

建築構造材料的

靜力學與材料力學

Barry Onouye / Kevin Kane

華盛頓大學

建築與都市計畫學院

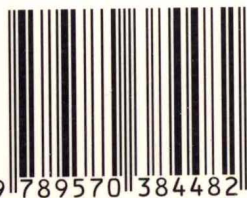
建築學系

譯者：呂以寧

六合出版社 印行



ISBN 957-0384-48-4



9 789570 384482

00650



建築構造材料的

靜力學與材料力學

Barry Onouye / Kevin Kane

華盛頓大學

建築與都市計畫學院

建築學系

譯者：呂以寧

六合出版社 印行

建築構造材料的一

靜力學與材料力學

原 著 / Barry Onouye
Kevin Kane

譯 者 / 呂以寧

發行人 / 吳秀蓁

出版者 / 六合出版社

發行部 / 台北市中正區臨沂街3巷25號1樓

電 話 / 23418616 · 23563938 · 23418639

傳 真 / 23418663

郵 撥 / 0 1 0 2 4 3 7 7 六合出版社 帳戶

登記證 / 局版北市業字第 1615 號

第一版 / 中華民國九十三年七月

定 價 / 新台幣 650 元整

ISBN / 957-0384-48-4

E-mail / liuhopub@ms29.hinet.net

版權所有 / 翻印必究

(請勿抄襲或影印)

[本書若有破損或裝訂錯誤

請寄回發行部更換]

Statics and Strength of Materials for Architecture and Building Construction

**Barry Onouye
with Kevin Kane**

Department of Architecture
College of Architecture and Urban Planning
University of Washington

序

我很榮幸地與Barry Onouye在一個設計工作室裡共同工作了十二年頭。剛開始的時候，他明顯地表現出在結構方面的完整知識，但是經過了一段時間之後，他也表現出對於建築結構在規劃、設計、建築構造上扮演重要角色的結構系統方面的深厚知識。他是一位特殊的老師，他不僅具有極為豐富的知識，也能夠以建築的方式來詮釋結構原則和觀念，並且用這種方法來說明建築設計和構造上的相關問題。本書是由他和Kevin Kane一起完成的，書中亦傳達出這種特殊的教學能力。

在建築教育中，**建築構造材料的靜力學與材料力學**是一個長久存在卻又讓人感到有一點新鮮的議題。它結合了靜力學—作用於結構構件的內力系統，以及材力學—因為外力而產生的內力和變形。這些因素決定了結構構件的尺寸、形狀、在系統中的配置情況，以及整合於建築物中並且支撐整個建築物的方式。

這個系統可說是所有從過去的紀念碑到現在大部分建築物的基礎。不管是外露可見的或是隱藏在內的，這些三度空間的構架皆建立了建築物內的空間組成方式。即使隱藏在樓板、牆壁和天花板等清楚的表面構件內，結構構架仍然可以透過留意的觀察而被看出來。因此，對於結構理論和系統的認識，可說是建築教育中相當重要的一環。

在過去的一個世紀中，有許多可供建築和營建科系學生研讀的建築結構著作問世。但是，本書的不同之處在於它以有效率的文字和圖像等組合方式來呈現。結構教育的問題在於必須對學習設計的學生們解釋結構理論和觀念，但是對這些學生來說，圖像會比數字更有意義。然而，純粹以圖像的方式來表示，會出現忽略了結構科學所必備的嚴謹數學模式的風險。本書將視覺資訊與必要的數學模型和結構原理相互整合，藉以取代傳統的建築結構教學方式，並以連貫的圖示方式將結構概念與實際的建築設計案例結合在一起。這種明智且平衡的陳述方式，將對學習建築結構的學生和老師們多所助益。

Frank Ching

前言

本書的主要目的在於利用一些建築案例、補充圖例與文字等簡單而容易明瞭的方式，來陳述基本的結構概念。在過去20年的教書經驗中，許多本書所提及的材料都已經經過實驗室測試、修正及更新。

不仰賴較具優勢的數學方式來介紹結構理論，是相當具有挑戰性的。或者說，如果想要讓讀者（建築系、營建系的學生和一些選修工程技術科目者）保持興趣，就必須採用非計算式的工程陳述方式。首先，我們決定利用著重視覺表達的圖例方式，將結構理論和實際的建築物及組成構件連接在一起。因此，利用眾所皆知的周遭建築和結構案例，似乎是介紹此一以數學為基礎的材料的簡易邏輯方式。

本書係依循傳統的材料靜力學與材力學書籍的編排方式，因為這似乎是最合乎邏輯的方法。健全的材料靜力與材力知識，將可建立結構理論在理論和科學基礎方面的理解能力。數字計算則可以測試讀者對於結構原理解釋與理解方式。本書包含了一些完整的工地問題以及供學生練習的額外問題。有趣且敘述式的結構概念可以刺激學生對於這個領域的興趣，但是並無法確保學生們能夠充分理解。

本書試圖成為結構原理基本概念課程（舉例來說，諸如Salvadori和Heller所著的“建築結構—建築物的構築”（*Structure in Architecture—The Building of Buildings*）一書）的後續內容。從組織方面來說，本書包含二個部分：分別是第2章到第4章的靜力學，以及第5章到第9章的材力學。在一般的習慣上，第4章中的“載重分析”並不包含在靜力學的範圍內，但是我們將之包含其中，以便以圖示方式說明基本的機械原理。重力（垂直力）和側向力（水平力）的分佈方式通常會包含在之後的結構課程中，但是我們可以在這個階段介紹它的基本原理。第10章則是之前議題的綜合內容，並且摘述一些在第1章所概要提及的建築、結構和構造問題。

本書強調以自由體圖（free-body diagrams）來瞭解作用在結構構件上的力量。所有的問題都會以圖示的方式來表現結構構件或組合方式，該圖示亦伴隨自由體圖來做解釋。本書大量地採用圖示的方式來確保學生們知道真實物件和抽象部分的連接點。第3章則利用之前章節所討論的原理來解決結構構架的配置問題。第4章的“載重分析”試圖檢視整體的結構狀況，並且注意重力和側向力的載重情形；本章將以

圖示方式說明某一構件和其他構件之間的相互作用，並且介紹建築物內的載重路徑傳遞概念。

第5章介紹材料的應力和應變特性，因為這些議題也與常用在建築工業上的材料有關。其中的內容必須以構造材料與構造方式來做補充，或者以之前的材料力學概論來做附註。第6章包含結構的剖面特性，強調的重點通常是梁柱的形狀。第7、8、9章則為梁柱的分析和設計基礎，其中所使用的是結構學上的彈性理論，而被認可的應力方法也會運用在梁柱的設計上。梁柱的設計公式會採用一些簡化的方式，以便在符合初步設計的前提之下，減化複雜的計算過程。利用更為複雜的公式，則能計算出更符合梁柱結構構件最終尺寸的要求。我們假設學生們必須依據木構造、鋼構造和混凝土構造等課程順序依序學習，因此，這些章節並不包括建築法規公式和規範標準。

本書並不討論超靜定（indeterminate）的梁和構件，因為這類結構的分析，需要仰賴超越材料靜力學與材料力學範圍的實質發展方式來解決。超靜定結構對於建築物的設計者來說，可說是許多重要結構議題中的一個，因為大多數規模適中的商業類和機構類建築物都屬於這種類型的結構。利用結構分析軟體來分析超靜定的結構行為，顯然是所有未來建築物設計者的重要研究領域。

本書適合用於一學期（15週）或二個10週季制的建築、營建、工程科技課程。第4章和第10章也可以提供想要對建築構件有所認識的土木系學生研讀。此外，第8章和第9章提供了快速決定梁柱尺寸的初步方法。雖然本書可以自行研讀，但是如果可以當成課堂上的補充教材，將是更好的選擇。

本書所涵蓋的許多主題都可以在課堂上利用模型來示範說明。實際建築物的幻燈片則可以透過視覺影像來加強學生們對結構概念的認識。之前的教學經驗使我們明瞭，教師必須利用許多不同的媒介和技術來說明一個概念。因為，不可諱言地，結構學是一項“枯燥無味”的科目。

因為美國持續努力想要將美國的慣用單位系統轉換成國際單位系統（SI公制系統），因此，本書的一些案例和練習題也會採用SI單位系統。在第vii頁則有美制單位系統和SI公制單位系統的定義表。

謝辭

感謝許多讀過本書之前版本的學生們，對於本書的許多改進建議。

特別是，如果沒有Kevin Kane的參與，並且提供他在結構概念上的知識和圖例，本書也無法完成。在本書的第4章和第10章中，都可以看到由Kevin所整合的圖例。此外，還必須感謝Cynthia Esselman、Murray Hutchins和Gail Wong，感謝他們在截稿期限內幫忙繪圖。

特別要感謝Tim Williams和Loren Brandford的掃描和打字工作；Robert Albrecht對於之前手稿的檢討；Ed Lebert所提出的實際問題；Chris Countryman對於問題和答案的校對；Bert Gregory和Jay Taylor對第10章內容所提出的相關資訊；以及助教Elga Gemst幫助我準備材料力學章節的原始參考內容和著名思想家傳記。也要感謝林肯大學的Frank Altuahene；北卡羅萊納大學的Charlie R. Mitchell；Clemson大學的John Mumford；艾佛烈州立大學的Ronald Nichols；Clemson大學的Saleh Altayeb；以及Prentice Hall出版社的資深編輯Ed Francis。最後，我要感謝我的朋友兼同事Frank Ching鼓勵我們完成這個出書計畫。他對於許多在華盛頓大學教書的同事來說，都是一個最好的模範。

誠摯地感謝家人的支持和他們在整過著書過程中的犧牲。感謝你們—Yvonne、Jacob、Jake、Amia和Aidan。

Barry Onouye

名詞定義

意義	美制單位	公制單位 (SI)
長度的測量單位	吋 (in.或 ") 呎 (ft.或 ')	公釐 (mm) 公尺 (m)
面積的測量單位	平方吋 (in. ²) 平方呎 (ft. ²)	平方公釐 (mm ²) 平方公尺 (m ²)
質量的測量單位	質量磅 (lbm)	公斤 (kg)
作用力的測量單位	磅 (lb. 或 #) 仟磅=1,000 lb. (k)	牛頓 (N) 仟牛頓=1,000N (kN)
應力 (力/面積) 的測量單位	psi (lb./in. ² 或 #/in. ²) ksi (k/in. ²)	巴士卡 (N/m ²)
壓力的測量單位	psf (lb./ft. ² 或 #/ft. ²)	仟巴士卡=1,000Pa
力矩 (力×距離)	磅-呎 (lb.-ft. 或 #-ft.) 仟磅-呎 (k-ft.)	牛頓-公尺 (N-m) 仟牛頓-公尺 (kN-m)
分佈在整根構件長度上的載重	ω (lb./ft., #/ft., 或 plf)	ω (kN/m)
密度 (重量/體積)	γ (lb./ft. ³ 或 #/ft. ³)	γ (kN/m ³)

作用力 = (質量) × (加速度) ; 因重力而引起的加速度 : 32.17 ft./sec.² = 9.807 m/sec.²

單位換算

1 m = 39.37 in.	1 ft. = 0.3048 m
1 m ² = 10.76 ft. ²	1 ft. ² = 92.9 × 10 ⁻³ m ²
1 kg = 2.205 lb.-mass	1 lbm = 0.4536 kg
1 kN = 224.8 lb.-force	1 lb. = 4.448 N
1 kPa = 20.89 lb./ft. ²	1 lb./ft. ² = 47.88 Pa
1 Mpa = 145 lb./in. ²	1 lb./in. ² = 6.895 kPa
1 kg/m = 0.672 lbm/ft.	1 lbm/ft. = 1.488 kg/m
1 kN/m = 68.52 lb./ft.	1 lb./ft. = 14.59 N/m

字首	符號	數字
giga	G	10 ⁹ 或1,000,000,000
mega	M	10 ⁶ 或1,000,000
kilo	k	10 ³ 或1,000
milli	m	10 ⁻³ 或0.001

© 1999 by Prentice-Hall, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE TRADITIONAL language edition published by
LIU-HO PUBLISHER CO. LTD., Copyright © 2004

ISBN: 0-13-639246-6

國家圖書館出版品預行編目資料

建築構造材料的靜力學與材料力學 / Barry
Onouye, Kevin Kane原著；呂以寧譯。 -- 第
一版。 -- 臺北市：六合，民93
面：公分
譯自：Statics and strength of materials
for architecture and building construction
ISBN 957-0384-48-4(平裝)

1. 結構力學 2. 材料力學

441.21

93011332

目 錄

第1章 概論	1
1.1 結構的定義	1
1.2 結構設計	2
1.3 自然界中的類似情況	4
1.4 結構載重	7
1.5 基本的機能要求	10
1.6 建築議題	12
第2章 靜力學	17
2.1 作用力的特性	17
2.2 向量和	27
2.3 作用力系統	36
2.4 平衡方程式：二度空間的作用力	75
2.5 剛體的自由體圖	89
2.6 超靜定結構和不當的支點限制情況	101
第3章 靜定結構系統的分析	111
3.1 點的平衡	111
3.2 剛體的平衡	124
3.3 平面桁架	131
3.4 樞接構架（多力桿件）	164
3.5 三鉸拱	173
第4章 載重分析	189
4.1 載重分析	189
4.2 側向穩定載重分析	230

第5章	材料強度	251
5.1	應力和應變	251
5.2	彈性、強度和變形	268
5.3	其他的材料特性	275
5.4	溫度效應	290
5.5	超靜定構件（軸向載重）	295
第6章	結構構件的剖面性質	299
6.1	重心—形心	299
6.2	單一面積的慣性矩	310
6.3	組合形狀的慣性矩	317
6.4	迴轉半徑	329
第7章	簡支梁的彎力和剪力	331
7.1	梁和載重的分類	331
7.2	剪力和彎矩	336
7.3	剪力和彎矩圖的平衡法	338
7.4	載重、橫向剪力和彎矩之間的關係	345
7.5	載重、剪力和彎矩圖的半圖示法	347
第8章	梁的彎曲和剪應力	363
8.1	屈曲（彎曲）應變	364
8.2	屈曲（彎曲）應力公式	366
8.3	剪應力—縱向和橫向	380
8.4	一般剪應力公式的發展	384
8.5	梁的撓度	405
8.6	梁內的橫向挫曲	423
第9章	柱子的分析和設計	429
9.1	短柱和長柱的破壞形式	430
9.2	末端支撐方式和側向斜撐	437
9.3	承受軸向載重的鋼柱	447

9.4 承受軸向載重的木柱	462
9.5 承受組合式載重或偏心載重的柱子	476

第10章 結構、構造和建築 481

10.1 計畫之初—設計的前置工作	482
10.2 設計程序	483
10.3 初步設計	486
10.4 設計發展和施工文件	487
10.5 建築系統的整合	499
10.6 施工順序	505
10.7 結論	507

附錄 結構設計表 509

剖面特性—攔柵和梁	510
允許應力設計表	511
結構鋼的形狀	512
結構鋼的特性	513
習題解答	521

第1章 概論

1.1 結構的定義

“結構”一詞的定義是：以明確的組織型態，把相互關連的幾個部分組織起來的方式（圖1.1和1.2）—亦即由整體構架的特性來決定各個組成構件之間的相互關連。特別在自然界中，結構可說是利用最少的材料和最佳的配置方式，來達成強度最大的造型，並且使之符合使用目的的一種方式。

建築結構的首要功能，就是支撐並且安全地將載重和作用力傳遞至地面。建築結構必須不斷地抵擋風力、重力、震動甚至時而發生的地震。

結構是一種包覆內含式的架構；每一種東西都有它自己獨特的結構和造型。一片雲朵、一個海貝、一棵樹、一粒砂、人體等等，都存在著令人讚嘆的神奇結構設計成果。



圖1.1 放射狀、螺旋狀的蜘蛛網。

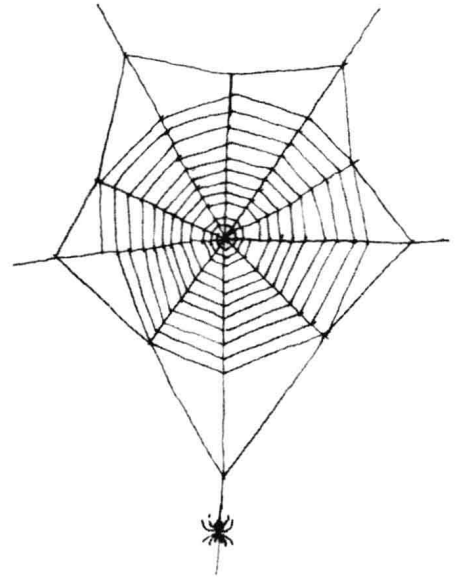


圖1.2 一艘愛爾蘭船的船頭格狀結構。船體的壓力透過縱向構件平均地分佈出去，這些縱向構件則由木肋條緊隙在一起。

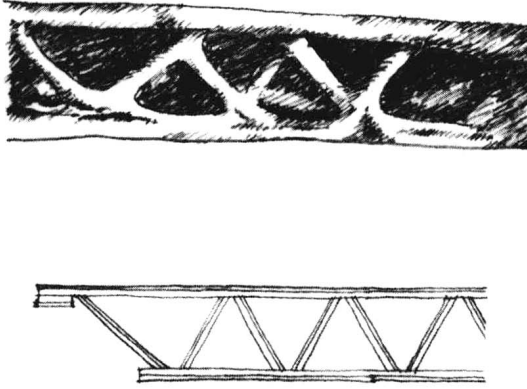


圖1.3 禿鷹翅膀的掌骨，以及華侖（Warren）桁架中的開放式鋼桁架腹版構件。

建築物和其他的自然實體一樣，需要結構構架來維持它們在某個實質造型中的穩定存在。

結構構架也代表著將一些實質材料（大木、磚石、鋼、混凝土）以相互關連的方式組合起來，創造出符合特殊使用用途的空間，並且保護內部空間不至於受到其他外部構件所影響。

不管大或小，結構都必須保持穩定持久、必須滿足機能需求，也必須符合經濟效率（用最少的的方法達到最大的結果）（見圖1.3），如牛頓（Isaac Newton）原理所述：

自然並不會製造任何空虛徒然的事物，但是當服務的功能變少時，空虛徒然就會增加；因為自然是最單純儉樸的方式使世人滿足的，所以並不需要誇耀過多複雜的事物。

1.2 結構設計

在本質上，結構設計包含作用力以及抵擋這些作用力的材料之間的平衡方式。在假設的載重容許範圍作用之內，健全的結構可以使建築物不至於崩塌。再者，在容許範圍之內的結構構件變形，並不會導致材料破壞或者對居住者產生心理上的傷害。一個好的結構設計注重直覺更勝於複雜的數學方程式。數學方程式對於設計者來說，只是一種方便並且可以進一步確認結構安全的工具，設計者亦可藉由它們來決定結構構件的實質尺寸和比例。

結構系統設計的一般程序（結構規劃）包括下列幾個階段：

- 構想基本的結構造型。
- 設計抵抗垂直力和水平力（側向力）的策略。
- 概估構件比例；發展基礎方案。
- 決定結構材料。
- 組成構件的細部比例關係。
- 設計構造方法。