

無線射頻辨識(RFID)置入於
營建材料與構件之應用研究
— 以混凝土工程為例

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 96 年 12 月

無線射頻辨識(RFID)置入於 營建材料與構件之應用研究 —以混凝土工程為例

研究主持人：何明錦 所長

協同主持人：王隆昌 副教授

林祐正 助理教授

研究助理：梁家郡

顏漢輝

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 96 年 12 月

目錄

摘要

第一章 緒論	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與限制.....	2
1.4 研究方法與流程.....	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 RFID 之介紹.....	5
2.1.1 RFID 之定義.....	5
2.1.2 RFID 之原理.....	5
2.1.3 RFID 之分類.....	6
2.1.4 RFID 之優勢與特性.....	9
2.1.5 RFID 系統之挑戰與限制.....	11
2.2 RFID 之應用與發展.....	13
2.2.1 RFID 應用範圍之介紹.....	13
2.2.2 國內外 RFID 應用於各產業之現況.....	14
2.2.3 國內外 RFID 應用於營建產業之現況.....	17
2.3 小結.....	22
第三章 實驗室規劃與設計	23
3.1 實驗目的.....	23
3.2 實驗範圍與限制.....	23
3.2.1 實驗範圍.....	23
3.2.2 實驗限制.....	24
3.3 實驗設計.....	24
3.3.1 配筋設計.....	24
3.3.2 配比設計.....	25
3.3.3 編號設計.....	26
3.3.4 實驗變數設計說明.....	28
3.4 實驗材料與設備.....	29
3.4.1 實體模型製作與材料.....	29
3.4.2 RFID 設備.....	30
3.5 實驗步驟與流程.....	32
3.6 小結.....	34
3.7 實驗過程紀錄.....	35
3.8 標籤讀取測試與實驗數據分析.....	40
3.8.1 讀取率.....	40

3.8.2 實驗數據分析.....	41
3.9 小結.....	51
第四章 現地實驗規劃與設計.....	52
4.1 實驗目的.....	52
4.2 實驗範圍與限制.....	52
4.2.1 實驗範圍.....	52
4.2.2 實驗限制.....	52
4.3 實驗設計.....	53
4.3.1 實驗工區.....	53
4.3.2 配筋設計.....	54
4.3.3 編號設計.....	57
4.3.4 變數設計.....	58
4.3.5 標籤植入與讀取說明.....	59
4.4 實驗材料與設備.....	60
4.4.1 RFID 設備.....	60
4.5 實驗步驟與流程.....	65
4.6 實驗過程紀錄.....	70
4.7 標籤讀取測試與實驗數據分析.....	76
4.7.1 讀取率.....	76
4.7.2 實驗數據分析.....	77
第五章 綜合分析.....	156
第六章 結論與建議.....	160
6.1 結論.....	160
6.2 建議.....	161
參考文獻.....	162
附錄 A 實驗數據	
附錄 B 實驗照片過程	
附錄 C 審查意見回覆	
附錄 D 專家訪談	

表目錄

表 2.1 RFID 的操作頻帶與特性.....	8
表 2.2 RFID 與 Bar Code 比較表	10
表 2.3 RFID 應用範圍與案例.....	13
表 3.1 混凝土配比設計.....	25
表 3.2 編碼說明.....	26
表 3.3 低頻實驗紀錄表.....	27
表 3.4 高頻(超高頻)實驗紀錄表.....	27
表 3.5 實驗變數說明.....	28
表 3.6 低頻標籤規格說明.....	30
表 3.7 高頻標籤規格說明.....	30
表 3.8 超高頻標籤規格說明.....	30
表 3.9 PDA 與超高頻讀取器規格說明.....	31
表 3.10 PDA 與高頻讀取器規格說明.....	31
表 3.11 工業級 PDA 與超高頻讀取器規格說明.....	32
表 3.12 讀取率	40
表 3.13 標籤讀取距離說明.....	48
表 3.14 標籤植入 210 kgf/cm ² 構件抗剪強度.....	50
表 3.15 標籤植入 140 kgf/cm ² 構件抗剪強度.....	51
表 3.16 標籤植入 350 kgf/cm ² 構件抗剪強度.....	51
表 4.1 編碼說明.....	57
表 4.2 實驗紀錄表.....	57
表 4.3 變數設計.....	58
表 4.4 低頻標籤規格說明.....	60
表 4.5 高頻標籤規格說明.....	62
表 4.6 超高頻、主動式標籤規格說明.....	63
表 4.7 讀取率.....	76
表 4.8 柱之彙整表.....	147
表 4.9 梁之彙整表.....	148
表 4.10 牆之彙整表.....	149
表 4.11 版之彙整表.....	150
表 4.12 柱之彙整表.....	151
表 4.13 梁之彙整表.....	152
表 4.14 牆之彙整表.....	153
表 4.15 版之彙整表.....	154
表 5.1 綜合分析結果.....	158
表 5.2 植入方式.....	158

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	4
圖 2.1 RFID 系統基本架構圖.....	5
圖 2.2 被動式標籤 (艾群科技)	6
圖 2.3 主動式標籤 (艾群科技)	7
圖 2.4 FedEx(FedEx).....	15
圖 2.5 三軍總醫院.....	16
圖 3.1 鋼筋混凝土彎矩梁設計	24
圖 3.2 鋼筋混凝土剪力梁設計.....	25
圖 3.3 鋼筋混凝土彎矩、斷面梁斷面設計.....	25
圖 3.4 試體編碼方式.....	26
圖 3.5 剪力梁.....	29
圖 3.6 彎矩梁.....	29
圖 3.7 模板.....	29
圖 3.8 低頻標籤.....	30
圖 3.9 高頻標籤.....	30
圖 3.10 超高頻標籤.....	30
圖 3.11 低頻 Reader.....	31
圖 3.12 PDA+高頻 Reader.....	31
圖 3.13 超高頻 Reader.....	32
圖 3.14 標籤採植入模式之實驗流程.....	33
圖 3.15 標籤採綁紮模式之實驗流程.....	34
圖 3.16 剪力構件組立.....	35
圖 3.17 彎矩構件組立.....	35
圖 3.18 實驗前模版上油.....	35
圖 3.19 實驗工具準備.....	35
圖 3.20 模版與剪力構件組立.....	36
圖 3.21 模版與彎矩構件組立.....	36
圖 3.22 骨材秤重.....	36
圖 3.23 混凝土拌合.....	36
圖 3.24 混凝土卸料.....	36
圖 3.25 構件灌漿.....	36
圖 3.26 構件搗實.....	37
圖 3.27 構件抹平.....	37
圖 3.28 低頻標籤擺放方式.....	37
圖 3.29 低頻標籤植入方式.....	37
圖 3.30 高頻&超高頻標籤短邊植入.....	37

圖 3.31	高頻&超高頻標籤長邊植入.....	37
圖 3.32	低頻標籤植綁紮現況.....	38
圖 3.33	高頻標籤綁紮現況.....	38
圖 3.34	低頻標籤植入圓柱試體前.....	38
圖 3.35	低頻標籤植入圓柱試體.....	38
圖 3.36	構件堆疊.....	38
圖 3.37	構件編號.....	38
圖 3.38	低頻標籤上方讀取現況.....	39
圖 3.39	低頻標籤側邊讀取現況.....	39
圖 3.40	高頻標籤搜尋標籤現況.....	39
圖 3.41	高頻標籤讀取現況.....	39
圖 3.42	超高頻標籤事前讀取.....	39
圖 3.43	超高頻標籤綁紮後灌漿前讀取.....	39
圖 3.44	剪力構件抗剪現況.....	40
圖 3.45	彎矩構件抗壓現況.....	40
圖 3.46	低頻標籤植入模式示意圖.....	41
圖 3.47	(超)高頻標籤植入模式示意圖.....	41
圖 3.48	低頻標籤綁紮前後讀取分析.....	42
圖 3.49	低頻標籤綁紮前後正負一個標準差分析.....	42
圖 3.50	低頻標籤植入 210kgf/cm ² 構件中間之讀取分析.....	42
圖 3.51	低頻標籤植入 210kgf/cm ² 構件中間以正負一個標準差分析.....	42
圖 3.52	低頻標籤植入 210kgf/cm ² 構件側邊之讀取分析.....	43
圖 3.53	低頻標籤植入 210kgf/cm ² 構件側邊以正負一個標準差分析.....	43
圖 3.54	低頻標籤植入 140kgf/cm ² 構件中間之讀取分析.....	43
圖 3.55	低頻標籤植入 140kgf/cm ² 構件中間以正負一個標準差分析.....	43
圖 3.56	低頻標籤植入 140kgf/cm ² 構件側邊之讀取分析.....	44
圖 3.57	低頻標籤植入 140kgf/cm ² 構件側邊以正負一個標準差分析.....	44
圖 3.58	低頻標籤綁紮於 350kgf/cm ² 構件之讀取分析.....	44
圖 3.59	低頻標籤綁紮 350kgf/cm ² 構件以正負一個標準差分析.....	44
圖 3.60	高頻標籤綁紮前後讀取分析.....	45
圖 3.61	高頻標籤綁紮前後以正負一個標準差分析.....	45
圖 3.62	高頻標籤以不同方式植入剪力構件之讀取分析.....	45
圖 3.63	高頻標籤以不同方式植入剪力構件以正負一個標準差分析.....	45
圖 3.64	高頻標籤以不同方式植入彎矩構件之讀取分析.....	46
圖 3.65	高頻標籤不同方式植入彎矩構件讀取正負一個標準差分析.....	46
圖 3.66	高頻標籤以短邊植入 140 kgf/cm ² 構件之讀取分析.....	46
圖 3.67	高頻標籤以短邊植入 140 kgf/cm ² 構件正負一個標準差分析.....	46
圖 3.68	高頻標籤以長邊植入 210 kgf/cm ² 構件之讀取分析.....	47

圖 3.69 高頻標籤以長邊植入 210 kgf/cm ² 構件正負一個標準差分析.....	47
圖 3.70 高頻標籤以短邊綁紮於 350 kgf/cm ² 不同構件之讀取分析.....	47
圖 3.71 高頻標籤以短邊綁紮於 350 kgf/cm ² 不同構件以正負一個標準差分析..	47
圖 3.72 超高頻標籤綁紮前後讀取分析.....	48
圖 3.73 超高頻標籤綁紮前後以正負一個標準差分析.....	48
圖 4.1 中正杭州實驗工區.....	53
圖 4.2 遠揚士林實驗工區.....	54
圖 4.3 信義工區.....	54
圖 4.4 中正杭州實驗工區三到十三樓結構平面圖.....	55
圖 4.5 遠揚士林實驗工區平面示意圖.....	55
圖 4.6 中正杭州實驗工區梁配筋設計.....	56
圖 4.7 中正杭州實驗工區版配筋設計.....	56
圖 4.8 遠揚士林實驗工區版、牆示意圖	56
圖 4.9 遠揚士林實驗工區梁示意圖.....	56
圖 4.10 構件編碼方式.....	57
圖 4.11 標籤綁紮梁之方式說明	59
圖 4.12 標籤附掛構件之方式說明(1)	59
圖 4.13 標籤附掛構件之方式說明(2).....	59
圖 4.14 灌漿時標籤植入之方式說明(1).....	59
圖 4.15 灌漿時標籤植入之方式說明(2).....	59
圖 4.16 讀取測試位置示意圖.....	60
圖 4.17 低頻標籤 keyfob A	60
圖 4.18 keyfob B 低頻標籤.....	61
圖 4.19 Token 低頻標籤.....	61
圖 4.20 厚卡 C2 低頻標籤.....	61
圖 4.21 低頻標籤薄卡 C1.....	61
圖 4.22 卡片型高頻標籤.....	62
圖 4.23 鑰匙圈型高頻標籤.....	62
圖 4.24 長卡型高頻防磁標籤.....	62
圖 4.25 高頻標籤.....	62
圖 4.26 卡片型高頻標籤.....	63
圖 4.27 卡片型超高頻標籤.....	63
圖 4.28 厚卡超高頻標籤.....	63
圖 4.29 超高頻防磁標籤.....	63
圖 4.30 超高頻標 PET.....	64
圖 4.31 2C 主動式標籤.....	64
圖 4.32 PDA+低頻 Reader.....	64
圖 4.33 PDA+高頻 Reader.....	64

圖 4.34 平板電腦+超高頻 Reader.....	65
圖 4.35 配合鋼筋組立作業進度時植入 Tag.....	67
圖 4.36 配合工程鋼筋組立作業完成後植入 Tag.....	68
圖 4.37 配合工程灌漿作業完成植入 Tag.....	69
圖 4.38 鋼筋尚未綁紮時之現況.....	70
圖 4.39 實驗準備.....	70
圖 4.40 低頻標籤短邊綁紮於梁底側.....	70
圖 4.41 低頻標籤長邊綁紮於梁底側.....	70
圖 4.42 高頻標籤長邊綁紮於梁內側.....	71
圖 4.43 高頻標籤短邊綁紮於梁內側.....	71
圖 4.44 高頻標籤綁紮於版.....	71
圖 4.45 高頻標籤綁紮於版.....	71
圖 4.46 超高頻標籤附掛於版之模板.....	71
圖 4.47 防磁超高頻標籤附掛於版.....	71
圖 4.48 超高頻標籤附掛於梁內側.....	71
圖 4.49 超高頻標籤附掛於梁內側.....	71
圖 4.50 實驗現場鋼筋綁紮完成時.....	72
圖 4.51 實驗準備.....	72
圖 4.52 高頻防磁標籤綁紮於梁底側.....	72
圖 4.53 高頻防磁標籤綁紮於梁底側.....	72
圖 4.54 高頻防磁標籤綁紮於梁內側.....	72
圖 4.55 高頻防磁標籤綁紮於版上鋼.....	72
圖 4.56 高頻防磁標籤綁紮於梁內側.....	73
圖 4.57 高頻防磁標籤綁紮於版上鋼筋.....	73
圖 4.58 高頻標籤綁紮於版.....	73
圖 4.59 高頻標籤綁紮於版.....	73
圖 4.60 超高頻標籤附掛於版.....	73
圖 4.61 高頻標籤附掛於版.....	73
圖 4.62 超高頻標籤附掛於梁內側.....	73
圖 4.63 超高頻標籤附掛於梁內側.....	73
圖 4.64 主動式標籤綁紮於版.....	74
圖 4.65 主動式標籤綁紮於梁內側.....	74
圖 4.66 主動式標籤綁紮於梁內側.....	74
圖 4.67 實驗現場卸料作業.....	74
圖 4.68 實驗現場灌漿作業.....	74
圖 4.69 實驗現場灌漿作業.....	74
圖 4.70 低頻標籤植入.....	75
圖 4.71 低頻現場植入.....	75

圖 4.72 低頻標籤植入於梁內側.....	75
圖 4.73 低頻標籤植入於版.....	75
圖 4.74 第 14 天拆模.....	75
圖 4.75 28 天工地現況.....	75
圖 4.76 標籤讀取.....	76
圖 4.77 標記記號.....	76
圖 4.78 低頻-厚卡綁紮於版之鋼筋.....	78
圖 4.79 一倍標準差低頻厚卡綁紮於版之鋼筋.....	78
圖 4.80 低頻-Token 綁紮於版之鋼筋.....	79
圖 4.81 低頻-Token 一倍標準差綁紮於版之鋼筋.....	79
圖 4.82 高頻-Token 綁紮於版之鋼筋.....	80
圖 4.83 一倍標準差高頻-Token 綁紮於版之鋼筋.....	80
圖 4.84 高頻卡片綁紮於版之鋼筋.....	81
圖 4.85 一倍標準差高頻卡片型綁紮於版之鋼筋.....	81
圖 4.86 低頻厚卡附掛於版之模板.....	82
圖 4.87 一倍標準差低頻厚卡附掛於版之模板.....	82
圖 4.88 低頻-Token 附掛於版之模板.....	83
圖 4.89 一倍標準差低頻-Token 附掛於版之模板.....	83
圖 4.90 低頻-薄卡附掛於版之模板.....	84
圖 4.91 一倍標準差低頻-薄卡附掛於版之模板.....	84
圖 4.92 高頻卡片型標籤附掛版之模板.....	85
圖 4.93 一倍標準差高頻標籤附掛版之模板.....	85
圖 4.94 高頻-Token 附掛於版之模板.....	86
圖 4.95 一倍標準差高頻-Token 附掛於版之模板.....	86
圖 4.96 低頻-Token 綁紮於梁側邊與底部鋼筋.....	87
圖 4.97 一倍標準差低頻-Token 綁紮於梁側邊與底部鋼筋.....	87
圖 4.98 低頻厚卡綁紮於梁側邊與底側中間鋼筋.....	88
圖 4.99 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於梁側邊與底部中間鋼筋.....	88
圖 4.100 高頻-Token 綁紮梁側邊與底部鋼筋.....	89
圖 4.101 一倍標準差高頻-Token 綁紮梁側邊與底部鋼筋.....	89
圖 4.102 卡片高頻綁紮梁側邊與底部中間鋼筋.....	90
圖 4.103 一倍標準差卡片高頻綁紮梁側邊與底部中間鋼筋.....	90
圖 4.104 鑰匙型 A 綁紮梁底鋼筋.....	91
圖 4.105 一倍標準差鑰匙型 A 綁紮梁底部鋼筋.....	91
圖 4.106 高頻 Token 綁紮柱鋼筋.....	92
圖 4.107 一倍標準差高頻 Token 綁紮柱鋼筋.....	92
圖 4.108 低頻 Token 綁紮柱鋼筋.....	93
圖 4.109 一倍標準差低頻 Token 綁紮柱鋼筋.....	93

圖 4.110 低頻厚卡綁紮柱鋼筋中間.....	94
圖 4.111 一倍標準差低頻厚卡綁紮於柱鋼筋中間.....	94
圖 4.112 低頻薄卡綁紮於柱鋼筋中間.....	95
圖 4.113 一倍標準差低頻薄卡綁紮柱鋼筋中間.....	95
圖 4.114 高頻卡片綁紮於柱鋼筋中間.....	96
圖 4.115 一倍標準差高頻卡片綁紮柱鋼筋中間.....	96
圖 4.116 薄卡低頻綁紮柱鋼筋.....	97
圖 4.117 一倍標準差薄卡低頻綁紮柱鋼筋.....	97
圖 4.118 高頻卡片綁紮柱鋼筋.....	98
圖 4.119 一倍標準差高頻卡片綁紮柱鋼筋.....	98
圖 4.120 高頻 Token 附掛柱之模版.....	99
圖 4.121 一倍標準差高頻 Token 附掛柱之模版.....	99
圖 4.122 低頻 Token 附掛柱之模版.....	100
圖 4.123 一倍標準差低頻 Token 附掛柱之模版.....	100
圖 4.124 高頻卡片型卡片綁紮於牆鋼筋中間.....	101
圖 4.125 一倍標準差高頻卡片綁紮於牆鋼筋中間.....	101
圖 4.126 高頻卡片綁紮於牆之鋼筋.....	102
圖 4.127 一倍標準差高頻卡片綁紮在牆鋼筋上.....	102
圖 4.128 薄卡低頻綁紮牆鋼筋.....	103
圖 4.129 一倍標準差薄卡低頻綁紮牆鋼筋.....	103
圖 4.130 厚卡低頻綁紮牆鋼筋中間.....	104
圖 4.131 一倍標準差厚卡低頻綁紮牆鋼筋中間.....	104
圖 4.132 薄卡低頻綁紮牆鋼筋中間.....	105
圖 4.133 一倍標準差薄卡低頻綁紮牆鋼筋中間.....	105
圖 4.134 低頻 Token 附掛牆模板.....	106
圖 4.135 一倍標準差 Token 低頻附掛牆模板.....	106
圖 4.136 低頻 Token 綁紮牆鋼筋.....	107
圖 4.137 一倍標準差低頻 Token 綁紮牆鋼筋.....	107
圖 4.138 高頻 Token 綁紮牆鋼筋.....	108
圖 4.139 一倍標準差高頻 Token 綁紮牆鋼筋.....	108
圖 4.140 低頻-Token 綁紮梁側邊與底部鋼筋.....	109
圖 4.141 一倍標準差低頻-Token 綁紮梁側邊與底部鋼筋.....	109
圖 4.142 低頻-Token 附掛梁側邊底部模板.....	110
圖 4.143 一倍標準差低頻-Token 附掛梁側邊底部模板.....	110
圖 4.144 高頻 Token 綁紮梁側邊底部鋼筋.....	111
圖 4.145 一倍標準差高頻 Token 綁紮梁側邊底部鋼筋.....	111
圖 4.146 高頻-Token 附掛梁側邊底部模板.....	112
圖 4.147 一倍標準差高頻-Token 附掛梁側邊底部模板.....	112

圖 4.148 低頻厚卡綁紮於梁底側鋼筋中間.....	113
圖 4.149 一倍標準差低頻厚卡綁紮於梁底側鋼筋中間.....	113
圖 4.150 低頻薄卡綁紮於梁底側鋼筋中間.....	114
圖 4.151 一倍標準差低頻-薄卡綁紮於梁底側鋼筋與鋼筋中間.....	114
圖 4.152 卡片高頻綁紮梁底部鋼筋中間.....	115
圖 4.153 一倍標準差高頻卡片綁紮梁底部鋼筋中間.....	115
圖 4.154 低頻-Token 綁紮於板鋼筋.....	116
圖 4.155 一倍標準差低頻-Token 附掛梁側邊模板.....	116
圖 4.156 低頻 Token 附掛於版之模板.....	117
圖 4.157 一倍標準差低頻-Token 附掛於版之模板.....	117
圖 4.158 低頻-厚卡綁紮於板鋼筋.....	118
圖 4.159 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於版鋼筋.....	118
圖 4.160 低頻-厚卡附掛於版之模板.....	119
圖 4.161 一倍標準差低頻-厚卡附掛於版之模板.....	119
圖 4.162 低頻薄卡綁紮於版鋼筋.....	120
圖 4.163 一倍標準差低頻薄卡綁紮於版鋼筋.....	120
圖 4.164 低頻-薄卡附掛版之模板.....	121
圖 4.165 一倍標準差低頻-薄卡附掛版之模板.....	121
圖 4.166 高頻-Token 附掛版之模板.....	122
圖 4.167 一倍標準差高頻-Token 附掛版之模板.....	122
圖 4.168 高頻-Token 綁紮於版鋼筋.....	123
圖 4.169 一倍標準差高頻-Token 綁紮於版鋼筋.....	123
圖 4.170 高頻卡片附掛版之模板.....	124
圖 4.171 一倍標準差高頻-卡片附掛於版之模板.....	124
圖 4.172 高頻卡片綁紮於版鋼筋.....	125
圖 4.173 一倍標準差高卡片綁紮於版鋼筋.....	125
圖 4.174 低頻-Token 綁紮於柱鋼筋.....	126
圖 4.175 一倍標準差低頻-Token 綁紮於柱鋼筋.....	126
圖 4.176 低頻-Token 附掛於柱模板.....	127
圖 4.177 一倍標準差低頻-Token 附掛於柱模板.....	127
圖 4.178 低頻-薄卡綁紮於柱鋼筋.....	128
圖 4.179 一倍標準差低頻-薄卡附掛梁側邊模板.....	128
圖 4.180 低頻-薄卡綁紮於柱鋼筋中間.....	129
圖 4.181 一倍標準差低頻-薄卡綁紮於柱鋼筋中間.....	129
圖 4.182 低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋中間.....	130
圖 4.183 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋中間.....	130
圖 4.184 低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋.....	131
圖 4.185 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋.....	131

圖 4.186 高頻-Token 綁紮於柱鋼筋.....	132
圖 4.187 一倍標準差高頻-Token 綁紮於柱鋼筋.....	132
圖 4.188 高頻-Token 附掛於柱模板.....	133
圖 4.189 一倍標準差高頻-Token 附掛於柱模板.....	133
圖 4.190 高頻-卡片綁紮於柱鋼筋中間.....	134
圖 4.191 一倍標準差高頻-卡片綁紮於柱鋼筋中間.....	134
圖 4.192 高頻-卡片綁紮於柱鋼筋.....	135
圖 4.193 一倍標準差高頻-卡片綁紮於柱鋼筋.....	135
圖 4.194 低頻-Token 綁紮於牆鋼筋.....	136
圖 4.195 低頻-Token 一倍標準差綁紮於牆鋼筋.....	136
圖 4.196 低頻-Token 附掛於牆之模板.....	137
圖 4.197 一倍標準差低頻-Token 附掛於牆之模板.....	137
圖 4.198 低頻-薄卡綁紮牆鋼筋中間.....	138
圖 4.199 一倍標準差低頻-薄卡綁紮牆鋼筋中間.....	138
圖 4.200 低頻-薄卡綁紮牆鋼筋.....	139
圖 4.201 一倍標準差低頻-綁紮牆鋼筋.....	139
圖 4.202 低頻厚卡綁紮牆鋼筋中間.....	140
圖 4.203 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於牆鋼筋中間.....	140
圖 4.204 高頻-Token 綁紮於牆鋼筋.....	141
圖 4.205 高頻-Token 一倍標準差綁紮於牆鋼筋.....	141
圖 4.206 高頻-Token 附掛模板於牆.....	142
圖 4.207 高頻-Token 一倍標準差附掛模板於牆.....	142
圖 4.208 高頻厚卡綁紮牆鋼筋中間.....	143
圖 4.209 一倍標準差高頻-厚卡綁紮於牆鋼筋中間.....	143
圖 4.210 高頻厚卡綁紮牆鋼筋.....	144
圖 4.211 一倍標準差高頻-厚卡綁紮於牆鋼筋.....	144
圖 4.212 超高頻-防磁短 B 綁紮於梁側邊與底部鋼筋.....	145
圖 4.213 一倍標準差超高頻-防磁短 B 綁紮於梁側邊與底部鋼筋.....	145
圖 4.214 超高頻-防磁短 B 綁紮於版鋼筋.....	146
圖 4.215 一倍標準差超高頻-防磁短 B 綁紮於版鋼筋.....	146
圖 5.1 建議植入流程示意圖.....	159
圖 6.1 標籤以其他方式植入.....	161

摘要

關鍵詞：RFID、RC 試體梁、RC 構件

無線射頻辨識(Radio Frequency Identification ,RFID)技術近年已被先進國家廣泛應用於營建產業，包含營建材料、混凝土試體、預鑄構件吊裝、預拌混凝土車管理、混凝土最加強度與拆模時機、工地安全及供應鏈管理等並為之創造高度效益與價值；各國遂逐漸擬定 RFID 的相關政策與發展計畫，同時積極投入 RFID 的產業應用與研發，因此 RFID 的科技產業應用已為當今全球所競逐的重要議題。

RC 構造為目前土木建築用量最大且主要的構件主體，因此營建產業目前多以 RC 建築構造；鑒此，本研究以實驗分析 RFID 標籤植入 RC 構件進行相關之技術讀取與可行性的探討，係運用 RFID 標籤具穿透性、耐環境性與可讀寫資料等特性，將 RFID 標籤置入 RC 梁試體與 RC 實體構件(梁、版、牆、柱)，經實驗研究驗證技術之可行性，並依材料特性、需求及環境特性等條件與 RFID 技術(頻段、標籤樣式、讀取器等)作一交叉評估與測試，提供各試體(梁試體)與構件皆具身份識別功能及日後的混凝土構件更新再利用、混凝土溫度監測及追蹤分析等功用，並期能達到 E 化管理效益、給予相關單位後續於 RFID 整合型實驗研究之參考並達到工程生命週期中各階段資料後續維護管理、資料保存之用途與效益。

第一章 緒論

1.1 研究緣起

無線射頻辨識(Radio Frequency Identification, RFID)技術近年已被先進國家廣泛應用於營建產業，包含營建材料、混凝土試體、預鑄構件吊裝、供應鏈管理等，也為各領域創造高度之效益，因此先進國家們紛紛擬定 RFID 的發展計畫與政策，積極投入 RFID 的應用與研發，由此可知 RFID 技術的應用與發展為當今全球所競逐的重要議題。

有鑑於 RC 構造為目前土木建築用量最大且主要的結構主體，因此營建產業目前多以 RC 建築構造為主；又依據 RFID 標籤安置或貼附在金屬材質上時，會受金屬影響而造成訊號上之干擾與衰減而縮短讀取距離，並限制讀取方向性之特性；近年潤泰集團運用 RFID 技術應用在預鑄吊裝，將標籤貼附在構件外部，以快速辨識吊裝位置，但如此可能影響現場施作便利性，故本研究擬將 RFID 標籤植入 RC 實體構件(梁、版、牆、柱)中，以不同標籤頻率(低頻、高頻、超高頻)系統與種類測試植入 RC 構件之通信狀況及探討施工便利性，因此大多研究著重於建築之其他構件上。故本研究將以實驗分析 RFID 植入 RC 構件施作之可行性，期未來 RFID 結合土木、建築構件，運用標籤具穿透性、耐環境性、可讀寫資料等特性與優勢，提昇工程於生命週期整體資料保存與生命週期後續維護管理之用途與效益。

綜上所述，本研究著眼於無線射頻辨識系統之標籤(RFID)置入 RC 梁試體與 RC 實體構件(梁、柱、版、牆)，經由實驗研究驗證技術之可行性，並依其材料特性、需求及環境等條件與 RFID 技術(頻段、標籤樣式、讀取器等)作一交叉評估與測試；其目的在於促使各 RC 梁試體與 RC 實體構件皆具身份識別之功能，並使整體澆灌預拌混凝土作業達到日後追蹤分析之功用，將可更有效管控混凝土之品質；最後實證結果如為可行，期能達到整體生命週期資料保存與後續維護管

理之 E 化管理效益，並且給予後續整合型研究之參考。

1.2 研究目的

由於 RFID 標籤易受到水與金屬影響，為了解標籤植入 RC 實體構件中受鋼筋之影響程度，及標籤資料讀取之技術可行性，故本研究將 RFID 標籤植入於 RC 試體梁與 RC 實體構件中，以不同被動式標籤頻率(低頻、高頻、超高頻)與主動式標籤系統於 RC 實體構件之通信狀況，以驗證其資料讀取情況與施工可行性。期能提供工程主管單位未來應用之參考依據。茲將本研究目的分述如下：

1. 本研究為先導型之整合應用研究，故主要著重於測試 RFID 標籤嵌入或附掛於構件內等方法於 RC 試體梁與 RC 實體構件之技術可行性評估。
2. 探討 RFID 標籤置入方式是否影響混凝土強度與 RFID 之讀取能力。
3. 透過 RC 試體梁與 RC 實體構件的測試結果，研擬 RFID 標籤的適當植入位置，以建構建築結構 E 化管理之目標。
4. 以混凝土工程為個案分析，作為先期技術可行性探討以俾有利 RFID 技術之應用與推動策略之研擬。

1.3 研究範圍與限制

一、研究範圍

1. 本研究為先導型之整合應用研究，主要著重於技術可行性之評估。
2. 本研究主要針對 RC 之建築構造為探討分析對象。
3. 實驗現場所實驗之 RC 實體構件強度以工程實際設計強度為主，而實驗室所實驗之 RC 試體梁強度則選用 140、210、350 kgf/cm²。
4. 本研究所提之 RC 試體梁，其大小為長 150cm*寬 15cm*高 20cm 的 RC 試體梁，目的為驗證 RFID 標籤植入 RC 試體梁之適當置入方法與位置，以及是否影響本身 RC 梁試體之強度。
5. 實體構件部份係指 RC 之梁、版、柱與牆部分，目的為驗證 RFID 技術導

入 RC 構件之技術可行性。

6. RFID 設備採用被動式與主動式二種系統進行相關之技術分析。

二、研究限制

1. RFID 硬體設備之種類繁多且規格與功能皆有所不同，本研究將選用多種標籤類型與不同頻段(低頻、高頻、超高頻)之代表性設備進行實測分析。
2. 目前相同頻率之 RFID 標籤品質仍有所差異，故本實驗數據並非為絕對值，因此研究結論將建議晶片放置之適切範圍而非最佳位置。

1.4 研究方法與流程

本研究首先確立研究之問題，進而蒐集相關之文獻並彙整後，再藉由專家訪談瞭解 RC 實體構件較為適切之施作方式，以利於針對 RFID 植入 RC 構件作施工性之實驗設計與規劃；爾後經實驗結果分析，提出 RFID 應用於 RC 構件之施作流程，最後提出本研究成果之結論，並提供相關單位未來研究與應用之參考依據。茲將本研究方法與流程分述如下流程及下圖 1.1 所示：

1. 專家訪談

研究期間訪問相關單位(政府機關、學術單位等、工程單位)、專家學者等，以瞭解 RC 構件構築之現況與作業流程，並於訪談後彙整相關資料與結果，以提供本研究作為重要參考。

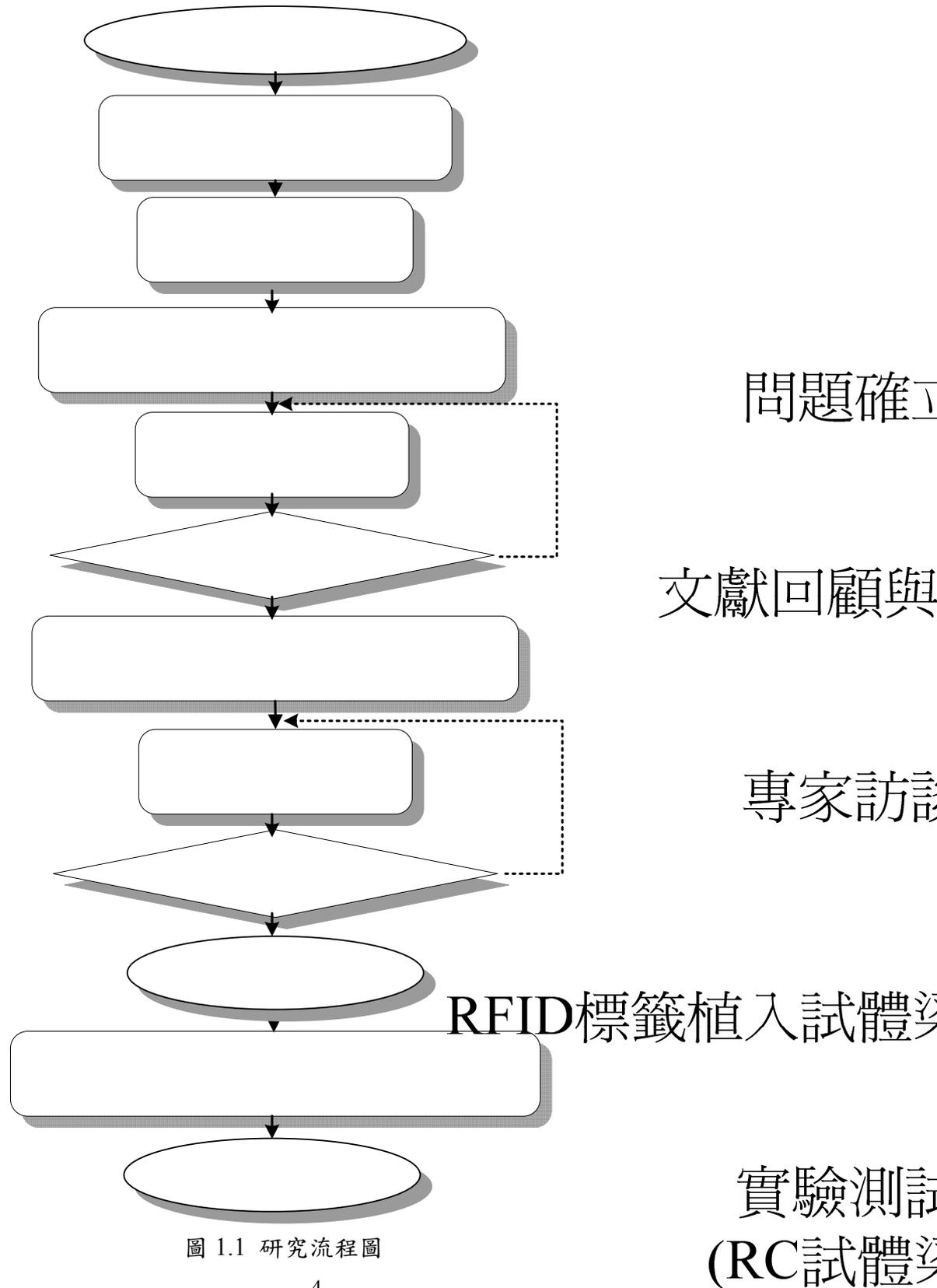
2. 實驗研究

本研究將 RFID 晶片植入試體與實體構件中，透過試體之實驗，以確立實體構件之植入方式與通信讀取之可行性測試，並據以了解是否影響實體構件之強度。其實驗分別將不同形式晶片以不同植入方式、不同深度、不同頻段植入試體與構件中，探求試體與實體構件中 RFID 讀取之可行性，據以研擬植入之適切方式及位置。

3. 實驗分析

將 RFID 讀取測試後，依據實驗結果以獲得較佳的標籤頻段及正確的施作方

式，最後以研究結論提出 RFID 植入 RC 構件之適切方式及位置，並初步研擬 RFID 植入 RC 構件之建議施作流程，期能提供後續相關應用研究的參考。



第二章 文獻回顧

2.1 RFID 之介紹

2.1.1 RFID 之定義

無線射頻辨識系統（Radio Frequency Identification, RFID）依據全球電子化商品編碼聯盟（EPCglobal, 2003）之定義：「RFID係利用無線射頻電波自動辨識資料之系統。其系統架構為利用附著於人或物之ID標籤（由IC晶片、天線所構成）、讀取器之間進行通訊。在晶片中記錄一系列資訊，即能在有效通訊範圍內的讀取器溝通，進而達到資料交換、辨識之目的。

2.1.2 RFID 之原理

RFID 即射頻識別技術，又稱電子標籤、無線射頻識別，是一種通信技術，可透過無線電波識別目標並讀寫相關資料，而無需識別系統與特定目標之間建立機械或光學接觸。RFID 主要操作原理是利用讀取器(Reader)發送無線電波於植入或貼在物件上的電子標籤(Tag)，以進行無線資料辨識及擷取之工作，再送至電腦進行有關資料處理基本架構如下圖 2.1。



圖 2.1 RFID 系統基本架構圖

2.1.3 RFID 之分類

由於 RFID 標籤製造技術日益進步，應用範圍亦逐漸廣泛，依據不同的工作環境適用不同種類的晶片與頻段，可達到最佳效果，其 RFID 的操作頻帶與特性如下表 2.1 所示。本研究將 RFID 系統依標籤形式、使用頻率、存取方式之差異分述如下：

一、標籤的供電型式

依據電子標籤是否附加電池可分成主動式、半主動式及被動式三類，三者差異分述如下：

1. 被動式(Passive)：被動式標籤之電源供應是經由讀取器發射電波感應後啟動，所以標籤本身不需附加電池，故體積較小，使用期限較長，但讀取距離短，如下圖 2.2 所示。



圖 2.2 被動式標籤（艾群科技）

2. 半主動式(Semi-passive)：半主動式 RFID 系統也稱電池支援式反向散射調制系統。半主動式標籤有電池，但標籤本身不使用自身能量主動發送資料，只有被讀取器的能量場啟動時才會傳送資料。【謝建新等人，2006】

3. 主動式(Active)：主動式標籤內部含有電池供電，不需要讀取器提供能量啟動即可主動回傳訊號，且通信距離可達十公尺甚至上百公尺，由於標籤含有電池，故體積比較大且有更換及成本較高的缺點，如圖 2.3 所示。

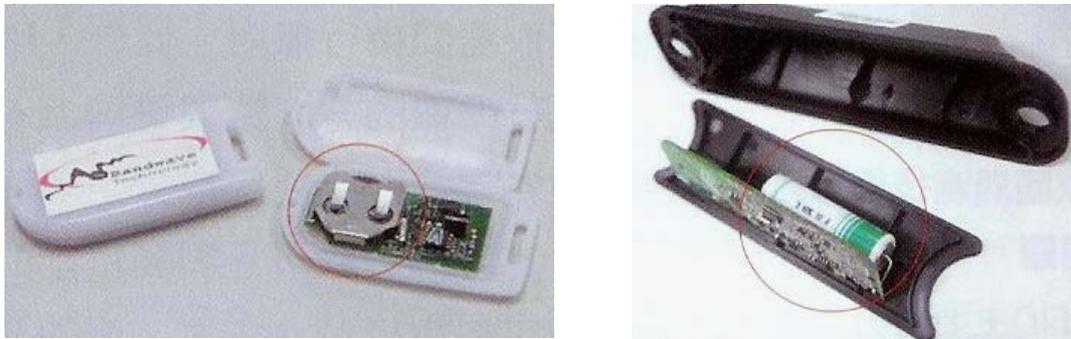


圖 2.3 主動式標籤（艾群科技）

二、使用頻率

依據 RFID 標籤的使用頻率可區分為低頻(LF, Low Frequency)、高頻(HF, High Frequency)、超高頻(UHF, Ultra High Frequency)、微波(Microwave)等頻段，目前以 LF、HF 及 UHF 三種應用為主。如下表 2.1 所示：

1. 低頻

低頻主要使用在近距離讀取且無法同時讀取多個標籤，其主要常見規格頻率在 125KHz~135KHz 之間，一般此頻段都是被動式，其低頻最大優勢在於標籤靠近金屬或液體仍然能有效回傳訊號，不像高頻率容易受金屬與液體干擾而無法穿透。

2. 高頻

高頻相較於低頻其傳輸速度較快且可同時進行多個標籤讀取辨識，其主要常見規格頻率為 13.56MHz，一般此頻段仍屬被動式，常應用在圖書館管理、票證應用等。

3. 超高頻

超高頻主要常見規格頻率為 868~950MHz，其天線可用蝕刻或印刷方式製造，可降低製造成本，其應用於金屬及液體相較於低頻及高頻而言較不理想，但相對讀取距離較遠、資料傳輸速率快，且可同時進行大量標籤讀取辨識，常應用

在行李管理、棧板管理、物流管理...等

三、存取方式

根據記憶體讀寫功能可區分成下列幾種【陳宏宇，2004】：

1. 唯讀(Read-Only, R/O)：標籤晶片資訊於製造時已固定，僅能讀取標籤內容，無法再加以修改標籤內容或寫入任何資訊，故成本較低。一般應用於動物管理、門禁管理。
2. 僅寫入一次但能多次讀取(Write-Once Read-Many, WORM)：此模式僅可於標籤寫入或修正資訊一次，與唯讀標籤相同亦可進行多次讀取動作，相較於唯讀成本較高。一般應用於藥品管理、軍品管理、危險品管理。
3. 可重複讀寫(Read-Write, R/W)：此模式可透過讀取器多次寫入或修正標籤資料，故成本最高。一般用於票證管理、信用卡服務、行李管理等。

表 2.1 RFID 的操作頻帶與特性【陳宏宇，2004】

	低頻 (LF)	高頻 (HF)		超高頻 (UHF)	
通訊頻率	125~135KHz	13.56MHz		100~960MHz	
系統型態	被動式	ISO14443A	ISO15693	被動式	主動式
通訊距離	0~50cm	<50cm	<1.5m	3~10m	>10m
記憶容量	64~1K	8K~128K	256~512	64~512	-
耦合方式	感應 (Inductive)	感應(Inductive)		反散射 (Backscatter)	
資料傳輸率	低	高		中等	
成熟度	很成熟	成熟		新技術	
Reader 價格	低	中等		高	

2.1.4 RFID 之優勢與特性

RFID 早以於二次世界大戰中被英方運用判別敵機或友機，另外 1991 年波斯灣大戰期間美軍軍方運用來追蹤送往戰場的食品與設備，並將標籤車縫在士兵的腕帶中，讓傷兵在運轉各戰地醫院，可以隨時保持聯絡。戰後更被利用於各領域，例如；零售業、汽車業、物流業、製造業、醫療業...等，由於 RFID 具備多項優勢與特性，本研究將其分述如下；

一、非接觸式快速讀取技術

以往讀取條碼方式是必須對準條碼位置，掃描器才能讀取內容，而 RFID 具無線、非接觸性、無方向性等優勢，且可同時進行多標籤辨識，此效益遠大於條碼一次掃描一個，可大幅加快讀取速度提昇作業效率。

二、可讀寫資料

一般條碼印刷後就無法更改，但 RFID 可反覆讀寫多次，亦可回收再利用。

三、尺寸多樣化與小型化

目前 RFID 在讀取上較不受尺寸與形狀之限制，甚至已經設計嵌入紙幣中或者植入動物中。未來隨技術之成熟，標籤將可朝著更多樣化與小型化發展，應用於不同產業。

四、具穿透性

RFID 即使被紙張、塑膠、非金屬材料等障礙物阻礙依然可以穿透性之通訊。另外，標籤受到金屬或者水性物質干擾，除非針對標籤作特別處理，否則將會大幅影響其通信效果。

五、耐環境性與耐久性

傳統條碼容易受到髒污及潮濕的環境導致毀損或難以辨識，故無法在充滿灰塵與污垢的環境下作業，因而降低其使用便利性與持久性，但 RFID 即使被放置在黑暗或惡劣的環境下仍然可以讀取。

六、具防偽性

RFID 標籤可設定密碼保護，且唯讀標籤篡改不易，因此不易被偽造或變造，具高度防偽性。

RFID系統係以無線射頻方式來讀取標籤內資訊之辨識系統，與利用光學方式來讀取印刷條碼資訊之條碼系統（Bar Code），兩者為非常類似的自動辨識技術，因此許多文獻均探討此兩種辨識技術之特性，進而分析以提供各類應用之所需。

蕭榮興、許育嘉（2004）認為條碼成本較低，RFID成本較高；然而Bar Code需人力操作，因而易產生人為錯誤，但RFID屬於自動辨識科技，不需人為操作，因此RFID可彌補傳統條碼之不足。張維（2003）認為Bar Code受到髒污則無法辨識，但RFID卻有強力的抗污性且在黑暗的環境中，亦能夠讀取資料。茲將RFID與Bar Code之比較如下表2.2所示：

表 2.2 RFID 與 Bar Code 比較表

項目	RFID	Bar Code
傳遞媒介	無線電波	光
價格	高	低
安全性	可加密	不可加密
讀寫能力	反覆複寫	不可更新
讀取數量	同時多個	一次一個
記憶容量	大	小
穿透性	有	無
高速讀取	可高速移動中讀取	移動中讀取有所限制
標籤形式	多樣化	單一型式
資料正確性	無人為缺失之虞	有人為缺失之可能

環境耐久性	耐久性強、抗污性高	耐久性差、抗污性差
表面毀損	不影響資料內容	資料毀損
其他限制	1.較不適用於液體、金屬或導電環境 2.易受電磁波干擾	1.全球條碼即將用盡 2.印刷在物件上易刮損

(本研究整理)

傳統製造業利用 Bar Code 作為管理成品已行之有年，但卻受限其屬於單向溝通之限制，造成許多資訊無法即時回饋傳輸給所需之人；因此，RFID 技術之衍生及其雙向溝通之特性，有利各應用領域之控管及資訊之傳遞，以至於其應用有著更大的發展空間。

2.1.5 RFID 系統之挑戰與限制

RFID系統應用上，面臨了許多的限制，本研究將其面臨的挑戰及主要限制分述如下：

一、國際標準化規格尚未統一

標準化是指對產品、過程或服務，就目前與潛在的問題訂出規定，提供共同遵守的語言，以利於技術合作，並防止貿易壁壘。沒有統一國際標準，會造成RFID產品不相容【謝建新等人，2006】，增加RFID互通與發展上的阻礙，不僅增加添購、運行與維護之成本，亦會限制RFID發展，故如何讓標準互相相容，讓RFID能在世界流通是急需解決的問題之一。

除了部分RFID產品依循ISO通訊標準外。目前RFID製造業者的Reader、Tag和應用軟體都尚未標準化，目前RFID應用標準之制訂有ISO（International Organization for Standardization）例如ISO制訂ISO 14443 A/B、ISO 15693、ISO 18000應用標準；歐美EPCglobal（Electronic Product Code）規範則有EPC技術標準；日本UID(Ubiquitous ID)規範、南美部分國家採行的iP-X等國際標準組織，著手制訂國際性的標準規章。

二、成本過高

目前RFID系統最大的限制是成本過高，而主要成本在於Tag的價格，而

影響Tag價格的因素包括尺寸大小、包裝方式、天線、晶片、電池裝置、製成方式、技術、通訊標準及在何種環境下施作等因素【陳宏宇，2004】，隨著RFID技術發展的需求量大增，只有當Tag價格下降，才有利於RFID系統的應用與推廣。

三、辨識技術問題

RFID在某些特殊環境下因無線電波之基礎特性，會有訊號干擾與衰減問題，此外由於無線電波本身無法判別目標物，凡是標籤進入電磁波輻射範圍內，皆會被強迫自動識別，而這些因素均將間接影響RFID系統讀取資料之品質。

四、訊號干擾問題

Reader在讀取Tag時，存在幾大干擾因素，包括金屬材質、液體及碳元素與操作頻率干擾。由於RFID利用無線電波傳送之原理，當Reader及Tag安置或貼附在金屬材質上時，會降低RF無線電波之電磁耦合能量，亦即金屬會吸收無線電波，另外電波傳送時容易受液體或電磁波之影響而造成訊號上之干擾與衰減，而縮短讀取距離，並限制讀取之方向性，例如標籤貼於金屬樂器、建材或飲料上皆會遭遇類似問題。所幸目前RFID設備供應商已著手於特殊封裝標籤之技術，將訊號干擾的影響程度降低。

五、隱私權問題

由於RFID具有追蹤物件之功能，因此引人爭議其隱私權問題，例如當消費者購買商品時，商品上的RFID資訊恐遭有心人士刻意收集，進而產生侵犯個人隱私權之問題【呂芄逢，2006】；隨著RFID技術的普及，未來RFID可能應用於各產業，個人資料曝光的危險性亦相對提高。因此，如何建立相關法規及操作流程，以確保在RFID系統下受到合理且安全的控管，保障個人隱私已經是發展RFID一個重要議題。

六、跨國頻段管制問題

目前RFID常使用的頻段可分為低頻（125KHz）、高頻（13.56MHz）、超

高頻（860~960MHz）、微波（2.45GHz），而各個頻段之設備有著不同的物理特性，如讀取的距離與速度，因此在不同應用情境會考慮不同頻段之設備【呂芄逢，2006】。但目前各國開放RFID的頻段不相同，Wal-Mart採用EPC標準，從超高頻(UHF)頻段來看，美國為902~938 MHz、歐洲868 MHz、日本950~956 MHz，台灣則是922~928 MHz。要克服跨國RFID應用於各產業，技術上可行，但是會增加成本與效能的負擔。

七、讀取精確性

依目前技術仍RFID Reader仍無法百分之百保證能夠一次讀取所有標籤資訊，故需要精確資料改善作業效率、提昇客戶服務水準及降低成本而言，RFID系統仍有使用上之限制。

2.2 RFID 之應用與發展

2.2.1 RFID 應用範圍之介紹

RFID 應用的範圍相當廣泛，而且越來越普遍。最常見的是門禁安全管理、台北悠遊卡、物流管理等應用。由此可見 RFID 已無形進入生活當中，且應用層面也越來越廣，但仍有許多潛在的使用者，對 RFID 之應用還是想當陌生，不瞭解 RFID 的應用現況【陳嘉祥 2004】。本研究將國內外應用範圍與案例彙整如下表 2.3：

表 2.3 RFID 應用範圍與案例

應用範圍		應用案例
廣義分類	狹義分類	
交通、門禁管制應用	門禁管制	汽車、人員進出門進管制、控制車門開關增加貨物運輸便利性、汽車業者導入智慧汽車鑰匙，結合防盜、自動開門、遙控等功能、貨櫃車門加裝 RFID，貨物安全固若金湯

	交通運輸	高速公路、停車場自動收費系統、公車運用 RFID 提供即時化公車位置
物流應用	物料處理	工廠物料清點、物料控制系統
	貨物管理	貨櫃、棧版、台車、等可回收之容器管理
	資產回收	航空運輸的行李辨識，存貨、物流運輸管理
製造應用	自動控制	汽車、家電、電子業之組裝生產
	廢物處理	垃圾回收處理、廢棄物管控系統
醫療應用	醫療管控	醫院病例系統、病人安危控管、之生化物品管理、美國藥物管理局用 RFID 技術防止偽藥及藥品控制。
商品銷售應用	結帳與防盜	超市防盜、圖書館或書店防盜
	倉儲管理	強化各商品與數目之清點作業，盤存作業、銷售管理
牲畜管理	監控	富士通於豬身上植入 RFID 掌握健康資訊
自動控制	工業管理	汽車、家電及電子業之組裝生產
其他應用	聯合票證	捷運悠遊卡、多功能儲值卡、特殊 RFID 晶片於飲料、票
	防偽應用	卷上作防偽功能

(資料來源：鄭炳坤，2005、iThome，2005、陳宏宇，2004)

2.2.2 國內外 RFID 應用於各產業之現況

RFID 在國外發展迅速，如德州儀器公司(TI)、Motorola、飛利浦、Wal-Mart、IBM...等世界著名的公司，皆使用 RFID 系統。應用也相當廣泛。例如，美國、加拿大、以色列、澳洲、德國、法國、新加坡、日本、瑞典、烏克蘭等十國公路已使用 RFID 於電子收費系統；另外，自美國 911 事件後，美國、德國、日本等國家都積極投入證件結合 RFID 辨識身份，除可快速機場出入境檢查外，亦能偵察偽造護照，防止外來者入侵。其應用廣泛之程度還包含工商業自動化、交通運輸控管、聯合票證管理、倉儲管理、畜牧業管理、門禁管理、車輛防盜等各方面，本研究將各產業相關應用案例分述如下：

一、零售業

美國零售業 Wal-Mart，要求 2005 年 1 月前 100 大供貨商要運用 RFID，2006 年全面啟用 RFID 系統；導入 RFID 免除對棧板、貨箱及零售店的單一商品進行傳統條碼掃描作業，約可減少 67 億美元、15% 的人力成本，另外使用智慧貨架減少缺貨情形，預計減少約 6 億美金的損失。德國 Metro Group 於 2004 年 11 月起，要求旗下 150 家供應商必須使用貼附 RFID 之棧板與貨箱，2006 年底前正式全面導入【iThome，2005】。

二、物流、運輸業

美國 FedEx 快遞公司運用 RFID 控制車門開關，增加貨物運輸方便性，在運送車上裝 RFID 讀取器，並在每個快遞人員手上戴上 RFID 手錶感應器，讓相關人員在開啟車門時較為方便，如下圖 2.3。廣達電腦配合 HP 全球供應鏈 RFID 導入計畫，於 2005 年導入 RFID，使其生產線透明化，以掌握精確庫存數量、提昇出貨與物流效率，進而降低成本【iThome，2005】。



圖 2.3 FedEx(資料來源：<http://www.fedex.com/>)

三、服務業

邱俞婷(2006)提出以 Visual Basic.Net 所開發之「餐點資訊服務系統」及無線射頻辨識系統(RFID)讀取器之個人數位助理(PDA)之行動管理系統，讀取貼附於餐盤下之已輸入辨識碼 RFID 卡，利用辨識碼透過無線網路，從資料庫擷取資訊，消費者可由系統了解食用之黑鮪魚漁獲來源資訊，包括：漁獲資訊、捕撈地點、捕撈漁船資訊、分切庫存資、食用步驟、營養價值等；此外餐廳可利用識別碼進

行黑鮪魚庫存管理、計算耗損率，並藉由與顧客之互動，建立顧客關係管理制度。

四、醫療管制

目前台灣許多醫院都將 RFID 應用在急診室，例如三軍總醫院、萬芳醫院等皆有導入，其運作流程是病人受傷到醫院急診時，檢查病況同時將相關醫療訊息寫入 RFID 手環中，之後給於驗傷程度給於不同顏色手環，有助於處理病人之優先順序，之後醫生會拿著讀取其讀取病人資訊【iThome，2005】。張鈞皓(2006)指出目前管制藥品流程從管制藥品管理局到醫院乃至於使用於病患的身上，此供應鏈中的步驟多採人工確認及紙本紀錄的方式，有人的地方即容易產生疏失的風險，同時在管制藥品供應鏈流程中所經過的人、事、時、地、物的處理程序，包含了管理流程中許多重要的資訊，這些資訊將是提升管制藥品管理與病患安全的關鍵。故此研究利用 RFID 為工具嵌入藥品包裝之中達成了促進病患安全，增進經營管理效率，節省成本，同時對於藥品追蹤提供了完整履歷機制，如圖 2.4 所示。



圖 2.4 三軍總醫院

五、汽車業

游戰清(2004)提出 RFID 於汽車防盜之應用，將 RFID 標籤嵌入鑰匙裡，而以汽車內裝置的讀取器來辨識鑰匙身分；此外，另一種汽車防盜系統為駕駛者帶有 RFID 標籤，於通信距離裡讀取到此標籤之 ID，方能使汽車之引擎啟動。裕隆集團投資 300 萬美金與工研院合作，共同參與 RFID 的晶片研發工作，計劃擴大 RFID 的應用範圍與生產管理效益。裕隆日產強調，這次的合作案可將 RFID 的

技術應用於保修服務廠業務，將可以有效管理交車中心的車輛庫存及進出流程，大幅降低人工作業成本及時間。另外，RFID 將同時應用於生產流程及保修服務，例如從目前裕隆三義廠的車身、油漆、車裝工場等生產管理應用，擴大到保修廠服務業務應用，進而將汽車上下游的價值鍊體系進行全面整合與應用。

六、其他

林業正(2006)以實測分析 RFID 超高頻標籤貼在書本上，探討距離、角度、書本厚度、標籤貼在書本位置、多本書的影響以及多本書不同位置的讀取率等，以增進圖書租借之速率。台北市許多國小導入 RFID 於學童安全管理，要求上下學必須經過讀取器感應才可放學。台北市捷運局整合悠遊卡使其有一卡多用的功能，該功能可節省許多人力成本與找零的麻煩。

2.2.3 國內外 RFID 應用於營建產業之現況

Wood(2003)預測未來 RFID 將被廣泛運用營建產業各領域中，包括材料機具追蹤、工地安全管理、機具設備維護管理等。Jaselskis(2003)也指出美國營建產業學會(Construction Industry Institute, CII)於1998年 RFID 研討會分別針對工程設計、物料管理、使用維護、現場實地操作等四部份提出相關應用，包含機具設備自動進行檢驗作業；材料檢驗、儲存、組裝；機具保養、追蹤、紀錄；人員管理、車隊管理、工作回報管理等應用。RFID 已廣泛應用於國內外營建產業上，故本研究彙整國內外 RFID 於營建產業之應用現況如下所示：

一、混凝土試體管理

日本北海道預拌混凝土製造商會澤高高壓混凝土，在預拌混凝土的強度檢查作業中使用的「測試土塊(Test Piece)」中嵌入 RFID 標籤。測試土塊是直徑 10~12.5 公分、高 20~30 公分的混凝土圓柱試體。當製作試體時將 RFID 一起植入模型內，並放置水中長達四個星期，過程中若晶片腐蝕此時就不能再使用 RFID 埋入測試這方法了。這樣一來此圓柱試體就絕對是現場採取到的，可以當作證明書使用，且可以防止販賣試體土塊的地下業者之不肖行為【日經 BP RFID 技術

編輯部著；周湘琪譯，2004】。呂芄逢(2006)將 RFID 植入標準圓柱試體中，應用自動辨識技術作為混凝土試體之身分識別，驗證 RFID 標籤植入之可行性亦改善防範試體掉包之問題，經實驗測試建議採用薄小型低頻 RFID 系統較為妥適，並建議標籤植入位置於試體上表層 0~3 公分處之位置。最後結合 RFID、PDA 及 DBMS 導入於混凝土試體管制作業之整合應用，確實能達到電子化管理之功能，進而改善傳統的作業效率，且具備降低人為疏忽、防範試體掉包之附加價值。

二、營建物料與人員管理

Jaselskis(2003)指出 Bechtel Corporation 在該公司的紅山電廠計畫與海灣鎮煉油廠計畫，導入 RFID 於兩個工程之管線支座與吊架安裝工程。應用於電廠結果顯示尋找、追蹤與定位工業線管，比傳統人工作業節省 30% 之時間，並利用 RFID 建立相關資料，以簡化後續的監造作業，其成果為明顯的提昇整體生產力；海灣鎮煉油廠計畫利用 RFID 提供資料與後端材料追蹤系統整合，其結果只耗費傳統人工作業方式 1/6 的時間即可完成。Song(2004)針對高樓建物之特性選定適當之 RFID 系統，建立 RFID 物料追蹤管理系統，提高高樓建物物料管理與追蹤效率，且降低物料二次搬運之成本與時間。Esin Ergen(2007)提出一套中央設備管理 (Facility Management, FM) 系統，利用 RFID 主動式超高頻標籤之技術於零件設備維護，以即時提供零件之維護管理記錄，並判斷無效率之零件，辨識重要零件之需求。研究結果顯示 RFID 主動式超高頻標籤在金屬物品與不同的障礙物阻礙下之建築環境仍表現良好，其 FM 系統使用之結果令人滿意。葉世文、鄭明淵等人(2005)將 RFID 標籤置於不同的建築材料中，例如：板型混凝土、型鋼試體、木板、礦纖板、玻璃、塑膠及 PVC 天花板建築構件等，瞭解 RFID 於不同深度、材質及位置其資料讀取之正確率與辨識距離，進而確立 RFID 標籤應用於各類建材之最佳方式。

三、工地安全管理

石豐銘(2005)指出 RFID 標籤可裝置於工地安全帽、施工架、安全索等，提供記錄保存與管理，亦可追蹤危險物品或廢棄物，且利用 RFID 可將危險物品或

廢棄物辨識出，與警報系統結合，當配戴具 RFID 標籤安全帽之員工靠近危險處立即提出警告，提昇工地安全。另外，石豐銘又指出可運用 RFID 技術與無人搬運車結合於各式施工作業中，例如：地下開挖、吊裝、標籤施工等。此外亦可對工地施工人員、機器操作人員、材料及重要物品進行管控，提高工地安全性。

四、營建構件管理

Esin Ergen(2006)等人開發一套系統並以實證分析提出預鑄構件之保管場利用 RFID 技術及 GPS 追蹤確切構件的地點之效益，當預鑄梁裝貨於卡車時，此系統相較於條碼可節省 70%的時間在檢查；節省 30%的時間於構件在保管場的追蹤；節省 85%的時間承辦人員在管理預鑄梁系統的時間。陳威年(2006)提到潤弘精密於廠區預鑄構件上應用 RFID 技術，利用 PDA 無線網路傳輸下，配合自動式生產管理系統，及時讀取構件基本資訊及訂料作業，以達到現場登錄、品質管制、現場分區堆放儲存、吊裝時程推估及構件吊裝時程查詢等功能，大幅縮短人為辨識時間與資料蒐集速度，提昇吊裝作業管理效益。吳榮元(2006)提出一套適用於鋼骨工程之 RFID 構件編碼系統，提供營建產業推動作業程序標準化之參考；另外藉由用戶端子系統模組功能，工地人員運用 PDA 搭配 RFID 讀取器，可即時辨識構件相關資訊。並且由 PDA 畫面直接觀看構件正確吊裝位置，減少吊裝錯誤情形發生。

五、預拌車管理

日本北海道預拌混凝土製造商會澤高高壓混凝土使用 RFID 管理混凝土車輛，於裝載混凝土的攪拌車停車位置，及工廠出入口分別設置不同編號之讀取器，當攪拌車進入工廠或於裝載停車場時，讀取器就會從車輛右側讀取車窗的 RFID。RFID 為主動式標籤，含有電源可傳輸約 2 公尺遠之距離與讀取器通信，當讀取器讀取 ID 在配合 Reader 本身編號，即可判斷車輛正在等待中或者裝載中，問題在於車輛並排時，會同時讀取兩台預拌車，以致無法判斷哪台才是真正在進行裝載作業【日經 BP RFID 技術編輯部著；周湘琪譯，2004】。

六、系統開發

陳威年(2006)利用 RFID 無線電波進行辨識、資訊擷取及更新，有效取代條碼系統容易因外在因素而導致辨識失效的困擾。並改善因人為保存及管理不善而導致資料遺失的問題，並協助建物進行再分析及設計，大幅提昇開放式建築使用維護效率。研究成果指出，建立「RFID 開放式建築構件整合資訊管理系統」，使用者可利用行動讀取設備及時蒐集支架體及填充體資料，並將資訊匯入結構分析軟體 SAP2000，迅速建立基本結構分析模型，有效分析結構安全，提昇建物資料收集效率及降低人力成本之浪費。

七、其他相關應用

Will Hansen(2006)提出美國 Wake Inc.與 Identec Solutions 兩家公司於 2005 年研發出一種使用主動式 UHF 頻段之 RFID 標籤，可在混凝土澆置中埋入標籤，工人再利用 Reader 讀取溫度，掌控混凝土達最佳強度時機，亦可決定拆模時機控制品質，未來可能取代傳統破壞性鑽心檢測實驗。Ung-Kyun Lee(2006)等人提出先進塔式起重機簡稱(advanced tower crane)ATC 具備了無線控制與 RFID 系統，可提供操作者優良的工作環境與較正確的資訊，如此可改善操作起重機的效率。葉世文、鄭明淵等人(2005)應用 RFID 技術於營建產業，實驗結果發現晶片比較不受限於水因子影響，但依舊受限於金屬因子，故採用對環境敏感度較低之高頻 13.56MHz 標籤，並建議採用行動性較高之系統設備(PDA)，比較適合現場工程人員攜帶，但因 PDA 功率有限，讀取距離受限，對埋入式 RFID 標籤讀取距離大幅降低，因此營建產業導入 RFID 技術，建議將 RFID 標籤置於建築構件表面。

RFID技術之應用領域日益寬廣，然而於營建產業之整合及應用，目前仍尚處於起步階段；因此，如何在產品多樣化且供應鏈繁雜之營建產業，有效應用 RFID技術之特性，並進而將其製造過程、介面問題及材料、設備、人事與工地管理等加以改良及整合，將是營建產業一項極具發展潛力之議題。

營建產業導入RFID技術時，除應考量功能與價格之外，更要具備有完整之導入策略，以評估RFID最佳運用型式與效益；茲將RFID導入營建產業時應考慮

因素分述如下：

一、經濟效益

由於RFID成本相較條碼系統高出許多，因此如何有效應用RFID特性，以提升其使用效率並降低使用成本，為導入RFID技術應優先考量之事項。

二、應用環境

目前RFID讀取器與標籤有著多種廠牌與型式，不同廠牌的讀取器與標籤無法互通，其用途亦有所差異。儘管RFID標籤可透過特殊封裝等方式，能克服環境之限制，但由於不同施工環境之差異性甚大，因此導入RFID之運用應考量施工環境因素，進而慎選最適當的RFID設備方案。

三、既有系統

RFID技術畢竟只能提供前端資料自動識別之功能，至於後端應用仍需與資訊管理系統整合，方能發展最大之效益；因此，導入RFID技術時也要考量既有資料系統之整合性。

四、規範標準

RFID技術並非已有國際統一的標準，即便目前有ISO、EPCglobal等國際標準組織在制訂標準，但各國依循之規範標準仍不盡相同；因此，導入RFID於跨國工程之應用時，應須特別考量各個國家之使用標準。

2.3 小結

根據文獻回顧得知 RFID 已廣泛應用於各產業，且營建產業之應用亦日趨增加。葉世文、鄭明淵等人(2005)研究將 RFID 標籤置於不同的建築材料中，瞭解植入之適切位置及辨識讀取率；另外，呂芄逢(2006)研究 RFID 應用於混凝土標準圓柱試體中，利用三種不同頻段之 RFID 系統，探討何種頻段於圓柱試體中之通信效果最好，再進一步深入實驗分析驗證，不同深度、植入方式、強度之通信能力及標籤是否影響試體強度等測試。但這些文獻記載 RFID 應用於營建產業的研究多集中以混凝土試體及營建材料為主，鮮有針對 RC 構件之研究，有鑑於此，本研究後續將以實驗驗證 RFID 植入 RC 構件之可行性，為力求實驗之完整性，分別採用低頻、高頻與超高頻三種頻段標籤作為實驗設備，後續將實驗過程歸納整理，提出 RFID 植入 RC 構件之適切植入方法與位置，期能提供後續主管機關參考之依據。

第三章 實驗室規劃與設計

3.1 實驗目的

本實驗將 RFID 標籤以不同方式與深度植入試體梁中，藉此瞭解標籤在 RC 構件中之通信狀況，另外本實驗亦測試 RC 試體梁強度否受到標籤植入而有所影響，最後本研究根據實驗結果提出標籤植入 RC 構件之適切方法與位置，以作為後續現地實驗施作之參考依據。茲將本實驗目的分述如下：

1. 瞭解不同 RFID 頻率系統及標籤種類於 RC 試體梁之通信能力。
2. 瞭解不同 RFID 標籤植入模式於不同 RC 試體梁之通信能力。
3. 瞭解不同試體強度是否影響 RFID 之通信能力。
4. 瞭解不同鋼筋排放方式是否影響標籤之通信能力。
5. 瞭解 RFID 標籤植入後是否影響 RC 試體梁強度。
6. 研提標籤植入 RC 試體梁之適切方法與位置。
7. 根據實驗結果作為後續現地施作之參考依據。

3.2 實驗範圍與限制

3.2.1 實驗範圍

本實驗擬訂實驗範圍如下：

1. 探討 RFID 系統於 RC 試體梁之讀取可行性。
2. 鋼筋混凝土之配筋方式繁多，故此以鋼筋排放不同之形式作為測試，即剪力、彎矩構件之形式，其尺寸選用長度 150cm*寬度 15cm*高度 20cm
3. 混凝土試體之強度選用 140、210、350 kg/cm²。
4. 試體構件之強度試驗齡期選用 28 天。

3.2.2 實驗限制

1. RFID 系統設備繁多，本實驗選用市面應用較廣的 LF、HF、UHF 等三種頻段作為實驗測試。
2. 各類標籤與讀取器，僅採市面上現有的標籤與讀取器作為測試之對象。
3. 僅以剪力、彎矩梁兩種綁紮模式表示現場實際鋼筋綁紮狀況。

3.3 實驗設計

本研究根據剪力及彎矩兩種配筋方式，規劃製作每組 18 根共六組 108 根之混凝土試體梁，其設計內容如下。

3.3.1 配筋設計

本研究實驗設計主要係以三種不同設計強度(140kgf/cm^2 (2000psi)、 210kgf/cm^2 (3000psi)、 350kgf/cm^2 (5000psi))之混凝土試體構件植入 RFID 晶片，並讀取標籤通訊效果，最後進行實體構件之四點抗彎及抗剪試驗，檢視植入標籤否會影響試體強度。其規劃設計實體斷面尺寸長 150cm*寬 15cm*高 20cm，如下圖 3.1 至 3.3 所示：

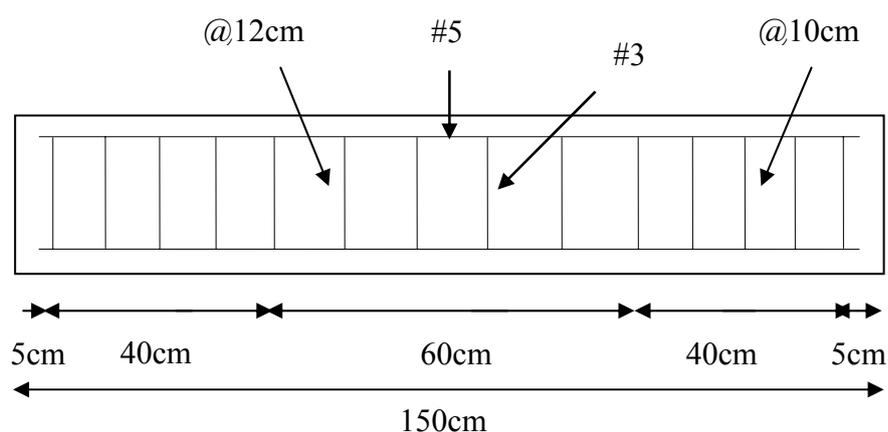


圖 3.1 鋼筋混凝土彎矩梁設計

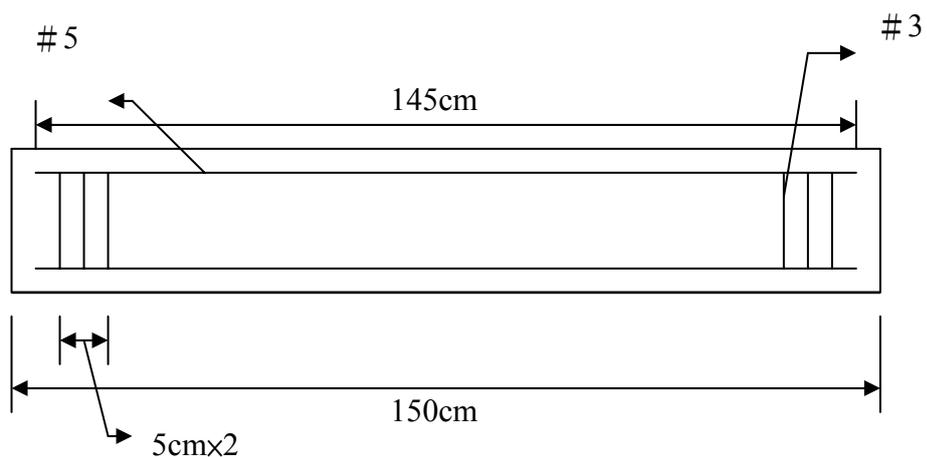


圖 3.2 鋼筋混凝土剪力梁設計

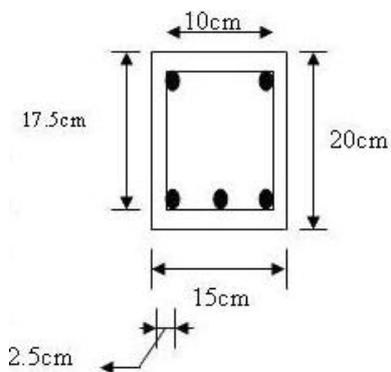


圖 3.3 鋼筋混凝土彎矩、斷面梁斷面設計

3.3.2 配比設計

本實驗根據不同的強度設計相對配比，其配比方式如下表3.1所示：

表 3.1 混凝土配比設計

設計強度 (f_c')	水灰比	水泥量 (m^3)	粗骨材 (kgf/m^3)	細骨材 (kgf/m^3)	水量 (kgf/m^3)
140(kgf/cm^2)	0.72	210/0.72=291.66	1024.8	770.33	210
210(kgf/cm^2)	0.58	362.1	1024.8	715.5	210
350(kgf/cm^2)	0.31	450.50	1024.8	677.72	210

3.3.3 編號設計

本實驗為便利辨識與記錄，故設計一套編碼方式針對 RC 構件之破壞型式、混凝土強度、標籤種類及編號加以說明，其編排方式如下圖 3.4 所示；而構件代碼左到右依序為四部份，詳述如下表 3.2 所示：

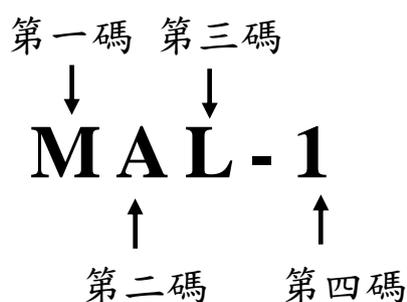


圖 3.4 試體編碼方式

表 3.2 編碼說明

編號	說明
第一碼(代表試體破壞型式)	M 表彎矩構件；V 表剪力構件
第二碼(代表混凝土強度)	A 表 210kgf/cm ² (3000psi)；B 表 140 kgf/cm ² (2000psi)；C 表 350kgf/cm ² (5000psi)
第三碼(代表 RFID 標籤種類)	L 表 RFID 低頻標籤；H 表 RFID 高頻標籤； U 表 RFID 超高頻標籤
第四碼(代表號數)	1 表第一個構件；2 表第二個構件

經實驗設計一共將構件分成三部分，第一部份編號 1-10，植入低頻標籤；第二部分編號 11-15，植入高頻及超高頻標籤；第三部分編號 16-18，不植入任何標籤代表控制組，其分類如下表 3.3 至表 3.4 所示。

表 3.3 低頻實驗紀錄表

水平植入		讀取距離(cm)			
編號	深度(cm)	植入位置	讀取測試		
			上	前	後
VAL-1	1-1.5	側邊			
VAL-2					
VAL-3					
VAL-4					
VAL-5					
VAL-1	1.6-2.0	中間			
VAL-2					
VAL-3					
VAL-4					
VAL-5					
VAL-6	1-1.5	側邊			
VAL-7					
VAL-8					
VAL-9					
VAL-10					
VAL-6	1.6-2.0	中間			
VAL-7					
VAL-8					
VAL-9					
VAL-10					
VAL-16	無晶片	控制組			
VAL-17					
VAL-18					

表 3.4 高頻(超高頻)實驗紀錄表

水平植入		讀取距離(cm)		
編號	深度(cm)	植入位置	讀取測試	
			前	
VAH(U)11	1-1.5	中間		
VAH(U)12				
VAH(U)13				
VAH(U)14				
VAH(U)15				
MAH(U)11	1-1.5	中間		
MAH(U)12				
MAH(U)13				
MAH(U)14				
MAH(U)15				
VAH(U)&MAH(U)-16	無晶片	控制組		
VAH(U)&MAH(U)-17				
VAH(U)&MAH(U)-18				

3.3.4 實驗變數設計說明

本研究依據實驗需求，將實驗變數詳細說明如下表 3.5 所示：

表 3.5 實驗變數說明

設計名稱	設計說明
標籤種類	本實驗採用兩種不同的標籤，低頻標籤為鑰匙型；高頻、超高頻為卡片型。
植入時間	本次實驗共分成三次進行，每次灌漿 36 根 RC 構件，每次拌合兩根，灌漿抹平後立即植入。
植入方式	本實驗採兩種不同的方式植入 1.鑰匙型標籤：灌漿後植入構件中央 1.5-2cm 與側邊 1-1.5cm，植入時用尺向下量測距離確保位置。 2.卡片型標籤：灌漿後利用尺量測距模版內 1cm 處，將標籤以平行側邊模版的方式，長、短兩邊垂直植入構件中。
綁紮方式	本實驗採兩種不同的方式綁紮 1.鑰匙型標籤：灌漿前綁紮在構件中央。 2.卡片型標籤：灌漿前綁紮在構件側邊鋼筋上或鋼筋間。 說明：所謂短邊植入即卡片型標籤之短邊平行主筋，而長邊植入即卡片型標籤之長邊平行主筋。
讀取時間	構件完成後，第 28 天讀取測試。
讀取距離	讀取距離為距離保護層後讀取器無法讀取標籤之最遠讀取距離。

3.4 實驗材料與設備

3.4.1 實體模型製作與材料

1. 鋼筋材料：主筋 #5 鋼筋；箍筋 #3 鋼筋；其設計抗拉強度為 2800 kg/cm^2 ，如下圖 3.5 至 3.6 所示。



圖 3.5 剪力梁



圖 3.6 彎矩梁

2. 混凝土材料：粗細骨材皆通過標準 4 號篩、水泥種類採第一型卜特蘭水泥。
3. 模板：為增加實驗速度，本研究將模版訂製成五根一組之形式，如圖 3.7 所示。



圖 3.7 模板

3.4.2 RFID 設備

一、RFID 標籤：本實驗以LF、HF、UHF三種標籤作為測試，如下圖3.8至3.10所示與說明表3.6至表3.8所示。

表3.6 低頻標籤規格說明

 <p>圖 3.8 低頻標籤</p>	說明	
	產牌名稱	Keyfob-V
	尺寸(H*W*D)	35mm x 38mm x 4mm
	頻率	125KHz
	讀取距離	0~50cm

表 3.7 超高頻標籤規格說明

 <p>圖 3.9 高頻標籤</p>	產牌名稱	ISO 14443 卡片標籤
	尺寸(H*W*D)	86mm x 54mm x 0.8mm
	頻率	13.56MHz
	讀取距離	0~100cm

表 3.8 超高頻標籤規格說明

 <p>圖 3.10 超高頻標籤</p>	產牌名稱	EPC Gen2 卡片標籤
	尺寸(H*W*D)	86mm x 54mm x 0.8mm
	頻率	922MHz
	讀取距離	3~10m

二、RFID 讀取器：本實驗以LF、HF、UHF三種讀取器作為測試。如下圖3.11至3.13與說明表3.9至3.11所示。

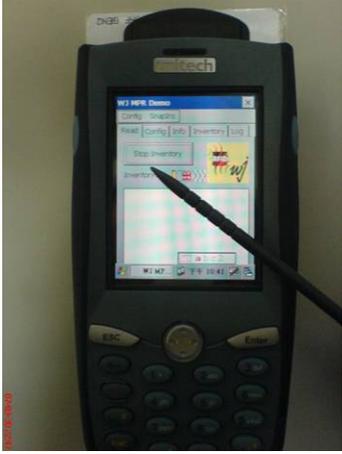
表3.9 低頻讀取器規格說明

	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>讀取頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>HW-588ES</p> <p>72 mm x 45 mm x 18 mm</p> <p>125KHz</p> <p>MAX 15cm</p>
<p>圖 3.11 低頻 Reader</p>		

表3.10 PDA與高頻讀取器規格說明

	<p>PDA</p>	<p>廠牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>功能</p>	<p>Acer N50</p> <p>120 mm x 70 mm x 17mm</p> <p>CF Type II 擴充插槽</p>
<p>圖 3.12 PDA+高頻 Reader</p>	<p>Reader</p>	<p>廠牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>型號</p> <p>讀取頻率</p>	<p>SUNION</p> <p>84mm x 43mm x 6mm</p> <p>CF-1700T</p> <p>13.56 MHz</p>

表3.11 工業級PDA與超高頻讀取器規格說明

 <p>圖 3.13 超高頻 Reader</p>	PDA	廠牌名稱	Unitech PA962
		尺寸(H*W*D)	180mm x 86mm x 35mm
	Reader	廠牌名稱	WJ-MPR5000
		尺寸(H*W*D)	142mm x 53mm x 5mm
		型號	MPR5000
		讀取頻率	902~928 MHz

3.5 實驗步驟與流程

本實驗為驗證RFID植入RC構件之讀取之可行性，分別採用低頻、高頻與超高頻三種頻段標籤作為實驗設備，並於灌漿後初凝前以不同位置、深度及方向植入或灌漿前綁紮於鋼筋上，測試其讀取效果。其規劃混凝土材料自行設計配比，於現場拌合、灌置及搗實，根據RC實體梁，製作三種不同配比混凝土強度，每次拌合量為 0.83m^3 ，共18根梁，其3根梁為對照組，此外，於製作過程取9個圓柱試體植入標籤測試抗壓強度，否因標籤而受到影響。爰此，本研究依據標籤植入或綁紮兩種方式分別繪製流程如下圖3.14、3.15所示。

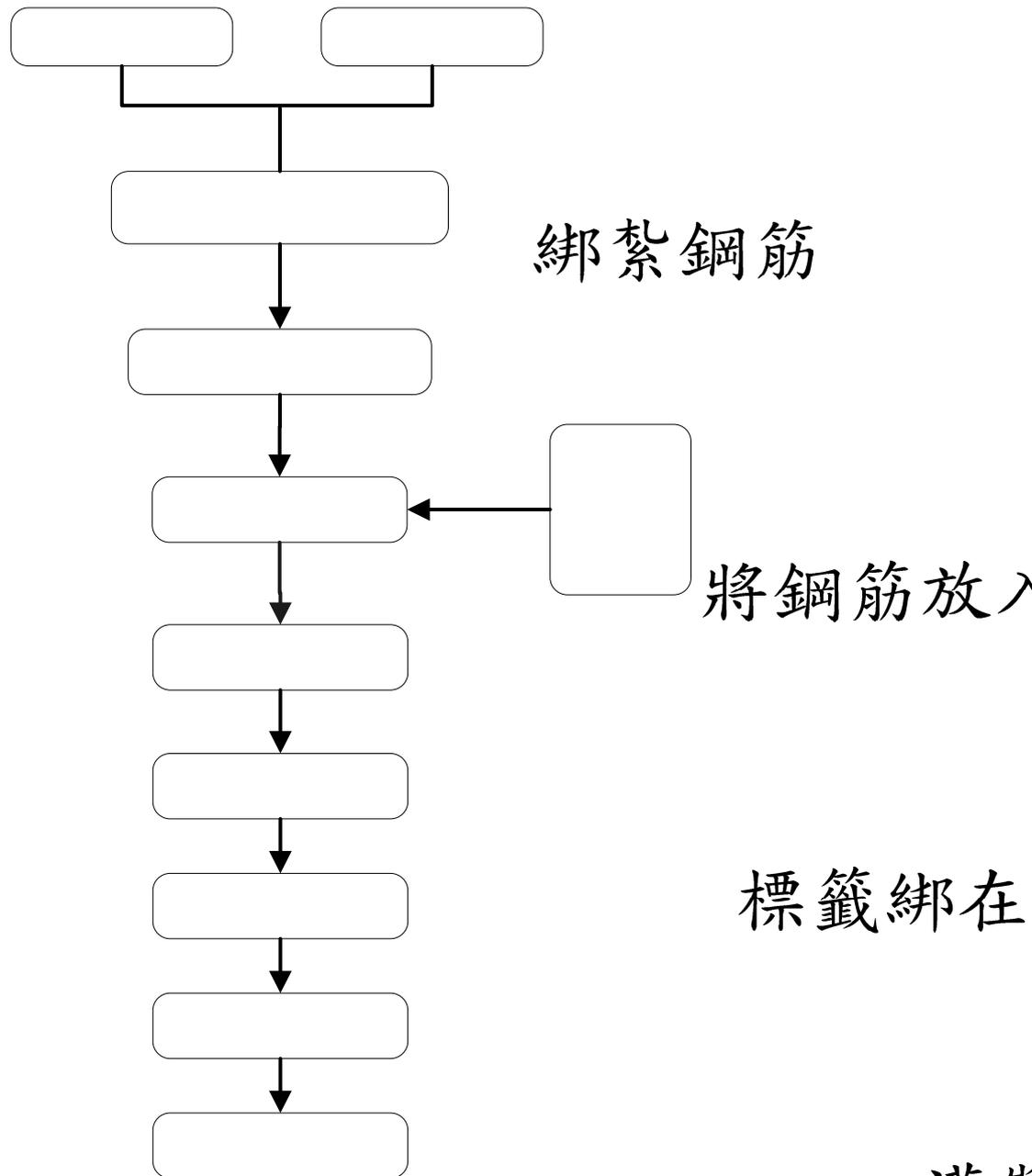


圖3.15 標籤採綁紮模式之實驗流程

3.6 小結

本實驗係將 RFID 技術入 RC 構件之施工作一評估分析，其實驗內容根據研究目的分別探討不同 RFID 系統之差異、標籤植入方式、深度與混凝土強度，並於拆模後作通信測試、抗彎及抗剪測試，藉此瞭解 RFID 標籤對 RC 實體構件之影響，進而提出標籤植入 RC 實體的適切方法與位置之建議。實驗結果分析，將於第 3.8 節實驗分析深入探討。

初測

拆模

3.7 實驗過程紀錄

實驗過程主要工作包含拌漿、試體梁製作、圓柱混凝土試體製作、標籤植入、試體梁拆模、RFID通信讀取及實體強度等強度測試，將實驗過程擷取較具代表性照片記錄於下圖 3.16至3.45所示：

實驗前須先將鋼筋與模版組立完成後方可進行實驗，其組立情形如下圖 3.16、3.17所示：



圖 3.16 剪力構件組立



圖 3.17 彎矩構件組立

現場混凝土拌和前，應將已製作好的模版抹上適量的油並準備好實驗所需的器具以利實驗進行，其情形如下圖3.18、3.19所示：



圖 3.18 實驗前模版上油



圖 3.19 實驗工具準備

模版與器具準備好後，將組立完成之構件放入模版中，其情形如下圖3.20至 3.21所示：



圖 3.20 模版與剪力構件組立



圖 3.21 模版與彎矩構件組立

灌漿前，依照規定將骨材秤重、拌合、卸料，最後進行灌漿的動作，其實際情形如下圖3.22至3.25所示：



圖 3.22 骨材秤重



圖 3.23 混凝土拌合



圖 3.24 混凝土卸料



圖 3.25 構件灌漿

待灌漿完成並搗實與抹平後，低頻鑰匙圈標籤立即以水平植入構件中；高頻與超高頻卡片型標籤則利用尺量測距模版內1cm處，將標籤以平行側邊模版的方式，長、短兩邊垂直植入構件中；另一種植入標籤之模式為灌漿前即將標籤綁繫在鋼筋上，以方便固定。灌漿完成後，亦製作圓柱試體如下圖3.24至35。



圖3.26 構件搗實



圖3.27 構件抹平



圖 3.28 低頻標籤擺放方式



圖 3.29 低頻標籤植入方式



圖3.30 高頻&超高頻標籤短邊植入



圖3.31 高頻&超高頻標籤長邊植入



圖3.32 低頻標籤植綁紮現況



圖3.33 高頻標籤綁紮現況



圖 3.34 低頻標籤植入圓柱試體前



圖 3.35 低頻標籤植入圓柱試體

待構件初凝之後，即拆模並堆疊與編號，以利辨識，其情況如圖3.36、3.37所示：



圖 3.36 構件堆疊



圖 3.37 構件編號

最後讀取標籤時，以尺量測距離，低頻從上方與側邊量測；高頻與超高頻則僅量側邊，最後數據紀錄後，構件進行抗彎、抗剪測試，以瞭解構件是否受標籤植入而影響其強度，上述實際情形如圖3.38至3.45所示：



圖 3.38 低頻標籤上方讀取現況



圖 3.39 低頻標籤側邊讀取現況



圖 3.40 高頻標籤搜尋標籤現況



圖 3.41 高頻標籤讀取現況



圖 3.42 超高頻標籤事前讀取



圖 3.43 超高頻標籤綁紮後灌漿前讀取



圖 3.44 剪力構件抗剪現況



圖 3.45 彎矩構件抗壓現況

3.8 標籤讀取測試與實驗數據分析

3.8.1 讀取率

本研究根據實驗數據紀錄分析可得，低頻與高頻標籤不論植入剪力或彎矩試體梁中，其讀取率皆為100%，而超高頻標籤之部分，皆無法讀取，可能之原因為鋼筋與混凝土對其通信能力造成影響，因而無法讀取。

表3.12讀取率

頻段	植入方式與構件		強度	讀取率
LF	綁紮	剪力構件 彎矩筋構件	140 kgf/cm ²	100%
			210 kgf/cm ²	100%
	植入		350 kgf/cm ²	100%
HF	綁紮	剪力構件 彎矩筋構件	140 kgf/cm ²	100%
			210 kgf/cm ²	100%
	植入		350 kgf/cm ²	100%
UHF	綁紮	剪力構件 彎矩筋構件	350 kgf/cm ²	0%
	植入			

3.8.2 實驗數據分析

本研究藉由實驗結果確認RFID讀取的通信距離，並應用統計學常態曲線(normal curve)中的「68-95-99.7」規則(The 68-95-99.7 rule)，其此規則是在具有平均數 μ 及標準差 σ 的常態分配中68%的觀測值落在距平均數一個標準差的範圍內；95%的觀測值落在距平均數兩個標準差的範圍內；99.7%的觀測值落在距平均數三個標準差的範圍內【王念孫等人，2002】，而本研究採用以一個標準差來度量離散度並查驗觀測值離平均數有多遠的概念判定數據之合理範圍，另外藉由實驗結果得知RFID 植入RC 構件之影響程度，最後確認RFID系統導入混凝土構件之可行性與困難處，其標籤植入方式入如圖3.46、3.47所示；數據分析圖如下圖3.48至3.73所示。

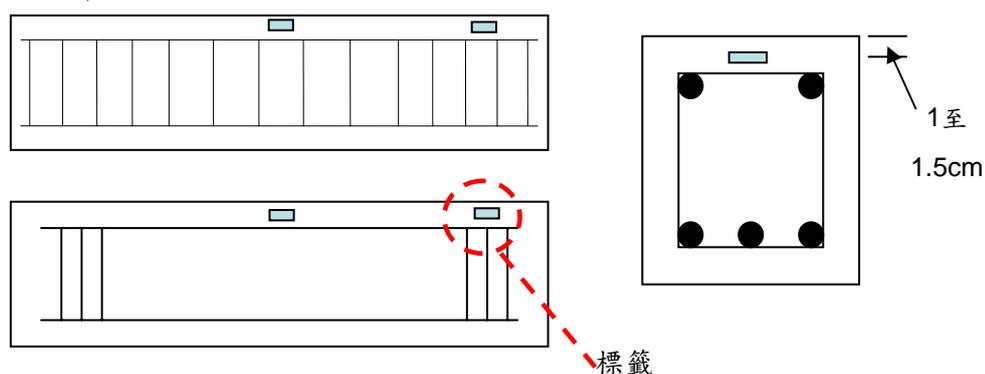


圖 3.46 低頻標籤植入模式示意圖

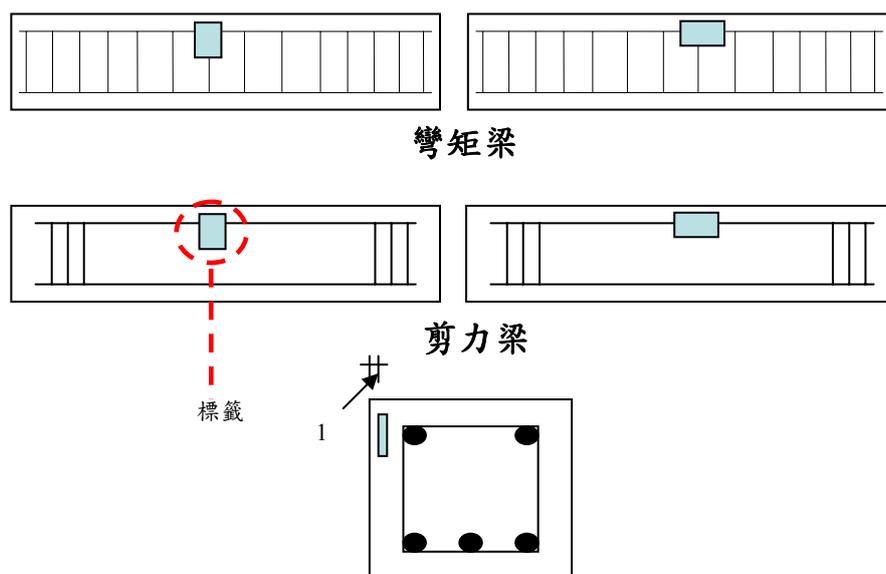


圖 3.47(超)高頻標籤植入模式示意圖

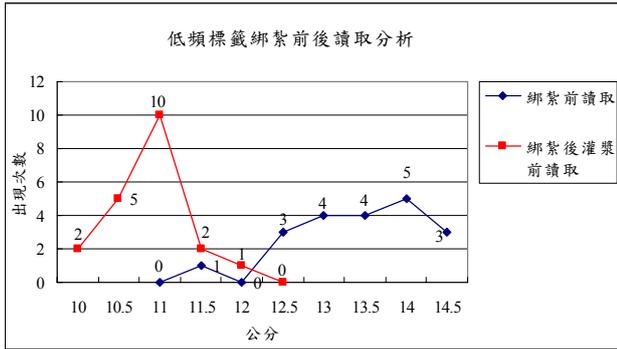


圖 3.48 低頻標籤綁紮前後讀取分析

1. 標籤綁紮前讀取範圍約在 12 至 14.5 公分。
2. 綁紮後因為受鋼筋影響故讀取距離縮短至 10 至 12cm。

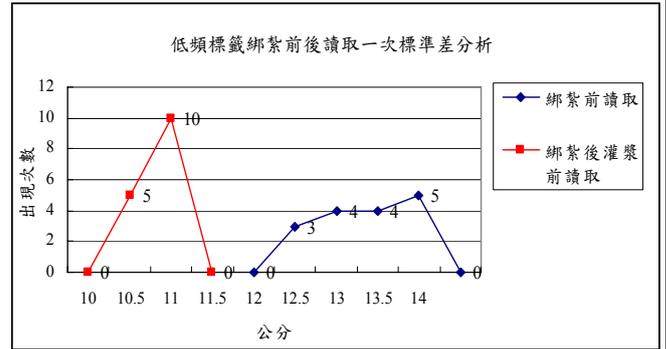


圖 3.49 低頻標籤綁紮前後正負一個標準差分析

1. 綁紮前適當範圍為 12.5~14.2cm; 共 75%(15 個標籤)符合標準。
2. 綁紮後適當範圍為 10.4~11.3cm, 共 80%(16 個標籤)符合標準。

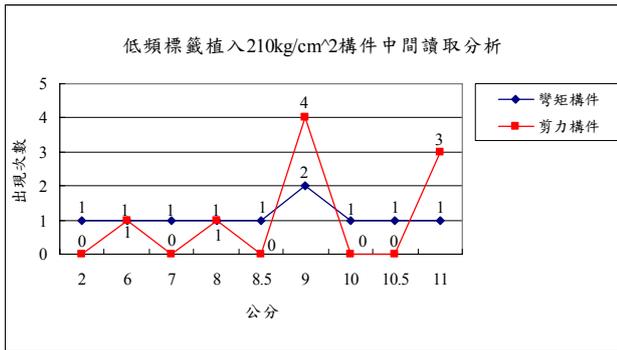


圖 3.50 低頻標籤植入 210kgf/cm² 構件中間之讀取分析

1. 標籤植入彎矩構件讀取範圍約在 2 至 11 公分，呈現分佈不集中的現象，出現 2 公分可能是因人工拌和水過多而造成標籤下沉的狀況。
2. 標籤植入剪力構件讀取範圍約在 6 至 11 公分，多數集中在 9 與 11 公分。

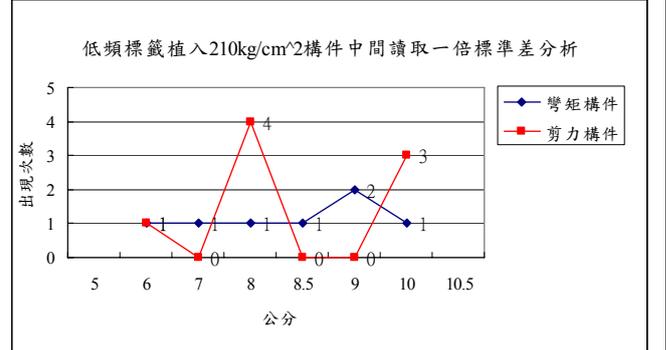


圖 3.51 低頻標籤植入 210kgf/cm² 構件中間以正負一個標準差分析

1. 植入彎矩構件中間適當範圍為 5~10.1 cm, 共 70%(7 個標籤)符合標準。
2. 植入剪力構件中間適當範圍為 5.5~11.3 cm, 共 80%(8 個標籤)符合標準。

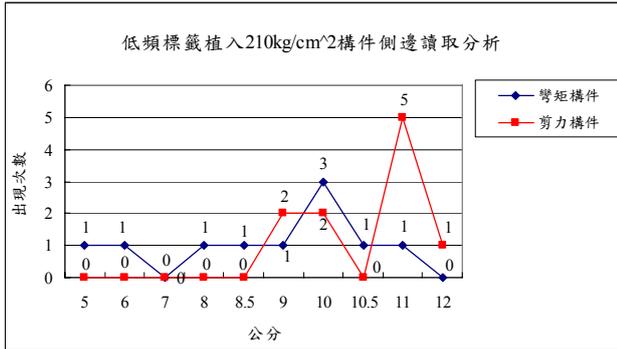


圖 3.52 低頻標籤植入 210kgf/cm² 構件側邊之讀取分析

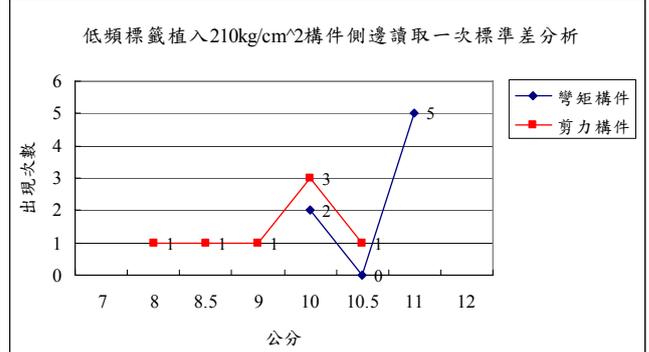


圖 3.53 低頻標籤植入 210kgf/cm² 構件側邊以正負一個標準差分析

1. 標籤植入彎矩構件讀取範圍為 5 至 11 公分，呈現分佈不集中的現象。
2. 標籤植入剪力構件讀取範圍為 9 至 12 公分。

1. 植入彎矩構件側邊適當範圍為 7~11 cm，共 70%(7 個標籤)符合標準。
2. 植入剪力構件側邊適當範圍為 9.5~11.4 cm，共 70% (7 個標籤)符合標準。

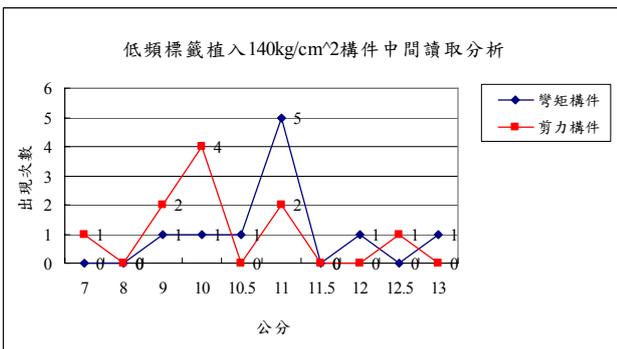


圖 3.54 低頻標籤植入 140kgf/cm² 構件中間之讀取分析

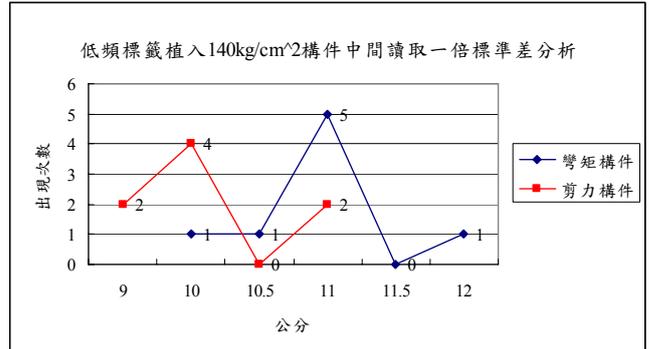


圖 3.55 低頻標籤植入 140kgf/cm² 構件中間以正負一個標準差分析

1. 標籤植入彎矩構件讀取範圍為 9 至 13 公分。
2. 標籤植入剪力構件讀取範圍為 8 至 12.5 公分。

1. 植入彎矩構件中間適當範圍為 10~12 公分，共有 70%(7 個標籤)符合標準。
2. 植入剪力構件中間適當範圍為 8.5~11.3 公分，共 80% (8 個標籤)符合標準。

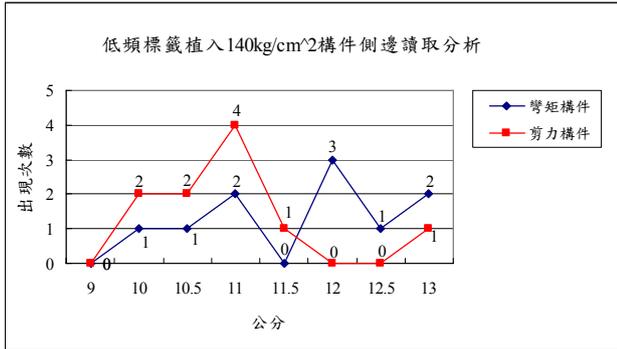


圖 3.56 低頻標籤植入 140kgf/cm² 構件側邊之讀取分析

1. 標籤植入彎矩構件讀取範圍約在 10 至 13 公分。
2. 標籤植入剪力構件讀取範圍約在 10 至 13 公分。

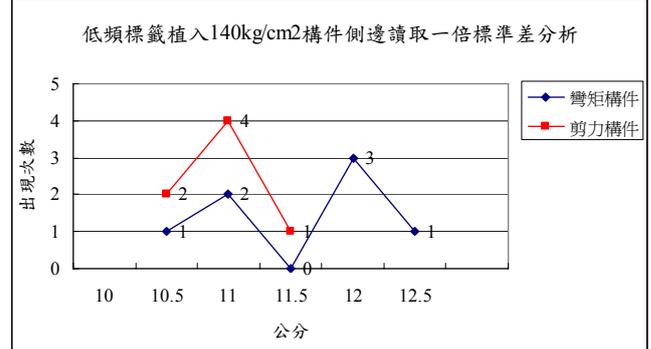


圖 3.57 低頻標籤植入 140kgf/cm² 構件側邊以正負一個標準差分析

1. 植入彎矩構件側邊適當範圍為 11~13 cm；共 70%(7 個標籤)符合標準。
2. 植入剪力構件側邊適當範圍為 10~12cm 共 70% (7 個標籤)符合標準。

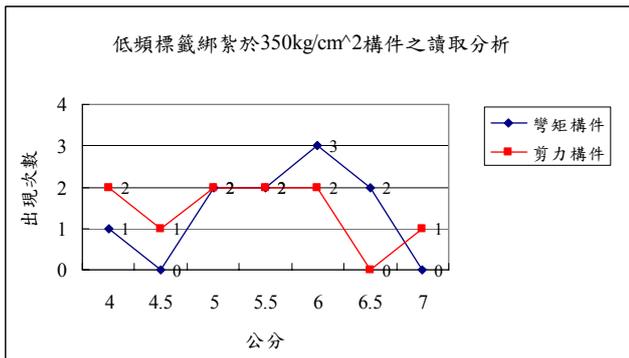


圖 3.58 低頻標籤綁紮於 350kgf/cm² 構件之讀取分析

1. 標籤綁紮於彎矩構件讀取範圍為 4 至 6.5 公分。
2. 標籤綁紮於剪力構件讀取範圍為 4 至 7 公分。
3. 兩者差異不顯著，但因為綁紮於鋼筋上受到金屬干擾而減少讀取距離。

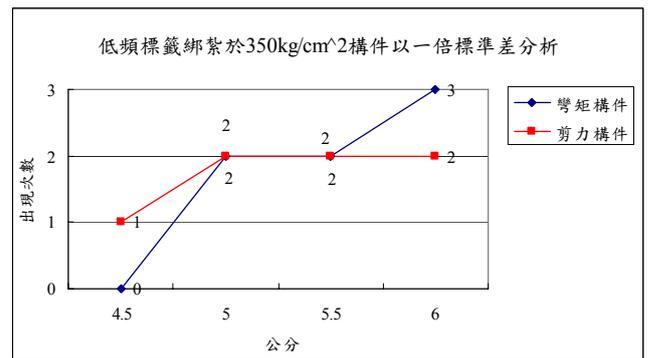


圖 3.59 低頻標籤綁紮 350kgf/cm² 構件以正負一個標準差分析

1. 綁紮於彎矩構件之適當範圍為 5~6.3cm；共有 70%(7 個標籤) 符合標準。
2. 綁紮剪力構件範圍為 4.3~6.1cm 共 70% (7 個標籤)符合標準。

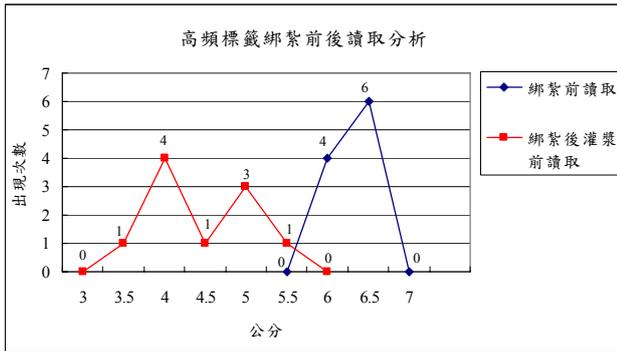


圖 3.60 高頻標籤綁紮前後讀取分析

1. 標籤綁紮前讀取範圍約在 5.5 至 7 公分。
2. 綁紮後讀取距離縮短至 3.5 至 5.5 公分。

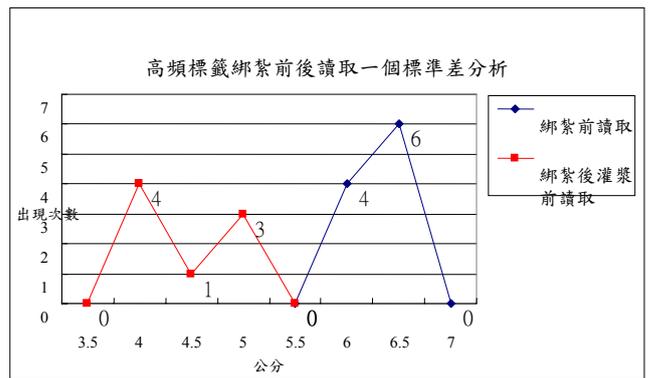


圖 3.61 高頻標籤綁紮前後以正負一個標準差分析

1. 綁紮前適當範圍為 6~6.8cm，共 100%(10 個標籤)符合標準。
2. 綁紮後適當範圍為 4~5.1cm，共 80% (8 個標籤)符合標準。

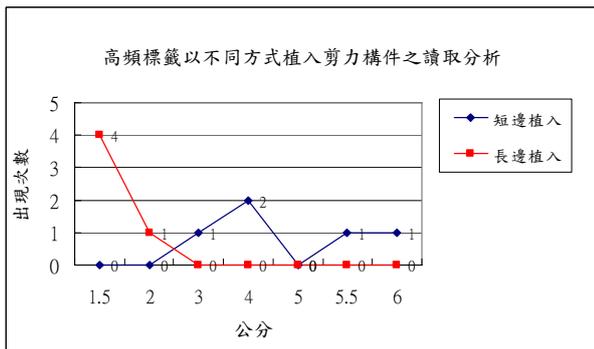


圖 3.62 高頻標籤以不同方式植入剪力構件之讀取分析

1. 卡片式標籤以短邊植入剪力構件之讀取範圍約在 3 至 5.5 公分。
2. 標籤以長邊植入剪力構件讀取範圍約在 1.5 至 2 公分。
3. 故短邊長邊植入受到剪力主筋的影響程度較大。

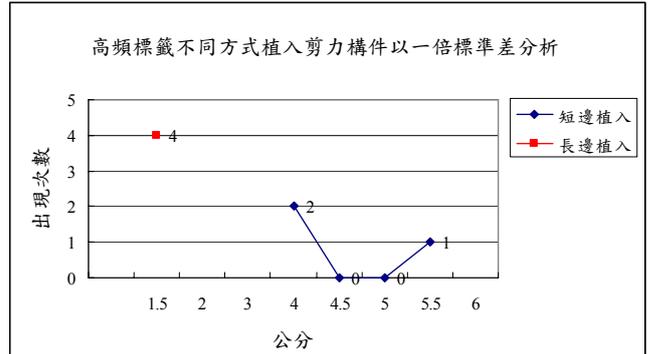


圖 3.63 高頻標籤以不同方式植入剪力構件以正負一個標準差分析

1. 短邊植入剪力構件適當範圍為 3.4~5.6cm；共有 60%(3 個標籤)符合標準。
2. 長邊植入剪力構件適當範圍為 1.4~1.8cm 共 80% (4 個標籤)符合標準。

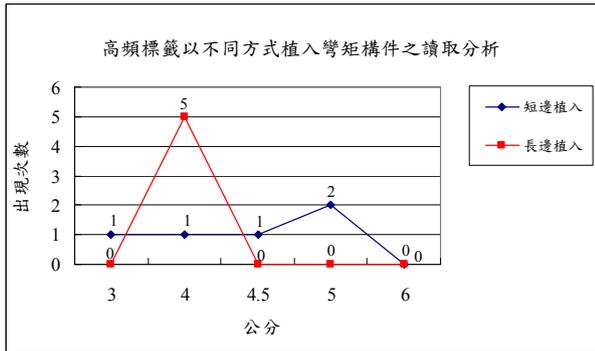


圖 3.64 高頻標籤以不同方式植入彎矩構件之讀取分析

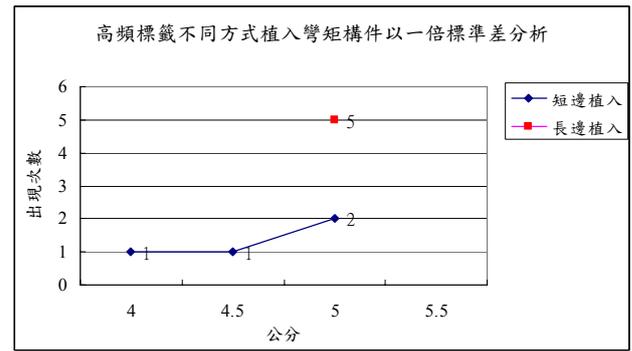


圖 3.65 高頻標籤不同方式植入彎矩構件讀取正負一個標準差分析

1. 卡片式標籤以短邊植入彎矩構件之讀取範圍約在 3 至 5 公分。
2. 長邊植入彎矩構件讀取距離為 4 公分。
3. 故長短兩邊植入彎矩構件之讀取距離之差異性並不顯著。

1. 短邊植入剪力構件適當範圍為 3.6~5cm；共有 80%(4 個標籤)符合標準。
2. 長邊植入剪力構件適當範圍為 4cm，共 100% (5 個標籤)符合標準。

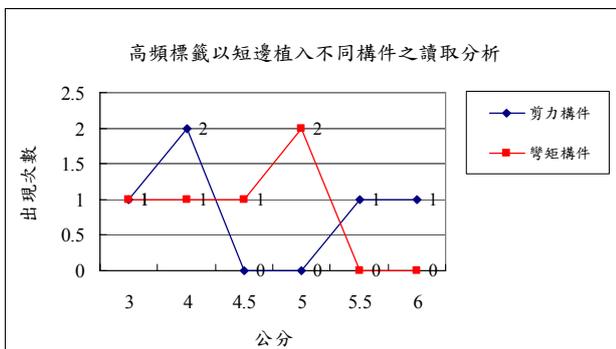


圖 3.66 高頻標籤以短邊植入 140 kgf/cm² 構件之讀取分析

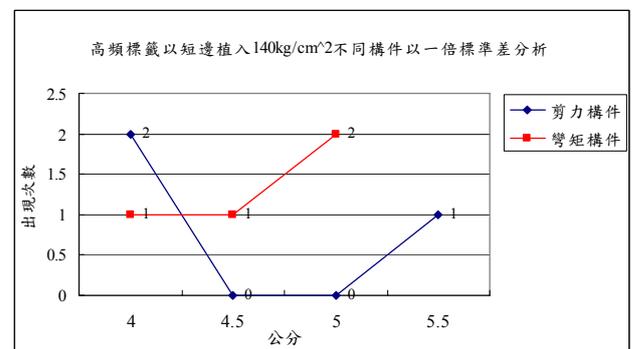


圖 3.67 高頻標籤以短邊植入 140 kgf/cm² 構件正負一個標準差分析

1. 卡片式標籤以短邊植入剪力構件之讀取範圍約在 3 至 6 公分。
2. 短邊植入彎矩構件讀取範圍約在 3 至 5 公分。
3. 故短邊植入不同構件讀取距離差異性並不顯著。

1. 短邊植入剪力構件適當範圍為 3.4~5.6cm，共 80%(4 個標籤)符合標準。
2. 短邊植入彎矩構件適當範圍為 3.6~5cm，共 60% (3 個標籤)符合標準。

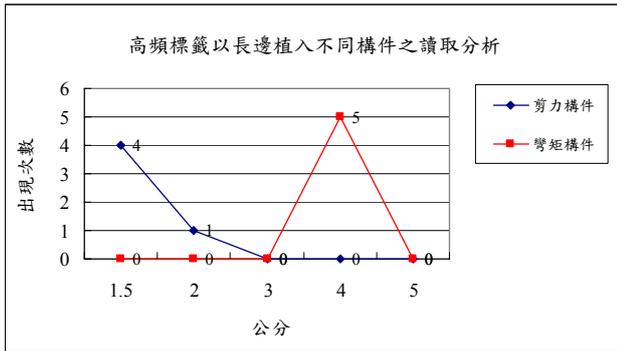


圖 3.68 高頻標籤以長邊植入 210 kgf/cm² 構件之讀取分析

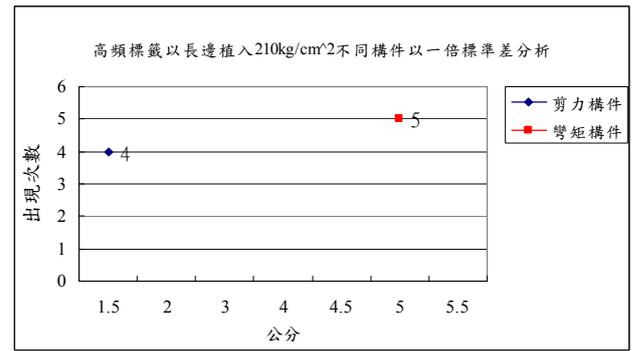


圖 3.69 高頻標籤以長邊植入 210 kgf/cm² 構件正負一個標準差分析

1. 卡片式標籤以長邊植入剪力構件之讀取範圍約在 1.5 至 2 公分。
2. 長邊植入彎矩構件讀取距離為 4 公分。
3. 長邊植入剪力構件受主筋影響程度較顯著，故讀取距離較短。

1. 長邊植入剪力構件適當範圍為 1.4~8cm 共 80% (4 個標籤)符合標準。
2. 長邊植入彎矩構件適當範圍為 4cm 共 100% (5 個標籤)符合標準。

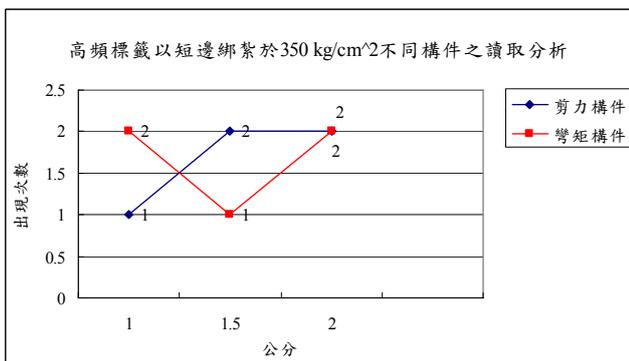


圖 3.70 高頻標籤以短邊綁紮於 350 kgf/cm² 不同構件之讀取分析

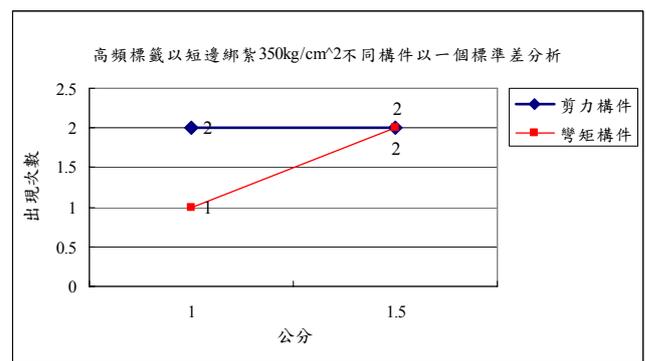


圖 3.71 高頻標籤以短邊綁紮於 350 kgf/cm² 不同構件以正負一個標準差分析

1. 卡片式標籤以短邊綁紮在剪力構件之讀取範圍約在 1 至 2 公分。
2. 短邊綁紮在彎矩構件讀取距離為 1 至 2 公分。

1. 短邊綁紮在剪力構件適當範圍為 1.2~2cm 共 80% (4 個標籤)符合標準。
2. 短邊綁紮在彎矩構件適當範圍為 1.1~2cm 共 60% (3 個標籤)符合標準。

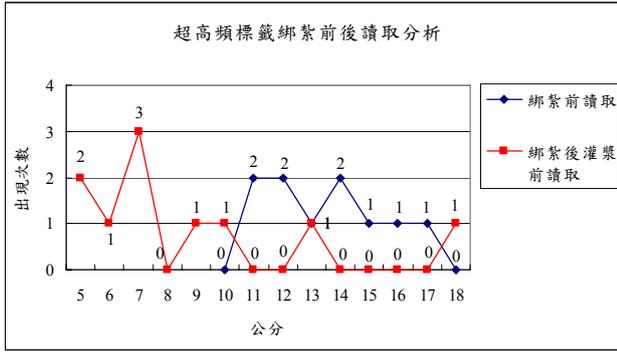


圖 3.72 超高頻標籤綁紮前後讀取分析

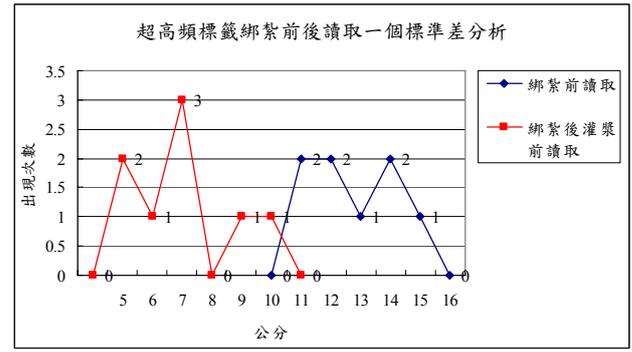


圖 3.73 超高頻標籤綁紮前後以正負一個標準差分析

1. 卡片型超高頻標籤綁紮前讀取範圍約在 11 至 17 公分。
2. 綁紮後讀取距離縮短至 5 至 18 公分。
3. 出現 18 公分可能是受到鋼筋干擾而增加讀取距離。

1. 綁紮前適當範圍為 11~15cm 共 80% (8 個標籤)符合標準。
2. 綁紮後適當範圍為 5~13cm 共 80% (8 個標籤)符合標準。

根據上述分析後，本研究再將實驗結果彙整成如表 3.12 所示：

表 3.12 標籤讀取距離說明

標籤分類	標籤植入(綁紮)前後說明	原讀取範圍	1 倍標準差讀取範圍(cm)	最大讀取距離(cm)
灌漿前	綁紮前讀取	11.5~14.5	12.6~14.2	14.5
	綁紮後讀取 (350kgf/cm ²)	11.5~14.5	10.4~11.3	12
低頻-灌漿後 (210kgf/cm ²)	植入剪力構件側邊 (1-1.5cm)	9~12	9.6~11.4	12
	植入彎矩構件側邊 (1-1.5cm)	5~11	6.9~10.7	11
	植入剪力構件中間 (1.5-2cm)	6~11	5.5~11.2	11
	植入彎矩構件中間 (1.5-2cm)	2~11	4.9~10.1	11
低頻-灌漿後 (140kgf/cm ²)	植入剪力構件側邊 (1-1.5cm)	10~13	10.1~11.8	13
	植入彎矩構件側邊 (1-1.5cm)	10~13	10.7~12.7	13

	植入剪力構件中間 (1.5-2cm)	7~12.5	8.7~11.3	12.5
	植入彎矩構件中間 (1.5-2cm)	9~13	9.9~12	13
低頻-灌漿後 (350kgf/cm ²)	綁紮剪力構件中間	4~7	4.3~6.2	7
	綁紮彎矩構件中間	4~6.5	4.9~6.3	6.5
灌漿前	綁紮前讀取	6~6.5	5.8~6.9	6.5
	綁紮後讀取 (350kgf/cm ²)	3.5~5.5	3.8~5.0	5.5
高頻-灌漿後 (210kgf/cm ²)	長邊植入剪力構件	1.5~2	1.4~1.8	2
	長邊植入彎矩構件	4	4~4	4
高頻-灌漿後 (140kgf/cm ²)	短邊植入剪力構件	3~6	3.4~5.6	6
	短邊植入彎矩構件	3~5	3.6~5	5
高頻-灌漿後 (350kgf/cm ²)	短邊平行主筋綁紮 於剪力構件中間	1~2	1.1~2	2
	短邊平行主筋綁紮 於彎矩構件中間	1~2	1.2~2	2
灌漿前	綁紮前讀取	11~17	11.3~15.2	17
	綁紮後讀取 (350kgf/cm ²)	5~18	4.8~12.6	18
超高頻 (350kgf/cm ²)	植入、綁紮後讀取	-	-	-

本研究除了上述讀取測試外，亦針對標籤植入構件是否影響其強度加以探討，實驗數據分述如下所示：

1. A 組設計強度:210 kgf/cm²，實際平均強度:281.06 kgf/cm²。未植入標籤之三根構件平均強度為 8282kgf/cm²，而實際測試五根構件強度，共有四根構件(80%)強度大於平均值，未達標準之構件強度也接近平均值，其數據如下表 3.13 所示。

表 3.13 標籤植入 210 kgf/cm² 構件抗剪強度

試體編號	強度(kgf)
VAL-1	8577
VAL-5	8832
VAL-10	9910
VAH-11	7969
VAH-13	9391
*VA-16	8352
*VA-17	8789
*VA-18	7705
備註：「*」代表沒有植入或綁紮標籤的構件	

2. B 組設計強度:140 kgf/cm²；圓柱抗壓試體實際平均強度:167.64 kgf/cm²。未植入標籤之兩根構件平均強度為 7543kgf/cm²，而實際測試六根構件強度，共有五根(83%)構件強度大於平均值，未達標準之構件強度也接近平均值，其數據如下表 3.14 所示。

表 3.14 標籤植入 140 kgf/cm² 構件抗剪強度

試體編號	強度(kgf)
VBL-1	7803
VBL-3	7705
VBL-5	7783
VBL-6	7538
VBH-10	7646
VBH-11	8126
*VB-16	7675
*VB-17	7411
備註：「*」代表沒有植入或綁紮標籤的構件	

3. C 組設計強度:350 kgf/cm²；圓柱抗壓試體實際平均強度:411.15

kgf/cm²。未植入標籤之兩根構件平均強度為 11326kgf/cm²，而實際測試六根構件強度，共有四個構件(66%)強度大於平均值，未達標準之構件，可能是因為人為拌合時水量過多或者搗實不確實所產生的強度差異，其數據如下表 3.15 所示。

表 3.15 標籤植入 350 kgf/cm² 構件抗剪強度

試體編號	強度(kgf)
VCL-3	9979
VCL-4	11557
VCL-5	11577
VCL-8	10547
VCH-12	12587
VCH-13	11890
*VC-16	11596
*VC-17	11057
備註：「*」代表沒有植入或綁紮標籤的構件	

3.9 小結

根據實驗數據分析，低頻標籤植入 RC 試體梁中皆可讀取，但高頻標籤綁紮於鋼筋後較不易讀取，而超高頻標籤不論植入或綁紮何種方式皆無法讀取。另依據強度驗證分析，標籤植入構件中，並不影響構件本身強度並且以低頻標籤綁紮前讀取範圍為 12~14cm，綁紮後讀取範圍為 10~11cm，灌漿後水平植入構件側邊的讀取範圍為 7-13cm，植入構件中間讀取範圍在 5-12cm，故水平植入構件側邊的讀取效果較佳。高頻標籤綁紮前讀取範圍為 6~7cm，綁紮後讀取範圍為 4~5cm，灌漿後距離側邊 1cm 處長邊植入剪力構件讀取範圍為 1~2cm，長邊植入彎矩構件讀取範圍為 4cm，短邊植入剪力構件讀取範圍為 3.4~5.6cm，短邊植入彎矩構件讀取範圍為 3.6~5cm 間，故可得知標籤以短邊平行主筋讀取的效果較佳。

第四章 現地實驗規劃與設計

4.1 實驗目的

本研究透過前述之實驗室實驗分析結果，針對不同植入方式與深度將 RFID 標籤植入於混凝土實體構件中，藉此瞭解實體構件於拆模後測試 RFID 通信狀況，進而提出標籤植入 RC 實體構件的適切方法與位置之建議。茲將本實驗目的分述如下：

1. 瞭解不同 RFID 頻率系統及標籤種類於 RC 實體構件之通信能力。
2. 瞭解不同植入模式於 RC 實體構件之通信能力。
3. 瞭解不同鋼筋組立方式是否影響 RFID 之通信能力。
4. 瞭解 RFID 標籤植入 RC 實體構件之適切方法與位置。

4.2 實驗範圍與限制

4.2.1 實驗範圍

本實驗擬訂實驗範圍如下：

1. 探討 RFID 系統於 RC 實體構件之讀取可行性。
2. 以 RC 建築為研究對象。
3. 實體構件實驗範圍，以梁、牆、版、柱作為測試範圍。
4. 混凝土實體構件強度，以配合工程實際設計強度為主。
5. 實體構件之讀取時間選用 14、28 天。
6. RFID 設備選用被動式系統及主動式系統。

4.2.2 實驗限制

1. RFID 系統設備繁多，本實驗選用市面應用較廣泛的 LF、HF、UHF 等

三個頻段，並針對各頻段挑選其一頻率作為實驗測試。

2. 各類標籤，僅採市面上較普遍的標籤作為測試之對象。
3. 僅針對現場工程設計之鋼筋綁紮方式為實驗對象，其他配筋方式不在本研究範圍。

4.3 實驗設計

本研究根據實驗室試體梁實驗所得之結果以及採取不同形式、不同頻段及不同綁紮方式將標籤植入，而其設計內容如下。

4.3.1 實驗工區

本研究所實驗之工區主要為 RC 之建築，其目的為實驗 RFID 標籤植入不同建築構件型式之可行性評估，最後探討其適切之植入方式與位置；茲將實驗工區說明如下：

首先實驗之工區為中正杭州，其為 RC 建築，其主要建築樓層為地上十四層，地下三層之建築物，如下圖 4.1 所示；而後為遠揚士林實驗工區，其為 RC 建築，而其主要建築樓層為地上十層，地下三層之建築物如下圖 4.2 所示；最後則為信義工區，其為 RC 建築而主要建築樓層為地上八層，地下二層如下圖 4.3 所示：



圖 4.1 中正杭州實驗工區



圖 4.2 遠揚士林實驗工區



圖 4.3 信義工區

4.3.2 配筋設計

本研究實驗設計主要係以實驗工地所設計之強度與配筋方式為主，並不另行實驗其他配筋方式，以下為實驗工區之平面圖如圖 4.4 至 4.5 所示，而其配筋方式如圖 4.6 至 4.9 所示；

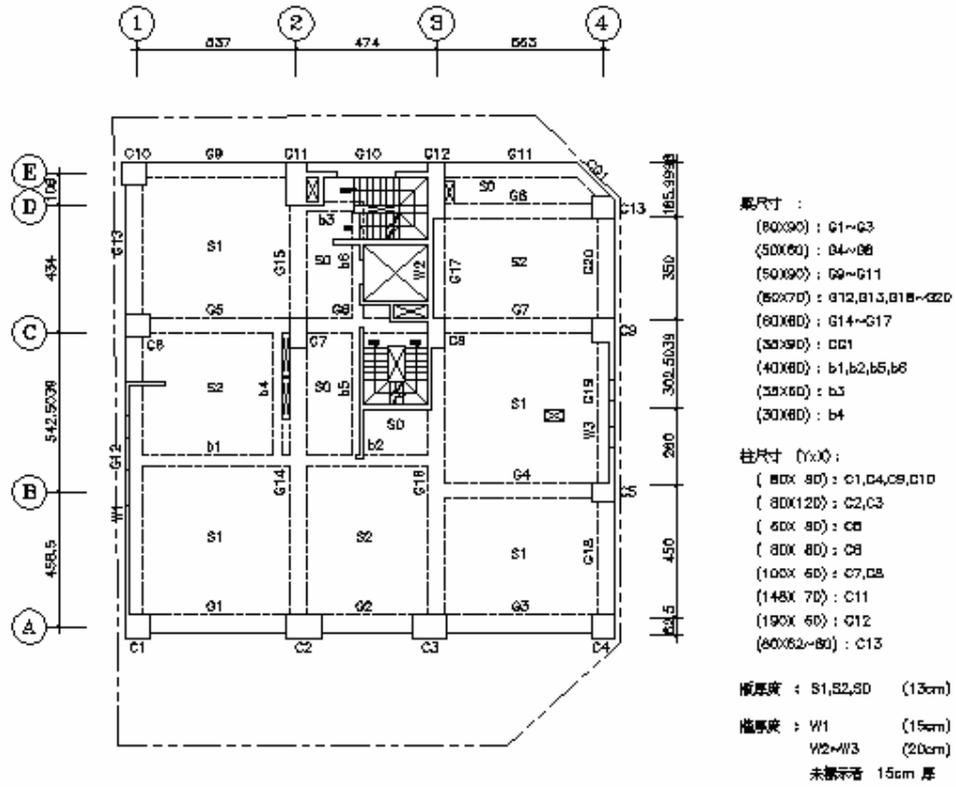


圖 4.4 中正杭州實驗工區三到十三樓結構平面圖

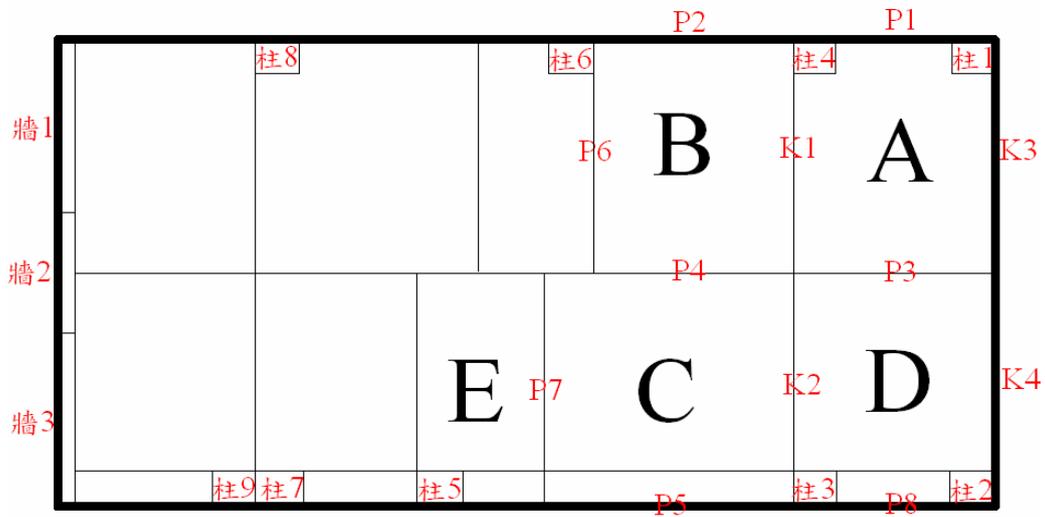


圖 4.5 遠揚士林實驗工區平面示意圖

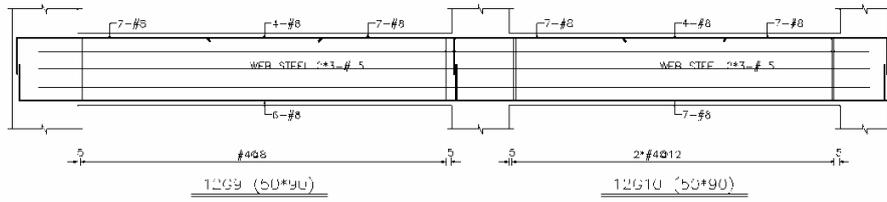


圖 4.6 中正杭州實驗工區梁配筋設計

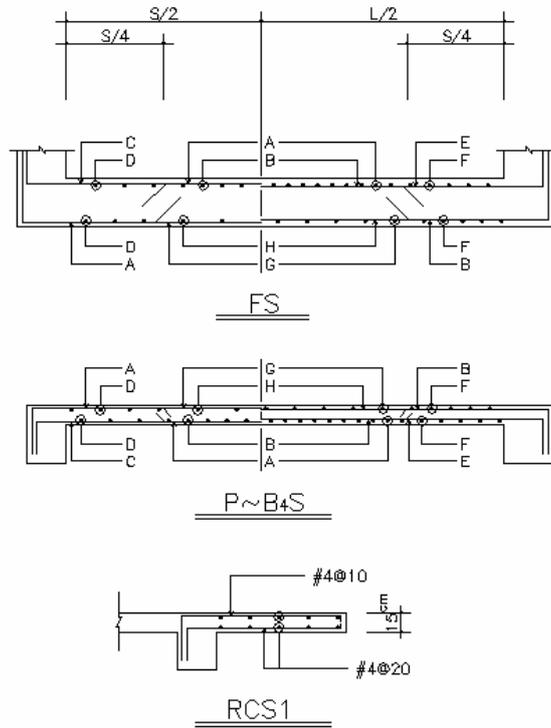


圖 4.7 中正杭州實驗工區版配筋設計



圖 4.8 遠揚士林實驗工區版、牆示意圖

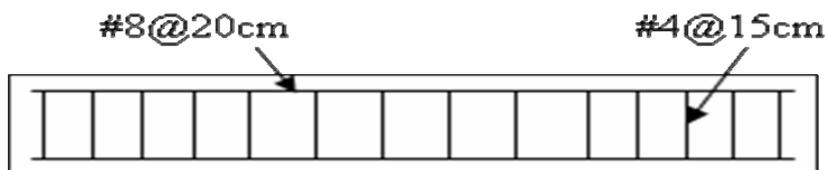


圖 4.9 遠揚士林實驗工區梁示意圖

4.3.3 編號設計

本實驗為便利辨識與記錄，故設計一套編碼方式針對 RC 構件之植入位置、標籤種類、頻段及編號加以說明，其編排方式如下圖 4.10 所示，而實驗紀錄所需之紀錄表，詳述如下表 4.2 所示：

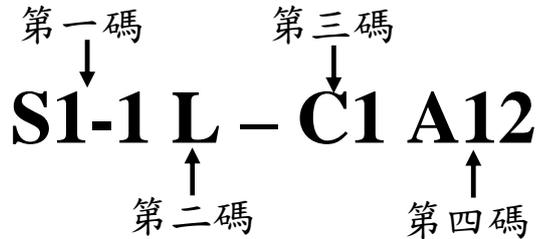


圖 4.10 構件編碼方式

構件代碼左到右依序為四部份，詳述如下表 4.1 所示：

表 4.1 編碼說明

編號	說明
第一碼(植入位置)	S1-1 表植入於版 S1，此部份依照工地所設計之標示。
第二碼(代表 RFID 標籤種類)	L 表 RFID 低頻標籤；H 表 RFID 高頻標籤；U 表 RFID 超高頻標籤；A 表主動式
第三碼(標籤之樣式)	C1 表卡片型薄卡；C2 表卡片型厚卡
第四碼(代表號數)	A 表植入構件第一個標籤；12 表第 12 層樓；

表 4.2 實驗紀錄表

工程名稱	設計強度	標籤型式	植入構件	植入方式	鋼筋號數	日期
實驗數據						
編號	標籤編號	植入前 (cm)	植入深度 (cm)	植入位置	第 14 天 (cm)	第 28 天 (cm)

4.3.4 變數設計

本研究依據實驗需求，將實驗變數詳細說明如下表 4.3 所示：

表 4.3 變數設計

設計名稱	設計說明
標籤種類	本實驗採用不同形式的標籤，其形式如 4.4 節介紹
植入方式	<p>本實驗採三種不同的方式將標籤固定。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 綁紮 <ol style="list-style-type: none"> (1)卡片型標籤：綁紮於鋼筋中間，採短邊與長邊兩種綁紮方式，將標籤固定。 (2)卡片型標籤：綁紮於鋼筋上，採短邊與長編兩種綁紮方式，將標籤固定，而其他非卡片型標籤，則直接綁紮於鋼筋上。 2. 附掛 <p>將標籤以適當之方式，附掛於模板上約一公分處。</p> 3. 植入 <p>於灌漿抹平後，將標籤以水平與垂直兩種方式植入。</p> <p>說明：所謂短邊植入即卡片型標籤之短邊平行主筋，而長邊植入即卡片型標籤之長邊平行主筋。</p>
植入時間	<p>植入之方式採三種不同植入流程；</p> <ol style="list-style-type: none"> 一、於鋼筋綁紮完成時植入 RFID 標籤。 二、配合工程鋼筋綁紮進度植入 RFID 標籤。 三、配合工程灌漿進度植入 RFID 標籤。
讀取時間	構件完成後，第 14、28 天讀取測試。
讀取距離	讀取距離為距離保護層後讀取器無法讀取標籤之最遠讀取距離。

4.3.5 標籤植入與讀取說明

標籤綁紮方式如圖 4.11 所示，而其他構件如：版、牆、柱等，則利用此方式將標籤綁紮於構件上；而附掛之方式如圖 4.12 至圖 4.13 所示；灌漿時將標籤植入如圖 4.14 至 4.15 所示；另讀取說明則如圖 4.16 所示：

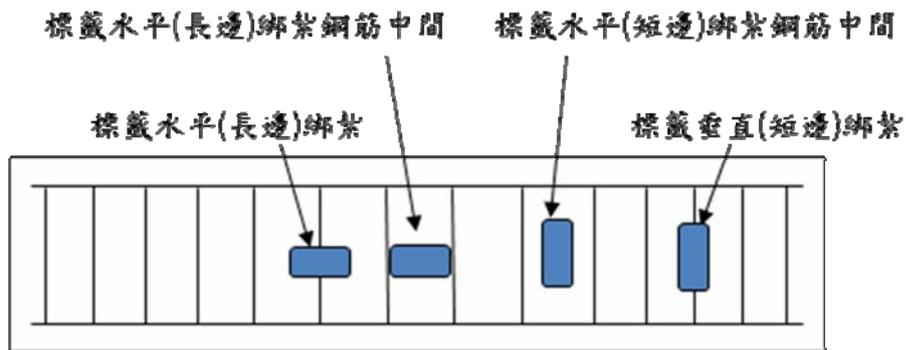


圖 4.11 標籤綁紮梁之方式說明



圖 4.12 標籤附掛構件之方式說明(1)



圖 4.13 標籤附掛構件之方式說明(2)



圖 4.14 灌漿時標籤植入之方式說明(1)

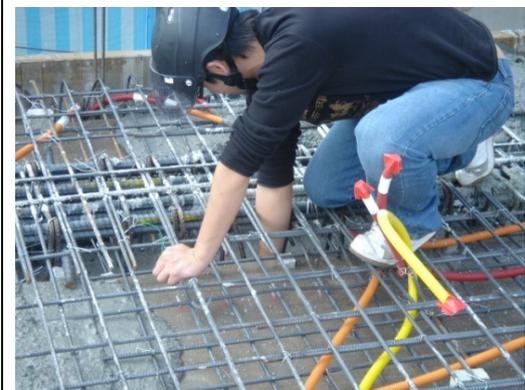


圖 4.15 灌漿時標籤植入之方式說明(2)

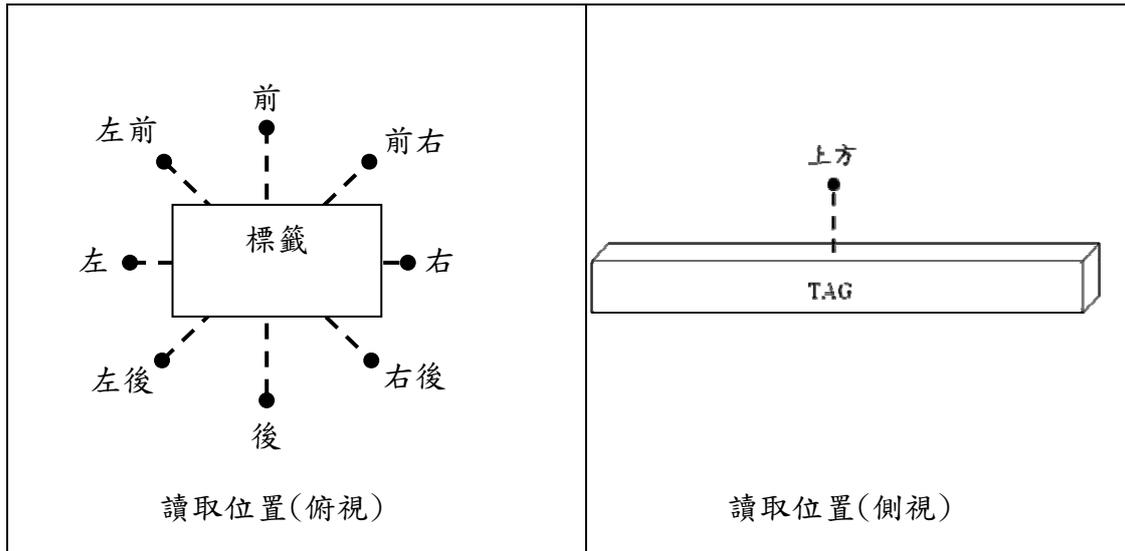


圖4.16 讀取測試範圍示意圖

4.4 實驗材料與設備

4.4.1 RFID 設備

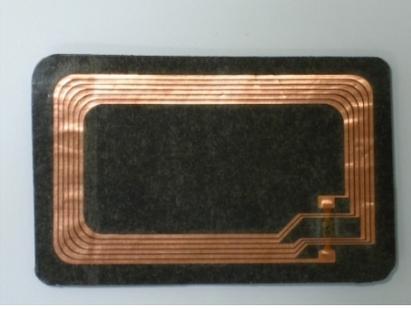
一、RFID 標籤：本實驗以被動式(LF、HF、UHF)三種標籤及主動式標籤(UHF) 作為測試，如下圖4.17至4.31與說明如下表4.4至4.6

表 4.4 低頻標籤規格說明

說明		
	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>keyfob A</p> <p>37.3 x30.6 x5.1 mm</p> <p>低頻125KHZ</p> <p>5 cm</p>
<p>圖 4.17 低頻標籤 keyfob A</p>		

 <p>圖 4.18 keyfob B 低頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>keyfob B</p> <p>37.3 x30.6 x5.1 mm</p> <p>低頻125KHZ</p> <p>5 cm</p>
 <p>圖4.19 Token低頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>Token</p> <p>34.6 x6.4 mm(ØxH)；內徑4.35 mm</p> <p>低頻125KHZ</p> <p>5 cm</p>
 <p>圖 4.20 厚卡 C2 低頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>厚卡C2</p> <p>86 x54 x0.8 mm</p> <p>低頻125KHZ</p> <p>8 cm</p>
 <p>圖 4.21 低頻標籤薄卡 C1</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>薄卡C1</p> <p>86 x54 x0.8 mm</p> <p>低頻125KHZ</p> <p>8 cm</p>

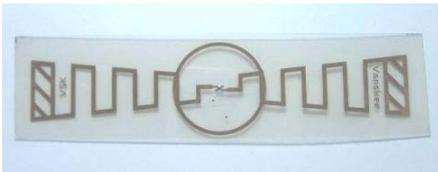
表4.5 高頻標籤規格說明

說明		
 <p>圖 4.22 卡片型高頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>ISO-15693 卡片標籤</p> <p>86mm x 54mm x 0.8mm</p> <p>13.56MHz</p> <p>8cm</p>
 <p>圖 4.23 鑰匙圈型高頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>ISO-15693 標籤</p> <p>54 x32 x3 mm</p> <p>13.56MHz</p> <p>4cm</p>
 <p>圖4.24 長卡型高頻防磁標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>ISO-15693 卡片標籤</p> <p>86mm x 54mm x 0.8mm</p> <p>13.56MHz</p> <p>8cm</p>
 <p>圖4.25 高頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>Token</p> <p>86mm x 54mm x 0.8mm</p> <p>13.56MHz</p> <p>5cm</p>

 <p>圖 4.26 卡片型高頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>ISO-15693 卡片標籤</p> <p>86mm x 54mm x 0.8mm</p> <p>13.56MHz</p> <p>8cm</p>
---	--	---

表 4.6 超高頻、主動式標籤規格說明

說明		
 <p>圖4.27 卡片型超高頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>EPC Gen2 卡片標籤</p> <p>86mm x 54mm x 0.8mm</p> <p>922MHz</p> <p>2.8m</p>
 <p>圖4.28 厚卡超高頻標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>EPC Gen2 卡片標籤</p> <p>86mm x 54mm x 0.8mm</p> <p>922MHz</p> <p>3.2m</p>
 <p>圖4.29 超高頻防磁標籤</p>	<p>產牌名稱</p> <p>尺寸(H*W*D)</p> <p>頻率</p> <p>讀取距離</p>	<p>Gen2 metal tag-D 86mm</p> <p>x 54mm x 0.8mm</p> <p>922MHz</p> <p>3.2m</p>

 <p>圖 4.30 超高頻標 PET</p>	產牌名稱 尺寸(H×W×D) 頻率 讀取距離	UHF-PET Gen2 100×25×0.5mm UHF 922~9286MHz 45cm
 <p>圖 4.31 2C 主動式標籤</p>	產牌名稱 尺寸(H*W*D) 頻率 讀取距離	MicrowaveSYTAG245-2S 42mm x 30mm x 10mm 2.40~2.48GHz 10~30m

二、RFID 讀取器：本實驗以被動式(LF、HF、UHF)與主動式四種讀取器作為測試。如下圖4.32至4.34。

 <p>圖 4.32 PDA+低頻 Reader</p>	PDA	產牌名稱 尺寸 (H*W*D) 功能	Acer N50 120 mm x 70 mm x 17mm CF Type II 擴充插槽
 <p>圖4.33 PDA+高頻Reader</p>	PDA	廠牌名稱 尺 寸 (H*W*D) 功能	Hp hx2700 120 mm x 70 mm x 17mm CF Type II 擴充插槽
	Reader	廠牌名稱 尺 寸 (H*W*D) 讀取頻率 讀取距離	SUNION 84mm x 43mm x 6mm CF-1700T 125KHz MAX 15cm
	Reader	廠牌名稱 尺 寸 (H*W*D) 讀取頻率 讀取距離	AWID MPR1230 120mm x 75mm x 15mm 13.56MHz MAX 30cm

 <p>圖4.34 平板電腦+超高頻 Reader</p>	平板電腦	產牌名稱 尺寸 (H*W*D) 功能	HP 33.1 x 24.3 x 3.4cm 觸控面板搭配滾輪區
	Reader	廠牌名稱 尺寸 (H*W*D) 讀取頻率 讀取距離	UHF-Block 11x11x5cm EPC Class1 GEN1 and GEN2 10~30cm

4.5 實驗步驟與流程

實驗之步驟與流程，將分為三種不同植入流程與三種不同植入方式，其目的為確認何種植入方式，可獲得良好之施工性、讀取能力與適切之植入方式，以下將分別說明三種不同之植入流程：

- 一、配合鋼筋組立作業之進度，同時將RFID標籤分別以綁紮鋼筋、附掛模版，二種不同之植入方式，將標籤固定，其目的為藉由此二種植入方式，以確保RFID標籤之位置，而後將柱與牆封模並且灌漿，灌漿完後隔天即拆側板，其後在第7天梁、版鋼筋組立時，將RFID標籤如前述之植入方法將標籤植入，之後於第14天拆模與第28天分別讀取數據，最後經由實驗之分析可知何種植入方式，其植入之流程如下圖4.35所示。
- 二、在柱、牆鋼筋組立完成後，將RFID標籤分別以綁紮鋼筋、附掛模版，二種不同之植入方式，將RFID標籤植入，而後經過封模、灌漿、拆側板之後於第7天梁、版鋼筋組立完成後時利用二種不同植入方式，將標籤植入，其後於第14天拆模並且讀取數據，之後於28天時讀取數據，最後則是將數據加以分析，以確立何種植入方式較為恰當，其植入之流程如下圖4.36所示。
- 四、於梁、柱、牆、版鋼筋組立完成後經封模、灌漿、震動搗實、抹平後，將卡

片型標籤以長邊與短邊之方式植入初凝之混凝土(而其他種形式之標籤則直接植入混凝土中)，而後灌漿完成後之隔天即拆側版、其後於第14天拆模時讀取數據，與第28天讀取數據，最後經由實驗之分析，以確立何種植入方式為較恰當，其植入流程如下圖4.37所示。

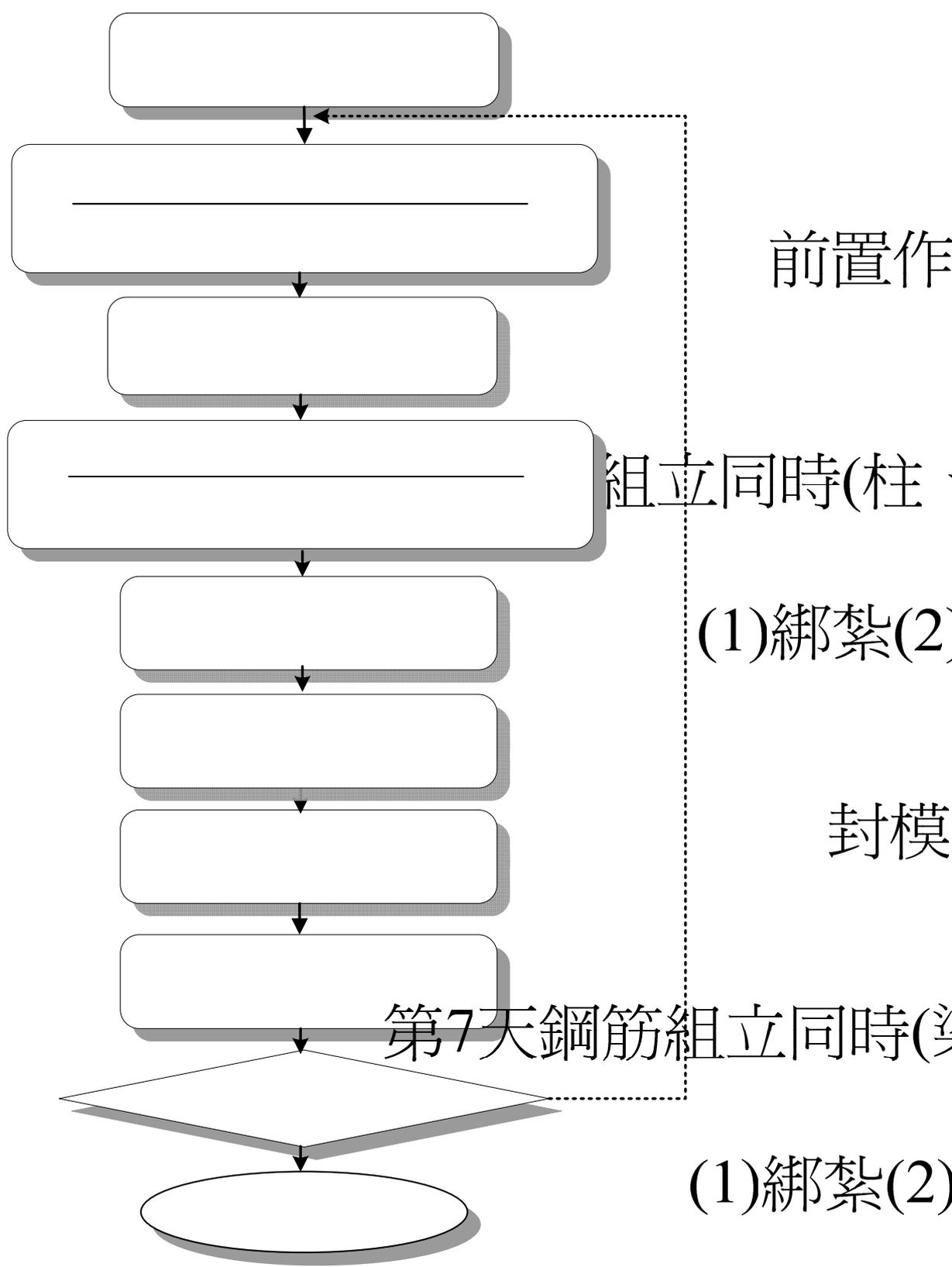


圖 4.35 配合鋼筋組立作業進度時植入標籤

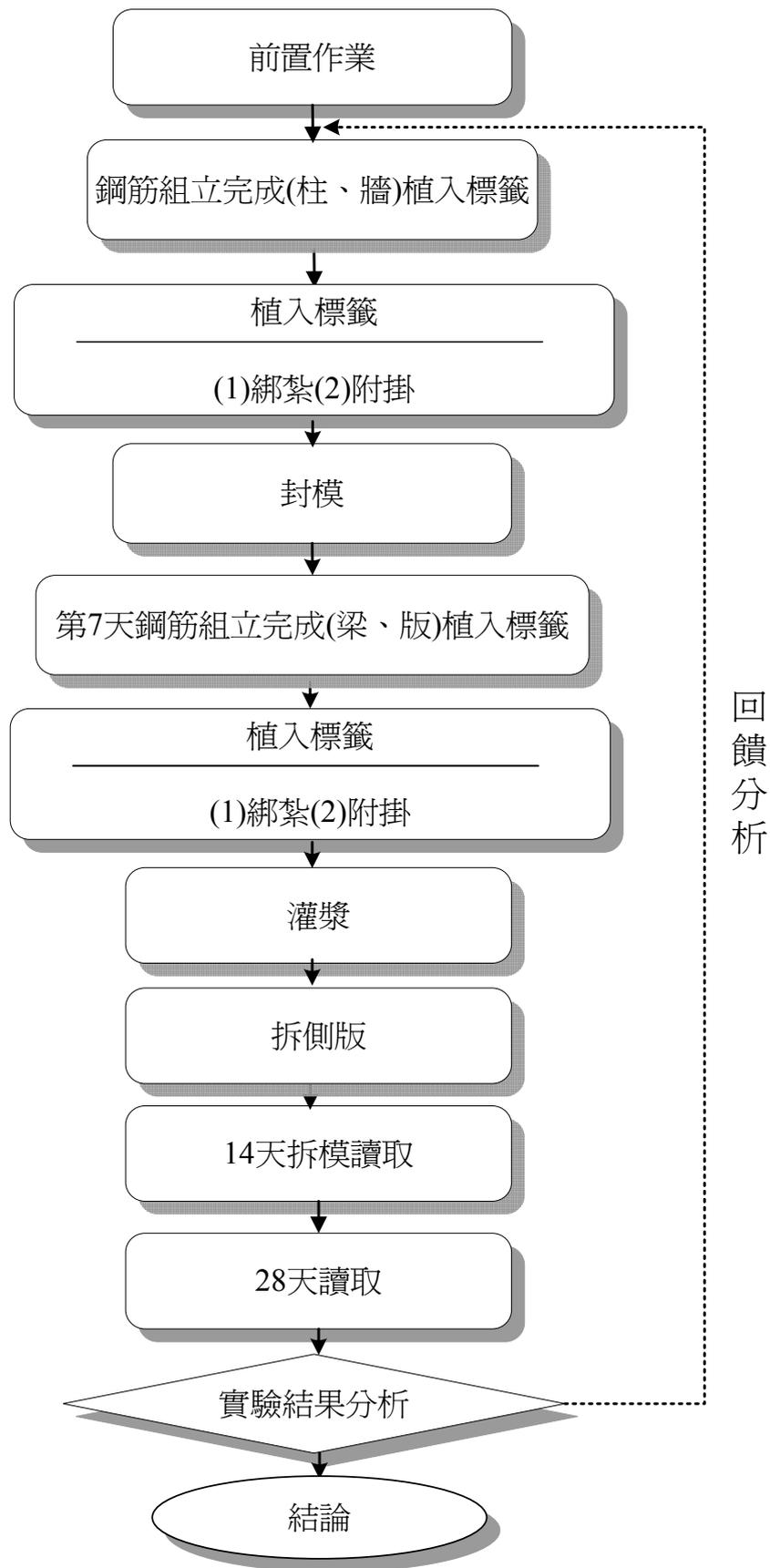


圖4.36 配合工程鋼筋組立作業完成後植入標籤

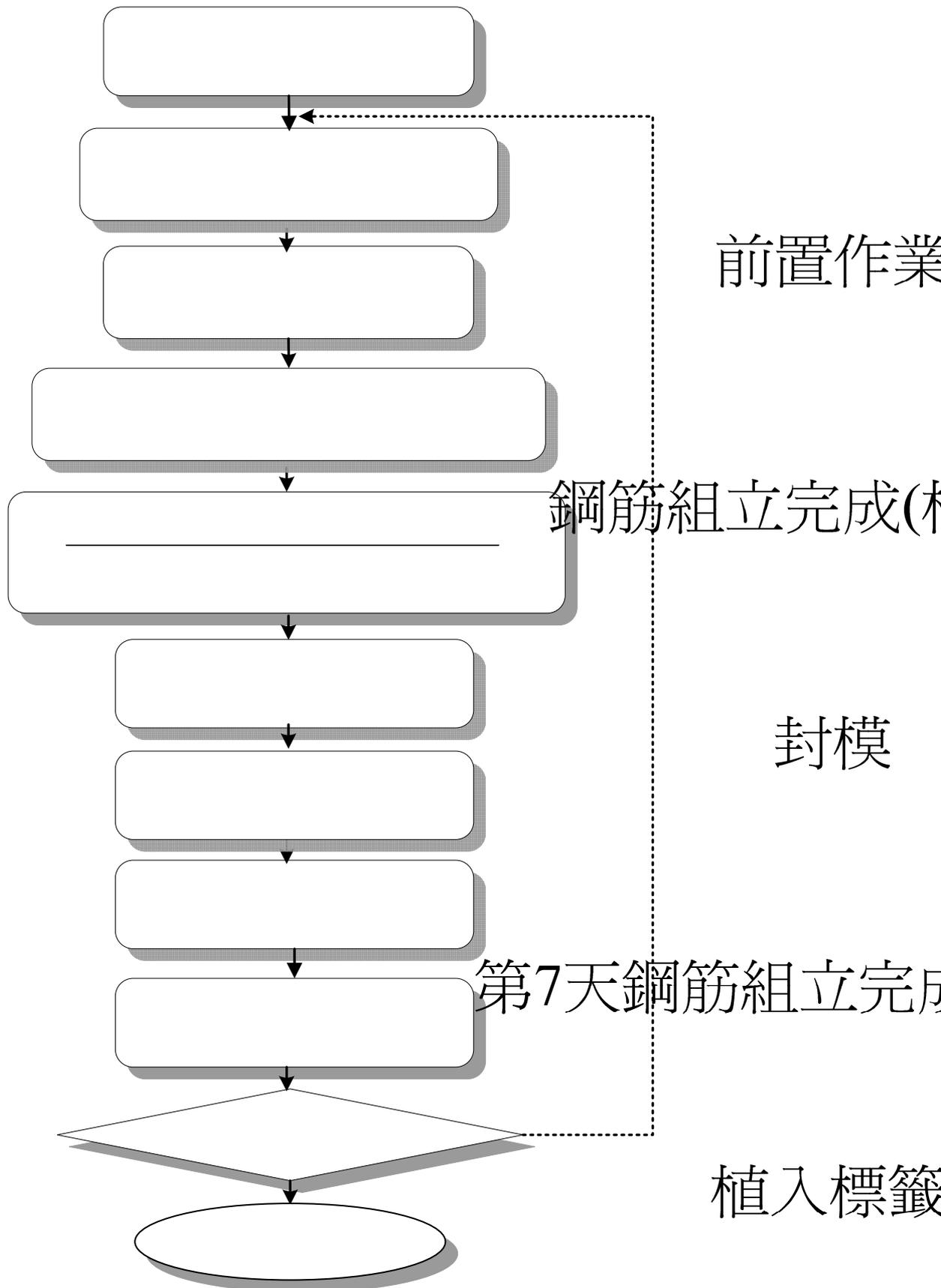


圖4.37 配合工程灌漿作業完成植入標籤 (1)長邊植入(2)短邊植入

4.6 實驗過程紀錄

實驗過程主要包含於鋼筋組立同時、鋼筋組立完成後、灌漿同時，將標籤以綁紮、附掛與現場植入三種不同植入方式，爾後透過RFID通信能力讀取，以確立標籤之適切植入方法與位置；茲將實驗過程擷取較具代表性照片記錄於下圖3.38至3.77：

以下實驗為配合實驗現場於鋼筋組立時將標籤植入，首先須將模版組立完成後，配合實驗現場鋼筋組立將標籤以綁紮或附掛模版之方式固定，其綁紮與附掛情形如下圖4.38至4.49所示：



圖 4.38 鋼筋尚未綁紮時之現況



圖 4.39 實驗準備

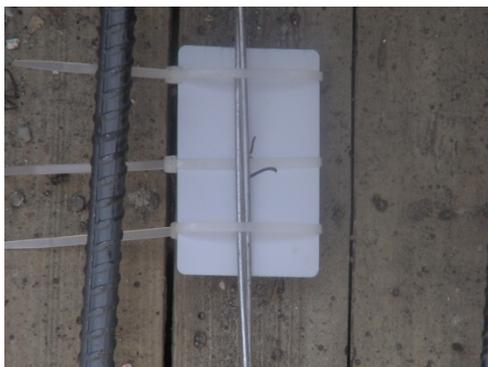


圖 4.40 低頻標籤短邊綁紮於梁底側



圖 4.41 低頻標籤長邊綁紮於梁底側



圖 4.42 高頻標籤長邊綁紮於梁內側



圖 4.43 高頻標籤短邊綁紮於梁內側



圖 4.44 高頻標籤綁紮於版



圖 4.45 高頻標籤綁紮於版



圖 4.46 超高頻標籤附掛於版之模板



圖 4.47 防磁超高頻標籤附掛於版



圖 4.48 超高頻標籤附掛於梁內側



圖 4.49 超高頻標籤附掛於梁內側

以下實驗為實驗現場於鋼筋組立完成時將標籤植入；首先須將鋼筋組立完成後，將標籤以綁紮或附掛模版之方式固定，其綁紮與附掛情形如下圖4.50至4.65所示：



圖 4.50 實驗現場鋼筋綁紮完成時



圖 4.51 實驗準備



圖 4.52 高頻防磁標籤綁紮於梁底側



圖 4.53 高頻防磁標籤綁紮於梁底側

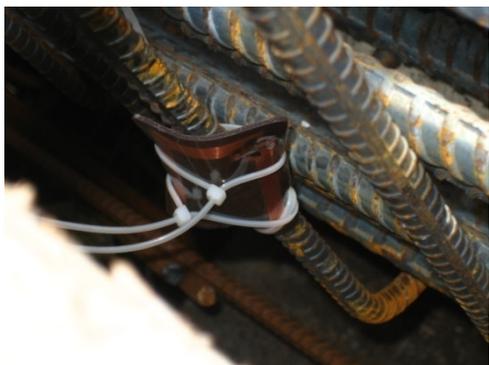


圖 4.54 高頻防磁標籤綁紮於梁內側

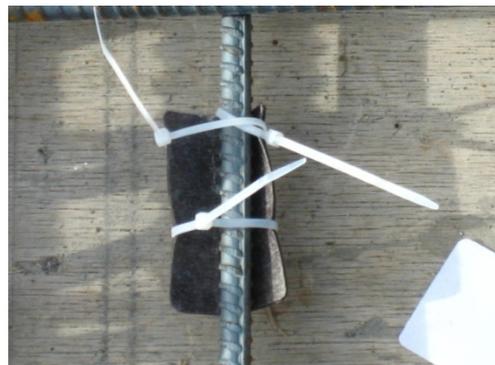


圖 4.55 高頻防磁標籤綁紮於版上鋼筋



圖 4.56 高頻防磁標籤綁紮於梁內側



圖 4.57 高頻防磁標籤綁紮於版上鋼筋



圖 4.58 高頻標籤綁紮於版



圖 4.59 高頻標籤綁紮於版



圖4.60 超高頻標籤附掛於版



圖4.61 高頻標籤附掛於版



圖4.62 超高頻標籤附掛於梁內側



圖 4.63 超高頻標籤附掛於梁內側



圖 4.64 主動式標籤綁紮於版



4.65 主動式標籤綁紮於梁內側

圖

以下實驗為實驗現場於灌漿搗實完成時將標籤植入；首先灌漿搗實完成後，將標籤以植入之方式將標籤植入混凝土中，其植入情形如下圖4.66至4.73所示：



圖 4.66 實驗現場現況



圖 4.67 實驗現場卸料作業



圖4.68 實驗現場灌漿作業



圖4.69 實驗現場灌漿作業



圖 4.70 低頻標籤植入



圖 4.71 低頻現場植入



圖 4.72 低頻標籤植入於梁內側



圖 4.73 低頻標籤植入於版

以下實驗為實驗現場於第 14 天與 28 天拆模後，標籤讀取之情形；其讀取情形如下圖 4.74 至 4.77 所示：



圖 4.74 第 14 天拆模



圖 4.75 28 天工地現況



圖 4.76 標籤讀取



圖 4.77 標記記號

4.7 標籤讀取測試與實驗數據分析

4.7.1 讀取率

本研究根據實驗紀錄分析可得，低頻、高頻、超高頻與主動式標籤皆可讀取，然表中之高頻標籤因實驗規劃時未慎選其防水效果，故防磁高頻標籤部分皆無法讀取，另超高頻標籤與主動式標籤，其讀取率為 100%皆可讀取，但其讀取效果不佳，其可能原因為受鋼筋與混凝土之影響，故其讀取效果不佳，茲將讀取率彙整如下表 4.7 所示：

表 4.7 讀取率

植入方式	固定方式	標籤頻段	讀取率
綁紮	綁紮於鋼筋與鋼筋間	LF	100%
		HF	100%
	綁紮鋼筋	LF	100%
		HF	85.71%
		UHF	100%
附掛	附掛模板	LF	100%
		HF	89.8%
		UHF	100%
灌漿	現場植入	LF	0%
綁紮	主動式標籤	UHF	100%

4.7.2 實驗數據分析

本研究藉由實驗結果確認RFID讀取的通信距離，並應用統計學常態曲線(normal curve)中的「68-95-99.7」規則(The 68-95-99.7 rule)，其此規則是在具有平均數 μ 及標準差 σ 的常態分配中68%的觀測值落在距平均數一個標準差的範圍內；95%的觀測值落在距平均數兩個標準差的範圍內；99.7%的觀測值落在距平均數三個標準差的範圍內【王念孫等人，2002】，而本研究採用以一個標準差來度量離散度並查驗觀測值離平均數有多遠的概念判定數據之合理範圍，(而所謂的標準差即樣本變異數的開方值，又樣本變異數為一組資料與平均數之差的平方和的平均值)另外藉由實驗結果得知RFID 植入RC 構件之影響程度，最後確認RFID系統導入混凝土構件之可行性；其數據分析如下分別為遠揚士林如下圖4.78至4.139及中正杭州如下圖4.140至4.216所示。

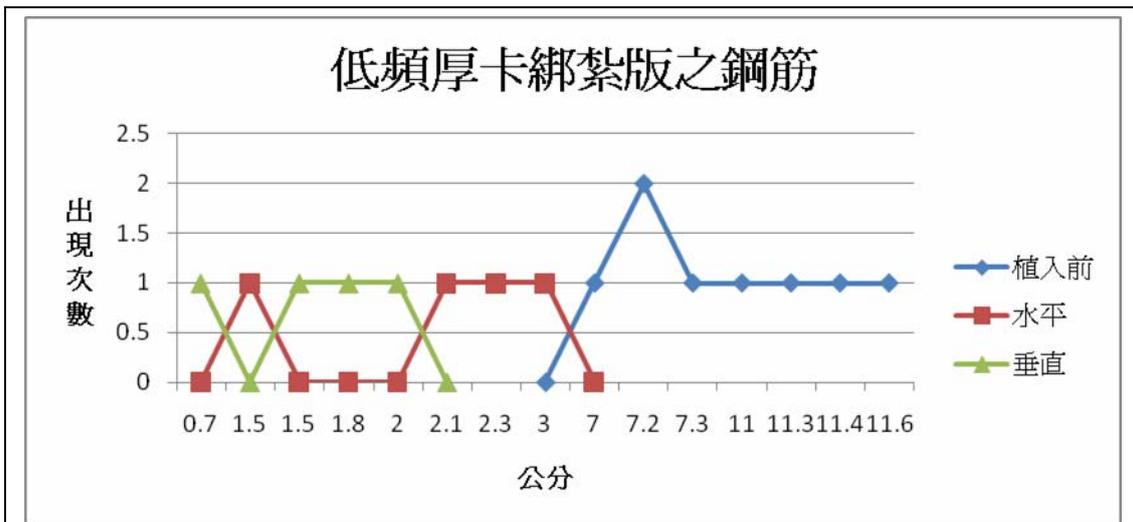


圖 4.78 低頻-厚卡綁紮於版之鋼筋

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於版之鋼筋前其讀取範圍為 7 公分至 11.6 公分。
2. 低頻厚卡片型標籤於以水平方向綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 1.5 公分至 3 公分。
3. 低頻厚卡片型標籤於以垂直方向綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 0.7 公分至 2 公分。

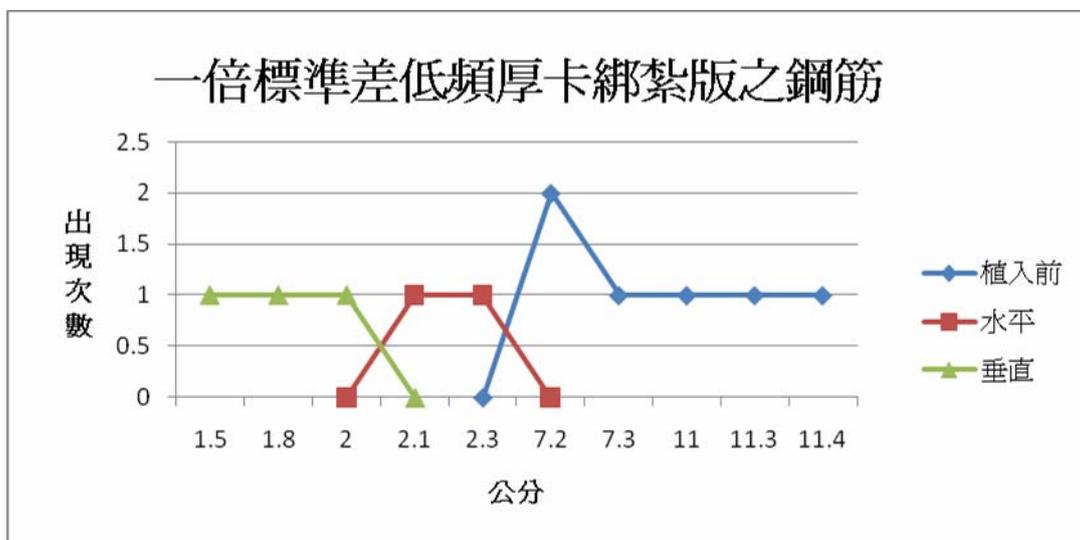


圖 4.79 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於版之鋼筋

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於版之鋼筋前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 11.4 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻厚卡片型而標籤以水平方向綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.3 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。
3. 低頻厚卡片型而標籤以垂直方向綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 1.5 公分至 2 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

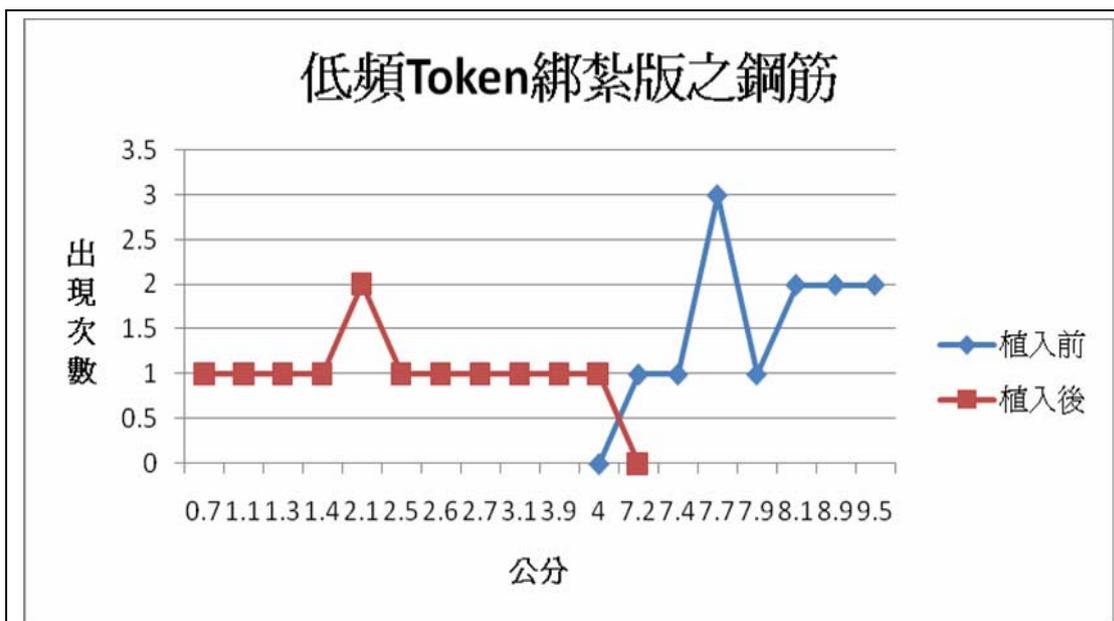


圖 4.80 低頻-Token 綁紮於版之鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤於綁紮前其讀取範圍為 7.2 公分至 9.5 公分。
2. 低頻-Token 型標籤於綁紮後其讀取範圍為 0.7 公分至 4 公分。

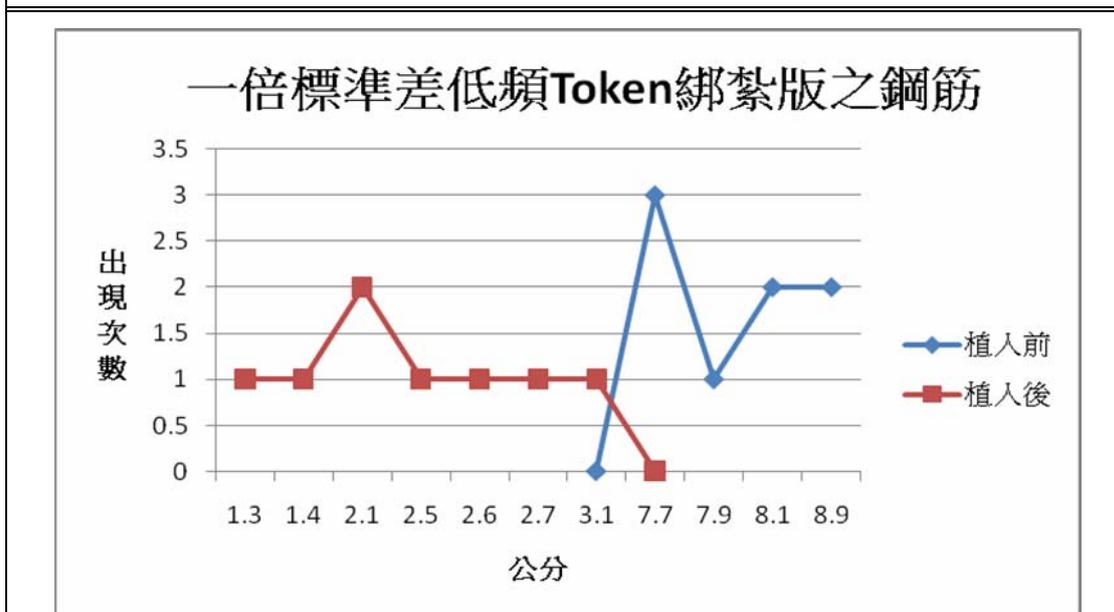


圖 4.81 低頻-Token 一倍標準差綁紮於版之鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於版之鋼筋前，其適當讀取距離為 7.7 公分至 8.9 公分，共有 8 個標籤約為 66.67% 符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 1.3 公分至 3.1 公分，共有 8 個標籤約為 66.67% 符合標準。



圖 4.82 高頻-Token 綁紮於版之鋼筋

1. 高頻 Token 型標籤於綁紮於版之鋼筋前其讀取範圍為 7.2 公分至 7.8 公分。
2. 高頻 Token 型標籤於綁紮於版之鋼筋後其讀取範圍為 2 公分至 4 公分。

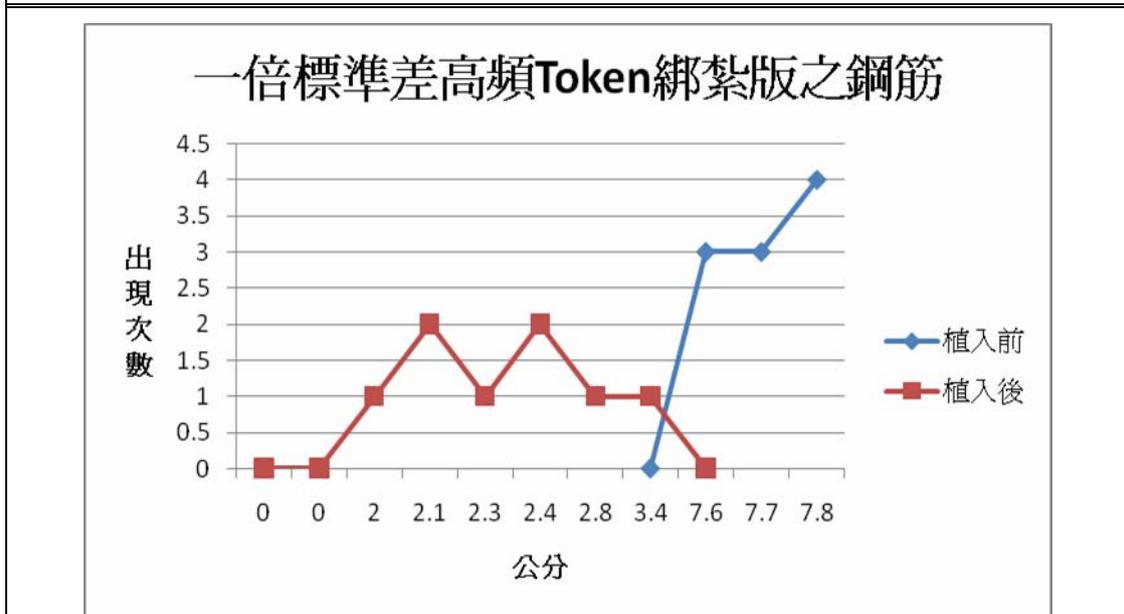


圖 4.83 一倍標準差高頻-Token 綁紮於版之鋼筋

1. 高頻 Token 型標籤綁紮於版之鋼筋前，其適當讀取距離為 7.6 公分至 7.8 公分，共有 10 個標籤約為 62.5%符合標準。
2. 高頻 Token 型而標籤以綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2 公分至 3.4 公分，共有 8 個標籤約為 50%符合標準。

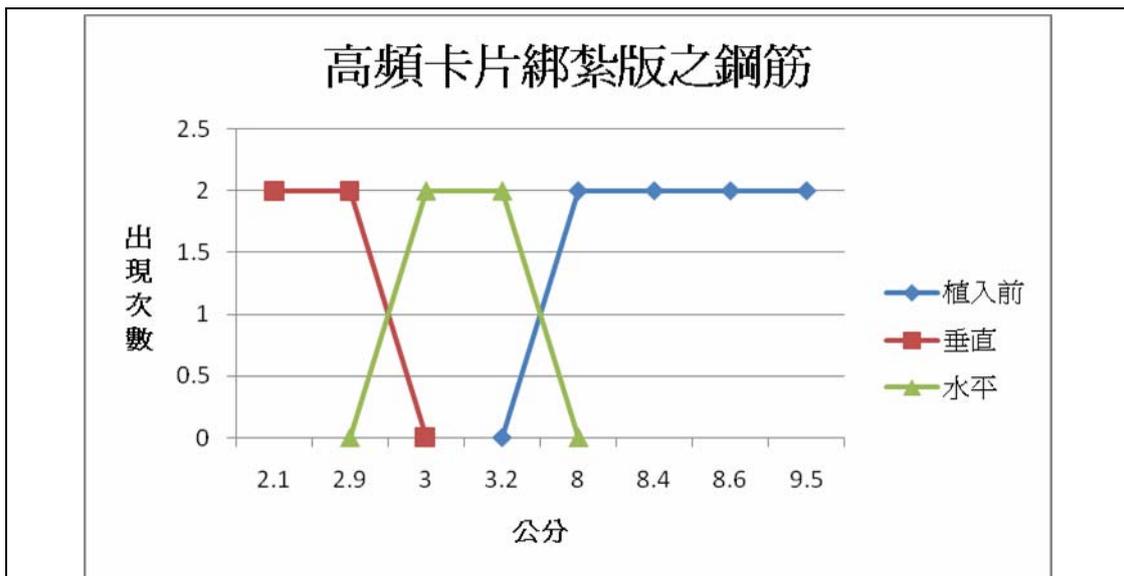


圖 4.84 高頻-卡片綁紮於版之鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮於版之鋼筋前其讀取範圍為 8 公分至 9.5 公分。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 3 公分至 3.2 公分。
3. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.9 公分。

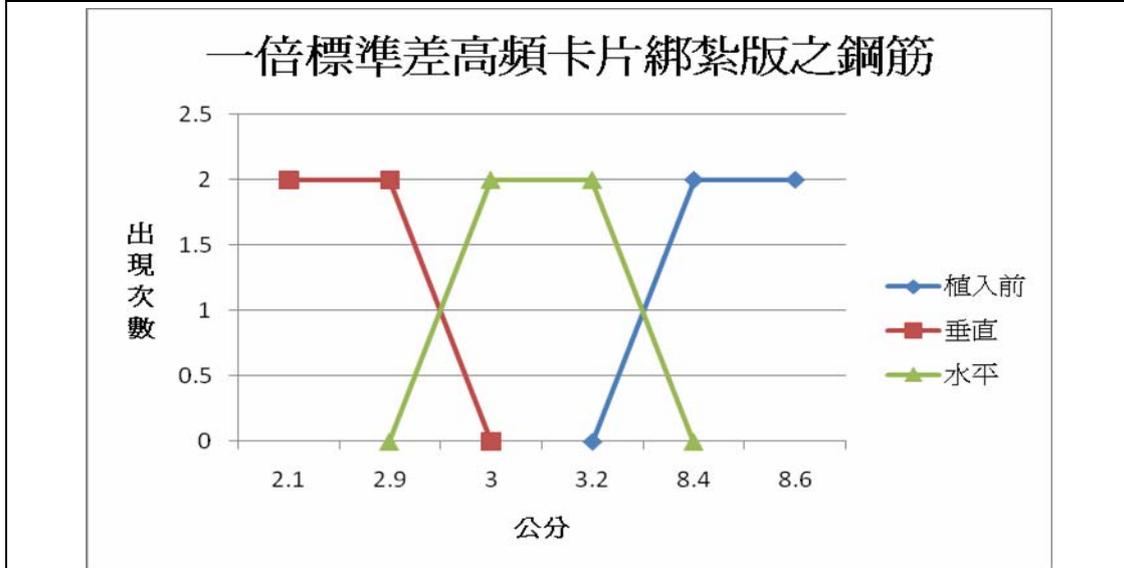


圖 4.85 一倍標準差高頻-卡片型綁紮於版之鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮於版之鋼筋前，其適當讀取距離為 8.4 公分至 8.6 公分，共有 4 個標籤約為 50% 符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 3 公分至 3.2 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。
3. 高頻卡片型而標籤以垂直方向綁紮於版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.9 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。

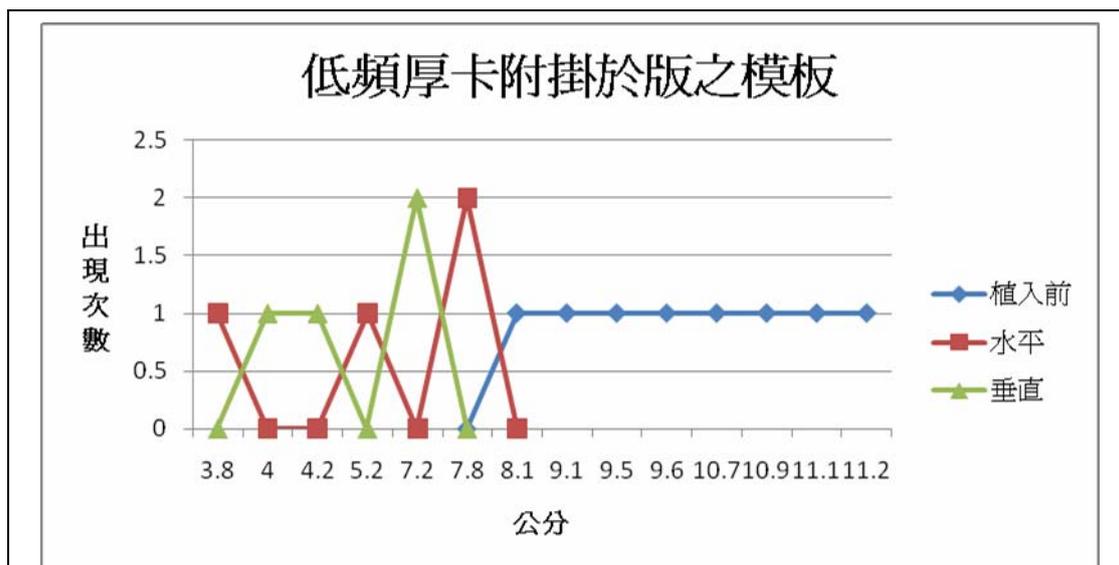


圖 4.86 低頻-厚卡附掛於版之模板

1. 低頻厚卡片型標籤附掛於版之模版前其讀取範圍為 8.1 公分至 11.2 公分。
2. 低頻厚卡片型標籤於以水平方向附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 3.8 公分至 7.8 公分。
3. 低頻厚卡片型標籤於以垂直方向附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 4 公分至 7.2 公分。

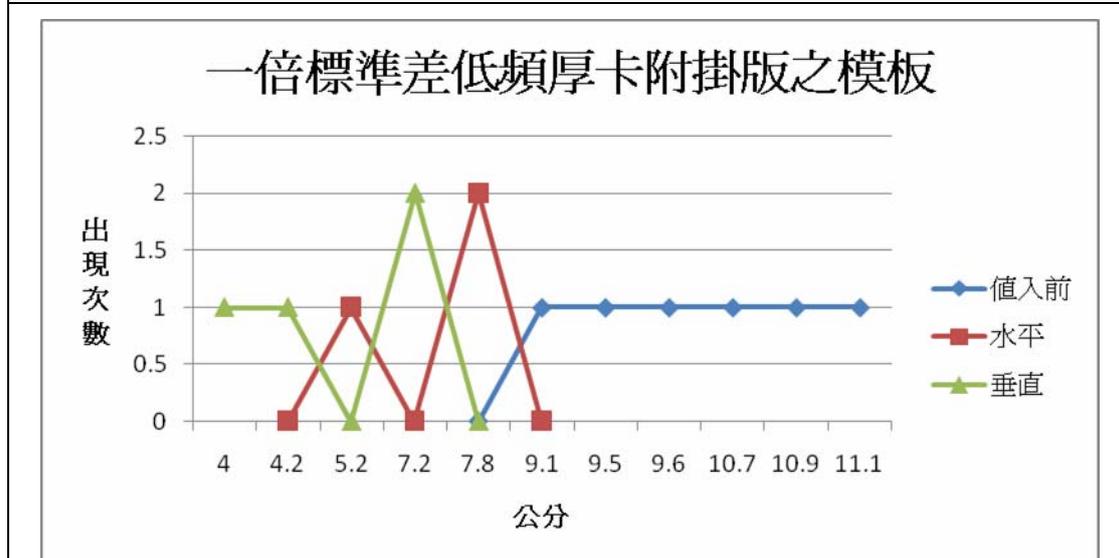


圖 4.87 一倍標準差低頻-厚卡附掛於版之模板

1. 低頻厚卡片型標籤附掛於版之模板前，其適當讀取距離為 9.1 公分至 11.1 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻厚卡片型而標籤以水平方向附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 5.2 公分至 7.8 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻厚卡片型而標籤以垂直方向附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 4 公分至 7.2 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。

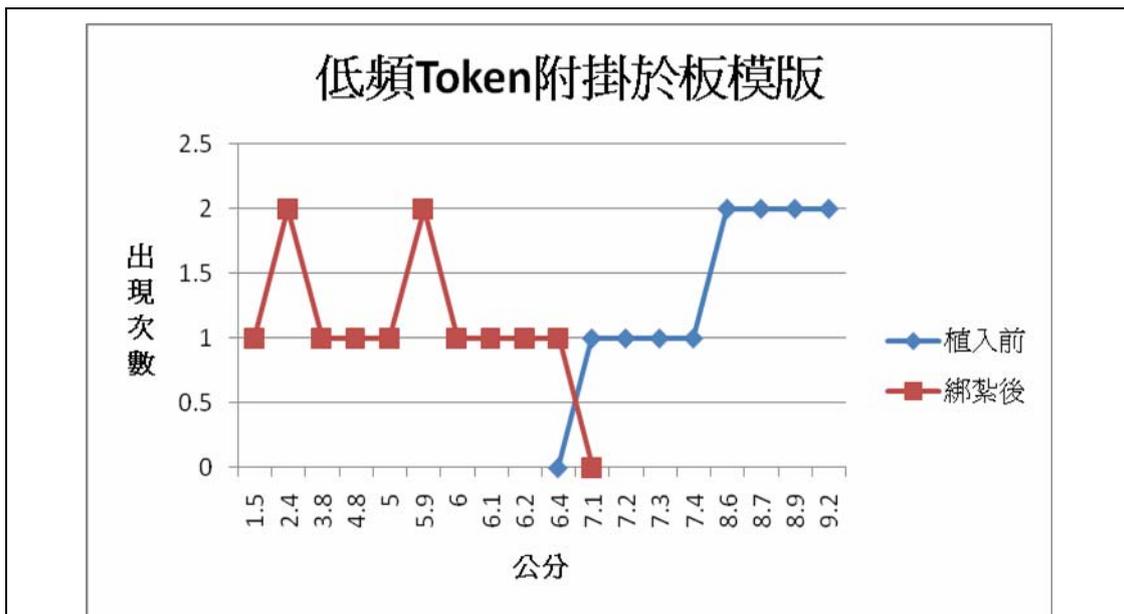


圖 4.88 低頻-Token 附掛於版之模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模版前其讀取範圍為 7.1 公分至 9.2 公分。
2. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模版後其讀取範圍為 1.5 公分至 6.4 公分。

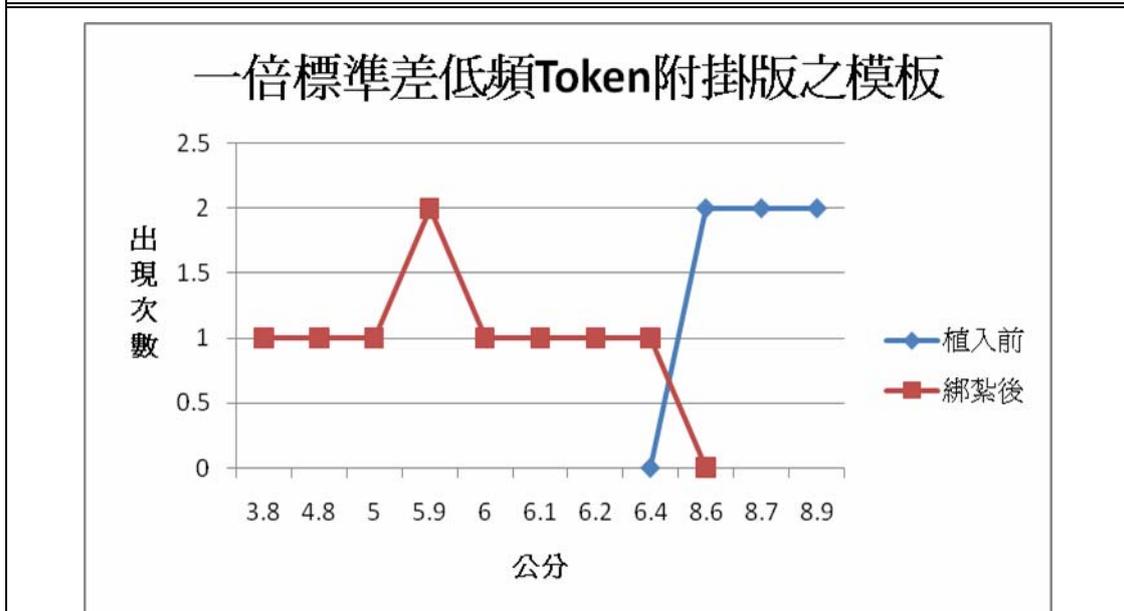


圖 4.89 一倍標準差低頻-Token 附掛於版之模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模版前，其適當讀取距離為 7.5 公分至 9.1 公分，共有 6 個標籤約為 50% 符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 3 公分至 6.4 公分，共有 9 個標籤約為 75% 符合標準。

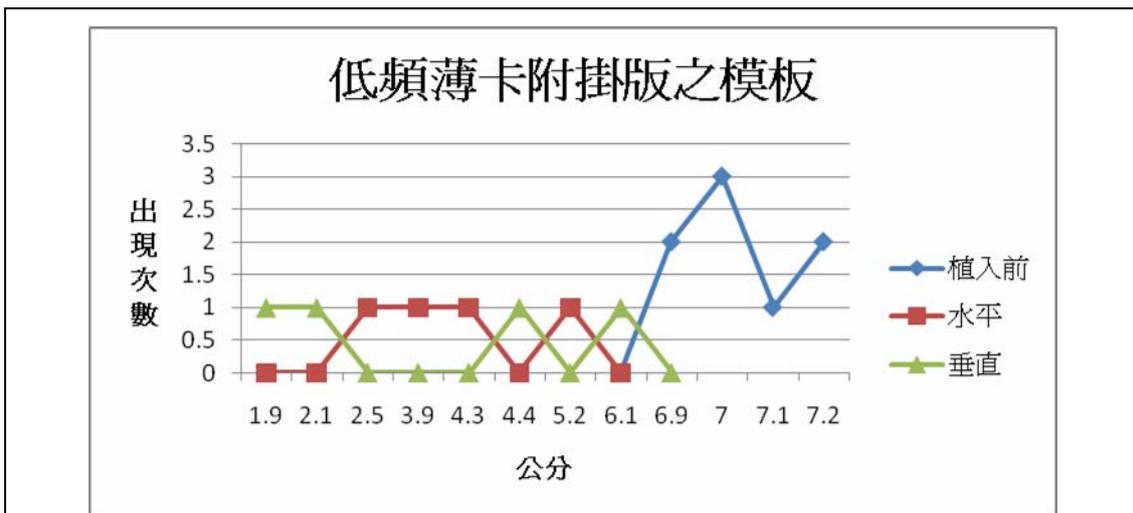


圖 4.90 低頻-薄卡附掛於版之模板

1. 低頻薄卡片型標籤附掛於版之模板前其讀取範圍為 6.9 公分至 7.2 公分。
2. 低頻薄卡片型標籤於以水平方向附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 2.5 公分至 5.2 公分。
3. 低頻薄卡片型標籤於以水平方向附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 1.9 公分至 6.1 公分。

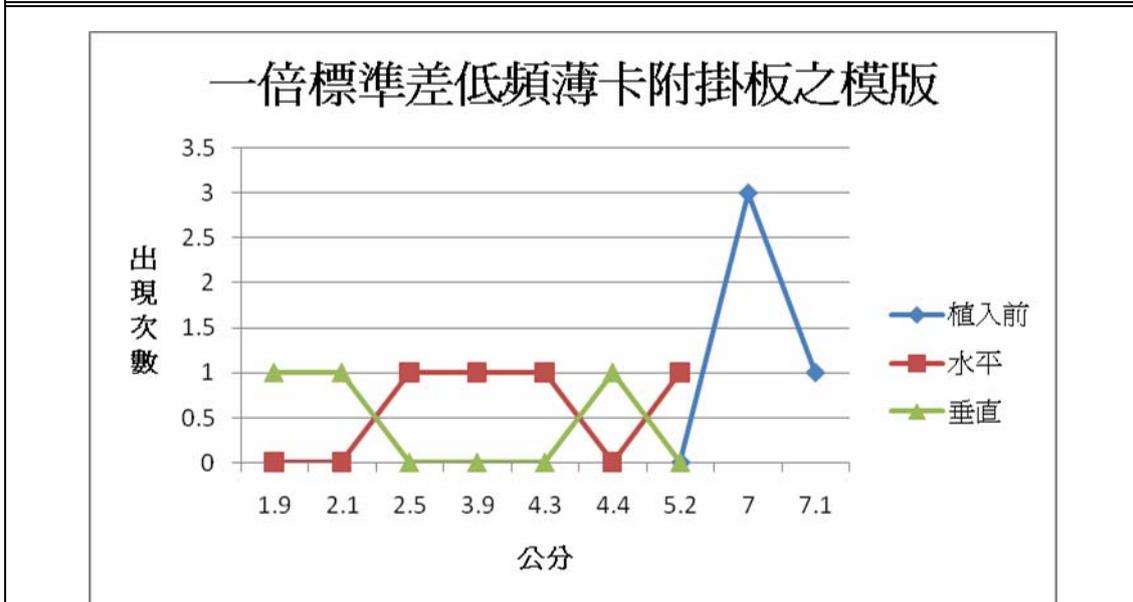


圖 4.91 一倍標準差低頻-薄卡附掛於版之模板

1. 低頻薄卡片型標籤附掛於版之模板前，其適當讀取距離為 7 公分至 7.1 公分，共有 4 個標籤約為 50%符合標準。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 2.5 公分至 5.2 公分，共有 4 個標籤約為 100%符合標準。
3. 低頻薄卡片型而標籤以垂直方向附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 1.9 公分至 4.4 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。

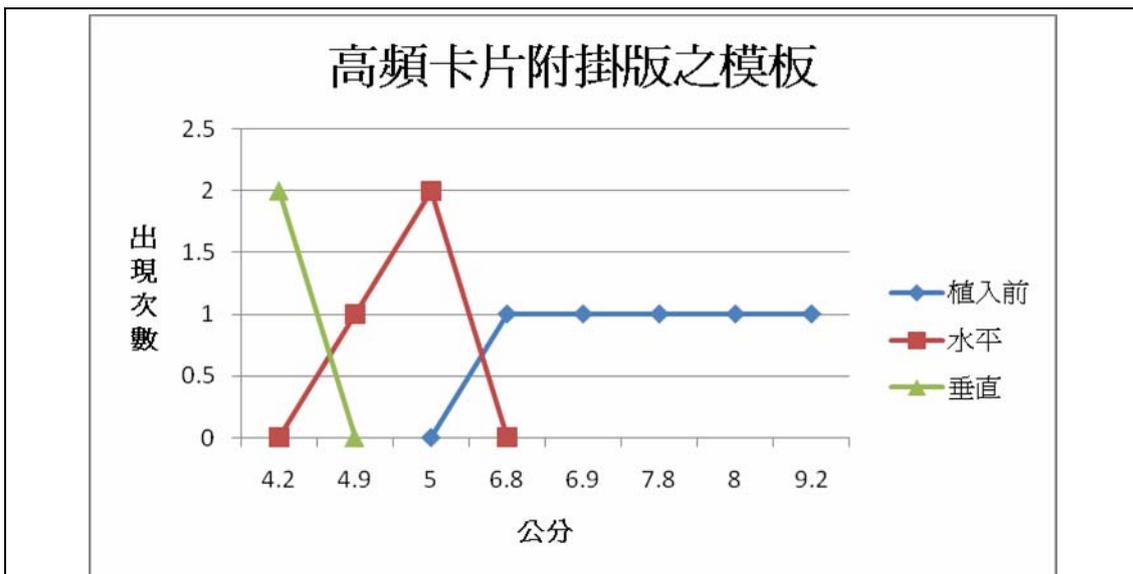


圖 4.92 高頻-卡片型標籤附掛版之模板

1. 高頻卡片型標籤於附掛版之模板前其讀取範圍為 6.8 公分至 9.2 公分。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 4.9 公分至 5 公分。
3. 高頻卡片型而標籤以水平方向附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 4.2 公分。

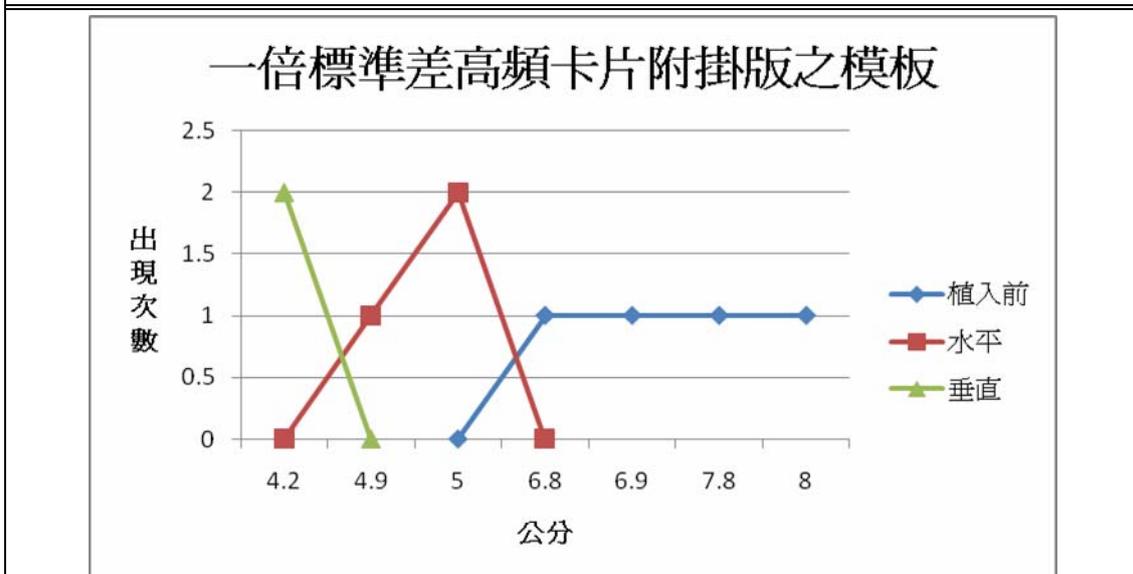


圖 4.93 一倍標準差高頻-標籤附掛版之模板

1. 高頻卡片型標籤附掛於版之模板前，其適當讀取距離為 6.8 公分至 8 公分，共有 4 個標籤約為 80%符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 4.9 公分至 5 公分，共有 3 個標籤約為 100%符合標準。
3. 高頻卡片型而標籤以垂直方向附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 4.2 公分，共有 2 個標籤約為 100%符合標準。

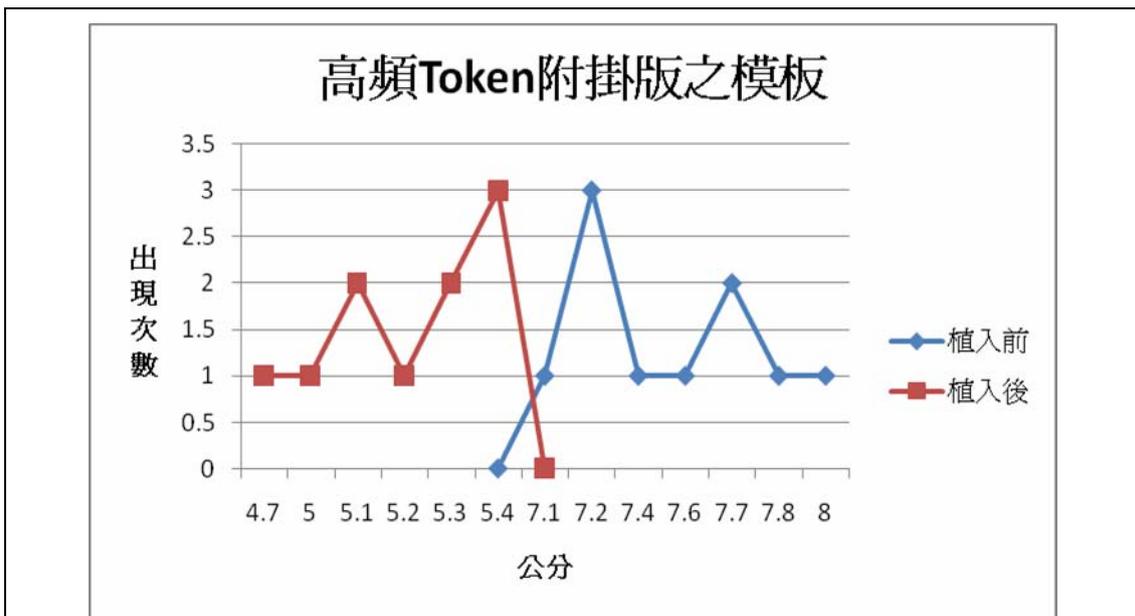


圖 4.94 高頻-Token 附掛於版之模板

1. 高頻-Token 型標籤附掛於版之模版前其讀取範圍為 7.1 公分至 8 公分。
2. 高頻-Token 型標籤附掛於版之模版後其讀取範圍為 4.7 公分至 5.4 公分。

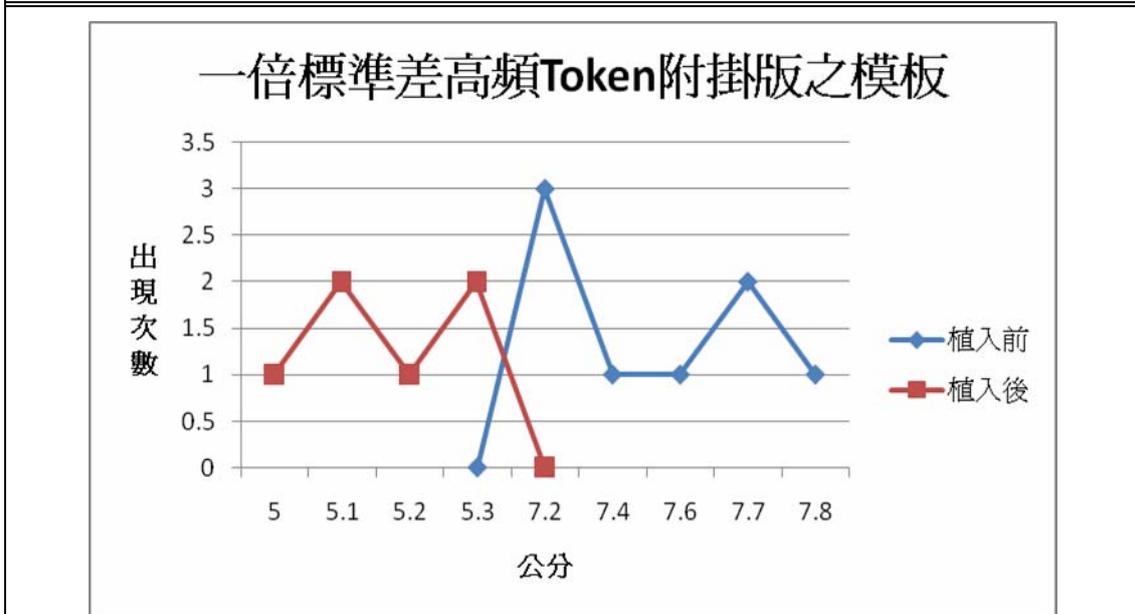


圖 4.95 一倍標準差高頻-Token 附掛於版之模版

1. 高頻-Token 型標籤附掛於版之模版前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 7.8 公分，共有 8 個標籤約為 80%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 5 公分至 5.3 公分，共有 6 個標籤約為 60%符合標準。

低頻Token綁紮於梁側邊與底部鋼筋

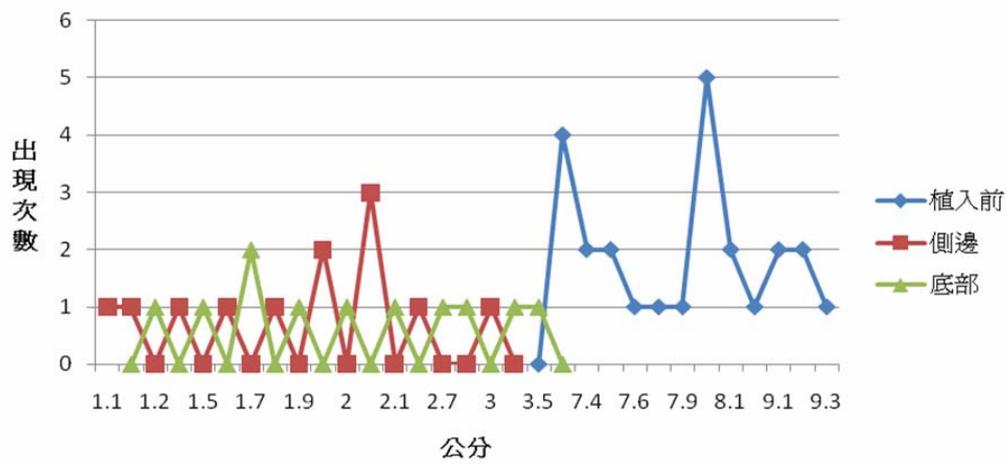


圖 4.96 低頻-Token 綁紮於梁側邊與底部鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於梁側邊與底部鋼筋前其讀取範圍為 7.2 公分至 9.4 公分。
2. 低頻-Token 型標籤綁紮於梁側邊鋼筋後其讀取範圍為 1.1 公分至 3 公分。
3. 低頻-Token 型標籤綁紮於梁底部鋼筋後其讀取範圍為 1.2 公分至 3.5 公分。

一倍標準差低頻Token綁紮於梁側邊與底部鋼筋

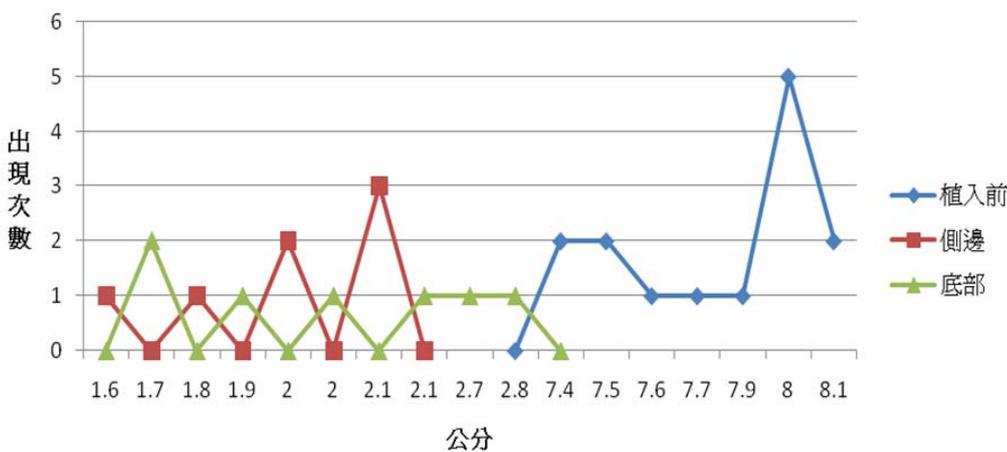


圖 4.97 一倍標準差低頻-Token 綁紮於梁側邊與底部鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於梁側邊與底部鋼筋前，其適當讀取距離為 7.4 公分至 8.1 公分，共有 14 個標籤約為 58.34%符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤綁紮於梁側邊鋼筋後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 2.1 公分，共有 7 個標籤約為 58.34%符合標準。
3. 低頻-Token 型而標籤綁紮於梁底部鋼筋後，其適當讀取距離為 1.7 公分至 2.8 公分，共有 7 個標籤約為 58.34%符合標準。

高頻Token綁紮梁側邊與底部鋼筋

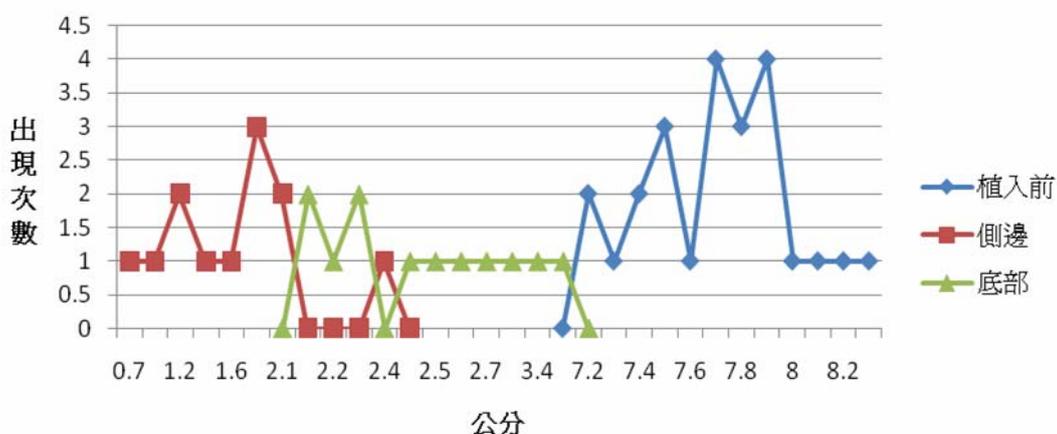


圖 4.100 高頻-Token 綁紮梁側邊與底部鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮梁側邊與底部鋼筋前其讀取範圍為 7.2 公分至 8.7 公分。
2. 高頻-Token 型標籤綁紮梁側邊鋼筋後其讀取範圍為 0.7 公分至 2.4 公分。
3. 高頻-Token 型標籤綁紮梁底部鋼筋後其讀取範圍為 2.1 公分至 4.6 公分。

一倍標準差高頻Token綁紮梁側邊與底部鋼筋

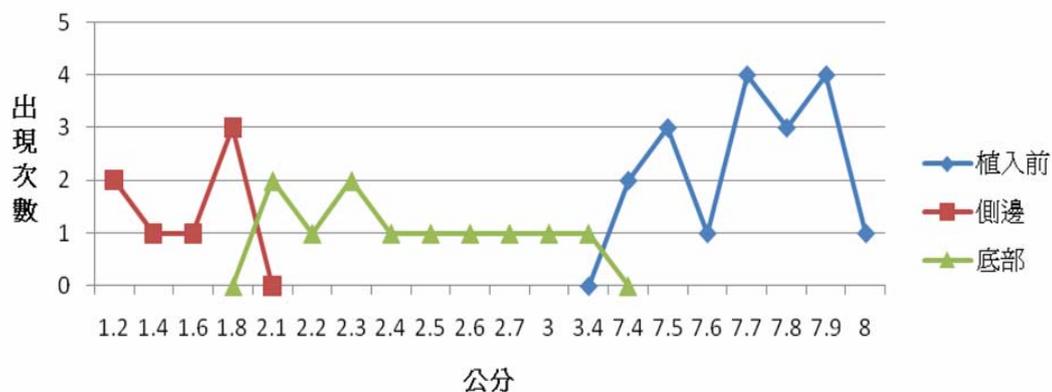


圖 4.101 一倍標準差高頻-Token 綁紮梁側邊與底部鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮梁側邊與底部鋼筋前，其適當讀取距離為 7.4 公分至 8 公分，共有 18 個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤綁紮梁側邊鋼筋後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 1.8 公分，共有 7 個標籤約為 58.34%符合標準。
3. 高頻-Token 型而標籤綁紮梁底部鋼筋後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 3.4 公分，共有 11 個標籤約為 91.67%符合標準。

高頻卡片綁紮梁側邊與底部中間鋼筋

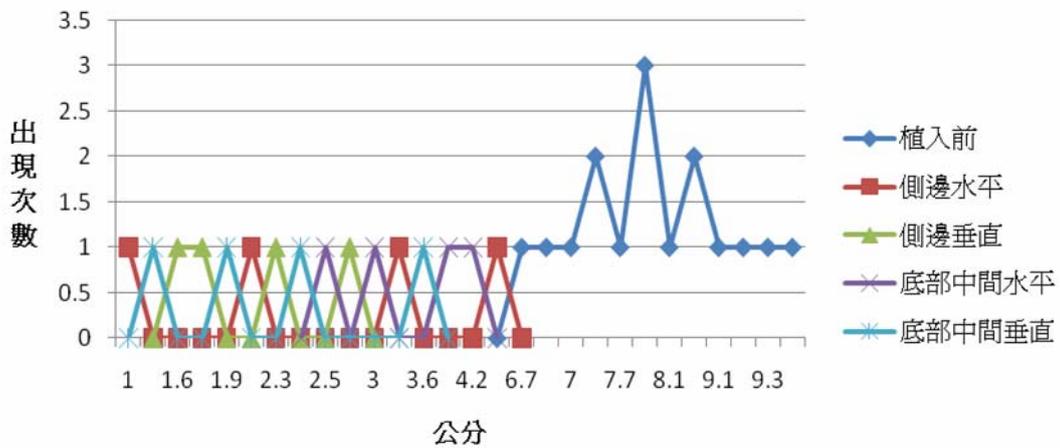


圖 4.102 卡片高頻-綁紮梁側邊與底部中間鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮梁側邊與底部中間鋼筋前其讀取範圍為 6.7 公分至 9.4 公分。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮梁側邊與鋼筋後，其適當讀取距離為 1 公分至 4.7 公分。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮梁側邊與鋼筋後，其適當讀取距離為 1.6 至 2.7 公分。
4. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮梁底部中間鋼筋後，其適當讀取距離為 2.5 至 4.2 公分。
5. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮梁底部中間鋼筋後，其適當讀取距離為 1.4 至 3.6 公分。

一倍標準差高頻卡片綁紮梁底部鋼筋中間

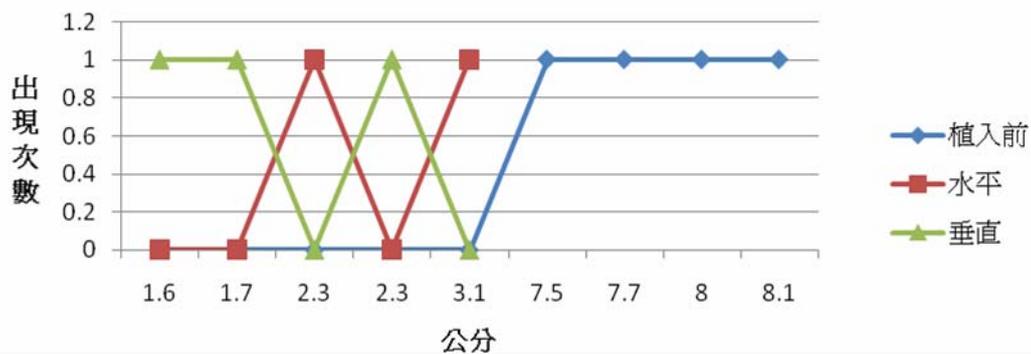


圖 4.103 一倍標準差卡片高頻-綁紮梁側邊與底部中間鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮梁側邊與底部中間鋼筋前，其適當讀取距離為 7.5 公分至 9 公分，共有 9 個標籤約為 56.25% 符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮梁側邊與底部中間鋼筋後，其適當讀取距離為 2.3 公分至 3.1 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。
3. 高頻卡片型而標籤以垂直方向綁紮梁側邊與底部中間鋼筋後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 2.3 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
4. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮梁側邊與底部中間鋼筋後，其適當讀取距離為 2.5 公分至 4.2 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。
5. 高頻卡片型而標籤以垂直方向綁紮梁側邊與底部中間鋼筋後，其適當讀取距離為 1.4 公分至 2.4 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

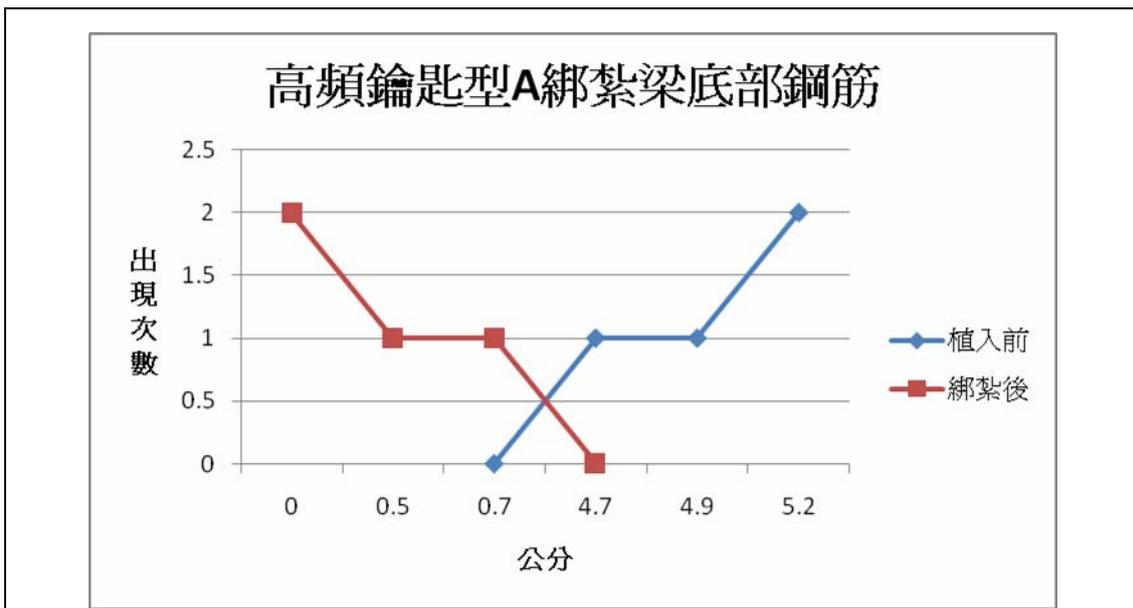


圖 4.104 高頻-鑰匙型 A 綁紮梁底部鋼筋

1. 高頻鑰匙 A 型標籤綁紮於梁底部鋼筋前其讀取範圍為 4.7 公分至 5.2 公分。
2. 高頻鑰匙 A 型而標籤綁紮於梁底部鋼筋後，其適當讀取距離為 0 公分至 0.7 公分。

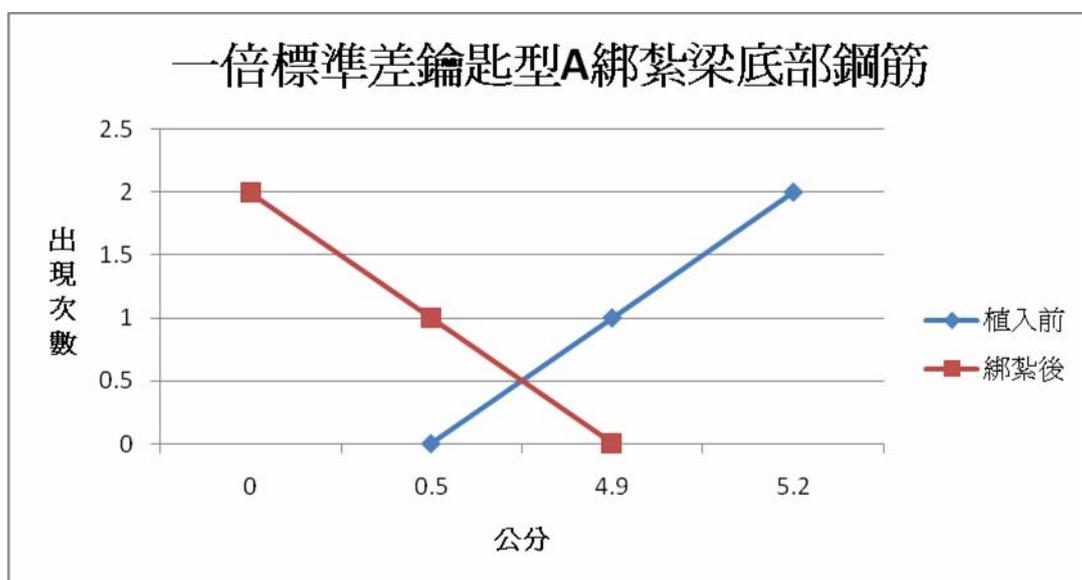


圖 4.105 一倍標準差高頻-鑰匙型 A 綁紮梁底部鋼筋

1. 高頻鑰匙 A 型標籤綁紮於梁底部鋼筋前其讀取範圍為 4.9 公分至 5.2 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 高頻鑰匙 A 型標籤綁紮於梁底部鋼筋前其讀取範圍為 0 公分至 0.5 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

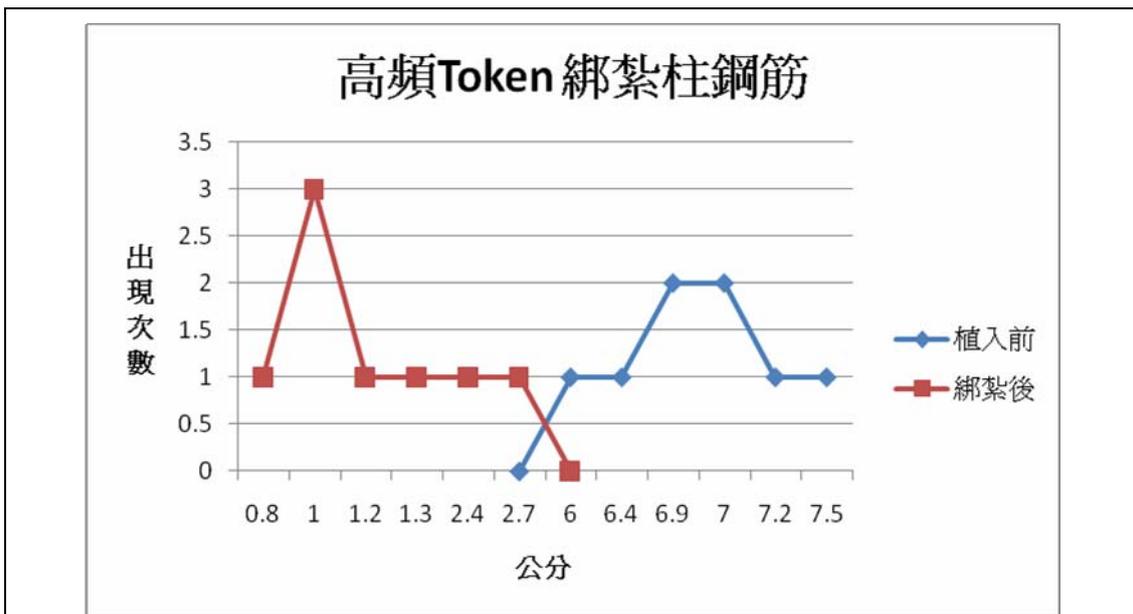


圖 4.106 高頻-Token 綁紮柱鋼筋

1. 高頻 Token 標籤綁紮柱鋼筋前其讀取範圍為 6 公分至 7.5 公分。
2. 高頻 Token 而標籤綁紮柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0.8 公分至 2.7 公分。

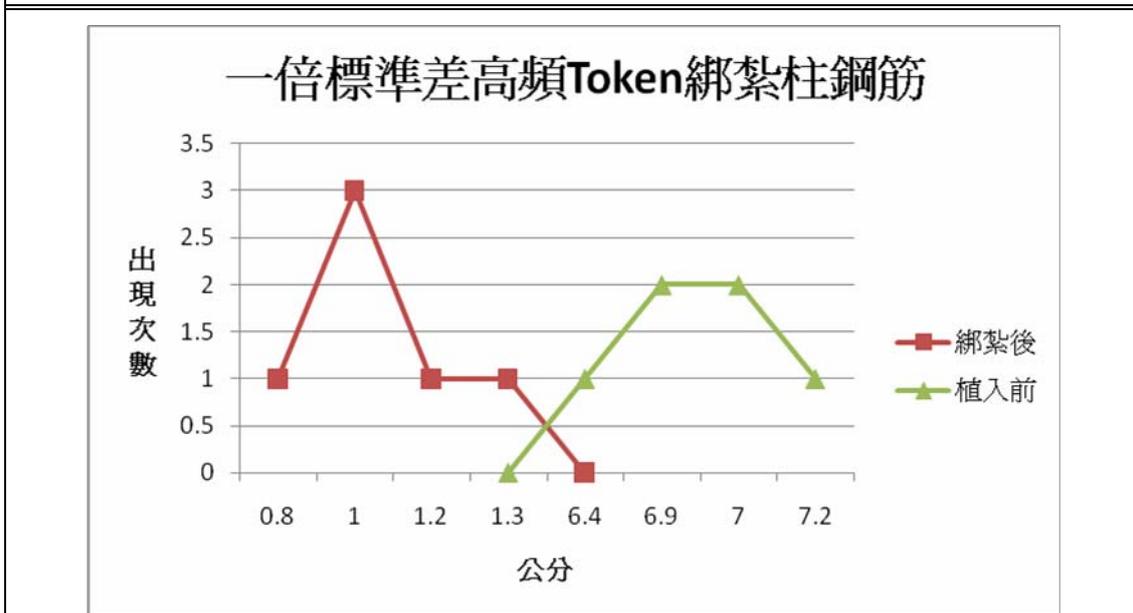


圖 4.107 一倍標準差高頻-Token 綁紮柱鋼筋

1. 高頻 Token 標籤綁紮柱鋼筋前其讀取範圍為 6.4 公分至 7.2 公分，共有 6 個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻 Token 而標籤綁紮柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0.8 公分至 1.3 公分，共有 6 個標籤約為 75%符合標準。

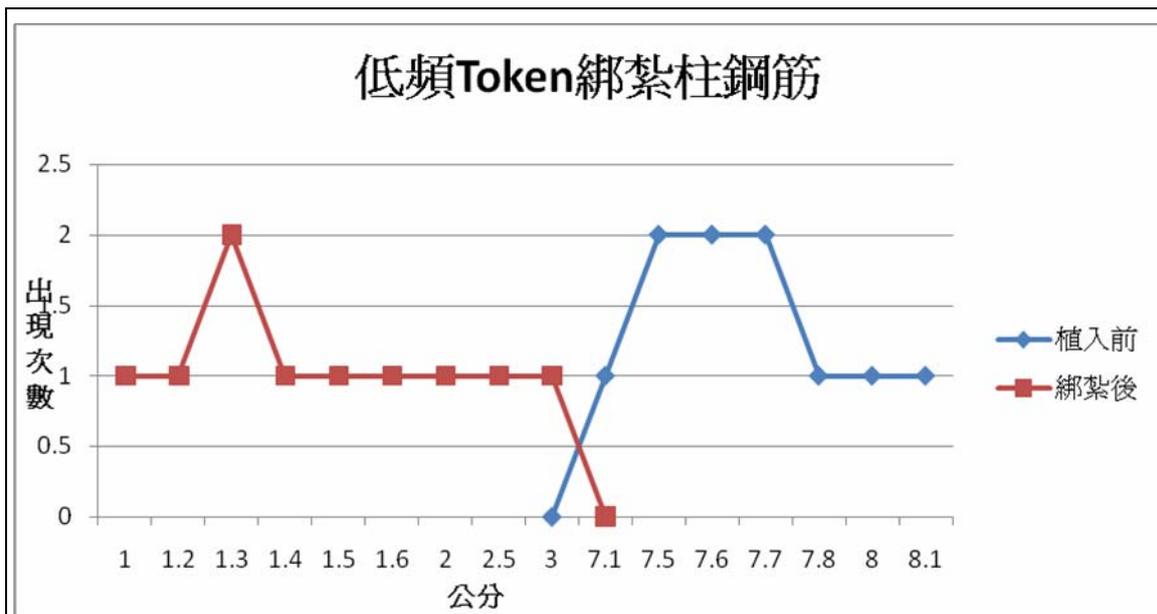


圖 4.108 低頻-Token 綁紮柱鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 7.1 公分至 8.4 公分。
2. 低頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋後其讀取範圍為 1 公分至 3 公分。

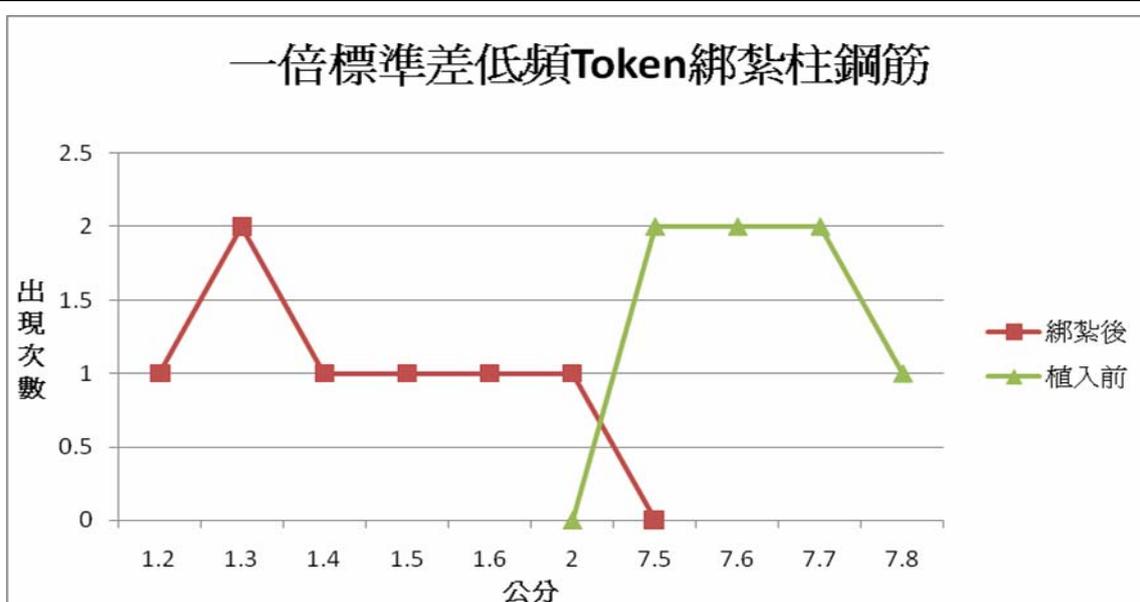


圖 4.109 一倍標準差低頻-Token 綁紮柱鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋前，其適當讀取距離為 7.5 公分至 7.8 公分，共有 7 個標籤約為 70% 符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 2 公分，共有 7 個標籤約為 70% 符合標準。

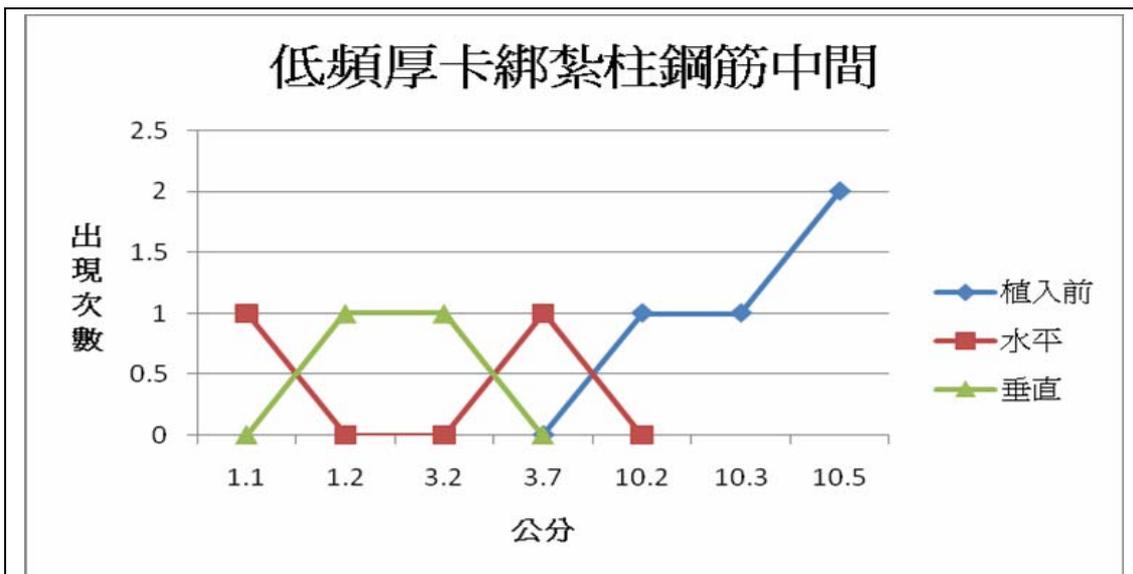


圖 4.110 低頻-厚卡綁紮柱鋼筋中間

1. 低頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 10.2 公分至 10.5 公分。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 3.7 公分。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.2 至 3.2 公分。

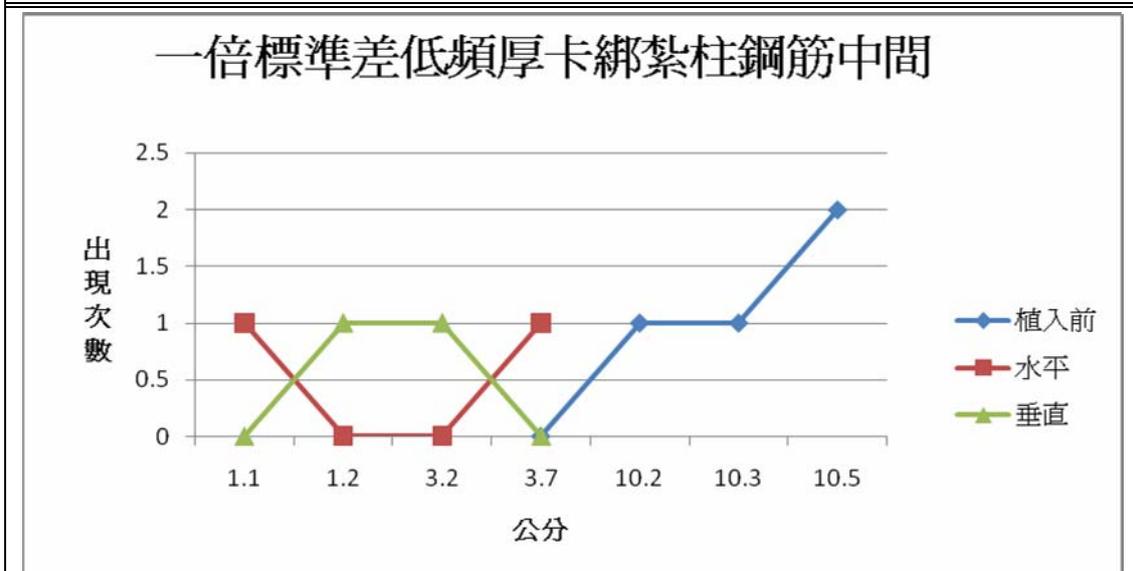


圖 4.111 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋中間

1. 低頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 10.2 公分至 10.5 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 3.7 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.2 至 3.2 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。

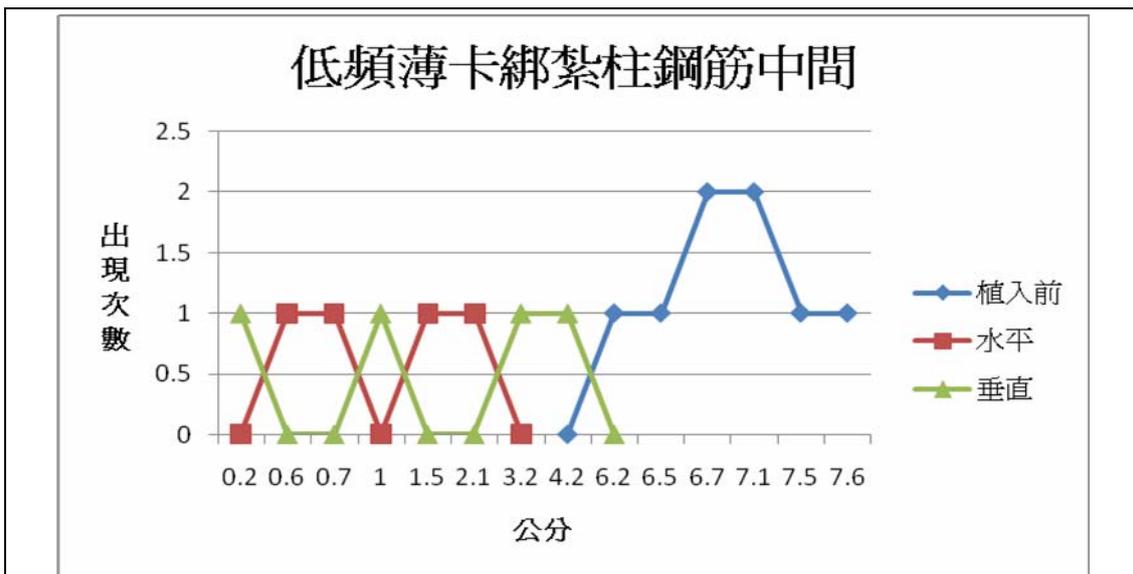


圖 4.112 低頻-薄卡綁紮於柱鋼筋中間

1. 低頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 6.2 公分至 7.6 公分。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0.6 公分至 2.1 公分。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0.2 至 4.2 公分。

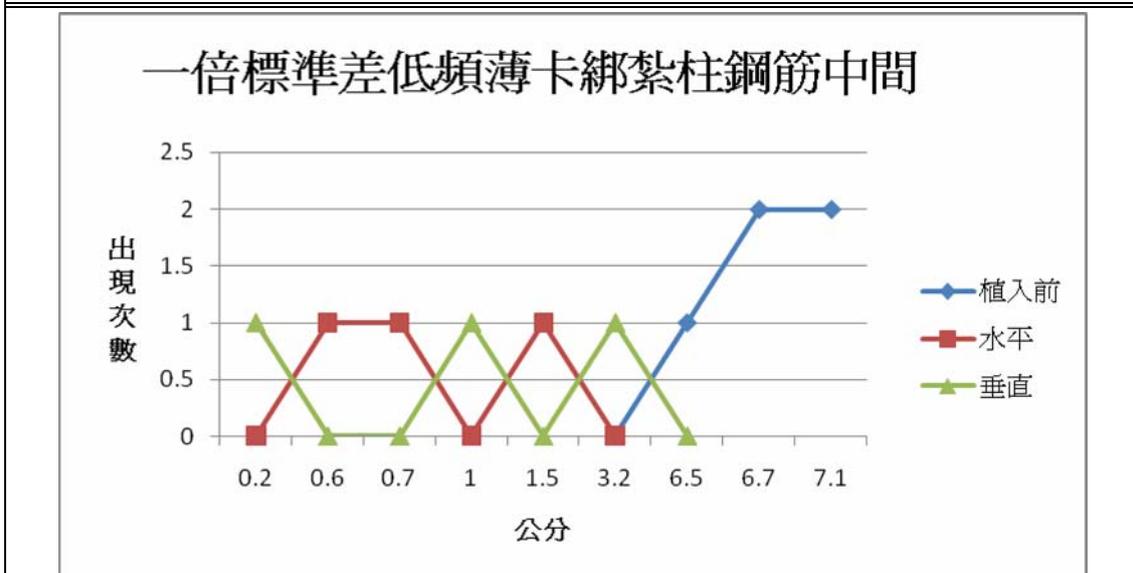
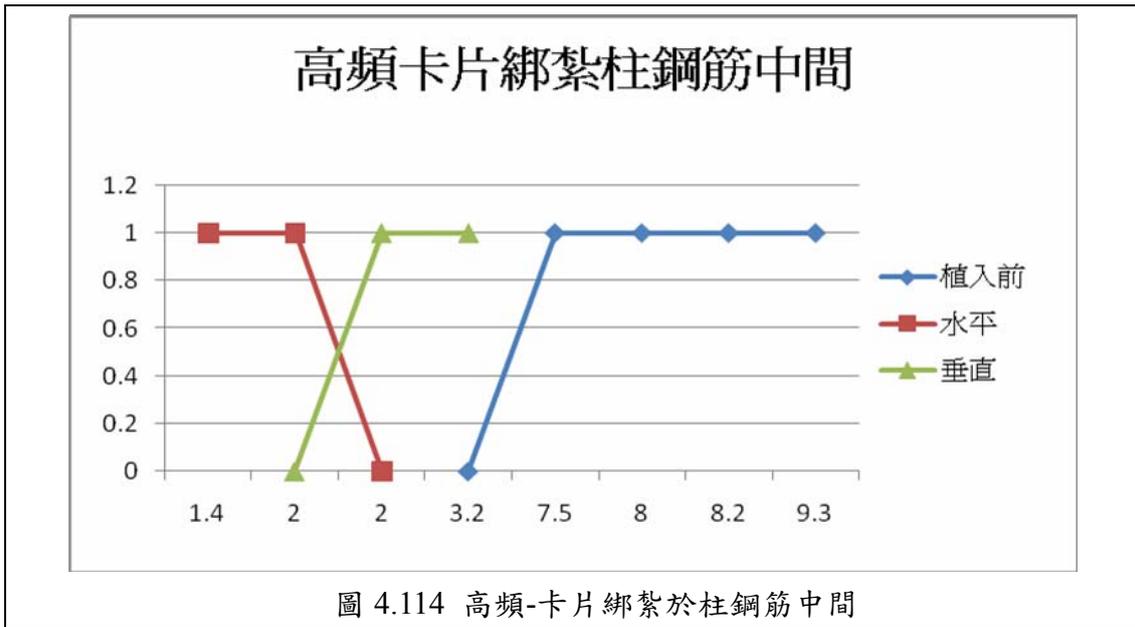
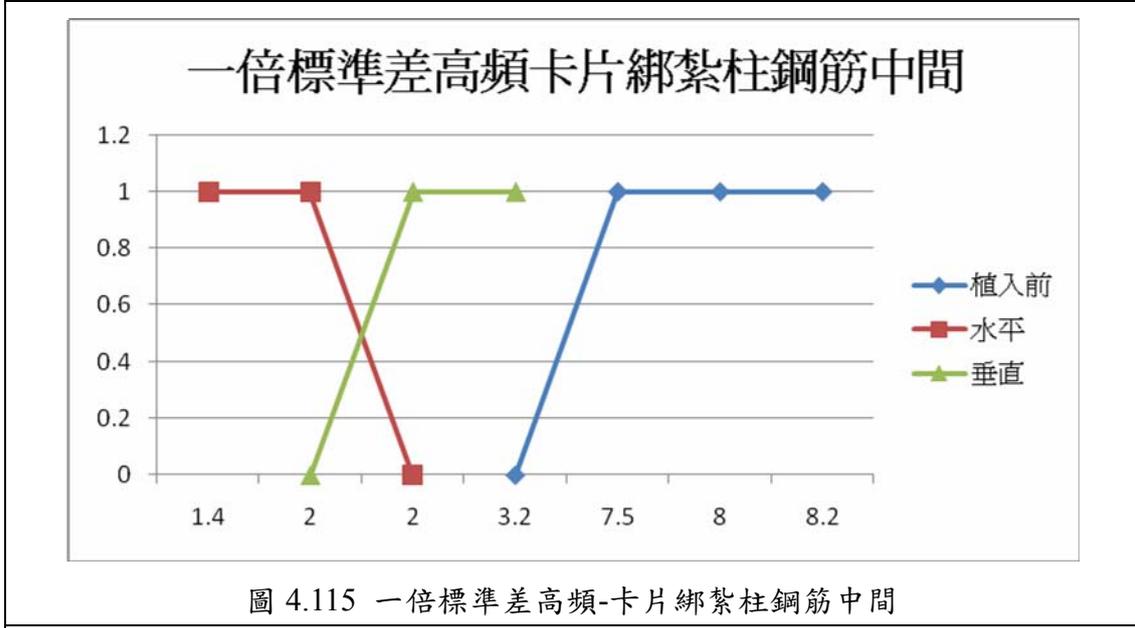


圖 4.113 一倍標準差低頻-薄卡綁紮於柱鋼筋中間

1. 低頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 6.5 公分至 7.1 公分，共有 5 個標籤約為 62%符合標準。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0.6 公分至 1.5 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0.2 至 3.2 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。



1. 高頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 7.5 公分至 9.3 公分。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.4 公分至 2 公分。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2 至 3.2 公分。



1. 高頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 7.5 公分至 8.2 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.4 公分至 2 公分，共有 2 個標籤約為 100%符合標準。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2 至 3.2 公分，共有 2 個標籤約為 100%符合標準。

薄卡低頻綁紮柱鋼筋

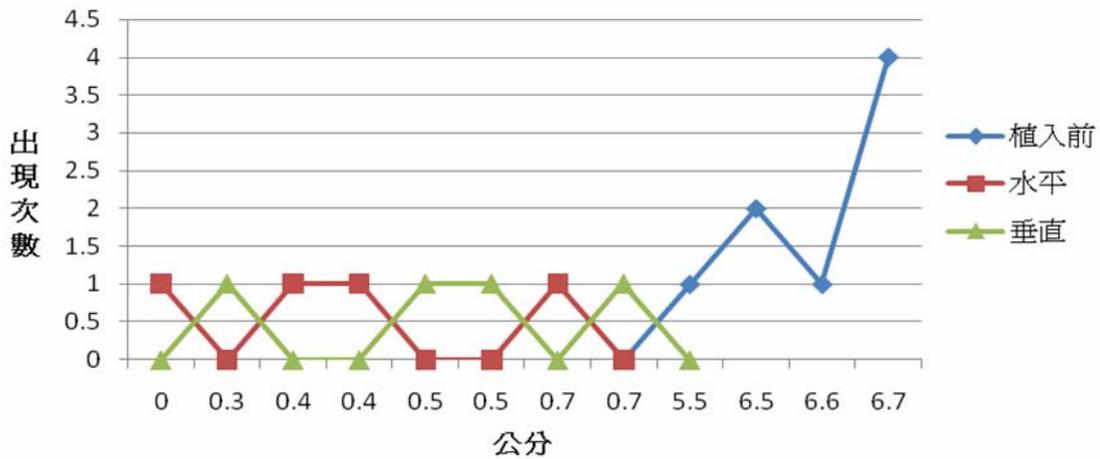


圖 4.116 低頻-薄卡綁紮柱鋼筋

1. 低頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 5.5 公分至 6.7 公分。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0 公分至 0.7 公分。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0.3 至 0.7 公分。

一倍標準差低頻薄卡綁紮柱鋼筋

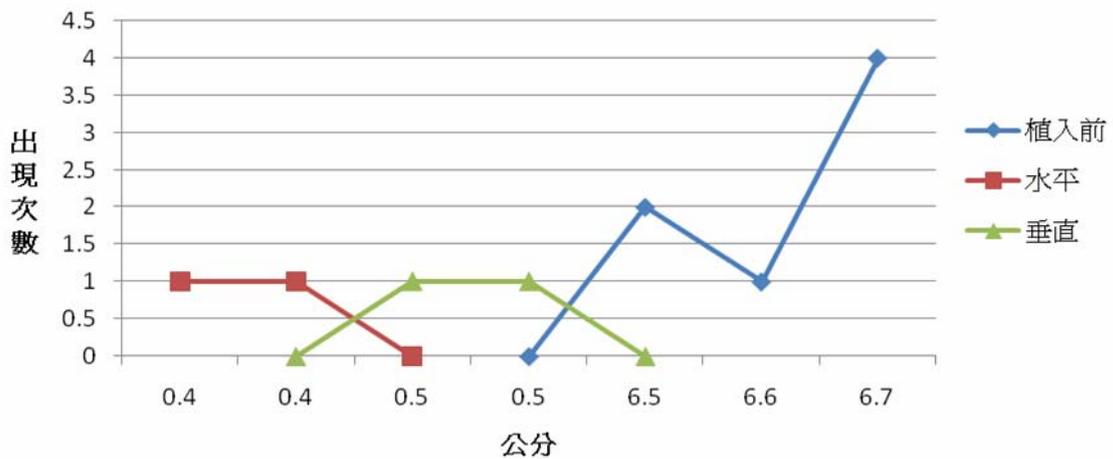


圖 4.117 一倍標準差低頻-薄卡綁紮柱鋼筋

1. 低頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 6.5 公分至 6.7 公分，共有 7 個標籤約為 87.5%符合標準。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0.4 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0.5 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。

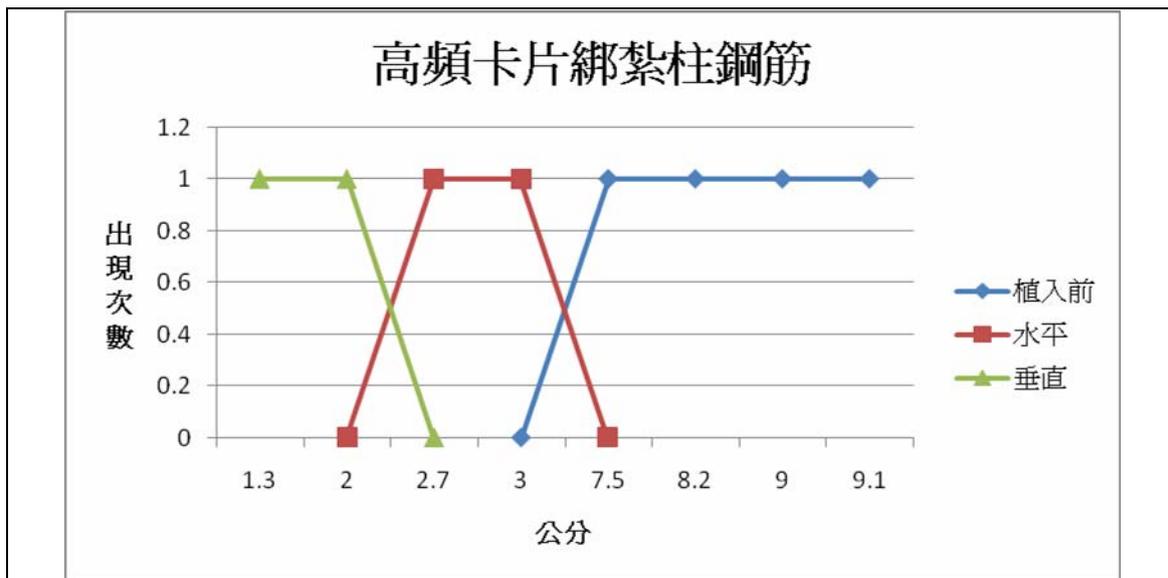


圖 4.118 高頻-卡片綁紮柱鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 7.5 公分至 9.1 公分。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 2.7 公分至 3 公分。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 1.3 至 2 公分。

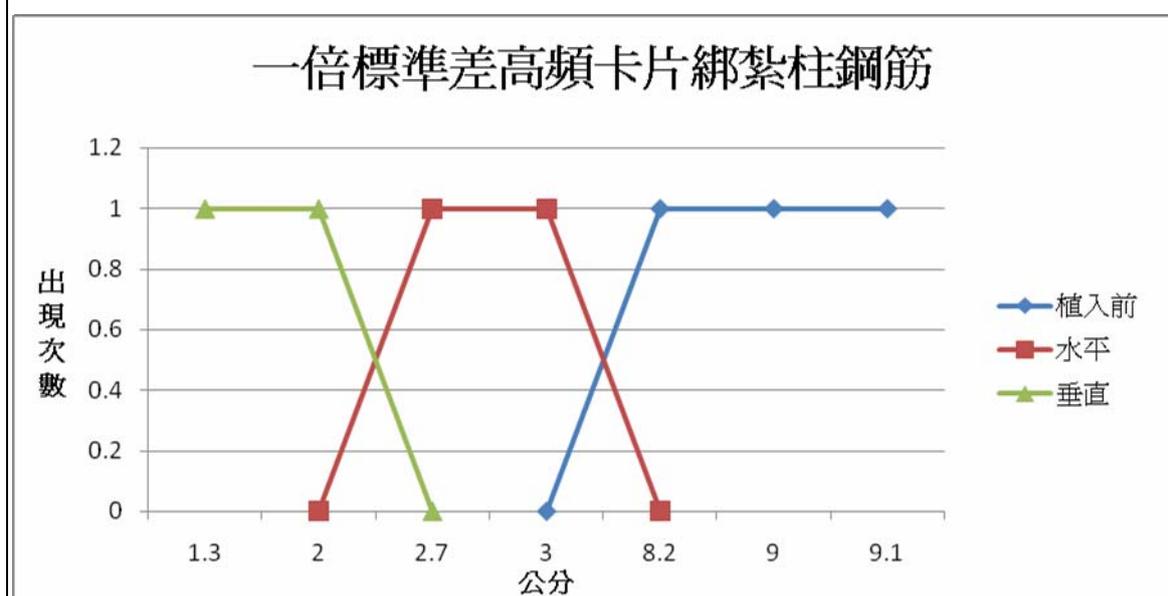


圖 4.119 一倍標準差高頻-卡片綁紮柱鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 8.2 公分至 9.1 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 2.7 公分至 3 公分，共有 2 個標籤約為 100% 符合標準。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 1.3 公分至 2 公分，共有 2 個標籤約為 100% 符合標準。

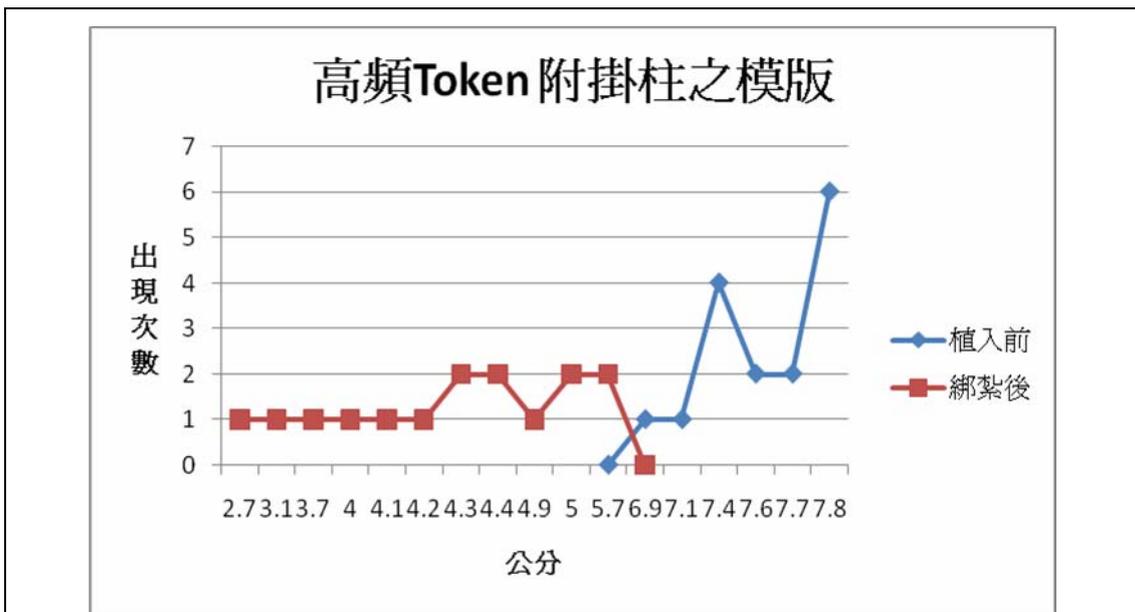


圖 4.120 高頻-Token 附掛柱之模版

1. 高頻 Token 標籤附掛柱之模版前其讀取範圍為 6.9 公分至 7.8 公分。
2. 高頻 Token 而標籤附掛柱之模版後，其適當讀取距離為 2.7 公分至 5.7 公分。

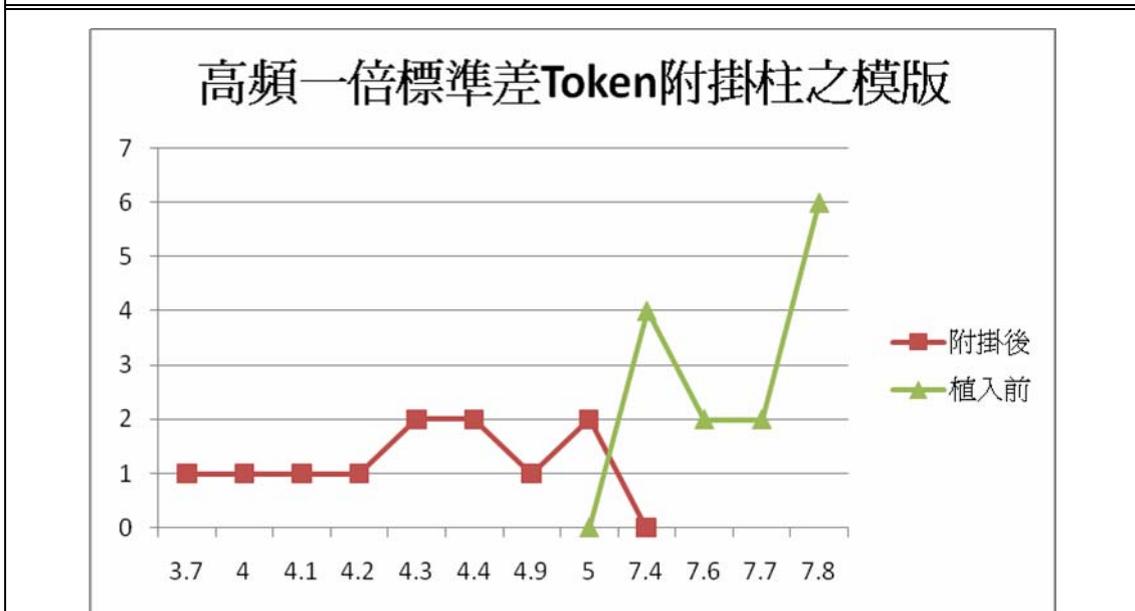


圖 4.121 一倍標準差高頻-Token 附掛柱之模版

1. 高頻 Token 標籤附掛柱之模版前其讀取範圍為 7.4 公分至 7.8 公分，共有 14 個標籤約為 87.5%符合標準。
2. 高頻 Token 而標籤附掛柱之模版後，其適當讀取距離為 3.7 公分至 5 公分，共有 11 個標籤約為 68.75%符合標準。

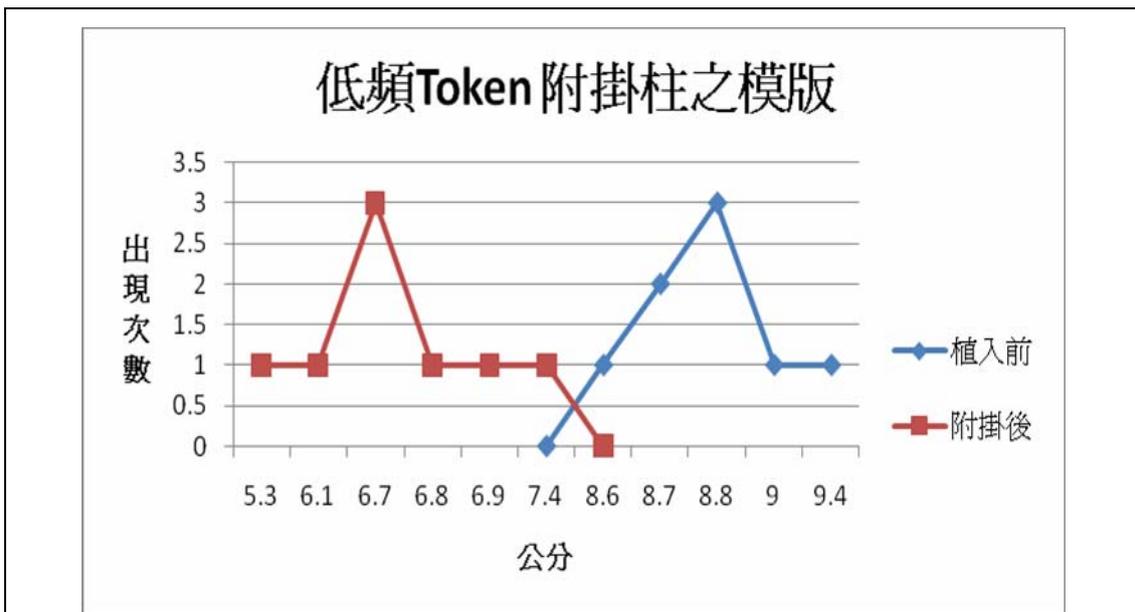


圖 4.122 低頻-Token 附掛柱之模版

1. 低頻 Token 標籤附掛柱之模版前其讀取範圍為 8.6 公分至 9.4 公分。
2. 低頻 Token 而標籤附掛柱之模版後，其適當讀取距離為 5.3 公分至 7.4 公分。

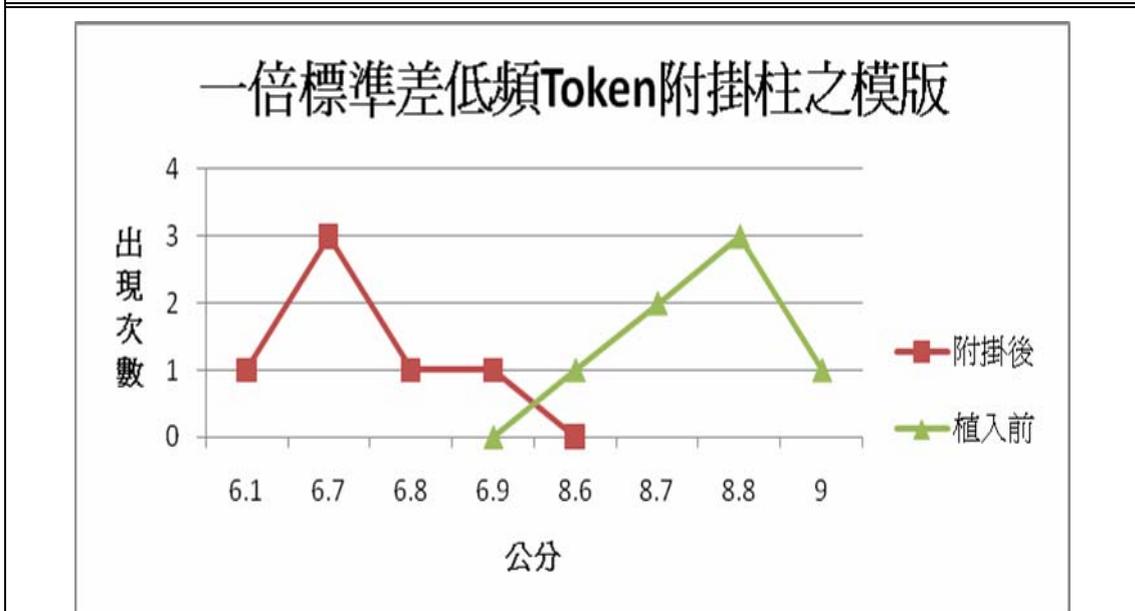


圖 4.123 一倍標準差低頻-Token 附掛柱之模版

1. 低頻 Token 標籤附掛柱之模版前其讀取範圍為 8.6 公分至 9 公分，共有 7 個標籤約為 87.5%符合標準。
2. 低頻 Token 而標籤附掛柱之模版後，其適當讀取距離為 6.1 公分至 6.9 公分，共有 6 個標籤約為 75%符合標準。

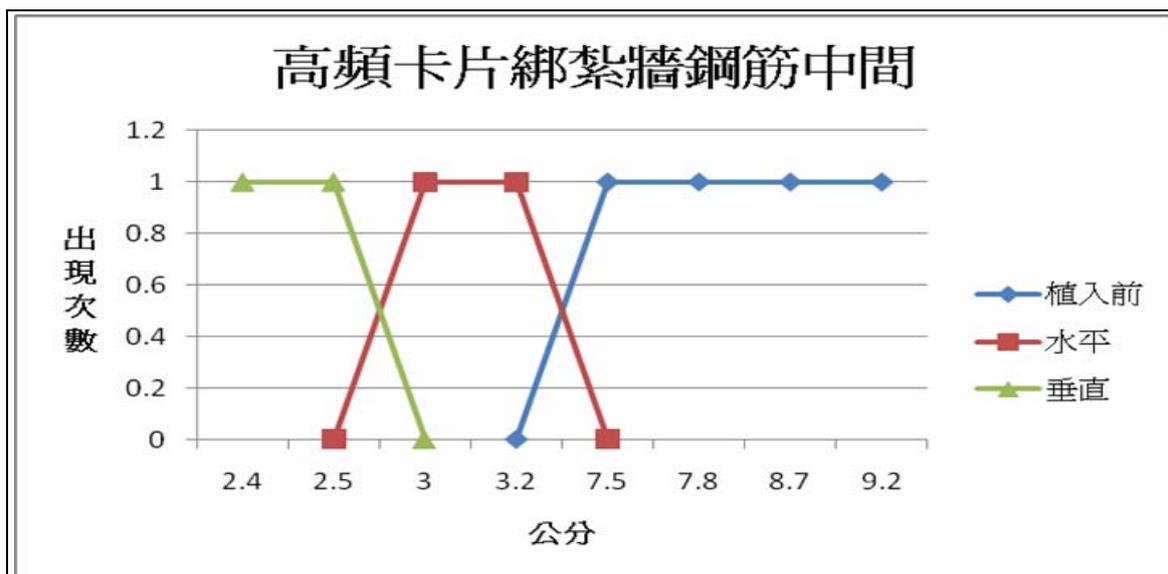


圖 4.124 高頻-卡片型卡片綁紮於牆鋼筋中間

1. 高頻卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前其讀取範圍為 7.5 公分至 9.2 公分。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 3 公分至 3.2 公分。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2.4 至 2.5 公分。

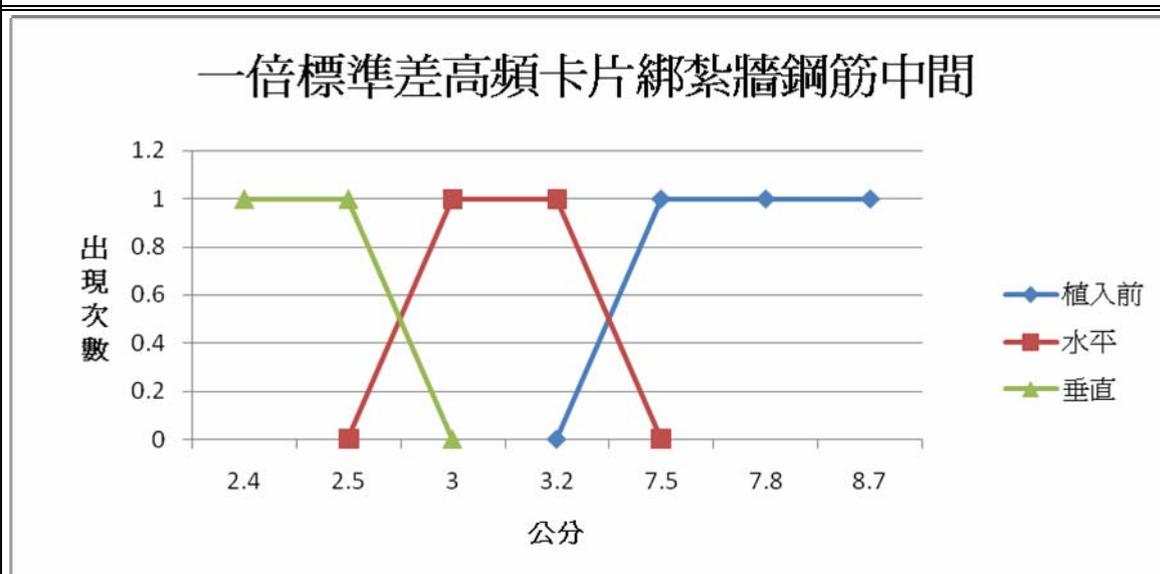


圖 4.125 一倍標準差高頻-卡片綁紮於牆鋼筋中間

1. 高頻卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前其讀取範圍為 7.5 公分至 8.7 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 3 公分至 3.2 公分，共有 2 個標籤約為 100% 符合標準。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.7 至 1.8 公分，共有 2 個標籤約為 100% 符合標準

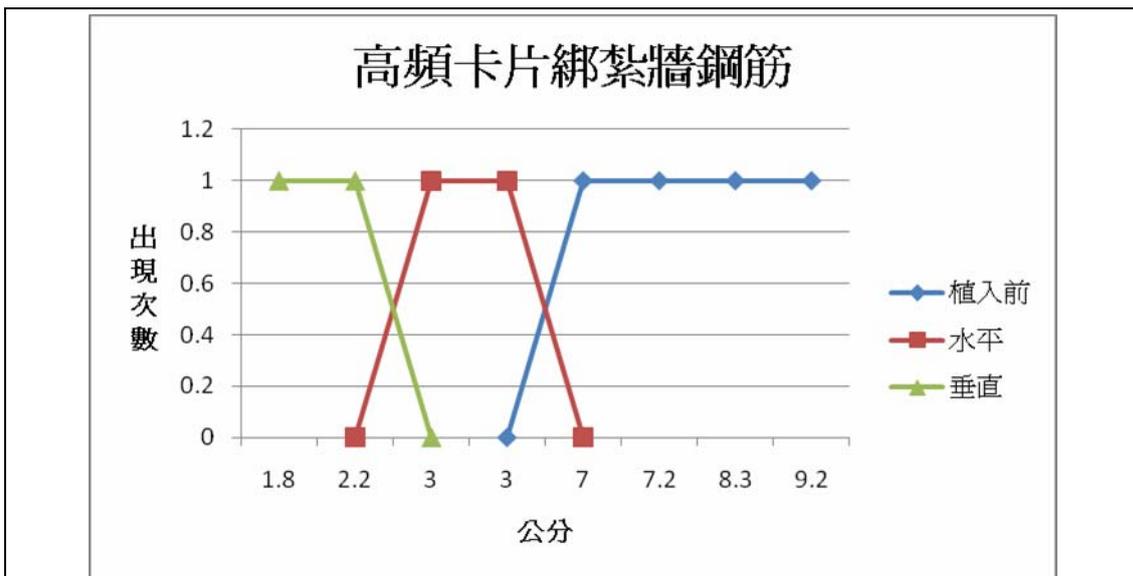


圖 4.126 高頻-卡片綁紮於牆之鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮於牆鋼筋前其讀取範圍為 7 公分至 9.2 公分。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 3 公分。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.8 至 2.2 公分。

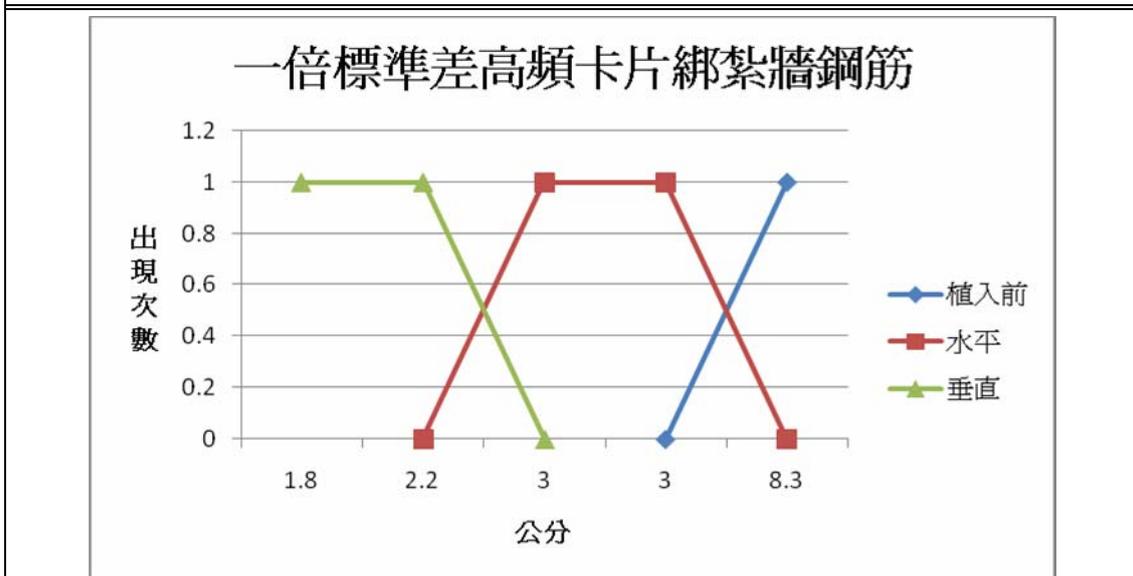


圖 4.127 一倍標準差高頻-卡片綁紮在牆鋼筋上

1. 高頻卡片型標籤綁紮於牆鋼筋前其讀取範圍為 8.3 公分，共有 1 個標籤約為 25% 符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 3 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。
3. 高頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.8 至 2.2 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。

低頻薄卡綁紮牆鋼筋

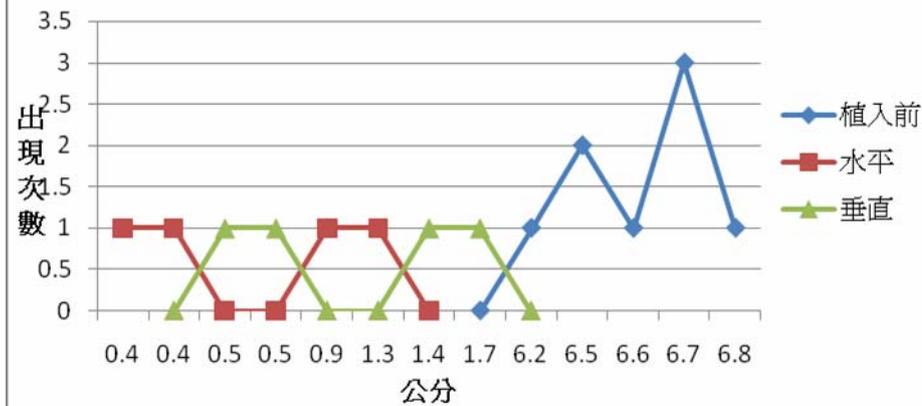


圖 4.128 低頻-薄卡綁紮牆鋼筋

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮於牆鋼筋前其讀取範圍為 6.2 公分至 6.8 公分。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 0.4 公分至 1.3 公分。
3. 低頻薄卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 0.5 至 1.7 公分。

一倍標準差低頻薄卡綁紮牆鋼筋

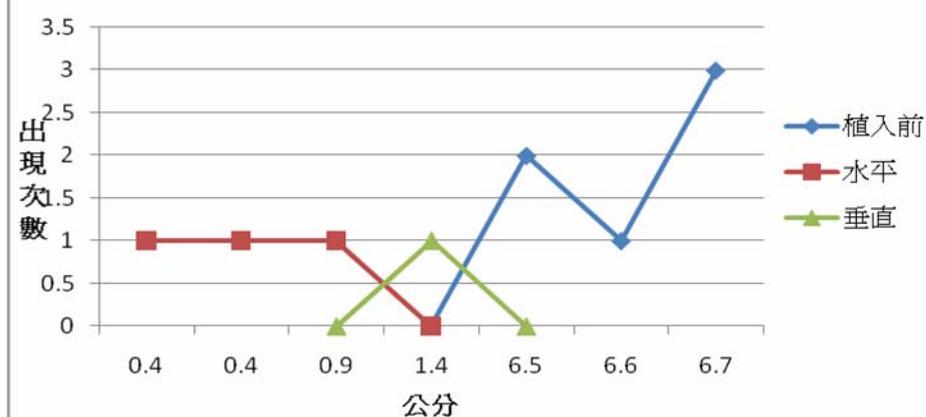


圖 4.129 一倍標準差低頻-薄卡綁紮牆鋼筋

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮於牆鋼筋前其讀取範圍為 6.5 公分至 6.7 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 0.4 公分至 0.9 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.4 公分，共有 1 個標籤約為 25% 符合標準。

低頻厚卡綁紮牆鋼筋中間

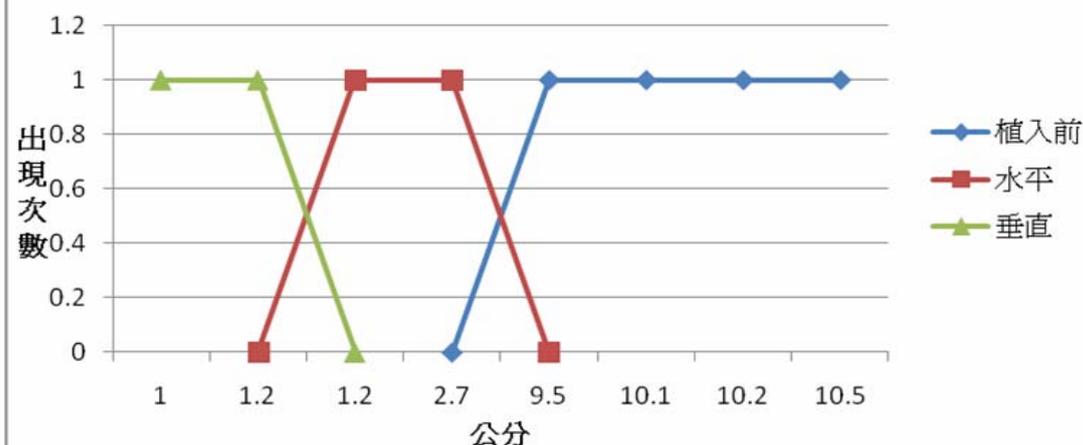


圖 4.130 低頻-厚卡綁紮牆鋼筋中間

1. 低頻卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前其讀取範圍為 9.5 公分至 10.5 公分。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 2.7 公分。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1 至 1.2 公分。

一倍標準差低頻厚卡綁紮牆鋼筋中間

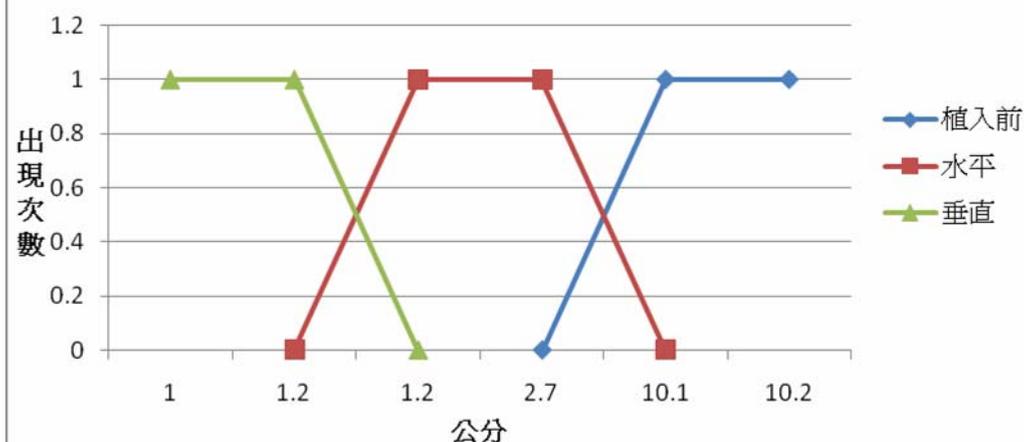


圖 4.131 一倍標準差低頻-厚卡綁紮牆鋼筋中間

1. 低頻卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前其讀取範圍為 10.1 公分至 10.2 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 2.7 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1 至 1.2 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準

低頻薄卡綁紮牆鋼筋中間

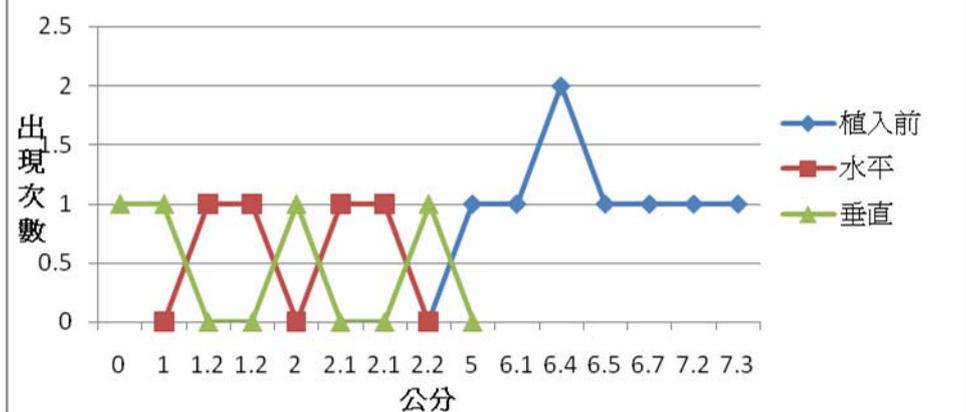


圖 4.132 低頻-薄卡綁紮牆鋼筋中間

1. 低頻卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前其讀取範圍為 5 公分至 7.3 公分。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 2.1 公分。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0 至 2.2 公分。

一倍標準差低頻薄卡綁紮牆鋼筋中間

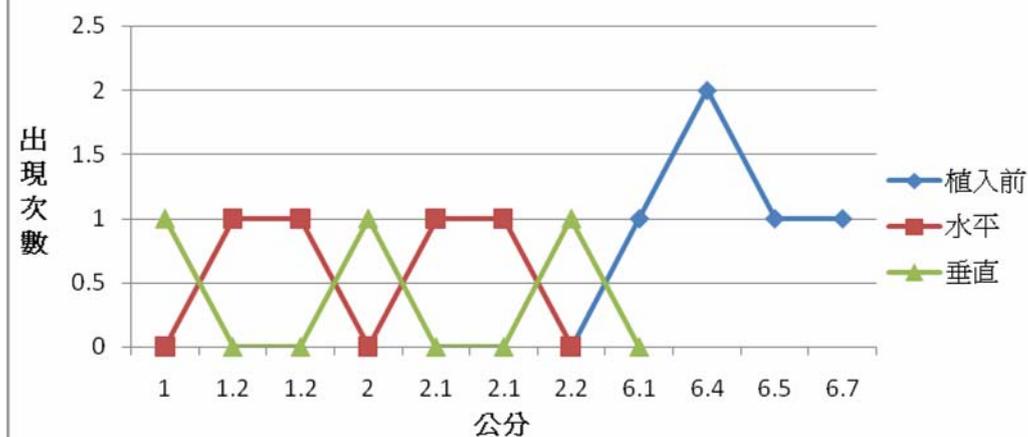


圖 4.133 一倍標準差低頻-薄卡綁紮牆鋼筋中間

1. 低頻卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前其讀取範圍為 6.1 公分至 6.7 公分，共有 5 個標籤約為 62.5%符合標準。
2. 低頻卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 2.1 公分，共有 4 個標籤約為 100%符合標準。
3. 低頻卡片型標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1 至 2.2 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準

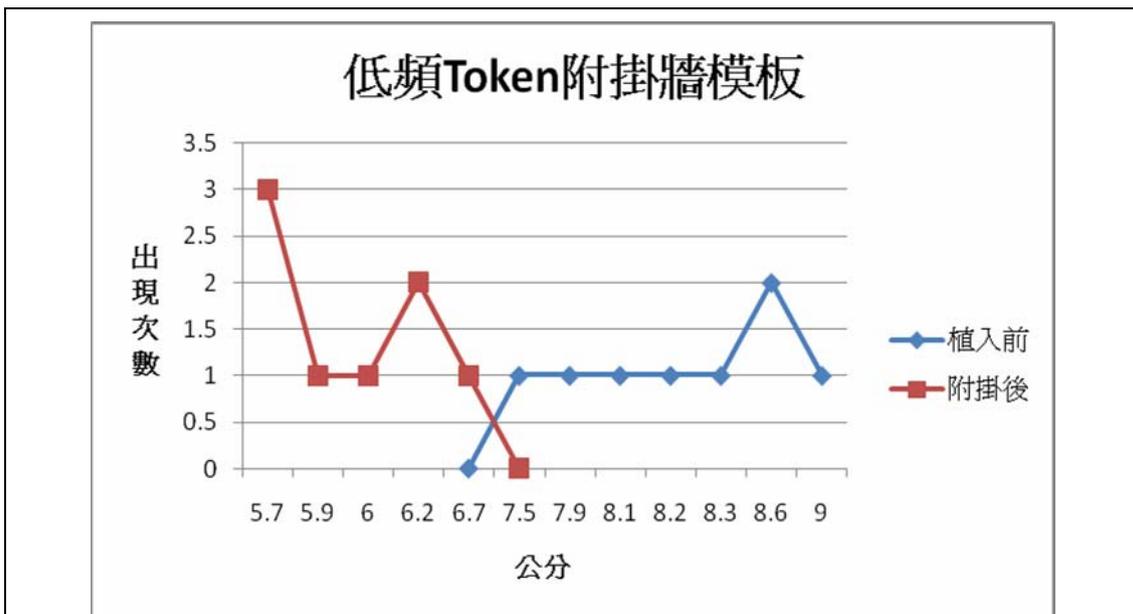


圖 4.134 低頻-Token 附掛牆模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於牆之模板前其讀取範圍為 7.5 公分至 9 公分。
2. 低頻-Token 型標籤附掛於牆之模板後其讀取範圍為 5.7 公分至 6.7 公分。

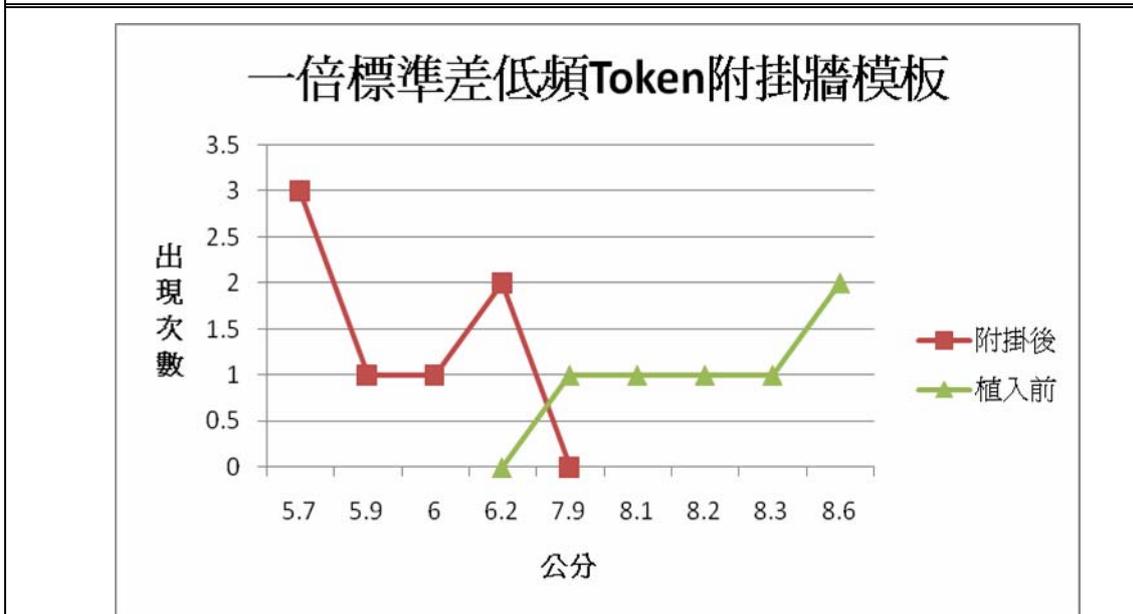


圖 4.135 一倍標準差低頻-Token 附掛牆模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於牆之模板前，其適當讀取距離為 7.9 公分至 8.6 公分，共有 7 個標籤約為 87.5% 符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤附掛於牆之模板後，其適當讀取距離為 5.7 公分至 6.2 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。

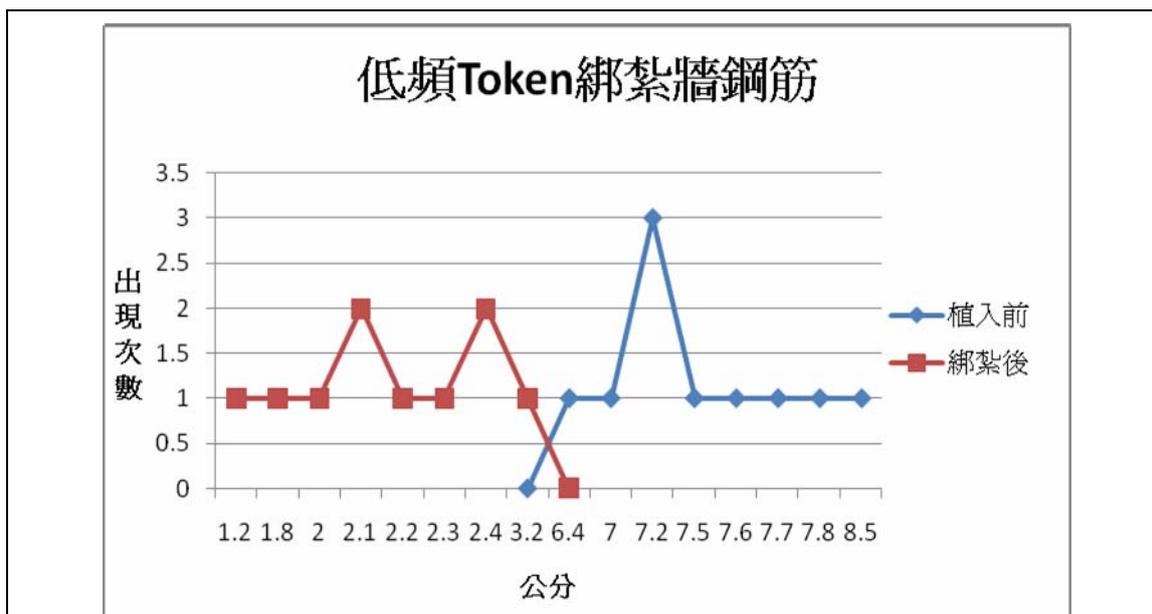


圖 4.136 低頻-Token 綁紮牆鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於牆鋼筋前其讀取範圍為 6.4 公分至 8.5 公分。
2. 低頻-Token 型標籤綁紮於牆鋼筋後其讀取範圍為 1.2 公分至 3.2 公分。

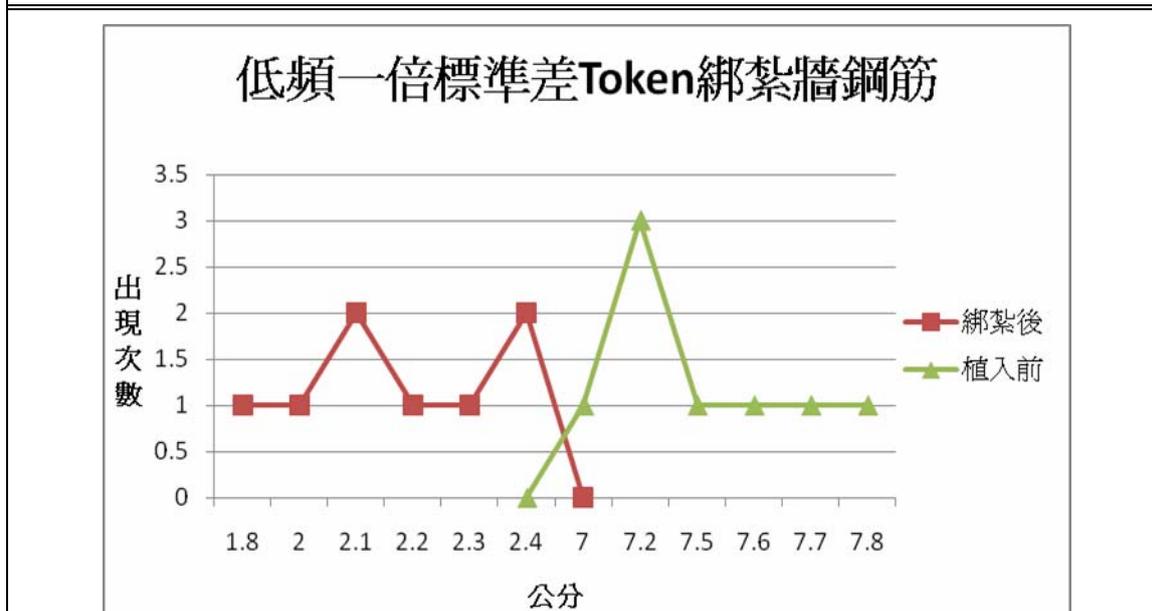


圖 4.137 一倍標準差低頻-Token 綁紮牆鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於牆鋼筋前，其適當讀取距離為 7 公分至 7.8 公分，共有 8 個標籤約為 80%符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.8 公分至 2.4 公分，共有 8 個標籤約為 80%符合標準。

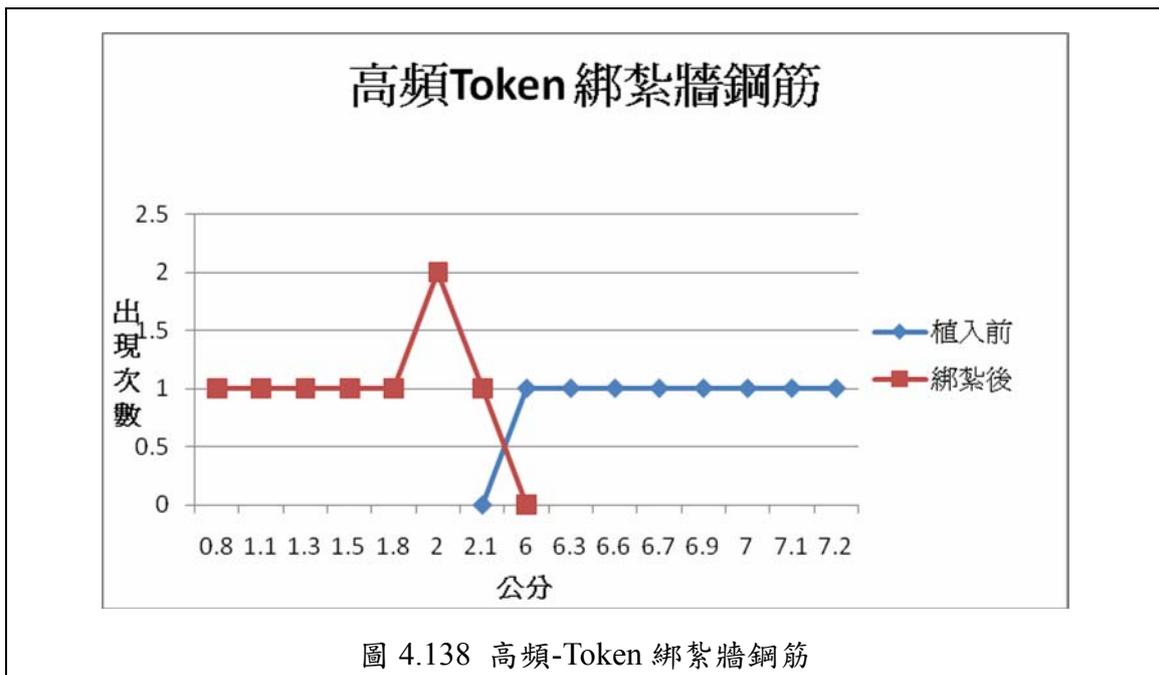


圖 4.138 高頻-Token 綁紮牆鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於牆鋼筋前其讀取範圍為 6 公分至 7.2 公分。
2. 高頻-Token 型標籤綁紮於牆鋼筋後其讀取範圍為 0.8 公分至 2.1 公分。

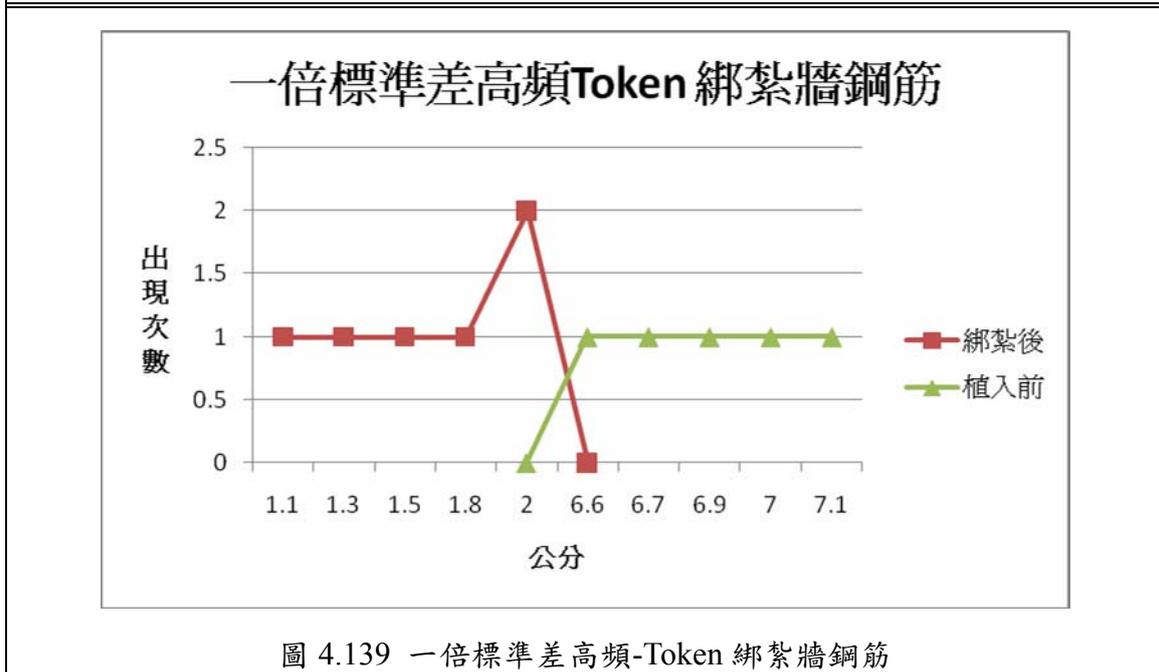


圖 4.139 一倍標準差高頻-Token 綁紮牆鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於牆鋼筋前，其適當讀取距離為 6.6 公分至 7.1 公分，共有 6 個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 2 公分，共有 5 個標籤約為 62.5%符合標準。

以下實驗分析為中正杭州實驗分析如(圖4.140)至(圖4.215)

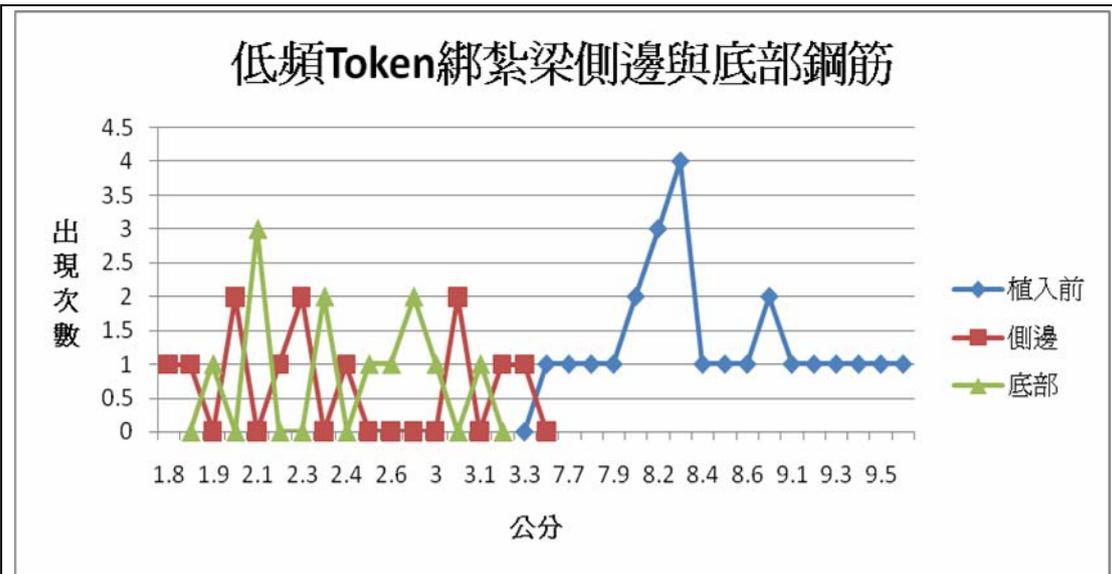


圖 4.140 低頻-Token 綁紮梁側邊與底部鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於梁鋼筋側邊與底邊前其讀取範圍為 7.5 公分至 9.5 公分。
2. 低頻-Token 型標籤綁紮於梁鋼筋側邊後其讀取範圍為 1.8 公分至 3.3 公分。
3. 低頻-Token 型標籤綁紮於梁鋼筋底部後其讀取範圍為 1.9 公分至 3.1 公分。

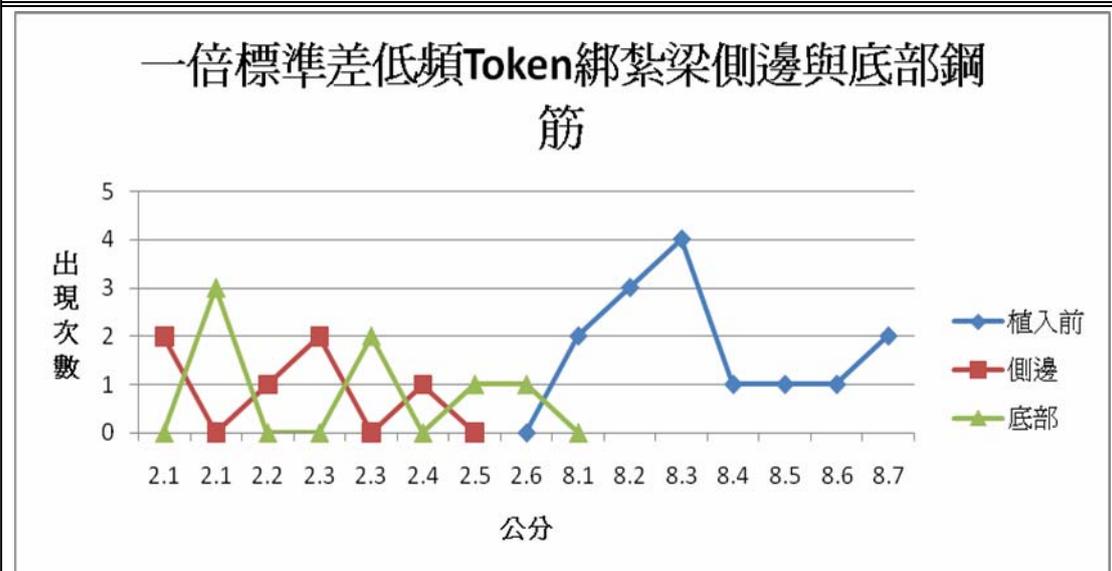


圖 4.141 一倍標準差低頻-Token 綁紮梁側邊與底部鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於梁鋼筋內側前，其適當讀取距離為 8.1 公分至 8.7 公分，共有 8 個標籤約為 66.67%符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤綁紮於梁鋼筋內側後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.4 公分，共有 6 個標籤約為 50%符合標準。
3. 低頻-Token 型而標籤綁紮於梁鋼筋底部後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.6 公分，共有 7 個標籤約為 58.3%符合標準。

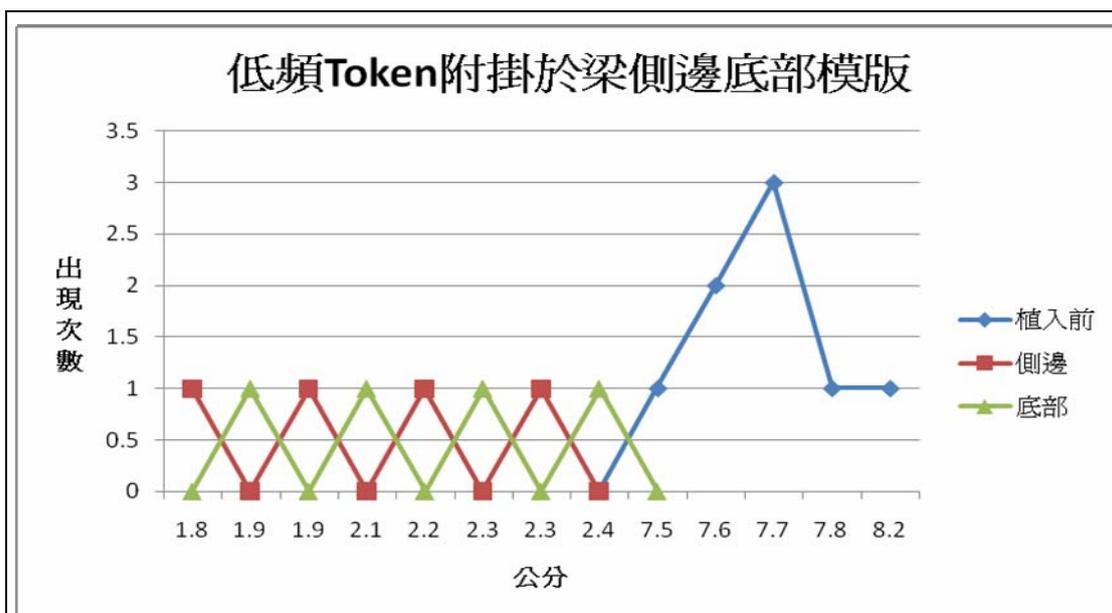


圖 4.142 低頻-Token 附掛梁側邊底部模版

1. 低頻-Token 型標籤附掛於梁側邊模板前其讀取範圍為 7.5 公分至 8.2 公分。
2. 低頻-Token 型標籤附掛於梁側邊模板後其讀取範圍為 1.8 公分至 2.3 公分。
3. 低頻-Token 型標籤附掛於梁底部模板後其讀取範圍為 1.9 公分至 2.4 公分。

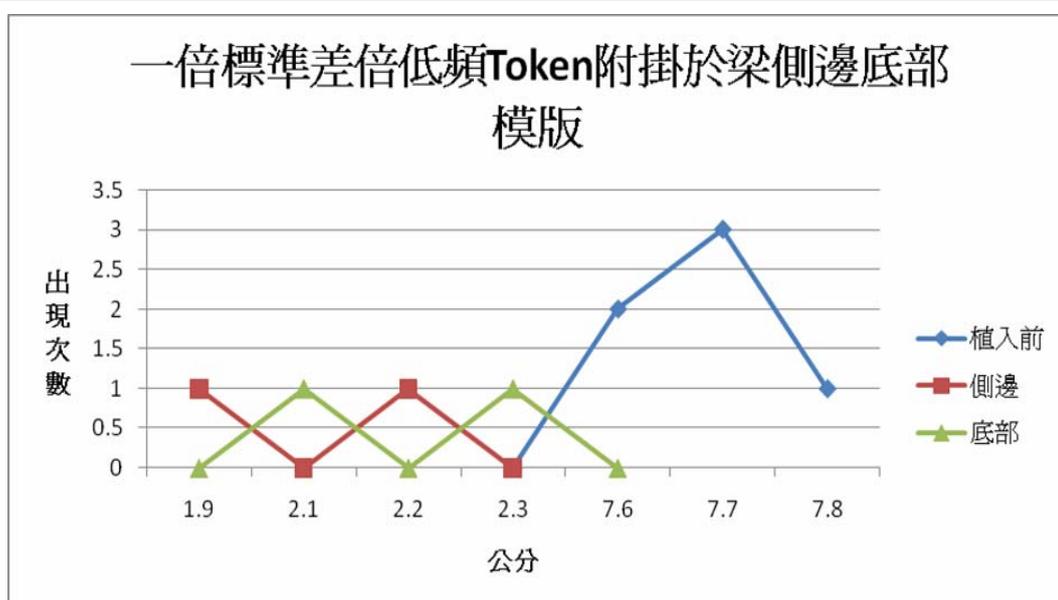


圖 4.143 一倍標準差低頻-Token 附掛梁側邊底部模版

1. 低頻-Token 型標籤附掛於梁側邊模板前，其適當讀取距離為 7.6 公分至 7.8 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤附掛於梁側邊模板後，其適當讀取距離為 1.9 公分至 2.2 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。
3. 低頻-Token 型而標籤附掛於梁底部模板後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.3 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。

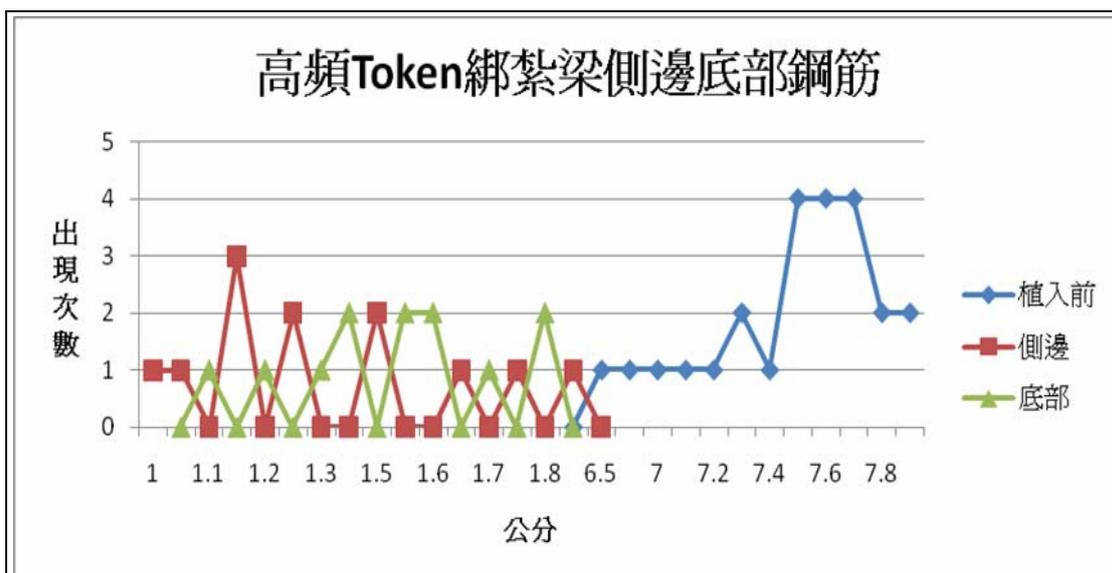


圖 4.144 高頻-Token 綁紮梁側邊底部鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於梁鋼筋側邊底部前其讀取範圍為 6.5 公分至 7.9 公分。
2. 高頻-Token 型標籤綁紮於梁鋼筋側邊後其讀取範圍為 1 公分至 2.1 公分。
3. 高頻-Token 型標籤綁紮於梁鋼筋底部後其讀取範圍為 1.1 公分至 1.8 公分。

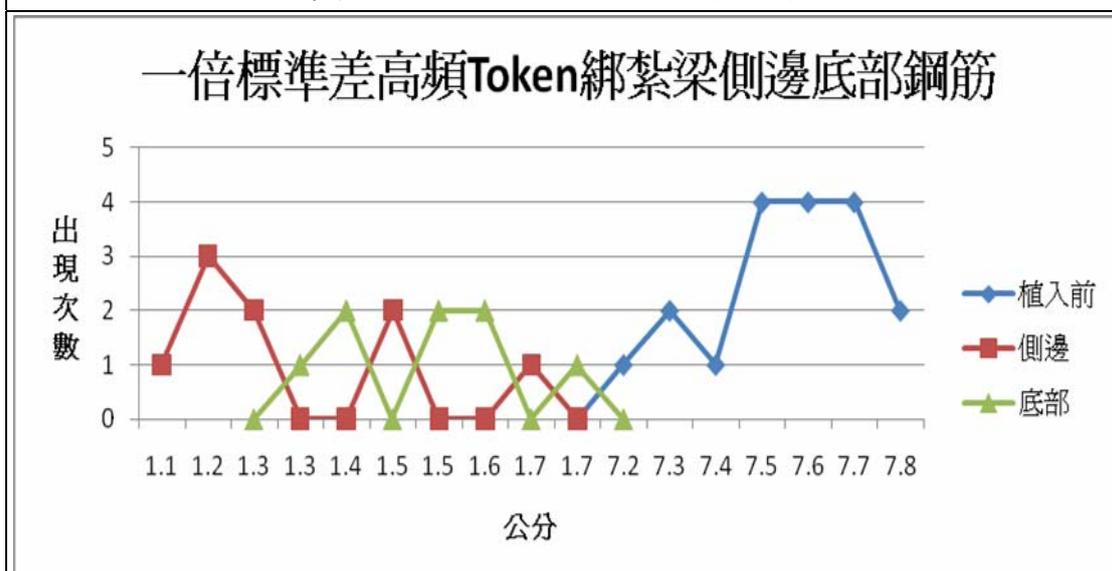


圖 4.145 一倍標準差高頻-Token 綁紮梁側邊底部鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於梁鋼筋側邊底部前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 7.8 公分，共有 18 個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤綁紮於梁鋼筋側邊後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 1.7 公分，共有 9 個標籤約為 75%符合標準。
3. 高頻-Token 型而標籤綁紮於梁鋼筋底部後，其適當讀取距離為 1.3 公分至 1.7 公分，共有 8 個標籤約為 67.8%符合標準。

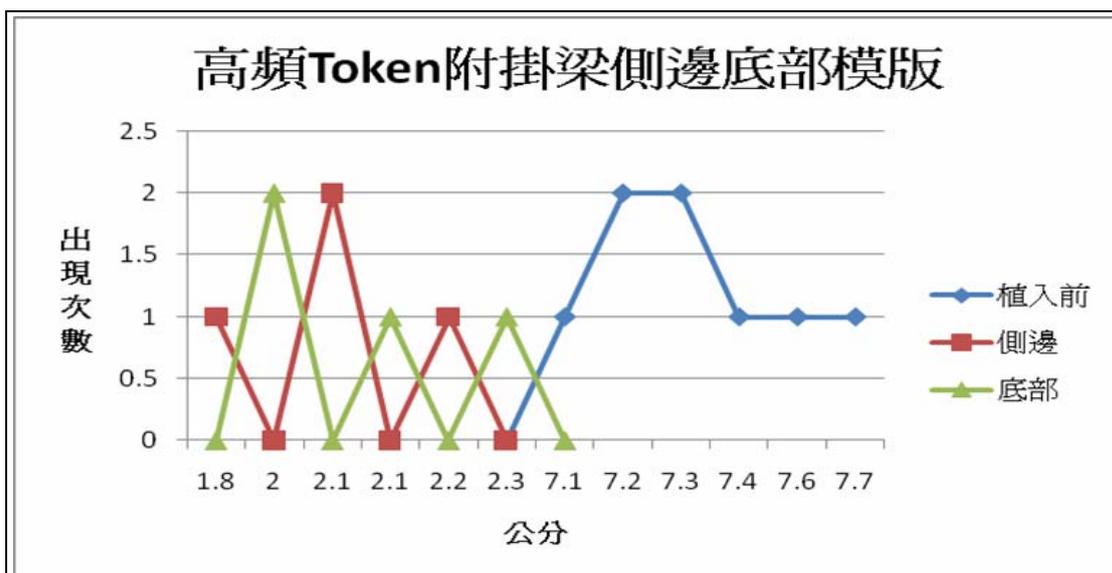


圖 4.146 高頻-Token 附掛梁側邊底部模版

1. 高頻-Token 型標籤附掛於梁側邊模板前其讀取範圍為 7.1 公分至 7.7 公分。
2. 高頻-Token 型標籤附掛於梁側邊模板後其讀取範圍為 1.8 公分至 2.2 公分。
3. 高頻-Token 型標籤附掛於梁底部模板後其讀取範圍為 2 公分至 2.3 公分。

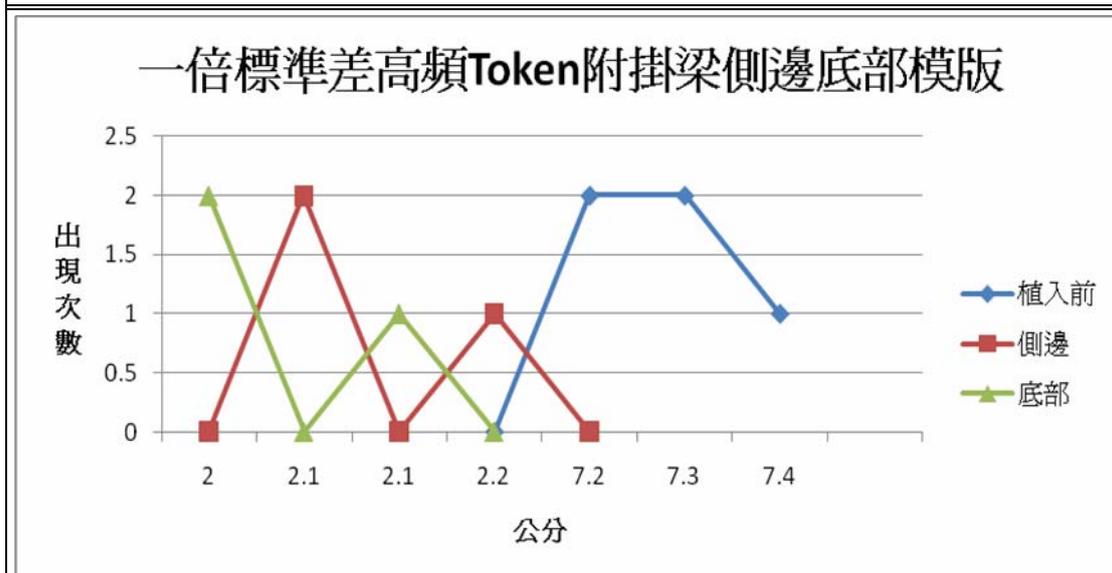


圖 4.147 一倍標準差高頻-Token 附掛梁側邊底部模版

1. 高頻-Token 型標籤附掛於梁側邊模板前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 7.4 公分，共有 5 個標籤約為 62.5%符合標準。
2. 高頻-Token 型而附掛於梁側邊模板後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.2 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。
3. 高頻-Token 型而附掛於梁底部模板後，其適當讀取距離為 2 公分至 2.1 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。

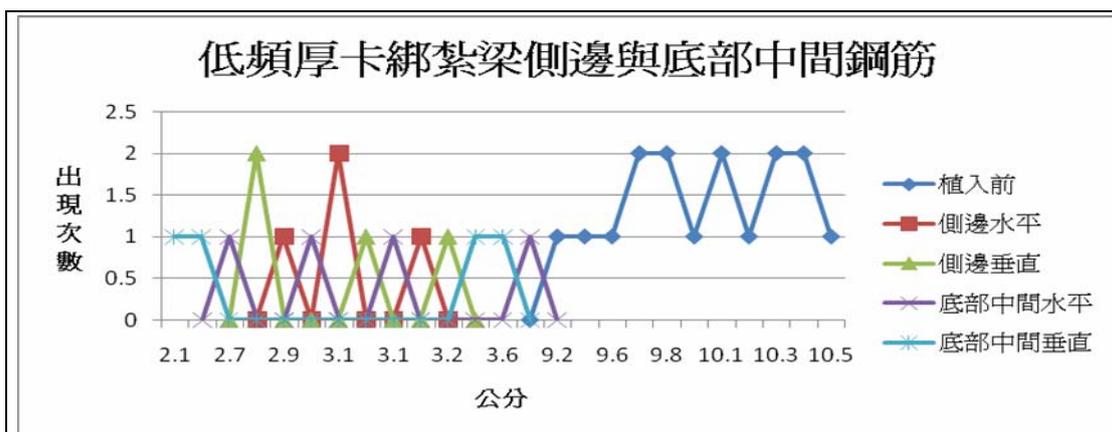


圖 4.148 低頻-厚卡綁紮於梁底側鋼筋中間

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於梁鋼筋與鋼筋間前其讀取範圍為 9.2 公分至 10.5 公分。
2. 低頻厚卡片型標籤於以水平方向綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2.7 公分至 3.7 公分。
3. 低頻厚卡片型標籤於以垂直方向綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 3.6 公分。
4. 低頻厚卡片型標籤於底部中間水平綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2.7 公分至 3.7 公分。
5. 低頻厚卡片型標籤於底部中間垂直綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 3.6 公分。

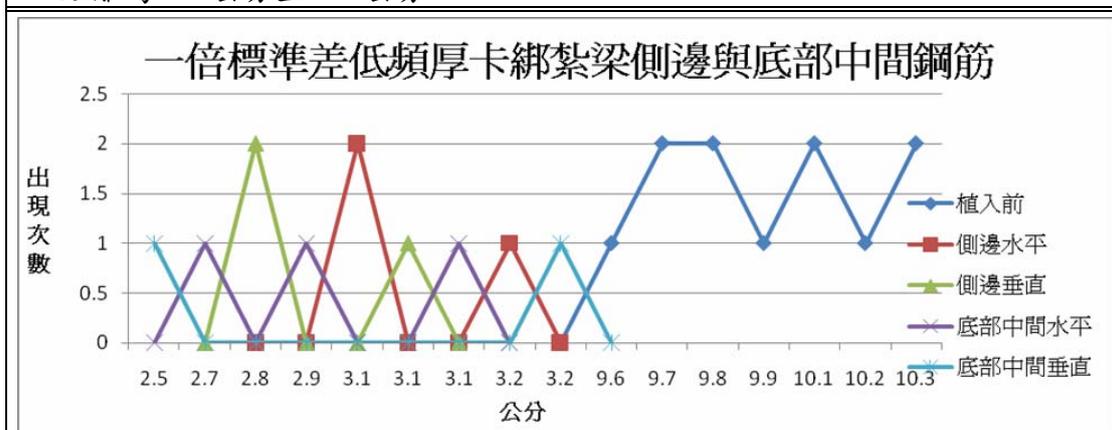


圖 4.149 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於梁底側鋼筋與鋼筋中間

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間前，其適當讀取距離為 9.3 公分至 10.1 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻厚卡片型而標籤以側邊水平方向綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2.7 公分至 3.5 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻厚卡片型而標籤以側邊垂直方向綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2 公分至 3.3 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。
4. 低頻厚卡片型標籤於底部中間水平綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2.7 公分至 3.1 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
5. 低頻厚卡片型標籤於底部中間垂直綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2.5 公分至 3.2 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。

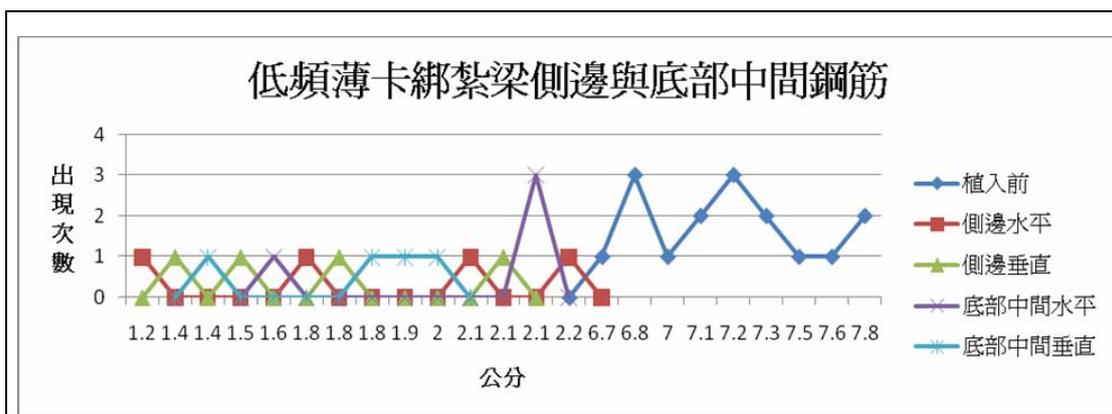


圖 4.150 低頻-薄卡綁紮於梁底側鋼筋中間

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於梁鋼筋與鋼筋間前其讀取範圍為 6.7 公分至 7.8 公分。
2. 低頻厚卡片型標籤於以底部水平方向綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 2.2 公分。
3. 低頻厚卡片型標籤於以底部垂直方向綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.4 公分至 2.1 公分。
4. 低頻厚卡片型標籤於底部中間水平綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 2.1 公分。
5. 低頻厚卡片型標籤於底部中間垂直綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.4~2 公分。

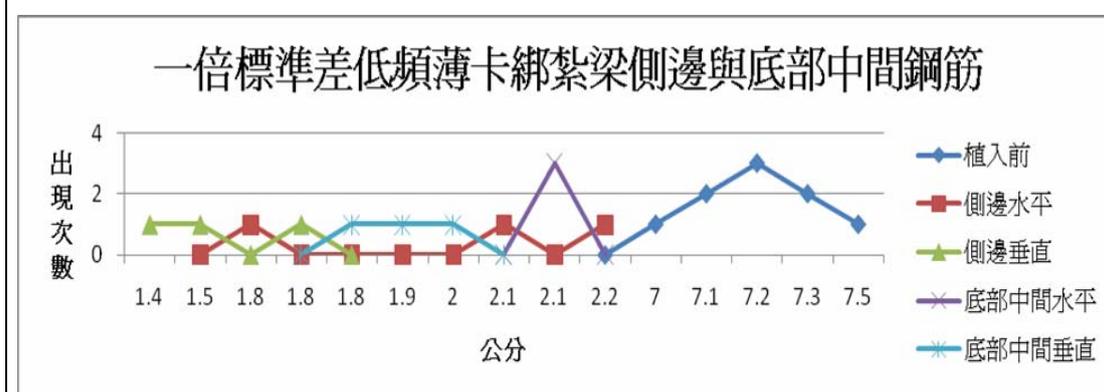


圖 4.151 一倍標準差低頻-薄卡綁紮於梁底側鋼筋與鋼筋中間

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間前，其適當讀取距離為 7 公分至 7.5 公分，共有 9 個標籤約為 56.25% 符合標準。
2. 低頻厚卡片型而標籤以底部水平方向綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.8 公分至 2.2 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻厚卡片型而標籤以底部垂直方向綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.4 公分至 1.8 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
4. 低頻厚卡片型標籤於底部中間水平綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 2.1 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
5. 低頻厚卡片型標籤於底部中間垂直綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.8 公分至 2 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

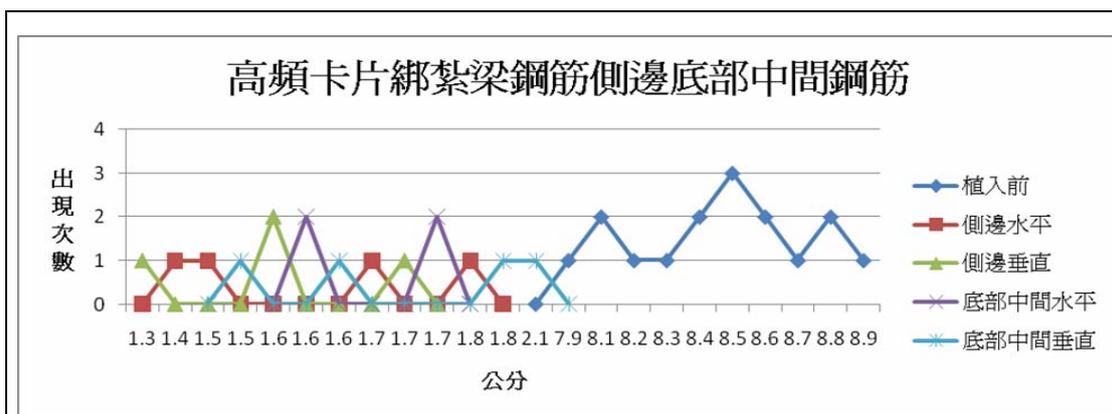


圖 4.152 高頻-卡片綁紮梁底部鋼筋中間

1. 高頻卡片型標籤綁紮於梁底部鋼筋中間前其讀取範圍為 7.9 公分至 8.9 公分。
2. 高頻卡片型而標籤以側邊水平方向綁紮於梁底部鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.4 公分至 1.8 公分。
3. 高頻卡片型標籤以側邊垂直方向綁紮於梁底部鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.3 至 1.7 公分。
4. 高頻卡片型標籤於底部中間水平綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 1.7 公分。
5. 高頻卡片型標籤於底部中間垂直綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.5~2.1 公分。

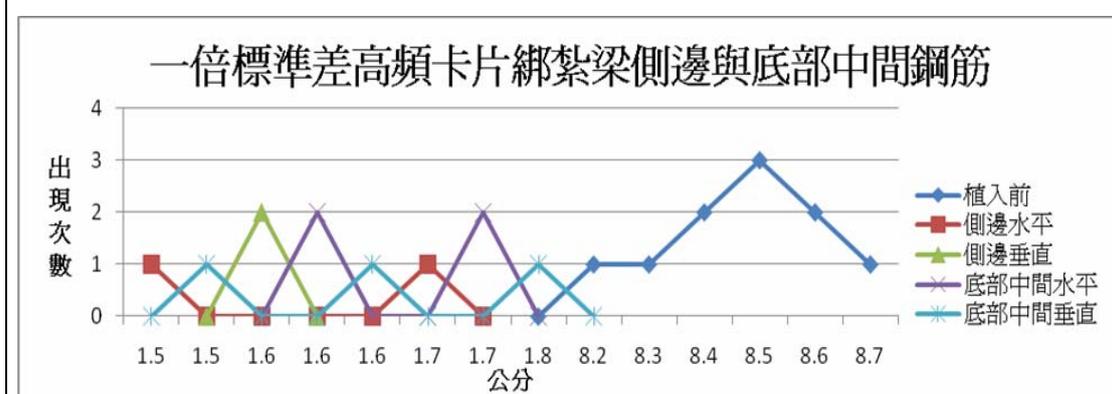


圖 4.153 一倍標準差高頻-卡片綁紮梁底部鋼筋中間

1. 高頻卡片型標籤綁紮於梁底部鋼筋中間前，其適當讀取距離為 8.2 公分至 8.7 公分，共有 6 個標籤約為 50%符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以側邊水平方向綁紮於梁底部鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 1.7 公分，共有 10 個標籤約為 62.5%符合標準。
3. 高頻卡片型而標籤以側邊垂直方向綁紮於梁底部鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.5 公分至 2 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。
4. 低頻厚卡片型標籤於底部中間水平綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 1.7 公分，共有 4 個標籤約為 100%符合標準。
5. 低頻厚卡片型標籤於底部中間水平綁紮於梁之鋼筋與鋼筋間後，其適當讀取距離為 1.5 公分至 1.8 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。

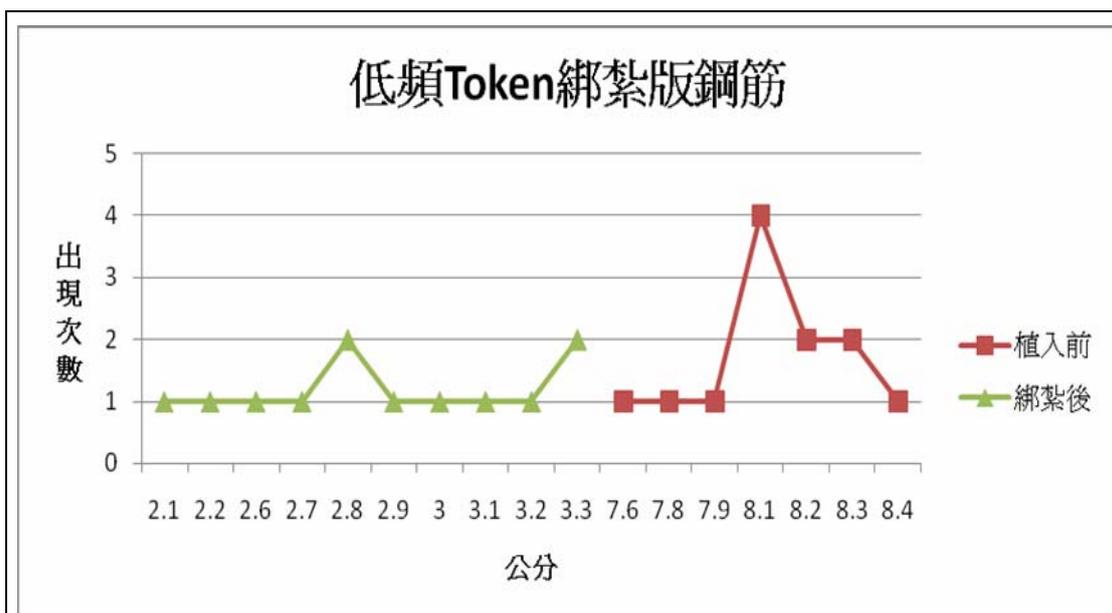


圖 4.154 低頻-Token 綁紮於板鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於版鋼筋前其讀取範圍為 7.6 公分至 8.4 公分。
2. 低頻-Token 型標籤綁紮於版鋼筋後其讀取範圍為 2.1 公分至 3.3 公分。

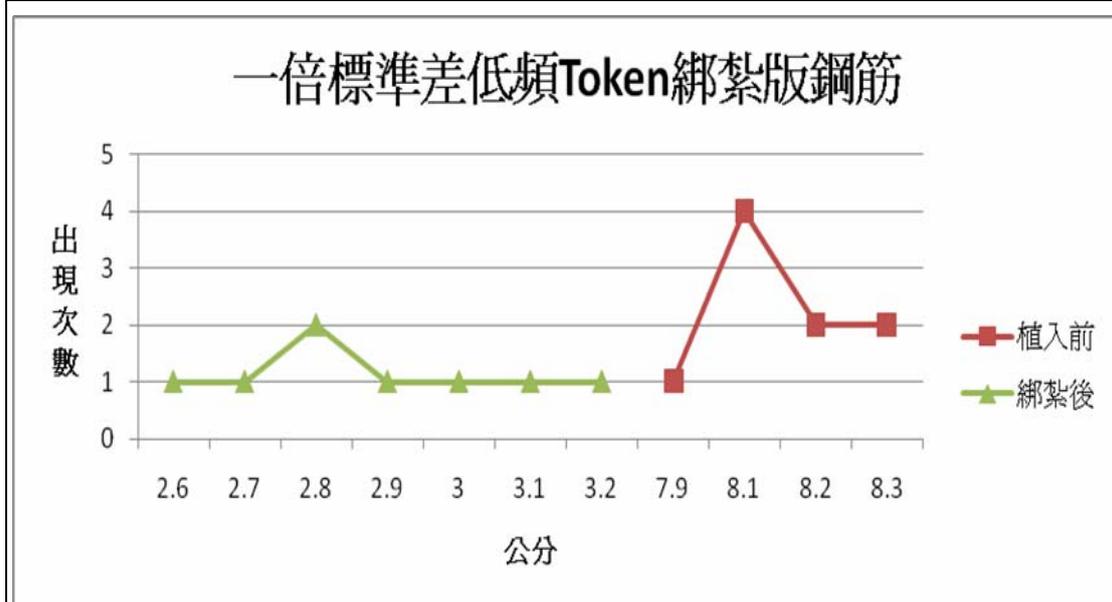


圖 4.155 一倍標準差低頻-Token 附掛梁側邊模板

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於版鋼筋前，其適當讀取距離為 7.9 公分至 8.3 公分，共有 9 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤綁紮於版鋼筋後，其適當讀取距離為 2.6 公分至 3.2 公分，共有 8 個標籤約為 66.6% 符合標準。

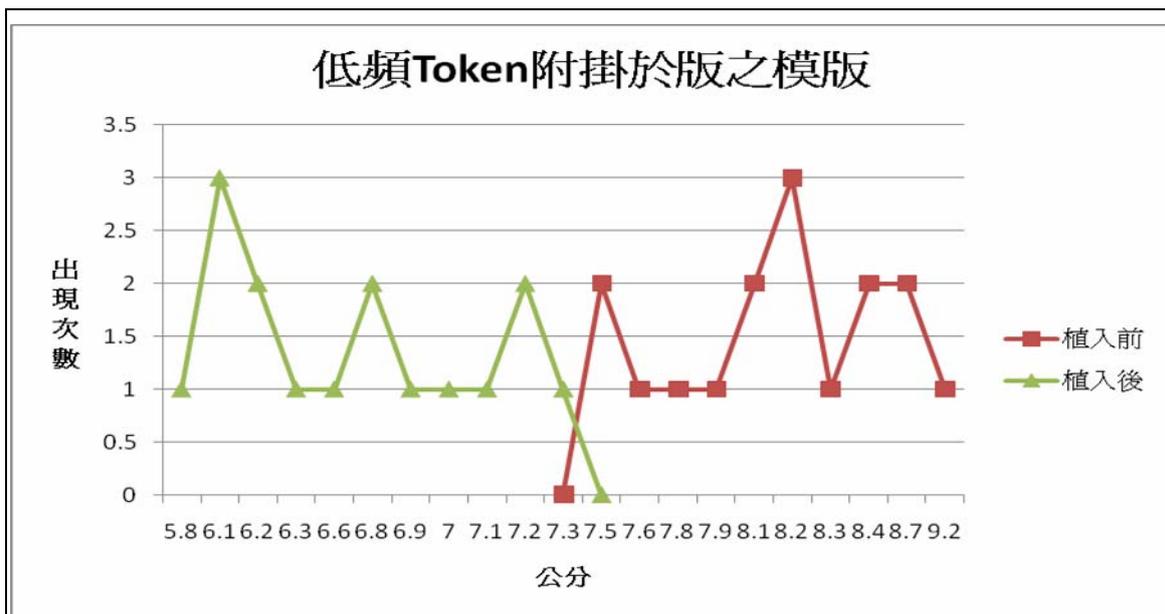


圖 4.156 低頻-Token 附掛於版之模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模板前其讀取範圍為 7.5 公分至 9.2 公分。
2. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模板後其讀取範圍為 5.8 公分至 7.3 公分。

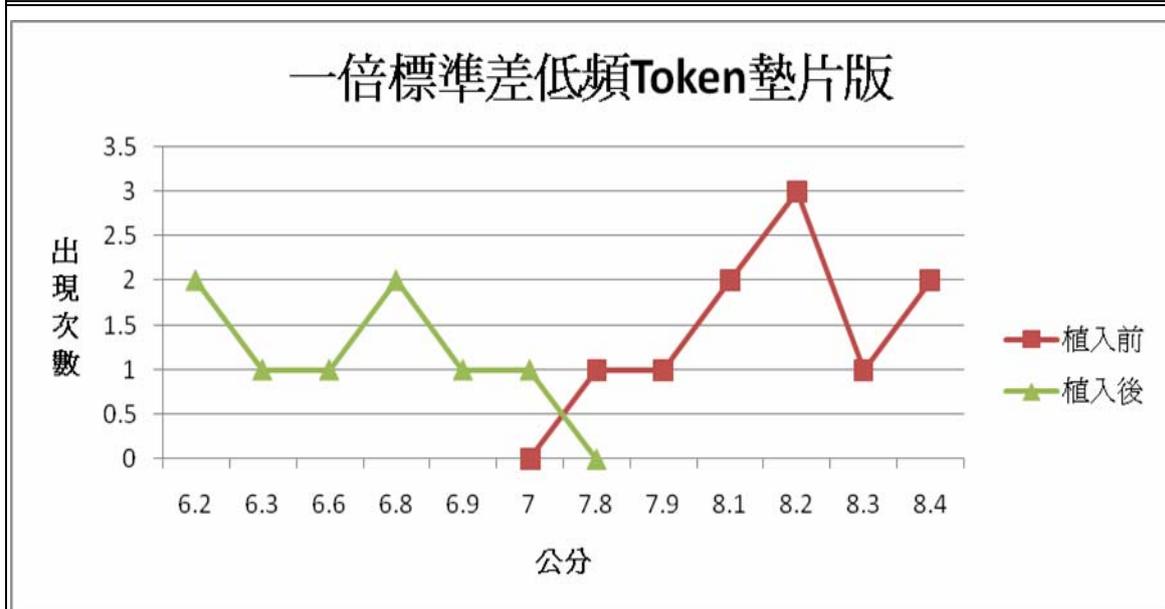


圖 4.157 一倍標準差低頻-Token 附掛於版之模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模板前，其適當讀取距離為 7.8 公分至 8.4 公分，共有 10 個標籤約為 62.5% 符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 6.2 公分至 7 公分，共有 8 個標籤約為 50% 符合標準。

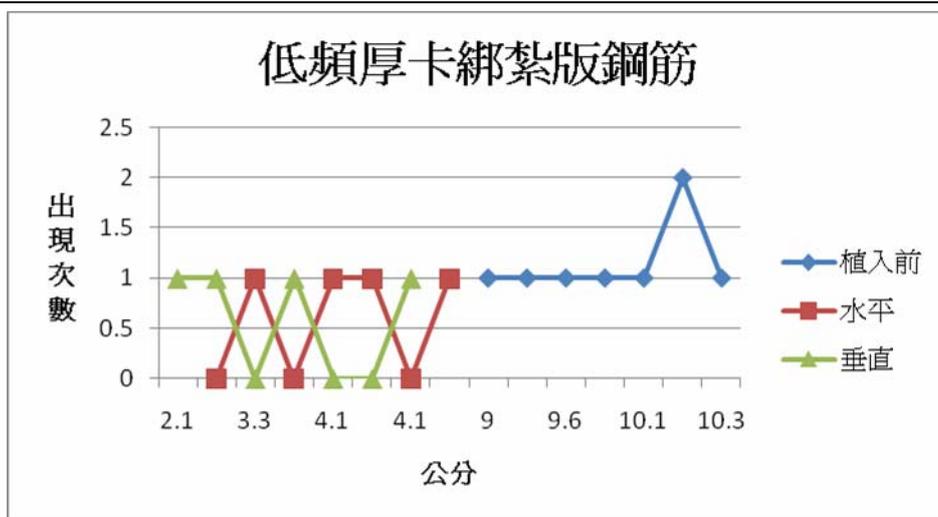


圖 4.158 低頻-厚卡綁紮於板鋼筋

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮牆鋼筋前其讀取範圍為 9 公分至 10.3 公分。
2. 低頻厚卡片型標籤於以水平方向附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 3.3 公分至 4.2 公分。
3. 低頻厚卡片型標籤於以垂直方向附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 4.1 公分。

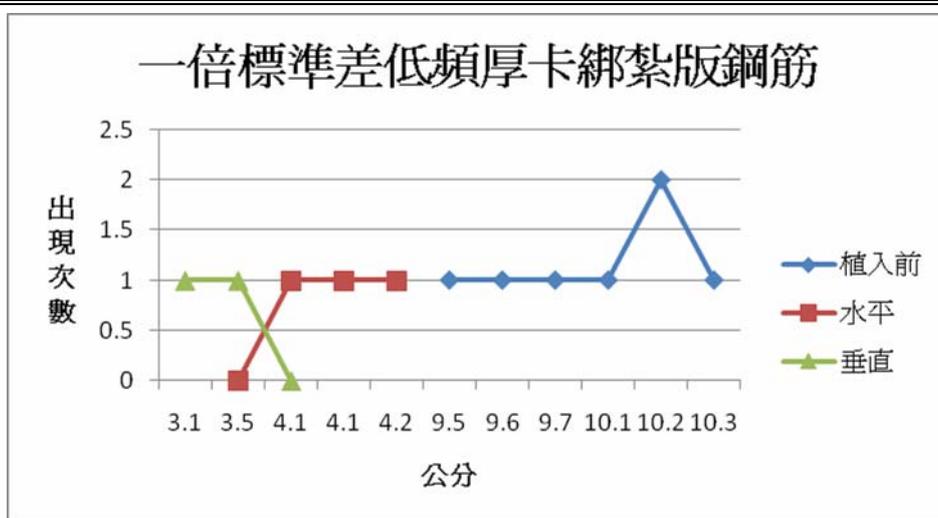


圖 4.159 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於版鋼筋

1. 低頻薄卡片型標籤附掛於版之模板前，其適當讀取距離為 9.5 公分至 10.3 公分，共有六個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向綁紮牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 4.1 公分至 4.2 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻薄卡片型而標籤以垂直方向綁紮牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 3.1 公分至 3.5 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。

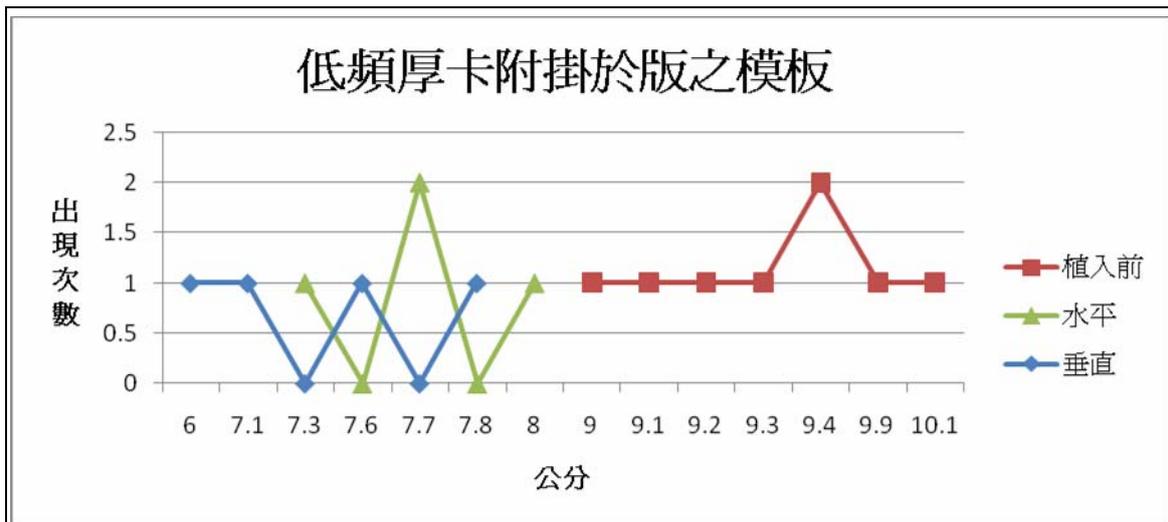


圖 4.160 低頻-厚卡附掛於版之模版

1. 低頻厚卡片型型標籤墊片版前其讀取範圍為 9.1 公分至 10.1 公分。
2. 低頻厚卡片型標籤於以水平方向墊片版後，其適當讀取距離為 7.3 公分至 8 公分。
3. 低頻厚卡片型型標籤於以垂直方向墊片版後，其適當讀取距離為 6 公分至 7.8 公分。

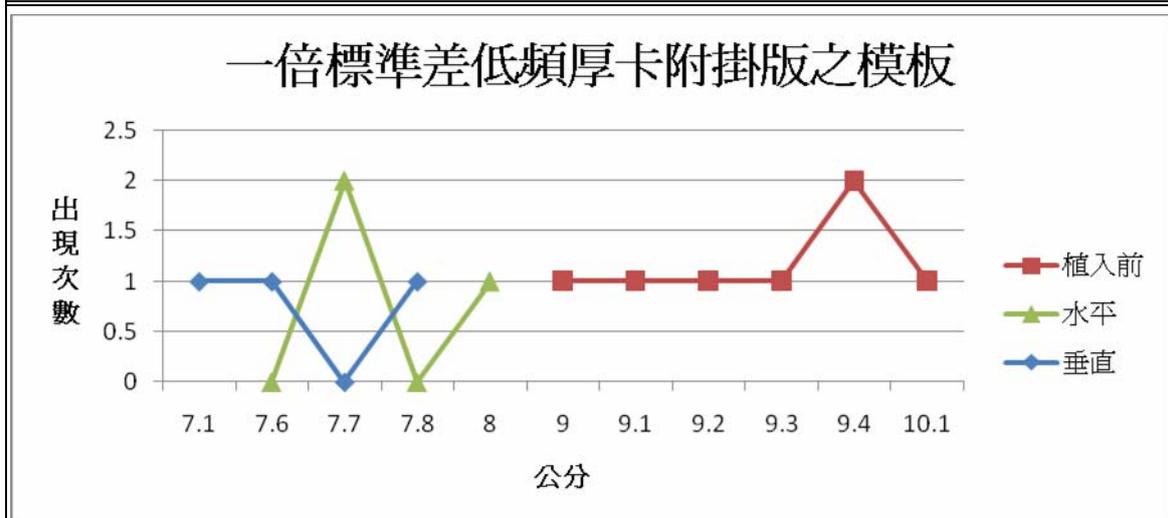


圖 4.161 一倍標準差低頻-厚卡附掛於版之模版

1. 低頻厚卡片型型標籤墊片版前，其適當讀取距離為 9 公分至 10.1 公分，共有六個標籤約為 75%符合標準。
2. 低頻厚卡片型而標籤以水平方向附掛版之模板後，其適當讀取距離為 7.7 公分至 8 公分，共有 7 個標籤約為 87.5%符合標準。
3. 高頻厚卡片型而標籤以垂直方向附掛版之模板後，其適當讀取距離為 7.1 公分至 7.8 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。

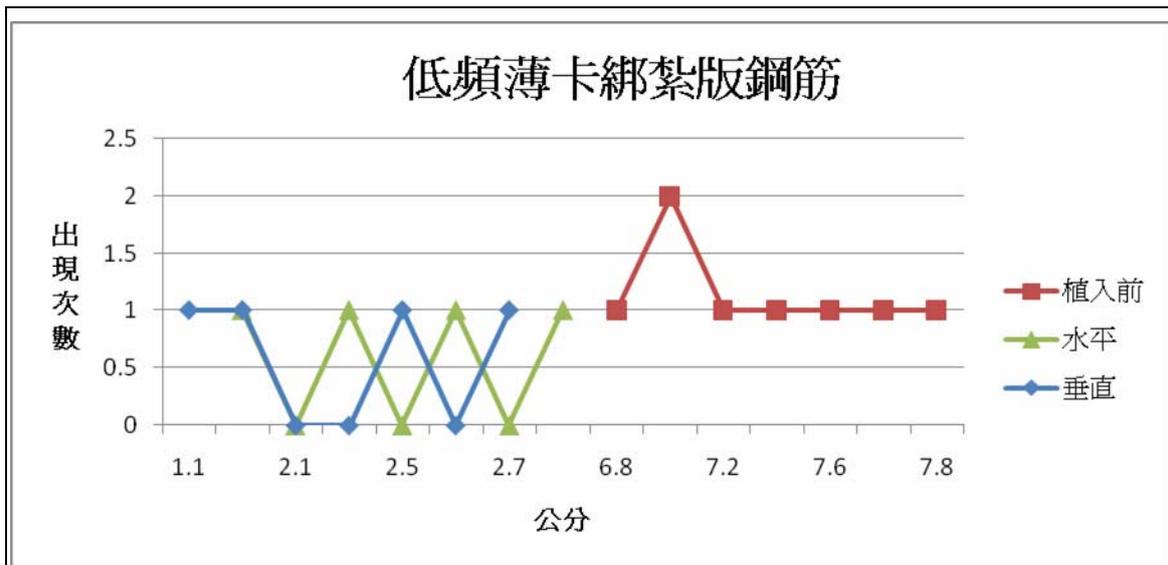


圖 4.162 低頻-薄卡綁紮於版鋼筋

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮版之鋼筋前其讀取範圍為 6.8 公分至 7.8 公分。
2. 低頻薄卡片型標籤於以水平方向(長邊) 綁紮版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 3.1 公分。
3. 低頻薄卡片型標籤於以水平方向(短邊) 綁紮版之鋼筋後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 2.7 公分。

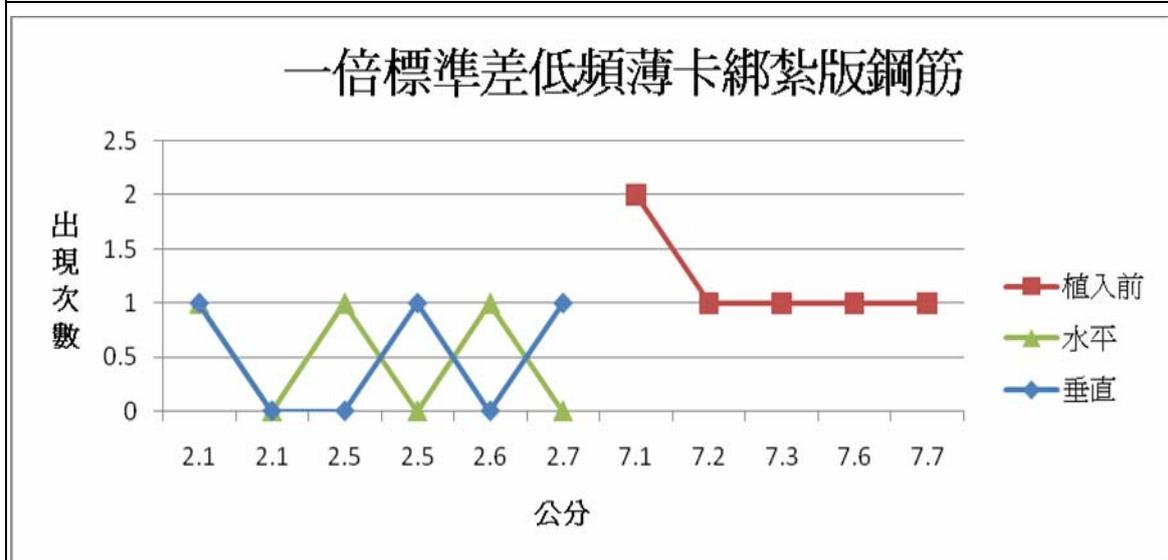


圖 4.163 一倍標準差低頻-薄卡綁紮於版鋼筋

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮版之鋼筋前，其適當讀取距離為 7.1 公分至 7.7 公分，共有六個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向綁紮版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.6 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻薄卡片型而標籤以垂直方向綁紮版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 2.7 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

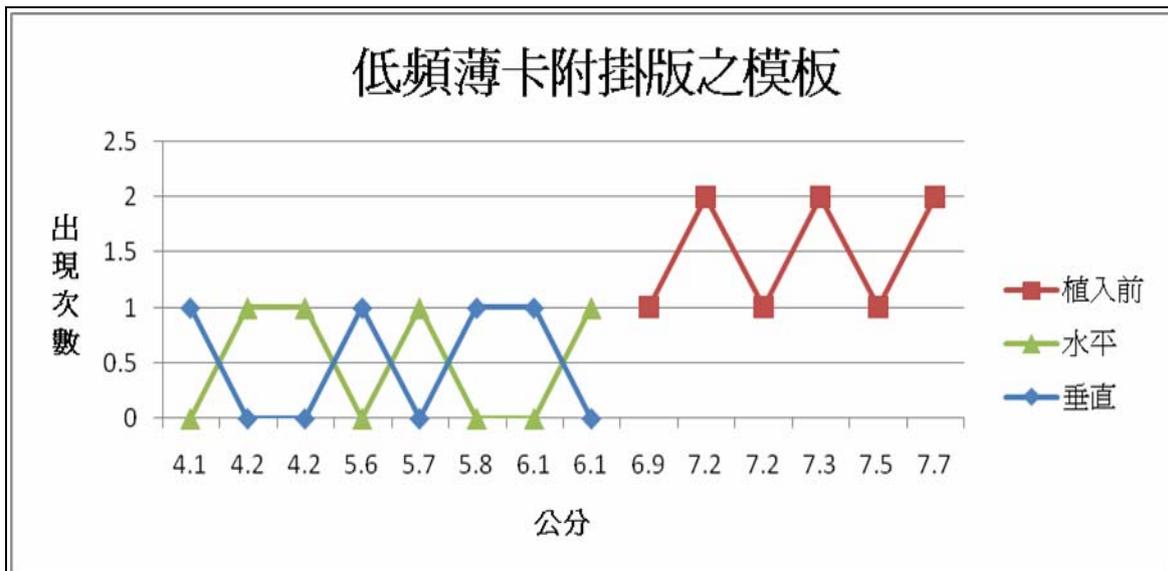


圖 4.164 低頻-薄卡附掛版之模版

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮牆鋼筋中間前其讀取範圍為 6.9 公分至 7.7 公分。
2. 低頻薄卡片型標籤於以水平方向附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 4.2 公分至 6.1 公分。
3. 低頻薄卡片型標籤於以垂直方向附掛於版之模板後，其適當讀取距離為 4.1 公分至 6.1 公分。

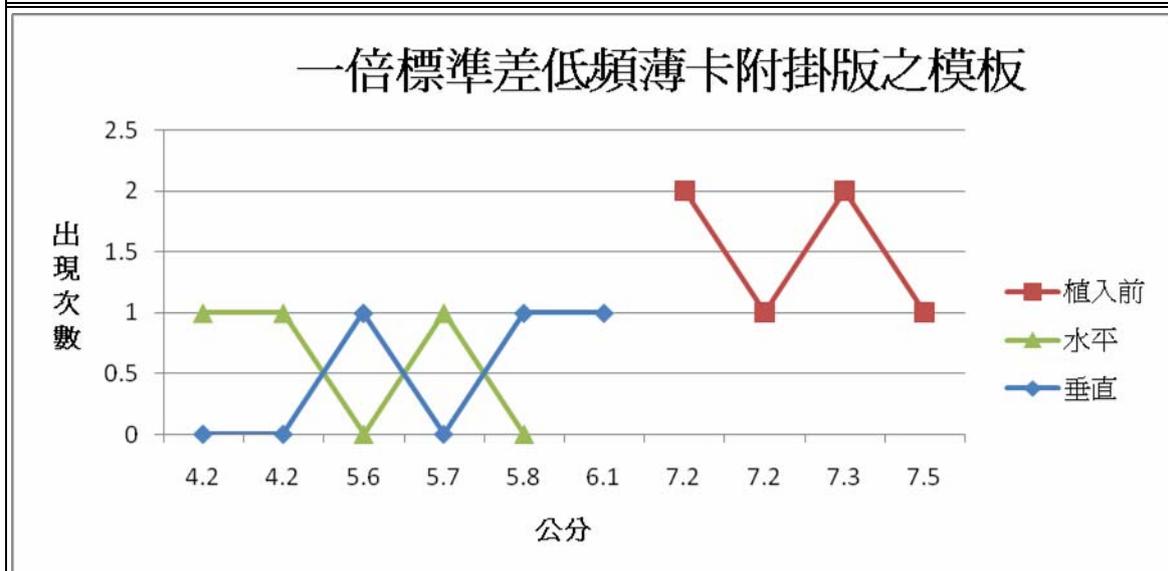


圖 4.165 一倍標準差低頻-薄卡附掛版之模版

1. 低頻薄卡片型標籤附掛於版之模板前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 7.5 公分，共有六個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向綁紮牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 4.2 公分至 5.7 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻薄卡片型而標籤以垂直方向綁紮牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 5.6 公分至 6.1 公分，共有 4 個標籤約為 50% 符合標準。

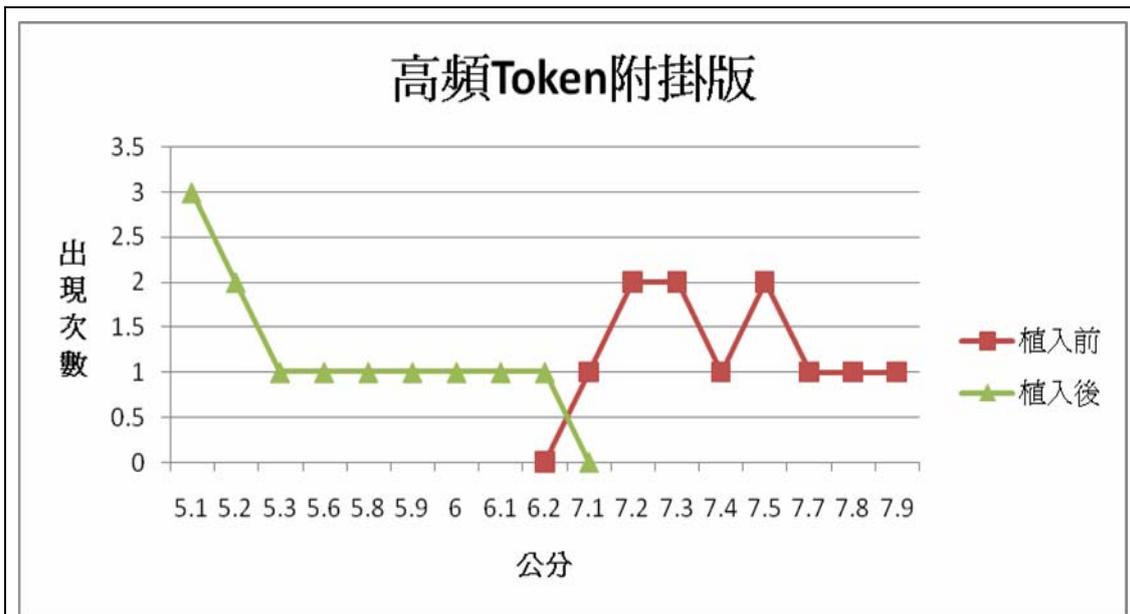


圖 4.166 高頻-Token 附掛版之模版

1. 高頻-Token 型標籤附掛版之模版前其讀取範圍為 7.1 公分至 7.9 公分。
2. 高頻-Token 型標籤附掛版之模版後其讀取範圍為 5.1 公分至 6.2 公分。
3. 高頻-Token 型標籤植入後，受灌漿震動搗實之影響，並且讀取能力受混凝土與鋼筋之影響、故讀取效果降低。

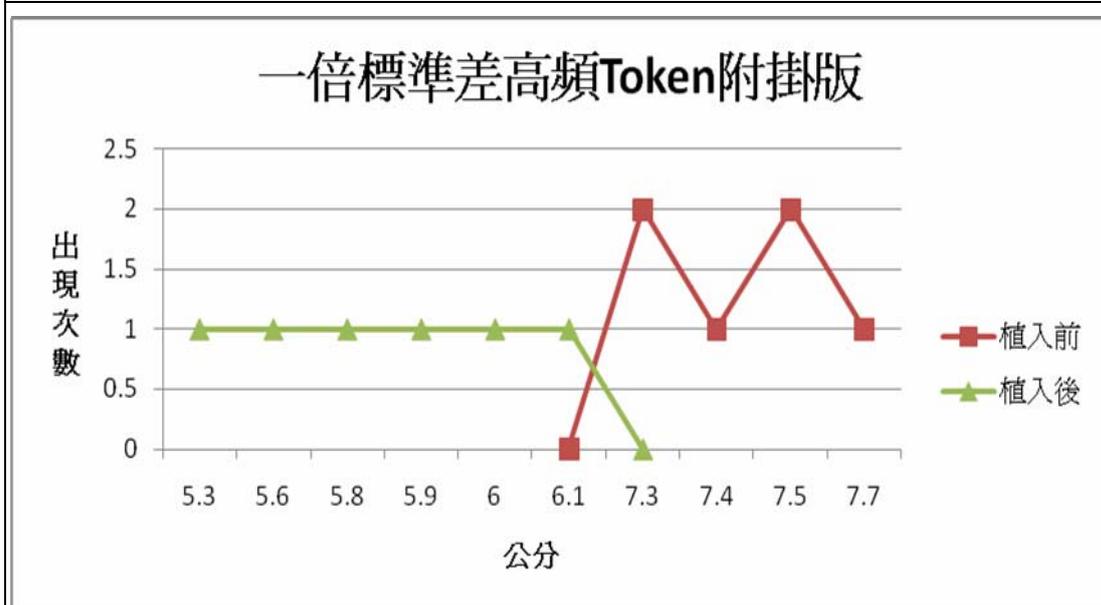


圖 4.167 一倍標準差高頻-Token 附掛版之模版

1. 高頻-Token 型標籤附掛版之模版前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 7.7 公分，共有 6 個標籤約為 37.5% 符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤附掛版之模版後，其適當讀取距離為 5.2 公分至 6.1 公分，共有 6 個標籤約為 37.5% 符合標準。

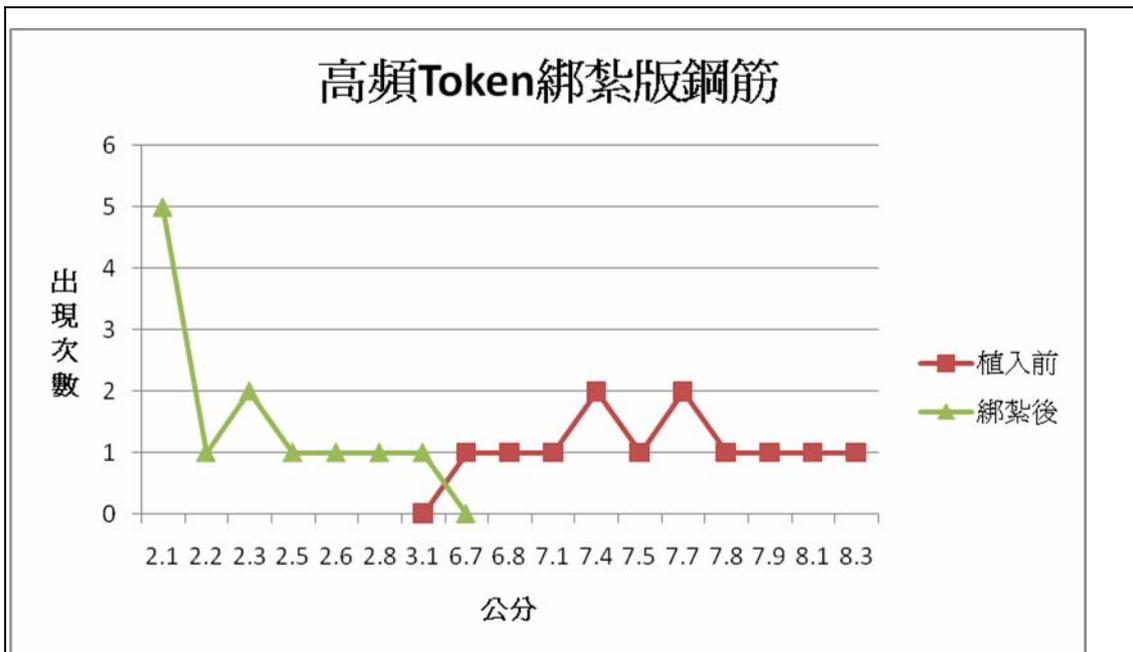


圖 4.168 高頻-Token 綁紮於版鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於版鋼筋前其讀取範圍為 6.7 公分至 8.3 公分。
2. 高頻-Token 型標籤綁紮於版鋼筋後其讀取範圍為 2.1 公分至 3.1 公分。

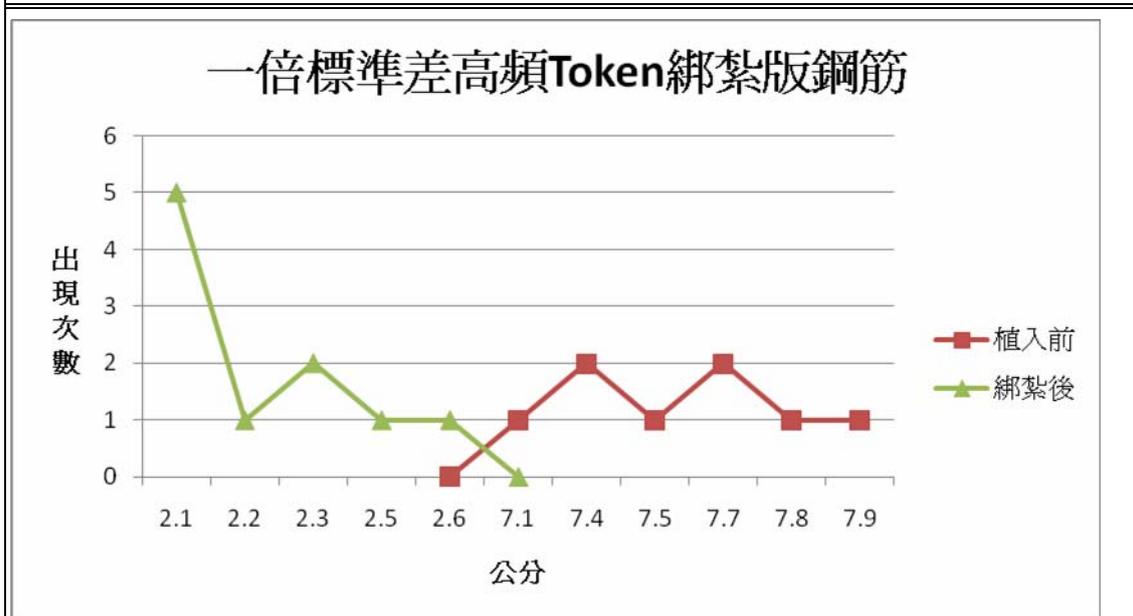


圖 4.169 一倍標準差高頻-Token 綁紮於版鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於版鋼筋前，其適當讀取距離為 7 公分至 8 公分，共有 8 個標籤約為 66.7%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤綁紮於版鋼筋後，其適當讀取距離為 2 公分至 2.7 公分，共有 10 個標籤約為 83.3%符合標準。

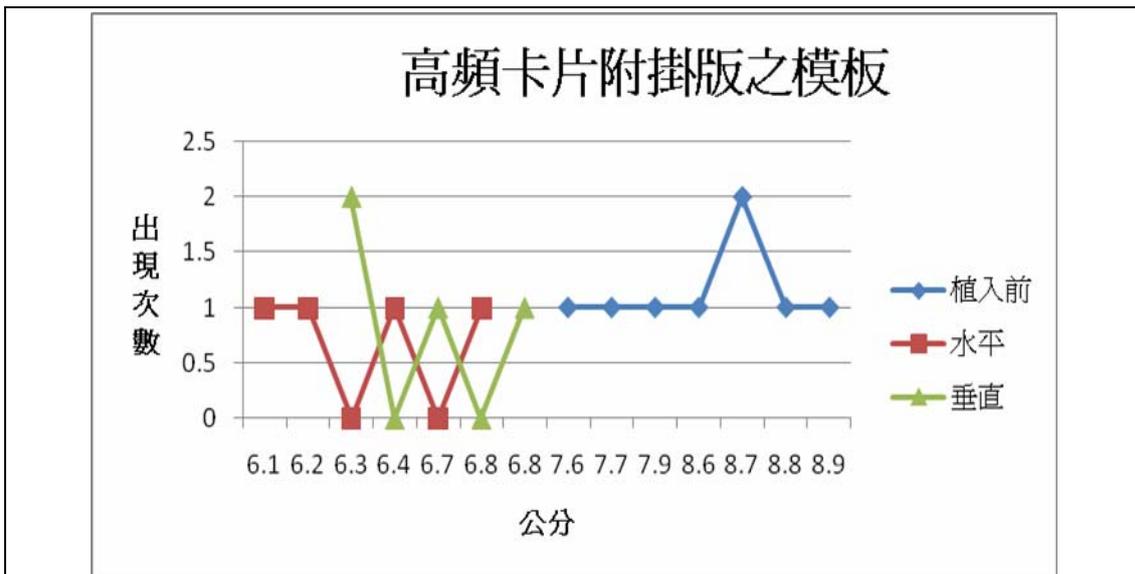


圖 4.170 高頻-卡片附掛版之模板

1. 高頻卡片型標籤墊片版前其讀取範圍為 7.6 公分至 8.9 公分。
2. 高頻卡片型標籤於以水平方向墊片版後，其適當讀取距離為 6.1 公分至 6.8 公分。
3. 高頻卡片型標籤於以垂直方向墊片版後，其適當讀取距離為 6.3 公分至 6.8 公分。

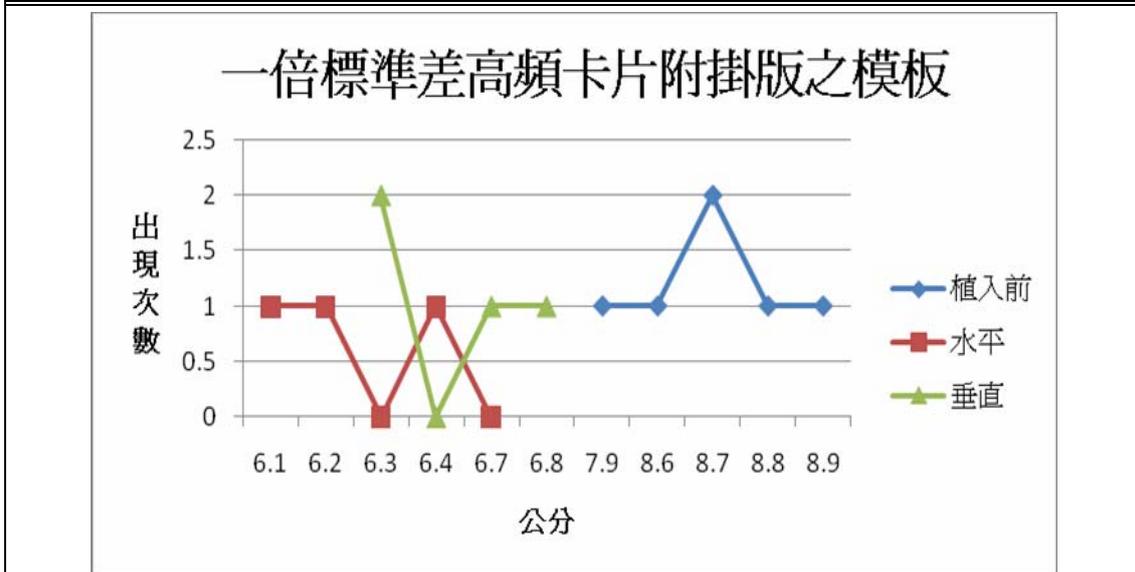


圖 4.171 一倍標準差高頻-卡片附掛於版之模版

1. 高頻卡片型標籤墊片版前，其適當讀取距離為 7.9 公分至 8.9 公分，共有六個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向墊片版後，其適當讀取距離為 6.1 公分至 6.4 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。
3. 高頻卡片型而標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 6.3 公分至 6.8 公分，共有 4 個標籤約為 100%符合標準。

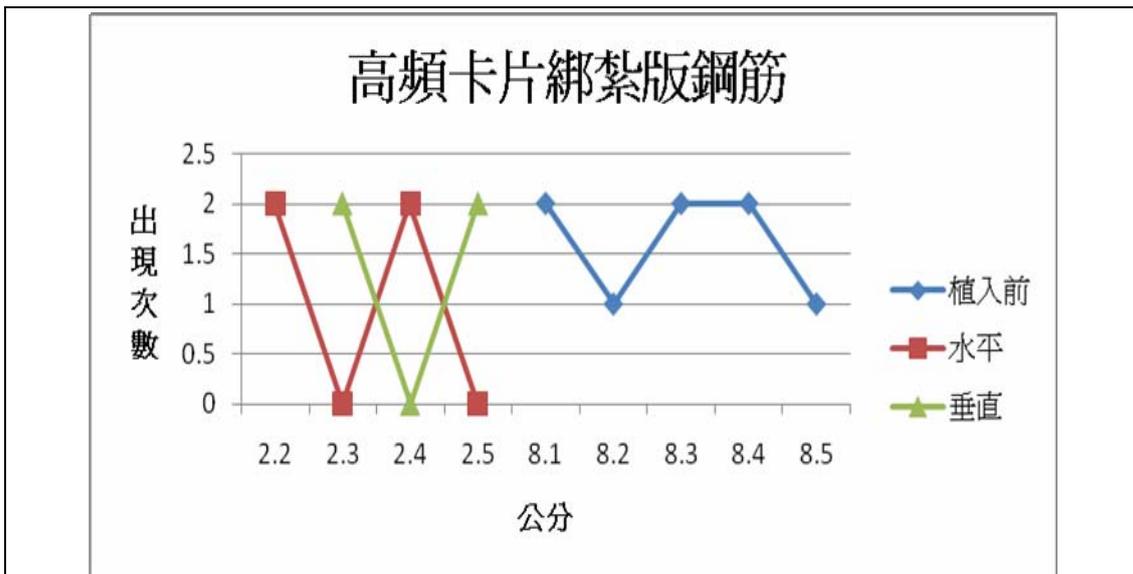


圖 4.172 高頻-卡片綁紮於版鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮版之鋼筋前其讀取範圍為 8.1 公分至 8.4 公分。
2. 高頻卡片型標籤於以水平方向綁紮版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.2 公分至 2.5 公分。
3. 高頻卡片型標籤於以垂直方向墊片版後，其適當讀取距離為 2.3 公分至 2.5 公分。

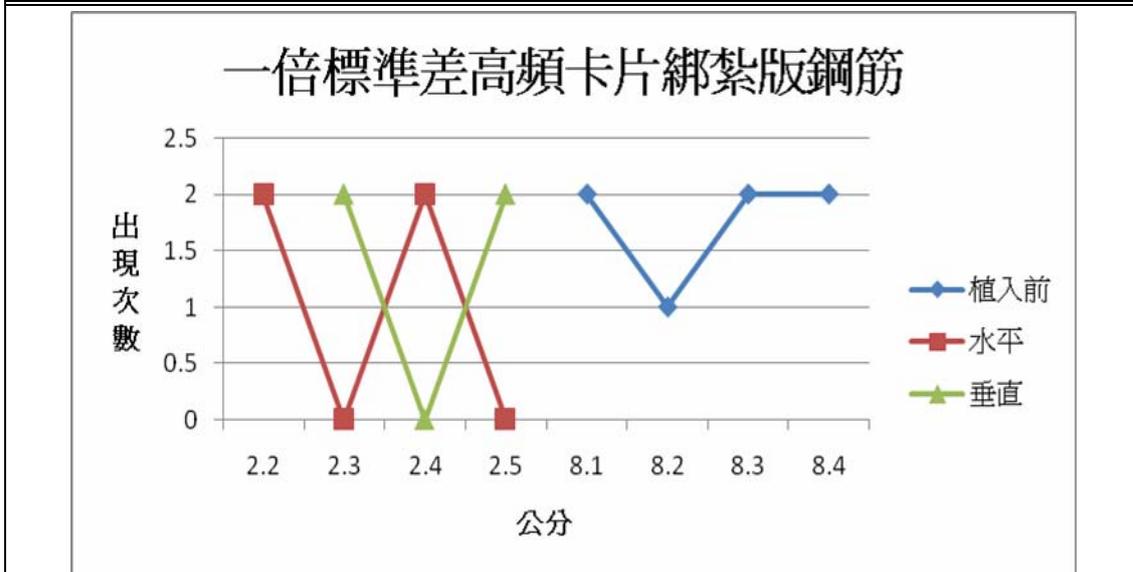


圖 4.173 一倍標準差高頻-卡片綁紮於版鋼筋

1. 高頻卡片型標籤綁紮版之鋼筋前，其適當讀取距離為 8.1 公分至 8.4 公分，共有七個標籤約為 87.5% 符合標準。
2. 高頻卡片型而標籤以水平方向綁紮版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.2 公分至 2.4 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。
3. 高頻卡片型而標籤以垂直方向綁紮版之鋼筋後，其適當讀取距離為 2.3 公分至 2.5 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。

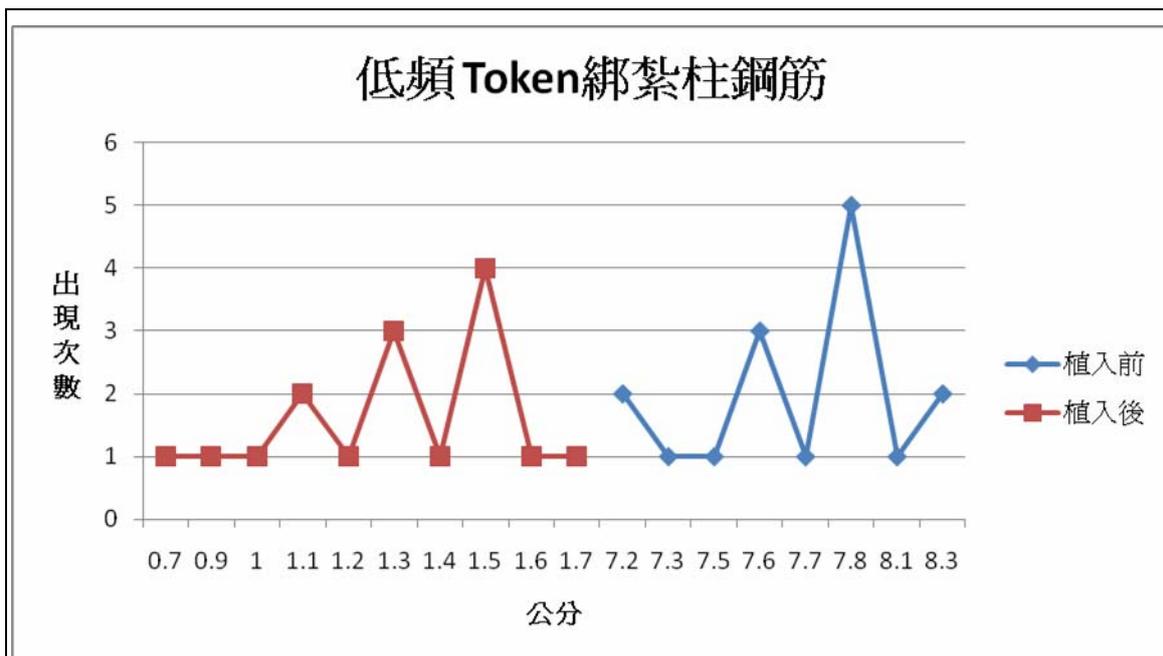


圖 4.174 低頻-Token 綁紮於柱鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 7.2 公分至 8.3 公分。
2. 低頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋後其讀取範圍為 0.7 公分至 1.7 公分。

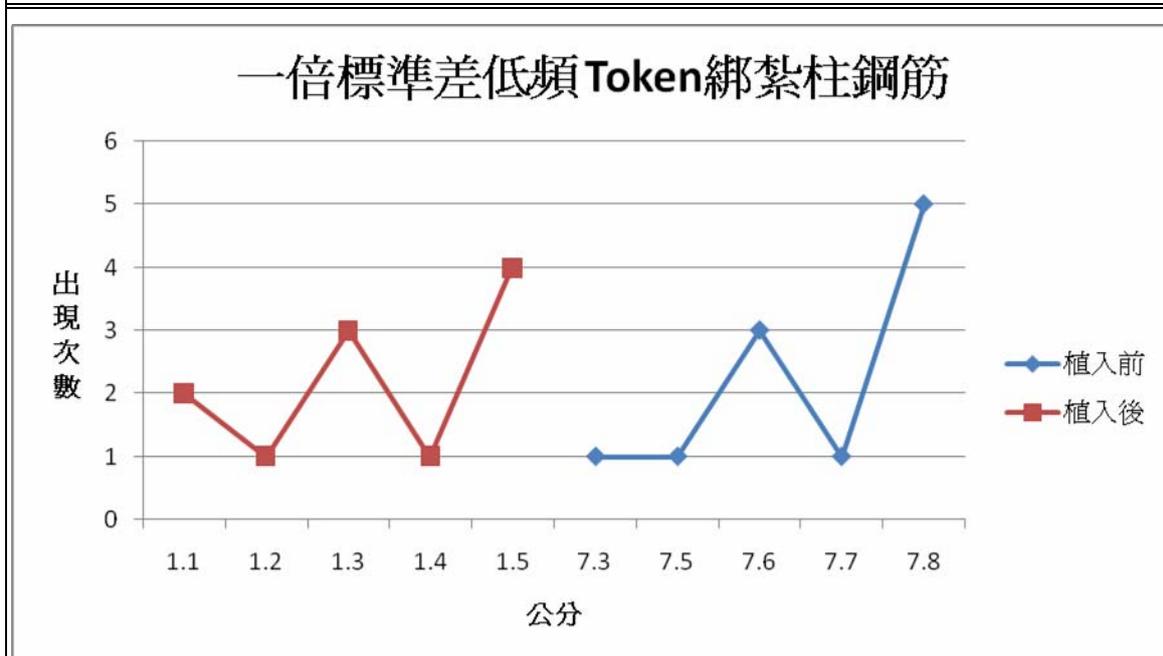


圖 4.175 一倍標準差低頻-Token 綁紮於柱鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋前，其適當讀取距離為 7.4 公分至 8 公分，共有 11 個標籤約為 68.75%符合標準。
2. 低頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 1.0 公分至 1.6 公分，共有 11 個標籤約為 68.75%符合標準。

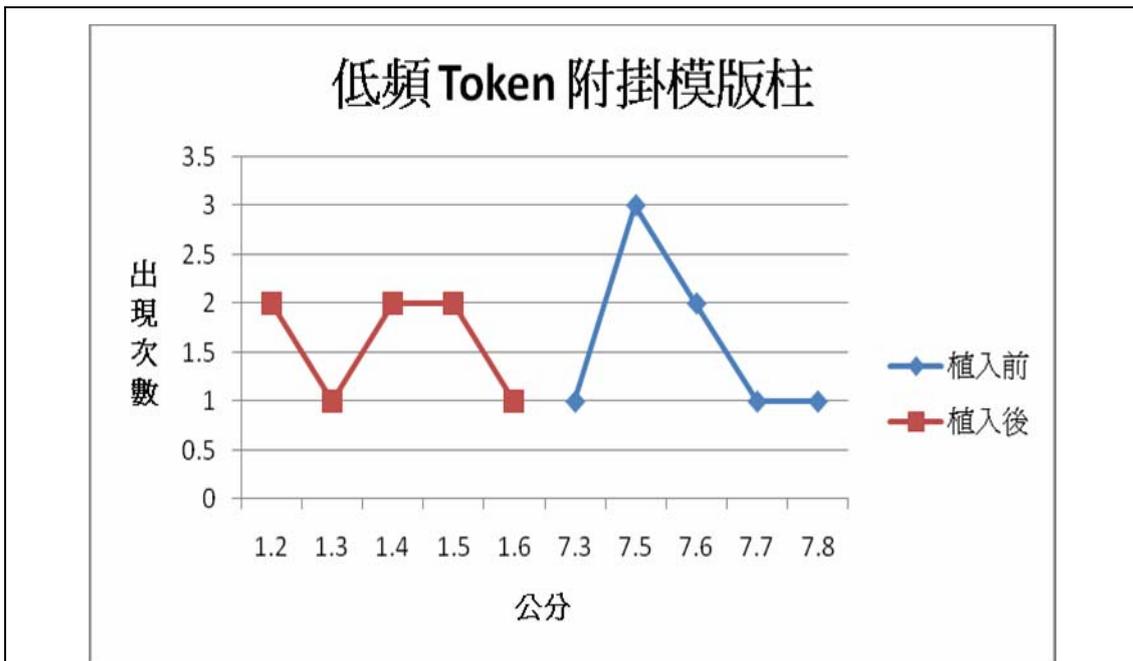


圖 4.176 低頻-Token 附掛於柱模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於柱模板前其讀取範圍為 7.3 公分至 7.8 公分。
2. 低頻-Token 型標籤附掛於柱模板後其讀取範圍為 1.2 公分至 1.6 公分。

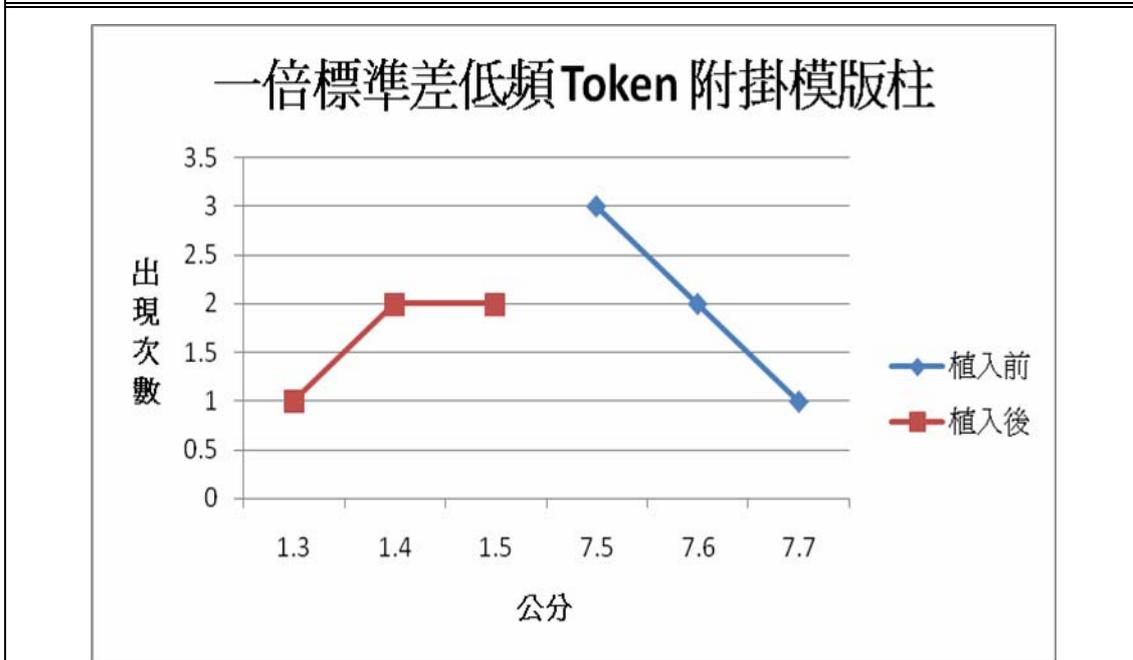


圖 4.177 一倍標準差低頻-Token 附掛於柱模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於柱模版前，其適當讀取距離為 7.4 公分至 7.7 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻-Token 型標籤附掛於柱模版後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 1.5 公分，共有 5 個標籤約為 62.5% 符合標準。

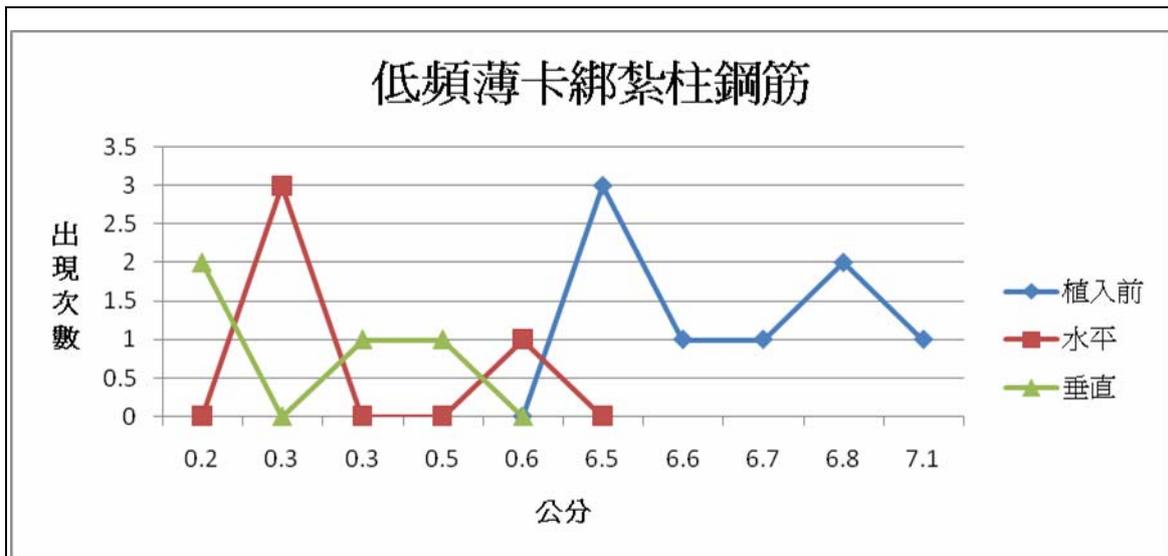


圖 4.178 低頻-薄卡綁紮於柱鋼筋

1. 低頻-薄卡型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 6.5 公分至 7.1 公分。
2. 低頻-薄卡型標籤綁紮於柱鋼筋水平後其讀取範圍為 0.3 公分至 0.6 公分。
3. 低頻-薄卡型標籤綁紮於柱鋼筋垂直後其讀取範圍為 0.2 公分至 0.5 公分。

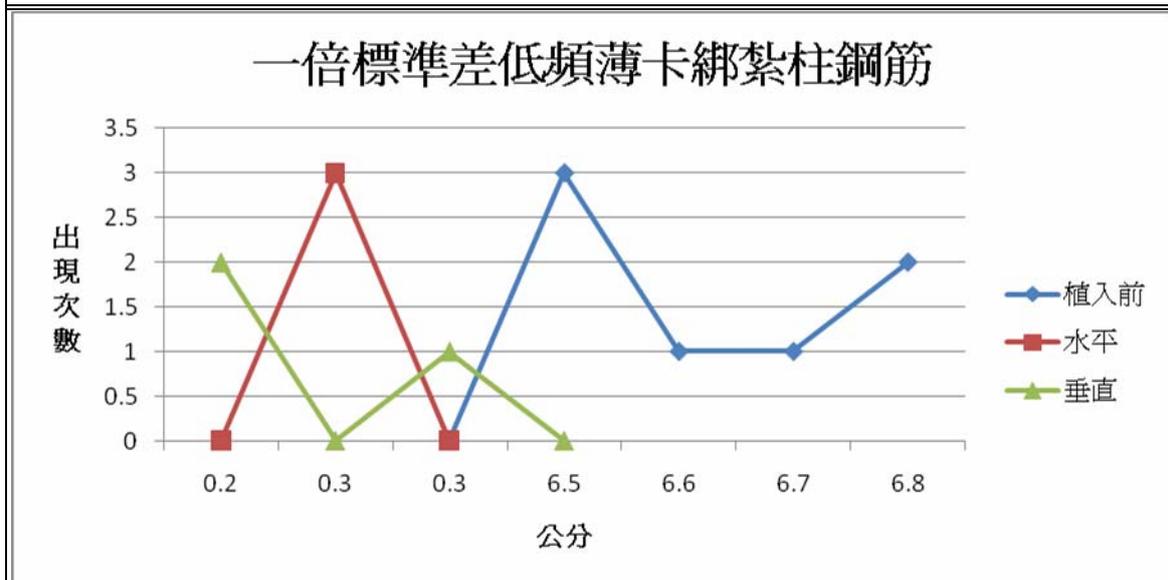


圖 4.179 一倍標準差低頻-薄卡附掛梁側邊模板

1. 低頻-薄卡型標籤綁紮於柱鋼筋前，其適當讀取距離為 6.5 公分至 6.8 公分，共有 7 個標籤約為 87.5% 符合標準。
2. 低頻-薄卡型而標籤綁紮於柱鋼筋水平後，其適當讀取距離為 0.3 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻-薄卡型而標籤綁紮於柱鋼筋垂直後，其適當讀取距離為 0.2 公分，共有 2 個標籤約為 75% 符合標準。

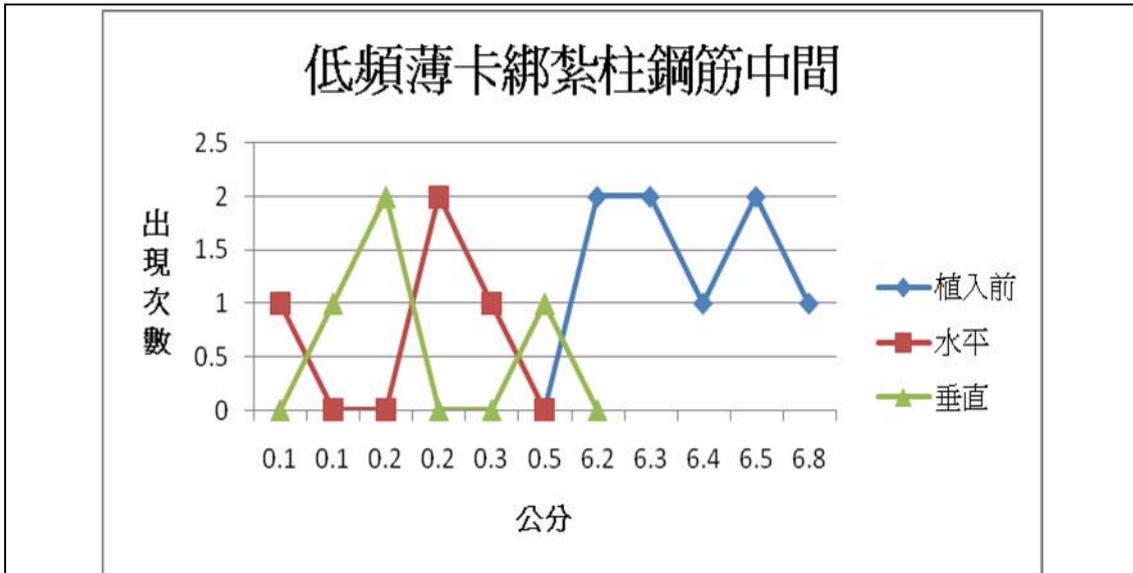


圖 4.180 低頻-薄卡綁紮於柱鋼筋中間

1. 低頻薄卡型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 6.2 公分至 6.8 公分。
2. 低頻薄卡片型標籤於以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0.1 公分至 0.3 公分。
3. 低頻薄卡片型標籤於以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0.1 公分至 0.5 公分。

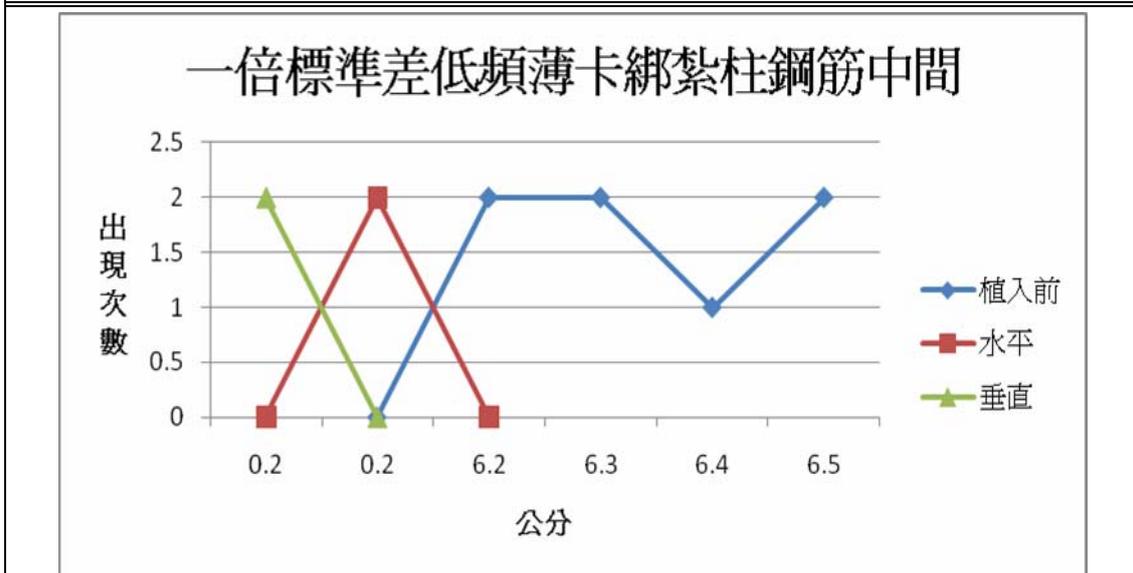


圖 4.181 一倍標準差低頻-薄卡綁紮於柱鋼筋中間

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前，其適當讀取距離為 6.2 公分至 6.6 公分，共有 7 個標籤約為 87.5% 符合標準。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0.1 公分至 0.3 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。
3. 低頻薄卡片型而標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 0.1 公分至 0.5 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。

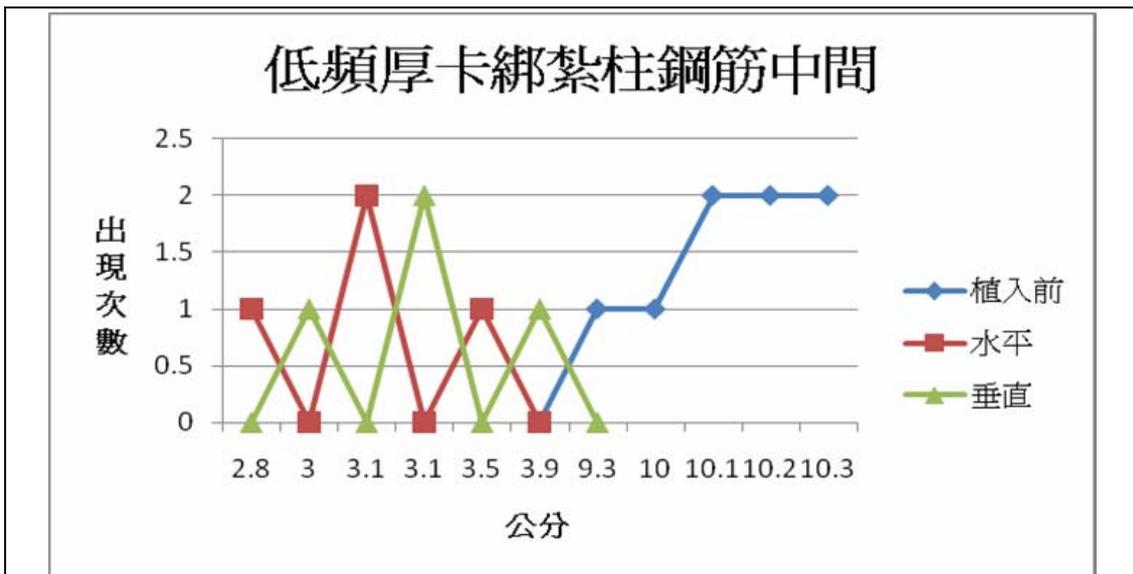


圖 4.182 低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋中間

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 9.3 公分至 10.3 公分。
2. 低頻厚卡片型標籤於以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2.8 公分至 3.5 公分。
3. 低頻厚卡片型標籤於以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 3 公分至 3.9 公分。

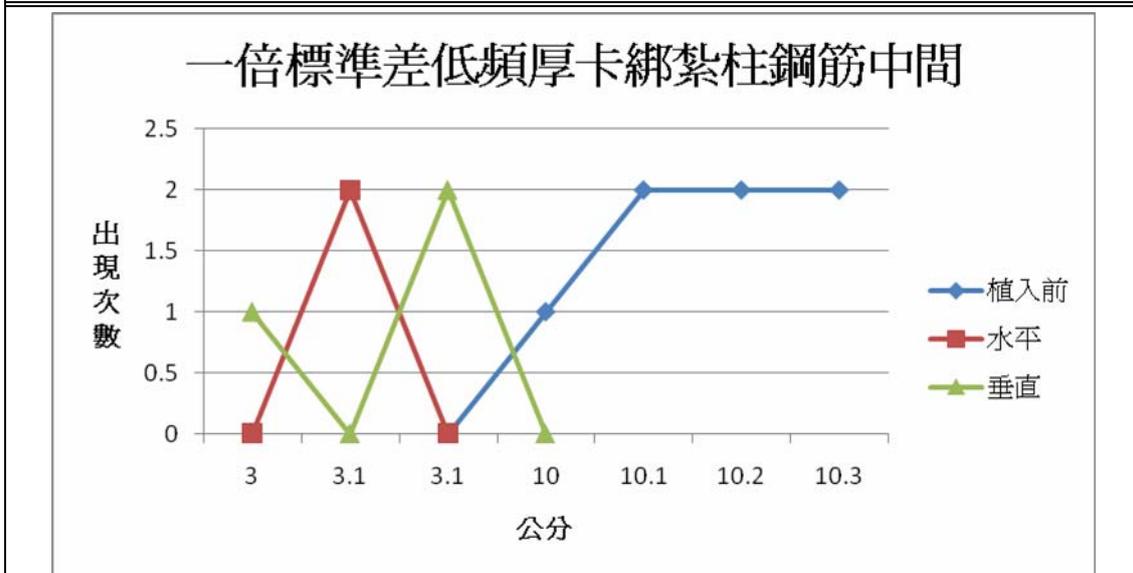


圖 4.183 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋中間

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前，其適當讀取距離為 9.7 公分至 10.4 公分，共有 7 個標籤約為 87.5% 符合標準。
2. 低頻厚卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2.8 公分至 3.4 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。
3. 低頻厚卡片型而標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2.9 公分至 3.7 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

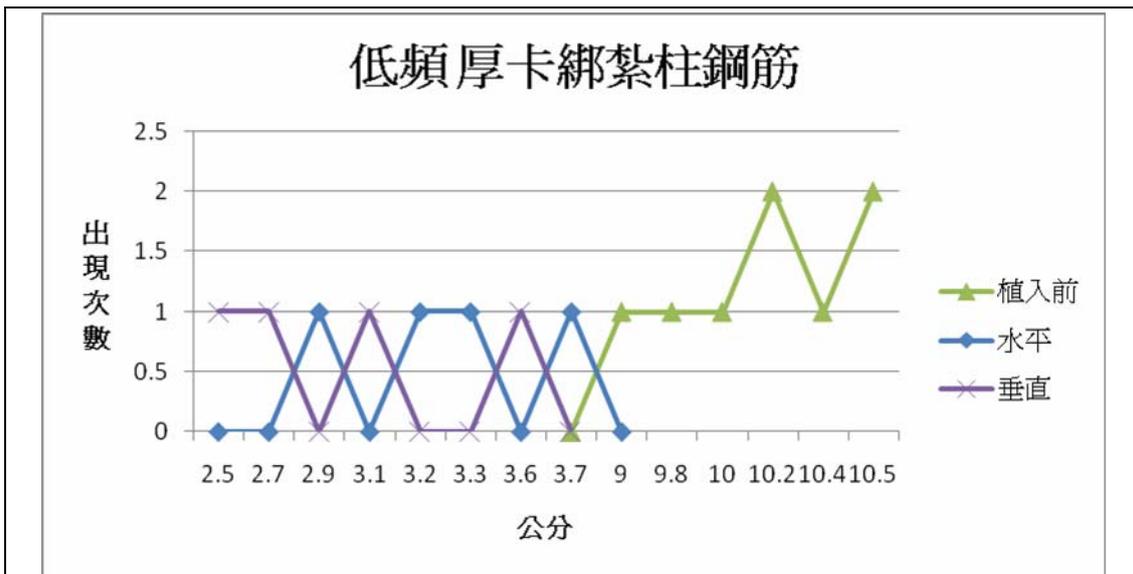


圖 4.184 低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋

1. 低頻厚卡型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 9 公分至 10.5 公分。
2. 低頻厚卡型標籤於以水平方向(長邊) 綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 2.9 公分至 3.7 公分。
3. 低頻厚卡型標籤於以水平方向(短邊) 綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 2.5 公分至 3.6 公分。

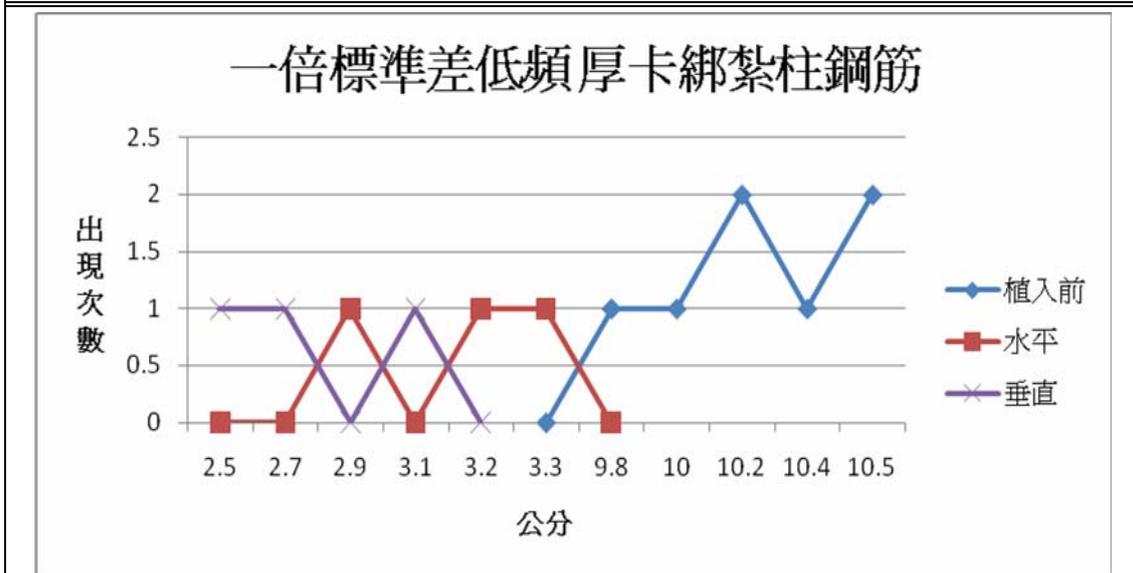


圖 4.185 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於柱鋼筋

1. 低頻厚卡型標籤綁紮於柱鋼筋前，其適當讀取距離為 9.6 公分至 10.6 公分，共有 7 個標籤約為 87.5%符合標準。
2. 低頻厚卡型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 2.9 公分至 3.7 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。
3. 低頻厚卡型而標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 2.5 公分至 3.5 公分，共有 3 個標籤約為 75%符合標準。

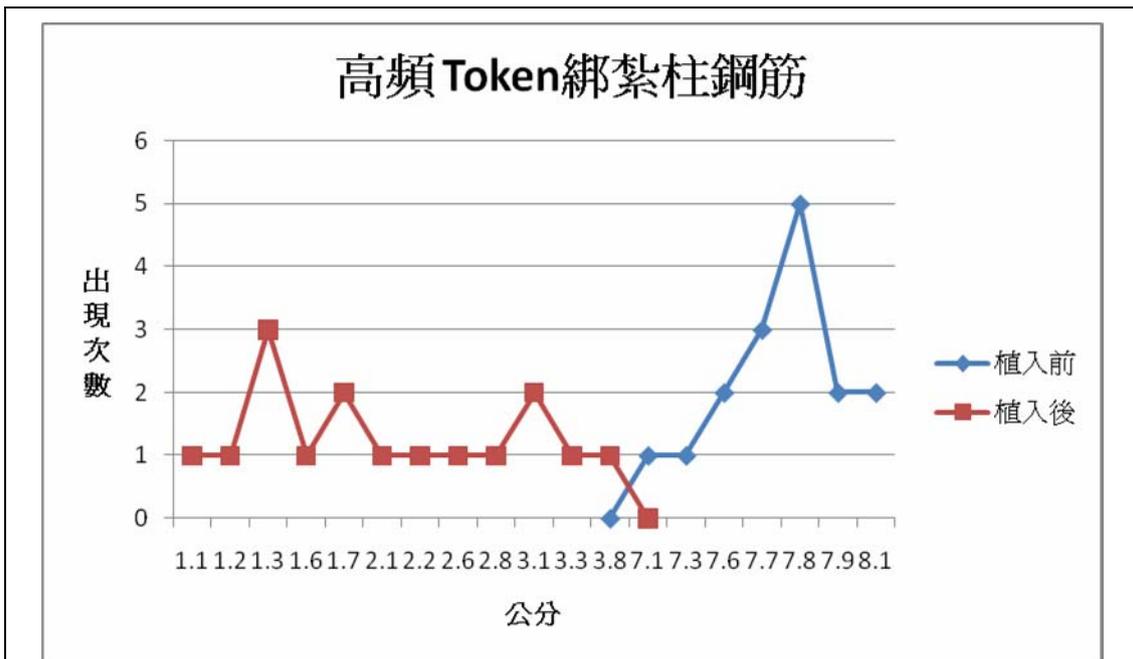


圖 4.186 高頻-Token 綁紮於柱鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 7.1 公分至 8.1 公分。
2. 高頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋後其讀取範圍為 1.1 公分至 3.8 公分。

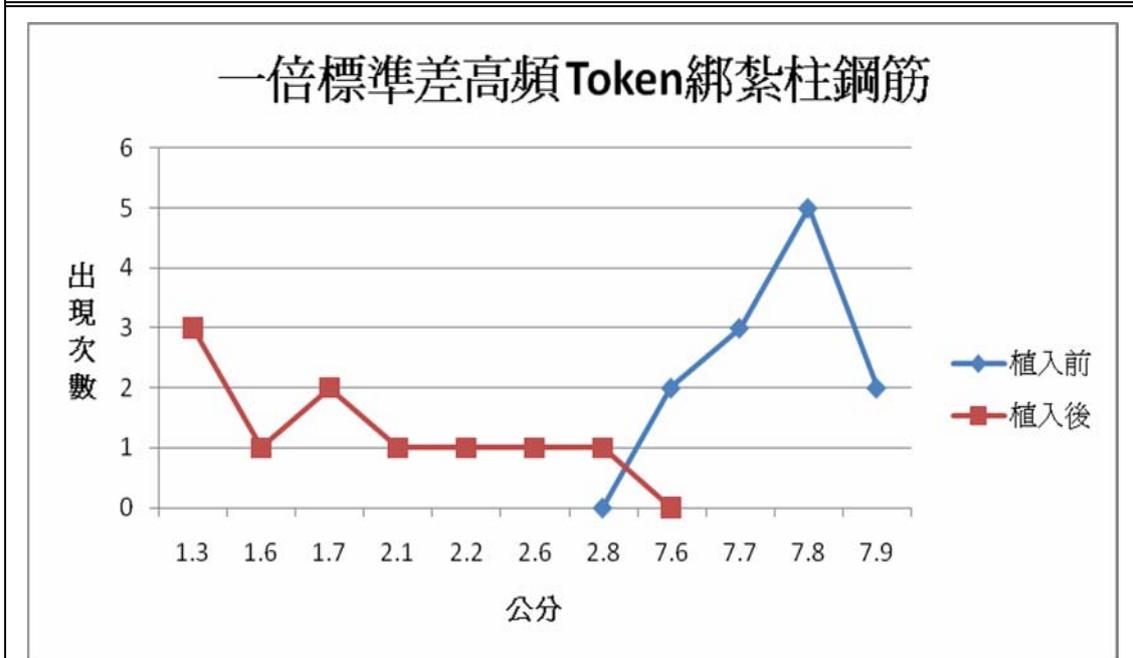


圖 4.187 一倍標準差高頻-Token 綁紮於柱鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於柱鋼筋前，其適當讀取距離為 7.5 公分至 8.0 公分，共有 12 個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 1.3 公分至 3.0 公分，共有 10 個標籤約為 62.5%符合標準。

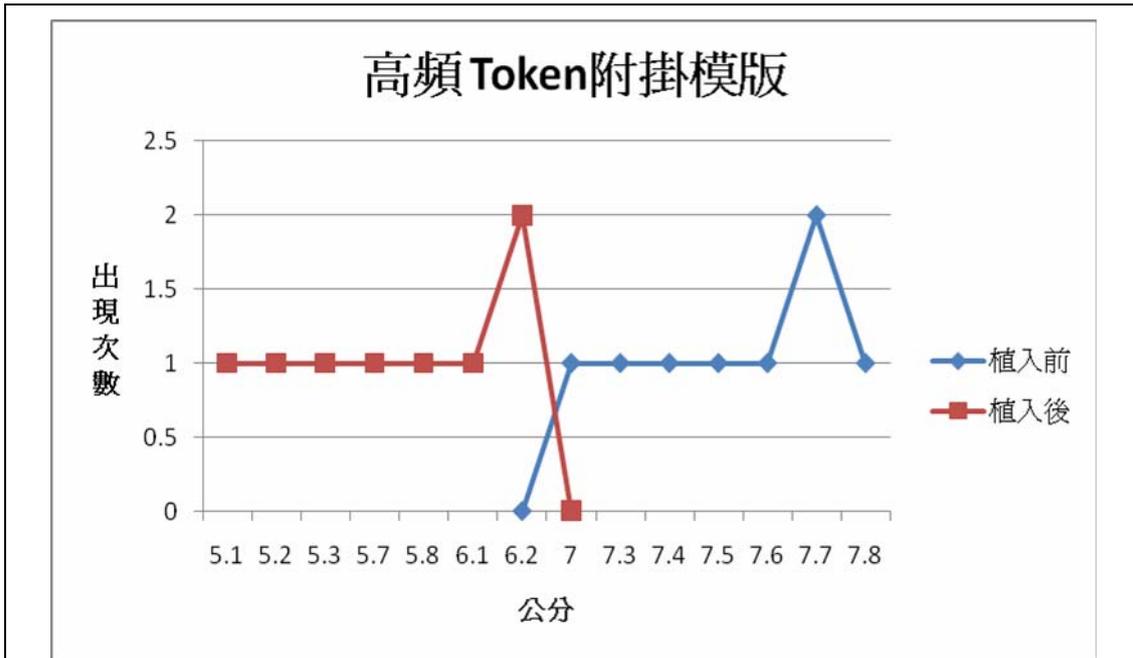


圖 4.188 高頻-Token 附掛於柱模版

1. 高頻-Token 型標籤附掛於柱模版前其讀取範圍為 7 公分至 7.8 公分。
2. 高頻-Token 型標籤附掛於柱模版後其讀取範圍為 5.1 公分至 6.2 公分。

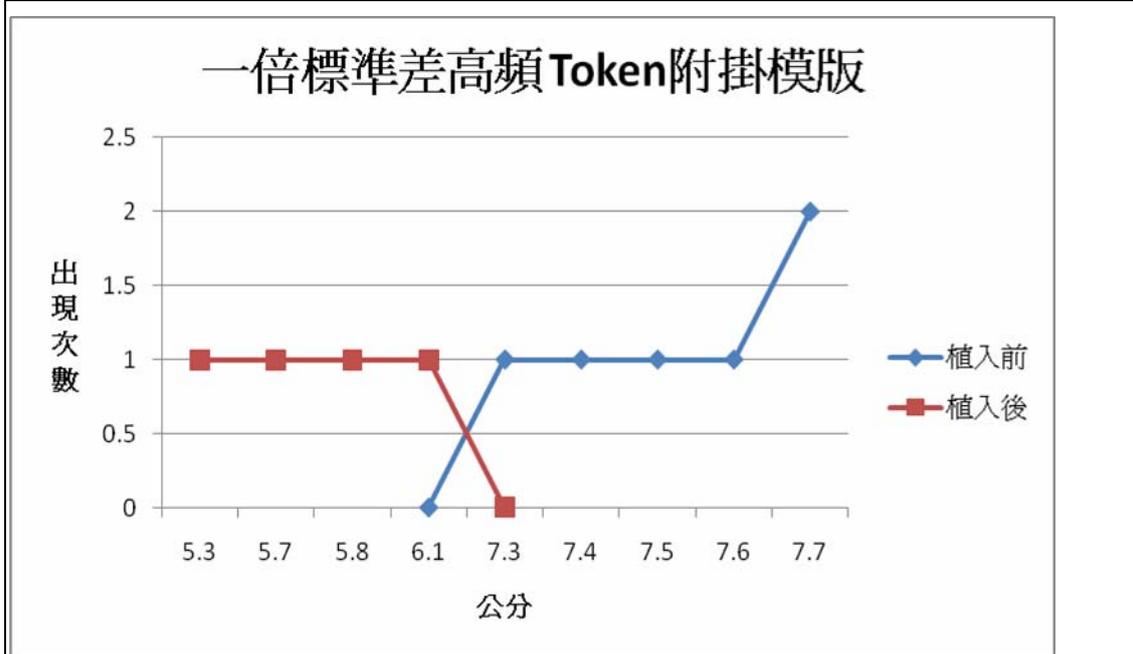


圖 4.189 一倍標準差高頻-Token 附掛於柱模版

1. 高頻-Token 型標籤附掛於柱模版前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 7.8 公分，共有 6 個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤附掛於柱模版後，其適當讀取距離為 5.2 公分至 6.2 公分，共有 4 個標籤約為 50%符合標準。

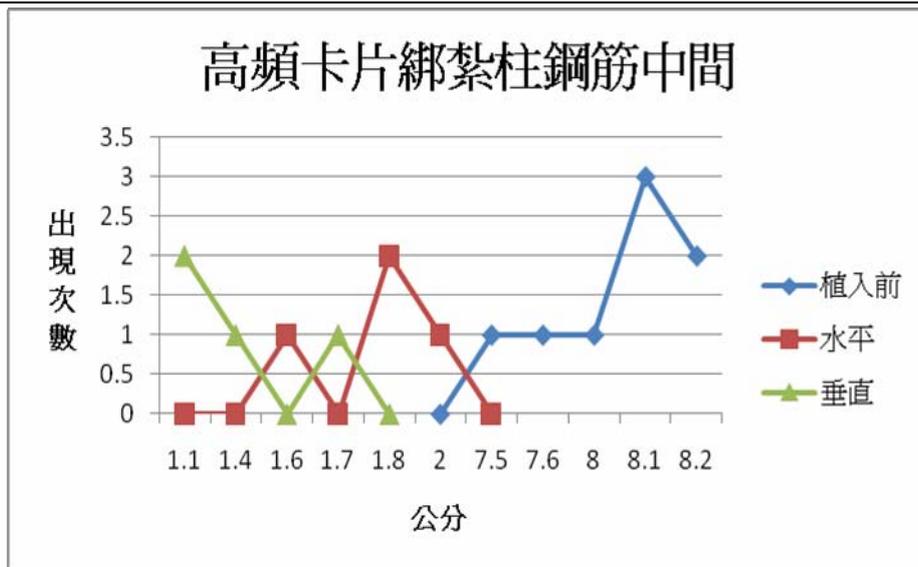


圖 4.190 高頻-卡片綁紮於柱鋼筋中間

1. 高頻-卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前其讀取範圍為 7.5 公分至 8.2 公分。
2. 高頻-卡片型標籤於以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 2 公分。
3. 高頻-卡片型標籤於以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 1.7 公分。

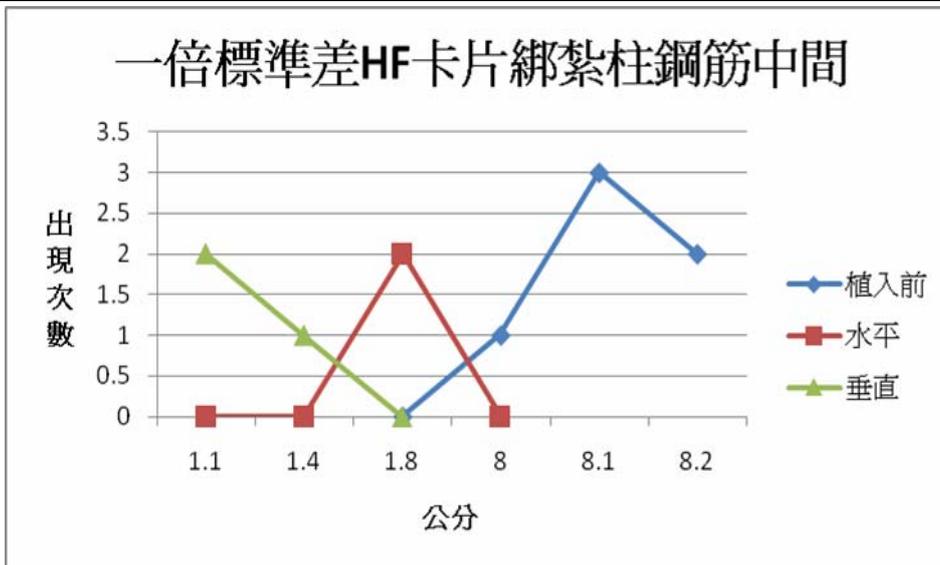


圖 4.191 一倍標準差高頻-卡片綁紮於柱鋼筋中間

1. 高頻-卡片型標籤綁紮於柱鋼筋中間前，其適當讀取距離為 7.7 公分至 8.2 公分，共有 6 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 高頻-卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 2 公分，共有 2 個標籤約為 50% 符合標準。
3. 高頻-卡片型而標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1 公分至 1.6 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

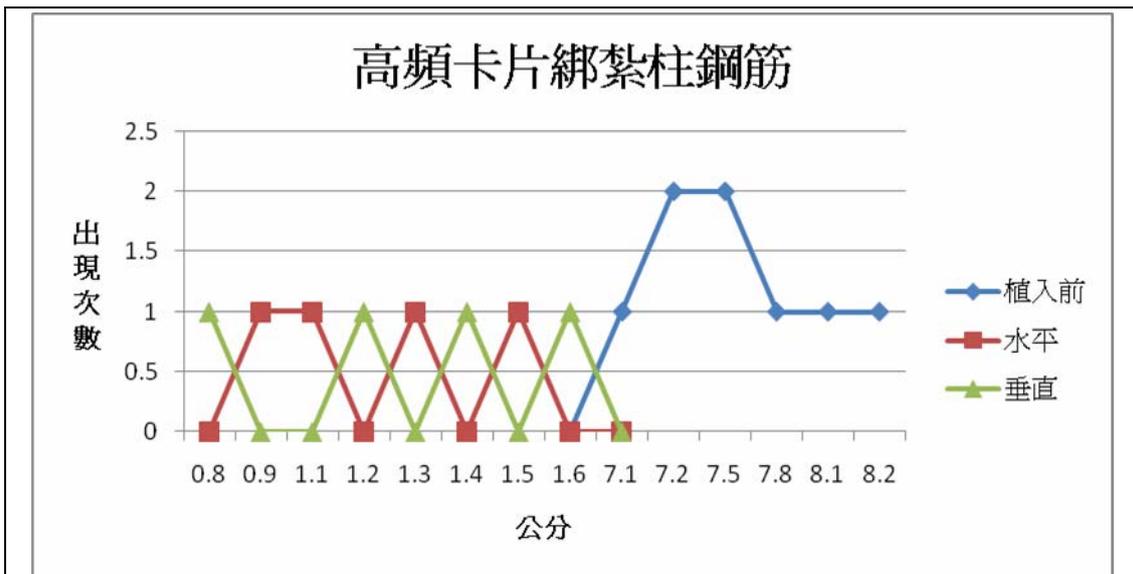


圖 4.192 高頻-卡片綁紮於柱鋼筋

1. 高頻-卡片型標籤綁紮於柱鋼筋前其讀取範圍為 7.1 公分至 8.2 公分。
2. 高頻-卡片型標籤於以水平方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0.9 公分至 1.5 公分。
3. 高頻-卡片型標籤於以垂直方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0.2 公分至 1.6 公分。

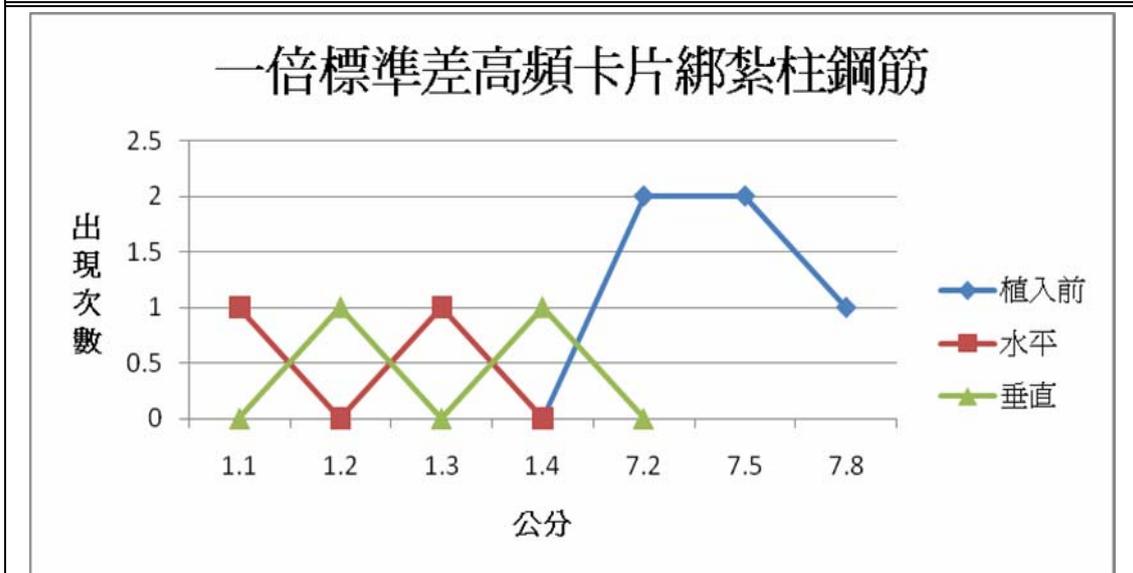


圖 4.193 一倍標準差高頻-卡片綁紮於柱鋼筋

1. 高頻-卡片型標籤綁紮於柱鋼筋前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 8 公分，共有 5 個標籤約為 62.5%符合標準。
2. 高頻-卡片型而標籤以水平方向綁紮於柱鋼筋後，其適當讀取距離為 0.9 公分至 1.5 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。
3. 高頻-卡片型而標籤以垂直方向綁紮於柱鋼筋，其適當讀取距離為 0.9 公分至 1.6 公分，共有 2 個標籤約為 50%符合標準。

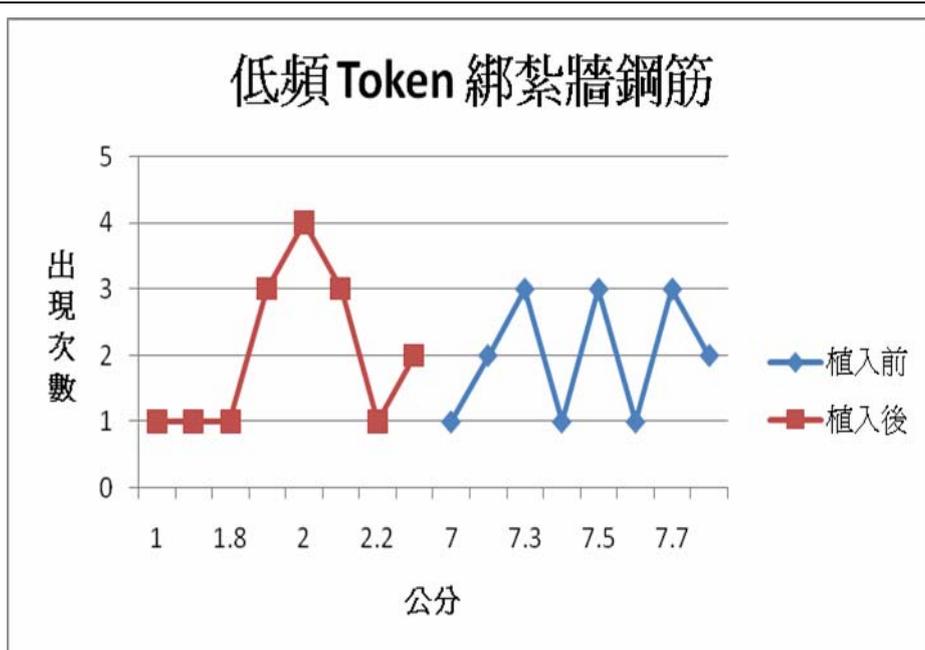


圖 4.194 低頻-Token 綁紮於牆鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤於綁紮前其讀取範圍為 7 公分至 7.8 公分。
2. 低頻-Token 型標籤於綁紮後其讀取範圍為 1 公分至 2.4 公分。

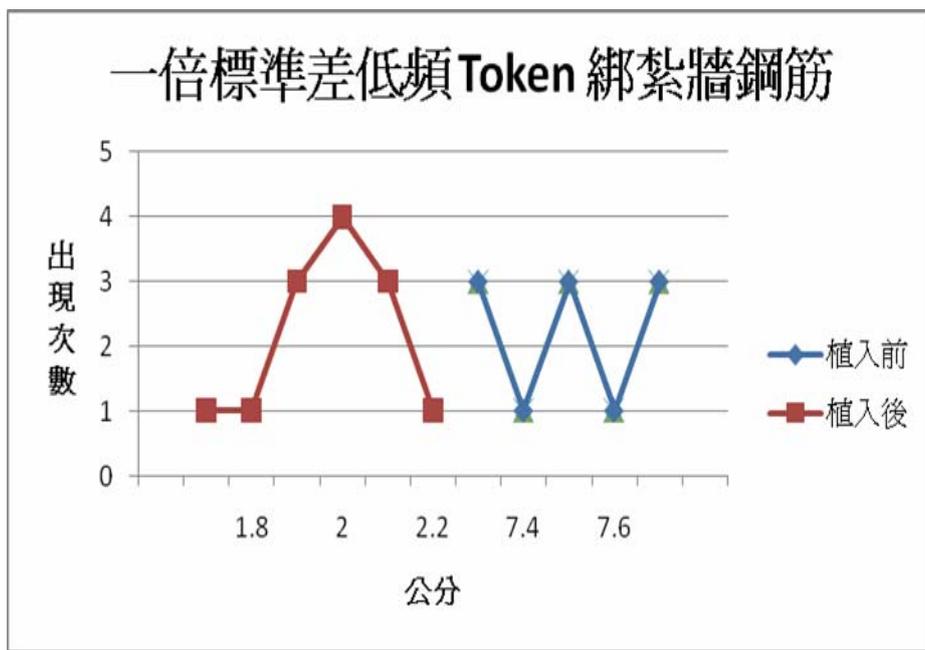


圖 4.195 低頻-Token 一倍標準差綁紮於牆鋼筋

1. 低頻-Token 型標籤綁紮於牆之鋼筋前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 7.7 公分，共有 11 個標籤約為 68.75%符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤綁紮於牆之鋼筋後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 2.3 公分，共有 13 個標籤約為 62.50%符合標準。

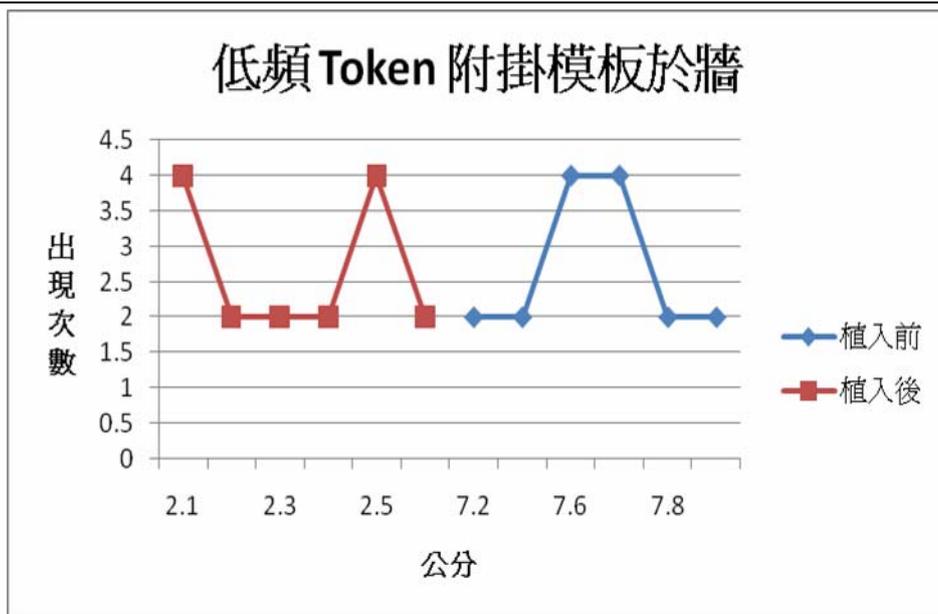


圖 4.196 低頻-Token 附掛於牆之模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模版前其讀取範圍為 7.2 公分至 7.9 公分。
2. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模版後其讀取範圍為 2.1 公分至 2.6 公分。

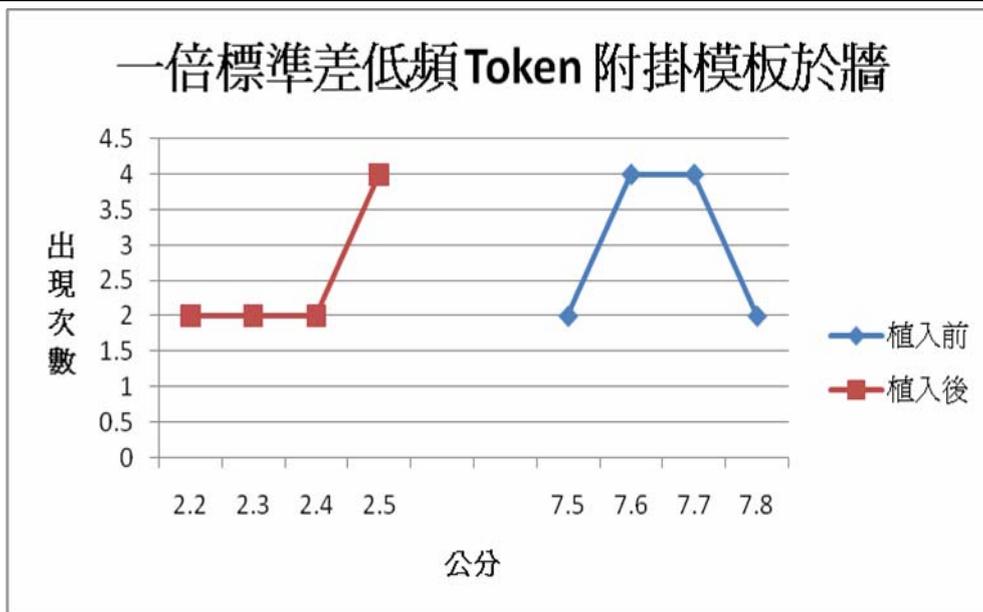


圖 4.197 一倍標準差低頻-Token 附掛於牆之模板

1. 低頻-Token 型標籤附掛於版之模版前，其適當讀取距離為 7.4 公分至 7.8 公分，共有 12 個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻-Token 型而標籤附掛於版之模版後，其適當讀取距離為 2.2 公分至 2.5 公分，共有 10 個標籤約為 62.5% 符合標準。

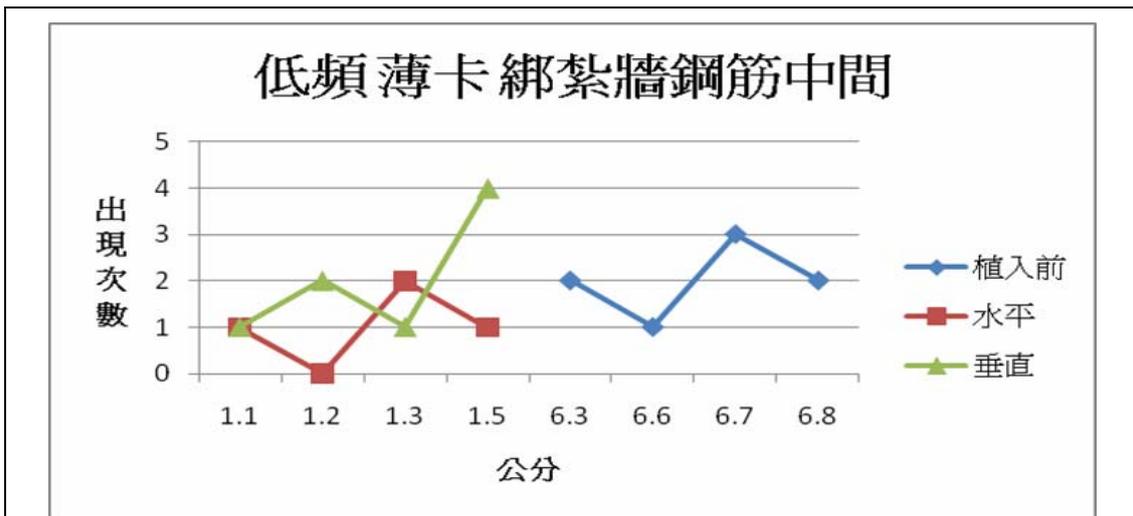


圖 4.198 低頻-薄卡綁紮牆鋼筋中間

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮牆鋼筋中間前其讀取範圍為 6.3 公分至 6.8 公分。
2. 低頻薄卡片型標籤於以水平方向綁紮牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 1.5 公分。
3. 低頻薄卡片型標籤於以垂直方向綁紮牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 1.5 公分。

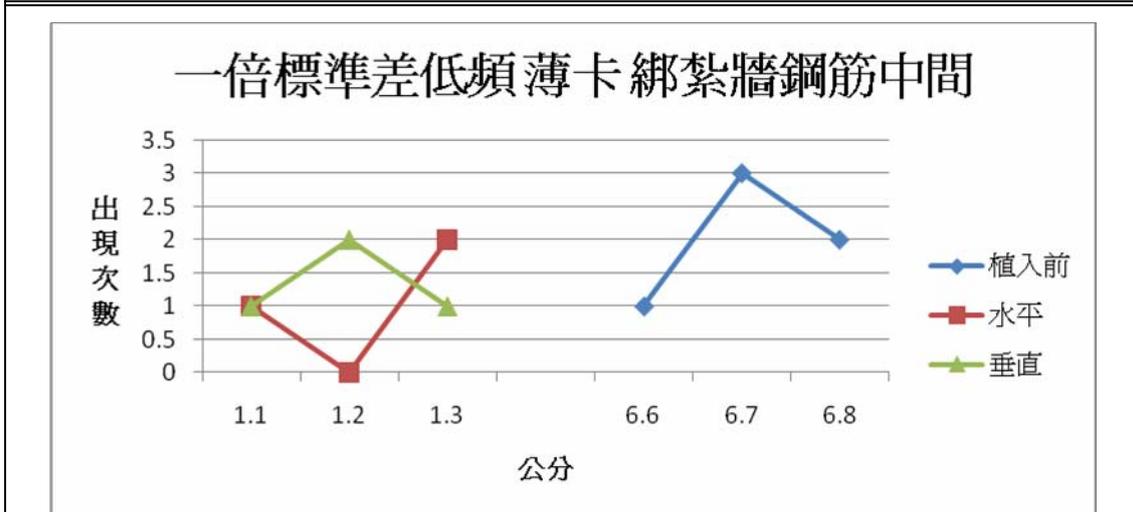


圖 4.199 一倍標準差低頻-薄卡綁紮牆鋼筋中間

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮牆鋼筋中間前，其適當讀取距離為 6.4 公分至 6.8 公分，共有六個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向綁紮牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 1.5 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻薄卡片型而標籤以垂直方向綁紮牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 1.3 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。

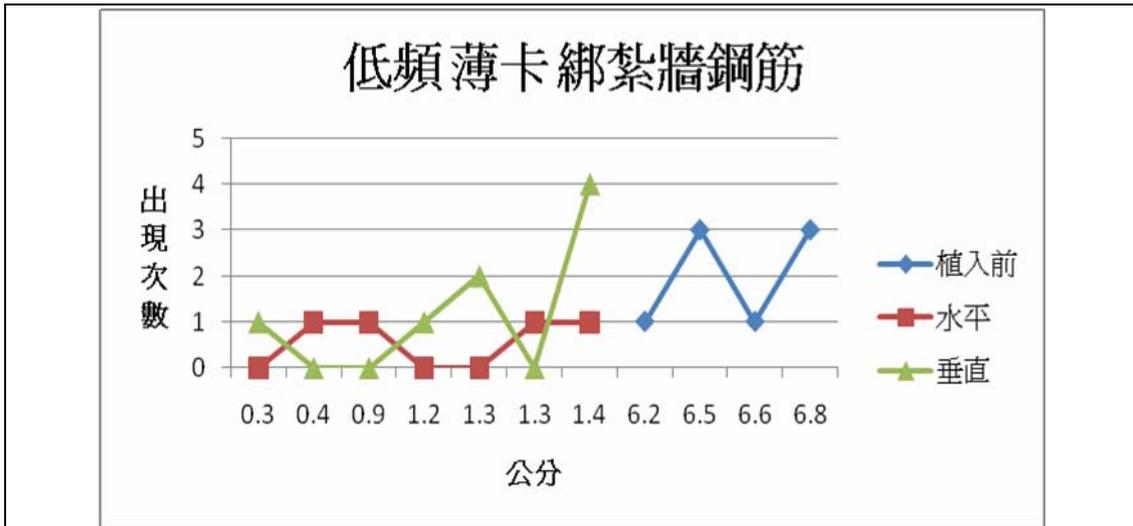


圖 4.200 低頻-薄卡綁紮牆鋼筋

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮牆鋼筋前其讀取範圍為 6.2 公分至 6.8 公分。
2. 低頻薄卡片型標籤於以水平方向綁紮牆鋼筋後，其適當讀取距離為 0.4 公分至 1.4 公分。
3. 低頻薄卡片型標籤於以垂直方向綁紮牆鋼筋後，其適當讀取距離為 0.3 公分至 1.3 公分。

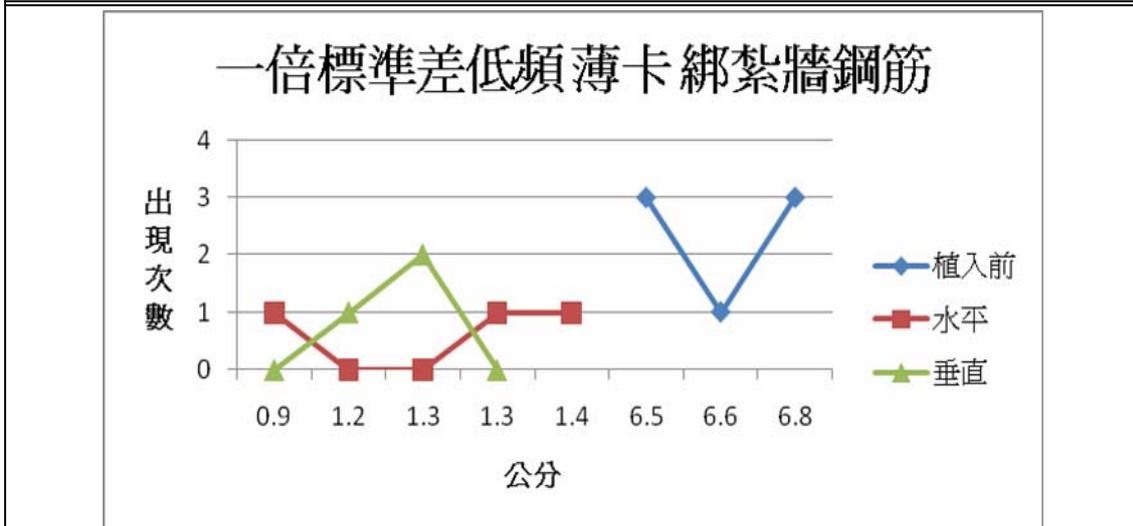


圖 4.201 一倍標準差低頻-薄卡綁紮牆鋼筋

1. 低頻薄卡片型標籤綁紮牆鋼筋前，其適當讀取距離為 6.5 公分至 6.8 公分，共有七個標籤約為 87.5% 符合標準。
2. 低頻薄卡片型而標籤以水平方向綁紮牆鋼筋後，其適當讀取距離為 0.9 公分至 1.4 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 低頻薄卡片型而標籤以垂直方向綁紮牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.2 公分至 1.3 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。為 1.1 公分至 1.3 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。

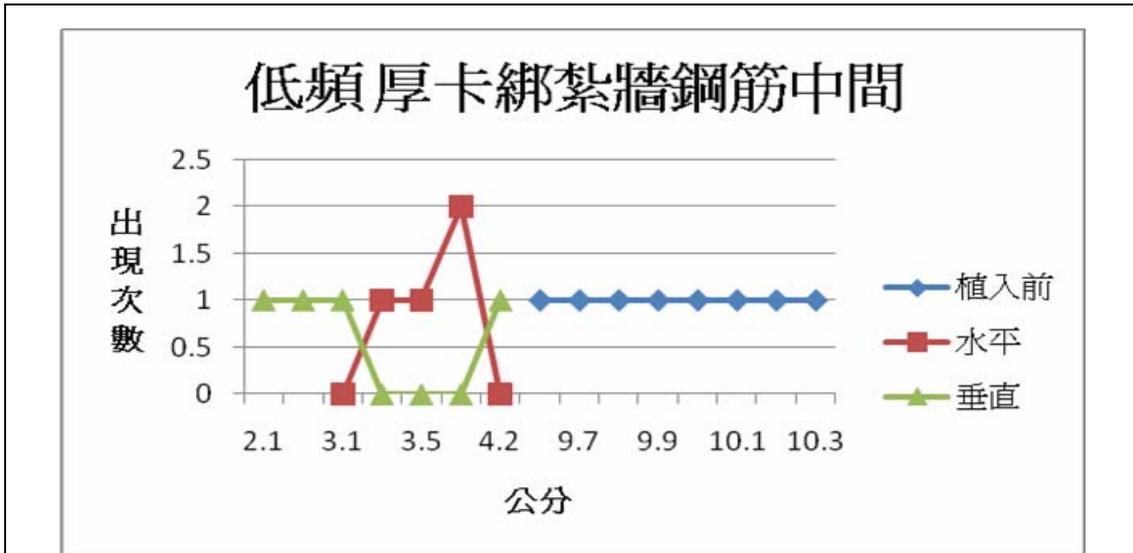


圖 4.202 低頻-厚卡綁紮牆鋼筋中間

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前其讀取範圍為 9.4 公分至 10.3 公分。
2. 低頻厚卡片型標籤於以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 3.3 公分至 4.1 公分。
3. 低頻厚卡片型標籤於以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 4.2 公分。

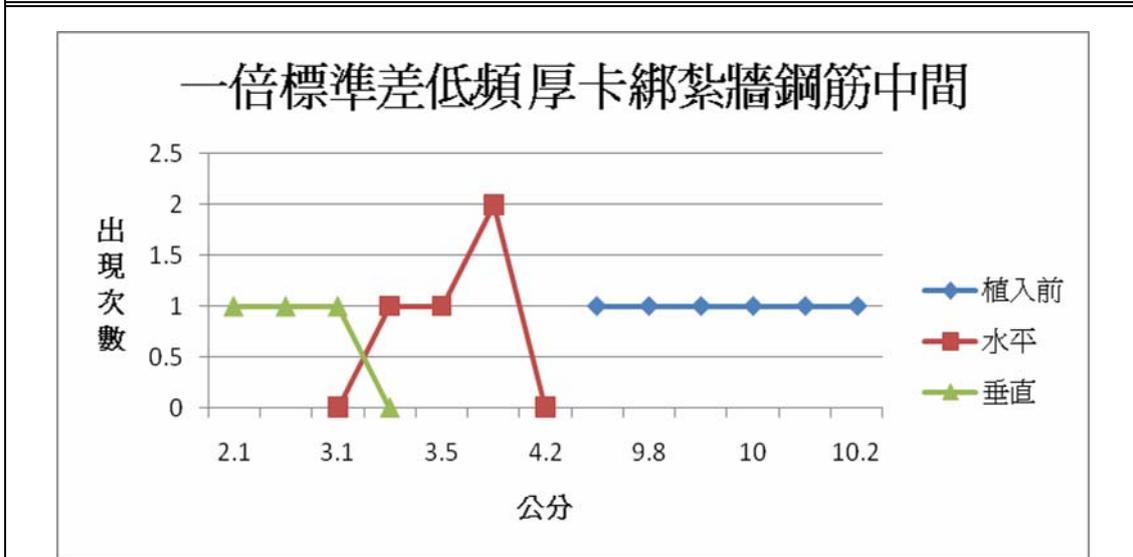


圖 4.203 一倍標準差低頻-厚卡綁紮於牆鋼筋中間

1. 低頻厚卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前，其適當讀取距離為 9.7 公分至 10.2 公分，共有六個標籤約為 75% 符合標準。
2. 低頻厚卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 3.3 公分至 4.1 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。
3. 低頻厚卡片型而標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2.1 公分至 3.1 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

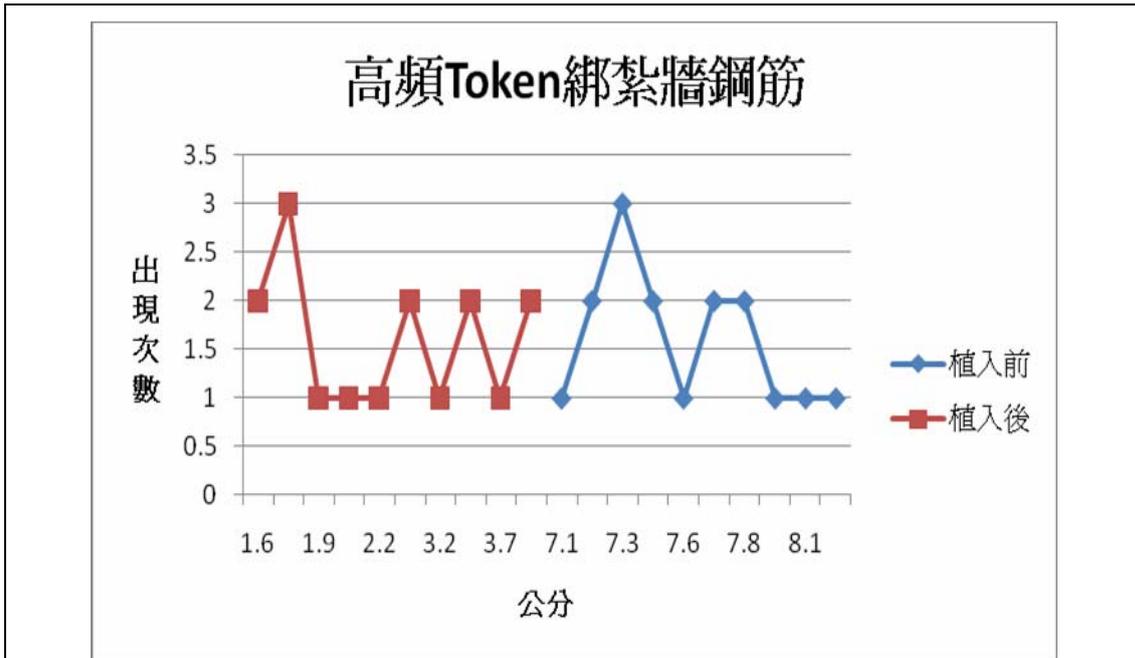


圖 4.204 高頻-Token 綁紮於牆鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤於綁紮牆鋼筋前其讀取範圍為 7.1 公分至 8.4 公分。
2. 高頻-Token 型標籤於綁紮牆鋼筋後其讀取範圍為 1.6 公分至 4 公分。

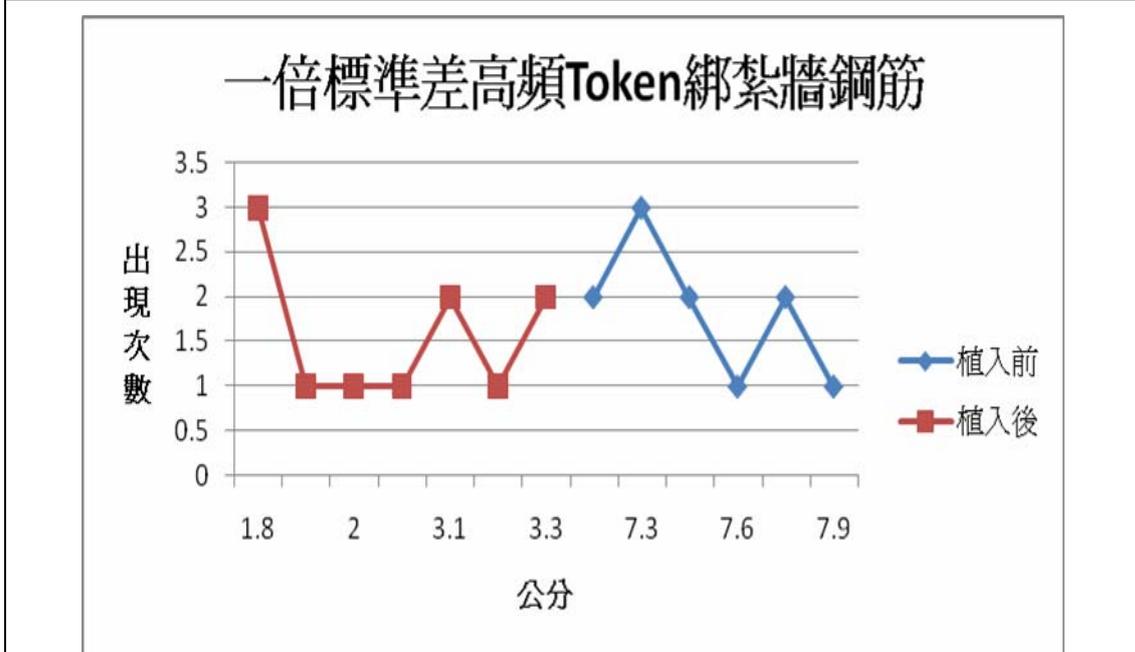


圖 4.205 高頻-Token 一倍標準差綁紮於牆鋼筋

1. 高頻-Token 型標籤綁紮於牆之鋼筋前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 7.9 公分，共有 11 個標籤約為 68.75%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤綁紮於牆之鋼筋後，其適當讀取距離為 1.8 公分至 3.3 公分，共有 11 個標籤約為 68.75%符合標準。

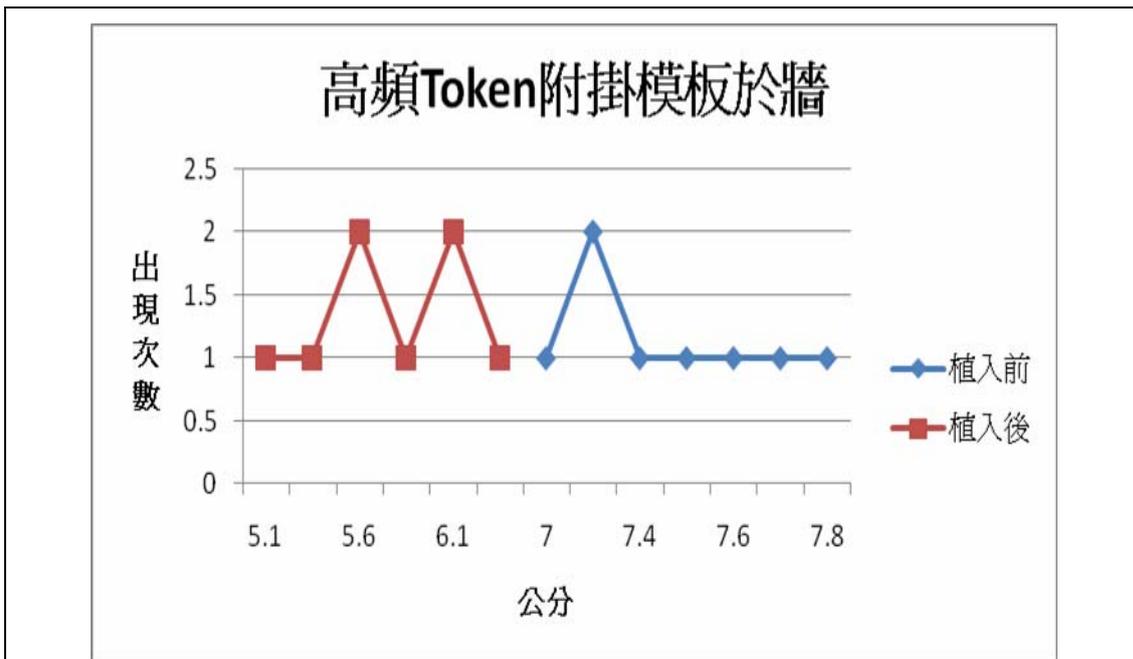


圖 4.206 高頻-Token 附掛模板於牆

1. 高頻-Token 型標籤於綁紮前其讀取範圍為 7 公分至 7.8 公分。
2. 高頻-Token 型標籤於綁紮後其讀取範圍為 5.1 公分至 6.2 公分。

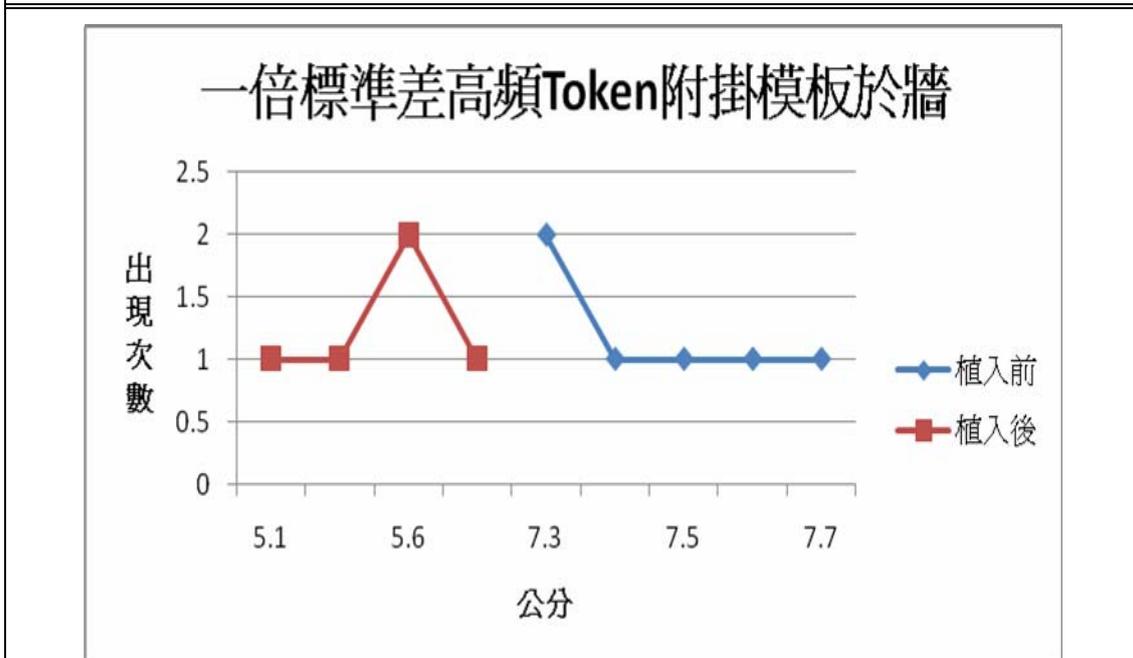


圖 4.207 高頻-Token 一倍標準差附掛模板於牆

1. 高頻-Token 型標籤附掛模板於牆前，其適當讀取距離為 7.3 公分至 7.7 公分，共有 6 個標籤約為 75%符合標準。
2. 高頻-Token 型而標籤附掛模板於牆後，其適當讀取距離為 5.1 公分至 5.6 公分，共有 7 個標籤約為 87.5%符合標準。

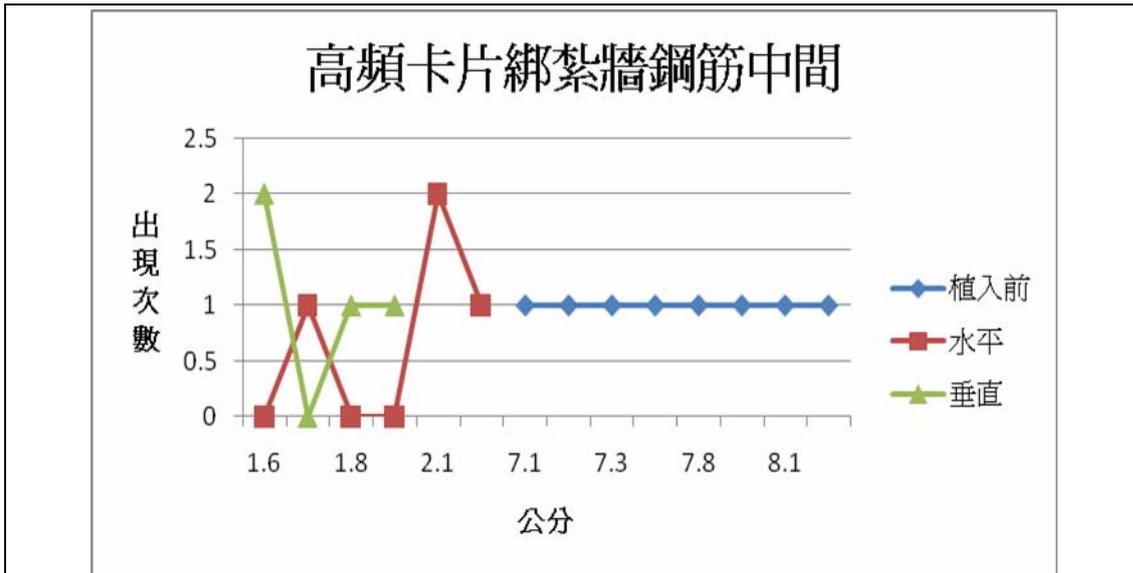


圖 4.208 高頻-厚卡綁紮牆鋼筋中間

1. 高頻厚卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前其讀取範圍為 7.1 公分至 8.2 公分。
2. 高頻厚卡片型標籤於以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 1.8 公分至 2.3 公分。
3. 高頻厚卡片型標籤於以垂直方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.6 公分至 2 公分。

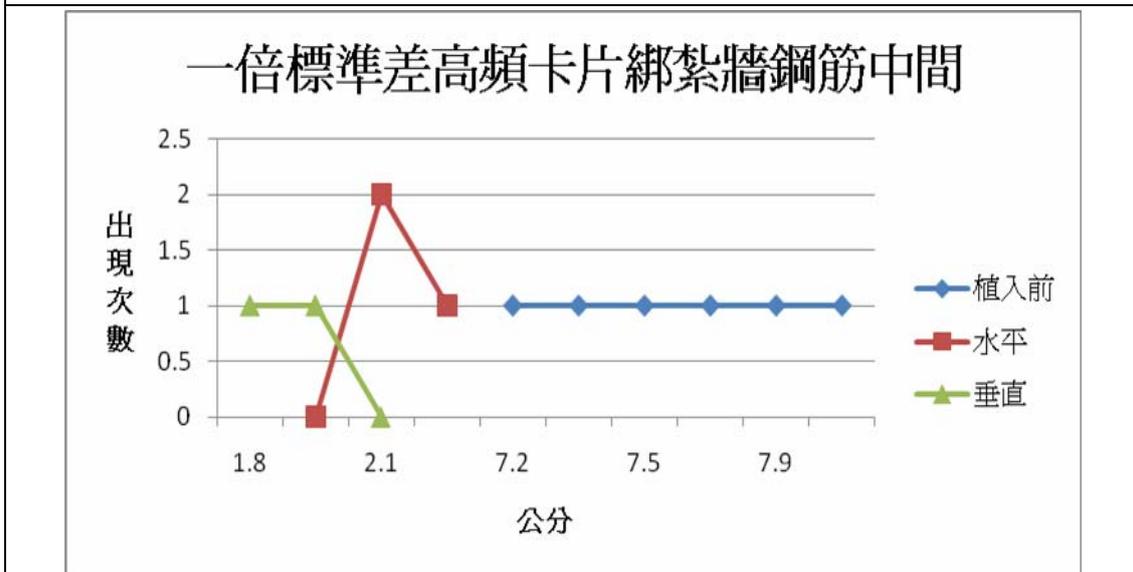


圖 4.209 一倍標準差高頻-厚卡綁紮於牆鋼筋中間

1. 高頻厚卡片型標籤綁紮於牆鋼筋中間前，其適當讀取距離為 7.2 公分至 8.1 公分，共有六個標籤約為 75% 符合標準。
2. 高頻厚卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 2.9 公分至 3.2 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。
3. 高頻厚卡片型而標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋中間後，其適當讀取距離為 3.1 公分至 3.2 公分，共有 3 個標籤約為 75% 符合標準。

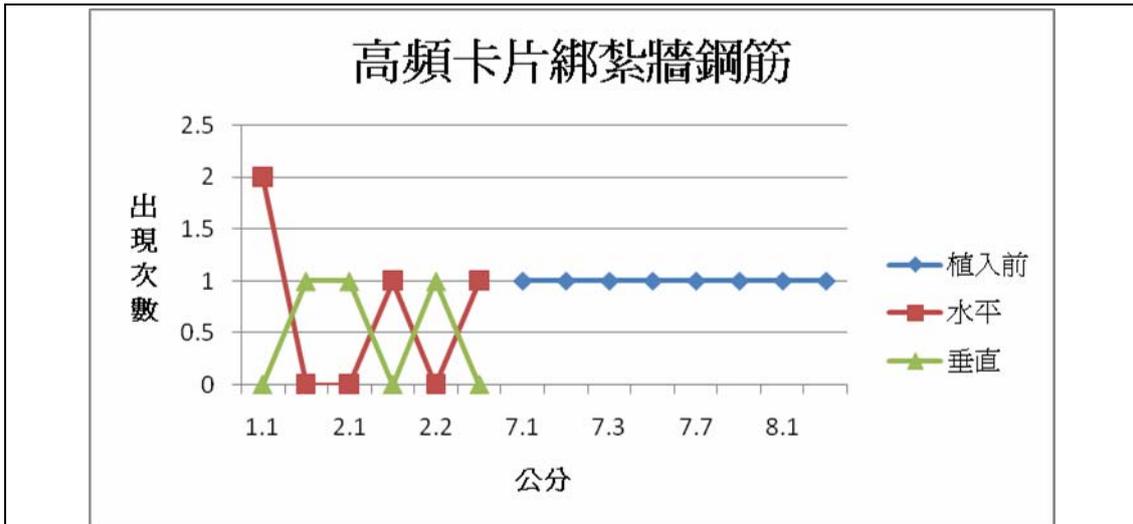


圖 4.210 高頻-厚卡綁紮牆鋼筋

1. 高頻厚卡片型標籤綁紮於牆鋼筋前其讀取範圍為 7.1 公分至 8.3 公分。
2. 高頻厚卡片型標籤於以水平方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 2.3 公分。
3. 高頻厚卡片型標籤於以垂直方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.3 公分至 2.2 公分。

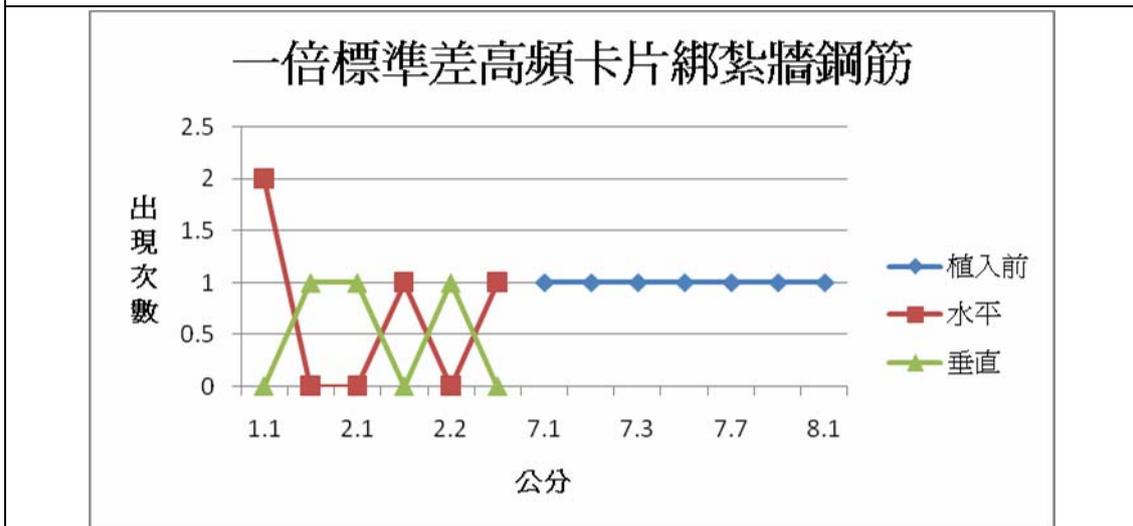


圖 4.211 一倍標準差高頻-厚卡綁紮於牆鋼筋

1. 高頻厚卡片型標籤綁紮於牆鋼筋前，其適當讀取距離為 7.1 公分至 8.1 公分，共有六個標籤約為 87.5% 符合標準。
2. 高頻厚卡片型而標籤以水平方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.1 公分至 2.3 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。
3. 高頻厚卡片型而標籤以垂直方向綁紮於牆鋼筋後，其適當讀取距離為 1.3 公分至 2.2 公分，共有 3 個標籤約為 100% 符合標準。

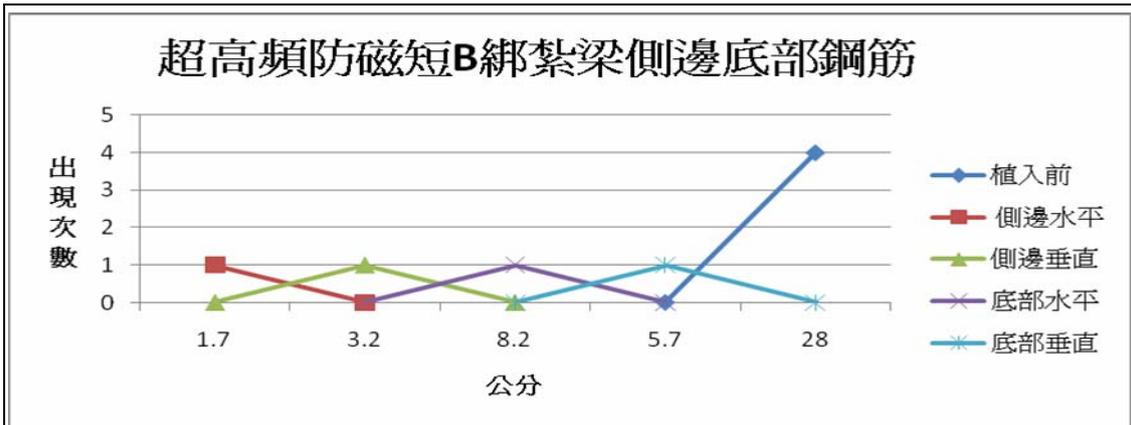


圖 4.212 超高頻-防磁短 B 綁紮於梁側邊與底部鋼筋

1. 超高頻-防磁短 B 型標籤綁紮於梁側邊與底部鋼筋前其讀取範圍為 28 公分。
2. 超高頻-防磁短 B 型標籤水平方向綁紮於梁側邊鋼筋後其讀取範圍為 1.7 公分。
3. 超高頻-防磁短 B 型標籤垂直方向綁紮於梁側邊鋼筋板後其讀取範圍為 3.2 公分。
4. 超高頻-防磁短 B 型標籤水平方向綁紮於梁底部鋼筋板後其讀取範圍為 8.2 公分。
5. 超高頻-防磁短 B 型標籤垂直方向綁紮於梁底部鋼筋板後其讀取範圍為 5.7 公分。

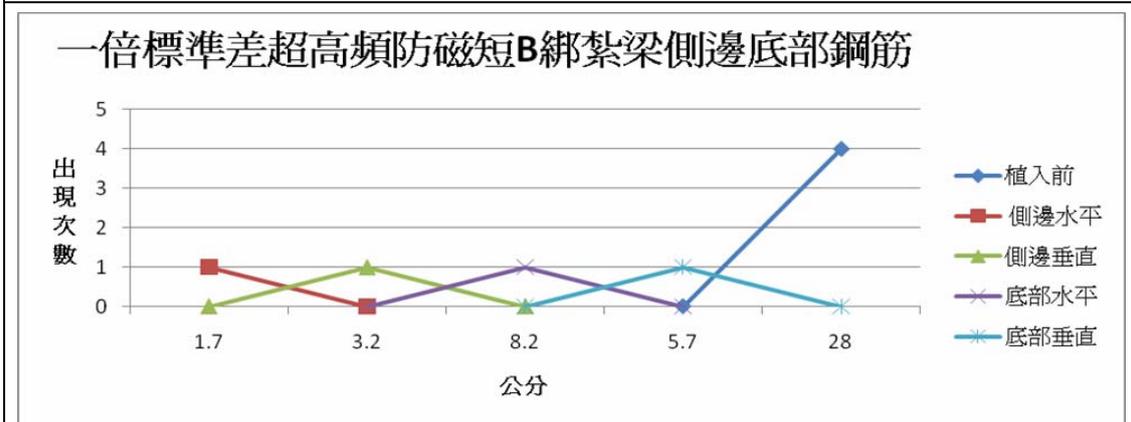


圖 4.213 一倍標準差超高頻-防磁短 B 綁紮於梁側邊與底部鋼筋

1. 超高頻-防磁短 B 型標籤綁紮於梁側邊與底部鋼筋前，其適當讀取距離為 28 公分，共有 4 個標籤約為 100% 符合標準。
2. 超高頻-防磁短 B 型而標籤水平方向綁紮於梁側邊鋼筋後，其適當讀取距離為 1.7 公分，共有 1 個標籤約為 100% 符合標準。
3. 超高頻-防磁短 B 型而標籤垂直方向綁紮於梁側鋼筋後，其適當讀取距離為 3.2 公分，共有 1 個標籤約為 100% 符合標準。
4. 超高頻-防磁短 B 型而標籤水平方向綁紮於梁底部鋼筋後，其適當讀取距離為 8.2 公分，共有 1 個標籤約為 100% 符合標準。
5. 超高頻-防磁短 B 型而標籤垂直方向綁紮於梁底部鋼筋後，其適當讀取距離為 5.7 公分，共有 1 個標籤約為 100% 符合標準。

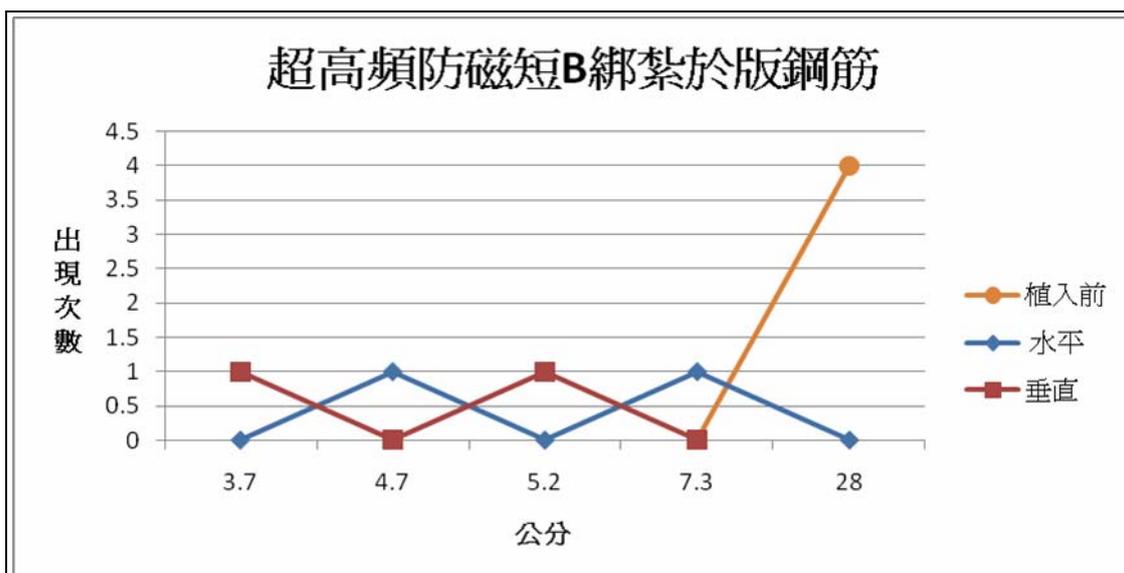


圖 4.214 超高頻-防磁短 B 綁紮於版鋼筋

1. 超高頻-防磁短 B 型標籤綁紮於版鋼筋前其讀取範圍為 28 公分。
2. 超高頻-防磁短 B 型標籤水平方向綁紮於版鋼筋後其讀取範圍為 4.7 公分至 7.3 公分。
3. 超高頻-防磁短 B 型標籤垂直方向綁紮於版鋼筋後其讀取範圍為 3.7 公分至 5.2 公分。

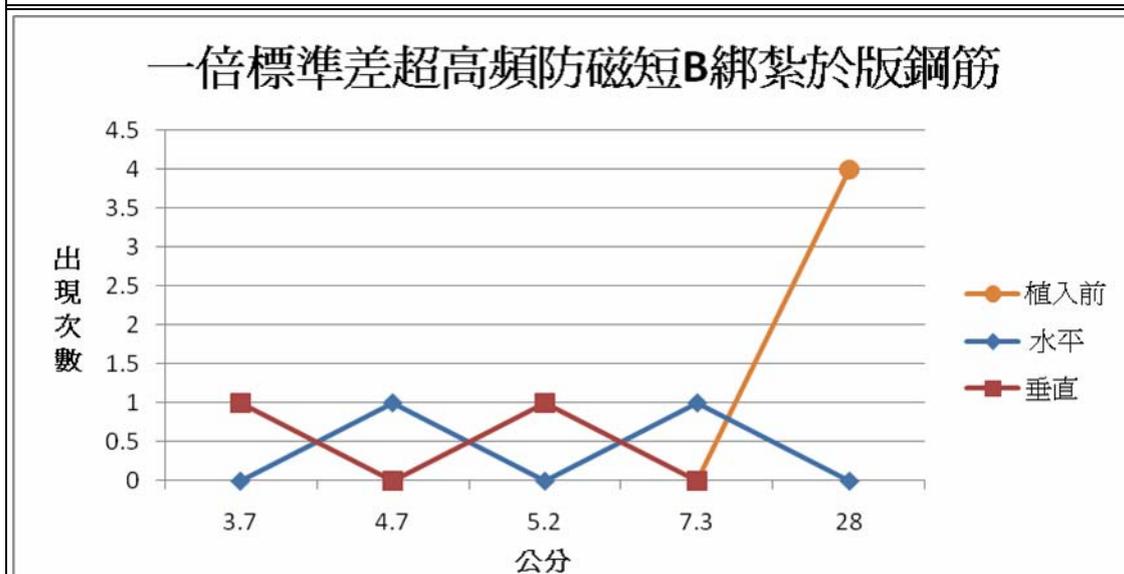


圖 4.215 一倍標準差超高頻-防磁短 B 綁紮於版鋼筋

1. 超高頻-防磁短 B 型標籤綁紮於版鋼筋前，其適當讀取距離為 28 公分，共有 4 個標籤約為 100%符合標準。
2. 超高頻-防磁短 B 型而標籤水平方向綁紮於版鋼筋後，其適當讀取距離為 4.7 公分至 7.3 公分，共有 2 個標籤約為 100%符合標準。
3. 超高頻-防磁短 B 型而標籤垂直方向綁紮於版鋼筋後，其適當讀取距離為 3.7 公分至 5.2 公分，共有 2 個標籤約為 100%符合標準。

本研究根據上述實驗分析，將遠揚士林結果彙整如下表4.8至4.11、中正杭州

如下表4.12至4.15：

表 4.8 柱之彙整表

植入方式	固定方式	標籤頻段	標籤形式	原讀取範圍	1 倍標準差讀取範圍(cm)	符合一個標準差之百分比(%)	最大讀取距離(cm)
綁紮	綁紮於柱鋼筋中間	LF	薄卡	6.2~7.6	6.5~7.1	水平 75%(3 個)	7.6
						垂直 75% (3 個)	
		HF	厚卡	10.2~10.5	10.2~10.5	水平 50%(2 個)	10.5
						垂直 50%(2 個)	
		HF	卡片	7.5~9.3	7.5~8.2	水平 100%(2 個)	9.3
						垂直 100%(2 個)	
	綁紮鋼筋	LF	薄卡	5.5~6.7	6.5~6.7	水平 50%(2 個)	6.7
						垂直 50%(2 個)	
		HF	Token	7.1~8.4	7.5~7.8	70% (7 個)	8.4
						75% (6 個)	
			卡片	7.5~9.1	8.2~9.1	水平 100%(2 個)	9.1
						垂直 100%(2 個)	
附掛	柱模版	HF	Token	6.9~7.8	7.4~7.8	68.75% (11 個)	7.8
		LF	Token	8.6~9.4	8.6~9	75% (9 個)	9.4

表 4.9 梁之彙整表

植入方式	固定方式	標籤頻段	標籤形式	原讀取範圍	1 倍標準差讀取範圍(cm)	符合一個標準差之百分比(%)	最大讀取距離(cm)
綁紮	綁紮於梁鋼筋側邊與底部	LF	Token	7.2~9.4	7.4~8.1	側邊 58.34%(7 個)	9.2
						底部 58.34%(7 個)	
		HF	Token	7.2~8.7	7.4~8	側邊 58.34%(7 個)	8.7
						底部 91.67%(11 個)	
	綁紮於梁側邊與底部鋼筋中間	HF	卡片	6.7~9.4	7.5~9	水平側邊 50%(2 個)	9.4
						垂直側邊 75%(3 個)	
						水平底部 100%(4 個)	
						垂直底部 75%(3 個)	
	綁紮梁底部鋼筋	LF	厚卡	8~11.8	8~11.8	水平側邊 75%(3 個)	11.8
						垂直側邊 50%(2 個)	
水平底部 50%(2 個)							
垂直底部 50%(2 個)							
綁紮梁底部鋼筋	HF	鑰匙型 A	4.7~5.2	4.9~5.2	75%(3 個)	5.2	

表 4.10 牆之彙整表

植入方式	固定方式	標籤頻段	標籤形式	原讀取範圍	1 倍標準差讀取範圍 (cm)	符合一個標準差之百分比(%)	最大讀取距離 (cm)
綁紮	綁紮於牆鋼筋中間	LF	薄卡	5~7.3	6.1~6.7	水平 100%(4 個)	7.3
						垂直 75%(3 個)	
		厚卡	9.5~10.5	10.1~10.2	水平 50%(2 個)	10.5	
					垂直 50%(2 個)		
		HF	卡片	7.5~9.2	7.5~8.7	水平 100%(2 個)	9.2
						垂直 100%(2 個)	
	綁紮鋼筋	LF	薄卡	6.2~6.8	6.5~6.7	水平 75%(3 個)	6.8
						垂直 25%(1 個)	
			Token	6.4~8.5	7~7.8	80%(8 個)	8.5
		HF	卡片	7~9.2	8.3	水平 50%(2 個)	9.2
				垂直 50%(2 個)			
		Token	6~7.2	6.6~7.1	62.5% (5 個)	7.2	
附掛	附掛模板	LF	Token	7.5~9	7.9~8.6	75%(6 個)	9

表 4.11 版之彙整表

植入方式	固定方式	標籤 頻段	標籤 形式	原讀取範 圍(cm)	1 倍標準 差讀取範 圍(cm)	符合一個標 準差之百分 比(%)	最大讀 取距離 (cm)
綁紮	綁紮於版 之鋼筋	LF	厚卡	7~11.6	7.2~11.4	水平 50%(2 個)	11.6
						垂直 75%(3 個)	
			Token	7.2~9.5	7.7~8.9	66.67% (8 個)	9.5
		HF	卡片	8~9.5	8.4~8.6	100% (4 個)	9.5
						100% (4 個)	
			Token	7.2~7.8	7.6~7.8	50%(8 個)	7.8
附掛	附掛模板	LF	薄卡	6.9~7.2	7~7.1	100% (4 個)	7.2
						75% (3 個)	
			厚卡	8.1~11.2	9.1~11.1	75% (3 個)	11.2
						100% (4 個)	
			Token	7.1~9.2	7.5~9.1	75% (9 個)	9.2
		HF	卡片	6.8~9.2	6.8~8	水平 100%(3 個)	9.2
						垂直 100%(2 個)	
			Token	7.1~8	7.2~7.8	90% (9 個)	8

本研究根據上述實驗分析，將中正杭州結果彙整如下表 4.12 至 4.15：

表 4.12 柱之彙整表

植入方式	固定方式	標籤頻段	標籤形式	原讀取範圍	1 倍標準差讀取範圍(cm)	符合一個標準差之百分比(%)	最大讀取距離(cm)
綁紮	綁紮於鋼筋與鋼筋中間	LF	薄卡	6.2~6.8	6.2~6.6	水平 50%(2 個)	6.8
						垂直 50%(2 個)	
		LF	厚卡	9.3~10.3	9.7~10.4	水平 50%(2 個)	10.3
						垂直 75%(3 個)	
		HF	卡片	7.5~8.2	7.7~8.2	水平 50%(2 個)	8.2
						垂直 75%(3 個)	
	綁紮柱鋼筋	LF	Token	7.2~8.3	7.4~8	68.75%(11 個)	8.3
			薄卡	6.5~7.1	6.5~6.8	水平 75%(3 個)	7.1
		垂直 75%(2 個)					
		LF	厚卡	9~10.5	9.6~10.6	水平 75%(3 個)	10.5
						垂直 75%(3 個)	
		HF	Token	7.1~8.1	7.5~8	62.5%(10 個)	8.1
卡片	7.1~8.2		7.2~8	水平 50%(2 個)	8.2		
		垂直 50%(2 個)					
附掛	附掛模板	LF	Token	7.3~7.8	7.4~7.7	62.5%(5 個)	7.8
		HF	Token	7~7.8	7.2~7.8	50%(4 個)	7.8

表 4.13 梁之彙整表

植 入 方 式	固定方式	標籤 頻段	標籤形 式	原讀取範 圍	1 倍標準 差讀取 範圍 (cm)	符合一個標準差之 百分比(%)	最大 讀取 距離 (cm)
綁 紮	綁紮梁側 邊與底部 鋼筋	LF	Token	7.5~9.5	8.1~8.7	側邊 50%(6 個)	9.5
						底部 58.3%(7 個)	
		HF	Token	6.5~7.9	7.2~7.8	側邊 75%(9 個)	7.9
						底部 67.8%(8 個)	
	綁紮梁側 邊與底部 中間鋼筋	LF	薄卡	6.7~7.8	7~7.5	側邊水平 75%(3 個)	7.8
						側邊垂直 75%(3 個)	
						底部水平 75%(3 個)	
						底部垂直 75%(3 個)	
綁 紮	綁紮梁側 邊與底部 中間鋼筋	LF	厚卡	9.2~10.5	9.3~10.1	側邊水平 75%(3 個)	10.5
						側邊垂直 50%(2 個)	
						底部水平 75%(3 個)	
						底部垂直 50%(2 個)	
	綁紮梁側 邊與底部 中間鋼筋	HF	卡片	7.9~8.9	8.2~8.7	側邊水平 62.5%(10 個)	8.9
						側邊垂直 50%(2 個)	
						底部水平 100%(4 個)	
						底部垂直 75%(3 個)	
附 掛	附掛於梁 側邊底部 模版	LF	Token	7.5~8.2	7.6~7.8	側邊 50%(2 個)	8.2
						底部 50%(2 個)	
	HF	Token	7.1~7.7	7.2~7.4	側邊 75%(3 個)	7.7	
					底部 75%(3 個)		

表 4.14 牆之彙整表

植 入 方 式	固定方式	標籤 頻段	標籤形 式	原讀取範 圍	1 倍標準差 讀取範圍 (cm)	符合一個標準 差之百分比(%)	最大讀取 距離(cm)
綁 紮	綁紮於牆 鋼筋中間	LF	薄卡	6.3~6.8	6.4~6.8	水平 75%(3 個)	7.3
						垂直 100%(4 個)	
		HF	厚卡	9.4~10.3	9.7~10.2	水平 100%(4 個)	10.5
						垂直 75%(3 個)	
		HF	卡片	7.1~8.2	7.2~8.1	水平 75%(3 個)	8.2
						垂直 75%(3 個)	
	綁 紮 牆 鋼 筋	LF	Token	7~7.8	7.2~7.7	62.5%(13 個)	7.8
			薄卡	6.2~6.8	6.5~6.8	水平 75%(3 個)	6.8
		垂直 75%(3 個)					
		HF	卡片	7.1~8.3	7.1~8.1	水平 100%(4 個)	8.3
垂直 100%(3 個)							
Token		7.1~8.4	7.2~7.9	68.75%(11 個)	8.4		
附 掛	附掛模板	LF	Token	7.2~7.9	7.4~7.8	62.5%(10 個)	9
		HF	Token	7~7.8	7.3~7.7	87.5%(7 個)	7.8

表 4.15 版之彙整表

植入方式	固定方式	標籤 頻段	標籤形 式	原讀取範 圍 (cm)	1 倍標準 差讀取範 圍(cm)	符合一個標 準差之百分 比(%)	最大讀 取距離 (cm)
綁紮	綁紮於版 之鋼筋	LF	薄卡	6.8~7.8	7.1~7.7	水平 75%(3 個)	7.8
						垂直 75%(3 個)	
			厚卡	9~10.3	9.5~10.3	水平 75%(3 個)	10.3
						垂直 50%(2 個)	
		Token	7.6~8.4	7.9~8.3	66.6%(8 個)	8.4	
		HF	Token	6.7~8.3	7~8	83.3(10 個)	8.3
			卡片	8.1~8.4	8.1~8.4	100%(4 個)	8.4
		100%(4 個)					
附掛	附掛模板	LF	Token	7.5~9.2	7.8~8.4	50%(8 個)	9.2
			薄卡	6.9~7.7	7.2~7.5	水平 75%(6 個)	7.7
						垂直 50%(4 個)	
			厚卡	9.1~10.1	9~10.1	水平 87.5%(7 個)	10.1
		垂直 75%(3 個)					
		HF	Token	7.1~7.9	7.2~7.7	37.5%(6 個)	7.9
			卡片	7.6~8.9	7.9~8.9	水平 75%(3 個)	8.9
		垂直 100%(4 個)					

4.8 小結

以讀取率來說低頻與高頻標籤綁紮鋼筋後皆可讀取，而高頻標籤綁紮於鋼筋上時，其讀取之能力有所影響，而超高頻標籤與主動式標籤則受影響較大，故建議不將超高頻標籤植入構件中，但可藉由其他之方式將超高頻標籤固定於構件上；另外，標籤以附掛之方式將標籤固定於構件上，其低頻、高頻、超高頻與主動式標籤皆可讀取，而此方式其讀取效果較佳；經由兩個工區之實驗分析，大部份所植入之結果為相同，而不相同之部分，其主要原因為此兩個工區，其所使用鋼筋粗細不同以及所澆灌之混凝土配比不同，因此有所差異。

本研究依據實驗分析結果如未來將 RFID 導入 RC 構件之優點，其可將生命週期中所有資訊，利用 RFID 達到初期施工過程中之混凝土品質管控，如：圓柱混凝土試體與 RC 構件之相互管控(因傳統管理混凝土之方式為利用圓柱混凝土試體之強度以為驗證現地構件之強度，然所管理之方式為利用紙本書寫記錄，但因紙本數量繁雜，並且容易遺失，故當發現圓柱試體有所問題時，即不能於有效的時間內快速找到有問題之構件，故可利用 RFID 標籤之應用達到管理之效益)，以及可利用已植入之 RFID 標籤於後期施工階段明確指出正確鑽心取樣位置，並且於營運階段或後續維護階段等，儲存地震後或平常性之檢測資訊，以達 E 化管理之效益並提供後續使用者之參考；而其植入缺點則為增加施工上之不便以及工程成本之小幅增加等，但整體而言，其所帶來的 E 化效果優勢，較其缺點為最大化。

第五章 綜合分析

依據實驗室與現地實驗後之結果，本研究整理現地之實驗結果差異以及與實驗室結果之比較後，將提出植入之適切方法與位置及建議之流程。

一、依據前一章節現地實驗分析結果，以中正杭州實驗工區之柱與遠揚士林工區之分析表來比較，中正杭州實驗工區之標籤綁紮於鋼筋間兩者比較，低頻卡片型標籤以垂直(長邊)綁紮於鋼筋中間效果較佳，但於遠揚士林工區則是沒有差異，因此若以後續實驗之遠揚士林工區來說，則低頻卡片型標籤其水平與垂直綁紮皆無影響，另於前一章節中表 4.8 與表 4.12 可知，低頻厚卡與薄卡其讀取之穩定性不佳，其主要原因為卡片型標籤過大，因此於灌漿震動搗實的過程中易將標籤移動，並且綁紮於鋼筋中間標籤較不易完全固定，又於實驗前，將標籤置入於水中發現，此款厚卡型標籤其防水性不佳，因此讀取距離有所影響。而高頻薄卡型標籤則水平與垂直綁紮皆無影響，並且若以標籤直接綁紮於鋼筋上來說，其讀取之穩定性較高，其結果與標籤綁紮於鋼筋間之結果相同，因此直接綁紮於鋼筋上，其讀取之穩定性較優於綁紮鋼筋中間，其原因為直接綁紮於鋼筋上，較不易受外在環境因素等之影響，故讀取較為穩定。

二、依據前一章節之表 4.9 與表 4.13 來說，將低頻或高頻卡片型標籤以垂直綁紮於梁之底部，其讀取效果較為穩定，而其他形式之標籤也是相同，其主要原因為綁紮於鋼筋底部，於灌漿時較不易受到混凝土之沖蝕，因此其讀取效果較為穩定，而以綁紮鋼筋中間與直接綁紮於鋼筋上來比較，則是將標籤直接綁紮於鋼筋上，其讀取效果較為穩定，因為卡片型標籤較大，並且綁紮於鋼筋間，其受到混凝土之沖刷較為明顯，因此綁紮於鋼筋上其讀取效果較為穩定。

三、依據前一章節之 4.10 表與 4.14 表來說明，將標籤直接綁紮於牆之鋼筋中間

或直接將標籤綁紮於鋼筋上，其讀取效果較為相同，卡片型標籤不論低頻或是高頻其水平(短邊)或垂直(長邊)綁紮其讀取效果穩定，而綁紮牆之網間中間或直接綁紮於鋼筋上，皆無太大差異，主要原因為不易受灌漿震動搗時之影響。

四、依據表 4.11 與表 4.15 分析結果說明，將標籤綁紮於版之鋼筋中間與直接綁紮於版之鋼筋其讀取效果較為相同，卡片型標籤不論低頻或是高頻其水平(短邊)或垂直(長邊)綁紮其讀取效果穩定，而綁紮牆之網間中間或直接綁紮於鋼筋上，皆無太大差異，主要原因為不易受灌漿震動搗時之影響。

五、最後則根據實驗室分析與現地實驗結果之比較可知，於灌漿完成抹平後將標籤以水平或垂直方式植入，其讀取效果差，主要原因為，實驗室中所實驗之 RC 試體梁，其讀取範圍較小故所受環境等其他因素影響較小，因此於實驗室中之實驗時，要能讀取得到標籤的可能性較高，而於現地實驗中，因為環境等其他因素影響較大，故此，要能讀取的到標籤的可能性較低，並且於灌漿時，標籤要能順利植入牆或柱中，其施工性較為不便，因此於本研究中較不建議此植入方式。

六、綜合兩實驗工區之分析結果，整理如以下表 5.1 所示。

七、綜合兩實驗工區以及實驗室之結果分析，如以附掛的方式來說，不管是遠揚士林實驗工區或是中正杭州實驗工區，其讀取效果較為穩定，並且較綁紮與灌漿現場植入效果穩定，故本研究研擬其適當植入方式如下表 5.2 所示；

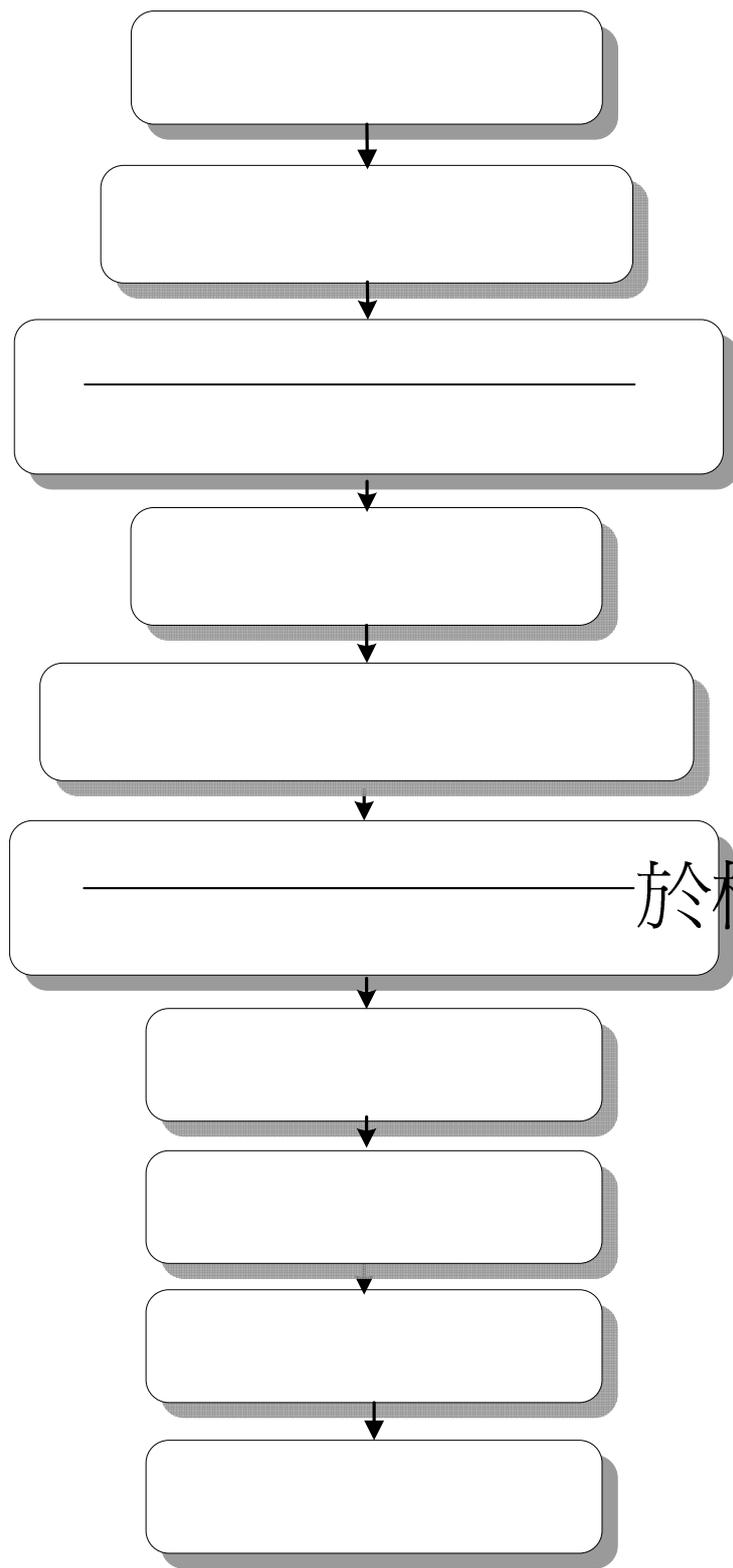
八、有鑑於整體實驗時所與之瓶頸與困難，以下茲將以施工性與建議之施作方式分析比較，最後建立一施作流程如圖 5.1 所示。

表 5.1 綜合分析結果

固定位置	標籤類型	植入方式	植入深度
綁紮柱鋼筋 中間	低頻卡片型標籤	短、長邊效果皆同	1~5cm
	高頻卡片型標籤	短邊效果較好	1~5cm
綁紮柱鋼筋	低、高頻 Token 型標籤	皆可	1~5cm
附掛柱模板	低、高頻卡片型標籤	短、長邊效果皆同	1~5cm
	低、高頻卡片型標籤	短、長邊效果皆同	1cm
	低、高頻 Token 型標籤	皆可	1cm
固定位置	標籤類型	植入方式	植入深度
綁紮牆鋼筋 中間	低、高頻卡片型標籤	短、長邊效果皆同	1~5cm
綁紮牆鋼筋	低、高頻 Token 型標籤	皆可	1~5cm
	低、高頻卡片型標籤	短、長邊效果皆同	1~5cm
附掛牆模板	低、高頻卡片型標籤	短、長邊效果皆同	1cm
	低、高頻 Token 型標籤	皆可	1cm
固定位置	標籤類型	植入方式	植入深度
綁紮梁鋼筋 中間	高頻卡片型標籤	梁底部，長邊效果較好	1~5cm
綁紮梁鋼筋	低頻卡片型標籤	梁側邊與底部，長邊效果較好	1~5cm
	低、高頻 Token 型標籤	梁側邊效果較好	1~5cm
附掛梁模板	低、高頻 Token 型標籤	梁側邊與底部，效果較好	1cm
	低、高頻卡片型標籤	梁側邊與底部，效果較好	1cm
固定位置	標籤類型	植入方式	植入深度
綁紮版鋼筋	低、高頻 Token 型標籤	皆可	1~5cm
	低、高頻卡片型標籤	短、長邊效果皆同	1~5cm
附掛版模板	低、高頻卡片型標籤	短、長邊效果皆同	1cm
	低、高頻 Token 型標籤	皆可	1cm

表 5.2 植入方式

植入方式	固定方式	標籤頻段	梁	版	柱	牆	植入位置(cm)	施工性
附掛	附掛模板	LF	側邊附掛	附掛版 模版	附掛柱 模版	附掛牆 模版	1cm	佳
			底部附掛					佳
		HF	側邊附掛	附掛版 模版	附掛柱 模版	附掛牆 模版	1cm	佳
			底部附掛					佳



前置

鋼筋組立完

於柱、牆模板組

(1)附掛於距

封

圖 5.1 建議植入流程示意圖

第7天鋼筋組立同時

植入

第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究根據實驗室之實驗分析與現地實驗之分析，綜合整理，期可了解 RFID 標籤植入實體構件之適切方法與位置。

1. 根據實驗分析，低頻標籤、高頻標籤、超高頻標籤、主動式標籤不論植入、綁紮鋼筋及附掛模版，皆可讀取，而高頻標籤綁紮於鋼筋上時，其讀取效果受鋼筋與混凝土而有所影響，另超高頻標籤與主動式標籤讀取距離則有明顯折減。
2. RFID 標籤以植入或綁紮於構件內皆不影響構件強度。
3. 本研究實驗室中所採行之灌漿抹平後將低頻卡片和高頻鑰匙型標籤植入，於實驗室中雖可實行，但於現地實驗中卻無法精確讀取到標籤。
4. 超高頻標籤容易受鋼筋與混凝土之影響，如植入前為約 30 公分，而植入後約 5~10 公分，故本研究依據實驗結果，不建議將超高頻標籤嵌入或附掛於構件中，但可採行其他方式將超高頻標籤固定於構件上。
5. 標籤以綁紮方式將標籤固定於鋼筋上，其讀取效果不佳，故本研究建議為於柱、牆鋼筋綁紮完成後，於模板組立過程時將標籤附掛於模板距混凝土完成面約 1cm 處；而於梁、版鋼筋組立時也可利用此方式將標籤固定於構件內。
6. 經現地實驗結果分析，如需將標籤綁紮，如標籤為卡片型，其議建植入梁之底側鋼筋中間，並且垂直(長邊)植入效果較佳，若為直接綁紮鋼筋，卡片型標籤其植入於側邊或底部皆無太大差異，並且垂直(長邊)植入效果較佳，而其他形式標籤，也建議將標籤植入梁之底側鋼筋，其讀取效果較佳。
7. 配合灌漿作業將標籤植入於混凝土中，本研究較不建議以此方式將標籤植入構件中，因未來讀取時有所困難，並且在植入時，無法植入於柱、牆構件中。
8. 將標籤植入版、牆中，如為卡片型標籤，則不管是短邊植入或長邊植入，其

讀取效果差異不大。

9. 將 RFID 標籤植入柱中，若使用卡片型則建議以短邊植入較為適當。
10. 未來可將生命週期中各階段之資訊，利用 RFID 達到資料之保存與後續維護之 E 化管理效益。

6.2 建議

1. 由於實驗工區與研究時程之限制，故此本研究尚未針對 SRC 建築進行實驗，故建議後續相關研究可朝此方向研究，以達完善之研究成果。
2. 建議未來使用含有 sensor 功能之標籤搭配運用以提升管理效能。
3. 未來研究建議可以用資訊寫入之標籤(如：高頻、超高頻)為主要目標，達到生命週期效益。
4. 本研究為一先導型整合實驗，未來可結合其他 sensor 延伸應用範圍。
5. RFID 未來可結合台灣正在推動之「U-Taiwan」，以提昇生活機能，創造智慧生活空間。
6. 標籤之規格需求建議以體積小，並且未將標籤綁紮前讀取距離需要有 8 公分以上，並且標籤之表面需要粗造，因表面粗造可與混凝土有一良好之包裹力。
7. 建議超高頻標籤可用其它方式將標籤固定於構件上如圖 6.1 所示；可於鋼筋組立同時將標籤以附掛方式緊貼模版，於未來灌漿完成後，標籤將可會裸露，並且其讀取效果較佳。



圖 6.1 標籤以其他方式植入

參考文獻

- [1] Ergen, E., and Akinci, B., and Sacks, R., “Tracking and locating components in a precast storage yard utilizing radio frequency identification technology and GPS.” *Automation in Construction*, No. 16, pp.354-367, 2006.
- [2] Ergen, E., and Akinci, B., and East, B., and Kirby, J., “Tracking Components and Maintenance History within a Facility Utilizing Radio Frequency Identification Technology.” *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, pp.11-20, 2007.
- [3] Lee, U, K., and Kang, K, I., and Kim, G, H., and Cho, H, H., “Improving Tower Crane Productivity Using Wireless Technology.” *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 21, pp.594-604, 2006.
- [4] Jaselskis, E. J. and El-Misalami, T., “Implementing Radio Frequency Identification in the Construction Process.” *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 129, No. 6, pp.189-196, 2003.
- [5] Jaselskis, E. J., and Anderson, M. Y., and Jahren, C. T., and Rodriguez, Y., and Njos, S., “Radio-Frequency Identification Application in Construction Industry.” *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 121, No. 2, pp.680-688, 1995.
- [6] Song, J., Caldas, C., Ergen, E., haas, C. and Akinci, B., “Field Trials of RFID Technology for Tracking Prefabricated Pipe Spools.” *Proceedings of 21st ISARC*, Korea, 2004.
- [7] Wood, C., “FIATECH smart chip project.” *World Conference on the Use of Automatic Data Collection in Construction*, ADCIC, Las Vegas, NV, USA, 2003.
- [8] 王念孫、鄭玉卿、王鴻龍，*實用統計學*，臺北：科大文化，2002。

- [9] 石豐銘，射頻識別於營建業之應用，土木水利，第 32 卷，第 3 期，pp.43-48，2005。
- [10] 巫思賢，營建工程規劃階段專案管理標準作業程序之研究，碩士論文，國立台灣科技大學，台北，2003。
- [11] 林業正，RFID 標籤應用於圖書的讀取率研究，碩士論文，南台科技大學，台南，2006。
- [12] 吳榮元，無線射頻識別技術(RFID)技術應用於鋼骨工程吊裝即時監控之應用，碩士論文，國立台灣科技大學，台北，2006。
- [13] 邱俞婷，式料理店從漁船至餐桌黑鮪魚可追溯示範系統之建立，碩士論文，國立台灣海洋大學，基隆，2005。
- [14] 周湘琪譯，RFID 技術與應用，臺北：旗標出版股份有限公司，2004。
- [15] 陳威年，無線射頻識別技術(RFID)技術應用於開放式建築使用維護階段之研究，碩士論文，國立台灣科技大學，台北，2006。
- [16] 陳嘉祥，RFID 在 CVS 物流中心應用，碩士論文，國立高雄第一科技大學，高雄，2003。
- [17] 陳宏宇，RFID 系統入門-無線射頻辨識系統，臺北：松崗，2004。
- [18] 徐政雄，RFID 的應用對供應鏈的影響-以汽車產業為例，碩士論文，國立成工大學，台南，2005。
- [19] 郭俊宏，無線射頻識別技術(RFID)應用於古蹟修護決策支援管理系統之研發，碩士論文，國立台灣科技大學，台北，2006。
- [20] 稽德明，無線射頻識別技術(RFID)應用於國軍車輛自動辨識(AVI)之研究，碩士論文，國防大學國防管理學院，台北，2005。
- [21] 游戰清，無線射頻識別技術(RFID)理論與應用，北京：電子工業，2004。
- [22] 郭伯圻，污水下水道監造單位標準作業程序之建立-以台北縣市污水下水道建設為例，碩士論文，國立台北科技大學，台北，2006。
- [23] 郭鴻騰，營建工程施工與驗收階段專案管理標準作業程序之研究，碩士論文，國立台灣科技大學，台北，2003。

- [24] 張鈞皓，建構 RFID 醫療供應鏈履歷以管制藥品為例，碩士論文，台北醫學大學，台北，2005。
- [25] 第一次導入 RFID 就上手，iThome 電腦報專刊第 14 號，2005。
- [26] 葉世文、鄭明淵、吳榮元、陳威年，無線射頻辨識(RFID)於建築產業應用之研究，94 年度內政部建築研究所研究報告，2005。
- [27] 劉嘉元，營建工程設計與招標階段專案管理標準作業程序之研究，碩士論文，國立台灣科技大學，台北，2003。
- [28] 鄭同伯，RFID EPC 無線射頻辨識完全剖析，臺北：博碩文化，2004。
- [29] 鄭炳坤，RFID 於物流中心應用之探討，碩士論文，中原大學，中壢，2005。
- [30] 鄭祥倫，RFID 在營建工地人、機、物料管理應用的探討，碩士論文，新竹，2006。
- [31] 謝建新、游戰清、張義強、戴清雲，RFID 理論與實務—無線射頻識別系統，臺北：網奕，2006。
- [32] 尹衍樑，RFID 於預鑄產業的應用-以潤泰生管系統為例，土木水利，第 32 卷，第 4 期，pp.36-40，2005
- [33] 刁建成譯，RFID 原理與應用，臺北：全華科技圖書，2005。