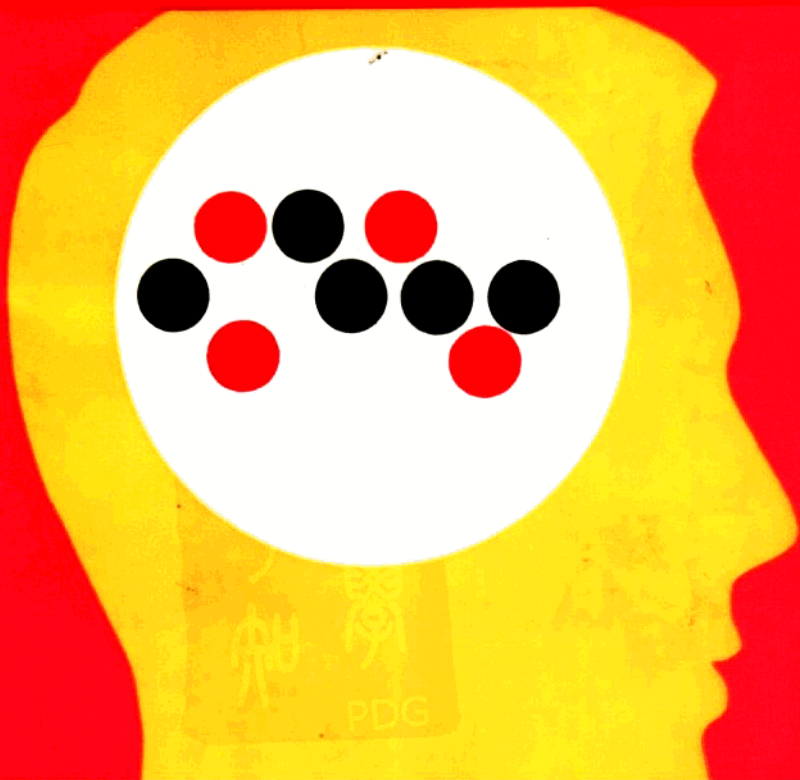


鋼筋混凝土

蘇 懇 憲 著

科學技術叢書 / 三民書局印行



鋼筋混凝土 目次

第一章 總 論

1-1 引言.....	1
1-2 鋼筋混凝土之發展過程.....	2
1-3 鋼筋混凝土之用途.....	4
1-4 鋼筋混凝土之優點.....	4
1-5 鋼筋混凝土之缺點.....	5

第二章 材 料

2-1 水泥.....	7
2-2 骨料.....	8
2-3 拌合水.....	9
2-4 摻合劑.....	10
2-5 混凝土.....	11
2-6 鋼筋.....	19
2-7 彈性模數比.....	26

第三章 結構設計之概論

3-1 引言.....	29
3-2 工作應力設計法.....	29
3-3 強度設計法.....	30

3-4	工作應力設計法之基本假設	32
3-5	強度設計法之基本假設	33
3-6	安全規定	33
3-7	建築規範	35
3-8	計算內容	36
3-9	設計手冊	36
3-10	尺寸與公差	37
3-11	計算精度及單位	38
3-12	載重	39

第四章 矩形梁之工作應力設計法

4-1	引言	41
4-2	梁之種類	41
4-3	符號	43
4-4	中立軸	45
4-5	平衡條件	50
4-6	單鋼筋矩形梁之斷面應力分析	51
4-7	鋼筋不足，理想和鋼筋過量之斷面	55
4-8	單鋼筋矩形梁之斷面設計	60
4-9	複鋼筋矩形梁之斷面應力分析	68
4-10	複鋼筋矩形梁之斷面設計	74

第五章 矩形梁之強度設計法

5-1	引言	85
5-2	應力與應變	85
5-3	理想斷面之鋼筋比	88

5-4 單鋼筋矩形梁之斷面應力分析·····	90
5-5 單鋼筋矩形梁之斷面設計·····	94
5-6 複鋼筋矩形梁之斷面應力分析·····	100
5-7 抗壓鋼筋屈服之準則·····	108
5-8 複鋼筋矩形梁之斷面設計·····	110

第六章 剪力、斜張力、握裹力及錨定

6-1 引言·····	117
6-2 斜張力·····	119
6-3 剪應力·····	122
6-4 腰鋼筋·····	124
6-5 混凝土之容許剪應力·····	126
6-6 腰鋼筋之抗剪強度·····	127
6-7 剪力設計之規範·····	129
6-8 鋼筋混凝土梁之剪應力圖·····	132
6-9 腰鋼筋之設計例題·····	133
6-10 握裹力與錨定·····	140
6-11 彎鉤·····	145
6-12 鋼筋之伸展長度·····	147
6-13 鋼筋之續接·····	151

第七章 丁形梁

7-1 丁形梁之原理·····	153
7-2 丁形梁之中立軸·····	154
7-3 梁翼之有效寬度·····	155
7-4 單鋼筋丁形梁之斷面應力分析——工作應力設計法·····	157

7-5 單鋼筋丁形梁之斷面設計——工作應力設計法·····	162
7-6 單鋼筋丁形梁之斷面應力分析——強度設計法·····	167
7-7 單鋼筋丁形梁之斷面設計——強度設計法·····	173

第八章 單向版

8-1 引言·····	181
8-2 版之一般規定·····	183
8-3 版設計·····	188
8-4 欄柵版之概論·····	195
8-5 欄柵版之設計·····	197

第九章 雙向版

9-1 引言·····	201
9-2 1963年 ACI 規範之雙向版設計法·····	203
9-3 1963年 ACI 規範之雙向版設計例題·····	212
9-4 雙向版之直接設計法·····	217
9-5 直接設計法之設計例題·····	230
9-6 平板之概論·····	257

第十章 柱之工作應力設計法

10-1 引言·····	261
10-2 柱之種類·····	263
10-3 環鋼箍混凝土柱·····	265
10-4 螺旋鋼箍混凝土柱·····	267
10-5 軸載重·····	268
10-6 平衡狀態之偏心距·····	270

10-7 偏心載重.....	271
10-8 柱設計.....	273

第十一章 柱之強度設計法

11-1 引言.....	285
11-2 軸載重.....	286
11-3 平衡狀態.....	288
11-4 偏心載重.....	292
11-5 柱設計.....	297

第十二章 基 礎

12-1 引言.....	315
12-2 基腳之種類.....	315
12-3 土壤容許承载力.....	317
12-4 牆基腳之設計.....	318
12-5 單柱基腳之設計.....	324
12-6 聯合基腳.....	339
12-7 矩形聯合基腳之設計.....	341

第十三章 牆

13-1 牆之種類.....	351
13-2 載重牆之設計.....	352
13-3 擋土牆之作用力.....	355
13-4 擋土牆之設計.....	356

附 錄 最新建築技術規則

第一章 總 論

1-1 引 言

鋼筋混凝土之英文名稱為 Reinforced Concrete，一般工程界人士均取英文單字之首字而以 R.C. 稱之。

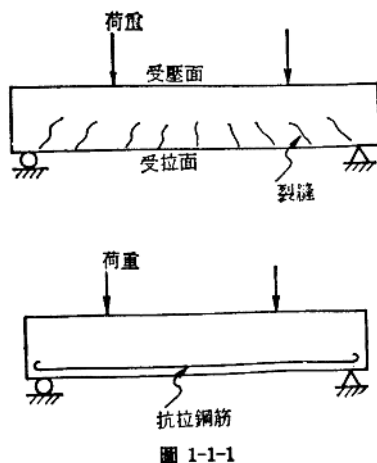
一般言之，木材、鋼料以及鋼筋混凝土（包括預力混凝土）乃是土木建築結構物三種最主要之建造材料。輕質材料如鋁與塑膠等之使用也漸趨普遍。

本世紀初水泥工業之蓬勃發展，混凝土已被極廣泛之採用，正因其用量多，用途廣，在工程界愈顯其重要性，故混凝土之知識及發展，實為今日土木建築工程師們不可或缺之基本知識。

混凝土係用水泥、砂、石子（礫石或碎石）加水拌合而成，具有可塑性，易於塑成各種需要之形狀，且有甚高之抗壓強度 (compressive strength)，故混凝土可稱為一種人造石。唯純混凝土 (plain concrete) 具有極高之抗壓強度，但其抗拉強度 (tensile strength) 甚弱，約為抗壓強度之10~15%左右，所以純混凝土祇適用於結構物中承受純壓應力之桿件 (member)，事實上結構物中大部份桿件其內部發生之應力不只壓應力，同時也有拉應力，因混凝土對於拉應力不能勝任，致桿件之拉應力部份產生裂縫 (crack)，為了彌補這種缺陷，可利用具有高度抗拉強度的鋼筋，放置在混凝土內之拉應力部份，令其

2 鋼筋混凝土

承擔桿件內所生之拉應力。充分利用混凝土和鋼筋兩大材料之特性，而構成鋼筋混凝土，並形成結構物之主要桿件。即桿件內所生之壓應力完全由混凝土承擔，同時所生之拉應力完全由鋼筋承擔。



1-2 鋼筋混凝土之發展過程

1756年英人 John Smeaton 曾以石灰石與黏土之混合料燒煉磨碎後，可在水中凝結，具有強力之膠結性能，當時稱之為水硬石灰 (hydraulic lime)。

1760年英人 James Parker 因燒含有黏土之石灰石，而得水硬性之粉末稱為派克水泥 (Parker cement, 或稱羅馬水泥 Roman cement)，此為天然水泥之起源。

1824年，有水泥之父之稱的英人 Joseph Aspdin 以人工混合石

灰與黏土，加以煨燒製成水泥，稱為波特蘭水泥 (Portland cement)。

此後，在製造方面經無數的研究改進，得有今日之品質優良，產量龐大之水泥。

二十世紀初，水泥工業已迅速發展，各地所產水泥品質相差懸殊，故1904年美國材料試驗學會 (American Society of Testing Materials, 簡稱 A.S.T.M.) 乃將水泥品質，製訂詳細之規格，舉凡水泥之化學成份、細度、凝結時間、抗壓強度、抗拉強度、砂漿空氣含量、比重等均有詳細之規定。

混凝土之使用，雖已為時甚久，然直至19世紀初葉，混凝土之使用仍僅限於抗壓材料，因混凝土具有極高之抗壓強度，但其抗拉強度甚弱，故在混凝土內之受拉部份埋置鋼鐵材料，以混凝土抵抗壓力，以鋼鐵抵抗拉力，此即為鋼筋混凝土之基本原理。

1850年法人 Lambot 以混凝土製成小舟，經多次失敗後，乃在混凝土內加入鐵絲網，於1854年巴黎博覽會中展出而獲得專利。

1867年法人 Monier 在砂漿內加入鐵絲網，研究製成花盆及水槽，效果頗佳，得有製造專利權。

1880年德國一些工程師從事了結構物之強度試驗，並發表這方面的理論與計算方法。

1890年美人 Ransome 在舊金山建造一幢長 312 呎的鋼筋混凝土二層建築物，從此在美國鋼筋混凝土之發展便非常迅速，許多歐洲的研究者亦陸續地發表理論及試驗上之結果。

二十世紀之始，有關鋼筋混凝土之設計程序、容許應力以及鋼筋加強等分成很多種不同之系統與方法而缺乏一致，故於1903年在美國成立了一個聯合委員會，才使鋼筋混凝土設計方面之應用漸趨統一。

1916年到1930年，研究工作大體集中於承受軸載重之柱的性質以及潛變 (creep) 之影響。至1930年到1940年，承受偏心載重之柱、基

礎以及梁之極限強度等受到特別的重視。

1950年代學者們致力於預力混凝土 (prestressed concrete) 之研究，而1960年代則集中於設計強度標準之探求，尤其是有關混凝土梁之剪力破壞。扭力與彎矩和剪力間之相互作用情形亦曾做了一番之研究。此後，有關強度與龜裂方面、耐震結構以及剪力牆之性質引起廣泛之研究興趣。1950年以後有關鋼筋混凝土結構之研究確有迅速之發展。

1-3 鋼筋混凝土之用途

鋼筋混凝土的用途，範圍甚廣，凡須具有耐火性、耐久性及高應力的構造物皆用之。茲分類說明如下：

建築工程：十層至十二層以下的房屋，全部可用鋼筋混凝土建造。較高房屋，可改用鋼骨鋼筋混凝土，或鋼骨混凝土。

交通工程：路面、橋梁、隧道、涵洞、護堤、擋土牆、枕木。

水利工程：攔水壩、引水道、護堤、渡槽、渠道。

港灣工程：碼頭、防波堤、沉箱。

給水及污水工程：水池、水塔、水管、排水溝。

軍事工程：機場跑道、掩體、防空壕、防禦工事。

其他如電桿、基礎樁、船體等均可用鋼筋混凝土建造。

如上所述，鋼筋混凝土乃為一理想之構築材料，既能適合工程上之安全，且符合經濟及耐久之原則。

1-4 鋼筋混凝土之優點

1. 强度高：混凝土為優良之抗壓材料，鋼筋為優良之抗拉材料，

取用兩者之長處，構築而成之桿件可承擔高應力。

2. 材料價廉：在鋼筋混凝土內使用量最多之砂石係為天然產料，取材方便易得，工程用之鋼筋為鋼料中最廉價的材料，雖然水泥略為昂貴，但用量比例不多，在混凝土內之使用量約10~15%左右。

3. 配合經濟：混凝土之配合比及鋼筋之使用量，可按各桿件承擔之應力高低而給予適當之調整，不浪費任何材料即可構造安全又經濟之桿件。

4. 造型容易：不受材料之市場尺寸及形狀之限制，即可建造任意形狀之構造物。又各桿件之接頭並無明顯界限。

5. 耐久：混凝土不易受風化作用，至於內部所置放鋼筋，因有適當厚度的混凝土為之保護，年久不致生鏽。鋼筋混凝土構造物不需任何養護，即能維持久遠。

6. 耐火：混凝土是熱的不良導體，受急劇溫度變化不致爆裂破碎，其內部所有鋼筋皆有相當厚度的混凝土為之保護，亦不致有何影響。

7. 耐震：鋼筋混凝土構造物，因其自重大及各桿件均能連成一體關係，抵抗震動之能力亦甚強。

8. 施工容易：施工時不需特別熟練之工人。

1-5 鋼筋混凝土之缺點

1. 靜重較大：鋼筋混凝土之重量為 2400kg/m^3 (150#/ft^3)。由於靜重過大，高層建築及長跨徑之桿件往往受到限制，如何降低混凝土之重量，已有輕質混凝土之研究。預力混凝土之出現，仍為改進鋼筋混凝土靜重過大之缺點。但鋼筋混凝土對重力堰堤及重力擁壁等乃屬優點。

2. 品質之控制不易：影響混凝土品質之因素甚多，很難精確控制，

尤其在工地拌合混凝土，其品質更難控制。例如骨材之石質、細率、級配、顆粒形狀等對混凝土之強度均有影響。又拌合方法、拌合時間、搗固程度、養護方法亦影響混凝土強度，其中拌合水量之多寡影響混凝土之品質最鉅。

3. 施工繁雜：鋼筋混凝土結構之施工，自搭建臨時工程、地下水之處理、基礎挖填土、材料之準備、模板、紮鋼筋、搭架、混凝土之拌合、輸送、搗固、養護、表面整修等，工作繁雜，工期較長，監工不易。

4. 改修及拆除困難：鋼筋混凝土結構具有整體性，各桿件均給合成為一體，施工後若發現某部份有錯誤，欲改修或拆除均極為困難。

5. 模板費用大：混凝土結構之形狀、大小及位置，全由模板所支配，每次澆置均需釘設模板，施工完畢，模板拆除，故釘設與拆除均化費相當多之工資。同時模板本身之損耗率亦高。

習 題

1. 試述鋼筋混凝土之基本原理。
2. 美國材料試驗學會 (ASTM) 對於水泥品質，訂有那些規格？
3. 簡述鋼筋混凝土之用途。
4. 鋼筋混凝土構造物何故耐火。
5. 鋼筋混凝土構造物之耐震甚佳，其理由為何？
6. 試述鋼筋混凝土之缺點。

第二章 材 料

2-1 水 泥

1. 水泥之製法：水泥由英人 Aspdin 發明以來，經多年之研究改進及旋窯之發明，今已成為物豐價廉之工程材料，水泥之主要原料為含有石灰、二氧化矽、氧化鋁及少量之氧化鐵成份之原料，依適當之比例混合，送進旋窯以 $1400\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 之高溫煨燒而成水泥燒塊 (cement clinker)。並加入適量之凝結遲滯劑（石膏）磨粉而成。製法分為乾式法 (dry process) 及濕式法 (wet process) 兩種。將原料石灰石、粘土等粉碎後送入旋窯內煨燒者稱為乾式法，原料粉碎後加水使成半流體，送入旋窯內煨燒者稱為濕式法。

2. 水泥之種類：水泥種類很多，但以波特蘭水泥 (portland cement) 用的最廣泛。標準波特蘭水泥按施工之需求可分為五種。如表2-1-1所示。

表 2-1-1 波特蘭水泥之種類

類 型	名 稱	適 用 範 圍
I	普通水泥	沒有特殊性質要求之普通結構物
II	中度抗硫水泥	須有適當之硫酸鹽作用，或硬化中須有適度之熱量
III	早強水泥	須有較高之早期強度
IV	低熱水泥	須有較低之水化熱
V	抗硫水泥	對硫酸鹽有較高之抵抗力

現今水泥生產量最多者為第一類型之普通波特蘭水泥，約佔90%以上，故通常所稱水泥均指普通波特蘭水泥而言。

當水泥與水拌合成為泥漿時，則開始水化作用而逐漸硬化，經相當時間則喪失其粘性而變為可塑性 (plastic)，此段過程稱為水泥之凝結 (setting)。經長時間之硬化，其強度乃逐漸增加。使用波特蘭水泥之混凝土通常需要14天才能達到足夠之強度，而得將梁版拆模及承受施工及其本身之重量，經過28天可以達到設計強度。

3. 水泥之強度：同一種水泥，其強度主要依據拌合水、溫度及材齡而不同，泥漿在軟凝狀態之範圍內，拌合水量愈多則強度減低。氣溫 30°C 以下，溫度愈高則強度愈大，至於材齡增長則強度亦增大。混凝土所用水泥應符合中國國家標準 CNS61—R1 之規定，並適合規定工作之需要。如表 2-1-2 所示。

表 2-1-2 普通波特蘭水泥之標準最低強度

強 度	抗 拉 強 度 (kg/cm ²)			抗 壓 強 度 (kg/cm ²)		
	3 天	7 天	28 天	3 天	7 天	28 天
規定值	10.6	19.3	24.6	84	148	246
實際值	28.6	45.1	67.0	112	213	389

2-2 骨 料

當製造混凝土時，與水泥及水拌合之砂、礫石、碎石以及其他類似的材料都稱為骨料 (aggregate, 又稱粒料)。

骨料在一般混凝土內約佔有75%之體積，因此其性質對於硬化之混凝土有相當顯著之影響，骨料之品質不但會影響混凝土之強度，同

時對於混凝土之耐久性 (durability) 及水密性 (water-tight) 亦有很大的影響。欲製造優良混凝土，如何選擇優良性質之骨料乃為考慮之主要因素。混凝土所用骨料應符合中國國家標準 CNS 1240—A56之規定。所謂優良骨料應具有下列之性質：

- (a) 質地潔淨，不含雜質及有害物。
- (b) 耐久性大，即能抵抗氣象作用，又不因吸收水份及溫度變化之影響而體積膨脹。
- (c) 化學性安定，即不氧化、不溶解，或不參與水泥水化作用之化學反應。
- (d) 顆粒堅硬、強固，即密度大，對衝擊、荷重及磨損之抵抗性大。
- (e) 顆粒之形狀略為方形或球形，又具有與泥漿附着力大之表面組織。
- (f) 級配良好，即顆粒大小之混合要均勻。
- (g) 具有所要之單位體積重量。
- (h) 如為耐火混凝土時，則應具有耐火性。

按我國內政部六十三年二月十五日公布實施之「最新建築技術規則」第 339 條，或美國混凝土學會 (American Concrete Institute, 簡稱 ACI) ACI Code-3. 3. 2 項之規定，骨料之最大粒徑，不得大於兩模板間最小淨距 $1/5$ ，或樓版厚度之 $1/3$ ，亦不得大於鋼筋間，或鋼筋束間，或預力線管間，或鋼筋與模板間最小淨距之 $3/4$ 。但如能確認施工良好，不致有空隙或蜂窩現象發生，經監造人同意得予變更上述之限制。

2-3 拌 合 水

按最新建築技術規則第 340 條，或 ACI Code-3. 4 項之規定，混

凝土所用之水須清潔，不含油、酸、鹼、鹽、有機物及其他對混凝土與鋼筋有害之物質，預力混凝土及混凝土埋設鉛物時，必須無氯離子。

若用非飲用水，應先製出砂漿方試體（5公分立方體），其7天及28天強度不得小於以飲用水製出砂漿方試體者之90/100。砂漿方試體之試驗法，應依中國國家標準 CNS1010—R73 之水硬性水泥砂漿抗壓強度試驗法。

2-4 摻合劑

除了水泥、粗細骨料和水以外，於拌合混凝土之前或拌合中可加入另一種材料以改進混凝土之性質，而使其於應用時達到更佳及更經濟之效果，此種材料即是所稱之摻合劑 (admixtures)。

摻合劑依使用之目的，具有下列作用之性質：

- (a) 工作度促進劑：在不增加含水量之情況下增進工作度，或於同一工作度下減少含水量，如矽灰 (pozzolans)。
- (b) 硬化促進劑：促進早期強度形成之速率，如氯化鈣 (CaCl_2)。
- (c) 輸氣劑：增進混凝土對凍結融解之耐久性、水密性及體積變化之抵抗性，如 pozzolith, vinsol resin 等。
- (d) 分散劑：分散水泥之顆粒，增進工作度，pozzolith 乃為分散劑之一種。
- (e) 膨脹劑：使混凝土內之泥漿產生膨脹，減少粗料或水平鋼筋下面之水膜，增大附着強度，如鋁粉末。
- (f) 防水劑：減少毛細管水之流動，增進混凝土之水密性。防水劑種類甚多，各廠產品之名稱不一。
- (g) 骨料鹼性反應控制劑：控制因鹼與某些骨料成份起化學反應而

產生之膨脹。

輸氣劑可能是最廣泛使用之摻合劑，其次，分散劑之用量亦相當多，摻合劑之使用應符合 ACI Code-3.6 項之規定。

2-5 混 凝 土

所謂混凝土乃指水泥、水、砂及石子按適當之比例拌合所凝成的一種人造石。水泥與水拌合後由於水化作用具有硬化之性質，謂之膠結物 (cementing material)，砂及石子被膠結物粘結而成混凝土 (concrete)。

混凝土之品質與材料品質、材料配合、拌合程度、澆置、搗固方法、模板之優劣、澆置後之期間、硬化中之含水量，以及溫度等有很大的關係。因此欲製造優良品質之混凝土，必須先瞭解影響混凝土品質之各種因素。

1. 混凝土之組成：研討混凝土之性質，通常分為兩大階段討論。即分為未硬化混凝土和已硬化混凝土。未硬化混凝土通常稱為新拌混凝土 (fresh concrete)，此際骨料視為懸掛於水泥漿 (cement paste) 之中，水泥漿量必須足夠包裹骨料顆粒及填塞骨料之空隙。支配新拌混凝土工作度 (workability) 之因素，即有水泥漿之流動性、骨料之級配、骨料之形狀、水泥漿量與骨料量之比等等。拌合過軟或過硬之混凝土易生材料分離，或形成蜂窩現象 (honeycombing)，而不能達到施工之目的，故水泥、水、骨料之配合必須按工程上之需求，而選擇適當之配合比。

已硬化混凝土之體積，係為骨料及硬化水泥漿所合成，並含有少量之自由水及空氣在內。如表 2-5-1 所示。