

## 第三章 IFS 試體實驗與結果分析

### 3.1 前言

本研究共製作六組 IFS 補強接頭試體，其中一組為未加勁之傳統梁柱接頭編號為 UR，而每組試體均由鋼柱，鋼梁及 IFS 加勁板組合而成，而鋼柱採用箱形柱，鋼梁為 I 形梁。本章 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 節為試體 IFS1 試驗結果與分析，3.5 節為試體 IFS2 試驗結果與分析，3.6 節為試體 IFS3 試驗結果與分析，3.7 節為試體 IFS4 試驗結果與分析，3.8 節為試體 IFS5 試驗結果與分析，3.9 節為試體 IFS 試驗結果與分析之比較。

### 3.2 試體製作

本研究所有試體中，有三支試體之梁柱接頭為長青顧問於老舊大樓現場切割而得，試體編號分別為 UR、IFS1 及 FDWS1，其梁柱接頭之焊接為工地現場完成，而試體 UR 接頭區焊道經 UT 檢測為可接受之接頭，而試體 IFS2 所使用的柱與試體 IFS1 相同，為 IFS1 實驗後將柱翻轉至背面重複使用，但其梁柱接頭之焊接於交通大學結構實驗室中完成。除了上述之試體，本實驗其他試體之鋼梁及鋼柱均由鴻舜鋼鐵廠負責製作，而所有試體之加勁板全由鴻舜鋼鐵廠負責製作，並於交通大學結構實驗室中進行焊接。

### 3.3 試體 UR 試驗結果

#### 3.3.1 試驗現象觀察

照片 3.1 為試體 IFS1 試驗前之全景，圖 3.1 (a) 為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到每個新階段的位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板之降伏挫屈情形，有關試驗過程

中試體的行為描述如下：

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

試體保持彈性，梁、柱、梁柱交會區均無發現任何降伏現象發生。

(2) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.0\%$  弧度到  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1.0\%$  弧度時，梁上翼板受拉使得梁翼角落產生輕微降伏現象。位移角  $\theta = -1.5\%$  弧度時，梁上翼板梁翼角落降伏區域擴大(照片 3.2)，梁下翼板亦產生輕微降伏，且在梁腹板扇形開口處亦有降伏之現象(照片 3.3)。位移角  $\theta = +1.5\%$  弧度時，上翼板之降伏範圍擴大至由柱面算起 720 mm。位移角  $\theta = 1.5\%$  弧度結束時，剪力板與柱相連之焊道上方母材產生降伏(照片 3.4)。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 2.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = +2.0\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大至由柱面算起 780 mm(照片 3.5)，而梁下翼板在位移角  $\theta = 2.0\%$  弧度結束時，其降伏範圍由柱面算起僅到 480 mm。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -3.0\%$  弧度第一圈時，梁上翼板與柱板焊道端部產生約 7 mm 長之裂縫(照片 3.6)，剪力板與柱接之焊道端部亦產生長度約 20 mm 長之裂縫(照片 3.7)。位移角  $\theta = +3.0\%$  弧度第一圈時，梁上翼板之降伏範圍由柱面算起 1000 mm，且距柱面 520 mm 處梁上翼板產生輕微挫屈，梁下翼板之降伏範圍由柱面算起 900 mm，而梁從側撐中心至柱面產生輕微之側向扭轉挫屈(照片 3.8)。位移角  $\theta = -3.0\%$  弧度第二圈時，梁上翼板與腹板相交之扇形開口處產生裂縫(照片 3.9)，此時剪力板與柱面之焊道裂縫延長至 40 mm。位移角  $\theta = +3.0\%$  弧度第二圈時，梁下翼板與腹板相交處之扇形開口亦發現輕微之裂縫。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 4.0\%$  弧度：

在位移角  $\theta = -4.0\%$  弧度第一圈時，梁上翼板於梁柱接頭焊道上方母材開裂 200 mm(照片 3.10)，而剪力板與柱面之焊道亦開裂達 140 mm (照片 3.11)，此時油壓制動器把位移角  $\theta = -4.0\%$  弧度第一圈走完，並將位移角歸零後停止油壓制動器的控制並結束實驗。實驗結束時發現上翼板全部撕裂，且剪力板與柱面之焊道開裂延伸至 165 mm，而梁下翼板僅出現大範圍降伏並無裂縫產生(照片 3.12)，照片 3.13 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

圖 3.1 (a) 所示，位移角  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度前試體保持在彈性範圍之內，位移角  $\theta = -0.75\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1453 kN-m，位移角  $\theta = +0.75\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1491 kN-m，將實驗之遲滯回圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 213486 kN-m。位移角超過  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度後，因梁未發生挫屈，所以彎矩持續增加，位移角增加至  $\theta = -3.0\%$  弧度第二圈，此時為梁最大之正彎矩 2516 kN-m，而最大之負彎矩為 2572 kN-m，其發生在位移角  $\theta = +4.0\%$  弧度第一圈時。

### 3.3.3 局部反應

為了了解試體 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設置許多應變計，目的在於了解未加勁梁柱接頭區，梁翼橫向應變所能承受之最大應變為何，以及梁翼縱向應變之分佈以了解最大應變之位置為何。

#### 1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 3.2 與圖 3.3 為彎矩與梁上下翼板之橫向應變關係，圖中顯示梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，且可看出梁上下翼板之拉應變均大於壓應變，而由圖 3.4 可得知梁翼橫向應變的分佈，當位移角為負方向時 (Negative Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.4 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.4 (b)，由圖 3.4 可看出梁上翼板在位移角  $\theta=3.0\%$  弧度時，即破壞前之最大拉應變為 3.89%，而最大壓應變為 2.63%，而梁下翼板在位移角  $\theta=3.0\%$  弧度時之最大拉應變為 3.12%，而最大壓應變為 1.02%。

## 2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 3.5 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而圖 3.6 可得知梁翼縱向應變的分佈，而此圖可看出未加勁之梁柱接頭受拉時，其最大應變集中在梁柱接頭焊到處，而未加勁之梁柱接頭受壓時，則沒有應變集中在梁柱接頭焊道處之現象。

## 3.4 試體 IFS1 試驗結果

### 3.4.1 試驗現象觀察

照片 3.14 為試體 IFS1 試驗前之全景，圖 3.1 (b) 為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到每個新階段的位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板之降伏挫屈情形及加勁板是否降伏，有關試驗過程中試體的行為描述如下：

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

試體保持彈性，梁、柱、梁柱交會區及加勁板均無發現任何降伏現象發生。

(2) 層間側位移角  $\theta=\pm 1.0\%$  弧度到  $\theta=\pm 1.5\%$  弧度：

位移角  $\theta=-1.0\%$  弧度時，梁上翼板於梁柱接頭焊道上方之左右兩側

及下翼板於背墊板上方，均出現些微的降伏。位移角  $\theta = +1.0\%$  弧度時，梁上翼板距離柱面 690 mm 處出現些微降伏。位移角  $\theta = -1.5\%$  弧度時，梁上翼板於梁柱接頭焊道上方左右兩側之降伏範圍擴大（照片 3.15），梁下翼板於背墊板上方降伏範圍擴大（照片 3.16）。加勁板均無發現任何降伏現象發生。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 2.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -2.0\%$  弧度時，梁上翼板於梁柱接頭焊道上方之左右兩側角落出現鐵銹剝落之現象（照片 3.17），其中梁上翼板左側在背墊板與柱板間發現有裂痕產生（照片 3.18）。位移角  $\theta = +2.0\%$  弧度時，梁上翼板距離柱面 690 mm 處降伏範圍擴大（照片 3.19）。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.0\%$  弧度：

位移角往  $\theta = -3.0\%$  弧度走尚未達到  $-3.0\%$  弧度時發生巨響，此時發現梁上翼板焊道處產生寬 75 mm、深 3 mm 的裂縫（照片 3.20），此時觀察擷取系統的彎矩與梁端位移圖發現力量尚未往下掉，所以實驗繼續進行，在位移角  $\theta = +3.0\%$  弧度時，發現下翼板右側加勁板與柱接之焊道產生 1 cm 的裂縫（照片 3.21）。位移角往  $\theta = -3.0\%$  弧度第二圈走時，梁上翼板焊道發生破壞，使得加勁板沿柱面焊道亦整個拉斷（照片 3.22）。

(5) 層間側位移角  $\theta = +4.8\%$  弧度：

位移角  $\theta = +4.8\%$  弧度時，梁下翼板焊道未發生斷裂之情形，但背墊板上方之梁下翼板嚴重降伏（圖 3.23），且梁上翼板發生挫屈，此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 3.24 為試體實驗後之全景。

### 3.4.2 整體反應

#### 彎矩與梁端位移關係

圖 3.1 (b) 所示，位移角  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度前試體保持在彈性範圍之內，位移角  $\theta = -0.75\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 2147 kN-m，位移角  $\theta = +0.75\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1885 kN-m，將實驗之遲滯回圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 240217 kN-m。位移角超過  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度後，因梁未發生挫屈，所以彎矩持續增加，位移角增加至  $\theta = -3.0\%$  弧度第一圈，此時為梁最大之正彎矩 2917 kN-m，而位移角增加至  $\theta = +4.8\%$  弧度時，此時為最大之負彎矩為 2635 kN-m。

### 3.4.3 局部反應

為了了解試體 IFS1 在每一個位移角梁翼及加勁板之應變變化，所以本研究在梁上下翼板及加勁板設置許多應變計，目的在於了解 IFS1 加勁梁柱補強接頭區之梁翼橫向應變分佈，以及加入加勁板後梁翼縱向之應變分佈，用來了解梁翼縱向最大應變位置，並了解加勁板之降伏範圍。

#### 1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 3.7 與圖 3.8 為彎矩與梁上下翼板之橫向應變關係，圖中顯示梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，且可看出梁上下翼板之拉應變均大於壓應變，而由圖 3.9 可得知梁翼橫向應變的分佈，當位移角為負方向時 (Negative Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.9 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.9 (b)，由圖 3.9 可看出梁上翼板在位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度時，即破壞前之最大拉應變為 0.98%，而最大壓應變為 0.57%，而梁下翼板在位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度時之最大拉應變為 0.73%，而最大壓應變為 0.67%。而此試體之最大拉應變約為試體 UR 最大拉應變的 25%。

#### 2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 3.10 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而圖 3.11 可得知梁翼

縱向應變的分佈，而此圖可看出 IFS1 加勁梁柱補強接頭受拉時，其最大應變並非集中在梁柱接頭焊到處，而已將最大之應變推往由柱面算起 470 mm 處，約為 1/4 梁深的位置。

### 3.加勁板應變分佈

圖 3.12 為彎矩與加勁板之應變關係，而圖 3.13 為加勁板之應變分佈，由此圖可看出加勁板於位移角  $\theta=1.0\%$  弧度時就已降伏，且下翼加勁板於位移角  $\theta=3.0\%$  弧度時之最大拉應變為 0.98%，其值比梁下翼板在位移角  $\theta=3.0\%$  弧度時之最大拉應變 0.73% 還大，原因為試體 IFS1 之加勁板於梁柱接頭處進行削切，而此削切使得斷面幾何不連續，所以造成應力集中在加勁板上。為了避免此應力集中之現象，所以之後的加勁板均未進行削切之動作。而圖 3.14 為加勁板之應力圖，此圖為利用圖 3.13 所測得之應變配合鋼材之應力應變圖而得，由此圖可看出加勁板拉壓之降伏範圍，且其範圍由梁翼板與加勁板接合處起算，而 IFS1 加勁板於位移角  $\theta=3.0\%$  弧度時，受拉時之最大降伏範圍為 100 mm，受壓時之最大降伏範圍為 80 mm。

## 3.5 試體 IFS2 試驗結果

### 3.5.1 試驗現象觀察

照片 3.25 為試體 IFS2 試驗前之全景，圖 3.1 (c) 為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到每個新階段的位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板之降伏挫屈情形及加勁板是否降伏，有關試驗過程中試體的行為描述如下：

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

試體保持彈性，梁、柱、梁柱交會區及加勁板均無發現任何降伏現象發生。

(2) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.0\%$  弧度到  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1.0\%$  弧度時，梁上翼板端部出現些微的降伏，降伏區域發生在背面加勁板焊接處（照片 3.26）。位移角  $\theta = -1.5\%$  弧度第二圈時，梁上翼板由柱面起算 470 mm 處出現些微降伏。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 2.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -2.0\%$  弧度時，梁翼板上翼板之降伏情形與位移角  $\theta = -1.5\%$  弧度第二圈時相同。位移角  $\theta = +2.0\%$  弧度時，梁下翼板位於加勁板端部由柱面起算 470 mm 處出現大範圍降伏（照片 3.27），在梁上下翼板內側加勁板端部均有明顯降伏現象（照片 3.28），且梁上翼板在加勁板端部有輕微的挫屈的情形，而梁下翼板背墊板有小於 1 mm 的細縫發生，及位於梁下翼板梁柱接頭焊接處梁翼出現降伏（照片 3.29）。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.0\%$  弧度：

位移角往  $\theta = -3.0\%$  弧度時，梁上翼板由柱面起算 470mm 處降伏範圍擴大（照片 3.30），石膏漆像點顆粒剝落，且梁上下翼板內側加勁板端部降伏現象擴大。位移角往  $\theta = +3.0\%$  弧度走時，梁下翼板焊道沿柱面將柱表面拉起（照片 3.31），此時加勁板與梁或柱接的焊道均無降伏的情形發生。

(5) 層間側位移角  $\theta = -4.0\%$  弧度到  $\theta = -4.8\%$  弧度：

位移角  $\theta = -4.0\%$  弧度時，上翼板與柱接及的焊道無降伏現象發生，但梁上翼加勁板與梁接的焊道端部出現降伏。位移角  $\theta = -4.8\%$  弧度時，梁上翼板及加勁板的焊道均無降伏情形（照片 3.32），此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 3.33 試體最大位移角之全景。

### 3.5.2 整體反應



## 彎矩與梁端位移關係

圖 3.1 (c) 所示，位移角  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度前試體保持在彈性範圍之內，位移角  $\theta = -0.75\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1605 kN-m，位移角  $\theta = +0.75\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1722 kN-m，將實驗之遲滯回圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 227578 kN-m。位移角超過  $\theta = \pm 0.75\%$  弧度後，因梁未發生挫屈，所以彎矩持續增加，位移角增加至  $\theta = -3.0\%$  弧度第一圈，此時梁之正彎矩為 2653 kN-m，而位移角往  $\theta = +3.0\%$  弧度走時，梁下翼板在位移角到達  $\theta = +2.0\%$  弧度，發生柱皮延梁柱接頭焊道拉起，此時之最大負彎矩為 2547 kN-m。

### 3.5.3 局部反應

為了了解試體 IFS2 在每一個位移角梁翼及加勁板之應變變化，所以本研究在梁上下翼板及加勁板設置許多應變計，目的在於了解 IFS2 加勁梁柱補強接頭區之梁翼橫向應變分佈，以及加入加勁板後梁翼縱向之應變分佈，用來了解梁翼縱向最大應變位置。

#### 1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 3.15 與圖 3.16 為彎矩與梁上下翼板之橫向應變關係，圖中顯示梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，而由圖 3.17 可得知梁翼橫向應變的分佈，當位移角為負方向時 (Negative Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.17 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.17 (b)，由圖 3.17 可看出梁上翼板在位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度時之拉應變為 0.53%，而梁下翼板之壓應變為 0.90%，而梁下翼板在位移角  $\theta = 2.0\%$  弧度，即梁下翼板破壞時之最大拉應變為 0.58%，而梁上翼板最大壓應變為 0.45%。

#### 2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 3.18 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而圖 3.19 可得知梁翼縱向應變的分佈，而此圖可看出 IFS2 加勁梁柱補強接頭受拉時，其最大應變並非集中在梁柱接頭焊到處，而已將最大之應變推往由柱面算起 470 mm 處，即 1/4 梁深之位置。

### 3.加勁板應變分佈

圖 3.20 為彎矩與加勁板之應變關係，而圖 3.21 為加勁板之應變分佈，由此圖可看出與梁上翼板接合之加勁板，編號為 R1 之應變計，其值於位移角  $\theta=1.0\%$  弧度時就已降伏，此現象與 IFS1 之加勁板相同，但與梁下翼板接合之加勁板，編號為 R4 之應變計，其值均小於降伏應變，且由圖 3.21 (b) 可看出加勁板所承受之應變非常小，此現象可說明此 IFS2 試體之下翼加勁板所貢獻之強度非常小，因此導致下翼板之破壞。

## 3.6 試體 IFS3 試驗結果

### 3.6.1 試驗現象觀察

照片 3.34 為試體 IFS3 試驗前之全景，圖 3.1 (d) 為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到每個新階段的位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板之降伏挫屈情形及加勁板是否降伏，有關試驗過程中試體的行為描述如下：

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

位移角在  $\theta=\pm 0.5\%$  弧度之前，試體均保持彈性，梁、柱、梁柱交會區及加勁板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，梁上下翼板均出現降伏，其降伏範圍由柱面算起 300 mm (照片 3.35)。位移角  $\theta=+0.75\%$  弧度時，梁上下翼板降伏範圍擴大，其降伏範圍由柱面算起 430 mm。位移角  $\theta=0.75\%$

%弧度結束時，梁腹板與梁翼板交接處出現些微降伏，而加勁板未發現任何降伏現象。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.0\%$  弧度到  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1.0\%$  弧度時，梁下翼板出現降伏，其降伏範圍由柱面算起 1000 mm。位移角  $\theta = 1.0\%$  弧度結束時，梁上翼板與柱接合之焊道上方母材有些微的掉漆。位移角  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度時，梁上下翼板降伏掉漆趨於明顯，未發現加勁板有降伏的現象。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 2.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -2.0\%$  弧度時，梁上下翼板降伏範圍持續擴大。位移角  $\theta = +2.0\%$  弧度時，發現梁下翼背墊板石膏漆出現細微裂痕。位移角  $\theta = 2.0\%$  弧度結束時，梁上下翼板及腹板大範圍降伏，而梁下翼板降伏區域集中在左邊（照片 3.36），未發現加勁板有降伏的現象。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.0\%$  弧度：

位移角往  $\theta = -3.0\%$  弧度時，梁下翼加勁板出現降伏（照片 3.37）。位移角往  $\theta = +3.0\%$  弧度時，梁上翼加勁板出現降伏，且梁上下翼板位於加勁板端部之母材均出現降伏現象（照片 3.38）。位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度結束時，所有降伏之範圍均擴大，但並未發現梁有挫屈產生。

(6) 層間側位移角  $\theta = -4.0\%$  弧度：

位移角往  $\theta = -4.0\%$  弧度走時出現巨響，發現梁上翼板與柱接之焊道延柱面被拉起（照片 3.39），即梁上翼背墊板端部裂開，但裂痕並未向梁翼延伸。

(7) 層間側位移角  $\theta = +4.0\%$  弧度到  $\theta = +5.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = +4.0\%$  弧度時，梁腹板及翼板均未發現挫屈。位移角  $\theta = +5.0\%$  弧度時，梁上翼之腹板發現有些微挫屈 2 mm，此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 3.40 試體最大位移角之全景。

## 3.6.2 整體反應

### 彎矩與梁端位移關係

圖 3.1 (d) 所示，位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度前試體保持在彈性範圍之內，位移角  $\theta = -0.5\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1161 kN-m，位移角  $\theta = +0.5\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1187 kN-m，將實驗之遲滯回圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 243006 kN-m。位移角超過  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度後，因梁未發生挫屈，所以彎矩持續增加，位移角增加至  $\theta = -3.0\%$  弧度時，梁最大之正彎矩 2746 kN-m，而位移角增加至  $\theta = +5.0\%$  弧度時，此時為最大之負彎矩為 2829 kN-m。

## 3.6.3 局部反應

為了了解試體 IFS3 在每一個位移角梁翼及加勁板之應變變化，所以本研究在梁上下翼板及加勁板設置許多應變計，目的在於了解 IFS3 加勁梁柱補強接頭區之梁翼橫向應變分佈，以及加入加勁板後梁翼縱向之應變分佈，用來了解梁翼縱向最大應變位置，並了解加勁板之降伏範圍。

### 1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 3.22 與圖 3.23 為彎矩與梁上下翼板之橫向應變關係，圖中顯示梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，而由圖 3.24 可得知梁翼橫向應變的分佈，當位移角為負方向時 (Negative Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.24 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.24 (b)，由圖 3.24 可看出梁上翼板在位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度時，即破壞前之最大拉應變為 0.81%，而最大壓應變為 0.69%，而梁下翼板在位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度時之最大拉應變為 0.55%，而最大壓應變為 0.69%。

### 2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 3.25 與圖 3.26 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而圖 3.27 可

得知梁翼縱向應變的分佈，而此圖可看出 IFS3 加勁梁柱補強接頭受拉時，其最大應變並非集中在梁柱接頭焊到處，而已將最大之應變推往由柱面算起 470 mm 處，即 1/4 梁深之位置。

### 3.加勁板應變分佈

圖 3.28 及圖 3.29 為彎矩與加勁板之應變關係，而圖 3.30 為加勁板之應變分佈，由此圖可看出加勁板於位移角  $\theta=2.0\%$  弧度時才降伏，且加勁板之中性軸位置出現在距梁翼板內側 120 mm 處，此位置與 2.2.1.1 節中公式推導之中性軸介於  $2/3d_s$  (117 mm) 至  $\sqrt{1/2}d_s$  (124 mm) 之間吻合。而圖 3.31 為加勁板之應力圖，此圖為利用圖 3.30 所測得之應變配合鋼材之應力及應變圖而得，由此圖可看出加勁板拉壓之降伏範圍，且其範圍由梁翼板與加勁板接合處起算，而 IFS3 於位移角  $\theta=3.0\%$  弧度時，加勁板受拉時之最大降伏範圍為 81 mm，受壓時之最大降伏範圍為 68 mm。

## 3.7 試體 IFS4 試驗結果

### 3.7.1 試驗現象觀察

#### 3.7.1.1 第一次試驗現象觀察

照片 3.41 為試體 IFS4 試驗前之全景，圖 3.1 (e) 為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到每個新階段的位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板之降伏挫屈情形，有關試驗過程中試體的行為描述如下：

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

試體保持彈性，梁、柱、梁柱交會區及加勁板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  $\theta=0.75\%$  弧度結束時，梁上翼板出現降伏現象，且降伏範圍

位於加勁板與腹板中間之未加勁梁翼板處，量測後得知降伏範圍之中心具梁邊緣大約 70 mm (照片 3.42)，而梁下翼板亦出現降伏現象，且降伏範圍同樣位於加勁板與腹板中間之未加勁梁翼板處 (照片 3.43)，加勁板無發現任何降伏現象。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.0\%$  弧度到  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1.0\%$  弧度時，梁上翼板受拉，使得上翼腹板位於加勁板端部出現輕微降伏現象，而梁上下翼板降伏區域過大。位移角  $\theta = 1.0\%$  弧度結束時，梁上下翼板降伏範圍均擴大至由柱面算起 600 mm，而上翼腹板位於加勁板端部之降伏現象擴大 (照片 3.44)，下翼腹板位於加勁板端部則出現輕微降伏現象。位移角  $\theta = 1.5\%$  弧度結束時，梁上下翼板降伏範圍均擴大至由柱面算起 920 mm，且梁腹板降伏範圍增加 (照片 3.45)，加勁板無發現任何降伏現象。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 2.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = 2.0\%$  弧度結束時，梁上下翼板之降伏範圍擴大至由柱面算起 1080 mm，且梁腹板降伏範圍持續增加，而加勁板無發現任何降伏現象。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度結束時，梁上下翼板及梁腹板降伏範圍持續增加，且發現加勁板與梁翼板接合之焊道出現掉漆降伏現象 (照片 3.46)，且加勁板母材亦發現有輕微掉漆出現些微降伏，此時看不出梁有明顯之挫屈情形，且仔細觀察下翼背墊板並無發現有任何裂縫。

(6) 層間側位移角  $\theta = \pm 4.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = 4.0\%$  弧度結束時，觀察梁上下翼板及腹板均未發現有挫屈現象，而照片 3.47 為梁上翼板之降伏情形，照片 3.48 為梁下翼板之降伏情形，照片 3.49 為梁腹板及加勁板之降伏情形。

(7) 層間側位移角  $\theta = \pm 4.4\%$  弧度：

位移角  $\theta = -4.4\%$  弧度時，梁下翼板受壓，發現梁下翼加勁板與梁接合之焊道端部出現裂痕（照片 3.50），梁上翼受拉，發現梁上翼加勁板與柱接合之焊道端部上方降伏（照片 3.51）。位移角  $\theta = +4.4\%$  弧度時，梁上翼受壓，發現梁上翼加勁板與梁接合之焊道端部出現裂痕，而梁下翼板受拉，發現之前梁下翼加勁板與梁接合之焊道端部裂痕閉合。位移角  $\theta = 4.4\%$  弧度結束時，梁上翼板位於加勁板端部上方由柱面算起 322 mm 處僅輕微挫屈 2 mm，梁上翼之腹板挫屈向外凸 14 mm（照片 3.52），梁下翼之腹板亦挫屈向內凹 7 mm（照片 3.53），此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 3.54 為本試體最大位移角之全景。

### 3.7.1.2 第二次試驗現象觀察

因試體 IFS4 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 IFS4 進行第二次的試驗，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痕產生，所以再進行第二次試驗之前，將加勁板與梁接合之焊道裂縫用焊液填滿（照片 3.55），本次觀察重點在於梁上下翼板之挫屈情形，當達到每個新階段的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 3.56 為試體 IFS4 試驗前之全景，圖 3.1 (e) 中之虛線為試體第二次試驗之彎矩與梁端位移關係圖。

(1) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度到  $\theta = \pm 1.0\%$  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  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = 1.5\%$  弧度結束時，於第一次試驗結束時發現之上翼板挫屈增加，梁上翼板位於加勁板端部上方由柱面算起 322 mm 處僅輕微挫屈 2 mm 增加為 4 mm。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 2.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -2.0\%$  弧度時，梁下翼板於加勁板端部上方由柱面算起 500 mm 處出現輕微 1 mm 之挫屈。位移角  $\theta = 2.0\%$  弧度結束時，由第一次試驗發現之梁上翼腹板挫屈向外凸 14 mm 增加為 20 mm，而下翼板之挫屈未發現有增加之情形。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度結束時，梁上翼腹板挫屈向增加為外凸 31 mm，而梁上翼板於加勁板端部上方由柱面算起 322 mm 處挫屈增加為 6 mm，照片 3.57 為上翼板整體挫屈之情形，而梁下翼板與柱接合之焊道上方母材出現裂痕（照片 3.58）。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 4.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = 4.0\%$  弧度結束時，上翼腹板挫屈向增加為外凸 44 mm，而梁上翼板於加勁板端部上方由柱面算起 322 mm 處挫屈增加為 26 mm，梁下翼於第一次試驗結束時發現之腹板挫屈向內凹 7 mm 增加為 19 mm。

(6) 層間側位移角  $\theta = \pm 4.4\%$  弧度：

位移角  $\theta = 4.4\%$  弧度結束時，上翼腹板挫屈向增加為外凸 52 mm，而梁上翼板於加勁板端部上方由柱面算起 322 mm 處挫屈輕微增加為 27 mm，下翼腹板挫屈增加為向內凹 26 mm，且於第一次試驗之加勁板與梁接合焊道之端部裂縫用焊液填滿後，於第二次試驗結束後未再出現焊道開裂之情形。此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 3.59 為第二次試驗結束前最大位移角之全景。

### 3.7.2 整體反應

#### 彎矩與梁端位移關係



圖 3.1 (e) 所示，位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度前試體保持在彈性範圍之內，位移角  $\theta = -0.5\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1170 kN-m，位移角  $\theta = +0.5\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1190 kN-m，將實驗之遲滯回圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 242131 kN-m。位移角超過  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度後，因梁未發生挫屈，所以彎矩持續增加，位移角增加至  $\theta = -4.4\%$  弧度時，梁最大之正彎矩 2878 kN-m，而位移角增加至  $\theta = +4.4\%$  弧度時，此時為最大之負彎矩為 2929 kN-m。

### 3.7.3 局部反應

為了了解試體 IFS4 在每一個位移角梁翼及加勁板之應變變化，所以本研究在梁上下翼板及加勁板設置許多應變計，目的在於了解 IFS4 加勁梁柱補強接頭區之梁翼橫向應變分佈，以及加入加勁板後梁翼縱向之應變分佈，用來了解梁翼縱向最大應變位置，並了解加勁板之降伏範圍。

#### 1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 3.32 與圖 3.33 為彎矩與梁上下翼板之橫向應變關係，圖中顯示梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，而由圖 3.34 可得知梁翼橫向應變的分佈，當位移角為負方向時 (Negative Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.34 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.34 (b)，由圖 3.34 可看出梁上翼板在位移角  $\theta = 4.0\%$  弧度時之最大拉應變為 0.82%，而最大壓應變為 0.77%，而梁下翼板在位移角  $\theta = 4.0\%$  弧度時之最大拉應變為 0.48%，而最大壓應變為 0.77%。

#### 2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 3.35 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而圖 3.36 可得知梁翼縱向應變的分佈，而此圖可看出 IFS4 加勁梁柱補強接頭受拉時，其最大應變並非集中在梁柱接頭焊到處，而已將最大之應變推往由柱面算起 470 mm

處，即 1/4 梁深之位置。

### 3.加勁板應變分佈

圖 3.37 及圖 3.38 為彎矩與加勁板之應變關係，而圖 3.39 為加勁板之應變分佈，由此圖可看出加勁板與試體 IFS3 之加勁板相同，於位移角  $\theta = 2.0\%$  弧度時才降伏，且加勁板之中性軸出現在距梁翼板內側 120 mm 處，而此位置與 2.2.1.1 節中公式推導之中性軸介於  $2/3d_s$  (117 mm) 至  $\sqrt{1/2}d_s$  (124 mm) 之間吻合。而圖 3.40 為加勁板之應力圖，此圖為利用圖 3.39 所測得之應變配合鋼材之應力應變曲線而得，由此圖可看出加勁板拉壓之降伏範圍，且其範圍由梁翼板與加勁板接合處起算，而 IFS4 於位移角  $\theta = 4.0\%$  弧度時，加勁板受拉時之最大降伏範圍為 90 mm，受壓時之最大降伏範圍為 55 mm。

## 3.8 試體 IFS5 試驗結果

### 3.8.1 試驗現象觀察

#### 3.8.1.1 第一次試驗現象觀察

照片 3.60 為試體 IFS5 試驗前之全景，圖 3.1 (f) 為試體彎矩與梁端位移關係圖，當達到每個新階段的位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，觀察重點在於梁上下翼板之降伏挫屈情形，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、梁柱交會區及加勁板均無發現任何降伏現象發生。

(1) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = 0.375\%$  弧度結束往位移角  $\theta = 0.5\%$  弧度走時，油壓千斤頂忽然不受控制的快速前後擺動，此時緊急將試驗中的油壓千斤頂關閉

並卸除油壓，檢查原因後發現是因為油壓千斤頂控制線接觸不良，所以導致油壓千斤頂不受控制的前後擺動，並檢查資料擷取系統在千斤頂不受控制的擺動時，試體彎矩與梁端位移關係圖，由圖中顯示千斤頂在擺動時試體仍處於線彈性階段，所以將油壓千斤頂歸零後繼續層間側位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度的試驗。位移角  $\theta = 0.5\%$  弧度結束時，發現梁上下翼板均已出現降伏，上翼板之降伏範圍由柱面算起 400 mm (照片 3.61)，下翼板之降伏範圍由柱面算起 300 mm (照片 3.62)，而加勁板無發現任何降伏現象。

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

位移角  $\theta = -0.75\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 490 mm，梁下翼板之降伏範圍亦擴大，其範圍由柱面算起 300 mm。位移角  $\theta = +0.75\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍未擴大，但梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 450 mm。位移角  $\theta = 0.75\%$  弧度結束時，梁上翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 520 mm，而梁下翼板之降伏範圍未擴大，而加勁板無發現任何降伏現象。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1.0\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 580 mm，梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 640 mm。位移角  $\theta = +1.0\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 660 mm，梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 660 mm。位移角  $\theta = 1.0\%$  弧度結束時，梁上翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 740 mm (照片 3.63)，梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 690 mm (照片 3.64)，此時梁腹板於加勁板端部出現輕微降伏，而加勁板無發現任何降伏現象。

(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，其範圍由柱面算起 790 mm，梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 800 mm。位移角  $\theta = +1.5\%$  弧度時，梁上翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 900 mm，梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 890 mm。位移角  $\theta = 1.5\%$  弧度結束時，梁上翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 980 mm，梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 950 mm，此時梁腹板於加勁板端部降伏範圍擴大（照片 3.65），而加勁板無發現任何降伏現象。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 2.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = 2.0\%$  弧度結束時，梁上翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 1040 mm，梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 1040 mm，此時梁腹板於加勁板端部降伏範圍持續擴大，而加勁板無發現任何降伏現象。

(6) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度結束時，梁上下翼板降伏範圍之觀察，因塗石膏漆的範圍僅到由柱面算起 1040 mm 處，所以降伏範圍是否擴大之觀察無法在向上提昇，因此在此位移角梁上下翼板降伏範圍仍僅紀錄為 1040 mm，但梁上下翼板石膏漆仍持續剝落，而加勁板由柱面算起 100 mm 處發現輕微之降伏現象。

(7) 層間側位移角  $\theta = \pm 4.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = 4.0\%$  弧度結束時，而照片 3.66 為梁上翼板之降伏情形，照片 3.67 為梁下翼板之降伏情形，照片 3.68 為梁腹板之降伏情形，而加勁板由柱面算起 100 mm 處之降伏些微擴大。

(8) 層間側位移角  $\theta = \pm 4.7\%$  弧度：

位移角  $\theta = -4.7\%$  弧度時，梁下翼板受壓，發現梁下翼板於加勁板端

部上方由柱面算起 550 mm 處挫屈 8 mm (照片 3.69)，在同樣位置梁下翼之腹板挫屈 18 mm (照片 3.70)。位移角  $\theta = +4.7\%$  弧度時，梁上翼受壓，梁上翼板未發現挫屈，而梁上翼腹板於加勁板端部上方由柱面算起 550 mm 處挫屈 11 mm (照片 3.71)。位移角  $\theta = 4.7\%$  弧度結束時，梁上翼腹板於加勁板端部上方由柱面算起 550 mm 處挫屈 18 mm，而梁下翼板於加勁板端部上方由柱面算起 550 mm 處挫屈 7 mm，在同樣位置梁下翼之腹板挫屈 6 mm。此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 3.72 為本試體最大位移角之全景。

### 3.8.1.2 第二次試驗現象觀察

因試體 IFS5 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 IFS5 進行第二次的試驗，本次觀察重點在於梁上下翼板之挫屈情形，當達到每個新階段的位移角下之最大位移時，將實驗暫停以進行觀察與紀錄，圖 3.1 (f) 中之虛線為試體第二次試驗之彎矩與梁端位移關係圖。

(1) 層間側位移角  $\theta = \pm 0.375\%$  弧度到  $\theta = \pm 0.75\%$  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  $\theta = \pm 1.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1.0\%$  弧度時，梁下翼板受壓，發現梁下翼板於加勁板端部上方由柱面算起 570 mm 處挫屈 5 mm，而梁下翼之腹板於加勁板端部上方由柱面算起 600 mm 處挫屈 11 mm (照片 3.73)。位移角  $\theta = +1.0\%$  弧度時，梁上翼板受壓，發現梁上翼板於加勁板端部上方由柱面算起 590 mm 處挫屈 4 mm，在同樣位置梁下翼之腹板挫屈 12 mm (照片 3.74)。

(3) 層間側位移角  $\theta = \pm 1.5\%$  弧度：

位移角  $\theta = -1.5\%$  弧度時，梁下翼板受壓，發現梁下翼板由柱面算起

570 mm 處最大挫屈 6 mm (照片 3.75)，而梁下翼之腹板由柱面算起 580 mm 處挫屈 14 mm。位移角  $\theta = +1.5\%$  弧度時，梁上翼板受壓，發現梁上翼板由柱面算起 520 mm 處挫屈 8 mm (照片 3.76)，而梁上翼之腹板於加勁板端部上方由柱面算起 540 mm 處挫屈 14 mm。

(4) 層間側位移角  $\theta = \pm 2.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -2.0\%$  弧度時，梁下翼板受壓，發現梁下翼板於加勁板端部上方由柱面算起 560 mm 處挫屈 8 mm，而梁下翼之腹板於加勁板端部上方由柱面算起 590 mm 處挫屈 17 mm。位移角  $\theta = +2.0\%$  弧度時，梁上翼板受壓，發現梁上翼板由柱面算起 500 mm 處挫屈 9 mm，而梁上翼之腹板由柱面算起 560 mm 處挫屈 16 mm。位移角  $\theta = 2.0\%$  弧度結束時，發現上翼板與柱接合之焊道上方母材出現裂痕，由照片 3.77 可看出上翼板母材之裂痕及加勁板之降伏情形，而下翼加勁板於梁翼板接合之焊道端部之翼板母材出現裂痕 (照片 3.78)。

(5) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.0\%$  弧度：

位移角  $\theta = -3.0\%$  弧度時，梁下翼板受壓，發現梁下翼板由柱面算起 560 mm 處挫屈 11 mm，而梁下翼之腹板由柱面算起 600 mm 處挫屈 22 mm。位移角  $\theta = +3.0\%$  弧度時，梁上翼板受壓，發現梁上翼板由柱面算起 500 mm 處挫屈 12 mm，而梁上翼之腹板由柱面算起 570 mm 處挫屈 20 mm。位移角  $\theta = 3.0\%$  弧度結束時，下翼加勁板於梁翼板接合之焊道端部之翼板母材裂痕擴大。

(6) 層間側位移角  $\theta = \pm 3.6\%$  弧度：

位移角  $\theta = -3.6\%$  弧度時，梁下翼板受壓，發現梁下翼板於加勁板端部上方由柱面算起 560 mm 處挫屈 21 mm，而梁下翼之腹板於加勁板端部上方由柱面算起 580 mm 處挫屈 32 mm。位移角  $\theta = +3.6\%$  弧度時，梁上翼板受壓，發現梁上翼板由柱面算起 520 mm 處挫屈 20 mm，

而梁上翼之腹板由柱面算起 580 mm 處挫屈 29 mm，下翼加勁板於梁翼板接合之焊道端部之翼板母材裂痕為 7 mm (照片 3.79)。位移角  $\theta = 3.6\%$  弧度結束時，上翼板與柱接合之焊道上方母材裂痕擴大，由照片 3.80 可看出上翼板母材之裂痕及加勁板之降伏情形，下翼加勁板於梁翼板接合之焊道端部之翼板母材裂痕擴大為 10 mm，此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，而照片 3.81 為第二次試驗結束前最大位移角之全景，照片 3.82 為上翼板之挫屈情形，照片 3.83 為下翼板之挫屈情形。

### 3.8.2 整體反應

#### 彎矩與梁端位移關係

圖 3.1 (f) 所示，位移角  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度前試體保持在彈性範圍之內，位移角  $\theta = -0.5\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1154 kN-m，位移角  $\theta = +0.5\%$  弧度時之最大彈性彎矩為 1198 kN-m，將實驗之遲滯回圈作線性回歸，可得實驗之彈性撓曲勁度為 243403 kN-m。位移角超過  $\theta = \pm 0.5\%$  弧度後，因梁未發生挫屈，所以彎矩持續增加，位移角增加至  $\theta = -4.7\%$  弧度時，梁最大之正彎矩 2951 kN-m，而位移角增加至  $\theta = +4.7\%$  弧度時，此時為最大之負彎矩為 2939 kN-m。

### 3.8.3 局部反應

為了了解試體 IFS5 在每一個位移角梁翼及加勁板之應變變化，所以本研究在梁上下翼板及加勁板設置許多應變計，目的在於了解 IFS5 加勁梁柱補強接頭區之梁翼橫向應變分佈，以及加入加勁板後梁翼縱向之應變分佈，用來了解梁翼縱向最大應變位置，並了解加勁板之降伏範圍。

#### 1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 3.41 與圖 3.42 為彎矩與梁上下翼板之橫向應變關係，圖中顯示梁上下翼板的應變均超過鋼材降伏應變，而由圖 3.43 可得知梁翼橫向應變的分佈，當位移角為負方向時 (Negative Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.43 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 3.43 (b)，由圖 3.43 可看出梁上翼板在位移角  $\theta=4.0\%$  弧度時之最大拉應變為 0.92%，而最大壓應變為 0.64%，而梁下翼板在位移角  $\theta=4.0\%$  弧度時之最大拉應變為 0.61%，而最大壓應變為 0.80%。

## 2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 3.44 與圖 3.45 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而圖 3.46 可得知梁翼縱向應變的分佈，而此圖可看出 IFS5 加勁梁柱補強接頭受拉時，其最大應變並非集中在梁柱接頭焊到處，而已將最大之應變推往由柱面算起 470 mm 處，即  $1/4$  梁深之位置。

## 3. 加勁板應變分佈

圖 3.47 及圖 3.48 為彎矩與加勁板之應變關係，而圖 3.49 為加勁板之應變分佈，由此圖可看出加勁板與 IFS3、IFS4 相同於位移角  $\theta=2.0\%$  弧度時才出現降伏，而加勁板之中性軸位置因應變計未在  $2/3d_s$  至  $\sqrt{1/2}d_s$  之間，即距梁翼 205 mm 至 218 mm 之間放置，所以未能看出是否與推導之中性軸位置相同，但本研究將會進行有限元素分析，來證明此加勁板之中性軸位置與推導之中性軸位置相同。而圖 3.50 為加勁板之應力圖，此圖為利用圖 3.49 所測得之應變配合鋼材之應力應變曲線而得，由此圖可看出加勁板拉壓之降伏範圍，且其範圍由梁翼板與加勁板接合處起算，而 IFS5 於位移角  $\theta=4.0\%$  弧度時，加勁板受拉時之最大降伏範圍為 80 mm，受壓時之最大降伏範圍為 80 mm。

## 3.9 試體 IFS 試驗結果比較



### 3.9.1 實驗現象比較

表 3.1 為所有有 IFS 加勁板之梁柱接頭試體與未加勁梁柱接頭 UR 試體之破壞模式及到達之梁端最大塑性轉角，由表中可發現所有含加勁板 IFS 試體之破壞在未達 4% 弧度時，其破壞均發生在層間側位移角  $\theta=3.0\%$  弧度時，而梁柱接頭之焊道因加入 IFS 加勁板後梁翼板勁度提高，而使弱面移往梁柱接頭焊道。而試體 IFS4 及試體 IFS5 為 IFS 加勁板的成功案例，因梁柱介面之  $M_{cap}/M_{dem}$  均大於 1.0，並進行兩次反覆載重實驗，於第一次實驗結束時梁挫屈的情形均很輕微，梁翼板最大挫屈幅度分別為 2 mm 及 7 mm，而梁腹最大挫屈幅度分別為 14 mm 及 18 mm，而挫屈現象於第二次實驗結束時才趨於嚴重，梁翼板最大挫屈幅度分別為 27 mm 及 21 mm，而梁腹最大挫屈幅度分別為 52 mm 及 32 mm，而將梁翼板及梁腹板之最大幅度及位置整理，如表 3.2 所示。

### 3.9.2 整體反應比較

#### 彎矩與梁端位移關係

圖 3.51 為所有加入 IFS 加勁板之梁柱接頭試體與未加勁梁柱接頭 UR 試體之彎矩與位移關係包絡線圖，由圖中可看出未加勁梁柱接頭之彎矩較已加入 IFS 加勁板之梁柱接頭彎矩小，主要原因是在於梁柱接頭產生塑角位置的不同，未加勁梁柱接頭之塑角位置在梁柱接頭處，所以導致整體的彎矩較小，而 IFS 梁柱接頭試體已將塑角的位置推離柱面，所以造成柱面整體的彎矩較大。利用試驗中最大之柱面彎矩  $M_{dem}$ ，可反推得塑角處之彎矩  $M_{PH}$ ，由此可得實驗中試體破壞前之梁彎矩強度需求比  $\alpha$  及梁塑角處之超強因子  $\beta$  值，如表 3.3 所示。而表 3.4 為 IFS 試體於各層間側位移角之梁彎矩強度需求比  $\alpha$ ，由於試體 IFS1、IFS2 及 IFS3 於層間側位移角  $\theta=3.0\%$  弧

度時發生破壞，而此時之梁彎矩強度需求比 $\alpha$ 均小於 1.0，表示此時之梁彎矩需求高於強度，而試體 IFS4、IFS5 在層間側位移角 $\theta=3.0\%$ 弧度時其梁彎矩強度需求比 $\alpha$ 均大於 1.0，而試體 IFS4 於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時其梁彎矩強度需求比 $\alpha$ 略小於 1.0，但試驗時亦未發生破壞。

### 3.9.3 局部反應比較

#### 1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈比較

圖 3.52 及圖 3.53 為所有加入 IFS 加勁板之梁柱接頭試體與未加勁梁柱接頭 UR 試體之梁上下翼板橫向應變比較圖，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，加勁與未加勁接頭之梁翼板壓應變均較小。而圖 3.54 至圖 3.57 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橫向應變比較圖，梁翼受拉時由圖中可看出試體 IFS1 之應變較其他試體為高，其原因為此試體在加勁板梁柱接頭區進行削切，導致斷面幾何不連續所以造成削切處應力集中，使得此範圍之應變較其他加勁板尺寸相同之試體 IFS2 及 IFS3 為高。而試體 IFS2 由試驗觀察現象發現其破壞為位移角 $\theta=2.0\%$ 弧度結束往 $\theta=+3.0\%$ 弧度走時，梁下翼板焊道沿柱面將柱表面拉起，觀察破壞前位移角 $\theta=2.0\%$ 弧度時下翼板受拉之應變比較，如圖 3.55 (b) 所示，圖中顯示試體 IFS2 下翼板角落之應變較其他加勁板尺寸相同之試體 IFS1 及 IFS3 為高，檢討原因後發現此試體之下翼加勁板所承受之應變非常小，如圖 3.21 (b) 所示，此現象即代表此下翼加勁板所貢獻之強度非常小，力量沒有傳到加勁板上，因此梁下翼板之應變較其他試體為高。而試體 IFS3 之加勁板尺寸與梁尺寸均和試體 IFS2 相同，但由圖 3.55 (b) 中發現其梁下翼板之應變卻較試體 IFS2 小，且觀察試體 IFS3 之下翼加勁板應變，如圖 3.30(b)所示，由圖中發現下翼加勁板所承受之應變較試體 IFS2

大且對稱，代表其所貢獻之強度大且力量有傳到加勁板上，而此加勁板應變及貢獻強度之差異，即在於試體 IFS3 之加勁板焊接位置較接近柱面之側板，如圖 2.9 及圖 2.10 所示，試體 IFS2 加勁板焊接於梁翼板與腹板之中心，而試體 IFS3 加勁板焊接於梁翼板最外側，而柱尺寸之差異如表 2.3 所示，試體 IFS2 之柱寬為 700 mm，而 IFS3 其柱寬為 550 mm，此兩項差異有一個共通點，即為梁翼加勁板的力量流向箱形柱兩側翼板之距離，其距離愈近愈能提高加勁板強度之貢獻，試體 IFS2 其加勁板焊接位置為梁翼板與腹板之中心且箱形柱寬為 700 mm，計算其中一片加勁板之焊接位置至箱形柱翼板距為 252 mm，而試體 IFS3 加勁板焊接位置為梁翼最外側且箱形柱寬為 550 mm，計算其中一片加勁板之焊接位置至箱形柱翼板距為 148 mm，兩個試體將加勁板的力量流向箱形柱兩側翼板之距離相差了 41%，而此差距決定了加勁板所能貢獻之有效性，因此試體 IFS2 加勁板的有效性小於試體 IFS3。而試體 IFS4 試及體 IFS5 因其梁彎矩強度需求比  $\alpha$  均大於其他 IFS 試體，所以梁翼應變如預期的較其他 IFS 試體小。

## 2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈比較

圖 3.58 及圖 3.59 為所有加入 IFS 加勁板之梁柱接頭試體與未加勁梁柱接頭 UR 試體之梁上下翼板縱向應變比較圖，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在由柱面算起 60 mm，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，而此位置與 2.2.1 節 IFS 補強接頭試體設計中所假設的塑角位置相同，其塑角位置發生在離加勁板端部  $1/4d_b$  處。

## 3. 加勁板應變分佈比較

圖 3.60 為 IFS 試體加勁板應變比較圖，由圖中發現除了試體 IFS1 因加勁板削切，導致應變較其他試體高之外，其他試體應變的趨勢都相當接近，而試體 IFS2 由於加勁板上所貼之應變計太少，所以未將其畫入圖 3.60 中。

而圖 3.61 為 IFS 試體加勁板應力比較圖，將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 3.62 所示，因試體 IFS1 及試體 IFS2 未於試體之上翼及下翼加勁板貼上對稱之應變計，所以無法求得加勁板提供之彎矩  $M_s$ 。由圖 3.61 可整理出各試體加勁板之受拉及受壓降伏範圍，而其範圍由梁翼板與加勁板接合處起算，如表 3.5 所示，由表中可得各試體之受拉降伏範圍介於 60 mm 至 100 mm 之間，而受壓之降伏範圍介於 -40 mm 至 -80 mm 之間，而此降伏範圍在每一個層間側位移角之大小，決定加勁板在實驗中於多少層間側位移角時達到全斷面降伏，本研究將圖 3.62 中加勁板於實驗中每一個層間側位移角提供之彎矩  $M_s$  除上加勁板所提供之塑性彎矩  $M_{ps}$  可得於實驗中所能達到之塑性彎矩  $M_{ps}$  比例，如圖 3.63 所示，圖中顯示試體 IFS3 於破壞前加勁板最高提供  $0.86M_{ps}$ ，而試體 IFS4 於層間側位移角  $\theta=4.0\%$  弧度時加勁板提供了  $0.85M_{ps}$ ，由此可看出 IFS 加勁板於層間側位移角  $\theta=4.0\%$  弧度時最高僅能提供  $0.86M_{ps}$ 。而將圖 3.62 中加勁板於實驗中每一個層間側位移角提供之彎矩  $M_s$ ，除上實驗中油壓千斤頂至柱面之彎矩  $M_{ACT}$ ，可得加勁板所提供的彎矩佔整體彎矩的比例，如圖 3.64 所示，圖中顯示試體 IFS3 於層間側位移角  $\theta=2.0\%$  弧度時，加勁板提供之彎矩佔整體彎矩 25% 後加勁板提供之彎矩就未再增加，所以導致層間側位移角  $\theta=3.0\%$  弧度時試體之破壞。而試體 IFS4 及試體 IFS5 所提供之最大彎矩分別佔整體彎矩的 29% 及 33%，此二試體為實驗成功的例子，由此可看出 IFS 加勁板必須要佔整體彎矩的 29% 以上，試體才會成功。