 所示的在 16Hz~20Hz 之間，它在 2 點時量測到三個方向的 dB 值，很明顯的突然往上升，吾人推測這個擾動源，可能是由量測人員所造成的影響，因為相較於其他凌晨量測的值，都比 2 點這次量測為低，故推測其原因。

圖 2.15~圖 2.19 是吾人去做它的統計理論分析，吾人將平均值去加減一個標準偏差(standard deviation)，在去求它的包絡線(最大值)，及最小值所得到的結果。而計算出來的標準偏差大概都是差 1dB~5dB 之間，都是相當合理的，其中都是以中心頻率 10Hz 以上求出的標準偏差值相比對 10Hz 以下較大，其原因可能事早上的環境振動在 10Hz 以上，比凌晨大上許多。且圖 2.17 的 CH9(垂直方向)在中心頻率 16Hz 時，它的標準偏差值差了快 8 個 dB 左右，是值得去討論的地方，吾人推究其原因是在圖 2.7 的 CH9(垂直方向)，可知道它是因為凌晨時的振動量跟白天時的振動量差別太大，故標準偏差相對會比較大。

4.2.2 第二次量測

第二次量測時間，是利用開學期間所進行的量測，故量測到的環境振動於早上時刻，應該相較於第一次量測時會較大，由圖 2.10～圖 2.14 來看，於凌晨時量測到的環境振動還是跟第一次量測時差不多，可是在白天量測所量測到的振動量，在中心頻率 8Hz 以上，且越接近中午的時刻它的 dB 值會越大，可見在白天量測時候因為擾動源較多，故量測到的值差距也會越大。

圖 2.20～圖 2.24 是吾人去作統計分析，將平均值去加減一個標準偏差(standard deviation)，求包絡線跟最小值。由平均值方面可以看得出來，於所有的時間內，依舊是在中心頻率 3.15Hz 擁有一個峰值(peak)，而標準偏差方面明顯的可以看出來在中心頻率 8Hz 以下，大致上差了 1dB～5dB 之間，不過中心頻率 8Hz 以上標準偏差差了 5dB～10dB 之間，尤其是在垂直方向的振動量差距更是明顯。在包絡線上，只有在垂直方向上，在中心頻率 12.5Hz 時是比中心頻率在 3.15Hz 時大，其他最大值還是出現在 3.15Hz 那點。

4.2.3 兩次量測的比較

第一次量測如圖 2.5～圖 2.9，第二次量測如圖 2.10～圖 2.14，它們之間差異性並不大，但在中心頻率 8Hz 以上可以比較明顯看出

來，尤其是在白天量測的部分差距比較大。由於第一次量測是利用暑假期間，在白天時刻比較少人在學校裡面活動，故在白天的擾動源比較少，而第二次量測是學校上課期間，故擾動源相對來說會比較多，由圖 2.10~圖 2.14 可以知道，造成國立交通大學運動場在中心頻率 8Hz 以上相對偏高的原因，可能是學校中車輛行駛、人的跑動或走動等所引起的，而造成中心頻率在 3.15Hz 這個峰值的振動源，可能是地表的自然振動所造成的。

吾人將所有時間表示成三個方向分別為南北、東西、垂直向去求它的平均值和標準偏差如圖 2.53~圖 2.55，先由兩次量測的南北方向來看，就平均值而言，兩次量測的平均值差不到 2dB，且兩次量測可以看出來還是在中心頻率 3.15Hz 的 dB 值最大，故在南北方向可以看出來，其實兩次量測的振動量是差不多的。且在第一次的量測，只能看的出在中心頻率 16Hz 時，它的差異性比較大，有 4 個 dB 左右的標準偏差，第二次量測在中心頻率 8Hz~20Hz 之間的 dB 值，其原因是由於白天和凌晨量測到的振動量差異比較大，故標準偏差比較大。

在東西方向來比較，由於第一次量測時，在測站 3 於 9 點 30 分那次量測在低頻部分比較大如圖 2.7 所示，故可以看出來在低頻的包絡線比較大，不過由這二次量測的平均值來看，可以看出它們之間也是相當的接近，而平均值的峰值還是在中心頻率 3.15Hz 的地方，東

西方向還是在 8Hz 以上差距比較大。

在垂直方向來比較，其實兩次量測的差異性就不大了，平均值相互之間的比較依舊是差 2dB 左右，峰值一樣在中心頻率為 3.15Hz 處，跟水平的兩個方向來看，峰值都是在一樣的頻率。

4.3 速度的平均振動量

4.3.1 第一次量測

如圖 2.25 所示吾人去計算它的平均振動量，由於同一個方向有兩個方向的振動情況，故去相加平均後速度可能因為相互抵銷而變小了，吾人利用這些速度資料在去求它的 1/3 倍頻速度均方根振動量，而求得的振動量相較於其他振動量是比較小，圖 2.26~圖 2.33 是我們擷取到的 8 個時間內的振動情形，由於相互抵銷的原因，由這些圖來看，它的振動量都比量測到的值小上 10 個 dB 值以上，只有在垂直方向，我們可以看出來它的差距會比較小，可見垂直方向振動時比較具有一致性，而在南北向、東西向來看就可以知道其振動方向，是比較不一致的，導致相互抵銷之後它的振動量相對於其他都是比較小，差距也比較大。

4.3.2 第二次量測

情形大致上跟第一次量測所分析的圖大致相同，圖 2.34～圖 2.41 所示，依舊是在垂直方向具有比較一致的振動方向，南北跟東西向依舊跟第一次一樣。只是第二次量測到的振動量，跟第一次相比似乎大了一點。

4.3.3 兩次量測的比較

圖 2.42～圖 2.49 是八個時間的速度平均值去計算的振動量，吾人分成三個方向去做探討，而在每一個時間每個相同方向都有 5 個 Channel 吾人將其平均，看二次量測的差異情形。圖 2.50～圖 2.52 是將所有時間，每個同一方向去求平均值來作統計分析。

由每個時間的速度平均振動量去比較，可以看的出來，在第二次量測所計算出來的 1/3 速度均方根振動量，跟第一次量測時的振動量在每個方向都相差不多，只有大上一點，可以知道第二次量測時它的振動情形比較一致，故振動量比較大。

由圖 2.50～圖 2.52 所示，吾人將所有時間的平均值去作統計分析，兩次量測的三個方向平均值都相差不到 5 個 dB，故相差都蠻少的。

吾人將每個方向所有時間求得的速度均方根振動量，以及利用速

度平均值去求得的振動量，相互之間去做比較如圖 4.1 所示。

4.4 反應譜的探討

4.4.1 第一次量測

在圖 3.2~圖 3.4 為絕對加速度在不同阻尼比下的圖，當阻尼比為 0.01 時，可以看到加速度的反應譜，在頻率 12.5Hz~20Hz 之間會比較大，垂直方向在 10 點半時，它的值會大到 0.52gal 左右，而在頻率 8Hz 以下，頻率為 3.15Hz 也是具有一個峰值存在，另外 8Hz 以上在白天的絕對加速度值跟凌晨量測的值相比，有比較明顯的變大趨勢。吾人去計算出來的標準偏差如圖 3.14~圖 3.16 所示，當阻尼比為 0.01 時，在垂直方向 16Hz 時差距 0.14gal 左右，而水平方向也都差距 0.7gal 左右，當阻尼比變成 0.05 時可以發現它的加速度值會變小，在南北向少了 0.01gal~0.14gal 左右，東西向也是 0.01gal~0.14gal，而垂直方向最大值少了 0.25gal。再把阻尼比變大為 0.1 時，它的反應譜值又變的更小了，跟阻尼比為 0.01 時相較共少了 0.3gal。

圖 3.5~圖 3.7 為絕對速度的反應譜，可以發現頻率在 3.15Hz 處具有一個峰值存在，由於 1/3 倍頻速度均方根是利用速度去計算，故可以表示出確實在中心頻率 3.15Hz 處它的 dB 值會比較大，而將阻

尼比變大可以看出來反應譜的速度，會越來越小。圖 3.17~圖 3.19 是統計分析的圖，可知當阻尼比為 0.01 和阻尼比為 0.1 時，於頻率 3.15Hz 處，振幅降低了 0.005(kine)左右。在第一次量測時，吾人發現在三個方向的最大值，還有平均值的最大值都是以中心頻率 3.15Hz 為最大，跟之前所討論的 1/3 倍頻的 dB 值最大頻率所在處不謀而合，可見我們亦可從反應譜看出振動情形。

4.4.2 第二次量測

圖 3.8~圖 3.10 是第二次量測的絕對加速度反應譜，當阻尼比為 0.01 的時候來看絕對加速度，可以發現頻率在 12.5Hz 的三個不同方向，於 10 點 30 分那次量測都有一個峰值大於其他的頻率，而且垂直方向更大到有 1.52gal 左右。由於白天量測到的反應跟凌晨量測到的反應，在 8Hz~20Hz 之間的反應，相差比較大，故由圖 3.20~圖 3.22 的統計分析中，可以看出來在頻率 8Hz~20Hz 之間他的標準偏差比較大，尤其以 12.5Hz 時的垂直方向差距有 0.45gal 左右，故平均值去減個標準偏差會變成負值。當阻尼比為 0.05 時和阻尼比為 0.1 的絕對加速度圖，都可以看出來平均值都降了許多。

圖 3.11~圖 3.13 為第二次量測的絕對速度反應譜，在早上量測到的速度值振動量都大於凌晨量測時的，大概大了 0.005kine 左右，

而峰值出現在 3.15Hz 處，只有早上 10 點 30 分量測到的那個反應，頻率在 12.5Hz 是大於 3.15Hz，推測原因可能是因為人為造成的振動，或者是車輛行駛的時候的振動量。在統計分析方面圖 3.23~圖 3.25 時分別是阻尼比為 0.01、0.05、0.1 時的反應，吾人可以發現在平均值時出現的峰值為頻率在 3.15Hz、及 12.5Hz 之處，但是由於在 12.5Hz 所有時間量測到的值差距比較大，故標準偏差也最大，不過照吾人的分析，這些都是可信賴的範圍內。

4.4.3 兩次量測的比較

圖 3.2 跟圖 3.8 分別為第一次跟第二次量測的加速度反應譜 ($\xi=0.01$)，可以看出來在凌晨 2 點~4 點間，它們之間的反應差別並不會很大，不過白天在 10 點 30 分所量測到的反應，在頻率為 12.5Hz 跟 16Hz 的地方，反應是比較明顯的，南北向在 12.5Hz 時差了 0.42gal，而東西向在 12.5Hz 差了 0.6gal，在 16Hz 差了 0.42gal 左右，不過還是以垂直方向差距為最大，12.5Hz 時差距了 0.63gal，在 16Hz 處更差距了 1gal 左右，由此可推論振動源在 10 點 30 分時，可能以垂直方向的环境振動有較大的影響。吾人也做了統計分析方面如圖 3.14 跟圖 3.20 所示，可以知道兩次量測的差別只是在 10 點 30 分那次最為明顯，在平均值方面兩次量測是差不多的。而在其他阻尼比

下，反應也是差不多，只是值變的比較小一點。

絕對速度來看，圖 3.5 和圖 3.11 分別是第一次跟第二次量測的速度反應譜($\xi=0.01$)，在凌晨 2 點~4 點之間所作的量測分析還是看不出來有多大的差別，可是在早上量測時所造成的差距較為明顯。而圖 3.17 跟圖 3.23 所示，當阻尼比為 0.01 時，吾人去做它的統計分析，可以知道在早上的標準偏差比較大，在阻尼比為 0.05 及 0.1 時其差異性並不大

4.5 利用絕對速度求系統頻率下的最大反應

4.5.1 不同阻尼比的最大振動量

吾人改變它不同頻率下，每個頻率下會得到一筆速度歷時，利用這個頻率下的速度歷時，去計算每個頻率下的振動量，擷取在這個頻率下的 dB 值，每個頻率下這個值必定是最大值，故可求得在所有頻率下的最大 dB 值，由於高科技廠房的需要，吾人將反應譜的頻率設定為 1/3 倍頻的中心頻率值，故以後想要知道當阻尼比為多少時，哪個頻率下的最大反應為何，就直接可以由圖得知。

4.5.2 絕對速度和地表速度的 dB 值比較

圖 3.26~圖 3.31 為絕對速度在不同阻尼比下的最大振動量反

應，吾人將絕對速度求得知之最大振動量，與之前利用地表速度量測出來的振動量，如圖 4.2~圖 4.4 分別與阻尼比 0.01、0.05、0.1 做比較，由圖 4.2 阻尼在 0.01 時，在頻率為 3.15Hz(南北向)時平均值相差了 26dB 值，而其他的值跟絕對速度求得振動量相比，都差了 20~30dB 左右。在東西向和垂直向，也是跟南北向差不多。而第二次量測時，平均值的振動量也是相差 20~30dB 左右。

圖 4.3 當阻尼比變成 0.05 時，因為絕對速度的值變的比較小，故所求的 dB 值相對會變的比較小，跟第一次量測每個方向去比較大致上差了 15~20dB 左右，至於第二次量測也是一樣的情況，也是差大概 15~20dB 左右。

圖 4.4 當阻尼比用 0.1 時，絕對速度的振動量又變的更小，跟地表速度比較，只有差 10~15dB 左右

第五章 結論與建議

本研究詳盡介紹微振動量測之理論與分析，利用 matlab 這套商用軟體，撰寫簡易計算程式，即可完成微振動訊號之分析。吾人從三分之一倍頻的定義及性質，說明頻率寬帶之劃分及上下界頻率與中心頻率之關係。竟而透過能譜密度函數的定義，在利用能譜密度函數求得 1/3 倍頻速度均方根的振動量，然後利用在國立交通大學運動場的兩次實地量測案例去做分析，然後再去製作它的反應譜，去探討相互之間的關係。以下就是本研究所得到的結論與建議。



5.1 結論

1. 以速度資料去求得 1/3 倍頻的速度均方根振動量，作兩次分析比較，可以得到它的 dB 值，而吾人所分析的振動量 dB 值都符合高科技廠房的振動標準，而且由一些數據明顯表示，白天的時候在高頻往往會有不明原因的振動，造成振動量有突然性的變大，不過在高頻的方面振動是比較好消除的。
2. 利用反應譜的製作，可以去看反應譜之間的變化，吾人可以將頻率取的比較細微，因為高科技廠房的頻率是以美國國家標準局所訂的，不能看出在其他頻率下，吾人想知道的頻率其振動量是多少，

透過反應譜的製作可以知道。不過吾人是想知道交通大學運動場適不適合去蓋一座高科技廠房，故取的頻率要依照高科技廠房所訂定的中心頻率位置即可。

3. 吾人利用絕對速度去求得系統頻率下最大反應，明顯可以看出來其振動量相對於量測到的速度訊號大上許多。不過可以利用這樣求出每個頻率下的最大振動量值，當吾人想知道在阻尼比為多少時某個頻率的振動量，就可以利用所繪製的圖可以得知。
4. 由絕對加速度圖可以知道，在國立交通大學的運動場，它的振動量依舊是在中心頻率 3.15Hz 時有個峰值(peak)，雖然在中心頻率 8Hz 以上的頻率，它的振動量也相當的大，不過那些值相對應於中心頻率 3.15Hz 處也是比較小。且頻率 8Hz~20Hz 之間的振動量實大實小，我們只能說它的擾動源是相當的複雜，不像中心頻率 3.15Hz 那麼規律。

5.2 建議

因為吾人是利用為微振動量測儀器去量測國立交通大學操場的振動量，進而才去探討在這個位置適不適合去蓋高科技廠房，是不是可以先利用一些商用軟體先去模擬一下地形，在和實地量測進行比較。

1. 可以利用一些有限元素法套裝軟體分析，輸入其模型、邊界條件、土壤參數、土壤深度等等條件，去計算它的速度資料，然後去求得1/3 倍頻的速度均方根振動量。
2. 可以作一些衝擊載重的試驗，去探討如果在某個地方輸入一個衝擊載重，對某個位置的影響。由於微振動量測試驗，雖然有衝擊載重的試驗，不過由於都是人為的操縱，無法得到預期施加的力量，不過可以利用一些商用軟體去做分析。



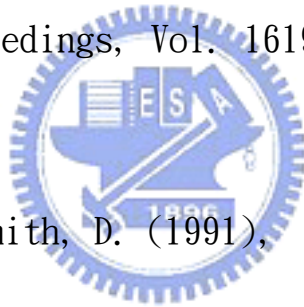
參考文獻

1. Zant, P.V. (2000), Microchip Fabrication–A Practical Guide to Semiconductor processing, 4th edition, McGraw-Hill, Inc.
2. Gordon, C.G. (1991), ‘Generic criteria for vibration sensitive equipment’ , Vibration Control in Microelectronics, Optics and Metrology, SPIE Proceedings, Vol. 1619, pp. 71-85.
3. Keith, W.L., and Chris, A.P. (1999), ‘Micro-vibration criteria for 300 mm and beyond’ , Semiconductor FABTECH, 10th Edition, pp. 167-170.
4. Neal S.R.W. (1991), ‘Quantification of structural vibration and development of criteria: an Introduction to IES draft standard RP-24’ , Vibration Control in Microelectronics, Optics and Metrology, SPIE Proceedings, Vol. 1619, pp. 246-252.
5. 中鼎工程股份有限公司 (1999), 「台灣高鐵計畫南科振動影響評

估及對策研擬工作第一階段工作成果報告」。

6. 倪勝火，鍾啟泰，莊明仁 (2000)，「台南科學園區背景及施工引致振動之量測與分析」，第五屆結構工程研討會論文集(一)，第1~8頁，溪頭。

7. Nigbor, R.L. (1991), 'Accurate characteristics of low level vibration environment using seismological sensors and systems' , Vibration Control in Microelectronics, Optics and Metrology, SPIE Proceedings, Vol. 1619, pp. 265-271.



8. Goucher, R., and Smith, D. (1991), 'Vibration measurement techniques for advanced test and manufacturing facilities' , Vibration Control in Microelectronics, Optics and Metrology, SPIE Proceedings, Vol. 1619, pp. 272-283.

9. Lee, G. C. et. al. (1999), Development of Measurement Capability for Micro-vibration Evaluations with Application to Chip Fabrication Facilities, Technical report MCEER 99-0020, SUNY/Bufalo.

10. 鍾立來，王彥博，李建良 (2002)，「微振動量測技術(一)」，高科技廠房新工法與微振害防治研討會論文集，第31-40 頁，民國九十一年三月，新竹交大。
11. 王彥博，李建良 (2002)，「微振動量測技術(二)」，高科技廠房新工法與微振害防治研討會論文集，第41-59 頁，民國九十一年三月，新竹交大。
12. ANSI S1.1-1986 ASA 65-1986 (1993), Specifications for Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and Digital Filters, Acoustical Society of America, N.Y.
13. Ewins, D. J. (1984), Modal Testing: Theory and Practice, Research Studies Press (RSP) Inc, Taunton.
14. 林秉勳，”強震紀錄之修正方法”，國立交通大學，碩士論文，民國 83 年。
15. 鄭義憲，”國家耐米元件實驗室之微動量測與初步分析”，國立

交通大學, 碩士論文, 民國 92 年。



表 2.1 倍頻與 1/3 倍頻的對照表

頻率					
倍頻帶			1/3 倍頻帶		
下界頻率	中心頻率	上界頻率	下界頻率	中心頻率	上界頻率
0.71	1	1.42	0.89 1.12	1 1.25	1.12 1.41
1.42	2	2.84	1.41 1.78 2.24	1.6 2 2.5	1.78 2.24 2.82
2.84	4	5.68	2.82 3.55 4.47	3.15 4 5	3.55 4.47 5.62
5.68	8	11	5.62 7.08 89.1	6.3 8 10	7.08 8.91 11.22
11	16	22	11.22 14.1 17.8	12.5 16 20	14.1 17.8 22.4
22	31.5	44	22.4 28.2 35.5	25 31.5 40	2.82 35.5 44.7
44	63	88	44.7 56.2 70.8	50 63 80	56.2 70.8 89.1
88	125	177	89.1 112 141	100 125 160	112 141 178
177	250	354	178 224 282	200 250 315	224 282 355
354	500	707	354 447 562	400 500 630	447 562 707

表 2.2 標準曲線適用範圍

標準曲線	Max Level(1) Micro inches/sec (db)	Detail size(2) Microns	使用說明
workshop (ISO)	32000(90)	N/A	可以明顯感受到振動。 適合用來當工廠和對振動較不敏感的地方。
office (ISO)	16000(84)	N/A	可以感受到振動。 適合用來當做辦公室和對振動不敏感的地方。
Residential Day SO)	8000(78)	75	幾乎感受不到振動 在大部分的情況下適合用來當做人們睡眠的場所。可能滿足電腦設備, 探查測試設備以及低放大倍率顯微鏡的使用。
Op . theatre (ISO)	4000(72)	25	感受不到振動的存在。 適合當做從事靈敏性高的靜態活動之場所, 如外科手術室。 能滿足最大達 100x 之顯微鏡和其他低靈敏性的設備之使用。
VC-A	2000(66)	8	在大部分情況下能滿足放大率達 400x 之光學顯微鏡, 微量天平, 光學天平... 等設備之使用。
VC-B	1000(60)	3	如要衡量放大率達 1000x 之光學顯微鏡和達 3 微米線寬之印刷和檢驗設備, 這規格曲線是一個不錯的標準。
VC-C	500(54)	1	精度達 1 微米之大部分印刷和檢驗設備可以以此作為衡量標準。
VC-D	250(48)	0.3	大部分的情形下, 對環境振動標準要求很高之設備能得到滿足, 包括穿透式和掃描式電子顯微鏡和操作達能力極限的電子束系統。
VC-E	125(42)	0.1	在大部分情形下很難達到這個標準 在這標準下能符合大部分對環境振動量要求極高動態穩定度之系統振動要求。

表 2.3 集錄系統規格

型號	Spc-51
頻道數	16
A/D 轉換	16 bit
最大輸出電壓	±10V
取樣頻率	可調式 10、20、50、100、200、500、1000
放大倍率(Gain)	1、2、10、1000
啟動方式	手動，自動，時間設定
高通濾波器	0.1Hz 或 1Hz
低通濾波器	1/3*取樣頻率
記錄長度	可調式(最多 99999999 點/頻道)
記憶體	硬碟 9.34G

表 2.4 速度計規格

型號	VSE-15D
頻率範圍	0.1~70Hz
測量範圍	±10 kine(cm/sec)
靈敏度	1V/kine 或 10V/kine
最大輸出電壓	±10V

表 3.1 反應譜值間之關係

相對位移 $ u _{\max}$	$= S_D$	$\cong S_V / \omega$	$\cong S_A / \omega^2$	$= PS_V / \omega$	$= PS_A / \omega^2$
相對速度 $ \dot{u} _{\max}$	$\cong \omega S_D$	$= S_V$	$\cong S_A / \omega$	$\cong PS_V$	$\cong PS_A / \omega$
絕對加速度 $ \ddot{u} + \ddot{u}_g _{\max}$	$\cong \omega^2 S_D$	$\cong \omega S_V$	$= S_A$	$\cong \omega PS_V$	$\cong PS_A$
* 若 $\xi = 0$ ，則 \cong 成為 =					

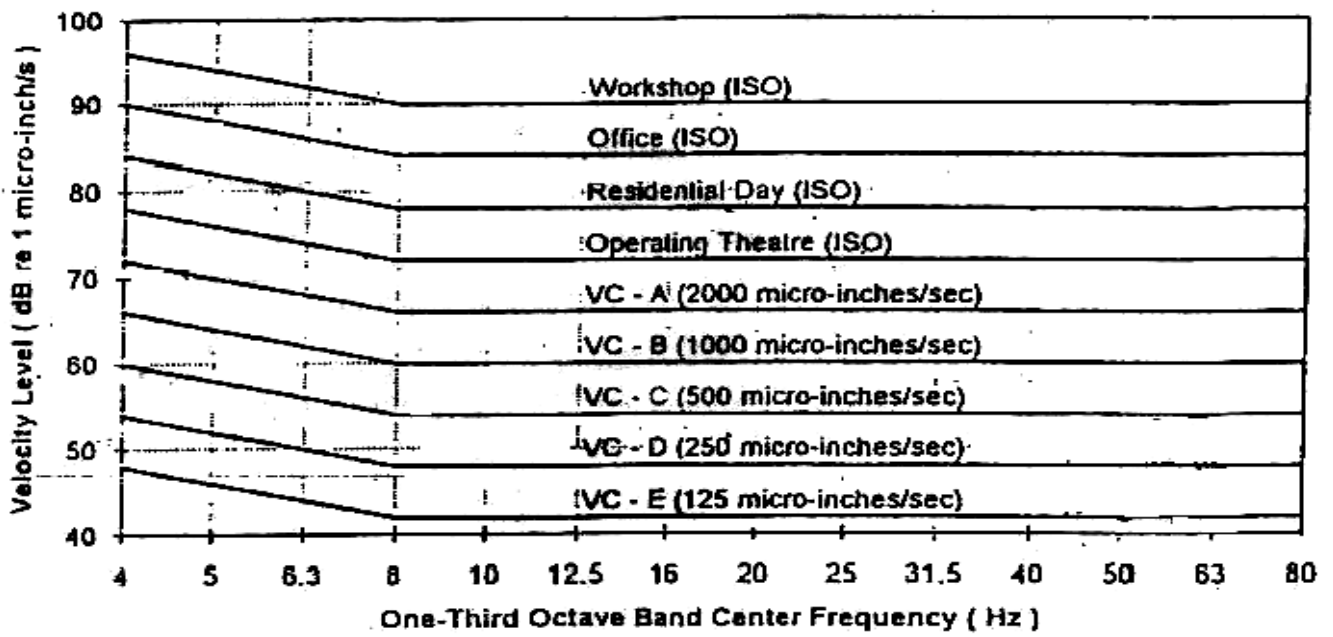


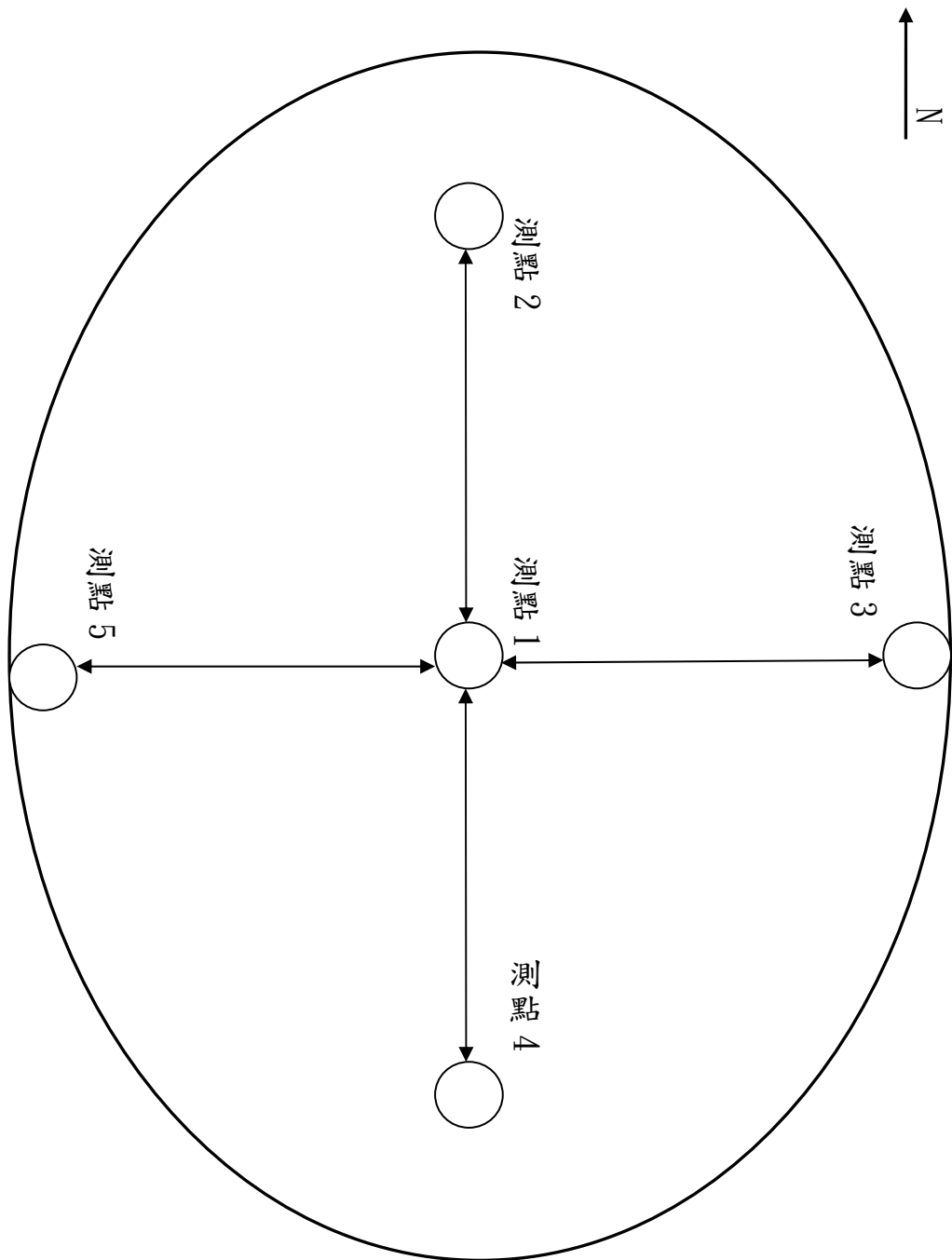
圖 2.1 振動標準曲線



圖 2.2 集錄系統 Spc-51



圖 2.3 速度計 VSE-15D



測點 1 : CH1 (N-S)

CH2 (E-W)

CH3 (VER)

測點 2 : CH4 (N-S)

CH5 (E-W)

CH6 (VER)

測點 3 : CH7 (N-S)

CH8 (E-W)

CH9 (VER)

測點 4 : CH10 (N-S)

CH11 (E-W)

CH12 (VER)

測點 5 : CH13 (N-S)

CH14 (E-W)

CH15 (VER)

圖 2.4 國立交通大學運動場示意圖

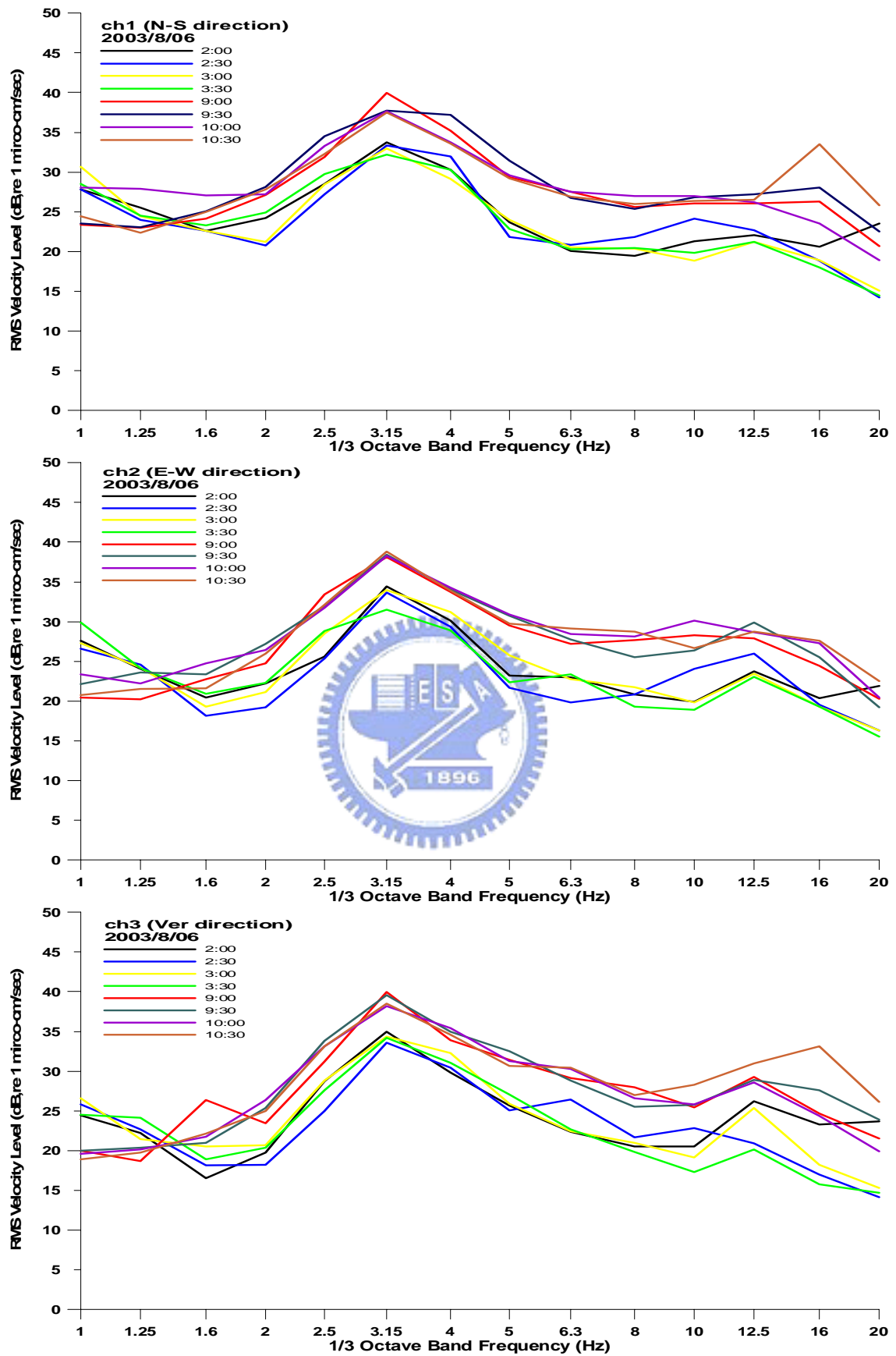


圖 2.5 測站 1 各時間的速度均方根值(第一次)

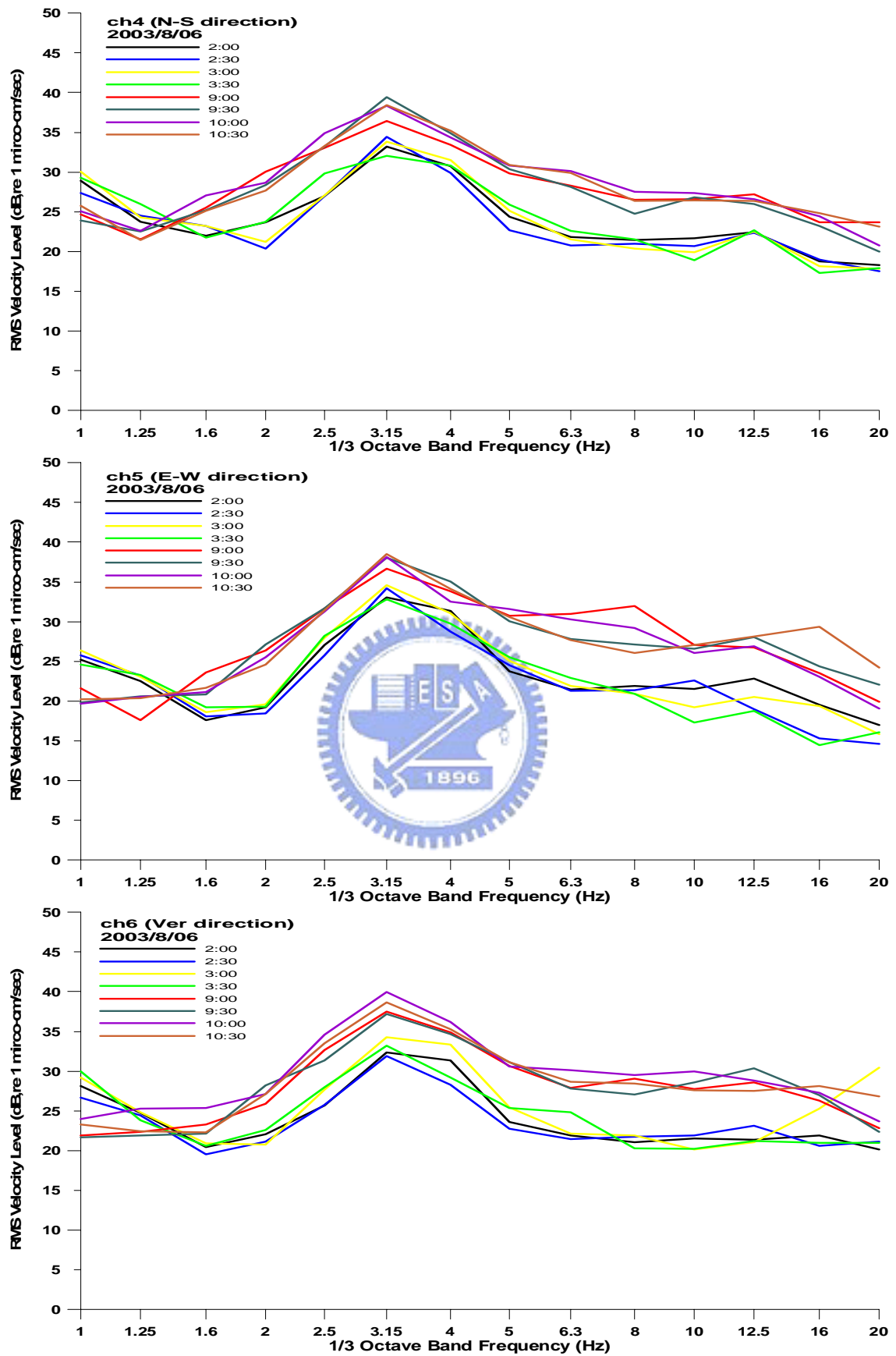


圖 2.6 測站 2 各時間的速度均方根值(第一次)

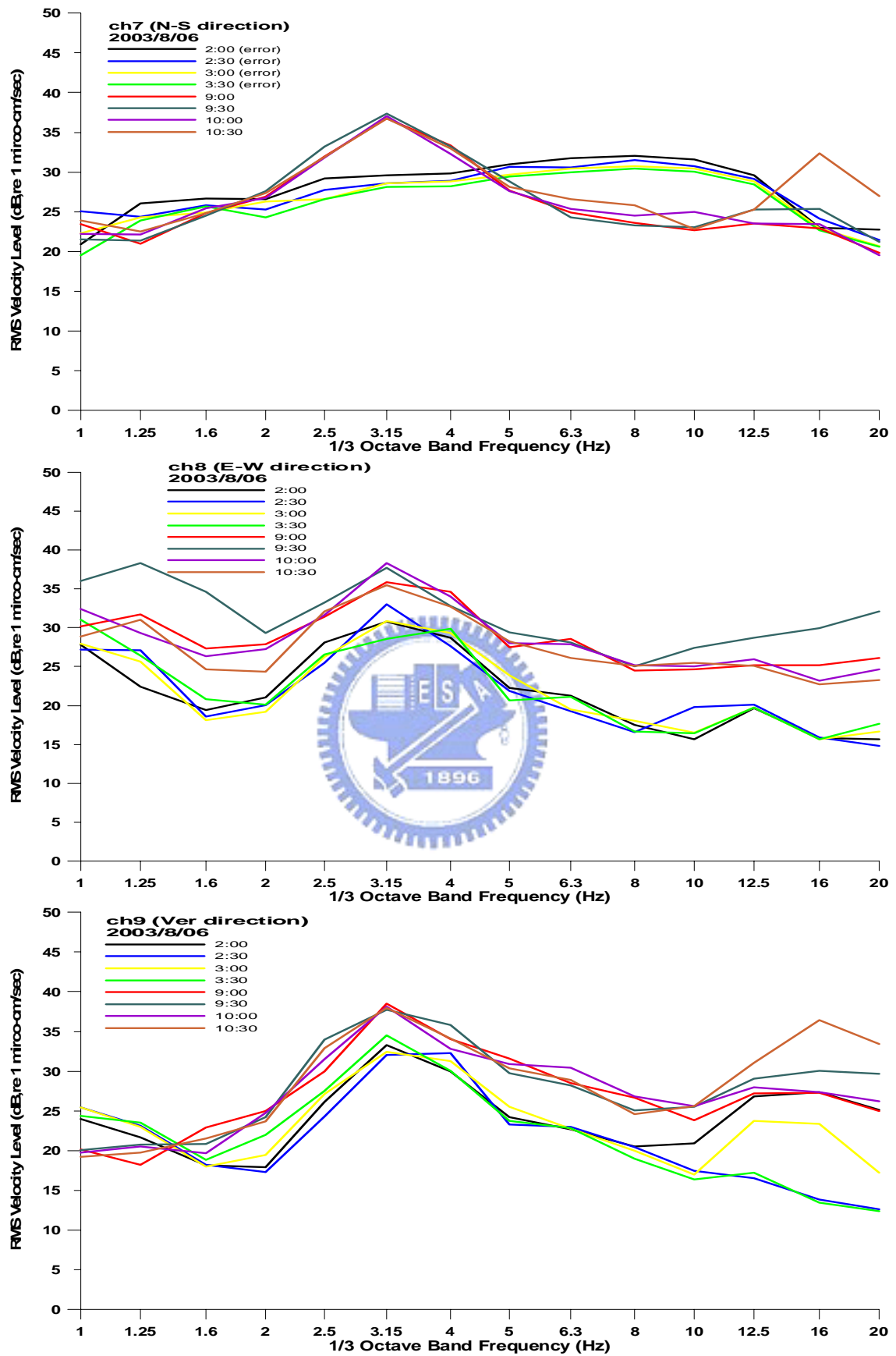


圖 2.7 測站 3 各時間的速度均方根值(第一次)

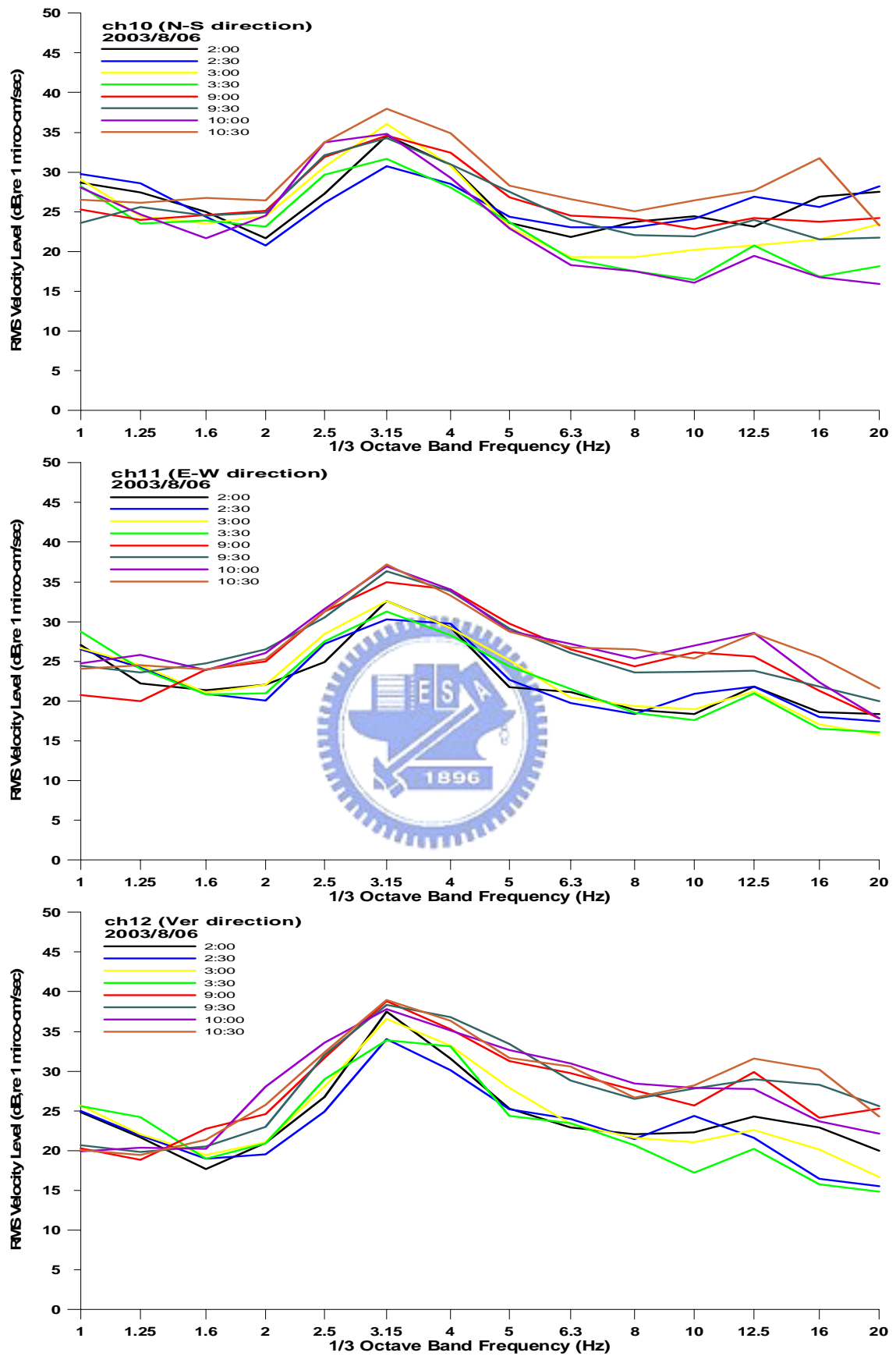


圖 2.8 測站 4 各時間的速度均方根值(第一次)

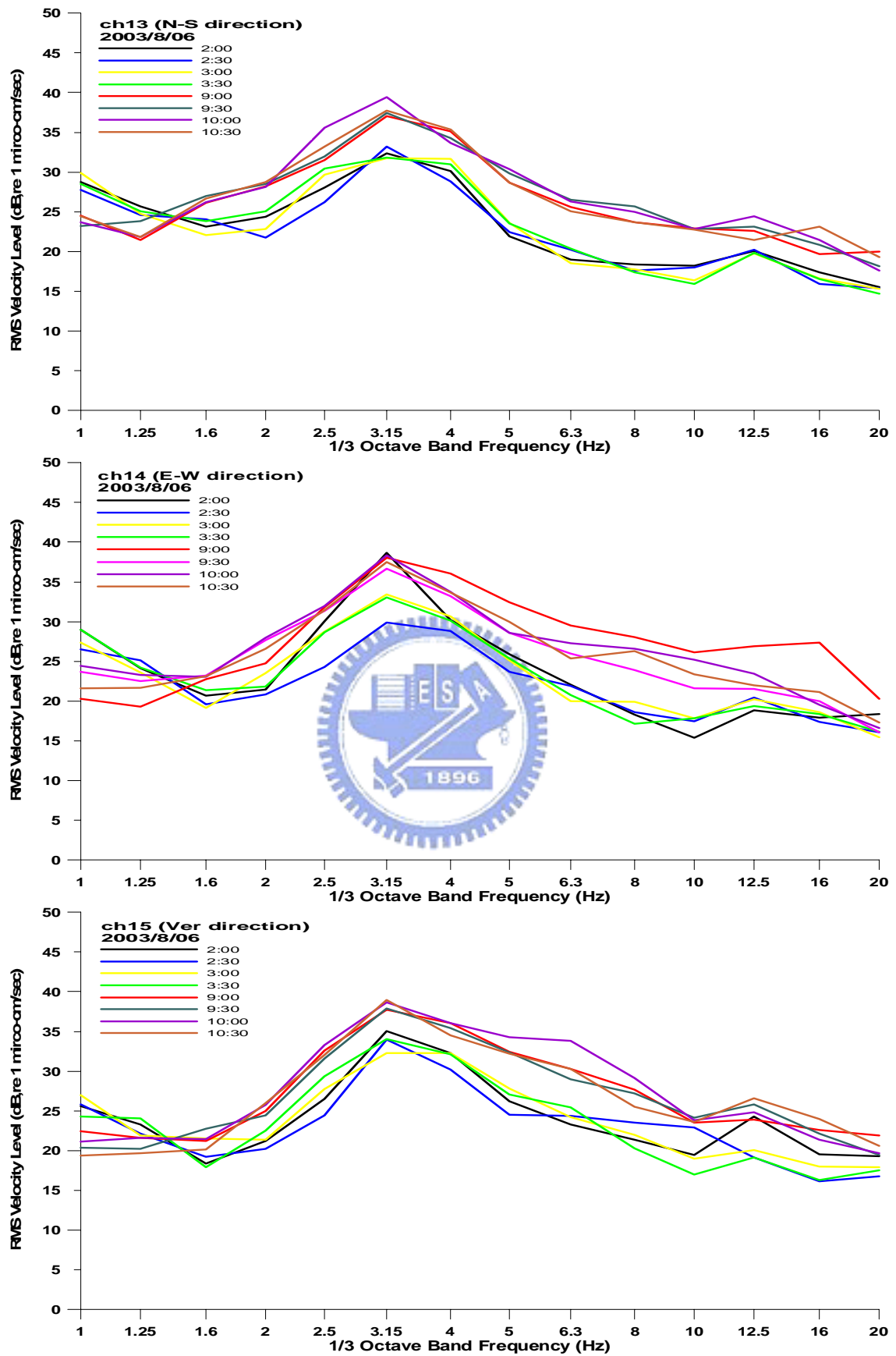


圖 2.9 測站 5 各時間的速度均方根值(第一次)

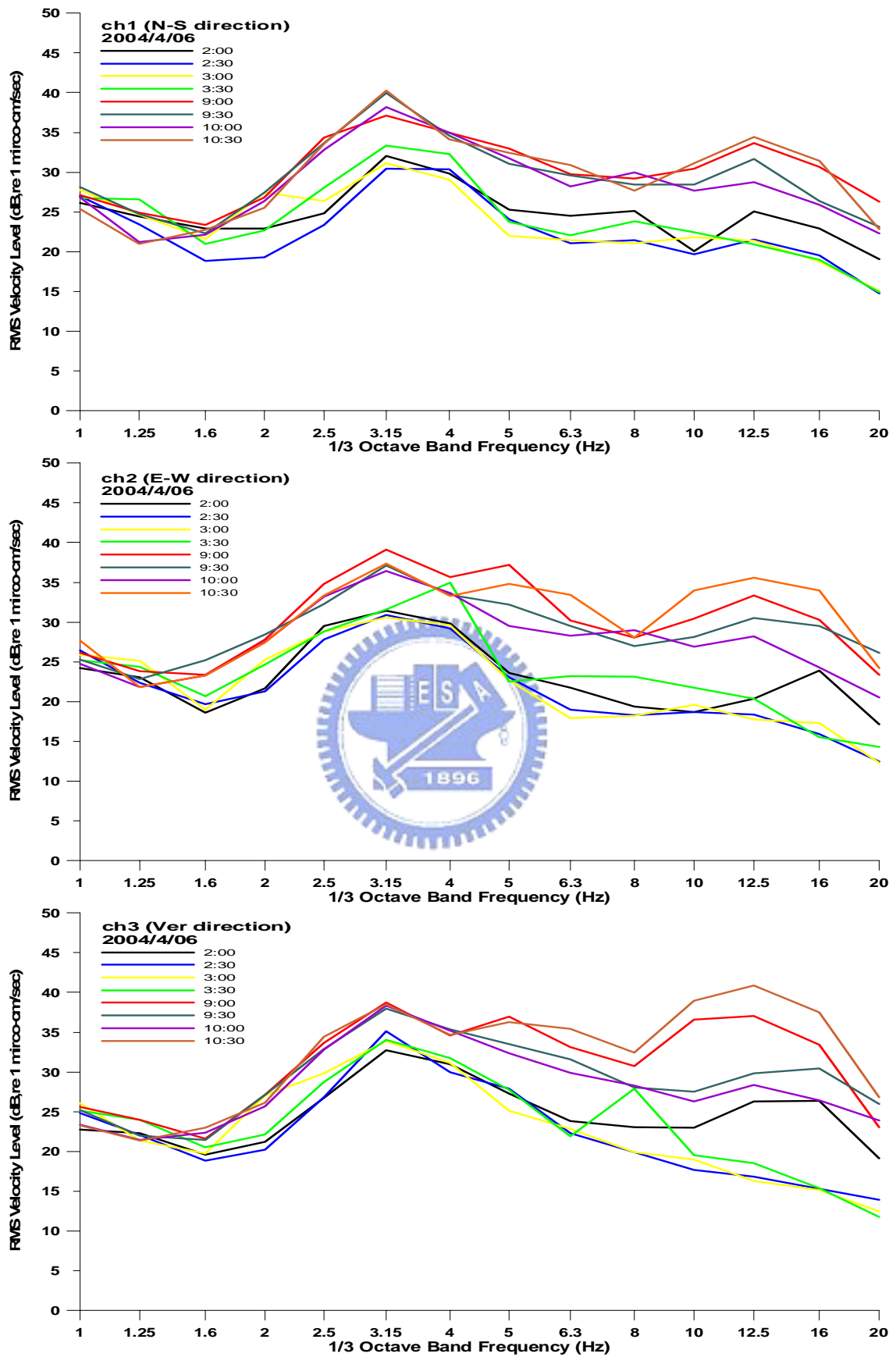


圖 2.10 測站 1 各時間的速度均方根值(第二次)

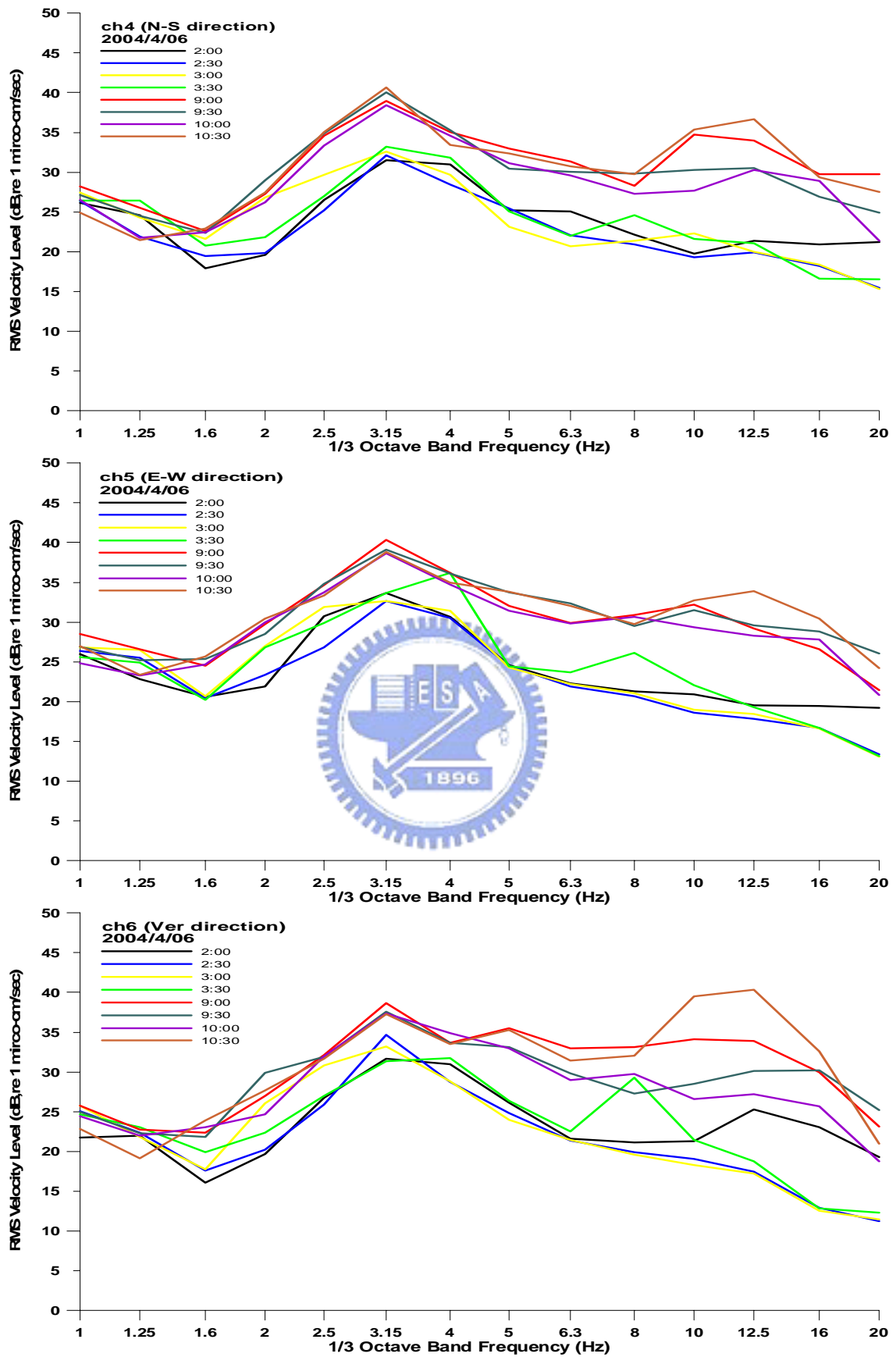


圖 2.11 測站 1 各時間的速度均方根值(第二次)

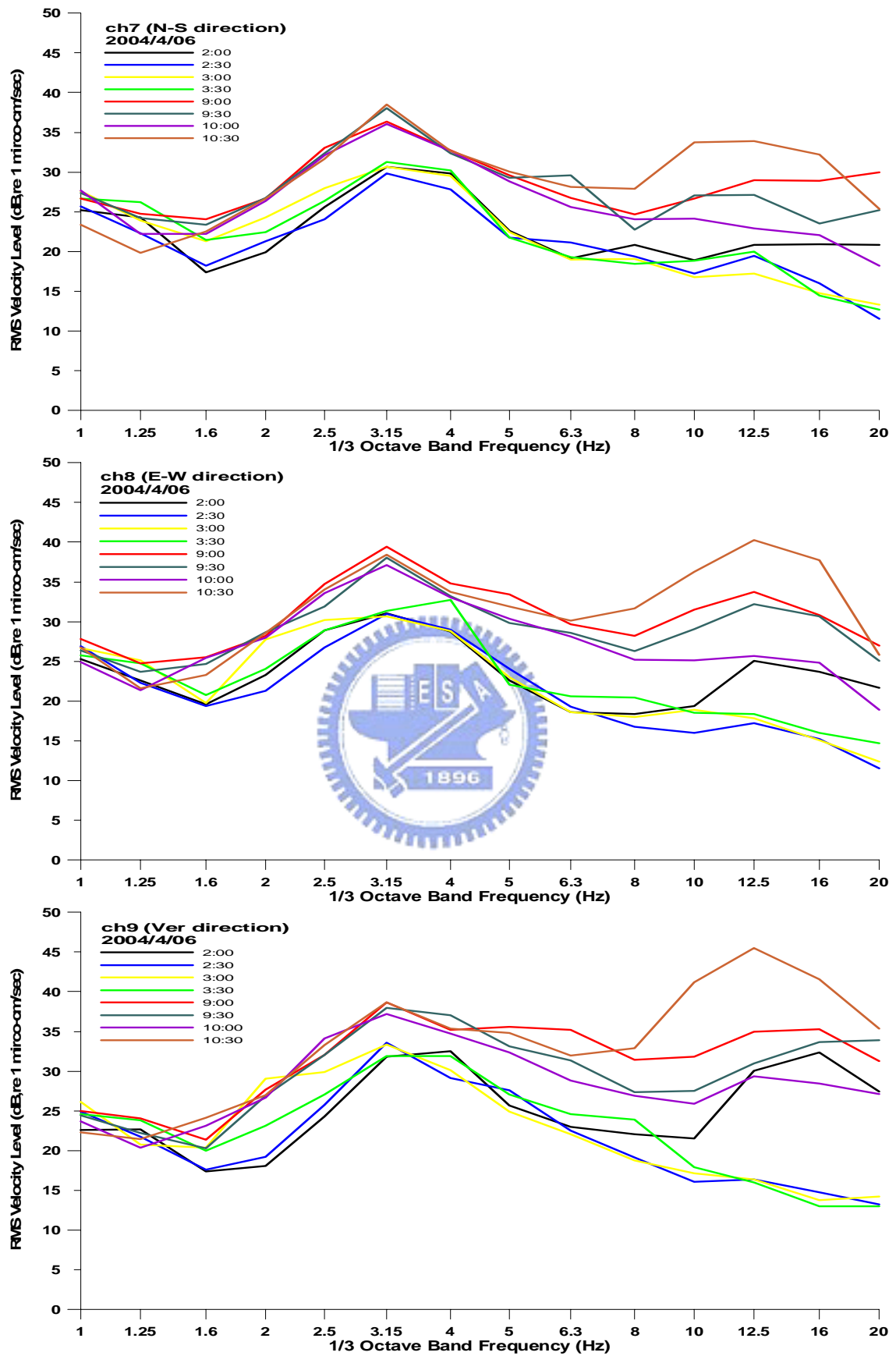


圖 2.12 測站 3 各時間的速度均方根值(第二次)

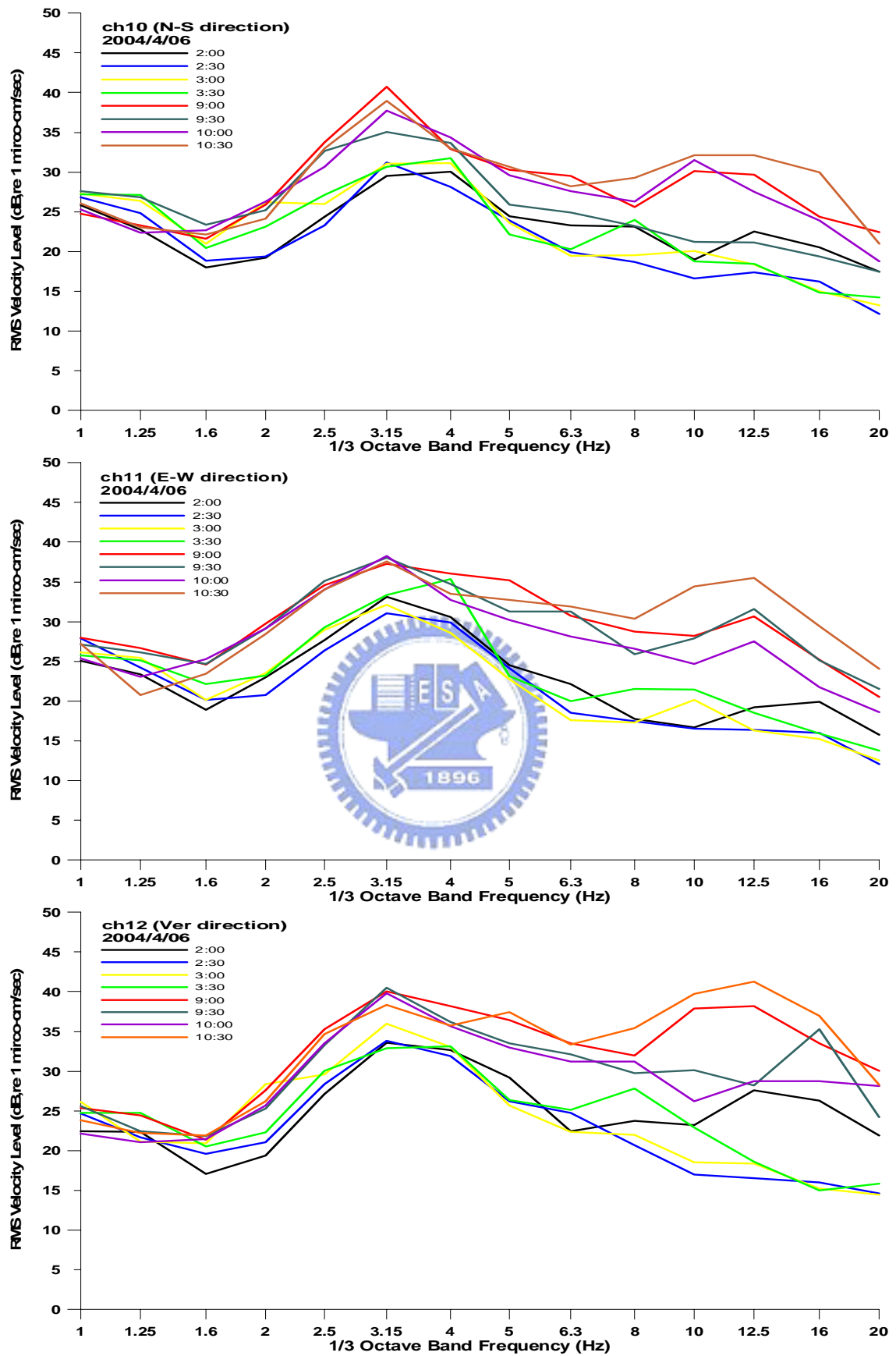


圖 2.13 測站 4 各時間的速度均方根值(第二次)

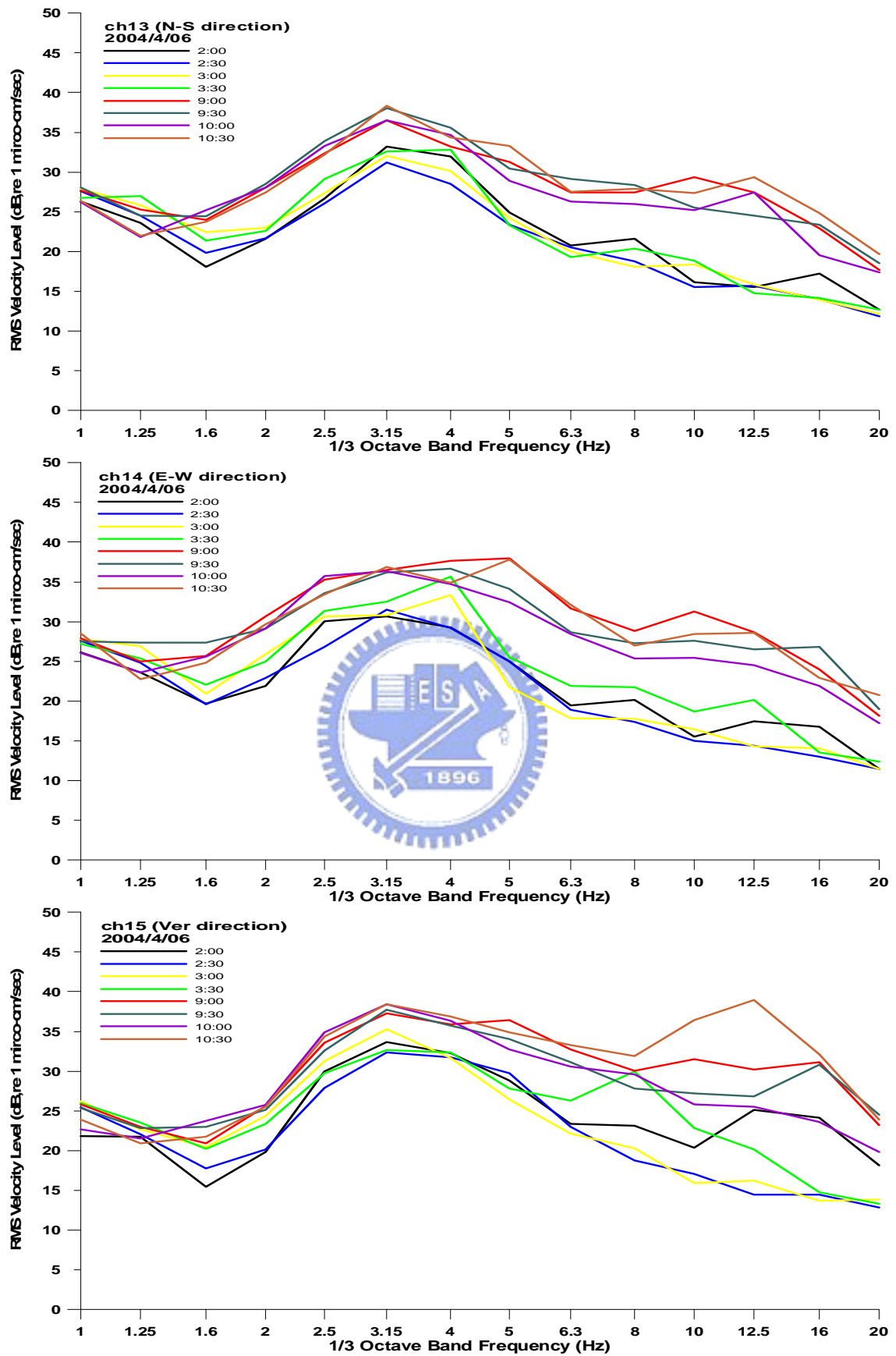


圖 2.14 測站 5 各時間的速度均方根值(第二次)

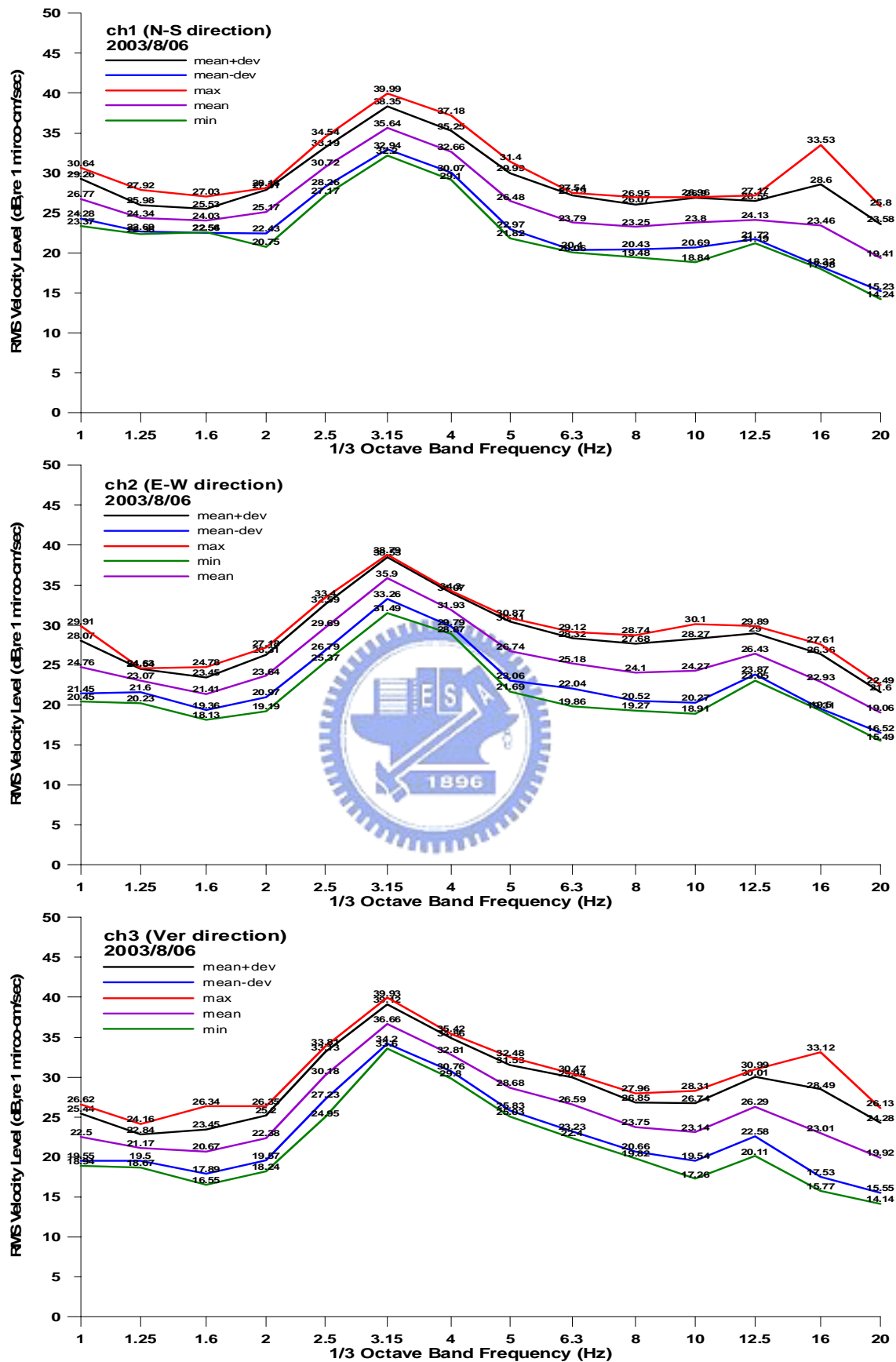


圖 2.15 測站 1 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)

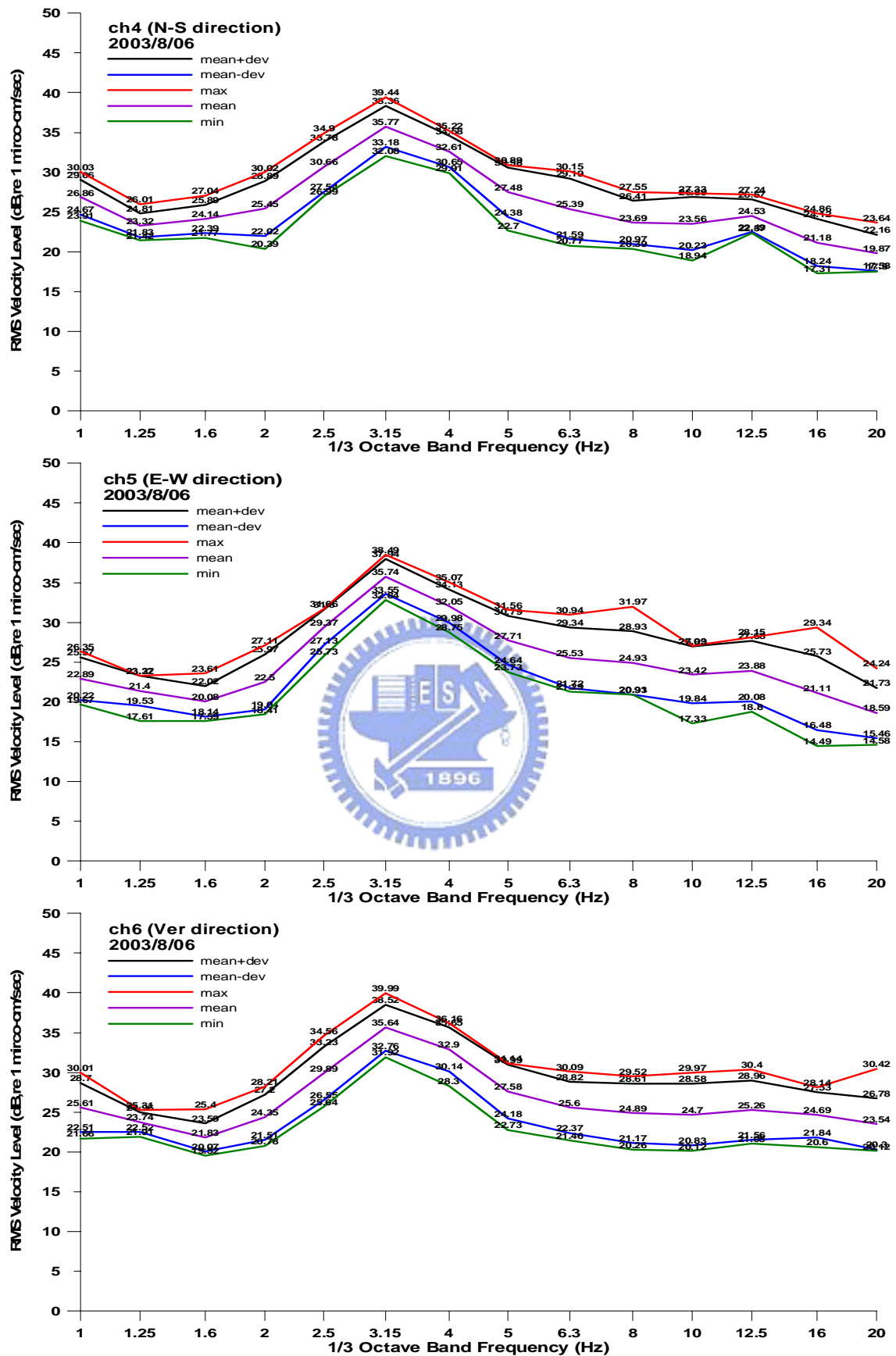


圖 2.16 測站 2 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)

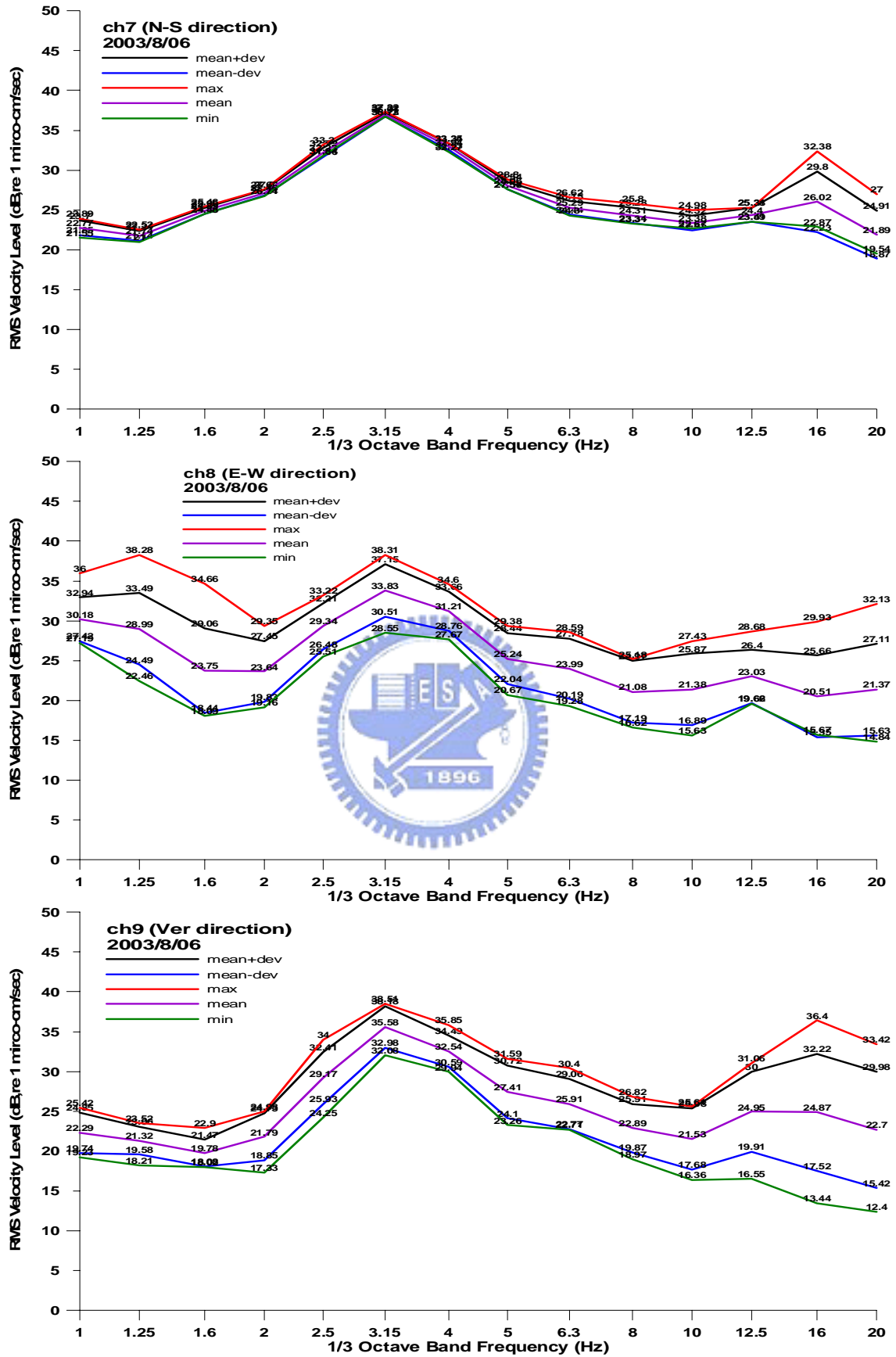


圖 2.17 測站 3 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)

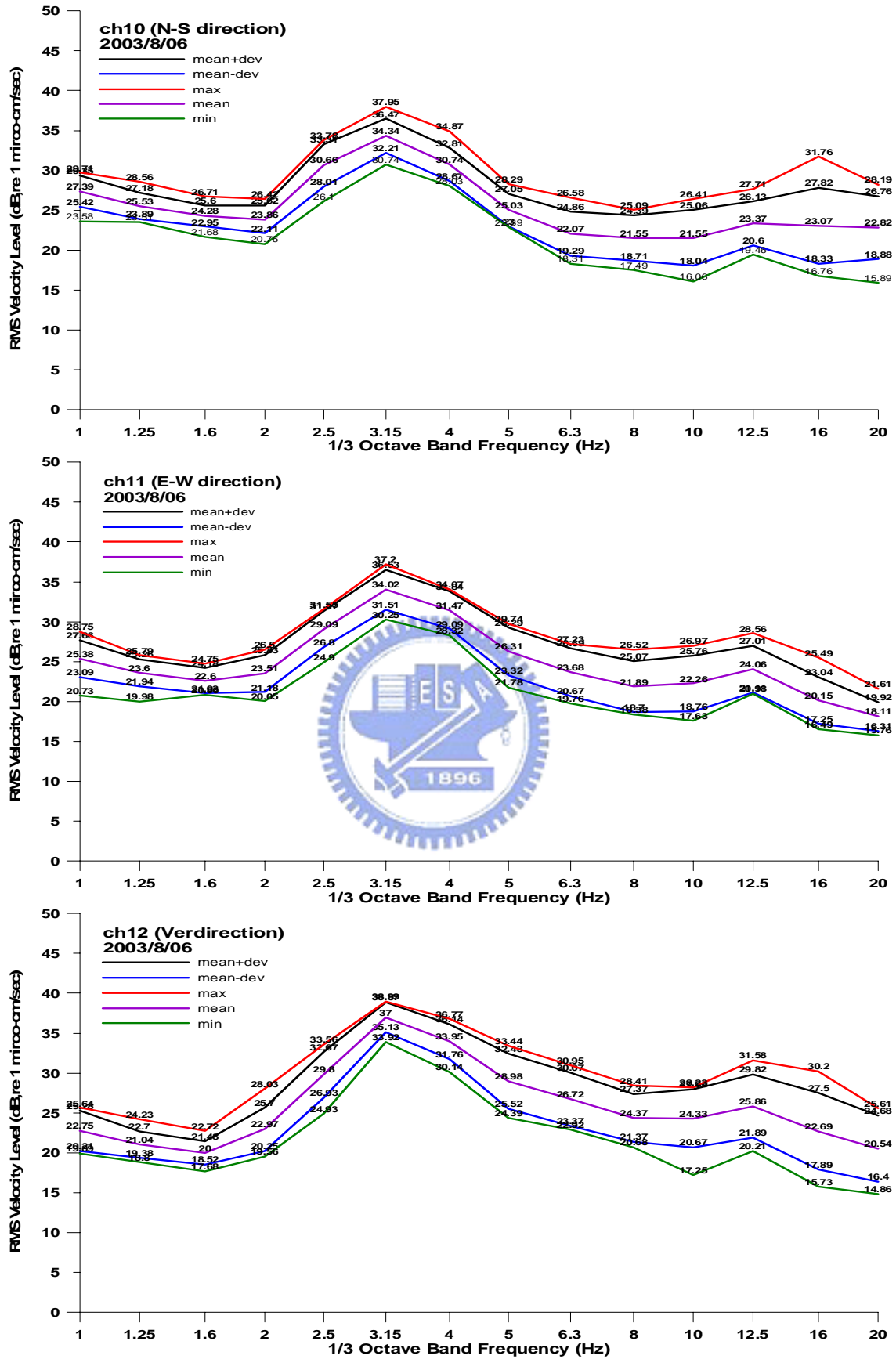


圖 2.18 測站 4 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)

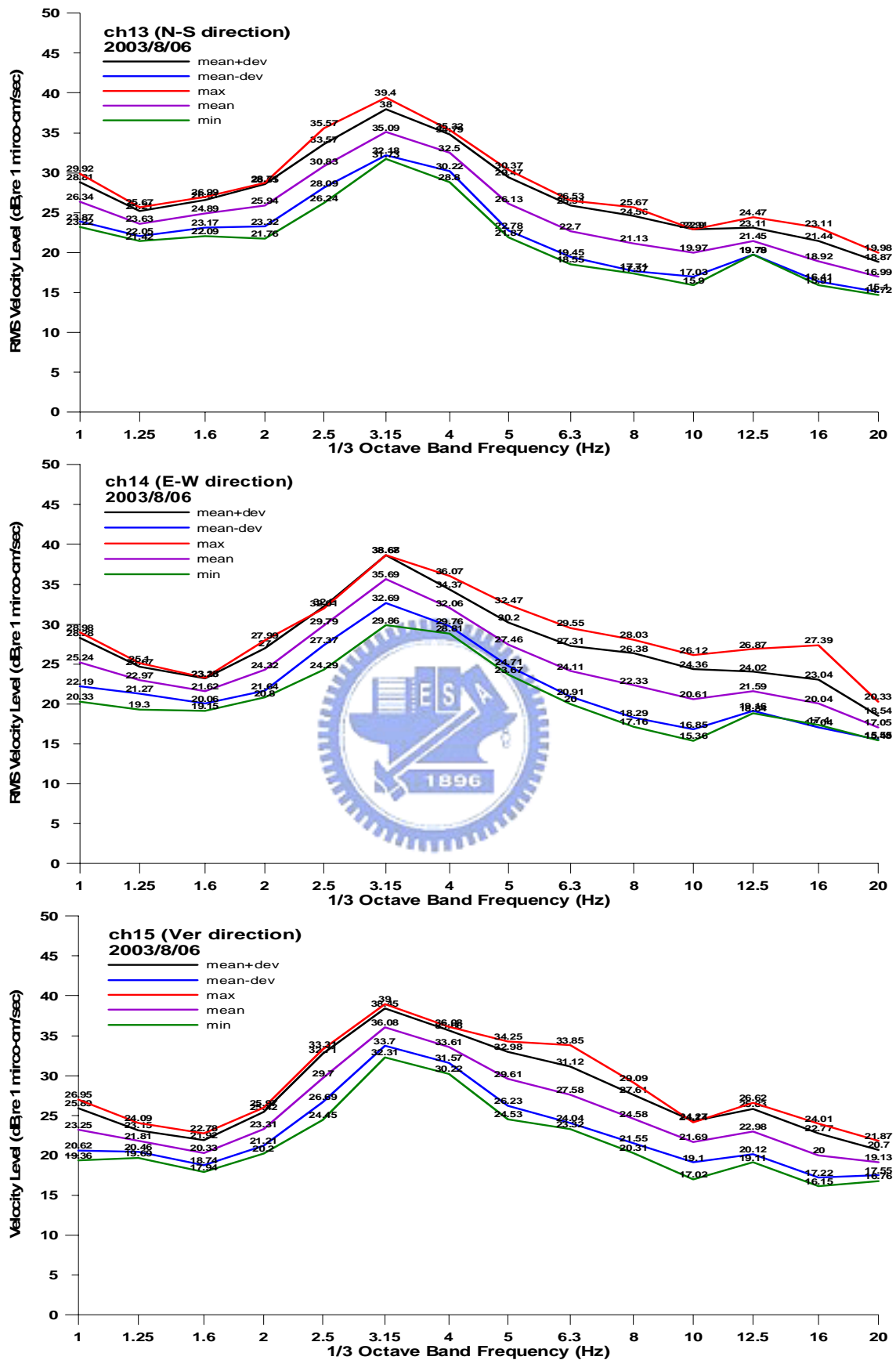


圖 2.19 測站 5 各時間的速度均方根值統計分析(第一次)

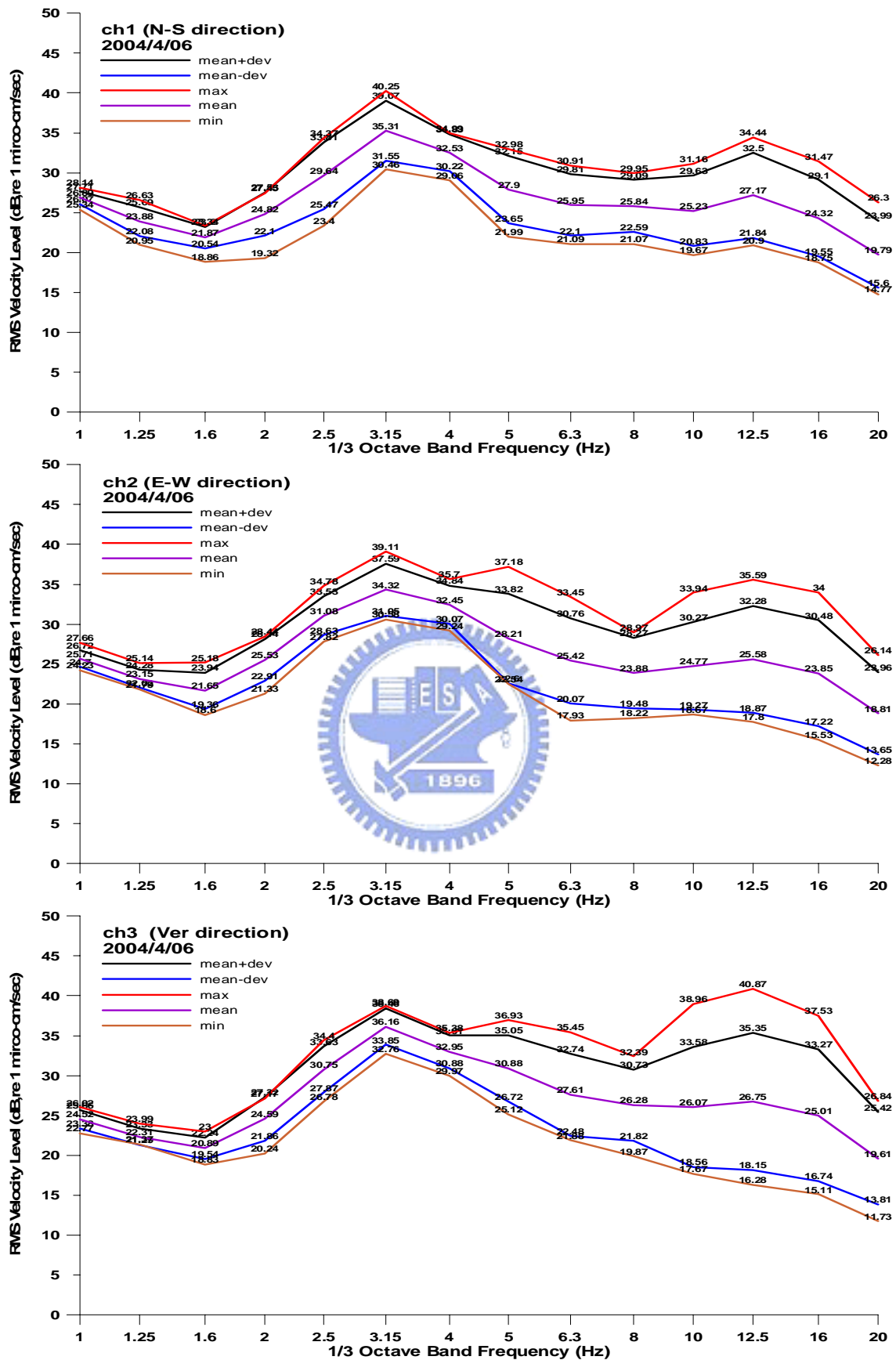


圖 2.20 測站 1 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)

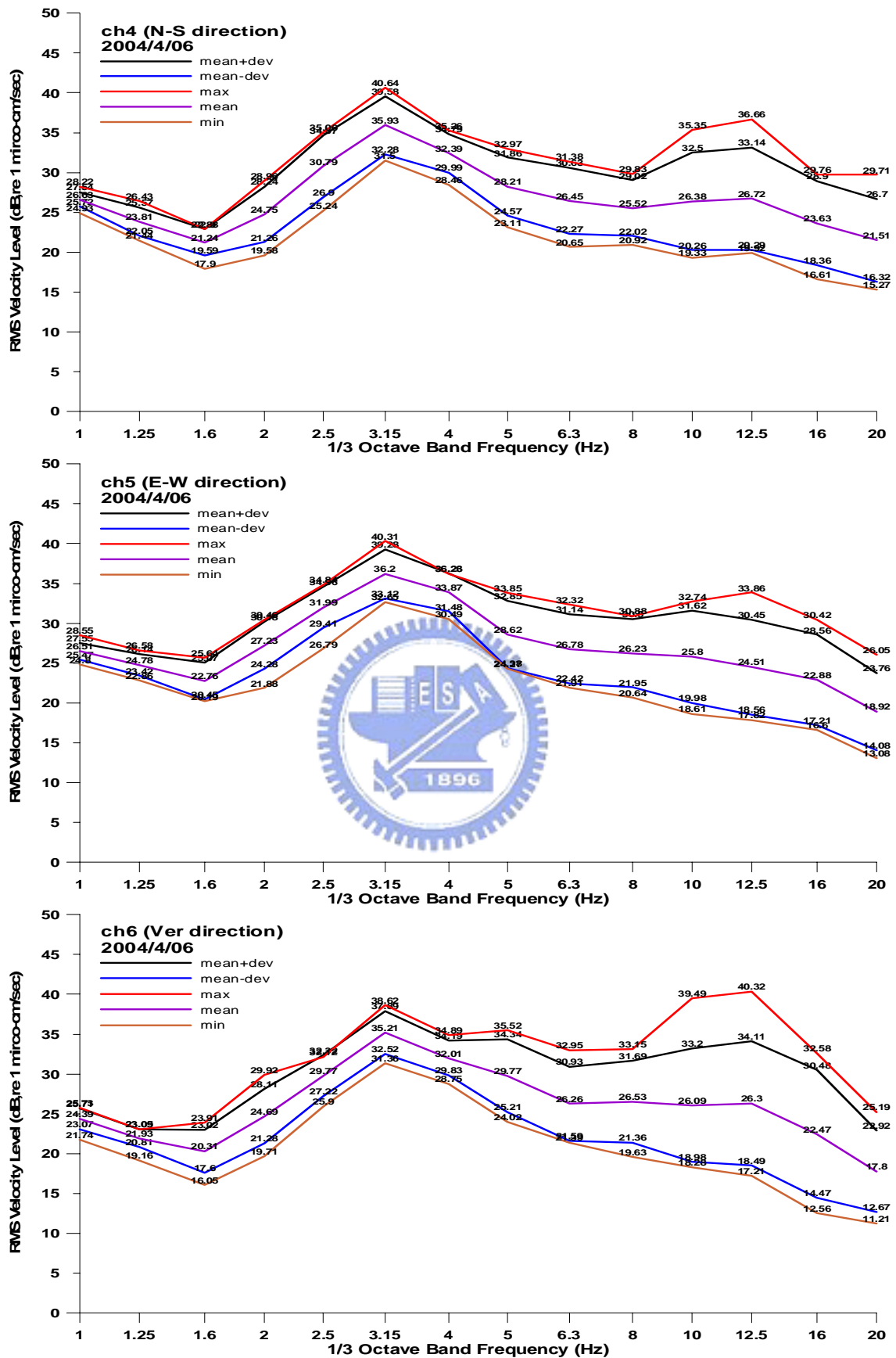


圖 2.21 測站 2 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)

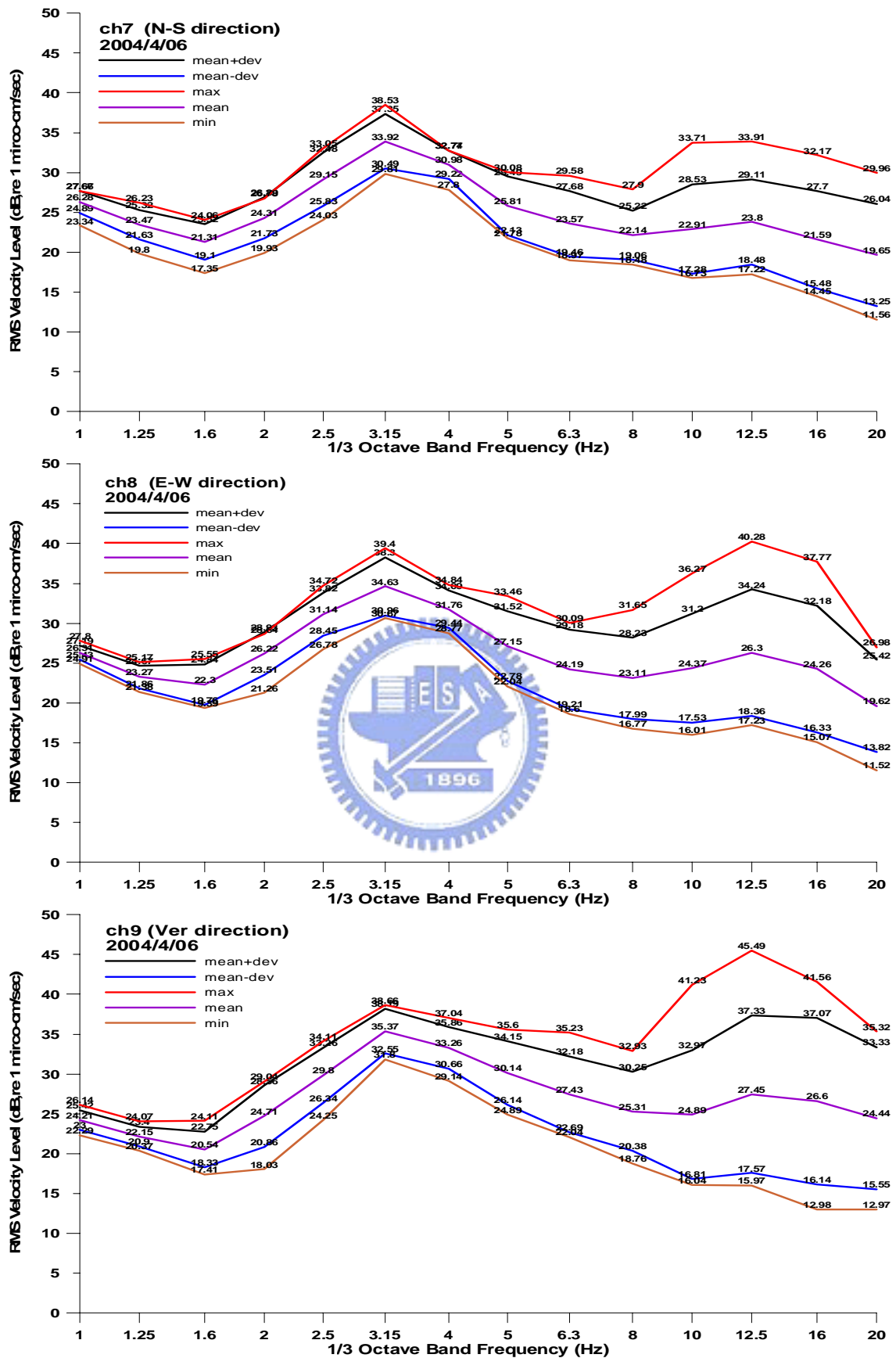


圖 2.22 測站 3 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)

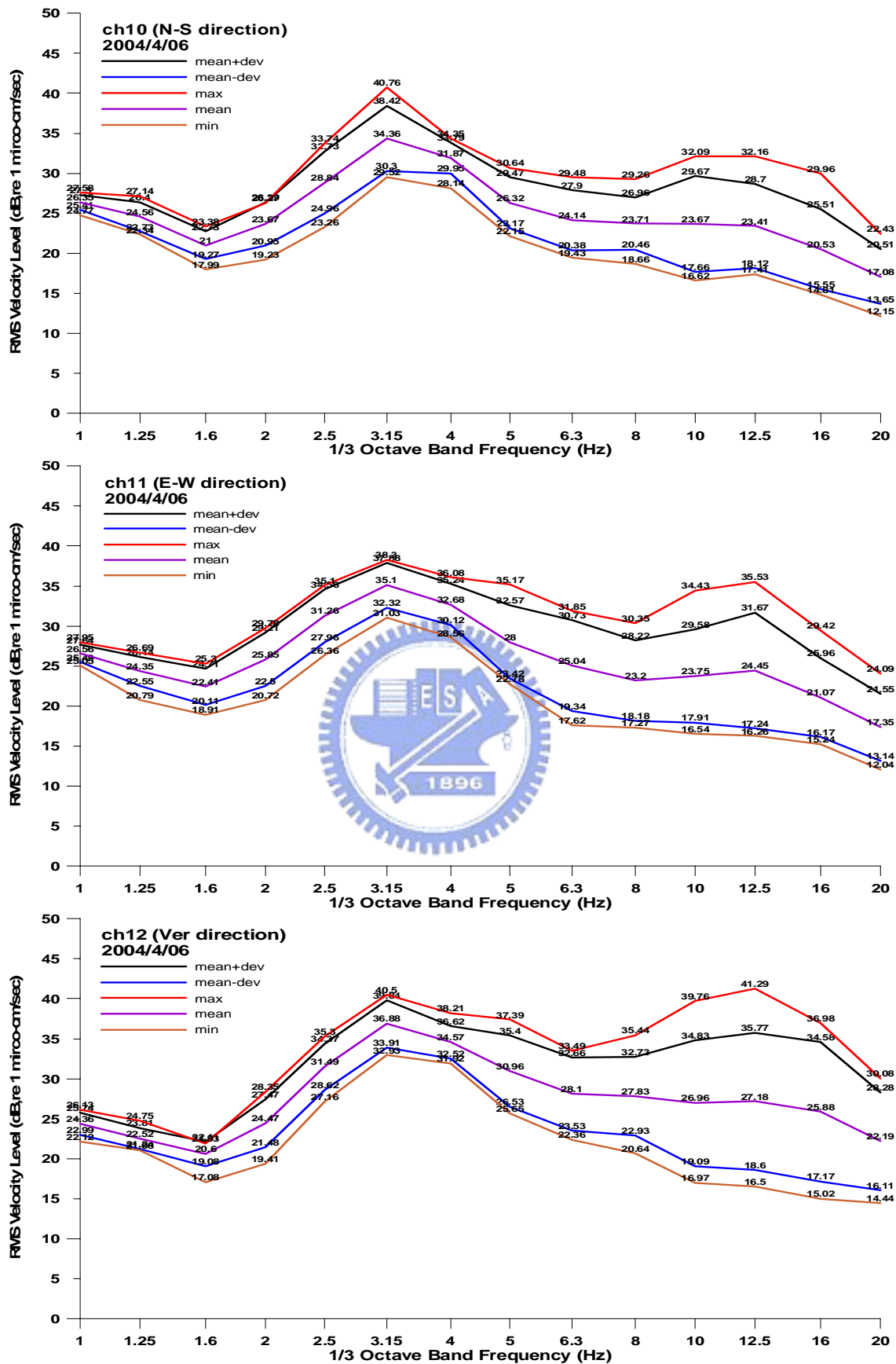


圖 2.23 測站 4 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)

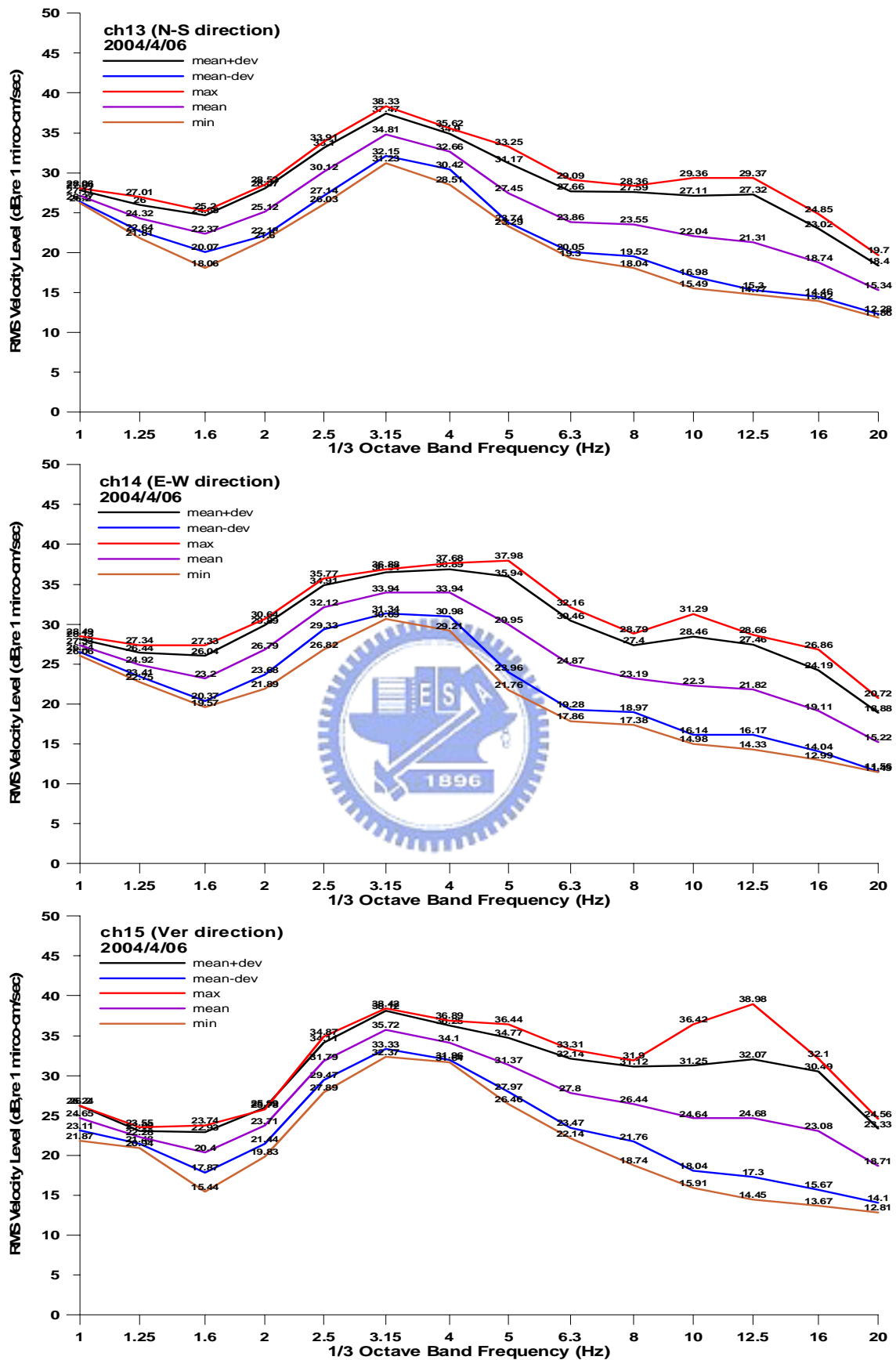
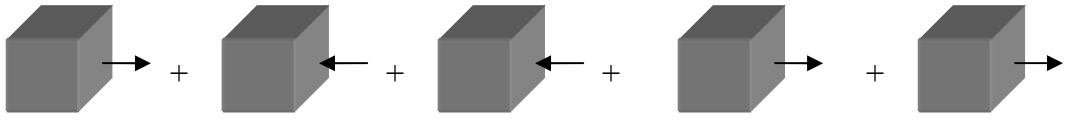
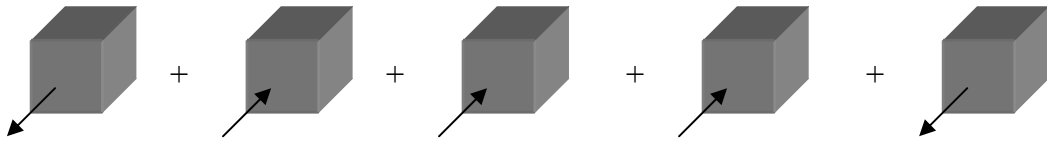


圖 2.24 測站 5 各時間的速度均方根值統計分析(第二次)

南北向



東西向



垂直向

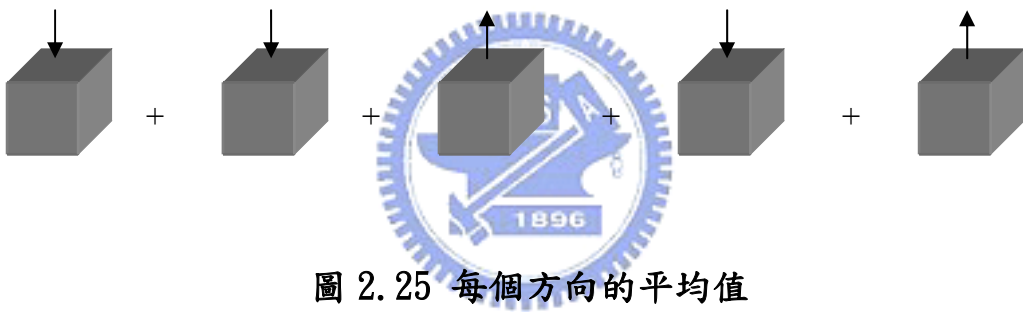


圖 2.25 每個方向的平均值

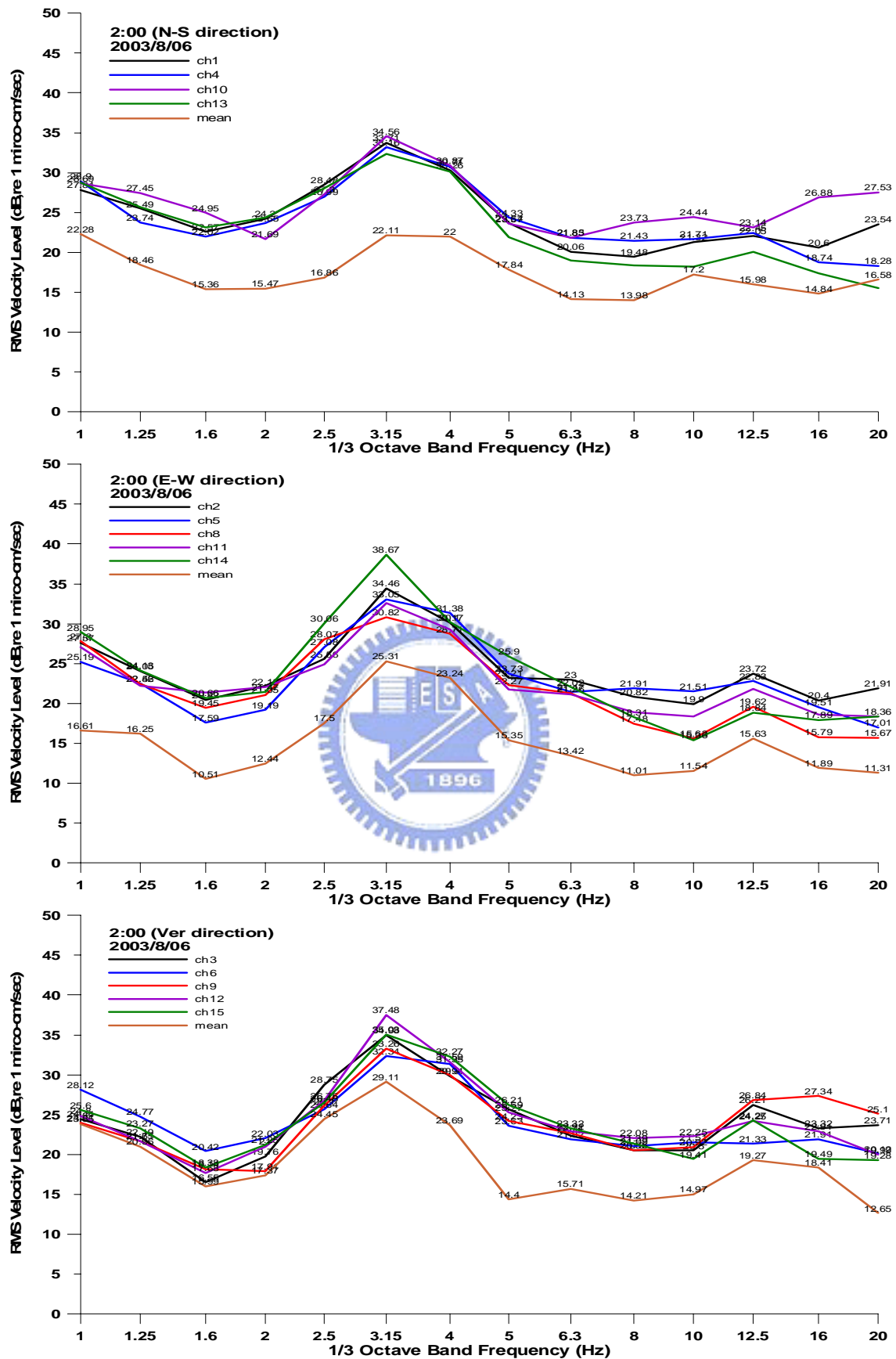


圖 2.26 2 點每個方向跟平均值所做的比較(第一次)

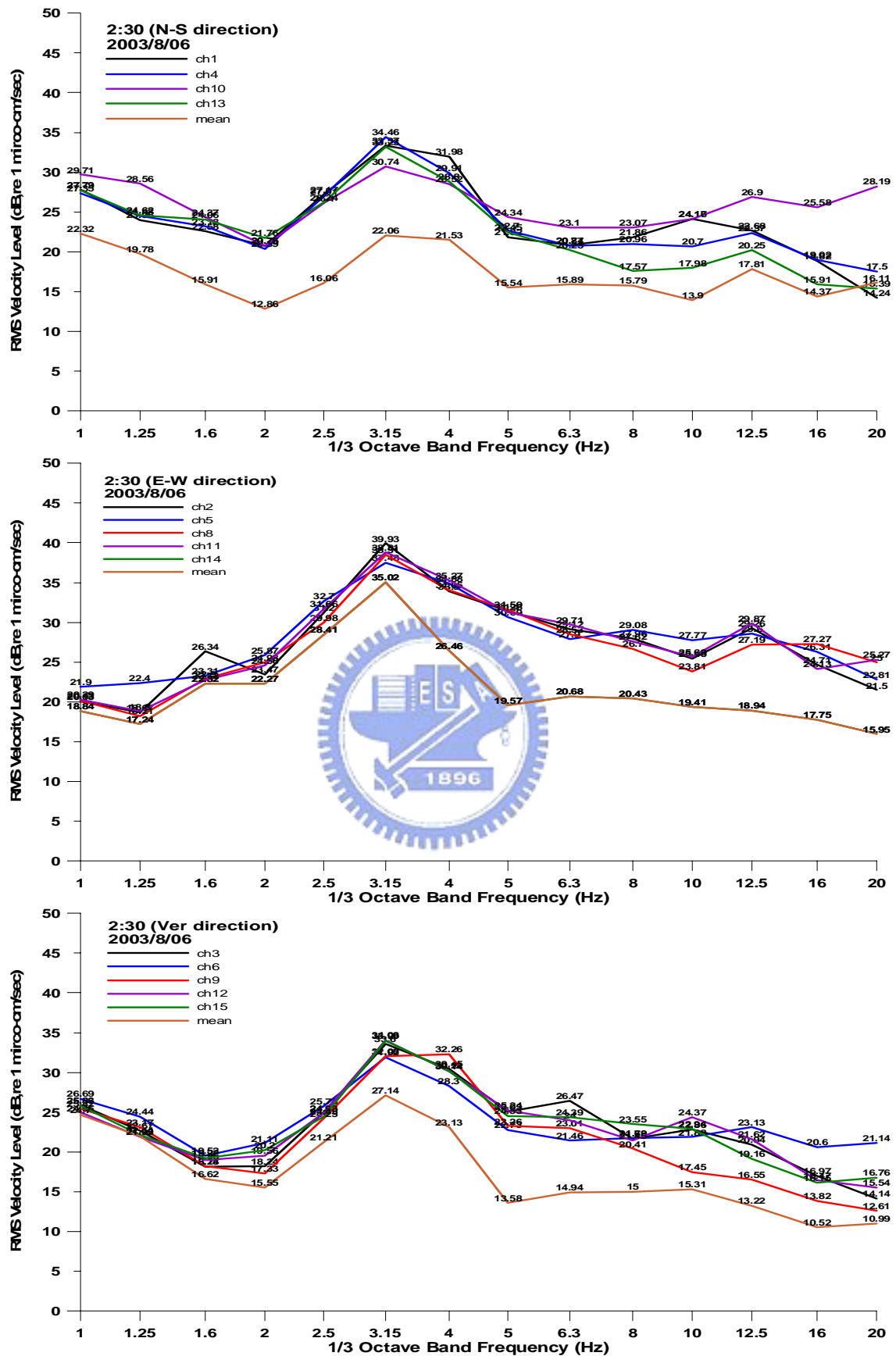


圖 2.27 2 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第一次)

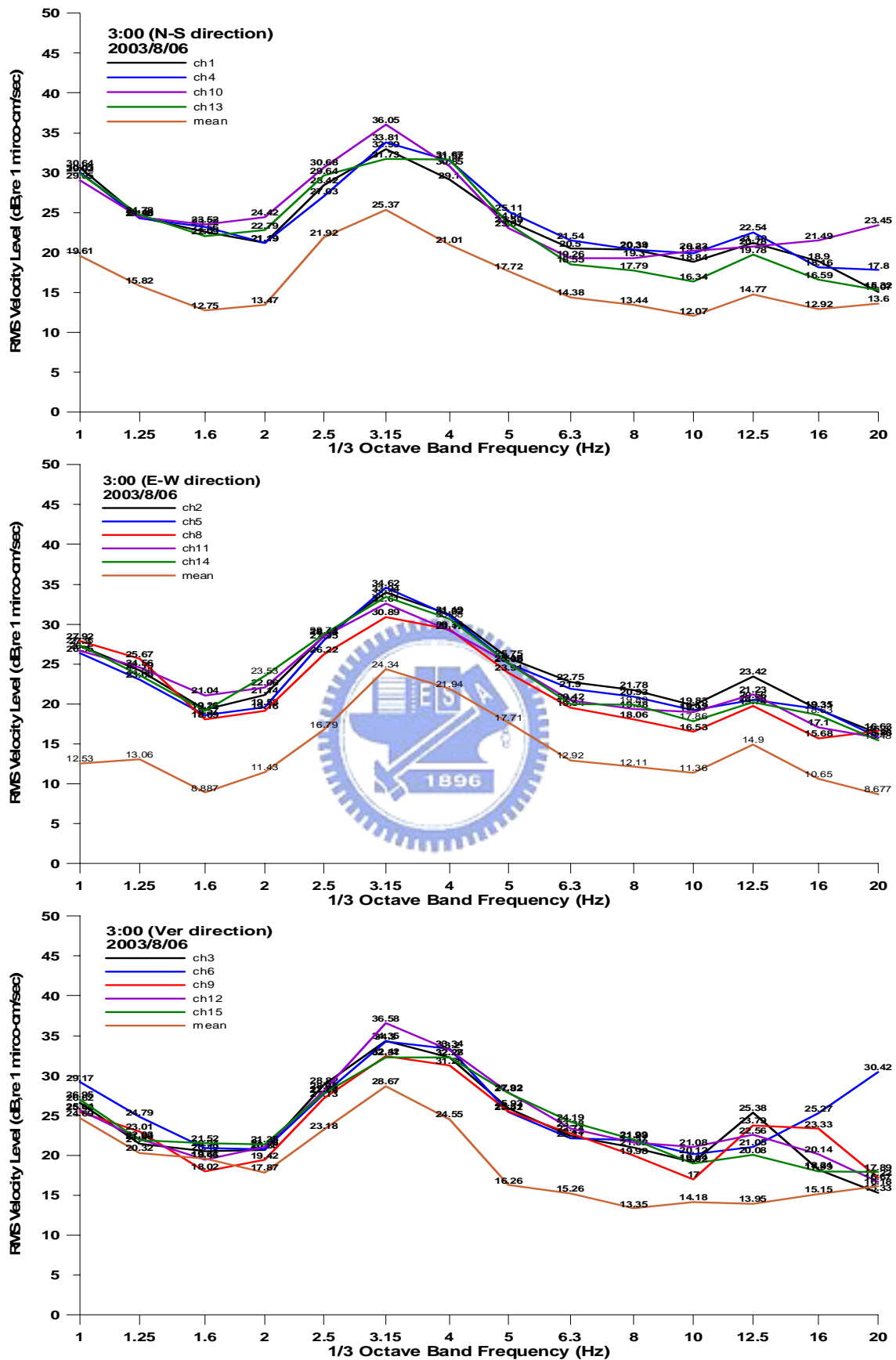


圖 2.28 3 點每個方向跟平均值所做的比較(第一次)

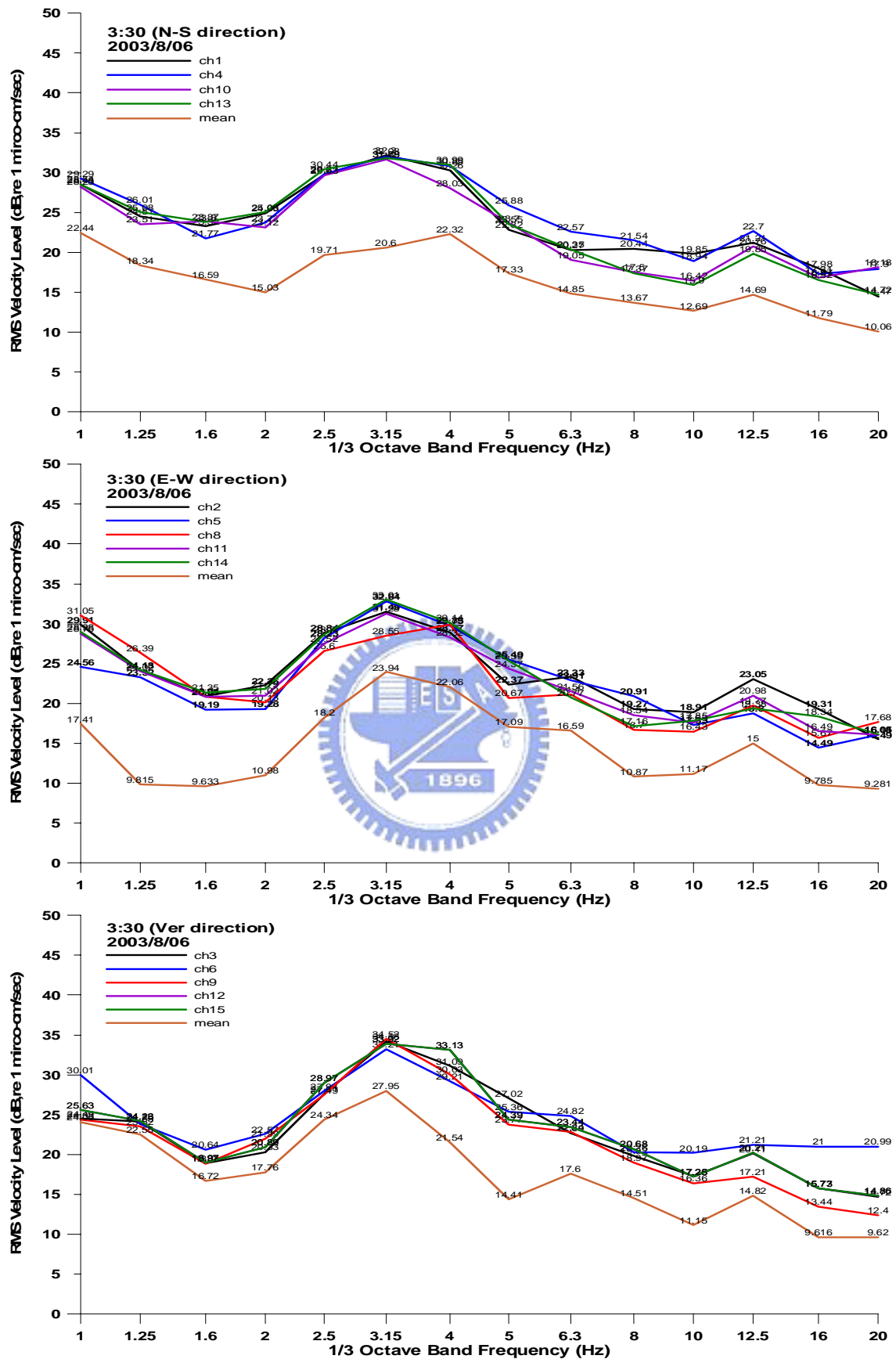


圖 2.29 3 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第一次)

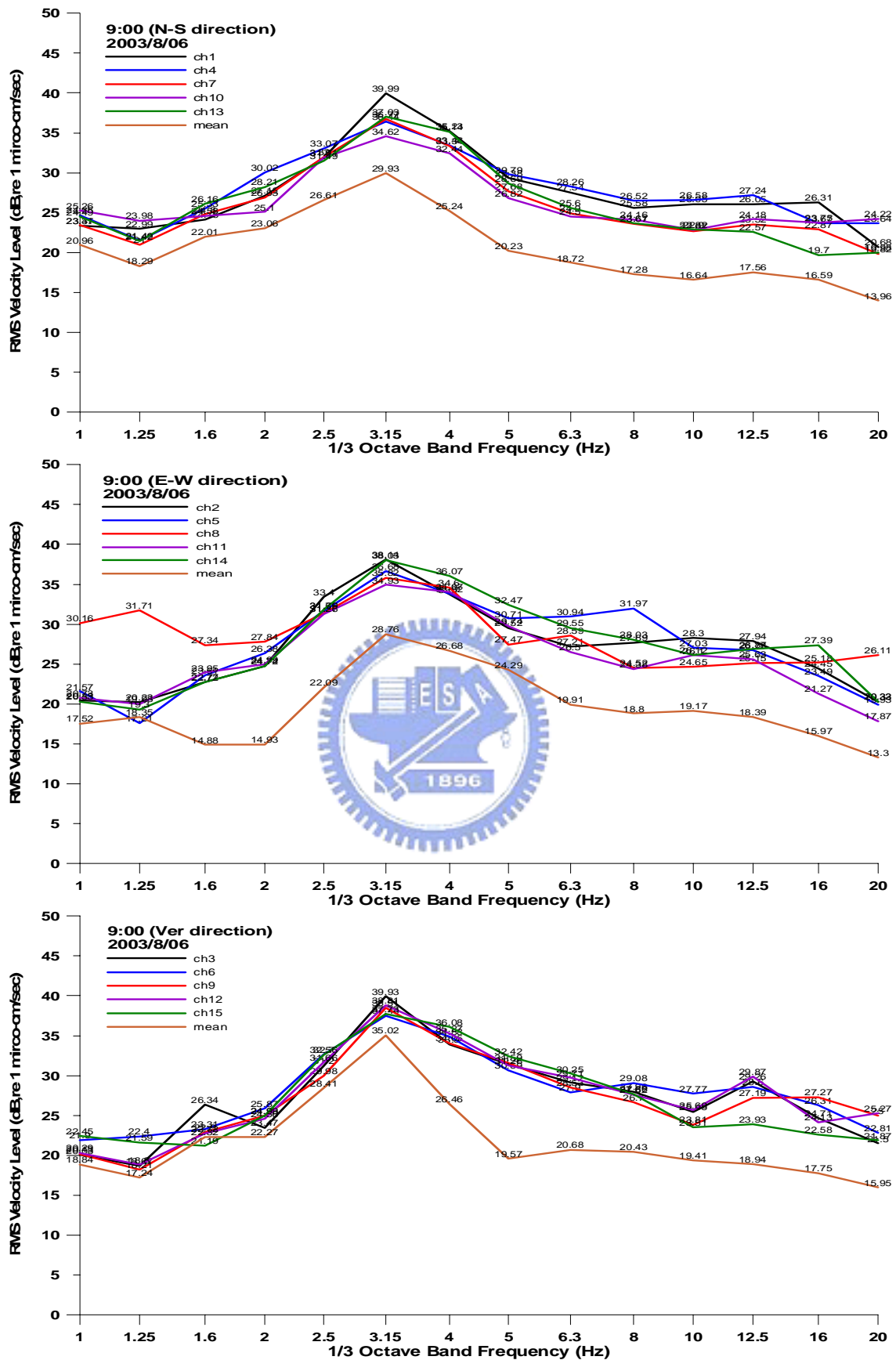


圖 2.30 9 點每個方向跟平均值所做的比較(第一次)

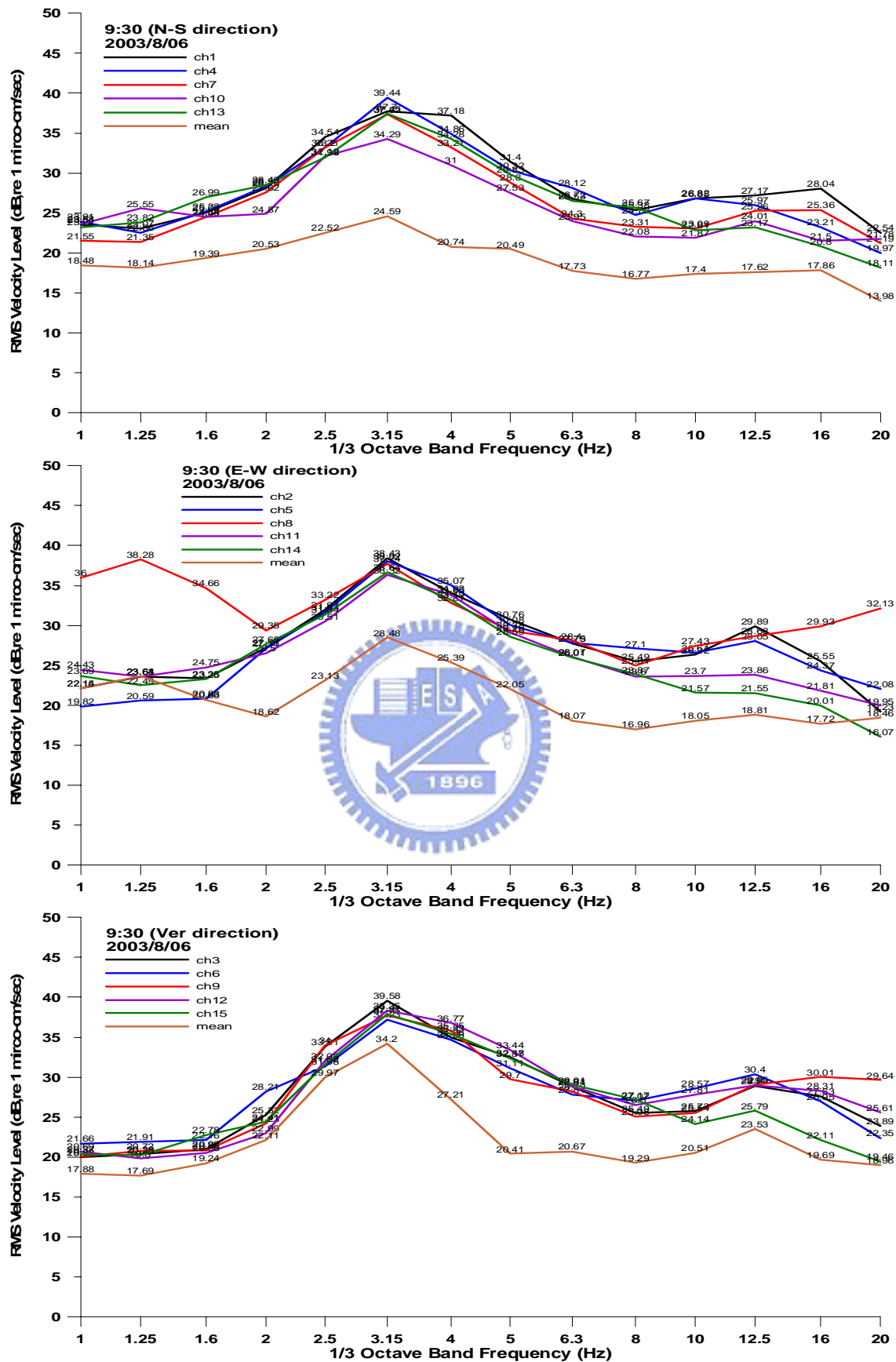


圖 2.31 9 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第一次)

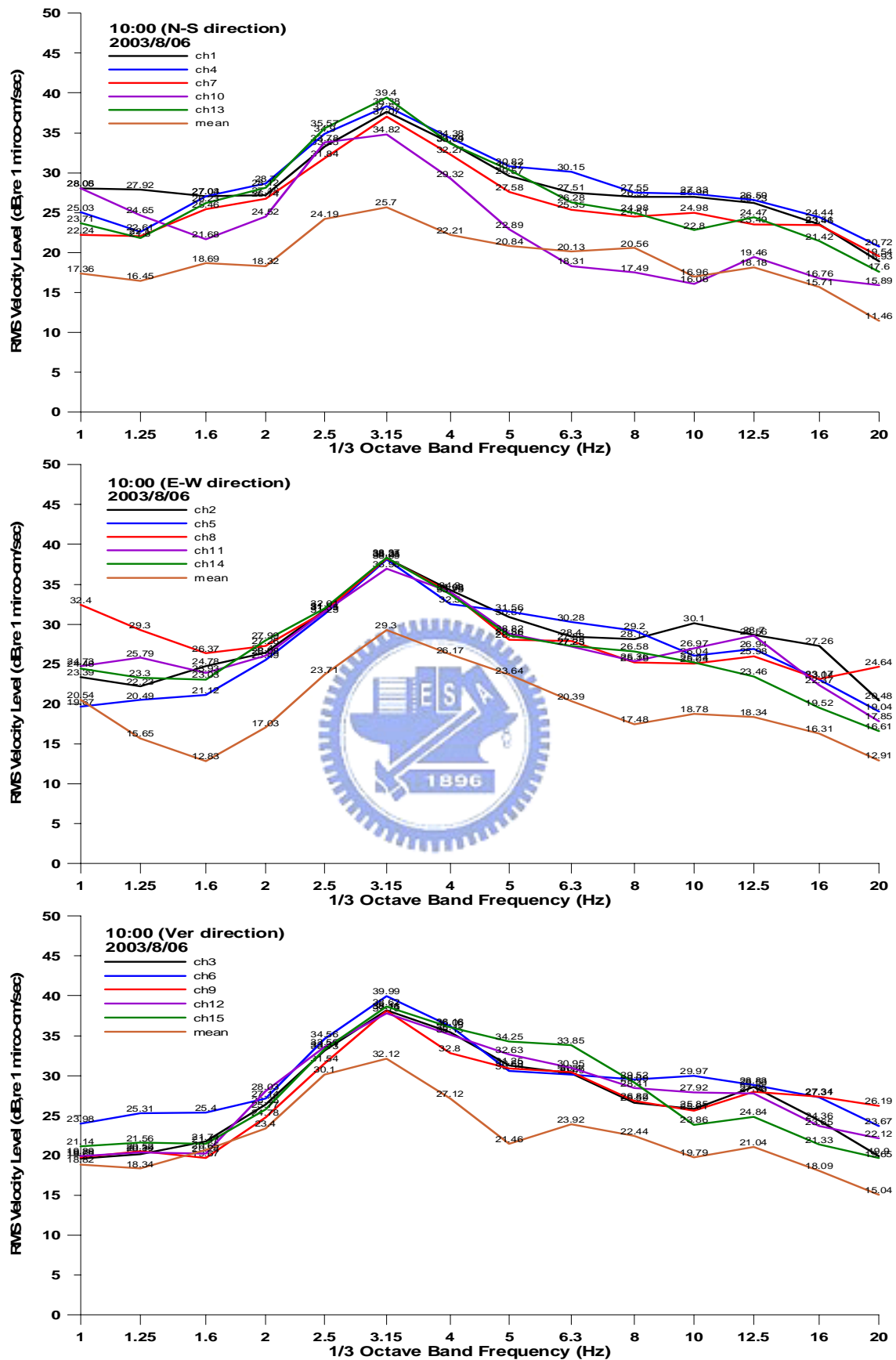


圖 2.32 10 點每個方向跟平均值所做的比較(第一次)

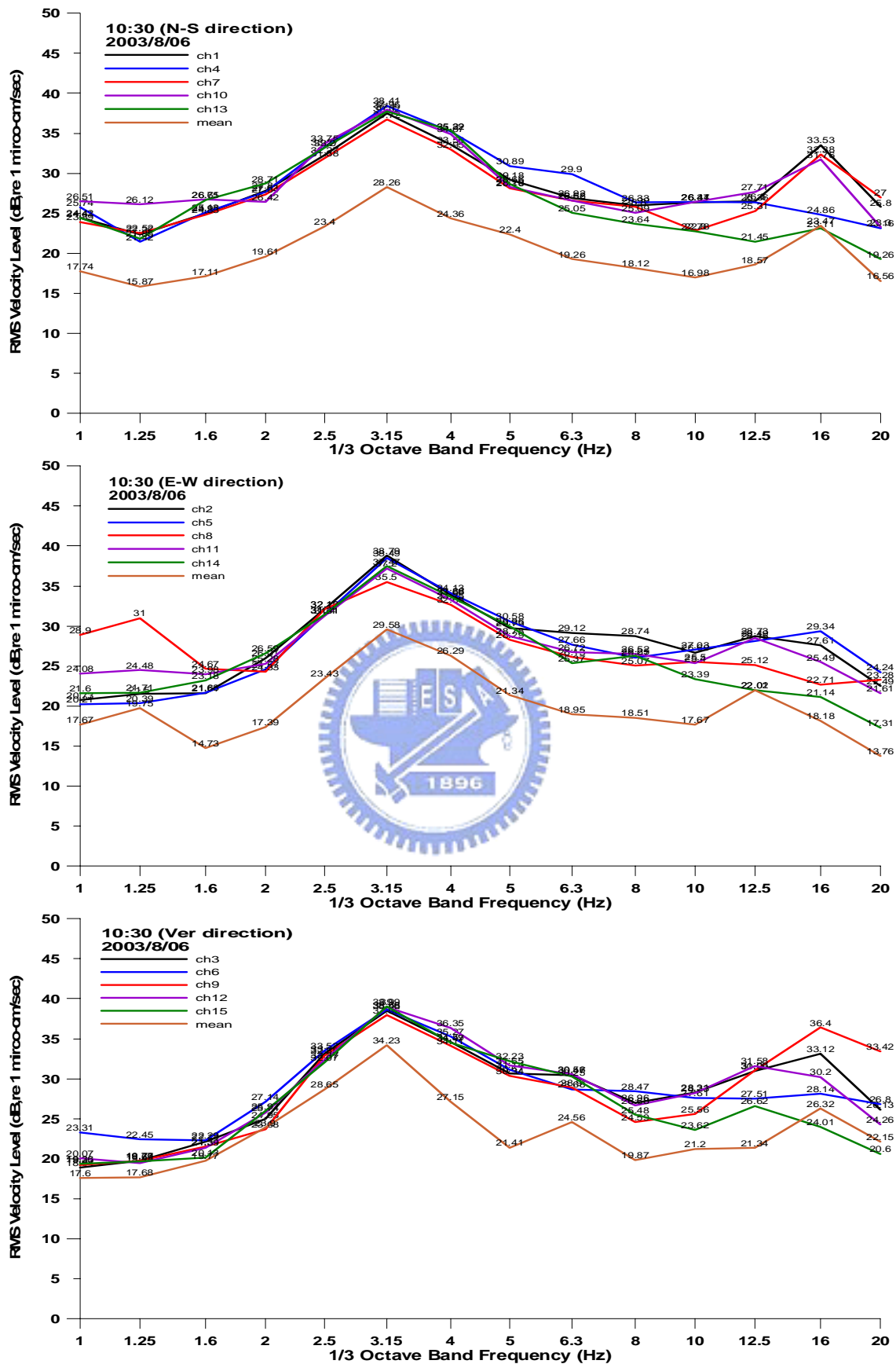


圖 2.33 10 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第一次)

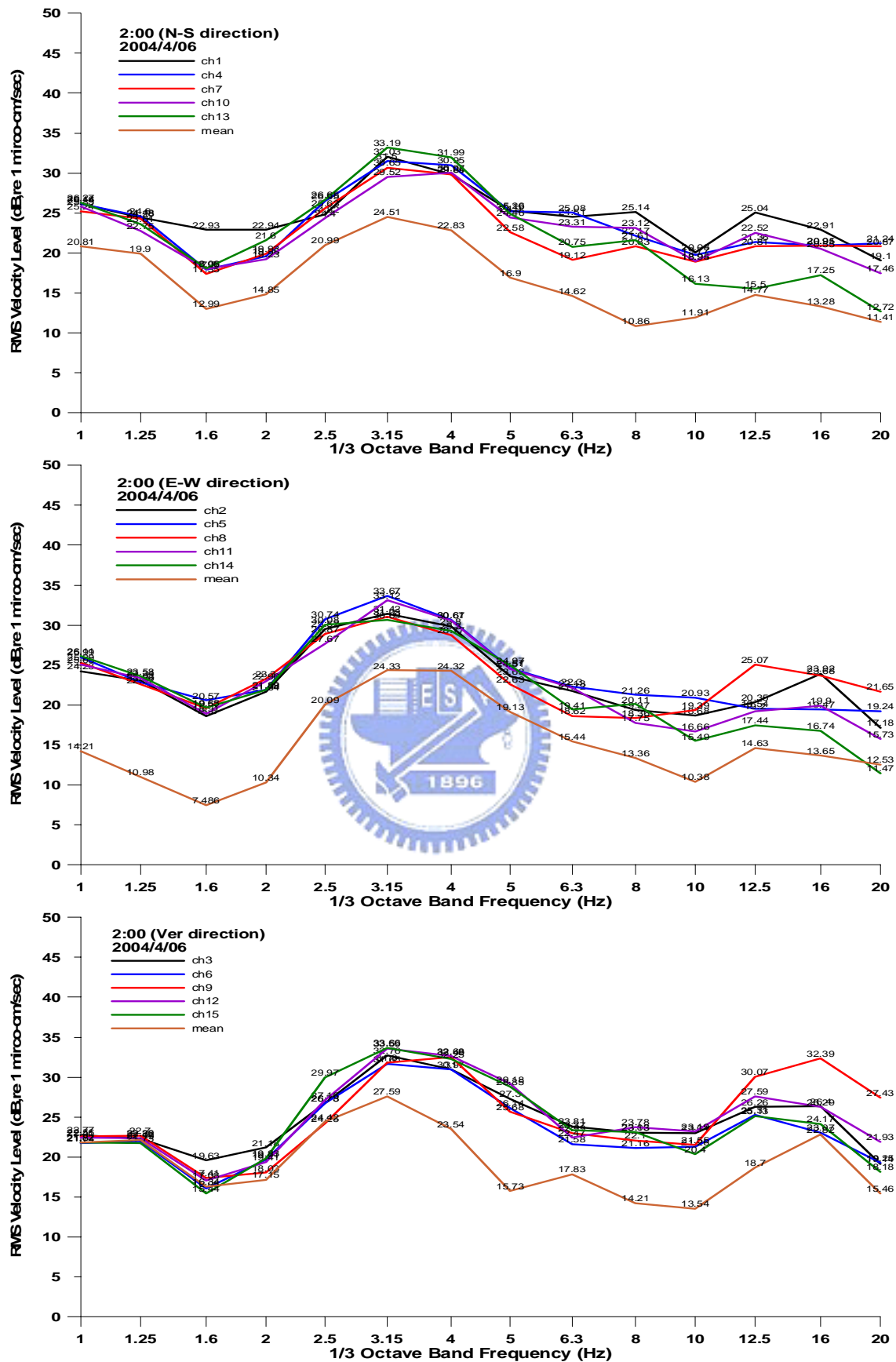


圖 2.34 2 點每個方向跟平均值所做的比較(第二次)

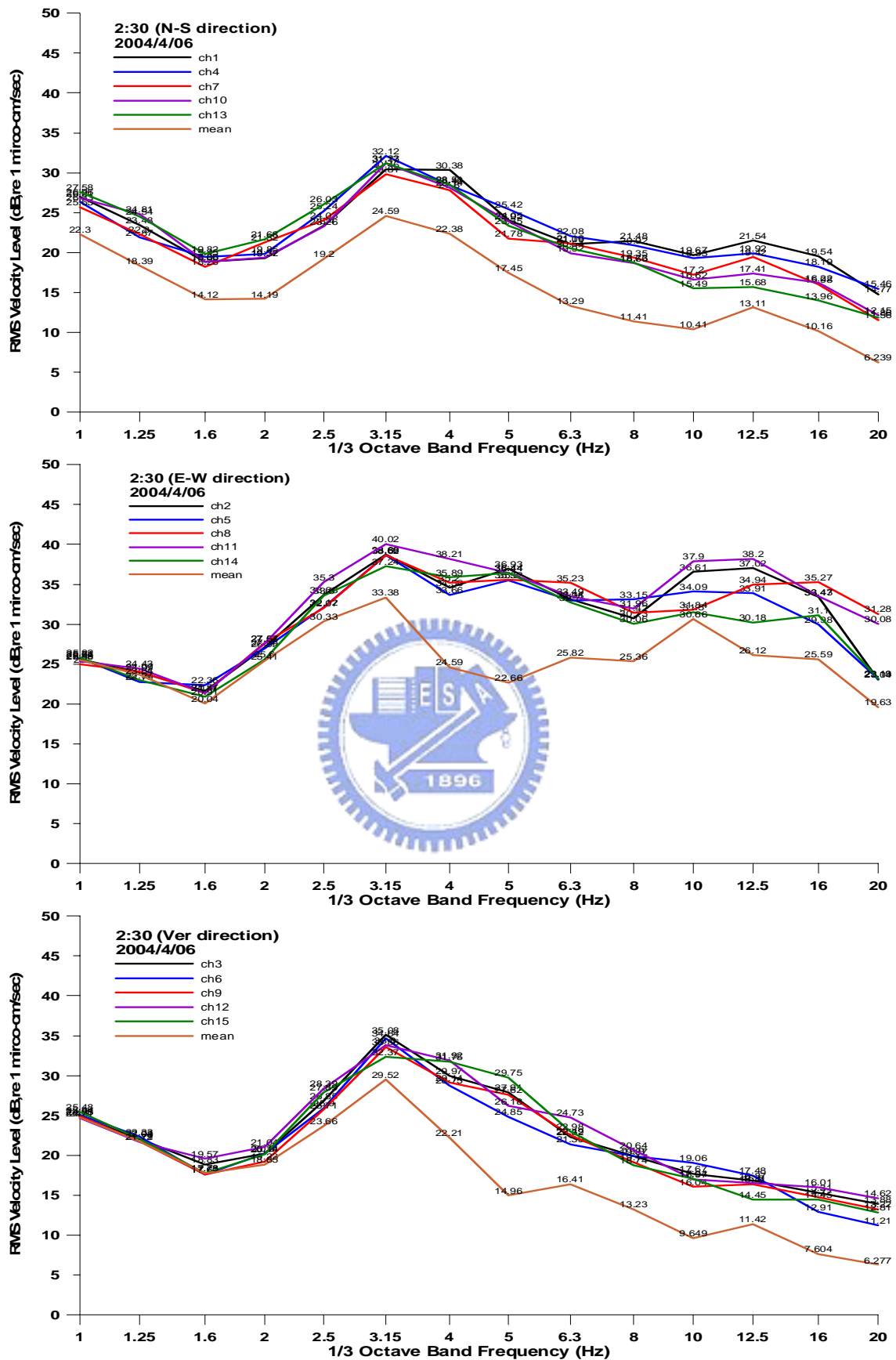


圖 2.35 2 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第二次)

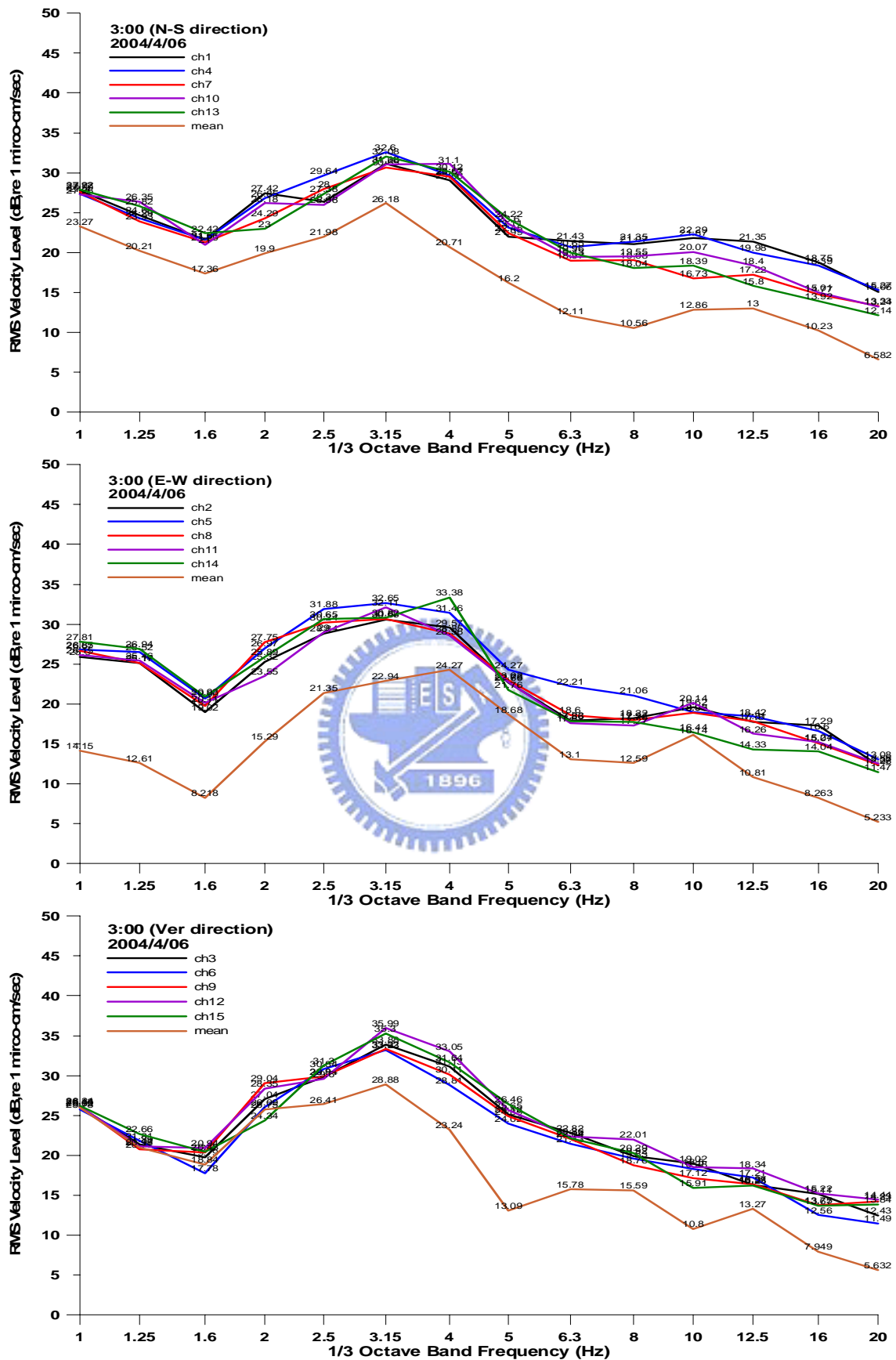


圖 2.36 3 點每個方向跟平均值所做的比較(第二次)

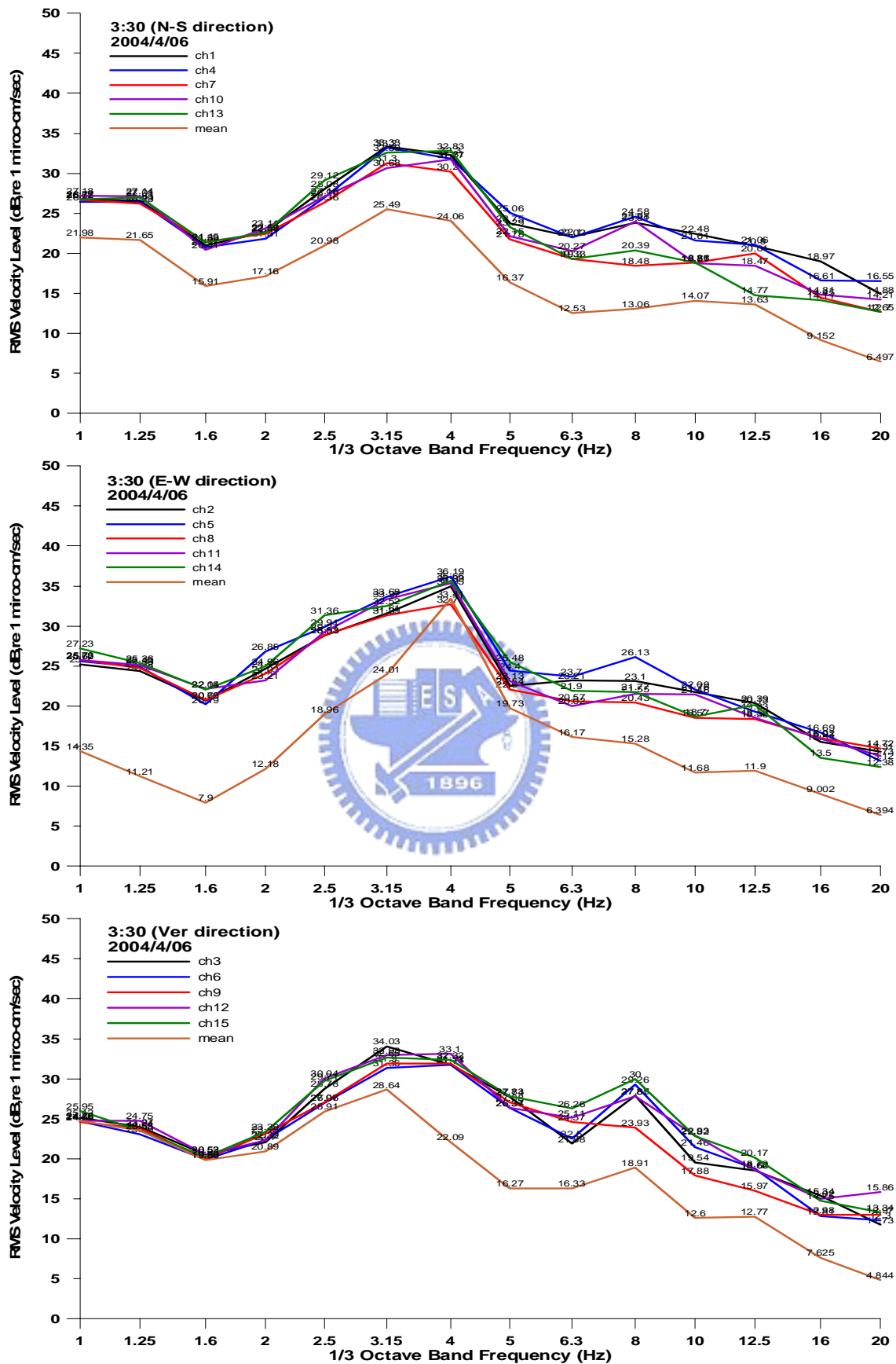


圖 2.37 3 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第二次)

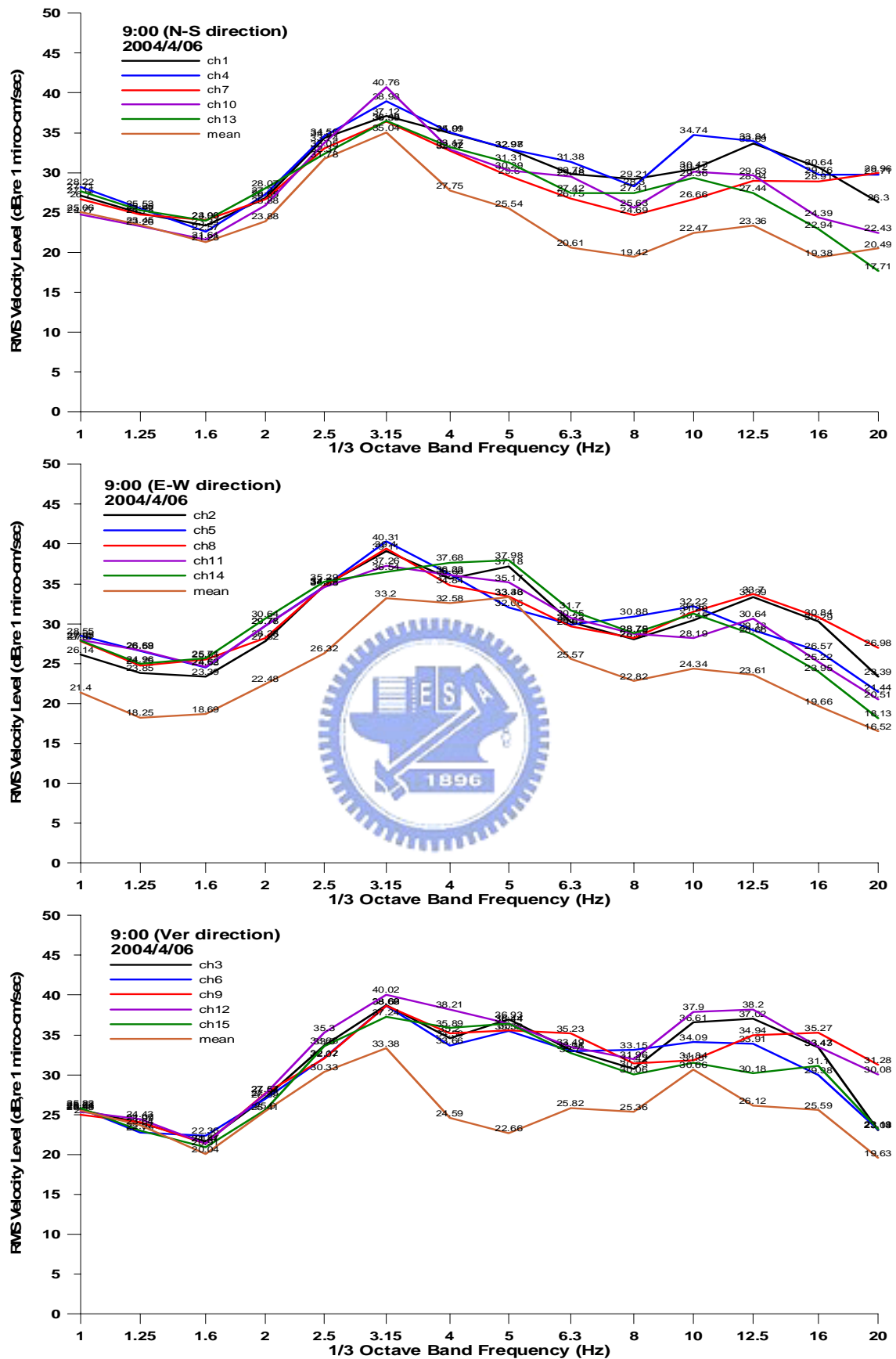


圖 2.38 9 點每個方向跟平均值所做的比較(第二次)

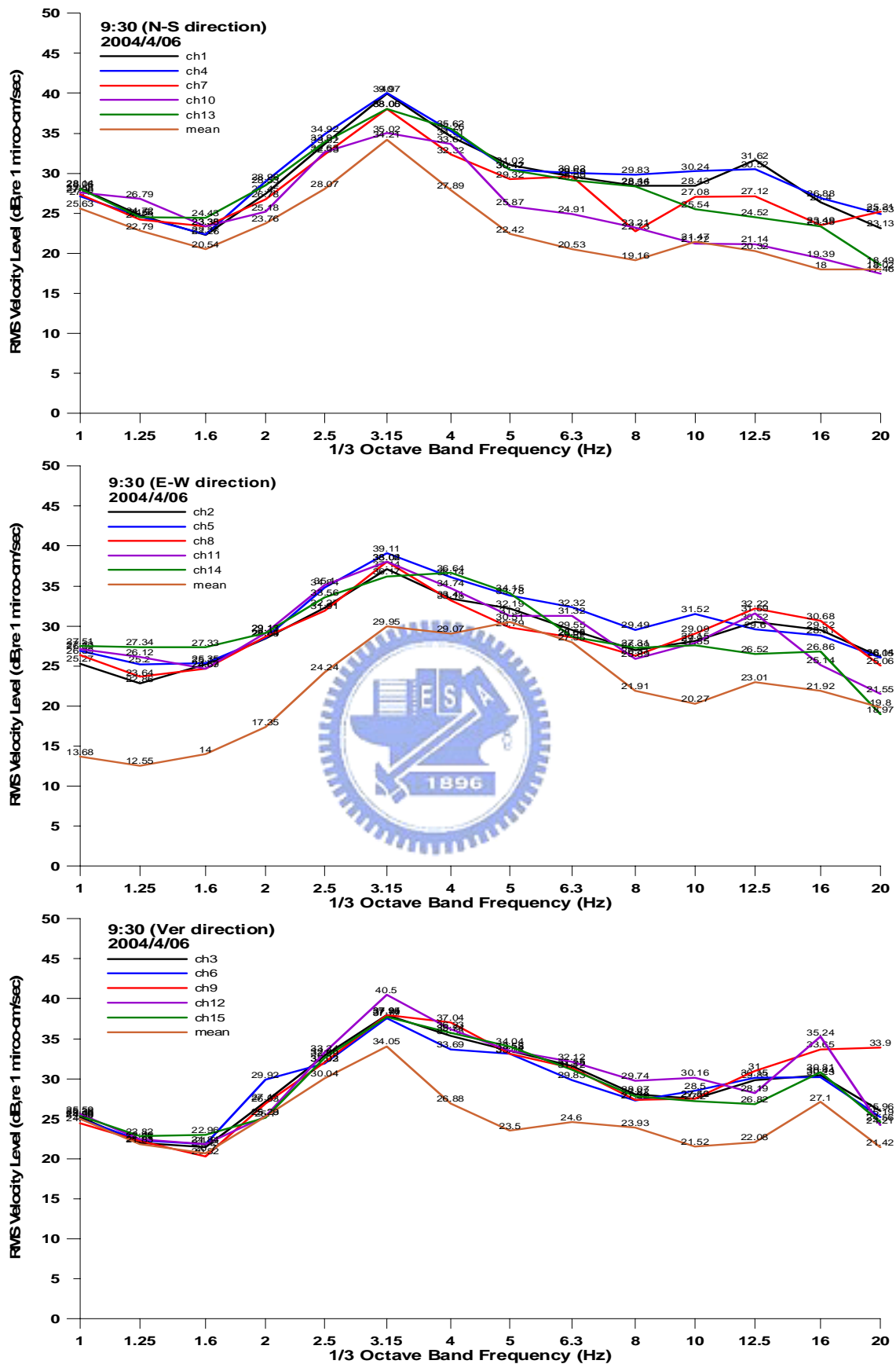


圖 2.39 9 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第二次)

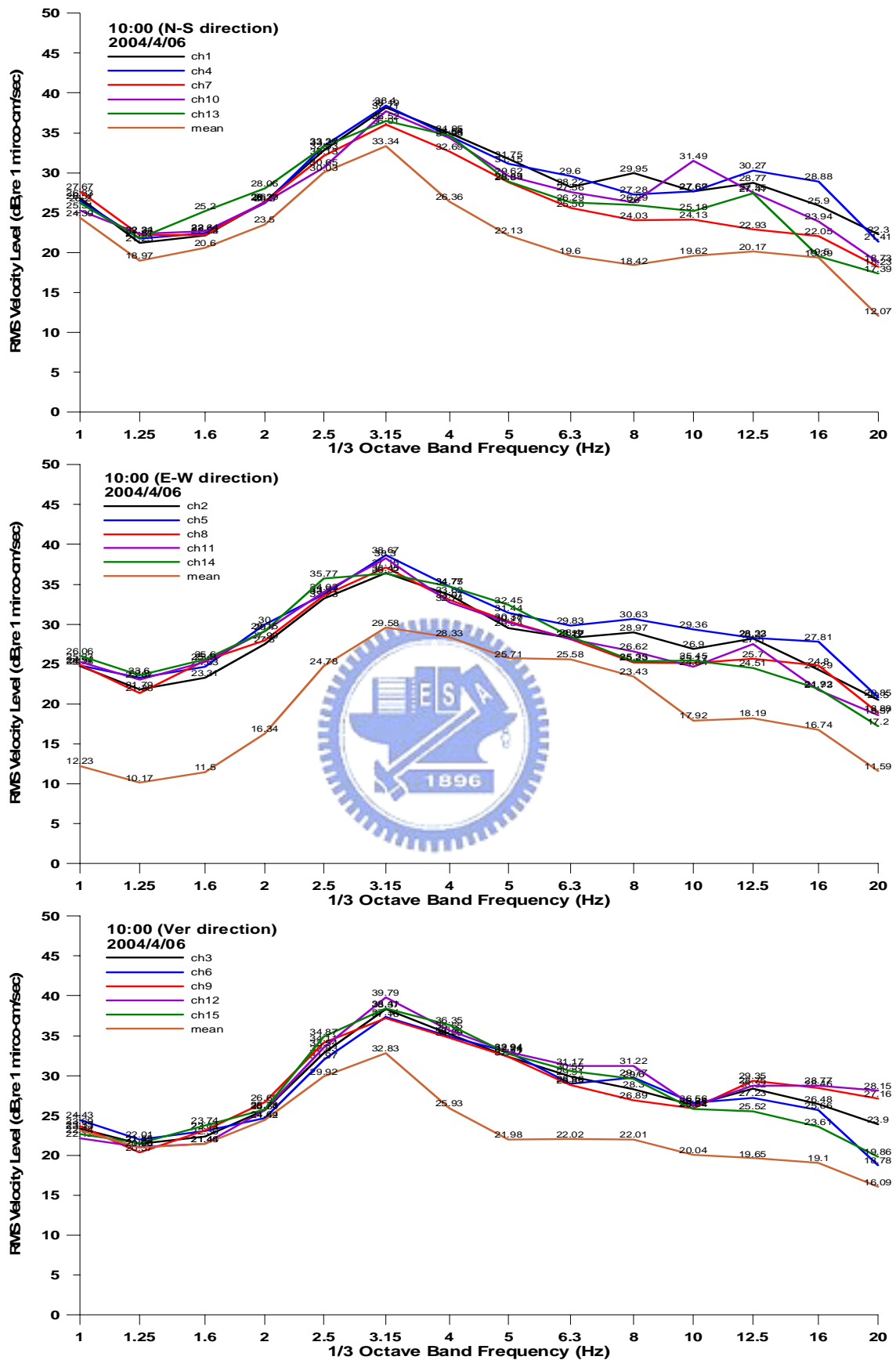


圖 2.40 10 點每個方向跟平均值所做的比較(第二次)

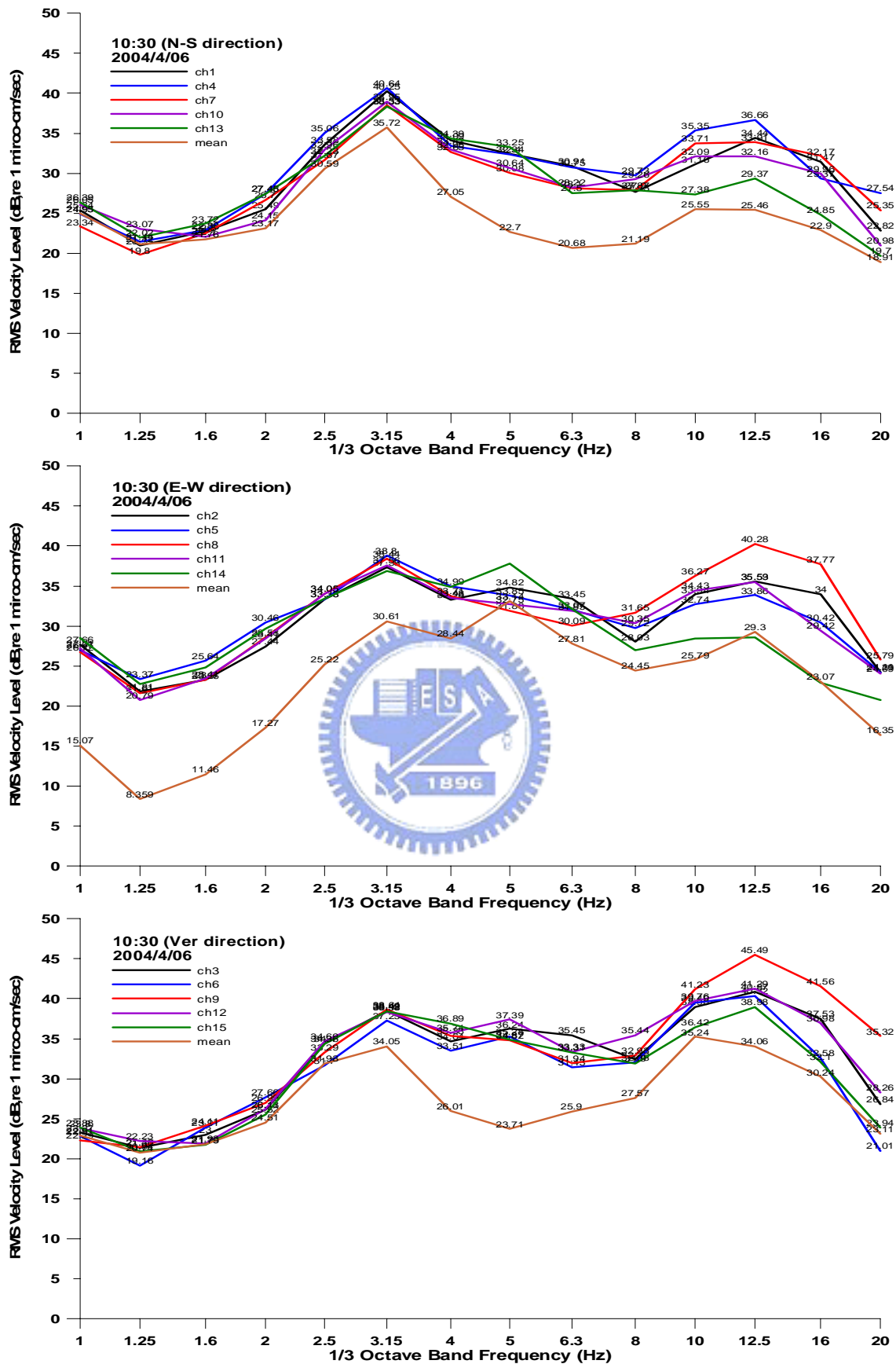


圖 2.41 10 點 30 分每個方向跟平均值所做的比較(第二次)

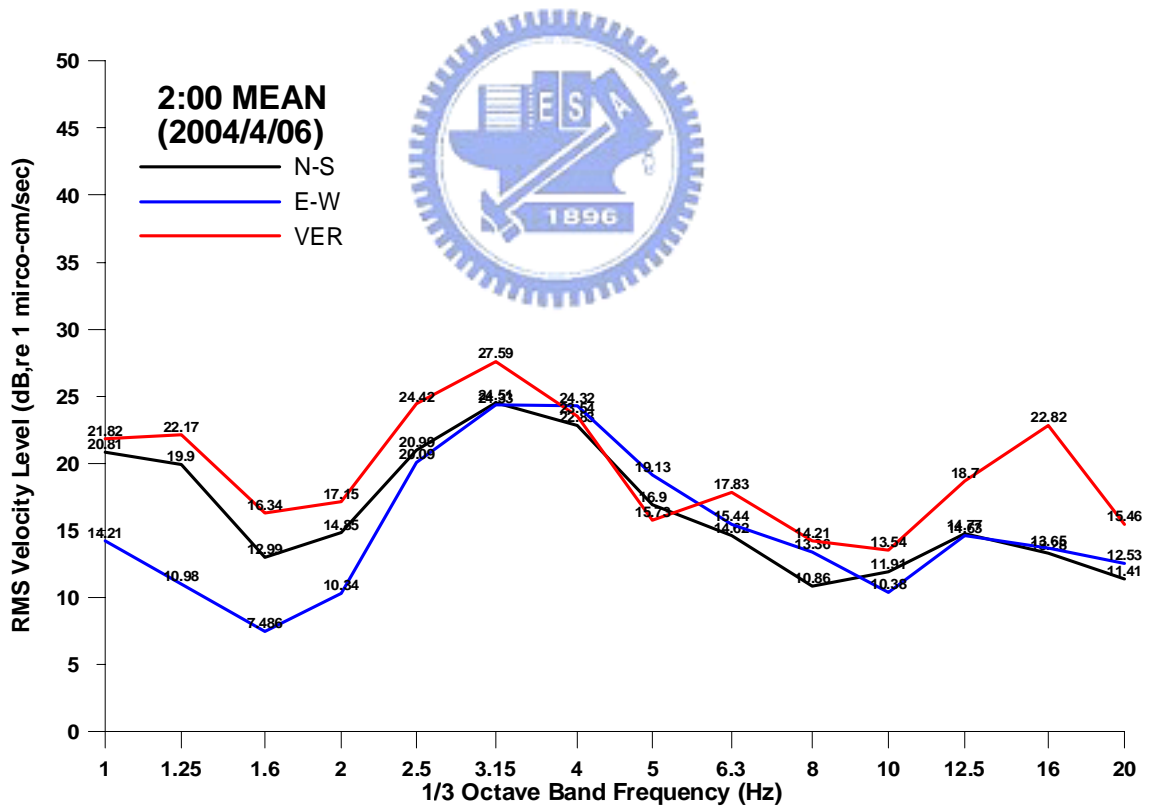
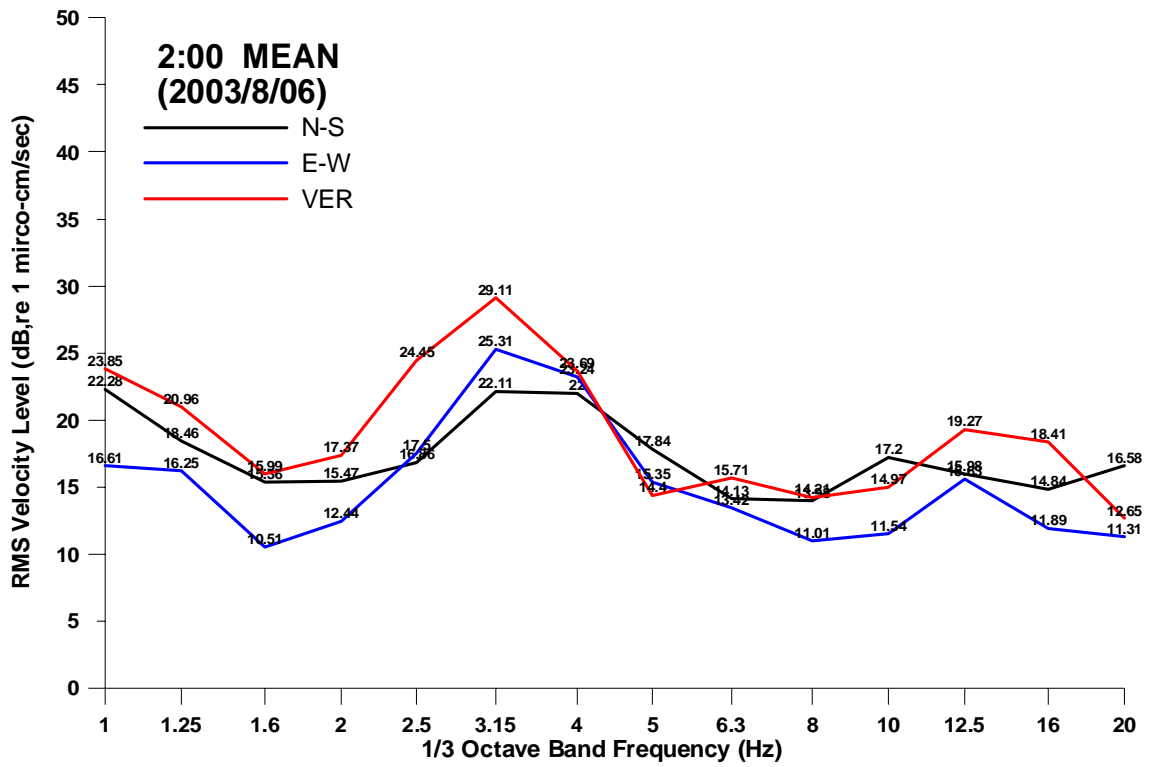


圖 2.42 2 點所有平均方向二次量測的比較

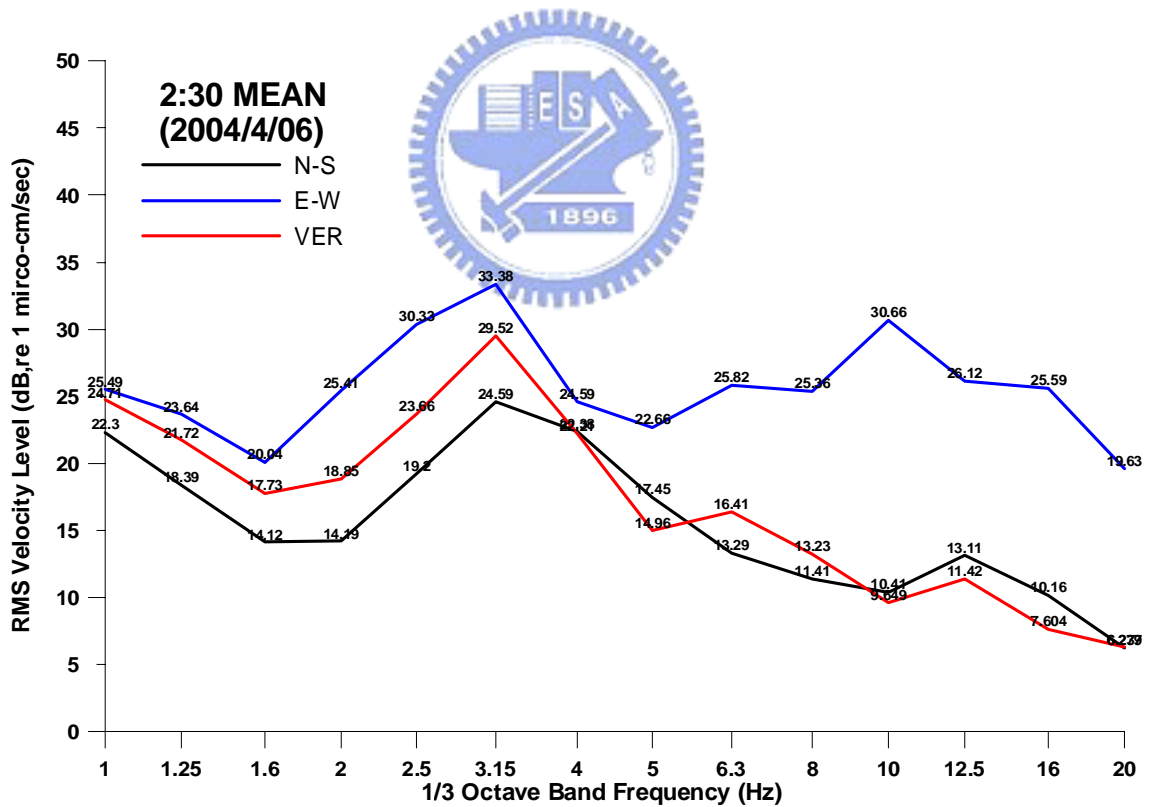
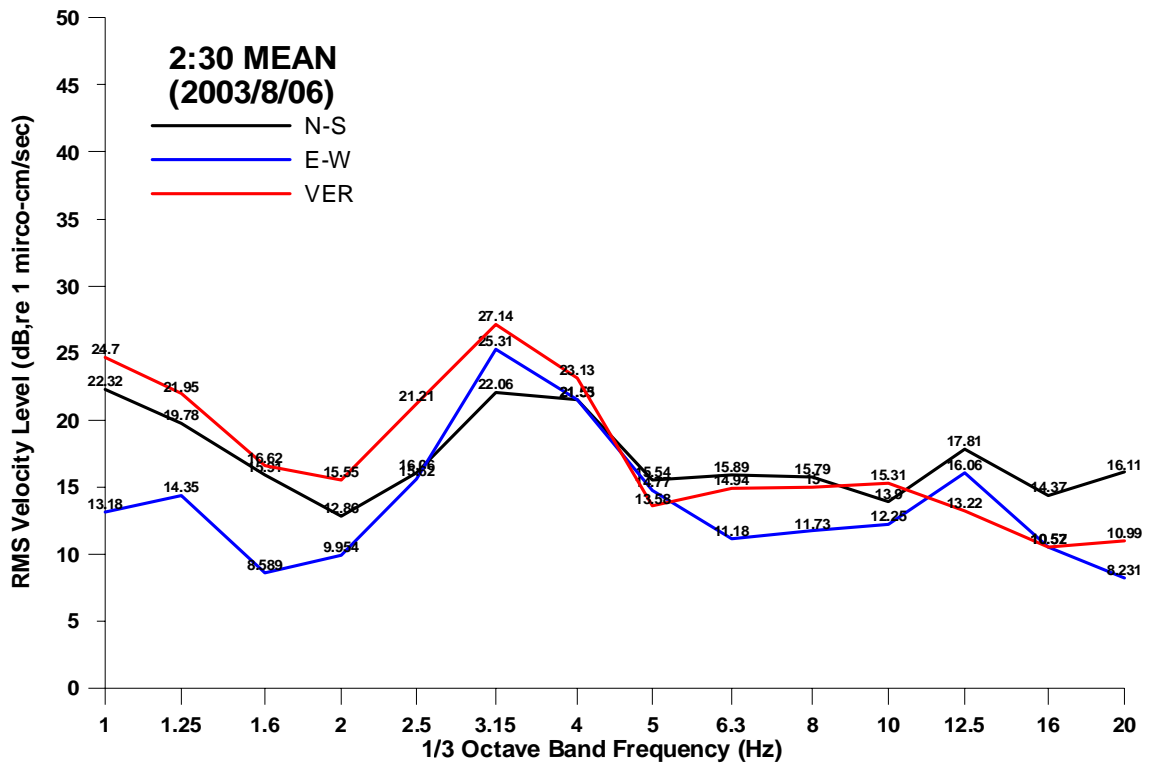


圖 2.43 2 點 30 分所有平均方向二次量測的比較

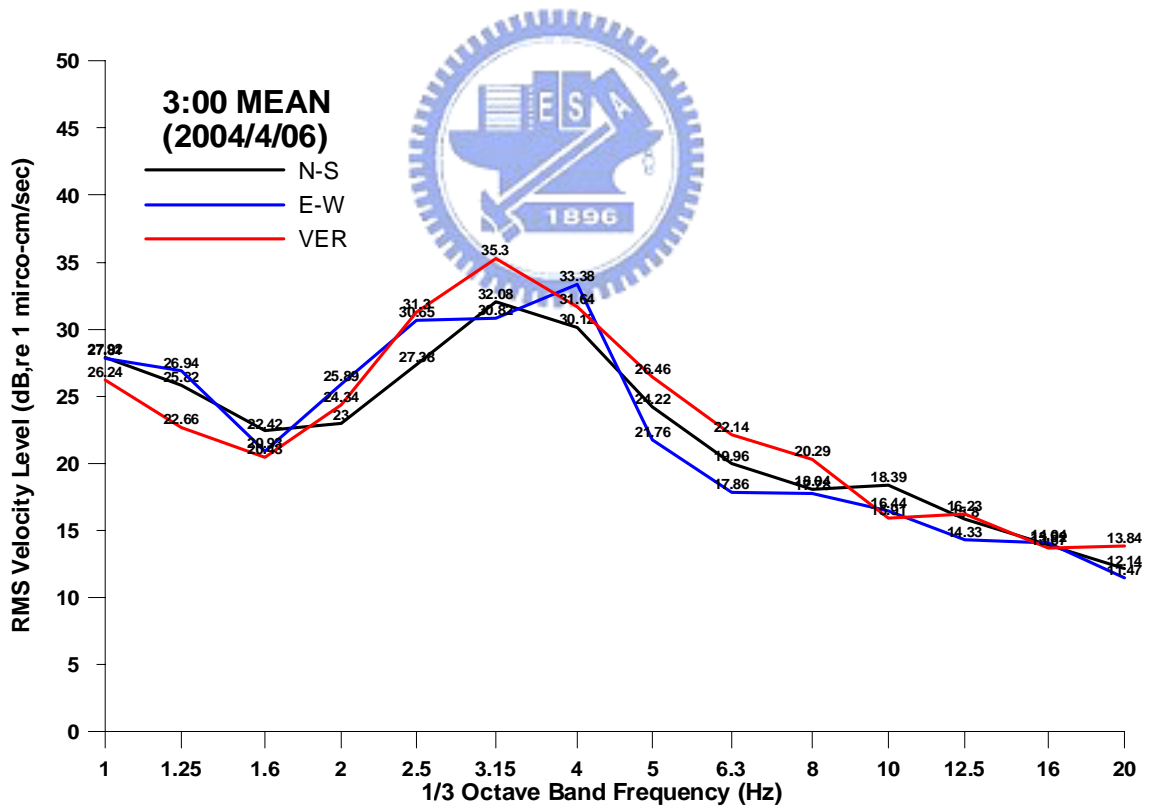
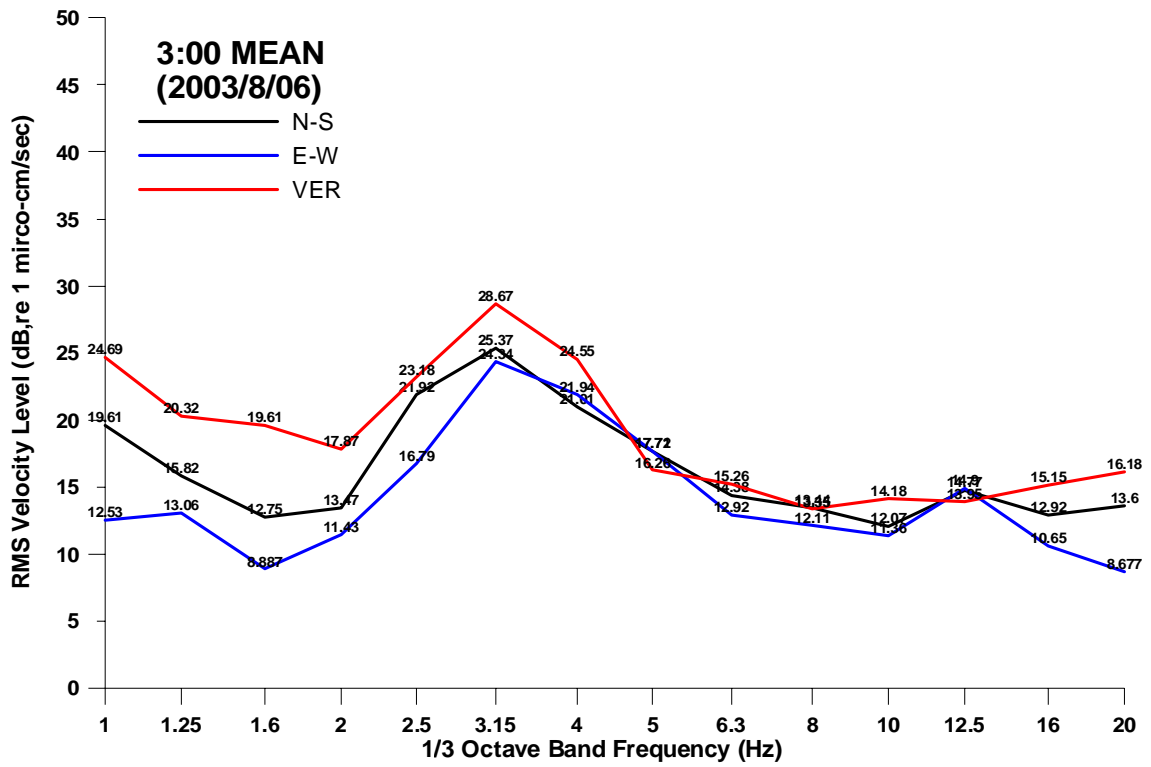


圖 2.44 3 點所有平均方向二次量測的比較

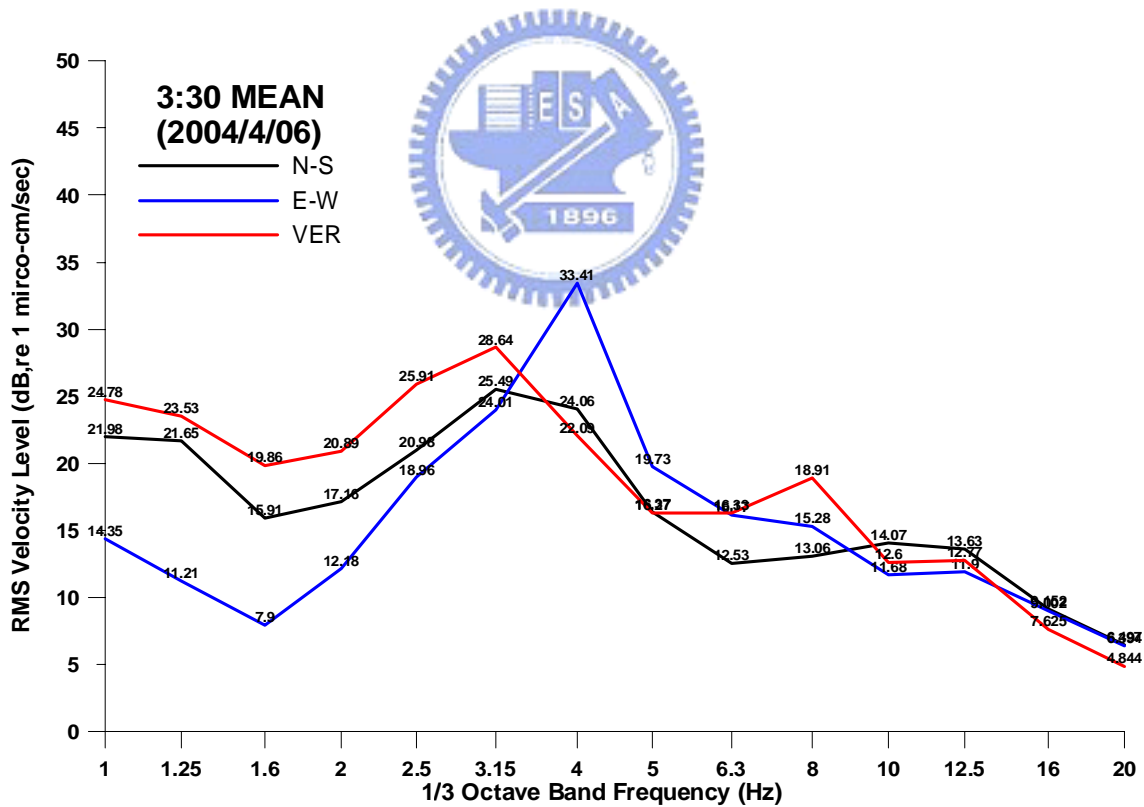
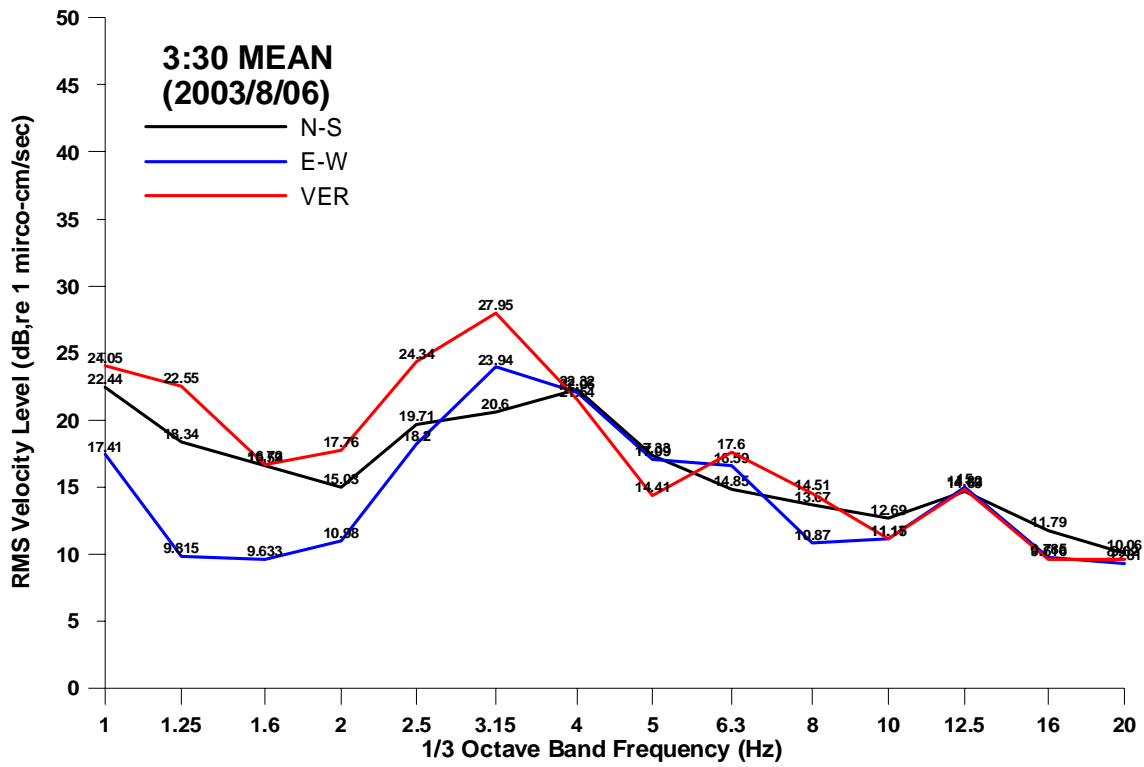


圖 2.45 3 點 30 分所有平均方向二次量測的比較

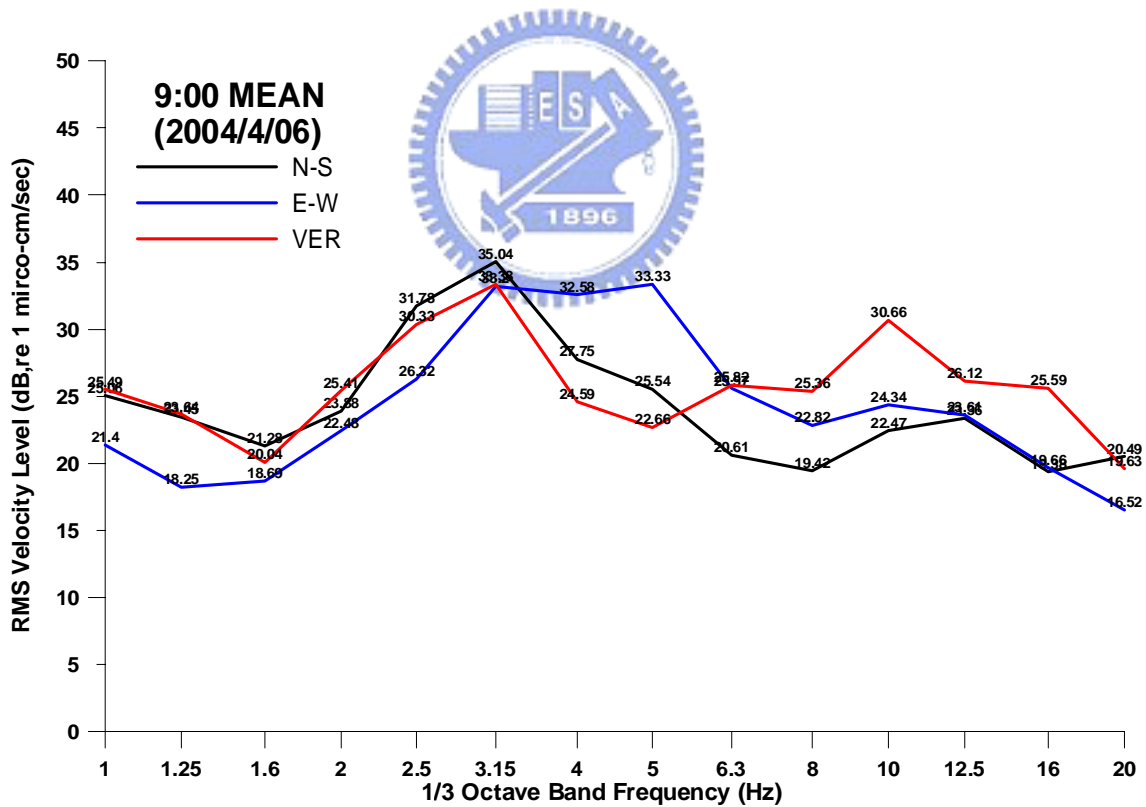
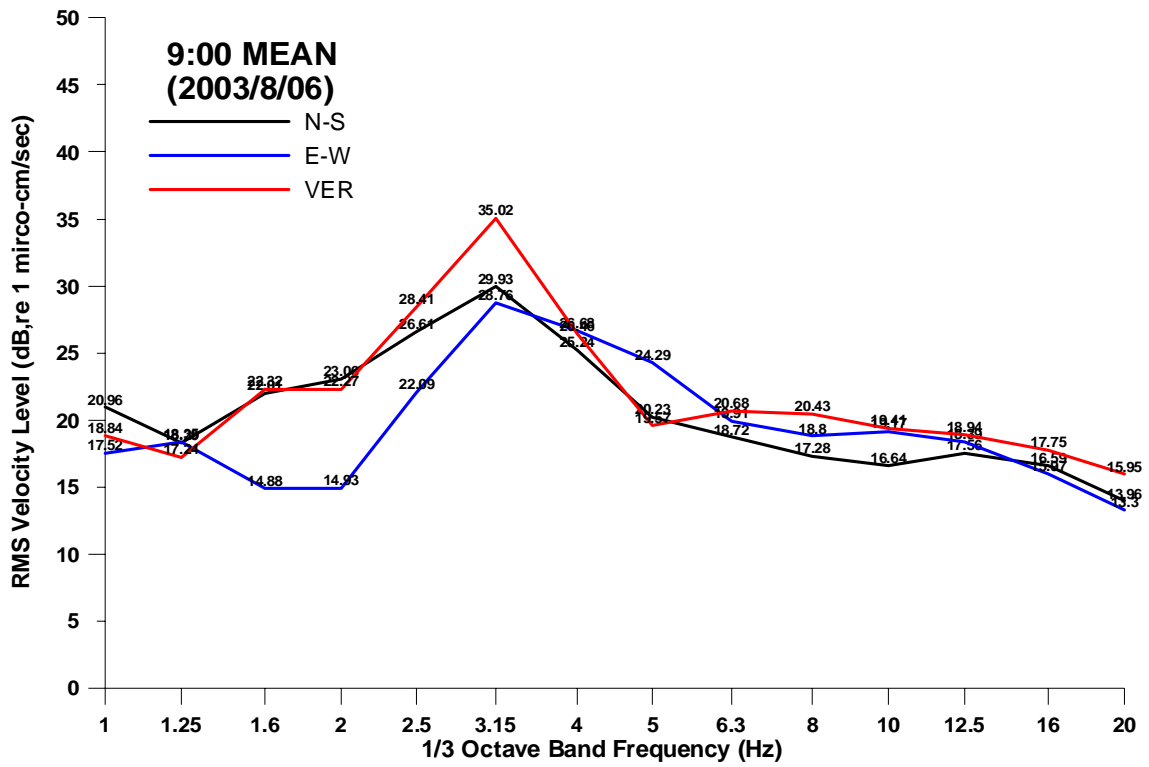


圖 2.46 9 點所有平均方向二次量測的比較

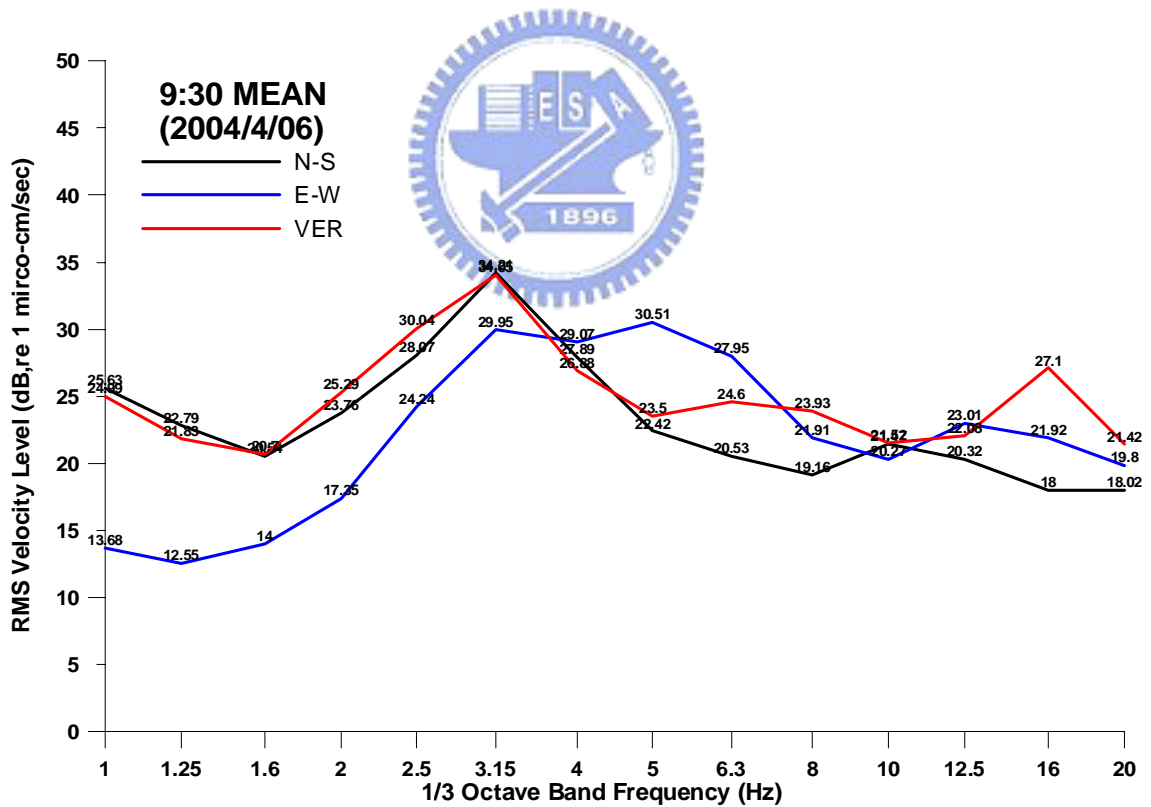
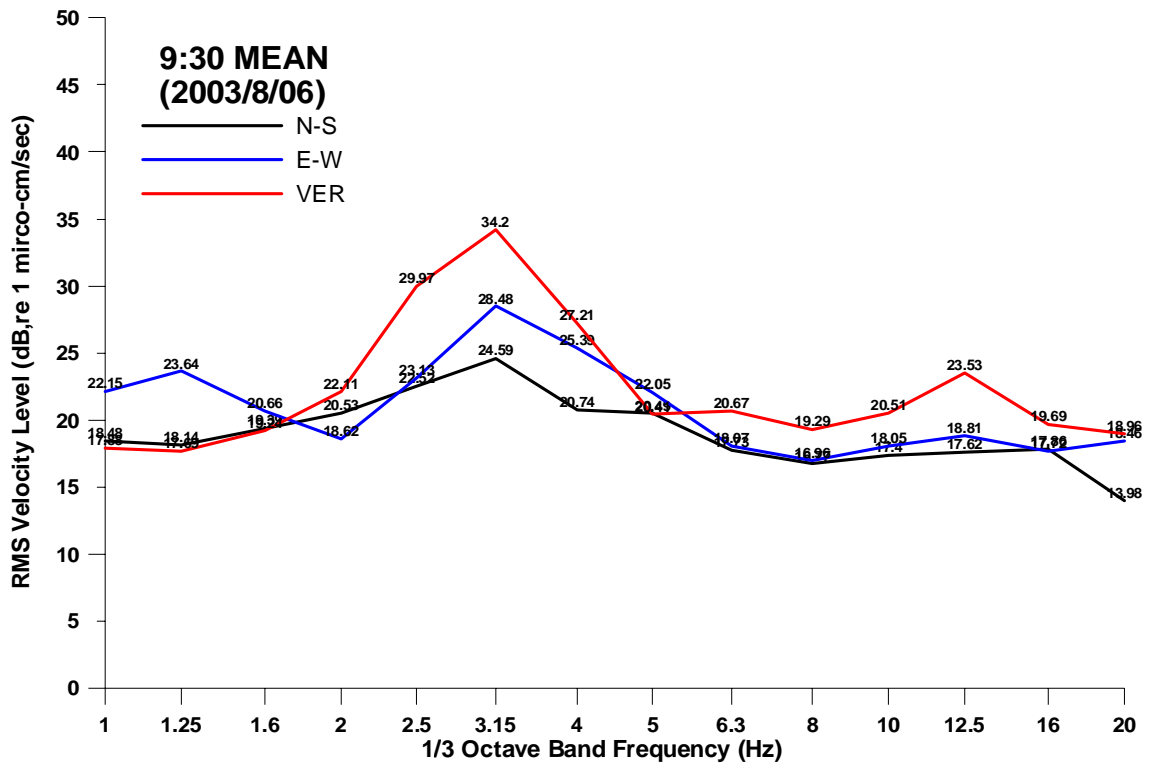


圖 2.47 9 點 30 分所有平均方向二次量測的比較

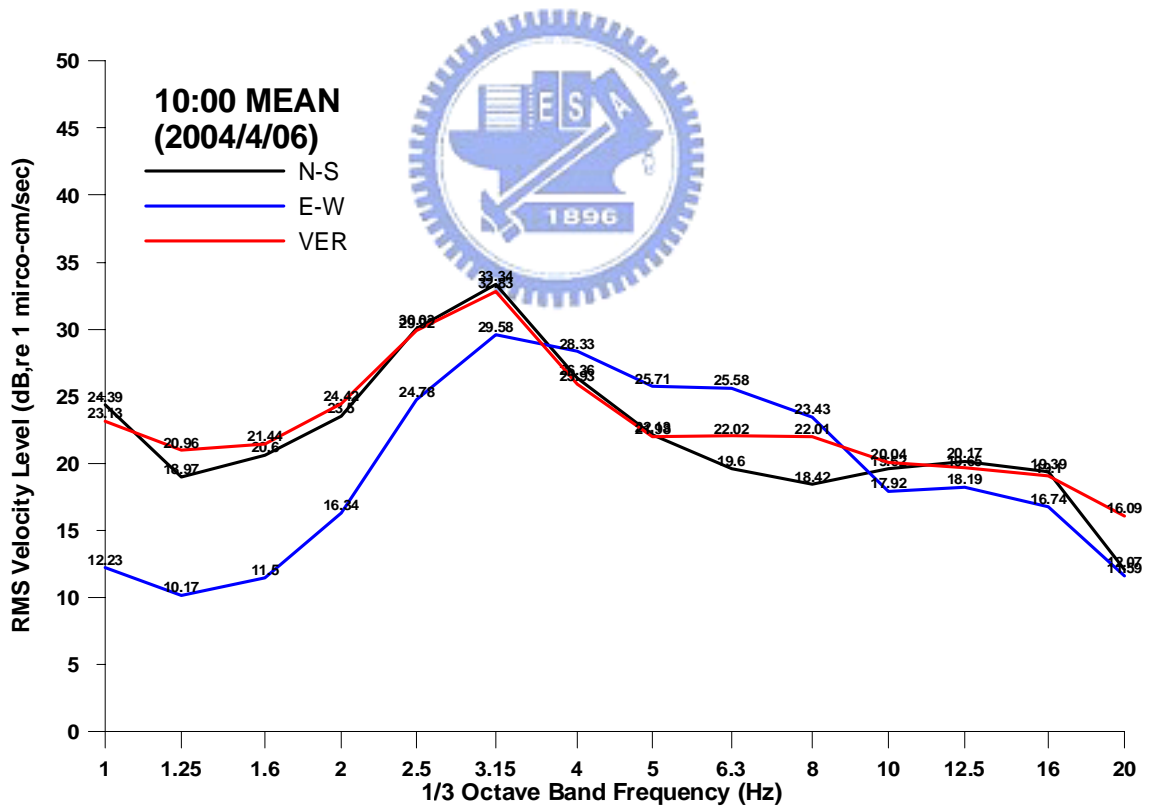
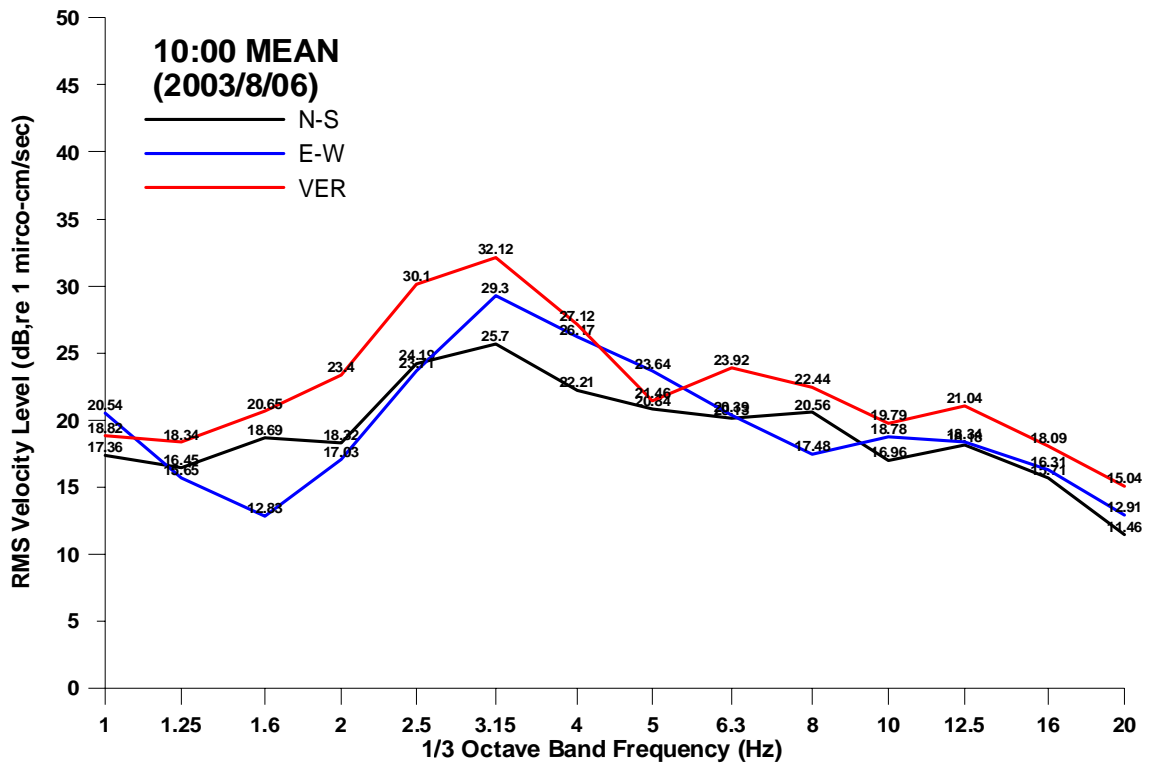


圖 2.48 10 點所有平均方向二次量測的比較

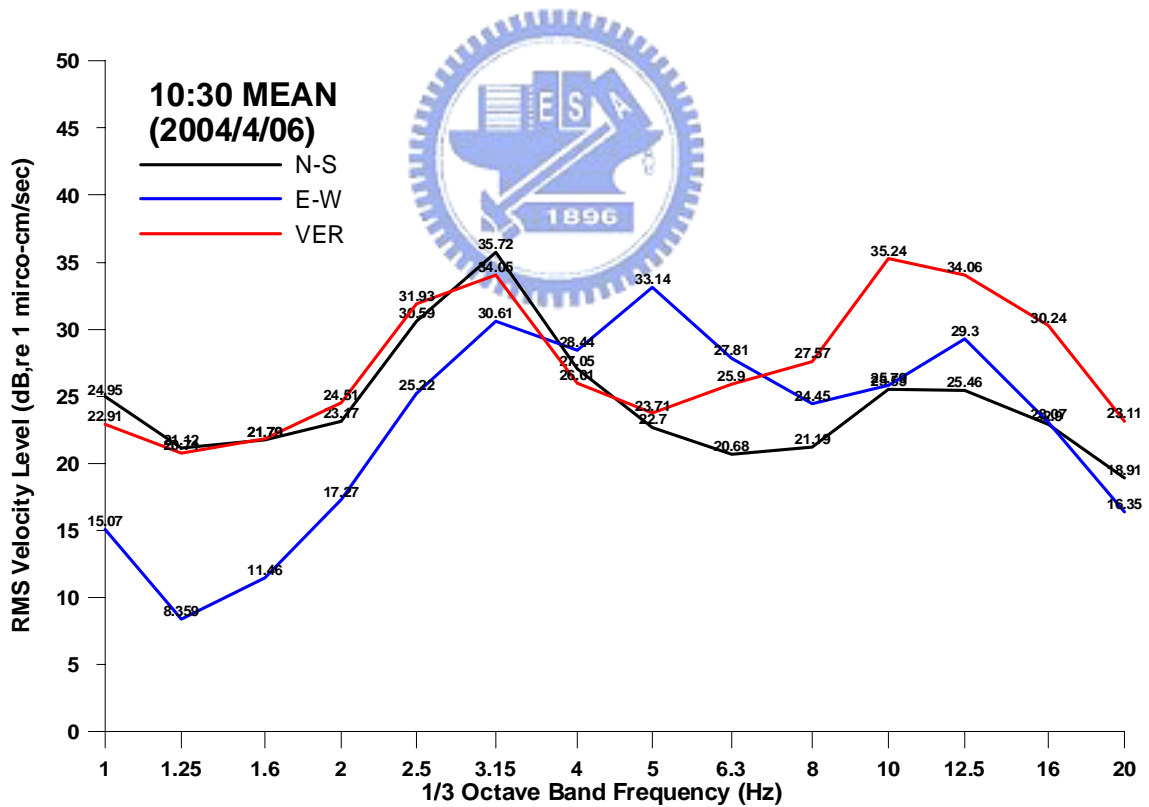
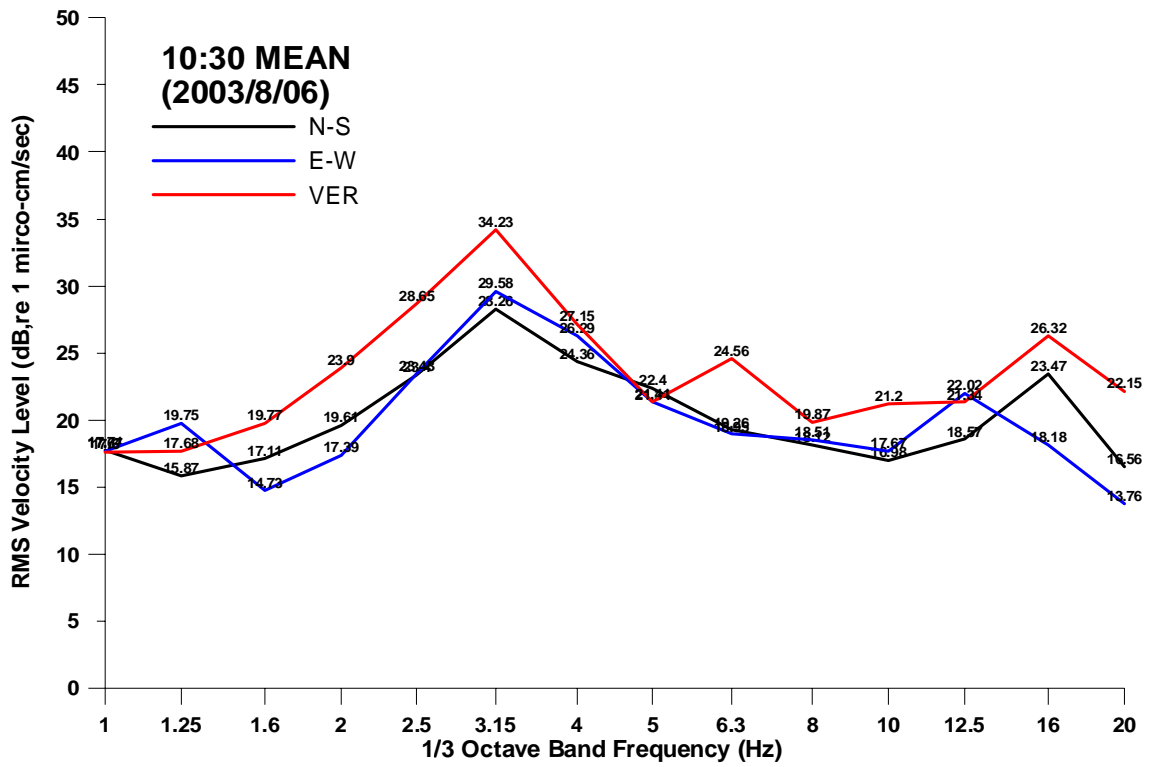


圖 2.49 10 點 30 分所有平均方向二次量測的比較

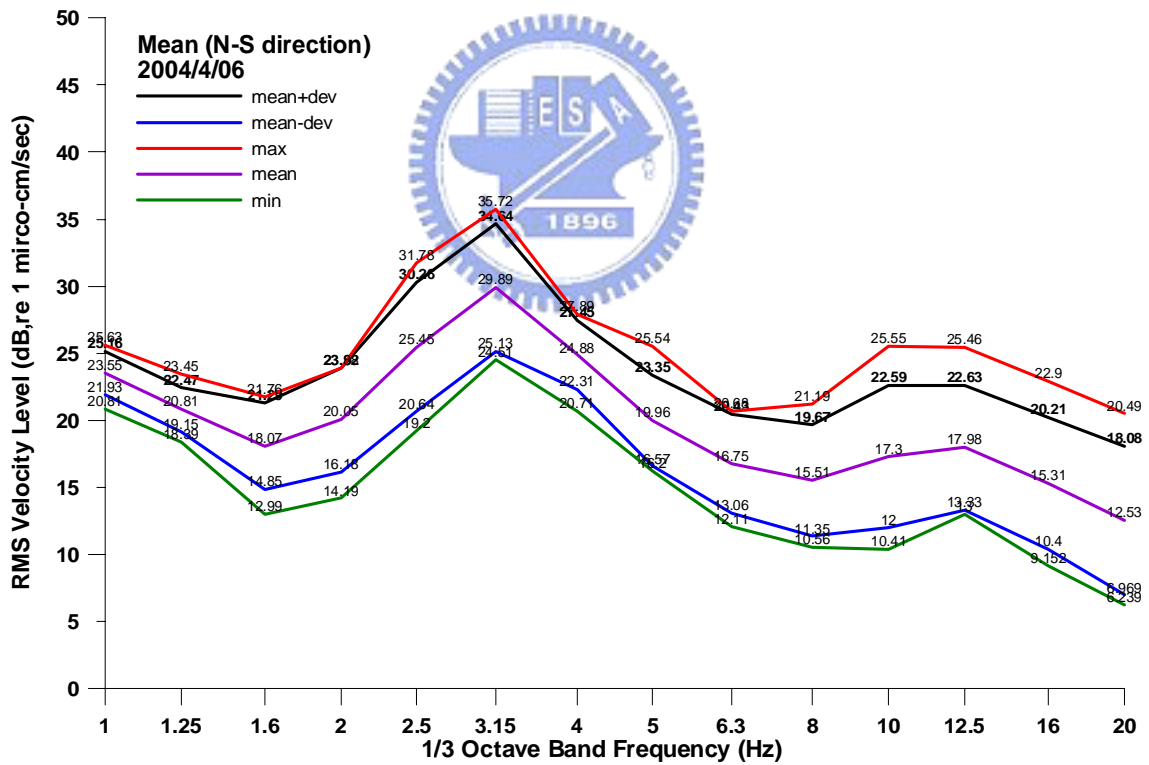
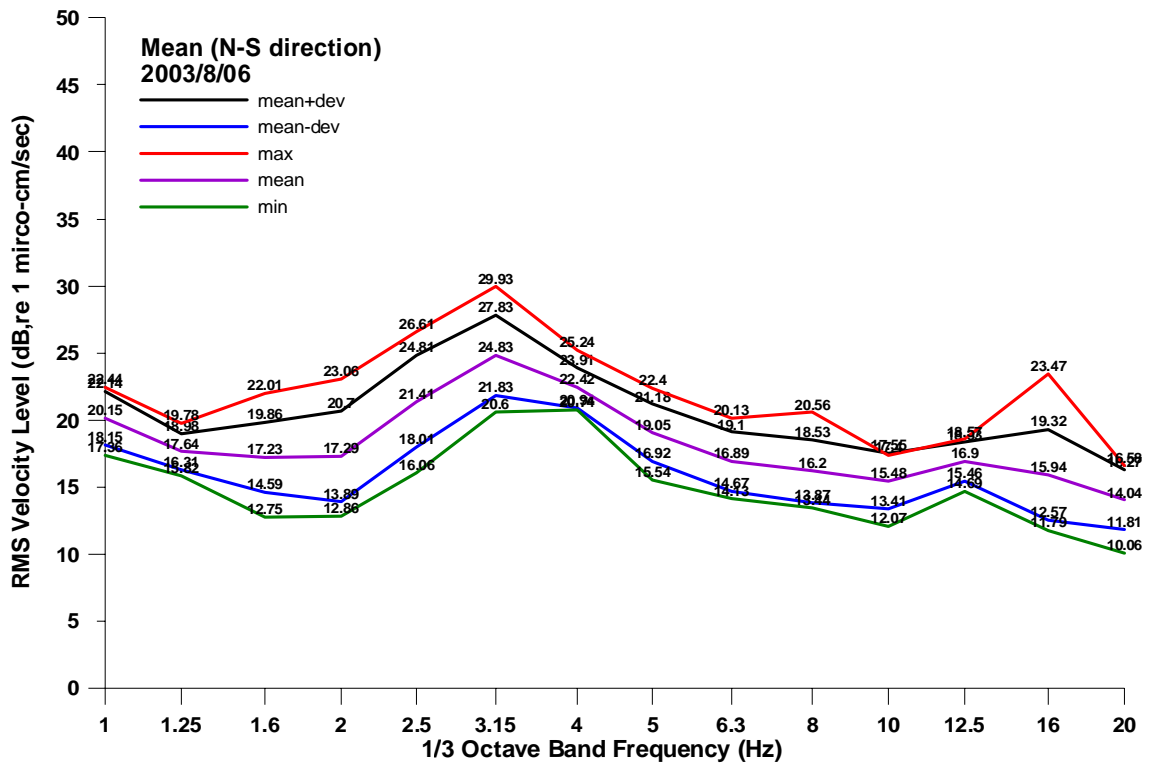


圖 2.50 南北向所有時間平均的兩次量測比較

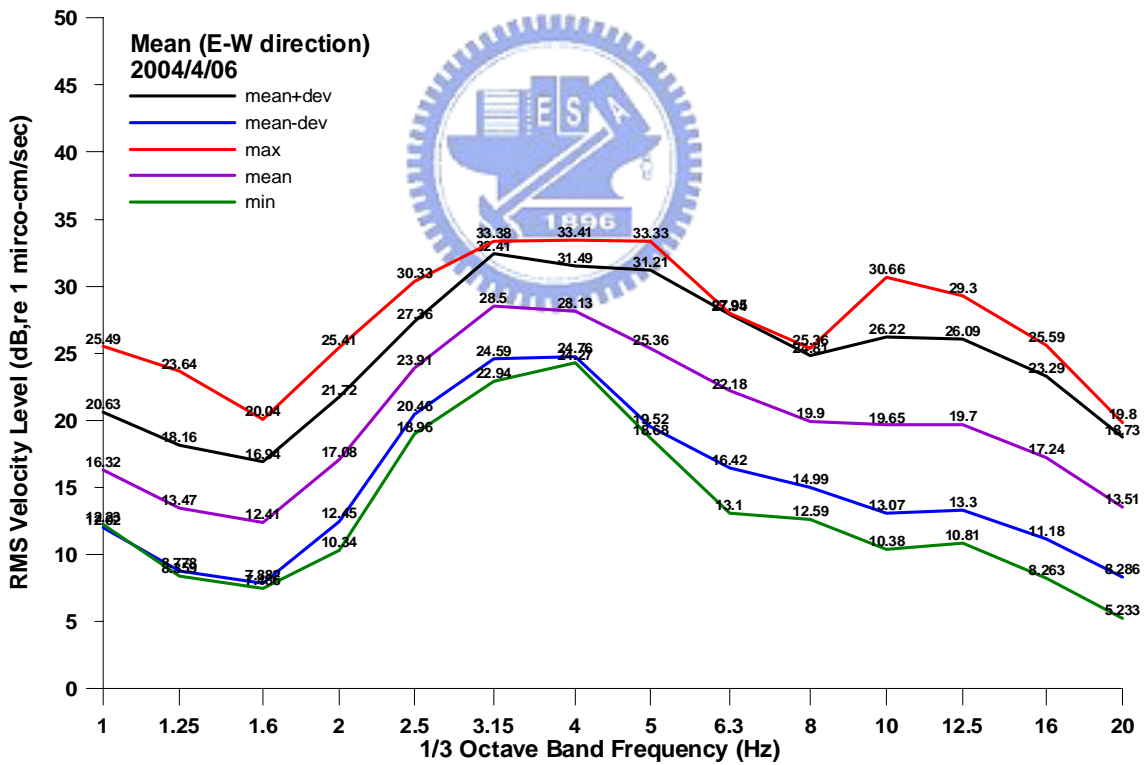
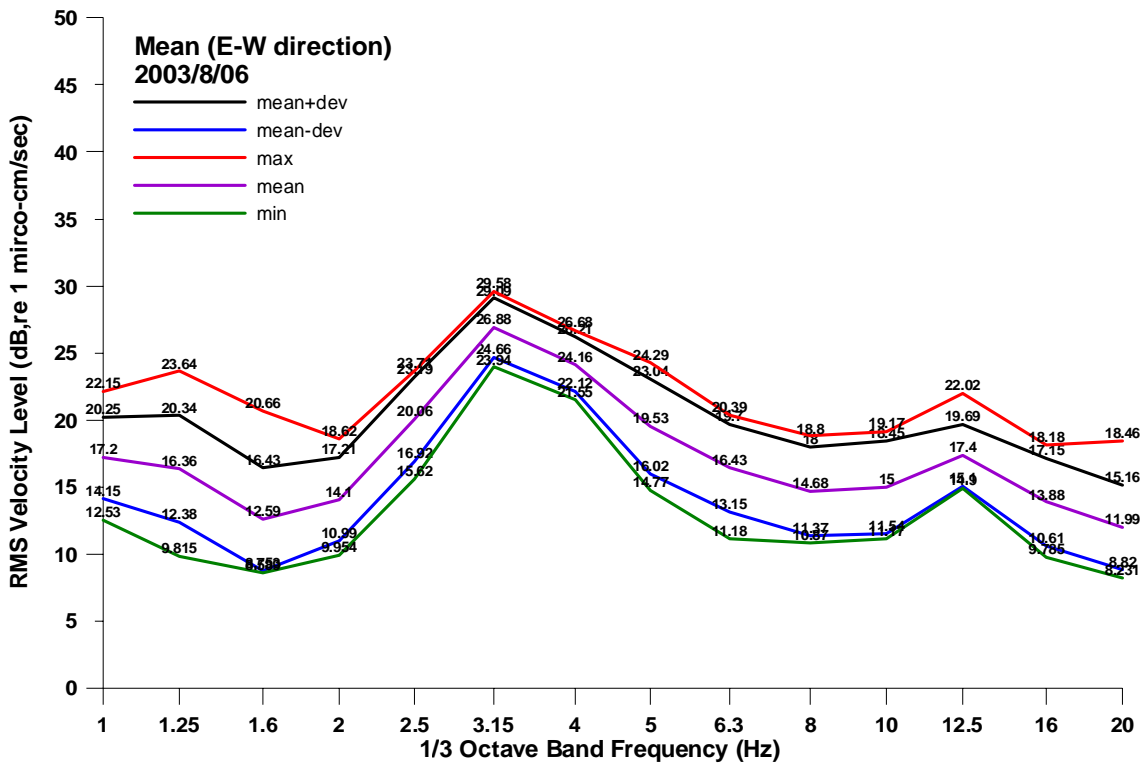


圖 2.51 東西向所有時間平均的兩次量測比較

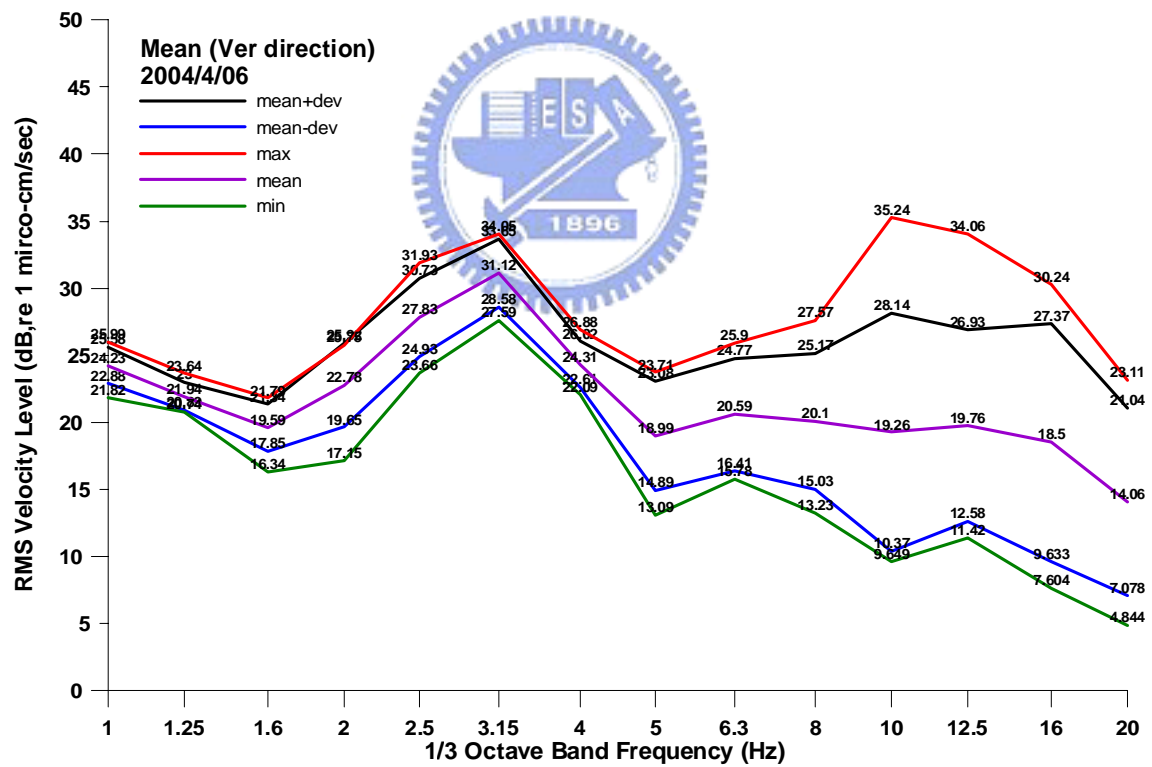
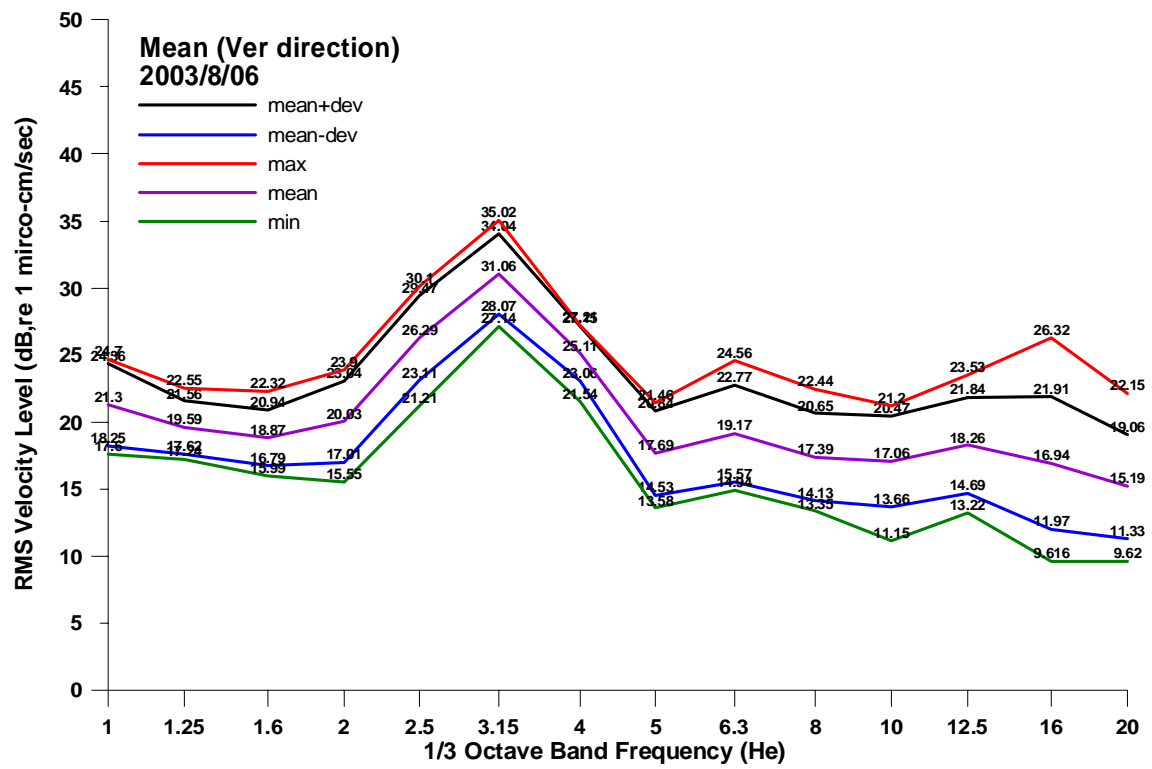


圖 2.52 垂直向所有時間的兩次量測比較

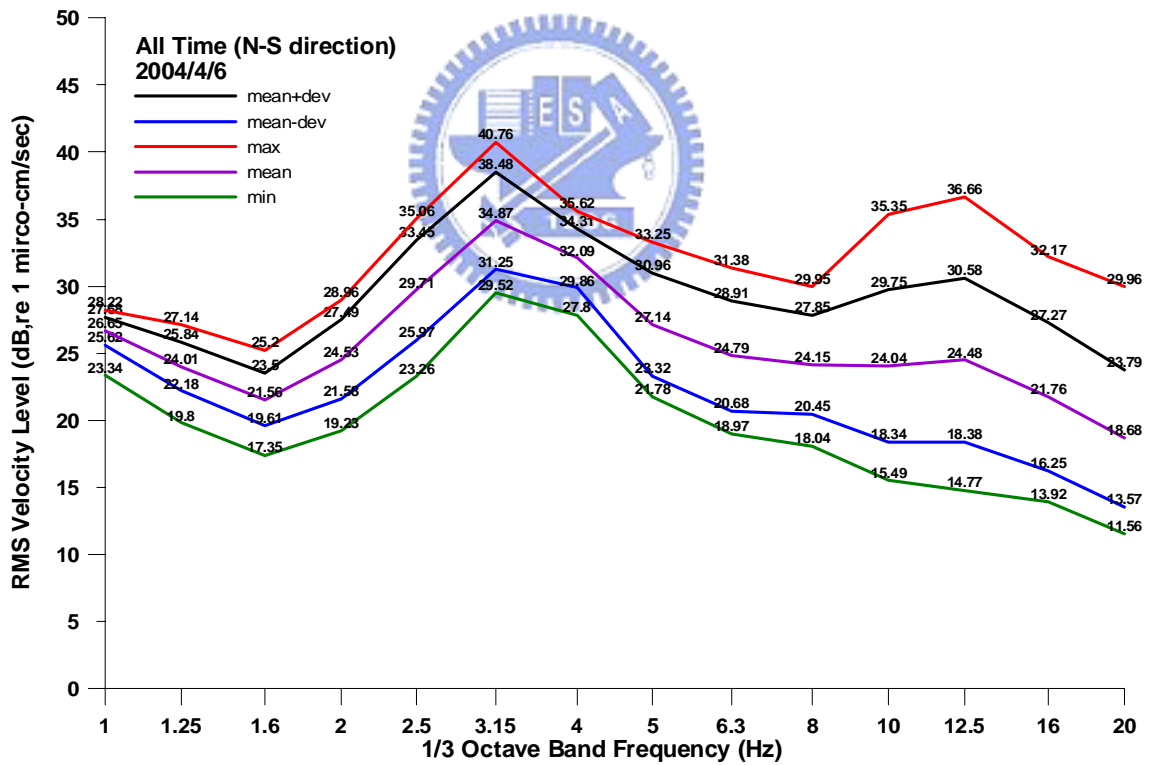
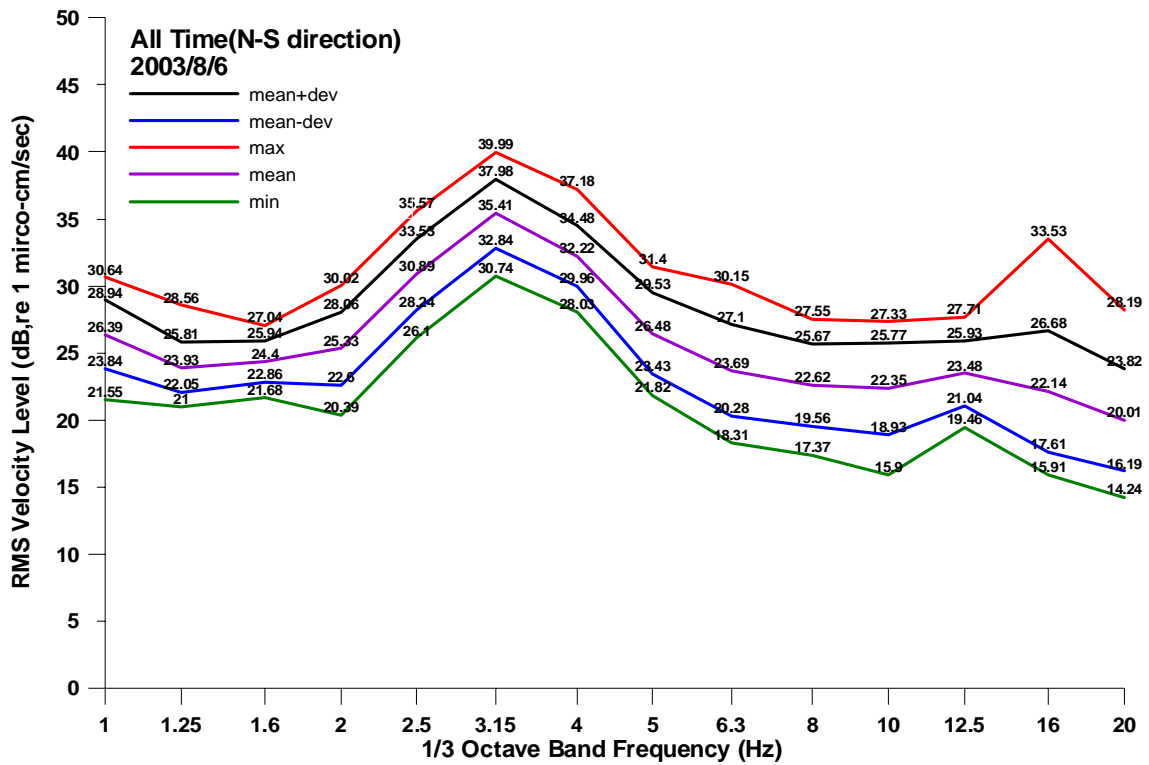


圖 2.53 南北向所有時間的兩次量測統計分析比較

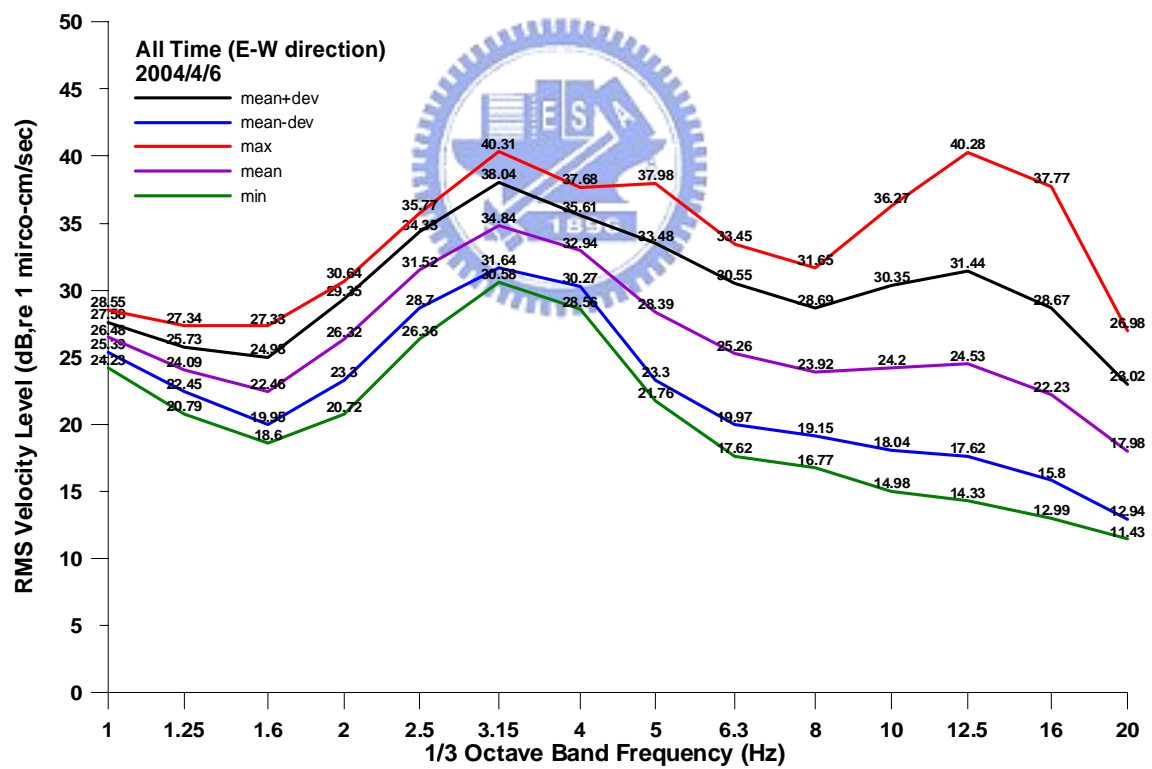
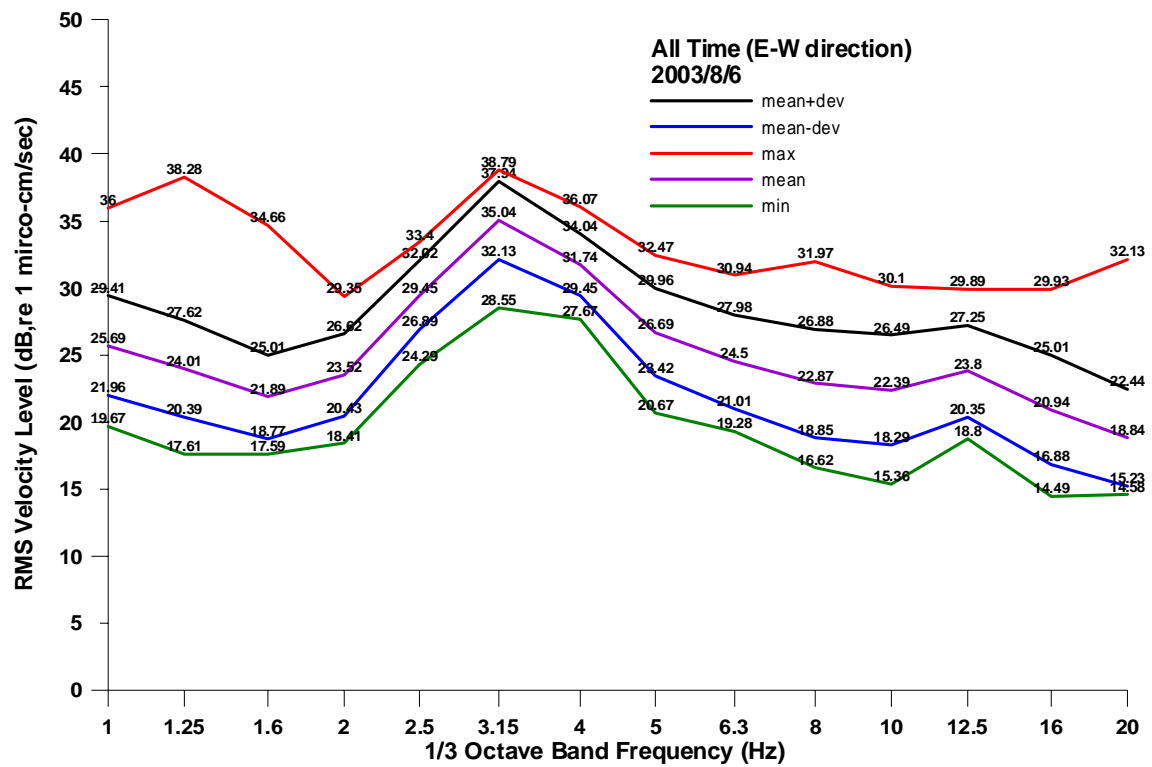


圖 2.54 東西向所有時間的兩次量測統計分析比較

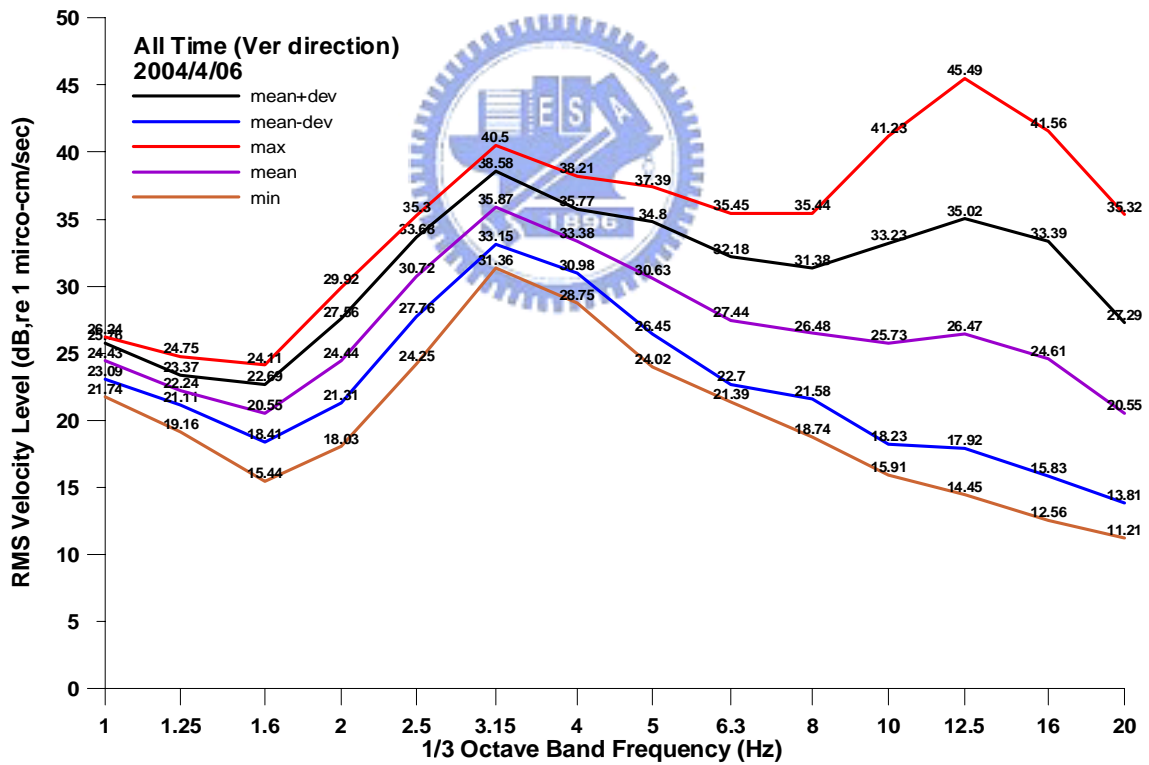
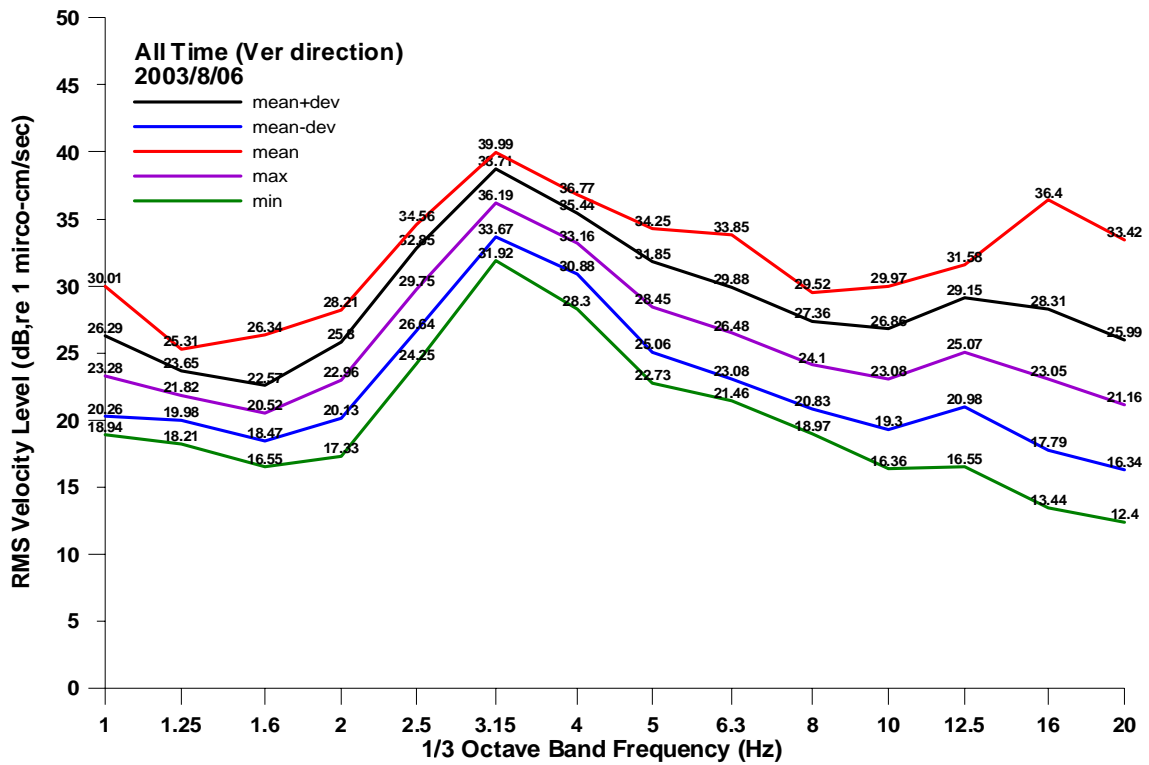
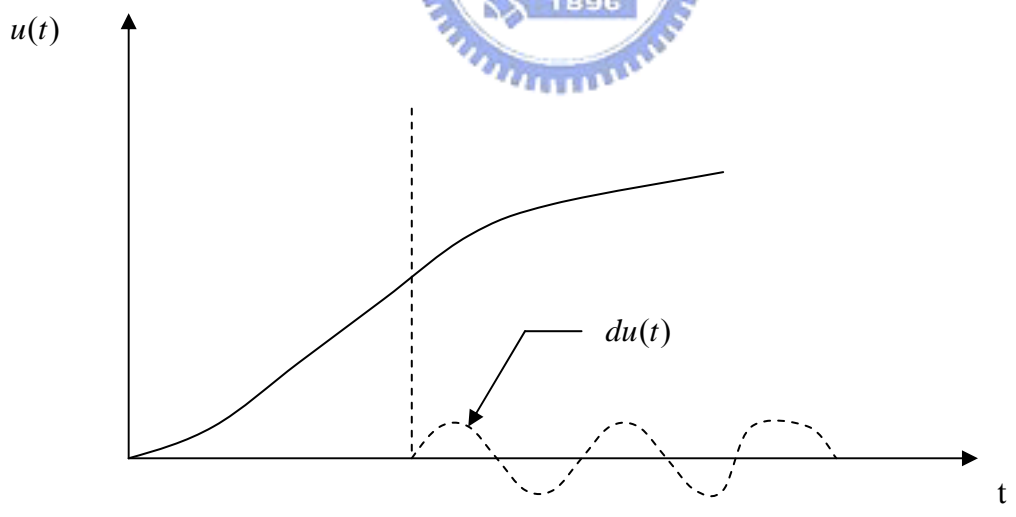
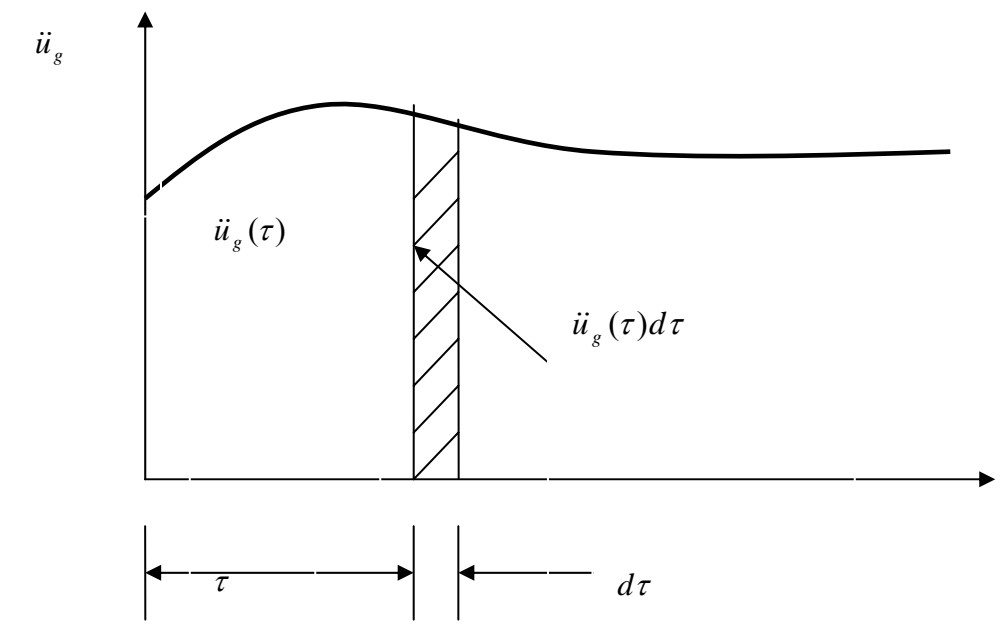


圖 2.55 垂直向所有時間的兩次量測統計分析比較



(a)

(b)

圖 3.1 一般動態載重與微衝量之反應

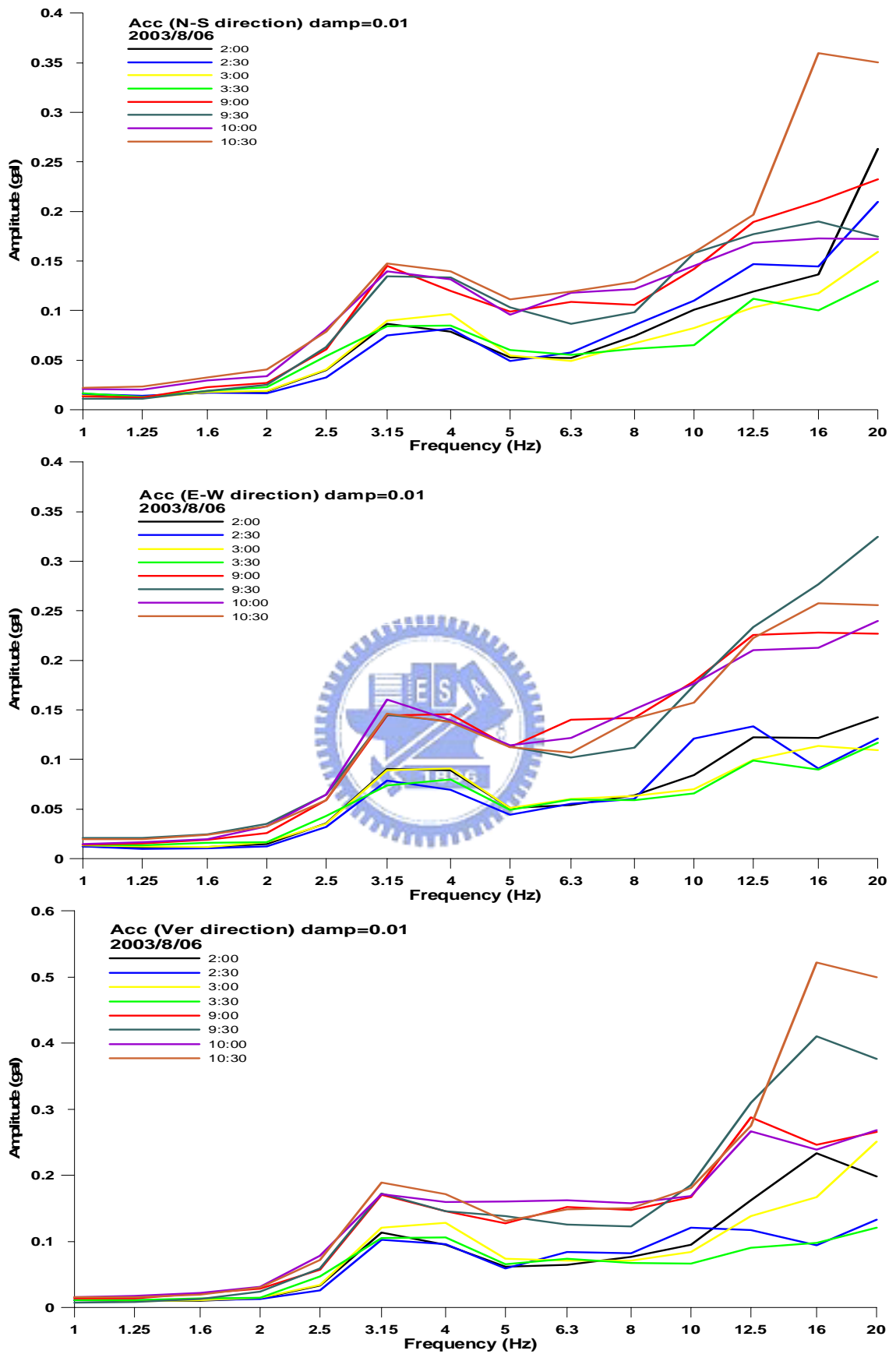


圖 3.2 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.01$ (第一次)

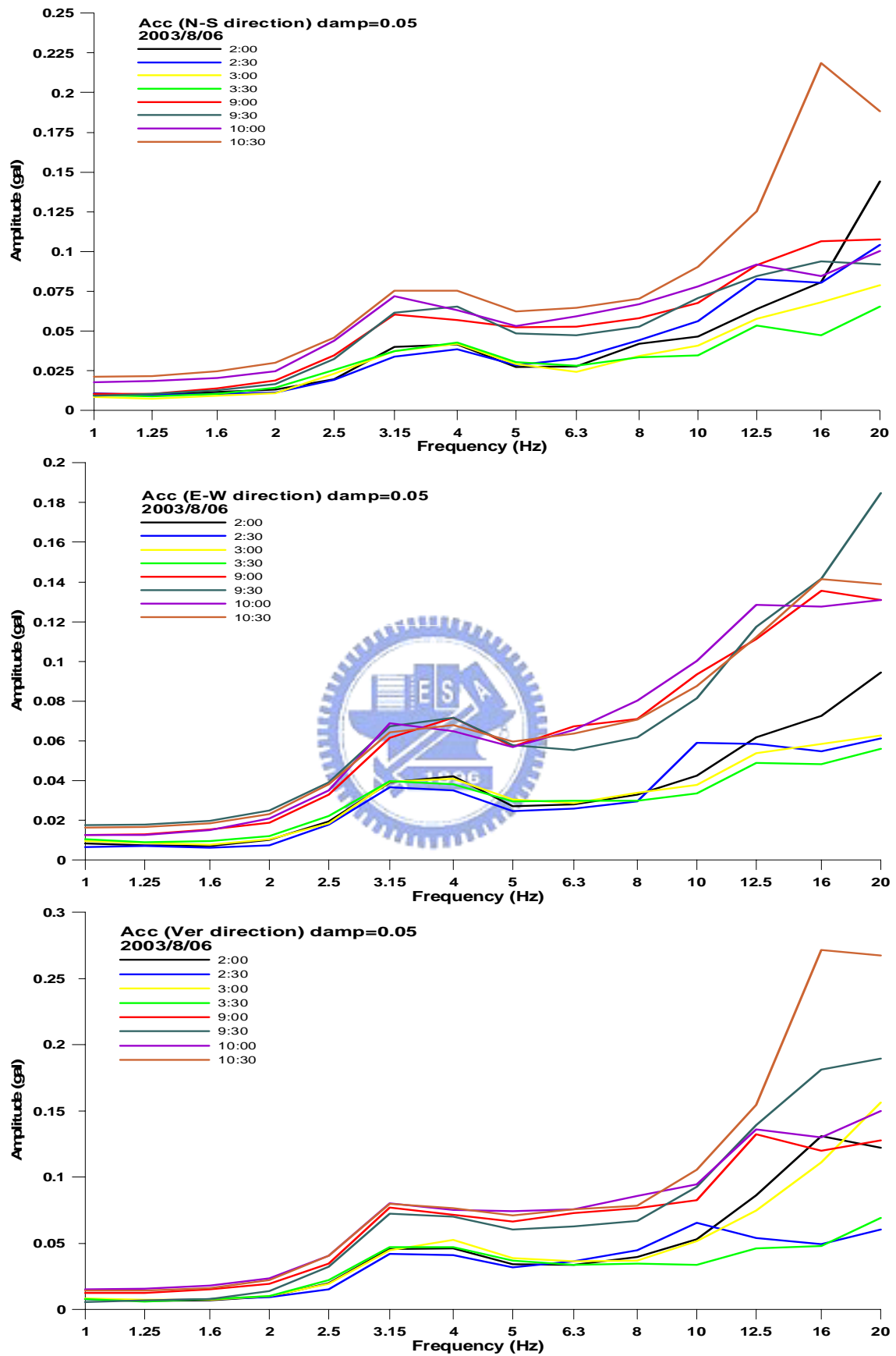


圖 3.3 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.05$ (第一次)

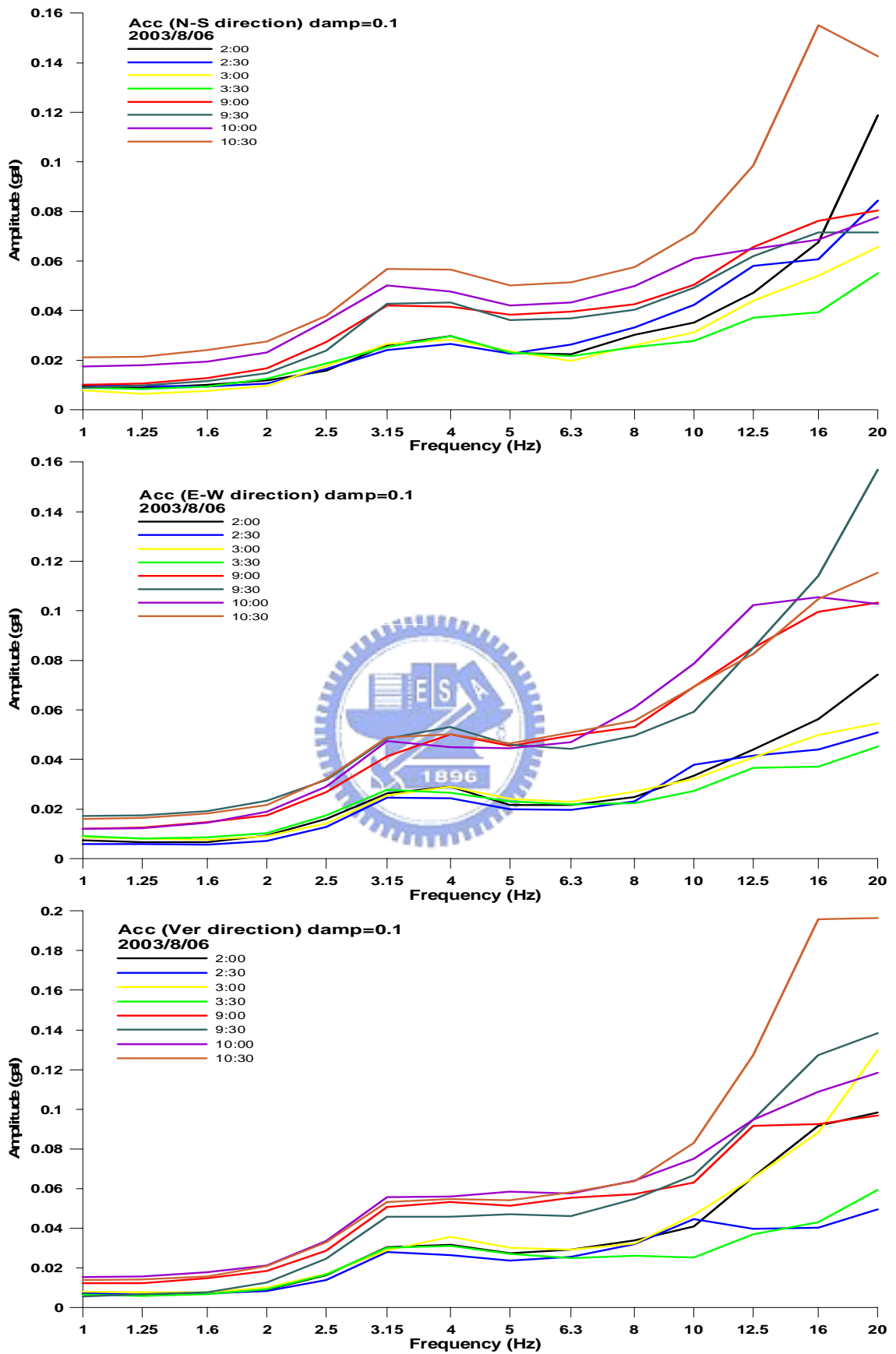


圖 3.4 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.1$ (第一次)

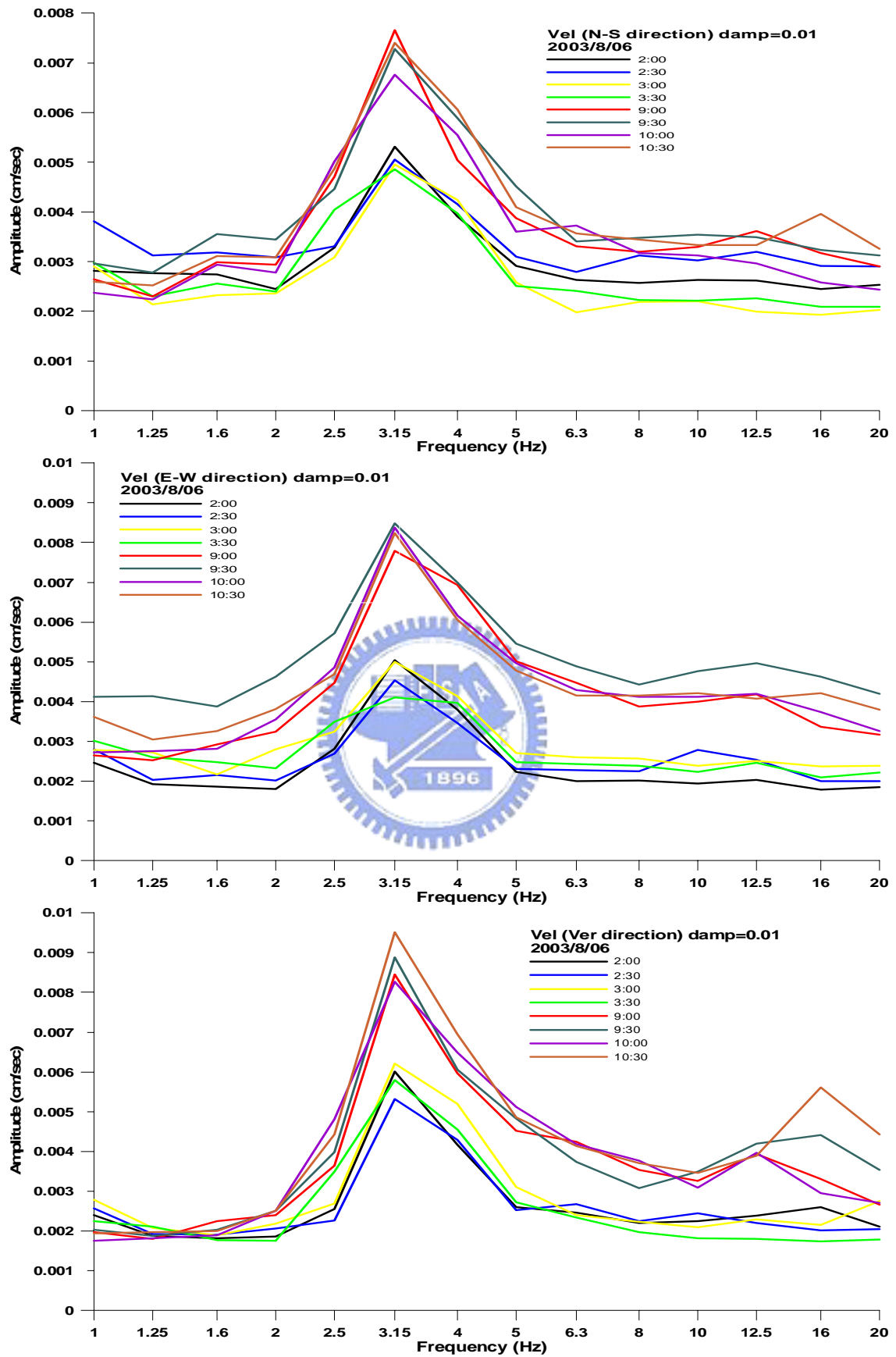


圖 3.5 絕對速度反應譜 $\xi = 0.01$ (第一次)

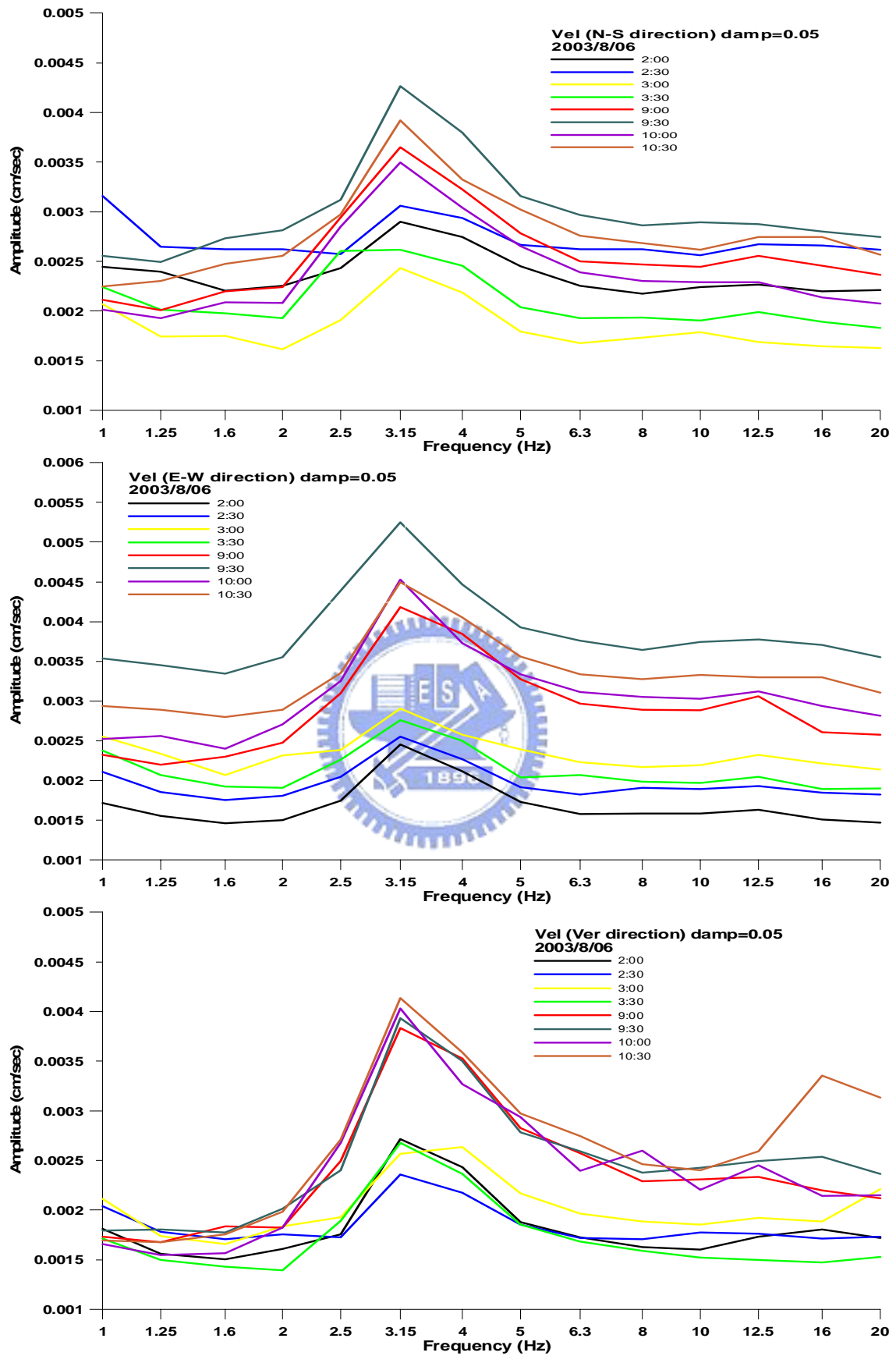


圖 3.6 絕對速度反應譜 $\xi = 0.05$ (第一次)

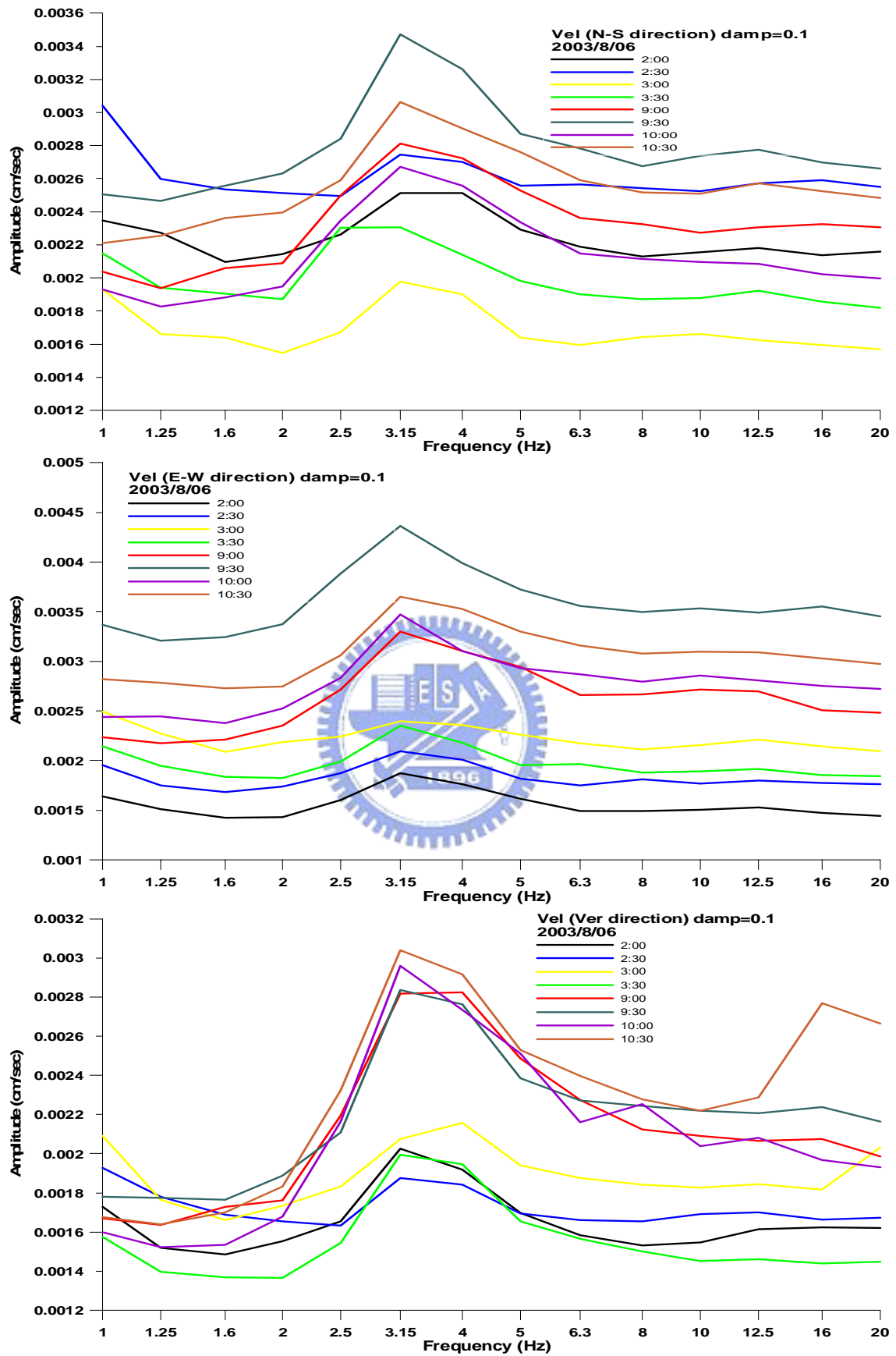


圖 3.7 絕對速度反應譜 $\xi = 0.1$ (第一次)

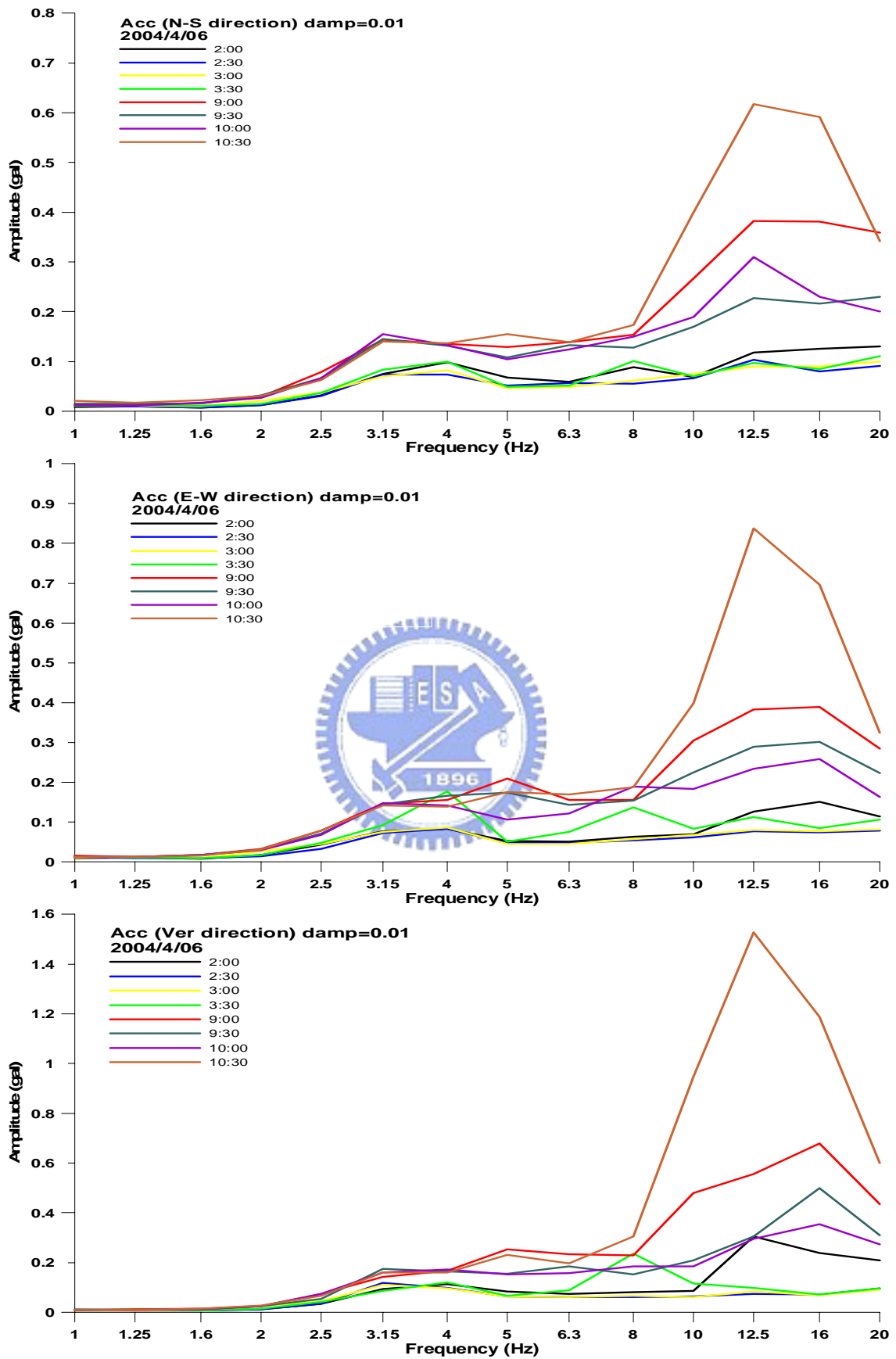


圖 3.8 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.01$ (第二次)

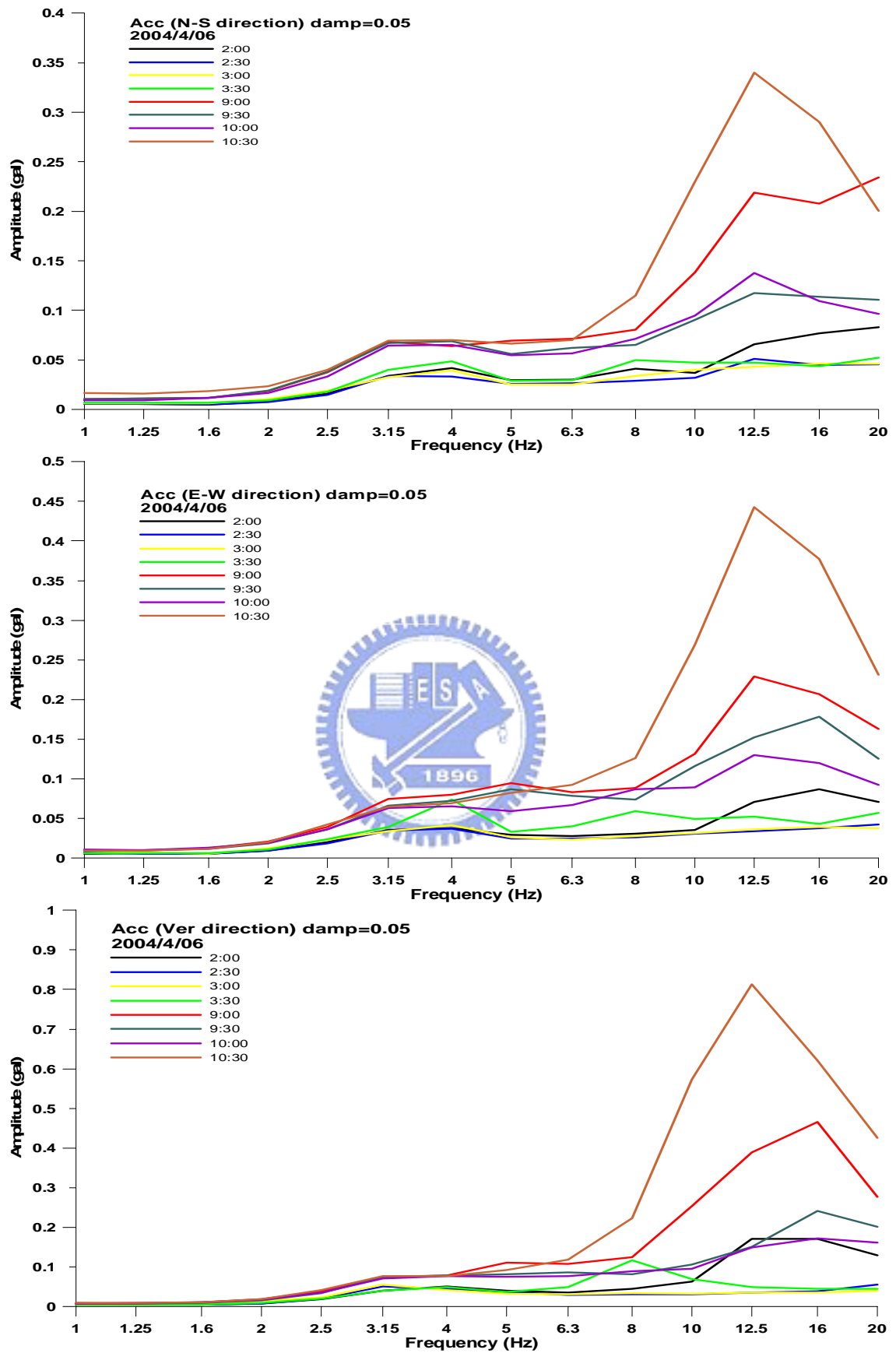


圖 3.9 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.05$ (第二次)

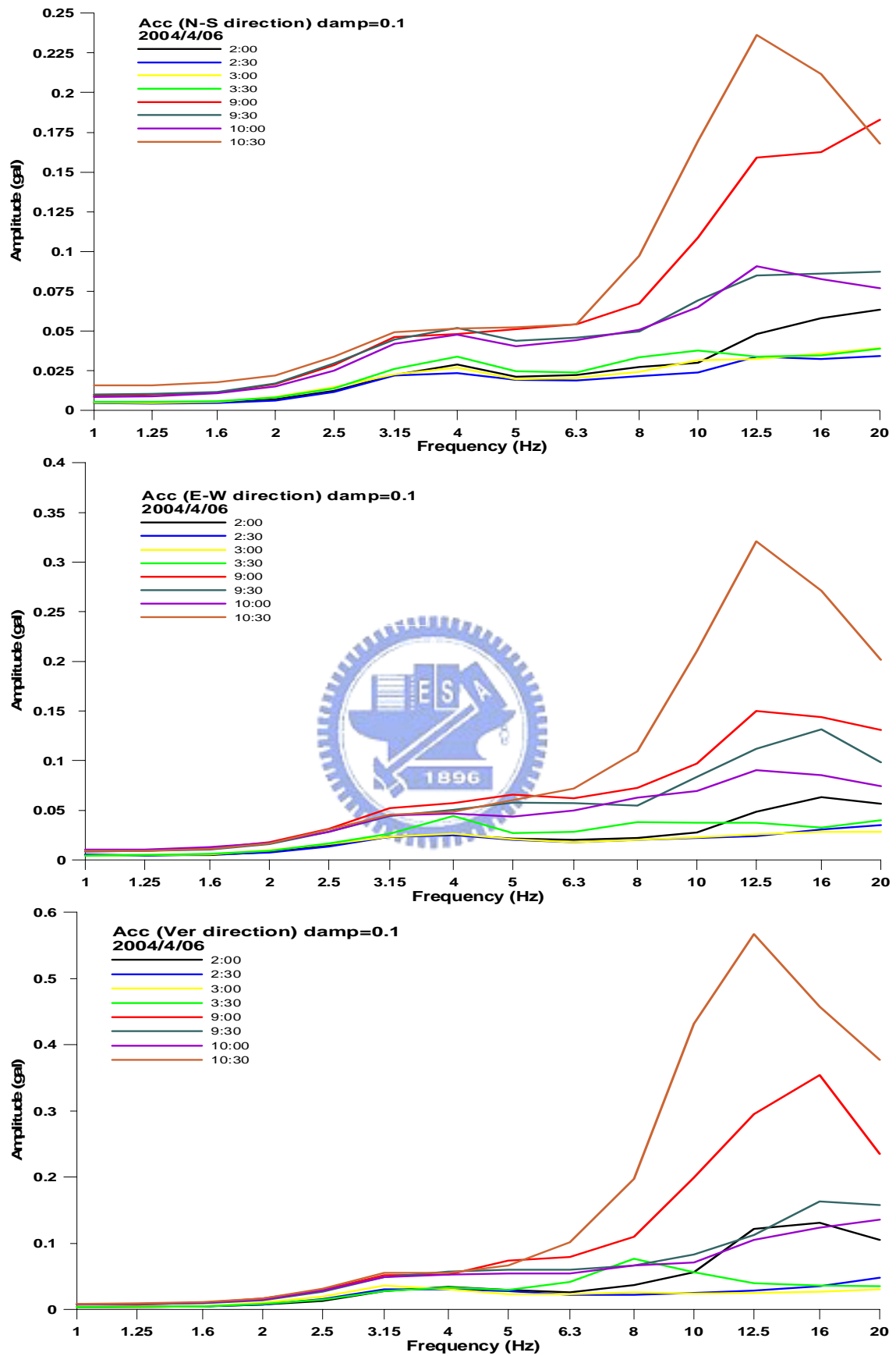


圖 3.10 絕對加速度反應譜 $\xi = 0.1$ (第二次)

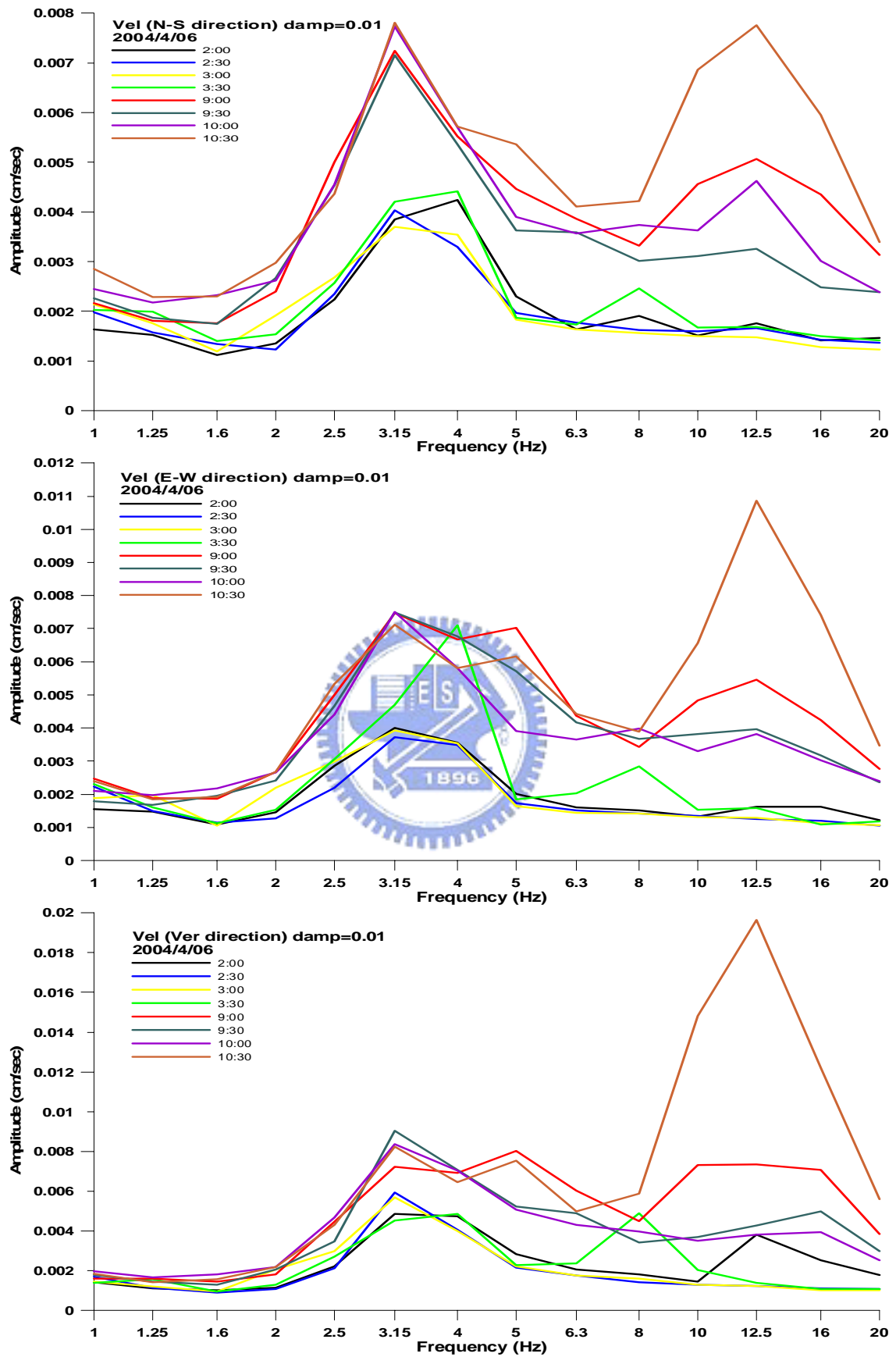


圖 3.11 絕對速度反應譜 $\xi = 0.01$ (第二次)

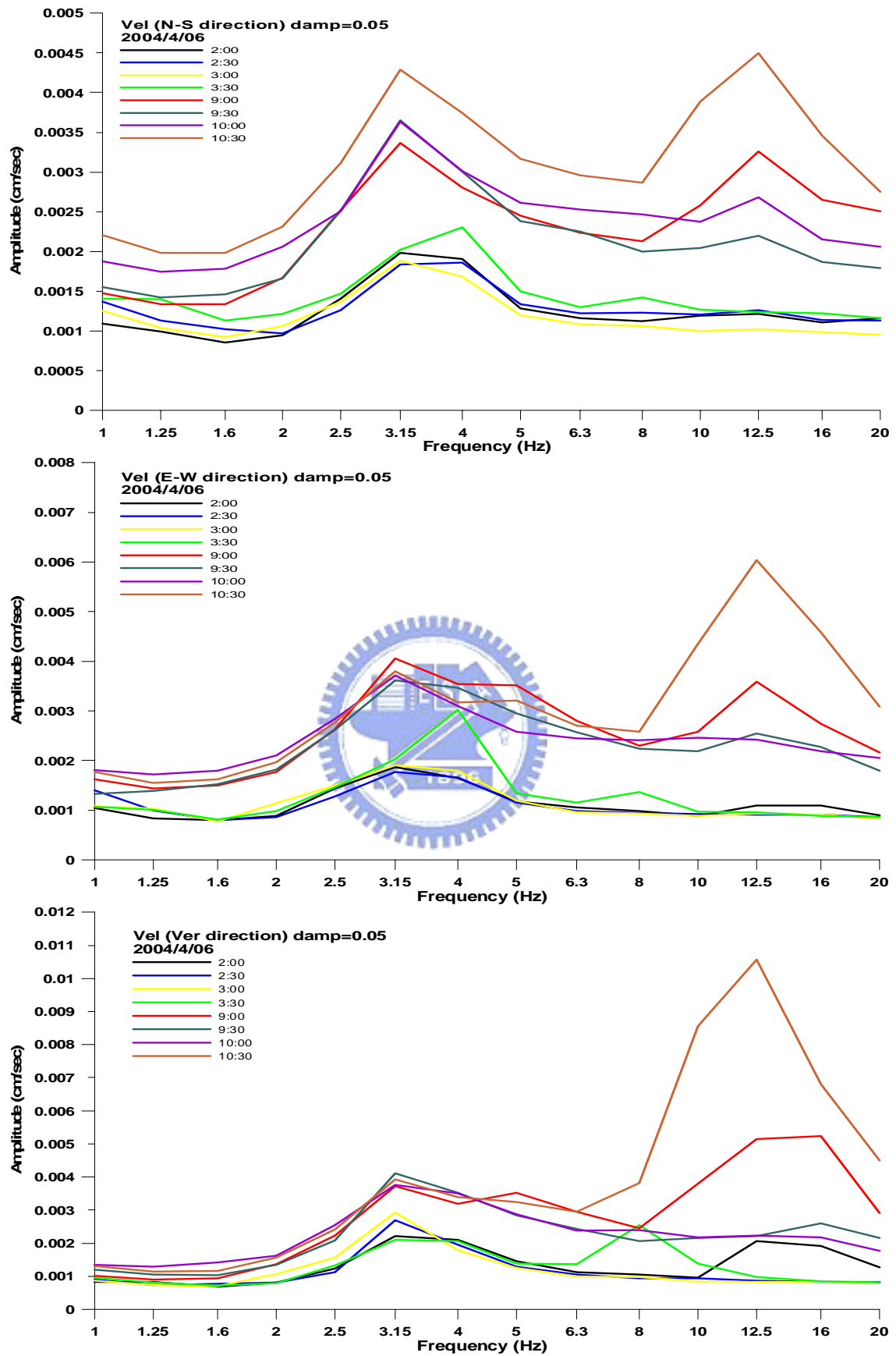


圖 3.12 絕對速度反應譜 $\xi = 0.05$ (第二次)

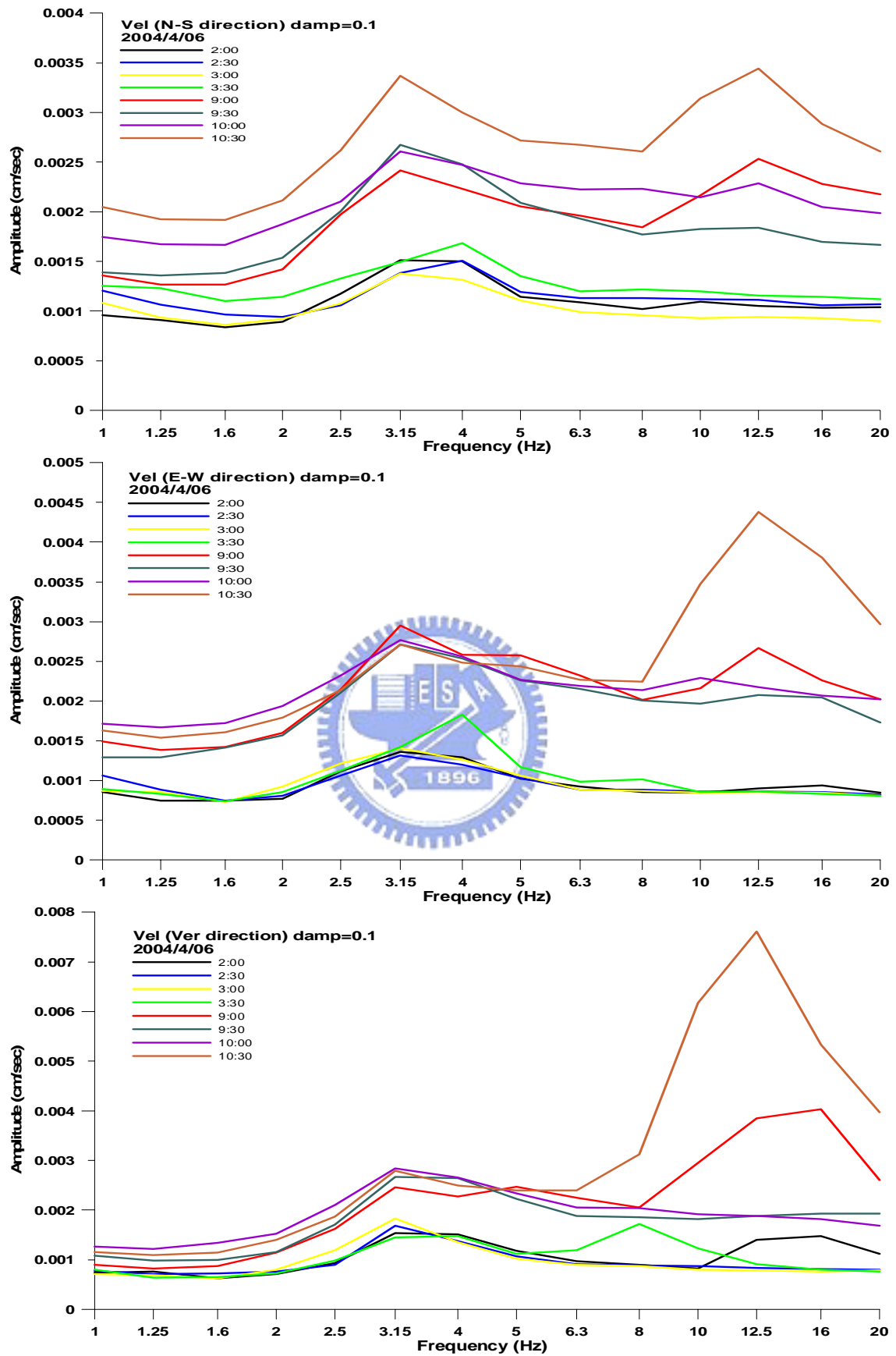


圖 3.13 絕對速度反應譜 $\xi = 0.1$ (第二次)

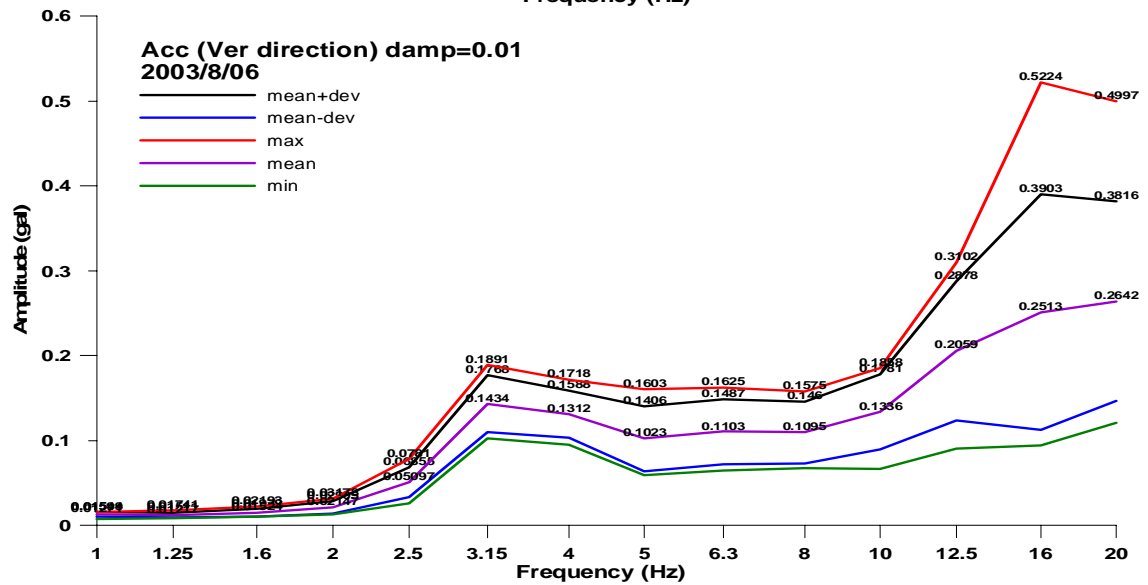
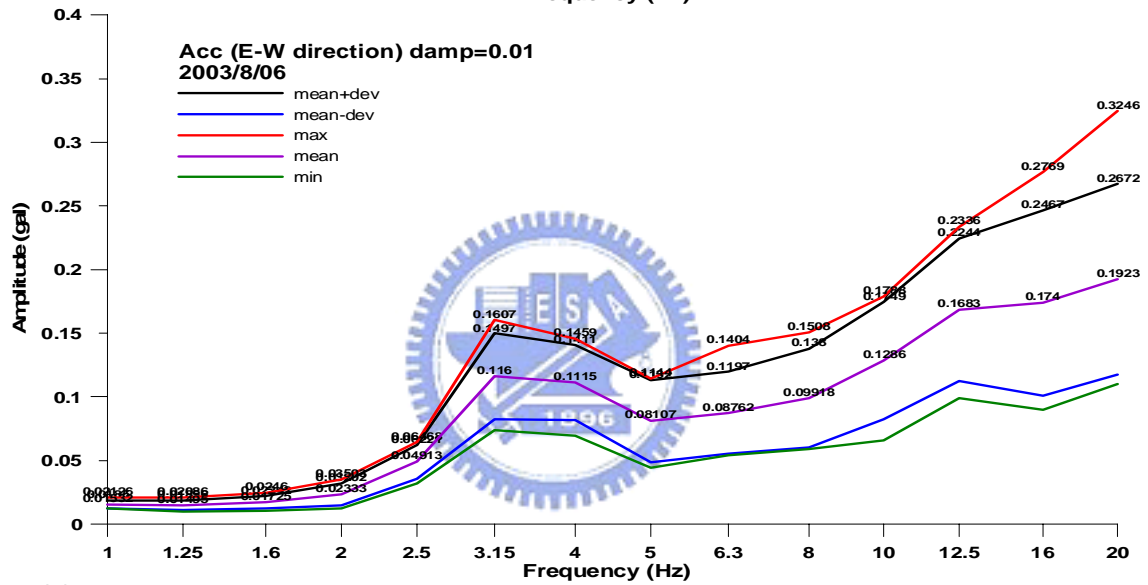
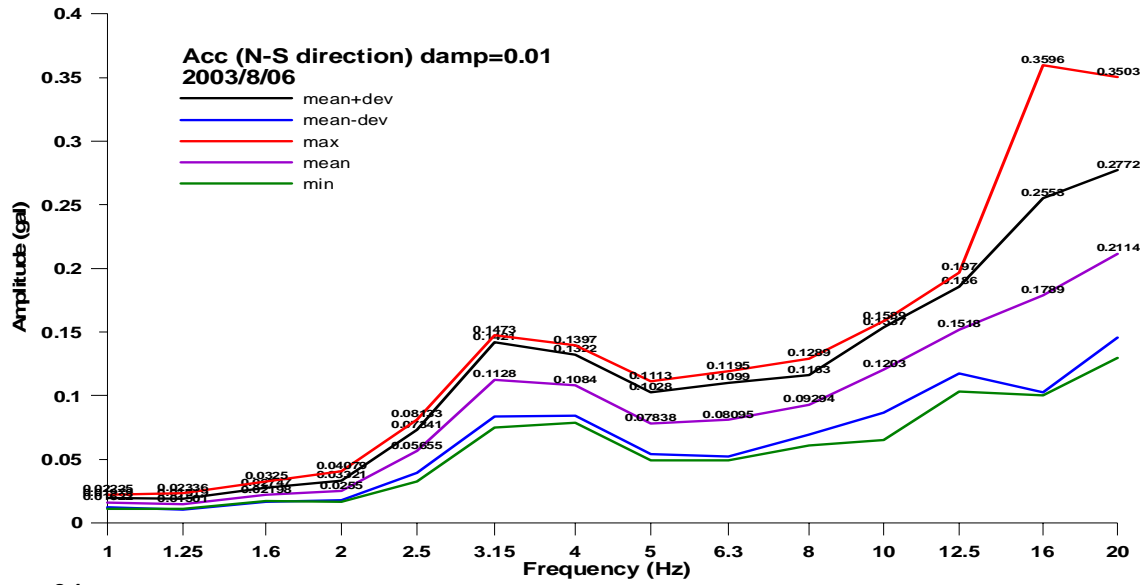


圖 3.14 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.01$ (第一次)

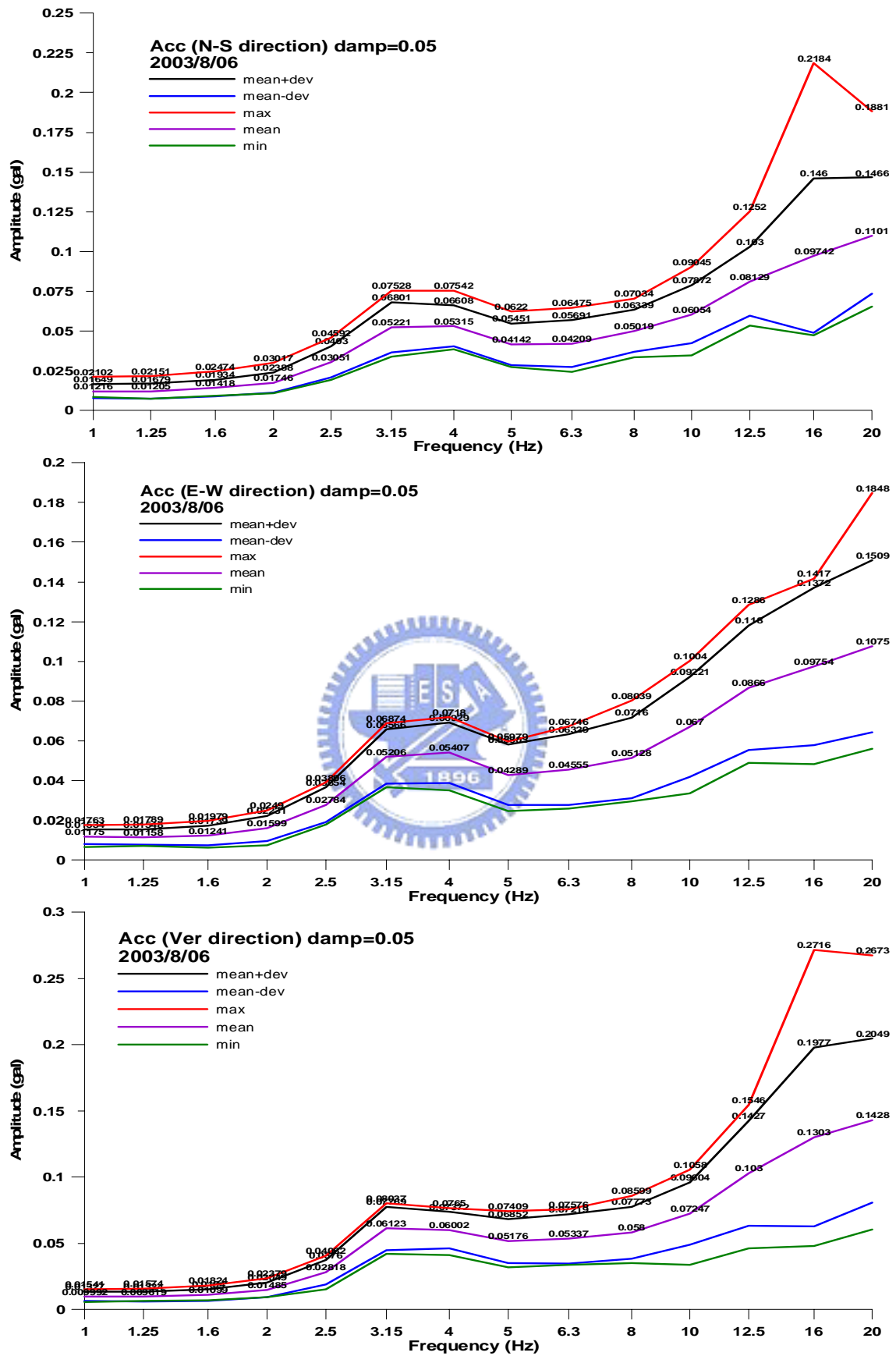


圖 3.15 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.05$ (第一次)

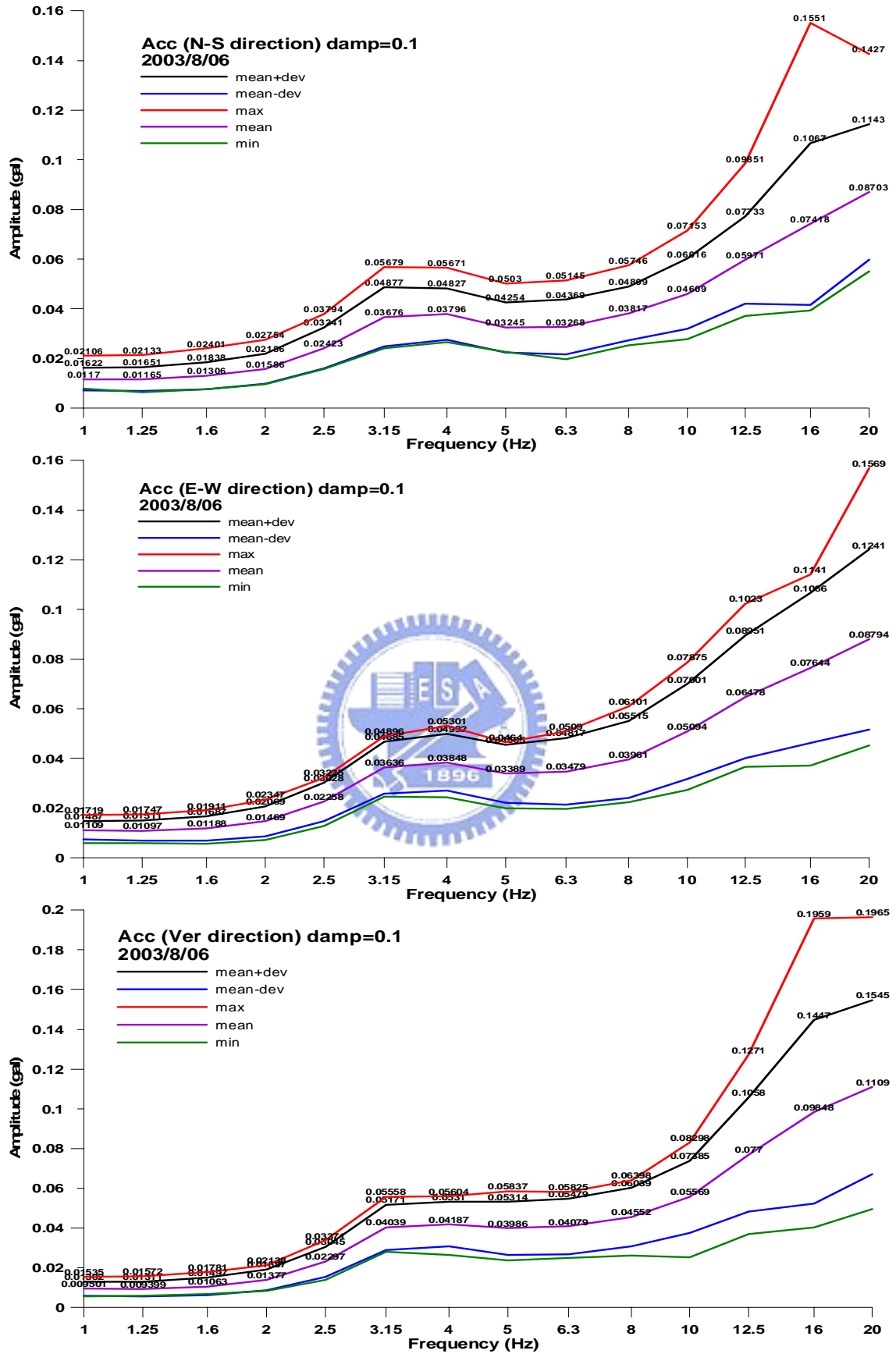


圖 3.16 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.1$ (第一次)

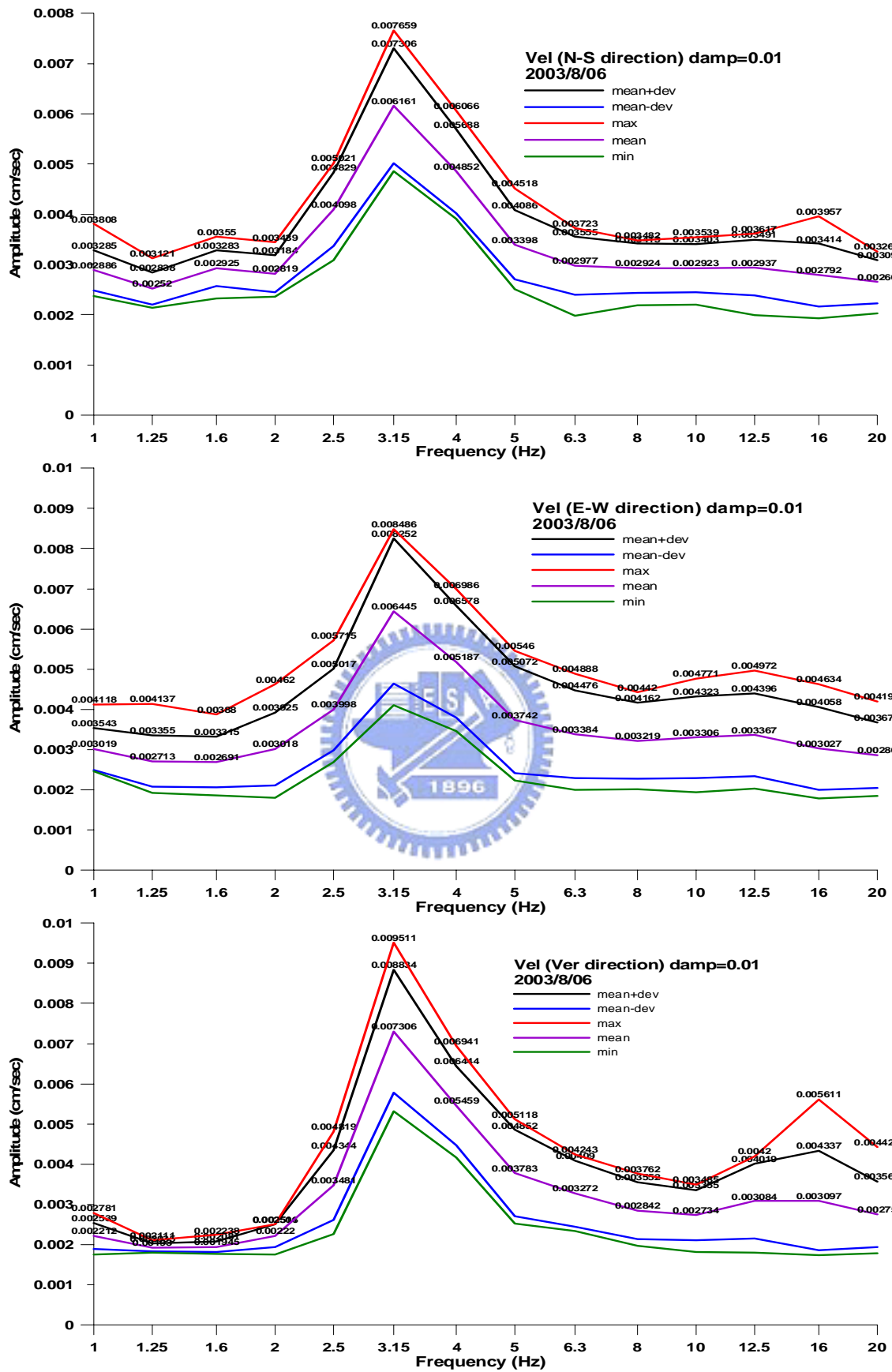


圖 3.17 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.01$ (第一次)

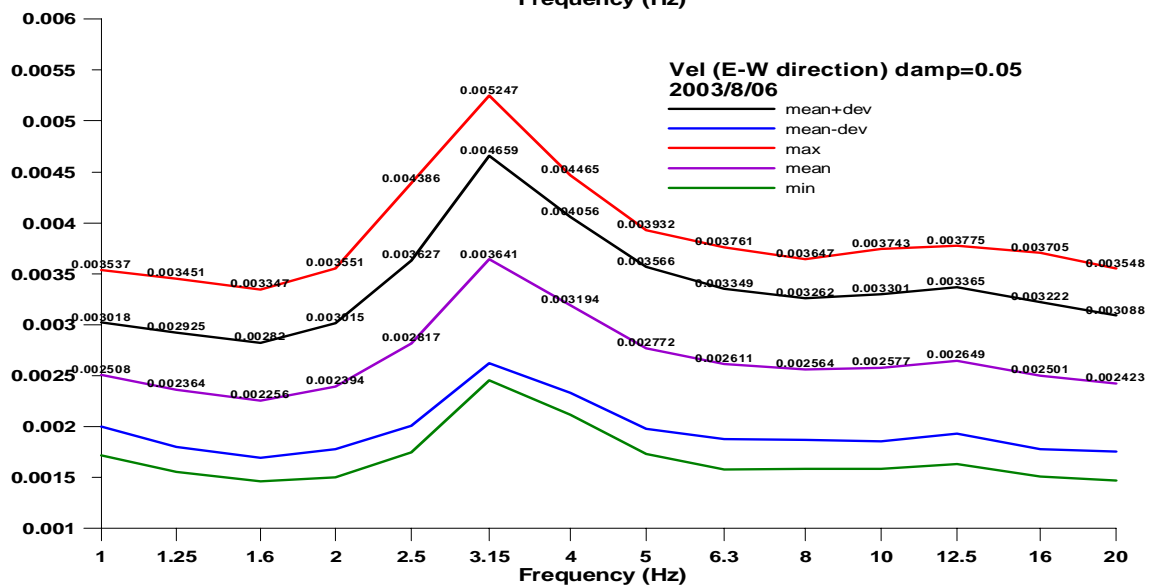
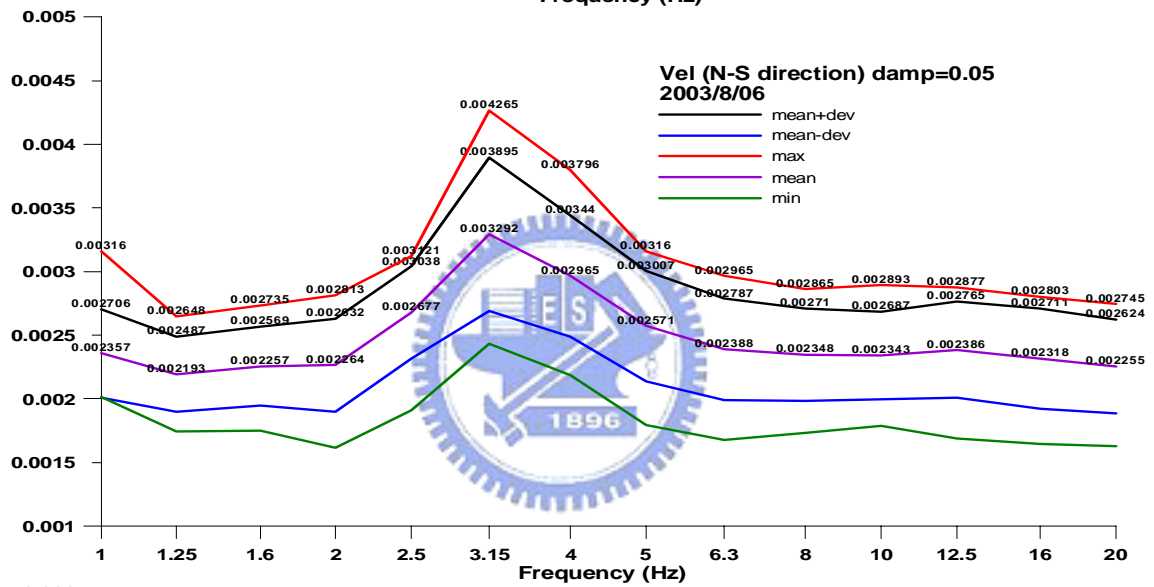
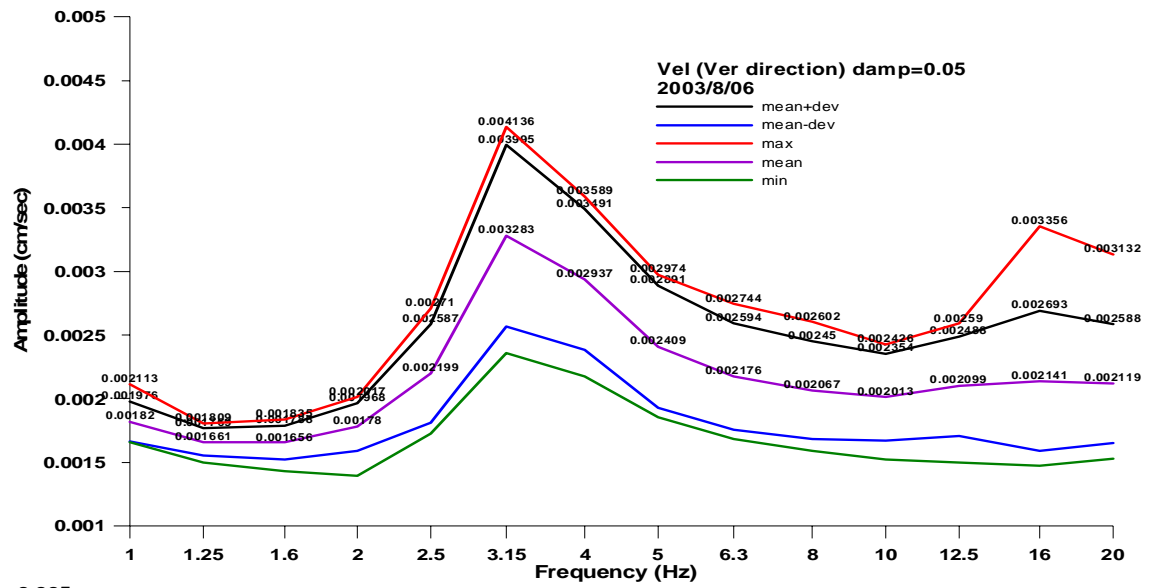


圖 3.18 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.05$ (第一次)

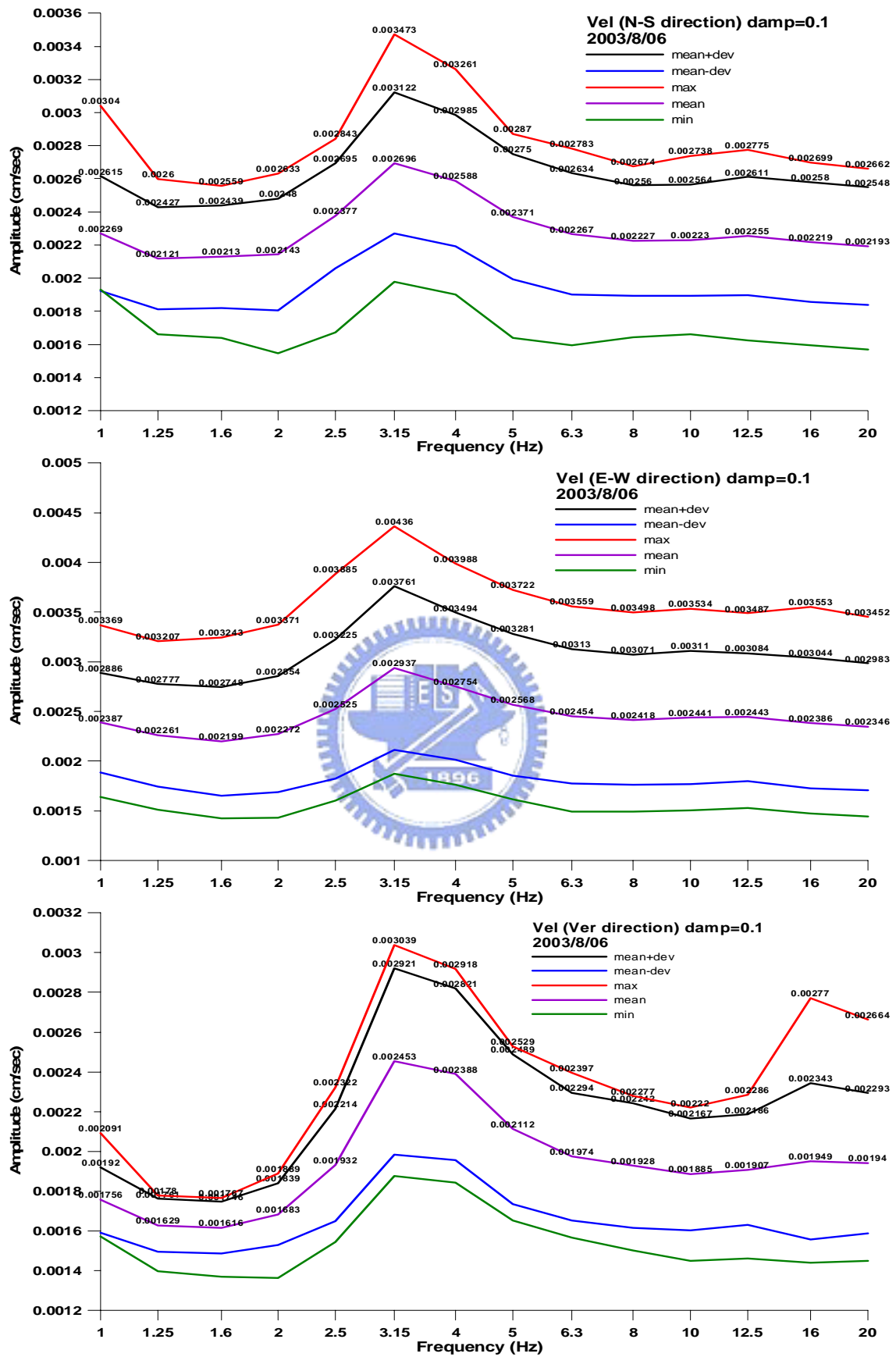


圖 3.19 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.1$ (第一次)

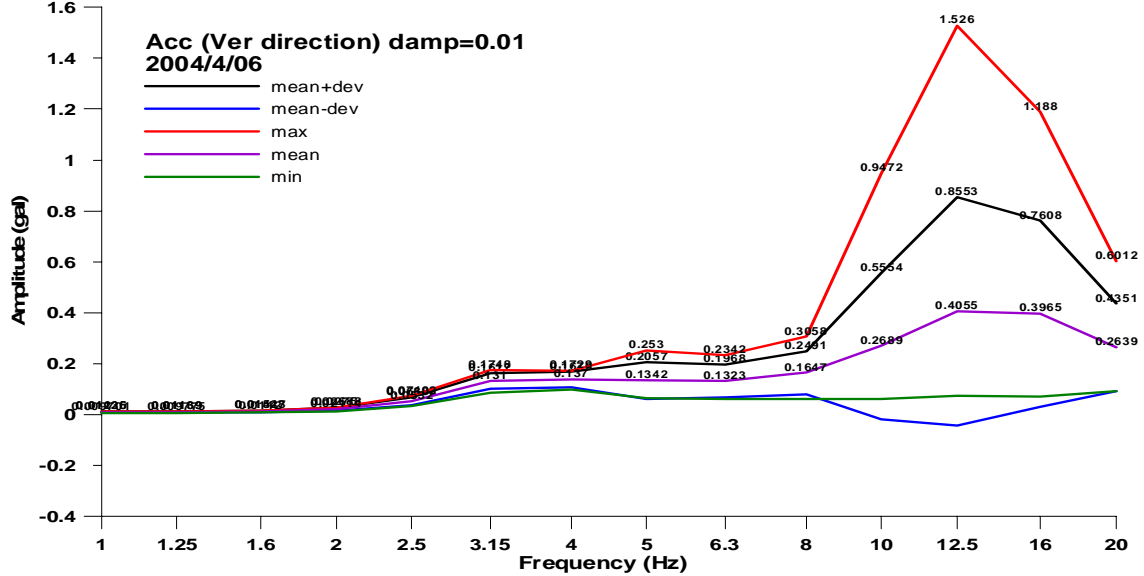
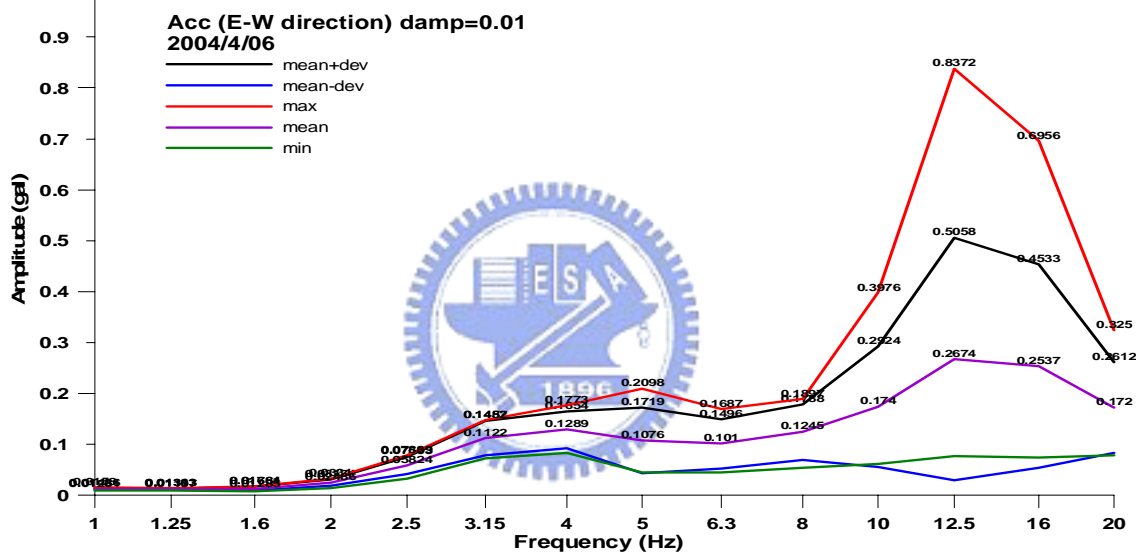
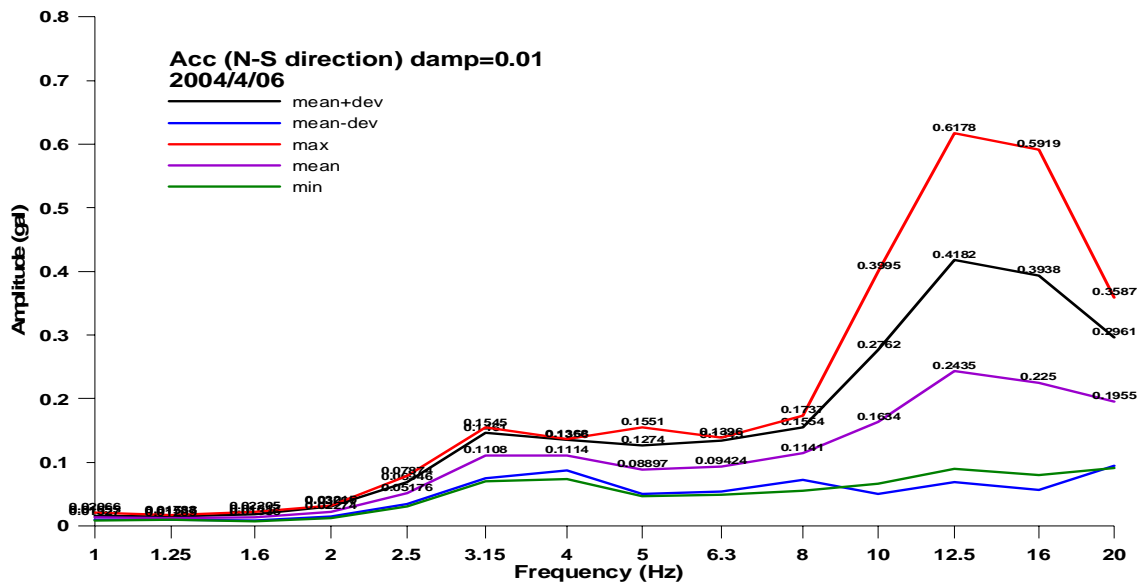


圖 3.20 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.01$ (第二次)

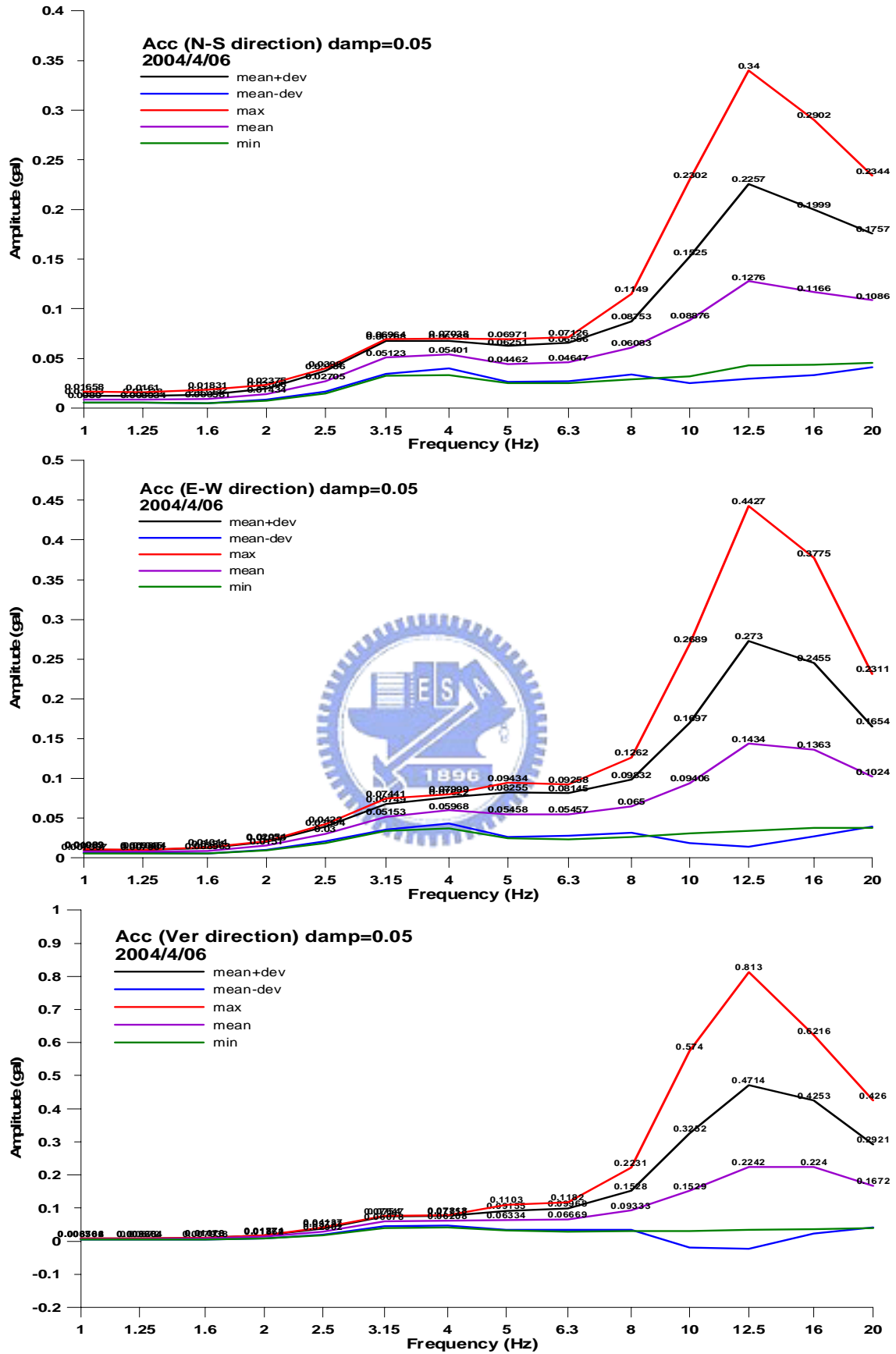


圖 3.21 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.05$ (第二次)

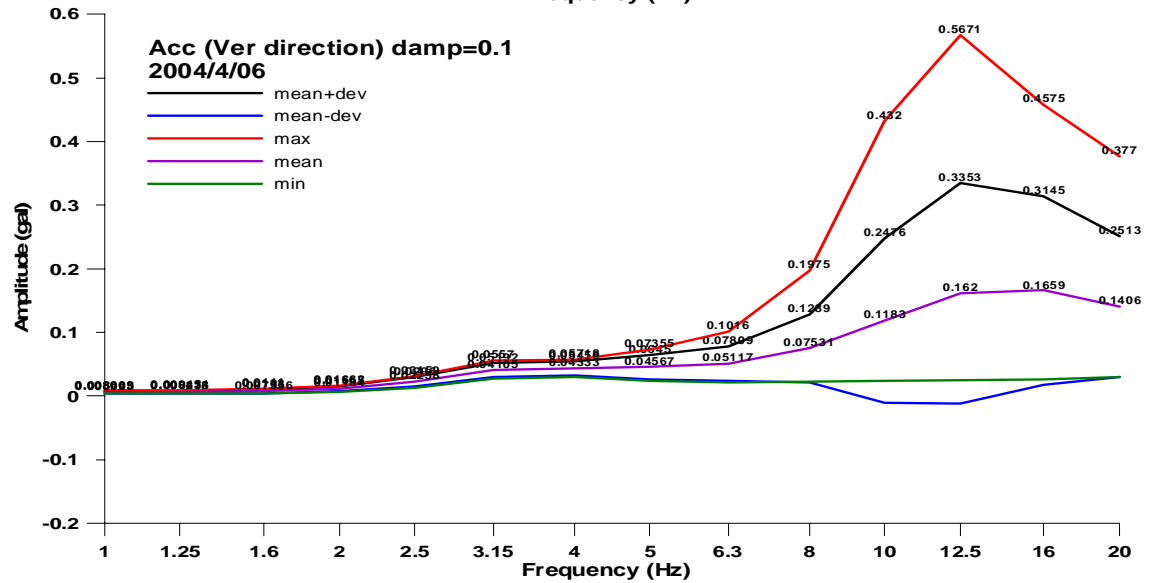
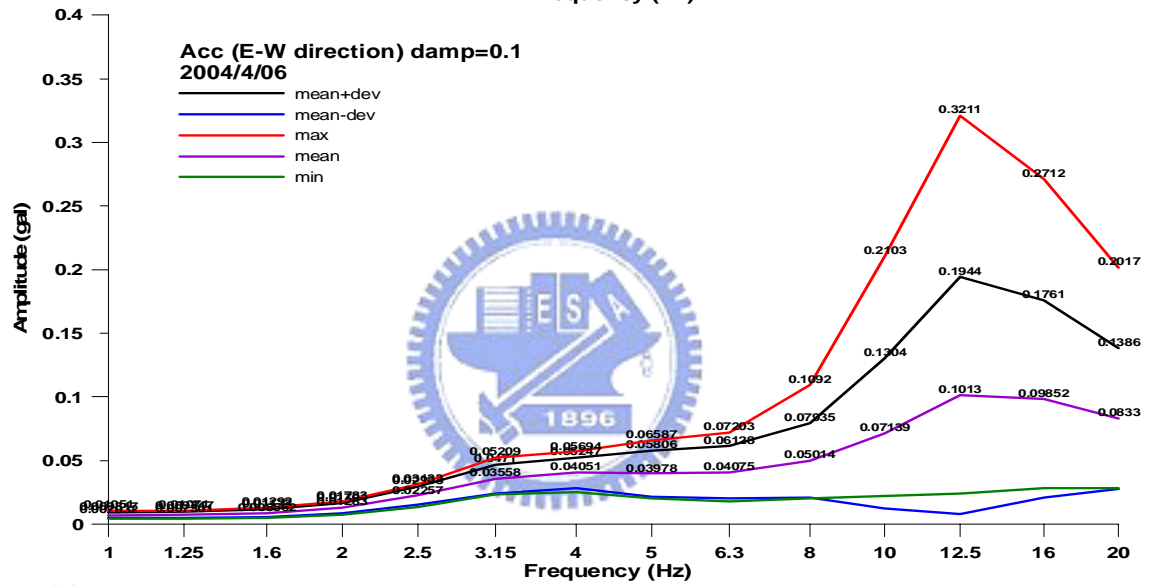
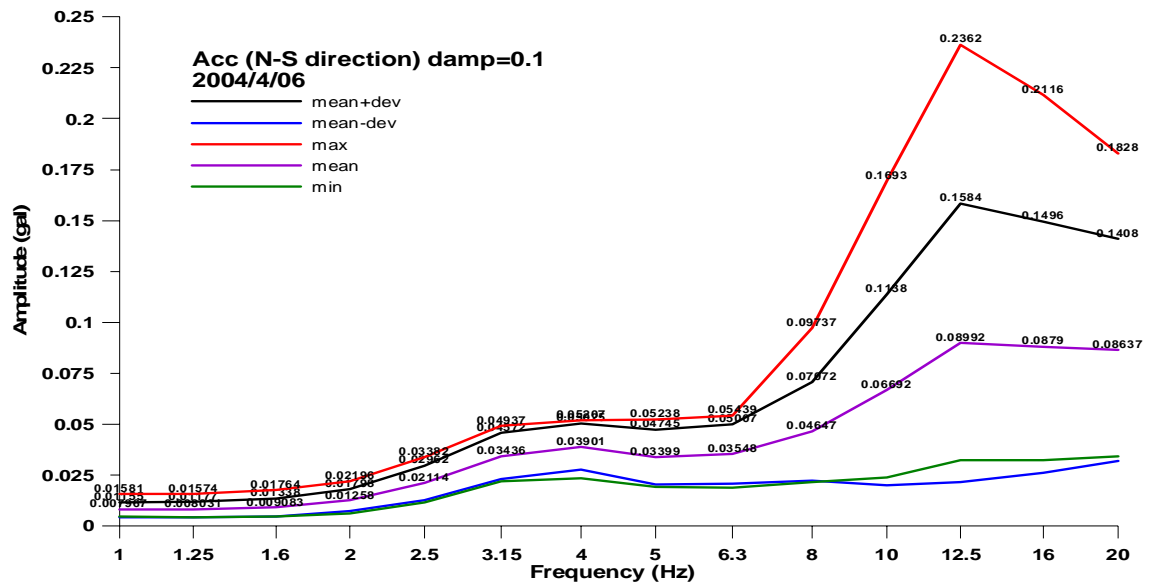


圖 3.22 絕對加速度反應譜統計分析 $\xi = 0.1$ (第二次)

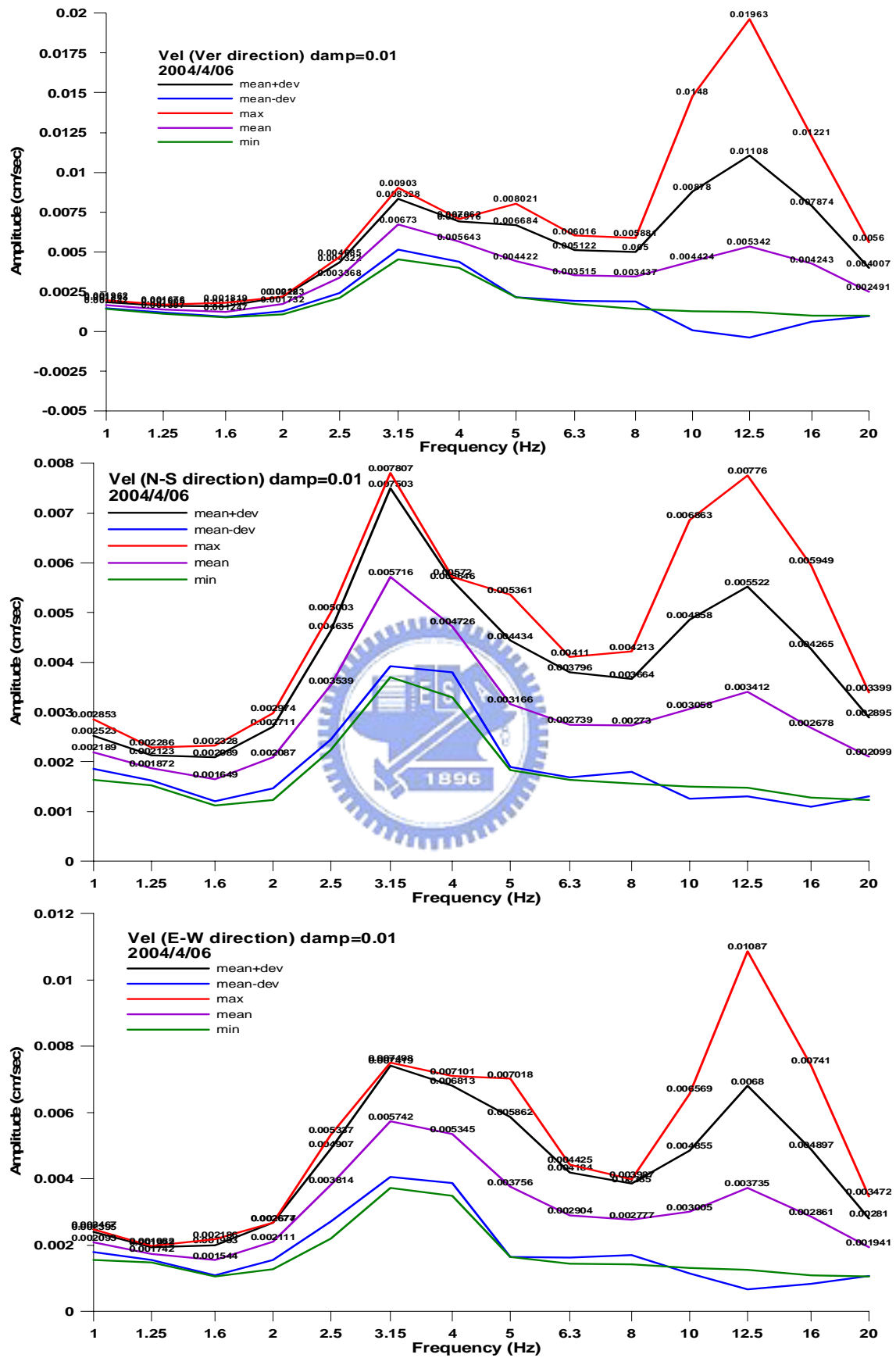


圖 3.23 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.01$ (第二次)

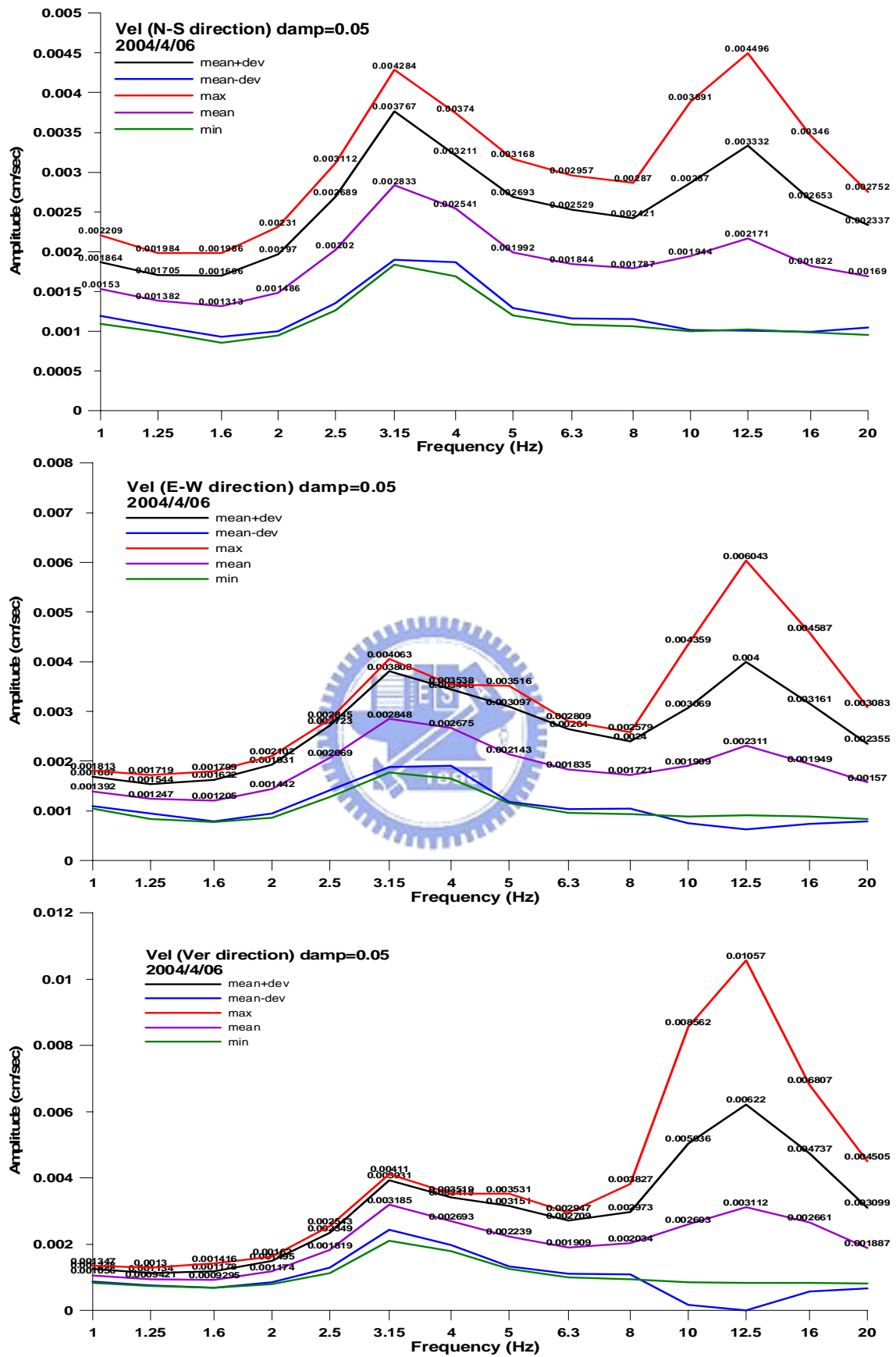


圖 3.24 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.05$ (第二次)

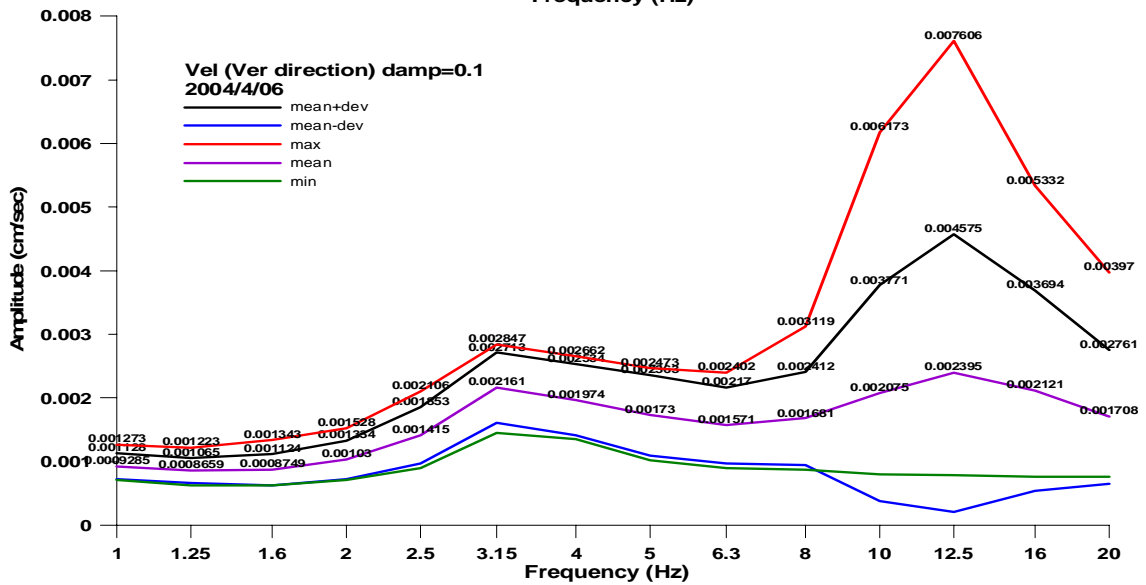
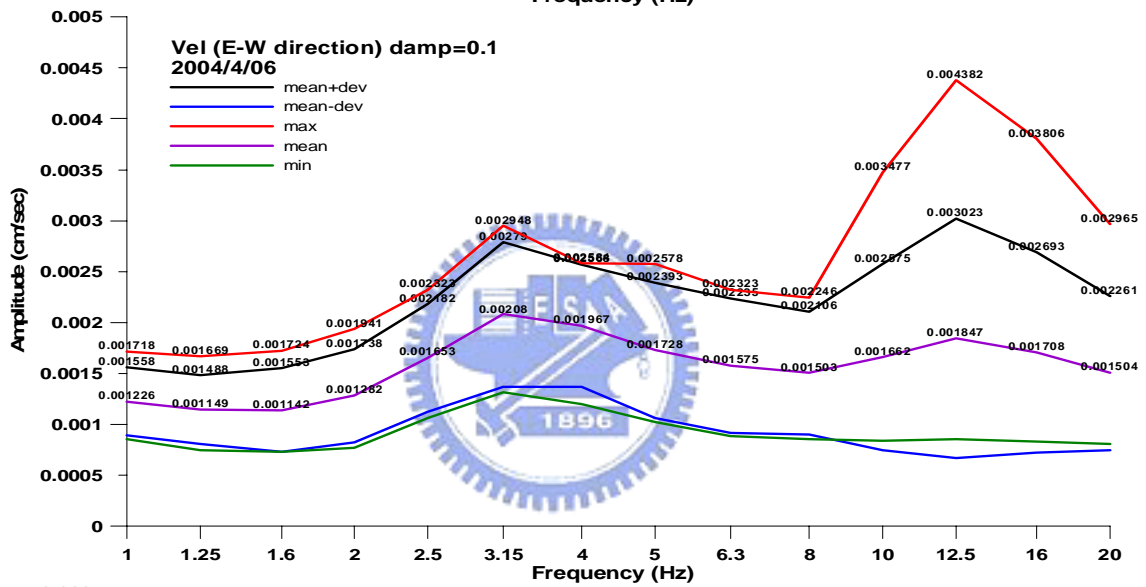
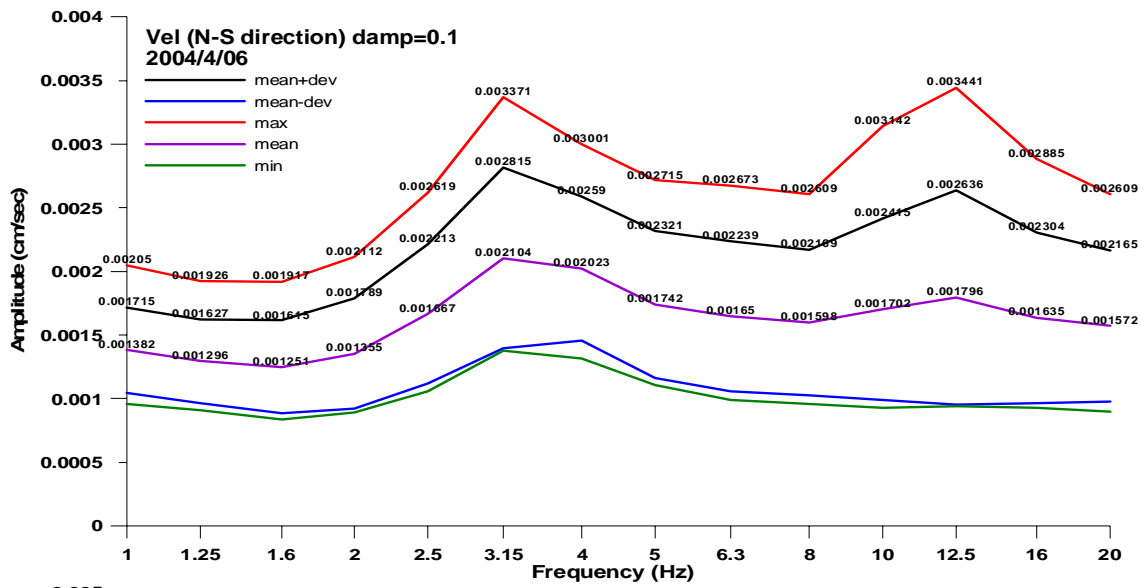


圖 3.25 絕對速度反應譜統計分析 $\xi = 0.1$ (第二次)

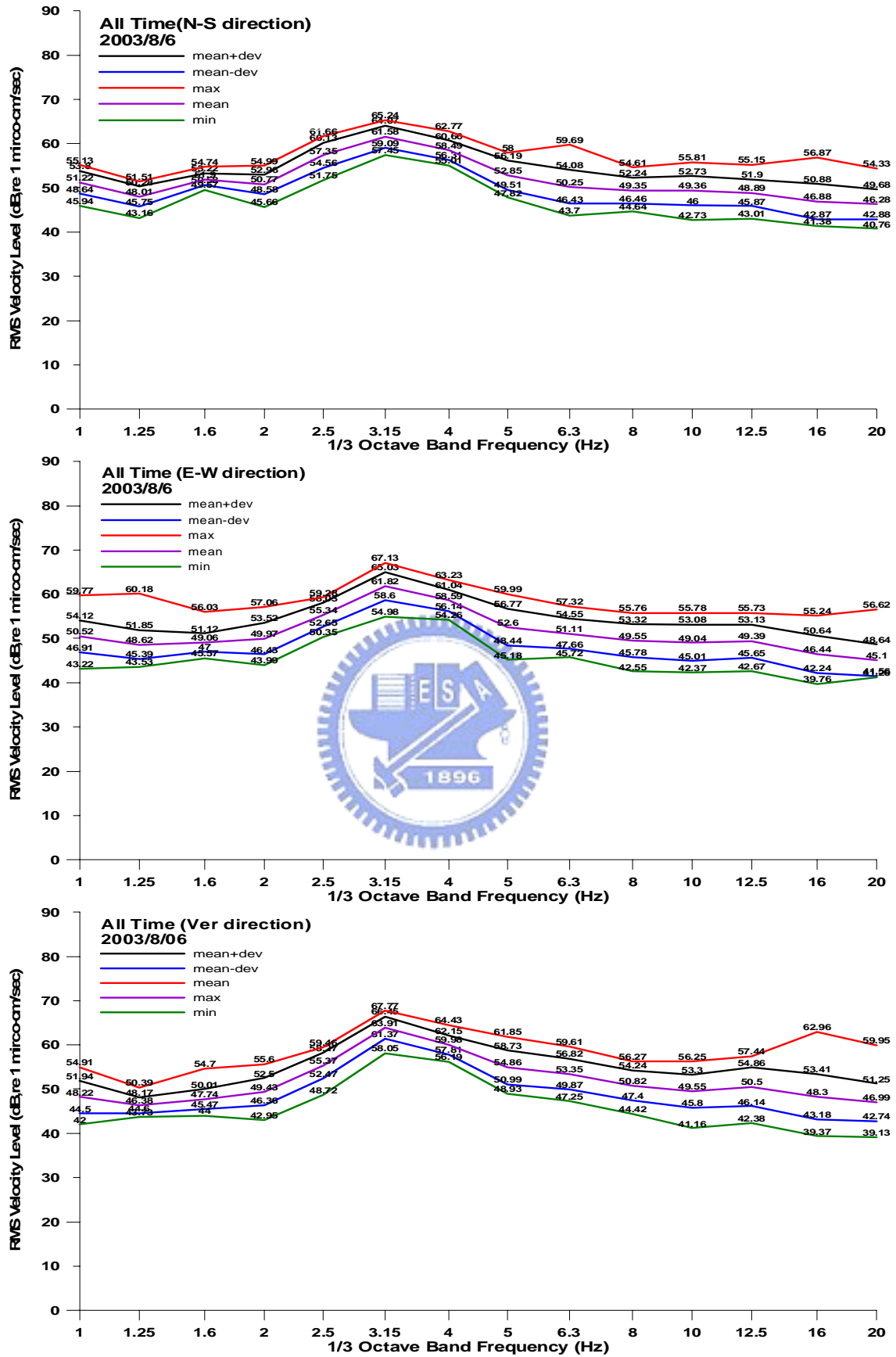


圖 3.26 絕對速度求系統頻率的最大反應 $\xi = 0.01$ (第一次)

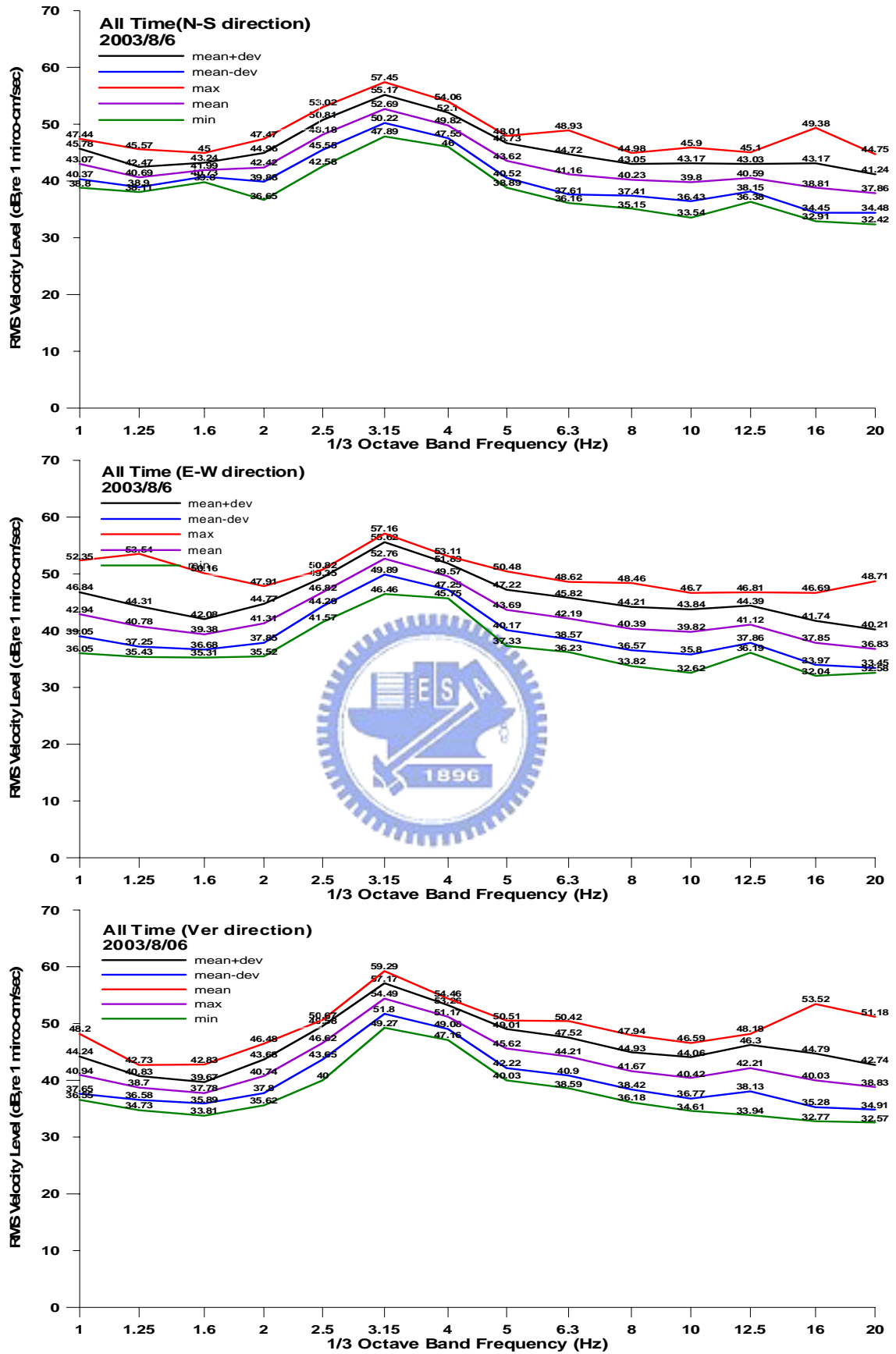


圖 3.27 絕對速度求系統頻率的最大反應 $\xi = 0.05$ (第一次)

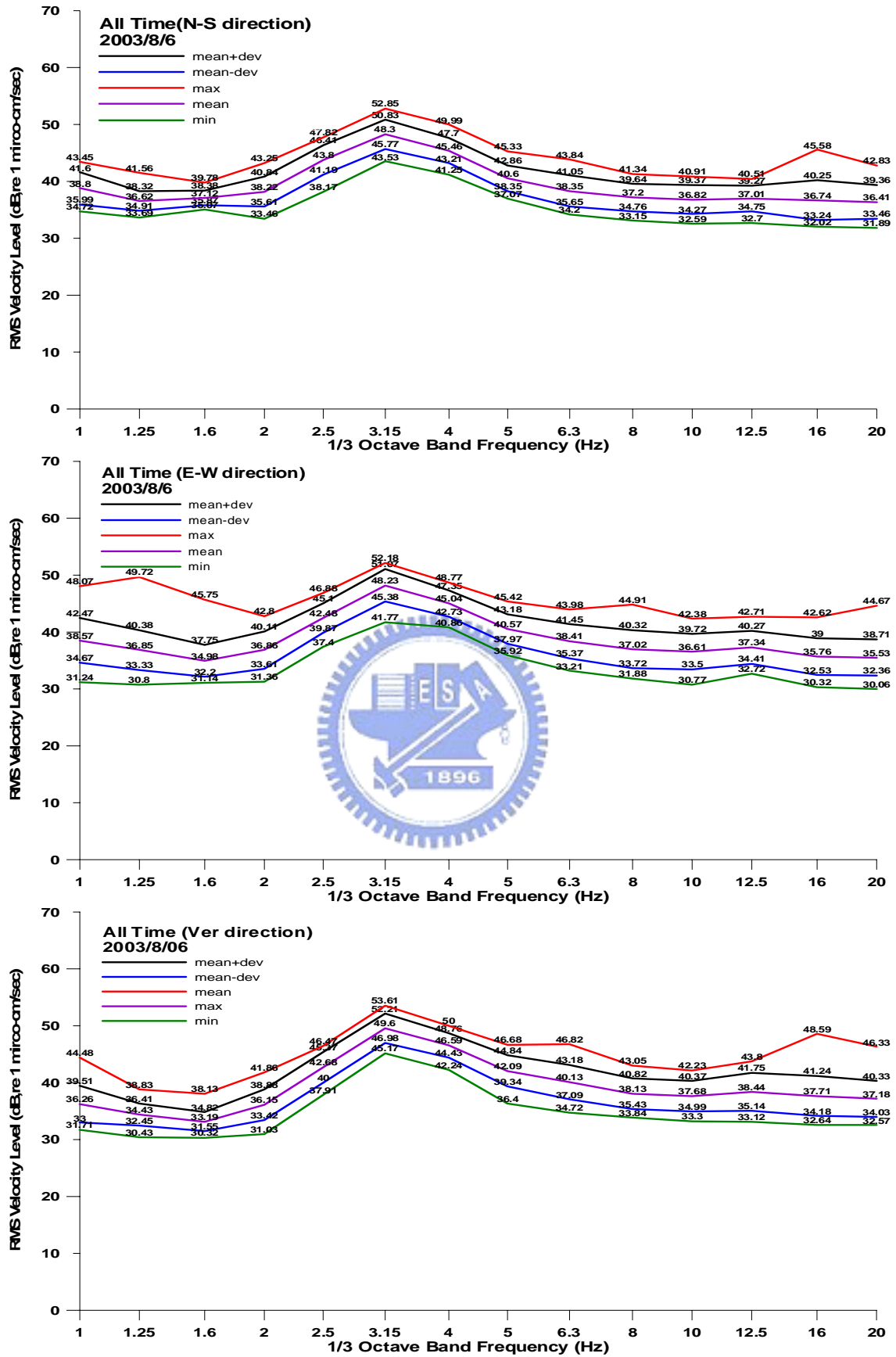


圖 3.28 絕對速度求系統頻率的最大反應 $\xi = 0.1$ (第一次)

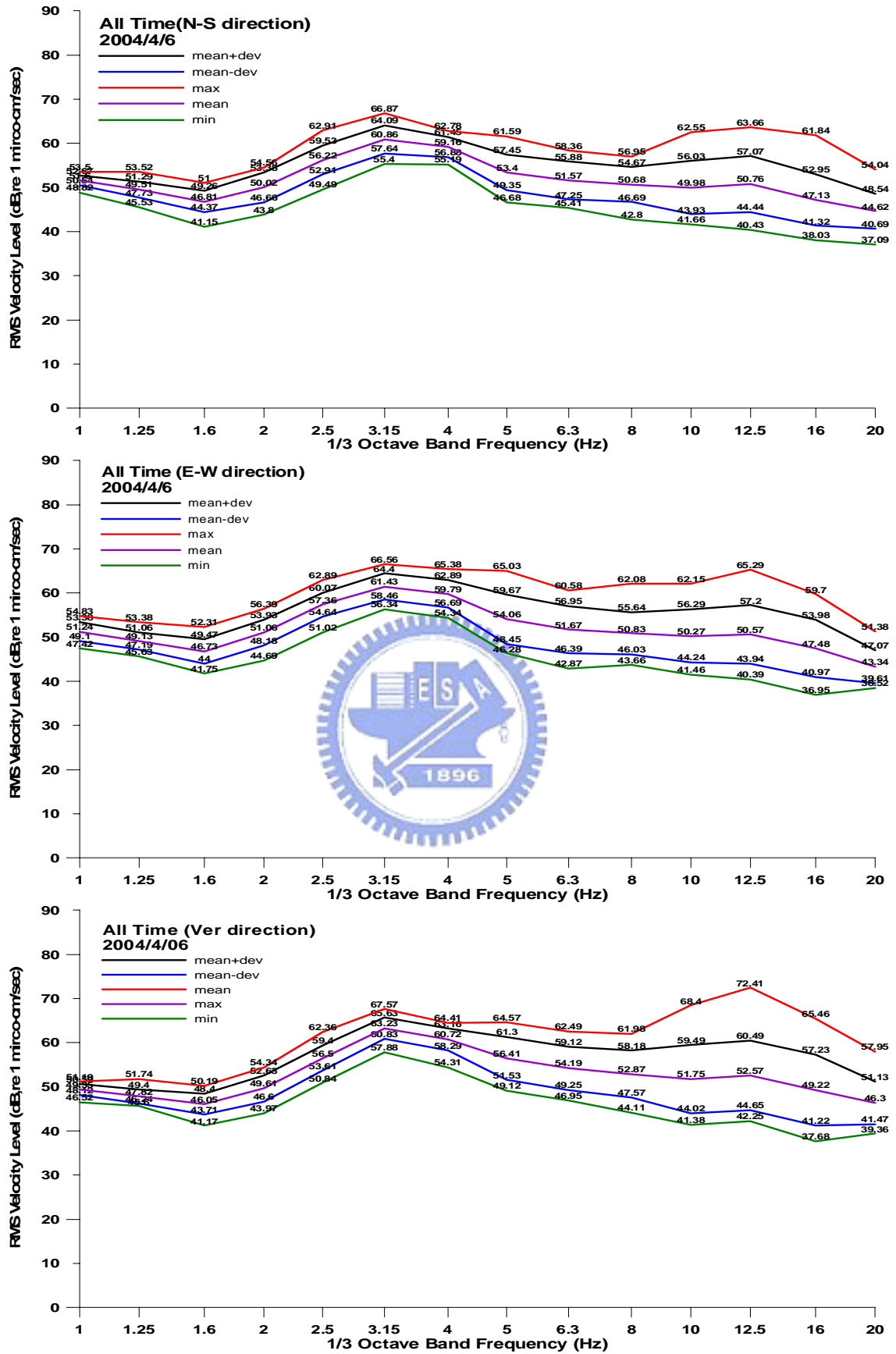


圖 3.29 絕對速度求系統頻率的最大反應 $\xi = 0.01$ (第二次)

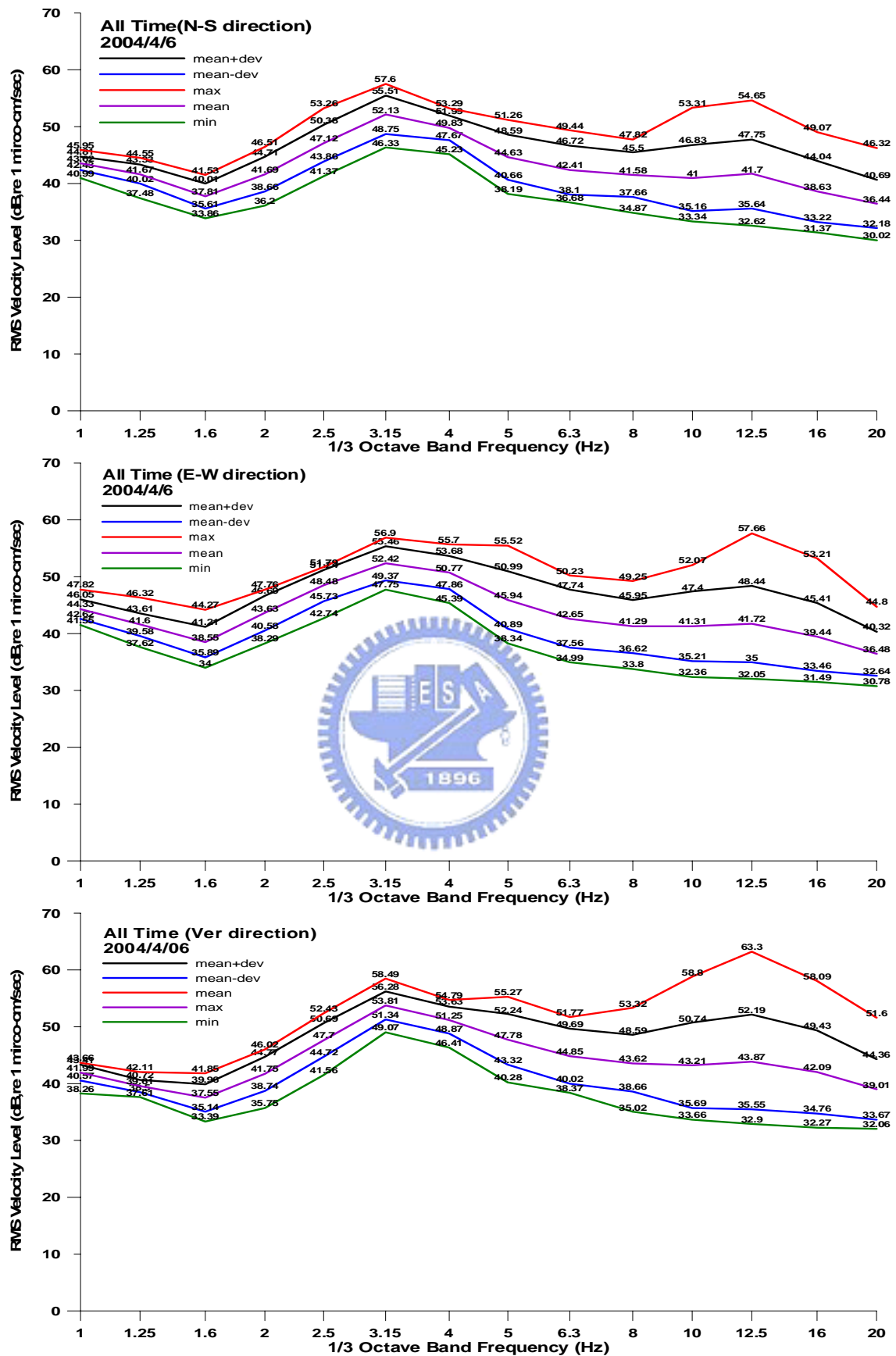


圖 3.30 絕對速度求系統頻率的最大反應 $\xi = 0.05$ (第二次)

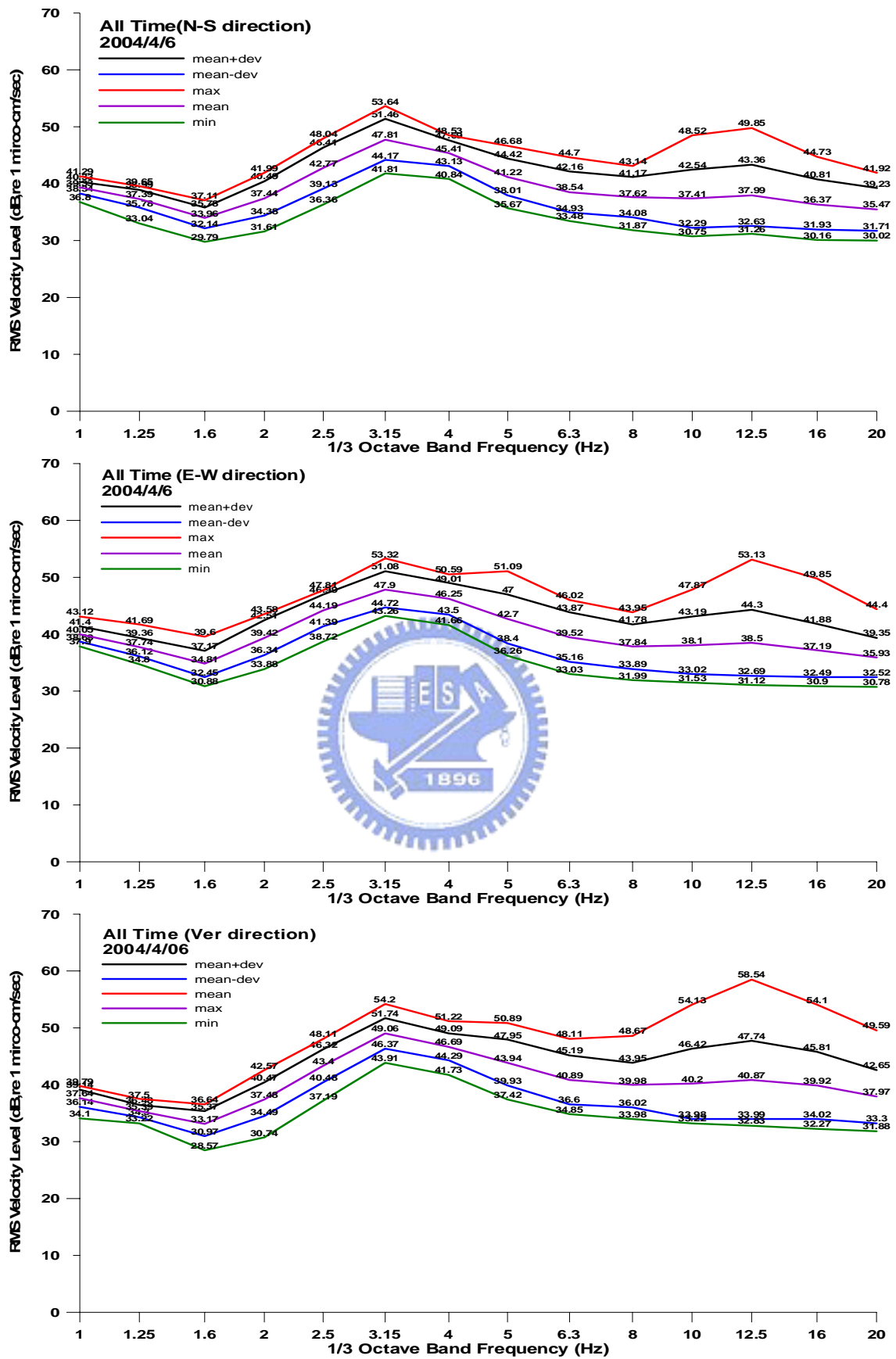


圖 3.31 絕對速度求系統頻率的最大反應 $\xi = 0.1$ (第二次)

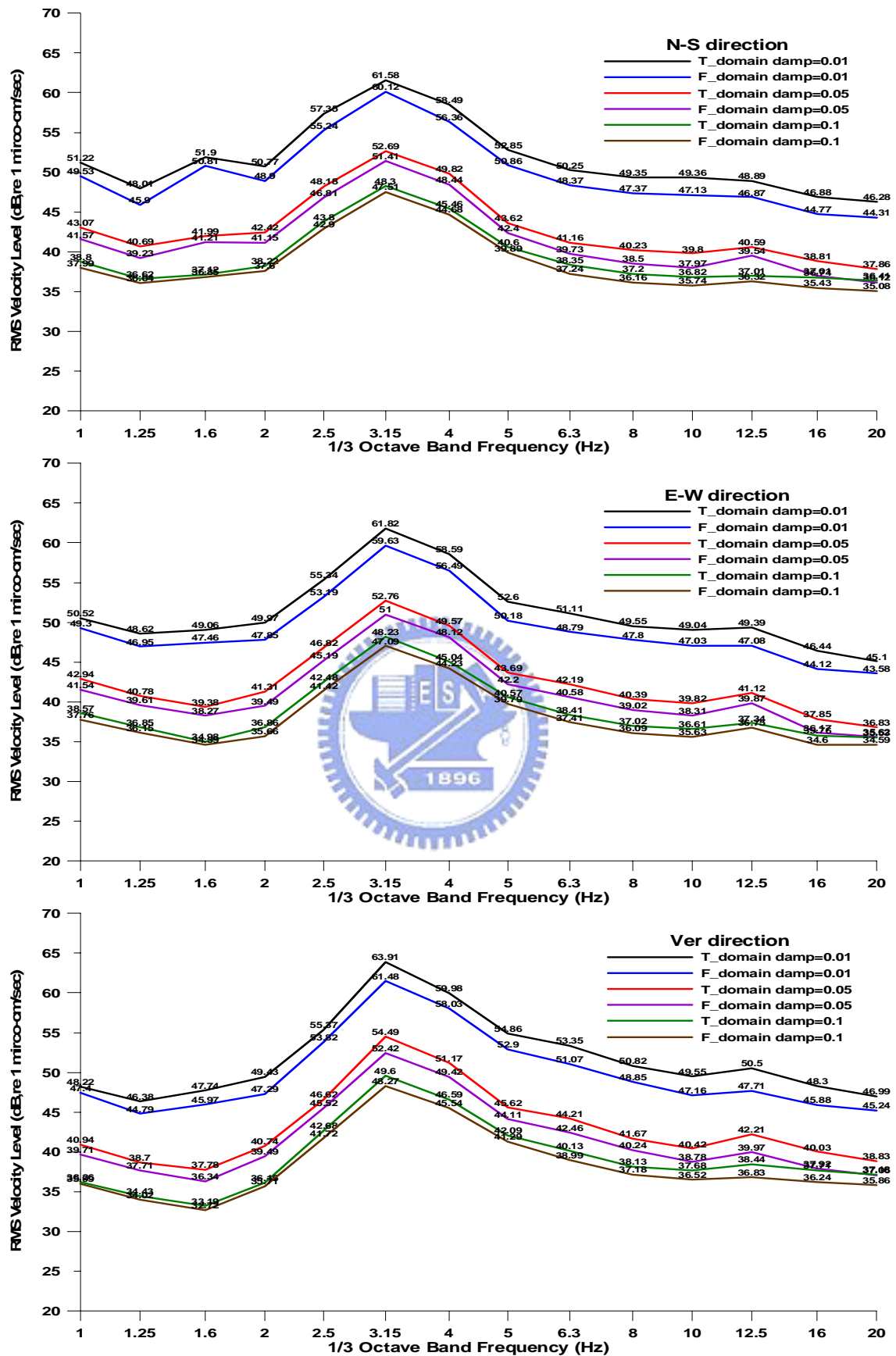


圖 3.32 時間域及頻率域求解下系統頻率最大反應比較(第一次)

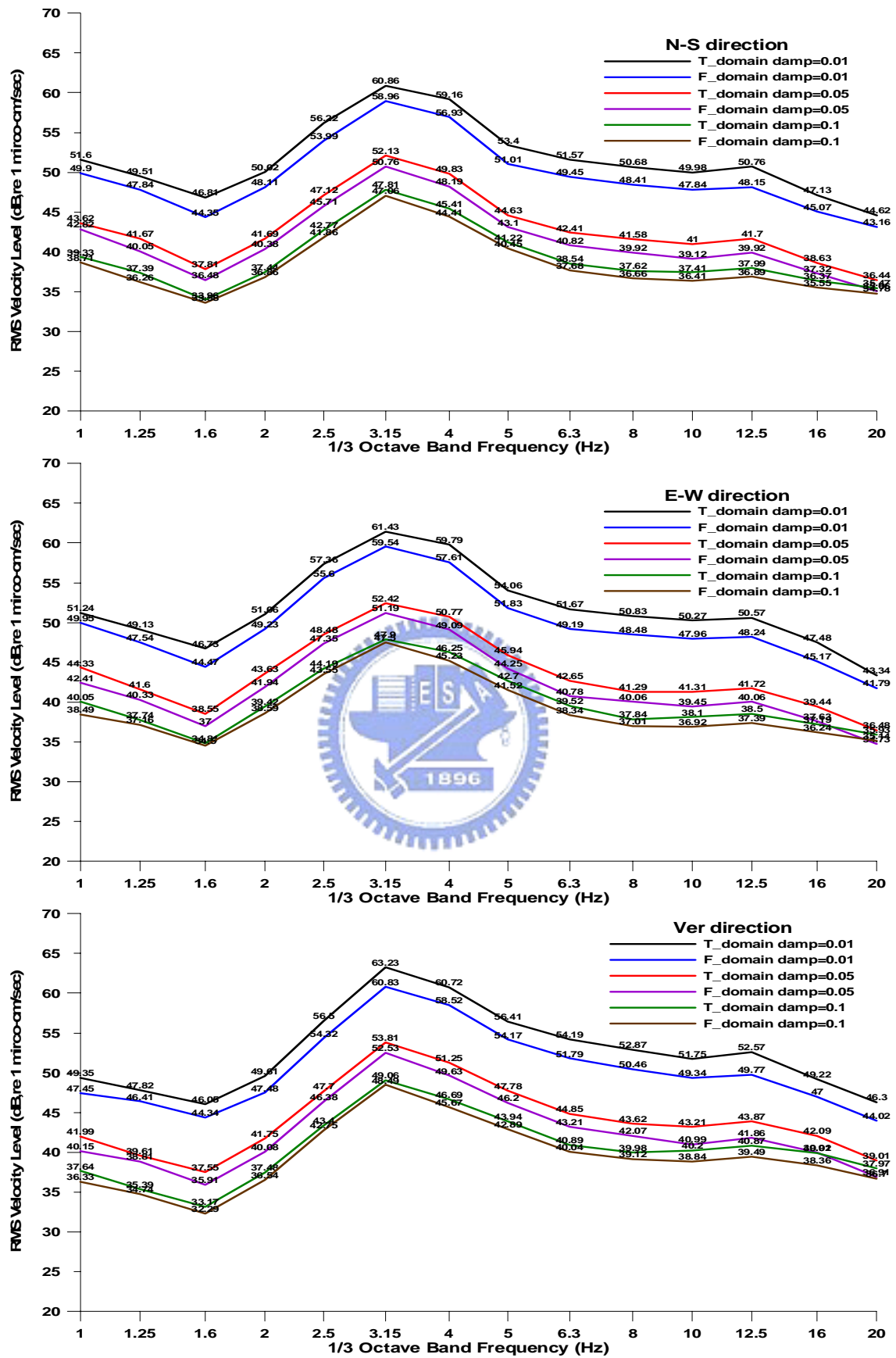


圖 3.33 時間域及頻率域求解下系統頻率最大反應比較(第二次)

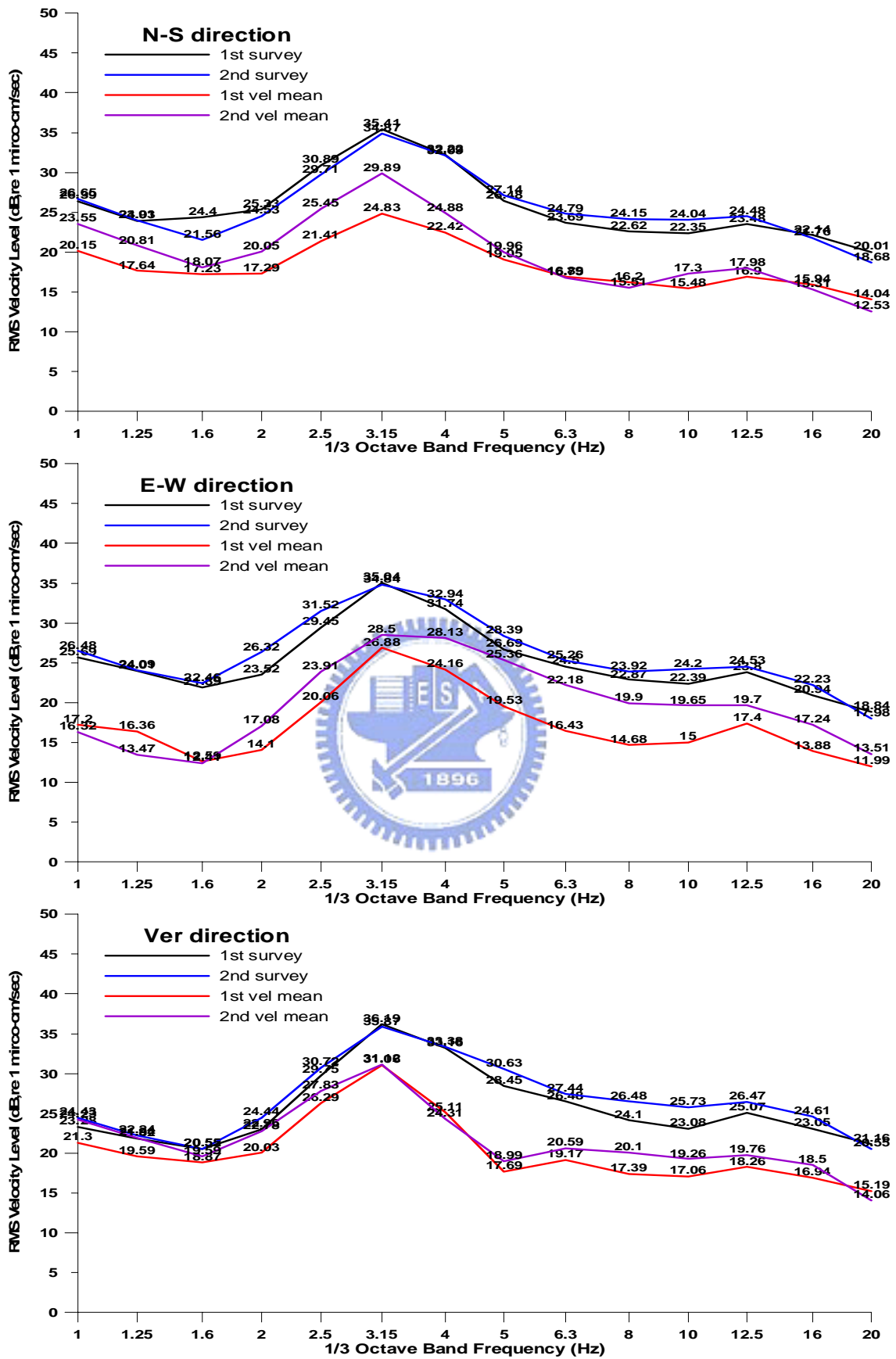


圖 4.1 一般量測與速度平均值比較

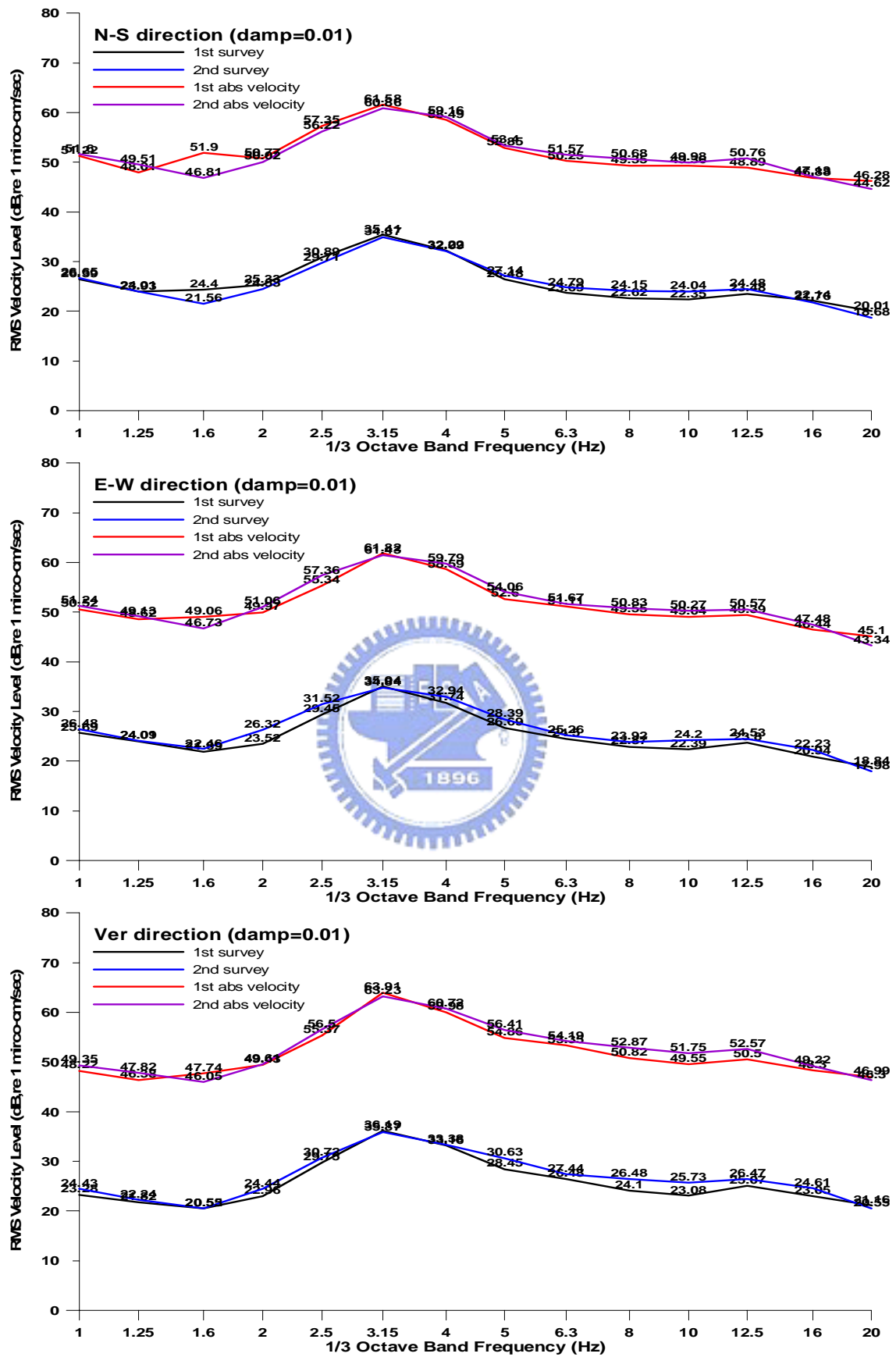


圖 4.2 地表速度與絕對速度振動量比較 $\xi = 0.01$

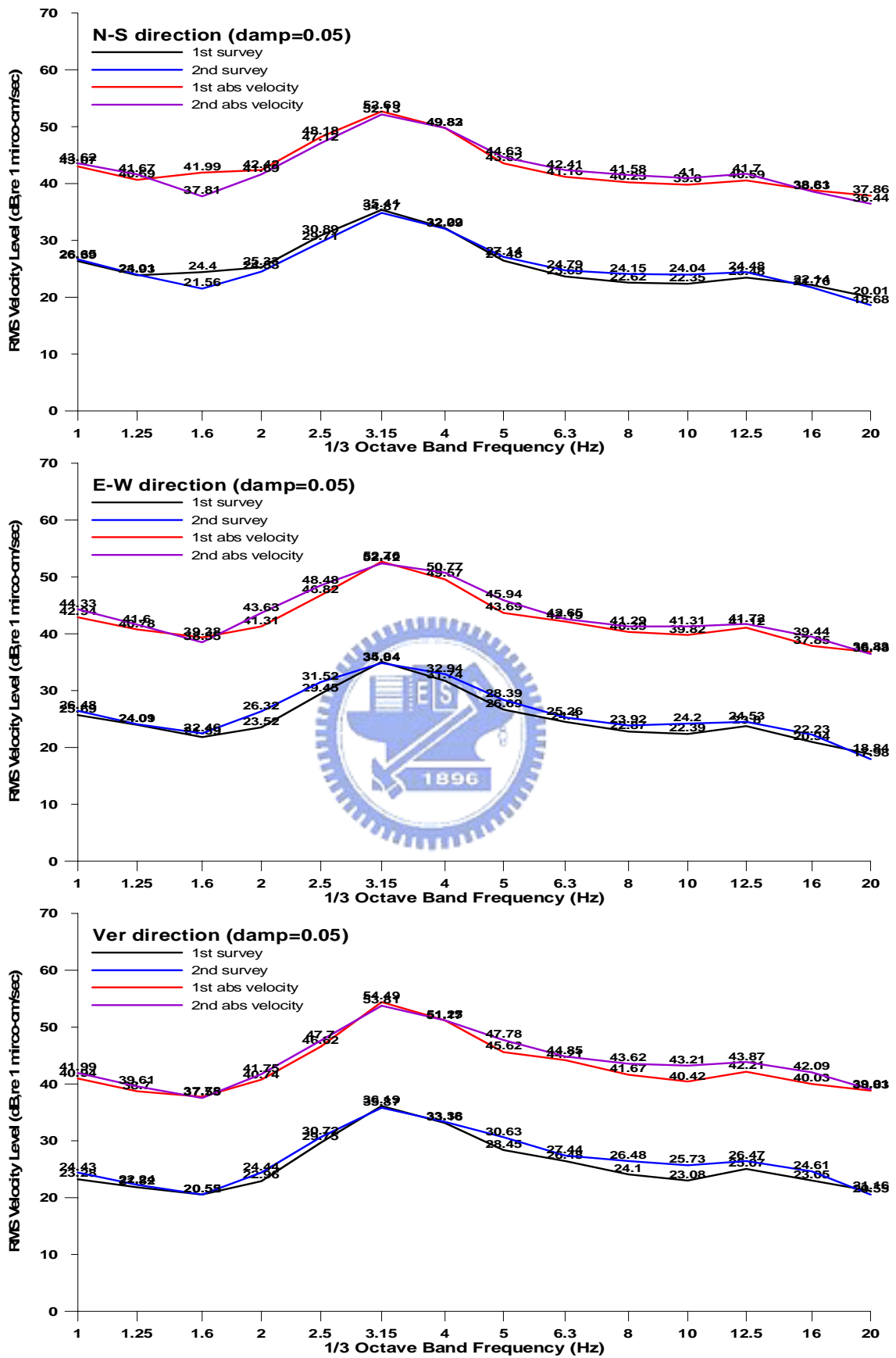


圖 4.3 地表速度與絕對速度振動量比較 $\xi = 0.05$

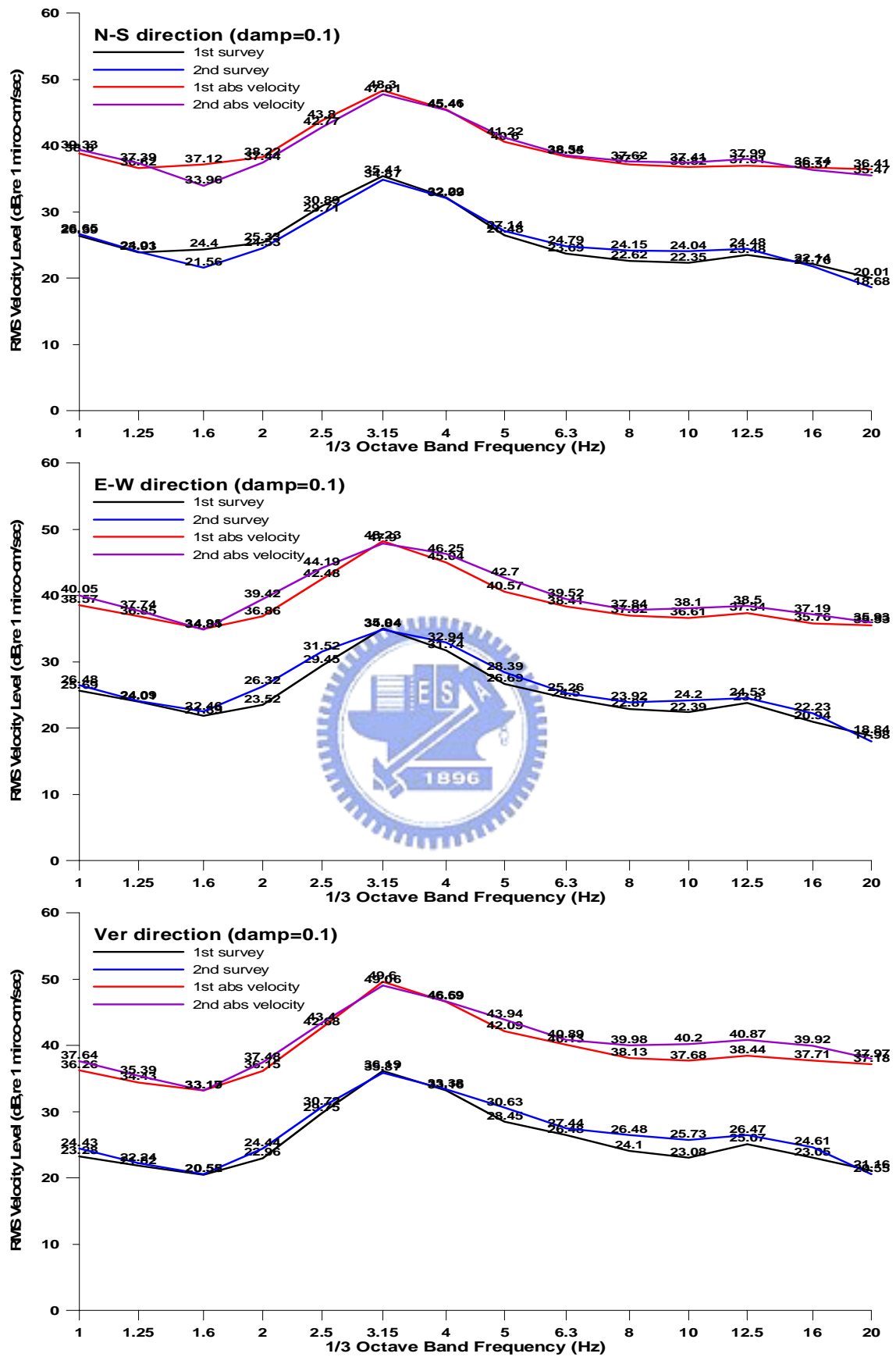


圖 4.4 地表速度與絕對速度振動量比較 $\xi = 0.1$