

投稿類別：工程技術類

篇名：

粘的牢沒煩惱－水泥砂漿改質計畫研究

作者：

張育精。國立師範大學附屬高級工業職業學校。建築三忠
陳佳君。國立師範大學附屬高級工業職業學校。建築三忠
謝淑儀。國立師範大學附屬高級工業職業學校。建築三忠

指導老師：

粘錦成老師

王秀芳老師

壹●前言

台灣位於菲律賓海板塊及歐亞大陸板塊交接處，以致於台灣每年飽受地震及颱風摧殘，今年適逢 921 大地震 10 週年紀念，傷痛的記憶令我們久久無法平撫。課堂中老師不斷敘述著紅磚材料在台灣建築廣泛使用，卻未受應有的重視，因為漠視所造成的傷害，卻須以沉重的代價換取血淋淋的經驗，更令人嘔嘆。藉本校新興科技課程我們感受到高科技材料之功效，因此如何充分利用及有效提升改善現有紅磚材料之強度，引起我們的研究動機。

從過去參考文獻中發現，實驗研究大都使用試誤法，試誤法不是一種有系統性的方法，太過依賴個人的經驗，有時候很有效率，但是大部分的時候浪費了很多人力、物力資源。而試誤過程所累積的經驗常是沒有系統且無品質保證，這些經驗難供後人利用。

本研究目的是以田口品質工程方式，利用田口方法 $L18(2^1 \times 3^7)$ 直交表，檢測水泥砂漿試體及紅磚疊砌之試體，決定出最好因素的組合，制定出抗壓及剪力試體最佳參數之配比。

「在 1949 年，田口玄一博士發展一種透過工程最佳化來進行品質改善的方法，稱為田口方法。此方法，使高品質、低成本的产品快速生產出來¹。」(李輝煌 2008)

現今磚牆的施工品質粗劣，但一般建築物使用磚牆構造甚為普遍，有許多磚牆在未經地震時已有龜裂、滲水與材料分離等現象，若遭受強烈地震，則處處可見斷垣殘壁之現象，危及身家性命。如何應用田口方法進而改良磚牆粘結層介面特性，有效強化磚牆結構，是我們學生當前想了解之學習課題。

貳●正文

一、研究目的

- (一)分析研究建立介面粘結材最佳基本特性。
- (二)分析研究建立介面粘結材抗壓最佳參數。
- (三)分析研究建立介面粘結材抗剪最佳參數。

二、研究設備及器材

(一)試驗材料：

第一型波特蘭水泥 飛灰、爐石粉、細粒料(#8、#16、#30)、壓克力樹脂、紅磚 (23cm×11cm×6 cm)。

(二)試驗器材：

菱形鋸刀、桃形鋸刀、水準尺、毛刷、水瓢、水桶。

(三)實驗設備

砂漿板(60cm × 60cm)、砂漿桶、精密電子秤、電子磅秤、水泥砂漿試模、標準篩(#8、#16、#30)、攪拌機、烘箱、全電腦控制抗壓機。

三、研究方法

本研究乃蒐集國內外水泥砂漿相關資料與參考文獻，且以田口方法為之主要實驗法，依此選定實驗品質特性、決定實驗反應變數、決定實驗因子及水準、選定實驗適當直交表如表 1 所示，藉此設計本研究之試體、製作實驗表格而後進行實驗，如圖 1 所示。本研究實驗所要探討的數據大致上可分為水泥砂漿之抗壓強度與紅磚試體介面抗剪強度兩個部分，分析結果並決定最佳參數，作成改善之依據。

田口方法以工程的角度事先瞭解品質問題，並利用社會損失成本作為衡量產品品質的依據。田口方法的二個主要工具為直交表和S/N 比，強調的重點是在產品或製程設計時就考慮品質問題，亦即如何降低產品績效的變異。田口方法是以實驗的手段（而非解析的方法）來決定設計參數，為了減少實驗的次數，田口方法依控制因數及其水準的數目選用了適當的直交表，亦即受干擾因數的影響減至最少。

表1 L18($2^1 \times 3^7$)田口方法設計56天抗壓強度實驗的S/N比

Exp	A	B	C	D	E	F	G	H	y1	y2	y3	y4	Ave	S	S/N
1	1	1	1	1	1	1	1	1	211.6	214.6	204	194.3	194.3	9.06	46.26
2	1	1	2	2	2	2	2	2	245.2	274	243	275.8	259.5	17.82	48.24
3	1	1	3	3	3	3	3	3	187.2	231.7	261.8	285.3	241.5	42.33	47.33
4	1	2	1	1	2	2	3	3	226.5	225.2	210.6	196.2	214.6	14.24	46.59
5	1	2	2	2	3	3	1	1	201	214.2	204.6	214.8	208.9	7.2	46.39
6	1	2	3	3	1	1	2	2	241.1	283.7	312.6	262	274.9	30.59	48.66
7	1	3	1	2	1	3	2	3	94.10	100.1	125.9	104.9	106.3	13.82	40.38
8	1	3	2	3	2	1	3	1	290.5	272.3	242.1	231.0	259	27.32	48.16
9	1	3	3	1	3	2	1	2	185.0	207.7	170.6	174.2	184.4	16.71	45.24
10	2	1	1	3	3	2	2	1	159.7	131.5	170.2	138.9	150.1	17.96	43.39
11	2	1	2	1	1	3	3	2	274.1	266.8	277.5	263.5	270.5	6.45	48.64
12	2	1	3	2	2	1	1	3	286.6	292.2	271.2	287.0	284.3	9.07	49.06
13	2	2	1	2	3	1	3	2	271.9	341.5	355.8	320.4	322.4	36.67	50.03
14	2	2	2	3	1	2	1	3	233.3	249.8	252.8	238.4	243.6	9.24	47.72
15	2	2	3	1	2	3	2	1	224.8	200.3	234.2	234.0	223.3	15.96	46.92
16	2	3	1	3	2	3	1	2	147.4	148.5	132.9	142.6	142.9	7.11	43.07
17	2	3	2	1	3	1	2	3	163.9	187.0	184.8	184.8	180.1	10.87	45.07
18	2	3	3	2	1	2	3	1	192.5	177.9	207.4	189.0	191.7	12.18	45.61

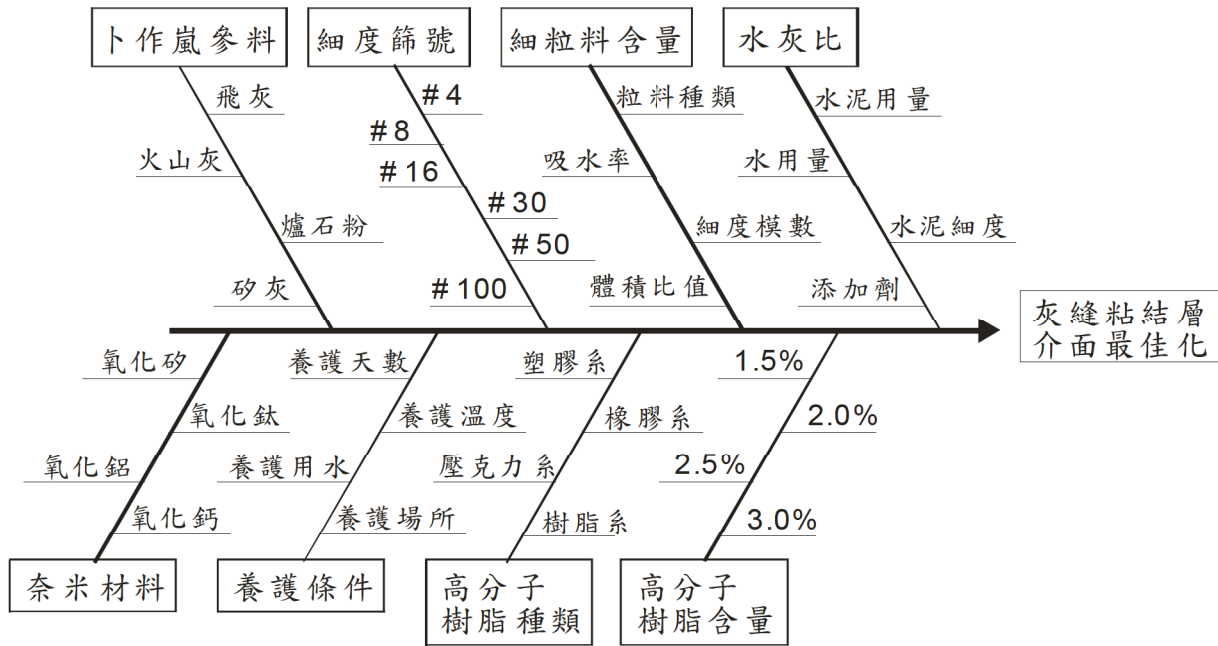


圖 1 影響灰縫粘結層介面之魚骨圖

經由數次溝通、討論後，決定了本研究之控制因素與水準，如表 2 所示。水泥砂漿抗壓實驗試體如表 3 所示。紅磚剪力實驗試體如表 4 所示。

表 2 控制因素及其水準

因子	說明	水準一	水準二	水準三
A	拌合時間(sec)	90秒	180秒	
B	水灰比	0.5	0.55	0.6
C	水泥含量(%)	200%	150%	100%
D	細粒料佔水泥重量之(%)	200%	250%	300%
E	細粒料粒徑(#)	通過8號篩	通過16號篩	通過30號篩
F	壓克力樹脂佔水重量之(%)	0	15%	30%
G	爐石粉佔水泥重量之(%)	5%	10%	15%
H	飛灰佔水泥重量之(%)	0	10%	20%

表3 水泥砂漿抗壓實驗試體

水泥砂漿抗壓試驗				
齡期	7天齡期(18組)	28天齡期(18組)	56天齡期(18組)	最佳參數
個數	18×4=72	18×4=72	18×4=72	4×4=16
共計	232個			

表 4 紅磚剪力實驗試體

粘結層介面試驗				
齡期	7天齡期(18組)	28天齡期(18組)	56天齡期(18組)	最佳參數
個數	$18 \times 4 = 72$	$18 \times 4 = 72$	$18 \times 4 = 72$	$4 \times 4 = 16$
共計	232個			

四、研究試體製作

(一)水泥砂漿抗壓試體製作($5 \times 5 \times 5$ cm)

- 1、將八項控制因子所需材料，經由配比計算後分別置於攪拌筒中。
- 2、起動攪拌機並依八項控制因子所設定之因素，分別拌合 90 秒及 180 秒。
- 3、將拌合好之水泥砂漿分三層置入於水泥砂漿試模中。
- 4、分三層，每層分別搗實 25 次。
- 5、將搗實完成之水泥砂漿試體刮平。
- 6、將製作完成之新試體進行養護。

(二)粘結層介面剪力試體製作($18 \times 11 \times 6$ cm)

- 1、將所須紅磚置入水中浸泡 24 小時，吸水飽和。
- 2、將適量之砂漿挑起。
- 3、將砂漿平均置於紅磚上，並以鏟刀撥平。
- 4、量測所須長度。
- 5、敲擠並量測水平。
- 6、所溢出之砂漿刮除。
- 7、量測所須長度。
- 8、試體編號養護。

五、研究試體實驗

(一)水泥砂漿抗壓實驗

- 1、將每組砂漿編號並秤重，記錄其重量。
- 2、將水泥砂漿試體置於抗壓實驗機台正中間。
- 3、啟動機器並由電腦全程操作(2.5kg/秒)。
- 4、記錄破壞後之抗壓強度、拍照並列印報表。

(二)粘結層介面剪力實驗

- 1、製作護套可讓紅垂直施壓，以獲得剪力強度。
- 2、將護套置於試體正中間，微調螺帽至適合寬度。
- 3、啟動機器並由電腦全程操作(2.5kg/秒)。
- 4、記錄破壞後之抗壓強度、拍照並列印報表。

六、研究實驗數據

(一)水泥砂漿抗壓實驗

- 1、實驗一：水泥砂漿7天抗壓強度。

將試體L1~L18試體置於廠內7天後逐一進行抗壓實驗，記錄相關數據、製表並計算標準偏差(S)、試體平均強度(Ave)、改善前及改善後品質(S/N)，獲得最佳參數並呈現其結果如表5，表6所示。

表5 7天水泥砂漿試體因子對S/N比的反應表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level 1	41.73	43.35	40.00	41.17	41.00	44.75	41.50	41.73
Level 2	41.76	42.18	42.62	42.30	42.02	41.79	40.17	42.81
Level 3		39.7	42.63	41.77	42.22	38.70	43.58	40.70

表6 7天水泥砂漿試體抗壓強度相關數據

Ave	S	改善前 S/N	改善後 S/N	最佳參數
132.8	7.63	41.75	51.15	A2、B1、C3、D2、E3、F1、G3、H2

2、實驗二：水泥砂漿28天抗壓強度

將試體L1~L18試體置於廠內28天後逐一進行抗壓實驗，記錄相關數據、製表並計算標準偏差(S)、試體平均強度(Ave)、改善前及改善後品質(S/N)，獲得最佳參數並呈現其結果如表7、表8所示)。

表7 28天水泥砂漿試體因子對S/N比的反應表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level 1	45.92	46.73	44.28	44.96	45.11	47.51	45.39	45.04
Level 2	45.11	45.48	46.22	46.25	45.66	45.15	44.01	46.34
Level 3		44.30	46.04	45.34	45.77	43.89	47.15	45.17

表8 28天水泥砂漿試體抗壓強度相關數據

Ave	S	改善前 S/N	改善後 S/N	最佳參數
197.8	12.86	45.52	53.28	A1、B1、C2、D2、E3、F1、G3、H2

3、實驗三：水泥砂漿56天抗壓強度

將試體L1~L18試體置於廠內56天後逐一進行抗壓實驗，記錄相關數據、製表並計算標準偏差(S)、試體平均強度(Ave)、改善前及改善後品質(S/N)，獲得最佳參數並呈現其結果如表9、表10所示)。

表9 56天水泥砂漿試體因子對S/N比的反應表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level 1	46.36	47.15	44.95	46.45	46.21	47.87	46.29	46.12
Level 2	46.61	47.72	47.37	46.62	47.01	46.13	45.44	47.31
Level 3		44.6	47.14	46.39	46.24	45.45	47.73	46.02

表10 56天水泥砂漿試體抗壓強度相關數據

Ave	S	改善前 S/N	改善後 S/N	最佳參數
220.2	16.92	46.49	52.83	A2、B2、C2、D2、E2、F1、G3、H2

(二)粘結層介面剪力實驗

1、實驗一：紅磚試體7天剪力強度

將試體 L1~L18 試體置於廠內 7 天後逐一進行剪力實驗，記錄相關數據、製表並計算標準偏差(S)、試體平均強度(Ave)、改善前及改善後品質(S/N)，獲得最佳參數並呈現其結果如表 11、表 12 所示)。

表 11 7 天紅磚試體因子對 S/N 比的反應表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level 1	12.58	8.67	17.49	16.34	12.52	9.63	12.66	14.23
Level 2	11.84	13.69	12.76	8.49	12.56	13.94	13.28	13.34
Level 3		14.3	6.37	11.80	11.55	13.05	10.69	9.06

表 12 7 天紅磚試體剪力強度相關數據

Ave	S	改善前 S/N	改善後 S/N	最佳參數
5.7	1.52	12.21	29.22	A1、B3、C1、D1、E2、F2、G2、H1

2、實驗二：紅磚試體28天剪力強度

將試體L1~L18試體置於廠內28天後逐一進行剪力實驗，記錄相關數據、製表並計算標準偏差(S)、試體平均強度(Ave)、改善前及改善後品質(S/N)，獲得最佳參數並呈現其結果如表13、表14所示。

表 13 28 天紅磚試體因子對 S/N 比的反應表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level 1	15.39	10.99	19.91	18.27	17.73	11.77	16.24	16.16
Level 2	14.58	14.98	17.12	12.26	12.95	19.73	13.77	15.84
Level 3		19.0	7.92	14.42	14.27	13.45	14.94	12.95

表 14 28 天紅磚試體剪力強度相關數據

Ave	S	改善前 S/N	改善後 S/N	最佳參數
8.65	2.53	14.98	37.39	A1、B3、C1、D1、E1、F2、G1、H1

七、研究結果

綜合章節研究數據之最佳參數，分別整理抗壓強度及剪力強度，如表15所示：

表15 本研究最佳參數比較表

因子	說明	7天 抗壓強度	28天 抗壓強度	56天 抗壓強度	7天 剪力強度	28天 剪力強度
A	拌合時間(sec)	180	90	180	90	90
B	水灰比	0.5	0.5	0.55	0.6	0.6
C	水泥含量(%)	100	150	150	200	200
D	細粒料佔水泥重量(%)	250	250	250	200	200
E	細粒料粒徑(#)	30	30	16	16	8
F	壓克力樹脂佔水重量(%)	0	0	0	15	15
G	爐石粉佔水泥重量(%)	15	15	15	10	5
H	飛灰佔水泥重量之(%)	10	10	10	0	0

八、討論與建議

- (一)在施作過程中，需注重搗實之程度及次數，以提升試體應有之抗壓強度。
- (二)清理模具之後上一層薄油，下次拆模時可方便拆模也較不易使試體破壞。
- (三)可製作一固定模具，將磚體固定，有效控制磚體之垂直
- (四)將求得之最佳參數製作試體，並以抗壓實驗加以確認。
- (五)控制因子如何選定，可多查看文獻參考、專家學者及經驗累積而來。
- (六)紅磚疊砌品質應掌控，可有效提升試體剪力強度。

參●結論

一、拌合時間對抗壓強度及剪力強度之影響：

拌合時間90秒及180秒對抗壓強度與剪力強度並無影響，拌合均勻即可獲得較佳之強度。

二、水灰比對抗壓強度及剪力強度之影響：

材齡	水泥砂漿抗壓強度		紅磚剪力強度	
	0.55水灰比	0.6水灰比	0.55水灰比	0.6水灰比
7天	平均減低107.4%	平均減低138.9%	平均增強134.8%	平均增強139.1%
28天	平均減低113.4%	平均減低128.9%	平均增強143.5%	平均增強175.8%
56天	平均增強105.4%	平均減低132.6%		

三、添加樹脂對抗壓強度及剪力強度之影響：

材齡	水泥砂漿抗壓強度		紅磚剪力強度	
	添加15%樹脂	添加30%樹脂	添加15%樹脂	添加30%樹脂
7天	平均減低141.2%	平均減低185.5%	平均增強164%	平均增強142%
28天	平均減低130.2%	平均減低145.7%	平均增強205%	平均增強136%
56天	平均減低122.8%	平均減低128%		

四、添加爐石粉對抗壓強度及剪力強度之影響：

材齡	水泥砂漿抗壓強度		紅磚剪力強度	
	添加10%爐石粉	添加15%爐石粉	添加10%爐石粉	添加15%爐石粉
7天	平均減低108.7%	平均增強122.1%	平均減低108.9%	平均減低110.9%
28天	平均減低113.7%	平均增強120%	平均減低156.3%	平均減低105.3%
56天	平均減低141.2%	平均增強185.5%		

五、添加飛灰對抗壓強度及剪力強度之影響：

材齡	水泥砂漿抗壓強度		紅磚剪力強度	
	添加10%飛灰	添加20%飛灰	添加10%飛灰	添加20%飛灰
7天	平均增強116.6%	平均減低103.1%	平均減低106.9%	平均增強110%
28天	平均增強115.7%	平均增強103.9%	平均減低119.2%	平均增強115%
56天	平均增強117.4%	平均增強102.5%		

六、最佳參數分析：

- (一)7天最佳參數抗壓強度實驗平均數據為：142.5kgf/cm²合乎改善後之數據，故成效良好。
- (二)28天最佳參數抗壓強度實驗平均數據為：332.8.5kgf/cm²超過改善後之數據，故成效良好。
- (三)7天最佳參數剪力強度實驗平均數據為：12.69kgf/cm²超過改善後之數據，故成效良好。

肆●引註資料

- [1]李輝煌(2008)。田口方法品質設計的原理與實務。台北市：高立圖書公司。
- [2]陳奕信(2003)。含磚牆 RC 建築結構之耐震診斷。國立成功大學建築研究所碩士論文，未出版，台南市。
- [3]田口品質工程(2009)。參數水準最佳化之實例。彰化縣：皮托科技股份有限公司。
- [4]連寬宏(1993)。磚牆結構行為之不連續變形分析。國立成功大學建築研究所碩士論文，未出版，台南市。