

經濟部工業局八十二年度 專案計畫執行成果報告

計畫名稱：傳統工業技術開發計畫 混凝土輕質骨材技術發展及應用

執行期間：全 程：自77年7月至82年6月止
本 年 度：自81年7月至82年6月止

顧 問：張世典 兼主任

曾元一 處長

計畫主持人：顏 聰 院長

王櫻茂 教授

共同主持人：蕭江碧 副主任

林純政 主任秘書

周智中 組長

研究人員：賴典章 莊隆昌 曾 亮 陳豪吉

黃玉麟 周文龍 吳明憲 李憲謨

參與廠商及聯絡人：東南水泥公司—高得耀先生
國產實業建設公司—林明寬先生
亞洲水泥公司—李紹先先生

主辦單位：經濟部工業局

執行單位：內政部建築研究所籌備處

中華民國八十二年七月三十一日

目 錄

第一章 前言	1
1-1 計畫緣起	1
1-2 計畫內容與流程	2
1-3 預期成果	6
第二章 文獻回顧	7
2-1 國內輕質骨材發展過程	7
2-2 國外輕質骨材發展過程	8
2-3 落實本土化之研發與展望	9
第三章 規劃與推動	12
3-1 學術界配合—成功大學，中興大學	12
3-2 產業界配合—東南水泥，國產建設，亞洲水泥	13
3-3 行政界配合—工業局，建研處，榮工處，地調所	16
第四章 料源分佈與特性	19
4-1 台灣地區料源之分佈及蘊藏量(北，中，南，東)	19
4-2 國內料源之特性	24
第五章 取樣作業	27
5-1 地區勘察與採樣	27
5-2 料源樣品之化學分析	32
第六章 輕質骨材試燒	34
6-1 儀器設備規畫	34
6-2 試燒程序	36
6-3 試燒結果之分析與比較	37
6-4 輕質骨材之物理性分析	38
第七章 應用與發展	40

7-1	混凝土配合設計	40
7-2	混凝土拌製作業	42
7-3	輕質混凝土試驗	44
第八章	結論與建議	46
8-1	結論	46
8-2	建議	47
參考文獻		48
表		50
圖		67

第一章 前言

1-1 計劃緣起

以輕質骨材製造的輕質混凝土，具有質輕、抗壓強度夠的特質，最適宜使用於房屋建築的構材，尤其是高樓耐震及隔熱等建築工程。

位於亞熱帶地區的台灣，居住或工作場所在一年中至少有四季須使用空氣調節以改善環境；房屋建築的隔熱效率因而對能源節約極具意義。

質輕的輕質混凝土應用於高層建築時，可因自重降低，減少製作成本，且於地震時形成較小的水平作用力，對於地震帶上的台灣地區高層建築而言，實具有特殊的開發價值。

發展輕質混凝土的基本條件，在於須要有適合燒製輕質骨材的原料。依經濟部中央地質調查所的報告指出，台灣島上，南部有粘土，中北部有頁岩、泥岩等，均可用來燒製輕質骨材，其蘊藏量相當豐富。

過去已有學術研究單位及私人水泥、陶瓷工廠，燒製成功輕質骨材，可惜大都僅止於燒製技術層面的探討，未達量產層次。事實上，先進工業國家早已開發完成輕質骨材的燒製技術，若參酌國內既有的研究成果，要落實在本土內燒製輕質骨材，應無技術上困難。但因原料的不同以及燒製作業的條件配合，往往會影響到燒製成效與輕質骨材品質。為能掌握骨材性質的穩定性，以符合量產的客觀條件要求。必須先結合產、官、學、研等方面進行有系統的燒製技術研究，以建立完整的製作流程和作業條件資料，提供業界實際產製上的依循與參考，俾使達成產業升級之目標。

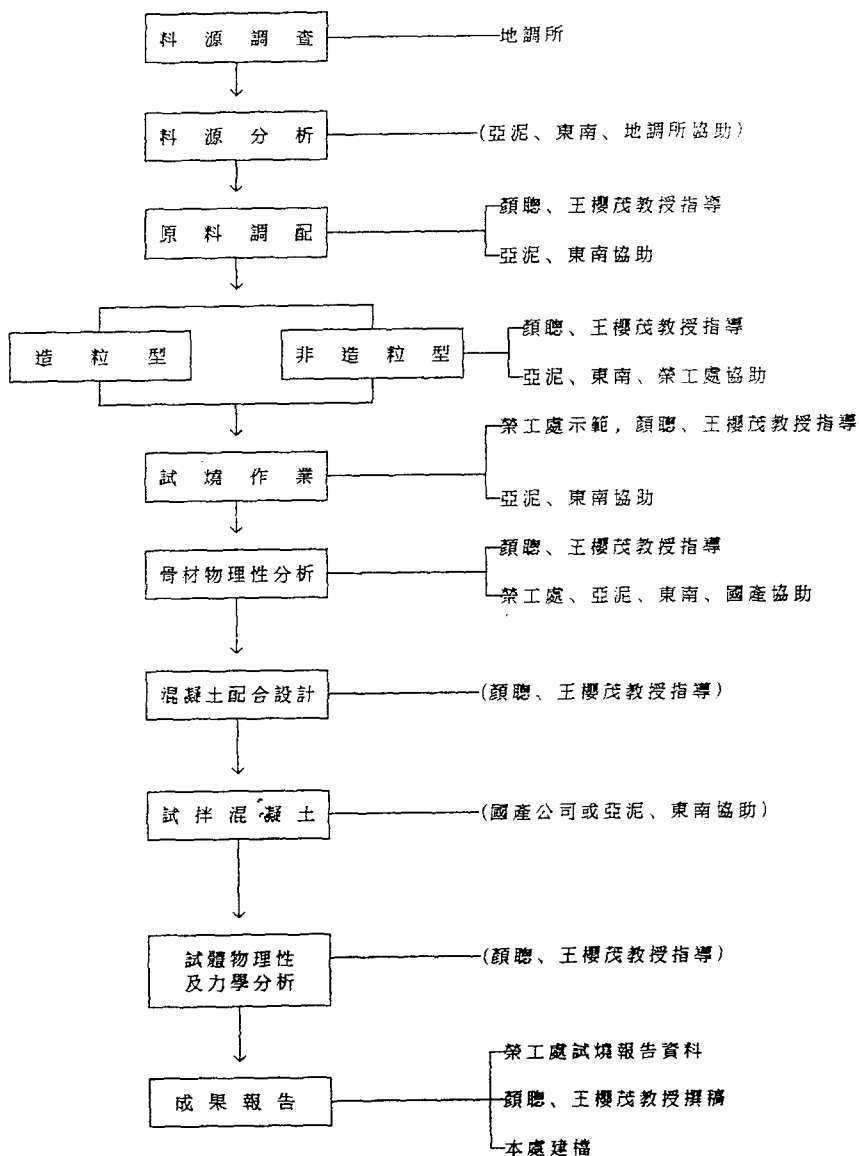
1-2 計劃內容與流程

燒製輕質骨材所需的原料、設備和技術，國內都已具備。其中，原料部份須要先做調查、分析，確定其適用性及蘊藏量。計畫執行需要的設備包含兩方面，其一是燒製輕質骨材用的轉窯，將由榮工處中壢預鑄廠協助進行。另一是輕質骨材性質測檢用的量測儀器。至於(一)輕質骨材的燒製技術，則由研究群(內政部建築研究所籌備處、中興大學、成功大學等)指導轉窯操作的技術人員，從實務作業中建立之。(二)關於料源取樣、試拌等作業亦由研究群指導合作廠商進行。

整個計畫的執行中，轉窯的購置以及輕質骨材燒製技術的建立，是兩個重點工作，這些主要有賴合作廠商(亞泥、東南、國產、榮工處等)的人力與經費配合。在輕質骨材的燒製過程中，如何控制適恰的窯溫及轉窯轉速，以產製出品質穩定的骨材則是研究上首須克服的困難。

本研究內容與流程如下：

計畫內容與流程表



★ 註：原則上，各廠商可酌情協助參與各流程步驟之進行。

作業項目	作業內容	執行者	廠商配合	經費支付
料源調查	台灣地區依北、東南、中四區取樣	地調所賴典章組長	請派員實地參與取樣	研究案經費
料源分析	取樣試體實驗室化性分析	顏 聰院長 王櫻茂教授	· 請派員赴中興或成大參與分析作業 · 或各公司自行分析	研究案經費
原料調配	對於輕質骨材試塊前原料組成、配比	顏 聰院長 王櫻茂教授	請派員赴中興、成大參與研究	研究案經費
試塊作業	骨材破碎、烘乾、燒製冷卻、比重測試等	· 榮工處規畫試塊 · 顏聰、王櫻茂教授指導	· 請派員赴榮工處中興或成大學習試塊作業	· 此項人員培訓計畫約需經費NT:1000000元 請合作廠商支付
骨材物理性分析	對於試塊後骨材進行吸水率、強度等測試	顏 聰院長 王櫻茂教授	請派員赴中興、成大參與分析	研究案經費
混凝土配合設計	· 水灰比、強度、FN等研究	顏 聰院長 王櫻茂教授	請派員赴中興、成大參與研究	研究案經費
試拌混凝土	灌置混凝土圓柱試體cylinder	· 國產公司或配合廠商 · 顏聰、王櫻茂教授	· 請各公司自行試拌 · 或赴中興、成大試拌	研究案經費
試體物理性及力學分析	· 抗壓強度、耐久性等因素	顏 聰院長 王櫻茂教授	請派員赴中興、成大參與研究	研究案經費
* 備註: · 本計畫案推動, 所需技術指導費、人事費、業務費、設備費等, 由研究案經費支付。 · 僅有「試塊作業」階段, 請榮工處示範, 各配合廠商派員作培訓。技術研習所需支付經費新台幣100萬元整, 懇請各配合廠商支應新台幣25萬元正。				

預定實施進度及查核點

	工作項目	月份												比重
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	
重要工作及預定進度	輕質骨材技術資料蒐集													9
	輕質骨材原料之調查與分析												#1	30
	輕質骨材燒製技術作業												#2	19
	製成之輕質骨材性能評估													14
	輕質混凝土拌製試驗													13
	試驗資料分析整理													14
	報告撰寫與文書處理												#3	6
	累計工作進度%	3	7	10	13	27	38	50	65	78	88	97	100	100
	經費分配比率%	6	6	14	6	8	13	9	7	7	7	7	10	100

查核點 1：81/12/31前完成骨材原料之調查與分析，並舉辦第一次研究座談會。

查核點 2：82/3/31前完成輕質骨材燒製技術作業，並舉辦座談會。

查核點 3：82/6/15前完成研究成果報告書初稿，舉辦期末簡報。

1-3 預期成果

本計畫經由內政部建築研究所籌備處與經濟部工業局共同合作推動，並結合學術界（中興大學、成功大學）技術指導，及合作廠商（亞泥、東南、國產、榮工處等）共同執行，俾能達成下列之成果：

- 1.建立以省產原料燒製輕質骨材的技術。
- 2.轉移人造輕質骨材之量產技術給工業界。
- 3.建立各品質等級輕質骨材之性質資料庫。
- 4.提供以輕質骨材拌製輕質混凝土之技術資料。
- 5.促進輕質混凝土應用於高層建築之可行性。

第二章 文獻回顧

2-1 國內輕質骨材發展過程

台灣全島面積三分之二為沉積岩層及其所造成之沖積層所覆蓋，沉積岩層主要為古第三紀及新第三紀地層，岩性適合作為膨脹輕質骨材之原料。基於輕質骨材料源在國內取得容易，且深具發展潛力，國科會於民國60年起陸續補助推動國內學界在輕質骨材方面之研究，其中以台大土木系材料試驗室及成大土木系材料試驗室為主。台大試驗室之系列研究以高健章教授為主導，燒製輕質骨材之方法為高溫電爐及燃煤燒結法[1]，料源之取得以台北地區頁岩為主[2]。此項研究成果，建立了國內原料採用燒結法燒製輕質骨材之基本方法，以及台北地區頁岩所燒製輕質骨材之成果，並以燒出之骨材配製輕質混凝土，研討其基本物理性質及力學性質。成大試驗室之研究由王櫻茂教授領銜，自民國60年起主要研究分四期四年進行[3]，第一期主題為「輕質骨材燒煉及物理性質化學分析試驗研究」，第二期主題為「輕質骨材及輕質混凝土物理性質試驗研究」，第三期主題為「輕質混凝土之配合設計」，第四期主題為「輕質骨材混凝土結構物模型試驗研究」。在四年期研究中，針對嘉義新營以及台北地區輕質骨材料源燒製成非造粒型及造粒型輕質骨材，並製作破碎型輕質骨材，其燒製方法則採用旋窯法，已獲致相當成果。除了輕質骨材燒煉技術以外，研究工作尚包括有輕質混凝土結構物模型預鑄混凝土版結構物模型試驗和結構分析等[4]。

國內輕質骨材研究發展除了學界參與之外，亞洲水泥花蓮廠及台灣水泥亦曾於試驗室內成功燒製輕質骨材，並測得其基本物理性質。綜觀以上，國內發展輕質骨材歷史已達20年，惟早期研究多僅針對試驗室燒成之樣品進行試驗及輕質混凝土之拌製，對於燒成骨材之品質

控制及料源取得之性質穩定性未曾深入研究，以致拌製成之輕質混凝土變異性頗大，尚未達實用性階段。另一方面早期國內輕質骨材市場的需求條件也未趨成熟，國內之研究發展因而陷入停頓狀態，未大力擴展應用。自79年起，行政院退輔會榮民工程事業管理處有鑑於國內一般骨材缺乏，高層建築增加，輕質骨材需求日殷之趨勢，乃委託台灣營建中心推動「人造骨材輕質混凝土之製造及工業化研究」由中興大學顏聰教授主持，其最終目標在於落實國內輕質骨材，輕質混凝土作為營建材料的本土化，希望能完整建立輕質骨材燒製技術及其輕質混凝土的工業化目的。同年間台灣電力公司亦與工業技術學院黃兆龍教授合作開發以飛灰製造輕質骨材[5]。

2-2 國外輕質骨材發展過程

輕質骨材發展歷史，以歐美國家較早。美國於1917年即著手以旋窯生產膨脹頁岩與膨脹黏土的輕質骨材[6]。第一次世界大戰期間（1919~1927），美國大量使用輕質骨材建造混凝土貨船隊（約100艘），及高層樓如Park Plaza Hotel（聖路易斯）和Bell Telephone Building（堪薩斯市）。

歐洲最早使用人造輕質骨材完成道路橋樑之建造，當時蘇聯在這方面取得較領先的地位，使用高強度之人造輕質骨材（造粒形，以膨脹性粘土燒成）約為一萬立方公尺，應用於33座橋樑中，其中2000立方公尺使用於預力混凝土。英國於1954年利用倫敦粘土（London clay）燒製而成之輕質骨材應用於建築物及橋樑上，最典型的實例為Australia Square Tower，樓高總計184公尺，半徑41公尺，50層之辦公大樓幾乎全由加勁輕質骨材混凝土建造而成。

日本由於經濟之高度發展、投資建設費用巨大、天然骨材之枯竭等原因，急需人造輕質骨材之補充應用。第二世界大戰以前日本就開

始嘗試使用人造輕質骨材，但僅用於集體住宅等建築用途上，土木工程方面則一直沒有機會運用它。到了1968年4月才首次使用膨脹性頁岩燒成輕質骨材，也立刻引起興趣。至今由於建築界廢止了建物的高度限制，對於越高的建築物使用輕質骨材越有利的原因，在理論及實驗均獲得驗證，使人們對於輕質骨材更具信心。經1、2年後其生產量達到30萬立方公尺，強度也由 90kg/cm^2 、 $150\sim 180\text{kg/cm}^2$ 提高到 $225\sim 300\text{kg/cm}^2$ 。之後土木界也開始研究，歷經約七年進入實用階段，主要用於鐵路、道路橋樑上，也有使用於軟弱地盤上之鐵路高架橋建造，不但上部結構使用人造輕質骨材混凝土，在基腳部分也使用非造粒型膨脹性頁岩，這些進步都引起世界之注目。

目前世界上輕質骨材的大約年產量包括膨脹黏土（2333萬立方公尺）、膨脹爐渣（543萬立方公尺）、浮石（437萬立方公尺）、膨脹頁岩（211萬立方公尺）和膨脹板岩（45萬立方公尺）。每年總產量達5425萬立方公尺之多，其中以蘇聯、美國、德國、日本和加拿大最多[6.7.8]。表一為世界各國輕質骨材生產狀況。

2-3 落實本土化之研發與展望

以人造輕質骨材製作的輕質混凝土，在非結構性用途上，可基於其低熱傳導性製造成優良的隔熱建材；在結構性用途上，則除了量輕、自重降低而可減少建築成本外，在地震發生時，且可形成較小的水平作用力，對處於環太平洋地震帶上的台灣地區高樓建築深具意義。

世界上先進國家早在二、三十年前即已開發完成輕質骨材的燒製技術，並廣用於輕質混凝土的建構上。反觀國內，雖然台灣島上幾乎到處遍佈有頁岩、泥岩、粘土等可供輕質骨材燒製的料源，以往的研究發展卻僅止於骨材燒製層面的探討，未能達到量產的層次，更遑論輕質混凝土的工程應用。

由於輕質骨材的燒製技術早經建立，國內也有不少燒製經驗與成果，要將輕質骨材落實在國內製造、生產，使成為本土化技術應無本質上困難。但因料源的不同以及燒製作業的條件配合，往往會影響到燒製成效與輕質骨材品質，為能掌握骨材性質的穩定性，以符合量產的客觀條件要求，必須先進行有系統的燒製技術研究，以建立完整的製作流程和作業條件資料。

本計畫即基於上述考量，集合產、官、學界合力推動輕質骨材本土化量產的技術研究，從原料調查、勘採、試燒到量產，期望一方面探討出合理可行的輕質骨材燒製技術；另一方面同時將該等燒製技術轉移到工業界，達成輕質骨材在國內全面開發生產並應用於工程建設上的目標。針對上述標的，本計畫透過邀請與說明會，積極鼓勵相關廠商參與研究工作，以落實輕質骨材燒製技術到業界上。本計畫的研究目的因而可條列如下：

- (1)建立以台灣島上各地區料源燒製輕質骨材之技術。
- (2)鼓勵業界參與輕質骨材的製造開發研究，建立其應用於輕質混凝土上的信心。
- (3)轉移人造輕質骨材的量產技術至工業界。
- (4)建立各品質等級輕質骨材之性質資料庫。
- (5)提供以輕質骨材拌製輕質混凝土之技術資料庫。

輕質骨材及輕質混凝土科技在歐美已發展了七十多年，由於它擁有異於一般混凝土，如質輕，隔熱性能佳等之優點，已慢慢被工程界接受且應用在各種土木工程中。以國內目前條件觀之，因政府推動國建計劃導致混凝土需求量大增，河床砂石資源日益枯竭，加以政府為了水土保持及生態環境維護，已一再禁止開採河床砂石，山區砂石骨材開採不易運費高昂，骨材缺乏已成營建業極其嚴重問題，輕質骨材

之開發實有其必要性。輕質骨材製造技術比水泥製造程序簡易，以目前台灣水泥科技水準加上遍佈豐富之骨材料源蘊藏量而言，輕質骨材在國內的蓬勃發展是可預期的。

第三章 規劃與推動

3-1 學術界配合

3-1.1 成功大學土木系

本系前身爲土木科創於民國三十二年，於民國三十五年十月由省立台南高工升格爲台灣省立工學院，四十五年八月本校改制爲台灣省立成功大學，六十年八月升制爲國立成功大學。四十八年八月成立土木工程研究所碩士班。六十年八月增設土木工程研究所博士班，培育高級土木專業人才，適應國家經濟建設及研究發展。

土木系現有結構材料試驗室、結構力學試驗室、土壤試驗室、土壤動力試驗室、瀝青試驗室、岩石力學試驗室、量測試驗室，並逐年研訂調整課程內容之外，積極增添圖書雜誌及擴建試驗研究室，期使本系教學及實驗設備益見充實漸臻完善。本系所歷屆畢業生人數近四千五百人，在國內外工程界或在學術機關教學研究，均有優異之成就表現，頗受重視及讚揚。

有關輕質骨材領域方面，首推王櫻茂教授指導之研究室，其國內、外專題研究論文、報告有近百篇之多，並協助國內產業界對於混凝土技術疑惑之諮問，可謂是國內輕質骨材研究之前輩，本研究有幸能邀請王櫻茂教授及研究生（周永龍、吳明憲）協助推動，使本計畫得以順利執行。

3-1.2 中興大學土木系

於民國五十年八月成立土木工程學系（時隸省立中興大學理工學院），六十年七月本校改制爲國立大學，且在六十六年八月分別成立工程材料試驗室及土壤力學試驗室，並接受委託辦理工程材料試驗、結構物安全鑑定及各項土壤性質試驗。

民國七十五年八月顏聰博士爲第八任系主任暨研究所所長，七十

七年八月理工學院分別獨立，土木系所隸屬工學院，顏聰博士榮膺工學院院長，該年亦動工興建土木環工大樓。

土木系現有結構及材料試驗室、流體力學及水工試驗室、大地工程試驗室、測量試驗室、電腦設備、圖書期刊室等研究設備，其中結構及材料試驗室主要的研究成果有材料和桿件頻率測定、材料疲勞行為、RC結構物強度、高強度混凝土RC梁延展性、殘留應力測定、建材隔熱、結構物災後鑑定、混凝土高溫後性質、混凝土附加劑研究、高強度混凝土配合設計、超輕質及輕質混凝土之製造等。

在輕質骨材研究領域內，對於國內及歐美國家（尤其德國）輕質骨材之研究發展及實務作業最有系統之探討的，應屬於顏聰教授所指導之研究室，其對於輕質骨材技術之研究及貢獻，深得國內、外之肯定與尊重，並經常協助指導國內的產業界及榮工處以促進混凝土科技之提升；本研究案經由顏聰教授及陳豪吉、黃玉麟兩位研究員全力策畫執行得以順利完成。

3-2 產業界配合

本計畫亦有賴合作廠商方面的人力與經費充分配合，使得本計畫能夠順利推動並落實產業界，廠商之簡介如下：

3-2.1 東南水泥公司

創立於民國四十五年，迄今已逾36年，其間歷經五度擴建及一次合併，產能由最初年產2萬5仟噸至目前的180萬噸水泥。資本額24億元，年營業額約35億元。

- 1.營業項目：以產製卜特蘭第一型水泥為主，銷售國內外，另可應顧客要求供應特製水泥。
- 2.生產規模：擁有一套生產設備，鑒於市場需求及經濟效益，目前運轉兩套設備生產，實際年產量約150萬噸。

3.設備狀況：

(1)生產設備：

①新型懸浮預熱式旋窯（NSP）一座，產能3300T/D，德國POLYSIUS公司製造。

②懸浮預熱式旋窯（SP）一座，產能1300T/D，美國FULLER公司製造。

③雷波式（Lepol）旋窯一座，產能950T/D國造。

(2)製程控制：採用POLYSIUS公司發展的POLCID製程電腦自動控制系統。

(3)燒成控制：採用POLYSIUS公司開發的KCS旋窯燒成控制系統。

(4)配料控制：使用POLYSIUS公司的POLABIII全自動X光分析化驗及電腦配料系統，與製程及KCS連線，控制原料調配和燒成。

(5)研究發展：

①致力生產自動化。

②研製特種水泥，供LNG儲槽工程之用。

4.未來展望：

(1)配合政府產業東移政策，未來五年預定在花蓮和平水泥專業區，籌建年產150萬噸之水泥廠，以增加營運。

(2)開發特殊材料產銷。

3-2.2 亞洲水泥公司

於民國四十六年三月奉准登記設立，目前建有新竹和花蓮兩水泥製造廠，年產水泥約570萬公噸，及基隆研磨廠，樹林、林口、土城、汐止、台中等水泥製品廠，年產預拌混凝土約150萬立方米以上，資本額約101億元，年營業額約140億元以上，銷售網遍及全省、日本、香港、東南亞、及美國西岸等地區。

主要營業範圍如下：

- 1.有關水泥、水泥之半成品、水泥製品、預拌混凝土及混凝土添加劑之生產及運銷。
- 2.有關水泥原料、水泥製品原料及砂石之開採、製造及運銷。
- 3.建築材料及裝潢材料之加工、製造及買賣。
- 4.前述各項產品及有關產品、設備之進出口貿易、代理、經銷及買賣。
- 5.有關造林業務之經營。

目前之主要產品項目為：

- 1.卜特蘭第一型、第二型、及低鹼水泥與熟料。
- 2.特種規範水泥：依客戶特殊需求產製供應。
- 3.預拌混凝土。
- 4.石灰石。

亞洲水泥公司為不斷提升技術層次、改善產品品質、降低生產成本、增加產能、開發高附加價值新產品，以配合政府政策使產業持續升級精進，乃積極從事研究發展工作，茲將與混凝土及輕質骨材有關之主要研究項目列於下：

- 1.超高強度混凝土之研製及推廣。
- 2.人造輕質骨材之研製及推廣。
- 3.預鑄混凝土建材之研發。
- 4.混凝土用摻料之研發。
- 5.混凝土中摻加各種摻料之配比研究。
- 6.混凝土龜裂之原因及對策研究。
- 7.混凝土產生白華之原因及對策研究。
- 8.提升混凝土工作度之研究。
- 9.混凝土用一般骨材之研究。

10.巨積混凝土之研究。

3-2.3 國產建設公司

成立於民國四十三年，資本額約40億元，乃是一多角化經營的建設公司範圍廣泛，其主要產品有預拌混凝土、預力混凝土製品（電桿、基樁等），砂石、水泥、石棉浪板及隔間等使用之防火建材平板。並跨越地產業務，興建商業辦公大樓及住宅社區，土地開發等業務。

3-3 行政界配合

3-3.1 工業局

成立於民國五十九年，乃是國內工業發展推動極為重要的搖籃，其主要之功能及業務包括：(1)工業發展政策、策略與措施之擬定(2)工業升級有關計畫之推動(3)工業區開發與管理(4)工業發展有關財稅金融措施之擬定(5)工業污染防治、工業安全輔導及工廠管理(6)一般工業行政管理。

另外工業局亦與相關之機構緊密連繫及分工，以塑造國內工業發展最有利的環境。

3-3.2 內政部建築研究所籌備處

為因應國內建築快速發展，行政院於民國七十六年核準內政部營建署以任務編組方式成立建築研究所籌備小組。經過三年規劃籌備，鑑於「行政院組織法」及「內政部組織法」修正案，尚未完成立法，本所組織條例仍須時日始能完成立法，為使業務加速推動，行政院乃於七十八年九月核定「內政部建築研究所籌備處暫行組織規程」，將籌備單位由任務編組改為直接隸屬內政部之常設機構以加強推動全國建築研究發展，提昇營建技術水準、健全都市發展建設、改善全民居住環境品質。

現階段籌備工作乃策訂「研究發展」、「檢驗評鑑」、「資訊服

務」，及「推廣教育」等四大功能之工作重點及方向，略述如下：

- (1)研究發展方面：有關建築使用、建築經濟、建築文化、都市防災、建築結構、建築物理、建築設備、營造生產、建築技術、建築法規、建築材料及都市發展與社區公共設施等之研究。
- (2)檢驗評鑑方面：有關建築材料性能之檢驗、測試及認定，部品組件品質之檢驗、測試及認證，建築工法技術之評估、鑑定及確認，及建築設備性能之測試、試驗及認定等。
- (3)資訊服務方面：有關建築相關資料之蒐集建檔、國際資訊交流研究成果報告、研討會資料編輯、刊物發行、建築產品資訊展示及建築資訊諮詢服務等。
- (4)推廣教育方面：有關舉辦從業人員訓練、專業學術研討會、研究成果發表會、建管政令宣導，及標準化規格化建築組件之推廣等。

其中研究發展方面，有關於「混凝土科技」研究案中將「輕質骨材」技術之研究、發展、應用列為重點課題，希望結合產、官、學、研共同努力來推廣。

3-3.3 榮工處中壢預鑄廠

房屋工業化在我國應屬重要經濟建設之一環，鑑於傳統房屋的施工方式已不敷時代潮流趨勢，輔導會榮民工程事業管理處自民國六十七年起即以非常審慎之態度展開預鑄工法之研究，並廣泛的與國內外專家學者交換意見，最後決定引進瑞士 KONCZ 全自動化預鑄系統，並於六十九年中於中壢工業區內開工設廠，七十一年五月一日正式開工生產預鑄房屋組件及水泥製品加工，為我國房屋工業化政策填注新力量，提昇國內營建新技術。

本廠佔地面積約14,300坪，其中廠房面積約3000坪含有鋼筋加工場、水平模裝置場、水平模混凝土澆置場、垂直模裝置場、垂直模混

凝土澆置場、鍋爐房、蒸氣養生室、機械修配廠、混凝土拌合場及輕質骨材試燒設備，另外成品貯存場面積約7000坪。

本廠設廠之目標乃促進房屋建築邁向工業化，提昇我國營建技術水準；且開發各式輕質骨材預鑄品，推展多元化生產，配合國家工程建設，提昇品質及進度。

3-3.3 經濟部中央地質調查所

本所提供對各種地質環境的研究探討及規劃、管理、維護等，而任職於工程地質組的賴典章組長畢業於台灣大學地質系及亞洲理工學院研究所，有著渾厚的學養與豐富的實務經驗，對於本計畫之地質調查及料源取樣有莫大的幫助而得以順利推展。

第四章 料源分佈與特性

4-1 台灣地區料源之分佈及蘊藏量

4-1.1 台灣地區地層概況

一、地層劃分原則

地層單位的劃分，因研究目的與利用方式不同，而有各種不同的劃分方式，常用者有下列幾種：

(一)岩石地層單位(rock-stratigraphic units)

(二)生物地層單位(bio-stratigraphic units)

(三)時代地層單位(time-stratigraphic units)

岩石地層單位是以岩石之物理性質為地層分類之主要依據；生物地層單位則以地層中所含之生物化石種類、性質為地層分類之主要依據；時代地層單位則以地層沉積之時間為地層分類之主要依據。

在地質圖中因地形圖之比例尺、研究區域與研究目的等因素不同，而會採用各種不同之地層單位。以輕質骨材研究而言，因其主要對象為黏土、頁岩、硬頁岩與板岩或片岩，因此岩石地層單位是最適合之地層單位。但以目前在台灣之各項地質圖件及文獻資料中，時代地層單位仍是最常採用的方法，事實上在大部分之地質圖上，還採用修正之時代岩性地層單位，即以時代地層單位為主軸，輔以特殊之岩性地層單位，而綜合成地質圖。因此對輕質骨材料源之探討，首先須分析台灣之地層劃分與各分區之特性。

二、台灣地層劃分

台灣之地層依何春蓀[9]的劃分方式可以分為三個主要地質區(圖1)即：

(一)中央山脈地質區

中央山脈地質區又可以區分為兩個亞區，即：

a. 中央山脈東翼地質亞區

b. 中央山脈西翼及脊樑山脈地質亞區

(二) 西部麓山地質區

(三) 海岩山脈地質區

加上平原台地地區則共可分為四個地質區。

其中中央山脈東翼地質亞區主要由古生代晚期或中生代沉積之地層組成；中央山脈西翼與脊樑山脈地質亞區則由第三紀沉積之地層組成；西部麓山地質區則由第三紀中新世以後沉積之地層組成；海岸山脈與西部麓山地質區相似，亦以中新世以後沉積之地層為主，因其成因不同而劃分為兩區。至於平原台地地區則多為第四紀之沉積物覆蓋於第三紀地層之上。

三、台灣各地質區之地層

(一) 中央山脈東翼地質亞區

中央山脈東翼地質區，主要由先第三紀變質雜岩組成，由於化石缺乏，定年資料不足，因此此亞區之地層劃分採岩性地層單位，包括：

a. 黑色片岩

b. 黑色片岩、綠色片岩與砂質片岩

c. 變質石灰岩

d. 片麻岩和混成岩。

(二) 中央山脈西翼及脊樑山脈地質亞區

中央山脈西翼及脊樑山脈地質亞區主要為經過輕度變質之泥質沉積岩，依岩性組合不同而劃分岩層單位，其中脊樑山脈帶劃分為

b. 廬山層

a. 新高層

而雪山山脈帶則劃分為

- e. 澳底層
- d. 大桶山層
- c. 乾溝層
- b. 四稜砂岩
- a. 西村層

(三) 西部麓山地質區

西部麓山地質區主要由第三紀中新世以後的沉積岩組成，地層劃分以時代岩性地層為主，又因時代與地層之不同劃分為不同之地層單位，其中中新世之地層如表二；上新世地層如表三；而上新更新世地層如表四。此地質區為地質研究較豐富之區域。

(四) 海岸山脈地質區

海岸山脈地質區亦由第三紀中新世以後沉積之地層組成，因其成因不同而與西部麓山帶劃分為不同地質區，其地層包括：

- d. 卑南山礫岩
- c. 利吉層
- b. 大港口—奇美層
- a. 都巒山層

(五) 平原與台地地區

平原與台地地區主要由第四紀沉積物組成，包括下列各地層：

- e. 沖積層
- d. 隆起珊瑚礁
- c. 台地堆積層
- b. 恒春石灰岩
- a. 大南灣層

此類地層除石灰岩與珊瑚礁有膠結成岩外，其餘多為未固結之地

層。

4.1.2 料源分佈及蘊藏量

一、料源分佈

輕質骨材所需之材料以黏土、頁岩、硬頁岩、板岩或片岩等細顆粒含粘土礦物較多之土壤或岩石為主，因此富含此種材料之地層應為較具料源潛力之地層。茲將前節各地質區之地層中，含細材料較豐之地層分述如下：

(一)中央山脈東翼地質亞區

a. 黑色片岩

此片岩分佈於花蓮市南吉安至台東縣知本溫泉之狹長地帶，長約150公里，寬約7公里，以厚層黑色片岩夾厚層綠色片岩及砂岩組成。

b. 黑色片岩、綠色片岩和砂質片岩之互層

此岩層分佈於蘇澳南方延伸至台東太麻里溪北岸。

(二)脊梁山脈地質亞區之廬山層

廬山層由深灰色至黑色之硬頁岩、板岩及千枚岩和深灰色硬砂岩互層組成，分佈自宜蘭，南延至恆春、旭海，分佈廣闊。

(三)雪山山脈地質亞區之大桶山層

大桶山層由厚層深灰色至黑色硬頁岩及細粒砂岩組成，厚度在八百至二千公尺，由台灣東北海岸南延至玉山北方。

(四)中新世地層

a. 台灣北部之中新世砂頁岩互層

台灣北部中新世地層砂頁岩層中，偶有較厚層之頁岩，為具潛力之料源區。

b. 台灣中部之碧靈頁岩、打鹿頁岩、十六份頁岩

上列岩層厚度各在300 - 400公尺至100-200公尺不等，爲具潛力之料源地層。

c. 台灣南部之三民頁岩、十六份頁岩、茅埔頁岩

上列岩層厚度各在800公尺以上、200-250公尺與300-400公尺爲具潛力之料源區。

(五) 上新世地層

a. 台灣北部之錦水頁岩

此岩層厚度在100至300公尺爲重要料源區。

b. 台灣中部之錦水頁岩爲重要料源區。

c. 台灣南部之北寮頁岩、玉井頁岩(南化泥岩、古亭坑層)

上列岩層厚度都在1000公尺以上，爲重要料源區。

d. 台灣東部海岸山脈之大港口層與奇美層

此岩層有厚層深灰或黑色頁岩，厚度在1000公尺以上爲重要之料源區。

(六) 上新世—更新世地層

a. 台灣西部上新世—更新世地層多有厚層砂頁岩互層，爲重要之料區。

b. 台灣東部之利吉層爲厚層泥岩，厚度在1000公尺以上爲主要料源區。

(七) 第四紀地層

a. 台地堆積層表層有厚度在3~10公尺之紅土，爲具潛力之料源。

b. 沖積層有黏土分佈亦爲具潛力之料源。

：蘊藏量

由前節之描述可知富含細粒材料之地層，其厚度除第四紀地層較

薄外，其他地層之厚度少則100至200公尺，厚則經常超過1000公尺。而其延展短則數十公里，長者可達200~300公里。因此就輕質骨材料源之蘊藏量而言，在台灣應屬相當豐富。且其分佈適及台灣北、中、南部，而在東部地區亦有相當多的蘊藏。除前節所述之富含頁岩等細粒地層外，尚有許多砂頁岩互層分佈，其中部分頁岩也可厚達可經濟開發之規模，因此就料源之蘊藏量而言，台灣應屬蘊藏豐富地區。

蘊藏量多並不代表可採量多，可採量常取決於地形、交通、土地利用、經濟條件……等等各項自然與社經環境，因此可採量之評估僅對一特定區域範圍才可能做較詳細之評估，就全台灣進行可採量評估，實際意義甚微。

4-2 國內料源之特性

台灣地區之輕質骨材料源受沉積環境、地質構造、地形與氣候條件之作用而呈現其不同之特性。

4-2.1 沉積環境

輕質骨材料源多屬細粒之沉積物，細粒沉積物因其顆粒小，粒形扁、表面積大，因此較易懸浮於水中，隨水漂流，所以通常需在較深的海水中，因風、浪、河川等等作用較小，海水平靜才能慢慢沉積。此沉積槽如維持長時間之穩定，則頁岩等細粒材料可堆積成較厚之地層，但通常尚需配合沉積槽之緩慢下陷與沉積物之穩定供應。在4-1.2節中描述之厚層頁岩層大致符合此一條件。但沉積槽如受洪水、大陸坡底流等作用，在深海環境中乃可能帶來較粗顆粒之砂等濁流沉積物，因此在厚層細粒頁岩層中偶有不甚連續，厚度變異較大的砂岩層夾層出現。

除了較平靜之深海環境外，台灣其餘地層大多在較不穩定之沉積槽中形成，由於水深隨時間變化迅速，因此沉積物也粗細間夾，而形

成砂岩、頁岩互層，甚至有陸源沉積之礫石層。

4-2.2 地質構造

地質構造為地層受大地應力作用而發生變形、移位、破裂、扭曲等的各種現象。台灣地區處於板塊邊緣，地質構造運動持續而強烈，因此地層受地質構造影響甚大。大體而言，較老之地層受構造影響時間長、次數多，因此變形嚴重，地層延展探測較難；相對的較新的地層則受地質構造影響時間短、次數小，因此變形較小，地層延展較易追蹤。

在變質岩區，地層扭曲變形嚴重，地層甚難追蹤，除厚層板岩與片岩分佈地區可追蹤其分佈外，層位甚難確認。

麓山帶地層受構造影響相當大，但大致仍可追蹤其層位，只是地層多以呈不等角度之傾斜，甚至倒轉。

第四紀地層則受構造影響甚小，除部分台地有緩傾外，大多維持水平地層。

構造對細粒頁岩分佈的影響，對料源而言，可能為正面也可能為負面作用。其使地層變形，追蹤困難，是料源找尋不利因素；但其使深埋之料源，因岩層之傾斜而得露出地表，則為有利因素。

4-2.3 地形與氣候條件

地形因素對料源之出露亦有影響，平原與台地地區，地形平緩，地層亦平緩，因此僅出露於地表之料源或地表蓋層不厚地區之料源可能被採取。在麓山帶或山地，則不同的坡度，坡向配合地層之傾斜、走向，幾乎各種地層皆可能在不同之地區出露，使每一層料源都有被開採之可能。但台灣地區太陡的山地或交通特別不便之處，卻也成為料源開採之另外一種限制。

氣候條件對料源之影響，在台灣地區較不顯著，一個較明顯的作

用是對第四紀台堆積層的紅土化作用，紅土原來可能是含砂較高之土壤，因淋餘作用，而使砂含量降低，相對的鐵鋁含量富集，成為可用之料源。

第五章 取樣作業

5-1地區勘查與採樣

台灣地區具輕質骨材料源潛力之地層分佈甚廣，因此就料源之選擇原則而言，應可有兩個不同的方向，即：

一、調查各具潛力地層，評估各地層做為料源之優劣。

二、以預定生產輕質骨材工廠為中心，在一定距離內找尋可用料源。

第一種方式屬於資源調查性質，優點為能了解國內各具潛力地層之分佈、性質、儲量，並可評估其開發潛力與市場需求之平衡。但缺點則需投入大量人力、物力與時間，時效上較困難掌握。通常此項工作應由政府單位進行，目的在掌握國內資源，以使資源得以合理經營，屬於較重大之基礎調查工作。

第二種方向則以實用為考慮輾向，在預定生產地點或預定供應市場為中心，一定距離內尋找料源。其優點為可在短時間內找到料源，達到供應工廠生產之需；其缺點則為僅能獲得特定點之資料，對區域性之料源資料無法掌握。

本計畫因綜合產、學、官之需求，進行輕骨材混凝土之研發，而以業界之配合為推動之重點，因此料源選擇上採用第二種方向，以業者可能生產地點附近區域之料源選擇為方向。又由於專以輕質骨材性質為對象之調查資料缺乏，因此料源之選擇以業界提供之地點為主，再加入參與計畫之地質人員對各地層之性質了解，為過濾之方式，進行初步之料源地點選定，然後從事現場採樣、化學分析與試燒等。

本次參與計畫廠商共有東南水泥公司、亞洲水泥公司與國產建設公司等三家，其中東南水泥公司與亞洲水泥公司提供可能料源地區；而國產建設公司未提供料源區，因此勘查料源則以亞洲水泥公司與東南水泥公司為主。

一、東南水泥公司料源勘查與採樣

東南水泥公司位於高雄半屏山之東麓，半屏山為位於高雄平原上之獨立單面山，由石灰岩構成，向東南傾斜約30- 35度的順向坡，西北側則為較陡之斜坡或斷崖，石灰岩厚40至60公尺，其下為砂頁岩互層[10]。層位上半屏山石灰岩相當於第三紀上新世古亭坑層之上部[11]。由於在石灰岩之下即為古亭坑層之砂頁岩互層，而在半屏山以泥岩層為多，未見有顯著之砂岩層，且因就在東南水泥之礦區範圍內，採樣較容易。

半屏山東斜坡為石灰岩層所形成之順向坡，其西面才有泥岩之出露，但因石灰岩之開採，半屏山之頂部已降低，且已有泥岩層露佈。因此經現場勘查後決定以嶺頂之泥岩為採樣進行分析之對象由於半屏山之泥岩呈厚層狀，層理不明，因此採樣時以隨機取樣 5點(圖2)，進行分析。

東南水泥公司除石灰岩層下之泥岩外，該公司尚經當地廠商由奧深水附近採取古亭坑層之頁岩做為水泥製作填料，因在採樣時亦由廠內之儲料區採取 3個樣品，一併進行化學分析。

半屏山泥岩因砂與粘土或粉砂混雜，無明顯之葉理，亦無明顯之砂岩夾層，而砂、粉砂與黏土之比例，則因地點而變異，因此統稱為泥岩。而現場觀察之結果亦可見砂質含量隨時改變，除砂含量有變異外，泥岩中含有相當數量之貝殼化石或其碎片，由於貝殼的含量可能使樣品之氧化鈣含量偏高。

奧深水之樣品，其顏色稍深，含水量較高，且較具塑性，可見粘土之含量較高；至於貝殼化石則與半屏山相似，肉眼即可明顯觀察其存在。

二、亞洲水泥公司料源勘查與採樣

亞洲水泥新竹廠位於新竹橫山，其所生產水泥之石灰石料源位於廠區之東約 9 公里之帽合山附近。因此可能輕質骨材料源以其礦區及採土區為探討對象。亞泥之採土區有四個，包括大潮地區、橫山地區、十分寮地區與銅鑼圈等地區，而其礦區亦為料源之主要考慮對象。因此亞洲水泥共提出採樣地點五處，分別為大潮地區、橫山地區、十分寮地區、玉山礦場與關西銅鑼圈台地。茲將各地區之採樣情形敘述如下：

(一)大潮地區

大潮地區位於竹東之南南西方，約 5 公里處，露佈之地層為錦水頁岩，岩性以深灰色頁岩為主，通常夾有暗灰色凸鏡狀砂岩層以及粉砂岩和泥岩之薄層[12]由現場觀察亦發現該地區地層向東北緩傾斜，頁岩層中有砂岩或粉砂岩之夾層出露。而現場採取之土樣共有 8 點[圖3]包括較純淨之頁岩與含砂質較高之夾層。

(二)橫山地區

橫山地區位於竹東東南方約 4 公里之處，露佈之地層為卓蘭層。卓蘭層由砂岩、粉砂岩、泥岩及頁岩之互層所組成，砂岩常呈淡青灰色或淡灰色，細粒略含雲母，層厚自數十公分至二公尺。頁岩和泥岩呈現青灰色或暗灰色，一般層厚在二十至五十公分，部分則有較厚的頁岩層[12]由現場勘查發現，此處之卓蘭層以粉砂質泥岩為主，含量相當高，但局部則間夾有較純之頁岩。現場採取土樣 3 點(圖4)。

(三)十分寮地區

十分寮地區位於竹東之東南東方約 7 公里之九讚頭附近。露佈之地點為南莊層，南莊層分上下兩段，此處屬於上段地層，岩層以含中至粗粒白砂岩為其特徵，白砂岩通常呈厚層或塊狀，厚

度在數十公尺至 100公尺以上，除白砂岩外，本段內尚有砂、頁岩薄層及煤層[12]。由現場勘查，採樣地點附近為砂頁岩互層，頁岩通常夾於砂岩層中，因受剪力作用，岩層相當破碎。現場共採樣 3點(圖5)。

(四)玉山礦場

玉山礦場位於竹東東北東方約15公里處，露佈之地層依[13]的描述為石底層之上部，在石灰岩上有50公尺之砂頁岩互層富含植物化石。而塗和陳[12]則將此處劃分為北寮層。由現場勘查發現此處主要為砂頁岩之薄互層，砂岩通常厚在2~5公分，頁岩稍多。砂岩部分延展佳，但多數呈薄透鏡體，散佈於頁岩層中。在砂頁岩互層之上，層部有一厚層砂岩，厚度 5至10公尺，其底部有較厚層之頁岩沉積，厚度1至4公尺不等，延展不良，呈透鏡體不規則出現，頁岩與砂岩間常有頁岩→泥岩→粉砂岩→砂岩之漸變情形。現場在砂頁岩互層中共採樣6點(圖6)。但其後之試燒採樣則採厚層頁岩為試樣，進行試燒。

(五)關西銅鑛圈地區

關西銅鑛圈地區位於龍潭西南約 5公里處。露佈之地點為店子湖層[14]，店子湖層下層為礫石層，其上則有一層紅土發育，紅土層厚薄不一，由數十公分至 5公尺不等。因亞泥將紅土列為輕質骨材之最後一個對象，因此未引導研究小組赴現場勘查，採樣是以廠區內之儲料為對象，共採土樣 3個。

經化學分析結果，每一個採樣區土樣之化學成份皆符合輕質骨材料源之標準(見5- 2)。經亞泥公司考慮之結果，以石灰岩礦區為試燒對象，其原因主要有兩點：一是因該礦區砂頁岩互層甚厚，分佈甚廣，儲藏量甚豐；更重要的一點是因該岩層覆蓋於石灰石上，在石灰

石之開採上，此岩層為需祛除之覆蓋層，棄土需大片棄土場與設施，如能變為輕質骨材之料源，則可點石成金，一舉兩得。

由於礦山之砂頁岩互層均質性甚差，在採樣進行化學分析時，地調所已注意到此特徵，且懷疑是否化學成分為絕對之料源評選標準，因此採樣時即建議亞泥除化學分析外，同時進行粒經分析，粒徑分析僅做200號篩之留篩百分比，分析之目的，僅在確定粘土之比例，通常粘土粒徑小於74 μ m。經亞泥公司以浸水1至2天，分散土樣後篩分結果如表五。由表五可見大潮地區與關西銅鑛圈地區之砂與粉砂含量少；但橫山、十分寮與礦山則砂質含量甚高，尤其以礦山地區特別高，此與岩層之特性有關。

因為有了東南水泥半屏山泥岩中砂岩薄夾層試燒不膨脹之經驗，亞泥礦場之砂頁岩互層，砂岩含量甚高，且層厚在2至3公分者相當普遍，如直接採取此岩層為料源，進行非造粒之試燒，其結果不理想已非常明顯。經各方面人員於現場討論後，決定暫時不採此岩層為料源，而在礦區另尋純度較高之頁岩為採樣對象。經勘查礦區後，發現在此砂頁岩互層之頂部與上盤厚層砂岩之交界處，有一層厚約1至4公尺，延展不甚良好之頁岩層，局部有砂岩之薄層夾層，但含量較其下之砂頁岩互層少甚多，由於採樣預定地為一採礦平台，而地形上呈一反向坡，因此頁岩層有許多岩塊崩落於平台上。純度較高之頁岩，由其表面乾燥所形成之小片方形扁平裂片，容易區分，現場則以此種岩塊為採集之樣品，此樣品經送榮工處擅燒後，發現燒成結果甚佳。

為進行混凝土拌合試驗，需輕質骨材約5立方公尺，因亞泥礦區之頁岩燒製成果佳，因此仍選亞泥礦區之頁岩為採樣對象，八十二年四月廿一日，建研所、榮工處、亞泥與地調所再度赴亞泥礦場採樣，此次因有怪手作業，因此不再以檢拾崩落岩塊之採樣方式，而由地質

人員勘查選定一處位置後，以怪手直接挖掘新鮮岩塊為試燒之材料。

5-2 料源樣品之化學分析

燒製輕質骨材用之料源經現場勘查及原料試樣選取後，需對原料作化學成分分析，進而評估其適用性，以為試燒前之參考。此次原料試樣分析工作由東南水泥公司及亞洲水泥公司試驗室負責完成。

對於輕質骨材燒製用原料的選擇，基本上尊重參與廠商的意願，同時考慮料源的分散與均佈原則。依東南、亞洲兩家水泥公司提出的料源區建議，在南部的東南水泥廠半屏山腰取有5個泥岩試樣，以及在深水崖（旗楠公路旁），選取3個泥岩試樣，兩個地點共8個樣本的化學分析結果如表六所示。另外，在北部亞泥新竹製造廠地區的大湖區、田寮區、十分寮區、赤柯山礦區及銅鑼圈紅土區，分別選取8個、3個、3個、6個及3個，總共23個試樣，其化學分析結果如表七所示。

上述各區原料的化學分析結果即可利用化學成分三相圖研判其適用性。首先將表六、表七的試樣成分比例繪成圖7及圖8。從圖7上可看出，半屏山腰的泥岩成分雖與深水崖產區的泥岩稍有差異，但是八個試樣都涵蓋在適合做為輕質骨材原料的範圍內，在現場採樣時，原先擔心半屏山泥岩中含有貝殼碎片，可能使CaO含量偏高，但在採深水崖樣品時亦發現含有貝殼碎片，兩者較不同的是深水崖樣品黏性較大，顯然含黏土較高，由圖7化學分析結果顯示，深水崖地區樣品之CaO含量反而相對偏高，但因其含砂與粉砂量較低，因此SiO₂的含量較低。本次輕質骨材的燒製研究，即從半屏山腰取樣。另從圖8觀察時可知，大湖地區的八個試樣中，只有TW1和TW8不適宜，其餘六個地點的試樣都適用。橫山地區的三個試樣成分差異性頗大，TL1的SiO₂量太大已超出適用範圍，TL2及TL3則可做為燒製原料。十分寮地區的三個試體、礦山表土的六個試樣以及關西紅土的三個試樣，可由圖上

比例點看出，都適合作為輕質骨材的燒製原料。在大湖地區可見含砂較多之岩層與較純之頁岩形成互層，尤其以第一採樣點為明顯，因此由圖8第一圖TWI-4之 SiO_2 含量變異甚大；而第二採樣點則為較純之頁岩，因此TW5-7成份較均勻，而第三採樣點則明顯為砂岩夾層故TW8的 SiO_2 含量甚高。

在橫山地區亦為砂質泥岩分佈區，砂岩夾雜於泥岩中，因此TL1-3之 SiO_2 含量變化較大。十分寮地區砂頁岩互層明顯，但採樣時選頁岩，因此TT1-3未顯示太大的成份差異。

礦山地區為砂頁岩薄互層，砂頁岩各以數公釐至數公分之厚度形成薄互層，採樣時未刻意加以區分，因此化學成分因採樣點不同而有相當大的差異。關西紅土則顯示化學成份較均勻，且Ca,Mg等成份較低，此與紅土之形成有關，因紅土為淋餘土，Ca,Mg等成份因淋餘而減少。

基於所有原料試樣的化學分析結果，即從適合作為燒製輕質骨材的原料區大量取樣試燒。此次試燒取樣料源區經工作會議討論後決定取東南水泥半屏山地區及亞洲水泥礦山表土區。

第六章 輕質骨材試燒

6-1 儀器設備規劃

本計劃燒製輕質骨材設備是採用燃燒重油之旋窯配合現場輸送帶自動送料、出料，燒製完成之輕質骨材則利用各種儀器進行性質之測定，下面針對較重要之儀器設備詳述如后。

1. 旋窯

輕質骨材試燒用之旋窯（70cm ϕ ×700）（如圖9），是民國60年由成大土木工程系向國科會申請專題，獲得補助所購買。此次為繼續研究之方便，經國科會同意，將旋窯之管理權轉移到中興大學，而旋窯移到榮工處中壢預鑄場安裝，整修，設置完成並進行試燒。由於原機燒製骨材溫度無法有效控制，燒成骨材產品性質差異頗大。為提高試燒技術及準確控制燒製溫度，於原旋窯機組上加裝旋桿式溫控設備。目前窯溫誤差達 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 內，已可精確控制燃燒溫度及燒製不同品質等級之骨材。

2. 瞬間吸水量測定儀

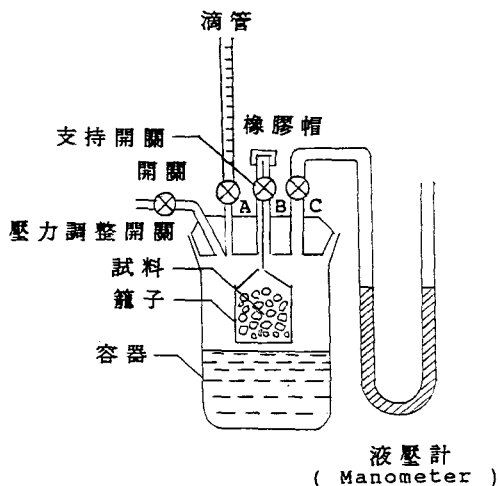
在調查輕量骨材之吸水特性時，絕乾狀態骨材的瞬間吸水與置換吸水必需分開考慮。瞬間吸水量測定裝置是為測定瞬間吸水量而設計。

主要裝備有：

- (1) 容器：壓克力製，容量10 l
- (2) 試料容器：44 μ 金屬網製，100 cc
- (3) 滴定管：玻璃製，30 cc
- (4) 壓力管：U字型200 mm
- (5) 活門：球活門3個

在此所謂瞬間吸水量不是指骨材顆粒內之空氣與水互相置換，而

是假設瞬間所引起之吸入水，其設計之裝置，如下圖：



測定程序如下：

1. 正確量測400 cc之水，注入玻璃容器內。
2. 取絕乾狀態之試料100 g，放入44 μ 金屬網籠內，用金屬細線吊下而不與水接觸，並將其先端固定於活栓B。
3. 關閉活栓A，將水注入滴管內，正確地測定其水頭。
4. 將活栓C打開，等容器中之壓力與大氣壓相等後，關閉活栓C。此時壓力計之水頭成為相等，這表示容器中之壓力保持大氣壓狀態。
5. 在轉動活栓B時，切斷吊金屬籠的細線，使放置試料的金屬籠落入水中。此時系統內的壓力瞬間降低到相當於骨材表面之玻璃層毛細管所引起的吸附部分。
6. 瞬間吸水量可由開活栓A，等到系統的壓力回復至原狀。（即系

統內的壓力與大氣壓相等，壓力計的水頭相同時）將滴管中的水注入容器內量其水量即可獲得瞬間吸水量。瞬間吸水量可由下式計算之：

$$\Delta V = \frac{\Delta P}{P - \Delta P} V$$

V = 容器內的水容積

ΔV = 瞬間吸水量

P = 原來的壓力（大氣壓下，設 $P = 1$ ）

3. 碎石機

料源區取樣之塊狀岩石需經碎石機打碎後，再進旋窯燒製輕質骨材，為此本計劃購置一台碎石機，碎石量為每小時364公斤，入口尺寸9×4英吋，最大餵入骨材粒徑2英吋，外觀尺寸71×48×81公分，其碎石尺寸1/16 - 5/8英吋間。

4. 造粒機

為配合未來研發方向，生產造粒型輕質骨材，本計劃已洽購一台造粒機，配合泥漿射出機之使用，進行骨材造粒生產並燒製成造粒型輕質骨材。

6-2 骨材試燒程序

本計劃燒製輕質骨材的原料，係由地質調查所依參與廠商之意願，選定料源區原料試樣，並進行化學成分分析後決定選取半屏山及礦山表土兩區為大量採樣試燒料源區，經現場採樣送榮工處中壢預鑄廠。其試燒製作程序如下：

- (一)由料區運回塊狀之膨脹性頁岩，由破碎機先行打碎為3"/4~#8之顆粒。

(二)將上述之粒料經過篩分機後，先分成 $3\frac{3}{4}$ ~ $3\frac{5}{8}$ 及 $3\frac{5}{8}$ ~ $\#8$ 兩群，然後，將其置於烘箱中，以 100°C 予以完全烘乾。

(三)將旋窯逐漸加溫至 1000°C 以上，放入 $3\frac{5}{8}$ ~ $\#8$ 完全乾燥之原料至旋窯中，原料於旋窯內經過高溫，表面形成熔融之玻璃相而內部膨脹成多孔質之人造輕質粗骨材。

(四)俟上述材料燒製完成後，再將 $3\frac{3}{4}$ ~ $3\frac{5}{8}$ 完全乾燥之原料置入旋窯中，其處理同(三)項。

(五)燒製完成之產品，俟冷卻後，於實驗室測試其比重。

(六)其比重與旋窯之轉速、溫度有關，本實驗之原料，在 1100°C 左右，可燒製比重 $1.5\sim 1.8$ 之輕質粗骨材，在 1150°C 左右可燒製比重為 $1.2\sim 1.5$ 之輕質粗骨材，在 1200°C 以上可以燒製比重低於1之輕質粗骨材。

6-3 試燒結果之分析與比較

由料源區送回之頁岩原料、經破碎機破碎成 $3\frac{3}{4}$ ~ $\#8$ 篩之粒徑後，先行完全烘乾再置入旋窯燒製成輕質骨材。由燒成之輕質骨材觀之，亞洲水泥礦山表土區之頁岩膨脹結果在各群粒徑間相當一致。在相同燒製溫度下，輕質骨材各群粒徑間所得之顆粒密度在 1.42 至 $1.49\text{g}/\text{cm}^3$ 之間，如表八所示。顯示礦山表土地區頁岩成分整齊，膨脹效果較一致，縱然在小顆粒時，其燒成之輕質骨材顆粒密度雖有較大之趨勢，但與較大顆粒時並無明顯差異。東南水泥半屏山地區之頁岩在相同燒製溫度時，產製所得之輕質骨材顆粒密度在 1.06 至 $1.93\text{g}/\text{cm}^3$ 之間，如表九所示。顆粒粒徑愈小者其顆粒密度愈大，可能是小顆粒者，高溫燒製過程中不易形成玻璃相包覆表面層，致使內部氣體較易於逸出，無法存留內部造成氣泡，顆粒內部孔隙含量較小所致。惟大顆粒者，膨脹效果甚佳，尤其 $3\frac{3}{4}$ 部分顆粒呈渾圓狀，且有緻密

之表面層，顯示有良好之膨脹過程。

綜觀以上已完成試燒的半屏山及礦山表土區原料，雖然所得骨材顆粒密度有所差異，但皆在輕質混凝土適用範圍內，而且輕質骨材表面緻密性都相當良好，顯示兩區頁岩所燒製成之輕質骨材應可作為拌製輕質混凝土骨材之用。

6-4 輕質骨材之物理性分析

已完成試燒的礦山表土區及半屏山區原料，其輕質骨材物理性質，包括顆粒密度及吸水率的測試結果如表八、九。表上資料顯示，礦山表土區的顆粒密度大致上在 $1.4 \sim 1.5 \text{ g/cm}^3$ 之間，與原設計的燒製目標吻合，30分鐘吸水率約7.7%，24小時飽合吸水率約12.6%，都在合宜的人造輕質骨材需求性質範圍內。半屏山區輕質骨材顆粒密度大小隨粒徑之變化而改變，從 $1" \sim 3"/4$ 粒群之 1.06 g/cm^3 至 $3"/8 \sim \#4$ 粒群立 1.93 g/cm^3 ，骨材顆粒粒徑愈小膨脹效果愈差，惟依ACI規範規定之粗骨材級配曲線取各粒群級配時，其級配後整體粗骨材之顆粒密度亦落在 $1.5 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ ，與原設計之燒製目標大致吻合。30分鐘吸水率約5.4%，24小時飽和吸水率約7.3%，對輕質骨材而言，吸水率較小，表示顆粒表層具有相當良好之緻密性。

多位學者曾提出建議[15][16]，要製成 200 kg/cm^2 抗壓強度以上之輕質混凝土，其粗骨材顆粒密度不得小於 1.0 g/cm^3 ；一般土木工程用輕質混凝土粗骨材宜取約 1.4 g/cm^3 ，細骨材約 1.8 g/cm^3 較適宜。上列燒製骨材雖然比重稍大，但應用在輕質混凝土時，可得更佳之抗壓強度結果。

一般輕質骨材之吸水率，不但平均比較大，且變化大而不穩定，就上述兩地區之骨材觀之，24小時吸水率均未達13%以上，與一般人造輕質骨材吸水率10%~30%比較屬偏低[17][18]，尤其半屏山地區

骨材24 小時吸水率僅達7.3%，顯示骨材顆粒表殼封閉性良好，此項特性對新拌輕質混凝土工作性之維持，有相當穩定之效用。

第七章 應用與發展

7-1 混凝土配合設計

輕質混凝土的配合設計仍採用材料體積觀念，對於骨材部分的計算，須注意粒徑不同其密度將有所差異的事實。例如東南水泥半屏山地區骨材粒群1"~3"/4部分顆粒密度僅 1.06g/cm^3 ，而3"/8~#4部分已達 1.93g/cm^3 。在進行配比計算時，若依ACI規範建議之級配法考慮，取粒徑1"~3"/4部分骨材體積百分比10%，粒徑3"/8~#4部分骨材體積百分比40%，則因顆粒密度之不同，其重量百分比1"~3"/4部分僅為6.3%，而3"/8~#4部分骨材其重量百分比達45.7%，對於輕質骨材的級配因而須小心處理。

就普通混凝土工學上的考量，骨材最大粒徑愈大對混凝土品質愈有利。此觀念在輕質混凝土方面，對拌合用水量的減少可獲得一樣的效果，不過因粒徑愈大的輕質骨材，其強度愈低，足以造成對混凝土強度的影響，這是配合設計上須加考量的一個重要因子。基於材料體積法參考德國國家標準DIN進行。以下為輕質混凝土配合設計的實際範例。所得配比資料如表十、十一，其中骨材之砂率取40%，且砂之部份都採用天然砂。

設計實例

1. 設計條件

(1)坍度：4~8cm (2) $D_{\max}$ ：3"/4

(3)空氣含量：2.5% (4)砂率：40%

骨材性質與吸水率(30min)：	比重	吸水率(%)
3"/4	1.06	5.89
1"/2	1.47	5.28
3"/8	1.73	5.27
#4	1.93	5.15

天然砂比重(S.S.D.) : 2.63

水 泥 比 重 : 3.15

2. 配比計算

單位水泥用量 : $C=300\text{kg/m}^3$

單位水用量 : $W=195\text{kg/m}^3$

故所需骨材體積 : $V_a=1000-(300/3.15+195+25)=684.76(\text{ℓ})$

粗骨材部分 : $684.76 \times 60\% = 410.86(\text{ℓ})$

粗骨材各粒群體積混合比例 :

3"/4 10%

1"/2 20%

3"/8 30%

#4 40%

依此比例混合已能符合標準級配曲線

粗骨材用量 :

3"/4 $410.86 \times 10\% \times 1.06 = 43.55(\text{kg/m}^3)$

1"/2 $410.86 \times 20\% \times 1.47 = 120.80(\text{kg/m}^3)$

3"/8 $410.86 \times 30\% \times 1.73 = 213.24(\text{kg/m}^3)$

#4 $410.86 \times 40\% \times 1.93 = 317.18(\text{kg/m}^3)$

天然砂 : $684.76 \times 40\% \times 2.630 = 720.37(\text{kg/m}^3)$

輕質骨材須考慮30分鐘吸水量 :

3"/4 $43.55 \times 5.89\% = 2.57(\text{kg/m}^3)$

1"/2 $120.80 \times 5.28\% = 6.38(\text{kg/m}^3)$

3"/8 $213.24 \times 5.27\% = 11.24(\text{kg/m}^3)$

#4 $317.18 \times 5.15\% = 16.33(\text{kg/m}^3)$

$$\begin{aligned}\text{故拌合水用量} &: 195 + [2.57 + 6.38 + 11.24 + 16.33] \\ &= 195 + 36.52 = 231.52(\text{kg/m}^3)\end{aligned}$$

$$\text{骨材30mm吸水量} : 36.52(\text{kg/m}^3)$$

$$\text{設計混凝土單位重} = 1946.66(\text{kg/m}^3)$$

7-2 混凝土拌製作業

輕質混凝土拌製之目標除了要求具有強度及工作性外，必需符合質輕之條件。ACI318規定輕質混凝土單位重量最大值為 1.85T/m^3 ，影響輕質混凝土單位重最主要的因素為粗、細骨材之顆粒密度，為能有效降低混凝土單位重以達質輕之效果，可由降低骨材之密度著手。但因輕質骨材顆粒密度愈低、其強度相對地亦愈差，所拌製成之輕質混凝土強度將受限於骨材強度而無法有效提高。

混凝土中的拌合水除了少部分供水泥水化作用外，大部分是形成稠度使其工作性，而輕質骨材之吸水率變化大且不穩定，將直接影響混凝土拌合用水量，間接左右水灰比和混凝土稠度。由多位前人研究證實[16,18]，人造輕質骨材在絕乾狀態下浸入水中，前2分鐘之瞬間吸水率約達24小時吸水率之25至30%，以後吸水速度非常緩慢。顯然由於輕質骨材吸水率大所造成的困擾只在新拌混凝土澆置前較為重要。故為配合實務需求，可在骨材面乾內飽和吸水率外，另訂一拌製施工用的某一時間內吸水率，以為拌製混凝土時用水量之依據。例如德國工程界即以30分鐘吸水率為準[19]。本計劃在輕質混凝土配合設計時，即額外考慮輕質骨材30分鐘吸水量，於拌製時加入，測定稠度時，亦以拌合30分鐘後為測定時間。

進行拌合作業時，輕質骨材的乾濕狀況必須正確掌握。將骨材充分預濕以供拌合為不可行的做法，目前大都採用接近乾燥，即零含水率的骨材於拌合上。由於輕質骨材的吸水率甚大，則於乾燥骨材外另

加的拌合水量相當大，一次加入總水量的作法，有造成混凝土稠度過小而有析離現象的危險。故於拌合施工上，常將輕質骨材與部份拌合水先攪拌，隨後再與水泥等材料一起混合。

粒徑較大的輕質骨材，其強度較差，單位重也較小，進行混凝土拌合時，拌合時間不宜過長，一般拌合機的攪拌時間最好不超過90秒，以防止造成顆粒破壞或水泥漿下沉的析離現象。

較輕的大粒徑輕質骨材，在強烈的振動夯實或長時間的夯實作用後，將會浮上混凝土表層，形成混合不理想的析離現象；這種情形在稠度愈小的輕質混凝土愈容易發生。另一方面，輕質混凝土卻因其振動阻尼效應較大，而需較大的振動能量以達成夯實效果。故於夯實施工上須適當處理之，例如部份學者[20,21]即建議正常條件下以2分鐘為限。

半屏山地區及礦山表土區之新拌輕質混凝土性質如表十、十一。由表中資料可知，新拌混凝土實測之坍度、單位重及空氣含量與設計值相當接近，顯示配合設計所得之配比資料極為可靠。此一事實，為硬化混凝土品質控制之良好保證。

另外，為實際瞭解廠拌作業與試驗室拌製作業過程及新拌混凝土性質上之差異，取亞泥礦山表土料源燒製大量輕質骨材送高雄國產建設公司中華預拌廠，進行現場廠拌作業。取用輕質骨材之物理性質試驗結果如表十二，與前批骨材（表八）比較得知，兩批輕質骨材物理性質相近，因此依前節所述配比計算方法得結果如表十三，就此配比於預拌廠內進行試拌，其拌合下料程序，同前所述，即骨材先行預濕，並取30分鐘骨材吸水量為骨材拌製時吸水標準，其新拌混凝土性質如表十三所示。結果顯示，空氣含量及單位量與設計值相接近，坍度值因現場細骨材料源受雨淋含水率變動過大影響，稍有誤差。就總體而

言，廠拌結果亦在預期之中，顯示前節配比設計所得資料應用在預拌輕質混凝土大量拌製時，依然可得可靠結果。

7-3 輕質混凝土試驗

利用前述所得配合設計結果，就礦山表土及半屏山地區燒製成功之輕質骨材，選定六種不同水泥量，採用相同粗骨材最大粒徑進行混凝土拌合及試體製作，從而測取7天與28天的抗壓強及28天的混凝土乾燥單位重。所有抗壓試體尺寸統一為 $10\text{cm}\phi\times 20\text{cm}$ ，以三個為一組，取其平均值為測值。由抗壓強度及單位重測定結果，可比較瞭解利用此兩料源區燒製之輕質骨材所拌製輕質混凝土，其物理及強度性質上之不同，以及與普通混凝土之差異。

亞洲水泥礦山表土區骨材部分，每立方米混凝土的水泥量取250kg、300kg、350kg、400kg、450kg、500kg六種，粗骨材最大粒徑 $3\frac{3}{4}$ 吋，坍度取4~8cm，以相同骨材級配條件製作輕質混凝土試體。所有配比結果如表十，混凝土7天及28天抗壓強度及28天乾燥後單位重試驗結果列於表十四。由抗壓強度可初步看出，所拌製的輕質混凝土均等性並不遜於普通混凝土，表示本次研究對輕質混凝土的配合設計及拌合技術相當理想。再由表列值中，28天混凝土乾燥單位重在 $1.68\sim 1.78\text{kg}/\ell$ 間，水泥含量愈高，單位重愈大與理論相符。與普通混凝土比較(取單位重 $2.3\text{ kg}/\ell$)約可減輕重量四分之一。由抗壓強度結果可知，當水泥含量 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 時，28天強度可達 $290\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，此結果與一般常重混凝土所得相若。當水泥量 $350\text{kg}/\text{m}^3$ 時，28天強度甚至可達 $387\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，顯示輕質骨材條件相當良好。

東南半屏山區骨材部分，每立方米混凝土的水泥量同樣取250kg、300kg、350kg、400kg、450kg、500kg六種，其他配比條件與礦山表土區骨材亦一致，惟兩區骨材顆粒密度及吸水率有所差異，如表八、

九。所有配比結果如表十一，試體強度及單位重試驗結果如表十五。表中資料，六組試體28天混凝土乾燥單位重在 $1.81 \sim 1.89 \text{ kg}/\text{l}$ 之間較一般常重混凝土減輕重量五分之一。再由抗壓強度結果，當水泥量 $300 \text{ kg}/\text{m}^3$ 及 $350 \text{ kg}/\text{m}^3$ 時，28天抗壓強度為 $297 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 及 $319 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ，顯然都已適合作為結構營建用。

就以上兩區骨材綜合觀之，東南半屏山區骨材因小顆粒部分比重較大，因此導致拌製之輕質混凝土單位重較高，但都還在輕質混凝土適用範圍內。在水泥含量低於 $300 \text{ kg}/\text{m}^3$ 時，兩區骨材所得輕質混凝土抗壓強度相當，水泥含量大於 $350 \text{ kg}/\text{m}^3$ 時，半屏山骨材所得抗壓強度明顯偏低，此是由於半屏山骨材大顆粒部分密度偏低，強度較差，致使輕質混凝土抗壓強度之提昇受限於骨材強度所致。但整體而言，水泥含量 $250 \text{ kg}/\text{m}^3$ 及 $300 \text{ kg}/\text{m}^3$ 時，抗壓強度可達 $210 \text{ kgf}/\text{m}^2$ 及 $280 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ，已具備結構用混凝土之條件。

兩區骨材之抗壓強度結果繪成圖10、11，由兩圖比較得之，當水泥量超越 $350 \text{ kg}/\text{m}^3$ 時，半屏山地區輕質混凝土抗壓強度約達 $320 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ，而礦山表土已幾近 $390 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ，顯示礦山表土區骨材較優於半屏山區，唯水泥量繼續增加時，因受限於骨材強度，混凝土抗壓強度成長趨勢明顯減緩。但水泥量增加至 $400 \text{ kg}/\text{m}^3$ 以上時，抗壓強度仍可達 $420 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (6000 psi)，顯見礦山表土地區所燒製之輕質骨材有拌製高強度輕質混凝土之條件。

第八章 結論與建議

8-1 結論

本計畫以輕質骨材的本土化製造技術開發及其性質的確定為目的，希望能為日後輕質混凝土的工程實用化奠定良好的基礎。本文從原料調查、骨材燒製到輕質混凝土的製作與試驗，在產、官、學三方面的通力合作下，成功完成南北兩區多處料源的輕質骨材燒製工作，獲得令人滿意的技術與成果。重要的結論如后：

- (一) 週延而有前瞻性的研究規劃，在計畫開始之初，雖然稍遇挫折，但於工作推動之後，即獲得四家業界廠商的認同，加入研究行列。
- (二) 從台灣島嶼的地質條件分析。可初步發現，就輕質骨材料源的蘊藏量而言，台灣應屬蘊藏豐富區。經對南部的半屏山泥岩，北部大湖地區，橫山地區，十分寮地區及竹東地區的頁岩以及關西銅鑼圈地區的紅土，完成多數樣品的化學分析後，可研判出幾乎全部料源都適合作為輕質骨材的燒製用原料。
- (三) 以上述各料源的化學分析結果為依據，從南部半屏山區和北部礦山表土區採取頁岩原料，進行試燒後，已可獲得合乎標準的輕質骨材。
- (四) 本次燒製成功的輕質骨材性質都合乎要求，但以同樣的燒製條件所得輕質骨材的性質，卻因原料不同而有差異，此為合理的結果，例如礦山表土區頁岩所燒成的輕質骨材顆粒密度為 $1.4 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ ；而半屏山區頁岩為原料者，其輕質骨材顆粒密度卻依粒徑大小分佈在 1.06 g/cm^3 到 1.93 g/cm^3 之間。
- (五) 利用上述輕質骨材進行輕質混凝土製作時，其混凝土配合設計法乃參照德國規範DIN為之，所得拌合結果的輕質混凝土，其坍度、單位重及空氣含量都與原設計值相近，故本文採用的輕質混凝土

配合設計法可供繼續研究及實用上的參考。

(六)以各區輕質骨材拌製成功的輕質混凝土，經實測其抗壓強度及單位重(乾燥)後發現，不論南部或北部的輕質骨材，採用40%天然砂時，水泥含量為 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 者，其抗壓強度可達 $280\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上，已適合作為結構用混凝土，此時，其乾燥單位重約 $1700\text{kg}/\text{m}^3$ 到 $1850\text{kg}/\text{m}^3$ ，可比普通混凝土降低約1/4至1/5。

8-2 建議

從整個研究過程與結果已可看出，台灣地區的輕質骨材燒製用原料，不僅蘊藏量豐富，料源品質也相當優良，從輕質混凝土的工程應用潛力而言，極具開發應用的價值，本年度計畫已為輕質骨材的料源和燒製技術，打下堅實的基礎，今後將可大力發展下去，而於近程內可加緊有效推動的技術研究有下列幾項：

- (一)基於既有的全島料源調查分析資料，繼續推動適用料源地區的勘探及輕質骨材燒製與性質測定工作。
- (二)輕質混凝土工程實務技術的試驗研究，如生產技術與品質穩定控制法，混凝土泵送、夯實等之技術研究等。
- (三)非結構性輕質混凝土於預鑄磚之造型，物理性質及強度性質之試驗與設計研究。

參考文獻

- 1.高健章、張阿本、饒世嘉“以燃煤燒製輕質骨材之研究”。
- 2.高健章、張阿本、邢志平“輕質混凝土用粗骨材之研究”62年9月，材料科學第五卷第3號。
- 3.王櫻茂、黃榮吾、張冠淳“輕質骨材及輕質混凝土試驗研究”63年，國科會研究報告，工程科學研究中心，台南。
- 4.王櫻茂“輕質骨材混凝土結構物模型試驗研究”64年，國科會研究報告，工程科學研究中心。
- 5.黃兆龍、林仁益、詹榮峰“煤灰輕質骨材製造與高溫催化技術之探討”，1991，國立台灣工業技術學院。
- 6.Sidney Mindess and J.Francis Young,Concrete,Prentice-Hall, Inc.,1981。
- 7.許桂銘，結構輕質混凝土系列介紹之三，國立工業技術學院工程技術研究所，1990。
- 8.林銅柱“從國外輕質骨材科技展望國內輕質混凝土工業”高壓蒸氣養護輕質混凝土研討會，經濟部工業局，台北，1991。
- 9.何春蓀(1986)台灣地質概論第二版。中華民國經濟部。163頁。
- 10.張石角、林武男(1966) 半屏山崩山之現象之研究。礦業技術，4卷，8期 頁2-6。
- 11.孫習之(1963) 台灣高雄市附近之地質構造及珊瑚礁石灰岩。台灣地質，2號，頁47-64。
- 12.塗明寬、陳文政(1991) 台灣地質圖幅第13號-竹東。中央地質調查所。
- 13.林煤嶺(1977) 竹東石灰岩區之地質與地質構造。國立台灣大學理學院地質系研究報告，19期，頁113-134。

14. 塗明寬、陳文政(1990) 台灣地質圖幅第7號 - 中壢。中央地質調查所。
15. Masayoshi Kakizaki "Study on Strength, Elastic Modulus of Artificial Lightweight Aggregate Concrete"。
16. 王櫻茂 "人造輕質骨材混凝土" 豐生出版社, 台南, 65、8。
17. 顏聰, (1975), "輕質混凝土之工學性質及工程特性", 混凝土工程技術研習會, 台灣營建研究中心。
18. Ming-Hong Chong and Odd E.G. "Characteristics of lightweight Aggregates for High-Strength Concrete" ACI Materials Journal, March-april, 1991。
19. Vorläufiges Merkblatt I fuer Stahlleichtbeton Betonpruefung zur Ueberwachung der Leichtzuschlaege, beton 1968, pp.309。
20. Yen, T., "Die Verdichtungsvorgaenge von Leichtbeton am Ruetteltisch", TU Berlin, 1975。
21. Schumann, J., "Die Verdichtungstechnik bei der Verarbeitung von Leichtbeton", Beton 12/1972, pp.559。

表一 世界各國輕質骨材生產狀況 [8]

種 類	生 產 國 家
珠 岩 及 蛭 石	美國、日本、加拿大、蘇聯、德國、捷克、匈牙利、 保加利亞、澳洲、西班牙、丹麥、比利時
浮 石	德國、蘇聯、英國、加拿大
膨脹黏土	蘇聯、美國、丹麥、冰島、比利時、瑞士、紐西蘭、波蘭、 德國、芬蘭、西班牙、澳洲、德國、英國、捷克、葡萄牙、 保加利亞、加拿大、瑞典、法國、比利時
膨脹頁岩	美國、日本、波蘭、英國、加拿大、巴西、法國、德國
膨脹板岩	美國、德國、保加利亞、捷克
膨脹爐渣	蘇聯、美國、澳洲、德國、捷克、加拿大、匈牙利、英國、 波蘭、芬蘭
煤 灰	蘇聯、英國、德國、美國、保加利亞、波蘭、捷克、德國
熔 岩	澳洲

表二 台灣西部山中新世地層對比表(徐鐵良,1989)

\區 時\域 代\	台 灣 北 部		台 灣 中 北 部	台 灣 中 部	台 灣 中 南 部	台 灣 南 部				
	基隆、台北、桃園		新竹、苗栗	台中、彰化、南投	嘉義、台南	台南、高雄	高雄、屏東			
早 期	狀	二 園 層 (400~600)		桂竹林層 (800)	魚 藤 坪 砂 岩 (250~550)	竹 頭 崎 層 (500~700)		八張犁層 (1,000)		
		大 埔 層 (300~500)				茅 埔 頁 岩 (300~400)				
						隘 寮 腳 層 (400~500)				
					十 六 份 頁 岩 (100~200)	鹽 水 坑 層 (200~250)		十六份頁岩 (200~250)		
					關 刀 山 砂 岩 (250~300)	糖 恩 山 層 (450~500)		南勢坑層 (700)		
	群	南莊(五堵層) (600~700)		上福基砂岩 (60~150)	南 莊 層 (550~650)	南 莊 層 (1,000)	長技坑層 (1,200~1,600)	石 內 層 (1,400)		
		東 坑 層 (550~750)								
中 期	瑞 芳	南港砂岩 (450~550)	南 港 層 (700~750)	觀音山砂岩 (150~300)	水 裡 坑 層 (800 以上)	達 邦 層 (800 以上)	紅花子層 (1200)	達 邦 層 (1,000 以上)		
				打鹿頁岩 (300~400)						
		湊 合 層 (150~200)		北 寮 層 (500~600)						三民頁岩 (800 以上)
	群	石 底 層 (300~450)		石 底 層 (500~600)	大 坑 層 (600~800)					
早 期	野	大 寮 層 (300~450)		碧靈頁岩 (300~400)	粗 坑 層 (500~700)					
		木 山 層 (450~700)		汶 文 層 (600~750)						
	柳 群	五 指 山 層 (1,200 以上)								

*(300~400)代表層厚，以公尺為單位

表 三 台灣西部山地上新世地層對比表 (徐鐵良, 1989)

區 域 \ 時 代	桃園、新 竹、苗栗	台中、南 投、彰化	嘉義、台 南	台 南 高 雄	高 雄 屏 東
上 新 世	卓 蘭 層 (800~ 1200)	卓 蘭 層 (1000~ 2000)	崁下寮層 (500~1000)	玉井頁岩 (南化泥岩) (3,500 以 上)	古亭坑層 (5,000以 上)
			六重溪層 (700~800)		
			沱水溪層 (450)		
			烏嘴層 (650)		
	錦水頁岩 (100~300)	錦水頁岩 (150~300)	中崙層 (1000以上)	北寮頁岩 (1000以上)	

*(400~500)代表層厚, 以公尺為單位

表 四 台灣西部上新—更新世地層對比表 (徐鐵良, 1989)

區 域 \ 時 代	台 北	桃 園 新 竹	苗 栗	台中、台 投、彰化	嘉義、台 南、高雄	高 雄 屏 東
上 — 更 新 世	觀音山 層(?)	楊梅層 (800 以上)	通霄層 (1000 ~1500)	頭科山層 (1000 ~1500)	六 雙 層 (1000)	六龜礫 岩(300 以上)
					二重溪層 (450)	

*(400~500)代表層厚, 以公尺為單位

表 五 亞洲水泥公司新竹製造廠地區輕質骨材原料之浸水分散後之#200篩(74 μ m)篩餘表

原料採樣編號	浸水分散後之#200篩篩餘	浸水時間(天)
大湖A區 TW-2	3.4 %	1
大湖A區 TW-3	4.2 %	1
大湖A區 TW-4	2.6 %	1
大湖B區 TW-5	2.0 %	1
大湖B區 TW-6	2.6 %	1
大湖B區 TW-7	1.6 %	1
橫山地區 TL-2	40.2 %	1
十分寮地區 TT-1	18.0 %	1
十分寮地區 TT-2	30.4 %	1
十分寮地區 TT-3	31.6 %	1
礦山表土A區 TR	90.0 %	2
礦山表土B區 TR	88.0 %	2
關西(銅鑼圈) 紅土 TK	2.2 %	1

表六 東南水泥高雄地區輕質骨材原料之化學分析結果

Sample No.	A-1	A-2	A-4	A-4	A-5	B-1	B-2	B-3
Sampling Date	10/13	10/13	10/13	10/13	10/13	10/13	10/13	10/13
1. Chemical Analysis (%)								
1-1 Loss on Ignition	6.04	4.82	4.82	5.07	4.79	7.72	8.51	7.75
1-2 Insoluble Residue								
1-3 SiO ₂	61.33	66.42	65.52	63.87	65.14	60.48	58.85	60.23
1-4 Al ₂ O ₃	14.45	13.82	15.90	15.01	16.10	14.60	14.51	14.82
1-5 Fe ₂ O ₃	5.33	5.23	5.38	5.47	5.47	5.60	5.64	5.55
1-6 CaO	3.92	2.13	1.92	2.48	1.89	6.45	7.31	6.15
1-7 MgO	1.78	1.63	1.85	1.82	1.82	2.09	2.22	2.11
1-8 SO ₃	0.04	0.00	0.09	0.15	0.15	0.28	0.20	0.06
1-9 K ₂ O	2.26	2.16	2.43	2.48	2.48	2.19	2.20	2.22
1-10 Na ₂ O	0.79	0.81	0.88	0.90	0.90	0.78	0.75	0.80
1-11 SUM	95.94	97.07	98.79	97.25	98.80	100.19	100.19	99.69

表七 亞洲水泥新竹地區輕質骨材原料之化學分析結果

試驗結果		化			舉			組			成			份			(重量%)		
原料樣品編號	燒失量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	合 計								
大湖A區 TV-1	3.88	79.37	9.00	4.11	1.88	1.24	1.42	1.79	0.14	0.47	103.30								
大湖A區 TV-2	5.25	64.37	16.68	6.97	0.84	2.16	1.71	3.06	0.16	0.91	102.14								
大湖A區 TV-3	6.58	62.77	16.82	6.97	1.02	2.25	1.68	3.07	0.14	0.90	102.20								
大湖A區 TV-4	4.99	69.25	13.79	5.81	1.32	1.79	1.78	2.64	0.12	0.76	102.24								
大湖B區 TV-5	5.54	62.02	17.75	7.32	0.82	2.30	1.71	3.27	0.13	0.92	101.78								
大湖B區 TV-6	5.36	64.08	16.70	6.68	1.13	2.34	1.73	3.11	0.12	0.90	102.15								
大湖B區 TV-7	6.90	60.45	18.02	7.40	0.54	2.14	1.51	3.13	0.14	0.90	101.19								
大湖C區 TV-8	3.93	76.97	10.19	4.40	1.93	1.46	1.47	2.07	0.11	0.54	103.07								
橫山地區 TL-1	3.50	79.89	8.78	4.00	1.68	1.37	1.42	1.87	0.09	0.46	103.07								
橫山地區 TL-2	3.81	73.67	12.03	5.10	0.75	1.61	1.68	2.45	0.10	0.68	101.88								
橫山地區 TL-3	5.15	61.79	16.94	7.02	1.64	2.51	1.68	2.91	0.12	0.88	100.64								
十分寮地區 TT-1	5.50	61.90	17.63	7.12	1.27	2.62	1.32	2.66	0.12	0.90	101.10								
十分寮地區 TT-2	5.97	64.84	14.20	6.13	3.21	2.42	1.47	2.26	0.14	0.80	101.43								
十分寮地區 TT-3	5.12	71.70	10.78	4.24	3.78	1.58	1.40	1.78	0.11	0.80	101.09								
礫山寮土A區 TR1	7.91	61.69	13.84	7.68	2.13	2.31	1.19	2.12	0.12	0.82	99.82								
礫山寮土A區 TR2	6.23	68.28	12.93	4.94	2.03	1.72	1.62	2.71	0.14	0.83	101.43								
礫山寮土A區 TR3	5.45	67.33	12.54	5.39	2.75	2.10	1.82	2.52	0.14	0.75	100.79								
礫山寮土B區 TR4	6.09	59.04	15.75	5.86	4.08	1.73	1.86	2.59	0.08	0.66	97.74								
礫山寮土B區 TR5	7.73	58.21	15.99	5.73	5.45	1.94	0.13	2.52	0.08	0.66	98.44								
礫山寮土B區 TR6	8.28	61.84	17.05	6.48	2.22	1.84	0.94	1.54	0.09	0.78	99.06								
關西紅土 TK-1	5.83	64.91	19.14	7.52	0.12	0.59	0.64	1.78	0.08	1.07	101.68								
關西紅土 TK-2	5.44	64.49	19.22	7.57	0.00	0.60	0.55	1.95	0.08	1.06	100.96								
關西紅土 TK-3	5.40	64.93	18.16	7.53	0.35	0.59	0.88	1.85	0.08	1.05	100.88								

表八 亞泥(礫山表土)輕質骨材物理性質試驗結果

粒 徑	顆 粒 密 度 (g/cm ³)	單 位 重 (g/cm ³)	孔 隙 率 (%)	30 分 鐘 吸 水 率 (%)	24 小 時 吸 水 率 (%)
1" ~ 3/4"	1.42	2.62	45.80	7.48	13.17
3/4" ~ 1/2"	1.44	2.62	45.04	7.76	12.86
1/2" ~ 3/8"	1.45	2.62	44.66	7.73	12.25
3/8" ~ # 4	1.49	2.62	43.13	7.95	12.18

表九 東南水泥半屏山地區輕質骨材物理性質試驗結果

粒 徑	顆 粒 密 度 (g/cm ³)	單 位 重 (g/cm ³)	孔 隙 率 (%)	30 分 鐘 吸 水 率 (%)	24 小 時 吸 水 率 (%)
1" ~ 3/4"	1.06	2.63	59.70	5.89	8.40
3/4" ~ 1/2"	1.47	2.63	44.11	5.28	7.50
1/2" ~ 3/8"	1.73	2.63	34.22	5.27	6.50
3/8" ~ # 4	1.93	2.63	26.62	5.15	6.80

表十 亞泥(礦山表土)骨材輕質混凝土配比及試拌結果
(一)

設計水泥量 (Kg/m ³)	250	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.8%
水 灰 比 (W/C)	0.78	坍度 (cm)	5.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	59.69		
3/4"~1/2"	121.07		
1/2"~3/8"	182.87		
3/8"~ #4	250.55		
天然砂用量 (Kg/m ³)	737.07		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1844.17		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	1858.06		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	47.92		

(二)

設計水泥量 (Kg/m ³)	300	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.5%
水 灰 比 (W/C)	0.65	坍度 (cm)	5.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	58.34		
3/4"~1/2"	118.33		
1/2"~3/8"	178.72		
3/8"~ #4	244.87		
天然砂用量 (Kg/m ³)	720.37		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1862.46		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	1869.42		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	46.83		

(三)

設計水泥量 (Kg/m ³)	350	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.7%
水 灰 比 (W/C)	0.56	坍度 (cm)	4.8
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	56.99		
3/4"~1/2"	115.58		
1/2"~3/8"	174.58		
3/8"~ #4	239.20		
天然砂用量 (Kg/m ³)	703.67		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1880.77		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	1897.84		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	45.75		

(四)

設計水泥量 (Kg/m ³)	400	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.3%
水 灰 比 (W/C)	0.49	坍度 (cm)	8.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	55.64		
3/4"~1/2"	112.84		
1/2"~3/8"	170.44		
3/8"~ #4	233.52		
天然砂用量 (Kg/m ³)	686.98		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1899.08		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	1925.10		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	44.66		

(五)

設計水泥量 (Kg/m ³)	450	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.5%
水 灰 比 (W/C)	0.43	坍度 (cm)	6.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	54.28		
3/4"~1/2"	110.10		
1/2"~3/8"	166.29		
3/8"~ #4	227.84		
天然砂用量 (Kg/m ³)	670.27		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1917.34		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	1927.98		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	43.56		

(六)

設計水泥量 (Kg/m ³)	500	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.2%
水 灰 比 (W/C)	0.39	坍度 (cm)	8.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	52.93		
3/4"~1/2"	107.35		
1/2"~3/8"	162.15		
3/8"~ #4	222.16		
天然砂用量 (Kg/m ³)	653.58		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1935.65		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	1936.64		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	42.48		

表十一 半屏山骨材輕質混凝土配比及試拌結果
(一)

設計水泥量 (Kg/m³)	250	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m³)	195	實測空氣含量	2.1%
水 灰 比 (W/C)	0.78	坍度 (cm)	5.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m³)			
1"~3/4"	44.56		
3/4"~1/2"	123.59		
1/2"~3/8"	218.18		
3/8"~ #4	324.53		
天然砂用量 (Kg/m)	737.07		
設計混凝土單位重 (Kg/m³)	1930.29		
新拌混凝土單位重 (Kg/m³)	2005.77		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m³)	37.36		

(二)

設計水泥量 (Kg/m³)	300	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m³)	195	實測空氣含量	2.6%
水 灰 比 (W/C)	0.65	坍度 (cm)	4.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m³)			
1"~3/4"	43.55		
3/4"~1/2"	120.82		
1/2"~3/8"	213.24		
3/8"~ #4	317.18		
天然砂用量 (Kg/m³)	720.37		
設計混凝土單位重 (Kg/m³)	1946.66		
新拌混凝土單位重 (Kg/m³)	1991.34		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m³)	36.52		

(三)

設計水泥量 (Kg/m ³)	350	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.6%
水 灰 比 (W/C)	0.56	坍度 (cm)	6.5
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	42.54		
3/4"~1/2"	117.99		
1/2"~3/8"	208.30		
3/8"~ #4	309.83		
天然砂用量 (Kg/m ³)	703.67		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1963.01		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	2005.77		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	35.68		

(四)

設計水泥量 (Kg/m ³)	400	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.6%
水 灰 比 (W/C)	0.49	坍度 (cm)	5.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	41.53		
3/4"~1/2"	115.19		
1/2"~3/8"	203.35		
3/8"~ #4	302.48		
天然砂用量 (Kg/m ³)	686.98		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1979.39		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	2040.40		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	34.86		

(五)

設計水泥量 (Kg/m ³)	450	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.6%
水 灰 比 (W/C)	0.43	坍度 (cm)	4.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	40.52		
3/4"~1/2"	112.39		
1/2"~3/8"	198.41		
3/8"~ #4	295.12		
天然砂用量 (Kg/m ³)	670.27		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	1995.72		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	2037.52		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	34.01		

(六)

設計水泥量 (Kg/m ³)	500	設計空氣含量	2.5%
設計用水量 (Kg/m ³)	195	實測空氣含量	2.4%
水 灰 比 (W/C)	0.39	坍度 (cm)	5.0
輕質骨材各粒群用量 (Kg/m ³)			
1"~3/4"	39.51		
3/4"~1/2"	109.59		
1/2"~3/8"	193.46		
3/8"~ #4	287.77		
天然砂用量 (Kg/m ³)	653.58		
設計混凝土單位重 (Kg/m ³)	2012.05		
新拌混凝土單位重 (Kg/m ³)	2037.52		
輕質骨材30mins吸水量 (Kg/m ³)	33.14		

表十二 亞泥(礦山表土)大量取樣試燒輕質骨材試驗結果

粒 徑	顆 粒 密 度 (g/cm^3)	30 分 鐘 吸 水 率 (%)	24 小 時 吸 水 率 (%)
1" ~ 3/4"	1.55	5.7	9.6
3/4" ~ 1/2"	1.56	5.9	10.1
1/2" ~ 3/8"	1.58	6.1	10.0
3/8" ~ # 4	1.64	6.4	10.0

表十三 礦山表土輕質骨材廠拌配比及新拌混凝土性質

設計水泥量(Kg/m³)	350	設計空氣含量	2.5%
設計用水量(Kg/m³)	205	實測空氣含量	2.0%
水灰比(W/C)	0.59	設計坍度:10~12cm	實測坍度:8cm
輕質骨材各粒群用量(Kg/m³)			
1"~3/8"		401	
3/8"~ #4		227	
天然砂用量(Kg/m³)		693	
設計混凝土單位重(Kg/m³)		1914	
新拌混凝土單位重(Kg/m³)		1933	
輕質骨材30mins吸水量(Kg/m³)		38	

表十四 亞泥(礦山表土)輕質混凝土抗壓強度試驗結果

試體編號	7 天 f_c' (Kgf/cm ²)	28 天 f_c' (Kgf/cm ²)	乾燥後混凝土 單位重 (Kg/L)
LC250	140 (131,145,143)	215 (210,223,212)	1.680
LC300	192 (198,188,191)	290 (305,265,301)	1.709
LC350	293 (282,299,299)	387 (380,404,376)	1.749
LC400	303 (305,318,287)	419 (416,431,409)	1.754
LC450	355 (364,363,339)	453 (444,457,459)	1.768
LC500	395 (387,413,385)	467 (496,451,454)	1.780

表十五 東南半屏山輕質混凝土抗壓強度試驗結果

試體編號	7 天 f_c' (Kgf/cm ²)	28 天 f_c' (Kgf/cm ²)	乾燥後混凝土 單位重 (Kg/L)
LC250	159 (160,157,161)	237 (238,246,225)	1.814
LC300	205 (214,209,191)	297 (281,292,317)	1.846
LC350	241 (242,254,228)	319 (305,324,328)	1.859
LC400	297 (272,303,316)	356 (371,363,335)	1.872
LC450	336 (334,335,338)	381 (393,375,376)	1.884
LC500	379 (383,375,379)	410 (393,408,428)	1.891

表十六 亞泥(礫山表土)輕質混凝土配比及抗壓結果

亞泥(礫山表土)輕質骨材顆粒密度 1.4~1.5 g/cm ³									
最大粒徑 (D _{max})	坍度 (cm)	水泥用量 (Kg/m ³)	水 量 (Kg/m ³)		粗骨材用量 (Kg/m ³)	細骨材用量 (Kg/m ³)	混凝土乾燥 單位重 (Kg/L)	28 天 抗壓強度 (Kg/cm ²)	
			設計用水量	骨材30min吸水量					
3 / 4"	4 ~ 8	250	195	47.92	1"-3/4" 60 3/4"-1/2" 121 1/2"-3/8" 183 3/8"- #4 251	737	1.680	215	
3 / 4"	4 ~ 8	300	195	46.83	1"-3/4" 58 3/4"-1/2" 118 1/2"-3/8" 179 3/8"- #4 245	720	1.709	290	
3 / 4"	4 ~ 8	350	195	45.75	1"-3/4" 57 3/4"-1/2" 116 1/2"-3/8" 175 3/8"- #4 239	704	1.749	387	
3 / 4"	4 ~ 8	400	195	44.66	1"-3/4" 56 3/4"-1/2" 113 1/2"-3/8" 170 3/8"- #4 234	687	1.754	419	
3 / 4"	4 ~ 8	450	195	43.56	1"-3/4" 54 3/4"-1/2" 110 1/2"-3/8" 166 3/8"- #4 228	670	1.768	453	
3 / 4"	4 ~ 8	500	195	42.48	1"-3/4" 53 3/4"-1/2" 107 1/2"-3/8" 162 3/8"- #4 222	654	1.780	467	

表十七 東南(半屏山)輕質混凝土配比及抗壓結果

東南輕質骨材顆粒密度 1.0~2.0 g/cm ³									
最大粒徑 (D _{max})	坍度 (cm)	水距用量 (Kg/m ³)	水 量 (Kg/m ³)		粗骨材用量 (Kg/m ³)	細骨材用量 (Kg/m ³)	混凝土乾燥 單位重 (Kg/m ³)	28 天 抗壓強度 (Kg/cm ²)	
			設計用水量	{骨材30min吸水量					
3 / 4"	4~8	250	195	37.36	1"-3/4" 45 3/4"-1/2" 124 1/2"-3/8" 218 3/8"- #4 324	737	1.814	237	
3 / 4"	4~8	300	195	36.52	1"-3/4" 44 3/4"-1/2" 121 1/2"-3/8" 213 3/8"- #4 317	720	1.846	297	
3 / 4"	4~8	350	195	35.68	1"-3/4" 43 3/4"-1/2" 118 1/2"-3/8" 208 3/8"- #4 310	704	1.859	319	
3 / 4"	4~8	400	195	44.66	1"-3/4" 42 3/4"-1/2" 115 1/2"-3/8" 203 3/8"- #4 302	687	1.872	356	
3 / 4"	4~8	450	195	34.01	1"-3/4" 41 3/4"-1/2" 112 1/2"-3/8" 198 3/8"- #4 295	670	1.884	381	
3 / 4"	4~8	500	195	33.14	1"-3/4" 40 3/4"-1/2" 110 1/2"-3/8" 193 3/8"- #4 288	654	1.891	410	

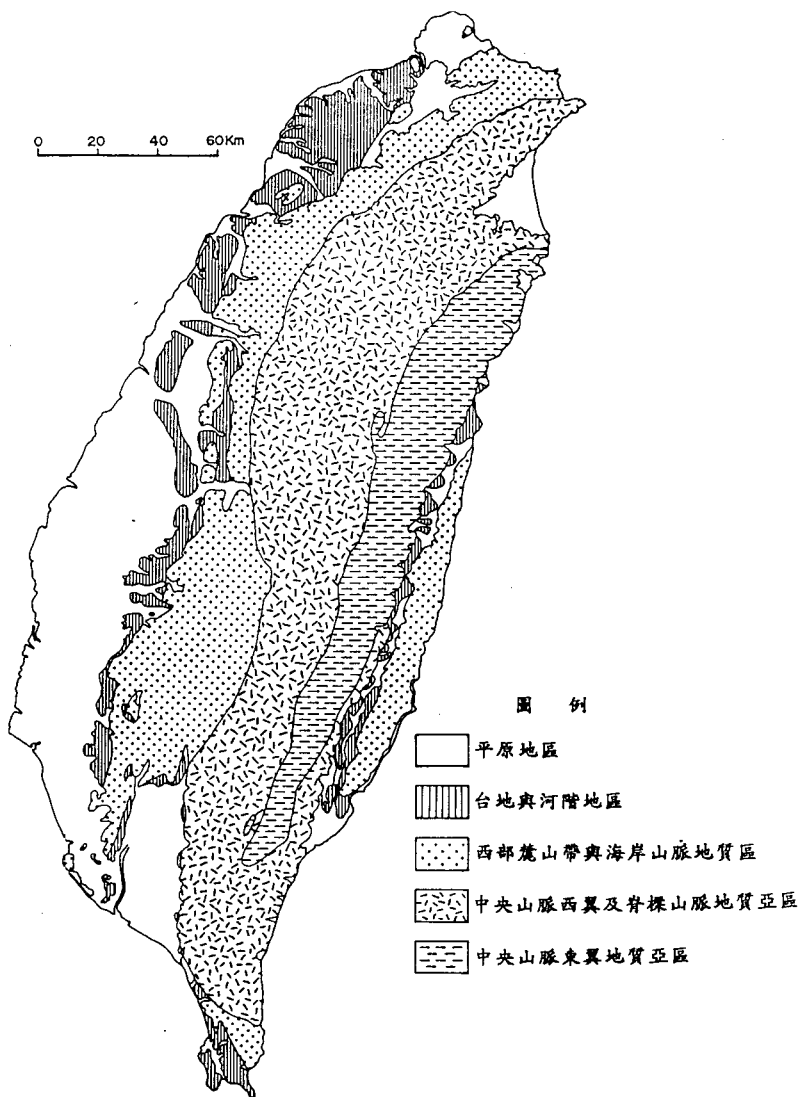


圖 1 台灣地質區略圖

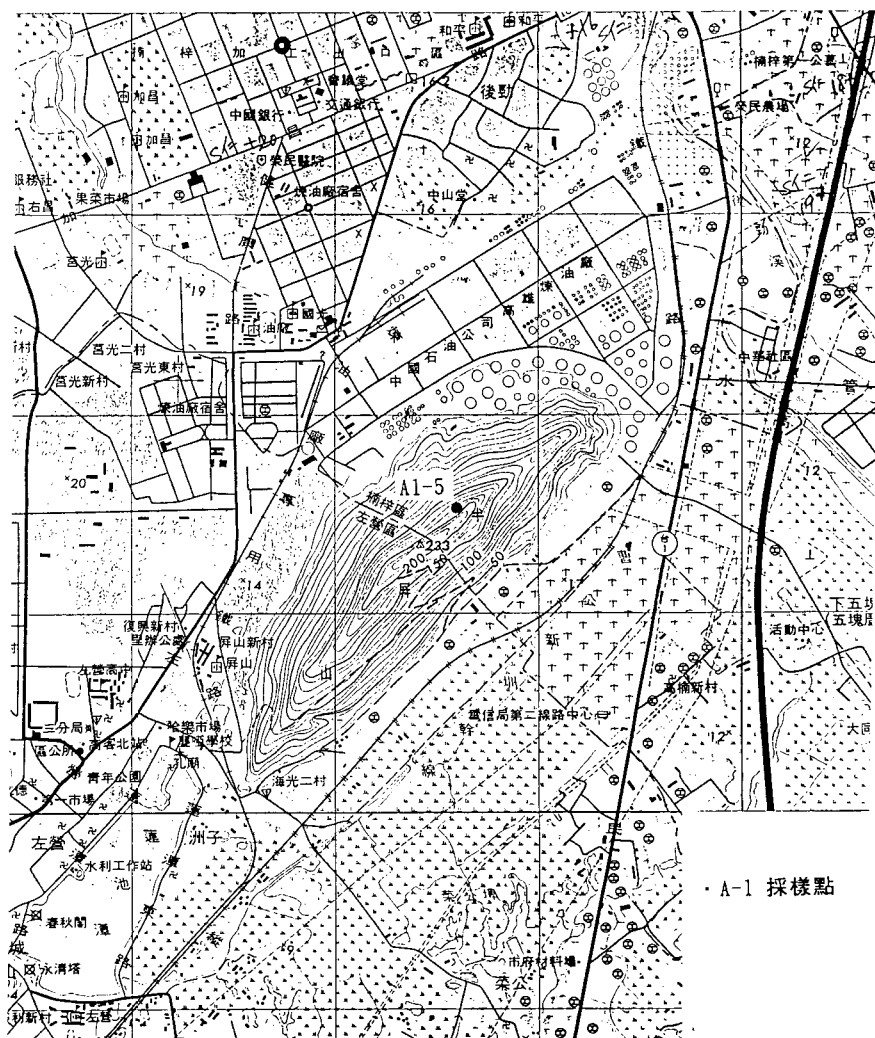


圖 2 東南水泥半屏山採樣點位置圖

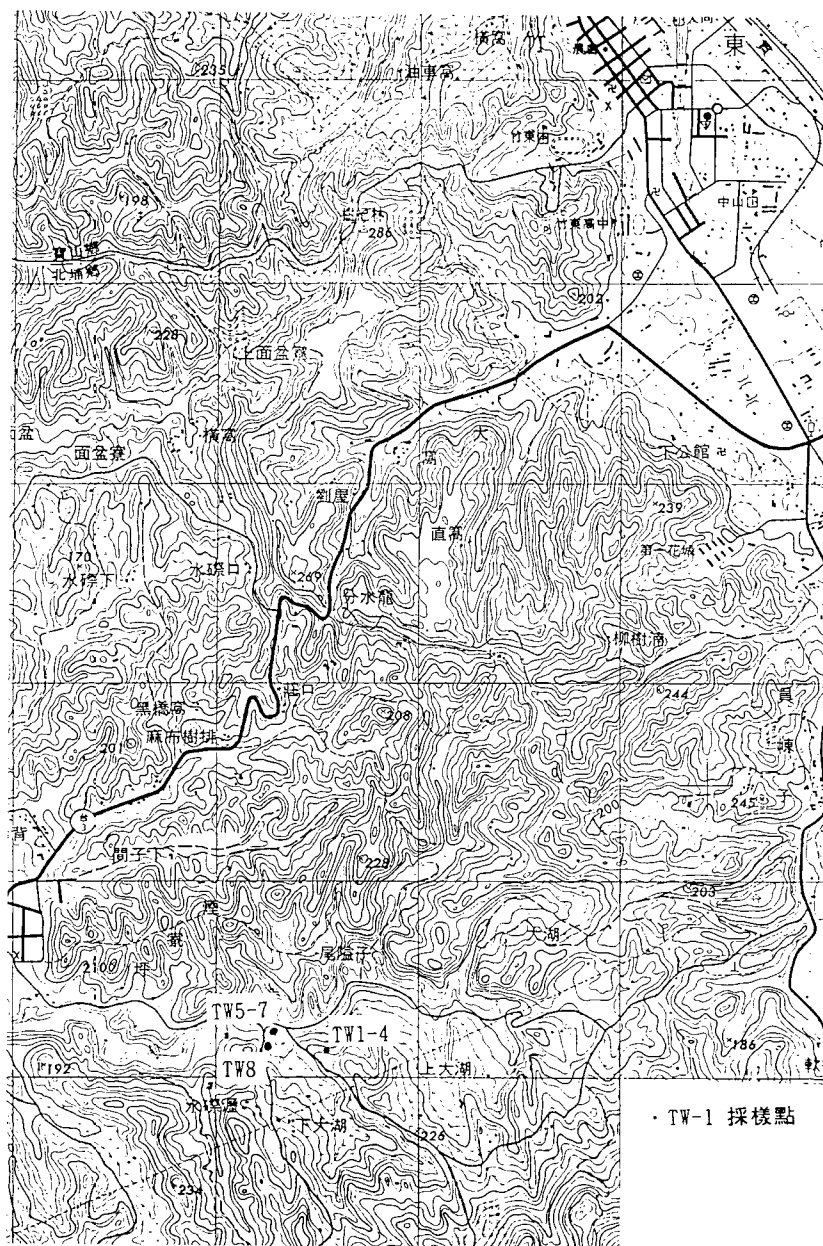
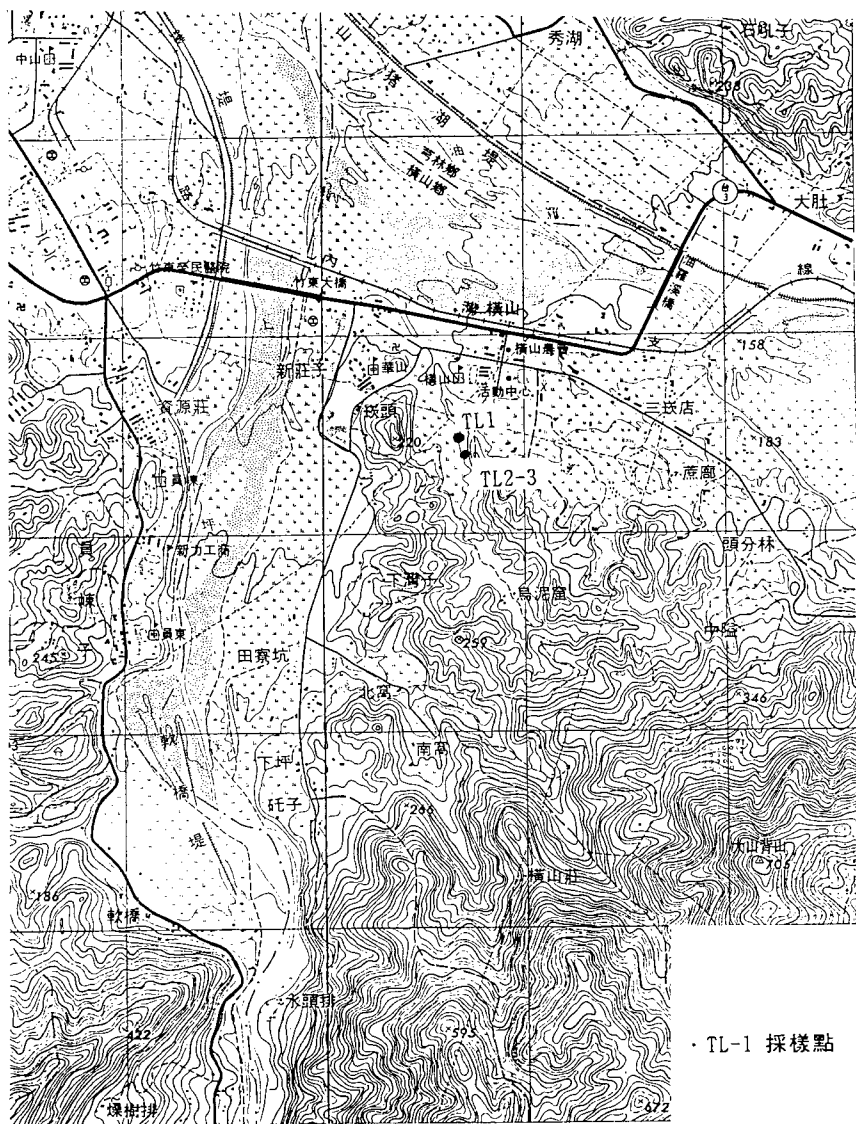


圖 3 亞洲水泥大湖地區採樣點位置圖



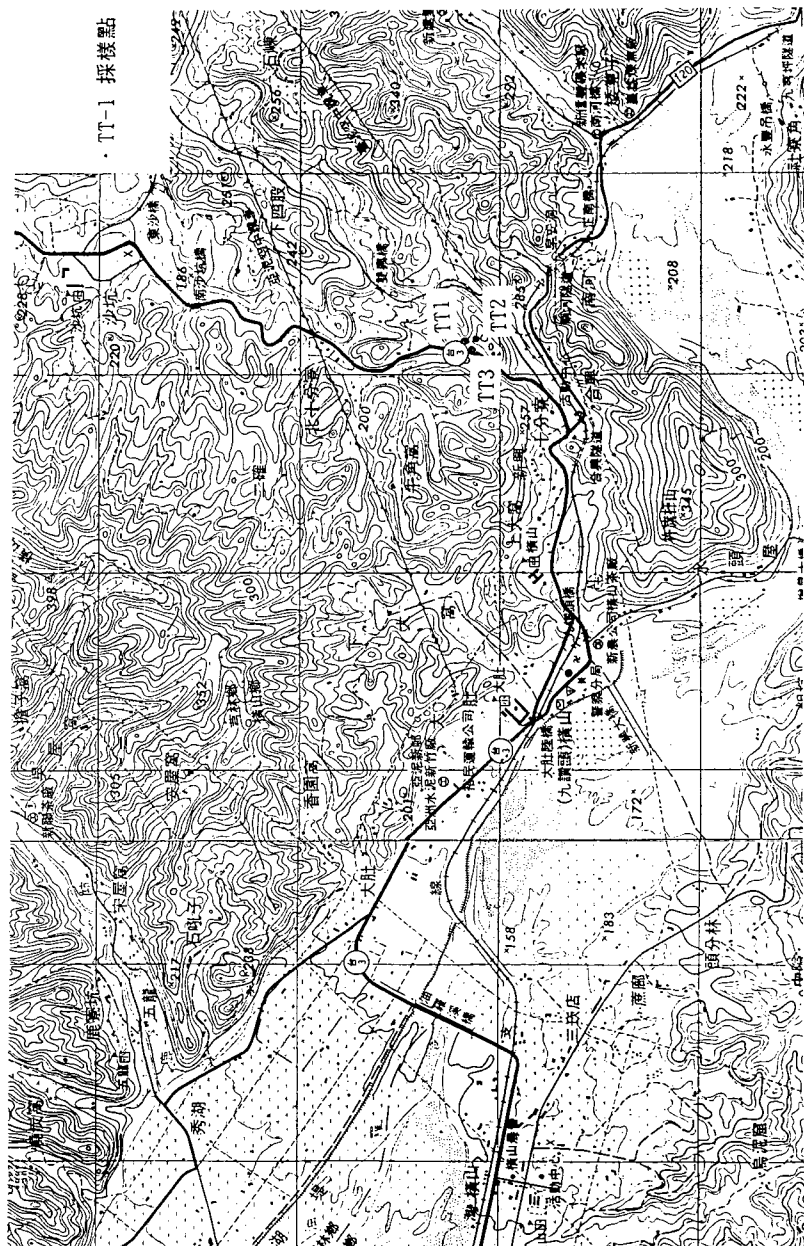


圖 5 亞洲水泥十分股地區採樣點位置圖

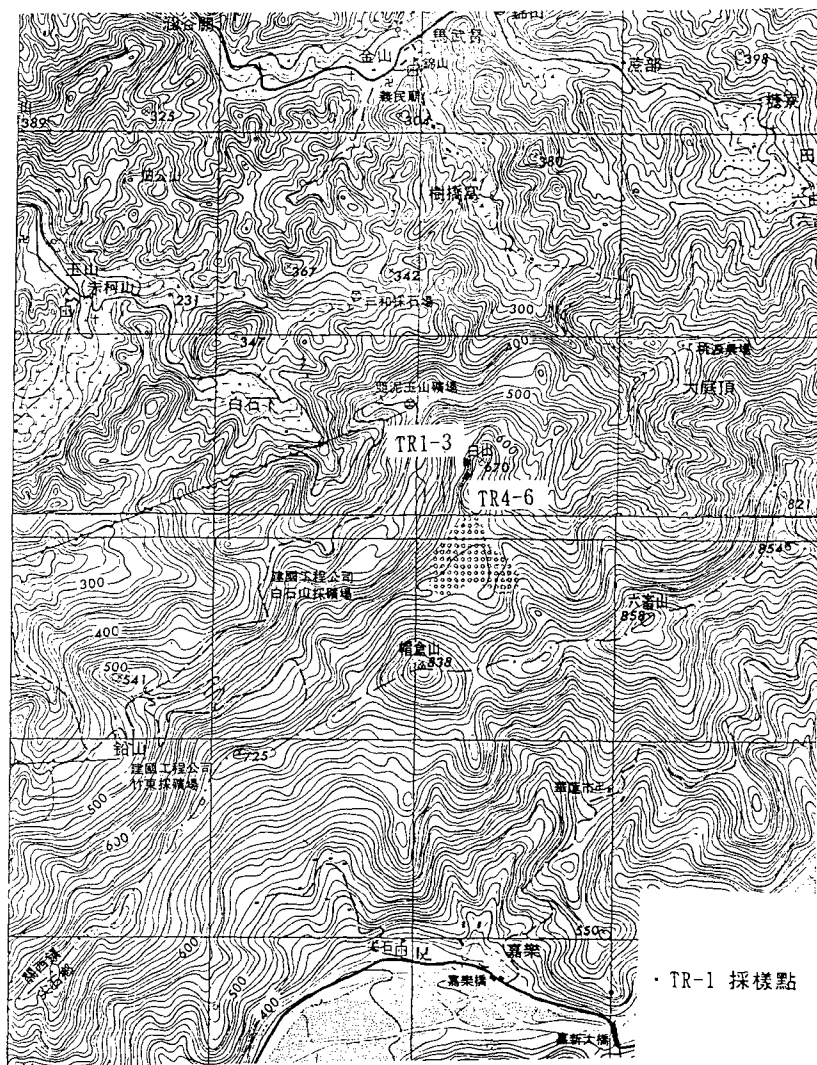


圖 6 亞洲水泥玉山礦場採樣點位置圖

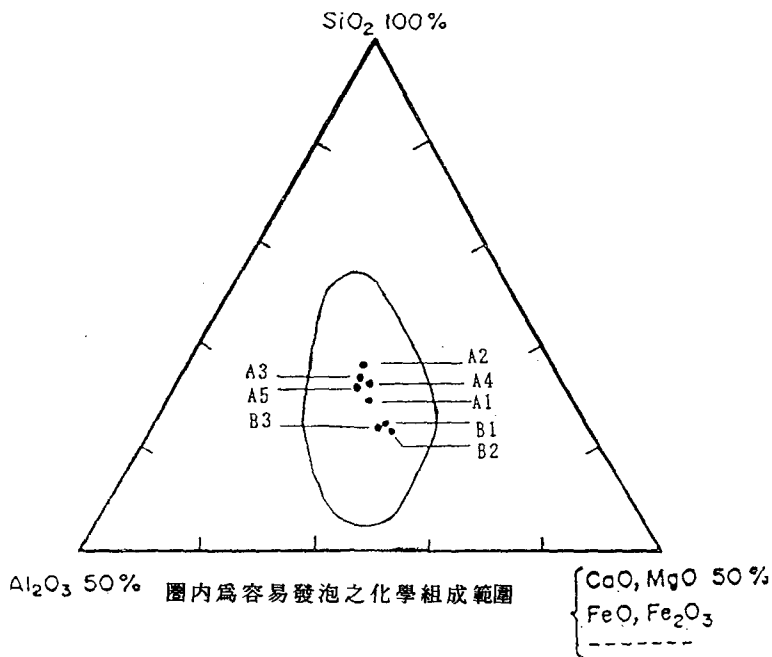


圖 7 南部泥岩之化學成分比例

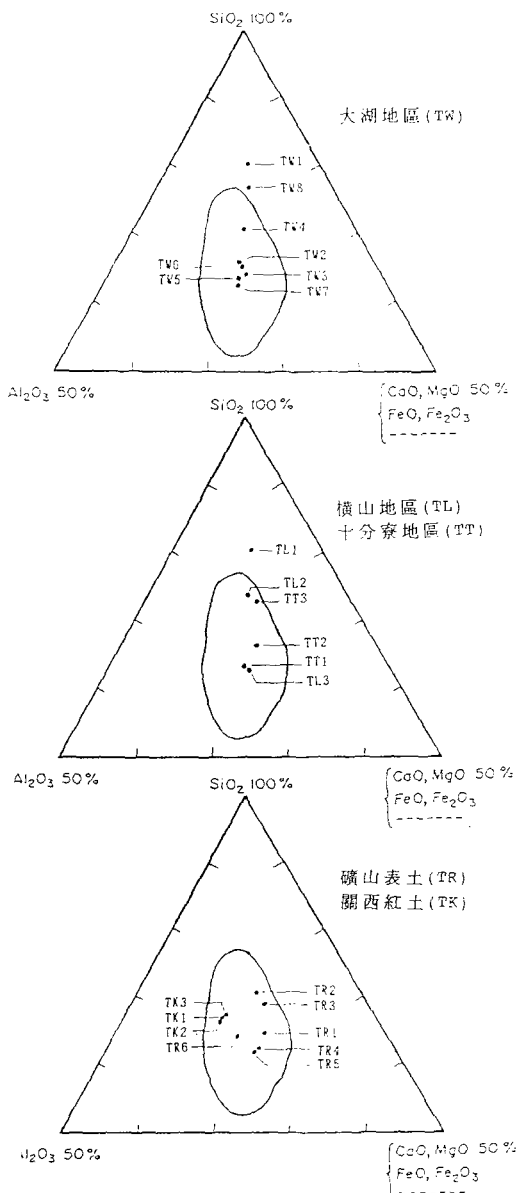


圖 8 新竹地區頁岩及紅土之化學成分比例

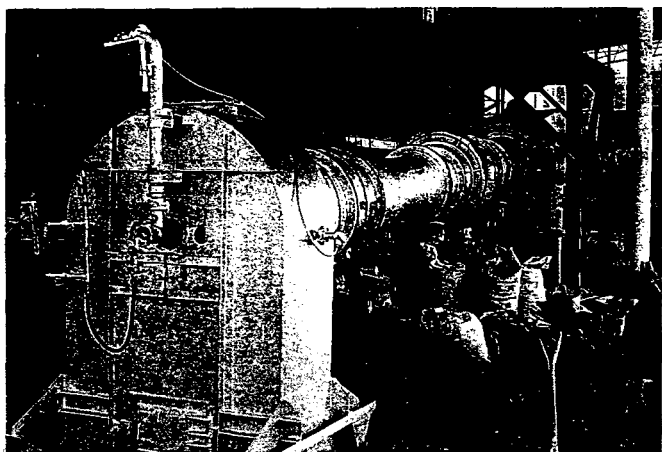


圖 9-1 燒製人造輕質骨材之旋窯

1. 產能：每日(24小時)可產生4立方米
2. 轉速：0~1800 rpm
3. 傾協角度：7°
4. 溫控溫度誤差：±5℃

單位:mm

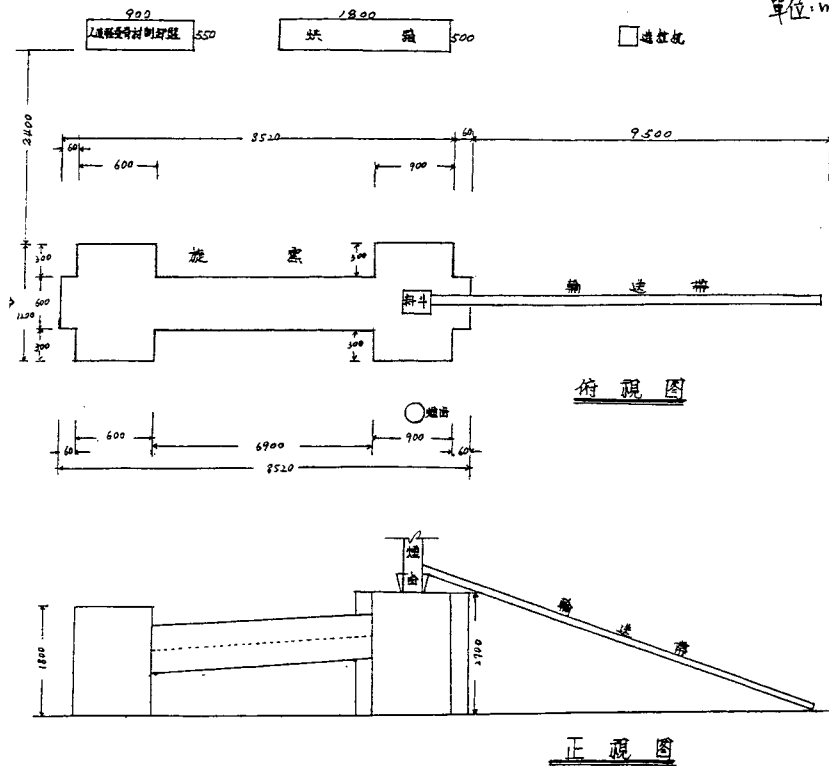


圖9-2 人造輕質骨材螺旋窯

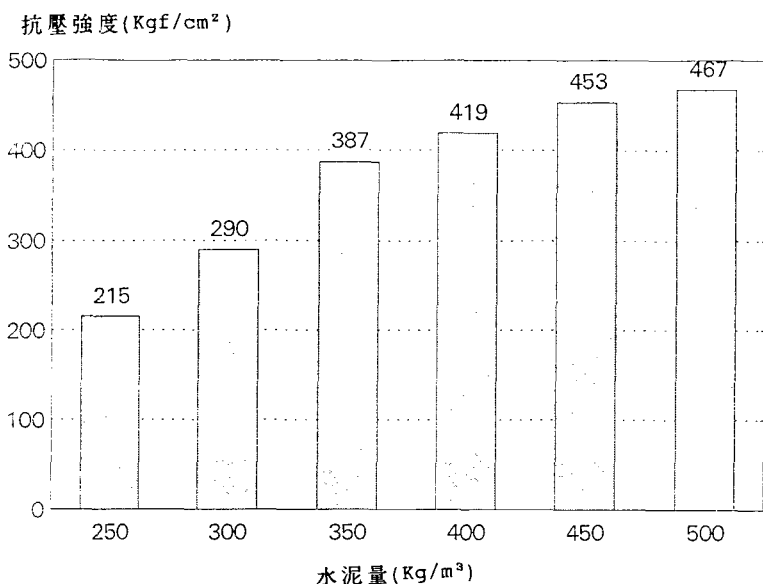


圖10 亞泥(礦山表土)輕質混凝土抗壓強度、水泥量關係圖

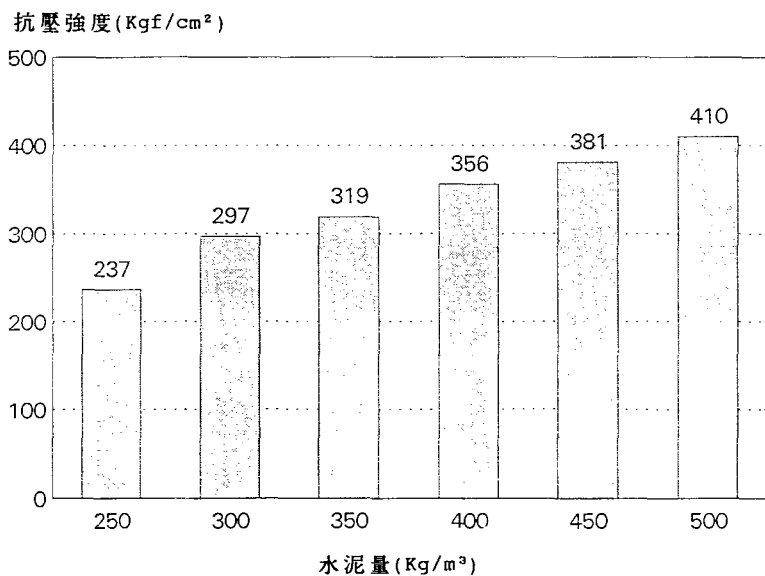


圖11 東南(半屏山)輕質混凝土抗壓強度、水泥量關係圖