

科學圖書大庫

依據教育部頒布最新課程標準編著

五 專 用 書

混 凝 土 施 工

編著者 林平全

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

依據教育部頒布最新課程標準編著

五 專 用 書

混 凝 土 施 工

編著者 林平全

徐氏基金會出版

編輯大意

- 一、本書係依據教育部頒布之五年制工業專科學校土木工程科「混凝土施工」課程標準、及最新相關資料與現場施工經驗編選而成，可供教本及實務參考用。
- 二、本書每一章節之內容力求學理與實務並重，使學者研習後至現場作業時，對混凝土的施工技術、施工管理與品質管制都有相當之認識，並能學以致用。
- 三、爲了使學者能巧妙應用混凝土材料，獲得最經濟最安全最有耐久性之優良混凝土，本書針對材料的選擇、混凝土的重要性質、配合設計、製造過程、現場施工技術及管理都有詳細說明。
- 四、本書所用之專有名詞原則上採用國家公布或土木工程學會公布者爲標準。涉及之規範部份參考中國國家標準CNS，美國材料試驗學會ASTM及ACI之規定。
- 五、本書編撰及校訂雖力求完善，但難免有疏漏錯誤之處，尚祈教學先進及讀者不吝指正爲幸。

林平全謹識

目 錄

第一章 概 述.....	1
1-1 混凝土之構成.....	1
1-2 混凝土之種類.....	3
1-2-1 依使用水泥類型而分.....	3
1-2-2 依使用水泥用量而分.....	4
1-2-3 依使用骨材比重而分.....	4
1-2-4 依添加不同摻料而分.....	5
1-2-5 依混凝土使用狀況不同而分.....	9
第二章 混凝土之重要性質及其相關因素.....	17
2-1 強 度.....	19
2-1-1 概 說.....	19
2-1-2 短期單軸壓力下之行爲.....	19
2-1-3 抗張強度.....	23
2-1-4 抗剪強度.....	25
2-1-5 粘着強度.....	25
2-1-6 強度成長速度.....	26
2-1-7 抗壓試體尺寸異於標準圓柱試體強度之換算.....	26

2-1-8 影響強度之重要因素	29
2-2 工作性	36
2-2-1 概 說	36
2-2-2 工作性之量度	37
2-2-3 影響工作性之重要因素	40
2-3 耐久性	41
2-3-1 概 說	41
2-3-2 化學侵蝕	43
2-3-3 風化作用	48
2-3-4 表面沖蝕	49
2-4 水密性	50
2-4-1 混凝土之透水性	51
2-4-2 影響水密性之重要因素	53
2-5 體積穩定性	55
2-5-1 未凝結前混凝土體積變化	55
2-5-2 硬化混凝土之體積變化	56
2-6 持續靜荷重下之行爲	62
2-6-1 潛 變	62
2-6-2 持續靜荷重極限	66
2-7 反覆荷重下之行爲	67
2-8 混凝土水合熱	68
2-9 混凝土受高溫後之性質	70
2-10 混凝土單位體積重量	71
2-11 經濟性	72
第三章 混凝土之拌合材料及混合劑	76

3-1	水 泥	76
3-1-1	卜特蘭水泥	77
3-1-2	卜特蘭飛灰水泥	85
3-1-3	高爐石水泥	86
3-1-4	卜特蘭水泥混凝土用飛灰	89
3-2	水泥之水化作用與飛灰波索蘭反應原理	91
3-2-1	水泥的水化作用	91
3-2-2	混凝土受硫酸鹽侵蝕之化學反應	94
3-2-3	飛灰的波索蘭反應	94
3-3	水泥類型之選擇、採購、驗收及儲藏	95
3-3-1	水泥類型之選擇	95
3-3-2	水泥的採購	95
3-3-3	水泥之驗收	96
3-3-4	水泥之儲藏	96
3-4	骨 材	97
3-4-1	骨材在混凝土中之重要性	97
3-4-2	骨材的種類	98
3-4-3	骨材應具備之條件	98
3-4-4	骨材最大粒徑之選擇	109
3-4-5	骨材材料管理	110
3-5	水	114
3-6	混凝土混合劑	117
3-6-1	概 述	117
3-6-2	輸氣劑	119
3-6-3	化學混合劑	122
3-6-4	礦物混合劑	131

3-6-5 其他混合劑·····	131
------------------	-----

第四章 混凝土之配合設計····· 142

4-1 配合設計準則與程序····· 142

4-1-1 了解該結構物混凝土所要求之各項性質與澆置環境、拌 合材料之試驗資料及其選擇·····	143
---	-----

4-1-2 確定配比之目標強度·····	144
----------------------	-----

4-1-3 選定混凝土坍度·····	148
--------------------	-----

4-1-4 決定粗骨材之最大粒徑·····	149
-----------------------	-----

4-1-5 決定混凝土之空氣含量·····	150
-----------------------	-----

4-1-6 決定水灰比·····	151
------------------	-----

4-1-7 決定細粒料率·····	156
-------------------	-----

4-1-8 決定拌合用水量·····	158
--------------------	-----

4-1-9 計算水泥用量·····	158
-------------------	-----

4-1-10 計算粗細骨材用量·····	163
----------------------	-----

4-1-11 調整拌合用粗細骨材重量及用水量·····	163
-----------------------------	-----

4-1-12 低溫混凝土調整用冰量·····	165
------------------------	-----

4-1-13 輸氣混凝土調整輸氣劑用量·····	167
--------------------------	-----

4-1-14 列出單位體積混凝土所需各種材料之重量，再以試拌檢 驗新鮮混凝土性質調整配比·····	168
--	-----

4-1-15 資料整理選出最佳配比·····	171
------------------------	-----

4-2 配合設計實例演算····· 171

第五章 混凝土拌合與輸送····· 175

5-1 拌合方式與拌合設備····· 175

5-1-1 人工拌合·····	175
-----------------	-----

5-1-2	機器拌合	177
5-1-3	混凝土拌合廠設備	179
5-1-4	混凝土拌合廠操作概要	185
5-1-5	預拌混凝土拌合廠之準備工作	187
5-2	混凝土之輸送	189
5-2-1	長程運輸	190
5-2-2	短程運輸	191
5-2-3	現場澆置運輸	191
第六章	混凝土之澆置及搗實	205
6-1	概 說	205
6-2	澆置前之準備工作	206
6-2-1	基礎處理	206
6-2-2	硬化混凝土表面處理	206
6-2-3	鋼筋、預埋鐵件及模板之檢查	209
6-3	澆置方法	209
6-3-1	概 說	210
6-3-2	混凝土澆置順序之選擇	210
6-3-3	牆及柱之澆置	211
6-3-4	樑之澆置	213
6-3-5	版之澆置	213
6-3-6	斜坡混凝土澆置	214
6-3-7	塊石混凝土之澆置	215
6-3-8	逆築施工方法之澆置	215
6-3-9	滑動模板混凝土澆置	216
6-3-10	預壘混凝土澆置	217

6-3-11 噴混凝土之灌置·····	217
6-3-12 泡沫混凝土澆置·····	218
6-3-13 水中混凝土澆置·····	220
6-3-14 滾壓混凝土施工·····	221
6-4 搗實作業·····	222
第七章 混凝土之表面粉飾與養護·····	228
7-1 混凝土之表面粉飾·····	228
7-1-1 刮 飾·····	228
7-1-2 浮板修飾·····	229
7-1-3 鏝 飾·····	229
7-1-4 刷 飾·····	229
7-1-5 表面修飾·····	230
7-1-6 磨 飾·····	231
7-2 混凝土之養護·····	232
7-2-1 養護時間·····	232
7-2-2 養護方法·····	233
7-3 混凝土之保護·····	239
第八章 混凝土之龜裂與表面瑕疵·····	244
8-1 裂縫形成的原因及發生的時間·····	244
8-2 裂縫種類及防止對策·····	247
8-2-1 沈陷收縮裂縫·····	247
8-2-2 塑性收縮裂縫·····	248
8-2-3 模板造成之裂縫·····	249
8-2-4 震動或荷重造成之裂縫·····	249

8-2-5	溫度裂縫	249
8-2-6	乾縮裂縫	251
8-2-7	硫酸鹽侵蝕所產生之裂縫	253
8-2-8	結構裂縫	253
8-3	裂縫之修補	255
8-4	預留接縫填縫料之選擇與應用	257
8-4-1	填縫料種類	257
8-4-2	填縫料之選擇	258
8-4-3	填縫設計	259
8-4-4	填縫料之施工	261
8-5	混凝土表面的瑕疵	263
第九章 模 板		267
9-1	概 說	267
9-2	模板材料	271
9-2-1	木質模板	272
9-2-2	金屬模板	276
9-2-3	玻璃纖維模板	277
9-3	板 材	277
9-4	繫結材	278
9-5	支 撐	282
9-5-1	支撐材料	282
9-5-2	支撐之固定及搭接	282
9-6	隔 件	283
9-7	工作縫	284
9-8	模板塗料	286

9-8-1	塗料種類	286
9-8-2	施工方法	287
9-9	模板之拆除	287
9-9-1	混凝土可安全拆模之最低強度	288
9-9-2	安全拆模之最短時間	289
9-10	敗模之因素分析	289
第十章 鋼 筋		292
10-1	鋼筋之性質	292
10-1-1	概 說	292
10-1-2	鋼筋之降優點強度	292
10-1-3	鋼筋之延展性	295
10-1-4	鋼筋之粘結作用	295
10-2	鋼筋之規格	295
10-3	鋼筋之名稱	299
10-3-1	主鋼筋	300
10-3-2	輔助鋼筋	301
10-4	鋼筋之採購、檢驗及儲存	302
10-4-1	採 購	302
10-4-2	檢 驗	302
10-4-3	儲 存	303
10-5	鋼筋之加工	303
10-5-1	鋼筋表面之清除	303
10-5-2	鋼筋表面塗佈水泥漿	304
10-5-3	鋼筋加工應注意事項	304
10-6	鋼筋之組立	308

10-6-1 鋼筋之結紮	308
10-6-2 鋼筋之搭接	309
10-6-3 螺旋鋼筋末端處理及中間搭接	313
10-7 鋼筋之保護層及間距	315
10-7-1 鋼筋保護層	315
10-7-2 鋼筋之最小間距	316
第十一章 混凝土之品管	318
11-1 概 說	318
11-2 混凝土製造時之管理	318
11-3 交貨地點之預拌混凝土的品質檢查	322
11-4 從壓送開始到澆置時之混凝土品質管理	325
11-5 混凝土的試驗	325
11-5-1 新鮮混凝土取樣法	330
11-5-2 混凝土坍度試驗	331
11-5-3 新鮮混凝土含氣量試驗法	332
11-5-4 混凝土之浮水試驗	334
11-5-5 混凝土單位重試驗	336
11-5-6 混凝土之凝結時間試驗	338
11-5-7 混凝土抗壓及抗彎試體在工地澆置及養護法	340
11-5-8 混凝土圓柱試體之蓋平	345
11-5-9 混凝土圓柱試體之抗壓強度試驗	348
11-5-10 混凝土抗彎強度試驗	350
11-5-11 鎚擊試驗	352
11-5-12 從硬化混凝土取抗壓及抗彎試體之檢驗法	354
11-6 混凝土強度試驗結果分析	358

11-6-1 統計方面有關名詞之定義.....	359
11-6-2 混凝土強度之變異分析.....	361
11-6-3 混凝土品質控制標準.....	362
11-6-4 混凝土品質控制圖.....	365
11-7 品管後混凝土強度不符合規定值之處理.....	371
參考文獻.....	374
附 表 混凝土試驗一般常用表格（附表一～十四）.....	376
附錄一 非輸氣混凝土配比設計計算步驟簡表.....	390
附錄二 抗壓強度試驗換算表.....	391
附錄三 單位換算表.....	396
附錄四 攝氏華氏溫度對照表.....	396

第一章

概 述

1 - 1 混凝土之構成

混凝土 (Concrete) 爲一種結合材與鑲物質骨材混合而成之複合材料 (Composite Material) , 結合材可分爲含地瀝青與無含地瀝青兩類 , 含地瀝青結合材料如柏油 (Asphalt) 與焦油 (Tar) 其混合而成之混凝土 , 謂之瀝青混凝土 (Asphalt Concrete) 。無含地瀝青之結合材料如天然水泥 (Natural Cement) 、高鋁水泥 (Aluminate Cement) 、卜特蘭水泥 (Portland Cement) 及混合水泥 (Blended Hydraulic Cement) 等。

一般所指的混凝土係指由卜特蘭水泥、粗細骨材及水拌合而成。常用之粗骨材爲卵石或碎石、細骨材爲天然砂、碎石砂或其他代用材料等。

有關混凝土材料組成之名稱如表 1-1 所示。各種材料之組成範圍如表 1-2 所示。(如下頁)

實際上混凝土各種材料可按其功用分成兩組, 即粘結材與填充材, 功用分別如下:

粘結材——是由水泥與水混合成之水泥漿 (Paste) 主要功用有三:

- (1) 包裹骨材表面使之粘結在一起。
- (2) 填充骨材間之孔隙。

2 混凝土施工

(3)未凝結前使混凝土流動性、易於施工，凝固後使混凝土產生強度。

表 1-1 混凝土材料組成之名稱

水 泥 (Cement)	水 泥 漿 (Paste)	水 泥 砂 漿 (Motar)	混 凝 土 (Concrete)	特殊混凝土 (Special Concrete)
水 (Water)				
細 骨 材 (Fine Aggregate)				
粗 骨 材 (Coarse Aggregate)				
摻 料 (Admixture)				

表 1-2 混凝土各種材料之組成範圍

材 料 名 稱	絕對體積 (%)
空 氣 (空隙)	1 ~ 2
水	15 ~ 20
水 泥	7 ~ 14
* 粗細骨材	66 ~ 78

* 細骨材：粗骨材 = 30/70 ~ 60/40 (體積比)

填充料——包括粗骨材與細骨材，約佔混凝土體積 $\frac{2}{3}$ 以上，主要功用有四：

- (1)骨材強度較水泥漿為高，可提高混凝土強度。
- (2)水泥漿之收縮量較大，以骨材取代水泥漿時可減少混凝土之體積變化。
- (3)抵抗載重，磨損，水份浸透及風化作用。
- (4)骨材價廉，取代水泥漿可降低成本。

混凝土在拌合後由於水泥與水之水化作用，大約須經過 2—5 小時後可達到初凝狀態（Initial Setting），並於 4—8 小時達到終凝（Final Setting）。7 天內強度成長速度特別快，爾後逐漸緩慢，至 28 天而告一段落。事實上 28 天後強度仍繼續發展，惟其速度極為緩慢，一般都不計算在內，除非是低熱水泥或其他混合水泥之後期強度成長較大，以採用 91 天強度為設計者。

1-2 混凝土之種類

混凝土按其各種性質可分類如下：

1-2-1 依使用水泥類型而分

卜特蘭水泥按美國材料學會 ASTM 或中國國家標準 CNS 可分為五類型，各結構物可依其所處環境之需要採用不同類型之水泥製造更具有耐久性之高品質混凝土。

- (1)普通混凝土（Normal Concrete）——為採用卜特蘭第“I”型水泥拌合而成，適用於一般不需要特別要求之混凝土結構物。
- (2)中度水合熱或中度抗硫型水泥混凝土（Moderate Concrete）——如海邊結構物需要中度抵抗硫化物等化學侵蝕（水中硫酸鹽含 150～1500 ppm 者）或巨積混凝土需要降低水合熱以減少混凝土內熱膨脹外冷收縮之體積變形量；可採用卜特蘭第Ⅱ型水泥拌合成優良混凝土。
- (3)早強混凝土（High-Early-strength Concrete）——如在寒冷地區欲澆置混凝土或其他結構物需要較高早期強度者，可採用卜特蘭第Ⅲ型水泥製造成早強混凝土。
- (4)低水合熱混凝土（Lower-Heat Concrete）——由於巨積混凝土之水合熱過高，為減少其體積變形之裂縫發生，且不需要早期強度高的結構

4 混凝土施工

物，可採用卜特蘭第“Ⅳ”型水泥拌合而成低水合熱混凝土。

- (5)抗硫混凝土 (Sulfate-Resisting Concrete)——若混凝土結構物受到較嚴重硫化物浸蝕時，水中硫酸鹽含 1500～10000 ppm 者，必須採用卜特蘭第“Ⅴ”型水泥以適當水灰比拌合而成優良品質混凝土才能阻止硫化物之侵蝕。

1-2-2 依使用水泥用量而分

混凝土中水泥所佔之體積約為總體積 7 %～14 %，即每立方混凝土水泥用量約 220～450 公斤，混凝土因水泥用量高低相差很多，而區分為富級配 (Rich Concrete) 與貧級配 (Lean Concrete) 兩種。

- (1)富級配混凝土 (Rich Concrete)——舉凡混凝土 28 天強度約 300 kg / cm² 以上或每立方混凝土水泥用量約 400 公斤以上，或水灰比約 48 % 以下者都屬於富級配，此類混凝土澆置時工作性佳，早期強度發展較快。
- (2)貧級配混凝土 (Lean Concrete)——凡是混凝土 28 天強度在 175 kg / cm² 以下，或每立方混凝土水泥用量約 250 公斤以下，或水灰比約 75 % 以上者，都屬於貧級配混凝土，此類混凝土澆置時工作性較差不適用泵車壓送澆置。浮水量又多，坍度稍大時材料易於分離。

1-2-3 依使用骨材比重而分

混凝土依其拌合使用骨材比重之大小而分為常重混凝土、輕質混凝土、重質混凝土三種，其定義如下：

- (1)常重混凝土——由正常密度之骨材如砂、卵石、碎石等所構成之混凝土，其單位重在 2200～2600 kg / m³ 之間者。
- (2)輕質混凝土——由低密度之骨材所構成之混凝土通常在氣乾狀況下之單位重應低於 1840 kg / m³ 者，一般壓縮強度都較常重混凝土為低。
- (3)重質混凝土——由密度特大之骨材如重晶石、鐵磷劑、赤鐵礦、褐鐵礦