

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

房屋工程營造施工臨時支撐結構系統破壞機制之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 99-2221-E-224-024-
執行期間：99年08月01日至100年10月31日
執行單位：國立雲林科技大學營建工程系暨研究所

計畫主持人：彭瑞麟
共同主持人：湯兆緯、黃中和
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：林育賢
碩士班研究生-兼任助理人員：黃國哲
博士班研究生-兼任助理人員：吳忠衛
博士班研究生-兼任助理人員：王寶立

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 01 月 14 日

中文摘要：國內房屋工程營造施工臨時支撐結構，如木支撐、可調鋼管支柱、鋼管鷹架等，多年來均是採用「單組」臨時支撐結構強度之載重試驗值，作為評估「整體」臨時支撐結構承載力設計值的參考依據。國內臨時支撐結構倒塌意外頻傳，單組臨時支撐結構強度於設計時，是否能夠直接代表整體臨時支撐結構強度，一直是令設計者懷疑造成臨時支撐倒塌之因素。本研究為二年期計畫，第一年主要探討「房屋工程營造施工臨時支撐「單層組搭」及「雙層組搭」之結構系統破壞機制，嘗試直接探究整體臨時支撐結構倒塌問題。本研究以試驗為主，數值分析為輔，試驗之臨時支撐結構組配，主要是參考國內工地現場實際調查所得。研究中進行材料試驗及各類全尺寸臨時支撐結構載重試驗，據以瞭解單組及多組房屋工程營造施工各類臨時支撐結構系統之極限承載力及破壞模式、以及整體結構系統破壞機制。研究成果除可確國內房屋工程營造施工整體臨時支撐結構系統強度及破壞機制外，亦可提供作為此臨時支撐結構設計及安全施工之參考依據，研究期能降低未來國內房屋工程營造施工臨時支撐結構之倒塌意外。

中文關鍵詞：倒塌、破壞機制、結構系統、臨時支撐

英文摘要：Temporary supports, such as wooden shores, adjustable steel tube shores, steel scaffolds, are typically used in domestic building engineering during construction. The loading test strength of a group of temporary support has considered as the design strength to predict the entire strength of multi-groups of temporary supports. Collapses of domestic temporary supports occur frequently in Taiwan. Designers have doubted whether the collapse is induced by that the strength of a group of temporary support predicts directly the strength of the whole structural system of the temporary support in the falsework design. This research is a two-year project. The first-year research focuses on the failure mechanisms of structural systems of the single-layer and double-layer shoring temporary supports used in building engineering during construction. This study directly explores the collapse of the entire temporary supports. Experimental tests are mainly considered and then the numerical analysis is used to verify the test results

in the research. The test setups of the temporary supports are based on the survey of the actual construction sites. The material test and structural loading test are considered in the research. The critical loads, the failure models and the entire failure mechanisms of a group and multi-group of temporary supports used in building engineering during construction can be verified based on these tests. The study can verify the strengths and failure mechanisms of temporary supports used in building engineering during construction. In addition, the research results can be used in both the strength design of temporary supports and safe construction of various falsework. This study can be used to decrease the happenings of collapses of temporary supports used in building engineering during construction.

英文關鍵詞： Collapse, Failure Mechanism, Structural System, Temporary Support

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

房屋工程營造施工臨時支撐結構系統破壞機制之研究

Failure Mechanisms of Structural Systems of Temporary Supports Used in Building Engineering during Construction

計畫編號：NSC 99-2221-E-224-024

執行期限：99 年 08 月 01 日至 100 年 10 月 31 日

主持人：彭瑞麟 雲林科技大學營建系

共同主持人：湯兆緯 正修科技大學土木與工程資訊系、大漢技術學院 大漢技術學院土木工程系

計畫參與人員：吳忠衛、林育賢、黃國哲、王寶立 雲林科技大學營建系

一、中文摘要

國內房屋工程營造施工臨時支撐結構，如木支撐、可調鋼管支柱、鋼管鷹架等，多年來均是採用「單組」臨時支撐結構強度之載重試驗值，作為評估「整體」臨時支撐結構承载力設計值的參考依據。國內臨時支撐結構倒塌意外頻傳，單組臨時支撐結構強度於設計時，是否能夠直接代表整體臨時支撐結構強度，一直是令設計者懷疑造成臨時支撐倒塌之因素。本研究為二年期計畫，第一年主要探討「房屋工程營造施工臨時支撐「單層組搭」及「雙層組搭」之結構系統破壞機制，嘗試直接探究整體臨時支撐結構倒塌問題。本研究以試驗為主，數值分析為輔，試驗之臨時支撐結構組配，主要是參考國內工地現場實際調查所得。研究中進行材料試驗及各類全尺寸臨時支撐結構載重試驗，據以瞭解單組及多組房屋工程營造施工各類臨時支撐結構系統之極限承载力及破壞模式、以及整體結構系統破壞機制。研究成果除可確國內房屋工程營造施工整體臨時支撐結構系統強度及破壞機制外，亦可提供作為此臨時支撐結構設計及安全施工之參考依據，研究期能降低未來國內房屋工程營造施工臨時支撐結構之倒塌意外。

關鍵詞：倒塌、破壞機制、結構系統、臨時支撐

Abstract

Temporary supports, such as wooden shores, adjustable steel tube shores, steel scaffolds, are typically used in domestic

building engineering during construction. The loading test strength of a group of temporary support has considered as the design strength to predict the entire strength of multi-groups of temporary supports. Collapses of domestic temporary supports occur frequently in Taiwan. Designers have doubted whether the collapse is induced by that the strength of a group of temporary support predicts directly the strength of the whole structural system of the temporary support in the falsework design. This research is a two-year project. The first-year research focuses on the failure mechanisms of structural systems of the single-layer and double-layer shoring temporary supports used in building engineering during construction. This study directly explores the collapse of the entire temporary supports. Experimental tests are mainly considered and then the numerical analysis is used to verify the test results in the research. The test setups of the temporary supports are based on the survey of the actual construction sites. The material test and structural loading test are considered in the research. The critical loads, the failure models and the entire failure mechanisms of a group and multi-group of temporary supports used in building engineering during construction can be verified based on these tests. The study can verify the strengths and failure mechanisms of temporary supports used in building engineering during construction. In addition, the research results can be used in both the strength design of temporary supports and safe construction of various falsework. This

study can be used to decrease the happenings of collapses of temporary supports used in building engineering during construction.

Keywords: Collapse, Failure Mechanism, Structural System, Temporary Support

二、緣由與目的

房屋建築工程於營造施工過程中，版樑模上之新澆置混凝土等載重，常需要使用臨時支撐來支撐這些重量。國內房屋工程營造施工之模板支撐臨時結構，常依照房屋挑空高度、工程類型、施工成本及工地環境等因素，使用不同支撐構材，如：可調鋼管支柱、木支撐、鋼管鷹架、系統鷹架、重型支撐架、型鋼架等。

房屋工程臨時支撐結構常依建築物內部挑高作不同組搭，可約略分為：單層組搭、雙層組搭、鋼管鷹架與它種支撐聯合組搭。當建築物內部之挑空高度小於 4 m 時，國內工地多半採用單層組搭，一般常使用可調鋼管支柱或木支撐作為支撐構材，照片 1 為單層組搭臨時支撐結構之簡化示意圖。

建築物結構內部挑空高度介於 4~7 m 時，國內工地為節省經費，常使用木支撐或可調式鋼管支柱為構材之雙層組搭配置，照片 2 為國內雙層組搭臨時模板支撐結構配置之示意圖。當臨時支撐高度大於 7m 以上之高挑空高度，工地以鋼管鷹架與木支撐(或可調鋼管支柱)聯合組搭方式，如照片 3 所示。

根據勞委會國內營造業職業災害統計資料顯示，營造業職業災害之倒塌災害，常發生於混凝土澆置過程中臨時支撐結構的失敗，所造成工作人員集體且大量的傷亡，引致生命及財產的損失最為嚴重。由於受難者多為弱勢族群且年齡多座落於 20~50 歲之間，為家庭經濟來源，當傷亡意外發生後，造成受難家庭經濟來源頓失，子女失學，以致於衍生出不少的社會問題。

國內有關臨時支撐結構相關研究，以中興大學土木系顏聰教授研究團隊進行勞委會計畫作較有系統的工安實務研究^[1-4]，他們對於鋼管支撐架承载力與層數、偏心及非對稱等力學行為及破壞模式有深入探

討；彭瑞麟^[5-11]針對單層及雙層組搭之理論方析方面，亦有相當程度的具體成果；黃玉麟教授針對鋼管鷹架力學行為配壞模式有作深入探討^[12-14]；台灣大學土木系楊永斌教授、高健章教授與呂良正教授等^[15-16]針對模板支撐進行預警規劃等方面有具體成果。

國外 Hadipriono & Wang 針對模板支撐倒塌案例進行調查研究^[17]；Mosallam & Chen 針對可調鋼管支柱作為支撐及回撐的力學行為有作探討^[18]；Godley & Beale 探討單排鋼管鷹架承载力進行試驗及分析研究^[19]；Weesner & Jones 針對框架式鋼管鷹架承载力及破壞模式進行研究^[20]；Yu 針對標準型門形鋼管鷹架承载力及其柱曲線之建立進行研究^[21]。

上述國內外臨時支撐的研究，多半針對單組鋼管鷹架支撐結構自身承载力及破壞模式進行探討，對於臨時支撐整體結構系統失敗問題沒有涉入。此外對於臨時支撐倒塌案例等實際問題並未有深入探討，有的多為資料收集及個案探討等，由於缺乏試驗作證，其倒塌推論多屬臆測性質，對於解決實際工地臨時支撐倒塌問題助益不大。因此實有必要針對「單層」及「雙層」臨時支撐系統破壞進行研究，進而掌握這類臨時支撐結構之破壞機制及模式，以作為未來房屋工程這類臨時支撐倒塌防治的參考。

三、研究方法、結果與討論

3.1 研究重點及方法

本研究主要探討房屋工程營造施工中「單層」及「雙層」模板支撐結構系統破壞機制及其力學行為。研究經由收集國內房屋建築工程倒塌案例，藉由倒塌案例的彙整、比對及分析，確認研究之試驗規劃，經由試驗驗核「單層」及「雙層」模板支撐結構系統破壞機制，研究成果可作為未來房屋建築工程這類臨時支撐倒塌防治的參考。

本研究主要採用試驗方法進行，試驗的規劃依照研究的各項調查及資料收集等彙整結果進行。不過由於本研究計畫書中編列的試驗經費，在審查時被刪除一部份，再加上研究期間市場鋼價波動調升，致使

原經費無法採購原預計數量之可調鋼管支柱數料。為使本計畫順利進行，在不違反原計畫精神，依照計畫書審查後的經費，編列適當之試驗項目。本計畫試驗以縮小模型試驗為主，進行「單層」及「雙層」模板支撐結構系統破壞機制研究。

3.2 研究結果與討論

依據研究的規劃進行支撐構材之「單層組搭」及「雙層組搭」試驗，所使用之組配構材為可調鋼管支柱、木支撐及鋼棒等構材。「單層」及「雙層」組搭各類試驗結果如表 1~表 3 所示。

3.2.1 材料性質

a. 可調鋼管支柱

材料性質以斷面尺寸為主，隨機抽樣三根可調鋼管支柱後量測斷面尺寸。採用兩種類型可調鋼管支柱，類型(I)為可伸展長度為 3.4m~4.6m，底管平均外徑 $D=60.14$ mm、厚度 $t=1.85$ mm，接管平均外徑 $D=48.33$ mm、厚度 $t=1.91$ mm；類型(II)為可伸展長度為 4.4m~5.6m，底管平均外徑 $D=60.14$ mm、厚度 $t=1.85$ mm，接管平均外徑 $D=48.33$ mm、厚度 $t=2.24$ mm。

b. 木支撐

隨機 9 根木支撐後量測構材斷面尺寸，本試驗所用之木支撐角材為方形，每支分別量測四面尺寸，最後將其平均，求得木支撐平均邊長 $L=59.72$ mm。

c. 鋼棒

本研究利用鋼棒材料進行單層模擬組搭及雙層模擬組搭試驗，其材料性質以斷面尺寸、彈性模數等資料為主，進行材料試驗求取支撐構材的彈性模數(E)。由鋼棒構材中隨機抽樣，裁切兩組長 15 cm 的鋼棒。在每根鋼棒中央位置的斷面四等分處標註記號(即斷面每 90° 標註一記號)，於記號處黏貼應變計，每根四個應變計。將鋼管放置在萬能試驗機上施載，利用應力和應變的關係求得材料的彈性模數。兩組彈性模數的平均值為 19594.30 kN/cm^2 (1997.38 tonnef/ cm^2)，此與標稱值 20012.4 kN/cm^2 (2040 tonnef/ cm^2) 頗為接近。在分析時則採用試驗所得之彈性模數的平均值為 19594.30 kN/cm^2 (1997.38 tonnef/ cm^2)，再

由量測多根鋼棒求取斷面尺寸，得鋼棒的直徑 $D=35.714$ mm，求得 $A=10.012\text{cm}^2$ 、 $I=7.977\text{cm}^2$ ，作為分析時之依據。

3.2.2 單層組搭結構

本類型試驗為「單層組搭結構」模式，分別對可調鋼管支柱邊界無側移及靠桿效應邊界有側移之類型進行探討。

(1) 邊無側移

a. 單根

此類型試驗採用兩種不同長度之可調鋼管支柱，類型(I)可伸展長度為 3.4m~4.6m，類型(II)可伸展長度為 4.4m~5.6m。二者差異在於相同高度下，接管與底管重疊長度不同，本研究將高度維持在 4.5m 同一高度情形下進行試驗。

圖 1 為類型(I)試驗所得之 $P-\Delta$ 曲線，曲線過最大值後，支撐構材已達破壞，承载力瞬間下降。類型(I)總共進行兩組試驗，其平均承载力為 2.477 tonnef。

照片 4 為類型(II)試驗破壞情形，最大水平變位發生在試體高度中間處。類型(II)總共進行三組試驗，其平均承载力為 2.613 tonnef (扣除誤差過大值)。

在相同高度下，由於接管與底管重疊長度不同，類型(II)比類型(I)強度提高 5.4% ($(2.613-2.477)/2.477=5.4\%$)。

b. 六根系統

利用不同類型可調鋼管支柱類型進行多根配置試驗，在類型(I)配置 6 根可調鋼管支柱，並且加水平鋼管作固定。從照片 5 可以得知，此試驗破壞發生在上層之接管部分，6 根可調鋼管支柱受力後在水平鋼管上方整體於水平方向產生變形。類型(I)試驗承載強度為 14.211 tonnef。圖 2 為類型(II)試驗所得之 $P-\Delta$ 曲線，從曲線中可得知，加載於最大值後，立即瞬間破壞，試驗承載強度為 16.262 tonnef。

在相同條件，類型(II)比類型(I)強度提高 14.4% ($(16.262-14.211)/14.211=14.4\%$)。

(2) 邊界有側移

此部分的研究，主要探討「靠桿效應」對「單層組搭」臨時支撐結構系統極限承载力的影響，受限於計畫經費，本研究採用縮小模型的方式進行試驗。

a. 一跨

照片 6 為單層組搭一跨結構系統邊界有側移靠桿效應試驗破壞情形，強柱受固定端影響，桿件只在最左側強柱位置變形，靠桿本身無彎曲變形。試驗之 P- Δ 曲線，如圖 3 所示，由圖中可發現承載力趨於一定值，水平變位一直增加，表示結構已破壞，其平均承載力為 3.558 tonnef。

b. 兩跨

本類型試驗配置為 1 根強柱、2 根靠桿，其試驗結果由圖 4 得知，一開始水平變形量不明顯，力量持續上升，靠桿所產生的水平力增加，造成試驗配置滾輪滑動，最後趨於定值，其平均承載力為 3.498 tonnef(扣除誤差過大值)。破壞模式如照片 7 所示，為最左側強柱變形破壞。

c. 三跨

圖 5 為單層組搭三跨結構系統試驗之 P- Δ 曲線，結構受力初始無明顯變位情形，之後隨著外力增加變形也逐漸增加，當受力越大，其水平變位越明顯，而承載力逐漸趨於定值。試驗破壞僅發生在最左側之強柱位置，3 根靠桿除傾斜外都無明顯變形，如照片 8 所示。本類型試驗平均承載力為 3.498 tonnef(扣除誤差過大值)。

d. 四跨

本試驗為 1 根強柱及 4 根靠桿，由圖 6 試驗結果得知，當水平變位明顯增加，其力量會有微小震盪，表示滾輪產生水平滑動時，結構內力會重新分配。外力施加到一個階段後，外力不再增加僅有水平變形，最後最左側強柱變形過大，無法再產生更強的抵抗力量，此時結構系統已破壞，如照片 9 所示。本研究試驗平均承載力為 3.544 tonnef。

由以上單層組搭 1~4 跨靠桿效應試驗結果，發現其承載力破壞強度趨於定值無明顯下降，表示本類型試驗屬於結構系統彈性挫屈破壞，而僅在最左側強柱發生變形，如照片 10，而靠桿均無變形，此顯示增加僅增加靠桿，無法有效提高整體結構系統極限承載力。

3.2.3 雙層組搭結構

(1) 無側撐補強

本節試驗配置以木支撐組搭成雙層結構支撐，上下層支撐高度相同，均為 1.6 m；從圖 7 試驗結果得知，本類型試驗組搭幾乎無法提供承載力，結構一受壓力，水平變位持續增加，其承載力為 0.435 tonnef。本結構系統上下各層構件均無破壞，上下層中間水平位移過大導致系統破壞，破壞驗如照片 11 所示。

(2) 有側撐補強

本類型試驗配置同上述為上、下層同支撐高度 1.6m，並在中雙層中間四周加上橫向鋼管作水平側撐，使本結構上下層間不會有水平變位。圖 8 為雙層組搭有側撐補強結構系統試驗 P- Δ 曲線，當承載力達最大值結構破壞後，力量瞬間下降，其破壞情形如照片 12 所示。受側撐補強影響，結構系統破壞位置在上層，單根木支撐斷裂，結構系統挫屈載重為 14.834 tonnef。

由上述雙層組搭木支撐結構系統載重試驗得知，有側撐之結構系統破壞為單根支撐構材斷裂；而無側撐之結構配置，受力後整體結構會在中間部分朝水平方向變形，支撐無法發揮抵抗強度，屬整體系統破壞，此類雙層組搭木支撐結構強度試驗，有側撐補強度約為無側撐補強度的 34 倍 ($14.834/0.435=34.1$)。

(3) 靠桿效應

a. 一跨

本試驗為雙層組搭靠桿效應一跨試驗，上下層為相同高度，照片 13 為試驗後破壞情形。其破壞行為，僅在下層最左側的強柱變形，其他靠桿如同單層組搭僅傾斜而無構件變形。從圖 9 得試驗之 P- Δ 曲線，加載後試驗曲線趨於定值，本試驗之平均極限載重為 1.684 tonnef。

b. 兩跨

試驗配置 1 根強柱及 5 根靠桿，進行二跨試驗，此試驗結構破壞在下層最左側強柱，受強柱底部固定端束制，強柱為桿件受壓彎曲破壞，如照片 14 所示。圖 10 為試驗之 P- Δ 曲線，從此曲線中可發現，試驗承載力趨於定值。承載力達最大值後下降不明顯，表示為此結構為彈性變形破壞，試驗平均承載力為 1.719 tonnef。

c. 三跨

本試驗為雙層三跨靠桿效應試驗，配置 1 根強柱及 7 根靠桿，從圖 11 試驗 P- Δ 曲線結果得知，初始水平位移，隨著力量加載明顯變形，試驗過最大值後，力量緩慢下降。本類型試驗平均承载力為 1.751tonnef (扣除誤差過大值)，從照片 15 發現其破壞為強柱變形。

由本類型之雙層組搭靠桿效應一~三跨結構系統結構試驗，三者破壞的力學行為幾乎一致。承载力趨於定值，而破壞模式皆為強柱變形之系統破壞，靠桿無破壞，表示靠桿受鉸接影響，只傳遞軸壓力，造成整體結構系統均由底層最左側強柱抵抗，增加靠桿無法提供額外整體結構之極限載重。

3.2.4 數值分析

本研究採用二階-半剛性接頭分析模式(Second-order Semi-rigid Joint Analysis)進行試驗結果的輔助分析，所採用之分析軟體為香港理工大學土木系陳紹禮教授發展之 GMNAF 非線性分析軟體。分析結果如表 3 所示。

四、計畫成果自評

本研究內容與原計畫書內容相符。本計畫為二年期研究的第一年計畫，本年度計畫完成房屋工程營造施工臨時支撐以單層組搭及雙層組搭試驗為主體並輔以分析比較之研究。研究初期工作親赴國內房屋工程臨時支撐工地現場進行實際調查，拍攝並收集及紀錄現場實際情形，瞭解房屋工程臨時支撐組合結構依不同挑高特性，以不同支撐構材作組搭配置，據此規劃本研究營造施工臨時支撐的各類試驗組配。此外，本研究期間，國內營造工地先後共發生八件模板支撐、上下設備、施工架等倒塌之職業災害，計畫主持人亦親赴倒塌工地現場收集倒塌相關資料，與本研究支撐結構系統試驗之規劃及結果作比較。

本研究已達成原計畫所訂之預期目標，研究成果除具工程實務價值，可提供國內房屋工程營造施工單層組搭及雙層組搭之工地臨時支撐組搭之參考外，研究成果亦可在學術期刊上發表。

具體的研究結果分述如下：(1)彙整工地現場實際調查單層組搭及雙層組搭之房

屋工程臨時支撐結構具有之特性；(2)單層組搭不同長度可調鋼管支撐，隨著長度越長，其承载力越低；(3)可調鋼管在相同長度配置下，類型(II)承载力比類型(I)強約 5.4%，表示較長之接管長度，與底管重疊部分較多時可提高承载強度；(4)可調鋼管支柱在相同材質下，6 根有水平固定可調鋼管支柱，比單根提高強度約 14.4%；(5)單層組搭邊界有側移之一~四跨結構系統靠桿效應試驗，破壞模式為整體結構系統破壞，且隨著跨數增加，單層組搭支撐結構系統之極限承载力沒有明顯上升，承载力趨於定值。此表示僅增加靠桿，對結構系統極限承载力無法有效提升；(6)雙層組搭無側撐木支撐結構試驗，在上下層高度相同時，其破壞為整體結構系統破壞，且各別構件無破壞；(7)雙層組搭有側撐木支撐結構試驗，上下層組搭高度相同，且在上下層間接合處作側撐補強時，由於受水平側撐補強，結構系統強度約為無側撐配置情況 34 倍，且其破壞為單根構件斷裂；(8)雙層組搭支撐結構系統靠桿效應一~三跨試驗，三者總極限承载力趨於定值，其力學行為與破壞模式與單層組搭支撐結構系統靠桿效應試驗近似。均為強柱變形破壞，進而引發整體結構系統破壞，僅增加靠桿無法提升極限承载力；(9)雙層組搭上下層支撐間結合處無側撐補強時，當結構承壓後，此結合處容易產生水平變位，使得此種無側撐補強支撐結構系統承载力明顯比有側撐情況小。工地雙層組搭支撐結構若無法保證有側撐補強時，應該避免使用。

五、參考文獻

1. 顏聰、林宜清、黃玉麟、彭瑞麟、蔡慰龍，“鋼管鷹架模板支撐在偏心載重作用下之承载力”，中國土木水利工程學刊，第九卷，第四期，pp.655-663，1997。
2. 顏聰、林宜清、黃玉麟、陳豪吉、蔡慰龍、巫昆霖、彭瑞麟、陳惠發，“鋼管支承架受非對稱荷重及側向位移之研究”，勞工安全衛生研究季刊，第三卷，第一期，pp.51-69，1995。
3. 顏聰、黃玉麟、彭瑞麟、林宜清、陳豪吉，“營造作業安全技術手冊—混凝土工程”，行政院勞工委員勞工安全衛生

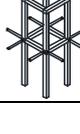
- 研究所，研究計劃報告，273pp.，1998。
4. 顏聰，陳惠發，林宜清，黃玉麟，陳豪吉，黃傳欣，“模板支撐倒塌預警系統 - 鋼管架支撐承受非規則荷重之研究”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，臺北，1994。
 5. Peng, J.L., “Stability Analyses and Design Recommendations for Practical Shoring Systems during Construction”, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, November/December, pp. 536-544, 2002.
 6. Peng, J.L., Structural Modeling and Design Considerations for Double-Layer Shoring Systems,” *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, May/June, pp.368-377, 2004.
 7. Peng, J.L., Pan, A.D.E., and Chan, S.L., “Simplified Models for Analysis and Design of Modular Falsework,” *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 48, No. 2/3, pp.189-209,1998.
 8. Peng, J.L., Pan, A.D.E., Chen, W.F., Yen, T., and Chan, S.L., “Structural Modeling and Analysis of Modular Falsework Systems,” *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 123, No. 9, pp.1245-1251, 1997.
 9. Peng, J.L., Rosowsky, D.V., Pan, A.D., Chen, W.F., and Yen, T., “Analysis of Concrete Placement Load Effects Using Influence Surfaces,” *ACI Structural Journal*, V. 93, No. 2, pp.180-186, 1996.
 10. Peng, J.L., Pan, A.D., Rosowsky, D.V., Chen, W.F., Yen, T., and Chan, S.L., “High Clearance Scaffold Systems During Construction, Part I: Structural Modeling and Modes of Failure,” *Engineering Structures*, Vol. 18, No. 3, pp.247-257, 1996.
 11. Peng, J.L., Rosowsky, D.V., Pan, A.D., Chen, W.F., Chan, S.L., and Yen, T., “High Clearance Scaffold Systems During Construction, Part II: Structural Analysis and Development of Design Guidelines,” *Engineering Structures*, Vol. 18, No. 3, pp.258-267, 1996.
 12. Y. L. Huang, H. J. Chen, D. V. Rosowsky and Y. G. Kao, “Load-Carrying Capacities and Failure Modes of Scaffold-Shoring Systems, Part I: Modeling and Experiments,” *Structural Engineering and Mechanics, An International Journal*, vol.10, no.1, pp.53-66, 01 2000.
 13. Y.L. Huang, Y.G. Kao and D.V. Rosowsky, “Load-carrying capacities and failure modes of scaffold-shoring systems, Part II: An analytical model and its closed-form solution,” *Structural Engineering and Mechanics*, Vol.10, No.1, pp.67-79, 2000.
 14. Yue-Lin Huang, Wei-Fah Chen, How-Ji Chen, Tsong Yen, Yu-Ghian Kao and Chao-Qin Lin, “A monitoring for scaffold-frame shoring systems for elevated concrete formwork,” *Computers and Structures* 78, pp.681-690, 2000.
 15. 楊永斌、高健章、呂良正、張國緯、吳世雄、杜偉民，“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，第三卷，第四期，pp.93-104，1995。
 16. 呂良正、高健章、楊永斌、黃偉熙、黃木源、鄒慶暉、吳世雄、林楨中，“鋼管鷹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，第五卷，第二期，pp.1-13，1997。
 17. Hadipriono, F. C. and Wang, H. K., “Analysis of causes of falsework failures in concrete structures”, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 112, No. 1, pp. 112-121,1986.
 18. Mosallam, K., and Chen, W. F., “Design Considerations for Formwork in Multistory Concrete Buildings,” *Engineering Structures*, Vol.12, No.7, pp.163-172, 1990.
 19. Godley, M.H.R. and Beale RG. “Sway Stiffness of Scaffold Structures,” *The Structural Engineer*, V.75, No.1, pp.4-12, 1997.
 20. Weesner, L.B. and Jones, H.L., “Experimental and analytical capacity of frame scaffolding,” *Engineering Structures* 23, pp.592-599, 2001.
 21. Yu, W.K., “An Investigation into Structural Behaviour of Modular Steel Scaffolds,” *Steel and Composite Structures*, Vol.4, No.3, pp.211-226, 2004.

表 1 單層組搭支撐結構系統載重試驗

項次	種類	型式	圖形	編號	試驗值(tonf)，垂直變形量(mm)					備註
					A	B	C	D	E	
1	單根可調鋼管支柱 4.5m		P _{450(I)} (P _{450(I),T})	2.474 (1.821)	2.480 (2.210)	--	--	--	2.477 (2.016)	類型(I)
				垂直變形量	8.87 (4.53)	8.17 (5.37)	--	--	--	
2	可調鋼管支柱 4.5m		P _{450(II)} (P _{450(II),T})	2.603 (2.607!)	2.623 (2.374)	3.054!	--	--	2.613 (2.448)	類型(II)
				垂直變形量	7.85 (5.80)	8.56 (5.58)	10.94 (5.85)	--	--	
3	有水平繫條		6P ₄₅₀ B _{H(I)} (6P ₄₅₀ B _{H(I),T})	14.211 (11.054)	--	--	--	--	14.211 (11.054)	類型(I)
				垂直變形量	6.48 (4.48)	--	--	--	--	
4	有水平繫條		6P ₄₅₀ B _{H(II)} (6P ₄₅₀ B _{H(II),T})	16.262 (12.106)	--	--	--	--	16.262 (12.106)	類型(II)
				垂直變形量	7.51 (4.52)	--	--	--	--	

附註：
 1. L：Layer、P：Prot、B：Bay、B_H：Horizontal Bracing、K：Effective Length Factor、T：Two。
 2. P 下標數字為試驗桿長及類型(I)、(II)。
 3. 類型(I)：可伸展長度為 3.4m~4.6m。
 4. 類型(II)：可伸展長度為 4.4m~5.6m。
 5. 試驗 No.1~No.4，邊界為下方墊鐵塊，上方接觸大盤。
 6. !：表示有問題之數據，不列入平均。
 7. -：沒有數據。
 8. tonf：tonne force 公噸力。

表 2 雙層組搭支撐結構系統載重試驗

項次	種類	型式	圖形	編號	試驗值(tonf)，垂直變形量(mm)					備註	
					A	B	C	D	E		平均
1	側撐補強	無補強		2WS1B	0.435	--	--	--	--	0.435	每層主桿 160cm 長 共兩層
				垂直變形量	1.92	--	--	--	--	1.92	
2	雙向補強		2WS1BB _H	14.834	--	--	--	--	14.834	每層主桿 160cm 長 共兩層	
				垂直變形量	26.11	--	--	--	--		26.11

附註：
 1. L：Layer、WS：Wooden Shore、B：Bay、B_H：Horizontal Bracing、T：Two。
 2. tonf：tonne force。
 3. -：沒有數據。

表 3 單層及雙層組搭支撐結構系統靠桿效應載重試驗與分析比較

項次	種類	型式	圖形	編號	試驗值(kgf), 變形量(mm)					分析值(kgf) 程式(b)	誤差(%) (b-a)/a	備註	
					A	B	C	D	E				平均(a)
1	單層組搭	單根 K=1		1LK _{1,0}	13240	14254	--	--	--	13747	12737	-7.9	全部自重 133kgf
				水平變形量	8.89	9.986	--	--	--	9.438	--	--	
2	單層組搭	單根 K=2		1LK _{2,0}	3557*	3077	2995	--	--	3036	3098	2.0	全部自重 146kgf
				水平變形量	1.45*	52.30	55.10	--	--	53.70	--	--	
3	單層組搭	單跨		1L1B	3629	3415	3629	--	--	3558	3423	-3.9	全部自重 162kgf
				水平變形量	49.54	51.81	31.23	--	--	41.52	--	--	
4	單層組搭	兩跨		1L2B	3090*	3288*	3382*	3534	3462	3498#	3516	0.5	全部自重 177kgf
				水平變形量	61.23*	71.74*	54.57*	53.22	56.91	55.07#	--	--	
5	單層組搭	三跨		1L3B	3099*	3537	3459	--	--	3498#	3556	1.6	全部自重 192kgf
				水平變形量	42.74*	38.10	56.02	--	--	47.06#	--	--	
6	單層組搭	四跨		1L4B	3615	3473	--	--	--	3544	3588	1.2	全部自重 208kgf
				水平變形量	38.21	65.16	--	--	--	51.69	--	--	
7	雙層組搭	單跨		2L1B	1697	1671	--	--	--	1684	1780	5.4	全部自重 252kgf
				水平變形量	69.48	62.93	--	--	--	66.21	--	--	
8	雙層組搭	兩跨		2L2B	1716	1722	--	--	--	1719	1806	4.8	全部自重 297kgf
				水平變形量	59.35	67.00	--	--	--	63.18	--	--	
9	雙層組搭	三跨		2L3B	1910*	1732	1770	--	--	1751#	1818	3.7	全部自重 341kgf
				水平變形量	56.62*	67.88	62.43	--	--	65.16#	--	--	

附註：

1. L : Layer、B : Bay、K : Effective Length Factor。
2. L 為鋼棒長 100cm, a 為跨徑 40cm。
3. * : 誤差過大, 不列入平均。
4. ! : 表示有問題之數據, 不列入平均。
5. - : 沒有數據。
6. 分析值之 A 為 10.012cm²、I 為 7.977cm⁴、E 為 1997.38tonnef/cm²。
7. 試驗值為儀器載重值加初始自重值。各載重說明如下表：

構件名稱	鋼棒	刀座(公)	刀座(母)	固定端	C 型夾	鱈魚夾	中層型鋼 (含側撐)	上層型鋼	單層組搭 銜層墊塊	雙層組搭 銜層墊塊
重量(kgf)	7.92	2.46	2.87	6.92	0.54	1.32	41.51	118	12.8	2

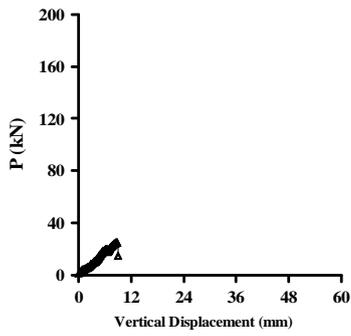


圖 1 單根可調鋼管支柱試驗 P- Δ 曲線

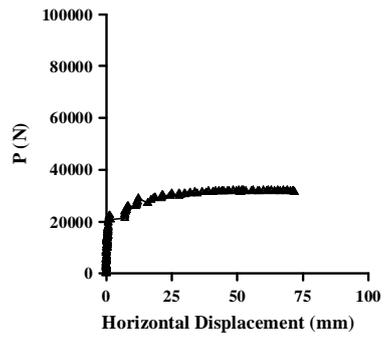


圖 5 單層組搭三跨系統靠桿效應試驗 P- Δ 曲線

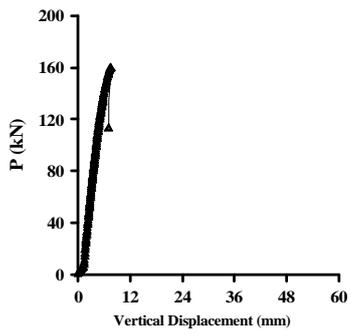


圖 2 可調鋼管支柱 6 支系統試驗 P- Δ 曲線

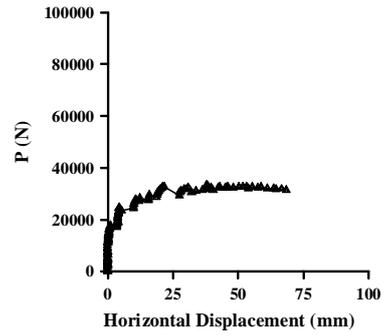


圖 6 單層組搭四跨系統靠桿效應試驗 P- Δ 曲線

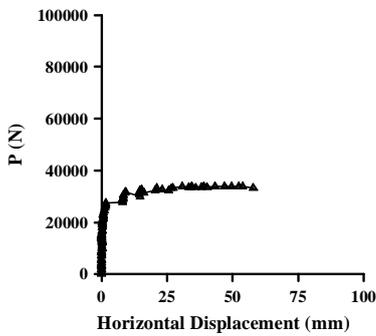


圖 3 單層組搭一跨系統靠桿效應試驗 P- Δ 曲線

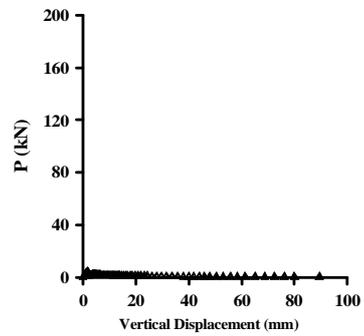


圖 7 雙層組搭無側撐木支撐系統試驗 P- Δ 曲線

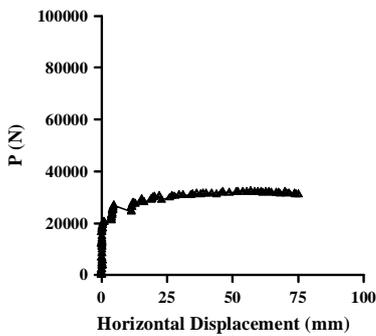


圖 4 單層組搭二跨系統靠桿效應試驗 P- Δ 曲線

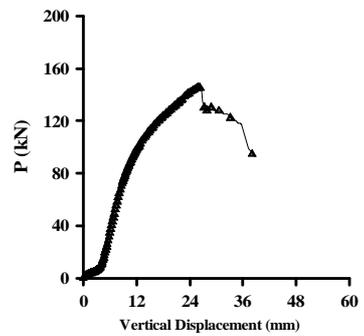


圖 8 雙層組搭雙向側撐木支撐系統試驗結果

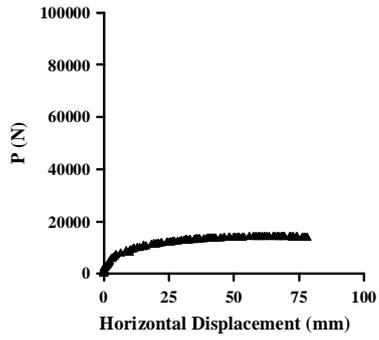


圖 9 靠桿效應試驗 2L1B-A 組試驗結果



照片 1 工地可調鋼管單層組搭情形

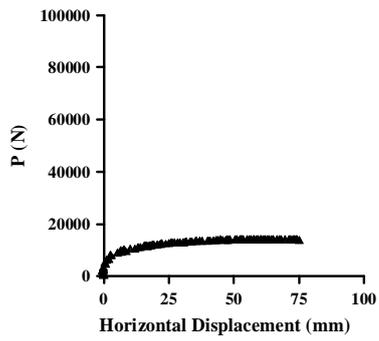


圖 10 靠桿效應試驗 2L2B-A 組試驗結果



照片 2 工地可調鋼管雙層組搭情形

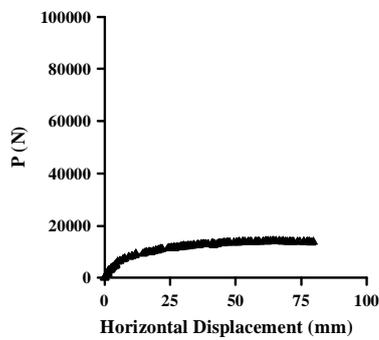


圖 11 靠桿效應試驗 2L3B-C 組試驗結果



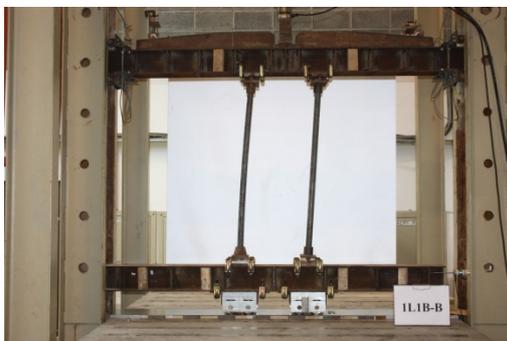
照片 3 工地鷹架與木支撐聯合組搭情形



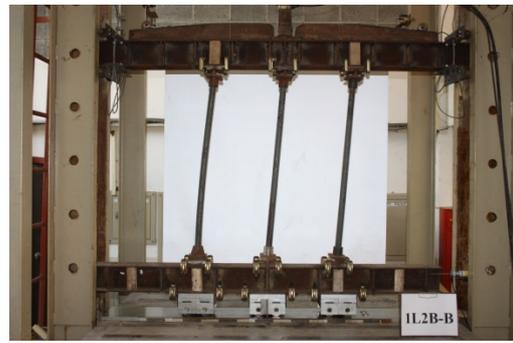
照片 4 單根可調鋼管支柱之試驗破壞情形



照片 5 可調鋼管支柱 6 支結構系統試驗破壞情形



照片 6 單層組搭一跨系統靠桿效應試驗結果



照片 7 單層組搭二跨系統靠桿效應試驗結果



照片 8 單層組搭三跨系統靠桿效應試驗結果



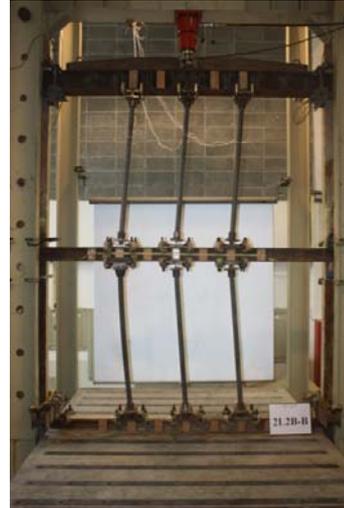
照片 9 單層組搭四跨系統靠桿效應試驗結果



照片 10 靠桿效應試驗強柱破壞情形



照片 11 雙層組搭無側撐木支撐系統破壞情形



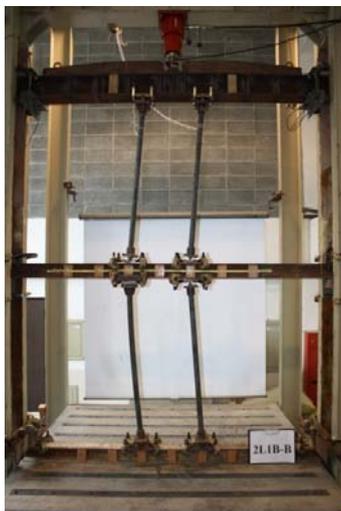
照片 14 雙層組搭二跨系統靠桿效應試驗情形



照片 12 木支撐雙層組搭雙向側撐類型破壞情形



照片 15 雙層組搭三跨系統靠桿效應試驗情形



照片 13 雙層組搭一跨系統靠桿效應試驗情形

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：100 年 12 月 31 日

計畫編號	NSC 99-2221-E-224-024		
計畫名稱	房屋工程營造施工臨時支撐結構系統破壞機制之研究		
出國人員姓名	彭瑞麟	服務機構及職稱	雲林科技大學營建工程系 教授
會議時間	100 年 7 月 13 日至 100 年 7 月 15 日	會議地點	Kuching, Sarawak, Malaysia
會議名稱	(中文) 第七屆鋼及鋁結構國際研討會 (英文) The 7 th International Conference on Steel & Aluminium Structures		
發表論文題目	(中文) 營造施工中鋼管施工架偏心載重之結構分析 (英文) Structural Analysis of Scaffolding under Eccentric Loads during Construction		

一、參加會議經過

本次研討會訂於 2011/7/13~15，舉辦地點位於馬來西亞-沙勞越州-古晉的 Pullman 古晉酒店 (Pullman Kuching hotel)。個人於 2011/7/12 當天早上 8:00 從桃園中正機場出發，搭乘馬來西亞航空公司班機，於早上 11:30 抵達馬來西亞沙巴州(Sabah)的亞庇(Kota Kinabalu)國際機場，於機場出海關後，在亞庇機場換乘小飛機，於 17:05 飛達古晉機場。領取行李後，於機場搭計程車至 Pullman 古晉酒店研討會會場。當天晚上至 ICSAS 11 – The 7th International Conference on Steel & Aluminium Structures 會議現場辦理報到手續，並同時參加主辦單位舉辦的雞尾酒會。

雞尾酒會由 Prof. Hieng Ho Lau 主持，會場裡和與會的專家學者們相互介紹及交換名片，並討論大家的研究近況。由交談中可以發現，參加本次研討會的專家學者，有許多為鋼結構、鋁結構、冷軋型鋼結構等專業領域的資深教授，他們多是這些研究領域的佼佼者，常在專業期刊上發表研究成果，個人能在此次研討會中向他們請益，獲益良多。

第二天早上參加研討會，前兩場 keynote 演講，為英國及美國來的資深教授分別發表他們的研究成果，尤其第二場美國教授介紹美國鋼結構施工及設計參考用的規範，研究對於國內鋼結構規範甚具參考價值，國內規範宜考慮修訂以合乎世界潮流。Keynote 演講結束後，開始進行各分組的報告，個人選擇與研究領域相近的鋼結構主題場次聆聽演講。

研討會的第二天內容如同第一天，不過兩場的 keynote 演講，分別安排在上午一場及下午一場。大概是研討會地點選在古晉，其在馬來西亞的位置較為偏遠，與會者也沒有麼地方好去，所以第二天下午參加會議的人員還頗多。個人發表論文的時間大會安排在第二天下午，由於報告的研究內容頗為實務，故報告完後還有些馬來西亞學者探詢研究內容。

研討會的第三天早上，首先為第五場 keynote 演講。由於 7 月 16 日學校裡已經預先有安排試驗要進行，基於試驗安全的需要，必須趕回學校處理。故於 7 月 15 日早上，聽完大會的第五場 keynote 演講後，於 Morning Break 期間，在與研討會負責人 Prof. Hieng Ho Lau 及一些老朋友道別後，即搭乘計程車赴古晉機場，依照原訂航程，搭乘下午馬來西亞航機，經亞庇國際機場轉機後，

返回桃園中正機場，完成此次研討會行程。

二、與會心得

本次第七屆 International Conference on Steel & Aluminium Structures 於馬來西亞舉辦，主辦單位為 Curtin University of Technology Sarawak Campus。此研討會每四年舉辦一次，研討主要針對鋼/不銹鋼/鋁等結構之分析及設計、計算模型及分析、輕鋼架、複合結構、地震分析、板殼分析、冷軋型鋼、防火工程、鷹架及托物架結構等與鋼結構相關議題進行研討。

本次研討會共有 6 場 Keynote 演講，邀請的演講者多為鋼結構相關領域出名的學者先進。令人印象深刻的是來自美國 Professor Reidar Bjorhovde 的演講，他介紹美國鋼結構最新的 AISC 2010 規範，該規範已經將最先進的直接分析法(The Direct Analysis Method, DAM)取代以往較為落伍的「構件」為依據設計。此直接分析法與歐盟及大英國協等國家使用的非線性分析及設計相似，此非線性分析及設計法，歐盟及大英國協等國家早在 2005 年前已經使用，其對於大細長比之鋼結構（如：巨蛋、機場、營造支撐等結構）設計甚為有用。

多年來國內鋼結構規範的制訂，常是依照美國規範來修訂，再加上國內更新鋼結構規範速度慢，致使規範內容落後歐盟及大英國協等國家甚多。由於現在美國鋼結構規範已經與歐洲規範修訂同步，加入了先進的直接設計法，未來國內鋼結構規範可據以參考修訂。另由於營造施工之模板支撐結構屬於大細長比之鋼結構，目前傳統以「構件」為依據的設計，無法正確評估模板支撐的極限承载力，非常需要引進這些比較正確的直接分析法進行設計。

經由參加本次研討會，個人對於國際上各地區鋼結構相關領域的研究情形，有更進一步的瞭解。個人研究對象主要為營造工程的模板支撐結構，這個領域的研究在傳統鋼結構領域較為少見，但經由本次研討會的現場報告，大家交換意見，提供了一些新的思考方向，這對個人未來進行模板支撐結構力學行為及破壞模式的研究甚有助益，對研究領域的拓展甚有幫助。International Conference on Steel & Aluminium Structures 研討會每四年舉辦一次，這一次是第七次，未來若補助經費許可，實可考慮參加第八屆研討會。

三、攜回資料名稱及內容

攜回本次研討會的研討會論文集。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/01/11

國科會補助計畫	計畫名稱: 房屋工程營造施工臨時支撐結構系統破壞機制之研究
	計畫主持人: 彭瑞麟
	計畫編號: 99-2221-E-224-024- 學門領域: 結構應力
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：彭瑞麟		計畫編號：99-2221-E-224-024-					
計畫名稱：房屋工程營造施工臨時支撐結構系統破壞機制之研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	2	2	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	2	2	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>1. 本研究成果對於國內營造施工模板支撐倒塌防止甚有貢獻。 2. 國際上發表的營造施工鷹架結構研究之論文，常使用計畫主持人以往鷹架研究論文。本研究成果延續主持人以往研究成果，使主持人在模板支撐研究領域成果持續累積。</p>
--	--

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

本研究計畫已有具體成果，尤其確認臨時支撐單層及雙層組搭結構系統受靠桿效應影響甚鉅，結構系統中僅增加靠桿無法有效提升整支撐結構系統承载力。雙層組搭若無法確定上下層支撐接合處的側撐補強，建議不要使用這種組搭，否則有非常高的倒塌風險。本研究對於國內營造工程模板支撐倒塌防止甚具實用參考價值。研究成果可在 SCI 期刊發表。依照目前國內營造工程界的生態環境，實際施工都是小包商，其利潤微薄，這些研究成果應該直接由政府相關單位推廣提供他們使用，以降低倒塌造成的人員死亡，是直接幫助弱勢，不適合申請專利。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

1. 學術成就及技術創新：本研究具突破性，亦即確認「靠桿效應」是影響臨時支撐中單層及雙層組搭結構系統承载力的重要因子。此結論是經由本研究試驗驗證後，於國際上首先提出。計畫主持人多年前提出此靠桿效應影響支撐結構承载力的理論分析觀點，投稿期刊前，曾被論文審查委員質疑缺乏試驗驗核，雖然該理論分析為主的論文被接受，但確實缺乏試驗驗核是事實。不過經本研究的試驗成果驗核，可以確認當初研究所得之靠桿效應影響的理論是正確。

2. 社會影響：本研究可以直接提供國內營造工程界模板支撐安全施工參考使用。本研究除了提出靠桿效應影響支撐結構系統強度外，對於雙層組搭模板支撐也提出具體建議，即經由工地現況調查發現，國內中挑空建築工程常使用雙層組搭模板支撐，但雙層組搭模板支撐之側撐補強實際施工很難達成，因此建議工地在情況許可下，應該避免使用此種高危險性的施工方式，以降低工地倒塌的發生率。