



高性能混凝土理論與實務

黃兆龍

詹氏書局

高性能混凝土理論與實務

— 混凝土研發實務、品質保證及設計施工必備利器 —

作者

黃兆龍博士

<http://140.118.105.144/>

©2003

詹氏書局

國家圖書館出版品預行編目資料

高性能混凝土理論與實務／黃兆龍著．—初版．

—臺北市：詹氏書局，2003[民 92]

面； 公分

參考書目：面

含索引

ISBN 957-705-259-2

1.混凝土

440.327

92004041

版
權
所
有



翻
印
必
究

高性能混凝土理論與實務

作 者：黃 兆 龍

發行人：詹文才

發行所：詹氏書局

登記證：局版台業字第三二〇五號

郵政劃撥：0591120-1

戶 名：詹氏書局

地 址：台北市和平東路一段一七七號九樓之五

電 話：(02)23918058・23967077・23412856

傳 真：(02)23964653・23963159

網 站：<http://archbook.com.tw>

E-mail:chansbok@ms33.hinet.net

E-mail:archbook@sparqnet.net

初 版 2003 年 4 月

定價：新台幣 800 元

I.S.B.N 957-705-259-2



作者：黃兆龍 博士

高性能混凝土理論與實務－混凝土研發實務、品質保證、設計施工必備利器

混凝土材料為最主要且最廣泛被應用的營建材料，性質相當複雜，影響品質的因素亦甚多，為了確保品質均勻性，必須在規劃設計及施工計畫階段即重視「料源管制」、「製程管制」及「成品管制」，透過 PDCA 程序施以合理管制手段，才足以滿足工程要求之品質，確保業主、設計者、施工者及消費者的權益。近年來，海砂屋、捷運帽樑裂縫、碧潭橋裂縫、樑柱接頭蜂窩、中空柱、塑性龜裂等等問題，委實困擾者混凝土基礎研發及施工實務者。「高性能混凝土理論與實務」一書特別針對過去混凝土結構物病症，提出緻密配比混凝土配比設計理念，著眼點即期望混凝土在催生過程即能充分應用中國「生剋之理，自然之道」，使材料間「相容互生」，進而確保混凝土結構物歷久彌堅之品質。

本書作者及其研究群二十數年來教學、研究及推廣實務的經驗及熱忱，參考國內外最新資料及標準規範編著此書，其目的在喚起消費者、施工者、預拌混凝土生產者、工程規劃設計者及主管官署有品質至上之共識，創造更美好的明日。本書內容淺顯，解說詳晰，對有志於混凝土材料品質控制教學研究，品質控制實務，及鑑定者將有所助益。

經歷長時間輔導工程界科研發展及實務經驗，作者深諳工程品質低落的主因，因此在美國香檳城伊利諾大學完成營建管理碩士後，繼續攻讀工程材料，並獲得博士學位。黃兆龍教授返國後，任教於國立台灣科技大學營建系所，苦心經營灌溉「營建材料研究室」，全心全力推廣土木工程材料之教育，並於民國八十五年設置「營建材料資訊室」全球資訊網站 (<http://140.118.105.144>)，將研究成果回饋社會，輔助營建工業界提昇材料施工品質及施工技術。黃博士主持過甚多研究計畫，其論文數百篇散見於學術期刊及雜誌上。近年來，更全力推廣「高性能混凝土」科技，其中主持了遠企大樓、高雄 85 國際廣場、中殼防爆牆、海洋生物館、車測中心等研究案，致力產學合作，獲 86 年教育部優良產學合作獎，業界稱為台灣「高性能混凝土」催生者。

本書即在獲得多年之理論及實務經驗下，加上西元 2001 年休假期間，周遊大江南北，於十數所大學傳授高性能混凝土之哲理所撰寫之著作。在混凝土教育上，黃教授認為除了基礎學術理論的學習外，應加強試驗及思考訓練，把握影響材料品質的因素，尋求解決的方案之外，並應實際印證，將理論落實工程界，以確保混凝土工程品質。因此，黃教授潛心開發高性能混凝土材料，創立「黃氏緻密配比法」，在低水量及水泥量下，確保水泥有足夠水化水的前提下，使混凝土具高流動性、免振動、高品質、易施工的性能。近來年，更進而協助優生鋼筋混凝土的認證工作，企望國內混凝土業界能以建立世界威望為目標，作為跨世紀混凝土工程新指標，更期望混凝土結構物能歷經千年而不毀。

序 言

雖然撰寫專業書籍是非常枯燥乏味的苦差事，但是寫這本書卻是充滿喜悅，就如同筆者常掛在嘴上說「高性能混凝土」是讓大家都「能高興的混凝土」般。其實長久以來就一直有一股衝動，想將國人自創品牌的「混凝土理論與實務」傳授給工程界，以便終結國人因混凝土品質不良而導致九二一大地震的夢魘，也算是學者對國家應盡的社會責任吧！然而，直到西元 2001 年台北科大土木系林至聰主任邀我講授混凝土新知的剎那，觸動振筆疾書的引信，當下就將本書的架構及系統建構完成，那時適逢筆者第二次教授休假一年，在大陸同濟大學等學校講學，就將此構想及系統分別在大江南北十四所大學，作實驗性的教學，同時蒐集大陸與台灣各界的混凝土工程問題，增強了高性能混凝土的思想體系，期間更匯集各國混凝土大師們對此材料的批判及期許，參考古代混凝土耐久之實蹟，再加上近年來數百篇論作的經歷，所以很快的在一年內完成了本書的撰寫工作，經過約十次冗長的校對工作，終於「高性能混凝土理論與實務」能順利跟國人見面，也算是一點成就吧！

本書撰寫期間除感謝愛妻瑜琴及家人的支持外，更要感謝各界人士贊助、批評、指導、推動、激勵的激盪下，使筆者能三番兩次戰戰兢兢更深入巨微觀層面，小心翼翼撰寫本書。最後感謝營建材料研究室二十年來歷屆博士、碩士及學士生們的努力耕耘及傑出研究成果，助理群長年的協助，尤其近年來湛淵源教授、李隆盛教授、蔡志達博士生、陳以政先生等人針對研究成果的匯集及處理，助理李亭儀、林雅詩的打字校對等煩雜工作的付出，都是本書出版的重要功臣。最後，謹以此書的精神獻給全體工程界，期望未來混凝土構造能如同古羅馬建築物般千年而不毀，保障生命財產的完整性，確保人性尊嚴，是所至盼！

作者黃兆龍博士
謹誌於營建材料研究室
西元 2003 年 3 月 8 日

高性能混凝土理論與實務

作者簡介-----	III
序言-----	V
理論篇	
第壹章 高性能混凝土點線面概論-----	1
壹、混凝土的歷史軌跡-----	3
貳、混凝土構造物的自然考驗-----	8
參、混凝土的性質與行為-----	13
肆、混凝土結構物耐久性的啓思-----	15
伍、混凝土與文化美學藝術之結合-----	18
陸、混凝土的綠色主義-----	20
柒、混凝土數位化的遠景-----	22
第貳章 高性能混凝土中膠結料的微巨觀性質-----	25
壹、高性能混凝土的主要膠結料物化特性-----	27
貳、水泥水化的微巨觀行為-----	33
參、卜作嵐反應的微巨觀性質-----	45
肆、膠結料漿體濃度改變的影響-----	53
伍、膠結料質量的管制-----	59
第參章 高性能混凝土中骨材的排列組合-----	71
壹、顆粒材料的組構-----	74
貳、骨材堆積密度與孔隙率-----	78
參、骨材緻密堆積與混凝土工作性-----	87
肆、骨材緻密堆積與混凝土硬固性質-----	93

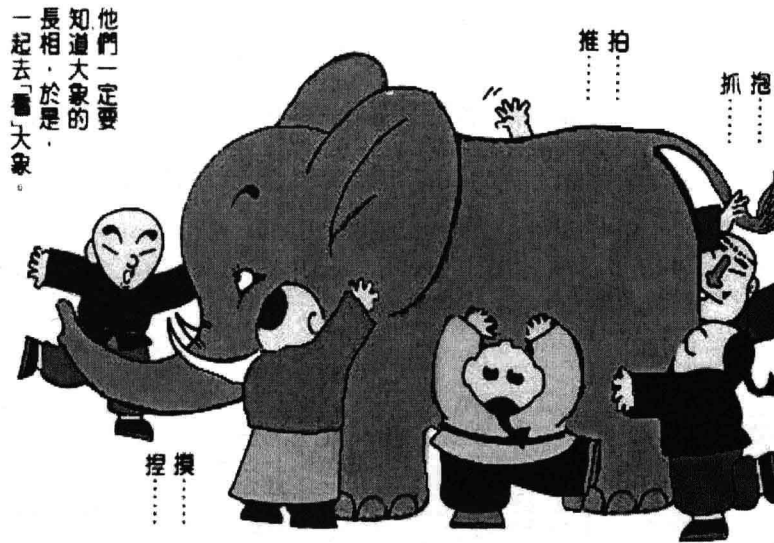
伍、骨材緻密堆積與混凝土物理穩定性-----	100
陸、骨材的質量管制-----	113
第肆章 高性能混凝土中摻料的特色及應用-----	125
壹、卜作嵐摻料的功能及質量管制-----	127
貳、強塑劑摻料的功能及質量管制-----	139
參、應用摻料減少水量的重要性-----	168
肆、應用摻料減少水泥量的重要性-----	178
伍、利用摻料增進高性能混凝土品質的觀念-----	186
第伍章 混凝土配比的潛在問題與緻密新思維-----	197
壹、傳統混凝土體積配比設計法及問題-----	199
貳、傳統混凝土重量配比設計法及問題-----	201
參、黃氏緻密配比設計的創意-----	226
肆、混凝土緻密配比設計的產品特色-----	246
第陸章 高性能混凝土新拌行爲之設計-----	259
壹、傳統新拌混凝土性質的想法-----	262
貳、新拌高性能混凝土的問題及對策-----	267
參、高流動化高性能混凝土的量測指標-----	272
肆、零坍度高性能混凝土的量測指標及特色-----	286
伍、工程特色與新拌高性能混凝土的設計-----	289
陸、高性能混凝土新拌性質的品質管制-----	292
第柒章 高性能混凝土硬固行爲之設計-----	301
壹、傳統混凝土硬固行爲之指標-----	303
貳、高性能混凝土硬固行爲之指標-----	307
參、高性能混凝土硬固性質的設計-----	320
肆、高性能混凝土的均勻體質指標-----	325

伍、高性能混凝土硬固性質的品質管制-----	334
第捌章 高性能混凝土的耐久性設計-----	379
壹、混凝土與大地環境的互動-----	383
貳、混凝土耐久性的主要源頭－水-----	391
參、傳統混凝土耐久性設計的想法及指標-----	409
肆、高性能混凝土耐久性設計的理念及指標-----	419
伍、高性能混凝土施工養護對耐久性的影響-----	430
第玖章 高性能混凝土設計及施工規範的制訂-----	465
壹、高性能混凝土一般說明-----	470
貳、高性能混凝土材料要求-----	470
參、高性能混凝土配比及試拌-----	471
肆、高性能混凝土的產製及品質驗證-----	479
伍、高性能混凝土的澆鑄-----	479
陸、高性能混凝土養護及脫模-----	480
柒、高性能混凝土品質保證-----	480
捌、高性能混凝土結構品質驗證-----	480
玖、結構品質之驗收-----	481
拾、範例：高性能混凝土特別條款及說明-----	482
第拾章 高性能混凝土的實務應用及未來設計-----	529
壹、高性能混凝土在地下結構體的設計及應用-----	535
貳、高性能混凝土在地面結構體的設計與應用-----	548
參、高性能混凝土在鋪面工程的設計及應用-----	564
肆、高性能混凝土在海域環境的設計及應用-----	578
伍、高性能混凝土文化美學藝術的創意及應用-----	589
陸、高性能混凝土的創意及未來使命-----	593

驗證篇

第拾壹章	高性能混凝土基本材料檢測-----	601
壹、	水泥與爐石粉比重及水泥凝結時間-----	603
貳、	水泥砂漿標準流度及抗壓強度-----	619
參、	骨材比重及吸水率-----	632
肆、	飛灰比重及燒失量試驗-----	653
第拾貳章	高性能混凝土粒料堆積組構試驗-----	655
第拾參章	高性能混凝土中強塑劑之功能-----	669
第拾肆章	傳統 ACI 配比設計-----	679
第拾伍章	高性能混凝土緻密配比設計-----	711
第拾陸章	高性能混凝土的品質保證-----	717
壹、	統計圖形之製作-----	719
貳、	品質報告書之撰寫-----	726
參考文獻	-----	729
英中索引	-----	740
中英索引	-----	761

第壹章 高性能混凝土點線面概論



知識透過探索而獲取

學習目標

1. 思古鑑今 承先啓後
2. 自然律動 天人合一
3. 材料本質 生生不息
4. 歷久彌堅 青春活力
5. 融合古今 垂手偶得
6. 綠色指標 地球永續
7. 數位資訊 公開透明

摘 要

高性能混凝土點線面剖析出顯微結構到巨觀特性之相關性。由歷史軌跡可窺出古典建築歷久彌堅之精髓，再由自然之風化作用，可觀出耐久性設計之重要性。高性能混凝土不應冷酷，而應結合文化美學藝術，使混凝土具生命力。高性能混凝土不應脫離時代，應符合環保觀念，使大地能永續發展，達到高的綠色指標。未來高性能混凝土更應結合高科技之電腦數位化科技，使混凝土品質能看見，而且可以預約混凝土未來的品質。



壹、混凝土的歷史軌跡

要談混凝土的好壞及貢獻，起碼都得回顧過去既存混凝土結構物到底好壞。九二一大地震後，國內專家大加撻伐混凝土結構，數落混凝土的不是，然而事實上並非所有震災混凝土結構都有問題，看看中台禪寺在大地震中屹立不搖，見圖 1-1。有很多建築物仍然安好，所以在此有必要回顧過去的歷史，讓大家釐清混凝土的是是非非，安心。

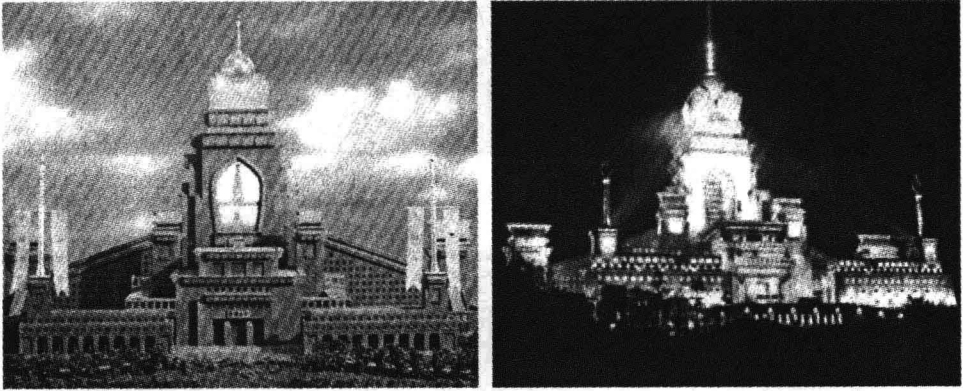


圖 1-1 中台禪寺莊嚴外觀

一、古代建築的啓示

依據加州博克萊大學梅塔教授（Prof. Mehta）的考證，近百年來混凝土不僅是不耐久，而且百病叢生的，但實際上是否如此呢？他指出二千三百多年前古羅馬建築，如競技場，見圖 1-2(1)及(2)，簡單的使用「石灰與火山灰」當作膠結料，而採少量漿，混凝土千年來耐久又健康。再看看中國古長城、趙州橋也是風風雨雨千年以上，見圖 1-2(3)及(4)。圖上之建築透露出過去建築物耐久的二個要點，第一即石材是耐久的，而第二所用「米漿與石灰」也是和「石灰與火山灰」組合一樣耐久的。仔細觀察九二一出土之 1930 年代台灣的混凝土抗壓強度達到 8000psi (560kgf/cm²) 之水準，見圖 1-3 所示，想想那時

候哪有這麼高強度的混凝土呢？這種混凝土組構中以骨材(砂、石子)爲主，其膠結料甚少，而膠結料中一般都含有火山灰。何以古代的科技能有這番成就呢？其配方技巧及觀念是否不同呢？耐久性如何達成呢？簡單的方式就是依據古人的思路去破解，就可以找到答案了。當然不可否認的過去不良或品質不佳的混凝土構造，早就風化成廢墟。



(1)古羅馬競技場



(2)古羅馬建築



(3)古中國長城



(4)中國石家莊趙州橋

圖 1-2 古代建築歷經千年而不毀



圖 1-3 1930 年代混凝土達 8000psi

二、台灣混凝土的史紀

早期十八世紀前台灣為荷蘭人所統治，洋人用的灰叫做「洋灰」，紅毛人（荷蘭人）用的灰就被叫做「紅毛土」，很神奇吧！國外的灰都很厲害囉！早期混凝土配比採用體積比方法，即採用 1：2：4、1：3：6 或 1：4：8 的方法調配混凝土，在優良師傅的手藝下，包括日據時代，混凝土至今仍然非常良好，見圖 1-3，那時候也用了一些火山灰，這些火山灰可像極了古典的配方思路。然而若給不好或爛的工人來做，可能品質就鴉鴉烏了！當然那些爛混凝土早就屍骨無存了。

體積比的設計方法，最大的問題就出在於這種方法並不告訴你「水量」到底用多少，所以到了 1970 年代時，大家企望能有所改變。因此隨著六年經濟建設十項工程的執行過程，引進了國外最新的配比技術，修正了這些「定性半定量」的配比方法。然而曾幾何時，由於中央預拌廠設立資金低廉、利潤高，而引入了相當多人加入混凝土的生產行列，更在偷工減料、盜採砂石等作風下，混凝土品質大幅下降。從 1985 年代這些問題即被大肆宣導及提醒，然而並未能阻止偷工減料的歪風。所以在「山不轉路轉，路不轉人轉」的策略下，國內學術界全力邁入另類的混凝土新紀元，利用材料觀念來滿足工人的需求，同時又滿足設計者及業主的旨意。此刻 Aitcin 及 Neville 適時提出「高性能混凝土解密」(High Performance Concrete Demystified) 的文章，又加上台灣多年來從事高流動混凝土的經驗，台灣自行發展異於國外的「黃氏緻密配比設計法」，這種本土化的設計方法將混凝土提昇至自搗式混凝土，又稱自充填混凝土 (Self-consolidating concrete or Self-compacting concrete, SCC)、優生混凝土 (Eugenic concrete, EC) 的更高途徑，見圖 1-4，混凝土兼顧古典柔和近代混凝土科技的方法。

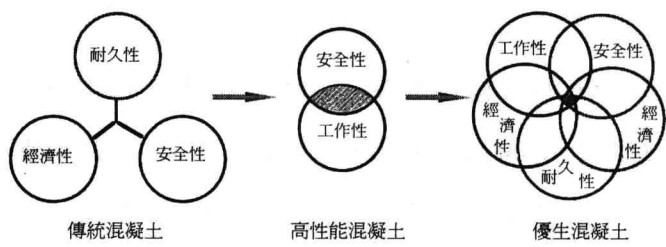


圖 1-4 優生混凝土應有「安全性、耐久性、工作性、經濟性及生態性」之架構與其他混凝土之差異

西元 1993 年的海砂屋風暴困擾很多購屋者，見圖 1-5、西元 1999 年九二一大地震的死傷慘重，都是學界未能與官、商界同步所釀的巨災。尤其九二一大地震所造成的災難，更是混凝土施工不當所造成，以致天搖地動，鬼哭神嚎，死傷慘重，見圖 1-6，摧殘了二千多家園，死傷數千。仔細看看這都是 1980 年代工程不當產生之遺禍，經過分析可歸納出國內常見混凝土八大症狀：海砂屋橋、腐蝕構造、蜂窩冷縫、顏色不均、白花牆板、加水版牆、富貴建物、疑難雜症等，見圖 1-7。這些悲慘結果，促使工程人員期盼有新一代的混凝土科技－高性能混凝土能加以解決。

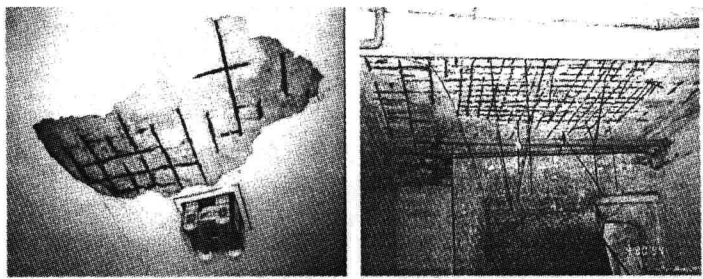


圖 1-5 典型混凝土鋼筋腐蝕流生之鏽斑

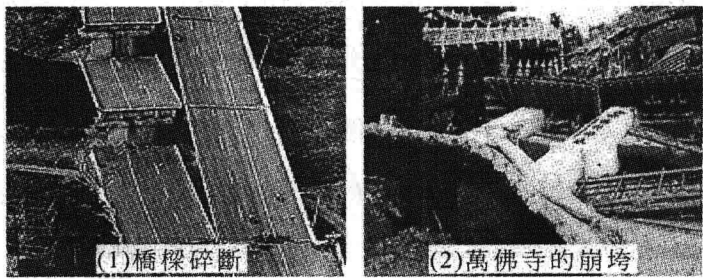
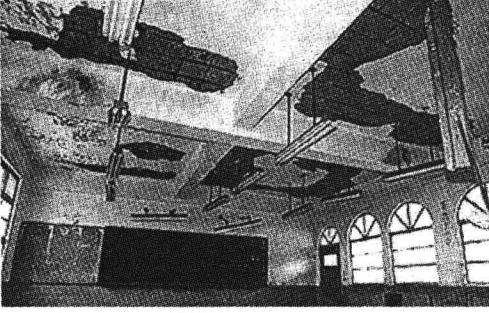
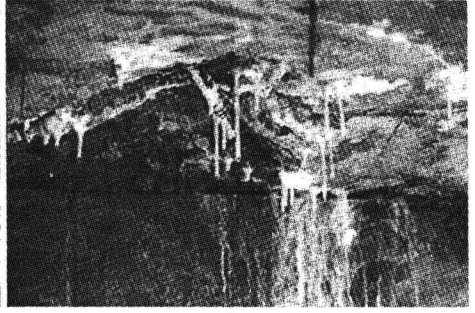


圖 1-6 九二一大地震之震憾



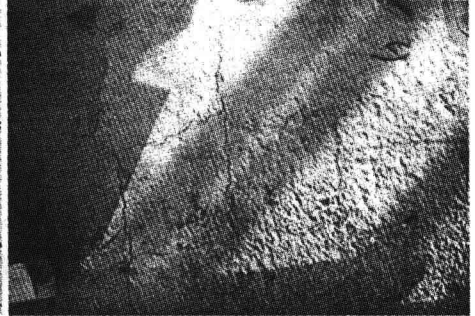
(1)海砂屋橋：砂品質不佳品管不當



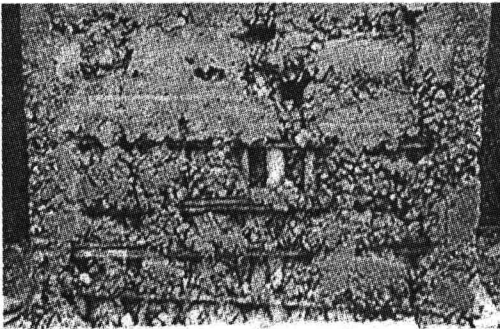
(5)白花牆板：水及水泥多析晶容易



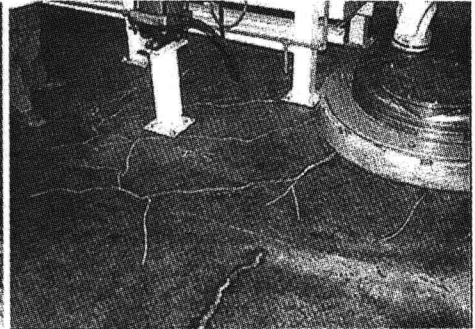
(2)腐蝕構造：海域環境鋼易侵蝕



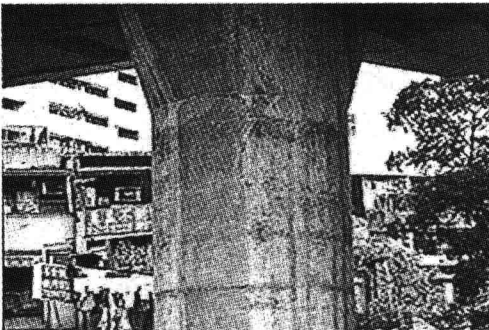
(6)加水版牆：加水過量塑性裂縫多



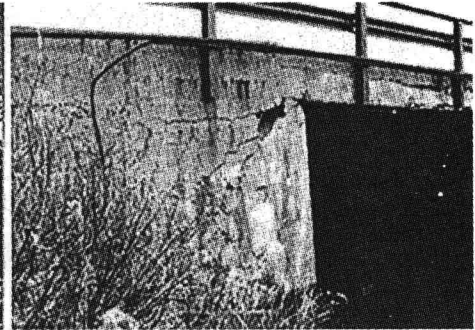
(3)蜂窩冷縫：坍度過小乾硬難施工



(7)富貴建物：富貴多病乾縮裂縫增



(4)顏色不均：拌合不均勻耐久性差



(8)疑難雜症：鹼骨材反應磚黑斑

圖 1-7 典型國內混凝土工程症狀

三、歷史的貢獻

「凡走過必留下痕跡」，歷史是過去「今朝事」時間座標的驗證結果，由過去的「蛛絲馬跡」可以讓現代的人有所瞭解「自然哲理」的重要性，進而有「大思考」的產生。混凝土的歷史告訴世人，與「自然為友，天人合一」，才足以成大器。表面上混凝土中的反應，「無為」但卻也「無所不為」，而終能成其大，與近代人類自以為「天資非凡，人定勝天，自以為是」，反而造成更多更大的問題及災難，誠然大地及自然反撲是也！由古建築明白的顯示水泥中之鹼酸物質必須緩慢中和，產生穩定之膠結料，將恆古常存的岩石牢牢扣住，才能使混凝土成為均質、穩定的堅石，也才可以捍衛人類生命財產的安危。

貳、混凝土構造物的自然考驗

混凝土置於自然界中，將承受風吹雨打、日晒雨淋，見圖 1-8(1)、天搖地動、海浪波濤、工業污染、大氣酸蝕，甚至人為的攻擊（911 攻擊），見圖 1-9，這些都是無法免除的會造成裂縫及損壞，見圖 1-8(2)。混凝土工作者就由數千年前逐次由經驗法則得知如何能夠預防這種天然災害的能力。這種學習過程，透過如同愛因斯坦所言：「想像力比知識更為重要」的創意及經驗匯集成有用的智慧，見圖 1-10。台灣就在這種多災多難的環境下，發展出獨特的混凝土配比技術，見圖 1-4，使混凝土由傳統 ACI 配比方法演進為一般高流動化高強度混凝土（高性能混凝土），到同時則考慮「安全性、耐久性、工作性、生態性及經濟性」的優生混凝土，其主要目的即期望結構物能歷久彌堅，且永續存在。

以混凝土自然考驗所產生的反應可簡化為「物理」及「化學」二種侵蝕狀況，見圖 1-11 及圖 1-12。但在台灣的自然考驗還包括臨海鹽霧的影響，見圖 1-13 所示。