

國立交通大學  
土木工程學系碩士班  
碩士論文

翼型鋼柱與鋼梁加勁式接頭耐震行為

**Seismic Performance of Steel Wide Flange  
Column-to-Beam Connections Using Internal Flange**



研究生：羅盛威

指導教授：劉俊秀博士 周中哲 博士

中華民國 一百零一年 一月

# 翼型鋼柱與鋼梁加勁式接頭耐震行為

## Seismic Performance of Steel Wide Flange Column-to-Beam Connections Using Internal Flange Stiffeners

研究生：羅盛威

Student : Sheng-Wei Lo

指導教授：劉俊秀 博士

Advisor : Dr. Gin-Show Liou

周中哲 博士

Dr. Chung-Che Chou



Submitted to Department of Civil Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

in

Civil Engineering

January 2012

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一百零一年一月

# 翼型鋼柱與鋼梁加勁式接頭耐震行為

研究生:羅盛威

指導教授:劉俊秀 博士

周中哲 博士

國立交通大學土木工程學系

## 摘要

本研究主要探討翼型鋼柱與鋼梁接合之梁翼內側加勁板接頭耐震行為，共進行四組實尺寸之梁柱接頭試驗，試體之鋼梁翼板與翼型柱採全滲透焊道接合，梁腹板則與柱剪力板以摩阻型螺栓接合。四組試體中，其中一組為傳統梁柱接頭，另外三組為梁翼內側加勁板補強接頭，其參數變化分別為加勁板厚度、加勁板形狀以及鋼梁材質的改變，此三組補強接頭於試驗後其韌性行為良好，滿足AISC(2005)耐震設計規範所要求的位移歷時至4%弧度層間側位移角。本研究並利用非線性有限元素分析程式ABAQUS(2003)模擬接頭試驗結果，並運用各項參數來探討接頭在地震力作用下可能之破壞位置。

# **Seismic Performance of Steel Wide Flange Column-to-Beam Connections Using Internal Flange Stiffeners**

Student : Sheng-Wei Lo

Advisor : Dr. Gin-Show Liou

Dr. Chung-Che Chou

Department of Civil Engineering  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

The research presents test and finite element analysis results of steel wide flange column-to-beam connections using internal flange stiffeners (IFS). Four full-scale moment connections were tested. All specimens had bolted web connection and welded beam-to-column flange using complete joint penetration welds. One specimen without internal flange stiffeners was tested as a benchmark. Three rehabilitated moment connections had different shape stiffeners and beam material. All rehabilitated moment connections showed excellent performance under the AISC (2005) seismic loads in excess of 4% drift. All specimens were also modeled using the computer program ABAQUS (2003) for the correlation study.



## 誌謝

論文經過多年的時間終於完成，首先必須感謝的就是我的指導教授-周中哲博士。在研究所期間經歷了兩年徹底的放空，我開始認真思考人生的意義，許多價值觀變得與以前大不相同，我開始相信這些改變對我將來是有幫助的，因此我走出了人生的低潮，謝謝周老師始終沒有放棄我，並鼓勵我繼續完成這本論文。

同時，還要感謝俊翰學長於研究所期間的熱心幫忙，以及我的同窗鈞棋於作實驗時的陪伴與協助。而206研究室的所有成員，學長俊翰、昇陽、浩然及同學鈞棋、家福，每一個人都是我的開心果，與你們朝夕相處的日子是一段難忘又開心的回憶。

最後我要謝謝我的家人及鼓勵我的親友，尤其是我的爸媽，這段時間你們辛苦了，總是在我身邊支援我的一切，真的很感謝你們。

# 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
照片目錄.....	XIII
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 文獻回顧.....	1
1.2.1 梁翼板削切之減弱式接頭.....	1
1.2.2 蓋板補強之梁柱接頭.....	2
1.2.3 梁翼內側加勁板補強之梁柱接頭.....	2
1.3 研究動機.....	3
1.4 研究目的.....	3
1.5 研究內容.....	4
第二章 鋼造梁柱梁翼內側加勁板接頭試體設計.....	5
2.1 前言.....	5
2.2 IFS接頭試體設計.....	5
2.3 梁柱交會區之韌性設計.....	7
2.4 梁柱梁翼內側補強接頭試體.....	9
2.4.1 材料性質.....	9
2.4.2 強柱弱梁比.....	9
2.4.3 加勁板尺寸.....	10
2.4.4 梁柱接頭接合細節.....	12
2.4.5 梁柱交會區疊合板厚度.....	13
2.4.6 疊合板接合細節.....	15
2.5 試體試驗構架及載重歷時.....	16
2.5.1 油壓制動器.....	16
2.5.2 資料擷取系統.....	16
2.5.3 試驗載重歷時.....	17
2.6 試體量測規劃.....	17
第三章 IFS補強前後之梁柱接頭試體實驗結果與分析.....	20
3.1 前言.....	20
3.2 各試體製作.....	20

3.3	試體UR試驗結果.....	20
3.3.1	試驗現象觀察.....	21
3.3.2	整體反應.....	23
3.3.3	局部反應.....	24
3.4	試體IFS1 試驗結果.....	25
3.4.1	試驗現象觀察.....	25
3.4.1.1	第一次試驗現象觀察.....	25
3.4.1.2	第二次試驗現象觀察.....	27
3.4.2	整體反應.....	28
3.4.3	局部反應.....	29
3.5	試體IFS2 試驗結果.....	31
3.5.1	試驗現象觀察.....	31
3.5.1.1	第一次試驗現象觀察.....	31
3.5.1.2	第二次試驗現象觀察.....	33
3.5.2	整體反應.....	35
3.5.3	局部反應.....	36
3.6	試體IFS3 試驗結果.....	38
3.6.1	試驗現象觀察.....	38
3.6.1.1	第一次試驗現象觀察.....	38
3.6.1.2	第二次試驗現象觀察.....	40
3.6.2	整體反應.....	42
3.6.3	局部反應.....	43
3.7	試體IFS試驗結果比較.....	45
3.7.1	實驗現象比較.....	45
3.7.2	整體反應比較.....	46
3.7.3	局部反應比較.....	47
第四章 有限元素分析.....		50
4.1	前言.....	50
4.2	試體有限元素模型建立.....	50
4.3	各試體分析結果.....	51
4.3.1	梁端彎矩與位移關係及彈性勁度比較.....	52
4.3.2	局部行為比較.....	52
4.3.3	參數比較.....	53
第五章 結論與建議.....		58
5.1	結論.....	58
5.2	建議.....	59
參考文獻.....		60
附件 A.....		240

## 表目錄

表 2.1 各梁柱接頭試體鋼材材料性質.....	61
表 2.2 各試體梁柱接頭之尺寸及強柱弱梁比.....	61
表 2.3 試驗前補強接頭之設計值.....	62
表 2.4 各試體剪力板螺栓數量.....	62
表 2.5 各試體梁柱交會區強度及剪力強度比.....	62
表 3.1 各試體破壞模式與梁端最大塑性轉角.....	63
表 3.2 各試體梁翼與腹板最大挫屈幅度與位置( <i>mm</i> ).....	63
表 3.3 試體各部位情形綜合比較.....	64
表 3.4 各試體之彎矩強度.....	64
表 3.5 各IFS試體於各層間側位移角之梁彎矩強度需求比 $\alpha$ .....	65
表 3.6 各IFS試體之加勁板降伏範圍.....	66
表 3.7 試驗後補強接頭之實際值.....	66
表 4.1 <i>A572Gr.50</i> 鋼材之 <i>ABAQUS</i> 硬化參數輸入指令.....	67
表 4.2 <i>A36</i> 鋼材之 <i>ABAQUS</i> 硬化參數輸入指令.....	67
表 4.3 <i>TEST</i> 與 <i>ABAQUS</i> 之彎矩及彈性勁度比較表.....	68

## 圖目錄

圖 1.1 Lee 和 Uang (2005)之翼板削切式梁柱接頭 .....	69
圖 1.2 Whittaker 和 Kim(2002)之蓋板補強式梁柱接頭 .....	69
圖 1.3 Chou 和 Jao (2007) 之箱型鋼柱與鋼梁接合之IFS補強接頭 .....	70
圖 2.1 梁柱梁翼內側加勁板補強接頭彎矩強度與需求(矩形IFS).....	71
圖 2.2 梁翼內側加勁板受力方式( <i>Top Stiffener</i> ) .....	71
圖 2.3 梁柱梁翼內側加勁板補強接頭彎矩強度與需求(三角形IFS).....	72
圖 2.4 實驗構架示意圖.....	73
圖 2.5 實驗載重歷時.....	73
圖 2.6 試體UR之梁柱接頭接合細節.....	74
圖 2.7 試體IFS1 之梁柱接頭接合細節.....	75
圖 2.8 試體IFS2 之梁柱接頭接合細節.....	75
圖 2.9 試體IFS3 之梁柱接頭接合細節.....	76
圖 2.10 試體編號UR及IFS1-2 之疊合板接合細節.....	77
圖 2.11 試體編號IFS3 之疊合板接合細節.....	78
圖 2.12 試體UR應變記與位移計配置.....	79
圖 2.13 試體IFS1 應變記與位移計配置.....	80
圖 2.14 試體IFS2-3 應變記與位移計配置 .....	81
圖 2.15 梁柱交會區變形量測.....	82
圖 2.16 梁柱交會區剪力變形.....	82
圖 2.17 梁柱交會區剪力變形示意圖 (剛體旋轉前).....	83
圖 2.18 梁柱交會區剪力變形示意圖 (剛體旋轉後).....	83

圖 3.1 各試體彎矩與梁端位移關係圖.....	84
圖 3.2 各試體彎矩與柱轉角分量關係圖 ( $I_{st} Test$ ).....	84
圖 3.3 各試體彎矩與交會區剪力變形關係圖 ( $I_{st} Test$ ).....	85
圖 3.4 各試體梁端位移分量之比較 ( $I_{st} Test$ ).....	85
圖 3.5 試體UR彎矩與上翼板沿梁縱向之應變關係.....	86
圖 3.6 試體UR彎矩與下翼板沿梁縱向之應變關係.....	87
圖 3.7 試體UR梁翼板縱向應變分佈圖.....	88
圖 3.8 試體UR彎矩與上翼板沿梁橫向之應變關係.....	89
圖 3.9 試體UR彎矩與下翼板沿梁橫向之應變關係.....	90
圖 3.10 試體UR梁翼板橫向應變分佈圖.....	91
圖 3.11 試體IFS1 彎矩與上翼板沿梁縱向之應變關係.....	92
圖 3.12 試體IFS1 彎矩與下翼板沿梁縱向之應變關係.....	93
圖 3.13 試體IFS1 梁翼板縱向應變分佈圖.....	94
圖 3.14 試體IFS1 彎矩與上翼板沿梁橫向之應變關係.....	95
圖 3.15 試體IFS1 彎矩與下翼板沿梁橫向之應變關係.....	96
圖 3.16 試體IFS1 梁翼板橫向應變分佈圖.....	97
圖 3.17 試體IFS1 彎矩與加勁板應變關係.....	98
圖 3.18 試體IFS1 彎矩與加勁板應變關係 (續).....	99
圖 3.19 試體IFS1 加勁板應變分佈.....	100
圖 3.20 試體IFS1 加勁板應力分佈.....	101
圖 3.21 試體IFS2 彎矩與上翼板沿梁縱向之應變關係.....	102
圖 3.22 試體IFS2 彎矩與下翼板沿梁縱向之應變關係.....	103

圖 3.23 試體IFS2 梁翼板縱向應變分佈圖.....	104
圖 3.24 試體IFS2 彎矩與上翼板沿梁橫向之應變關係.....	105
圖 3.25 試體IFS2 彎矩與下翼板沿梁橫向之應變關係.....	106
圖 3.26 試體IFS2 梁翼板橫向應變分佈圖.....	107
圖 3.27 試體IFS2 彎矩與加勁板應變關係.....	108
圖 3.28 試體IFS2 彎矩與加勁板應變關係 (續).....	109
圖 3.29 試體IFS2 加勁板應變分佈.....	110
圖 3.30 試體IFS2 加勁板應力分佈.....	111
圖 3.31 試體IFS3 彎矩與上翼板沿梁縱向之應變關係.....	112
圖 3.32 試體IFS3 彎矩與下翼板沿梁縱向之應變關係.....	113
圖 3.33 試體IFS3 梁翼板縱向應變分佈圖.....	114
圖 3.34 試體IFS3 彎矩與上翼板沿梁橫向之應變關係.....	115
圖 3.35 試體IFS3 彎矩與下翼板沿梁橫向之應變關係.....	116
圖 3.36 試體IFS3 梁翼板橫向應變分佈圖.....	117
圖 3.37 試體IFS3 彎矩與加勁板應變關係.....	118
圖 3.38 試體IFS3 彎矩與加勁板應變關係 (續).....	119
圖 3.39 試體IFS3 加勁板應變分佈.....	120
圖 3.40 試體IFS3 加勁板應力分佈.....	121
圖 3.41 各試體彎矩與位移關係包絡線圖比較.....	122
圖 3.42 各試體梁柱界面縱向應變比較 ( <i>Negative Bending</i> ).....	123
圖 3.43 各試體梁柱界面縱向應變比較 ( <i>Positive Bending</i> ).....	124
圖 3.44 各IFS試體梁柱界面縱向應變比較 ( <i>Negative Bending</i> ).....	125



圖 3.45 各IFS試體梁柱界面縱向應變比較(Positive Bending) .....	126
圖 3.46 各IFS試體梁柱界面縱向應變比較(Negative Bending) .....	127
圖 3.47 各IFS試體梁柱界面縱向應變比較(Positive Bending) .....	128
圖 3.48 各試體梁柱界面橫向應變比較(Negative Bending) .....	129
圖 3.49 各試體梁柱界面橫向應變比較(Positive Bending) .....	130
圖 3.50 各IFS試體加勁板應變比較.....	131
圖 3.51 各IFS試體加勁板應力比較.....	132
圖 3.52 各IFS試體加勁板提供之彎矩.....	133
圖 3.53 各IFS試體加勁板提供之塑性彎矩 $M_{ps}$ 比例 .....	133
圖 3.54 各IFS試體加勁板提供的彎矩佔整體彎矩的比例 .....	134
圖 4.1 試體UR之結構模型網格分佈 .....	135
圖 4.2 試體IFS1 之結構模型網格分佈.....	135
圖 4.3 試體IFS2 之結構模型網格分佈.....	136
圖 4.4 各試體剪力板螺栓之模擬(Part).....	136
圖 4.5 梁柱接頭區之焊道及扇形開口模擬情形.....	137
圖 4.6 試體IFS1 加勁板與梁及柱接合之模擬情形.....	138
圖 4.7 試體IFS2 加勁板與梁及柱接合之模擬情形.....	139
圖 4.8 焊道單向加載之應力應變圖.....	140
圖 4.9 試體編號UR及IFS1-3 之梁端彎矩與位移關係比較圖 .....	140
圖 4.10 試體編號UR及IFS1-3 之梁上翼板應變比較圖 .....	141
圖 4.11 試體編號UR及IFS1-3 之梁下翼板應變比較圖 .....	141



圖 4.12 試體IFS1 之加勁板應變比較圖 ( <i>Negative Bending</i> ) .....	142
圖 4.13 試體IFS1 之加勁板應變比較圖 ( <i>Positive Bending</i> ) .....	142
圖 4.14 試體IFS2 之加勁板應變比較圖 ( <i>Negative Bending</i> ) .....	143
圖 4.15 試體IFS2 之加勁板應變比較圖 ( <i>Positive Bending</i> ) .....	143
圖 4.16 試體IFS3 之加勁板應變比較圖 ( <i>Negative Bending</i> ) .....	144
圖 4.17 試體IFS3 之加勁板應變比較圖 ( <i>Positive Bending</i> ) .....	144
圖 4.18 試體IFS1 之加勁板ABAQUS應力分佈圖 ( <i>Negative Bending</i> ) .....	145
圖 4.19 試體IFS1 之加勁板ABAQUS應力分佈圖 ( <i>Positive Bending</i> ) .....	145
圖 4.20 試體IFS2 之加勁板ABAQUS應力分佈圖 ( <i>Negative Bending</i> ) .....	146
圖 4.21 試體IFS2 之加勁板ABAQUS應力分佈圖 ( <i>Positive Bending</i> ) .....	146
圖 4.22 試體IFS3 之加勁板ABAQUS應力分佈圖 ( <i>Negative Bending</i> ) .....	147
圖 4.23 試體IFS3 之加勁板ABAQUS應力分佈圖 ( <i>Positive Bending</i> ) .....	147
圖 4.24 各IFS加勁板於分析結果中所提供之彎矩 .....	148
圖 4.25 各IFS加勁板於分析結果中所提供之 $M_{ps}$ 比例 .....	148
圖 4.26 各IFS加勁板於分析結果中所提供之彎矩佔整體總彎矩的比例 .....	149
圖 4.27 試體UR分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ ) .....	150
圖 4.28 試體UR分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = +3.0\%Drift$ ) .....	151
圖 4.29 試體IFS1 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ ) .....	152

圖 4.30 試體IFS1 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = +3.0\%Drift$ ) .....	153
圖 4.31 試體IFS2 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ ) .....	154
圖 4.32 試體IFS2 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = +3.0\%Drift$ ) .....	155
圖 4.33 試體IFS3 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ ) .....	156
圖 4.34 試體IFS3 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = +3.0\%Drift$ ) .....	157
圖 4.35 模型UR及IFS於各位置之破裂參數RI比較圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ ) .....	158
圖 4.36 模型UR及IFS於各位置之破裂參數RI比較圖 ( $\theta = -4.0\%Drift$ ) .....	159
圖 4.37 模型UR及IFS於各位置之破裂參數RI綜合比較圖 .....	160
圖 4.38 各模型於柱翼板 LineD1 位置處之柱向應變 ( <i>Negative Bending</i> ) .....	161
圖 4.39 各模型於柱翼板 LineD2 位置處之柱向應變 ( <i>Positive Bending</i> ) .....	162
圖 4.40 模型UR於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變 .....	163
圖 4.41 模型IFS1 於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變 .....	164
圖 4.42 模型IFS2 於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變 .....	165
圖 4.43 模型IFS3 於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變 .....	166
圖 4.44 各模型於柱翼板 LineD 位置處之柱向應變比較 .....	167
圖 4.45 各模型於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變比較 .....	168

## 照片目錄

照片 2.1 試體 UR 梁翼板與柱板焊接情形.....	169
照片 2.2 試體 IFS3 加勁板與梁翼板及柱板焊接情形.....	169
照片 3.1 試體 UR 梁翼板 UT 檢測.....	170
照片 3.2 試體 IFS2 交會區橫隔板焊道 UT 檢測.....	170
照片 3.3 試體 UR 試驗前全景.....	171
照片 3.4 試體 UR 梁上翼板輕微降伏 ( $\theta = -0.75\%$ 弧度).....	171
照片 3.5 試體 UR 梁腹板於近剪力板處降伏 ( $\theta = +0.75\%$ ).....	172
照片 3.6 試體 UR 梁下翼板降伏 ( $\theta = +1\%$ 弧度).....	172
照片 3.7 試體 UR 下翼板內側降伏 ( $\theta = +1\%$ 弧度).....	173
照片 3.8 試體 UR 梁腹板於扇形開口處降伏 ( $\theta = +1\%$ 弧度).....	173
照片 3.9 試體 UR 柱板位於梁下翼板焊道外側處降伏 ( $\theta = +1\%$ 弧度).....	174
照片 3.10 試體 UR 梁下翼板降伏範圍擴大 ( $\theta = +1.5\%$ 弧度).....	174
照片 3.11 試體 UR 梁下翼板內側及腹板降伏擴大 ( $\theta = +1.5\%$ 弧度).....	175
照片 3.12 試體 UR 梁上翼板與柱板接合之焊道產生裂縫 ( $\theta = -2\%$ 弧度).....	175
照片 3.13 試體 UR 梁下翼板降伏情形 ( $\theta = +2\%$ 弧度).....	176
照片 3.14 試體 UR 梁下翼板與柱板接合之焊道產生裂縫( $\theta = +2\%$ 弧度).....	176
照片 3.15 試體 UR 梁上翼板降伏範圍持續擴大 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	177
照片 3.16 試體 UR 梁腹板與剪力板產生相對位移 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	177
照片 3.17 試體 UR 梁下翼板降伏情形 ( $\theta = +3\%$ 弧度).....	178
照片 3.18 試體 UR 尚未發生任何挫屈情形 ( $\theta = +3\%$ 弧度).....	178
照片 3.19 試體 UR 上翼板左側與焊道交界處裂縫( $\theta = -4\%$ 弧度第一圈).....	179
照片 3.20 試體 UR 上翼板右側與焊道交界處裂縫( $\theta = -4\%$ 弧度第一圈).....	179
照片 3.21 試體 UR 梁上翼板於扇形開口處產生凹陷( $\theta = -4\%$ 弧度第一圈).....	180
照片 3.22 試體 UR 上翼板與腹板於扇形開口處開裂( $\theta = -4\%$ 弧度第一圈).....	180
照片 3.23 試體 UR 下翼板與腹板於扇形開口處開裂( $\theta = +4\%$ 弧度第一圈).....	181
照片 3.24 試體 UR 下翼板左側與焊道交界處裂縫( $\theta = +4\%$ 弧度第一圈).....	181
照片 3.25 試體 UR 下翼板右側與焊道交界處裂縫 ( $\theta = +4\%$ 弧度第一圈).....	182
照片 3.26 試體 UR 梁上翼板完全斷裂 ( $\theta = -4\%$ 弧度第二圈時).....	182
照片 3.27 試體 UR 最大位移角全景 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	183

照片 3.28 試體 IFS1 第一次試驗前全景.....	183
照片 3.29 試體 IFS1 下翼板降伏 ( $\theta = -0.75\%$ 弧度).....	184
照片 3.30 試體 IFS1 梁腹板於近剪力板處降伏 ( $\theta = +0.75\%$ 弧度).....	184
照片 3.31 試體 IFS1 背側之柱板於上橫隔板處降伏( $\theta = 0.75\%$ 弧度結束時).....	185
照片 3.32 試體 IFS1 背側之柱板於下橫隔板處降伏( $\theta = 0.75\%$ 弧度結束時).....	185
照片 3.33 試體 IFS1 梁腹板降伏範圍擴大 ( $\theta = +1\%$ 弧度).....	186
照片 3.34 試體 IFS1 梁下翼板降伏擴大( $\theta = -1.5\%$ 弧度).....	186
照片 3.35 試體 IFS1 梁下翼板內側降伏擴大 ( $\theta = -1.5\%$ 弧度).....	187
照片 3.36 試體 IFS1 梁上翼板出現降伏 ( $\theta = +1.5\%$ 弧度).....	187
照片 3.37 試體 IFS1 梁上翼板降伏擴大 ( $\theta = -2\%$ 弧度).....	188
照片 3.38 試體 IFS1 加勁板及交會區保持彈性 ( $\theta = +2\%$ 弧度).....	188
照片 3.39 試體 IFS1 梁上翼板降伏擴大 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	189
照片 3.40 試體 IFS1 梁下翼板降伏擴大( $\theta = +3\%$ 弧度).....	189
照片 3.41 試體 IFS1 梁上翼板降伏擴大 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	190
照片 3.42 試體 IFS1 背側柱板於上橫隔板處降伏情形 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	190
照片 3.43 試體 IFS1 右側加勁板端部與上翼母材產生裂縫 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	191
照片 3.44 試體 IFS1 梁腹板產生輕微挫屈 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	191
照片 3.45 試體 IFS1 梁上翼板產生輕微挫屈 ( $\theta = 4\%$ 弧度結束時).....	192
照片 3.46 試體 IFS1 第一次試驗結束前全景 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	192
照片 3.47 試體 IFS1 第二次試驗前加勁板與梁接合之裂縫修補.....	193
照片 3.48 試體 IFS1 第二次試驗前全景.....	193
照片 3.49 試體 IFS1 上翼板焊道處開裂約10mm ( $\theta = 2\%$ 弧度結束).....	194
照片 3.50 試體 IFS1 梁上翼板挫屈情形 ( $\theta = 4\%$ 弧度結束).....	194
照片 3.51 試體 IFS1 加勁板端部與下翼板接合處開裂 ( $\theta = 4\%$ 弧度結束).....	195
照片 3.52 試體 IFS1 柱翼板與加勁板端部接合處開裂 ( $\theta = 5\%$ 弧度結束).....	195
照片 3.53 試體 IFS1 梁上翼板局部挫屈情形 ( $\theta = 5\%$ 弧度結束).....	196
照片 3.54 試體 IFS1 梁整體側向扭轉挫屈情形 ( $\theta = 5\%$ 弧度結束).....	196
照片 3.55 試體 IFS1 最大位移角之全景 ( $\theta = +5\%$ 弧度).....	197
照片 3.56 試體 IFS2 第一次試驗前全景.....	197
照片 3.57 試體 IFS2 梁下翼板出現降伏( $\theta = -0.5\%$ 弧度).....	198
照片 3.58 試體 IFS2 背側之柱板於上下橫隔板高度處降伏( $\theta = -0.5\%$ 弧度).....	198

照片 3.59 試體 IFS2 梁上翼板內側出現降伏( $\theta = -0.5\%$ 弧度).....	199
照片 3.60 試體 IFS2 梁上翼板降伏範圍擴大( $\theta = -2\%$ 弧度).....	199
照片 3.61 試體 IFS2 梁腹板降伏範圍擴大 ( $\theta = -2\%$ 弧度).....	200
照片 3.62 試體 IFS2 扇形開口處附近出現降伏 ( $\theta = -2\%$ 弧度).....	200
照片 3.63 試體 IFS2 梁下翼板降伏範圍擴大 ( $\theta = -2\%$ 弧度).....	201
照片 3.64 試體 IFS2 梁腹板與剪力板出現相對位移 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	201
照片 3.65 試體 IFS2 左側下方加勁板出現降伏 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	202
照片 3.66 試體 IFS2 上翼板焊道附近之柱板出現降伏 ( $\theta = +3\%$ 弧度).....	202
照片 3.67 試體 IFS2 柱翼板產生輕微之變形 ( $\theta = +3\%$ 弧度).....	203
照片 3.68 試體 IFS2 加勁板後方之柱板內側降伏 ( $\theta = +3\%$ 弧度).....	203
照片 3.69 試體 IFS2 加勁板降伏情形 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	204
照片 3.70 試體 IFS2 上翼板之降伏情形 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	204
照片 3.71 試體 IFS2 下翼板之降伏情形 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	205
照片 3.72 試體 IFS2 加勁板端部與翼板接合處開裂 ( $\theta = 4\%$ 弧度結束).....	205
照片 3.73 試體 IFS2 第一次試驗結束前全景 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	206
照片 3.74 試體 IFS2 第二次試驗前加勁板與梁接合之裂縫修補.....	206
照片 3.75 試體 IFS2 第二次試驗時梁上翼板焊道產生裂痕 ( $\theta = -1\%$ 弧度).....	207
照片 3.76 試體 IFS2 柱板產生輕微變形 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	207
照片 3.77 試體 IFS2 梁下翼板焊道產生裂縫 ( $\theta = 4\%$ 弧度結束).....	208
照片 3.78 試體 IFS2 加勁板端部產生 5mm 挫屈 ( $\theta = -5\%$ 弧度第一圈).....	208
照片 3.79 試體 IFS2 梁腹板於塑鉸處產生 7mm 挫屈 ( $\theta = -5\%$ 弧度第一圈).....	209
照片 3.80 試體 IFS2 梁下翼板產生側向扭轉挫屈 ( $\theta = -5\%$ 弧度第一圈).....	209
照片 3.81 試體 IFS2 加勁板端部產生 20mm 裂縫 ( $\theta = -5\%$ 弧度第一圈).....	210
照片 3.82 試體 IFS2 梁上翼板母材斷裂 ( $\theta = -5\%$ 弧度第二圈).....	210
照片 3.83 試體 IFS2 梁上翼板斷裂亦造成柱板開裂 ( $\theta = -5\%$ 弧度第二圈).....	211
照片 3.84 試體 IFS2 最大位移角之全景 ( $\theta = +5\%$ 弧度).....	211
照片 3.85 試體 IFS3 第一次試驗前全景.....	212
照片 3.86 試體 IFS3 梁上翼板輕微降伏 ( $\theta = 0.375\%$ 弧度結束).....	212
照片 3.87 試體 IFS3 梁下翼板輕微降伏 ( $\theta = 0.375\%$ 弧度結束).....	213
照片 3.88 試體 IFS3 梁下翼板內側降伏 ( $\theta = 0.375\%$ 弧度結束).....	213
照片 3.89 試體 IFS3 梁下翼板內側降伏範圍增加 ( $\theta = 0.5\%$ 弧度結束).....	214



照片 3.90 試體 IFS3 梁下翼板降伏範圍增加 ( $\theta = 0.5\%$ 弧度結束).....	214
照片 3.91 試體 IFS3 加勁板出現輕微降伏 ( $\theta = 0.5\%$ 弧度結束).....	215
照片 3.92 試體 IFS3 梁下翼板內側降伏範圍增加 ( $\theta = -1.5\%$ 弧度).....	215
照片 3.93 試體 IFS3 梁上翼板降伏範圍增加 ( $\theta = -2\%$ 弧度).....	216
照片 3.94 試體 IFS3 梁下翼板降伏範圍增加 ( $\theta = -2\%$ 弧度).....	216
照片 3.95 試體 IFS3 梁腹板塑鉸處出現降伏 ( $\theta = -2\%$ 弧度).....	217
照片 3.96 試體 IFS3 交會區柱板內側出現降伏 ( $\theta = +2\%$ 弧度).....	217
照片 3.97 試體 IFS3 梁上翼板降伏情形 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	218
照片 3.98 試體 IFS3 梁塑鉸處降伏嚴重 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	218
照片 3.100 試體 IFS3 交會區疊合板出現輕微降伏 ( $\theta = +3\%$ 弧度).....	219
照片 3.101 試體 IFS3 梁上翼板降伏情形 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	220
照片 3.102 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生 2mm 挫屈 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	220
照片 3.103 試體 IFS3 梁下翼板產生輕微側向扭轉挫屈 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	221
照片 3.104 試體 IFS3 梁上翼於加勁板端部產生 2mm 挫屈 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	221
照片 3.105 試體 IFS3 交會區疊合板降伏情形 ( $\theta = 4\%$ 弧度結束).....	222
照片 3.106 試體 IFS3 加勁板降伏情形 ( $\theta = 4\%$ 弧度結束).....	222
照片 3.107 試體 IFS3 第一次試驗結束前全景 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	223
照片 3.108 試體 IFS3 第二次試驗前全景.....	223
照片 3.109 試體 IFS3 梁翼和柱板接合之焊道出現小裂痕 ( $\theta = -1\%$ 弧度).....	224
照片 3.110 試體 IFS3 梁翼和加勁板接合之焊道出現小裂痕( $\theta = -1\%$ 弧度).....	224
照片 3.111 試體 IFS3 加勁板焊道端部出現小裂痕 ( $\theta = -1.5\%$ 弧度).....	225
照片 3.112 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生 3mm 挫屈 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	225
照片 3.113 試體 IFS3 加勁板焊道端部出現小裂痕 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	226
照片 3.114 試體 IFS3 加勁板焊道端部出現小裂痕 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	226
照片 3.115 試體 IFS3 加勁板焊道端部出現小裂痕 ( $\theta = -3\%$ 弧度).....	227
照片 3.116 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生 8mm 挫屈 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	227
照片 3.117 試體 IFS3 梁下翼板產生 10mm 撓曲變形 ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	228
照片 3.118 試體 IFS3 梁下翼板產生側向扭轉挫屈 10mm ( $\theta = -4\%$ 弧度).....	228
照片 3.119 試體 IFS3 梁上翼於加勁板端部產生 3mm 挫屈 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	229
照片 3.120 試體 IFS3 交會區疊合板降伏情形 ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	229
照片 3.121 試體 IFS3 加勁板焊道端部裂痕達 30mm ( $\theta = +4\%$ 弧度).....	230

照片 3.122 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生15mm挫屈 ( $\theta = -5\%$ 弧度).....	230
照片 3.123 試體 IFS3 梁下翼於加勁板端部產生10mm挫屈 ( $\theta = -5\%$ 弧度).....	231
照片 3.124 試體 IFS3 梁下翼板產生側向扭轉挫屈15mm ( $\theta = -5\%$ 弧度).....	231
照片 3.125 試體 IFS3 梁上翼於加勁板端部產生8mm挫屈 ( $\theta = +5\%$ 弧度).....	232
照片 3.126 試體 IFS3 梁下翼和柱板接合之焊道出現小裂痕 ( $\theta = +5\%$ 弧度).....	232
照片 3.127 試體 IFS3 加勁板降伏情形 ( $\theta = -6\%$ 弧度).....	233
照片 3.128 試體 IFS3 梁柱焊道裂痕情形 ( $\theta = -6\%$ 弧度).....	233
照片 3.129 試體 IFS3 梁柱焊道裂痕情形 ( $\theta = -6\%$ 弧度).....	234
照片 3.130 試體 IFS3 加勁板焊道端部開裂情形 ( $\theta = -6\%$ 弧度).....	234
照片 3.131 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生30mm挫屈 ( $\theta = -6\%$ 弧度).....	235
照片 3.132 試體 IFS3 梁下翼於加勁板端部產生50mm挫屈 ( $\theta = -6\%$ 弧度).....	235
照片 3.133 試體 IFS3 梁上翼板側向扭轉挫屈情形 ( $\theta = +6\%$ 弧度第一圈).....	236
照片 3.134 試體 IFS3 交會區柱翼板內側降伏情形 ( $\theta = +6\%$ 弧度第一圈).....	236
照片 3.135 試體 IFS3 上橫隔板上方內側柱板降伏 ( $\theta = +6\%$ 弧度第一圈).....	237
照片 3.136 試體 IFS3 梁下翼板焊道和柱板交界斷裂( $\theta = +6\%$ 弧度第二圈).....	237
照片 3.137 試體 IFS3 梁下翼板焊道和柱板交界斷裂( $\theta = +6\%$ 弧度第二圈).....	238
照片 3.138 試體 IFS3 梁下翼板焊道和柱板交界斷裂( $\theta = +6\%$ 弧度第二圈).....	238
照片 3.139 試體 IFS3 交會區疊合板降伏情形 ( $\theta = +6\%$ 弧度第二圈).....	239
照片 3.140 試體 IFS3 最大位移角全景 ( $\theta = -6\%$ 弧度).....	239

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

由於美國北嶺與日本阪神分別於 1996 及 1995 年發生規模強大之地震，造成許多傳統韌性鋼骨梁柱接頭產生非預期之脆性破壞，其破壞形式如梁翼與柱板焊道接合處破裂、柱板之層裂或撕裂破壞等。因此學者們曾提出避免於工地現場使用全滲透焊接之梁柱接頭來預防梁柱間之焊道破裂以及鋼梁在大變形下發生挫屈，並達到 AISC 對接頭韌性之要求。此外，為了降低梁柱介面焊道應力並使梁塑性變形遠離梁柱接頭區，國內外學者亦提出許多改良式接頭，主要可分為減弱式及補強式兩種。減弱式接頭主要在梁翼板進行削切，藉以降低梁柱介面之彎矩強度。補強式接頭則在梁近柱面外進行加勁補強，以確保梁柱介面能保持彈性。

## 1.2 文獻回顧

### 1.2.1 梁翼板削切之減弱式接頭

Lee和Uang (2005)共製作 8 組減弱式梁柱接頭，其中一組試體如圖 1.1所示，藉由梁翼板削切以降低接頭近柱面之彎矩強度，其設計細節為假設塑鉸發生於翼板削切範圍中心處，並以此處梁達  $1.1 M_{RBS,p}$  時投影至柱面之彎矩強度  $M_f$  作為設計需求，且調整試體之梁翼板削切尺寸以使得柱面之彎矩強度  $M_f$  等於  $0.9 M_p$ ，其中  $M_p$  為梁斷面未削切時被預期之塑性彎矩強度。各試體的參數變化主要分為梁腹板與剪力板其接合形式(螺栓或



焊道接合)不同以及梁柱交會區強度改變的影響。試驗結果顯示當試體之梁腹板與剪力板以焊道接合時，梁柱交會區強度無論為中等或高強度，梁柱接頭皆能發揮良好之韌性能力，而當試體之梁腹板與剪力板以螺栓接合時，則發生過早的脆性破壞於梁翼板扇形開口處，乃因為梁腹板與剪力板的相對滑動導致應力集中於此位置。

### 1.2.2 蓋板補強之梁柱接頭

Whittaker和Kim (2002)共製作 10 組蓋板梁柱接頭試體(圖 1.2)，其中 5 組試體為梁翼板、蓋板與柱採全滲透焊接合，另外 5 組試體僅蓋板與柱採全滲透焊接合，梁翼板與柱之間並無任何接合，而接頭試體設計細節為假設梁塑鉸發生於距蓋板端部  $1/4$  之位置，且以此處梁達  $1.1M_p$  時投影至柱面之彎矩強度作為設計需求，其中  $M_p$  為梁之實際塑性彎矩強度，而蓋板斷面積之選定為使近柱面之蓋板，在最大彎矩強度發生時仍保持在彈性範圍。試驗結果顯示 10 組試體均有良好之韌性行為，且於蓋板端部之梁翼板與腹板均出現局部挫屈現象。

### 1.2.3 梁翼內側加勁板補強之梁柱接頭

Chou和Jao (2007)共製作 6 組實尺寸之梁柱接頭，採用箱型柱與鋼梁翼板以全滲透焊接接合，梁腹板則與剪力板栓接接合，其中一組為傳統梁柱接頭、五組為梁翼內側加勁板補強接頭(圖 1.3)，其補強接頭設計細節亦假設梁塑鉸位置發生於距加勁板端部  $1/4$  梁深之位置。試驗結果顯示兩

組IFS補強接頭其韌性行為良好，並藉由有限元素模型分析可得知加勁板於4%弧度層間側位移角時可傳遞36%的梁端彎矩至柱，另外三組IFS補強接頭則因加勁板所提供之勁度及強度不足而無法達到AISC規範所訂定之層間側位移角。

### 1.3 研究動機

為了補強已興建完成之老舊鋼結構建築，許多國內外學者所研究的補強式梁柱接頭，皆在梁之上下翼板外側焊接不同形式之鋼板，往往造成施工上的困難，並且得將現有結構物之樓板拆除才可進行。因此，為了解決此問題，本研究以梁翼內側增加垂直加勁板的方式，藉以提升鋼骨梁柱接頭之韌性消能行為，並由鋼柱型式之不同探討梁彎矩力量傳遞上的影響。

### 1.4 研究目的

此梁翼內側加勁板為首次應用於鋼梁與H型柱接合之梁柱接頭，因此是否能夠達到AISC(2005)耐震設計規範所要求之4%弧度層間側位移角而不發生梁翼與柱板焊道兩側之破壞乃所要觀察之重點，並且探討此加勁補強下之力學行為是否影響加勁板的彎矩貢獻，另外配合不同的梁彎矩強度需求比以及梁翼板材質的改變，觀察鋼梁在受彎矩作用下之行為以及破壞模式。另外，依據試驗結果，可進一步修正原本設計之假設，如塑鉸彎矩強度、梁翼板塑鉸產生位置是否準確以及彎矩容量與彎矩需求之比值。最後，藉由非線性有限元素分析軟體ABAQUS(2003)，建立準確的分析結

果並與實驗相互比較，來預測試體可能之破壞模式。

## 1.5 研究內容

本研究內容共分為五個章節，除本章外，第二章介紹鋼造梁柱梁翼內側加勁板接頭試體設計及試驗規劃與量測，第三章敘述四組試體實驗結果與分析比較，第四章介紹試體有限元素模型的建立並得到分析結果與實驗相互比較，第五章為結論與建議。



## 第二章 鋼造梁柱梁翼內側加勁板接頭試體設計

### 2.1 前言

本研究根據往例，鋼梁與箱型柱接合之梁翼內側加勁板補強接頭，已有成功案例且韌性行為極佳，滿足 AISC(2005)耐震設計規範所規定的位移歷時至 4% 弧度層間側位移角下，未發生梁柱界面焊道破壞，因此將此補強方式應用於鋼梁與 H 型柱接合之梁柱接頭。2.2 節為 IFS 補強接頭試體設計，2.3 節為梁柱交會區之韌性設計，2.4 節介紹梁翼內側補強前後之梁柱接頭試體其強柱弱梁比、材料性質、加勁板與交會區疊合板尺寸及接合細節，2.5 節介紹試體試驗構架及載重歷時，2.6 節介紹各試體量測規劃。

### 2.2 IFS 接頭試體設計

本研究乃參考過去研究(周中哲及饒智凱 2008, Chou and Jao 2010)所提出的設計方法，於傳統鋼結構梁柱接頭之梁上下翼板內側，腹板之相對邊各放置一片加勁鋼板(圖 2.1)，增加梁柱接合處的勁度與強度，避免梁柱接頭區之破壞，設計步驟如下：

1. 根據以往的試驗結果，接頭塑鉸區域發生在離加勁板端部  $d_b/4$  之位置，計算此處梁彎矩強度  $M_{PH}$ ：

$$M_{PH} = \beta \cdot M_{pb} = \beta \cdot (R_y \cdot Z_b \cdot \sigma_{ym}) \quad (2-1)$$

而  $M_{pb}$  為位於塑鉸處之梁塑性彎矩。 $\beta$  為塑鉸處之應變硬化係數，本實驗試體其接頭形式為梁翼內側加勁板 (Internal Flange Stiffener，簡稱

IFS)，故  $\beta$  值設計時採用先前IFS試體試驗後所得之平均值 1.36。 $R_y$  為材料變異係數，由於設計時尚未得知材料之強度，故可依照FEMA 350之規定，A36 之變異係數  $R_y$  為 1.5，A572 Gr.50 之變異係數  $R_y$  則為 1.1，而本實驗所有鋼材之拉力試片值及材料變異係數  $R_y$  列於表 2.1。 $Z_b$  為位於塑鉸處之梁塑性模數， $\sigma_{ym}$  則為梁之標稱降伏應力。

2. 初步假設加勁板長度  $L_s$ ，建議  $L_s$  需大於等於梁翼板寬度 ( $L_s \geq b_f$ )，並將塑鉸處之極限彎矩強度  $M_{PH}$  投影至柱面，得柱面彎矩需求  $M_{dem}$  如下式：

$$M_{dem} = \frac{L_b}{L_b - e} \cdot M_{PH} \quad (2-2)$$

$$e = L_s + \frac{d_b}{4} \quad (2-3)$$

其中(2-2)式之  $L_b$  為油壓制動器中心至柱面之距離，(2-3)式之  $e$  為塑鉸位置距柱面之長度(圖 2.1)， $d_b$  為梁深。

3. 求含梁翼內側加勁板之梁柱接頭提供之彎矩強度  $M_{cap}$ ：

$$\begin{aligned} M_{cap} &= M_{pb} + M_{ps} \\ &= R_y Z_b \sigma_{ym} + 2 \left( 2\sqrt{\frac{1}{2}} - 1 \right) \cdot (d_b - 2t_f) R_y \sigma_{ym} d_s t_s \end{aligned} \quad (2-4)$$

其中  $M_{ps}$  為加勁板所提供之塑性彎矩， $t_f$  為梁翼板之厚度， $d_s$  為加勁板之深度， $t_s$  為加勁板之厚度。

4. 計算梁柱接頭補強後梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值，建議  $\alpha$  值大於 1.05：

$$\alpha = \frac{M_{cap}}{M_{dem}} > 1.05 \quad (2-5)$$

將(2-4)式代入(2-5)式中展開得：

$$d_s \cdot t_s = \frac{\alpha \cdot M_{dem} - M_{pb}}{2 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1}{2}} - 1\right) \cdot (d_b - 2t_f) \cdot R_y \cdot \sigma_{yn}} \quad (2-6)$$

即可求得適合之  $d_s$  及  $t_s$ 。

5. 檢核第二步假設，目的在於當梁翼板傳遞力量至梁翼內側加勁板時，由於加勁板受力側與梁翼相接處，承受一剪力  $P_{sl}$  如圖 2.2 所示，因此須確保加勁板之剪力強度  $V_s$  大於加勁板達全塑性應力分佈狀態時之剪力  $P_{sl}$ ，而得：

$$V_s = 0.9 \cdot (0.6\sigma_{yn}) t_s \cdot L_s \geq P_{sl} = \left(2\sqrt{\frac{1}{2}} - 1\right) \cdot \sigma_{yn} \cdot t_s \cdot d_s \quad (2-7)$$

$$L_s \geq 0.77d_s \quad (2-8)$$

若步驟 2 所假設之  $L_s$  不符合(2-8)式，則重複步驟 2 並重新假設  $L_s$ 。

### 2.3 梁柱交會區之韌性設計

本研究試體梁柱交會區乃根據 AISC(2005)之規定，將疊合板各焊接於柱腹板左右兩側，梁柱交會區腹板總厚度  $t_{total}$  分別由柱腹板厚度  $t_{wc}$  及疊合板厚度  $t_d$  所組成，：

$$t_{total} = t_{wc} + t_d \quad (2-9)$$

根據國外學者 Uang 等人(2005)提出梁柱交會區之設計剪力強度可由以下兩式獲得：

$$V_p = (0.75)(0.6F_{yc} d_c t_{total}) \left[ 1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_{total}} \right] \quad (2-10)$$

$$V_p = (0.6F_{yc} d_c t_{total}) \left[ 1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_{total}} \right] \quad (2-11)$$



其中  $F_{yc}$  為柱之標稱降伏強度(345 MPa)， $b_{cf}$  為柱翼板寬度， $t_{cf}$  為柱翼板厚度，其中(2-11)式乃採納AISC(2002)耐震設計規範所提出梁柱交會區之設計剪力強度，考慮到除了梁之外梁柱交會區亦能提供塑性之變形，其交會區剪應變可達到4倍降伏剪應變(Krawinkler 1978)，故定義為中等強度梁柱交會區(Medium PZ)，而(2-10)式則為AISC(1997)耐震設計規範所提出梁柱交會區之設計剪力強度，其中包含強度折減係數 $\phi$ 值為0.75，因為梁被預期為產生主要之塑性變形能力，故根據此式所得的梁柱交會區定義為高強度梁柱交會區(Strong PZ)。高強度的梁柱交會區由於非線性行為集中發生於梁塑鉸區域，因此容易造成梁嚴重挫屈及永久變形，而軟弱的梁柱交會區則牽涉到柱翼板的扭曲使得梁與柱板接合之焊道發生潛在之破壞。因此，為了設計出適當的梁柱交會區可在剪力降伏後仍有穩定之消能特性，Uang等人(2005)依據(2-11)式提出一適當範圍，當塑鉸處梁塑性彎矩投影至柱心之剪力強度 $V_{IFS,p}$ 除以梁柱交會區腹板總厚度所提供之剪力強度 $V_p$ ，其剪力強度比 $V_{IFS,p}/V_p$ 介於0.7-0.9時(Balanced PZ)，如下式：

$$0.7 \leq \frac{V_{IFS,p}}{V_p} \leq 0.9 \quad (2-12)$$

梁柱交會區可輕易地提供0.01 rad之塑性旋轉能力並且消散30-40%的總能量，當此剪力強度比 $V_{IFS,p}/V_p$ 愈小表示交會區的強度愈強，其中塑鉸處梁塑性彎矩投影至柱心之剪力強度 $V_{IFS,p}$ 計算式如下：

$$V_{IFS,p} = \left( \frac{M_{IFS,p}}{d_b} \right) \times \left( \frac{L_b + \frac{d_c}{2}}{L_b - e} \right) \times \left( 1 - \frac{d_b}{H_c} \right) \quad (2-13)$$

其中 $M_{IFS,p}$ 為(2-1)式中梁位於塑鉸處之塑性彎矩 $M_{pb}$ 。

## 2.4 梁柱梁翼內側補強接頭試體

本研究梁柱接頭試體共四組，其中一組為未加勁之傳統梁柱接頭，試體編號UR，而以梁翼內側加勁板(IFS)為補強方式之試體共三組，試體編號為IFS1-3，四組試體之柱及梁皆為相同尺寸，分別為柱H428×407×20×35及梁H702×254×16×28，而柱高 $H$ 以及油壓制動器中心至柱中心之距離（圖 2.4）均為 4000 mm，各試體所對應之加勁板尺寸如表 2.2所示。

### 2.4.1 材料性質

本實驗試體主要之材料分別有鋼梁、鋼柱、加勁板及疊合板(Double Plate)。其中試體UR及IFS1-2 其鋼梁均採用A36 之材料性質，另外為了探討當鋼梁材質不同所造成的影響，故增加一組試體IFS3 其鋼梁為A572 Gr.50 之材料性質。而鋼柱、加勁板及疊合板皆採A572 Gr.50 之材料性質，此外，為了解所有試體各部位組成材料之強度，以提高未來利用有限元素分析軟體(ABAQUS 2003)模擬之準確性，本研究將各材料之拉伸試驗結果列於表 2.1。

### 2.4.2 強柱弱梁比

依據 AISC(2005)耐震設計規範，強柱弱梁比之計算公式如下：

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} \geq 1.0 \quad (2-14)$$

其中  $\sum M_{pc}^*$  為連接於梁柱接頭處柱在接頭交接面之標稱強度總合，計算如下所示：



$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c (R_y F_{yc} - P_{uc} / A_g) \quad (2-15)$$

其中  $Z_c$  為柱斷面塑性模數， $F_{yc}$  為柱鋼材之標稱降伏強度， $P_{uc}$  為所需之柱向受壓力， $A_g$  為柱全斷面積。因本研究並未在柱上施加軸向受壓載重，所以在計算  $\sum M_{pc}^*$  時忽略  $P_{uc}$  之影響， $\sum M_{pb}^*$  為連接於梁柱接頭處梁在接頭交接面之標稱彎矩強度總合且等同於(2-2)式之  $M_{dem}$ 。依照上述之公式可計算各試體之強柱弱梁比，如表 2.2 所示。

### 2.4.3 加勁板尺寸

本研究於設計加勁板尺寸時，試體於塑鉸處之應變硬化係數  $\beta$ ，參考周中哲及饒智凱(2008)所建議之值為 1.36，且為了避免梁柱梁翼焊道的破壞，試體 IFS1 及 IFS3 亦參考建議之梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值 ( $\geq 1.05$ )，而試體 IFS2 為了與試體 IFS1 作為對照，限制其梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值為 0.98 小於 1 (表 2.3)。其中試體 IFS1 至 IFS3 其加勁板長度  $L_s$  及深度  $d_s$  均分別假設為 300 mm 及 308 mm。根據 2.2 節加勁板設計步驟可得：

#### 試體 IFS1

##### 1. 計算塑鉸處極限彎矩強度 $M_{PH}$ ：

試體於塑鉸處之應變硬化係數  $\beta$ ，採用周中哲及饒智凱(2008)所建議之值為 1.36。依照(2-1)式可得梁位於塑鉸處之塑性彎矩  $M_{pb}$ ，其中(2-1)式之  $\sigma_{ym}$  由於試驗前尚未得知鋼梁(材料性質 A36)之強度，故假設為標稱強度 36 ksi (248 MPa)，且依照 FEMA 350 之規定，A36 鋼材之變異係數  $R_y$  為 1.5，最後試體的  $M_{PH}$  由  $\beta$  值乘上  $M_{pb}$  計算而得如表 2.3 所示。

2. 求柱面彎矩需求  $M_{dem}$  :

將試體之  $M_{PH}$  與假設之  $L_s$  值代入(2-2)式及(2-3)式中可得試體之  $M_{dem}$  , 而將計算出的  $M_{dem}$  值列於表 2.3 所示。

3. 求加入加勁板之梁柱接頭所能提供之彎矩容量  $M_{cap}$  :

試體之加勁板厚度  $t_s$  為 25 mm , 並將試體之  $d_s$  、  $t_s$  代入(2-4)式中 , 其中加勁板之強度(材料性質為 A572 Gr.50)尚未由拉伸試驗得知 , 故  $\sigma_{yn}$  假設為加勁板之標稱降伏強度 50 ksi (345 MPa) , 且依照 FEMA 350 之規定 , A572 Gr.50 鋼材之變異係數  $R_y$  為 1.1 , 最後由(2-4)式可得加勁板所提供之塑性彎矩  $M_{ps}$  , 並將  $M_{ps}$  與  $M_{pb}$  相加即可求得  $M_{cap}$  , 如表 2.3 所示。

4. 計算各試體之梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值:

將步驟 2 及 3 所得之  $M_{dem}$  及  $M_{cap}$  代入(2-5)式中 , 可得試體之梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值如表 2.3 所示。

5. 檢核第二步假設之  $L_s$  :

將試體假設之  $L_s$  及由(2-8)式所計算出之  $L_s$  列於表 2.3 中 , 由表中可看出此試體滿足(2-8)式之需求。

## 試體 IFS2

本試體 IFS2 其加勁板長度  $L_s$  及深度  $d_s$  與試體 IFS1 相同 , 僅減少加勁板厚度(表 2.2)及改變加勁板形狀由矩形變為三角形。而減少加勁板厚度的目的是為了觀察當梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值小於 1(表 2.3)的情況下 , 鋼梁與 H 型柱接合之梁柱接頭是否依然具有不錯的消能行為 , 並且藉由實驗前的 ABAQUS 有限元素分析軟體可模擬加勁板在相同之載重位移歷時條件

下，仍有部分區塊保持彈性，因此將加勁板切削後改為三角形以增加焊接時之便利性，希望藉由此試體可看出，當加勁板樣式較為不保守時，此梁翼內側加勁板補強方式，是否能使梁柱接頭有極佳之韌性行為並超過AISC所要求之4%層間側位移角。依據2.2節加勁板設計步驟，將計算所得之彎矩 $M_{pb}$ 、 $M_{PH}$ 、 $M_{ps}$ 、 $M_{dem}$ 及 $M_{cap}$ 列於表2.3。

### 試體 IFS3

本研究之梁翼內側加勁板補強方式在先前的IFS試體試驗從未使用過材料性質為A572Gr.50之鋼梁，因此令梁彎矩強度需求比 $\alpha$ 值保守地大於1.05(表2.3及圖2.3)，由於試驗前尚未得知鋼梁及加勁板之強度，故假設為標稱強度50ksi(345MPa)，且依照FEMA350之規定，A572.Gr50鋼材之變異係數 $R_y$ 為1.1，而加勁板長度 $L_s$ 及深度 $d_s$ 與試體IFS1及IFS2相同，其加勁板尺寸與試體IFS2相較之下，僅改變加勁板厚度(表2.2)，加勁板形狀與試體IFS2維持不變(圖2.8及圖2.9)。

希望藉由此試體可看出，即使鋼梁材料性質為A572.Gr50，此梁翼內側加勁板補強方式，亦能使梁柱接頭有極佳之韌性行為並達到AISC所要求之4%弧度之層間側位移角。依據2.2節加勁板設計步驟，將計算所得之彎矩 $M_{pb}$ 、 $M_{PH}$ 、 $M_{ps}$ 、 $M_{dem}$ 及 $M_{cap}$ 列於表2.3。

#### 2.4.4 梁柱接頭接合細節

加勁補強試體IFS1與IFS2之梁柱接頭接合細節均與未加勁之傳統梁柱接頭UR相同，其接合細節如圖2.6所示。而試體IFS3由於鋼梁材質為

A572 Gr.50，所提供之梁端側力較大，故於設計剪力板尺寸時稍作修正，如圖 2.9所示，各組梁柱接頭試體其剪力板與腹板採摩擦型螺栓栓接，其剪力板螺栓數量計算公式如下：

$$\phi \cdot R_{str} = \phi \cdot 1.13 \mu T_m N_b N_s \quad (2-16)$$

其中， $\mu$  為鋼板接合面之滑動係數（採用 0.33）、 $T_m$  為螺栓最小預拉力、 $N_b$  為接頭之螺栓總數、 $N_s$  為可能滑動面總數、 $\phi$  為強度折減係數（標準孔採用 1.0），且摩擦型螺栓其抗滑強度  $\phi \cdot R_{str}$  應大於或等於其需求強度（即預期之梁端側力），即可求出所需之螺栓數量，如表 2.4所示。

三組補強梁柱接頭試體其加勁板與柱翼板接合位置皆在梁翼邊(圖 2.7)，且加勁板長度及深度均相同，試體 IFS2 及 IFS3 僅加勁板厚度和形狀與試體 IFS1 不同，其加勁板形狀削切與焊接細節如圖 2.8所示。所有試體其梁翼與柱板接合方式，以及加勁板與梁翼及柱板接合方式均採全滲透開槽焊，且梁與柱焊接時(照片 2.1)所採用之焊條為 ER70S-G，照片 2.2則為加勁板與梁翼板及柱板接合時之情形。

#### 2.4.5 梁柱交會區疊合板厚度

由於試體 UR 及試體 IFS1-2 其鋼梁材料性質皆為 A36 之鋼材，參數變化分別為有無加勁板補強、梁彎矩強度需求比與加勁板形狀的改變，而試體 IFS3 相較於前組 IFS2 試體，其參數變化分別有鋼梁材質及梁彎矩強度需求比的改變，由 0.98 增加到 1.1，為了探討其影響，故將此四組試體其梁柱交會區之疊合板(Doubler PL-1)厚度固定，以便使交會區得到相同之剪力強度，試體初步疊合板厚度  $t_d$  均假設為 24mm。根據 2.3 節梁柱交

會區之韌性設計，梁柱交會區疊合板厚度 $t_d$ 計算步驟如下：

### 試體 UR 及試體 IFS1-2

#### 1. 計算梁柱交會區之設計剪力強度 $V_p$ ：

將假設之疊合板厚度 $t_d$ 代入(2-9)式以求得梁柱交會區總腹板厚度 $t_{total}$ ，為了令交會區及梁能同時產生降伏，因此梁柱交會區之設計剪力強度 $V_p$ 於計算時採用(2-11)式不考慮強度折減係數 $\phi$  (0.75)的存在並將所求得之總腹板厚度 $t_{total}$ 代入(2-11)式，其中 $F_{yc}$ 為柱之標稱降伏強度(345 MPa)，即可求得交會區之設計剪力強度 $V_p$ ，列於表 2.5(a)。

#### 2. 計算塑鉸處梁塑性彎矩投影至柱心之剪力強度 $V_{IFS,p}$ ：

藉由(2-1)式所求得梁位於塑鉸處之塑性彎矩 $M_{pb}$ (表 2.3)，即 $M_{IFS,p}$ 代入(2-13)式得到投影至柱心之剪力強度 $V_{IFS,p}$ ，列於表 2.5(a)。

#### 3. 計算梁柱交會區位於柱心處之剪力強度比 $V_{IFS,p}/V_p$ 並檢核：

將上述步驟所求得之 $V_{IFS,p}$ 除以 $V_p$ 即可求得各試體之剪力強度比 $V_{IFS,p}/V_p$ ，且剪力強度比 $V_{IFS,p}/V_p$ 須符合Uang等學者(2005)所提出之適當範圍介於 0.7-0.9 屬於中等梁柱交會區(Balanced PZ)，否則重新假設疊合板厚度 $t_d$ ，並將各數值列於表 2.5(a)。

### 試體 IFS3

由於試體IFS1 及試體IFS2 於第一次試驗進行至 4%弧度層間側位移角下時，梁柱交會區之疊合板未發生預期之剪力降伏現象，且第二次試驗在彎矩強度未遞減的情況下進行至 5%弧度層間側位移角時，交會區依然未出現任何降伏現象，故於試驗後進行鋼材拉伸試驗，發現梁翼板與梁腹



板實際強度比預期標稱強度低，且梁柱交會區之柱腹板與疊合板(Doubler PL-1)實際強度則比預期標稱降伏強度高，因此根據各試體鋼材實際強度(表 2.1)計算而得之梁柱交會區剪力強度比，如表 2.5(b)所示，可判定試體IFS1 及試體IFS2 實際上為高強度梁柱交會區，而非原預期如表 2.5(a)所示之中等梁柱交會區。

試體IFS3 其觀察重點在鋼梁材質(A572 Gr.50)改變的情況下，此補強方式是否可以達到AISC(2005) 耐震設計規範所規定 4%弧度層間側位移角。因此試體IFS3 在其梁翼板鋼材材質較強的情況下，為了避免各IFS試體梁柱交會區強度不一致所造成的影響，故試體IFS3 於設計交會區強度時，依據鋼材標稱強度之計算再增加 16 mm厚之疊合板(Doubler PL-2)，並依照與前二組IFS試體相同之設計步驟，其交會區剪力強度比 $V_{IFS,p}/V_p$  為 0.60 屬於高強度梁柱交會區，如表 2.5(a)所示。

## 2.4.6 疊合板接合細節

### 試體 UR 及試體 IFS1-2

由 2.4.5 節得到此三組試體需要之疊合板厚度 $t_d$  為 24mm，將其分為兩片各為 12mm厚，並依照AISC(2005)耐震設計規範將疊合板焊接於梁柱交會區柱腹板之兩側，疊合板上下緣各延伸出梁柱交會區柱連續板十公分並以填角焊焊於柱腹板，而疊合板左右緣則以全滲透焊焊接於柱翼板，並於疊合板中央配置四個塞孔焊來預防過早的局部挫屈，且使疊合板與柱腹板緊密貼合，緊接著再將連續板以全滲透焊與柱翼板及疊合板焊接接合，此連續板厚度與梁翼板相同，而三組試體梁柱交會區疊合板接合細節如圖

2.10所示。

### 試體 IFS3

為了令剪力強度比  $V_{IFS,p}/V_p$  與試體 IFS1 相近，此試體仍需要增加 16mm 厚之疊合板(Doubler PL-2)，且亦將其分為兩片各 8mm 厚，並於交會區內以全滲透焊與柱連續板及柱翼板焊接接合，而疊合板中央亦配置四個塞孔焊與 1 號疊合板(Doubler PL-1)緊密接合，此試體梁柱交會區疊合板接合細節如圖 2.11 所示。

## 2.5 試體試驗構架及載重歷時

本試驗於國家地震工程研究中心實驗室進行，實驗構架示意如圖 2.4 所示，試驗所採用的施力系統及資料擷取系統描述如下：

### 2.5.1 油壓制動器

本試驗梁柱接頭試體共四組，其中三組試體 UR 及 IFS1-2 因鋼梁材質為 A36(36 ksi)，故採用一組 MTS 油壓制動器，其最大輸出力量為 +1500 kN 及 -961 kN。而試體 IFS3 鋼梁材質為 A572 Gr.50(50ksi)，故採用二組 MTS 油壓制動器，單組最大輸出力量為  $\pm 961$  kN，以提供實驗載重所需之側位移。四組試體衝程皆設定為  $\pm 240$  mm，且試驗進行時之加載速率為 1.25 mm/sec，同時將油壓制動器所輸出之力量及位移，以每秒得到 1 筆數據之速率傳遞至資料擷取系統。

### 2.5.2 資料擷取系統

本試驗所使用的資料擷取系統為 THS-1100 高速資料擷取收集紀錄盒，每秒鐘約可以收集 1000 組數據，配合可接收 50 組數據線的高速 SHW-50D 切換器，與擷取資料軟體 Visual Log-Static Measurement Software，可接收各種量測儀器所傳回的數據資料，而本試驗所裝置的量測儀器約有 100 組左右。

### 2.5.3 試驗載重歷時

油壓制動器載重加載歷時如圖 2.5 所示，試驗過程中造成上翼板受壓，而下翼板受拉時定義為正方向，且梁端之位移除以梁端距柱中心之距離(4000 mm)，定義為正層間側位移角，反之，上翼板受拉且下翼板受壓時為負方向，對應負層間側位移角，當達到每個新階段的最大正負層間側位移角時，將實驗暫停並進行觀察與紀錄。

## 2.6 試體量測規劃

本研究為了瞭解梁柱接頭在反覆載重下的細部行為，四組試體其應變計與位移計的設置如圖 2.12 至圖 2.14 所示，由於傳統未補強梁柱接頭其破壞多來自梁翼與柱板接合之焊道發生斷裂，故於梁翼近柱面 60 mm 處設置五個應變計，以便觀察試體於補強前後梁翼軸向應變的變化。實驗所採用的量測儀器分為：(1) 單向應變計(以 S 為標示)，量測梁柱接頭區之梁翼板應變及加勁板應變。(2) 三向應變計(以 R 為標示)，量測加勁板及梁柱交會區的剪應變。(3) 位移計(以 L 為標示)，量測梁、柱及梁柱交會區之變位，因此於柱板上、梁柱腹板交會區設置四個位移計。



油壓制動器施以側力後所產生的梁端總位移  $\delta_{total}$  是由四種不同的變形分量所組成的(Uang and Bonded ,1996):依序為梁柱交會區剪力變形所致的梁端位移  $\delta_{pz}$ 、柱撓曲變形所致的梁端位移  $\delta_c$ 、梁本身的彈性變形及梁產生塑鉸之後分別引起的梁端位移  $\delta_{be}$  和  $\delta_{bp}$ ，其關係式為：

$$\delta_{total} = \delta_{pz} + \delta_c + \delta_{be} + \delta_{bp} \quad (2-17)$$

1. 梁柱交會區因剪力變形所造成之側向位移  $\delta_{pz}$ ：

假設當梁端正層間側位移角產生時，必然造成上翼板受壓且下翼板受拉之情形，反之亦然，進而梁柱交會區得到一剪應變  $\gamma$  如圖 2.16 所示，其量測方式可藉由裝設在梁柱交會區的兩組位移計  $L_3$ 、 $L_4$  ( $\pi$  Gage) 所求得：

$$\gamma = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2ab} \cdot (\delta_4 - \delta_3) \quad (2-18)$$

其中  $\delta_3$  及  $\delta_4$  為交會區對角線之相對位移， $a$  與  $b$  分別則為交會區之長與深。但真正實驗進行時，必須考慮柱的兩端為固定不動之鉸接，因此圖 2.17 所示之試體，將作一剛體旋轉如圖 2.18，進而藉由  $\gamma$  可求得梁柱交會區所造成之側向位移：

$$\delta_{pz} = \gamma L_b - \frac{\gamma d_b}{H} \left( L_b + \frac{d_c}{2} \right) \quad (2-19)$$

其中  $L_b$  為油壓制動器中心至柱面之距離(3786 mm)、 $d_b$  及  $d_c$  分別為梁及柱深、 $H$  則為柱高(4000 mm)。

2. 柱因撓曲變形所致的梁端位移  $\delta_c$ ：

$$\theta_c = \frac{(\delta_1 - \delta_2)}{d_b} - \gamma \left( 1 - \frac{d_b}{H} \right) \quad (2-20)$$

$\theta_c$  為柱的變形轉角，其中  $\delta_1$  及  $\delta_2$  (圖 2.15) 為架設在柱板上之兩組拉線式位移計  $L_1$ 、 $L_2$  (圖 2.12) 所量測之位移變化量，利用柱的變形轉角可求得柱因撓曲變形所致的梁端位移  $\delta_c$ ：

$$\delta_c = \theta_c \left( L_b + \frac{d_c}{2} \right) \quad (2-21)$$

3. 梁本身的彈性變形及梁產生塑鉸之後分別引起的梁端位移  $\delta_{be}$  和  $\delta_{bp}$ ：

梁彈性變形所致之梁端位移分量  $\delta_{be}$ ，可由材料力學中當懸臂梁梁端受一側力時，會產生一側向位移，如下式：

$$\delta_{be} = \frac{FL^3}{3EI} \left( \frac{L_b}{L} \right) \quad (2-22)$$

其中  $F$  為油壓制動器所提供之側力、 $E$  為梁之彈性模數、 $I$  為梁之慣性矩。最後，當梁塑鉸產生時所致梁端位移分量可由下式所求得：

$$\delta_{bp} = \delta_{total} - \delta_{pz} - \delta_c - \delta_{be} \quad (2-23)$$

# 第三章 IFS 補強前後之梁柱接頭試體實驗結果與分析

## 3.1 前言

本研究梁柱接頭試體共四組，其中一組為未加勁之傳統梁柱接頭，試體編號 UR，而以梁翼內側加勁板(IFS)為補強方式之試體共三組，試體編號為 IFS1-3，每組補強試體均由鋼柱，鋼梁以及加勁板、交會區疊合板組合而成，且鋼柱採用 H 型柱、鋼梁為 I 型梁。3.2 節介紹試體之製作，3.3 節介紹試體 UR 試驗結果與分析，3.4 節介紹試體 IFS1 試驗結果與分析，3.5 節介紹試體 IFS2 試驗結果與分析，3.6 節介紹試體 IFS3 試驗結果與分析，3.7 節為試體 IFS 試驗結果與分析比較。

## 3.2 各試體製作

本研究四組試體均由鴻舜鋼鐵廠負責製作，編號 IFS1 之試體運送至國家地震工程研究中心實驗室前，已於鴻舜鋼鐵廠將鋼梁、鋼柱、加勁板以及疊合板焊接組裝完成，而編號分別為 UR、IFS2 及 IFS3 之三組試體則均於國震中心實驗室焊接組裝完成，各試體梁翼板與柱板及交會區橫隔板焊道經 UT 檢測為可接受之接頭(照片 3.1 及照片 3.2)。試體 IFS1 於實驗結束後將鋼梁切除並於另一側之柱翼板與試體 UR 之鋼梁焊接接合，故試體 UR 所使用的柱與試體 IFS1 相同，且試體 IFS2 與試體 IFS3 亦如此製作。

## 3.3 試體 UR 試驗結果

### 3.3.1 試驗現象觀察

試體UR試驗前之全景如照片 3.3所示，圖 3.1(a)為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到實驗載重歷時(圖 2.5)中每個新階段的最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板及腹板之降伏挫屈情形、梁柱交會區疊合板及橫隔板的降伏情形，有關試驗過程中試體的行為描述如下：

(1) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度至  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度：

試體保持彈性，梁、柱及梁柱交會區均無發現任何降伏現象發生。

(2) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度：

位移角  $\theta = -0.75\%$  弧度時，梁上翼板受拉造成距柱面 60 mm 處產生輕微降伏(照片 3.4)。位移角  $\theta = +0.75\%$  弧度時，梁腹板於剪力板下方之接合處產生降伏(照片 3.5)。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 1\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大至由柱面算起 250 mm 處。位移角  $\theta = +1\%$  弧度時，梁下翼板受拉造成距柱面 300 mm 範圍內產生降伏(照片 3.6)，下翼板內側之降伏情況較為嚴重其範圍由柱面算起至 550 mm 處(照片 3.7)，而梁腹板於扇形開口處產生輕微降伏(照片 3.8)，且柱板位於梁下翼板焊道外側處亦產生降伏(照片 3.9)。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1.5\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大至由柱面算起 550 mm 處。位移角  $\theta = +1.5\%$  弧度時，梁下翼板之降伏降伏範圍擴大(照片

3.10)，且梁下翼板內側與腹板降伏範圍擴大至距柱面 1000 mm處(照片 3.11)。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 2\%$  弧度：

位移角  $\theta = -2\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大至由柱面算起 1000 mm處，且上翼板與柱板接合之焊道其左右兩側均產生一微小裂縫(照片 3.12)。位移角  $\theta = +2\%$  弧度時，梁下翼板之降伏情況更加嚴重(照片 3.13)，且下翼板與柱板接合之焊道其右側產生一微小裂縫(照片 3.14)。

(6) 層間側位移角  $\theta = \pm 3\%$  弧度：

位移角  $\theta = -3\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍持續擴大(照片 3.15)，且梁腹板與剪力板產生明顯相對位移約 3 mm(照片 3.16)。位移角  $\theta = +3\%$  弧度時，梁下翼板嚴重降伏且範圍持續擴大(照片 3.17)，此時試體並未發生任何挫屈情形(照片 3.18)。

(7) 層間側位移角  $\theta = \pm 4\%$  弧度：

位移角  $\theta = -4\%$  弧度第一圈時，上翼板左右兩側與焊道交界處產生較大之裂縫(照片 3.19及照片 3.20)，且梁上翼板於扇形開口處產生明顯凹陷(照片 3.21)，以及上翼板與腹板於扇形開口處產生開裂(照片 3.22)。位移角  $\theta = +4\%$  弧度第一圈時，梁下翼板與腹板於扇形開口處亦產生開裂(照片 3.23)，下翼板左右兩側與焊道交界處產生較大之裂縫(照片 3.24及照片 3.25)。在往位移角  $\theta = -4\%$  弧度第二圈的過程中，梁上翼板由右側處裂縫持續擴大延伸至扇形開口處再至左側翼板母材

完全斷裂(照片 3.26)，此時將油壓制動器之力量歸零後停止油壓制動器的控制並結束實驗。實驗結束時發現梁上翼板完全斷裂，梁下翼板僅出現大範圍降伏且翼板右側切角處與扇形開口處產生裂縫，梁柱交會區始終保持彈性並無任何降伏情形，照片 3.27 為試體最大位移角之全景。

### 3.3.2 整體反應

#### 彎矩與梁端位移關係

試體UR其彎矩與梁端位移關係圖 3.1(a)所示，位移角 $\theta = \pm 0.5\%$ 弧度前試體保持在彈性範圍內，位移角 $\theta = -0.5\%$ 弧度時之最大彈性彎矩為 908 kN-m，位移角 $\theta = +0.5\%$ 弧度時之最大彈性彎矩為 801 kN-m，將實驗 0.5% 弧度前之遲滯迴圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 172363 kN-m。當位移角超過 $\theta = \pm 0.5\%$ 弧度時，由於鋼梁未發生挫屈，所以彎矩隨著實驗載重歷時的改變而不斷增加，行進至位移角 $\theta = -4\%$ 弧度第一圈時，達到最大之負彎矩為 2470 kN-m，接著至位移角 $\theta = +4\%$ 弧度第一圈時，達到最大之正彎矩為 2430 kN-m。

#### 彎矩與梁端位移分量

試體UR的整體轉角主要由梁、柱及梁柱交會區所貢獻，如 2.6 節各位移計所量測的數據可分別計算出試體UR各梁端位移分量 $\delta_{pz}$ 、 $\delta_c$ 、 $\delta_{be}$ 、 $\delta_{bp}$ ，圖 3.2(a)為試體UR彎矩與柱轉角分量關係圖，柱所造成的最大轉角約為 0.0029 rad，圖 3.3(a)為試體UR彎矩與交會區剪力變形關係圖，梁柱



交會區最大剪力變形約為 0.0028 rad，且由圖 3.4(a)可知，梁端大部分的位移主要是由梁本身的彈性變形及梁產生塑鉸之後分別引起的梁端位移  $\delta_{be}$  和  $\delta_{bp}$  所貢獻，柱及梁柱交會區所提供的位移分量  $\delta_c$  及  $\delta_{pc}$  則很小。

### 3.3.3 局部反應

為了解試體 UR 在每一個位移角梁翼應變之變化，所以本研究在梁上下翼板配置許多應變計，目的在於了解未加勁梁柱接頭區，其距柱面 6 cm 處梁翼縱向應變所能承受之最大應變為何，以及梁翼板於橫向應變之分佈以得到塑鉸產生之位置。

#### 1. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

試體 UR 其彎矩與梁上下翼板於近柱面 6 cm 處之縱向應變關係分別如圖 3.5 及圖 3.6 所示，由圖中可發現梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，且拉應變明顯大於壓應變，在梁端不斷的反覆載重作用力之下，迅速地累積其殘餘拉應變，其中梁上翼板與扇形開口接合處於  $\theta = -3.85\%$  弧度時(彎矩約為 -2462 kN-m)發生頸縮現象(照片 3.21 及照片 3.22)，故造成應變計 S12 失效，當位移角為負方向時(Negative Bending)，梁上下翼板縱向應變之分佈如圖 3.7(a)所示，而位移角為正方向時(Positive Bending)，梁上下翼板縱向應變之分佈如圖 3.7(b)，由圖 3.7 可看出破壞前之最大拉應變發生在位移角  $\theta = -4\%$  弧度時(彎矩約為 -2470 kN-m)，梁上翼板應變計 S11 所測得之 11.4%，約為 54 倍之梁翼降伏應變，且由圖 3.7(b)可看出梁翼板拉應變與壓應變不對稱的關係，造成位移角  $\theta = +4\%$  弧度時，梁上翼板仍殘留了負彎矩時所產生之拉應變。

## 2. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

試體UR其彎矩與梁上下翼板於各位置之橫向應變關係分別如圖 3.8 及圖 3.9所示，由此二圖可看出近柱面 6 cm處之應變計S12 及S3 相較於其它遠離柱面之應變計，具有明顯拉應變與壓應變不對稱之關係，因此容易造成殘餘拉應變的累積，這就是為何傳統未補強梁柱接頭容易在此處發生斷裂的原因。圖 3.10為梁上下翼板橫向應變分佈情形，當翼板受拉時，其最大拉應變發生於近柱面位置處，當翼板受壓時，各位置之壓應變均相當接近。

## 3.4 試體 IFS1 試驗結果

### 3.4.1 試驗現象觀察

#### 3.4.1.1 第一次試驗現象觀察

試體IFS1 第一次試驗前全景如照片 3.28所示，圖 3.1(b)為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到實驗載重歷時(圖 2.5)中每個新階段的最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板及腹板之降伏挫屈情形、加勁板、梁柱交會區疊合板及橫隔板的降伏情形，有關試驗過程中試體的行為描述如下：

(1) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度至  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度：

試體保持彈性，梁、柱及梁柱交會區均無發現任何降伏現象發生。

(2) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度：

位移角  $\theta = -0.75\%$  弧度時，梁下翼板受壓造成距柱面 300 mm範圍內產生輕微降伏(照片 3.29)。位移角  $\theta = +0.75\%$  弧度時，梁腹板於剪力

板下方之接合處以及距離加勁板端部 40 mm處產生降伏(照片 3.30)。位移角 $\theta=0.75\%$ 弧度結束時，由於梁翼板力量傳遞至柱內橫隔板，故造成背側柱翼板受到撓曲並於上下橫隔板位置處產生降伏(照片 3.31及照片 3.32)，且梁下翼板內側於加勁板範圍內亦產生輕微降伏。

(3) 層間側位移角 $\theta=\pm 1\%$ 弧度:

位移角 $\theta=+1\%$ 弧度時，梁與腹板降伏範圍擴大至距柱面 725 mm處(照片 3.33)，且下翼板內側降伏範圍增加。

(4) 層間側位移角 $\theta=\pm 1.5\%$ 弧度:

位移角 $\theta=-1.5\%$ 弧度時，梁下翼板、梁腹板及梁下翼板內側之降伏範圍擴大(照片 3.34及照片 3.35)。位移角 $\theta=+1.5\%$ 弧度時，梁上翼板於距柱面 300 mm處出現輕微降伏(照片 3.36)。

(5) 層間側位移角 $\theta=\pm 2\%$ 弧度:

位移角 $\theta=-2\%$ 弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大距柱面 150 mm處(照片 3.37)。位移角 $\theta=+2\%$ 弧度結束時，梁翼板及腹板之降伏情況更加嚴重，但加勁板及梁柱交會區依然保持彈性無降伏現象發生(照片 3.38)，且梁翼與柱板接合之焊道未發現細微之裂縫。

(6) 層間側位移角 $\theta=\pm 3\%$ 弧度:

位移角 $\theta=-3\%$ 弧度時，梁上翼板之降伏範圍持續擴大(照片 3.39)。

位移角 $\theta=+3\%$ 弧度時，梁下翼板之降伏範圍持續擴大(照片 3.40)

(7) 層間側位移角 $\theta=\pm 4\%$ 弧度:

位移角  $\theta = -4\%$  弧度時，照片 3.41 及照片 3.42 分別為第一次試驗結束前梁上翼板及背側柱翼板之降伏情形。位移角  $\theta = +4\%$  弧度時，由於梁上翼板受壓故於加勁板端部產生輕微裂縫(照片 3.43)並於加勁板端部出現輕微挫屈(照片 3.44 及照片 3.45)，梁腹板於距離加勁板端部 175 mm 處輕微挫屈幅度約為 2 mm(照片 3.45)，照片 3.46 為試體第一次試驗結束前最大位移角之全景，加勁板及梁柱交會區依然保持彈性無降伏現象發生。

### 3.4.1.2 第二次試驗現象觀察

因試體 IFS1 於第一次試驗結束後，由試驗觀察現象得知梁翼及梁腹板挫屈現象均不明顯，因此將試體 IFS1 進行第二次試驗，且由於第一次試驗觀察到加勁板與梁接合之焊道端部有裂縫產生，所以在進行第二次試驗前，將加勁板與梁翼接合之焊道裂縫先用焊液進行修補(照片 3.47)，本次觀察重點在於梁上下翼板及腹板之挫屈情形，當達到每個新階段的層間側位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，照片 3.48 為試體 IFS1 第二次試驗前之全景。

(1) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度至  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度：

試體之降伏及挫屈情形與第一次試驗結束時相同。

(2) 層間側位移角  $\theta = \pm 2\%$  弧度至  $\theta = \pm 3\%$  弧度：

位移角  $\theta = 2\%$  弧度結束時，梁翼板焊道與加勁板焊道交界處產生約 10 mm 之微小裂縫(照片 3.49)。位移角  $\theta = +3\%$  弧度結束時，焊道裂縫情形相同。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 4\%$  弧度：

位移角  $\theta = 4\%$  弧度結束時，梁上翼板於距柱面 120 cm 範圍內產生側向扭轉挫屈(照片 3.50)，梁腹板於塑鉸處之挫屈幅度相較於第一次試驗結束時由 2 mm 增加為 5 mm，且梁下翼板與加勁板端部之接合處開裂(照片 3.51)，柱翼板與加勁板端部接合處亦產生裂痕(照片 3.52)。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 5\%$  弧度：

位移角  $\theta = 5\%$  弧度結束時，梁上翼板於塑鉸處之局部挫屈幅度相較於第一次試驗結束時由 3 mm 增加為 40 mm(照片 3.53)，梁腹板於塑鉸處之挫屈幅度則由位移角  $\theta = 4\%$  弧度結束時之 5 mm 增加為 35 mm，此時試體已超過 AISC(2005) 耐震設計規範所規定的位移歷時至 4% 弧度層間側位移角，為避免破壞柱子影響下一組試體 UR 進行試驗，故將油壓制動器之力量歸零後停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 3.54 為梁翼最終之側向扭轉挫屈情形，其幅度約為 40 mm，照片 3.55 為試體第二次試驗結束前最大位移角之全景，加勁板及梁柱交會區依然保持彈性無降伏現象發生。

### 3.4.2 整體反應

#### 彎矩與梁端位移關係

試體 IFS1 其彎矩與梁端位移關係如圖 3.1(b) 所示，位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度前試體保持在彈性範圍內，位移角  $\theta = -0.5\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 961 kN-m，位移角  $\theta = +0.5\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 899 kN-m，將實驗之遲滯迴圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 188428 kN-m，約



較試體UR的彈性勁度增加 9%。當位移角超過 $\theta = \pm 0.5\%$ 弧度時，由於鋼梁未發生挫屈，所以彎矩隨著實驗載重歷時的改變而不斷增加，行進至位移角 $\theta = -4\%$ 弧度第一圈時，達到第一次試驗結束前之最大負彎矩為 2697 kN-m，接著至位移角 $\theta = +4\%$ 弧度第一圈時，達到第一次試驗結束前之最大正彎矩為 2703 kN-m，約較試體UR增加 11%的彎矩強度。第二次試驗行進至位移角 $\theta = 4\%$ 弧度時，鋼梁開始產生面外位移並於梁腹板及加勁板端部產生局部挫屈，故彎矩增加幅度趨於平緩，行進至位移角 $\theta = -5\%$ 弧度第一圈時，達到第二次試驗結束前之最大負彎矩為 2793 kN-m，接著至位移角 $\theta = +5\%$ 弧度第一圈時，達到第二次試驗結束前之最大正彎矩為 2810 kN-m。

### 彎矩與梁端位移分量

試體IFS1 的整體轉角主要由梁、柱及梁柱交會區所貢獻，如 2.6 節各位移計所量測的數據可分別計算出試體IFS1 各梁端位移分量 $\delta_{pz}$ 、 $\delta_c$ 、 $\delta_{be}$ 、 $\delta_{bp}$ ，圖 3.2(b)為試體IFS1 彎矩與柱轉角分量關係圖，柱所造成的最大轉角約為 0.0022 rad，圖 3.3(b)為試體IFS1 彎矩與交會區剪力變形關係圖，梁柱交會區最大剪力變形約為 0.0047 rad，且由圖 3.4(b)可知，梁端大部分的位移主要是由梁本身的彈性變形及梁產生塑鉸之後分別引起的梁端位移 $\delta_{be}$ 和 $\delta_{bp}$ 所貢獻，柱及梁柱交會區所提供的位移分量 $\delta_c$ 及 $\delta_{pz}$ 則很小。

### 3.4.3 局部反應

為了解試體 IFS1 其梁翼板及加勁板應變於各層間位移角之變化，所



以本研究在梁上下翼板及加勁板配置許多應變計，目的在於了解進行加勁板補強後之梁柱接頭，距柱面 6 cm 處之梁翼板縱向應變分佈及所能承受之最大應變為何，梁翼板橫向應變之分佈則是為了觀測塑鉸是否因補強後而遠離柱面，而加勁板應變計的配置主要是方便計算加勁板之降伏範圍及彎矩貢獻。

## 1. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

試體IFS1 其彎矩與梁上下翼板於近柱面 6 cm處之翼板縱向應變分別如圖 3.11及圖 3.12所示，由圖中可發現梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，且由於梁端位移先往負層間側位移角移動，使得上翼板先受拉再受壓，當試體進入非線性行為時，上翼板容易先發生拉降伏的情形，故造成應變計S11~S13 其拉應變明顯大於壓應變，外側應變計S10 及S14 則由於受到梁翼兩側加勁板的束制造成其拉應變因此較低，反之，由於下翼板先受壓再受拉，當試體進入非線性行為時，下翼板容易先發生壓降伏的情形，故造成下翼板應變計其壓應變明顯大於拉應變。當位移角為負方向時(Negative Bending)，梁上下翼板縱向應變之分佈如圖 3.13(a)，而位移角為正方向時(Positive Bending)，梁上下翼板縱向應變之分佈如圖 3.13 (b)，由圖 3.13可看出試體IFS1 其最大拉應變發生在位移角 $\theta = -4\%$ 弧度時(彎矩約為-2697 kN-m)，梁上翼板應變計S11 及S12 所測得之 0.98%，約為 4.6 倍之梁翼降伏應變。

## 2. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

試體IFS1 其彎矩與梁上下翼板於沿梁翼板之橫向應變關係分別如圖

3.14及圖 3.15所示，圖 3.16則為梁上下翼板橫向應變分佈情形，經過加勁板補強後的IFS1 試體，其塑鉸位置已遠離柱面並出現於距加勁板端部 170 mm處，也就是梁上翼板應變計S16 及梁下翼板應變計S7 所在之位置，其分別所測得之最大拉應變為 1.84%及 1.75%，最大壓應變則分別為 1.01% 及 1.18%。

### 3. 加勁板應變分佈

試體IFS1 其彎矩與加勁板各位置之應變關係如圖 3.17及圖 3.18所示，圖 3.19則為加勁板沿梁深之應變分佈，當位移角 $\theta=4\%$ 弧度時可發現加勁板均未超過鋼材降伏應變，且加勁板最大拉應變由梁下翼加勁板應變計R1-1 所測得為 0.16%。而圖 3.20為加勁板沿梁深之應力分佈，乃利用圖 3.19加勁板應力分佈對應其材料特性所求得。

## 3.5 試體 IFS2 試驗結果

### 3.5.1 試驗現象觀察

#### 3.5.1.1 第一次試驗現象觀察

試體IFS2 第一次試驗前全景如照片 3.56所示，圖 3.1(c)為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到實驗載重歷時(圖 2.5)中每個新階段的最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板及腹板之降伏挫屈情形、加勁板、梁柱交會區疊合板及橫隔板的降伏情形，有關試驗過程中試體的行為描述如下：

(1) 層間側位移角 $\theta = \pm 0.375\%$ 弧度：

試體保持彈性，梁、柱及梁柱交會區均無發現任何降伏現象發生。

(2) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = -0.5\%$  弧度時，梁下翼板受壓造成距柱面 300 mm 範圍內產生輕微降伏(照片 3.57)，且由於梁翼板力量傳遞至柱內橫隔板，故造成背側柱翼板受到撓曲並於上下橫隔板位置處產生降伏(照片 3.58)，梁上翼板內側由於受拉造成加勁板範圍內產生輕微降伏(照片 3.59)，位移角  $\theta = 0.5\%$  弧度結束時，發現梁下翼板降伏情形延伸至距柱面 30 mm 處。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度至  $\theta = \pm 1\%$  弧度：

位移角  $\theta = 0.75\%$  弧度結束時，梁上翼板於距柱面 120 mm 處出現輕微降伏，梁下翼板之降伏情形則由加勁板端部之 300 mm 範圍內延伸至距柱面 350 mm 處，梁腹板於剪力板下方之接合處因受拉產生輕微降伏，背側柱翼板之降伏情形加重。位移角  $\theta = 1\%$  弧度結束時，梁上翼板於加勁板範圍內之降伏情形更為嚴重，梁下翼板之降伏情形則延伸至距柱面 600 mm 處。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度至  $\theta = \pm 2\%$  弧度：

位移角  $\theta = -2\%$  弧度時，照片 3.60 為試體梁上翼板之降伏情形，梁腹板之降伏範圍則延伸至距柱面 1000 mm 處(照片 3.61)，且梁腹板於近扇形開口處亦出現降伏(照片 3.62)，梁下翼板之降伏情形則由距柱面 600 mm 處延伸至 900 mm 處(照片 3.63)。位移角  $\theta = +2\%$  弧度時，梁下翼板受拉導致其降伏情形由距柱面 900 mm 延伸至 1100 mm。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 3\%$  弧度：

位移角  $\theta = -3\%$  弧度時，梁上腹板受拉與剪力板出現 1 mm 之相對位移（照片 3.64），下方加勁板則於近焊道交界處出現輕微降伏（照片 3.65）。位移角  $\theta = +3\%$  弧度時，柱翼板於梁上翼板焊道附近出現輕微降伏（照片 3.66），此時之柱翼板出現輕微之變形（照片 3.67），柱翼板之撓曲變形亦伴隨著加勁板後方之柱翼板內側產生輕微之降伏（照片 3.68）。

(6) 層間側位移角  $\theta = \pm 4\%$  弧度：

位移角  $\theta = -4\%$  弧度時，照片 3.69 為加勁板之降伏情形，照片 3.70 為梁上翼板之降伏情形。位移角  $\theta = +4\%$  弧度時，照片 3.71 為梁下翼板之降伏情形，此時發現梁腹板有 1 mm 幅度的輕微挫屈。位移角  $\theta = 4\%$  弧度結束時，於各加勁板端部均發現輕微裂痕（照片 3.72），此時試體已滿足 AISC(2005) 耐震設計規範所規定的位移歷時至 4% 弧度層間側位移角下，梁柱焊道未發生破壞，故將油壓制動器之力量歸零後停止油壓制動器的控制並結束實驗。照片 3.73 為試體第一次試驗結束前最大位移角之全景，梁柱交會區依然保持彈性無降伏現象發生。

### 3.5.1.2 第二次試驗現象觀察

因試體 IFS2 於第一次試驗結束後，由試驗觀察現象得知梁翼及梁腹板挫屈現象均不明顯，因此將試體 IFS2 進行第二次試驗，且由於第一次試驗觀察到加勁板與梁接合之焊道端部有裂縫產生，所以在進行第二次試驗

前，將加勁板與梁翼接合之焊道裂縫也用焊道進行修補(照片 3.74)，本次觀察重點在於梁上下翼板及腹板之挫屈情形，當達到每個新階段的層間側位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄。

(1) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度：

試體之降伏及挫屈情形與第一次試驗結束時相同。

(2) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度至  $\theta = \pm 1\%$  弧度：

位移角  $\theta = 0.5\%$  弧度結束時，發現梁上翼板右側母材和梁柱焊道交界處出現微小裂痕(照片 3.75)。位移角  $\theta = -1\%$  弧度時，梁上翼板左側母材和梁柱焊道交界處亦出現相同之微小裂痕。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度至  $\theta = \pm 3\%$  弧度：

位移角  $\theta = -2\%$  弧度時，發現梁下翼板於加勁板端部產生 1 mm 幅度輕微挫屈，梁腹板則於塑鉸處產生輕微挫屈，其幅度與第一次試驗結束時相同約為 1 mm。位移角  $\theta = 3\%$  弧度結束時，梁上翼板母材和梁柱焊道交界處之裂痕並無明顯變大。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 4\%$  弧度：

位移角  $\theta = -4\%$  弧度時，梁上腹板受拉與剪力板產生相對位移約 1 mm，梁腹板挫屈幅度則由 1 mm 增為 2 mm，且柱翼板於下加勁板深度中心處內凹約 1 mm(照片 3.76)。位移角  $\theta = 4\%$  弧度結束時，梁下翼板母材和梁柱焊道交界處亦發現相同之裂痕(照片 3.77)。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 5\%$  弧度：

位移角  $\theta = -5\%$  弧度第一圈時，梁下翼板於加勁板端部之局部挫屈幅



度由 1 mm 增加為 5 mm (照片 3.78)，梁下翼板發生側向扭轉挫屈情形 (照片 3.80)，梁腹板於塑鉸處之挫屈幅度則由 2 mm 增為 7 mm (照片 3.79)，此時加勁板端部亦產生較大之開裂 (照片 3.81)，其裂痕長度約為 20 mm。位移角  $\theta = -5\%$  弧度第二圈時，梁上翼板母材於近柱面約 30 mm 處發生斷裂 (照片 3.82)，並且伴隨著柱翼板母材之開裂 (照片 3.83)，此時將油壓制動器之力量歸零後停止油壓制動器的控制並結束實驗，而照片 3.84 為試體第二次試驗結束前最大位移角之全景，梁柱交會區依然保持彈性無降伏現象發生。

### 3.5.2 整體反應

#### 彎矩與梁端位移關係

試體 IFS2 其彎矩與梁端位移關係如圖 3.1(c) 所示，位移角  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度前試體保持在彈性範圍內，位移角  $\theta = -0.375\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 649 kN-m，位移角  $\theta = +0.375\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 690 kN-m，將實驗之遲滯迴圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 179320 kN-m，約提升試體 UR 彈性撓曲勁度 4%。當位移角超過  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度時，由於鋼梁未發生明顯挫屈，所以彎矩隨著實驗載重歷時的改變而不斷增加，行進至位移角  $\theta = -4\%$  弧度第一圈時，達到第一次試驗結束前之最大負彎矩為 2805 kN-m，接著至位移角  $\theta = +4\%$  弧度第一圈時，達到第一次試驗結束前之最大正彎矩為 2863 kN-m，比試體 UR 的彎矩增加約 18%。第二次試驗行進至位移角  $\theta = 4\%$  弧度時，鋼梁開始產生面外位移，且梁腹



板及加勁板端部無嚴重挫屈情形，故彎矩增加幅度未明顯下降，行進至位移角  $\theta = -5\%$  弧度第一圈時，達到第二次試驗結束前之最大負彎矩為 2973 kN-m，接著至位移角  $\theta = +5\%$  弧度第一圈時，達到第二次試驗結束前之最大正彎矩為 2983 kN-m。

### 彎矩與梁端位移分量

試體IFS2 的整體轉角主要由梁、柱及梁柱交會區所貢獻，如 2.6 節各位移計所量測的數據可分別計算出試體IFS2 各梁端位移分量  $\delta_{pz}$ 、 $\delta_c$ 、 $\delta_{be}$ 、 $\delta_{bp}$ ，圖 3.2(c) 為試體IFS2 彎矩與柱轉角分量關係圖，柱所造成的最大轉角約為 0.0038 rad，圖 3.3(c) 為試體IFS2 彎矩與交會區剪力變形關係圖，梁柱交會區最大剪力變形約為 0.0041 rad，且由圖 3.4(c) 可知，梁端大部分的位移主要是由梁本身的彈性變形及梁產生塑鉸之後分別引起的梁端位移  $\delta_{be}$  和  $\delta_{bp}$  所貢獻，柱及梁柱交會區所提供的位移分量  $\delta_c$  及  $\delta_{pz}$  則很小。

### 3.5.3 局部反應

為了解試體 IFS2 其梁翼板及加勁板應變於各層間位移角之變化，所以本研究在梁上下翼板及加勁板配置許多應變計，目的在於了解進行加勁板補強後之梁柱接頭，距柱面 6cm 處之梁翼板縱向應變分佈及所能承受之最大應變為何，梁翼橫向應變之分佈則是為了觀測塑鉸是否因補強後而遠離柱面，而加勁板應變計的配置主要是方便計算加勁板之降伏範圍及彎矩貢獻。

#### 1. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

試體IFS2 其彎矩與梁上下翼板於近柱面 6 cm處之縱向應變關係分別

如圖 3.21及圖 3.22所示，由圖中可發現梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，且由於梁端位移先往負層間側位移角移動，使得上翼板先受拉再受壓，當試體進入非線性行為時，上翼板容易先發生拉降伏的情形，故造成應變計S11~S13 其拉應變明顯大於壓應變，外側應變計S10 及S14 則由於受到梁翼兩側加勁板的束制造成其拉應變因此較低，由於下翼板先受壓再受拉，當試體進入非線性行為時，下翼板容易先發生壓降伏的情形，故造成下翼板應變計其壓應變明顯大於拉應變。當位移角為負方向時(Negative Bending)，梁上下翼板縱向應變之分佈如圖 3.23(a)所示，而位移角為正方向時(Positive Bending)，梁上下翼板縱向應變分佈則如圖 3.23(b)，由圖 3.23可看出試體IFS2 其最大拉應變發生在位移角 $\theta = -4\%$ 弧度時(彎矩約為-2805 kN-m)，梁上翼板應變計S13 所測得之 0.90%，約為 4.7 倍之梁翼降伏應變。

## 2. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

試體IFS2 其彎矩與梁上下翼板於橫向位置之橫向應變關係分別如圖 3.24及圖 3.25所示，圖 3.26則為梁上下翼板橫向應變分佈情形，經過加勁板補強後的IFS2 試體，其塑鉸位置已遠離柱面並出現於距加勁板端部 170 mm處，也就是梁上翼板應變計S16 及梁下翼板應變計S7 所在之位置，其分別所測得之最大拉應變為 1.68%及 1.74%，最大壓應變則分別為 0.96% 及 1.13%。

## 3. 加勁板應變分佈

試體IFS2 其彎矩與加勁板各位置之應變關係如圖 3.27及圖 3.28所

示，圖 3.29 則為加勁板沿梁深之應變分佈，由此圖可看出當位移角  $\theta = +3\%$  弧度時，梁下翼加勁板應變計 R1-1 已顯示降伏，且於位移角  $\theta = +4\%$  弧度時所測得之加勁板最大拉應變為 0.37%。圖 3.30 則為加勁板沿梁深之應力分佈，乃利用圖 3.29 加勁板應變分佈對應其材料特性所求得，由此圖可看出加勁板受拉及受壓時之降伏範圍，當位移角  $\theta = -4\%$  弧度時，梁下翼加勁板受壓時之最大降伏範圍由梁翼及加勁板接合處算起為 38.5 mm，當位移角  $\theta = +4\%$  弧度時，梁下翼加勁板受拉時之最大降伏範圍則為 65.7 mm。

### 3.6 試體 IFS3 試驗結果

#### 3.6.1 試驗現象觀察

##### 3.6.1.1 第一次試驗現象觀察

試體 IFS3 第一次試驗前全景如照片 3.85 所示，圖 3.1(d) 為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到實驗載重歷時(圖 2.5)中每個新階段的最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板及腹板之降伏挫屈情形、加勁板、梁柱交會區疊合板及橫隔板的降伏情形，有關試驗過程中試體的行為描述如下：

(1) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度：

位移角  $\theta = 0.375\%$  弧度結束時，梁上翼板於加勁板範圍內出現輕微的降伏(照片 3.86)，梁下翼板於加勁板範圍內亦出現輕微的降伏(照片 3.87)，且梁下翼板內側於距柱面 80 mm 處出現輕微降伏(照片 3.88)。

(2) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度至  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度：

位移角  $\theta=0.5\%$  弧度結束時，梁上翼板降伏情形維持不變，且梁上翼板內側於距柱面 40 mm 處出現輕微降伏，梁下翼板內側之降伏現象延伸至距柱面 140 mm 處(照片 3.89)，梁下翼板的降伏範圍則延伸至距柱面 700 mm 處(照片 3.90)，並且加勁板開始出現輕微降伏(照片 3.91)。

(3) 層間側位移角  $\theta=\pm 1\%$  弧度至  $\theta=\pm 2\%$  弧度：

位移角  $\theta=1\%$  弧度結束時，梁上下翼板各部位降伏情形相同。位移角  $\theta=-1.5\%$  弧度時，梁下翼板內側之降伏現象由距柱面 140 mm 處延伸至距柱面 1100 mm 處(照片 3.92)。  $\theta=-2\%$  弧度時，梁上下翼板之降伏範圍則延伸至距柱面 1200 mm 處(照片 3.93 及照片 3.94)，梁腹板之降伏範圍則延伸至距柱面 500 mm 之塑鉸處(照片 3.95)。  $\theta=+2\%$  弧度時，於交會區之背側柱翼板內側因撓曲而產生輕微降伏(照片 3.96)。

(4) 層間側位移角  $\theta=\pm 3\%$  弧度：

位移角  $\theta=-3\%$  弧度時，照片 3.97 為試體梁上翼板之降伏情形，梁腹板之降伏情形則屬塑鉸處最為嚴重(照片 3.98)，照片 3.99 為加勁板目前的降伏情形。位移角  $\theta=+3\%$  弧度時，交會區之疊合板開始出現輕微降伏(照片 3.100)，且梁下腹板受拉與剪力板出現 1 mm 之相對位移。

(5) 層間側位移角  $\theta=\pm 4\%$  弧度：

位移角  $\theta=-4\%$  弧度時，照片 3.101 為梁上翼板之降伏情形，且梁腹板出現幅度為 2 mm 的輕微挫屈(照片 3.102)，梁下翼板也出現幅度為 5

mm的輕微側向扭轉挫屈(照片 3.103)。位移角 $\theta = +4\%$ 弧度時，梁上翼板於加勁板端部出現幅度為 2 mm的局部挫屈。位移角 $\theta = 4\%$ 弧度結束時，交會區疊合板的降伏情形更為明顯(照片 3.105)，照片 3.106 則為加勁板的降伏情形，此時試體已滿足AISC(2005)耐震設計規範所規定的位移歷時至 4%弧度層間側位移角下，梁柱焊道未發生破壞且試體各部位皆未出現任何細微之裂痕，故將油壓制動器之力量歸零後停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 3.107為試體第一次試驗結束前最大位移角之全景。

### 3.6.1.2 第二次試驗現象觀察

因試體IFS3 於第一次試驗結束後，由試驗觀察現象得知梁翼及梁腹板挫屈現象均不明顯，因此將試體IFS3 進行第二次試驗，本次觀察重點在於梁上下翼板及腹板之挫屈情形，當達到每個新階段的層間側位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，照片 3.108為試體IFS3 第二次試驗前之全景。

(1) 層間側位移角 $\theta = \pm 0.375\%$ 弧度至 $\theta = \pm 0.75\%$ 弧度：

試體之降伏及挫屈情形與第一次試驗結束時相同。

(2) 層間側位移角 $\theta = \pm 1\%$ 弧度至 $\theta = \pm 2\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -1\%$ 弧度時，梁上翼板左側母材與梁柱焊道交界處出現細微之裂痕(照片 3.109)，且於近梁柱焊道右側的位置發現梁翼和加勁板接合之焊道出現裂痕(照片 3.110)。位移角 $\theta = -1.5\%$ 弧度時，發現



加勁板端部與梁上翼板接合處出現開裂的情形(照片 3.111)。位移角  $\theta=2\%$  弧度結束時，梁柱焊道與加勁板端部之裂縫情形維持不變。

(3) 層間側位移角  $\theta=\pm 3\%$  弧度至  $\theta=\pm 4\%$  弧度：

位移角  $\theta=-3\%$  弧度時，梁上翼板出現 3 mm 的輕微側向扭轉挫屈，梁下翼板則出現 5 mm 的輕微側向扭轉挫屈，梁腹板於塑鉸處出現幅度 3 mm 的輕微挫屈(照片 3.112)，梁下翼板於加勁板端部接合處出現微小裂痕(照片 3.113、照片 3.114 及照片 3.115)。位移角  $\theta=-4\%$  弧度時，梁腹板於塑鉸處之挫屈幅度由 3 mm 增加為 8 mm(照片 3.116)，而梁下翼板出現幅度約 10 mm 的撓曲變形(照片 3.117)，且伴隨著幅度約 10 mm 的側向扭轉挫屈(照片 3.118)。位移角  $\theta=+4\%$  弧度時，梁上翼板於加勁板端部出現幅度約 3 mm 的局部挫屈(照片 3.119)，照片 3.120 則為梁柱交會區疊合板的降伏情形，而梁下翼板於下勁板端部之裂痕長度約 30 mm(照片 3.121)。

(4) 層間側位移角  $\theta=\pm 5\%$  弧度：

位移角  $\theta=-5\%$  弧度時，梁腹板於塑鉸處的挫屈幅度由 8 mm 增加為 15 mm(照片 3.122)，梁下翼板於塑鉸處出現約 10 mm 的挫屈行為(照片 3.123)，且梁下翼板的側向扭轉挫屈幅度由 10 mm 增加為 15 mm(照片 3.124)。位移角  $\theta=+5\%$  弧度時，梁上翼板於加勁板端部之挫屈幅度由 3 mm 增加為 8 mm(照片 3.125)，而梁下翼板母材與梁柱焊道交界處則出現微小裂痕(照片 3.126)。

(5) 層間側位移角  $\theta=\pm 6\%$  弧度：



位移角 $\theta = -6\%$ 弧度第一圈時，照片 3.127 為加勁板的降伏情形，梁上翼板左右兩側的裂痕情形有明顯變大的趨勢(照片 3.128 及照片 3.129)，且梁下翼板母材於加勁板端部因翼板局部挫屈而出現明顯開裂(照片 3.130)，梁腹板於塑鉸處的挫屈幅度則由 15 mm 增加為 30 mm(照片 3.131)，梁下翼板於塑鉸處則出現內凹約 50 mm 幅度的局部挫屈(照片 3.132)。位移角 $\theta = +6\%$ 弧度第一圈時，梁上翼板於塑鉸處則出現外凸約 49 mm 幅度的局部挫屈，並發現交會區柱翼板內側於加勁板後方因撓曲出現降伏(照片 3.134)，上橫隔板上方之柱翼板內側亦出現降伏(照片 3.135)，照片 3.133 為梁上翼板最終的側向扭轉挫屈情形，當試體進行至位移角 $\theta = +6\%$ 弧度第二圈時，梁下翼板焊道與柱翼板交界處發生斷裂情形(照片 3.136、照片 3.137 及照片 3.138)，此時將油壓制動器之力量歸零後停止油壓制動器的控制並結束實驗，而照片 3.139 為梁柱交會區最終之降伏情形，照片 3.140 為試體第二次試驗結束前最大位移角之全景。

### 3.6.2 整體反應

#### 彎矩與梁端位移關係

試體 IFS3 其彎矩與梁端位移關係如圖 3.1(d) 所示，位移角 $\theta = \pm 0.375\%$ 弧度時，梁翼板已產生輕微降伏現象，故無法確切得到試體之最大彈性彎矩，但仍將實驗於位移角 $\theta = -0.2\%$ 弧度範圍內之遲滯迴圈作線性迴歸，可得此試體彈性撓曲勁度之接近值為 190592 kN-m。當位移角超過 $\theta = \pm 0.375\%$ 弧度時，由於鋼梁未發生明顯挫屈，所以彎矩隨著實

驗載重歷時的改變而不斷增加，行進至位移角 $\theta = -4\%$ 弧度第一圈時，達到第一次試驗結束前之最大負彎矩為 3414 kN-m，接著至位移角 $\theta = +4\%$ 弧度第一圈時，達到第一次試驗結束前之最大正彎矩為 3559 kN-m。第二次試驗行進至位移角 $\theta = 3\%$ 弧度時，鋼梁開始產生面外位移且梁腹板及加勁板端部均出現挫屈情形，位移角 $\theta = 4\%$ 弧度結束時，挫屈幅度逐漸加大，故彎矩增加幅度趨於平緩，行進至位移角 $\theta = -5\%$ 弧度第一圈時，達到第二次試驗結束前之最大負彎矩為 3475 kN-m，接著至位移角 $\theta = +5\%$ 弧度第一圈時，達到第二次試驗結束前之最大正彎矩為 3663 kN-m，最後行進至位移角 $\theta = \pm 6\%$ 弧度第一圈時，由於梁翼板出現嚴重挫屈，故彎矩明顯降低。

### 彎矩與梁端位移分量

試體IFS3 的整體轉角主要由梁、柱及梁柱交會區所貢獻，如 2.6 節各位移計所量測的數據可分別計算出試體IFS3 各梁端位移分量 $\delta_{pz}$ 、 $\delta_c$ 、 $\delta_{be}$ 、 $\delta_{bp}$ ，圖 3.2(d)為試體IFS3 彎矩與柱轉角分量關係圖，柱所造成的最大轉角約為 0.0032 rad，圖 3.3(d)為試體IFS3 彎矩與交會區剪力變形關係圖，梁柱交會區最大剪力變形約為 0.005 rad，且由圖 3.4(d)可知，梁端大部分的位移主要是由梁本身的彈性變形及梁產生塑鉸之後分別引起的梁端位移 $\delta_{be}$ 和 $\delta_{bp}$ 所貢獻，柱及梁柱交會區所提供的位移分量 $\delta_c$ 及 $\delta_{pz}$ 則很小。

### 3.6.3 局部反應

為了解試體 IFS3 其梁翼板及加勁板應變於各層間位移角之變化，所

以本研究在梁上下翼板及加勁板配置許多應變計，目的在於了解進行加勁板補強後之梁柱接頭，鋼梁材質由 A573.Gr50 取代 A36 後，距柱面 6 cm 處之梁翼板縱向應變分佈及所能承受之最大應變為何，梁翼橫向應變之分佈則是為了觀測塑鉸是否因補強後而遠離柱面，而加勁板應變計的配置主要是方便計算加勁板之降伏範圍及彎矩貢獻。

## 1. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

試體IFS3 其彎矩與梁上下翼板於近柱面 6 cm處之縱向應變關係分別如圖 3.31及圖 3.32所示，由圖中可發現梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，且由於梁端位移先往負層間側位移角移動，使得上翼板先受拉再受壓，當試體進入非線性行為時，上翼板容易先發生拉降伏的情形，故造成應變計S11~S13 其拉應變明顯大於壓應變，外側應變計S10 及S14 則由於受到梁翼兩側加勁板的束制造成其拉應變因此較低，反之，由於下翼板先受壓再受拉，當試體進入非線性行為時，下翼板容易先發生壓降伏的情形，故造成下翼板應變計其壓應變明顯大於拉應變。當位移角為負方向時(Negative Bending)，梁上下翼板縱向應變之分佈如圖 3.33(a)，而位移角為正方向時(Positive Bending)，梁上下翼板縱向應變之分佈如圖 3.33(b)，由圖 3.33可看出試體IFS2 其最大拉應變發生在位移角 $\theta = -4\%$ 弧度時(彎矩約為-3414 kN-m)，梁上翼板應變計S11 所測得之 0.86%，約為 4.5 倍之梁翼降伏應變。

## 2. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

試體IFS3 其彎矩與梁上下翼板於梁橫向各位置之應變關係分別如圖

3.34及圖 3.35所示，圖 3.36則為梁上下翼板橫向應變分佈情形，經過加勁板補強後的IFS3 試體，其塑鉸位置已遠離柱面並出現於距加勁板端部 170 mm處，也就是梁上翼板應變計S16 及梁下翼板應變計S7 所在之位置，其分別所測得之最大拉應變為 1.78%及 1.57%，最大壓應變則分別為 1.01% 及 1.23%。

### 3. 加勁板應變分佈

試體IFS3 其彎矩與加勁板各位置之應變關係如圖 3.37及圖 3.38所示，圖 3.39則為加勁板沿梁深之應變分佈，由此圖可看出當位移角 $\theta = -4\%$ 弧度時，梁上翼加勁板應變計R8-1 已顯示降伏，且於位移角 $\theta = +4\%$ 弧度時梁下翼加勁板應變計R1-1 所測得之加勁板最大拉應變為 0.32%。圖 3.40 則為加勁板沿梁深之應力分佈，乃利用圖 3.39加勁板應變分佈對應其材料特性所求得，由此圖可看出加勁板受拉時之降伏範圍，當位移角 $\theta = -4\%$ 弧度時，梁上翼加勁板受拉時之最大降伏範圍由梁翼及加勁板接合處算起為 53.6 mm深，當位移角 $\theta = +4\%$ 弧度時，梁下翼加勁板受拉時之最大降伏範圍則為 65.7 mm深。

## 3.7 試體 IFS 試驗結果比較

### 3.7.1 實驗現象比較

各試體破壞模式以及到達梁端最大塑性轉角如表 3.1所示，傳統未補強之梁柱接頭試體UR，未達到AISC(2005)耐震設計規範所規定的位移歷時至 4%弧度層間側位移角，而於梁上翼板與焊道交界處斷裂(照片 3.26)，而其餘三組藉由IFS加勁板補強後之梁柱接頭試體，皆可於第一次

試驗成功滿足AISC(2005)耐震規範之要求(4%弧度層間側位移角不破壞)，甚至於第一次試驗結束後由於塑鉸處挫屈情形不明顯仍可再次進行第二次試驗至 4%弧度層間側位移角而不發生破壞，此良好的消能行為乃由於加勁板的介入提高了接頭之勁度而令塑鉸遠離柱面並產生挫屈，其最大挫屈幅度及位置如表 3.2所示，其中試體IFS2 之挫屈情形較不明顯，乃因為設計時其梁彎矩強度需求比 $\alpha$ 值低於 1 的關係使得其加勁板厚度較小，且可於表 3.6中發現只有試體IFS2 其加勁板有壓降伏的產生。最後，將各試體於試驗進行時所觀察到的各種實驗現象綜合紀錄於表 3.3。

### 3.7.2 整體反應比較

#### 彎矩與梁端位移關係

四組試體彎矩與位移關係其包絡線圖比較如圖 3.41，試體UR、試體IFS1 以及試體IFS2 其鋼梁材質皆為A36，由圖中可看出此二組IFS加勁板補強後之試體，由於塑鉸遠離柱面的緣故，導致其柱面彎矩提高了許多，試體IFS1 及試體IFS2 其最大柱面彎矩相較於傳統未補強試體UR則分別提高了 16%及 23%，試體IFS1 其彎矩增量較低乃因為塑鉸降伏情形較明顯所致，另外，以鋼梁材質為A572.Gr50 之試體IFS3，其最大柱面彎矩相較於鋼梁材質為A36 之傳統未補強試體UR則提高約 40%，亦可將此三組相同補強方式但鋼梁材質不同之IFS試體作個比較，試體IFS3 相較於IFS1 及IFS2 其最大柱面彎矩分別提高了 21%及 14%，由此可充分顯示以此梁翼內側IFS加勁板補強方式用於A572.Gr50 材質之鋼梁，仍可具有良好之梁



端位移及接頭消能行為。利用各試體於試驗中之最大柱面彎矩  $M_{dem}$ ，可反推求得塑絞處之極限彎矩  $M_{PH}$ ，由此可得各試體破壞前之最小梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值以及梁塑絞處之最大應變硬化係數  $\beta$  值，如表 3.4 所示。

IFS 試體於各層間側位移角之梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值如表 3.5 所示，其中試體 IFS2 於位移角  $\theta=5\%$  弧度時，其梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值接近設計時所建議之 1.05，故於梁上翼板近柱面 30 mm 處斷裂。

### 3.7.3 局部反應比較

#### 1. 鋼梁梁翼縱向應變分佈比較

四組試體其梁上下翼板梁柱界面縱向應變如圖 3.42 及圖 3.43 所示，由圖中可看出加入 IFS 加勁板之梁柱接頭試體於梁翼受拉時，其應變比未加勁梁柱接頭 UR 試體低上許多，而梁翼受壓時，所有試體之梁翼板壓應變均較小。而圖 3.44 至圖 3.47 為所有加入 IFS 加勁板之梁柱接頭試體於不同層間側位移角的縱向應變比較圖，其中由圖 3.44 及圖 3.45 可知各 IFS 試體於 2% 弧度層間側位移角時其上下翼板拉應變均超過鋼材降伏應變，並且由圖 3.44 至圖 3.47 可發現當上下翼板受拉時，其翼板縱向應變分佈中拉應變最大的位置主要集中於翼板中間，乃因 H 型柱其交會區腹板位於中間的關係，此現象和饒智凱(2008)所作的鋼梁與箱型柱接合之梁翼內側加勁板補強接頭實驗結果相反，其拉應變最大的位置為翼板外側，而翼板中心的拉應變則偏低，此乃柱型式不同造成梁彎矩力量傳遞上的差別，故鋼造梁柱梁翼內側加勁板補強接頭其加勁板傳遞梁彎矩的貢獻會受到柱型式的不同(箱型柱及 H 型柱)而有所影響。



## 2. 鋼梁梁翼橫向應變分佈比較

三組加入IFS加勁板之梁柱接頭試體與未加勁梁柱接頭試體UR之梁上下翼板之橫向應變比較如圖 3.48及圖 3.49所示，由圖中可看出加入IFS加勁板之試體可有效的把最大應變推離梁柱接頭處，未加勁梁柱接頭UR試體之最大應變發生於柱面處，而加入IFS加勁板之試體其最大應變發生在由柱面算起 470 mm處，並與2.2節IFS接頭試體設計中所預期塑角位置(距加勁板端部  $d_b/4$ ，即距柱面 475.5 mm處)接近。

## 3. 加勁板應變分佈比較

IFS試體加勁板應變及應力比較分別如圖 3.50及圖 3.51所示，由圖 3.50可發現試體IFS2 其加勁板拉應變明顯高於試體IFS1，主要是因為試體IFS2其加勁板厚度較低所造成的影響，而加勁板形狀雖經過削切但其影響並不大。試體IFS3 及試體IFS1 此二組試體皆屬於高強度梁柱交會區且梁彎矩強度需求比相當接近(表 3.7)，但由於試體IFS3 其鋼材材質較強(A572 Gr.50)，梁翼板所傳遞之軸力較高，因此試體IFS3 其加勁板拉應變亦明顯高於試體IFS1。

由圖 3.51可知試體IFS2 及IFS3 其加勁板於試體達到3%弧度層間側位移角時已出現局部降伏，其降伏範圍由梁翼板與加勁板接合處起算，如表 3.6所示，由表中可得各試體加勁板之受拉降伏範圍介於 39 mm至 66 mm之間，當各試體達到4%弧度層間側位移角時，僅試體IFS1 其加勁板仍保持彈性。

由圖 3.51各試體應力圖所圍之面積積分並乘上梁中性軸之距離可得

加勁板於實驗中真實所提供之彎矩  $M_s$ ，如圖 3.52 所示，且由實驗中每一層間側位移角提供之彎矩  $M_s$  分別除上加勁板實際強度所提供之塑性彎矩  $M_{ps}$  (表 3.7) 以及實驗中油壓千斤頂至柱面之彎矩  $M_{ACT}$ ，可分別得到圖 3.53 加勁板於實驗中所提供之塑性彎矩比例以及圖 3.54 加勁板提供之彎矩佔整體彎矩比例。



## 第四章 有限元素分析

### 4.1 前言

本章使用美國 Hibbit, Karlsson and Sorensen 公司所研發的 ABAQUS 有限元素分析程式(2003)進行結構試體非線性有限元素分析，藉由模擬準確之有限元素分析模型，計算梁翼內側加勁補強接頭其加勁板所能提供之彎矩佔整體彎矩的比例，以及利用破裂參數 RI 來預測各實驗試體較可能發生破壞之區域，4.2 節為試體有限元素模型建立，4.3 節為分析結果。

### 4.2 試體有限元素模型建立

分析模型各部位尺寸皆與實驗試體相同以便於進行有限元素模擬，且為了使分析及實驗結果接近，本研究將梁翼板與柱翼板接合之焊道加以模擬，以及為了簡化模型並在不影響有限元素分析結果的條件下，不模擬加勁板與梁翼內側及柱翼板接合之焊道。

#### 基本假設：

不考慮實際試體焊接時所造成的熱影響區及殘餘應力影響，並假設鋼材不產生局部挫屈及斷裂行為。

#### 結構模型：

模型採用三維結構元素進行模擬，其中鋼梁、鋼柱、加勁板及焊道皆採用 8 個節點的磚元素(C3D8R)，各節點皆有 3 個位移自由度。

#### 剪力板、扇形開口及焊道之模擬假設：

各試體其整體結構模型網格分佈如圖 4.1至圖 4.3所示，由於四組試體於實驗時其柱剪力板與梁腹板產生相對滑動(表 3.3)並受到螺栓孔的限制而不再滑動，因此建立有限元素模型時為了簡化並模擬此情形，各螺栓斷面以方形模擬(圖 4.4)，柱剪力板與梁腹板間保留一非連續介面僅於各螺栓方形斷面位置處利用ABAQUS中的Extrude功能連接此二板，並考慮梁腹板扇型開口之削切，而模型梁柱接頭之接合細節建立則依照實際試體尺寸如圖 2.6所示，圖 4.5即為梁柱焊道及梁腹板扇形開口模擬情形，圖 4.6為試體IFS1 加勁板與梁及柱接合之模擬情形，圖 4.7則為試體IFS2 加勁板與梁及柱接合之模擬情形。其中，四組模型其梁翼與柱板接合之焊道材料性質則輸入鴻舜鋼鐵廠所提供之材質證明(附件A)，並繪製其應力應變如圖 4.8所示。

### 材料性質：

鋼材之降伏強度採用鋼材拉力試驗之值，如表 2.1所示，鋼材之彈性模數為 203,000 MPa，波松比為 0.3，並使用吳家慶(2004)由A572 Gr.50及A36 鋼材反覆載重試驗所得之應變硬化參數，其中包含等向硬化參數(Isotropic Hardening)及走動硬化參數(Kinematic Hardening)，表 4.1及表 4.2分別為A572.Gr50 及A36 鋼材之ABAQUS硬化參數輸入指令。焊道之降伏強度如報告(附件A)所示採用 488 MPa，其反覆載重參數假設與A572Gr.50 鋼材相同。

### 4.3 各試體分析結果

### 4.3.1 梁端彎矩與位移關係及彈性勁度比較

四組試體編號分別為UR及IFS1-3 之梁端彎矩與位移關係圖(Global Response)如圖 4.9所示，藉由實驗及ABAQUS有限元素軟體的分析結果相互比較，可整理出各層間側位移角下的梁端彎矩值，並在試體未出現降伏現象以前之彈性段以線性迴歸的方式得到撓曲勁度 $K_E$ ，如表 4.3所示，其結果均相當接近吻合，最大誤差範圍不超過 9%。

### 4.3.2 局部行為比較

#### (a) 應變比較

四組試體編號分別為UR及IFS1-3 之梁上下翼板拉應變分佈其實驗與分析結果比較分別如圖 4.10及圖 4.11所示，由三組IFS補強試體可看到實驗與分析結果相當接近且梁上翼板拉應變均有中間高而外側低的趨勢，這是因為梁上翼板外緣內側和加勁板接合的關係，以及由於此補強方式是與H型柱接合，故拉應力皆集中於梁翼板中央再傳遞至柱內橫隔板及柱腹板。圖 4.10(a)為傳統未補強試體UR梁上翼板實驗與分析結果，當層間側位移角 $\theta = -4\%$ 弧度時，其應變分佈有些許的不同，推測其原因可能是因為剪力板位於梁腹板右側所造成的應變不平衡以及有限元素模型無法模擬實驗時所觀察到的明顯開裂行為。圖 4.12至圖 4.17分別為試體編號IFS1-3 於各層間側位移角下所量測到之加勁板應變(距柱面 35 mm處，且應變方向與梁軸向相同)，可知實驗結果與有限元素分析模型結果接近。

#### (b) 加勁板軸向應力分佈

試體IFS1-3 其有限元素模型於各層間側位移角下之梁翼內側加勁板應力分佈如圖 4.18至圖 4.23所示(距柱面 35 mm處，且應力方向與梁軸向相同)，積分由應力分佈圖下之面積對應至梁中性軸之距離，即可得到加勁板彎矩  $M_s$ ，如圖 4.24所示，而將此三組加勁板彎矩  $M_s$  分別除上加勁板所提供之塑性彎矩  $M_{ps}$  以及梁端至柱面之彎矩  $M_{ABA}$ ，即可分別得到加勁板彎矩所能達到的塑性彎矩比例以及加勁板彎矩佔整體彎矩的比例，如圖 4.25及圖 4.26所示，由圖中可看出當層間側位移角  $\theta=4\%$  弧度時，此三組 IFS 模型其加勁板所能傳遞之彎矩佔整體彎矩的比例平均為 23%，相較於箱型柱與鋼梁接合之 IFS 補強接頭所能提供 36% 之彎矩貢獻，其貢獻值偏低的原因，乃由於箱型柱交會區腹板位於兩側其梁端彎矩易藉由加勁板傳遞力量至柱腹板，雖然 H 型柱之交會區腹板位於中間不利於梁翼邊之加勁板傳遞彎矩，但藉由實驗結果證明此梁翼內側加勁板應用於 H 型柱與鋼梁接合之梁柱接頭甚至當鋼梁材質為 A572 Gr.50 時，仍可提供不錯之塑性旋轉能力。

### 4.3.3 參數比較

為了進一步瞭解此梁翼內側加勁板對於梁柱接頭破壞形式之影響，本研究使用 ABAQUS 中之破裂參數 (Rupture Index, RI) 來評估此梁翼內側加勁板應用於鋼梁與 H 型柱接合之梁柱接頭時其破壞的潛在區域。破裂參數其定義為材料常數  $a$  與等價塑性應變  $PEEQ$  的乘積再除以韌性破壞時之應變  $\varepsilon_y$  (Hancock & Mackenzie 1976)，其表示如下：



$$RI = \frac{a \times PEEQ}{\varepsilon_r} \quad (4-1)$$

$$PEEQ = \frac{1}{6} \left[ (\varepsilon_{y1} - \varepsilon_{y2})^2 + (\varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y3})^2 + (\varepsilon_{y3} - \varepsilon_{y1})^2 \right] \quad (4-2)$$

$$\varepsilon_r = a \times \exp\left(\frac{1.5\sigma_m}{\bar{\sigma}}\right) \quad (4-3)$$

$$\sigma_m = -\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (4-4)$$

其中等價塑性應變  $PEEQ$  可用來偵測接頭局部區域之韌性破壞，其值越高表示愈容易產生韌性破壞，可在有限元素模型分析結果中直接選取變數  $PEEQ$  得知，而  $\varepsilon_{y1}$ 、 $\varepsilon_{y2}$  及  $\varepsilon_{y3}$  則分別為三個方向的主軸塑性應變，靜應力  $\sigma_m$  則為主軸應力的平均值取負號，其值可在有限元素模型分析結果中直接選取變數 Pressure 得知，若接頭局部區域負靜應力參數高，通常表示此處有較大的主軸拉應力，意味者有極高的可能性發生韌性或脆性破壞，反之較高的正靜應力參數則表示此處有較大的主軸壓應力產生，不易韌性或脆性破壞，而  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  及  $\sigma_3$  分別為三個方向的主軸應力， $\bar{\sigma}$  為米瑟司應力 (Mises Stress)，其值同樣可在有限元素模型分析結果中直接選取變數 Mises 得知。破裂參數 RI 主要為判斷加勁梁柱接頭臨界面發生破裂的可能性，破裂參數 RI 值愈高代表愈容易產生破裂。

試體 UR、IFS1、IFS2 及 IFS3 於層間側位移角  $\theta = 3\%$  弧度時之等價塑性應變、米瑟司應力及靜應力分佈如所圖 4.27 至圖 4.34 示。圖 4.35 及圖 4.36 分別為四組試體在  $\theta = -3\%$  弧度及  $\theta = -4\%$  弧度第一圈時各位置之破裂參數 RI 比較圖，其中圖 4.35 (d) 及圖 4.36 (d) 則用來顯示此四組梁柱接頭較有可能發生韌性破裂的位置，包括 LineA (距柱面 60 mm 處)、LineB (柱

翼板與梁翼焊道交界處)及LineC(梁翼內側與加勁板焊道交界處，其長度為距柱面 35 mm處至距柱面 500 mm處，如ViewA-A所示)。

四組試體於圖 4.35(a)及圖 4.36(a)可發現，未補強梁柱接頭試體UR在LineA處之破裂參數RI值相較於加勁板補強後的IFS試體來的高，且試體UR於圖 4.36(a)LineA處的破裂參數RI最大值為 1.5，與實驗中 $\theta = -4\%$ 弧度第一圈時所觀察到的明顯開裂位置相同，故可將此參數值 1.5 作為各潛在破裂位置明顯開裂前的參考指標。

四組試體於圖 4.35(b)及圖 4.36(b)可發現，加勁板補強後的IFS試體在LineB處之破裂參數RI值皆高於未補強梁柱接頭試體UR，且破裂參數RI最大值均發生於焊道兩側，但各IFS試體其最大破裂參數RI值仍低於明顯開裂參考指標 1.5 許多，故第一次試驗至層間側位移角 $\theta = 4\%$ 弧度結束時，三組IFS試體皆未於LineB處發現輕微裂痕。

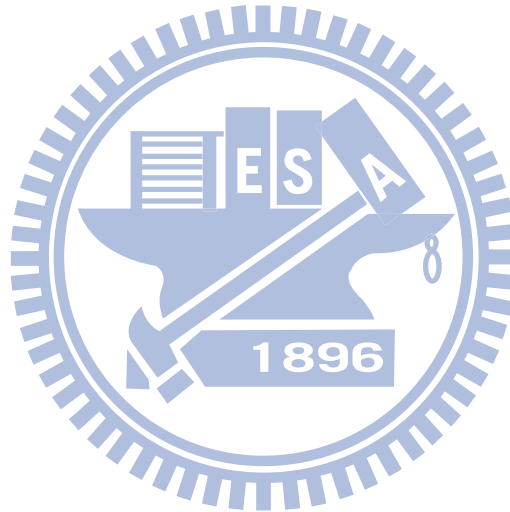
藉由圖 4.35(c)及圖 4.36(c)可顯示四組試體中，未補強梁柱接頭試體UR之最大破裂參數RI最大值位於梁翼與焊道接合處(距柱面 35 mm)，其它三組IFS補強試體之最大破裂參數RI則已遠離梁柱接頭並集中在加勁板端部，且各IFS試體之最大破裂參數RI值仍低於明顯開裂參考指標 1.5 許多，故第一次試驗至層間側位移角 $\theta = 4\%$ 弧度結束時，僅試體IFS1 及試體IFS2 於加勁板端部產生微小裂痕(表 3.3)。

試體IFS1 及試體IFS2 於層間側位移角 $\theta = +4\%$ 弧度第一圈以及 $\theta = 4\%$ 弧度結束時，於加勁板端部所觀察到的微小裂痕，此裂痕皆深入梁翼板母材，故加勁板端部裂痕的發生與梁翼板母材強度有直接的關係，試體IFS1

至試體IFS3 其梁翼板母材強度(表 2.1)分別為 251 MPa、272 MPa及 388 MPa，對應於圖 4.36(c)可發現當梁翼板母材愈弱，則IFS試體於加勁板端部處愈容易提早出現微小裂痕，而試體IFS3 直到第二次試驗於層間側位移角 $\theta = -1.5\%$ 弧度第一圈時才出現加勁板端部裂痕(表 3.3)。比較圖 4.36(b)及圖 4.36(c)可發現，當IFS試體於加勁板端部破裂參數RI值愈高，相對的其LineB處之破裂參數RI愈低。

將圖 4.35及圖 4.36所分析出的破裂參數RI最大值彙整在一起得圖 4.37，即可明顯的看出各試體最有可能發生破壞的區域。由圖 4.37可知未補強梁柱接頭試體UR位於LineA處之破裂參數最大，與試體UR於實驗中 $\theta = -4\%$ 弧度第一圈時所觀察到的明顯開裂位置相同，此處亦為往常未加勁之傳統梁柱接頭會產生破壞的位置。而三組IFS試體由於皆為高強度梁柱交會區，如表 2.5(b)所示，且其梁彎矩強度需求比 $\alpha$ 值(表 3.7)皆大於設計時所需之 1.05，故此三組IFS加勁補強試體皆能於第一次試驗結束時不發生任何破壞，並於加勁板長度範圍內( $L_s$ 皆為 300 mm)梁翼板能夠保持足夠的勁度避免於圖 4.36(d)之LineA處產生開裂，由圖 4.37可知三組IFS補強試體其LineA處為最不可能發生破壞之區域，故此時決定IFS試體較有可能發生破壞的關鍵就取決於梁翼板母材的強度，試體IFS1 及試體IFS2 由於其鋼梁材質為A36，故此二組IFS試體其最有可能發生破壞之區域為LineC，而試體IFS3 其鋼梁材質為A572 Gr.50，故其最有可能發生破壞之區域為LineB。由圖 4.37可知，三組IFS補強試體其LineB與LineC亦存在一關係，當LineC處之破裂參數RI值愈高，則LineB處之破裂參數RI值愈低。

此外，亦可藉由圖 4.38至圖 4.43來觀察各模型其梁柱交界之柱翼板柱向應變最大值所在之位置，包括LineD1-2(分別距梁上下翼板 20 mm處)及LineE(距加勁板 13 mm處)，如圖 4.38中ViewA-A所示，圖 4.44及圖 4.45則為四組模型分別於LineD及LineE處之柱翼板柱向應變比較，模型IFS3 由於其鋼梁材質為A572 Gr.50 可提供較高之柱面彎矩，其柱翼板於LineD處之柱向應變相較於其它三組鋼梁材質為A36 之模型有顯著的增加，故試體IFS3 最終在層間側位移角 $\theta=6\%$ 弧度時，於梁翼焊道與柱板交界面發生斷裂。



## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究共試驗了 4 組試體，其中 1 組為未加勁之傳統梁柱接頭(試體 UR)，另外 3 組為梁翼內側焊有 IFS 加勁板之梁柱補強接頭試體(試體 IFS1-3)，而各試體所使用之鋼梁、鋼柱以及加勁板尺寸皆列於表 2.2，所有試體之柱及梁皆為相同尺寸，而 3 組 IFS 試體其加勁板長度  $L_s$  及深度  $d_s$  皆相同，僅改變加勁板的厚度及形狀，並且除了試體 IFS3 之鋼梁材質為 A572 Gr.50，其餘 3 組試體之鋼梁材質皆為 A36 (表 2.1)。將各組試體於梁端施以 AISC(2005)規定的反覆載重歷時，探討力學行為及破壞機制，並配合有限元素分析軟體 ABAQUS 進行梁柱接頭分析及模擬，以檢驗梁翼內側加勁板之彎矩貢獻。根據本研究之試驗結果與有限元素分析，可歸納出以下幾點結論。

1. 由各 IFS 試體試驗後之梁翼板橫向應變分佈圖可得知，梁翼內側加勁板補強接頭其塑鉸處最大應變位於距柱面 470 mm 處，與 2.2 節設計時所假設距加勁板端部  $d_b/4$  位置處(即距柱面 475.5 mm)非常接近。鋼梁材質皆為 A36 之試體 IFS1 及試體 IFS2 於試驗中所得此處最大彎矩為真實塑性彎矩之 1.46 及 1.48 倍(表 3.7)，而鋼梁材質為 A572 Gr.50 之試體 IFS3 於試驗中所得此處最大彎矩為真實塑性彎矩之 1.25 倍。
2. 三組成功的梁柱梁翼內側加勁板補強接頭試體，其梁彎矩強度需求比  $\alpha$  值均大於 1.05(表 3.7)，造成試體的韌性行為極佳，可達到 AISC(2005)所要求之 4% 弧度層間側位移角而不發生梁翼與柱接之焊道介面發生



破壞，且鋼梁亦無明顯的挫屈情形發生，僅試體IFS1 及試體IFS2 於加勁板端部出現輕微的裂痕。試體在歷經第二次AISC規定的反覆載重歷時下與第一次反覆載重歷時下之遲滯行為相似(圖 3.1)。

3. 由梁柱接頭有限元素模型分析結果可知，梁翼內側加勁板可有效降低梁翼板應變，並仍可傳遞部分梁彎矩(三組 IFS 試體在 4%層間弧度位移角下取平均仍可達 23%的梁端彎矩)至柱。相較於鋼梁與箱型柱接合之梁翼內側加勁板補強接頭之成功試體，其加勁板可提供 36%的梁端彎矩，此乃因柱形式的不同造成梁彎矩力量傳遞上的差別。
4. 藉由有限元素分析程式可預測試體潛在破裂區域，在梁柱交會區強度相同以及梁彎矩強度需求比 $\alpha$ 值大於設計時所假設 1.05 的情況下，鋼梁材質越弱則試體容易於加勁板端部產生開裂，而當鋼梁材質越強其破壞區域則可能發生於梁柱焊道與柱翼板交界處。

## 5.2 建議

本研究對於 H 型柱與鋼梁接合之梁翼內側加勁補強接頭之設計，提出以下建議：

1. 本接頭於設計時，其塑鉸處之應變硬化係數 $\beta$ 值之假設，當鋼梁材質為 A36 時，建議採用試體 IFS1 及試體 IFS2 於試驗所得之 $\beta$ 平均值 1.47。而當鋼梁材質為 A572 Gr.50，則建議採用試體 IFS3 於試驗所得之 $\beta$ 值 1.25。



## 參考文獻

1. AISC.(2005). *Seismic provisions for structural steel buildings*. AISC, Chicago,IL.
2. Chou, C. C. and Jao, C. K.(2010). “Seismic Rehabilitation of Welded Steel Beam-to-Box Column Connections Utilizing Internal Flange Stiffeners” *Earthquake Spectra*, 26(4) , 927-950 , EERI.
3. Lee, C. H., Jeon, S. W., Kim, J. H., and Uang, C. M.(2005) “Effects of Panel Zone Strength and Beam Web Connection Method on Seismic Performance of Reduced Beam Section Steel Moment Connections” *J. Struct. Eng.*, ASCE, 131(12), 1854-1865.
4. Kim, T., Whittaker, A. S., Gilani, A. S. J., Bertero, V. V., and Takhirov, S. M. 2002, “Experimental Evaluation of Plate-Reinforced Steel Moment-Resisting Connections” *J. Struct. Eng.*, ASCE, 128(4), 483-491.
5. Kim, T., Whittaker, A. S., Gilani, A. S. J., Bertero, V. V., and Takhirov, S. M. 2002, “Cover-Plate and Flange-Plate Steel Moment-Resisting Connections” *J. Struct. Eng.*, ASCE, 128(4), 474-482.
6. Kim, T., Stojadinovic, B., Whittaker, A. S. “Seismic Performance of Pre-Northridge Welded Steel Moment Connections to Built-Up Box Columns” *J. Struct. Eng.*, ASCE, 134(2), 289-299.
7. Zhang, X., Ricles J. M. “Experimental Evaluation of Reduced Beam Section Connections to Deep Columns” *J. Struct. Eng.*, ASCE, 132(3), 346-357.
8. 周中哲、饒智凱(2010)「鋼骨梁柱梁翼內側加勁板補強接頭耐震行為」，*結構工程*，第二十三卷，第四期，101-123 頁。(In Chinese)

表 2.1 各梁柱接頭試體鋼材材料性質

Specimen	Member	Location	$\sigma_y$	$\sigma_u$	A36	Gr.50
			(MPa)		$R_y = \frac{\sigma_y}{\sigma_{yn}}$	
UR	Beam (A36)	Flange	251	463	1.01	-
		Web	285	453	1.15	-
	Panel zone	Doubler PL-1	453	526	1.31	-
IFS1	Beam (A36)	Flange	251	463	1.01	-
		Web	285	453	1.15	-
	IFS	-	409	528	-	1.19
	Panel zone	Doubler PL-1	453	526	1.31	-
IFS2	Beam (A36)	Flange	272	469	1.10	-
		Web	275	440	1.11	-
	IFS	-	421	527	-	1.22
	Panel zone	Doubler PL-1	453	526	1.31	-
IFS3	Beam (A572.Gr50)	Flange	388	531	-	1.13
		Web	417	564	-	1.21
	IFS	-	388	531	-	1.13
	Panel zone	Doubler PL-1	453	526	1.31	-
		Doubler PL-2	282	415	-	0.82
All Specimen	Column (A572.Gr50)	Flange	357	521	-	1.04
		Web	390	510	-	1.13
		Continuity PL	388	531	-	1.13

表 2.2 各試體梁柱接頭之尺寸及強柱弱梁比

Specimen	Column Size	Beam Size	IFS Size ( $t_s \times d_s \times L_s$ )	$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*}$
UR	H428×407×20×35	H702×254×16×28	-	1.72
IFS1			R25×308×300	1.53
IFS2			T20×308×300	1.47
IFS3			T28×308×300	1.19

表 2.3 試驗前補強接頭之設計值

Specimen	$\beta$	$R_y$	$M_{pb}$	$M_{PH}$	$M_{ps}$	$M_{dem}$	$M_{cap}$	$\alpha$	$L_s$	$L_s$
			(kN-m)						(mm)	
IFS1	1.36	1.5	2406	3273	1564	3743	3970	1.06	300	231
IFS2					1251		3657	0.98		
IFS3		1.1	2451	3333	1751	3812	4202	1.10		

表 2.4 各試體剪力板螺栓數量

Specimen	$M_{dem}$	$P_{ACT}$	Bolt Size $\times N_b$	$T_m$	$R_{str}$	$\frac{R_{str}}{P_{ACT}}$
	(kN-m)	(kN)		(kN/Bolt)	(kN)	
UR	3273	864	M22 $\times$ 14	218	1138	1.32
IFS1	3743	989	M22 $\times$ 14	218	1138	1.15
IFS2	3743	989	M22 $\times$ 14	218	1138	1.15
IFS3	3812	1007	M27 $\times$ 12	285	1275	1.27

表 2.5 各試體梁柱交會區強度及剪力強度比

Specimen	Beam Strength	$M_{IFS,p}$	$t_{d1}$	$t_{d2}$	$t_{total}$	$V_p$	$V_{IFS,p}$	$\frac{V_{IFS,p}}{V_p}$	PZ Strength
	(MPa)	(kN-m)	(mm)			(kN)			
IFS1	372	2406	24	-	44	4339	3414	0.79	Balanced PZ
IFS2									
IFS3	379	2451	24	16	60	5757	3478	0.60	Strong PZ

(a) 根據材料標稱強度計算

Specimen	Beam		$M_{IFS,p}$	$t_{d1}$	$t_{d2}$	$t_{total}$	$V_p$	$V_{IFS,p}$	$\frac{V_{IFS,p}}{V_p}$	PZ Strength
	F	W								
	(MPa)									
IFS1	251	285	1679	24	-	44	5873	2383	0.41	Strong PZ
IFS2	272	275								
IFS3	388	417	2556	24	16	60	7392	3627	0.49	

(b) 根據材料實際強度計算

表 3.1 各試體破壞模式與梁端最大塑性轉角

Specimen	Maximum test story drift (%)		Failure Mode
UR	-4.0	+4.0	第一次試驗至 $\theta = -4\%$ 弧度第二圈時，梁上翼板母材由右側處之裂縫持續擴大延伸至扇形開口處再至左側翼板母材完全斷裂(照片 3.26)。
IFS1	-5.0	+5.0	第二次試驗下於 $\theta = 5\%$ 弧度結束時，梁側向扭轉挫屈(照片 3.54)，並未有焊道斷裂發生。
IFS2	-5.0	+5.0	在第二次試驗至位移角 $\theta = -5\%$ 弧度第二圈時，梁上翼板母材於近柱面約 30 mm 處發生斷裂(照片 3.82)，並且伴隨著柱翼板母材之開裂(照片 3.83)。
IFS3	-6.0	+6.0	在第二次試驗至位移角 $\theta = +6\%$ 弧度第二圈時，梁下翼板焊道與柱翼板交界處發生斷裂情形(照片 3.136、照片 3.137 及照片 3.138)。

表 3.2 各試體梁翼與腹板最大挫屈幅度與位置 (mm)

Specimen	1 <sup>st</sup> Test				2 <sup>nd</sup> Test			
	挫屈幅度		挫屈位置*		挫屈幅度		挫屈位置*	
	Flange	Web	Flange	Web	Flange	Web	Flange	Web
UR	-	-	-	-	-	-	-	-
IFS1	3	5	375	475	40	35	475	475
IFS2	-	1	-		5	7	375	
IFS3	2	2	375		50	30	475	

註: \*為挫屈位置距離柱面之距離

表 3.3 試體各部位情形綜合比較

Specimen	UR	IFS1		IFS2		IFS3	
		1 <sup>st</sup> Test	2 <sup>nd</sup> Test	1 <sup>st</sup> Test	2 <sup>nd</sup> Test	1 <sup>st</sup> Test	2 <sup>nd</sup> Test
梁翼板初始裂痕	-2%	-	2% end	-	0.5% end	-	-1%
梁翼板斷裂	-4%	-	-	-	-5%	-	+6%
加勁板端部裂痕	-	+4%	4% end	4% end	-5%	-	-1.5%
梁側向扭轉挫屈	-	-	40mm	-	35mm	-	40mm
交會區降伏	-	-		柱板內側		疊合板、柱板內側	
腹板相對位移	3mm	1mm		1mm		1mm	

表 3.4 各試體之彎矩強度

Specimen	story drift	Maximum cyclic moment		Plastic flexural strength		Ratio of $\alpha$ and $\beta$	
		Column face	Plastic hinge	Column face	Plastic hinge	$\alpha = \frac{M_{cap}}{M_{dem}}$	$\beta = \frac{M_{PH}}{M_{pb}}$
		$M_{dem}$	$M_{PH}$	$M_{cap}$	$M_{pb}$		
(kN-m)							
UR	+4%	2430	2430	1679	1679	0.69	1.45
	-4%	-2470	-2470			0.68	1.47
IFS1	+5%	2810	2457	3364	1679	1.20	1.46
	-5%	-2793	-2442			1.20	1.45
IFS2	+5%	2983	2608	3151	1763	1.06	1.48
	-5%	-2973	-2600			1.06	1.47
IFS3	+5%	3663	3203	4347	2556	1.19	1.25
	-5%	-3475	-3039			1.25	1.19

表 3.5 各 IFS 試體於各層間側位移角之梁彎矩強度需求比 $\alpha$

Specimen	Moment (kN-m)		Story Drift					
			1%	2%	3%	4%	5%	6%
IFS1	$M_{dem}$	Positive Bending	1391	2341	2666	2801	2810	-
		Negative Bending	-1984	-2502	-2615	-2718	-2793	-
	$M_{cap}$		3364					
	$\alpha = \frac{M_{cap}}{M_{dem}}$	Positive Bending	2.42	1.44	1.26	1.20	1.20	-
Negative Bending		-1.70	-1.34	-1.29	-1.24	-1.20	-	
IFS2	$M_{dem}$	Positive Bending	1365	2261	2661	2866	2983	-
		Negative Bending	-1901	-2649	-2773	-2872	-2973	-
	$M_{cap}$		3155					
	$\alpha = \frac{M_{cap}}{M_{dem}}$	Positive Bending	2.31	1.40	1.19	1.10	1.06	-
Negative Bending		-1.66	-1.19	-1.14	-1.10	-1.06	-	
IFS3	$M_{dem}$	Positive Bending	1594	2752	3324	3528	3663	3407
		Negative Bending	-1940	-3027	-3239	-3324	-3475	-3356
	$M_{cap}$		4358					
	$\alpha = \frac{M_{cap}}{M_{dem}}$	Positive Bending	2.73	1.58	1.31	1.24	1.19	1.28
Negative Bending		-2.25	-1.44	-1.35	-1.31	-1.25	-1.30	



表 3.6 各 IFS 試體之加勁板降伏範圍

Specimen	Location	Yield Depth Negative Bending		Yield Depth Positive Bending	
		3% Story Drift	4% Story Drift	3% Story Drift	4% Story Drift
IFS1	Top Stiffener	-	-	-	-
	Bottom Stiffener	-	-	-	-
IFS2	Top Stiffener	-	+39.1 mm	-	-
	Bottom Stiffener	-	-38.5 mm	+41.1 mm	+65.7 mm
IFS3	Top Stiffener	-	+53.6 mm	-	-
	Bottom Stiffener	-	-	-	+59 mm

註: +為正號代表拉降伏範圍, -為負號代表壓降伏範圍

(降伏範圍由梁翼板與加勁板接合處起算)

表 3.7 試驗後補強接頭之實際值

Specimen	$M_{pb}$	$M_{ps}$	$M_{cap}$	$M_{dem}$	$M_{PH}$	$\alpha$	$\beta$
	(kN-m)						
<b>IFS1</b>	1679	1685	3364	2810	2457	1.20	1.46
<b>IFS2</b>	1763	1388	3151	2983	2608	1.06	1.48
<b>IFS3</b>	2556	1791	4347	3663	3203	1.19	1.25

表 4.1 A572Gr.50 鋼材之 ABAQUS 硬化參數輸入指令

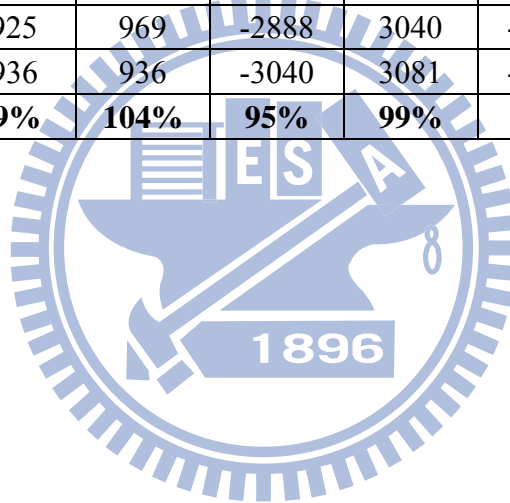
Material (Grade)	A572 Gr.50
Input Statement	*Material,Name = Gr.50 *Elastic 203000,0.3 *Plastic,Hardening = Combined, Data Type = Parameters 421,29390,266 *Cyclic Hardening,Parameter 421,150,12
Isotropic Hardening Parameters	Q = 150      b = 12
Kinematic Hardening Parameters	C = 29390 $\gamma$ = 266

表 4.2 A36 鋼材之 ABAQUS 硬化參數輸入指令

Material (Grade)	A572 Gr.50
Input Statement	*Material,Name = A36 *Elastic 203000,0.3 *Plastic,Hardening = Combined, Data Type = Parameters 272,17888,331 *Cyclic Hardening,Parameter 272,90,6
Isotropic Hardening Parameters	Q = 90      b = 6
Kinematic Hardening Parameters	C = 17888 $\gamma$ = 331

表 4.3 TEST 與 ABAQUS 之彎矩及彈性勁度比較表

Moment (kN-m)		Drift						$K_E$ (kN-m)
		-0.5%	+0.5%	-2%	+2%	-4%	+4%	
UR	Test	-908	801	-2059	1987	-2470	2430	172363
	ABAQUS	-878	878	-2097	2139	-2431	2461	175670
	<b>Ratio</b>	<b>103%</b>	<b>91%</b>	<b>98%</b>	<b>93%</b>	<b>102%</b>	<b>99%</b>	<b>98%</b>
IFS1	Test	-961	899	-2232	2252	-2697	2703	188428
	ABAQUS	-899	899	-2264	2319	-2652	2700	179896
	<b>Ratio</b>	<b>107%</b>	<b>100%</b>	<b>99%</b>	<b>97%</b>	<b>102%</b>	<b>100%</b>	<b>105%</b>
IFS2	Test	-878	909	-2253	2344	-2805	2863	179320
	ABAQUS	-894	894	-2325	2381	-2720	2769	178886
	<b>Ratio</b>	<b>98%</b>	<b>102%</b>	<b>97%</b>	<b>98%</b>	<b>103%</b>	<b>103%</b>	<b>100%</b>
IFS3	Test	-925	969	-2888	3040	-3414	3559	190592
	ABAQUS	-936	936	-3040	3081	-3555	3612	187201
	<b>Ratio</b>	<b>99%</b>	<b>104%</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>	<b>96%</b>	<b>99%</b>	<b>102%</b>



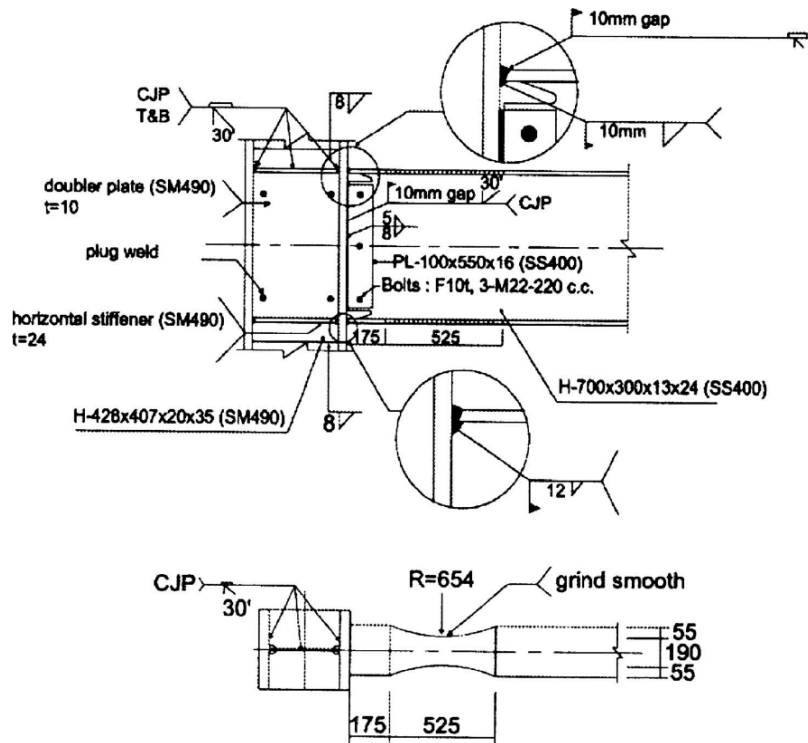
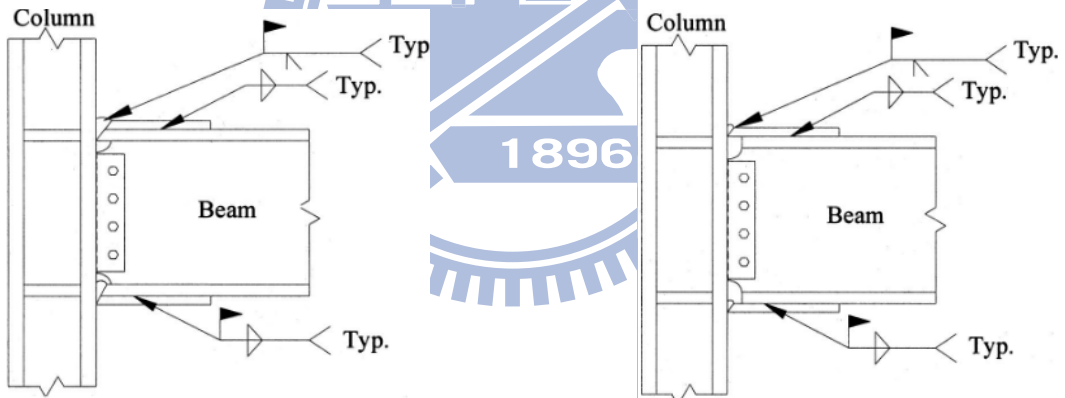
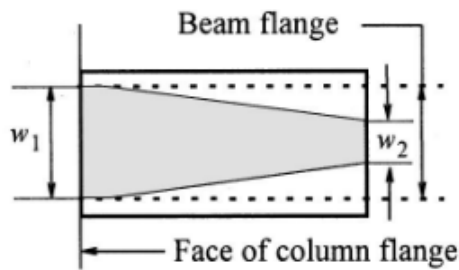


圖 1.1 Lee 和 Uang (2005) 之翼板削切式梁柱接頭



(a) Cover-Plate Connection

(b) Flange-Plate Connection



(c) Reinforcing Plate Profiles

圖 1.2 Whittaker 和 Kim (2002) 之蓋板補強式梁柱接頭

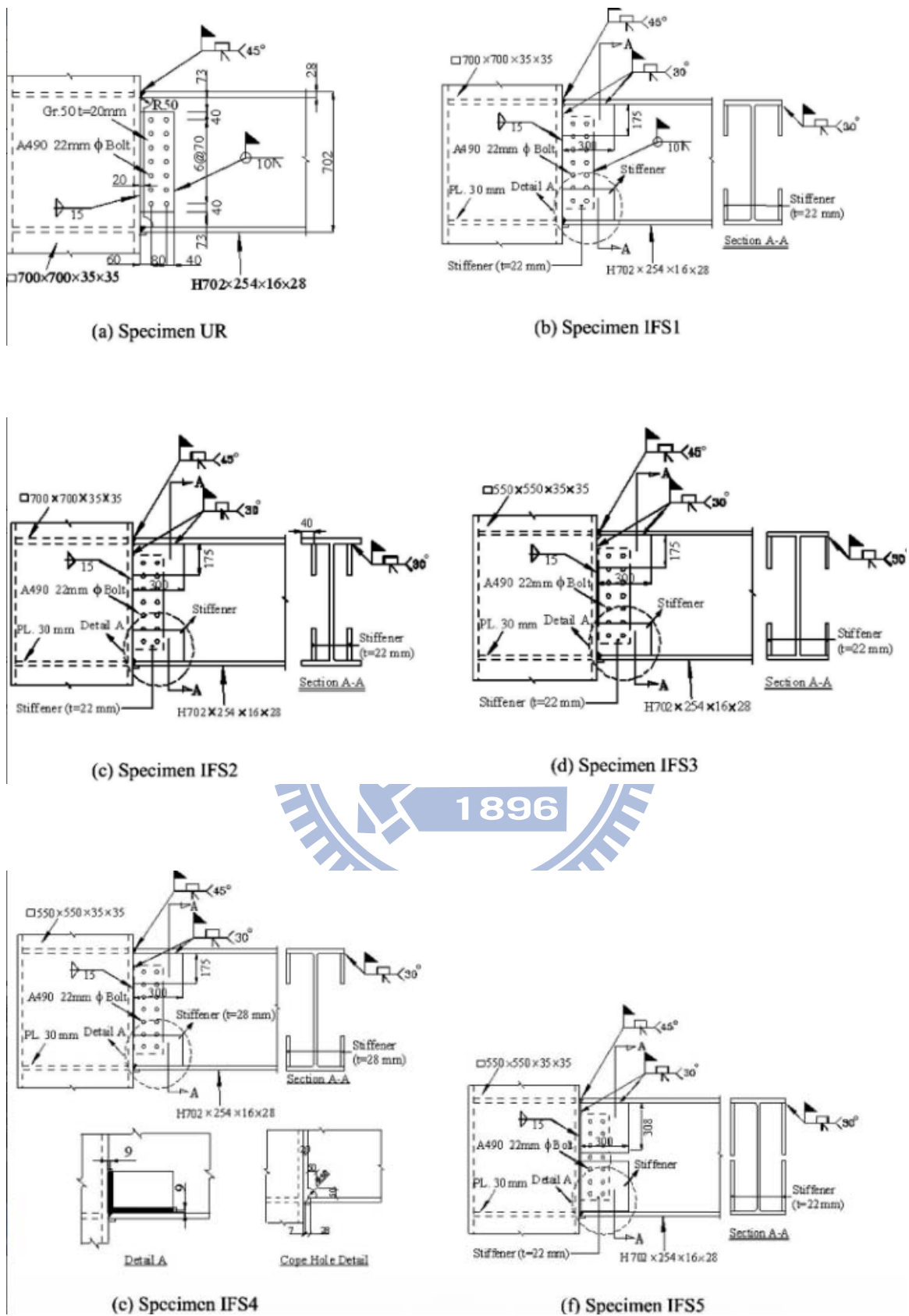


圖 1.3 Chou 和 Jao (2007) 之箱型鋼柱與鋼梁接合之 IFS 補強接頭

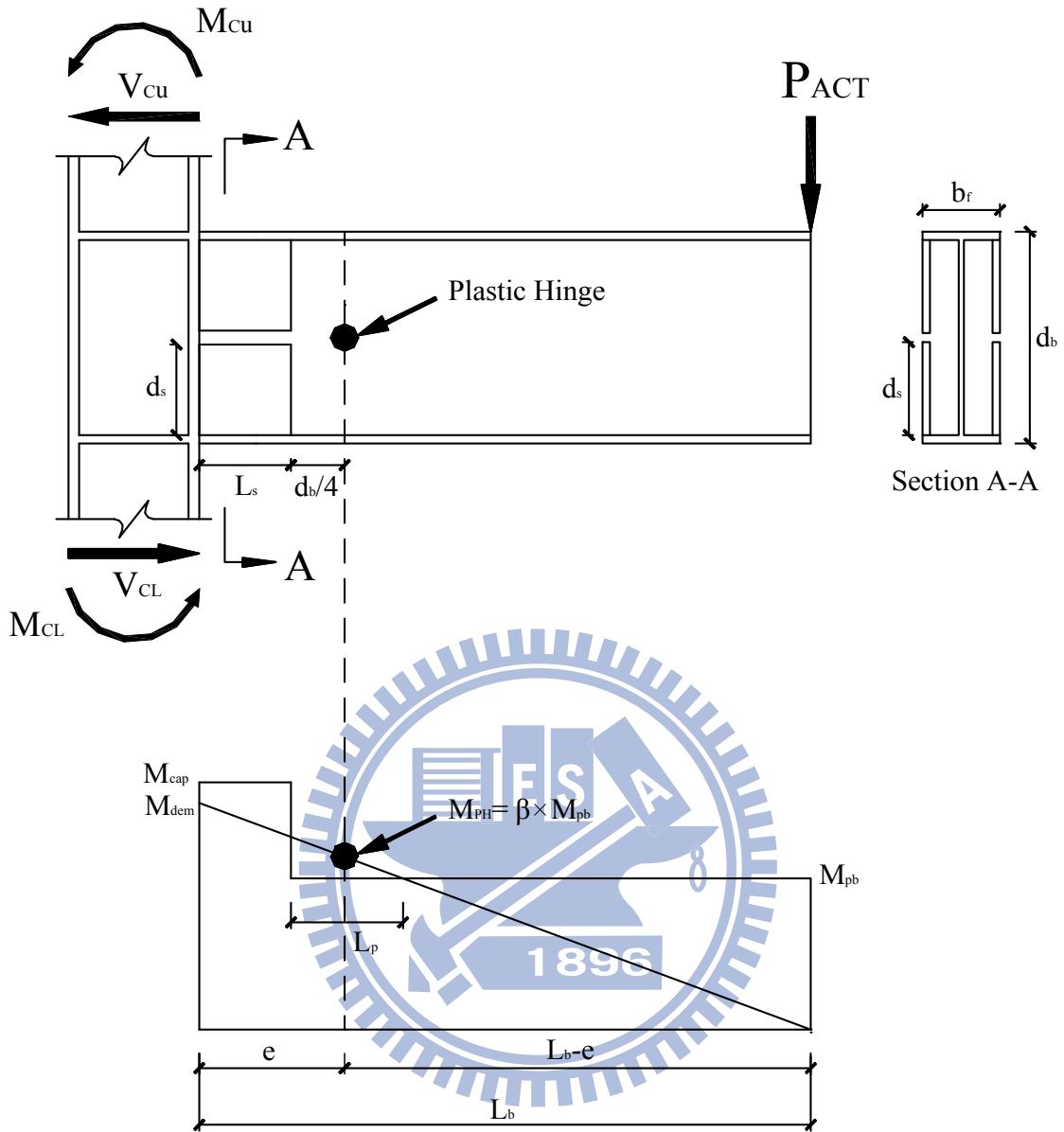


圖 2.1 梁柱梁翼內側加勁板補強接頭彎矩強度與需求(矩形 IFS)

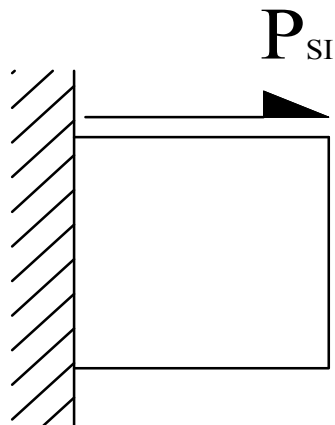


圖 2.2 梁翼內側加勁板受力方式 (Top Stiffener)



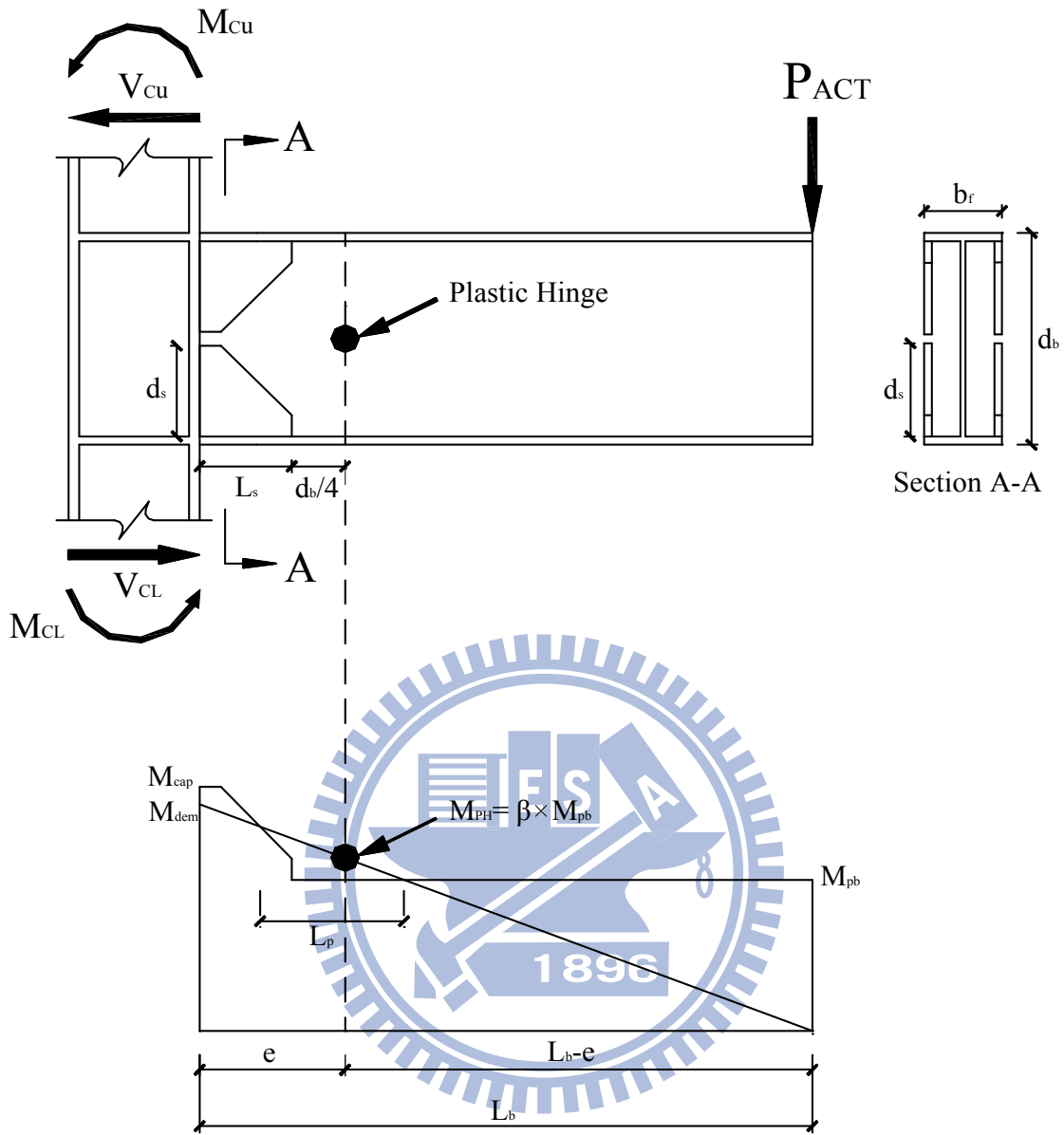


圖 2.3 梁柱梁翼內側加勁板補強接頭彎矩強度與需求(三角形 IFS)

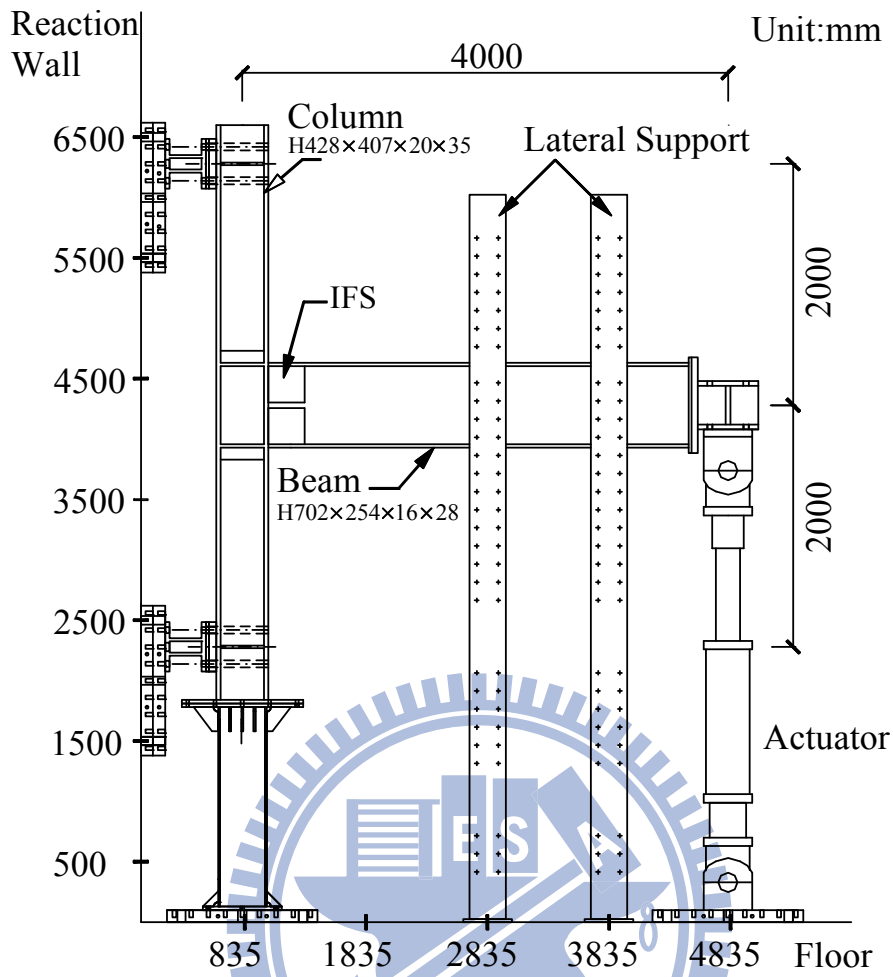


圖 2.4 實驗構架示意圖

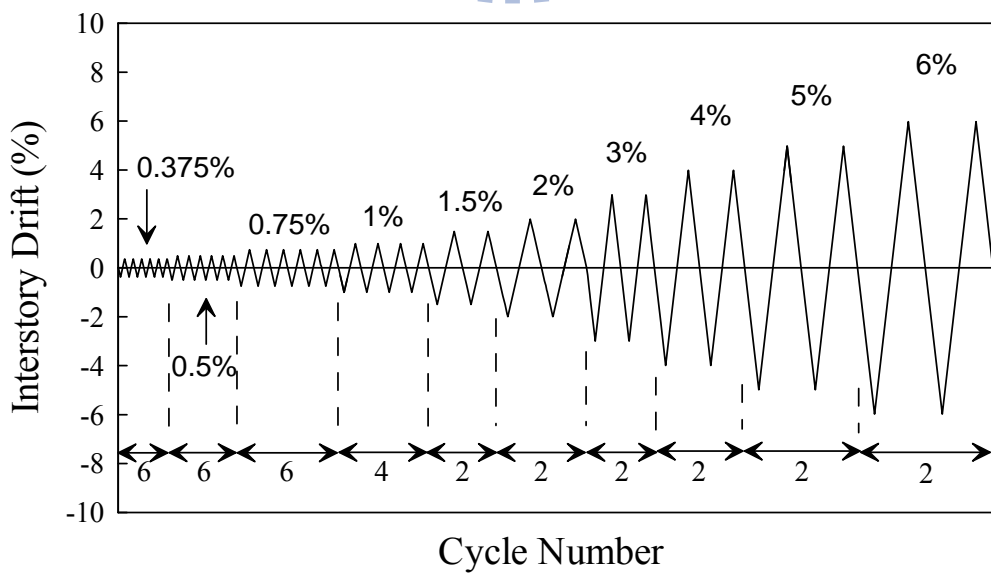


圖 2.5 實驗載重歷時

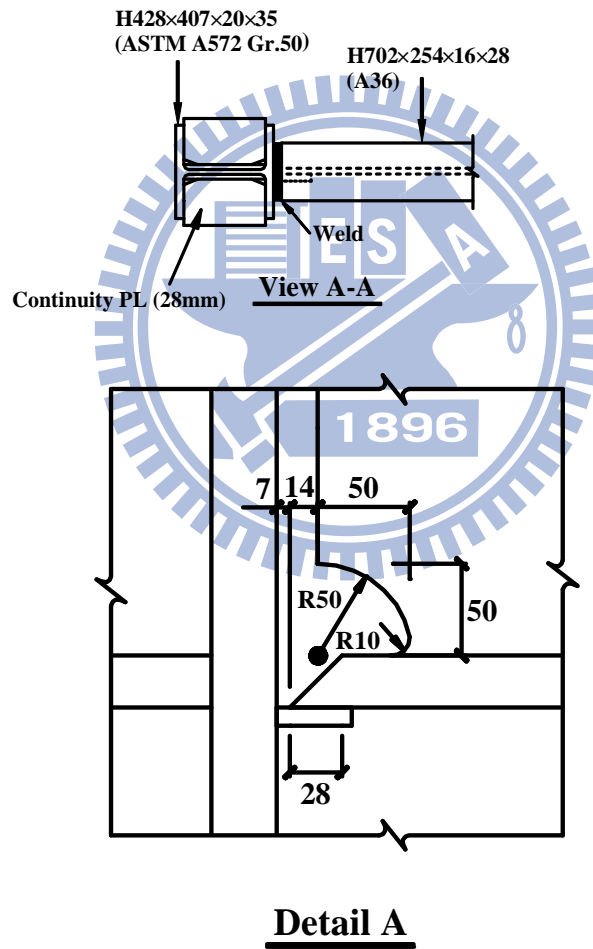
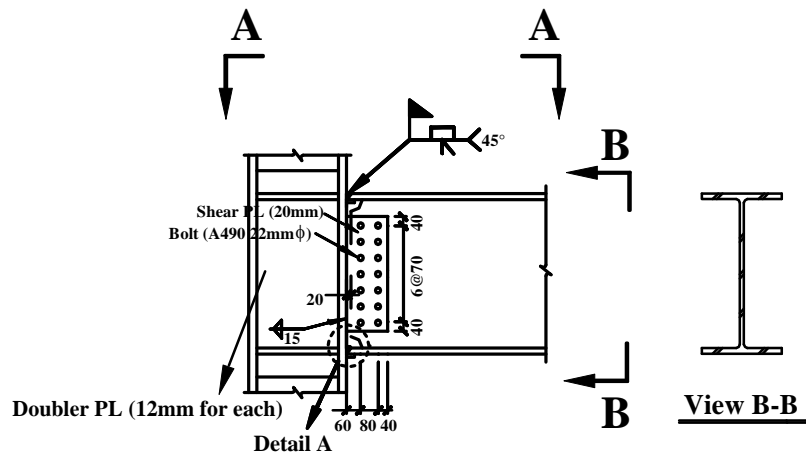


圖 2.6 試體 UR 之梁柱接頭接合細節

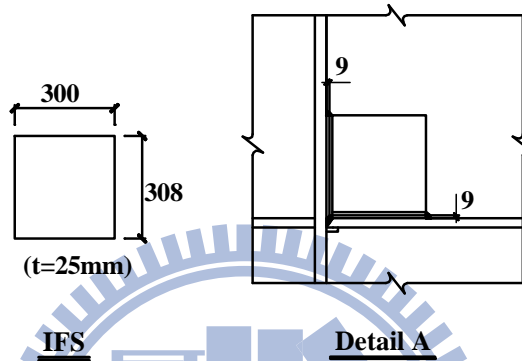
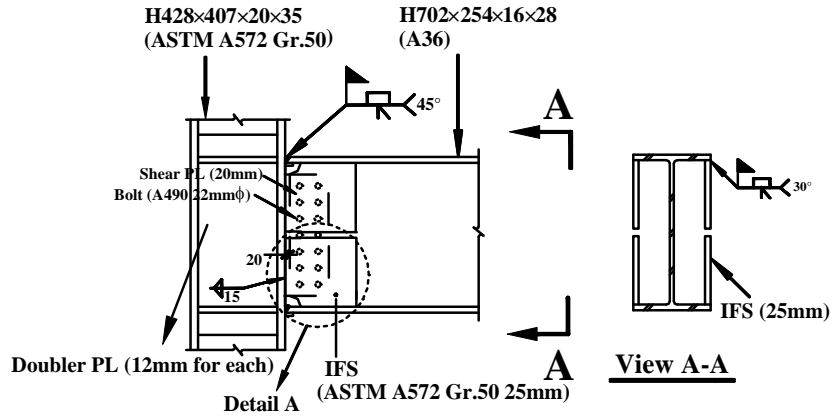


圖 2.7 試體 IFS1 之梁柱接頭接合細節

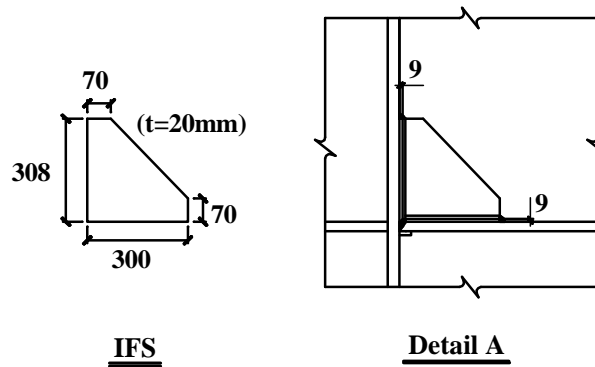
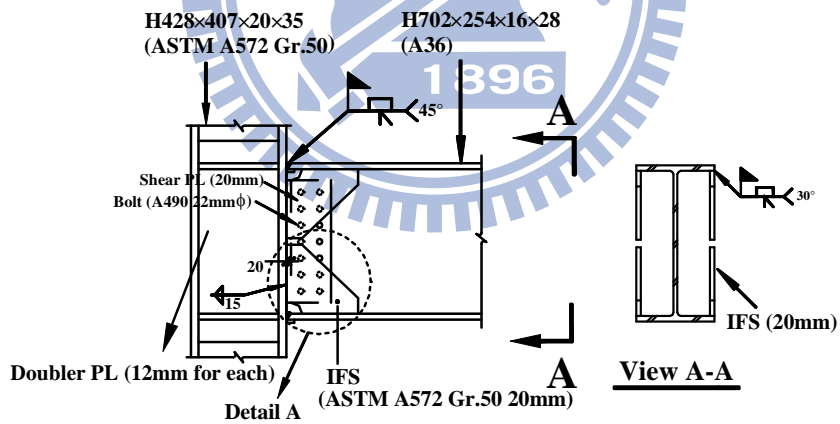


圖 2.8 試體 IFS2 之梁柱接頭接合細節

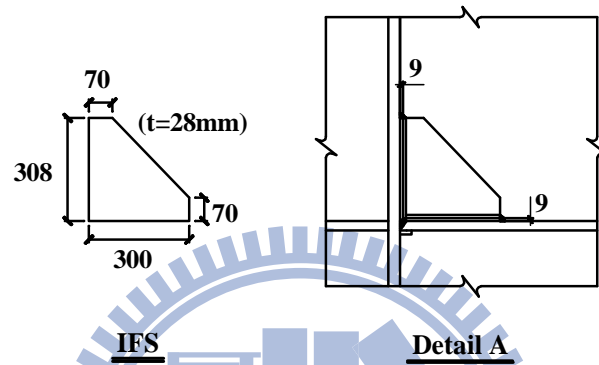
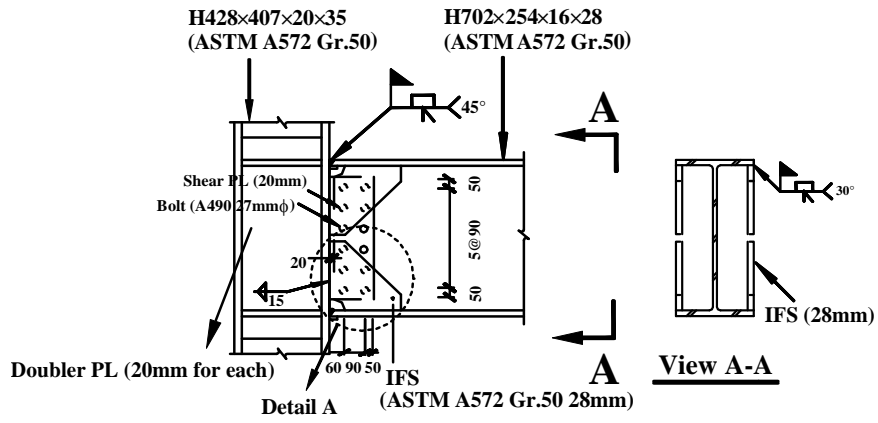


圖 2.9 試體 IFS3 之梁柱接頭接合細節

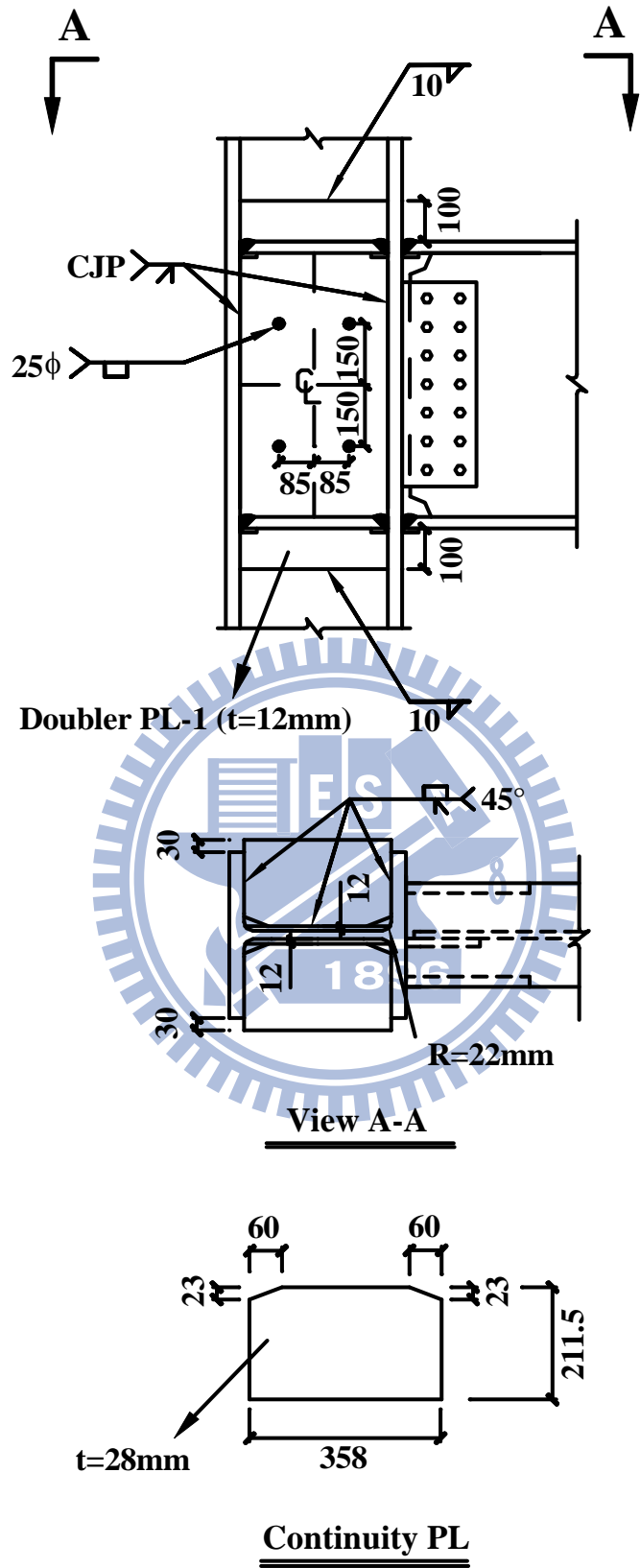


圖 2.10 試體編號 UR 及 IFS1-2 之疊合板接合細節



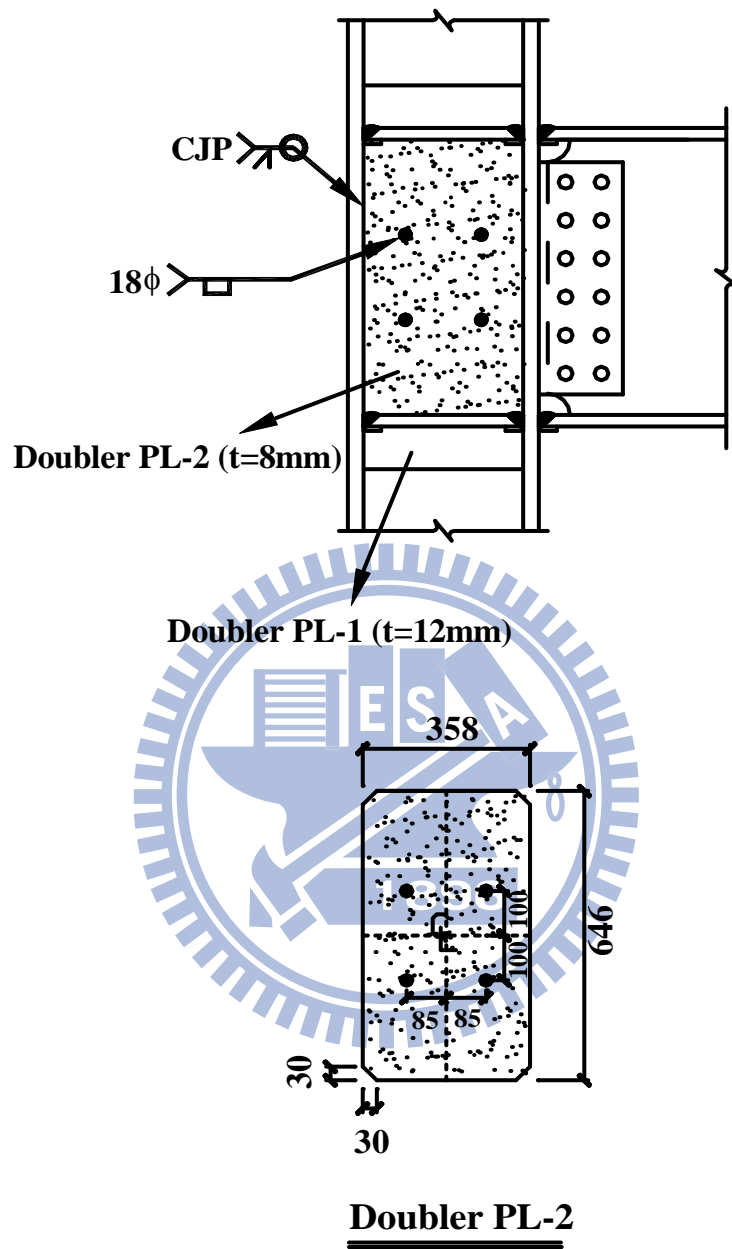


圖 2.11 試體編號 IFS3 之疊合板接合細節

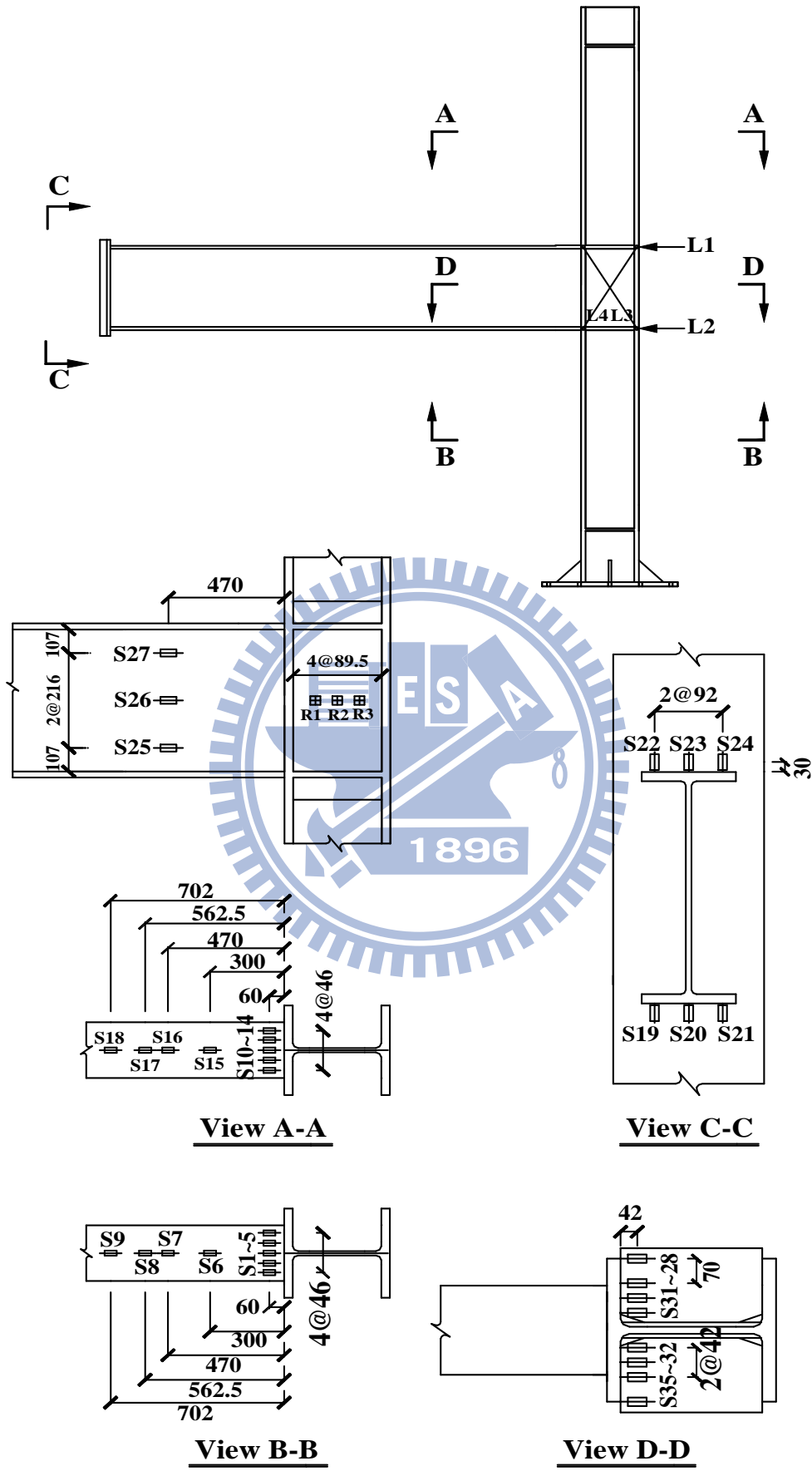


圖 2.12 試體 UR 應變記與位移計配置

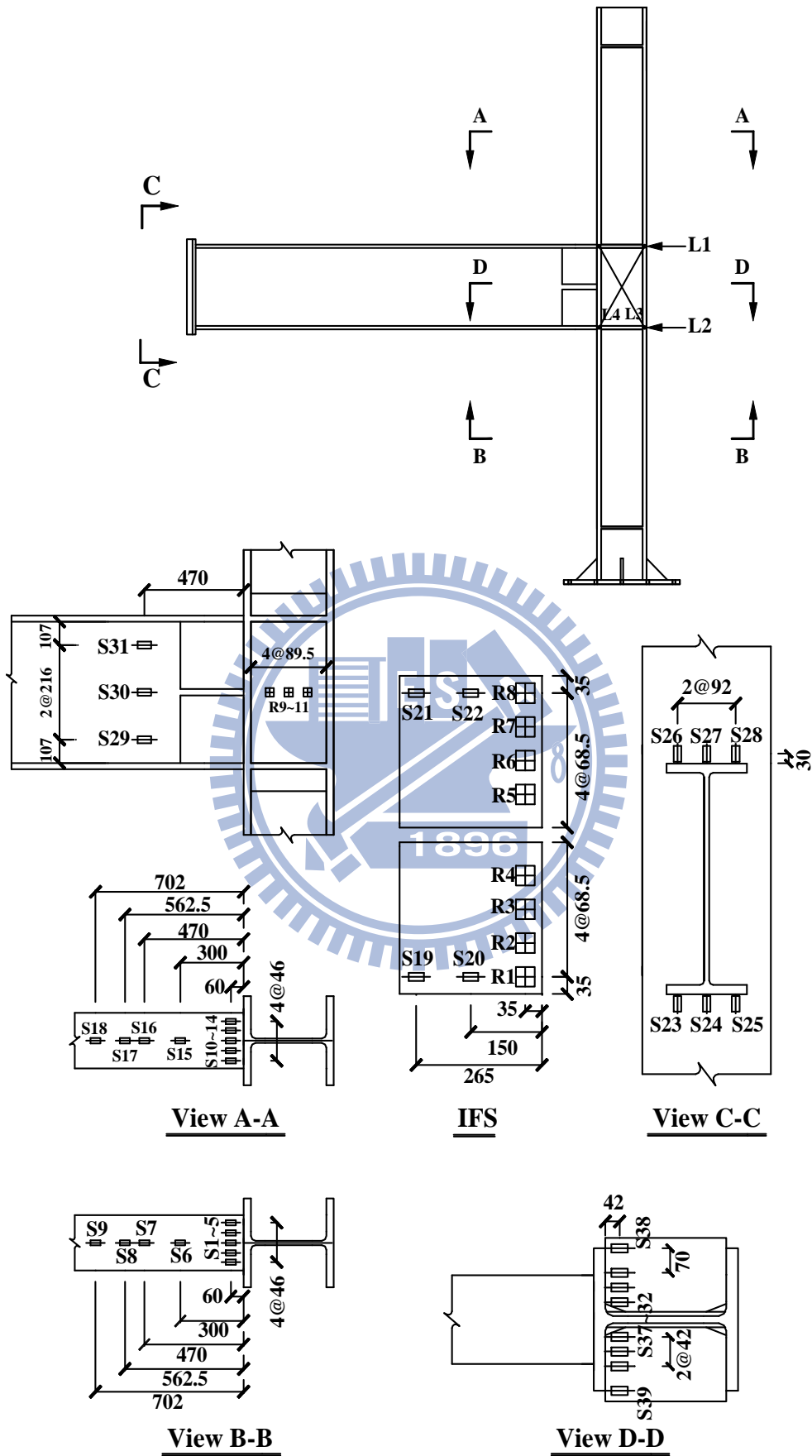


圖 2.13 試體 IFS1 應變記與位移計配置

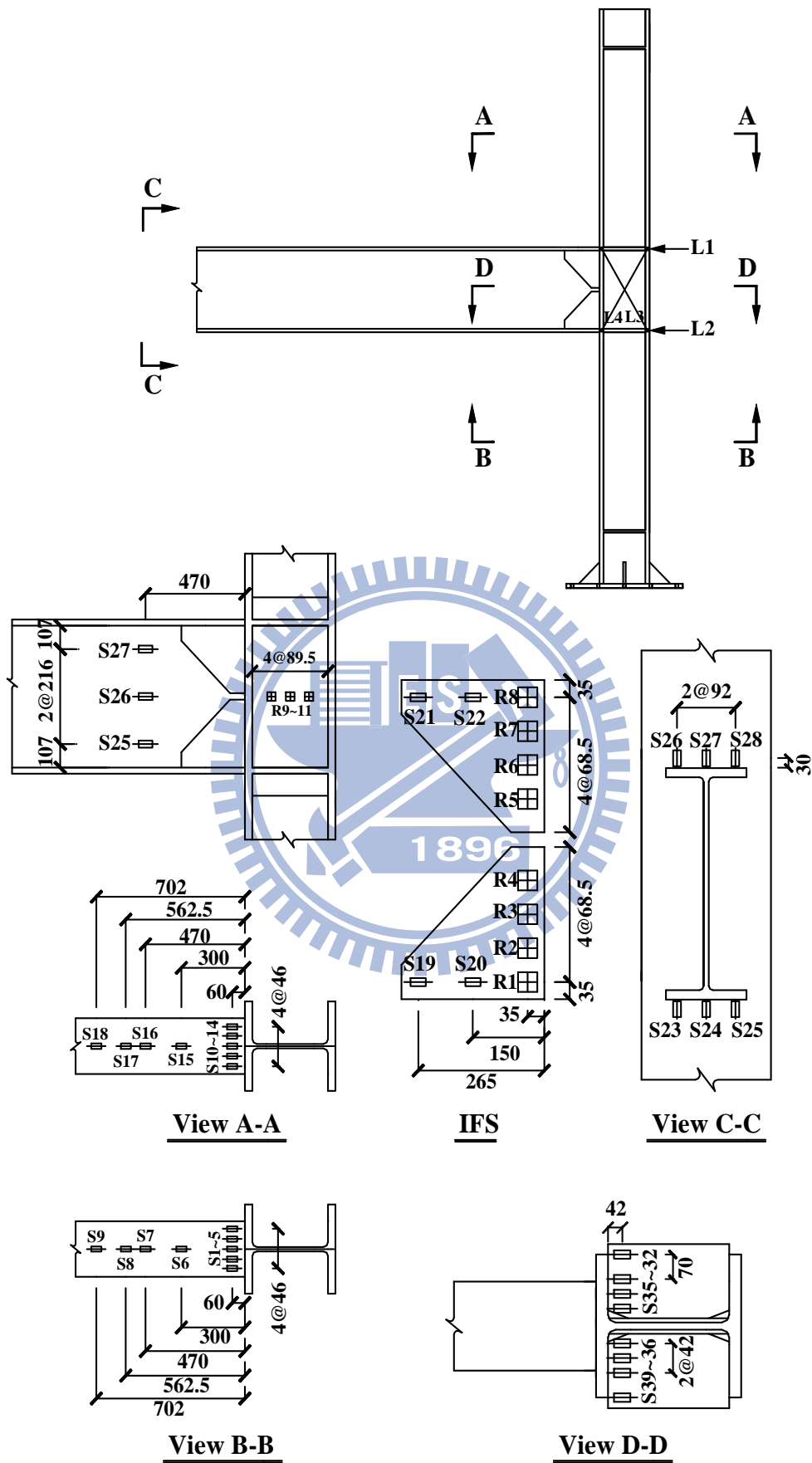


圖 2.14 試體 IFS2-3 應變記與位移計配置

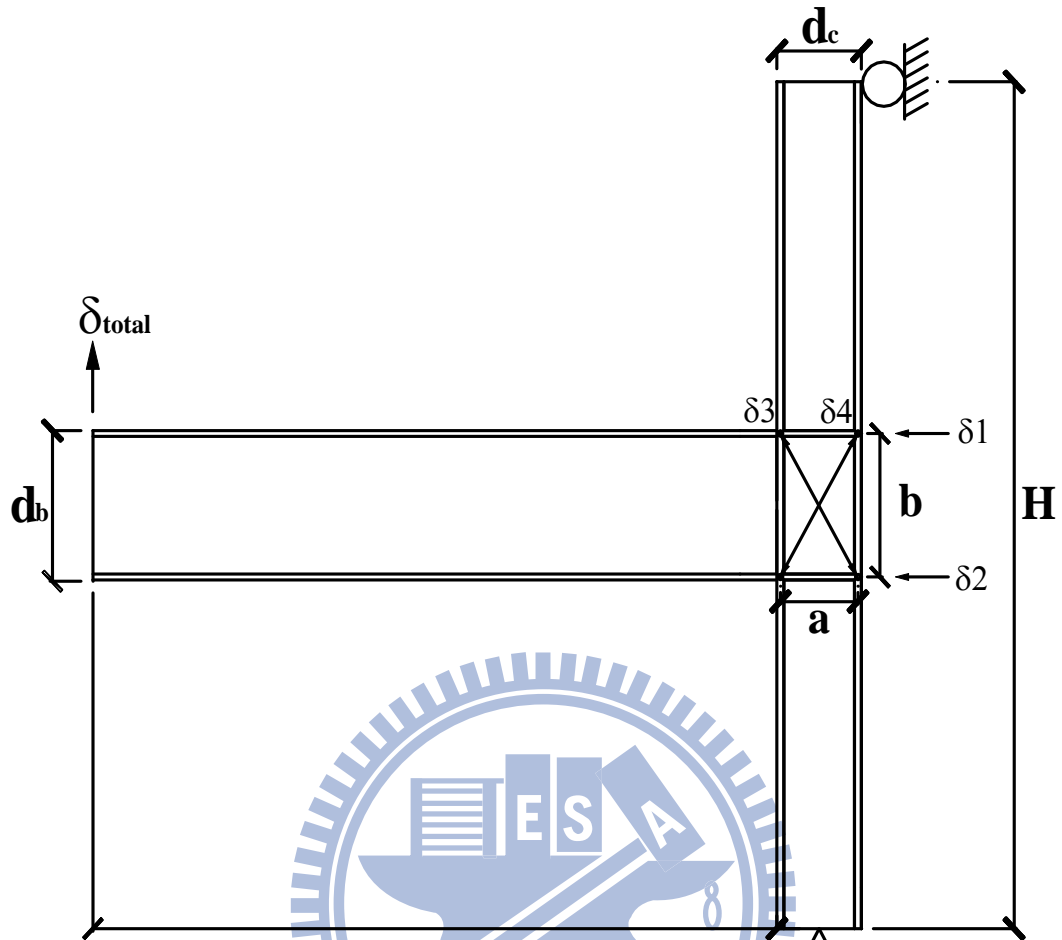


圖 2.15 梁柱交會區變形量測

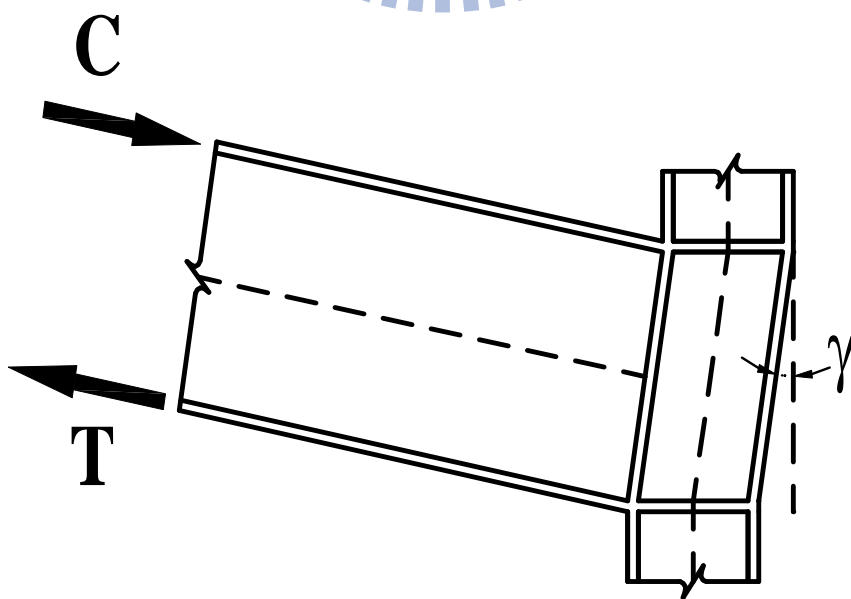


圖 2.16 梁柱交會區剪力變形

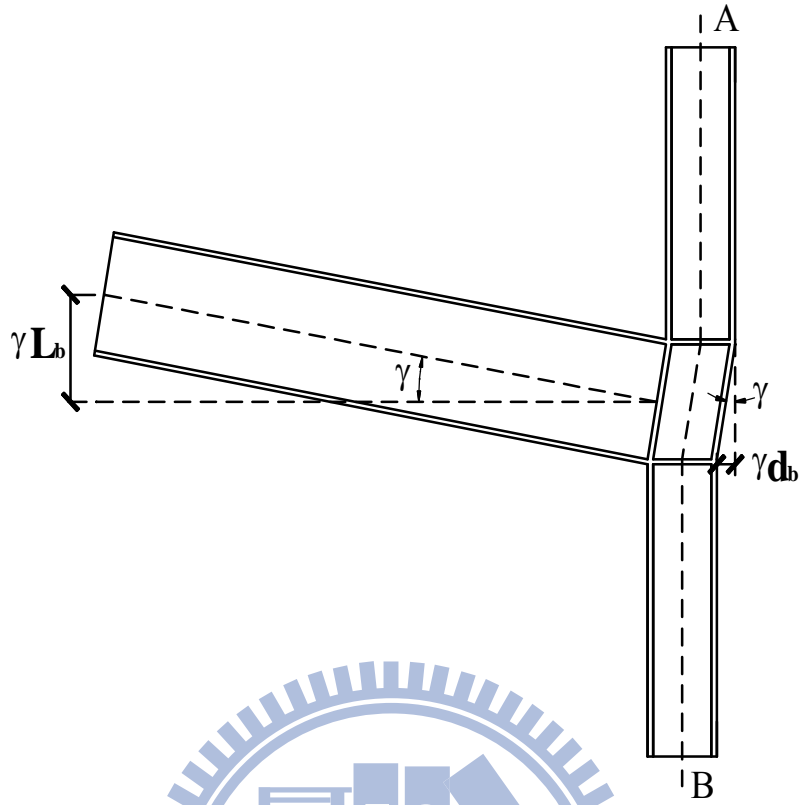


圖 2.17 梁柱交會區剪力變形示意圖（剛體旋轉前）

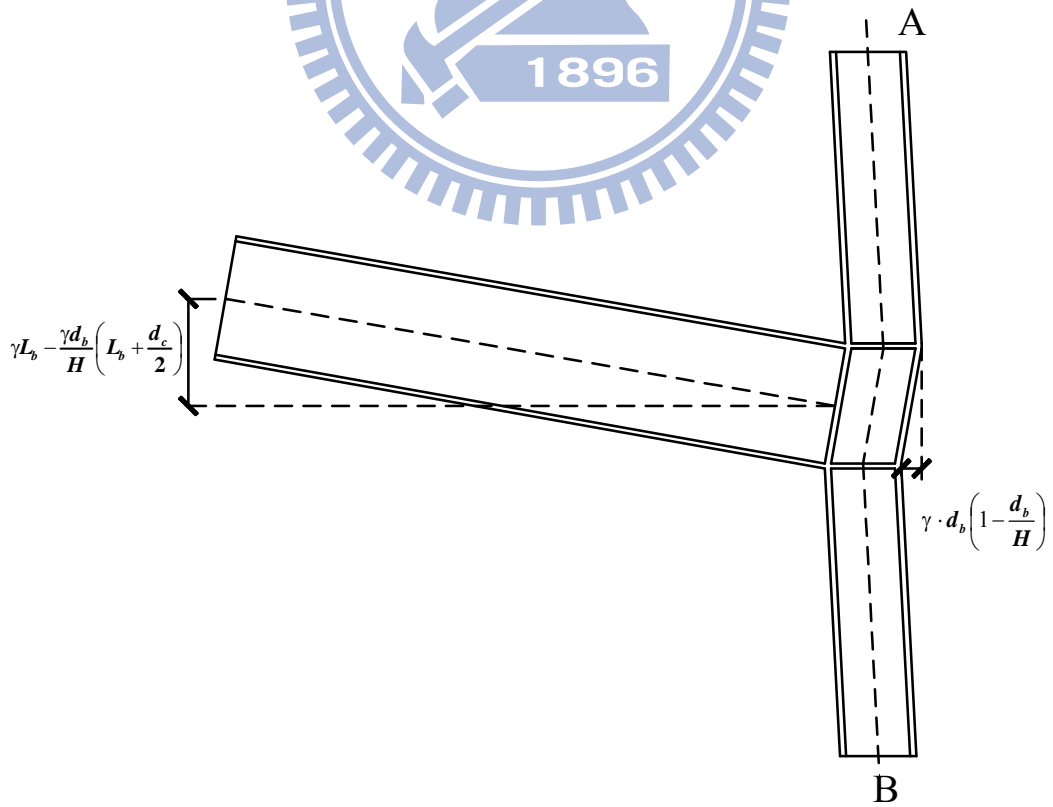


圖 2.18 梁柱交會區剪力變形示意圖（剛體旋轉後）



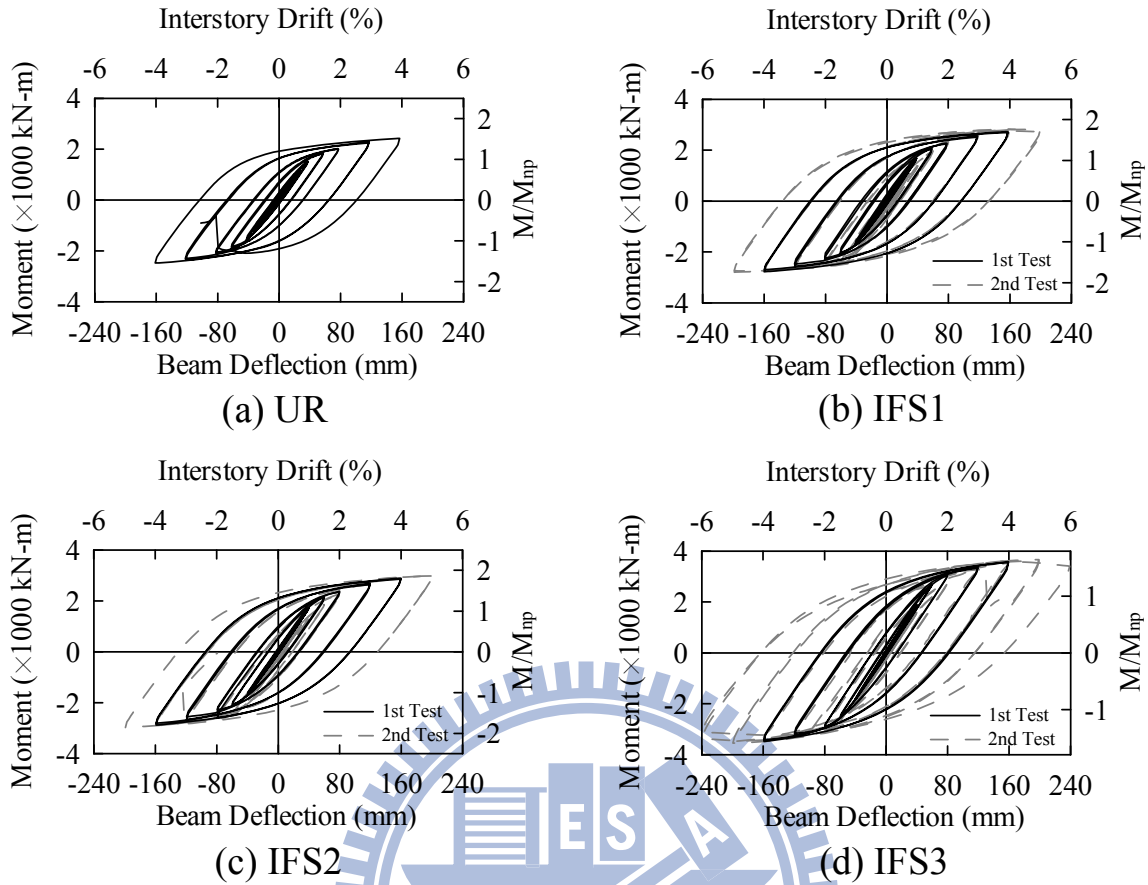


圖 3.1 各試體彎矩與梁端位移關係圖

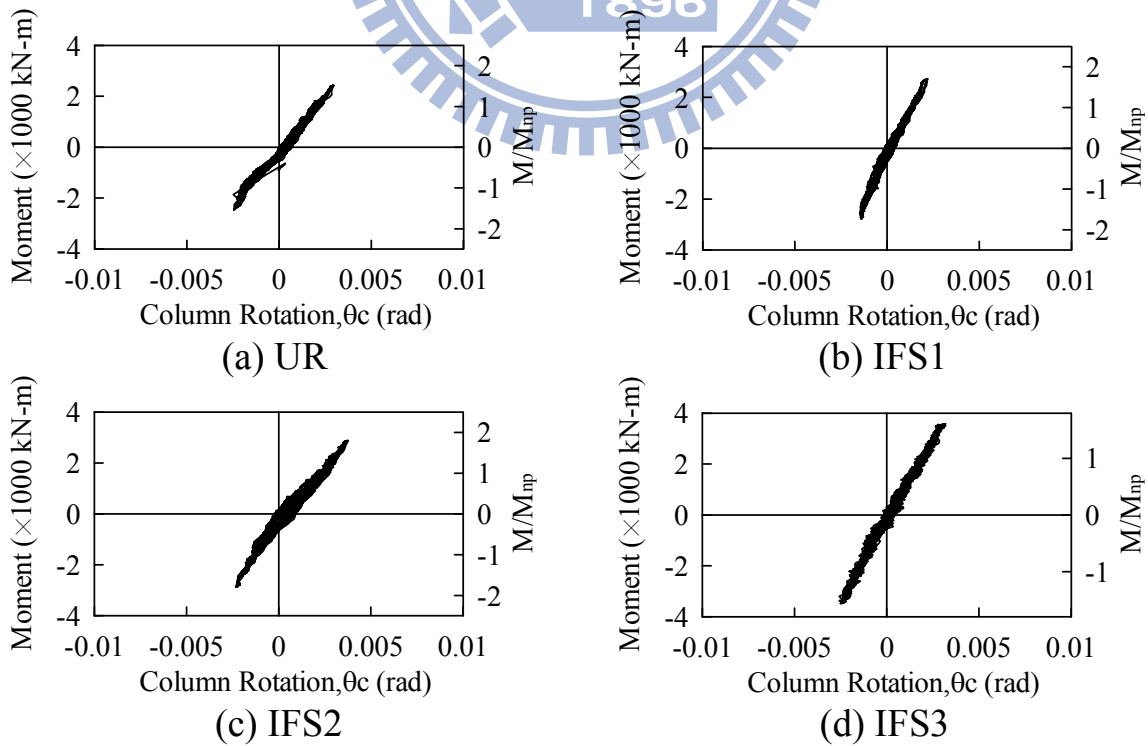


圖 3.2 各試體彎矩與柱轉角分量關係圖 ( $I_{st}$  Test)

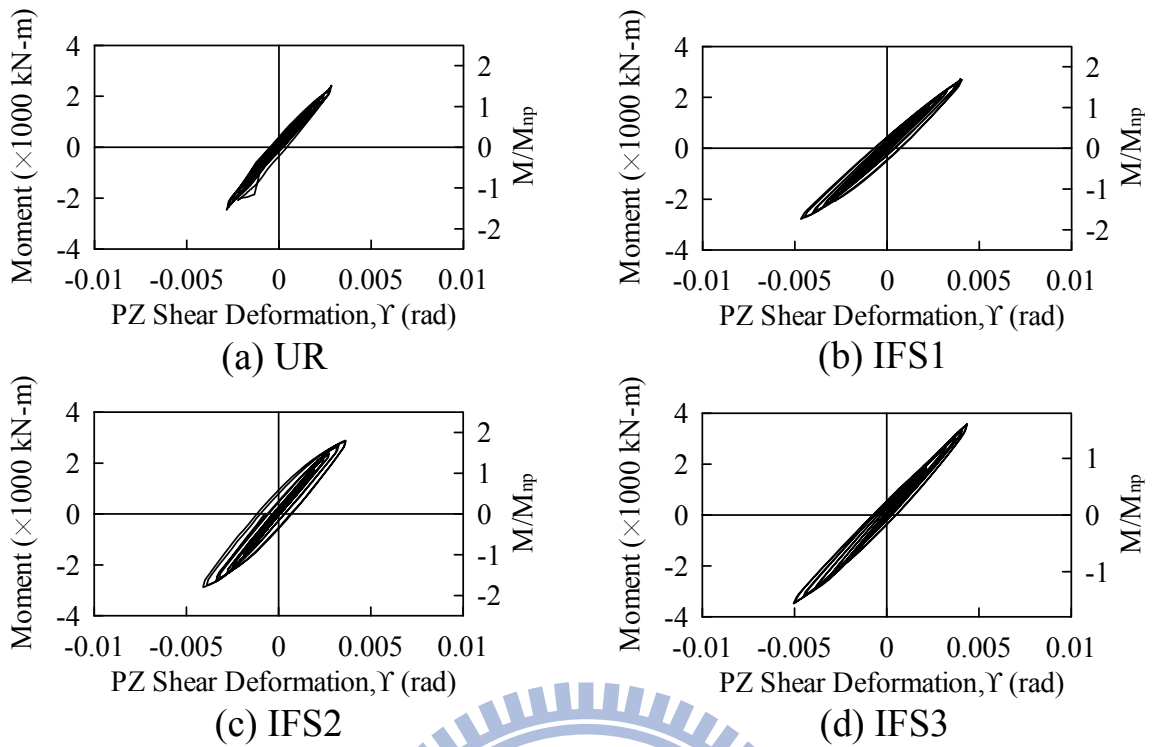


圖 3.3 各試體彎矩與交會區剪力變形關係圖 ( $I_{st} Test$ )

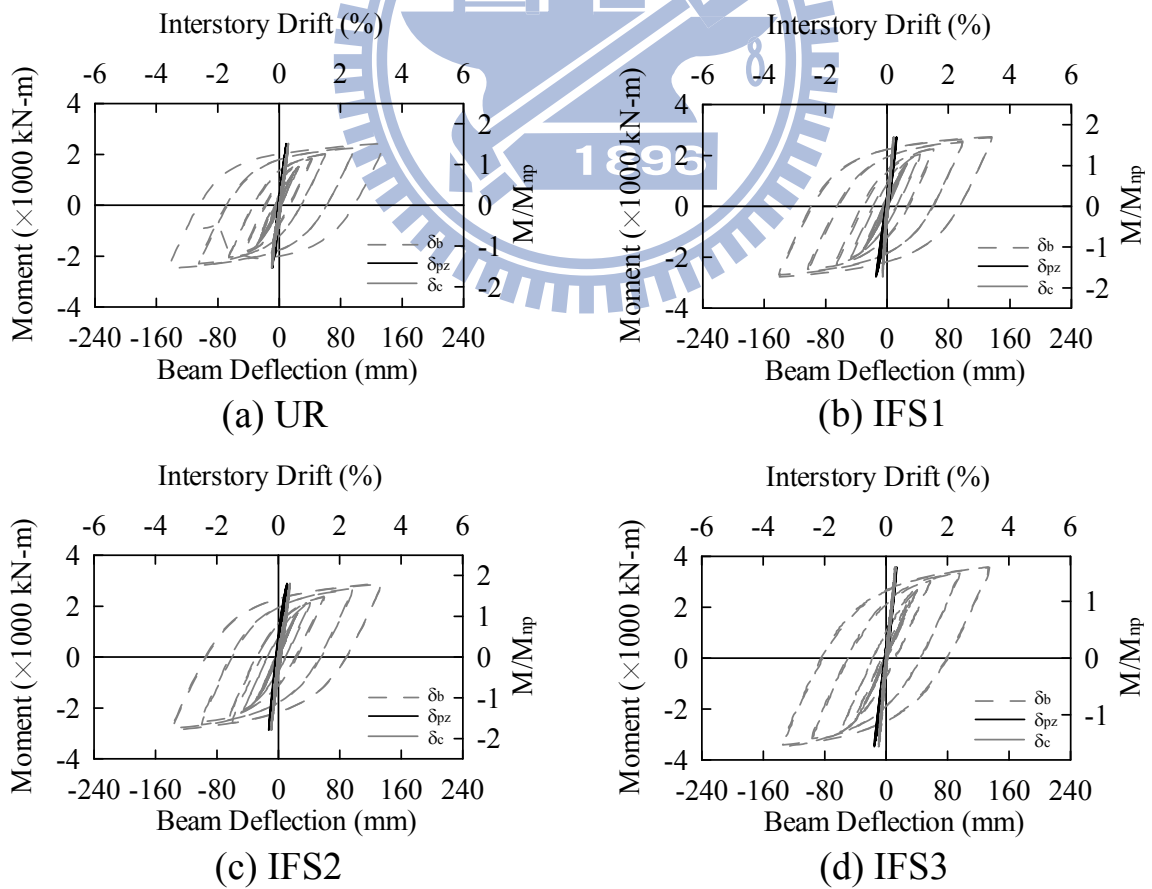
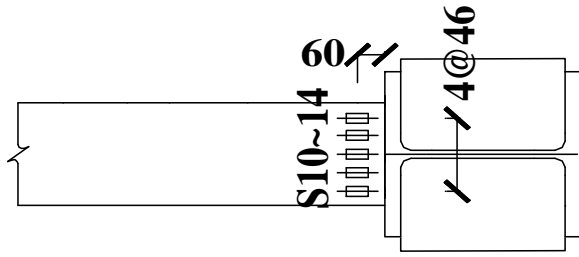
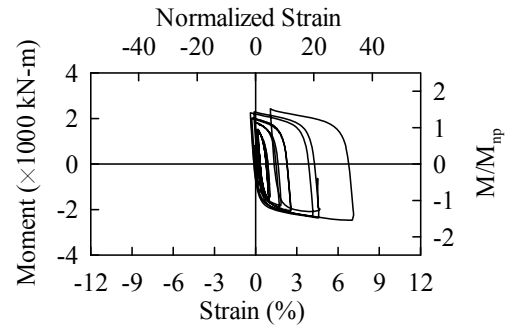


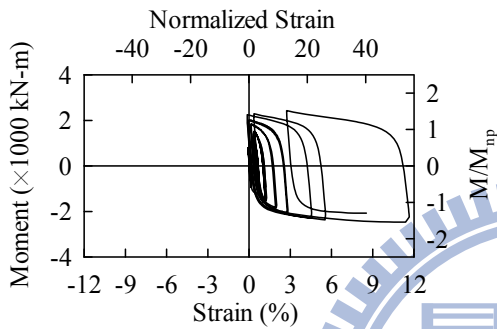
圖 3.4 各試體梁端位移分量之比較 ( $I_{st} Test$ )



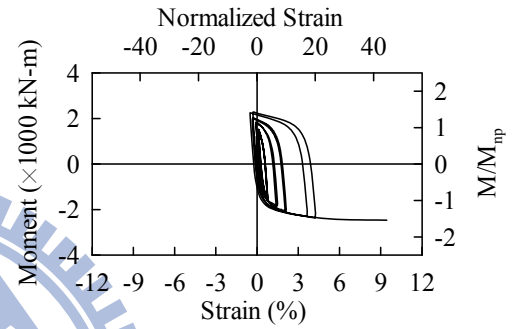
(a) Strain Gauge Location



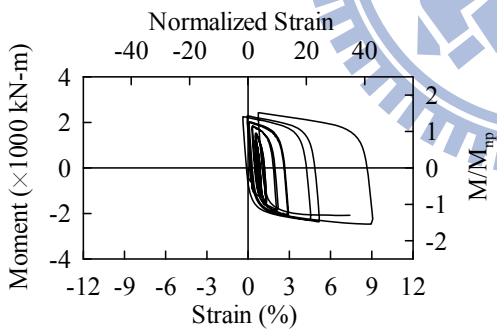
(b) Strain Gauge S10



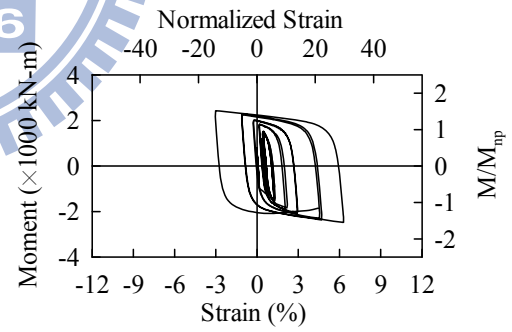
(c) Strain Gauge S11



(d) Strain Gauge S12

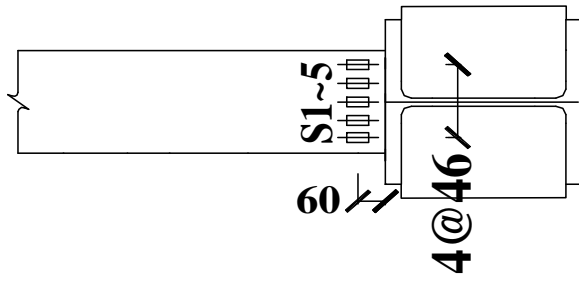


(e) Strain Gauge S13

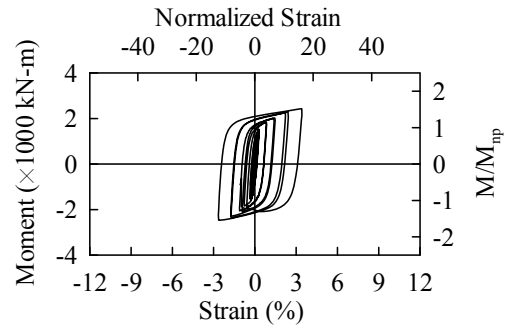


(f) Strain Gauge S14

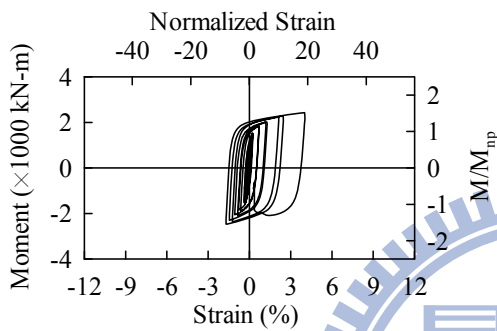
圖 3.5 試體 UR 彎矩與上翼板沿梁縱向之應變關係



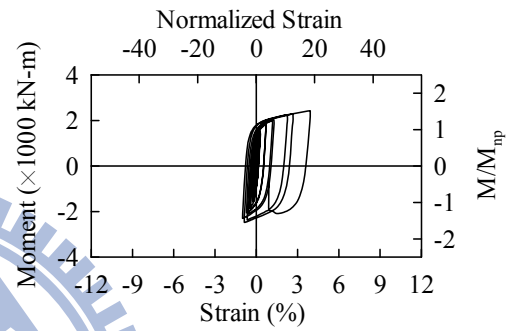
(a) Strain Gauge Location



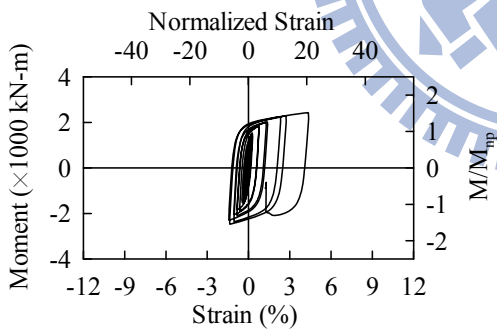
(b) Strain Gauge S1



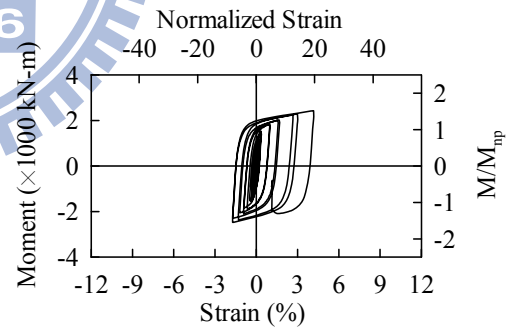
(c) Strain Gauge S2



(d) Strain Gauge S3

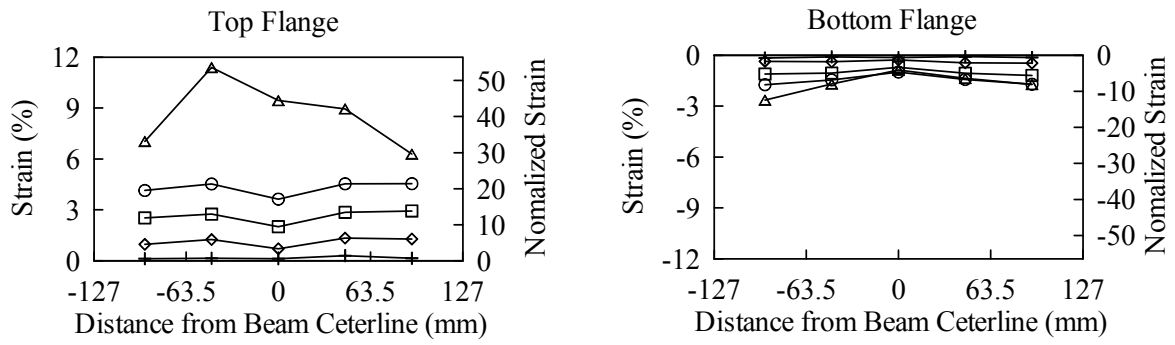


(e) Strain Gauge S4

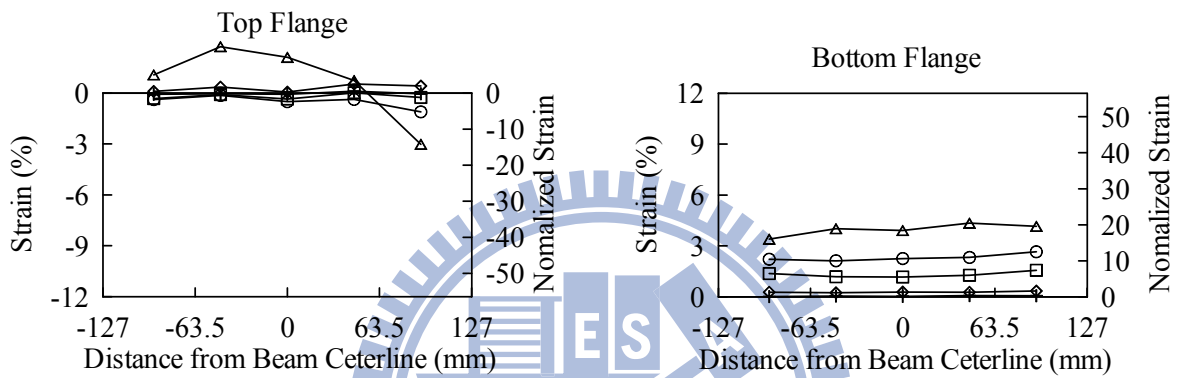


(f) Strain Gauge S5

圖 3.6 試體 UR 彎矩與下翼板沿梁縱向之應變關係



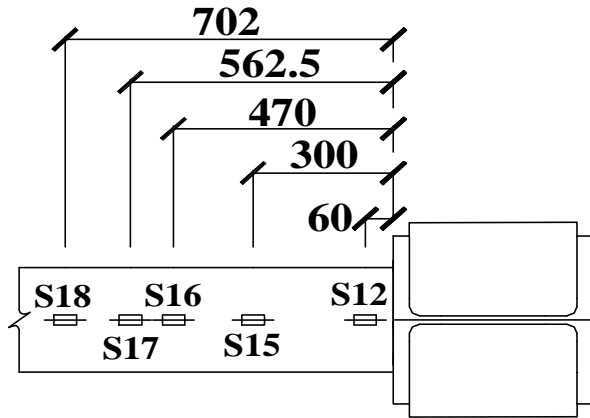
(a) Negative Bending



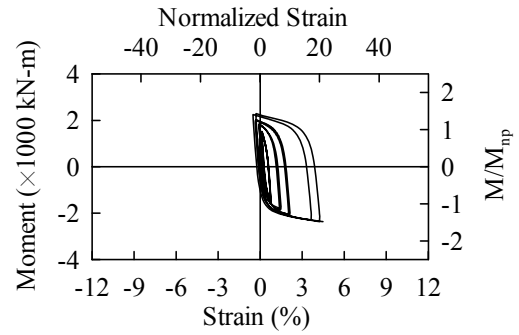
(b) Positive Bending

+0.5%  $\diamond$  1%  $\square$  2%  $\circ$  3%  $\triangle$  4%

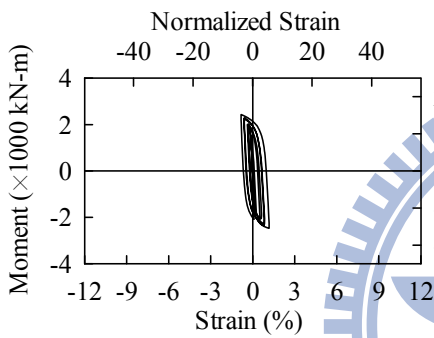
圖 3.7 試體 UR 梁翼板縱向應變分佈圖



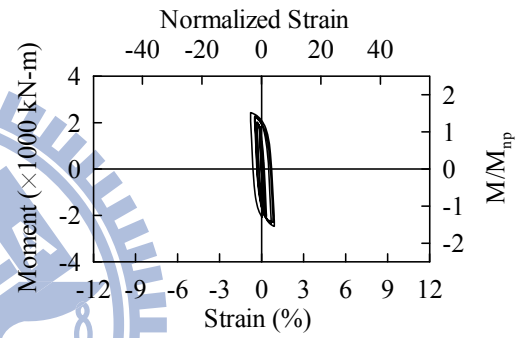
(a) Strain Gauge Location



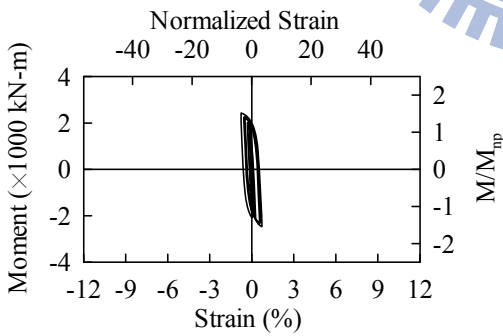
(b) Strain Gauge S12



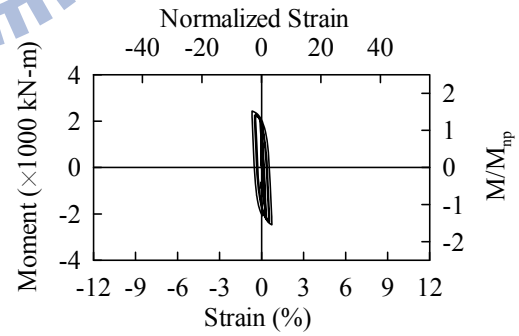
(c) Strain Gauge S15



(d) Strain Gauge S16



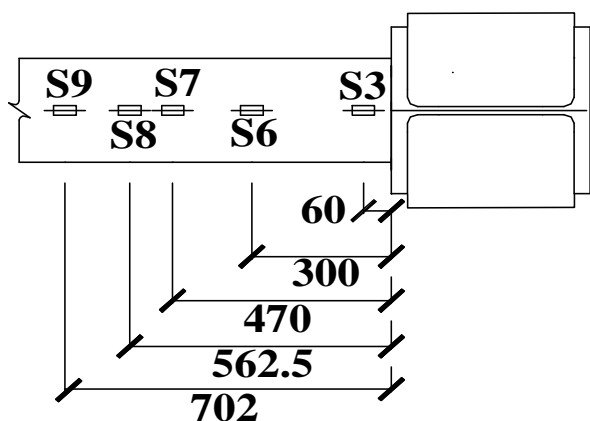
(e) Strain Gauge S17



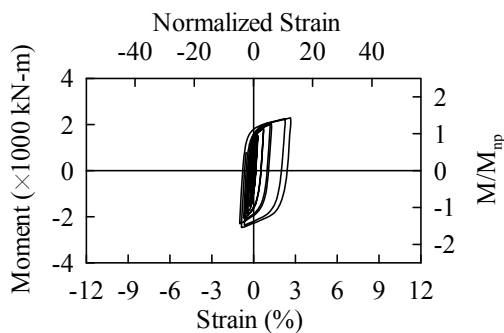
(f) Strain Gauge S18

圖 3.8 試體 UR 彎矩與上翼板沿梁橫向之應變關係

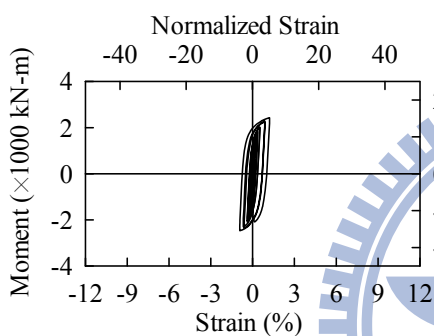




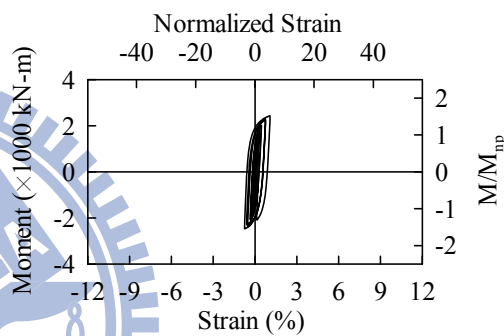
(a) Strain Gauge Location



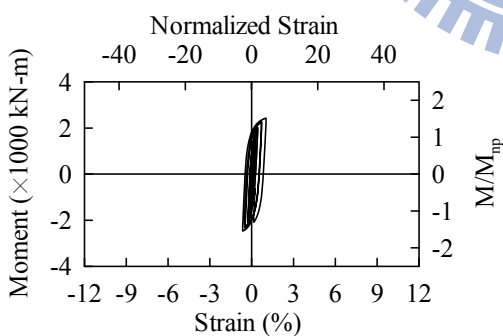
(b) Strain Gauge S3



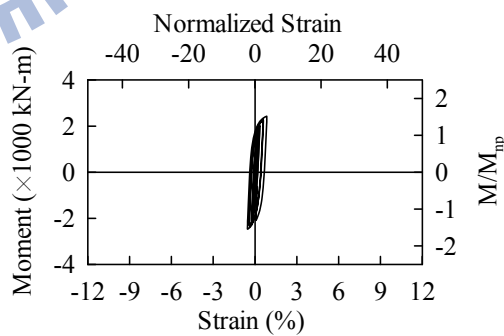
(c) Strain Gauge S6



(d) Strain Gauge S7

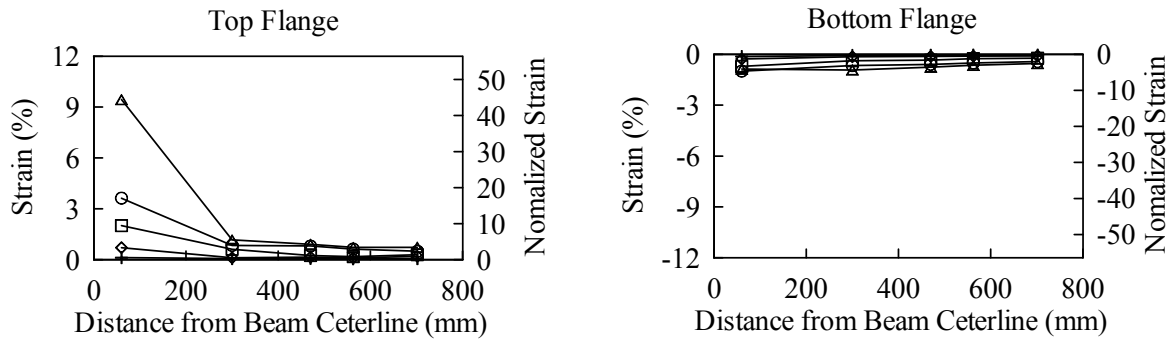


(e) Strain Gauge S8

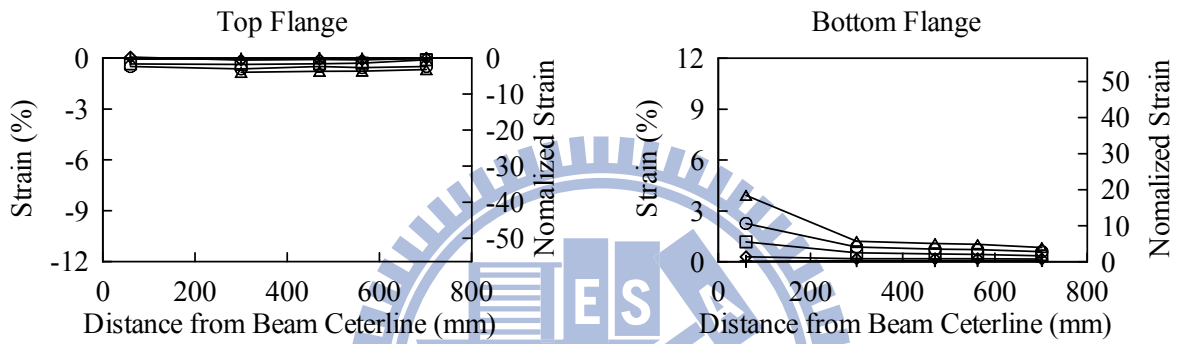


(f) Strain Gauge S9

圖 3.9 試體 UR 彎矩與下翼板沿梁橫向之應變關係



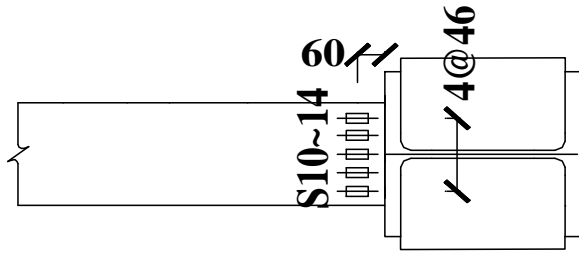
(a) Negative Bending



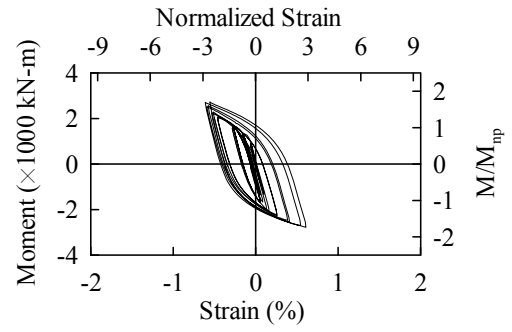
(b) Positive Bending

+0.5% ◇ 1% □ 2% ○ 3% △ 4%

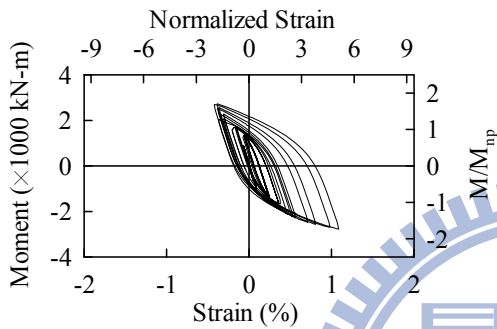
圖 3.10 試體 UR 梁翼板橫向應變分佈圖



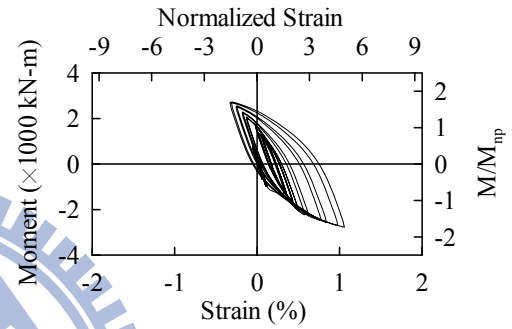
(a) Strain Gauge Location



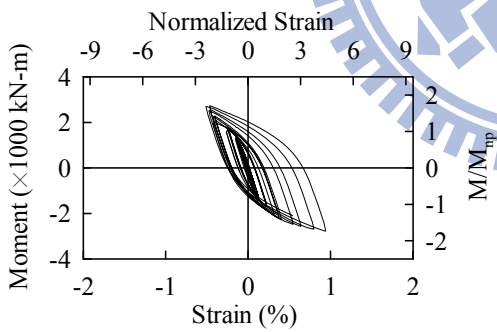
(b) Strain Gauge S10



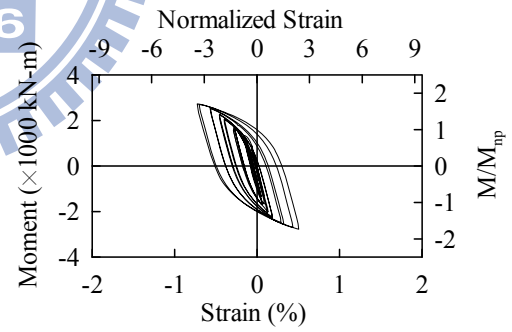
(c) Strain Gauge S11



(d) Strain Gauge S12

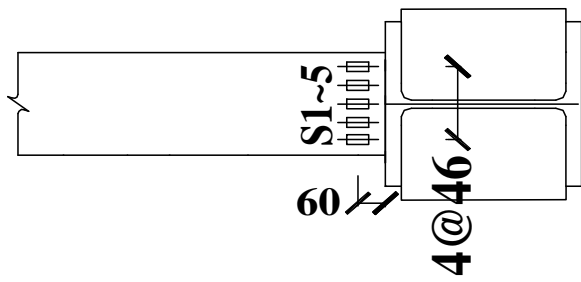


(e) Strain Gauge S13

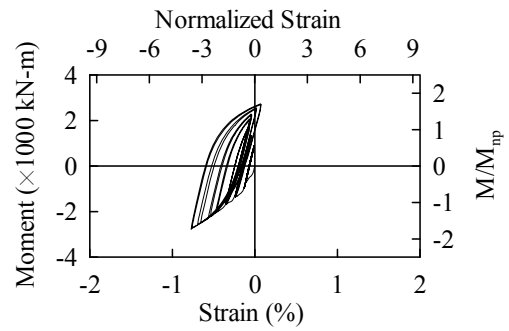


(f) Strain Gauge S14

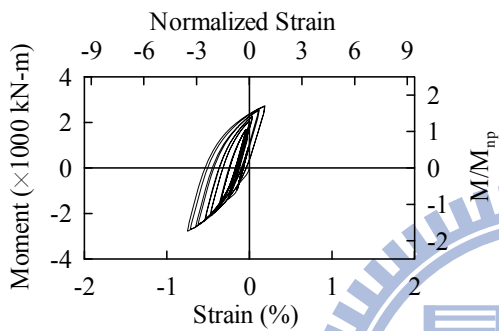
圖 3.11 試體 IFS1 彎矩與上翼板沿梁縱向之應變關係



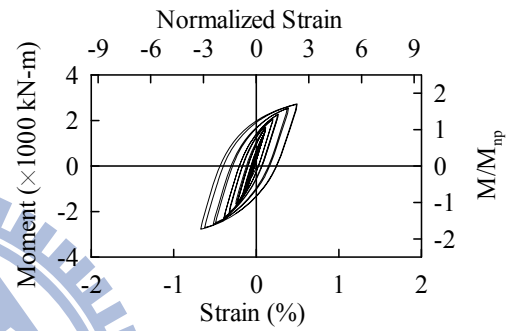
(a) Strain Gauge Location



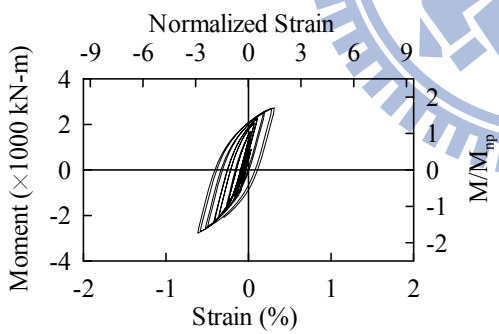
(b) Strain Gauge S1



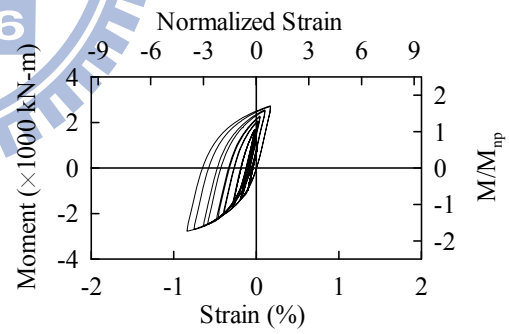
(c) Strain Gauge S2



(d) Strain Gauge S3

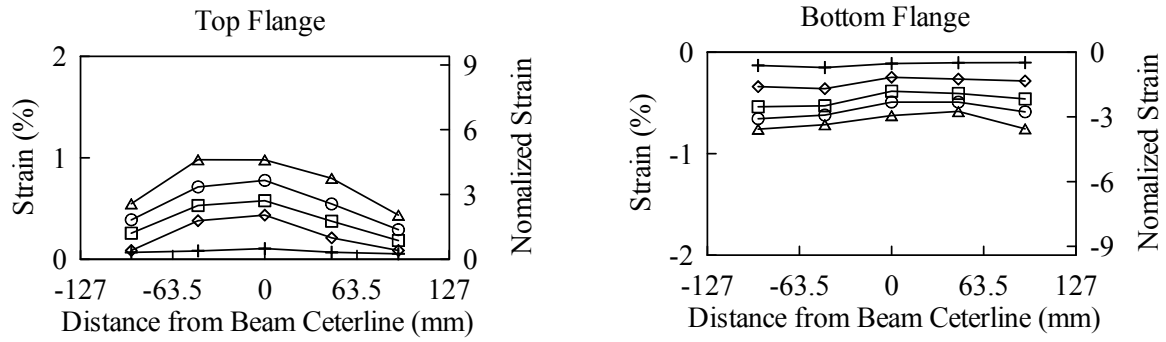


(e) Strain Gauge S4

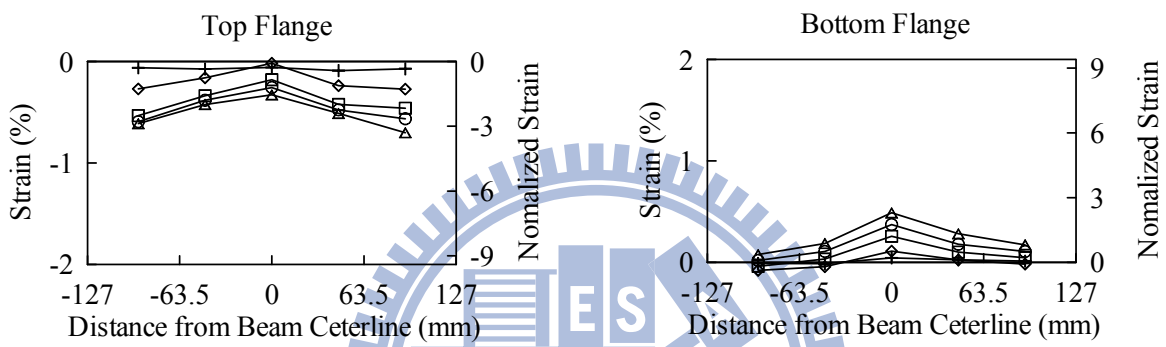


(f) Strain Gauge S5

圖 3.12 試體 IFS1 彎矩與下翼板沿梁縱向之應變關係



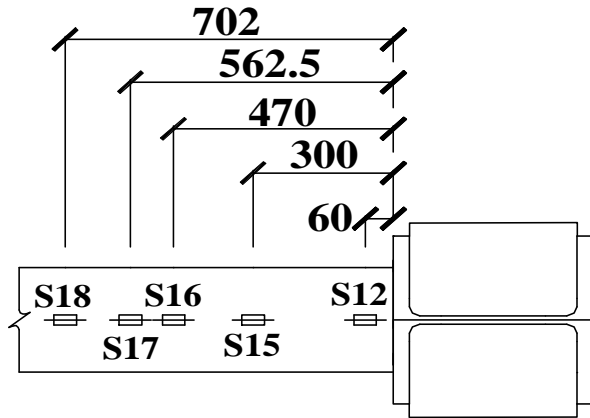
(a) Negative Bending



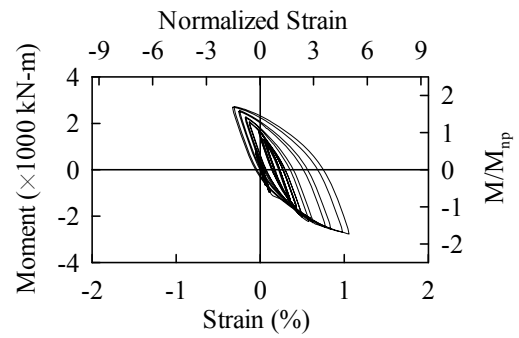
(b) Positive Bending

+0.5% ◇ 1% □ 2% ○ 3% △ 4%

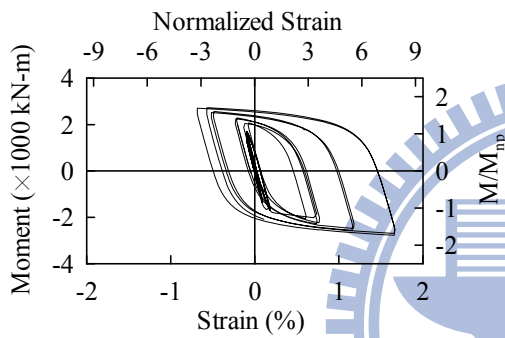
圖 3.13 試體 IFS1 梁翼板縱向應變分佈圖



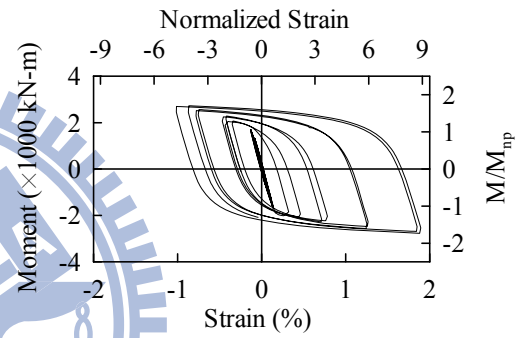
(a) Strain Gauge Location



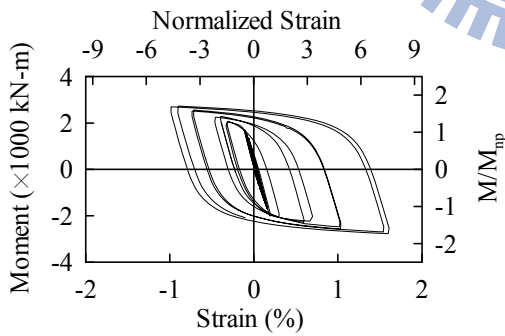
(b) Strain Gauge S12



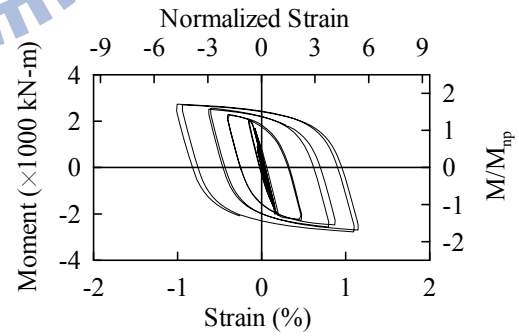
(c) Strain Gauge S15



(d) Strain Gauge S16

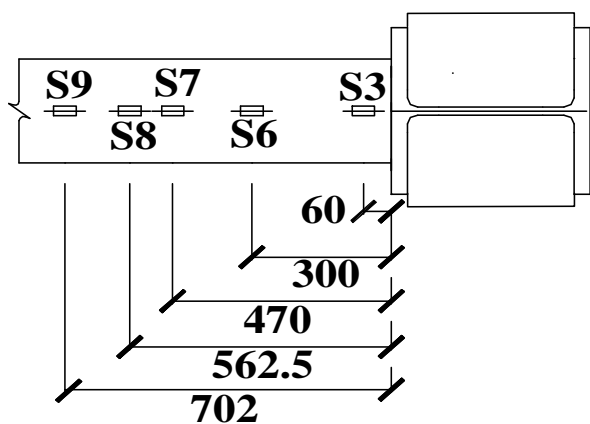


(e) Strain Gauge S17

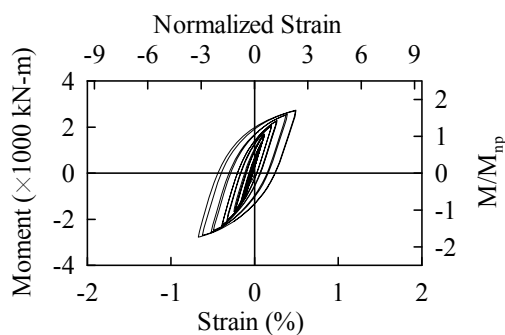


(f) Strain Gauge S18

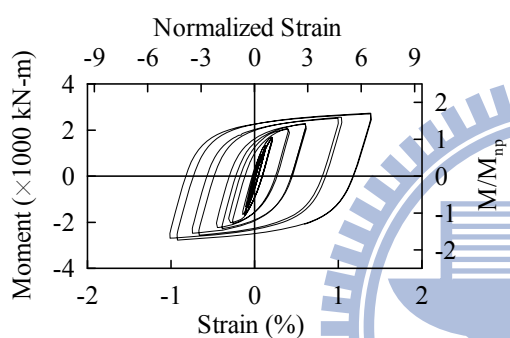
圖 3.14 試體 IFS1 彎矩與上翼板沿梁橫向之應變關係



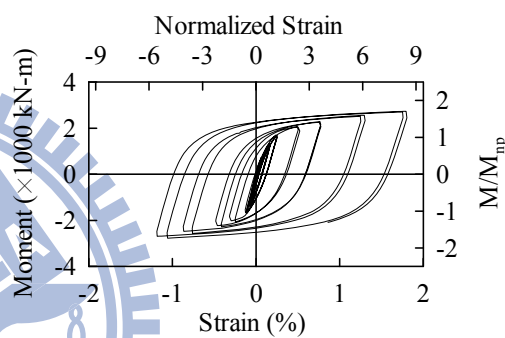
(a) Strain Gauge Location



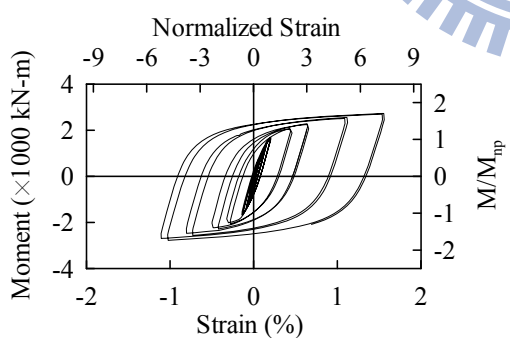
(b) Strain Gauge S3



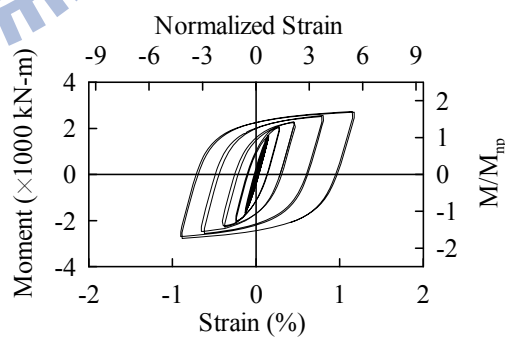
(c) Strain Gauge S6



(d) Strain Gauge S7



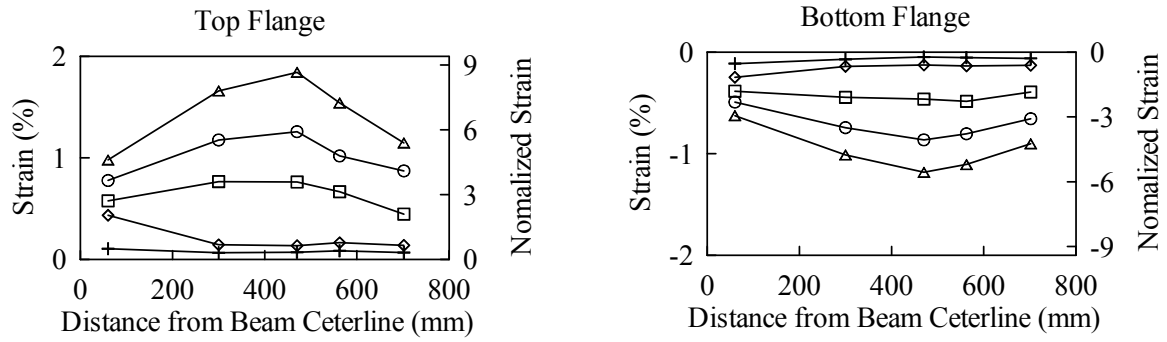
(e) Strain Gauge S8



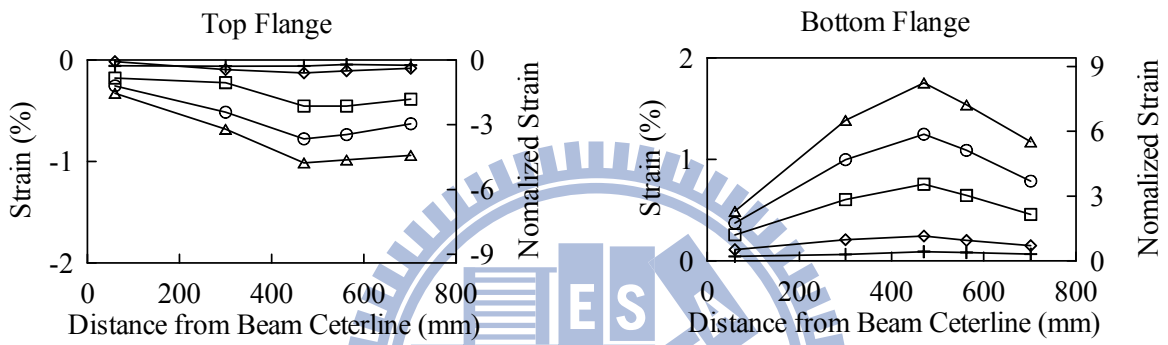
(f) Strain Gauge S9

圖 3.15 試體 IFS1 彎矩與下翼板沿梁橫向之應變關係





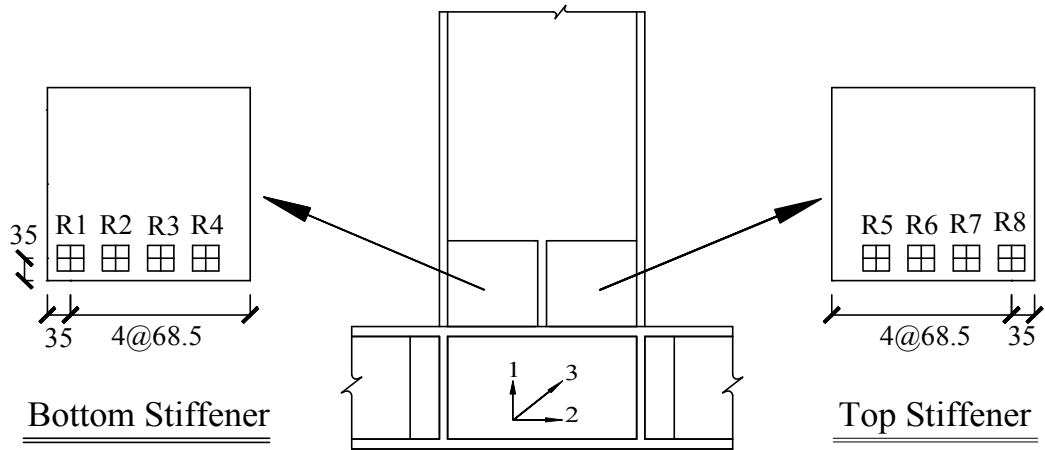
(a) Negative Bending



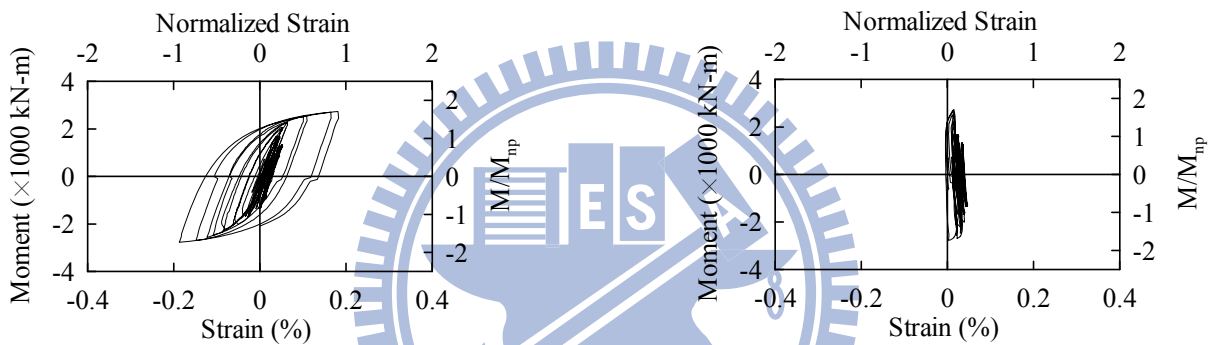
(b) Positive Bending

+0.5%   ◇ 1%   □ 2%   ○ 3%   △ 4%

圖 3.16 試體 IFS1 梁翼板橫向應變分佈圖

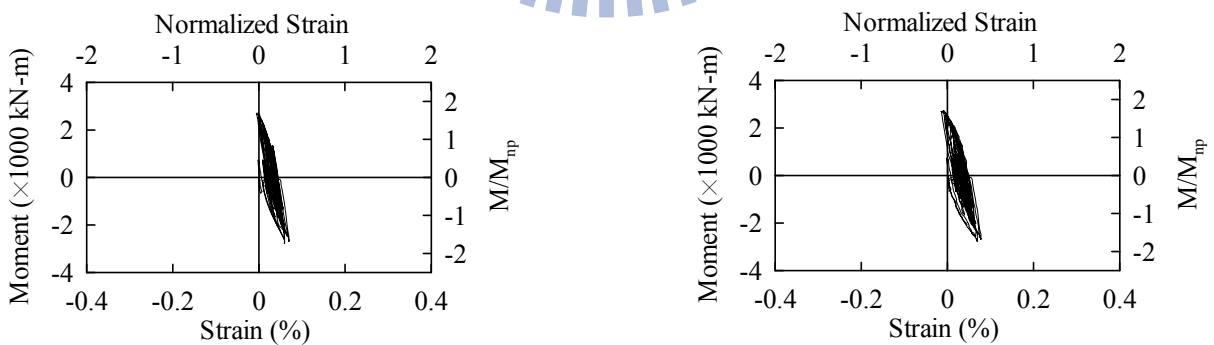


(a) Strain Gauge Location



(b) Strain Gauge R1-1

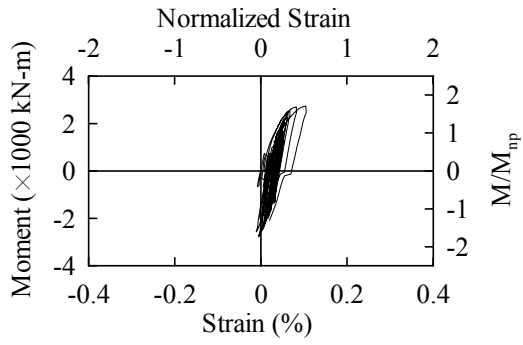
(c) Strain Gauge R2-1



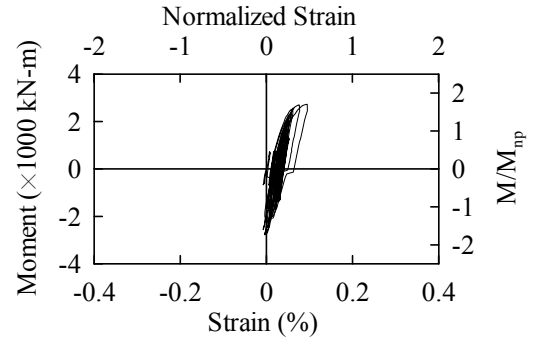
(d) Strain Gauge R3-1

(e) Strain Gauge R4-1

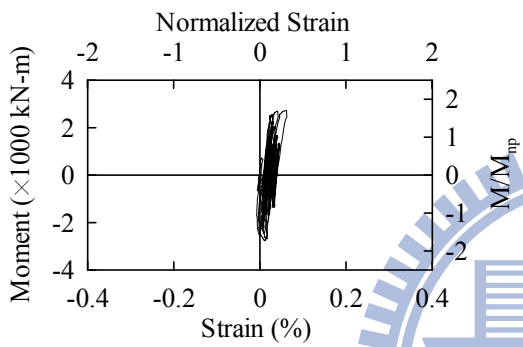
圖 3.17 試體 IFS1 彎矩與加勁板應變關係



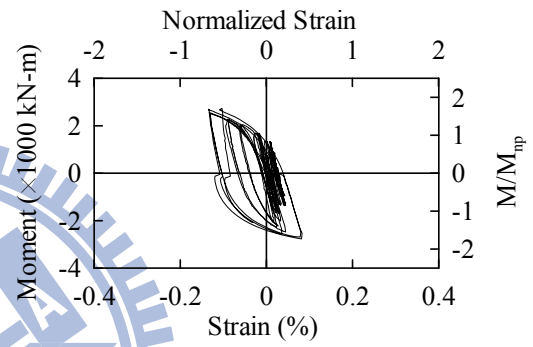
(f) Strain Gauge R5-1



(g) Strain Gauge R6-1

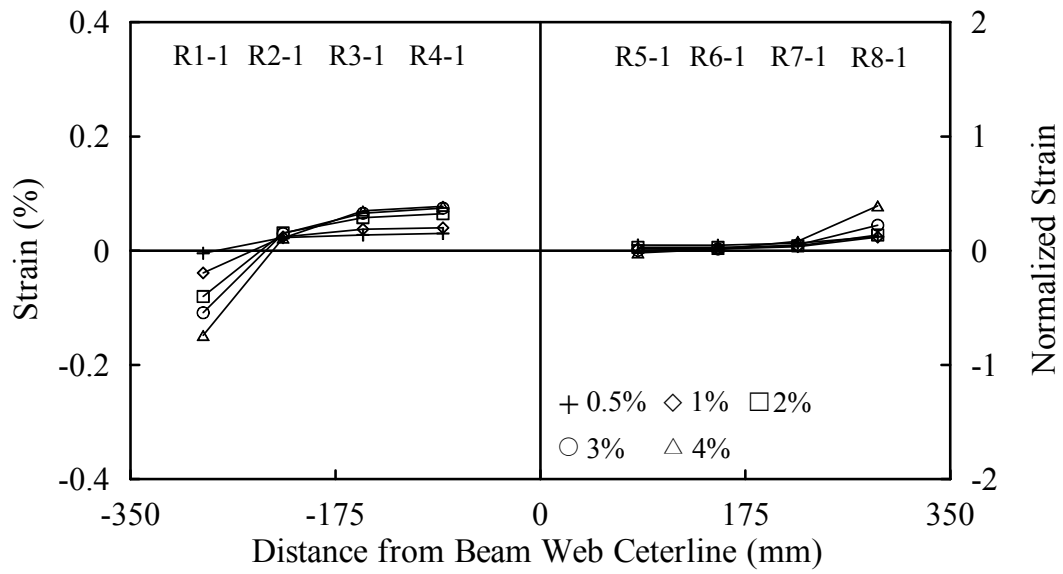


(h) Strain Gauge R7-1

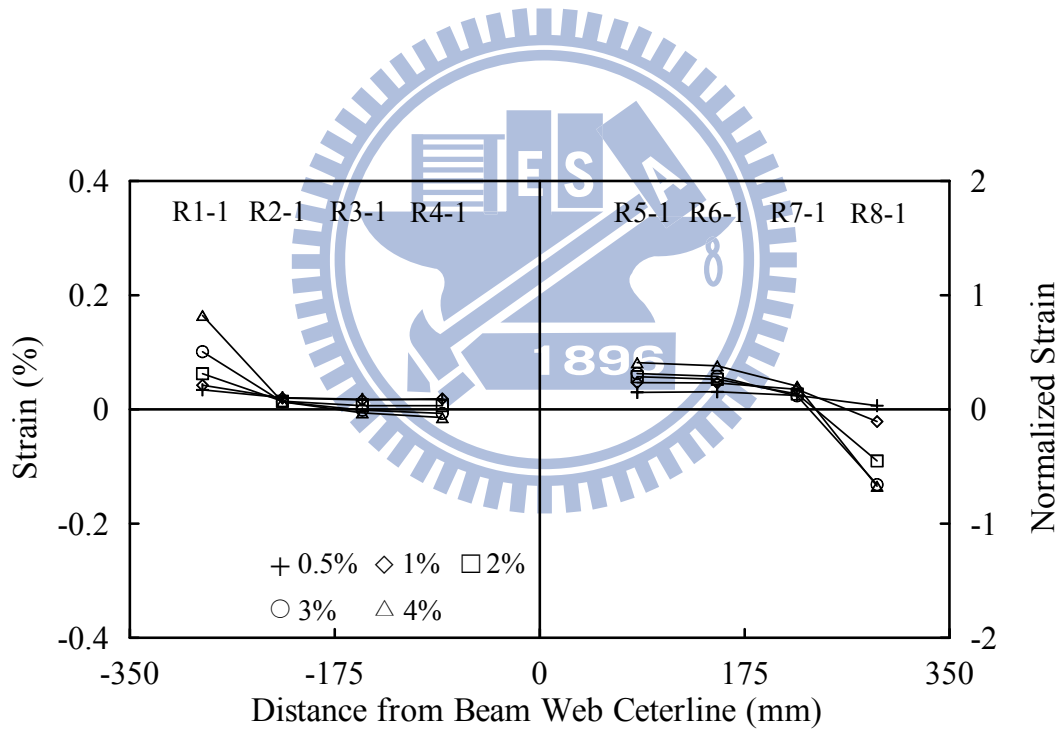


(i) Strain Gauge R8-1

圖 3.18 試體 IFS1 彎矩與加勁板應變關係 (續)

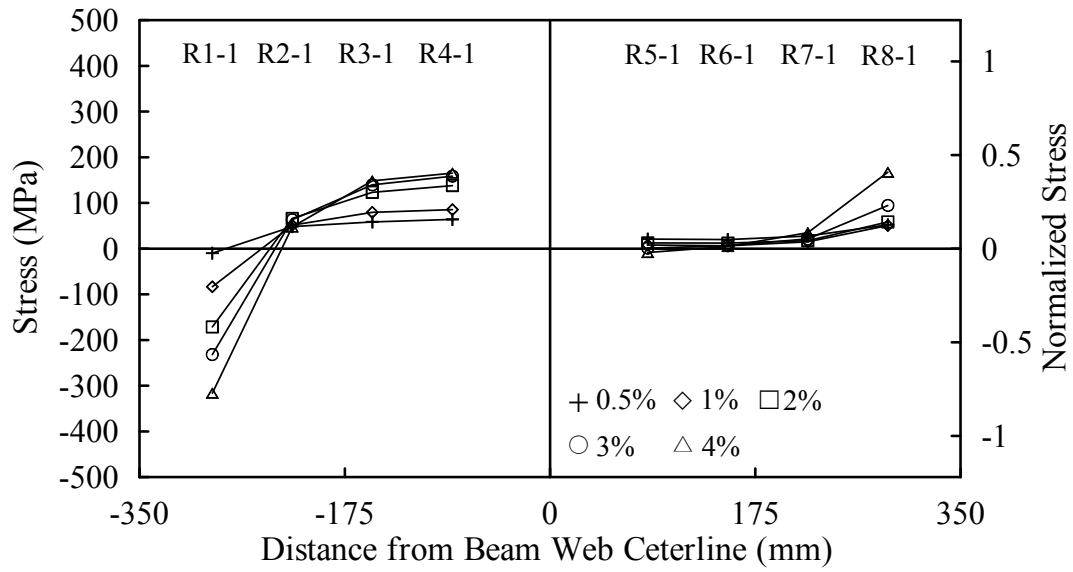


(a) Negative Bending

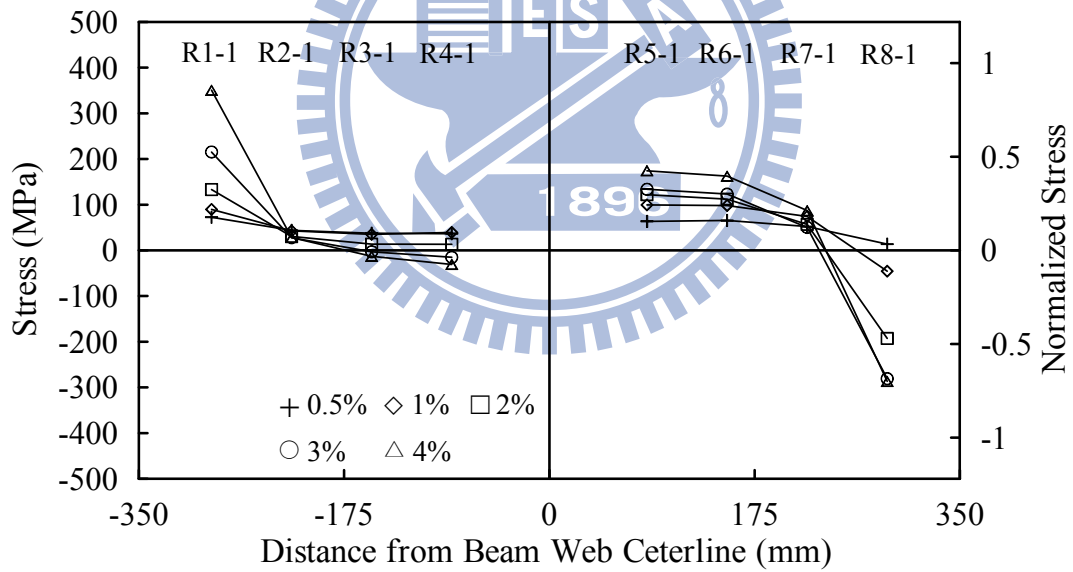


(b) Positive Bending

圖 3.19 試體 IFS1 加勁板應變分佈

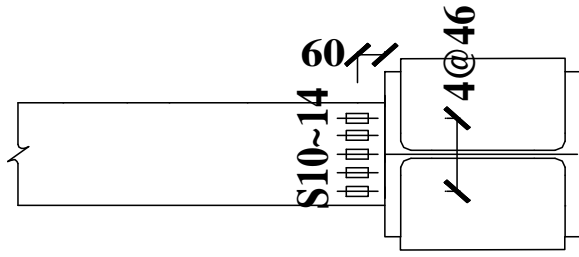


(a) Negative Bending

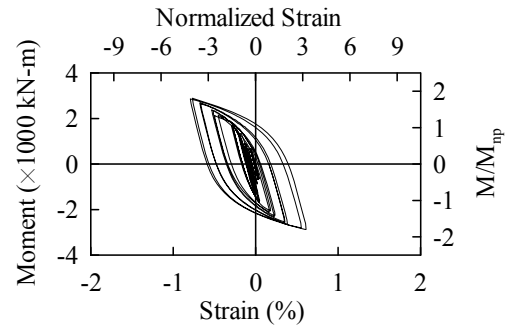


(b) Positive Bending

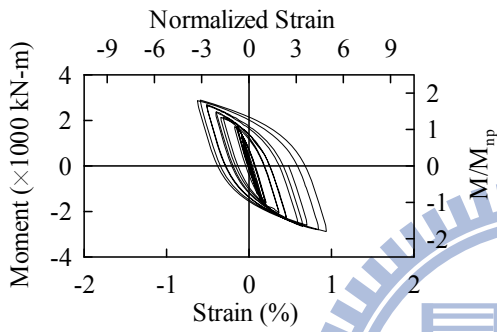
圖 3.20 試體 IFS1 加勁板應力分佈



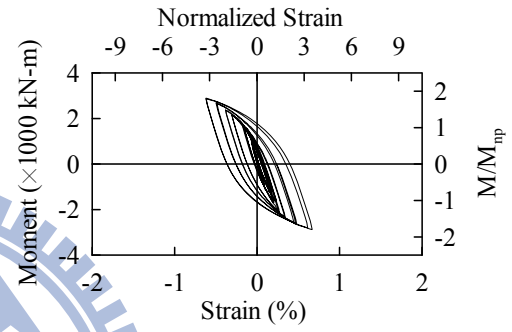
(a) Strain Gauge Location



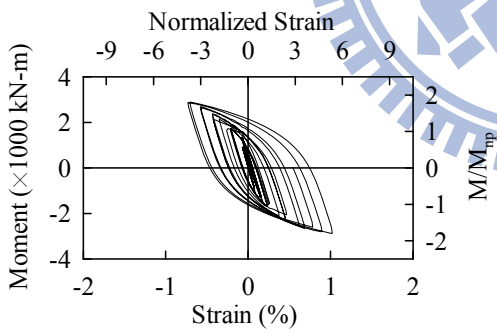
(b) Strain Gauge S10



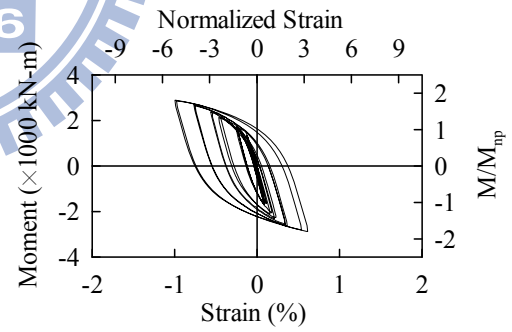
(c) Strain Gauge S11



(d) Strain Gauge S12

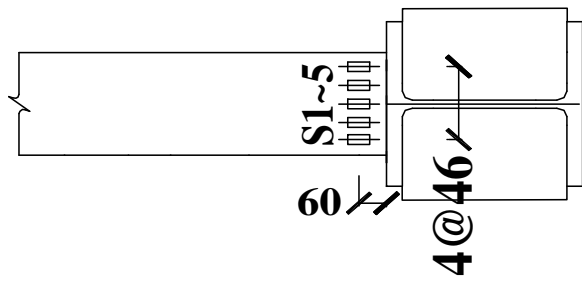


(e) Strain Gauge S13

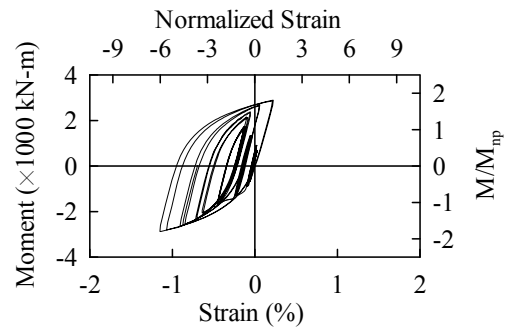


(f) Strain Gauge S14

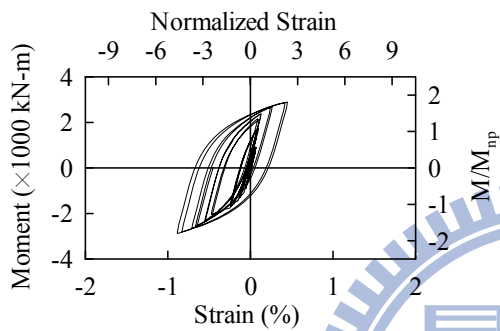
圖 3.21 試體 IFS2 彎矩與上翼板沿梁縱向之應變關係



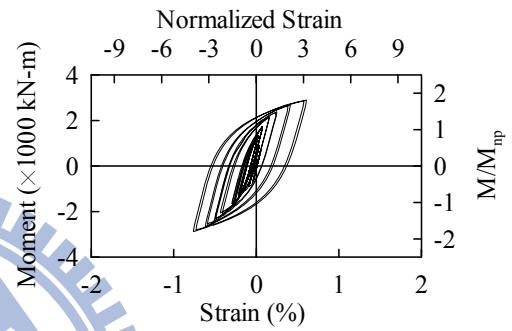
(a) Strain Gauge Location



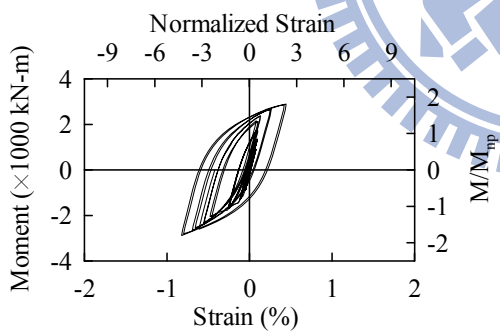
(b) Strain Gauge S1



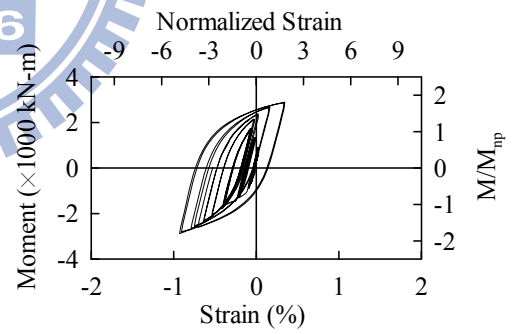
(c) Strain Gauge S2



(d) Strain Gauge S3



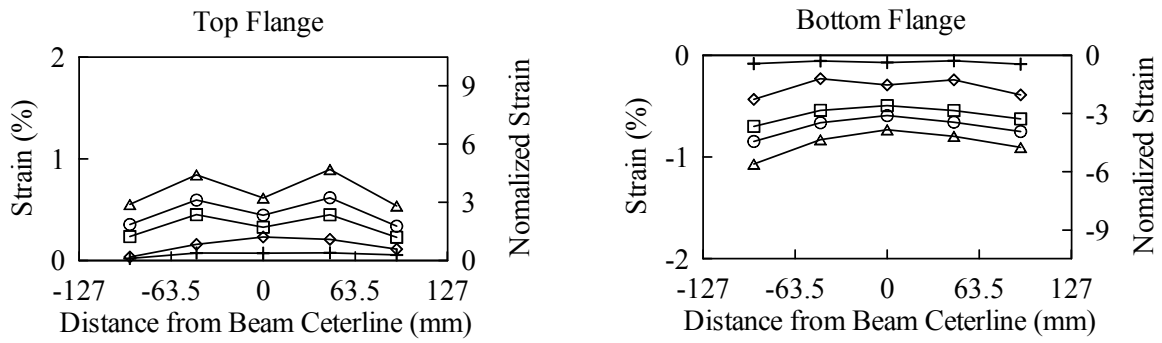
(e) Strain Gauge S4



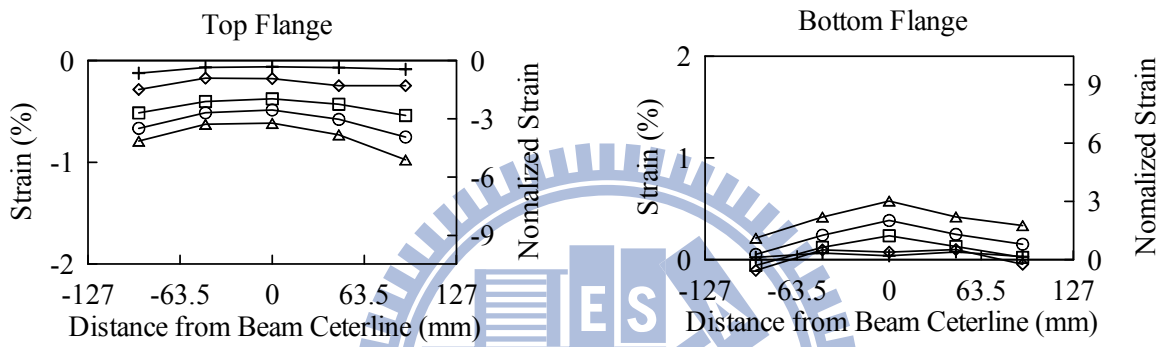
(f) Strain Gauge S5

圖 3.22 試體 IFS2 彎矩與下翼板沿梁縱向之應變關係





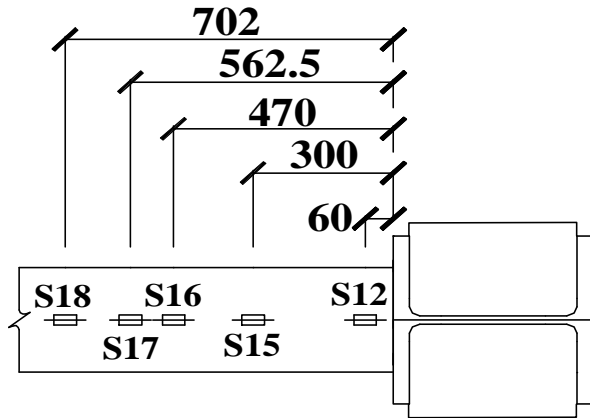
(a) Negative Bending



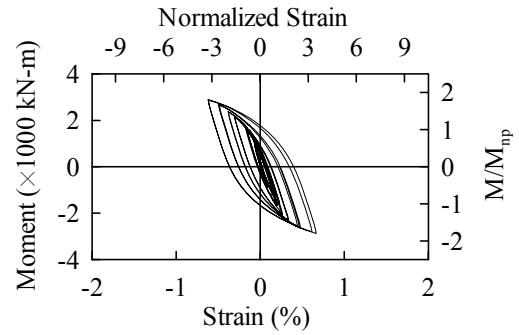
(b) Positive Bending

+0.5%    ◇ 1%    □ 2%    ○ 3%    △ 4%

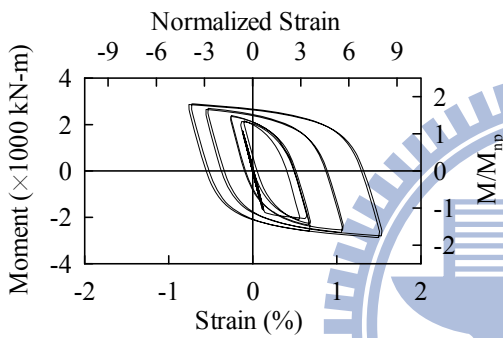
圖 3.23 試體 IFS2 梁翼板縱向應變分佈圖



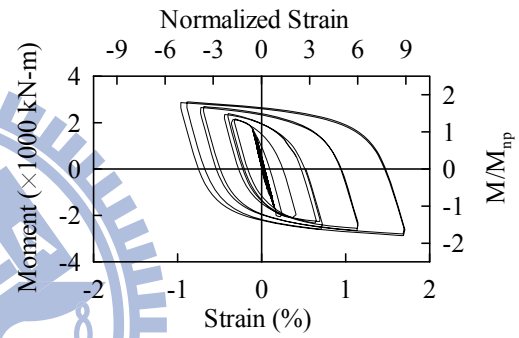
(a) Strain Gauge Location



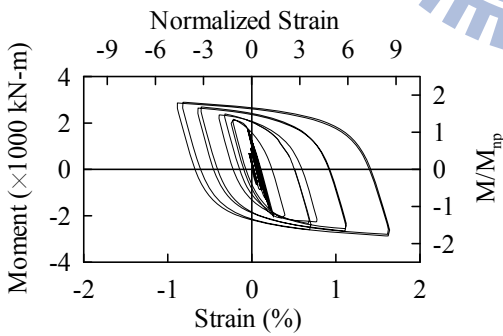
(b) Strain Gauge S12



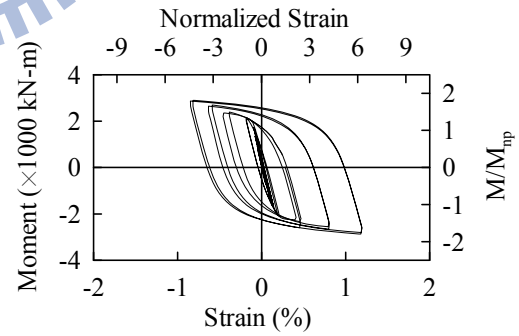
(c) Strain Gauge S15



(d) Strain Gauge S16

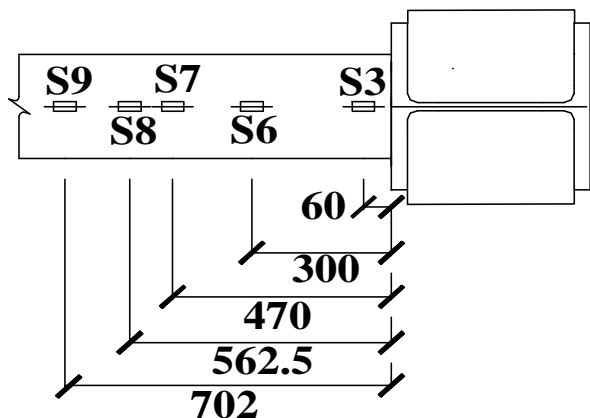


(e) Strain Gauge S17

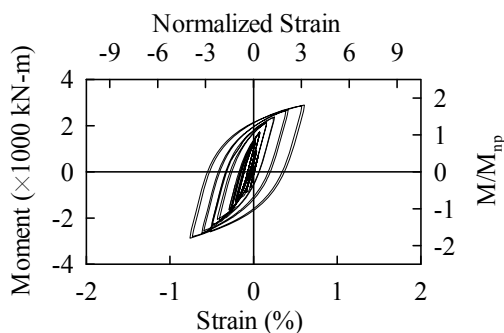


(f) Strain Gauge S18

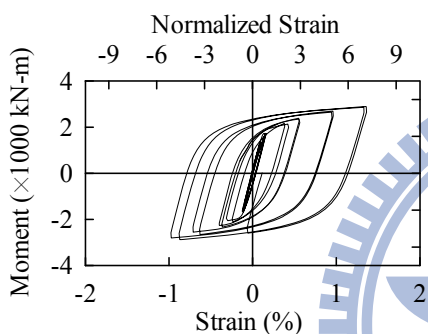
圖 3.24 試體 IFS2 彎矩與上翼板沿梁橫向之應變關係



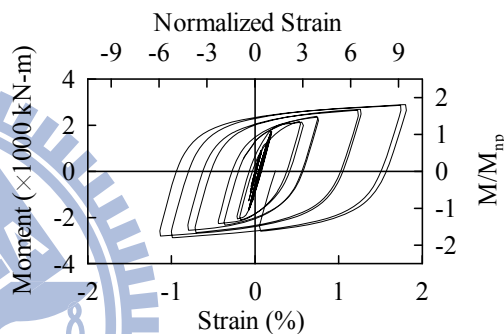
(a) Strain Gauge Location



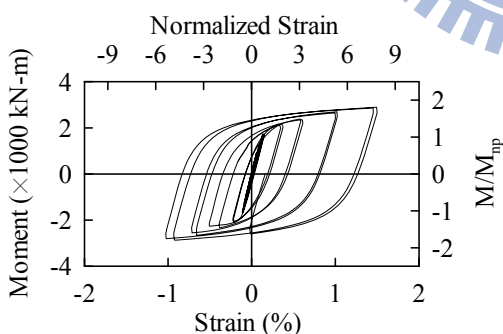
(b) Strain Gauge S3



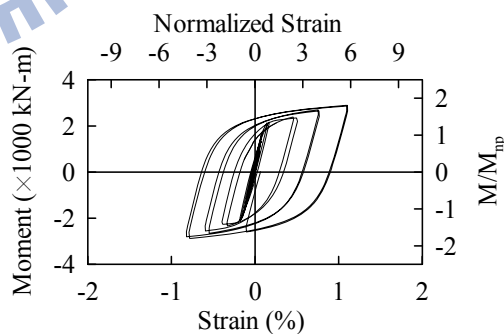
(c) Strain Gauge S6



(d) Strain Gauge S7

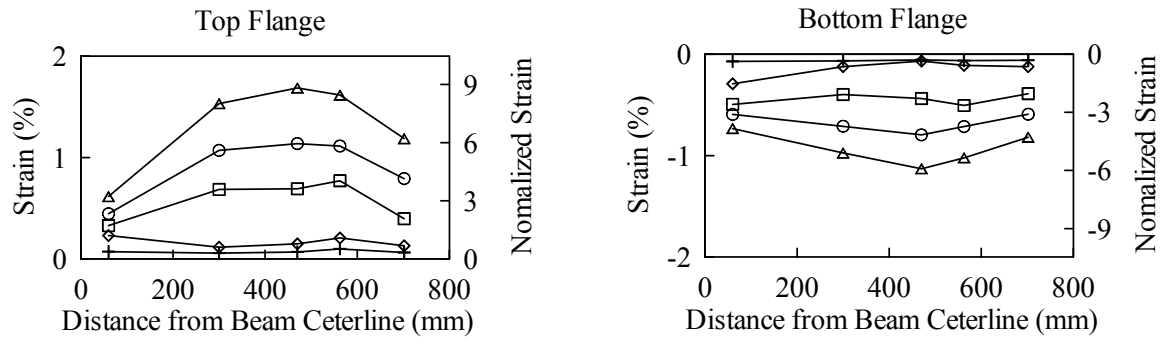


(e) Strain Gauge S8

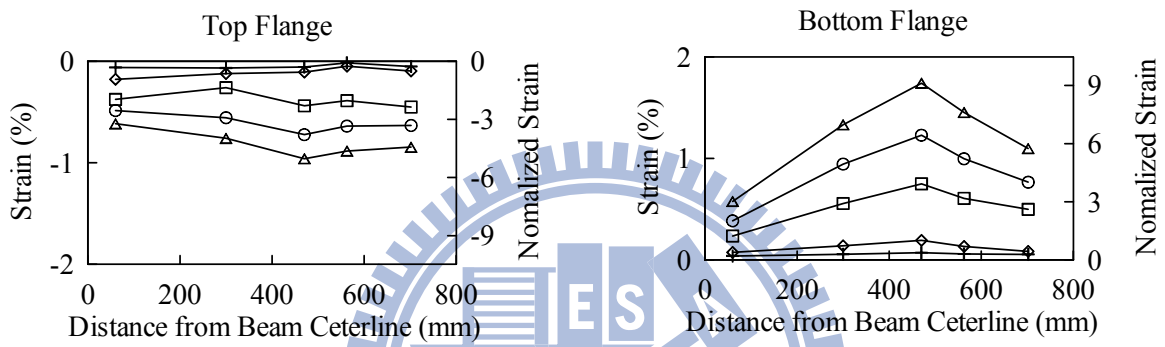


(f) Strain Gauge S9

圖 3.25 試體 IFS2 彎矩與下翼板沿梁橫向之應變關係



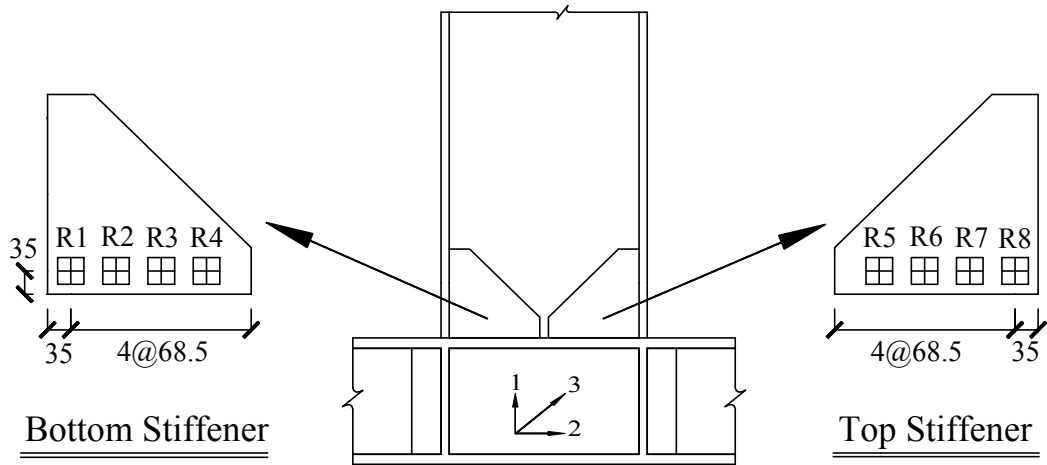
(a) Negative Bending



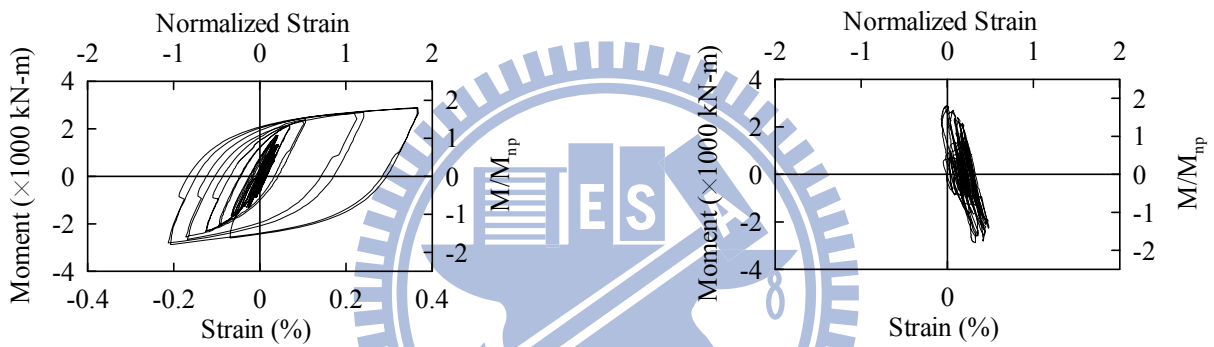
(b) Positive Bending

+0.5%  $\diamond$  1%  $\square$  2%  $\circ$  3%  $\triangle$  4%

圖 3.26 試體 IFS2 梁翼板橫向應變分佈圖

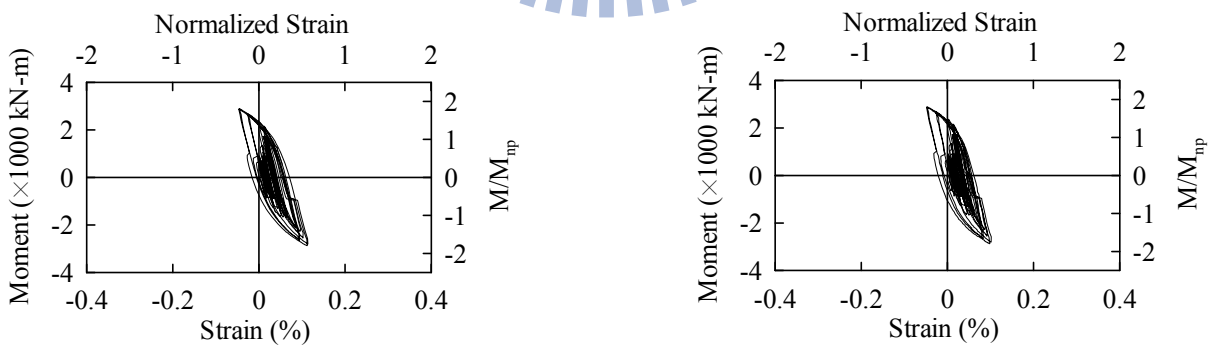


(a) Strain Gauge Location



(b) Strain Gauge R1-1

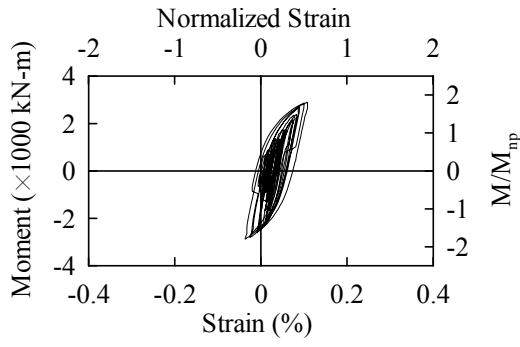
(c) Strain Gauge R2-1



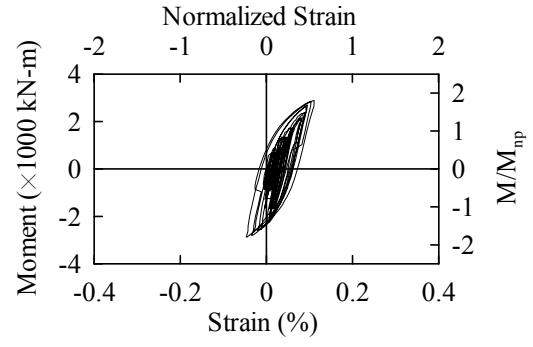
(d) Strain Gauge R3-1

(e) Strain Gauge R4-1

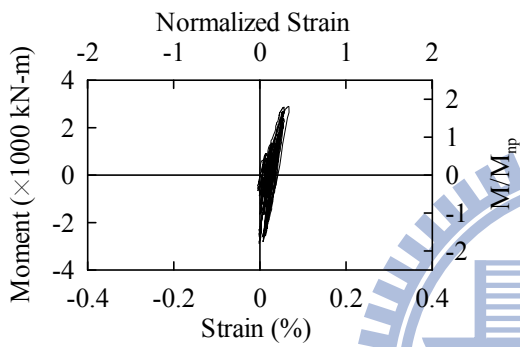
圖 3.27 試體 IFS2 彎矩與加勁板應變關係



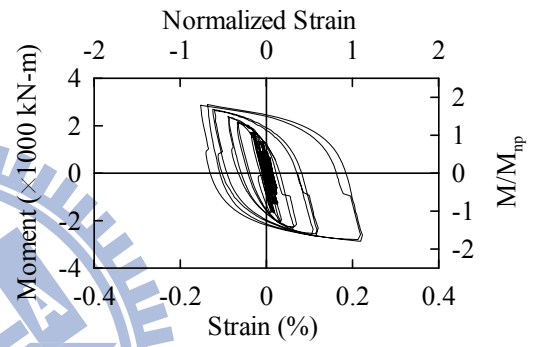
(f) Strain Gauge R5-1



(g) Strain Gauge R6-1

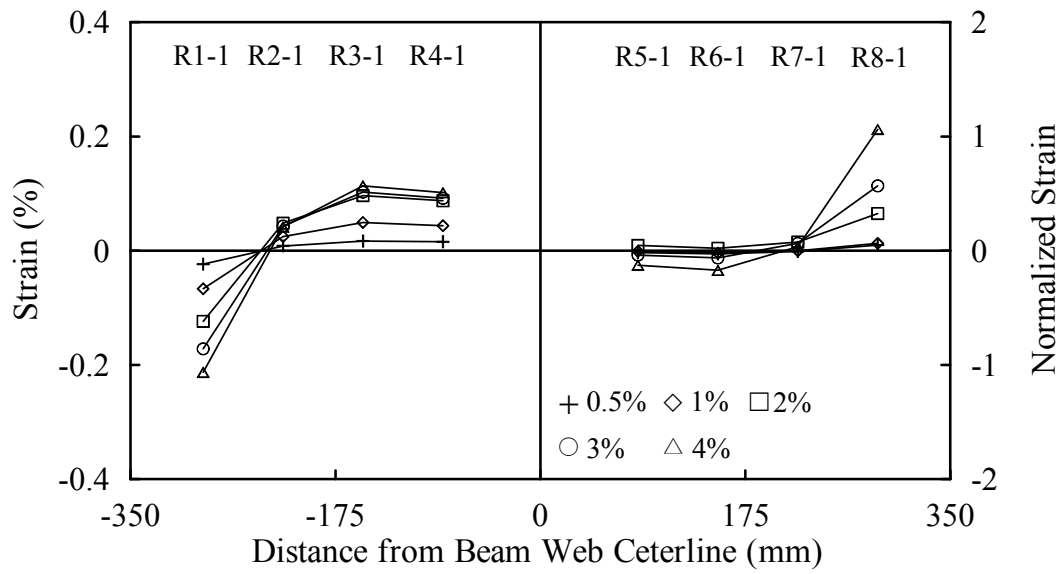


(h) Strain Gauge R7-1

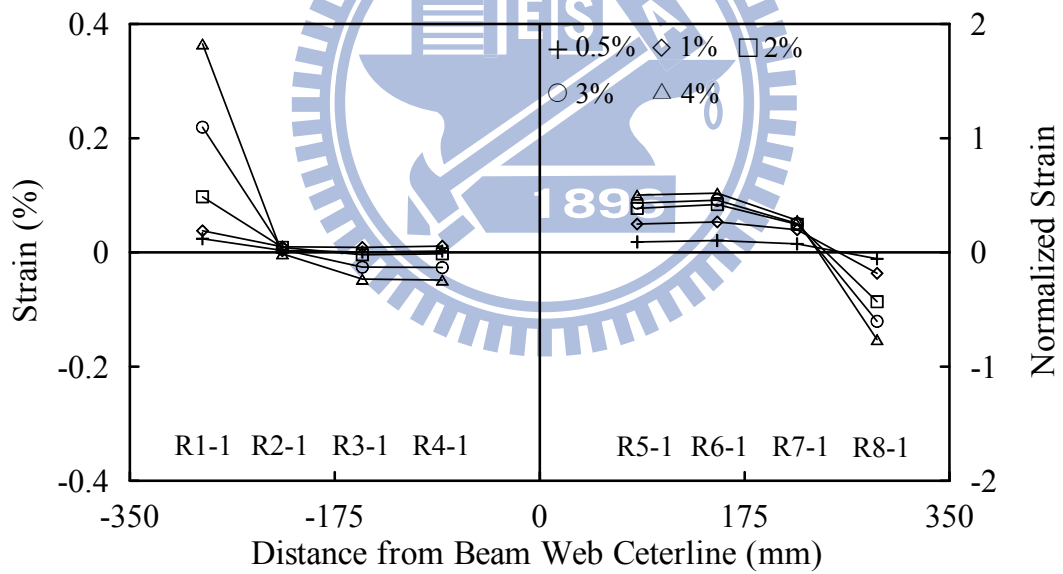


(i) Strain Gauge R8-1

圖 3.28 試體 IFS2 彎矩與加勁板應變關係 (續)



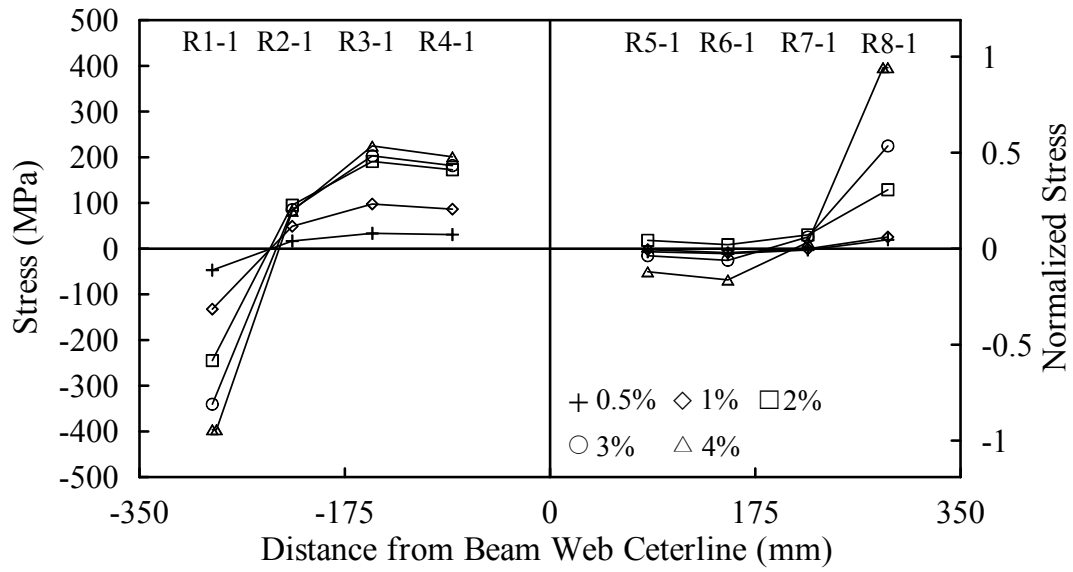
(a) Negative Bending



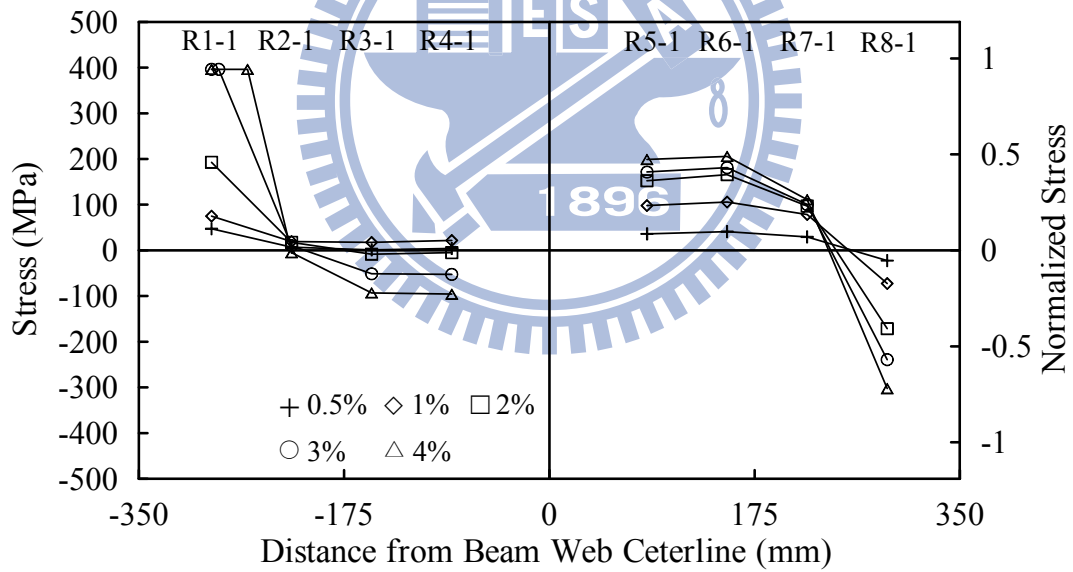
(b) Positive Bending

圖 3.29 試體 IFS2 加勁板應變分佈



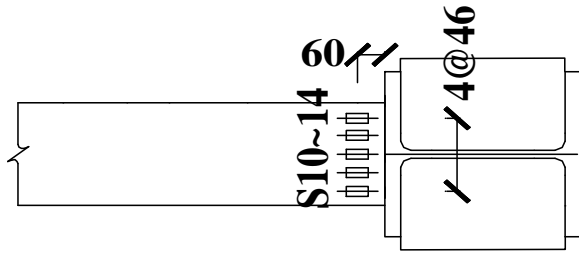


(a) Negative Bending

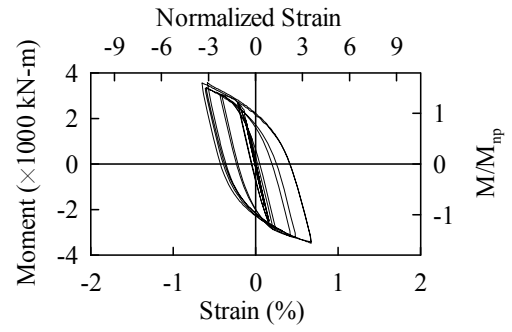


(b) Positive Bending

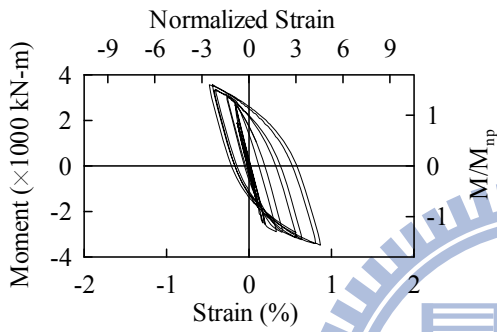
圖 3.30 試體 IFS2 加勁板應力分佈



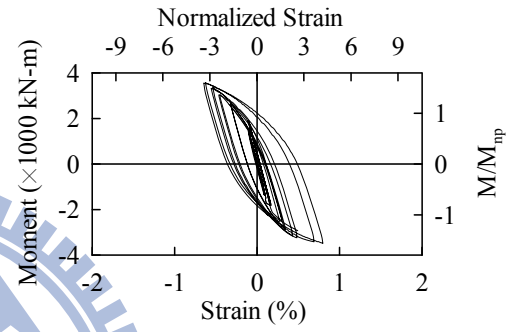
(a) Strain Gauge Location



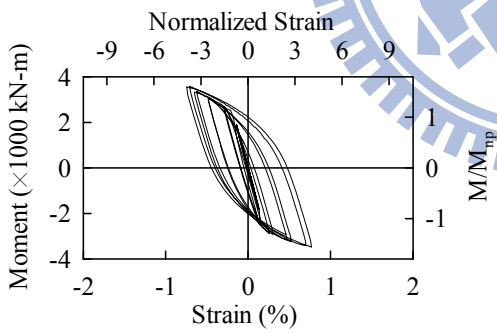
(b) Strain Gauge S10



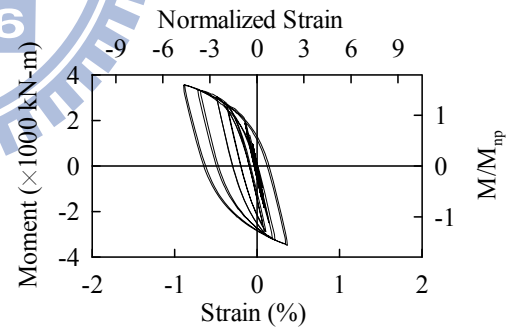
(c) Strain Gauge S11



(d) Strain Gauge S12

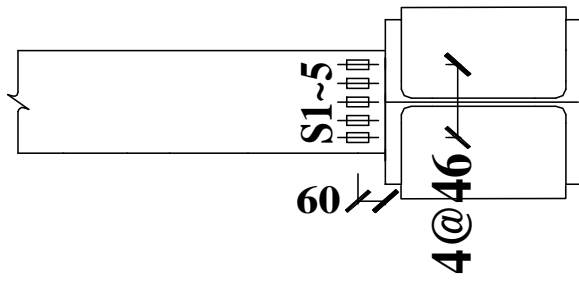


(e) Strain Gauge S13

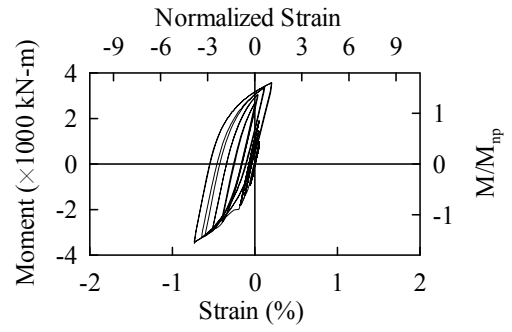


(f) Strain Gauge S14

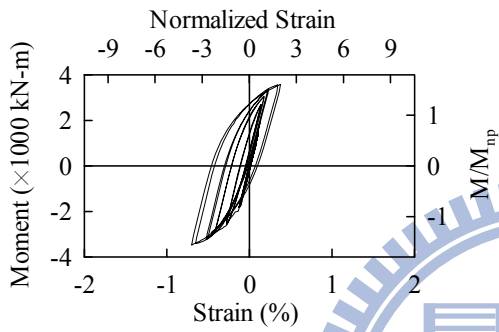
圖 3.31 試體 IFS3 彎矩與上翼板沿梁縱向之應變關係



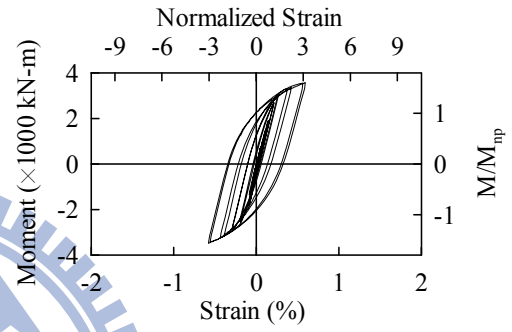
(a) Strain Gauge Location



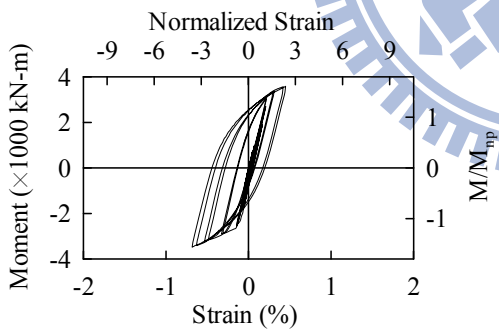
(b) Strain Gauge S1



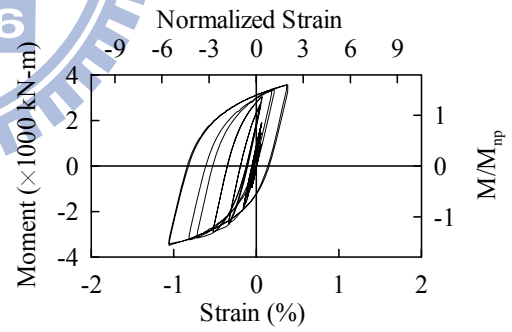
(c) Strain Gauge S2



(d) Strain Gauge S3

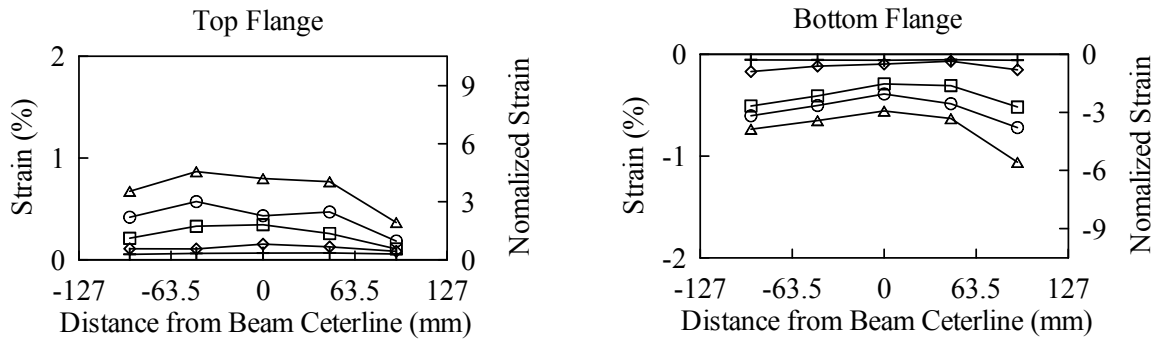


(e) Strain Gauge S4

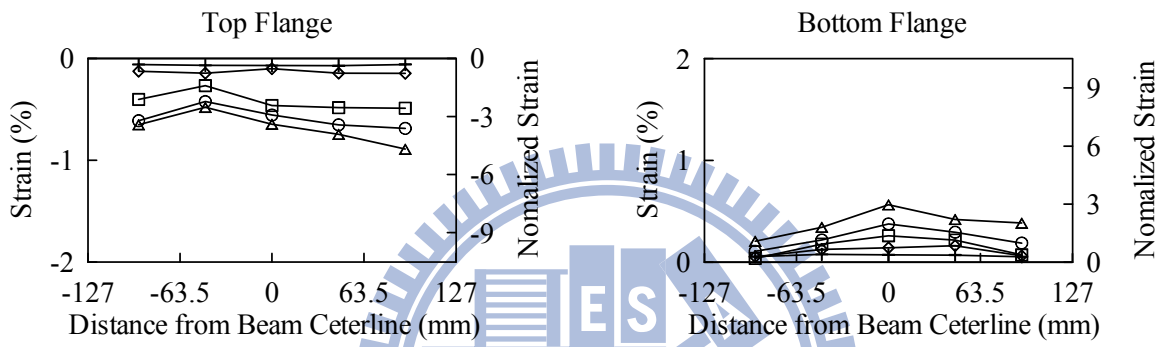


(f) Strain Gauge S5

圖 3.32 試體 IFS3 彎矩與下翼板沿梁縱向之應變關係



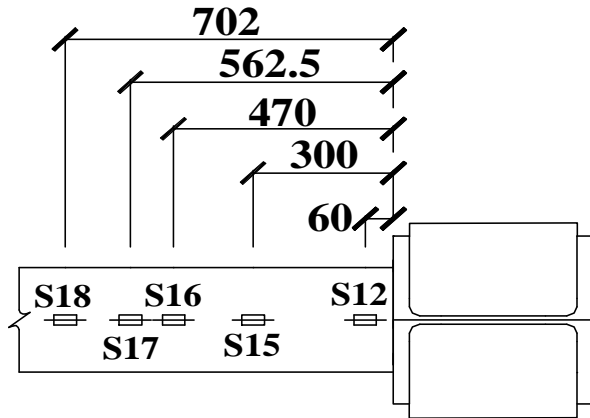
(a) Negative Bending



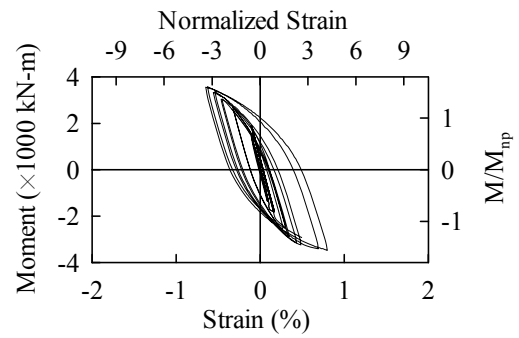
(b) Positive Bending

+0.5% ◇ 1% □ 2% ○ 3% △ 4%

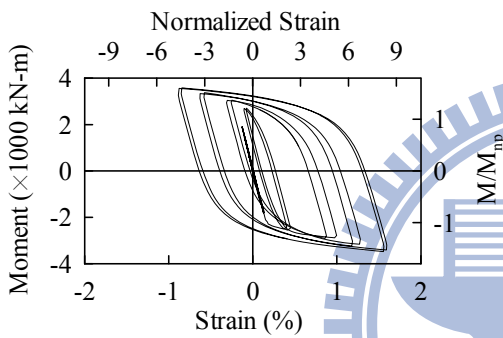
圖 3.33 試體 IFS3 梁翼板縱向應變分佈圖



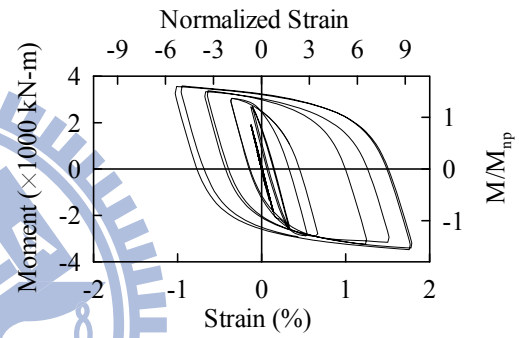
(a) Strain Gauge Location



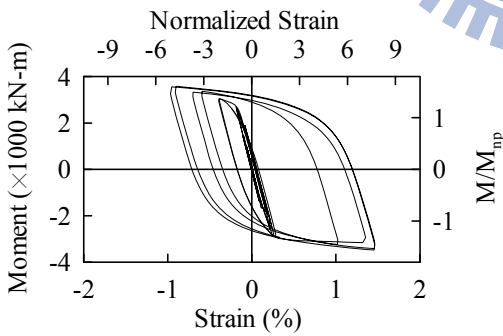
(b) Strain Gauge S12



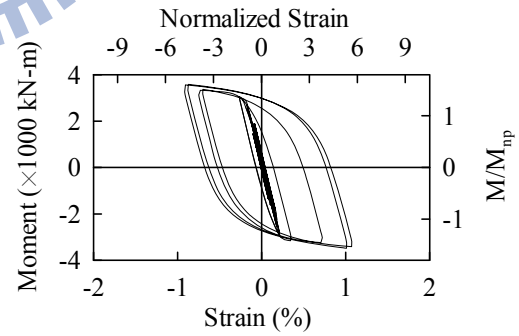
(c) Strain Gauge S15



(d) Strain Gauge S16

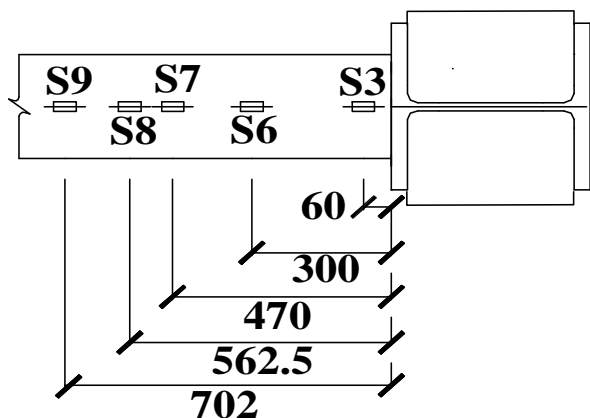


(e) Strain Gauge S17

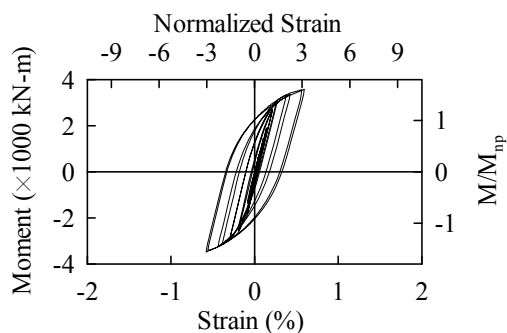


(f) Strain Gauge S18

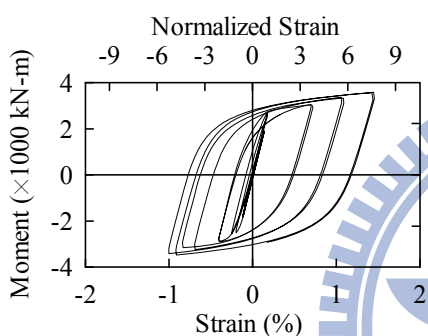
圖 3.34 試體 IFS3 彎矩與上翼板沿梁橫向之應變關係



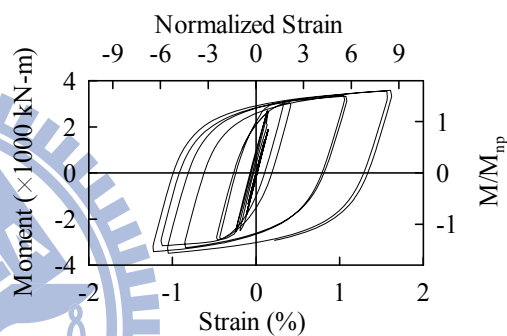
(a) Strain Gauge Location



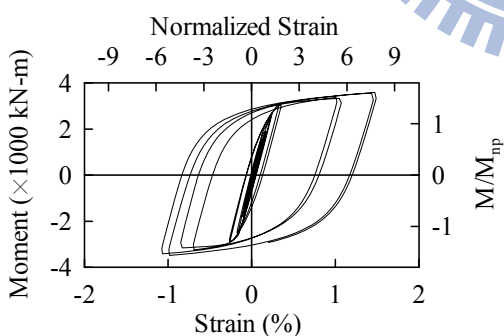
(b) Strain Gauge S3



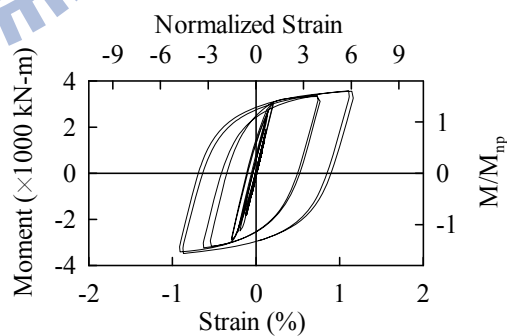
(c) Strain Gauge S6



(d) Strain Gauge S7

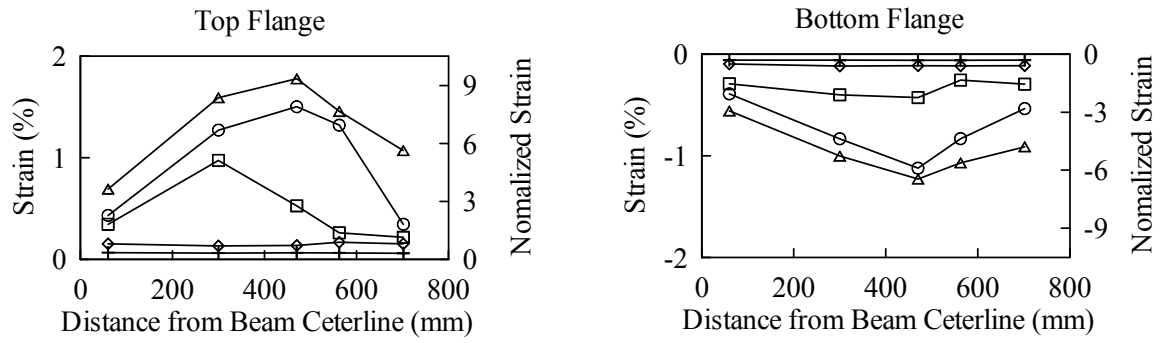


(e) Strain Gauge S8

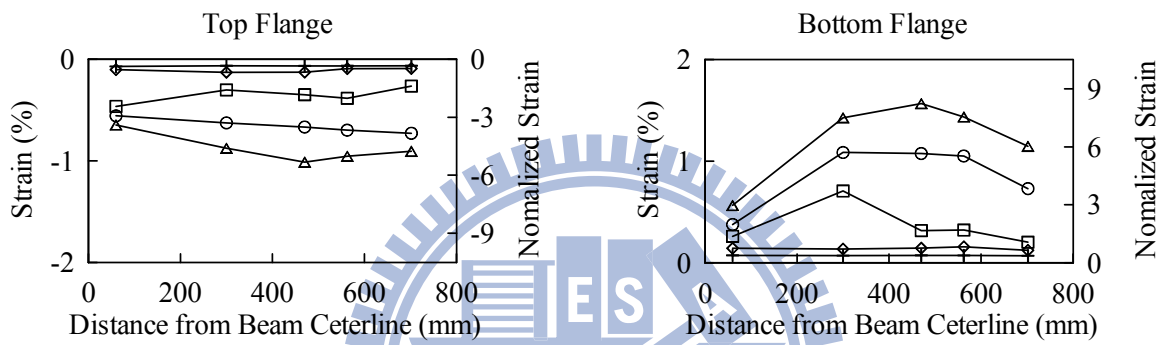


(f) Strain Gauge S9

圖 3.35 試體 IFS3 彎矩與下翼板沿梁橫向之應變關係



(a) Negative Bending

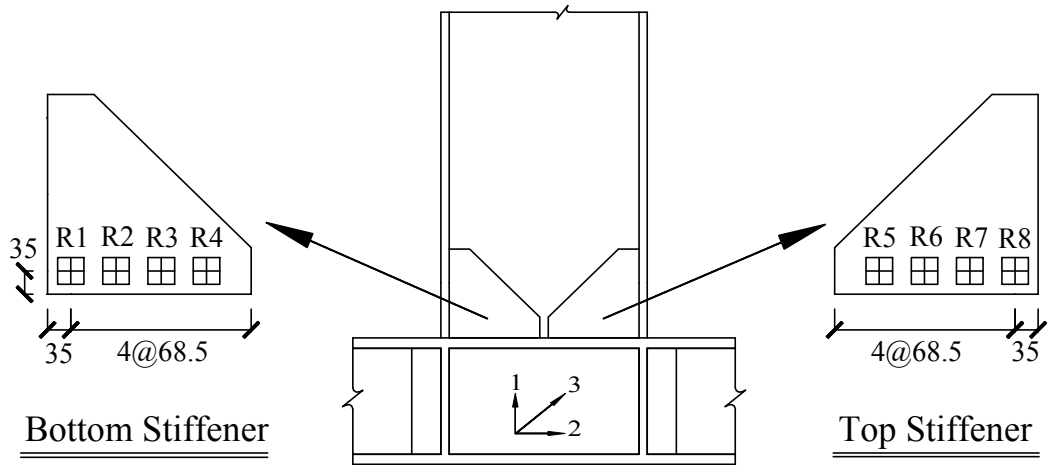


(b) Positive Bending

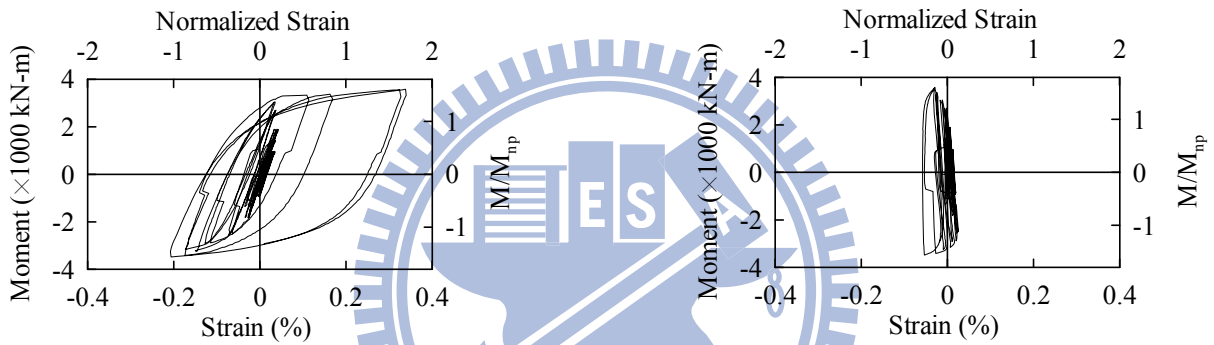
+0.5%   ◇ 1%   □ 2%   ○ 3%   △ 4%

圖 3.36 試體 IFS3 梁翼板橫向應變分佈圖



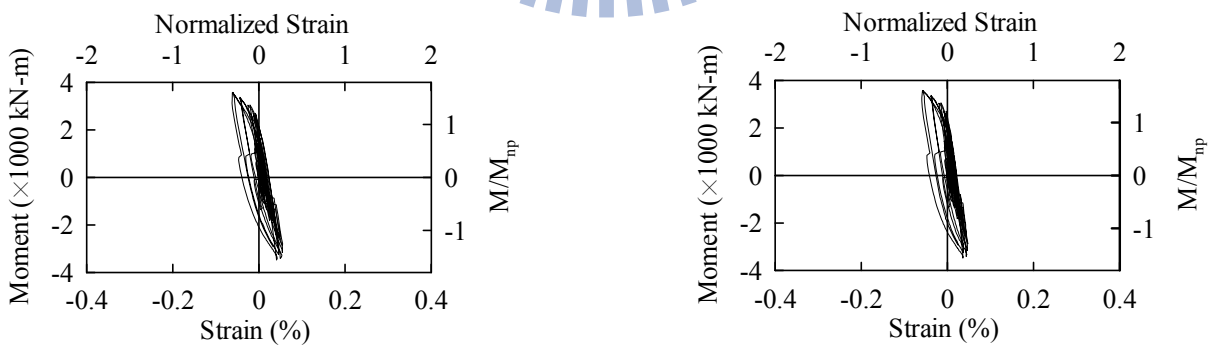


(a) Strain Gauge Location



(b) Strain Gauge R1-1

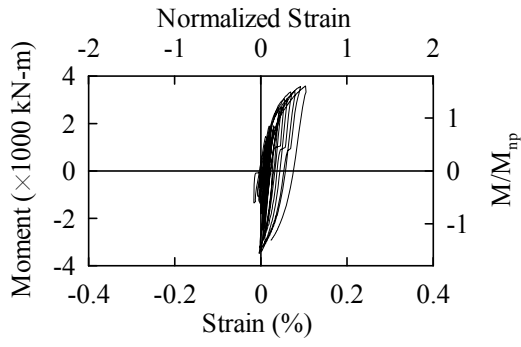
(c) Strain Gauge R2-1



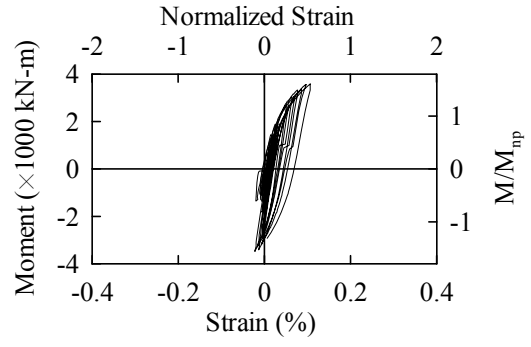
(d) Strain Gauge R3-1

(e) Strain Gauge R4-1

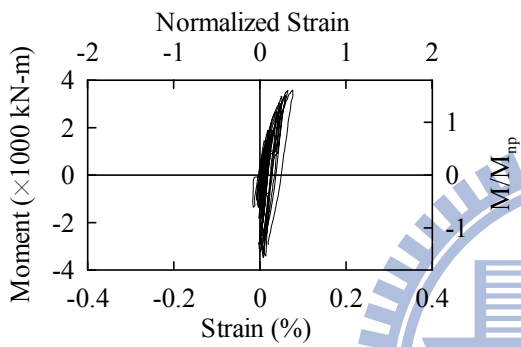
圖 3.37 試體 IFS3 彎矩與加勁板應變關係



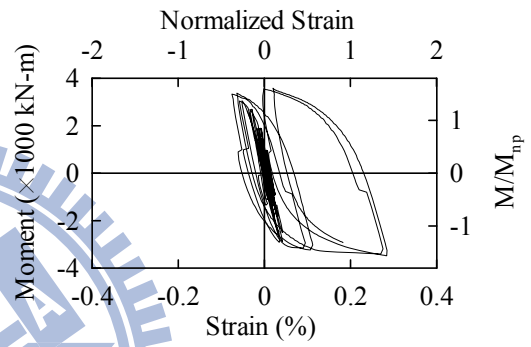
(f) Strain Gauge R5-1



(g) Strain Gauge R6-1

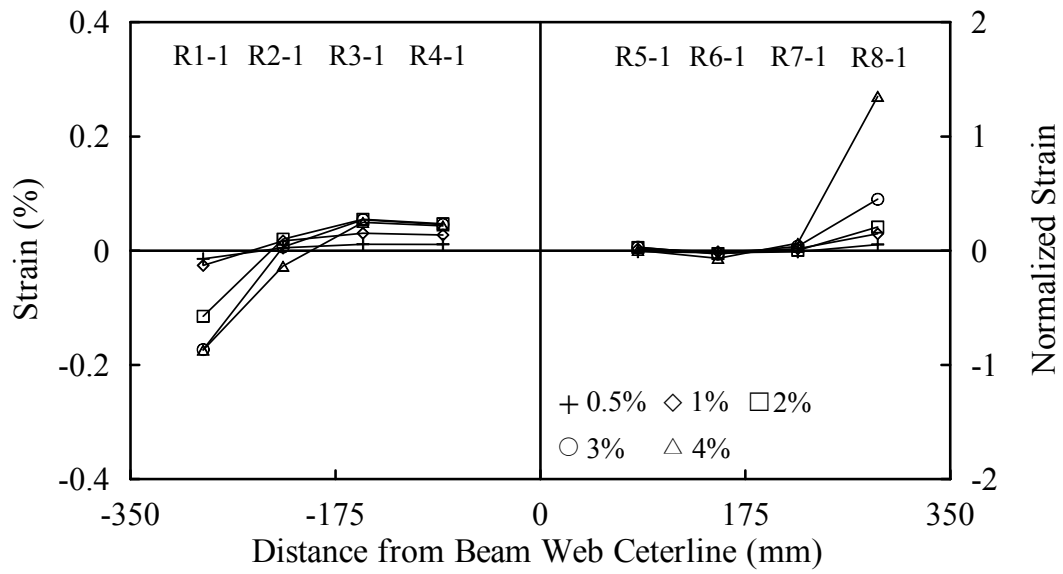


(h) Strain Gauge R7-1

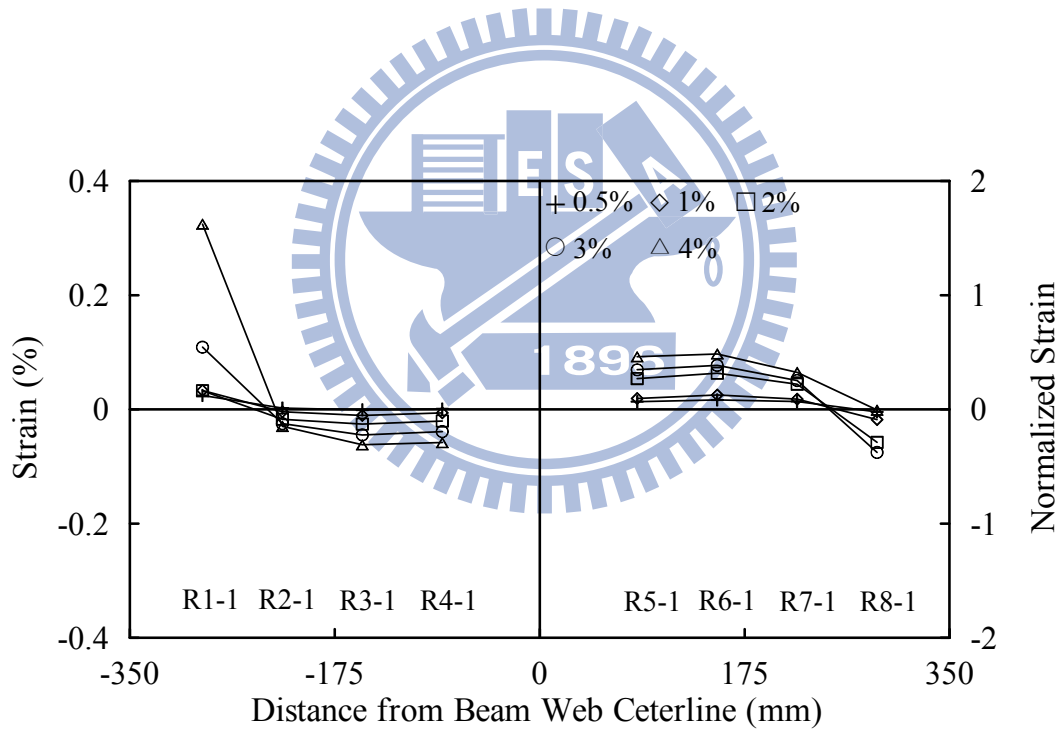


(i) Strain Gauge R8-1

圖 3.38 試體 IFS3 彎矩與加勁板應變關係 (續)

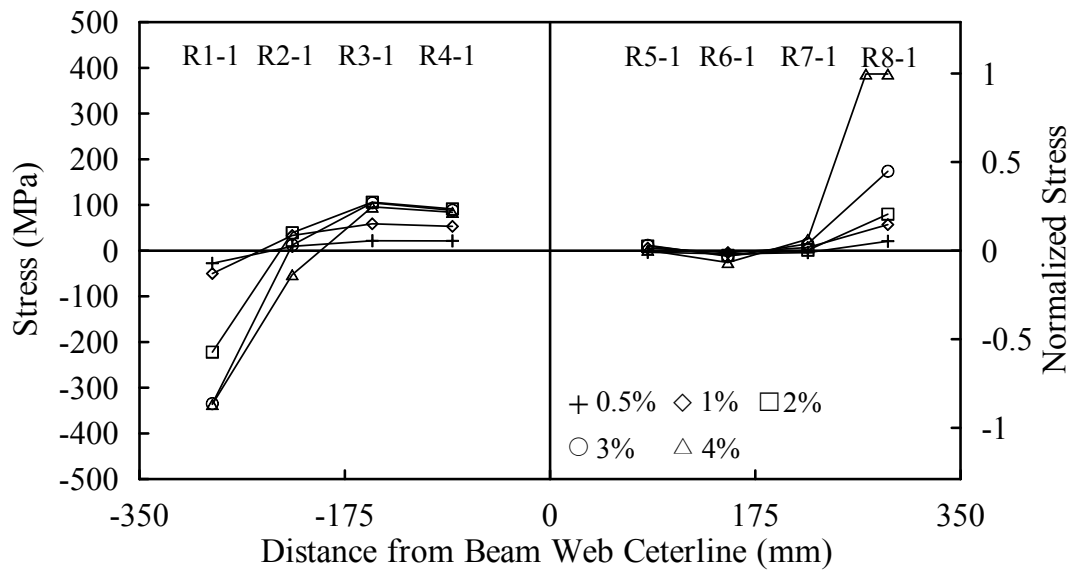


(a) Negative Bending

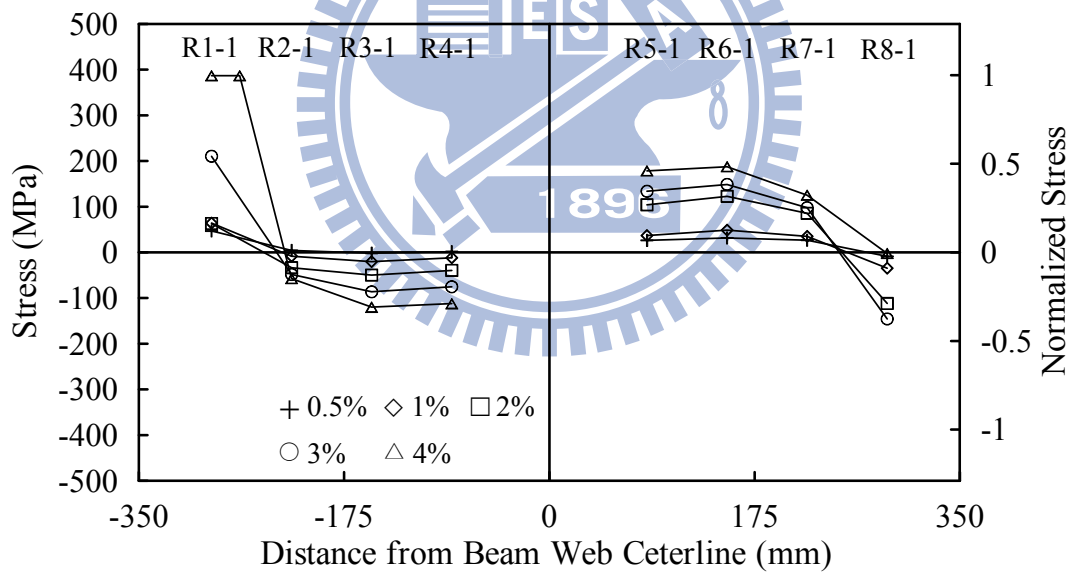


(b) Positive Bending

圖 3.39 試體 IFS3 加勁板應變分佈



(a) Negative Bending



(b) Positive Bending

圖 3.40 試體 IFS3 加勁板應力分佈

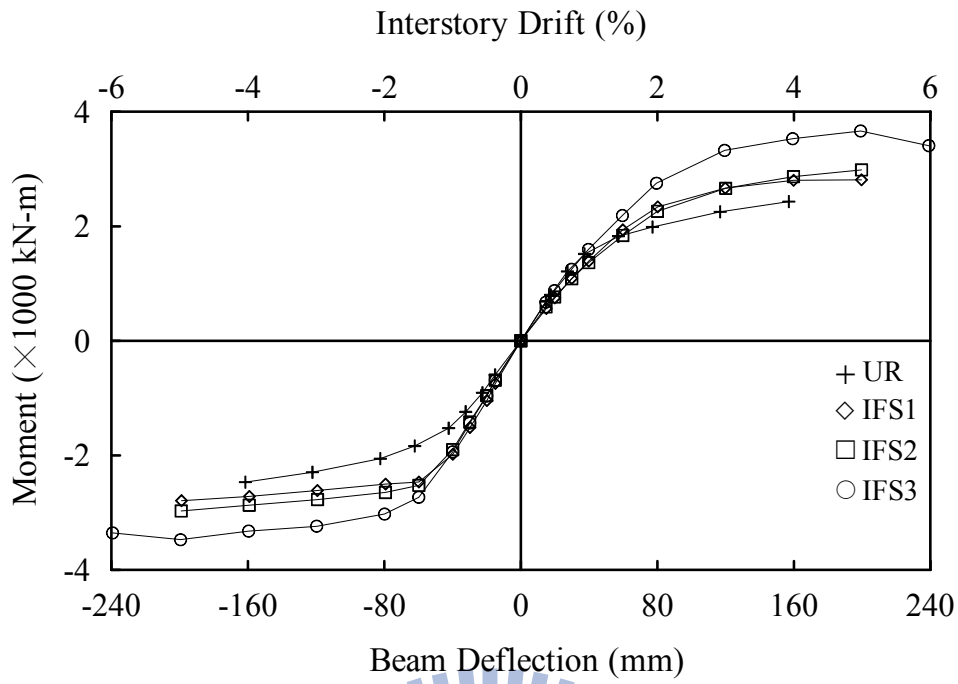
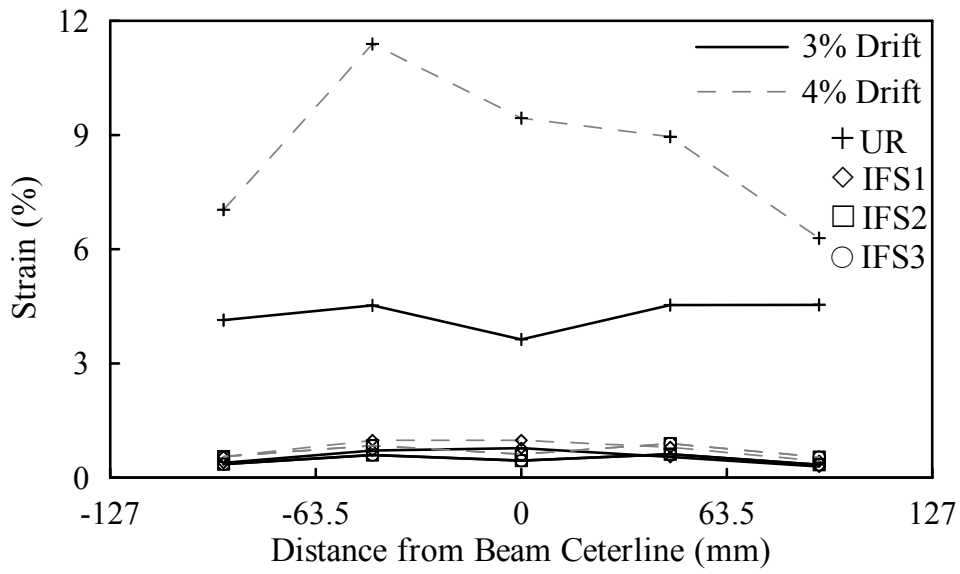
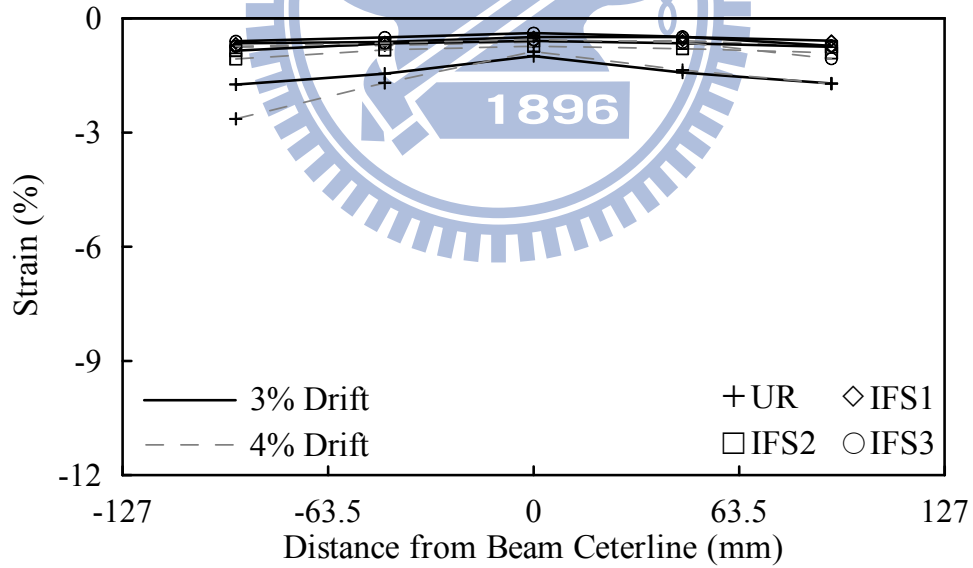


圖 3.41 各試體彎矩與位移關係包絡線圖比較



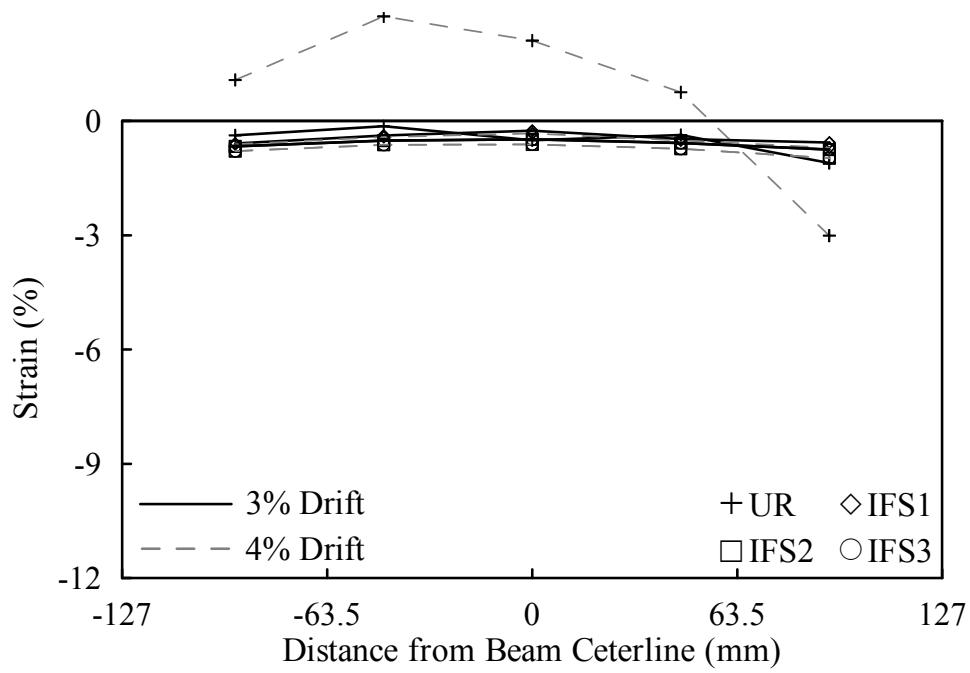


(a) Top Flange

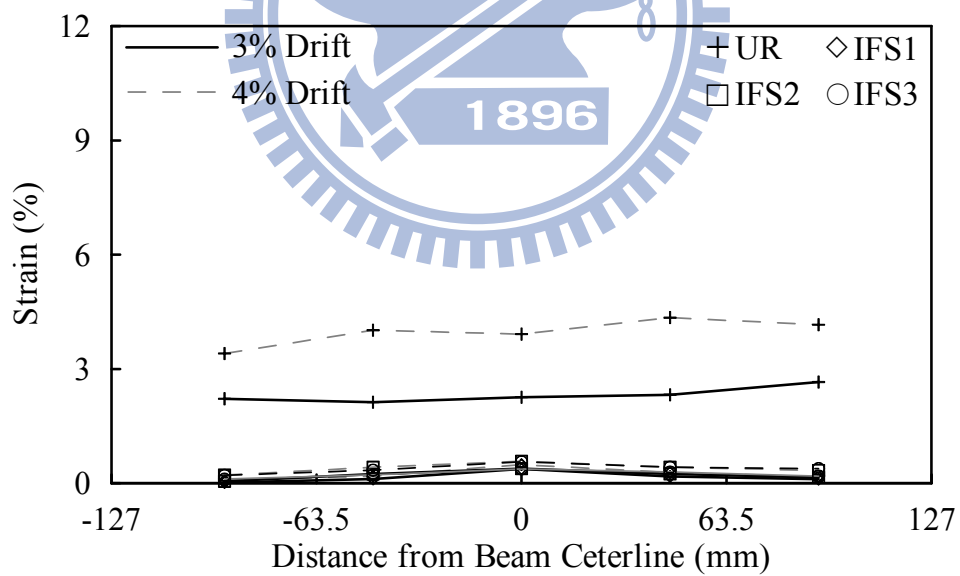


(b) Bottom Flange

圖 3.42 各試體梁柱界面縱向應變比較 (Negative Bending)



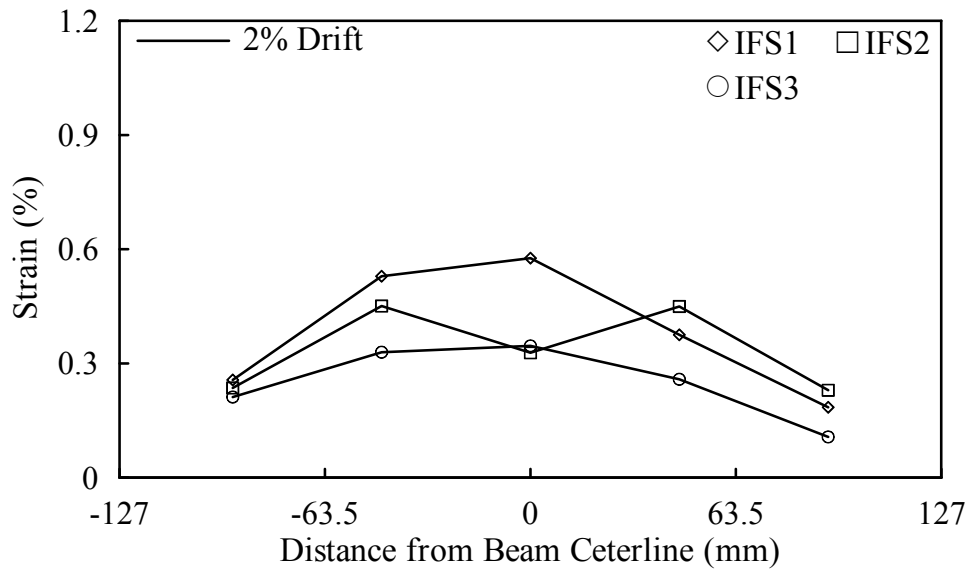
(a) Top Flange



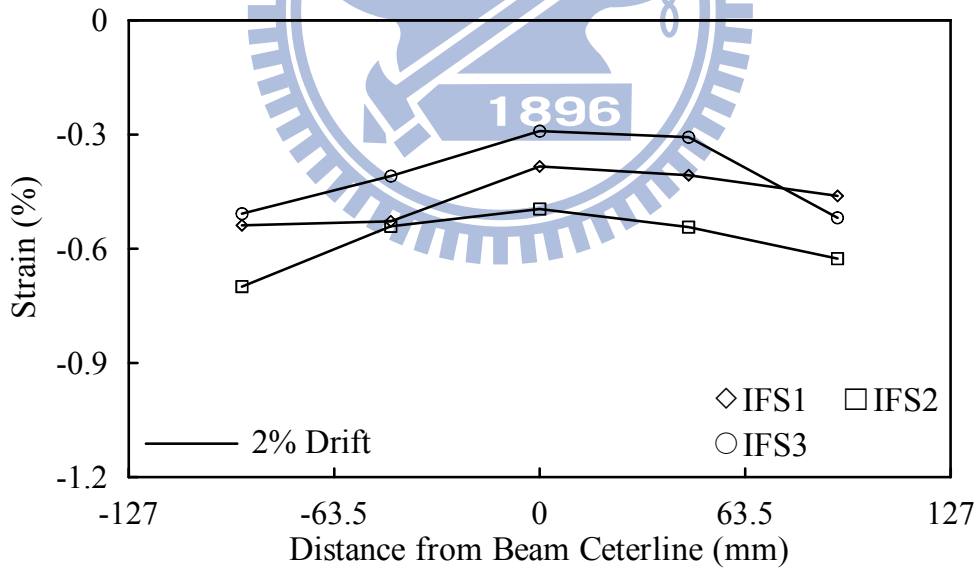
(b) Bottom Flange

圖 3.43 各試體梁柱界面縱向應變比較 (Positive Bending)



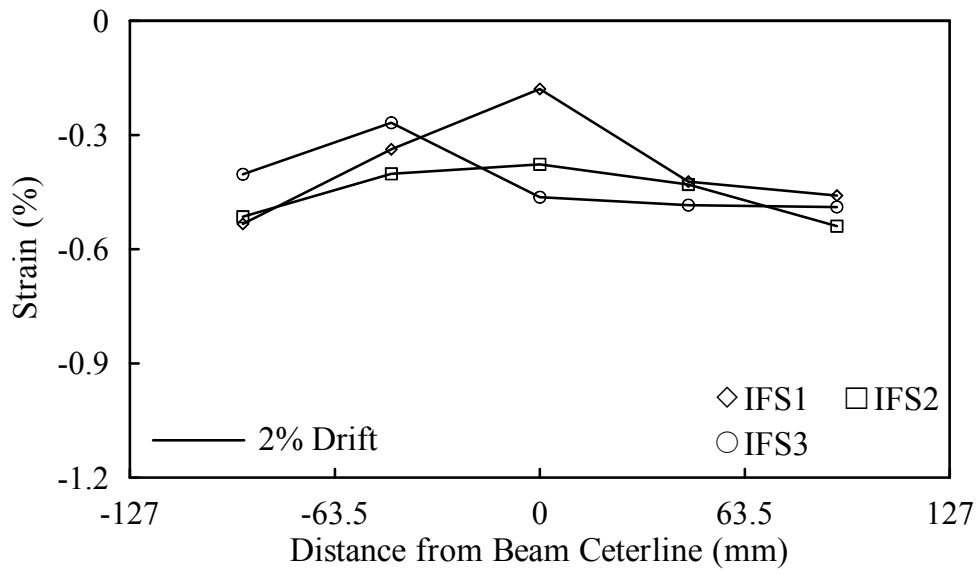


(a) Top Flange

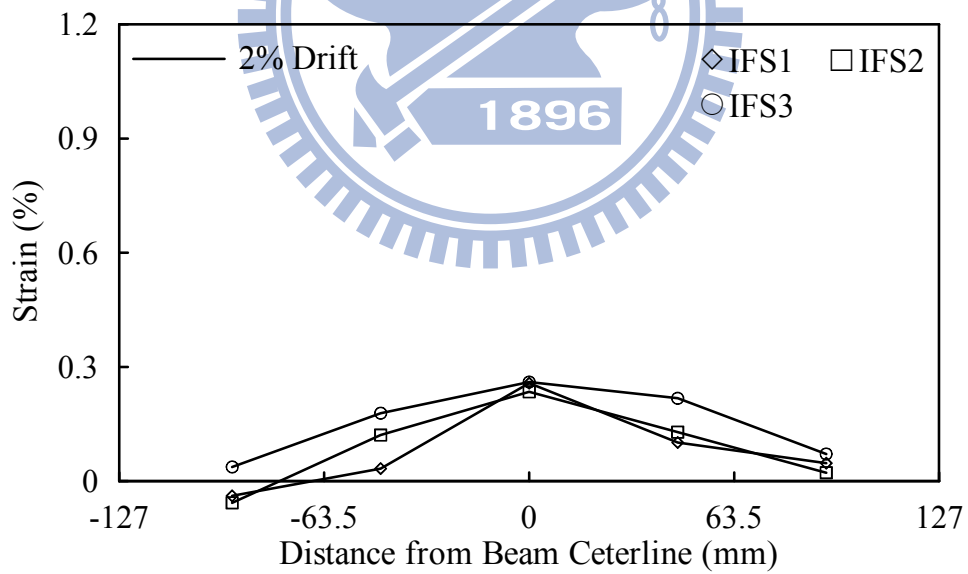


(b) Bottom Flange

圖 3.44 各 IFS 試體梁柱界面縱向應變比較 (Negative Bending)

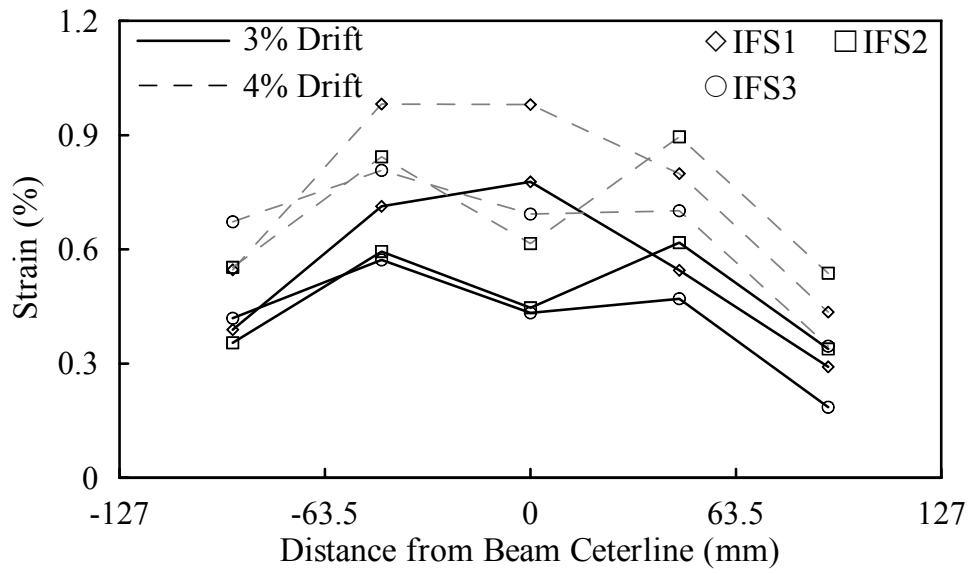


(a) Top Flange

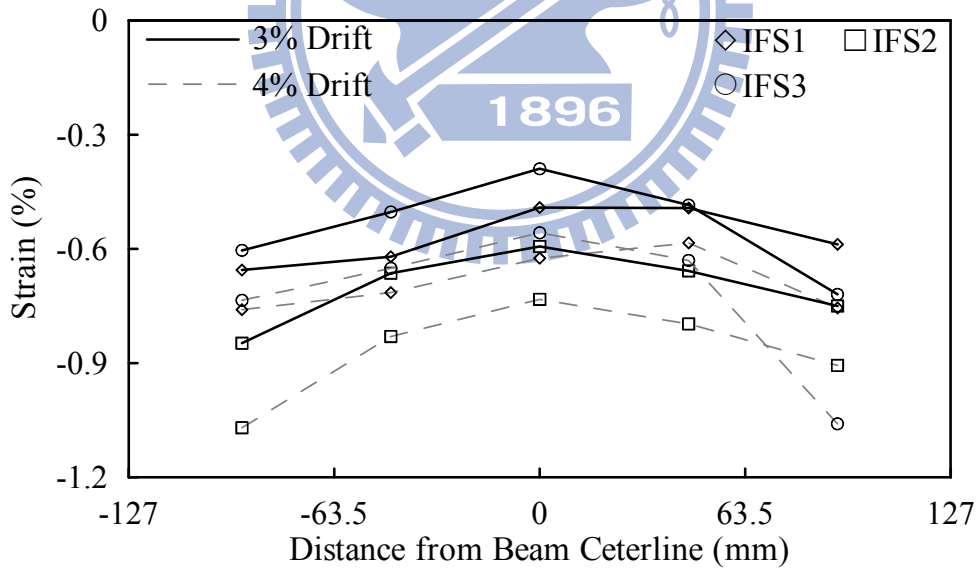


(b) Bottom Flange

圖 3.45 各 IFS 試體梁柱界面縱向應變比較(Positive Bending)

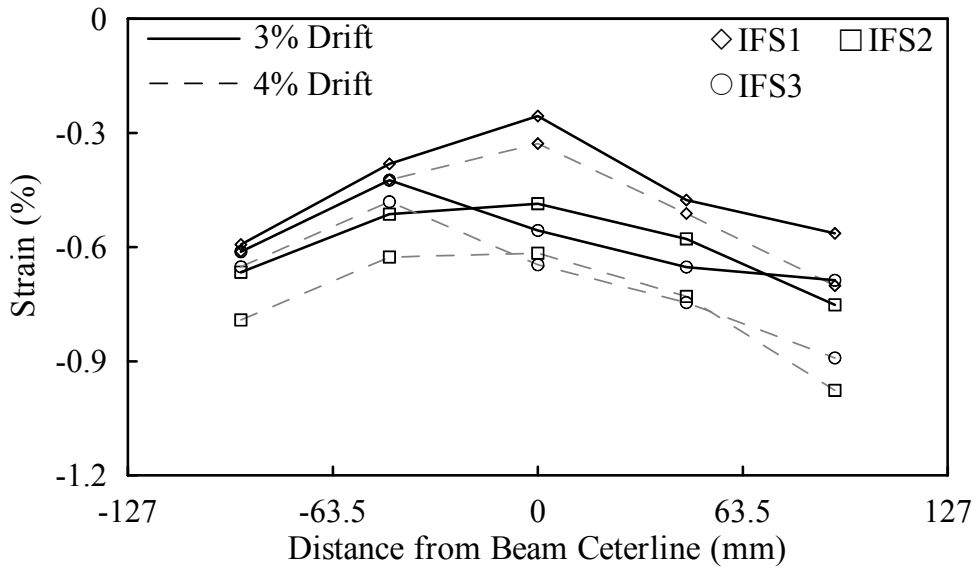


(a) Top Flange

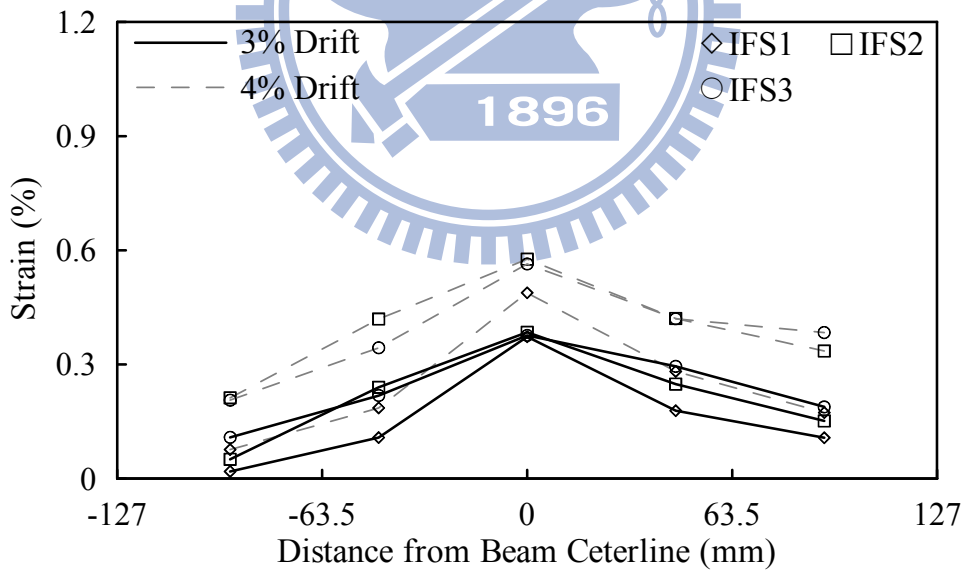


(b) Bottom Flange

圖 3.46 各 IFS 試體梁柱界面縱向應變比較 (Negative Bending)

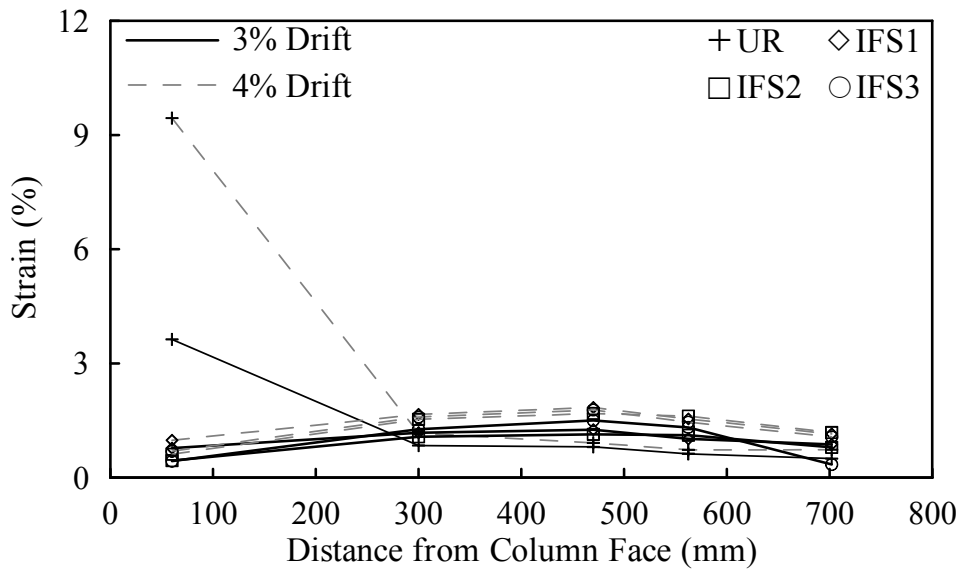


(a) Top Flange

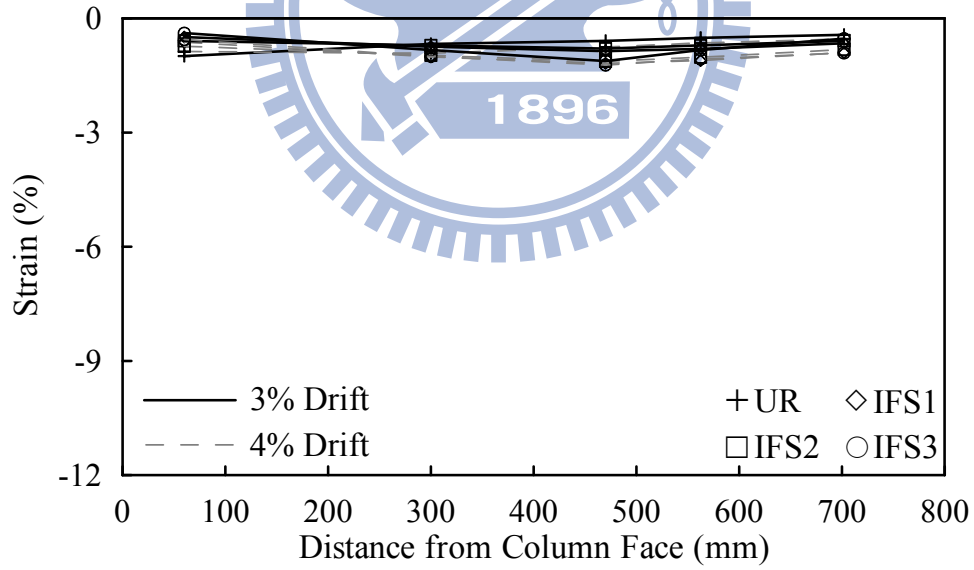


(b) Bottom Flange

圖 3.47 各 IFS 試體梁柱界面縱向應變比較(Positive Bending)

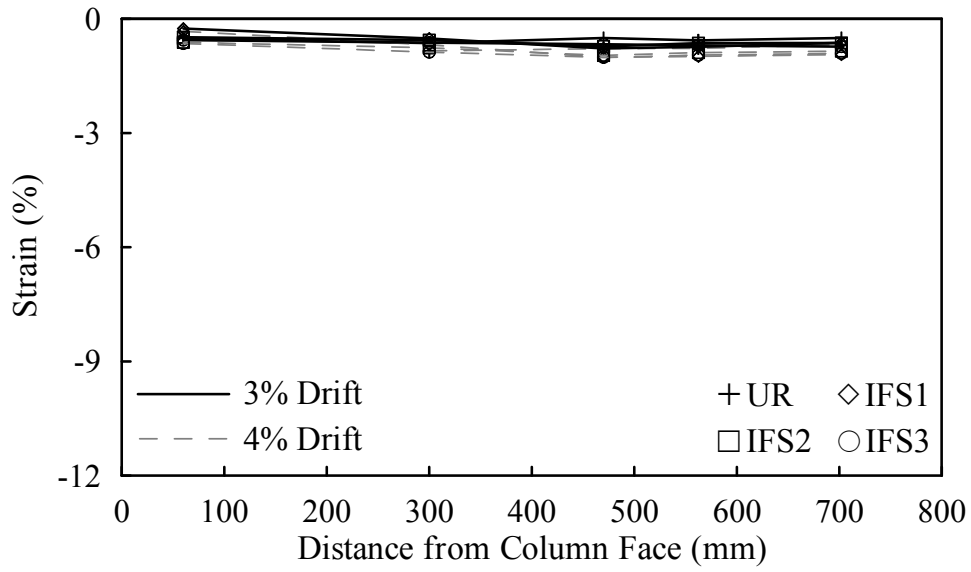


(a) Top Flange

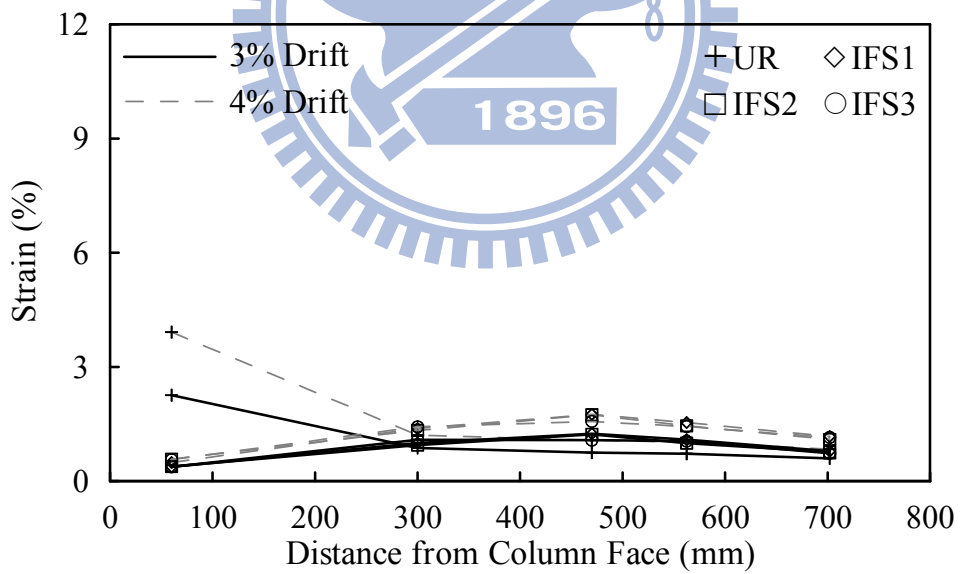


(b) Bottom Flange

圖 3.48 各試體梁柱界面橫向應變比較 (Negative Bending)

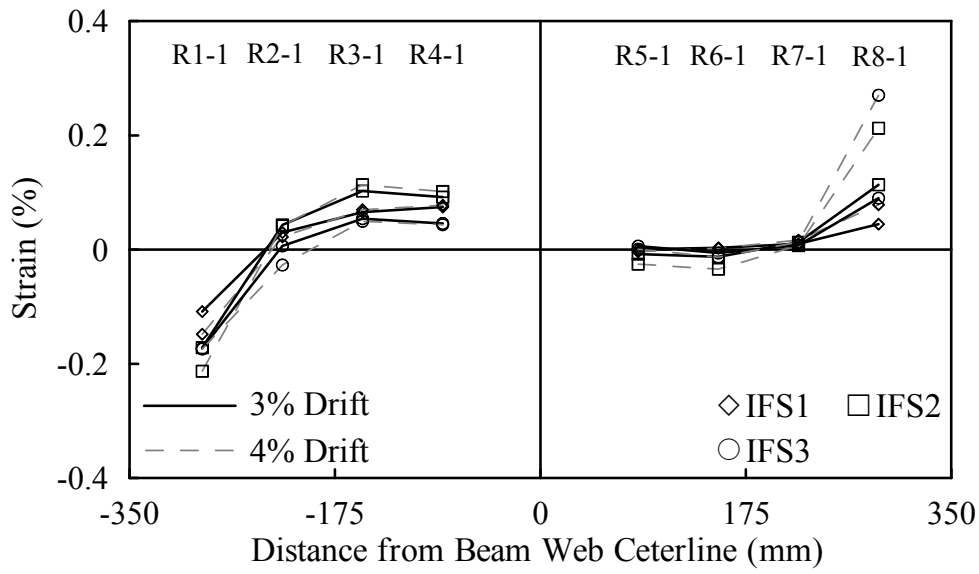


(a) Top Flange

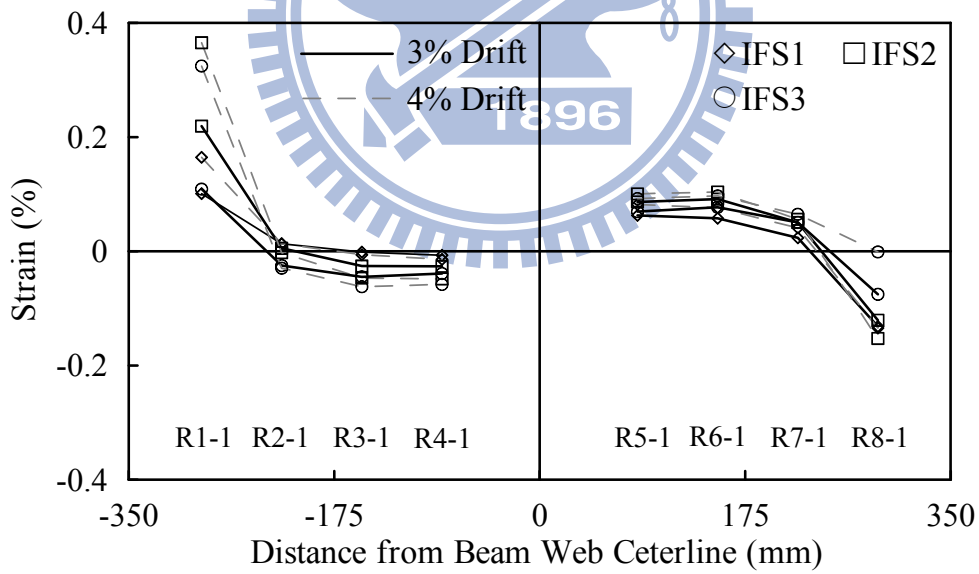


(b) Bottom Flange

圖 3.49 各試體梁柱界面橫向應變比較(Positive Bending)



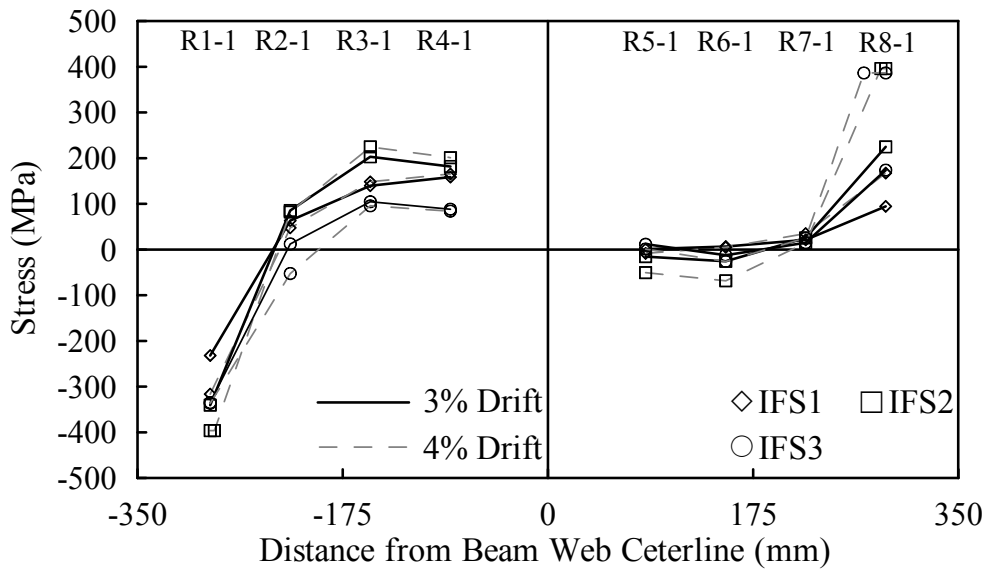
(a) Negative Bending



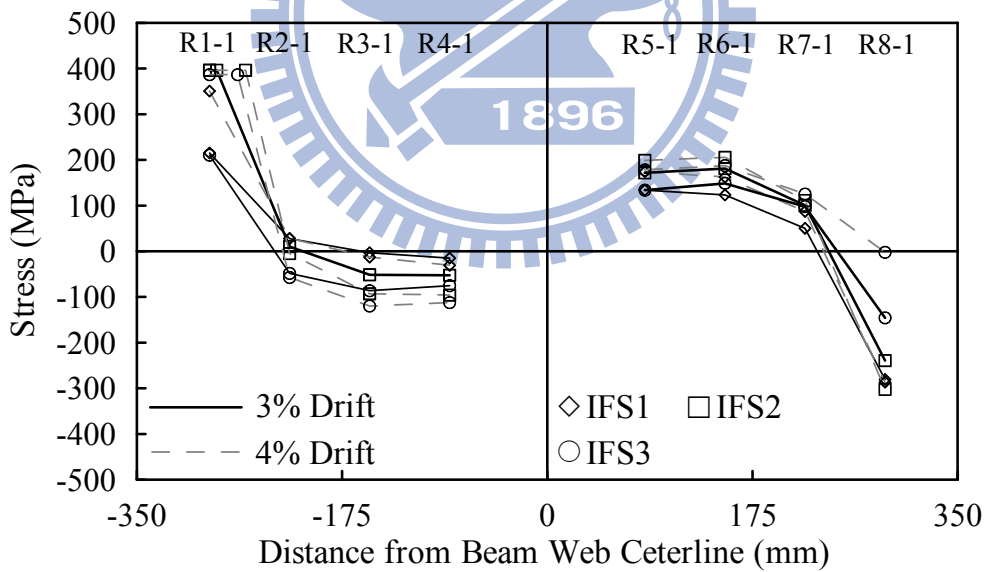
(b) Positive Bending

圖 3.50 各 IFS 試體加勁板應變比較





(a) Negative Bending



(b) Positive Bending

圖 3.51 各 IFS 試體加勁板應力比較

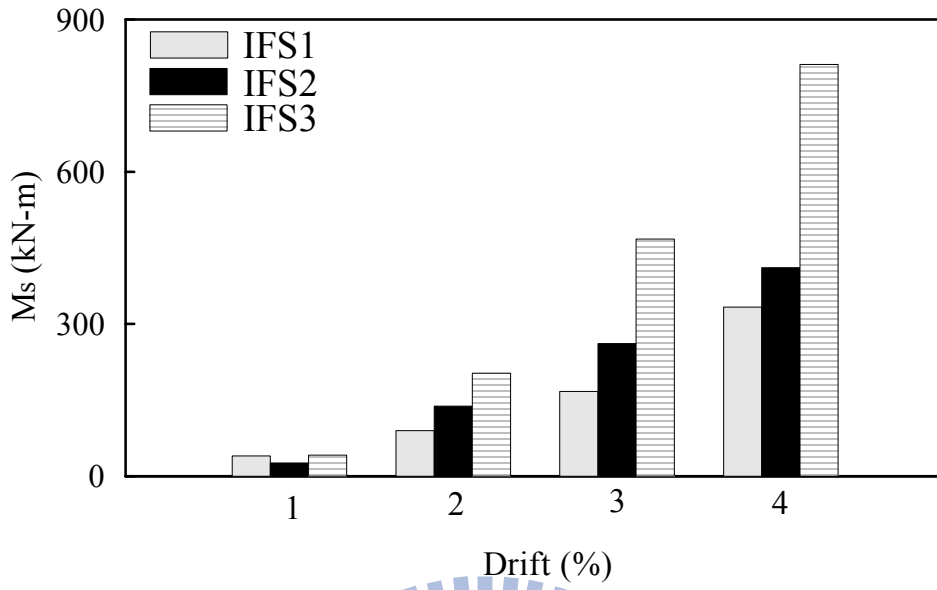


圖 3.52 各 IFS 試體加勁板提供之彎矩

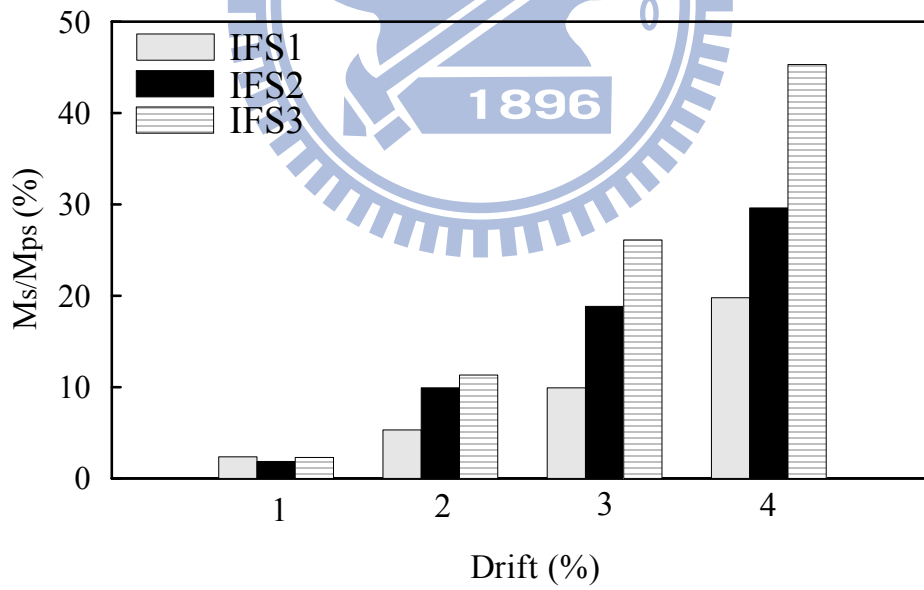


圖 3.53 各 IFS 試體加勁板提供之塑性彎矩  $M_{ps}$  比例

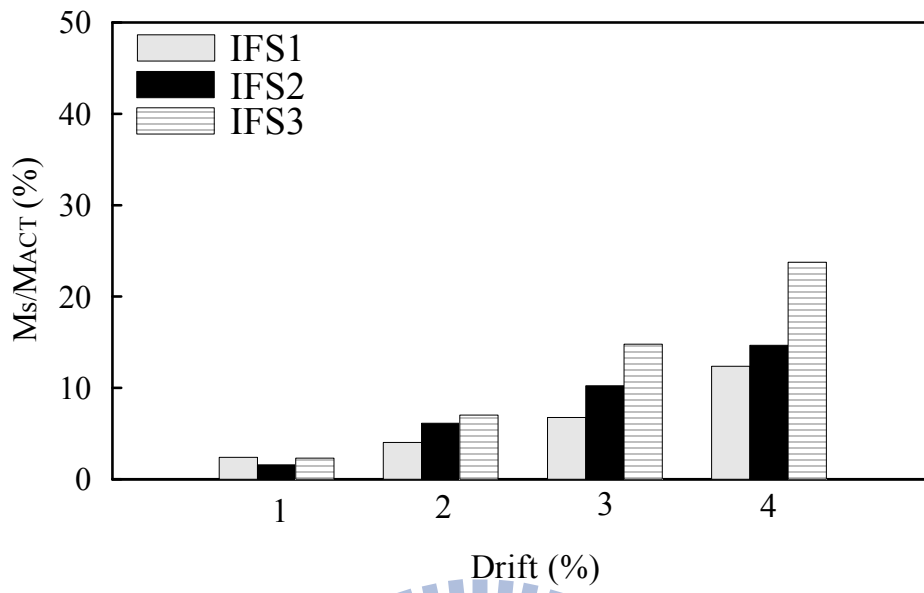


圖 3.54 各 IFS 試體加勁板提供的彎矩佔整體彎矩的比例



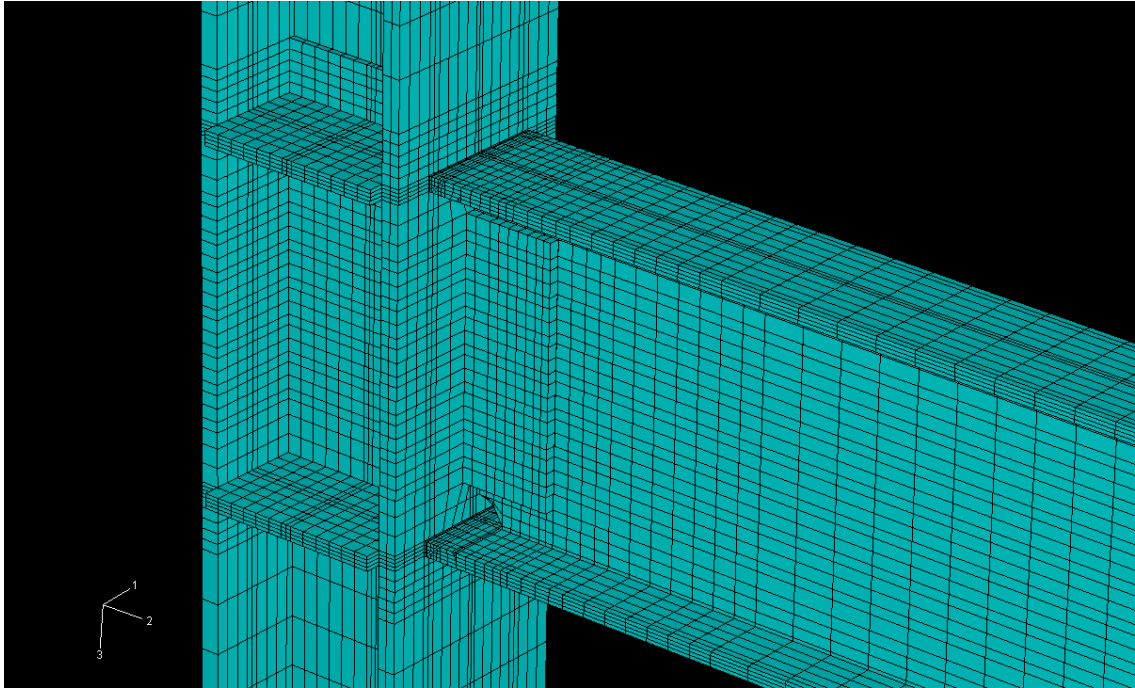


圖 4.1 試體 UR 之結構模型網格分佈

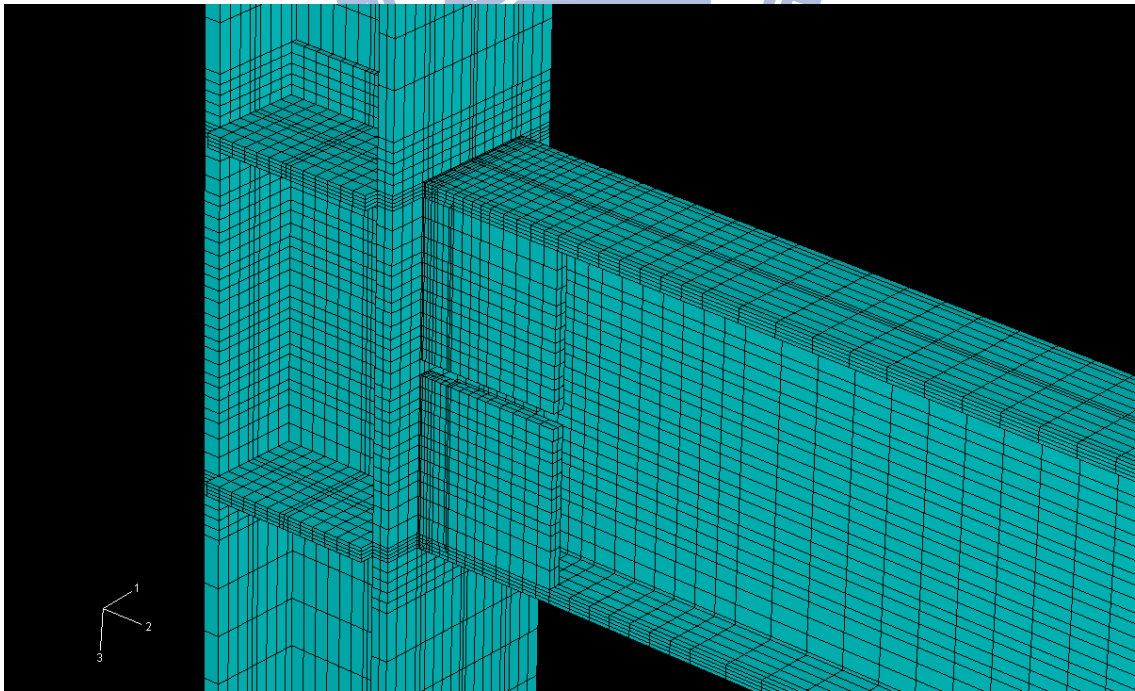


圖 4.2 試體 IFS1 之結構模型網格分佈

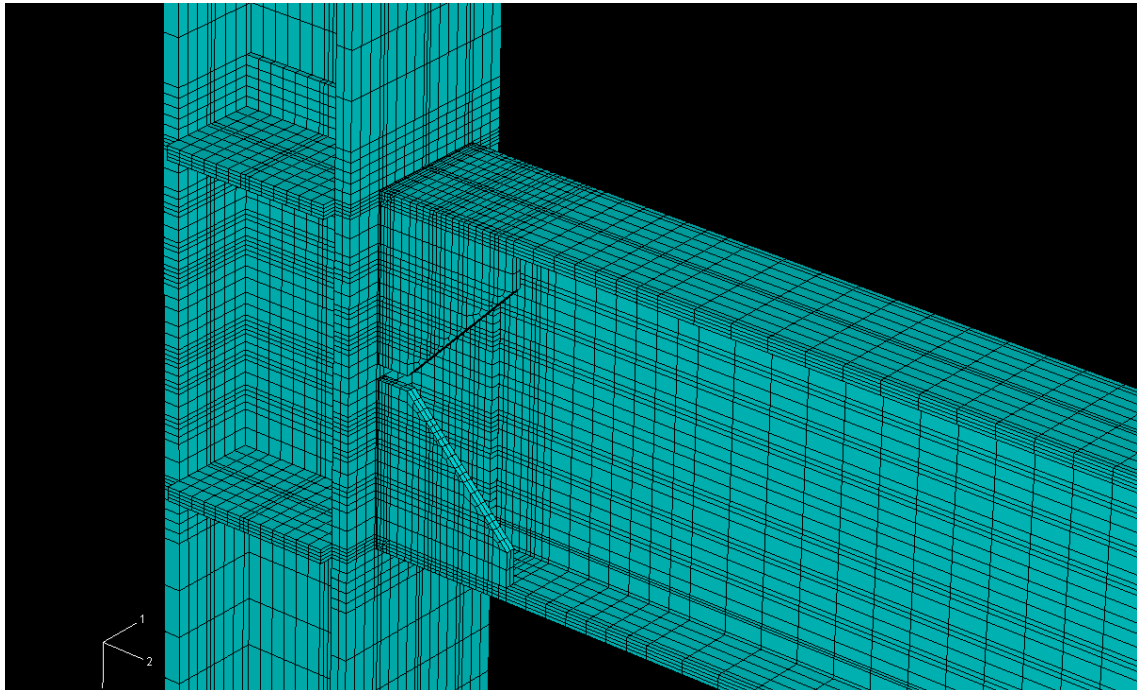


圖 4.3 試體 IFS2 之結構模型網格分佈

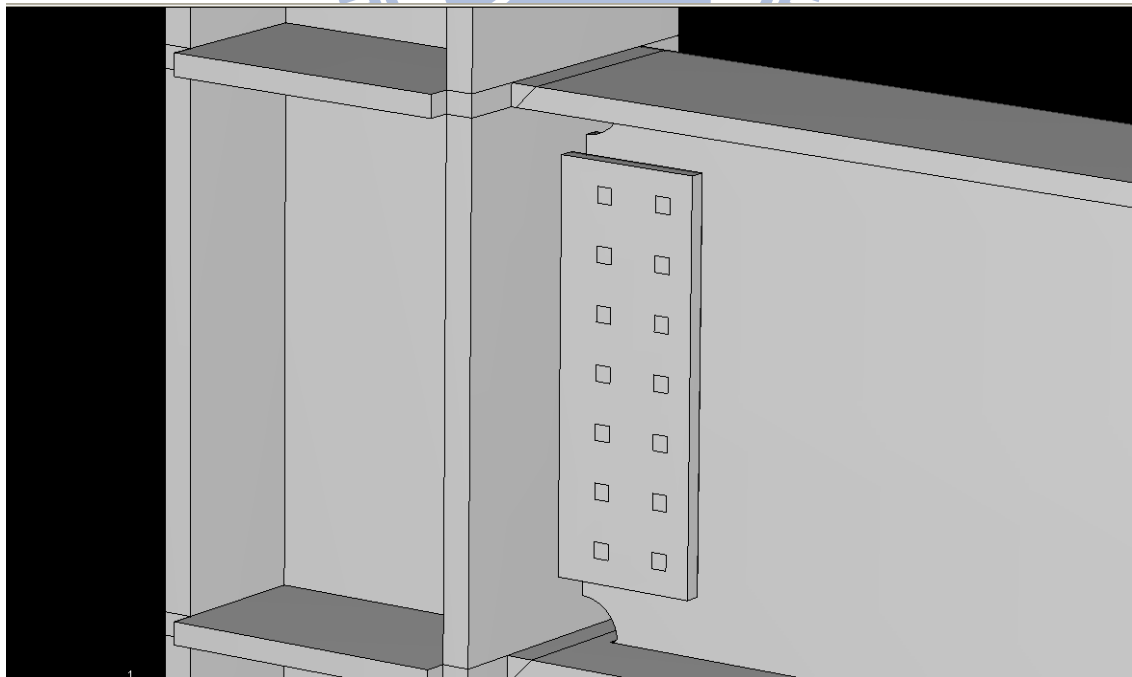
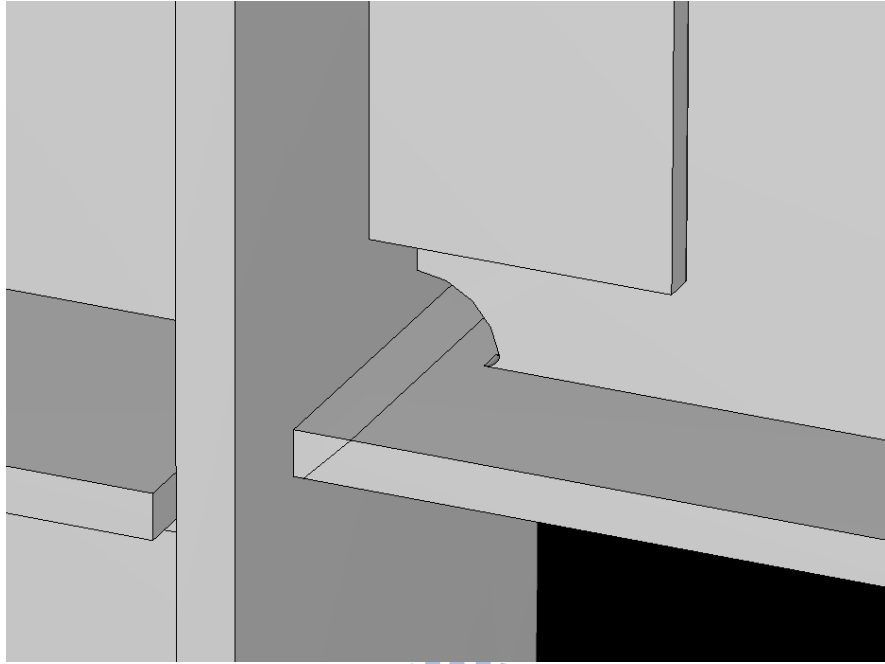
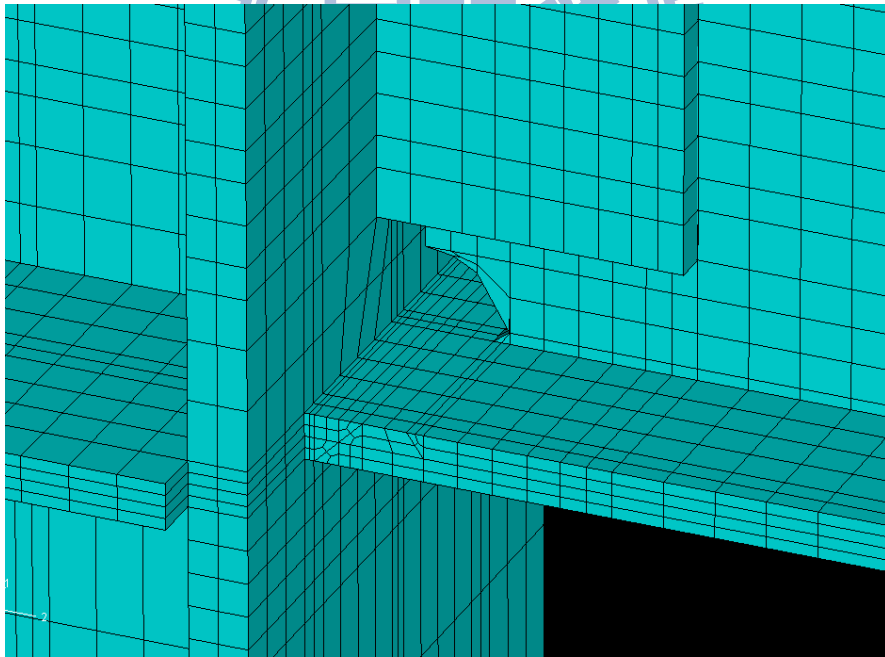


圖 4.4 各試體剪力板螺栓之模擬(Part)

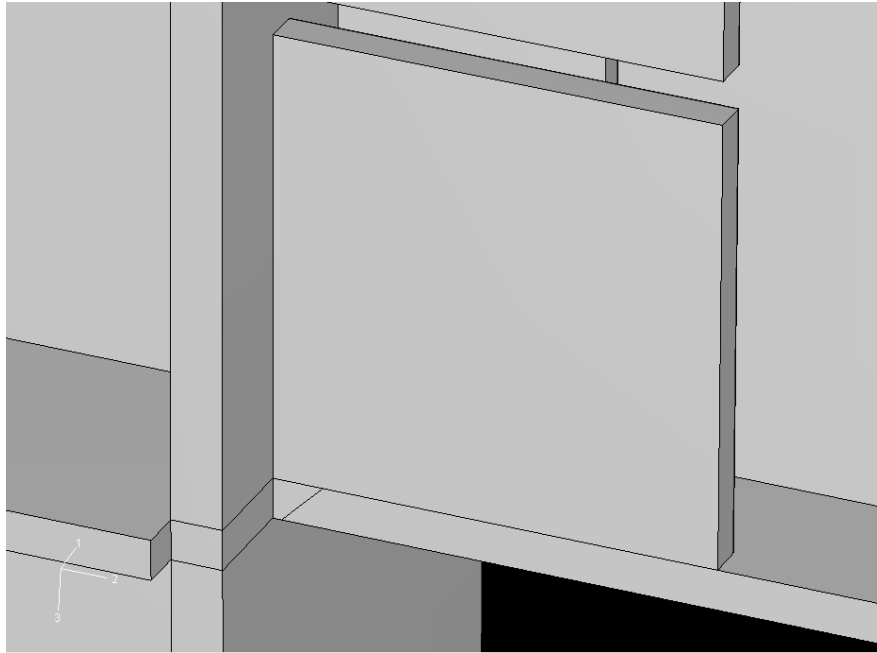


(a) Part

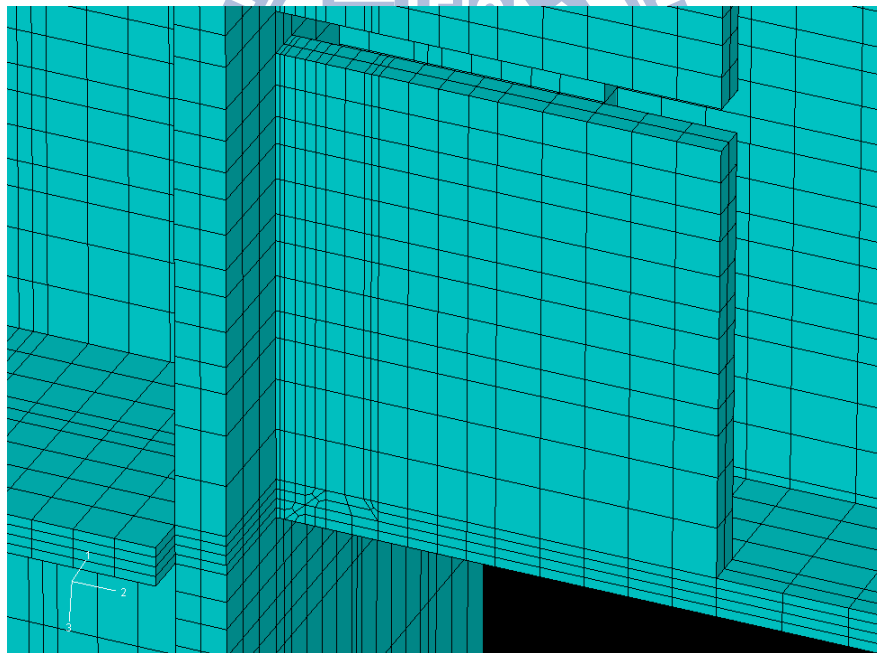


(b) Mesh

圖 4.5 梁柱接頭區之焊道及扇形開口模擬情形

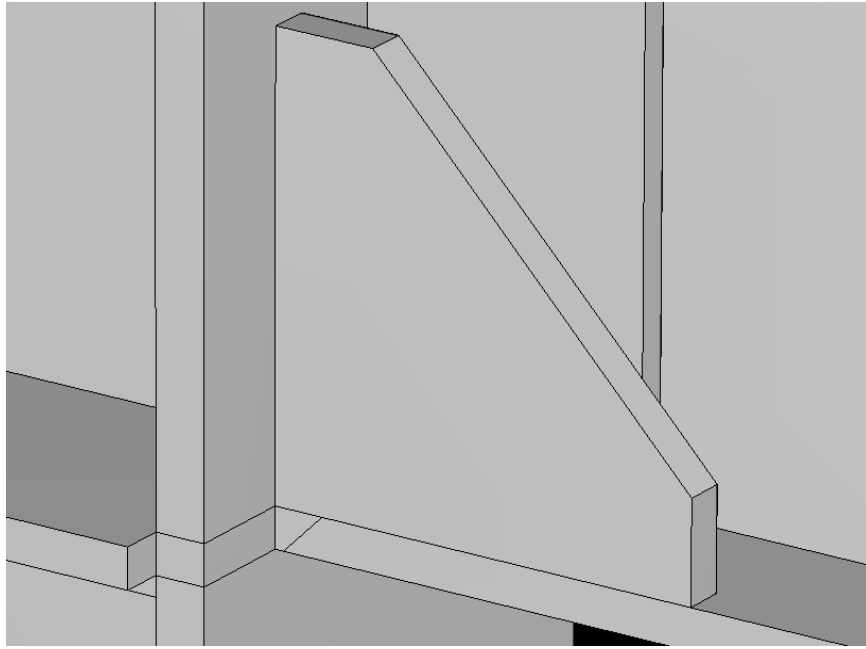


(a) Part

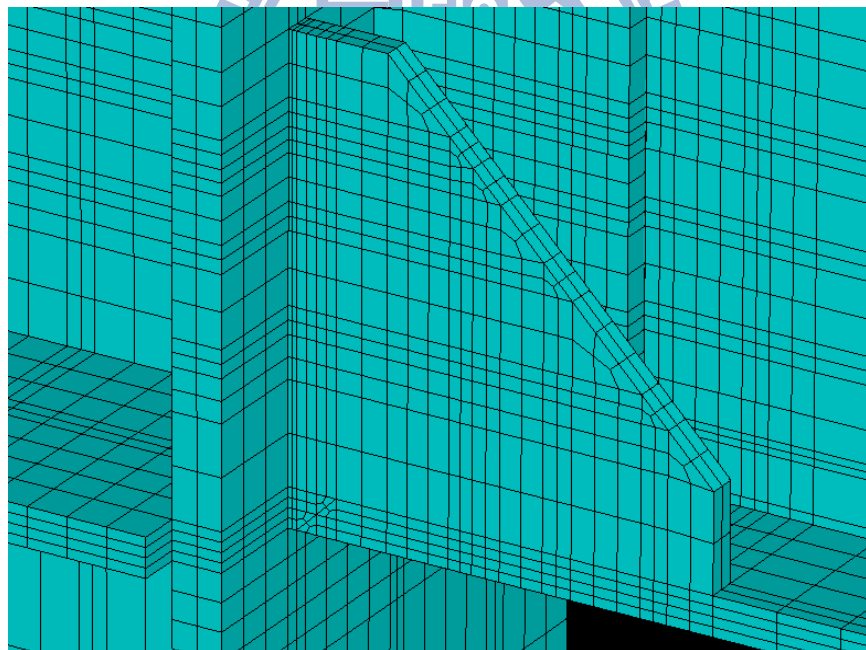


(b) Mesh

圖 4.6 試體 IFS1 加勁板與梁及柱接合之模擬情形



(a) Part



(b) Mesh

圖 4.7 試體 IFS2 加勁板與梁及柱接合之模擬情形



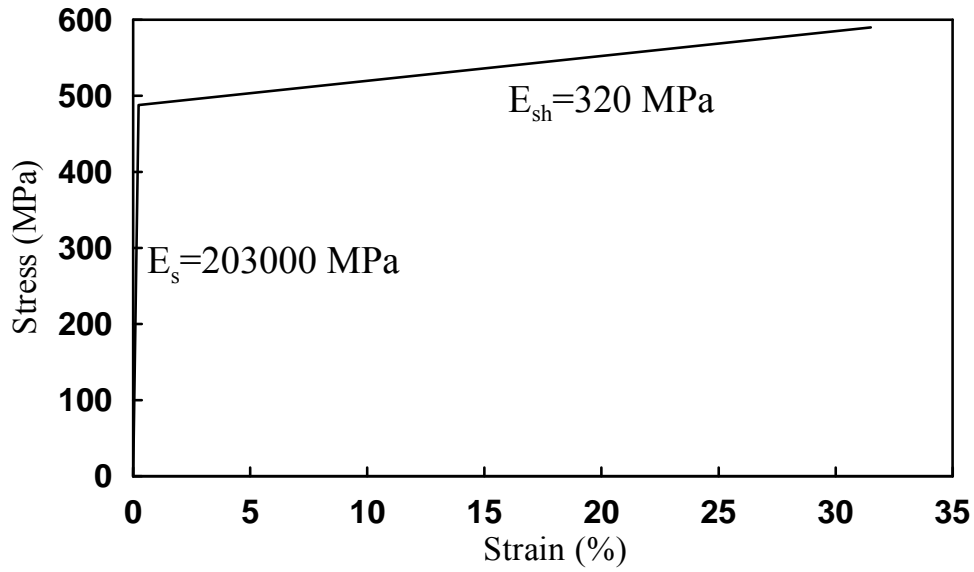


圖 4.8 焊道單向加載之應力應變圖

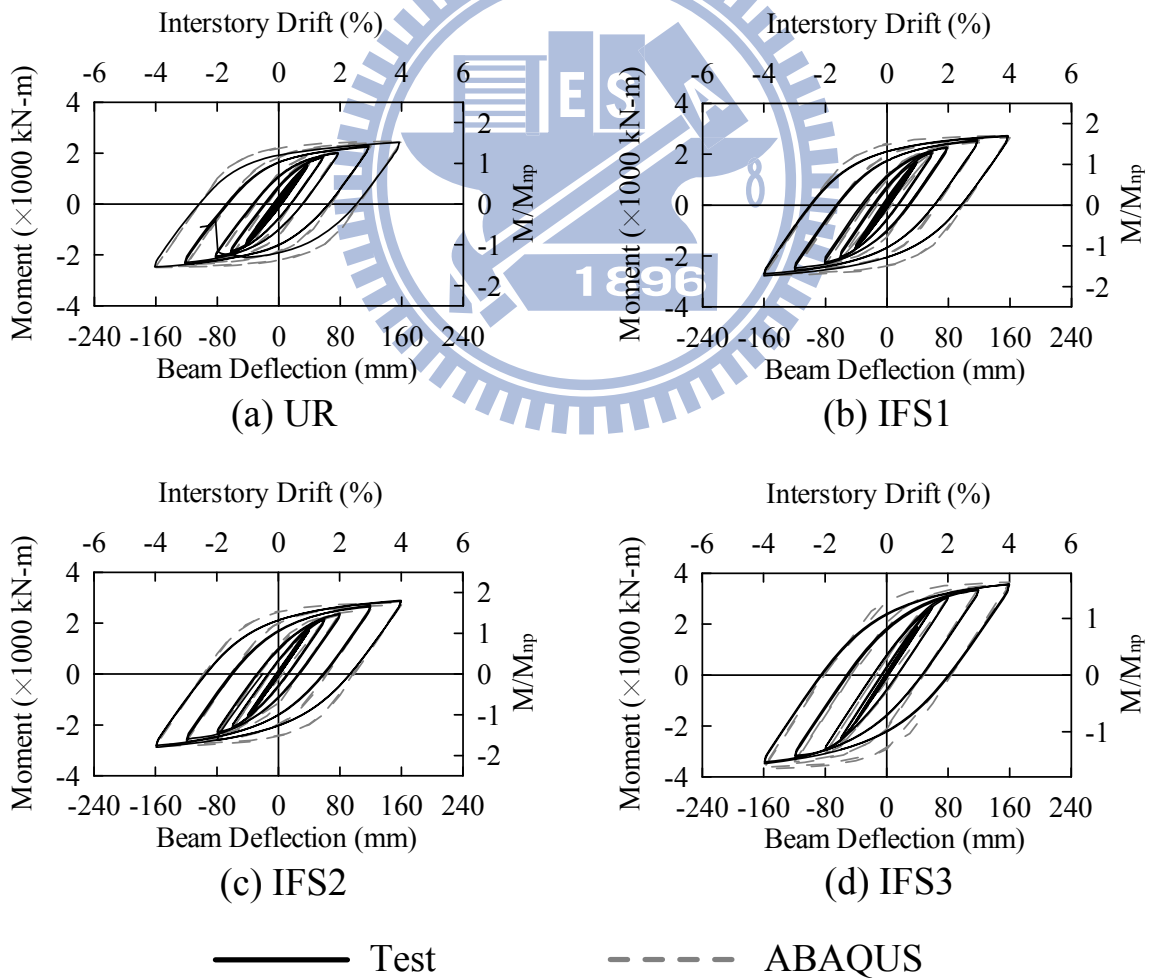


圖 4.9 試體編號 UR 及 IFS1-3 之梁端彎矩與位移關係比較圖

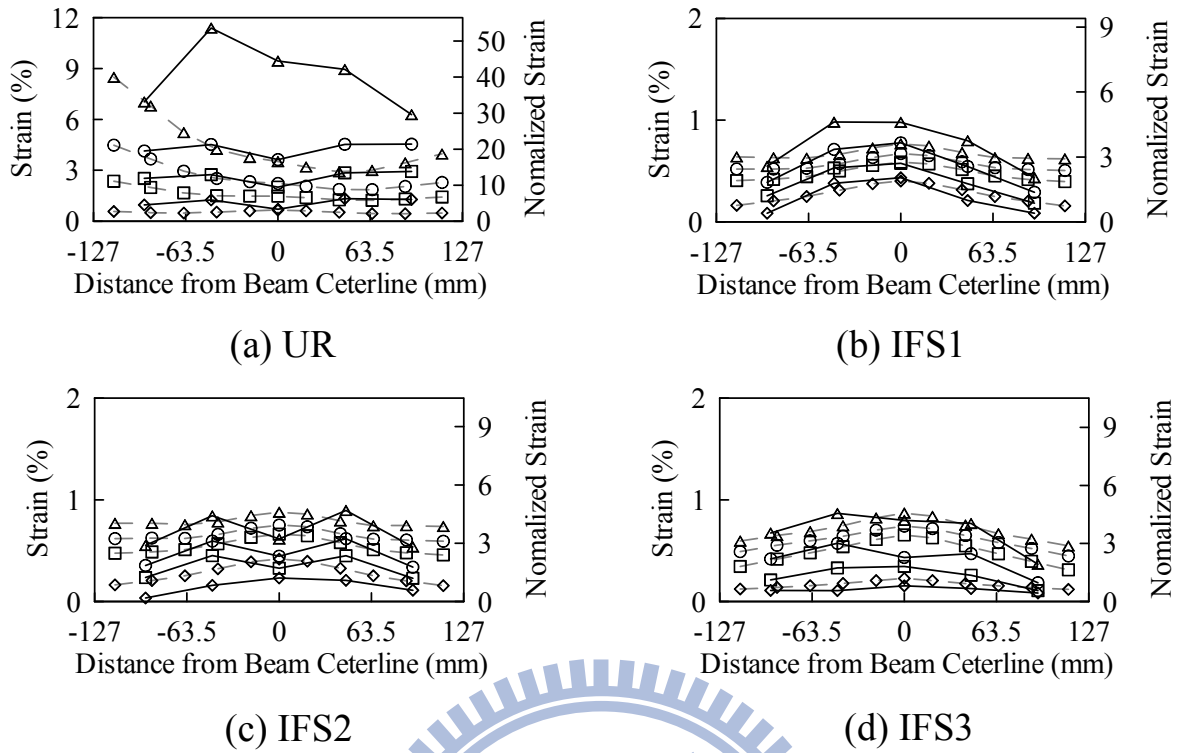


圖 4.10 試體編號 UR 及 IFS1-3 之梁上翼板應變比較圖

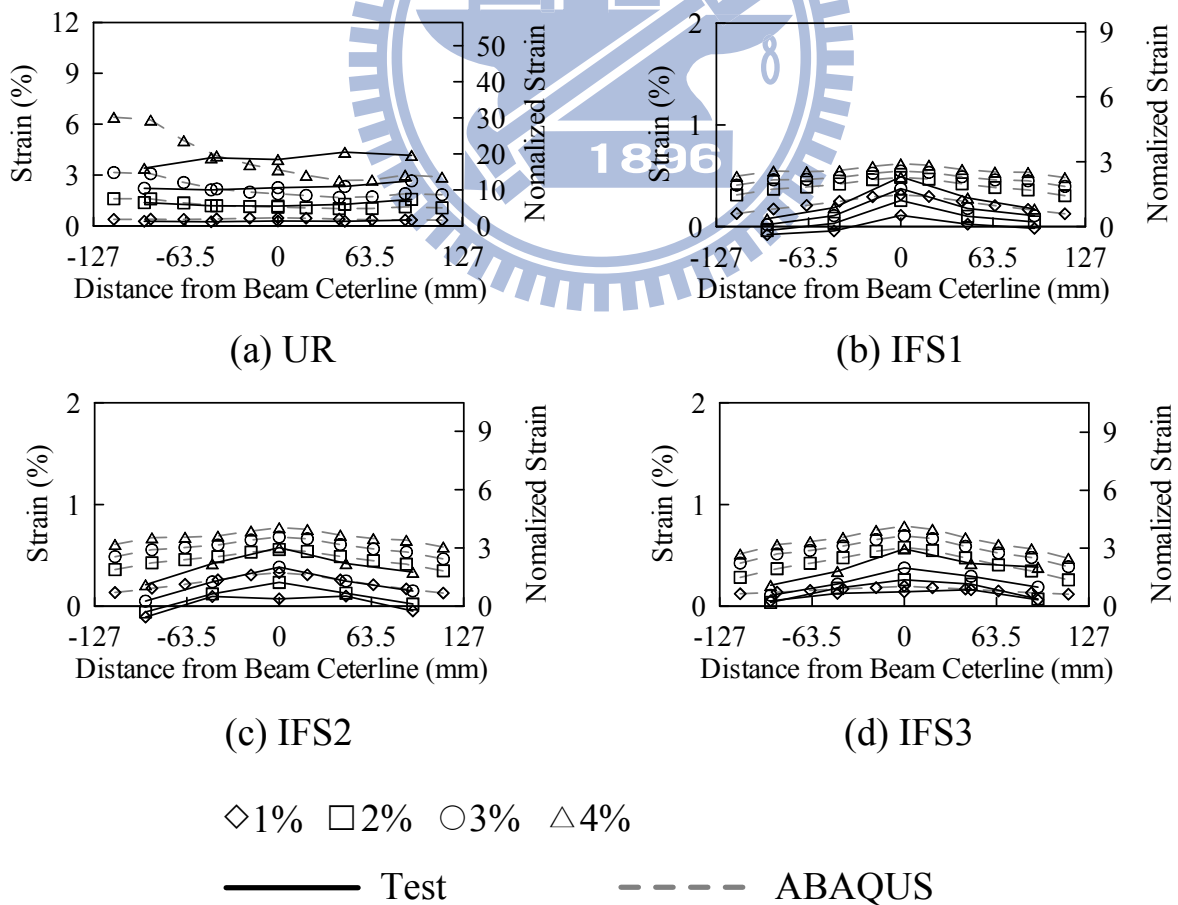


圖 4.11 試體編號 UR 及 IFS1-3 之梁下翼板應變比較圖

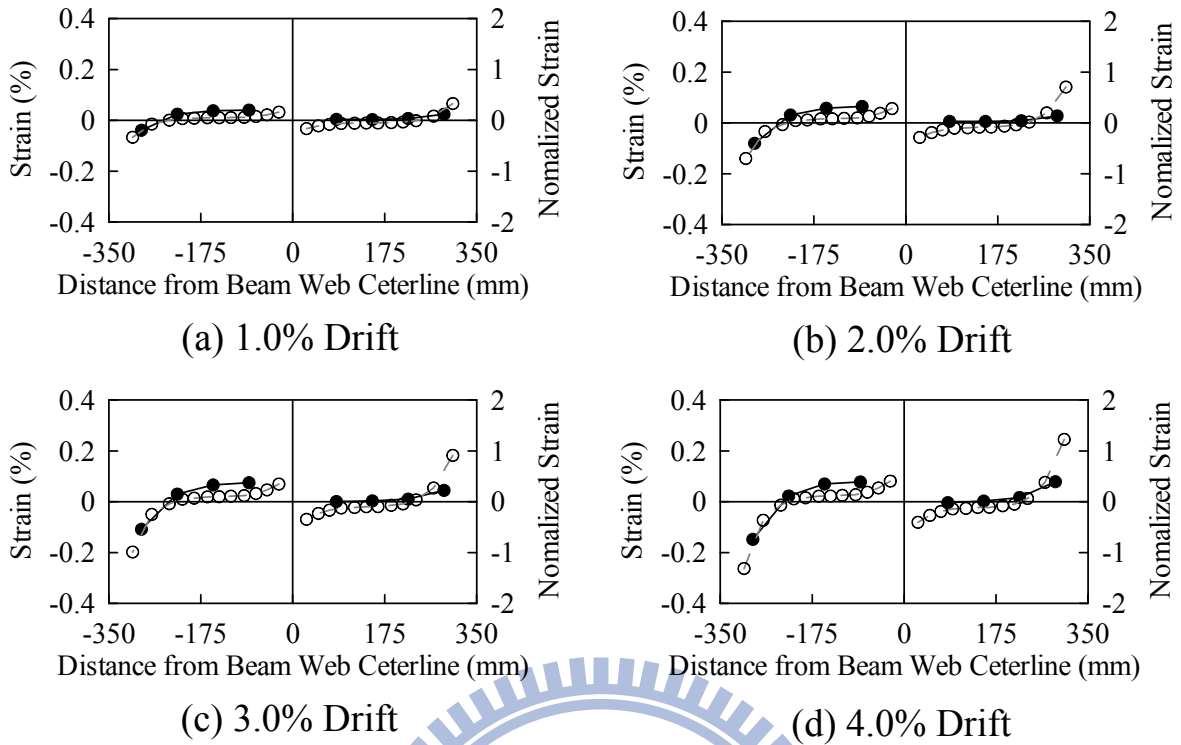
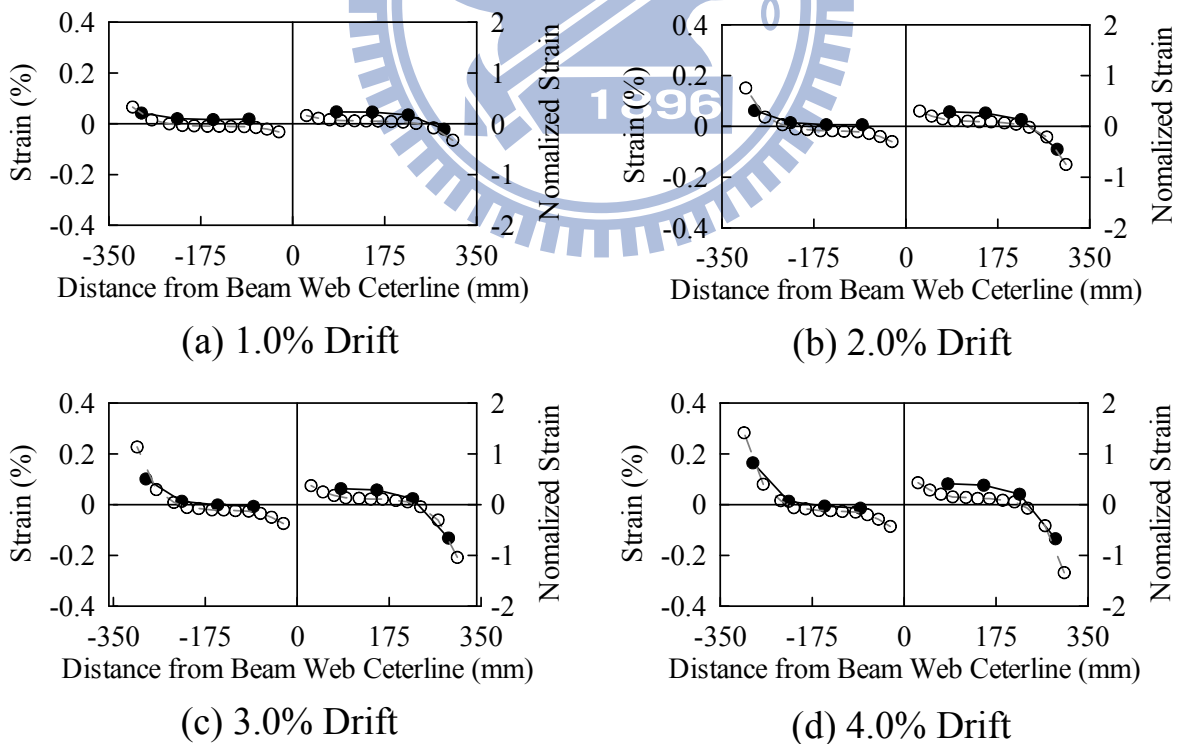


圖 4.12 試體 IFS1 之加勁板應變比較圖 (Negative Bending)



—●— Test      -○- ABAQUS

圖 4.13 試體 IFS1 之加勁板應變比較圖 (Positive Bending)

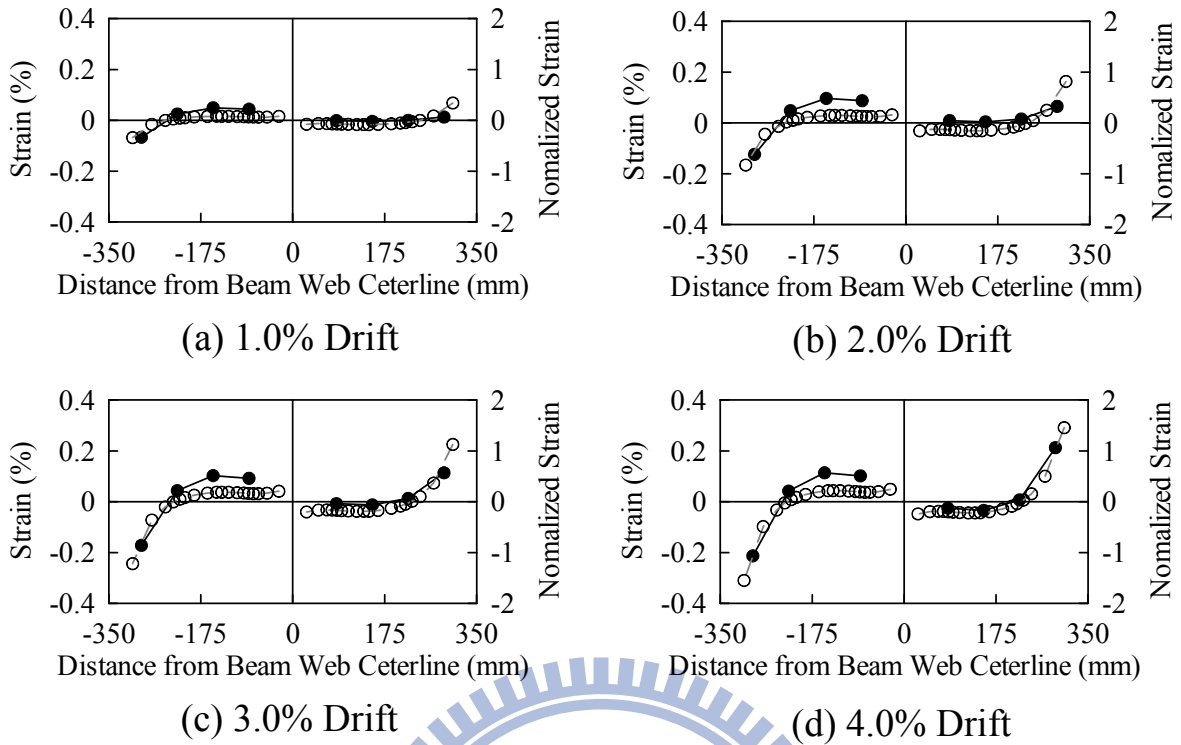
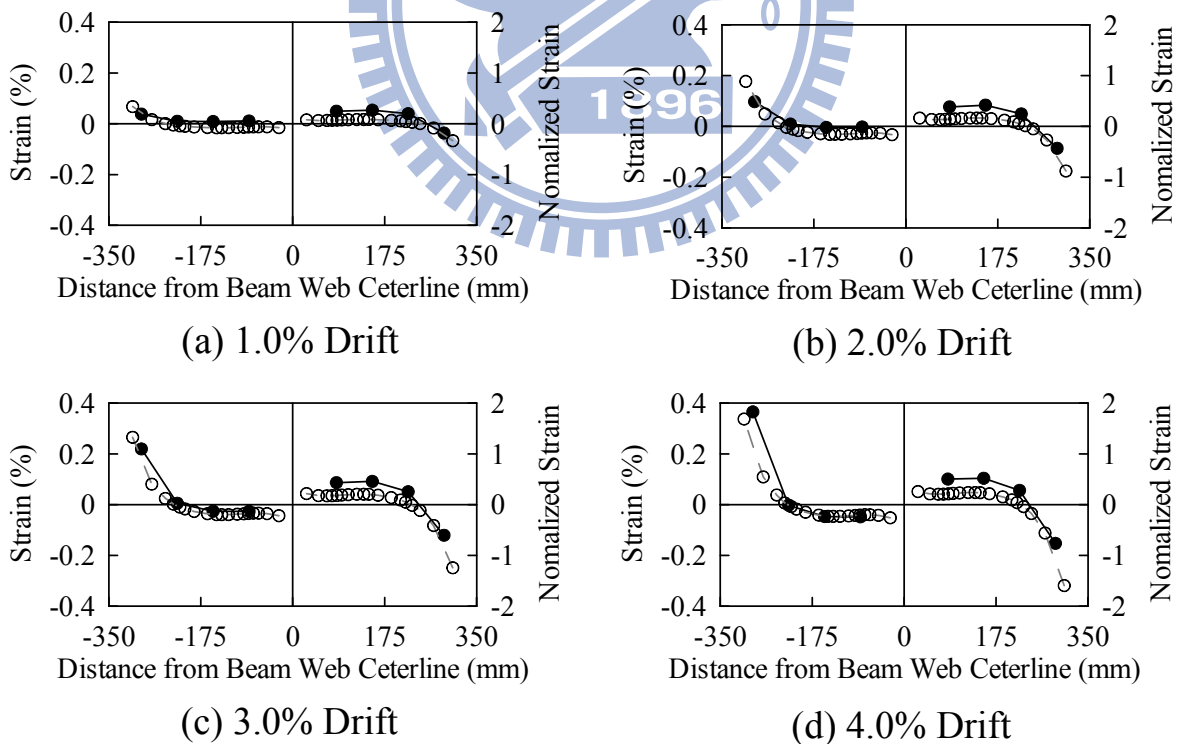


圖 4.14 試體 IFS2 之加勁板應變比較圖 (Negative Bending)



—●— Test

-○- ABAQUS

圖 4.15 試體 IFS2 之加勁板應變比較圖 (Positive Bending)

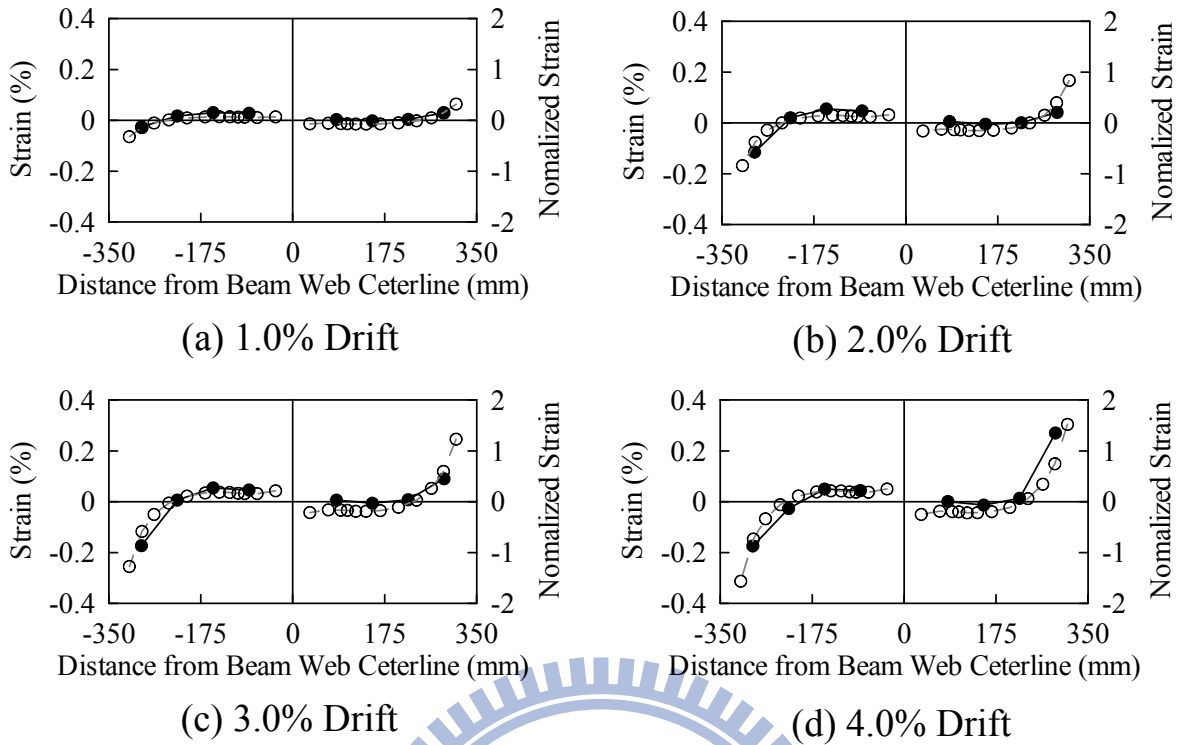
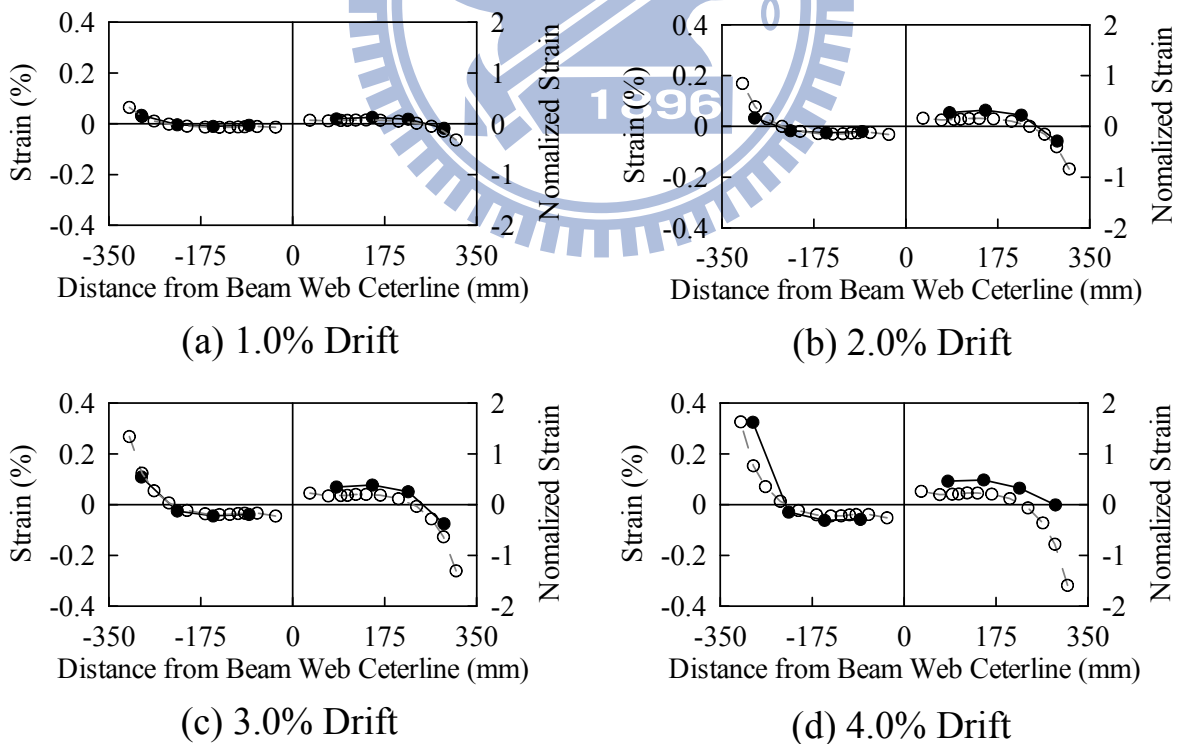


圖 4.16 試體 IFS3 之加勁板應變比較圖 (Negative Bending)



●— Test

○— ABAQUS

圖 4.17 試體 IFS3 之加勁板應變比較圖 (Positive Bending)

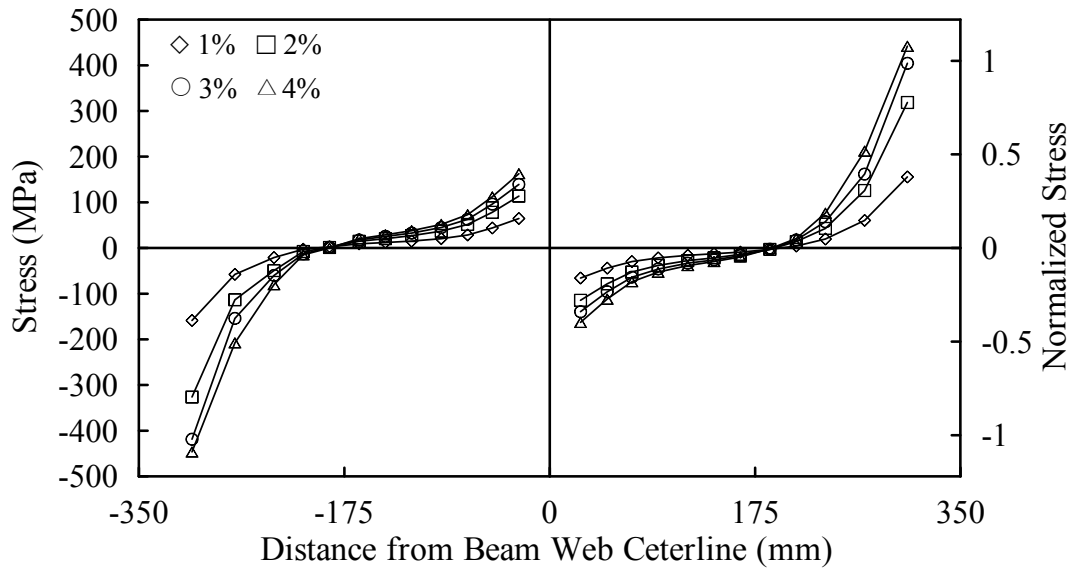


圖 4.18 試體 IFS1 之加勁板 ABAQUS 應力分佈圖 (Negative Bending)

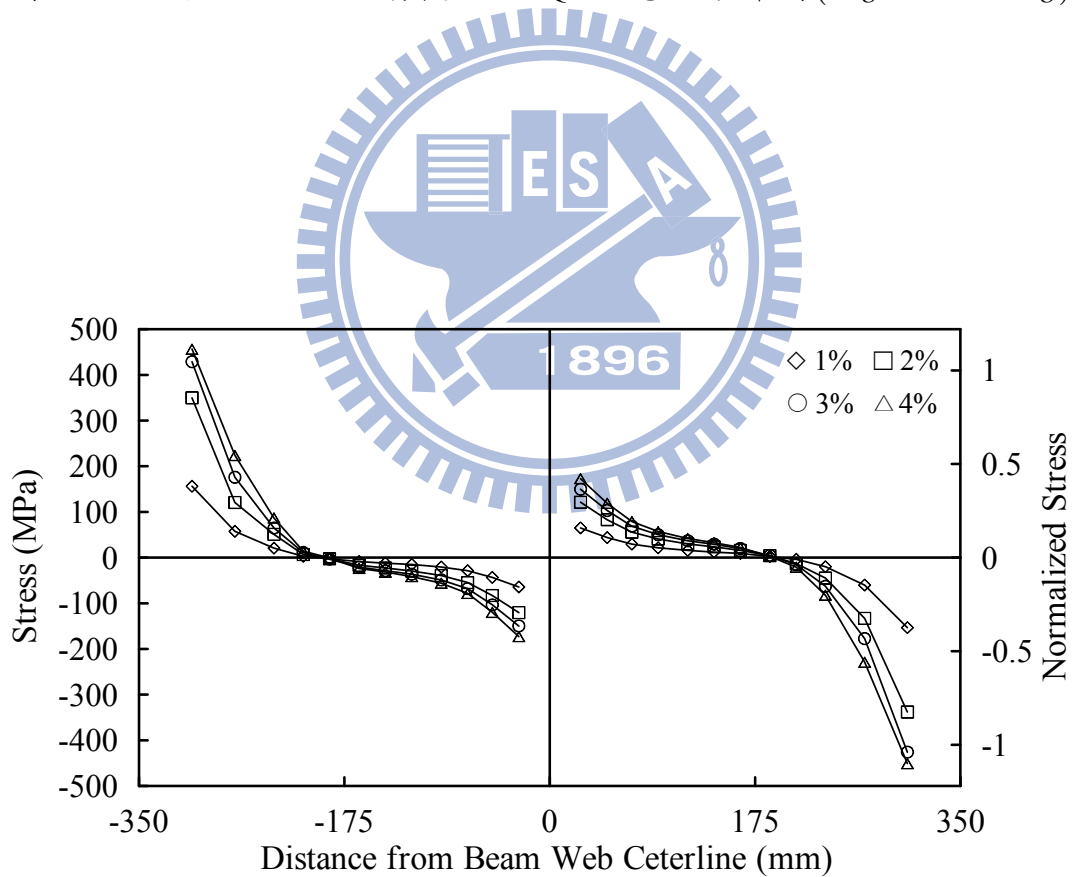


圖 4.19 試體 IFS1 之加勁板 ABAQUS 應力分佈圖 (Positive Bending)

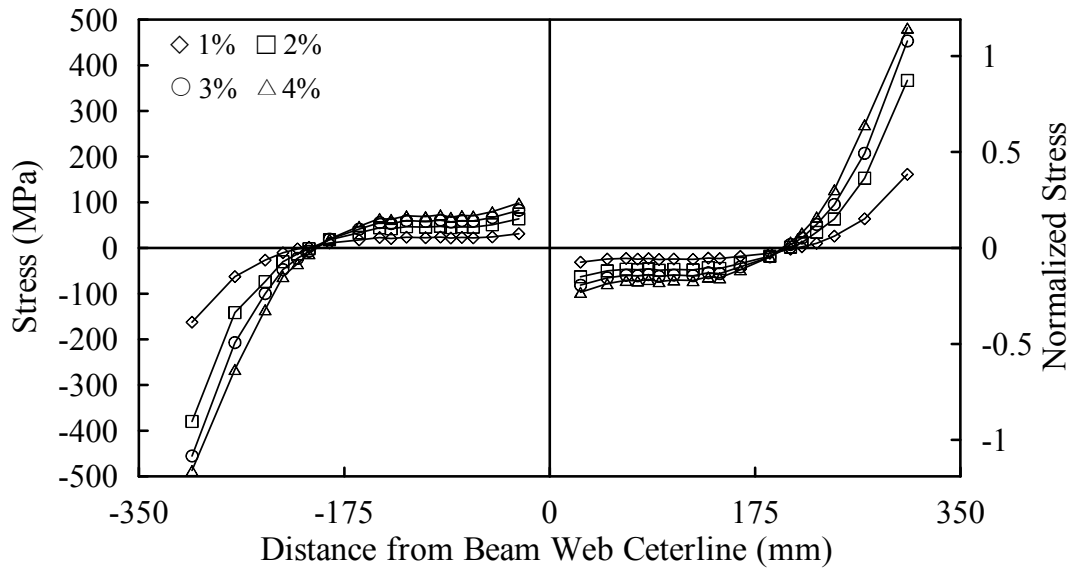


圖 4.20 試體 IFS2 之加勁板 ABAQUS 應力分佈圖 (Negative Bending)

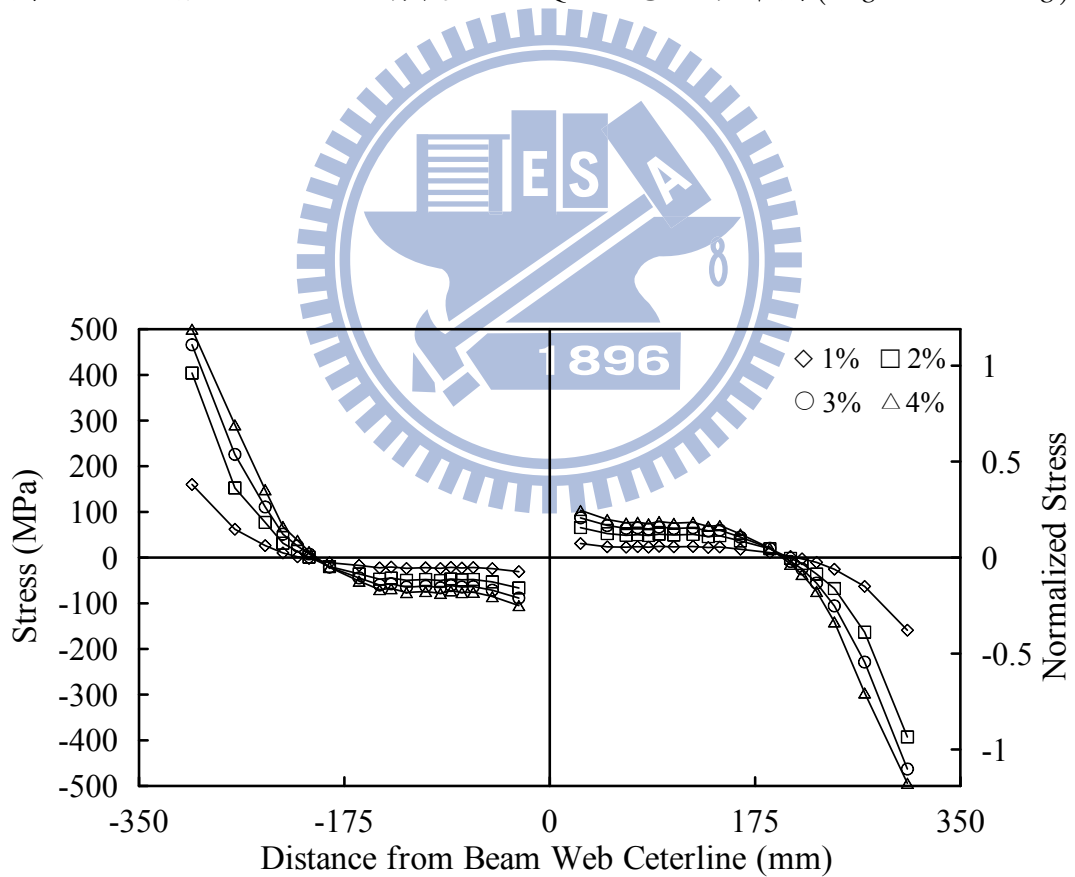


圖 4.21 試體 IFS2 之加勁板 ABAQUS 應力分佈圖 (Positive Bending)

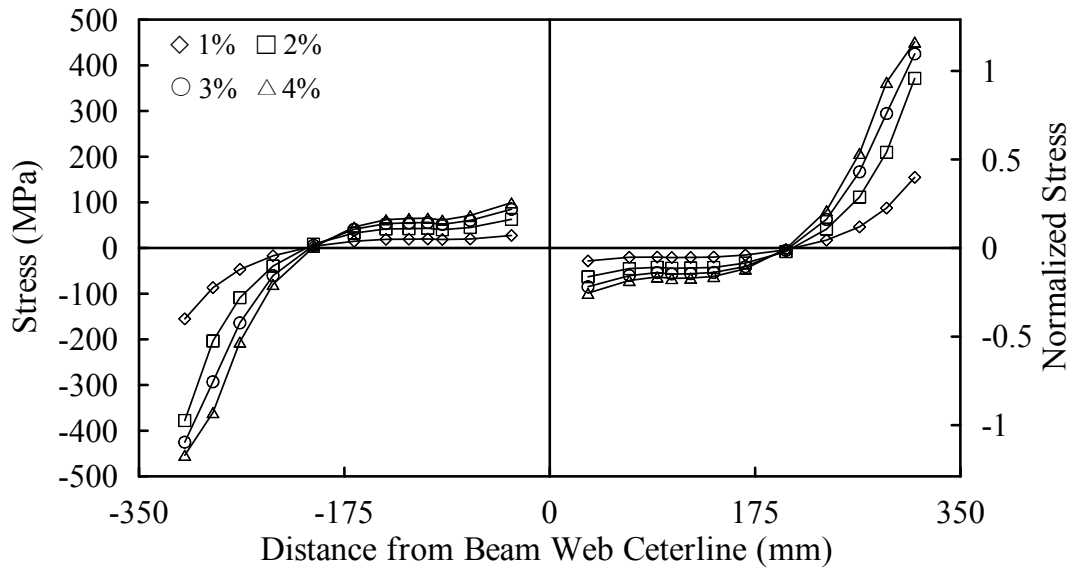


圖 4.22 試體 IFS3 之加勁板 ABAQUS 應力分佈圖 (Negative Bending)

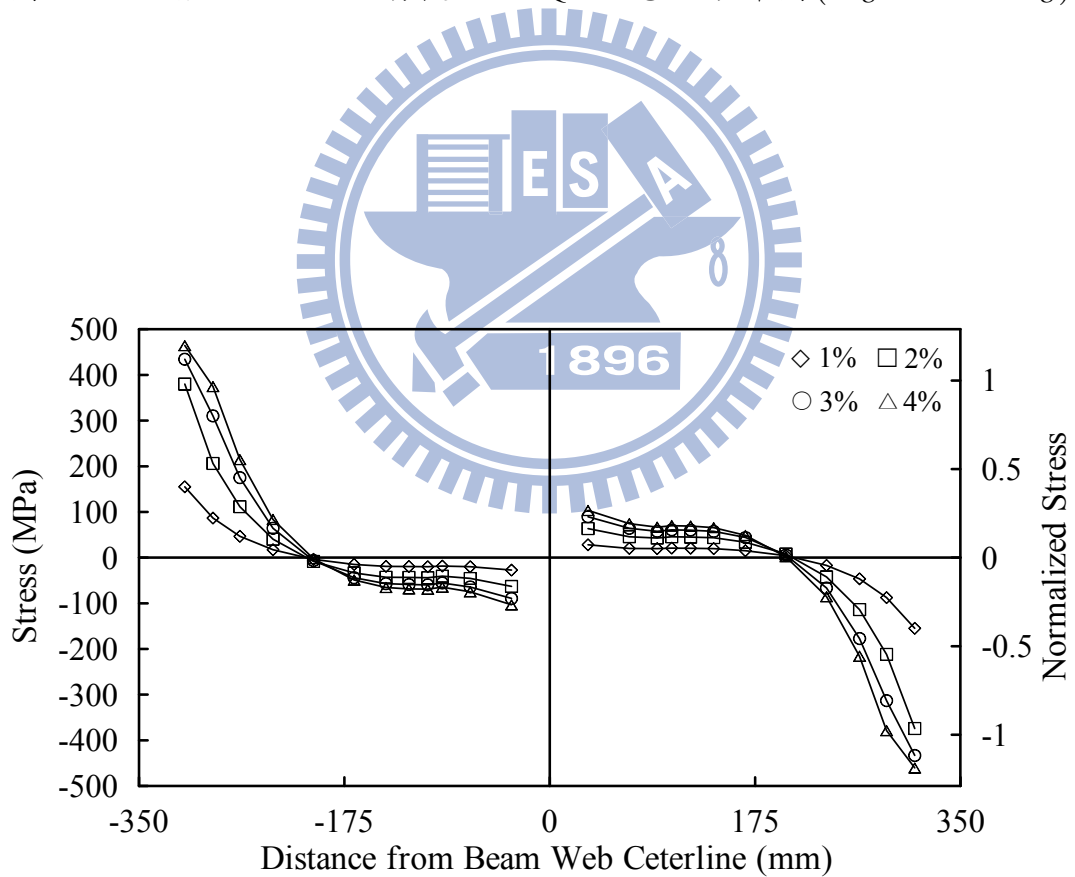


圖 4.23 試體 IFS3 之加勁板 ABAQUS 應力分佈圖 (Positive Bending)



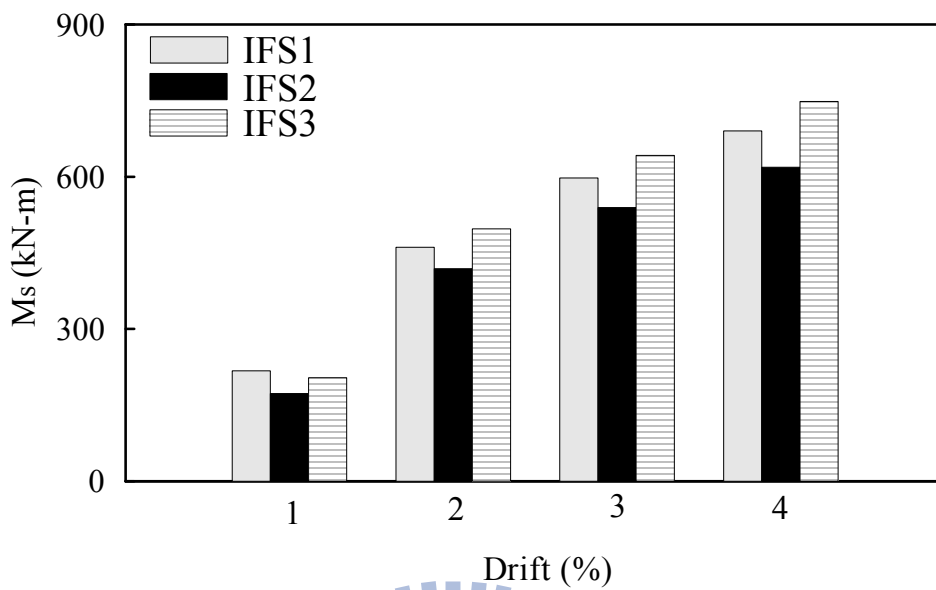


圖 4.24 各 IFS 加勁板於分析結果中所提供之彎矩

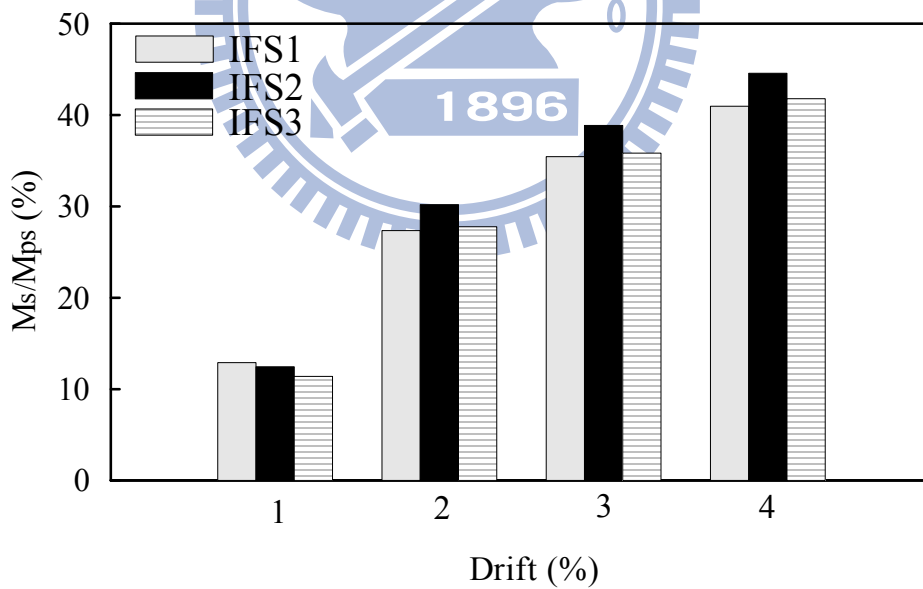


圖 4.25 各 IFS 加勁板於分析結果中所提供之  $M_{ps}$  比例

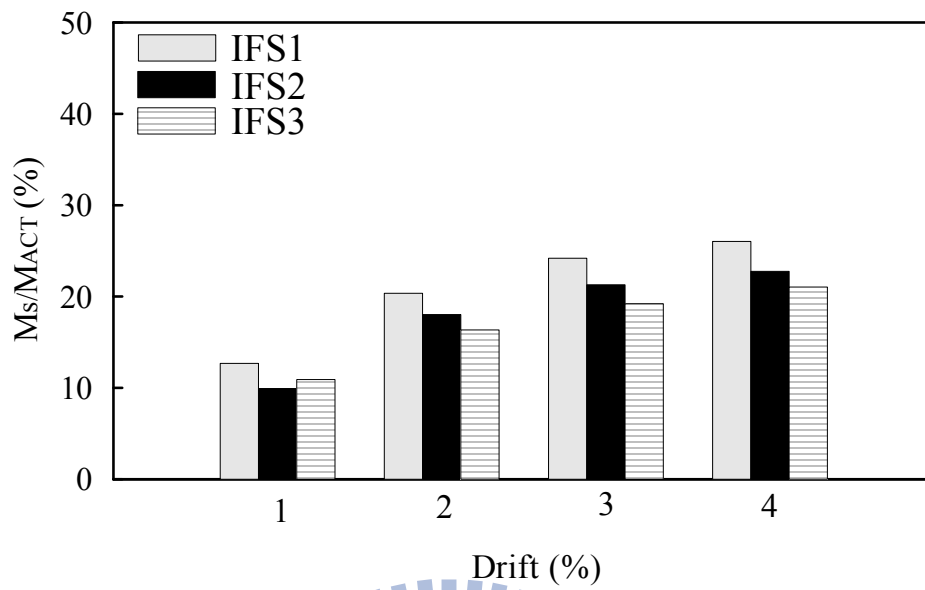
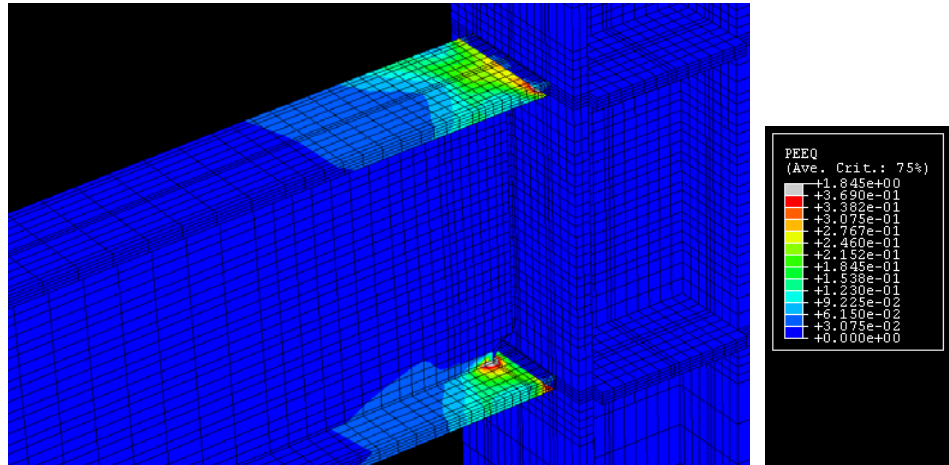
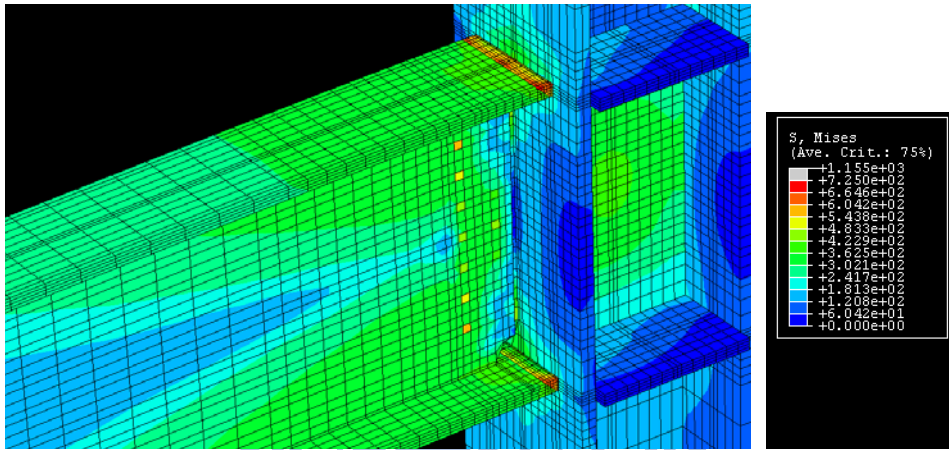


圖 4.26 各 IFS 加勁板於分析結果中所提供之彎矩佔整體總彎矩的比例

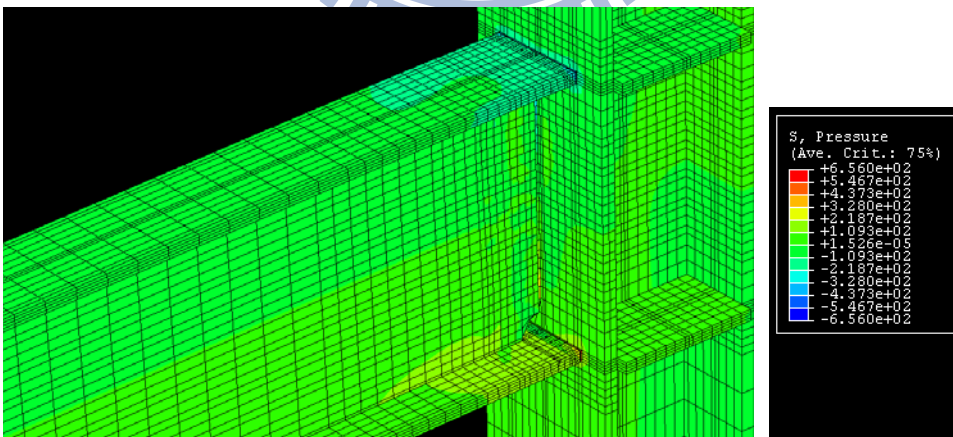




(a) PEEQ

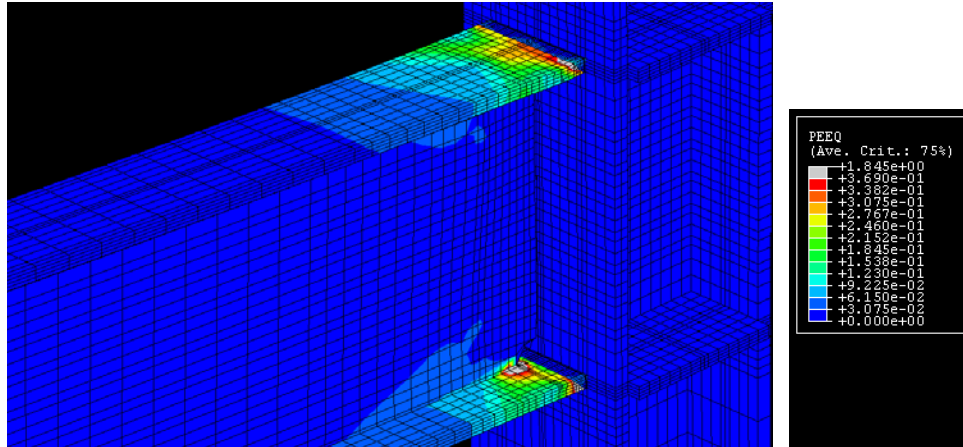


(b) Mises

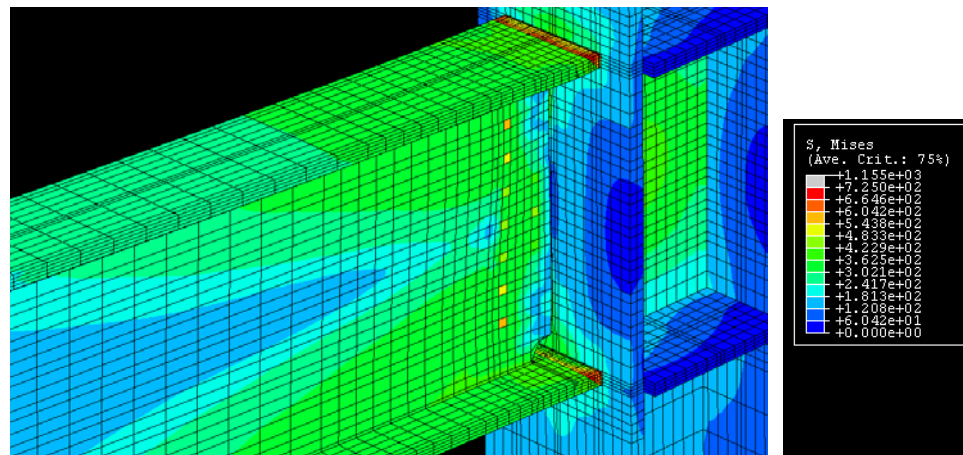


(c) Pressure

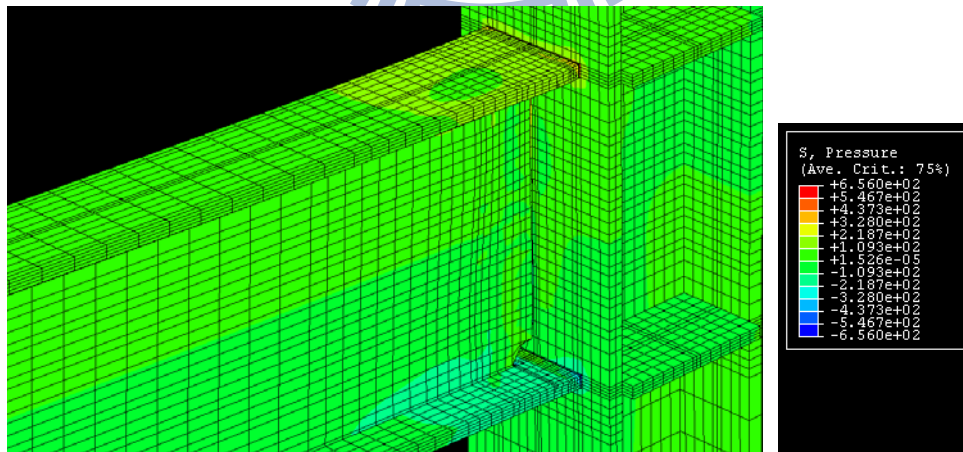
圖 4.27 試體 UR 分析模型之各項參數分佈圖( $\theta = -3.0\%Drift$ )



(a) PEEQ

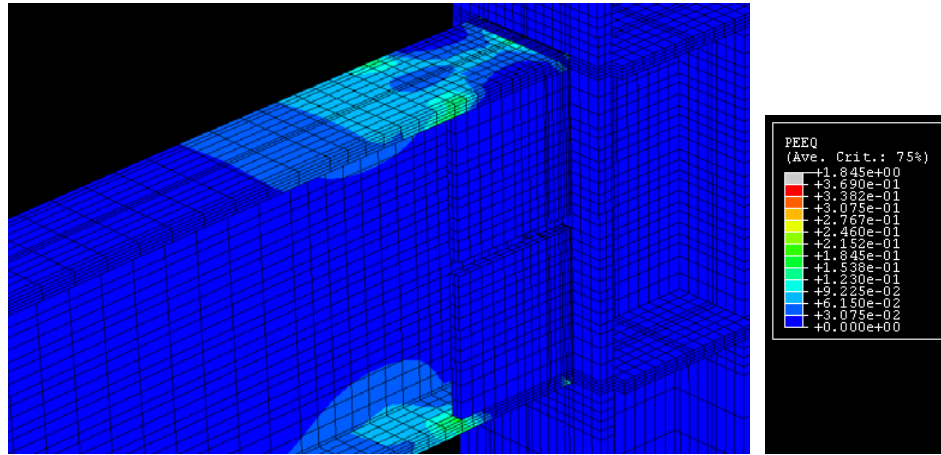


(b) Mises

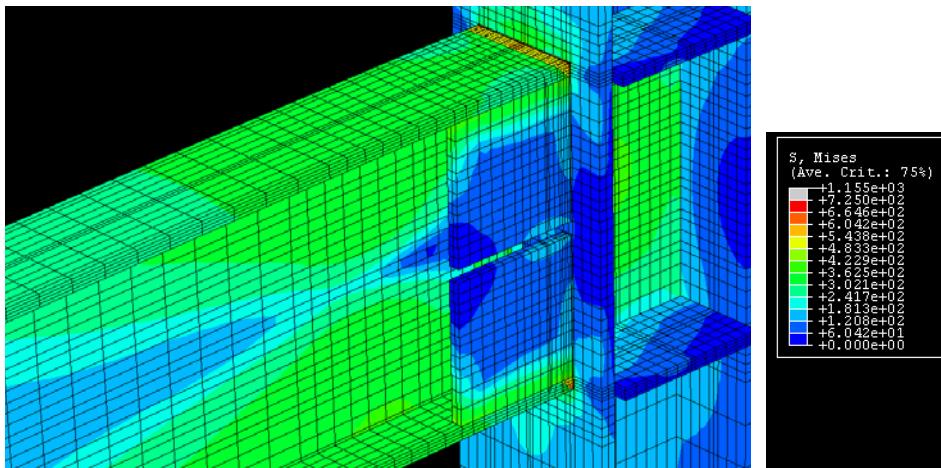


(c) Pressure

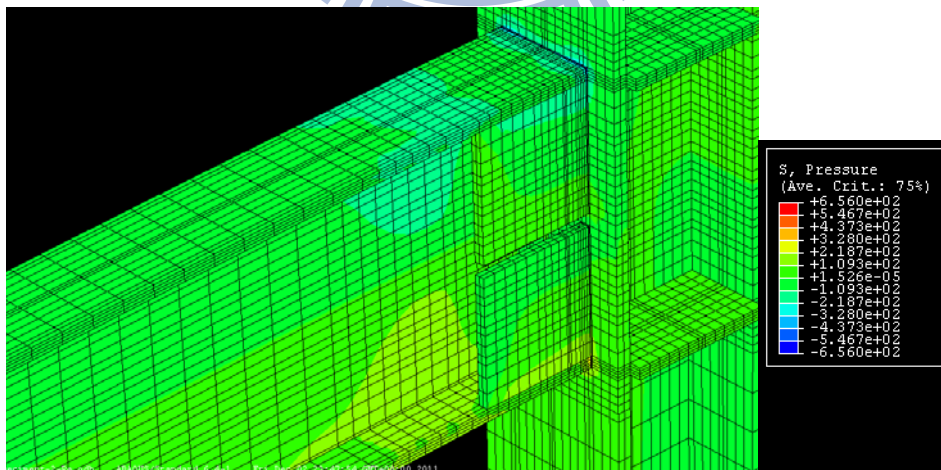
圖 4.28 試體 UR 分析模型之各項參數分佈圖( $\theta = +3.0\%Drift$ )



(a) PEEQ



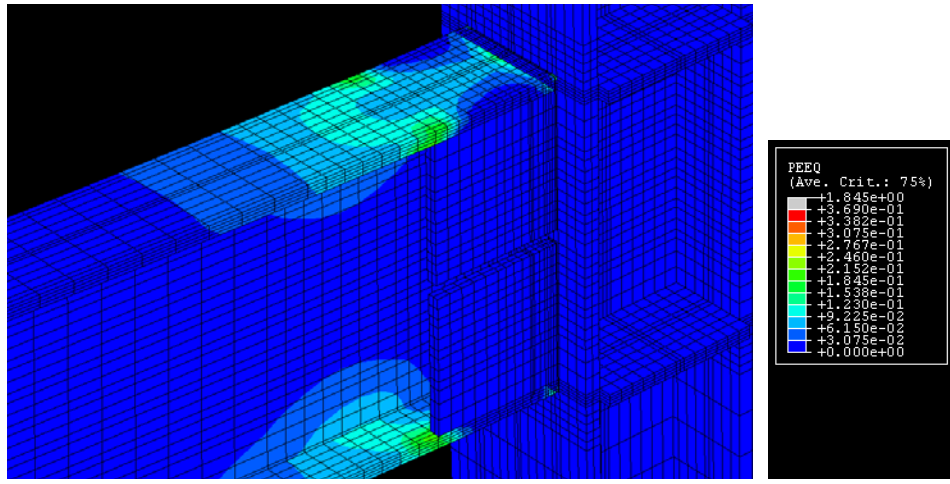
(b) Mises



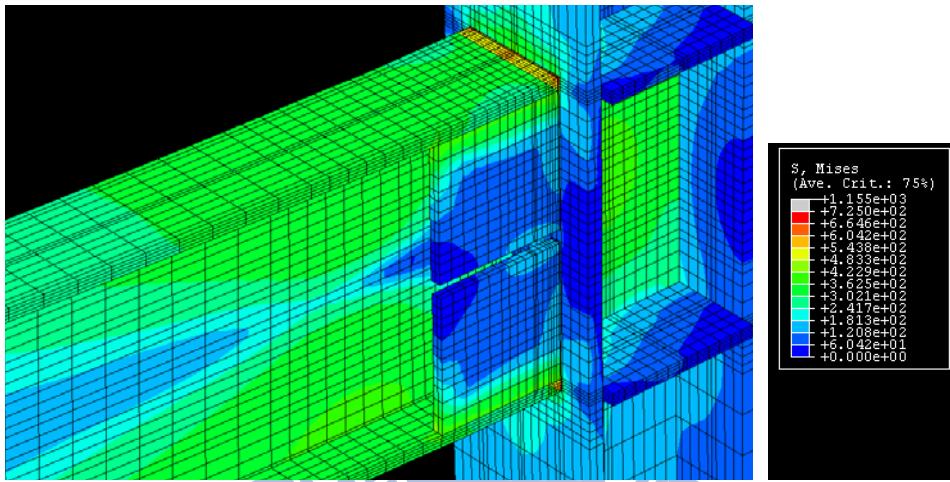
(c) Pressure

圖 4.29 試體 IFS1 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ )

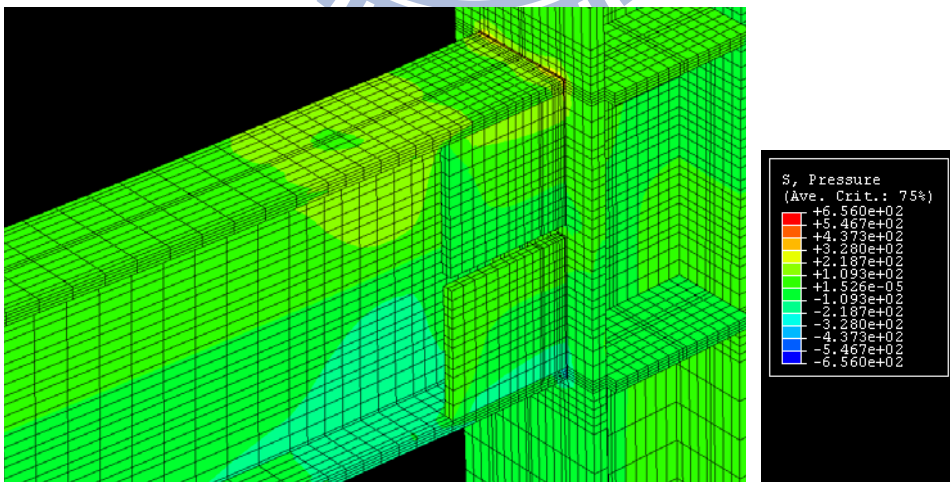




(a) PEEQ

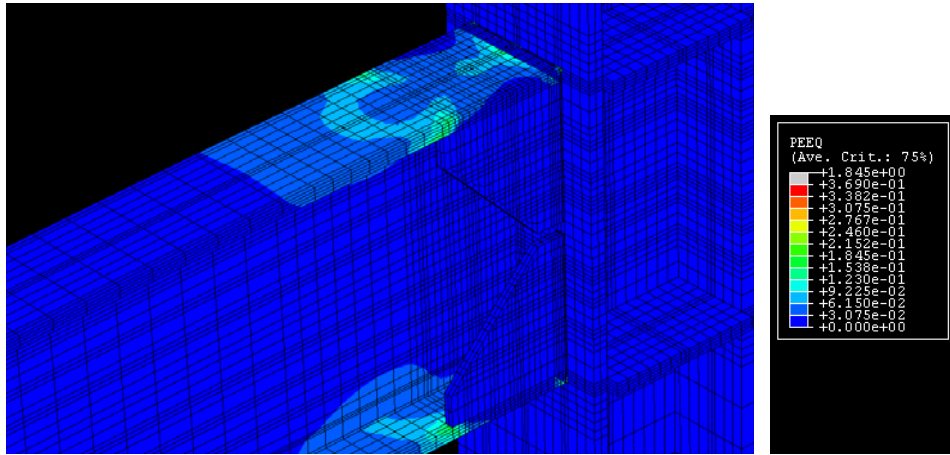


(b) Mises

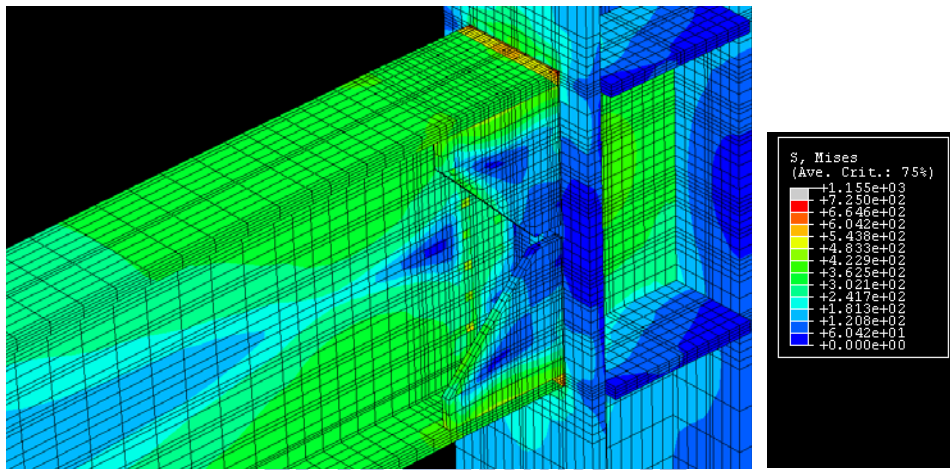


(c) Pressure

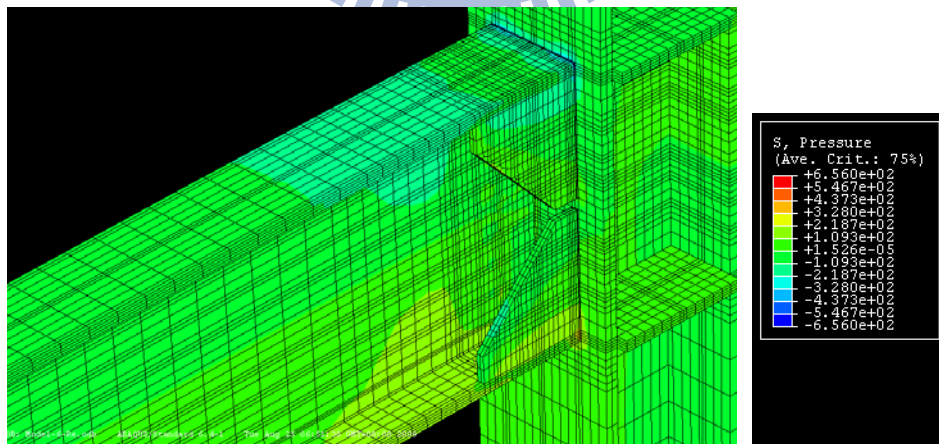
圖 4.30 試體 IFS1 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = +3.0\% \text{Drift}$ )



(a) PEEQ

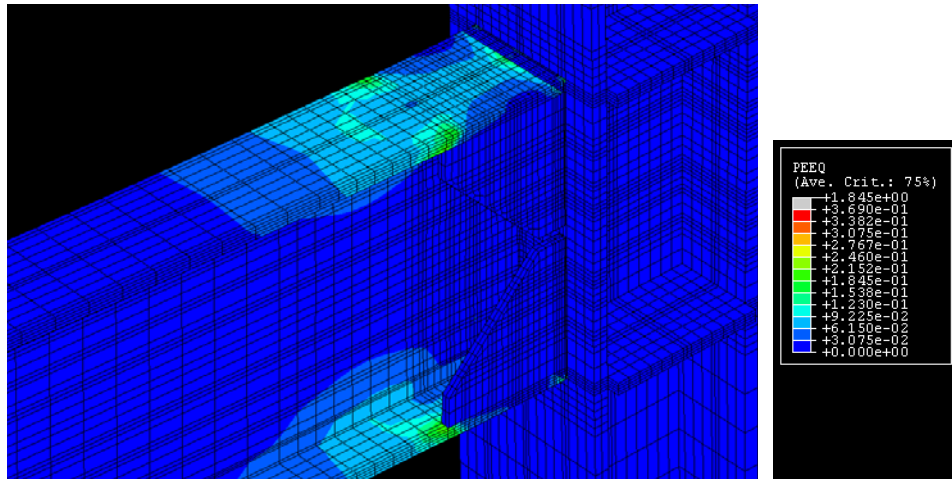


(b) Mises

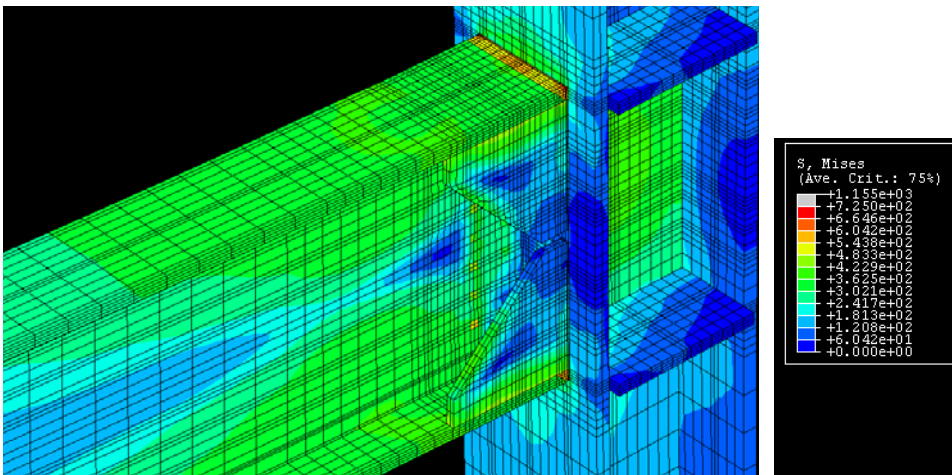


(c) Pressure

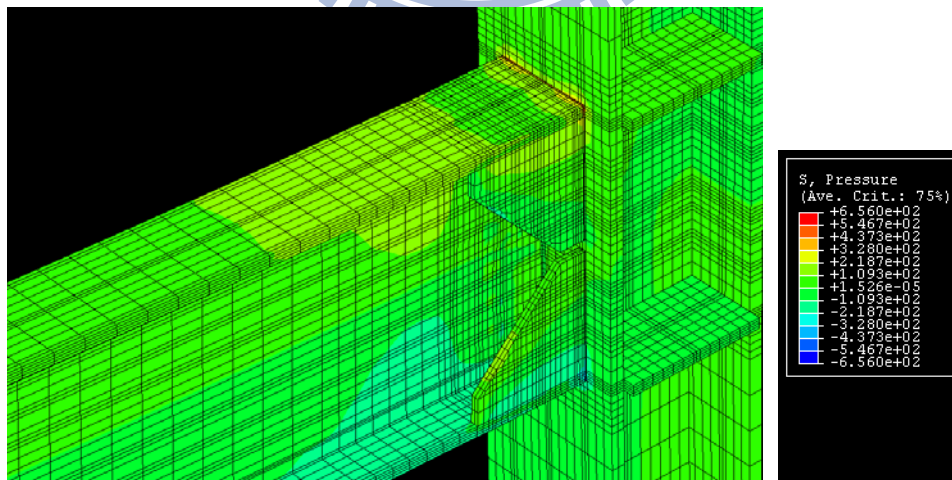
圖 4.31 試體 IFS2 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ )



(a) PEEQ



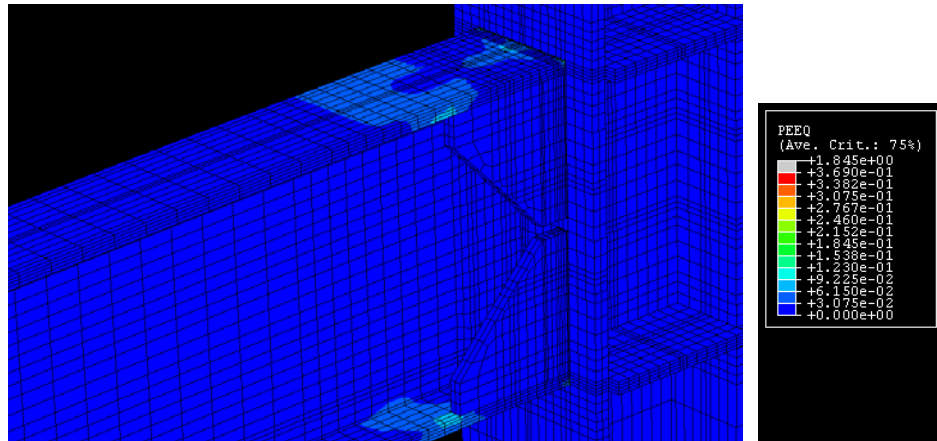
(b) Mises



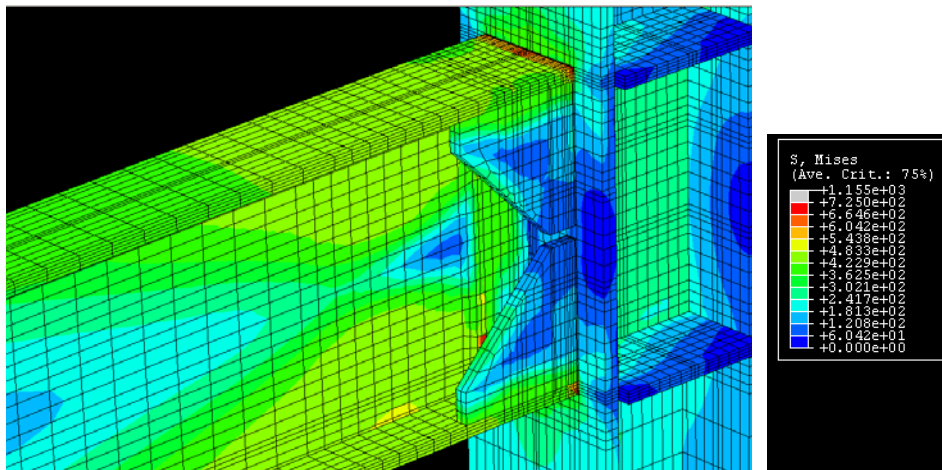
(c) Pressure

圖 4.32 試體 IFS2 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = +3.0\%Drift$ )

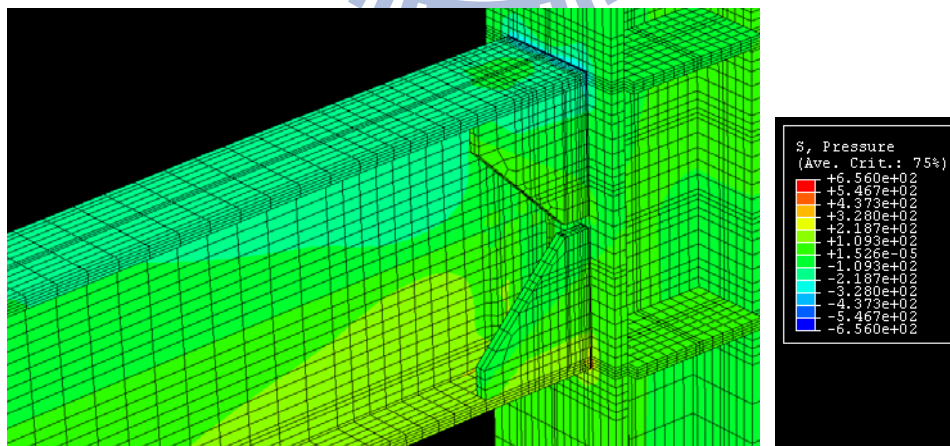




(a) PEEQ

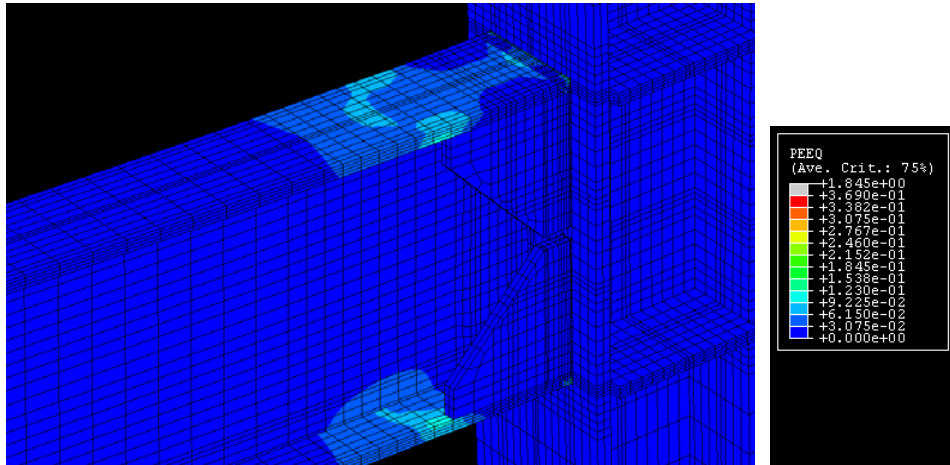


(b) Mises

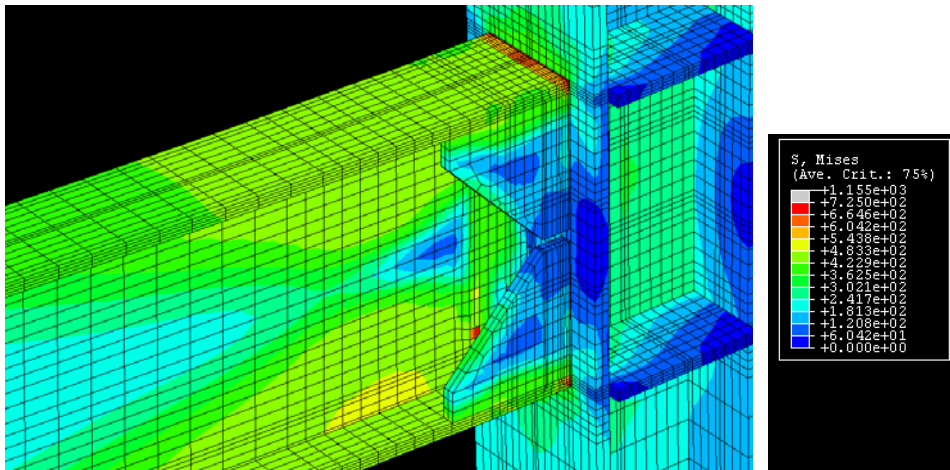


(c) Pressure

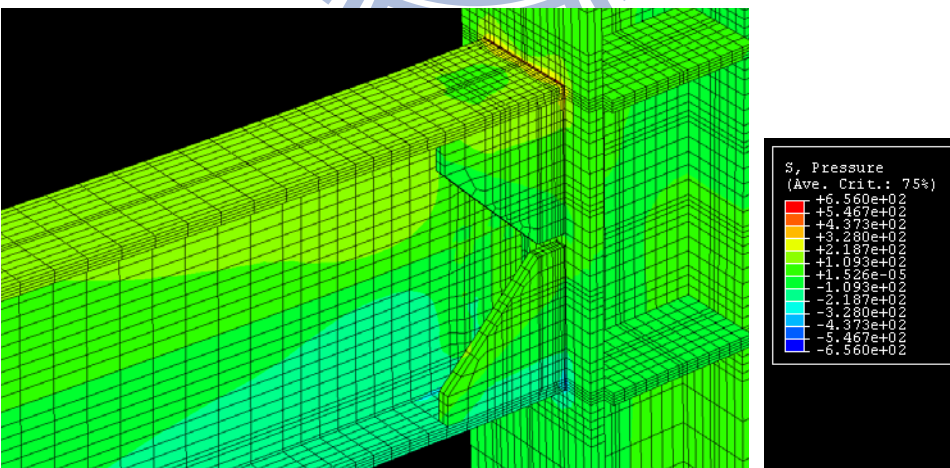
圖 4.33 試體 IFS3 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ )



(a) PEEQ

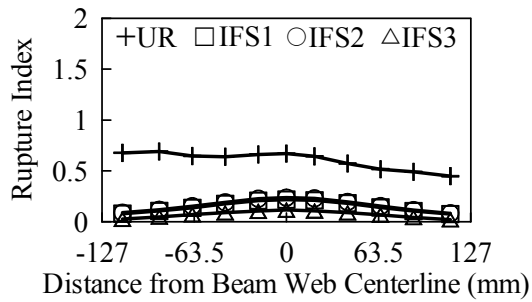


(b) Mises

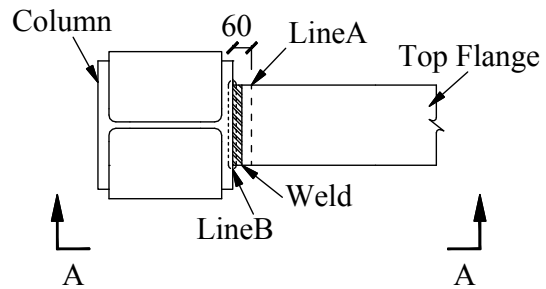


(c) Pressure

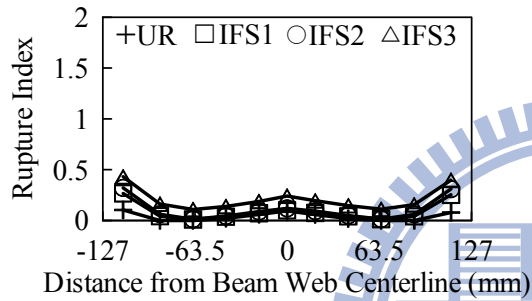
圖 4.34 試體 IFS3 分析模型之各項參數分佈圖 ( $\theta = +3.0\% \text{Drift}$ )



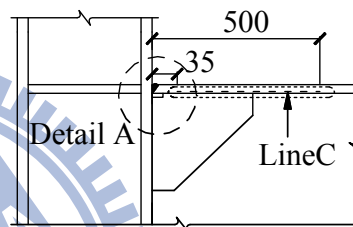
(a) LineA



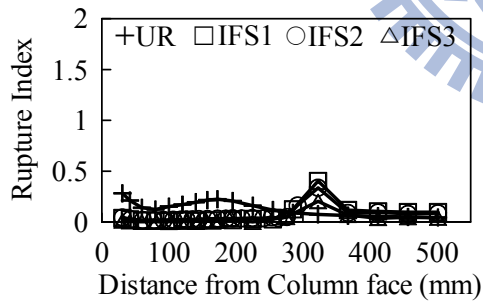
Top View



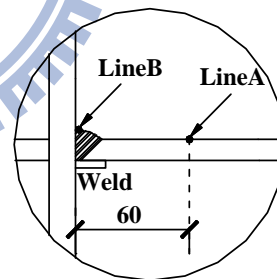
(b) LineB



View A-A



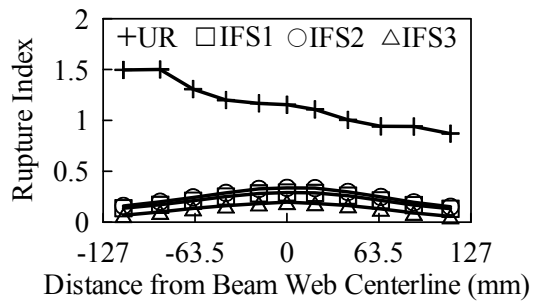
(c) LineC



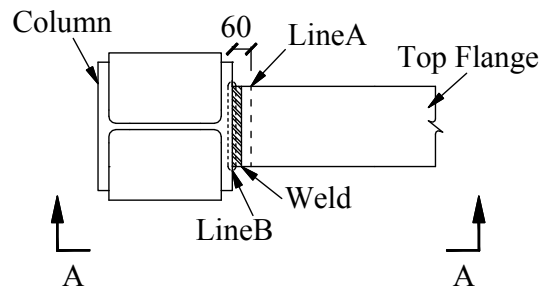
Detail A

(d) Fracture Location

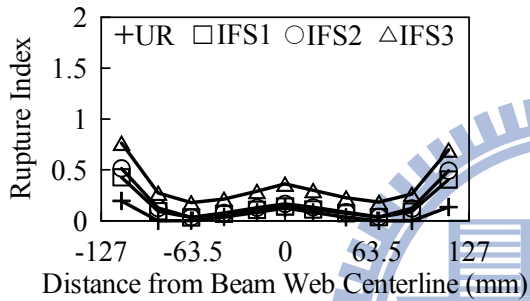
圖 4.35 模型 UR 及 IFS 於各位置之破裂參數 RI 比較圖 ( $\theta = -3.0\%Drift$ )



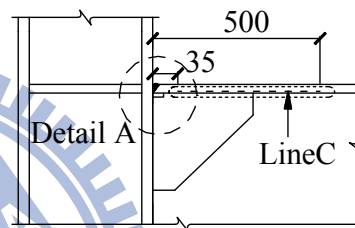
(a) LineA



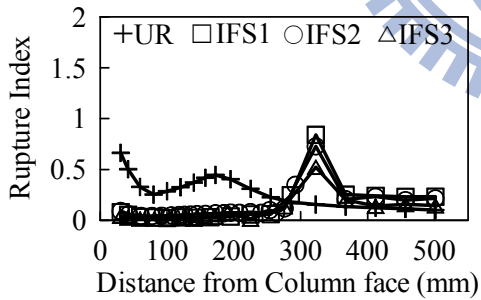
Top View



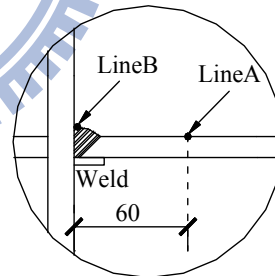
(b) LineB



View A-A



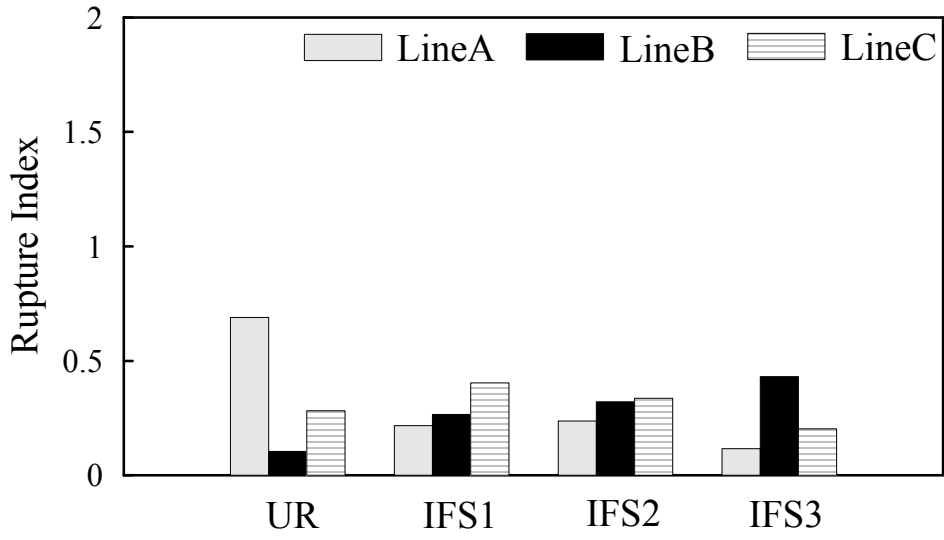
(c) LineC



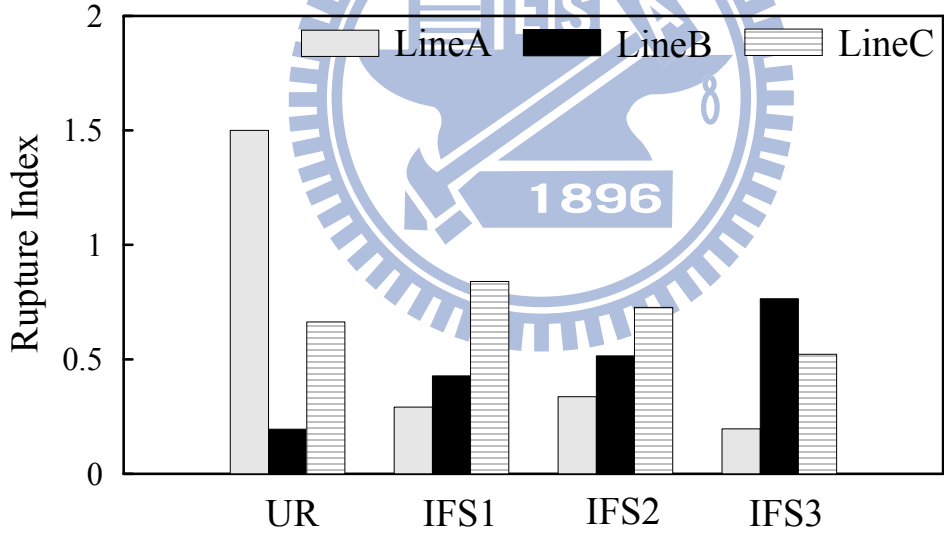
Detail A

(d) Fracture Location

圖 4.36 模型 UR 及 IFS 於各位置之破裂參數 RI 比較圖 ( $\theta = -4.0\%Drift$ )



(a) 3.0% Drift



(b) 4.0% Drift

圖 4.37 模型 UR 及 IFS 於各位置之破裂參數 RI 綜合比較圖

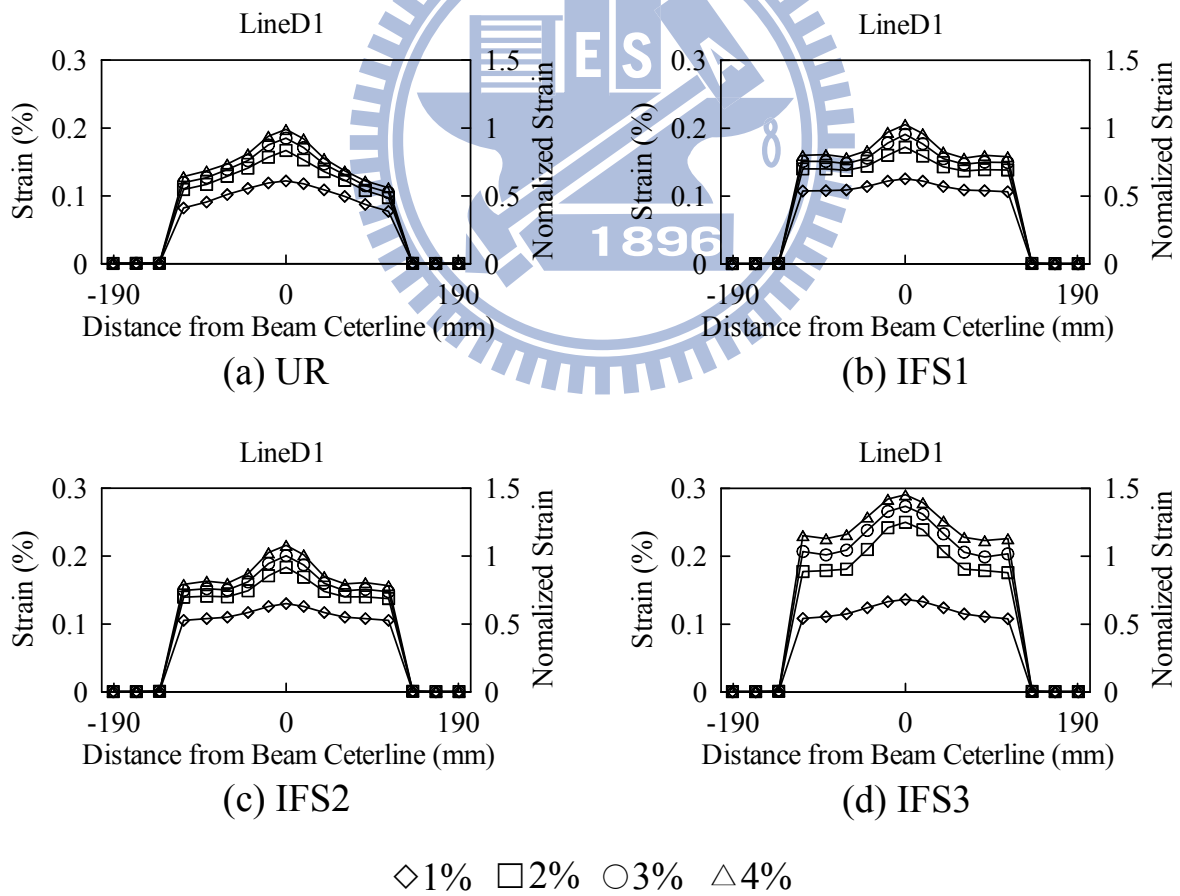
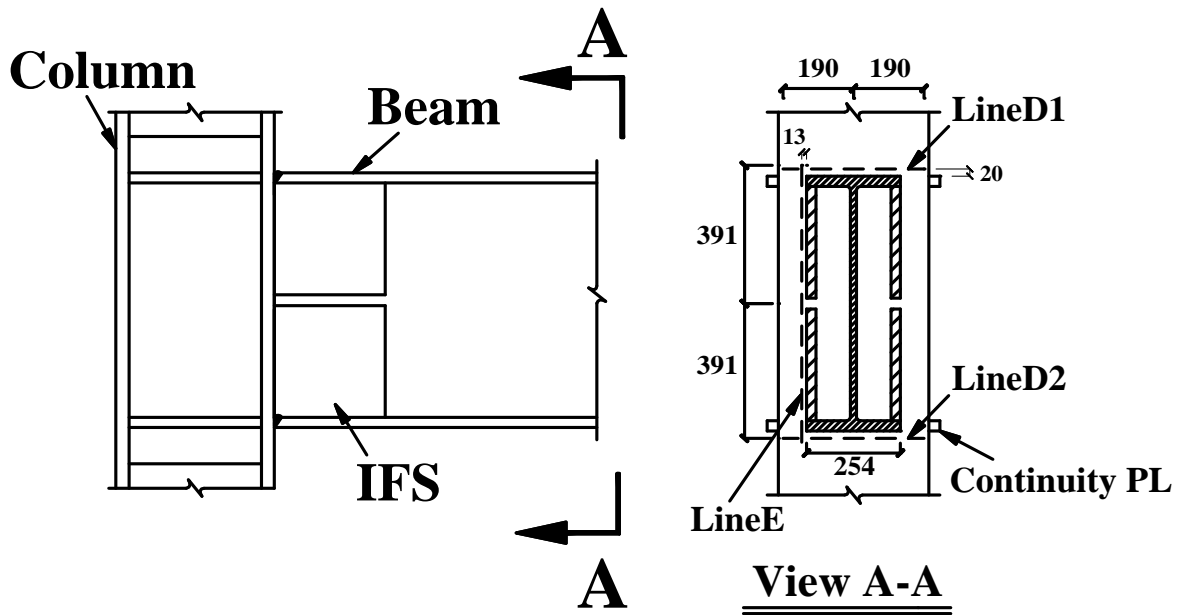


圖 4.38 各模型於柱翼板 LineD1 位置處之柱向應變 (Negative Bending)

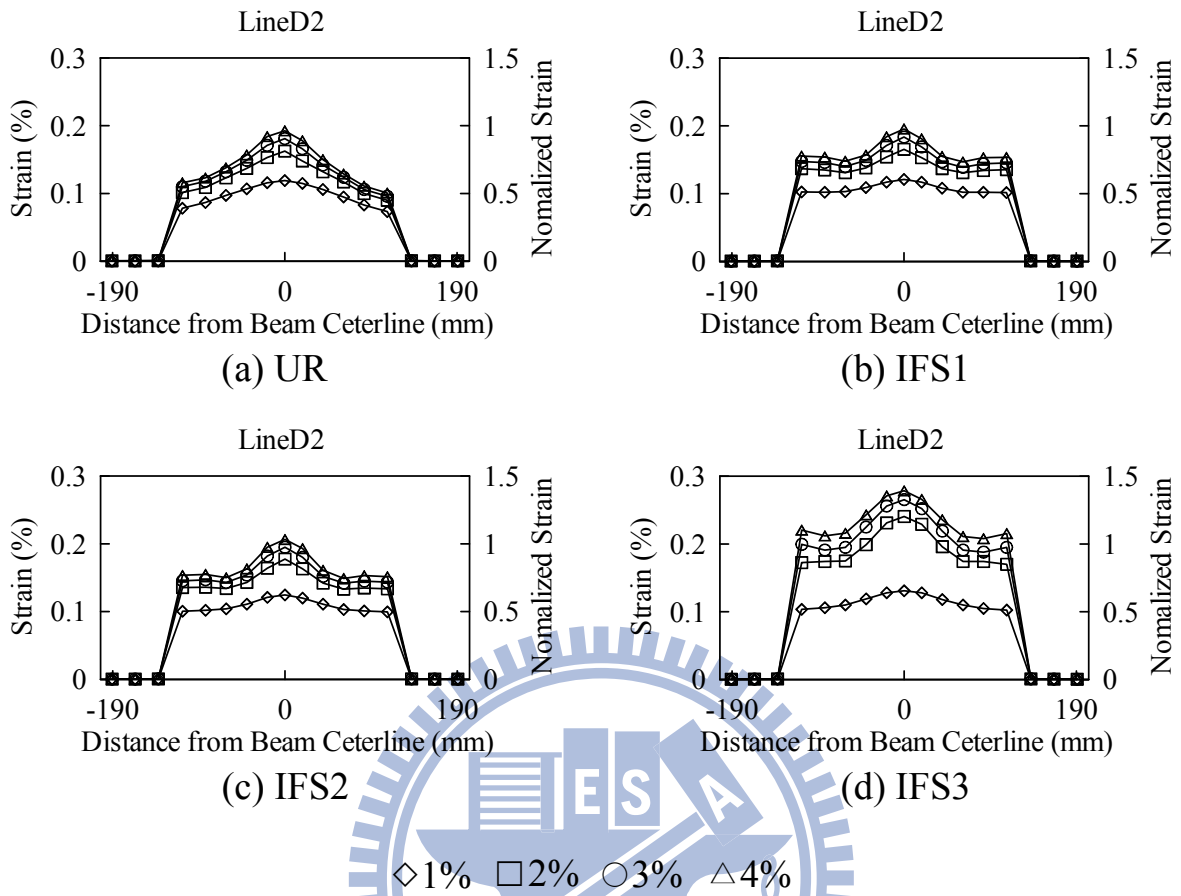


圖 4.39 各模型於柱翼板 LineD2 位置處之柱向應變 (Positive Bending)



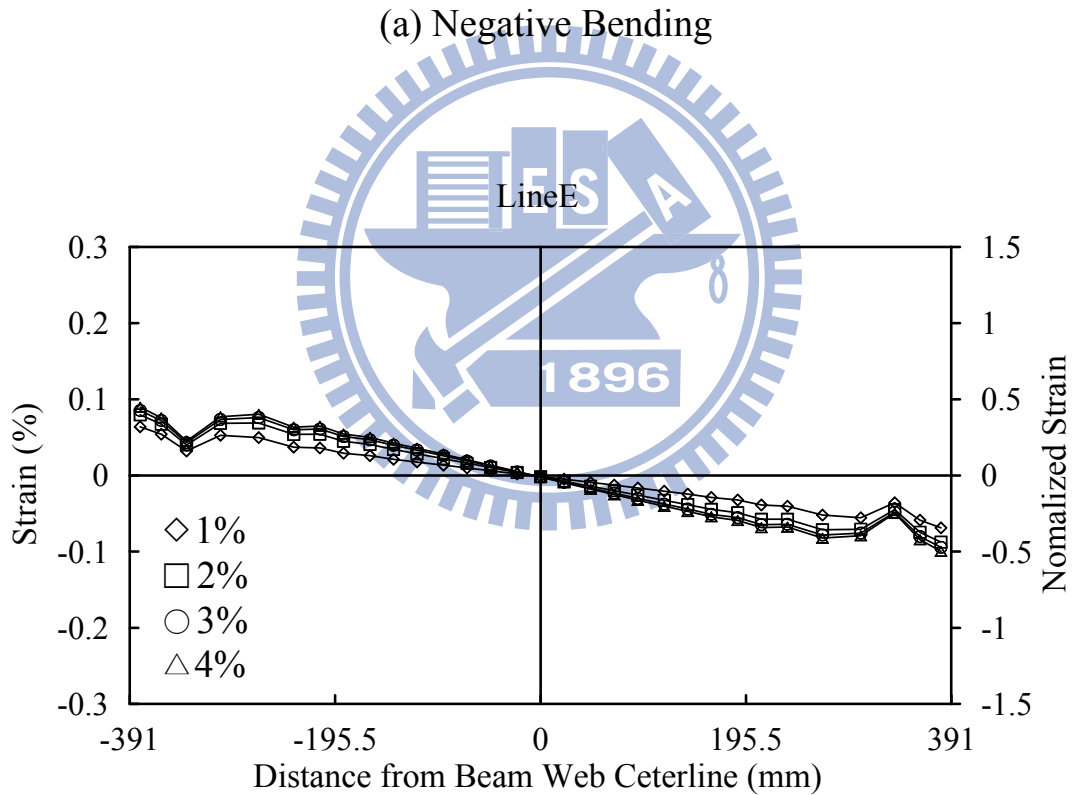
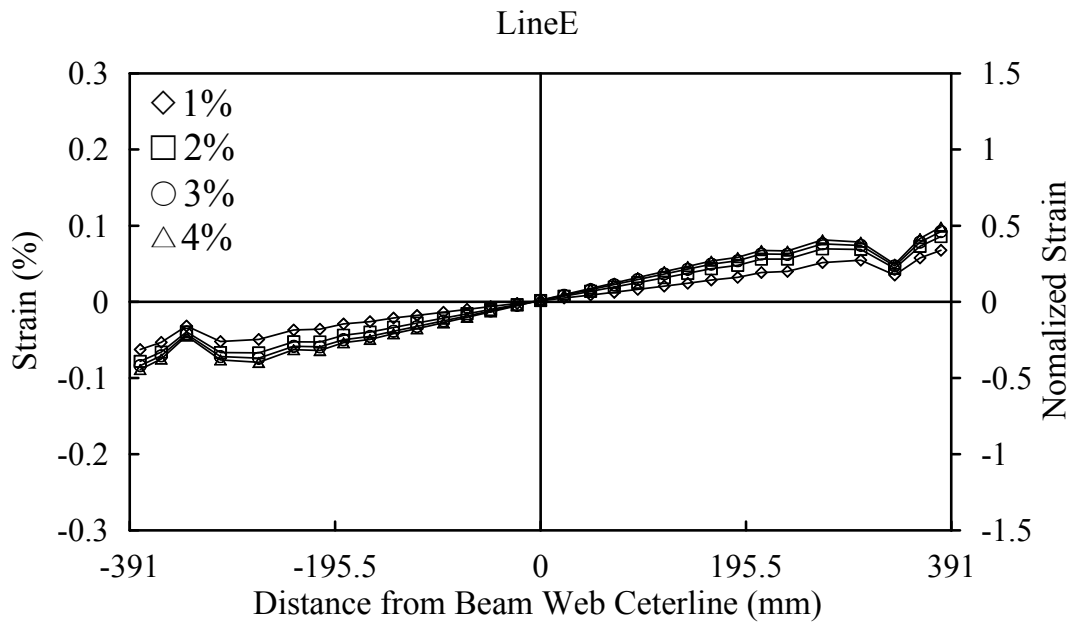


圖 4.40 模型 UR 於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變

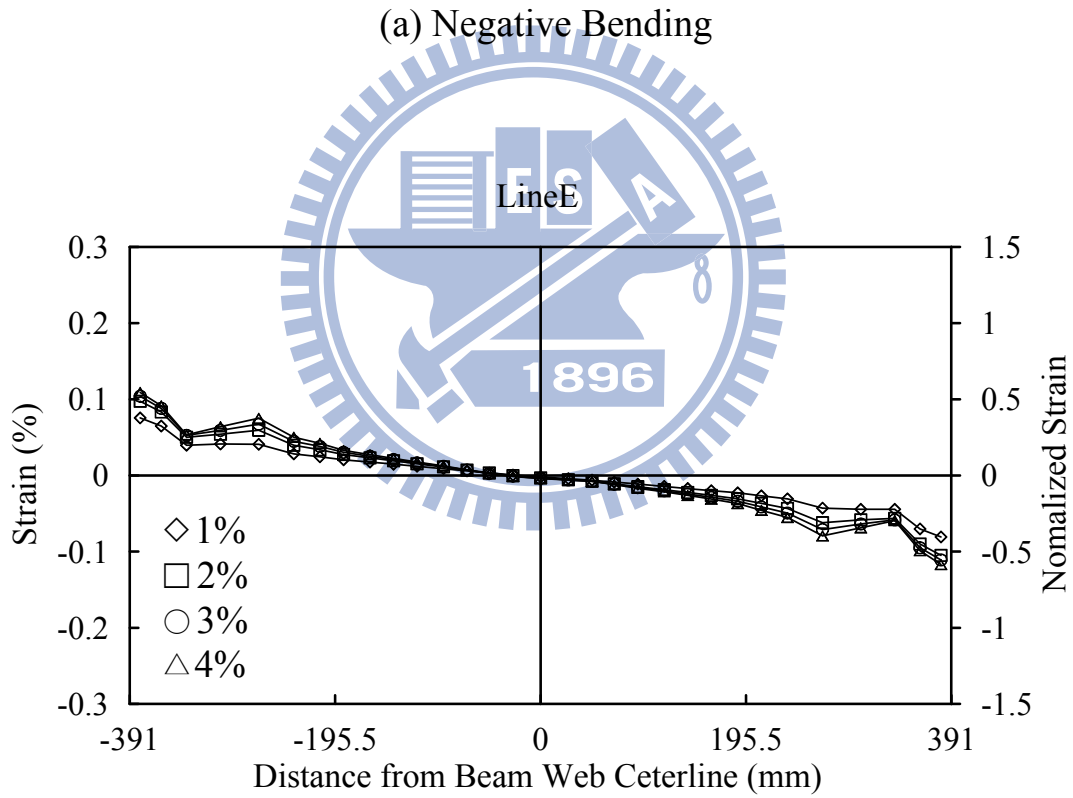
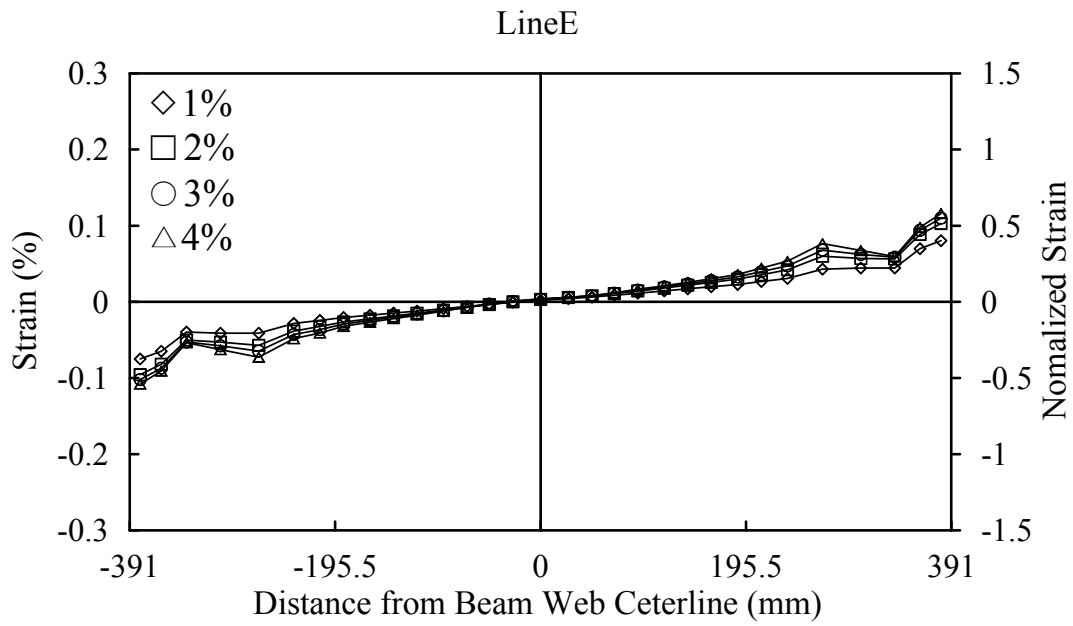


圖 4.41 模型 IFS1 於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變

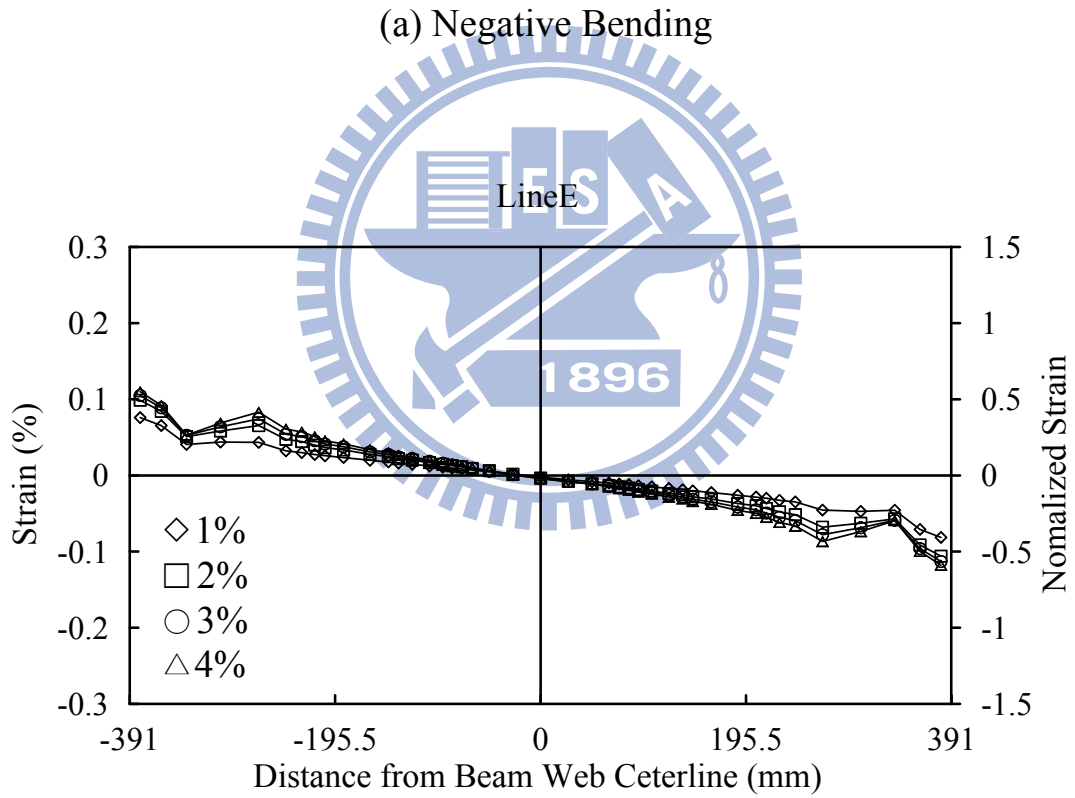
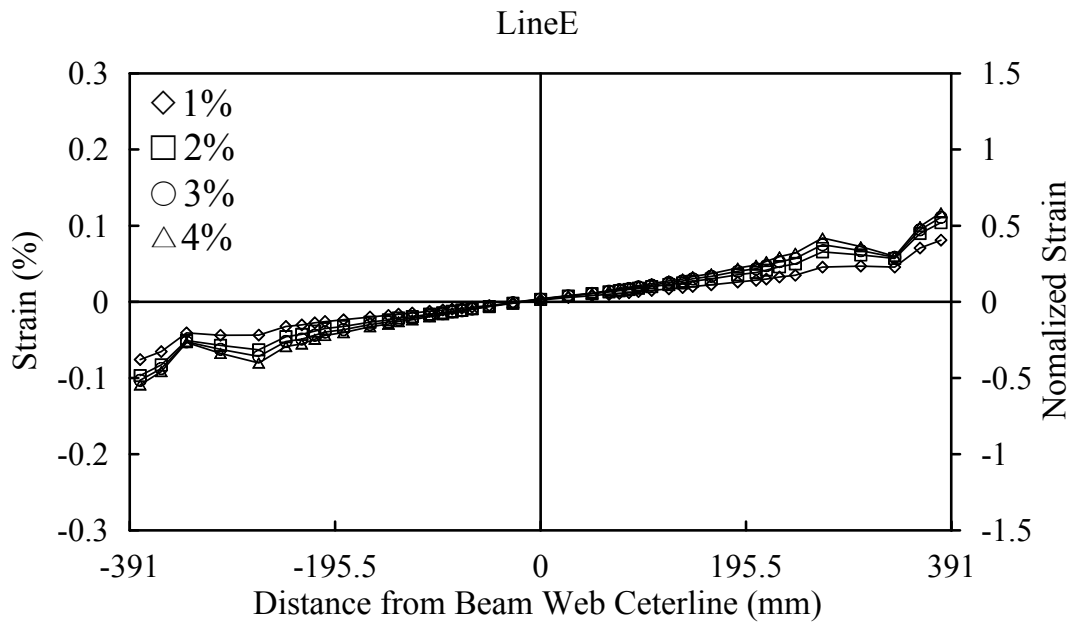


圖 4.42 模型 IFS2 於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變

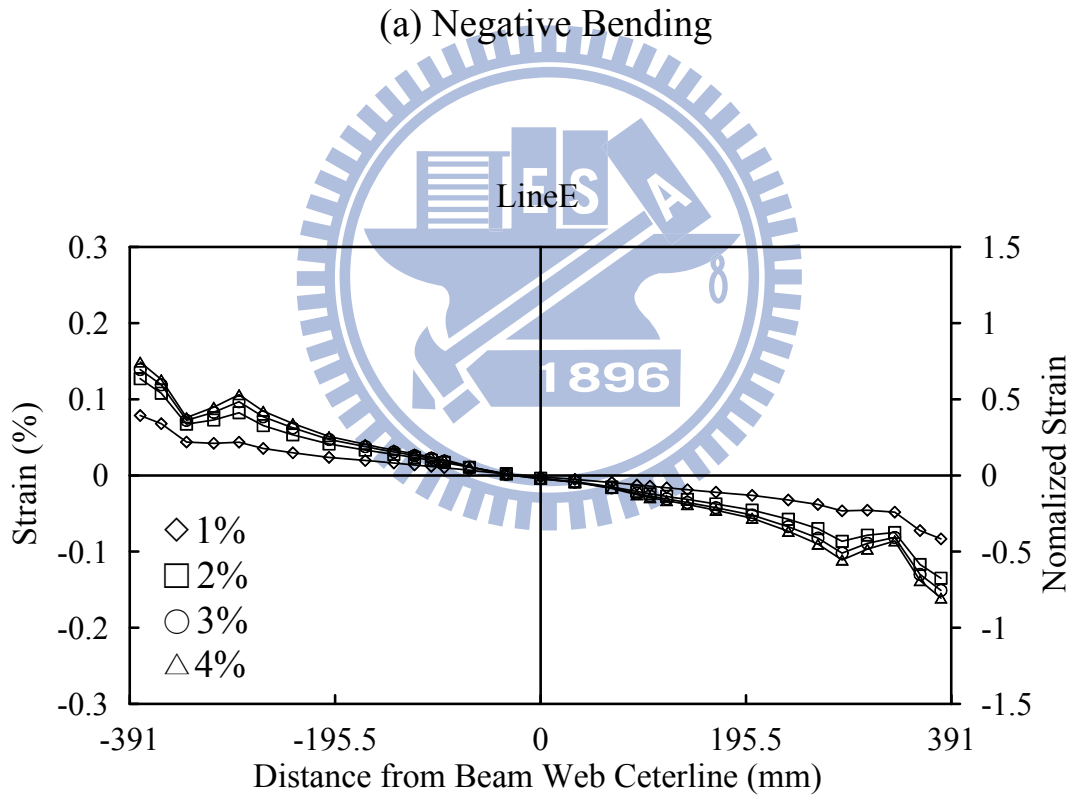
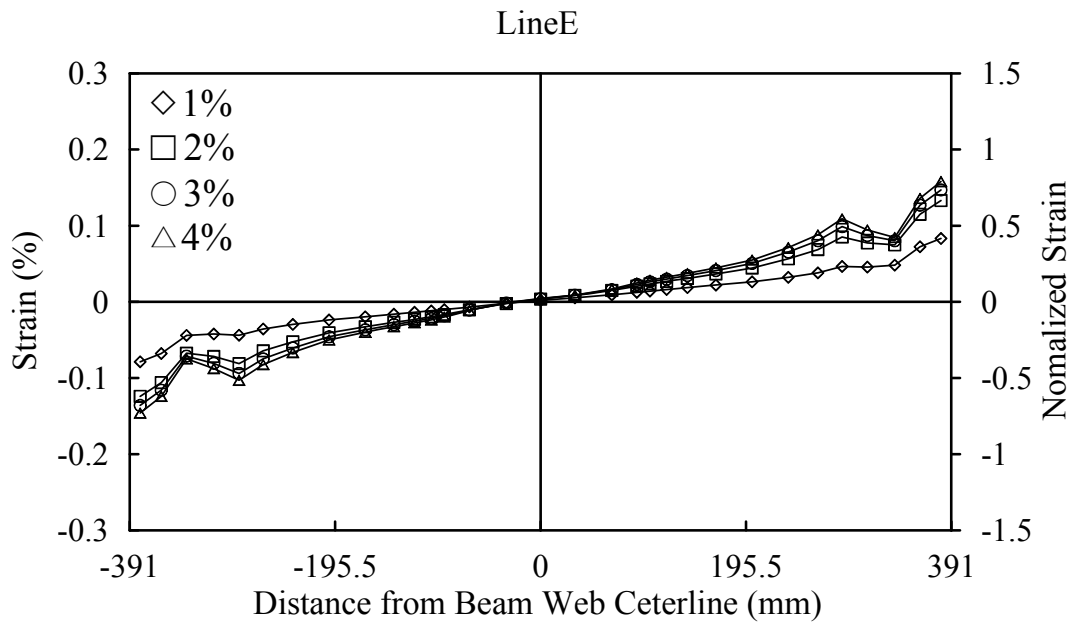


圖 4.43 模型 IFS3 於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變

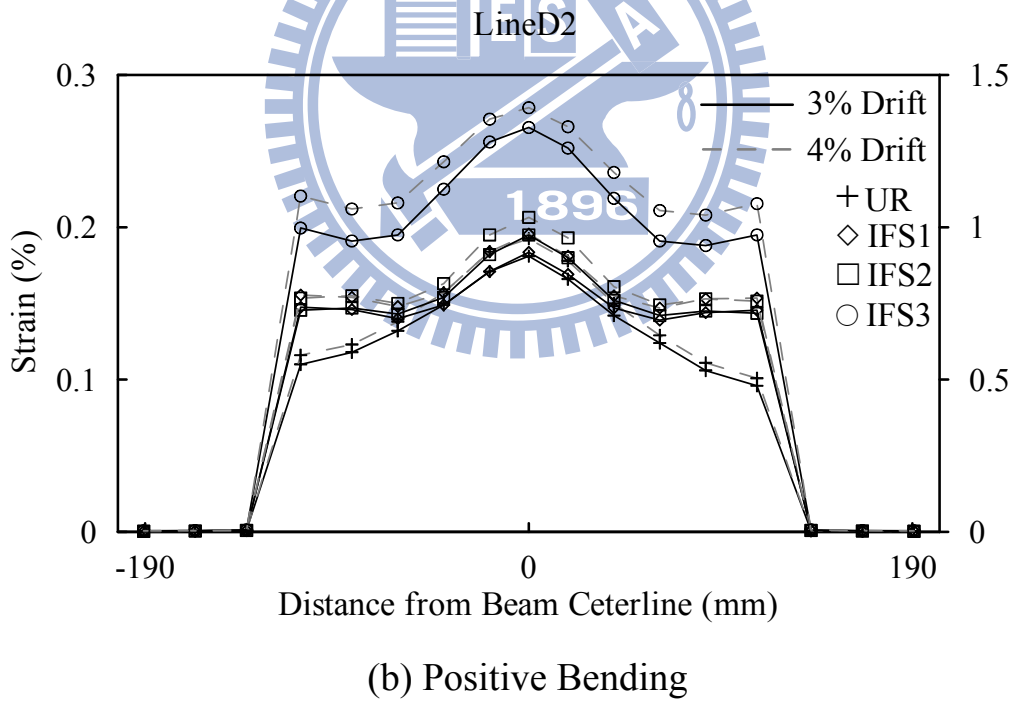
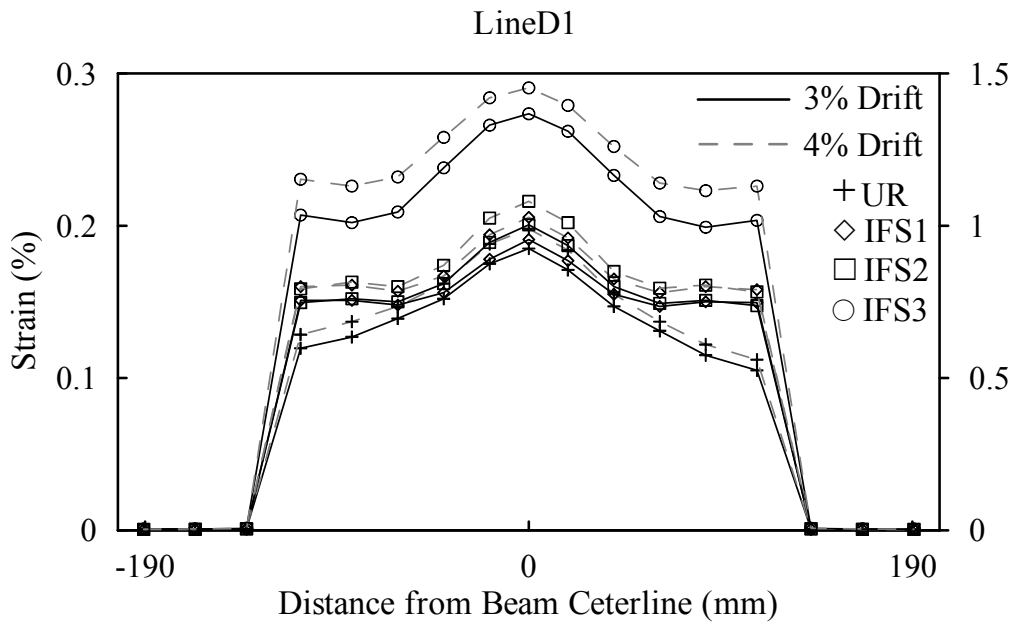


圖 4.44 各模型於柱翼板 LineD 位置處之柱向應變比較

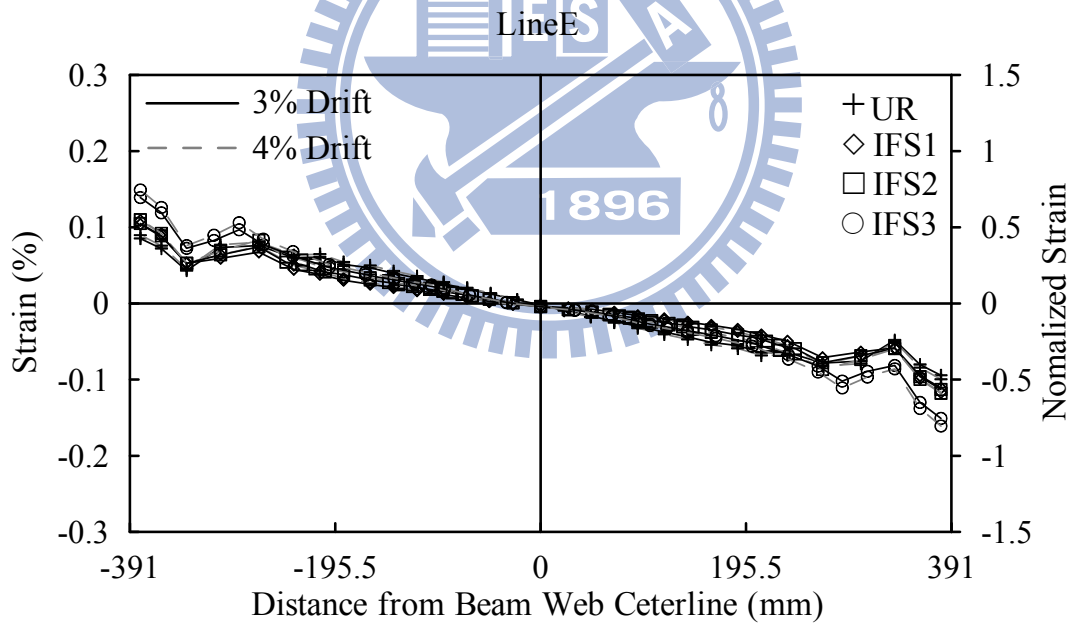
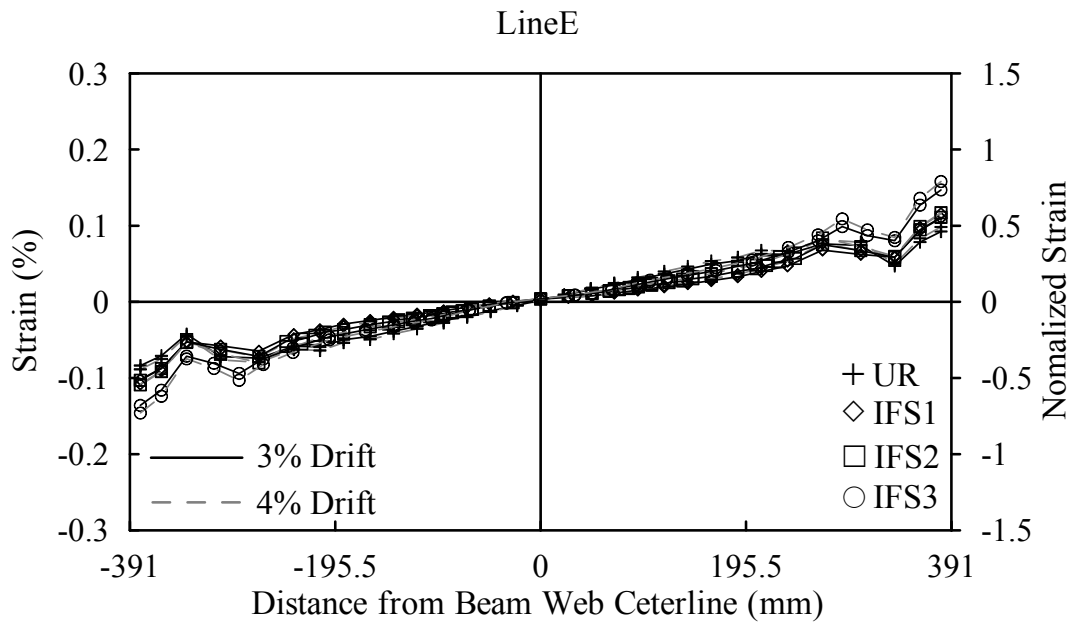


圖 4.45 各模型於柱翼板 LineE 位置處之柱向應變比較



照片 2.1 試體 UR 梁翼板與柱板焊接情形



照片 2.2 試體 IFS3 加勁板與梁翼板及柱板焊接情形





照片 3.1 試體 UR 梁翼板 UT 檢測



照片 3.2 試體 IFS2 交會區橫隔板焊道 UT 檢測



照片 3.3 試體 UR 試驗前全景



照片 3.4 試體 UR 梁上翼板輕微降伏 ( $\theta = -0.75\%$ 弧度)





照片 3.5 試體 UR 梁腹板於近剪力板處降伏 ( $\theta = +0.75\%$ )



照片 3.6 試體 UR 梁下翼板降伏 ( $\theta = +1\%$ 弧度)



照片 3.7 試體 UR 下翼板內側降伏 ( $\theta = +1\%$ 弧度)



照片 3.8 試體 UR 梁腹板於扇形開口處降伏 ( $\theta = +1\%$ 弧度)





照片 3.9 試體 UR 柱板位於梁下翼板焊道外側處降伏 ( $\theta = +1\%$ 弧度)



照片 3.10 試體 UR 梁下翼板降伏範圍擴大 ( $\theta = +1.5\%$ 弧度)



照片 3.11 試體 UR 梁下翼板內側及腹板降伏擴大 ( $\theta = +1.5\%$ 弧度)



照片 3.12 試體 UR 梁上翼板與柱板接合之焊道產生裂縫 ( $\theta = -2\%$ 弧度)





照片 3.13 試體 UR 梁下翼板降伏情形 ( $\theta = +2\%$ 弧度)



照片 3.14 試體 UR 梁下翼板與柱板接合之焊道產生裂縫 ( $\theta = +2\%$ 弧度)

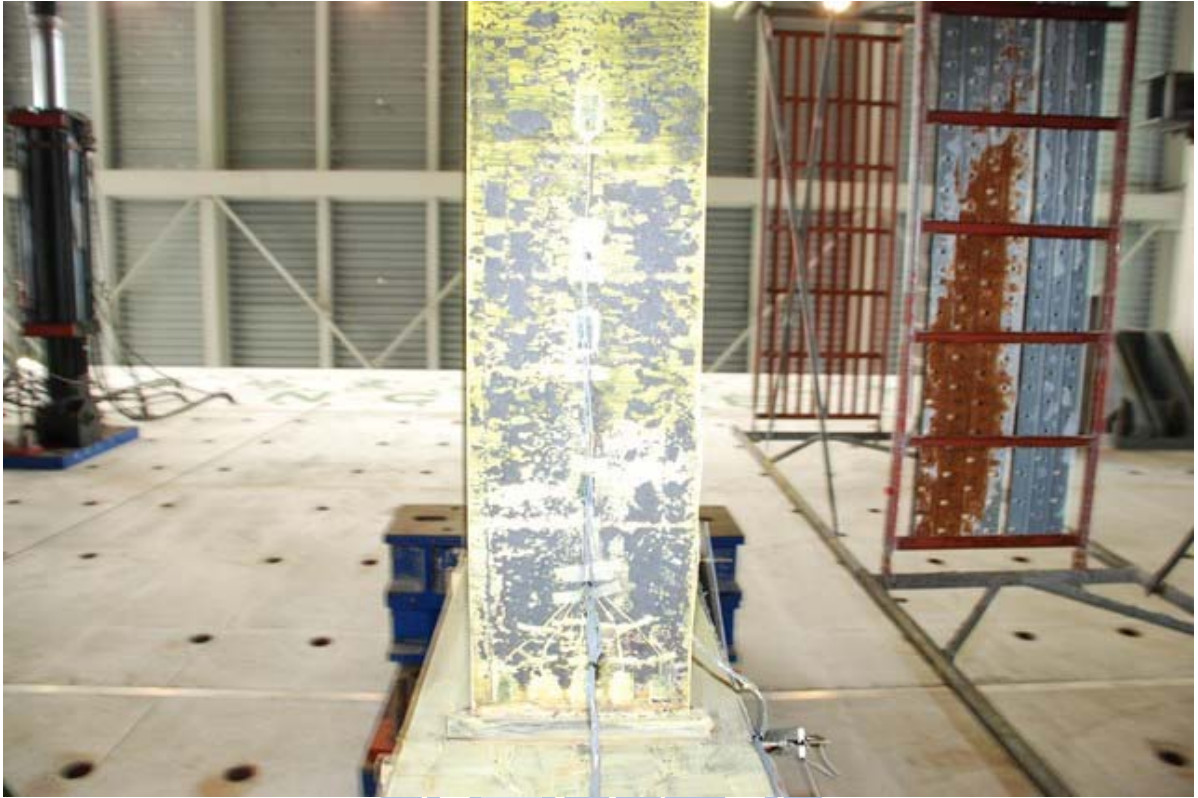




照片 3.15 試體 UR 梁上翼板降伏範圍持續擴大 ( $\theta = -3\%$  弧度)



照片 3.16 試體 UR 梁腹板與剪力板產生相對位移 ( $\theta = -3\%$  弧度)



照片 3.17 試體 UR 梁下翼板降伏情形 ( $\theta = +3\%$ 弧度)



照片 3.18 試體 UR 尚未發生任何挫屈情形 ( $\theta = +3\%$ 弧度)





照片 3.19 試體 UR 上翼板左側與焊道交界處裂縫( $\theta = -4\%$ 弧度第一圈)



照片 3.20 試體 UR 上翼板右側與焊道交界處裂縫( $\theta = -4\%$ 弧度第一圈)



照片 3.21 試體 UR 梁上翼板於扇形開口處產生凹陷( $\theta = -4\%$ 弧度第一圈)



照片 3.22 試體 UR 上翼板與腹板於扇形開口處開裂( $\theta = -4\%$ 弧度第一圈)





照片 3.23 試體 UR 下翼板與腹板於扇形開口處開裂( $\theta = +4\%$ 弧度第一圈)



照片 3.24 試體 UR 下翼板左側與焊道交界處裂縫( $\theta = +4\%$ 弧度第一圈)



照片 3.25 試體 UR 下翼板右側與焊道交界處裂縫 ( $\theta = +4\%$  弧度第一圈)



照片 3.26 試體 UR 梁上翼板完全斷裂 ( $\theta = -4\%$  弧度第二圈時)



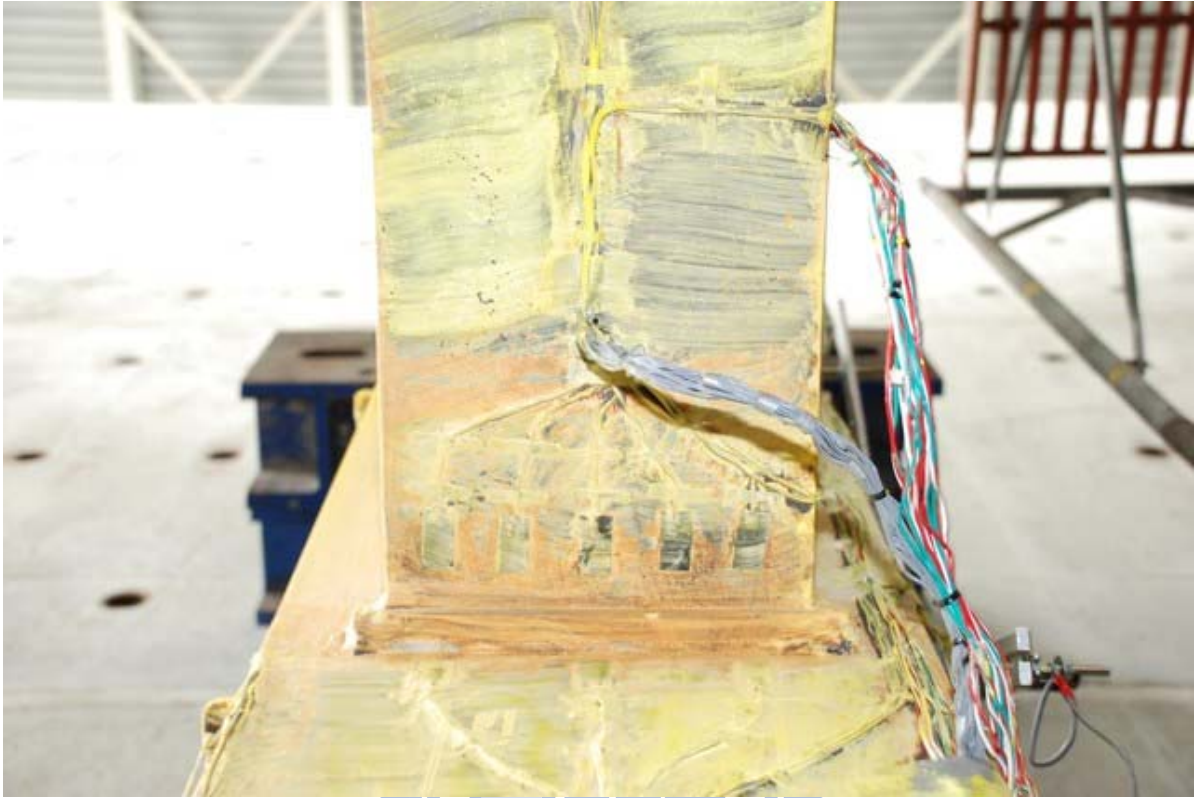


照片 3.27 試體 UR 最大位移角全景 ( $\theta = +4\%$  弧度)



照片 3.28 試體 IFS1 第一次試驗前全景





照片 3.29 試體 IFS1 下翼板降伏 ( $\theta = -0.75\%$ 弧度)



照片 3.30 試體 IFS1 梁腹板於近剪力板處降伏 ( $\theta = +0.75\%$ 弧度)



照片 3.31 試體 IFS1 背側之柱板於上橫隔板處降伏( $\theta=0.75\%$ 弧度結束時)

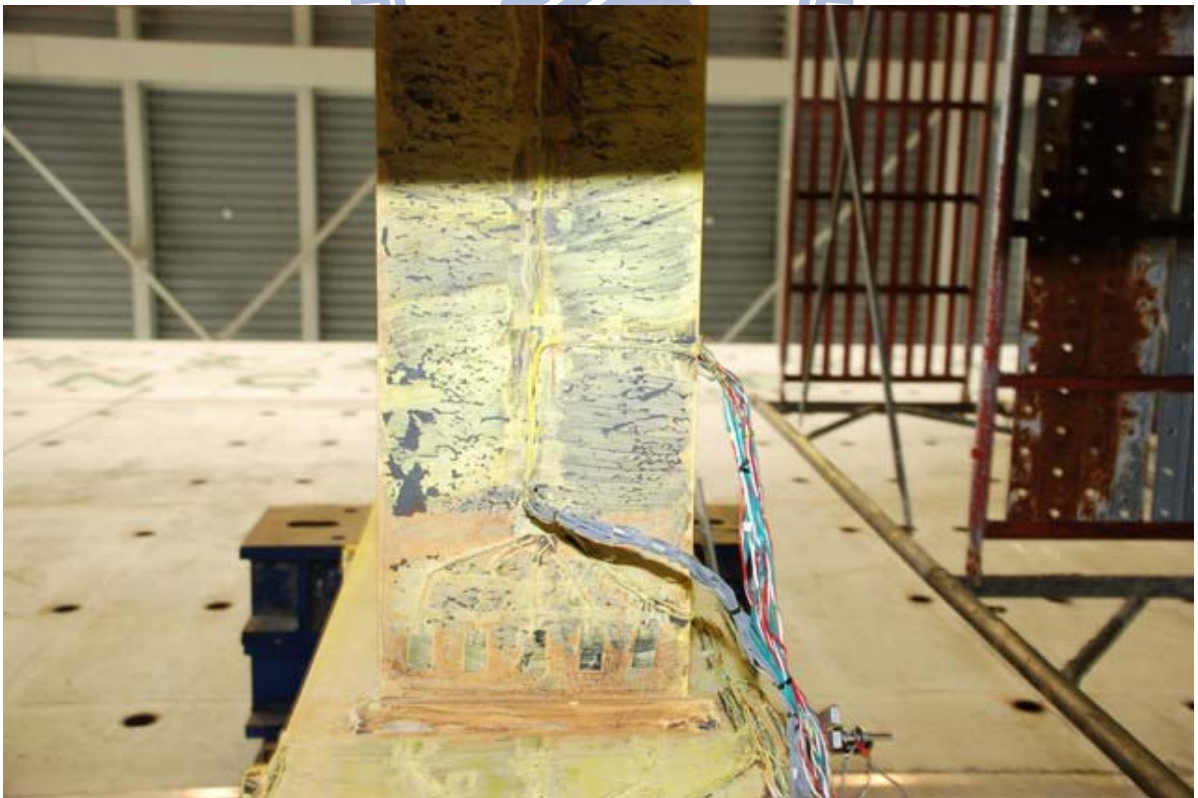


照片 3.32 試體 IFS1 背側之柱板於下橫隔板處降伏( $\theta=0.75\%$ 弧度結束時)





照片 3.33 試體 IFS1 梁腹板降伏範圍擴大 ( $\theta = +1\%$  弧度)



照片 3.34 試體 IFS1 梁下翼板降伏擴大 ( $\theta = -1.5\%$  弧度)



照片 3.35 試體 IFS1 梁下翼板內側降伏擴大 ( $\theta = -1.5\%$ 弧度)



照片 3.36 試體 IFS1 梁上翼板出現降伏 ( $\theta = +1.5\%$ 弧度)





照片 3.37 試體 IFS1 梁上翼板降伏擴大 ( $\theta = -2\%$ 弧度)



照片 3.38 試體 IFS1 加勁板及交會區保持彈性 ( $\theta = +2\%$ 弧度)



照片 3.39 試體 IFS1 梁上翼板降伏擴大 ( $\theta = -3\%$  弧度)



照片 3.40 試體 IFS1 梁下翼板降伏擴大 ( $\theta = +3\%$  弧度)





照片 3.41 試體 IFS1 梁上翼板降伏擴大 ( $\theta = -4\%$ 弧度)



照片 3.42 試體 IFS1 背側柱板於上橫隔板處降伏情形 ( $\theta = -4\%$ 弧度)



照片 3.43 試體 IFS1 右側加勁板端部與上翼母材產生裂縫 ( $\theta = +4\%$  弧度)



照片 3.44 試體 IFS1 梁腹板產生輕微挫屈 ( $\theta = +4\%$  弧度)





照片 3.45 試體 IFS1 梁上翼板產生輕微挫屈 ( $\theta=4\%$ 弧度結束時)



照片 3.46 試體 IFS1 第一次試驗結束前全景 ( $\theta=+4\%$ 弧度)



照片 3.47 試體 IFS1 第二次試驗前加勁板與梁接合之裂縫修補



照片 3.48 試體 IFS1 第二次試驗前全景





照片 3.49 試體 IFS1 上翼板焊道處開裂約10mm ( $\theta=2\%$ 弧度結束)



照片 3.50 試體 IFS1 梁上翼板挫屈情形 ( $\theta=4\%$ 弧度結束)



照片 3.51 試體 IFS1 加勁板端部與下翼板接合處開裂 ( $\theta=4\%$ 弧度結束)



照片 3.52 試體 IFS1 柱翼板與加勁板端部接合處開裂 ( $\theta=5\%$ 弧度結束)





照片 3.53 試體 IFS1 梁上翼板局部挫屈情形 ( $\theta=5\%$ 弧度結束)



照片 3.54 試體 IFS1 梁整體側向扭轉挫屈情形 ( $\theta=5\%$ 弧度結束)



照片 3.55 試體 IFS1 最大位移角之全景 ( $\theta = +5\%$  弧度)



照片 3.56 試體 IFS2 第一次試驗前全景





照片 3.57 試體 IFS2 梁下翼板出現降伏( $\theta = -0.5\%$ 弧度)



照片 3.58 試體 IFS2 背側之柱板於上下橫隔板高度處降伏( $\theta = -0.5\%$ 弧度)



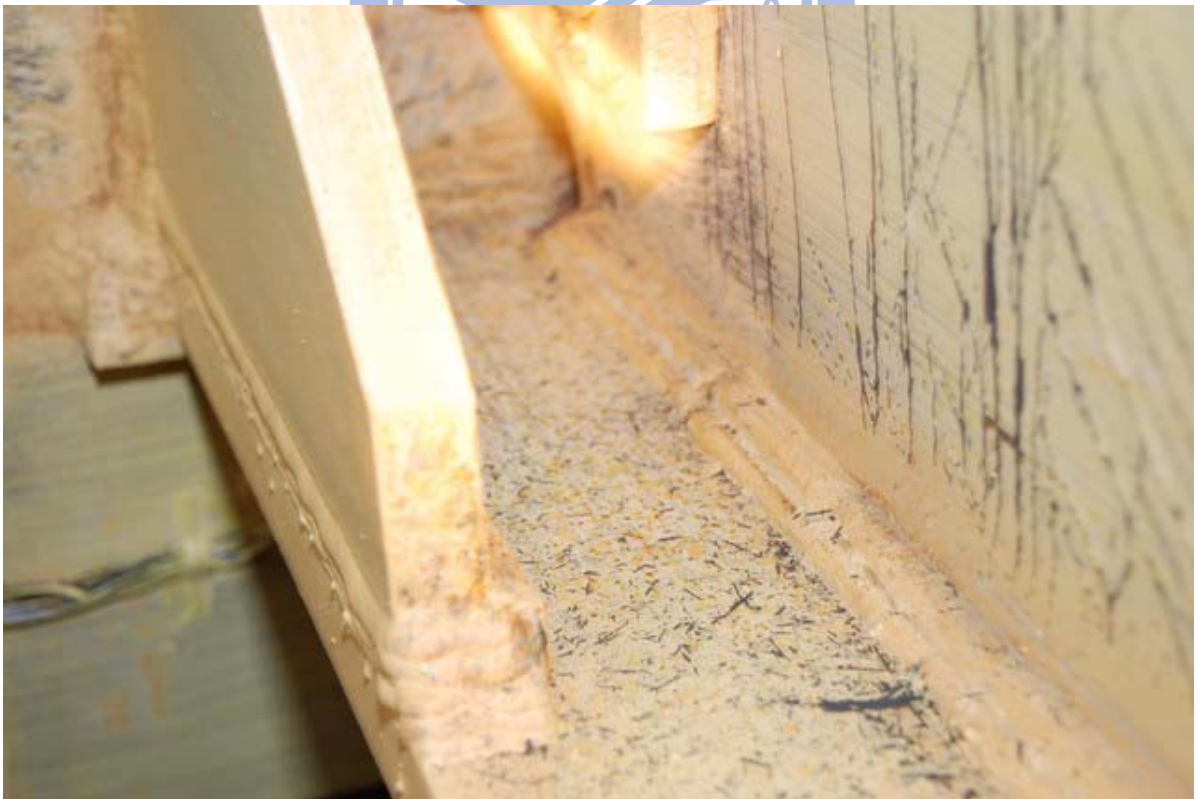
照片 3.59 試體 IFS2 梁上翼板內側出現降伏( $\theta = -0.5\%$ 弧度)



照片 3.60 試體 IFS2 梁上翼板降伏範圍擴大( $\theta = -2\%$ 弧度)



照片 3.61 試體 IFS2 梁腹板降伏範圍擴大 ( $\theta = -2\%$ 弧度)



照片 3.62 試體 IFS2 扇形開口處附近出現降伏 ( $\theta = -2\%$ 弧度)





照片 3.63 試體 IFS2 梁下翼板降伏範圍擴大 ( $\theta = -2\%$ 弧度)



照片 3.64 試體 IFS2 梁腹板與剪力板出現相對位移 ( $\theta = -3\%$ 弧度)





照片 3.65 試體 IFS2 左側下方加勁板出現降伏 ( $\theta = -3\%$ 弧度)



照片 3.66 試體 IFS2 上翼板焊道附近之柱板出現降伏 ( $\theta = +3\%$ 弧度)



照片 3.67 試體 IFS2 柱翼板產生輕微之變形 ( $\theta = +3\%$ 弧度)



照片 3.68 試體 IFS2 加勁板後方之柱板內側降伏 ( $\theta = +3\%$ 弧度)



照片 3.69 試體 IFS2 加勁板降伏情形 ( $\theta = -4\%$ 弧度)



照片 3.70 試體 IFS2 上翼板之降伏情形 ( $\theta = -4\%$ 弧度)





照片 3.71 試體 IFS2 下翼板之降伏情形 ( $\theta = +4\%$ 弧度)



照片 3.72 試體 IFS2 加勁板端部與翼板接合處開裂 ( $\theta = 4\%$ 弧度結束)



照片 3.73 試體 IFS2 第一次試驗結束前全景 ( $\theta = +4\%$ 弧度)



照片 3.74 試體 IFS2 第二次試驗前加勁板與梁接合之裂縫修補



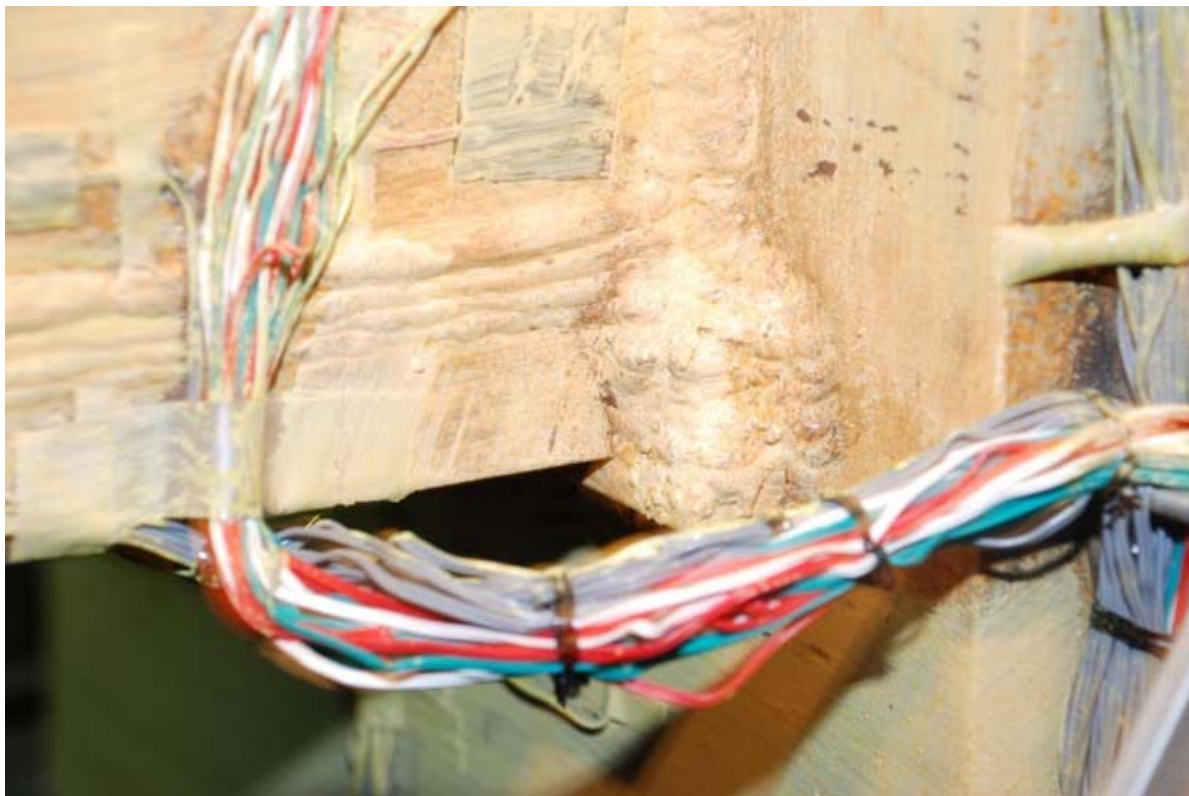


照片 3.75 試體 IFS2 第二次試驗時梁上翼板焊道產生裂痕 ( $\theta = -1\%$ 弧度)



照片 3.76 試體 IFS2 柱板產生輕微變形 ( $\theta = -4\%$ 弧度)





照片 3.77 試體 IFS2 梁下翼板焊道產生裂縫 ( $\theta=4\%$ 弧度結束)



照片 3.78 試體 IFS2 加勁板端部產生5mm挫屈 ( $\theta=-5\%$ 弧度第一圈)



照片 3.79 試體 IFS2 梁腹板於塑鉸處產生 7mm 挫屈 ( $\theta = -5\%$  弧度第一圈)



照片 3.80 試體 IFS2 梁下翼板產生側向扭轉挫屈 ( $\theta = -5\%$  弧度第一圈)





照片 3.81 試體 IFS2 加勁板端部產生 20mm 裂縫 ( $\theta = -5\%$  弧度第一圈)



照片 3.82 試體 IFS2 梁上翼板母材斷裂 ( $\theta = -5\%$  弧度第二圈)



照片 3.83 試體 IFS2 梁上翼板斷裂亦造成柱板開裂 ( $\theta = -5\%$  弧度第二圈)



照片 3.84 試體 IFS2 最大位移角之全景 ( $\theta = +5\%$  弧度)





照片 3.85 試體 IFS3 第一次試驗前全景



照片 3.86 試體 IFS3 梁上翼板輕微降伏 ( $\theta=0.375\%$ 弧度結束)





照片 3.87 試體 IFS3 梁下翼板輕微降伏 ( $\theta=0.375\%$ 弧度結束)



照片 3.88 試體 IFS3 梁下翼板內側降伏 ( $\theta=0.375\%$ 弧度結束)



照片 3.89 試體 IFS3 梁下翼板內側降伏範圍增加 ( $\theta=0.5\%$ 弧度結束)



照片 3.90 試體 IFS3 梁下翼板降伏範圍增加 ( $\theta=0.5\%$ 弧度結束)



照片 3.91 試體 IFS3 加勁板出現輕微降伏 ( $\theta=0.5\%$ 弧度結束)



照片 3.92 試體 IFS3 梁下翼板內側降伏範圍增加 ( $\theta=-1.5\%$ 弧度)

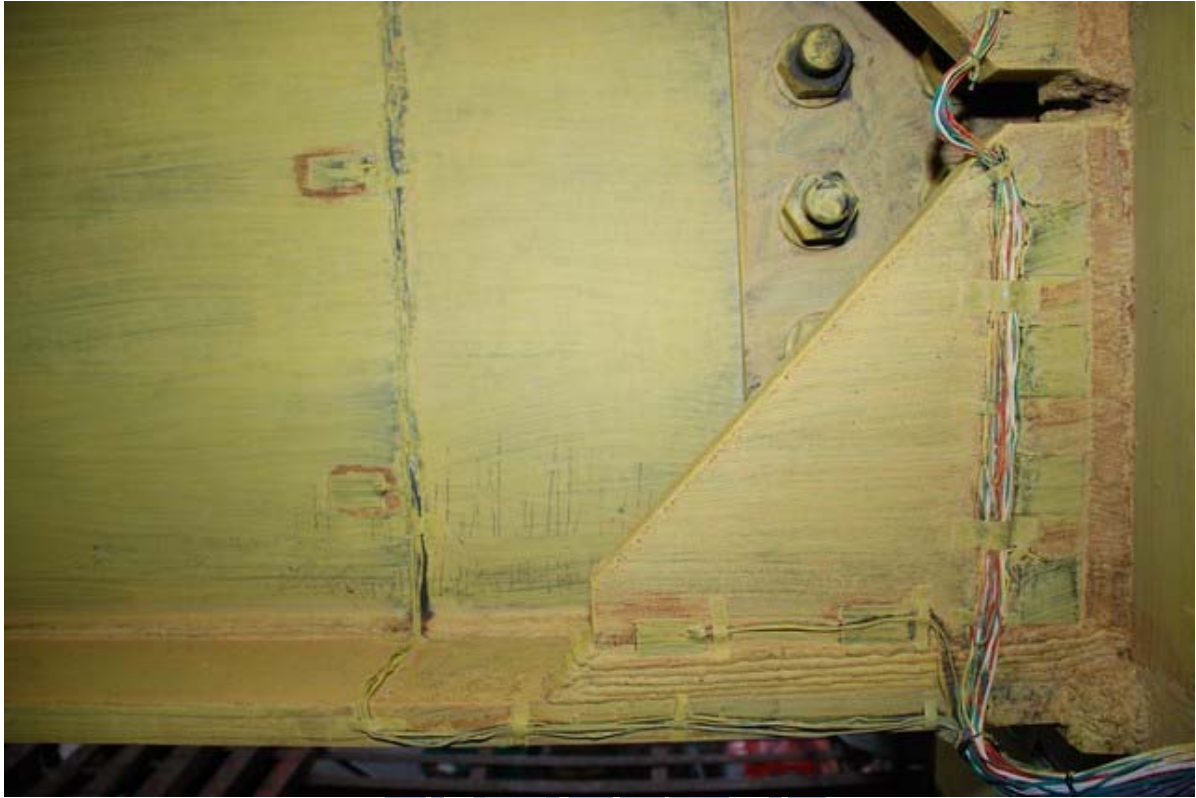




照片 3.93 試體 IFS3 梁上翼板降伏範圍增加 ( $\theta = -2\%$ 弧度)



照片 3.94 試體 IFS3 梁下翼板降伏範圍增加 ( $\theta = -2\%$ 弧度)



照片 3.95 試體 IFS3 梁腹板塑鉸處出現降伏 ( $\theta = -2\%$ 弧度)



照片 3.96 試體 IFS3 交會區柱板內側出現降伏 ( $\theta = +2\%$ 弧度)





照片 3.97 試體 IFS3 梁上翼板降伏情形 ( $\theta = -3\%$ 弧度)



照片 3.98 試體 IFS3 梁塑鉸處降伏嚴重 ( $\theta = -3\%$ 弧度)



照片 3.99 試體 IFS3 加勁板降伏情形 ( $\theta = +3\%$ 弧度)



照片 3.100 試體 IFS3 交會區疊合板出現輕微降伏 ( $\theta = +3\%$ 弧度)



照片 3.101 試體 IFS3 梁上翼板降伏情形 ( $\theta = -4\%$ 弧度)



照片 3.102 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生 2mm 挫屈 ( $\theta = -4\%$ 弧度)





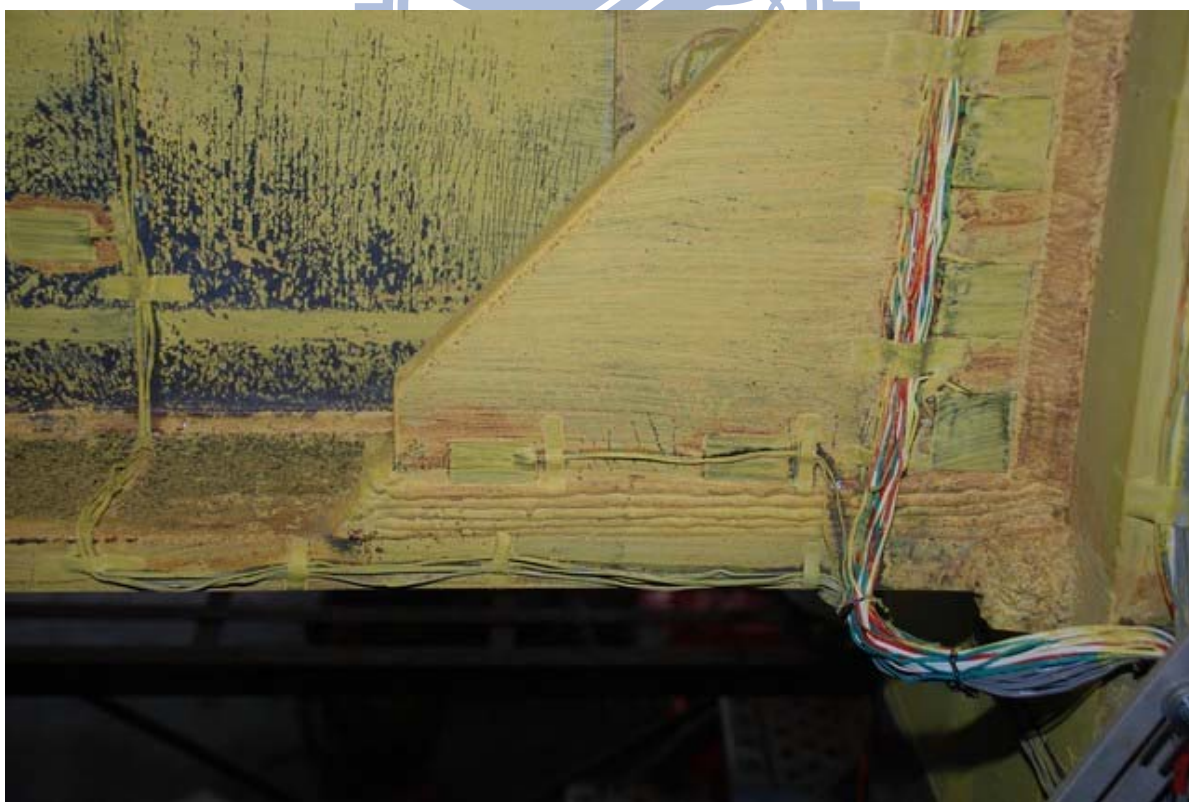
照片 3.103 試體 IFS3 梁下翼板產生輕微側向扭轉挫屈 ( $\theta = -4\%$ 弧度)



照片 3.104 試體 IFS3 梁上翼於加勁板端部產生 2mm 挫屈 ( $\theta = +4\%$ 弧度)



照片 3.105 試體 IFS3 交會區疊合板降伏情形 ( $\theta=4\%$ 弧度結束)



照片 3.106 試體 IFS3 加勁板降伏情形 ( $\theta=4\%$ 弧度結束)





照片 3.107 試體 IFS3 第一次試驗結束前全景 ( $\theta = +4\%$ 弧度)



照片 3.108 試體 IFS3 第二次試驗前全景



照片 3.109 試體 IFS3 梁翼和柱板接合之焊道出現小裂痕 ( $\theta = -1\%$ 弧度)



照片 3.110 試體 IFS3 梁翼和加勁板接合之焊道出現小裂痕 ( $\theta = -1\%$ 弧度)





照片 3.111 試體 IFS3 加勁板焊道端部出現小裂痕 ( $\theta = -1.5\%$  弧度)



照片 3.112 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生 3mm 挫屈 ( $\theta = -3\%$  弧度)



照片 3.113 試體 IFS3 加勁板焊道端部出現小裂痕 ( $\theta = -3\%$ 弧度)



照片 3.114 試體 IFS3 加勁板焊道端部出現小裂痕 ( $\theta = -3\%$ 弧度)





照片 3.115 試體 IFS3 加勁板焊道端部出現小裂痕 ( $\theta = -3\%$ 弧度)



照片 3.116 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生8mm挫屈 ( $\theta = -4\%$ 弧度)





照片 3.117 試體 IFS3 梁下翼板產生10mm 撓曲變形 ( $\theta = -4\%$ 弧度)



照片 3.118 試體 IFS3 梁下翼板產生側向扭轉挫屈10mm ( $\theta = -4\%$ 弧度)



照片 3.119 試體 IFS3 梁上翼於加勁板端部產生 3mm 挫屈 ( $\theta = +4\%$  弧度)



照片 3.120 試體 IFS3 交會區疊合板降伏情形 ( $\theta = +4\%$  弧度)

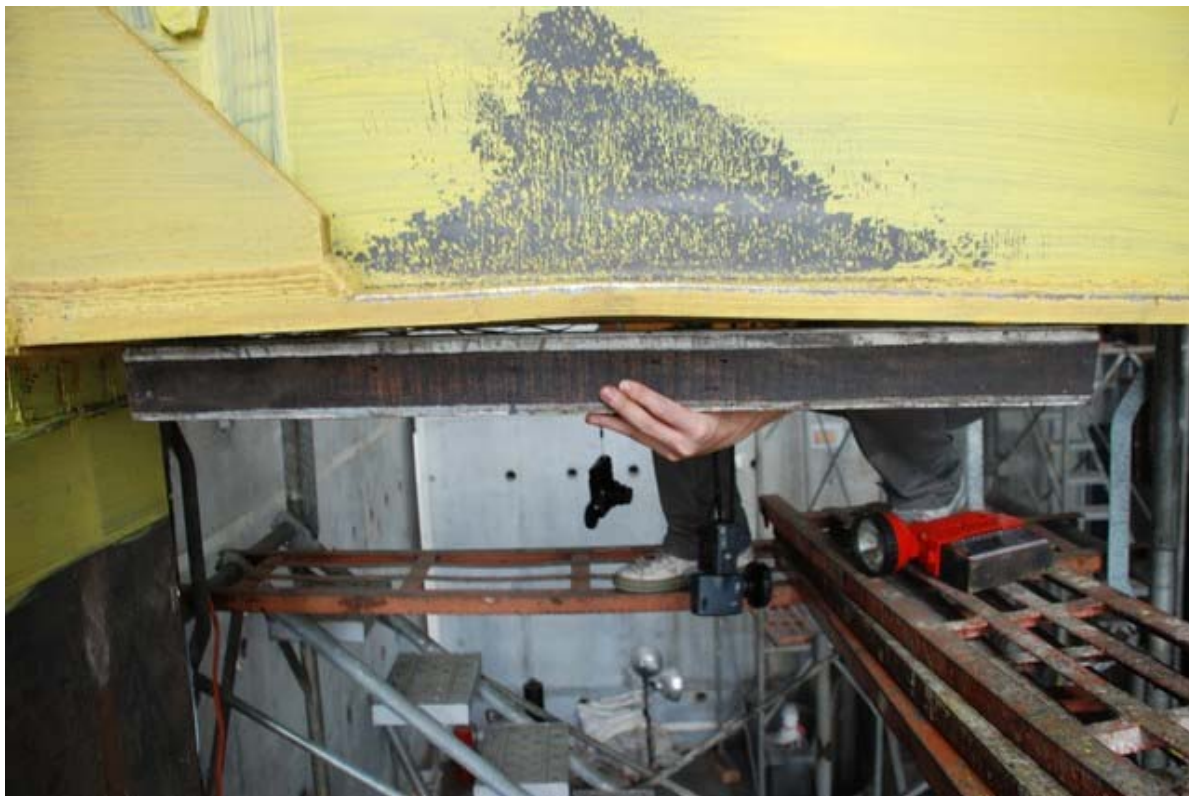




照片 3.121 試體 IFS3 加勁板焊道端部裂痕達30mm ( $\theta = +4\%$ 弧度)



照片 3.122 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生15mm挫屈 ( $\theta = -5\%$ 弧度)

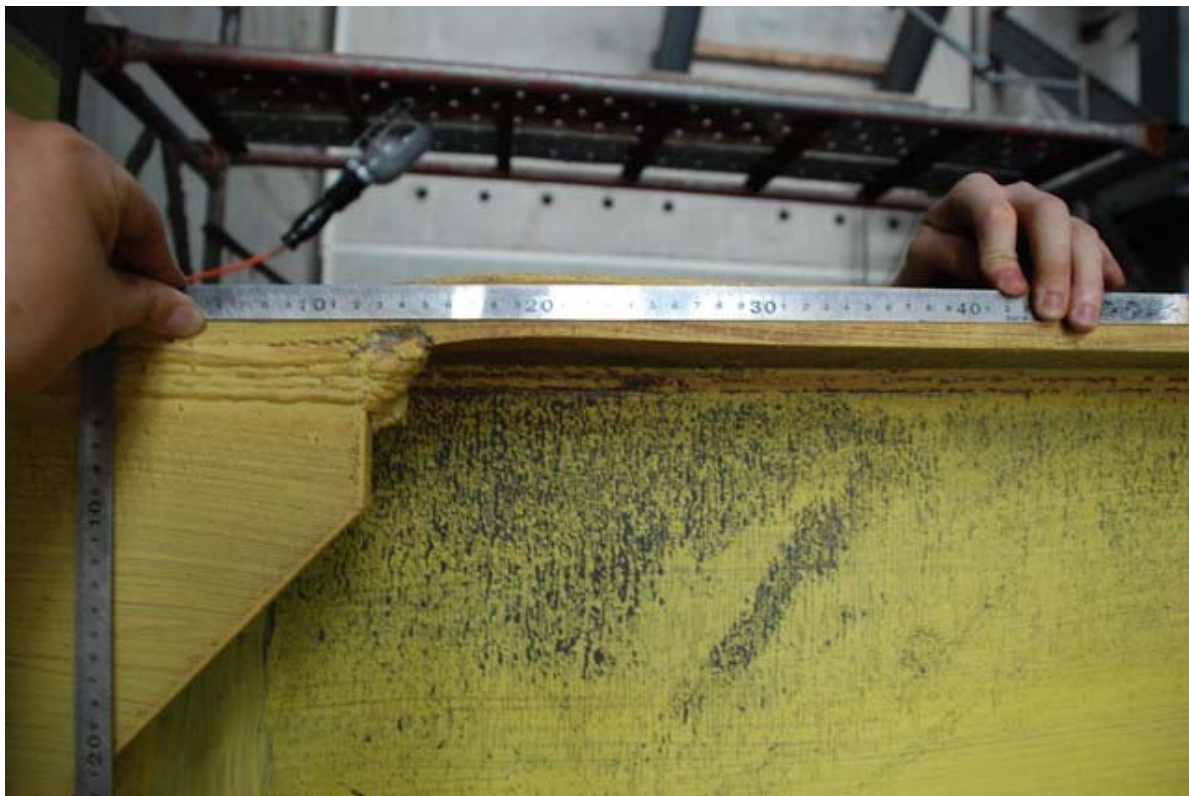


照片 3.123 試體 IFS3 梁下翼於加勁板端部產生10mm挫屈 ( $\theta = -5\%$ 弧度)

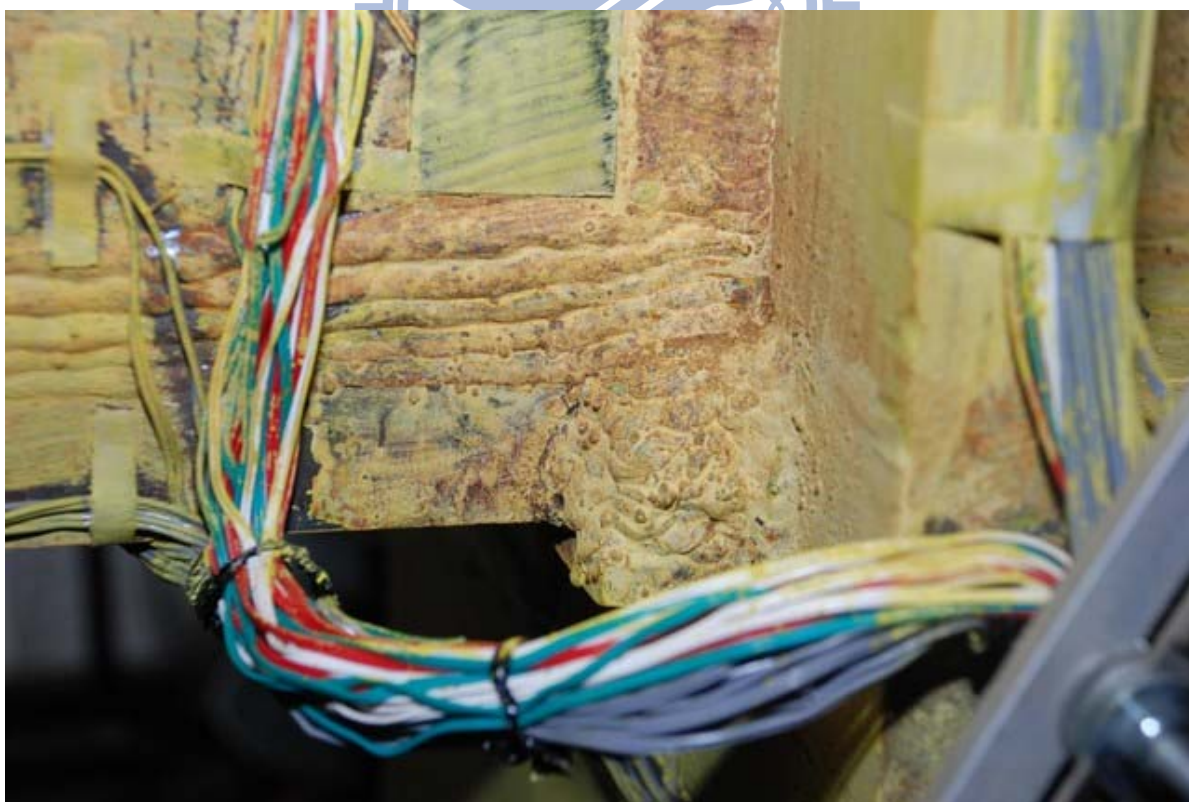


照片 3.124 試體 IFS3 梁下翼板產生側向扭轉挫屈15mm ( $\theta = -5\%$ 弧度)



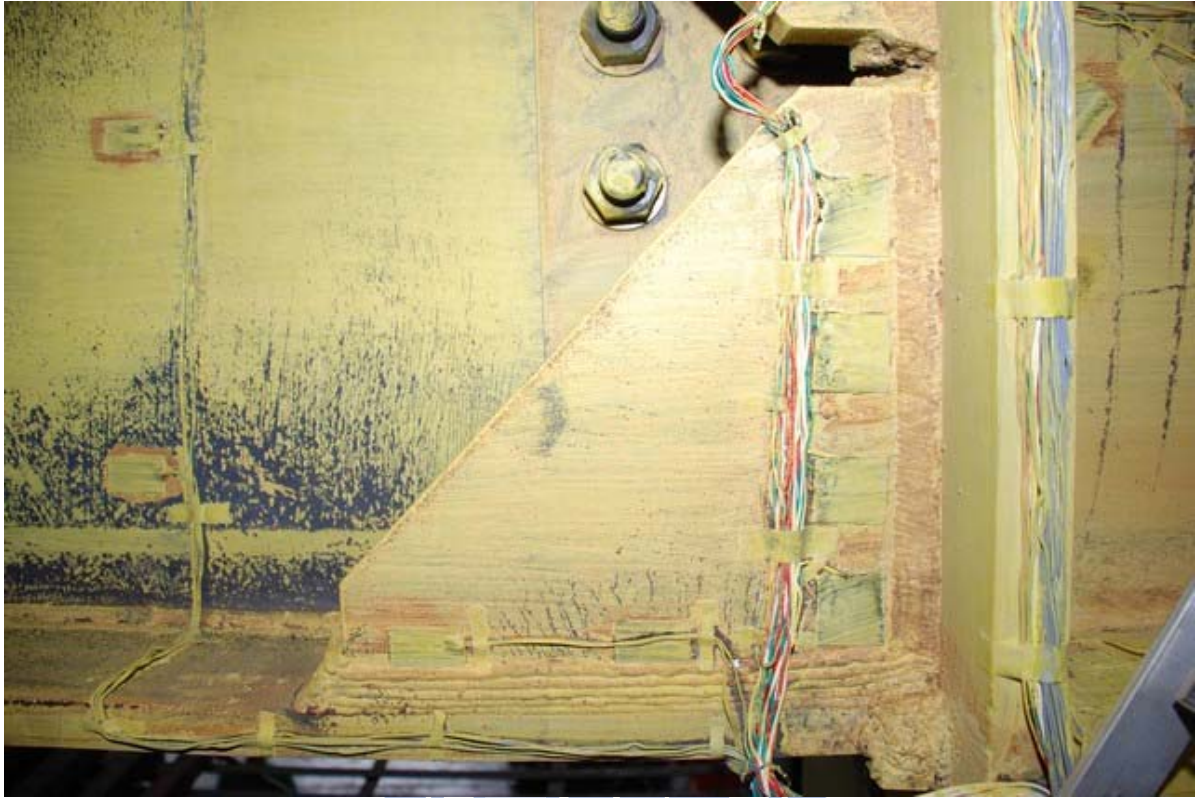


照片 3.125 試體 IFS3 梁上翼於加勁板端部產生 8mm 挫屈 ( $\theta = +5\%$  弧度)



照片 3.126 試體 IFS3 梁下翼和柱板接合之焊道出現小裂痕 ( $\theta = +5\%$  弧度)





照片 3.127 試體 IFS3 加勁板降伏情形 ( $\theta = -6\%$ 弧度)



照片 3.128 試體 IFS3 梁柱焊道裂痕情形 ( $\theta = -6\%$ 弧度)





照片 3.129 試體 IFS3 梁柱焊道裂痕情形 ( $\theta = -6\%$  弧度)



照片 3.130 試體 IFS3 加勁板焊道端部開裂情形 ( $\theta = -6\%$  弧度)



照片 3.131 試體 IFS3 梁腹板於塑鉸處產生 30mm 挫屈 ( $\theta = -6\%$  弧度)



照片 3.132 試體 IFS3 梁下翼於加勁板端部產生 50mm 挫屈 ( $\theta = -6\%$  弧度)





照片 3.133 試體 IFS3 梁上翼板側向扭轉挫屈情形 ( $\theta = +6\%$  弧度第一圈)



照片 3.134 試體 IFS3 交會區柱翼板內側降伏情形 ( $\theta = +6\%$  弧度第一圈)



照片 3.135 試體 IFS3 上橫隔板上方內側柱板降伏 ( $\theta = +6\%$  弧度第一圈)

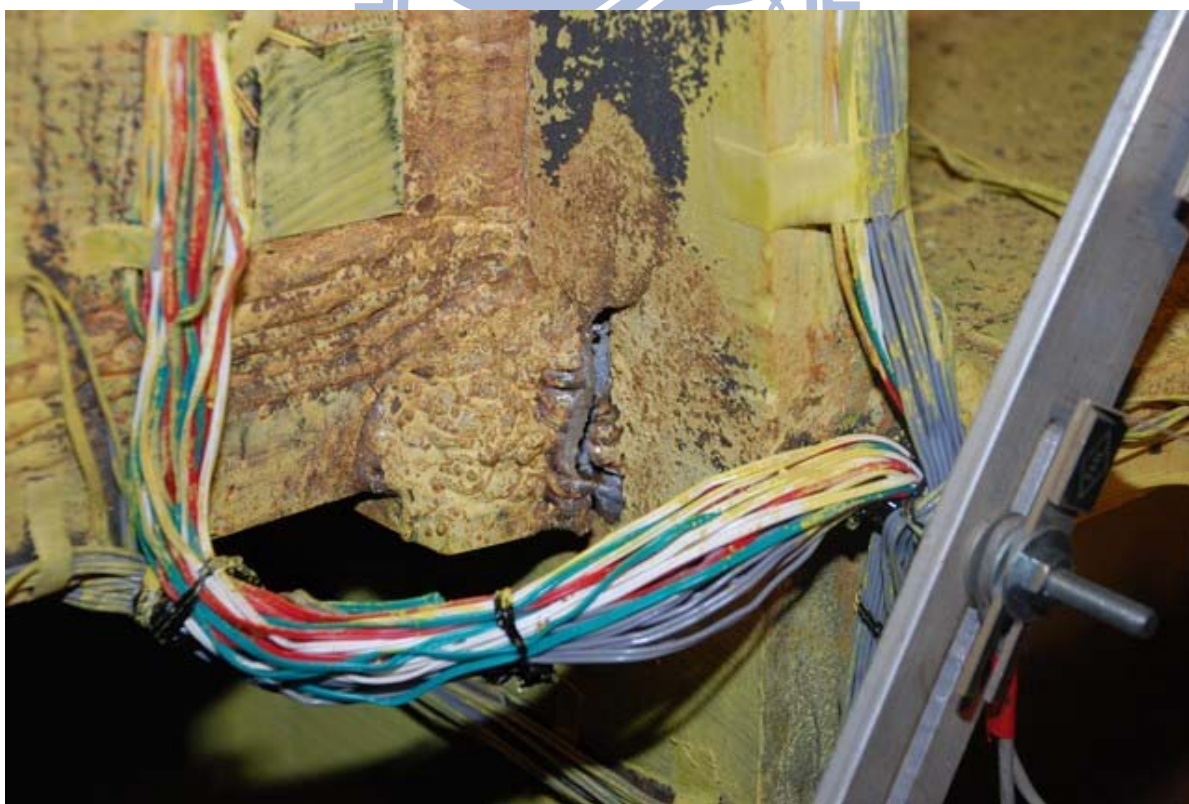


照片 3.136 試體 IFS3 梁下翼板焊道和柱板交界斷裂 ( $\theta = +6\%$  弧度第二圈)





照片 3.137 試體 IFS3 梁下翼板焊道和柱板交界斷裂( $\theta = +6\%$ 弧度第二圈)



照片 3.138 試體 IFS3 梁下翼板焊道和柱板交界斷裂( $\theta = +6\%$ 弧度第二圈)






照片 3.139 試體 IFS3 交會區疊合板降伏情形 ( $\theta = +6\%$  弧度第二圈)



照片 3.140 試體 IFS3 最大位移角全景 ( $\theta = -6\%$  弧度)

附件 A



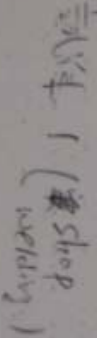
**KUANG TAI METAL IND CO., LTD.**  
廣泰金屬工業股份有限公司

**MILL CERTIFICATE**  
材 質 證 明

NO.20 Kung Yeh Rd. Eih Chai Tsun,  
Kuan Tsen Hsiang, Tainan Hsien, Taiwan, R.O.C.  
TEL: 886-06-8987818-9 656-05-5887831-4 FAX: 886-06-6987315  
中華民國台灣省台南縣官田鄉二林村工業路20號

Customer 客戶	廣泰金屬工業股份有限公司		Consolidity 品名	K04-58		Mfg. Date 製造日期	2906/7/18		Lot No. 批號	06718183		
Specification & Classification 應用規格及種類	AMS A5.10M ER45C-G(2901)		Dimension 尺寸	1.2 mm X 20 MCS		Date of Issue 證明書日期	2006/8/1		Certificate No. 證明書編號	DMJ-670121		
<b>CHEMICAL COMPOSITION (%) 化學成份</b>												
Elements 成分	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ti	Al	Ni	Cr	Mo	V
Requirements 標準	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RODS WARE	0.08	1.50	0.93	0.020	0.015	0.12	0.20	0.011	0.02	0.02	0.01	0.001
<b>Tensile Test of Deposited Metal 熔塗拉力試驗</b>												
	Size of Specimen 試樣規格 (mm)	Yield Strength 降伏強度 (K/㎟)	Tensile Strength 抗拉強度 (K/㎟)	Elongation 延伸率 (%)	Reduction 減面率 (%)							
Requirements 標準	12.5	400	480	22	-							
Test Results 測試值	12.5	488	590	31.5	-							
<b>Impact Test Deposited Metal 熔塗衝擊試驗</b>												
	Bending Test 彎曲試驗		Hardness Test 硬度試驗 (98HC)		Front Weld Test 前部試驗		Spontaneous Test 自發試驗		Machine 含小者 (%)			
Requirements 標準	-		-		-		-		-			
Test Results 測試值	-		-		-		-		-			
<b>Welding Condition 焊接條件</b>												
	Type of Current 電流種類		Amperage 焊接電流		Arc Voltage 焊接電壓		Shielding Gas 保護氣體		Postweld Heat Treatment 焊後熱處理			
Requirements 標準	-		-		-		-		-			
Test Results 測試值	-		-		-		-		-			
<b>Remarks 備註</b>												
29158												

We hereby certify that this report is correct and that all test results are in compliance with the specification described herein.  
茲證明此項報告上列之各項測試結果均符合所定規格之要求

  
**C. W. Ho**  
 Manager Of Quality Assurance

ISO 9001  
CERTIFICATE  
NO.: 6MSBY023-08