

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫一：淨水污泥與水庫淤泥燒結資源化之利用-污泥性質與燒結條件對燒結體之影響(3/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-009-035-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

計畫主持人：黃志彬

計畫參與人員：劉又瑞 王敏儒 郭容忍

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 1 日

# 淨水污泥與水庫淤泥燒結資源化之利用（Ⅲ）

Reuse of fresh water sludge and dam sediment through sintering

計畫編號：NSC-91-2211-E-009-035

執行期間：91/08/01 - 92/07/31

計畫主持人：黃志彬 交通大學環境工程研究所教授

## 一、中文摘要

台灣地區地小人稠，大量廢棄污泥採用掩埋處理並不是一適當的處置方法。在本年度研究中，我們嘗試將淨水污泥利用燒結程序做資源化利用，探討不同燒結溫度對人造骨材物性之影響。

實驗結果顯示，淨水污泥以 1,000°C、1,050°C、1,100°C 製作燒結型人造骨材，比重皆小於 2 且吸水率隨燒結溫度的增加而有減少的趨勢。將製成的骨材與水泥混合製成混凝土樣本。結果顯示以配比为 1:1:2 時的混合比率具有最高的抗壓強度值。依此比率，以 1000°C、1050°C 及 1100°C 燒結，其混凝土樣本在 14 天即具有良好強度性質。以 1100°C 燒結成的混凝土樣本，其 28 天抗壓強度高達 180 kgf/cm<sup>2</sup>，符合結構性輕質混凝土的要求。

綜合比重、吸水率、抗壓強度的測試結果，淨水污泥燒結人造骨材符合作為輕質骨材應用的基本性質。

**關鍵字：**淨水污泥、水庫淤泥、燒結、人造骨材

## 英文摘要

Because of the limited available land, landfill disposing waste sludge is not a practical method in Taiwan. This study intends to reuse the water treatment residual (WTR) in the making of artificial aggregate by sintering process. The effects of sintering temperature on physical characteristics of the sinters were examined.

The specific gravities of artificial aggregates sintered at 1000°C, 1050°C, and 1100°C were all less than 2 kg/cm<sup>3</sup>, qualified as lightweight aggregates for constructional purposes. Cement, sand and artificial aggregates were mixed in several proportions to make concrete. The aggregates made from WTR sintered at 1100°C manifested the requirement for constructional lightweight aggregates, when mixed with natural

sand and cement at 2:1:1 weight ratio, After 28-days curing, the compression strength of concrete reached 180 kgf/cm<sup>2</sup>.

Results of specific gravity, water absorption, and compression strength suggested that WTR artificial aggregate could meet the general requirement for lightweight aggregates.

**Keyword: sintering, artificial aggregate, water treatment residual**

## 二、計畫緣由與目的

台灣地區因為經濟快速發展，民生用水量節節上升，根據統計，依據台北自來水事業處（康世芳，2001）針對北市境內五座淨水場污泥年產生量統計，民國八十九年共產生 17,214 公噸污泥餅（含水率為 40%），預計在九十二年將增加至 20,000 公噸左右。而根據台灣省自來水公司統計所屬十二區結果顯示，民國九十一年淨水污泥年產量為 104,178 公噸（含水率 40% ~ 100%），由此推估台灣地區每年約產生 12 萬公噸淨水污泥。淨水污泥雖不是有害污泥，但在地小人稠的台灣，大量污泥採用掩埋處理並不是適當長久的處置方法。

在環保意識高漲的今天，利用工業副產物製造輕質骨材亦是世界各國的潮流，因此我們探討淨水污泥製成人造骨材的可能性。天然輕質骨材取自於自然，主要以火山岩居多，依岩漿自不同深度噴出火山口後，冷卻形成性質各異的多孔性材料，主要有浮石、泡沫火山岩。由於形成的過程無法控制，其顆粒表面及內部孔隙變異性甚大，且產量有限，就長期而言，非工程上理想而的骨材來源。人造骨材的種類繁多，可以根據需要控制製程，得到所需的骨材，特別是人造輕質骨材，應用性相當廣泛，可用在超高層樓建築減重、隔熱牆板等。綜合來說，具有低密度、高吸水率、粗表面、低強度的特性。

利用燒結技術再利用污泥，已有不少的學者專家進行深度之研究。在前年度實驗主體為瞭解成型壓力及添加物對淨水污泥及水庫淤泥燒結後物化性質之影響，已找到符合建築用磚標準之操作條件，而達到廢棄污泥資源化之目的。而今年度將目標放在將污泥製磚技術轉移應用在人造骨材上，藉由淨水污泥在燒結中收縮的效果，能製成人造骨材供相關行業的運用。

## 三、結果與討論

骨材坯體的成形經由搓揉造粒而來，主要是藉由水份的添加使粉體具有黏結性與可塑性，因此成形後的緊緻程度較弱，在燒結後，會產生很大的體積收縮。

隨著燒結溫度的提高，骨材體積明顯的變小，硬度亦隨著燒結溫度的提高而有明顯的增強。

### 1. 燒結外觀

燒結溫度 1000°C 的骨材，其表面仍有少許的粉末狀態顆粒，燒結溫度 1050°C、1100°C 的骨材，粉體粒子的頸部成長完全，因此燒結後的結構相當的緊實，無燒結不完全的粉末狀粒子存在。外觀上呈現磚紅色且隨溫度增加而變深。

### 2. 比重

在判斷人造骨材是否為輕質骨材時，比重是一個重要的參考值。常重骨材一般的比重為 2.0 ~ 2.7 g/cm<sup>3</sup>，因此比重若低於 2.0 g/cm<sup>3</sup>，大致便可視為輕質骨材。淨水污泥經過三種燒製溫度(1000、1050、1100)，所燒製出的骨材比重分佈在 1.12 g/cm<sup>3</sup>~1.78 g/cm<sup>3</sup>(參考表 1)，均在合適的輕質骨材範疇內(可參考表 2)。以 1100 燒結的骨材因受熱較高，胚體迅速緻密化，體積迅速縮小，骨材的單位重較高。骨材的比重若較高，相對的所製成的混凝土強度也越高，因此可以依據需要的不同，調整不同的燒結溫度，以得到不同比重的人造骨材。

本實驗製造人造骨材採用慢熱燒結，升溫緩慢而均勻，粒料粉體因升溫歷程較慢，能量吸收速度較緩，使粉體的化學變化尋常態進程，乾燥後，釋放出結晶水，接著開始熔融，因顆粒內外部受熱較一致，整個顆粒的變化較為均勻，骨材表面熔融產生之塑性無法長久保存，使內部產生的氣體容易逸出，所以燒結所得的骨材孔隙少、較緻密，顆粒比重也較大。若採用旋窯燒製，因升溫歷程快，達最高燒結溫度僅需 10~20 分鐘，且瞬間氣冷，顆粒表面最先吸收熱能，外部所吸收的熱較內部快，可先形成玻璃化而熔融的表面，硬固後，可阻礙內部生成氣體的逸出，因而提高內部孔隙，骨材的單位重因而較小。若我們對骨材的強度要求不高，而將焦點放在輕質化的程度上，可以考慮研究使用旋窯來得到比重較低的人造骨材。

### 3. 吸水率

對於人造骨材來說，吸水率是重要的指標。在使用骨材拌製混凝土時，需要瞭解骨材的吸水能力。由表 1 可知，淨水污泥以 1000 燒結人造骨材的吸水率偏高，約 37%。隨著燒結溫度的提高，燒結作用越強，增長粉體的緻密化程度，到了 1100，其吸水率降到 14.47%。由於人造骨材的吸水率高，具有多孔，吸水力強的特性，因此在澆製混凝土施工前需泡水浸濕，以免吸收拌合用水，使混凝土硬化過快。

黃(1989)研究飛灰燒製輕質骨材的研究，發現添加飛灰可有效降低骨材的吸水率，因飛灰的粒徑較小，使造粒後骨材坯體內部組成孔隙較為緻密，燒製後骨材顆粒外表較光滑，具有較少之開放性孔隙。因此在淨水污泥燒製輕質骨材的後續研究中，可考慮添加飛灰來降低骨材吸水率，解決本實驗之人造骨材吸水率偏高對混凝土施工造成的不利影響。

#### 4.抗壓強度

抗壓強度的大小，影響燒成人造骨材的應用方向，骨材強度的良窳從製成的混凝土反應出來，骨材的強度與未來混凝土拌製後之強度具有相關性。表 2 表示出不同用途的輕質混凝土，所要求的抗壓強度大小，結構用輕質混凝土的強度要求較高，在  $175 \sim 420 \text{ kgf/cm}^2$ ，隔熱兼結構用輕質混凝土次之，在  $70 \sim 175 \text{ kgf/cm}^2$ ，隔熱用輕質混凝土的要求較低，在  $7 \sim 70 \text{ kgf/cm}^2$ 。

混凝土的強度除了和骨材強度有直接關連外，在配比設計時，不同比例的粗骨材、細骨材、水泥含量，所製成的混凝土強度亦不相同。本研究使用的骨材經由人工搓揉造粒而來，數量上有限，無法大規模探討不同配比重質骨材混凝土的性質，因此對配比的選擇先進行最佳化實驗，選取最低燒結溫度(1000 )的骨材，將其製成混凝土柱(如圖 1)。後續探討不同配比 7 天的抗壓強度值，從結果中選出抗壓強度值最高的配比設計，作為探討不同燒結溫度人造骨材，對其混凝土抗壓性質研究時，固定的材料配比。從圖 2，我們發現配比为 1:1:2(水泥：細粒料：粗粒料)的混凝土具有最高的抗壓強度值，因此往後在進行燒結 1000、1050、1100 人造骨材的強度探討時，我們以 1:1:2 的配比來進行實驗。

混凝土的強度隨著齡期而發展，在 7 天的時候約發展到 0.55% ~ 0.65% 的強度，在 28 天的時候約達到 100% 強度。混凝土的早期強度若不足，會影響工作性、受外力衝擊易毀損、延長拆模時間、耽誤工程施工進度。一般新澆製的混凝土強度若未達約  $12 \text{ kgf/cm}^2$  不得在其上踩踏或進行其它施工行為(陳，2001)。新澆製的混凝土任何部分不得承受施工載重或拆除支撐，澆置二星期後，若混凝土達到規定強度，拆模時仍須確認結構體已達安全強度。板、樑、柱之側向豎模板，於混凝土澆置 24 小時後，待及混凝土表面硬化，就可以拆除。由圖 2 可知，以 1000、1050、1100 燒結人造骨材拌和之混凝土，在 14 天的時候強度分別達到 70%、90%、95.53%，已具有良好的強度性質。

在使用不同溫度燒結之人造骨材，其混凝土柱具有不同的抗壓強度。從圖 3，我們瞭解，以 1000 燒結的骨材，顆粒強度較弱，研判可能是因為燒製溫度還未達玻璃相，所以骨材內部的組織鬆散、孔隙較多，因此燒成骨材之單位重與強度較低，但對於隔熱兼結構用混凝土的強度要求並不高，以 1000 燒結的骨材仍然滿足應用的品質。當燒結溫度達到 1050，骨材胚體產生激烈的緻密化，增強了可承受的破壞荷載，其 28 天抗壓強度迅速增加到  $155 \text{ kg/cm}^3$ ，可符合結構兼隔熱之輕質混凝土要求，但其比重有偏高的情形。以 1100°C 燒結的骨材，其混凝土之 28 天抗壓強度可達到約  $180 \text{ kg/cm}^3$ ，符合結構用輕質混凝土的要求。

另外，輕質骨材有一點特性是要注意的，輕質骨材的比重較低，在混凝土中易產生浮粒的現象，使粒料分佈不均勻影響抗壓強度性質，本研究的輕質骨材混

凝土試驗規模較小，此問題較容易被控制而克服。要注意的是，當大規模工程使用人造輕質骨材粒料時，在施工上就必須要留意，以確保混凝土的品質。

#### 5. 微結構的變化

利用掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察燒結體微細構造變化，瞭解顆粒間頸部成長的狀況。圖 4 為燒結溫度 1000°C 人造骨材之微結構狀態，圖 5 為燒結溫度 1050°C 人造骨材之微結構狀態，圖 6 為燒結溫度 1100°C 人造骨材之微結構狀態。我們可以看到燒結體中的孔隙很多，可能是因為人造骨材在成型時坯體的緊緻程度不高、結構較鬆散，因此燒結初期時，孔隙仍多。隨著燒結溫度的提高，燒結體的緻密化情形愈趨緊密。

#### 四、結論

1. 淨水污泥燒結的人造骨材，具有低比重的特性，以 1000~1100°C 燒結，骨材吸水率隨著溫度增高而變小，比重隨著溫度增高而變大，但比重皆在 2kg/cm<sup>3</sup> 以下。

2. 淨水污泥經過 1100°C 燒的人造骨材，以 1:1:2 的水泥、砂、骨材配比製成的混凝土第 28 天的養生強度可達 180kg/cm<sup>2</sup>，可作為結構用輕質骨材。

#### 參考文獻

1. Wainwright P. J. and Cresswell D. J. F. (2001) Synthetic aggregate from combustion ashes using an innovative rotary kiln. *Waste Management*, 21(3), 241-246.
2. 黃忠良譯，山口喬、柳田博明編，水谷惟恭、尾崎義治、木村敏夫、山口喬著，工業陶瓷製程，復漢圖書，1986。
3. 陳鈺，混凝土施工，新文京開發出版有限公司，2001。
4. 康世芳，淨水污泥餅再利用技術調查及應用於台北自來水事業處淨水廠可行性評估，2001。

表1 人造骨材之比重與吸水率

	1000°C	1050°C	1100°C
<b>specific gravity (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.12	1.71	1.78
<b>Water absorption (%)</b>	37	15.48	14.47

表 2 人造骨材分類

- I: 可供結構使用
- II: 可供結構兼隔熱用
- III: 隔熱使用

	<b>Specific gravity of the artificial lightweight aggregate (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Compression strength of the artificial lightweight concrete (kgf/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>I</b>	1.4 ~ 2.0	175 ~ 420
<b>II</b>	0.8 ~ 1.4	70 ~ 175
<b>III</b>	0.3 ~ 0.8	7 ~ 70

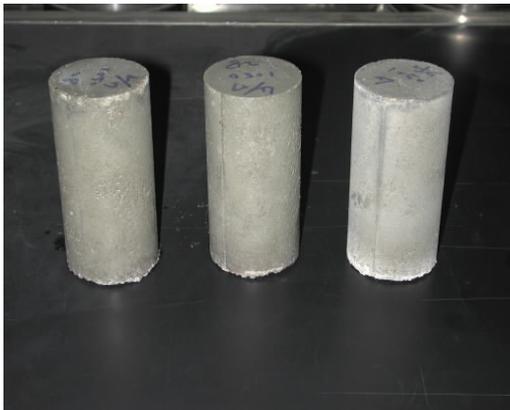
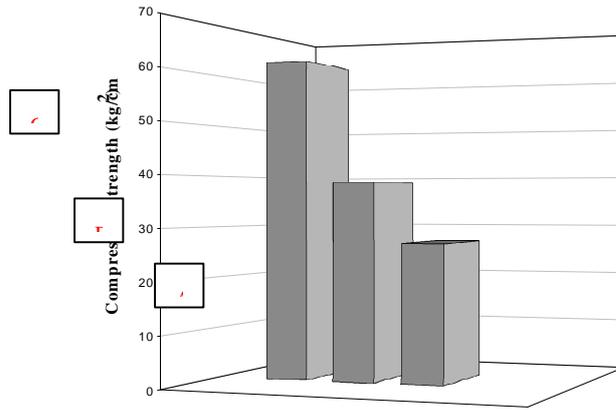


圖1.實驗室製備之混凝土試體外觀



Concrete design

A: 1 : 2 : 4      B: 1 : 1.5 : 3      C: 1 : 1 : 2

圖 2 混凝土配比設計試驗

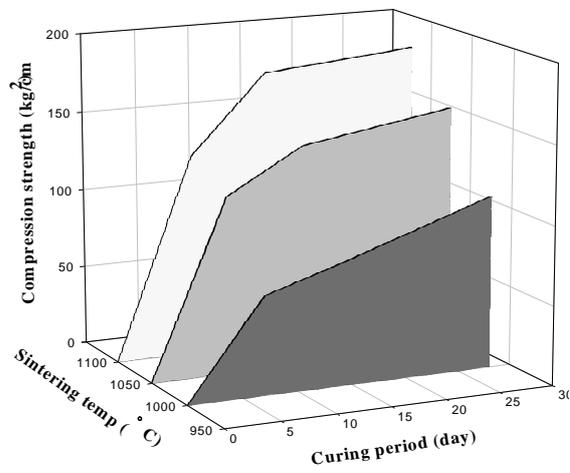


圖3 以不同燒結溫度製備之人造骨材其混凝土強度齡期發展

圖4 以1000°C燒結之人造骨材其微結構狀態

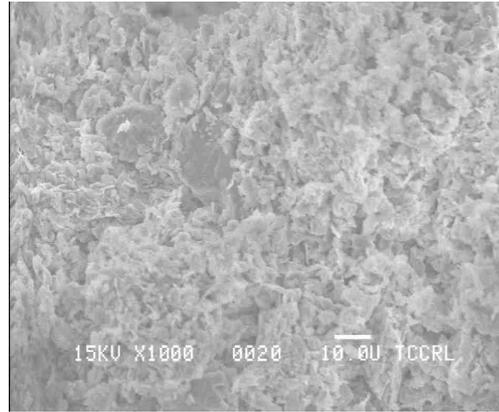


圖 5 以 1050°C 燒結之人造骨材其微結構狀

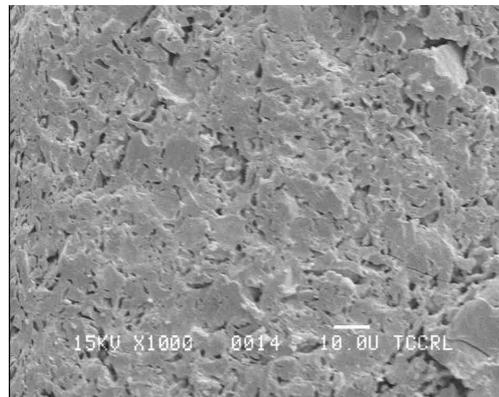


圖6 以1100°C燒結之人造骨材其微結構狀態

