

出國報告（出國類別：出席國際會議）

參與美國混凝土學會 2014 春季年會

服務機關：經濟部標準檢驗局

姓名職稱：王華靖 技士

派赴國家：美國

出國期間：103 年 3 月 21 日至 3 月 30 日

報告日期：103 年 6 月 24 日

摘要

經濟部標準檢驗局係我國標準專責機關，依標準法相關規定負責制定及推行中華民國國家標準，肩負引領產業發展的重要職責，必須不斷精進更新標準，將國內產品品質推向世界水準，因此，派員赴歐、美、日等先進國家出席工程領域標準會議，另參訪相關研究單位，進一步討論有關標準化推動進程及成果分享，掌握標準及技術發展狀況，並比較目前國家標準現況，以期國家標準之制修訂業務得以與國際接軌。

土木工程及建築是與民眾生命財產安全息息相關之重要產業，其相關國家標準更是本局重要業務之一，本次赴美國參與美國混凝土學會(American Concrete Institute)所舉辦之 2014 Spring Convention – Concrete Endure 年會，瞭解土木工程最重要之材料 — 混凝土之發展動向。本年會 5 天的議程及技術委員會揭露未來混凝土產業發展必定面臨的問題 — 耐久性，本文摘要 1 篇關於混凝土再生粒料之 ACI 期刊論文，2 場分別關於可替代飛灰之卜作嵐材料及混凝土修補材料之專題演講，不僅是混凝土材料本身之耐久性，更關注地球資源的永續發展。

就本次赴 ACI 年會學習交流，提出土木工程及建築類國家標準制修訂之辦理規劃建議，將因應未來混凝土產業發展動向，積極關注耐久性與永續發展相關議題，針對有關再生粒料、飛灰處理及修補材料之國家標準先行研擬制修訂規劃，以供各界參考依循。

目錄

壹、目的	1
一、 序言	1
二、 緣起及核心目的	1
三、 行程重點介紹	3
貳、過程	6
一、 重要研究報告及專題演講	6
二、 參與 ACI 技術委員會：	15
三、 小結	16
參、心得及建議	17
一、 心得	17
二、 建議	18

壹、目的

一、序言

標準法第一條規定：「為制定及推行共同一致之標準，並促進標準化，謀求改善產品、過程及服務之品質、增進生產效率、維持生產、運銷或消費之合理化，以增進公共福祉，特制定本法。」，經濟部標準檢驗局是中華民國國家標準專責機關，依標準法規定之程序制定可供公眾使用之標準，謂之中華民國國家標準(CNS)。藉由制定涵蓋工程技術、民生及高科技產品等各種領域之 CNS，促進產品標準化，引領國內產業發展；並透過產品驗證制度，確保消費者的權益。

為貫徹標準化之精神，得以引領產業發展，本局必須不斷精進更新，積極瞭解世界產業及技術發展潮流，與國際接軌。因此，本局除蒐集國外標準資料，並且專責辦理國際業務(如：台日合作計畫)，更定期指派同仁赴歐、美、日等先進國家，學習最新標準化制度及技術等，亦培養優秀人才，期望國內產業技術邁入先進國家之林。

本局派員出席工程領域標準會議，另參訪相關研究單位，進一步討論有關標準化推動進程及成果分享，掌握標準及技術發展狀況，並比較目前國家標準現況，以期國家標準之制修訂業務得以與國際接軌。

二、緣起及核心目的

土木工程及建築是傳統產業中，平常令人感受不到，但卻是最為貼近民眾生活的產業，小至溫暖的家庭需要有遮風避雨的房屋建築，大至交通樞紐的公路橋梁、隧道、捷運系統，乃至於摩天大樓等，無一不屬於土木工程之範疇，雕琢環境帶給人們便利。

同時，土木工程也攸關著人們的生命財產安全，於是工程品質將是所有參與工程相關人員，所必須放在第一順位，共同努力的關鍵。而興建土木工程，從規劃開始，經過設計、施工到完工後的營運等眾多階段，其工

程品質良窳取決於各階段參與者的專業技術、管理制度及施工方法等眾多因素。其中，選擇適用且合格的「材料」，以及依規定檢驗所使用的各種「材料」，又更是一大重點。使用合格的材料，方能讓設計者確定材料能正確發揮其性能，使構造物實際力學行為能夠符合設計預期，反之，若材料並未正確發揮預期之性能，構造物將有可能產生非預期之破壞，後果不堪設想。

土木工程最常見的材料為「混凝土」，係一種由水泥、粒料、拌和用水及摻料所組成之複合材料，其具有較高耐久性、防火性、高抗壓強度、鑄造及塑形性及成本較低之優點，國內房屋建築高達九成使用混凝土作為結構。因此，混凝土材料產製技術之優劣，可說直接影響著你我每天的生活，而混凝土材料相關標準，將是守護你我生活安全的重要關鍵。

國家標準中與混凝土材料及試驗法相關標準，常為各界引用的有 CNS 3090「預拌混凝土」，其包含混凝土之配比、坍度及抗壓強度等規定，可確保混凝土具有一定工作度及能夠發展成所設定之強度；CNS 1240「混凝土粒料」，規定混凝土用之常重粒料須具備之級配、雜質及氯離子上限，確保混凝土強度來源及避免氯離子影響耐久性；其他包括 CNS 12283「混凝土用化學摻料」及 CNS 13961「混凝土用拌和用水」等。另外試驗法方面則包含 CNS 1232「混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法」，用以測試混凝土是否達到規定強度的方法；CNS 1238「混凝土鑽心試體及鋸切長條試體取樣法」，規定如何對混凝土鑽心取樣，以及 CNS 13407「細粒料中水溶性氯離子含量試驗法」等接近 200 種。此外，水泥相關標準，亦有 CNS 61「卜特蘭水泥」、CNS 15286「水硬性混合水泥」及 CNS 784「水硬性水泥及水硬性混合水泥之取樣法及試驗量」等 132 種，可說為數眾多。

前述眾多混凝土材料相關國家標準，大多係參考美國材料和試驗協會 (American Society for Testing and Materials, ASTM) 之混凝土材料標準，並考量國內混凝土產製技術及試驗室能力編擬而成。因此，派員赴美國瞭解、學習及交流混凝土相關技術及研究發展現況，有助於擬訂混凝土相關國家

標準制修訂方向，進一步引領國內產業發展方向，追求接軌國際之目標。

三、行程重點介紹

(一)、前言

本次赴美國參加由美國混凝土學會(American Concrete Institute, ACI)舉辦之 2014 Spring Convention – Concrete Endure 年會，在位於美國內華達州雷諾市(Reno City, Nevada, U.S.A)市郊的渡假飯店 Grand Sierra Resort & Casino 展開一場為期 5 日的研討盛會。本年會匯集來自世界各地的專家、學者及產業界專業人士，提供學術研討及新技術博覽等交流平台，除舉行數 10 場涵蓋混凝土材料技術發展、電腦輔助模擬分析、混凝土結構設計分析及混凝土設計及施工規範等主題專題講演議程，更舉辦 300 場以上之技術委員會，所有年會參與者均可列席與會。另外，本年會亦安排參訪、學生競賽以及晚宴等動態活動，整體活動極為豐富，提供完整又盛大的學術界、產業界及研究單位交流殿堂。

(二)、關於美國混凝土學會(American Concrete Institute, ACI)

ACI 成立於西元 1904 年，致力於精進混凝土學術、產業技術及推廣，舉辦學術研討、認證、論文出版、提供獎學金及教育課程，至今已成為世界混凝土技術的國際性組織。

ACI 目前在全球已有接近 20,000 會員及委員，涵蓋全世界 120 個國家，我國會員則有本局土木工程及建築國家標準技術委員國立交通大學趙文成教授及國立台灣大學黃世建教授等人。技術委員會係 ACI 最重要之工作之一，在 ACI 技術委員的努力之下，其所訂定之標準、設計手冊、施工規範及技術報告等，已成為世界混凝土技術最具代表性的依據，ACI 可說是領導全世界混凝土領域的龍頭，我國內政部頒「混凝土結構設計規範」亦參考 ACI 規範編擬而成，其為國內混凝土結構設計最重要的設計依據之一。

ACI 的活動值得每一位從事土木工程相關領域的人士參與，從中必可學習到混凝土非常深入且前瞻的技術，並且跟上混凝土技術發展的潮流。

(三)、關於 2014 Spring Convention- Concrete Endures

ACI 每年舉辦 2 次年會，各屆年會均設定一主題，主要議程及展覽活動之內容大致圍繞著主題。本次年會主題為 Concrete Endures，Endure 在朗文辭典譯為「持續存在」，故 Concrete Endures 不僅指「混凝土耐久性」，更為「混凝土天長地久」，於是本次年會的重點即在於「如何讓混凝土構造物得以具有更長的壽命」或是「混凝土永續發展」。一般而言，混凝土構造物的使用年限約為 50 年，如何延壽或者是建造初期就使之具有更長生命週期，這將成為全球混凝土領域發展所要面臨的一大挑戰。

在廠商展覽方面，本年會參與展覽的業者涵蓋預拌廠、水泥製造廠、摻料藥劑業者、礦物業者、營造業者及工程顧問業者，混凝土材料全生命週期中所歷經的產業均包含在內，各廠商設有攤位，展示混凝土產業最新科技及應用，盛況空前。

學生競賽活動為 Student FRC bowling ball competition，由學生設計鋼纖維混凝土(於混凝土中添加鋼纖維以強化混凝土之抗拉強度)，並且鑄造成球狀進行各項測試，以最接近規定設計條件者獲勝。嚴肅的學術交流之外亦提供趣味競賽增添活力。

其他活動包含參觀內華達大學雷諾分校的地震工程實驗室、雷諾市區觀光及 Concrete Mixer 晚宴，學術相關參訪更豐富參與者行程外，更讓各參與者有得以輕鬆地認識彼此，擴展人脈。

ACI 年會最重要的活動為技術委員會，舉辦 200 場以上，涵蓋總則、材料、設計及建造、結構分析及維修補強等領域，參考最新學術研究、產業發展及管理制度方式編擬或修訂 ACI 規範，透過技術委員會討論而定案，提供使用者依循。ACI 技術委員會的運作為一大交流重點。

(四)、行程表及工作紀要

日期	起迄地點	工作紀要
3月21日 (星期五)	台北→雷諾	啟程：台北→桃園機場→舊金山機場→雷諾塔荷機場→雷諾 Grand Sierra Resort & Casino
3月22日 (星期六)	雷諾	註冊及整理會議資料
3月23日 (星期日)	雷諾	開幕典禮、參與研討會議程
3月24日 (星期一)	雷諾	參與研討會議程
3月25日 (星期二)	雷諾	參與研討會議程
3月26日 (星期三)	雷諾	參與技術委員會
3月27日 (星期四)	雷諾	參與技術委員會、整理會議資料
3月28日 (星期五) 3月30日 (星期日)	雷諾→台北	返程：雷諾 Grand Sierra Resort & Casino→雷諾塔荷機場→舊金山機場→桃園機場→台北

(五)、會議議程：詳如附錄。

貳、過程

一、重要研究報告及專題演講

(一) 概述

如前章提及，本次 ACI 年會主題係關於「混凝土耐久性」，各專題演講議程的研究主題多著重在如何讓混凝土能夠更為長久地使用，從材料控制方面，包括在混凝土配比中減少卜特蘭水泥用量，改採用其他膠結材；或是透過添加摻料，改變混凝土性質符合特殊用途要求。從設計控制方面，透過整體結構安全性及可靠度分析，提出精確模擬混凝土構件受力行為之模型，以掌握最佳設計，避免地震或其他外力造成混凝土結構損傷甚至破壞；從監測及補強方面，非破壞性檢測及極端氣候下對混凝土之監測技術，透過取得即時或非即時混凝土狀況回報，提供工程師評估補強方式之參考，再依據 ACI 規範混凝土維修相關章節，選用適當且符合相關標準(如 ASTM)之材料進行補強。

(二) ACI Material Journal Review 摘要

1、研究基本資料：

- (1) 主題：使用混凝土再生粒料之混凝土配比設計(Design of concrete mixtures with recycled concrete aggregates)。
- (2) 作者：Adam M. Knaack 與 Yahya C. Kurama
- (3) 期刊：ACI Materials Journal, V. 110, No.5, September-October 2013.

2、研究背景：

在美國大約有 2/3 之建造及拆除廢棄物被回收而製造成混凝土再生粒料(Recycled Concrete Aggregate, RCA)，而 RCA 雖然能夠符合結構混凝土用粒料之要求，在使用上仍然嚴格限制用於非結構混凝土，例如道路基層。

使用 RCA 取代天然粗粒料，可降低日後對天然粗粒料之需求，減少

開採、篩析及運送等粒料處理過程之成本。在未來幾年內，翻新基礎建設將增加對混凝土的需求，為使天然資源得以永續發展，這將成為推動結構混凝土採用 RCA 之原動力。然而，目前仍然無針對採用 RCA 的混凝土配比設計標準。

回顧過去對 RCA 之研究可追溯至 1970 年代，過去研究曾指出 RCA 上的殘餘砂漿，將減少 RCA 的比重、增加吸水率及洛杉磯磨損率。而 RCA 的吸水率多在 3.6%~8.7%，與天然粗粒料(0.2%~4.0%)相比有顯著的差異，因此使用 RCA 的混凝土配比須添加更多的水，已達到相同水灰比。一般而言，在取代天然粗粒料的比率(直接重量法或直接體積法計算)超過 30%時，將導致混凝土的抗壓強度及彈性模數降低。完全取代時，抗壓強度大約減少 10%~20%，而彈性模數大約減少 10%~33%。

3、研究方法：

(1) 粒料

本研究使用 16 種再生粒料來源及 2 種天然粒料來源。其中有 15 種 RCA 來自美國各地建造或拆除廢棄物，其原混凝土配比多無法追溯。另外 1 種 RCA 來源係試驗室進行反覆載重測試破壞的預鑄混凝土剪力牆，其配比設計及新拌、硬固混凝土性質細節則可追溯。本研究所使用粒料之各項特性，係依據 ASTM 相關試驗法測得[例如 ASTM C127 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate(對應於 CNS 488「粗粒料密度、相對密度(比重)及吸水率試驗法」)用於測試比重及吸水率、ASTM C131 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine(對應於 CNS 490「粗粒料(37.5mm 以下)洛杉磯磨損試驗法」)用於測試洛杉磯磨損率等]。

(2) 天然粒料混凝土(NAC)配比設計

本研究設計 3 種目標 NAC 配比(代號分別為 NA-PG、NA-CL 及 NA-PG Wet)，作為實驗的對照組。依據前節提及預鑄混凝土剪力牆試驗之混凝土配比並使用前節提及天然粒料來源，採用水膠比 0.44、目標 28 天抗壓強度為 40MPa、坍度 125 ± 5 mm 及含氣量為 $5.0 \pm 1.5\%$ 。NA-PG 及 NA-CL 分別採用 ASTM C150 規定之 TYPE I 水泥(普通水泥)及 TYPE III 水泥(早強水泥)，而第三種 NA-PG Wet 則使用較多的輸氣劑及較多拌和用水，其目標 28 天抗壓強度為 30MPa、坍度 200 ± 25 mm 及含氣量 $6.0 \pm 1.5\%$ 。

(3) 再生粒料混凝土配比設計

本研究共使用 144 種 RCA 混凝土配比設計，控制變因為取代率 R，即為 RCA 取代 NAC 中 NA 之比率，藉以探討再生粒料對混凝土之抗壓強度、彈性模數及坍度之影響。

(4) 試驗方法：

分別採用 ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens(對應於 CNS 1232「混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法」)及 ASTM C469 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression 測試抗壓強度及彈性模數。

4、重要研究結果摘要：

- (1) 抗壓強度及彈性模數均隨著 RCA 中的有害物質含量及吸水率的增加而降低。
- (2) 抗壓強度的試驗變異性較彈性模數結果大。
- (3) RCA 對混凝土抗壓強度的影響較對彈性模數影響大，因此用於結構設計時，比起注意強度降低問題，更應特別限制撓度的增加。

(三) 專題演講：ACI 546R Repair guide – Material

1、簡介：

ACI 546R The Concrete Repair Guide 係由 ACI 出版之技術報告，提供混凝土修補方法、混凝土打除、材料選擇、保護系統及強化技術之指南，當混凝土產生各種損傷甚至破壞時，設計者即可參照本指南，評估實際損害情形及發生原因，選擇適當之材料及工法進行修補。

2 位演講者分別為來自 SIKA CORPORATION 的 Timothy Gillespie 及 JE TOMES&ASSOCIATES 的 Chris White，講演重點著重在第四章 Materials，亦即如何選擇適當的材料及工法。

2、演講內容摘要：

(1) 傳統混凝土及砂漿(Conventional Concrete & Mortars)：

傳統混凝土具有經濟性、易於塑造，其適用性非常廣闊，透過不同混凝土配比設計可符合特定需要(例如配合母材調整強度、工作性等性質)，多應用在柱、牆及樓板的全深或部分深度，或是橋面板等大體積之修補。但需特別注意修補材與既存母材間之乾縮情形，否則修補後之接縫處，可能再次產生乾縮裂縫。此外，仍須考量適當混凝土養護。

傳統砂漿之優點與傳統混凝土類似，傳統砂漿典型應用於較細或體積較小之修補，例如表面修補等應用。同樣地，除了注意乾縮問題外，砂漿須特別注意反覆凍融所產生的損傷。

材料標準可參照 ASTM C94 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete(對應於 CNS 3090「預拌混凝土」)及 ASTM C387 Standard Specification for Packaged, Dry, Combined Materials for Concrete and High Strength Mortar(對應於 CNS 15632「袋裝乾拌水泥砂漿及混凝土」)。

(2) 工廠混合包裝材料(Factory blended and packaged materials)：

此種類型之材料係將水泥及粒料，依一定配比預先於產製工廠混合後包裝，並於包裝上註明該袋裝材料之配比，使用者即可依需求選用適當之配比，運送至工地現場直接加水拌和後即可使用。此種類型材料於產製工廠預先混合，對於粒料級配、水泥含量、摻料及添加物的使用均可最佳化以維持較好的品質。

工廠混合包裝材料的優點在於使用上非常方便，品質亦比較穩定。其拌和量較少，較適用於重新抹平牆壁或地板處等較薄之修補、調整高度、快速施工及噴凝土等。惟仍然須特別注意其與母材間乾縮之問題。

可參照之材料標準包括材料標準 ASTM C928 Standard Specification for Packaged, Dry, Rapid-Hardening Cementitious Materials for Concrete Repairs(對應於 CNS 15631「混凝土修補用袋裝乾拌速硬膠結料」)及 ASTM C157 Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete。

(3) 水泥漿(Cement Grouts)：

水泥漿不使用粒料，僅為水泥加水而得，可為塑性、可流動或流體，通常會併用摻料以減少水用量、最小化乾縮、加速或緩凝。水泥漿使用最為容易，且具有經濟性而廣泛應用於將泥漿固結、填補裂縫、填補孔洞及錨定。但其應用上需要束制避免滿溢，且待填補的裂縫需約 0.25 吋之大小使水泥漿得以注入。

可參照標準為 USACE CRD C621(美國陸軍工程兵團標準) Corps of Engineers Specification for Non-Shrink Grout。

(4) 聚合物-卜特蘭水泥混凝土或砂漿(Polymer-Portland Cement Concrete & Mortar)、聚合物混凝土或砂漿(Polymer Concrete & Mortar)：

此類型材料係使用聚合物取代部分或全部水泥，視混凝土之用

途選用適當之聚合物(例如乳膠)，可達到抗凍融、增加固結強度、低透水率及耐久性等功效，亦有快速養護、高強度、附著性好及抵抗化學物質的特性。故此種材料常應用於樓層修補或游泳池、渠道及水壩等容納大量水的結構。

此種材料需特別注意施作時之溫度，將會影響混凝土之性質；其可施作時間非常短暫，而且部分聚合物可能產生揮發性有機化合物(VOCs)而造成健康危害。可參照標準包括 ASTM C685 Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing、ASTM C1438 Standard Specification for Latex and Powder Polymer Modifiers for use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar 及 ASTM C1439 Standard Test Methods for Evaluating Latex and Powder Polymer Modifiers for use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar。

(5) 磷酸鎂混凝土及砂漿(Magnesium Phosphate Concrete and Mortar)：

此類型材料具有極快速硬化的特性，早期強度高且滲透性低，經常用在高速公路、橋面板等需要快速修補之處。但快速硬化同時也帶來難以抹平施作的缺點。可參照標準包括 ASTM C1600 Standard Specification for Rapid Hardening Hydraulic Cement 及 ASTM C672 Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals。

(6) 輔助性膠結材料(supplementary cementitious materials)：

常用的輔助性膠結材料包括矽灰(Silica Fume)、乾縮補償水泥(Shrinkage-Compensating Cement)及快速凝固水泥(Rapid setting Cements)。添加矽灰以減少滲透性、增加密度及強度，但同時亦變得易受乾縮裂縫影響；採用乾縮補償水泥，藉其具有膨脹特性補償乾縮，但必須適當控制劑量，以免過度膨脹產生問題；採用快速凝

固水泥可降低凝固時間而增加早期強度，適用於須快速修補之處。

相關可參照標準包括 ASTM C1240 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures(對應於 CNS 15648「膠結混合料用矽灰」)、ASTM C845 Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement、ASTM C806 Standard Test Method for Restrained Expansion of Expansive Cement Mortar 及 ASTM C878 Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete。

(7) 摻料：

摻料係水、粒料及水硬性水泥之外的添加物，用於調整膠結物的性質，常用的包括速凝劑、緩凝劑及減水劑。速凝劑用以減少凝結所需時間及增加早期強度，但可能造成鋼筋腐蝕；緩凝劑則用於增加工作時間，使膠結物較容易施作，但卻會減低強度；減水劑用於在不改變水灰比的情況下增加坍度及工作度，或用以減少水灰比而增加強度卻不影響工作度，但減水劑可能造成泌水及析離等問題。

相關標準包括 ASTM C125 Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates(對應於 CNS 14891「混凝土及混凝土用粒料詞彙」)、ASTM C494 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete(對應於 CNS 12283「混凝土用化學摻料」) 及 ASTM D98 Standard Specification for Calcium Chloride。

3、演講小結：

許多產品可供使用，同時也有許多選擇需要考慮，沒有比適當地調查、設計、表面處理及安裝之過程更重要的。如果修補處理得好，甚至可以再持續使用達十年以上。

(四) 專題演講：The Potential of Natural Pozzolans to be a Class F Fly Ash Replacement in Concrete

1、簡介：

本專題演講係由來自德州大學奧斯汀分校(University of Texas at Austin)的 Rachel Cano、Raissa Ferron 及 Maria Juenger。

F 級飛灰係發電廠燃燒無煙煤或煙煤而產生，其屬於一種卜作嵐材料，可用於取代混凝土配比中的部分水泥。許多研究指出摻有飛灰的混凝土，可降低水泥水化反應的反應熱及提高長期強度的特性。然而，美國環保署控制空氣污染的政策，使得發電廠更換燃煤來源而無法產生較好品質的 F 級飛灰，目前迫切需要找尋 F 級飛灰的替代品，可以達到與 F 級飛灰相似強度及耐久性效益。

2、研究方法：

- (1) 找尋 F 級飛灰的替代品，其能夠符合 ASTM C618 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete(對應於 CNS 3036「混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作嵐攪和物」)中對卜作嵐材料之要求、類似的抗壓強度、耐久性(抵抗粒料鹼矽反應及硫鹽酸侵蝕)及新拌混凝土性質。
- (2) 本研究使用 8 種材料，研究其特性，包含浮石(Pumice)、珍珠岩(Perlite)、玻璃質飛灰(Vitric Ash)、沸石(Zeolite)3 種(2 種顆粒較粗、1 種顆粒較細，代號-粗沸石 A、T 及細沸石 Z)、偏高嶺土(Metakaolin)、頁岩(Shale)，必須與 F 級飛灰特性相符。
- (3) 3 種沸石在細度、最高含水量等性質無法滿足 ASTM C618 要求，其他 5 種可通過。
- (4) 找尋最佳取代量以降低混凝土或砂漿因為粒料鹼矽反應而產生的膨脹，且不因過量取代而造成強度降低。採用 ASTM C1567 Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method)量測粒料鹼矽反應抵抗性，結果發現大部分材料

最佳取代量為 25%，唯獨粗沸石 A 需要 35%。

- (5) 混凝土抗壓強度測試：採用 ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 測試，相對於一般混凝土，部分試體早期強度較大，部分試體長期強度較大，但亦有部分試體無法大於一般混凝土。
- (6) 粒料鹼矽反應抵抗性：依據 ASTM C1293 Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction，若 2 年時之膨脹量小於 0.04%，該取代材料即可視為具有避免混凝土產生粒料鹼矽反應之特性。試驗結果所有材料均通過此項測試。
- (7) 硫鹽酸侵蝕抵抗性：依據 ASTM C1012 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution(對應於 CNS 14794「水硬性水泥砂漿棒暴露於硫酸鹽溶液中之長度變化試驗法」)進行長度變化試驗，若試體浸於硫酸鈉 1 年，其膨脹量小於 0.10%，則視為具有硫鹽酸侵蝕抵抗性，試驗結果能夠通過硫鹽酸侵蝕抵抗性測試者包括偏高嶺土、浮石、珍珠岩及細沸石 Z。
- (8) 新拌混凝土性質：分別依據 ASTM 403 Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance 及 ASTM C143 Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete(對應於 CNS 1176「混凝土坍度試驗法」)測試終凝時間及坍度，測試結果介於 4.5~6 小時之間，而飛灰則為 5.3 小時；坍度須介於 3~5 英吋之間，除細沸石 Z 無法符合之外，其他均可達成坍度目標。

3、研究結論：

- (1) 除 2 種粗沸石不適用之外，其他材料均可作為 F 級飛灰之替代品。

- (2) 考慮抗壓強度，浮石、偏高嶺土、頁岩及細沸石 Z 具有較好的長期抗壓強度性質。
- (3) 所有材料均通過粒料鹼矽反應抵抗性測試。
- (4) 偏高嶺土、浮石、珍珠岩及細沸石 Z 可符合硫鹽酸侵蝕抵抗性。
- (5) 綜合以上，細沸石 Z 性質較佳，但必須注意其坍度不足的問題。

二、參與 ACI 技術委員會：

ACI 借助超過 3,000 位自願服務於委員會的技術委員，發展最新版關於混凝土之標準及技術報告。委員會委員組成包含所有專業程度及產業的任何環節，世界各地的學生、年輕的專業人士到產業界的資深前輩都歡迎加入委員會。

ACI 技術委員會包含五大領域，分別為一般(General)、混凝土材料及性質 (Materials and Properties of Concrete)、設計及施工 (Design and Construction)、鋼筋混凝土及結構分析 (Concrete Reinforcement and Structural Analysis) 及特殊應用及修補 (Specialized Applications and Repair)。例如其中著名的 ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary 即經由技術委員會討論、共識決議而編擬，而 ACI 318 係我國內政部頒「混凝土結構設計規範」主要參考依據，其內容多引用 ASTM 作為其材料之產品要求及試驗方法之依據。

ACI 各技術委員會主席資格要求，則必須具有足夠資歷及能力，在該領域需有足夠廣博的知識，並且可出席 ACI 技術委員會。在技術委員會中，主席的職責包括設定開會議題、招募及聯繫出席委員、主持委員會議、必要時建立分組委員會及維護技術委員會網站等工作，並且統整後呈交 ACI 活動委員會。而技術委員會主席，係由 ACI 活動委員會面談有意願擔任主席的成員中，並參考現任主席之建議及候選人資格而選出，任期通常為 3 年。其他工作人員包括副主席及秘書，由主席指定。副主席襄助主席職務，而秘書負責記錄、分配會議議程等庶務工作。

以本次參與之技術委員會為例，會議開始前先由主席宣讀議程，接著由所有參與者自我介紹後展開，規範或標準中之條文文字以及各委員審查意見，均投影於顯示幕上供所有與會者檢視，逐條逐項均需通過表決才得以定案，反對者必須提出反對理由及建議修改方式後繼續討論。雖因而會議時間冗長，但也確保審查品質。

三、小結

ACI 年會舉辦活動內容非常豐富且完整，作為世界混凝土學術、產業及科技的引航者，ACI 及其遍布世界的會員著實貢獻卓越，其從事之教育及研討活動更是提供產、官、學、研各界交流的最佳機會。

參、心得及建議

一、心得

派員赴國外進修、考察及交流等確有其必要性，藉由學習國外先進國家最新的科技、技術及學術發展，並且了解其標準化或相關產品管理驗證制度，帶回國內比較檢討避免閉門造車，以迎頭趕上先進國家發展的腳步，減少空轉與虛功。

本次赴美國混凝土學會參與 2014 春季年會，對於世界當前混凝土產業發展所遇到的問題有更深刻的了解，世界各地的學者、產業界人士及研究人員也都致力於解決相關問題。近代混凝土產業發展至今約一世紀，從以往僅注重安全性的設計，至今除了安全性之外，還必須考量耐久性、工作性、經濟性及生態性，混凝土這項傳統產業，在各界的努力下不斷地改良，漸漸地也結合諸多科技向上發展，直至今日已成為多元性能的進步產業。

人類發展日益快速，世界人口數量爆炸性成長已突破 70 億大關，對於「住」與「行」這兩大生活基本需求也是隨之猛烈上升，混凝土產業也就扮演著非常重要的角色。然而，慾望無窮卻資源有限，開發不可能永無止境，人類生存空間勢必遭受限縮，混凝土未來的發展之重點也將由安全性及工作性技術層面，朝向經濟性、生態性及耐久性等永續發展層面。

這三者之中，耐久性也許是最重要的因素，正如同本次 ACI 年會的主題。以我國現況而言，許多混凝土建築逐漸達到使用年限，勢必要開始補強或是重建，恢復功能性。九二一地震帶來的震撼仍歷歷在目，如果許多建築因為過於老舊而劣化，無法承受地震力，後果將不堪設想。補強或重建將再度消耗大量資源，但如果能夠仔細考量耐久性，選擇最適合的工法及最正確的材料進行補強，壽命甚至可延長數十年；或依規定正確設計、選擇合格的材料及正確施工重建，各階段都能夠仔細考量耐久性及未來維護的問題，建築物將不用再次消耗過多的資源補強或一再需要重建。考量

耐久性可減少資源消耗，減少更多開採，因此，經濟性與生態性也同時兼顧。此外，積極發展再生粒料的耐久性能，未來用於混凝土結構設計及施工，也是耐久性、經濟性及生態性三者兼顧的發展方向。

標準引領產業發展，未來我國 CNS 國家標準有關混凝土材料的發展，可考慮優先制修訂混凝土或水泥砂漿等有關結構體補強材料相關範疇，使各種補強材料能達到標準化且品質優良，提供國內工程業界適用的材料標準。另外，密切關注混凝土再生材料的研究方向、產業現況及市場接受度，未來亦將可列為重要標準制修訂計畫，提前因應未來發展趨勢。

二、建議

- (一)、目前國內有採用混凝土再生粒料鋪築道路的案例，而再生粒料之材料標準僅有 CNS 1240「混凝土粒料」可供引用，目前 ASTM 亦無相關標準可供參考，但再生粒料之相關研究已如火如荼展開，經查 ASTM 出版之期刊亦有探討再生粒料之相關性能。應密切關注再生粒料發展情形及相關案例，未來是否能夠發展為標準。而進行再生粒料研究時可能引用到之相關試驗法標準，可優先檢視是否有制修訂必要。
- (二)、臺灣電力公司之火力發電每年都產生大量副產物飛灰，行政院環境保護署亦列為廢棄物進行管理，未來必面臨飛灰處理之政策性問題。國內就飛灰對混凝土之影響亦已進行多年研究，而本局亦已制定飛灰及卜作嵐材料相關標準(如 CNS 3036「混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作嵐攪和物」等)，未來可注意環保署及臺電公司對飛灰處理之動向，作為標準修訂參考。
- (三)、由於我國相關混凝土結構設計規範多參照 ACI 規範而編擬，而 ACI 規範亦多引用 ASTM 之材料相關標準。因此，混凝土修補材料方面，建議參考 ACI 546R Repair Guide 所引用之相關 ASTM 標準，制修訂我國 CNS 標準，提供適合我國混凝土結構設計規範之引用。
- (四)、承上，建議可優先規劃參考下列 7 種相關 ASTM 標準編擬 CNS 國家

標準，列入未來工作事項：

1. ASTM C685
Standard Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing ◦
2. ASTM C806
Standard Test Method for Restrained Expansion of Expansive Cement Mortar
3. ASTM C845
Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement
4. ASTM C878
Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete
5. ASTM C1438
Standard Specification for Latex and Powder Polymer Modifiers for use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar
6. ASTM C1439
Standard Test Methods for Evaluating Latex and Powder Polymer Modifiers for use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar
7. ASTM C1600
Standard Specification for Rapid Hardening Hydraulic Cement