

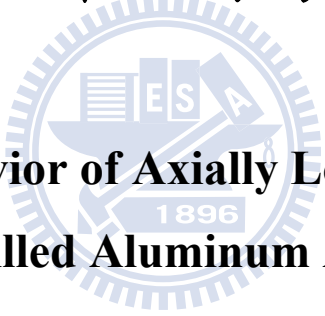
國立交通大學

土木工程學系碩士班

碩 士 論 文

鋁合金管內填充混凝土

之軸壓行為

The seal of Tsinghua University is a circular emblem. It features a central shield with a book and a torch, flanked by the letters 'E' and 'S'. Below the shield is the year '1896'. The entire emblem is encircled by a gear-like border.

**Behavior of Axially Loaded
Concrete-Filled Aluminum Alloy Tubes**

研 究 生：徐 孟 暉

指導教授：陳 誠 直 博士

中 華 民 國 九 十 九 年 二 月

鋁合金管內填充混凝土

之軸壓行為

**Behavior of Axially Loaded
Concrete-Filled Aluminum Alloy Tubes**

研 究 生：徐 孟 暉

Student : Meng-Hui Hsu

指導教授：陳 誠 直 博 士

Adviser : Dr. Cheng-Chih Chen

國 立 交 通 大 學
土 木 工 程 學 系
碩 士 論 文

A Thesis

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

February 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 九 十 九 年 二 月

鋁合金管內填充混凝土之軸壓行為

研究生：徐孟暉

指導教授：陳誠直 博士

國立交通大學土木工程學系碩士班

摘要

鋁合金具有抗腐蝕性、表面處理性佳及延展性佳之特性，本研究以實驗探討鋁合金管填充混凝土短柱之軸壓行為。本研究進行34組小尺寸鋁合金管填充混凝土短柱軸向加載試驗，以探討試體參數對於極限強度與行為之影響。試體設計參數為斷面形狀(圓管與方管)、鋁合金管寬厚比(6.72至33.31)及混凝土強度(普通強度與高強度混凝土)。試驗結果顯示，由試體之載重位移曲線可見鋁合金管對內灌之混凝土可提供良好之圍束效果，試體達極限強度後載重位移曲線下降趨勢普遍皆十分平緩，尤其是圓管試體。圓管試體之實驗強度較標稱强度高出許多，而方管試體之實驗強度較接近標稱值。試體之鋁合金管寬厚比值愈小時，鋁合金管提供之圍束及整體軸向極限應變愈大。採用鋁合金與混凝土軸壓強度疊加之計算極限強度，顯示若混凝土軸壓強度未能有效考慮圍束效應，則圓管試體極限強度普遍大於計算強度，方管試體極限強度則較為接近計算強度。

關鍵詞：鋁合金管填充混凝土、極限強度、寬厚比

Behavior of Axially Loaded Concrete-Filled Aluminum Alloy Tubes

Student: Meng-Hui Hsu

Adviser: Dr. Cheng-Chih Chen

Department of Civil Engineering

National Chiao-Tung University

ABSTRACT

Aluminum alloy is characterized by properties of good corrosion resistance, surface treatment, and ductility. This research was conducted experimentally to investigate the behavior of axially loaded concrete-filled aluminum alloy tubes (CFAAT). Thirty-four small-scale CFAAT specimens were tested to study the effect of specimen parameters on the axially loaded ultimate strength and behavior. The design parameters for the specimens were the shape of the cross-section (circular and square tube), width-thickness ratio of the aluminum alloy tube (6.72 to 33.31), and concrete strength (normal strength and high strength concrete). The test results indicate that, as demonstrated in the load-displacement curves, the aluminum tube can provide confinement for the concrete-filled inside the tube, and the branch of the curves beyond the ultimate strength was moderately descended, especially for circular specimens. The test ultimate strengths of the circular specimens were much high than their nominal strengths, while those of the square specimens were close to the nominal strengths. For those specimens with small width-thickness ratio, the confinement provided by the aluminum alloy tube and axial ultimate strain became large. Ultimate strengths calculated by superposition of the axial strengths of the aluminum alloy tube and the concrete indicate that the test strengths of the circular specimens were generally greater than those calculated when the calculated concrete strength did not take into account the confinement effect. However, the test strengths of the square specimens were close to the calculated strength.

Keywords: Concrete-filled aluminum alloy tube (CFAAT), ultimate strength, width-thickness ratio.

誌謝

研究所生涯轉瞬即逝，在此特別感謝恩師 陳誠直博士於研究領域及學習態度上之悉心指導，恩師的專業理論、豐富的實務經驗與人生處事的態度亦使愚生受益良多，僅致上最誠摯的感謝。

論文口試期間，承蒙本校 翁正強教授及 王彥博教授對於論文撥冗審閱，並於論文中疏漏、不足之處給予寶貴指導及建議，使得本論文能夠更臻完善，在此敬上由衷的感謝。

研究階段感謝學長 南交、政甯、政億給予莫大的指導與建議；學長 俞燐、璿至、煒銘、學姊 嘉儀於課業上的協助；同窗好友 岳勳、致潔亦於課業上給予莫大幫助；學弟 錦輝、顯嘉、學妹 霈琳於實驗期間給予極大協助，使實驗能夠順利完成。由衷感謝各位學長，讓我的研究所生涯不只是於書本上找死的知識，而是擁有更多實務歷練，並且於生活中帶給我許多歡樂，教導我許多的交際方式，很高興能夠於此遇見各位，在此誠心祝福各位學長以及學弟妹前途一帆風順。

在兩年的學生生涯中，首先亦要在此感謝大學時期的好友們，好友 瑞嘉、秉璋、政皓、佳祥、紀斌、信仁、昱寰、啟辰、韋利；儘

管大家於畢業後各分南北，但彼此仍是大家最佳的夥伴，未來的日子希望大家依然可以彼此勉勵。

最後，僅將本論文獻給我最親愛的父母、弟弟，感謝父親 玉賢、母親 惠純你們二十多年來的養育，更於我就學期間給予經濟上的協助，使我能夠心無旁騖的完成學業，感謝弟弟 孟群於二十多年來陪同我一起成長，將來我們也會互相扶持。



孟暉 九十九年二月

目錄

摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	v
表目錄.....	viii
圖目錄.....	ix
照片目錄.....	xiv
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究動機.....	2
1.3 研究目的.....	2
1.4 研究方法.....	3
1.5 研究內容.....	3
第二章 國內外相關規範與文獻回顧	4
2.1 鋁合金簡介.....	4
2.2 國外相關規範.....	5
2.2.1 美國 AISC 設計規範	6
2.2.2 美國 ACI 設計規範.....	7

2.2.3 美國 AA 設計手冊	8
2.2.4 澳大利亞/紐西蘭 AS/NZS 標準規範	9
2.4 國內外相關文獻回顧	10
第三章 鋁合金管內填充混凝土短柱之軸壓實驗	16
3.1 實驗規劃	16
3.2 試體設計	16
3.3 試體製作	17
3.4 試驗設置	18
3.5 量測系統	18
3.6 試驗程序	19
第四章 試驗結果與討論	21
4.1 試驗記錄	21
4.1.1 圓管系列試體	21
4.1.2 方管系列試體	26
4.2 試體軸力-應變曲線	28
4.3 試體極限軸壓強度計算	30
4.3.1 圓管試體強度討論	31
4.3.2 方管試體強度討論	33
4.4 試體參數於軸壓強度與行為之影響	33

斷面形狀之影響（圓形、方形）	34
寬厚比值之影響（ D/t ）	34
混凝土強度之影響（ f'_c ）	35
第五章 結論與建議	36
5.1 結論	36
5.2 建議	37
參考文獻	39
附錄 A 圓管試體軸力應變圖	92
附錄 B 方管試體軸力應變圖	109



表目錄

表 3.1 圓管試體編號	43
表 3.2 方管試體編號	44
表 3.3 圓管試體之混凝土強度	45
表 3.4 方管試體之混凝土強度	46
表 3.5 鋁合金管材料性質試驗結果	47
表 4.1 圓管試體極限軸壓強度規範值與實驗值之比較	48
表 4.2 方管試體極限軸壓強度規範值與實驗值之比較	49
表 4.3 圓管試體之波松比	50
表 4.4 圓管試體公式推導值與實驗值之比較	51



圖目錄

圖 2.1 鋁合金降伏強度之平移法(Gere J.M. 2004).....	52
圖 3.1 試體斷面圖(a)圓管試體；(b)方管試體	52
圖 3.2 試體於試驗機設置側視圖	53
圖 3.3 試體於試驗機設置俯視圖(a)圓管試體；(b)方管試體.....	53
圖 3.4 圓管試體應變計黏貼處	54
圖 3.5 方管試體應變計黏貼處	54
圖 4.1 試體 C-d38t3 系列載重位移圖	55
圖 4.2 試體 C-d41t6 系列載重位移圖	55
圖 4.3 試體 C-d45t3 系列載重位移圖	56
圖 4.4 試體 C-d51t3 系列載重位移圖	56
圖 4.5 試體 C-d55t6 系列載重位移圖	57
圖 4.6 試體 C-d63t3 系列載重位移圖	57
圖 4.7 試體 C-d63t6 系列載重位移圖	58
圖 4.8 試體 C-d76t3 系列載重位移圖	58
圖 4.9 試體 C-d102t3 系列載重位移圖	59
圖 4.10 試體 C-d102t6 系列載重位移圖	59
圖 4.11 試體 C-d102t12 系列載重位移圖	60
圖 4.12 試體 S-d38t2 系列載重位移圖.....	60

圖 4.13 試體 S-d38t3 系列載重位移圖.....	61
圖 4.14 試體 S-d51t2 系列載重位移圖.....	61
圖 4.15 試體 S-d51t3 系列載重位移圖.....	62
圖 4.16 試體 S-d76t3 系列載重位移圖.....	62
圖 4.17 試體 S-d102t3 系列載重位移圖.....	63
圖 4.18 λ 值求取示意圖	63
圖 4.19 圓管試體實驗強度與設計強度比較圖	64
圖 4.20 方管試體實驗強度與設計強度比較圖	64
圖 4.21 試體 d38t3 系列載重位移曲線比較圖	65
圖 4.22 試體 d51t3 系列載重位移曲線比較圖	65
圖 4.23 試體 d76t3 系列載重位移曲線比較圖	66
圖 4.24 試體 d102t3 系列載重位移曲線比較圖	66
圖 4.25 圓管試體 t3-CN 系列載重位移曲線比較圖	67
圖 4.26 圓管試體 t3-CH 系列載重位移曲線比較圖	67
圖 4.27 圓管試體 t6-CN 系列載重位移曲線比較圖	68
圖 4.28 圓管試體 t6-CH 系列載重位移曲線比較圖	68
圖 4.29 圓管試體 d102 系列載重位移曲線比較圖	69
圖 4.30 方管試體 t2 系列載重位移曲線比較圖	69
圖 4.31 方管試體 t3-CN 系列載重位移曲線比較圖	70

圖 4.32 方管試體 t3-CH 系列載重位移曲線比較圖	70
圖 4.33 圓管試體之寬厚比與極限載重應變關係圖	71
圖 4.34 方管試體之寬厚比與極限載重應變關係圖	71
圖 A.1 試體 C-d38t3-CO 軸力應變圖	92
圖 A.2 試體 C-d41t6-CO 軸力應變圖	92
圖 A.3 試體 C-d45t3-CO 軸力應變圖	93
圖 A.4 試體 C-d51t3-CO 軸力應變圖	93
圖 A.5 試體 C-d55t6-CO 軸力應變圖	94
圖 A.6 試體 C-d63t3-CO 軸力應變圖	94
圖 A.7 試體 C-d63t6-CO 軸力應變圖	95
圖 A.8 試體 C-d76t3-CO 軸力應變圖	95
圖 A.9 試體 C-d102t3-CO 軸力應變圖	96
圖 A.10 試體 C-d102t6-CO 軸力應變圖	96
圖 A.11 試體 C-d102t12-CO 軸力應變圖	97
圖 A.12 試體 C-d38t3-CN 軸力應變圖	97
圖 A.13 試體 C-d41t6-CN 軸力應變圖	98
圖 A.14 試體 C-d45t3-CN 軸力應變圖	98
圖 A.15 試體 C-d51t3-CN 軸力應變圖	99
圖 A.16 試體 C-d55t6-CN 軸力應變圖	99

圖 A.17 試體 C-d63t3-CN 軸力應變圖	100
圖 A.18 試體 C-d63t6-CN 軸力應變圖	100
圖 A.19 試體 C-d76t3-CN 軸力應變圖	101
圖 A.20 試體 C-d102t3-CN 軸力應變圖	101
圖 A.21 試體 C-d102t6-CN 軸力應變圖	102
圖 A.22 試體 C-d102t12-CN 軸力應變圖	102
圖 A.23 試體 C-d38t3-CH 軸力應變圖	103
圖 A.24 試體 C-d41t6-CH 軸力應變圖	103
圖 A.25 試體 C-d45t3-CH 軸力應變圖	104
圖 A.26 試體 C-d51t3-CH 軸力應變圖	104
圖 A.27 試體 C-d55t6-CH 軸力應變圖	105
圖 A.28 試體 C-d63t3-CH 軸力應變圖	105
圖 A.29 試體 C-d63t6-CH 軸力應變圖	106
圖 A.30 試體 C-d76t3-CH 軸力應變圖	106
圖 A.31 試體 C-d102t3-CH 軸力應變圖	107
圖 A.32 試體 C-d102t6-CH 軸力應變圖	107
圖 A.33 試體 C-d102t12-CH 軸力應變圖	108
圖 B.1 試體 S-d38t2-CO 軸力應變圖	109
圖 B.2 試體 S-d38t3-CO 軸力應變圖	109

圖 B.3 試體 S-d51t2-CO 軸力應變圖	110
圖 B.4 試體 S-d51t3-CO 軸力應變圖	110
圖 B.5 試體 S-d76t3-CO 軸力應變圖	111
圖 B.6 試體 S-d102t3-CO 軸力應變圖	111
圖 B.7 試體 S-d38t2-CN 軸力應變圖	112
圖 B.8 試體 S-d38t3-CN 軸力應變圖	112
圖 B.9 試體 S-d51t2-CN 軸力應變圖	113
圖 B.10 試體 S-d51t3-CN 軸力應變圖	113
圖 B.11 試體 S-d76t3-CN 軸力應變圖	114
圖 B.12 試體 S-d102t3-CN 軸力應變圖	114
圖 B.13 試體 S-d38t2-CH 軸力應變圖	115
圖 B.14 試體 S-d38t3-CH 軸力應變圖	115
圖 B.15 試體 S-d51t2-CH 軸力應變圖	116
圖 B.16 試體 S-d51t3-CH 軸力應變圖	116
圖 B.17 試體 S-d76t3-CH 軸力應變圖	117
圖 B.18 試體 S-d102t3-CH 軸力應變圖	117

照片目錄

照片 3.1 鋁合金圓管試體照片	72
照片 3.2 鋁合金方管試體照片	72
照片 3.3 空管試體配置情形	73
照片 3.4 小型試體配置情形	73
照片 3.5 試體配置於 100 kN 萬能試驗機	74
照片 3.6 試體配置於 200 kN 萬能試驗機	74
照片 4.1 試體 C-d38t3-CN 試驗結束後之破壞情形	75
照片 4.2 試體 C-d38t3-CH 試驗結束後之破壞情形	75
照片 4.3 試體 C-d41t6-CN 試驗結束後之破壞情形	76
照片 4.4 試體 C-d41t6-CH 試驗結束後之破壞情形	76
照片 4.5 試體 C-d45t3-CN 試驗結束後之破壞情形	77
照片 4.6 試體 C-d45t3-CH 試驗結束後之破壞情形	77
照片 4.7 試體 C-d51t3-CN 試驗結束後之破壞情形	78
照片 4.8 試體 C-d51t3-CH 試驗結束後之破壞情形	78
照片 4.9 試體 C-d55t6-CN 試驗結束後之破壞情形	79
照片 4.10 試體 C-d55t6-CH 試驗結束後之破壞情形	79
照片 4.11 試體 C-d63t3-CN 試驗結束後之破壞情形	80
照片 4.12 試體 C-d63t3-CH 試驗結束後之破壞情形	80

照片 4.13 試體 C-d63t6-CN 試驗結束後之破壞情形	81
照片 4.14 試體 C-d63t6-CH 試驗結束後之破壞情形	81
照片 4.15 試體 C-d76t3-CN 試驗結束後之破壞情形	82
照片 4.16 試體 C-d76t3-CH 試驗結束後之破壞情形	82
照片 4.17 試體 C-d102t3-CN 試驗結束後之破壞情形	83
照片 4.18 試體 C-d102t3-CH 試驗結束後之破壞情形	83
照片 4.19 試體 C-d102t6-CN 試驗結束後之破壞情形	84
照片 4.20 試體 C-d102t6-CH 試驗結束後之破壞情形	84
照片 4.21 試體 C-d102t12-CN 試驗結束後之破壞情形	85
照片 4.22 試體 C-d102t12-CH 試驗結束後之破壞情形	85
照片 4.23 試體 S-d38t2-CN 試驗結束後之破壞情形	86
照片 4.24 試體 S-d38t2-CH 試驗結束後之破壞情形	86
照片 4.25 試體 S-d38t3-CN 試驗結束後之破壞情形	87
照片 4.26 試體 S-d38t3-CH 試驗結束後之破壞情形	87
照片 4.27 試體 S-d51t2-CN 試驗結束後之破壞情形	88
照片 4.28 試體 S-d51t2-CH 試驗結束後之破壞情形	88
照片 4.29 試體 S-d51t3-CN 試驗結束後之破壞情形	89
照片 4.30 試體 S-d51t3-CH 試驗結束後之破壞情形	89
照片 4.31 試體 S-d76t3-CN 試驗結束後之破壞情形	90

照片 4.32 試體 S-d76t3-CH 試驗結束後之破壞情形.....	90
照片 4.33 試體 S-d102t3-CN 試驗結束後之破壞情形.....	91
照片 4.34 試體 S-d102t3-CH 試驗結束後之破壞情形.....	91



第一章 緒論

1.1 前言

在現今社會中，一般建築仍以採用鋼筋混凝土結構為主。隨著科技進步，及自然環境因素之催促下，鋼骨鋼筋混凝土結構孕育而生。其中鋼材大量使用造成成本大幅提升，加上台灣為海島型氣候，空氣中蘊涵著極高濕度，往往造成鋼材嚴重腐蝕。

文明國家之建設水準日益漸進，各種施工方法、設計概念層出不窮，許多國內外之學者亦在建築材料方面投入大量人力、物力及財力加以探討測試。由於生活水準提高，現今使用者較以往更加注重建築物美觀，尋找鋼材之替代合金材料更成為眾多學者之目標。在日常生活中，鋁合金已被廣泛地使用，舉凡運輸工具、家庭五金、電器用品，甚至食品容器。故建築工業在未來亦有機會利用鋁合金取代鋼材於結構物中之存在。

鋁合金優點眾多，諸如：抗蝕性佳、優良之表面處理性、耐低溫、成形性好。因抗蝕性佳，則鋁合金可適用於任何環境下；優良之表面處理性，可利用不同之化學染劑產生各種色彩及高硬度之皮膜；低溫狀態不如鋼材有脆化的問題，而在高溫狀態，現今亦已研發出抗高溫之鋁合金，使純鋁不耐高溫之特性不復存在，且其成形性佳，施工便

利，工期縮短，進而減少成本。

1.2 研究動機

因鋁合金強度及硬度均較鋼材低，可承受之載重亦不及鋼材，若用於一般建築設計，會使其需求量過高，造成成本提高，且設計空間亦須加大。但考慮到其與鋼材相當之延展性，故發展鋁合金管柱內填充混凝土（Concrete-Filled Aluminum Alloy Tube，簡稱 CFAAT）之施工方法，使其中混凝土得到周圍鋁合金管圍束應力，提高混凝土柱之抗壓強度及韌性，則可充分展現鋁合金與混凝土彼此之優點。本研究以鋁合金管柱填充混凝土後，探討 CFAAT 之圍束應力、軸壓強度以及鋁合金管與混凝土間之結合性。

1.3 研究目的

本研究主要目的是探討 CFAAT 短柱試體在不同變數下鋁合金管對混凝土之圍束效果、CFAAT 之軸向應力-軸向應變關係、軸向應力-徑向應變的關係及其極限強度，並與未圍束之混凝土柱及純鋁合金管柱比較。研究中採用之變數包括混凝土強度、鋁合金中空管之形狀與寬厚比值等，藉此了解鋁合金管對於混凝土所提供之圍束效果，以作為未來鋁合金管柱內填充混凝土結構物設計之參考。

1.4 研究方法

本實驗分別設置鋁合金圓管及方管試體進行軸壓試驗，藉以了解圍束混凝土後，何種管斷面能有效造成混凝土強度之提升，並藉由不同寬厚比之鋁合金管，觀察介於多少寬厚比值間之試體，能發揮最佳之圍束效果。另外，對於鋁合金管內填充普通強度混凝土與高強度混凝土所提供之圍束效果亦進行研究。

1.5 研究內容

本文報告內容分為五章。第一章介紹鋁合金特色與研究目的，並說明研究方法。第二章回顧國內外鋼管填充混凝土(Concrete-Filled Steel Tube，簡稱 CFT)、鋁合金及混凝土於各式材料圍束下之軸壓相關設計規範與重要文獻。第三章為實驗規劃，說明試體設計、製作過程、實驗儀器與配置、及試驗方法與流程。第四章為試驗結果與討論，討論試體之設計強度計算、破壞模式、及圍束效應。第五章為本研究之結論與建議。

第二章 國內外相關規範與文獻回顧

2.1 鋁合金簡介

不論是在工業甚至日常生活中鋁合金已被廣泛應用，人們之生活已與鋁合金密不可分。其製造流程為先由熔鋁業者處取得鋁合金棒並切割成適合生產之長度，將其預熱至適當溫度後送進擠型機擠出，切除頭尾料及接料後再進行熱處理即完成擠型製作。鋁合金規格眾多，不同規格之鋁合金所擁有之化學性質及物理特性也不同，本研究所採用之鋁合金規格是以 6 為標示開頭之系列，屬於 Al-Mg-Si 系合金，其強度與耐熱性皆適中，且較適用於建材，優點如下：

1. 其抗蝕性佳，包覆於混凝土外層時，不易受到腐蝕，安定性好，歷經長時間後，強度依然可維持，不會有急劇性之變化。
2. 擠型性優秀並可進行熔接處理，以此前提下，加工性良好便可減少工時，帶動人事成本降低。
3. 此系列之鋁合金更擁有表面處理性佳之優點，配合其高抗蝕性，暴露於一般環境中不侷限於一般鋁合金之灰銀色彩，其可與不同之化學染劑渲染出繽紛色彩，為單調結構物之外觀，提供更多之可變性。

4. 耐低溫之特性，可取代一般鋼結構於低溫氣候下容易發生之脆化問題。

雖然此系列之鋁合金有眾多優點，但其於土木工程應用上，仍有缺點如下：

1. 彈性模數較小，本系列鋁合金之彈性模數約為 70 GPa，相較於鋼筋彈性模數 200 GPa，仍略嫌偏低。於設計結構物時，須將此特性考慮其中。
2. 耐熱性不佳，於火害發生時，亦須注意強度會因溫度造成驟降。
3. 鋁合金之單價較鋼構件昂貴，須在成本計算時加入評估。

2.2 國外相關規範

現今國外並無 CFAAT 設計相關之規範，故本研究遂參考 CFT 相關設計規範及鋁合金材料相關之設計方法。國外相關之設計規範有美國鋼結構學會 AISC (American Institute of Steel Construction)設計規範(2005)、美國鋼筋混凝土學會 ACI 318 (American Concrete Institute)設計規範(2005)、美國鋁材協會 AA (Aluminum Association)設計手冊(2005)以及澳大利亞/紐西蘭 AS/NZS (Australian/New Zealand

Standard) 標準規範(1997)。

2.2.1 美國AISC設計規範

美國 AISC 設計規範(2005)規定了鋼管斷面面積須大於總面積之4%才符合 CFT 試體設計，而規定之極限強度須先檢驗細長比參數，其計算如下：

$$\lambda_c^2 = \frac{F_{my}}{F_E} = \left(\frac{KL}{r_m \pi} \right)^2 \left(\frac{F_{my}}{E_m} \right) \quad (2.1)$$

其中：

F_E = 柱之尤拉挫屈應力。 F_{my}

r_m = CFT 構件中鋼管斷面之有效迴轉半徑。

KL = CFT 構件之有效長度。

E_m = CFT 構件中鋼管之彈性模數

又 F_{my} 為 CFT 柱之修正降伏強度， E_m 為 CFT 構件之修正彈性模數，

分別計算如下：

$$F_{my} = F_y + 0.85 f_c' \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad (2.2)$$

$$E_m = E_s + 0.40 E_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right) \quad (2.3)$$

其中：

F_y = 包覆鋼管之降伏應力。

f'_c = 核心混凝土之抗壓應力。

E_s = 包覆鋼管之彈性模數。

E_c = 核心混凝土之彈性模數。

A_c = CFT 斷面之核心混凝土斷面積。

A_s = CFT 斷面之包覆鋼管斷面積。

在細長比參數已知情況下，極限應力 F_{cr} 可分別計算如下：

$$F_{cr} = \left(0.658^{\lambda_c^2}\right) F_{my} \quad \text{for } \lambda_c \leq 1.5 \quad (2.4)$$

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right) F_{my} \quad \text{for } \lambda_c > 1.5 \quad (2.5)$$

藉由計算出之應力，可得極限強度 P_{cr} 計算如下：

$$P_{cr} = A_s F_{cr} \quad (2.6)$$

2.2.2 美國ACI設計規範

美國 ACI-318 設計規範(2005)為鋼筋混凝土設計規範，在計算鋼筋混凝土複合斷面所提供之極限強度時，鋼筋及混凝土之強度分開計算再進行疊加，在鋼筋部分只考慮其降伏強度，而混凝土部分須在乘以一折減係數，公式表示如下：

$$P_u = 0.85f'_c A_c + F_y A_s \quad (2.7)$$

其中：

P_u = 斷面提供之極限強度。

F_y = 縱向主筋之降伏應力。

f'_c = 混凝土之抗壓應力。

A_c = 混凝土總面積。

A_s = 縱向主筋總面積。

2.2.3 美國AA設計手冊

美國鋁材協會設計手冊(2005)針對鋁合金材料應用於建築上提供了一些意見。由於鋁合金材料達到降伏強度時，其曲線並沒有如鋼材一樣有降伏平台產生，故鋁合金材料降伏強度之求法是設定一條應力應變曲線斜率改變前之斜率直線段，使其偏移 0.2%之應變，此直線段與應力應變曲線之接合點便代表其降伏強度，如圖 2.1 所示。以此前提下，鋁合金材料所提供之抗壓強度，其公式如下所示：

$$P_y = A_a \sigma_{0.2} \quad (2.8)$$

其中：

P_y = 鋁合金材料所提供之抗壓強度。

$\sigma_{0.2}$ = 鋁合金材料之降伏強度。

A_a = 鋁合金管斷面積。

2.2.4 澳大利亞/紐西蘭AS/NZS標準規範

澳大利亞/紐西蘭 AS/NZS 標準規範(1997)對於鋁合金材料之降伏強度有較為保守的估計，規範中認為抗拉降伏強度 F_{ty} 等同抗壓降伏強度 F_{cy} ，但應用於建築設計上須再除以一折減係數，如下所示：

$$F'_{cy} = \frac{F_{cy}}{k_c} \quad (2.9)$$

其中：

F'_{cy} = 折減後之抗壓強度。

F_{cy} = 鋁合金抗壓強度。

k_c = 折減係數。

各種規格鋁合金材料之折減係數不盡相同，設計時須參照規範中所提供之折減係數。鋁合金管提供之極限載重如下：

$$P_a = A_a F'_{cy} \quad (2.10)$$

其中：

P_a = 鋁合金管提供之強度。

A_a = 鋁合金管斷面積。

2.3 國內外相關文獻回顧

(1) 圍束混凝土抗壓強度

早期研究者針對圍束混凝土提出強度預測方法，其公式如下：

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1 f_l \quad (2.11)$$

其中 f'_{cc} 為受圍束作用後之混凝土抗壓應力， f'_{co} 為未圍束混凝土之抗壓應力， f_l 為圍束材料所提供之圍束力， k_1 為混凝土與圍束應力間之影響係數。

Richart et al. (1928) 利用實驗找出 k_1 值，將實驗結果數值經計算後取平均值，提出 k_1 值為 4.1。接著 1984 年，Mander et al. (1984) 根據上述初步理論，建立了混凝土應力(f_c)-應變(ϵ_c)關係式，繪出未圍束區及圍束區混凝土之應力-應變曲線，如圖 2.2 所示。

而針對鋼管混凝土圍束作用之探討，Sakino et al. (2004) 共建立了 114 組試體，其變數包括了鋼管形狀、鋼之拉力強度、管直徑與厚度之比例及混凝土之強度，藉以設計出於圍束作用下 CFT 短柱之極限強度預測公式，其公式依圍束管狀而異，圓柱極限強度預測公式如下：

$$N_u = A_s \sigma_{sz} + A_c \sigma_{ccB} \quad (2.12)$$

其中：

$$\sigma_{ccB} = \gamma_U f'_c + k \sigma_r \quad (2.13)$$

$$\sigma_r = -\frac{2t}{D-2t} \sigma_{s\theta} \quad (2.14)$$

$$\sigma_{s\theta} = \alpha_u \sigma_{sy} \quad (2.15)$$

$$\sigma_{sz} = \beta_{uc} \sigma_{sy} \quad (2.16)$$

$$\gamma_U = 1.67 D_c^{-0.112} \quad (2.17)$$

N_u 為經計算後得出之預測極限強度， A_s 為鋼管面積， A_c 為混凝土面積， f'_c 為混凝土初始強度， σ_{ccB} 為經圍束後之混凝土強度， k 為圍束影響係數，取值為 4.1， α_u 及 β_{uc} 為經其實驗結果求得之理論係數，其值分別為-0.19 及 0.89， σ_{sy} 為鋼管之降伏強度， γ_U 為試體之尺寸影響係數， D_c 為試體之斷面直徑。

而對於方柱極限強度預測，其公式表示如下：

$$N_u = A_s \sigma_{scr} + A_c \gamma_U f'_c \quad (2.18)$$

其中：

$$\sigma_{scr} = \min(\sigma_{sy}, S\sigma_{sy}) \quad (2.19)$$

$$\frac{1}{S} = 0.698 + 0.128\left(\frac{B}{t}\right)^2 \frac{\sigma_{sy}}{E_s} \times \frac{4.00}{6.97} \quad (2.20)$$

B 為方管斷面邊長， t 為管壁厚， E_s 為鋼管之彈性模數。

(2) 鋼管填充混凝土行為之研究

陳瑞益 (1997) 為了探討高強度混凝土受鋼管被動圍束下之行為，採用不同厚度之鋼管圍束，並進行固定速率載重及反覆載重加壓，於過程中量測鋼管之橫向變形，以了解鋼管之圍束行為。研究結果顯示，高強度混凝土在鋼管圍束下，混凝土強度越低圍束力發揮得越大，圍束鋼管越厚，發揮的圍束力也會變大。

Schneider (1998) 利用 14 組短柱試體測試在單向載重下，鋼管外型及厚度對抗壓強度之影響。其測試結果顯示，圓形鋼管較方形及矩形鋼管更能提供良好之圍束應力，且鋼管 D/t 之比例小於 20 能產生較佳之圍束效果。

Han (2002) 研究矩形鋼管包覆混凝土之單向載重行為，利用鋼管邊長比值及混凝土強度作為變數，並以其結果探討 LRFD、AIJ、EC4 及 GFJB4142-2000 分析方法之可行性。結論顯示 GFJB4142-2000 分析方法之預測值與實際實驗結果之數值最為接近。

Giakoumelis and Lam (2003) 主張鋼管厚度及鋼管與混凝土間之聯合力為影響鋼管混凝土抗壓強度之因子。結果顯示普通強度混凝土與鋼管間之聯合力可被忽略；高強度混凝土與鋼管間之聯合力，在上油與未上油間，其抗壓強度數值相差了 17%。在分析方面，EC4 分析方法較 ACI 及 AS 之分析方法更能準確預估鋼管混凝土之軸壓載重。

Liu (2005) 研究矩形鋼管填充高強度混凝土在鋼管邊長比及鋼管與混凝土之體積比為變數下之行為。結果顯示抗壓強度之提升與鋼管邊長比值關係甚微。在分析方面，EC4 之方法可有效應用到鋼管圍束高強度混凝土中。

(2) 其他材料內部填充混凝土之相關研究

陳照堂 (1997) 利用碳纖維及玻璃纖維圍束混凝土，研究其力學行為。因為碳纖維及玻璃纖維具有高拉力強度，故能提供良好的圍束力。其研究結果指出圍束應力及韌性隨著纏繞纖維紗束越多顯得越大，抗壓強度與纏繞纖維紗束呈一固定正比常數。

Young and Ellobody (2005) 為了驗證 ACI 與 AS/NZS 規範可應用於高強度不鏽鋼管填充混凝土設計上，則進行多組試體之研究，實驗變數包含高強度不鏽鋼中空管之形狀、高強度不鏽鋼之拉力強度、管

壁厚度及混凝土強度等。經實驗證實，設計強度採用不鏽鋼空管短柱測試之數值與實驗強度相近，故建議美國和澳大利亞-新紐西蘭之設計規範採用不鏽鋼空管短柱試驗值於設計高強度不鏽鋼中空管填充混凝土。

(3) 鋁合金管填充混凝土之相關研究

Zhou and Young (2008) 進行鋁合金方形管包覆混凝土之軸壓實驗研究，方管頂角利用銲接接合，鋁合金管之寬厚比及混凝土強度為其變數，並利用 AA、ACI 及 AS/NZS 規範進行抗壓強度設計。其結果因為矩形管之頂角開裂，使得圍束效果未完全發揮，仍有探討之空間。

(4) 鋁合金材料之相關研究

Zhu and Young (2006) 設計了鋁合金中空方形、矩形管，在有無軸向銲接之前提下，進行軸壓試驗。其研究結果發現，未銲接之壓力桿件較有銲接之桿件能承受的壓力更大。另一方面，於探討設計規範可行性上，美國和澳大利亞-新紐西蘭之設計規範在無銲接鋁合金軸壓強度設計上顯得略為保守，歐洲規範亦然。但有銲接之鋁合金管於三種規範中之強度設計是可以接受的。

Zhou et al. (2009) 設計了 64 組鋁合金中空方管試體模擬設置為樓板橫梁構件時，其受到集中載重之情形，並利用 AA(2005)及 EC9 (1997) 設計載重強度，再與 Australian standard AS4100 及 British standard BS5950 作比較。其結果顯示 AS4100 設計規範不適用於具有明顯頂角之方管，而 BS5950 設計強度則偏為保守，建議採用此篇試驗結果取代 AA 及 EC9 之設計規範相關內容。



第三章 鋁合金管內填充混凝土短柱之軸壓實驗

3.1 實驗規劃

本實驗研究預定設計 51 組試體，包含 17 組鋁合金空管、34 組 CFAAT 短柱試體，實驗試體之鋁合金管均採用擠型製，如照片 3.1 及 3.2 所示。34 組 CFAAT 短柱試體參數為斷面形狀、混凝土強度、鋁合金管寬厚比值。實驗目的在於測試 CFAAT 短柱試體能承受之軸向極限載重、鋁合金管所能提供之圍束應力、受純軸壓作用之破壞行為，並依照 ASTM 之規定進行鋁材抗拉強度及混凝土圓柱抗壓強度試驗求得各材料之實際強度，並與 17 組鋁合金空管試體之實驗結果相比較，以探討 CFAAT 短柱試體軸向載重之計算模式。

3.2 試體設計

本研究為進行短柱單軸承壓試驗，短柱細長比值經規範計算採用 3.0，實驗中僅承受單軸加載，單就極限載重及圍束應力作討論。

試體編號如表 3.1 及 3.2 所示。試體編號之 C 或 S 代表鋁合金管為方形斷面或圓形斷面，圓形管規格採用 6061-T6，而方形管規格則採用 6063-T5，台灣現今之擠型製鋁合金管皆是以此製作。

寬厚比值 (D/t) 為此實驗之重要參數。試體編號中 d 代表鋁合金

圓管之外徑或是鋁合金方管之外寬度， t 代表鋁合金管之管壁厚度， D/t 經計算介於 6.7 至 33.3 之間，試體斷面如圖 3.1 所示。

本實驗中設計兩種不同強度之混凝土作比較，試體編號中 CO 代表此組試體為鋁合金空管，CN 或 CH 代表此組試體內部填充混凝土為普通強度混凝土或高強度混凝土，普通強度混凝土標稱強度為 34.5 MPa (5000 psi)，高強度混凝土則為 55.2 MPa (8000 psi)。

3.3 試體製作

試體製作部分，其製作之過程與步驟如下：

1. 鋁合金管訂製
2. 試體混凝土灌製
3. 黏貼應變計



混凝土灌製時，同樣強度之混凝土皆一次灌製完成，避免潛在因素影響實驗數據。在試體灌製過程中，分三層搗實。養護週期 28 天，並於期間內進行試體編號。依據規範規定，另外準備直徑 10 公分、高 20 公分之混凝土圓柱試體進行抗壓試驗，試體之混凝土強度如表 3.3 及 3.4 所示。

根據 ASTM 規範 E 8M – 86a 之章節，鋁合金中空管之拉力試片採用直接切割加工之方式取得，拉力試驗結果如表 3.5 所示。

3.4 試驗設置

本次試驗於交通大學工程一館之材料實驗室進行，使用 100 噸萬能試驗機進行相關試驗，惟 6 組預測強度較高之試體使用 200 噸萬能試驗機，其控制方式皆為載重控制，試驗設置如圖 3.2 與 3.3 所示。量測距離為 10 mm 之 LVDT 及量測距離為 30 mm 之 LVDT 分別架設於對角，並另外於試體旁架設可量測 50 mm 之 LVDT 以防止試體位移過大之情形，架設實際情形如照片 3.3 至 3.6 所示。

3.5 量測系統

為了探討短柱於單向加載下強度之提升與圍束應力之提供情形，應蒐集之資料包括軸向位移與應變、加載強度、側向位移。量測位移及應變之儀器應包括 LVDT、應變計。

應變計用於測量試體之軸向應變及徑向應變，將其裝置於試體外圍之中央及上下端距中央一個外徑長之距離處，如圖 3.4 與 3.5 所示。LVDT 用於量測軸向變位，架設於試驗平台之四個角落。

資料的擷取系統是使用電腦搭配命令軟體 TestWare，擷取資料的

單位為：軸向應變(mm/mm)、側向應變(mm/mm)、軸向變位(mm)、
加載強度(tf)，資料的型式為 Excel 格式，經由換算，將軸向應力轉換
成 SI 單位(MPa)。

3.6 試驗程序

試驗程序如下：

1. 試體灌製混凝土後，清理鋁合金管表面。於試驗前一天，將應變計貼於試體上指定位置，並預先用高強度石膏蓋平試體頂部及底部，使其與試驗平台呈垂直，避免於加載時，產生偏心效果。次日於石膏完全乾固後進行軸向加載實驗。
2. 開啟軸壓試驗機及資料擷取器。
3. 將試體放置上試驗平台，並確保試體位於平台之正中心位置。
4. 將 5 組 LVDT 分別架設於試驗平台上之設定位置，同時將應變計連至資料擷取器，查看量測儀器有無發生問題。
5. 實驗開始進行軸壓負載，同時截取軸向應變、側向應變、軸向變位及加載強度等資料。
6. 觀察並記錄試體於軸向加載下之破壞情形，當載重驟降至極限

強度之 70%時或試體產生極大變形時，隨即停止試驗。



第四章 試驗結果與討論

4.1 試驗記錄

試驗程序採用載重控制，以 $0.03 \text{ kg/mm}^2/\text{sec}$ 之速率進行加載，當試驗達極限載重後強度下降至 60% 則中止試驗。藉萬能試驗機所提供之即時載重位移圖之便，可詳細記錄試體破壞時間點，以及破壞行為之先後，方便日後作探討。

4.1.1 圓管系列試體

試體 C-d38t3 系列



試體 C-d38t3-CN 軸壓強度達到 78.5 kN 時，於試體中央產生局部挫屈破壞。此時，軸壓強度仍在緩慢爬升，但試體變形量卻加速增大，其破壞行為進入整體挫屈階段。為了求得試體達極限強度後曲線下降趨勢，試驗於此階段依舊持續操作，直至最後試體擠壓至扁平，其強度依舊上升。由於試體以產生過於大量之變形，由原高度 114 mm 受擠壓至 70 mm，強度數據已不足以作為參考，故在此階段停止試驗，如照片 4.1 及 4.2 所示。試體 C-d38t3-CH 軸壓強度達 98.1 kN 時中央產生局部挫屈，而後情況與試體 C-d38t3-CN 情況相同。

試體 C-d41t6 系列

試體 C-d41t6-CN 及試體 C-d41t6-CH 均於載重位移曲線斜率改變時產生整體挫屈，而達極限強度時，試體底端皆產生剪力破壞，並造成斜向開裂，其長度約為 50 mm。觀察過程中並無發現明顯局部挫屈發生，如照片 4.4 及 4.4 所示。

試體 C-d45t3 系列

試體 C-d45t3-CN 達極限強度時，局部挫屈從底部開始發生，之後依序於頂部往下 20 mm 處及中央產生不規則局部挫屈破壞，造成試體產生大量變位，如照片 4.5 所示。

試體 C-d45t3-CH 達極限強度時，中央產生明顯局部挫屈，此時強度依舊維持並無下降趨勢，試體開始產生整體挫屈，當整體變位達 22 mm 後，強度突然驟降，如照片 4.6 所示。

試體 C-d51t3 系列

試體 C-d51t3-CN 負載達 186.3 kN 時，試體由頂部往下 25 mm 處開始產生明顯局部挫屈，而後中央及底部亦陸續發生局部挫屈。當整體變位達到 25 mm 時，試體產生剪力破壞，造成試體斜向開裂，開裂長度為整組試體高度，如照片 4.7 所示。

試體 C-d51t3-CH 達極限強度時，中央產生局部挫屈，而後強度

隨即平穩下降。整體變位達 30 mm 時，試體產生剪力破壞，由試體中間至底部斜向開裂產生，如照片 4.8 所示。

試體 C-d55t6 系列

試體 C-d55t6-CN 及試體 C-d55t6-CH 於載重位移曲線斜率改變時，中間部分產生局部挫屈。而達極限強度時，試體已呈現整體挫屈之現象，鋁合金管亦於此時產生開裂。試體 C-d55t6-CN 開裂長度為整組試體高度，開裂寬度為 15 mm；而試體 C-d55t6-CH 由中間開裂至底部，開裂寬度為 25 mm，如照片 4.9 及 4.10 所示。

試體 C-d63t3 系列

試體 C-d63t3-CN 達極限強度時，由頂部發生局部挫屈，此時試體強度無下降趨勢。當整體變位達到 17 mm，頂部局部挫屈處產生多處開裂，強度瞬間驟降，試體破壞情形如照片 4.11 所示。

試體 C-d63t3-CH 達極限強度時，於頂部往下 60 mm 處發生局部挫屈。當強度下降至約 90%，試體頂部同樣發生局部挫屈，強度亦同時開始緩慢下降至試驗結束，試體破壞情形如照片 4.12 所示。

試體 C-d63t6 系列

試體 C-d63t6-CN 於載重位移曲線斜率改變時下部發生局部挫屈，

接著試體開始產生整體挫屈持續至極限強度。當強度由極限載重下降至 90%時，頂部發生剪力破壞，造成鋁合金管由頂部開始斜向開裂，開裂長度約為 80 mm，強度瞬間驟降，如照片 4.13 所示。

試體 C-d63t6-CH 於載重位移曲線斜率改變時中央發生局部挫屈，緊接著底部亦發生局部挫屈，整體挫屈於此時同時發生。當強度提升至極限強度時，試體頂部發生剪力破壞，造成鋁合金管開裂，如照片 4.14 所示。

試體 C-d76t3 系列

試體 C-d76t3-CN 達極限強度時，多處陸續發生局部挫屈，如照片 4.15 所示。強度下降至 80%時，萬能試驗機自動停止，故無法求得曲線完整下降趨勢。

試體 C-d76t3-CH 載重強度上升至約 235.3 kN 時，中央發生局部挫屈，但隨即強度繼續爬升。強度達到 323.6 kN 時，試體頂部及底部接發生局部挫屈，如照片 4.16 所示，載重位移曲線開始緩慢下降。

試體 C-d102t3 系列

試體 C-d102t3-CN 達到極限強度時，中央發生局部挫屈，當強度降至 80%時，由中央局部挫屈處產生開裂直至底部，如照片 4.17 所

示。

試體 C-d102t3-CH 達到極限強度時，頂部往下 130 mm 處發生局部挫屈，但於試體外觀無法明顯看出，如照片 4.18 所示，強度於破壞瞬間掉至 70% 左右。

試體 C-d102t6 系列

此系列試體於 200 噸萬能試驗機進行試驗。本試驗機並無及時載重位移曲線可提供觀察，故僅以試驗中之破壞行為作詳述。

試體 C-d102t6-CN 破壞行為由中央發生局部挫屈開始，而後發生整體挫屈，如照片 4.19 所示，其整體挫屈形狀，推測為偏心挫屈，可能試體並無完全垂直試驗台。

試體 C-d102t6-CH 破壞行為由頂部往下 10 cm 處開始局部挫屈，而後最頂部已發生局部挫屈，試體並無整體挫屈發生，如照片 4.20 所示。

試體 C-d102t12 系列

此系列試體亦於 200 噸萬能試驗機進行試驗。試體 C-d102t12-CN 破壞行為由頂部先發生局部挫屈，隨即產生整體挫屈，但情形不甚明顯，如照片 4.21 所示。

試體 C-d102t12-CH 破壞行為亦由頂部先發生局部挫屈，並無觀察到整體挫屈現象發生，如照片 4.22 所示。試驗結束前，試體發出一大聲響，鋁合金管由頂部開始往下 10 cm 產生開裂，裂縫最寬處經測量為 1.5 cm。

4.1.2 方管系列試體

試體 S-d38t2 系列

試體 S-d38t2-CN 達極限強度時，於底部往上 20 mm 處發生局部挫屈，為求得曲線下降趨勢，試驗依舊持續加載，直至挫屈處角隅開裂，強度驟降才停止試驗進行，試體破壞情況如照片 4.23 所示。

試體 S-d38t2-CH 達極限強度時，於中央發生局部挫屈。當強度降至 90%時，挫屈處角隅亦產生開裂，如照片 4.24 所示。

試體 S-d38t3 系列

試體 S-d38t3-CN 達極限強度時，於底部往上 20 mm 處發生局部挫屈，當強度下降至 90%時，挫屈處角隅產生開裂，如照片 4.25 所示。

試體 S-d38t3-CN 達極限強度時，於底部往上 35 mm 處發生局部挫屈，接著底部亦發生局部挫屈，並且於強度下降至 90%時，發生角

隅開裂破壞，如照片 4.26 所示。

試體 S-d51t2 系列

試體 S-d51t2-CN 達極限強度時，中央部分發生局部挫屈，載重位移曲線後段平滑，顯示試體具有良好韌性行為。試驗結束時，角隅無發現開裂情況，如照片 4.27 所示。

試體 S-d51t2-CH 強度尚未到達規範所計算之標稱強度時，角隅已發生開裂現象，開裂長度達 100 mm，如照片 4.28 所示。

試體 S-d51t3 系列

試體 S-d51t3-CN 達極限強度時，中央部分發生局部挫屈。當強度降至約 90%時，試體上部及下部開始陸續產生大規模局部挫屈，如照片 4.29 所示。

試體 S-d51t3-CH 達極限強度時，底端往上 45 mm 處發生局部挫屈，試驗最後挫屈處角隅開裂，如照片 4.30 所示。

試體 S-d76t3 系列

試體 S-d76t3-CN 達極限強度時，頂端往下 62 mm 處發生局部挫屈，試驗最後挫屈處角隅開裂，如照片 4.31 所示。

試體 S-d76t3-CH 達極限強度時，中央產生局部挫屈；當強度下降至 80%時，試體頂端亦發生局部挫屈，如照片 4.32 所示。

試體 S-d102t3 系列

試體 S-d102t3-CN 達極限強度時，頂端往下 100 mm 處發生局部挫屈，直至試驗結束後，角隅亦無開裂現象，如照片 4.33 所示。

試體 S-d102t3-CH 達極限強度時傳出極大之破壞聲響，其外觀上卻無發現明顯變化，如照片 4.34 所示。萬能試驗機台於破壞聲傳出後隨即自動停止操作，推測為混凝土內部破壞，導致力量瞬間驟降。

4.2 試體軸力-應變曲線

本研究將 5 組 LVDT 架設於試驗台四個角落量取軸向變位，並於試體貼上軸向及側向之應變計，藉以觀察混凝土於鋁合金管之圍束下極限強度及應變提升之現象。相較於純混凝土柱軸力-應變曲線尖峰段之尖銳，CFAAT 軸力-應變曲線尖峰段顯得較為平滑。

所有試體之載重位移曲線結果如圖 4.1 至 4.17 所示。圖下方為各組試體之總位移量，如圖中標示，上方為其所對照之應變，圖左方則為軸壓強度。於極限強度部分，一般情況下混凝土柱之極限強度大約發生在應變達 0.002 時，CFT 之極限強度則大約發生在應變 0.004 至

0.01 之間，而由圖中顯示，CFAAT 之極限強度亦發生在 0.004 至 0.01 之間，且 D/t 值越小，軸向應變越大；抗壓強度越大，軸向應變也越大。圖中曲線下降趨勢普遍皆十分平緩，說明於鋁合金管圍束下試體之韌性行為良好。但詳細比較各圖後可以發現，普通強度混凝土與高強度混凝土在相同圍束情況下，其應力-應變曲線下降段在內部填充普通強度混凝土之試體顯得較為平緩，當整體應變達到 0.04 時，強度僅下降至 80% 附近，而內部填充高強度混凝土之試體強度卻下降至 70% 附近，甚至於更低。基於上述現象可以了解，雖然普通強度混凝土在圍束效果下之極限強度較低，但卻有更為良好之韌性行為。

在應變計測得之數值方面，刪除無法做為參考之應變計數據，並與應力關係統整，如附錄所示，以軸向應變為正，側向應變為負。由於試體於受壓階段，試體頂端及底端皆為集中承載區，可能導致整體應變值產生些許誤差，由圖中可發現當達到極限強度時，應變計讀數大致分佈於 0.002 至 0.006 之間，較整體應變值少了 0.001 至 0.003 不等，故相較於整體應變值，在達極限強度時之應變似乎應變計讀數較為可信。而當試體強度達到一定階段時，往往造成鋁合金管局部挫屈，導致管壁膨脹影響應變計之讀數，此階段可能是內部混凝土開裂，亦或是鋁合金管達到降伏強度變形。基於此情形下，應變計讀數部分，僅針對應力-應變曲線斜率改變前亦或是對照整體應變所繪成之應力

-應變曲線相差無幾之部分作討論，不就曲線下降段進行探討。於試體上黏貼應變計除可對照或修正試體中央試驗區之軸向應變，並可藉以了解試體軸向應變與側向應變之關係。

4.3 試體極限軸壓強度計算

對於 CFAAT 試體之軸壓極限強度計算，於國內外尚無相關規範加以規定，本研究將使用強度疊加法及 Sakino et al. (2004) 所提出之鋼管圍束混凝土極限強度公式推測極限強度，並將預測值與實驗結果作比較，如表 4.1 及 4.2 所示。

強度疊加法主要應用於複合構件，本研究為鋁合金管強度與混凝土強度之疊加，混凝土設計強度參考 ACI 318 設計規範之規定(公式 2.7)，而鋁合金管部份之強度計算，參考 AA 設計手冊及 AS/NZS 標準規範所規定之設計抗壓降伏強度(公式 2.8 及公式 2.10)。因規範所規定之鋁合金強度不同，故極限抗壓強度依鋁合金強度規定之規範不同分別表示為 P_{AA} 及 $P_{AS/NZS}$ 。

Sakino et al. (2004) 所提出之鋼管圍束混凝土極限強度預測公式，混凝土部分皆考慮到尺寸效應。在計算上，圓管試體之極限強度推估主要取決於鋼管提供圍束力後內部混凝土強度之提升，主要是利用

von Mises criterion 將鋼管應力分為軸向應力及徑向應力後代入圍束公式計算；而方管試體極限強度之計算上是採用疊加法，較不同處為鋼管之強度計算考慮到方型管之破壞模式因子。本研究將公式中之鋼管部分以鋁合金管之材料性質替代，求取之預測極限強度表示為 P_{Sakino} 。

4.3.1 圓管試體強度討論

在圓管試體方面，強度疊加值與實驗值之比值明顯地低估鋁合金管所提供之圍束效果，而 Sakino et al. 所提出之圓柱極限強度計算值與本研究實驗值頗為接近，且標準差 COV 值相對之下亦較小。

本研究以此為基礎並根據實驗結果試推導 CFAAT 圓柱極限軸壓強度公式，公式 2.12 至公式 2.17 中之鋼管降伏強度 σ_{sy} 及鋼管面積 A_s 分別以鋁合金管降伏強度 $\sigma_{0.2}$ 及鋁合金管面積 A_a 代入。首先依疊加法計算一般標稱強度，考慮試體尺寸大小代入混凝土折減係數後公式如下：

$$P_0 = P_{a0} + P_{c0} = A_a \sigma_{0.2} + A_c \gamma_U f'_c \quad (4.1)$$

將各試體依上式計算出標稱強度後代入下式：

$$P_{test} - P_0 = \lambda P_{a0} ; \frac{P_{test}}{P_0} = 1.0 + \lambda \frac{P_{a0}}{P_0} \quad (4.2)$$

P_{test} 為實驗值， λ 為實驗結果得出之擴展係數(augmentation factor)，其值求得方式如圖 4.18 所示，將 P_{a0}/P_0 設定為 X 軸， P_{test}/P_0 設定為 Y 軸，將趨勢線之常數部分偏移至 1.0，則其趨勢線斜率即等於 λ 。而將公式 2.12 至 2.17 皆代入公式 4.2 後可得 λ 關係式如下：

$$\lambda = \beta_{uc} - 1 - \frac{(D-2t)}{2(D-t)} k \alpha_u \quad (4.3)$$

由於 α_u 及 β_{uc} 值分別代表鋁合金管之徑向應力及軸向應力之係數，則其須符合 von Mises 降伏應力標準，由於圓管只有二維靜應力，故公式表示如下：

$$\sigma_{s\theta}^2 - \sigma_{s\theta}\sigma_{sz} + \sigma_{sz}^2 = \sigma_{0.2}^2 \quad (4.4)$$

將公式 2.15 及 2.16 代入後即可得到下式：

$$\alpha_u^2 - \alpha_u \beta_{uc} + \beta_{uc}^2 = 1.0 \quad (4.5)$$

為求得 α_u 及 β_{uc} 值，本研究利用各試體達降伏前之波松比 (Poisson's ratio) 進行推導，如表 4.3 所示，其值為經由試體之徑向及軸向應變計量測值求得，並將所得之應變關係換算成應力關係後代入公式 4.5 求解，所求得之 α_u 及 β_{uc} 之平均值分別為 -0.27 及 0.83。將解

得之兩值代入公式 4.3 中，並加入由實驗結果得到之 λ 值，即可求解 k 值，可得 k 值為 3.42。將以上所求得之 α_u 、 β_{uc} 及 k 值代入公式 2.12 至 2.17 中即可求得圓柱之極限強度 $P_{CFAAT-C}$ ，如表 4.4 所示，於設計鋁合金圓管填充混凝土柱構件時，可參考此設計強度公式。

4.3.2 方管試體強度討論

方管試體方面，採用強度疊加法較能推估出正確之極限強度，其中又以 $P_{AS/NZS}$ 之平均值較接近實驗結果。而 Sakino et al.所提出之方柱極限強度公式中混凝土部分考慮尺寸效應之影響，卻顯得高估方管圍束所產生之圍束效果，導致方管試體極限強度預測過高。

以上兩種設計強度與實驗強度之結果比較下，其標準差 COV 值皆顯得較高，此結果可能與破壞行為有關係。當方管短柱試體於承受軸壓狀態下發生隅角開裂現象，試體之圍束效果消失，使得強度無法維持且急遽下降，亦或是試體可能於試驗階段擺放不當，導致試體產生偏心挫屈，從而使得試驗強度過高，如試體 S-d51t3-CN。

4.4 試體參數於軸壓強度與行為之影響

試體依斷面形狀作分類，並採用相同規範之標稱強度計算值，將不同條件下之實驗強度與標稱強度之比值標示於圖中，如圖 4.19 及

4.20 所示。以此兩圖為基準，比較各種參數下對混凝土強度提升之優劣，並提供日後對 CFAAT 之施工條件之參考。

斷面形狀之影響（圓形、方形）

如圖 4.19 至 4.20 所示，可比較斷面形狀於軸壓強度與行為之影響，圓管試體之實驗強度與標稱強度比值皆較方管試體之比值高出許多，且如表 4.1 及 4.2 所示，圓管試體強度比較值(P_{test}/P_{AA})平均為 1.23，而方管試體平均值為 0.96，由此可知圓形圍束能夠有助於軸壓強度之提升。此外，由圖 4.21 至 4.24 可看出圓管試體之載重位移曲線下降段幾乎皆較方管試體之載重位移曲線平緩，圓管試體有較佳之韌性行為。兩者現象皆說明圓形管能提供良好圍束力，而方形管幾乎沒有圍束效應產生，而圓形管內填充之混凝土總面積皆有受到圍束效果影響。

寬厚比值之影響（ D/t ）

CFAAT 短柱於其它條件皆相同之情況下，固定管厚或管外徑比較不同 D/t 值下之載重位移曲線，如圖 4.25 至 4.32 所示。比較各圖後發現，鋁合金管 D/t 值越大所產生之韌性行為越差，而 D/t 值越小其韌性行為越佳，且由載重位移曲線可發現，當 D/t 值過小時，曲線會進入應變硬化階段。將應變值及 D/t 值作整理後顯示於圖 4.33 及

4.34，圖中之極限載重應變值皆採用試體上之軸向應變計數據，觀察兩圖後可發現，當 D/t 值越小，試體於極限載重下之應變值越大，此亦可解釋試體之破壞行為之不同之處。

此外，觀察圖 4.19 及 4.20 可看出，在圓管圍束下，儘管 D/t 值已超過 33.87，其實際軸壓強度依然高於規範值；相反地，在方管圍束下，當 D/t 值超過 20 後，其實際軸壓強度皆較標稱值低。

混凝土強度之影響 (f'_c)

混凝土強度對於軸壓強度之影響可直接於圖 4.19 及 4.20 看出，由所有試體之實驗強度與規範強度比值發現，管內填充普通強度混凝土能使圍束效果有效發揮，而填充高強度混凝土之試體，雖然圍束效果發揮較低，卻依然能使軸壓強度有效地提升。另外，如圖 4.1 至 4.17 所示，管內填充普通強度混凝土試之體韌性行為較佳，高強度混凝土試體在相同應變情況下，強度皆下降較多。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究主要在探討 CFAAT 柱構件承受軸向加載作用之極限軸壓強度與行為，進行 34 組短柱軸壓試驗。試體分為圓管圍束及方管圍束，鋁合金空管之寬厚比(D/t)介於 6.72 至 33.31 之間，管內填充混凝土分為普通強度混凝土 37.4 MPa 及高強度混凝土 55.2 MPa。綜合試驗結果提出結論如下：

1. 試體之載重位移曲線顯示試體達極限軸壓強度時，試體整體應變大致於 0.004 至 0.01 間，而中央試驗區之應變計讀數則在 0.002 至 0.006 間。鋁管寬厚比值越小，軸向應變越大；極限強度越大，軸向應變也越大。試體之載重位移曲線下降趨勢普遍皆十分平緩，說明於鋁合金管圍束下試體之韌性行為良好。
2. 試體在軸向加載作用下之應力應變曲線，其下降段皆為平緩，顯示採用鋁合金管圍束混凝土有助於混凝土殘留強度提升。在相同鋁管寬厚比值情況下，在內部填充普通強度混凝土之試體雖然極限強度較低，其應力應變曲線下降段顯得較為平緩，有較好之韌性行為。

3. 圓管試體之載重位移曲線達極限強度後下降段幾乎皆較方管試體之載重位移曲線平緩，圓管試體有較佳之韌性行為。兩者現象皆說明圓形管能提供良好圍束力，而方形管幾乎沒有圍束效應產生。設計 CFAAT 圓柱構件極限強度時，使用強度疊加法計算，未能有效考慮圍束效應，本研究利用實驗結果推導之公式，能較精準估測圓管試體之軸壓強度。
4. 以試體之鋁合金管寬厚比值而言，當其值越低，鋁合金管提供之圍束應力及整體軸向應變皆越大，於軸壓極限強度提升越高。
5. 極限軸壓強度採用鋁合金規範計算之軸壓強度與混凝土軸壓強度疊加，計算所得顯示圓柱試體軸壓強度普遍大於計算強度，因混凝土軸壓強度未能有效考慮圍束效應。
6. 方管試體軸壓強度與計算強度則較為接近，強度疊加之混凝土強度使用 ACI 318 設計規範，而鋁合金強度使用 AS/NZS 規範可得到較準確值。

5.2 建議

1. 本研究所設計之試體尺寸較小，其尺寸定義包括鋁合金管之斷面外徑及長度，未來研究可試著採用尺寸較大之試體，並與本研究結果相互比較。

2. 本研究僅探討鋁合金管填充混凝土短柱純軸壓行為，未來研究可以此為基礎，延續探討與鋁合金填充混凝土梁柱構件之行為。
3. 鋁合金方管試體於此研究中數據稍嫌不足，且實驗值差距過大，無法進行合理之軸壓強度推導，留待後續研究討論。



參考文獻

- AA, Aluminum Design Manual – Part I: Specification for Aluminum Structures. Aluminum Association, Washington, D.C. 2005.
- ACI, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05), American Concrete Institute. 2005.
- AISC, Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL. 2005a.
- AISC, Manual of Steel Construction: Load and Resistance Factor Design. 3rd Edition, Chicago, IL. 1999
- AS/NZS, Aluminum Structures – Part 1: Limit State Design. AS/NZS 1664.1:1997, Australian/New Zealand Standard, Standards Australia, Sydney, Australia, 1997.
- AS AS3600, Concrete Structures. AS3600-1994. Australian Standards AS3600, Sydney (Australia): Standards Australia, 1994.
- ASTM, Standard Methods for Tension Testing of Metallic Materials. E 8M – 86, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 1997.
- Giakoumelis, G., and Lam, D., Axial Capacity of Circular Concrete-Filled Tube Columns. Journal of Constructional Research 2004; 60:1049-1068.

- Gupta, P. K.,Sarda, S. M., and Kumar, M. S., Experimental and Computational Study of Concrete Filled Steel Tubular Columns under Axial Loads. Journal of Constructional Steel Research 2007; 63:182-193.
- Han, L. H., Tests on Stub Columns of Concrete-Filled RHS Sections. Journal of Constructional Steel Research 2002; 58:353-372.
- Liu, D., Tests on High-Strength Rectangular Concrete-Filled Steel Hollow Section Stub Columns. Journal of Constructional Steel Research 2005; 61:902-911.
- Liu, D., Gho, W. M., and Yuan, J., Ultimate Capacity of High-Strength Rectangular Concrete-Filled Steel Hollow Section Stub Columns. Journal of Constructional Steel Research 2003; 59:1499-1515.
- Mander, J. B. , Priestley, M. J., and Park, R., Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering 1988; 114:1804-1826.
- Sakino, K., Nakahara, H., Morino, S., and Nishiyama, I., Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns. Journal of Structural Engineering 2004; 130:180-188.
- Schneider, S. P., Axially Loaded Concrete-Filled Steel Tubes. Journal of Structural Engineering 1998; 124:1125-1138.

Young, B., and Ellobody, E., Experimental Investigation of Concrete-Filled Cold-Formed High Strength Stainless Steel Tube Columns. Journal of Constructional Steel Research 2006; 62:484-492.

Zhang, S., and Liu, J., Seismic Behavior and Strength of Square Tube Confined Reinforced-Concrete (STRC) Columns. Journal of Constructional Steel Research 2007; 63:1194-1207.

Zhou, F., and Young, B., Axial Compression Tests on Concrete-Filled Aluminum Square Hollow Sections. The 5th Mainland, Taiwan and Hong Kong Symposium on Steel Construction 2008 ; NCREE-08-039.

Zhou, F., and Young, B., Tests of Concrete-Filled Aluminum Stub Columns. Thin-Walled Structures 2008 ; 46:573-583.

Zhou, F., Young, B., and Zhao, X. L., Tests and Design of Aluminum Tubular Sections Subjected to Concentrated Bearing Load. Journal of Structural Engineering 2009; 135:806-817.

Zhu, J. H., and Young, B., Tests and Design of Aluminum Alloy Compression Members. Journal of Structural Engineering 2006; 132:1096-1107.

陳瑞益，「高強度混凝土在被動圍束下之行為研究」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文 1987，趙文成指導。

陳照堂，「碳纖維和玻璃纖維圍束混凝土之行為」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文 1987，陳誠直指導。

丁英哲，「高強度鋼管混凝土柱強度之實驗探討」，國立中興大學土木工程研究所碩士論文 2004。



表 3.1 圓管試體編號

Specimen	Depth D (mm)	Thickness t (mm)	D/t	Length L (mm)	Aluminum area A_a (mm ²)	Concrete area A_c (mm ²)
C-d38t3-CO	38.1	3.05	12.49	114.0	336	0
C-d38t3-CN	38.1	3.05	12.49	114.1	336	804
C-d38t3-CH	38.1	3.05	12.49	114.0	336	804
C-d41t6-CO	41.0	6.10	6.72	123.3	669	0
C-d41t6-CN	41.0	6.10	6.72	124.0	669	651
C-d41t6-CH	41.0	6.10	6.72	123.8	669	651
C-d45t3-CO	45.0	3.10	14.52	135.2	408	0
C-d45t3-CN	45.0	3.10	14.52	134.8	408	1182
C-d45t3-CH	45.0	3.10	14.52	134.9	408	1182
C-d51t3-CO	50.8	3.10	16.39	152.0	465	0
C-d51t3-CN	50.8	3.10	16.39	152.1	465	1562
C-d51t3-CH	50.8	3.10	16.39	153.0	465	1562
C-d55t6-CO	55.0	6.05	9.10	166.1	930	0
C-d55t6-CN	55.0	6.05	9.10	165.5	930	1445
C-d55t6-CH	55.0	6.05	9.10	166.0	930	1445
C-d63t3-CO	63.0	2.99	21.08	188.0	564	0
C-d63t3-CN	63.0	2.99	21.08	188.5	564	2554
C-d63t3-CH	63.0	2.99	21.08	189.5	564	2554
C-d63t6-CO	63.0	6.10	10.33	190.0	1090	0
C-d63t6-CN	63.0	6.10	10.33	188.0	1090	2027
C-d63t6-CH	63.0	6.10	10.33	189.0	1090	2027
C-d76t3-CO	76.2	3.01	25.32	227.0	692	0
C-d76t3-CN	76.2	3.01	25.32	228.3	692	3868
C-d76t3-CH	76.2	3.01	25.32	228.5	692	3868
C-d102t3-CO	101.6	3.05	33.31	304.5	944	0
C-d102t3-CN	101.6	3.05	33.31	303.8	944	7163
C-d102t3-CH	101.6	3.05	33.31	303.5	944	7163
C-d102t6-CO	101.6	6.10	16.66	304.0	1830	0
C-d102t6-CN	101.6	6.10	16.66	304.0	1830	6277
C-d102t6-CH	101.6	6.10	16.66	305.0	1830	6277
C-d102t12-CO	101.6	12.04	8.44	304.3	3388	0
C-d102t12-CN	101.6	12.04	8.44	304.5	3388	4720
C-d102t12-CH	101.6	12.04	8.44	304.8	3388	4720

表 3.2 方管試體編號

Specimen	Width D (mm)	Thickness t (mm)	D/t	Length L (mm)	Aluminum area A_a (mm ²)	Concrete area A_c (mm ²)
S-b38t2-CO	38.1	2.03	17.77	114.2	293	0
S-b38t2-CN	38.1	2.03	17.77	114.5	293	1159
S-b38t2-CH	38.1	2.03	17.77	114.0	293	1159
S-b38t3-CO	38.1	3.04	11.53	115.0	426	0
S-b38t3-CN	38.1	3.04	11.53	114.0	426	1025
S-b38t3-CH	38.1	3.04	11.53	114.5	426	1025
S-b51t2-CO	50.8	2.02	24.15	152.2	394	0
S-b51t2-CN	50.8	2.02	24.15	152.5	394	2187
S-b51t2-CH	50.8	2.02	24.15	151.8	394	2187
S-b51t3-CO	50.8	2.98	16.05	151.8	570	0
S-b51t3-CN	50.8	2.98	16.05	152.0	570	2011
S-b51t3-CH	50.8	2.98	16.05	152.0	570	2011
S-b76t3-CO	76.2	2.96	24.74	228.0	867	0
S-b76t3-CN	76.2	2.96	24.74	229.0	867	4939
S-b76t3-CH	76.2	2.96	24.74	229.2	867	4939
S-b102t3-CO	101.6	3.02	32.64	305.0	1191	0
S-b102t3-CN	101.6	3.02	32.64	305.5	1191	9132
S-b102t3-CH	101.6	3.02	32.64	303.0	1191	9132

表 3.3 圓管試體之混凝土強度

Specimen	f'_c (MPa)
C-d38t3-CN	40.2
C-d38t3-CH	62.5
C-d41t6-CN	37.0
C-d41t6-CH	58.8
C-d45t3-CN	37.0
C-d45t3-CH	58.8
C-d51t3-CN	40.2
C-d51t3-CH	62.5
C-d55t6-CN	37.0
C-d55t6-CH	58.8
C-d63t3-CN	40.2
C-d63t3-CH	62.5
C-d63t6-CN	40.2
C-d63t6-CH	62.5
C-d76t3-CN	40.2
C-d76t3-CH	62.5
C-d102t3-CN	40.2
C-d102t3-CH	62.5
C-d102t6-CN	40.2
C-d102t6-CH	62.5
C-d102t12-CN	40.2
C-d102t12-CH	62.5

表 3.4 方管試體之混凝土強度

Specimen	f'_c (MPa)
S-b38t2-CN	40.2
S-b38t2-CH	62.5
S-b38t3-CN	40.2
S-b38t3-CH	62.5
S-b51t2-CN	40.2
S-b51t2-CH	62.5
S-b51t3-CN	40.2
S-b51t3-CH	62.5
S-b76t3-CN	40.2
S-b76t3-CH	62.5
S-b102t3-CN	40.2
S-b102t3-CH	62.5



表 3.5 鋁合金管材料性質試驗結果

試片編號及型號		$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_u (MPa)	E_0 (GPa)
C-d38t3	6061-T6	245	301	69.5
C-d41t6	6061-T6	365	450	64.5
C-d45t3	6061-T6	203	246	64.9
C-d51t3	6061-T6	208	251	68.3
C-d55t6	6061-T6	340	406	72.1
C-d63t3	6061-T6	237	274	68.8
C-d63t6	6061-T6	303	364	72.3
C-d76t3	6061-T6	180	200	55.5
C-d102t3	6061-T6	230	234	60.3
C-d102t6	6061-T6	157	207	67.2
C-d102t12	6061-T6	308	398	69.1
S-d38t2	6063-T5	214	229	69.7
S-d38t3	6063-T5	178	226	68.1
S-d51t2	6063-T5	214	215	67.3
S-d51t3	6063-T5	133	168	69.7
S-d76t3	6063-T5	196	199	63.6
S-d102t3	6063-T5	176	178	59.5

表 4.1 圓管試體極限軸壓強度規範值與實驗值之比較

Specimen	P_{test} (kN)	P_{AA} (kN)	$P_{AS/NZS}$ (kN)	P_{Sakino} (kN)	P_{test} / P_{AA}	$P_{test} / P_{AS/NZS}$	P_{test} / P_{Sakino}
C-d38t3-CN	139.7	109.8	100.9	138.4	1.27	1.38	1.01
C-d38t3-CH	152.0	125.0	116.2	158.3	1.22	1.31	0.97
C-d41t6-CN	334.4	264.6	238.4	322.3	1.26	1.40	1.04
C-d41t6-CH	404.0	276.7	250.5	337.9	1.46	1.61	1.20
C-d45t3-CN	149.3	120.0	111.1	151.3	1.24	1.34	0.99
C-d45t3-CH	160.6	141.9	133.1	179.4	1.13	1.21	0.90
C-d51t3-CN	186.3	150.0	139.7	188.7	1.24	1.33	0.99
C-d51t3-CH	211.0	179.6	169.3	226.1	1.17	1.25	0.93
C-d55t6-CN	514.1	361.8	327.9	446.5	1.42	1.57	1.15
C-d55t6-CH	463.7	388.6	354.7	480.1	1.19	1.31	0.96
C-d63t3-CN	262.0	219.7	205.5	274.7	1.19	1.27	0.95
C-d63t3-CH	309.1	268.1	253.9	334.5	1.15	1.22	0.92
C-d63t6-CN	559.6	399.7	364.3	494.5	1.40	1.54	1.13
C-d63t6-CH	588.2	438.1	402.7	542.0	1.34	1.36	1.09
C-d76t3-CN	284.4	256.8	243.4	317.2	1.11	1.17	0.90
C-d76t3-CH	329.1	330.1	316.7	406.0	1.00	1.04	0.81
C-d102t3-CN	479.4	461.9	438.7	561.9	1.04	1.09	0.85
C-d102t3-CH	675.1	597.7	574.5	720.8	1.13	1.18	0.94
C-d102t6-CN	614.5	501.8	471.0	611.6	1.22	1.30	1.00
C-d102t6-CH	732.5	620.8	590.0	751.0	1.18	1.24	0.97
C-d102t12-CN	1594.5	1177.5	1068.7	1435.9	1.35	1.49	1.09
C-d102t12-CH	1593.0	1267.0	1158.1	1540.7	1.26	1.38	1.01
Mean					1.23	1.32	0.99
COV					0.096	0.113	0.097

表 4.2 方管試體極限軸壓強度規範值與實驗值之比較

Specimen	P_{test} (kN)	P_{AA} (kN)	$P_{AS/NZS}$ (kN)	P_{Sakino} (kN)	P_{test} / P_{AA}	$P_{test} / P_{AS/NZS}$	P_{test} / P_{Sakino}
S-b38t2-CN	85.9	102.3	95.6	114.4	0.84	0.90	0.75
S-b38t2-CH	99.6	124.2	117.5	143.1	0.80	0.85	0.70
S-b38t3-CN	118.9	110.9	102.8	121.7	1.07	1.16	0.98
S-b38t3-CH	139.5	130.4	122.2	147.1	1.07	1.14	0.95
S-b51t2-CN	149.1	149.2	141.2	169.0	1.00	1.06	0.88
S-b51t2-CH	158.3	190.7	182.7	221.5	0.83	0.87	0.71
S-b51t3-CN	157.1	144.5	136.4	162.8	1.09	1.15	0.97
S-b51t3-CH	219.3	182.6	174.5	211.0	1.20	1.26	1.04
S-b76t3-CN	306.2	338.7	320.5	374.1	0.90	0.96	0.82
S-b76t3-CH	363.6	432.4	414.2	487.3	0.84	0.88	0.75
S-b102t3-CN	502.1	521.6	499.2	575.0	0.96	1.01	0.87
S-b102t3-CH	673.9	694.7	672.3	777.6	0.97	1.00	0.87
Mean					0.96	1.02	0.86
COV					0.130	0.133	0.132

表 4.3 圓管試體之波松比

Specimen	Poisson's ratio
C-d38t3-CN	0.32
C-d38t3-CH	0.33
C-d41t6-CN	0.33
C-d41t6-CH	0.37
C-d45t3-CN	0.30
C-d45t3-CH	0.33
C-d51t3-CN	0.33
C-d51t3-CH	0.33
C-d55t6-CN	0.33
C-d55t6-CH	0.36
C-d63t3-CN	0.35
C-d63t3-CH	0.34
C-d63t6-CN	0.31
C-d63t6-CH	0.32
C-d76t3-CN	0.28
C-d76t3-CH	0.39
C-d102t3-CN	0.31
C-d102t3-CH	0.27
C-d102t6-CN	0.31
C-d102t6-CH	0.28
C-d102t12-CN	0.32
C-d102t12-CH	0.33

表 4.4 圓管試體公式推導值與實驗值之比較

Specimen	$P_{CFAAT-C}$
C-d38t3-CN	1.01
C-d38t3-CH	0.96
C-d41t6-CN	1.04
C-d41t6-CH	1.20
C-d45t3-CN	0.98
C-d45t3-CH	0.90
C-d51t3-CN	0.99
C-d51t3-CH	0.93
C-d55t6-CN	1.15
C-d55t6-CH	0.96
C-d63t3-CN	0.95
C-d63t3-CH	0.92
C-d63t6-CN	1.13
C-d63t6-CH	1.08
C-d76t3-CN	0.90
C-d76t3-CH	0.81
C-d102t3-CN	0.85
C-d102t3-CH	0.93
C-d102t6-CN	0.99
C-d102t6-CH	0.96
C-d102t12-CN	1.08
C-d102t12-CH	1.01
Mean	0.99
COV	0.097

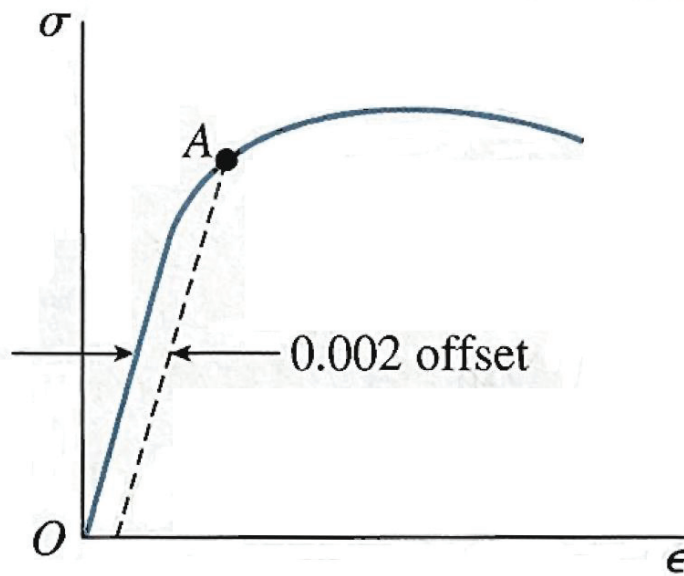


圖 2.1 鋁合金降伏強度之平移法(Gere J.M. 2004)

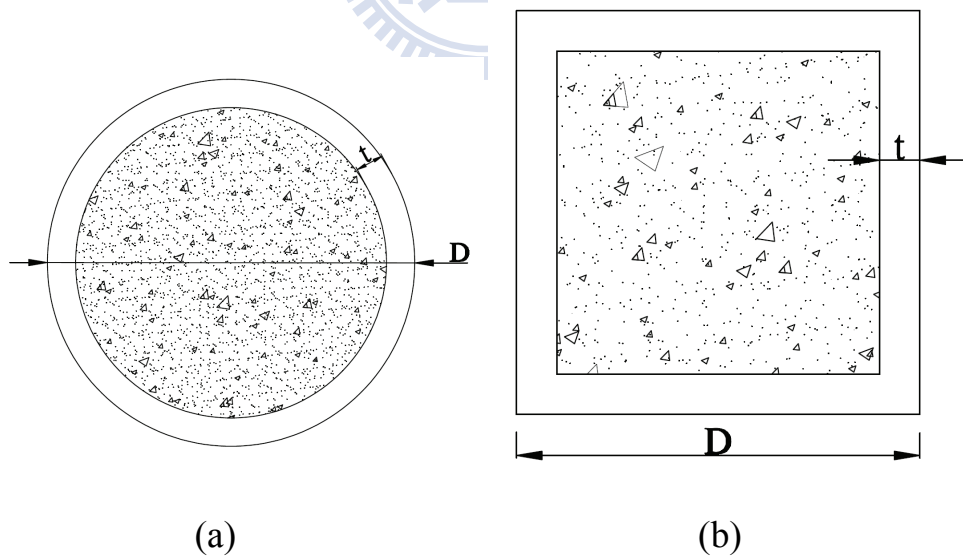


圖 3.1 試體斷面圖(a)圓管試體；(b)方管試體

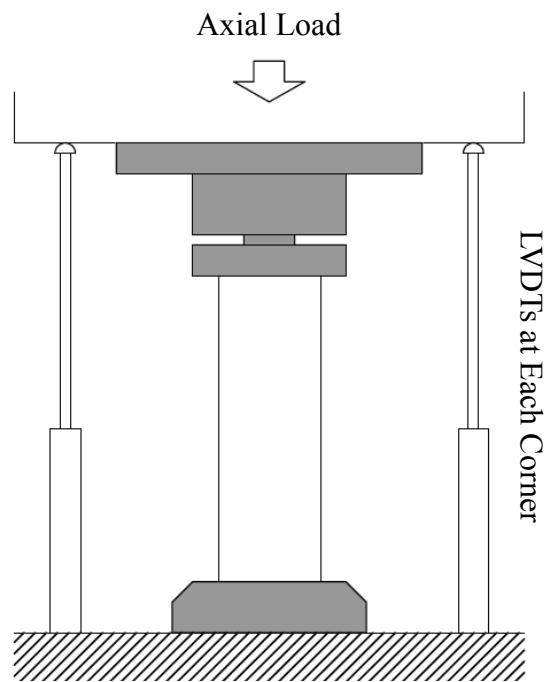


圖 3.2 試體於試驗機設置側視圖

- ⊕ Location of LVDTs
- ▲ Longitudinal Strain Gauge
- △ Transverse Strain Gauge

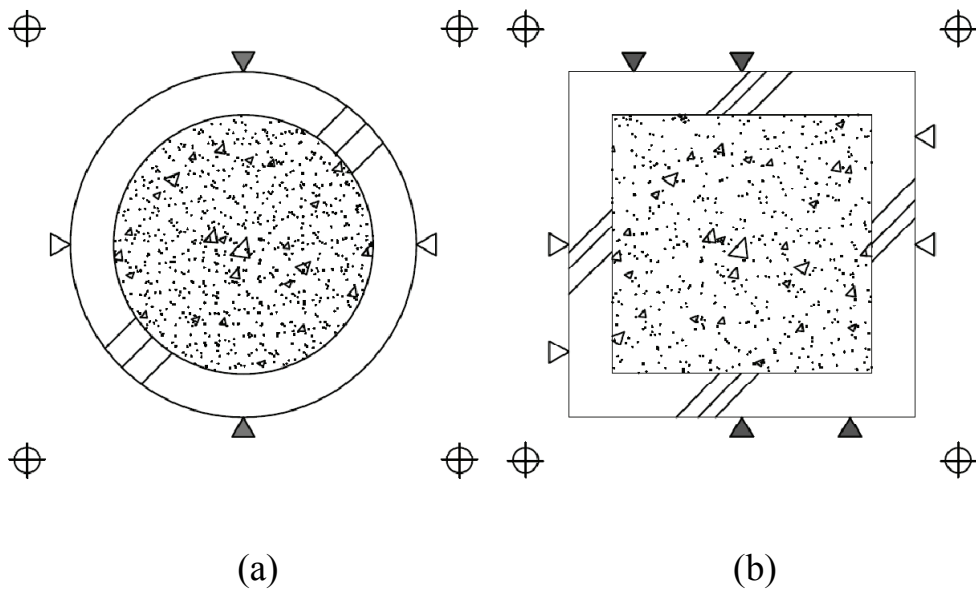


圖 3.3 試體於試驗機設置俯視圖(a)圓管試體；(b)方管試體

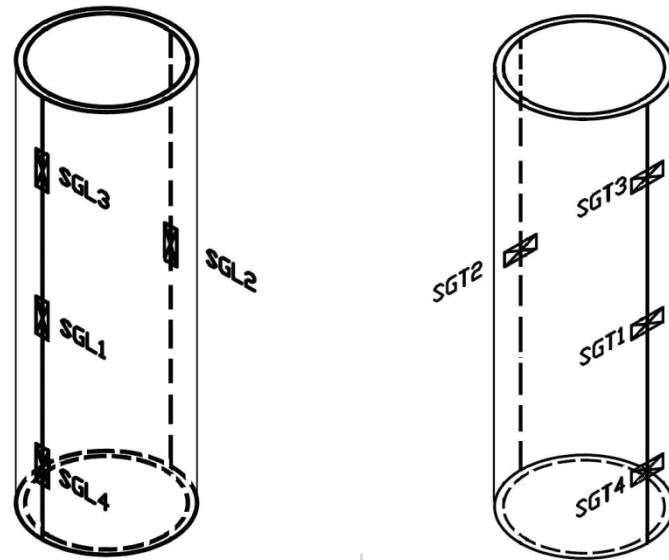


圖 3.4 圓管試體應變計黏貼處

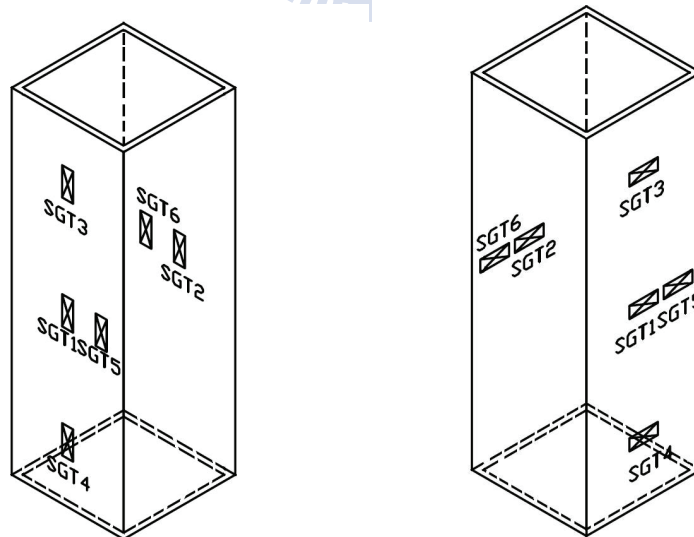


圖 3.5 方管試體應變計黏貼處

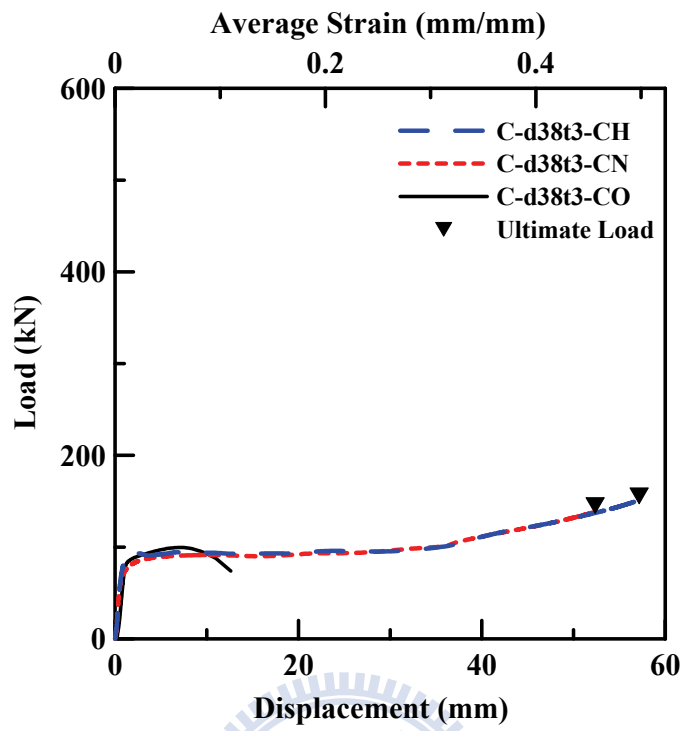


圖 4.1 試體 C-d38t3 系列載重位移圖

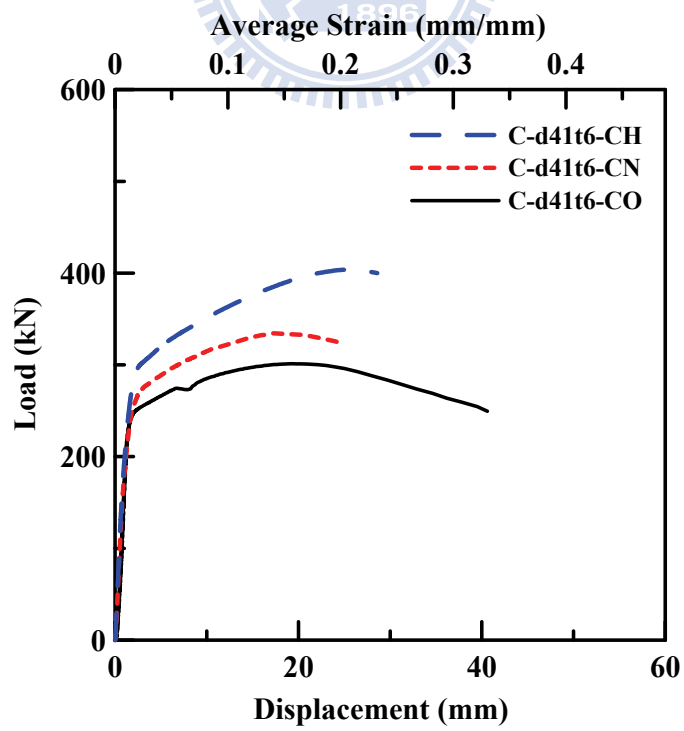


圖 4.2 試體 C-d41t6 系列載重位移圖

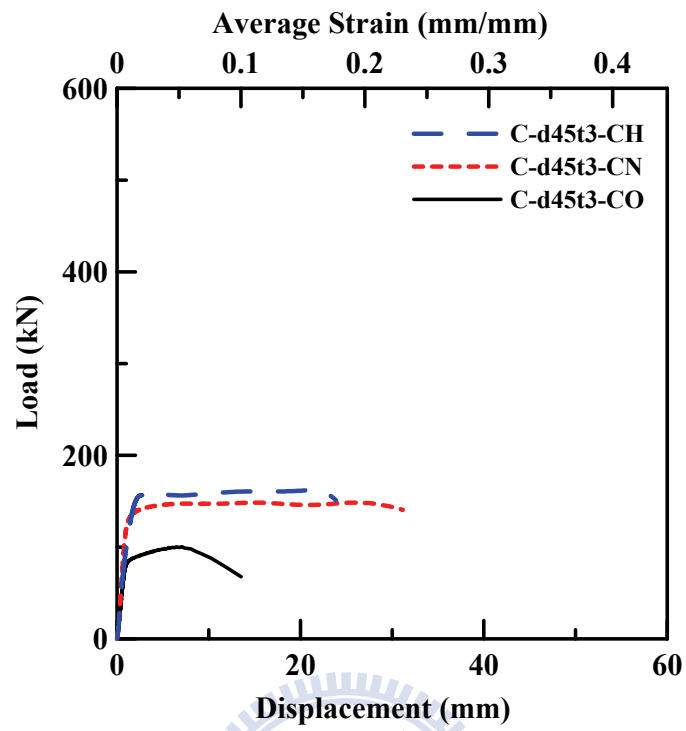


圖 4.3 試體 C-d45t3 系列載重位移圖

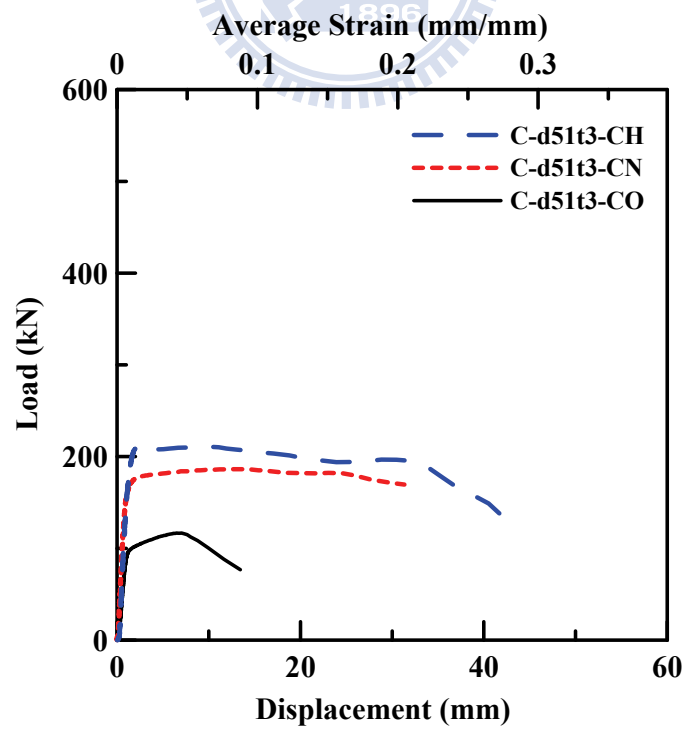


圖 4.4 試體 C-d51t3 系列載重位移圖

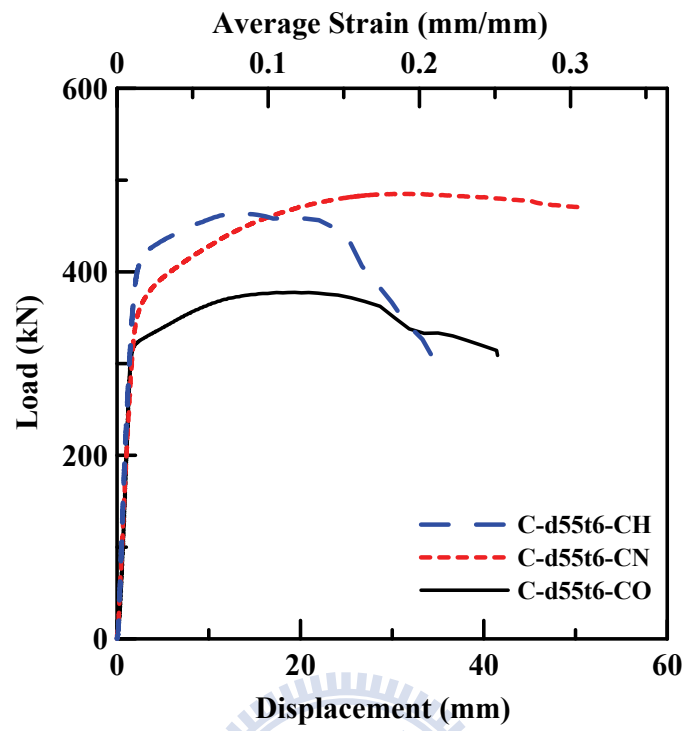


圖 4.5 試體 C-d55t6 系列載重位移圖

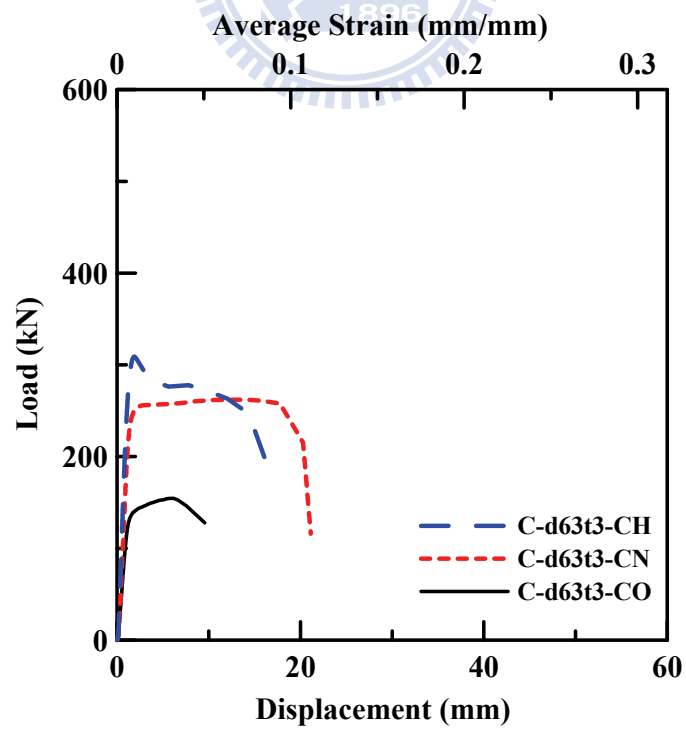


圖 4.6 試體 C-d63t3 系列載重位移圖

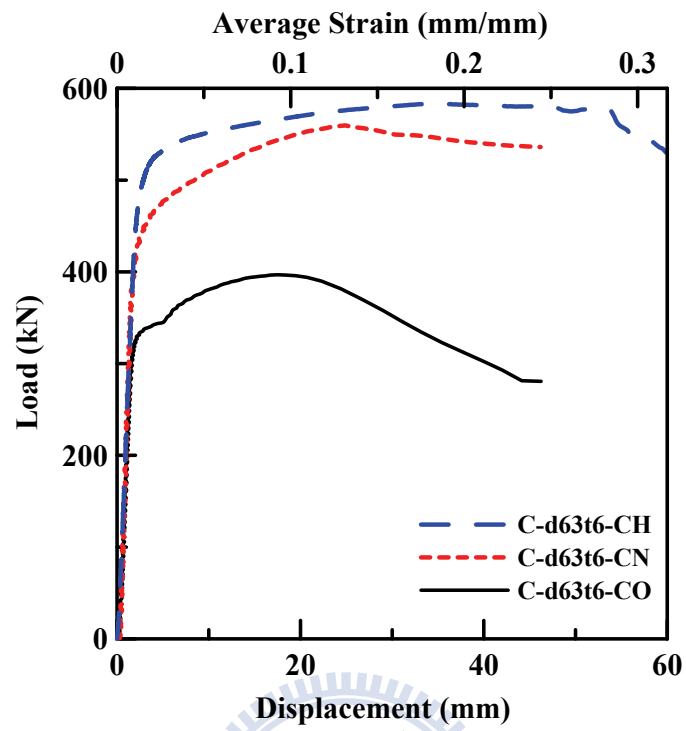


圖 4.7 試體 C-d63t6 系列載重位移圖

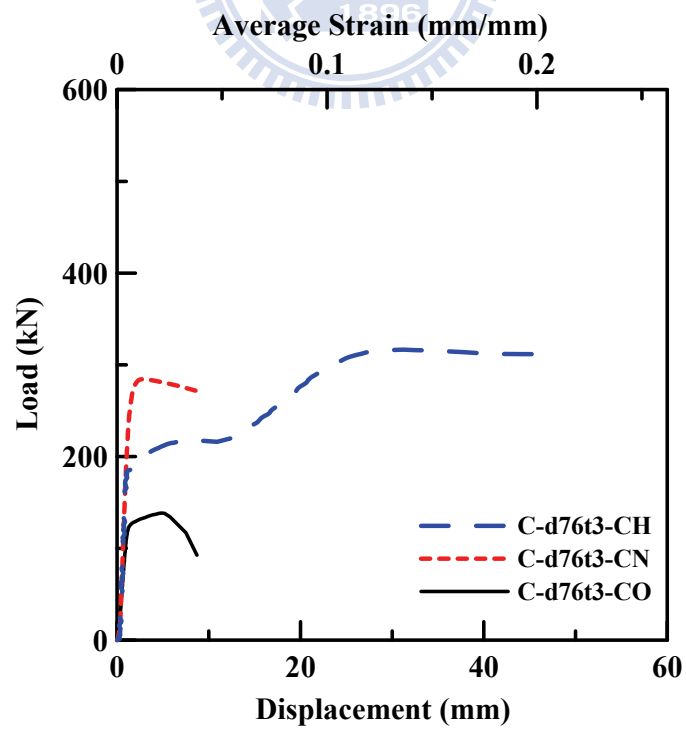


圖 4.8 試體 C-d76t3 系列載重位移圖

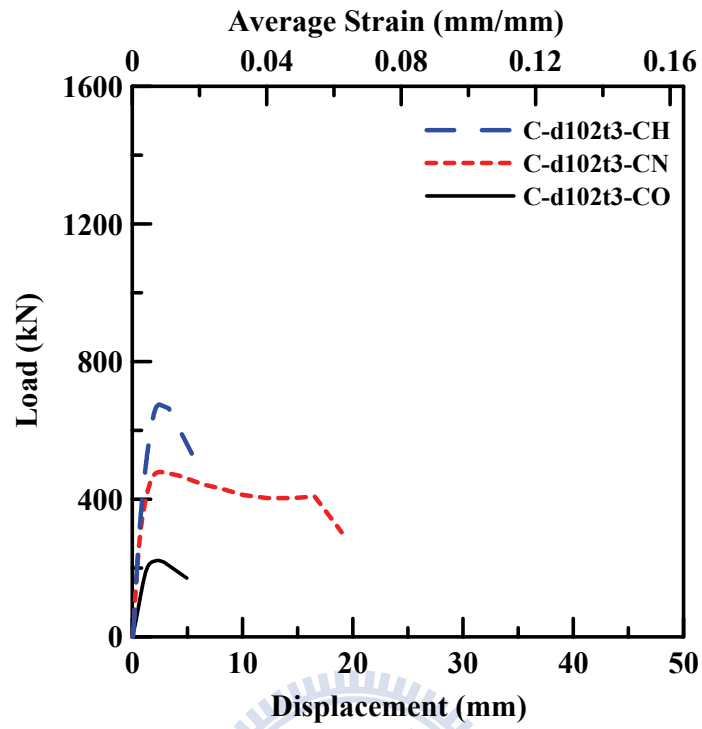


圖 4.9 試體 C-d102t3 系列載重位移圖

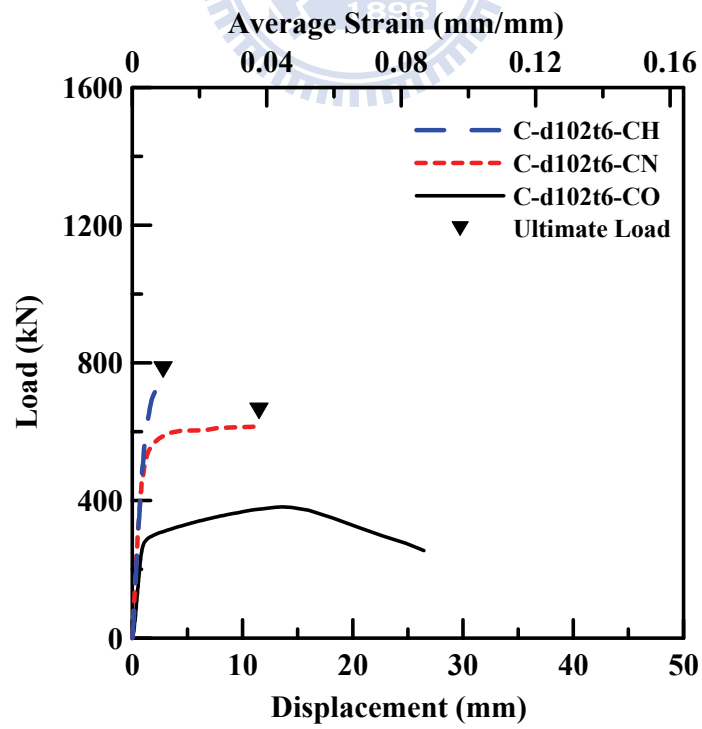


圖 4.10 試體 C-d102t6 系列載重位移圖

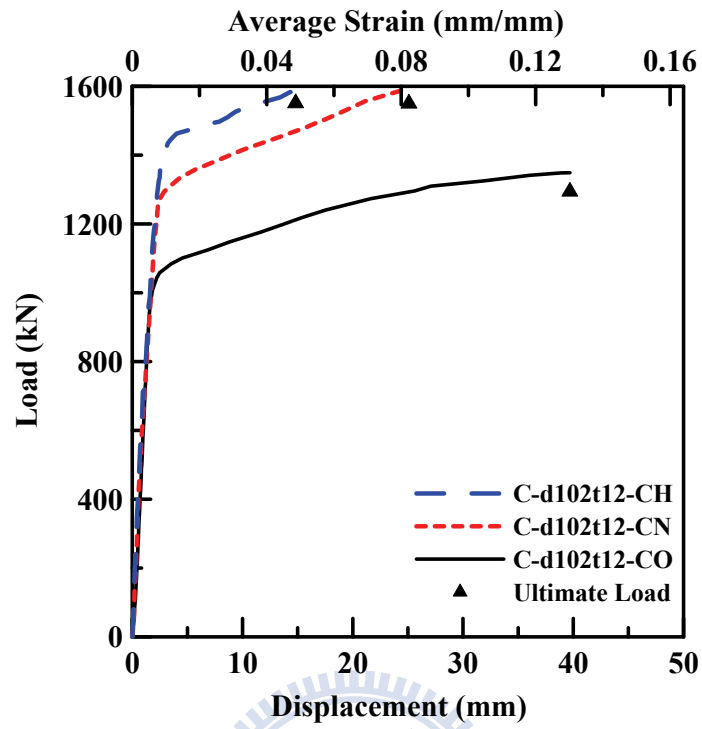


圖 4.11 試體 C-d102t12 系列載重位移圖

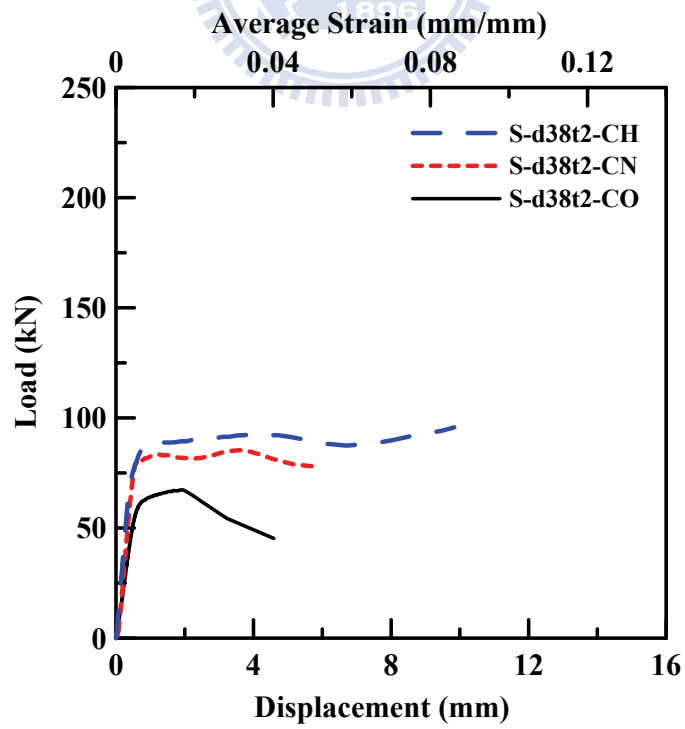


圖 4.12 試體 S-d38t2 系列載重位移圖

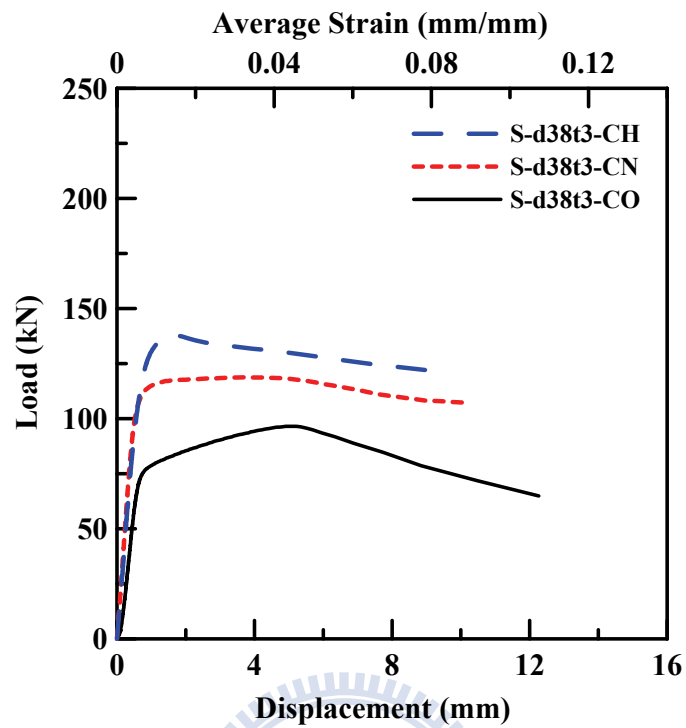


圖 4.13 試體 S-d38t3 系列載重位移圖

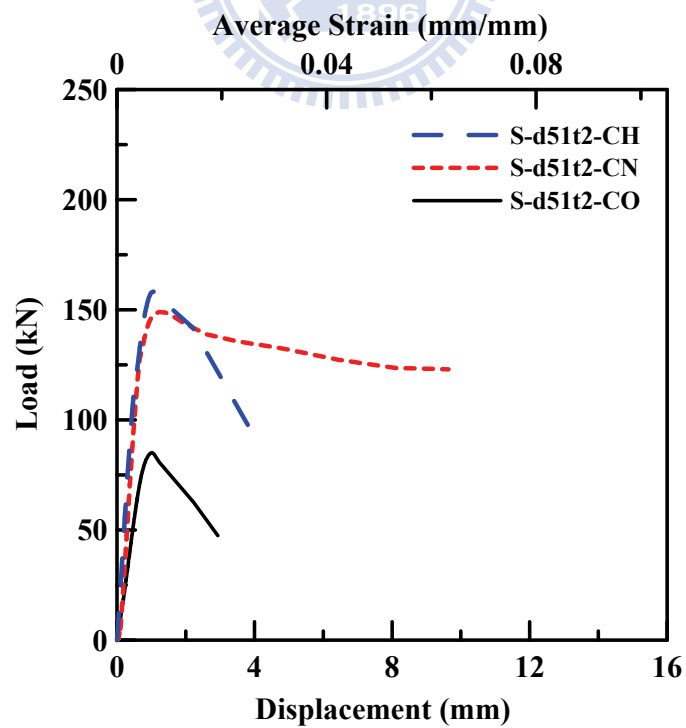


圖 4.14 試體 S-d51t2 系列載重位移圖

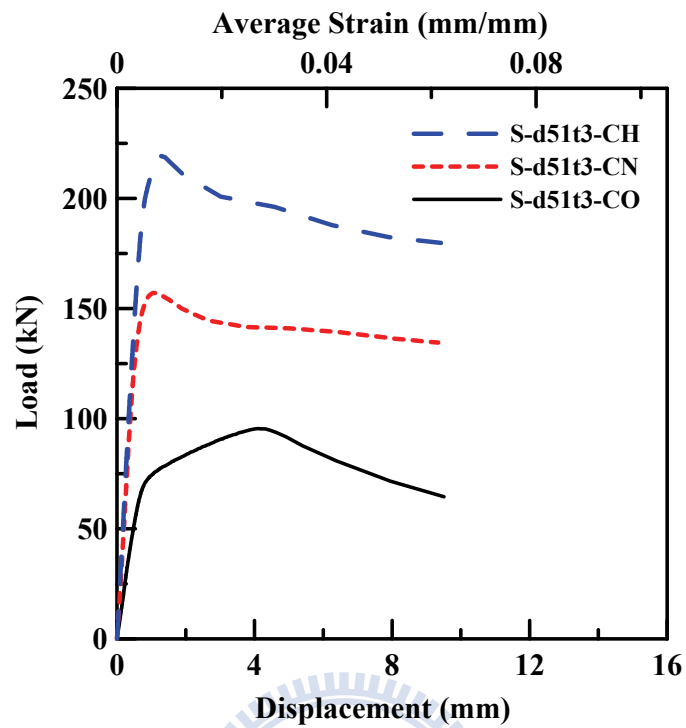


圖 4.15 試體 S-d51t3 系列載重位移圖

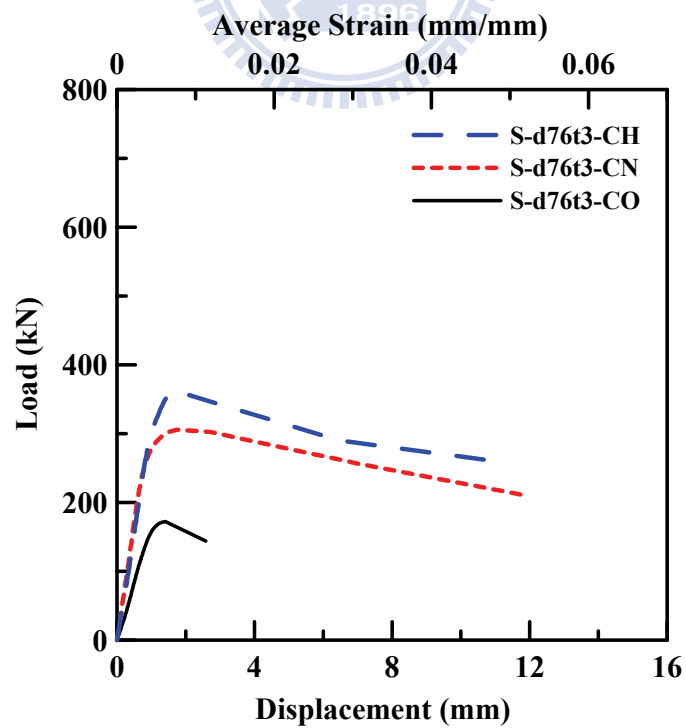


圖 4.16 試體 S-d76t3 系列載重位移圖

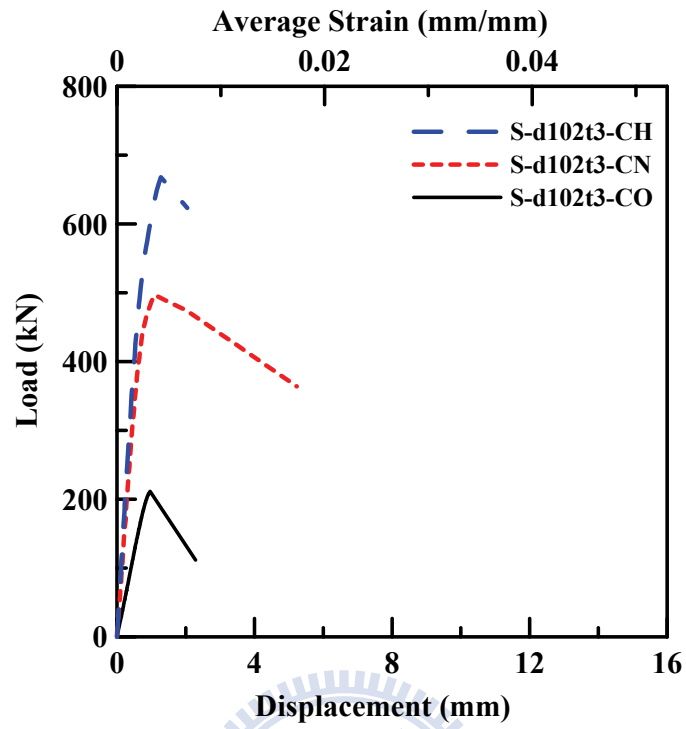


圖 4.17 試體 S-d102t3 系列載重位移圖

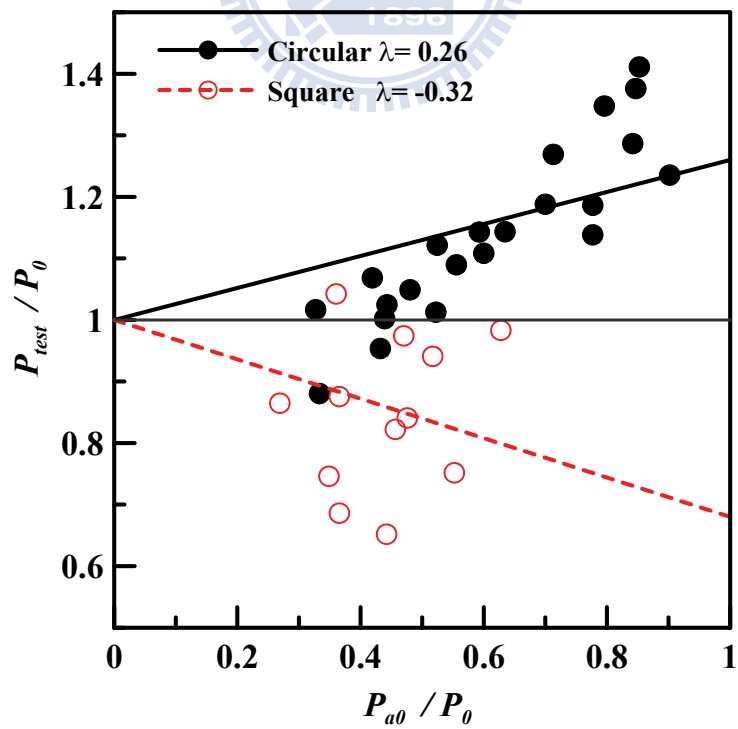


圖 4.18 λ 值求取示意圖

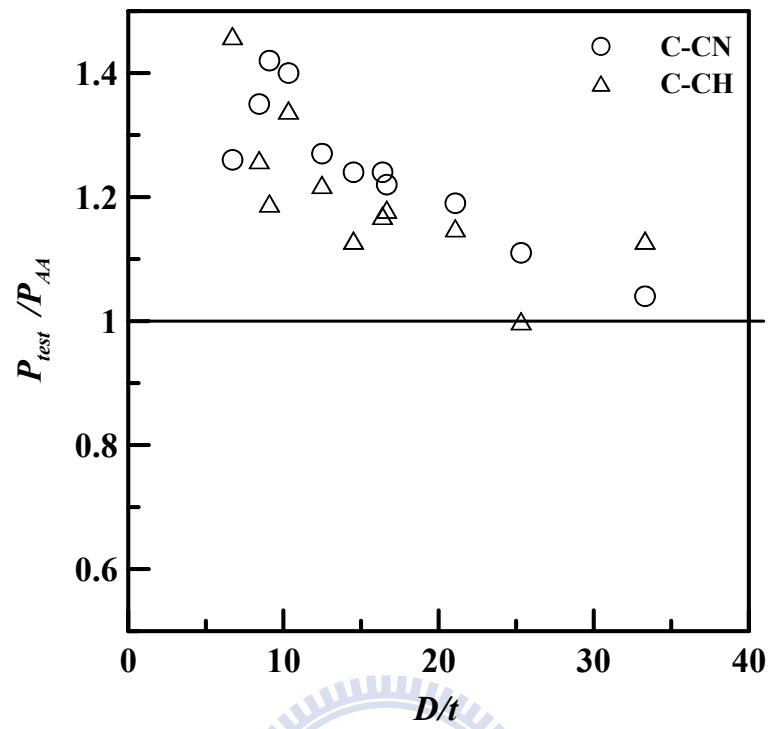


圖 4.19 圓管試體實驗強度與設計強度比較圖

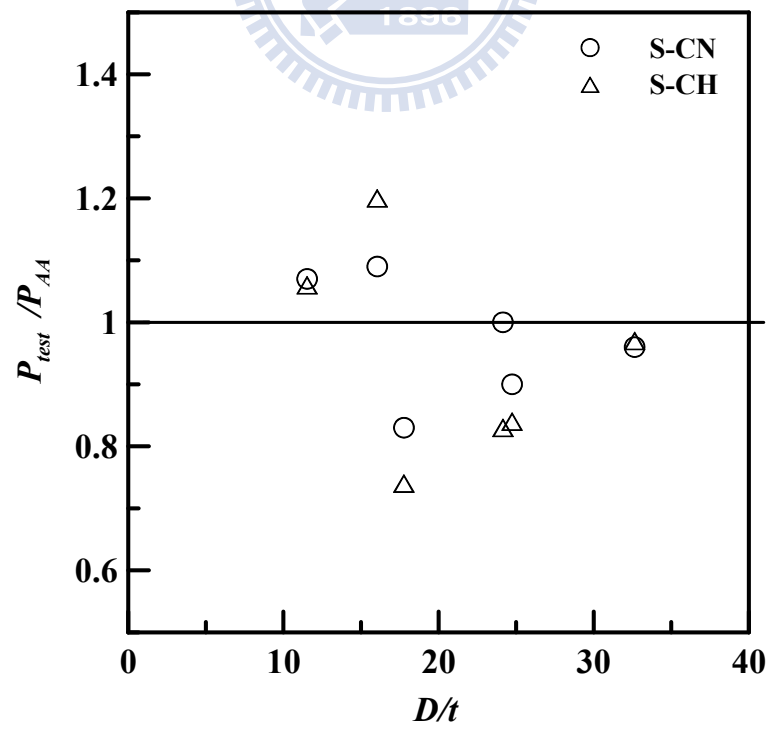


圖 4.20 方管試體實驗強度與設計強度比較圖

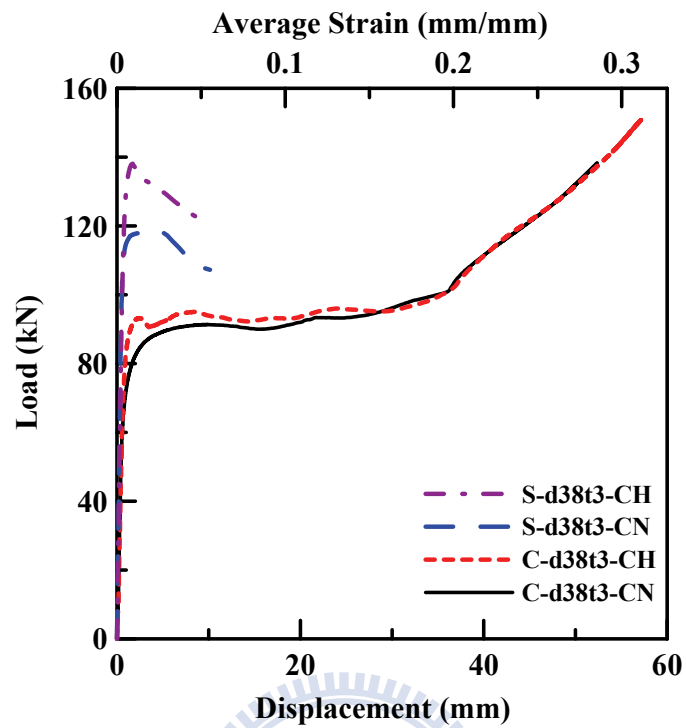


圖 4.21 試體 d38t3 系列載重位移曲線比較圖

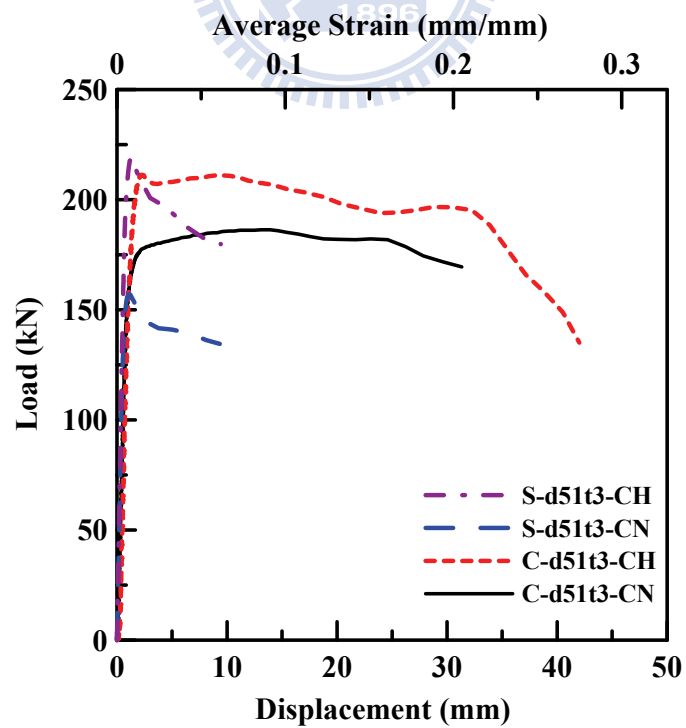


圖 4.22 試體 d51t3 系列載重位移曲線比較圖

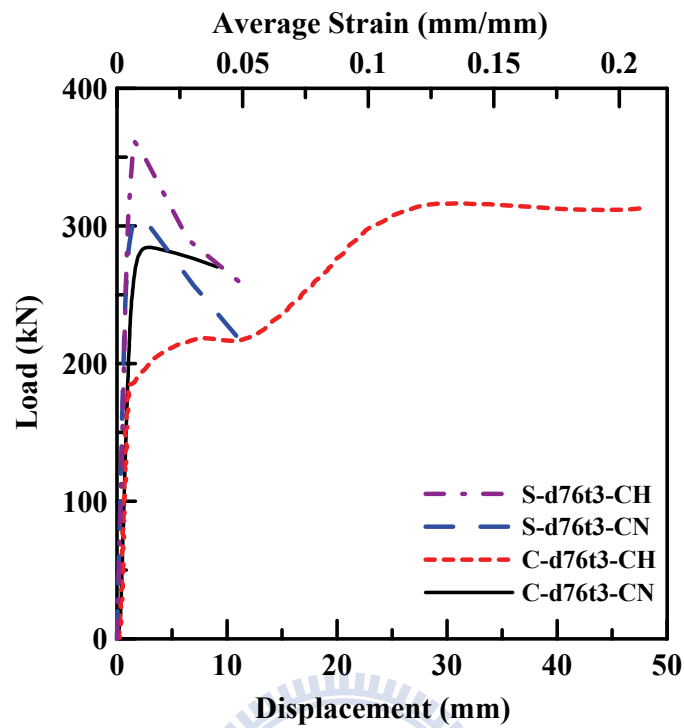


圖 4.23 試體 d76t3 系列載重位移曲線比較圖

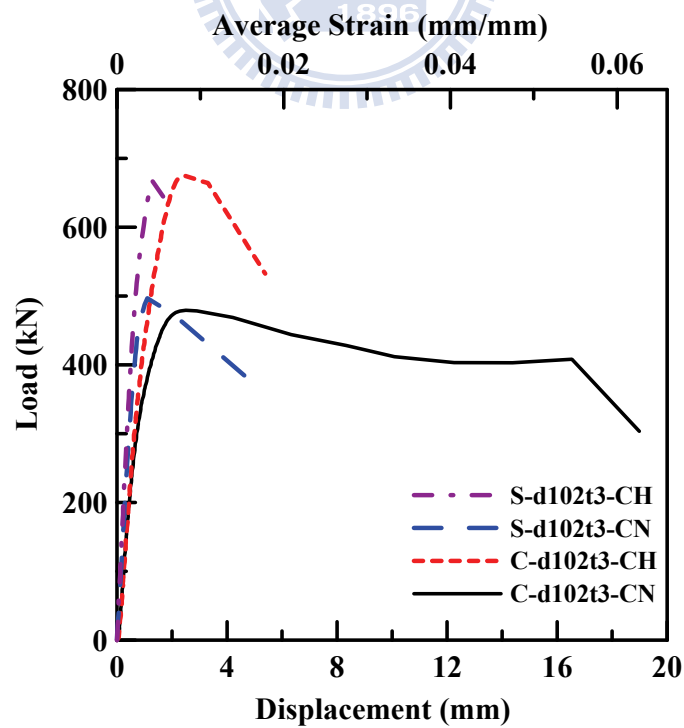


圖 4.24 試體 d102t3 系列載重位移曲線比較圖

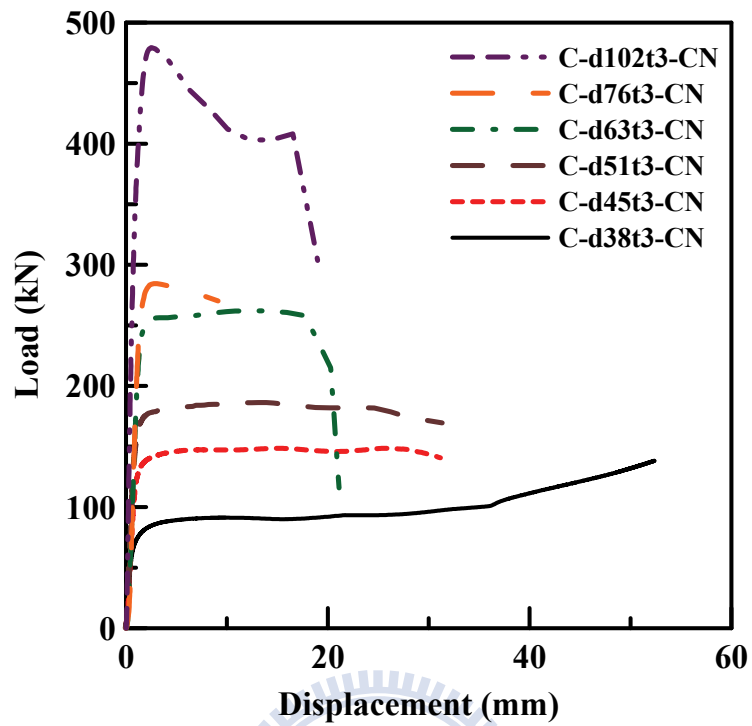


圖 4.25 圓管試體 t3-CN 系列載重位移曲線比較圖

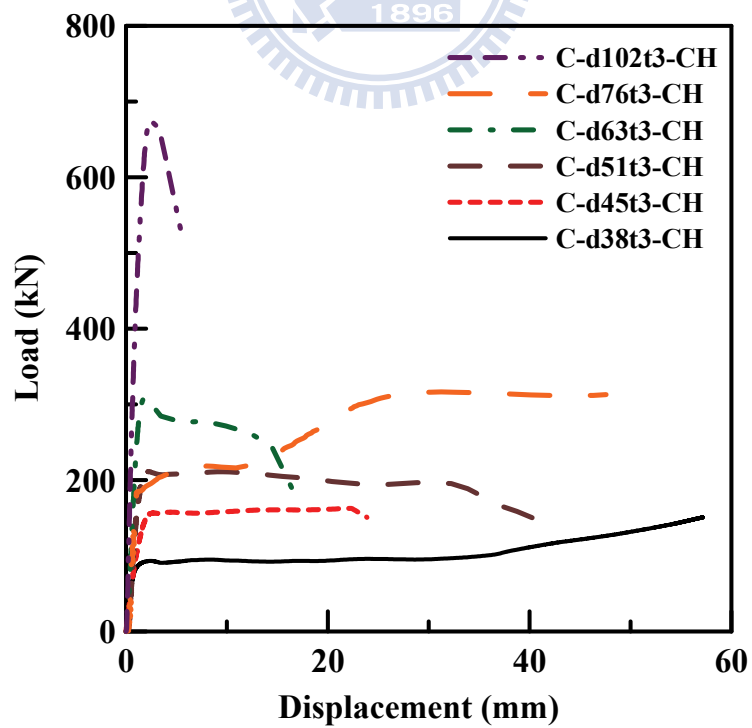


圖 4.26 圓管試體 t3-CH 系列載重位移曲線比較圖

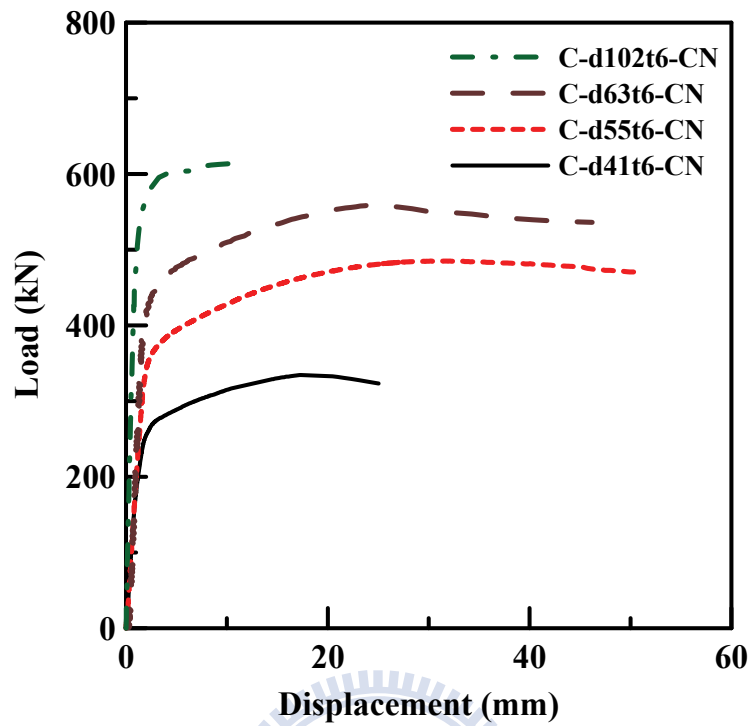


圖 4.27 圓管試體 t6-CN 系列載重位移曲線比較圖

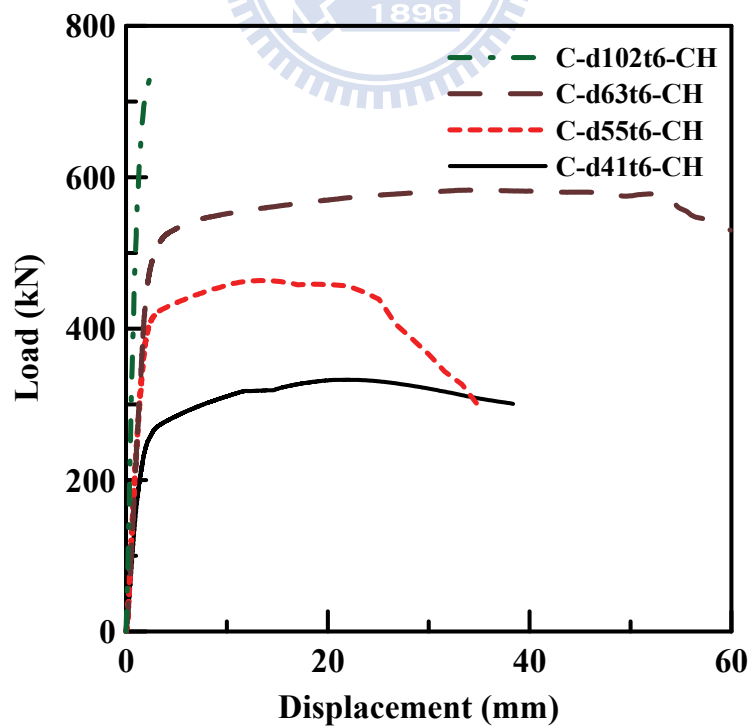


圖 4.28 圓管試體 t6-CH 系列載重位移曲線比較圖

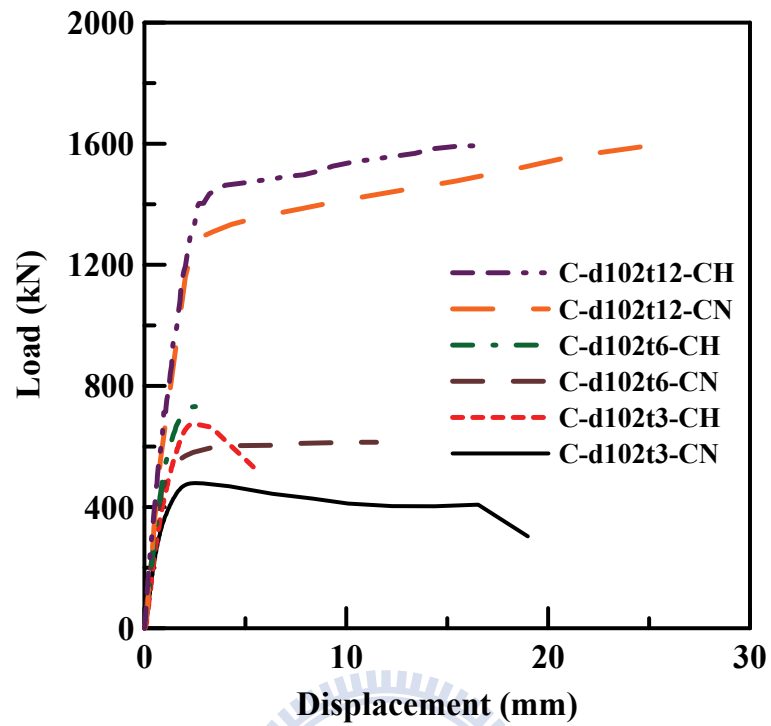


圖 4.29 圓管試體 d102 系列載重位移曲線比較圖

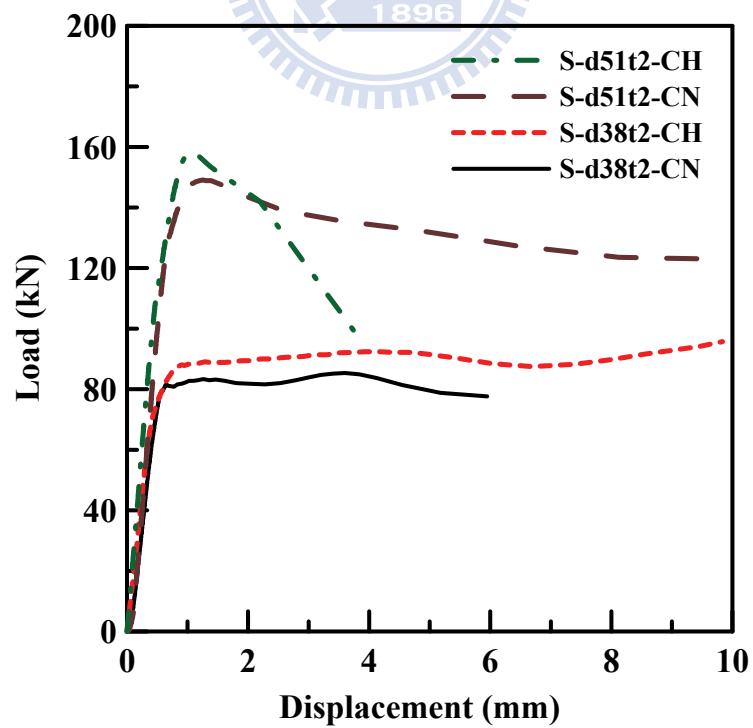


圖 4.30 方管試體 t2 系列載重位移曲線比較圖

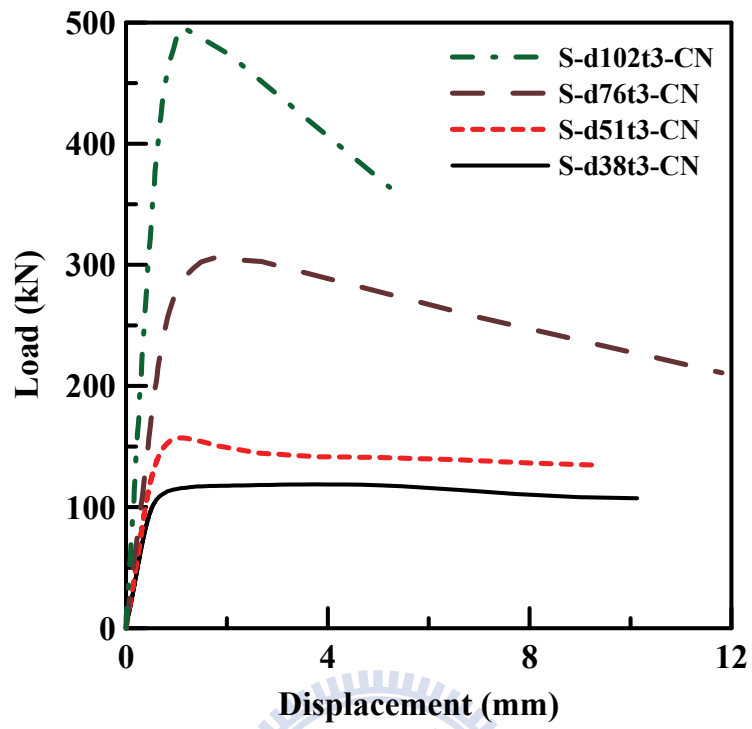


圖 4.31 方管試體 t3-CN 系列載重位移曲線比較圖

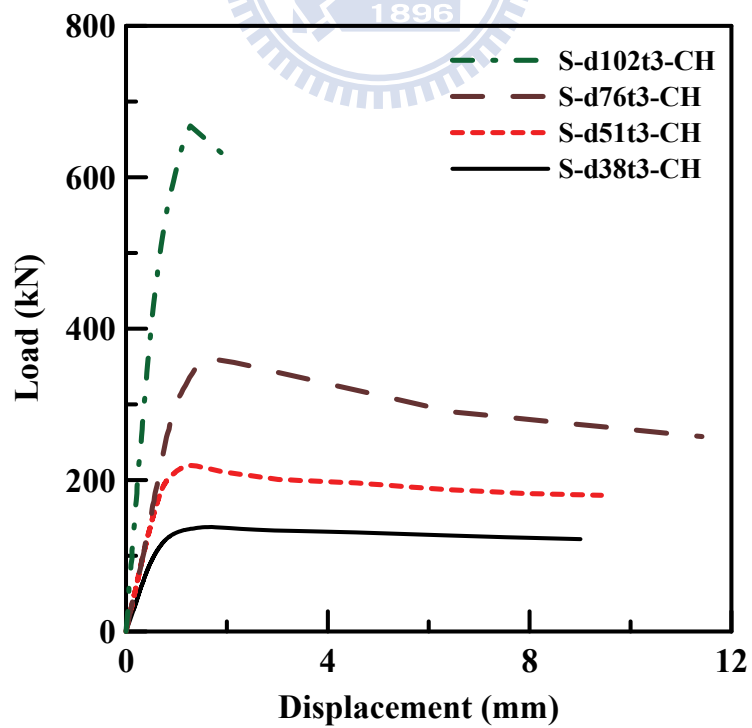


圖 4.32 方管試體 t3-CH 系列載重位移曲線比較圖

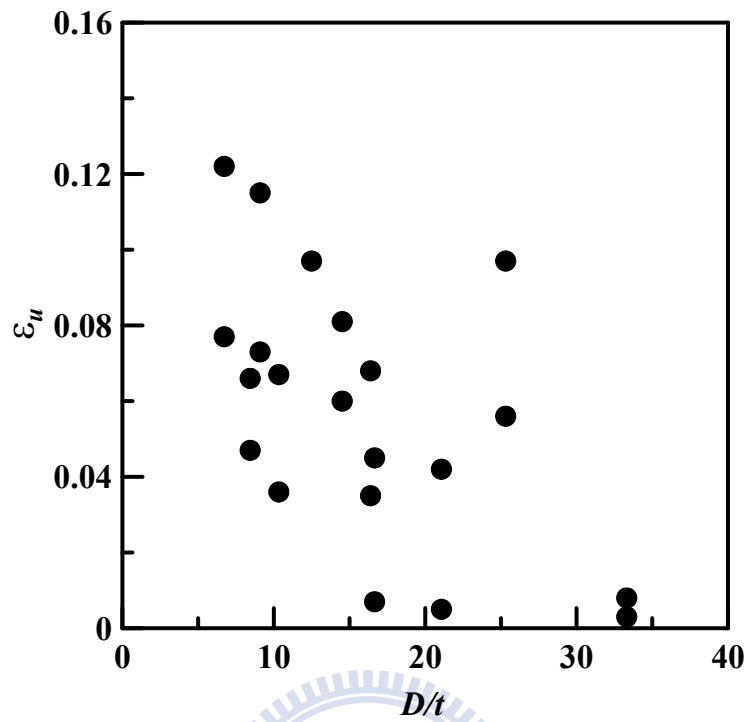


圖 4.33 圓管試體之寬厚比與極限載重應變關係圖

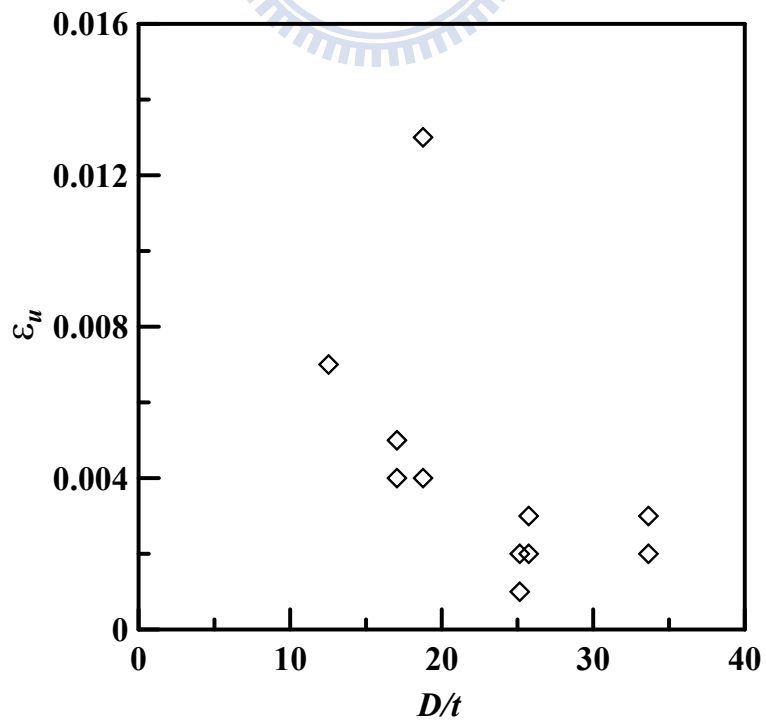


圖 4.34 方管試體之寬厚比與極限載重應變關係圖



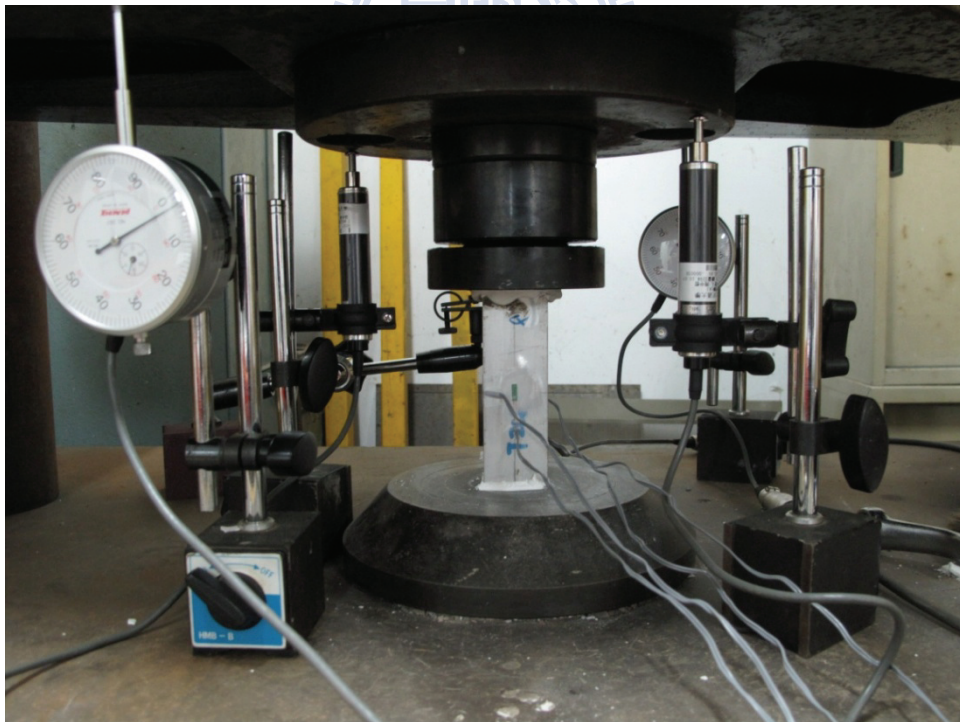
照片 3.1 鋁合金圓管試體照片



照片 3.2 鋁合金方管試體照片



照片 3.3 空管試體配置情形



照片 3.4 小型試體配置情形



照片 3.5 試體配置於 100 kN 萬能試驗機



照片 3.6 試體配置於 200 kN 萬能試驗機



照片 4.1 試體 C-d38t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.2 試體 C-d38t3-CH 試驗結束後之破壞情形



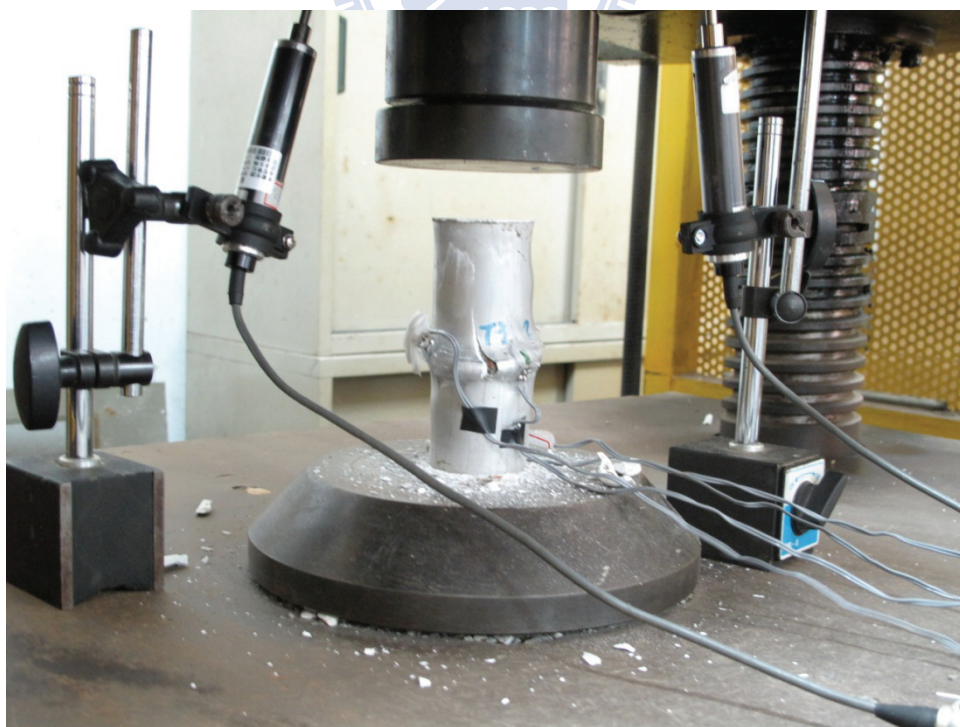
照片 4.3 試體 C-d41t6-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.4 試體 C-d41t6-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.5 試體 C-d45t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.6 試體 C-d45t3-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.7 試體 C-d51t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.8 試體 C-d51t3-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.9 試體 C-d55t6-CN 試驗結束後之破壞情形



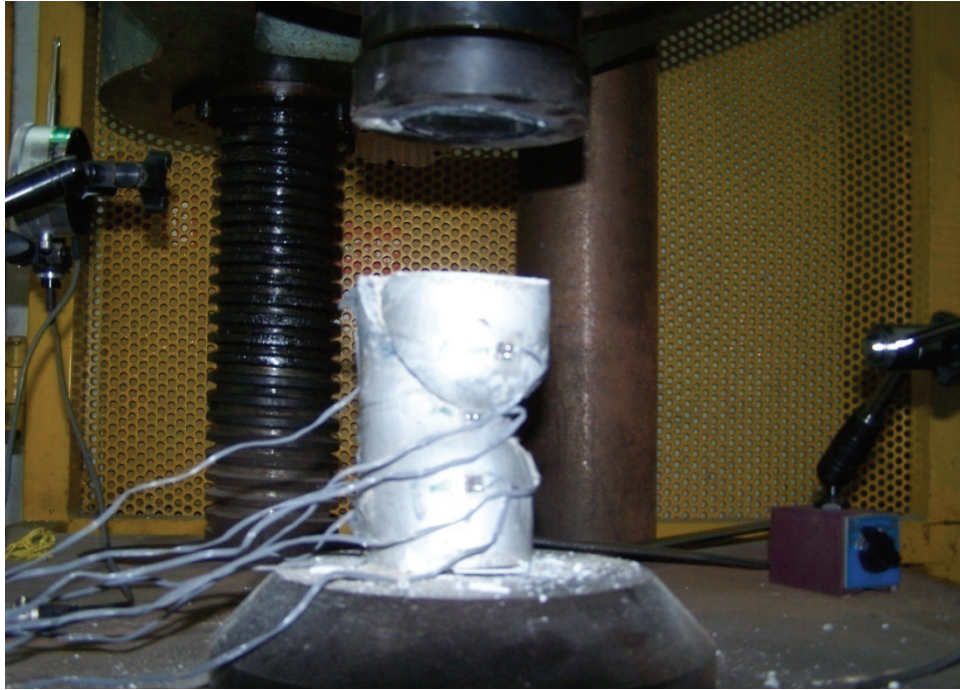
照片 4.10 試體 C-d55t6-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.11 試體 C-d63t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.12 試體 C-d63t3-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.13 試體 C-d63t6-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.14 試體 C-d63t6-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.15 試體 C-d76t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.16 試體 C-d76t3-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.17 試體 C-d102t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.18 試體 C-d102t3-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.19 試體 C-d102t6-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.20 試體 C-d102t6-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.21 試體 C-d102t12-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.22 試體 C-d102t12-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.23 試體 S-d38t2-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.24 試體 S-d38t2-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.25 試體 S-d38t3-CN 試驗結束後之破壞情形



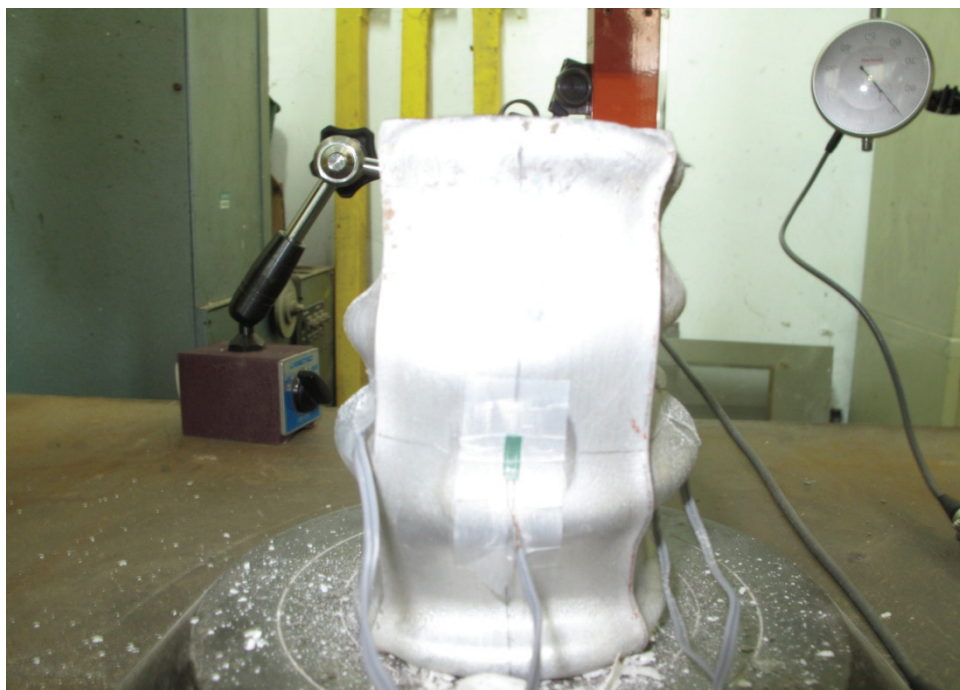
照片 4.26 試體 S-d38t3-CH 試驗結束後之破壞情形



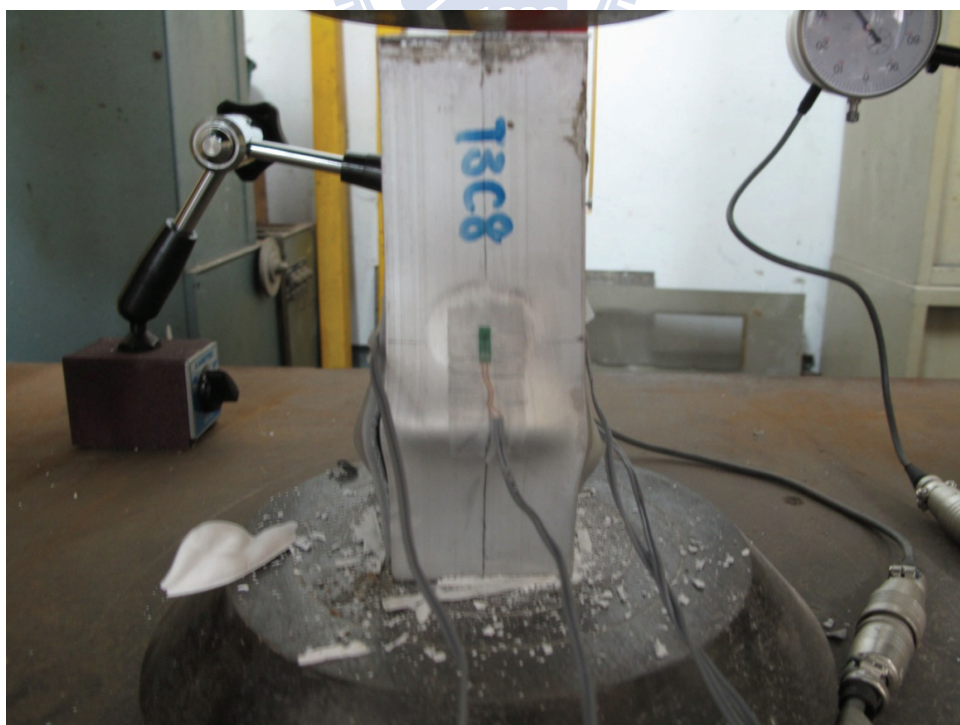
照片 4.27 試體 S-d51t2-CN 試驗結束後之破壞情形



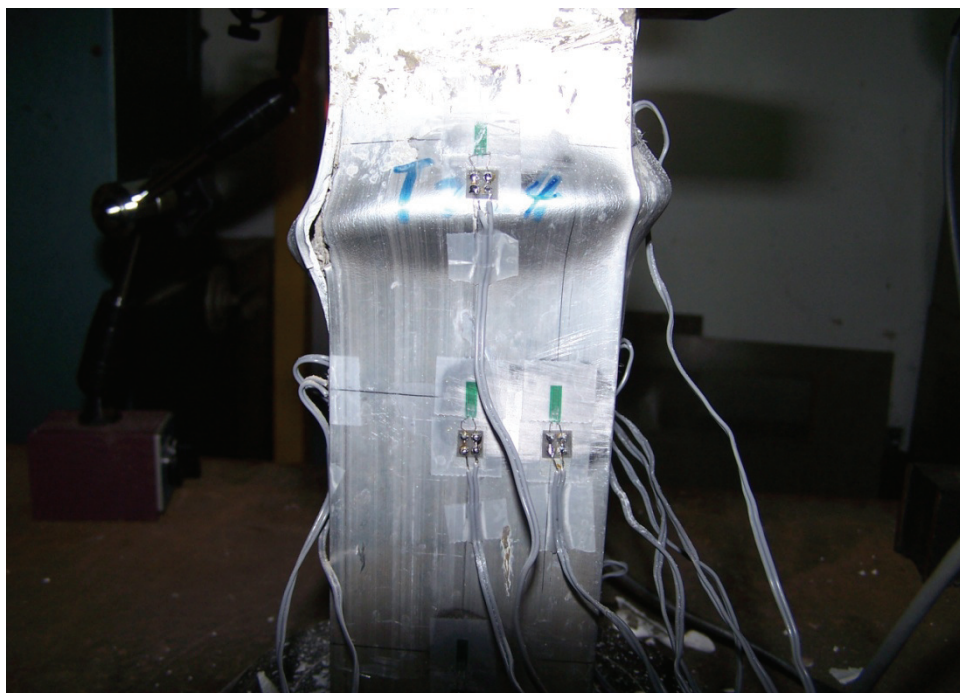
照片 4.28 試體 S-d51t2-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.29 試體 S-d51t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.30 試體 S-d51t3-CH 試驗結束後之破壞情形



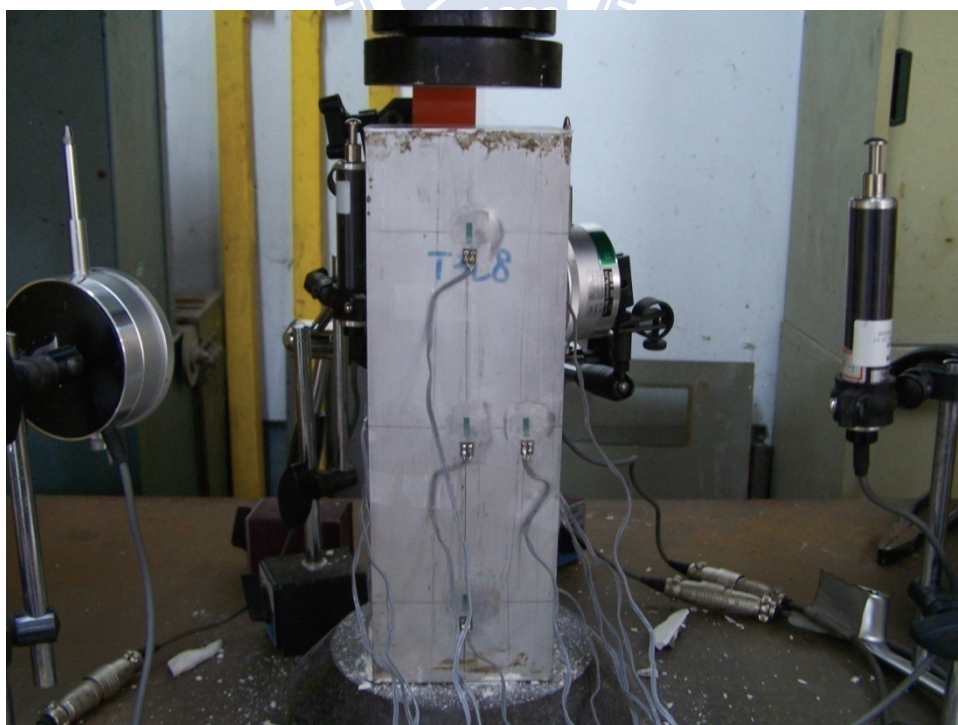
照片 4.31 試體 S-d76t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.32 試體 S-d76t3-CH 試驗結束後之破壞情形



照片 4.33 試體 S-d102t3-CN 試驗結束後之破壞情形



照片 4.34 試體 S-d102t3-CH 試驗結束後之破壞情形

附錄A 圓管試體軸力應變圖

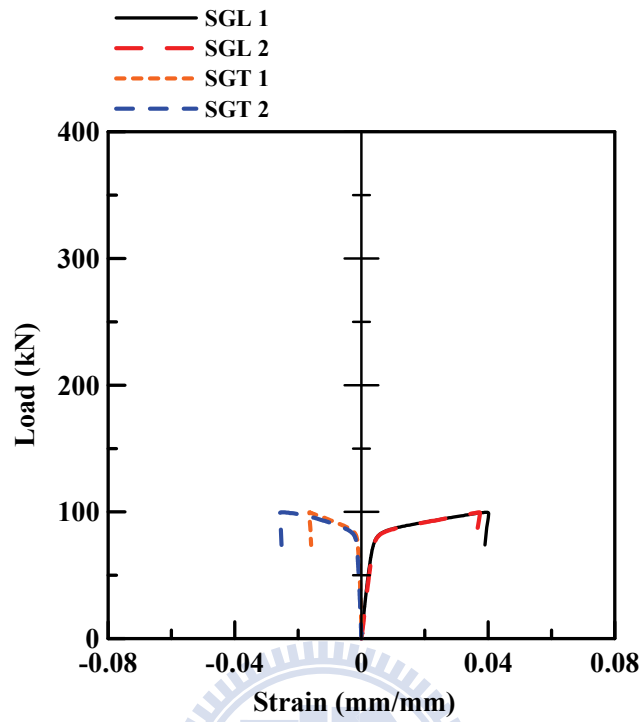


圖 A.1 試體 C-d38t3-CO 軸力應變圖

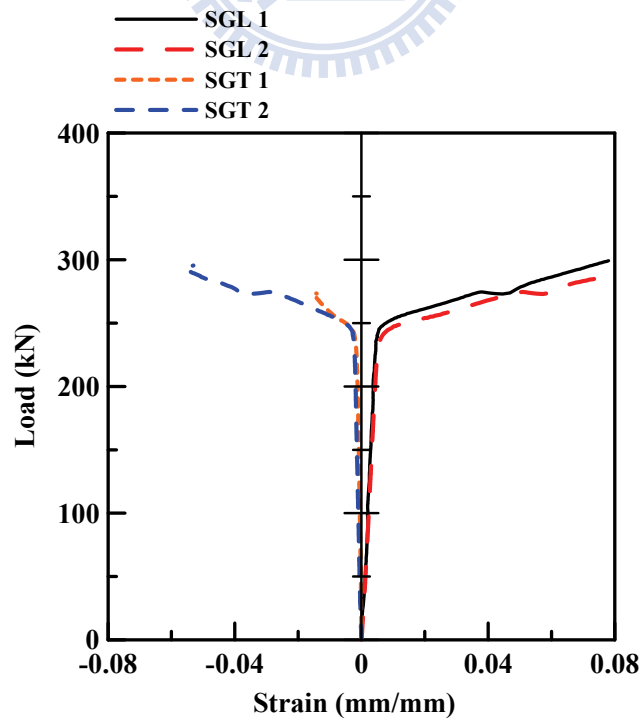


圖 A.2 試體 C-d41t6-CO 軸力應變圖

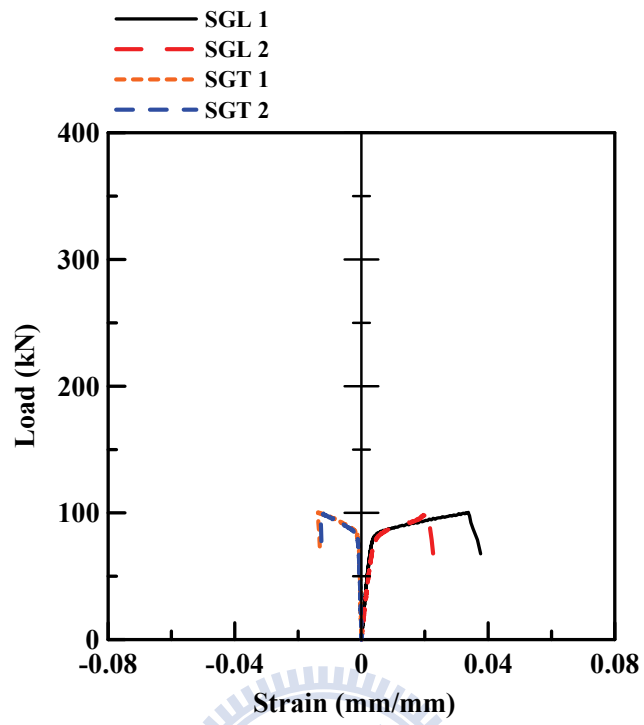


圖 A.3 試體 C-d45t3-CO 軸力應變圖

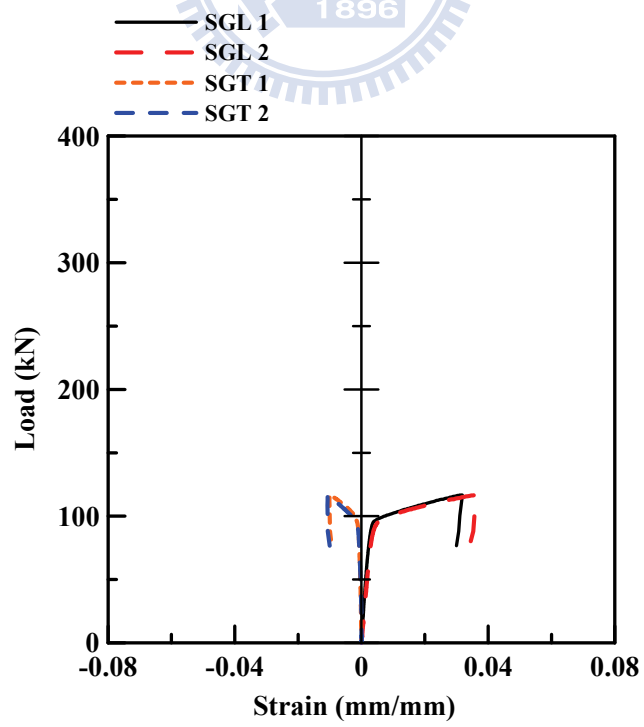


圖 A.4 試體 C-d51t3-CO 軸力應變圖

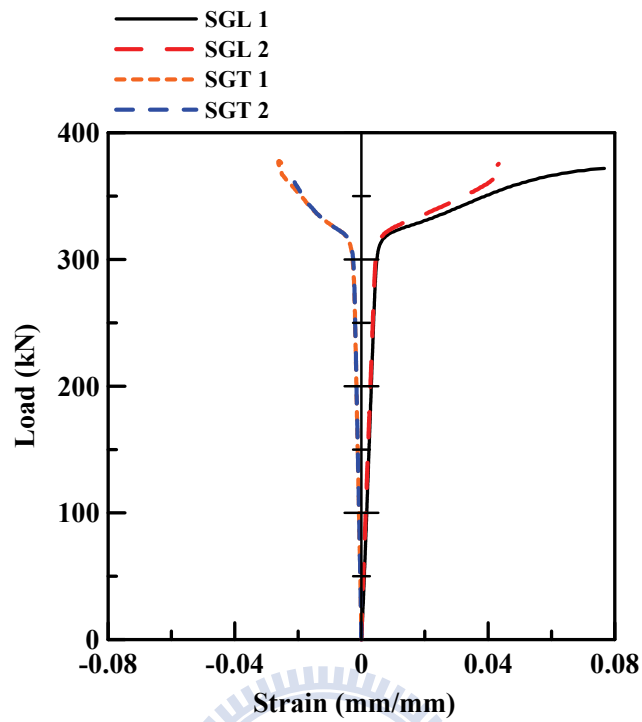


圖 A.5 試體 C-d55t6-CO 軸力應變圖

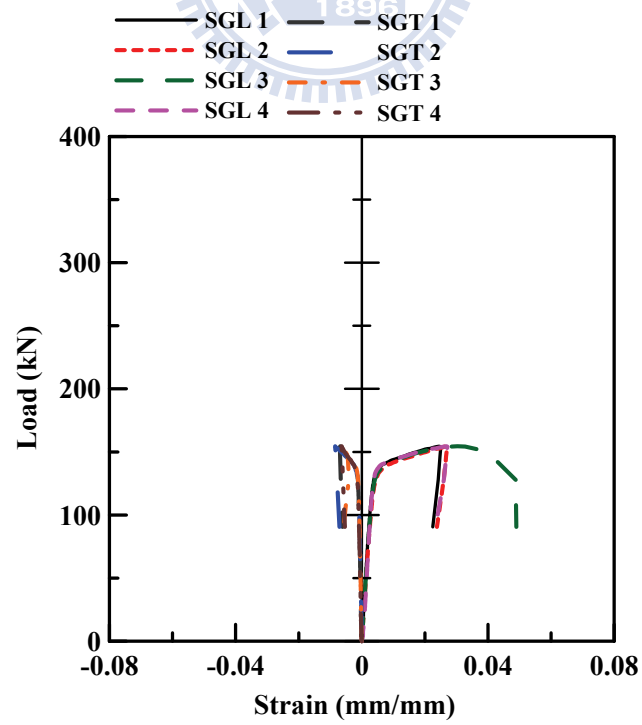


圖 A.6 試體 C-d63t3-CO 軸力應變圖

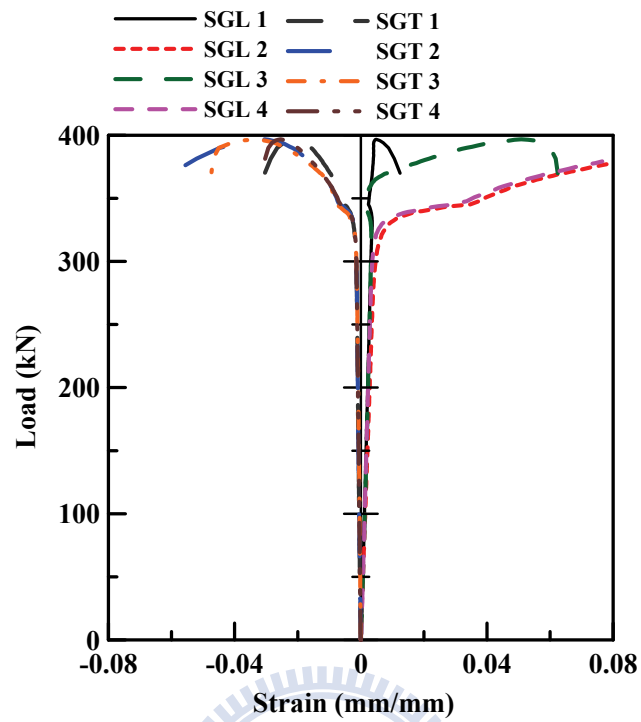


圖 A.7 試體 C-d63t6-CO 軸力應變圖

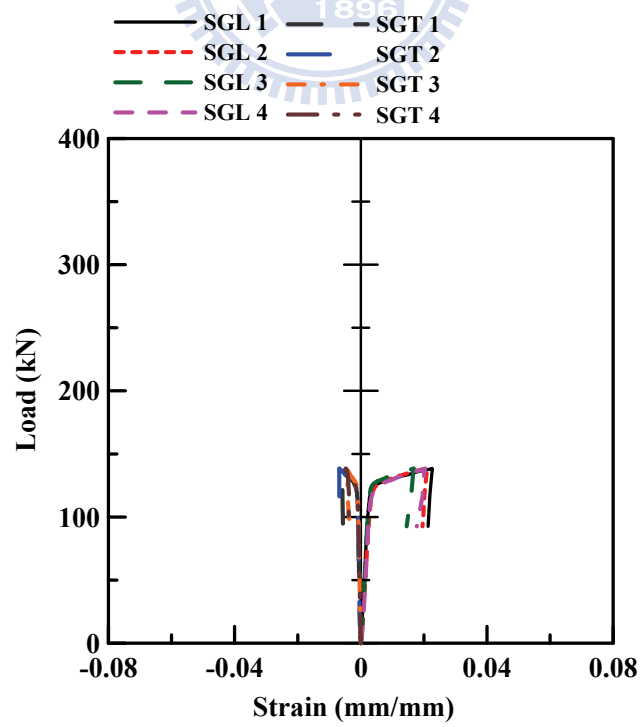


圖 A.8 試體 C-d76t3-CO 軸力應變圖

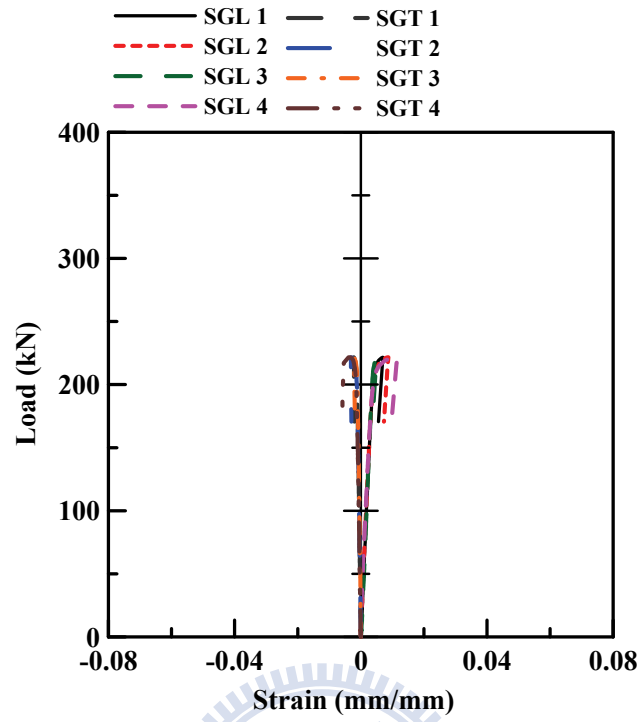


圖 A.9 試體 C-d102t3-CO 軸力應變圖

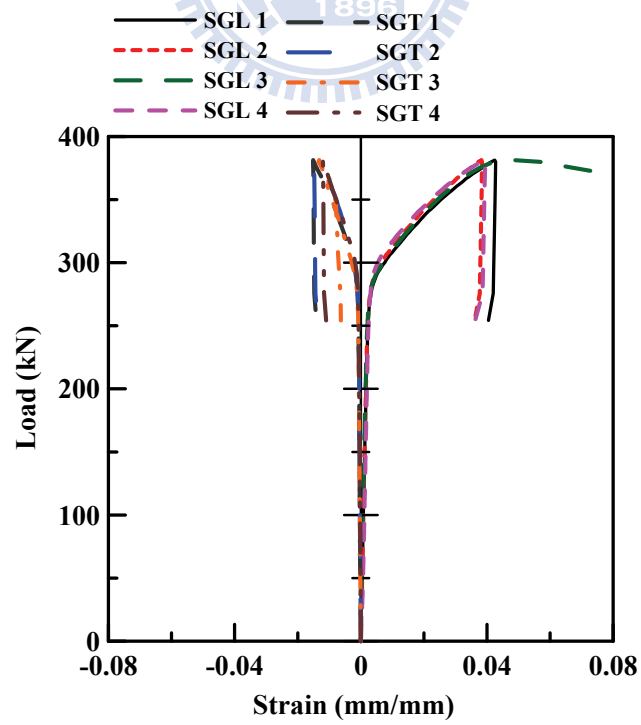


圖 A.10 試體 C-d102t6-CO 軸力應變圖

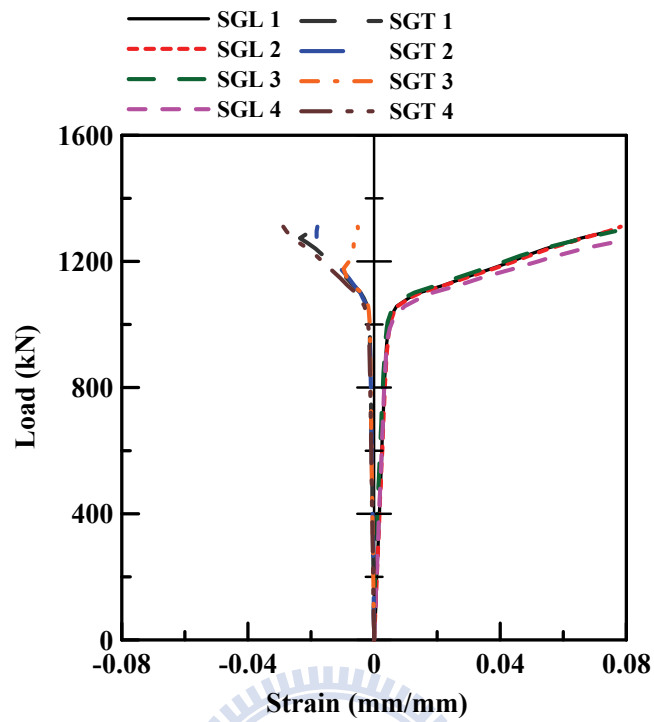


圖 A.11 試體 C-d102t12-CO 軸力應變圖

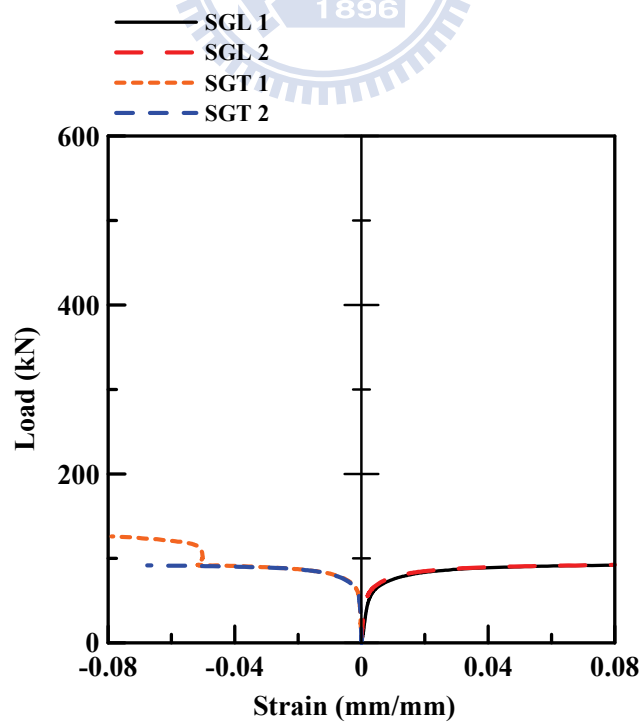


圖 A.12 試體 C-d38t3-CN 軸力應變圖

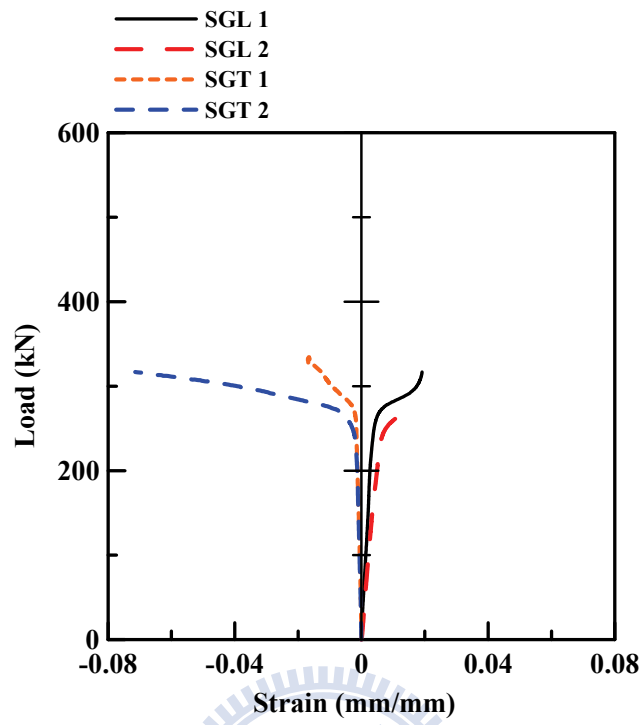


圖 A.13 試體 C-d41t6-CN 軸力應變圖

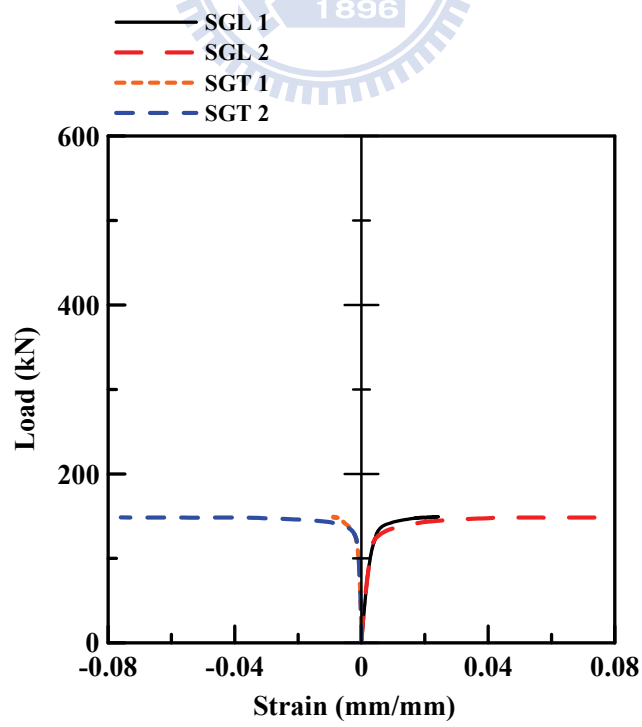


圖 A.14 試體 C-d45t3-CN 軸力應變圖

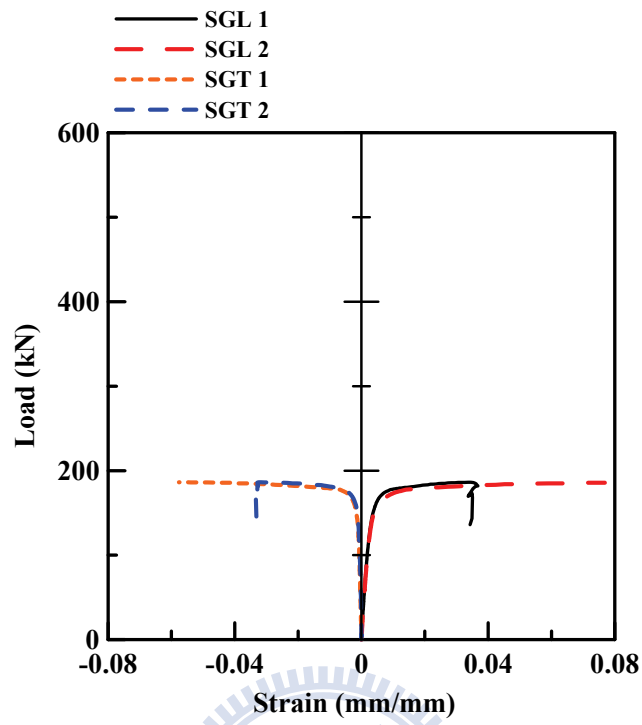


圖 A.15 試體 C-d51t3-CN 軸力應變圖

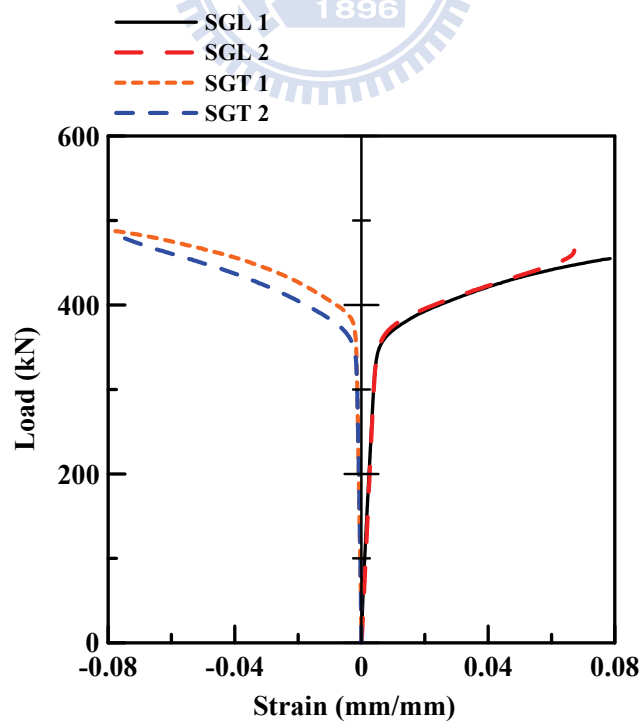


圖 A.16 試體 C-d55t6-CN 軸力應變圖

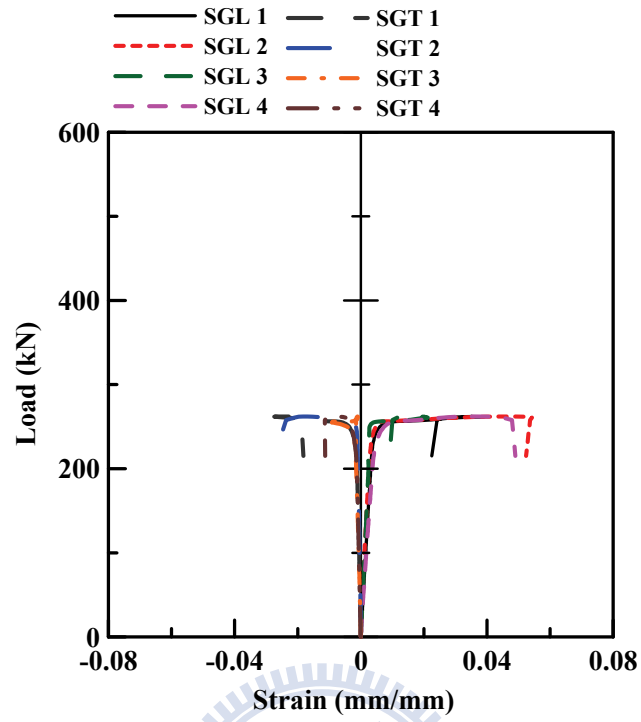


圖 A.17 試體 C-d63t3-CN 軸力應變圖

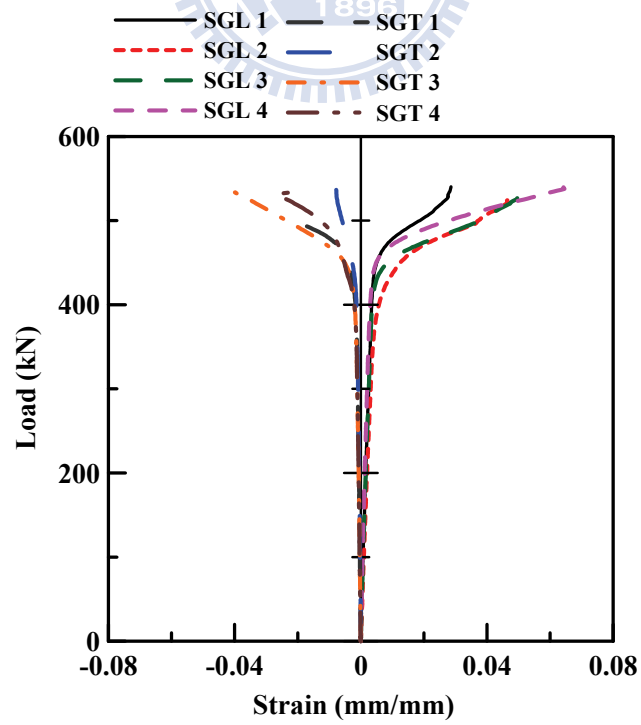


圖 A.18 試體 C-d63t6-CN 軸力應變圖

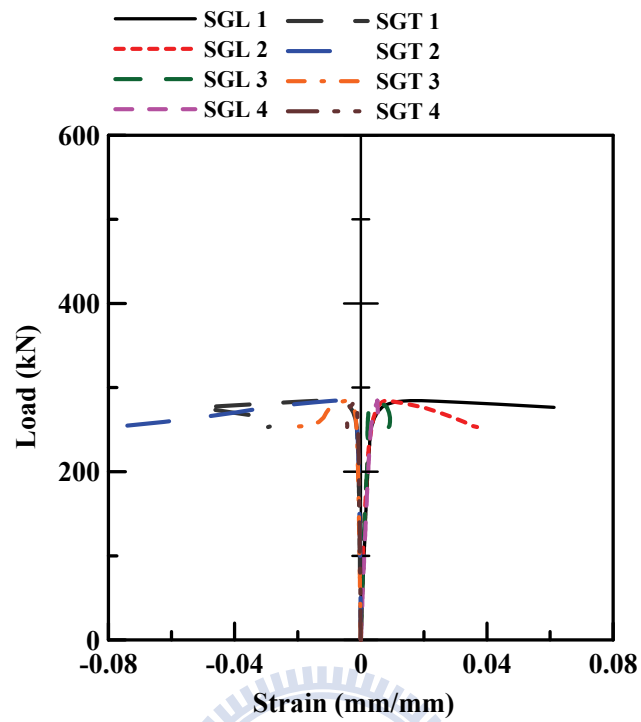


圖 A.19 試體 C-d76t3-CN 軸力應變圖

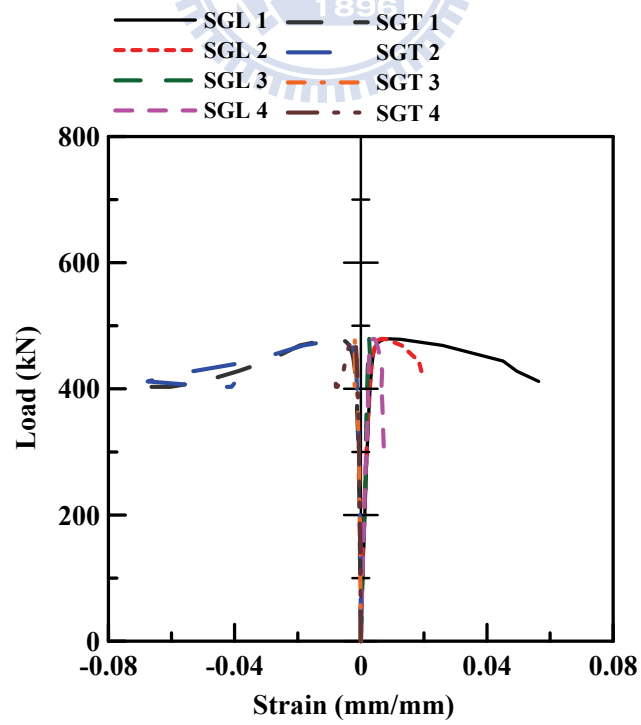


圖 A.20 試體 C-d102t3-CN 軸力應變圖

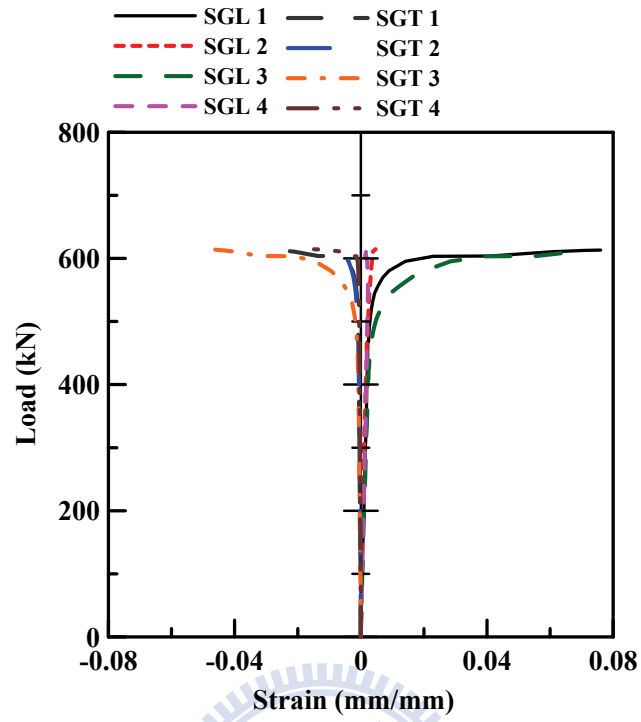


圖 A.21 試體 C-d102t6-CN 軸力應變圖

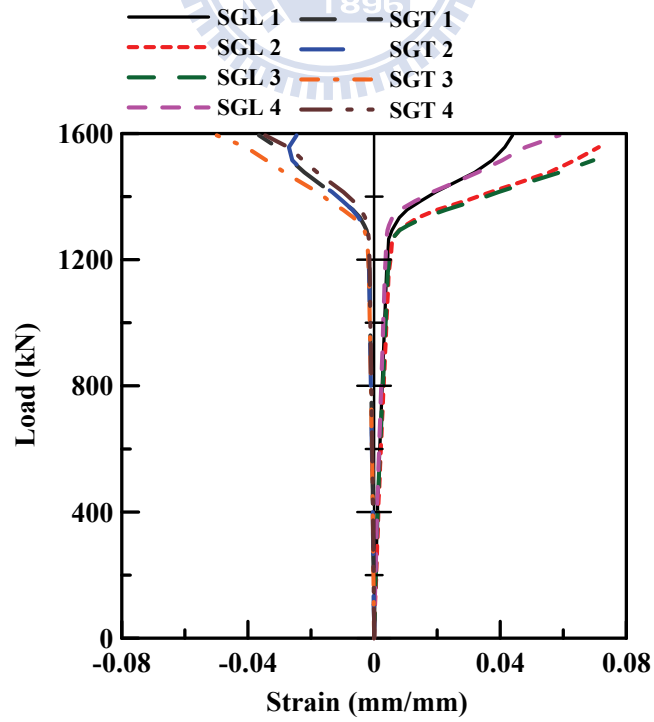


圖 A.22 試體 C-d102t12-CN 軸力應變圖

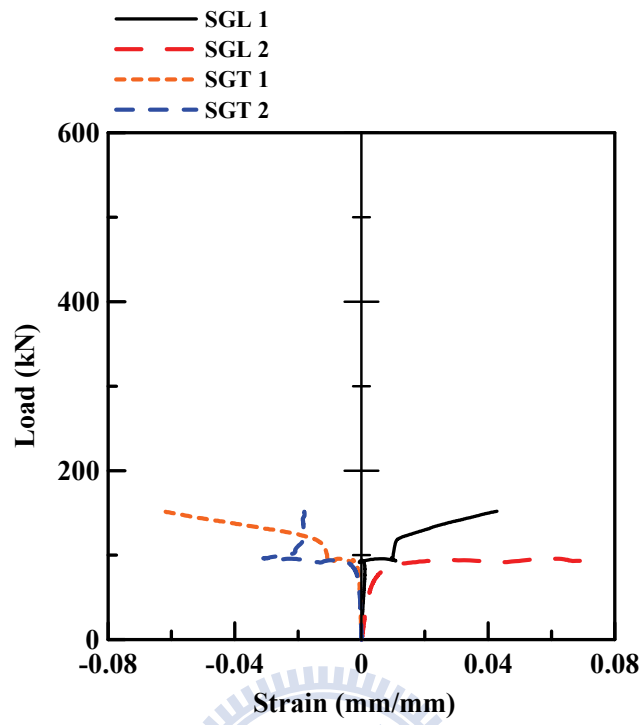


圖 A.23 試體 C-d38t3-CH 軸力應變圖

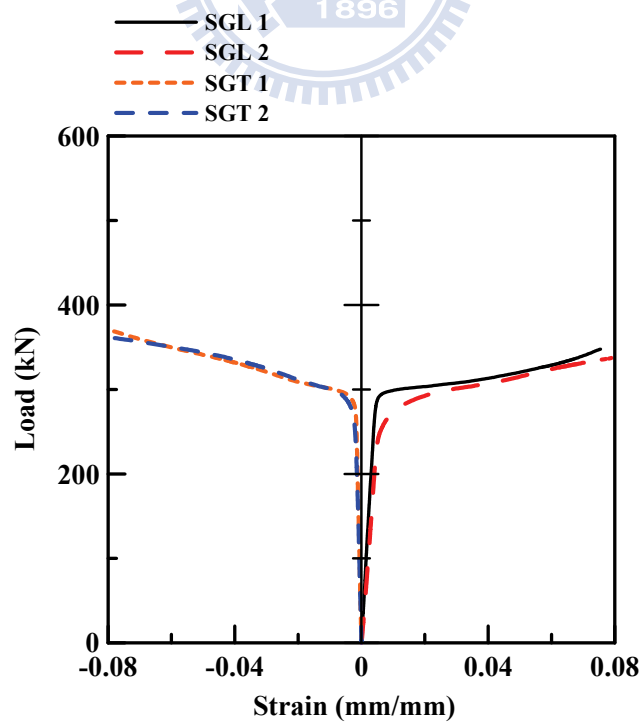


圖 A.24 試體 C-d41t6-CH 軸力應變圖

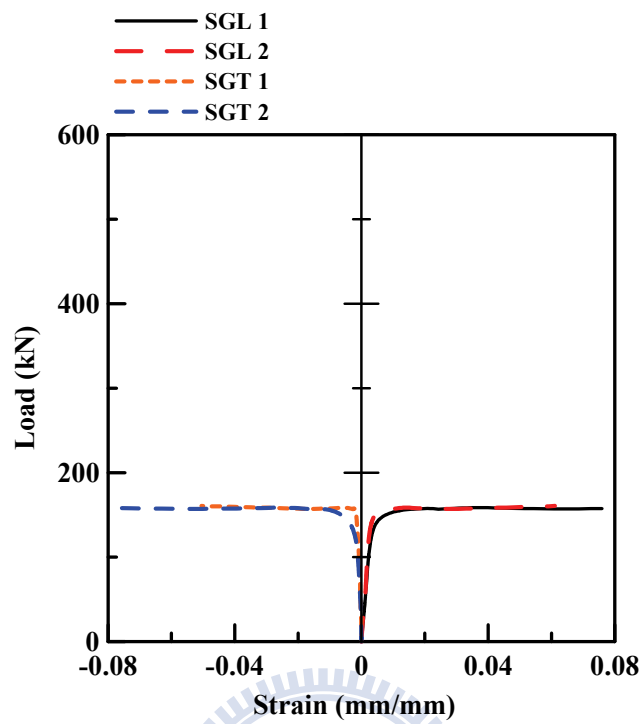


圖 A.25 試體 C-d45t3-CH 軸力應變圖

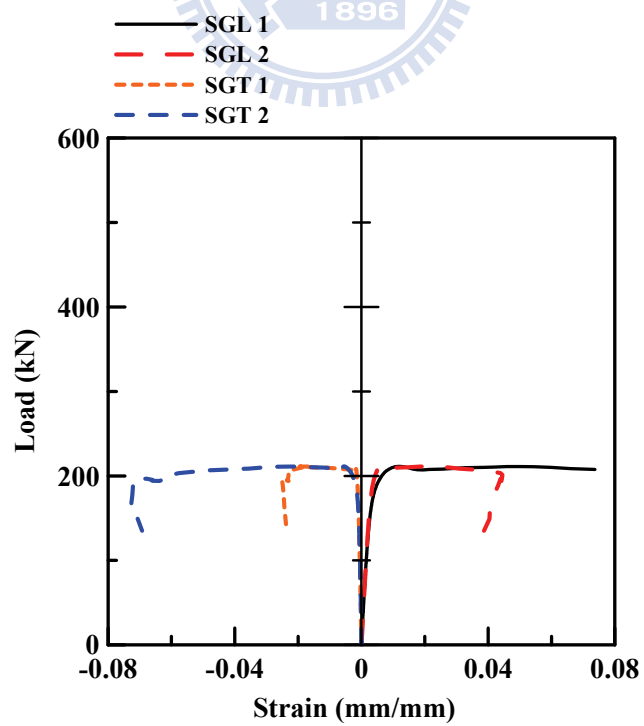


圖 A.26 試體 C-d51t3-CH 軸力應變圖

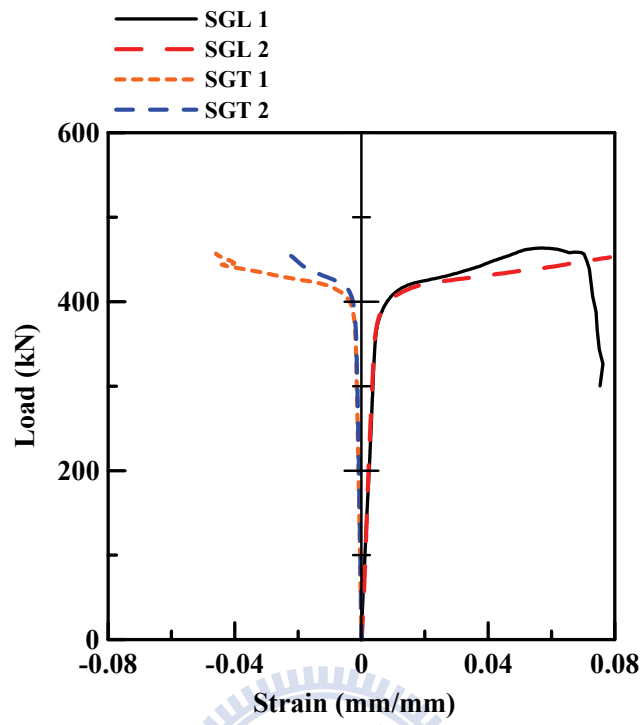


圖 A.27 試體 C-d55t6-CH 軸力應變圖

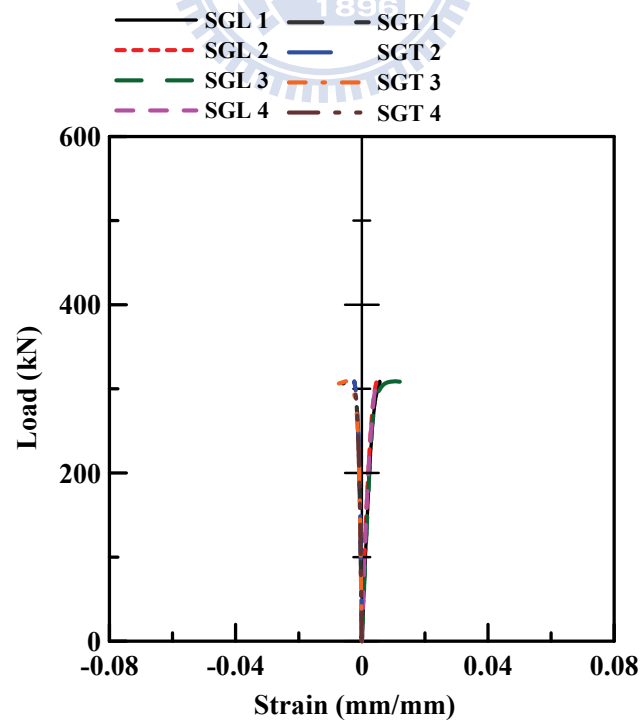


圖 A.28 試體 C-d63t3-CH 軸力應變圖

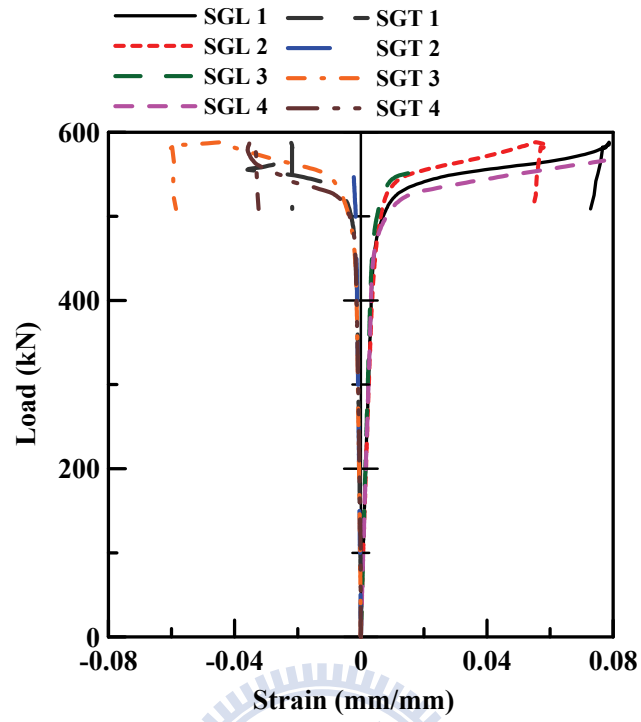


圖 A.29 試體 C-d63t6-CH 軸力應變圖

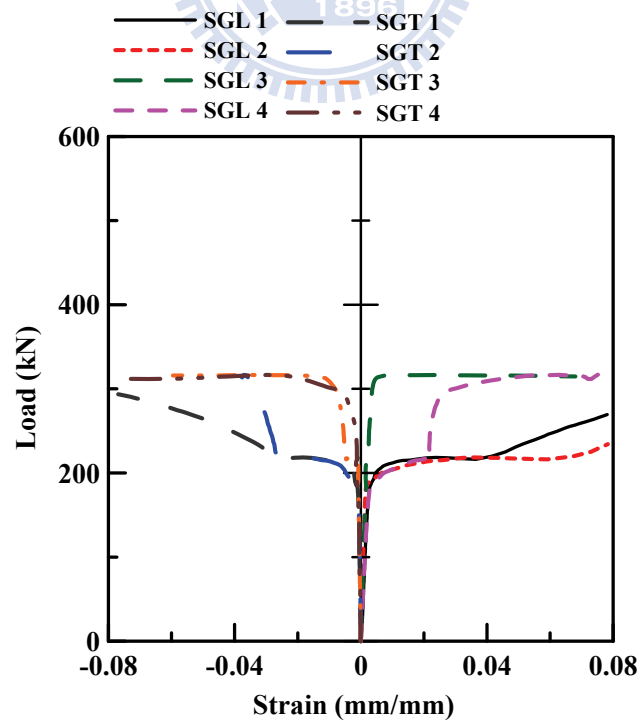


圖 A.30 試體 C-d76t3-CH 軸力應變圖

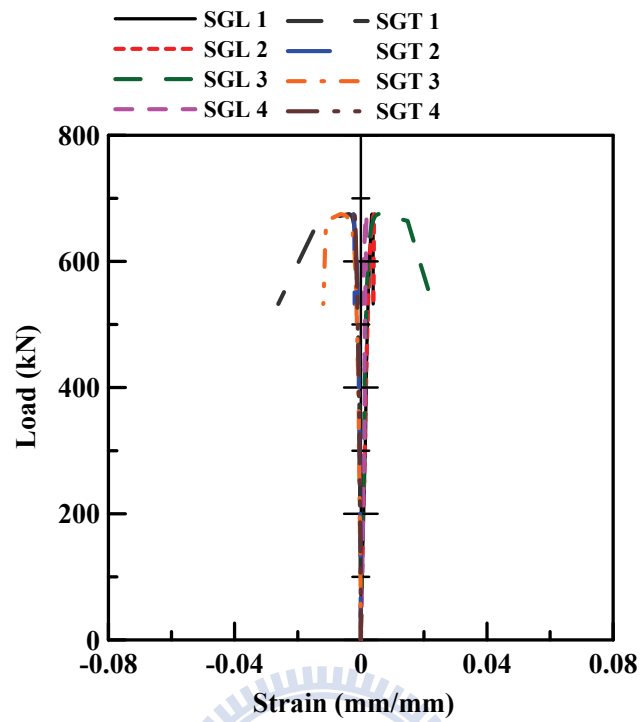


圖 A.31 試體 C-d102t3-CH 軸力應變圖

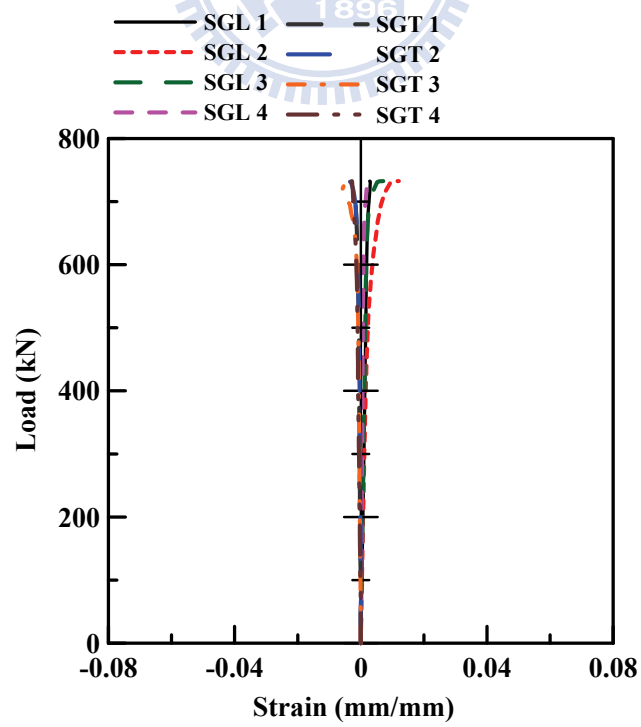


圖 A.32 試體 C-d102t6-CH 軸力應變圖

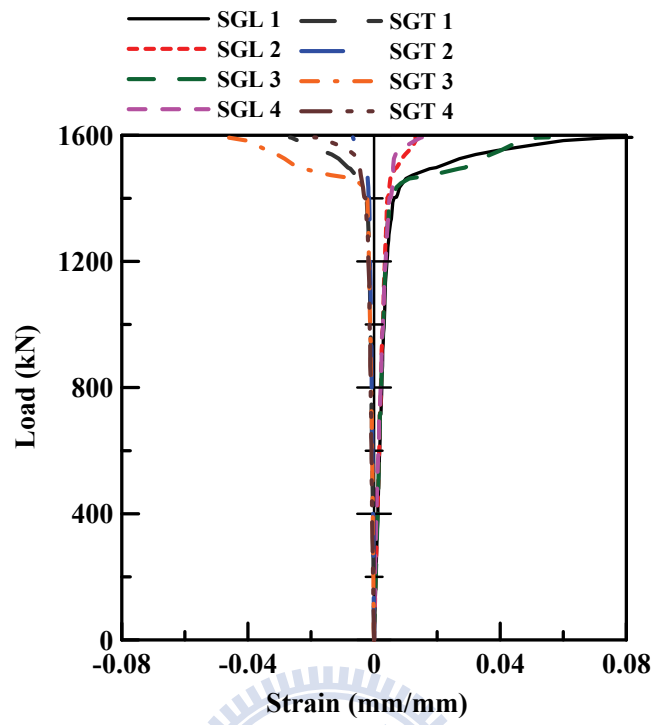


圖 A.33 試體 C-d102t12-CH 軸力應變圖

附錄 B 方管試體軸力應變圖

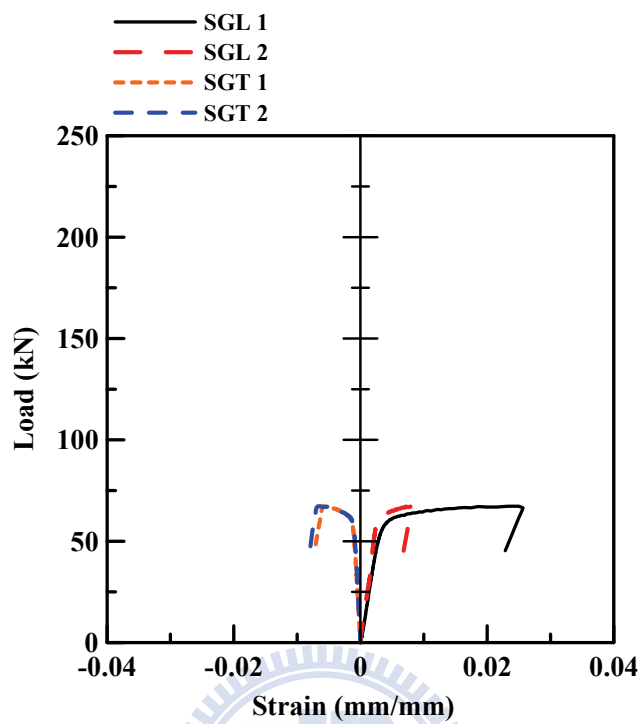


圖 B.1 試體 S-d38t2-CO 軸力應變圖

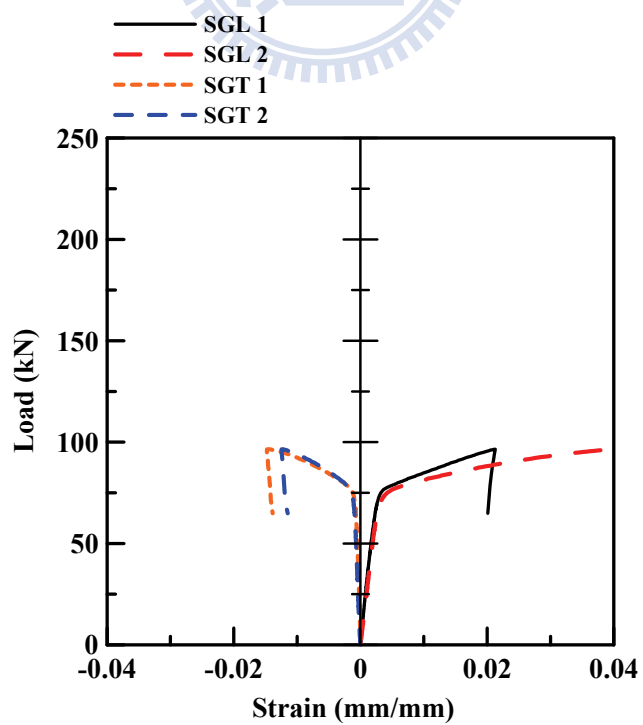


圖 B.2 試體 S-d38t3-CO 軸力應變圖

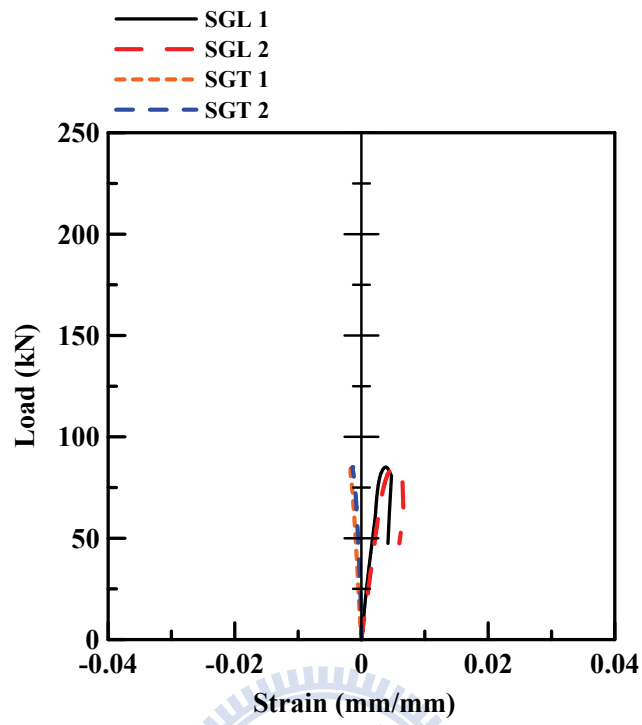


圖 B.3 試體 S-d51t2-CO 軸力應變圖

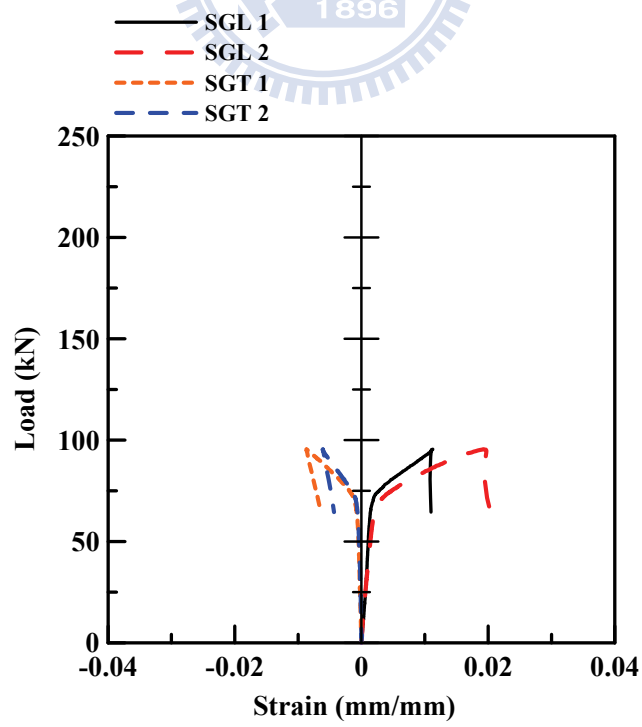


圖 B.4 試體 S-d51t3-CO 軸力應變圖

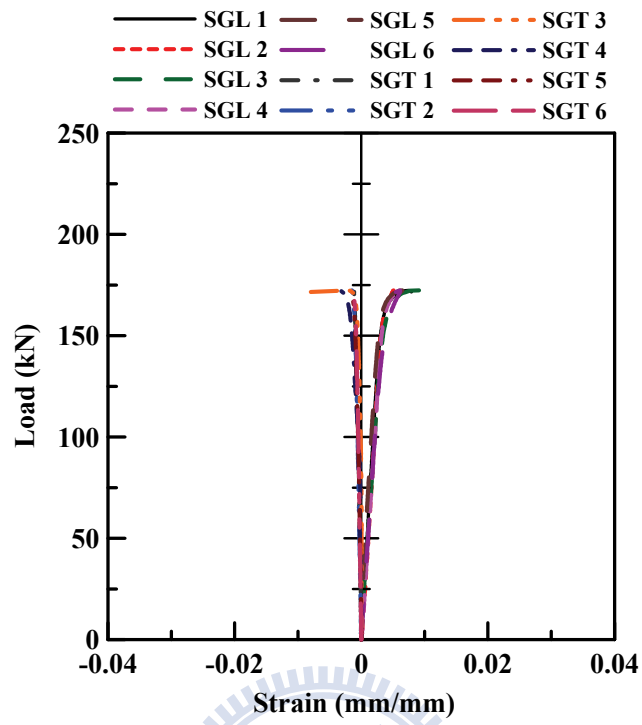


圖 B.5 試體 S-d76t3-CO 軸力應變圖

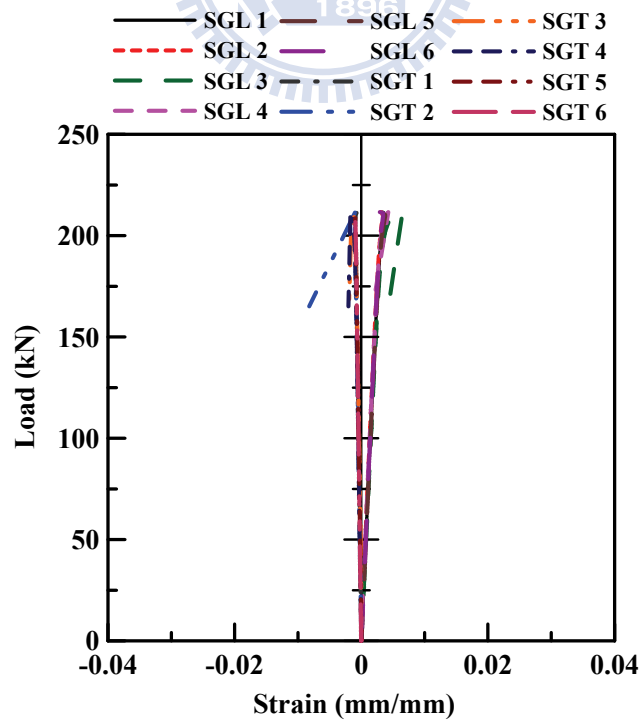


圖 B.6 試體 S-d102t3-CO 軸力應變圖

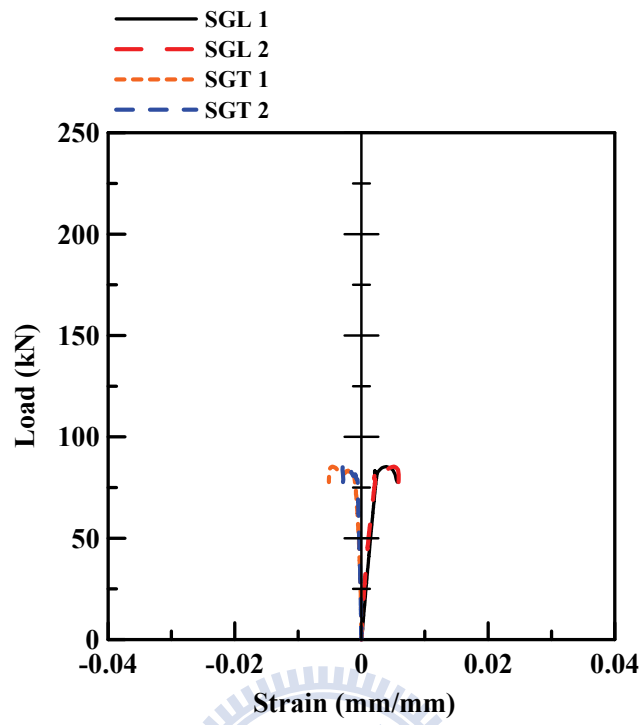


圖 B.7 試體 S-d38t2-CN 軸力應變圖

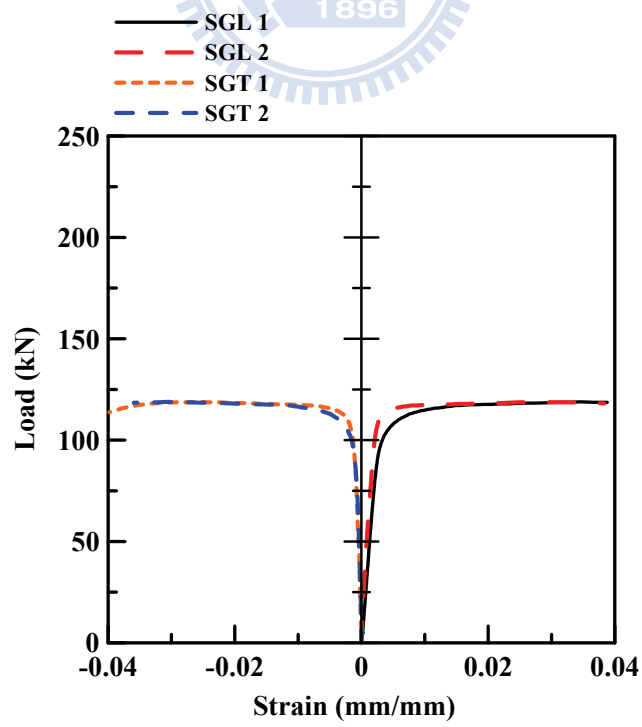


圖 B.8 試體 S-d38t3-CN 軸力應變圖

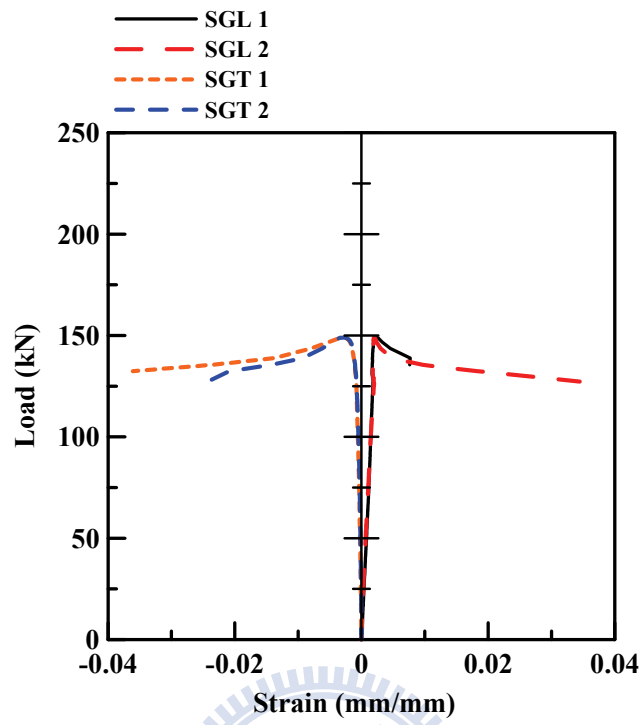


圖 B.9 試體 S-d51t2-CN 軸力應變圖

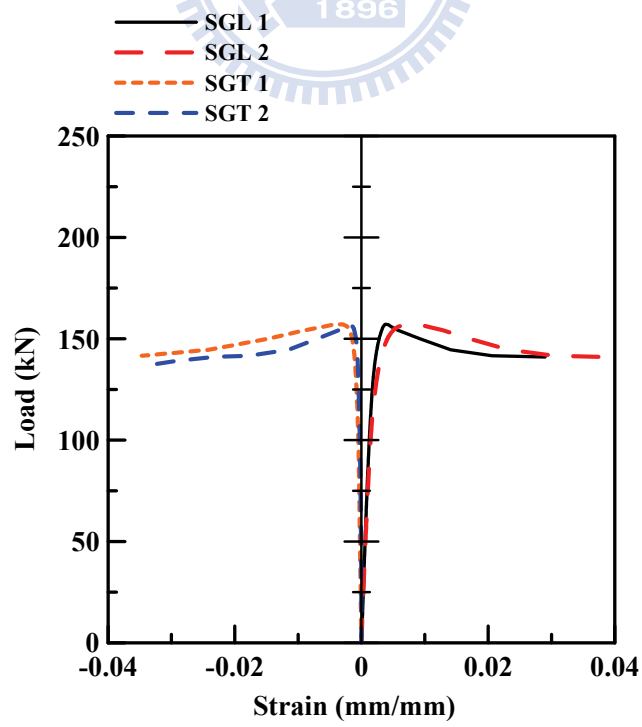


圖 B.10 試體 S-d51t3-CN 軸力應變圖

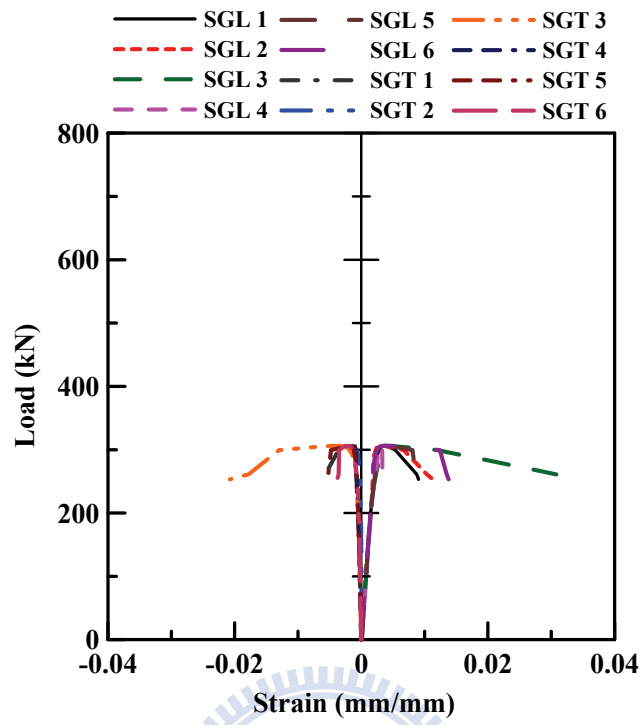


圖 B.11 試體 S-d76t3-CN 軸力應變圖

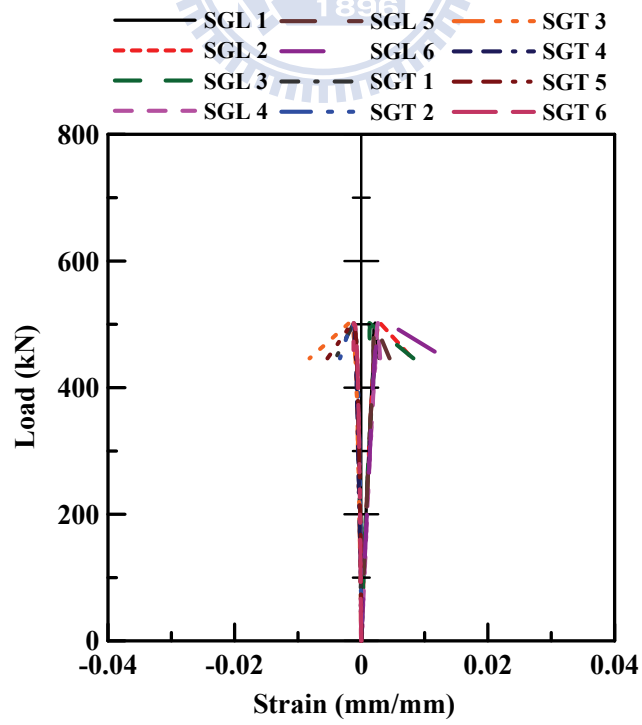


圖 B.12 試體 S-d102t3-CN 軸力應變圖

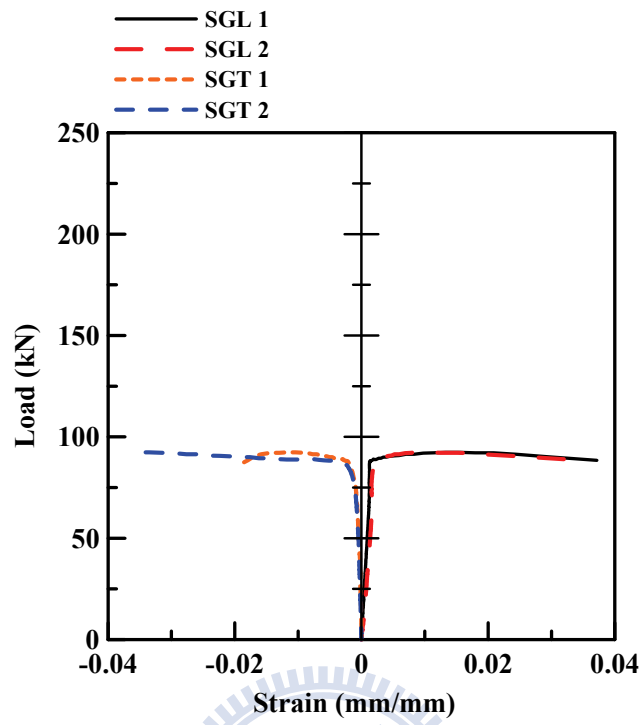


圖 B.13 試體 S-d38t2-CH 軸力應變圖

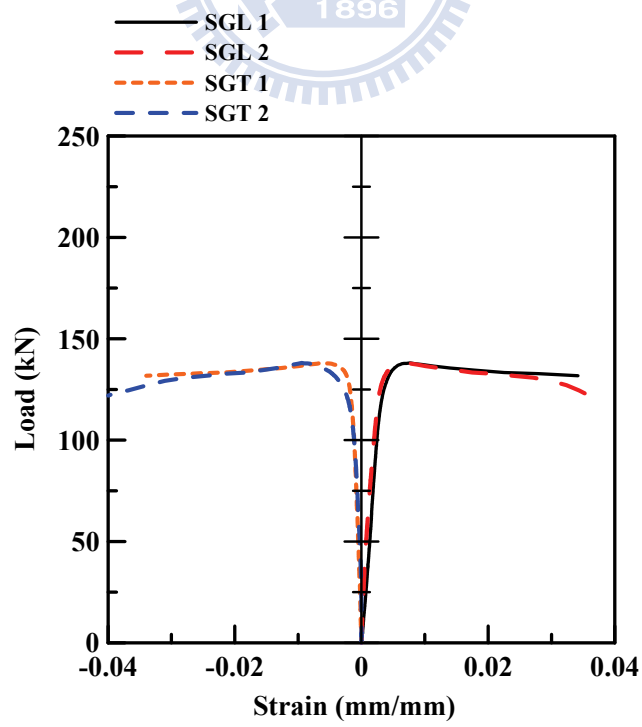


圖 B.14 試體 S-d38t3-CH 軸力應變圖

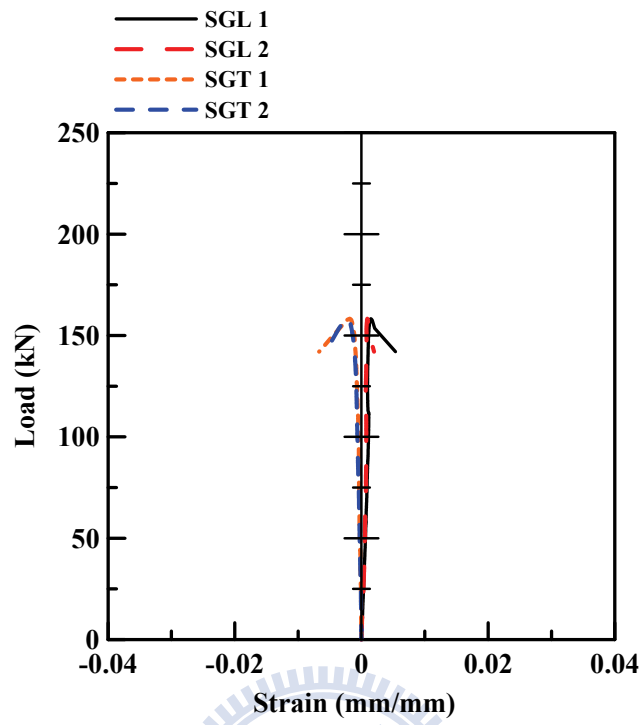


圖 B.15 試體 S-d51t2-CH 軸力應變圖

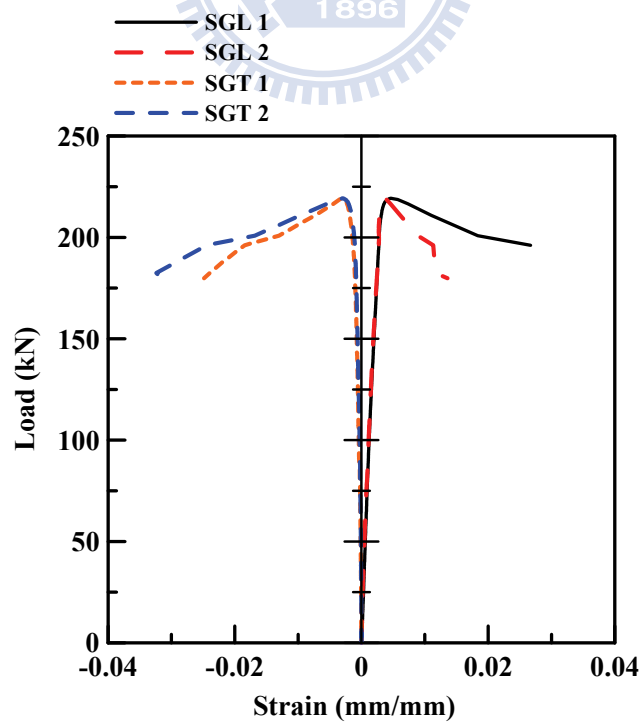


圖 B.16 試體 S-d51t3-CH 軸力應變圖

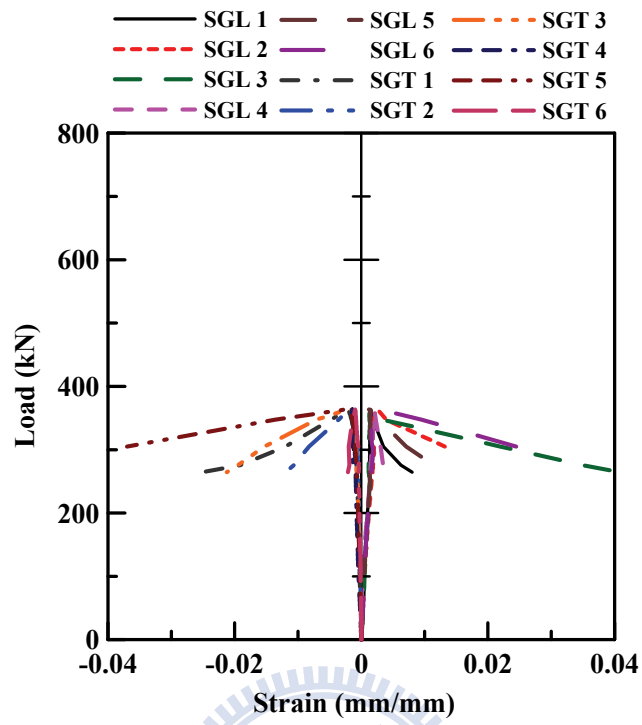


圖 B.17 試體 S-d76t3-CH 軸力應變圖

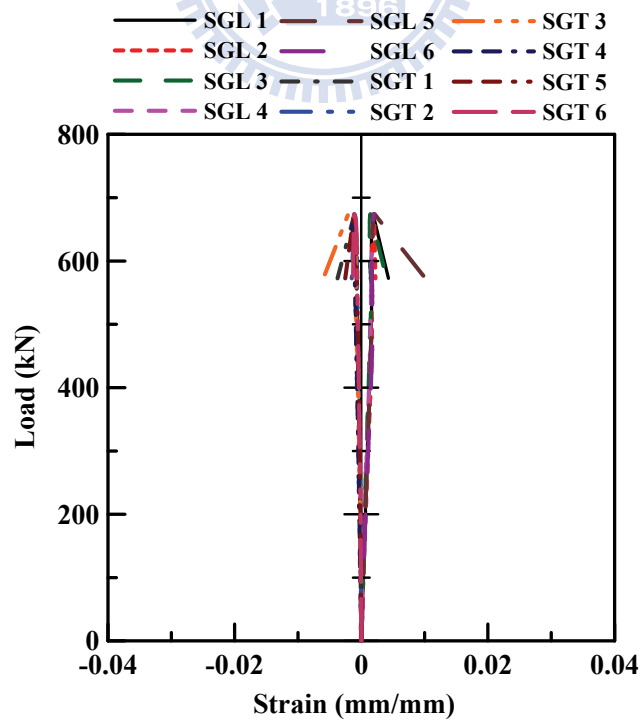


圖 B.18 試體 S-d102t3-CH 軸力應變圖