

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學科(二)

052409

烈鋼凝心·爐火純青

學校名稱： 國立臺南大學附屬高級中學

作者：	指導老師：
高二 張致愷	歐怡秀
高二 陳崇宏	沈佳龍
高二 李和豫	

關鍵詞： 水泥砂漿、不鏽鋼粉、爐石粉

# 烈鋼凝心・爐火純青

## 摘要

本研究將工業廢棄物中的爐石與不鏽鋼粉再利用於取代水泥砂漿原料，除有效運用廢棄物外，亦可透過取代水泥與砂，減少二氧化碳的排放及天然資源的消耗。為驗證其應用之可行性，本研究以爐石粉取代水泥、爐石粉取代砂、不鏽鋼粉取代水泥、不鏽鋼粉取代砂、爐石粉加不鏽鋼粉取代水泥、爐石粉加不鏽鋼粉取代砂等六種型式，每種型式採5%、10%、15%、20%等比例，依據 CNS 規範進行28天齡期之水泥砂漿抗壓強度試驗，每一組試驗皆製作3個試體，並與對照組之一般水泥砂漿比較分析。結果顯示不鏽鋼粉與爐石粉可有效提高水泥砂漿的強度，以爐石粉加不鏽鋼粉取代15%砂可獲最佳強度，取代20%砂則可得環保及工程性能之最佳效益。

## 壹、前言

### 一、研究動機

水泥砂漿為現今建築中最常主要的建材之一，因其良好的物理特性在建築上被廣泛運用。水泥的強度與耐久性對結構安全至關重要。然而，傳統水泥砂漿的力學性能仍有提升空間，特別是在應對環境侵蝕與長期使用的耐久性方面。因此，從取代量材料之種類、配比設計對其抗壓強度變化進行詳細分析而整理出數據，以優化其材料性能及提出新的取代量材料與配比方案，豐富水泥砂漿研究的基礎理論，成為近年來材料科學領域的重要研究方向。

此外，從環保與經濟效益的角度來看，爐石與不鏽鋼粉的回收利用不僅能降低工業廢棄物的累積與處理成本，還能減少水泥生產過程中的二氧化碳排放。水泥工業是全球碳排放的主要來源之一，透過部分取代量傳統水泥原料，不僅能有效減少碳足跡，也能符合循環經濟與永續發展的理念。因此，研究爐石與不鏽鋼粉摻入水泥砂漿的可行性，不僅有助於提升建築材料性能，亦能兼顧環境保護與資源再利用。

基於上述背景，本研究將深入探討爐石與不鏽鋼粉摻入水泥砂漿後的影響。透過系統性的試驗與數據比對，期望驗證其在提高水泥砂漿強度與耐久性方面的潛力，並提供建築業界高效能、低環境負荷的新型材料選擇。

### 二、研究目的

- (一) 分析藉由將不鏽鋼粉及爐石應用於水泥砂漿中，取代量部分傳統水泥材料，提升一般水泥砂漿的強度。
- (二) 從取代量材料之種類、配比設計對其抗壓強度變化進行詳細分析而整理出數據，

以優化其材料性能及提出新的取代量材料與配比方案，豐富水泥砂漿研究的基礎理論。

### 三、文獻探討

#### （一）水泥砂漿

水泥砂漿主要組成部分為「水、水泥、細骨材，針對水泥砂漿不同的使用需求，會適當的添加摻料取代部分水泥」（蔡晏池，2010），其中水泥「加水後會產生水化作用，進而產生各種水化產物以及晶體」（王士豪，2024），這些水化產物賦予水泥砂漿良好的結構強度與黏結性，故主要作為水泥砂漿之膠結材料。水泥砂漿的性質包含抗壓強度、耐久性、水密性……等，而水泥砂漿強度之檢驗方法，一般皆以抗壓強度試驗為主。

#### （二）不鏽鋼粉

不鏽鋼為一個統稱，「其主成分為鐵，其餘包含鎳、鉻、錳…等金屬，不同金屬比例製作出來的不鏽鋼編號不同，大致上可分為200、300、400系列」（衛生福利部食品藥物管理署，2015），「在鋼材煉製過程中添加鎳、鉻等合金以改善普通鋼原有性質或呈現其他特殊性質」（林偉凱，2015），其「具有較良好的耐腐蝕性，可以承受大氣中、水中與化學品的腐蝕，所以用途極為廣泛」（徐培軒，2014），而將其處理製成不鏽鋼粉添加至水泥砂漿中可「發揮其卜作嵐作用，增強健結能力、填塞孔隙，於抗壓強度之應固性質表現不錯」（廖培丞，2014）。

#### （三）爐石粉

爐石是「高爐排出冷卻所得的爐渣稱為高爐石。也由於冷卻作業方式的不同，分為氣冷爐石及水淬爐石兩種，經加工研磨成細粉並添入混凝土中就會產生卜作嵐反應,因為其具有水硬性膠結能力，可提升混凝土晚期強度、緻密性及耐久性」（黃自隆，2024），且具有穩定的化學成分和化學反應特性，可以在潮濕環境中與水泥中的氫氧化鈣反應，反應出有水硬性的化合物，從而提高混凝土的強度和耐久性，其「主要化學成份為  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 與  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，近似於卜特蘭水泥，因此具備潛在水硬特性，另外其可與氫氧化鈣產生卜作嵐反應」（吳志仁，2023），進而取代水泥砂漿中之水泥作為膠結材料，及提升水泥之抵抗腐蝕的性能，也在硬化過程中釋放更少的熱量，減少混凝土施工時的裂縫，在高水膠比的情況下，爐石的使用也可以改善水泥的流動性，並且減少水泥在生產過程中二氧化碳的排放，能有效回收工業廢料，減少對天然資源的需求，更加符合持續發展的需求。

## 貳、研究設備與器材

表1：研究設備與器材


名稱	不鏽鋼粉	爐石粉	砂	水泥	水
圖片					
說明	摻料 1	摻料2	材料	材料	材料
名稱	# 200 篩	秤重機	攪拌機	抗壓試體模	搗棒
圖片					
說明	摻料過篩用	材料秤重用	材料拌合用	試體製作用	試體搗實用
名稱	振動台	恆溫養護池	抗壓試驗機	鏟子	橡膠槌
圖片					
說明	排除氣泡用	試體養護用	抗壓試驗用	刮材料	輔助拆模

表1資料來源：本研究自行拍攝

## 參、研究過程與方法

### 一、研究方法

本試驗使用不鏽鋼粉及爐石粉兩種材料，以5%、10%、15%、20%等四種比例取代水泥及砂，再以一般水泥砂漿（0%取代率）作為對照，透過抗壓試驗分析其抗壓成效。

### 二、試驗配比設計

本研究依CNS規範之水泥1：砂2.75：水0.485，以取代水泥及取代砂等型式（如表2、表3），以5%、10%、15%、20%等4種不同比例分別取代水泥及砂製成水泥砂漿，以不鏽鋼粉取代水泥及取代砂、爐石粉取代水泥及砂、不鏽鋼粉加爐石粉取代水泥及砂(不鏽鋼粉與爐石粉比例為1:1)，並以0%為對照組，探討不鏽鋼粉及爐石粉進行晚期(養護28天)，每種比例分別製作3個水泥砂漿試體，以確保其準確性。

表2：摻料取代水泥之水泥砂漿實驗配比設計

取代比例	水泥 (g)	砂 (g)	摻料 (g)	水 (g)
0%	500	1375	0	242.5
5%	475	1375	25	242.5
10%	450	1375	50	242.5



15%	425	1375	75	242.5
20%	400	1375	100	242.5

表2資料來源：本研究彙整

表3：摻料取代砂之水泥砂漿實驗配比設計

取代比例	水泥 (g)	砂 (g)	摻料 (g)	水 (g)
0%	500	1375.00	0.00	242.5
5%	500	1306.25	68.75	242.5
10%	500	1237.50	137.50	242.5
15%	500	1168.75	206.25	242.5
20%	500	1100.00	275.00	242.5

表3資料來源：本研究彙整

### 三、研究過程

在確定主題後，進行文獻蒐集與探討，並依據CNS規範製作水泥砂漿試體，再透過抗壓試驗結果進行討論與分析。本研究試驗過程如圖1所示，為模具上油、過篩、拌合、裝模、搗實、放上振動台、養護、及抗壓試驗。



圖 1：試驗過程

圖 1 資料來源：本研究自行拍攝

## 肆、研究結果

### 一、一般水泥砂漿試驗之抗壓強度試驗結果

一般水泥砂漿抗壓試驗結果如表4，試體平均最大壓力為9487kgf，抗壓強度為379.3kgf/cm<sup>2</sup>。

表4：一般水泥砂漿試驗之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	9435	9469	9557	9487
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	377	379	382	379.33

表4資料來源：本研究自行拍攝

### 二、不鏽鋼粉取代水泥之抗壓強度試驗結果

#### (一) 不鏽鋼粉取代5%水泥

不鏽鋼粉取代5%水泥抗壓試驗結果如表5，試體一之最大壓力為10392kgf，抗壓強度為416kgf/cm<sup>2</sup>、試體二之最大壓力為10405kgf，抗壓強度為416kgf/cm<sup>2</sup>、試體三之最大壓力10404kgf，為抗壓強度為416kgf/cm<sup>2</sup>。

表5：不鏽鋼粉取代5%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	10392	10405	10404	10400
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	416	416	416	416

表5資料來源：本研究自行拍攝

#### (二) 不鏽鋼粉取代10%水泥

不鏽鋼粉取代10%水泥抗壓試驗結果如表6，試體一之最大壓力為10163kgf，抗壓強度為407kgf/cm<sup>2</sup>、試體二之最大壓力為9521kgf，抗壓強度為381kgf/cm<sup>2</sup>、試體三之最大壓力為9510kgf，抗壓強度為380kgf/cm<sup>2</sup>。

表6：不鏽鋼粉取代10%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	10163	9521	9510	9731.3
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	407	381	380	389.33

表6資料來源：本研究自行拍攝

### (三) 不鏽鋼粉取代15%水泥

不鏽鋼粉取代15%水泥抗壓試驗結果如表7，試體一最大壓力為9454kgf，抗壓強度為378kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為9333kgf，抗壓強度為373kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力9681kgf，抗壓強度為387kgf/cm<sup>2</sup>。

表7：不鏽鋼粉取代15%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	9454	9333	9681	9489.3
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	378	373	387	379.33

表7資料來源：本研究自行拍攝

### (四) 不鏽鋼粉取代20%水泥

不鏽鋼粉取代20%水泥抗壓試驗結果如表8，試體一最大壓力為8779kgf，抗壓強度為351kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為8510kgf，抗壓強度為340kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為8734kgf，抗壓強度為349kgf/cm<sup>2</sup>。

表8：不鏽鋼粉取代水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	8779	8510	8734	8674.33
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	351	340	349	346.66

表8資料來源：本研究自行拍攝

### 三、不鏽鋼粉取代砂之抗壓強度試驗結果

#### (一) 不鏽鋼粉取代5%砂

不鏽鋼粉取代5%砂抗壓試驗結果如表9，試體一最大壓力為11694kgf，抗壓強度為468kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為11259kgf，抗壓強度為450kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為11390kgf，抗壓強度為456kgf/cm<sup>2</sup>。

表9：不鏽鋼粉取代5%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片	11694 kgf 468 kgf/cm <sup>2</sup>	11259 kgf 450 kgf/cm <sup>2</sup>	11390 kgf 456 kgf/cm <sup>2</sup>	
最大強度 (kgf)	11694	11259	11390	11447.7
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	468	450	456	458

表9資料來源：本研究自行拍攝

#### (二) 不鏽鋼粉取代10%砂

不鏽鋼粉取代10%砂抗壓試驗結果如表10，試體一最大壓力為11677kgf，抗壓強度為467kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為11948kgf，抗壓強度為478kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為12060kgf，抗壓強度為482kgf/cm<sup>2</sup>。

表10：不鏽鋼粉取代10%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片	11677 kgf 467 kgf/cm <sup>2</sup>	11948 kgf 478 kgf/cm <sup>2</sup>	12060 kgf 482 kgf/cm <sup>2</sup>	
最大強度 (kgf)	11677	11948	12060	11895
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	467	478	482	475.66

表10資料來源：本研究自行拍攝

#### (三) 不鏽鋼粉取代15%砂

不鏽鋼粉取代15%砂抗壓試驗結果如表11，試體一之最大壓力為13030kgf，抗壓強度為521kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為13335kgf，抗壓強度為533kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為12745kgf，抗壓強度為510kgf/cm<sup>2</sup>。



表11：不鏽鋼粉取代15%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	13030	13335	12745	13036.7
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	521	533	510	521.33

表11資料來源：本研究自行拍攝

#### (四) 不鏽鋼粉取代20%砂

不鏽鋼粉取代15%砂抗壓試驗結果如表12，試體一最大壓力為10707kgf，抗壓強度為428kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為11208kgf，抗壓強度為448kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為10946kgf，抗壓強度為438kgf/cm<sup>2</sup>。

表12：不鏽鋼粉取代20%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	10707	11208	10946	10953.7
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	428	448	438	438

表12資料來源：本研究自行拍攝

### 四、爐石粉取代水泥之抗壓強度試驗結果

#### (一) 爐石粉取代5%水泥

爐石粉取代5%水泥抗壓試驗結果如表13，試體一最大壓力為10204kgf，抗壓強度為408kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為10130kgf，抗壓強度為405kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為9998kgf，抗壓強度為400kgf/cm<sup>2</sup>。

表13：爐石粉取代5%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	10204	10130	9998	10110.7
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	408	405	400	404.33

表13資料來源：本研究自行拍攝

#### (二) 爐石粉取代10%水泥

爐石粉取代10%水泥抗壓試驗結果如表14，試體一最大壓力為11681kgf，抗壓強度 $467\text{kgf/cm}^2$ 、試體二最大壓力為11717kgf，抗壓強度為 $469\text{kgf/cm}^2$ 、試體三最大壓力為11616kgf，抗壓強度為 $465\text{kgf/cm}^2$ 。

表14：爐石粉取代10%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	11681	11717	11616	11671.3
抗壓強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	467	469	465	467

表14資料來源：本研究自行拍攝

#### (三) 爐石粉取代15%水泥

爐石粉取代15%水泥抗壓試驗結果如表15，試體一最大壓力為10872kgf，抗壓強度為 $435\text{kgf/cm}^2$ 、試體二最大壓力為10572kgf，抗壓強度為 $423\text{kgf/cm}^2$ 、試體三最大壓力為10988kgf，抗壓強度為 $440\text{kgf/cm}^2$ 。

表15：爐石粉取代15%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	10872	10572	10988	10810.7
抗壓強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	435	423	440	432.66

表15資料來源：本研究自行拍攝

#### (四) 爐石粉取代20%水泥

爐石粉取代20%水泥抗壓試驗結果如表16，試體一最大壓力為10712kgf，抗壓強度為 $428\text{kgf/cm}^2$ 、試體二最大壓力為10761kgf，抗壓強度為 $430\text{kgf/cm}^2$ 、試體三最大壓力為10424kgf，抗壓強度為 $417\text{kgf/cm}^2$ 。

表16：爐石粉取代20%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	10712	10761	10424	10632.3
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	428	430	417	425

表16資料來源：本研究自行拍攝

## 五、爐石粉取代砂之抗壓強度試驗結果

### (一) 爐石粉取代5%砂

爐石粉取代5%砂抗壓試驗結果如表17，試體一最大壓力為12951kgf，抗壓強度為518kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為12737kgf，抗壓強度為509kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為12763kgf，抗壓強度為511kgf/cm<sup>2</sup>。

表17：爐石粉取代5%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	12951	12737	12763	12817
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	518	509	511	512.66

表17資料來源：本研究自行拍攝

### (二) 爐石粉取代10%砂

爐石粉取代10%砂抗壓試驗結果如表18，試體一最大壓力為13350kgf，抗壓強度為534kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為13744kgf，抗壓強度為550kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為13576kgf，抗壓強度為543kgf/cm<sup>2</sup>。

表18：爐石粉取代10%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	13350	13744	13576	13556.7



抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	534	550	543	542.33
--------------------------------	-----	-----	-----	--------

表18資料來源：本研究自行拍攝

### (三) 爐石粉取代15%砂

爐石粉取代15%砂抗壓試驗結果如表19，試體一最大壓力為11625kgf，抗壓強度為465kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為11464kgf，抗壓強度為459kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為11070kgf，抗壓強度為443kgf/cm<sup>2</sup>。

表19：爐石粉取代15%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	11625	11464	11070	11386.3
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	465	459	443	455.66

表19資料來源：本研究自行拍攝

### (四) 爐石粉取代20%砂

爐石粉取代20%砂抗壓試驗結果如表20，試體一最大壓力為7902kgf，抗壓強度為316kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為7669kgf，抗壓強度為307kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為7396kgf，抗壓強度為296kgf/cm<sup>2</sup>。

表20：爐石粉取代20%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	7902	7669	7396	7655.7
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	316	307	296	306.33

表20資料來源：本研究自行拍攝

## 六、不鏽鋼粉加爐石粉取代水泥之抗壓強度試驗結果

### (一) 不鏽鋼粉加爐石粉取代5%水泥

不鏽鋼粉加爐石粉取代5%水泥抗壓試驗結果如表21，試體一最大壓力為13130kgf，抗壓強度為525kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為13571kgf，抗壓強度為543kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為13707kgf，抗壓強度為548kgf/cm<sup>2</sup>。

表21：不鏽鋼粉加爐石粉取代5%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	13130	13571	13707	13469.3
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	525	543	548	538.66

表21資料來源：本研究自行拍攝

## (二) 不鏽鋼粉加爐石粉取代10%水泥

不鏽鋼粉加爐石粉取代10%水泥抗壓試驗結果如表22，試體一最大壓力為10395kgf，抗壓強度為416kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為10421kgf，抗壓強度為417kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為10580kgf，抗壓強度為434kgf/cm<sup>2</sup>。

表22：不鏽鋼粉加爐石粉取代10%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	10395	10421	10850	10456.3
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	416	417	434	422.33

表22資料來源：本研究自行拍攝

## (三) 不鏽鋼粉加爐石粉取代15%水泥

不鏽鋼粉加爐石粉取代15%水泥抗壓試驗結果如表23，試體一最大壓力為9845kgf，抗壓強度為394kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為10088kgf，抗壓強度為404kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為9812kgf，抗壓強度為392kgf/cm<sup>2</sup>。

表23：不鏽鋼粉加爐石粉取代15%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	9845	10088	9812	9915
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	394	404	392	396.66

表23資料來源：本研究自行拍攝

#### (四) 不鏽鋼粉加爐石粉取代20%水泥

不鏽鋼粉加爐石粉取代20%水泥抗壓試驗結果如表24，試體一最大壓力為9612kgf，抗壓強度為384kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為9677kgf，抗壓強度為387kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為9439kgf，抗壓強度為378kgf/cm<sup>2</sup>。

表24：不鏽鋼粉加爐石粉取代20%水泥之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片	9612 kgf 384 kgf/cm <sup>2</sup>	9677 kgf 387 kgf/cm <sup>2</sup>	9439 kgf 378 kgf/cm <sup>2</sup>	
最大強度 (kgf)	9612	9677	9439	9576
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	384	387	378	383

表24資料來源：本研究自行拍攝

#### 七、不鏽鋼粉加爐石粉取代砂之抗壓強度試驗結果

##### (一) 不鏽鋼粉加爐石粉取代5%砂

不鏽鋼粉加爐石粉取代5%砂抗壓試驗結果如表25，試體一最大壓力為12243kgf，抗壓強度為490kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為12859kgf，抗壓強度為514kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為13130kgf，抗壓強度為525kgf/cm<sup>2</sup>。

表25：不鏽鋼粉加爐石粉取代5%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片	12243 kgf 490 kgf/cm <sup>2</sup>	12859 kgf 514 kgf/cm <sup>2</sup>	13130 kgf 525 kgf/cm <sup>2</sup>	
最大強度 (kgf)	12243	12859	13130	12744
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	490	514	525	509.66

表25資料來源：本研究自行拍攝

##### (二) 不鏽鋼粉加爐石粉取代10%砂

不鏽鋼粉加爐石粉取代10%砂抗壓試驗結果如表26，試體一之最大壓力為12647kgf，抗壓強度為506kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為12832kgf，抗壓強度為513kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為12969kgf，抗壓強度為519kgf/cm<sup>2</sup>。

表26：不鏽鋼粉加爐石粉取代10%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	12647	12832	12969	12816
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	506	513	519	512.66

表26資料來源：本研究自行拍攝

### (三) 不鏽鋼粉加爐石粉取代15%砂

不鏽鋼粉加爐石粉取代15%砂抗壓試驗結果如表27，試體一最大壓力為14072kgf，抗壓強度為563kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為14215kgf，抗壓強度為569kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為14140kgf，抗壓強度為566kgf/cm<sup>2</sup>。

表27：不鏽鋼粉加爐石粉取代15%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	14702	14215	14140	14142.3
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	563	569	566	566

表27資料來源：本研究自行拍攝

### (四) 不鏽鋼粉加爐石粉取代20%砂

不鏽鋼粉加爐石粉取代20%砂抗壓試驗結果如表28，試體一最大壓力為13689kgf，抗壓強度為548kgf/cm<sup>2</sup>、試體二最大壓力為13282kgf，抗壓強度為531kgf/cm<sup>2</sup>、試體三最大壓力為13420kgf，抗壓強度為537kgf/cm<sup>2</sup>。

表28：不鏽鋼粉加爐石粉取代20%砂之抗壓強度試驗結果

	試體一	試體二	試體三	平均
圖片				
最大強度 (kgf)	13689	13282	13420	13463
抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	548	531	537	538.66

表28資料來源：本研究自行拍攝



## 伍、討論

### 一、水泥砂漿抗壓強度分析

本研究之水泥砂漿晚期抗壓強度試驗彙整如表29所示。不鏽鋼粉取代水泥時，抗壓強度在 5% 取代量時為416kgf/cm<sup>2</sup>(+10%)；10%取代量時為 389.33kgf/cm<sup>2</sup>(+3%)；15%取代量時為379.33kgf/cm<sup>2</sup>(0%)；20%取代量時下降至346.66kgf/cm<sup>2</sup>(-9%)。不鏽鋼粉取代砂時，抗壓強度於5%取代量時提升至458kgf/cm<sup>2</sup>(+21%)；10%取代量時進一步增至475.66 kgf/cm<sup>2</sup>(+25%)；15%取代量時達最大值521.33kgf/cm<sup>2</sup>(+37%)；然而20%取代量時下降至 438 kgf/cm<sup>2</sup>(+15%)。爐石粉取代水泥時，5%取代量使抗壓強度增至 404.33kgf/cm<sup>2</sup>(+7%)；10%取代量時進一步提升至 467kgf/cm<sup>2</sup>(+23%)；15%取代量時為432.66kgf/cm<sup>2</sup>(+14%)；20%取代量時則為425kgf/cm<sup>2</sup>(+12%)。爐石粉取代砂時，5%取代量時抗壓強度達 512.66kgf/cm<sup>2</sup>(+35%)；10%取代量時提升至542.33kgf/cm<sup>2</sup>(+43%)；15%取代量時降至 455.66kgf/cm<sup>2</sup>(+20%)；20%取代量時則顯著下降至306.33kgf/cm<sup>2</sup>(-19%)。不鏽鋼粉與爐石粉複合取代水泥時，5%取代量時抗壓強度大幅提升至538.66kgf/cm<sup>2</sup>(+42%)；10%取代量時為 422.33kgf/cm<sup>2</sup>(+11%)；15%取代量時為 396.66kgf/cm<sup>2</sup>(+5%)；20%取代量時為 383kgf/cm<sup>2</sup>(+1%)。不鏽鋼粉與爐石粉複合取代砂時，5%取代量時抗壓強度達 509.66kgf/cm<sup>2</sup>(+34%)；10%取代量時為 512.66kgf/cm<sup>2</sup>(+35%)；15%取代量時提升至 566kgf/cm<sup>2</sup>(+49%)；20%取代量時則為538.66kgf/cm<sup>2</sup>(+42%)。

表29：水泥砂漿抗壓強度試驗彙整

材料	取代比例	取代水泥				取代砂	
		抗壓強度	成效		抗壓強度	成效	
			應力差	百分比		應力差	百分比
一般	0%	379.33	0	0%	379.33	0	0%
不鏽鋼粉	5%	416	+36.66	+10%	458	+78.66	+21%
	10%	389.33	+10	+3%	475.66	+96.33	+25%
	15%	379.33	0	0%	521.33	+142	+37%
	20%	346.66	-32.66	-9%	438	+58.66	+15%
爐石粉	5%	404.33	+25	+7%	512.66	+133.33	+35%
	10%	467	+87.66	+23%	542.33	+163	+43%
	15%	432.66	+53.33	+14%	455.66	+76.33	+20%

	20%	425	+45.66	+12%	306.33	-73	-19%
不鏽鋼粉加爐石粉	5%	538.66	+159.33	+42%	509.66	+130.33	+34%
	10%	422.33	+43	+11%	512.66	+133.33	+35%
	15%	396.66	+17.33	+5%	566	+186.66	+49%
	20%	383	+3.66	+1%	538.66	+159.33	+42%

表29：本研究自行拍攝

## 二、不同類型摻料取代砂之成效分析

在 28 天齡期中，不同類型摻料取代5%砂之抗壓強度最高為爐石粉抗壓強度為 512.66kgf/cm<sup>2</sup>，較普通水泥砂漿高133.33kgf/cm<sup>2</sup>；第二為不鏽鋼粉加爐石粉的抗壓強度為 509.66kgf/cm<sup>2</sup>，比普通水泥砂漿強度高130.33kgf/cm<sup>2</sup>；第三為不鏽鋼粉的抗壓強度為 458kgf/cm<sup>2</sup>，與普通水泥砂漿相比高了78.67kgf/cm<sup>2</sup>。 28 天齡期不同類型摻料取代10%砂之抗壓強度最高為爐石粉抗壓強度為542.33kgf/cm<sup>2</sup>，較普通水泥砂漿高162.66kgf/cm<sup>2</sup>；第二為不鏽鋼粉加爐石粉的抗壓強度為512.66kgf/cm<sup>2</sup>，比普通水泥砂漿強度高133.33kgf/cm<sup>2</sup>；第三為不鏽鋼粉的抗壓強度為475.66kgf/cm<sup>2</sup>，與普通水泥砂漿相比高了96.33kgf/cm<sup>2</sup>。 28 天齡期不同類型摻料取代15%砂之抗壓強度最高為不鏽鋼粉加爐石粉抗壓強度為 566kgf/cm<sup>2</sup>，較普通水泥砂漿高 186.67kgf/cm<sup>2</sup>；第二為不鏽鋼粉的抗壓強度為 521.33kgf/cm<sup>2</sup>，比普通水泥砂漿強度高 142kgf/cm<sup>2</sup>；第三為爐石粉的抗壓強度為 455.66kgf/cm<sup>2</sup>，與普通水泥砂漿相比高了76.33kgf/cm<sup>2</sup>。 28天齡期不同類型摻料取代20%砂之抗壓強度最高為不鏽鋼粉加爐石粉抗壓強度為538.66kgf/cm<sup>2</sup>，較普通水泥砂漿高 159.33kgf/cm<sup>2</sup>；第二為不鏽鋼粉的抗壓強度為438kgf/cm<sup>2</sup>，比普通水泥高58.67kgf/cm<sup>2</sup>；第三為爐石粉的抗壓強度為306.33kgf/cm<sup>2</sup>，與普通水泥砂漿相比低了73kgf/cm<sup>2</sup>。

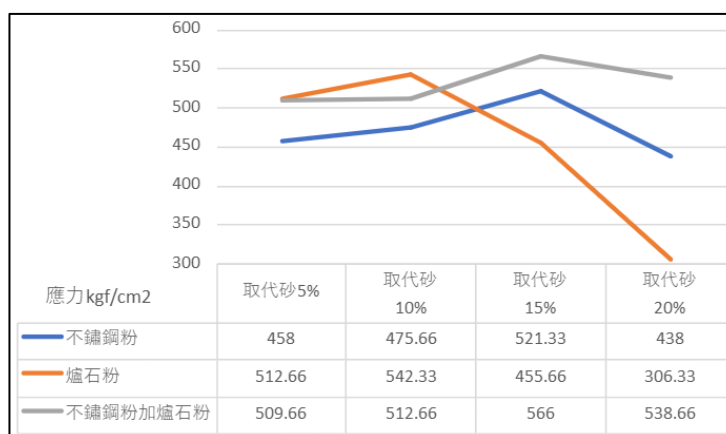


圖2：不同類型摻料取代砂之成效分析

圖2資料來源：本研究自行繪製

### 三、不同類型摻料取代水泥之成效分析

在28天齡期中，不同類型摻料取代5%水泥之抗壓強度最高為不鏽鋼加爐石粉的 $538.66\text{kgf/cm}^2$ ，較普通水泥砂漿高 $159.33\text{kgf/cm}^2$ ；第二為不鏽鋼的抗壓強度為 $416\text{kgf/cm}^2$ ，比普通水泥砂漿強度高 $36.67\text{kgf/cm}^2$ ；第三為爐石粉的抗壓強度為 $404.33\text{kgf/cm}^2$ ，與普通水泥砂漿相比高了 $25\text{kgf/cm}^2$ 。28 天齡期不同類型摻料取代10%水泥之抗壓強度最高為爐石粉的 $467\text{kgf/cm}^2$ ，較普通水泥 砂漿高 $87.66\text{kgf/cm}^2$ ；第二為不鏽鋼加爐石粉的抗壓強度為 $422.33\text{kgf/cm}^2$ ，比普通水泥砂漿強度高 $43\text{kgf/cm}^2$ ；第三為不鏽鋼的抗壓強度為 $389.33\text{kgf/cm}^2$ ，與普通水泥砂漿相比高了 $10\text{kgf/cm}^2$ 。28 天齡期不同類型摻料取代15%水泥之抗壓強度最高為爐石粉的 $432.66\text{kgf/cm}^2$ ，較普通水泥砂漿高 $53.33\text{kgf/cm}^2$ ；第二為不鏽鋼加爐石粉的抗壓強度為 $396.66\text{kgf/cm}^2$ ，比普通水泥砂漿強度高 $17.33\text{kgf/cm}^2$ ；第三為不鏽鋼的抗壓強度為 $379.33\text{kgf/cm}^2$ ，與普通水泥砂漿相同。28 天齡期不同類型摻料取代20%水泥之抗壓強度最高為爐石粉的 $425\text{kgf/cm}^2$ ，較普通水泥砂漿高 $45.66\text{kgf/cm}^2$ ；第二為不鏽鋼加爐石粉的抗壓強度為 $383\text{kgf/cm}^2$ ，比普通水泥砂漿強度高 $3.66\text{kgf/cm}^2$ ；第三為不鏽鋼的抗壓強度為 $346.66\text{kgf/cm}^2$ ，與普通水泥砂漿相比低了 $32.66\text{kgf/cm}^2$ 。

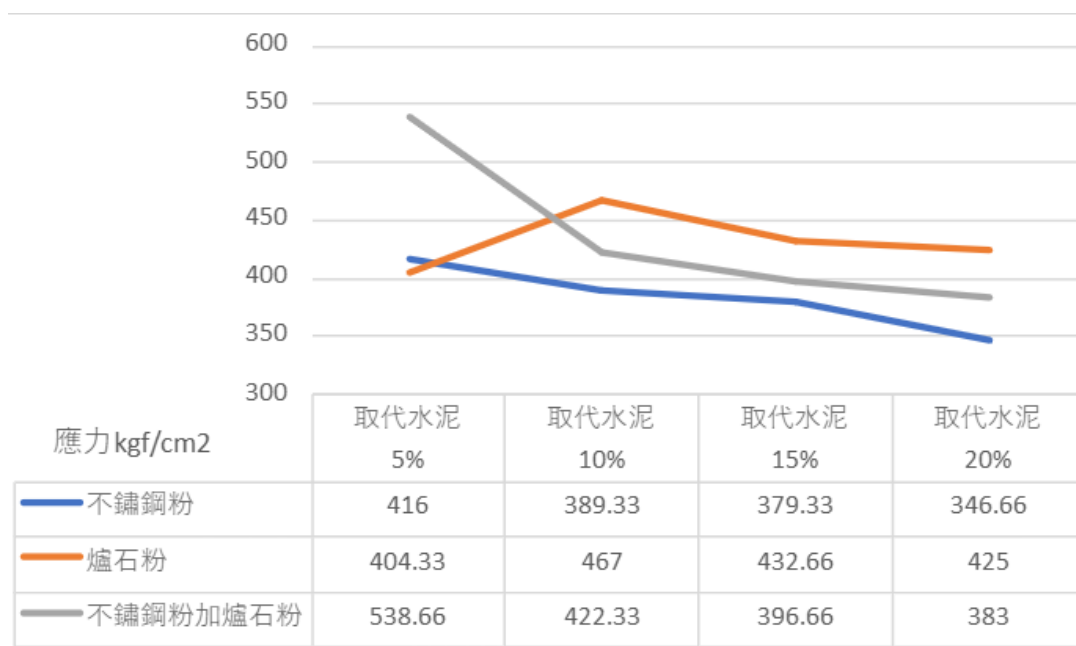


圖3：不同類型摻料取代水泥之成效分析

圖3資料來源：本研究自行繪製

### 四、28天齡期不同類型摻料之取代型式分析

28天齡期摻料之抗壓強度最佳為不鏽鋼粉加爐石粉取代15%砂的 $566\text{kgf/cm}^2$ ，第二為爐石粉取代10%砂的 $542.33\text{kgf/cm}^2$ ，第三為不鏽鋼粉加爐石粉取代5%水泥及不鏽鋼粉加爐石粉取代20%砂的 $538.66\text{kgf/cm}^2$ ，第四為不鏽鋼粉取代15%砂的 $521.33\text{kgf/cm}^2$ ，第五為



爐石粉取代5%砂及不鏽鋼粉加爐石粉取代10%砂的512.66kgf/cm<sup>2</sup>。

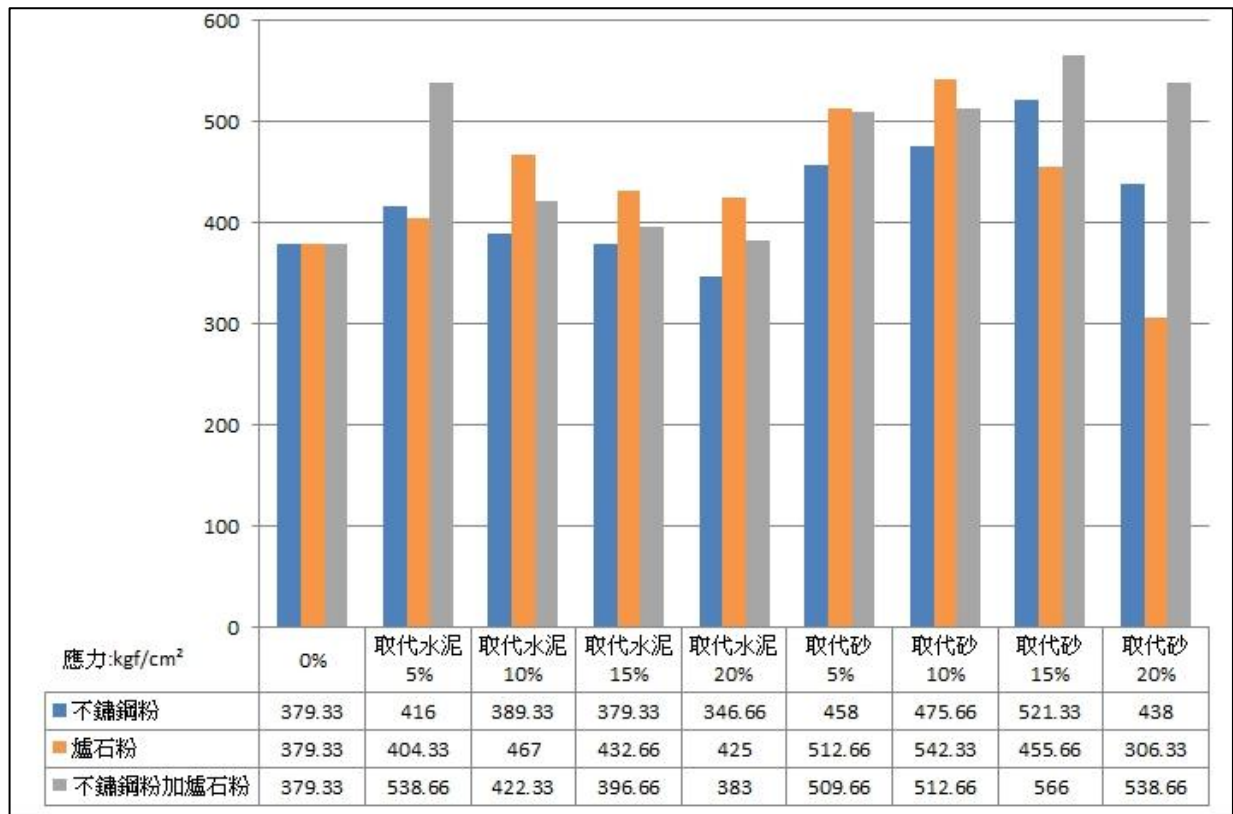


圖4：28天齡期不同類型摻料之取代型式分析

圖4資料來源：本研究自行繪製

## 陸、結論

### 一、結論

- (一) 以晚期抗壓強度而言，在取代比例的部分，5%時強度最佳為不鏽鋼粉加爐石粉取代水泥（提升42%）；取代10%時強度最佳為爐石粉取代砂（提升43%）；取代15%時強度最佳為不鏽鋼粉加爐石粉取代砂（提升49%）；取代20%時強度皆不佳，最高為不鏽鋼粉加爐石粉（提升42%）。
- (二) 當摻料取代比例達20%時，部分組合的抗壓強度下降，顯示過高比例可能影響水泥砂漿的整體結構穩定性，因此未來亦可針對比例做進一步的探討。
- (三) 研究結果顯示，適量添加不鏽鋼粉與爐石粉能有效提升水泥砂漿的抗壓強度，在取代型式分析中，取代砂的效益較取代水泥佳。
- (四) 經試驗後發現，不鏽鋼粉取代15%內的水泥和20%內的砂、爐石粉取代20%內的水泥和15%內的砂、不鏽鋼粉加爐石粉取代20%內的水泥和砂，皆符合應用之可行性標準。
- (五) 依環保效益分析，不鋼粉與爐石粉皆屬於再生資源，若能導入建材製程，能有效

取代部分高碳排的水泥原料，降低碳足跡，有助於永續發展。尤其水泥產業為溫室氣體排放大宗，材料替代策略正是碳中和目標的重要策略。

(六) 依經濟效益分析，由於不鏽鋼粉與石粉多來自鋼鐵與高爐工業的副產物，成本遠低於水泥與天然砂，若能規模化應用，可在不犧牲結構強度的前提下（甚至可以提升結構強度），減少整體建材成本。同時，也可創造副產物再利用的新商機，對產業鏈形成正向循環。

(七) 根據本研究數據進一步分析可得，綜合考量抗壓強度提升幅度與取代比例的效益，以不鏽鋼粉加爐石粉取代20%砂的組合表現最為優異，除了高達20%的取代量具最高環保效益外，亦能提升抗壓強度達42%，為本研究中最具經濟效益與工程效益之配比。整體而言，適量使用不鏽鋼粉與爐石粉，不僅可有效提升水泥砂漿之抗壓強度，更可依工程需求調整取代型式與比例，以達到性能與成本的最適平衡，具高度應用潛力。

(八) 在應用方面，不鏽鋼粉與爐石粉摻入水泥砂漿，有優異的承載力，增強結構安全性與抗震能力，同時降低未來維修需求，延長建築物使用壽命。適用於道路鋪面、橋樑等高耐久設施，也可應用於電梯井道與承重牆的砌築及高樓的建設。

## 二、未來展望

(一) 建議進一步探討不同環境條件下（如濕度、溫度變化）的影響，並研究其他可能提升強度與耐久性的取代量材料，以拓展其在建築領域的應用範圍。

(二) 透過本次試驗顯示出適量的爐石粉與不鏽鋼的確能提升混凝土的強度，因此未來可利用爐石粉與不鏽鋼取代部分水泥砂漿，減少製造水泥所排放的二氧化碳，以減少對環境的負面影響。

(三) 對加入不鏽鋼與爐石粉的水泥砂漿進行長期試驗，測試其耐久度評估其材料長期的穩定性。

## 柒、參考文獻資料

廖培丞(2014)。氧化矽在自充填混凝土之應用研究。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所。

徐培軒(2014)。不鏽鋼304與不鏽鋼316之有限元素分析動態機械性質。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄應用科技大學機械與精密工程研究所。

吳志仁(2023)。水泥-爐石粉-石灰石粉組成配比優化與性質之研究。〔未出版之碩士論文〕。中國科技大學建築系。

蔡晏池(2020)。水泥砂漿吸水性測試與改善。〔未出版之碩士論文〕。國立雲林科技大學營建工程系碩士班。

王士豪(2024)。機軋骨材含泥量對水泥砂漿及混凝土抗壓強度之影響。〔未出版之碩士論文〕。正修科技大學營建工程研究所。

黃自隆(2024)。添加爐石粉及廢棄玻璃纖維之水泥砂漿工程性質之研究。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄科技大學土木工程系。

林偉凱(2015)。台灣不鏽鋼產業產品定義與分類。金屬中心 ITIS計畫

衛生福利部食品藥物管理署(2015年11月5號)。不鏽鋼材質的餐具有毒，是真的嗎？。

## 【評語】 052409

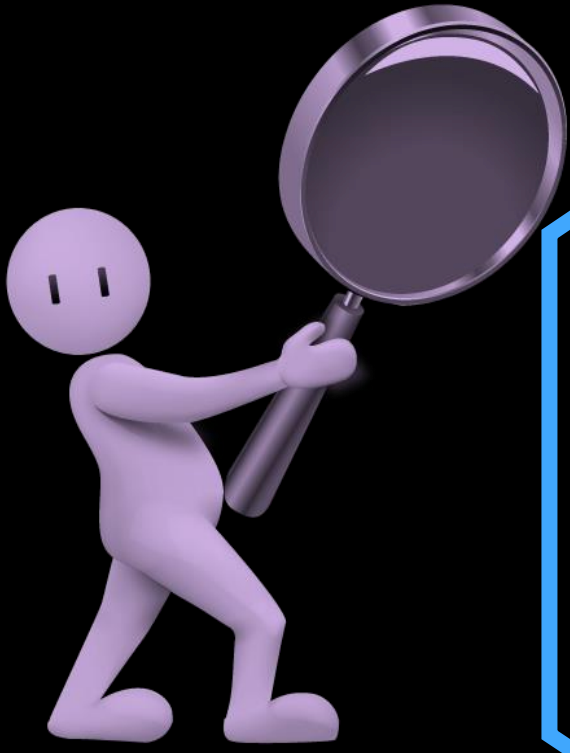
本研究單獨或混合爐石粉與不鏽鋼粉，部分取代水泥或砂，藉由一系列水泥砂漿抗壓強度試驗結果之分析比較，驗證不鏽鋼粉與爐石粉可有效提高水泥砂漿之抗壓強度，同時，獲得最佳添加比例之配比設計，試驗結果顯示不鏽鋼粉與爐石粉，皆可有效提高水泥砂漿抗壓強度。實務上爐石粉與不鏽鋼粉，皆屬現已廣泛應用之營建材料，其中，爐石粉雖具卜作嵐活性，可部分取代水泥，但其價格不低將增加材料成本，不鏽鋼粉則缺乏卜作嵐活性，可能僅提供填充水泥砂漿中孔隙之功能，考量不鏽鋼級配及雜質等問題，恐降低水泥砂漿之抗壓強度。建議可針對所使用爐石粉與不鏽鋼粉，進行物理與化學性質之試驗量測，例如，粒徑分布、化學成分或篩分析等，提供不同取代比例水泥砂漿抗壓強度變化趨勢之學理基礎與科學驗證。

作品海報

烈鋼凝心 · 爐火純青



# 壹、前言



- 水泥製程中所排放的二氧化碳量佔全球的7~8%。
- 砂為即將浩劫的天然資源。

## 動機



- 傳統水泥砂漿在工程性能上仍有提升空間。

- 爐石粉與不鏽鋼粉為常見工業副產物，若能取代水泥砂漿中的原料，則可達到資源再利用，永續發展的理念。

- 爐石粉與不鏽鋼粉摻入水泥砂漿中，可提升水泥砂漿的工程性質。

評估不鏽鋼粉與爐石粉取代水泥砂漿，並透過抗壓試驗求得最佳取代比例

提升水泥砂漿的抗壓強度

目的1

目的2

目的3

目的4

目的



透過使用回收材料，降低對天然資源的依賴與碳排放，實踐循環經濟與永續發展理念。

探討應用於水泥砂漿中之最佳取代型式

## 文獻探討



## 預期效益

- 1.實踐環境保護與資源再利用。
- 2.找出不鏽鋼粉與爐石粉取代水泥砂漿的最佳比例。
- 3.分析水泥砂漿之最佳取代型式。
- 4.提升水泥砂漿的抗壓強度。

### 水泥砂漿

水泥砂漿主要組成部分為「水、水泥、細骨材」，針對水泥砂漿不同的使用需求，會適當的添加摻料取代部分水泥」（蔡晏池，2010），其中水泥「加水後會產生水化作用，進而產生各種水化產物以及晶體」（王士豪，2024），這些水化產物賦予水泥砂漿良好的結構強度與黏結性，故主要作為水泥砂漿之膠結材料。

### 不鏽鋼粉

「在鋼材中添加了12%以上的鉻在鋼材表面上形成一層緻密的氧化鉻薄膜,即稱為不鏽鋼」(吳品憲，2025)。也「具有較良好的耐腐蝕性，可以承受大氣中、水中與化學品的腐蝕，所以用途極為廣泛」（徐培軒，2014）。

### 爐石粉

爐石是「高爐排出冷卻所得的爐渣稱為高爐石。」（黃自隆，2024），「主要化學成份為CaO、SiO<sub>2</sub>與Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>」，近似於卜特蘭水泥，因此具備潛在水硬特性，另外其可與氫氧化鈣產生卜作嵐反應」（吳志仁，2023）。

# 貳、研究過程與方法

## 研究設備及器材



養護池



攪拌機



秤重機



鏟子



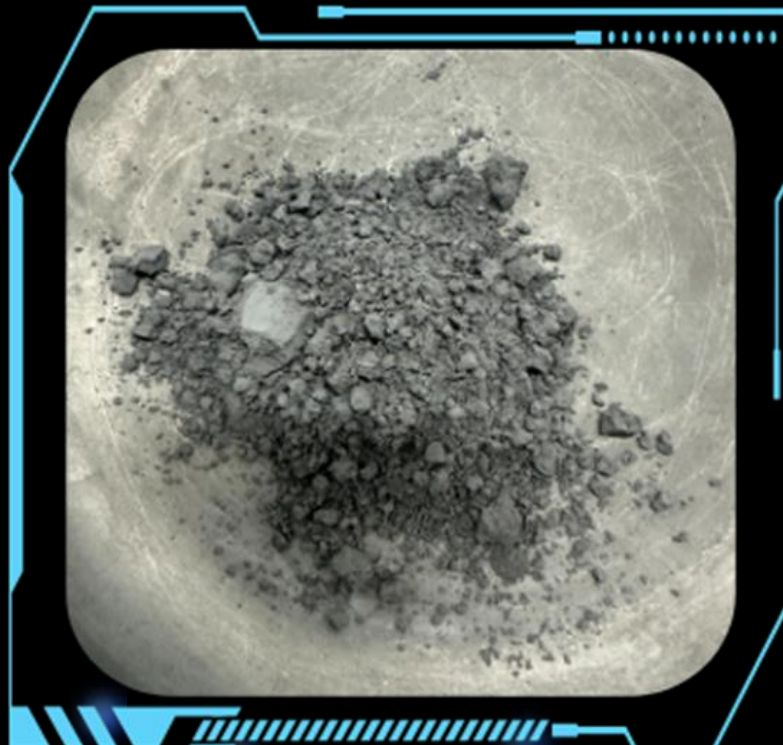
捣棒



振動台



爐石粉



不鏽鋼粉



## 研究流程



## 試驗流程

材料  
過篩後拌合

將試體放上  
振動台使氣泡震出

進行抗壓試驗

將試驗模具上  
油，以利脫模

水泥砂漿裝  
模及搗實

試體放入  
養護池養護

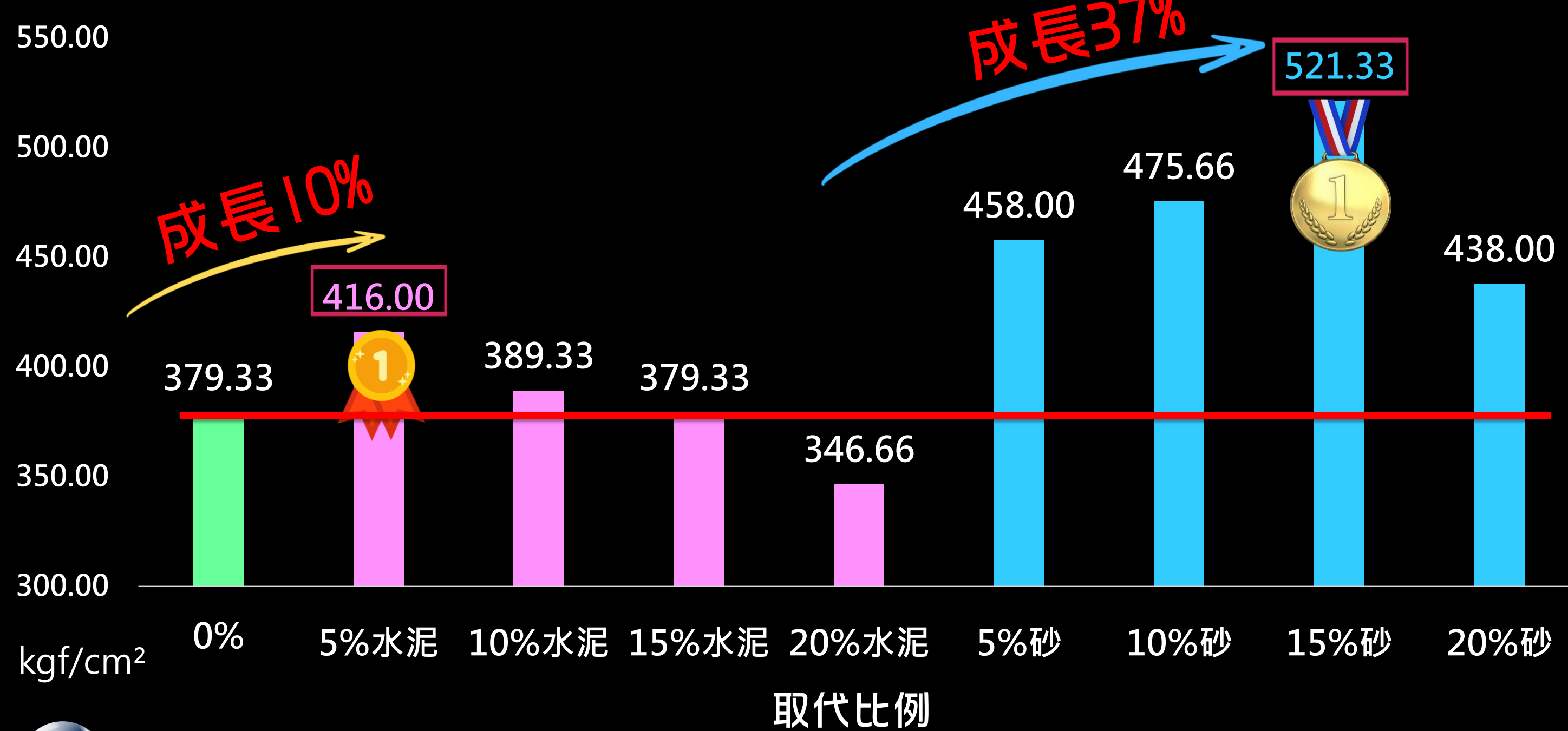
## 配比設計

本研究依CNS規範之水泥1：砂2.75：水0.485，以取代水泥及取代砂等型式，以0%、5%、10%、15%、20%等5種不同比例分別取代水泥及砂製成水泥砂漿（不鏽鋼粉加爐石粉比例為1：1）。

## 參、研究結果

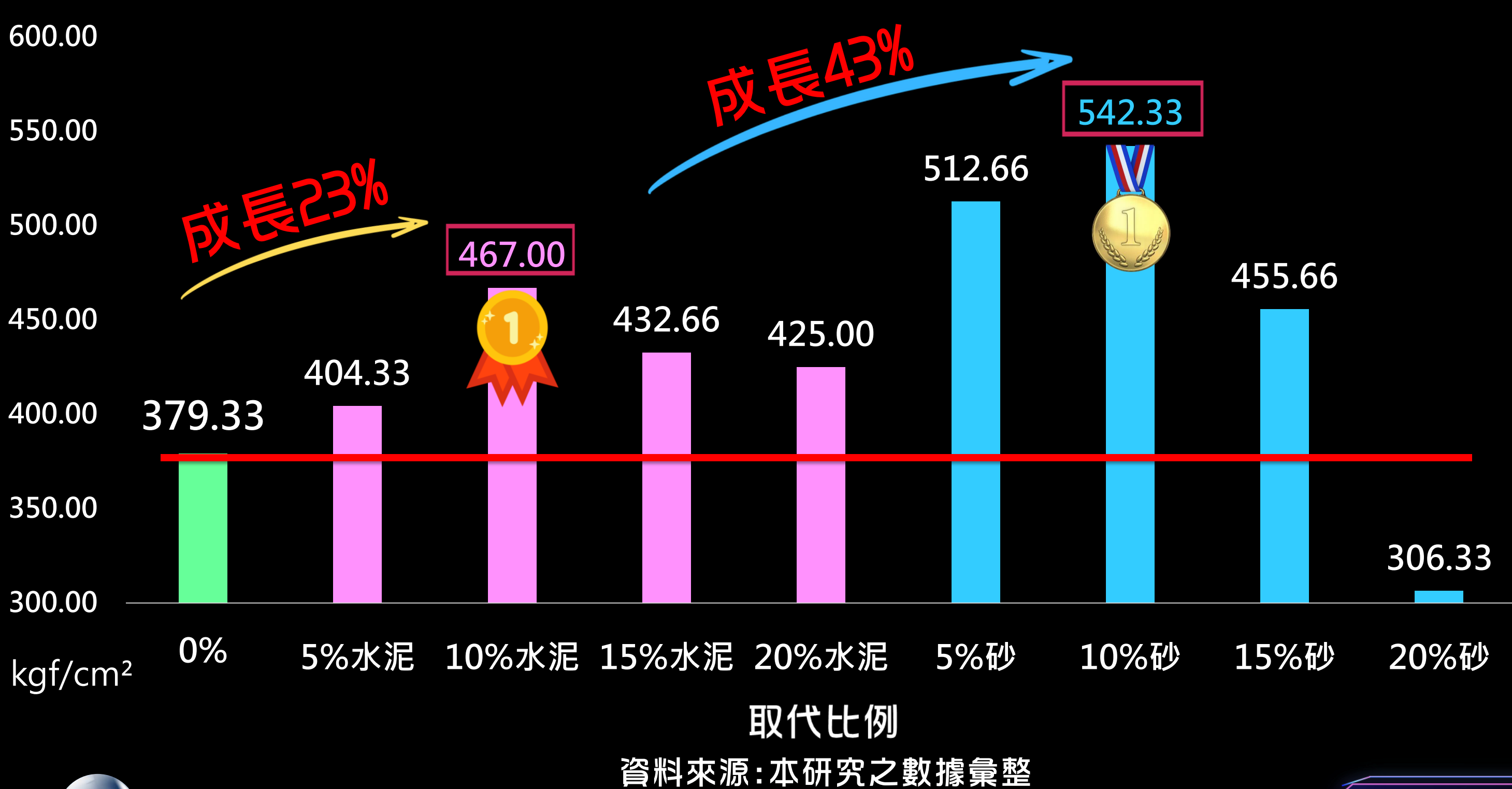
### 1. 不鏽鋼粉取代水泥及砂

- 取代水泥最佳為取代5%，抗壓強度為416.00kgf/cm<sup>2</sup>（成長10%）
- 取代砂最佳為取代15%，抗壓強度為521.33kgf/cm<sup>2</sup>（成長37%）
- 取代20%水泥不宜使用
- 取代砂型式較取代水泥優異



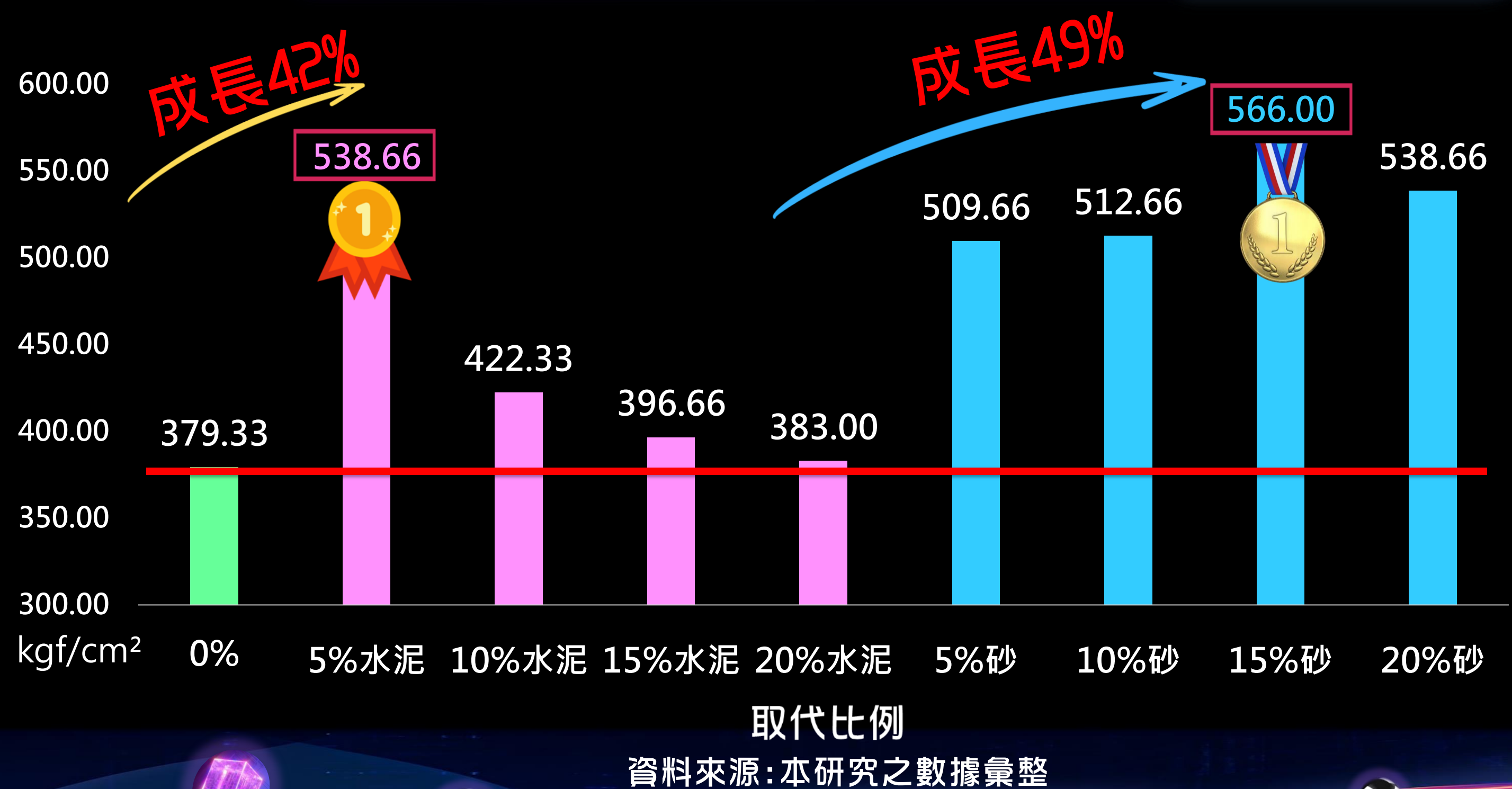
### 2. 爐石粉取代水泥及砂

- 取代水泥最佳為取代10%，抗壓強度為467.00kgf/cm<sup>2</sup>（成長23%）
- 取代砂最佳為取代10%，抗壓強度為542.33kgf/cm<sup>2</sup>（成長43%）
- 取代20%砂不宜使用
- 取代比例達到10%後強度皆下降



### 3. 不鏽鋼粉加爐石粉取代水泥及砂

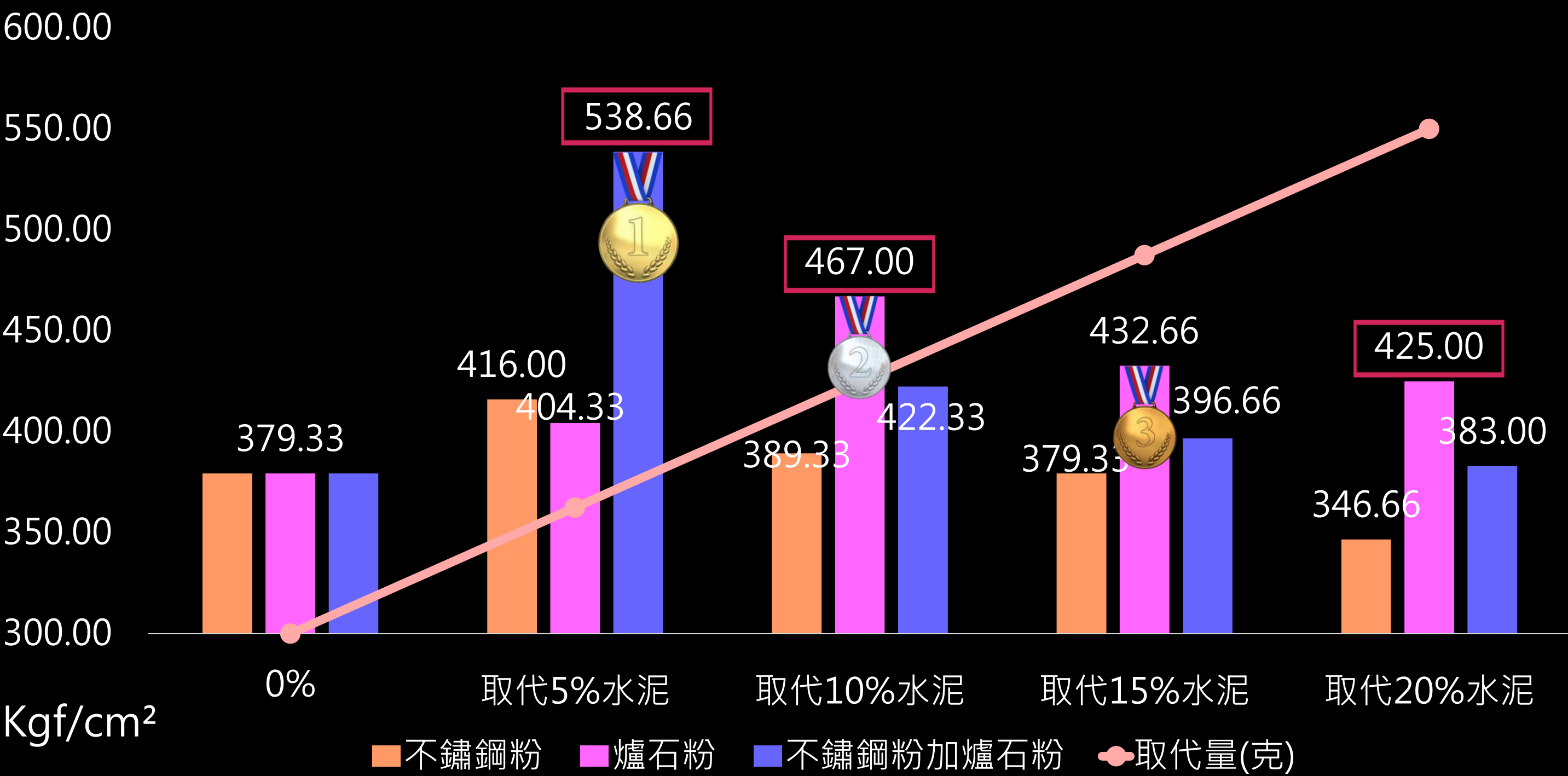
- 取代水泥最佳為5%，抗壓強度為538.66kgf/cm<sup>2</sup>（成長42%）
- 取代砂最佳為取代15%，抗壓強度為566.00kgf/cm<sup>2</sup>（成長49%）
- 所有取代比例，皆超過一般水泥砂漿的強度
- 不論是取代水泥或是砂，最高提升強度皆優於單獨取代材料。





## 不同型式之抗壓強度

## 1. 不同型式取代水泥

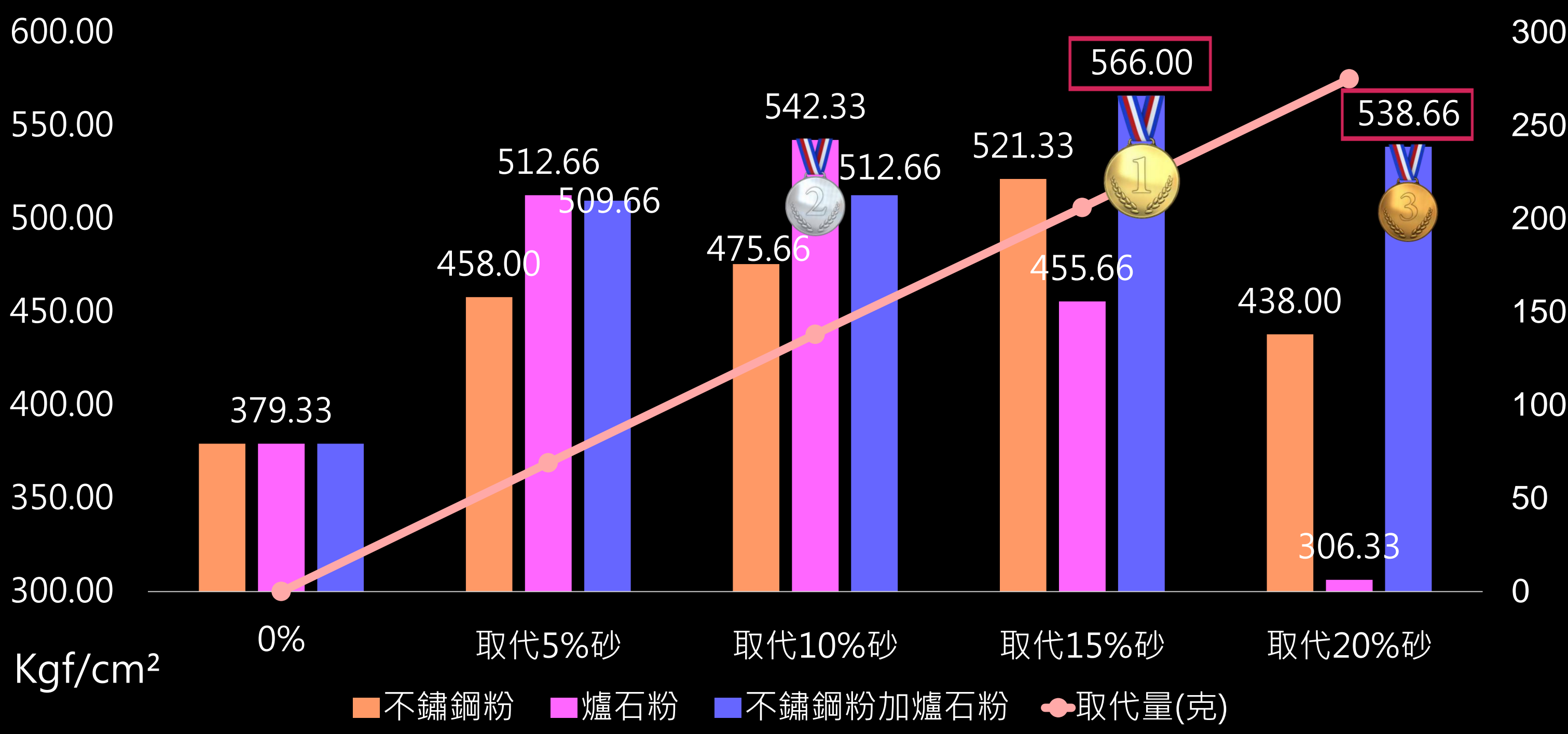


- 工程效益第一名為**不鏽鋼粉加爐石粉**取代**5%**，抗壓強度為538.66kgf/cm²
- 環保效益第一名為**爐石粉**取代**20%**，抗壓強度為425.00kgf/cm²
- 綜合效益第一名為**爐石粉**取代**10%**，抗壓強度為467.00kgf/cm²

資料來源:本研究之數據彙整

## 2. 不同型式取代砂

- 工程效益第一名為**不鏽鋼粉加爐石粉**取代**15%**，抗壓強度為566.00kgf/cm²
- 環保效益第一名為**不鏽鋼粉加爐石粉**取代**20%**，抗壓強度為538.66kgf/cm²
- 綜合效益第一名為**不鏽鋼粉加爐石粉**取代**15%**，抗壓強度為566.00kgf/cm²

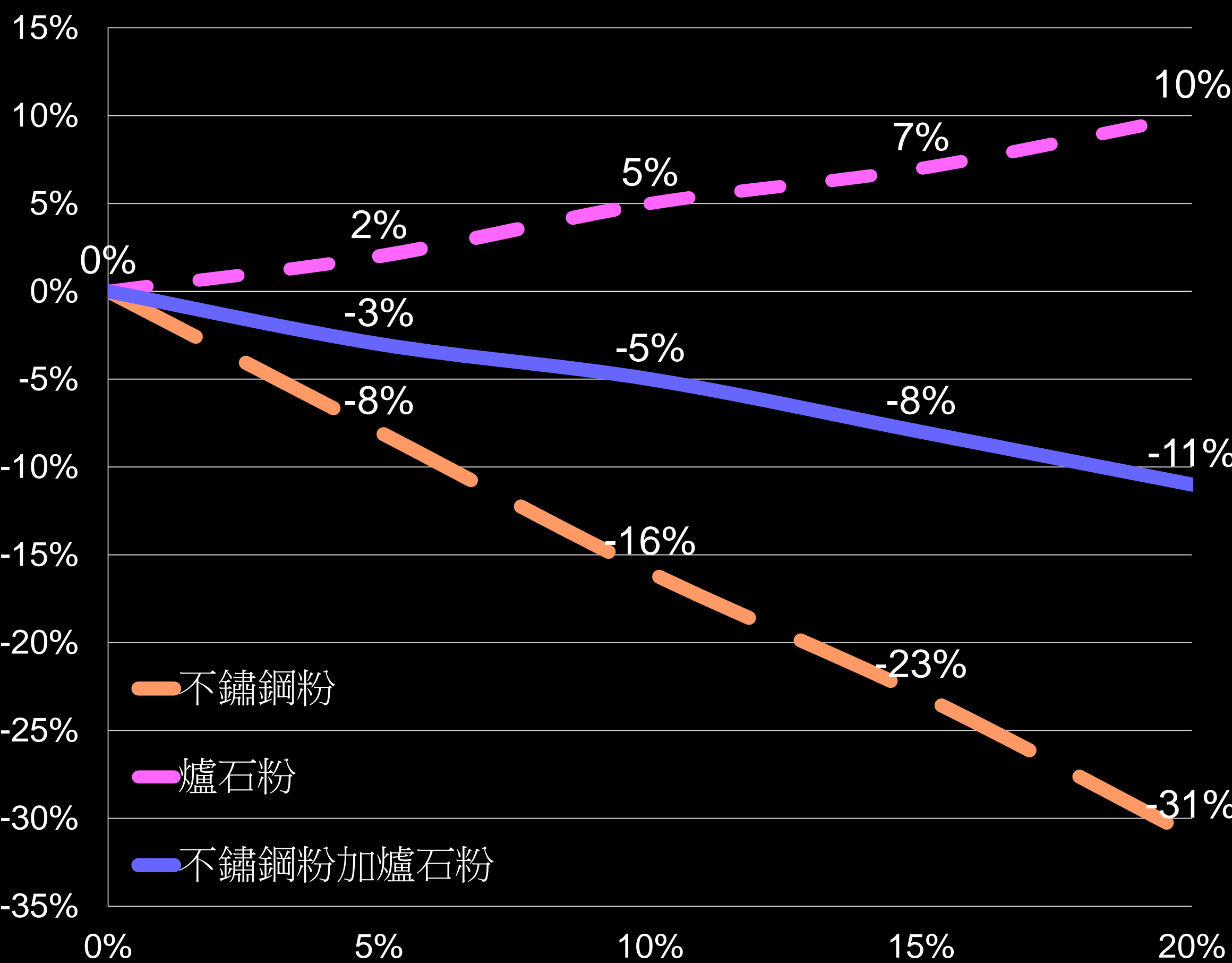


資料來源:本研究之數據彙整

## 經濟效益

### 取代水泥

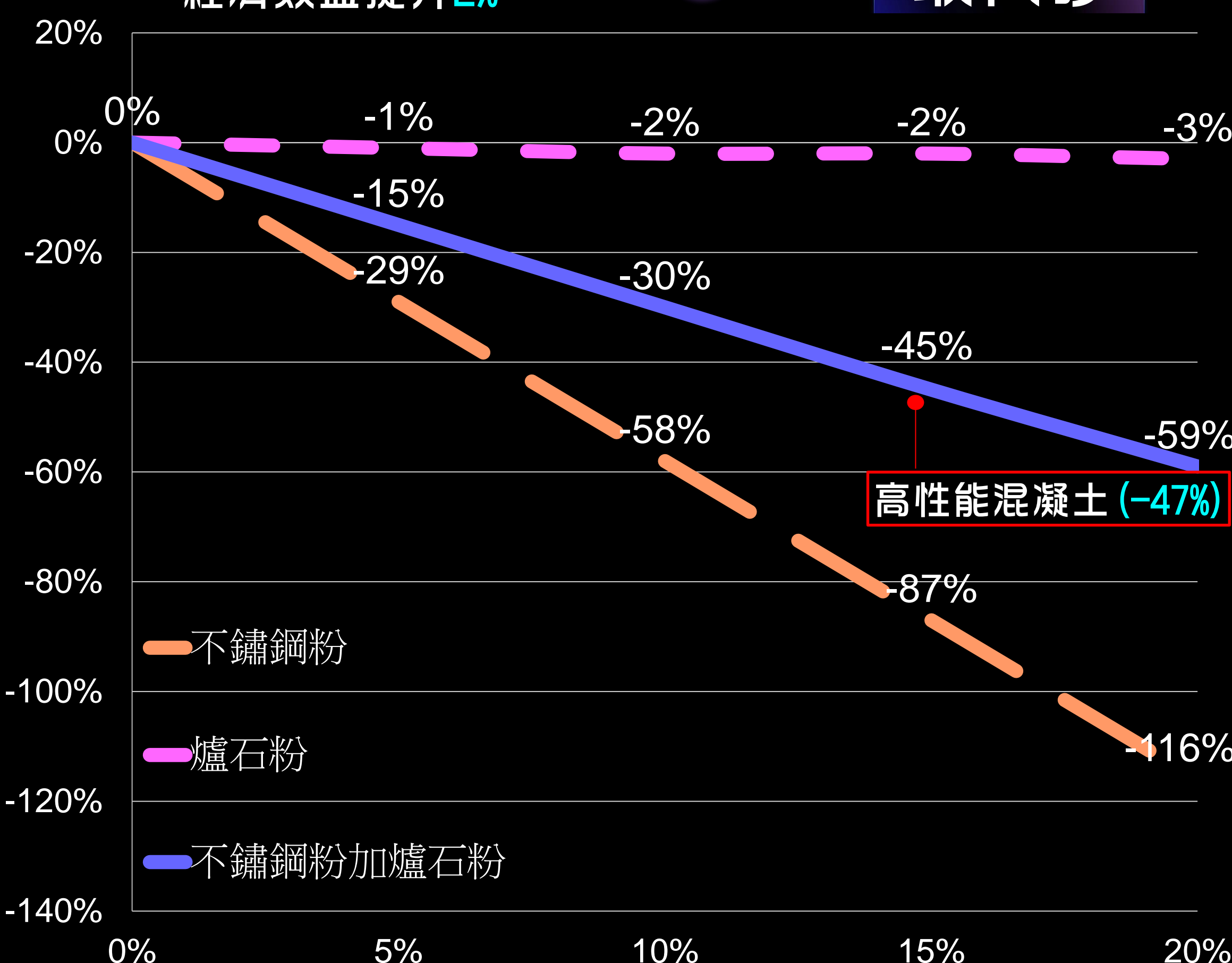
水泥：6元/公斤  
砂：1.09元/公斤  
不鏽鋼粉：20元/公斤  
爐石粉：1.6元/公斤



### 取代砂

相較高性能混凝土  
經濟效益提升2%

### 取代砂



## 肆、結論與建議

### 結論

1. 不鏽鋼粉抗壓強度最佳為取代**15%**砂，可提升強度達到**37%**。
2. 爐石粉抗壓強度最佳為取代量**10%**砂，可提升強度**43%**。
3. 不鏽鋼粉加爐石粉抗壓強度最佳為取代量**15%**砂，可提升強度**49%**。
4. 不鏽鋼粉加爐石粉抗壓強度皆**優於**單獨取代一種材料。
5. 水泥砂漿取代型式中，**取代砂**較取代水泥佳。
6. 最佳工程效益為**不鏽鋼粉加爐石粉**取代**15%砂**。
7. 最佳經濟效益為**爐石粉**取代**20%水泥**。
8. 最佳環保效益為**不鏽鋼粉加爐石粉**取代**20%砂**。
9. 最佳綜合效益為**不鏽鋼粉加爐石粉**取代**15%砂**。
10. 我們研究新型環保建材，強度有所**提升**，且可取代高碳排放的水泥與天然砂，不僅**降低碳足跡**，**減少環境衝擊**，還具備可再利用等優勢。
11. 提升水泥砂漿強度達高性能混凝土，適用於需**極大強度**等工程。

### 建議

- 在不同環境條件下（如濕度、溫度變化）的影響，進行長期試驗測試其**耐久度**，評估其材料長期的**穩定性**。

## 參考文獻

廖培丞 (2014)。氧化矽在自充填混凝土之應用研究。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所。  
徐培軒 (2014)。不鏽鋼304與不鏽鋼316之有限元素分析動態機械性質。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄應用科技大學機械與精密工程研究所。  
吳志仁 (2023)。水泥-爐石粉-石灰石粉組成配比優化與性質之研究。〔未出版之碩士論文〕。中國科技大學建築系。  
蔡晏池 (2020)。水泥砂漿吸水性測試與改善。〔未出版之碩士論文〕。國立雲林科技大學營建工程學系碩士班。

王士豪 (2024)。機軋骨材含泥量對水泥砂漿及混凝土抗壓強度之影響。〔未出版之碩士論文〕。正修科技大學營建工程研究所。  
黃自隆 (2024)。添加爐石粉及廢棄玻璃纖維之水泥砂漿工程性質之研究。〔未出版之碩士論文〕。國立高雄科技大學土木工程系。  
林偉凱 (2015)。台灣不鏽鋼產業產品定義與分類。金屬中心 ITIS計畫。  
吳品憲 (2025)。純銅/304不鏽鋼異質薄板雷射接合之機械性質研究。〔未出版之碩士論文〕。國立臺灣師範大學機電工程學系。