

## 目次

表次 .....	III
圖次 .....	IV
摘要 .....	VII
英文摘要 .....	XII
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究動機 .....	1
第二節 研究目的 .....	2
第三節 研究內容及方法 .....	3
第四節 研究流程 .....	4
第二章 輕質骨材混凝土新拌性質探討 .....	6
第一節 前言 .....	6
第二節 優良輕質骨材混凝土的新拌性能[1] .....	7
第三節 輕質骨材吸水率的影響 .....	9
第四節 新拌混凝土凝結性質 .....	10
第五節 新拌混凝土的流變性質 .....	11
第六節 新拌混凝土之力學行為 .....	16
第七節 界達電位與混凝土新拌性質 .....	19
第八節 混凝土工作性的量測 .....	22
第九節 混凝土新拌與硬固品質之相關性 .....	24
第三章 試驗計畫 .....	41
第一節 試驗材料 .....	41
第二節 試驗方法及設備 .....	43
第三節 試驗變數 .....	48
第四章 輕質骨材混凝土試拌、施作及工程性質 .....	55
第一節 輕質混凝土試拌及配比 .....	55
第二節 實驗室輕質混凝土新拌性質 .....	56
第三節 現場模擬施作-凹型試驗 .....	61
第四節 輕質混凝土硬固性質及耐久性 .....	63
第五章 輕質骨材混凝土品質保證 .....	91
第一節 輕質骨材及混凝土品質保證架構 .....	91

第二節	擬制訂的品質手冊及標準作業程序 (SOP) .....	99
第三節	高流動輕質骨材混凝土可能產生問題、原因及對策 .....	99
第六章	結論與建議 .....	100
第一節	結論 .....	100
	參考文獻 .....	102
附錄一	.....	104
附錄二	.....	145

## 表次

表 2-1 混凝土材料品質之控制基因[1].....	26
表 2-2 拌合水中不潔物質之容許值[1].....	27
表 2-3 卜作嵐材料在工程上之應用.....	27
表 2-4 影響骨材界面的因素及改善策略[21,22].....	28
表 2-5 各種成分對卜作嵐水泥性質之影響[21,22].....	29
表 2-6 不同漿體材料之 Zeta 電位(Mv).....	31
表 2-7 新拌混凝土品質檢測項目[1].....	31
表 2-8 工作度之量測方法[1].....	32
表 2-9 標準工作度量測方法及範圍[1].....	33
表 2-10 高流動混凝土試驗方法[1,19].....	33
表 2-11 粉體系高流動混凝土之檢驗標準[19].....	34
表 2-12 新拌混凝土性質相關文獻.....	35
表 3-1 試驗用水泥、爐石、飛灰之化學成份及物理性質.....	49
表 3-2 輕質粗骨材及常重砂基本性質.....	50
表 3-3 強塑劑基本性質.....	50
表 4-1 輕質骨材混凝土試拌配比表.....	66
表 4-2 國內輕質混凝土澆置記錄表(2001~2003).....	67
表 5-1 輕質粒料之級配規定(通過試驗篩之重量百分率).....	94
表 5-2 輕質粒料之乾鬆容積密度、筒壓強度及含水率規定.....	94
表 5-3 輕質粒料混凝土之強度和容積密度(鬆)關係.....	95
表 5-4 輕質細粒料篩分析所需試樣重.....	97

## 圖次

圖 1-1 研究流程圖 .....	5
圖 2-1 工作性量測方法及範圍[1].....	37
圖 2-2 凝結及硬固過程示意圖[1].....	37
圖 2-3 剪力及剪速率與時間之相關性[1].....	38
圖 2-4 混凝土之濱漢流體曲線(1)改變 W/C 或 W/B 或含水量對 1 : 2 : 4 配比之影響(2)改變粗細骨材比率之影響[1] .....	38
圖 2-5 水泥漿與骨材比重之關係[1].....	39
圖 2-6 輕質骨材混凝土工作性影響因素 .....	40
圖 3-1 筒壓試驗圖 .....	51
圖 3-2 混凝土水平雙軸拌和機 .....	51
圖 3-3 流變試驗儀 .....	52
圖 3-4 混凝土抗壓試驗 .....	52
圖 3-5 超音波速量測器 .....	53
圖 3-6 混凝土電阻量測儀示意圖 .....	53
圖 3-7 電滲儀 .....	54
圖 3-8 恆溫恆濕室 .....	54
圖 4-1 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 1 .....	67
圖 4-2 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 2 .....	68
圖 4-3 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 3 .....	68
圖 4-4 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 4 .....	69
圖 4-5 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 5 .....	69
圖 4-6 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 6 .....	70
圖 4-7 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 7 .....	70
圖 4-8 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 8 .....	71
圖 4-9 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 9 .....	71
圖 4-10 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 10 .....	72
圖 4-11 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 11 .....	72
圖 4-12 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 12 .....	73
圖 4-13 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 13 .....	73
圖 4-14 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 14 .....	74

圖 4-15 輕質骨材混凝土不同水膠比對工作性的影響 (用水量=150 kg/m <sup>3</sup> ,輕質粗骨材顆粒密度為 1.25g/cm <sup>3</sup> ) .....	75
圖 4-16 輕質骨材混凝土不同水膠比對工作性的影響 (用水量=150 kg/m <sup>3</sup> ,輕質粗骨材顆粒密度為 1.10g/cm <sup>3</sup> ) .....	76
圖 4-17 輕質骨材混凝土不同水膠比對工作性的影響 (w/cm=0.32,輕質粗骨材顆粒密度為 1.10g/cm <sup>3</sup> ) .....	77
圖 4-18 輕質骨材混凝土不同細骨材率對工作性的影響(A=0.6,B=0.65,C=0.7) (用水量=170 kg/m <sup>3</sup> , w/cm=0.32,輕質粗骨材顆粒密度為 1.10g/cm <sup>3</sup> ) .....	78
圖 4-19 輕質骨材混凝土不同 ACI 配比組別對工作性的影響(輕質粗骨材顆粒密度為 1.25g/cm <sup>3</sup> ) .....	79
圖 4-20 輕質骨材混凝土扭矩與轉速的關係圖(緻密配比, LWA 顆粒密度 = 1.1g/cm <sup>3</sup> , 固定 Ww=150 kg/m <sup>3</sup> , 不同水泥漿「質」的比較) .....	79
圖 4-21 輕質骨材混凝土扭矩與轉速的關係圖(緻密配比, LWA 顆粒密度 = 1.1g/cm <sup>3</sup> , 固定 w/cm=0.32, 不同水泥漿「量」的比較) .....	80
圖 4-22 凹型模型示意圖 .....	81
圖 4-23 凹型試驗模型 .....	81
圖 4-24 廠拌坍度及坍流度試驗 .....	82
圖 4-25 廠拌 U 型試驗 .....	82
圖 4-26 廠拌 V 型試驗 .....	83
圖 4-27 廠拌流變試驗 .....	83
圖 4-28 廠拌凹型試驗-混凝土預拌車拌和 .....	84
圖 4-29 廠拌凹型試驗-凹型模具及鋼筋組合 .....	84
圖 4-30 廠拌凹型試驗-預拌車卸料 .....	85
圖 4-31 廠拌凹型試驗-高性能輕質混凝土在凹型模內流動 .....	85
圖 4-32 廠拌凹型試驗-高性能輕質混凝土流動及上升 .....	86
圖 4-33 廠拌凹型試驗-高性能輕質混凝土流動及上升 .....	86
圖 4-34 廠拌凹型試驗-通過雙層鋼筋障礙 .....	87
圖 4-35 廠拌凹型試驗-柱內高性能輕質混凝土擠昇完成 .....	87
圖 4-36 高性能輕質混凝土強度發展(不同水泥漿質的比較) .....	88

圖 4-37 高性能輕質混凝土強度發展(不同水泥漿量的比較).....	88
圖 4-38 水泥漿質與電阻的關係 .....	89
圖 4-39 不同組別電滲之比較 .....	89
圖 4-40 水泥漿量與電阻的關係 .....	90
圖 5-1 輕質骨材及混凝土品質保證架構 .....	92

## 摘 要

關鍵詞：輕質骨材混凝土、流變性、工作性、品質驗證

本研究主要進行輕質混凝土施工性及品質驗證，研究內容包括設計輕質混凝土配比方法、探討施工性質及硬固性質、及擬定品質手冊與產製標準作業程序（SOP）。配比設計方法包括以 ACI 傳統配比設計法及黃氏緻密配比設計法兩種。於試驗室工作性試驗完成後，透過預拌廠現場拌和試驗及凹型實體試驗以驗證輕質混凝土的施工性能並據以調整配比。經過一系列高流動輕質混凝土的配比與施工性能研究後，蒐集研究過程所遭遇的問題及擬定解決方案，並舉辦專家座談，交換意見，作為擬定品質驗證的依據。品質保證架構包括料源管制、製程管制及成品管制，擬制訂的品質手冊及標準作業程序（SOP）涵蓋輕質骨材混凝土產製過程中的配比設計、拌和、輸送、搗實、飾面、及養護作業等。研訂提供實務參考的作業手冊包括輕質骨材的品質驗證程序及方法、新拌輕質骨材混凝土的產製技術與品質管作業手冊與相關須知，建立輕質骨材的品質驗證制度，以掌握掌握施工性能與提升輕質混凝土的工程品質。

### 一、研究緣起

輕質骨材具有比重小及高吸水率等特性，與常重骨材性質迥異，所以輕質骨材混凝土之配比設計、拌和、輸送、泵送、澆置、及搗實等作業偏離常重混凝土的觀念。在目前國內積極推廣淤泥輕質骨材之際，輕質骨材混凝土產製、搗實、及泵送行為之本土化甚至高性能化研究，是刻不容緩的事務。當然，輕質混凝土的新拌及硬固性質與常重混凝土亦有所差異，在品質驗證程序及方法上，亦需作必要的修訂如此才能貫徹上游生產製造至下游設計應用的通路，使輕質骨材的理論與實踐符合永續及綠色建材的精神。因此本研究目的著重於輕質骨材混凝土產製之施工性與品質驗證研究。施工與品質規範是一體兩面，也是未來品質保證的法律依據，在研究過程中，經由輕質骨材混

凝土配比設計、實驗室施工性質、與模擬現場施工性質，透過「計畫-執行-檢核-修正」，調整或修正輕質骨材混凝土的配比，以滿足現場施工性的要求，並建立實驗室施工性質與模擬現場施工性質的關連性。經輕質混凝土產製到施工性一系列研究後，本研究國內通路並較多之國產與混凝土預拌公司合作，模擬輕質混凝土產製，蒐集研究過程所遭遇的問題及擬定解決方案，並舉辦專家座談，交換意見，作為擬定品保驗證的依據，如此所建立的施工各階段標準作程序（SOP）可據以研訂作業手冊及須知，如此才能符合實務需求，此為本研究另一重點所在。

## 二、研究方法與過程

本研究主要進行輕質混凝土施工性及品保驗證，研究內容包括設計輕質混凝土配比方法、探討施工性質及硬固性質、及擬定品保手冊與產製標準作業程序（SOP）。配比設計方法包括以 ACI 傳統配比設計法及黃氏緻密配比設計法兩種。施工性質涵蓋工作性及均勻穩定性兩方面，工作性以坍度及坍流度試驗，初步判定輕質混凝土的流動性質，並以台灣科技大學黃兆龍教授新設計之混凝土流變儀進行量測高流動性輕質混凝土流變性質，均勻穩定性包括新拌混凝土單位重試驗、泌水試驗、含氣量試驗及骨材上浮測試等，判斷工作性能是否符合設計要求並據以修正配比。於試驗室工作性試驗完成後，再進行高流動性輕質混凝土模擬施作試驗。透過預拌廠現場拌和試驗及凹型實體試驗以驗證輕質混凝土的施工性能並據以調整配比。而後，根據探討輕質混凝土的硬固性質，包括強度、耐久性（氯離子電滲及電阻試驗）、乾縮等性質。經過一系列高流動輕質混凝土的配比與施工性能研究後，蒐集研究過程所遭遇的問題及擬定解決方案，並舉辦專家座談，交換意見，作為擬定品保驗證的依據。品質保證架構包括料源管制、製程管制及成品管制，擬制訂的品質手冊及標準作業程序（SOP）涵蓋輕質骨材混凝土產製過程中的配比設計、拌和、輸送、搗實、飾面、及養護作業等。研訂提供實務參考的作業手冊包括輕質



骨材的品質驗證程序及方法、新拌輕質骨材混凝土的產製技術與品管作業手冊與相關須知，建立輕質骨材的品質驗證制度，以掌握掌握施工性能與提升輕質混凝土的工程品質。

### 三、重要發現

1. 水庫淤泥由於預粒細緻，所燒製之輕質骨材具有低吸水率及表面瓷化的特性，非常適合製作高流動的高性能輕質混凝土（自填充混凝土）
2. 經由實驗室及國內北部及南部預拌廠廠拌結果顯示，高性能輕質骨材混凝土，透過緻密配比設計可同時符合強度、耐久及自充填施工性的性能
3. 配比在固定水膠比之下，拌和水量的增加，相對的水泥用量也增加，由於水泥的水化作用下，60 分鐘的坍度、坍流度應損失較大，但水泥量的增加，相對地輕質骨材用量也減少，由於輕質骨材吸水率較大的特性，會吸取部分的水量，因而影響 60 分鐘後的坍度、坍流度，不過其坍度與坍流度損失仍在設計標準之內。
4. 配比在固定用水量下，隨著水膠比愈低，水泥用量增加，其相對的骨材用量減少，由於粗骨材的吸水效應和水泥的水化反應，使得 60 分鐘之後，其坍度與坍流度均有損失，不過其損失的差距並無隨著水膠比降低而更大，係因為水膠比低，粗骨材用量較少，所吸取的水分也較少的緣故。但是 60 分鐘之後，水膠比 0.28、0.32、0.40 之配比，在用水量固定為  $150 \text{ kg/m}^3$  的形況下仍可達到設計的標準。
5. 經由混凝土流變試驗可知，輕質混凝土之靜扭矩值決定於漿體之黏滯性，漿體稠度愈濃，其靜扭矩愈大；混凝土最大靜扭矩值和水泥漿體成反比，克服最靜大扭矩值後，動扭矩值差異不大，最大靜扭矩值愈大，代表所需泵送能量將愈大。
6. 建立高性能輕質骨材混凝土的品保架構，可作為生產輕質骨材與輕

質混凝土相關業者的參考。

#### 四、主要建議事項

本研究發現輕質骨材混凝土可達到自充填混凝土的高流動性能，並且在強度及耐久性可符合高性能的指標，經廠拌驗證仍可行，因此，使用輕質骨材在施工上是可行的。經由本研究相關品保架構及施工規範擬定，可供產業界參考。然而國外有研究指出輕質骨材混凝土對高強度混凝土有防止「自體收縮」的貢獻，但可能有鹼骨材反應(AAR)的潛在問題，未來值得深入進行耐久性基礎研究工作。以下列舉透過本研究獲知立即可行的建議及長期性建議事項。

(一)立即可行之建議：廣為推廣綠色建材觀念，並要求公共建議中率先執行，建之 ISO 14000 品保制度，透過 PDCA 之學習，使用國內淤泥高性能化建材料，結構綠化。

1. 主辦單位：公共工程委員會—著手要求公共工程將淤泥輕質骨材納入工程查核之指標內。
2. 協辦單位：行政院經建會—規劃新市鎮及新建工程採用省能節源的淤泥輕質骨材，但以全台灣 200 萬  $m^3$ /年為限。

內政部營建署—將淤泥輕質骨材納入綠色建材之列，並列為綠色建築指標，其中特別強調環境熱值的減少。

所屬各工程單位—在建築外殼採用輕質混凝土材料。

行政院交通部—指示設計顧問公司在橋面版部份採用輕質高強度混凝土之材料，減少結構靜荷重，提昇耐震安全，減少過大橋墩之設計，達到省能即能符合全球  $CO_2$  減量之指標。

(二)長期性建議

1. 主辦單位：行政院經濟部－持續獎勵國內產業生產輕質骨材
2. 協辦單位：行政院經建會－將永續結構及綠色建築指標列入未來工程建設之設計指標。

水利署－各部會成之統一意口，會面將國土淤泥，廢棄土列為資源，並且要求生產者再利用，並訂定法律規範之。

# 第一章 緒 論

## 第一節研究動機

輕質骨材具有比重小及高吸水率等特性，導致輕質骨材混凝土之配比設計、拌和、輸送、泵送、澆置、及搗實等作業偏離常重混凝土的觀念。在目前國內積極推廣淤泥輕質骨材之際，對於輕質骨材混凝土產製、搗實、及泵送行為之研究，有其必要性且是刻不容緩的要務。尤其，輕質混凝土的新拌及硬固的性質與常重混凝土有所差異，在品質驗證程序及方法亦需作必要的修正。

## 第二節 研究目的

本研究目的著重於輕質骨材混凝土產製之施工性與品保驗證研究。施工與品保規範是一體兩面，在研究過程中，經由輕質骨材混凝土配比設計、實驗室施工性質、與模擬現場施工性質，透過「計畫-執行-檢核-修正」，調整或修正輕質骨材混凝土的配比，以滿足現場施工性的要求，並建立實驗室施工性質與模擬現場施工性質的關連性。經輕質混凝土產製施工性一系列研究後，本研究計畫將與混凝土預拌業者合作，模擬輕質混凝土產製，蒐集研究過程所遭遇的問題及擬定解決方案，並舉辦專家座談，交換意見，作為擬定品保驗證的依據，如此所建立的施工各階段的標準作程序（SOP）及研訂作業手冊及須知，必然能符合實務需求，此亦為本研究重點所在。

### 第三節 研究內容及方法

本研究主要進行輕質混凝土施工性及品保驗證，研究內容包括設計輕質混凝土配比方法、探討施工性質及硬固性質、及擬定品保手冊與產製標準作業程序（SOP）。配比設計方法包括以 ACI 傳統配比設計法及黃氏緻密配比設計法兩種。施工性質涵蓋工作性及均勻穩定性兩方面，工作性以坍度及坍流度試驗初步判定輕質混凝土的流動性質，並以台灣科技大學黃兆龍教授新設計之混凝土流變儀進行量測高流動性輕質混凝土流變性質，均勻穩定性包括新拌混凝土試驗，判斷工作性能是否能符合設計要求並據以修正配比。於試驗室工作性試驗完成後，再進行高流動性輕質混凝土模擬施作試驗。透過混凝土預拌廠廠拌及凹型實體試驗以驗證輕質混凝土的施工性能及調整配比。而後，根據探討輕質混凝土的硬固性質，包括強度、耐久性（氯離子電滲及電阻試驗）等性質。經過一系列高流動輕質混凝土的配比與施工性能研究後，蒐集研究過程所遭遇的問題及擬定解決方案，並舉辦專家座談，交換意見，作為擬定品保驗證的依據。品質保證架構包括料源管制、製程管制及成品管制，擬制訂的品質手冊及標準作業程序（SOP）涵蓋輕質骨材混凝土產製過程中的配比設計、拌和、輸送、搗實、飾面、及養護作業等。研訂提供實務參考的作業手冊包括輕質骨材的品質驗證程序及方法、新拌輕質骨材混凝土品質問題與解決方案，建立輕質骨材的品質驗證制度，以掌握掌握施工性能與提升輕質混凝土的工程品質。

## 第四節 研究流程

### 1. 配比設計

本研究配比設計方法包括以 ACI 傳統配比設計法及黃氏緻密配比設計法 (DMDA) 兩種。

### 2. 試驗室施工性試驗

採用台灣科技大學黃兆龍教授新設計之混凝土流變儀進行量測高流動性輕質混凝土流變性質，進行新拌混凝土試驗，判斷工作性能是否能符合設計要求並據以修正配比。

### 3. 現場模擬施作試驗

與混凝土預拌業者合作，透過預拌廠廠拌及凹型實體試驗以驗證輕質混凝土的施工性能及調整配比。

### 4 耐久性試驗

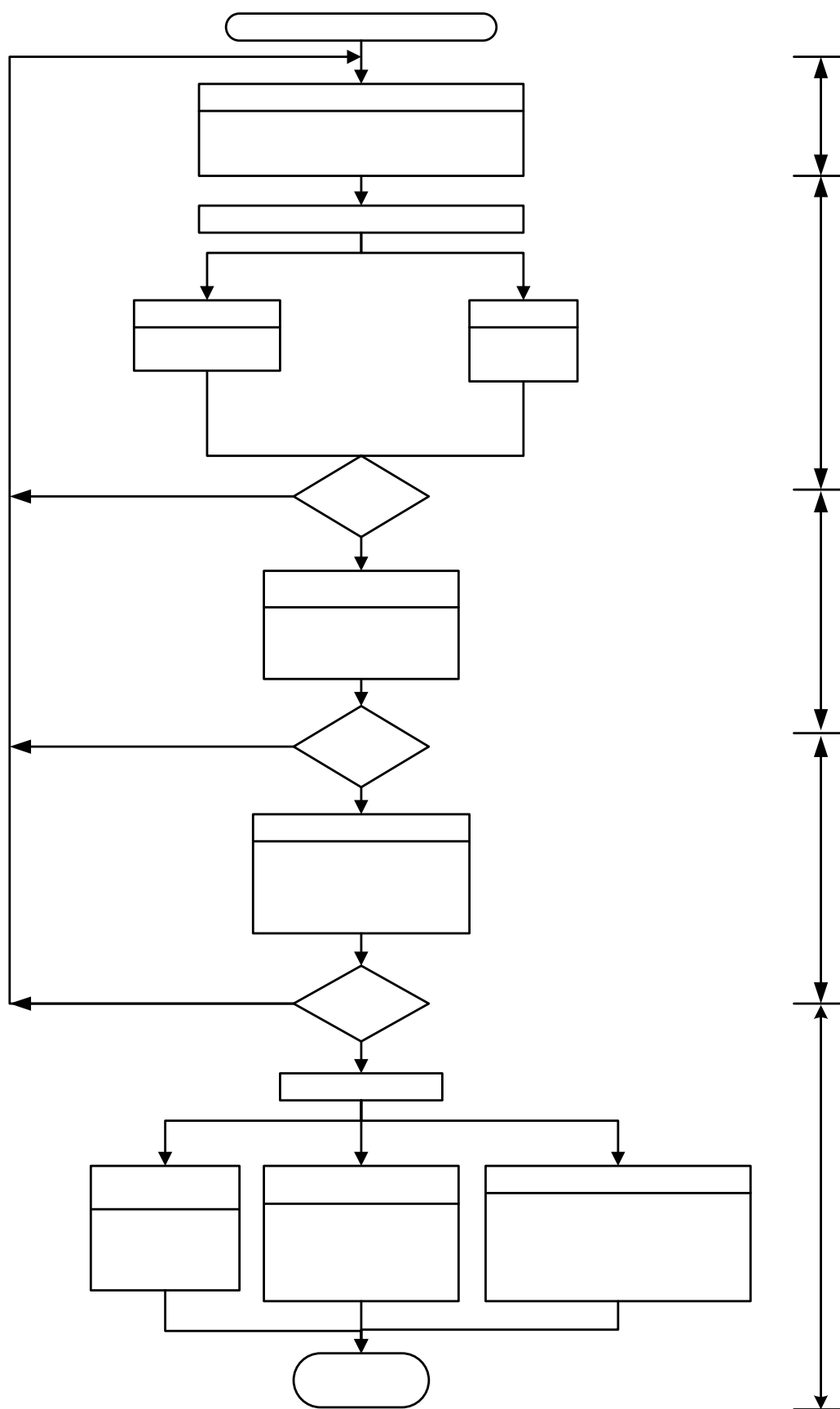
採用氯離子電滲試驗儀及混凝土表面電阻試驗儀以測試輕質混凝土耐久性試驗。

### 5. 品保驗證

經過一系列高流動輕質混凝土的配比與施工性能研究後，蒐集研究過程所遭遇的問題及擬定解決方案，舉辦專家座談，交換意見，作為擬定品保驗證的依據。

本研究流程詳圖 1-1 所示。

圖 1-1 研究流程圖



\*不  
\*不  
\*不

流變性

\*流變性



## 第二章 輕質骨材混凝土新拌性質探討

### 第一節 前言

輕質骨材混凝土新拌性質表示混凝土拌和完成，保持塑性狀況至澆置完成未達終凝以前所具之特性，是影響選擇澆置及振動器械的重要因素，同時也可能影響未來硬固混凝土的性質。換言之，新拌混凝土需具適當可工作性，而不因為工作度而影響硬固後之強度、耐久性和體積穩定性，包括強度劣化、水量過大、蜂窩、泌水、析離、龜裂等，這是非常重要的觀念。輕質骨材新拌混凝土與組成材料間的相關性與保障混凝土耐久性質具有密切的關係。新拌混凝土性質相關文獻詳表 2-1~表 2-8。

## 第二節 優良輕質骨材混凝土的新拌性能[1]

新拌混凝土性質的設計，其主要目的在於「使混凝土工程人員容易施工，親和性與人性化，並保障完工後之安全性、耐久性、穩定性及美觀性」。新拌混凝土所需要的品質，即滿足「施工者需求」，達到設計者理想的特性。輕質骨材工作性之影響因素詳圖 2-1。

### 1. 拌和快速輸送容易

混凝土材料的配方，必須是使得拌和快速且簡易，相應輸送至澆置地點也必須是非常容易的。對於泵送處理的混凝土，採用「高流動化之輕質高性能混凝土」即通稱自密性 SCC 混凝土為設計標的，惟應注意水泥漿不可過高，避免粒料下沉，以防止過度乾縮裂縫產生。

### 2. 拌和品質穩定均勻

混凝土材料經過攪拌後，必須具有均勻的性質，如此澆鑄的混凝土才會穩定均質，品質才會受到保障。尤其避免造成嚴重泌水及析離，而產生品質不均勻的問題。

### 3. 流動容易填滿模板

對於地震帶的台灣，低層樓的樑柱接頭，通常鋼筋密佈，如果混凝土流動性不佳，混凝土無法充填模板各角隅，則拆模會造成蜂窩，甚至產生中空樑柱現象，影響安全性及耐久性。

### 4. 免振動充填模板

對於勞工短缺的時代，強力振動搗實的勞力密集工作已無法被接受，所以傳統新拌混凝土的坍度低於 150mm 之設計，無法達到優良品質的目的，因此必須考慮確保品質的需求，使坍度更大。但必須小心注意，如果採用水量過大( $>170\text{kg/m}^3$ )，容易產生泌水及析離的情事，影響使用性及耐久性。

### 5. 澆鑄密實且無析離

新拌混凝土要求澆鑄及搗實過程中，不會產生泌水及析離，如此才可保障混凝土品質均勻性。此種混凝土設計需要有足夠的粘滯性，但不得過黏，以防流動性不佳，也不得太稀以致於產生析離。尤其漿量過大對混凝土體積穩定性及耐久性是不好的。

#### 6.表面粉光容易處理

對粉刷工作人員而言，容易粉光與否，反而是其所謂的「工作性」，新拌混凝土特性是不能有太多「水」量的，混凝土也必須有足夠的黏性，使得每一抹平動作，均可獲得光滑平整的外觀。

### 第三節 輕質骨材吸水率的影響

一般輕質骨材的吸水率較高，因此會吸收混凝土內的部分拌和水，以致影響到輕質骨材混凝土的施工性能。龔洛書[2]指出輕質骨材在輕質混凝土拌和後，最初的 10~15 分鐘內，吸水過程最為劇烈，輕質骨材在輕質混凝土中的吸水率與混凝土稠度有關，一般而言，混凝土塑性或流動性愈大，則輕質骨材在混凝土的吸水率也愈大。輕質骨材在水泥漿中的吸水率約為在水中的 50~70%，此因，水泥漿具有一定的保水作用。為能降低輕質骨材的吸水作用，可採用兩種方法，一為將輕質骨材預濕 24 小時，另一為增加輕質骨材所吸的用水量。在歐洲相關規範中建議於配比設計時，考量輕質骨材 30 分鐘吸水率作為輕質骨材額外的所需吸水量。輕質骨材吸水率的影響主要在施工階段。有學者指出，輕質骨材吸水性對硬固性質並無不利影響，為仍須作更深入探討。

#### 第四節 新拌混凝土凝結性質

「凝結」即混凝土開始具有強度性質時的硬化現象，一旦混凝土硬固，則過大的擾動可能造成破裂，而不利於整體品質，所以認識凝結性質特具意義。混凝土硬固時間的控制，對拆模時機有很大的影響。另外，初凝硬固時也是決定加溫養護的時機，可見凝結性質的重要意義。

凝結行為是水泥漿由液態開始轉入固態的轉換過程之特性，新拌混凝土可工作範圍一般建議在初凝以前，因為初凝後水化物產生，貫入抗力已經可測出，此刻任何擾動都會形成晶體間裂隙，而且也非常不容易施工。此處所謂的「初凝」及「終凝」分別指具  $35 \text{ kgf/cm}^2$  及  $280 \text{ kgf/cm}^2$  的貫入針抵抗力。 $35 \text{ kgf/cm}^2$  貫入抵抗力相當混凝土已無塑性，而  $280 \text{ kgf/cm}^2$  相當於混凝土具  $70 \text{ kgf/cm}^2$  的抗壓強度。

## 第五節 新拌混凝土的流變性質

流變行為會影響新拌混凝土輸送、澆置、壓實作業之難易程度及成型良窳。

### 1.新拌混凝土之流變參數

新拌混凝土之流變參數因素，包括混凝土之流動性、壓實度及穩定性、可塑性等四大類[3]。

#### (1) 流動性

外力作用下克服漿體內部粒子間互相作用而變形之性質，相當於剪力值（極限屈服力）。凝聚結構網強度愈大，降伏剪力強度愈大，則流動性差。

#### (2) 壓實性

壓實性係指新拌混凝土壓實之難易程度，在壓實過程中，必需使骨材不產生析離，並將陷入混凝土中之空氣逐出，使骨材顆粒界面重組而達到緊密效果。

#### (3) 穩定性

漿體在塑性變形時，保持固/液相材料相對位置之穩定性。析離現象對乾硬或濕稠之新拌混凝土皆可能發生。

#### (4) 可塑性

水泥漿體克服內部極限剪刀後產生流動或塑性變形之性質。亦即粘滯係數愈小，則可塑性佳。

流變性(Rheology)係指物質流動及變形性質，即應力與應變、應變速率，描述其彼此間的關係以量化混凝土之工作性[5]。混凝土之流變性類似水泥漿，一般係屬於非牛頓流體(Non-Newtonian liquid)性質，包括賓漢流體及剪力遞減現象。大多數流體並不符合牛頓模式，因此有一修正模式稱為濱漢模式(Bingham Mode)提出。由於大多數之

材料其剪應力與剪應變速率之比，並非常數且不為通過原點之直線方程式，而是存有一最小應力之多次曲線在減速段可用線性迴歸來模擬  $\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}$  [4,5]。

## 2. 賓漢流體(Bingham Liquid)[4,5]

由於牛頓流體係由固態物質所推導之公式引用於流體物質，故大多數流體並不適合牛頓模式，因此一修正模式稱為賓漢模式(Bingham Mode)即被提出，由於大多數材料其剪應力與剪速率之比並非常數，且不一定為完全彈塑性材料，故在賓漢模式中考慮混凝土有一降伏剪力強度( $\tau_0$ )，而以下式來模擬。

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma} \text{ ----- (2-1)}$$

式中， $\tau$ =剪應力(Shear Stress)；

$\tau_0$ =降伏剪力強度(Yield Shear Strength)；

$\eta$ =黏滯係數(Viscosity Constant)；和

$\dot{\gamma}$ =剪速率(Shear Rate)

一般牛頓模式僅能針對固體含量較少，且固體顆粒間無吸引力之稀釋懸浮(Suspensions)液體，如水，乙醇等物質來作模擬，但是混凝土是一種極為濃縮之懸浮液體，且粒子間有相互引力作用，所以無法用牛頓模式來涵蓋，在新拌混凝土中，若要定義其剪力，則要使混凝土開始流動方可量測，欲使其開始流動必須先克服降伏剪力強度值 $\tau_0$ 。因此新拌混凝土的流變行為可以用賓漢模式來模擬，其中 $\tau_0$ 和 $\eta$ 值會隨著材料性質及配比的變化而有所不同。新拌混凝土常可視為賓漢流體，以 $\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}$ 表示 $\tau$ 為剪應力， $\tau_0$ 為降伏值， $\eta$ 為黏滯係數， $\dot{\gamma}$ 為剪力速率。

新拌混凝土具有 $\tau_0$ 值，流動發生前，須超過此降伏值，一般以賓漢模式來模擬。新拌混凝土流動行為，清楚地，此式中具有二個常數，因此傳統單點法並不適用於新拌混凝土[3,5]。以流變性能來模擬新拌

混凝土之流動性較一般模型來得適當，流變性以  $\tau_0 = f(c, \phi)$  及  $\eta$  為控制因子，描述工程實際所需之流動性、穩定性、夯實性及抹面性。

在過去的文獻中，對於水泥漿的流變性質提出了相當多的模式，分別列於表 2-9[3]中，經常被引用的賓漢模式[Bingham model]在較高水灰比之實驗資料中，亦被認為是一個不錯的模式。而量測流變性質所使用的儀器從，剪力盒(shear box)，compression apparatus 到 Utube Viscometer, coaxial viscometer，一直都無流建立一個標準的試驗儀器，其原因不外每種儀器都有無法克服的缺點，在目前使用最多的共軸圓柱流變儀，也有許多缺點仍需克服，雖然如此，但在前人的努力下，仍然建立了許多價值的觀念與混凝土新拌流變模式。

水泥與水拌合後由於水化作用之進行，逐漸轉變為不同尺寸固相粒子之膠狀懸浮體(Colloidal Suspensions)，顆粒間彼此作用力大小和特性產生變化。卜特蘭水泥漿體中的矽酸鹽類與鋁酸鹽類各帶有不同的表面電荷(矽酸鹽類是負的，鋁酸鹽類是正的)，所以藉著其不同電荷之弱鍵結力形成團聚結構，反之如帶有同電荷之顆粒，則會因相斥而分散，而增加顆粒懸浮體之流動性，因此若在系統中加入表面活性劑(如強塑劑等)，此系統之團聚結構將被破壞，而所謂復硬性(Thixotropic)即為再拌合時，使剪力層變薄，而於靜止時再變厚之現象。在文獻[3,6,7]中指出在同心共軸圓柱流變儀試驗中發現在一定的剪速率及均勻流下，初始力矩會隨時間以指數函數遞降到平衡值。以下式來表示：

$$T = T_E + (T_0 - T_E)e^{-\beta t} \quad \text{----- (2-2)}$$

式中  $T_0$ : 初始力矩；

$T_E$ : 平衡力矩；

$\beta$ : 崩潰係數(Breakdown constant)與剪速率及漿體性質有關。

由  $T_0$  降低到  $T_E$  一般約需要 1-2 分鐘，由於  $T_0$  通常是好幾倍大部



份驗所得的流動曲線均為復硬性(thixotropy)，但也在相同剪力率下較大的剪應力發生在返回的曲線， $\tau_{\max}$  發生在往上的曲線，此現象稱為復軟性(anthixotropy)。文獻[8,9]提出為水灰比及顆粒比表面積對流變行為之影響。Banfil and Saunders 指出會有復硬性及復軟性之現象是受到下列因素之影響：

- (1) 粘度儀型式(Viscometer geometry)
- (2) 最大剪速率(maximum shear rate)
- (3) 循環時間(cycle time)

### 3. 影響流變性的因素：

#### (1) 水灰比

水灰比愈高降伏值與塑性粘度都隨之降低，這是因為愈多的水存在使得結構為鬆動，而降低了降伏值[4,5,8,9]。

#### (2) 顆粒細度與堆積方式

文獻中[3]顯示降伏值及塑性粘度，和顆粒比表面積有下式之關係：

$$\tau_o = K_1 S_v^{3.83} \text{-----} (2-3)$$

$$\eta_E = K_2 S_v^{2.47} \text{-----} (2-4)$$

式中 SV：比表面積；和

k1，k2：與水灰比有關係數。

當比表面積愈大，其顆粒間吸引力增大，其降伏值及塑性粘度亦較大，緊密堆積的顆粒之降伏值遠較鬆散堆積為大[9]。

#### (3) 添加摻料

添加表面活性劑後，降伏值及塑性粘度隨之減少，添加飛灰後漿體之降伏值隨添加量而減少，其原因為摻料之存在，改變顆粒界面帶電之型態，使得界面結構改變而影響整體之降伏值及塑性粘度[3,6,7]

#### 4.拌合效率與拌合時間

Roy and Asaga[10]指出在不同的拌合條件下，所得到的流變曲線會有所改變，因為標準之拌合程序水泥的建立結構完整，水泥顆粒能均勻的進行水化之故。

## 第六節 新拌混凝土之力學行為

新拌混凝土的性質，位於液態物質與固態物質之間，是屬於兩相的複合材料，包含可變形部分的水泥漿和可移位部分的骨材。在承受外在剪力作用之下，水泥漿的變形為視規則性的流行為，產生角位移，但包含於水泥漿母體 matrix 中的骨材顆粒，則只能以線位移方式變形[11]。

由於骨材顆粒存在，必然影響了新拌混凝土的流動性質，為自試驗中取得測定值，須設法克服骨材所引起流動性質的減退，或先行確定骨材內摩擦力的大小[3]。

新拌混凝土的剪力強度是由：

摩擦阻力及骨材與水泥顆粒間的內制(interlocking)。

水泥經過水化作用後，骨材顆粒粘結在一起的結果。

新拌混凝土的行為機理是類似粘著性土壤，具有內摩擦、粘著性及孔隙水壓等性質，可視為是一種顆粒狀系統物質。

新拌混凝土的顆粒組合，並沒有像固體顆粒般強壯的結合在一起，也沒有像液體元素一樣可自由移動。此系統顆粒的傳遞力必須經過(1)孔隙(孔隙壓力)(2)顆粒接觸點(有效壓力)(3)顆粒的橫斷面。

在顆粒系統中任何面上的總應力，Terzaghi 提出了下式：

$$\sigma = \sigma' + u \text{ ----- (2-5)}$$

上式假定  $(A_c/A) \ll 1$

其中  $A_c$ ：平面上的接觸面積

相關文獻提出理論如下：

(1) Mohr-Coulomb 理論

在土壤力學中，常用 Mohr-Coulomb 理論來代表土壤力學的剪力強度  $\tau = C + \sigma_n \tan \phi$ 。

其中  $\tau$ : 剪力強度

C: 粘著應力

$\sigma_n$ : 正向應力

$\tan f$ : 摩擦係數

對於飽和試體，其剪應力是與有效應力有關而不是總應力，所以上式可改寫成

$$\tau' = C' + \sigma_n \tan f \text{ ----- (2-6)}$$

(2) 高健章、注永宇混凝土質流模式[74]。

$$\tau = \tau_1 + \eta_1 + C + KPx \tan \phi \text{ ----- (2-7)}$$

$\tau_1$ : 潤滑層的降伏值

$\eta_1$ : 潤滑層的剪力率和混凝土泵送流量及潤滑層厚度有關

C: 混凝土的黏著應力

$Px$ : 距離  $x$  之管內壓力

$\phi$ : 混凝土內摩擦角

(3) Alexandridis 和 Gardner 用三軸試驗考慮在有效應力條件下，溫度及時間對內摩擦角及黏著應力的影響，獲得溫度及時間對於內摩擦角影響不大，剪力強度的增加乃是黏著應力所貢獻 [3]。

(4) Murata[3] 用照相式同心軸圓柱質流儀，建議若坍度在 15cm 以上則新拌混凝土的行為可視為賓漢模式，但如果坍度小於 15cm 則必須考慮到內摩擦角的影響，其計算值對量測值之比值遠大於 1。

(5) 台科大黃兆龍[1]指出輕質骨材顆粒密度較常重骨材顆粒密度為低，顆粒堆積之靜載重較低，使得下壓力較小，水平的側向

推力也較小，使得坍流時間變長。高流動性輕質骨材混凝土隨著水膠比降低其所須的水泥用量也增加，為了達到設計的工作性，相對地也增加了強塑劑的用量，也因此而增加漿體滯性，而使得靜扭矩值變大，一但產生攪動之後，其動扭矩值即下降。混凝土的初始靜扭矩值愈大者，其所須的泵送能將愈大，這是現場施工作業所須注意的事項。流變性的理解對流動化混凝土而言是相當重要的，因為它提供估算混凝土泵送特性、決定泵送機型態、可泵送距離的重要參數。

混凝土的流變性行是一種濱漢流體，其行為與水灰比(W/C)或水膠比(w/b)有密切關係，見圖 2-2 所示。水灰比或水膠比愈大，則同一剪應變率下（垂直座標以轉速代表），剪應力（水平座標以扭矩代表）隨之降低，見圖 2-2(1)，亦即同一水泥量（固定顆粒量，C）下，用水量(W)愈多，W/C 愈大，剪力值 $\mu$ 愈低，即扭矩 T 愈低，所以比較容易施工。在此說明一般工地如果沒有改變工作性的措施，則工作人員都會傾向於添加水量的途徑了，所以不得不謹慎管制以防患品質劣化了。而由斜率來看，水灰比(W/C)愈大，則斜率愈大，而斜率的倒數即為黏滯性( $\mu$ )，亦即 $\mu$ 愈小，如此的流動性也會比較大。如果水量又太大的條件下，此時泌水及析離的狀況必然產生。水灰比與骨材比重相等的關係如圖 2-3 所示。對於比重甚輕的輕質骨材混凝土，則若輕質骨材比重 $\gamma_{ea} < 1.0$ ，則又較水泥漿比重輕太多了，此刻必須利用增加水量、增大黏度或添加泡沫，否則輕骨材會上浮，必須注意。配比也會影響到混凝土流變行為，圖 2-4(2)顯示改變粗細骨材比，使砂含量增加，則剪力值( $\tau$ )隨之增加，因為砂顆粒之間或與其他固體的接觸點增加，摩擦阻力增加，所以一般坍度明顯會降低。但是其黏滯性( $\mu$ )反而降低，亦即砂的接觸點一增加，就如同軸承（小圓球）般，顆粒間之剪力滑移較容易產生，但如果砂的細度模數(FM)降低，則黏滯性( $\mu$ )會上昇。因此可以說明適當的控制配比設計可以改變流變行為，也可以製造不同特性的混凝土。

## 第七節 界達電位與混凝土新拌性質

### 1. 界達電位基本概念

水泥為極性顆粒，當其與極性液體（如：水溶液等）及卜作嵐顆粒接觸時，顆粒表面會帶電，並在顆粒表面與液體間之界面生成電位差。這種帶電現象產生之原因有三，即顆粒表面離子之電離，顆粒表面吸附溶液中之離子及離子之溶出等。由於電磁效應之作用，假如顆粒表面生成正（負）電荷層時，其鄰接的液體會增加負（正）電荷。結果在其固／液界面會產生電荷的不均勻分佈，

即產生界面電雙層（interfacial electrical double layer），與雙層電位差（double layer potential）[12,13]。

Stern 氏提出固／液之全擴散層理論，分為靠近粒子表面的 Stern 層，及外部擴散層等兩層[13]所示之模型，Stern 層之厚度約等於水化離子之半徑。離子可能因失水（dehydrate）導致靜電力和凡得瓦力（Vanderwaal）大於熱動力而被界面吸附，其結果為相對粒子間被吸附甚為緊密，Stern 層之電位則由  $\Psi$  急速減少到  $\Psi\sigma$ 。

擴散層之電位，由  $\Psi\delta$  逐漸減少到零，此種相對離子之吸附，一般會超過副離子之吸附。Stern 電位  $\Psi\delta$  可由測定界面動電來推斷之，而其位於吸附面之電位稱為界達電位（Zeta-potential）吸附層 Stern 層稍為厚一點，因此可知界達電位應比 Stern 電位稍小，但吸附層厚度很難測定，因此一般都假設， $\Psi\delta$  電位與界達電位相等[12]。

### 2. 水泥之電雙層與界達電位

水泥的電雙層與一般物質的電雙層不同，主要是因為水泥遇水後，隨時間之增加水化反應不斷進行，其電雙層內的結構不斷地隨時間而改變，因此水泥之電雙層屬於不穩定的動態結構[13]，量測「界達電位」可以得知當水泥不斷水化時，由電雙層變化的情形，可知「界達電位」是在 Stern 層與外部擴散層界面上之電位值，愈接近顆粒表

面其電位值愈大，因此尤界達電值可得知與表面電荷密度， $\sigma\delta$  (Electrokinetic Charge) 之關係為指數關係[14]，如下所示：

$$\sigma\delta = N_1 \cdot Z \cdot eV -_{no} \exp(-ze\xi/kT) / NL \text{ ----- (2-8)}$$

考慮時間因素則為：

$$\sigma\delta = N_1 \cdot Z \cdot eV -_{no} \exp(-ze\xi/kT) \int_0^t rdt / NL \text{ ----- (2-9)}$$

式中 N1：表面電荷數

Z：係離子價數

e：電子電荷之絕對值

n0：單位體積之離子數

NL：Avogadro's 數

V：質量體積

$\xi$ ：界達電位

k：Bolt Z manns

T：絕對溫度

r：反應速率

計算界達電位通常藉由量測電荷移動率 (electrokinetid mobility) 來推算[5]。

### 3. 影響界達電位之因素

材料參數、漿體濃度、pH 值、離子作用、界面活性劑等均會影響界達電位，而導致混凝土新拌性質之改變。

#### a. 材料參數

高爐水泥比普通卜特嵐水泥之界達電位值較低，此外低 C3A 含量之水泥，其界達電位亦較普通水泥為低。而飛灰之界達電位值亦較低，與飛灰之細度及卜作嵐反應有關，高表面積之飛灰與水之反應較

低表面積之飛灰為快[15]。

#### b. 漿體濃度

二種不同濃度之水泥漿溶液「界達電位」依時 (time dependent) 變化情形，基本上趨勢類似，但反應速率不同，為濃度與界達電位值之關係，濃度與界達電位值成反比，濃度愈高界達電位值愈低，這因為水泥濃度增加，水化溶液中離子濃度隨之增加，而使擴散層受壓所致[16,15]。

#### c. pH 值之改變

水泥漿隨之 pH 值上升，其界達電位亦上升，探討其原因為當 pH 值上升，Stern 層上的  $\text{Ca}^{2+}$  離子濃度也隨之上升，而使界達電位值增加[16,17]。圖 2-20[15]為卜作嵐材料 pH 值與界達電位關係曲線。



## 第八節 混凝土工作性的量測

新拌混凝土性質的測定，混凝土為品質控制的重要工作，可判定並瞭解混凝土之行為與品質均勻性。新拌混凝土相關量測試驗的重要性係基於下列二種基本假設：

1. 試驗可提供估計硬固混凝土性質的資料。
2. 新拌混凝土性質一旦變動，即暗示混凝土配比已改變，此時應採用應變措施補救。

表 2-10 為新拌混凝土所需檢測項目，其中工作度之測定具有相當之物理意義與重要性。由於混凝土工作度受材料配比、施工方式、環境因素等變數之影響，很難設計一種滿足真正需求的試驗方法，最常用之方法為坍度試驗〈Slump Test〉，適用於一般狀況，對於如工作度零坍度之的混凝土則無法做適當的鑑定。其他如壓實因子試驗〈Compacting Factor Test〉、Vebe 密度試驗〈Vebe Test〉、流度試驗〈Flow Test〉、拌合試驗〈Mixer Test〉、重模試驗〈Remolding Test〉、貫入試驗〈Penetration Test〉、落入試驗〈Drop Test〉等〈詳見表 2-11〉，這些實驗方法並不能完全代表混凝土工作性。在工地現場新拌混凝土的經驗評定，是古老的工作度測定方法，除了坍度試驗，工程師根據混凝土在攪拌機及灌置時的一些行為做出自己的判斷，然而這種判斷常過於主觀，沒有一定之標準。對於現在最常用的坍度試驗，仍然有許多人認為並不足以代表新拌混凝土之工作性，然而坍度試驗是使用最久也最廣泛的方法。對新拌混凝土品質檢定而言，坍度試驗仍是最具有代表性的試驗，除了最經濟最快速等優點外，坍度試驗中可看出是否有析離、泌水等之現象，但必須注意的是坍度試驗不能完全代表新拌混凝土之品質，而是在沒有更好的方法前，它是最容易被人所接受的。

對於高流動性的混凝土上述試驗方法並不能完全代表混凝土工作性質，若以流變性（Rheology）之量測方法，則可將複雜的混凝土，

以較簡易的模式定義出具有物理意義的量化，來作為判斷混凝土工作度難易的依據[8,15]。相關量測如表 2-12 及 2-14 所示及圖 2-5 所示。

## 第九節 混凝土新拌與硬固品質之相關性

強度、耐久性、體積穩定性為硬固混凝土之重要性質，而新拌混凝土其組成材料、配比方式、施工條件、方法及環境等都直接或間接的影響硬固混凝土之品質，因此欲得到設計品質的混凝土，對於其影響基因應有是當的了解。表 2-12 為新拌與硬固混凝土相對影響基因，及圖 2-6 所示。

### 1. 孔隙率

孔隙的增加在用水量固定的條件下能增加漿體體積，改善混凝土工作性，因此添加輸氣劑可以改善混凝土的稠度，減少泌水及析離現象，增加工作性。但對於硬固後的強度而言，孔隙多則強度愈低，而連通的孔隙較獨立的孔隙對強度的影響更大，可以下式來說明。

$$S = S_0 e^{-kp} \text{-----} (2-10)$$

S：強度

S<sub>0</sub>：孔隙率為零時之強度

k=常數

p=孔隙率(%)

對於多材料而言，強度與孔隙成反比關係，再者孔隙的存在將使滲透性提高而降低了混凝土耐久性，但孔隙存在對抗凍融性卻有相當之幫助。

### 2. 用水量

由前可知用水量提高確實能提高混凝土之工作度，但用水量過高常會造成泌水及析離而降低混凝土之強度，對耐久性也有負面影響，因為泌水使滲透性增加，新舊界面及鋼筋面也會因泌水而減低鍵結力。體積變化會因含水量過大產生乾躁潮濕之差異變形而降低混凝土品質。

### 3. 水灰比

水灰比愈高則工作性及流動性也相對提昇，對於施工者而言是方便可施工的，但若考慮強度及耐久性時，則低水灰比為一重要策略，因為過多之水將造成強度不足及潛在耐久性問題。減低水灰比則可減少了孔隙存在，增加混凝土之強度與均勻性。

### 4. 水泥用量

在水灰比固定的條件下，增加水泥用量的確是可以提高工作度，但高水泥用量卻使硬固混凝土產生大的乾縮及潛變量，因此增加水泥用量以提高工作度及強度，是值得商榷的問題，在 ACI211.4R 中建議高強度混凝土之水泥用量最好在  $392 \text{ kg/m}^3$  至  $557 \text{ kg/m}^3$  之間。

### 5. 骨材級配

在水灰比保持一定下，改變骨材級配而不改變粗骨材最大粒徑，將會造成新拌混凝土稠度等性質之改變，相對也會影響混凝土之強度。當粗骨材比和水泥用量增加，坍度增加，但強度卻下降。

### 6. 骨材表面狀況

在顯微鏡下觀察水泥漿與骨材粘接觸可知，外表光滑的骨材，其黏接緊密度較表面粗糙之骨材為差，因此其強度相對的也較差，但表面光滑之骨材對混凝土工作性是有幫助的。

表 2-1 混凝土材料品質之控制基因[1]

性質		傳統混凝土/高強度混凝土	高性能混凝土
配 比 設 計	經濟性	低坍度 最大 Dmax 最低粗細骨材比 適當摻料	高坍度(slump>25cm) 強度愈高 Dmax 愈小 最佳化粗細骨材比 最佳化之摻料量
	工作性	適當之搗實及振動加水泥 砂漿含量	免搗實、高流動、適當量之水 泥砂將用量、添加介面活性劑 及卜作嵐材料
	強度及耐久性	適當控制 W/C 水泥含量較高	控制長期之 W/B 及短期之 W/C 比率水泥含量較少添加 卜作嵐材料
新 拌 混 凝 土	溫度上昇	減少水泥	減少水泥
	塑性收縮	降低水泥砂漿量	降低水泥砂漿量
	凝結時間	一般標準	初凝需較長，確保 45 分鐘之 工作性有 23.5cm 以上
硬 固 混 凝 土	體積穩定性	彈性模數、熱變形、收縮、 潛變等並無特別之控制	控制低 W/B 比，低水泥用量， 低用水量，添加適量卜作嵐材 料，採用適量高性能減水劑
	長期耐久性	降低水灰比 W/C，採用卜 作嵐材料	採用大量卜作嵐材料，適量高 性能減水劑及緩凝劑，降低 W/B 比值，採用優質骨材

\*現階段之定義

表 2-2 拌合水中不潔物質之容許值[1]

化學名稱		最大濃度(ppm)	試驗方法
氯 化 物 (Cl)	(a)預力混凝土或混凝土橋墩	500	CNS5858
	(b)潮濕環境下之鋼筋混凝土，含有鋁製埋設物，不同種類之金屬模板於結構體內時	1,000	
硫酸鹽( $SO_4$ )		3,000	CNS5862
鹼性物質( $Na_2O + 0.658K_2O$ )		600	CNS1078
總固務量		50,000	CNS1237
濁度		2,000	

表 2-3 卜作嵐材料在工程上之應用

項目		應用條件
水 泥 亦 可 替 代 細 骨 材	高流動化混凝土	採用比表面積 $5500\sim 6000\text{ cm}^2/\text{g}$ 之高爐石粉與水泥混合
	修補混凝土	採用比表面積 $8000\text{ cm}^2/\text{g}$ 之高爐石粉拌合於一般混凝土
	高強度混凝土	◎ 採用 $6000\sim 8000\text{ cm}^2/\text{g}$ 之 50% 配比高爐石粉混合於水泥中，配合 S.P. 以 $W/C=0.25$ 於 28 日可達 $1000\text{ kg/cm}^2$ 之抗壓強度 ◎ 採用飛灰(F 級)時，最好小於 20%，否則影響早期強度
	預力混凝土	採用比表面積 $6060\text{ cm}^2/\text{g}$ 高爐石粉與 50% 之水泥，再添加 S.P. 可一日達 $400\text{ kg/cm}^2$ (蒸氣養護)
	巨積混凝土	卜作嵐材料大多具有降低水化熱條件，適用於巨積混凝土中
	海洋氣候	卜作嵐材料因具有卜作嵐反應，具有良好之耐久性
粗 細 骨 材	道路	以氣冷爐石作粗骨材
	級配	以氣冷爐石作為骨材配比
	肥料	高爐石粉、稻殼灰具有良好肥料性質
	地工	以水淬爐石粉替代砂注入砂樁內，可因高爐石催化性水化反應而使砂樁更緻密

	隧道噴凝土	使用矽灰與噴凝土混合，可減少噴凝土設備的磨損，降低噴凝土反彈率，增加工作性，並得到高品質的噴凝土
--	-------	--

表 2-4 影響骨材界面的因素及改善策略[21,22]

因素		原因	改善策略
骨材	潔淨	妨礙水泥與骨材間之粘結	洗淨
	粒徑	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 粒徑小則增加鍵結面總面積增加鍵結強度</li> <li>◎ 粒徑大則過渡區中之水灰比提高 CH 容易充份析出排列</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 高強度粒徑大小影響頗大，需採用較小之粒徑</li> <li>◎ 普通強度可予以忽略</li> </ul>
	形狀級配	影響拌合稠度及泌水和施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 良好級配減少泌水產生</li> <li>◎ 形狀良好增加工作性及密實性</li> </ul>
	礦物組成	骨材礦物成分與水泥產生水化影響介面強度	採用矽酸鈣質粗骨材
	熱膨脹	與漿體之熱膨脹係數不同而產生危裂縫	使用石灰岩質砂及粗骨材降低熱膨脹係數
水泥漿體	水灰比	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ W/C 高，泌水使骨材周圍緻密性降低</li> <li>◎ W/C 越高則骨材周圍水泥顆粒濃度越稀，因此 CH 晶體越容易成有規則排列，形成多孔結構</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 使用減水劑或強塑劑降低 w/c</li> <li>◎ 添加卜作嵐材料</li> </ul>
	泌水	造成骨材底部至密性降低	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 良好骨材級配，形狀</li> <li>◎ 降低 w/c</li> <li>◎ 採用粒徑較小骨材</li> <li>◎ 減少漿體用量</li> </ul>

環境	溫溼度	影響乾躁收縮及塑性收縮造成過渡區之為裂縫形成	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 適當養護</li> <li>◎ 降低 w/c</li> <li>◎ 添加卜作嵐材料</li> </ul>
	礦物摻料	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 水泥水化 <math>C_3A + H \rightarrow C-S-H + CH</math></li> <li><math>C_2S + H \rightarrow C-S-H + CH</math></li> <li>◎ <math>CH + \text{pozzolans} + H \rightarrow C-S-H</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ pozzolans 添加使 CH 析出減少</li> <li>◎ 產生 C-S-H 具填充作用</li> <li>◎ 減少孔隙</li> <li>◎ 減少泌水現象</li> </ul>
	其他	輸氣劑可減少泌水現象，注膠可減少骨材界面乾燥收縮產生之為裂縫	

表 2-5 各種成分對卜作嵐水泥性質之影響[21,22]

成份	含量(%)	效能		ASTM C150 使用規定
		正效能	負效能	
$C_3S$	25~60	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 早期及晚期強度均高，為普通及早強水泥之主要成分</li> <li>◎ 支配強度發展</li> </ul>	水化熱高	於低熱水泥中含量應 <35%
$\beta C_2S$	15~50	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 提高晚期強度</li> <li>◎ 水化熱低，收縮量小</li> </ul>	早期強度發展較慢	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 於改良水泥應 &lt;8%</li> <li>◎ 早強水泥 &lt;15%</li> <li>◎ 低熱水泥 &lt;7%</li> <li>◎ 抗硫水泥 &lt;5%</li> </ul>
$C_3A$	4~12	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 活性大，水化快</li> <li>◎ 可製造無收縮性水泥</li> <li>◎ 增加初期凝固強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ 凝結時間短，易造成閃凝，及工作性低</li> <li>◎ 水化熱高，易造成體積膨脹</li> </ul>	於抗硫水泥中應 <20%



			◎ 強 度 低，收縮 性大	
$C_4AF$	5~12	◎水化熱低 ◎收縮性及放熱性低 抗硫性較佳	◎ 早 期 及 晚 期 強 度均低 ◎ 反 應 速 率慢	<0.6%
MgO	-	-	水化緩慢且 體積膨脹易 造成硬固水 泥漿體開裂	
游離 石灰 CaO	-	-	◎造成水泥 安定性不佳 遲滯膠結作 用 異常凝結降 低漿體晚期 強度	
鹼 $Na_2O$	0.4~1.3	-	含量太高， 即 pH 值提 高，易造成 速凝現象 可能產生鹼 骨材反應	<0.6%
石膏 $C\bar{S}H_2$	2~4	延緩凝結時間，增加工 作性	含量太多， 則發生局部 膨脹現象及 強度遞減	<0.6%

表 2-6 不同漿體材料之 Zeta 電位(Mv)

種類	普通水泥	高強水泥	低 C3A 水泥	高爐水泥	飛灰漿
28 天強度 (N/mm <sup>2</sup> )	35	45	35	35	-
No 1.	-12.0	-14.5	-16.7	-23.1	-25.5*
No 2.	-13.3	-12.3	-17.1	-24.5	-21.2**
No 3.	-13.7	-14.3	-	-21.8	-22.9**
No 4.	-11.1	-14.7	-	-20.3	-11.8***
Mean	-12.5	-13.9	-16.8	-22.4	-
註：*低表面積飛灰 **高表面積飛灰 *** Fly Ash/(Fly Ash+Cement)=0.3					

表 2-7 新拌混凝土品質檢測項目[1]

試驗項目	依據規範	試驗方法	試驗要求及目的
稠度	ASTM C143	最常用坍度試驗來量測	本試驗必須在 2.5 分鐘內完成，其目的在得知混凝土之流動性及填充性。
含氣量	ASTM C231 CNS 1177	空氣含量測定器或量筒體積測定	含氣量與工作度及耐久性有關，所以一般均測定。
溫度	ASTM C1064	並無標準方法，需量穩定時之溫度	溫度變化可知水化放熱狀況，影響新拌及硬固混凝土性質。
單位重及產量	ASTM C138 CNS 1177	量筒體積法量測	顯示配比之正確性，並可求新拌混凝土含氣量。
泌水	ASTM C232 CNS 1235	吸液量(Pipet)或其它可及取表面泌水之管子	測定新拌混凝土泌水量，求得用水量與泌水量之相對值，現場甚少測試。
抗壓	ASTM C31 CNS 1235	製作圓柱抗壓試體	測定混凝土抗壓強度。
配比快速分析	ASTM C231 ASTM C138	利用水洗比重原理	在短時間內分析新拌混凝土配比成份，檢測配比正確性。

加速養護	ASTM C684	利用溫水、滾水及自生養護加速強度發展	加速混凝土強度發展預測潛在 28 天強度。
礦物摻料含量	-	用#325 篩過濾混凝土中水泥	利用顯微觀測殘餘部份即可查出使用之摻料。
氣含量	ASTM C114	以水溶法量測	確保混凝土品質，避免鋼筋鏽蝕。

表 2-8 工作度之量測方法[1]

試驗方法	試驗依據	量測性質	適用範圍
坍度試驗 (Slump Test)	ASTM C143-78	$\tau_0$	適用於一般狀況，對於如零坍度之工作度低的混凝土，不易做適當的監定
密度試驗 (Vebe Test)	ACI 211.3-75 BS.1881.PAR T2:1970	$\tau_0 + \eta$	適用於流動性較差，需用振動器搗實之混凝土，缺點為量測終點時間不易控制
壓實因子試驗 (Compacting Factor Test)	BS.1881 PART2:1970 ACI 211.3-75	$\tau_0 + \eta$	用於量測混凝土可壓實程度，對於如高凝聚性混凝土會粘於試驗容器而影響結果
流度試驗 (Flow Test)	ASTM C124-39	$\tau_0 + \eta$	可作為混凝土流動性之參考依據但對混凝土粘度不易判斷
貫入試驗 (Ball Penetration Test)	ASTM C360-63	$\tau_0$	適用於較高流動性之混凝土
重模試驗 (Remolding Test)	Powers(1932)	$\tau_0 + \eta$	適用於零坍度之混凝土，缺點為最終搖動次數較不易控制
拌合試驗 (Mixer Test)	Tattersall(1976)	$\tau_0 + \eta$	模擬混凝土實際施工狀況，需以較低速拌合，適合於高流動混凝土

表 2-9 標準工作度量測方法及範圍[1]

稠度	坍度(mm)	V-B (秒)	落桌(次)	搗實因數(CF)
很乾	-	32~18	112~56	-
很硬	-	18~10	56~28	0.70
硬	0~25	10~5	28~14	0.75
硬塑性	25~50	5~3	14~7	0.85
塑性	75~100	3~0	7~0	0.91
流動性	150~	-	-	0.95

表 2-10 高流動混凝土試驗方法[1,19]

名稱及標準 制訂單位	設備	試驗方法	判斷等級
坍流度試驗 (Slump Flow Test) 日本土木學會	坍度錐	坍度試驗量測坍度值，並隨即對坍落擴大的混凝土，於互成九十度的方向上量測其自由擴散直徑，取其平均值為坍流度值	
凹型試驗 (台科大黃兆龍)	凹型試驗儀		是否完成向上提昇的能力
U型試驗(U-Test) Matsuoka & Shindo	U型試驗儀	試驗時，先放下填充裝置隔間板及流動障礙隔板，將混凝土灌注填滿A室後，拉啟隔間板，混凝土隨即通過障礙隔板填充B室，量測B室容器底端至填充混凝土表面的高度。	填充高度若大於300mm且無骨材析離的情形，則此混凝土稱為自充混凝土
V型漏斗試驗 (V-Funnel Test) 日本土木學會	V型漏斗試驗儀	試驗時，將約10公升試料免導實一次填滿，上面刮平，開啟下面排放口，用馬錶測混凝土全部排完所需時間。混凝土黏性較高時，較難判斷瞬間排完時間，可從上面觀測混	坍流度介於60~70cm的高性能混凝土，其V型漏斗排完時間約介於5~15秒。

		凝土流動情況，直到視線透過排放口看見下部所需的時間，以馬錶測定之。	
--	--	-----------------------------------	--

表 2-11 粉體系高流動混凝土之檢驗標準[19]

自充填性等級		1	2	3
構造條件	鋼筋最小間距(mm)	35~60	60~200	200 以上
	鋼筋量(kg/m <sup>3</sup> )	350 以上	100~350	100 以下
U(箱)型試驗填充高度(mm)		300 以上 (R1 障礙)	300 以上 (R2 障礙)	300 以上 (無障礙)
單位粗骨材絕對體積(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )		0.28~0.30	0.30~0.33	0.32~0.35
流動性	坍流度(mm)	600~700	600~700	500~650
材料分離 抵抗性	V 型漏斗試驗 流下時間(秒)	9~20	7~13	4~11
	坍流度達 500 mm 所需流動時間(秒)	5~20	3~15	3~15

表 2-12 新拌混凝土性質相關文獻

年代	作者	研究主題	研究變數	研究內容及結果
84	朱愴之(碩士論文, 黃兆龍指導)	高性能混凝土材料組成特性與及早期性質研究	水膠比: 0.28, 0.32, 0.4 漿量: 1.1n, 1.3n, 1.5n 量測: 坍度電 坍流度 (0.45、90min) 流變性質 (0.45、90min) 超音波 (0~100 小時) 抗貫入 (0~終凝時間) 漿體泌水試驗 漿體保水試驗 漿體 Zata 量測 漿體粘滯性量測	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 新拌混凝土工作度、泵送性與塑性粘度成反比; 凝聚性、稠度與降低剪應力成正比, 因此此流度行為可表現新拌混凝土性質</li> <li>* n=1.3 配比之混凝土具有適當之粘滯性與稠度</li> <li>* 潤滑漿量過少, 則減低新拌混凝土流動及變形之能力, 漿量過多則對提高工作性之助益有限</li> <li>* 漿體比重與骨材比重較接近, 可提高工作及抑制泌水及析離之能力</li> </ul>
82	林永福(碩士論文中, 高健章指導)	新拌混凝土在高壓下之失水機理	水灰比: 0.81, 0.70, 0.68, 0.65, 0.6, 0.55, 0.45, 0.4 fc'=140, 210, 300, 380 kgf/cm <sup>2</sup> 劑別=TYPEF、TYPEAT 劑量=0.75%、1.5%(TYPEF) 0.125%、0.25%(減水劑) 拌合時間、1 分、2 分、3 分鐘	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 細粒料量對混凝土與管壁間之潤滑助益頗大, 細粒料愈大, 則 μ 值愈小</li> <li>* 加強塑劑及減水劑均可降低 μ 值, 可促進泵送性</li> <li>* 同坍度, 同拌和水, 水灰比愈小</li> <li>* k 值有效經同壓力/有效軸同壓力下降速度較慢, 表示同坍度時, 水泥用量較多時, 有利於泵送失水現象及塞管情形較少</li> </ul>
86	柯玉清碩士論文(張大鵬指導)	高性能輕質骨混凝土彈性性法之研究	水灰比: 0.4 ( $\frac{w}{cm} = 0.33$ ) 飛灰取代水泥量=23% 固定水膠比探不同漿量之影響 固定漿量 VP=0.41, 比較不同粗細骨材混	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 添加飛灰可增加黏稠度抑制輕質骨材上浮及析離現象降低泌水情形</li> <li>* 細骨材含量會多, 帶動混凝土流動, 但細骨材含量超過某一種程度時, 坍流度及流度反而減少此因潤滑漿量不足所致</li> </ul>

			含量之影響 不同輕質骨材之影響	
88	賴朝鵬(博士論文 顏聰指導)	混凝土材料組成 對其流動性質與 波傳行為之影響	水泥砂漿： $\frac{W}{C}=0.3\sim 0.7$ 混凝土： $\frac{W}{C}=0.3\sim 0.7$	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 水灰比 0.3 水泥砂漿坍流度會隨水泥漿體包裹厚度增加而增加，且厚度為 0.08~0.11mm 時，達到潤滑效果之臨界點</li> <li>* 流動化混凝土之水泥砂漿量高於 69.8% 時，則水泥漿體平均包裹厚度可降低至 0.05mm</li> <li>* 水泥漿體平均包裹厚度為 0.08~0.11mm 時，流化混凝土至少需含 55% 之水泥砂漿</li> <li>* 混凝土內粗骨材量介於 30~45% 時，粗骨材含量固定，則混凝土流動性質隨水泥砂漿坍流度增加而增加</li> </ul>
91	蔡昆城(碩士論文 黃兆龍指導)	淤泥再生輕質骨 材混凝土工程性 法之研究	w/b=0.28、0.32、0.4 用水量=140、150、160kg/m <sup>3</sup> 單位重=1700、1900、2000kg/m <sup>3</sup> 配比設計=緻密配比及 ACI 配比	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 輕質混凝土之靜扭矩值決定於漿體之黏滯性，漿體稠度愈濃，其靜扭矩愈大</li> <li>* 混凝土最大靜扭矩值和水泥漿體成反比，克服最靜大扭矩直後，動扭矩值差異不大</li> <li>* 最大靜扭矩值愈大，代表所需泵送能量將愈大</li> </ul>

圖 2-1 工作性量測方法及範圍[1]

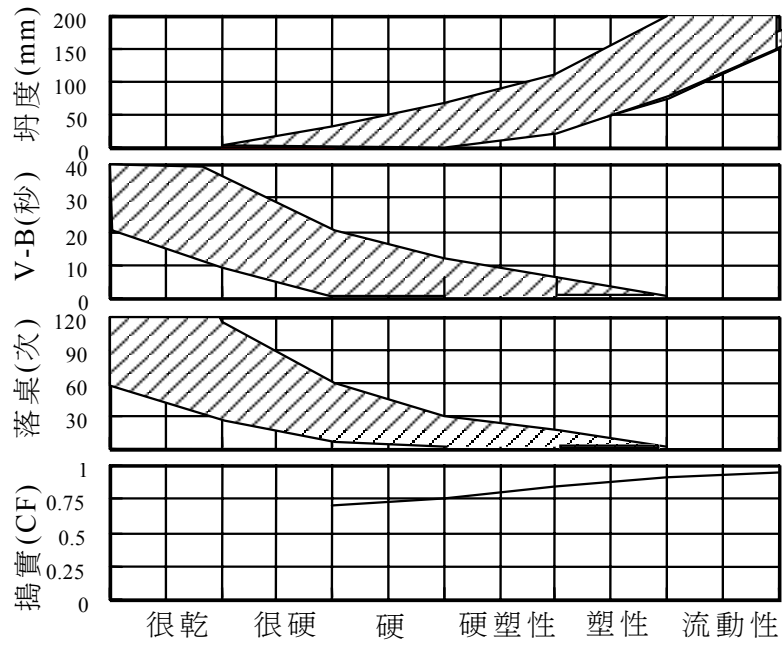


圖 2-2 凝結及硬固過程示意圖[1]

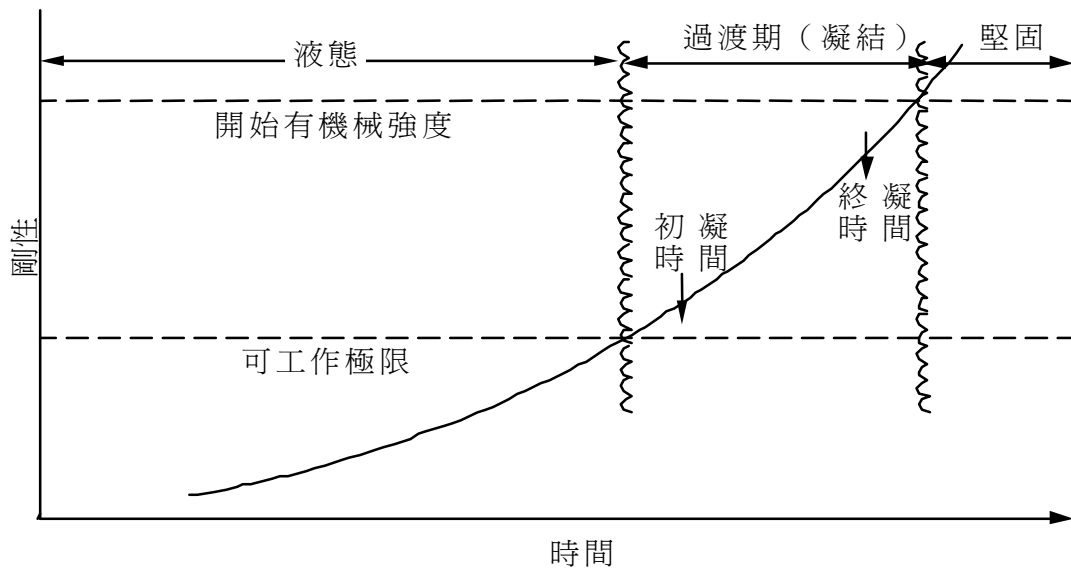
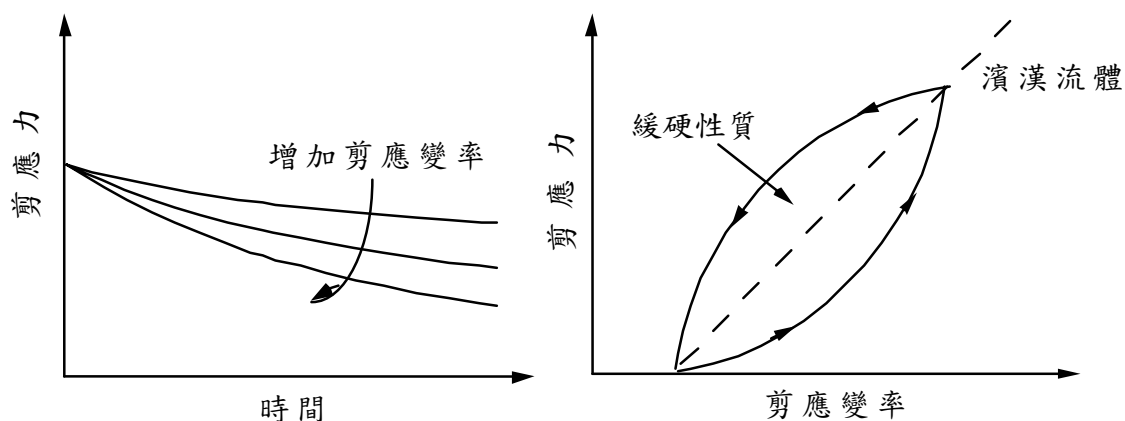


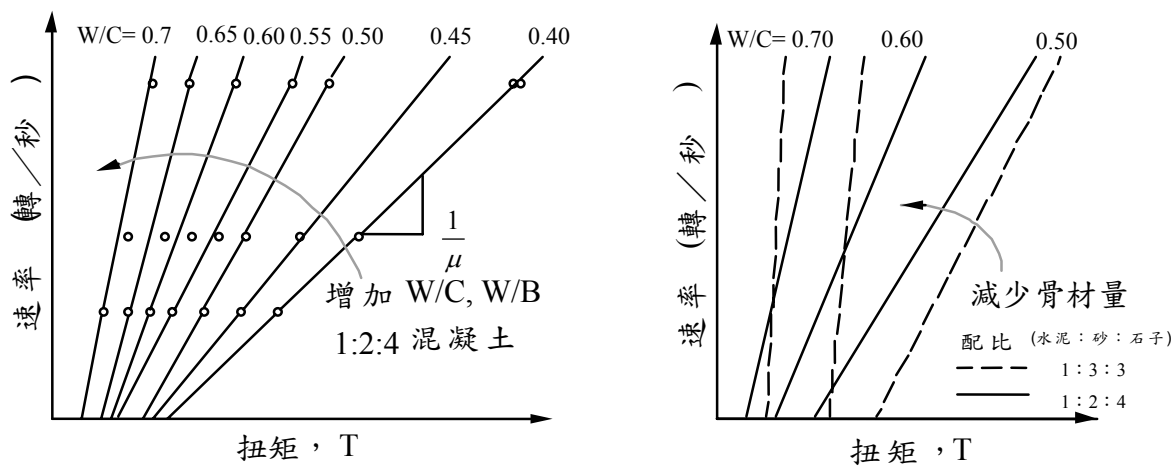


圖 2-3 剪力及剪速率與時間之相關性[1]



(1) 剪應力與時間及剪應變率之關 (2) 剪應力與剪應變率之關

圖 2-4 混凝土之濱漢流體曲線(1)改變 W/C 或 W/B 或含水量對 1:2:4 配比之影響(2)改變粗細骨材比率之影響[1]



(1) 改變 W/C或 W/B或含水量對 1:2:4

(2) 改變粗細骨材比之影響

圖 2-5 水泥漿與骨材比重之關係[1]

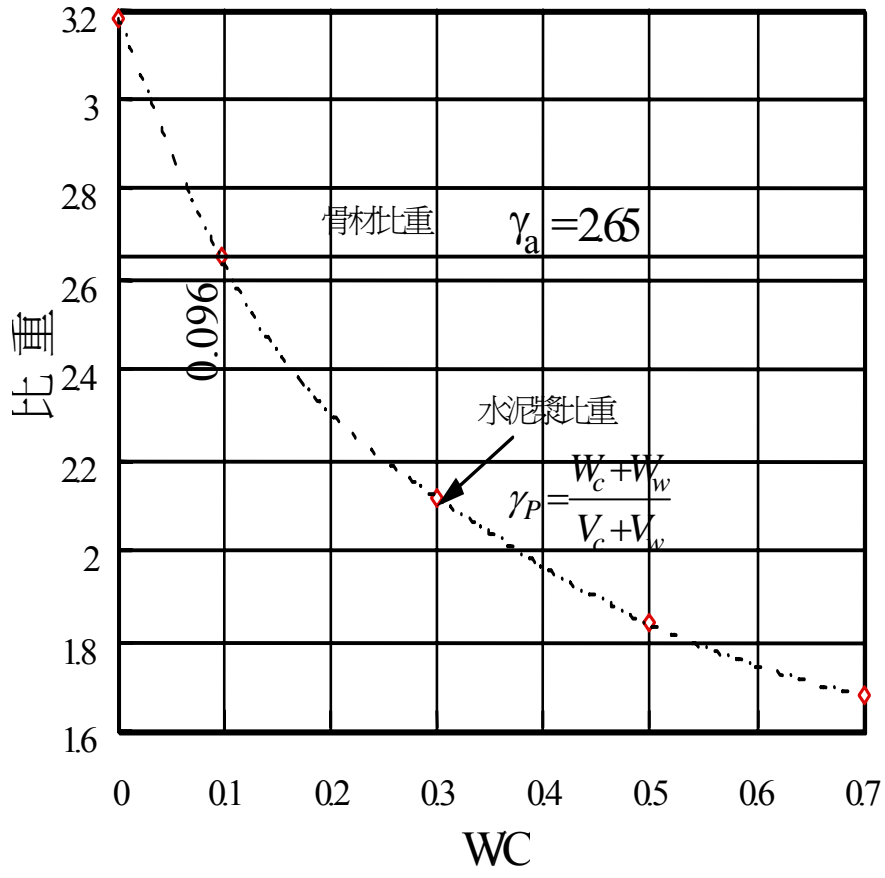
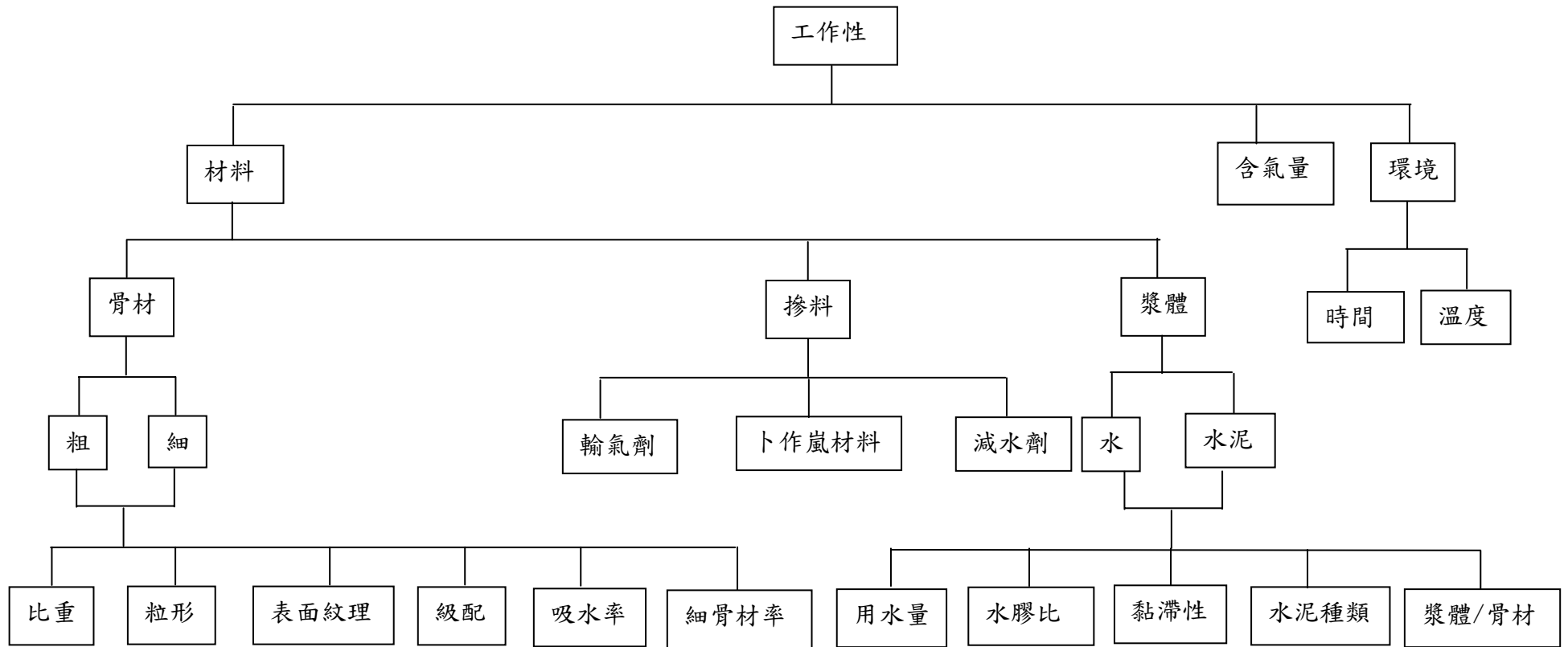


圖 2-6 輕質骨材混凝土工作性影響因素



## 第三章 試驗計畫

### 第一節 試驗材料

為使實驗過程之誤差減至最低，本研究嚴格控管各種材料之穩定性與均勻性，所有材料均採一次購入或一次收集完成，避免材料產生變異而影響日後輕質混凝土的穩定性。

#### 1. 水泥

本研究所使用之水泥為台灣水泥公司所生產之第 I 型卜特蘭水泥，其性質符合 ASTM C 150 第一型卜特蘭水泥的規格，所有水泥皆於購入當日即以不透水塑膠袋密封，防止水氣侵入使水泥硬化，其性質如表 3-1 所示。

#### 2. 爐石

本爐石係由中國鋼鐵公司所生產的水淬爐石粉，經中聯爐石資源化處理公司研磨成細粉狀，以真空包裝運回台北，再以塑膠袋密封分裝成小袋備用。爐石粉相關化學性質由中聯公司現場取樣分析，結果如表 3-1 所示。

#### 3. 飛灰

本飛灰由中聯爐石資源化處理公司提供，料源產自台電興達火力發電廠。性質如表 3-1 所示。

#### 4. 細骨材(常重砂)

本研究所使用之砂產自大安溪砂石場，屬機製砂(非機碎砂)，石頭料源取自大安溪河床之原石，洗淨後以碎石機打碎再研磨成機制砂，運送至實驗室洗淨後置於 105°C 烘箱內烘 24 小時，取出冷卻後以塑膠袋密封待用。由於砂處於烘乾狀態，拌和時須將面乾內飽和水量加入拌和水內。本機製砂之相關物理性質如表 3-2 所示。

#### 5. 輕質骨材粗骨材

本研究使用之輕質骨材為純水庫淤泥高溫燒製而成，產品取自湧源公司所提供的 3 種單位重輕質骨材。骨材經過 24 小時烘乾並以塑膠袋密封待用。輕質骨材處於烘乾狀態，拌和中須加入面乾內飽和之水。本實驗輕質骨材相關物理性質如表 3-3 所示。

#### 6. 輕質骨材細骨材

本研究使用之輕質細骨材為純水庫淤泥高溫燒製而成，產品取自湧源公司所提供。骨材經過 24 小時烘乾並以塑膠袋密封待用。輕質骨材處於烘乾狀態，拌和中須加入面乾內飽和之水。本實驗輕質細骨材相關物理性質如表 3-2。

#### 7. 拌和水

本研究之拌和水均取自自來水，符合 CNS3090 混凝土用水相關規定。

#### 8. 強塑劑(SP)

本研究所使用之強塑劑為欣得實業公司所生產的 HPC 1000 型，成份為磺化木質系，屬於高性能減水劑，性質介於 ASTM C494F 和 G 型高性能減水劑之間。SP 也採一次購入，使用前皆予均勻搖動，防止沈澱，SP 相關性質如表 3-3 所示。

## 第二節 試驗方法及設備

### 1.材料基本物理化學試驗

#### (1) 水泥、爐石及飛灰比重試驗

依 ASTM C188 規定採用李氏比重瓶，先稱試樣然後倒入比重瓶內，注意不能漏失，並且置於水中，以免因煤油感溫性強而影響數據，記錄試樣倒入前後液面刻劃值再代入下式求比重。

$$\text{比重} = \text{試樣重} / \text{試樣體積} \quad (\text{試樣到入前後讀數差})$$

#### (2) 骨材之比重與吸水率試驗

依 ASTM C127 或 CNS 488 及 ASTM C128 及 CNS 487 規定進行量測。

#### (3) 骨材篩分析試驗

依 ASTM C33 之規定求取粒徑分佈及細度模數值。

#### (4) 骨材單位體積重量試驗

依 ASTM C29 或 CNS 1166，CNS 1163 之規定進行量測。本研究之配比是以緻密配比法為基本架構，將骨材的堆積達到緻密化，可由級配分佈和單位重反應堆積結果。單位重試驗受搗實能量、搗實次數與搗實深度影響甚巨，搗實時應分三層，每層 25 下，每層再以木槌四側對角各敲擊 3~5 下，最後以搗棒整平後秤重，其結果可由下式計算出：

$$U_w = \frac{W_2 - W_1}{W_w - W_1} * 1000$$

式中：Uw＝單位體積重，kg/m<sup>3</sup>

W2：骨材加桶重，kg

W1：空桶重，kg

Ww：桶注滿水重，kg

### (5) 輕質粗粒料筒壓強度試驗

本試驗利用承壓筒測定輕質粗粒料顆粒之平均相對強度指標，作為評定品質之試驗法。承壓筒：由圓柱形筒體（帶筒底）、導向環和加壓模三部分組成（圖 3-1）。加壓模外表面須有刻度線，便於控制裝料高度和壓入深度。導向環係作為導向和防止偏心之用。

試驗方法：

(a) 篩取試驗篩 9.5~19mm CNS 386 之試樣  $0.005\text{m}^3$ ，其中 9.5~13.2mm 粒徑之體積含量應占 50%~70%。

(b) 以圓柱形筒體（帶筒底）裝試樣，分別測定 3 次鬆粒料重，試驗步驟參照 CNS 1163 [粒料單位質量與空隙試驗法] 第 7 節「搖振法」，取其算術平均值。對於天然輕質粒料，取所測得之鬆粒料重算術平均值，乘以 1.15 之放大係數作為樣品量；而對於其他輕質粒料，則乘以 1.10 之放大係數作為樣品量。

(c) 稱取試樣，將圓柱形筒體（帶筒底）和導向環組裝後，試樣分 3 次裝入筒中，每裝一次，應置於堅固地面上，輪流提起桶體之對側約 5cm 高，並遽然放開使之落下振實，使顆粒自行振密。每裝一次須重複振實 50 次，每側為 25 次，用手指或直尺修平粒料表面。試樣裝入桶中後再裝上加壓模，並檢查加壓模的下刻度紋是否與導向環之上緣重合，如不重合，應再輕敲筒壁四周，直至完全重合為止。

(d) 將加壓模置於試驗機之下壓板上，以每秒約 294~490 N { 30~50kgf } 的速率均勻加載，當加壓模壓入深度為 20mm 時，記下壓力值。

(e) 筒壓強度計算

輕質粗粒料之筒壓強度，依下式計算：

$$R = \frac{P}{F}$$

式中 R：輕質粗粒料之筒壓強度 MPa { kgf/cm<sup>2</sup> }，計算精確至 0.098MPa { 1 kgf/cm<sup>2</sup> }

P：壓入深度為 20mm 之壓力值 N { kgf }

F：承壓面積（即加壓模面積 F=10000mm<sup>2</sup>）

輕質粗粒料之筒壓強度以 3 次試驗結果為一組，取其算術平均值，若 3 次試驗結果中最大值與最小值之差大於平均值之 15% 時，須重做試驗。

## 2. 混凝土新拌性質

### （1）坍度、坍流度試驗

依 ASTM C143 或 CNS 1176「混凝土稠度檢驗法」規定進行。本研究所使用之拌和設備為黃兆龍教授所設計之水平雙軸拌和機，能有效快速地將混凝土拌和均勻，如圖 3-2 所示。試驗時，所拌和之混凝土應無目視的泌水及析離現象。

### （2）流變試驗

圖 3-3 為台灣科技大學黃兆龍教授新設計之流變儀，為參考法國 LCPC 的設計，但另特設計盤面可拆卸如果汁機的儀器，可用以準確計量出流變特性。

## 3. 混凝土硬固性質

### （1）混凝土抗壓試驗

根據 ASTM C31、C192、C617 之規定，製作 10cmφ×20cmH 混凝土圓柱試體，並於飽和石灰水中養護，以 200T 抗壓試驗機，如圖 3-4，分別測定其 3、7、28、56、91、180、350 天之抗壓強度。

### （2）超音波速度測試驗



超音波非破壞量測是依據 ASTM C597 之方法，利用超音波量測儀 (Ultrasonic)，量測混凝土 10cm $\phi$ ×20cmH 圓柱試體之縱向波速，利用音波在不同物質傳遞速度，瞭解混凝土的緻密程度，如圖 3-5 所示。

### (3) 表面電阻量測試驗

採用 C.N.S. Electronics LTD 生產之 Concrete Resistivity Meter 於預備承受載重之位置量測混凝土之電阻係數，作為判斷混凝土緻密性之指標，有助解釋耐久性的問題。使用方法及儀器如圖 3-6 所示。

### (4) 混凝土氯離子滲透試驗

根據 ASTM C1202 利用混凝土本身電流通通的難易及大小，來判斷氯離子滲透的可能性，圖 3-7 為儀器的示意圖。

(1) 準備一 102mm $\phi$ \*52mmH 的試體。

(2) 將試體的側面塗滿一層保護層，再置於真空皿中，抽至比 1mmHg(133Pa)低的壓力，並持續三小時。

(3) 將分注器中打開，使水淋在試體上。

(4) 關閉分注器，並持續抽真空一小時。

(5) 將試體置於水中 18 $\pm$ 2hr。

(6) 如圖 3-14 所示將試體置於測試模中，通入 60v 的直流電，而測試模於負極端填入 3% 的 NaCl 溶液，正極端填入 0.3N 的 NaOH 溶液。

(7) 每半小時量測電流一次，持續量測六小時，以式 3-1 及 3-2 計算電流量，判定氯離子滲透的難易程度

$$Q=900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \cdots + 2I_{300} + I_{360}) \text{ ----- (3-1)}$$

Q=電流量 (Coulombs)

I<sub>0</sub>=初始電流 (Ampers)

$I_t$  = 在時間  $t$  min 時的電流 (Ampers)

$$Q_s = Q_x * \left(\frac{3.75}{x}\right)^2 \text{-----} (3-2)$$

$Q_s$  = 換算直徑 3.75in 時的電流量 (Coulombs)

$Q_x$  = 在直徑  $x$  in 時的電流量 (Coulombs)

#### (5) 乾縮試驗

本試驗係參考 CNS 11056 所規定的方法進行，試樣為 4"×4"×11" 之混凝土乾縮試體，試體製作完成後即置於溫度 23°C，相對濕度 100% 的環境中養護 24 小時以避免水份散失，且於隔日拆模，拆模後於試體側面粘著二個控制點，並以長度校對器 (Length Comparator) 量測試體長度，量測後直接置入控制環境中 (環境控制使用本系之恆溫恆濕室，恆溫恆濕櫃，如圖 3-8 所示，控制條件為溫度 23°C，相對濕度 50%)，於齡期到達時，利用長度校對器量測長度變化值。

於每次量測前，需以標準桿 (Standard Bar) (由低膨脹係數材料如鐵與鎳的合金製成) 校正。

$$\text{長度變化率 (\%)} = (\Delta L/L) \times 100\%$$

$$\Delta L = L - L_0$$

式中： $L_0$  為試體拆模時量測之基準值

$L$  為各齡期之量測值。

$\Delta L$  為正表示試體膨脹， $\Delta L$  為負表示試體收縮

#### (6) 凹型試驗及泵送繞管試驗

由合作廠商提供預拌混凝土拌和設備及泵送設備。

### 第三節 試驗變數

本研究試驗變數如下：

#### 1.緻密配比

輕質粗骨材顆粒密度：1.10、1.25 g/cm<sup>3</sup>

水膠比：0.28、0.32、0.40

用水量：140、150、160、165、170kg/m<sup>3</sup>

$\beta$ （細骨材+飛灰/細骨材+飛灰+輕質粗骨材）：0.6、0.65、0.7

#### 2.ACI 配比（飛灰取代率 25%）

輕質粗骨材顆粒密度：1.25 g/cm<sup>3</sup>

水灰比：0.28、0.32、0.40

用水量：199、217、223 kg/m<sup>3</sup>

表 3-1 試驗用水泥、爐石、飛灰之化學成份及物理性質

試驗項目		水泥 (第一型)		爐石		飛灰		
		CNS 61	台泥	CNS 12549	中鋼	ASTM C678 (Type F)	ASTM C6118 (Type C)	台電興達廠
化學成分 (%)	SiO <sub>2</sub> (S)	-	22.01	-	34.86	-	-	51.23
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (A)	-	5.57	-	15.52	-	-	24.31
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (F)	-	3.44	-	0.25	-	-	6.14
	S+A+F	-	31.02	-	49.63	70	50	81.78
	CaO	-	62.80	-	41.77	-	-	6.28
	MgO	Max : 6.0	2.59	-	7.18	Max : 5.0	Max : 5.0	1.61
	SO <sub>3</sub>	Max : 3.0	2.08	Max : 4.0	1.74	Max : 5.0	Max : 5.0	0.61
	f-CaO	-	1.05	-	-	-	-	-
	TiO <sub>2</sub>	-	0.52	-	-	-	-	-
	Na <sub>2</sub> O	-	0.40	-	-	Max : 5.0	Max : 1.5	-
	K <sub>2</sub> O	-	0.78	-	-	-	-	-
	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.05	-	-	-	-	-
	燒失量	Max : 3.0	0.51	-	0.31	Max : 12	Max : 6	4.85
	不熔殘渣	Max : 0.75	0.08	-	-	-	-	-
	C <sub>3</sub> S	-	40.10	-	-	-	-	-
	C <sub>2</sub> S	-	32.80	-	-	-	-	-
C <sub>3</sub> A	-	8.90	-	-	-	-	-	
C <sub>4</sub> AF	-	10.50	-	-	-	-	-	
物理性質	細度 (cm <sup>2</sup> /g)	Min : 2800	3310	Min : 2800	4350	-	-	3110
	比重	-	3.15	-	2.87	-	-	2.32
	初凝 (Vicat) 時間 (分:秒)	45	4 : 37 (W/C : 0.47)	-	-	-	-	-
	終凝 (Vicat) 時間 (分:秒)	6 : 15	8 : 22	-	-	-	-	-
	# 325 篩餘 (%)	-	-	Max : 20	8.0	-	-	-

表 3-2 輕質粗骨材及常重砂基本性質

基本性質	水庫淤泥輕質粗骨材		機製砂 (大安溪)
	顆粒密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.1	1.25
吸水率(%)	7.2	7.0	2.6
D <sub>max</sub> (mm)	5	13	....
細度模數(FM)	6.5	6.5	2.96
筒壓強度(MPa)	3.51	5.20	.....
鬆單位重(kg/m <sup>3</sup> )	658	750	....

表 3-3 強塑劑基本性質

試驗項目	結果
比重	1.18
不溶物含量(%)	0.15
固溶物含量(%)	43.0
pH 值	6.93
氯離子含量(ppm)	50.1

註：師大許貫中教授實驗室檢驗結果

圖 3-1 筒壓試驗圖



圖 3-2 混凝土水平雙軸拌和機



圖 3-3 流變試驗儀



圖 3-4 混凝土抗壓試驗



圖 3-5 超音波速量測器



圖 3-6 混凝土電阻量測儀示意圖





圖 3-7 電滲儀



圖 3-8 恆溫恆濕室



## 第四章 輕質骨材混凝土試拌、施作及工程性質

本研究預計完成以 ACI 及緻密配比設計法共 15 組結構用輕質混凝土配比，最高強度可達到 8000psi (ACI 及緻密配比設計) 及工作度可符合 SCC 要求 (緻密配比設計)；以及比較傳統輕質骨材混凝土與高性能輕質骨材混凝土施工性質的差異性；最後建立實驗室施工性試驗與現場模擬施作試驗的關連性。

### 第一節 輕質混凝土試拌及配比

本研究進行 ACI 及緻密配比設計法設計輕質混凝土，在 ACI 配比設計方面，為考量，卜作嵐材料有助於耐久性能，因此，以飛灰取代 25% 水泥用量，並比較以往研究之未添加 ACI 配比。ACI 配比所使用的輕質粗骨材顆粒密度為  $1.25 \text{ g/cm}^3$ ，最大粗骨材粒徑為 13mm；水膠比為 0.28、0.32、0.40；用水量分別為 199、217、223  $\text{kg/m}^3$ 。

緻密配比設計則依據黃氏緻密配比設計法設計輕質混凝土，所使用的輕質粗骨材顆粒密度包括 1.10 及  $1.25 \text{ g/cm}^3$ ，其中 1.10 的最大粗骨材粒徑為 6mm， $1.25 \text{ g/cm}^3$  的最大粗骨材粒徑為 13mm；水膠比包括 0.28、0.32、0.40；用水量分別為 140、150、160、165、170 $\text{kg/m}^3$ ；同時，為探討粗細骨材比例對於輕質混凝土性質的影響，配比分別考量  $\beta$  (細骨材+飛灰/細骨材+飛灰+輕質粗骨材) 為 0.6、0.65、0.7 三種。輕質混凝土試拌配比表詳表 4-1 所示。輕質骨材混凝土坍度及坍流度試驗情況如圖 4-1~4-14 所示。

## 第二節 試驗室輕質混凝土新拌性質

混凝土新拌性質工作度的指標不外乎是坍度、坍流度最為一般人所使用，其原因乃其操作方便，又能概估其工作性能。良好的工作性能可避免不必要的震動及不當的施工產生混凝土的劣化基因，影響混凝土的耐久性，進而縮短混凝土的壽命。

新拌混凝土除了一般傳統的量測坍度試驗外，流變性質亦是一重要之參考指標。流變性的理念對高流動化混凝土而言是相當重要，它可以反應出混凝土現場泵送的難易度，尤其是在高層泵送或長距離泵送時，更需要流變性質數據來判斷泵送壓力及泵送距離。

通常工作度泛指「混凝土可工作的程度」，其中坍度試驗是全球共通且公認的簡易試驗方法，除了非常乾稠(零坍度)無塑性的混凝土之外，一般的坍度試驗方法，即可測定新拌混凝土的工作特性。

### 1. 工作性

本研究採用的水庫淤泥輕質粗骨材，因表面磁化降低吸水率及具有足夠強度，為理想的結構用輕質骨材。再加上高性能混凝土的發展，輕質混凝土可調配成高流動性的 SCC 特性。因此，本研究之新拌輕質混凝土工作性以坍度、坍流度，流動時間為指標，本研究之緻密配比高性能輕質骨材混凝土除初始坍度、坍流度達設計要求外，並要求在 60 分鐘後亦能達到要求的性能，以確保混凝土的工作性能。輕質骨材顆粒密度較常重骨材顆粒密度為低，顆粒堆積之靜載重較低，使得下壓力較小，水平的側向推力也較小，使得坍流時間變長。在固定水膠比時，低水泥和低用水量，為達到足夠的工作性，強塑劑的用量相對的增加，見表 4-1 所示。使得漿體的稠度變得更大，流動時間也變得更長。

#### (1) 不同拌和水量對工作性的影響(水泥漿量的變化)

圖 4-15 及 4-16 為輕質骨材顆粒密度分別為 1.1 及 1.25 g/cm<sup>3</sup> 之水膠比為 0.32，用水量為 140、150、160 kg/m<sup>3</sup> 之初始與 60 分鐘坍度、坍流度與

流動時間之比較，輕質骨材顆粒密度較常重骨材顆粒密度為低，顆粒堆積之靜載重較低，使得下壓力較小，水平的側向推力也較小，使得坍流時間變長。在固定水膠比之下即使低拌和用水量也能達到初使設計的要求，由於低拌和水量，水泥和用水量相對的減少，強塑劑的用量相對的增加，使得漿體的稠度變得更大，流動時間也變得更長，坍度、坍流度亦能符合要求。一般而言，在固定水膠比之下，拌和水量的增加，相對的水泥用量也增加，由於水泥的水化作用下，60分鐘的坍度、坍流度應損失較大，但水泥量的增加，相對地輕質骨材用量也減少，由於輕質骨材吸水率較大的特性，會吸取部分的水量，因而影響60分鐘後的坍度、坍流度，不過其坍度、坍流度損失仍在設計標準之內。

### (2) 不同水膠比對工作性的影響(水泥漿質的變化)

圖 4-17 分別為輕質骨材顆粒密度為 1.1 在固定拌和水量  $150 \text{ kg/m}^3$ ，不同水膠比之坍度、坍流度、坍流時間之比較。在固定用水量之下，水膠比愈低，其水泥用量愈大，其相對的用水量應愈多方可達到設計的要求，因此在固定用水量之下，強塑劑的用量也隨著水膠比愈低用量愈多，方可達到所需要的工作性能，唯水膠比愈低者其漿體濃度愈濃，其相對的稠度也增加。水膠比如果過高，一方面由於強塑劑的用量減少，且漿體濃度較低，粗骨材較多，導致潤滑漿量較少，所以流動性較差，所呈現的坍度、坍流度值均較低，不過其試驗值仍在設計值範圍之內，表示其結果仍有不錯之工作性。固定用水量隨著水膠比愈低，水泥用量增加其相對的骨材用量減少，由於粗骨材的吸水效應和水泥的水化反應，使得60分鐘之後，其坍度、坍流度均有損失，不過其損失的差距並無隨著水膠比降低而更大，係因為水膠比低，粗骨材用量較少，所吸取的水分也較少的緣故，不過在60分鐘之後，水膠比 0.28、0.32、0.40 在用水量固定為  $150 \text{ kg/m}^3$  的形況下仍可達到設計的標準。

### (3) 不同細骨材率的影響

圖 4-18 分別為輕質骨材顆粒密度為  $1.1\text{g/cm}^3$  在固定拌和水量  $150\text{kg/m}^3$  及固定水膠比 0.32，不同細骨材率之坍度、坍流度、坍流時間之比較。細骨材含量愈多，雖增加骨材的整體表面積，但有助於增加混凝土的稠度，因此，當  $\beta$  值（砂+飛灰/砂+飛灰+輕質骨材）時由 0.6 增加到 0.7，在相同的水泥漿質與量下，可提高坍度及坍流度。惟細骨材率的提高，雖能改善混凝土稠度，但會造成混凝土單位重有增加的趨勢，因此必須加以注意的。

ACI 配比組別之坍度試驗結果詳圖 4-19。

## 2. 流變性

混凝土的流變行為可視為一種濱漢流體，其行為與水膠比和拌和水量有密切關係，其流變行為的特性可以作為高層建築物或長距離混凝土工程泵送作業的參考依據。混凝土粘滯性較高時，所需初始的泵送能將大幅增加，提高施工的困難度。但低粘滯性的混凝土，尤其輕質骨材混凝土，經高壓泵送歷程，將會產生析離現象，影響混凝土的品質，因此在施工的難易度及混凝土的品質要求下，其漿體的粘滯性須作一適當的調整。

流變試驗可獲得新拌輕質混凝土在流變儀內的扭距與轉速的數據。本文針對 5 種配比，分別在拌和後 0 及 60min 量測扭距及轉速數據，量測時轉速從 0 加速至 90 RPM，而後再減速由 90RPM 降至 0，此為第 1 次循環。而後再進行第 2 次循環（從 0 至 90 PRM，再從 90 RPM 降至 0）。進行往返兩次循環的目的在於利用其遲滯迴圈，了解新拌混凝土的性質。如圖 4-20 以 D1128150 為例，軸葉片剛開始轉動的初始降伏扭距最大，一經轉動後，隨著轉速提高（0 增加至 90 RPM），轉動扭距產生持續下降的趨勢，然後將轉速減速（90 RPM 降至 0），轉動扭距呈現持續稍微下降的趨勢，完成第 1 次循環（圖 5 實線）後，緊接進行第 2 次循環（圖 5 虛線）（轉速從 0 至 90 PRM，再從 90 RPM 降至 0），轉動扭距呈現先提高而後趨緩而趨近一定值。觀察上述遲滯迴圈曲線，本文推論，轉動扭距值的降低是由於水泥

漿之團聚結構因葉片轉動而使剪力界面受擾動破壞，於葉片靜止時，剪力界面有稍微復原的趨勢，此為水泥漿的「復硬性現象」所造成，即為第 2 次循環時轉動扭距先提高的原因。

流變性的理念對高流動化混凝土而言是相當重要，它可以反應出混凝土現場泵送的難易度。

#### (1) 不同拌和水量對流變性的影響(水泥漿量的變化)

圖 4-20 為輕質骨材顆粒密度分別為  $1.1 \text{ g/cm}^3$ ，在水膠比固定 0.32，其用水量分別為 140、150、160  $\text{kg/m}^3$  時，呈現用水量愈小則坍流時間愈長的趨勢。比較圖 6 顯示，不同用水量與流變關係，呈現用水量愈低則其初始降伏扭距愈大的趨勢。低水泥漿量配比，為達到足夠的工作性，提高強塑劑用量，相對增加漿體的黏滯性，以致於坍流時間較長，並且流變試驗時，需較大的初始降伏扭距才能轉動。60 分鐘後，由於水泥漿開始水化產生反應，造成各配比的初始降伏扭距均有增大的趨勢。

#### (2) 不同水膠比對流變性的影響(水泥漿質的變化)

圖 4-21 為輕質骨材顆粒密度分別為  $1.1 \text{ g/cm}^3$ ，用水量固定 150  $\text{kg/m}^3$ ，其水膠比分別為 0.28、0.32、0.4 時，呈現水膠比愈小則坍流時間愈長的趨勢。比較圖 5 顯示，不同水膠比與流變關係，呈現水膠比愈低則其初始降伏扭距愈大的趨勢。此因水膠比愈低者，其漿體濃度愈濃，黏滯性愈大。以致於坍流時間較長，並且流變試驗時，需較大的初始降伏扭距才能轉動。然而一經葉片轉動後，因剪力界面受擾動破壞，故各配比在第 2 次循環的轉動扭距差異不大。60 分鐘後，由於水泥漿開始水化產生反應，造成各配比的初始降伏扭距均有增大的趨勢。

因此，無論水泥漿在「質」或「量」比較上，只要水泥漿粘滯性愈高

者，其初始降伏扭距愈大，然而一經葉片轉動後，因剪力界面受擾動破壞，故各配比在第 2 次循環的轉動扭距差異不大。混凝土的初始降伏扭距愈大，代表其所須的泵送能將愈大，這是現場施工作業所須注意的事項。

### 第三節 現場模擬施作-凹型試驗

有關國內輕質混凝土澆置記錄於詳表 4-2 所示。

#### 1. 凹型試驗方法與程序

凹型試驗主要證明高流動性混凝土能夠有較長的流動距離並有向上擠昇的效果。凹型試驗模具如圖 4-22 所示，它是一個全長 2000mm，高 1200mm，寬為 350mm 的凹型模；兩側的柱高為 1200mm，柱寬為 350mm，中間 1300mm 處凹陷 700mm；在左右兩側的柱底算起 500mm 處，如圖 4-23 的兩側均有鋼筋障礙，垂直安排有 12 支#8 鋼筋，並且以#4 鋼筋當箍筋，水平則安排 3 支#8 鋼筋；鋼筋如此安排主要是模擬結構物的鋼筋配置，水平空隙為 42mm。換言之，混凝土在左側由預拌車的卸料口倒入，必須通過水平及垂直的鋼筋障礙，流動經過 1300mm，到達右側垂直鋼筋再向上突破水平鋼筋的障礙上昇至頂端完成澆置工作。

#### 2. 高性能輕質混凝土凹型試驗

凹型試驗主要證明高流動性混凝土能夠有較長的流動距離並有向上擠昇的效果。凹型試驗模具如圖 4-22 所示，它是一個全長 2000mm，高 1200mm，寬為 350mm 的凹型模；兩側的柱高為 1200mm，柱寬為 350mm，中間 1300mm 處凹陷 700mm；在左右兩側的柱底算起 500mm 處，如圖 4-23 的兩側均有鋼筋障礙，垂直安排有 12 支#8 鋼筋，並且以#4 鋼筋當箍筋，水平則安排 3 支#8 鋼筋；鋼筋如此安排主要是模擬結構物的鋼筋配置，水平空隙為 42mm。換言之，混凝土在左側由預拌車的卸料口倒入，必須通過水平及垂直的鋼筋障礙，流動經過 1300mm，到達右側垂直鋼筋再向上突破水平鋼筋的障礙上昇至頂端完成澆置工作。本研究， $W/cm=0.32$  的 60 分鐘坍度、坍流度及流動時間、V 型試驗、U 型試驗、流變試驗等如照片如圖 4-24 至圖 4-27 所示。澆置時，將  $2m^3$  的混凝土裝入預拌車內，緩慢旋轉 60 分後測試工作性(如前述)，通過後，將預拌車駛近模型處，卸料口對



準凹型模形左側，以慢速將混凝土注入模型內，如圖 4-28 至圖 4-35 所示。混凝土注入左側通過水平及垂直鋼筋的障礙，向中間水平處流動到右側處時，通過右層垂直鋼筋再往上向擠昇時，穿過右側水平鋼筋繼續往上擠昇，最後達到 1200mm 高度處，完成繞置工作，總計混凝土自左側進入垂直流經一個水平及一個垂直障礙，共 1200mm；水平流動 1300mm；向右側流經一個垂直及向上水平鋼筋障礙，共 1200mm，達到流動及擠昇的目的，試驗是成功的。

## 第四節 輕質混凝土硬固性質及耐久性

### 3.4 抗壓強度

在輕質混凝土受力方面，Videla and Lopez 指出輕質骨材混凝土受力情況可分為兩相材料，第一相為水泥、水和天然砂，稱為抵抗力相，主要承受結構強度；第二相為輕質骨材相，主要在降低混凝土密度，骨材與漿體界面並不影響輕質混凝土強度發展。而本研究在強度足夠的情況下，透過緻密配比，應用飛灰填塞骨材空隙的邏輯，而減少水泥用量，以提高水泥強度效益，及確保體積穩定性佳的優點。

圖 4-36 為固定用水量為  $150\text{kg/m}^3$ ，水膠比分別為 0.28、0.32、及 0.4 的抗壓強度發展比較。顆粒密度  $1.1\text{g/cm}^3$  者相應之抗壓強度（56day）分為分別可達到 43.2MPa、40.8 MPa、及 35.8MPa。水膠比愈低者，其水泥漿體的「質」愈好，則抗壓強度發展愈高，此與傳統混凝土觀念相同的。

在固定水膠比下，拌和水量的增加相當於提高水泥漿的量，由於輕質骨材強度比水泥漿體的強度較低，因此高漿量的配比有較好的強度成長趨勢。圖 4-37 所示為固定水膠比為 0.32，用水量分別為 140、150、及  $160\text{kg/m}^3$  的抗壓強度發展比較。顆粒密度  $1.1\text{g/cm}^3$  相應之抗壓強度（56day）三種拌和水量分別可達到 39.9MPa、40.8MPa、及 42.5MPa，此顯示水泥漿量愈高品質愈佳。水泥漿「量」愈多，可發揮較高的強度發展，此因輕質骨材內含有較多孔隙，以致降低強度，水泥漿量愈多，相對輕質骨材含量較少，可提供較高的強度。然而必須注意，當水泥漿量更高時，即增加水及水泥用量，將不利於耐久性的考量[5]，所以在適宜工作性及足夠強度下，採用低水泥漿量是必要的。

### 3.5 耐久性

混凝土電阻及氯離子電滲對混凝土耐久性的影響，文獻[6-10]指出混凝

土是一種非金屬複合材料，其導電機理是利用孔隙中電解反應導致離子的移動而導電，離子活性與數目決定導電性質，亦即決定混凝土的電阻與滲透性質。因此混凝土導電性能與其微觀結構及孔隙內電解質溶液的成份與濃度有關。影響混凝土電阻的因素有水泥含量、含水量、鹼含量、氯離子、氫氧根離子、水化程度、溫度、濕度、齡期、及孔隙結構[6-10]。由於非金屬的導電需靠離子擴散，因此，電阻與電滲具有良好的反比關係[6]，均可作為評估混凝土的滲透性。Buenfeld and Newman and Page 建議當混凝土電阻值高於 20kΩ-cm 時，抵抗腐蝕因子侵入的能力強。在 ACI 318-02 第四章耐久性章節，對於混凝土暴露於氯離子環境中的抗蝕能力，建議可用 ASTM C1202 作為混凝土配比之抗蝕性能的參考，ASTM C1202 指出的”混凝土電滲值 2000 庫倫，其氯離子滲透屬於 low 的範圍”，亦即代表庫倫值愈低，混凝土滲透性愈低。因此混凝土表面電阻及氯離子電滲性質可作為耐久性指標之一。

### 3.5.1 水泥漿質的影響

圖 4-38 水泥漿「質」與電阻的關係，輕質骨材顆粒密度為 1.10 g/cm<sup>3</sup> 的輕質混凝土，緻密配比固定用水量為 150kg/m<sup>3</sup> 時，當水膠比分別為 0.28、0.32、及 0.40 時，於 91 天齡期時，電阻值分別達到 70、59、及 39kΩ-cm，呈現水膠比低則電阻高的趨勢。圖 4-39 不同組別與電滲的關係，緻密配比固定用水量為 150kg/m<sup>3</sup>，水膠比分別為 0.28、0.32、及 0.40 時，於 91 天齡期時，電滲值分別達到 680、805、及 997 庫倫，呈現水膠比低則電滲值愈小的趨勢。歸納推論，此因，水膠比愈低，用水量少，水泥漿體經水化後所存在孔隙相對少，離子較不容易通過混凝土試體，因此呈現電阻大及氯離子電滲小的趨勢。

### 3.5.2 水泥漿量的影響

圖 4-40 水泥漿「量」與電阻的關係，輕質骨材顆粒密度 1.10 g/cm<sup>3</sup>，緻密配比固定水膠比為 0.32，於 91 天齡期時，當用水量由 140 增加到 160

$\text{kg/m}^3$ ，電阻值則由 60 降低至 58  $\text{k}\Omega\text{-cm}$ ，呈現水泥漿「量」愈多而電阻愈低的趨勢。圖 4-40 不同組別與電滲的關係，輕質骨材顆粒密度  $1.10 \text{ g/cm}^3$ ，緻密配比固定水膠比為 0.32，於 91 天齡期時，用水量由 140 增加到 160  $\text{kg/m}^3$ ，電滲值則由 750 增加至 870 庫倫，呈現水泥漿「量」愈大而電滲量愈大的趨勢。歸納推論，在水膠比、齡期等條件固定時，影響電滲與電阻的因素在於水泥漿量含量。

表 4-1 輕質骨材混凝土試拌配比表

輕質骨材 骨材種類	組別	W/cm	W/c	材料配比 (kg/m <sup>3</sup> )						
				Sand	L.Agg	Cement	Fly	Slag	Water	SP
Type 1 Dmax=6m m Particle density =1.1g/cm <sup>3</sup>	D1128150	0.28	0.3890	736	418	386	130	20	129	21
	D1132150	0.32	0.4716	759	431	318	134	17	138	12
	D1140150	0.40	0.6709	791	449	224	140	12	140	10
	D1132140	0.32	0.4915	781	443	285	138	15	119	21
	D1132160	0.32	0.4554	737	419	351	130	19	149	11
	D1132160B	0.32	0.4755	826	379	336	146	18	149	11
	D1132160C	0.32	0.4992	921	336	320	163	17	149	11
	D1132165A	0.32	0.4483	727	412	368	128	19	155	10
	D1132170A	0.32	0.4419	716	406	385	126	20	160	10
	D1132170B	0.32	0.4592	802	368	370	142	20	160	10
D1132170C	0.32	0.4791	894	326	355	158	19	160	10	
Type 2 Dmax=13 mm Particle density =1.25g/cm <sup>3</sup>	D1228150	0.32	0.3890	781	503	285	138	15	114	26
	D1232150	0.32	0.4716	759	490	318	134	17	132	18
	D1240150	0.32	0.6709	737	476	351	130	19	151	9
	AF1228217	0.28	0.28	501	434	581	194	0	210	7
	AF1232217	0.32	0.32	582	434	509	169	0	215	2
	AF1240217	0.40	0.40	696	434	407	136	0	217	0
	AF1232199	0.32	0.32	676	434	467	155	0	197	2
AF1232223	0.32	0.32	551	434	523	174	0	221	3	

備註：配比符號說明：

- 如 D1132165A，「D」代表緻密配比，「11」代表輕質骨材顆粒密度為 1.1 g/cm<sup>3</sup>，「32」代表水膠比 0.32，「165」代表用水量為 165k g/m<sup>3</sup>（包括水及強塑劑用量），「A」代表  $\beta=0.6$ （「B」代表  $\beta=0.65$ ，「C」代表  $\beta=0.70$ ， $\beta$  為緻密配比中之飛灰+砂/飛灰+砂+輕質骨材的比例）。
- 如 AF1240217，「A」代表 ACI 配比，「F」代表以飛灰取代水泥 25%，「12」代表輕質骨材顆粒密度為 1.25 g/cm<sup>3</sup>，「40」代表水膠比 0.40，「217」代表用水量為 217k g/m<sup>3</sup>（包括水及強塑劑用量）。

表 4-2 國內輕質混凝土澆置記錄表(2001~2003)

地點	澆置方式	澆置部位
南投埔里	吊桶	斜屋頂 平屋頂
宜蘭市	吊桶	屋頂
101 TFC	吊桶	裙樓看台
台北縣八里	加 A/E 泵送	2~3F 版
台北縣金山鄉	泵送	地上一 F
台中港	管送(西班牙) 泵送(西班牙)	濕式混凝土打設，骨 材吸水率 40~50%之 間，版牆
金華城	吊桶	空橋(1F)

圖 4-1 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 1



圖 4-2 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 2

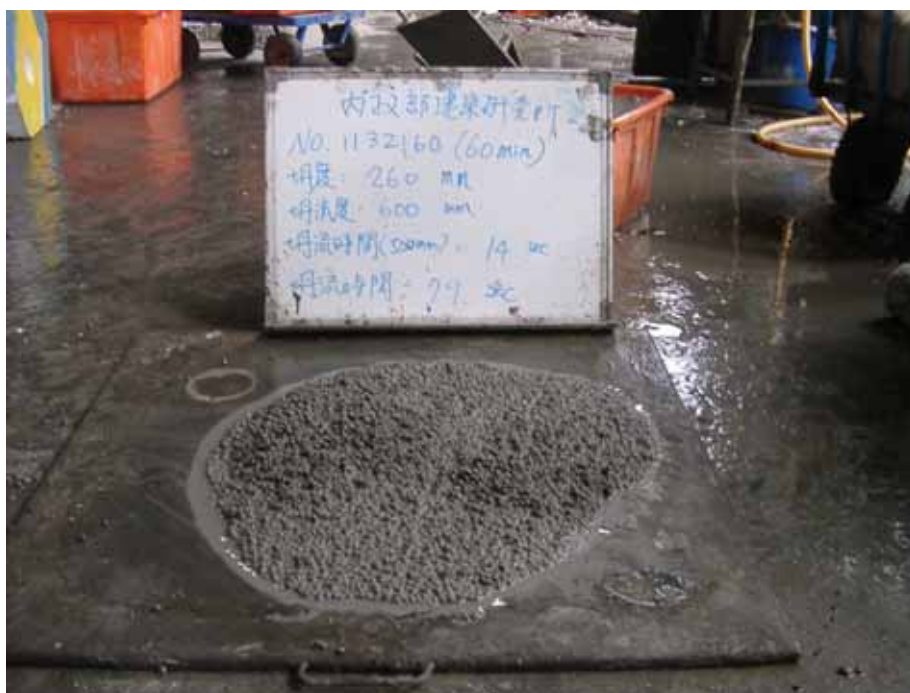


圖 4-3 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 3



圖 4-4 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 4



圖 4-5 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 5





圖 4-6 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 6



圖 4-7 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 7



圖 4-8 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 8



圖 4-9 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 9



圖 4-10 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 10

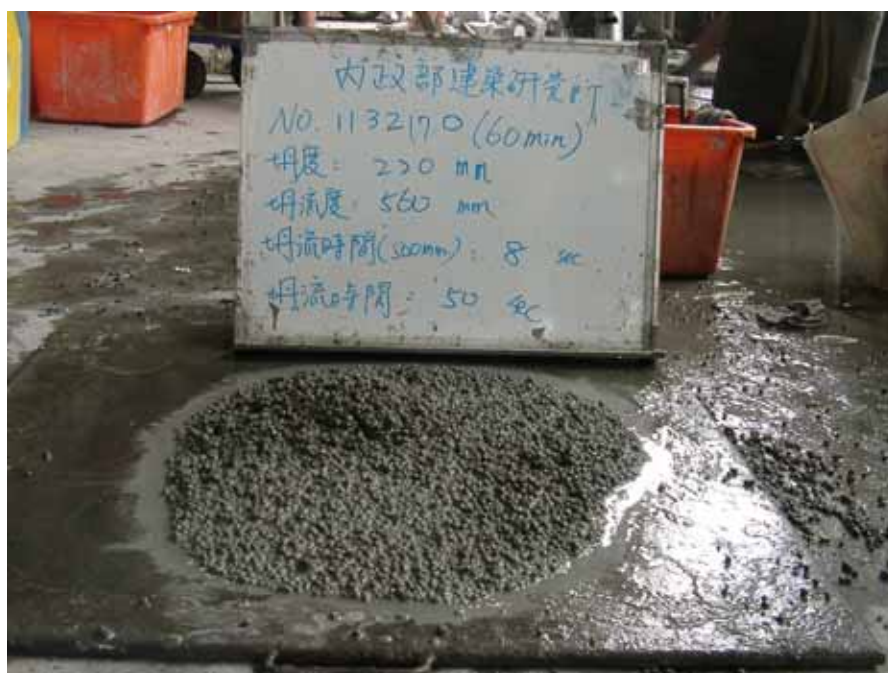


圖 4-11 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 11



圖 4-12 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 12

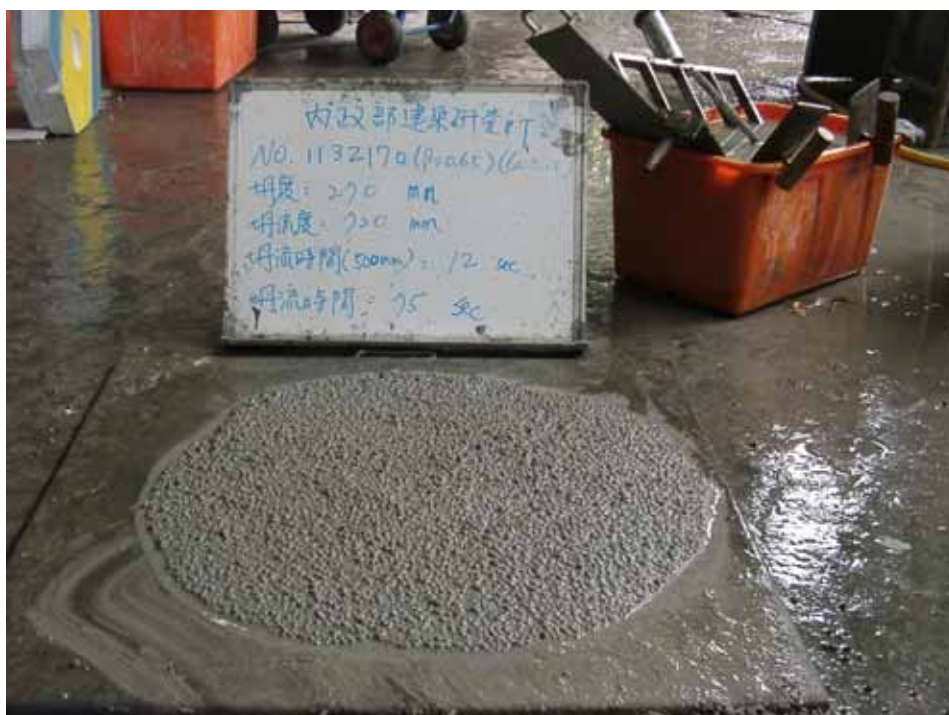


圖 4-13 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 13



圖 4-14 輕質混凝土坍度及坍流度試驗情況 14



圖 4-15 輕質骨材混凝土不同水膠比對工作性的影響  
 (用水量=150 kg/m<sup>3</sup>, 輕質粗骨材顆粒密度為 1.25g/cm<sup>3</sup>)

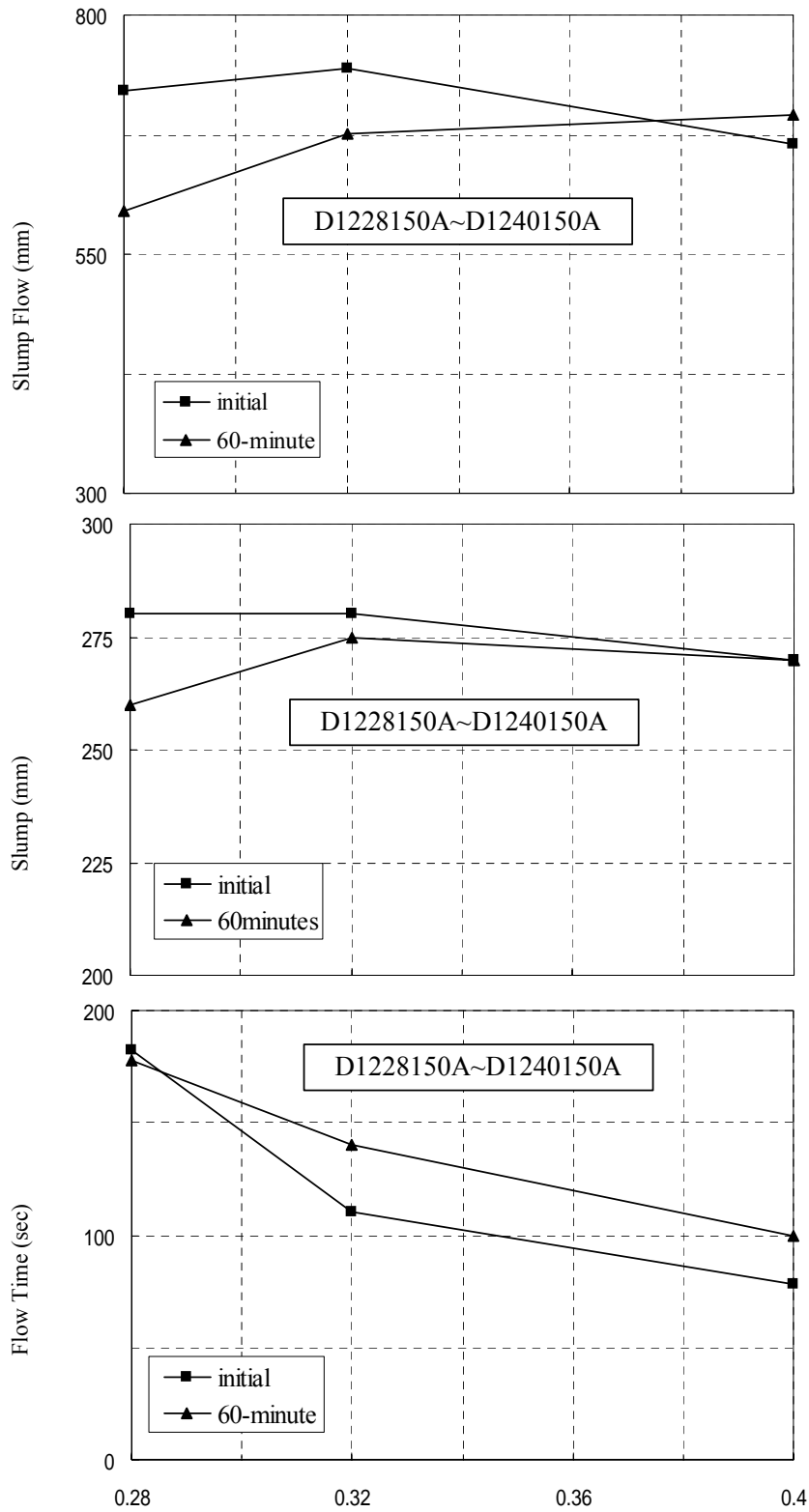


圖 4-16 輕質骨材混凝土不同水膠比對工作性的影響  
(用水量=150 kg/m<sup>3</sup>, 輕質粗骨材顆粒密度為 1.10g/cm<sup>3</sup>)

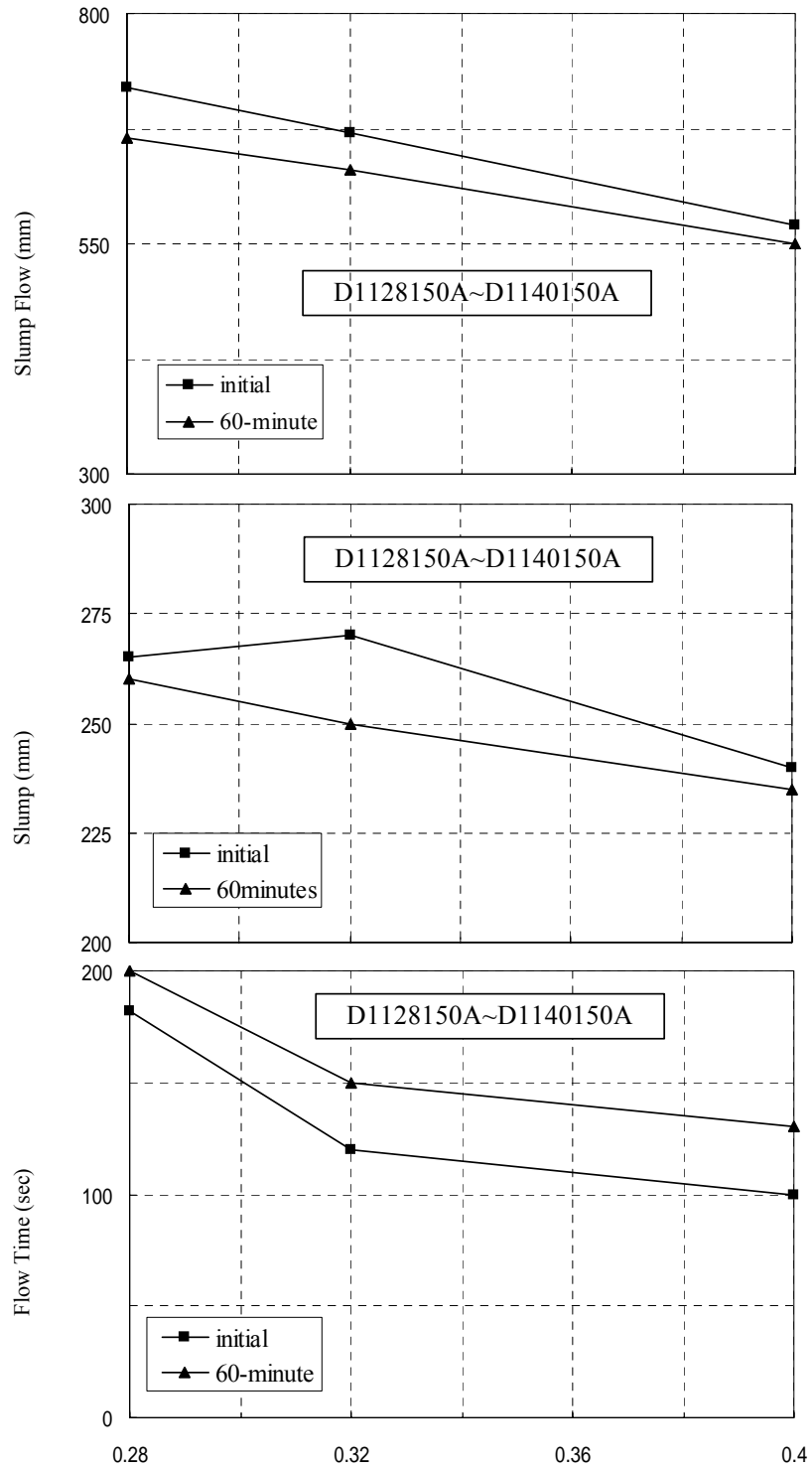


圖 4-17 輕質骨材混凝土不同水膠比對工作性的影響  
 (w/cm=0.32, 輕質粗骨材顆粒密度為 1.10g/cm<sup>3</sup>)

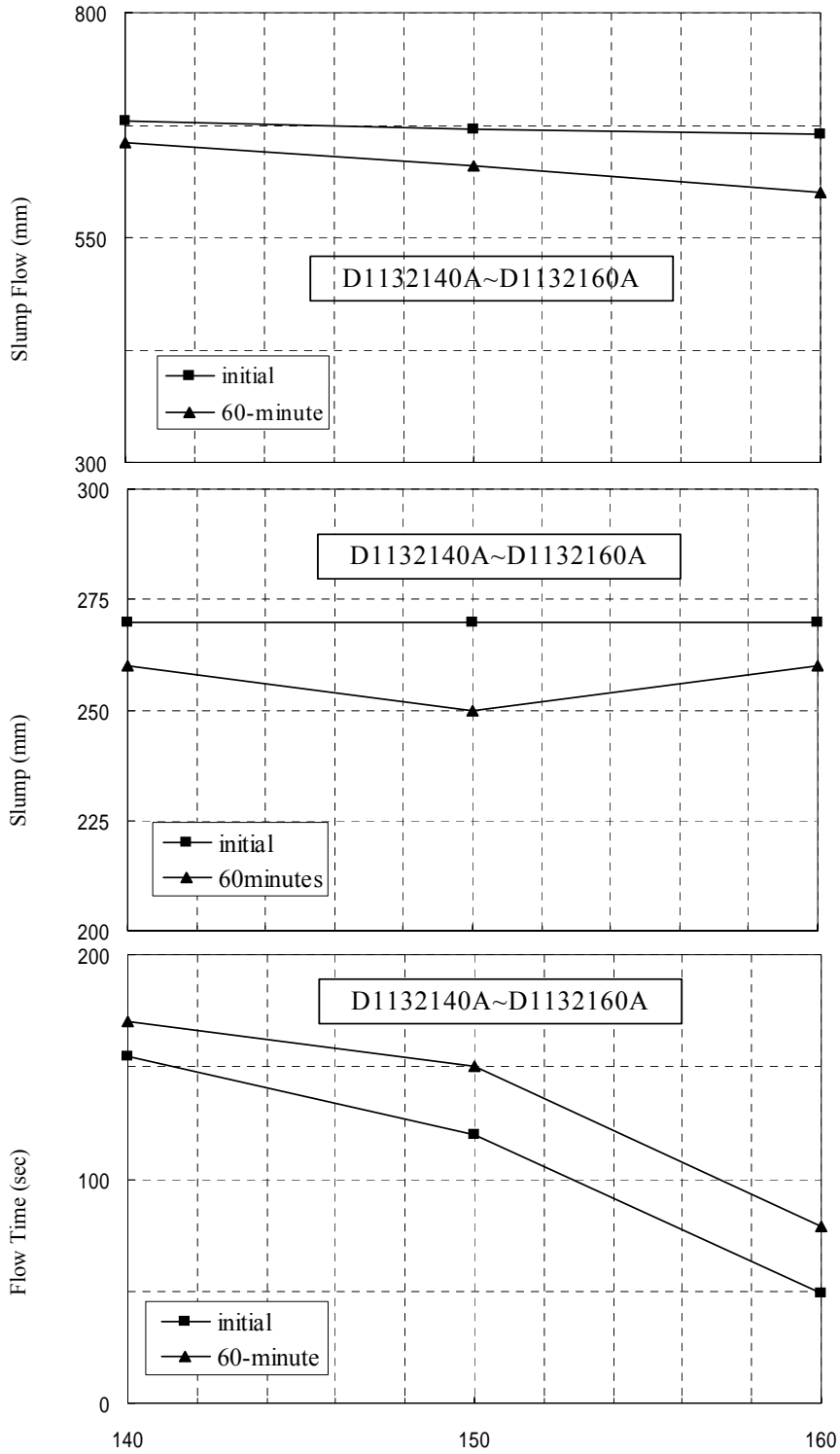




圖 4-18 輕質骨材混凝土不同細骨材率對工作性的影響

(A=0.6,B=0.65,C=0.7)

(用水量=170 kg/m<sup>3</sup>, w/cm=0.32,輕質粗骨材顆粒密度為 1.10g/cm<sup>3</sup>)

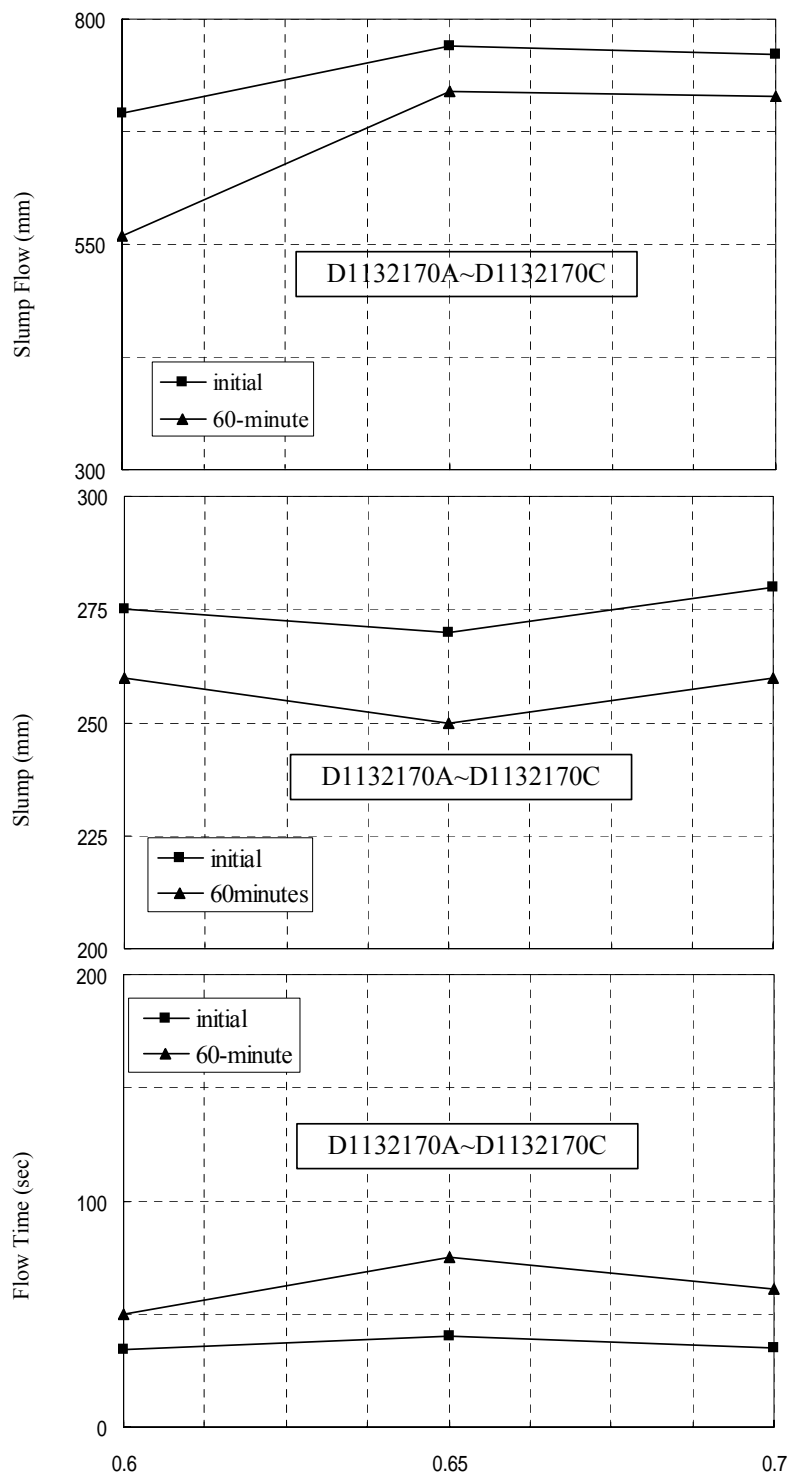


圖 4-19 輕質骨材混凝土不同 ACI 配比組別對工作性的影響  
(輕質粗骨材顆粒密度為  $1.25\text{g/cm}^3$ )

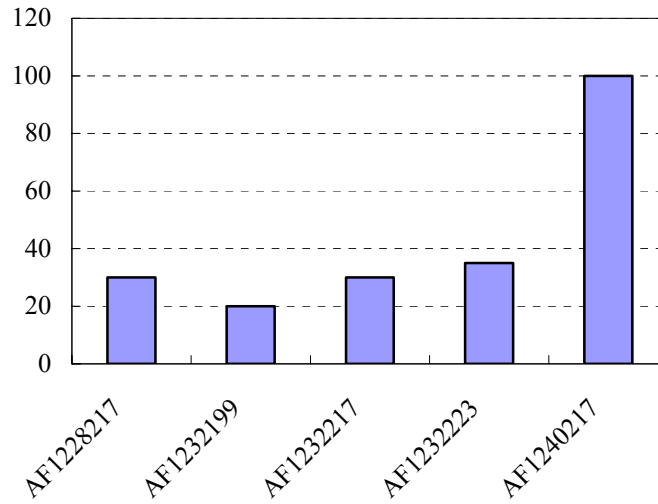


圖 4-20 輕質骨材混凝土扭矩與轉速的關係圖  
(緻密配比，LWA 顆粒密度 =  $1.1\text{g/cm}^3$ ，  
固定  $w/cm=0.32$ ，不同水泥漿「量」的比較)

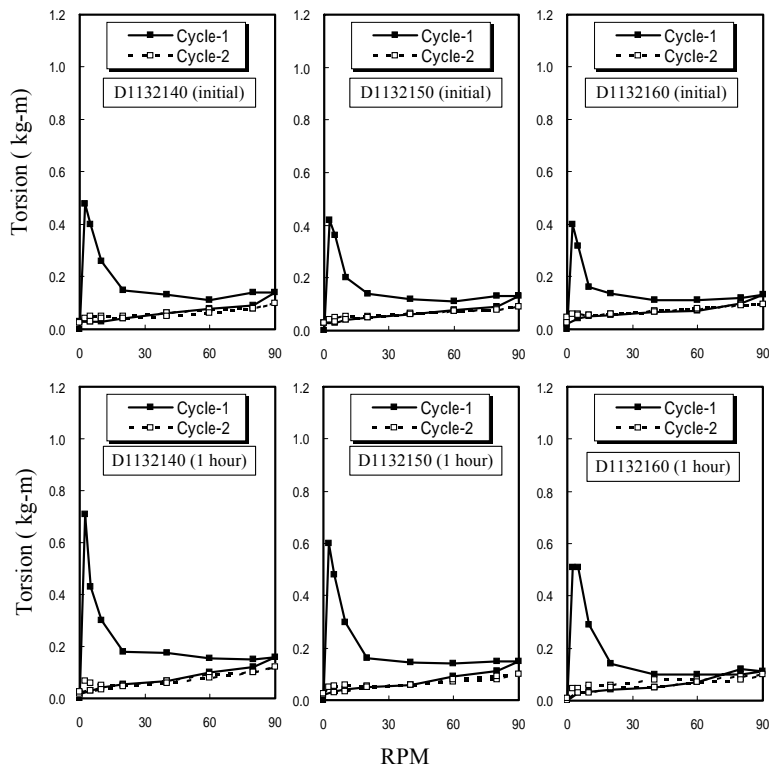
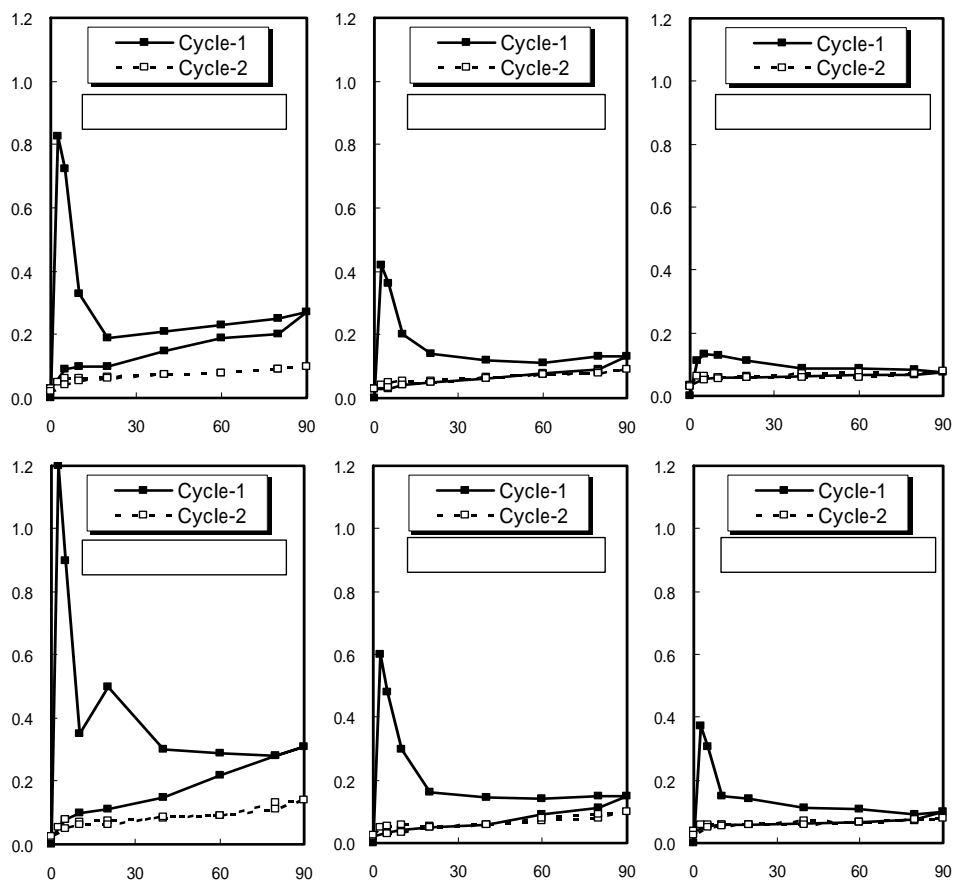


圖 4-21 輕質骨材混凝土扭矩與轉速的關係圖  
 (緻密配比，LWA 顆粒密度 =  $1.1\text{g/cm}^3$ ，固定  $W_w=150\text{ kg/m}^3$ ，不同水泥漿「質」的比較)



rsion ( kg-m)

D11281

圖 4-22 凹型模型示意圖

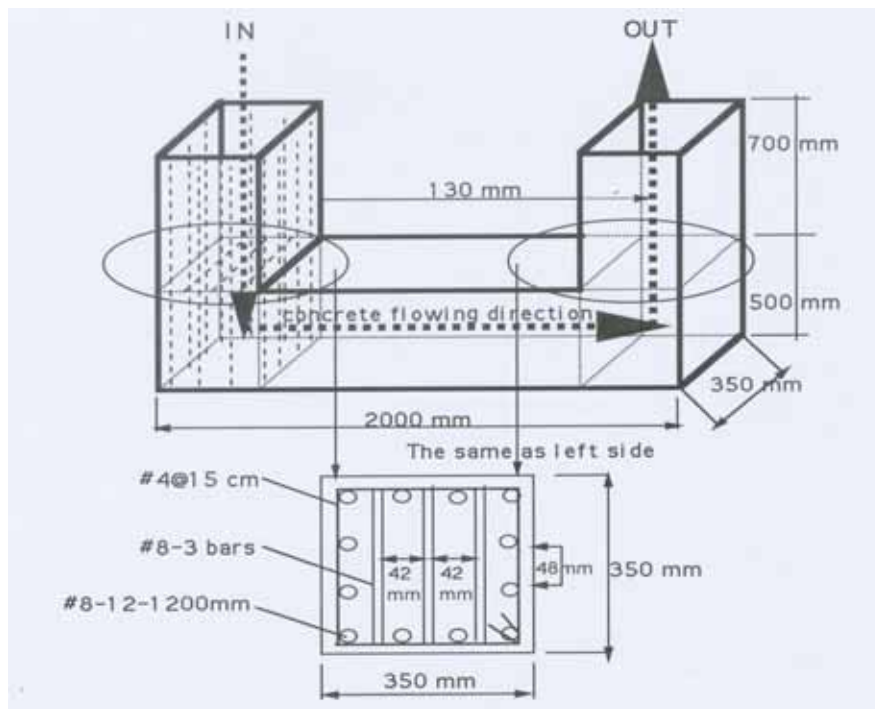


圖 4-23 凹型試驗模型



圖 4-24 廠拌坍度及坍流度試驗

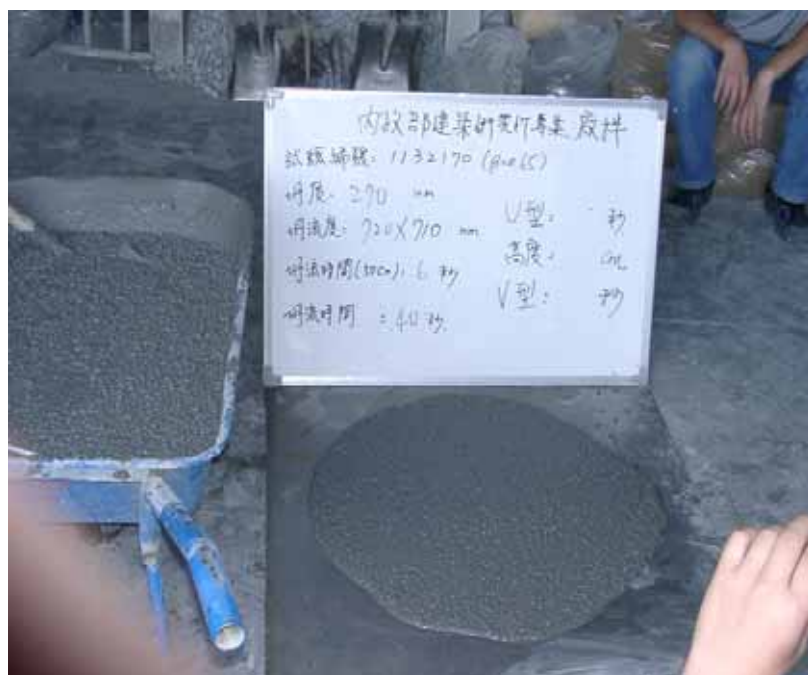


圖 4-25 廠拌 U 型試驗

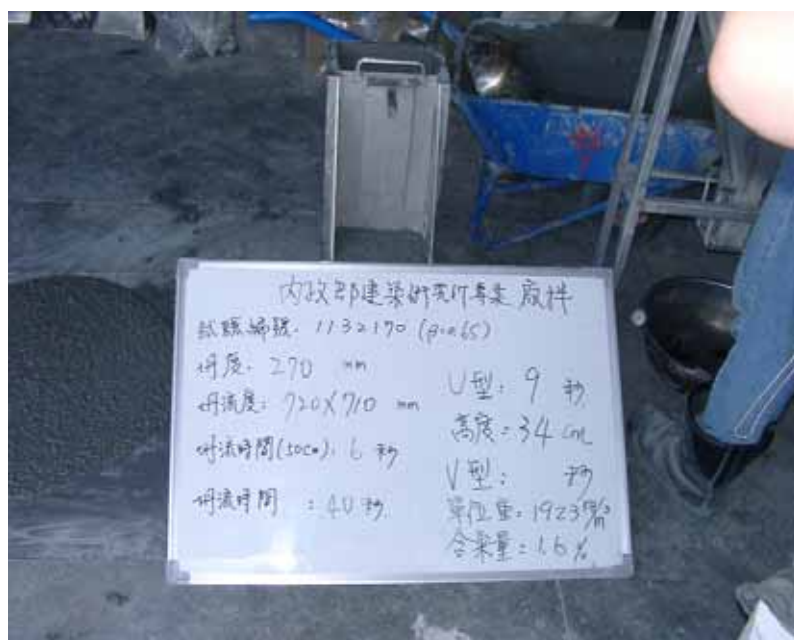


圖 4-26 廠拌 V 型試驗



圖 4-27 廠拌流變試驗



圖 4-28 廠拌凹型試驗-混凝土預拌車拌和



圖 4-29 廠拌凹型試驗-凹型模具及鋼筋組合



圖 4-30 廠拌凹型試驗-預拌車卸料



圖 4-31 廠拌凹型試驗-高性能輕質混凝土在凹型模內流動





圖 4-32 廠拌凹型試驗-高性能輕質混凝土流動及上升



圖 4-33 廠拌凹型試驗-高性能輕質混凝土流動及上升

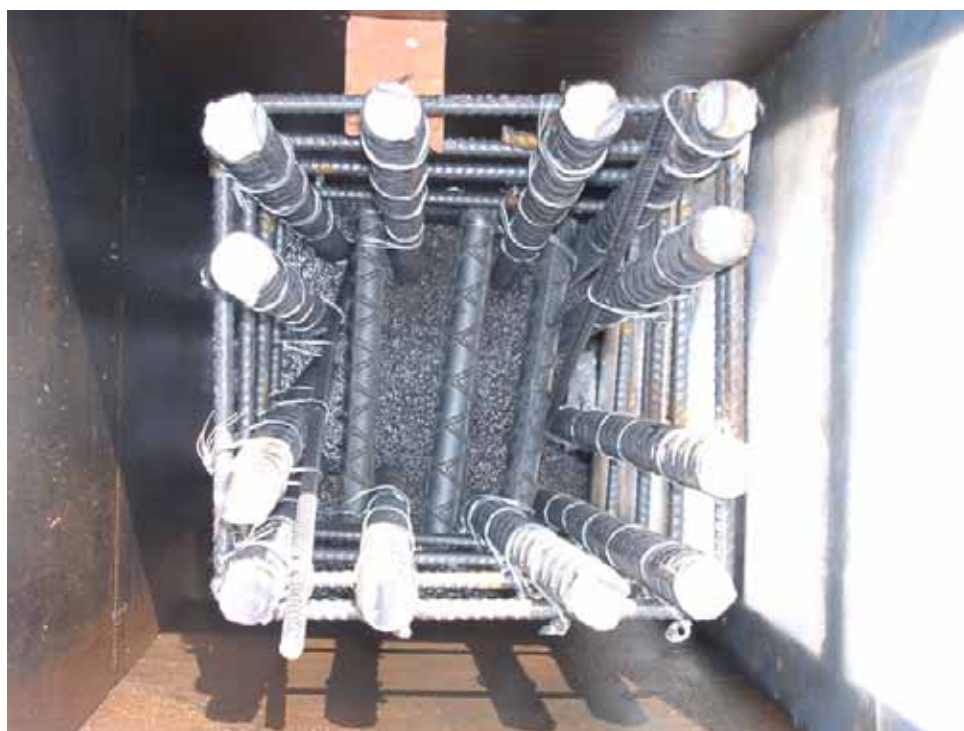


圖 4-34 廠拌凹型試驗-通過雙層鋼筋障礙



圖 4-35 廠拌凹型試驗-柱內高性能輕質混凝土擠昇完成



圖4-36 高性能輕質混凝土強度發展  
(不同水泥漿質的比較)

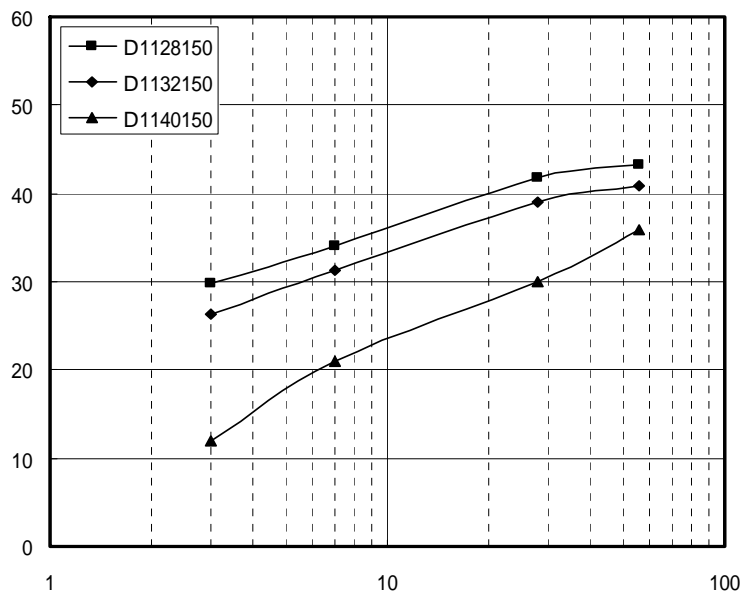
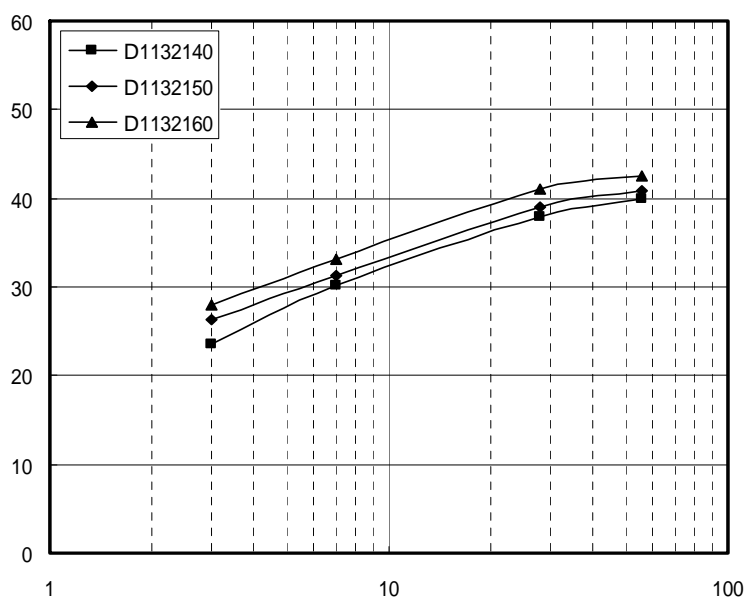


圖4-37 高性能輕質混凝土強度發展  
(不同水泥漿量的比較)



Compressive Strength (MPa)

圖4-38 水泥漿質與電阻的關係

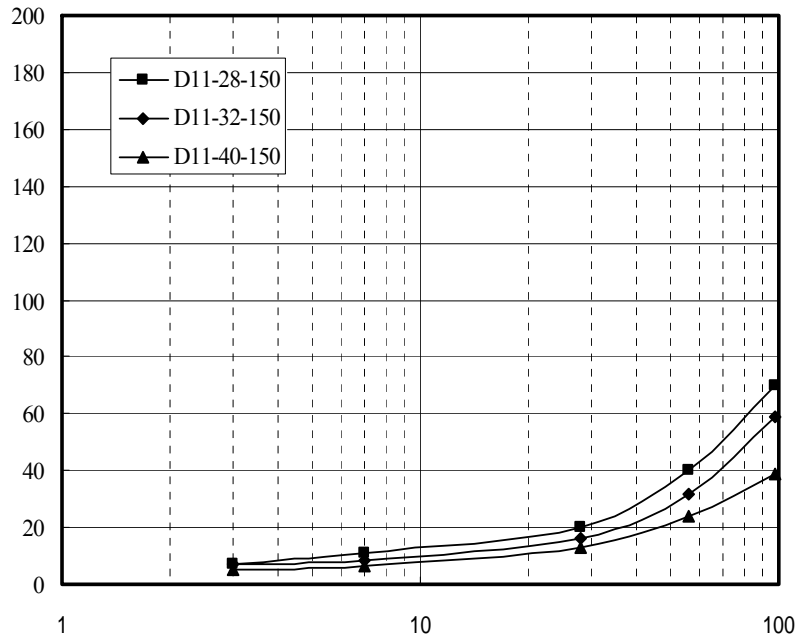


圖4-39 不同組別電滲之比較

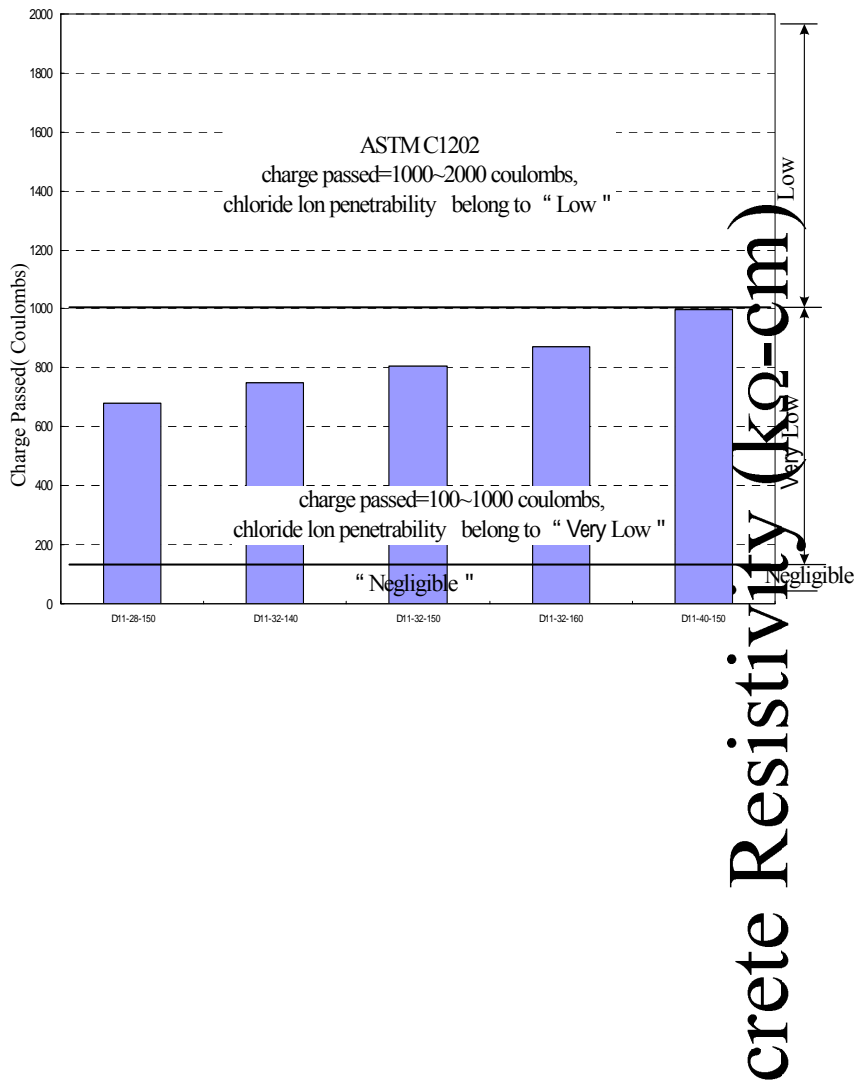
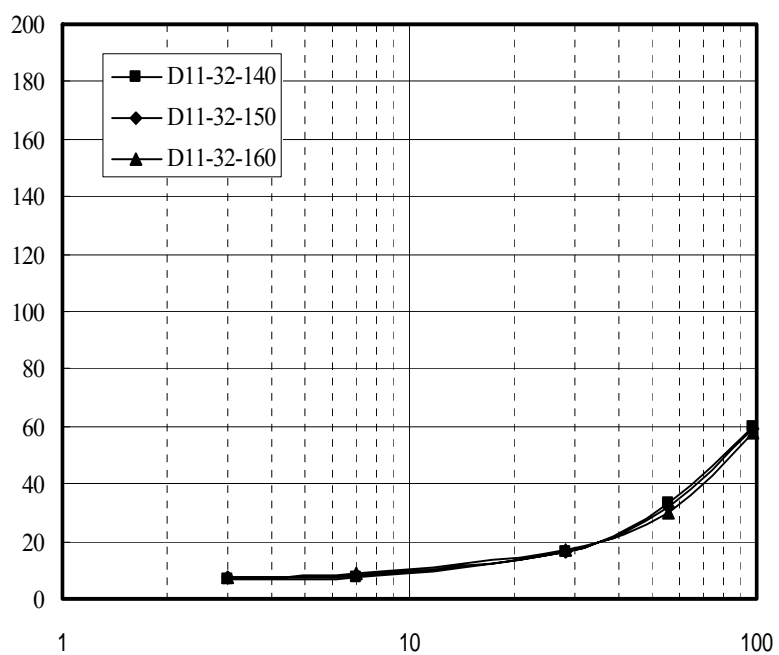


圖 4-40 水泥漿量與電阻的關係



Resistivity (kΩ-cm)

## 第五章 輕質骨材混凝土品保驗證

經過一系列高流動輕質混凝土的配比與施工性能研究後，蒐集研究過程所遭遇的問題及擬定解決方案，舉辦專家座談，交換意見，作為擬定品保驗證的依據。

### 第一節 輕質骨材及混凝土品質保證架構

淤泥輕質骨材及混凝土品質保證架構可分為淤泥驗證、輕質骨材驗證、及輕質骨材混凝土驗證等，已建立完整的淤泥輕質骨材混凝土的品質保證如圖 5-1。

#### 一、原料驗證

1. 輕質骨材常用原料如下：

(1) 由高爐爐渣、黏土、矽藻土、飛灰、頁岩、板岩、水庫及淨水廠淤泥材料，經膨脹、造粒或燒結所得之粒料。

(2) 由浮石、火山渣或凝灰岩等天然材料加工所得。

2. 淤泥有受污染疑慮時，則以該材料燒製之輕質粒料所含污染物含量應進行「毒性特性溶出程序(TCLP)」試驗，其結果須在「有害事業廢棄物認定標準」之 TCLP 溶出標準值以下。

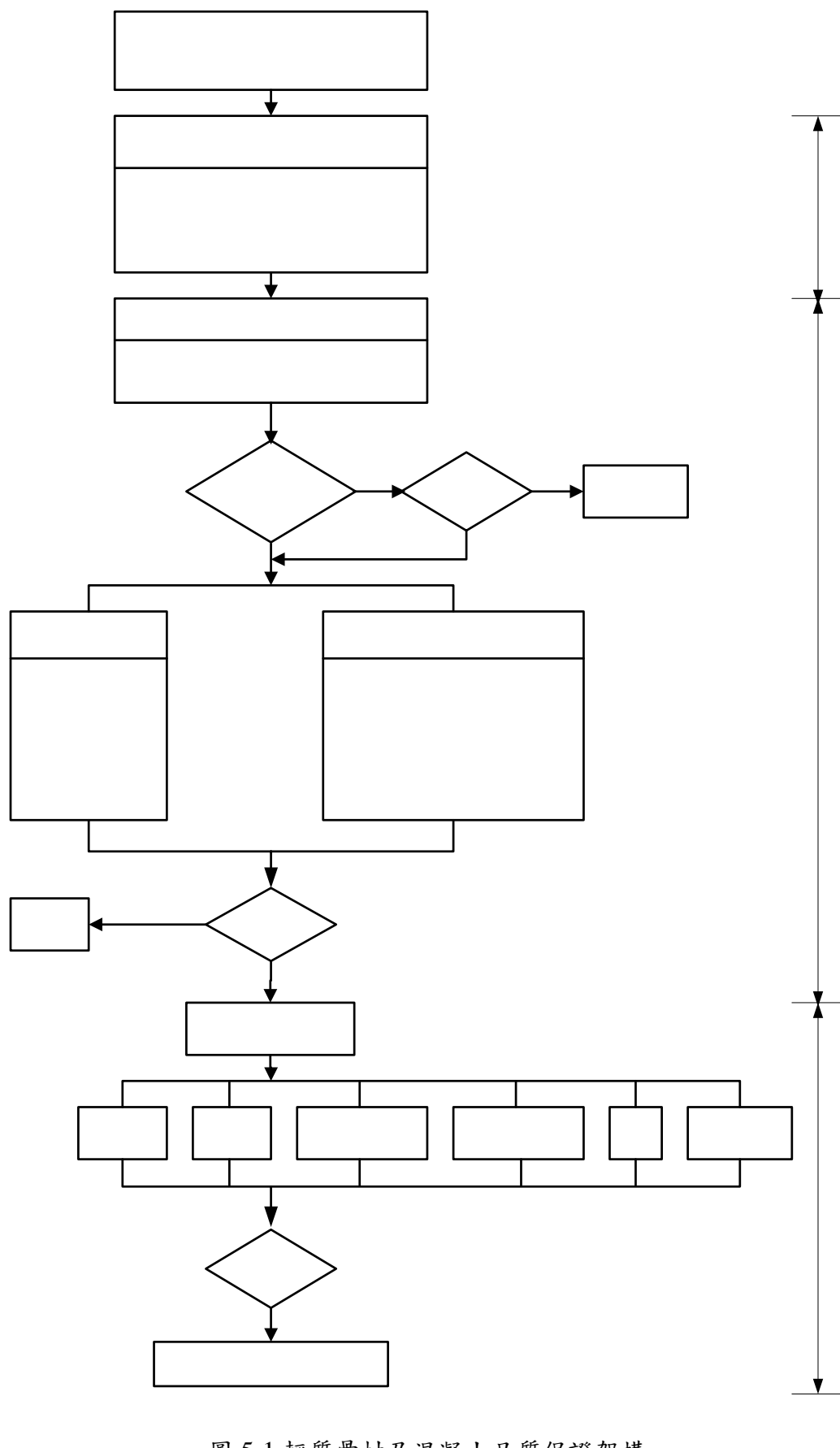


圖 5-1 輕質骨材及混凝土品質保證架構

## 二、輕質骨材驗證

1.輕質骨材應主要輕質多孔窩之顆粒狀無機材料。

### 2.化學成份

輕質粒料中不得含有過量之有害物質，可由下列方法決定。

(1)有機不潔物：依 CNS 1164 [細粒料中有機物含量檢驗法] 之規定，其有機不潔物之比色試驗中，若顏色比標準溶液深時，除能證明這種顏色變化是由少量且無害於混凝土之物質所引起，應予拒收。

(2)斑點：粒料中所含之鐵成分用  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  表示時，其含量在 200g 試樣中含有 1.5mg 以上者，代表粒料受重度或嚴重的污染，應予拒收。

備考：試驗方法可參考 ASTM C 641-98 “Standard Test Method for Iron Staining Material in Lightweight Concrete Aggregates” 第 7 節之規定。

(3)燒失量：依 CNS 1078 [水硬性水泥化學分析法] 之規定，其燒失量不得超過 5%。

備考：有些加工處理之粒料可能具有水硬性，並可能在生產過程發生局部水化，但粒料之品質並不會因此降低。因此，當以燒失量評估此種粒料品質時，須加以注意。

### 3.物理性質

輕質粒料之物理性質須符合下列規定。

(1)黏土塊及易碎顆粒：總量不得超過總乾燥質量之 2%。

(2)級配：須符合表 5-1 之規定。



表 5-1 輕質粒料之級配規定  
(通過試驗篩之重量百分率)

試驗篩孔 粒料尺度(mm)		25mm (1in)	19mm (3/4in)	12.5mm (1/2in)	9.5mm (3/8in)	4.75mm (No.4)	2.36mm (No.8)	1.18mm (No.16)	300µm (No.50)	150µm (No.100)
		細粒料	4.75 至 0	—	—	—	100	85 至 100	—	40 至 80
粗粒料	25 至 4.75	95 至 100	—	25 至 60	—	0 至 10	—	—	—	—
	19 至 4.75	100	90 至 100	—	10 至 50	0 至 15	—	—	—	—
	12.5 至 4.75	—	100	90 至 100	40 至 90	0 至 20	0 至 10	—	—	—
	9.5 至 2.36	—	—	100	80 至 100	5 至 40	0 至 20	0 至 10	—	—
混合粒料	12.5 至 0	—	100	95 至 100	—	50 至 80	—	—	5 至 20	2 至 15
	9.5 至 0	—	—	100	90 至 100	65 至 90	35 至 65	—	10 至 25	5 至 15

(3)級配之均勻性：為確保連續多批輕質粒料級配合理之均勻性，細度模數須在採購者所要求之時間間隔分批採取樣品測定。如任何一批粒料之細度模數與經試驗合格之樣品值相差大於 7%，除非經試驗證明此種粒料仍可製成符合規格之混凝土，否則此粒料應予拒收。

(4)容積密度（乾鬆）：輕質粒料之乾鬆容積密度須符合表 5-2 之規定。

表 5-2 輕質粒料之乾鬆容積密度、筒壓強度及含水率規定

粒料尺度	最大乾容積密度（鬆） (kg/m <sup>3</sup> )	顆粒筒壓強度 (MPa)	1 小時含水率 (%)
細粒料	1120	4.0	10
粗粒料	880~1100		
混合粒料	1040		

(5)顆粒筒壓強度：輕質粒料之顆粒筒壓強度須符合表 5-2 之規定。

(6)一小時含水率：輕質粒料之含水率須符合表 5-2 之規定。

(7)乾鬆容積密度之均勻性：取樣及試驗之輕質粒料其乾鬆容積密度值，與經試驗合格試樣之差異不得大於 10%，且須符合表 5-2 之規定。

## 三、輕質骨材混凝土品質驗證

含有輕質粒料之混凝土試體在試驗時，須符合下列規定。

1.抗壓強度、密度及分裂抗張強度：抗壓強度和密度須為三個試樣之平均值，分裂抗張強度須為八次試驗之平均值。試驗時，在不超過對應之最大密度，須能使同一批結構用輕質粒料混凝土之圓柱試體分裂抗張強度和抗壓強度有一項以上達到表 5-3 之規定，其中間數值和對應密度可用內插入法求得。抗壓強度試驗依 CNS 1232 [ 混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法 ] 之規定，分裂抗張強度試驗依 CNS 3801 [ 混凝土圓柱試體分裂抗張強度試驗法 ] 之規定。

備考：輕質粒料之密度試驗可參考 ASTM C 567-00 “Standard Test for Determining Density of Structural Lightweight Concrete” 第 8 節之規定。

表 5-3 輕質粒料混凝土之強度和容積密度（鬆）關係

最大平均 28 天風乾容積密度（鬆）(kg/m <sup>3</sup> )	最小平均 28 天分裂抗張強度(1) (kgf/cm <sup>2</sup> )	最小平均 28 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )
全部為輕質粒料		
1760	22.4	280
1680	21.0	210
1600	20.3	175
砂與輕質粒料混合		
1840	23.1	280
1760	21.7	210
1680	21.0	175

註(1)：若設計上已加以彌補，不符合最小平均分裂抗張強度之材料仍可使用。

2.天然砂：用來取代部分或全部輕質細粒料之天然砂，應符合 CNS 1240 [ 混凝土粒料 ] 相關條文之規定。試驗報告須記錄各種成分之比例與特性，以確保性能符合表 5-3 之最低要求。

3.乾縮：混凝土試樣乾縮率不得大於 0.07%。

4.爆裂：混凝土試驗之試樣表面不得顯現剝裂。

5.凍融耐久性：如需要時，其試驗法由買賣雙方協議訂之。

#### 四、輕質骨材與混凝土取樣、試驗方法及認可

##### 1. 粒料取樣法

- (1) 依 CNS 485 [粒料取樣法] 之規定。
- (2) 減量取樣依 CNS 10989 [現場粒料樣品減量為試驗樣品取樣法] 之規定。

##### 2. 試驗次數

- (1) 粒料試驗：每個代表性試樣須進行有機不潔物、斑點、燒失量、級配、乾鬆容積密度、顆粒筒壓強度、1 小時含水率及黏土塊含量試驗。
- (2) 混凝土試驗：須進行抗壓強度、乾縮、容積密度、抗凍融及爆裂試驗，每一試驗至少應有三個試體。但分裂抗張強度試驗應至少有八個試體。

##### 3. 試驗方法

- (1) 抗壓強度：依 CNS 1232 試驗。試體之製作及養護依 CNS 1230 [混凝土試體在試驗室模製及養護法] 及 CNS 1231 [工地混凝土試體之製作及養護法] 之規定，至抗壓試驗為止；或將試體濕養七天後，移至溫度  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度  $50\pm 5\%$  之環境中直至試驗為止。
- (2) 分裂抗張強度：依 CNS 1230 製作直徑 15cm，高度 30cm 之圓柱試體，養護後依 CNS 3801 之規定試驗。
- (3) 混凝土密度：試驗方法如第 4.2.1 節之備考。
- (4) 混凝土乾縮：除試體製作依第 7.4.1 節及第 7.4.2 節之規定外，依 CNS 14603 [硬固水泥砂漿及混凝土長度變化試驗法] 之規定試驗。
  - a. 每  $\text{m}^3$  混凝土用 335kg 水泥、摻料（如需要時）、空氣含量約  $6\pm 1\%$ ，並調整拌和水量使坍度為 50 至 100mm。再將新拌混凝土填入斷面  $50\times 50\text{mm}$  至斷面為  $100\times 100\text{mm}$ ，高度為 250mm 以上之鋼模內，充分搗實並鏟平表面。

b. 養護：未硬化混凝土表面須以不會吸水亦不反應之不透水、耐久性佳之板子覆蓋。也可用粗麻布覆蓋，但粗麻布須保持濕潤直到拆模，或在其上蓋塑膠片以保持濕潤。在混凝土試體製作後 20~48 小時拆模，然後置入溫度  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度 95% 以上之濕護室中。7 天後從養護室移出試體，量測其長度再置入溫度  $37.8\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度  $32\pm 2\%$  之養護櫃中。

備考：貼近於  $37.8^{\circ}\text{C}$  氯化鎂( $\text{MgCl}_2$ )飽和溶液上方之空氣，其相對濕度約為 32%。

- (5) 報告：試體在養護櫃中放置 28 天後，量測每個試體之長度變化，精度為有效標距之 0.01%。每個試體長度變化量即為乾縮量，報告試體乾縮之平均值代表混凝土乾縮量。
- (6) 引起爆裂之材料試驗：依第 7.4 節混凝土乾縮所製備之試體，依 CNS 1258 [卜特蘭水泥熱壓膨脹試驗法] 之規定，將試體加以濕養和熱壓，以肉眼檢查受熱壓試樣表面上所發生之爆裂數，將各試樣爆裂數之平均值列入報告。
- (7) 凍融試驗：如需要時，可依 CNS 1168 [混凝土試體抵抗凍融試驗法] 之規定。
- (8) 級配：依 CNS 486 [粗細粒料篩析法] 之規定，但細粒料試樣之重量須符合表 5-4 之規定，粗粒料試樣應取用於測定乾鬆容積密度之材料至少  $2830\text{cm}^3$ ，以機械篩析粒料時間須 5 分鐘。

表 5-4 輕質細粒料篩分析所需試樣重

粒料標稱重乾鬆容積密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	試樣重(g)
80-240	50
240-400	100
400-560	150
560-720	200
720-880	250
880-1040	300
1040-1120	350

- (9) 乾容積密度 (鬆)：材料須在烘乾條件下，依 CNS 1163 [粒料容

積密度與空隙試驗法〕之「鏟填法」試驗。

(10)顆粒筒壓強度：材料須在烘乾條件下依 CNS 14779〔輕質粒料顆粒筒壓強度試驗法〕之規定。

(11)含水率：依 CNS 488〔粗粒料比重及含水率試驗法〕之規定。

(12)粒料中黏土塊及易碎顆粒：依 CNS 1171〔混凝土中土塊與易碎顆粒試驗法〕之規定。

### 3.認可

拒收：材料若不符合上述規定而拒收時，應迅速以書面文件敘述理由通知生產者或供應商。

驗證：若訂單或採購合約中有規定時，製造商或供應商應提供材料製造、取樣及試驗標準，並提出試驗報告。

## 第二節 擬制訂的品質手冊及標準作業程序 ( SOP )

涵蓋輕質骨材混凝土產製過程中的配比設計、拌和、輸送、擣實、飾面、及養護作業等。

大綱如下，詳細內容詳附錄一。

- 一、總則與內容說明
- 二、輕質骨材混凝土材料
- 三、輕質骨材混凝土配比設計
- 四、輕質骨材混凝土拌和、產製及輸送
- 五、輕質骨材混凝土澆置及養護
- 六、輕質骨材混凝土品質管理
- 七、輕質骨材混凝土檢驗及查驗
- 八、輕質骨材混凝土施工品質之評定與認可
- 九、輕質骨材混凝土之驗收

## 第三節 高流動輕質骨材混凝土可能產生問題、原因及對策

大綱如下，詳細內容詳附錄二。

- (1) 析離 (2) 爆模 (3) 表面氣泡 (4) 蜂窩 (5) 混凝土
- (6) 不硬固 (7) 拌和機停擺 (8) 原料難以倒出 (9) 拌和
- 時間長短 (10) 拌和機機型 (11) 原料改變 (12) 從預拌
- 車中溢出 (13) 裂縫—由收縮引起 (14) 裂縫—由生成熱
- 引起 (15) 砂狀表面 (16) 不硬固(如問題五) (17) 表面
- 裂縫 (18) 骨材上浮。

## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

水庫淤泥輕質骨材具有低吸水率及表面瓷化的特性，非常適合製作高流動的高性能輕質混凝土，經由實驗室及預拌廠廠拌結果顯示，高性能輕質骨材混凝土透過緻密配比設計可同時符合強度、耐久及自充填施工性的性能，藉由廠拌經驗及相關文獻與專家討論，建立輕質骨材與混凝土的品保架構，所獲得結論如下：

- 1.在固定水膠比之下，拌和水量的增加，相對的水泥用量也增加，由於水泥的水化作用下，60 分鐘的坍度、坍流度應損失較大，但水泥量的增加，相對地輕質骨材用量也減少，由於輕質骨材吸水率較大的特性，會吸取部分的水量，因而影響 60 分鐘後的坍度、坍流度，不過其坍度、坍流度損失仍在設計標準之內。
- 2.固定用水量隨著水膠比愈低，水泥用量增加其相對的骨材用量減少，由於粗骨材的吸水效應和水泥的水化反應，使得 60 分鐘之後，其坍度、坍流度均有損失，不過其損失的差距並無隨著水膠比降低而更大，係因為水膠比低，粗骨材用量較少，所吸取的水分也較少的緣故，不過在 60 分鐘之後，水膠比 0.28、0.32、0.40 在用水量固定為  $150 \text{ kg/m}^3$  的形況下仍可達到設計的標準。
- 3.固定拌和水量  $150 \text{ kg/m}^3$  及固定水膠比 0.32，不同細骨材率之坍度、坍流度、坍流時間之比較。細骨材含量愈多，雖增加骨材的整體表面積，但有助於增加混凝土的稠度，因此，當  $\beta$  值（砂+飛灰/砂+飛灰+輕質骨材）時由 0.6 增加到 0.7，在相同的水泥漿質與量下，可提高坍度及坍流度。惟細骨材率的提高，雖能改善混凝土稠度，但會造成混凝土單位重有增加的趨勢，因此必須加以注意的。
- 4.經由混凝土流變試驗可知，輕質混凝土之靜扭矩值決定於漿體之黏滯性，漿體稠度愈濃，其靜扭矩愈大；混凝土最大靜扭矩值和水泥

漿體成反比，克服最靜大扭矩值後，動扭矩值差異不大，最大靜扭矩值愈大，代表所需泵送能量將愈大。

- 5.分別經由北部及南部國內合作預拌廠廠拌結果證明，本研究高性能輕質骨材混凝土的施工性可符合高流動的需求。
- 6.本研究高性能輕質骨材混凝土在抗壓強度與耐久性方面具有優良性能。
- 7.透過品保架構的建立，可作為生產輕質骨材與輕質混凝土相關業者的參考。



## 參考文獻

1. 黃兆龍，混凝土性質與行為，詹氏書局，台北，2003。
2. 鞏洛書、柳春圃，輕集料混凝土，中國鐵道出版社，1996。
3. 高健章，汪永宇，張阿本，張甫光，「飛灰增進混凝土泵送性之研究(I)」，國科會研究報告 NSC-77-0410-E-022-38，pp.69-70(1989)。
4. Tattersall, G. H., “Workability and Quality Control of Concrete” T. J. Press Ltd., Padstow(1991).
5. Tattersall, G. H., and P. F.G. Banfill, “The rheology of Fresh Concrete” Pitman Advanced pub, Program, London(1983).
6. Daimon, M. and D. M. Roy, “Rheological Properties of Cement Mixes Part I”, Cement and concrete Research, Vol.8 pp.753~764(1978).
7. Daimon, M. and D. M. Roy, “Rheological Properties of Cement Mixes Part II”, Cement and concrete Research., Vol. 8,pp.315~324(1979).
8. Banfill, P. F. G and D. C. Saunders, “On The Viscometric Examination of Cement Pastes”, Cement and Concrete Research, Vol. 11, pp363~370(1981).
9. Clark, P. E., and R. Shaughness, “The Rheological Behavior of Fresh Cement Pastes”, Cement and Concrete Research, Vol. 18, pp.327~341(1988).
10. Asga, K. and D. M. Roy, “Rheological Properties of Cement Mixes III The Effect of Mixing Procedures on Visometric Properties of Mixes Contaning Superplasticizers”, Cement and Concrete Research, Voo.8 pp.731~739(1979).
11. 顏聰，「水泥漿、水泥砂漿及新拌混凝土之質流性質」，第四屆力學會議論文集，pp.275-289(1980)。
12. 楊思廉，「界面化學講義」，國立台灣工業技術學院化工所教案，

- 台北，pp.162~170，(1994)。
13. Nagele, E., “The Zeta Potential of Cement”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 15, pp.453~462(1985).
  14. 徐宏杰，(李釗指導)，「飛灰吸附特性對附加劑使用成效影響之研究」，中央大學土研所碩士論文。
  15. Nagele, E., “The Zeta Potential of Cement Part II Effect of Ph-Value”, *Cement and Concrete Research.*, Vol. 16, pp.853~863(1986).
  16. Nagele, E. and U. Schnider, “The Zeta Potential of Blast Furnace Slag and Fly Ash”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 19, pp.811~820(1989).
  17. Nagele, E., “The Zeta Potential of Cement Part III The Non Equilibrium Double Layer on Cement”, *Cement and concrete Research*, Vol. 17, pp.573~580(1987).
  18. 黃兆龍，*混凝土耐久性基因及設計*，第十五屆中日工程技術研討會論文輯(1994)。
  19. 湯兆緯，「高性能混凝土之質流行為與工作性」，國立中興大學土木工程研究所，博士論文(2000)。
  20. 劉俊杰，「高性能混凝土緻密充填配比法及早期性質演繹」，國立台灣科技大學營建工程研究所，博士論文(1995)
  21. Sidney Mindess, J, Francis Young “Concrete”, Prentice-Hall Inc.(1981).
  22. P.K. Mehta, “Concrete Structure, Properties and Materials”,(1986)
  23. 朱揚之，「高性能混凝土材料組成特性及早期性質之研究」，國立台灣科技大學營建工程研究所，碩士論文(1992)。

## 附錄一 輕質骨材混凝土品質手冊及標準作業程序

- 一、總則與內容說明
- 二、輕質骨材混凝土材料
- 三、輕質骨材混凝土配比設計
- 四、輕質骨材混凝土拌和、產製及輸送
- 五、輕質骨材混凝土澆置及養護
- 六、輕質骨材混凝土品質管理
- 七、輕質骨材混凝土檢驗及查驗
- 八、輕質骨材混凝土施工品質之評定與認可
- 九、輕質骨材混凝土之驗收

## 第一節 總則與內容說明

### 1.1 通則

- 1.本規範適用於就地澆置輕質骨材混凝土之輕質骨材混凝土工程「以下概稱混凝土工程」。
- 2.混凝土工程之施工除合約文件另有規定者外，應依本規範之規定。
- 3.施工期間遇有本規範未明確規定或疑義事項，應以監造者之合理解釋為準。
- 4.本規範之引用應考慮整體性要求。
- 5.監造者或業主應完整保留施工中所有之各項試驗、檢驗及查驗紀錄至工程法定保固壽年期滿。
- 6.混凝土工程之竣工圖應由承包商提經監造者核可後交由業主保存。

### 1.2 施工與設計之配合

- 1.混凝土工程施工時，承包商應遵照設計圖說、施工規範等合約文件之規定辦理。
- 2.混凝土工程設計時，應考慮本規範有關工程施工之規定。設計者如認為有任何工程部份未能按本規範執行者，應在設計圖說內對施工事項詳加說明，承包商應遵照辦理。
- 3.施工時，若承包商認為有任何工程部份無法按合約文件執行，應檢送具體事實及處理方法報請監造者核定之，或由監造者指定處理辦法。
- 4.設計圖說中未有規定，或有規定而無法遵循施工時，承包商應請監造者轉請設計者補提詳圖或解決方法，或由承包商提出施工方法及施工詳圖報請監造者核定之。

### 1.3 施工圖說

混凝土工程之施工應依設計圖說之規定繪製必要之施工圖，須在適當位置載明下列各項：

- 1.施工載重、施工程序、模板與支撐、及安全措施。

2. 結構物各部分尺寸。
3. 結構物暴露環境之耐久性需求及設計壽年。
4. 結構物各部分之混凝土規定抗壓強度，配比、澆置計畫、及其特殊規定。
5. 鋼筋及其他鋼料之規格、尺寸與詳細位置。
6. 鋼筋續接之型式及詳細位置。
7. 預力鋼腱之規格、及其詳細位置、預力大小與施預力程序。
8. 伸縮縫、收縮縫、隔離縫及施工縫之位置、詳圖及施工步驟。
9. 開孔位置、尺寸及補強方法。
10. 管線、預留孔及埋設物等之詳細位置及安裝方法。
11. 其他重要事項。

#### 1.4 施工程序與安全

1. 混凝土施工程序應詳予規劃，避免施工載重不均衡造成不安全及對施工品質之影響。施工前應檢討下列各項：
  - (1) 施工前應詳細核對工地現況與施工計畫及設計圖說是否相符。
  - (2) 施工過程中結構體各構材之受力情況與承載安全，及必要之加強措施。
  - (3) 避免造成施工載重集中及偏心應注意混凝土澆置之程序及模板支撐；同時應避免因支撐沈陷、模板變形不均及累積所造成之危險與龜裂。
  - (4) 混凝土澆置前應核對其產製、輸送、澆置、養護及各種配合工作。
  - (5) 預力混凝土施工之程序，包含各階段施加預力之時程與順序。
2. 混凝土工程各施工項目，除合約另有規定外，均須按本規範之規定進行檢驗與查驗。施工項目須於施工當時檢驗或查驗者，應於監造者認可後方得進行後續作業之施工。
3. 承包商必須設置足夠之控制點及水準點作為測定相關位置及施工之依據，並須維護不受擾動至工程完成為止。

4.施工應確保安全，承包商應對工地可能發生之危害與災變妥為防範，各項設備及安全措施必須符合相關法規之規定。

### 1.5 施工載重

1.施工載重係包括構材本身重量、堆放物料與機具之重量，及施工中可能產生之作用力等。施工過程中各構材所受之施工載重均不得超過當時該構材所能承擔之安全載重，若超過時應按第 1.5.之 2 節規定辦理。

2.施工中構材所承受之實際施工載重大小、載重分佈變動情形及支撐方法承包商應評估其安全性。對於特殊施工情況或施工載重超過安全載重時之加強措施，承包商應報請監造者核可。

### 1.6 施工品質

#### 1.品質要求、品質管制及品質檢驗

混凝土工程之品質包括材料品質與施工品質；其品質要求、品質管制及品質檢驗應依設計圖說及本規範相關章節之規定。並且必須建立品質統計圖表，以隨時掌握品質狀況。

#### 2.品質查驗

除另有規定外，輕質骨材混凝土工程施工時，其品質由承包商隨工作進度依控制圖表自行查驗，並予記錄分析，作為驗收依據。監造者得就下列各項抽驗之：

- (1)結構物各構件之位置及尺寸。
- (2)模板及支撐之生產料源品質統計圖、進場品質、安裝及拆除。
- (3)鋼筋之生產料源品質統計圖、進場品質、加工、續接及排置。
- (4)混凝土(含材料)各材料之料源品質統計圖、配比計算書、拌和廠之配比驗證及耐久性要求之確認及最終品質。
- (5)混凝土之拌和、輸送、澆置及養護。
- (6)預力鋼腱之材料原廠品質統計圖、現場品質、安裝及預力。
- (7)預鑄混凝土構材之品質，構材接合細部及接合程序。
- (8)施工載重查核。

(9)施工進度及相關事項。

### 3.品質評定與認可

除另有規定外，輕質骨材混凝土工程施工品質之評定與認可應依本規範第八節規定。

### 4.驗收

混凝土工程之驗收，應按本規範第九節規定。

## 1.7 檢驗機構及試驗、分析費用之負擔

1.工程合約中應明定負責檢驗業務之機構及有關檢驗之規定。

2.除合約另有規定外，試驗分析費用按下列規定：

(1)按本規範規定之試驗或分析，其費用概由承包商負擔。

(2)若業主要求進行本規範或合約文件規定以外之試驗或分析時，其費用概由業主負擔。

## 1.8 新材料與新工法

1.工程圖說中若指定使用新材料或新工法時，承包商應依相關規定施工。承包商若欲使用新材料或新工法施工時，應報請監造者核可，並依相關規定辦理。

2.新材料與新工法若涉及專利時，除應按第 1.8 之 1 節之規定外，應由承包商取得專利權人或其代理人之同意。必要時，並應由專利權人或其代理人指派專門技術人員指導，以免發生權利糾紛或方法之差誤。

## 1.9 定義

本規範所用之用語其定義如下：

- 1.業主—提供工程與承包商訂定工程契約者。
- 2.承包商—與業主簽訂工程契約之承攬工程施工者。
- 3.設計者—受業主委任提供設計圖說者。
- 4.監造者—受業主委任辦理工程之施工監督者。
- 5.工程契約—經業主與承包商同意，為完成該工程之書面約定。

- 6.設計圖說—包括設計圖、計算書及施工說明書。
- 7.施工規範—指本規範及施工之特別規定。
- 8.合約文件—指工程契約、設計圖說及施工規範。
- 9.要求—指本施工規範或合約文件之規定。
- 10.請求—指承包商向監造者提出之建議或請示。
- 11.許可、同意—指監造者之許可或同意承包商請求。
- 12.報核—指承包商向監造者書面報請核可。
- 13.核定、核可—指監造者之書面審核認可。
- 14.指示—指監造者對承包商之施工指示。

#### 1.10 主要參考標準

- 1.本施工規範所參考之標準，包括規格及檢驗方法，以經濟部標準檢驗局制定之中國國家標準(CNS)為主。
- 2.本施工規範除第 1.10 之 1 節外，有關章節尚有引用其他相關標準。



## 第二節 輕質骨材混凝土材料

### 2.1 一般規定

- 1.輕質骨材混凝土材料包括水泥、輕質粗(細)骨材、拌和用水及摻料等。
- 2.輕質骨材混凝土材料之品質及其檢驗方法須符合本章相關各節之規定。
- 3.輕質骨材混凝土材料之品質應事先測試確認，並獲得監造者認可；未經監造者同意，材料來源與品質不得變更。

### 2.2 水泥

- 1.各類水泥須符合之相關規範如下：

- (1)卜特蘭水泥：CNS 61 [卜特蘭水泥]。
- (2)卜特蘭高爐水泥：CNS 3654 [卜特蘭高爐水泥]。
- (3)卜特蘭飛灰水泥：CNS 11270 [卜特蘭飛灰水泥]。
- (4)高性能水泥：ASTM C845 [Performance Specification of Hydraulic Cement]。

其他種類水泥須符合 CNS 相關規定，並須於施工前充分檢討其適用性。

- 2.設計圖說中如無規定，則混凝土使用之水泥為卜特蘭水泥第 型。
- 3.施工時混凝土使用之水泥應與配比設計所用之水泥相當。
- 4.除經監造者核可外，不同來源之水泥不可混合或交替使用。
- 5.使用於同一結構體露面部份之水泥顏色宜均勻，顏色不同之水泥可予拒絕。

### 2.3 摻料

- 1.各種摻料須符合之相關規範如下：

- (1)輸氣摻料：CNS 3091 [混凝土用輸氣附加劑]。
- (2)化學摻料：CNS 12283 [混凝土用化學摻料]。
- (3)流動化摻料：CNS 12833 [流動化混凝土用化學摻料]。

- (4)飛灰水泥用飛灰：CNS 11271〔卜特蘭飛灰水泥用飛灰〕。
- (5)混凝土用飛灰：CNS 3036〔卜特蘭水泥混凝土用飛灰及天然或煨燒卜作嵐攪和物〕。
- (6)水淬高爐爐渣粉：CNS 12549〔混凝土及水泥壩料用水淬高爐爐渣粉〕。
- (7)混凝土及水泥壩料用矽灰：ASTM C1240〔Specification for Silica Fume for Use in Hydraulic-Cement Concrete and Mortar〕。

其他摻料須符合 CNS 相關規定，並須於施工前充分檢討其適用性。

- 2.摻料之使用應能使混凝土達到其設計要求之特性，且對混凝土其他性質無不良影響。
- 3.使用之摻料應依照產品說明書之規定及可靠資料進行混凝土配比設計及試拌，並確認其性能。
- 4.施工所使用之摻料應與混凝土配比設計試驗時所採用之摻料相同。

#### 2.4 拌和用水

- 1.混凝土拌和用水須符合 CNS 13961〔混凝土拌和用水〕之規定，其檢驗應按 CNS 1237〔混凝土用水品質試驗法〕之規定。
- 2.施工所使用之混凝土拌和用水應與混凝土配比設計所用者相當。

#### 2.5 輕質骨材

- 1.各種輕質骨材混凝土骨材須符合之相關規範如下：
  - (1)混凝土骨材：CNS 1240〔混凝土粒料〕。
  - (2)結構用混凝土之輕質骨材：CNS 3691〔結構用混凝土之輕質粒料〕。
  - (3)圬工混凝土用輕質粒料：CNS [混凝土圬工用輕質混凝土粒料]。
  - (4)隔熱混凝土用輕質粒料：CNS [隔熱混凝土用輕質粒料]。
- 2.骨材未能符合第 2.5 之 1 節之規定者，若經試驗或長期使用證明其所拌和之混凝土之性能均能符合設計安全性與耐久性及施工之需求者，則該骨材經監造者認可後亦可使用。

## 2.6 混凝土材料之準備與貯存

- 1.各原材料應分隔貯存不得混雜或析離，貯料倉筒並應標示以利識別。
- 2.任何材料應妥為貯存，若有受損壞、污染或變質者均不得使用。
- 3.水泥或礦粉摻料應以密閉防潮之儲庫貯存，若為袋裝時則應貯存於不受氣候影響之倉庫或場所，且其地板面至少應高出地面 30 cm，以防受潮或污染。水泥使用時，其溫度不得超過 50°C。袋裝水泥貯存堆置之高度宜在 10 袋以下，以免重壓硬化。
- 4.取用貯存中之水泥，若發現有結硬塊現象時，應加判斷；若係水泥已有水化現象，則應予廢棄不得再用。唯經確認其硬化僅係因重壓所致，使用時甚易將之分散者，經監造者許可者，仍可打散使用。
- 5.輕質骨材應儘可能依不同尺寸及不同顆粒密度分別存放，並避免不同尺寸骨材或與其他物料摻混；混合骨材堆積貯存則應防止其過度析離，使用前須取樣試驗，以確定是否符合 2.5 輕質骨材規定。
- 6.輕質骨材之堆放場應排水良好，以使上下層含水量均勻，輕質骨材使用前建議予以預濕，預濕水量建議以其浸水[24]小時吸水率的[70%]或以[1]小時的吸水率為準。
- 7.輕質骨材儲庫或料堆宜加蓋或覆蓋，以利控溫及拌和用水量之管控。
- 8.化學摻料之貯存須防止變質、析離、污染、蒸發、損壞或對性質有不良影響之溫度變化及對容器之腐蝕。
- 9.水泥、砂、石之袋裝乾拌料得依照 ASTM C387 規定乾混袋裝以備使用，其貯存方式依照第 2.6 之 3 節之規定。

### 第三節 輕質骨材混凝土配比設計

#### 3.1 一般規定

1. 輕質骨材混凝土配比應使混凝土達到設計圖說之要求及施工需要之品質。

#### 2. 配比之一般要求

輕質骨材混凝土之各種材料配比須經監造者認可，使混凝土之抗壓強度、工作性及耐久性等符合下列規定：

- (1) 抗壓強度必須符合合約之要求及本章與第 8.2 之規定。
- (2) 混凝土須具適當之工作性，即使高流動性，亦須無明顯泌水及析離現象，並須符合第 3.4 節規定。
- (3) 耐久性應符合第 3.2 及 3.3 節之要求。

#### 3.2 輕質骨材混凝土抗壓強度與水膠比

構造物各部份之輕質骨材混凝土配比設計應符合設計圖說要求之最小抗壓強度、最大水膠比限制及其他規定。

1. 除合約另有規定外，混凝土之抗壓強度係指按 CNS 1230 [ 混凝土試體在試驗室模製及養護法 ]，或 CNS 1231 [ 工地混凝土試體之製作及養護法 ] 之規定製作試體，並按 CNS 1232 [ 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法 ] 之規定於齡期 28 天或指定齡期(56 天，90 天或 120 天)進行試驗所得之抗壓強度。此抗壓強度必須滿足合約有關規定抗壓強度  $f'_c$  之要求。

2. 水膠比( $\frac{w}{c+p}$ )為水(w)與水泥(c)及卜作嵐材料(p)之重量比。

3. 特殊暴露情況之混凝土，其水膠比及強度應符合表 3-3.1 之要求。

表 3-3.1 特殊暴露情況下輕質骨材混凝土之水膠比及強度要求

暴露情況	最大水膠比*	最小規定抗壓強 $f'_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
(1) 暴露於清水中需具水密性	0.50	280
(2) 暴露於凍融潮濕或解冰監	0.45	315
(3) 鋼筋混凝土暴露於解冰監、監分、海水、監霧等	0.40	350

氯離子環境必須考慮鋼筋防蝕		
註：*無論何種狀況 w/c 必須大於 0.50 以確保無自體收縮裂縫產生		

### 3.3 耐久性

1. 耐久性應依據構造物用途、使用年限、環境條件及維修成本決定之。
2. 除另有規定外，混凝土防制腐蝕之允許最大氯離子含量應符合表 3-3.2 之規定。

表 3-3.2 混凝土腐蝕防制之允許最大氯離子含量規定

構件型式	新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量(依水溶法)
預力混凝土	0.15 kg/m <sup>3</sup>
鋼筋混凝土	0.30 kg/m <sup>3</sup>

3. 暴露於凍融與解冰化學藥品等侵蝕之輕質骨材混凝土，應加輸氣劑使含氣量符合表 3-3.3 之規定。含氣量之測定應按照 CNS 9661 [新拌混凝土空氣含量試驗法(壓力法)] 或 CNS 9662 [新拌混凝土空氣含量試驗法(容積法)] 之規定。
4. 輕質骨材混凝土要求 56 天之表面電阻超過 20kΩ-cm, 而混凝土配比設計之 56 天氯離子電滲電量應小於 2000 庫倫，以保障長期耐久性。

表 3-3.3 抗凍融混凝土之含氣量要求

粗骨材之標稱 最大粒徑(mm) <sup>*</sup>	含 氣 量 (%) <sup>#</sup>		
	嚴重暴露	中度暴露	輕度暴露
< 9.5	9	7	5
9.5	8.5	6	4.5
12.5	7	5.5	4
19.0	6	5	3.5
25.0	6	4.5	3
38.5	5.5	4.5	2.5
50.0	5	4	2
75.0	4.5	3.5	1.5
152.0	4	3	1

### 3.4 坍度

配比設計時坍度按構件部位、施工條件及施工機具決定之。但不論混凝

土坍度大小，拌和水量（含液體摻料）應小於  $150 \text{ kg/m}^3$ ，以保障結構物混凝土體積穩定性。

### 3.5 骨材之級配

#### 1. 粗骨材之標稱最大粒徑

粗骨材之標稱最大粒徑除另有規定外，不得大於下列規定之最小值：

- (1) 模板間最小寬度之  $1/5$ 。
- (2) 混凝土版厚之  $1/3$ 。
- (3) 鋼筋、套管等最小淨間距之  $3/4$ 。
- (4) 如使用泵送機泵送之混凝土，其骨材之標稱最大粒徑應小於輸送管內徑之  $1/4$ 。泵送機之規定依據第 4.9 之 2.(4) 節之規定。

2. 除另有規定外，粗細骨材之級配須符合 2.5 [輕質骨材] 之規定。

### 3.6 摻料之使用

1. 摻料之使用除應按第 2.3 節之規定外，需依據工程性質及施工條件選用適當之摻料，並經詳細配比設計及試拌驗證。
2. 摻料之類型及用量經配比確認後，非經許可不得任意更動。
3. 摻料所含之水分應視為拌和水之一部分，必須於配比中加以調整。

### 3.7 混凝土配比目標強度

1. 混凝土配比目標強度  $f'_{cr}$  應採用式(3-1)至式(3-4)計算值之較大者。

$$(1) f_c \leq \text{kgf/cm}^2$$

$$f'_{cr} \geq f'_c + 1.34s \text{ ----- (3-1)}$$

$$f'_{cr} \geq f'_c + 2.33s - 35 \text{ ----- (3-2)}$$

$$(2) f_c > \text{kgf/cm}^2$$

$$f'_{cr} \geq f'_c + 1.34s \text{ ----- (3-3)}$$

$$f'_{cr} \geq 0.9f'_c + 2.33s \text{ ----- (3-4)}$$

式中  $f'_c$  = 混凝土規定抗壓強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

$$f'_{cr} = \text{混凝土配比目標強度(kgf/cm}^2\text{)}$$

$$s = \text{標準差(kgf/cm}^2\text{)}。$$

式(3-1)至式(3-4)中之  $s$  可用式(3-6)求得之  $\bar{S}$  取代。 $\bar{S}$  為兩群試驗紀錄分別求得標準差之統計平均值。

2. 若無適當之試驗紀錄可資應用計算標準差時，則須以表 3-3.4 規定值作為配比目標強度。

表 3-3.4 配比目標強度之規定值

規定強度 $f_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	配比目標強度之規定值 $f'_{cr}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
210 以下	$f_c + 70$
210 ~ 350	$f_c + 85$
350 以上	$f_c + 100$

### 3.8 混凝土強度標準差之計算

為使強度符合第 8.2 之 2 節所規定之強度，混凝土配比設計之配比目標強度應高於規定強度，其所應提高之強度與各該工程混凝土施工之標準差有關。在該工程尚未開工或無足夠試驗數據時，可利用以往工地試驗紀錄或於 3 個月內建立品質測試資料建立之標準差以估算該工程之標準差。

1. 若混凝土產製單位於開工前持有以往 12 個月內，跨越 60 天以上之連續，或開工前持續 3 個月之測試資料之試驗紀錄，則可據以計算標準差。惟該試驗紀錄須符合下列規定：

- (1) 該紀錄所代表材料及施工情況與本工程相似，且其材料及配比之變動限制不得較本工程嚴格。
- (2) 該紀錄所代表混凝土之規定強度與本工程混凝土之規定強度，相差須不超過 70 kgf/cm<sup>2</sup>。
- (3) 除第 3.8 之 3 節之規定外，應包含一群至少 30 組或二群總數至少 30 組之紀錄。

2. 標準差之計算可用下式：

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \text{----- (3-5)}$$

式中 s=標準差

$X_i$ =個別試驗之強度值

$\bar{X}$  =連續之所有個別試驗強度之平均值

n= 連續之試驗之次數

若所採用之試驗結果，為二群連續試驗之總數至少有 30 組之紀錄時，其標準差須先各別計算其標準差，再計算兩標準差之統計平均值，其計算式如下：

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \text{----- (3-6)}$$

式中  $\bar{s}$  =為兩群試驗紀錄分別求得標準差之統計平均值。

$s_1, s_2$ =分別為兩群試驗紀錄按(3-5)式求得之標準差，該兩群試驗紀錄合計須 30 組或以上。

$n_1, n_2$ =分別為兩群試驗紀錄之試驗組數。

3.若混凝土生產單位，無足夠的試驗紀錄，以符合第 3.8 之 1 節之要求，但有 15~29 組連續試驗紀錄符合下列規定者，亦可用該等試驗紀錄來計算標準差，但其計算值須先乘以表 3-3.5 所示之修正因數。

表 3-3.5 標準差修正因數(試驗紀錄應為 15 組以上)

試驗組數*	標準差修正數+
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30或以上	1.00
*中間值依組數以直線內插法求得。 +修正後之標準差用於計算依照第 3.7 節規定之配比目標強度。	

(1)這些試驗紀錄除了符合本節規定外，並應符合第 3.8.之 1 節中之(1)與(2)及連續試驗之規定。

(2)該 15~29 組紀錄必須涵蓋供應期間為 60 天以上之同級混凝土。



- 4.若混凝土產製單位無法提供符合第 3.8 之 1 或 3.8 之 3 節要求之試驗紀錄以計算標準差時，則應按第 3.7 之 2 節規定辦理。

### 3.9 配比之選定

配比之選定應依據該工程之狀況，以下列三種方法之一決定之。

#### 1.第一法 由試拌決定配比

無法滿足第 3.8 之 1 節時，混凝土配比經由試拌決定之，試拌按下列規定：

- (1)試拌之材料應為工程預定使用之材料。
- (2)使用至少三種不同水膠比進行試拌，其強度應涵蓋第 3.7 節決定之配比目標強度  $f'_{cr}$ 。試驗齡期至少包括 3 天、7 天、14 天、28 天及 56 天或其他指定之齡期。
- (3)試拌時應按第 3.1 至 3.6 節之規定採用適合規定之配比。
- (4)試拌混凝土之坍度與規定值相差應在 2.0 cm 以內。輸氣混凝土之含氣量與規定值相差應在 0.5%以內。新拌混凝土之溫度應予記錄，相差應在 5°C 以內。
- (5)各試拌配比之每一試驗齡期，至少須製造三顆試體，其製造及養護應按 CNS 1230 [ 混凝土試體在試驗室模製及養護法 ] 之規定。每次改變水膠比，則應認定為一新配比。圓柱試體強度試驗應按 CNS 1232 [ 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法 ] 之規定辦理。
- (6)根據試驗結果繪製抗壓強度與水膠比及水灰比之關係曲線，以及抗壓強度與齡期之關係曲線。
- (7)由所繪之抗壓強度與水膠比之關係曲線，及抗壓強度與齡期之關係曲線決定所需之混凝土指定齡期之水灰比及水膠比。
- (8)水灰比與水膠比之決定必須符合第 3.3 節耐久性之要求。

#### 2.第二法 由合宜之工地紀錄決定配比

- (1)符合第 3.8 之 1 節之合宜工地紀錄，其中所用之材料與本工程相同，且環境相似者，至少有十組以上為同一種配比，若該十組以上之平

均強度大於第 3.7 之 1 節計算值，則可直接採用此平均強度為配比目標強度  $f'_{cr}$ 。

(2)若(1)中之十組以上紀錄含兩種配比者，其平均強度得用內插法決定之。

(3)若符合(1)或(2)者，得根據該合宜工地之施工實績及施工圖說要求，由監造者核定是否採用該項配比。

(4)若不符(1)或(2)者應以第 3.9 之 1 節規定辦理。

### 3. 第三法 按經驗決定配比

不用第 3.9 之 1 節或不符合第 3.9 之 2 節之規定者，得採用其他類似本工地環境之混凝土配比，但其配比目標強度須高出規定強度  $84 \text{ kgf/cm}^2$ ，並經監造者核定是否採用該項配比。

#### 3.10 配比目標強度之調整

在施工期間，工地連續試驗紀錄累積超過 15 組以上，且符合第 8.2 之 2 節之規定，則可計算平均強度及依據第 3.8 節計算標準差，調整原來之配比目標強度  $f'_{cr}$ 。

1. 計算平均強度大於原配比目標強度，經監造者同意，可經第 3.9 之 2 節之規定調降  $f'_{cr}$ 。
2. 計算平均強度小於原配比目標強度，承包商應立即依第 3.9 之 2 節之規定調升  $f'_{cr}$ 。

## 第四節 輕質骨材混凝土拌和、產製及輸送

### 4.1 一般規定

- 1.輕質骨材混凝土之產製應以適當設備按規定配比精確計量，適當拌和；包括原材料之準備與貯存、配料之計量，拌和至均勻且符合規格之混凝土。
- 2.除另有規定者外，預拌輕質骨材混凝土之產製應依 CNS 3090 [預拌混凝土] 之規定。
- 3.輕質骨材混凝土材料之準備與貯存依第 2.6 節之規定。

### 4.2 計量

- 1.除拌和用水、液態化學摻料外，其餘各混凝土原材料均須以重量計量。但若情況需要，經監造者許可時，亦得以容積計量。

#### 2.計量裝置

- (1)水泥須備專用秤量槽，除卜作嵐材料可與水泥累重計量外，其他材料不可與水泥混用計量裝置。
- (2)各材料之重量計量裝置可為機械式或電子式。計量表之指針活動範圍應大於計量器使用範圍，指針活動範圍之上下限應分別超出使用範圍達最大秤量之 4%與 5%。
- (3)材料計量器之靜載重測試準確度須為其最大容量之 $\pm 0.4\%$ ，且於最大容量每 1/4 秤量範圍內至少測試一次。
- (4)計量器之構造須能卸料徹底，且不得有附著物。

#### 3.計量裝置之操控與維護

- (1)計量裝置須易於進行校正工作。
- (2)計量之指示儀應讓操作者在稱料時，能全盤準確地讀得數值且易於操控調整。
- (3)計量器上所有暴露之支點，U 形鉤及類似關節部分，應隨時保持清潔。
- (4)橫梁式計量器之指示儀之靈敏度應達標稱容量之 0.1%。

(5)拌和水計量設備不得因供水管線壓力變化而影響其準確度。

4.計量設備之校正頻率至少每六個月一次。若遇搬移、整修或混凝土產量變異大時，應隨即查驗。

5.材料計量之許可差如表 3-4.1 所示：

表 3-4.1 混凝土材料計量許可差

材料	適用狀況		許可差
水泥及卜作嵐材料*	秤量範圍 30%計量器容量		±1%
	秤量範圍<30%計量器容量		±0% +4%
水	固定式拌和機		±1%
	車載式拌和機		±3%
骨材	各別計量		±2%
	累重計量	30%計量器容量	±1%
		<30%計量器容量	±0.3%計量器容量 ±3%規定累重用量
化學摻料	以重量計量		±3%
	以容積計量		±3% ±一袋水泥用量
*水泥及卜作嵐材料得各別計量或累重計量，若採累重計量應先秤水泥。			

### 4.3 拌和

1.混凝土之拌和，除情況特殊經許可得以人工拌和外，應以混凝土拌和機拌和。預拌混凝土之拌和可採中央拌和之固定式及分拌與途拌之車載式。預拌混凝土供應困難之工程，經監造者同意得採符合第 4.3 之 2 節規定之拌和機現場拌和。

2.拌和機除符合 CNS 3090 者外，下列數種亦可使用，惟均須以均勻性驗證拌和機滿足施工品質之要求。

(1)CNS 7101 [ 傾斜式混凝土拌和機 ]。

(2)CNS 7102 [ 鼓形混凝土拌和機 ]。

(3)CNS 7103 [ 強制式混凝土拌和機 ]。

(4)水平雙軸式拌和機。

3. 混凝土之拌和應按以下之規定：

(1) 配料計量

- ① 每次配料應以所用拌和機額定拌和量為上限。
- ② 水泥、拌和水及各種化學摻料，應各自單獨計量；各種輕質粗細骨材（含一般常重骨材）可單獨計量亦可累重計量；卜作嵐材料得於水泥計量後累重計量。
- ③ 拌和水之用量應依骨材實際含水情況加以調整，以符合原配比。
- ④ 溶解化學摻料所用之水，或稀釋後液態摻料之總容積所相當之水量，均須視為拌和用水之一部分。

(2) 拌和作業

- ① 計量後之各骨材及水泥(含卜作嵐材料)可直接置入拌和機。惟除將少許拌和水早於乾料先加入外，其餘水量與化學摻料按規定順序注入。
- ② 進料前應將所有前次拌成物清出。
- ③ 進料時，除快速混凝土拌和機(強制式拌和機)及水平雙軸拌和機外，拌和鼓應維持旋轉狀態，其旋轉速度應與混凝土拌和時相同。
- ④ 必要時輕質骨材可以在最後階段再傾倒入拌和機內拌和均勻。

(3) 拌和時間

- ① 拌和時間應依 CNS 3090 有關均勻性之規定做拌和機性能測試決定之。
- ② 混凝土之拌和時間應自所有固體材料全部進入拌和機時起算。拌和水及摻料溶液應在規定拌和時間之前 25% 時段內注入完畢。

- (4) 拌和機之性能需定期測試。拌和鼓內之攪拌翼或葉片磨損率達原有高度之 10% 時，或翼片與拌和鼓間隙大於 6mm 時應即更換，並作拌和機性能測試。拌和機性能變化時，亦應作混凝土均勻性測試調整拌和時間，惟拌和測試數量至少 30 個試體。

4. 若採容積計量並以連續拌和之方式產製混凝土時，應依 ASTM C685 [採容

積計量且連續拌和產製之混凝土]之規定。

#### 5.現場拌和

材料之計量須在監造者監督下為之，混凝土之各種原材料得採用重量或容積計量配料，若採容積計量須經常以重量核對，除特殊情形外，現場拌和應以拌和機為之。有關材料計量、拌和須符合本章相關各節之規定。混凝土採用現場拌和之前須作試拌，確認其新拌及硬固混凝土之性質符合配比設計之要求，且經混凝土技術士簽證方可採用。

#### 4.4 坍度許可差及退車

1.混凝土卸料時坍度許可差依下列規定，若坍度小於規定值且不適於澆置時，立即退車，並在指定地點或指定區處理該混凝土，嚴禁再拌和。

(1)坍度有最大或不得大於之指定值時，如表 3-4.2(1)所示。

表 3-4.2(1) 有坍度最大限制時之許可差

規定最大坍度	正許可差(mm)	負許可差(mm)
75 mm以下	0	38
大於75 mm	0	63

(2)坍度無最大或不得大於之指定值時，如表 3-4.2(2)所示。

表 3-4.2(2) 無坍度最大限制時之許可差

標稱坍度(mm)	許可差(mm)
< 50	± 13
50 ~100	± 25
> 100	± 38

#### 4.5 化學摻料之添加

- 1.使用化學摻料時須依配比設計試拌結果選定劑型及劑量，計量前須配製成適當濃度之水溶液。
- 2.不同型別、種類之化學摻料應分別加入拌和鼓中，不得先行混合後再加入。
- 3.化學摻料如為懸浮或不穩定液體狀態者，使用前應以適當設備充分攪拌均勻。

#### 4.6 特殊天候下之混凝土產製

新拌混凝土之溫度須配合澆置時之溫度限制，考慮氣溫、溼度、風速及

輸送時間等影響，以防止塑縮裂縫或溫度裂縫，採下列方式調整之：

- 1.在寒冷天候下，混凝土之產製可應用預熱骨材、預熱拌和水、或二者併用以使混凝土產製之溫度符合澆置時所需溫度，惟在製造及運送途中混凝土之最高溫度不得超過 32°C。使用預熱拌和水時，應先將熱水與骨材拌和後再加入水泥。
- 2.在炎熱天候下，混凝土之產製可藉液態氮氣預冷之材料，或以薄冰屑代替全部或部分之拌和水，惟薄冰屑於拌和時須完全融化。混凝土輸送管應予以濕麻布袋加蓋或澆水，以降低因高溫造成混凝土的水分蒸發。

#### 4.7 袋裝乾拌料之使用

袋裝乾拌料須視實際情況經監造者同意方得使用：

- 1.混凝土使用袋裝乾拌料時，依袋上指示之用水量，但總用水量不得大於 150kg/m<sup>3</sup>。
- 2.水泥砂漿使用袋裝乾拌料時，須依袋上指示之用水量使其流動度達 110 ± 5%，但亦不得大於 150 kg/m<sup>3</sup>。
- 3.袋裝乾拌料在工地需依袋上指示用水量（小於 150 kg/m<sup>3</sup>），於不吸水潔淨之非鋁金屬容器內，加水以手拌或機械拌方式，拌成均勻塑狀；各類產品均須達到需求之強度或耐久性品質。

#### 4.8 產製紀錄

1.混凝土產製單位應有產製紀錄，至少包含下列各項：

- (1)混凝土種類及其規格。
- (2)材料進料檢驗紀錄。
- (3)配料計量紀錄。
- (4)拌和批次產製紀錄。
- (5)交貨憑單及紀錄。
- (6)計量設備之校驗紀錄。
- (7)拌和機性能測試(30 個試體均勻性)紀錄。
- (8)因設計圖說需要或因監造者要求之增加項目。

2. 承包商應要求預拌混凝土供應商提供依 CNS 3090 規定之交貨憑單，以作為混凝土品質憑證。

#### 4.9 混凝土輸送

##### 1. 輸送之一般規定

(1) 混凝土輸送係指自拌和完成卸出至其注入模板前之過程，如為預拌混凝土尚應符合 CNS 3090 [ 預拌混凝土 ] 之有關規定。

(2) 混凝土輸送時應保持品質均勻，避免不當之材料析離或坍度損失。除另有規定外，混凝土自拌和完成後至工地開始卸料之時間規定如下：

① 輸送途中保持攪動者不得超過初凝時間。

② 途中未加攪動者不得超過 30 分鐘。

(3) 混凝土之輸送應與現場澆置作業配合，適當控制其速率。

(4) 混凝土輸送過程中，不得添加任何物質。

(5) 輸送設備在使用前後必須清除內部之殘留物及清洗不潔表面，並不得有積水殘留。

(6) 輸送設備與混凝土接觸面不得採用鋁或鋁合金材料製造。

##### 2. 混凝土輸送機具

(1) 混凝土輸送機具應能維持輸送過程中混凝土之均質性。

##### (2) 攪拌車

① 攪拌車或作攪拌車用之車載式拌和機用於輸送預拌混凝土，其裝載容量及性能應事先檢驗確認性能符合要求。

② 攪拌車與充當攪拌車使用之車載式拌和機，其混凝土裝載量均不得超過其攪拌筒容量之 80%。

③ 輸送途中攪拌筒應維持轉動，其轉速應為每分鐘 2 至 6 轉。

④ 攪拌車應定期空車秤重，以防止硬化混凝土或砂漿附著攪拌葉片上，而影響其攪拌功能。

##### (3) 吊桶



- ①吊桶必須配合水平、垂直轉運機具，及適當能量之吊裝設備以便吊卸，其裝置應妥為設計。
- ②裝填至卸出之時間不得超過30分鐘。
- ③吊桶卸料口至受料處之高差應在2 m以內。若為高流動混凝土且確認無析離時，其高差不受限制。

#### (4)混凝土泵送機

- ①泵送機之泵送能力應能克服輸送至澆置地點之泵送阻力並能滿足澆置作業之需求。輕質骨材混凝土泵送較為困難，在國外均採取特殊措施，如控制輕質粗骨材的最大粒徑、提高含砂率、添加礦粉摻料、真空預飽和欲預濕骨材、強塑劑等，以減少摩擦力及防止泵送壓力終止時，輕質骨材內部水分析出，在輕骨料表面形成水膜，影響介面強度。
- ②混凝土以泵送機輸送後不得有析離現象，且坍度仍應符合施工要求。
- ③泵送過程中輸送管儘可能獨立結構體外，若與結構體結合則其震動不得影響模板之安全、已紮妥鋼筋之定位，及鋼筋與未硬化混凝土之握裹力。
- ④混凝土泵送過程中應防止塞管。若有塞管，管內混凝土應全部予以清除廢棄，並於指定地點回收清洗之材料（包括清洗之水）。
- ⑤輸送管出口應適時移動，以使卸出之混凝土均勻散布，避免落料點混凝土水平移動過遠，造成材料析離。

#### (5)輸送帶

- ①輸送帶以水平設置為原則，其最大斜度為 $15^{\circ}$ ，且總長不得超過300 m。
- ②輸送帶卸料端應裝置水泥漿刮取設施，以防止混凝土中水泥漿為皮帶迴轉而帶走漏失。
- ③輸送帶進料及卸料端應設置擋板及漏斗，以防止材料析離。
- ④輸送帶上應加罩覆蓋，以防混凝土水份大量蒸發及溫度升高。

(6)滑槽

- ①滑槽之底面應為適當之圓弧型，滑槽長度不得超過6 m，且斜度應在1 : 2~1 : 3(垂直：水平)之間。若超過上述規定之一者，則滑槽出口處應以漏斗承接。
- ②滑槽出口至澆置面之高差不得超過2 m；出口處應使用漏斗串接長度60 cm以上之垂直落管。
- ③滑槽或其表面應使用不吸水及不黏漿之材料製作。

(7)手推車

- ①手推車之輸送距離不得超過60 m。
- ②手推車須鋪設平順之走道板，使行走路線平穩。走道板應鋪設於支架上，且不得影響鋼筋之正確位置。
- ③裝料時應儘可能使混凝土垂直卸落於盛料斗中央。

## 第五節 輕質骨材混凝土澆置及養護

### 5.1 澆置之一般規定

1. 混凝土澆置，包括混凝土之注入充填模板內、搗實及整平，並使混凝土在適當環境下獲致良好之品質。
2. 混凝土自拌和、輸送至澆置完成，應連貫作業不宜中途停頓，並須於初凝發生前完成。
3. 混凝土之澆置計畫書應先經認可後，始可澆置混凝土。
4. 混凝土澆置作業承包商應由丙級混凝土技術士或指派資深工程師在場全程督導。

### 5.2 澆置前之準備

1. 澆置前應查驗模板、鋼筋及埋設物，並經確認已按規定裝設妥當。
2. 澆置面為土質地地面時，其表面應充分加以夯實並灑水潤濕，但不可有積水現象。
3. 澆置面為岩石或已硬化之混凝土面時，應將表面石屑、泥渣、粉土油漬加以清理並灑水潤濕，但不可有積水現象。
4. 接縫混凝土澆置前，施工縫之處理應按本節之規定做處理。

(1) 施工縫除按下列規定做處理外，如需特殊粘結時，應施工縫需特殊粘結時可用下列任一方法，但須經驗證並經監造者之許可。

① 使用經核可之粘結劑。

② 使用經核可之緩凝摻料，該緩凝摻料須能延遲但不阻止表面水泥砂漿之凝結。經緩凝之水泥砂漿須於澆置後24小時內清除以便產生清潔而露出骨材之接合面。

③ 使用經核可之方法。

(2) 一般工程之施工縫混凝土接面，在澆置銜接混凝土前須除去水泥乳皮、不良表層及其他雜物，並徹底潔淨後潤濕之，但不可有滯留水。

(3) 垂直施工縫，於第一次澆置混凝土前，應設置臨時模板或埋入式金屬

網以使接縫面較為平整。模板拆除後再澆置銜接混凝土前，必須將接縫面濕潤。

(4)水平施工縫，如外露結構體之水平接縫，梁、欄柵、及版中之水平接縫以及液體儲存構造物之水平接縫，其接面除按第5.2之4(2)節之規定處理。

(5)若需剪力摩擦傳遞剪力之施工縫，設計圖說若無規定時，其新舊介面需處理成凹凸總深約6 mm之粗糙面，或高壓水沖洗使表面露出粗骨材。

5.澆置前應清除模板或其他澆置面上之殘留木屑雜物及其他殘餘物，使表面淨潔，且無積水。

6.以上各項準備工作完成時，須經工程師檢查認可後，方可澆置混凝土。

### 5.3 澆置

1.混凝土應儘可能卸置於接近最終位置上，以免因再移動或流動而造成材料分離。任何引起材料分離之動作均應避免。

2.混凝土應連續澆置，不可間隔太久，以免因先澆置之混凝土已超過初凝時間無法與其後澆置之新混凝土充分粘結，形成粘結不良之「冷縫」脆弱面，或蜂窩現象。

3.混凝土之澆置儘可能一次完成，否則應視情況妥為分層、分段或分區澆置，以免形成冷縫。

4.混凝土澆置因故中斷時，應將澆置面整理平順。若先澆置之混凝土已超過初凝時間，再澆置新混凝土將形成冷縫，若隨即繼續者應按5.6節接縫之規定做施工縫處理。

5.澆置面為斜面時，應由下而上澆置混凝土。但高流動混凝土則應由上而下澆置混凝土。

6.若梁或版與其支承之柱或牆同批次澆置混凝土時，應採用封頂之模板，先由柱或牆澆置混凝土，再澆置梁或版之混凝土。

7.澆置混凝土應注意鋼筋、模板或埋設物有無移位或變形，倘有此現象，應暫停澆置，待校正加固後再繼續澆置。

8.澆置計畫書須含澆置順序，特殊結構及澆置作業，有安全顧慮者尤須特別注意。

#### 5.4 搗實與壘平

- 1.混凝土澆注進入模板後，應隨即予以適當之搗實及壘平。
- 2.混凝土之搗實應採用符合 CNS 5646〔混凝土內之棒形振動器〕規定之振動棒（或稱內部振動器），但經工程師之許可者，得採用符合 CNS 5648〔混凝土模板振動器〕規定之外部振動器（即外模振動器）或其他有效搗實器具。
- 3.振動棒應盡量垂直緩慢插入混凝土中，不得以接觸鋼筋或模板作振動，振畢拔出時，應緩慢並保持振動棒垂直。
- 4.振動棒插入點之間距應約為 45 cm。
- 5.振動棒每一插入點之振動時間應在 5~15 秒之間，以能充分搗實混凝土排除其中之氣泡為原則。充分搗實係指混凝土不再排出大氣泡、顏色均勻，且表面上粗骨材仍若隱若現時。
- 6.禁止過度振動，或以振動棒移動混凝土。
- 7.振動棒應插入前次澆注混凝土層內，其進入前層混凝土之深度應約為 10 cm。
- 8.外模振動器必須固定附著於模外，其分布應均勻，並以獲得最佳效果為主。
- 9.壘平作業應於混凝土經充分搗實後方可進行，壘平過程中若發現有搗實未充分之處，應要求加強搗實後再予壘平。
- 10.預鑄構件可採用加壓振搗，減少因搗實時間過長所造成輕質骨材上浮現象。

#### 5.5 保護

- 1.室外混凝土之澆置應避免在下大雨、下雪及刮大風等惡劣天候下進行，否則應採取經監造者認可之保護措施。
- 2.冰凍之地面上不得澆置混凝土。
- 3.勿使雨水損害混凝土表面，或因而增加混凝土中之水量。
- 4.若混凝土澆置中及其後 24 小時內周圍之氣溫可能低於 5°C 者，澆置時之混凝土溫度不得低於 10°C。但混凝土構材斷面尺寸小於 30 cm 者，混凝土溫度不得低於 13°C。
- 5.澆置之混凝土溫度高於 32°C 時，應採取經監造者認可之措施。

6.鋼筋及鋼模之溫度高於 49°C 時，澆置混凝土前應先以水冷卻之。

7.保護混凝土所需之器材及設備應事先備妥。

#### 5.6 接縫之處理

1.澆置過程中應儘量避免增加非必要之施工縫。

2.若因特殊情況而須加設施工縫時，施工縫位置應儘量避免在結構上最大剪力之處，其設置位置應施工縫應設置於對結構體強度影響較小之處。除按工程圖說或施工計畫設置之預定施工縫外；若有需要設置非預定施工縫，其位置及形狀須經監造者許可。

3.施工縫之處理應依據第 5.2 之 4 節之規定。

#### 5.7 養護之一般規定

1.混凝土澆置作業完成後，應在不損傷混凝土表面情況下，儘早按本章規定加以養護，以防止早乾、過冷或過熱及機械性損傷；在混凝土硬化及規定養護期間應保持適當溫度及足夠溼度，養護所用之材料及方法應經許可。當養護條件有所變動時應對養護方法重新評估。

2.當監造者認為有必要對混凝土工地養護效果進行評估時，應按第 5.11 節之規定辦理。

#### 5.8 保持水份之養護

1.不與模板接觸之混凝土表面在完成澆置及修飾後可選用下列方法養護：

(1)持續灑水、噴霧或滯水。

(2)表面覆以保濕性材料，如吸水性織物或細砂等以保持潮濕。

(3)使用不透水覆蓋材料。

(4)使用符合 CNS 2178 [ 混凝土用液膜養護劑 ] 規定之液膜養護劑。

採用第(1)或(4)之方式養護者，約經 1 日後，可改用他種方法繼續養護之，但在養護方法之轉換過程中不得使混凝土表面乾燥。

2.混凝土養護期間受日曬之鋼模或木模均應保持潮濕以使與其接觸之混凝土水分損失減少。若與模板接觸之混凝土已硬固，模板繫條已鬆開而模板仍在時，應將水在模板內由上往下流，以使混凝土面溼潤。拆模後之混凝土應立即按

照第 5.8 之 1 節「保持水分之養護」之方法繼續養護至第 5.8 之 4 所規定之養護期滿為止。

- 3.液膜養護劑應按產品說明書於混凝土表面修飾後、水澤消失時立即施用。若混凝土表面將繼續澆置混凝土或與其他材料粘結時均不得使用此類養護劑，亦應避免施佈至鄰近暴露之鋼筋，惟經證實該養護劑不妨礙粘結作用，或能採用有效措施將之從粘結面上完全清除者不在此限。
- 4.除另有規定者外，混凝土之養護期間應按下列規定：

- (1)早強混凝土至少須持續養護 3 日。
- (2)一般混凝土至少須持續 7 日。
- (3)模板拆除後，仍須以塑膠布或其他保滋材料覆蓋。

## 5.9 惡劣天候之保護

### 1. 寒冷天候

寒冷天候養護期內，混凝土之溫度應維持在 10°C 至 20°C 之間。如混凝土需予加熱、遮蓋或隔熱時，所需設施須在澆置前預作安排。此類設施應能保持所需之適當溫度，並防止熱量集中損傷混凝土。除非能防止混凝土暴露於含二氧化碳之排氣中，否則在最初 24 小時以內不得採用燃燒式加熱器。

### 2. 炎熱天候

炎熱天候養護期內，混凝土需予擋風、遮陰、噴霧、灑水或覆以淺色保濕覆蓋物，所需設施須在澆置前預作安排。此類措施應在不損傷混凝土與修飾工作情況下儘速進行。

### 3. 溫度變化

養護期間混凝土表面溫度變化應儘量保持均勻，每小時內之變化不得超過 3°C，24 小時內變化不得超過 28°C。

## 5.10 機械性損傷之防護

- 1.養護期間，混凝土須防止載重應力過大、重大衝擊或過度振動等之損傷。
- 2.修飾好之混凝土表面應加防護以免受施工、搬運與養護等作業及雨水與流水之損傷。

3.自行支承之構件所受載重不得使其混凝土承受超過當時強度之應力。

#### 5.11 養護方法之評估

- 1.混凝土構體之養護方法應具所需之保持水分能力，各種養護材料之保水能力應按 CNS 8188〔混凝土養護材料保持水份能力檢驗法〕之規定試驗評估之。
- 2.工地養護試體試驗所得之強度達試驗室養護試體強度之 85%以上，即表示工地之養護方法可以接受。若工地之試體強度已比規定強度( $f_c$ )高出 35 kgf/cm<sup>2</sup>以上，則即使其強度低於試驗室養護試體強度之 85%亦可接受。
- 3.工地養護試體之強度若符合第 5.11 節之 2 之規定，則其養護方法可以接受；不合規定者應立即設法改善至可接受為止。
- 4.必要時，可以依第九節由場鑄混凝土構件鑽心取樣評估養護效果；非破壞或其他檢測方法可用以協助養護效果評估。



## 第六節 輕質骨材混凝土品質管理

### 6.1 品質管理的一般規定

為確保工程品質能符合工程合約及工程圖說之要求，承包商應辦理施工品質管制。

### 6.2 品管制度

品質管制應配合工程規模與重要性，建立適當之品質管制制度。

### 6.3 品管組織與人員

1. 承包商應建立適當之品管組織系統，執行品質管制作業。
2. 品管人員應具適當之工程及品管專長，並具適宜之證照。

### 6.4 品質文件

1. 承包商應建立適當之品質文件；平時應建立標準品質文件，並針對承攬工程建立專案品質文件。
2. 品質管制之執行過程與成果均應作成紀錄。
3. 各項品質文件應妥善編號、建檔保存，並編索引，監造者得隨時查閱、抄錄或複製。工程驗收後，品質文件應繼續保存至少兩年，或按監造者指示辦理。

### 6.5 品管程序

1. 各項施工作業應有完整之計劃(Plan)。
2. 各項施工作業應按計畫執行(Do)。
3. 執行之成效應按預先訂定之自主檢查表進行檢核(Check)。
4. 檢核結果應經檢討並採取適當之行動，改正過程及結果應有詳細紀錄(Action)。

### 6.6 品管範圍

1. 各種作業應由合格人員施作，並妥善管理。
2. 各項工程應按工程圖說之要求，選用適當材料，並妥善管理。
3. 各項施工作業應以合格機具正確操作。

- 4.各項施工應依正確之方法及程序執行。
- 5.各項工程應在經濟耐久的原則下，完成如期如質的工程水準。

#### 6.7 混凝土工程品質管制

- 1.混凝土工程品質管制應包括材料品質管制、配比管制、產製與施工品質管制等，應先編訂施工要領書，建立標準作業程序，作為施工及品管作業依據。
- 2.材料品質管制以獲得符合第二節所規定之輕質混凝土材料為基本求，包含料源調查、進料檢驗、半成品及成品之管制，以確保材料品質之穩定。
- 3.混凝土之配比應按本第三節有關規定進行設計。產製與施工中應採取有效措施以確保混凝土品質符合原設計要求。
- 4.混凝土產製與施工之品管，應涵蓋混凝土之產製、輸送、澆置、養護、修飾及試驗等作業，以確保其符合合約及本規範之規定。
- 5.承包商得採用快速試驗法以控制混凝土品質，但不得作為混凝土品質驗收之依據。

#### 6.8 模板工程品質管制

- 1.混凝土模板與支撐之施工應事先計畫，編訂施工要領書及標準作業程序，作為施工及品管作業依據。
- 2.採用系統模板時，應按該工法之要求進行施工及查驗。
- 3.採用專用模板系統時，其模板應按該工法之要求進行施工及查驗。

#### 6.9 鋼筋工程品質管制

- 1.鋼筋之施工應事先計畫，編訂施工要領書及標準作業程序，作為施工及品管作業依據。
- 2.鋼筋工程所用鋼筋、間隔器及續接器等材料，應詳細查核，耐震構材用鋼筋之品質檢驗應符合相關鋼筋之規定。

## 第七節 輕質骨材混凝土檢驗及查驗

### 7.1 一般規定

- 1.為確保混凝土工程施工之品質能符合設計水準，工程進行中，監造者必須在施工各階段對使用之材料、施工與成品及時查驗，必要時加以檢驗；並對不當之處加以糾正改善。混凝土工程檢驗與查驗未能及時發現之缺點，於日後發現時仍應由承包商負責做必要之處置，以保證工程品質。
- 2.為使檢驗與查驗工作進行順利，監造者宜事先擬具計畫，並按計畫執行，承包商應配合之。監造者無法進行之檢驗或查驗，可委託檢驗機構按本規範辦理；檢驗機構須經業主與監造者認可。
- 3.模板、鋼筋與混凝土之檢驗與查驗主要規定；其他有關項目於各章節中規定，其檢驗與查驗應依照本章及相關規定辦理。

### 7.2 模板工程之檢驗及查驗

- 1.監造者對模板工程所用之材料與組件之品質與規格應按相關模板工程規範之規定查驗與檢驗。
- 2.模板施工中，監造者應依相關模板工程規範規定查驗。

### 7.3 鋼筋之檢驗及查驗

- 1.監造者對鋼筋之品質與規格材料應相關鋼筋規範之規定查驗與檢驗。
- 2.鋼筋施工中，監造者應按相關規範鋼筋之規定查驗。

### 7.4 混凝土檢驗

- 1.核對承包商所提出之擬用材料原廠品質資訊顯示品質是否符合規範之規定。
- 2.核對承包商所提供之配比設計計畫是否符合工程圖說及耐久性之要求。
- 3.工程進行中應自拌和廠或存料堆中抽取材料樣品，並核對是否符合規範之規定。
- 4.新拌混凝土取樣

新拌混凝土之取樣，應於混凝土澆置點依第 7.4 之 7 規定之試驗頻率，隨機指定取樣。但監造者認為有需要時得另於特定位置增加取樣。取樣之處理準用 CNS

1174[新拌混凝土取樣法]之規定。

#### 5. 坍度試驗

混凝土澆置前除應測定混凝土之坍度是否符合工程圖說或配比之要求外，每一組混凝土強度試驗樣品亦應測定其坍度。坍度測定應按 CNS 1176 [ 混凝土坍度試驗法 ] 之規定。

#### 6. 溫度量測

巨積混凝土施工或一般混凝土在惡劣天候下施工，若須做混凝土溫度控制時，應量測混凝土之溫度。

#### 7. 混凝土強度試驗

同一日澆置之各種配比混凝土，以每  $100 m^3$  或每  $450 m^2$  澆置面積為一批，每批至少應進行一組強度試驗。但同一工程之同一種配比混凝土之總數量在  $40 m^3$  以下，且有資料可供參考者，得於徵得監造者之同意下，免作強度試驗。

(1) 同一日澆置之各種配比混凝土，以每  $100 m^3$  或每  $450 m^2$  澆置面積為一批，每批至少應進行一組強度試驗。但同一工程之同一種配比混凝土之總數量在  $40 m^3$  以下，且有資料可供參考者，得於徵得監造者之同意下，免作強度試驗。

(2) 除另有規定者外，混凝土強度試驗每一組應以二個以上試體，於二十八天齡期時抗壓強度之平均值為該組試驗結果。若監造者認為有需要時，每一組可多做試體於較早或較晚齡期進行抗壓試驗，以供參考。

(3) 試體之製作及養護應按 CNS 1231 [ 工地混凝土試體之製作及養護法 ] 之規定辦理。抗壓強度試驗法應按 CNS 1232 [ 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法 ] 之規定辦理。

(4) 早強混凝土或非以 28 天齡期強度設計之混凝土應按契約所規定之齡期進行試驗。

#### 8. 空氣含量試驗

按 CNS 9661 [ 新拌混凝土的空氣含量試驗法(壓力法) ] 或 CNS 9662 [ 新拌混凝土的空氣含量檢驗法(容積法) ] 之規定，測定常重混凝土強度試驗樣品之空氣含

量。

#### 9.單位重量試驗

混凝土單位重量應按 CNS 11151〔混凝土單位重量，拌合體積及含氣量(比重)試驗法〕之規定測定。

#### 7.5 檢驗機構之職責

- 1.當檢驗機構受委託時，應從事各項材料或混凝土產製之檢查、取樣及試驗等工作。若發現所供應之材料或作業程序有不符合規範情形時，應即時通知監造者及承包商。
- 2.檢驗機構應將所有檢驗結果即時送交監造者、承包商及材料供應商。混凝土報告中應註明試體所代表之澆置部位。
- 3.檢驗機構無權變更、解釋、嚴求或免除合約上之任何規定，亦無權核可或驗收工程之任何部份。

#### 7.6 承包商之職責

承包商應負責辦理下列事項：

- 1.將施工自主品質管制及試驗資料提供監造者或檢驗機構查核。
- 2.配合監造者或檢驗機構進行檢驗或查驗工作時要求之協助。
- 3.提供檢驗機構進行取樣及運送所需之勞力。
- 4.儘早通知檢驗機構完成必要之檢驗及人員安排。
- 5.提供檢驗機構在工地單獨使用之適當場所，以便按規定進行混凝土試體在工地之取樣、製作、養護及存放。
- 6.當監造者要求時，提供水泥、鋼筋及預力鋼線等材料之原廠試驗報告。

但承包商不因其提供上述事項而減免其責任。

## 第八節 輕質骨材混凝土施工品質之評定與認可

### 8.1 一般規定

輕質骨材混凝土工程施工品質應按本章之規定予以評定與認可。

- 1.各項施工品質經評定認可者，應將資料建檔保存作為驗收之依據。
- 2.各項施工品質查驗結果，經評定不符合要求者，應按本章規定處理而所有資料均建檔保存。
- 3.混凝土施工品質應依試驗室或工地養護之試體評定其強度；如上述試體評定結果有疑問，或無上述試體之評定結果時，可用鑽心取得試體加以檢驗評定其強度。
- 4.混凝土工程整體或部份結構，得採分析法或載重試驗法進行結構品質之評定與認可。

### 8.2 混凝土之品質評定與認可

- 1.各種配比混凝土強度之評估，應按第 7.4 節之規定，以試驗室養護之工地製作試體進行檢驗。再依據其強度試驗結果加以評定，符合第 8.2 之 2 節規定者應予認可；否則應按第 8.2 之 3 及 8.2 之 4 節之規定辦理。
- 2.每種配比之混凝土試體至少須有具代表性之五組試驗結果以供評定其品質。每一種配比混凝土強度須同時符合下列兩條件方為合格：
  - (1)任何連續三組強度之平均值高於規定強度  $f'_c$ 。
  - (2)無任何一組之強度低於規定強度  $f'_c$  之值超過  $35 \text{ kgf/cm}^2$ 。
- 3.當混凝土之品質未能符合第 8.2 之 2(1)節規定時，應探討其確實原因，並應針對其原因採取改進措施，以防止後續施工再度發生類似現象。
- 4.混凝土品質如有不符合第 8.2 之 2(2)節規定時，除應按第 8.2 之 3 節辦理外，應探討強度低落之原因。並按第 8.4 節之規定，對結構體混凝土作進一步之評估。

### 8.3 混凝土養護之認可

工地養護應第 5.7 節之規定辦理，經按第 5.11 之 2 節之規定評估合格者應予認可。養護不符合要求之混凝土應按第 8.4 節之規定辦理。

#### 8.4 結構體混凝土之評估

- 1.當發生第8.2之4或8.3節之情況時，應進行鑽心試驗，並以其結果為混凝土強度評估之依據。
- 2.非破壞性試驗法僅能配合鑽心試驗，單獨非破壞性試驗之結果不得直接作為混凝土品質評估、認可或拒收之依據。
- 3.鑽心試驗之結果符合第8.5之5節之規定時可予接受；若不符合第8.5之5節之規定時，可按第8.7節規定進行結構物強度評估。

#### 8.5 鑽心試驗

- 1.混凝土品質之評定發生第 8.2 之 4 或 8.3 節之情況，或監造者認為需要時，應進行鑽心試驗。
- 2.鑽心試體之直徑不得小於混凝土粗骨材標稱最大粒徑之三倍，且不小於 5 cm，其長度不得小於其直徑(最好為直徑之二倍)。試體之鑽取及其試驗應按 CNS 1238[ 混凝土鑽心試體與切鋸試體抗壓及抗彎強度試驗法 ]之規定辦理。
- 3.結構體混凝土，若平常之使用係在乾燥情況下，則鑽心試體應於試驗前置於溫度 15 至 27°C 及相對濕度在 60%以下陰乾 7 日以上，然後在氣乾狀況下進行試驗；若平常之使用係在潮濕情況下，則應按照 CNS 1238 之規定，試體應先在飽和石灰水中浸置 40 小時以上，並在試體潮濕狀況下進行試驗。
- 4.混凝土強度可疑處，應取三個代表性試體為一組，由監造者選擇對結構物強度損害最小之位置鑽心取樣。若試驗前發現試體於取出，或處理過程中有損壞之現象時，應重新採取試體。
- 5.鑽心試體合格之標準為同組試體之平均強度不低於規定強度  $f'_c$  之 85%，且任一試體之強度不低於  $f'_c$  之 75%。
- 6.鑽心試驗之結果未符合第 8.5 之 5 節之規定，可按第 8.4 之 3 節之規定辦理。
- 7.鑽心殘孔應按「混凝土表面修補」之規定，以低坍度低水量（小於 150kg/m<sup>3</sup>）之同等強度混凝土或砂漿填補之。

#### 8.6 非破壞性試驗

- 1.非破壞性試驗得用以測定各部位混凝土之相對強度或品質均勻性，除配合鑽心試驗外，不得單獨作為混凝土品質評估、認可或拒收之依據。

2. 混凝土可用之非破壞性試驗標準如下：

- (1) CNS 10732 [硬化混凝土反彈數試驗法]。
- (2) ASTM C597 [脈波穿透混凝土速度試驗法]。
- (3) CNS 10733 [硬化混凝土貫入試驗法]。
- (4) ASTM C900 [硬化混凝土之埋釘拔出試驗法]。
- (5) 其他公認之試驗法。

### 8.7 結構物強度之評估

1. 若對結構物或構材之評定認為安全有疑慮時，應以分析或載重試驗法或兼用兩法作結構物強度之評估。
2. 當發生第 8.2 之 4 或 8.3 節之情況且無法做鑽心試驗時，或鑽心試驗不符合第 8.5 之 5 節之規定時，則可認定為對結構物安全有所疑慮；由監造者指示承包商按第 8.7 之 1 節之規定辦理。
3. 結構物強度評估之結果認為安全無慮，且符合要求壽命及耐久性者可予接受；否則監造者依強度評估之結果以及耐久性之要求，與實際情況採取適當措施。

### 8.8 載重試驗

載重試驗之程序、載重準則、認可準則、較小使用載重之核定及安全措施等，按相關規定辦理。



## 第九節 輕質骨材混凝土之驗收

### 9.1 一般規定

- 1.除合約文件另有規定者外，輕質骨材混凝土構造物之驗收應按本章之規定。合約文件及本規範未有規定者，按工程慣例驗收。
- 2.混凝土構造物之驗收，除應查核其有關品質認可資料文件外，並應按本章規定，核對主要構材尺寸與審視外觀，驗證合格者可予驗收。品質認可應按第八章規定辦理，必要時可於有疑慮部位做適當檢驗以驗證其品質。
- 3.不符合驗收規定部份，若能以監造者核可之程序，經改善符合規定者或無礙於其使用性、安全性與耐久性者方可予驗收，否則應按合約規定辦理。
- 4.混凝土工程之驗收，承包商應提交下列資料文件及光碟資料檔以便驗收者驗證：

- (1)所有施工過程中提經核可之資料文件，含施工計畫、施工詳圖、變更設計文件及達成協議之文件。
- (2)施工所用材料之試驗報告及認可結果。
- (3)各階段之施工報表、查驗紀錄及不符合規定之改善紀錄。
- (4)有關工程之品質評估與認可證明，含加做之試驗及結構強度評估結果。
- (5)竣工圖。
- (6)工程品質整體分析報告書。

### 9.2 尺寸許可差

- 1.混凝土構材外形小於規定尺寸時，且超過表 9.2 之 1 規定時，其對強度之影響應按第 9.4 節之規定處理。
- 2.混凝土外形大於規定尺寸時，且超過表 3-9.1 之 1 之規定者，於過大部份未依要求修整前不予驗收。過大部份之去除不得損及構材之強度，亦不得影響其他功能與外觀。

表 3-9.1 之 1 現場澆置混凝土施工許可差

項目	許可差
(1) 錘線偏離 ① 高度 30mm 以下者 (a) 線、表面、稜線 (b) 外露角柱之外稜線、控制縫凹槽 ② 高度超過 30m 者 (a) 線、表面、稜線 (b) 外露角柱之外稜線、控制縫凹槽	$\pm 25 \text{ mm}$ $\pm 13 \text{ mm}$ 高度之 $1/1,000$ ， 且不超過 $\pm 150 \text{ mm}$ 高度之 $1/2,000$ ， 且不超過 $\pm 75 \text{ mm}$
(2) 位置偏離 ① 構件 ② 版開口 30cm 以下之中心線，較大開口之邊線 ③ 版中鋸縫、接縫、弱面 ④ 基腳重心	$\pm 25 \text{ mm}$ $\pm 13 \text{ mm}$ $\pm 20 \text{ mm}$ 同向基腳寬度之 $1/50$ ， 且不超過 $\pm 50 \text{ mm}$
(3) 高程差 ① 版頂面 (a) 地面鋪版之頂面 (b) 支撐拆除前，版之頂面 ② 支撐拆除前之各種模鑄面 ③ 楣梁、窗台、胸牆、水平槽及其他可見之線	$\pm 20 \text{ mm}$ $\pm 20 \text{ mm}$ $\pm 20 \text{ mm}$ $\pm 13 \text{ mm}$
(4) 斷面尺寸偏差 柱、梁、牆厚、版厚、墩 30 cm 以下 大於 30 cm 至 100 cm 大於 100 cm	$+ 10 \text{ mm}$ $\sim 6 \text{ mm}$ $+ 13 \text{ mm}$ $\sim 10 \text{ mm}$ $+ 25 \text{ mm}$ $\sim 20 \text{ mm}$
(5) 相對偏差 ① 階梯 (a) 相鄰級高 (b) 相鄰級深 ② 槽線 (a) 設計寬度 5 cm 以下 (b) 設計寬度超過 5 cm，但不超過 30 cm ③ 模鑄面與規定參考平面偏差每 3 m (a) 外露角柱與外露控制縫 (b) 其他	$\pm 3 \text{ mm}$ $\pm 6 \text{ mm}$ $\pm 3 \text{ mm}$ $\pm 6 \text{ mm}$ $\pm 6 \text{ mm}$ $\pm 10 \text{ mm}$

④相鄰模面襯板突出	$\pm 3\text{ mm}$
(a)A 級表面	$\pm 6\text{ mm}$
(b)B 級表面	$\pm 13\text{ mm}$
(c)C 級表面	$\pm 25\text{ mm}$
(d)D 級表面	

3. 混凝土構材之澆置位置錯誤或偏差不符規定，致使結構物之強度受影響時，應依第八節相關規定辦理；影響外觀、功能或干擾他項工作情況嚴重者得不予驗收。
4. 混凝土構造物外形除按第 9.2 之 1 至 9.2 之 3 節進行改善外，其表面修飾仍應照原設計，之要求修補，在符合規定前不予驗收。
5. 修飾完成之版面超出表 3-9.2 之 2 之許可差時，於整修至符合規定前可不予驗收。整修工作不得影響其強度及外觀，且整修措施應經許可。

表 3-9.2 之 2 混凝土版表面修飾級別

修飾級別	修飾許可差(mm)
甲	3
乙	5
丙	8

### 9.3 混凝土結構外觀

1. 輕質骨混凝土露面部份若有缺陷，嚴重影響修飾面之外觀，應以經許可之方法修整並經認可，否則不予驗收。
2. 輕質骨混凝土露面部份若採用特殊修飾之特殊鑄面修飾者，若其外觀缺陷不能修補時，應打除重做。
3. 輕質骨混凝土非露面部份得因表面缺陷拒收；但經監造者同意按規定修補認可者得予驗收。

### 9.4 結構物強度

驗收時，認為結構物可能有強度缺失時，可依實際情況按第八章之規定辦理鑽心試驗、結構分析或載重試驗。

## 附錄二 高流動輕質骨材混凝土可能產生問題、原因及對策

### 問題一 析離

#### 假設案例

某預拌廠在夏季氣溫 30°C 以上生產的輕質 SCC 輕質混凝土(以下簡稱 SCLWC)，在拌和後的初始坍流度結果滿足設計要求。然而到了工地，坍流度試驗的值超過 700mm，但發生泌水析離現象，之後的每批出料也都有同樣的情形。

#### 原因

1. 水量及水泥量過多，輕質骨材上浮。
2. 預拌車內有剩餘水量未完全排除，所以加入之混凝土混入大量之水，造成現場泌水及析離。
3. 可能爐石使用量過多，在工地 30~50 分鐘後爐石斥水而致水量泌出，造成析離，甚至表面形成乳沫或泌水層。

#### 對策

1. 調整配比，減低漿配比，並增加黏度；2. 裝料前，預拌車之剩餘水量應先排除；
3. 降低水量；4. 降低 SP 量；5. 降低 Slag

### 問題二 爆模

#### 假設案例

建築工地中進行 SCLWC 輕質混凝土的澆灌作業。當澆灌柱模時，模版突然爆開導致混凝土湧出，以致將混凝土處理掉所花的時間比澆灌的時間還要多出許多。

#### 原因

由於高流動化特性，一次澆灌層較高，模板若未加以設計，則當模版的支撐設計不當，致使模版在 SCC 的一次澆注過高側壓下爆開。

#### 對策

SCLWC 高流動性如同蜂蜜，可自行充滿模板，一次可澆注較高之高度，但因 SCC 為比重大約 1.8~2.0 的液體，模版側邊受到的是液體壓力，其大小依深度 h 而定。當模版支撐不足時，或模板破損不堪，則極容易發生爆模。當模版爆模時，所有

澆灌的 SCC 將全部流出。因此，模版必須足夠堅固，並事先設計良好支撐。

### 問題三 表面氣泡

#### 假設案例

以 SCLWC 澆置並拆模後，發現垂直面有明顯的氣泡。

#### 原因

- 1.在攪拌過程時被空氣帶入混凝土中，卻因為 SCLWC 的高黏滯性而無法排出。
- 2.攪拌過程速率過快，如打蛋糕，氣體攪入過多。
- 3.SCLWC 過黏，氣體會留在模板面上。
- 4.強塑劑(SP)含氣量過高。

#### 對策

- 1.改變攪拌程序。
- 2.改變攪拌葉片之間距，並減低拌和速率。
- 3.在模板面上以小木槌少量敲擊。
- 4.降低具含氣之 SP。

### 問題四 蜂窩

#### 假設案例

一個柱體的澆置作業，施工單位延用傳統方式，結果拆模後發現柱腳出現澆灌不實的蜂窩現象。

#### 原因

- 1.所使用 SCLWC 之流動時間過短，充填性不佳，應增加坍流時間。
- 2.輕質骨材粒徑大，或鋼筋模板間距過小。

#### 對策

當 SCLWC 的自充填性能確立時，應在下料點上，適當選定，給予適當的流動空間，一般建築結構，柱體的澆置，應使 SCLWC 由梁模自然流入柱模，順勢而下，在速度上作適當控制，則流入柱模的 SCLWC 可以充分填充至模版、鋼筋間隙中，並容許空氣有排出空間。

- 1.減少水量及水泥量，增加黏度及增加流動時間。

- 2.按照樑柱鋼筋之最小間距計算所需 Dmax，降低最大粒徑之粗粒料。
- 3.SCLWC 配比重重新計算，減少水泥量及水量，並預先測試使坍損減少。

## 問題五 混凝土不硬固

### 假設案例

SCLWC 澆置 24 小時後，發現混凝土未完全硬固，無法依一般進度拆除側模。雖然折模延至兩天後，混凝土已硬固，而且 28 天抗壓強度符合規定。

### 原因

- 1.可能為過度緩凝的現象，其中原因之一為採用緩凝型(G)強塑劑過量所導致。
- 2.可能是化學摻料的儲存容器未予定時攪動，強塑劑中固含量沈澱，因此，雖然強塑劑計量無誤，但過高的固含量，導致強塑劑濃度過高，混凝土嚴重緩凝。
- 3.混凝土配比不當，水泥量過低，造成凝結過慢，但其中卜作嵐材料將補助膠體，強化強度，28 天強度符合要求。

### 對策

- 1.強塑劑改採用 F 型。
- 2.預拌廠方對計量系統定期予以維護及校核。
- 3.確認混凝土正常凝結特性，查核配比設計各項材料用量，並測定凝結行為(初凝，終凝時間)。

## 問題六 拌和機停擺

### 假設案例

一設備較老舊的預拌廠嘗試進行 SCLWC 的生產，其拌和機在拌和 SCLWC 時，突然停掉了，且無法正常啟動。最後更換為較大馬力的水平雙軸式拌和機才能成功運轉。

### 原因

- 1.SCLWC 的配比所用水量較低，骨材量較高，所以黏滯性較高，在拌和 SCLWC 時，拌和機的負荷比起拌和傳統混凝土時要高出許多，所以機械性能若不佳，則無法拌出品質良好的 SCLWC。
- 2.下料程序不正確，以致拌和阻力太大，造成卡機現象。

## 對策

- 1.如拌和機馬力並不是非常高的情形下，當拌和如 SCLWC 這類的高黏滯性混凝土時，單次拌和的量應該酌量略少於傳統混凝土的拌和量。一般經驗，SCLWC 拌和量約為拌和機可拌和量的七成。
- 2.改變先下水、水泥、飛灰、強塑劑、砂石的順序。並且以慢速起拌，最後才以中速拌勻，避免導入空氣。

## 問題七 原料難以倒出

### 假設案例

某預拌廠計畫拌和添加爐石的 SCLWC。由於此預拌廠沒有多餘的料斗放置粉狀原料，只好決定以人力將成包的爐石倒入拌和機中。工作甫開始即引起工人抱怨連連。

### 原因

拌和機旁空間狹小，充滿粉塵，且溫度高；在這樣差的工作環境下將原料以這種方式置入拌和機幾乎是不可能的事。同時，以人工打開爐石袋並舉起倒入拌和機的作業過於費力。

### 對策

當生產必須添加粉狀摻料的 SCLWC 時，預拌廠應備有額外的料斗。將自動化生產流程以人工取代是非常困難的，同時生產效率以及混凝土品質均可能因為工人處於較差的作業環境而降低。

## 問題八 拌和時間長短

### 假設案例

某預拌廠交替生產 SCLWC 及傳統混凝土。操作員將配比設定由傳統混凝土改為 SCC 時，卻忘了更改拌和時間的設定，使 SCLWC 只拌和了一分鐘，而非原本預計的兩分鐘。結果所出的料由於未經充分拌和，流動能力不足。

### 原因

SCLWC 一般傳統混凝土拌和更長的時間。依照經驗，SCLWC 必須拌和至少兩

分鐘。新的拌和系統交將拌和時間與配比設定相互連結。然而，在拌和時間可獨立設定的情形下，錯誤仍可能產生。

## 對策

首先，檢查工作系統的設定，拌和時間是否與配比一起設定。若否，則拌和時間的設定必須特別注意，拌和時間的設定應標示於生產手冊或檢查表上。

- 1.SCLWC 生產必須建立標準作業程序(SOP)。
- 2.依測試性能經均勻性及穩定性決定最後拌和所需時間。
- 3.定期檢驗拌和儀器。
- 4.拌和機機型會影響拌和時間長短。

## 問題九 拌和機機型

### 假設案例

某預拌廠只有一台鼓式拌和機，即使利用監視器也無法觀察拌和情形。因此，該廠決定以監控電力表的方式來進行拌和控制。一開始的幾批料的確能以這種方式進行監控，然而經過十批的出料後，電力用量逐漸減少，最後變為原本用電量的50%，無法再由電力表監控混凝土的品質。在清洗拌和機之後，負荷恢復正常。該廠開始在每隔幾批出料之間清洗拌和機內部。

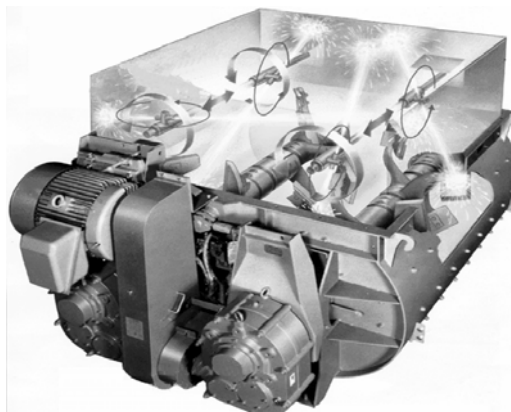
### 原因

混凝土在拌和時逐漸黏在葉片上，不斷累積，使得實際拌和量減少，拌和機的負荷同時降低，導致用電量的不同。

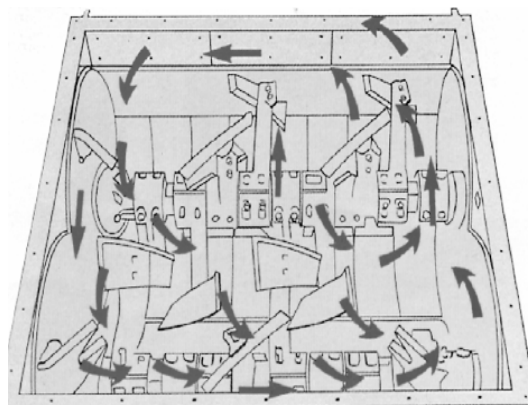
### 對策

1. SCLWC 等含較高量粉狀原料的混凝土而言，鼓式拌和機的效率並不高。建議使用阻力大之拌和機，例如雙承軸式拌和機或盤式拌和機。雖然使用鼓式拌和機拌和 SCLWC 並非不可行，仍必須注意其所需拌和時間較長，且無法直接監控拌和過程。

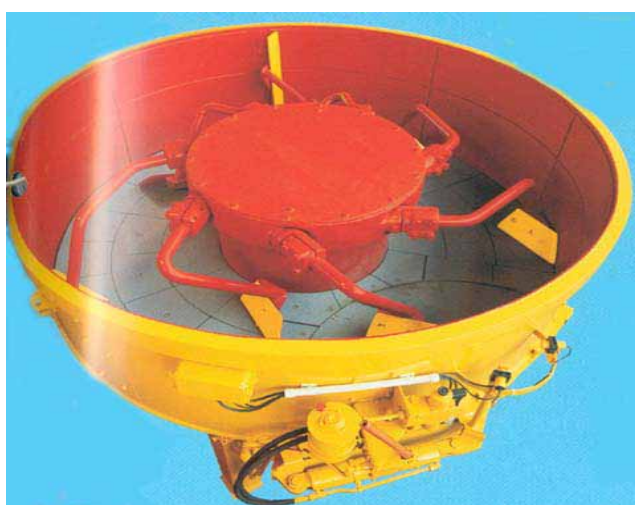




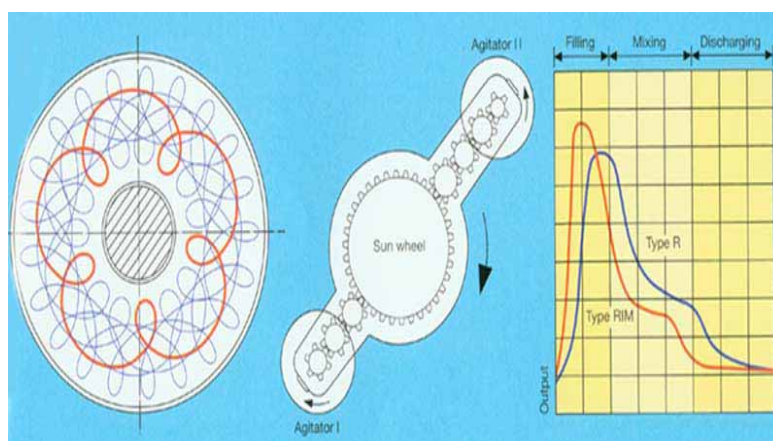
(1)拌和機系統



(2)拌和材料流向



(3)強制式拌和機



(4)強制式拌和機攪拌方式

- 2. 定期查葉片之磨耗情形。
- 3. 定期查核均勻性及穩定性。

## 問題十 原料改變

### 假設案例一

預拌廠生產添加飛灰之 SCLWC。由於儲存飛灰的料倉太小，該廠必須每兩個星期進一次料。該廠所出的 SCLWC 料含氣量原本都在適當的範圍，某天卻到達 2.0%。檢查過每一項原料之後，發現飛灰的性質改變了。

### 假設案例二

另一個生產添加飛灰 SCLWC 的預拌廠，某天發現前四批料與第五批料流動性截然不同，報表上顯示第五批料之後所使用不同的飛灰。

### 原因

飛灰的性質，尤其含碳量不同會使得混凝土的性質跟著改變。

### 對策

不同發電廠所生產的飛灰含碳量不同，會有所差異。應嚴格防止混凝土性質在連續出料時突然改變料源。

1. 嚴格控管飛灰之材料品質
2. 著重料源管制
3. 粉狀原料一次就進料足夠的量。
4. 進料時檢查進料廠報表。

## 問題十一 從預拌車中溢出

### 假設案例

預拌車在運送 SCLWC 的途中，在一個陡坡停止欲開動時，混凝土從車內溢出。

### 原因

此種情形是由三個因素同時存在而發生的，

1. 預拌車超載。
2. SCLWC 流動性與一般混凝土不同。
3. 預拌車在陡坡上突然開動，SCLWC 倒流出。

### 對策

1. 在公共道路上應嚴格禁止超載，只要依規定載重限制會避免此情形發生。

2.不只是工程師，預拌車駕駛也必須了解 SCLWC 的特性。

## 問題十二 裂縫—由收縮引起

### 假設案例

橋樑的護欄以 SCLWC 澆灌，拆模後到了第五天，產生最大寬度 0.1mm 的裂縫。裂縫長達 10 公尺，比主要接縫的長度還長。施工單位必須注入水泥及環氧樹脂至裂縫中。

### 原因

SCLWC 如果採用大量水及水泥，而且水與水泥之比例過小，均容易產生大而長的裂縫。以下為幾種可能之因素：

1. 塑性收縮裂縫
2. 自體收縮裂縫
3. 乾燥收縮裂縫
4. 熱縮裂縫

### 對策

1. 塑性裂縫與巨觀水分有密切關係，應大量減水，建議水量應少於  $150\text{kg}/\text{m}^3$ 。
2. 自體收縮應使  $w/c > 0.5$  以防止之。
3. 乾燥收縮之控制亦以降低拌和水量為主。
4. 熱縮應以降低水泥量調整之。

## 問題十三 裂縫—由生成熱引起

### 假設案例

當澆灌 SCLWC 於大面積工程並拆模幾天後，一道寬達 0.5mm 的裂縫出現在中央，必須以水泥漿注入填補。

### 原因

使用之 SCLWC 含過高之水量及水泥量，工程完成後拆模，因表面失水過速，而產生裂縫，其原因如問題十二所示。

### 對策

SCC 的粉含量高於傳統混凝土，以便達到抗析離並自充填。在無法得到其他配比材料，或拌和料不足的情況下，主要的粉狀原料通常為水泥，水泥量比要求量更多常導致硬固後混凝土性質的不同，以及高水化熱的發生。宜採用下列方式達到減低裂縫生成之機率。

- 1.降低水泥量以降低熱縮裂縫。
- 2.降低水量以降低整體裂縫。
- 3.控制  $w/c > 0.5$  以降低自縮裂縫。
- 4.充分水養護。
- 5.改變配比使漿濃度提高。
- 6.可採用富貝萊土之水泥降低水化熱，減少熱縮。

#### 問題十四 砂狀表面 (Sandy surface)

##### 假設案例

SCLWC 澆灌於高架橋墩時，泵送高度達 40 公尺時產生泌水。拆模後，混凝土表面形成如同被水洗過一樣的砂狀表面。由於此現象只發生於表面，且混凝土仍具足夠的強度，此現象應不影響耐久性。

##### 原因

泵送至如此高的高度如果黏性不足，及含水量過高，則在泵送壓下導致混凝土的泌水。

##### 對策

調整配比降低水量，增加黏性。

#### 問題十五 不硬固(如問題五)

##### 假設案例

SCLWC 澆灌後已經兩天了，卻還未開始硬固，結果到了第五天後才開始凝固。

##### 原因

此案例所使用的強塑劑 ASTM C494 G 型高性能減水緩凝劑。SCLWC 拌和的兩天前，強塑劑的混合槽故障，使得高濃度的藥劑沉澱在槽底。此批混凝土所添加的強塑劑即是接近槽底，含有大量抗坍損劑的部份。

## 對策

改以 F 型強塑劑，其餘參考問題五之對策。

## 問題十六 表面裂縫

### 假設案例

SCLWC 施工完成後數小時表面產生嚴重裂縫。

### 原因

SCLWC 與一般混凝土相似，早期均須良好養護，但同時如果水量太多，則塑性裂縫發生之機率會提高。

### 對策

- 1.增加配比均勻性。
- 2.加強養護。
- 3.降低水量及避免骨材上浮。

## 問題十七 骨材上浮

### 案例

SCLWC 施工時發現骨材有上浮的現象。

### 原因

當 SCLWC 採用過多量之粉體及水量時，由於比重較輕之骨材將上浮，產生層析現象，尤其黏度差的狀況下，問題更為嚴重，如同問題一。

### 對策

- 1.調整水泥漿黏性。
- 2.增大輕質粗骨材顆粒密度。
- 3.降低輕質粗骨材  $D_{max}$ 。
- 4.增大含砂率。