

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

內縮型式框筒結構力學參數分析研究



Parametric Study of Tubular Structures with Pyramid-like Shape

研究生：郭恆志

指導教授：劉俊秀 教授

中華民國 一〇一年七月

內縮型式框筒結構力學參數分析研究

Parametric Study of Tubular Structures with Pyramid-like Shape

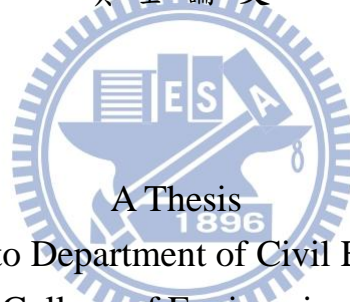
研究生：郭恆志

Student：Heng-Chih Kuo

指導教授：劉俊秀 教授

Advisor：Prof. Gin-Show Liou

國立交通大學
土木工程學系
碩士論文



Submitted to Department of Civil Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in
Civil Engineering
July 2012
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇一年七月

內縮型式框筒結構力學參數分析研究

研究生：郭恆志

指導教授：劉俊秀 教授

國立交通大學土木工程學系

摘要

框筒結構為高層建築中一種廣泛使用之型式，其基本架構為密柱深梁所組成之外部結構型式。在過去以框筒結構架構為主體發展出了筒中筒框筒結構、束型框筒結構、斜撐型框筒結構等。在此研究建立一內縮型式之框筒結構，並與傳統框筒結構做比較，希望了解內縮型式框筒結構之行為特性。

在對框筒結構做分析中，本論文使用 SAP2000 軟體建模並同時做為分析方式，也利用了等效連續筒的觀念做建模比較，並加入共軛梁法之基本力學分析方法做比較，得到內縮型式框筒結構之內力與位移變化情形，並與傳統框筒結構做比較，以此探討了解其結構行為做為研究之分析成果。

關鍵字：框筒結構、剪力延遲效應、SAP2000

Parametric Study of Tubular Structures with Pyramid-like Shape

Student : Heng-Chih Kuo

Advisor : Prof. Gin-Show Liou

Institute of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

Framed-tube structure is a generally-used structural type for tall buildings. Its basic form is closely-spaced columns connected with deep spandrel beams at periphery of structures. In the past, the framed-tube structure has developed into tube-in-tube structure, bundled-tube structure and braced-tube structure, etc. In this study, a tubular structure with pyramid-like shape is suggested. The suggested type is compared with the classical framed-tube structure in order to understand the characteristics of the structural behavior of the tubular structure with pyramid-like shape.

To analyze the tubular structures, SAP2000 is used for modeling and analysis, and equivalent continuous tube is also used for comparison. The comparison of internal force and displacement of the tubular structure with pyramid-like shape to those of the classical framed-tube structure is made. Therefore, the structural behaviors are explored and well understood as the results of this study.

Keywords : Framed-Tube Structure, Shear Lag Effect, SAP2000

誌謝

兩年的研究生生活即將結束，感謝指導教授劉俊秀博士平日的教導與帶領，在兩年學習過程中指引學生正確的方向，在學生遭遇困難與疑惑時給予指點，學生才能完成這本論文。感謝口試委員黃炯憲教授、鄭復平教授，帶給學生論文的建議與指教改正，使論文內容能更加完善。

感謝同研究室的俊超、彥鈞在求學過程的幫忙與照顧，以及在論文上的相互討論與關心進度，讓研究變得更加充實與有趣，感謝你們。感謝室友們在兩年日常生活的照顧與打氣，一起聊天、相互加油，述說著對未來的理想與生活中遇到的點點滴滴，那快樂的日子我永遠不會忘記。感謝其他同學在課業上的幫忙，一起討論作業，考試前的集體溫習等。有你們的陪伴使得兩年研究生生活變得多彩多姿。

最後感謝我的父母、敬愛的兄長，有你們的支持與鼓勵，讓我在求學路上能無後顧之憂，順利的走完這兩年，謝謝你們。



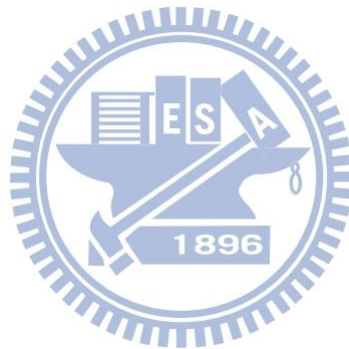
目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	1
1.3 文獻回顧.....	2
1.4 論文架構.....	4
第二章 框筒結構與剪力延遲效應介紹.....	5
2.1 框筒結構型式.....	5
2.2 剪力延遲效應介紹.....	6
2.2.1 剪力延遲效應(Shear Lag Effect).....	6
2.2.2 正向剪力延遲效應(Positive Shear Lag Effect).....	6
2.2.3 負向剪力延遲效應(Negative Shear Lag Effect).....	7
2.3 影響剪力延遲效應之因素.....	8
第三章 結構型式及規範與分析方法介紹.....	10
3.1 內縮型式框筒結構.....	10
3.2 台灣耐風設計規範介紹.....	11
3.3 SAP2000 軟體使用分析.....	14
3.3.1 SAP2000 軟體介紹.....	14
3.3.2 SAP2000 對梁柱剛性區域之設定.....	15
3.3.3 SAP2000 對剛性樓板之設定處理.....	16
3.4 Belt Truss 介紹.....	16
3.5 將框筒結構轉化為等效連續筒模型方法與共軛梁法公式介紹.....	17
第四章 結構案例分析.....	21
4.1 內縮型式框筒結構與傳統框筒結構之結構組成比較.....	21
4.1.1 內縮型式框筒結構模型組成.....	21

4.1.2	對照之傳統框筒結構模型建立	22
4.1.3	施加設計風壓的各種參數使用依據準則	22
4.2	內縮型式框筒結構及傳統框筒結構水平位移與等效箱型梁位移比較 ..	24
4.2.1	框筒結構與箱型懸臂梁相互比較概念及原因	24
4.2.1.1	內縮型式框筒結構水平位移與箱型懸臂梁受力位移情形.	24
4.2.1.2	傳統框筒結構水平位移與箱型懸臂梁受力位移情形.....	26
4.2.2	結構水平位移比較成果分析	27
4.3	內縮型式框筒結構與傳統框筒結構剪力延遲效應比較	29
4.3.1	內縮型式框筒結構剪力延遲效應分析	29
4.3.1.1	內縮型式框筒結構內不同高度翼板軸應力分析.....	29
4.3.1.2	內縮型式框筒結構內不同高度腹板軸應力分析.....	31
4.3.2	傳統框筒結構剪力延遲效應分析	32
4.3.2.1	傳統框筒結構內不同高度翼板軸應力分析.....	32
4.3.2.2	傳統框筒結構內不同高度腹板軸應力分析.....	34
4.3.3	結構柱軸應力分佈成果比較	35
4.4	框筒結構各樓層垂直變位分析.....	36
4.4.1	框筒結構上樓板垂直位移概念.....	36
4.4.2	內縮型式框筒結構樓層垂直位移分析.....	36
第五章	結論與建議.....	38
5.1	結論.....	38
5.2	建議.....	39
參考文獻.....		40

表目錄

表 3-1 計算 K_z 所用之 $K_1 K_2 K_3$ 值[13]	42
表 3-2 地況相關參數[13].....	43
表 3-3 外風壓係數 C_p [13].....	43



圖目錄

圖 2-1 框筒結構受水平側力下翼板端與腹板端柱軸應力分佈[3]	44
圖 2-2 Y. SINGH 之框筒結構考慮負剪力延遲之分析模型[10]	44
圖 2-3 Y. SINGH 之分析模型分佈內力情形示意圖[10]	45
圖 3-1 部分樓層之一角側其內縮型式框筒結構模型示意圖	45
圖 3-2 風力作用於結構投影面積計算流程圖	46
圖 3-3 KWAN 的框架單元轉換圖[5]	47
圖 4-1 框筒結構模型圖	48
圖 4-2 框筒結構邊柱排列方式示意圖	48
圖 4-3 內縮型式框筒結構柱與垂直方向之夾角圖	49
圖 4-4 結構受風面積示意圖	49
圖 4-5 內縮型式框筒結構水平位移圖	50
圖 4-6 傳統框筒結構水平位移圖	51
圖 4-7 0M 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖	52
圖 4-8 200M 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖	52
圖 4-9 400M 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖	53
圖 4-10 600M 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖	53
圖 4-11 800M 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖	54
圖 4-12 1000M 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖	54
圖 4-13 0M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖	55
圖 4-14 200M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖	55
圖 4-15 400M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖	56
圖 4-16 600M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖	56
圖 4-17 800M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖	57
圖 4-18 1000M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖	57
圖 4-19 0M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	58
圖 4-20 200M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	58
圖 4-21 400M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	59
圖 4-22 600M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	59
圖 4-23 800M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	60
圖 4-24 1000M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	60
圖 4-25 0M 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖	61
圖 4-26 200M 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖	61
圖 4-27 400M 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖	62
圖 4-28 600M 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖	62
圖 4-29 800M 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖	63

圖 4-30	1000M 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖.....	63
圖 4-31	0M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖.....	64
圖 4-32	200M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖....	64
圖 4-33	400M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖....	65
圖 4-34	600M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖....	65
圖 4-35	800M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖....	66
圖 4-36	1000M 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖...	66
圖 4-37	0M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	67
圖 4-38	200M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	67
圖 4-39	400M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	68
圖 4-40	600M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	68
圖 4-41	800M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	69
圖 4-42	1000M 高度內縮型式框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	69
圖 4-43	0M 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖.....	70
圖 4-44	200M 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖.....	70
圖 4-45	400M 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖.....	71
圖 4-46	600M 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖.....	71
圖 4-47	800M 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖.....	72
圖 4-48	1000M 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖.....	72
圖 4-49	0M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖.....	73
圖 4-50	200M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖.....	73
圖 4-51	400M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖.....	74
圖 4-52	600M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖.....	74
圖 4-53	800M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖.....	75
圖 4-54	1000M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖.....	75
圖 4-55	0M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	76
圖 4-56	200M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	76
圖 4-57	400M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	77
圖 4-58	600M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	77
圖 4-59	800M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	78
圖 4-60	1000M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之翼板軸力分佈圖	78
圖 4-61	0M 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖.....	79
圖 4-62	200M 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖.....	79
圖 4-63	400M 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖.....	80
圖 4-64	600M 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖.....	80
圖 4-65	800M 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖.....	81
圖 4-66	1000M 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖.....	81
圖 4-67	0M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖.....	82

圖 4-68	200M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖.....	82
圖 4-69	400M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖.....	83
圖 4-70	600M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖.....	83
圖 4-71	800M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖.....	84
圖 4-72	1000M 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖.....	84
圖 4-73	0M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	85
圖 4-74	200M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	85
圖 4-75	400M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	86
圖 4-76	600M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	86
圖 4-77	800M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	87
圖 4-78	1000M 高度傳統框筒結構模擬 BELT TRUSS 之腹板軸力分佈圖	87
圖 4-79	5M 高度內縮型式框筒結構垂直位移	88
圖 4-80	200M 高度內縮型式框筒結構垂直位移	88
圖 4-81	400M 高度內縮型式框筒結構垂直位移	89
圖 4-82	600M 高度內縮型式框筒結構垂直位移	89
圖 4-83	800M 高度內縮型式框筒結構垂直位移	90
圖 4-84	1000M 高度內縮型式框筒結構垂直位移	90
圖 4-85	2D 剛架受力變形示意圖	91



第一章 緒論

1.1 研究背景

十九世紀末，由於都市的發展與人口的快速成長所帶來的地價上漲，為了增加都市用地的使用，追求更大的容積，加上已經成熟的鋼鐵技術與升降機的發明，材料強度的提升使得相同柱斷面可承載的重量也上升，結構可利用容積得以保留，垂直向延伸建築建造變得不再困難，至此高層建築發展開始興起。之後在世界經濟高速成長下，樓層高度的進展非常快速，再超過一定高度後，結構強度的需求考量不再只是承重及地震力，隨建築高度增加受風面積與風力也不斷上升，而主體結構也從剛性建築轉變為柔性建築，地震力的效應慢慢降低但風力引起的側向位移卻大幅度增加。為了滿足側向風力所導致的受力與位移，一般框架結構已經不足以達成需求，為此 F.R.Khan[2]提出利用建築結構外側布置密集柱與深梁，使得整體建築猶如一連續筒(tube)所包圍形成，將其稱做框筒結構。自從 1963 年首次應用在位於美國芝加哥市 116 公尺高的 DeWitt Chestnut 建築以後，框筒結構型式開始廣泛使用於高層建築中，因此對於框筒結構的力學結構做受力與位移之分析行為變得非常重要。

1.2 研究動機與目的

一般高層結構系統抵抗外力的結構型式主要分為內部結構型式(Interior Structures)和外部結構型式(Exterior Structures)。筒狀結構則是典型的一種外部結構系統型式，在受風力作用下可當作懸臂箱型梁處理，但由於框筒結構並非真實完整封閉筒形，因此在受水平力作用下，力量的傳遞會因結構深梁勁度影響而造成剪力延遲，使得框筒結構受力不均而無法完整發揮其整體結構的勁度，對於框筒結構往高樓層發展有相當的影響，因此剪力延遲效應的分析變成為一

個相當重要的課題。為此發展出剪力延遲效應的簡化分析方法，也可以使用電腦結構分析軟體來做精確的剪力延遲效應影響分析。在時代的演進下，為了各種目的，框筒結構也發展出了數種框筒型式，從標準的方形框筒，到筒中筒，圓筒以及斜撐式框筒等等，因此將框筒結構型式做不同的變化，加以分析比較，希望能得到或了解框筒結構的特性並改良。

本論文主要是利用電腦結構分析軟體(SAP2000)來分析超高層逐漸內縮型式框筒結構在受水平載重下，利用更改結構深梁的勁度與在特定樓層高度增加 Belt truss 等方式，來檢視其翼板與腹板端框柱的軸應力分佈(剪力延遲效應)變化，與整體結構水平位移曲線變化，並加以探討。希望能夠了解當框筒整體結構為隨高度由下而上逐漸內縮時，觀察其內縮型式框筒結構側向位移曲線變化，與傳統框筒結構位移曲線之差異，利用改變各種不同結構參數，得到框筒結構翼板與腹板柱軸力變化與剪力延遲情形，與一般框筒結構內柱之軸向內力分佈情形的差別，且得到內縮型式框筒結構在不同的剪力延遲效應下，各樓層的垂直位移與翹曲變形行為。



1.3 文獻回顧

一開始先從 Mir M.Ali[1]的文章中了解高層建築的發展與前景，明瞭各種高層建築之結構形式，從材料分出混凝土建築及鋼結構建築，從結構組成分出外部結構及內部結構。在選定型鋼材料搭配外部結構組成做為高層建築之研究主體型式後，選擇了 F.R.Khan[2]所提出之框筒結構做為研究的目標，所以首先必需了解框筒結構的行為特性。

在方形框筒結構的簡化分析中，主要有等效平面構架分析以及等效連續筒模型分析方法，F.R.Khan[2]及 B.S.Smith[3]提出將三維結構轉化為二維平面構架再做簡化分析，為等效平面構架分析方法，而 A.Coull[4]與 A.K.H.Kwan[5]則是

將框筒結構轉化為等效連續筒模型做分析，稱做等效連續筒模型分析。在本研究中則是採取使用了有限元素法的 SAP2000 軟體做輔助來分析框筒結構，以及利用 A.Coull 與 A.K.H.Kwan 提供之方法求得等效連續筒參數，兩者等效連續筒大部份參數皆相同，主要差異在於其中剪力參數的求取，由於 Coull 使用方法無考慮梁柱桿件之剪力變形，為了得到更真實之結果選定 Kwan 利用之 K.H.Ha[6]提供之方法求得剪力參數，得到等效連續筒參數之後再利用 SAP2000 軟體模擬出等效連續筒模型做比較。

剪力延遲效應的研究最早是在航太領域裡出現，但隨著高層結構中越來越多框筒結構型式的出現與發展成熟，剪力延遲效應也成為框筒結構研究重點所在。許多人開始對剪力延遲做研究，例如在 Coull 與 Kwan 的簡化分析方法裡，從翼板及腹板框架中可以清楚計算出剪力延遲的情形。而在負剪力延遲效應的研究，最早是由 D.A.Foutch[7]在受均佈荷載之箱型懸臂梁中發現的，之後 S.T.Chang[8]使用有限元素法驗證了在受均佈荷載下箱型懸臂梁之負剪力延遲效應。

J.J.Connor[9]則是分析出框筒結構中的正負剪力延遲效應，以及根據結構的高度變化得到其剪力延遲的分佈與變化規律。Y.Singh[10]則是真正說明其框筒結構負向剪力延遲效應的形成原因，將結構受力得到之軸力與位移得到之軸力分開作用繪圖，圖 2-3 當兩者軸力大小一致時產生所謂的剪力延遲翻轉(shear-lag reversal)，在這高度以上因受力位移交互作用下得到負向剪力延遲，在這高度以下受力大於位移作用得到正向剪力延遲，並且 Y.Singh 再根據改變結構中各種參數分析得出影響剪力延遲之因素，變動參數時正負剪力延遲交互作用變化之規律，而剪力延遲翻轉在距離結構底部多少高度時發生，以及正向剪力延遲與負向剪力延遲彼此之相關性。

在 Mir M.Ali[1]之文章中可以發現到 Belt Truss 如何利用於高層鋼結構之發展與演進情形，而在大型結構之實際應用上 Belt Truss 常與 Outrigger 及核心(Core)結構一起使用，R.S.Nair[11]和 S.Fawzia[12]都曾經對此結構方式做過深入

研究，分析其附加元件之架設方式與位置及其對於高層結構之位移與結構行為之影響。

1.4 論文架構

本論文主要架構分為五個章節。第一章為緒論，首先簡單介紹高層建築與框筒結構的發展及相關研究背景，之後說明研究的動機與希望探討的方向及目的，並就參考收集的文獻做一個整體的回顧分析。第二章則先就框筒結構型式介紹，說明其結構系統的發展原因與結構優點，現今存在著哪些框筒結構系統型式，再對於在框筒結構中非常重要的剪力延遲效應做介紹，了解何謂剪力延遲效應，剪力延遲效應發生原因，剪力延遲效應的特性與影響情形，並對能夠改進剪力延遲效應的方法做介紹。第三章介紹改變後的框筒結構其主要組成型式，風力的組成與施加方式以及 SAP2000 軟體分析介紹，何謂 Belt Truss 以及 Belt Truss 對結構的效應，如何將框筒結構模型轉換為等效連續筒模型，以及共軛梁分析公式介紹，好對上述的施力型式與設計方法根據框筒結構考慮不同的參數設定做分析。第四章為結構案例分析，使用 SAP2000 軟體制作框筒結構模型，施加側力載重做靜力分析，探討內縮型式框筒結構模型與傳統框筒結構模型在受風力後得到之水平位移情形比較，並且對內縮型式框筒結構與傳統框筒結構之剪力延遲情形做分析討論，再對內縮型式框筒結構在不同樓層高度的垂直位移情形做分析。第五章為結論與未來展望，首先總結第四章得到的分析結果並加以討論，思考可能改進的地方及未來有可能繼續努力研究之方向。

第二章 框筒結構與剪力延遲效應介紹

2.1 框筒結構型式

框筒結構最早是由 F.R.Khan 提出，用來取代一般框架結構並應用於高層建築，於 1963 年首次應用在美國芝加哥市 43 層樓 116 公尺高的 DeWitt Chestnut 建築。框筒結構型式由四片框架包圍四周組合而成，將與水平外力垂直之兩片框架稱為翼板端框架，與外力平行之框架稱做腹板端框架，每個框架都由梁柱密集安裝結合而成，整體結構近似於箱形懸壁梁的型式。從抵抗風力觀點來看，框筒結構與一般框架結構不同之處在於，隨著樓層高度不斷增加，水平側向風力也隨之加大，為了抵抗水平外力，一般框架系統主要靠著腹板側框架之撓曲勁度抵抗，而框筒結構藉由密集柱與深梁，能有效將力量傳遞給翼板端框架，使整體結構能提供更高的撓曲勁度來抵抗側力。而從經濟的觀點來看，框筒結構將梁柱安置於建築周圍，能保留室內空間的完整性，不受梁柱影響而能靈活運用，適合各種需求的商業或辦公大樓，有利使用設計於高度發展的都市中。

一般框筒結構受風力荷載而使得結構在力量傳遞時，因為翼板柱是經由角柱剪力傳遞力量給內部邊柱，而力量傳遞過程中會隨著深梁勁度之影響而無法完全傳遞導致邊柱(不包含角柱之外柱)受力降低，稱為剪力延遲效應(Shear Lag Effect)，也由於剪力延遲效應的影響使得框筒結構勁度無法完全發揮，降低結構抵抗側向位移的勁度能力。框筒結構又可分為傳統框筒結構(Framed-Tube Structures)，為了增加抵抗側力需求而產生的筒中筒式框筒結構(Tube-In-Tube Structure)例如美國休士頓市 52 層樓 218 公尺高的 One Shell Plaza 大樓，以及束型框筒結構(Bundled-Tube Structure)，其典型實例為美國芝加哥市 110 層樓 442.3 公尺高的 Sears 大樓，此外束型框筒結構是經由許多框筒結合而成，對於各種建築平面形狀都能靈活使用，從高度上也能取用不同數量的框筒得到改變結構樓斷面積的配置。另外也發展出替代一般柱單純由斜撐組成之支撐型框筒結構

(Braced-Tube Structure)，其斜撐型框筒結構具有更接近懸臂箱型梁的性能，但由於受垂直載重下斜撐柱在材料使用上不如垂直柱來的經濟，所以為了提高支撐型框筒結構的實用性，發展出了合併大型對角斜撐與密集柱之組合的大型支撐型框筒結構設計型式。

2.2 剪力延遲效應介紹

2.2.1 剪力延遲效應(Shear Lag Effect)

剪力延遲效應(Shear Lag Effect)一詞最早出現於 1920 年，當時經由設計飛機機翼結構時發現，機翼結構本身即可看作一連接於機體的懸臂式箱型梁，因此最早的剪力延遲效應研究於航太工程領域中，一直到了 1963 年 F.R.Khan 正式應用並且設計出第一座高層框筒建築結構後，有關框筒結構的剪力延遲效應開始在建築結構上受到重視，又因為剪力延遲效應的影響使得框筒結構無法完整發揮其結構設計時的勁度，因此開始逐步分析剪力延遲效應對框筒結構設計性能影響及其整體結構內部的各種桿件內力變化。

2.2.2 正向剪力延遲效應(Positive Shear Lag Effect)

根據古典梁彎曲理論中，由基本彎曲應力公式(2.1)得知

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (2.1)$$

當懸臂箱型梁受垂直於梁方向水平側力作用，其翼板與腹板框架所受彎曲軸向應力分佈應如圖 2-1 所示，其虛線部份表示為沒有剪力延遲效應影響，但是在剪力延遲效應影響下，翼板端靠近腹板側軸力會增加而靠近翼板中心軸力會遞減，呈現外圍大中心小的情形，整體軸力分佈曲線呈凹曲線分佈造成之力量分佈不均，軸力分佈如圖 2-1 之實線部份所示。這種現象同時也發生在框筒結構中，稱為正剪力延遲效應(Positive Shear Lag Effect)。

框筒結構剪力延遲效應的產生，主要是在一般框架結構系統在受水平側力作用時，依靠與水平載重方向平行之框架其勁度來抵抗側力，而在框筒結構中則由腹板端結構框架抵抗側力，由於框筒結構在深梁與密集柱的連結下，四根角柱由於腹板變形分別承受拉壓的軸向應力，而隨著角柱的軸向變形產生軸力帶動翼板端深梁產生垂直向的剪力，而剪力即藉由深梁將軸力由角柱向中心柱傳遞，使翼板框架也能充分受力發揮作用。但是由於梁本身有其有限的勁度，因此在受剪傳遞力量過程中，本身也會產生剪力撓曲變形，隨著梁本身勁度的不同造成之變形的大小不同，力量傳遞產生遞減情形，造成了剪力延遲效應的出現，可得當梁勁度趨近無限大(完全剛性)時，結構梁之剪力變形趨近無限小時結構柱也就不會產生剪力延遲效應。

2.2.3 負向剪力延遲效應(Negative Shear Lag Effect)

在 1982 年 Foutch 和 Chang[7]從懸臂箱型梁中觀察到與一般剪力延遲不同的行為現象。當距離懸臂梁固定端四分之一梁長度時，在翼板端發現到靠近腹板側的彎曲應力低於靠近翼板中心的彎曲應力，應力分佈呈現由外向中心慢慢增加的情形，整體軸力分佈曲線呈現凸曲線分佈，這種剪力延遲的現象與正向剪力延遲效應正好相反，因此稱做負向剪力延遲效應(Negative Shear Lag Effect)。

負向剪力延遲效應產生之原因，主要引據 Y.Singh[10]所闡述的方法來解釋。由於在假設中框筒結構受水平側力時，其結構在平面上有雙對稱軸存在，Y.Singh 首先將框筒結構依結構對稱性取出分別由二分之一的翼板與二分之一的腹板組成之四分之一框筒結構模型加上水平側力，根據圖 2-2 來討論 j 樓層以上高度受力行爲。首先將 j 層樓板以上結構從整體結構中分割出來，再將其結構模型分成兩個模組如圖 2-3 所示，模組一假設 j 樓層柱端為固定端鎖住，受其

樓層上方受側力作用下柱軸向受力的產生型式，模組二則對框筒結構 j 樓層施加節點位移載重，位移值由 j 樓層以下框筒結構受力在 j 層樓板高度所產生之位移量，其變形影響造成之柱軸向受力型式。此分析方式如同彎矩分配法一樣，原理為將節點固定考慮其上方受力情形再將節點釋放回復將節點固鎖需施加之節點力，在兩者交互作用下，模組一受力影響大於模組二時顯示正向剪力延遲效應，而在模組二受力影響大於模組一顯示時，就出現負剪力延遲效應之情形。

2.3 影響剪力延遲效應之因素

1. 柱與柱的跨距以及連接深梁深度：

當結構柱與柱的跨距增加時，剪力傳遞的距離增加，因此剪力延遲的現象也會增加，同樣當深梁斷面深度降低時，梁的勁度也隨之降低而變形變大，剪力無法完全傳遞，導致剪力延遲效應也會加大。

2. 四周角柱斷面積：

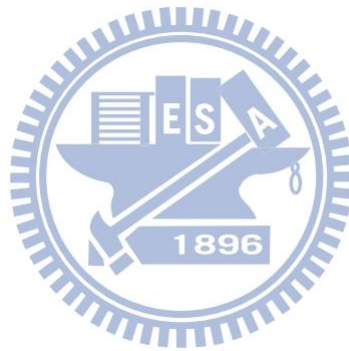
由於剪力延遲效應是由角柱利用剪力將力量往中心柱傳遞，當角柱斷面增大軸力也因此增大，鄰柱軸力也會對應增大，因此角柱斷面積會對整體結構剪力延遲產生影響。

3. 框筒結構的高度：

隨著結構高度的變化，根據 Y.Singh[10]的研究，從圖 2-3 得剪力延遲效應在受力及變形影響下，底部結構由抵抗傾倒彎矩得之柱軸力控制，有較大的軸力產生以及無垂直位移的影響，為完全的正向剪力延遲，剪力延遲情形嚴重。樓層增高由結構垂直變形帶來之受力逐漸加大，與彎矩受力之軸力作用相互影響後剪力延遲逐漸趨緩，超過一定高度後變形受力開始大於彎矩受力，即出現負剪力延遲現象。

4. 框筒斷面尺寸長度：

主要考慮框筒結構之翼板長度，當翼板長度越長時角柱傳遞力量至中心柱的距離就越遠，得到的剪力延遲的效應越高，因此結構翼板端不宜過大，又因為結構其受風方向為不固定，為了不發生結構翼板端過大的情形，框筒結構斷面應採正方形或圓形這類對稱之斷面形狀，而不宜使用長方形或不規則之結構斷面形狀。



第三章 結構型式及規範與分析方法介紹

3.1 內縮型式框筒結構

一般傳統框筒結構為密柱與深梁的配置，並且結構架設在整體建築的周圍成一外部結構系統，此結構型式其一之優點為可自由運用內部結構空間，為保留框筒結構特性與此一優點所以只在外部結構上做變化，與筒中筒結構或束型框筒結構做區別。一開始的結構斷面選擇上，受風力載重時為了避免弱軸的存在選擇具有雙對稱軸的方形結構斷面型式，結構型式保持密柱深梁架設於四周，而與傳統框筒結構不同點在於，外部結構的密集柱並非垂直立柱，變化其一為樓板斷面四邊角端角柱由下端至上端向結構中心傾斜一角度，其二為將四邊的邊柱根據其各自的排列架設軸向從結構外側向結構內側柱體由下端向上端傾斜一角度，取局部樓層之一角端結構模型如示意圖 3-1 所示，局部結構斷面由下往上慢慢縮小，根據單一樓層結構模型往上慢慢疊加組合後，整體結構造型猶如一角錐型式向上慢慢內縮而成。從細部結構來看，因為結構平面樓板斷面逐漸縮小，鄰角端的邊柱與各角端柱間之距離也不斷降低至重合，再往上後將其重合角柱端點之邊柱去除，角柱繼續保留，邊柱數量因為剷除接合角柱之邊柱後減少，原本相鄰鄰角端邊柱之邊柱取代成為鄰角端之邊柱，而取代後其鄰角端邊柱與角柱距離回復原狀，再次因為結構斷面減少而鄰角端邊柱與角柱距離慢慢縮短至重合，持續同樣的步驟進行保持框筒結構型式但邊柱數量慢慢降低，總體結構以此為基礎設計方式建立一內縮型式之方形框筒結構模型。

從結構設計應用的觀點來看，高層建築結構在設計上主要考慮因素為(1)本身結構的勁度與(2)風力載重的作用面積大小，為了使框筒結構能夠應用到更高樓層的高層結構，從前者結構勁度的角度發展出了提升結構勁度的筒中筒框筒結構與束型框筒結構型式，但在此並不採用這兩種結構型式而是採取保留傳統只有外部結構之框筒結構再將柱傾斜一角度，希望能在框筒結構翼板側獲得一

部份猶如斜撐之抵抗水平分力達到增加結構勁度的效果。另一方面從後者風力載重作用觀點看來，可知框筒結構近似於箱型懸臂梁型式，在風力載重隨著高度增加的情形下越高處受風也越強，再配合上樓層高度當做力臂分析下，其傾倒彎矩也會越發增大，為了避免傾倒彎矩過大造成之底部結構過大的受力，所以根據不同的高度降低其樓層受風面積為一個有效的辦法，束型框筒結構及內縮式框筒結構都能依據這點著手改進，這是傳統框筒結構無法做到的。

內縮式框筒結構與傳統框筒結構及束型框筒結構不同於隨著建築結構高度上升，傳統框筒結構樓板面積為固定大小，而束型框筒結構則可以依照需求作不同的框筒數量折減，但內縮式框筒結構樓板面積只能隨結構高度採線性方式逐漸縮小變化，為其結構限制所在。另外又因為柱本身並非直立於水平面上，在受垂直載重作用下可能產生猶如支撐型框筒結構斜撐構件之承載強度不如直立柱情形，但在本論文中只考慮風力載重作用，並捨去了桿件本身自重，單純考慮其框筒結構抵抗側力情形下桿件受力變形行為。



3.2 台灣耐風設計規範介紹

根據 2007 年 1 月 1 日開始實施之建築物耐風設計規範及解說[13]第二章建築物設計風力之計算中，封閉式或部份封閉式普通建築物或地上獨立結構之承受設計風壓 P 採下式計算：

$$P = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (3.1)$$

本文只取式中的外風速壓 (qGC_p) 當作結構設計風壓， q 代表為離地面不同高度之風速壓，是一變數其單位為 kgf/m^2 。將設計風壓隨每二十公尺高度乘上作用於結構之垂直於風向之投影面積為一合力作用區塊，再依面積形心將外力等效分佈於上下端點作用如圖 3-2 流程所示，得做為設計風力載重。上式中 G 為陣

風反應因子，代表意涵為將不固定的風力轉化為一定值， C_p 為外風壓係數，目的為結構並非完全阻止風力通過，風可向四面流通，因此作用於結構上之風壓需乘以風壓係數 C_p 。

風速壓 $q(z)$ 計算公式如下

$$q(z) = 0.06K(z)K_{zt} [IV_{10}(C)]^2 \quad (3.2)$$

各項基本參數：

1. 基本風速 $V_{10}(C)$ ，風速隨距地表高度增加而增加，但增加至梯度高度 (gradient height) Z_g 後，則保持均勻分佈稱做梯度風速 (gradient velocity)。某地點其基本設計風速由距地面十公尺高度，相對於五十年回歸期之十分鐘平均風速而得，單位為 m/s。

2. 風速壓地況係數 $K(z)$ ，為離地 z 公尺之風速壓與標準風速壓之比值，由下式計算：

$$K(z) = 2.774 \left(\frac{z}{Z_g} \right)^{2\alpha} ; z > 5m \quad (3.3.a)$$

$$K(z) = 2.774 \left(\frac{5}{Z_g} \right)^{2\alpha} ; z \leq 5m \quad (3.3.b)$$

3. 地形係數 K_{zt} ，代表獨立山丘或山脊之上半部或懸崖近頂端處之風速局部加速效應，計算公式如下：

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (3.4)$$

K_1 、 K_2 、 K_3 分別依表 3-1 決定。

4. 用途係數 I ，根據不同建築結構用途將建築分為五類，分別依據不同使用情形

對應於 25 年、50 年、100 年基本設計風速回歸期而訂定 $I=0.9\sim 1.1$ 之用途係數。

由於建築結構為柔性建築物，得陣風反應因子 G 其計算公式如下：

$$G_f = 1.927 \left(\frac{1 + 1.7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1.7 g_V I_z} \right) \quad (3.5)$$

其中 g_Q 和 g_V 可用常數 3.4 表示， g_R 以下式計算，其中 f_n 為頻率：

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3600 f_n)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln 3600 f_n}} \quad (3.6)$$

R 則為共振反應因子，計算公式如下：

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0.53 + 0.47 R_L)} \quad (3.7)$$

又各參數計算方式依下列各式求得：

$$R_n = \frac{7.47 N_1}{(1 + 10.3 N_1)^{\frac{5}{3}}} \quad (3.8)$$

$$N_1 = \frac{f_n L_z}{\bar{V}_z} \quad (3.9)$$

又在 R_h 、 R_B 與 R_L 這三個參數可用一通式 R_j 計算，之後再依據不同的下標改變

其中參數 η ， R_j 求取方式如下：

$$R_j = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad \text{for } \eta > 0 \quad (3.10)$$

$$R_j = 1 \quad \text{for } \eta = 0$$

當 $R_j = R_h$ 時， $\eta = 4.6 f_n h / \bar{V}_z$ ，當 $R_j = R_B$ 時， $\eta = 4.6 f_n / \bar{V}_z$ ，而當 $R_j = R_L$

時， $\eta = 15.4 f_n L / \bar{V}_z$ 。

3.3 SAP2000 軟體使用分析

3.3.1 SAP2000 軟體介紹

SAP 為一基本的結構分析軟體全名為 Structural Analysis Program，是由美國加州大學柏克萊分校 Edward Wilson 教授發展出來的對結構分析軟體，主要使用於各種土木結構以及橋梁工程的分析及研究。在時代的演進下 SAP 軟體隨著有限元素方法的發展不停改進，從 SAP-I、SAP-II 到 SAPV、SAPVI，之後更發展為商業化的分析軟體到現在的 SAP2000 版本。現今 SAP2000 軟體不僅做為結構分析，在配合各種規範的匯入後，也可以做為輔助結構的設計工作。

SAP2000 本身可以快速建立 2D 平面或 3D 空間的桁架與一般剛架模型框架，各種桿件版殼元素的選取與設定幾何性質，材料分類也包含了鋼筋混凝土與鋼骨材料等一般建築材料，對於建立模型使用非常快捷。此外 SAP 也具有圖形介面視窗化與標準文字格式輸出，對於分析完的成果可以從圖形直觀參考與數據分析兩方面獲得，結果與的匯出也非常方便，有利於後續的力學分析處理。本論文使用 SAP2000 來做為分析框筒結構的主要原因為以下幾點：

1. 整體內縮型式框筒結構模型非常龐大，利用 SAP2000 可以快速建立模型，並且有效利用 SAP 的功能快速的修改各種參數，
2. SAP2000 除了能利用本身軟體內建功能建立模型外，還可以經由匯入其他的檔案格式來建立模型，當需要利用龐大的參數資料來建製模型時，可以使用 SAP2000 自身的純文字檔(\$2K 檔)來建立模型。
3. SAP2000 軟體分析採用有限元素方法分析，能精確顯示出整體結構受力變形情形，完整顯示出框筒結構的剪力延遲行為，配合上 3D 的視窗化圖形介面，以及方便的數據匯出能做出有效的成果分析與快速的做改進與各種判斷處理。
4. SAP2000 提供各種節點束制的方式，其中可以利用 Diaphragm(剛性樓板)束制節點位移並有效模擬平面剛性樓板行為狀態，將不同高度的節點連接做剛性樓板的模擬，束制其平面方向位移一致性，此外也能有效減少整體結構的自由度

並加快其分析速度。

5.SAP2000 可定義桿件之端點偏移(End Offsets)，利用其中之剛性區域係數來調整剛性區域的範圍。剛性區域的產生在於，梁柱桿件彼此相結合之區塊會因為梁柱本身尺寸大小導致接合處成一區域而非模型顯示之一個節點，也因此接合處之抗彎勁度與剪力剛度相較於桿件為無限大，將其視做剛性區域。

3.3.2 SAP2000 對梁柱剛性區域之設定

因為結構桿件本身必然有其尺寸大小，得知框筒結構在各節點上剛性區域的存在即為不可避免之結構因素，有剛性區域之存在則會導致結構桿件的有效長度縮短，從而影響整體結構受力行為，因此必需對結構節點做剛性區域之處理修正。在 SAP2000 軟體中，可以藉由定義桿件之端點偏移量(End Offsets)與剛性區域係數(Rigid Zone Factor)來控制剛性區域之大小與桿件之有效長度，控制剛性區域計算方式根據以下公式

$$L_c = L - (i_{off} + j_{off}) \quad (3.11)$$

$$L_f = L - rigid(i_{off} + j_{off}) \quad (3.12)$$

上式中， L_c 為有效長度， L_f 為柔性長度， L 為桿件本身長度， i_{off} 、 j_{off} 為桿件兩端之端點偏移值，在梁桿件中端點偏移為柱寬之一半，在柱桿件中端點偏移為梁深之一半，另外 rigid 為剛性區域參數，範圍從 0 到 1 之間，當 rigid=0 表示為完全柔性，rigid=1 表示為完全剛性，因此可以利用調整 rigid 參數來定義梁柱交接區之剛度為有限值或無限大值。

由於框筒結構節點剛性區域的存在，會增加整體結構之勁度，因此在做框筒結構分析時剛域上的設定對於整體框筒結構受力變形模擬有顯著的貢獻影響，能使結構表現更貼近真實結構行為。

3.3.3 SAP2000 對剛性樓板之設定處理

在 SAP2000 所建製框筒結構模型中，雖然只做了桿件的配置，但在實際結構中在每一樓層皆有樓板存在的，而樓板本身的特性即為一板殼元素，在兩方向擁有相當之勁度存在，在建築結構中為樓板平面方向，可以表示在樓板平面內之剛度為無限大，也就稱做剛性樓板，結構行為是在受力時其樓板在平面方向呈現剛體運動而不產生變形，此設定能夠有效束制同一結構高度之節點自由度數目，加快結構分析運算的速度，是結構分析中一個重要的設定。

SAP2000 在節點設定上提供了 9 種節點束制方式可選用，分別為(1)Body、(2)Diaphragm、(3)Plate、(4)Rod、(5)Beam、(6)Equal、(7)Local、(8)Weld、(9)Line，在此介紹的是 Diaphragm 即為剛性樓板束制，在使用上 Diaphragm(剛性樓板)束制可以指定同一樓層高度之節點限制在一起，等同做為一剛性平面移動，其中為了建築結構使用的方便，SAP2000 可自動對位於相同高度的節點設定剛性樓板之束制。



3.4 Belt Truss 介紹

在高層結構建築中，為了抵抗側力有效增加結構勁度產生了許多附加系統方式，基本型式有加上斜撐桿件之結構，其效果為增加結構側向剛度，此外還有安裝剪力牆，效果同樣為增加結構之側向勁度，同樣還有架設核心結構(Core)在結構內部並且搭配上大型懸臂(Outriggers)與外部環狀斜撐(Belt Truss)之組合型式，也是為了增加整體結構之側向勁度。

在此為了保持結構內部自由空間設計，只為框筒結構做模擬加上環狀斜撐(Belt Truss)時之分析行為，模擬方法為改變框筒結構深梁之勁度，因為 Belt Truss 本身即是由斜撐桿件所組成，所以對於其結構樓層之整體勁度加強有很好的效果，在模型模擬分析中將之等效於可以大幅增加其樓層之結構梁勁度，當對整

體框筒結構之梁勁度皆加強時則表示整體結構皆加上 Belt Truss，也就是在結構中佈滿斜撐桿件。

3.5 將框筒結構轉化為等效連續筒模型方法與共軛梁法公式介紹

為了能有效分析框筒結構的受力及變形行為，Coull[4]及 Kwan[5]各自發展出不同的等效連續筒模型分析法來框筒結構行為，原理為將框筒結構用四片正交之連續板組成，其四片連續板稱作等效板，而組成之結構模型稱為等效連續筒模型，再藉由軸應力的分佈曲線使用能量法求解內力及水平位移。在此由於分析已經交給 SAP2000 軟體來做處理，因此不對這兩者之分析法做介紹，但其等效連續筒模型的組成方法可以建製出近似於框筒結構之簡化模型，為完整筒狀(tube)結構模型。在此用於(1)SAP2000 軟體建製近似等效連續筒結構模型求得其結構模型位移曲線，以及(2)利用此方法得到之筒狀結構模型加上受力以共軛梁分析方法來求得解析之結構位移曲線，並與(3)實際之框筒結構模型求得之結構位移曲線做比較分析。

等效連續筒之參數是根據 Coull 及 Kwan 的假設及分析得來，假定框筒結構之垂直向勁度全部由柱提供，則等效連續筒結構垂直勁度與框筒結構相等，將框筒結構轉換為等效連續筒之筒壁厚度轉換公式如下

$$A_c E_m = stE \quad (3.13)$$

上式中， S 為柱距， t 為等效板之厚度， A_c 為柱斷面面積， E_m 為結構材料之彈性模數，又已知框筒結構之垂直向勁度全部由柱提供，所以 $A_c = st$ ，移項後得到等效連續筒之厚度，令其也得到等效連續筒之彈性模數，計算方式以式(3.14)與(3.15)表示

$$t = \frac{A_c}{s} \quad (3.14)$$

$$E = E_m \quad (3.15)$$

因為共軛梁計算公式只考慮彎曲變形造成之位移不考量剪力變形情形，不需要求得剪力參數 G 即可計算，所以根據以上方式得到參數即可建立出可應用於共軛梁上之等效連續筒模型結構，利用共軛梁法之公式計算，假定等效連續筒模型為一箱型懸臂梁其結構底部為固定端，為靜定結構受風力荷載做變位分析，利用公式能得到連續筒結構模型受力時單純彎矩所造成之位移量，以此當做範例用來與框筒結構做比較。

共軛梁法基本原理為將原梁轉換為共軛梁，原支承與自由端點做修正轉換，將原梁的彎矩圖 M 除以 EI (材料彈性模數與慣性矩) 改正後定義為共軛梁之荷載圖，得到共軛梁某點的剪力即為原梁相應端點之斜率，共軛梁某點之彎矩即為原梁相應端點之變位，變位公式如下

$$\delta = \int \frac{M}{EI} \times (\alpha) dx \quad (3.16)$$

其中 α 為力臂，也就是荷載距離欲求端點之距離。

此外等效連續筒模型的剪力模數 G 的求取方式則採用 Kwan[5] 等效連續筒參數分析方法轉換得來，原理為當一個框架單元與等效連續板承受相同水平剪力 Q 時，兩者會產生相同的水平位移量。框架單元可以由一個梁柱系統表示，組成方式為先假設在梁柱中間長度皆存在著反曲點，然後從四根梁柱反曲點再截取出的框架單元，中間由梁柱接點交會連接，視為剛域其高度為梁深而寬度為柱寬，整體框架單元如圖 3-3 所示。等效板的剪力模數計算方法採用 Kinh H.Ha[6] 的計算方法得來，在框架單元剪力剛度求取中，考慮桿件的彎曲變形與剪力變形，但忽略梁柱交接區塊的剪力變形，在水平剪力 Q 作用下梁柱單元水

水平位移 Δ 包含了彎曲變形產生之位移 Δ_b 及剪力變形產生之位移 Δ_s ，計算方法如下

水平剪力作用使框架單元因彎曲變形產生之水平位移公式

$$\frac{\Delta_b}{Q} = \frac{(h-d_b)^3}{12E_m I_c} + \left(\frac{h}{s}\right)^2 \frac{(s-d_c)^3}{12E_m I_b} \quad (3.17)$$

水平剪力作用使框架單元因剪力變形產生之水平位移公式

$$\frac{\Delta_s}{Q} = \frac{(h-d_b)}{G_m A_{sc}} + \left(\frac{h}{s}\right)^2 \frac{(s-d_c)}{G_m A_{sb}} \quad (3.18)$$

上兩式中，其參數 h 為上下層梁之間距(柱高)， s 為相鄰柱之間距(梁長)， d_b 為梁深， d_c 為柱寬， C_p 為梁之慣性矩， I_c 為柱之慣性矩， E_m 為結構材料之彈性模數， G_m 為結構材料之剪力模數， A_{sb} 與 A_{sc} 分別為梁與柱的有效剪力斷面積，計算方法如(3.19)及(3.20)所示

$$A_{sb} = \frac{A_b}{1.2} \quad (3.19)$$

$$A_{sc} = \frac{A_c}{1.2} \quad (3.20)$$

式中 A_b 、 A_c 為梁、柱的斷面積。

在水平剪力作用下等效板產生之水平位移公式如下

$$\Delta = Q \frac{h}{Gst} \quad (3.21)$$

又 $\Delta = \Delta_b + \Delta_s$ ，將公式(3.17)與(3.18)轉換代入(3.21)得剪力模數 G

$$G = \frac{\frac{h}{st}}{\frac{\Delta_b}{Q} + \frac{\Delta_s}{Q}} \quad (3.22)$$

且 Δ_b 、 Δ_s 可從框架單元公式求得，算出等效板之剪力模數 G 。

得到 SAP2000 建製之結構模型所需的箱型連續筒厚度 t ，結構彈性模數 E 與結構剪力模數 G 各項參數後即可以利用 SAP2000 軟體建立一等效連續筒模型做模擬變位分析。需要注意的是，不管是 Coull 或 Kwan 的模型皆沒有考慮梁柱交接區之剪力變形，將其交接區域視為剛域，這個假設也影響到等效連續筒模型與框筒結構模型內力與位移的分析計算模擬。

再來還要注意的就是雖然在上述介紹了 Coull 與 Kwan 兩種等效連續筒模型的一些材料特性參數假設方式，但實際上並沒有使用到 Coull 或 Kwan 之簡化的框筒結構分析公式做計算，在 Coull 及 Kwan 分析方法中是考慮到結構剪力延遲的情形並利用應力應變關係配合能量法求出結構內部剪力延遲形成之內力，再經由應力應變公式求得框筒結構之位移。在此則只是利用 SAP2000 軟體加上由上述公式中得到之各種等效連續筒之結構材料參數，建製一個大略形式之等效連續筒結構模型，且在這等效連續筒模型之建立也忽略了四周四隻角柱設定存在貢獻，結構模型剛度因此而較原框筒結構來的降低。此結構模型重點在其中等效連續筒結構並無任何剪力延遲之狀態出現，且在實際上的結構計算也是使用 SAP2000 軟體做運算處理，並無搭配任何公式做輔助計算。

第四章 結構案例分析

4.1 內縮型式框筒結構與傳統框筒結構之結構組成比較

4.1.1 內縮型式框筒結構模型組成

在使用 SAP2000 軟體所建製之內縮型式框筒結構模型其各項參數及其結構桿件配置組成方式如下：

- (1) 整體框筒結構模型大小為高度 1200 公尺之方尖塔型式之高層結構模型如圖 4-1(a)所示。
- (2) 框筒結構斷面為方形並隨著高度縮小斷面，框筒結構底部其翼板與腹板長度為 240 公尺，每向上提升 5 公尺結構高度其框筒結構之翼板與腹板則縮減 1 公尺長度。
- (3) 結構桿件的材料使用為鋼材，其彈性模數 E 為 $2.04 \times 10^7 \text{ ton/m}^2$ ，剪力模數 G 為 $7.84 \times 10^6 \text{ ton/m}^2$ 。
- (4) 每層樓高度為 5 公尺，結構柱與柱之間相隔間距為 5 公尺，邊柱斷面為 1 公尺×0.5 公尺而厚度為 0.1 公尺之方筒形斷面，角柱斷面為 2 公尺直徑大小厚度 0.1 公尺之圓筒形斷面，結構梁斷面為 I 形斷面。
- (5) 邊柱由於並非方形或圓形斷面，而為長方形斷面型式，因此存在著弱軸斷面，為了提升整體框筒結構的勁度，邊柱將其柱斷面強軸與排列方向平行如圖 4-2 所示，使其框筒結構更加強勁。
- (6) 四邊邊柱由結構外側向內側傾斜，邊柱長度為 5.0249 公尺，邊柱傾斜與水平向之夾角為 84.3 度，四角角柱則向結構中心傾斜，角柱長度為 5.0498 公尺，角柱傾斜與水平向之夾角為 81.95 度，結構如圖 4-3 所示。
- (7) 整體結構依不同高度各節點束制為剛性樓板，各樓層水平位移量皆為一致。
- (8) 為了只考慮結構受風力作用情形，因此不考慮本身結構自重做分析。

(9) 外力施加為風力載重，風力載重大小由耐風設計規範求得，因為外部結構表面與受風力載重方向並非垂直，所以受風面積為結構受風面投影至與水平面垂直之面積大小做為受風面積如圖 4-4 所示，根據不同的高度將風力載重依據距離面積形心距離按比例分佈於上下端點施加，得到各層對應之風壓大小，由於風速隨高度增加，風壓也因此上升，但由於 500 公尺以上風速不再變化增加，又受風面積隨高度減少，風壓開始降低。

4.1.2 對照之傳統框筒結構模型建立

為了了解內縮型式框筒結構與一般傳統框筒結構的差異，同時也製作了一傳統型式框筒結構做比較，兩種模型共同點為同屬外部結構做為抵抗風力型式，邊柱斷面大小尺寸與方向配置皆相同，角柱的斷面大小與尺寸也一致，總體結構高度皆為 1200 公尺，材料使用也為型鋼其彈性模數與剪力模數相同，節點的束制也採用剛性樓板型式，同樣結構不考慮自重情形，而兩者結構不同的參數則如下：

- (1) 傳統框筒結構斷面翼板與腹板長度皆為 240 公尺且不隨結構高度做變化，整體模型如圖 4-1(b)所示。
- (2) 傳統框筒結構邊柱及角柱與水平地表面垂直，為垂直向立柱。
- (3) 傳統框筒結構其外部結構表面與風壓施加方向垂直，且不似內縮型式框筒結構在不同結構高度其受風面積隨高度不斷減少，傳統框筒結構在任意高度中其受風面積皆為定值。

4.1.3 施加設計風壓的各種參數使用依據準則

根據建築物耐風設計規範與解說，為了選定一有效的設計風壓做為模擬結構受風力荷載之情形，需要對設計風壓訂定各種假設條件情形，以期望得到與現時實際現況相符之風力作用結果。根據建築物耐風設計規範與解說[13]所規

定，整體框筒結構為封閉式建築物，其變動參數的使用設定如下：

- (1) 根據不同的地況情形依建築物所在位置及地表特性其耐風設計規範將之分為地況 A、地況 B、地況 C 三類，又不同的地況查表 3-2 會得到不同的風壓使用參數值，所以需要對建築結構所使用的地況做選擇，在此使用地況 A 其類型表示為在大城市的市中心區域。參數特性為梯度高度 (gradient height) Z_g 為 500 公尺，表達意義為風速在超過此高度後保持均勻分佈不再增加，其高度得到之風速稱為梯度風速 (gradient velocity)。
- (2) 不同地點的基本設計風速 $V_{10}(C)$ 為中括號內字母表示其地況種類，一般地況假設為 C 類型，代表意義為距離地表 10 公尺高度，且相對於 50 年回歸期之 10 分鐘的平均風速，在此選用為台灣本島地區最大之 47.5 公尺風速區，單位為 m/s。
- (3) 用途係數 I 為因為不同的建築物在使用上的考量不同，為提高特定建築物受風速之回歸期為 100 年大於基本設計風速對應之回歸期 50 年，訂定用途係數 I ，在此使用 $I=1.1$ 。
- (4) 風速壓 $q(z)$ 利用第三章 3.2 節之公式(3.2)求得，其中注意由於假設之地形無高低起伏變化，因此地形係數 K_z 假設為 1。
- (5) 陣風反應因子 G_f 也根據第三章 3.2 節之公式(3.5)求得。
- (6) 封閉式建築物抵抗風力系統所使用之設計風力其風壓係數為 C_p ，根據表格 3-3 在此所使用之 C_p 大小為 0.8。

4.2 內縮型式框筒結構及傳統框筒結構水平位移與等效箱型梁位移比較

4.2.1 框筒結構與箱型懸臂梁相互比較概念及原因

由於內縮型式框筒結構與傳統框筒結構兩者隨著受風面積不等，導致受風力荷載大小不同，因此無法直接比較兩者位移大小來判斷其兩者結構抵抗風力系統差異性能。為了能夠了解其框筒結構之抵抗位移發揮之性能，利用基本共軛梁公式(3.16)求得相等外力作用之箱型懸臂梁之彎曲位移曲線（不考慮剪力變形），以及利用 SAP2000 軟體建製近似之箱型懸臂梁求得彎曲位移曲線(包含剪力變形)，再與各自組成之框筒結構做比較分析，依據各自的框筒結構水平位移曲線與箱型梁位移曲線之差異百分比，比較兩者哪方更接近於箱型梁結構性能，此外也可以利用傳統框筒結構及內縮型式框筒結構水平位移曲線對箱型梁位移曲線之變化情形，分析內縮型式框筒結構相較於傳統框筒結構有無其它特殊之作用行為產生。



4.2.1.1 內縮型式框筒結構水平位移與箱型懸臂梁受力位移情形

圖 4-5(a)為內縮型式框筒結構利用 SAP2000 軟體分析得出之水平位移曲線，其中 I 等於 1 表示為原結構梁之勁度，而之後圖上之 I 等於 10 與 I 等於 50 則表示為將原梁勁度放大之十倍與五十倍之數，加上利用等效連續筒方式做出之箱型懸臂梁利用共軛梁法及 SAP2000 軟體分析得出之位移曲線比較圖。從圖 4-5(a)中可以得知，因為在共軛梁法中只考慮計算彎曲變形不考慮剪力變形，所以得到最小之位移量和水平位移曲線，其次為內縮型式框筒結構模型分析得出之水平位移曲線，將結構轉化為等效連續筒模型則得到最大之位移量及水平位移曲線圖。從圖 4-5(a)中首先比較共軛梁法得出之位移曲線與 SAP2000 軟體分析等效連續筒之位移曲線差距量了解剪力變形情形存在不可忽略，且在實際情形中框筒結構位移也包含了剪力變形的存在。比較圖 4-5(a)後發現內縮型式框筒結構模型水平位移曲線在下部結構高度時，其水平位移量與等效連續筒模型相差

不多，但當結構高度超過 400 公尺後，其水平位移曲線與等效連續筒模型水平位移曲線產生分叉，形成內縮型式框筒結構位移曲線介在無剪力變形之共軛梁位移曲線與有剪力變形之等效連續筒水平位移曲線之間，之後等效連續筒模型位移曲線即與內縮型式框筒結構位移曲線則越拉越開，而框筒結構位移曲線反而有接近共軛梁法位移曲線的趨勢，當到了頂部結構高度時，內縮型式框筒結構位移量與共軛梁法位移量已相差不多。再者從圖 4-5(a)中結構位移曲線之曲線型式與走向也可以發現內縮型式框筒結構與其他兩種方法得到之兩條位移曲線明顯不同。

圖 4-5(b)為內縮型式框筒結構在改變不同的深梁勁度後分析得出之水平位移曲線，加上原本框筒結構梁深分析出之水平位移曲線之相互比較圖。當結構深梁勁度增加為原本梁勁度的 5 倍、10 倍、50 倍時，與原本內縮型式框筒結構位移曲線做互相比較，得到增加結構梁勁度之側向位移曲線在整體結構下半部有明顯的降低情形，但在其框筒結構頂部的變化幅度並不多之結構位移曲線圖。

為了比較結構當翼板與腹板深梁變化下的差異，採取了單獨改變翼板或腹板深梁勁度求得之水平位移曲線，結構深梁勁度改變量取原本梁勁度之 50 倍，同時也保留了原本勁度之內縮型式框筒結構與整體框筒結構深梁勁度增加 50 倍兩者的水平位移曲線做成改變翼板梁勁度結構、改變腹板梁勁度結構、原梁勁度結構、翼腹板梁皆改變勁度結構四種水平位移曲線做成圖 4-5(c)來互相比較。從圖 4-5(c)中得到靠近原梁結構位移曲線的為改變翼板梁勁度之結構，接近整體梁勁度皆改變之結構位移曲線為改變腹板梁勁度之結構，其兩兩相近之位移曲線其各自分別只有在結構頂部有些微差異之位移量產生。

在結構位移分析圖 4-5(d)中，採取只加強特定結構高度之深梁勁度並與原結構做比較，設定每隔 100 公尺高度選取三層樓板深梁加勁，加勁倍數為原梁勁度之 50 倍，從而模擬出組合 Belt Truss 後的框筒結構系統特性，就此分析比較內縮型式框筒結構加上 Belt Truss 後之結構側向位移行為與原內縮型式框筒

結構之側向位移行為差異成效。

4.2.1.2 傳統框筒結構水平位移與箱型懸臂梁受力位移情形

圖 4-6(a)則為一般傳統框筒結構受風力荷載得出之水平位移曲線，與等效連續筒結構模型方法得到之共軛梁及 SAP2000 軟體分析之位移曲線比較圖。圖 4-6(a)顯示如同 4.2.1.1 節其共軛梁法位移因為不考慮剪力變形其側移量為最小，其次為 SAP2000 模擬等效連續筒模型之位移量，最大變位曲線為傳統框筒結構之水平位移量。又因為考慮剪力下變形才符合真實結構情形，因此主要比較等效連續筒與傳統框筒結構之位移差距百分比，從圖 4-6(a)上得知兩者的位移差距量在各個高度都非常明顯，得知計算了剪力延遲效應之傳統框筒結構強度與等效連續筒模型結構強度還是有分別。

同樣採取對深梁勁度做變化分析得到如圖 4-6(b)所表示之傳統框筒結構水平位移曲線，同樣圖中也保留了原先框筒結構之水平位移曲線來做比較分析。同樣將深梁勁度改變為原本勁度的 5 倍、10 倍、50 倍，對原本傳統框筒結構來說，改變深梁勁度有效的降低了整體框筒結構之位移曲線值的大小，並且對框筒結構任意高度都有明顯的改良效果存在。

在傳統框筒結構中，同樣也針對比較當結構梁不加勁，翼板與腹板梁同時加勁，單就翼板梁加勁與腹板梁加勁等四種情形做水平位移分析比較圖 4-6(c)。結構梁加勁採用 50 倍之原梁勁度做比較基礎，圖 4-6(c)顯示在結構腹板梁加勁時對於整體結構水平側移降低有較大之成效，翼板梁加勁則對整體結構水平側移之效果並不顯著，但若只單從局部結構觀察，隨結構高度越來越高時，翼板加勁之位移曲線與原結構梁位移曲線相比有降低情形存在。

在結構位移分析圖 4-6(d)中，改變特定結構高度之深梁勁度做為模擬 Belt Truss 下之結構位移行為，並與原傳統框筒結構之位移合成做圖比較。判斷結構加上 Belt Truss 後其位移大小，是否能有效降低傳統框筒結構之側向位移，以及整體結構曲線之變化。

4.2.2 結構水平位移比較成果分析

在內縮型式框筒結構圖 4-5 與傳統框筒結構圖 4-6 做位移分析比較，首先知道內縮型式框筒結構因為受風面積少承受之風力荷載較小所以位移量相對也較傳統框筒結構來的少，先比較圖 4-5 與圖 4-6 中框筒結構位移曲線與等效連續筒模型位移曲線位置與分佈情形分析，得到傳統框筒結構位移曲線與等效連續筒模型位移曲線相似而位移量較等效連續筒模型大，但內縮型式框筒結構位移曲線與其等效連續筒模型位移曲線形態則有明顯差異，位移量也因為位移曲線走向不同而發生等效連續筒模型在結構上部較大情形，再比較圖 4-5 與圖 4-6 中框筒結構位移曲線與共軛梁法位移曲線分佈發現，傳統框筒結構位移曲線與其結構共軛梁法位移曲線相差很遠，中間還夾著一條等效連續筒模型位移曲線，不過內縮型式框筒結構位移曲線與其共軛梁法所得之位移曲線，其位移曲線之位移量差距並不大，特別是在結構頂部時兩者之位移相差不多。從以上圖表資訊再搭配已知的(1)共軛梁法位移曲線特性為只考慮到結構受力後彎矩所造成之變位為位移曲線，(2)等效連續筒模型位移曲線除彎矩所帶來之變位外，還包含框架結構轉換為等效連續筒之剪力剛度帶來之剪力變形造成之變位，(3)兩者模型或計算公式皆無考慮結構之剪力延遲效應產生，得到在共軛梁法位移曲線與等效連續筒模型位移曲線兩者所相距之區間即為結構剪力變形所造成之變位量。分析判斷傳統框筒結構因為除了彎矩變形加上剪力變形外還有剪力延遲所導致位移比前兩者更大，而內縮型式框筒結構雖然本身也存在剪力延遲的情形，但其結構位移曲線卻在共軛梁法與等效連續筒模型位移曲線之間，在觀察內縮型式框筒結構與圖表後，得到結論為結構本身帶有傾斜角度之翼板柱有效增加了框筒結構的剪力剛度，所以有效的降低了剪力變形所造成之結構位移，且這效果也因為上部結構變形主要依靠剪力抵抗而更加明顯，符合圖形所示。

在比較加強框筒結構之結構梁勁度時，圖 4-5(b)與 4-6(b)分別顯示內縮型式

框筒結構與傳統框筒結構位移曲線變化特性。從圖 4-5(b)與 4-6(b)中可以發現到雖然都是加強結構梁勁度，且兩者同樣得到位移曲線之位移減少情形，但在傳統框筒結構位移曲線可以反映出較大的位移降低比例，在內縮型式框筒結構位移減少量則不多，且主要位移減少集中於下半部結構上，說明結構梁勁度提升能降低整體結構側向位移量，而在改變結構梁勁度試驗中，將之使用於傳統框筒結構中又比在內縮型式框筒結構上來的有效。

分析翼板與腹板拆開分別加勁時，在圖 4-5(c)與圖 4-6(c)的結構位移行為比較中，可以發現不管是傳統框筒結構或內縮型式框筒結構其圖表顯示之位移曲線特性都是相近的，說明其框筒結構特性存在且一致，特性為改變結構翼板梁勁度無法有效降低結構水平位移，而改變腹板梁勁度則能有效降低結構水平位移。另外需要注意的是在結構頂部的位移行為差異，根據圖 4-5(c)與圖 4-6(c)表示傳統框筒結構在翼板加勁使得結構頂部位移減少，但在內縮型式框筒結構中翼板加勁卻會增加結構頂部之位移量，在傳統框筒結構腹板加勁其結構頂部位移在整體結構梁皆加勁之右側，說明結構位移較大，在內縮型式框筒結構腹板加勁其結構頂部位移卻在整體結構梁皆加勁之左側，說明其位移比整體結構梁皆加勁來的小，此為傳統框筒結構與內縮型式框筒結構之位移差異情形。

分析模擬結構加上 Belt Truss 之圖 4-5(d)與圖 4-6(d)中，發現不論內縮型式框筒結構或傳統框筒結構在配置上 Belt Truss 後對於結構抵抗側向位移皆無顯著之成效，且 Belt Truss 對內縮型式框筒結構降低側移之程度又比傳統框筒結構來的低落，如同圖 4-5(b)與 4-6(b)比較後得到之結論相同，得到在加強梁之勁度對框筒結構抵抗側移強度上，內縮型式框筒結構位移減少幅度不如傳統框筒結構上來的有效，從另一觀點上說明則為，內縮型式框筒結構在結構側向剛度上本身就大於傳統框筒結構許多，如同圖 4-5(b)(d)與圖 4-6(b)(d)之比較，所以再對其結構上剛度的加強於內縮型式框筒結構之強度提升之效果有限。

4.3 內縮型式框筒結構與傳統框筒結構剪力延遲效應比較

4.3.1 內縮型式框筒結構剪力延遲效應分析

4.3.1.1 內縮型式框筒結構內不同高度翼板軸應力分析

為了瞭解內縮型式框筒結構在翼板側的剪力延遲效應，對不同樓層高度的翼板側柱做軸應力分析。從結構底部開始，採用以 200 公尺高度為間隔，分別得到距離結構底部基礎 0 公尺、200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺、1000 公尺高度的翼板側柱軸向應力大小，並且瞭解翼板側的剪力延遲效應。再經由對結構梁勁度做放大變化，觀察比較翼板在不同高度的柱剪力延遲效應變化，得到結果如圖 4-7~4-12 所示。利用圖 4-7~4-12 所得到的資料所畫出之軸應力分佈曲線做探討，首先知道柱的軸應力曲線是經由正向與負向剪力延遲效應交互作用所形成，為四次曲線的分佈情形，又從第二章的剪力延遲介紹裡了解到框筒結構隨著高度提升，軸應力曲線將由正向剪力延遲曲線慢慢變化為負向剪力延遲曲線情形。先就無改變結構梁勁度之軸應力曲線變化從圖 4-7~4-12 中分析比較，在內縮型式框筒結構中發現，在一樓也就是底部基礎高度到 400 公尺高度內，其軸應力曲線都是呈現正向剪力延遲之情形，到了距離結構底部 600 公尺高度時結構翼板兩側之角柱開始有退縮之傾向，但整體結構曲線還是保持正向剪力延遲曲線之分佈情形，到了 800 公尺結構高度，發現結構翼板兩端角柱之軸應力已經低於其相鄰之邊柱軸應力，但扣除角柱所相鄰之邊柱外，角柱軸應力還是大於翼板內部之邊柱軸應力大小，直到 1000 公尺結構高度翼板兩側角柱軸應力才退縮至低於整體翼板內所有邊柱之軸應力，其結構翼板邊柱軸應力也呈現均勻分佈之情形，雖不明顯但結構還是表現出負向剪力延遲之傾向，圖 4-7~4-12 說明內縮型式框筒結構其翼板內力分佈情形。

再來觀察改變內縮型式框筒結構梁勁度做軸應力曲線分析比較，當結構梁加勁 5 倍、10 倍、50 倍時各樓層高度翼板軸應力曲線如圖 4-7~4-12 所示，在第二章中影響剪力延遲效應之因素得知，將結構梁加勁可以有效減少剪力延遲

效應的情形產生，而從圖 4-7 中可以看出在結構底部基礎高度時，結構梁加勁對翼板角柱軸應力有些微降低的情形產生，在 200 公尺結構高度之圖 4-8 中發現，扣除結構翼板兩側之角柱及其相鄰之邊柱後，內部邊柱整體軸應力有趨向均勻分佈之情形出現，之後的 400 公尺結構高度圖 4-9 也是呈現如 200 公尺高度軸應力曲線之分佈情形，到了 600 公尺結構高度比較圖 4-10 中，同樣的也先忽略角柱與其相鄰之邊柱軸應力後，在 50 倍勁度之梁軸應力曲線其翼板內部邊柱開始出現負向剪力延遲之情形，到了 800 公尺高度時則更加明顯。另外需要注意的是翼板角柱與相鄰邊柱之軸向應力情形，在原框筒結構與梁加勁後之結構在 600 公尺高度以上之比較圖中，可以明顯看出兩者軸應力曲線之走向不同，在加強結構梁勁度後雖然可以使內縮型式框筒結構翼板邊柱受力變的更加均勻但對角柱以及其相鄰之邊柱卻無效甚至加大其軸應力情形，這種現象與一般框筒結構理解不同值得注意。

同樣與 4.2 節結構位移分析相同的是也將結構翼板與腹板梁分開加勁測試，將結構翼板梁與腹板梁分別加大為 50 倍原梁勁度，並與原梁勁度結構及整體梁皆放大 50 倍勁度之結構合併作圖。根據框筒結構高度取出應力曲線變化較明顯之 200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺做出 4 張軸應力曲線圖 4-14~4-17 做曲線形態比較分析，先對加大翼板梁之勁度其軸應力曲線做比較討論，得知在結構翼板梁加勁後整體分佈曲線與整體結構梁皆加勁時分佈曲線相似，但單純翼板加勁之柱之軸應力較整體梁加勁之結構柱軸應力大。再對加大腹板梁勁度之結構做比較討論，得到加大腹板梁勁度時翼板端柱剪力延遲效應無明顯之降低，其腹板加勁梁軸應力分佈曲線與無加勁之原梁結構軸應力分佈曲線類似，但腹板加勁結構之柱軸應力較原框筒結構軸應力小。相互比較後可以發現內縮型式框筒結構在翼板梁加勁得到效果為降低翼板柱的剪力延遲，在腹板梁加勁功能則為降低翼板柱的軸應力程度。

此外也採用了只針對特定樓層做結構梁加勁處理以模擬結構加上 Belt Truss 之情形，從內縮型式框筒結構底部算起，在 0 到 1000 公尺結構高度內，

每相隔 100 公尺高度為間距，選取上下三層樓板之結構梁改變其勁度，並與原框筒結構做分析比較。此外在 4.2 節中已經知道單純增加特定高度之深梁勁度無法明顯減少框筒結構之側向位移量，希望透過結構內力分佈是否改變來進一步證實其 Belt Truss 在內縮型式框筒結構與傳統框筒結構中有無改變結構內力分佈之能力存在。從圖 4-20~4-22 中可以得知，其柱軸應力曲線介於原結構曲線與全梁皆加勁結構曲線之間，並無其它特殊情形產生，可認為當作對框筒結構梁加勁處理型式之一種形態方式。

4.3.1.2 內縮型式框筒結構內不同高度腹板軸應力分析

雖然一般框筒結構的剪力延遲分析主要討論部份都在於其結構之翼板端做比較，但其剪力延遲效應同樣也在結構之腹板端發生，所以同樣也取出結構腹板端來比較。如同 4.3.1.1 章節的翼板端柱測試，整體框筒結構還是根據其距離結構底部基礎 0 公尺、200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺、1000 公尺高度做腹板端柱軸應力分析。在結構腹板側柱端軸應力作圖其變化參數同樣為結構梁之勁度，用圖 4-25~4-30 表示，所得到之柱軸應力曲線分別為原結構梁勁度，以及 5 倍、10 倍、50 倍之原梁勁度這幾種。腹板側柱端軸應力曲線為三次曲線，從圖中可以發現，當結構梁勁度提升後，除去結構底部幾乎沒變化之圖 4-25 後，圖 4-26~4-30 其框筒結構腹板端之柱軸應力曲線由原先以腹板中心為對稱之三次曲線，逐漸轉變為離中心距離等比例分佈之軸應力曲線，符合一般梁斷面受力後彎矩內軸力分佈情形，顯示其腹板剪力延遲效應隨結構梁勁度提升而降低。

在內縮型式框筒結構腹板分析中，也針對翼板端梁及腹板端梁分別加勁，再與原結構及整體結構梁皆加勁比較，同樣以 50 倍原梁勁度為基礎作腹板結構分析，取 200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺高度作圖 4-31~4-36。分析圖 4-32~4-35 得到當翼板梁加勁時，腹板端柱軸應力幾乎沒有變化，與原結構

梁應力曲線高度重合，而在對腹板梁加勁後，腹板端柱軸應力曲線與整體結構加勁梁軸應力曲線重合，得到腹板剪力延遲效應之降低依靠為腹板端梁之勁度加強，翼板端結構梁之勁度只對翼板側柱軸應力有影響。

在針對特定樓層加勁之內縮型式框筒結構中，同樣將框筒結構從 0 到 1000 公尺結構高度內，每相隔 100 公尺高度為間距，選取三層結構梁並改變其勁度，模擬出加上 Belt Truss 之框筒結構並與原框筒結構比較作 200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺高度軸應力分析圖 4-37~4-42，其結構應力曲線分佈同翼板端變化。

4.3.2 傳統框筒結構剪力延遲效應分析

4.3.2.1 傳統框筒結構內不同高度翼板軸應力分析

傳統框筒結構同樣依據結構內不同高度做柱軸應力分析，也採取 200 公尺為分界取出在 0 公尺、200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺、1000 公尺之結構高度作圖 4-43~4-48。從圖中可以清楚了解傳統框筒結構翼板柱之軸應力分佈，在結構底部上柱軸應力呈現完全之正向剪力延遲之狀態，但在 200 公尺結構高度時，翼板柱軸應力曲線由兩端角柱應力分佈開始變得平緩，表現出結構因受力與位移之正負應力影響交互作用產生之四次曲線情形，到了 400 公尺結構高度也就是整體結構三分之一高度時，兩端角柱軸應力已明顯低於翼板中心之邊柱軸應力，可以說明結構軸向位移影響開始大於風力荷載之影響，可以看出翼板部份出現負向剪力延遲之狀態，也如同 Y.Singh 所指當所在之結構高度位置大於整體結構約四分之一之高度後，剪力延遲翻轉，出現負向剪力延遲效應現象。在 600 公尺結構高度圖開始，整體翼板之柱軸應力曲線則呈現完全之負向剪力延遲，之後在 800 公尺以及 1000 公尺高度其結構翼板都是表現出負向剪力延遲效應之情形。

在圖 4-43~4-48 中不單只有原始傳統框筒結構之翼板柱軸應力曲線，還包含了改變結構深梁勁度後之框筒結構翼板柱軸應力曲線分佈，從中了解深梁勁度對翼板柱軸應力變化影響情形。在圖 4-44 做分析，得到在 200 公尺結構高度時，加強翼板梁勁度之柱軸應力曲線相較於原框筒結構之柱軸應力曲線來的平緩，整體翼板結構之曲線應力分佈更加平均，在 400 公尺結構高度之圖 4-45 上，加強梁勁度結構之柱軸應力曲線較原結構柱軸應力曲線來的簡化，已經呈現出完整之負向剪力延遲效應，為二次曲線分佈，之後在 600 公尺高度以上皆為負向剪力延遲效應情形，且整體軸應力曲線應力分佈較原框筒結構來的平均，說明提升結構之深梁勁度有減少剪力延遲效應之幅度效果存在，且也會降低正負剪力延遲翻轉時所在之結構高度，符合 Y.Singh 所提之框筒結構改變造成之行為情形。

在圖 4-59~4-54 中則是分別對框筒結構翼板梁與腹板梁分開加勁處理，並與原框筒結構及整體梁皆加勁之結構做比較分析，繪出框筒結構內不同高度之翼板柱軸應力曲線圖。從四種結構情形表達之柱軸應力曲線比較後發現，不管在多少結構高度上其翼板柱軸應力曲線分佈可區分成兩條曲線，一條為原框筒結構與在腹板梁加勁之框筒結構所表示之軸應力曲線，此兩種應力曲線高度重合，另一條為整體梁皆加勁之結構及只在翼板梁加勁之結構軸應力曲線，也是兩種應力曲線高度重合產生之結果。說明在傳統框筒結構中對腹板梁加勁不影響翼板梁之柱軸應力分佈情形，翼板梁加勁則可以有效降低翼板之剪力延遲情形發生。

在針對傳統框筒結構特定樓層加勁之 Belt Truss 模型模擬中，同樣在每間隔 100 公尺高度選取三層樓板之結構梁加勁，傳統框筒結構梁之加勁程度也如同 4.2 節之框筒結構情形，作圖 4-55~4-60 分析比較。

4.3.2.2 傳統框筒結構內不同高度腹板軸應力分析

在分析過傳統框筒結構之翼板側軸應力後也對結構腹板做柱之軸應力曲線分析，根據結構內不同高度得到比較圖 4-61~4-66，依據結構高度分成 0 公尺、200 公尺、400 公尺、600 公尺、800 公尺到 1000 公尺高度作圖。從圖中先得到在結構底部完全之正向剪力延遲下腹板側之柱軸應力曲線情形，再來越往上其正負向剪力延遲交互作用後得到之應力曲線開始產生變化，在 200 公尺結構高度中，結構之柱軸應力曲線整體呈現出趨近一次線性曲線之情形，但此狀態並非表示為剪力延遲不存在，而是說明在此結構高度時正負向剪力延遲相互作用而抵消產生此種曲線分佈，在往上之結構高度其柱軸應力分佈可以證實其剪力延遲依舊存在，只是結構腹板應力曲線由正向剪力延遲效應轉化為負向剪力延遲效應。

在圖 4-61~4-66 中也包含改變整體結構之深梁勁度後其腹板柱之軸應力曲線，從圖中可以發現增加結構梁之勁度對於結構底部或 200 公尺及 400 公尺結構高度所形成之柱軸應力曲線無明顯的變化，但到了 600 公尺結構高度時比較出原結構在腹板兩側角柱應力出現因負向剪力延遲而降低，加勁之結構之角柱其負向剪力延遲則較不明顯，邊角柱之軸應力大於原結構。在 800 公尺及 1000 公尺結構高度時腹板內應力曲線則有更明顯之差異，原框筒結構為負剪力延遲效應影響下之曲線分佈，而比較之結構模型因為其結構梁之加勁導致應力曲線之負向剪力延遲效應不如原結構明顯，符合預估之框筒結構在加勁後內力剪力延遲效應降低情形。

在圖 4-67~4-72 中做出當只對傳統框筒結構腹板側或翼板側梁加勁後之結構模型，並與原框筒結構及整體梁皆加勁之框筒結構相互比較。

在圖 4-73~4-78 中針對某些樓層加勁模擬 Belt Truss 組成之框筒結構模型，並與原框筒結構作圖比較。

4.3.3 結構柱軸應力分佈成果比較

從 4.3.1 和 4.3.2 節得到內縮型式框筒結構與傳統框筒結構各自在不同設定下之結構內力分佈情形。先就剪力延遲之差異比較，從結構翼板得到之柱軸應力差距(Shear Lag Factor)可以發現傳統框筒結構剪力延遲情形較內縮型式框筒結構嚴重，在傳統框筒結構中隨樓層高度提升看出正負剪力延遲效應轉折處高度，在內縮型式框筒結構隨樓層提升只看到正剪力延遲效應情形持續降低，但無明顯正負剪力延遲轉折出現。

在提升結構梁勁度對框筒結構內力變化分析中，傳統框筒結構剪力延遲程度隨結構梁勁度上升而不斷降低，內縮型式框筒結構在邊柱之結構內力其剪力延遲程度反應同傳統框筒結構，且翼板邊柱內力隨梁勁度提升有明顯降低情形，而在結構角柱及相鄰角柱之邊柱則有不同內力反應情形產生。其內縮型式框筒結構角柱之特殊內力變化情形可從翼板與腹板交互作用反應說明，從結構翼板端應力變化可以發現當梁勁度提升後邊柱應力較原結構柱降低，腹板端應力則在梁勁度提升後邊柱應力較原結構柱升高，而角柱為結構平面翼板與腹板之交點，其應力理所當然由兩者一起控制，在翼板端與腹板端內力一降一升帶動效果下導致結構角柱應力維持原狀。

在單獨提升結構翼板或腹板梁勁度之內力變化分析中，傳統框筒結構得到翼板梁勁度影響翼板端柱剪力延遲大小情形，腹板梁勁度影響腹板端柱剪力延遲大小情形。內縮型式框筒結構則是在傳統框筒結構剪力延遲變化之同樣基礎上，加上因為傾斜之翼板外柱提供了額外的抗側移能力，吸收了部份力量作用，所以當增加結構腹板勁度增加而提升結構剪力剛度時，翼板柱額外吸收之外力往腹板柱轉移，出現腹板柱整體應力上升翼板柱整體應力下降之情形。由此得知，內縮型式框筒結構在改變結構梁勁度時，不單只對結構內力剪力延遲情形做變化，還會影響整體結構在翼板端與腹板端兩者分別之受力分佈情形。

在模擬加上 Belt Truss 之框筒結構分析上，不論是內縮型式框筒結構或傳統

框筒結構皆沒有特殊情形產生，可看做對框筒結構梁加勁處理之一種方式討論，就柱軸應力曲線分佈改進效果上不如整體皆加勁結構來的好。

4.4 框筒結構各樓層垂直變位分析

4.4.1 框筒結構上樓板垂直位移概念

研究框筒結構不同樓層樓板之垂直位移，主要是用以了解結構在樓層平面是否有局部翹曲出現，以及利用樓層中各節點之垂直位移也能得知其框筒結構剪力延遲之情形。同時在框筒結構本身存在其平面內剛性樓板之基礎設定上，結構內同一高度垂直位移導致之樓板傾斜程度也能表現出其抵抗彎矩之能力，所以對框筒結構做垂直位移分析也是本文討論的一個重要方向。

在傳統框筒結構之各樓層垂直位移作圖中，可以得到一般框筒結構之垂直位移量與變化特性，扣除剪力延遲造成之內力分佈不均情形後，充份表現出樓板傾斜程度之結構行為，以此為基礎概念再與內縮型式框筒結構做比較更能了解兩者在框筒結構上之差異。

4.4.2 內縮型式框筒結構樓層垂直位移分析

內縮型式框筒結構之垂直位移選取每隔 200 公尺結構高度作圖分析，結構底部選擇一樓高度(5 公尺)比較，得到 5、200、400、600、800、1000 公尺高度之樓板內節點垂直位移量。此外也對結構梁做勁度的變化觀察其結構各樓層高之垂直位移變化，得到圖 4-79~4-84。

從圖 4-79 中可以發現，在結構底部(一樓高度)其平面垂直變形在四周角端發生明顯之翹曲情形，原因為框筒結構受剪力延遲效應所導致。往上提升結構高度後得圖 4-80~4-84 可以發現，不論在 200 公尺或 1000 公尺高度，當結構梁勁度提升後其結構平面垂直位移量反而增加，表現出樓板更大的傾斜程度，與

一般傳統框筒結構之狀態情形明顯不同，因此需要對內縮型式框筒結構垂直位移與結構之組成其相對應關係做討論。

在本論文中由於一開始即說明不考慮結構自重情形，因此能夠造成結構垂直變形之因素只有外力。當框筒結構受水平外力作用時，其彎矩會帶給結構柱軸向之應力，導致柱產生軸向變形帶來垂直向變位。傳統框筒結構之垂直位移與樓板傾角大小都是依此決定，因此當結構梁提升勁度後，整體結構強度提升，抵抗彎矩之能力隨之提高，傳統框筒結構垂直位移與樓板傾角相對應降低，剪力延遲產生之位移差距也減少，符合一般認知之勁度與變形關係情形。但就內縮型式框筒結構其圖之垂直位移情形則與上述討論不相符，相同點為兩者結構之剪力延遲造成之位移差距皆降低，不同點在於內縮型式框筒結構整體垂直位移量之上升情形。就兩者框筒結構組成之差異在於其結構柱之架設型式，內縮型式框筒結構由於柱並非直立，當受水平外力作用時，其變形情形可使用 2D 剛架簡化說明如圖 4-85，得到剛架中柱桿件因彎曲側移方向與水平方向夾一角度，因此其側移也會造成垂直向之變位產生，且其垂直變形之情形剛好與彎矩造成之垂直變形方向相反，產生相互抵消之效果，隨著側移量越大其抵消彎矩之垂直變形也越加增大，這也說明了為何在內縮型式框筒結構中當結構勁度增加後其樓板垂直位移量也隨之提高。從另一觀點則說明在內縮型式框筒結構中其樓層平面之垂直位移除了受彎矩影響外，結構之側移也同樣造成影響，且其兩者相互牽制抵消，有降低整體結構樓層垂直變位或樓板傾斜之能力存在。

第五章 結論與建議

5.1 結論

- (1) 在框筒結構之水平位移上，內縮型式框筒結構有著比傳統框筒結構更高的剪力剛度，原因來自於其結構傾斜柱之貢獻，使得剪力不單只由結構之腹板端承受抵抗，整體結構剪力強度的提升也使得主要負擔剪力變形之上部結構其側向位移程度下降。
- (2) 在結構柱軸應力與剪力延遲效應分析上，同樣也由於結構傾斜柱之影響，內縮型式框筒結構翼板柱在基本抵抗彎矩出力外，對於剪力抵抗做出貢獻，這點可從經由提升結構腹板梁勁度以提高腹板剪力剛度時，翼板端柱軸力整體降低說明得到。在剪力延遲效應的分析中，得到內縮型式框筒結構也會有剪力延遲之情形產生，且整體結構主要軸應力曲線分佈為正向剪力延遲情形，不若一般框筒結構在一定高度後其剪力延遲效應會由正向負翻轉明顯。已知剪力延遲效應之產生來自於內力與垂直位移之交互作用，再對垂直位移做分析，即得到其結構剪力延遲主要皆為正向剪力延遲原因出於內縮型式框筒結構樓層平面特殊之垂直位移情形。
- (3) 在垂直位移模擬分析中，內縮型式框筒結構又因其傾斜柱的效果，使得樓板平面之垂直位移量因側向位移程度而相對應減少，這也是傳統框筒結構所沒有之特性。
- (4) 總結在內縮型式框筒結構中，保留了傳統框筒結構之特性，但在結構內部之內力與位移情形有某些程度的改變，從結構之水平位移與層間垂直位移之研究來說，傾斜柱展現了其能力並達到直立柱所沒有之成效，確認傾斜柱相對於直立柱之在框筒結構上特點存在，此為本論文對內縮型式框筒結構與傳統框筒結構之分析之根本，比較成果即為本論文之結論。

5.2 建議

- (1) 在本論文中對內縮型式框筒結構與傳統框筒結構做了基本的力學行為分析，得到兩者結構受力與位移分佈差異，並依此成果做結。但在模型模擬時，為了減少變數而忽略了結構本身自重與承重情形。在文獻中可以發現，因為內縮型式框筒結構為傾斜柱並非直立柱，在承受垂直載重時其能力就不如直立柱來的高，這是在本論文中所未考慮到而真實結構存在之情形，往後可依此做研究討論。
- (2) 在本論文中只針對其結構做靜力分析，且其結構模型又為超高層建築模型，往後可以對其結構做動力分析研究。
- (3) 在內縮型式框筒結構與傳統框筒結構中，除了結構桿件架設方式之差異外，兩者在結構上外型也不同，在本論文中對於外力施加皆是以橫向風力乘以結構垂直投影面積做計算，與實際情形可能有所差異，根據框筒結構之外型對於風力之加載影響是否有所改變，並對結構之內力位移影響變化等可以做為之後研究之方向。



參考文獻

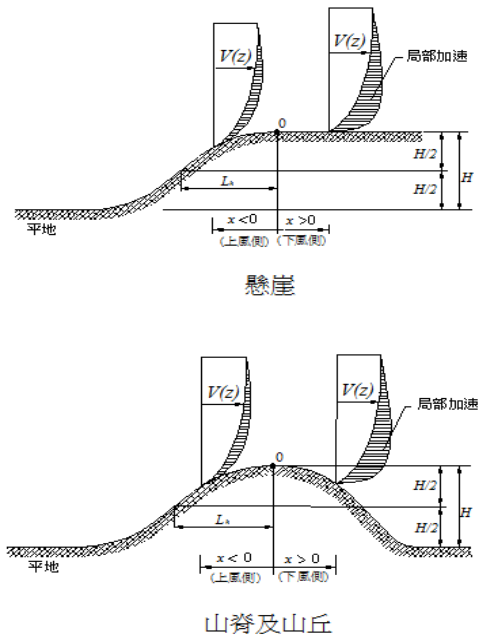
- [1] Mir M. Ali and Kyoung Sun Moon(2007), “Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects”, *Architectural Science Review* Vol 50.3, pp205-223.
- [2] F.R.Khan, and N.R.Admin(1973), “Analysis and design of framed tube structures for tall concrete buildings”, *The Structural Engineer*, Vol.51, p85-92.
- [3] B.S.Smith, and A.Coull(1991), “Tall Building Structures: Analysis and design”, Chap.12.
- [4] A.Coull, and B.Bose(1975), “Simplified Analysis of Frame-Tube Structures” , *Journal of Structural Division*, ASCE, 101(11), p2223-2240.
- [5] A.K.H.Kwan(1994), “Simple Method for Approximate Analysis of Framed Tube Structures”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 120(4), p1221-1238.
- [6] K.H.Ha, P.Fazio, and O.Moselhi(1978), “Orthotropic Membrane for Tall Building Analysis”, *Journal of Structural Division*, ASCE, 104(9), p1495-1505.
- [7] D.A.Foutch, and P.C.Chang(1982), “A Shear Lag Anomaly”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 108(7), p1653-1658.
- [8] S.T.Chang, and F.Z.Zheng(1987), “Negative Shear Lag in Cantilever Box Girder with Constant Depth”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 113(1), p20-35.
- [9] J.J.Connor, and C.C.Pouangare(1991), “Simple Model for Design of Framed-Tube Structures”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 117(12),

p3623-3644.

- [10] Y.Singh, and A.K.Nagpal(1994), “Negative Shear Lag in Framed-Tube buildings”, *Journal of structural Engineering*, ASCE, 120(11), p3105-3121.
- [11] R.S.Nair(1998), “Belt Trusses and Basements as“Virtual”Outriggers for Tall Buildings”, *Engineering Journal/Fourth Quarter*.
- [12] S.Fawzia and T.Fatima(2010), “Deflection Control in Composite Building by Using Belt Truss and Outriggers Systems”, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 72.
- [13] 內政部營建署 (2006), 「建築物耐風設計規範及解說」。



表 3-1 計算 K_d 所用之 K_1 K_2 K_3 值[13]



$\frac{H}{L_h}$	地況 A 或 B 下之 K_1			地況 C 下之 K_1		
	山脊	懸崖	山丘	山脊	懸崖	山丘
0.20	0.26	0.15	0.19	0.29	0.17	0.21
0.25	0.33	0.19	0.24	0.36	0.21	0.26
0.30	0.39	0.23	0.29	0.43	0.26	0.32
0.35	0.46	0.26	0.33	0.51	0.30	0.37
0.40	0.52	0.33	0.38	0.58	0.34	0.42
0.45	0.59	0.34	0.43	0.65	0.38	0.47
0.50	0.65	0.38	0.48	0.72	0.43	0.53

$\frac{x}{L_h}$	K_2		$\frac{z}{L_h}$	K_3		
	懸崖	山脊或山丘		山脊	懸崖	山丘
-4.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
-3.50	0.00	0.00	0.10	0.74	0.78	0.67
-3.00	0.00	0.00	0.20	0.55	0.61	0.45
-2.50	0.00	0.00	0.30	0.41	0.47	0.30
-2.00	0.00	0.00	0.40	0.30	0.37	0.20
-1.50	0.00	0.00	0.50	0.22	0.29	0.14
-1.00	0.33	0.33	0.60	0.17	0.22	0.09
-0.50	0.67	0.67	0.70	0.12	0.17	0.06
0.00	1.00	1.00	0.80	0.09	0.14	0.04
0.50	0.88	0.67	0.90	0.07	0.11	0.03
1.00	0.75	0.33	1.00	0.05	0.08	0.02
1.50	0.63	0.00	1.50	0.01	0.02	0.00
2.00	0.50	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
2.50	0.38	0.00				
3.00	0.25	0.00				
3.50	0.13	0.00				
4.00	0.00	0.00				

註：若 $\frac{H}{L_h} > 0.5$ ，則計算 K_1 時採用 $\frac{H}{L_h} = 0.5$ ，計算 K_2 時採用 $L_h = 2H$ ，計算 K_3

時採用 $L_h = 2H$ 。

表 3-2 地況相關參數[13]

地況	α	z_g (m)	\bar{b}	c	$\ell(m)$	$\bar{\varepsilon}$	z_{\min} (m)
A	0.32	500	0.45	0.45	55	0.5	18
B	0.25	400	0.62	0.30	98	0.33	9
C	0.15	300	0.94	0.20	152	0.20	4.5

表 3-3 外風壓係數 C_p [13]

所屬牆面 [↙]	L/B [↙]	C_p [↙]	使用的風速壓 [↙]
迎風面 [↙]	所有值 [↙]	0.8 [↙]	$q(z)$ [↙]
背風面 [↙]	0-1 [↙]	-0.5 [↙]	$q(h)$ [↙]
	2 [↙]	-0.3 [↙]	
	≥ 4 [↙]	-0.2 [↙]	
側風面 [↙]	所有值 [↙]	-0.7 [↙]	$q(h)$ [↙]

註：L：平行於風向之結構物水平尺寸，m[↙]
 B：垂直於風向之結構物水平尺寸，m[↙]
 G：陣風反應因子[↙]

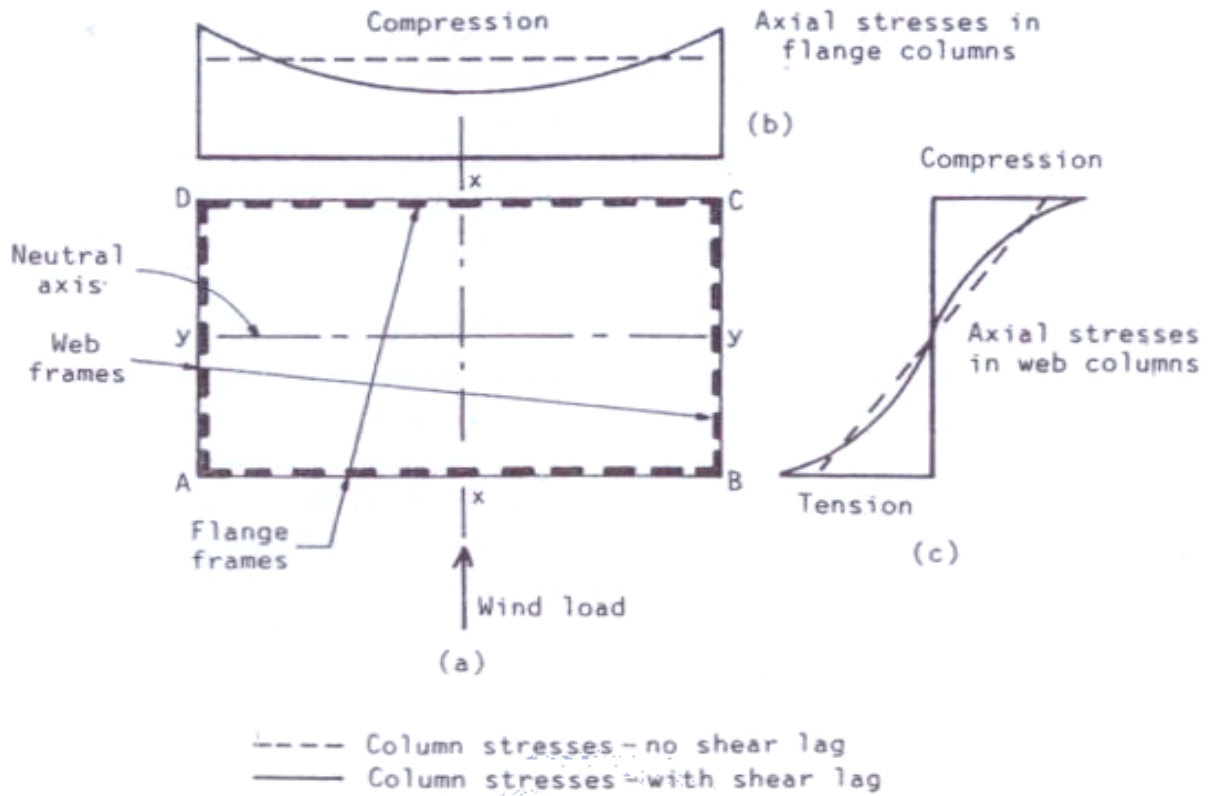


圖 2-1 框筒結構受水平側力下翼板端與腹板端柱軸應力分佈[3]
 (a)框筒結構平面圖 (b)翼板端柱軸應力分佈 (c)腹板端柱軸應力分佈

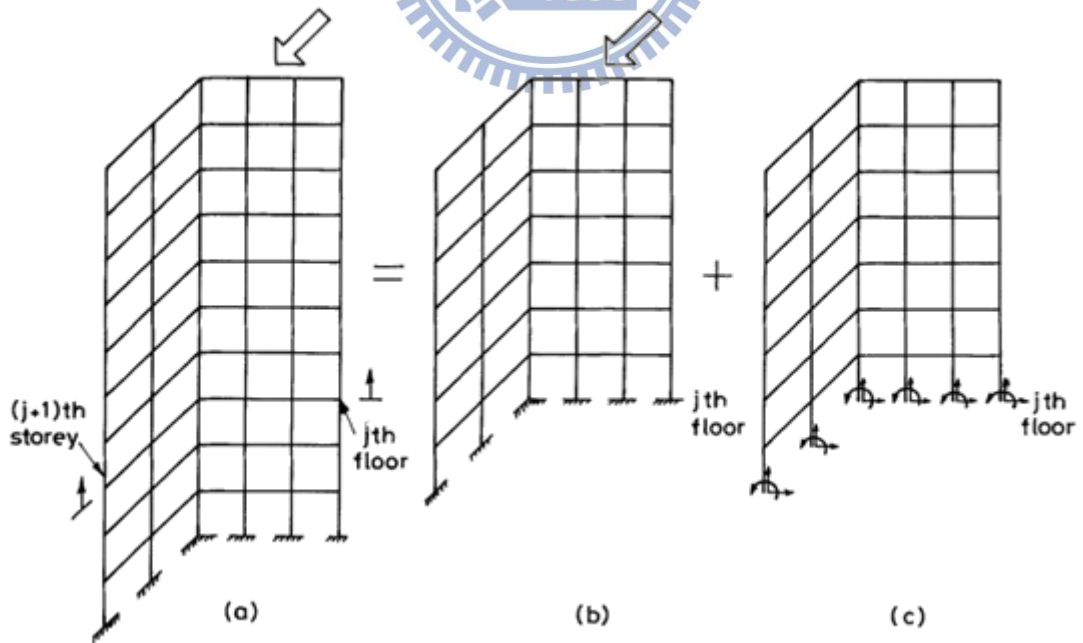


圖 2-2 Y.Singh 之框筒結構考慮負剪力延遲之分析模型[10]

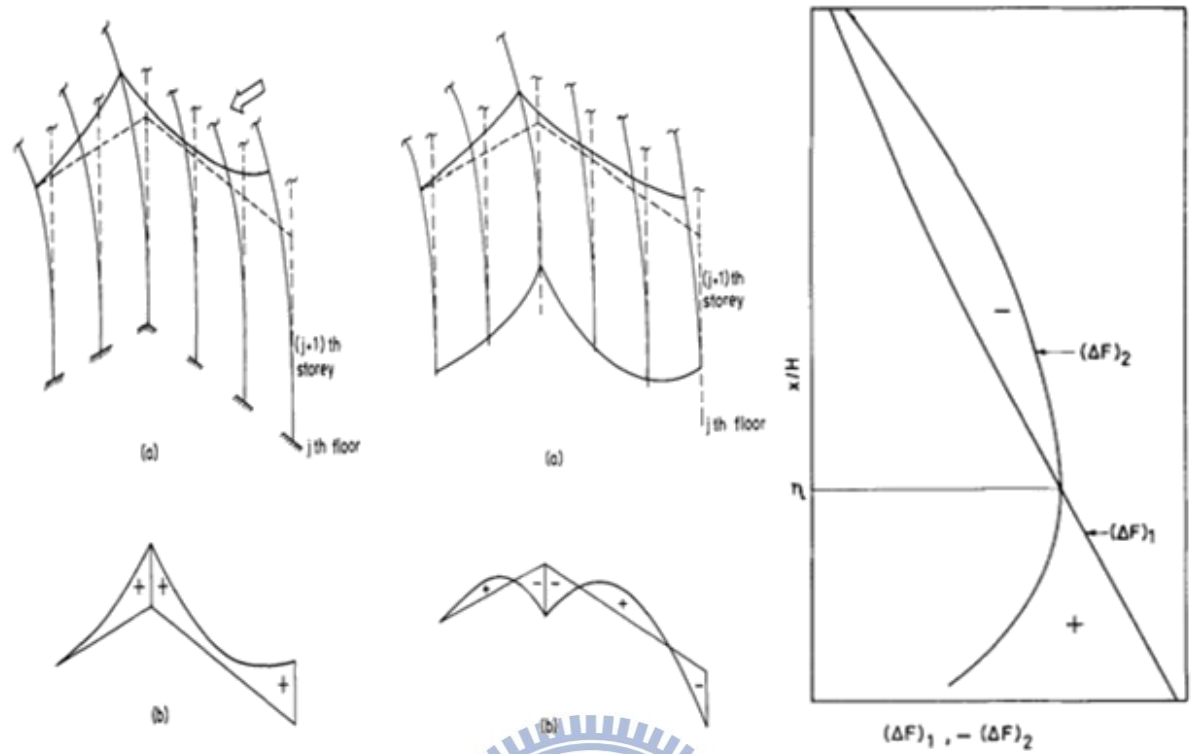


圖 2-3 Y.Singh 之分析模型分佈內力情形示意圖[10]
 (左圖)外力造成之柱內力分佈情形
 (中圖)位移造成之柱內力分佈情形
 (右圖)兩者交互作用力分佈與結構高度之關連性

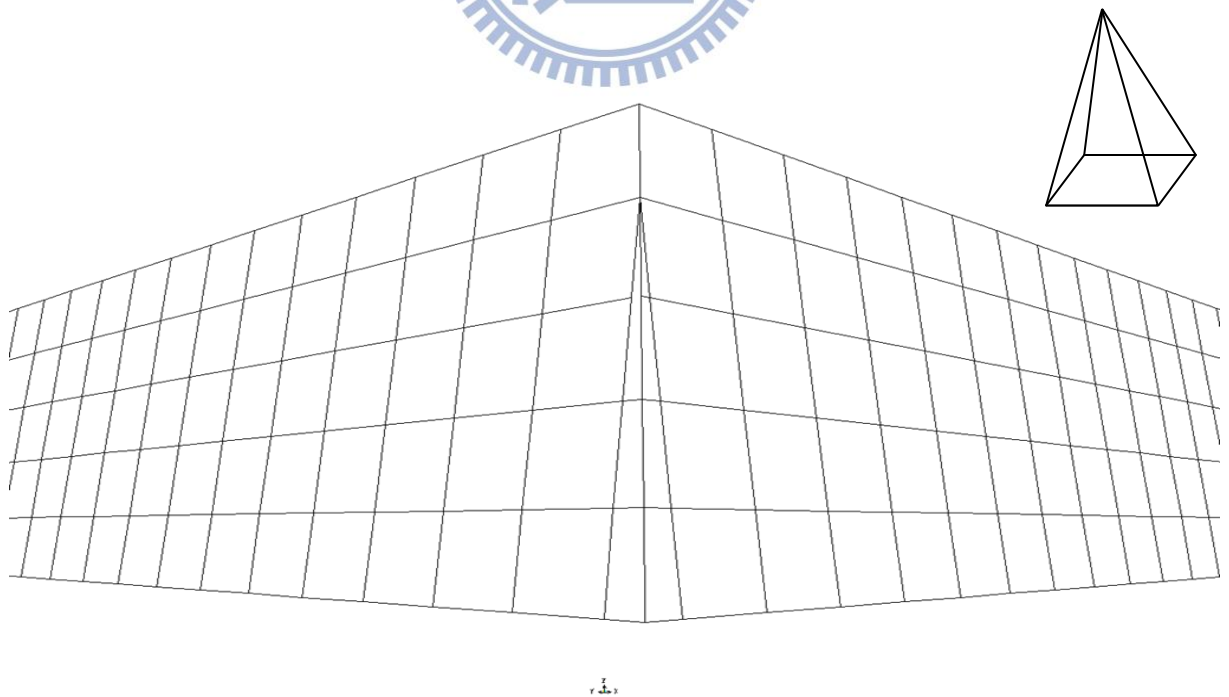


圖 3-1 部分樓層之一角側其內縮型式框筒結構模型示意圖

步驟一：

梯形面積積分公式：

$$Y_1 = 10x \rightarrow x = \frac{Y_1}{10}$$

$$Y_2 = 2400 - 10x \rightarrow x = 240 - \frac{Y_2}{10}$$

$$Y_3 = a \rightarrow a = \text{梯形底部高度} \quad Y_4 = a + 20$$

面積分：

$$Area = \int_a^{a+20} \int_{\frac{y}{10}}^{240-\frac{y}{10}} dx dy = \int_a^{a+20} \left(240 - \frac{y}{5}\right) dy$$

↙

步驟二：

利用風力-梯形面積分找出合力中心離梯形底部間距：

$$F_y = \frac{\int \int_a^{a+20} q_z \times y dx dy}{\int \int_a^{a+20} q_z dx dy}$$

展開得

$$F_y = \frac{qG_f C_p \int_a^{a+20} \left(240 - \frac{y}{5}\right) \times y dy}{qG_f C_p \int_a^{a+20} \left(240 - \frac{y}{5}\right) dy}$$

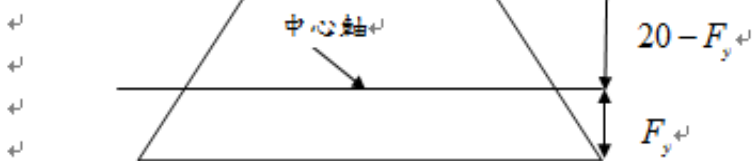
得出每層合力中心位置

↙

步驟三：

利用上下端點距合力中心 Y 方向距離按比例分配外力大小

↙



$$\text{合力大小為 } FF = qG_f C_p \int_a^{a+20} \left(240 - \frac{y}{5}\right) dy$$

$$\text{下部端點力為 } F_c = F_s = F_b = \frac{1}{2} \times \frac{FF}{20} \times F_y$$

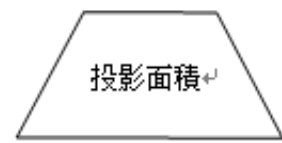
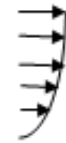
$$\text{上部端點力為 } F_e = F_d = F_t = \frac{1}{2} \times \frac{FF}{20} \times (20 - F_y)$$

得每層端點側力=下部梯形 F_t 加上部梯形 F_b 疊加而得

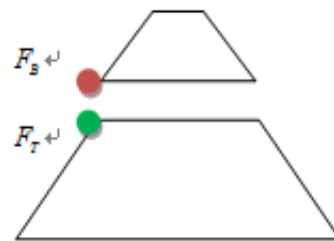
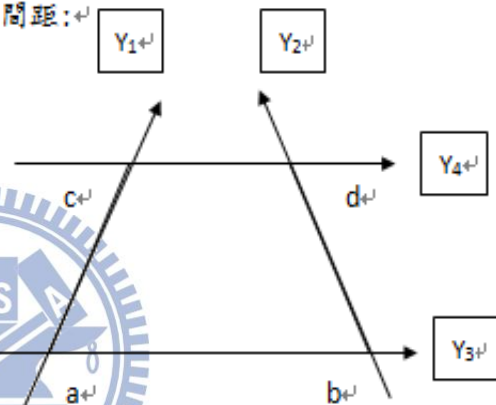
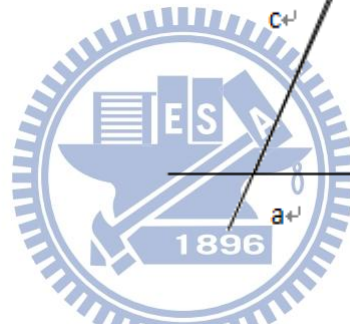
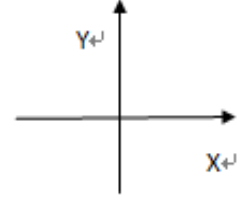
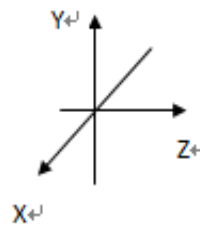
圖 3-2 風力作用於結構投影面積計算流程圖

外力與作用面積

風力



對應之作標軸



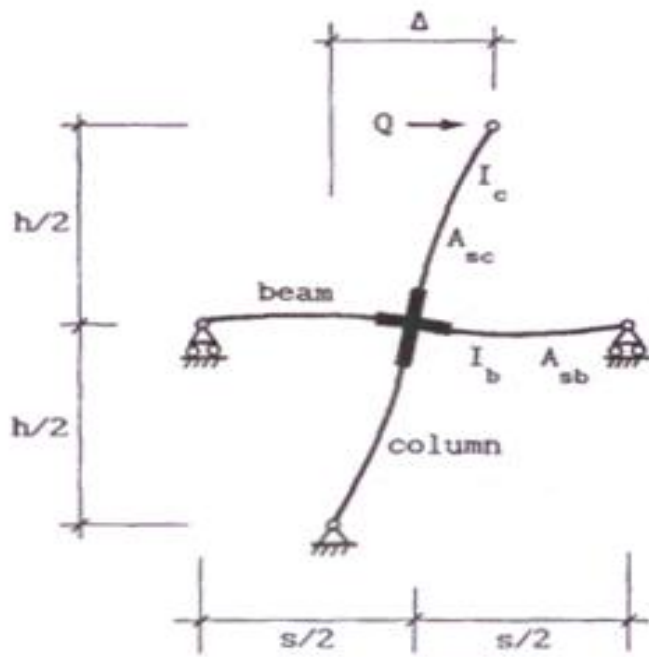
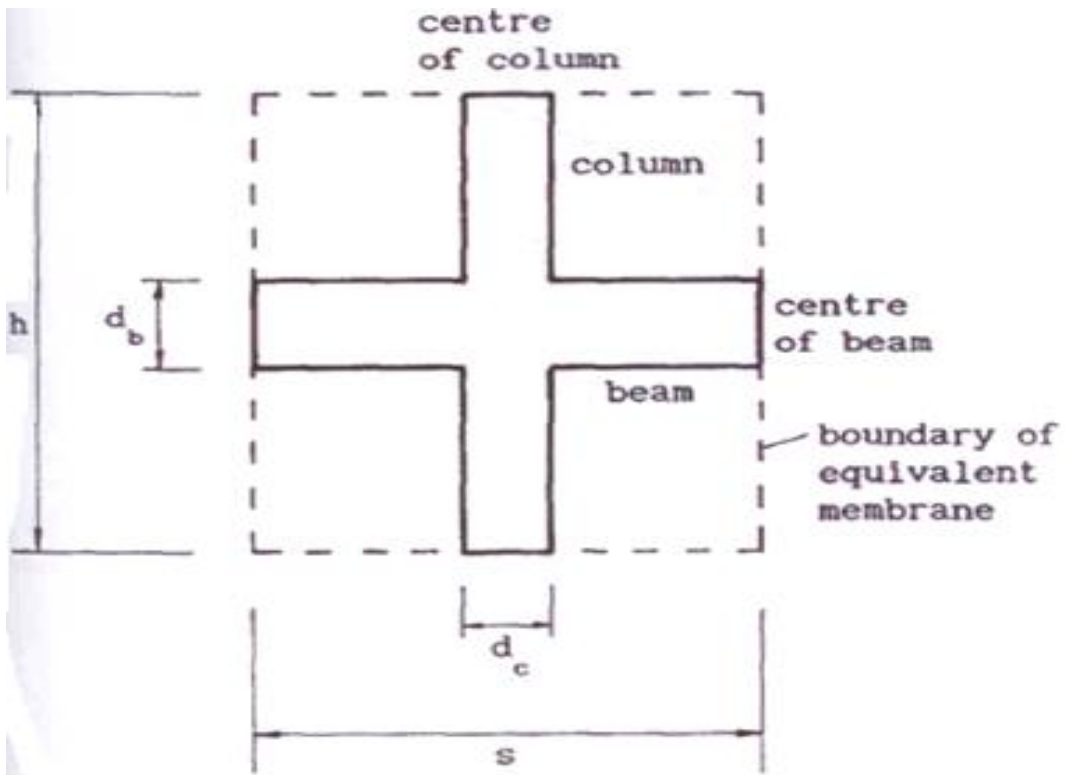


圖 3-3 Kwan 的框架單元轉換圖[5]

上圖為 Kwan 之單元框架與等效板示意圖

下圖為 Kwan 之單元框架水平側力圖

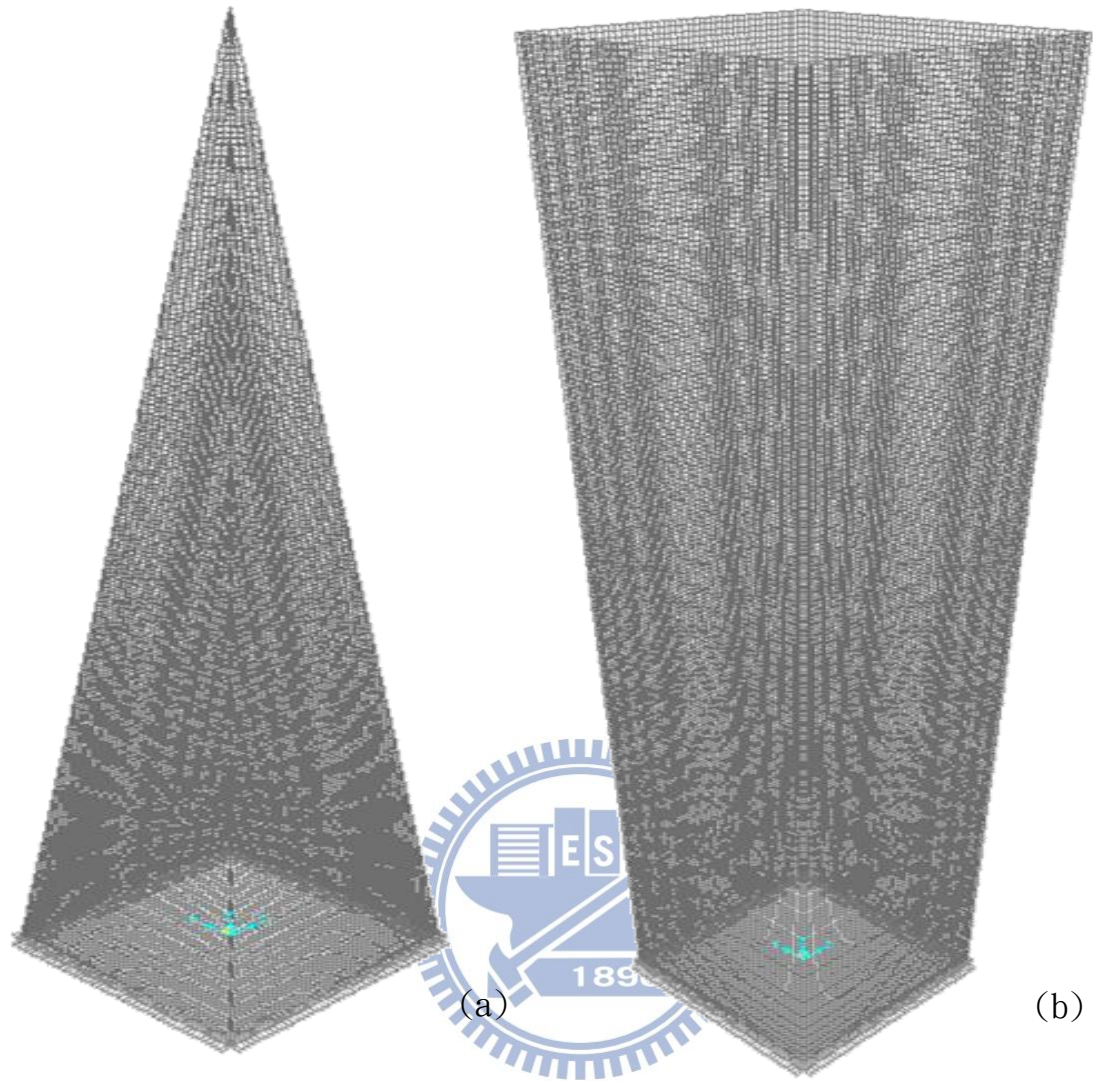


圖 4-1 框筒結構模型圖
(a)內縮型式框筒結構模型

(b)傳統框筒結構模型

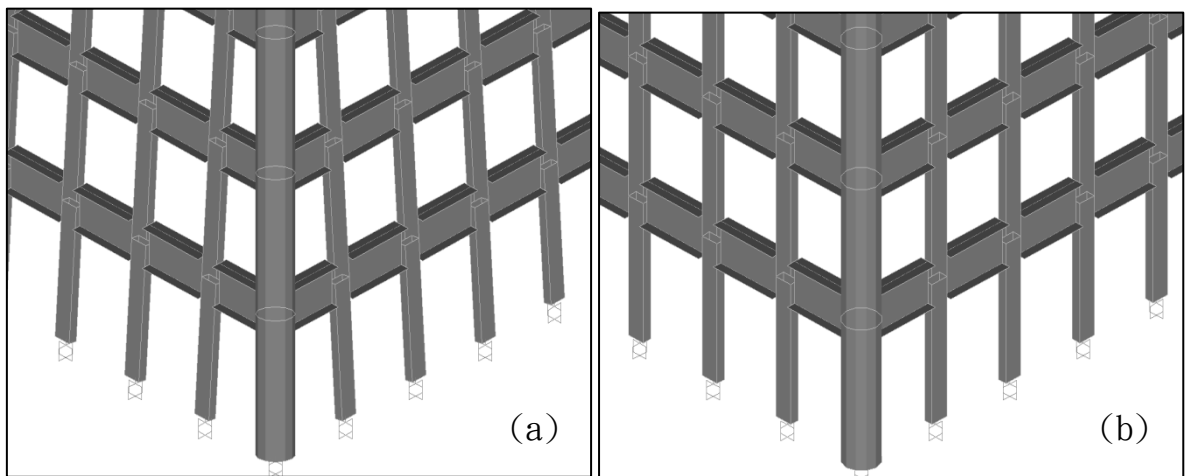


圖 4-2 框筒結構邊柱排列方式示意圖
(a)內縮型式框筒結構

(b)傳統框筒結構

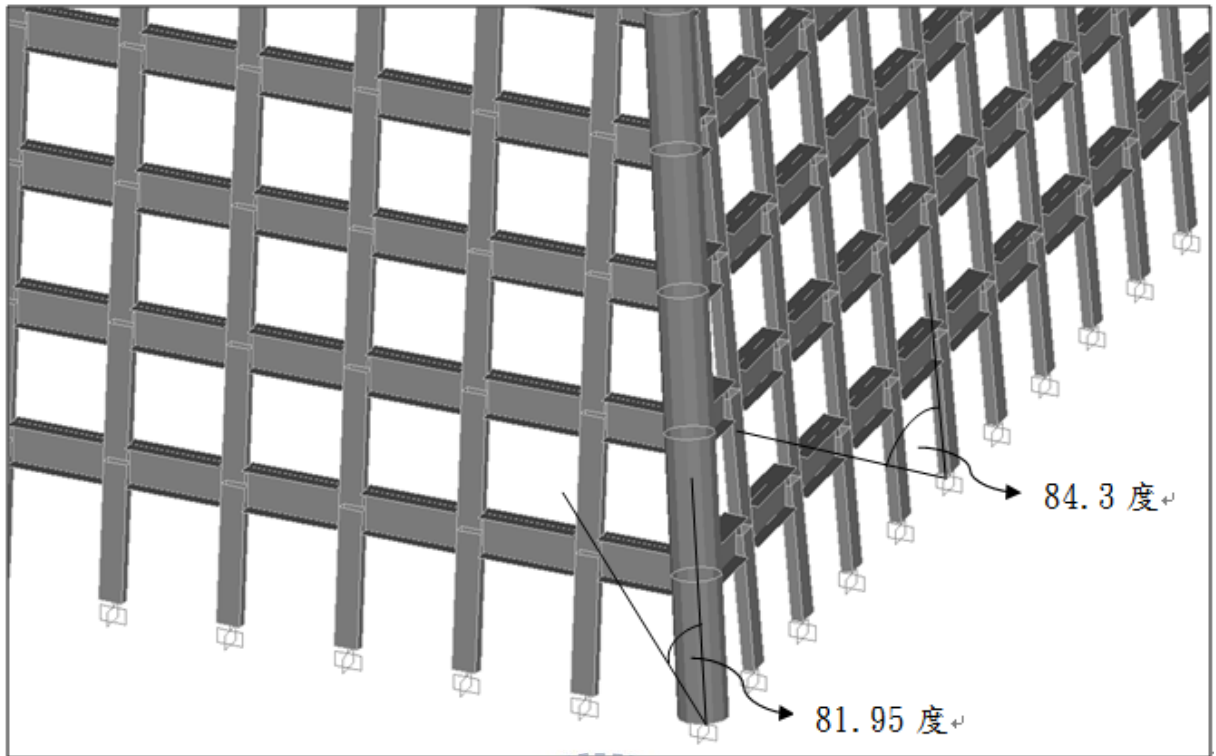


圖 4-3 內縮型式框筒結構柱與垂直方向之夾角圖
 結構角柱與水平向夾 81.95 度
 結構邊柱與水平向夾 84.30 度

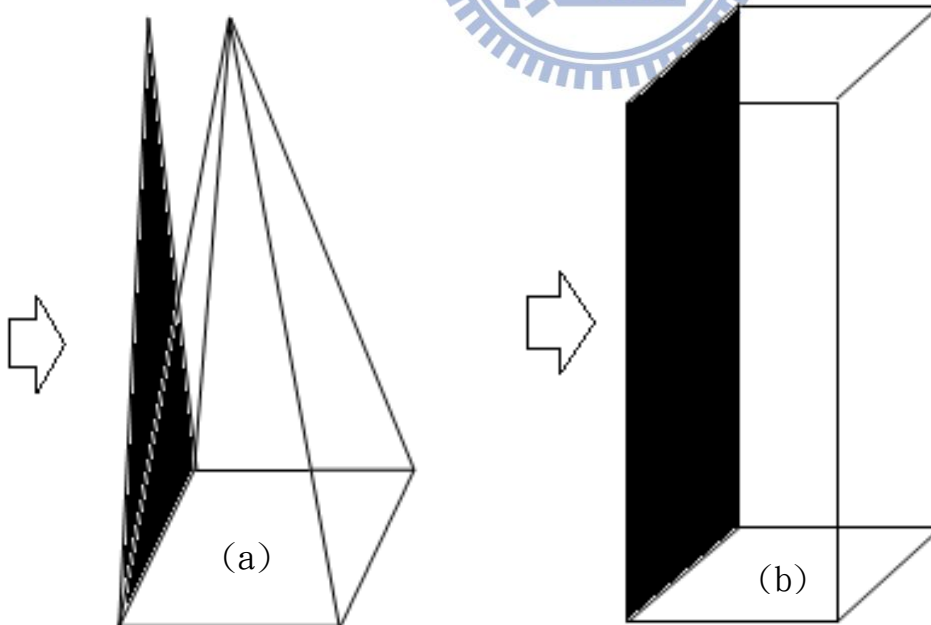


圖 4-4 結構受風面積示意圖
 (a)內縮型式框筒結構

(b)傳統框筒結構

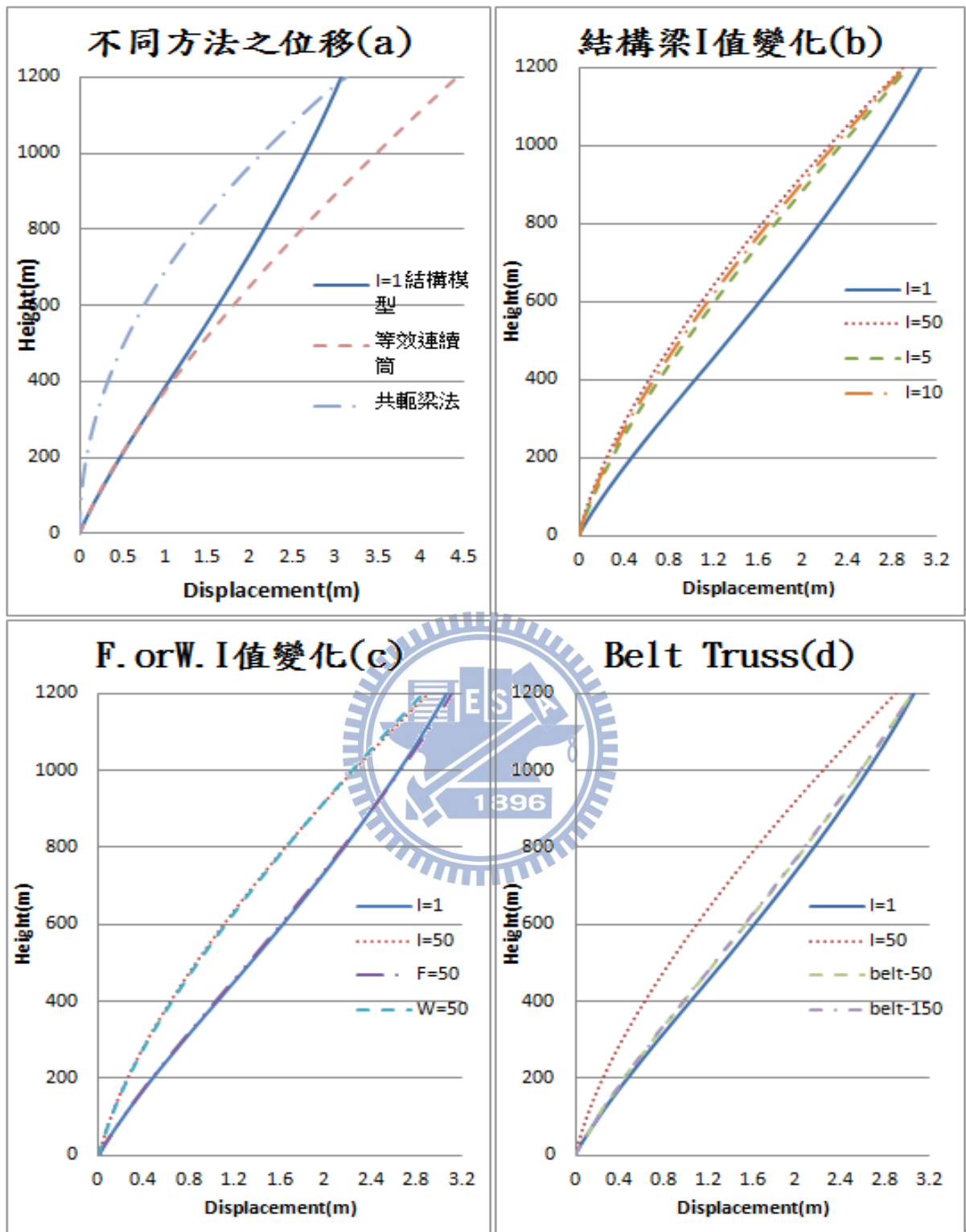


圖 4-5 內縮型式框筒結構水平位移圖

(a)不同方法得之水平位移圖

(b)變化結構梁 I 值位移比較圖

(c)針對翼(F)腹(W)板 I 值加強位移圖

(d)模擬加上 Belt Truss 位移圖

註：F 為翼板(Flange)之縮寫 W 為腹板(Web)之縮寫

Belt 為 Belt Truss，後面數字表示為其梁增加之勁度

其後內縮框筒結構分析圖皆沿用此設定代號

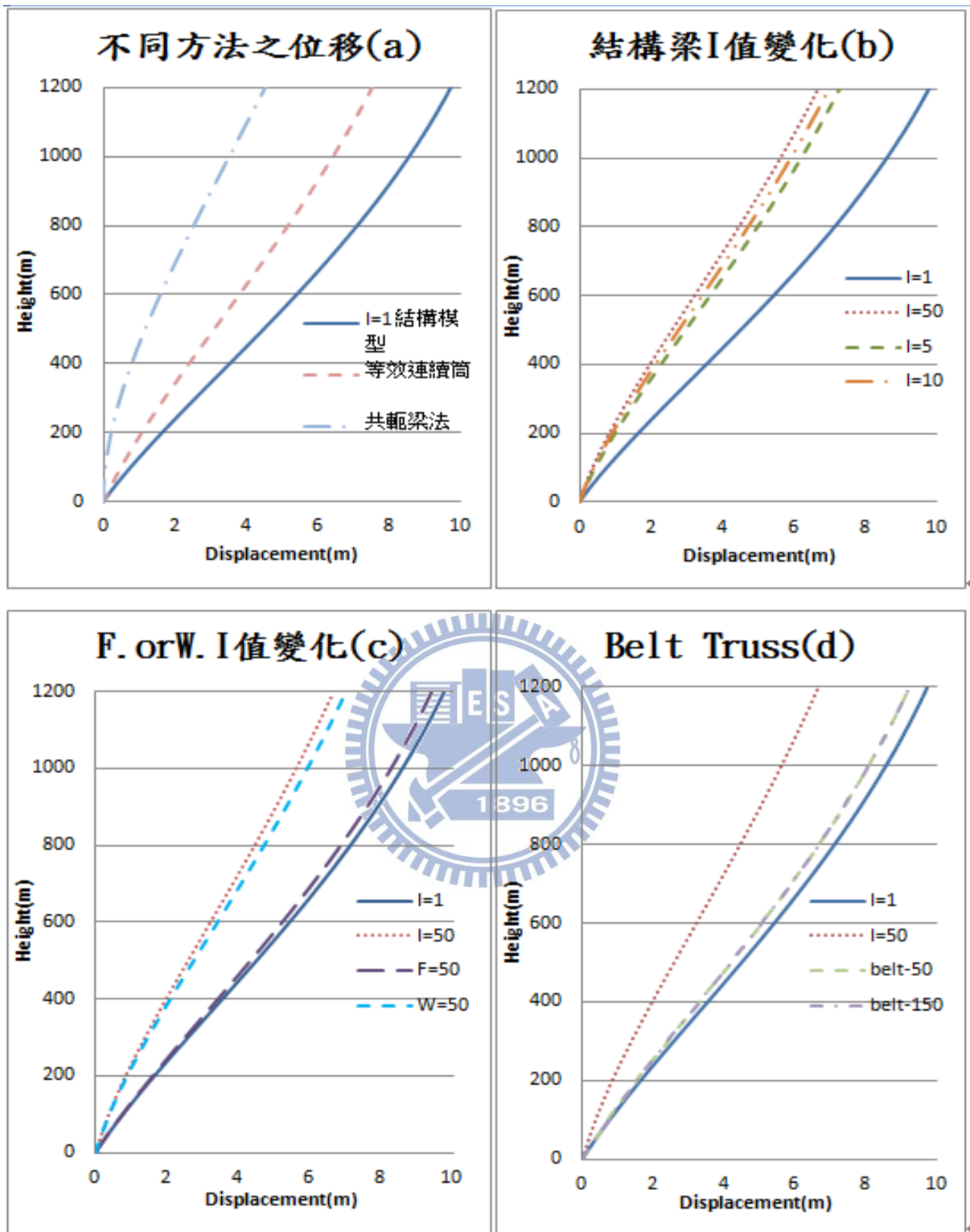


圖 4-6 傳統框筒結構水平位移圖

(a)不同方法得之水平位移圖

(b)變化結構梁 I 值位移比較圖

(c)針對翼(F)腹(W)板 I 值加強位移圖

(d)模擬加上 Belt Truss 位移圖

註：F 為翼板(Flange)之縮寫 W 為腹板(Web)之縮寫

Belt 為 Belt Truss，後面數字表示為其梁增加之勁度

其後傳統框筒結構分析圖皆沿用此設定代號

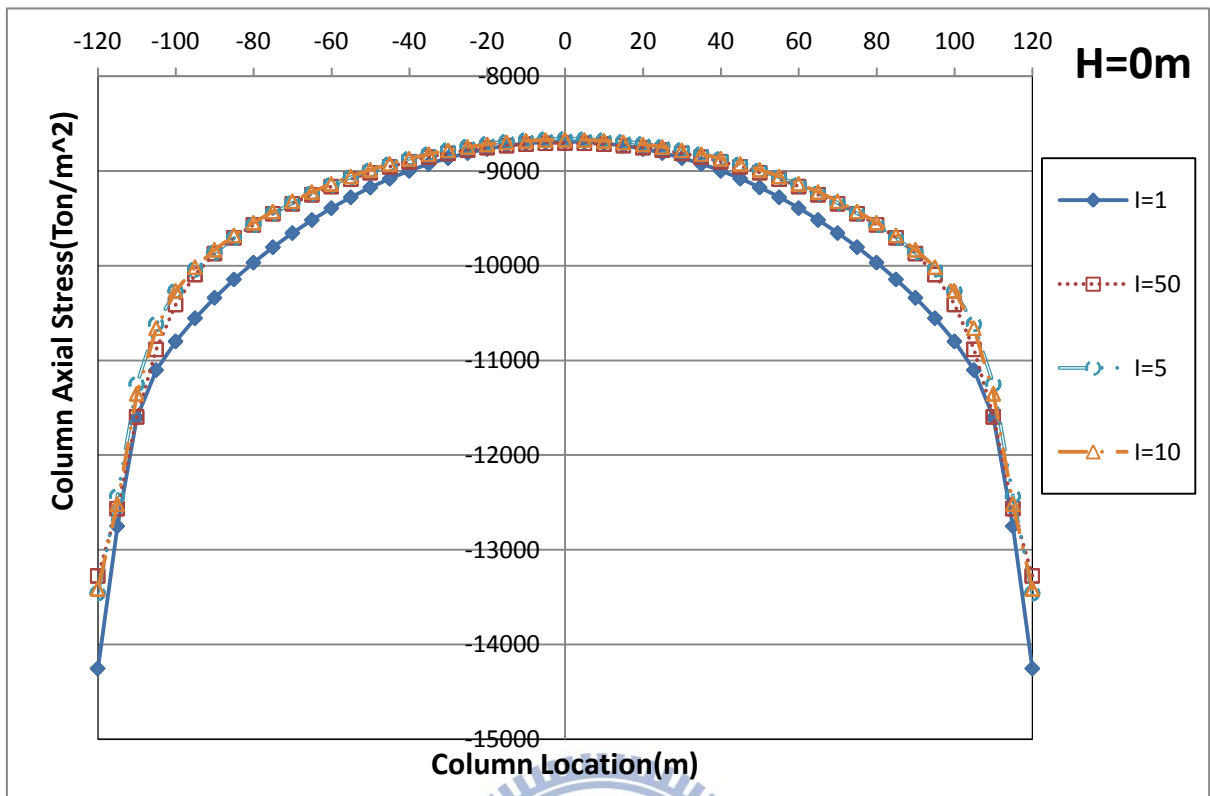


圖 4-7 0m 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖

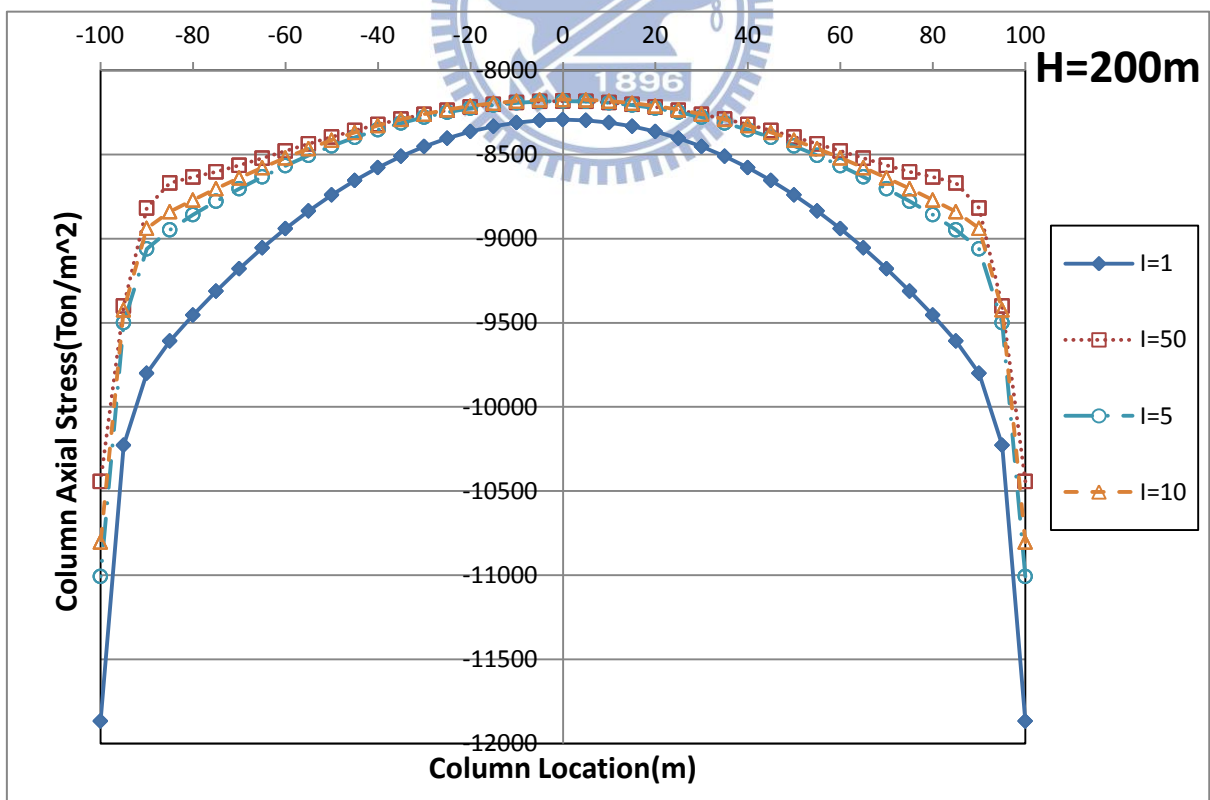


圖 4-8 200m 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖

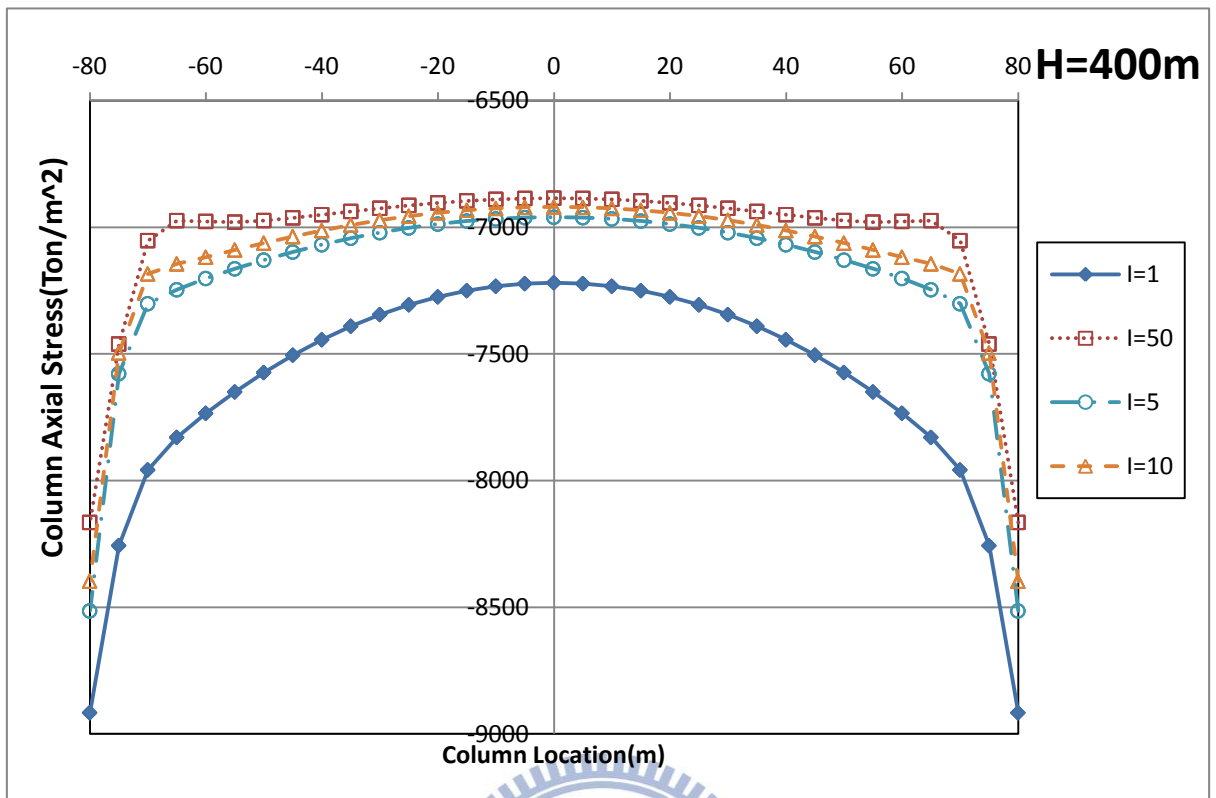


圖 4-9 400m 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖

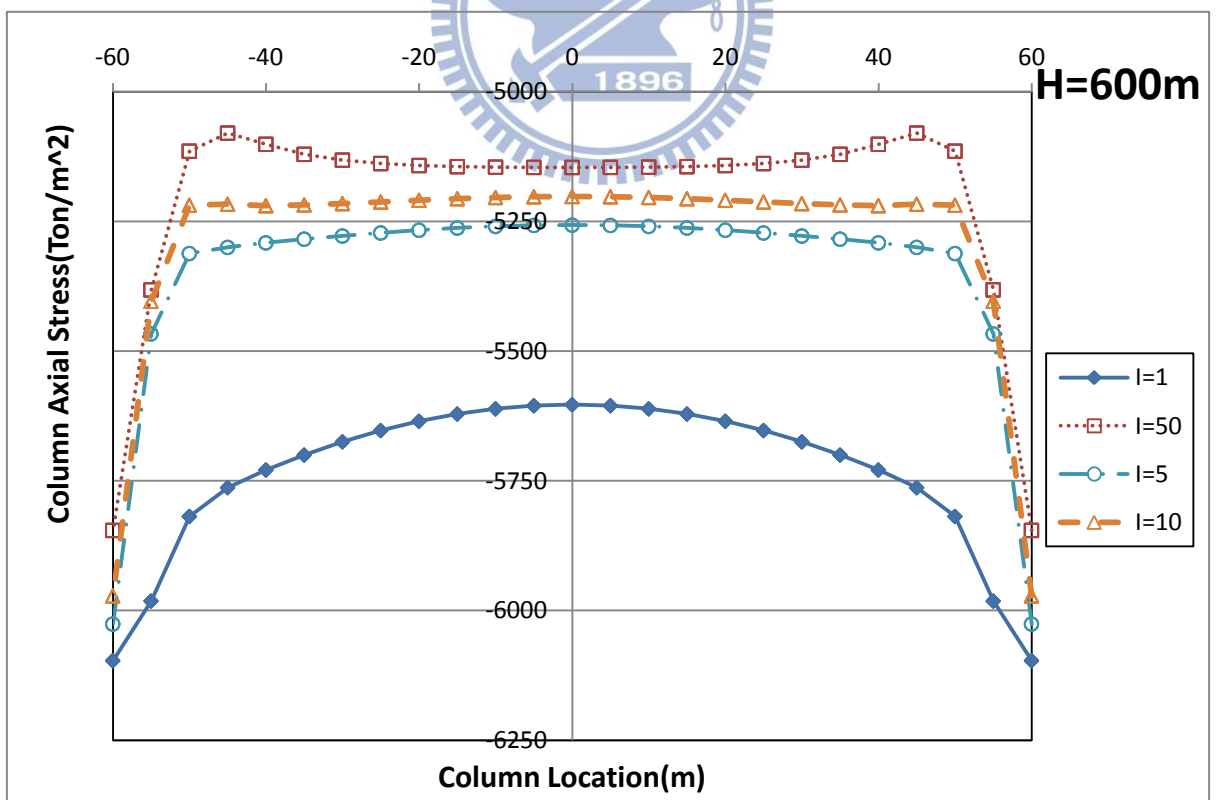


圖 4-10 600m 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖

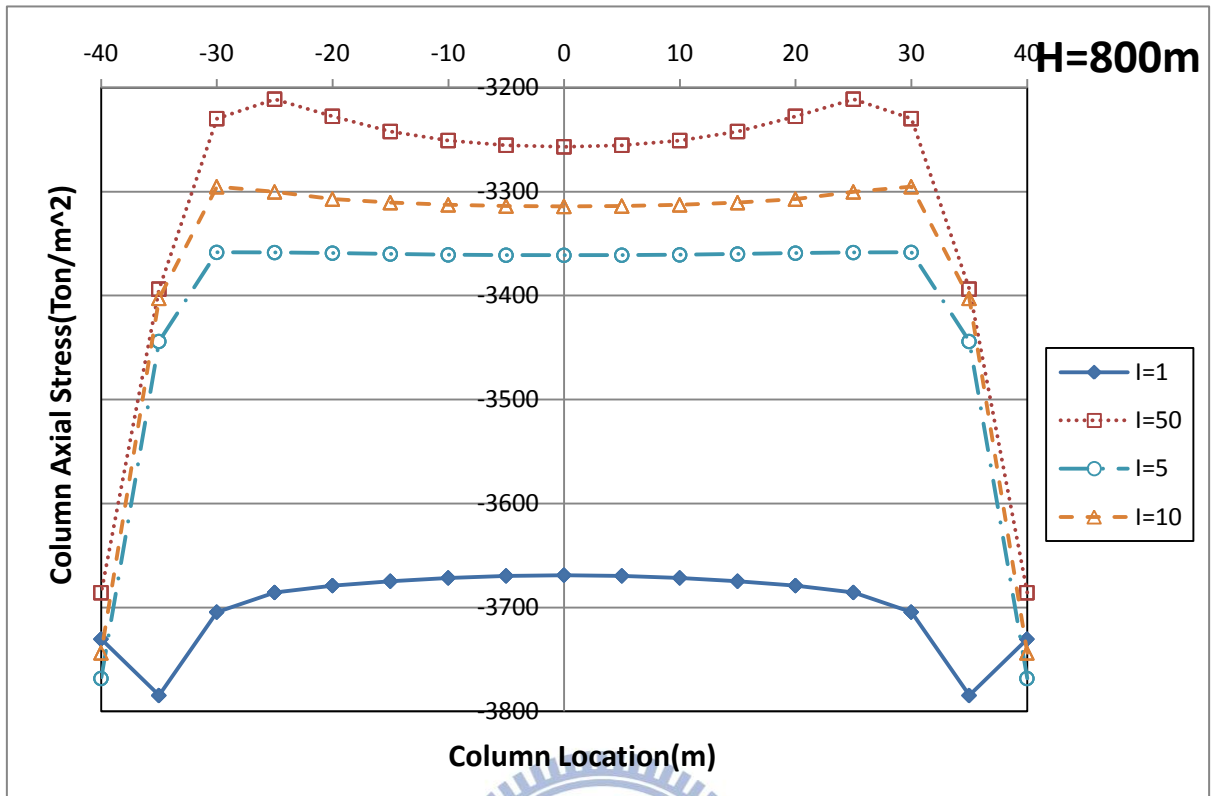


圖 4-11 800m 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖

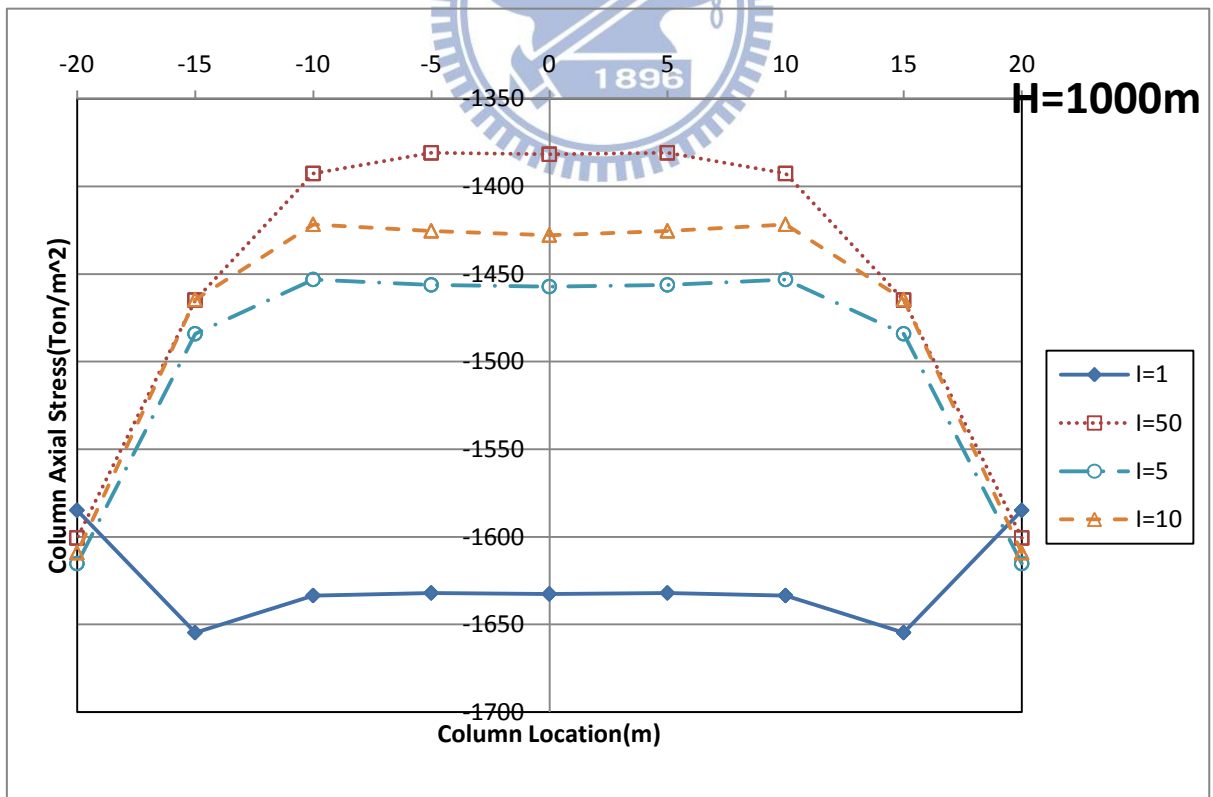


圖 4-12 1000m 高度內縮型式框筒結構翼板軸力分佈圖

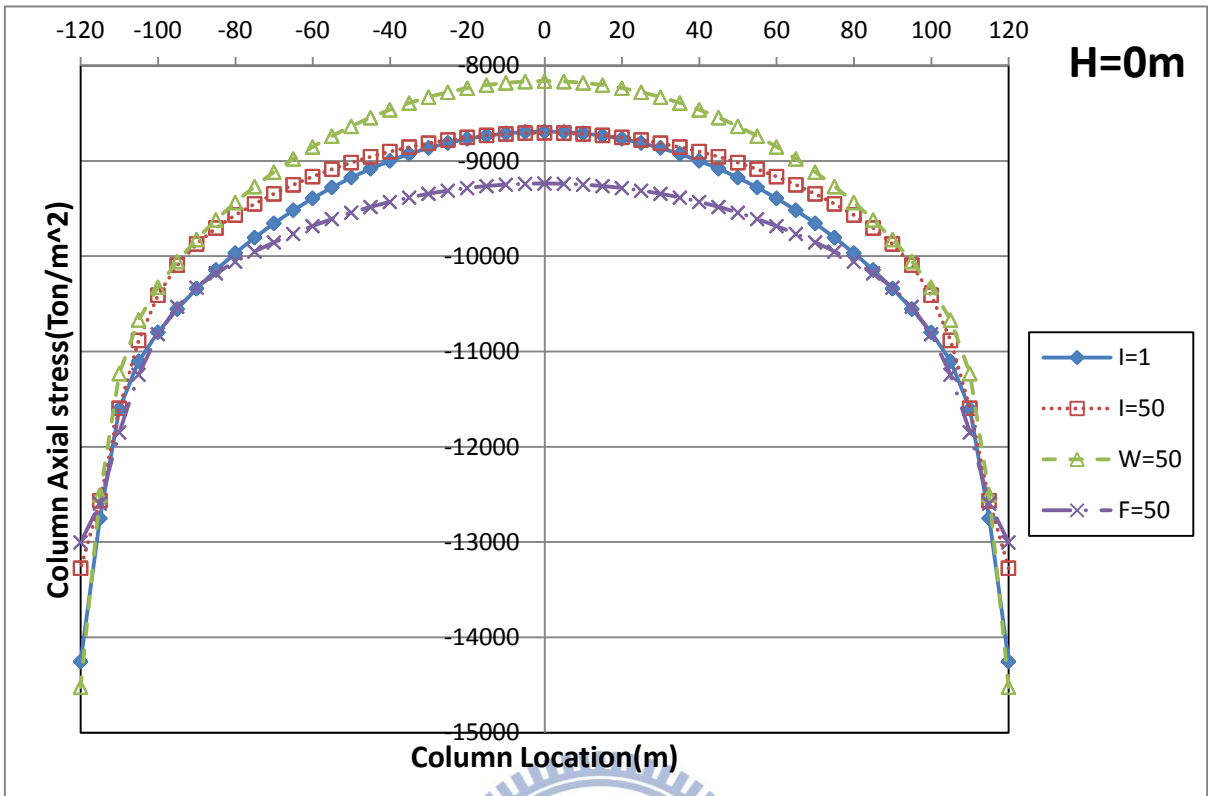


圖 4-13 0m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

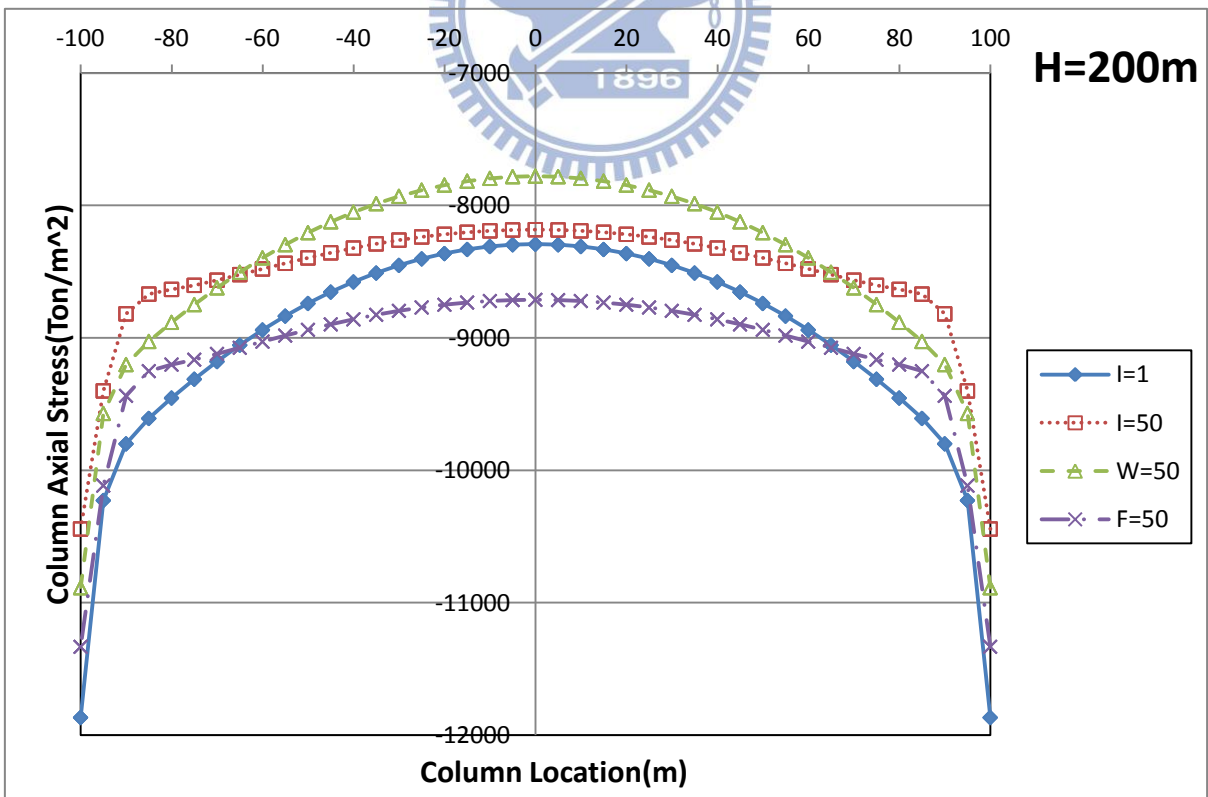


圖 4-14 200m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

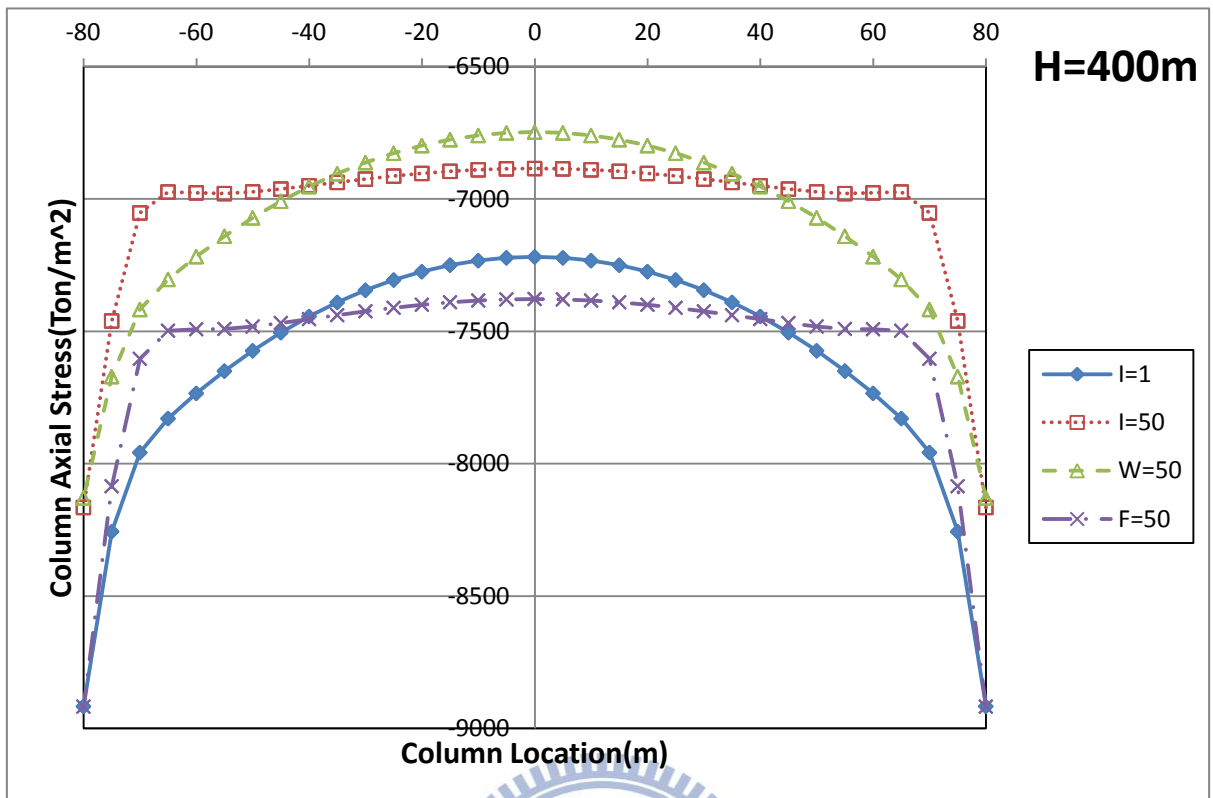


圖 4-15 400m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

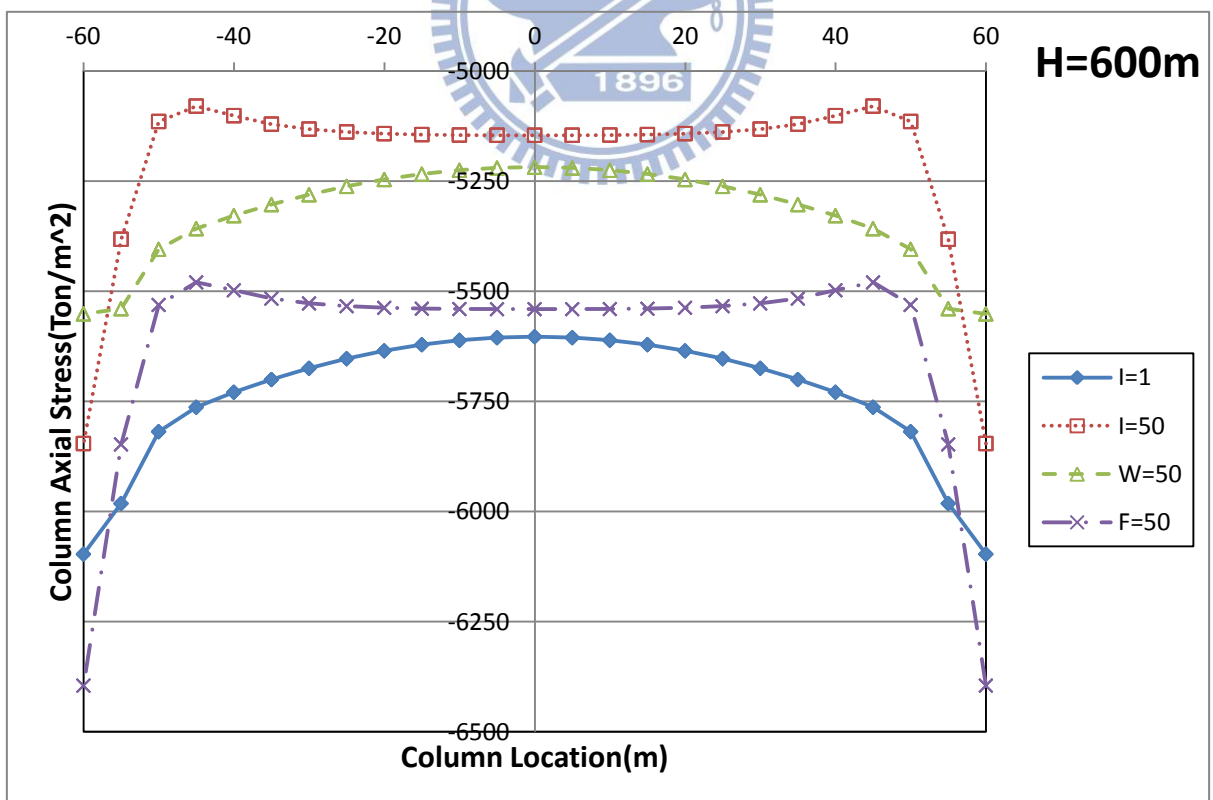


圖 4-16 600m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

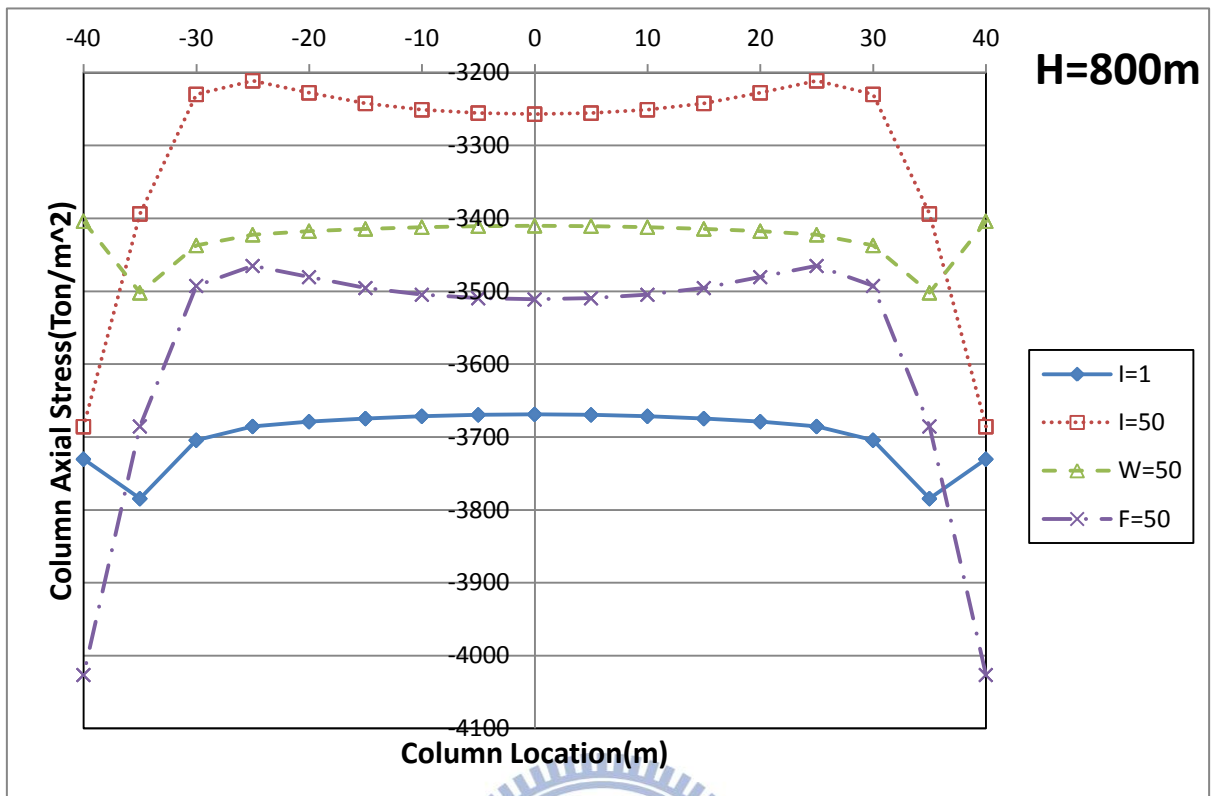


圖 4-17 800m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

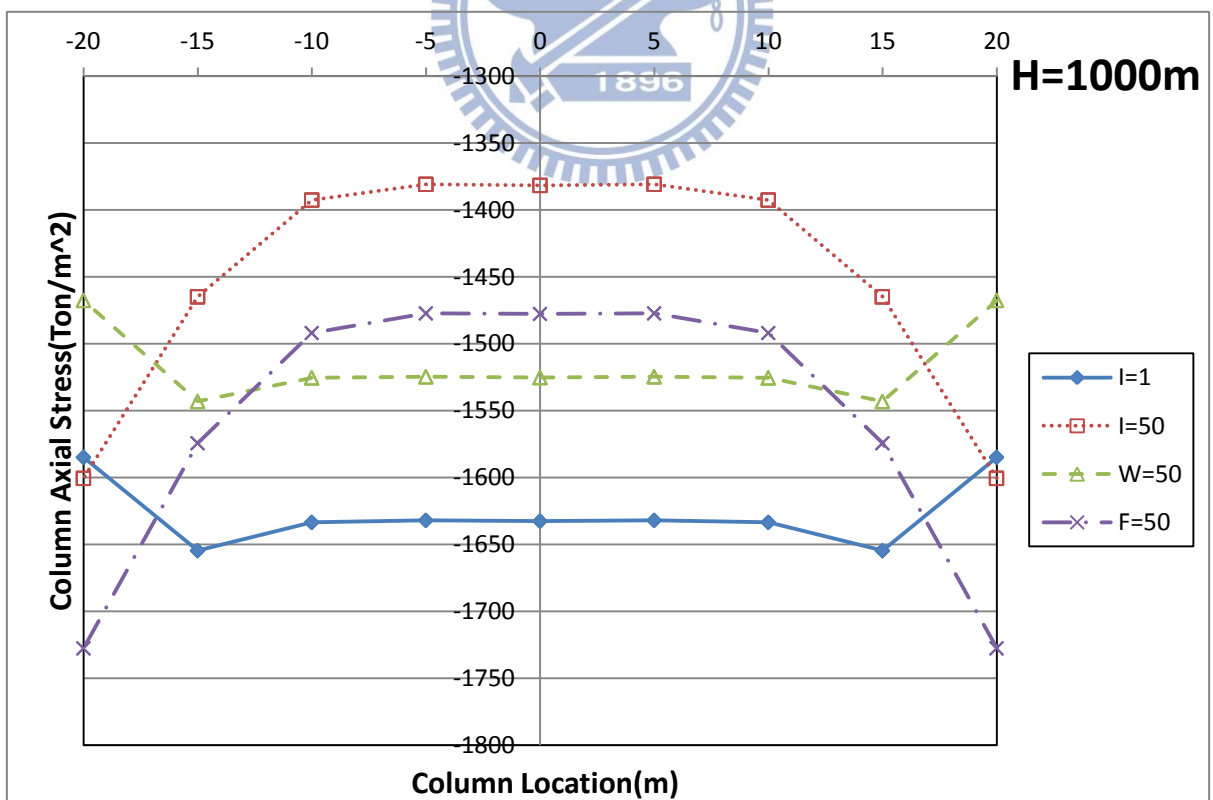


圖 4-18 1000m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

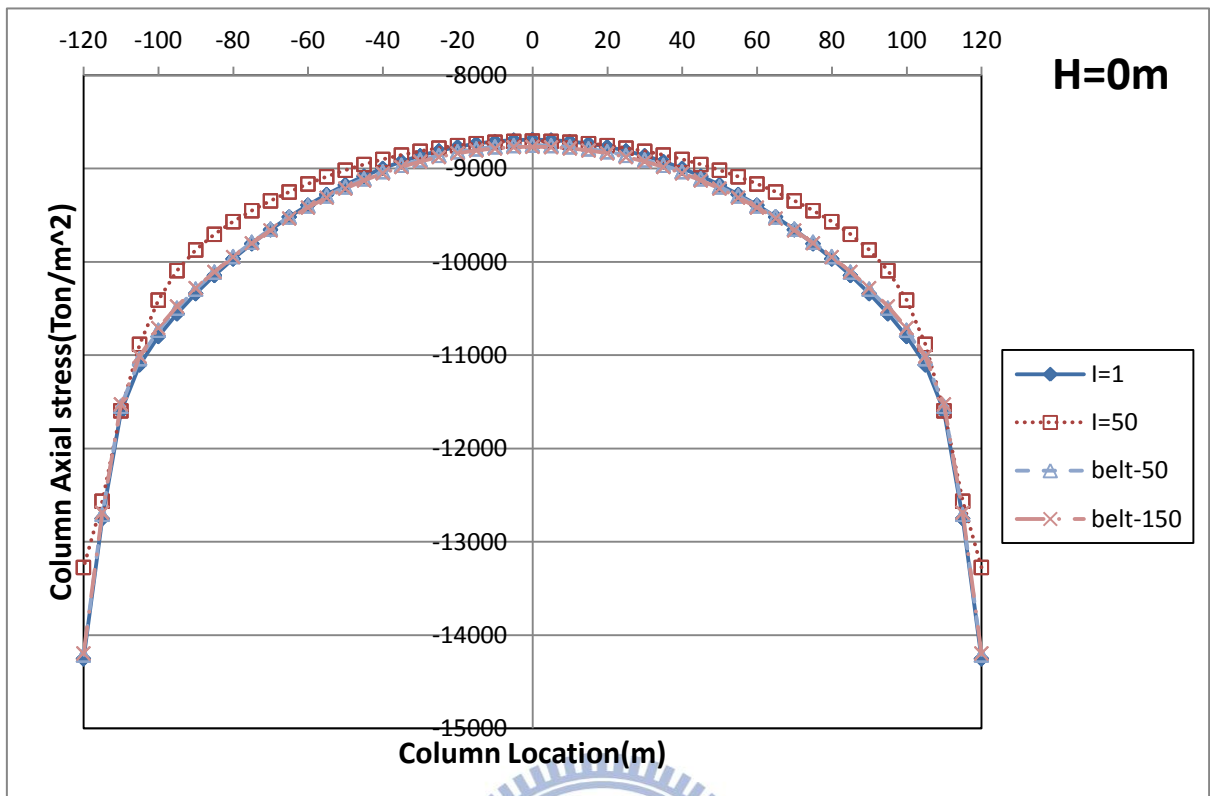


圖 4-19 0m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

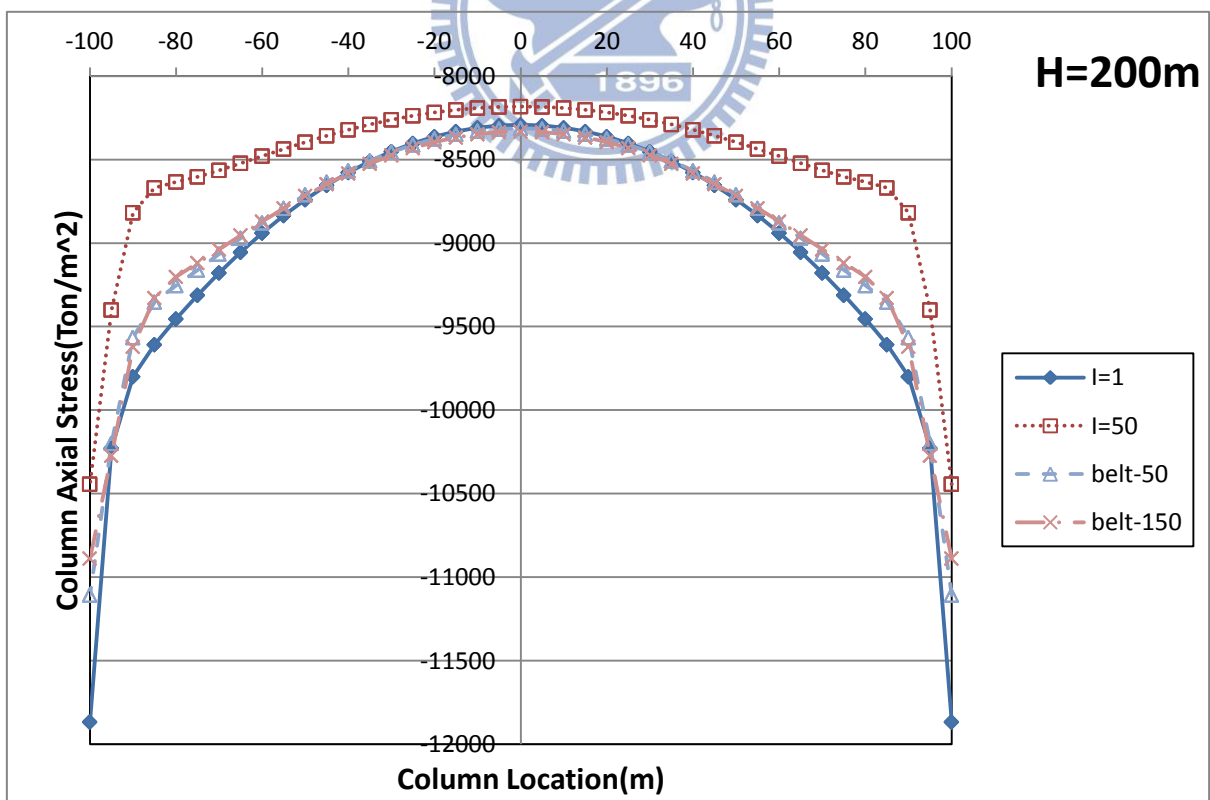


圖 4-20 200m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

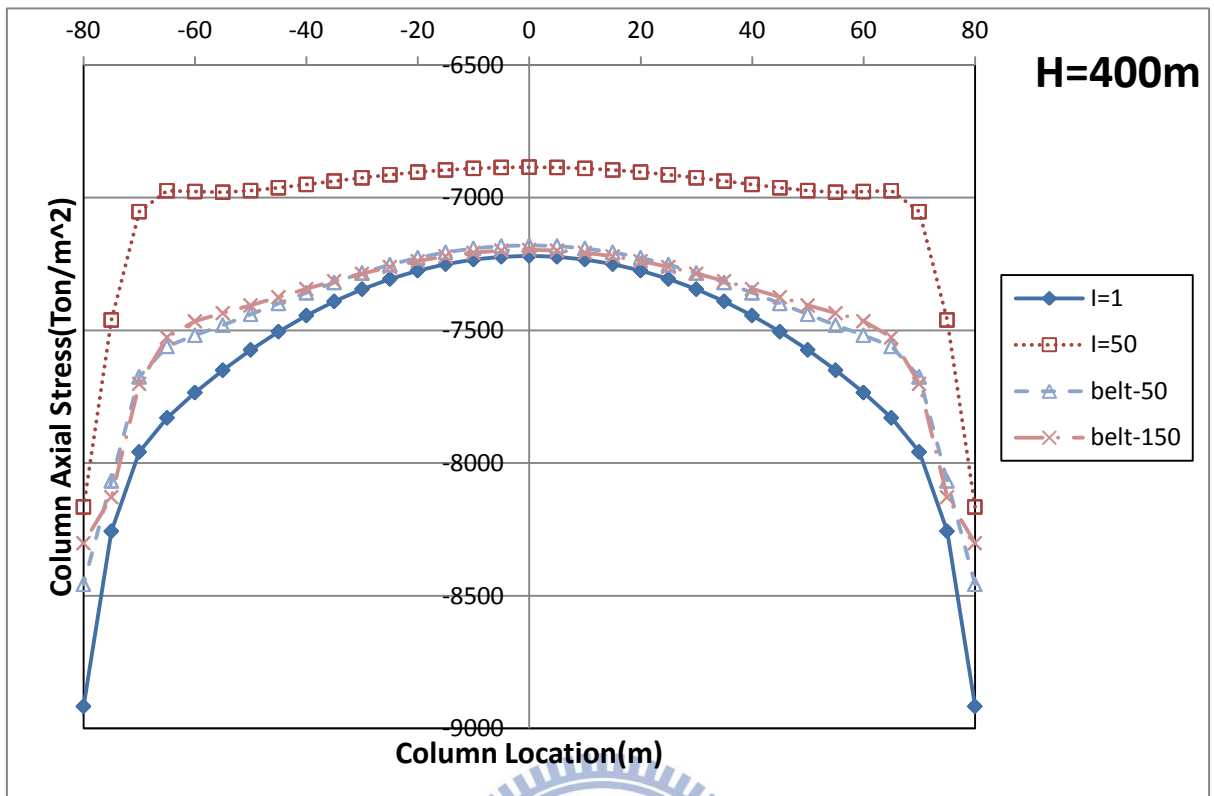


圖 4-21 400m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

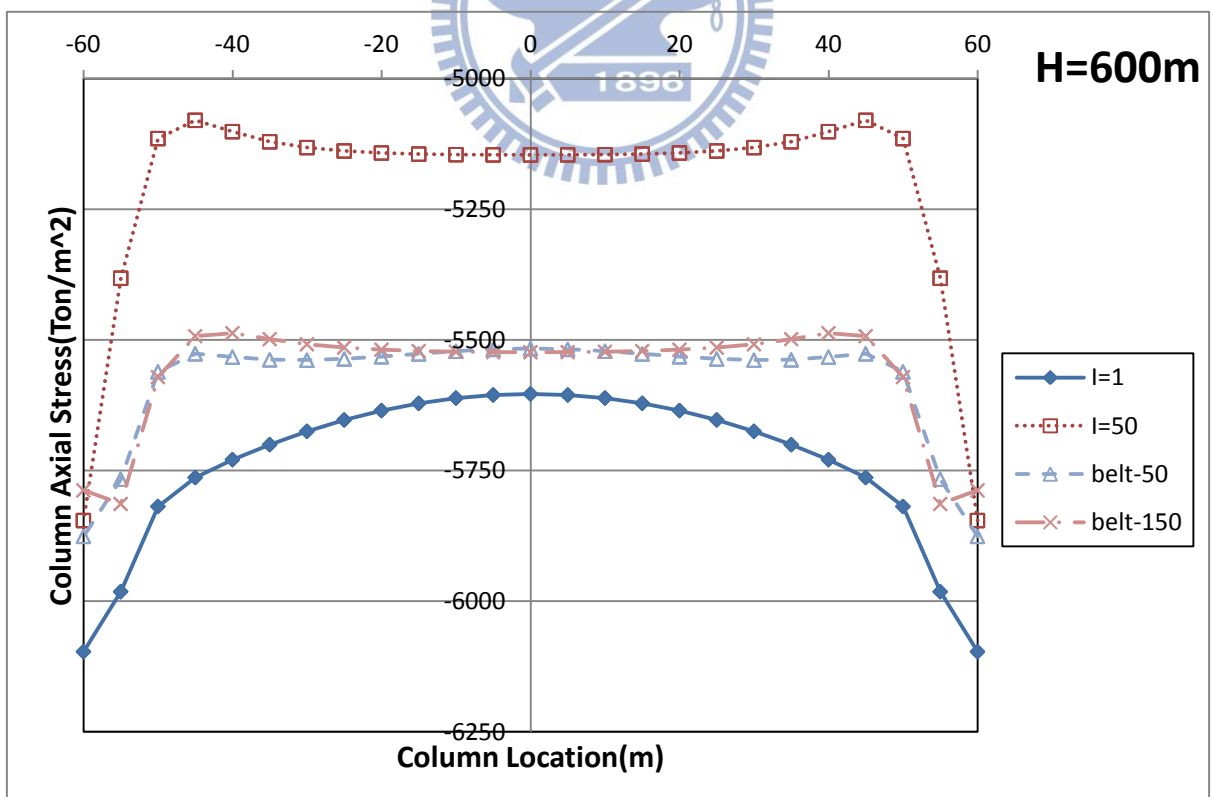


圖 4-22 600m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

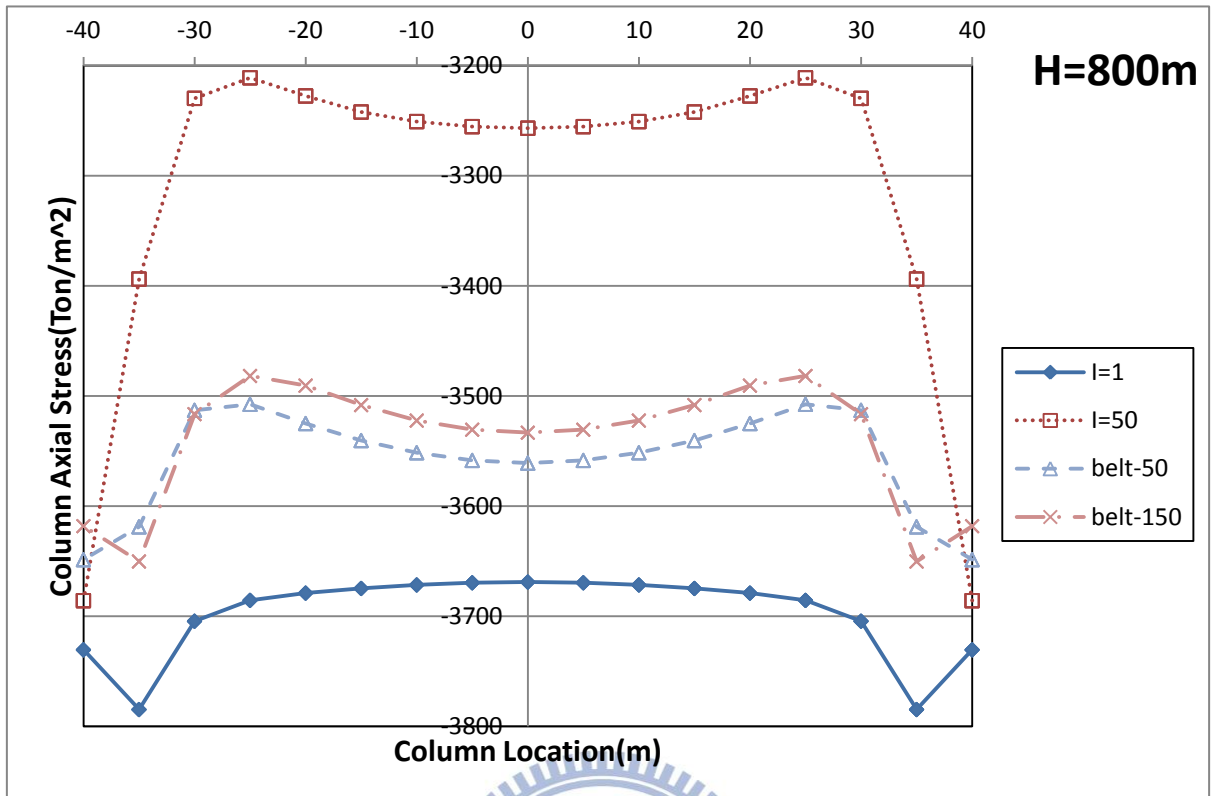


圖 4-23 800m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

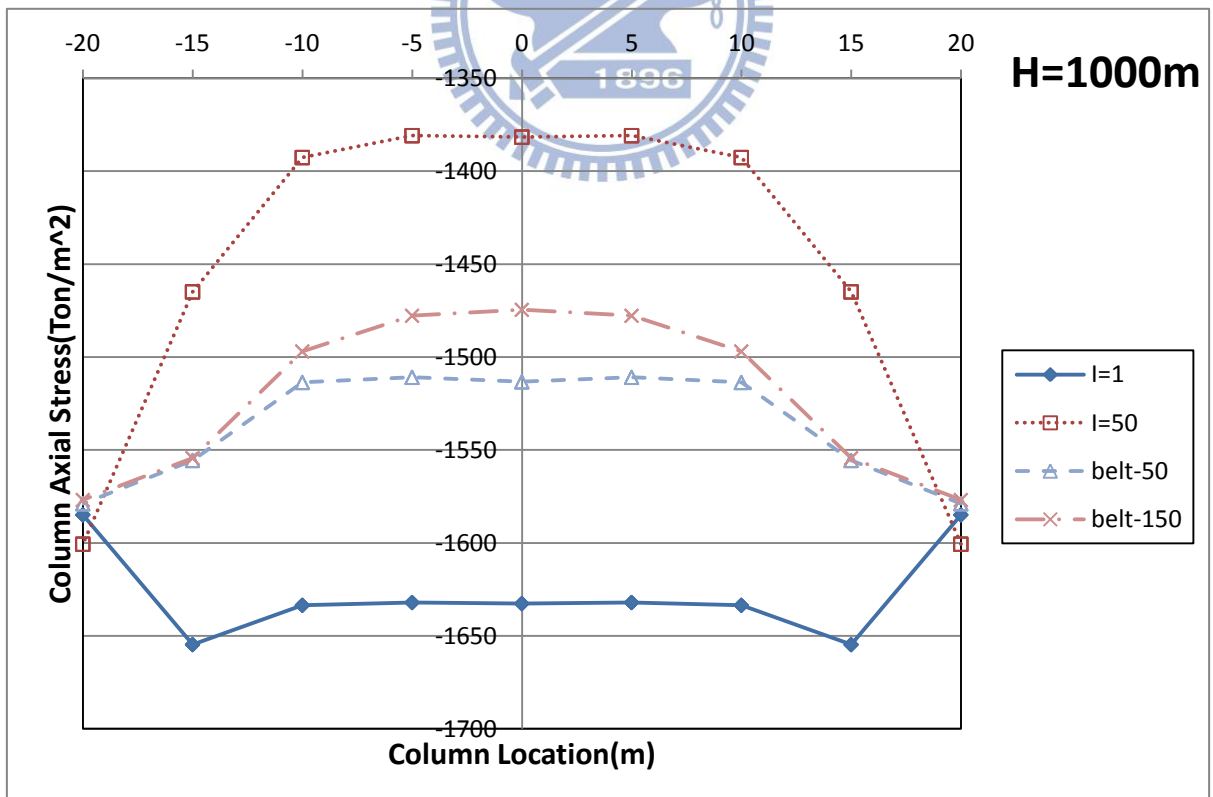


圖 4-24 1000m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

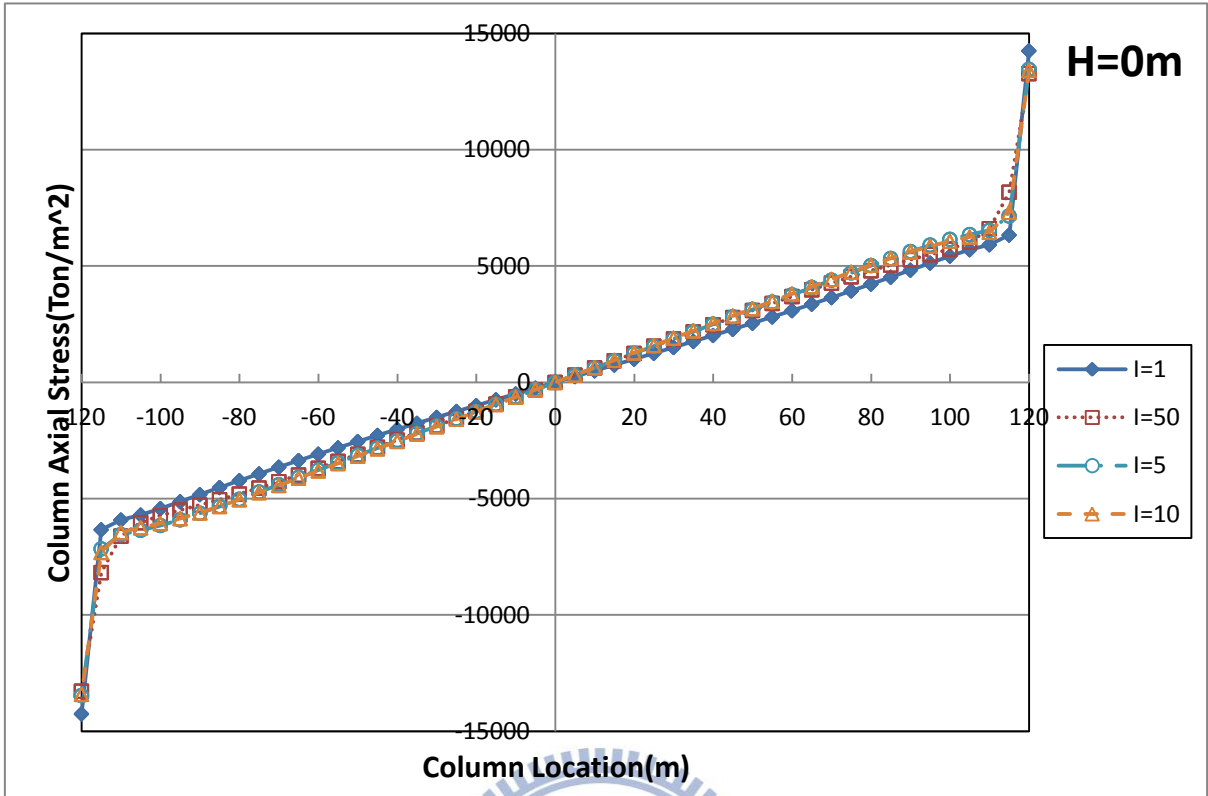


圖 4-25 0m 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖

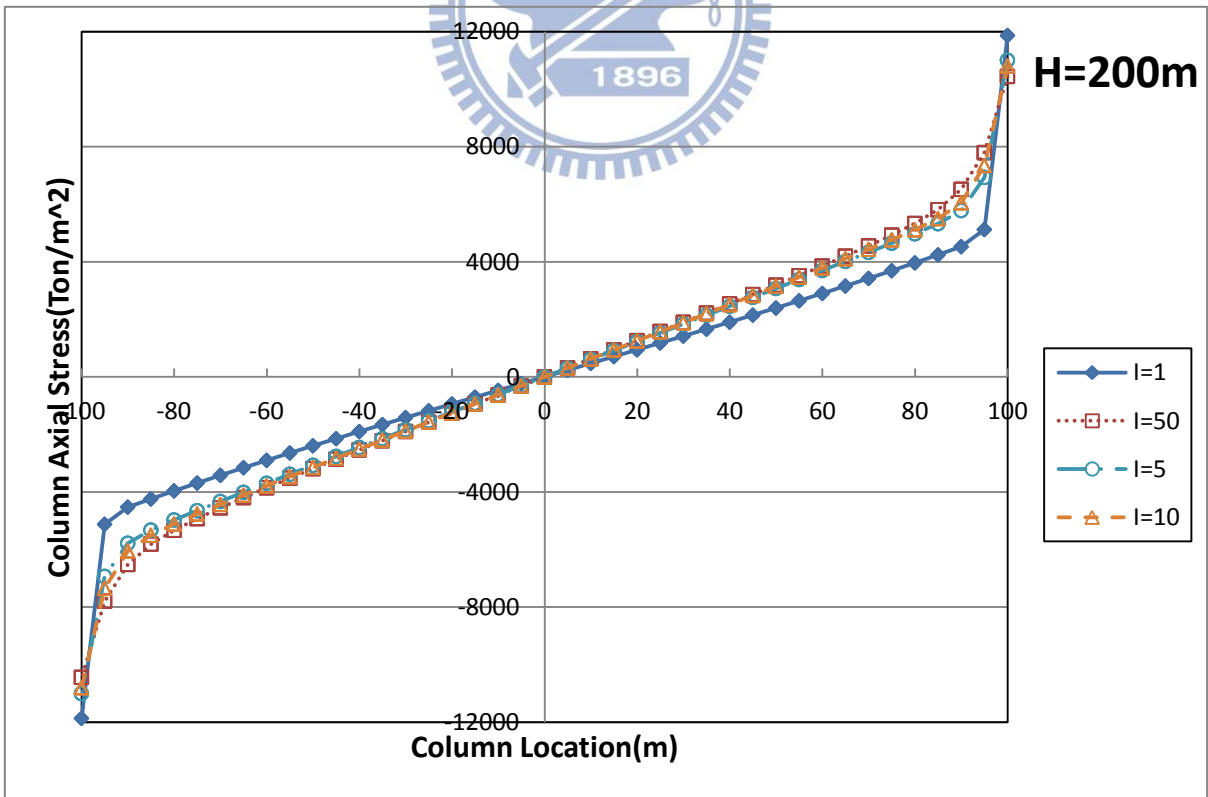


圖 4-26 200m 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖

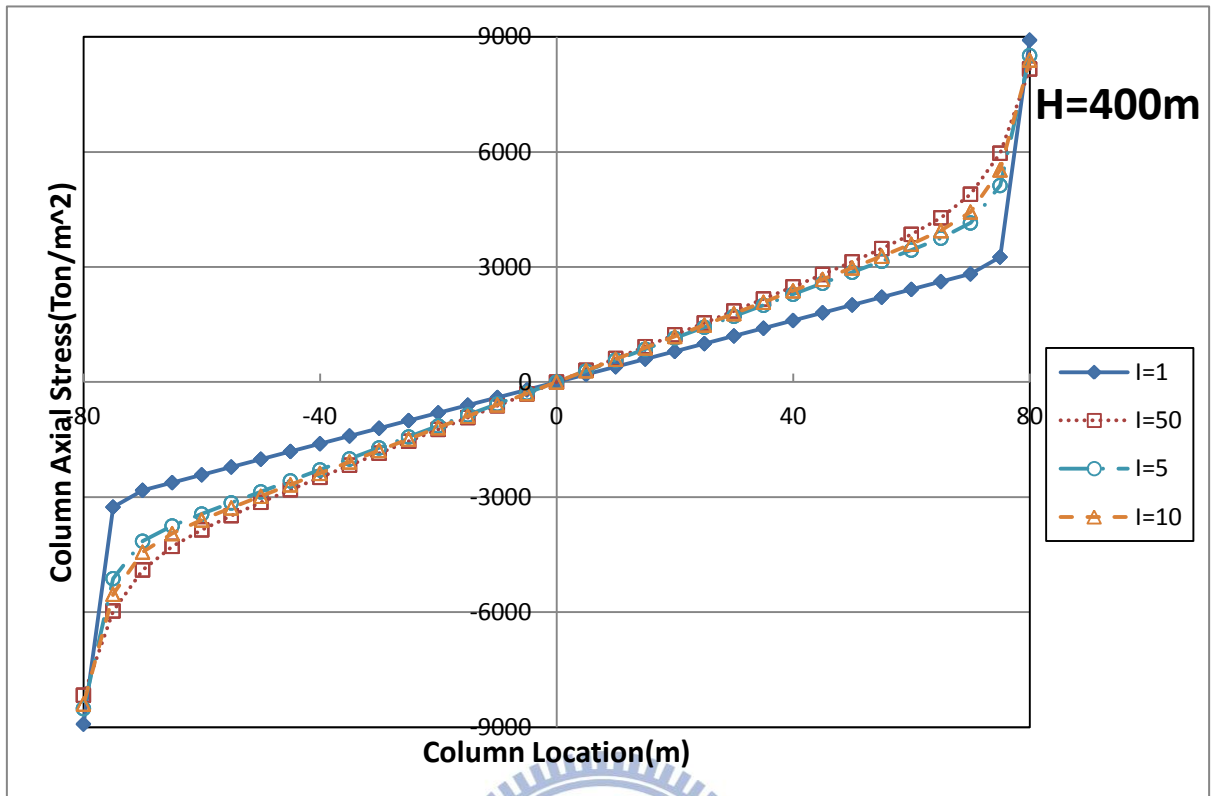


圖 4-27 400m 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖

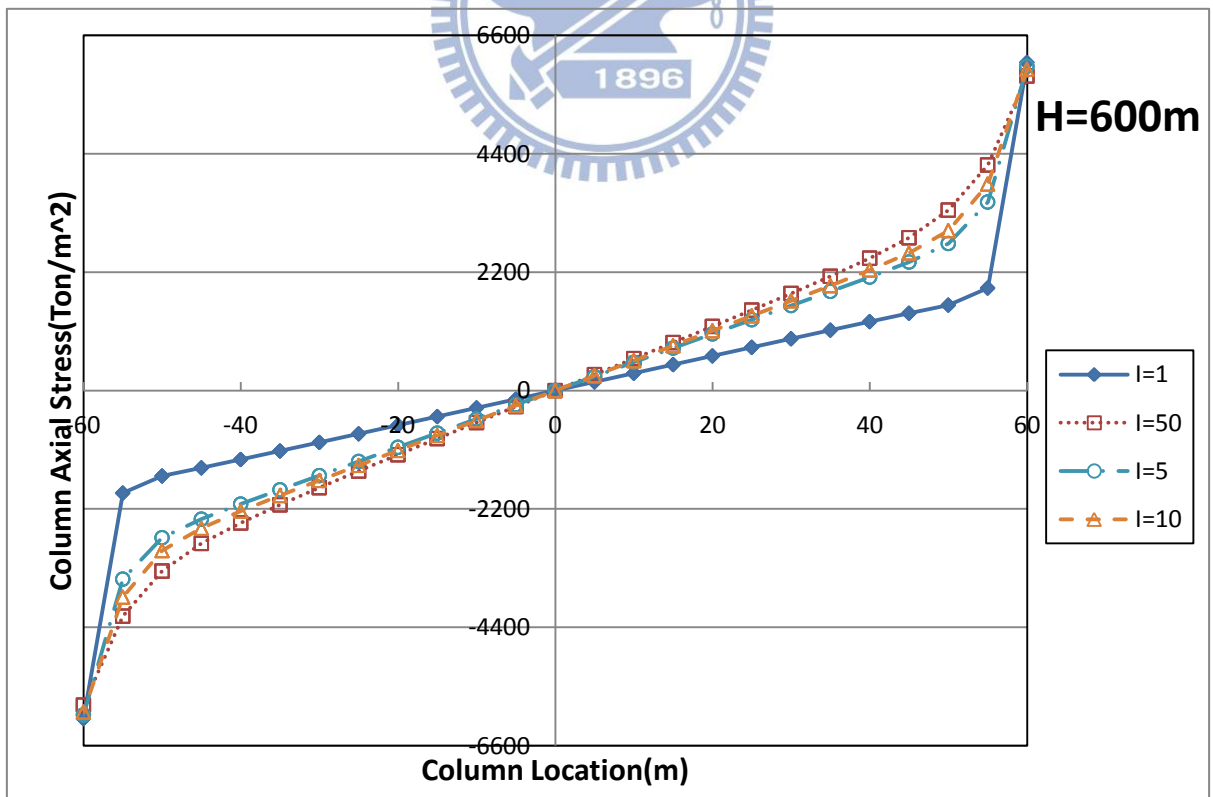


圖 4-28 600m 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖

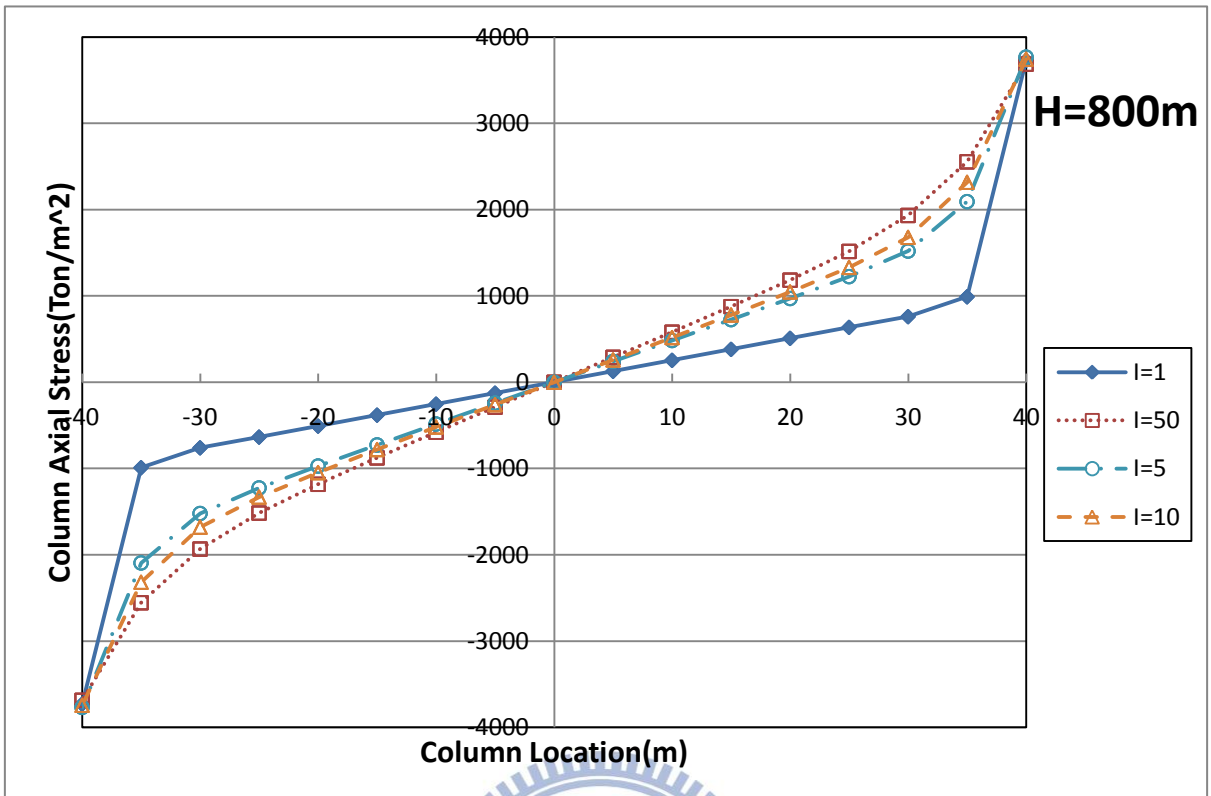


圖 4-29 800m 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖

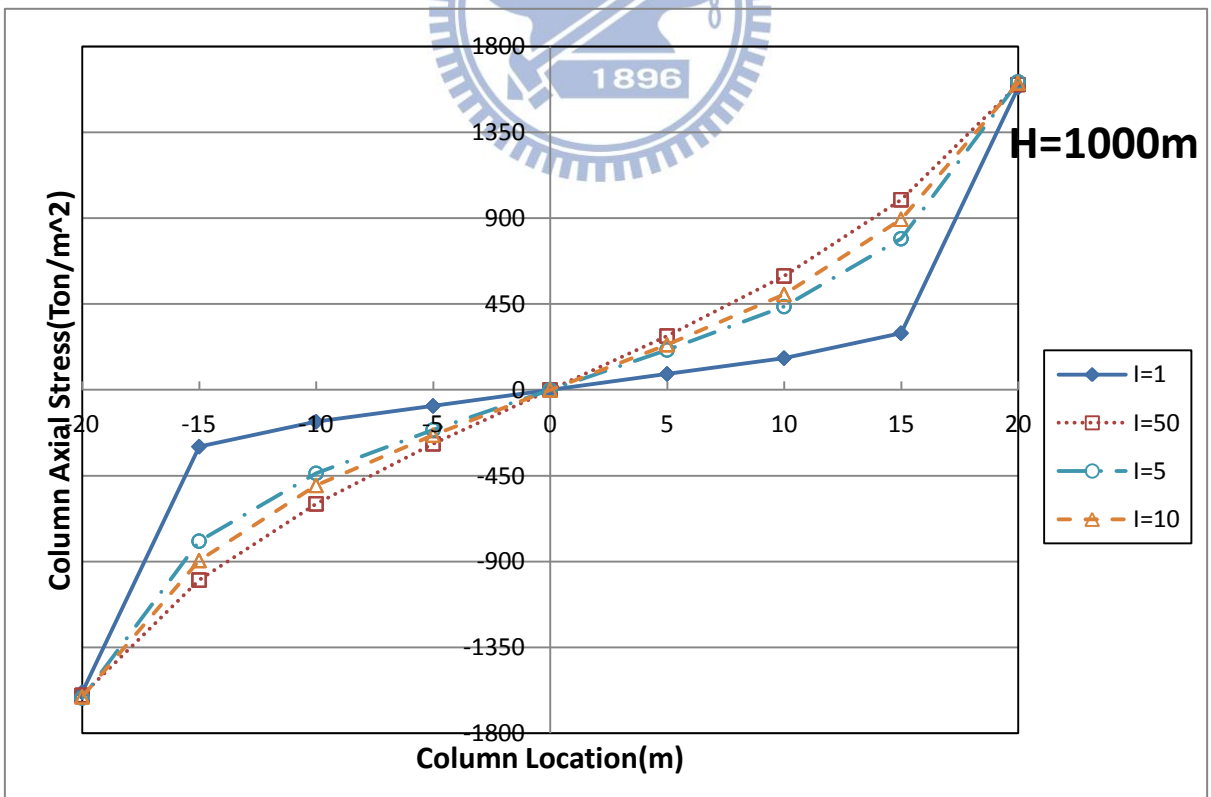


圖 4-30 1000m 高度內縮型式框筒結構腹板軸力分佈圖

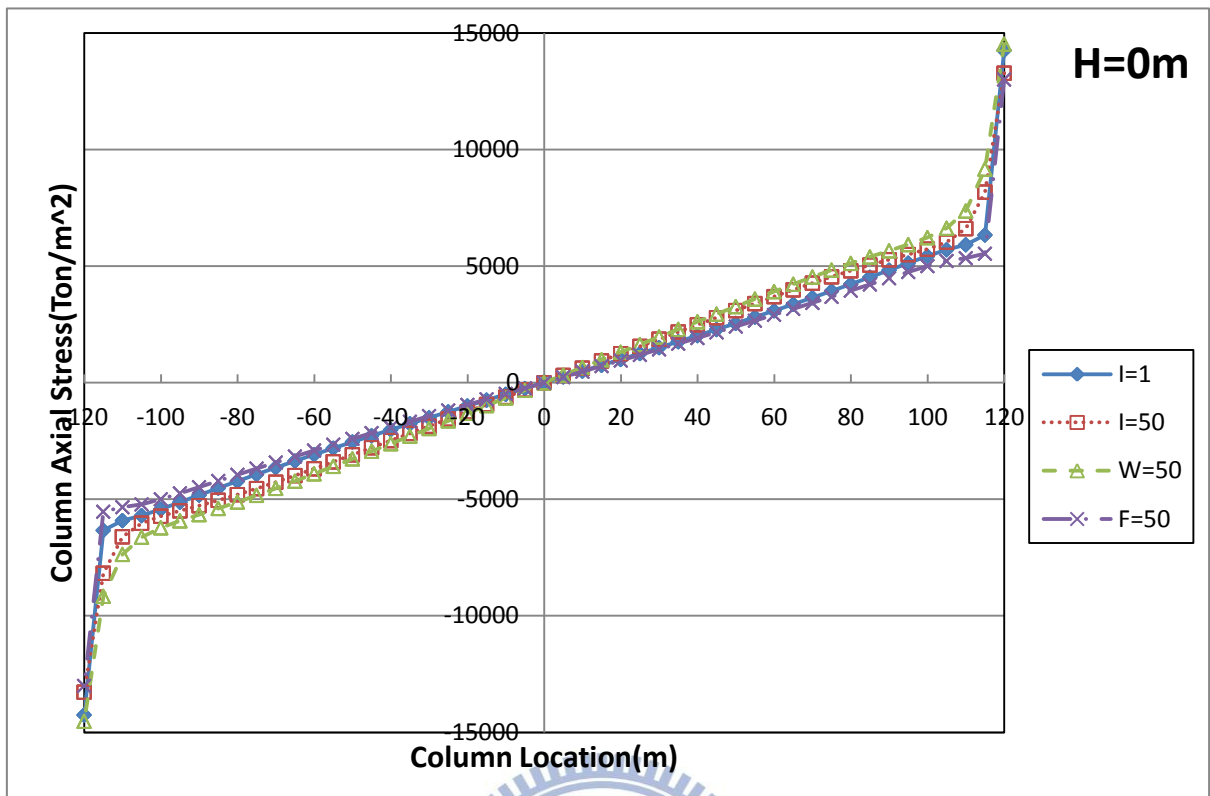


圖 4-31 0m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

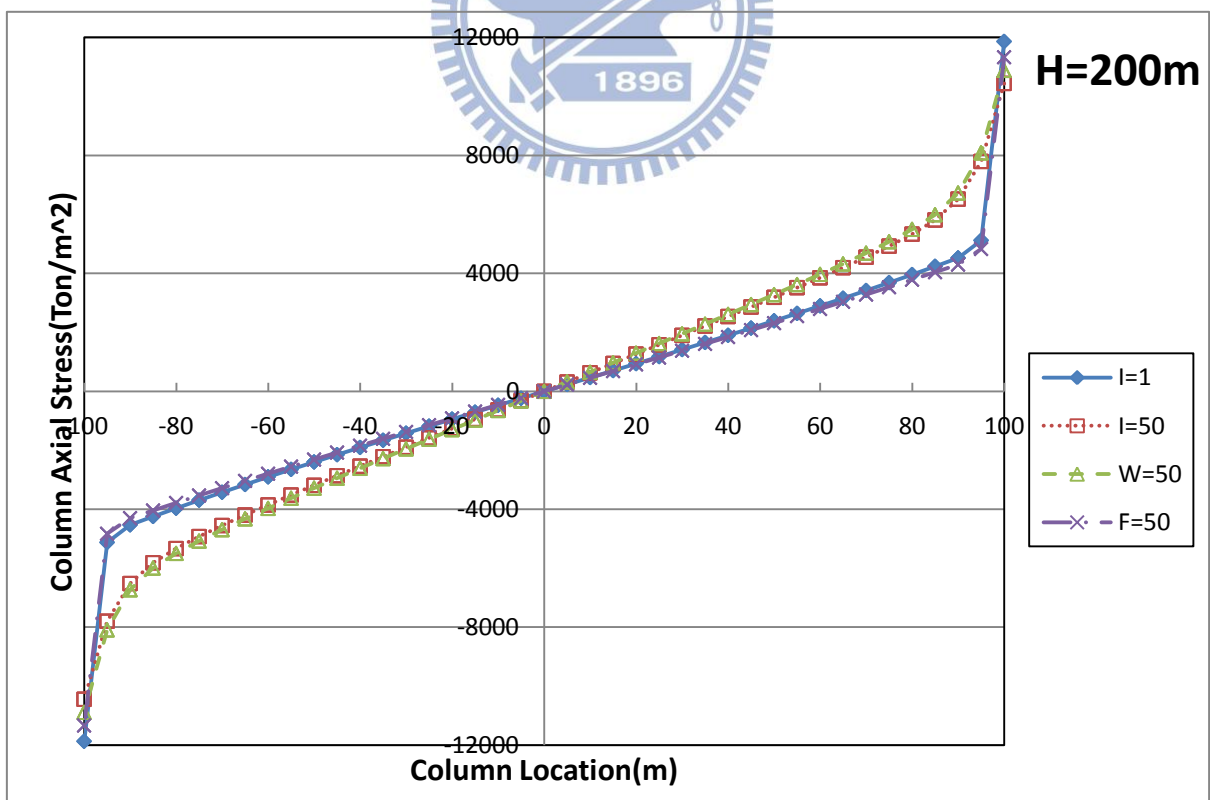


圖 4-32 200m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

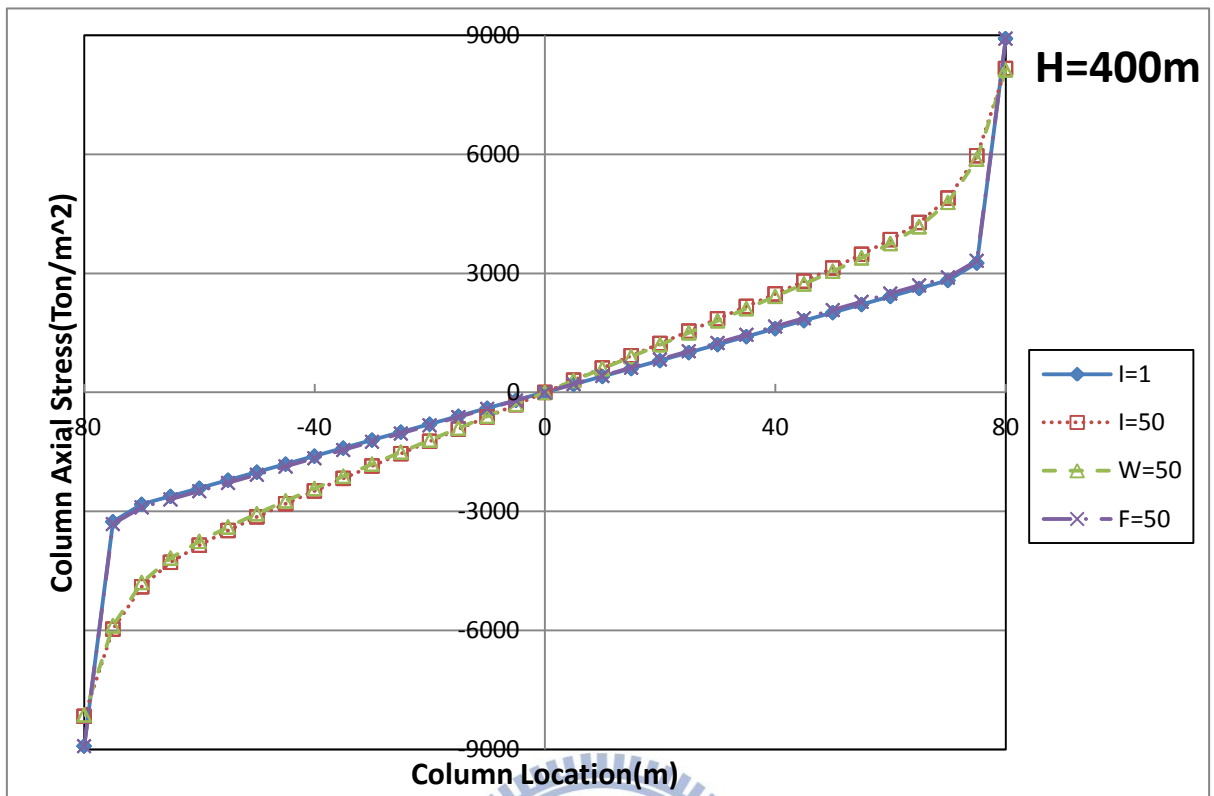


圖 4-33 400m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

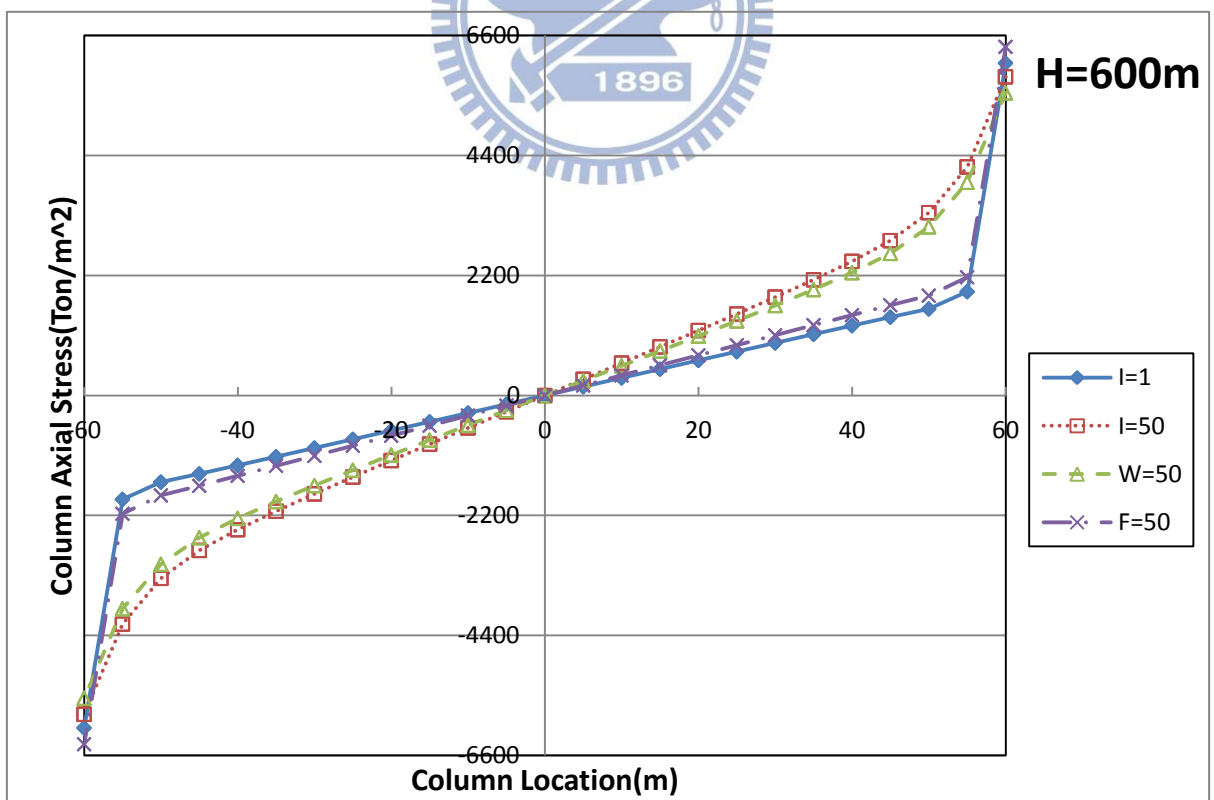


圖 4-34 600m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

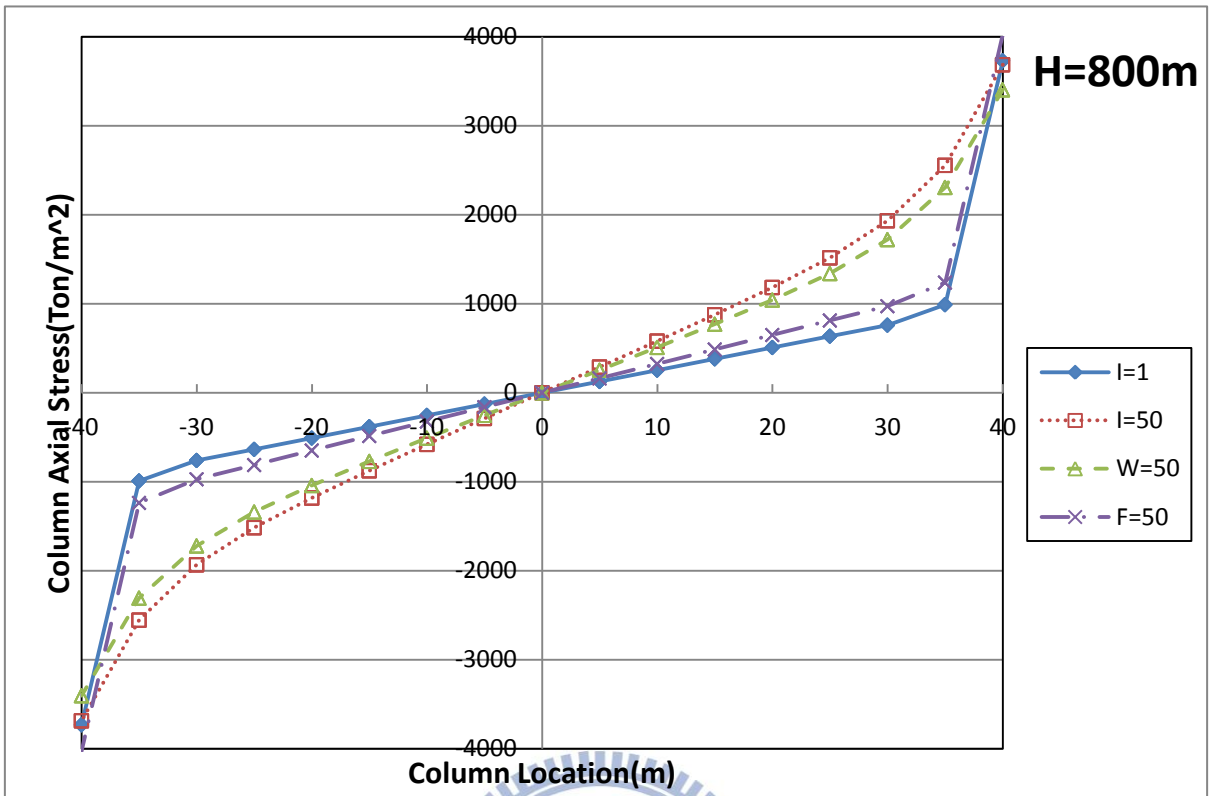


圖 4-35 800m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

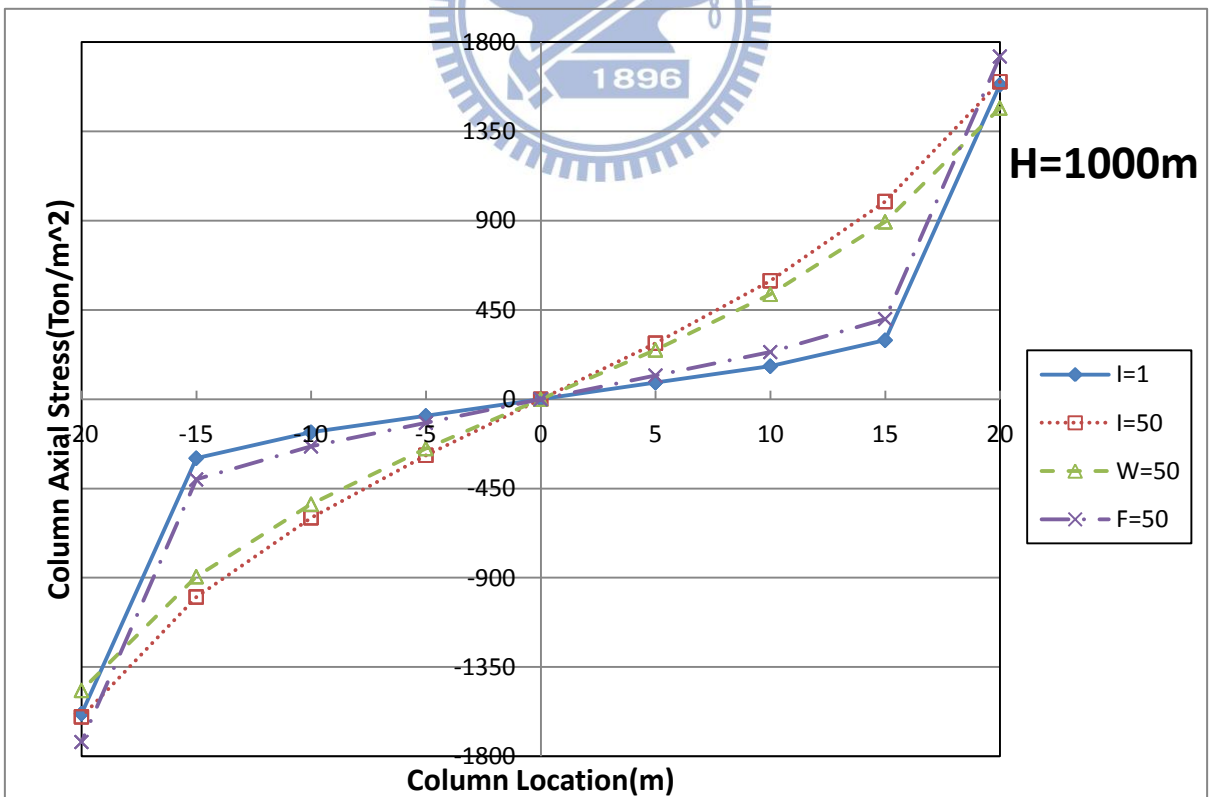


圖 4-36 1000m 高度內縮型式框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

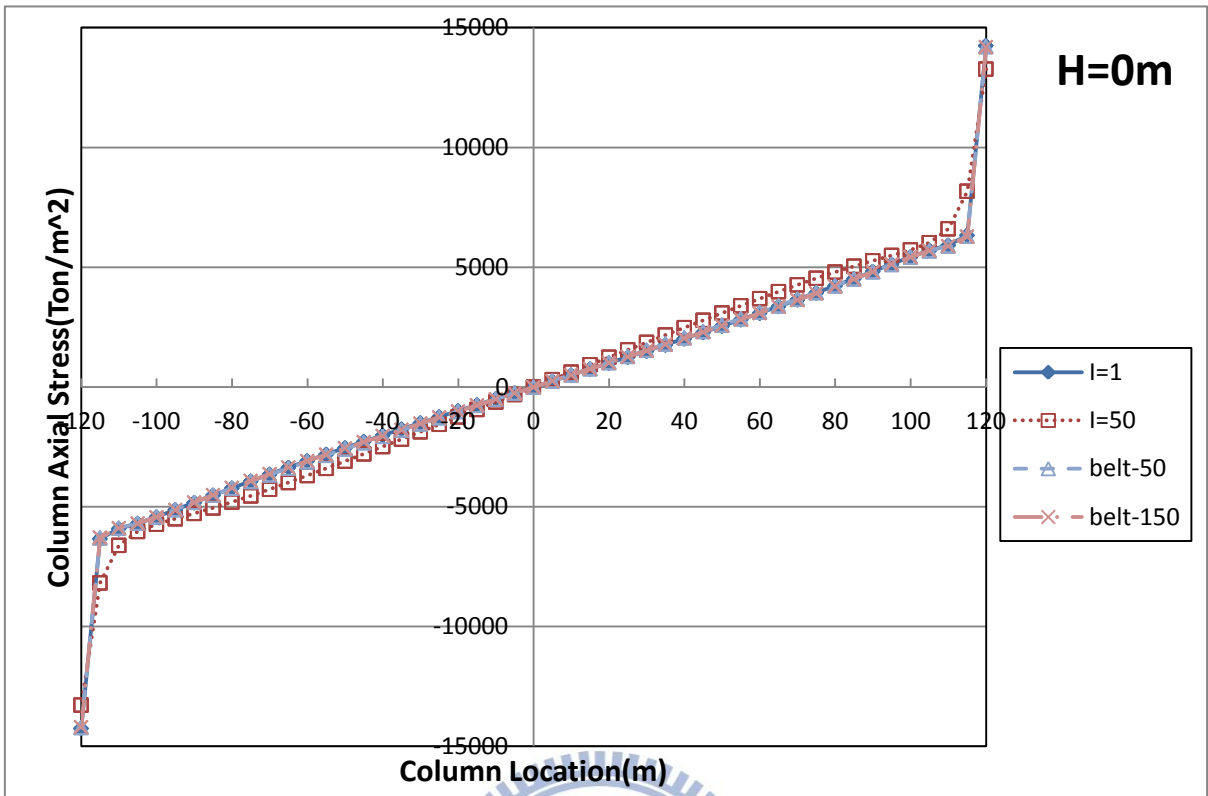


圖 4-37 0m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

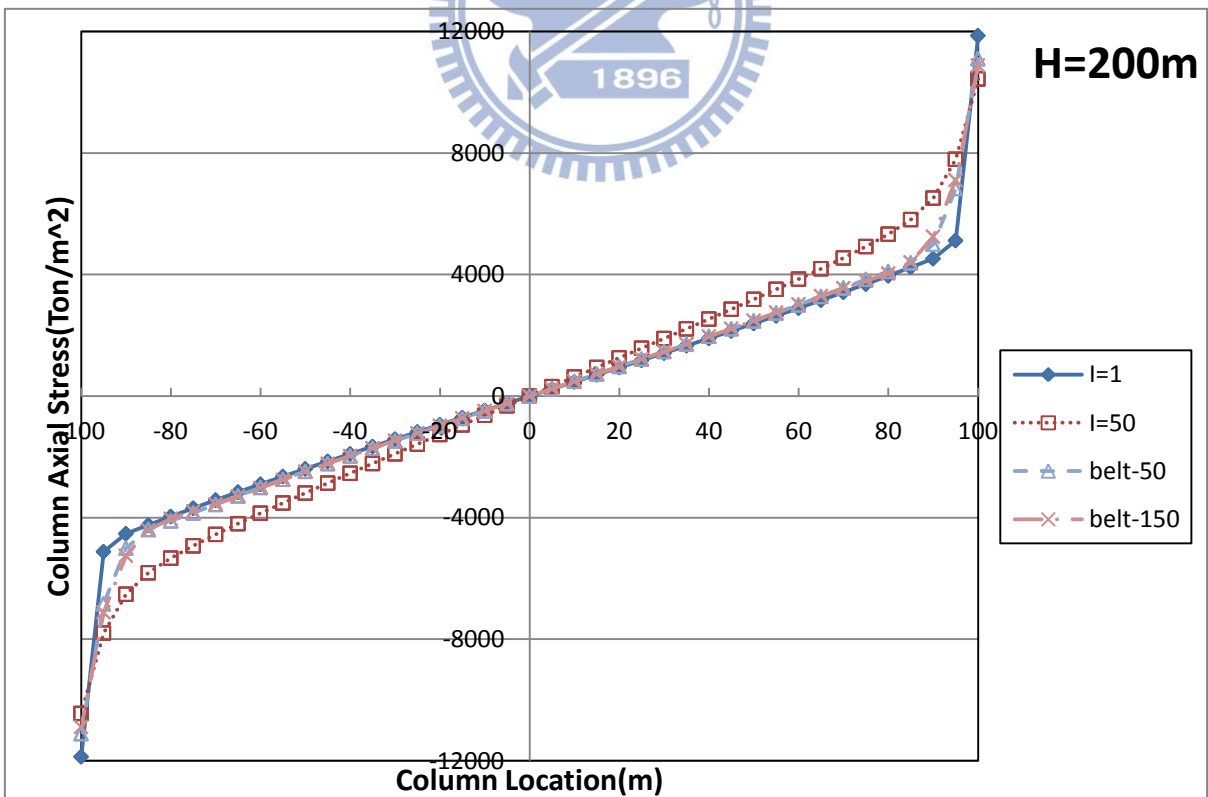


圖 4-38 200m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

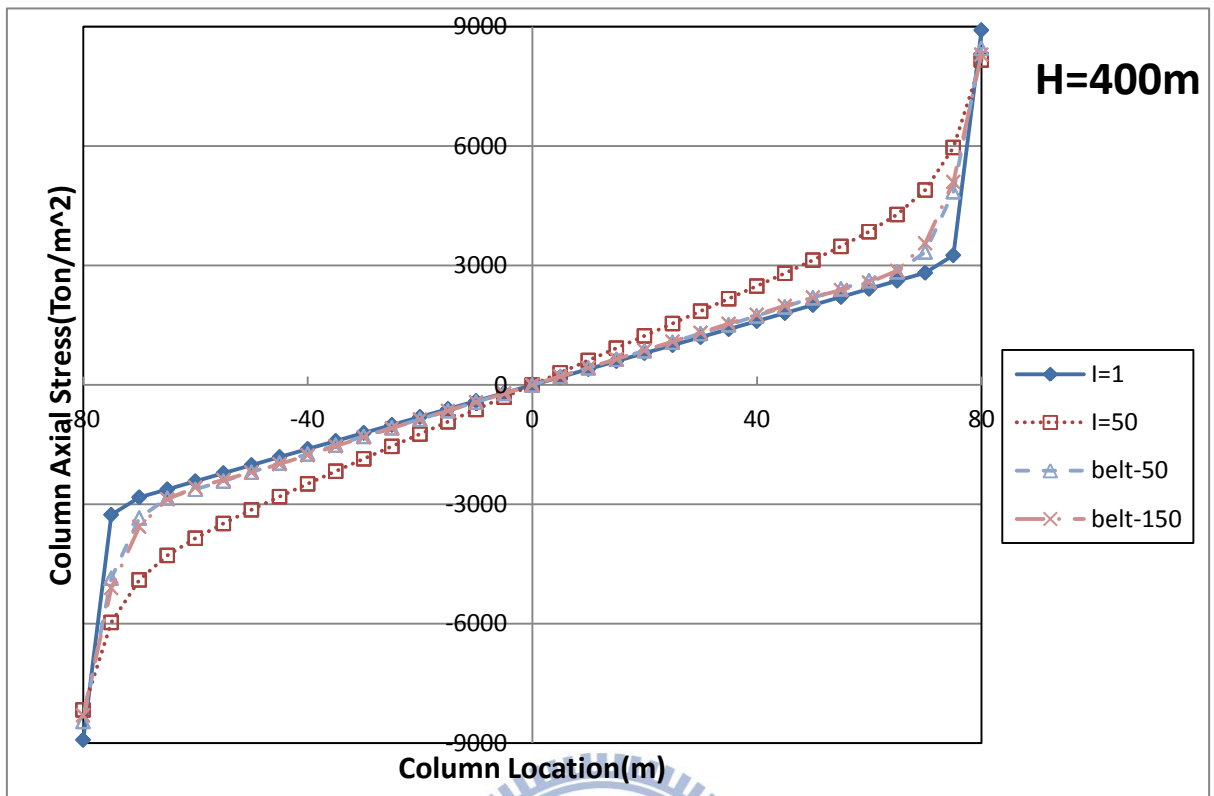


圖 4-39 400m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

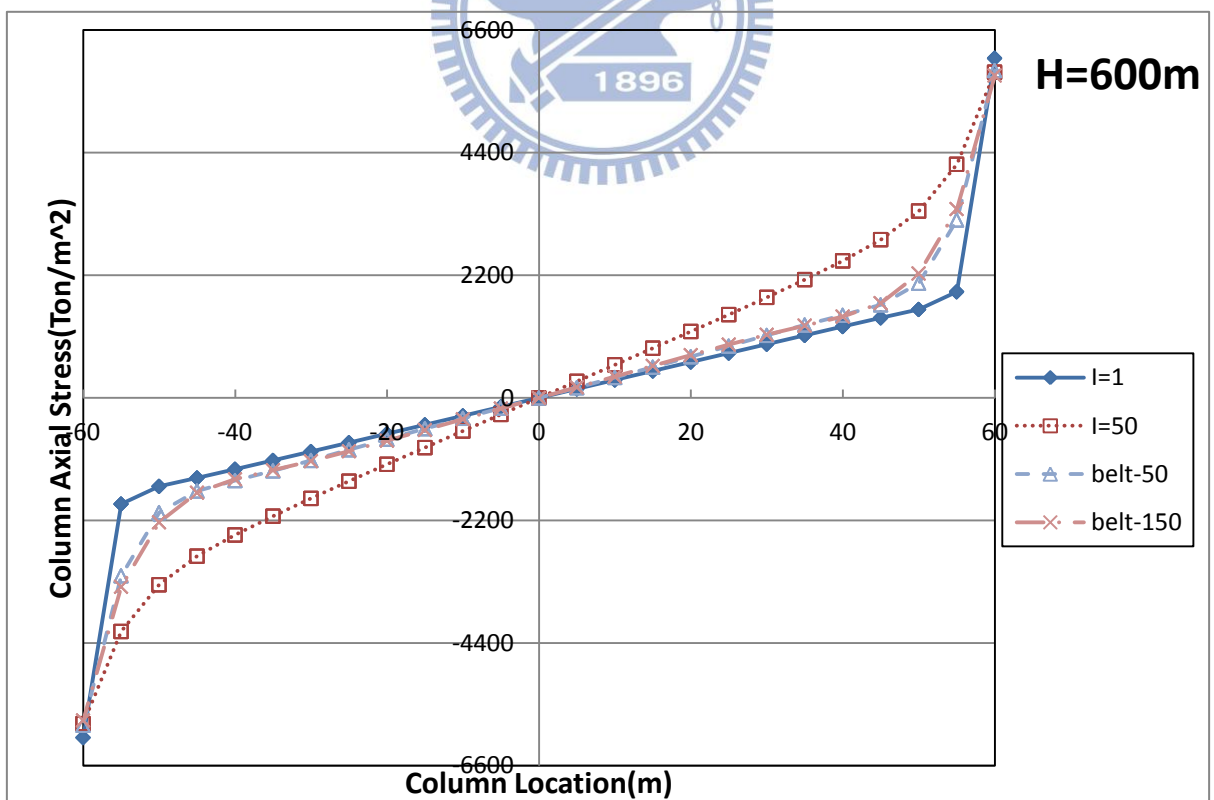


圖 4-40 600m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

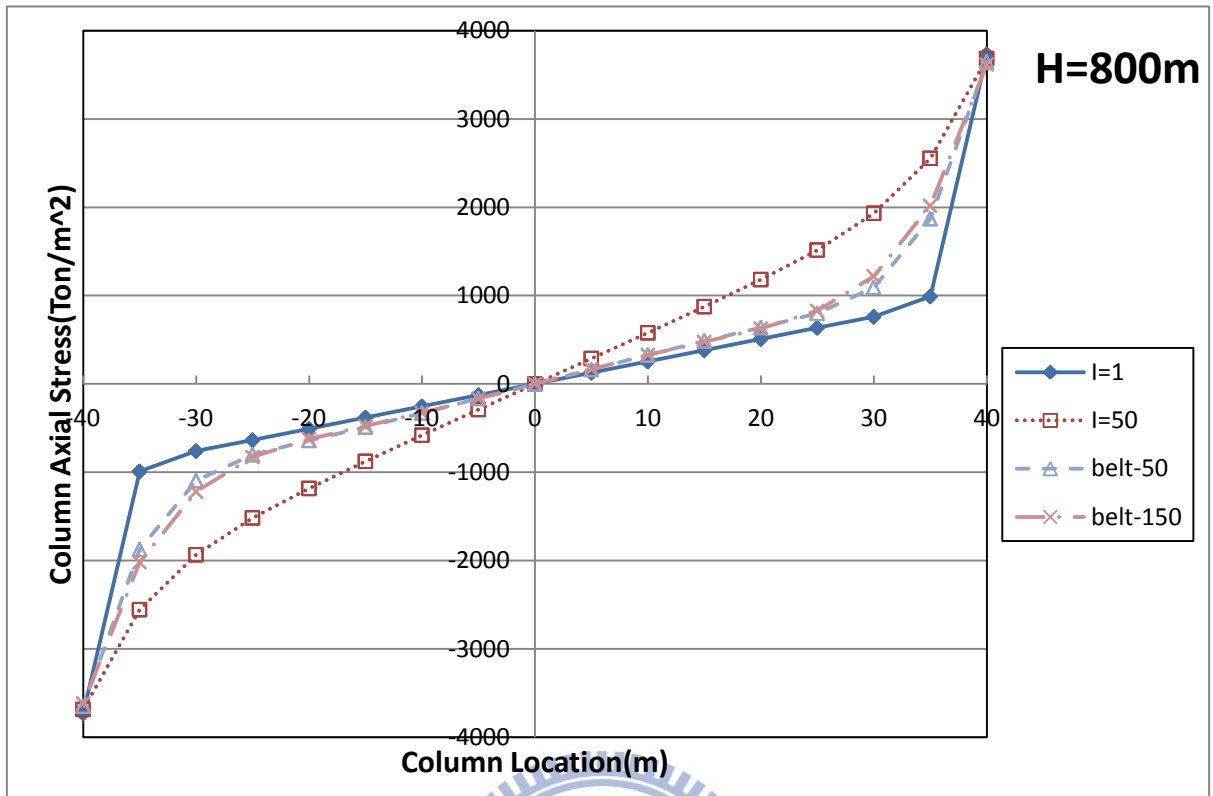


圖 4-41 800m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

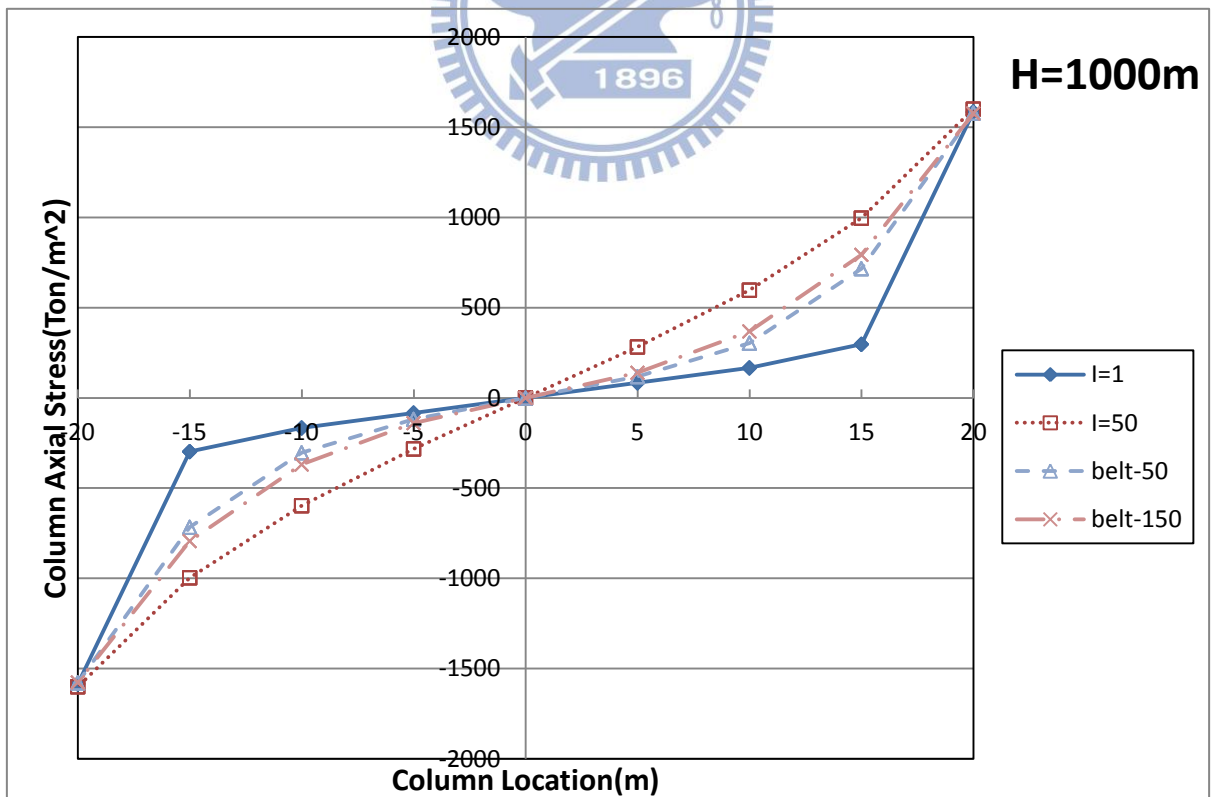


圖 4-42 1000m 高度內縮型式框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

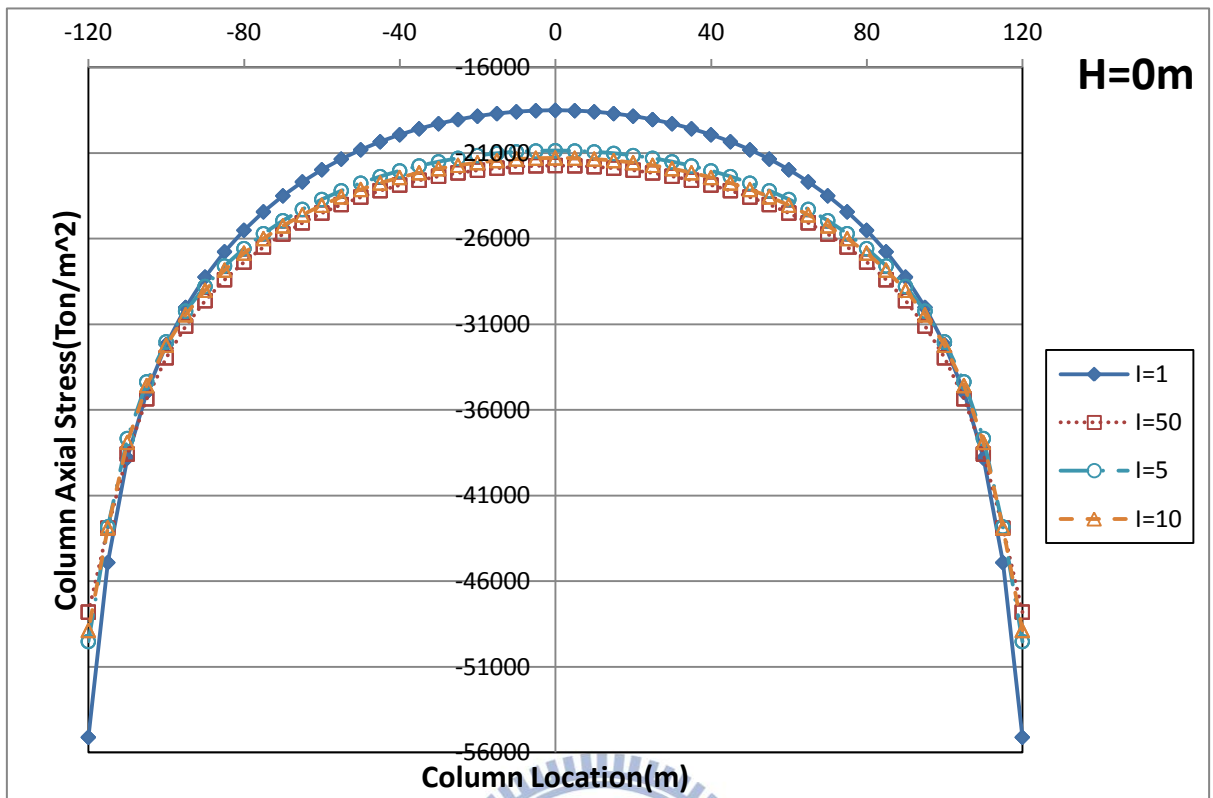


圖 4-43 0m 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖

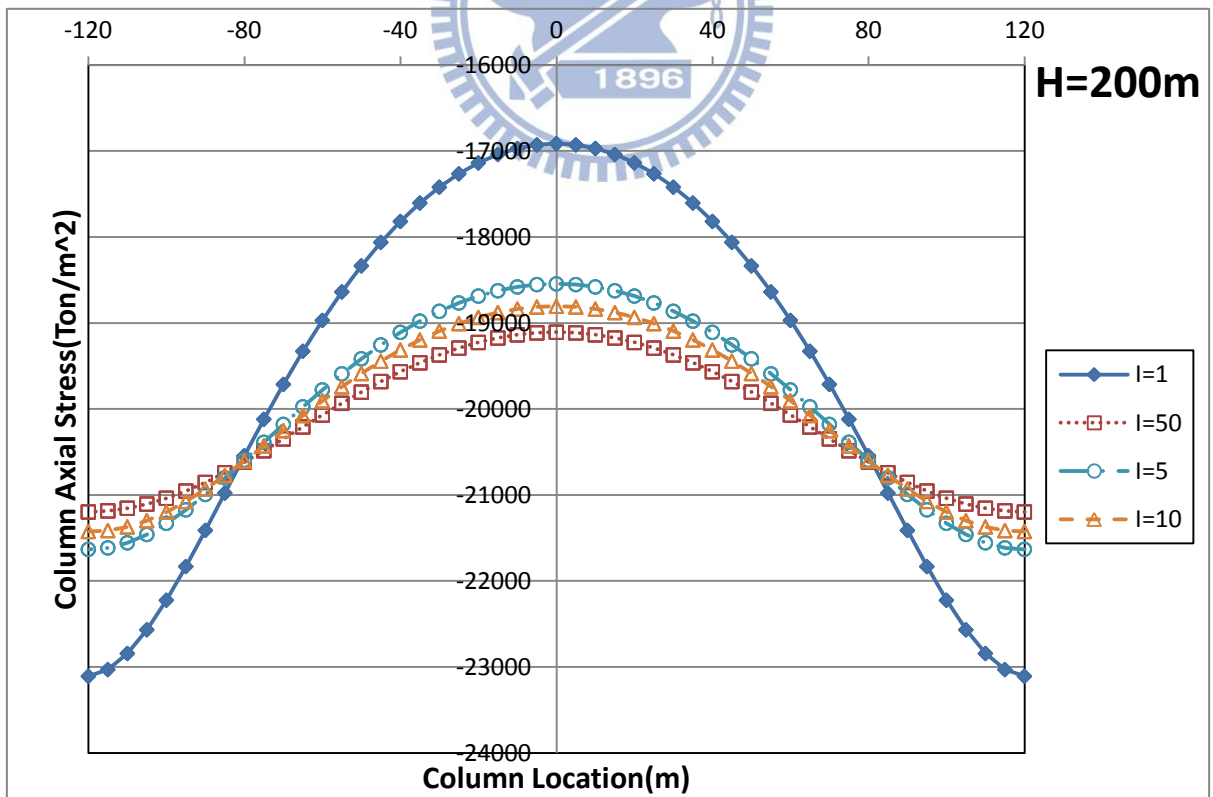


圖 4-44 200m 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖

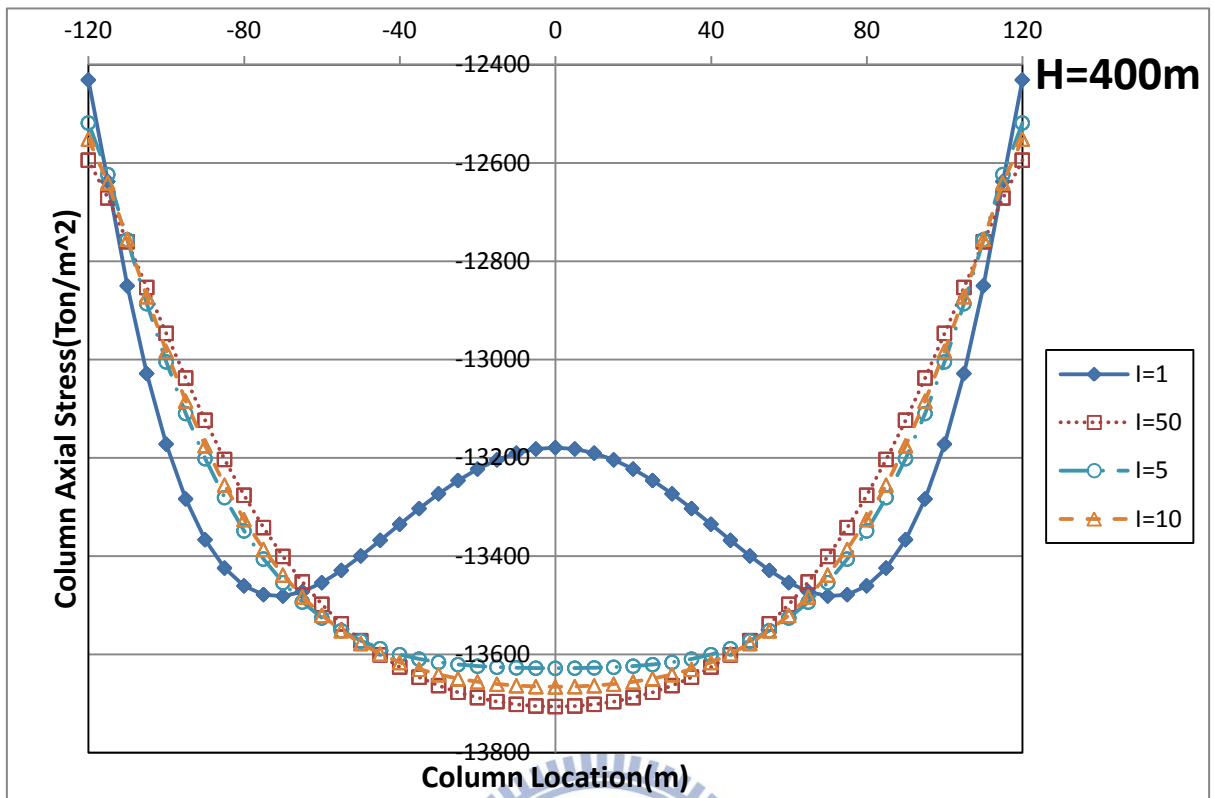


圖 4-45 400m 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖

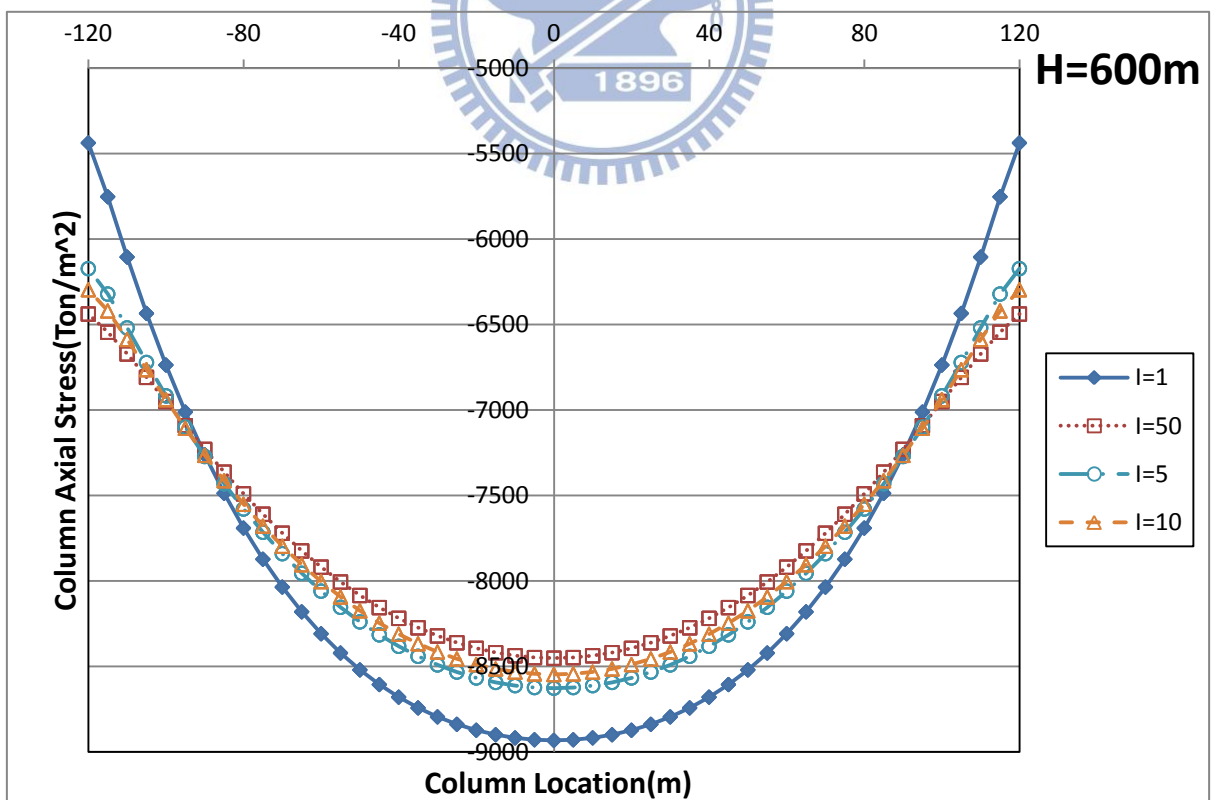


圖 4-46 600m 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖

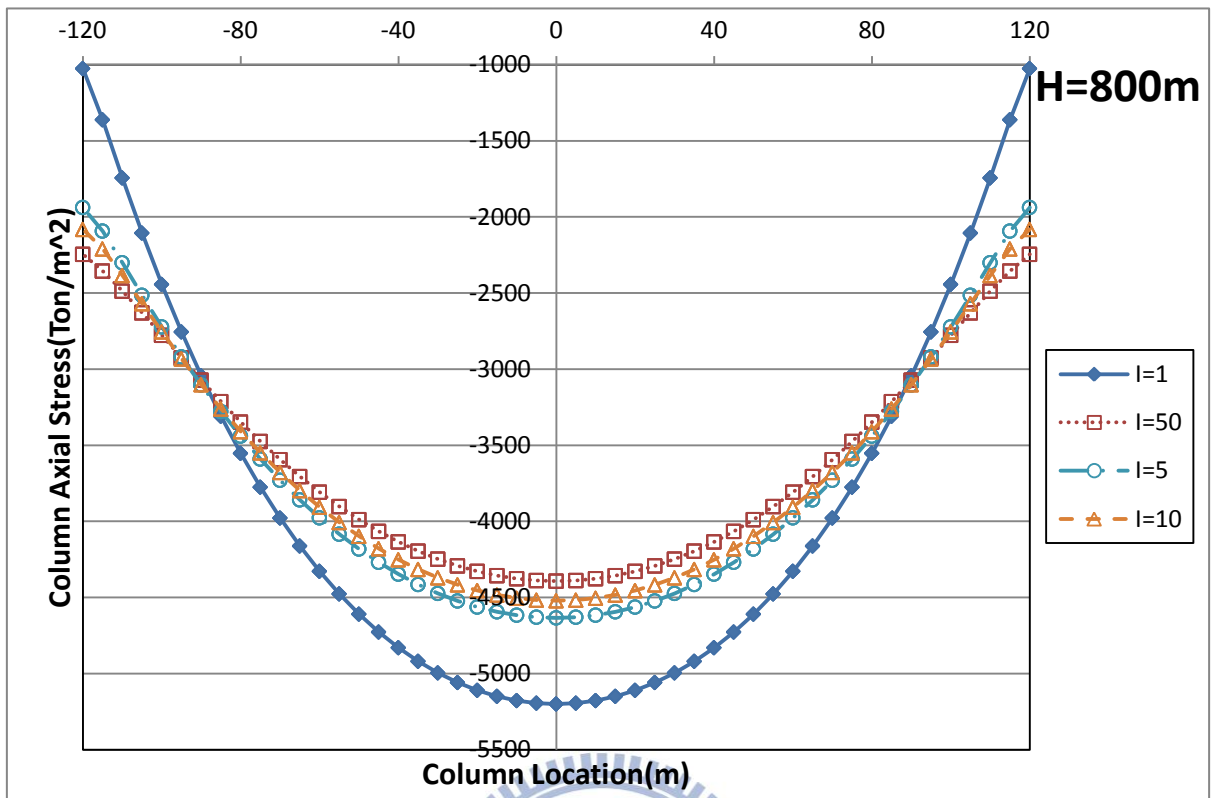


圖 4-47 800m 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖

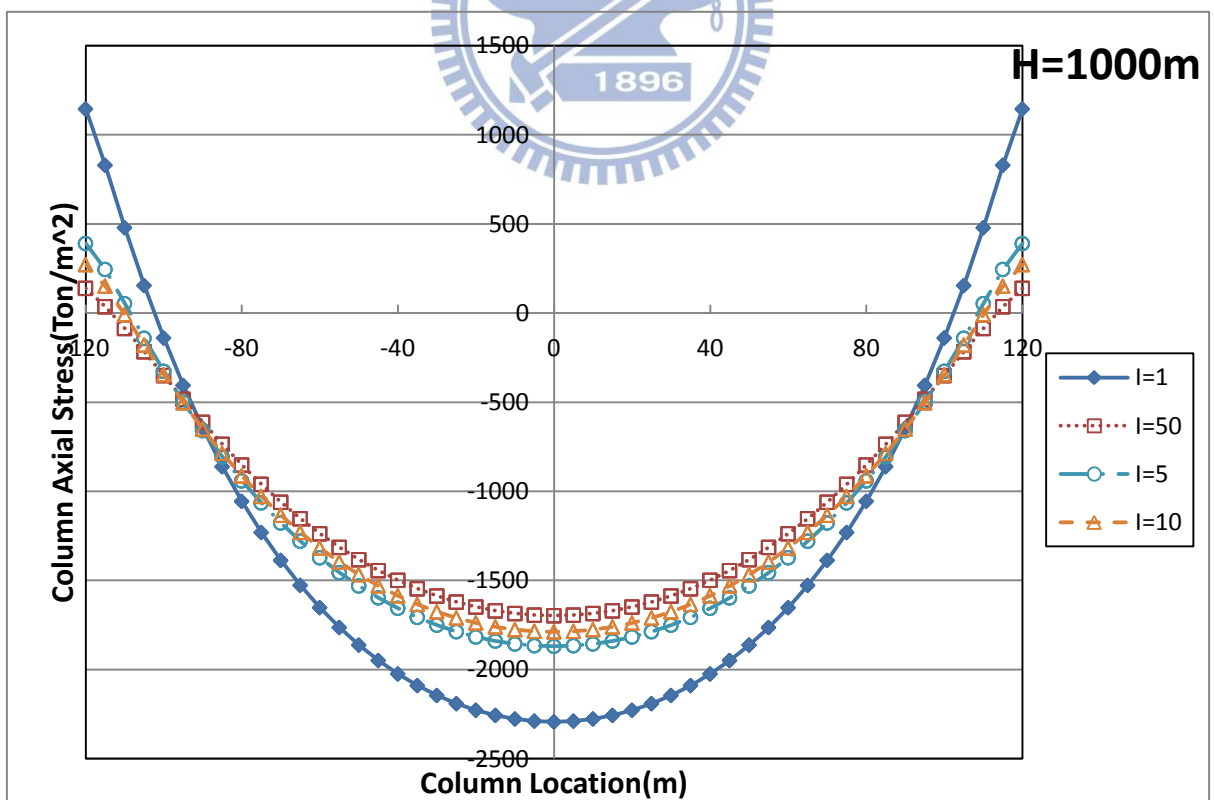


圖 4-48 1000m 高度傳統框筒結構翼板軸力分佈圖

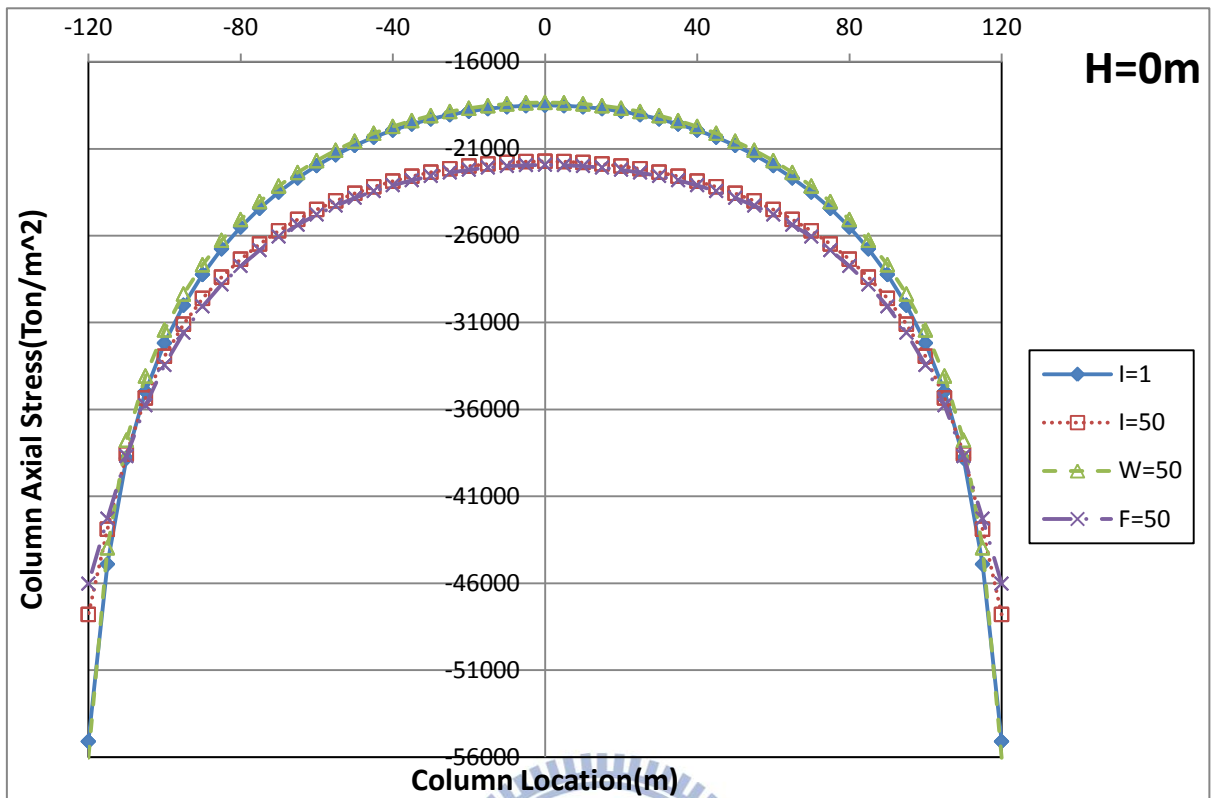


圖 4-49 0m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

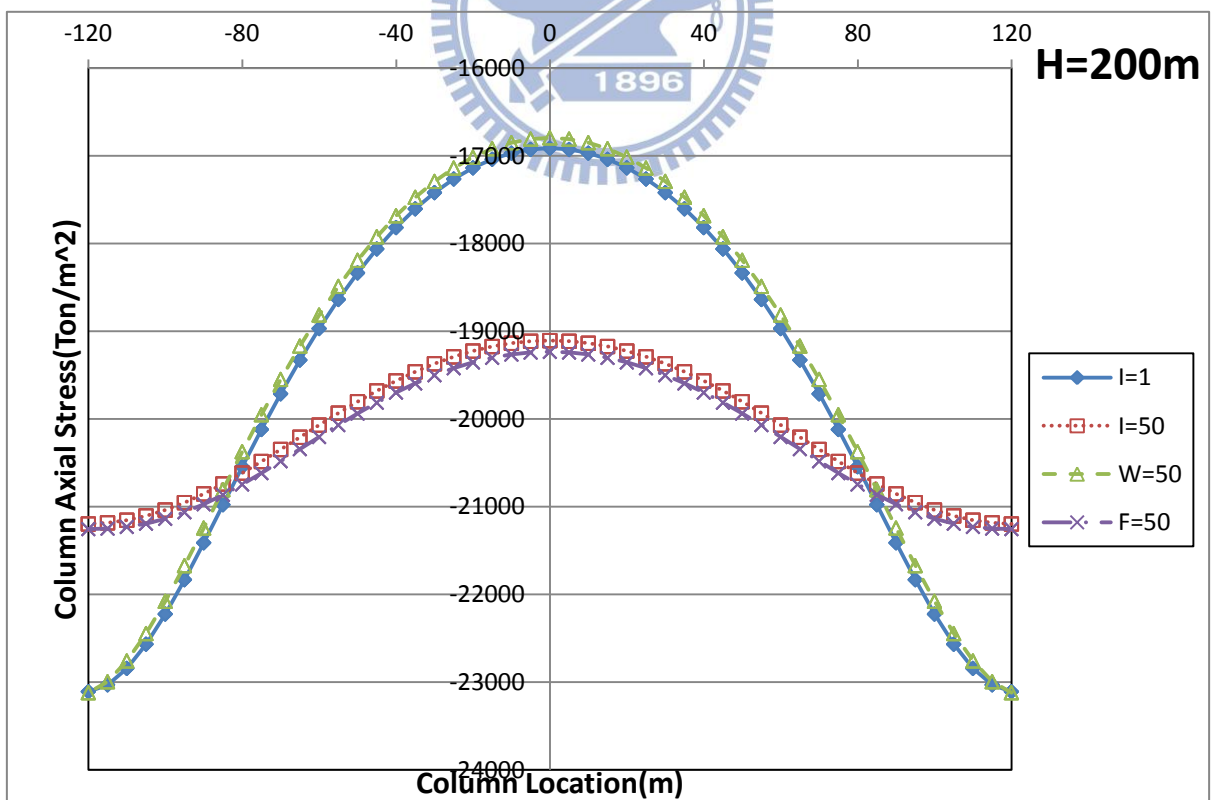


圖 4-50 200m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

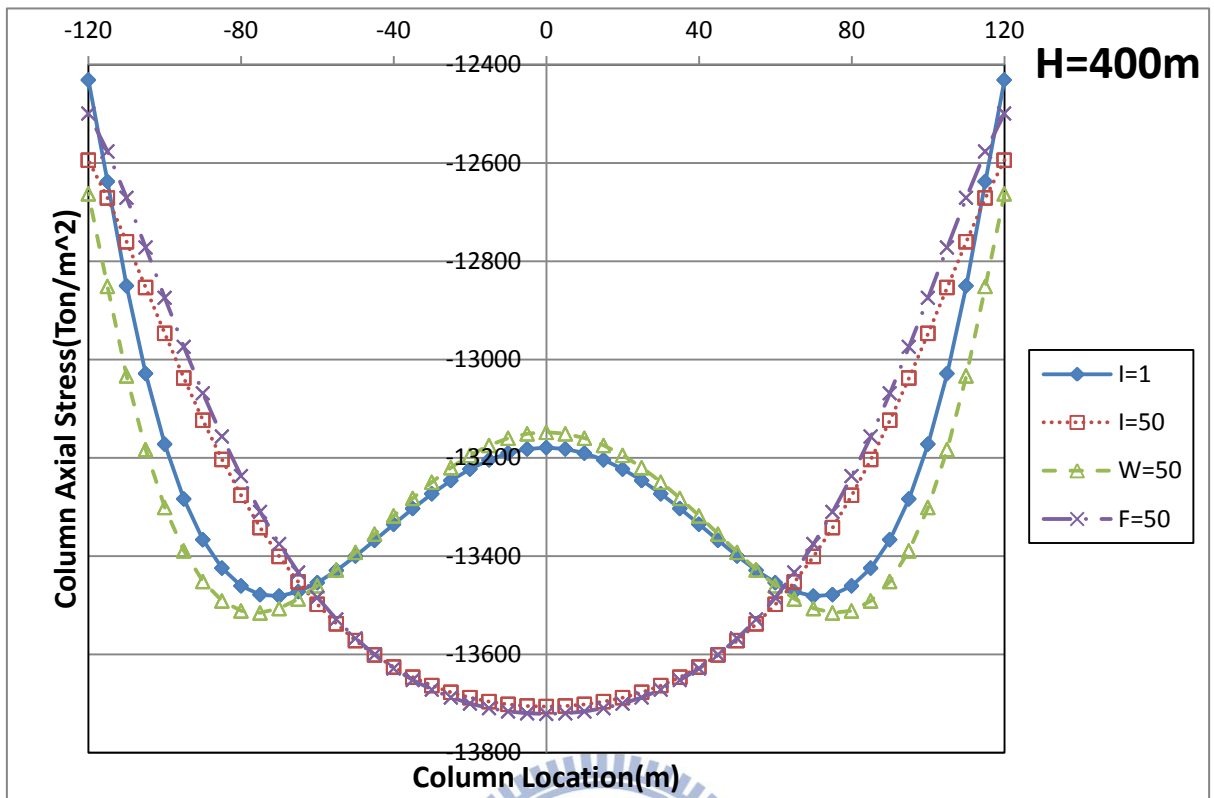


圖 4-51 400m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

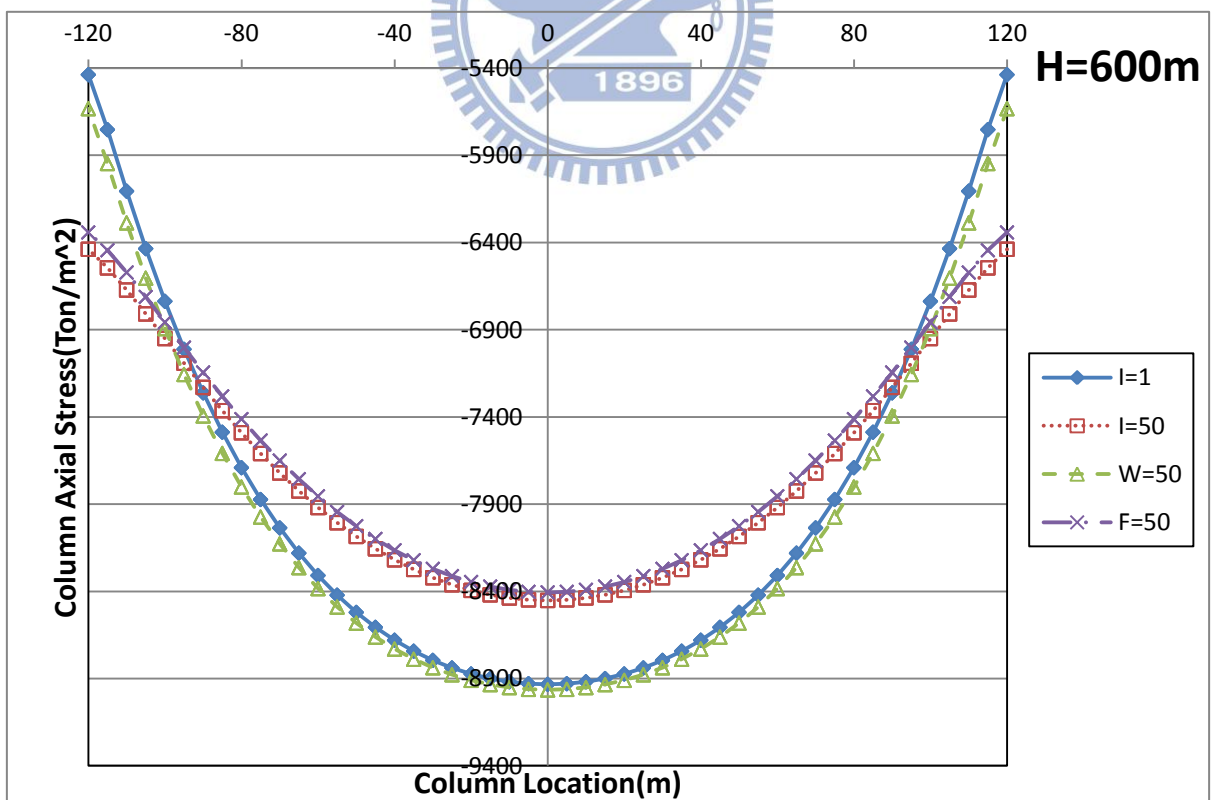


圖 4-52 600m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

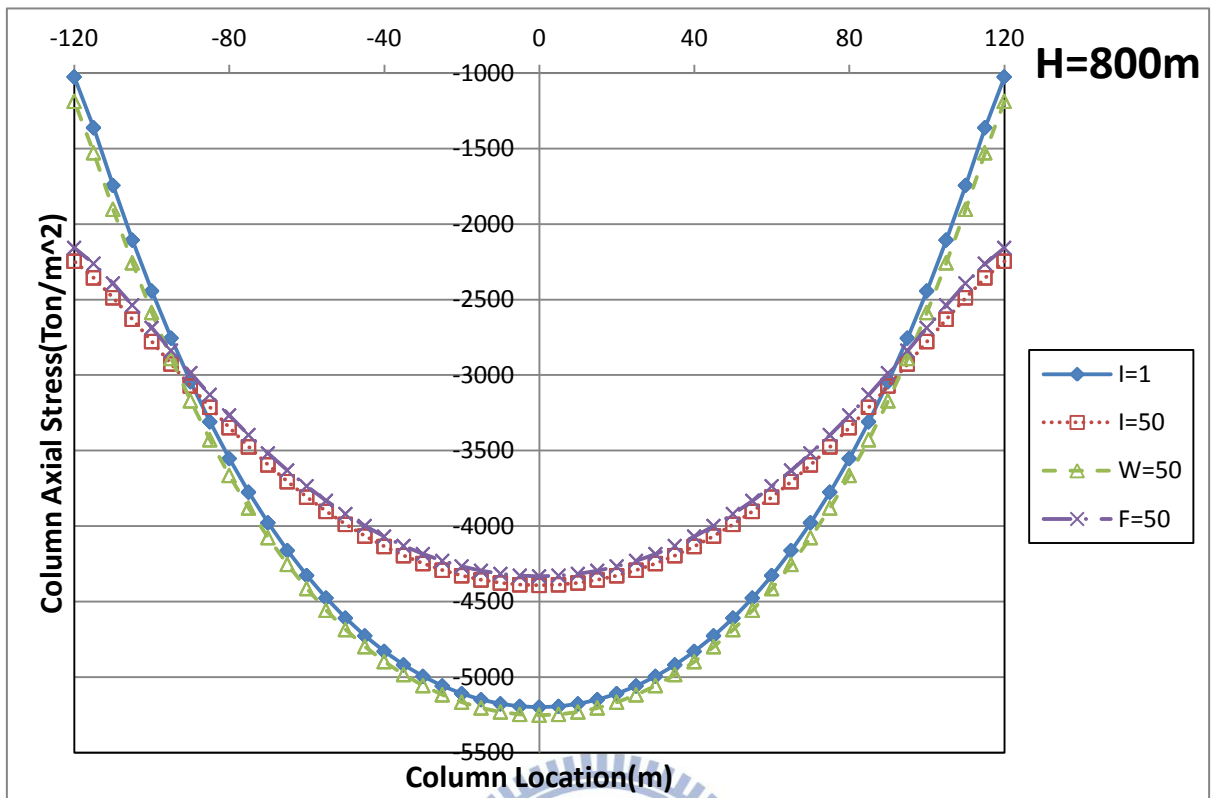


圖 4-53 800m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

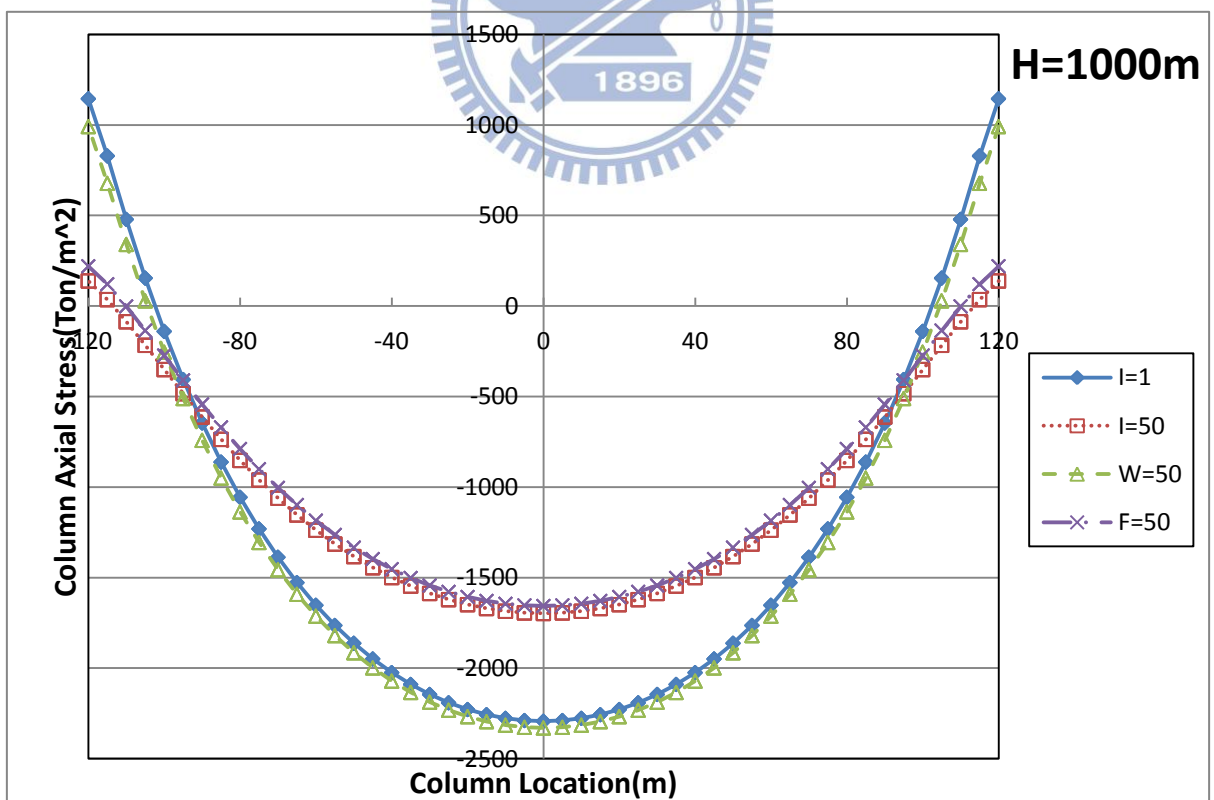


圖 4-54 1000m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之翼板軸力分佈圖

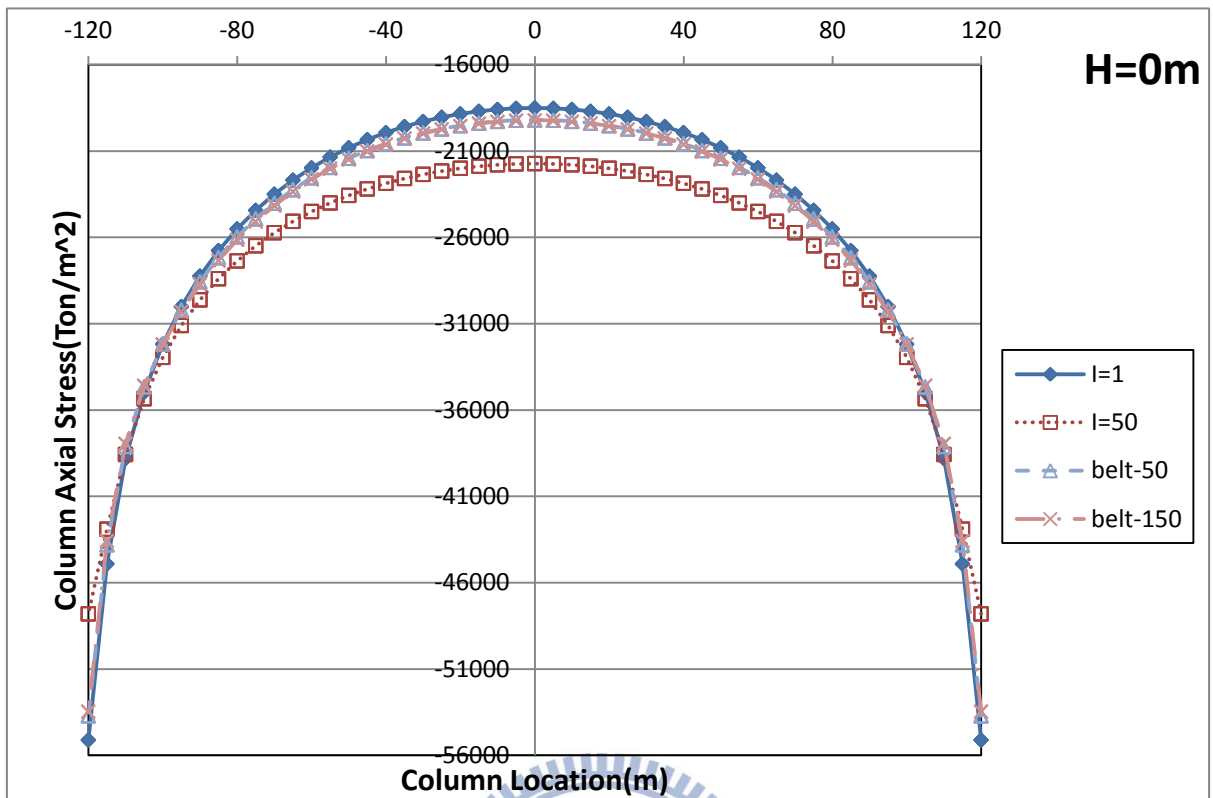


圖 4-55 0m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

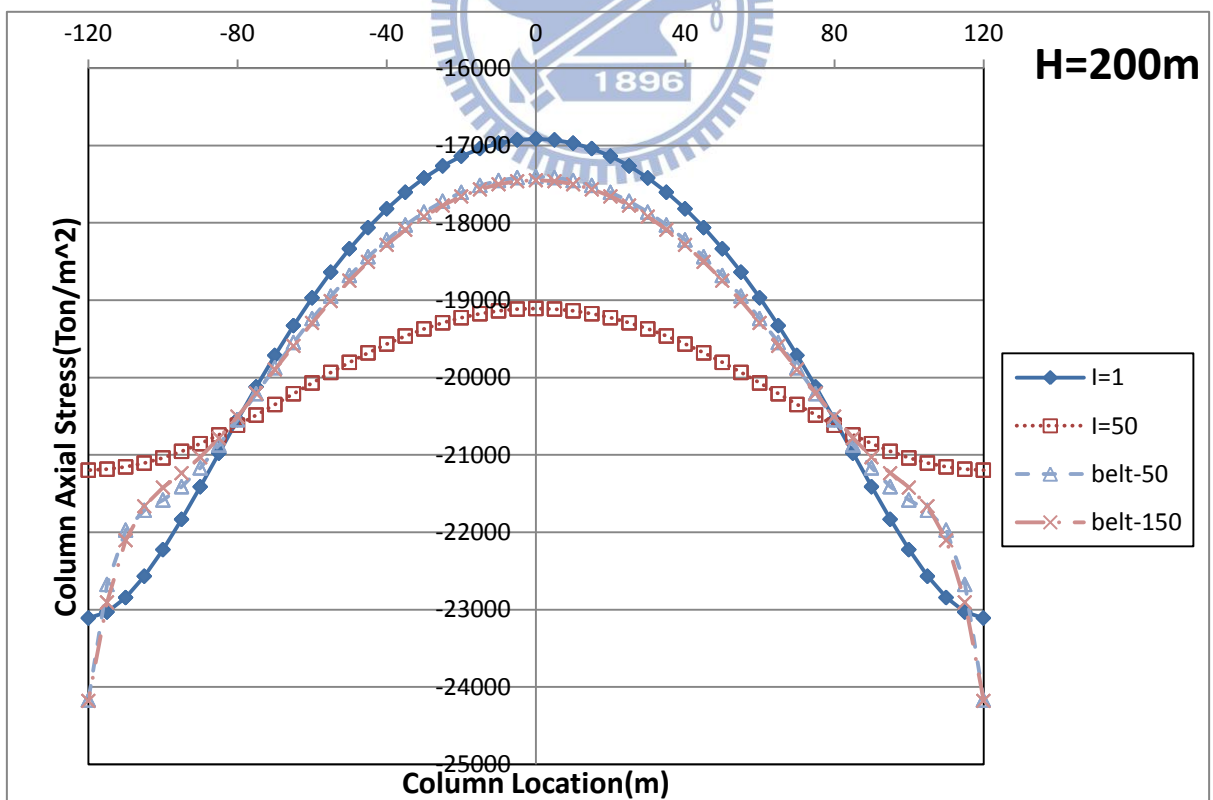


圖 4-56 200m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

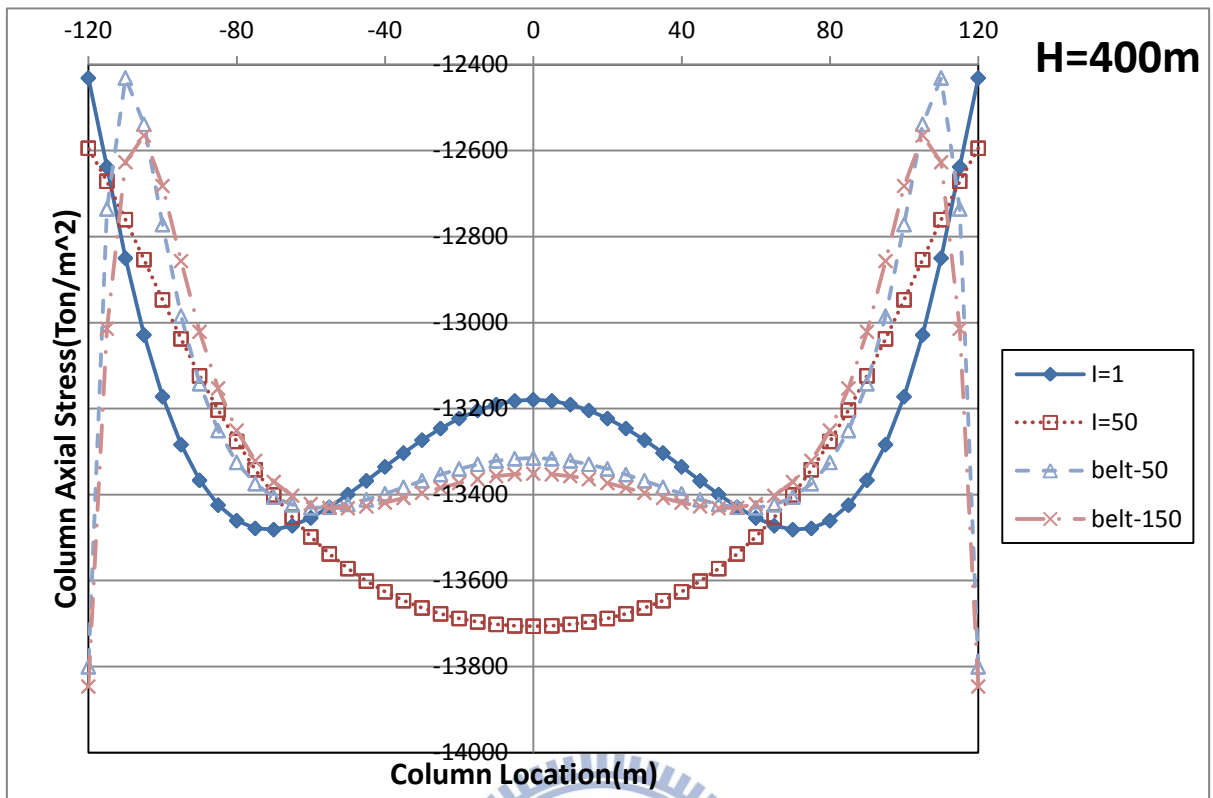


圖 4-57 400m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

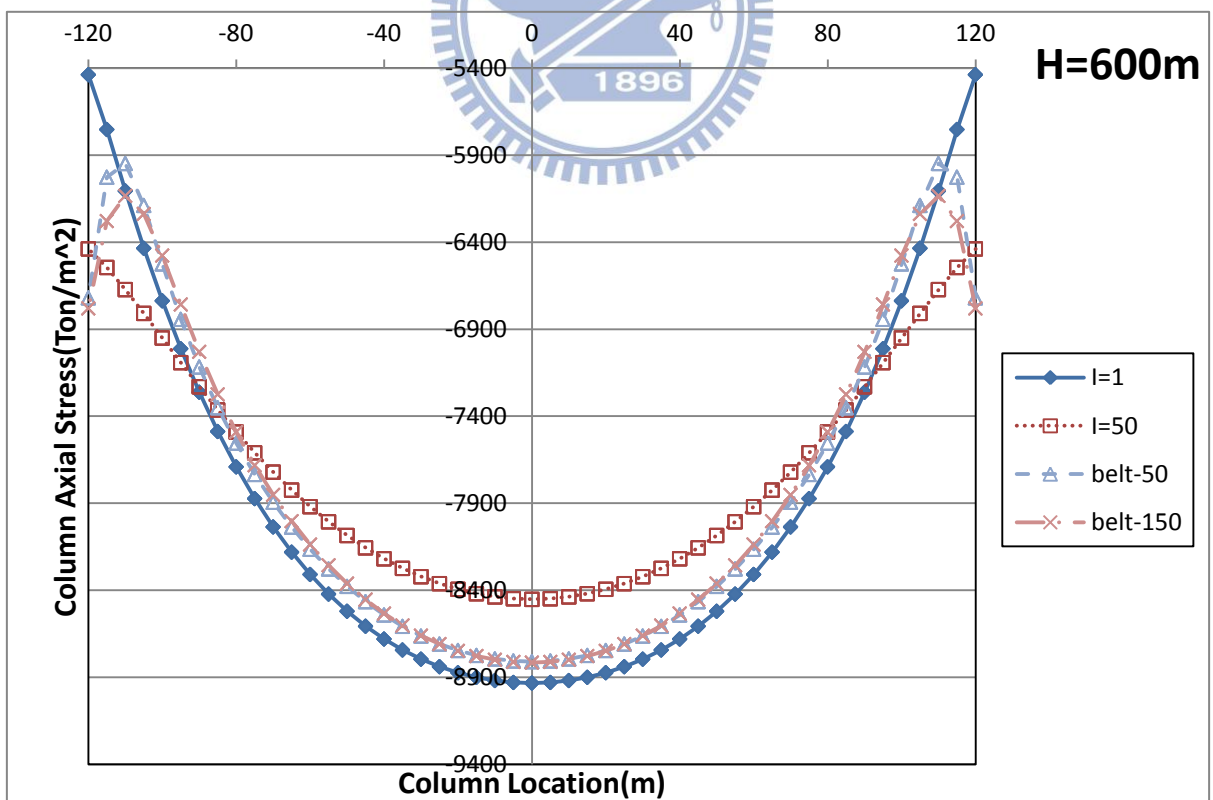


圖 4-58 600m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

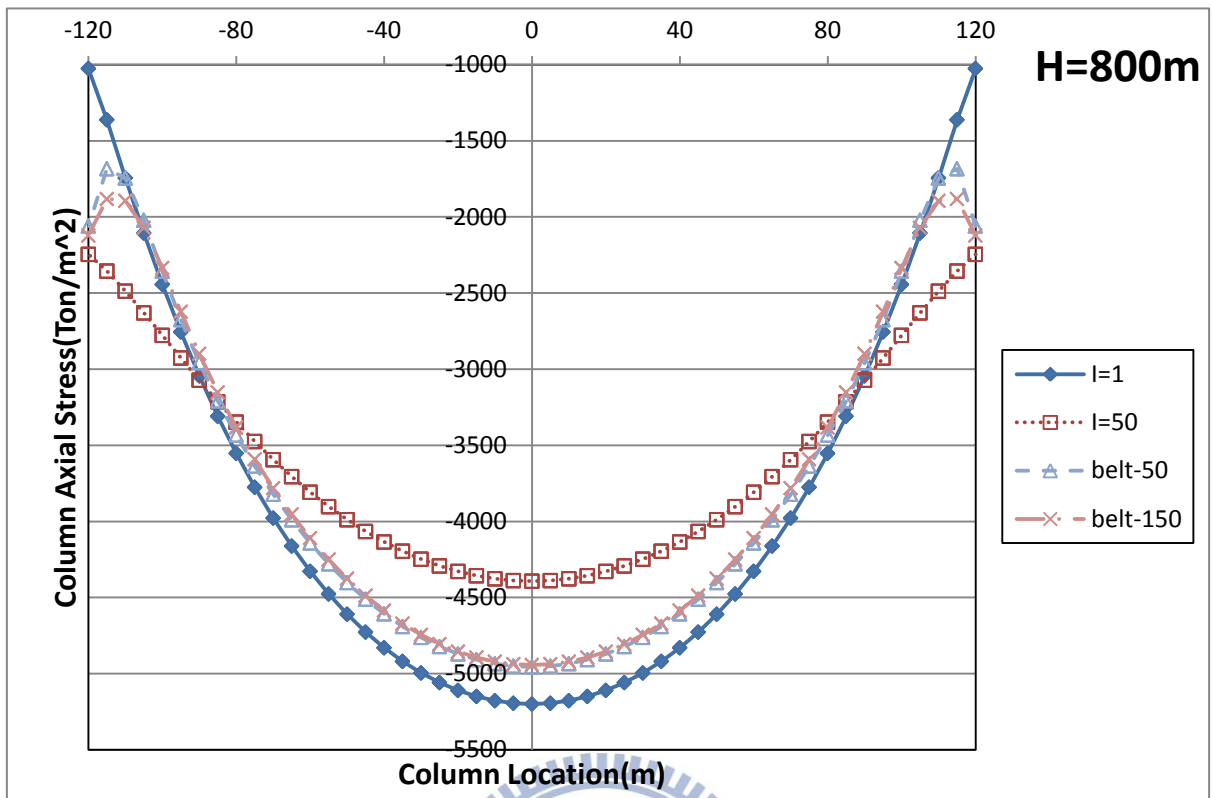


圖 4-59 800m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

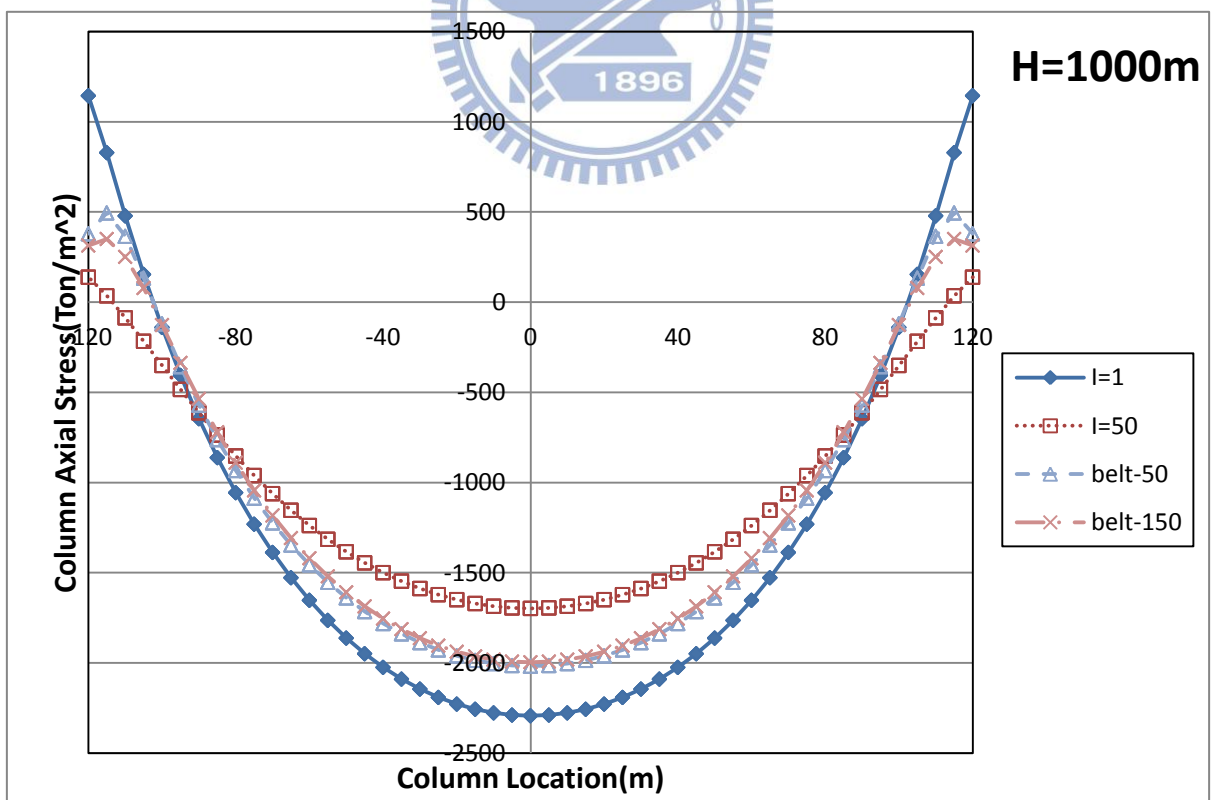


圖 4-60 1000m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之翼板軸力分佈圖

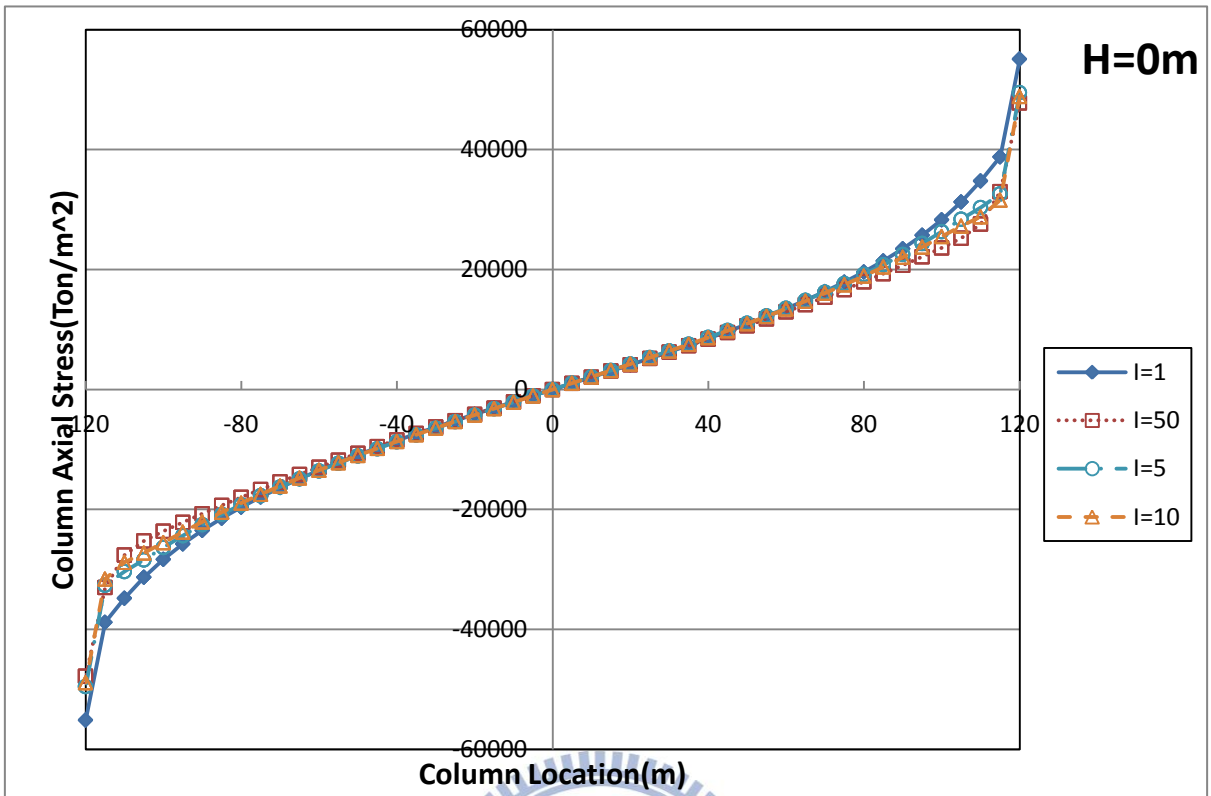


圖 4-61 0m 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖

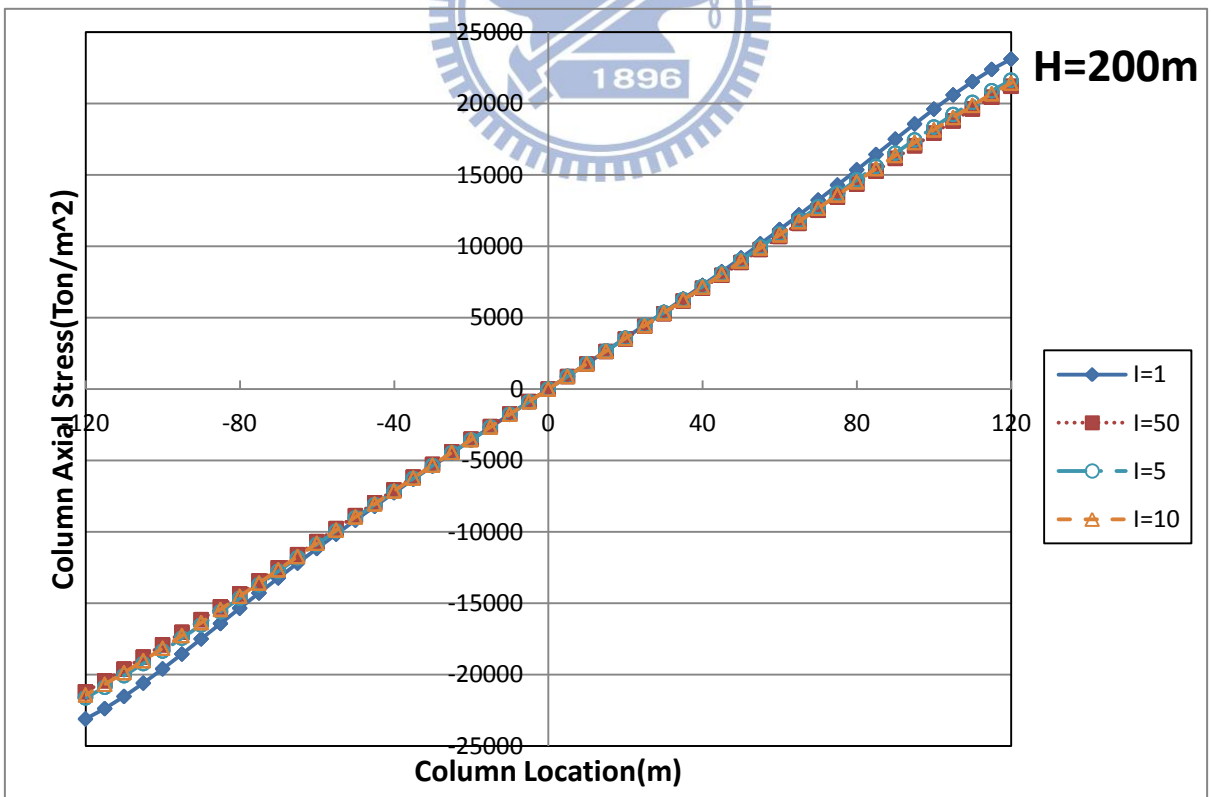


圖 4-62 200m 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖

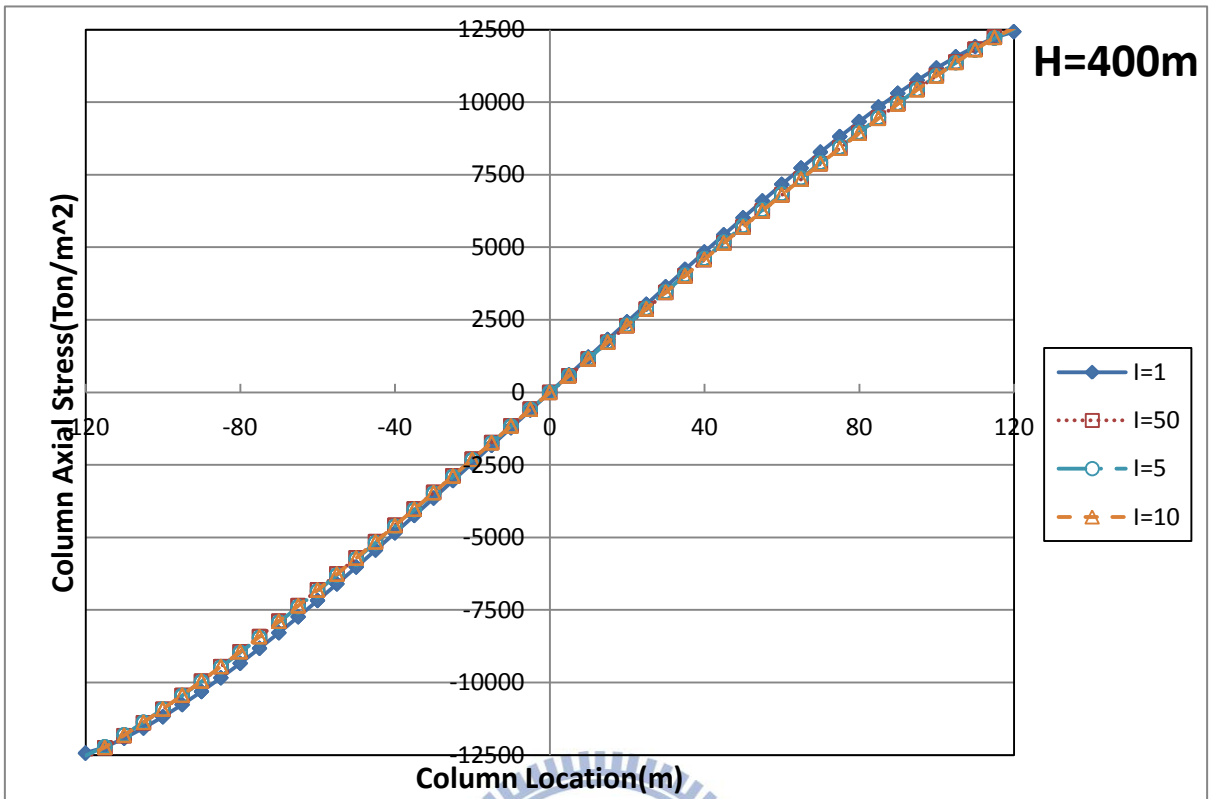


圖 4-63 400m 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖

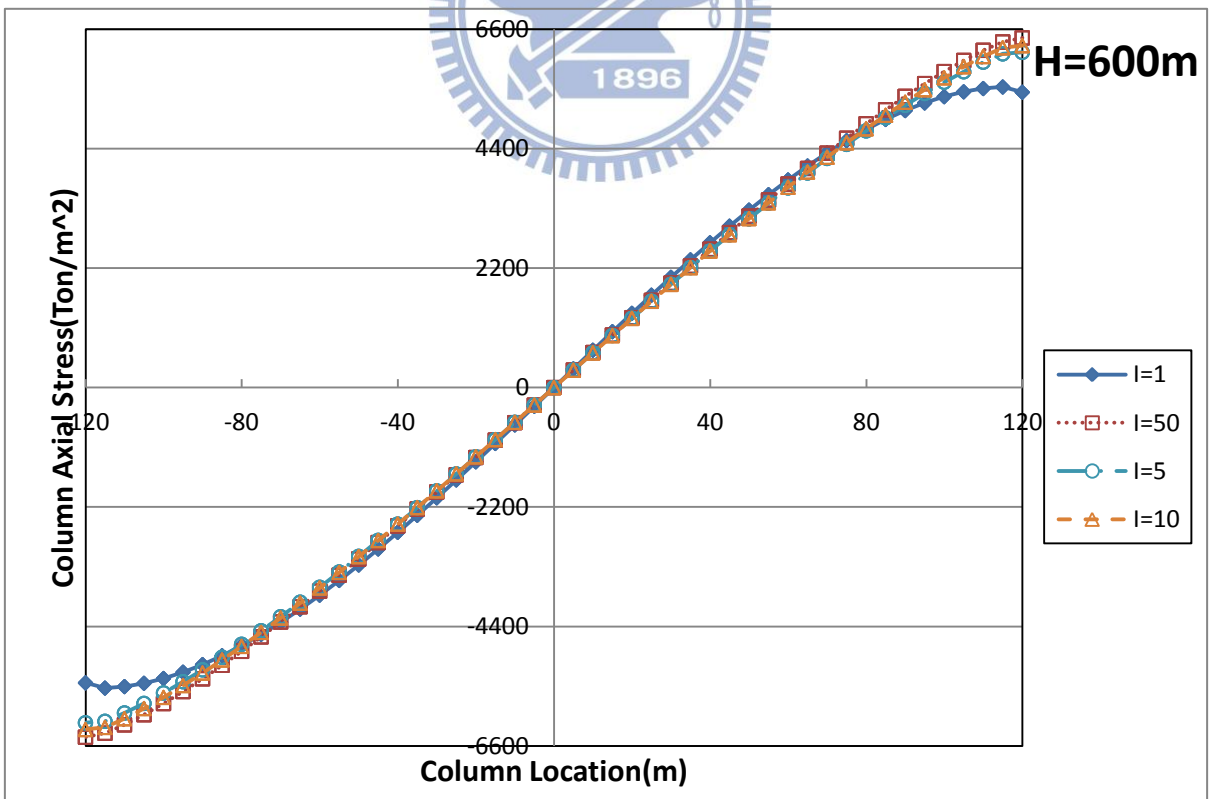


圖 4-64 600m 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖

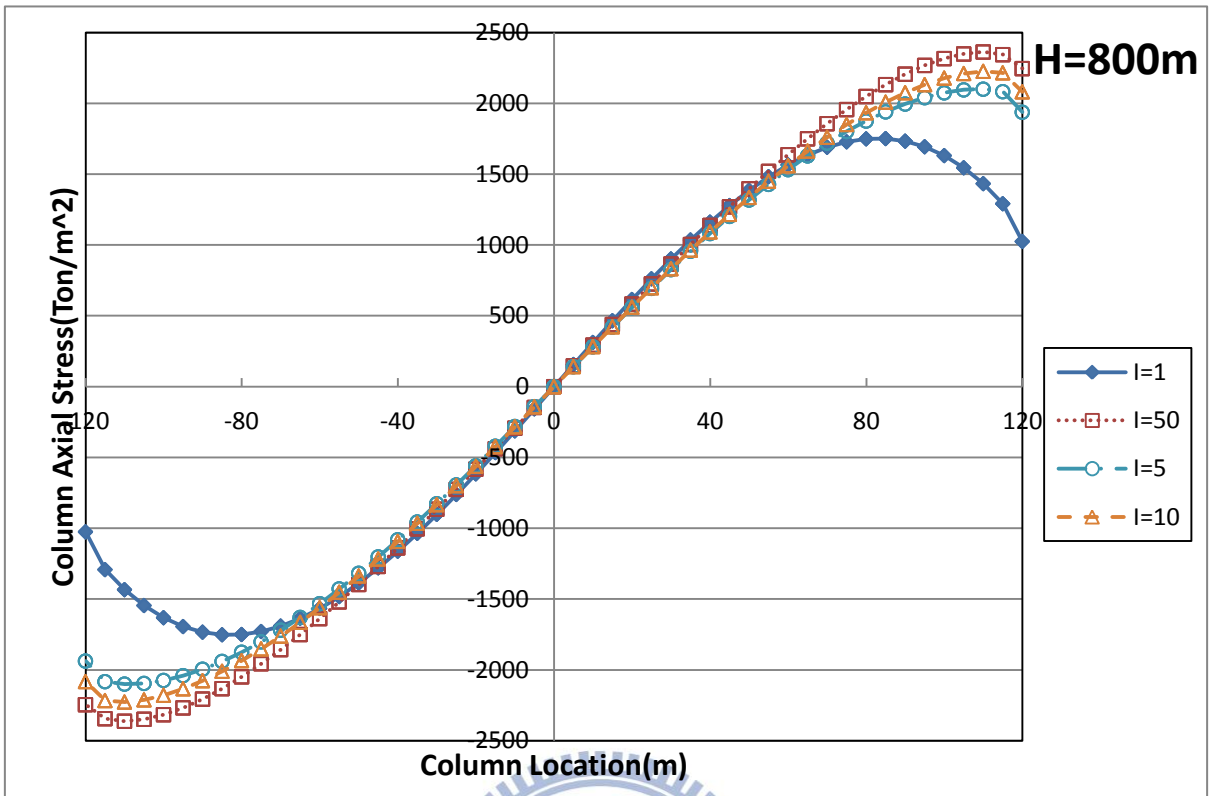


圖 4-65 800m 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖

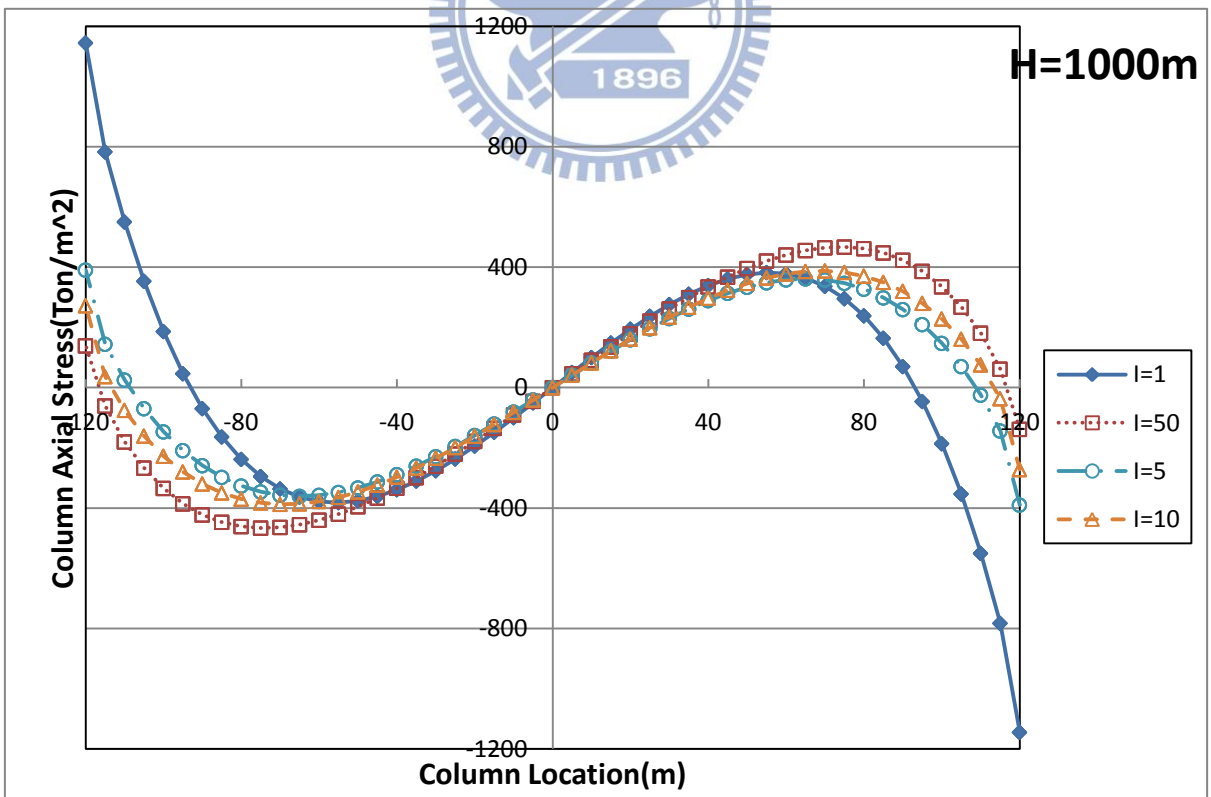


圖 4-66 1000m 高度傳統框筒結構腹板軸力分佈圖

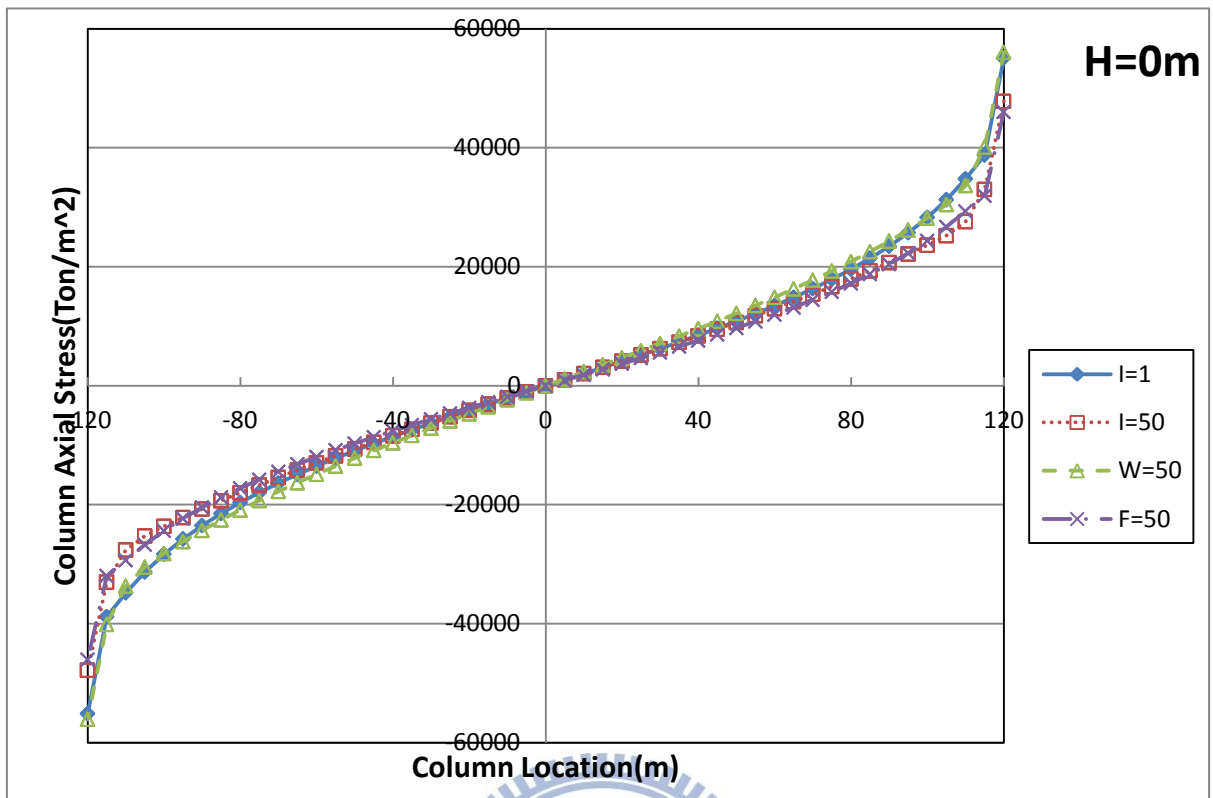


圖 4-67 0m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

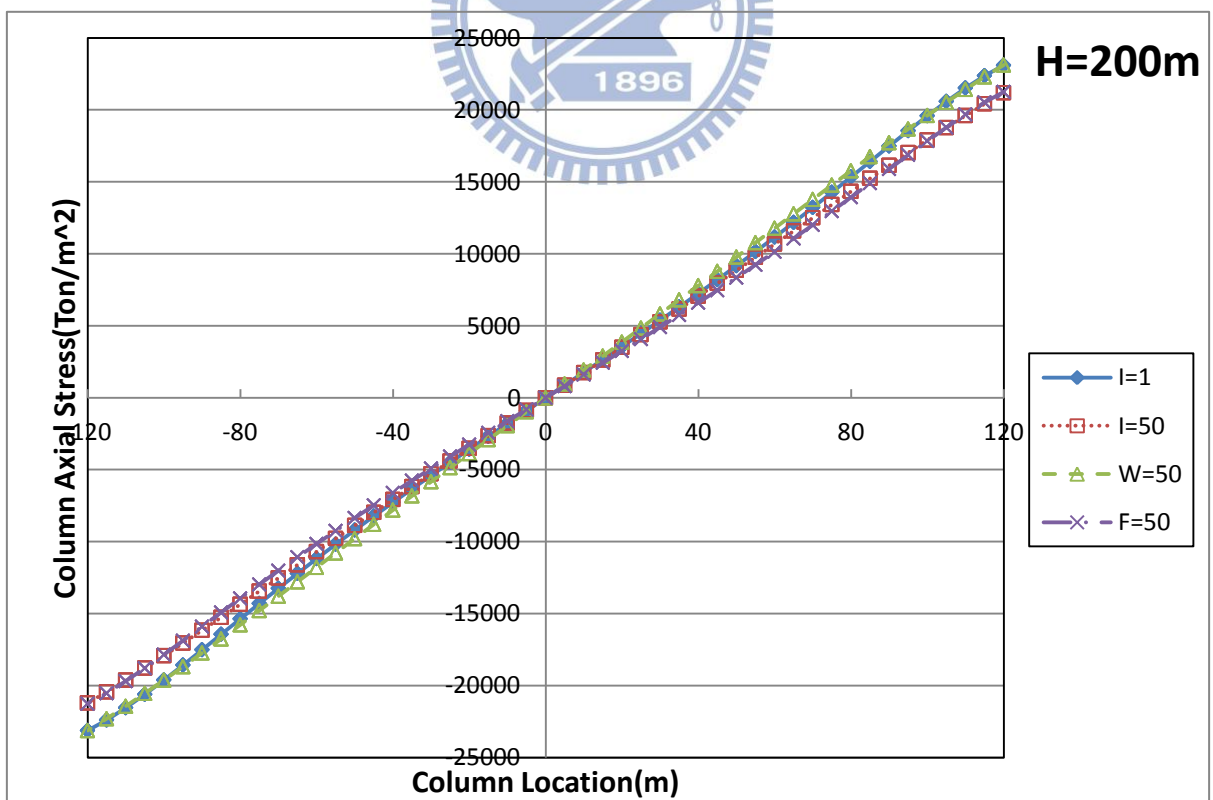


圖 4-68 200m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

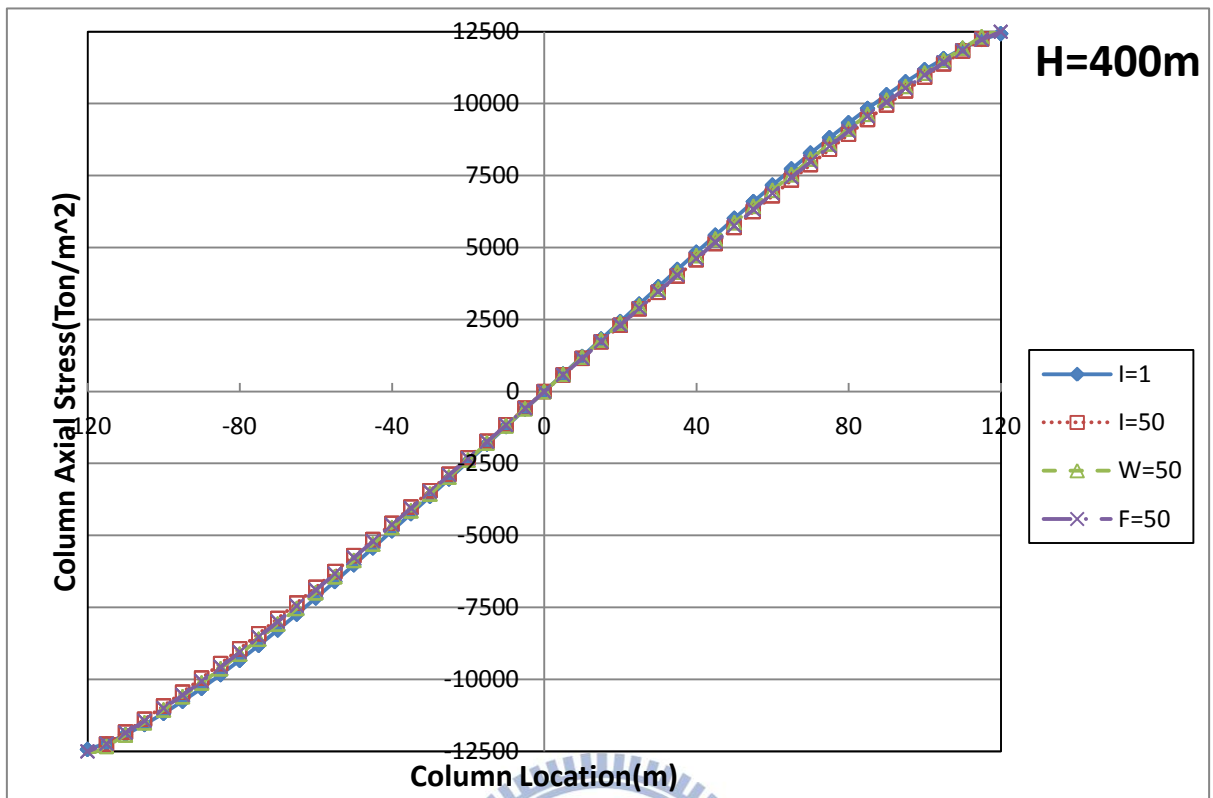


圖 4-69 400m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

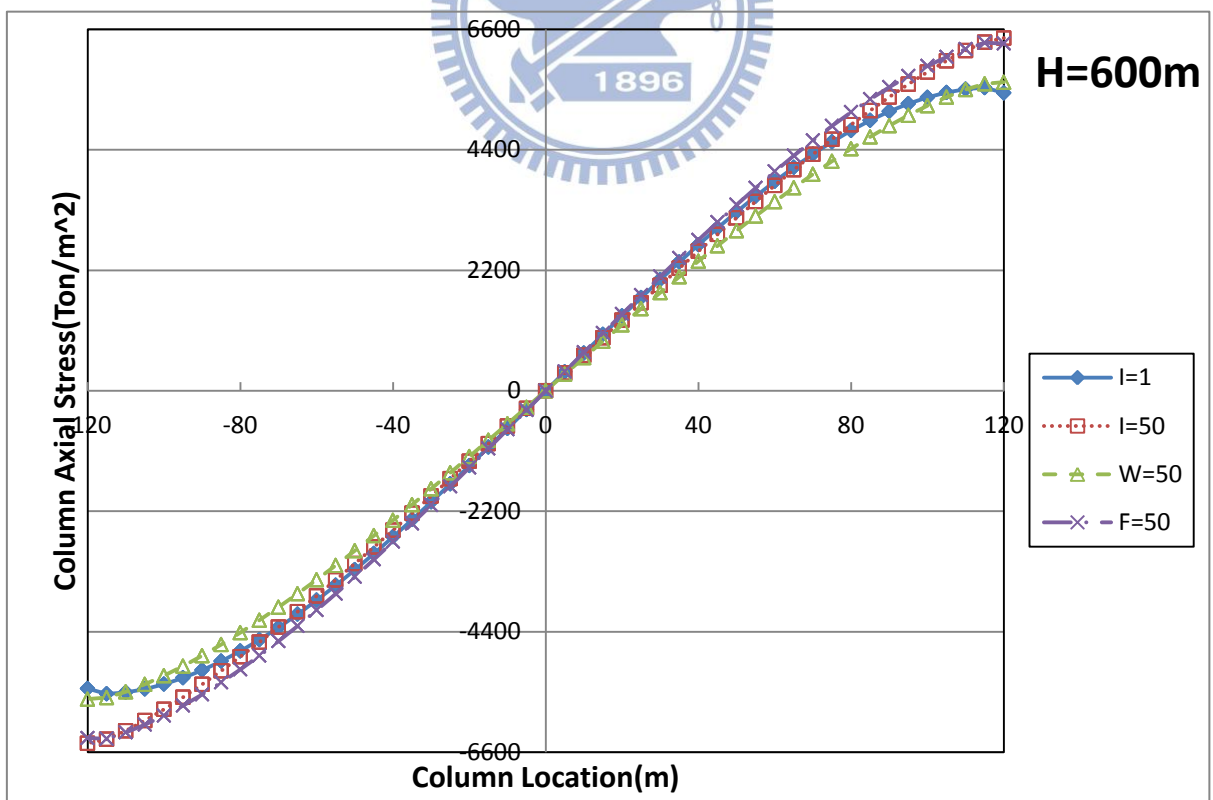


圖 4-70 600m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

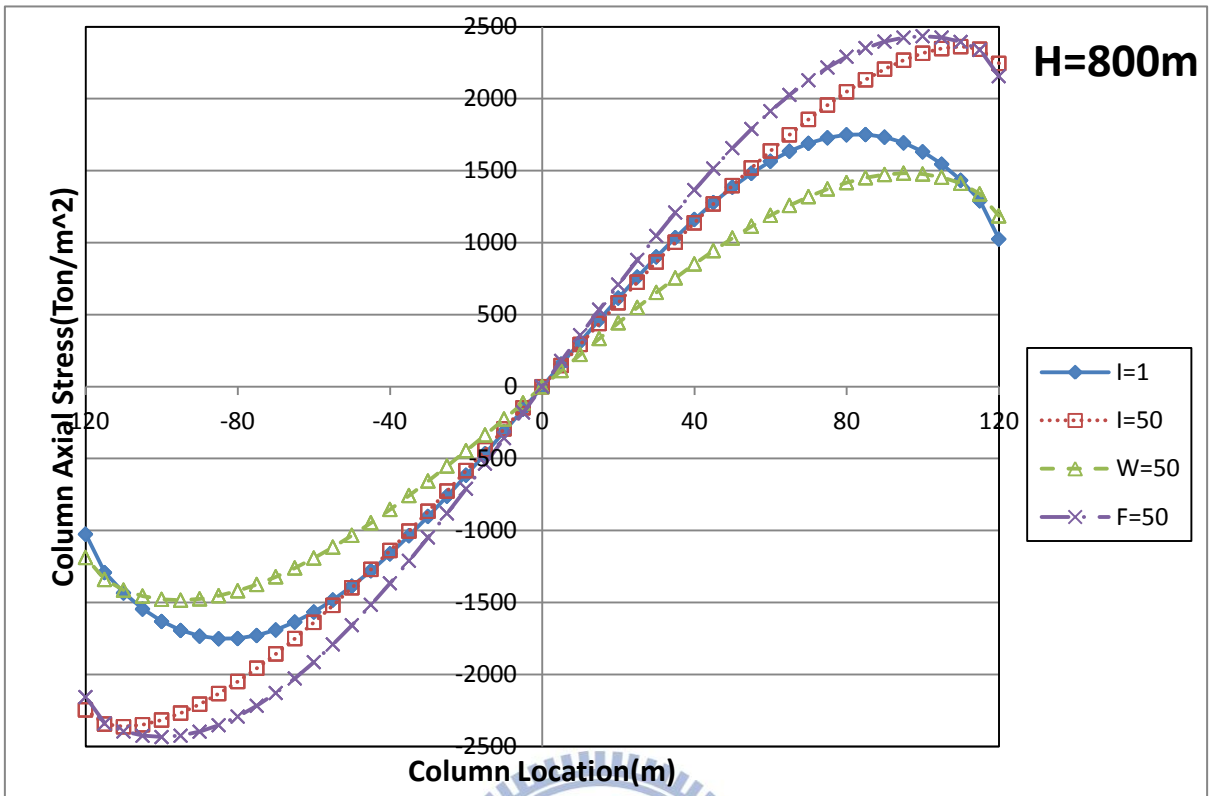


圖 4-71 800m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

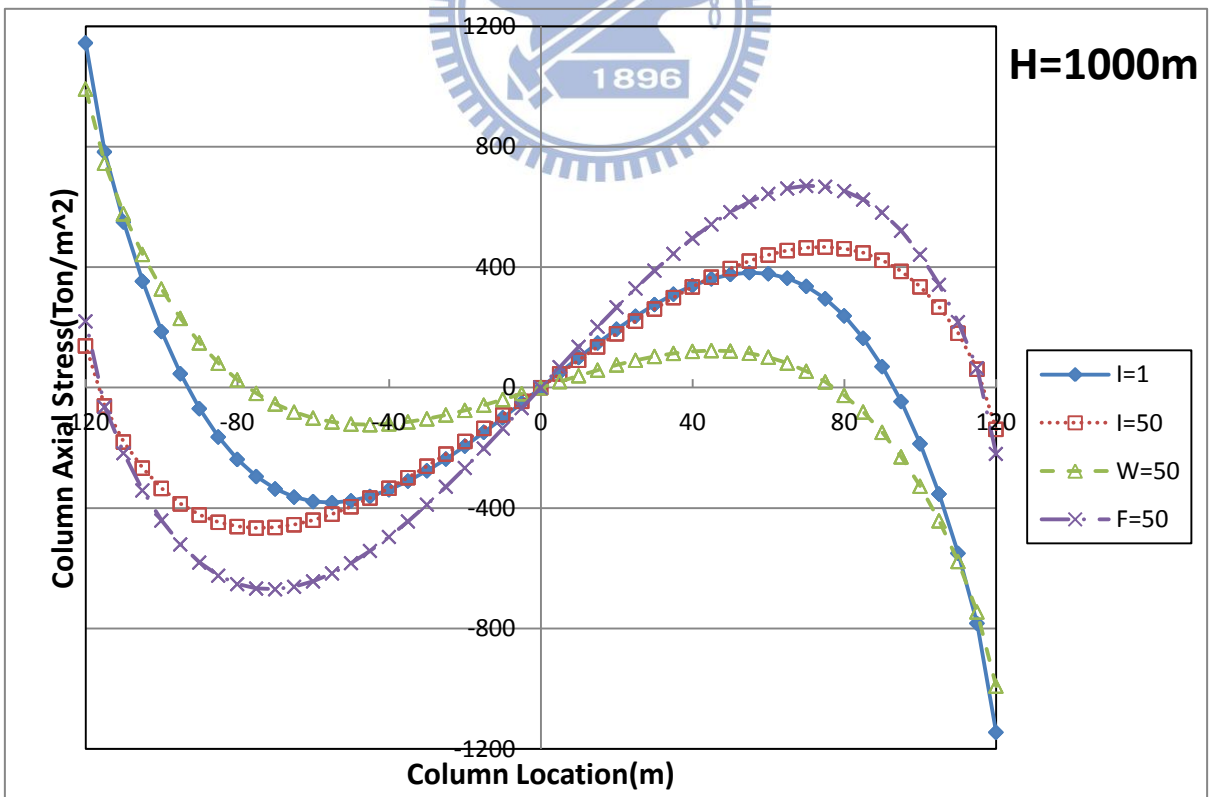


圖 4-72 1000m 高度傳統框筒結構翼板腹板分開加勁之腹板軸力分佈圖

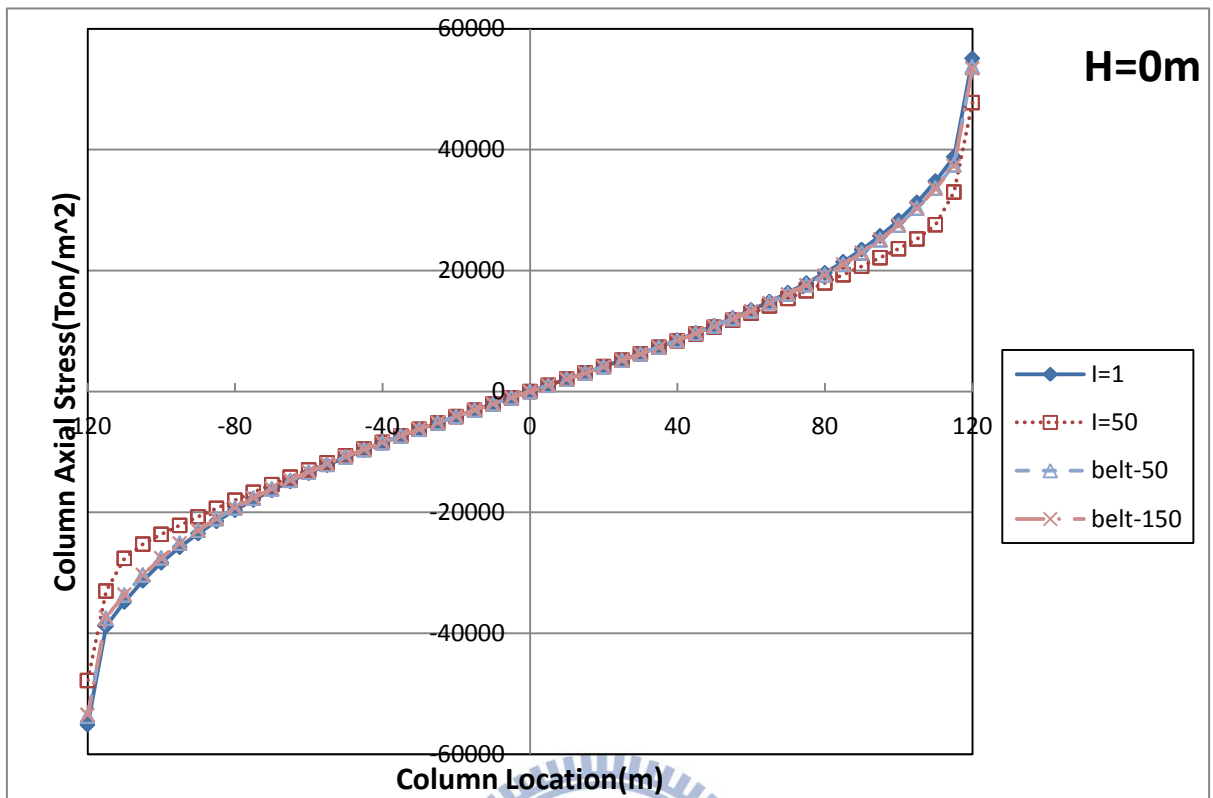


圖 4-73 0m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

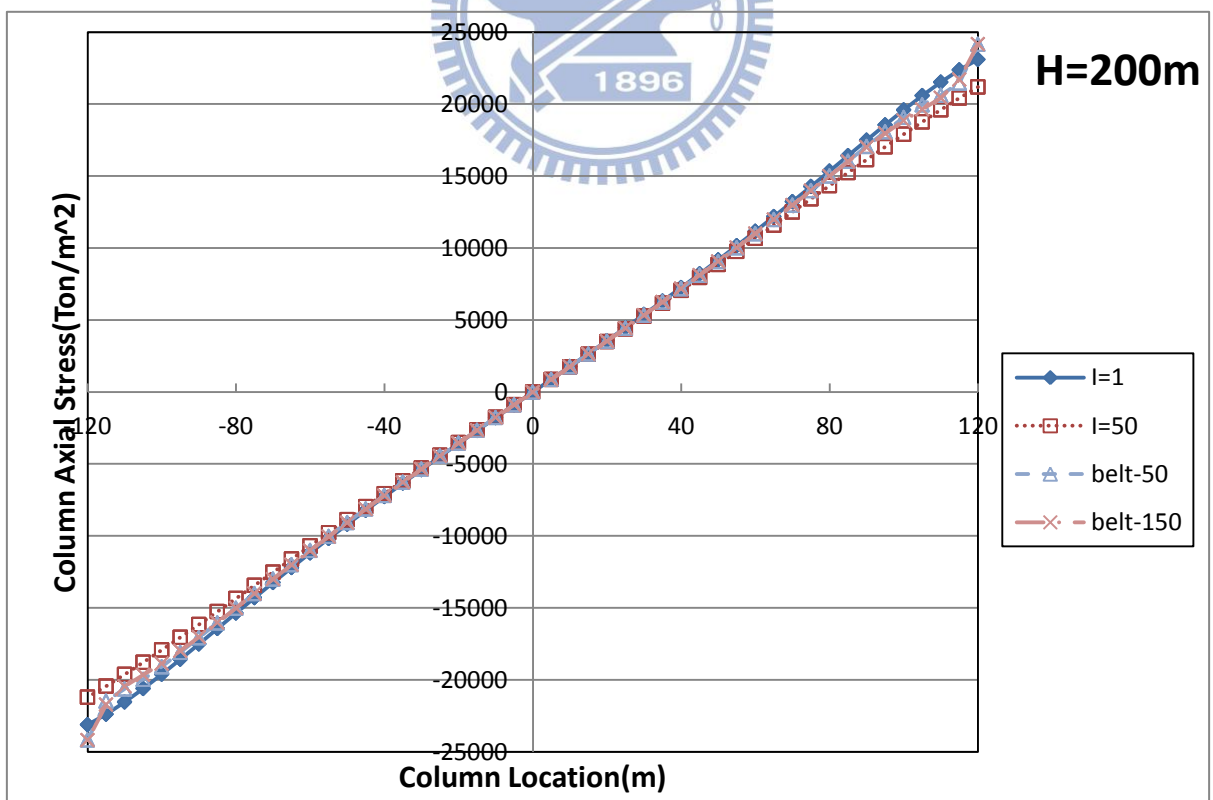


圖 4-74 200m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

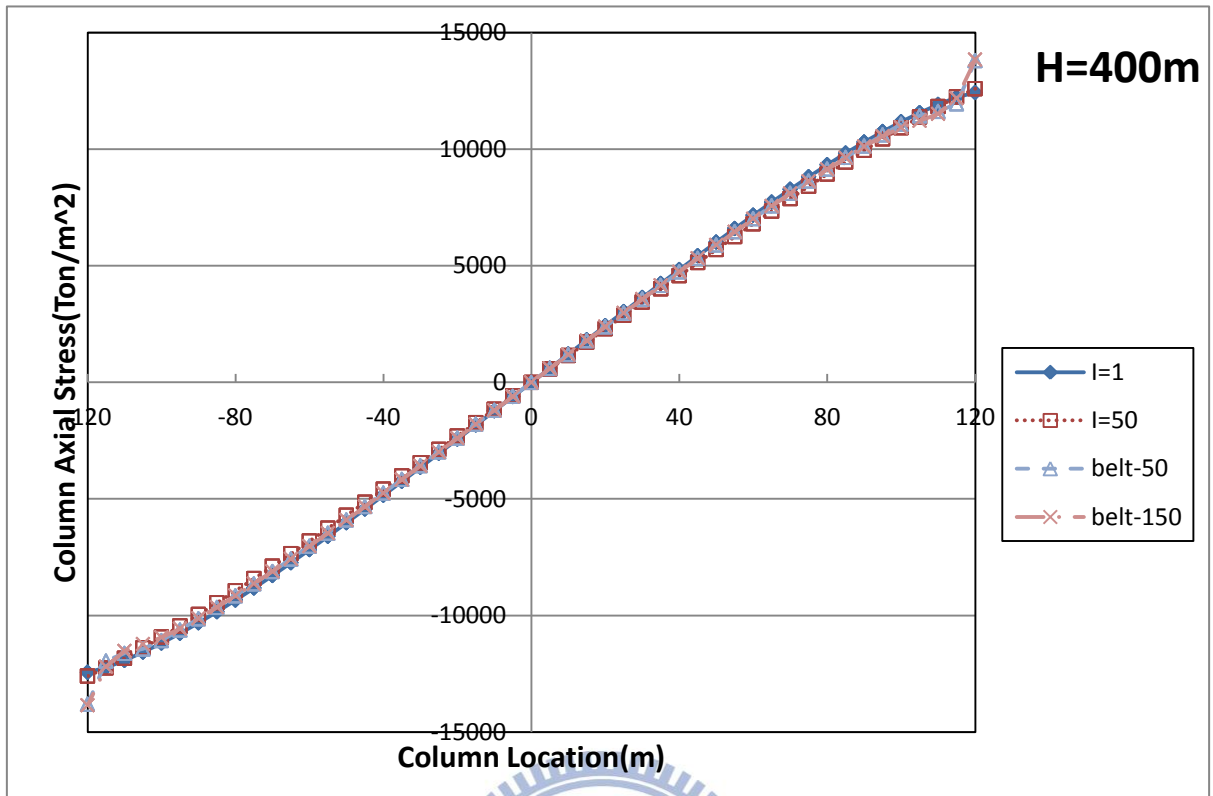


圖 4-75 400m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

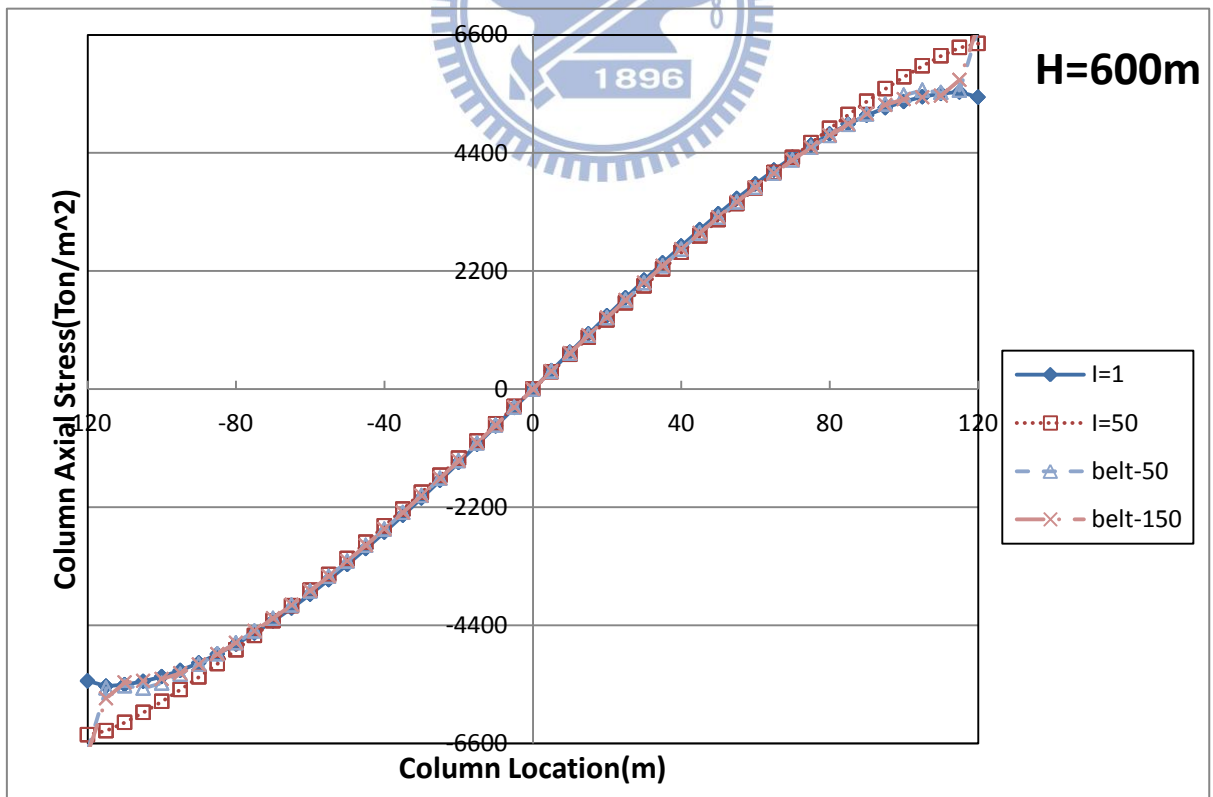


圖 4-76 600m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

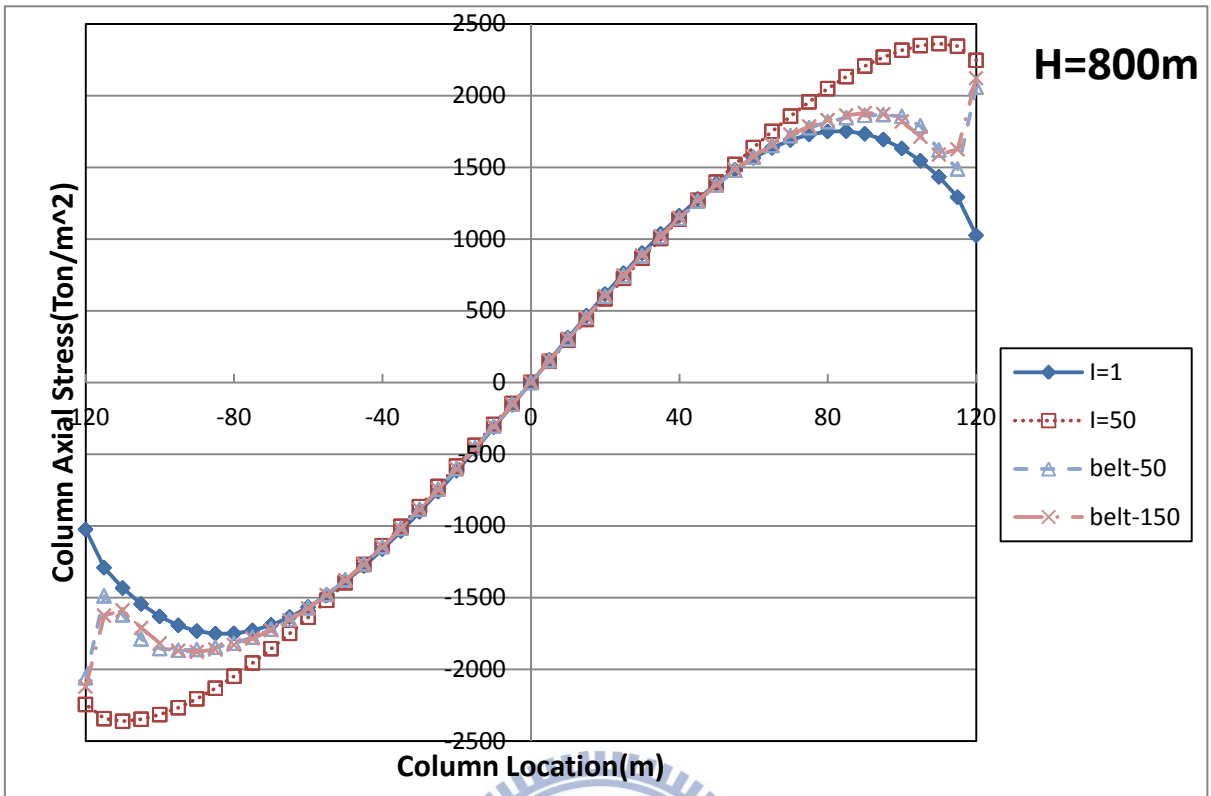


圖 4-77 800m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

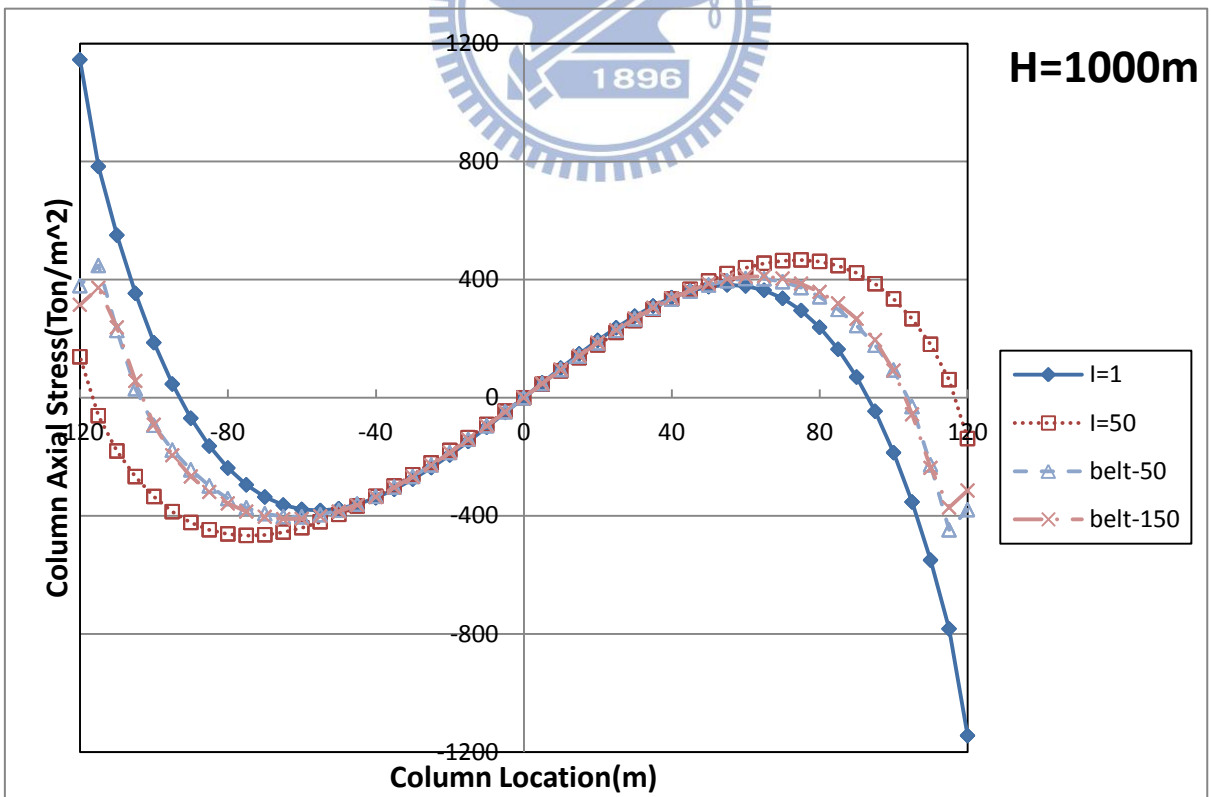


圖 4-78 1000m 高度傳統框筒結構模擬 Belt Truss 之腹板軸力分佈圖

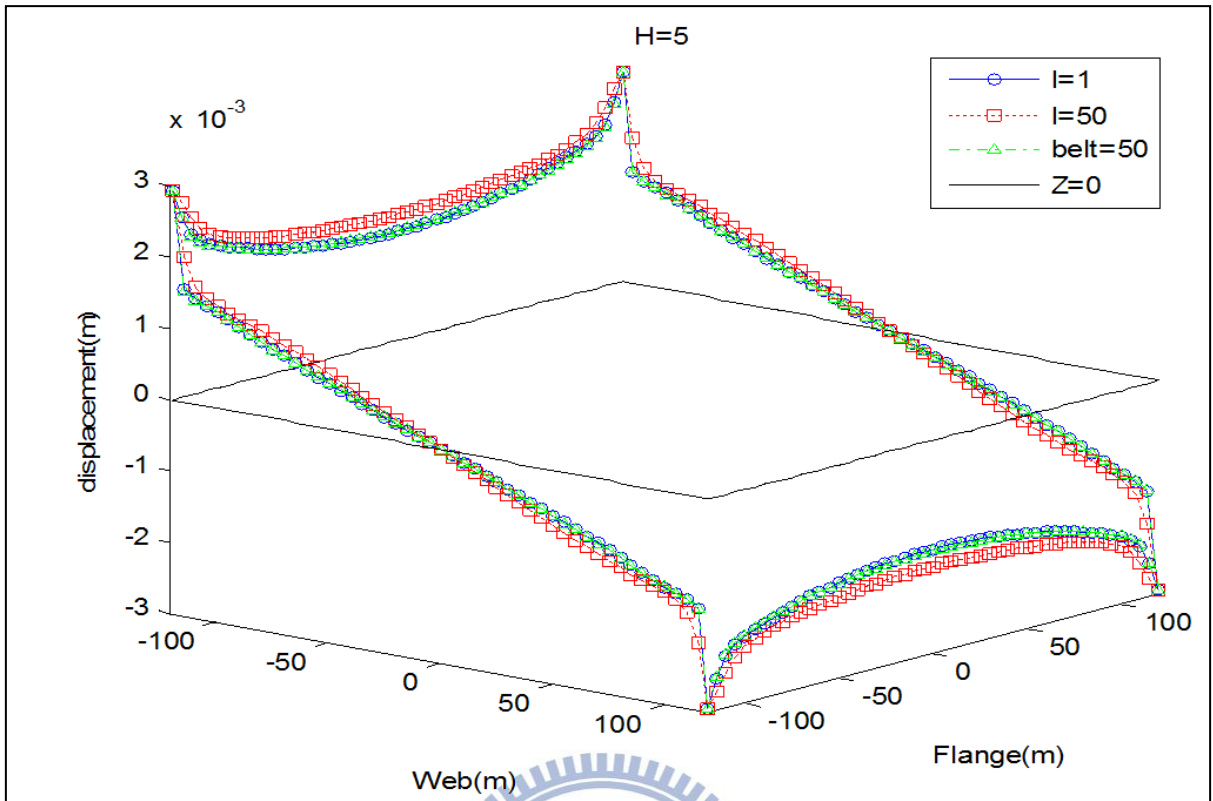


圖 4-79 5m 高度內縮型式框筒結構垂直位移

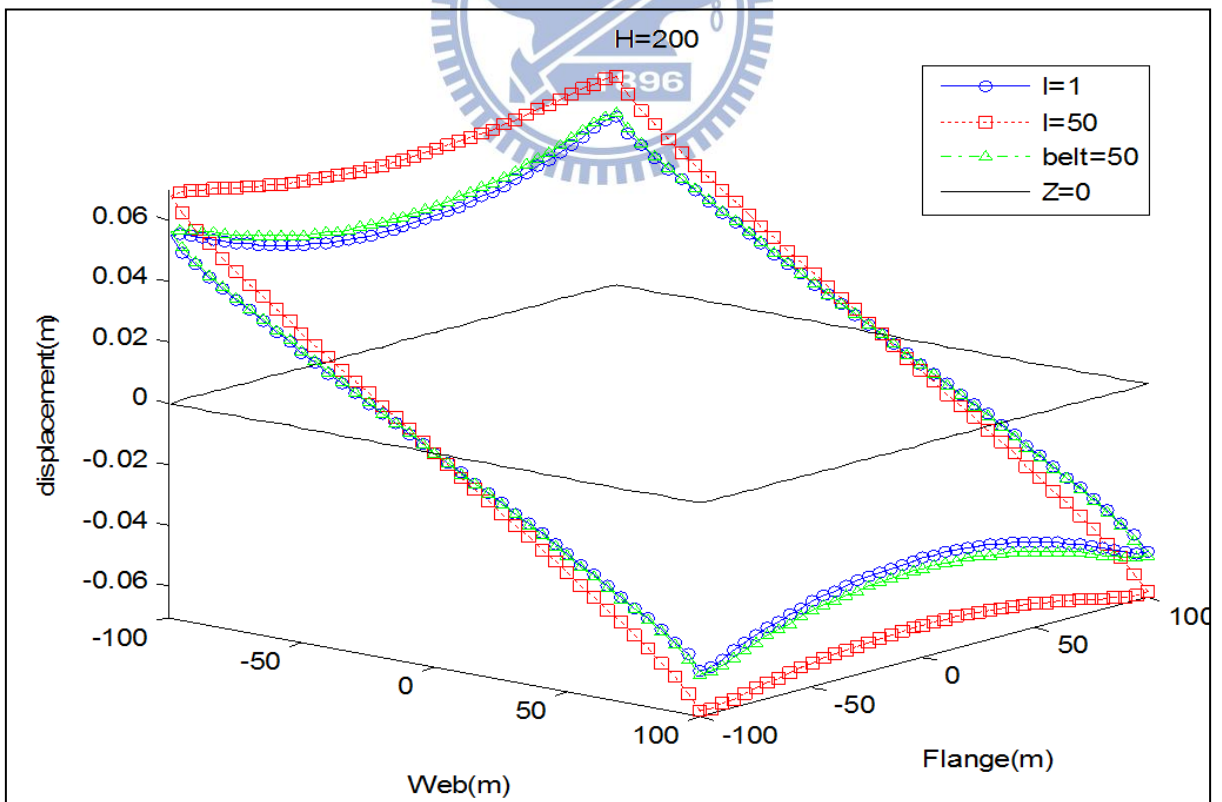


圖 4-80 200m 高度內縮型式框筒結構垂直位移

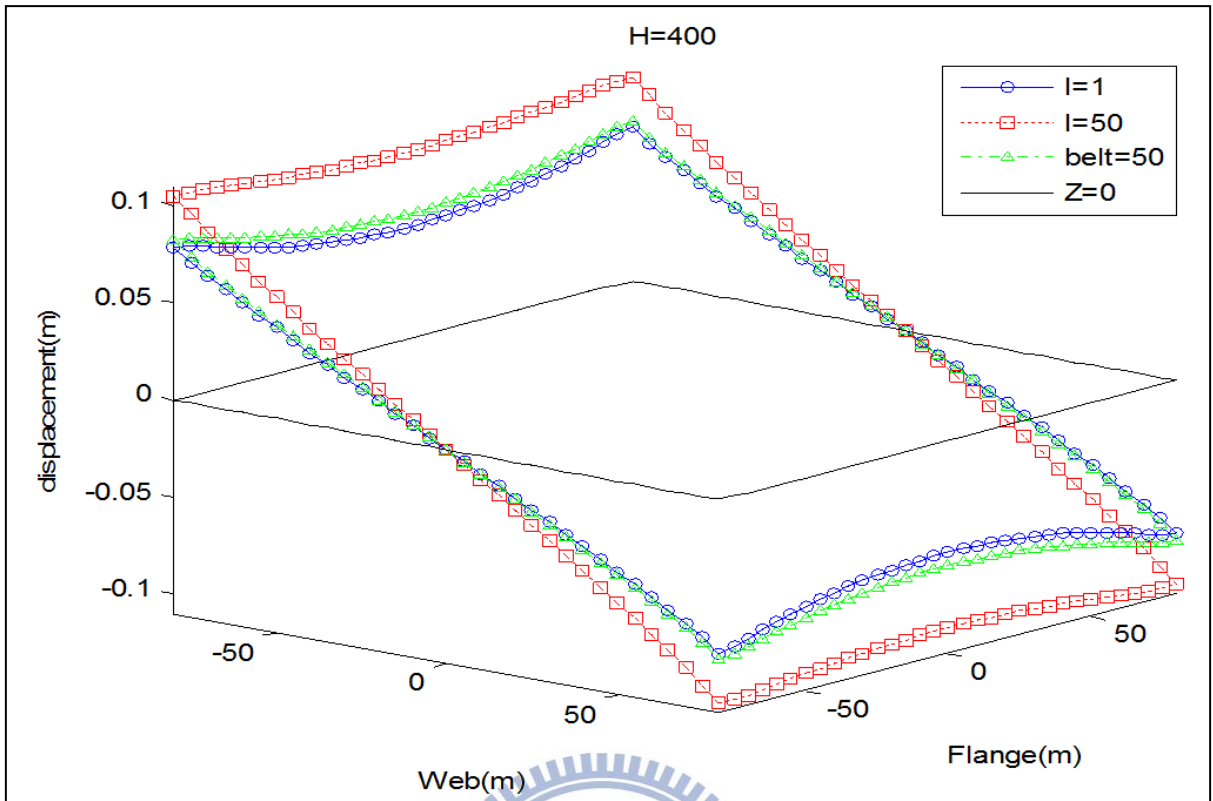


圖 4-81 400m 高度內縮型式框筒結構垂直位移

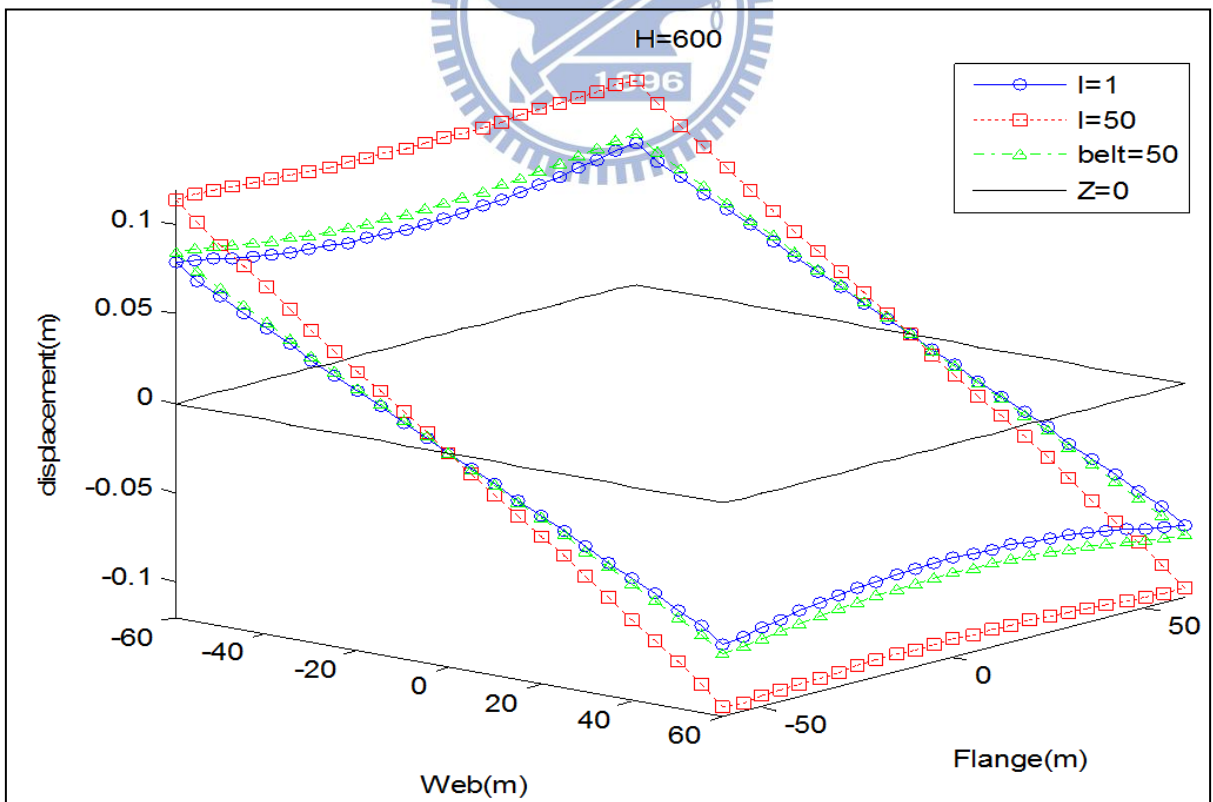


圖 4-82 600m 高度內縮型式框筒結構垂直位移

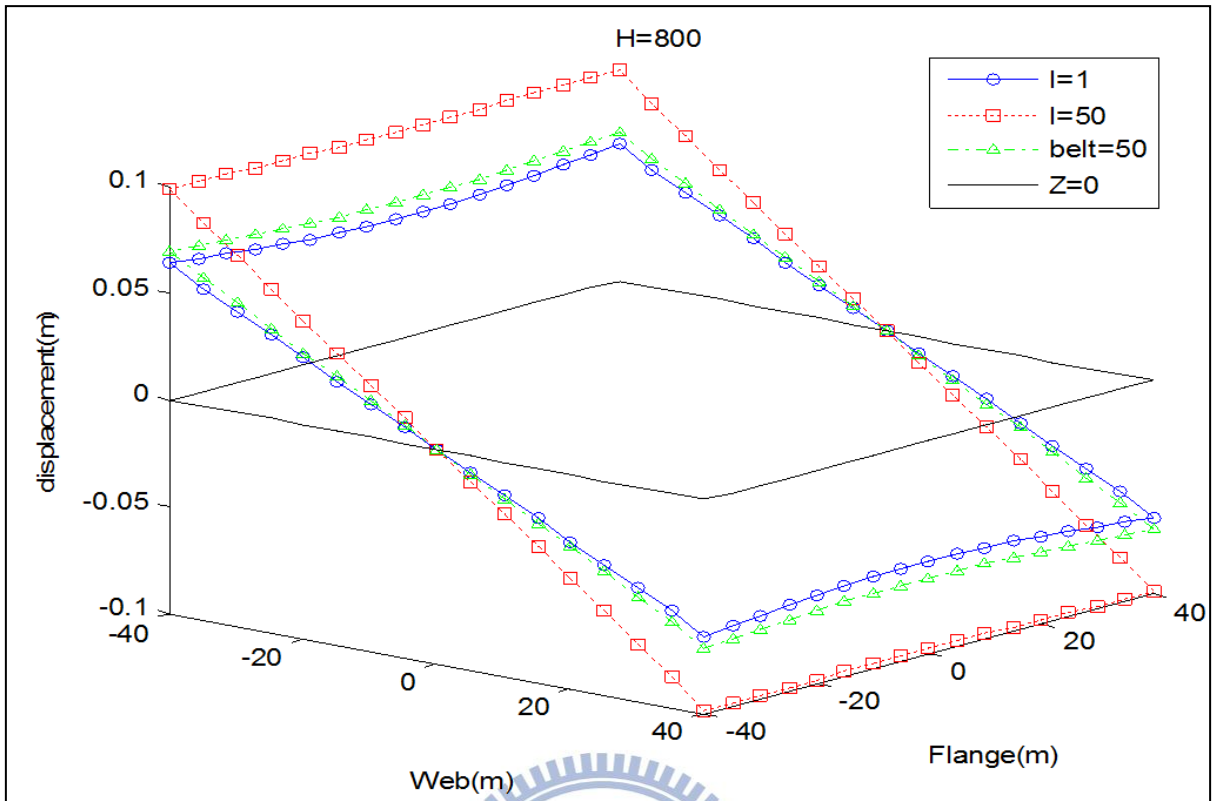


圖 4-83 800m 高度內縮型式框筒結構垂直位移

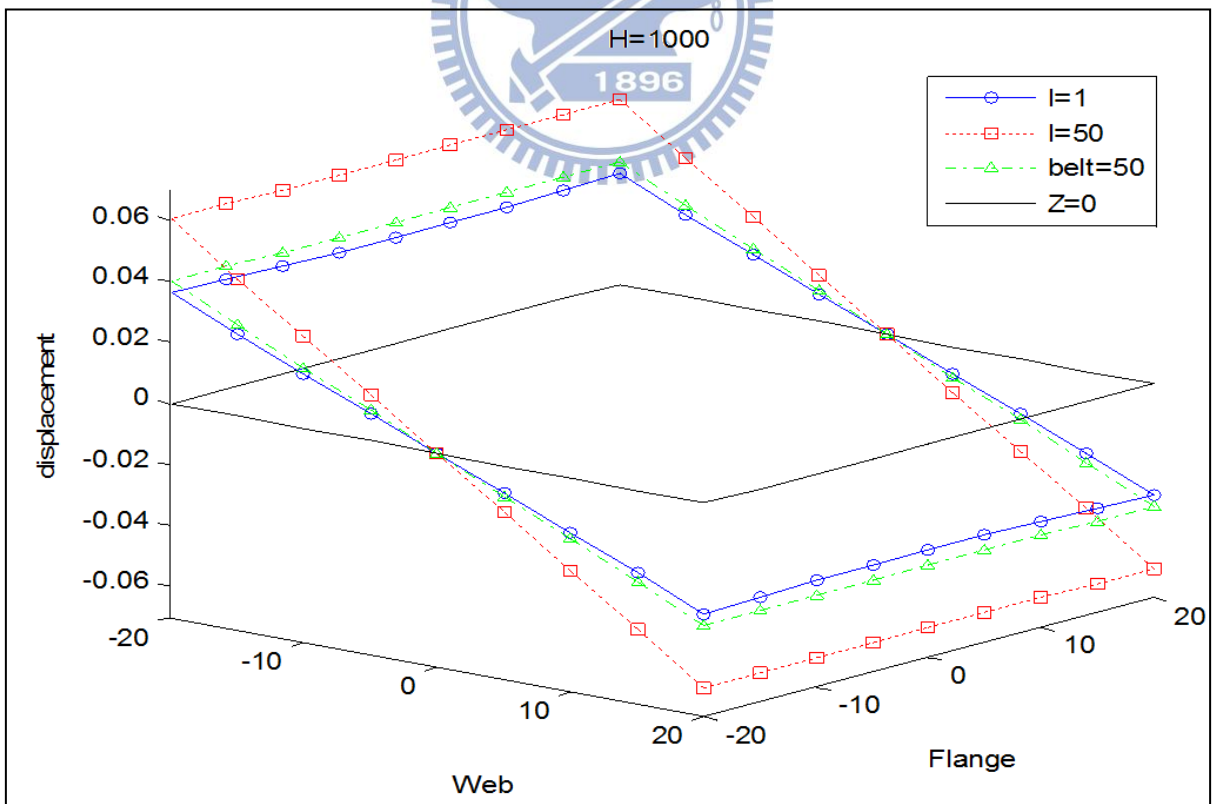


圖 4-84 1000m 高度內縮型式框筒結構垂直位移

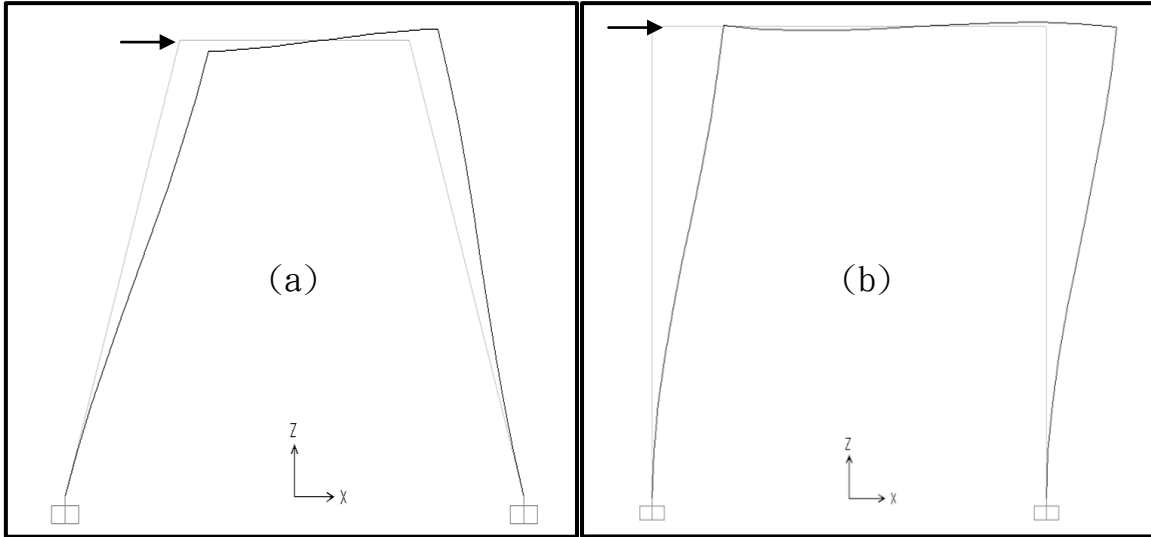


圖 4-85 2D 剛架受力變形示意圖

(a)非正交剛架

(b)正交剛架

