

第四章 FDWS 試體實驗與結果分析

4.1 前言

本研究共製作三組 FDWS 補強接頭試體，而每組試體均由鋼柱，鋼梁及 FDWS 加勁板組合而成，而鋼柱採用箱形柱，鋼梁為 I 形梁。本章 4.2 節介紹試體製作，4.3 節介紹試體 FDWS1 試驗結果與分析，4.4 節為試體 FDWS2 試驗結果與分析，4.5 節為試體 FDWS3 試驗結果與分析，4.6 節為試體 FDWS 試驗結果與分析之比較。

4.2 試體製作

本研究所有 FDWS 試體中，有一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 FDWS1，其梁柱接頭之焊接為工地現場完成，而試體 FDWS2 及試體 FDWS3 之梁柱接頭焊接是在交通大學結構實驗室中完成，且試體之鋼梁、鋼柱及加勁板均由鴻舜鋼鐵廠負責製作。

4.3 試體 FDWS1 試驗結果

4.3.1 試驗現象觀察

照片 4.1 為試體 FDWS1 試驗前之全景，圖 4.1 (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，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。

(2) 層間側位移角 $\theta = \pm 1.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -1.0\%$ 弧度時，梁上下翼板位於加勁板端部均出現輕微的

降伏。位移角 $\theta = 1.0\%$ 弧度結束時，梁上下翼板位於加勁板端部的降伏擴大，照片 4.2 為上翼板之降伏情形，照片 4.3 為下翼板之降伏情形，而加勁板無發現任何降伏現象發生。

(3) 層間側位移角 $\theta = \pm 1.5\%$ 弧度：

位移角 $\theta = 1.5\%$ 弧度結束時，梁上下翼板位於加勁板端部的降伏持續擴大，而加勁板無發現任何降伏現象發生。

(4) 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，其範圍由柱面算起 800 mm (照片 4.4)。位移角 $\theta = +2.0\%$ 弧度時，梁下翼板之降伏範圍擴大，其範圍由柱面算起 900 mm (照片 4.5)，此時梁腹板發生輕微降伏，而梁上翼板距柱面 500 mm 處有微小局部挫屈發生。

(5) 層間側位移角 $\theta = \pm 3.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -3.0\%$ 弧度時，梁下翼板於加勁板端部發生挫屈 (照片 4.6)。位移角 $\theta = +3.0\%$ 弧度時，梁上翼板距柱面 500 mm 處局部挫屈範圍擴大 (照片 4.7)，此時梁腹板挫屈亦明顯，其挫屈範圍由柱面算起 390 mm 至 790 mm 處，而挫屈幅度達 25 mm (照片 4.8)。

(6) 層間側位移角 $\theta = \pm 4.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -4.0\%$ 弧度時，梁下翼板距柱面 610 mm 處嚴重挫屈 (照片 4.9)。位移角 $\theta = +4.0\%$ 弧度時，梁上翼板距柱面 630 mm 處亦嚴重挫屈，其挫屈範圍達 500 mm (照片 4.10)，而梁腹板在距柱面 580 mm 處之挫屈幅度達 70 mm。

(7) 層間側位移角 $\theta = \pm 4.7\%$ 弧度：

位移角 $\theta = +4.7\%$ 弧度時，梁上翼板挫屈幅度高達 105 mm (照片 4.11)。位移角 $\theta = 4.7\%$ 弧度結束時，未發現梁柱接頭的焊道或加勁板與梁柱接合之焊道有任何裂縫發生，且加勁板之石膏漆未有掉漆降伏

之現象。此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 4.12 為本試體最大位移角之全景。

4.3.2 整體反應

此節主要是藉由分析試驗數據了解梁柱梁翼側板加勁接頭的行為：

彎矩與梁端位移關係

圖 4.1 (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 1328 kN-m，位移角 $\theta = +0.75\%$ 弧度時之最大彈性彎矩為 1350 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 191498 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，而位移角最大增加至 $\theta = \pm 4.7\%$ 弧度，但梁之最大正負彎矩則是出現在位移角 $\theta = \pm 3.0\%$ 弧度時，而當位移角持續增加至 $\theta = \pm 4.7\%$ 弧度時因梁翼嚴重挫屈，所以導致彎矩強度持續下降，而位移角 $\theta = \pm 3.0\%$ 弧度時，梁之最大正彎矩為 1885 kN-m，而梁之最大負彎矩為 1952 kN-m。

4.3.3 局部反應

1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 4.2 與圖 4.3 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，而由圖 4.4 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 4.4 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 4.4 (b)，由圖 4.4 可看出梁上翼板在位移角 $\theta = 3.0\%$ 弧度時應變為最大，而位移角 $\theta = 4.0\%$ 弧度時因為塑角處嚴重挫屈，導致彎矩強度降低，所以應變較位移角 $\theta = 3.0\%$ 弧度時低，而位移角 $\theta = 3.0\%$ 弧度時梁上翼板之最大

拉應變為 0.67%，而最大壓應變為 0.45%，而梁下翼板在位移角 $\theta=3.0\%$ 弧度時之最大拉應變為 0.61%，而最大壓應變為 0.47%。

2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 4.5 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而應變計編號 S12 之應變計於資料擷取系統中無收到任何資料如圖 4.5 (d) 所示，而圖 4.6 可得知梁翼縱向應變的分佈，而此圖可看出 FDWS1 加勁梁柱補強接頭之梁上翼板，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，而梁下翼板因 S12 應變計無讀到任何資料，所以未呈現出最大應變已遠離梁柱接頭之情形。

4.4 試體 FDWS2 試驗結果

4.4.1 試驗現象觀察

4.4.1.1 第一次試驗現象觀察

照片 4.13 為試體 FDWS2 試驗前之全景，圖 4.1 (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，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。

(2) 層間側位移角 $\theta=\pm 0.75\%$ 弧度：

位移角 $\theta=0.75\%$ 弧度結束時，梁上下翼板出現降伏現象，照片 4.14 為上翼板降伏情形，照片 4.15 為下翼板降伏情形，且梁腹板於加勁板端部亦出現輕微的降伏，而加勁板無發現任何降伏現象發生。

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

位移角 $\theta=1.0\%$ 弧度結束時，梁上下翼板及梁腹板於加勁板端部之降

伏範圍均擴大，照片 4.16 為梁腹板於加勁板端部降伏擴大之情形。位移角 $\theta=1.5\%$ 弧度結束時，梁上下翼板及梁腹板於加勁板端部之降伏範圍持續擴大，且發現梁上下翼板之側面於加勁板端部均出現塊狀降伏現象（照片 4.17），而加勁板無發現任何降伏現象發生。

(4) 層間側位移角 $\theta=\pm 2.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta=2.0\%$ 弧度結束時，梁上下翼板及梁腹板於加勁板端部之降伏範圍亦持續擴大，照片 4.18 為上翼板降伏擴大之情形，照片 4.19 為下翼板降伏擴大之情形，照片 4.20 為梁腹板於加勁板端部降伏擴大之情形，且加勁板於靠近梁柱接頭焊道的地方出現輕微降伏現象，此時尚未發現梁有任何挫屈的現象。

(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、梁腹板於加勁板端部及加勁板之降伏範圍持續擴大，照片 4.21 為加勁板降伏範圍擴大之情形，此時仍尚未發現梁有任何挫屈的現象。

(6) 層間側位移角 $\theta=\pm 4.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta=-4.0\%$ 弧度時，梁下翼板距柱面 500 mm 處輕微挫屈，其挫屈幅度為 3 mm，且靠近下翼之腹板距柱面 600 mm 處亦產生輕微之挫屈，其挫屈幅度為 7 mm。位移角 $\theta=+4.0\%$ 弧度時，梁上翼板距柱面 520 mm 處輕微挫屈，其挫屈幅度為 2 mm，而靠近上翼之腹板距柱面 600 mm 處亦產生輕微之挫屈，其挫屈幅度為 6 mm。位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度結束時，發現梁與柱接合之焊道上方母材出現降伏。

(7) 層間側位移角 $\theta=\pm 4.4\%$ 弧度：

位移角 $\theta=-4.4\%$ 弧度時，梁下翼板距柱面 500 mm 處挫屈幅度擴大，其挫屈幅度為 14 mm（照片 4.22），且靠近下翼之腹板距柱面 600 mm 處挫屈幅度亦擴大，其挫屈幅度為 16 mm（照片 4.23）。位移角 θ

$\theta = +4.4\%$ 弧度時，梁上翼板距柱面 520 mm 處挫屈幅度擴大，其挫屈幅度為 20 mm，而靠近上翼之腹板距柱面 600 mm 處挫屈幅度亦擴大，其挫屈幅度為 31 mm (照片 4.24)。位移角 $\theta = 4.4\%$ 弧度結束時，發現梁上下翼板與柱接合之焊道上方母材均出現裂痕，且裂痕裂進加勁板與梁接合之焊道，而加勁板之降伏範圍持續擴大，照片 4.25 為上翼板與柱接合之焊道上方母材裂痕及加勁板降伏情形，照片 4.26 為下翼板與柱接合之焊道上方母材裂痕及加勁板降伏情形。此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 4.27 為本試體最大位移角之全景。

4.4.1.2 第二次試驗現象觀察

因試體 FDWS2 於第一次試驗結束後，由試驗觀察現象得知梁翼及梁腹板均出現挫屈的現象，且上下翼板與柱接合之焊道上方母材均出現細微裂痕，因此將試體 FDWS2 進行第二次的試驗，想藉由第二次的試驗得知試體最終是否破壞及其破壞的位置和挫屈情形，本次觀察重點在於梁上下翼板之挫屈情形，及上下翼板與柱接合之焊道上方母材均出現的裂痕是否持續擴大至破壞，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 4.28 為試體 FDWS2 第二次試驗前之全景，圖 4.1 (c) 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，梁下翼板距柱面 500 mm 處輕微挫屈，其挫屈幅度為 4 mm，且靠近下翼之腹板距柱面 600 mm 處亦產生輕微之挫屈，其挫屈幅度為 7 mm，而上翼板於加勁板端部上方亦發現挫屈，其挫屈幅度為 5 mm。位移角 $\theta = 1.0\%$ 弧度結束時，上下翼板於加勁

板端部均出現裂痕，而下翼板之裂痕最明顯，其深及下翼板母材 3 mm（照片 4.29）。

(3) 層間側位移角 $\theta = \pm 1.5\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -1.5\%$ 弧度時，梁下翼板距柱面 500 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 5 mm，且靠近下翼之腹板距柱面 600 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 8 mm，而上翼板於加勁板端部上方亦發現挫屈，其挫屈幅度為 5 mm。位移角 $\theta = 1.5\%$ 弧度結束時，上下翼板於加勁板端部出現的裂痕有擴大之趨勢，其裂痕之深度趨於明顯，而上下翼板與柱接合之焊道上方母材所出現的裂痕情形與第一次試驗所觀察到的一樣，並無擴大的趨勢。

(4) 層間側位移角 $\theta = \pm 2.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -2.0\%$ 弧度時，梁下翼板距柱面 500 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 7 mm，且靠近下翼之腹板距柱面 600 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 13 mm，而上翼板於加勁板端部上方亦發現挫屈，其挫屈幅度為 5 mm。位移角 $\theta = 2.0\%$ 弧度結束時，上下翼板於加勁板端部出現的裂痕有擴大之趨勢，而下翼板之裂痕其深及下翼板母材擴大為 4 mm，而上下翼板與柱接合之焊道上方母材亦出現裂痕擴大的趨勢。

(5) 層間側位移角 $\theta = \pm 3.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -3.0\%$ 弧度時，梁下翼板距柱面 500 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 10 mm，且靠近下翼之腹板距柱面 600 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 19 mm，而上翼板於加勁板端部上方亦發現挫屈，其挫屈幅度為 5 mm。位移角 $\theta = 3.0\%$ 弧度結束時，上下翼板於加勁板端部出現的裂痕持續擴大，而下翼板之裂痕其深及下翼板母材擴大為 7 mm，而上下翼板與柱接合之焊道上方母材出現的裂痕亦持續的擴大（照片 4.30）。

(6) 層間側位移角 $\theta = \pm 4.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -4.0\%$ 弧度時，梁下翼板距柱面 500 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 22 mm，且靠近下翼之腹板距柱面 600 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 28 mm，而上翼板於加勁板端部上方亦發現挫屈，其挫屈幅度為 5 mm。位移角 $\theta = 4.0\%$ 弧度結束時，上下翼板於加勁板端部出現的裂痕持續擴大，而下翼板之裂痕其深及下翼板母材 10 mm (照片 4.31)，而上下翼板與柱接合之焊道上方母材出現的裂痕與位移角 $\theta = 3.0\%$ 弧度結束時相同，此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，而照片 4.32 為第二次試驗結束前最大位移角之全景，照片 4.33 為梁翼板最終之挫屈情形，照片 4.34 為梁腹板最終之挫屈情形。

4.4.2 整體反應

此節主要是藉由分析試驗數據了解梁柱梁翼側板加勁接頭的行為：

彎矩與梁端位移關係

圖 4.1 (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 1640 kN-m，位移角 $\theta = +0.75\%$ 弧度時之最大彈性彎矩為 1701 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 241095 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 $\theta = -4.4\%$ 弧度時，梁最大之正彎矩 2937 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 2908 kN-m。

4.4.3 局部反應

1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 4.7 與圖 4.8 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，而由圖 4.9 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 4.9 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 4.9 (b)，由圖 4.9 可看出梁上翼板在位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時之最大拉應變為 1.03%，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 0.44%，而最大壓應變為 0.75%。

2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 4.10 與圖 4.11 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而圖 4.12 可得知梁翼縱向應變的分佈，而此圖可看出 FDWS2 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道處，而已將最大之應變推往加勁板端部 $1/4d_b$ 之位置，即距柱面 470 mm 處。

3. 加勁板應變分佈

圖 4.13 及圖 4.14 為彎矩與加勁板之應變關係，而圖 4.15 為加勁板之應變分佈，由此圖可看出加勁板於位移角 $\theta=2.0\%$ 弧度時才出現降伏，且加勁板僅於與上下翼板相接處有較大之應變，而靠近腹板中心線的地方應變均非常小。而圖 4.16 為加勁板之應力圖，此圖為利用圖 4.15 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之接合處起算，而 FDWS2 於位移角 $\theta=-4.0\%$ 弧度時，加勁板受拉時之最大降伏範圍為 100 mm，受壓時之最大降伏範圍為 99 mm，而位移角 $\theta=+4.0\%$ 弧度時，加勁板受拉時之最大降伏範圍為 99 mm，受壓時之最大降伏範圍為 92 mm。

4.5 試體 FDWS3 試驗結果

4.5.1 試驗現象觀察

4.5.1.1 第一次試驗現象觀察

照片 4.35 為試體 FDWS3 試驗前之全景，圖 4.1 (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，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 $\theta = 0.375\%$ 弧度結束時，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。位移角 $\theta = 0.5\%$ 弧度結束時，發現梁上下翼板均出現輕微的降伏現象，照片 4.36 為梁上翼板之降伏情形，照片 4.37 為梁下翼板之降伏情形，而加勁板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，梁上下翼板之降伏範圍擴大，且梁腹板亦出現輕微的降伏現象，而加勁板無發現任何降伏現象發生。

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

位移角 $\theta = 1.0\%$ 弧度結束時，梁上下翼板及梁腹板之降伏範圍持續擴大，照片 4.38 為梁下翼板內側之降伏情形。位移角 $\theta = 1.5\%$ 弧度結束時，梁上下翼板及梁腹板之降伏範圍仍持續擴大，照片 4.39 為梁上翼板之降伏情形，照片 4.40 為梁下翼板之降伏情形，照片 4.41 為梁腹板之降伏情形，而加勁板無發現任何降伏現象發生。

(4) 層間側位移角 $\theta = \pm 2.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = 2.0\%$ 弧度結束時，梁上下翼板及梁腹板之降伏範圍亦持續擴大，且梁翼及梁腹均未發現任何挫屈現象，而加勁板無發現任何降伏現象發生。

(5) 層間側位移角 $\theta = \pm 3.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -3.0\%$ 弧度時，發現加勁板在靠近下翼梁柱接合處出現輕

微降伏。位移角 $\theta = +3.0\%$ 弧度時，加勁板在靠近上翼梁柱接合處出現輕微降伏，由此現象發現加勁板會在受壓時先降伏。位移角 $\theta = 3.0\%$ 弧度結束時，梁上下翼板、梁腹板及加勁板之降伏範圍持續擴大，照片 4.42 為加勁板在靠近上翼梁柱接合處降伏範圍擴大之情形，此時仍尚未發現梁有任何挫屈的現象。

(6) 層間側位移角 $\theta = \pm 4.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -4.0\%$ 弧度時，靠近梁下翼之加勁板與梁接合之焊道端部因受壓出現裂痕。位移角 $\theta = +4.0\%$ 弧度時，靠近梁上翼加勁板與梁接合之焊道端部因受壓出現裂痕。位移角 $\theta = 4.0\%$ 弧度結束時，梁上下翼板、梁腹板及加勁板之降伏範圍持續擴大，此時仍尚未發現梁有任何挫屈的現象。照片 4.43 為靠近梁上翼加勁板與梁接合之焊道端部裂痕情形，照片 4.44 為梁上翼板之降伏情形，照片 4.45 為梁下翼板之降伏情形，照片 4.46 為梁腹板之降伏情形。

(7) 層間側位移角 $\theta = \pm 4.8\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -4.8\%$ 弧度時，靠近梁下翼之腹板距柱面 600 mm 處發生挫，其挫屈幅度為 5 mm (照片 4.47)，而梁下翼板未發生挫屈。位移角 $\theta = +4.8\%$ 弧度時，靠近梁上翼之腹板及梁上翼板均未發生挫屈。位移角 $\theta = 4.8\%$ 弧度結束時，靠近梁上翼之腹板距柱面 490 mm 處發生挫，其挫屈幅度為 9 mm，而梁上翼板距柱面 254 mm 處亦發生挫屈，其挫屈幅度為 4 mm (照片 4.48)，且上翼板距柱面 550 mm 處發生側向扭轉，其側向扭轉的幅度為 9 mm (照片 4.49)，而梁上下翼板、梁腹板及加勁板之降伏範圍持續擴大，照片 4.50 為加勁板之降伏範圍持續擴大情形，而靠近梁上翼加勁板與梁接合之焊道端部裂痕亦持續擴大 (照片 4.51)。此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，照片 4.52 為本試體最大位移角之全景。

4.5.1.2 第二次試驗現象觀察

因試體 FDWS3 於第一次試驗結束後，由試驗觀察現象得知梁翼及梁腹板均出現挫屈的現象，且靠近梁上下翼加勁板與梁接合之焊道端部均出現裂痕，因此將試體 FDWS3 進行第二次的試驗，想藉由第二次的試驗得知試體最終是否破壞及其破壞的位置和挫屈情形，本次觀察重點在於梁上下翼板之挫屈情形，及靠近梁上下翼加勁板與梁接合之焊道端部出現的裂痕是否持續擴大至破壞，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 4.1 (d) 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 $\theta = \pm 1.0\%$ 弧度至位移角 $\theta = \pm 1.5\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -1.0\%$ 弧度時，靠近梁下翼之腹板距柱面 615 mm 處輕微挫屈，其挫屈幅度為 4 mm，且發現上翼板梁柱接頭之焊道上方母材受拉時出現裂痕，且裂痕延伸裂進加勁板與梁接合之焊道中（照片 4.53）。位移角 $\theta = +1.0\%$ 弧度時，梁上翼板於加勁板端部發生挫屈，其挫屈幅度為 2 mm（照片 4.54），且發現下翼板梁柱接頭之焊道上方母材受拉時亦出現裂痕，此裂痕並未延伸裂進加勁板與梁接合之焊道中（照片 4.55）。位移角 $\theta = 1.0\%$ 弧度結束時，靠近梁上翼加勁板與梁接合之焊道端部裂痕並未擴大，但靠近梁下翼加勁板與梁接合之焊道端部裂痕有擴大的情形。位移角 $\theta = 1.5\%$ 弧度結束時，其梁挫屈的幅度及裂痕之寬度均無明顯擴大的跡象。

(3) 層間側位移角 $\theta = \pm 2.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -2.0\%$ 弧度時，靠近梁下翼之腹板距柱面 615 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 5 mm，且梁下翼板於加勁板端部距柱面 350 mm

處輕微挫屈，其挫屈幅度為 2 mm，而上翼板梁柱接頭之焊道上方母材受拉時出現的裂痕有持續加深的趨勢。位移角 $\theta = +2.0\%$ 弧度時，梁上翼板於加勁板端部挫屈幅度擴大為 4 mm，而下翼板梁柱接頭之焊道上方母材受拉時出現的裂痕亦有持續加深的趨勢。

(4) 層間側位移角 $\theta = \pm 3.0\%$ 弧度：

位移角 $\theta = -3.0\%$ 弧度時，靠近梁下翼之腹板距柱面 615 mm 處挫屈擴大，其挫屈幅度為 8 mm，且梁下翼板於加勁板端部距柱面 350 mm 處輕微挫屈，其挫屈幅度為 3 mm，而上翼板梁柱接頭之焊道上方母材受拉時出現的裂痕仍持續加深（照片 4.56）。位移角 $\theta = +3.0\%$ 弧度時，梁上翼板於加勁板端部挫屈幅度仍保持在 4 mm，而下翼板梁柱接頭之焊道上方母材受拉時出現的裂痕亦有持續加深的趨勢。位移角 $\theta = 3.0\%$ 弧度結束時，靠近梁下翼之腹板距柱面 615 mm 處挫屈幅度為 4 mm，而上翼板於加勁板端部挫屈幅度仍保持在 4 mm（照片 4.57），但上翼板於加勁板端部之焊道出現 50 mm 長的裂縫（照片 4.58），而靠近梁上翼之腹板距柱面 485 mm 處挫屈幅度為 12 mm。

(5) 層間側位移角 $\theta = \pm 3.77\%$ 弧度：

位移角 $\theta = 3.77\%$ 弧度結束時，靠近梁下翼之腹板距柱面 615 mm 處挫屈幅度仍為 4 mm，而上翼板於加勁板端部挫屈幅度擴大為 8 mm（照片 4.59），且上翼板於加勁板端部之焊道裂縫擴大為 70 mm 長（照片 4.60），而靠近梁上翼之腹板距柱面 485 mm 處挫屈幅度擴大為 21 mm（照片 4.61），且發現梁出現側向扭轉的情形（照片 4.62），而梁上下翼板梁柱接頭之焊道上方母材，受拉時所出現的裂痕雖然跟著位移角的增加而持續加深，但於實驗結束前都未在此處發生破壞。此時停止油壓制動器的控制並結束實驗，而照片 4.63 為第二次試驗結束前最大位移角之全景。

4.5.2 整體反應

此節主要是藉由分析試驗數據了解梁柱梁翼側板加勁接頭的行為：

彎矩與梁端位移關係

圖 4.1 (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 1146 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 232799 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 $\theta = -4.8\%$ 弧度時，梁最大之正彎矩 2961 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 2902 kN-m。

4.5.3 局部反應

1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈

圖 4.17 與圖 4.18 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 4.19 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 4.19 (a)，而位移角為正方向時 (Positive Bending)，梁上下翼板之分佈如圖 4.19 (b)，由圖 4.19 可看出梁上翼板在位移角 $\theta = 4.0\%$ 弧度時之最大拉應變為 1.39%，而最大壓應變為 0.71%，而梁下翼板在位移角 $\theta = 4.0\%$ 弧度時之最大拉應變為 0.85%，而最大壓應變為 1.17%。

2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈

圖 4.20 與圖 4.21 為彎矩與梁上下翼板之縱向應變關係，而圖 4.22 可得知梁翼縱向應變的分佈，而此圖可看出 FDWS3 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道處，而已將最大之應變推往加勁板端部 $1/4 d_b$ 之位置，即距柱面 430 mm 處。

3.加勁板應變分佈

圖 4.23 及圖 4.24 為彎矩與加勁板之應變關係，而圖 4.25 為加勁板之應變分佈，由此圖可看出加勁板於位移角 $\theta=2.0\%$ 弧度時才出現降伏，且加勁板僅於與上下翼板相接處有較大之應變，而靠近腹板中心線的地方應變均非常小。而圖 4.26 為加勁板之應力圖，此圖為利用圖 4.25 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，其範圍由梁翼板與加勁板接合處起算，而 FDWS3 於位移角 $\theta=-4.0\%$ 弧度時，加勁板受拉時之最大降伏範圍為 103 mm，受壓時之最大降伏範圍為 93 mm，而位移角 $\theta=+4.0\%$ 弧度時，加勁板受拉時之最大降伏範圍為 72 mm，受壓時之最大降伏範圍為 90 mm。

4.6 試體 FDWS 試驗結果比較

4.6.1 實驗現象比較

本研究所有以 FDWS 為加勁方式之梁柱接頭試體試驗均能承受規範所規定的層間側位移角，而各試體之梁柱及加勁板尺寸如表 2.3 所示，其中試體 FDWS1 之梁尺寸較試體 FDWS2 及 FDWS3 小，試體 FDWS1 於層間側位移角 $\theta=+3.0\%$ 弧度時梁腹板就已發生高達 25 mm 幅度的挫屈，導致試體於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時彎矩強度降低，而試體 FDWS2 於層間側位移角 $\theta=+4.0\%$ 弧度時梁腹的挫屈幅度僅 6 mm，試體 FDWS3 於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度結束時梁都尚未發生挫屈，所以此兩組試體於試驗結束前，梁之彎矩強度均無降低的現象。試體 FDWS1 於試驗結束時，試體均無出現任何裂痕，而試體 FDWS2 與試體 FDWS3 進行兩次反覆載重試驗結束後，試體之梁翼板與柱接合之焊道上方母材均出現非常細微的裂痕，且於加勁板與梁接合之焊道端部亦同樣出現裂痕，但試體 FDWS2 之加勁板焊道端部裂痕是在梁翼板之母材（照片 4.31），而試體 FDWS3 之加勁板焊道

端部裂痕是沿著加勁板與梁接合之焊道（照片 4.60）。而試體 FDWS2 及試體 FDWS3 之加勁板焊道端部裂痕之差異，與加勁板之長度 L_s 相關，因試體 FDWS2 其 L_s 之長度為 300 mm，且滿足(2.42)式之 L_s 檢核，所以焊道於梁翼接合處能提供足夠之強度，而不致使破壞發生在焊道接合處，而試體 FDWS3 其 L_s 之長度為 254 mm，且不滿足(2.42)式之 L_s 檢核，因此未能在焊道於梁翼接合處提供足夠之強度，所以使破壞發生在焊道接合處。而將實驗觀察現象所得之梁翼板及梁腹板最大幅度及位置整理，如表 4.1 所示。

4.6.2 整體反應比較

彎矩與梁端位移關係

圖 4.27 為所有加入 FDWS 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，其中試體 UR 之梁尺寸與試體 FDWS2 及試體 FDWS3 相同，因此本研究僅拿此三支試體進行比較，而試體 FDWS1 因梁尺寸較小如表 2.3 所示，所以其整體彎矩強度亦較低，而試體 UR、FDWS2 及 FDWS3 這三支試體上彎矩強度的差異，主要是因為塑角產生位置的不同造成，試體 UR 之塑角產生於梁柱接頭處，而試體 FDWS2 及 FDWS3 由前述各試體之整體反應中之縱向應變分佈圖，可得其塑角位置已由柱面推往加勁板端部 $1/4d_b$ 之位置，而塑角位置愈遠離柱面，則油壓千斤頂所施加的側向力也愈大，因此造成整體彎矩強度大於未加勁試體 UR。

而利用試驗真實測得之柱面彎矩 M_{dem} ，可反推得塑角處之彎矩 M_{PH} ，由此可得實驗中試體之梁彎矩強度需求比 α 及塑角處之超強因子 β ，如表 4.2 所示，而由表中可看出試體 FDWS2 中，實驗反推的塑角處之最大超強因子 β 值是設計時所採用 FEMA350 建議公式 β 值（表 2.5）的 1.15 倍，而試體 FDWS3 中試驗之最大 β 值是 FEMA350 建議公式 β 值的 1.14 倍，而試體 FDWS1 中試驗之最大 β 值卻是 FEMA350 建議公式 β 值的 0.99 倍，由此可

看出在設計時所計算塑角處之最大超強因子 β 值，若採用 FEMA350 之建議公式，其梁尺寸若與試體 FDWS1 相同，其 β 值之假設準確，而若梁之尺寸較大，且與試體 FDWS2 及試體 FDWS3 相同時，其 β 值之假設較為不保守。

本試驗以 FDWS 為加勁方式之梁柱接頭試體，於試驗結束後均未出現破壞，因此由表 4.2 中實驗所求得之梁彎矩強度需求比 α 值可看出，設計時若將 α 值設定在 1.11 之上，則試體均可承受規範規定之層間側位移角而不致產生破壞。

4.6.3 局部反應比較

1. 鋼梁梁翼橫向應變分佈比較

圖 4.28 及圖 4.29 為所有加入 FDWS 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 FDWS 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 試體低許多，而梁翼受壓時，加勁與未加勁之接頭應變大小的差異較不明顯。而圖 4.30 及圖 4.31 為所有加入 FDWS 加勁板之梁柱接頭試體的梁上下翼板橫向應變比較圖，由圖中可看出其橫向應變大小之分佈與梁彎矩強度需求比 α 值成反比，其各試體之 α 值如表 4.2 所示，表中之梁彎矩強度需求比 α 值愈小而梁上下翼板橫向應變則愈大。

2. 鋼梁梁翼縱向應變分佈比較

圖 4.32 及圖 4.33 為所有加入 FDWS 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 FDWS 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 試體之最大梁翼應變發生在柱面，而加入 FDWS 加勁板之試體其最大應變均發生在離加勁板端部 $1/4d_b$ 處，此位置與 2.2.2 節 FDWS 補強接頭試體設計中所假設的塑角位置相同，而試體 FDWS2 之加勁板 L_s 長為 300 mm，因

此其最大應變發生在由柱面算起 470 mm 處，而試體 FDWS3 之加勁板 L_s 長為 254 mm，因此其最大應變發生在由柱面算起 430 mm 處。

3.加勁板應變分佈比較

圖 4.34 為 FDWS 試體加勁板應變比較圖，而試體 FDWS1 由於加勁板上所貼之應變計太少，所以未將其畫入圖 4.34 中，由圖中可看出試體 FDWS3 之應變較試體 FDWS2 高，因試體 FDWS3 之梁彎矩強度需求比 α 值較試體 FDWS2 為低，所以試體 FDWS3 之應變均較試體 FDWS2 為高。而圖 4.35 為 FDWS 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 4.36 所示，而試體 FDWS1 因加勁板上所貼之應變計太少，所以無法求得彎矩貢獻量。由圖 4.35 可整理出各試體加勁板之受拉及受壓降伏範圍，如表 4.3 所示，由表中可得各試體於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時之受拉降伏範圍，其範圍介於 72 mm 至 103 mm 之間，而受壓之降伏範圍介於 -90 mm 至 -99 mm 之間，而此降伏範圍在每一個層間側位移角之大小，亦同時決定加勁板在每一個層間側位移角所提供之彎矩大小，本研究將圖 4.36 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 4.37 所示，圖中顯示試體 FDWS2 於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時加勁板提供了 $0.6M_{ps}$ ，而試體 FDWS3 於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時加勁板提供了 $0.76M_{ps}$ ，由此可看出 FDWS 加勁板於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時最高能貢獻 $0.76M_{ps}$ 。而將圖 4.36 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 4.38 所示，圖中顯示試體 FDWS2 於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時，加勁板提供之彎矩最大佔整體彎矩的 35%，而試體 FDWS3 於層間側位移角 $\theta=4.0\%$ 弧度時，加勁板提供之彎矩最大佔整體彎矩的 40%。

而由 3.9.3 節中 IFS 加勁板應變分佈比較中提到，加勁板必須要佔整體彎矩的 29% 以上，試體方能夠承受規範所規定之層間側位移角，而此 FDWS 試體中之加勁板所提供彎矩最少都佔整體彎矩的 35% 以上，因此 FDWS 試體均能夠承受規範所規定之層間側位移角。

