

結構系統概論

陳啓中編 著

詹氏書局



作者簡介

陳 啓 中

成功大學建築系畢業

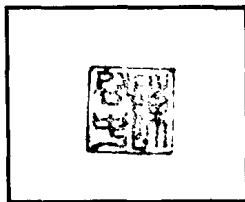
成功大學建築研究所碩士

70年高考建築師及格

陳啓中建築師事務所建築師

東海大學建築系講師

翻
印
必
究



版
權
所
有

結構系統概論

發行人：詹文才

發行所：詹氏書局

登記證：局版台業字第三二〇五號

郵政劃撥：0591120-1

戶名：詹氏書局

地址：台北市和平路東一段一七七號一樓

電話：(02) 3412856

印刷：大揚彩色印刷製版公司

電話：(07) 3846109 • 3846193

地址：高雄市堯山街134號

初版：中華民國七十六年十二月

二版：中華民國七十七年十月

定價：新台幣240元正

7U31
C 456

前言

本書的主要編寫目的乃是為提供研習結構系統之建築科系學生能有一較佳的捷徑。本書內容大都來自數十本之中、英文參考書籍及資料，再加上筆者任教多年的經驗加以編輯而成，每章內容後面均附有習題以供讀者練習之用，希望能從練習當中對整個結構系統能有一初步的概念。

本書內容之編寫是採用循序漸進的方式，條理分明並避免煩雜的陳述。書中內容經筆者任教多年的經驗，而且經過不斷調整，才有本書主要架構及內容之產生。因此對於讀者自行研習或做為教材均相當適合，而且對於讀者參加各類考試也能獲得事半功倍的效果。

本書內容共分十章，第一章介紹結構系統的架構及概念。第二章介紹作用於建築物荷重之種類。第三章介紹結構材料特性及其耐震行為。第四章則介紹各種應力的行為及計算。第五章至第九章則介紹了拱、纜索、樑、構架、桁架、格子樑、板、膜及薄殼之行為及特性。最後一章則介紹了高樓結構系統之行為及種類。這十章的內容幾乎涵蓋了建築所使用結構系統的項目，而若能對這十章的內容有所了解，相信對於讀者爾後設計上及考試上均能有所幫助。

本書編寫完成期間，承蒙曾亮、王進財兩位先生之幫忙繪圖、校稿，在此致最大之謝意。最後限於筆者之能力所及，書中難免會有疏漏錯誤之處，這些疏漏之處，尚請各位先進來信（或來電）指教之。

陳啓中謹識 1987年11月

目 錄

第一章 結構系統緒論

1.1 結構系統目的.....	1
1.2 結構系統的要求.....	1
1.2.1 機能的要求.....	1
1.2.2 安全性的要求.....	2
1.2.3 材料強度的要求.....	2
1.2.4 經濟性的要求.....	3
1.2.5 美學上的要求.....	3
1.3 結構分析設計步驟.....	3
1.4 結構設計方法.....	7
1.4.1 工作應力法.....	7
1.4.2 強度設計法.....	8
1.5 結構系統之分類.....	10
1.5.1 依使用材料不同而分類.....	10
1.5.2 依力量傳遞不同而分類.....	11
1.5.3 高樓耐震系統之分類.....	12
1.5.4 依構築方式不同而分類.....	13
〔第一章習題〕.....	14

第二章 作用於建築物之荷重

2.1 荷重分類.....	17
2.2 靜載重.....	17
2.2.1 材料重量.....	18
2.2.2 屋面重量.....	18
2.2.3 天花板重量.....	19

2.2.4 地板面重量.....	19
2.2.5 牆壁重量.....	20
2.3 活載重.....	21
2.3.1 最低活載重.....	21
2.3.2 斜屋頂之活載重.....	22
2.3.3 其它活載重.....	22
2.3.4 活載重之折減.....	23
2.4 風力載重.....	24
2.4.1 風力特性.....	24
2.4.2 風力計算.....	26
2.4.3 風力階級.....	28
2.4.4 技術規則有關風力之規定.....	31
2.5 地震力.....	33
2.5.1 地震的起因.....	33
2.5.2 地震波與地震記錄.....	36
2.5.3 地震規模與地震階級.....	40
2.5.4 台灣之地震活動.....	47
2.5.5 地震力分析.....	54
2.6 其它載重.....	64
2.6.1 土、水壓力.....	64
2.6.2 基礎不均勻沈陷.....	67
2.6.3 溫度負載.....	68
2.6.4 動力負載及共振負載.....	69
2.6.5 火災負載.....	70
〔第二章習題〕.....	72

第三章 結構材料之性質

3.1 材料基本性質.....	77
-----------------	----

3.1.1 彈性、塑性行爲	77
3.1.2 應變硬化及應變軟化現象	80
3.1.3 安全係數	80
3.1.4 載重速率與強度的關係	82
3.1.5 材料之脆裂及疲乏現象	84
3.1.6 殘留應力	86
3.1.7 鮑氏效應	87
3.1.8 等向性材料及非等向性材料	88
3.1.9 乾縮與潛變	88
3.2 材料之韌性	91
3.2.1 延展比與韌度	91
3.2.2 韌度的表示法	92
3.2.3 能量消耗與恢復力環	93
3.2.4 韌度之意義	93
3.3 材料之耐震行爲	94
3.3.1 塑性鉸的意義	94
3.3.2 塑性流變	95
3.3.3 樑、柱之韌性	98
3.3.4 配筋比例對韌度之影響	99
3.3.5 部材之韌性設計	101
〔第三章習題〕	103

第四章 基本應力

4.1 基本應力	107
4.1.1 張力	107
4.1.2 壓力	108
4.1.3 彎矩	111
4.1.4 剪力	114

4.1.5 扭力·····	117
4.1.6 溫度應力·····	120
4.2 應力的作用·····	122
4.2.1 直接應力與彎曲應力·····	122
4.2.2 二次應力·····	123
4.2.3 主應力線·····	125
〔第四章習題〕·····	128

第五章 纜索及拱系統

5.1 纜索系統·····	133
5.1.1 纜索特性·····	133
5.1.2 纜索應力分析·····	134
5.1.3 纜索不穩定原因及安定方法·····	137
5.1.4 纜索系統之應用空間·····	137
5.2 拱系統·····	143
5.2.1 拱之行爲·····	143
5.2.2 拱之分類·····	146
5.2.3 拱之應力分析·····	147
5.2.4 三種拱之力學行爲·····	148
5.2.5 拱抵抗水平推力方法·····	150
5.2.6 拱系統之應用空間·····	151
〔第五章習題〕·····	153

第六章 桁架系統

6.1 桁架行爲·····	157
6.1.1 桁架之構成·····	157
6.1.2 桁架之應力·····	158
6.1.3 桁架種類·····	161

6.1.4 桁架橫越大空間方法.....	165
6.2 桁架接合方法.....	166
6.2.1 桁架基本假設.....	166
6.2.2 節點接合.....	166
6.2.3 支承處接合.....	169
6.3 曲桁架與空間桁架.....	169
6.3.1 曲面桁架.....	169
6.3.2 曲面桁架之破壞及補強.....	170
6.3.3 曲面桁架之應用空間.....	171
6.3.4 空間桁架.....	173
〔第六章習題〕.....	175

第七章 樑及構架系統

7.1 樑與構架之行爲.....	177
7.1.1 樑與構架之意義.....	177
7.1.2 樑之抵抗外力行爲.....	178
7.1.3 柱之抵抗外力行爲.....	180
7.2 樑系統.....	182
7.2.1 懸臂樑.....	182
7.2.2 簡支樑.....	184
7.2.3 固定樑.....	187
7.2.4 外伸樑與連續樑.....	190
7.2.5 各種樑組合之效應.....	191
7.3 構架系統.....	194
7.3.1 連樑柱構架.....	194
7.3.2 簡單構架.....	195
7.3.3 多層及多間構架.....	198
〔第七章習題〕.....	202

第八章 格子樑、平板及摺板系統

8.1 格子樑系統	207
8.1.1 負荷之傳遞方式	207
8.1.2 格子樑之應力行爲	208
8.1.3 格子樑之分類	211
8.1.4 格子樑之設計原則	212
8.2 板系統	214
8.2.1 板之行爲	214
8.2.2 板系統之分類	216
8.2.3 一般R.C 板之應力與配筋	220
8.3 摺板系統	222
8.3.1 平板與摺板	222
8.3.2 摺板行爲	223
8.3.3 摺板的種類與應用	225
〔第八章習題〕	229

第九章 膜及薄殼系統

9.1 膜系統	233
9.1.1 膜之構成及行爲	233
9.1.2 膜之應力	235
9.1.3 膜系統的應用	237
9.2 薄殼系統	240
9.2.1 殼的行爲	240
9.2.2 薄殼之基本形態	242
9.3 薄殼系統之應用	246
9.3.1 圓筒殼	246
9.3.2 圓頂殼	250

9.3.3 雙曲拋物面殼.....	253
〔第九章習題〕.....	257

第十章 高樓結構系統

10.1 高樓結構之負荷傳遞方式.....	261
10.1.1 垂直荷重之傳遞方式.....	261
10.1.2 地震力之傳遞方式.....	262
10.2 高樓立面之耐震方式.....	264
10.2.1 立面之耐震處理.....	264
10.2.2 立面到地面層之處理.....	266
10.3 耐震壁之配置原則.....	268
10.3.1 耐震壁之形式.....	269
10.3.2 平面配置耐震壁之原則.....	270
10.3.3 立面配置耐震壁之原則.....	273
10.3.4 耐震壁之耐震效果.....	275
10.4 高樓結構系統之種類及應用.....	278
10.4.1 承重牆式系統.....	278
10.4.2 核心式系統.....	280
10.4.3 剛構架系統.....	282
10.4.4 無樑板系統.....	284
10.4.5 剛構架及剪力牆合用系統.....	284
10.4.6 剛構架核心與水平帶狀桁架系統.....	286
10.4.7 深剛架或深桁架系統.....	287
10.4.8 管式結構系統.....	289
10.4.9 高樓結構系統之比較.....	294
〔第十章習題〕.....	296

第一章 結構系統緒論

1-1 結構系統目的

一般而言，一件土木或建築工程的進行必須是由很多相關專家來共同參與設計。而結構系統即是其中的一個主要項目，在工程之規劃、設計開始時，就應該就結構系統做一最合理的選擇，以符合經濟、安全、美觀、機能性等之各項要求，從而達到符合人使用之最佳空間。一般而言，結構系統的目的不外乎下列幾個項目。

一、空間的包圍

如一棟建築物的興建，人可以在其中活動、使用，而不受到外界日曬雨淋的氣候影響。

二、兩點之間的連繫

如道路、橋樑的興建，便利了人們行的方便，而可使得不同使用的建築物中獲得交流。

三、象徵意義的表達

如興建一座有紀念性之結構，做為對偉大人物的紀念，或者可做為一個都市的象徵。

1-2 結構系統之要求

一般結構系統之規劃、設計或者施工上應符合下列之基本要求。

1.2.1 機能的要求

在一棟建築物之設計草案階段，最重要的就是考慮建築機能的需求，而此項建築物機能的需求也就會決定了結構系統的選擇。如結構物中跨度（*span*）之大小考慮、撓度（*deflection*）、材料的選擇等等都會影響到

2 結構系統概論

。而不論結構系統如何選擇都必需要先符合建築物機能之首項要求。

1.2.2 安全性的要求

一、結構物必須平衡

結構物在外力作用時，對結構物之任何一個部份就必須要能維持平衡的要求，否則一旦結構物失去平衡，則會造成建築物之破壞而影響到人的安全。

二、結構物必須穩定

結構物在構架安排時，就必須要符合穩定、靜定（或者超靜定）。否則在本身材料自重作用下就造成不穩定而破壞，絲毫沒有抵抗外力的能力。一般造成不穩定之原因有下列兩項。

(一)內力不穩定

此乃由於本身結構之構件安排不適當或者是桿件的組合不合理，以致造成的不穩定情形。

(二)外力不穩定

此乃由於結構物無法抵抗各方向之外力所造成的。這種結構物在某些情況之外力作用下仍能維持穩定。但是結構物所承受的外力是會隨著外界的因素而改變的，所以也應避免這類結構物的設計。

1.2.3 材料強度的要求

材料強度的要求可藉由材料的選擇及材料形狀、安全係數等因素而獲得。

一、材料之選擇

如一般台灣常用之鋼筋混凝土材料，其鋼筋之屈服應力 $f_s = 2800 \text{ kg/cm}^2$ ，混凝土 28 天之抗壓強度 $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$ 。此時若設計上為上述之強度，則施工時之材料強度也應達到上述的要求。又如設計成高拉力鋼筋或高強混凝土時（其 $f_s = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ， $f_c' = 280 \text{ kg/cm}^2$ ），施工時也應達到其設計強度的要求。

二、材料形狀

一般而言，若材料斷面形狀 I （慣性矩 *moment of inertia*）愈大時，則其抵抗外力能力愈佳，如工型梁在同斷面積下就比方形樑來得有效果

，故吾人可將斷面之材料形狀稍加改變，以獲致抵抗強度的要求。

三、安全係數

如在一種材料使用下或者是在無法正確估計出外力大小作用時，則可能造成增加材料額外的負載。因此吾人可將外力荷重提高，或者將材料原先強度折減而取得一個安全係數值，以用來確保設計上或施工上不可預估之額外超載，而能獲致結構安全上的保障。

1.2.4 經濟性的要求

一般結構物之結構體費用可佔至總工程費之 20 % 至 40%，有時在特殊結構物下其比例可能更高。因此對於經濟性之要求就必須要注意到下列各個事項。

一、最佳設計方法

利用最佳設計方法以發揮材料之最大抵抗效果，並可由最佳設計方法中找出結構最佳之斷面形狀、組合方式等而來獲得最佳的經濟效益。

二、選擇適合建築物用途之結構系統

結構系統之選擇必須配合建築物之用途，以避免造成不必要的浪費及不適用之情形。

三、施工期的配合

在結構物之施工期間，如工期、成本、預算、人事費用之控制等，則應該利用最佳營建管理的方式以節約預算。

1.2.5 美學上的要求

一個結構物在規劃階段就必須要考慮到美觀、造型、內部空間上的美學要求。否則建造出來的一棟建築物就會形成人們視覺、感官上的一種障礙。

1-3 結構分析設計步驟

一棟建築物從初步規劃至施工完成，其有關結構部份之分析步驟，可如下之說明。

4 結構系統概論

一、設計資料之收集

此項設計資料之收集應包括建築物之平面、立面、用途、所在地區等之各項基本資料。

二、結構系統選定及規劃

設計資料收集完成後，接下來就是選擇適合建築物之結構系統，如採用 $R.C$ （鋼筋混凝土）、 $S.R.C$ （鋼骨鋼筋混凝土）、或者 $S.C$ （鋼骨構造）等材料的選擇。或是選擇系統方式，如格子樑、中空樓板、預力樑、薄殼等。並且應就各項系統之合理性、經濟性做一整體性之評估。

三、部材斷面假設

選擇出合理之結構系統後，接下來就是要定出各部材之斷面尺寸。如樓板、樑、柱等各項部材的尺寸，以做為應力分析之依據資料。

四、荷重分析

此項荷重分析是就建築物之用途、平面、立面的各項基本資料，找出究竟有那些外力荷重作用於建築物。而本項荷重分析之項目應包括下列各部份。

(一)垂直荷重

如靜載重 ($D.L$)，活載重 ($L.L$) 之計算。

(二)水平力荷重

如地震力、風力之分析計算。

(三)附加荷重

如建築物內有吊車、機械等會產生附加在建築物的荷重。

四其它荷重

如有基礎不均勻沈陷、溫度變化、施工誤差之額外產生荷重的預估及分析。

五、應力分析

應力分析即就原先之部材假設及荷重做一完整性之整體計算。一般而言，對於較規則的結構可以採用靜力分析，而對於不規則的結構，如平面突變、立面突變或者是兩樓層間的勁度差異太大時，則應採用動力分析。又對於設計方法也可以採用工作應力法 (*Working stress design method*) 或者是強度設計法 (*Ultimate strength design method*)。

一般對於應力分析所採用的電子計算機程式約可分為下列兩項。

(一)手算法程式

此法之垂直力分析是採用二次力矩輪迴法 (*Two-cycle method*)，水平力則採用武藤清之分配法 (*D-value method*)。此兩法原先用於手算，後有人將此寫成電子計算機程式，此法計算分析之結果誤差較大，對於高層建築則較不適用。而這個方法目前在台灣中南部地區用的較多，但也僅限於中、低層建築物的使用。

(二)結構矩陣法程式

此法大都採用矩陣位移法 (*Displacement method*) 來分析。並可分析平面構架或是空間構架，而其計算結果較手算法來得精確。矩陣法中較著名的程式有 *TABS*、*ETABS*、*SAP IV*、*SAP V* 等，而目前在台灣對建築物的結構分析中以 *TABS* 居多。

六、部材設計

從第五項應力分析結果中，而得出各部材彎矩、剪力、軸力等各項應力的基本資料。再以此基本應力資料來做部材之配筋選擇設計，而此項部材的配筋設計應包括樑、柱、牆、版、基礎等。若配筋之結果與原先部材斷面假設不配合時（如過大或過小或不經濟），則應退回而從第三項再做斷面尺寸假設，而再重新分析一次。

七、結構分析報告撰寫

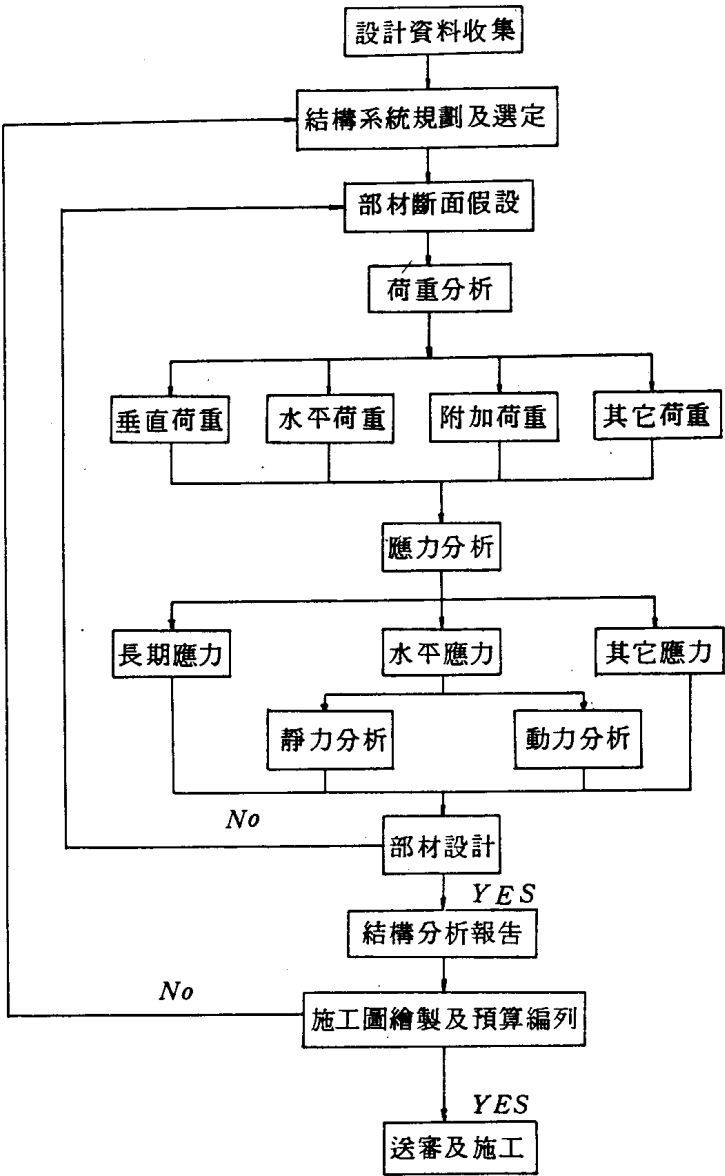
將前面各項分析所得結果，做一完整詳細的分析報告，以使用於申請建築執照之送審用，並可做為繪製結構施工圖的依據。

八、結構圖及結構預算之繪製與編列

就結構分析報告中之內容來進行結構施工圖之繪製，此項施工圖之繪製應考慮到實際施工之狀況。再來就可依據施工圖做整個建築物的結構預算分析。

此項結構分析步驟可如表 1-1 之所示。

表 1-1 結構分析程序



1-4 結構設計方法

本節主要就工作應力法 (*Working stress design method*) 及強度設計法 (*Ultimate strength design method*) 兩種設計方法做一綜合性的說明。這兩種設計方法對鋼筋混凝土結構物而言也久已普遍被使用，自 1900 年至 1960 年期間，工作應力法乃是主要的設計原理，但 1963 年以後就逐漸被強度設計法所取代，以下就是這兩種方法之說明。

1.4.1 工作應力法

工作應力法 (*Working stress design method*) 又稱做彈性設計法 (*Method of elasticity*)，但自 1971 年後美國混凝土協會 (*American Concrete Insititute*, 簡稱 *ACI*) 把它易名為交替法 (*Alternate method*)。採用此法對 *RC* 結構物而言乃是基於下列之基本假設而得的。

(一) 構材受力後，原為一平面之斷面乃保持一平面，材料之應力都在彈性範圍內，且其應力及應變保持線性關係。

(二) 混凝土不承受張力，所有張力由鋼筋來承受。

(三) 鋼筋及混凝土間之握裹力被確保，亦即兩者之間不會產生滑動現象。

四在工作載重作用下，材料之應力不得超過最大容許應力。若 f_c' 為混凝土 28 天後之抗壓強度， f_s 為鋼筋之屈服強度。一般法規之規定混凝土之最大容許應力為 $0.45f_c'$ 。普通鋼筋為 $0.5f_s$ ，高拉力鋼筋則為 $0.4f_s$ 。因此若 $f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$ ，則 $0.45f_c' = 94.5 \text{ kg/cm}^2$ ；若普通鋼筋 $f_s = 2800 \text{ kg/cm}^2$ ，則 $0.5f_s = 1400 \text{ kg/cm}^2$ ；高拉力鋼筋 $f_s = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ，則 $0.4f_s = 1680 \text{ kg/cm}^2$ 。亦即在工作應力法設計時，鋼筋混凝土之最大應力不得超過上述之容許應力值。

但是採用工作應力法做設計時，則有下列之缺點。

1. 因為活載重之變化大，而不若靜載重之固定，因此活載重和靜載重作用下所計算出來之應力可靠度較差。
2. 潛變 (*creep*) 和乾縮 (*shrinkage*) 是隨時間而變，很難以彈性方法