

出國報告（出國類別：其他：國際會議）

全尺寸盤扣式鷹架結構系統力學行為之研究
(Study of Mechanical Behaviors of Full-scale
Coupler System Scaffolds)

服務機關：國立雲林科技大學營建工程系

姓名職稱：彭瑞麟教授

派赴國家：香港

報告日期：2017/2/7

出國時間：2017/1/4~7

摘要

本次『第九屆海峽兩岸及香港鋼、組合及金屬結構技術研討會-2017』於 2017/1/5~2017/1/6 期間，在香港九龍港青酒店(香港基督教青年會)禮堂舉辦，主辦單位為香港鋼結構學會，協辦單位則為香港理工大學、同濟大學、台灣大學、香港工程師學會土木分部、香港工程師學會結構分部等共同舉辦。本研討會具備 workshop 性質，受邀請發表研究成果之演講者，均有專業鋼結構研究背景；聽眾則需繳交報名費，其多為工程界服務或有具有學術研究背景之人。該研討會為每二年舉辦一次，由台灣、大陸、香港兩岸三地輪流舉辦，第八屆海峽兩岸及香港鋼、組合及金屬結構技術研討會是在台北舉辦。研討會討論重點包含：鋼及組合結構理論與計算方法、穩定分析、幾何及材料非線性分析、地震設計、二階及高等分析、抗火設計、製作與安裝技術、新體系與新材料、設計與施工實例等議題。個人參加此專業鋼結構研討會，能與香港及大陸鋼結構專家與學者作學術交流，得以瞭解現今兩岸三地鋼結構領域發展情形，此有助於個人未來學術研究發展的提升。

目次

一、目的.....	1
二、過程.....	1
三、心得.....	3
四、建議事項.....	4
五、附錄.....	4

一、目的

個人經由本校節餘款的經費補助，前往香港參加『第九屆海峽兩岸及香港鋼、組合及金屬結構技術研討會』。本次研討會發表的論文題目為「全尺寸盤扣式鷹架結構系統力學行為之研究」(Study of Mechanical Behaviors of Full-scale Coupler System Scaffolds)。本篇論文內容主要採用全尺寸試驗的方式，探討營造施工中盤扣式鷹架結構系統力學行為，以掌握盤扣式鷹架結構系統破壞時之極限載重及失敗模式，此研究成果對於海峽兩岸三地未來營造施工盤扣式鷹架結構的安全分析及設計頗有幫助。

本次第九屆海峽兩岸及香港鋼、組合及金屬結構技術研討會訂於 2017/1/5 ~ 2017/1/6 在香港九龍港青酒店(香港基督教青年會)禮堂內舉辦。主辦單位為香港鋼結構學會，協辦則為香港理工大學、同濟大學、台灣大學、香港工程師學會土木分部、香港工程師學會結構分部等單位。

此第九屆海峽兩岸及香港鋼、組合及金屬結構技術研討會，為每隔兩年舉辦一次的兩岸三地鋼結構學術盛會，由台灣、香港、中國大陸每隔兩年分別在三地輪流舉辦。本次會議在香港主辦，會議組織委員會，主任委員為香港理工大學陳紹禮教授，大陸委員為同濟大學李國強教授，台灣委員為台灣大學蔡克銓教授。本次會議主要研討兩岸三地有關鋼及組合結構研究、分析、設計、製作及安裝等方面的最新發展。會議研討的主題包括有：鋼及組合結構理論與計算方法、穩定分析、幾何及材料非線性分析、地震設計、二階及高等分析、抗火設計、製作與安裝技術、新體系與新材料、設計與施工實例等項目。

第九屆海峽兩岸及香港鋼、組合及金屬結構技術研討會與會報告者，台灣方面的報告者是由台灣委員蔡克銓教授負責邀請台灣的專家及學者，本次台灣受邀報告的專家學者有六位，分別為國立台灣大學土木工程學系蔡克銓教授、國立台灣大學土木工程學系呂良正教授、台灣世曦工程顧問股份有限公司王炤烈總經理、國家地震工程研究中心林克強研究員、國立交通大學土木工程學系陳誠直教授、及國立雲林科技大學營建工程系彭瑞麟教授本人。

二、過程

個人於 2017/1/4 當天早上於台中出發，搭車至台中清泉岡機場出海關後，欲搭乘 13:00 華信航空公司班機，不過由於班機有些延誤，約下午 3:30pm 左右才飛抵香港赤

鱸角國際機場，於機場櫃檯辦理機場至住宿九龍酒店往返巴士，約於下午 5:00pm 到達九龍酒店辦理入住手續。當晚與先到的兩位演講者呂良正教授及林克強研究員一起在住宿酒店附近餐廳晚餐，晚餐後為熟悉明日研討會會場的路線，故大家再到九龍港青酒店熟悉環境，之後回到九龍酒店休息，準備研討會報告的資料。

第一日 1/5 早上 8:30am，與呂良正教授及林克強研究員一起到香港九龍港青酒店(香港基督教青年會)禮堂辦理報到註冊，並拿到大會準備的講義資料，也與大陸及香港的學者做簡短的交流。上午 9:00AM 準時開始舉行研討會，首先由本次大會主席香港理工大學陳紹禮教授致歡迎辭，接著依序由彭達材教授、劉玉珠博士、蔡克銓教授分別代表香港、大陸、台灣開幕致辭，研討會大會正式開始。

第一天大會安排 13 場報告，即大陸 7 場、香港 4 場、台灣 2 場。各場報告依序分別為：同濟大學童樂為教授的「應用細觀和連續損傷力學原理預測分析樑柱焊接節超低周疲勞斷裂過程」、清華大學王元清教授的「高能物理探測設備中結構新材料的應用技術研究」、香港大學羅時煊教授與陳樂仁研究員的「Instability analysis of steel frames with semi-rigid joint connections」、青島理工大學王燕教授的「裝配式鋼結構 H 型鋼樑-鋼管柱連接節點力學性能研究」、中國建築設計院有限公司范重總工的「大跨度預應力鋼結構設計研究」、理雅結構工程諮詢有限公司戈馬資深副總監的「上海臨港科創城“創新晶體”項目結構設計」、上海建工電子商務有限公司吳露方研發部負責人的「BIM 技術在大跨度鋼拱橋中的應用與研究」、台灣大學土木工程學系蔡克銓教授的「使用填充型與未填充型鋼骨箱型邊界柱之鋼板剪力牆耐震試驗與設計」、台灣世曦工程顧問股份有限公司王炤烈總經理的「台灣鋼橋梁之最新進展」、中冶京誠工程技術有限公司王立軍結構總工的「鋼框架樑柱節點域抗震設計」、香港理工大學土木及環境工程系劉思威博士及陳紹禮教授的「直接分析法在變截面結構設計中的最新研究進展」、奧雅納工程顧問公司何偉明院士的「鋼結構屋蓋與大跨度混凝土結構在抗震分析中的整體性研究」、香港大學土木工程系楊立偉教授及李海汀博士研究生的「Behaviour of cold-formed high strength steel under transient state tests」等。每場報告後與會者都踴躍提問，很成功的完成第一天的議程。

第二天 1/6 早上，同樣 8:30 開始報到註冊，9:00am 準時開始第二天的會議議程。第二天共有 12 場報告，大陸 5 場、台灣 4 場、香港 3 場。個人被安排在第一場報告，報告題目為「全尺寸盤扣式鷹架結構系統力學行為之研究」，由於國際上鷹架結構較

少進行室外全尺寸試驗，故觀眾提問踴躍，稍微多用了一些時間回答問題。接著進行後續場次報告，分別為國家地震工程研究中心林克強研究員的「鋼骨箱型柱梁柱接合之耐震性能受梁翼板與內橫隔板高程誤差之影響」、交通大學土木工程系陳誠直教授的「兩層鋼構架合成梁之耐火性能」、台灣大學系土木工程系呂良正教授的「黏性阻尼器應用於二維與三維建築結構之最佳化設計」、華誠博遠（北京）建築規劃設計有限公司趙宇副總經理的「異形曲面網殼 LED 天幕和膜組合結構設計」、香港理工大學土木及環境工程系周志華博士劉耀鵬博士及陳紹禮教授的「被動柔性防護網的研究和試驗驗證」、香港理工大學土木及環境工程系陳德明博士的「圓鋼管混凝土單調及往復荷載作用下的數值分析」、新鴻基地產發展有限公司劉志健工程師的「天晉二期大跨度鋼橋的創新結構設計」、中國建築工程（香港）有限公司潘樹杰總經理的「大跨度異形薄殼鋼結構設計、生產與安全安裝」、同濟大學土木工程系李國強教授的「消能柱抗震性能試驗研究」、上海同基鋼結構技術有限公司袁鑫執行董事的「超越歐拉臨界力的大長細比自應力柱」、香港理工大學土木及環境工程系劉耀鵬博士及陳紹禮教授的「基於柔度樑柱單元的塑性鉸分析」等場次。同樣的每場報告後，與會者提問都很踴躍，整個研討會報告結束後，還有多人留下來討論問題，是一場很成功的研討會。

1/7，個人同樣搭乘九龍酒店往返機場的巴士至香港赤鱗角國際機場，至華信航空公司櫃檯辦理辦到。搭乘午 15:40 班機返國，約 17:00 抵達台中清泉岡機場，出海關拿到行李後，搭乘計程車返回家中。完成參加本次研討會行程。

三、心得

第九屆海峽兩岸及香港鋼、組合及金屬結構技術研討會之前，已經辦了八屆，個人參加第一屆，之後陸陸續續參加了四、五屆，在參加過這麼多次研討會後，感覺大陸鋼結構研究的進步幅度非常大。第一屆研討會時，大陸工程界僅能做二線道大跨徑鋼橋，與台灣及香港的鋼結構設計水準有一段距離，不過大陸工程水準逐漸提升，能做出大寬度、大跨徑且構造複雜之鋼橋。尤其在 2008 年北京奧運會引進國際結構設計公司後（如：英商奧雅納工程顧問公司等），發現大陸鋼結構分析及設計水準，已大幅度進步，超越香港及台灣鋼結構分析及設計水準。國內鋼結構領域學者研究的深度及廣度，需要盡快提升，否則未來與大陸研究水準越拉越大，實在是令人擔憂。

此外，對於大陸鋼結構應用多樣性的發展，令人印象深刻。例如這次清華大學王元清教授報告的「高能物理探測設備中結構新材料的應用技術研究」，其針對大陸高能物理實驗裝備或探測器（如中微子探測器、大型質子對撞機等）需要之結構設備進行設計，為參與大陸未來爭取諾貝爾獎研究作努力。結構合併其他複合材料用在這些地方，個人還是第一次看到，這對於個人在鋼結構應用方面，得到很好的啟發，不虛此行。

四、建議事項

參加本次第九屆海峽兩岸及香港鋼、組合及金屬結構技術研討會，個人發現大陸及香港的鋼結構的設計水準超過國內，他們鋼結構設計規範，對於不規則大型結構物（如巨蛋、機場大廳、博物館等）均使用二階分析進行設計，國內鋼結構規範尚未引進這些先進國家鋼結構設計規範的規定，政府有關機關宜盡快檢討改進。

五、附錄

研討會論文

全尺寸盤扣式鷹架結構系統力學行為之研究

彭瑞麟¹, 何崇銘¹

1 國立雲林科技大學營建工程系

摘要

盤扣式鷹架具備施工裝拆容易、承載力大、且能隨現地實際情況需求作多樣性組配之特性，近年來常被當作模板支撐使用。不過各家盤扣式鷹架製造商之產品不盡相同，設計者多僅以試驗室內「單組」鷹架載重試驗結果作為設計考量的依據，未能確實掌握各家盤扣式鷹架的力學行為；且工地現場實際採用「群組」方式組搭成盤扣式鷹架結構系統，此結構系統力學行為是否能與室內「單組」試驗之力學行為一致，有待進一步探討。

研究結果顯示：兩層單組有斜桿盤扣式鷹架極限承載力為兩層單組無斜桿盤扣式鷹架承載力的2倍。無斜桿盤扣式鷹架破壞模式為整體結構挫屈後造成失敗，而具有斜桿盤扣式鷹架破壞模式則為單根桿件挫屈破壞。全尺寸六層兩排兩跨外圍四周主桿無斜桿且內部中央主桿有斜桿之盤扣式鷹架結構系統，其試驗總承載力為31.43 tonne（公噸力）。此全尺寸試驗之最大水平變位發生在盤扣式鷹架外圍無配置斜桿之主桿中間處，結構體破壞時呈現類似整體扭轉似之挫屈情況。盤扣式鷹架作為模板支撐時，建議應將斜桿作架滿配置，以避免盤扣式鷹架結構系統因部份無架設斜桿處先行產生挫屈變形，而終導致整體結構系統失敗。

關鍵詞：盤扣式鷹架；模板支撐；載重試驗；挫屈；承載力

一、前言

國際上常將盤扣式鷹架[1-4]作為營造工程模板支撐之施工構材，此類支撐構材在歐美等先進國家經常使用，近年才引進台灣，由台灣鷹架廠商仿造其規格而自行改良製造適用於台灣工地之產品。盤扣式鷹架主要是可分為垂直主桿、橫桿及斜桿等構件，由各構件相互搭配組合而成單組或群組支撐結構。盤扣式鷹架組拆便利且組合後之模板支撐結構系統可適用於多種地形，再加上盤扣式鷹架的承載強度比傳統門型鋼管鷹架高，因此其常被用於結構物內部挑空高或樓版厚度大之新建科技廠房或橋梁工程等模板支撐結構系統中。

目前台灣有關模板支撐構材之安全規定及要求，主要是針對框式鋼管鷹架，對於盤扣式鷹架的相關規定較為缺乏。而台灣各家鷹架廠商所生產的盤扣式鷹架，品質與規格參差不齊，難以確實掌握盤扣式鷹架結構系統的承載力。在此種情況下，工程師無法妥善安全設計盤扣式鷹架支撐結構系統，造成工地此類模板支撐結構存有頗高之倒塌風險。圖1為台灣盤扣式鷹架作為建築工程模板支撐之倒塌現場情形。

迄今有關鋼管鷹架研究仍以門型鋼管鷹架為主，如台大土木系針對門型鋼管鷹架承載力試驗與動態分析探討承載力之研究[5-9]。中興大學土木系以完整且全面性的持續多年致力於門型鋼管鷹架模板支撐的安全性研究[10-18]。而在盤扣式鷹架方面的研究，則有雲林科技大學營建工程系針對日本日綜(Nisso)公司在台灣使用的盤扣式鷹架，進行其承載力探討之初步研究[19-20]。

由上述以往研究可知，台灣鋼管鷹架相關研究仍以框式鋼管鷹架之門型鋼管鷹架為主，盤扣式鷹架研究對象僅為早期日本來台販售之盤扣式鷹架，對於近期台灣自製生產使用之盤扣式鷹架的研究資料則極為缺乏。本研究主要針對台灣現行常用之盤扣式鷹架力學行為進行試驗探討，期能提高盤扣式鷹架在工地使用之安全性。

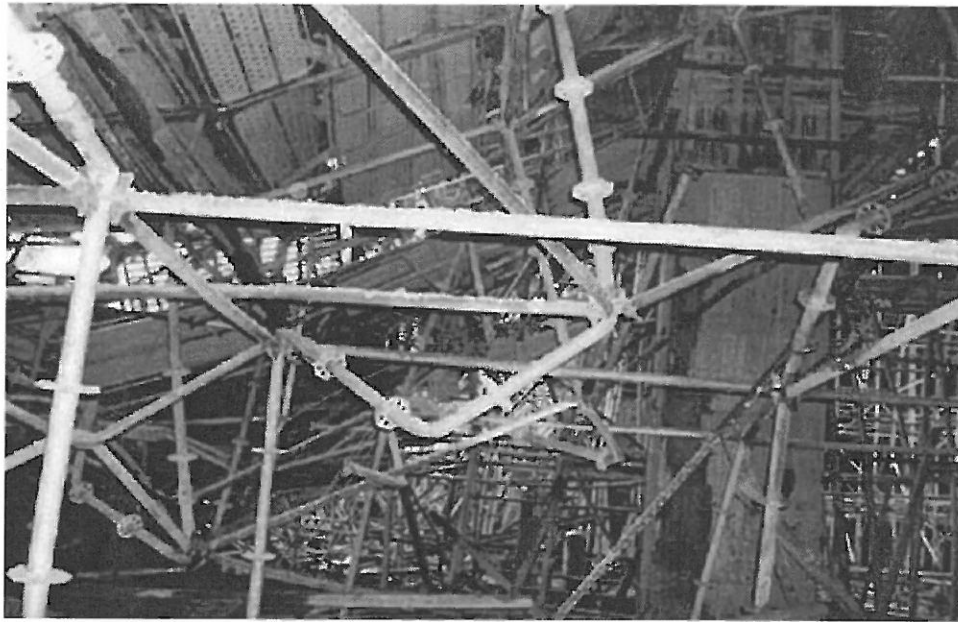


圖1 盤扣式鷹架在建築工程中作為模板支撐倒塌現場情形

二、研究目的及內容

本研究主要目的是針對盤扣式鷹架整體結構系統之力學行為進行載重試驗探討，藉以瞭解盤扣式鷹架結構系統之極限承載力與破壞模式。

研究內容可分為：(a)盤扣式鷹架之主架材料試驗，確認鋼管之材料性質、斷面尺寸及彈性模數，以作為未來數值分析參考；(b)全尺寸盤扣式鷹架室內單組二層基本單元結構載重試驗；(c)室外全尺寸盤扣式鷹架結構系統之載重試驗等三項。藉由上述所得之試驗結果相互比較及驗核，瞭解盤扣式鷹架整體結構系統與單組配置間極限承載力和破壞模式之差異，以作為未來盤扣式鷹架模板支撐結構設計之參考。

三、材料與斷面性質

藉由隨機抽樣盤扣式鷹架的各部位三支桿件，並量得各桿件實際斷面平均尺寸如下：主桿外徑為60.36 mm、厚度為3.35 mm；橫桿外徑為48.62 mm、厚度為2.65 mm；斜桿外徑為48.53mm、厚度為2.68 mm；底座外徑為48.16mm、厚度為5.64 mm。材料試驗則是選用盤扣式鷹架主要承載垂直力之主桿構件為主進行，求得其材料彈性模數試驗平均值為 $2,000,548 \text{ kgf/cm}^2$ ，此與鋼材標稱值 $2,040,000 \text{ kgf/cm}^2$ 相近。

四、試驗規劃

4.1 全尺寸盤扣式鷹架單組基本結構室內載重試驗

(A)兩層無斜桿

兩層無斜桿盤扣式鷹架載重試驗配置為層與層高度150 cm，上、下調整座高度為15 cm，主桿配置間距為180 cm，試體配置總高度為390 cm。試驗共進行兩組，所得平均承載力為34.61 tonne，最大破壞變形位置皆發生在第二層橫桿附近。

(B)兩層有斜桿

兩層有斜桿盤扣式鷹架載重試驗配置與前者相同，差別僅在於兩層盤扣式鷹架上有設置斜桿。試驗亦進行兩組，所得平均承載力為66.68 tonne，試驗結果顯示是由主桿產生挫屈，最大變形

發生在上層主桿中間處。本試驗與前者兩層無斜桿配置試驗相比較，有斜桿配置之承載力約為無斜桿配置的2倍。

4.2 全尺寸盤扣式鷹架結構系統室外載重試驗

(A) 試驗配置說明

室外全尺寸盤扣式鷹架結構系統載重試驗之配置方式如圖2所示，其中外圍型鋼框架之配置尺寸為面積為6 m × 6 m、高度10 m，主要作用為提供試體頂部承載平台側向支撐固定與試驗倒塌破壞時之安全防護。在試驗加載過程中，使用經緯儀量測試體南面與東面之垂直及水平變形。試體南面位置架設甲區經緯儀，而試體東面位置則架設乙區經緯儀。

室外試驗採用與室內試驗同一批材料，全尺寸載重試驗規劃為六層兩排兩跨之盤扣式鷹架結構系統，其外圍主桿無斜桿配置，僅內部主桿有配置斜桿，如圖2所示。盤扣式鷹架排與排之主桿間寬度為180 cm、層與層間距為150 cm，上下調整座高度皆為15 cm，配置條件與室內盤扣式鷹架試驗相同，組搭後之總高度為990 cm。為防止盤扣式鷹架結構系統頂部水平側移，以側向支撐固定於外圍型鋼框架四個方向上。此側向支撐桿的兩端，裝上僅能垂直方向滾動的輪組，藉以模擬盤扣式鷹架結構系統頂部邊界無側移但有向下移動的情形。

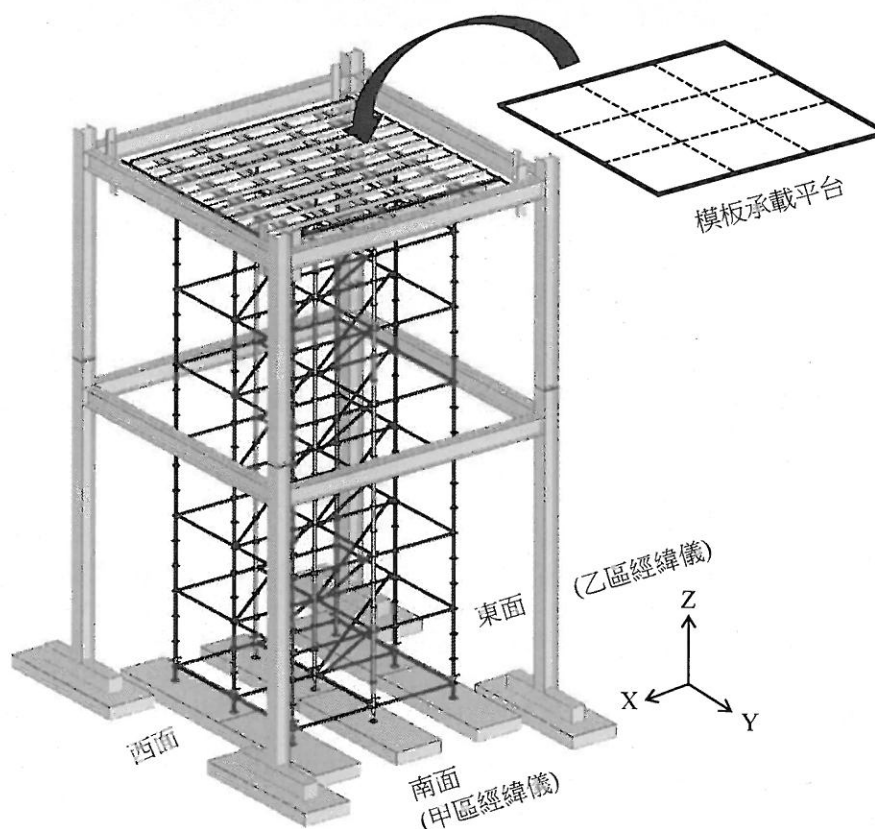


圖2 室外全尺寸盤扣式鷹架試驗組搭配置之示意圖

室外全尺寸載重試驗之載重物分為每塊長1.5 m、寬1.5 m、高度0.5 m、重量約2.5 tonne之RC混凝土塊及每包重量約0.5 tonne的砂袋兩種，分別如圖3及圖4所示。試驗加載時，原則上先放置重量約2.5 tonne之RC混凝土塊後，再以重量約0.5 tonne之砂袋加載至破壞。



圖3 試驗加載用RC混凝土塊



圖4 試驗加載用砂袋

圖5為經緯儀量測盤扣式鷹架結構系統中不同桿件變形位置說明之示意圖。在南面之甲區經緯儀，配置四台經緯儀；其中兩台量測水平變位、兩台量測垂直變位。在東面之乙區經緯儀，配置三台經緯儀；其中兩台量測水平變位、一台量測垂直變位。

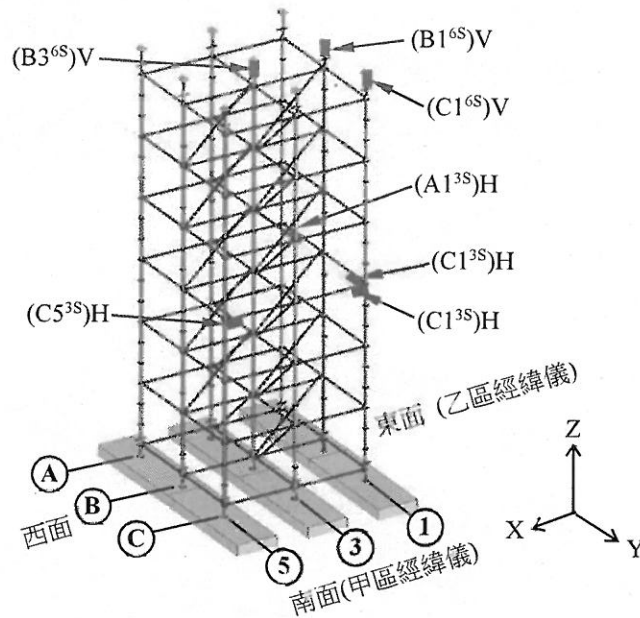


圖5 盤扣式鷹架室外試驗經緯儀及其量測桿件配置之示意圖

(B) 試驗組搭步驟

最後組搭完成之盤扣式鷹架整體結構系統，如圖6所示。上方的盤扣式鷹架頂部承載平台是由多根斷面6 cm×9 cm角材及六分夾板組成，主要是作為放置載重塊用，如圖7所示。為模擬工地實際模板支撐上方頂部模板四周皆有固定而無水平側移情況，特別在此承載平台四面皆加裝具可垂直方向移動之水平側撐滾輪裝置，使此平台受載後僅能向下垂直移動而不會有水平位移產生，此種裝置如圖8所示。



圖6 盤扣式鷹架組搭完成後之現場配置情形



圖7 盤扣式鷹架之頂部模板承載平台配置情形

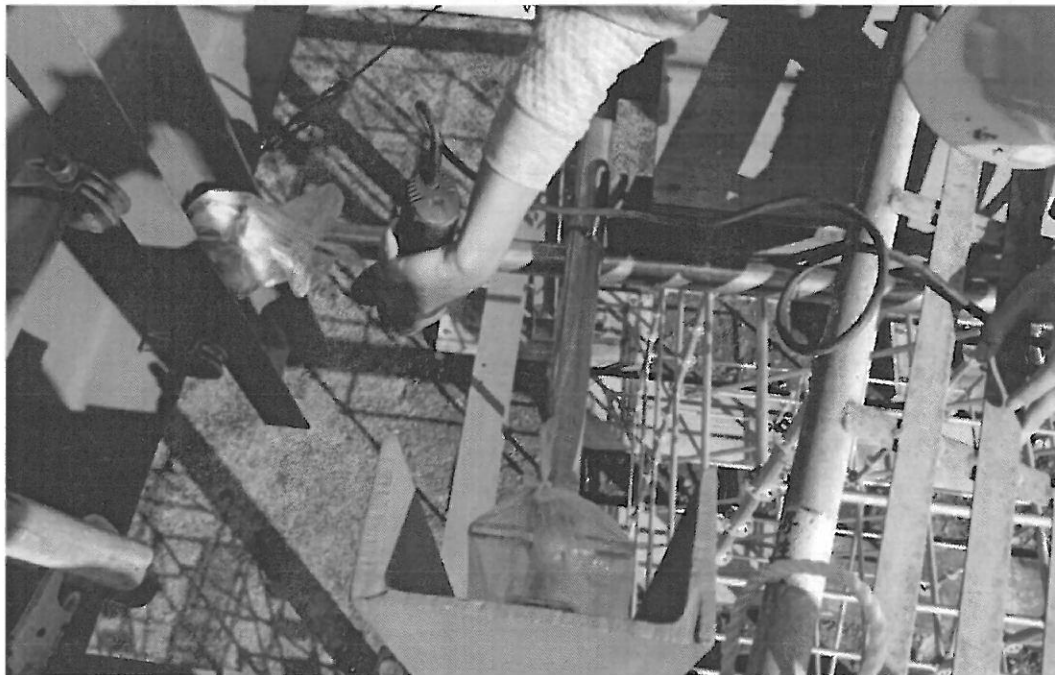


圖8 盤扣式鷹架頂部側撐滾輪裝設情形

(C) 試驗施載過程

室外載重試驗在加載至第5塊RC混凝土塊於承載平台的十字區域後，盤扣式鷹架未配置斜桿的外圍主桿，已發生明顯彎曲變形，故後續改以砂包加載於四個角落。當加載至第8袋砂包後，支撐結構尚未倒塌，但鷹架變形持續增加。再於中間位置加載1塊RC混凝土塊，且於其餘八個加載區處再各加載1袋砂包，此時支撐結構仍未倒塌，盤扣式鷹架仍持續產生明顯大量變形。最後再於中間位置處，連續加載3塊RC混凝土塊後，盤扣式鷹架結構系統立即發生倒塌。

五、試驗結果與討論

室外載重試驗頂層模板承載平台自重總重為1.31 tonne，亦須一併計入加載荷重中，因此最後破壞時的總載重為31.43 tonne。從表1及圖9中得知，在試驗加載至第5塊RC混凝土塊後，甲區經緯儀之X方向中間水平變位有明顯增加情況，表示其水平變位向西隨著力量增加；而此時之垂直位移並不明顯，如圖10所示。當加載至第9袋砂包之後，乙區經緯儀之Y方向中間水平亦開始明顯增加，如圖11所示；且垂直變形量如圖12所示，亦有呈現出慢慢增加的現象。

表1 室外盤扣式鷹架試驗之經緯儀量測結果

筆數	累計 載重 tonne	甲區經緯儀				乙區經緯儀		
		(C1 ^{3S})H	(C5 ^{3S})H	(B3 ^{6S})V	(C1 ^{6S})V	(A1 ^{3S})H	(C1 ^{3S})H	(B1 ^{6S})V
		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
0	1.31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	3.82	0.2	0.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0
2	6.38	0.4	0.6	0.2	0.4	0.0	0.0	0.1
3	8.87	0.7	0.9	0.2	1.0	0.0	0.0	0.3
4	11.45	0.6	0.9	0.4	2.3	0.0	0.0	0.3
5	13.90	5.0	5.4	0.5	2.5	0.4	0.2	0.4
6	14.39	7.9	8.6	0.5	3.2	0.85	0.2	0.6
7	14.88	8.0	8.6	0.4	3.0	0.85	0.1	0.6
8	15.36	7.9	8.6	0.5	3.0	0.85	0.0	0.6
9	15.85	7.7	8.6	0.4	3.0	0.85	0.0	0.7
10	16.33	8.0	8.9	0.9	3.7	0.9	0.1	0.8
11	16.80	8.9	9.9	0.8	3.9	1.0	0.2	0.9
12	17.28	10.2	11.0	0.5	3.7	1.2	0.3	0.9
13	17.76	11.9	12.8	0.5	3.9	1.45	0.3	0.9
14	20.19	15.6	16.5	0.9	4.1	3.1	1.5	1.1
15	20.68	19.0	20.0	1.0	4.2	10.5	8.7	1.5
16	21.17	19.6	20.5	1.0	4.6	13.0	11.0	1.6
17	21.66	19.7	20.8	1.5	5.0	14.3	12.2	1.8
18	22.15	20.7	21.3	1.3	5.1	16.7	14.5	2.0
19	22.63	22.0	22.4	1.5	5.5	18.1	15.7	2.1
20	23.10	23.5	23.8	1.7	5.9	19.4	16.8	2.3
21	23.59	24.8	25.0	2.0	6.1	21.5	18.5	2.5
22	24.06	25.7	25.6	1.9	6.5	22.5	19.6	2.8
23	26.53	31.3	30.5	2.6	7.5	27.0	21.1	3.5
24	29.01	37.7	36.5	3.3	9.5	32.4	25.1	4.7
25	31.43	45.6	42.6	4.0	10.5	37.8	27.9	6.0

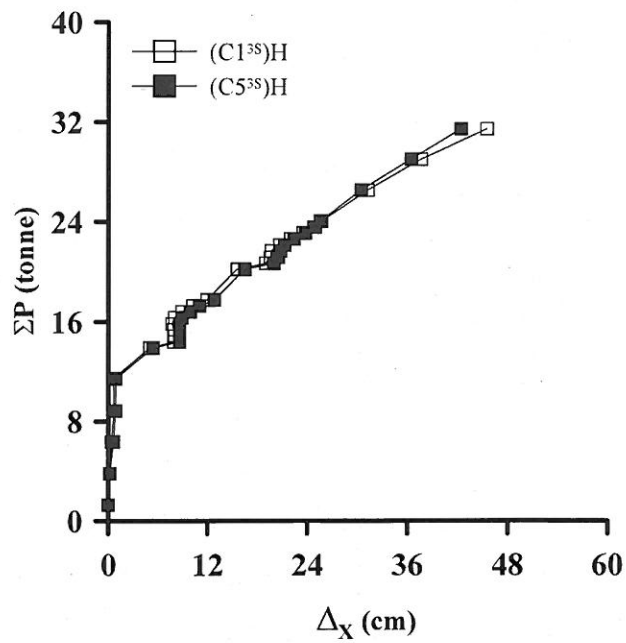


圖9 室外盤扣式鷹架試驗之載重與主桿中間處之X方向水平變位圖

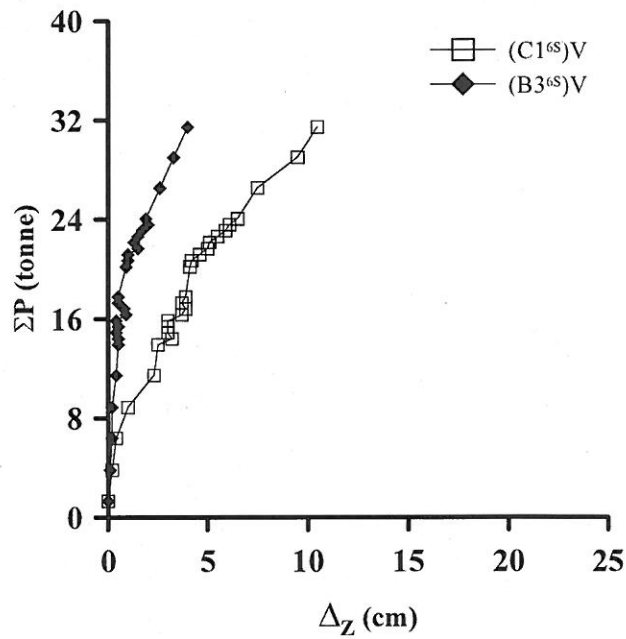


圖10 室外盤扣式鷹架試驗之載重與頂部Z方向垂直變位圖

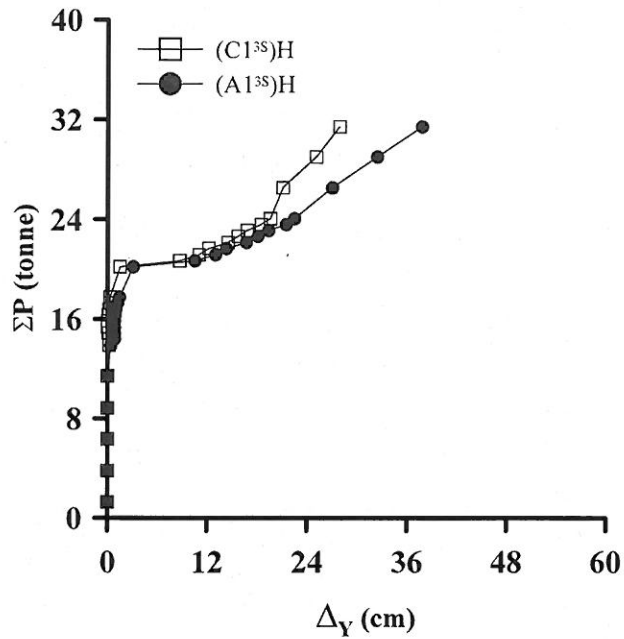


圖11 室外盤扣式鷹架試驗之載重與主桿中間處之Y方向水平變位圖

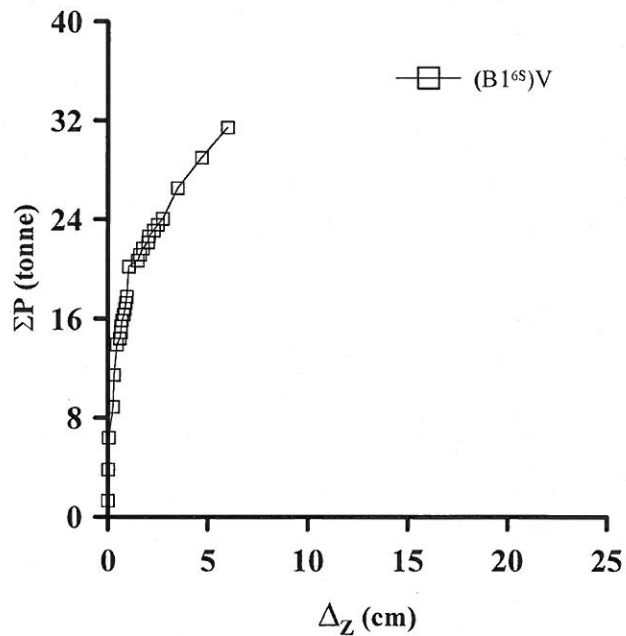


圖12 室外盤扣式鷹架試驗之載重與頂部Z方向垂直變位圖

圖13為施加總載重與RC混凝土塊及砂包二者之施加數量關係，此線段呈現兩種不同斜率，較平緩者表示是施加砂包，而斜率較大者表示是施加RC混凝土塊。另外圖14及圖15顯示盤扣式鷹架C1主桿位置之水平位移變化平面圖；圖中顯示加載初期，C1主桿主要先朝X方向位移後，再朝Y方向產生明顯位移；若由上往下觀察，盤扣式鷹架整體結構系統，有產生類似扭轉的破壞情況。

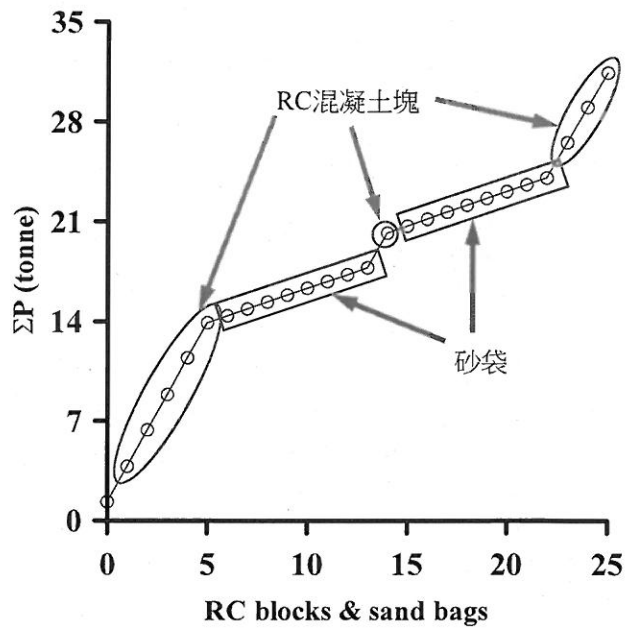


圖13 室外盤扣式鷹架試驗總載重與載重塊及砂包數量關係

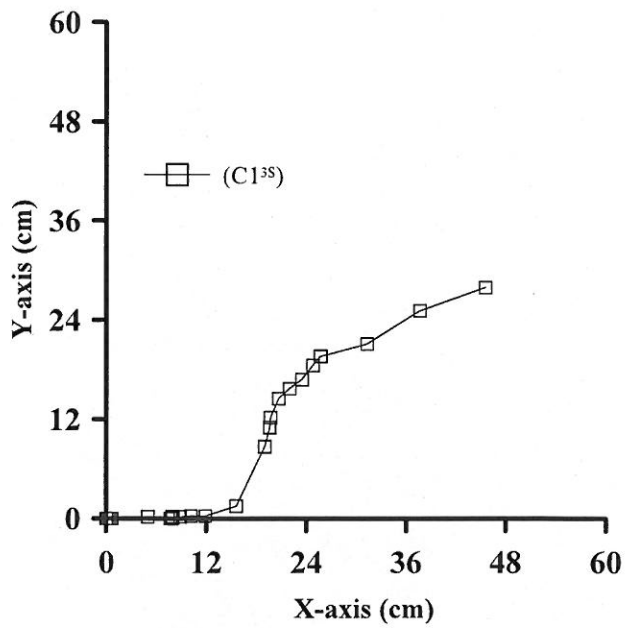


圖14 室外盤扣式鷹架試驗C1位置X及Y方向水平位移變化

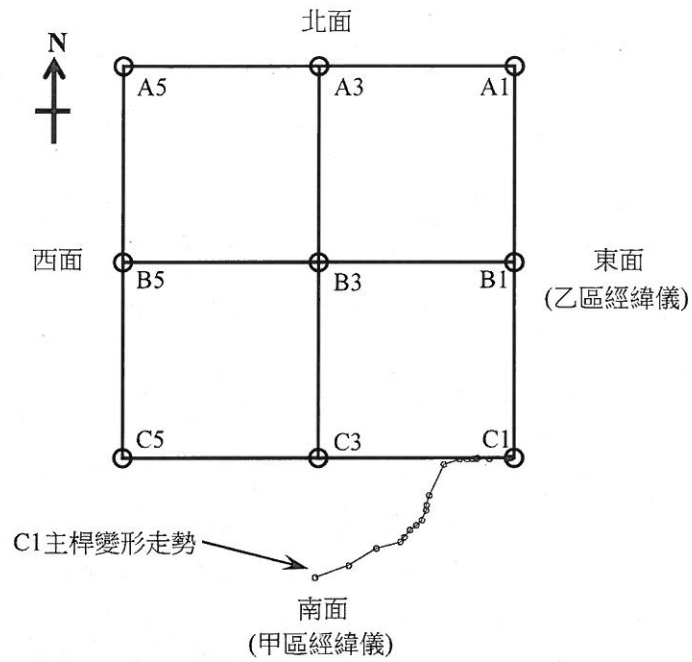


圖15 室外盤扣式鷹架試驗C1主桿水平變位路徑平面示意圖

圖16顯示出室外全尺寸載重試驗加載到最後盤扣式鷹架整體結構系統的破壞情形。破壞主因是盤扣式鷹架結構系統產生整體挫屈失穩而倒塌。由試驗加載過程中所觀測到的變形情況可以得知，盤扣式鷹架支撐結構系統的外圍主桿，在倒塌前皆有明顯的大變形，這是因為盤扣式鷹架四周外圍主桿皆沒有配置斜桿補強，因此造成此處主桿會先挫屈變形。



圖16 盤扣式鷹架室外試驗加載最後整體結構系統破壞情形

六、結論與建議

兩層長及寬皆180 cm之單組無斜桿之盤扣式鷹架，其試驗平均極限承載力為34.61 tonne，此盤扣式鷹架破壞模式為整體結構系統挫屈破壞。兩層長及寬皆180 cm之單組有斜桿盤扣式鷹架，其試驗平均極限承載力為66.68 tonne，此盤扣式鷹架破壞模式為層間挫屈破壞；而且其極限承載力約為無斜桿情況之極限承載力的2倍。

由六層兩排兩跨盤扣式鷹架結構系統的室外載重試驗結果顯示，在支撐結構系統破壞時，包含其上方承載平台之總載重為31.43 tonne。由經緯儀所量測得之最大水平變位，主要先產生在盤扣式鷹架主桿中間的X方向；接著再產生在盤扣式鷹架主桿中間的Y方向。此種先往X方向水平變形後，再往Y方向水平變形之方式，若由上方往下觀察，整個支撐結構系統呈現有如扭轉方式的變形。最上層模板處的四周邊界，由於已用水平側撐固定在型鋼構架上，因此不會有明顯的位移產生。此六層兩排兩跨盤扣式鷹架結構系統室外全尺寸載重試驗，主要是由外圍四周無斜桿補強之主桿先產生整體挫屈變形而最終導致整體結構系統失敗。內部中間主桿因有斜桿補強的關係，則無明顯變形產生。

由本文之室內及室外盤扣式鷹架結構系統載重試驗結果得知，垂直主桿無斜桿配置時，盤扣式鷹架結構系統的極限承載力會明顯大幅下降；因此，建議盤扣式鷹架在營造工地作為模板支撐使用時，無論在何種情形下都應確實架滿斜桿，以避免錯估盤扣式鷹架整體結構系統的承載力。

誌謝

本研究感謝科技部（MOST 105-2221-E-224-015）、得甦股份有限公司、源隆技術顧問有限公司、政揚實業有限公司、遠大興鋼鐵工程有限公司及研究生吳忠衛與王鍾勝等給予本研究在試驗上之協助。

參考文獻

1. “NISSO 3S System – Technical manual”, NISSO Industries CO., LTD, Japan, 155pp.
2. “Systems TH Scaffolds – Technical manual”, Safeway Services LLC, USA, 74pp.
3. “Ringlock System Scaffolding, – Catalog”, Wuxi Rapid Scaffolding Co., Ltd., CHINA, 22pp.
4. “Universal System Scaffold – Erection Procedure”, Universal Manufacturing Corp., USA, 13pp.
5. 高健章，“國內鋼管施工架使用現況安全之探討”，財團法人台灣營建研究中心，1983。
6. 楊永斌，高健章，張國緯，范清舜，“模板工程倒塌預警系統之開發研究--預警訊號之分析與研判技術”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，研究計劃報告，1995。
7. 楊永斌，高健章，呂良正，張國緯，吳世雄，杜偉民，“模板倒塌預警系統研究--模板支撐架縮小模型之自然頻率量測及理論分析”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究季刊，1995。
8. 呂良正，高健章，楊永斌，黃偉熙，黃木源，黃仲偉，“營建災害預警技術研究--模板倒塌預警系統安全指標之確定”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究季刊，1996。
9. 呂良正，高健章，楊永斌，黃偉熙，黃木源，鄒慶暉，吳世雄，林楨中，“鋼管施工架之承載力及頻率量測研究”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究季刊，1997。
10. 黃玉麟、顏聰、林雍智、陳惠發，(1996)，"混凝土灌漿作業對鋼管支撐架之荷重問題," 中國土木水利工程學刊，8 卷 2 期，第 281-286 頁。
11. 顏聰、黃玉麟、紀人超、林宜清，(1996)，"鋼管鷹架之支撐能力," 中國土木水利工程學刊，8 卷 1 期，第 33-34 頁。
12. 顏聰，彭瑞麟，林宜清，陳豪吉，耿彥偉，1999，“鷹架模板支撐系統使用木支撐之承載力”，中國土木水利工程學刊。
13. 顏聰，林宜清，黃玉麟，彭瑞麟，蔡慰龍，1997.11，“鋼管鷹架模板支撐在偏心載重作用下之承載力”，中國土木水利工程學刊，第九卷，第四期，第 655-663 頁。

14. Peng, J.L., Rosowsky, D.V., Pan, A.D., Chen, W.F., and Yen, T., (1996), "Analysis of Concrete Placement Load Effects Using Influence Surfaces," *ACI Structural Journal*, V. 93, No. 2, pp.180-186.
15. Peng, J.L., Pan, A.D.E., Chen, W.F., Yen, T., and Chan, S.L., (1997a), "Structural Modeling and Analysis of Modular Falsework Systems," *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 123, No. 9, pp.1245-1251.
16. Peng, J.L., Yen, T., Lin, I., Wu, K.L., and Chen, W.F., (1997b), "Performance of Scaffold Frame Shoring Under Pattern Loads and Load Paths," *ASCE Construction Engineering and Management Journal*, Vol. 123, No. 2, pp.138-145.
17. Huang, Y.L., Chen, H.J., Rosowsky, D.V. and Kao, Y.G. (2000a), "Load-carrying Capacities and Failure Modes of Scaffolding Shoring Systems, Part I: Modeling and Experiments," *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 10, No. 1, pp.57-79.
18. Huang, Y.L., Kao, Y.G. and Rosowsky, D.V. (2000b), "Load-carrying Capacities and Failure Modes of Scaffolding Shoring Systems, Part II: Analytical model and its closed-form Solution," *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 10, No. 1, pp.53-66.
19. 彭瑞麟，何崇銘，吳正隆，1999，"系統鷹架支撐結構承載力之初步探討"，計算機在土木工程之應用研討會，pp.57，台中市。
20. Peng, J.L., Yen, T., Kuo, C.C., and Chan, S.L., 2009, "Analytical and Experimental Bearing Capacities of System Scaffolds", *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, Vol.10, No.1, pp.82-92.