



水平母索性能評估與強度折減因子之研究 IOSH98-S310



勞工安全衛生研究報告

水平母索性能評估與強度折減 因子之研究

A Study on Assessment of Horizontal Lifeline and Factors of Strength Reducing



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

水平母索性能評估與強度折減因子之研究

A Study on Assessment of Horizontal Lifeline and Factors of Strength Reducing

水平母索性能評估與強度折減因子之研究

A Study on Assessment of Horizontal Lifeline and Factors of Strength Reducing

研究主持人：張智奇

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 98 年 2 月至 98 年 12 月

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
中華民國 99 年 2 月

摘要

墜落為營造業最嚴重之災害類型，水平母索是高處作業很重要的墜落防護設施。由於國內關於對母索的研究很少，相關的試驗資料相當缺乏，工地常因母索材質選擇不當或設置方式不正確，導致母索強度不足，無法發揮防護的功能。另一方面，由於母索通常長期重覆使用，為避免母索因老化與損耗等因素導致強度不足，如何有效訂定母索的汰換年限，也是刻不容緩的議題。

本研究參考國家標準與國外相關試驗方法，成功開發母索強度試驗技術。在靜態強度測試，藉由特殊設計的測試夾頭，能有效掌握纖維質母索真實強度。為掌握各種狀況對母索強度的影響，本研究針對不同的母索材質、直徑、編織法、繫固方式，進行新品及舊品的測試。研究結果顯示，工地較常使用之棉質及聚乙烯材質母索，其強度遠低於法規的要求，不建議使用。而不同的編織法及繫固方式，對母索的強度都有很大的影響，使用時必須審慎考量。纖維質母索於日晒雨淋 6 個月後，強度折減情形就非常嚴重，必須適時的更換。在動態試驗方面，本研究成功開發母索內力動態量測系統，對於母索在墜落防護時，衝擊力量的大小及變化能準確量測，有效掌握母索的動態特性。

本研究提出之母索強度性能資料庫，除可提供工地做為設計、使用及汰換的參考外，也可提供勞動檢查機構做為檢查的依據。本研究開發之靜態及動態母索測試技術，可提供母索製造商及標準檢驗局做為品質改良及驗證的參考。後續研究可參考本研究開發之母索動態強度測試技術，進行母索相關試驗，除有效掌握母索動態特性外，並可評估人員在墜落過程，身體承受衝力量的變化，進而進行相關防墜設施的改善研究。

關鍵詞：水平母索、動態試驗、繩索曝曬

Abstract

The incidence rate of occupational accident is highest in construction among all the industries. The major mechanism of occupation accident includes falling through opening on the floor or slipping due to loss of equilibrium on the edge of working platform. Effective preventive measures include of surface protection, fixed barriers, surface opening protection, travel restraint systems, fall arrest systems, fall containment systems. This research is aimed at fall arrest systems (lifeline).

The research concentrates on tensile strength and fixed chucks. Base on these proposes, the present study investigates static and dynamic tests on lifelines under different variables. Use the investigation of lifeline, test of lifeline and tie-off test of lifeline, to find out the best type of lifeline and tie-off with the lifeline. Regarding to clips for wire rope the best values of torsion and the best direction of the lock on the wire rope.

This research has found that the data on tests showed that tensile strength of cotton rope and polyethylene rope is both much lower than safe regulations, and provided technology so that rope provider and organization can improve the strength of rope. There is no fixed tie-off of lifeline, and solarized for one month tensile strength of lifeline is much lower than it of new lifeline. The Aluminum Ferrules is the best method of tying of the wire rope. The data prevent occupational accidents due to the failure of horizontal lifeline.

Key Words: Horizontal Lifeline, Dynamic Test, Exposure Rope

總目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
總目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	viii
第一章 前言.....	1
第一節 研究背景.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 研究架構.....	3
第四節 研究步驟.....	5
第二章 文獻回顧.....	6
第一節 國內墜落職災案例摘述.....	6
第二節 國內外水平母索相關規定.....	8
第三節 水平母索防墜設施之分析.....	11
第三章 水平母索現場使用之狀況調查.....	12
第一節 調查設計.....	12
第二節 CNS 相關規定.....	12
第三節 工地現場調查結果與分析.....	13
第四章 水平母索強度折減試驗.....	20
第一節 水平母索靜態破斷強度測試.....	20
第二節 靜態破斷強度試驗結果.....	24
第三節 水平母索曝曬後試驗.....	32
第四節 水平母索動態實驗.....	36
第五章 水平母索束制強度試驗.....	44
第一節 端點束制破斷強度試驗與設備.....	44
第二節 水平母索端點束制試驗結果.....	45
第三節 鋼索端點束制特性結果.....	66

第四節 鋼索夾固定方式強度測試.....	72
第六章 結論與建議.....	77
第一節 結論.....	77
第二節 建議.....	77
誌謝.....	79
參考文獻.....	80
附錄一 專家諮詢紀錄.....	82

圖目錄

圖 1 民國 97 年重大職災行業分析.....	2
圖 2 民國 97 年職災類型統計.....	2
圖 3 研究流程圖.....	4
圖 4 破斷強度試驗後斷在取樣處.....	20
圖 5 試驗之繩索架設示意圖.....	22
圖 6 拉拔機台水平校正示意圖.....	22
圖 7 試驗之繩索架設示意圖.....	24
圖 8 量測項目示意圖.....	24
圖 9 14MM 繩索不同編織法破斷強度比較圖	25
圖 10 掛鉤損壞示意圖.....	28
圖 11 量測項目示意圖.....	30
圖 12 試驗繩索損壞處示意圖.....	30
圖 13 蓆筒編織示意圖.....	31
圖 14 量測項目示意圖.....	32
圖 15 有日晒 14MM 尼龍繩索強度曲線圖	33
圖 16 繩索折減百分比.....	34
圖 17 有日晒 14MM 聚酯繩索強度曲線圖	35
圖 18 動態實驗設計圖.....	36
圖 19 動態試驗架設完成示意圖.....	38
圖 20 鋼索受力趨勢圖.....	39
圖 21 水平間距 3M 尼龍繩索受力趨勢.....	41
圖 22 水平間距 3M 聚酯繩索受力趨勢圖	41
圖 23 水平間距 5M 尼龍繩索受力趨勢圖	42
圖 24 水平間距 5M 聚酯繩索受力趨勢圖	42
圖 25 貓眼示意圖.....	46
圖 26 圓貓眼示意圖.....	46
圖 27 無貓眼示意圖.....	46

圖 28 尼龍繩 16MM 三股編織反穿結打結數量平均之拉斷強曲線圖	47
圖 29 斷裂位置較接近於錨定點.....	48
圖 30 斷裂位置較遠離錨定點.....	48
圖 31 尼龍繩索 14MM、16MM 三股編織不同束制法之拉斷強度	50
圖 32 尼龍繩索 14MM、16MM 蓆筒編織不同束制法之拉斷強度	51
圖 33 尼龍繩索 14MM、16MM 八股編織不同束制法之拉斷強度	52
圖 34 聚酯繩索 16MM 反穿結束制結數拉斷強度曲線圖	52
圖 35 聚酯繩索 14MM、16MM 三股編織不同束制法之拉斷強度	53
圖 36 聚酯繩索 14MM、16MM 蓆筒編織不同束制法之拉斷強度	54
圖 37 聚酯繩索 14MM、16MM 八股編織不同束制法之拉斷強度	55
圖 38 聚乙烯繩索 16MM 反穿結束制結數平均之拉斷強度	56
圖 39 聚乙烯繩結鬆脫.....	56
圖 40 聚乙烯繩索 14MM、16MM 三股編織不同束制法之拉斷強度	57
圖 41 聚乙烯繩索 14MM、16MM 蓆筒編織不同束制法之拉斷強度	58
圖 42 花棉繩 14MM 反穿結之拉斷強度	59
圖 43 花棉繩索 14MM 三股編織不同束制法之拉斷強度	60
圖 44 棉繩索 14MM、16MM 三股編織不同束制法之拉斷強度	61
圖 45 白棉繩索 14MM、16MM 蓆筒編織不同束制法之拉斷強度	62
圖 46 白棉繩索 14MM、16MM 八股編織不同束制法之拉斷強度	63
圖 47 繩索斷於取樣處.....	63
圖 48 14MM 三股編織繩索不同束制法之繩索強度百分比	64
圖 49 14MM 蓆筒編織繩索不同束制法之繩索強度百分比	65
圖 50 不鏽鋼鋼索不同束制方法之拉斷強度範圍比較圖.....	66
圖 51 不銹鋼鋼索反穿結束制結數之拉斷強度.....	68
圖 52 鋼索夾螺帽不同扭力值之拉斷強度範圍.....	69
圖 53 鋼索夾螺帽扭力值曲線比較圖.....	69
圖 54 黑鐵鋼索不同束制方法拉斷強度.....	72
圖 55 鋼索夾鎖鋼索之長邊示意圖.....	73
圖 56 鋼索夾鎖鋼索之短邊示意圖.....	73

圖 57 鋼索夾束制方向不同之破斷強度曲線圖.....	73
圖 58 鋼索夾鎖在鋼索之長邊曲線比較圖.....	74
圖 59 鋼索夾鎖在鋼索之短邊曲線比較圖.....	74

表目錄

表 1 業界常用結點束制之型式.....	5
表 2 國內外母索規定比較表.....	10
表 3 母索使用後安全評估.....	10
表 4 工地現場調查統計結果.....	14
表 5 母索材質.....	14
表 6 母索線徑.....	15
表 7 母索編織型式.....	15
表 8 母索之架設形式.....	16
表 9 母索端點束制之形式.....	17
表 10 水平母索與中間支撐跨距.....	18
表 11 中間支撐材質.....	19
表 12 靜態破斷強度測試所需設備.....	21
表 13 試驗變數及材料.....	21
表 14 母索垂直拉力試驗變數及材料.....	23
表 15 各編織方法之母索破壞圖.....	25
表 16 拉斷垂直力(P)與破斷強度(T)反推值比較結果.....	27
表 17 不同繩索在架設 3M 與 5M 間距之靜態破斷強度試驗結果比較	29
表 18 花棉繩三股編織線徑 14MM 不同張力強度之結果	32
表 19 尼龍繩索拉斷強度.....	33
表 20 聚酯繩索拉斷強度.....	35
表 21 無日晒之尼龍繩索反穿結破斷強度結果(單位：kg).....	36
表 22 聚酯繩索靜態載重顯示為 138 公斤.....	38
表 23 動態試驗前後對照.....	39
表 24 水平母索動態試驗前後對照表.....	40
表 25 水平母索不同間距動態試驗結果.....	43
表 26 水平母索新舊品比較.....	43
表 27 端點束制靜態破斷強度試驗之材料及試驗變數.....	44

表 28 有無貓眼之繩索破斷強度比較表.....	47
表 29 尼龍繩索三股編織各式束制方法.....	49
表 30 尼龍繩索蓆筒編織各式束制方法.....	50
表 31 尼龍繩索八股編織各式束制方法.....	51
表 32 聚酯繩索三股編織各式束制方法.....	53
表 33 聚酯繩索蓆筒編織各式束制方法.....	54
表 34 聚酯繩索八股編織各式束制方法.....	55
表 35 聚乙烯繩索三股編織各式束制方法.....	57
表 36 聚乙烯繩索蓆筒編織各式束制方法.....	58
表 37 花棉繩索三股編織各式束制方法.....	59
表 38 白棉繩索三股編織各式束制方法.....	60
表 39 白棉繩索蓆筒編織各式束制方法.....	61
表 40 白棉繩索八股編織各式束制方法.....	62
表 41 不銹鋼鋼索反穿結束制拉力試驗.....	67
表 42 鋼索夾螺帽扭力值為之拉力試驗.....	70
表 43 不銹鋼鋼索之長邊拉力試驗.....	75
表 44 不銹鋼鋼索之短邊拉力試驗.....	76

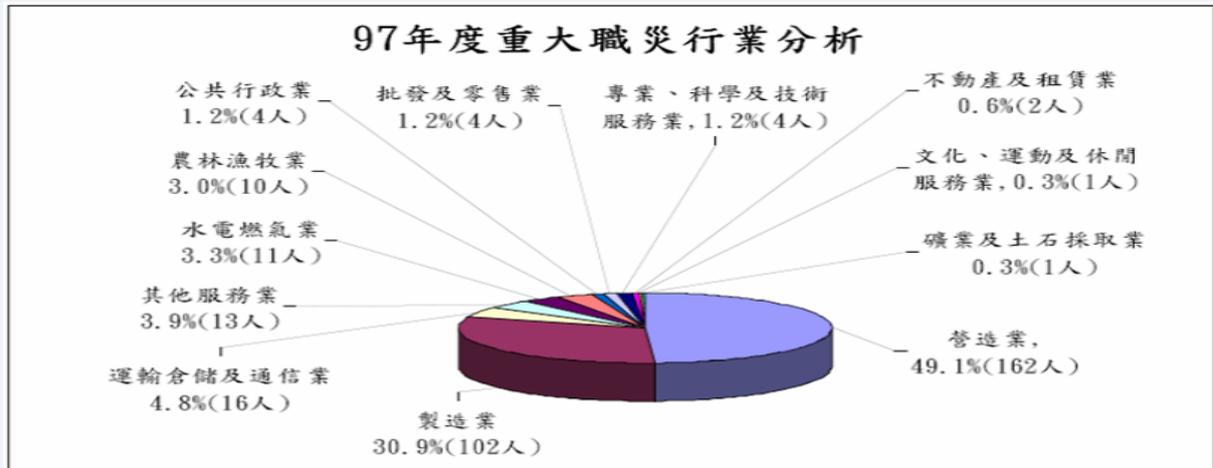
第一章 前言

第一節 研究背景

依據行政院勞工委員會統計資料顯示，民國 97 年營造業發生重大職災之比率佔其他各類災害之首(如圖 1) [1]，而職災類型統計顯示墜落災害佔營造業之第一位(如圖 2)。營造業的災害類型包括：從樓梯或階梯墜落、從樓板開口墜落、從梯子墜落、踏穿屋頂表面、從屋頂邊緣墜落、從鷹架及臨時台架墜落、從營建物的橫樑或鋼架上墜落、跳至較低的樓層、從屋頂開口墜落、從地板、平台及地面墜落[2-3]。墜落預防除了架設護欄、覆蓋安全網外，對於臨時性作業及特殊工作場所來說，最有效的防護措施即是架設水平母索並搭配使用安全帶。母索是確保生命安全的最後一道防線，其構成的要素除了母索外，還包括錨定、中間杆柱與安全帶，四項要素缺一不可，且必須正確地搭配使用方能確保其防護的功能[4-7]。

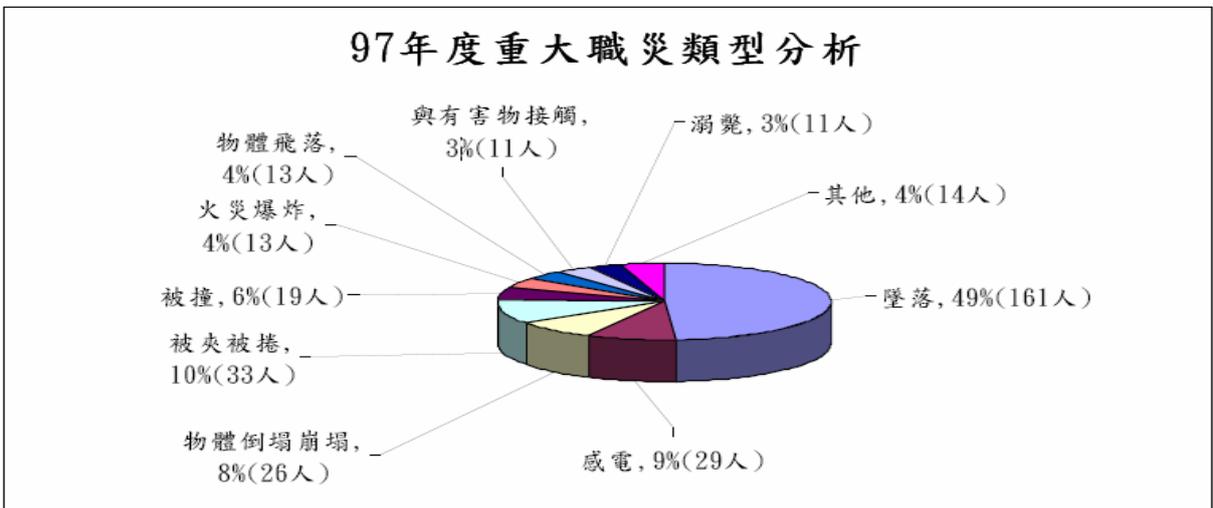
由於勞工本身不安全行為，加上作業環境上之不安全設備，造成墜落案例高居營造業之首位，為預防墜落之發生，除了對勞工作安全衛生教育訓練外，防止墜落之水平母索強度性能也需加以掌握。墜落危害之安全控制原則，可分為危害消除(Eliminate)、本質安全化之災害預防(Prevent)、災害阻斷(Arrest)、危害警告(Warn)及安全管理(Management)等五個程序來控制或減低墜落災害之發生率[8]，本研究以危害安全控制原則中之阻斷系統母索，進行防墜性能研究，針對業界常用之母索進行試驗，規劃不同變數條件下，母索之強度與端點束制之靜動態實驗測試，以找出最適用之母索形式，提供相關事業單位作為參考之依據，期待降低墜落之發生比率。

藉由此實驗之結果來達到行政院勞工委員會所呼籲之事業單位在選用安全帶、母索與中間杆柱時，應確實使用合格之產品並正確的使用，才能確保人員安全，以達到「墜落滾落」、「重視生命」、「加強施工安全」之災害預防宣導政策。



製表日期：98年4月3日

圖 1 民國 97 年重大職災行業分析



製表日期：98年4月3日

圖 2 民國 97 年職災類型統計

第二節 研究目的

國內營造業對於母索之架設方法存在著許多盲點，使母索之防墜性能不能發揮。由於國內母索款式眾多，沒有一套完整的標準，造成事業單位因為誤用不符合規定之母索，使得墜落發生機率提高，故經由母索抗拉試驗，來分析營造工地使用的母索之適用性。

國內母索端點束制之架設方式相當雜亂，是否具有防墜功能並沒有相關驗證報告。母索常因端點束制架設方式不良，使母索之性能無法達到防墜效果。本計畫擬經

由拉力試驗找出較適當的母索束制方式，使母索能充份發揮防墜性能，達到災害防止之目的。

第三節 研究架構

一、研究內容大綱

- (一) 針對不同曝曬條件下之水平母索，進行繩索新舊品之靜態破斷強度及動態試驗，訂定水平母索之使用期限。
- (二) 規劃不同間距變數條件，進行水平母索動態測試，將結果和現行國內外中間支撐設置之間距分析比較，找出水平母索抗拉強度以及最佳架設之間距。
- (三) 關於各種水平母索端點束制及業界使用特殊夾頭等使用方式，進行水平母索抗拉強度測試。
- (四) 針對水平母索之材質及強度，建立水平母索選用及檢查重點。
- (五) 對於國內常使用之水平母索之強度資料，本研究將建立安全強度數值表。
- (六) 綜合研究所得之成果，檢討國內舊有規定，提出最新且切合現地使用情形之修正建議。

二、研究方法

- (一) 文獻探討：
透過蒐集國內墜落災害案例與相關資料，了解國外對於水平母索之要求，同時了解我國對防止墜落方面的安全規範。
- (二) 專家座談：
邀請實務經驗豐富之專家，提供國內外水平母索之相關資訊，並探討與本土條件之可行性。
- (三) 靜態破斷強度試驗法：
針對不同水平母索繩索之材質、線徑，進行不同長短時間之曝曬，以及各項端點束制方式之強度驗證，比較水平母索斷裂強度是否符合我國規定。
- (四) 動態試驗法：

針對水平母索各種繩索材質、線徑、設置間距及端點束制方式，分析當發生墜落時垂降之距離，找出水平母索與中間支撐相互間最安全之垂降距離以及最佳使用期限。

三、本研究之流程，如圖 3所示。

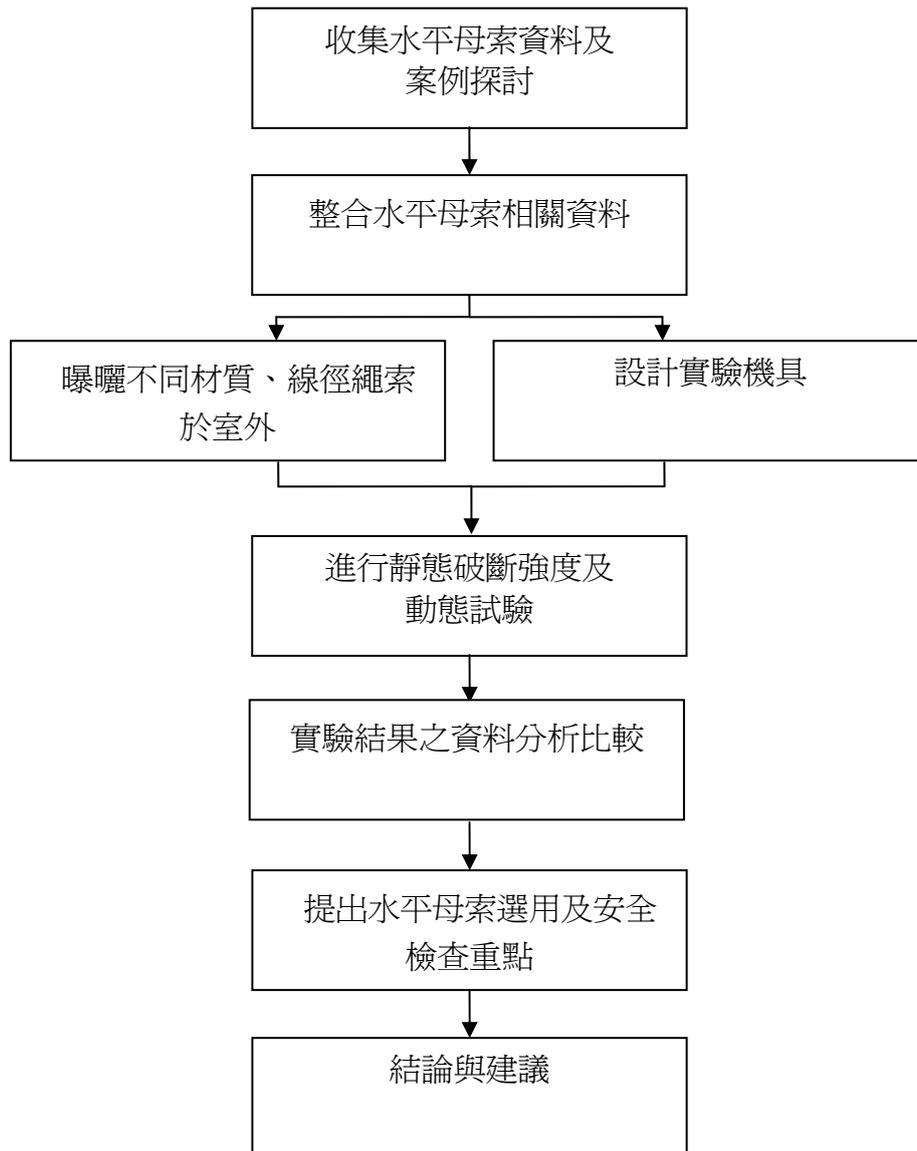


圖 3 研究流程圖

第四節 研究步驟

一、大規模範圍之現場母索使用調查

調查範圍：依設計之調查表對我國中區、南區、科學園區之營造業工地現場之母索、中間杆柱(支撐點)、母索端點束制及母索架設等情形進行調查。

二、母索靜態試驗

本研究依不同繩索之材質、線徑及編織股數與業界採用結點束制(如表 1) [9]等變數，進行破斷強度試驗，由實驗所得之繩索斷裂處、降伏點與初荷重，探討不同變數之母索在 CNS 規定之抗拉強度內是否斷裂 [10-12]，以及測試不同變數之母索之抗拉強度是否符合 2300 公斤，比較不同變數之母索的抗拉強度以作為選擇適用母索之參考。依不同母索端點束制方法進行拉力試驗，找出所能承受之最大拉力及是否在 2300 公斤之拉力內斷裂或脫落，提供給相關產業對於使用母索端點束制正確設置與使用之方法，以達到預防高處作業墜落之發生。

表 1 業界常用結點束制之型式

<p>鋁壓縮頭 (Aluminum Ferrules)</p>	<p>鋼索夾 (Clip for Wire Rope)</p>	<p>雙套結 (Clove Hitch)</p>
		
<p>八字結 (Figure-Eight Knot)</p>	<p>活結 (Mooring Hitch)</p>	<p>反穿結 (Back Splicing)</p>
		

第二章 文獻回顧

第一節 國內墜落職災案例摘述

一、從事石綿瓦遮雨棚修復作業自屋頂墜落致死災害[13]

(一)災害發生經過：

民國 93 年 9 月 29 日，罹災者在空廠房從事清掃工作，當二樓頂加蓋之石綿瓦遮雨棚復原時，不慎從屋頂遮雨棚上墜落，經送醫院急救不治。

(二)災害原因分析：

勞工於距樓地板高四點三三公尺之石綿瓦屋頂從事復原工作有墜落之虞，未提供安全帽、安全帶、母索供勞工使用，並要求勞工確實佩掛使用。

(三)災害防止對策：

雇主對於在高度二公尺以上之高處作業，勞工有墜落之虞者，應使勞工確實使用安全帶、安全帽及其他必要之防護具，在石綿板、鐵皮板、瓦、木板、茅草、塑膠等材料構築之屋頂從事作業時，為防止勞工踏穿墜落，應於屋架上設置適當強度，且寬度在三十公分以上之踏板或裝設安全護網。

二、從事屋頂抓漏作業自屋頂墜落致死災害[13]

(一)災害發生經過：

民國 93 年 6 月 8 日，罹災者可能踩不穩致踏破該 PC 採光板，瞬間墜落廠房內，耳部出血，當場死亡。

(二) 災害原因分析：

勞工於距地面高九公尺之 PC 採光板及鐵皮板屋頂從事抓漏工作有墜落之虞，未提供安全帽、安全帶、母索供勞工使用並要求勞工確實佩掛使用。PC 採光板及鐵皮板屋頂未設置寬度在三十公分以上足夠強度之踏板或安全護網。

(三) 災害防止對策：

屋頂從事作業時應設置適當強度之踏板或裝設安全護網，使從事屋頂通風機抓漏作業之勞工佩戴安全帶或安全索以防止墜落。

三、從事鋼構立柱安裝作業自立柱上方墜落致死災害[13]

(一) 災害發生經過：

民國 88 年 9 月 27 日，A 公司係從事鋼構立柱安裝工作，延著繩梯往下爬時，忽然發生吊住繩梯的鋼索斷裂，罹災者因未將隨身攜帶的安全帶，掛於垂直母索上，故隨著繩梯墜落於下方之混凝土地面，醫師宣佈不治死亡。

(二) 災害原因分析：

罹災者爬繩梯至柱頂拆除吊運鋼柱之 U 型扣環，隨即爬繩梯欲下至地面時，因鋼索突然斷裂繫掛繩梯之鋼索斷裂之可能原因：

1. 鋼索老化現象。
2. 鋼索負荷過大。
3. 使用不當，上下起吊多次造成鋼索與鋼柱搖晃拉扯斷裂。
4. 陣風使桁架搖晃導致拉扯斷裂。
5. 溝通訊息錯誤導致塔吊動作而扯斷。
6. 鋼索材質有瑕疵。

(三) 災害防止對策：

高處作業之水平母索防墜設施，須使用強度符合法規要求之 2300 公斤。

四、從事翼腹板作業自橋邊緣墜落致死災害[13]

(一) 災害發生經過：

罹災者安全帶未掛在橋面之鋼筋上，工具傳到一半時，靠西側之起重機之吊桿突然折彎，致翼腹板傾斜震動，罹災者不慎墜落到地面。

(二) 災害原因分析：

在高度二公尺以上之高處作業，未使勞工確實使用安全帶、安全帽及其他必要之防護具，且現場未見母索或固定錨供勞工繫掛安全帶。

(三) 災害防止對策：

雇主對於高度二公尺以上之工作場所，勞工作業有墜落之虞，應依規定訂定墜落災害防止計畫，採取適當墜落災害防止設施。

五、從事電梯間拆除遮斷板作業自電梯間墜落致死災害[13]

(一) 災害發生經過：

進行電梯間拆除遮斷板作業時，罹災者自第 18 層電梯間墜落至第 1 層電梯間機坑地面，送往醫院急救，仍造成 2 名勞工死亡。

(二) 災害發生原因：

安全母索最小斷裂強度不足，及拆除層下方之安全網於平台結構未完全拆除前已先行拆除等原因，使罹災者自第 18 層電梯間墜落至第 1 層電梯間機坑地面致死。

(三) 災害防止對策：

使用強度符合安全之安母索，及加強電梯開口作業管制檢查。

第二節 國內外水平母索相關規定

一、營造安全衛生設施標準 [14]

(一) 第 17 條：雇主對於高度二公尺以上之工作場所，勞工作業有墜落之虞者，應依下列規定訂定墜落災害防止計畫，採取適當墜落災害防止設施。

(二) 第 18 條：雇主使勞工於屋頂作業，應依下列規定辦理：因屋頂斜度、屋面性質或天候等致使勞工有墜落之虞者，應採取適當安全措施。

(三) 第 19 條：雇主使勞工於高度二公尺以上之屋頂、橋樑墩柱及橋樑上部結構、橋台、開口部分、階梯、樓梯、坡道、工作台、擋土牆等場所作業應於該處設置護欄、護蓋或安全網等防護設備。

(四) 第 23 條：雇主提供勞工使用之安全帶或安裝母索時，應依下列規定辦理：

1. 安全帶之材料、強度及檢驗應符合國家標準 CNS 7534 Z2037 高處作業用安全帶及 CNS 7535 Z3020 高處作業用安全帶檢驗法之規定。
2. 母索得由鋼索、尼龍繩索或合成纖維之材質構成，其最小斷裂強度應在二千三百公斤以上。
3. 安全帶或母索繫固之錨錠，至少應能承受每人二千三百公斤之拉力。
4. 安全帶之繫索或母索應予保護，避免受切斷或磨損。
5. 安全帶或母索不得鉤掛或繫結於護欄之杆件。但該等杆件之強度符合第三

款規定者不在此限。

6. 安全帶、母索及其配件、錨錠在使用前或承受衝擊後，應進行檢查，如有磨損、劣化、缺陷或其強度不符第一款至第三款之規定時，不得再使用。
7. 勞工作業中，需使用補助繩移動之安全帶，應具備補助掛鉤，以供勞工作業移動中可交換鉤掛使用。但作業中水平移動無障礙，中途不需拆鉤者，不在此限。
8. 水平母索之設置，應依下列規定辦理：
 - (1) 超過三公尺長者應設立中間杆柱，其間距應在三公尺以下。
 - (2) 相鄰兩中間支柱間之母索只能供繫掛一條安全帶。
 - (3) 每條母索能繫掛安全帶之條數，應標示於母索錨錠端。
9. 垂直母索之設置，應依下列規定辦理：
 - (1) 母索之下端應有防止安全帶鎖扣自尾端脫落之設施。
 - (2) 每條母索應僅提供一名勞工使用。但勞工作業或爬昇位置之水平間距在一公尺以下者，得二人共用一條母索。

二、勞工安全衛生設施規則第 37 條[15]

塔、槽、煙囪及其他高位建築之固定梯已設置符合需要之安全帶、母索、磨擦制動裝置、滑動附屬裝置及其他安全裝置，以防止勞工墜落。

針對國內外關於水平母索之規定，整理比較表如表 2[16]所示。

表 2 國內外母索規定比較表

	本國相關規定	日本相關規定	美國相關規定
條文	行政院勞委會營造安全衛生設施標準部分條文修正條文第二十三條	勞動安全衛生規則第 563 條與 564 條相關規定	美國勞工部(OSHA)職業性安全衛生標準(Occupational Safety and Health Standards) 個人防止墜落系統(Personal Fall Arrest System) : Personal Fall Arrest System (Section I - Mandatory; Sections II and III-Non-Mandatory) - 1910.66 App C
母索強度	安全母索得由鋼索、尼龍繩索或合成纖維之材質構成，其最小斷裂強度應在 2300 公斤以上	母索斷裂的強度需在 2300 公斤以上	母索須承受 2284 公斤的抗拉強度

日本社團法人仮設工業会所發行的「経年仮設機材の管理に関する技術基準と解説」，其中對於母索需要再經過鑑定是否可以再度使用之判定標準如表 3[17]所示。

表 3 母索使用後安全評估

處理等級 受損項目	第一級需整理清潔	第二級需修補	第三級無法修補
整體損傷	沒有		非常明顯的損傷
繩索上附著物	沒有		非常明顯的損傷
長度縮短	沒有		非常明顯的損傷

繩索			
1.磨損	沒有		損壞直徑 1/10 以上
2.切割	沒有		斷線 5%以上
3.熔斷	沒有		強度未達標準不可修復
4.接續位置損壞	沒有	些微損傷可以修補	明顯損害不可修復
5.末端的損壞	沒有	些微損傷可以修補	明顯損害不可修復
掛勾			
1.阻擋裝置	無異常		有異常
2.損壞	沒有		有

第三節 水平母索防墜設施之分析

高處作業使用之防墜設施，應該考量所使用的母索材質，及工地常使用之花棉繩及打結方式，因繩結會滑動及緊縮，使墜落深度變大，而所需的淨空空間也要加大[18]。由實驗測試中可以知道不管使用鋼索或是尼龍繩母索，其砂袋墜落距離都符合容許墜落高度，而我國國人體型與日本較為接近，所以中間支撐設置間距可以採用設置容許墜落高度與間距計算公式[19]。此外，與本研究相關之結論及建議整理如下：

- 一、母索得由鋼索、尼龍繩索或合成纖維之材質構成，且說明水平母索之設置超過三公尺長者應設立中間杆柱，其間距應在三公尺以下，但未說明中間杆柱應有之型式，建議可將日式與美式之中間支撐列為基本選用款。
- 二、我國對安全帶或母索繫固之錨錠，設定至少應能承受每人二千三百公斤之拉力，此規定與美國的 2284kgf 相仿所以無須更改。
- 三、水平母索為墜落防護設備之重要構件，由對棉繩及麻繩材質之水平母索進行抗拉強度測試所得結果顯示，母索強度遠低於法規的要求。
- 四、研究經實驗測試發現，工地常使用之花棉繩及打結方式，因繩結會滑動及緊縮，使墜落深度變大，而所需的淨空空間也要加大。

第三章 水平母索現場使用之狀況調查

國內營造業對於母索之架設方法存在著許多盲點，使母索之防墜性能不能達到最佳防墜效果。本研究藉由現場調查，以了解目前母索之架設及使用情形及其防墜功能。

第一節 調查設計

一、大規模範圍之現場母索使用調查

(一) 調查範圍：

依設計之調查表對我國中區、南區、科學園區之營造業工地現場之母索、中間杆柱(支撐點)、母索端點束制及母索架設等情形進行調查。

(二) 調查方法：

1. 計畫執行前將設計營造工地之防墜設施架設情形調查表。
2. 透過不同管道篩選中區、南區、科學園區之營造業工地。
3. 協調計畫人員進入營造工地調查並採樣業界使用之母索、中間杆柱及其他防墜設施，其資料作為本計畫試驗分析之樣本。
4. 將收集之資料進行統計分析，可瞭解業界使用防墜設施與防墜性能之相關性。

(三) 母索防墜設施調查內容：

針對營造業工地中母索之材質、線徑、編織形式、繫固方式、跨距與中間杆柱之材質進行調查。

第二節 CNS 相關規定

一、纖維索測試方法[9-11]：

- (一) 試樣長度：握住試樣兩端拉直置於拉力試驗機上，量取其長度後在中央部位取 30cm 間距並做記號，量取兩記號間之長度(d_1)。其次將試樣掛於定速行拉力試驗機上，緩速增加荷重，直至達繩索規定之初荷重時，即中止增加荷重，同時量取前述試樣兩記號間之長度(d_2)。
- (二) 抗拉強力：試驗機拉伸速度之試用範圍規定，為荷重在繩索規定抗拉強力

50%以下時使用 300 mm/min 以內，超過 50%時使用 150 mm/min，當在規定抗拉強力以內時斷裂或伸長率超過該繩索規定之伸長率時，為不合格之母索。

(三) 伸長率：於荷重達該繩索之規定抗拉強力 75%之際，測定先前標記於試樣中央部位兩記號之間距(d_3^*)，其次以下試計算之。

$$\text{伸長率(\%)} = [(d_3 - d_2) / d_2] \times 100$$

二、鋼纜部分[20、21]：

先將試片兩端解開，用錐形白合金固定。在用敞式夾頭或其他適當方法夾持後裝於試驗機，慢慢拉緊直到拉斷為止，在兩端夾頭間受拉力部分之長度不得短於鋼纜直徑之 40 倍。惟最大長度不得超過 2 公尺。又在試驗時未達到規定拉斷負載，而由金屬兩端合金處脫落或斷裂時，應再取試片試驗之。鋼索斷裂荷重簡易之估算方式，可由下式求得：

$$\text{斷裂荷重(ton)} = (\text{鋼索直徑(mm)})^2 / 20$$

第三節 工地現場調查結果與分析

本研究對我國中區、南區、科學園區之營造業工地現場之母索、中間杆柱(支撐點)、母索端點束制及母索架設等之使用現況進行調查，藉由普查結果來了解目前營造業對於母索之使用及架設方法情形及其防墜功能，作為相關單位參考之依據，來降低墜落災害發生。工地現場調查表如表 4~表 11。

表 4 工地現場調查統計結果

調查內容	調查結果
母索材質	棉繩、鋼索、尼龍繩
母索線徑	棉繩：12mm、14mm、16mm、18mm 尼龍繩 16mm 鋼索：8mm、9mm
母索之編織形式	棉繩：三股編織 尼龍繩：三股編織、蓆筒編織
母索架設方式	架於中間支撐、H 型鋼、施工架、安全網之掛勾
母索端點束制之形式	雙套結、鐵絲固定、隨意打結、死結、反穿結
母索之跨距	大多大於 3 公尺、2.26 公尺
中間杆柱之材質	如表 11

表 5 母索材質

	疑點
	使用棉繩強度是否足夠，當發生墜落時延展性是否太大。
	疑點
	使用棉繩強度是否足夠，當發生墜落時延展性是否太大。
	疑點
	鋼索表面受損強度是否安全。

表 6 母索線徑

	<p>疑點</p>
	<p>使用 12mm 棉繩強度是否有符合 2300 公斤。</p>
	

表 7 母索編織型式

	<p>母索編織型式： 棉繩-三股編織、尼龍-三股編織與 蘆筒編織</p>
	
	

表 8 母索之架設形式

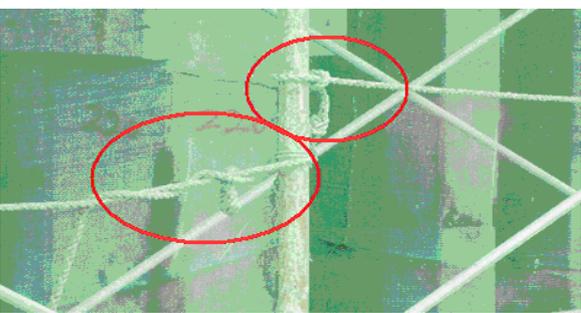
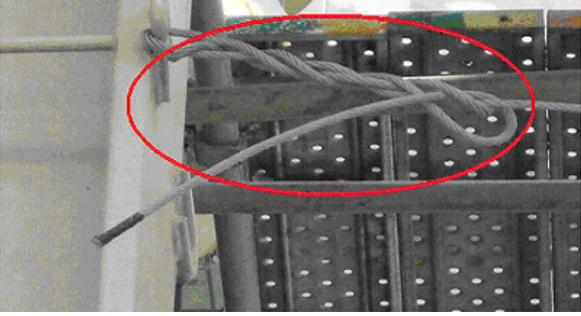
	疑點
	1. 將鋼索直接綁在型鋼上沒有加襯墊，強度會受損。
	2. 鋼索以纏繞之方式，未以鋼索夾固定，遇到外力時是否會脫落。
	3. 母索錨定端沒有以足夠之強度。
	
	

表 9 母索端點束制之形式

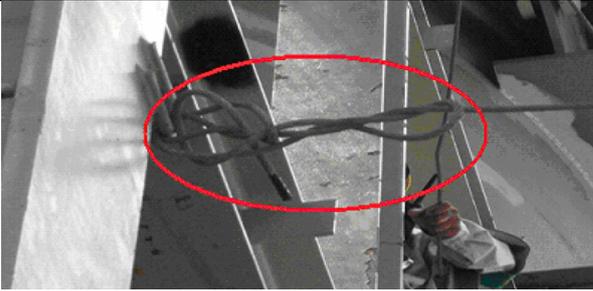
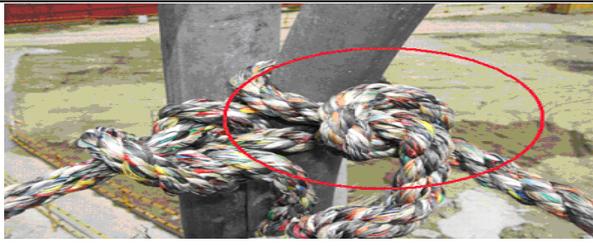
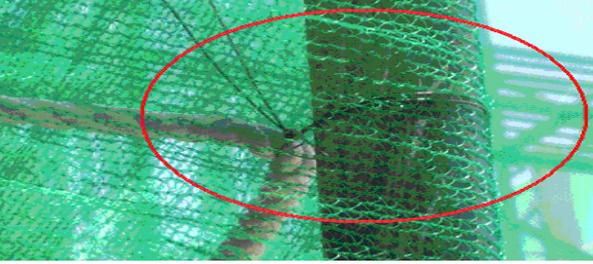
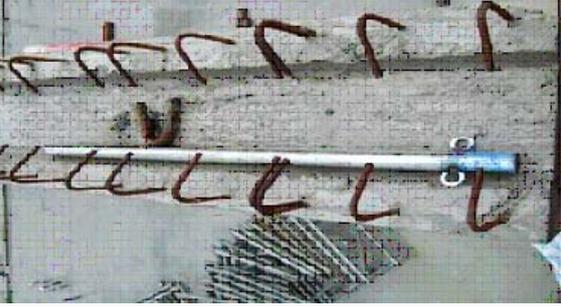
	<p>疑點</p> <p>鋼索以纏繞之方式，未以鋼索夾固定，遇到外力時是否會脫落</p>
	<p>疑點</p> <p>此種打結方法遇到外力是否會脫落</p>
	<p>疑點</p> <p>此種打結方法遇到外力是否會脫落</p>
	<p>疑點</p> <p>母索不夠長以與另一條母索打結，遇到外力是否會脫落</p>
	<p>疑點</p> <p>以鐵絲當作固定母索之方法，強度是否足夠，當發生墜落時是否會脫落。</p>

表 10 水平母索與中間支撐跨距

	<p>疑點</p> <p>中間支撐之距離已經超過營造安全衛生設施標準所規定之 3 公尺。</p>
	<p>疑點</p> <p>中間支撐之距離已經超過營造安全衛生設施標準所規定之 3 公尺。</p>
	<p>疑點</p> <p>中間支撐之距離已經超過營造安全衛生設施標準所規定之 3 公尺。</p>

表 11 中間支撐材質

	<p>疑點</p> <p>此種中間支撐之強度是否有 2300 公斤。</p>
	<p>疑點</p> <p>此種中間支撐之強度是否有 2300 公斤。</p>
	<p>疑點</p> <p>此種中間支撐之強度是否有 2300 公斤。</p>
	<p>疑點</p> <p>此種中間支撐之強度是否有 2300 公斤。</p>

第四章 水平母索強度折減試驗

第一節 水平母索靜態破斷強度測試

針對工地現場使用之母索，研究繩索本身強度，且為了解人員墜落之垂直拉力行為對於水平母索性能之影響，本研究規劃不同之變數，進行母索靜態破斷強度測試。

一、繩索本身強度測試

(一)實驗設計與設備

工地目前現有打結之母索經拉力施力後，其斷裂處都皆打結處，為了瞭解母索斷裂處斷在母索之結點與斷在母索中間之破斷強度，其是否有明顯差異，本研究設計了夾具，使母索經由拉力試驗後其破斷處可以斷裂於取樣處(如圖 4)，以準確取得繩索破壞時所受之力量，比較繩索斷在取樣處與斷在打結處之強度上之差異。所需設備如下(如表 12)：

- 1.50 噸拉拔機。
- 2.各種材質繩索(如表 13)。
- 3.實驗數據接收用電腦。
- 4.夾具。

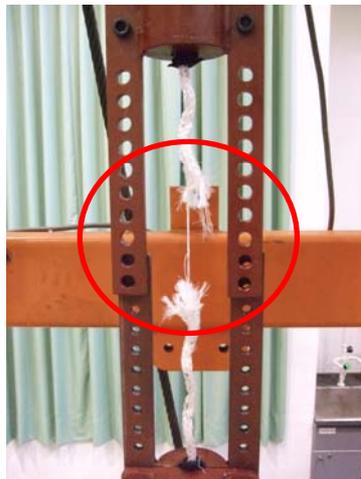


圖 4 破斷強度試驗後斷在取樣處

表 12 靜態破斷強度測試所需設備

50 噸拉拔機	各種材質繩索
	
夾具	實驗數據接收用電腦
	

表 13 試驗變數及材料

繩索種類	編織方法	繩索線徑(mm)	固定方式
尼龍繩	三股編織、蓆筒編織	14	夾具
聚酯繩	三股編織、蓆筒編織	14	夾具
棉繩	三股編織、蓆筒編織	14	夾具
花棉繩	三股編織	14	夾具
聚乙烯繩索	三股編織、蓆筒編織	14	夾具

(二)試驗測試步驟

本實驗設計是使用 50 噸之拉拔機進行母索破斷強度靜態拉力測試，中將試驗之繩索夾具架設在拉拔機上(如圖 5)，裝設完成後方可進行實驗。爲了不產生偏心效應導致試驗數據誤差，在試驗前進行拉拔機台水平校正(如圖 6)，設定實驗數據後執行測試，繩索斷裂時即停止拉力，並記錄測試數據。



圖 5 試驗之繩索架設示意圖



圖 6 拉拔機台水平校正示意圖

二、母索垂直拉力測試

(一)實驗設計與設備

爲了使水平母索更符合真實使用狀況而進行測試，母索以水平架設，從中測試水平母索應有之強度，並探討間距對於墜落高度、水平母索受力大小是否會造成影響。

(二)試驗器材

1. 20 噸固定式起重機一部。
2. 吊環。
3. 馬鞍環。
4. 掛鉤。
5. 荷重元與數字顯示器。
6. 各種材質繩索。

7.固定繩索之支柱。

(三)測試流程

本實驗設計是以下列變數如表 14所示，使用 20 噸固定式起重機進行母索破斷強度靜態拉力測試(如圖 7所示)，將荷重元固定於支柱上並將母索互相組搭，將掛鉤架設於兩支柱距離的中間，再將掛鉤掛於固定式起重機之鉤環安裝完成即進行實驗。20 噸固定式起重機以 137mm/s 往上拉伸繩索斷裂後即停止，接著量測如圖 8所示之拉斷垂直變位(Δ)、繩索之破斷強度(T)，利用拉斷垂直變位(Δ)、繩索之破斷強度(T)以三角函數計算出拉斷垂直力(P)，探討間距對於繩索強度及墜落高度、水平母索受力大小是否會造成影響，並依下列三角函數公式計算水平母索拉斷垂直力(P)：

$$P = 2T \cos \theta$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{L/2}{\Delta} \right)$$

表 14 母索垂直拉力試驗變數及材料

繩索種類	編織方法	繩索線徑(mm)	間距(m)	固定方式	張力(kgf)
尼龍繩	三股編織 蓆筒編織	12、14、16	3、5	反穿結 雙套結	0、12、19、 36、80
聚酯繩	三股編織 蓆筒編織	14、16	3、5	雙套結	0
花棉繩	三股編織	14	3、5	雙套結	0
棉繩	三股編織 蓆筒編織	14、16	3、5	雙套結	0



圖 7 試驗之繩索架設示意圖

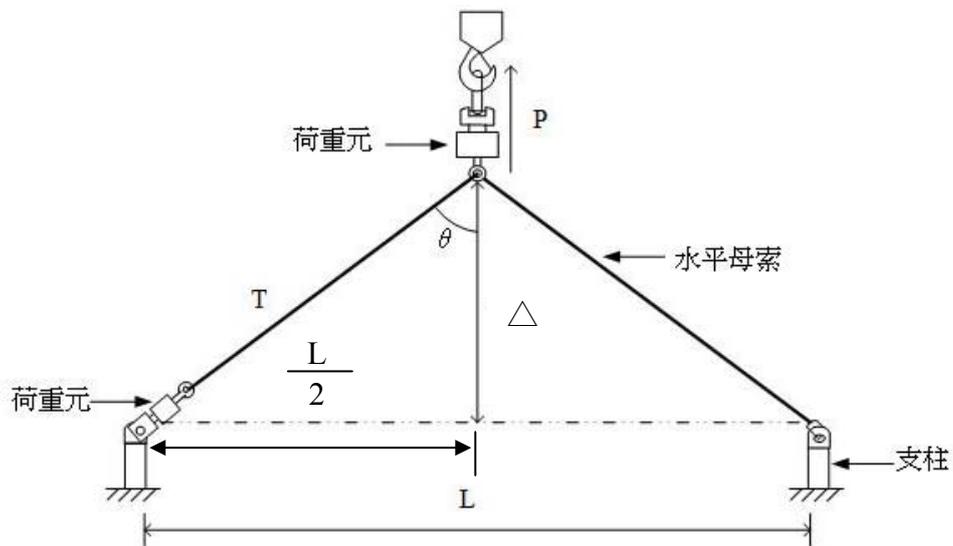


圖 8 量測項目示意圖

第二節 靜態破斷強度試驗結果

一、繩索本身強度測試

本試驗針對三股編織及蓆筒編織之尼龍繩索、聚酯繩索、花棉繩索、聚乙烯繩索與白棉繩索進行破斷強度試驗，結果發現三股編織的破斷強度大於蓆筒編織的破斷強度(如圖 9)，相同線徑繩索會隨著編織方法不同其強度上也會有所差異，其破斷情形如表 15所示，而營造工地最常使用 14mm 之花棉繩索、棉繩索、聚乙烯繩索做為母索材質，其破斷強度遠低於法規所規定之兩千三百公斤。藉由試驗結果可得知母索形

式以尼龍繩三股編織之破斷強度為最強。

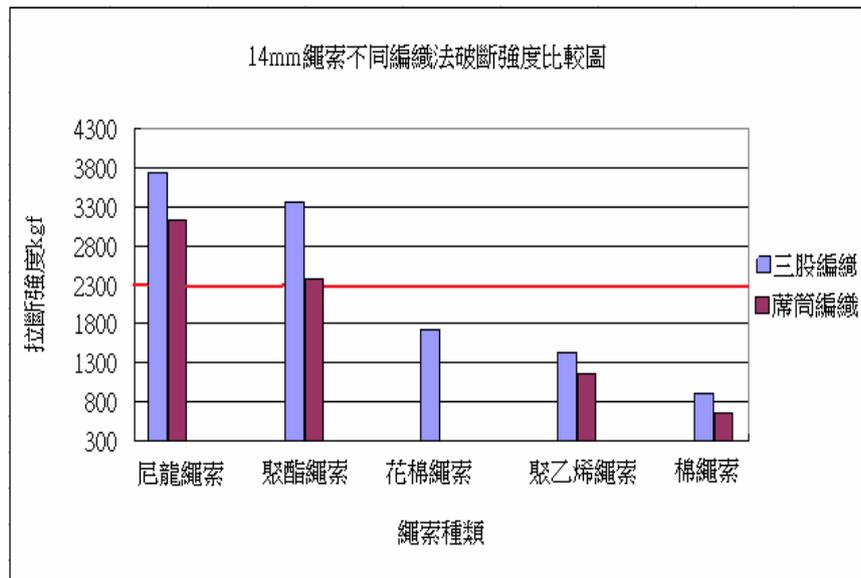
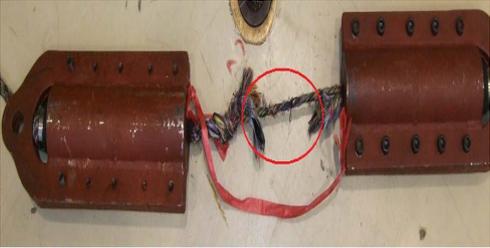
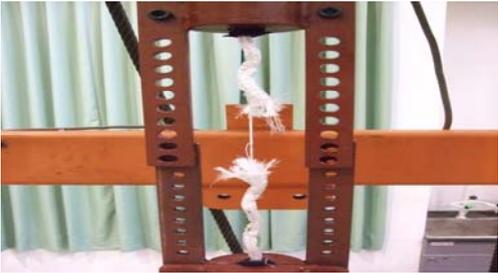


圖 9 14mm 繩索不同編織法破斷強度比較圖

表 15 各編織方法之母索破壞圖

繩索材質	編製方法	繩索破壞位置
尼龍繩索	三股編織	
	蓆筒編織	

聚酯繩索	三股編織	
	蓆筒編織	
花棉繩索	三股編織	
聚乙烯繩索	三股編織	
	蓆筒編織	
棉繩索	三股編織	

	蓆筒編織	
--	------	--

二、母索垂直拉力測試

(一)靜態破斷強度試驗理論計算值與實際測量值之結果

花棉繩及尼龍繩分別使用雙套結、水平架設間距 5m 進行試驗(如表 16)，編號 1 之測試樣品，其內力在 1500kg 時掛鈎已損壞(如圖 10所示)，編號 2 之測試樣品雖繩索損壞之處為間距之中間處，但未全斷故強度比編號 3 及編號 4 之測試樣品少。由各組數據結果得知，三角函數計算出之理論值與實際量測之值誤差在 5%以下，故可量測拉斷垂直變位(Δ)、繩索之破斷強度(T)利用三角函數計算出拉斷垂直力(P)。

表 16 拉斷垂直力(P)與破斷強度(T)反推值比較結果

編號	繩索	拉斷垂直變位 (Δ , cm)	θ	破斷強度 (T, kgf)	拉斷垂直力(P, kgf)	由繩索內力反推 P 值*(kgf)	誤差	備註
1	尼龍 12mm (三股)	236	43.3	1815	2409			T 為 1500kg 時掛鈎已損壞
2	尼龍 12mm (三股)	238	43.6	1886	2506	2601	3%	
3	尼龍 12mm (三股)	243	45.8	2136	2877	2978	3%	
4	尼龍 12mm (三股)	256	44.3	2241	3092	3207	3%	
5	花棉 14mm (三股)	270	42.7	1580	2289	2322	1%	
6	花棉 14mm (三股)	264	43.4	1594	2295	2316	0.9%	

註：繩索外力 = 2 × 繩索之內力 × cos θ



圖 10 掛鉤損壞示意圖

(二)靜態破斷強度試驗之結果

三股編織線徑 14mm 花棉繩及棉繩、三股編織線徑 16mm 棉繩、蓆筒編織線徑 14、16mm 棉繩分別使用雙套結、水平架設間距 3m、5m 進行試驗(如表 17)，量測拉斷垂直變位(Δ)、繩索之破斷強度(T) 如圖 11所示，以三角函數計算出繩索拉斷垂直力(P)。

間距由 3m 增加為 5m 時，編號 1 測試樣品之墜落高度增加了 55%，編號 2 測試樣品之墜落高度增加了 55%，編號 3 測試樣品之墜落高度增加了 47%，編號 4 測試樣品之墜落高度增加了 71%，編號 5 測試樣品之墜落高度增加了 48%，墜落高度增加量之比例如表 17所示。除了花棉繩因變形量較大於中心荷重點斷裂外，其餘都在束制端斷裂，如圖 12所示。編號 2 及編號 5 其編織方式為蓆筒編織，其蓆筒編織為兩層繩索互相重疊如圖 13，故水平架設測試時蓆筒編織之強度比三股編織之強度強。

表 17 不同繩索在架設 3m 與 5m 間距之靜態破斷強度試驗結果比較

編號	繩索	3m 水平間距架設		5m 水平間距架設		垂直變位△ 比較 $\left(\frac{\Delta 5m - \Delta 3m}{\Delta 3m}\right) \times 100\%$	斷裂位置
		破斷強度(kgf)	拉斷垂直變位△(cm)	破斷強度(kgf)	拉斷垂直變位△(cm)		
1	棉繩 14mm(三股)	509	111	483	172	增加 55%	繩索打結處
2	棉繩 14mm (蓆筒)	582	132	619	194	增加 55%	繩索打結處
3	花棉 14mm (三股)	1312	154	1470	263	增加 47%	繩索之掛鉤位置，三股全斷
4	棉繩 16mm (三股)	597	115	612	190	增加 71%	繩索打結處
5	棉繩 16mm (蓆筒)	613	139	653	206	增加 48%	繩索打結處

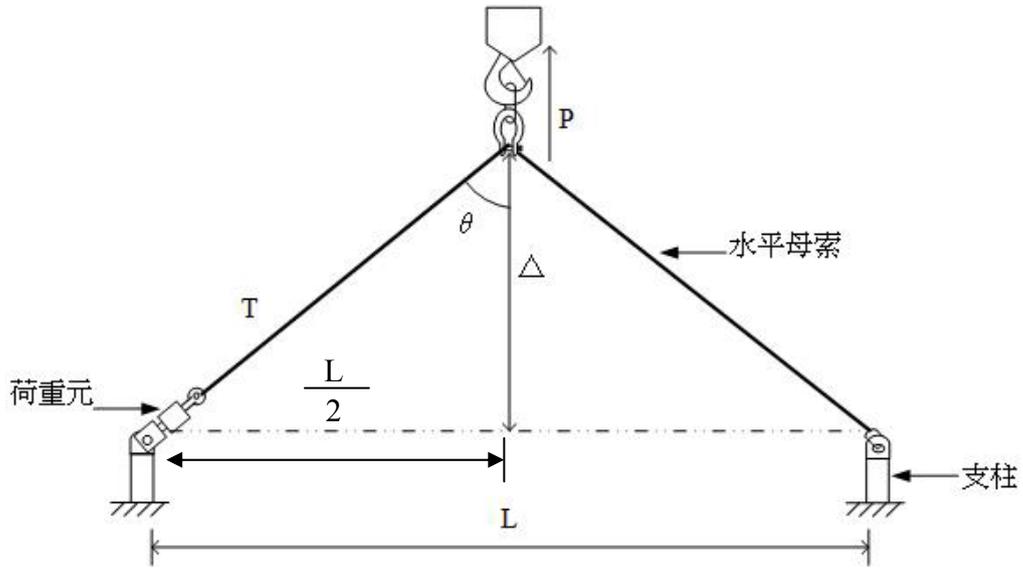


圖 11 量測項目示意圖

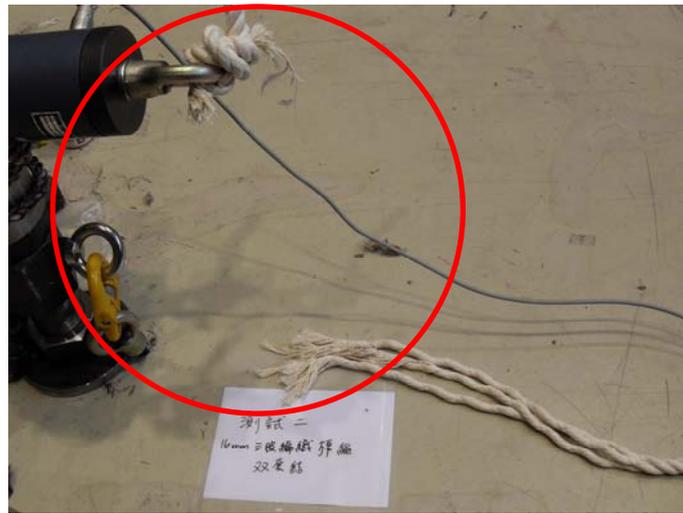


圖 12 試驗繩索損壞處示意圖



圖 13 蓆筒編織示意圖

(三)靜態破斷強度試驗不同張力之結果

三股編織線徑 14mm 花棉繩(如表 18)，為防止試驗時端點束制之繩結因拉伸試驗影響墜落高度之準確性，故在不同張力此試驗端點束制之方式採反穿結固定、水平架設間距 5m、繩索之張力(T_0)分別以 12、19、36、80kg 進行試驗，量測拉斷垂直變位(Δ)、繩索之破斷強度(T) 如圖 14所示，利用三角函數計算出繩索外力(P)。編號 2 之測試樣品其墜落高度減少 1%，編號 3 之測試樣品其墜落高度減少 14%，編號 4 之測試樣品其墜落高度減少 19%，編號 5 之測試樣品其墜落高度減少 22%，墜落高度增加量之比例如表 18所示。另發現墜落高度減少其角度也跟著減少影響著繩索之外力。

表 18 花棉繩三股編織線徑 14mm 不同張力強度之結果

編號	索端張緊力 (T_0 , kg)	拉斷垂直變位 (Δ , cm)	破斷強度 (kg)	拉斷垂直力(P, kgf)	θ	垂直變位 Δ 比較
1	0	263	1470	2133	46.5°	
2	12	258	1616	2321	46°	減少 1%
3	19	226	1596	2144	42.2°	減少 14%
4	36	213	1559	2024	40.5°	減少 19%
5	80	204	1560	1976	39.3°	減少 22%

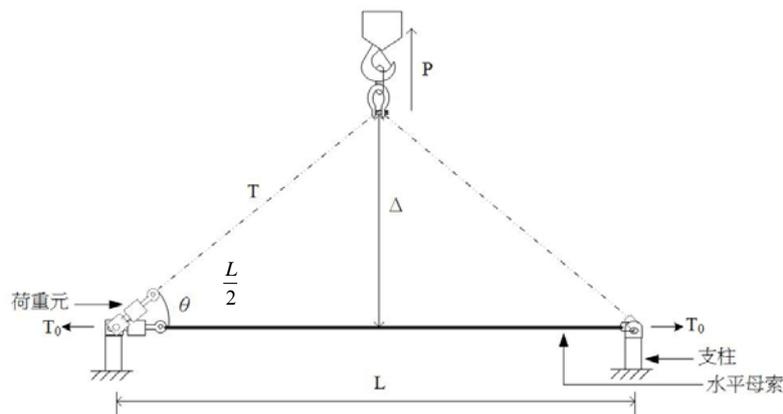


圖 14 量測項目示意圖

第三節 水平母索曝曬後試驗

針對 14mm 不同曝曬時間之三股編織尼龍繩索及聚酯繩索，分別以反穿結及雙套結作為束制方式，其結果如下所示：

一、三股編織尼龍繩索

(一)使用反穿結作為束制方式

全新之尼龍繩索平均拉斷強度為 3585kgf，繩索強度為 100%。經曝曬二個月後其平均拉斷強度 3443kgf，繩索強度為 97%。經曝曬四個月後其平均拉斷

強度 3223kgf，繩索強度為 90%。經曝曬六個月後其平均拉斷強度 2879kgf，繩索強度為 81%(如圖 15及表 19所示)。

(二)使用雙套結作為束制方式

全新之尼龍繩索平均拉斷強度為 2551kgf，繩索強度為 100%。經曝曬二個月後其平均拉斷強度 2759kgf，繩索強度為 107%。經曝曬四個月後其平均拉斷強度 2409kgf，繩索強度為 95%。經曝曬六個月後其平均拉斷強度 2168kgf，繩索強度為 85%(如圖 15及表 19)。

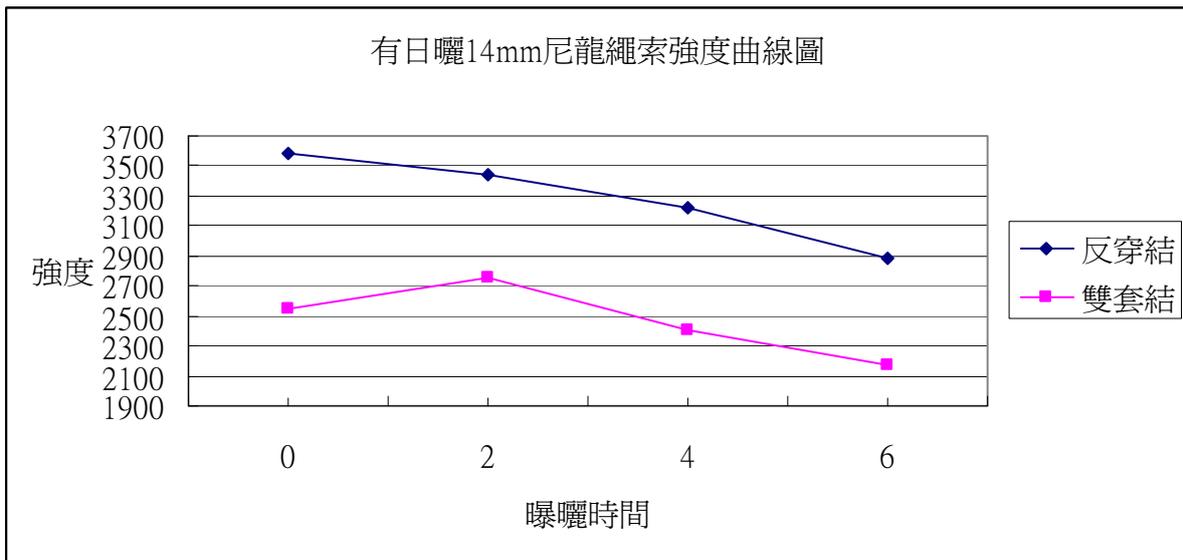


圖 15 有日晒 14mm 尼龍繩索強度曲線圖

表 19 尼龍繩索拉斷強度

時間(月)	0	2	4	6
材質				
尼龍 14mm 三股編織反穿結	3585kg	3443 kg	3223 kg	2879 kg
尼龍 14mm 三股編織雙套結	2551 kg	2759 kg	2409 kg	2168 kg

(三)兩者水平母索束制方式之比較

水平母索使用雙套結作為束制，其束制方式應力集中情形，較反穿結不穩

定，故在曝曬兩個月之繩索其繩索強度上升 7%(如圖 16)。對於繩索之老化脆化現象，使得繩索在初始強度有偏高之情形，以長遠來看，此現象不影響繩索強度折減之情形，曝曬六個月使用雙套結作為束制方式之尼龍繩索，其拉斷強度已低於法規所規定之兩千三百公斤。

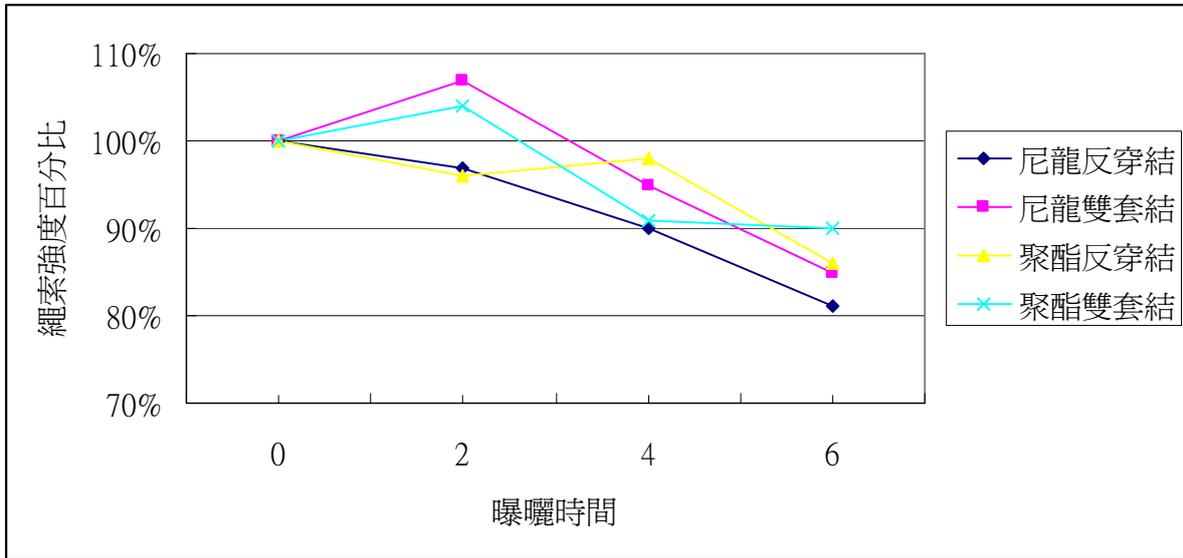


圖 16 繩索折減百分比

二、三股編織聚酯繩索

(一)使用反穿結作為束制方式

全新之聚酯繩索平均拉斷強度為 2947kgf，繩索強度為 100%。經曝曬二個月後其平均拉斷強度 2809kgf，繩索強度為 96%。經曝曬四個月後其平均拉斷強度 2876kgf，繩索強度為 98%。經曝曬六個月後其平均拉斷強度 2510kgf，繩索強度為 86%(如圖 17及表 20)。

(二)使用雙套結作為束制方式

全新之聚酯繩索平均拉斷強度為 2486kgf，繩索強度為 100%。經曝曬二個月後其平均拉斷強度 2594kgf，繩索強度為 104%。經曝曬四個月後其平均拉斷強度 2260kgf，繩索強度為 91%。經曝曬六個月後其平均拉斷強度 2231kgf，繩索強度為 90%(圖 17及表 20)。

(三)兩者水平母索束制方式之比較

水平母索使用雙套結作為束制方式，其束制方式較不穩定，故在曝曬兩個月

之繩索其繩索強度上升 4%，其拉斷強度已低於法規所規定之兩千三百公斤。

尼龍及聚酯材質之繩索曝曬六個月後，強度會降低 10~20%(如圖 16)，室外使用之母索隨著時間其強度會逐漸降低，事業單位使用母索做為防墜設施應特別注意，建議每 6 個月更換一次。

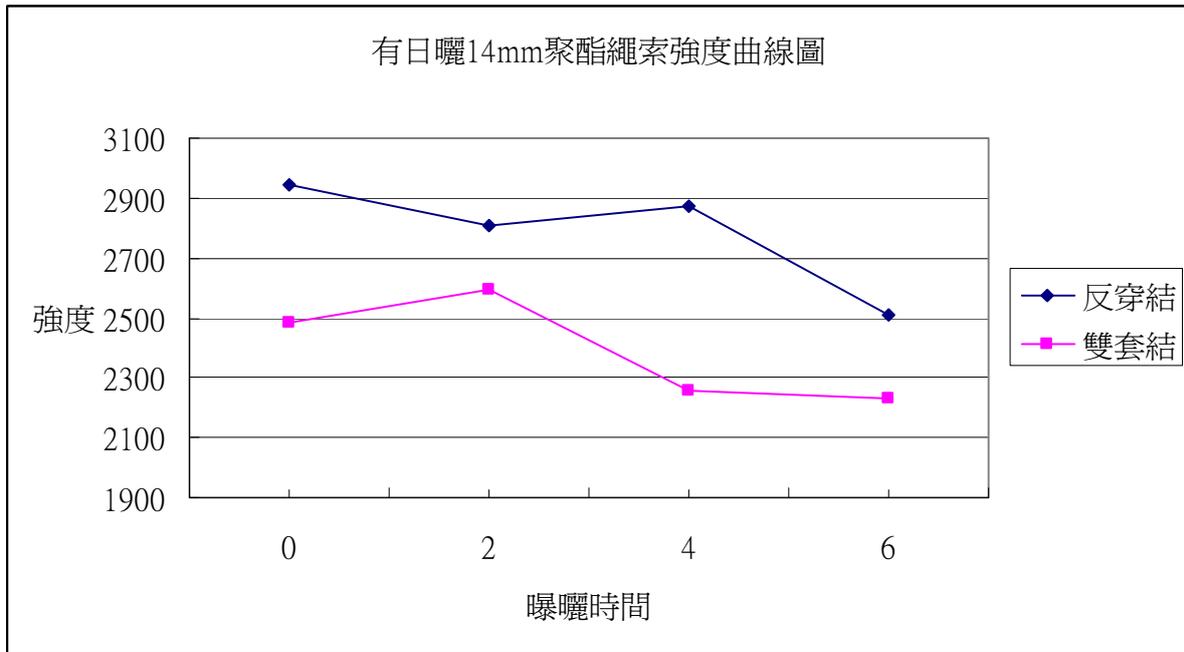


圖 17 有日晒 14mm 聚酯繩索強度曲線圖

表 20 聚酯繩索拉斷強度

材質 \ 時間(月)	0	2	4	6
聚酯 14 mm 三股編織反穿結	2947 kg	2809 kg	2876 kg	2510 kg
聚酯 14 mm 三股編織雙套結	2486 kg	2594 kg	2260 kg	2231 kg

另外，針對工地現場常有水平母索無日晒之情形，以強度最高之尼龍繩索反穿結進行不同曝曬時間強度試驗。由表 21 可得知，水平母索雖未受到太陽照射，但其強度仍會隨著時間加長而降低。

表 21 無日晒之尼龍繩索反穿結破斷強度結果(單位：kg)

無日(月)	0	2	4	6	8	10	12
尼龍 14mm(三股)	3585	3342	3289	3218	3129	3089	2829
反穿結	100%	94%	92%	90%	87%	87%	79%
聚酯 14mm(三股)	2947	2797	2762	2632	2603	2537	2466
反穿結	100%	95%	94%	90%	89%	87%	84%

第四節 水平母索動態實驗

一、研究目的

對於水平母索性能之影響，本研究規劃不同之變數進行測試，其主要目的在於針對安裝在母索系統上之安全帶阻止物體落下時，量出母索之靜載重及物體從高處落下時之衝擊載重，找出繩索之放大倍數特性，以供選用繩索之參考。

二、器材

實驗準備之器材，如圖 18所示：

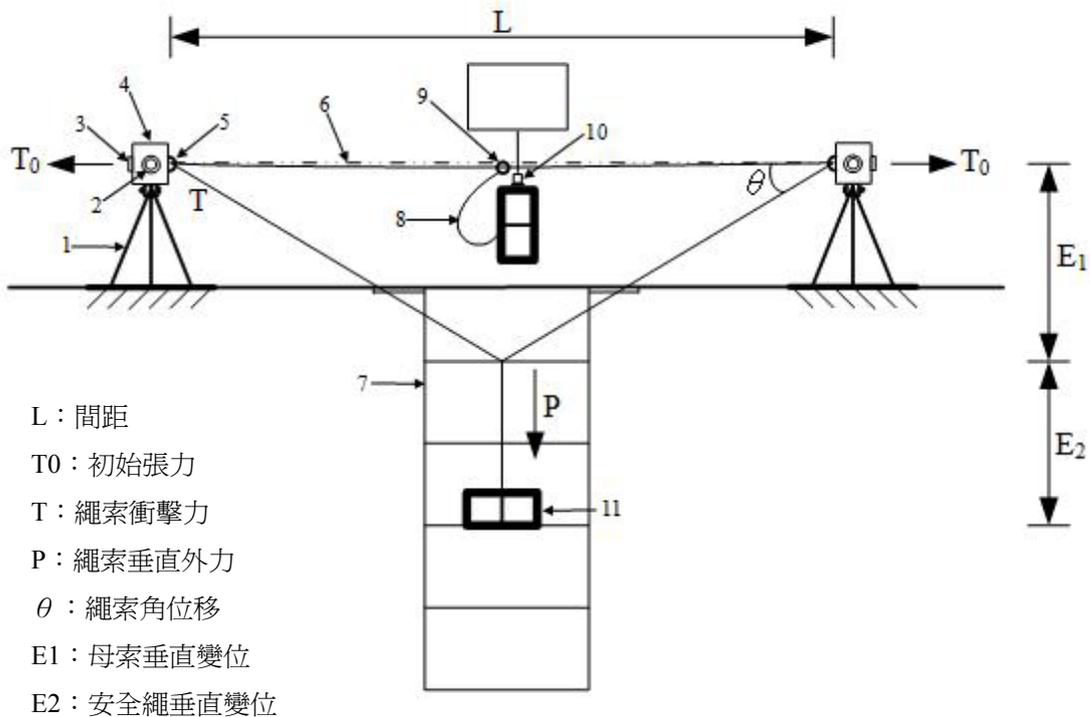


圖 18 動態實驗設計圖

- 1.固定式支柱。
- 2.編碼器。
- 3.配重。
- 4.荷重元。
- 5.吊環。
- 6.繩索。
- 7.測距布幔。
- 8.安全繩。
- 9.鉤環。
- 10.電磁鐵。
- 11.沙包。

三、實驗方法

使用扭力扳手將支柱固定於鋼構上，拴緊強度為 6KNcm 以上，並使用雙套結將母索固定在兩支柱之端點。將 90 公斤重之沙包掛鉤架設於兩支柱距離中間，再將電磁鐵掛於掛鉤上以吸附沙包用，架設完成後，將電磁鐵通電產生磁力，使沙包吸附於電磁鐵上再予以斷電，讓沙包自由墜落模擬施工人員墜落情形(如圖 19)，此時利用安裝在繩索固定端之荷重元，量測繩索之內應力，以及使用安裝在繩索固定端之編碼器，量測繩索之角位移，所量測之值利用三角函數推算母索之垂直變位。

對於鋼索、尼龍與聚酯繩索初始張力之靜態載重，利用固定式起重機使 90 公斤重沙包緩慢下降，沙包靜止後讀取其數值(如表 22)。

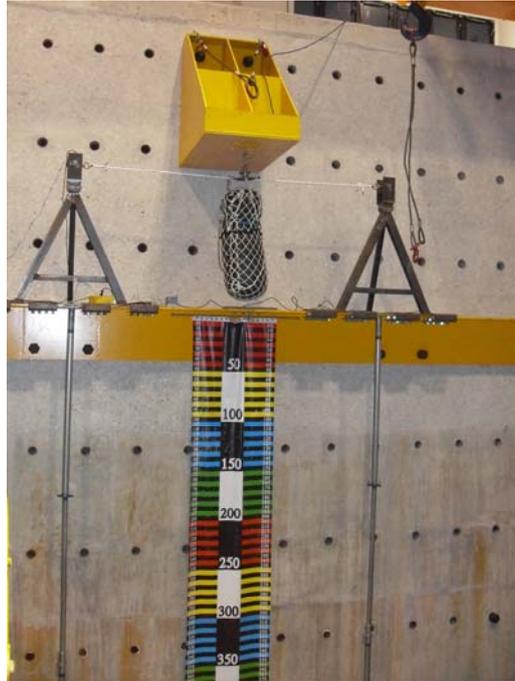


圖 19 動態試驗架設完成示意圖

表 22 聚酯繩索靜態載重顯示為 138 公斤

聚酯繩索靜載重	荷重元數字顯示器
	

四、實驗結果

(一)鋼索強度試驗

9mm 鋼索之初始張力為 27 公斤，當沙包自由落下至母索開始受力時(如表 23)，最大力量約為 2645 公斤(如圖 20)，推估其動態放大 7 倍左右 (2645/372)。繩索瞬間最大角度為 23.5 度，由公式推算母索垂直變位為 65 公分。

表 23 動態試驗前後對照

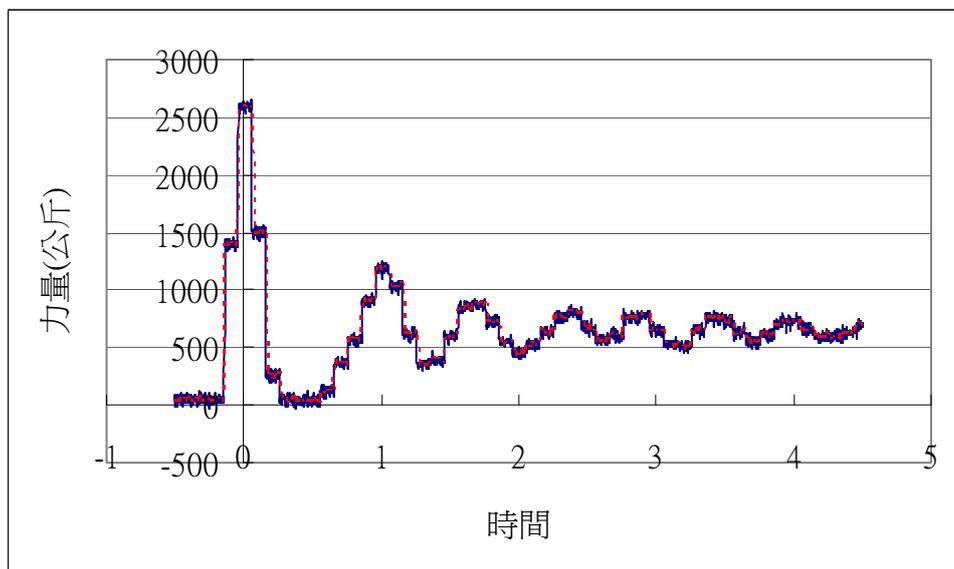
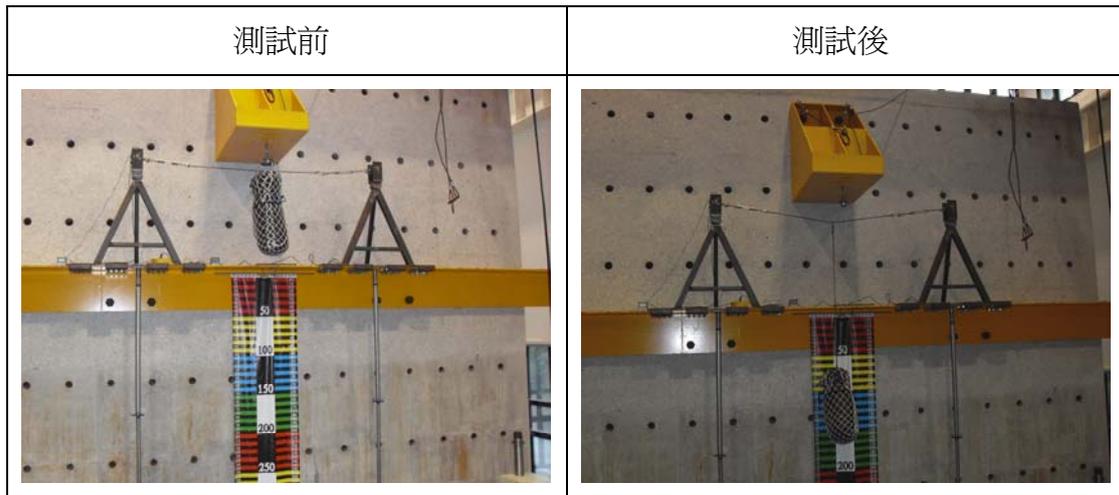


圖 20 鋼索受力趨勢圖

(二)繩索強度試驗(如表 24)

4mm 尼龍繩索及聚酯繩索之初始張力為 12 公斤，當沙包自由落下至母索開始受力進行。

1.水平間距 3 公尺

(1)尼龍繩索瞬間最大強度約為 1135 公斤(如圖 21)，推估其動態放大 10 倍左右(1135/114)。繩索之瞬間最大角度為 34.4 度，由公式推算其垂直變位為 103 公分。

(2) 聚酯繩索最大力量約為 1447 公斤(如圖 22)，推估其動態放大 10 倍左右 (1447/138)。繩索之瞬間最大角度為 30.8 度，由公式推算其垂直變位為 89 公分。

2. 水平間距 5 公尺

(1) 尼龍繩索瞬間最大強度約為 1013 公斤(如圖 23)，推估其動態放大 9 倍左右(1013/114)。繩索之瞬間最大角度為 30.8 度，由公式推算其垂直變位為 149 公分

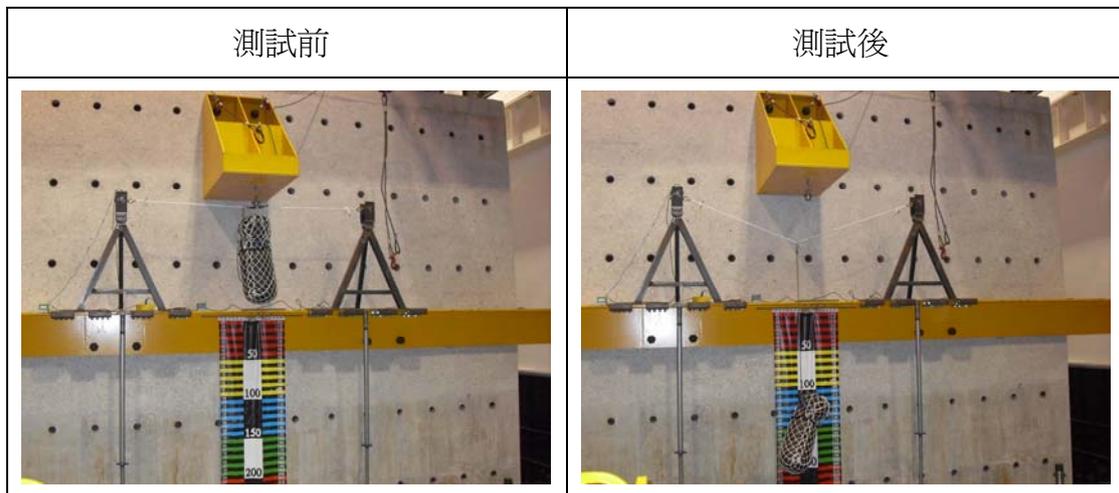
(2) 聚酯繩索最大力量約為 1395 公斤(如圖 24)，推估其動態放大 10 倍左右 (1395/138)。繩索之瞬間最大角度為 27.1 度，由公式推算其垂直變位為 128 公分(如表 25)。

3. 水平間距 7 公尺

(1) 尼龍瞬間最大強度為 979 公斤，推估其動態放大 9 倍左右(979/114)。繩索之瞬間最大角度為 30.8 度，由公式推算其垂直變位為 209 公分。

(2) 聚酯瞬間最大強度為 1291 公斤，推估其動態放大 9 倍左右(1291/138)。繩索之瞬間最大角度為 27.1 度，由公式推算其垂直變位為 179 公分。

表 24 水平母索動態試驗前後對照表



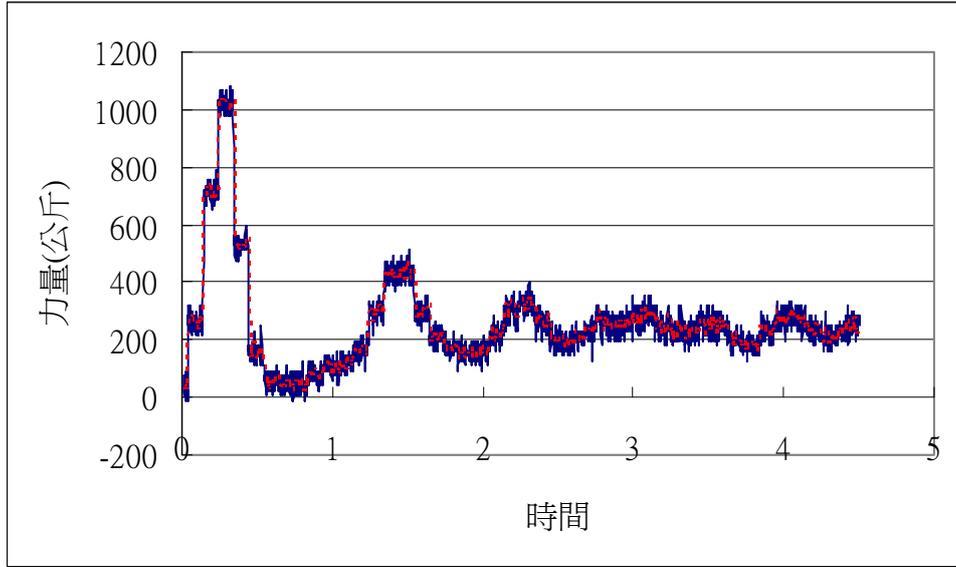


圖 21 水平間距 3m 尼龍繩索受力趨勢

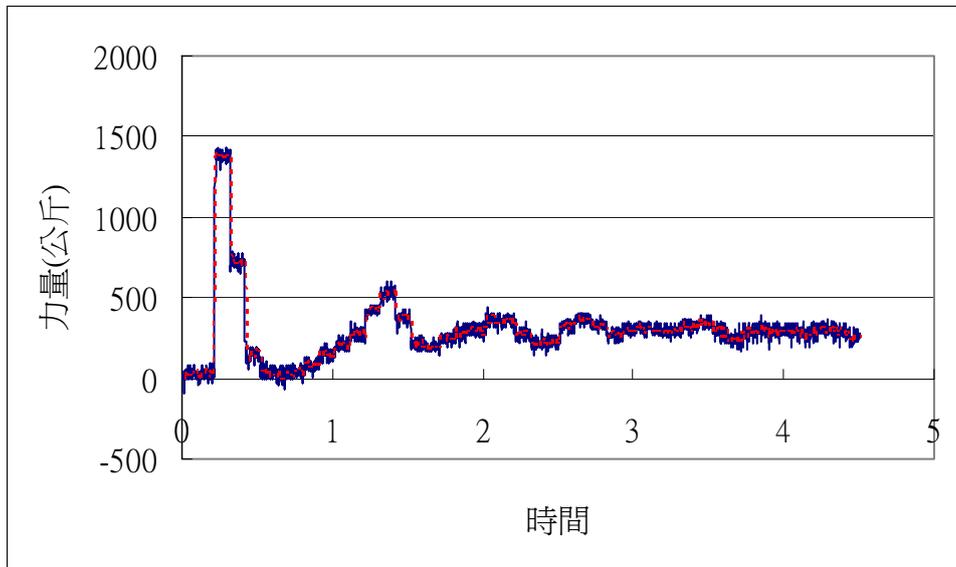


圖 22 水平間距 3m 聚酯繩索受力趨勢圖

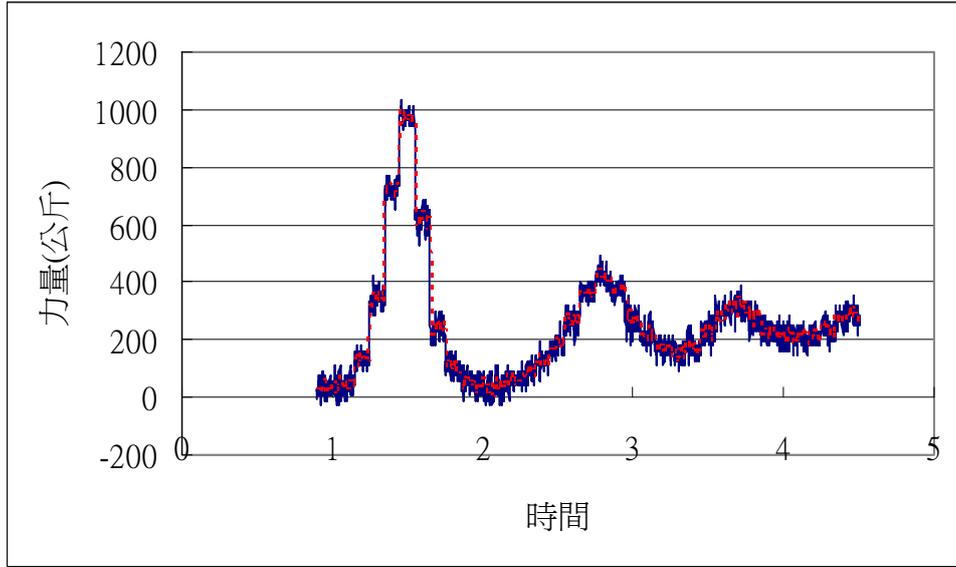


圖 23 水平間距 5m 尼龍繩索受力趨勢圖

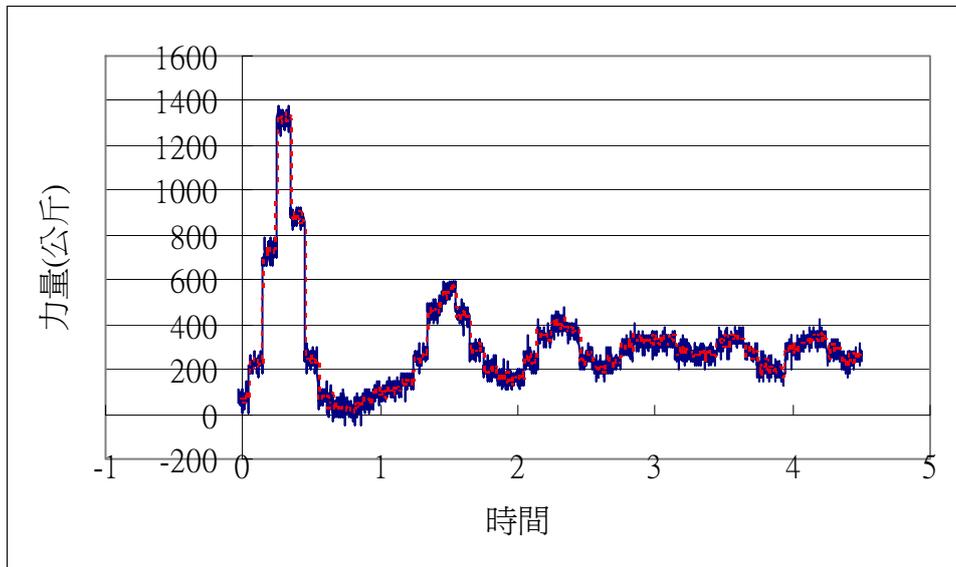


圖 24 水平間距 5m 聚酯繩索受力趨勢圖

表 25 水平母索不同間距動態試驗結果

編號	繩索材質	3m 水平間距架設				5m 水平間距架設				7m 水平間距架設			
		繩索強度 (kgf)	θ	垂直變位* (cm)	垂直外力* (kgf)	繩索強度 (kgf)	θ	垂直變位* (cm)	垂直外力* (kgf)	繩索強度 (kgf)	θ	垂直變位* (cm)	垂直外力* (kgf)
1	尼龍	1135	34.4	103	1282	1013	30.8	149	1037	979	30.8	209	1002
2	聚酯	1447	30.8	89	1481	1395	27.1	128	1270	1291	27.1	179	1176

註：垂直變位(Δ)= $L/2 \times \tan\theta$ ；垂直外力(P)= $2 \times$ 繩索強度(T) $\times \sin\theta$

4.新舊品動態試驗

針對新品與曝曬 8 個月之水平母索進行動態實驗，比較結果如表 26 所示。

(1)水平間距 3 公尺

尼龍瞬間最大強度為 1031 公斤，推估其動態放大 9 倍左右(1031/114)。繩索之瞬間最大角度為 30.8 度，由公式推算其垂直變位為 89 公分。

(2)水平間距 5 公尺

尼龍瞬間最大強度為 1031 公斤，推估其動態放大 9 倍左右(1031/114)。繩索之瞬間最大角度為 30.8 度，由公式推算其垂直變位為 149 公分。

由實驗結果顯示，使用水平母索作為預防墜落設施，當人員發生墜落時，母索承受之載重時力量瞬間放大，故在選用時須注意母索安全強度之放大係數，以保障施工人員安全。

表 26 水平母索新舊品比較

繩索材質	3m 水平間距架設				5m 水平間距架設			
	繩索強度 (kgf)	θ	垂直變位* (cm)	垂直外力* (kgf)	繩索強度 (kgf)	θ	垂直變位* (cm)	垂直外力* (kgf)
全新之尼龍繩	1135	34.4	103	1282	1013	30.8	149	1037
曝曬 8 個月之尼龍繩	1031	30.8	89	1055	1031	30.8	149	1037

註：垂直變位(Δ)= $L/2 \times \tan\theta$ ；垂直外力(P)= $2 \times$ 繩索強度(T) $\times \sin\theta$

第五章 水平母索束制強度試驗

第一節 端點束制破斷強度試驗與設備

一、實驗目的與機具

本試驗是針對不同材質、線徑、打結方法之母索進行拉力試驗，目的為瞭解母索是否因為不同形式之打結方法，導致其破斷強度是否有明顯差異。本試驗所需主要設備與機具如下：

- (一) 10 噸拉拔機一部。
- (二) 吊環。
- (三) 馬鞍環。
- (四) 各種材質繩索。
- (五) 實驗數據接收用電腦。
- (六) 貓眼。
- (七) 緊張器。
- (八) 測試材料(如表 27所示)。

表 27 端點束制靜態破斷強度試驗之材料及試驗變數

繩索種類	編織方法	繩索線徑	打結方法
尼龍繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	撒哈姆法
尼龍繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	雙套結
尼龍繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	活結
尼龍繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	八字結
聚酯繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	撒哈姆法
聚酯繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	雙套結
聚酯繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	活結
聚酯繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	八字結
棉繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	雙套結
棉繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	活結
棉繩	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	八字結

花棉繩	三股編織	14、16mm	撒哈姆法
花棉繩	三股編織	14、16mm	八字結
花棉繩	三股編織	14、16mm	雙套結
花棉繩	三股編織	14、16mm	活結
聚乙烯繩索	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	雙套結
聚乙烯繩索	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	活結
聚乙烯繩索	三股編織、八股編織、蓆筒編織	14、16mm	八字結
鋼索	7×19	8mm	鋁壓縮結頭
鋼索	7×19	8mm	鋼索夾(一顆)
鋼索	7×19	8mm	鋼索夾(二顆)
鋼索	7×19	8mm	鋼索夾(三顆)
鋼索	7×19	8mm	鋼索夾(四顆)
鋼索	7×19	8mm	鋼索夾鎖長邊
鋼索	7×19	8mm	鋼索夾鎖短邊
鋼索	7×19	8mm	鋼索夾鎖長短邊
鋼索	7×19	8mm	鋼索夾鎖之公斤數

二、端點束制靜態破斷強度拉力試驗測試步驟

握住試樣兩端並拉直置於拉力試驗機上，試驗機拉伸速度之規定為：荷重在繩索規定抗拉強度在 50%以下時，使用 300 mm/min 以內；超過 50%時使用 150 mm/min。由繩索斷裂在夾具中間處，以找出繩索材質所能承受之最大拉力。

第二節 水平母索端點束制試驗結果

一、試驗貓眼之改良

本試驗使用三種不同形式貓眼做相關試驗，以找出最適當之貓眼，來進行母索之靜態拉力試驗。種類如下：

(一) 第一種：鋼索用貓眼，如圖 25。



圖 25 貓眼示意圖

(二) 第二種：圓型貓眼，如圖 26。



圖 26 圓貓眼示意圖

貓眼使用雙套環結與活結做母索端點束制靜態拉力試驗時，由於編織方法造成貓眼產生移位現象，導致試驗出現誤差，而圓形貓眼不會產生移位現象，所以將其與無貓眼(如圖 27)之繩索進行比較。



圖 27 無貓眼示意圖

本試驗先將無貓眼及有貓眼之繩索分別進行三次靜態拉力試驗，比較兩者繩索破斷強度之差別，其破壞強度表格如表 28，由結果得知本研究之母索端點束制靜態拉力試驗，以無貓眼之繩索進行靜態拉力試驗較為適合。

表 28 有無貓眼之繩索破斷強度比較表

	無貓眼	有貓眼
測試一	3232 kgf(31.7kN) *	3102 kgf(30.3kN)
測試二	3575 kgf(35.0kN) *	2902 kgf(28.4kN)
測試三	3273 kgf(32.0kN)	3572 kgf(35.0kN) *
平均值	3360 kgf(32.9kN) *	3192 kgf(31.2kN)

註：*為破斷強度較高之值。

二、 尼龍繩索端點束制特性

本試驗將營造工地常使用之母索種類、線徑、編織法，及束制方式做為試驗之變數，進行三次測試取其平均值，以做為實驗用之依據，經拉力試驗結果找出其相關特性。

(一)反穿結打結數量(三股編織)：

尼龍繩 16mm 三股編織反穿結之打結數量：2 結、3 結與 4 結，拉力試驗結果為：2 結拉斷強度 > 4 結拉斷強度 > 3 結拉斷強度(如圖 28)。雖然 2 結之拉斷強度大於 4 結，但是在受力後其斷裂位置，前者較接近於錨定點(如圖 29)，後者則較遠離錨定點(如圖 30)，為了防止結點斷裂處接近錨定點，造成繩索鬆脫之墜落危害，因此尼龍 16mm 三股編織反穿結，建議之打結數量為 4 結。

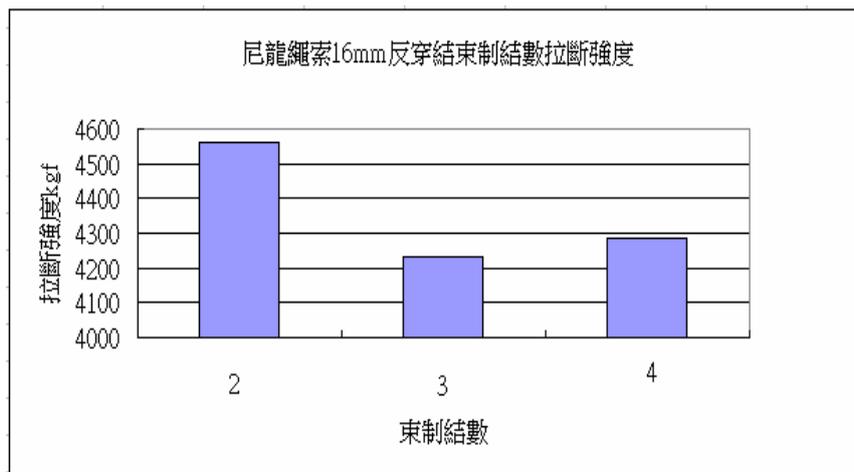


圖 28 尼龍繩 16mm 三股編織反穿結打結數量平均之拉斷強曲線圖



圖 29 斷裂位置較接近於錨定點



圖 30 斷裂位置較遠離錨定點

(二)三股編織之束制方式：

將三股編織 14mm、16mm 尼龍繩索以反穿結、雙套結、活結與八字結束制方式 (如表 29)進行拉力試驗。由結果得知，繩索拉斷強度排序為：反穿結>雙套結>活結>八字結 (如圖 31)，其中 14mm 三股編織尼龍繩，以八字結做為束制方法時，其拉斷強度已經低於法規所規定之兩千三百公斤，且有鬆脫現象產生。

表 29 尼龍繩索三股編織各式束制方法

束制方法	破壞位置
反穿結	
雙套結	
活結	
八字結	

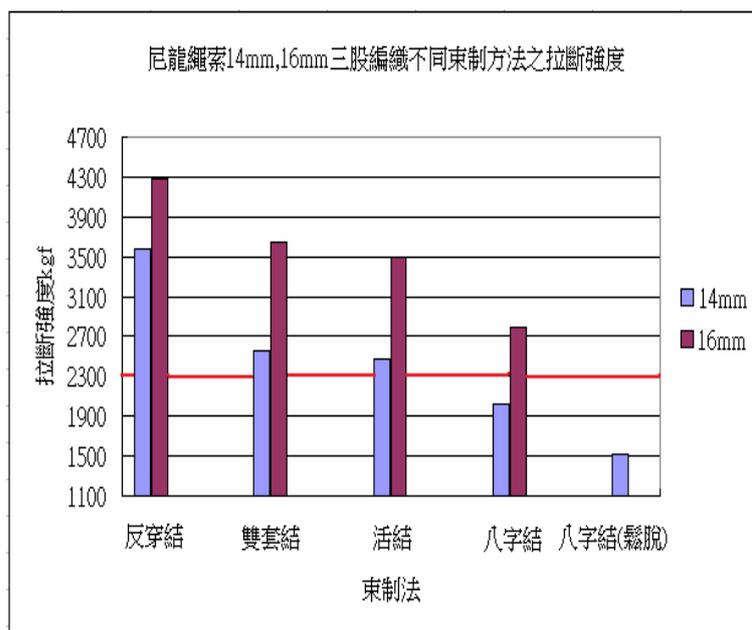


圖 31 尼龍繩索 14mm、16mm 三股編織不同束制法之拉斷強度

(三) 蓆筒編織之束制方式：

將蓆筒編織 14mm、16mm 尼龍繩索以雙套結、活結與八字結束制方式(如表 30)進行拉力試驗。由結果得知，繩索拉斷強度為：雙套結 > 活結 > 八字結(如圖 32)。蓆筒編織 14mm 尼龍繩索以八字結做為束制方法時，其拉斷強度已經低於法規所規定之兩千三百公斤。

蓆筒編織之編織法構造是內外兩層分開，較容易受到束制，但當繩索受力斷裂時，可能從內層先斷，較不容易看出繩索已經斷裂，故較不建議使用此繩索作為母索。

表 30 尼龍繩索蓆筒編織各式束制方法

雙套結	活結	八字結
		

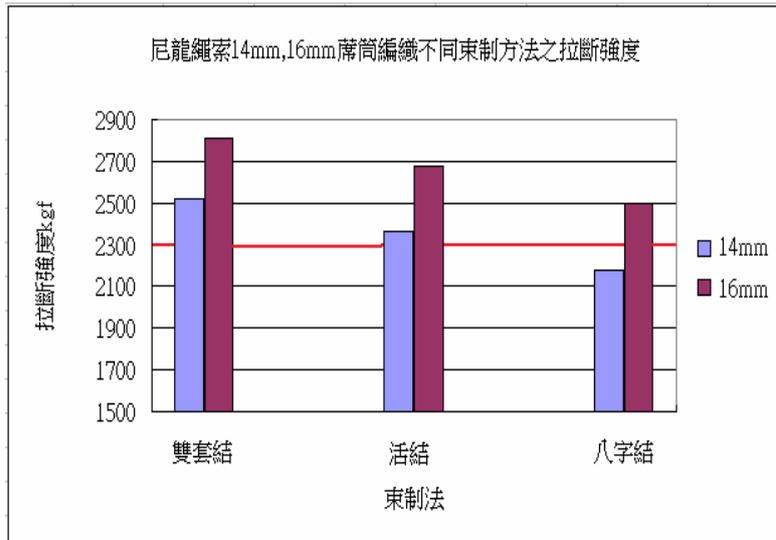


圖 32 尼龍繩索 14mm、16mm 蓆筒編織不同束制法之拉斷強度

(四) 八股編織之束制方式：

將八股編織 14mm、16mm 尼龍繩索以雙套結、活結與八字結束制方式(如表 31) 進行拉力試驗。由結果得知，繩索拉斷強度為：雙套結 > 活結 > 八字結。八股編織不同束制法之拉斷曲線圖，如圖 33所示。

經試驗結果發現其拉斷強度高出法規規定許多，但此繩索較不易束制，在工地現場操作上較不方便。

表 31 尼龍繩索八股編織各式束制方法

雙套結	活結	八字結
		

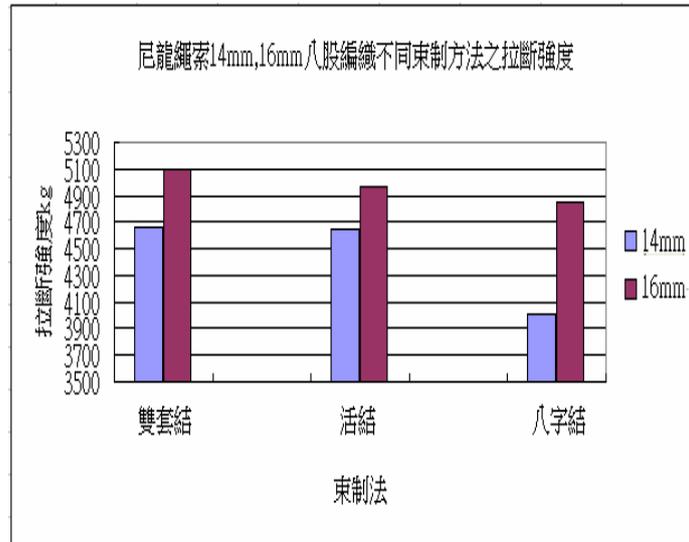


圖 33 尼龍繩索 14mm、16mm 八股編織不同束制法之拉斷強度

三、聚酯繩索端點束制特性

(一)三股編織之反穿結打結數量：

16mm 聚酯繩索三股編織反穿結，打結數量為 2 結、3 結與 4 結，觀察拉力試驗結果為：3 結拉斷強度 > 4 結拉斷強度 > 2 結拉斷強度(如圖 34)。因此聚酯繩索 16mm 三股編織束制方式為反穿結，建議打結數量為 3 結。

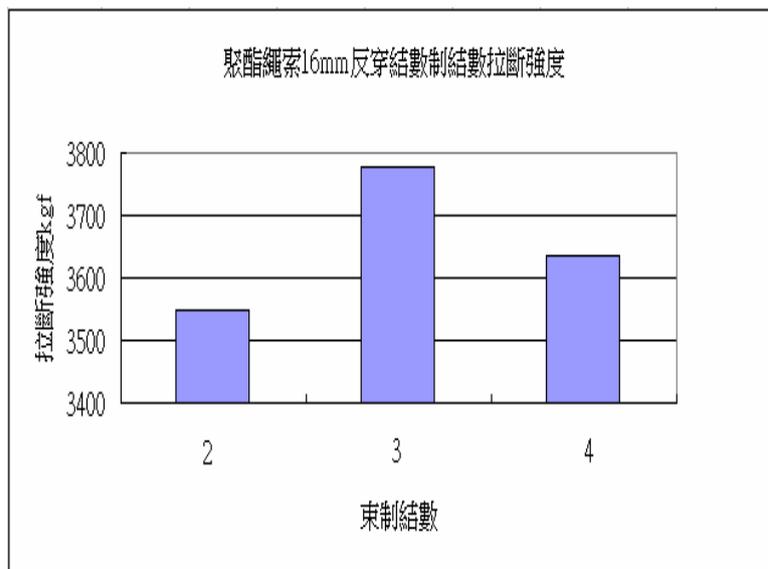


圖 34 聚酯繩索 16mm 反穿結束制結數拉斷強度曲線圖

(二)三股編織方法：

將三股編織 14mm、16mm 聚酯繩索以反穿結、雙套結、活結與八字結束制方式(如表 32)進行拉力試驗。由結果得知，繩索拉斷強度為：反穿結>雙套結>活結>八字結(如圖 35)。其中 14mm 三股編織聚酯繩索，以活結、八字結做為束制方法時，其拉斷強度已低於法規所規定之兩千三百公斤。

表 32 聚酯繩索三股編織各式束制方法

反穿結	雙套結
	
活結	八字結
	

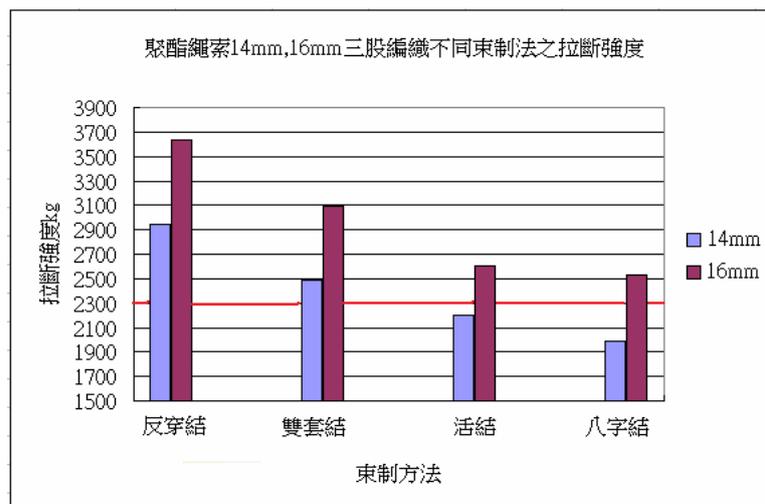


圖 35 聚酯繩索 14mm、16mm 三股編織不同束制法之拉斷強度

(三)蓆筒編織：

將蓆筒編織 14mm、16mm 聚酯繩索以雙套結、活結與八字結束制方式(如表 33)進行拉力試驗。由結果得知，繩索拉斷強度為：雙套結 > 活結 > 八字結。其中 14mm 蓆筒編織聚酯繩索，以雙套結、活結、八字結做為束制方法時，其拉斷強度已經低於法規所規定之兩千三百公斤(如圖 36)。

表 33 聚酯繩索蓆筒編織各式束制方法

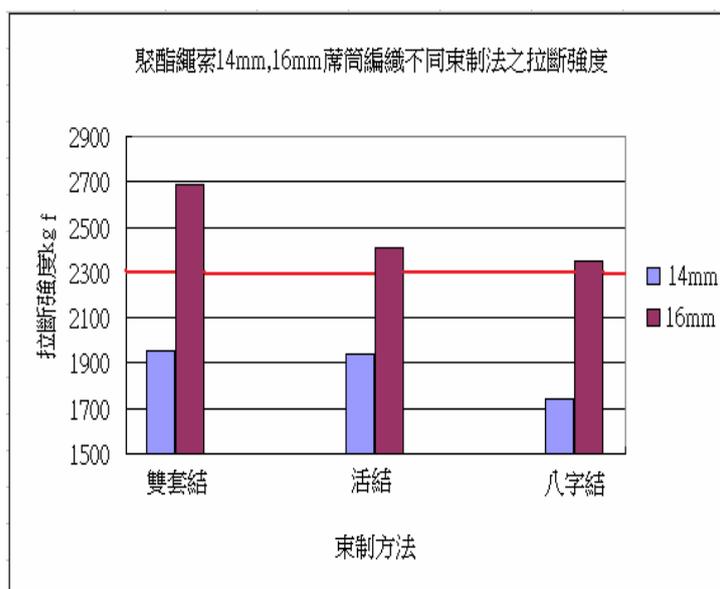


圖 36 聚酯繩索 14mm、16mm 蓆筒編織不同束制法之拉斷強度

(四)八股編織：

將八股編織 14mm、16mm 聚酯繩索以雙套結、活結與八字結束制方式(如表 34)進行拉力試驗。由結果得知，繩索拉斷強度為：雙套結 > 活結 > 八字結 (如圖 37)。

經試驗結果發現，八股編織拉斷強度高於法規規定，但此繩索較不易束制，在工地現場操作上較不方便。

表 34 聚酯繩索八股編織各式束制方法

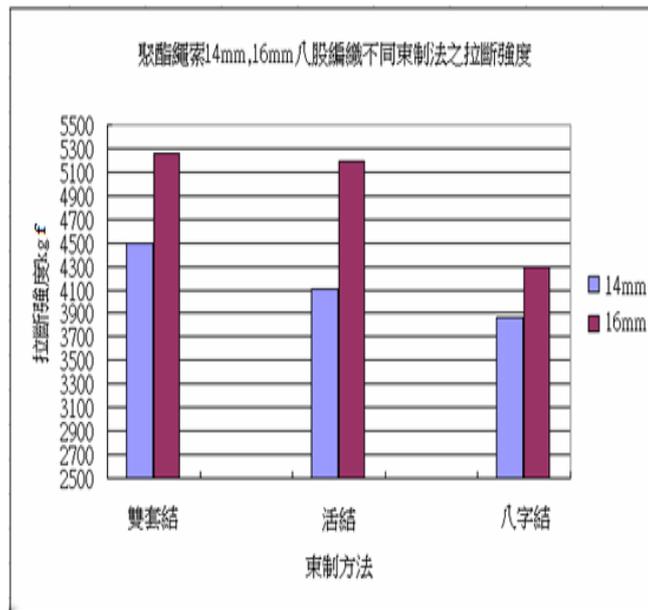


圖 37 聚酯繩索 14mm、16mm 八股編織不同束制法之拉斷強度

四、聚乙烯繩索端點束制特性

(一)反穿結打結數量

聚乙烯繩索 16mm 三股編織反穿結，打結數量為 3 結與 4 結，拉斷試驗結果：4 結拉斷強度為 2018 kgf，3 結拉斷強度為 2017 kgf(如圖 38)，且打結數量為 3 結之聚乙烯繩索，在拉力試驗後會有繩結鬆脫之現象(如圖 39)，導致繩索從錨定點脫落，而其拉斷強度遠低於營造安全衛生設施標準第二十三條規定：合成纖維之材質母索強度應在兩千三百公斤以上之規定，因此不建議母索使用聚乙烯繩索 16mm 三股編織反穿結。

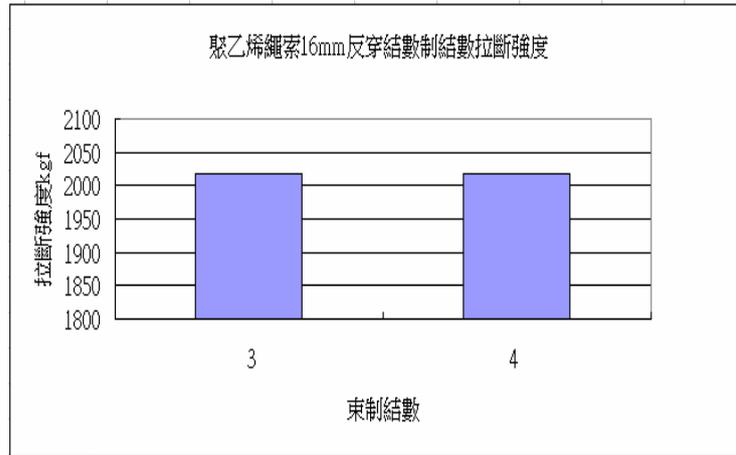


圖 38 聚乙烯繩索 16mm 反穿結束制結數平均之拉斷強度



圖 39 聚乙烯繩結鬆脫

(二) 三股編織方法

將三股編織 14mm、16mm 聚乙烯繩索以反穿結、雙套結、活結對八字結束制方式(如表 35)進行拉力試驗。拉斷強度為：反穿結>活結>八字結>雙套結(如圖 40)。

聚乙烯繩索特性是繩索受力在承受最大力量時不會斷裂，但其材質已經開始成現疲乏狀態，最大力量也不會繼續往上升而會開始往下降，下降到一定程度時繩索才會斷裂。14mm、16mm 聚乙烯繩索不易架設且其拉斷強度均未達到法規規定之兩千三百公斤。

表 35 聚乙烯繩索三股編織各式束制方法

反穿結	雙套結
	
活結	八字結
	

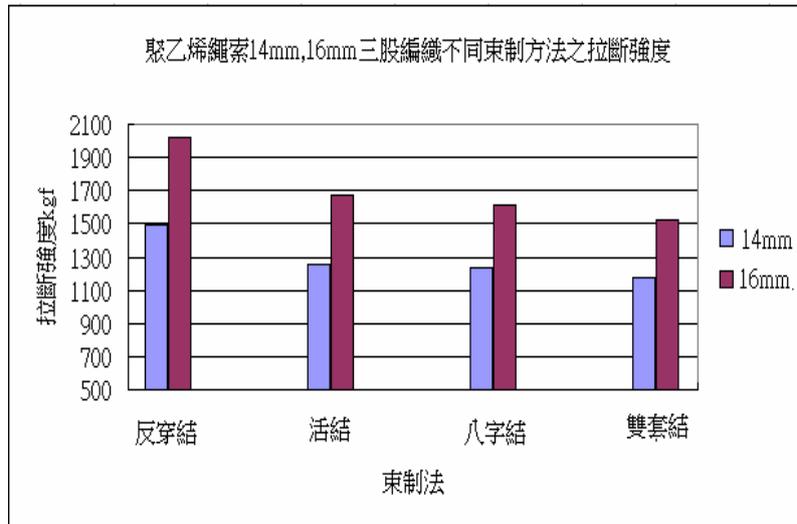


圖 40 聚乙烯繩索 14mm、16mm 三股編織不同束制法之拉斷強度

(三) 蓆筒編織

將蓆筒編織 14mm、16mm 聚乙烯繩索以雙套結、活結與八字結束制方式(如表 36)進行拉力試驗。拉斷強度為：活結 > 雙套結 > 八字結。蓆筒編織不同束制法之拉斷曲線圖，如圖 41所示。蓆筒編織 14mm、16mm 聚乙烯繩索，斷裂時不容易發現且架設較困難，其拉斷強度均未達到法規要求之兩千三百

公斤。

表 36 聚乙烯繩索蓆筒編織各式束制方法

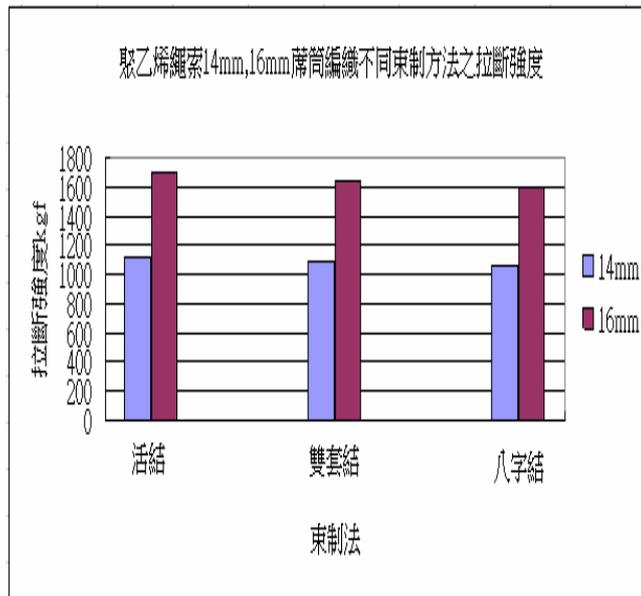


圖 41 聚乙烯繩索 14mm、16mm 蓆筒編織不同束制法之拉斷強度

五、花棉繩索端點束制特性

(一)反穿結打結數量：

花棉繩 14mm 三股編織反穿結，由試驗求出打結數量為 2 結、3 結與 4 結之平均拉斷強度，試驗結果為：3 結拉斷強度大於 4 結拉斷強度等於 2 結拉斷強度 (如圖 42)。其拉斷強度遠低於法規要求之兩千三百公斤以上規定，因此不宜使用花棉繩 14mm 作為水平母索。

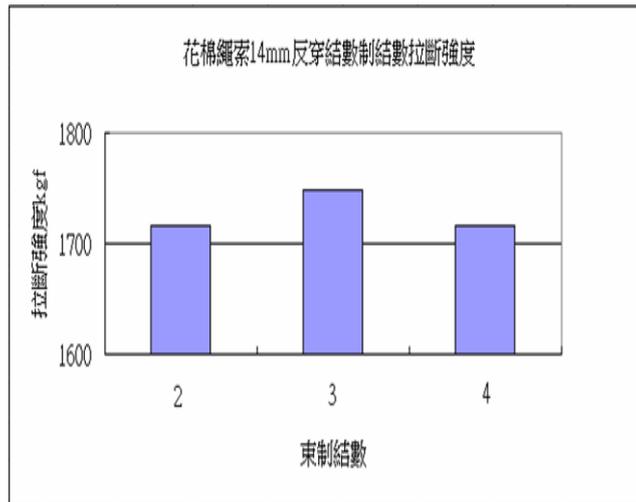


圖 42 花棉繩 14mm 反穿結之拉斷強度

(二)三股編織：

將三股編織 14mm 花棉繩索以反穿結、雙套結、活結與八字結束制方式(如表 37)進行拉力試驗。拉斷強度為：反穿結 > 雙套結 > 活結 > 八字結(如圖 43)。其拉斷強度均沒有超過法規所規定之兩千三百公斤。

表 37 花棉繩索三股編織各式束制方法

反穿結	雙套結
活結	八字結

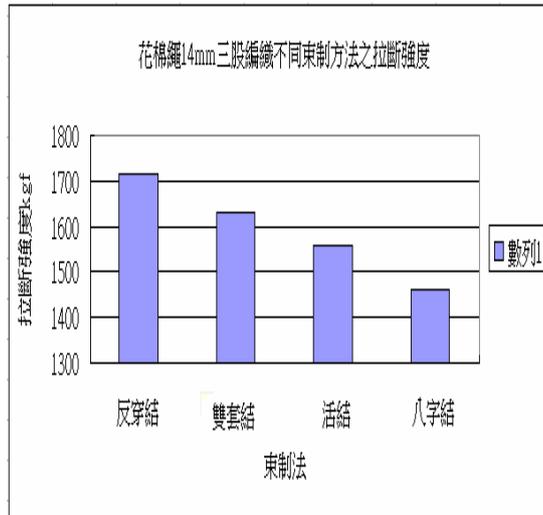


圖 43 花棉繩索 14mm 三股編織不同束制法之拉斷強度

六、白棉繩索端點束制特性

(一)三股編織：

將三股編織 14mm 棉繩索以雙套結、活結與八字結束制方式(如表 38)進行拉力試驗。拉斷強度為：八字結 > 雙套結 > 活結。其拉斷強度均沒有超過法規所規定之兩千三百公斤(如圖 44)。

表 38 白棉繩索三股編織各式束制方法



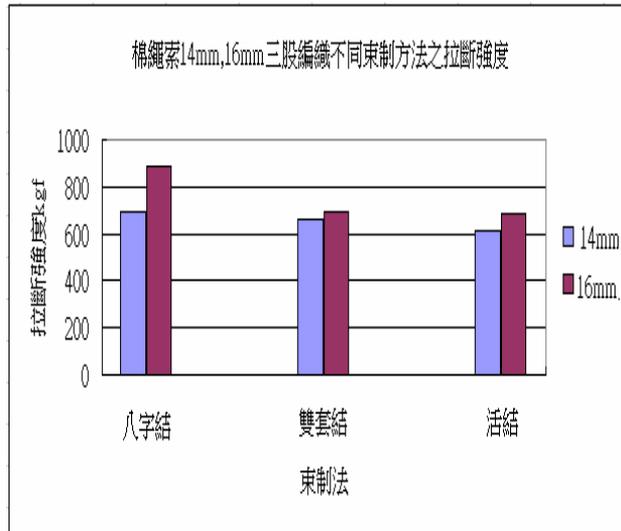


圖 44 棉繩索 14mm、16mm 三股編織不同束制法之拉斷強度

(二) 蓆筒編織：

將蓆筒編織 14mm、16mm 白棉繩索以雙套結、活結與八字結束制方式(如表 39)進行拉力試驗。拉斷強度為：八字結 > 活結 > 雙套結(如圖 45)。其拉斷強度均沒有超過法規所規定之兩千三百公斤。

表 39 白棉繩索蓆筒編織各式束制方法



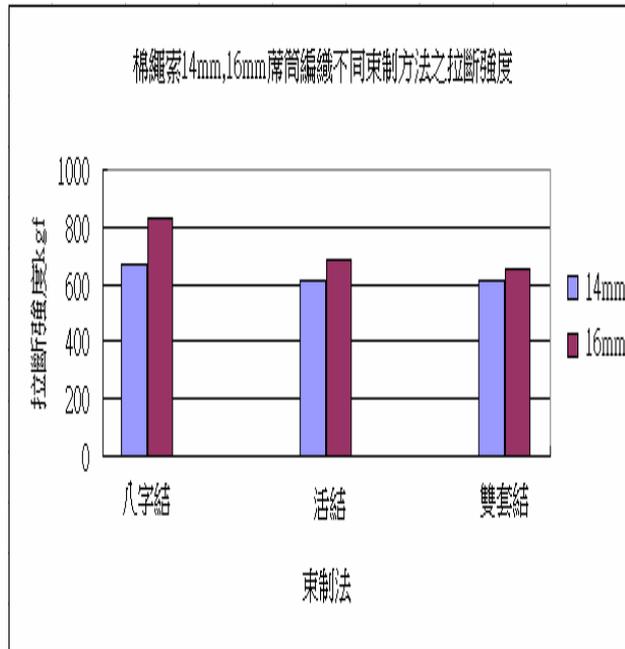


圖 45 白棉繩索 14mm、16mm 蓆筒編織不同束制法之拉斷強度

(三)八股編織：

將八股編織 14mm、16mm 白棉繩索以雙套結、活結、八字結束制方式(如表 40)進行拉力試驗。繩索拉斷強度為：八字結 > 活結 > 雙套結(如圖 46)。經試驗結果發現其拉斷強度均沒有超過法規所規定之兩千三百公斤，且此繩索較不易束制，且操作上較不方便。

表 40 白棉繩索八股編織各式束制方法



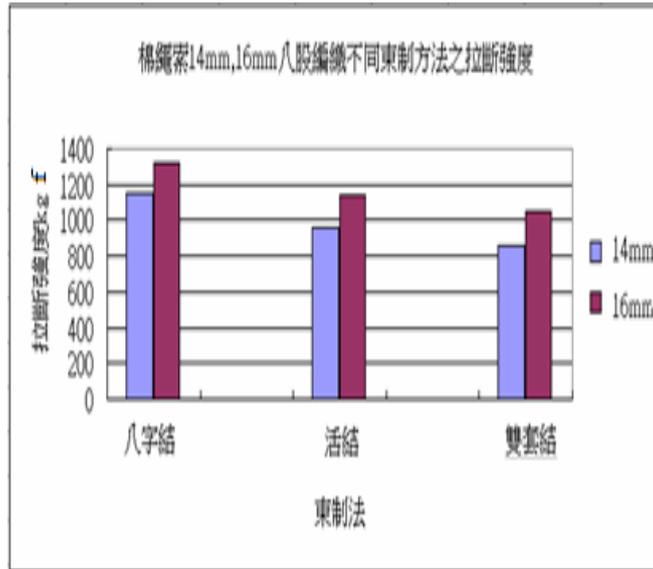


圖 46 白棉繩索 14mm、16mm 八股編織不同束制法之拉斷強度

七、繩索特性討論

將業界常用之尼龍繩索、聚酯繩索、花棉繩索、白棉繩索與聚乙烯繩索，分別以夾具、反穿結、雙套結、活結與八字結作為束制方式，進行 14mm 三股編織與蓆筒編織之強度實驗測試，找出繩索是否因不同之束制方式改變其強度。

為取得繩索破斷時之強度，本研究開發水平母索測試夾具使繩索斷在取樣處(如圖 47)，避免其他因素影響數值準確性。

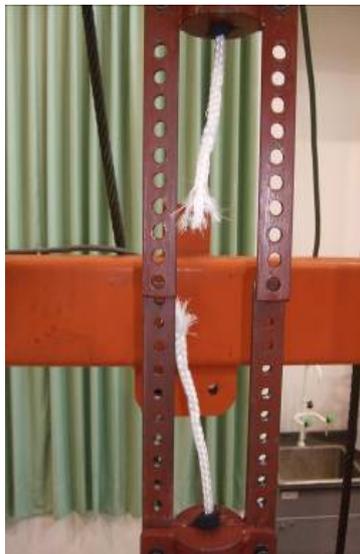


圖 47 繩索斷於取樣處

(一)14mm 三股編織，其結果如圖 48。

- 1.尼龍繩索使用夾具而斷在中間取樣處，其破斷強度以 100%為計，打反穿結時其繩索強度降為 95%，打雙套結時其繩索強度 67%，打活結時其繩索強度剩下 65%，打八字結時其繩索強度最低為 54%。
- 2.聚酯繩索使用夾具而斷在中間取樣處，其破斷強度以 100%為計，打反穿結時其繩索強度降為 88%，打雙套結時其繩索強度 75%，打活結時其繩索強度只剩下 66%，打八字結時其繩索強度只剩下 60%。
- 3.花棉繩索使用夾具而斷在中間取樣處，其破斷強度以 100%為計，打反穿結時其繩索強度為 93%，打雙套結時其繩索強度剩下 87%，打活結時其繩索強度 83%，打八字結時其繩索強度只剩下 78%。
- 4.白棉繩索使用夾具而斷在中間取樣處，其破斷強度最高為 100%為計，打雙套結時其繩索強度只剩下 72%，打活結時其繩索強度只剩下 68%，打八字結時其繩索強度只剩下 77%。
- 5.聚乙烯繩索打反穿結拉斷強度為最高，以 100%為計，使用夾具其破斷強度為 97%，打雙套結時其繩索強度為 80%，打活結時其繩索強度剩下 85%，打八字結時其繩索強度只剩下 84%。

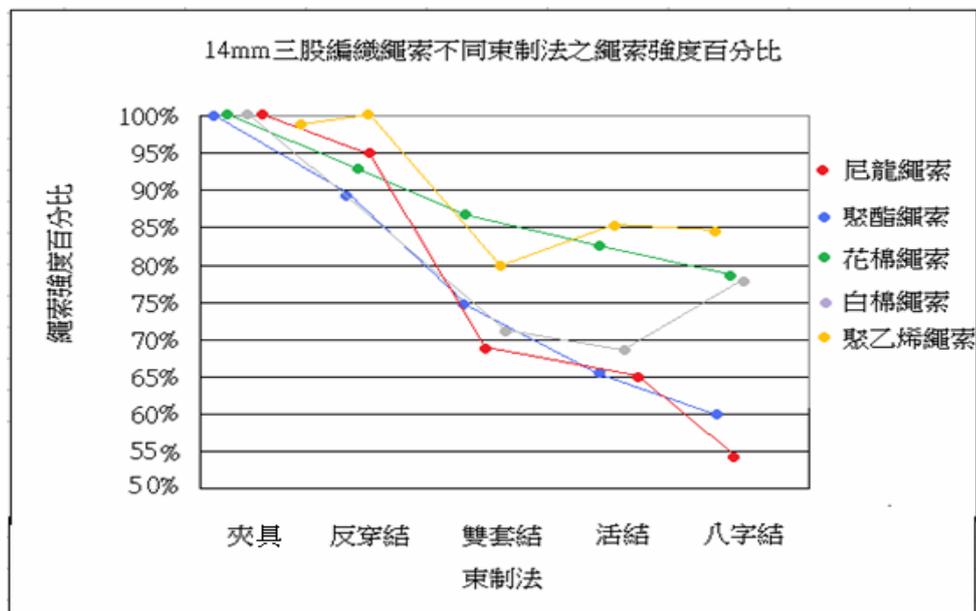


圖 48 14mm 三股編織繩索不同束制法之繩索強度百分比

(二)14mm 蓆筒編織，其結果(如圖 49)。

- 1.尼龍繩索使用夾具破斷強度，以 100%為計，打雙套結時其繩索強度為 81 %，打活結時其繩索強度剩下 76%，打八字結時其繩索強度只剩下 70%。
- 2.聚酯繩索使用夾具破斷強度，以 100%為計，打雙套結時其繩索強度為 83 %，打活結時其繩索強度剩下 82%，打八字結時其繩索強度只剩下 74%。
- 3.白棉繩索打八字結時其強度為最高，以 100%為計，使用夾具其破斷強為 99 %，打雙套結時其繩索強度剩下 92%，打活結時其繩索強度只剩下 93%。
- 4.聚乙烯繩索使用夾具破斷強度為最高，以 100%為計，打雙套結時其繩索強度為 95%，打活結時其繩索強度剩下 97%，打八字結時其繩索強度只剩下 92%。

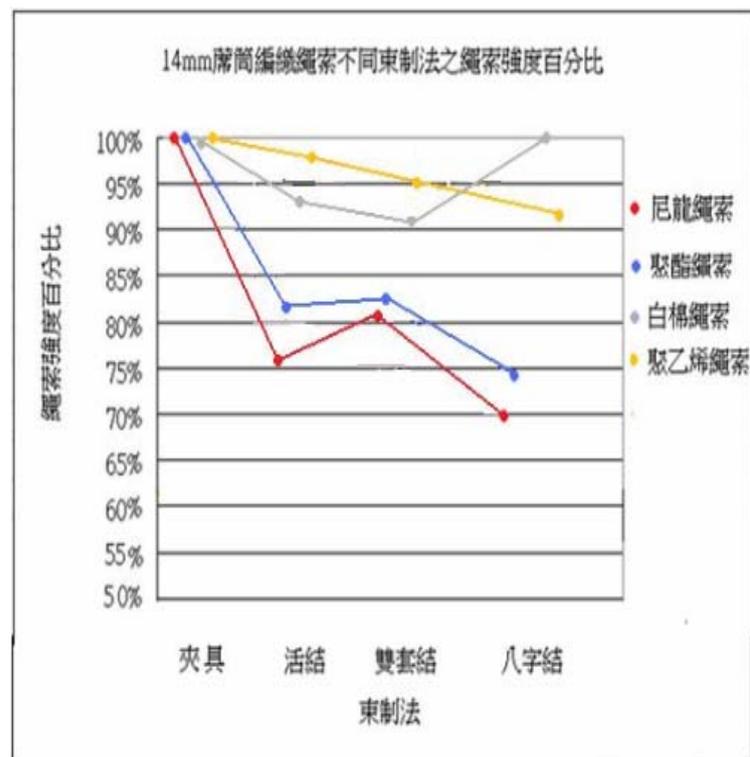


圖 49 14mm 蓆筒編織繩索不同束制法之繩索強度百分比

第三節 鋼索端點束制特性結果

一、不銹鋼鋼索端點束制特性

本試驗使用 8mm 不銹鋼鋼索，進行業界常使用束制方法之拉力試驗，找出束制能力最好且拉斷強度最強方法，本試驗之拉伸速率為 150mm/min，鋼索夾螺帽鎖之公斤數以 CNS 所規定之 255kg*cm 進行此試驗。圖 50 為業界常使用之鋼索束制方法拉斷強度比較圖，其強度大小如下：鋁壓縮結頭拉斷強度 > 4 顆鋼索夾拉斷強度 > 3 顆鋼索夾拉斷強度 > 2 顆鋼索夾拉斷強度 > 3 結拉斷強度 > 4 結拉斷強度 > 2 結拉斷強度 > 1 顆鋼索夾拉斷強度。

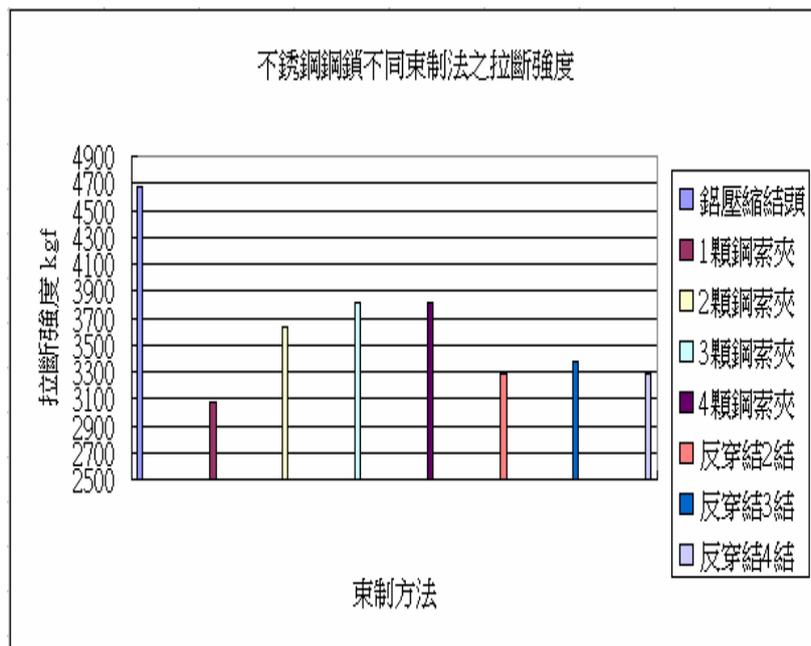
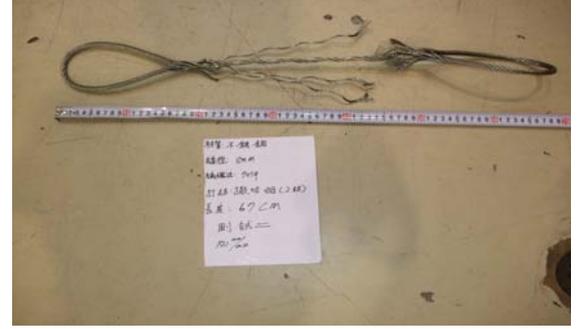


圖 50 不銹鋼鋼索不同束制方法之拉斷強度範圍比較圖

二、不鏽鋼鋼索反穿結束制法拉斷強度特性

8mm 不鏽鋼鋼索反穿結打結數量為 2 結、3 結、4 結(如表 41)之拉斷試驗結果觀察：3 結拉斷強度 > 4 結拉斷強度 > 2 結拉斷強度(如圖 51)。因此若以反穿結作為不鏽鋼鋼索之束制方法，建議以打結數量 3 結作為束制方法。

表 41 不鏽鋼鋼索反穿結束制拉力試驗

 <p>材料: 不鏽鋼 直徑: 8mm 編織法: 3019 打結: 3股雙股(2結) 長度: 67cm 測試: 150mm</p>	 <p>材料: 不鏽鋼 直徑: 8mm 編織法: 3019 打結: 3股雙股(2結) 長度: 67cm 測試: 150mm</p>
<p>原始繩索(2 結)</p>	<p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>材料: 不鏽鋼 直徑: 8mm 編織法: 3019 打結: 3股雙股 長度: 68.5cm 測試: 150mm</p>	 <p>材料: 不鏽鋼 直徑: 8mm 編織法: 3019 打結: 3股雙股 長度: 68.5cm 測試: 150mm</p>
<p>原始繩索(3 結)</p>	<p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>材料: 不鏽鋼 直徑: 8mm 編織法: 3019 打結: 3股雙股(4結) 長度: 67.5cm 測試: 150mm</p>	 <p>材料: 不鏽鋼 直徑: 8mm 編織法: 3019 打結: 3股雙股(4結) 長度: 67.5cm 測試: 150mm</p>
<p>原始繩索(4 結)</p>	<p>破斷試驗後之繩索</p>

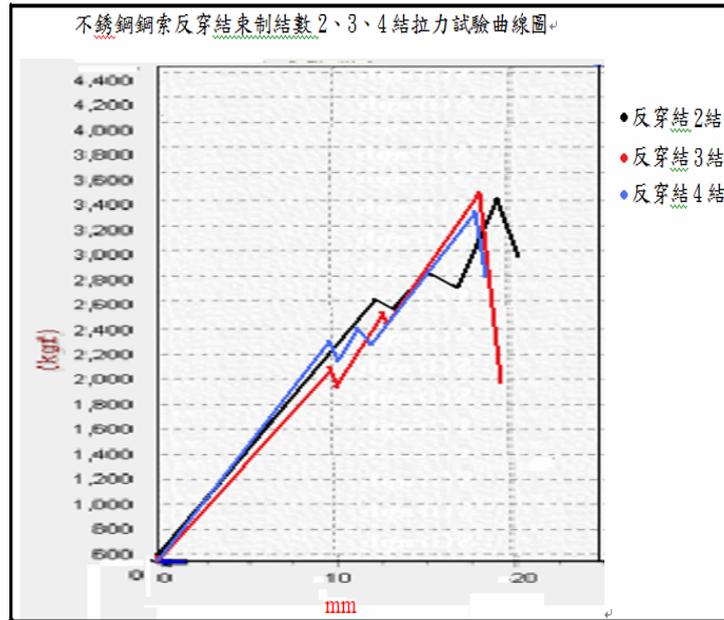


圖 51 不銹鋼鋼索反穿結束制結數之拉斷強度

三、鋼索夾束制於鋼索上之扭力特性

本試驗以不銹鋼鋼索上鎖之鋼索夾所受之螺帽扭力作為試驗變數，觀察是否因扭力值不同而影響不銹鋼鋼索之拉斷強度，本試驗之拉伸速率為 150mm/min，試驗之扭力值有 100kgf*cm、127 kgf*cm、200kgf*cm、255kgf*cm 與 300kgf*cm 五種數值。

(一)螺帽之扭力值為 100kgf*cm、127 kgf*cm

拉斷強度分別為 4405 kgf、4420 kgf，雖然強度較高，但鋼索尾端被拖出之公分數較多，甚至有鬆脫現象。

(二)螺帽扭力值以 200kgf*cm、255kgf*cm

拉斷強度分別為 4378kgf、4324kgf，且鋼索尾端被拖出之公分數分別為 0.6cm、0.3cm 為最佳鋼索夾鎖數值，拉斷強度螺帽扭力值以 300kgf*cm 之拉斷強度為 4219 kgf，且鋼索尾端被拖出之公分數為 0.3cm(如圖 52)。

(三)經由試驗結果得知，鋼索夾螺帽扭力值以 200kgf*cm、255kgf*cm 為最佳鋼索夾鎖鋼索之扭力值，圖 53為鋼索夾為不同螺帽扭力直拉力試驗曲線圖，數值如表 42。

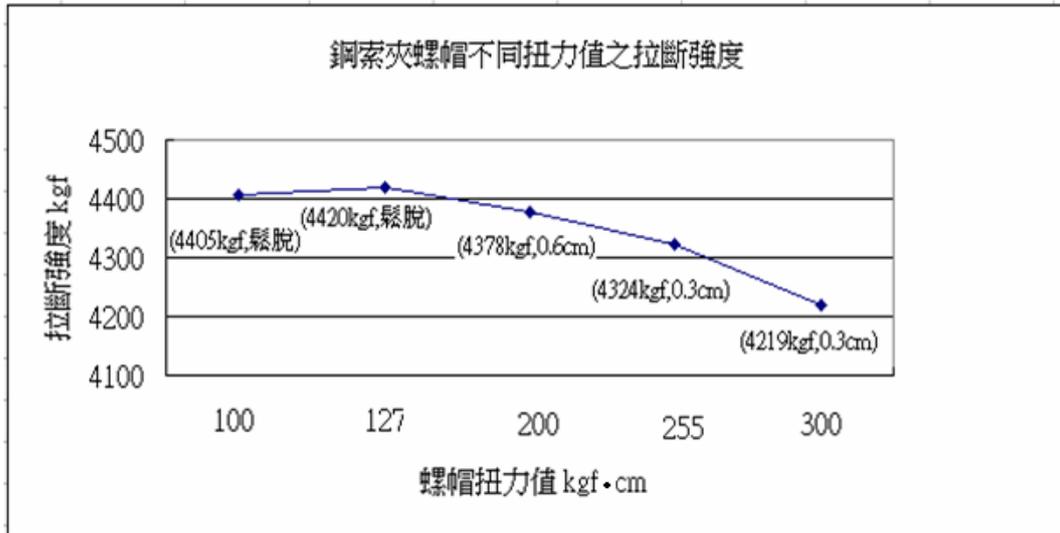


圖 52 鋼索夾螺帽不同扭力值之拉斷強度範圍

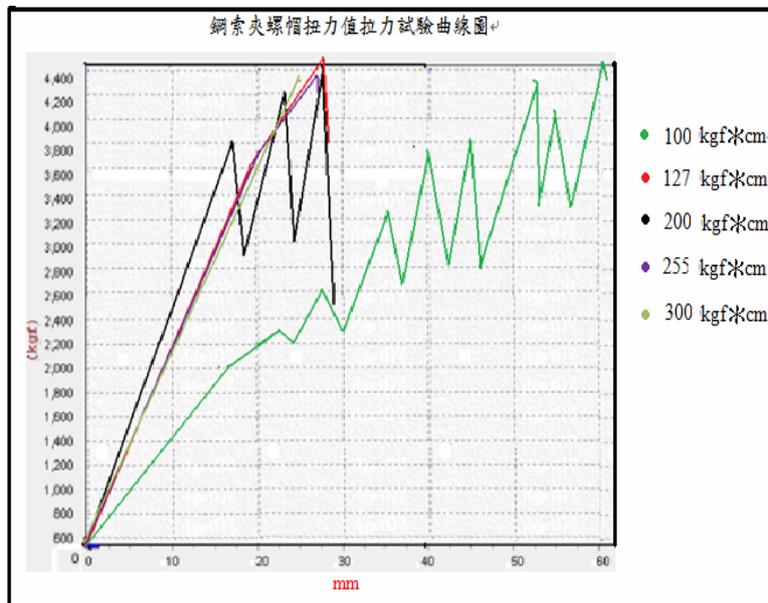


圖 53 鋼索夾螺帽扭力值曲線比較圖

表 42 鋼索夾螺帽扭力值為之拉力試驗

 <p>鋼索 不銹鋼 規格 20mm 螺帽規格 20mm 打結 鋼索夾 (3顆) 長度 70 cm 圖例 百試 100kgf*cm</p>	 <p>鋼索 不銹鋼 規格 20mm 螺帽規格 20mm 打結 鋼索夾 (3顆) 長度 70 cm 圖例 百試 100kgf*cm</p>
<p>原始繩索(100kgf*cm)</p>	<p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>鋼索 不銹鋼 規格 20mm 螺帽規格 20mm 打結 鋼索夾 (3顆) 長度 91.5 cm 圖例 百試 127kgf*cm</p>	 <p>鋼索 不銹鋼 規格 20mm 螺帽規格 20mm 打結 鋼索夾 (3顆) 長度 91.5 cm 圖例 百試 127kgf*cm</p>
<p>原始繩索(127kgf*cm)</p>	<p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>鋼索 不銹鋼 規格 20mm 螺帽規格 20mm 打結 鋼索夾 (3顆) 長度 70 cm 圖例 百試 200kgf*cm</p>	 <p>鋼索 不銹鋼 規格 20mm 螺帽規格 20mm 打結 鋼索夾 (3顆) 長度 70 cm 圖例 百試 200kgf*cm</p>
<p>原始繩索(200kgf*cm)</p>	<p>破斷試驗後之繩索</p>



原始繩索(255kgf*cm)



破斷試驗後之繩索



原始繩索(300kgf*cm)



破斷試驗後之繩索

四、黑鐵鋼索端點束制特性

本試驗使用 8mm 黑鐵鋼索，進行業界常使用之束制方法進行拉力試驗，用以找出束制能力最好且拉斷強度最強之束制方法，本試驗之拉伸速率為 150mm/min，鋼索夾螺帽鎖數值以 CNS 所規定之 255kg*cm 進行此試驗。圖 54 為業界常使用之束制方法之拉斷強度比較圖，強度大小比較為：鋁壓縮結頭拉斷強度 > 4 顆鋼索夾拉斷強度 > 3 顆鋼索夾拉斷強度 > 反穿結 2 結拉斷強度 > 反穿結 3 結拉斷強度 > 反穿結 4 結拉斷強度。

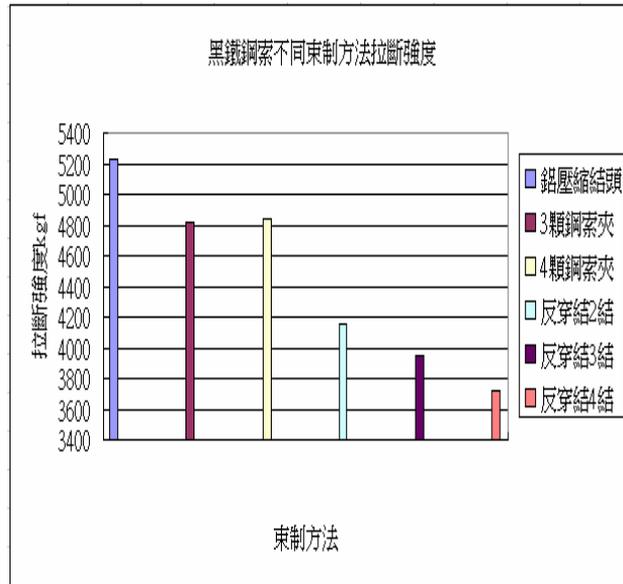


圖 54 黑鐵鋼索不同束制方法拉斷強度

第四節 鋼索夾固定方式強度測試

本試驗針對不銹鋼鋼索上之鋼索夾鎖之方向進行試驗，分別為鎖鋼索之長邊(如圖 55)與短邊(如圖 56)，拉伸速率為 150mm/min，鋼索夾螺帽鎖之數值以 CNS 所規定之 255kg*cm 進行試驗。

鋼索夾鎖鋼索之長邊之拉斷強度大小比較為：4 顆鋼索夾拉斷強度 > 3 顆鋼索夾拉斷強度 > 2 顆鋼索夾拉斷強度 > 1 顆鋼索夾拉斷強度，以及使用鋼索夾之顆數導致尾端被脫出之公分數以 1 顆鋼索夾 2.5cm > 2 顆鋼索夾 0.5 cm > 3 顆鋼索夾 0.4 cm > 4 顆鋼索夾 0.2 (如圖 57)。

在相同的鋼索夾數量下，鎖在長邊的強度都比鎖在短邊的強度為強，原因為鋼索夾鞍座鎖在鋼索短邊造成鋼索之長邊凹彎，破壞鋼索之本體強度，故鋼索夾鞍座鎖在鋼索長邊之強度較強。因此若以鋼索夾作為不銹鋼鋼索之束制方法，建議以鎖 4 顆鋼索夾鎖在鋼索之長邊之強度最強，且尾端脫出公分數也最少 (如圖 58~圖 59、表 43~表 44)。



圖 55 鋼索夾鎖鋼索之長邊示意圖

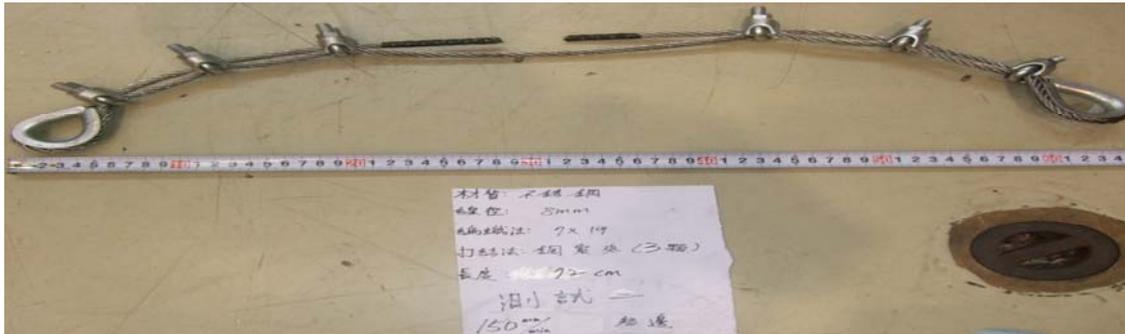
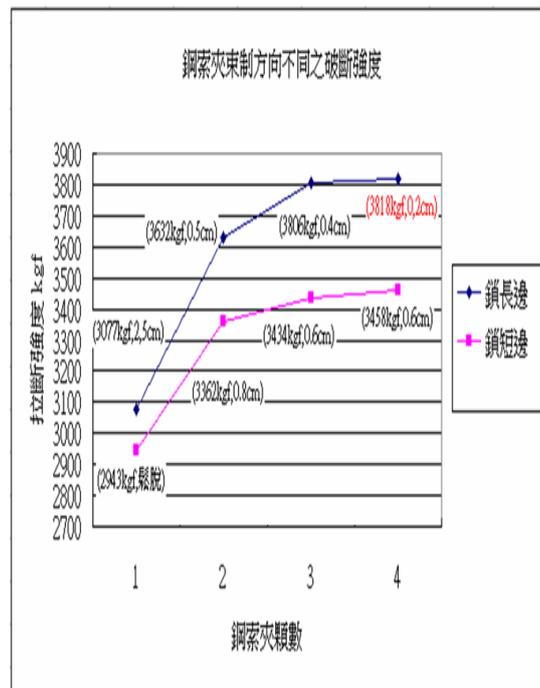


圖 56 鋼索夾鎖鋼索之短邊示意圖



註:(拉斷強度,尾端脫出公分數)

圖 57 鋼索夾束制方向不同之破斷強度曲線圖

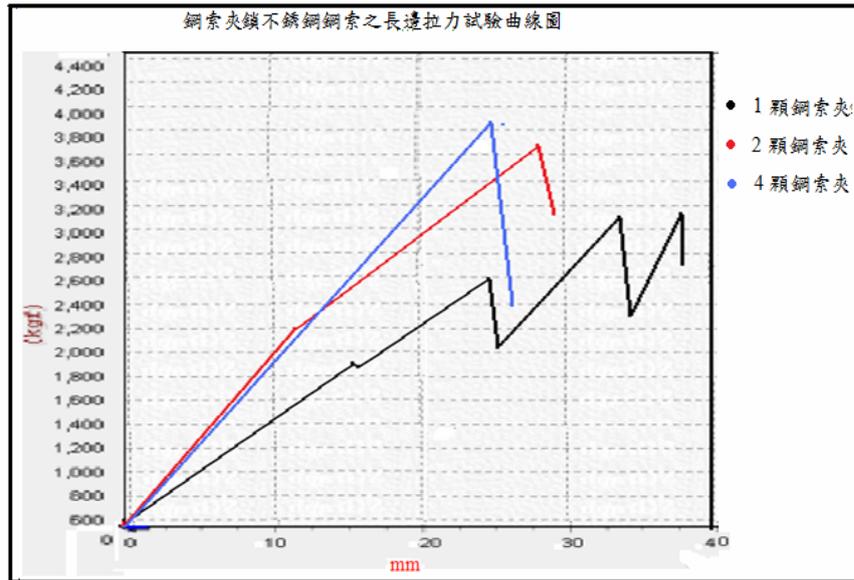


圖 58 鋼索夾鎖在鋼索之長邊曲線比較圖

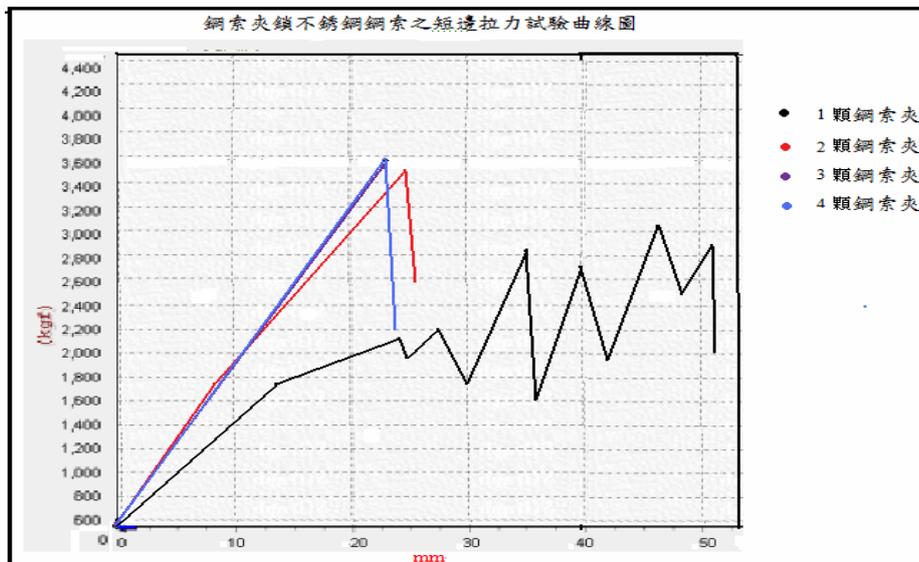


圖 59 鋼索夾鎖在鋼索之短邊曲線比較圖

表 43 不銹鋼鋼索之長邊拉力試驗

 <p>原始繩索(1 顆鋼索)</p>	 <p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>原始繩索(2 顆鋼索)</p>	 <p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>原始繩索(3 顆鋼索)</p>	 <p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>4 原始繩索(4 顆鋼索)</p>	 <p>破斷試驗後之繩索</p>

表 44 不銹鋼鋼索之短邊拉力試驗

 <p>材料: 不銹鋼 線徑: 20mm 編織法: 7x19 註記法: 鋼索係(1顆) 長度: 68 cm 測試: 一 150mm 右邊</p> <p>原始繩索(1 顆鋼索)</p>	 <p>材料: 不銹鋼 線徑: 20mm 編織法: 7x19 註記法: 鋼索係(1顆) 長度: 68 cm 測試: 一 150mm 右邊</p> <p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>材料: 不銹鋼 線徑: 20mm 編織法: 7x19 註記法: 鋼索係(2顆) 長度: 85 cm 測試: 二 150mm 右邊</p> <p>原始繩索(2 顆鋼索)</p>	 <p>材料: 不銹鋼 線徑: 20mm 編織法: 7x19 註記法: 鋼索係(2顆) 長度: 85 cm 測試: 二 150mm 右邊</p> <p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>材料: 不銹鋼 線徑: 20mm 編織法: 7x19 註記法: 鋼索係(3顆) 長度: 90 cm 測試: 三 150mm 右邊</p> <p>原始繩索(3 顆鋼索)</p>	 <p>材料: 不銹鋼 線徑: 20mm 編織法: 7x19 註記法: 鋼索係(3顆) 長度: 90 cm 測試: 三 150mm 右邊</p> <p>破斷試驗後之繩索</p>
 <p>材料: 不銹鋼 線徑: 20mm 編織法: 7x19 註記法: 鋼索係(4顆) 長度: 91 cm 測試: 四 150mm 右邊</p> <p>原始繩索(4 顆鋼索)</p>	 <p>材料: 不銹鋼 線徑: 20mm 編織法: 7x19 註記法: 鋼索係(4顆) 長度: 91 cm 測試: 四 150mm 右邊</p> <p>破斷試驗後之繩索</p>

第六章 結論與建議

第一節 結論

- 一、由現場調查結果顯示，營造工地較常使用之母索材質為棉繩，而符合法規要求之尼龍繩索，現地使用意願低。8mm、9mm 鋼索為鋼構較常使用之母索型式，但沒有一定的束制方式。
- 二、由實驗結果顯示，14mm 花棉繩、棉繩及聚乙烯繩索之拉斷強度遠低於 2300 公斤，不合法規要求，工地現場應避免使用，以保障勞工安全。
- 三、由試驗結果顯示，外在環境影響水平母索本身之強度，尤其以風吹日晒雨淋之環境，對母索強度影響最大，在曝曬六個月後，母索強度低於 2300 公斤。
- 四、尼龍及聚酯材質之 14mm 水平母索，考量現場使用便利性，以雙套結之束制方法最佳。
- 五、為確保不破壞鋼索本體強度，由於鋼索夾鞍座鎖在鋼索長邊之拉斷強度比鎖在短邊高，且鋼索夾螺帽鎖在鋼索上之扭力值以 200kgf*cm、255kgf*cm 為最佳。不銹鋼鋼索束制方法之拉斷強度，以鋁壓縮結頭最佳，4 顆鋼索夾強度次之。
- 六、本研究已建立水平母索強度測試夾具與動態母索受力測試機構，可準確掌握水平母索之強度數值。

第二節 建議

- 一、建議禁止使用強度不合法規 2300 公斤要求之 14mm 花棉繩、棉繩及聚乙烯水平母索材質。
- 二、室外使用之水平母索隨著時間其強度會逐漸降低，建議每六個月更換一次，以確實使用符合安全強度之水平母索。
- 三、在設計選用水水平母索時，除考量母索強度外，建議注意固定方式與使用年限，使母索發揮其預防墜落之功能。
- 四、鋼索材質之水平母索使用鋼索夾束制時，建議鋼索夾鞍座鎖在鋼索長邊，以提高水平母索之強度。
- 五、本研究已成功開發母索動態內力及變位量測系統，建議後續可針對舊品，不同材

質及編織法的母索進行實驗，以有效掌握母索的動態特性，提升母索的防墜功能。

誌謝

本研究期間承蒙勞委會勞工檢查處張技正毅斌、嘉南藥理科大職安衛系劉教授玉文、雲林科大環安衛系張副教授銘坤等提供相關資料與寶貴意見，使計畫內容更詳實，以及嘉南藥理科大防災所研究生吳欣芷協助得以順利完成，僅此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 行政院勞工委員會：中華民國九十七年勞動檢查年報。行政院勞工委員會；2009。
- [2] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所：國內營造安全設施現況調查分析；1994。
- [3] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所：營造墜落安全問題之分析研究；1997。
- [4] 楊忠政：屋頂墜落預防之探討。工業安全衛生月刊 2006。
- [5] Chia-Fen Chi, Tin-Chang Chang, Hsin-I Ting,2004,"Accident patterns and prevention measures for fatal occupational falls in the construction industry". Applied Ergonomics No.36,pp. 391-400 ,2005.
- [6] Andr_e Lan , Jean Arteau , Christian Sirard ,2004,"Method for validating a multi-component safety system". Safety Science No.42,pp.493-517,2004.
- [7]Christopher A. Janicak,1998," Fall-Related Deaths in the Construction Industry".Journal of Safety Research, Vol.29,No,1,pp.35-42.
- [8] 劉玉文、徐玉堂、陳宏亮：墜落災害防止設施之研發。嘉南藥理科技大學職業安全衛生系；2003。
- [9] 許國賓：繩索繫結法百科。大坤書局；1999。
- [10] 中華民國國家標準：CNS 總號 7266 棉繩索、CNS 總號 7273 棉繩索檢驗法，經濟部工業局；1987。
- [11] 中華民國國家標準：CNS 總號 10966 聚酯繩索、CNS 總號 10967 聚酯繩索檢驗法，經濟部工業局；1987。
- [12] 中華民國國家標準：CNS 總號 3759 尼龍繩索、CNS 總號 3760 尼龍繩索檢驗法，經濟部工業局；1987。
- [13] 行政院勞工委員會：職災訊息；1996~2009。
- [14] 行政院勞工委員會：營造安全衛生設施標準；2007。
- [15] 行政院勞工委員會：勞工安全衛生設施規則；2009。
- [16] OSHA , <http://www.osha.gov/SLTC/constructionfallprotection/index.html>。
- [17] 日本社団法人仮設工業会：経年仮設機材の管理に関する技術基準と解説；。

- [18] 張智奇：水平母索中間支撐性能測試與改良設計。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2006。
- [19] 張智奇：新式水平母索中間支撐研發設計與商品化評估。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所；2008。
- [20] 中華民國國家標準：CNS 總號 941 鋼纜、CNS 總號 1111 尼龍繩索檢驗法，經濟部工業局；1990。
- [21] 黃清賢：工業安全。三民書局；2003。

附錄一 專家諮詢紀錄

98 年度研究計畫「水平母索性能評估與強度折減因子之研究」專家諮詢紀錄

一、諮詢項目：水平母索性能評估與強度折減因子之相關事項

二、諮詢時間：98 年 7 月 17 日下午 2 時 0 分

三、諮詢地點：本所 A105 實驗室(台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號)

四、主持人：勞工安全組副研究員張智奇

五、諮詢專家：

台北市建築鷹架業職業工會丁龍斌 顧問

佳靖科技有限公司吳俊樟 經理

台灣精測材料試驗室謝政翔 經理

中華大學徐增興 助理教授

斌智企業有限公司黃榮貴 經理

寶元機械工程有限公司周明遠 委員

六、記錄：研究助理陳婉甄

七、諮詢內容摘要：

- (一) 水平母索強度測試實驗可考量增加鹽霧、腐蝕等老化條件變數。
- (二) 水平母索破斷強度試驗，建議用天車測試。
- (三) 母索打結方式可參考日本非人工制式打法，以計畫中長期規劃設計母索束制之制式方式。
- (四) 綿繩材質強度不夠，建議全面禁用，並列為檢查重點。
- (五) 母索動態實驗中，可模擬沙包先後墜落，對母索強度與變形之影響。
- (六) 在母索動態實驗中，為量測母索強度，建議在支撐上方設置轉向器與高頻荷重元。
- (七) 安全帶掛鉤形式大小不一，建議可納入水平母索實驗變數。
- (八) 水平母索測試時強度變數因素，包含夾具的設計、人員操作程序、現場環境溫溼度控制及機台平日保養等，都是重要的影響因素在測試時須特別注意相關事項。

- (九) 水平母索使用期限及衰減程度判定方式，建議可定義清楚。
- (十) 水平母索測試機器使用時，應注意相關維護安全要點更須注意校正及測試的重覆性及感測器的使用。
- (十一) 建議將水平母索研究成果，訂定法令公布實行，提供業界與檢查相關單位參考。
- (十二) 我國規定中間杆柱間距為 3m，但美國規定為 10m、日本規定為 5~10m，建議修改為 10m，以減少施工困擾降低費用。

水平母索性能評估與強度折減因子之研究

著（編、譯）者：張智奇

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 99 年 2 月

版（刷）次：1 版 1 刷

定價：200 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為

http://www.iosh.gov.tw/Book/Report_Publish.aspx

- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

GPN: 1009900779