

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：環境科學科

作品名稱：石油工業廢觸媒於水泥〈砂〉漿中對其流度影響
之探討

學 校：國立臺南護理專科學校

作 者：洪靜雅

作者簡介



我來自一個純樸的鄉村—雲林。家中成員有六人，以從事農田的耕作爲主，父親有時在工地兼職。他面容看似威嚴，但性情卻很溫和，對於母親管教子女的方式，也不曾過問。母親笑容洋溢，給人一種和藹可親的感覺，但有時候處理小孩子們的事，難免有偏頗的情形。大哥目前就讀於嘉義大學二技部的水產養殖科系，大姐就讀於屏東商業技術學院不動產科系，兩人對於我的問題和困難，皆很樂意伸出援手。至於家中小弟是個自制力較差，常讓人感到頭痛的一號人物。

我排行老三，就讀於台南護專，性情溫和、獨立自主，但意志不堅定，卻是我的缺點。我是個動靜皆宜的人，平日的休閒活動便是聽音樂、打球、逛街和閱讀小品文...等。尤其是閱讀書籍，不僅可以放

鬆心情更能督促自己成長，勉勵和警惕自己。

在一次偶然的機會中，化學老師讓我參加科展的實驗，令我受寵若驚。在實驗過程中，雖然辛苦，但也甘之如飴。記得在暑假期間，從早到晚，廢寢忘食，只爲了求得實驗的結果。有時爲了實驗數據的正確性，同樣的東西必須反覆做了好多次，甚至覺得做到有點心浮氣躁。

所幸，在暑假和平日放學後空閒時間，我都有妥善利用、安排了實驗進度，以至於實驗能在預期中完成。當一份完整的報告出現在我面前，以前的辛酸血淚均已消失殆盡，心中的喜樂是筆墨難以形容的！

經由這一次的努力和付出，讓我變得更有耐性、定性和追求準確性，也讓我在目睹別人的成功時，想到他背後的辛酸血淚，所以，這段日子真使我終身難忘。

石油工業廢觸媒於水泥(砂)漿中對其流度影響之探討

中文摘要

隨著科技的發達，工業廢棄物應運而生，在地小人稠的台灣，每年就產生約 6000 公噸的廢觸媒，爲了讓環境免於遭受廢棄物的污染，本實驗著重於廢觸媒的再利用，探討廢觸媒作爲混凝土中礦物摻料對水泥(砂)漿流動性的影響。

本實驗所採用的廢觸媒來自石油裂解廠的靜電集塵廢觸媒，主要由 SiO_2 及 Al_2O_3 所組成且具有部份非結晶相和卜作嵐材料之特性，外觀爲乳灰白色粉末、含水量 2.8% ，溶於水中有放熱現象，pH 值爲 3.85。廢觸媒對水的親和力大，添加至水泥(砂)漿中會使得漿體的流動性減小，因此必須藉由提昇強塑劑劑量才能提高工作度。

在水膠比(W/B)爲 0.42 時，隨著強塑劑 HPC-1000 劑量的增加，水泥漿的流度明顯增加，而且適當量的廢觸媒取代水泥，能維持水泥漿一定的流度。當強塑劑 HPC-1000 劑量爲 3.0%、砂/水泥=2.75 時，隨著水灰比(W/C)的增加，水泥漿的流度也明顯增加，而同條件下，不論水膠比(W/B)0.485 或 0.55 時，廢觸媒取代水泥之水泥砂漿的流度比飛灰、爐石、高嶺土好，與矽灰相當，其最佳取代水泥量爲 15% 。

Abstract

As technology continues to develop, a considerable amount of industrial wastes have been produced. In Taiwan, over 6,000 tons of spent catalysts were brought out yearly. If such wastes can be reused in some ways, it may be helpful to protect our environment from being polluted. This study was taken to determine the influence of spent catalysts on the flowability of mortar while the catalysts were used as mineral additives for concrete. Since the catalysts could reduce the flowability of cement pastes because of the affinity between the catalysts and water, it was necessary to have superplasticizers added to improve the fluidity of the mortar.

The spent catalysts used in this study were spent electrostatic precipitator cracking catalysts, called Epcat, which were provided by petroleum refining companies. Comprising mainly silicon oxide and aluminum oxide, the off-white catalyst powder present water content of 2.8%, pH value of 3.85 and exothermic reaction with water.

In this study, it was found that while the ratio of water to binder (W/B) was 0.42, the flowability of the cement pastes increased with the increasing addition of superplasticizers. Besides, the flowability of cement pastes kept steady while a proper amount of Epcat was used to replace cement. When the ratio of sand to cement (W/C) was 2.75, with 3.0% superplasticizers HPC-1000 added, the flowability of the mortars markedly increased while the W/C increased, and the replacement with spent catalysts made the mortars show similar flowability as silica fume but better flowability than fly ash, slag and kaolinite, no matter the W/B value of the cement pastes was 0.485 or 0.55. In fact, the best Epcat replacement for cement was 15%.

石油工業廢觸媒於水泥(砂)漿中對其流度影響之探討

壹、研究動機：

在土地狹小，人口眾多的台灣，每年工業廢棄物產量約 1200 萬噸，而石油公司每年就產生大約 6000 公噸的廢觸媒，而世界每年總產量也有 40 萬公噸之多，倘若能有效利用，勢必能減輕環保一大負擔，有鑑於飛灰、矽灰、爐石、高嶺土的應用於混凝土而廢觸媒成分相似於高嶺土，因此應用於混凝土，當有其可行性。

貳、研究目的：

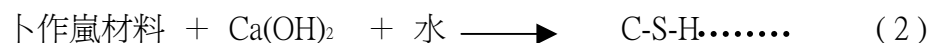
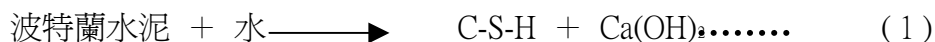
- 一、探討添加強塑劑 HPC-1000 量之多寡，對水泥漿流度的影響，以找尋強塑劑之最佳添加劑量。
- 二、探討廢觸媒取代水泥對水泥(砂)漿流度的影響，並且與飛灰、矽灰、爐石、高嶺土作比較，以找尋其最佳的添加劑量。

參、文獻探討

水泥是一種消耗能源高而且會產生高污染的工業產物，在環保意識抬頭的今日，若能找到一些可取代部分水泥的物質，不但可以節省能源，又可廢棄物再利用，對環保而言將是一大助益。目前已知可應用的材料有飛灰、矽灰、爐石等，這些都是混凝土礦物摻料，即所謂的卜作嵐材料(Pozzolan Material)。

所謂的摻料是指在拌合過程中，添加少量即能改變混凝土、砂漿或水泥漿的新拌或硬固硬質的物質[1]；而摻料包含有礦物摻料及化學摻料及特殊摻料，其中飛灰、矽灰、爐石等屬礦物摻料，化學摻料則包含有強塑劑、輸氣劑等，而特殊摻料則包含增黏劑、阻銹劑等。

水泥與水進行水化反應產生矽酸鈣水化物(C-S-H)膠體和氫氧化鈣，如(1)



C-S-H 是水泥漿體硬固後強度的主要來源，氫氧化鈣是水溶性的結晶物，是漿體高鹼度的來源，也是造成混凝土品質惡化的主要原因；而卜作嵐物質會與氫氧化鈣作用進行卜作嵐反應，產生額外的 C-S-H 膠體如(2)，因此添加卜作嵐材料可因卜作嵐反應持續進行，而提高混凝土的最終抗壓強度。

混凝土是由水泥、水、砂石與摻料等成份以一定比例混合固化而成的複合材料[7]。水泥是一種膠結材料，遇水則進行水化反應，具有水化膠結特性，將堅固的碎石、石子、砂等固態粒子膠結在一起，而形成人造的石材。傳統視水泥漿為膠結材料，骨材為填充材料，但新的觀念則漸改以骨材為骨架，而水泥漿則為粘結材料及填充材料。

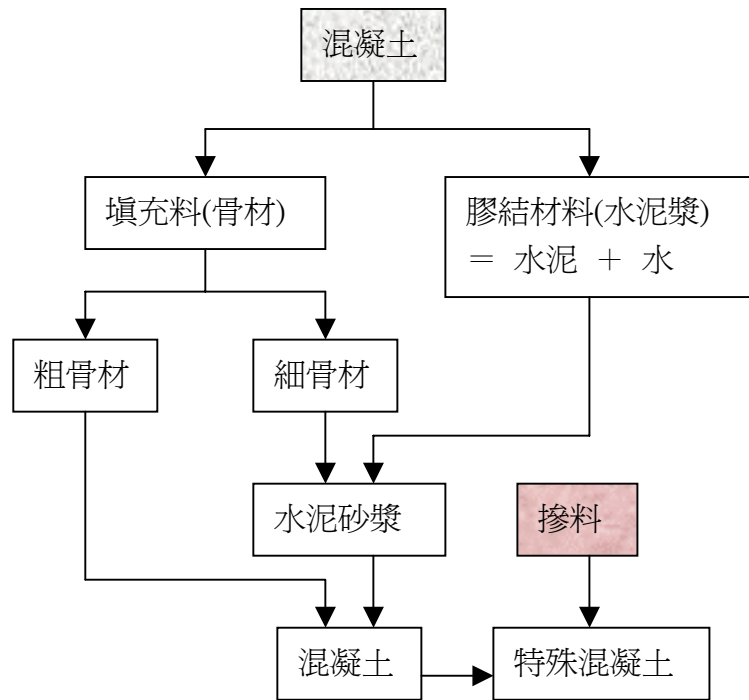


圖 a.混凝土的基本組成及定義[4]

以上的材料在組合成一種符合需求者的要求過程常會有一些矛盾情結產生，例如爲了強度，可能設定者會要求降低水膠比(W/B)或水灰比(W/C)，但卻會造成施工性不良的後遺症；因此品質管制者又會藉添加各種摻料(如強塑劑)來滿足施工與品質的合理要求，因此摻料也成爲混凝土必備材料之一。

礦物摻料如飛灰、矽灰、爐石、高嶺土、廢觸媒等之來源、組成、性質分述於后：

一、飛灰：

飛灰的主要來源是火力發電廠以煤炭爲燃料，燃燒後所產生的廢灰，主要成分有二氧化矽(35~60%)、三氧化二鋁(10~30%)、三氧化二鐵(4~20%)及氧化鈣(1~35%)；它的形狀、細狀、顆粒分佈及比重都會對混凝土性質有不同程度的影響，大部分的飛灰顆粒是空心或實心的玻璃質球體，球狀顆粒易於滾動，是飛灰取代部分水泥會提高混凝土流動性的主要原因之一。

飛灰顆粒的直徑一般在 $1\mu\text{m}$ 到 1mm ，但若顆粒大於 $45\mu\text{m}$ 通常就很難發生卜作嵐反應，而其比重在 2.2 至 2.8 之間。在混凝土中使用飛灰有三種方法：(1)取代部分水泥；(2)取代部分砂；(3)取代部分水泥並取代部分砂。

於混凝土中加入飛灰，飛灰中的二氧化矽(SiO_2)及三氧化二鋁(Al_2O_3)與水泥水化反應產生的氫氧化鈣直接反應產生鈣矽水化物 C-S-H 膠體與鈣鋁水化物，其中 C-S-H 膠體可使硬固水泥漿體的孔隙減少，而提昇混凝土之強度及耐久性[6]。

二、矽灰：

矽灰是冶金工廠生產金屬矽與矽鐵合金之過程中所產生的廢灰，平均粒徑爲 $0.1\mu\text{m}$ ，比一般的爐石飛灰還要細，當摻入混凝土後，矽灰與水泥水化產物氫氧化鈣作用產生卜作嵐反應，生成矽酸鈣水化物，填充至材料的孔隙，非但可提升混凝土

之強度，也可改變材料的孔隙結構，提高耐久性。

矽灰可應用於配製高強混凝土、超高早強混凝土等，使用矽灰除可提升混凝土的性能外，也可大幅降低水泥用量，提昇經濟效益，如美國使用矽灰混凝土於高層建築及人工河床，以提高強度，降低成本及增加耐磨性、長期耐久性[2]；中國大陸一些公路橋面，也使用矽灰高強混凝土，耐磨性能比普通混凝土路面好，而且橋面更光滑平整。

三、爐石：

爐石粉是中鋼公司冶煉鐵所產生之廢料爐石，經水淬裂解後形成粒狀水淬爐石，再研磨成粉末，被歸類為卜作嵐和膠結材料[4]；其主要成分為 SiO_2 及 CaO ，性質相近於水泥，具有膠結性及卜作嵐反應二種特性。爐石顆粒為多角形，於水中會下沉，不像飛灰會吸收水於表面且上浮。

四、高嶺土：

高嶺土源自於江西景德鎮東北的高嶺村出產可以製瓷的白色黏土而得名。化學成分為 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ，為白色，觸感光滑，化學性質穩定，吸收能力強。金門的高嶺土沉積在花崗片麻岩的表層，台中大屯山火山地區則是受熱水風化而成，俗稱酸性白土。

高嶺土是陶瓷工業及耐火工業的主要原料，近年來研究顯示高嶺土如同矽灰可作為卜作嵐材料，具有良好的卜作嵐活性，可加速水泥的水化反應，提升混凝土的強度，且取代水泥以 20% 為最適當[1]。

五、廢觸媒：

廢觸媒主要來自於石化工業的裂解，主要是重油經過觸媒裂解可轉換成汽油，在觸媒裂解時，由於原油中含有如鈾、鉻、鐵、鎳、銅、鋅等過渡金屬，會附著在觸媒表面上，而減低汽油的產量，增加氣體和積碳量及降低觸媒的活性。為了維持觸媒的活性，因此必須從流體化床移出部分廢觸媒，並不斷的補充新觸媒，移出的廢觸媒稱為平衡廢觸媒；而觸媒微粒經由再生器中的旋風分離氣及煙道氣而被靜電集塵器所吸附的廢觸媒為靜電集塵廢觸媒[1]。本實驗所使用的廢觸媒為靜電集塵廢觸媒。

石油裂解中所產生的廢觸媒，經分析結果得知主要成分包含有二氧化矽(SiO_2)及三氧化二鋁(Al_2O_3)，粒徑很小，比表面積很高，經毒性溶出試驗(TCLP)分析得知，廢觸媒可歸屬於一般事業廢棄物而非有害事業廢棄物。雲科大蘇南教授等人研究以 10% 平衡廢觸媒取代細砂，發現不會降低水泥砂漿的抗壓強度[9]。台灣師大許貫中教授等人也研究顯示靜電集塵廢觸媒與矽灰的卜作嵐活性相近，而且能增加水泥砂漿的抗壓強度[1]。因此以廢觸媒作為卜作嵐材料應用於混凝土的潛力相當大。

六、強塑劑

強塑劑是化學摻料的一種，而化學摻料計有下列七種[5]：

- 1、Type A 化學摻料：減水(water reducing)
- 2、Type B 化學摻料：緩凝(retarding)
- 3、Type C 化學摻料：速凝(accelerating)
- 4、Type D 化學摻料：減水及緩凝(water reducing and retarding)
- 5、Type E 化學摻料：減水及速凝(water reducing and accelerating)

6、Type F 化學摻料：高效減水(high-range water reducing)

7、Type G 化學摻料：高效減水及緩凝(high-range water reducing and retarding)

七、迷你坍度(mini-slump)

迷你坍度係用來量測水泥漿體的流動性質，使用的器具為小型的坍度錐，坍度錐高度為 60mm，底部直徑 40mm，頂部直徑 20mm，如圖 b 所示，試驗構想與傳統的混凝土坍度試驗原理相類似，但不盡相同，首先將拌合均勻的水泥漿體(可使用純水泥漿體或摻加強塑劑的水泥漿體)，倒入迷你錐中，隨後將迷你錐垂直拉起，水泥漿體漿會以近乎圓心型的擴散方式沿水平方向往四周流散，以水泥漿體散開來面積的大小，作為評估流動性好壞的依據，此種漿體的水平流動性質稱為“流度”(flowability)，一般紀錄攤開圓形面積兩互相垂直的直徑作為試驗數據[8]。

肆、研究設備：

一、器材：

- 1、基本設備：燒杯、滴管、刮勻、量筒、磅秤、烘箱、乾燥器、試藥小瓶、坩堝、坩堝夾、電子天平(Mettler Toledo；AB204，如附圖 12.)。
- 2、流度測定：迷你坍度錐(Mini-slump cone，如圖 b.所示)
電動攪拌器(Hsiang Tai；DC-3RTM，如附圖 13.)
玻璃板(40 cm×40 cm)、塑膠杯
直尺(30 cm)、計時器、玻棒

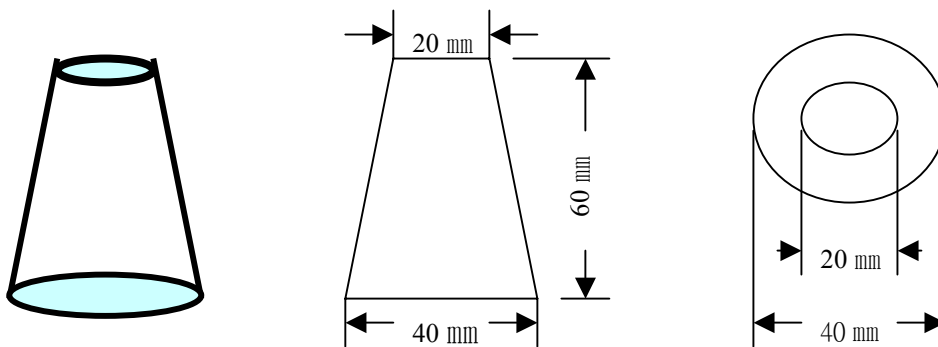


圖 b. Mini-slump cone 示意圖

3、pH 值測定：pH 計(Mettler Delta 340，如附圖 14.)

加熱板、燒杯、攪拌瓷子、濾紙、漏斗。

二、藥品

- 1、強塑劑 HPC-1000(磺酸系；來自欣得公司)
- 2、水泥：台灣水泥(波特蘭第一型水泥)
- 3、廢觸媒：來自中油公司的靜電集塵廢觸媒(EPcat)
- 4、細砂：竹山砂(FM：3.0)
- 5、矽灰：來自紐西蘭 Rotorua 地區生產的 Microsilica 600
- 6、高嶺土：來自松江公司
- 7、飛灰：台電飛灰(來自興達發電廠)
- 8、爐石：來自永觀公司

9、緩衝溶液(Buffer solution)：pH=4.00、7.00、9.00

伍、實驗方法：

實驗流程如圖 c.

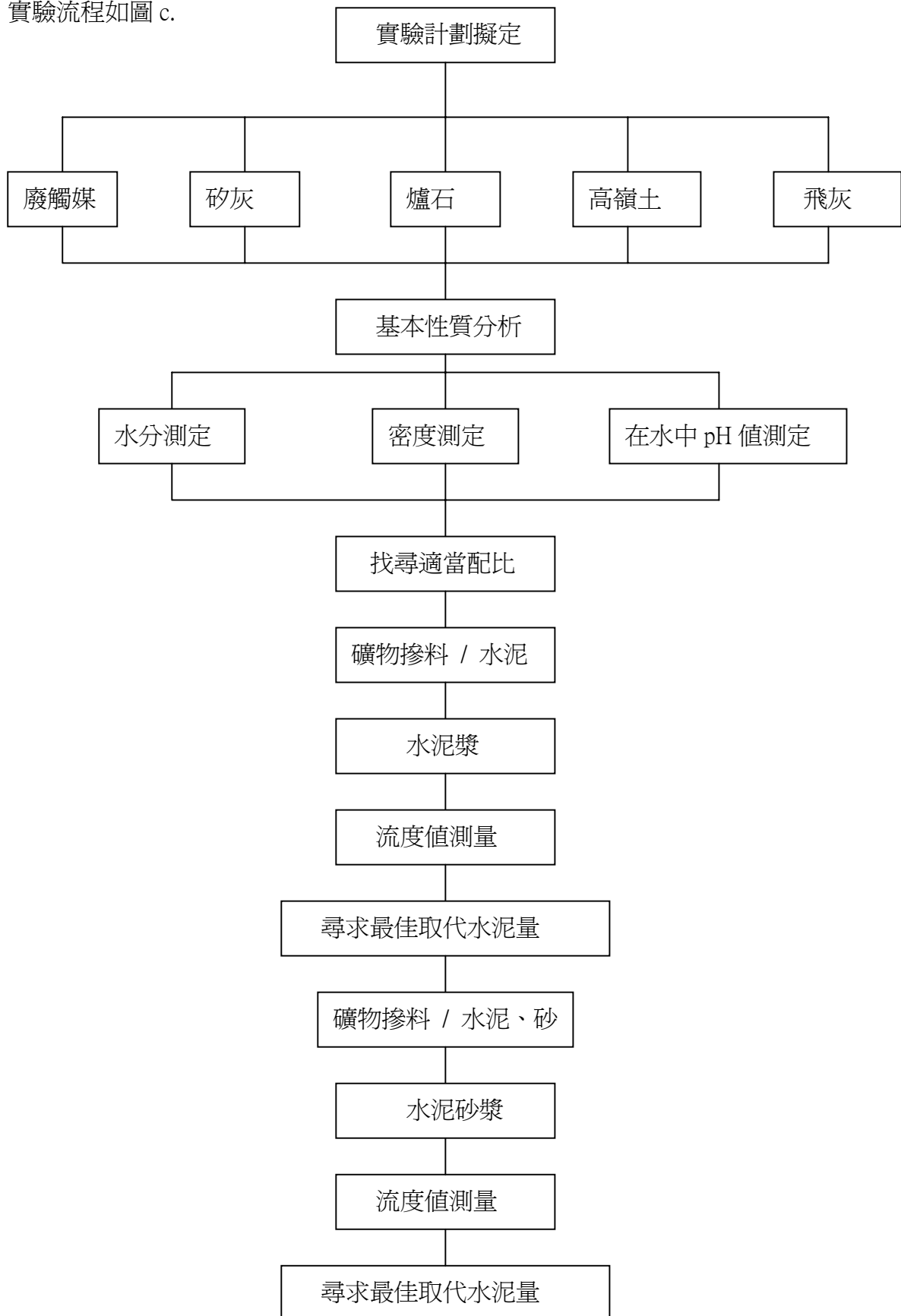


圖 c.實驗流程圖

一、固含量測定

稱取適量強塑劑(HPC-1000)，放於試藥小玻璃瓶(三瓶)中，置於 105°C 烘箱中，烘乾 24 小時後取出於乾燥器中冷卻並稱重，由樣品於烘乾前後之重量，即可得固含量。

$$\text{固含量(wt\%)} = \frac{\text{烘乾後重量}}{\text{烘乾前重量}} \times 100\%$$

1、水分含量測定[9]：

(1)、各種礦物摻料水分含量測定

依(83)環保署檢字第 00540 號 NIEA R203.00T。

- a、先將坩堝洗淨，置於烘箱 105±1°C 烘乾 2 小時，放於乾燥器中冷卻，稱重。
- b、秤量 5~10g(精確至 0.001g)樣品，置於坩堝中，於 105±1°C 烘箱烘乾至少 2 小時，取出移至乾燥器中冷卻至室溫，稱重。
- c、重複以上步驟，直至前後二次重量差小於 0.005g 為止。
- d、計算：

$$\text{水分(\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

W₁：送入烘箱前的樣品重。

W₂：經 105°C 烘乾後的樣品重。

(2)、砂水分含量測定

稱取適量的砂置於坩堝(三個)中，於 105°C 烘箱中，烘乾 24 小時後取出，於乾燥器中冷卻並稱重，由樣品於烘乾前後之重量，即可求得砂的含水量。

$$\text{含水量(wt\%)} = \frac{\text{烘乾前重量} - \text{烘乾後重量}}{\text{烘乾前重量}} \times 100\%$$

2、外觀密度[9]

依(83)環保署檢字第 00540 號 NIEA R202.00T。

- (1)、秤量已知容積之容器並記錄重量為 W。
- (2)、填充樣品至容器八分滿時，並使樣品積實後，再填滿樣品，重複三次後，紀錄其重量為 S。
- (3)、計算：

$$\text{外觀密度} = \frac{\text{樣品重量}}{\text{容器體積}} = \frac{S - W}{V}$$

3、廢棄物在水中的 pH 值[9]

(1)、樣品的製備

依(83)環保署檢字第 00540 號 NIEA R208.00T。

- a、秤取 20g 樣品置於 50mL 燒杯中。
- b、加入 20mL 去離子水，攪拌 30 分鐘。
- c、靜置 1 小時，使懸浮物質沉澱分層過濾。
- d、濾液為樣品。

(2)、pH 值之測定

- a、以緩衝溶液 pH=4.00、7.00、9.00 校正 pH 儀。
- b、測量濾液之 pH 值。

4、水泥(砂)漿流動度測量

- (1)、準備一塊 40 cm × 40 cm 的玻璃板，平放桌面，再將上直徑 20 mm，下直徑為 40 mm，高 60 mm 的迷你坍度錐放置於玻璃板中央。
- (2)、稱取水泥與砂(水泥：砂 = 1：2.75)和礦物摻料置於塑膠杯中，加入適量的水及強塑劑(HPC-1000)，以電動攪拌器，在一定的轉速(中速)下攪拌 3 分鐘。
- (3)、將拌好的水泥(砂)漿倒入迷你坍度錐中，刮平錐口，填滿之後輕敲迷你錐頂部 10 下，以確保填實，之後雙手迅速將迷你錐拉起，水泥(砂)漿會沿水平方向以近乎圓心型的擴散方式往四周流散，經 15 秒鐘後，以尺每隔 45 度量測擴散直徑，其平均直徑大小，如附圖 15.，即為水泥(砂)漿的迷你坍度，作為評估流動性的好壞。

陸、結果與討論

一、材料基本性質分析

表 1.各種礦物摻料的基本性質

測試項目 摻料種類	外觀	形狀	在水中 pH 值	水分(%)	密度(g/cm ³)
飛灰	灰黑色	粗糙粉末	12.10	0.2	1.1
矽灰	灰白色	粉末	5.34	1.2	0.8
爐石	乳白色	粗糙粉末	10.38	0.1	1.2
高嶺土	乳白色	光滑粉末	6.82	1.3	0.7
廢觸媒	乳灰白色	細嫩粉末	3.85	2.8	0.6

註：各種礦物摻料之外觀色澤如附圖 16.

飛灰、矽灰、爐石、高嶺土是人造卜作嵐材料，其中飛灰、矽灰、爐石已廣泛應用在混凝土配製上，除了可降低混凝土成本外，最主要是因為這些礦質粉體材料具有卜作嵐的特性及部份膠結能力，如果用來取代部分水泥時，可配製高性能混凝土。近年來一些研究也顯示高嶺土可作為卜作嵐材料[1]。本實驗主要探討廢觸媒取代部份水泥對水泥(砂)漿流動度之影響，並與飛灰、矽灰、爐石、高嶺土作比較，以找尋各種礦物摻料的最佳取代量，表 1.為各種礦物摻料的基本性質。

1、礦物摻料在水中的 pH 值

各種礦物摻料在水中 pH 值測定得知，廢觸媒為酸性(pH=3.85)，推測原因為廢觸媒來自於石化工業裂解脫硫程序，其主要成分為 SiO₂、Al₂O₃外，尚有硫

化物，當置於水中時會與水產生硫酸，另一方面在測試時亦會發生放熱現象，更足以說明此現象。矽灰在水中為酸性、高嶺土接近中性，而爐石在水中呈鹼性，飛灰在水中則呈強鹼性。

2、含水量

由表 1.得知，廢觸媒含水量較高(2.8%)，矽灰、高嶺土次之(1.2~1.3%)，飛灰、爐石含水量較少(0.1~0.2%)，本實驗所採用的竹山砂水含量為 3.75% (面乾飽和水 2.0%)，強塑劑(HPC-1000)的固含量則為 41.1%。

3、密度

飛灰、矽灰、爐石、高嶺土、廢觸媒都是粉末狀物質，在填實上相當不容易，因此無法準確測定其密度，本實驗所測出之密度值約 $0.6\sim 1.2\text{ g/cm}^3$ ，和理論值 $1.9\sim 2.9\text{ g/cm}^3$ 有一段誤差，尤其廢觸媒水分含量又較高，可推測廢觸媒孔隙多且顆粒間也有很大間隙。

二、水泥砂漿的流度

本實驗主要在探討廢觸媒、飛灰、矽灰、爐石、高嶺土取代水泥量、強塑劑劑量對水泥砂漿流度的影響。首先將這些礦物摻料分別以 0%、5%、10%、15%、20%、25% 取代水泥量，在水膠比 0.42 下，若不加強塑劑，則發現水泥漿無法流動，(擴散直徑 4~6cm)，之後加入強塑劑(HPC-1000)，並改變其不同劑量，測量結果如圖 1.~圖 5.(數據如附表 2.~附表 6.)，實驗發現對照組(不添加礦物摻料者)添加強塑劑 3.0%時，水泥漿產生泌水現象，混凝土之所以產生泌水現象，乃因混凝土中自由水量過多，所謂自由水量是指混凝土中總用水量扣除砂、粉體自身拘留水量後所殘餘的水量，這些水在混凝土中扮演潤滑的角色，混凝土之所以具有流動性，其必要條件為混凝土中必須含有自由水，因此自由水與流動性的關聯是相當密切的。自由水量若過多，不但會產生泌水現象且由於黏度不夠，混凝土在流動時黏滯力無法帶動粗骨材，而易造成析離現象。混凝土一旦產生泌水後，不但會減少混凝土與鋼筋的握裹力，且未完全水化的多餘水會自混凝土內部慢慢蒸發，其上升的路徑，將使混凝土內留有毛細孔洞，造成日後混凝土受水侵入的路徑而使混凝土及內部鋼筋易受化學作用而降低耐久性[5]。

由圖 1.中發現在水膠比 0.42 下，隨廢觸媒取代水泥量的增加，水泥漿流度隨著下降，在取代 20%及 25%時下降更顯著，推測原因乃廢觸媒為多孔隙結構，因此對水親和力大，致使流度下降；當強塑劑劑量增加時，可明顯提昇其流度值，而且會緩和流度下降的趨勢。

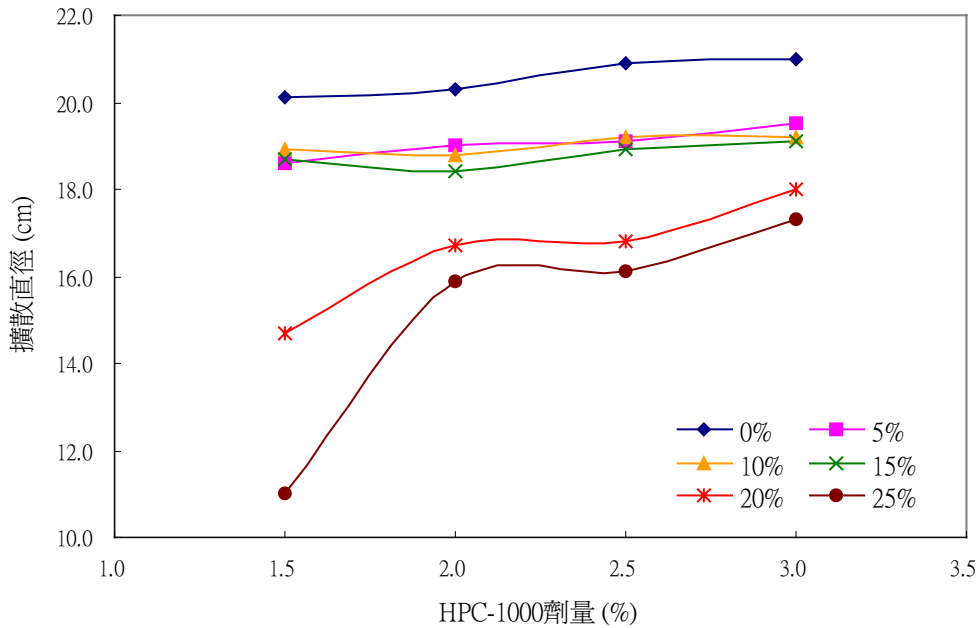


圖1.廢觸媒取代水泥量、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響(W/B=0.42)

圖 2.為飛灰在水膠比 0.42 下，取代部分水泥、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響，圖中顯示漿體的流度值隨著飛灰取代量增加，水泥漿流度隨著下降；主要原因是飛灰為多孔性的中空圓球體，因此部分水和強塑劑會被吸附於孔隙內，而使其流動性變差[5]。當強塑劑劑量增加時，流度值也明顯上升，此原因為強塑劑分散機制，除了靜電排斥外，還包括有立體障礙，再者飛灰為球狀顆粒易於滾動，有助於流動性的提昇[3]。

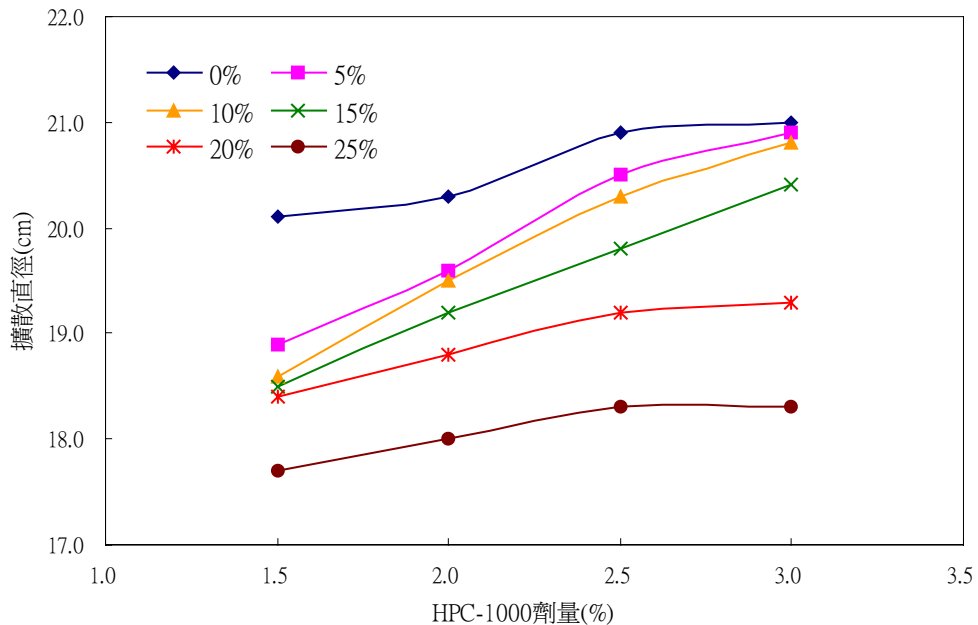


圖2.飛灰取代水泥量、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響(W/B=0.42)

圖 3.為矽灰在水膠比 0.42 下，取代部分水泥、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響，圖中顯示漿體的流度值隨著矽灰取代量增加，變化幅度並不大，尤其在強塑劑劑量為 3.0%時流度反而下降；其原因為低強塑劑劑量下矽灰顆粒易受靜電凝聚成

團，導致工作度不佳，流動性降低；另一方面強塑劑劑量提高時，分散了矽灰顆粒，增加水泥漿顆粒與顆粒間的潤滑作用，而提高工作度，導致沒有一定的曲線變化趨勢。

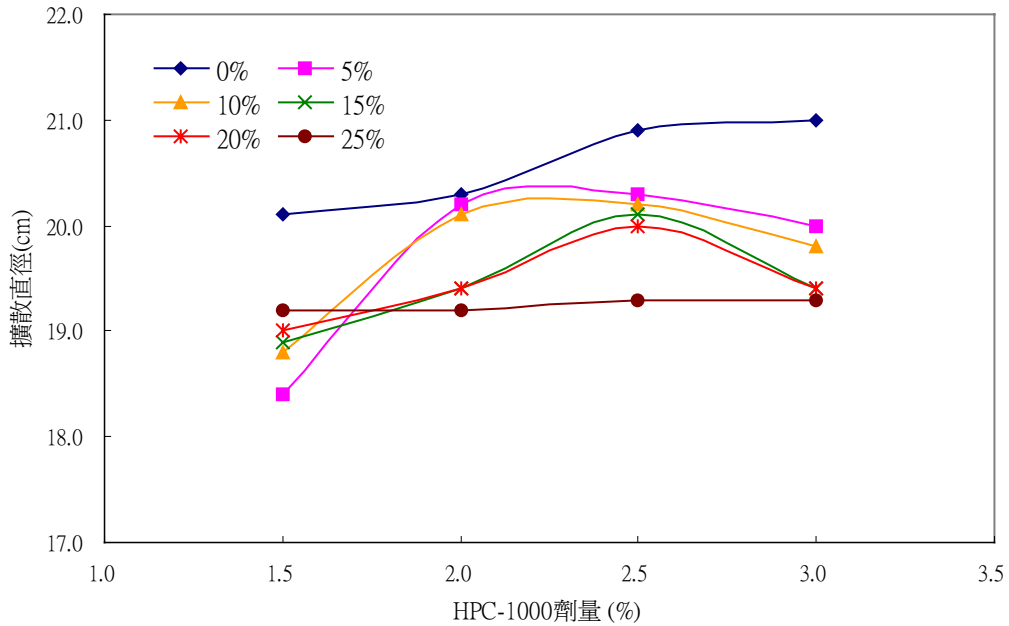


圖3.矽灰取代水泥量、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響(W/B=0.42)

圖 4.為爐石在水膠比 0.42 下，取代部分水泥、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響，圖中得知隨著爐石取代量的增加，漿體流度也隨著降低；強塑劑劑量增加，流度則明顯提升。

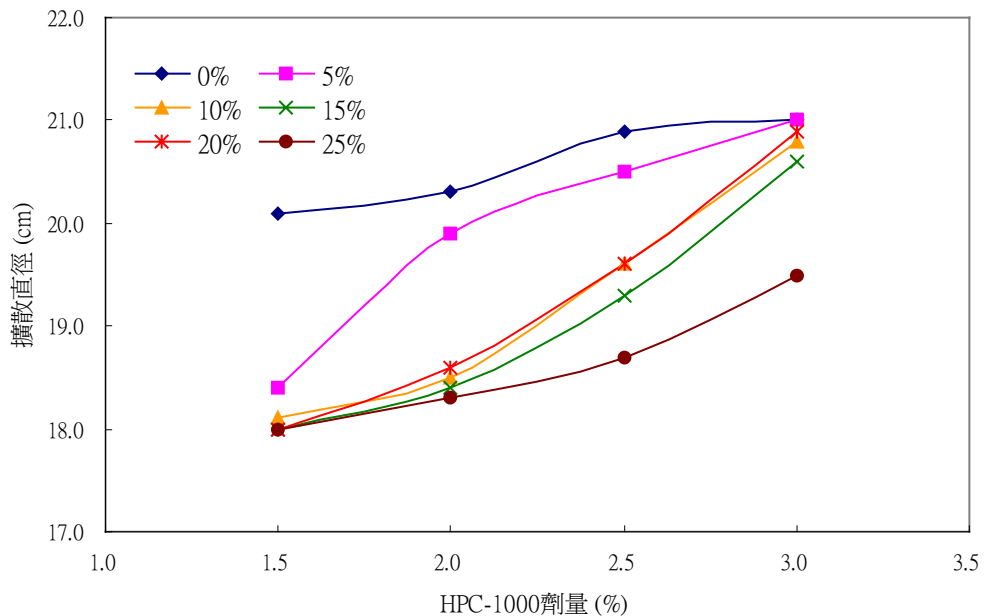


圖4.爐石取代水泥量、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響(W/B=0.42)

圖 5.為高嶺土在水膠比 0.42 下，取代部分水泥、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響，結果發現漿體流度值隨著高嶺土取代水泥量的增加而降低，尤其取代 25%水泥量下降最明顯，此乃因為高嶺土為片狀結構，導致會降低水泥漿顆粒與顆粒間的

潤滑作用，而降低其流動性，此與曾鑿生先生所研究之結果相符[1]。

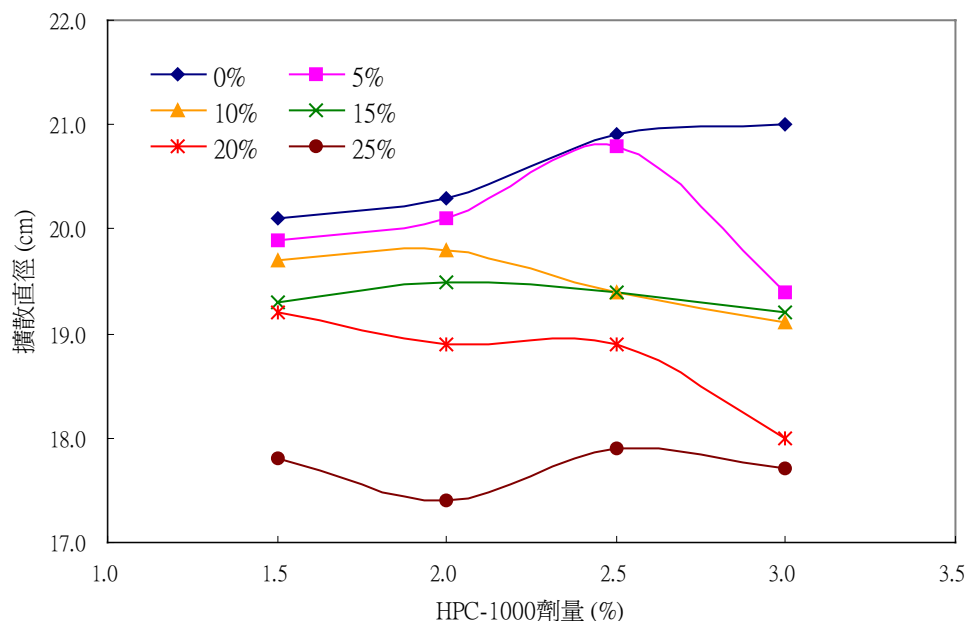


圖5.高嶺土取代水泥量、強塑劑劑量對水泥漿流度的影響(W/B=0.42)

三、礦物摻料的添加對水泥漿流度的影響

礦物摻料如飛灰、矽灰、爐石等為形成高性能混凝土的重要成份，其效用除取代水泥用量，減少生產水泥所造成的污染外，尚可降低水化熱，延長水化時間以便於遠程的輸送，增加硬固混凝土緻密性，以提高其極限強度等，但是取代量也不宜過高，以免因過度延遲水化而降低早期強度[5]。

本實驗為了解廢觸媒作為礦物摻料對水泥漿流度之影響，因此以 5%、10%、15%、20%、25% 取代水泥量(水膠比為 0.42)，分別探討在強塑劑 HPC-1000 為 1.5%、2.0%、2.5%、3.0% 下的水泥漿之流度變化，進而找出最適當之取代量。

圖 6. 為飛灰、矽灰、爐石、高嶺土及廢觸媒在水膠比(W/B)為 0.42，強塑劑 HPC-1000 劑量為 1.5% 下，各種礦物摻料取代水泥量與擴散直徑的關係圖(數據如附表 7.)，圖中發現飛灰最佳取代水泥量為 5~20%，矽灰、爐石之擴散直徑隨取代量之增加有微增或不降之趨勢，足見 5~25% 之取代水泥量皆適宜，高嶺土之最佳取代水泥量為 5~10%，而廢觸媒的最佳取代水泥量為 5~15%。因爐石形狀屬多角形，其接觸點面積較少，因此保水力較差，因此適當的爐石會使水泥漿有較佳的流動性，而且可降低強塑劑最佳劑量；此與陳慶宏先生對飛灰與爐石的添加對強塑劑最佳劑量之影響的研究結果相符[5]。

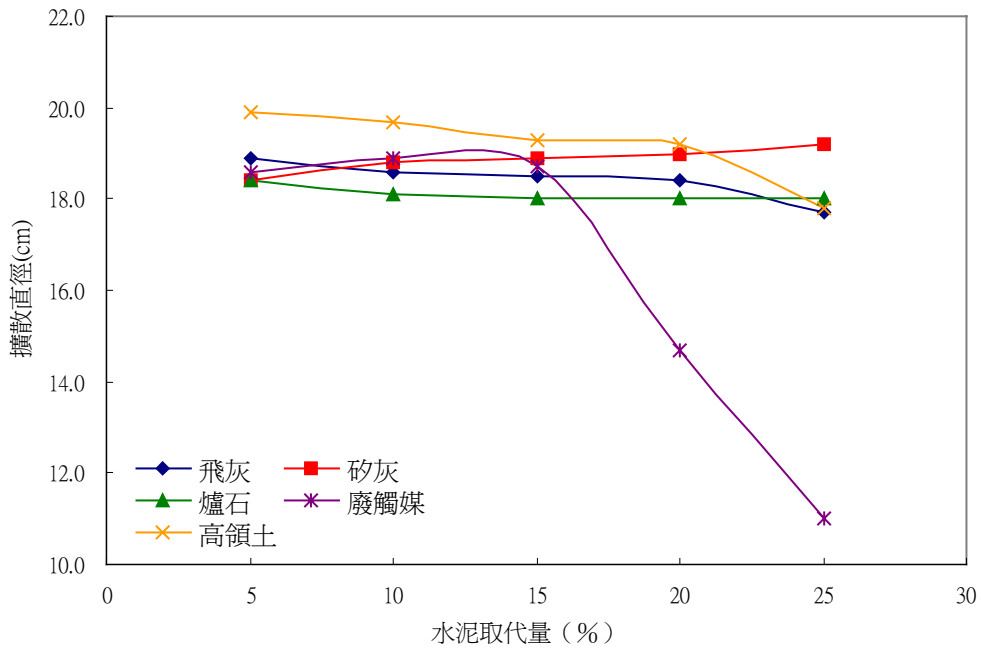


圖6. 不同礦物摻料取代水泥對水泥漿流度的影響
(W/B=0.42、強塑劑 HPC-1000：1.5%)

圖 7.為飛灰、矽灰、爐石、高嶺土及廢觸媒在水膠比(W/B)為 0.42，強塑劑 HPC-1000 劑量為 2.0% 下，各種礦物摻料取代水泥量與擴散直徑的關係圖(數據如附表 8.)，圖中發現最佳取代水泥量，分別為飛灰：5~10%，矽灰：5~10%，爐石：5%，高嶺土： 5~10%，廢觸媒：5~15%。

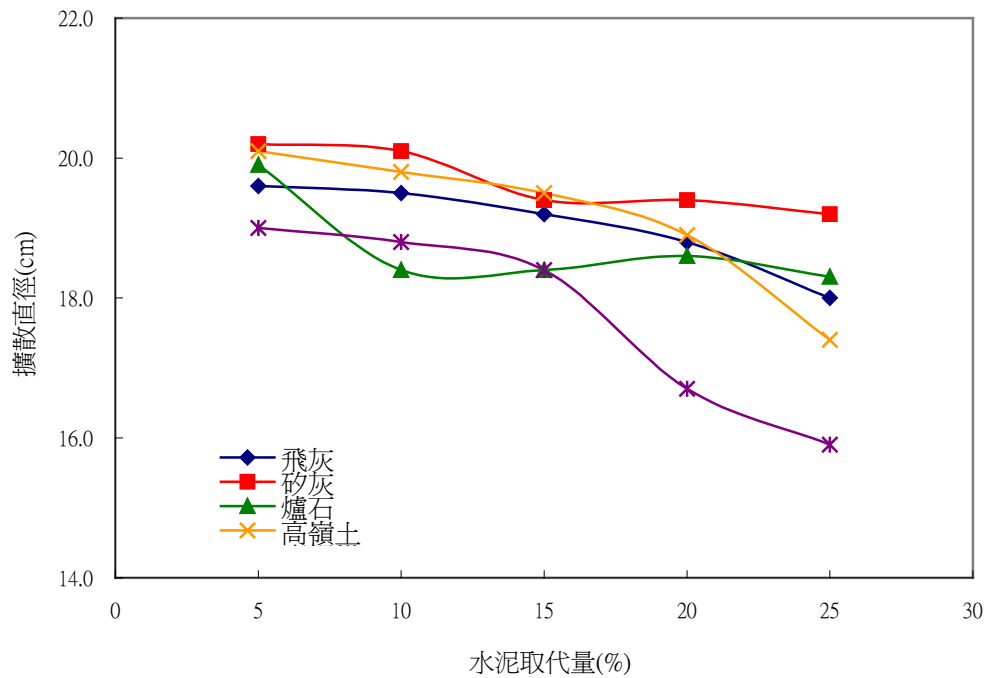


圖7. 不同礦物摻料取代水泥對水泥漿流度的影響
(W/B=0.42、強塑劑 HPC-1000：2.0%)

圖 8.為飛灰、矽灰、爐石、高嶺土及廢觸媒在水膠比(W/B)為 0.42，強塑劑

HPC-1000 劑量為 2.5% 下，各種礦物摻料取代水泥量與擴散直徑的關係圖(數據如附表 9.)，結果可得最佳取代水泥量，分別為飛灰：5~10%，矽灰：5~20%，爐石：5%，高嶺土：5%，廢觸媒：5~15%。

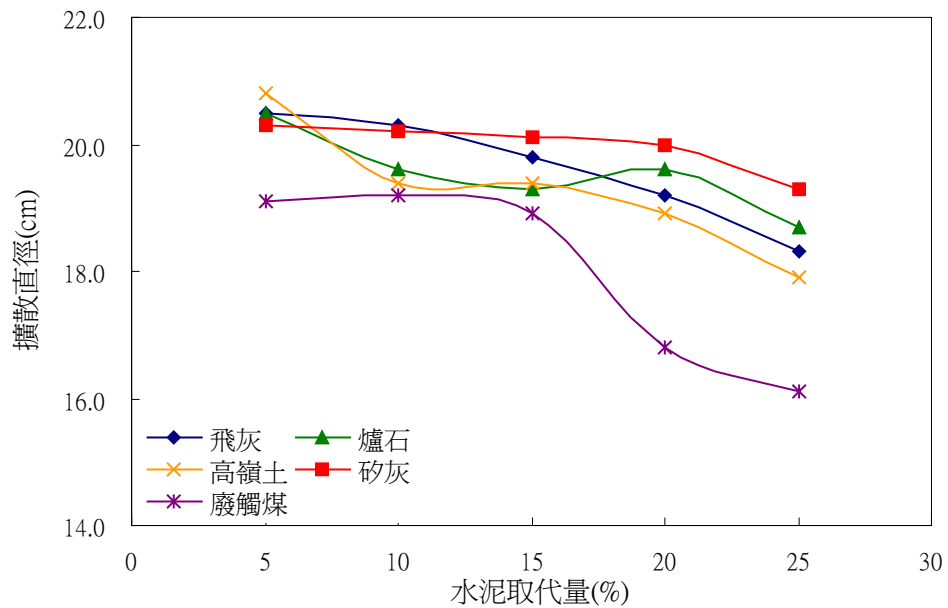


圖8. 不同礦物摻料取代水泥對水泥漿流度的影響
(W/B=0.42、強塑劑 HPC-1000：2.5%)

圖 9. 為飛灰、矽灰、爐石、高嶺土及廢觸媒在水膠比(W/B)為 0.42，強塑劑 HPC-1000 劑量為 3.0% 下，各種礦物摻料取代水泥量與擴散直徑的關係圖(數據如附表 10.)，由圖知最佳取代水泥量，分別為飛灰：5~10%，矽灰：5~15%，爐石：5%~20%，高嶺土：5%~15%，廢觸媒：5~15%。

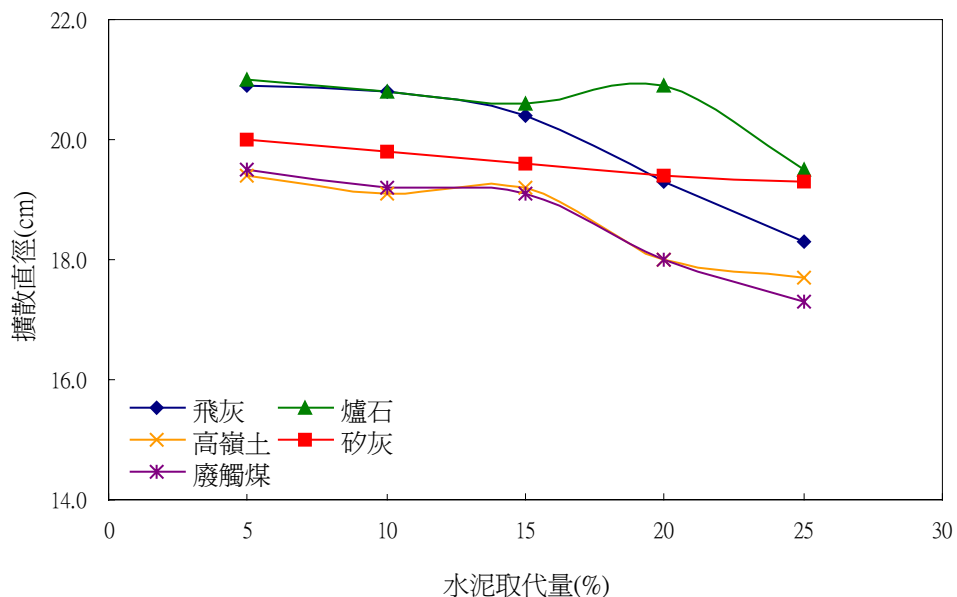


圖9. 不同礦物摻料取代水泥對水泥漿流度的影響
(W/B=0.42、強塑劑 HPC-1000：3.0%)

四、水灰比對水泥漿流度的影響

水灰比是決定混凝土強度的唯一因素，也就是漿體中自由水愈少，強度愈高[5]。本實驗為進一步了解水灰比對水泥砂漿流度之影響，因此控制 HPC-1000 為 3.0%、砂/水泥=2.75，測定在不同水灰比下水泥砂漿之流度，結果如圖 10。(數據如附表 11.)，由圖中得知水灰比愈高水泥砂漿之流度愈大，原因為水灰比愈大時，水泥砂漿中存在的自由水會相對較多，因此流度愈大。

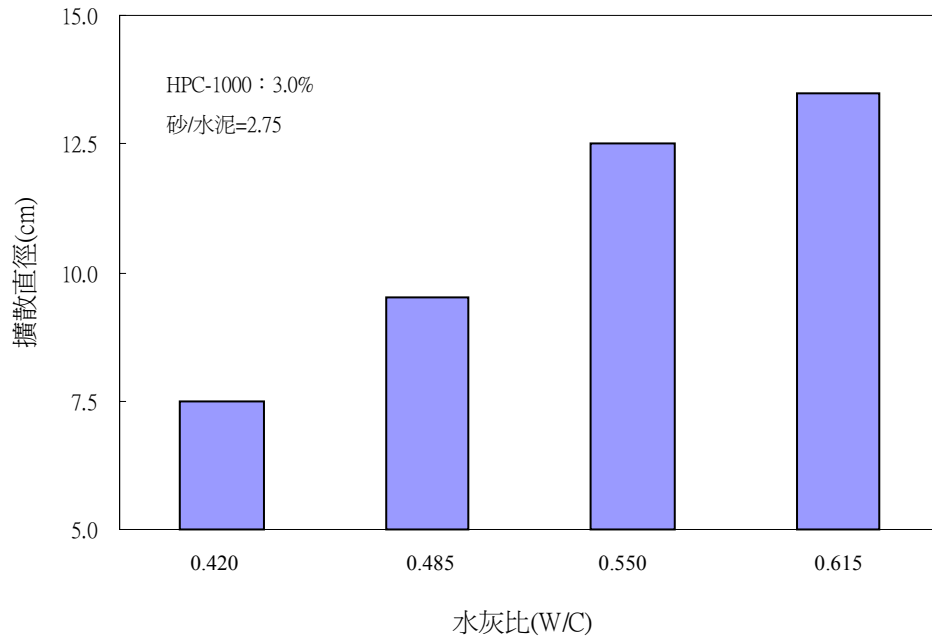


圖 10.水灰比與水泥砂漿擴散直徑之關係

五、礦物摻料的添加對水泥砂漿流度的影響

混凝土成份中骨材佔相當大的比例，在以往骨材被認為是混凝土的填充料，如今已漸漸被當作主要架構材料，對混凝土的流動行為或硬固性質影響相當大，而砂的一些性質，如砂的種類、形狀、表面潔淨度(如添加泥量)、添加比例等，都會影響混凝土的流動性質。

本實驗為更進一步了解廢觸媒取代水泥量對水泥砂漿流度之影響，並與飛灰、矽灰、爐石、高嶺土作比較，首先仍控制水膠比(W/B)在 0.42、砂/水泥=2.75 下，強塑劑 HPC-1000 劑量分別為 1.5%、2.0%、2.5%、3.0%，探討各種礦物摻料取代水泥量(0%、5%、10%、15%、20%、25%)，對水泥砂漿流度的影響，結果發現水泥砂漿皆無法流動，縱使在強塑劑劑量 3.0% 下，擴散直徑也才 4~5cm，因為添加砂量多，其吸附的強塑劑及水泥量就多，故流動性變差，擴大水膠比為 0.485 或 0.55，以便進一步瞭解添加礦物摻料取代水泥量對水泥砂漿流度之影響，經一再的實驗發現縱使水膠比(W/B)為 0.485，砂/水泥=2.75，強塑劑劑量分別在 1.5%、2.0%、2.5% 下，水泥砂漿之流動性仍不佳，最後控制水膠比(W/B) 為 0.485 及 0.55，砂/水泥=2.75，強塑劑 HPC-1000 劑量為 3.0% 得各種礦物摻料取代水泥量與水泥砂漿的擴散直徑之關係(數據如附表 12、13.)，如圖 11、12。

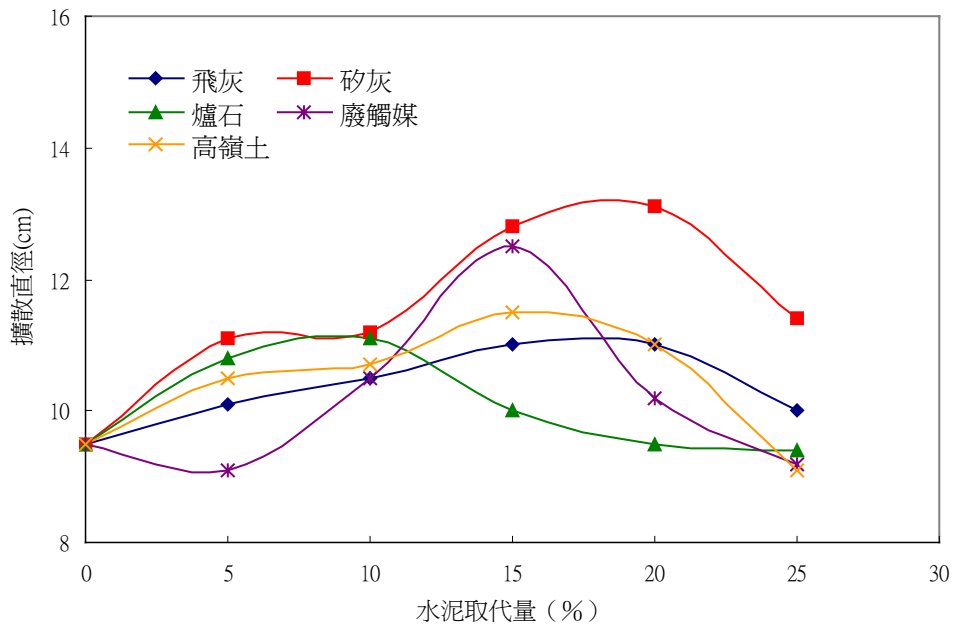


圖11. 不同礦物摻料取代水泥對水泥砂漿流度的影響
(W/B=0.485、強塑劑 HPC-1000：3.0%、砂/水泥=2.75)

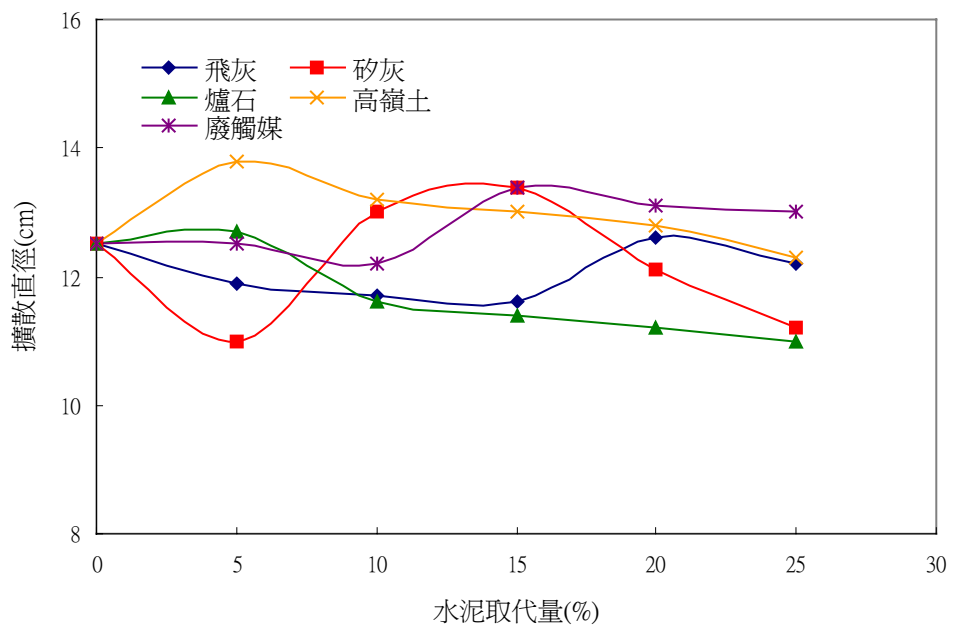


圖12. 不同礦物摻料取代水泥對水泥砂漿流度的影響
(W/B=0.550、強塑劑 HPC-1000：3.0%、砂/水泥=2.75)

結果發現適量的礦物摻料取代水泥，會增加水泥砂漿之流度，原因除飛灰為原球狀外，礦物摻料在混凝土間有潤滑作用可增加混凝土之粘聚性，在流動時黏滯力帶動骨材(砂)，因此能增加水泥砂漿流度。但若添加礦物摻料過多，則被其吸附的強塑劑及水量就多，因而流動性漸漸變差。

由圖 11.中可發現在水膠比(W/B) 為 0.485 時，各種礦物摻料取代水泥之最佳取代量，分別為廢觸媒：15%，飛灰：15-20%，矽灰：15-20%，爐石：10%，高嶺土：15%。由圖 12.中發現在水膠比(W/B) 為 0.550 時，各種礦物摻料取代水泥之最佳取代量，分別為廢觸媒：15%，飛灰：20%，矽灰：15%，爐石：5%，高嶺土：5%。

柒、結論

- 一、各種礦物摻料含水量以廢觸媒為 2.8%最高，爐石、飛灰：0.1%-0.2%最低；密度部分，因各種礦物摻料為輕質粉末，不易填實，故無法準確測量出(測量值為 $0.6\sim 1.1\text{g/cm}^3$)。
- 二、各種礦物摻料在水中之 pH 值分別為飛灰：12.10，矽灰：5.34，爐石：10.38，高嶺土：6.82，廢觸媒：3.85，廢觸媒在水中會放熱且水溶液呈酸性。
- 三、廢觸媒對水的親和力大，添加至水泥漿中會使得漿體的流度減小，因此必須藉由提升強塑劑劑量，才能提高工作度，而使漿體流動性較佳，且分散較均勻。
- 四、在水膠比(W/B)為 0.42 時，不論強塑劑 HPC-1000 劑量為 1.5%、2.0%、2.5% 或 3.0%，各種礦物摻料取代水泥之水泥漿的流度均比對照組低，而且對照組在添加強塑劑 3.0% 時有泌水現象。
- 五、在水膠比(W/B)為 0.42 時，廢觸媒、飛灰、爐石、高嶺土取代水泥會降低水泥漿的流度，然矽灰卻隨著取代水泥量的增加仍維持一定的流度。
- 六、在水膠比(W/B)為 0.42 時，隨著強塑劑劑量的增加，其中添加廢觸媒、飛灰、爐石之水泥漿的流度明顯增加，而添加矽灰、高嶺土之水泥漿的流度則呈現較不規則之變化。
- 七、強塑劑 HPC-1000 劑量 3.0%、砂/水泥=2.75 時，隨著水灰比(W/C)的增加，水泥砂漿的流度明顯提昇。
- 八、在水膠比(W/B)為 0.485、強塑劑 HPC-1000 劑量 3.0%、砂/水泥=2.75 時，廢觸媒、飛灰、矽灰、爐石、高嶺土隨著取代水泥量的增加，水泥砂漿的流度均比對照組(9.5cm)高，各種礦物摻料最佳取代水泥量，分別為廢觸媒：15%，飛灰：15-20%，矽灰：15-20%，爐石：10%，高嶺土：15%。
- 九、在水膠比(W/B)為 0.55、強塑劑 HPC-1000 劑量 3.0%、砂/水泥=2.75 時，廢觸媒、飛灰、矽灰、爐石、高嶺土隨著取代水泥量的增加，水泥砂漿的流度均比對照組(12.5cm)高，各種礦物摻料最佳取代水泥量，分別為廢觸媒：15%，飛灰：20%，矽灰：15%，爐石：5%，高嶺土：5%。

捌、參考資料

- 一、曾鑿生,2002,“石油工業廢觸媒作為波索蘭材料活性之研究”,台師大化學研究所碩士論文。
- 二、陳秀娘,2002,“石油工業廢觸媒的波索蘭活性評估與改質磺化酚醛樹脂之合成”,台師大化學研究所碩士論文。
- 三、苗伯霖,2000,“飛灰混凝土於公共工程之應用與展望”,公共工程使用飛灰混凝土研討會論文集, pp.3-7。
- 四、黃兆龍,1997,“混凝土材料品質控制試驗”,詹氏, pp.200~206。
- 五、陳慶宏, 2000,“強塑劑於高性能混凝土中之效能評估”, 國立台灣師範大學化學研究所碩士論文。
- 六、黃兆龍等,2000,“飛灰混凝土耐久性設計-以海洋生物博物館為例”,公共工程使用飛灰混凝土研討會論文集, pp.45-47。
- 七、許貫中等, 1998,“化學摻料發展與應用”, 混凝土施工自動化,台灣營建研究院, pp.17-31。
- 八、張大鵬, 1998,“使用強塑劑之考量”, 混凝土施工自動化研討會, pp.65-84。
- 九、陳宗輝, 1999,“石油工業廢觸媒資源化之研究”, 國立雲林科技大學環境與安全工程系碩士論文。

附表2.廢觸媒取代水泥量、強塑劑劑量與擴散直徑的關係(W/B=0.42)

擴散直徑 (cm) \ 取代量 (%)	0	5	10	15	20	25
HPC-1000 (%)						
1.5	20.1	18.6	18.9	18.7	14.7	11.0
2.0	20.3	19.0	18.8	18.4	16.7	15.9
2.5	20.9	19.1	19.2	18.9	16.8	16.1
3.0	21.0	19.5	19.2	19.1	18.0	17.3

附表3.飛灰取代水泥量、強塑劑劑量與擴散直徑的關係(W/B=0.42)

擴散直徑 (cm) \ 取代量 (%)	0	5	10	15	20	25
HPC-1000 (%)						
1.5	20.1	18.9	18.6	18.5	18.4	17.7
2.0	20.3	19.6	19.5	19.2	18.8	18.0
2.5	20.9	20.5	20.3	19.8	19.2	18.3
3.0	21.0	20.9	20.8	20.4	19.3	18.3

附表4.矽灰取代水泥量、強塑劑劑量與擴散直徑的關係(W/B=0.42)

擴散直徑 (cm) \ 取代量 (%)	0	5	10	15	20	25
HPC-1000 (%)						
1.5	20.1	18.4	18.8	18.9	19.0	19.2
2.0	20.3	20.2	20.1	19.4	19.4	19.2
2.5	20.9	20.3	20.2	20.1	20.0	19.3
3.0	21.0	20.0	19.8	19.6	19.4	19.3

附表5. 爐石取代水泥量、強塑劑劑量與擴散直徑的關係(W/B=0.42)

擴散直徑 (cm) \ 取代量 (%)	0	5	10	15	20	25
HPC-1000 (%)						
1.5	20.1	18.4	18.1	18.0	18.0	18.0
2.0	20.3	19.9	18.4	18.4	18.6	18.3
2.5	20.9	20.5	19.6	19.3	19.6	18.7
3.0	21.0	21.0	20.8	20.6	20.9	19.5

附表6. 高嶺土取代水泥量、強塑劑劑量與擴散直徑的關係(W/B=0.42)

擴散直徑 (cm) \ 取代量 (%)	0	5	10	15	20	25
HPC-1000 (%)						
1.5	20.1	19.9	19.7	19.3	19.2	17.8
2.0	20.3	20.1	19.8	19.5	18.9	17.4
2.5	20.9	20.8	19.4	19.4	18.9	17.9
3.0	21.0	19.4	19.1	19.2	18.0	17.7

附表7.不同礦物摻料取代水泥之水泥漿的流度 (HPC-1000 : 1.5%)

擴散 直徑 (cm) 取代量(%)	礦物 摻料				
	飛灰	矽灰	爐石	高嶺土	廢觸媒
5	18.9	18.4	18.4	19.9	18.6
10	18.6	18.8	18.1	19.7	18.9
15	18.5	18.9	18.0	19.3	18.7
20	18.4	19.0	18.0	19.2	14.7
25	17.7	19.2	18.0	17.8	11.0

附表8.不同礦物摻料取代水泥之水泥漿的流度 (HPC-1000 : 2.0%)

擴散 直徑 (cm) 取代量(%)	礦物 摻料				
	飛灰	矽灰	爐石	高嶺土	廢觸媒
5	19.6	20.2	19.9	20.1	19.0
10	19.5	20.1	18.4	19.8	18.8
15	19.2	19.4	18.4	19.5	18.4
20	18.8	19.4	18.6	18.9	16.7
25	18.0	19.2	18.3	17.4	15.9

附表9.不同礦物摻料取代水泥之水泥漿的流度 (HPC-1000 : 2.5%)

擴散 直徑 (cm) 取代量(%)	礦物 摻料				
	飛灰	矽灰	爐石	高嶺土	廢觸媒
5	20.5	20.3	20.5	20.8	19.1
10	20.3	20.2	19.6	19.4	19.2
15	19.8	20.1	19.3	19.4	18.9
20	19.2	20.0	19.6	18.9	16.8
25	18.3	19.3	18.7	17.9	16.1

附表10.不同礦物摻料取代水泥之水泥漿的流度 (HPC-1000 : 3.0%)

擴散 直徑 (cm) 取代量(%)	礦物摻料				
	飛灰	矽灰	爐石	高嶺土	廢觸媒
5	20.9	20.0	21.0	19.4	19.5
10	20.8	19.8	20.8	19.1	19.2
15	20.4	19.6	20.6	19.2	19.1
20	19.3	19.4	20.9	18.0	18.0
25	18.3	19.3	19.5	17.7	17.3

附表11.水灰比與水泥砂漿之擴散直徑的關係 (HPC-1000 : 3.0%)

水灰比	0.420	0.485	0.550	0.615
擴散直徑(cm)	7.5	9.5	12.5	13.5

附表12.不同礦物摻料取代水泥之水泥砂漿的流度

(HPC-1000 : 3.0% , W/B=0.485、砂/水泥=2.75)

擴散 直徑 (cm) 取代量(%)	礦物摻料				
	飛灰	矽灰	爐石	高嶺土	廢觸媒
0	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
5	10.1	11.1	10.8	10.5	9.1
10	10.5	11.2	11.1	10.7	10.5
15	11.0	12.8	10.0	11.5	12.5
20	11.0	13.1	9.5	11.0	10.2
25	10.0	11.4	9.4	9.10	9.2

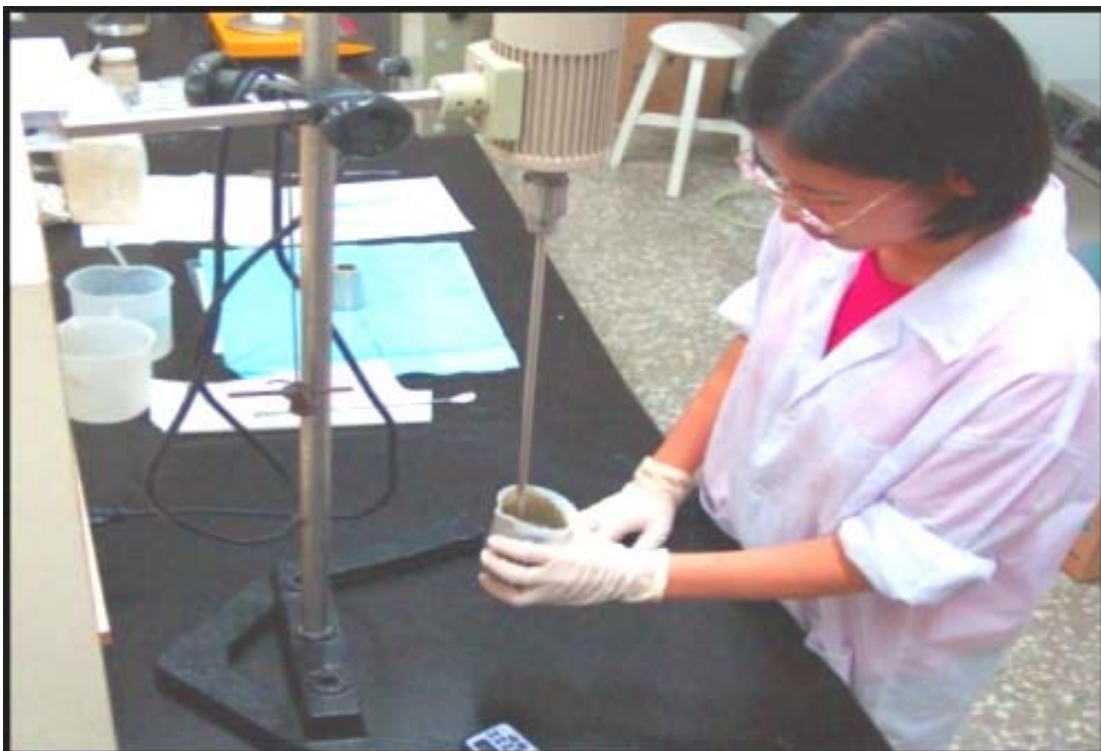
附表13.不同礦物摻料取代水泥之水泥砂漿的流度

(HPC-1000 : 3.0% , W/B=0.55、砂/水泥=2.75)

擴散 直徑 (cm) 取代量(%)	礦物摻料				
	飛灰	矽灰	爐石	高嶺土	廢觸媒
0	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
5	11.9	11.0	12.7	13.8	12.5
10	11.7	13.0	11.6	13.2	12.2
15	11.6	13.4	11.4	13.0	13.4
20	12.6	12.1	11.2	12.8	13.1
25	12.2	11.2	11.0	12.3	13.0



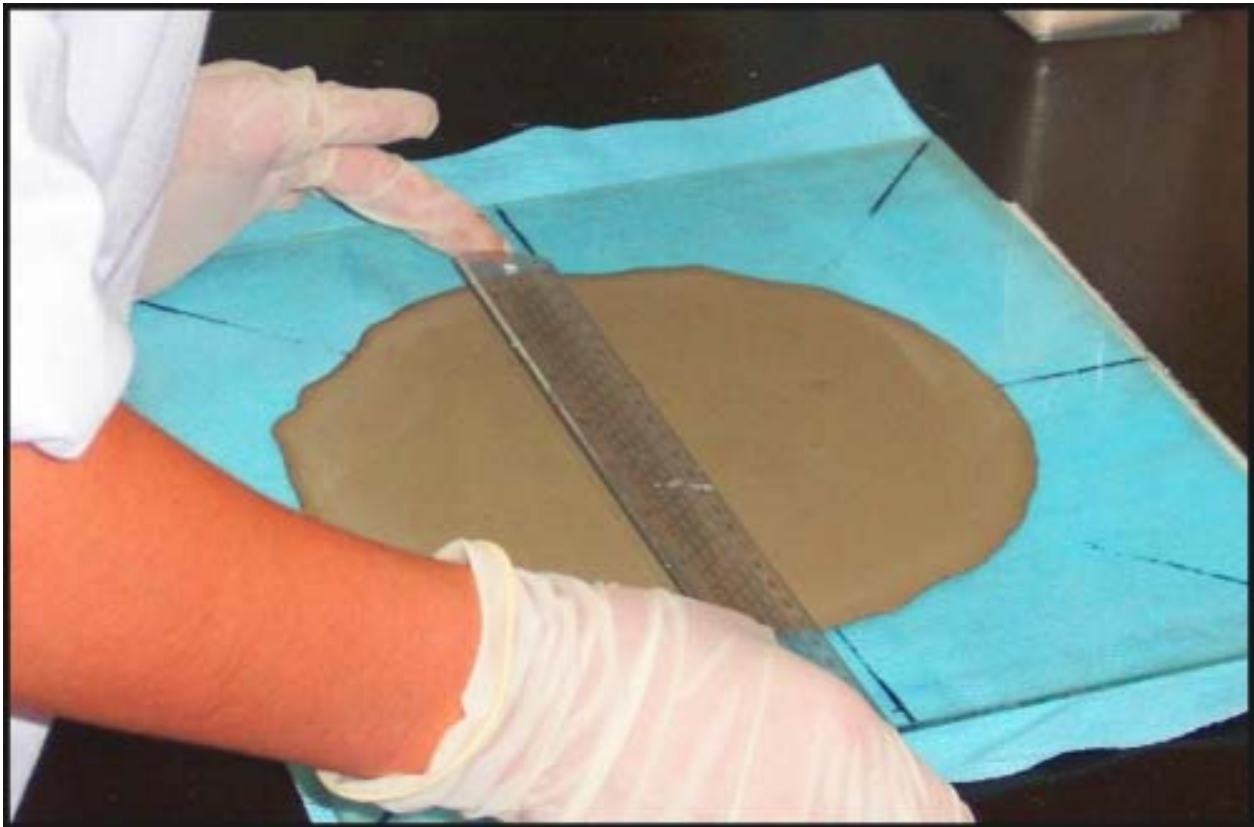
附圖 12、分析天秤



附圖 13、水泥(砂)漿流度測試情形



附圖 14、pH 計



附圖 15、水泥漿以圓心型往四周流散



附圖 16、飛灰、矽灰、爐石、高嶺土、廢觸媒