

建築結構學

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

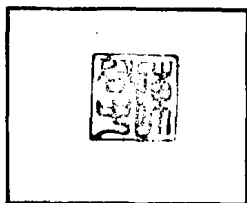
成功大學建築研究所碩士

7 () 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

建 築 結 構 學

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：（ 0 2 ） 3412856

印 刷：大揚彩色印刷製版公司

電 話：（ 0 7 ） 3846109 • 3846193

地 址：高雄市堯山街134號

初 版：中華民國七十六年三月

二 版：中華民國七十七年十月

定 價：新台幣320元正

■ 前 言 ■

一般來說，結構在土木及建築上並無多大的區別，但在對土木及建築科系之習者而言就有區分了。一般而言，建築科系學生的結構程度均較弱，而且各種考題的類型也較簡單；所以對於建築科系的學生應另有一套的教材、習題以符合建築科系的需求。

筆者依任教多年的經驗，對於各大專院校建築科系學生均有所接觸，並也明瞭各校學生之結構上的需求及其差異之所在。故以任教而修改多次之講義原稿加以改編成此書；並請亦對結構相當有研究且亦任教多年的鄭明昌老師進行校稿工作。而希望能達到符合建築科系學生之需求，且進一步對於其參加高考、普考、檢覈、研究所等之考試有所助益。

本書之編寫依循序漸近的方式，書中儘量避免煩雜的陳述，所有原理、公式均以最簡單的方式引申。而習題也以由淺入深的方式安排；希能去除建築科系學生對結構的恐懼感，進而提高其學習興趣及其結構之程度。最後，本書之編寫亦難免會有疏漏之處，希望各位先進不吝來信或來電指正。

陳啓中謹識 1987年2月

目 錄

第一章 緒 論

1.1 結構物種類	3
1.1.1 桁架	3
1.1.2 樑	3
1.1.3 剛架、構架	4
1.2 支承力之種類	4
1.2.1 鉸支承	5
1.2.2 輻支承	5
1.2.3 固定支承	5
1.2.4 抗彎輻支承	6
1.2.5 彈性支承	6
1.2.6 扭轉彈簧	6
1.2.7 剛接的意義	7
1.3 結構物之平衡	7
1.4 結構穩定、不穩定、靜定、靜不定之判別	8
1.4.1 引言	8
1.4.2 不穩定之判別	8
1.4.3 桁架交叉桿與零桿之判別	11
1.4.4 桁架之穩定、不穩定、靜定、靜不定	18
1.4.5 剛架之穩定、不穩定、靜定、靜不定	22
1.4.6 綜合判斷法	25
1.4.7 危險桁架	30
習題	32

第二章 平面靜定桁架

2.1 引言	37
2.2 桁架之種類	37
2.3 桁架應力分析	39
2.3.1 力之平衡	39
2.3.2 桁架分析步驟	40
2.4 拆除組合法(重疊法)	61
2.5 房屋桁架之整體分析	66
2.5.1 桁架節點載重之轉換	67
2.5.2 含斜撐之屋架整體分析	68
習題	72

第三章 靜定樑之變形曲線與變位

3.1 引言	79
3.2 符號規定	79
3.3 彎矩和剪力	80
3.3.1 彎矩、剪力和外力之關係	81
3.3.2 彎矩圖及剪力圖	81
3.3.3 彎矩圖、剪力圖之綜合判定法	88
3.4 撓曲曲線方程式	92
3.5 二重積分法	94
3.6 共軛樑法	102
3.7 疊合法	115
習題	117

第四章 靜定剛架與靜定組合結構

4.1 靜定剛架	121
----------------	-----

4.2 靜定組合結構	130
習題	136

第五章 能量法

5.1 引言	141
5.2 功與應變能	141
5.2.1 功的意義	141
5.2.2 應變能	142
5.3 卡氏定理	149
5.3.1 卡氏第一定理	149
5.3.2 卡氏第二定理	154
5.4 單位虛載重法	160
5.4.1 靜定結構之變位	160
5.4.2 靜定桁架之變位	174
5.5 最小功法在靜不定結構之應用	185
習題	206

第六章 符合變形法

6.1 基本原理	213
6.2 變位之求法	215
6.3 符合變形法解靜不定結構	216
6.4 符合變形法解靜不定桁架	232
6.5 符合變形法解靜不定組合結構及靜不定結構物之變位	245
習題	260

第七章 剛架位移與特性

7.1 剛架的位移	265
7.1.1 剛架側位移之判定	265

7.1.2	剛架位移之繪圖法	270
7.1.3	剛架分類	271
7.1.4	一個環剛架位移之判別	272
7.1.5	剛架位移比值之計算	273
7.2	結構之對稱、反對稱及偏對稱	282
7.2.1	對稱結構	282
7.2.2	反對稱結構	284
7.2.3	偏對稱結構	285
	習題	289

第八章 傾角變位法

8.1	引言	293
8.2	基本原理	293
8.2.1	符號規定	293
8.2.2	剛構架與桁架之區別	293
8.3	傾角變位法公式之由來	294
8.3.1	由於節點旋轉所引起之彎矩	294
8.3.2	由側位移所引起之彎矩	295
8.3.3	由外力作用所引起之彎矩	296
8.3.4	傾角變位法公式	298
8.3.5	勁度之意義	298
8.3.6	修正傾角變位法公式	299
8.4	傾角變位法解題步驟	300
	習題	327

第九章 彎矩分配法

9.1	引言	335
9.2	彎矩分配法原理	335

9.2.1	勁度和勁度因素	335
9.2.2	傳遞係數	337
9.2.3	彎矩分配法原理	337
9.3	對稱、反對稱及 hinge 端之勁度修正	338
9.3.1	對稱桿件之修正	338
9.3.2	反對稱桿件之修正	339
9.3.3	hinge 端之勁度修正	340
9.4	固定端彎矩、節點旋轉彎矩和節點相對位移彎矩	342
9.4.1	固定端彎矩	342
9.4.2	節點旋轉彎矩	342
9.4.3	節點相對位移彎矩	343
9.5	無側位移之連續樑或剛架	346
9.6	一個側位移之剛架	357
9.7	多個側位移之剛架	376
9.8	非正交剛架之彎矩分配法	387
9.9	基腳轉動、位移及桿件受溫度變化之彎矩分配法	406
9.10	肱樑彎矩分配法	428
9.10.1	基本原理	428
9.10.2	肱樑彎矩分配法之 F.E.M	429
9.10.3	解題步驟	431
9.11	門橋法	445
9.12	二次輪迴分配法	450
習題		457

第十章 結構矩陣法

10.1	前言	469
10.2	矩陣代數	469
10.2.1	矩陣之定義與符號	469

10.2.2	矩陣種類	470
10.2.3	矩陣運算	471
10.2.4	行列式	472
10.2.5	反矩陣	475
10.3	結構矩陣分析中載重及桿件之處理	486
10.3.1	非節點載重之處理	486
10.3.2	桿件之處理方式	487
10.3.3	hinge 端之修正	488
10.4	位移法	489
10.4.1	符號介紹	490
10.4.2	位移法之原理	490
10.4.3	位移法之解題步驟	496
10.5	直接勁度法	537
10.5.1	直接勁度法與位移法之比較	537
10.5.2	直接勁度法之基本原理	537
10.5.3	全勁度矩陣 $[K]$ 之求法	539
10.5.4	直接勁度法之解題步驟	540
習題		578

第十一章 彈性支承與非完全剛性節點

11.1	彈性支承	583
11.2	非完全剛性節點	608
11.2.1	基本原理	608
11.2.2	公式推演	609
11.2.3	非完全剛性節點之各種彎矩	611
習題		632

第一章 緒 論

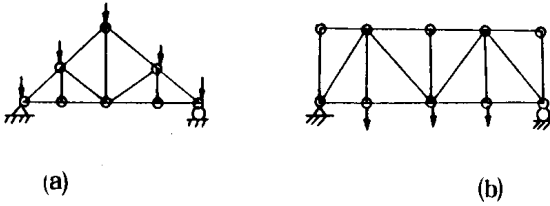
—— 本章提要 ——

- 1·1 結構物種類 (Type of structures)
- 1·2 支承力之種類 (Type of supports)
- 1·3 結構物之平衡
- 1·4 結構穩定、不穩定、靜定、靜不定之判別

1.1 結構物種類 (Type of structures)

一般之結構物大致可區分成桁架 (*truss*)、樑 (*beam*) 及剛架 (*frame*) 三類。

1.1.1 桁架 (*truss*)



(圖 1.1)

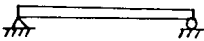
桁架之特性爲：

1. 所有載重均應作用於節點上 (*joint*)
2. 所有桿件均爲二力肢 (*two-force member*)，亦即只會產生軸向張力或壓力，而不致產生其它的應力。
3. 節點均爲鉸接 (*Pin-connection*)，不能承受彎矩。
4. 主要應力爲軸力 (*tension or compression*)。

1.1.2 樑 (*beam*)

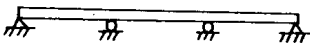
樑主要分成下列幾種：

1. 簡支樑 (*simple support beam*)



(圖 1.2)

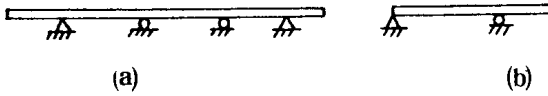
2. 連續樑 (*continuous beam*)



(圖 1.3)

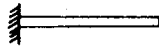
4 建築結構學

3. 外伸樑 (*over-hanged beam*)



(圖 1.4)

4. 懸臂樑 (*cantilever beam*)

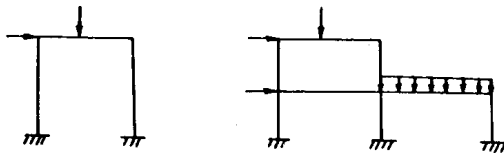


(圖 1.5)

樑之主要特性爲：

1. 主要應力爲彎矩及剪力 (*moment and shear*)
2. 樑之軸力效應很小，通常可以忽略不計。

1.1.3 剛架、構架 (*frame*)



(圖 1.6)

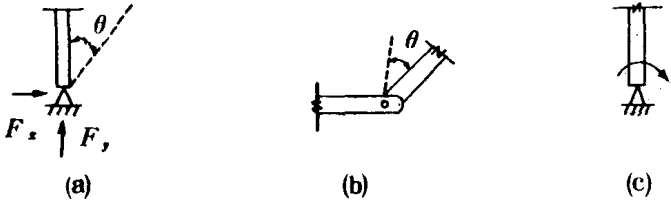
剛架之特性爲

1. 節點至少有一部份爲 *rigid joint* (剛性接點) 。
2. 必須使結構物保持穩定性。
3. 主要之應力爲彎矩，次要應力爲剪力與軸力。
4. 剛架可承受各方向之載重。

1.2 支承力之種類 (*Type of supports*)

一般支持結構物之支承，大致可分成下列幾種，而這些支承與吾人解題時之邊界條件 (*boundary condition*) 一如最小功法，及矩陣解法之自由度，均有所關聯，故必須先能了解各支承之特性。

1.2.1 鉸支承 (hinge)



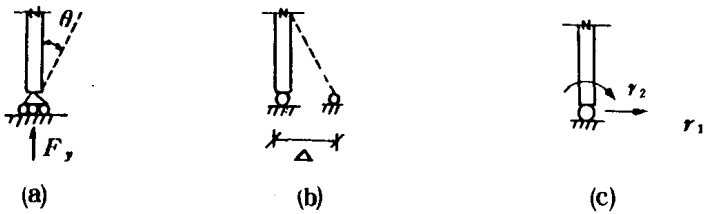
(圖 1.7)

1. 只能抵抗水平力或垂直力，不能抵抗彎矩。

即 $F_x \neq 0$, $F_y \neq 0$, $M = 0$

2. 節點有一轉角之自由度 r 。

1.2.2 輥支承 (roller)



(圖 1.8)

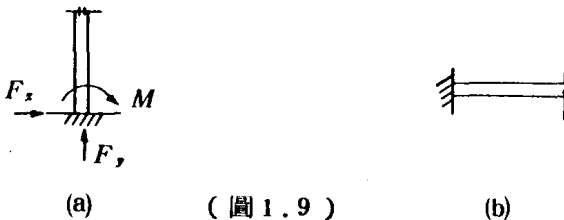
1. 只能抵抗與 *roller* 垂直方向之反力，其餘方向及彎矩均不能抵抗，即

$F_x = M = 0$, $F_y \neq 0$ 。

2. 有側位移 (sideway) 及轉角產生，故於 *roller* 處有 2 個自由度 r_1 及 r_2 。

3. 輥支承對於抵抗溫度膨脹等之所發生之二次應力，甚具效果。

1.2.3 固定支承 (fixed end)



(圖 1.9)

6 建築結構學

1. 固定支承可以抵抗水平力、垂直力及彎矩，而不會發生轉角、水平變位與垂直變位。
2. 因固定支承處不產生變位，故無自由度。

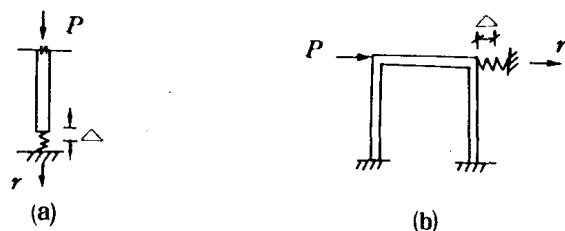
1.2.4 抗彎輓支承



(圖 1.10)

1. 能抵抗彎矩及與滑動垂直方向之反力。
2. 只有滑動方向一個自由度。

1.2.5 彈性支承 (elastic support)



(圖 1.11)

1. 彈性支承，承受外力後，會產生 Δ 之變形量，但無法承受彎矩，故猶如一個有 Δ 側位移之 *roller* 支承一樣。
2. 彈性支承猶如一壓縮彈簧，在節點處有一 r 之自由度。

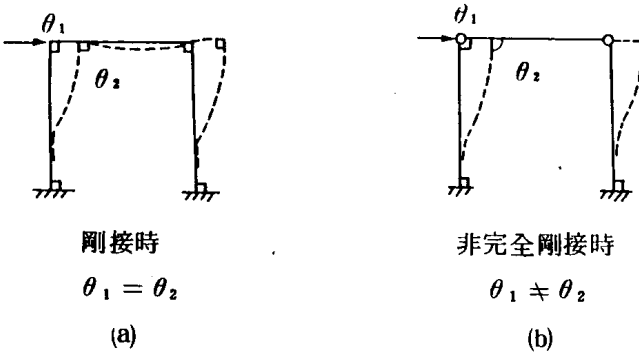
1.2.6 扭轉彈簧 (Torsion spring)



(圖 1.12)

1. 在結構物之基本假設中，均視節點為剛接 (*fixed-end, rigid joint*)，但實際上之結構却不是如此而為非完全剛接。此時就可以以 *torsion spring* 之方式來模擬分析之。
 2. 扭轉彈簧承受外加彎矩後，會產生轉角，故有一個 r 之轉動自由度。
- 1.2.7 剛接之意義 (*rigid joint*)

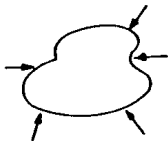
在結構分析上均假設節點為剛接，此剛接之意義，即該節點具有甚大的剛性可以使受力前後節點夾角保持不變。如 (圖 1.13) 所示。



(圖 1.13)

1.3 結構物之平衡

任何結構物無論對整體，或是切開之自由體 (*free body*) 而言，均必須要符合下列六個平衡之方程式。



(圖 1.14)

$$\left\{ \begin{array}{ll} \Sigma F_x = 0 & \Sigma M_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 & \Sigma M_y = 0 \\ \Sigma F_z = 0 & \Sigma M_z = 0 \end{array} \right.$$

若為平面結構則須滿足右列三個
平衡方程式

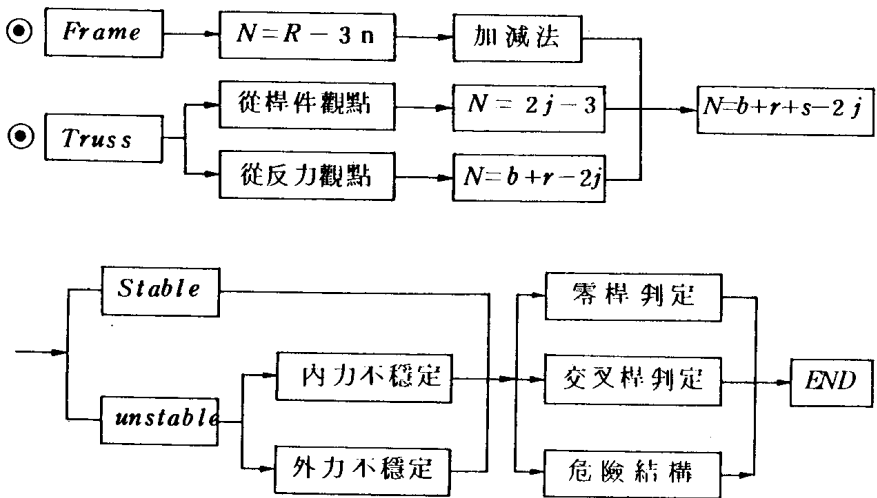
$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ \Sigma F_y &= 0 \\ \Sigma M &= 0 \end{aligned}$$

1.4 結構穩定、不穩定、靜定、靜不定之判別

(*Stable and unstable structure , Determinated and Indetermined structure*)

1.4.1 引言

一般判定結構物之穩定、不穩定，靜定、靜不定主要是在判斷結構物是否安全，及解此類問題時應如何假設贅力 (*Redundant force*)，故對於任何題目均應先加以判斷其結構的穩定情形，以避免發生不合理之錯誤結果。判定時，一般將其分成桁架及剛架 (含梁) 兩大類，其主要之判定流程及方法則如下列所示。



至於詳細判定方法及符號將在下節中討論之。

1.4.2 不穩定之判別

產生 *unstable*，一般而言，有下列兩種 *unstable* 之形成原因。

一、內力不穩定

此乃桿件內無法抵抗外力之所形成的 *unstable*

1. 構件安排不當