

行政院所屬各機關出國報告
(出國類別：其他)

建築防震科技國際研討會及應用參訪

服務機關：內政部建築研究所

出國人 職 稱：所 長 組 長

姓 名：蕭江碧 葉祥海

出國地區：中國-南京、上海

出國期間：九十三年十月三十一日

至十一月七日

報告日期：九十四年二月

公務出國報告提要

出國報告名稱：參加建築防震科技國際研討會及應用參訪

頁數：73頁含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：內政部建築研究所/陳蘅如/27362389

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：蕭江碧、葉祥海/內政部建築研究所/工程技術組/所長、組長/02-27362389

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：九十三年十月三十一日至九十三年十一月七日

報告日期：九十四年二月

出國地區：中國-南京、上海市

分類號/目：

關鍵詞：耐震設計、輕質骨材、輕質混凝土、風洞實驗

內容摘要：（二百至三百字）

本案出國計畫屬本所執行「建築物地震防制科專計畫」之一項，該計畫本年度辦理建築防震科技國際研討會及應用參訪，主要於大陸參加輕質骨材混凝土產製與應用技術研討會為主軸，並順道參訪同濟大學建築抗震實驗室、風洞實驗室等，以交流增進本所建築耐震研究、輕質骨材研發、風洞實驗技術發展的理念思維，強化未來研究實驗課題規劃策略。

國內以水庫淤泥燒製輕質骨材須加速產業化，輕質混凝土建議率先選定若干公共工程推廣應用，以為示範，在建築工程方面，可由牆版砌磚等非結構構件開始應用，以利結構物減重、並能達隔熱隔音效益。亦使水庫清淤與資源再生利用結合，催生雙贏的策略。

鑑於耐震安全，對於國內建築設計常有平面立面不規則、不對稱的設計，應加強設計檢核，必要時應指定以縮尺進行振動台實驗，以瞭解其可能破壞之機制，防範未然。又國內超高層建築日增，而高層建築受風力作用大於地震力影響，且對附近地區產生風環境衝擊，須策動有關風洞實驗檢測，以驗證設計風力的合理性。

公務出國報告審核表

出國報告名稱：參加建築防震科技國際研討會及應用參訪	
出國計畫主辦機關名稱：內政部建築研究所	
出國人姓名/職稱/服務單位：蕭江碧/所長、葉祥海/組長/工程技術組	
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2. 格式完整 <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 其他處理意見：
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 退回補正，原因：_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 其他處理意見：

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於出國報告提出後二個月內完成。

目 錄

壹、緣起與目的	
一、前言	1
二、目的	2
貳、過程	
一、出席會議行程	3
1. 行程表	3
2. 研討會議程	4
二、參訪行程	5
參、研討會與參訪內容	
一、研討會記要	6
二、論文概要	8
三、技術討論座談會	17
四、工廠與工地參訪	20
1. 參訪工廠說明	20
2. 工地參觀	25
五、訪問行程	27
1. 同濟大學結構工程與防災研究所	27
2. 上海現代建築設計有限公司	34
肆、心得與建議	
一、心得	36
二、建議	37
附錄：研討會發表論文	
1. 台灣地區輕質骨材之研究發展-15	
2. 水庫淤泥之性質對燒結輕質骨材之影響-97	
3. 水庫淤泥輕質骨材透水混凝土性質影響因素之探討-252	
4. 高性能輕質骨材混凝土廠拌及施工性能探討-464	

照片目錄

照片一 蕭所長於開幕式致詞	4
照片二 長江大橋	8
照片三 長江大橋	9
照片四 大地陶粒有限公司	21
照片五 大地陶粒有限公司陶粒	22
照片六 大地陶粒有限公司陶粒粗骨材	22
照片七 大地陶粒有限公司陶粒細骨材	22
照片八 大地陶粒有限公司輕質空心磚	23
照片九 大地陶粒有限公司輕質空心磚	23
照片十 大地陶粒有限公司旋窯	24
照片十一 南京太陽宮廣場	26
照片十二 振動台實驗後的縮尺模型之一	30
照片十三 振動台實驗後的縮尺模型之二	30
照片十四 大型風洞 TJ-3 做長跨距斜張橋風洞實驗	32
照片十五 風洞實驗橋梁模型	33
照片十六 上海東方明珠風洞實驗	33

圖目錄

圖一 粘土輕質骨材生產流程	14
圖二 粉煤灰輕質骨材生產流程	14
圖三 造粒機原理示意圖	24
圖四 南京太陽宮廣場拱梁設計	26

表目錄

表一 大陸輕質骨材整體發展狀況	9
表二 九十二年度水庫淤泥輕質骨材產業化研究與推廣	11
表三 國科會產學合作研究計畫	12
表四 粘土輕質骨材之品質要求	13
表五 粉煤灰輕質骨材之品質要求	13
表六 大陸前十大輕質骨材生產廠	15
表七 大陸前十大輕骨料混凝土製品廠	15
表八 輕骨料混凝土研究與應用論文內容綜合整理	16
表九 輕骨料混凝土建築工程研究、設計與應用	17
表十 大地陶粒有限公司之生產狀況	21

建築防震科技國際研討會及應用參訪出國報告

壹、緣起與目的

一、前言

九二一大地震造成國內眾多建築倒塌，除了早年老舊住宅房屋耐震能力較差外，經統計其中集合住宅即有 263 棟，28,980 戶列為全倒，應拆除重建，最為慘重。而這些較高層的集合住宅幾乎都是近二、三十年的建築，而且都是以鋼筋混凝土(RC)構造。鋼筋混凝土本是粗重的構材，在大樓愈蓋愈高之時，其接受地震之挑戰乃愈加嚴苛。即如牛頓力學所言 $F=ma$ 之條件下，地震作用力與建築物重量成正比，如能減輕建築物本體的重量，在同樣高度、相同建築容積的量體下，必能承受更加之抗震性能。因之，九二一大地震後，鑑於 RC 建築震害，國人乃對於建築構造有了新的發展方向，如採用鋼骨結構，也用鋼骨鋼筋混凝土構造。除了應用鋼骨的韌性特點外，也正確的呼應了建築物本體瘦身減重與提高抗震的目標。

其實，不論是鋼筋混凝土構造、鋼骨結構、或是鋼骨鋼筋混凝土構造，只要依循有關的設計施工規範確實執行，各種建築構造均有一定的耐震性能。鋼筋混凝土構造因為剛性較佳，故一直為住大樓的選用構材。但在混凝土建築物或結構物之中，大量應用了天然砂石或採掘河床砂石或開山採礦，長久以來，在台灣西部地區砂石已經是殆盡。台灣東部因河川短促砂石含泥量高，且運費貴，東砂西運非為上策；或陸砂開放進口均非永續之計。

本所有鑑於此，於九十二年度起探討輕質骨材之應用，並賡續推動以水庫淤泥燒結輕質骨材，以為替代人造砂石。同時研發以輕質骨材拌製輕質混凝土構材，實驗檢測其構材性能，發現輕質骨材混凝土因為質量輕，且骨材含有孔隙，可減低建築物結構物之自重，有利於耐震性能之提升，亦可使結構構件尺寸斷面減小，多孔隙構材又具有隔音、隔熱之效益。此外，

對於水庫清淤後之不便於棄置處理之物質，得以資源化再利用，當有助於國內水庫清淤之進程。如能將輕質骨材產業化，並使之為營建界普遍應用，並可以有效解決營建業面臨砂石匱乏之窘境，可謂一舉數得。

國際上，如歐美、日本等國甚至中國大陸，應用輕質骨材混凝土已相當尋常，無論為結構體（梁、柱、版、牆）或非結構、次結構體均多所應用，都已經是相當成熟的技術與成功的範例，特別是在無法大量採掘天然砂石的地方，或是因為長途搬運大量砂石並不經濟，而建築物構造構物須以混凝土結構建造與場合，運用輕質混凝土乃為必須的選項。而國外應用人造輕質骨材多係採礦（頁岩、泥頁岩等）研磨成粉，再拌水塑粒燒結而成，其產業即如水泥產業，是民生工業。國內，在本所的推動之下，輕質骨材目前的研發成果可以逕自水庫沈積淤泥風乾燒結，不經採礦研磨，又可以大利清淤，真是得天獨厚；人造輕質骨材研發產製在天然砂石短缺之際，實應積極大力推行之。惟量產之製程方面國內在石門水庫附近原已有一廠（湧源公司）生產，雖規模有限，產量有供不應求之情，但因內部因素，及外部環保異議非理性訴求，使之拆廠而中斷生產。

人造輕質骨材在中國大陸習稱之陶粒或為輕質骨材，該國保護良田土壤，限制使用黏土實心磚，與耐震的考量，各種輕質磚牆砌塊，應運而生，陶粒或為輕質骨料乃被大量使用，相關研發產製為業界關注。由於國內在此方面的研究，尤其應用水庫淤泥燒結輕質骨材的研究成果，深獲對方青睞與好奇，特函國內中華節能輕質骨材混凝土推廣協會，組團參與第一屆兩岸輕質骨材混凝土產製與應用技術研討會，以互相切磋，技術交流。

二、目的

1. 輕質骨材及混凝土之應用有利於建築減重與防震隔熱隔音，本次研討會以輕質骨材之應用為主軸，從輕質骨材混凝土性能、輕質混凝土之優點，瞭解兩岸三地研發輕質骨材應

用輕質混凝土之技術，以未來發展面向與前景。

2. 經由研討會交流、交換輕質骨材混凝土在建築、橋梁結構物之應用技術與耐震性能之評估效益。
3. 從各方參與研討會之對象、課題，探討大陸地區於輕質骨材輕質混凝土之開發與應用之水準、市場機會，以供國產製水庫淤泥骨材之借鏡與推動策略之研擬。
4. 參訪大陸地區重要學術機構，瞭解同濟大學於地震工程、風工程與音響工程實驗研究之能力、方向與重點，以為國內推動建築地震實驗研究之參酌，並供本所風洞實驗室、音響實驗室建置後實驗研究發展與規劃之啟思。
5. 訪察大陸建築構造法制作業之機制，以檢討國內可能改善強化建築結構設計之機會。

貳、過程

一、出席會議行程

1.行程表

時間	地點	工作事項
10月31日	台北-香港-上海	往程/市區參訪及報到
11月1日	南京市	參加研討會/開幕式與專題報告
11月2日	南京市	參加研討會/專題報告/發表論文/分組討論
11月3日	南京市	參加研討會/現場考察
11月4日	南京-上海市	轉地參訪同濟大學地震防災研究實驗等
11月5日	上海市	參訪同濟大學風洞、音響實驗室
11月6日	上海市	拜訪上海現代集團（刑同和總工程司）
11月7日	上海-香港-台北	回程

2. 研討會議程

本次研討會共有論文 83 篇，國內專家學者發表論文共 20 篇，大陸 62 篇，香港 1 篇，以論文分類如下表：

論文分類	篇數	台灣
1.發展與規劃	13	1
2.輕骨料及其製品的研究、生產與應用	29	7
3.輕骨料混凝土研究和應用	24	8
4.輕骨料混凝土建築工程、研究、設計和應用	17	4
合計	83	20

開幕式時蕭所長與顏校長聰(以理事長身分)均受邀坐於主席台上，並以貴賓致詞，為全場熱烈歡迎。如照片一所示。



照片一、蕭所長於開幕式致詞

論文的發表順序由大會安排，主要按上列的論文分類，交叉的方式排序發表，於十一月一日、二日上午完成。二日下午及三日上午則安排分組討論，分組討論的主題如下：

議題一、山西省發展陶粒之經驗分享

議題二、以上海市都市下水道污泥做為陶粒原料之可行性探討。

議題三、高含水量淤污如何應用於陶粒原料

議題四、台灣水庫淤泥燒成陶粒之優點

工地參觀說明：於十一月三日下午由大會安排至工地參觀，1.南京太陽宮廣場，2.高壓連鎖磚廠兩個現場，前者為巨蛋形的建築，供運動娛樂等使用，屋頂由四支拱形主梁支撐，該四支主梁即以輕質骨材混凝土澆製，後者之工廠與台灣之高壓連鎖磚廠無太大不同，並未用輕質骨材生產。

二、參訪行程

本次參訪行程主要安排於上海市，概上海市為中國建築工程建設發展最為快速之據點，且著名大學實驗研究水準亦高，尤其是同濟大學結構工程與防災研究所，有結構抗震研究室，設有振動台實驗設備，可為本所建構建材實驗群作為未來實驗研究之參酌。另外亦安排參訪風洞實驗室、音響實驗室，其多年實驗操作營運之經驗豐富，自相對於本所已初步建置完成的風洞、音響實驗館，乃有可以參採之處。本次參訪事宜均透過於該校之博士研究生劉皆誼等事先安排，整個進程順利；另為瞭解上海市建築設計、建照審查管理之機制，與耐震設計之考量，經由林大椿建築師安排與上海建築設計現代（集團）有限公司總建築師刑同和先生會晤交流。

參、研討會與參訪內容

一、研討會記要

基於建築減重與抗震的考量，以及資源再利用的理由，本所自 91 年度起大力推動水庫淤泥資源化再利用於輕質骨材之相關研發推廣，國內同時成立中華建築節能輕質骨材混凝土發展協會，使有關研究驟增，研究成果豐富，且由於國內水庫淤泥燒結輕質骨材技術成功且可以量產，材質優良，輕質骨材混凝土其強度亦佳，可以應用於結構構材。

本次研討會由「中國矽酸鹽學會房屋建築材料分會輕骨料及其製品專業委員會」、「中國建築學會建築材料分會輕骨料及輕骨料混凝土專業委員會」與國內中華建築節能輕質骨材混凝土發展協會主辦，會議的協辦單位是江蘇省建築科學研究院有限公司、江蘇省土木建築學會、江蘇省建設廳新技術推廣站。參加會議約有中國矽酸鹽學會房屋建築材料分會、中國建築學會建築材料分會、江蘇省建設廳、各地牆改辦等領導和來自大陸內部及海外著名學者、專家和企業界人士等 165 名代表，其中臺灣 25 人、香港 1 人、日本 1 人、韓國 2 人。會議共收到 86 篇論文，編入論文集的共 83 篇。

會議共舉行會議領導小組會一次、大會四次、小組研討會二次、參觀考察一次、優秀論文評選會一次、兩個專業委員會會議各一次。大會發言 (46 人次) 和小組討論十分踴躍、熱烈，會餘交流和諮詢也很活躍，真正做到了廣泛深入研討、加強互補和合作。本屆會議的主要特點：(1) 會議規模大，參會代表範圍廣 (中國大陸 22 個省市、臺灣、香港、日本、韓國等)、人數多 (165 人)；(2) 會議的論文數量多 (86 篇，其中臺灣 20 篇，香港 1 篇)、範圍廣 (發展與規劃，輕骨料及其製品研究、生產和應用，輕骨料混凝土研究和應用，輕骨料混凝土建築工程研究、設計和應用)；(3) 會議與臺灣合作召開，輕骨料混凝土產製與應用方面的技術研討比較成功，有利於今後的進一步合作、交流；(4) 會議在學術界與企業界等方面的交流和合作成果

顯著。

會議交流、研討的主要共識，(1)隨著中國多數地區的大、中城市嚴格禁止使用實心粘土磚、大力推行新型牆體材料和節能建築政策的貫徹實施，中國輕質骨材及輕質骨材混凝土和製品行業正步入新一輪快速發展期。依預測市場需求，及時開發並提高市場競爭能力，獲得社會和企業效益雙贏；(2)重視和吸收大陸內外輕質骨材及輕質骨材混凝土和製品的生產、應用、效果等方面的成功經驗，加強開發、推廣和應用，建議應予積極支援和優惠政策，為牆體構材革新和建築耐震、節能的健康發展有所貢獻；(3)為保護土地資源和生態環境。生產人造輕質骨材的原料應選用頁岩、淤泥或各類工業廢渣（粉煤灰、污泥。銀礦廢渣。煤渣等），臺灣利用水庫淤泥生產超輕、普通、高強輕骨材的成功經驗值得學習、推廣；(4)為提高市場競爭能力，必須確保產品質量，適當提高生產線規模，採取有效節能措施，努力降低生產成本，拓展應用範圍，以質量和經濟優勢取勝；(5)目前中國陶粒混凝土砌塊中摻加強量煤渣的現象普遍存在，嚴重影響產品質量和信譽，主管機關應儘速制訂規範、加強檢測；(6)為拓展輕骨材混凝土在橋梁、高層建築、地下防滲工程。填料等方面的應用，應進一步完善相應的國家標準或行業規程，加強標準宣貫，以確保工程質量，促進輕質骨材混凝土建築工程的發展；(8)為充分發揮輕質骨材及輕質骨材混凝土和製品的產製優勢，應加強國際合作，促進市場發展。

優秀論文評選，經會議"優秀論文評選組(11位專家)"認真審議和無記名投票，有28篇論文被評為會議優秀論文，其中臺灣有七篇，並頒發了"優秀論文榮譽證書"。

在中華建築節能輕質骨材混凝土發展協會號召之下，國內共有25人與會，包括產官學員各界代表，特別是有意投入生產之業界代表，尚遠赴至大陸生產廠商之工廠參訪考察，對於國內目前建廠之技術，未來量產之可行性，獲得自信與自許。

二、論文概要

依研討會論文分類，其內容說明如下：

(一)發展與規劃：

1.大陸：

大陸人造輕骨料的發展與其建設先由中國硅酸鹽學會房屋建材委員會理事長陶有生先生提出報告，次由該學會輕骨料及其製品專業委員會提出中國人造輕骨料及其製品生產、應用現狀及發展方略報告，並由關淑君報告中國輕骨料及輕骨料混凝土之現況和展望，陳振基報告中國牆體材料中的輕集料(骨材)。由以上的報告人均為此業界的領導層，文章(如附錄)中即呈現了大陸地區輕質骨材應用的概況。



照片二、長江大橋

大陸輕質骨材早在五十年代長江大橋(照片二、三)興建便已實際應用於重大工程中，對輕質骨材之研究已有長久歷史，整體發展狀況，彙整如表一。特別是在政策上，禁用實心粘土磚的一系列的規定與政策(Wall Innovation Policy)，聞名中外。目前自 2003 年 6 月 30 日起，被指定的城市與地區已全面施行禁用實心粘土磚。



照片三、長江大橋

表一、大陸輕質骨材整體發展狀況

最早使用實蹟	南京長江大橋
生產能力(2003)	生產廠約 120 家，約 160 條不同規模產線，可年產超過 400 萬 m ³ 。
規範	<ul style="list-style-type: none"> a. 粘土陶粒和陶砂。 b. 頁岩陶粒和陶砂。 c. 粉煤灰陶粒和陶砂。 d. 天然輕骨料。 e. 超輕陶粒和陶砂。 f. 輕骨料及其試驗方法。 g. 輕骨料混凝土技術規程。 h. 混凝土強度評定標準。 i. 鋼筋輕骨料混凝土結構設計規程。 j. 混凝土結構工程施工及驗收規程。 k. 鋼筋混凝土高層建築結構的設計與施工規程。 l. 輕集料混凝土小型砌塊。
研究單位	清華大學、東南大學、哈爾濱工業大學、重慶大學、中國建築科學研究院、中國建築東北設計院、上海建築科學研究院、陝西省建築科研院、四川省建築科學研究所、四川省建材研究院、

	新疆維吾爾自治區建科院、江蘇省建科院、遼寧省建科院、安徽省建材科研院、江蘇常熟吉業機械有限公司、鹽城吉利達陶粒機械製造有限公司、天津武清通用機械廠。
實際產量	380 萬 m^3 ：其中超輕陶粒($<500kg/m^3$) 285 萬 m^3 ，普通陶粒($500\sim700kg/m^3$)89 萬 m^3 ，高強陶粒($700\sim900kg/m^3$)6 萬 m^3 。
應用方向	陶粒混凝土小型砌塊 76%，陶粒混凝土板材 11%，高強陶粒混凝土 1.6%，其他應用 11.4%。
發展趨勢	設計 2010 年陶粒產量達 500~600 萬 m^3 ，其中高強陶粒可由 1.6% 提昇至 3%，普通陶粒由 23% 提昇至 40%，超輕陶粒則下降。
原料開發方向	逐步由粘土、頁岩、粉煤灰等轉向工業廢渣，如：河道污泥、污水處理廠污泥、造紙廠紙漿污泥...等。
政策支持	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1992 年：中國國家發展會以國發 66 號文，提出「在城市建築」中，要限制使用實心粘土磚作為框架結構的填充材料。禁止強度等級 MU10 以下的實心磚粘土磚在 5 層樓以上建築中使用。 2. 1999 年：建住房 295 號文，提出「自 200 年 6 月 1 日」起，各直轄市、沿海地區的大都市，以及個每人平均耕地不足 0.8 公畝的大中城市，應根據當地實際情況，逐步限時禁止使用實心粘土磚時，至 2003 年 6 月 30 日起，被指定的城市與地區則全面施行禁用實心粘土磚。 3. 1999 年：國辦發 72 號文，沿海城市和其他土地資源稀缺的城市，禁止使用實心粘土時，並根據可能的條件限制其他粘土制品的生產和使用。 4. 1999 年：建材規劃發 163 號文，印發「新型建材及製品發展導向目錄」，通知規定禁止發展粘土實心磚生產線。 5. 1994 年：中國財政部國家稅務總局財稅字 004 號文。及 1995 年 44 號文規定“對生產企業在原料中摻有不少于 30% 的煤矸石、石渣、粉煤灰、燒煤鍋爐爐底渣(不包括高爐水渣)生產的建材產品(或牆體材料)實行免徵增值稅”。 6. 財政部國家稅務總局「取消現行對粘土實心磚可按 6% 徵收增值稅的政策，恢復按 17% 稅率徵收增值稅」。新型牆體材料產品，如孔洞率 25% 以上的非粘土類燒結空心磚等，實行按增值稅金納稅額減半徵收。 7. 另外中國也制定建築節能的相關法規，規定新建住宅，其建築取暖耗能應為 1980 年的基礎上節能 50%，利用冷氣空調地區也制定相關規定，實施節能。

2. 台灣：

國內輕質骨材的研究發展，自 1970 年，成功大學土木工程系王櫻茂教授，首先利用旋窯技術，燒製膨脹性頁岩，開創國內研製輕質骨材的研發大門，1980 年，台灣大學高健章教授，採用破碎頁岩，燒製非造粒型的輕質骨材，使得燒結技術更加成熟。1990 年，台灣科技大學營建系開發利用飛灰與底灰的冷結型輕質骨材的造粒技術，開啟工業廢棄物再生利用的途徑，並獲得技術專利(字號 54384)。2002 年，中興大學顏聰教授、陳豪吉教授和台灣科技大學黃兆龍教授，均利用水庫粘土質淤泥，開發造粒與燒結技術，進行輕質骨材混凝土的工程行為測試，建立本土化輕質骨材混凝土的資料庫。

本所於民國九十一年起為期使水庫淤泥產製輕質骨材能產業化，以解決國內砂石不足的問題，開始推動一系列的研發工作，九十一年完成兩案：1. 輕質骨材混凝土使用於 RC 結構物之經濟性評估，以及 2. 鋼結構輕質骨材混凝土建築之經濟性評估。九十二年辦理四項子計畫，1. 水庫淤泥輕質骨材量產技術研究、2. 水庫淤泥輕質骨材混凝土標準規範訂定、3. 水庫淤泥輕質骨材混凝土應用研究，以及 4. 輕質骨材市場需求及輕質骨材混凝土推廣，其中共包含 16 項研究課題，如表二所示。此外，並於北中南辦理四場次的研討會，及四場次的期末成果發表會。參與的研究團隊亦帶領研究生投入國科會的相關研究，成果豐碩。進一步希望擬定方案，促使水庫清淤能與燒製輕質骨材結合，並由公共工程開始率先使用，以達產業發展，同時利於解決砂石不足之急，水庫清淤之困境。

表二、九十二年度水庫淤泥輕質骨材產業化研究與推廣

子項	計畫名稱
1	台灣北區水庫淤泥化性調查及輕質骨材製成研究
2	台灣中區水庫淤泥化性調查及輕質骨材製成研究
3	台灣南區水庫淤泥化性調查及輕質骨材製成研究
4	省能源、低污染的輕質骨材燒結製成與技術研發
5	研訂燒結型輕質骨材標準

6	研訂輕質骨材混凝土技術規範
7	研訂結構及非結構用輕質骨材混凝土預鑄產品技術規範
8	研訂輕質骨材品質試驗方法
9	研訂水庫淤泥輕質骨材之品質驗證
10	輕質混凝土最佳配比設計研究
11	輕質骨材混凝土之輸送、灌製及夯實技術研究
12	非結構用途輕質骨材混凝土產品之產製技術開發
13	建築用途輕質骨材混凝土預鑄產品之產製技術開發
14	輕質粒料及輕質粒料混凝土使用手冊
15	研擬橋梁及高層建築等公共工程使用一定比例之輕質骨材混凝土之推動草案
16	建築技術規則納入輕質骨材混凝土隔熱標準之草案研擬

另在由國科會支持之產學合作研究計畫—水庫淤泥輕質骨材之產製及輕質混凝土之產業化應用，內容如表三。

表三、國科會產學合作研究計畫

(水庫淤泥輕質骨材之產製及輕質混凝土之產業化應用)

計畫總主持人：顏聰教授(中興大學土木系)		
子題	計畫名稱	主持人
1	水庫淤泥輕質骨材之產製	陳豪吉副教授
2	水庫淤泥輕質骨材混凝土之製作	黃兆龍教授
3	鋼筋輕質骨材混凝土梁構件之結構行為與結構設計	許協隆副教授
4	鋼筋輕質骨材混凝土柱構件之結構行為與結構設計	林建宏教授
5	鋼筋輕質骨材混凝土版構件之結構行為與結構設計	干裕成副教授
6	水庫淤泥輕質骨材混凝土非結構用途之產品研發	張明添副教授
7	水庫淤泥輕質骨材混凝土結構用途之產品研發	黃玉麟教授
8	鋼管輕質骨材混凝土之結構行為與結構設計	呂東苗副教授
9	結構用輕質骨材混凝土非破壞檢測技術之研發	林宜清教授

計畫中針對台灣十五座水庫淤泥進行研究，由輕質骨材之產製、輕質骨材混凝土產製、輕質骨材混凝土梁、柱構件行為，至輕質骨材混凝土之結構行為與設計及檢測技術研究進行一系列完整之探討。國內學研與政府代表均呈於會場之論文發表，均能引起大陸與會代表之關注與矚目，各篇論文之內容深度甚獲好評，可見國內紮實之研究努力，其中共有 3 篇論文由大會評選優異論文研究。

(二)輕骨料及其製品的研究、生產和應用：

1.大陸—原料

大陸輕質骨材生產原料研究方面有粘土、粉煤灰、泥岩、銀礦廢渣、銀礦尾礦砂、污泥、水庫淤泥、煤礦剝離土等之研究。而實際生產廠商之原料以粘土、粉煤灰、內河淤泥、淨水廠污泥為主。

表四、粘土輕質骨材之品質要求

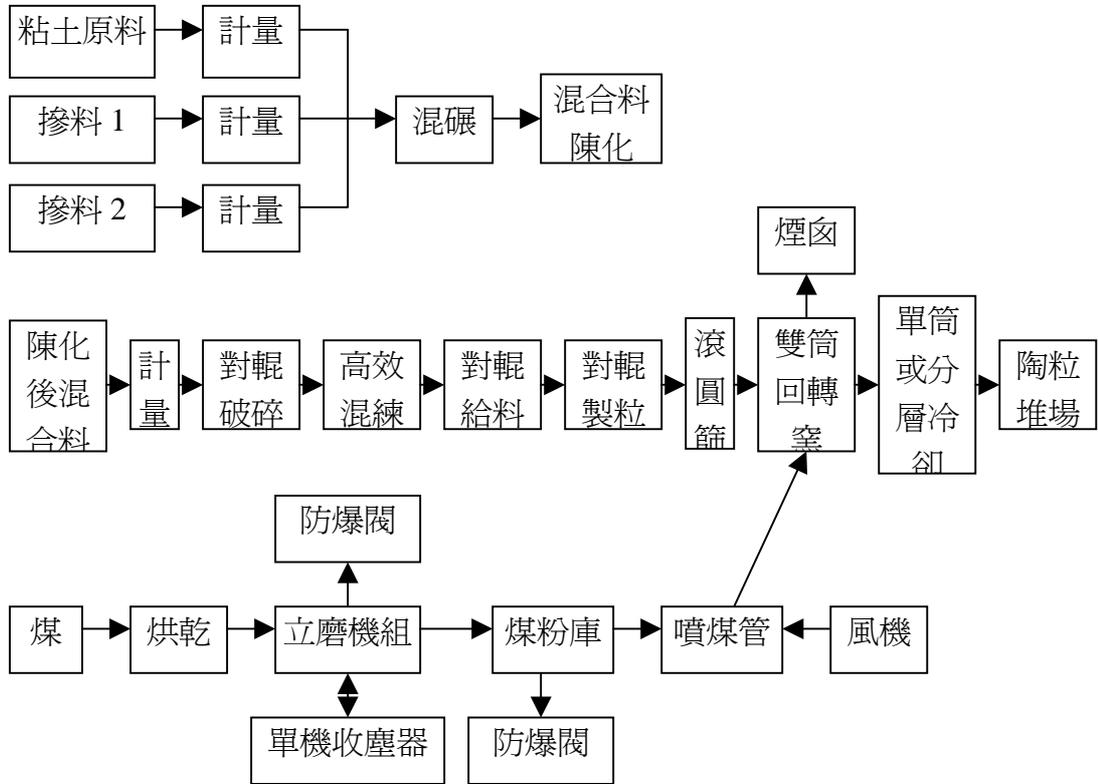
粒度分佈	5 μm 以下 > 50%，5~50 μm > 25%，50 μm 以上 < 25%							
化學成份 (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	LOI
	48~65	14~20	5~9	1~5	1~3	1~5	-	6~13
水份 18~25%	均化程度 > 95%		不得有 > 5mm 之雜物				陳化時間 3 天	

表五、粉煤灰輕質骨材之品質要求

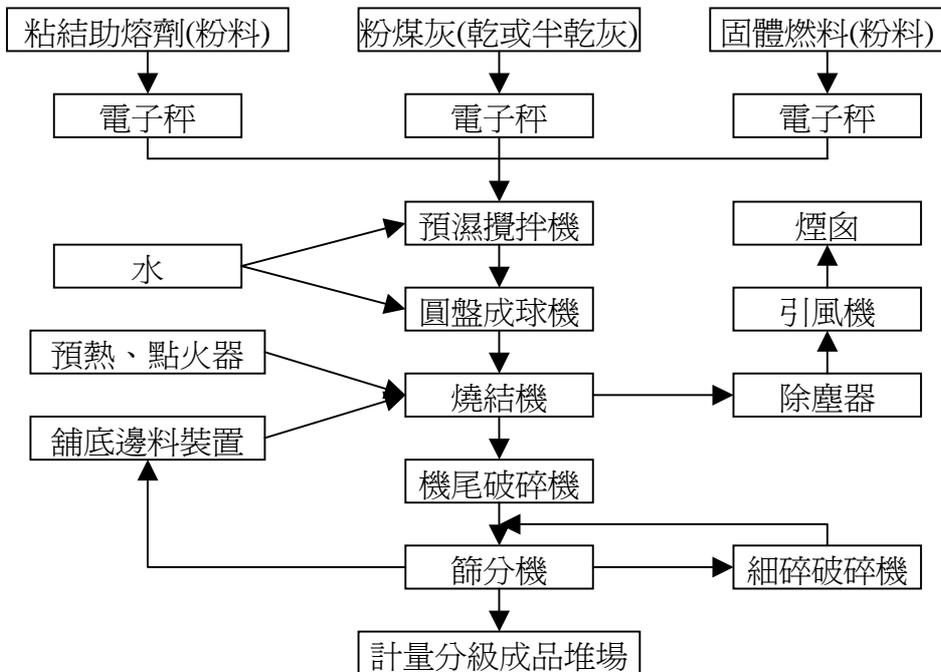
細度	篩餘	含碳量	助熔劑
	88 μm < 40%	< 8%	10~15%
	45 μm < 12%	< 8%	可不添加
	12% < 45 μm < 20%	< 8%	1~3%
	45 μm > 20%	< 8%	3~10%
	45 μm > 45%	不可作為原料	
水份	15~26%		
生料球粒徑	ϕ 5~15mm		
生料球強度	2m 高墜落破碎率 < 5%		

2.大陸－生產

以粘土及粉煤灰且為主要原料之生產流程，如圖一、圖二。



圖一、粘土輕質骨材生產流程



圖二、粉煤灰輕質骨材生產流程

3.大陸－應用

陶粒混凝土小型砌塊占 76%左右，多數採用超輕陶粒和普通陶粒；陶粒混凝土板材(空心隔牆條板、複合保溫牆板、屋面板、樓板等)占 11%左右，主要採用普通陶粒和超輕陶粒；現澆高強陶粒混凝土(超高層框架建築、大型橋梁工程等)占 1.6%左右，全部採用高強陶粒；其它方面的應用(隔熱耐火磚、吸聲磚、屋面隔熱保溫陶粒混凝土、自來水等過濾集料、化工防腐保溫填料、園林與盆景花卉陶粒等)占 11.4%左右，主要採用超輕陶粒和普通陶粒。

4.大陸前十大輕質骨材生產廠

表六、大陸前十大輕質骨材生產廠

排序	位置	廠商名稱	產能(萬m ³ /y)	原料
1	大慶	大廈油田熱電廠輕集料有限公司	20	粉煤灰
2	廣州*	華穗輕質陶粒製品廠	18	粘土
3	鶴崗*	華東保溫建築材料廠	5×2+2×4	頁岩
4	上海*	申威陶粒製品公司	5+5	頁岩、粉煤灰
5	江蘇	金云海發新型建材有限公司	5+5	頁岩
6	天津	寶通輕集料有限公司	5+5	頁岩、粉煤灰
7	雲南*	可保煤礦陶粒廠	5+3+2	粘土
8	南通	大地陶粒有限公司	2+2+2	粘土
9	天津*	利華建材公司	2+2	粘土、頁岩
10	撫順*	新型建築材料廠	3	頁岩

*輕質骨材生產廠兼製品廠。

5.大陸前十大輕骨料混凝土製品廠

表七、大陸前十大輕骨料混凝土製品廠

排序	位置	廠商名稱	產能(萬m ³ /年)	原料
1	北京	萬航新型建築材料有限公司	30	空心隔牆條板
2	深圳	金世紀工程公司	30	空心隔牆條板
3	撫順*	新型建築材料廠	20	複合保溫牆板
5	廣州*	華穗輕質陶粒製品廠	10	砌塊

7	上海*	申威陶粒製品公司	5+2	砌塊
6	本溪	新型建築材料廠	5+5	砌塊
8	鶴崗*	華東保溫建築材料廠	4	砌塊
9	雲南*	可保煤礦陶粒廠	2+2	砌塊
4	上海	住總輕質牆板公司	15	空心隔牆條板
10	天津*	利華建材公司	2	吸聲磚,砌塊,板材

*輕質骨材生產廠兼製品廠。

由上述資料輕質骨材混凝土前十大廠商中，有六家兼具生產骨材及製品。

6.台灣－原料

台灣唯一之輕質骨材生產廠－湧源公司以石門水庫淤泥為主原料，現因內部股東問題已停產。

7.台灣－應用

湧源生產之輕質骨材品質遠較大陸為佳，但市場並不普遍，僅少數用於建築師指定使用之結構工程，最具化表性建築為一台北 101 大樓裙樓。

(三)輕骨料混凝土研究和應用：

本章節主要集中於輕質骨材混凝土之研究，較少論及實際之應用。但相關混凝土研究範圍相當廣泛，可為輕質骨材混凝土之使用提供相當之基礎。研究內容如表：

表八、輕骨料混凝土研究與應用論文內容綜合整理

1.基本性質	新拌、硬固
2.級配影響骨材強度、粒度分佈、預濕程度	強度、透水性、氯離子滲透、抗凍性
3.混凝土性質	自體收縮、握裹、鋼筋粘結、抗彎、耐久性、應變、隔熱性
4.施工	泵送影響、輸氣劑影響
5.養護	自體養護
6.應用	結構(橋用)、高性能、自充填

(四)輕質骨材混凝土建築工程研究、設計與應用：

本章節著重於各項構件行為及施工案例之探討。

表九、輕骨料混凝土建築工程研究、設計與應用

	位 置	特 點
構件 行為	柱	應變(軸向、橫向)、抗壓、破壞模式
	房屋	耐震評估
	梁	彎矩和扭矩組合載重
	梁	抗剪承載力
	圓鋼管	軸壓、承載力
	框架樓層	結構設計
施工 案例	上海蘆浦大橋	引橋工程之結構，粒徑 5~16mm
	高峽至海口楊家材大橋	預力混凝土箱型梁
	珠海國際會議中心	結構用，以減輕自重，粒徑 5~15mm
	南京太陽宮廣場	大圓型屋頂拱梁，粒徑 5~16mm
	雲南體委會舉重拳擊訓練場	結構用以減輕自重

上述表中每一研究或案例皆包含相當多之研究分析，當應用上有需求時，可詳閱研討會論文內容。

三、技術討論座談會

93.11.03 上午由與會專家學者舉行技術討論座談會，整理重點如下：

議題一、山西省發展陶粒之經驗分享。

結果：1.由省政府撥款 2800 萬元(人民幣)進行設廠計畫評估，

目前已進行四年，並計劃引進 500 萬美金(已受挫)及 600 萬歐元資金建廠。

2.建廠規劃年產 30 萬 m^3 粉煤灰陶粒，40 萬 m^3 砌塊。

3.研究之重點在使用燒結機或旋轉窯之選擇，目前選擇

旋轉窯理由如下：

- (1)原料之長久性考量：雖然山西產煤，但粉煤灰用於水泥業價值更高，並非生產陶粒長久穩定、經濟之原料。
- (2)山西多山，砂石資源豐富，價格便宜陶粒用於混凝土骨材，競爭不易。
- (3)燒結機主要生產高強陶粒(混凝土用)，旋轉窯主要生產超輕陶粒且原料來源可更廣泛，同時市場範圍亦較廣。
- (4)因應建築節能要求，超輕陶粒用於保溫工程，為目前市場較大需求方向。

議題二、以上海市都市下水道污泥做為陶粒原料之可行性探討。(此議題佔討論時間約二分之一)

結果：綜合專家討論結果，此一方向不可行理由如下：

- 1.上海為沖積平原，故土質各式各樣，製作陶粒品質難控制，且不易膨脹，陶粒單位重將太大。
- 2.上海寸土寸金，陶粒廠無法設於本區，而污泥搬運至外地再燒製陶粒，成本將大幅昇高，無市場競爭力。
- 3.上海蘇州河之污泥很黑、很臭、含水量非常大，須除污、除臭後，方可使用，但又會提高許多成本。
- 4.污泥製造人造輕質骨材，首先含水量高達80~90%，經脫水、烘乾後，僅剩10~20%之固形物，再經燒失將有機物去除，所剩不到原污泥之10%，此部份殘餘灰燼尚須確認有害或無害，即使無害，也須確認成份是否適合做輕質骨材之燒結原料。
- 5.上海污泥經測試後，燒成溫度範圍很窄，可能只有20℃範圍內，實際量產將很難控制。

6.上海污泥SiO₂:63~64%，不易燒脹。

議題三、高含水量淤污如何應用於陶粒原料。

結果：1.廣州有四個污水處理廠，污泥皆含 polymer 很難脫水，純粹以淨水廠污泥做陶粒原料並不好，須摻配粘土、頁岩等方式控制品質。

2.華研公司目前用紙漿廠污泥為部份原料，摻配後陶粒原料水份仍高達 40~55%，但以英國史密斯公司之設備仍可生產。

3.荷蘭赫爾辛基亦有設備廠商可燒結水份達 45% 以上之陶粒。

4.有專門提供脫水技術之公司，以 200°C 以下低溫脫水後，再高溫燒失 polymer 後，再做為原料。

5.英國研究以淤泥+火山灰燒製陶粒，但以兩座窯生產，第一窯 800°C 以下將無用之物烘乾、燒失並將能源導致第二窯使用。第二窯 1000~1200°C 燒成陶粒，因火山灰 CaO 含量高，燒成較易控制，故較可行。

6.承 5.之理念，但兩窯改為內、外套筒之形式生產陶料。

議題四、台灣水庫淤泥燒成陶粒之優點。

結果：1.台灣淤泥 SiO₂:58~60%，為較佳之燒脹成份。

2.台灣水庫淤泥有機物含量不高。

3.台灣水庫淤泥成份幾乎與頁岩相同，故燒脹範圍較大，且軟化範圍亦大，易於控制。

其他討論：

1.製粒成型方式不同，陶粒離粒密度、強度亦不同，對陶粒成品亦有相當之影響。

2.燒脹溫度及時間之控制亦相當重要。

3. 陶粒品質分析除注重成份及強度外，亦須注意玻璃相之百分比。
4. 粉煤灰當原料不需太細，只要小於 $45\mu\text{m}$ 之量大於 65% 即可。
5. 為了不摻黏結劑(較貴)，可摻 $45\mu\text{m}$ 以下之黏土，提昇原料之可塑性。
6. 超輕陶粒預鑄板，目前生產經驗雖然較不會開裂，但強度太低，仍有技術瓶頸待克服，尚無法量產。
7. 大陸陶粒價格紊亂，目前有許多是 100~120 人民幣/ m^3 。

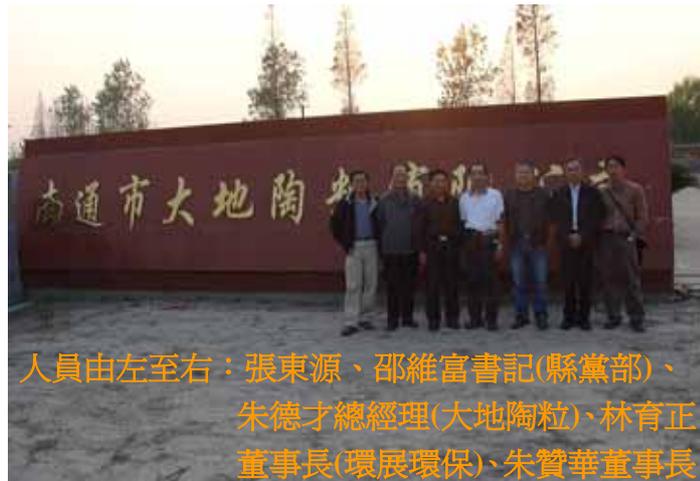
名詞澄清：

- 結果：
1. 污泥：指含有機質或雜質過多之沈泥，如：都市下水道污泥或淨水廠污泥。
 2. 淤泥：雖含有機物或雜質，但量不太大，以礦物為主之河道淤泥或水庫淤泥。
 3. 燒脹：指將陶粒原粒燒至膨脹，但表面未玻璃化，強度尚不佳。
 4. 燒結：指陶粒約在 $1000\sim 1150^{\circ}\text{C}$ 之玻璃化階段。
 5. 燒成：指燒脹+燒結。
 6. 燒脹陶粒：一般指表觀密度 $0.8\sim 0.9\text{g}/\text{cm}^3$ 之陶粒。
 7. 燒結陶粒：一般指表觀密度 $1.2\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 之陶粒。

四、工廠與工地參訪

1. 參訪工廠說明

93.11.02 由中華民國節能輕質骨材混凝土推廣協會副秘書長葉春爐先生安排前往南通市⁽¹⁾參觀大地陶粒有限公司(照片四)，該公司之生產狀況如表九所示。



人員由左至右：張東源、邵維富書記(縣黨部)、朱德才總經理(大地陶粒)、林育正董事長(環展環保)、朱贊華董事長(三奕科技)、葉春爐(副祕書長)、林樹根(興大研究生)

照片四、大地陶粒有限公司

註⁽¹⁾：南通市接近上海，與上海隔長江相望，地處長江沿岸，距南京約三百公里，往返車程約 11 小時。

表十、大地陶粒有限公司之生產狀況

產能	2+2+2 萬m ³ /年
使用原料	內河污泥、粉煤灰、淨水廠污泥共同摻配
配料後水份	20~22%
產品(陶粒)	600、700、800 級陶粒(照片五、六、七)、輕質空心磚(照片八、九)
粒徑範圍	5~25mm
設備來源	自行開發
燃料	煤炭自行磨粉
最高燒成溫度	1150°C
窯徑	前段 19m、外徑 1.45m、內徑 1.1m 後段 12m、外徑 1.2m、內徑 0.7m
陶粒銷售狀況	1.用於 C20 以上混凝土骨材約 60%。 2.用於砌塊骨材約 25~30%。 3.用於水處理陶砂及園藝約 10~15%。



照片五、大地陶粒有限公司陶粒



照片六、大地陶粒有限公司陶粒粗骨材



照片七、大地陶粒有限公司陶粒細骨材



照片八、大地陶粒有限公司輕質空心磚



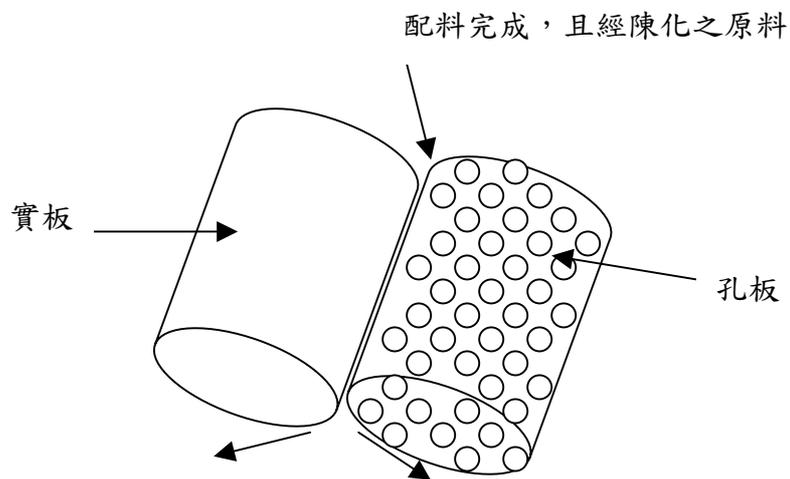
照片九、大地陶粒有限公司輕質空心磚

該公司之設備大部份以人工操作，粉煤進料尚須此人工間歇性噴出，故必須有豐富經驗之工人，以控制旋窯之溫度(照片十)。配料完成之原料，最好經過陳化時間之理由在於原料剛拌合均勻完，水份雖然符合預期，但微觀之水份分佈可能尚不完全均勻，經陳化使其所有顆粒之附著水份均勻，較不會造成某一部份水份太高，進入窯內後，水份瞬間蒸發造成爆裂。



照片十、大地陶粒有限公司旋窯

造粒方式以如圖三之造粒機，當原料通過實板及孔板時，即被擠壓成條狀，同時因自身重力，至一定高度後，於孔板內側折斷、掉下，形成未燒結之陶粒原料。



圖三、造粒機原理示意圖

燒成溫度、預熱狀況、窯徑、窯長、窯旋轉速度等各項之配合十分重要，升溫太慢，陶粒外層尚未玻璃化，氣體已產生則無法將氣體包覆於陶粒內造成膨脹效果；升溫太快，陶粒外層玻璃化未至一定厚度，氣體短時間產生，陶粒易爆裂。同時窯溫太高，表面已玻璃化之陶粒將彼此粘結，造成失敗。

已燒結完成之陶粒，大地陶粒公司以自然冷卻方式降溫，但若能以設備冷卻，讓陶粒外層已玻璃化部份保持完整，則強度能再提高，品質亦較佳。

南通市政府十分支持陶粒混凝土之使用，由市政府出錢建造兩棟樓房，一棟以陶粒混凝土，一棟以一般混凝土建造，用以比對其差異，分別對梁、柱、板之保溫、收縮、抗壓、壓力應變、抗震力進行試驗，以驗證陶粒混凝土之優點。當然上述也與大地陶粒公司與地方政府之關係良好有關。

2、工地參觀

93.11.03 下午由大會安排至工地參觀，(一)南京太陽宮廣場(照片十一)，(二)高壓連鎖磚廠。其中(二)與台灣之高壓連鎖磚廠無太大不同，且未用陶粒為骨材生產，不再贅述。

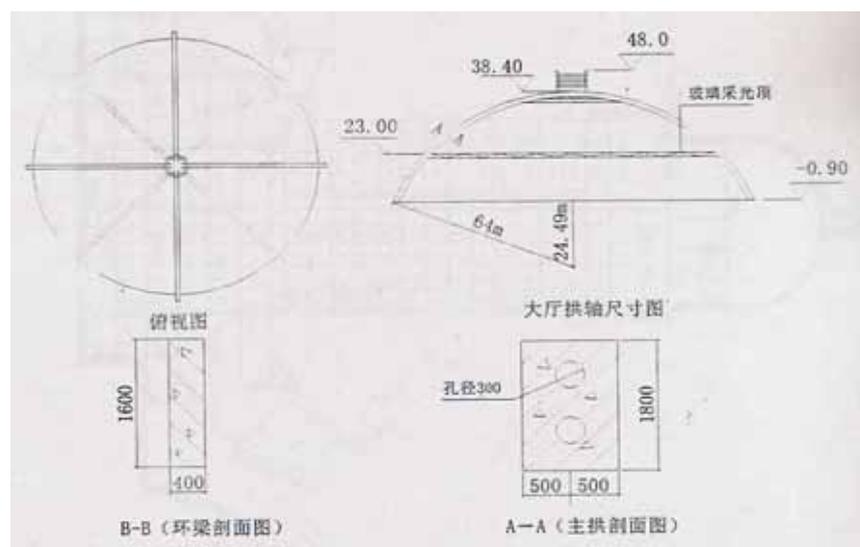
(一)南京太陽宮廣場

太陽宮廣場為半球形(地面層半徑 59m)巨蛋，提供為運動、健身、休閒、遊樂之公共建築，建築面積 47,018m²，主體建築高度為 23m，拱頂高 38.4m，塔頂高為 48.0m。本工程由中國建築技術開發總公司設計，南京第一建築工程公司負責施工，建設部泛華工程有限公司江蘇分公司監理。由上圖所示，大廳屋頂由四支大跨拱梁組成，此拱梁即以輕質骨材混凝土灌製。所用粗材為 5-16mm 的輕質骨材，強度為 19.5KN/m³，單位重為 908kg/m³，筒壓強度為 10.1MPa，一小時吸水率為 5%；細骨材為江砂，混凝土加入減水劑、飛灰摻料，水灰比為 0.33，坍度為 210mm，施工後混凝土強度為 55.7MPa，單

位重量為 18.82KN/m^3 。大梁斷面為 $100\text{m}\times 180\text{m}$ ，圓拱半徑為 64m ，每根拱梁大於 100 公尺，澆製時為考量結構之載重平衡利用三座塔吊，於每根梁兩端對稱澆築，為防骨材上浮，每澆築 $3\text{-}4\text{m}$ 弧長後再於梁上加蓋板，同時留一觀察孔，以觀察其密實度，該等大梁於 2000 年元月完工，使用多年梁構造尚稱完好，但建築外殼則有修補裂縫痕跡，從外觀無法辨識大梁為輕質骨材澆築之訊息。



照片十一、南京太陽宮廣場(四支拱梁為輕質混凝土澆製)



圖四、南京太陽宮廣場拱梁設計

五、訪問行程

一).同濟大學結構工程與防災研究所

結構工程與防災研究所係於土木工程學院之下，該學院尚設有建築工程系、橋樑工程系、地下建築與工程系、測量與國土資訊工程系等。實驗室以土木工程結構抗震與抗風為主要研究目標，重視基礎性研究和為重大土木工程建設服務兩者的結合，研究領域所涉及的地震工程和結構風工程學科都是新興的邊緣交叉學科。地震和風暴這兩種自然災害使人類生命財產遭受巨大損失常常是由於各種土木工程結構物的倒塌造成的。自然災害雖然難以完全防止，但可以通過工程措施加強結構物的抗禦能力，使災害盡可能減輕，以減少損失，特別是保護人的生命。因此，土木工程防災研究的主要目標就在於不斷提高對土木工程地震和風暴災害現象機理的認識，建立結構物抗風和抗震的理論和設計方法，為減輕災害，提供經濟合理和有效的措施，為土木工程的可持續發展提供技術支撐。

結構工程與防災研究所下設有：振動與地面運動觀測室、防災減災研究室、防護工程研究室、結構抗震研究室、混凝土與砌體結構研究室、結構抗火研究室、結構鑒定與加固研究室、結構試驗中心、研究所辦公室、中德土木工程科技資訊中心。其中結構試驗中心也是土木工程防災國家重點實驗室的一部分。

結構工程與防災研究所現有研究人員和試驗技術人員共 56 人，其中教授 15 人，副教授 15 人，高級工程師 5 人，講師及工程師 11 人，行政及實驗技術人員 10 人。研究所是以理論研究為先導、試驗研究為基礎、工程應用為目標的土木建築與結構工程類研究機構，每年完成各類科研專案和工程技術服務專案 100 多項，研究經費到款額每年平均 600 多萬元，與工程界有著密切的聯繫。

研究所有試驗室建築面積 1,350m³，試驗設備的固定資產達 4000 萬元人民幣，其中擁有三向六自由度地震類比振動台系統；含有伺服動力結構試驗系統、大型結構試驗機，以及各種量測用的感測器、記錄儀、資料攫取和處理設備等，可提供結構動力、靜力試驗實驗研究。因之該研究所經常承接委託辦理各種建築結構工程方面的研發、規劃、設計專案和試驗業務等；教授除教學之外，兼辦的專案業務繁重，但兼職的收入相當可觀。

結構試驗中心

1. 結構抗震試驗室

結構抗震試驗室始建於 1975 年，1983 年從美國 MTS 公司引進雙向水平類比地震振動臺，1991 年又增加了垂直方向的振動功能，使之具有三向六自由度試驗能力；同年通過國家計畫委員會和國家教學委員會的驗收，實驗室除作為教學研究外，並開放為業界試驗檢測應用。試驗室現有研究及技術人員 11 人，其中正副教授 6 人、中級職稱人員 2 人。實驗室接受博士研究生、碩士研究生、博士後及客座研究員等進行研究工作，並與美國、日本、新加坡等國同行建立了合作與交流關係。

該研究室主要的科研及工程項目有：

工程結構抗震減災；

建築結構振動控制及智慧結構；

複雜工程結構數值模擬；

超高層建築結構抗震分析與設計理論；

現有建築物結構性能鑒定及修復補強設計；

保護性建築房屋質量檢測；

各類建築物、結構物設計；

機械設備振動測試、試驗及分析；

核電廠反應堆結構及其它設備的抗震試驗及分析。

在教學方面，為本所及外系工民建、土建、橋梁等專業的本科生、碩士生及博士生開設了多門課程，平均每年招收 5

名博士及 10 名碩士研究生。

試驗室長期致力於土木工程防災領域的科研工作，近年來已完成了多項國家自然科學基金，及該國家各部會和上海市的重點研究專案。在國際、中國學術會議及刊物上發表了百餘篇的論文，培育了許多博士和碩士，也提升了該研究的試驗與理論研究地位水準。試驗室強調理論研究與實務應用並重，承接了大量的應用基礎研究和工程試驗任務，輔助了重大工程建設的技術發展。

試驗室的大型振動臺使用的頻率相當高，因為試驗室也是土木工程防災國家重點實驗室的一部分，且試驗室著力提高試驗技術、開發試驗儀器設備、注重人才培養，以及建教合作，故實驗室被評為優秀實驗室之一。截至 2000 年底，本試驗室已完成各類振動臺試驗研究專案達 330 餘項。

試驗室主要試驗設備

- 1、MTS 三向六自由度地震類比振動臺。臺面尺寸為 4m×4m；試件最大重量 25 噸；頻率範圍 0.1~50Hz。
- 2、PMS-500 疲勞試驗機。最大荷載 1000kN，頻率範圍<5Hz。
- 3、YE-5000 型液壓式壓力試驗機，最大荷載 5000kN。
- 4、加速度、速度振動測試與分析系統。

結構靜力試驗室

結構靜力試驗室成立於 1956 年，是一個以教學、科研為主的試驗室，現有各類專業技術人員九人，其中正教授一人，高級工程師一人，工程師及實驗師四人，其他專業技術人員三人。

在教學方面，為本校及校外的工建築、土木、橋梁等專業的本科生、碩士生及博士生開設了建築結構試驗課，每年有近 1500 人次的本科生進入試驗室。進行教學、科研試驗，每年約有 20 名本科生、碩士生、博士生在試驗室進行畢業論文的試驗研究。



照片十二 振動台實驗後的縮尺模型之一



照片十三 振動台實驗後的縮尺模型之二

目前實驗室於的主要研究方向：

1. 地震工程力學的基礎研究
地球動力學及地層波動力學
地震地面運動規律
地基土-結構相互作用
振動臺類比及擬動力試驗技術
各種結構構件的抗震動力性能
2. 地震工程的應用研究

震區劃分、危險性分析及震害預測
各類房屋結構的抗震、評估與補強
各類特殊結構的抗震
橋梁結構的抗震
地震反應的電腦模擬分析及抗震動力可靠度分析
結構減震、隔震及振動控制

試驗室擁有 25.4m×7.2m 試驗台，可供不同材質的複合大型結構、足尺寸和縮尺模型結構試驗，擁有供同步液壓載入系統及先進的美國 HP-3852 和東華測試 HD3815 資料獲取系統，和 5000kN 長柱壓力試驗機等儀器設備。該室並自行研製的 YHD 位移感測器，DY 型位移感測器和 DYC 型位移測試儀，成果已通過認定，目前正在研製 UYY-1 型壓力感測器和 SY-1 型數位壓力測試儀。已有試製品應用在液壓載入系統中，作為應力的量測之用、鋼筋混凝土內部電測及結構混凝土非破壞性檢測，以及足尺寸和模型結構試驗技術上。

該研究亦積極參與重要工程建設專案的試驗，如：

- 東方明珠電視塔結構模型靜力試驗；
- 上海八萬人體育場巨蛋縮尺 1/35 全模型結構試驗；
- 上海大劇院混凝土強度檢測；
- 上海浦東國際機場 81m 鋼結構屋蓋足尺結構試驗；
- 上海東方明珠二期工程國際會議中心，鋼結構巨蛋薄殼全模型和足尺節點

風洞試驗室

風洞試驗室亦為同濟大學土木工程防災國家重點實驗室之一，於 1987 開始興建至 1990 年完成。1991 年 10 月透過國家計畫委員會和國家教育委員會驗收，1991 年起向國內外開放。1997 年被國家計委、國家科委評為優秀國家重點實驗室。

風洞試驗室現有研究和技術人員 18 人，其中教授 3 人、研究員 3 人、高工 1 人，副研究員 1 人。學術帶頭人是中國工程院院士項海帆教授，本室研究工作由中國科學院和中國工程

院院士李國豪教授指導。試驗室已培養、招收博士研究生、碩士研究生 140 餘名，接受博士後研究人員 10 名。本試驗室與美國、日本、加拿大、德國等國同行建立了合作與交流關係。



照片十四 大型風洞 TJ-3 做長跨距斜張橋風洞實驗

試驗室擁有三座大、中、小配套的邊界層風洞。其中 TJ-3 風洞試驗段尺寸是寬 15m、高 2m、長 14m，其風速範圍 1.0~17.6m/sec 為連續可調，是大陸內部最大的邊界層風洞，居世界同類風洞第二位，可以進行跨度超過 2000m 的超大跨橋梁的全橋氣彈模型風洞試驗(如照片十四)，大跨屋蓋結構風荷載試驗，及風環境、排煙擴散等試驗。TJ-2 風洞為一多功能的建築與汽車模型風洞，試驗段寬 3m、高 2.5m、長 15m，風速範圍 1.0~68m/sec 連續可調，是一座適於建築結構、車船空氣動力學及其它有關領域試驗的風洞。TJ-1 風洞是一座直流式邊界層風洞，試驗段寬 1.8m、高 1.8m、長 12m，風速範圍 1.0~30m/sec 連續可調，可以進行橋梁節段模型試驗及單體高層建築、高聳結構模型的試驗，以及纜索風雨振試驗。試驗室配有先進的測風力、測風壓、測風速、測振儀器及數據攫取收集系統和計算機工作站，供科學研究和產業試驗之用。

風洞試驗室及其前身風工程研究組從 1979 年以來先後完成了六十多座大跨距橋梁（包括斜拉橋、懸索吊橋、拱橋、剛構橋等），及近五十多座高層建築、電視塔、煙囪等高聳架構和大跨距屋蓋架構的抗風試驗研究，其中包含有上海南浦大

橋、揚浦大橋、盧浦大橋、江陰長江大橋、南京長江二橋、荊沙長江公路大橋、潤揚長江公路大橋等 22 座大橋，和上海東方明珠廣播電視塔(如照片十六)、上海金茂大廈等 4 座高聳架構，進行全架構氣動彈性模型風洞試驗。具有豐富的風洞試驗技術和數據處理經驗，發展了理論計算分析方法。



照片十五 風洞實驗橋梁模型



照片十六 上海東方明珠風洞實驗

另完成多項中國自然科學基金和教育部、交通部、上海市的重點研究研成果，在學術刊物和學術會議上發表有四百多篇論文。許多科研成果也應用在重大工程上，對經濟和社會都有顯著效益。目前該試驗室乃承擔多項大型複雜架構體系的相關科學和設計理論研究，並繼續接受相關單位辦理長跨距公路大橋等重大工程的抗風實驗研究，為大陸風工程研究的主要中心之一。試驗室在上海市科委、上海汽車工業(集團)總公司支持下完成了 TJ-2 風洞的汽車模型風洞改建工作，並於 1999 年、月正式投入營運，成為大陸首座汽車模型風洞。開拓寬汽車空氣動力學及其他工業空氣動力學研究。

目前實驗室於的主要研究方向：

1. 結構風工程應用基礎研究

- 地表風特性及大氣邊界層的風洞類比
- 建築鈍體空氣動力學的理論和實驗研究
- 風致振動之結構機理及破壞模式
- 典型橋梁截面氣動參數識別方法
- 電腦模擬分析及「數值風洞」
- 結構抗風性能和風載識別
- 結構抗風可靠度分析
- 抗風減災及振動控制原理與技術

2. 風工程的應用研究方面

- 大跨度橋梁結構抗風
- 高聳塔桅結構及高層建築抗風
- 大跨體育建築及屋蓋抗風
- 農村簡易房屋的抗風防災
- 結構抗風防災及可靠度分析

小結：

1. 本試驗室著重理論研究與實務測試應用，承接風工程與工業空氣動力學風洞實驗研究仍然源源不斷，實驗室專家經驗與資料豐富，對於風洞量測的結果或現象，常可以迅速提出改善方法。
2. 中國於風洞試驗設備充足，其大陸內部建築土木的相關風洞測試險驗可以不假外求，試驗模型委外已可由電腦製作，對產業的發展貢獻甚大。

二). 上海現代建築設計有限公司

本項訪問係由同濟大學博士研究生李大椿建築師安排，與上海現代建築設計有限公司總建築師刑同和先生會晤，該公司1998年原為上海建築設計研究院與華東建築設計研究院整併，配合政策改制，為民營化的有限公司。刑總建築師為早期為同濟大學建築系畢業，因其於建築設計上的成就殊榮，今亦

為該系(所)博士生的兼任指導教授，屬教授級高級建築師。

目前上海現代建築設計公司是以建築設計為主的現代企業，合併前的華東建築設計研究院和上海建築設計研究院均有近五十年業績。組合而成的公司集團旗下擁有 20 餘家專業機構和子公司。其業務領域涵蓋工程建設全過程諮詢與技術服務，包括規劃、建築、結構、機電、建築聲學、市政設計，工程總承包、專案管理、工程監理、環境與裝飾設計、工程地質勘察、專案可行性研究、科技諮詢、投資開發等。其著名的作品包括：東方明珠、金茂大廈、上海大劇院、上海博物館、上海圖書館、上海體育場、上海浦東國際機場…等。

依該集團發展策略，業務已從地區性公司擴展到全國性的公司，業務伸入中國 29 個省市及 20 餘個國家和地區。除上海外，在北京、重慶、深圳、西安、海南、廈門、大連、蘇州、天津、青島、武漢、無錫、寧波、南昌、南京、杭州、香港等地設立了近 20 個分院（公司）或辦事處。該集團與美國、加拿大、英國、法國、德國、澳大利亞…等國家和地區的設計機構之合作設計專案達 300 多項，每年度派出設計師前往各國重要的建築設計公司進行習交流，與各國建築界有廣泛的接觸。

該集團 2001 年有員工 2100 餘人，其中擁有中國工程院院士 2 名、國家設計大師 3 名，國家一級註冊建築師、結構工程師 450 餘名，註冊造價工程師、註冊監理工程師各 46 名，高級工程師 500 餘名，有突出貢獻的中青年專家和享受政府特殊津貼的專家 60 多名。至 2003 年度員工達 2800 餘人，國家級設計大師增為 5 名，各專業技術人員占 83%，其中高級工程師占 24%。擁有的國家一級註冊建築師、結構工程師占上海市執業資格人員的三分之一。2001 年度全集團完成經營實收 4.8 億，2003 年度全營業淨收入 9.4 億人民幣，每個員工的一年的平均營收高遠 33 萬人民幣，非常可觀。

小結：

1. 中國各省市的建築設計有限公司由建築設計研究院轉化改制而來，兼具代政府部門核審建築設計案，本身又可以兼辦各項工程的設計施工業務，無所不包，半公半私的立基，形成無與倫比的特殊機構，政府部門的工作直接交由此類公司辦理，其營利自然非常可觀，而且穩賺不賠，以自由經濟體系而言，似屬建築世界的一大怪獸。
2. 上海現代建築設計集團位於中國建設快速發展的首善之區，又將觸角伸整個大陸與國際，市場海闊天空，強調國際化世界觀，為現代企業應有的走向與願景；此為大陸內部營造業、工程顧問公司值得學習之處；另一方面，政府亦須有相關的策略，輔導若干家大公司以強化其體質，促使大陸內部傳統產業國際化，提高競爭力。

肆、心得與建議

一、心得

1. 中國大陸人口眾多，為保護有限耕地，減免取土製磚，破壞土地資源，自 2003 年 6 月起於中國 170 個城市，及發展快速，耕地每人少於 0.8 公畝之地區禁用以黏土製空心磚之政策，雷厲風行，對於近年快速發展的建築產業為一大挑戰。但也因之促成了牆體構造構材的創新、改革，如乾式隔間牆或空心磚牆，甚至引發輕質骨材磚牆等的開發與大量應用，更有助於建築物之減重、耐震效益。在政策的推行上，法規禁令與財稅上的優惠、政令清楚且令業界得以求新求變，創造新局，不失為善策。
2. 建築耗用的資材相當可觀，如能利用再生資源或將廢棄物料開發應用，當有助於地球環境永續發展。大陸地區過去用耗地黏土製磚，改於製輕質骨材，實際上仍然耗用土壤破壞耕地。目前有識之士已見及此狀況與問題存在。在產製輕質骨材上已選用污泥，河道淤泥、煤灰、頁岩為原料，廢棄物資源化與改善保護環境效益，但所佔比例仍然偏低，學術界尚在大力呼籲推動之方向正確。又其產製之輕質骨材陶粒比重

- 甚輕，強度自然不佳，但用在非承重之牆體構材，尚稱適宜。
3. 在研究發展方面，國內以學理為基礎，再推演實務的開發應用，故整體之研發顯然較為紮實，論文之簡報較為充實。而大陸方面較注重與產品的成果、開發，基礎理念較欠缺，故生產技術方法較為粗糙。產、學、研的結合仍有斷層。從本次研討會中輕質骨材之生產、研究、策略而言，產、官、學仍各行其是、各自努力，若非大陸市場廣大，且處於開發階段，此一產業不易快速發展。特別是產品品質管理、分類分級，改善材料特性（強度、及水率與堆積密度或筒壓密度）等仍須加強。
 4. 大陸地區著名大學院校研究設備足夠，在各項建設驟增之際，扮演協助實務檢測且兼有學術研究之效益。惟大學教授亦接辦政府委託規劃、設計業務，兼職工作不少，但對於適量不影響之學生授課指導，又能教學相長，增加學理與實務之融匯，乃值得鼓勵，反之宜限制之。於國內一般大學在應用工程領域之教授，除了教學外，大多只從事基礎理論之研究；相較之下，如工程實務不足，學理與應用上仍有差距者，宜應改善之。
 5. 中國原為各省市建築設計研究院，今加上「有限公司」型式上改制均為的民營化機構，實為半工半私的法人，占盡公私之便利，故營業可觀，與私人企業比較乃有特權地位，承攬設計、規劃管理案件不少，且有代政府審核檢查之權力。審圖的機構為政府認可合格的公司，過去設計研究院，即現在的各省市建築設計有限公司均在列，部分知名的學格亦在指定之列，如國內的建築設計之結構外審，只要較大型或十樣以上之建物，於地方主管指定之下均送審圖機構審查，對於立面或平面不規則的建築造型，耐震性能恐較差者，常會被指定作縮尺模型，以振動台測試其破壞機裡與可能模式。

二、建議

1. 台灣地區位處地震帶上，建築耐震設計應特別關注，耐震設計法規及各項建築構造工法設計施工規範，須經常維護，定

期檢討更新，以符先進科技發展。過去建築結構抗震以最低基本設計需求的理念，因考量經濟性所造成之強震不倒的損害仍然慘重，建議今後應進一步推動以功能性指標水準的耐震性能設計法，以提升建築物之抗震水準。

此外，現行耐震設計規範於上年度已頒行新的修正版本，為使設計者能正確依循，應辦理研討會、講習會加強宣導。設計上對於平面立面不規則、不對稱的建築設計應加強設計檢核，要求結構加強外審，必要時應請比照中國作法，以縮尺進行振動台實驗，以瞭解其可能破壞之機制，防範未然。

2. 國內都市土地昂貴，建地有限，超高層建築日增，而高層建築受風力作用影響，甚至大於地震力作用，且高層建築對附近地區產生微氣候與風環境之衝擊影響，須予進行風洞實驗檢測，以驗證設計風力的合理性，或風環境之衝擊。今風力設計規範送請建築技術審議委員會審查中，應促請儘早審定以發佈施行，並加強宣導法規義旨，以利業界採行。同時，建築研究所已建構風洞實驗設施，對於易受風力作用控制之建築設計，應宣導鼓勵於國內進行風洞實驗檢測。此外，對長跨距之橋樑或斜張橋、懸索吊橋等都承受風力作用，如果設計不當，顫動或擺盪過度，易致橋樑損害或減少使用年限，風洞之實驗可以檢核橋樑跨距、工法、斷面之設計之盲點或問題缺失。在建研所風洞實驗設施人力須加強培訓，實驗設施已可測試，亦須加強宣導，使業界應用既有設施進行必要之風洞實驗。

風洞實驗設施人才培訓與養成，有賴更多的實驗測試機會，以增加實務經驗與知能的的累積提升，為加強國際競爭力與國際接軌，建議派遣主辦同人至大陸或國外參訪研習大型風洞，交流測試經驗。又為提升國內風工程之實驗研究能量，建築研究所正擬定風工程計畫，建議於九十四年度能提報國科會審查，於九十五年度能獲得科專計畫經費支援，逐年強化國內研究發展能量。

3. 國內建築物於九二一大地震前，有近九成的建築構造以鋼筋混凝土結構設計建造，耗用大量砂石、水泥等天然資源，且部分建築於震害後拆除，造成大量廢棄垃圾無法再生利用，鋼筋混凝土 RC 構造建築比率在大地震後已有降低情形，但其具有剛性、韌性建築性能，如和鋼構等建築一般，認真設計施工，仍為可靠安全的耐震結構。RC 構造如能改以輕質骨材設計施工，可以減重、增加耐震性能，減少天然砂石資源應用，且具隔熱、隔音效益，建議加強推廣輕質骨材鋼筋混凝土之建築使用，提升專業設計及施工者之智能。

國內以水庫淤泥燒製輕質骨材之技術、研究水準，足夠輔導輕質骨材產業發展，建議加強產學建教合作、技術移轉，如水泥工業一般，促使產製輕質骨材能產業化。又為使輕質骨材未來能普遍應用拌製輕質混凝土，建議公共工程能選定若干案例試行推廣應用，以為示範，並能逐步擴充示範案件數量。在建築工程方面，可以由非（次）結構構件開始應用，如非承重牆體（外牆或隔間牆）、樓地板、屋頂等率先推行應用。建築用的砌磚或牆板砌塊、屋頂隔熱磚建議先行研發，提出相關規格、模型標準化以及品質檢測試厥法，以增進輕骨材之市場行銷，加速水庫清淤之時程。整體而言，可以研擬推動方案，使水庫清淤與資源再生利用結合，催生雙贏的策略。

4. 中國各大學教授投入專業設計、規劃之情形普遍有過度現象，忽略教學的本職，但因相關實驗設備充實，乃須提供業界服務，教授之實務經驗豐富。而國內學界偏向於學術基礎理論研究，其實務確有不足。建議在適當的負荷能量之下，鼓勵學校教授亦能從事建築、工程規劃設計之業務，以增進教學相長的能力，使教學與實務能並重，學生所學能理論與實務結合。如有相關規範，亦不致使部分教職之外旁務太多，而又能強化工程實務發展，使研究落實於產業應用發展。