



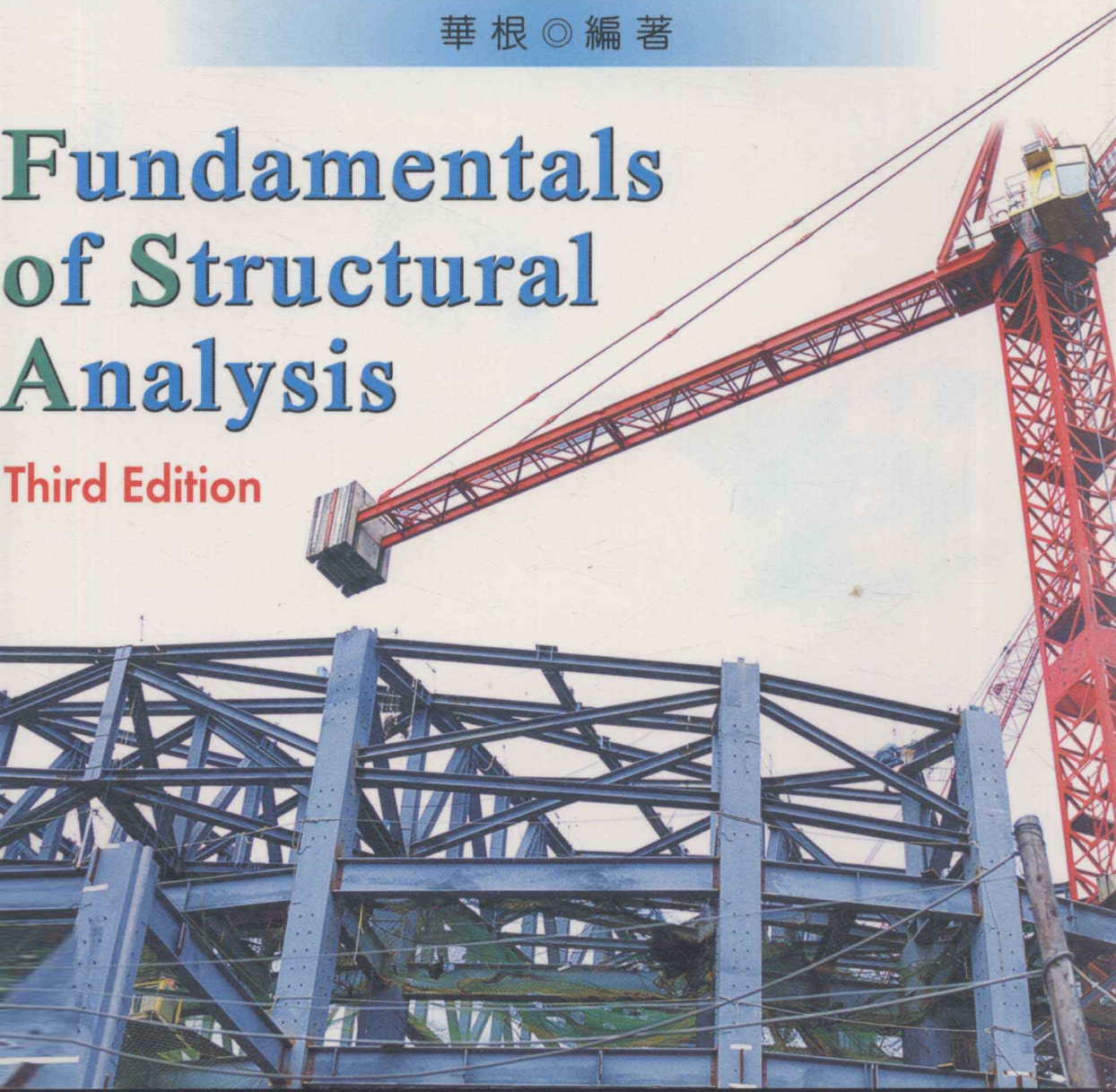
第 **3** 版

結構學

華根 © 編 著

Fundamentals of Structural Analysis

Third Edition



第 3 版

結 構 學

華 根 編 著

Fundamentals of Structural Analysis

Third Edition



新文京開發出版股份有限公司

New Wun Ching Developmental Publishing Co., Ltd.

國家圖書館出版品預行編目資料

結構學 = Fundamentals of structural analysis
/ 華根編著. -- 第三版-- 臺北縣中和市:
新文京開發 民 97.08 面: 公分
參考書目: 面
ISBN 978-986-150-932-7(平裝)

1. 結構工程

441.21

97014655

結構學(第三版)

(書號: A197e3)

編著者 華根
出版者 新文京開發出版股份有限公司
地址 台北縣中和市中山路二段 362 號 8 樓 (9 樓)
電話 (02) 2244-8188 (代表號)
F A X (02) 2244-8189
郵撥 1958730-2
初版 西元 1999 年 7 月 30 日
第二版 西元 2004 年 8 月 30 日
第三版 西元 2008 年 8 月 15 日

有著作權 不准翻印
法律顧問: 蕭雄淋律師
ISBN: 978-986-150-932-7

建議售價: 485 元

第三版序

建築工程結構設計主要分為二部份：「強度需求」與「變形需求」。強度需求係指安全性而言，而變形需求則基於舒適性的需要，一般結構設計規範要求經結構分析所得之結構及其構件強度或變形量不得超過規範之規定值。由此可知結構學的學習對於土木與建築系科學生的重要性。

由於現今電腦強大的計算能力與建築結構材料模型(material modeling)的完備，規範已逐漸採納以二階非彈性分析(second-order inelastic analysis)為建築結構設計的分析方式。然而，作為大學部基礎課程之所需，本書仍以線彈性分析(linear elastic analysis)為計算方式，以建立初學者結構分析計算的基本概念與能力。

為達簡明易懂之目的，本書之原理推導及計算步驟均採條列方式順序編寫。第三至五章分別考慮靜定梁、桁架及剛架構件力之計算，六至八章則考慮各靜定結構構件之軸向、側向與剪力變形，第九章為研討靜不定結構的觀念介紹，十至十二章則為靜不定結構構件力與變形的討論。

本書之出版蒙多所大專校院相關系科教授指定為教科書與參考書，並賜予寶貴意見，使得本書錯誤逐一改正，內容漸趨完善，謹在此表達感謝之意，也仍請各界先進繼續提供卓見，作為後續努力改進之參考。

華 根 謹識

民國 97 年 7 月

第二版序

本書秉持著簡捷、清晰的原則編寫，適用於技專院校的土木、水利及建築等相關科系學生研讀參考。自出版以來，承蒙許多教師推薦採用，在此致上深深的感謝之意。

承蒙各界的指正，本書的再版將原有誤刊之文字、計算及圖形均已修訂補正，並備妥習題解答供教師授課時的參考及學生作業的批閱用，期能增進本書的使用效能。

本書著重於結構力學觀念的闡明，並使讀者易於明瞭其計算的流程。內容涵蓋梁、桁架及剛架之靜力分析，以彈性分析及能量法求結構變位，以傾角撓度法及彎矩分配法求靜不定結構之受力及變形，以及結構影響線的介紹。各章節係依其內容的難易度與合理性，順序安排。第一版中第十章「三力矩公式」在一般結構教學中已較少論及，故在第二版中予以刪除；由於在結構設計實務中，剪力與軸力變形均應合併彎矩變形一起考慮，故於第二版中新增第八章「剪力變形與軸力變形」，期使學生的學習更符合實際應用。

本書之定稿雖經多次校核，然而，疏漏仍在所難免，敬祈各界先進不吝指正，並對本書的內容及編排提供卓見。

華 根 謹識

民國 93 年 8 月

序 言

結構學係土木工程學問之基本科目，並為結構實務設計之基礎，對於將要從事結構工程的學生而言，學好結構學是極為重要的。一般教科書籍內容誠然已鉅細靡遺，但長篇大論、密密麻麻，使得學生失去研讀的耐性而放棄，實是可惜。是以筆者授課之餘，將授課講義再加整理改編欲成一本簡明、有條理之結構書籍，供教師授課及學生研讀參考。

為達清晰明瞭之目的，本書之重點說明及原理推導均採條列方式順序編寫；各結構方法均列有解題步驟並附有例題，以使學生確實瞭解解題的方法；除第一及第八章外，各章均附有習題供同學自行練習。

筆者於淡江大學土木系就讀期間，受教於漫公義弘、郭公瑞芳二教授，啟蒙並奠定力學基礎；於美國普渡大學就讀期間，受教於力學大師陳公惠發教授，使筆者對結構學有更深入的瞭解，在此謹向諸位教授致最高的敬意。本書之出版煩請南亞技術學院程境豐同學協助校稿、國立台北科技大學林奇正同學校核計算，二位均為品學兼優之學生，在此一併致謝。

本書出版雖力求審慎，但疏漏錯誤，在所難免，尚祈各方先進不吝指正。

華 根 謹識
民國 87 年 8 月



第一章 緒 論

1-1	工程結構.....	1
1-2	結構學研究的範圍.....	1
1-3	結構設計的步驟.....	2
1-4	結構學的分類.....	2
1-5	結構分析的方法.....	4
1-6	實際與理想的結構.....	4

第二章 結構穩定性與可定性

2-1	結構平衡條件.....	5
2-2	支承及反力.....	6
2-3	結構斷面的內力.....	8
2-4	結構穩定性與可定性的判別.....	10
2-5	梁的穩定性與可定性.....	12
2-6	桁架的穩定性與可定性.....	14
2-7	剛架的穩定性與可定性.....	19
	習 題.....	23

第三章 靜定梁

3-1 梁的作用	27
3-2 靜定梁的種類	27
3-3 單向彎曲條件下梁之斷面力	29
3-4 靜定梁的分析	30
習 題	46

第四章 靜定桁架

4-1 桁架的組成	49
4-2 桁架應力分析時所假設的條件	50
4-3 桁架的種類	50
4-4 截點法	54
4-5 零力桿件	59
4-6 截面法	65
4-7 K 桁架	68
4-8 組合桁架	71
習 題	76

第五章 靜定剛架

5-1 剛架性質	85
5-2 靜定剛架的種類	86
5-3 標示線之決定	87
5-4 靜定剛架的分析步驟	88
習 題	97

第六章 結構的彈性變位分析

6-1	結構的變位	101
6-2	變位的求法	102
6-3	變形圖及彈性曲線	102
6-4	彈性變形曲線的曲率	105
6-5	積分法求變位	107
6-6	彎矩面積法	114
6-7	共軛梁法	123
習 題		135

第七章 能量法求彈性變形

7-1	外功與應變能	141
7-2	單位力法	146
7-3	單位力法：桁架	148
7-4	單位力法：梁及剛架	156
7-5	體積積分的觀念	166
7-6	單位力法：考慮剪力及軸力	171
7-7	卡氏定理	173
7-8	最小功法	182
7-9	馬克斯威爾撓度互置定理	188
習 題		191

第八章 軸向變形與剪力變形

8-1 概論	197
8-2 構件受軸向力作用	198
8-3 構件受剪力作用	198
8-4 力與變形的關係	200
8-5 構件受溫度作用	201
8-6 簡單結構的變位	202
習 題	209

第九章 基本結構學中心觀念

9-1 考慮主題	211
9-2 中心觀念	212
9-3 解題概念	212

第十章 諧合變形法

10-1 概 論	213
10-2 諧合變形原理	214
10-3 諧合變形分析步驟	216
習 題	229

第十一章 傾角撓度法

11-1 概 論	233
11-2 假設條件	234
11-3 符號規則	234
11-4 桿端彎矩函數式之推導	235
11-5 常用固端彎矩 M_{ab}^f 及 M_{ba}^f	239
11-6 修正的桿端彎矩	241
11-7 傾角撓度法分析無側移樑或剛架之步驟	242
11-8 傾角撓度法分析有側移樑或剛架	255
習 題	271

第十二章 彎矩分配法

12-1 理論概念	277
12-2 勁度之意義	278
12-3 分配彎矩	280
12-4 修正勁度	286
12-5 彎矩分配法分析無側移之結構	288
12-6 彎矩分配法分析有側移之結構	300
習 題	315

第十三章 影響線

13-1	移動荷重	319
13-2	影響線作用	320
13-3	影響線方程式（代數法）分析靜定樑的影響線	320
13-4	虛功原理求靜定樑之影響線	332
13-5	荷重的考慮	338
13-6	靜定桁架的影響線	342
習題		349

附錄 A	常用規則面積之幾何性質	353
附錄 B	常用梁變形公式	357
附錄 C	虛功法求剛架側移量	363
附錄 D	參考書籍	369

緒 論

1 - 1 工程結構 ---

通常指某種構造物或營建物而言。主要的結構物有橋樑、房屋、擋土牆、壩等。結構物的組成係由一個或兩個以上更多的固體元素經適當的安排而成的，使其全部或局部在加載或卸載時，仍能不發生任何顯著的變形，保持穩固與安全。

1 - 2 結構學研究的範圍 ---

結構學的研究內容，乃是構造物在承受外力後，求出其各部分的作用情形，包括未知的內力及變形，再根據這些內力與變形來設計安全經濟的構造物。

結構物之設計須滿足下列兩個項目：

- (1) 結構物必須合乎實際的使用需要。
- (2) 結構物必須能安全的負載荷重。

1 - 3 結構設計的步驟 ---

(1) 規劃 (Planning)

考慮的因素包括構造物的材料、大概尺寸、將來的發展及其預期的效果等。另外，應加考慮的有經濟、美觀、預算等因素。

(2) 結構分析 (Structural Analysis)

① 載重的估計：通常依使用的目的實際估算，其最小值則可由規範書上查得，較重要者有靜載重、活載重、風力、地震力。

② 應力的分析：外加的載重確定後，則必須作應力分析以計算得各構件的內力（或應力）。設計時應知最大應力之大小及其發生的位置。

(3) 結構設計 (Structural Design)

根據(2) 計算之結果，對於各部分產生應力的大小，作詳細設計。

(4) 製圖與細節 (Drawing and Detailing)

1 - 4 結構學的分類 ---

(1) 平面結構與空間結構 — 依空間分

實際上結構是非平面的，但在進行梁、桁架或剛架等結構分析時，通常將其視為平面結構予以簡化。有些結構如塔、薄殼等無法簡化為平面結構而必須以三度空間座標來表示，因其發生的內力均在空間而不在一平面上，分析時較平面結構繁複，可用矩陣方法藉由電腦協助解算。

(2) 線性結構與非線性結構 — 依力與位移的關係分

線性結構係指外載重與結構產生位移間的關係是線性的，如圖 1-1(a) 所示。其要求為：

- ① 結構材料為彈性且受力在彈性範圍內，亦即須符合虎克定律（Hooke's law），如圖 1-1(b) 所示。
- ② 結構的變形量甚小，因變形而引起的應力變化可以忽略不計。



圖 1-1

《註 1》應用重疊原理 (Principle of Superposition) 時，該結構的線性關係必須存在。

非線性關係的產生：

- ① 結構材料非彈性，虎克定律不適用。
- ② 外力作用後，材料雖在彈性範圍內，但變形量甚大，次要彎矩及應力無法忽略不計。

(3) 靜定結構與靜不定結構 — 依平衡解題法分

- ① 結構之未知內、外力僅以靜力平衡方程式及條件方程式即可解出者，稱為靜定結構。

② 結構之未知內、外力數超過結構的靜力平衡及條件方程式數目，則需自變形關係中另找方程式以解未知數者，稱為靜不定結構。

《註 2》結構之彈性變形與外力、材料的性質（如 E 值）及斷面幾何性質（如 A 及 I ）有關，故解靜不定結構時，上述之值均會牽涉於內。

《註 3》結構桿件有內接點（如內鉸、內支承）時才有條件方程式產生。

1 - 5 結構分析的方法

(1)一階彈性分析(first-order elastic analysis)

假設無論外力多大，材料保持在彈性範圍內且結構受力與位移保持正比關係。

(2)二階彈性分析(second-order elastic analysis)

材料維持在彈性範圍內，但因變形所產生的次要彎矩(secondary moment)必須列入計算。

(3)二階非彈性分析(second-order inelastic analysis)

除次要彎矩必須考慮外，在高應力時，材料由彈性範圍進入塑性範圍所造成的勁度(stiffness)降低也列入分析時的考慮。

1 - 6 實際與理想結構

所有的結構分析問題，都根據幾個與實際結構不盡相符之假設，以簡化問題，否則，結構將因實際狀況過於複雜而以現有數學知識計算不出結果。但假設須合理並與實際狀況接近，如此，計算所得才不會誤差過巨。

2

結構穩定性與可定性

2 - 1 結構平衡條件 ---

結構學主要討論平面結構，屬平面一般力系。當結構體受外力作用時，若保持靜力平衡狀態，則須滿足三個靜力平衡方程式：

$$\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma M_a = 0$$

〈註1〉 a 為平面上任意一點。

〈註2〉 共點力系須滿足 $\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0$

〈註3〉 平行力系須滿足 $\Sigma F_x = 0$ (或 $\Sigma F_y = 0$) , $\Sigma M_a = 0$

〈註4〉 共線力系須滿足 $\Sigma F_x = 0$ (x 為軸方向)