

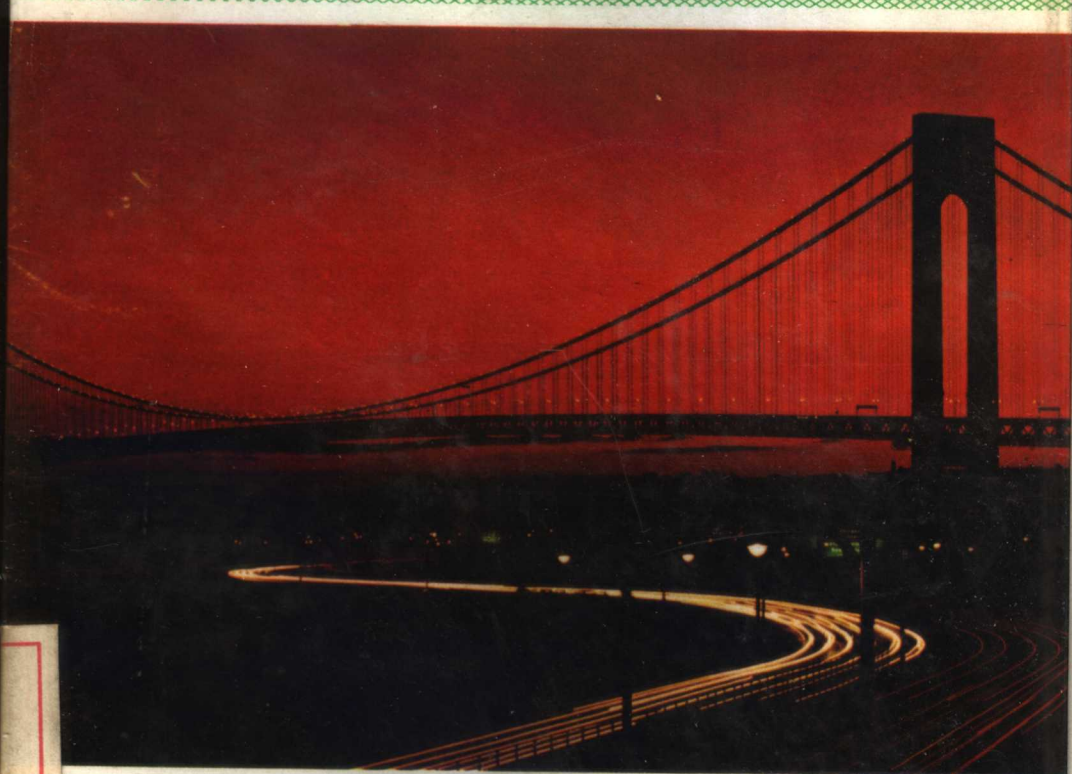
結構分析

ELEMENTARY STRUCTURAL ANALYSIS

第二冊

by CHARLES HEAD NORRIS, SC. D.
JOHN BENSON WILBUR, SC. D.

陳東義／許崇堯譯



正言出版社印行

86.24
C44
2

結構分析

ELEMENTARY STRUCTURAL ANALYSIS

第二册

by CHARLES HEAD NORRIS, SC. D.

JOHN BENSON WILBUR, SC. D.

陳東義 / 許崇堯譯

江苏工业学院图书馆
藏书章

正言出版社印行



結構分析(下冊)平裝

譯者：陳東義・許崇堯◇特價二二〇元

出版者☐正言出版社☐台南市衛民街三十一號☐郵政劃撥儲金帳戶三一六一四號☐電話(〇六二)二五二一五五／六號☐發行者☐正言出版社☐發行人☐王餘安☐本社業經行政院新聞局核准登記☐登記字號局版台業第〇四〇七號☐印刷者☐美光美術印刷廠☐台南市塩埕七號

68.3.初版

序

本書原著是麻省理工學院 Norris 教授與 Wilbur 教授所著的「Elementary Structural Analysis」第二版書，書中除闡述了結構學的原理、方法、觀念外，同時舉出了甚多極具特性的例題，加以詳細的說明分析概念，解題步驟及技巧，並提出討論，使學者能易於瞭解及深入。

由於本書分量極多，故已於 67 年 7 月先行出版上半部份；即 1 ~ 10 章部份，至於下半部份則於今完成，此外在本書完稿校核其間，原書第三版由 Norris 教授，Wilbur 教授及 Senol Utku 教授修訂出版，依譯者比較，第三版內容與第二版在編排技巧與討論範圍略有不同，較著重於概要性的討論，即將原第二版內容濃縮於第一、三部份，再於第二部份增加結構系統分析法之介紹，如此對於初學結構學者反而不如第二版書之詳細介紹基本結構學適宜，因此譯者仍照原計劃，先將第二版書後半部（11~20 章）先行推介，但擬參照第三版增加部份及其他高等結構學書籍出版「高等結構分析」，期以更趨完美充實。

疏誤之處，敬請指正。

感謝林柏堅教授、左利時教授啓蒙及諸師長之殷殷教導。

陳東義 敬識於台南
許崇堯

符號表List OF Symbols

本書採用符號個別在使用時加以定義，但為方便計，特將常用且較重要的符號列於下表；必須注意，有些符號可代表數種不同意義，須視其使用場合來決定代表何者。

A	桿件之斷面積
C	彎矩分配法中之互傳係數 (carry-over factor)
D	版或薄殼的彎曲剛度 (flexural rigidity) $Eh^3 / 12$ ($1 - \nu^2$)
D_m	結構分析採用變位法時，節點變位分量
D_F	彎矩分配法中的分配係數 (distribution factor)
E	彈性範圍內的楊氏係數 (張力或壓力) (Young's Modulus)
E_t	彈性範圍內的正切係數 (Tangent Modulus)
F	通常表示力；作用於桿件斷面之軸或軸抵抗力
$\mathcal{F}$	斷面的形狀係數 Z / S
FEM	彎矩分配法或傾角變化法中，桿件之固定端彎矩
G	剪力彈性係數 (modulus of elasticity in shear)
H	力的水平分量；作用於建築構架樓層之總剪力；繩索 (鋼索) 張力之水平分量
I	斷面之轉動慣矩 (Moment of Inertia)
J	彎矩分配法中之側遺係數 (sidesway-factor)
K	受彎桿件之剛 (勁) 度 (stiffness)，對於均勻斷面桿件為 $\frac{I}{L}$
K^R	受彎桿件之折減剛度

K'	受彎桿件之實際折減剛度
$effK$	受彎桿件之有效剛度
L	桿件長度；跨度長
M	力矩或力偶 (Moment of force, or Couple) ；彎矩 (bending Moment) ；抵抗力矩 (resisting Moment) ；桿件端彎矩；版或薄殼理論中之彎曲或扭轉應力—力偶
M_{yp}	就應力條件討論；當斷面最外緣達到屈伏應力時 (yielding stress) ，此斷面之抵抗力矩。 $M_{yp} = S\sigma_{yp}$
M_{pl}	桿件承受單純彎矩，全斷面塑性化時之抵抗力矩
N	採用於版殼理論中膜應力之合力 (membrane stress-resultants)
P	外載重
P_m	結構分析採用變位法時，節點力之分量
P_{cr}	臨界載重 (討論柱側潰時)
P_{yp}	使高應力處產生屈伏點應力之載重
P_{ult}	極限載重 (在塑性條件時，使應變與應力無關時之載重)
Q	應用虛功法之想像外載重；版殼理論中橫斷剪應力之合力
R	反力，合力
S	斷面之剪力 (剪應力) ；抵抗剪力
S	斷面係數 (Section Modulus)
T	繩索 (鋼索) 張力
V	力的垂直分量
W	物體之重量
W_d	內部變形產生之虛功 (virtual work)
W_R	外部反力產生之虛功
W_S	外力系 (載重及反力) 產生之虛功
W_E	外力系產生之功

- W_I 結構變形後，貯藏於物體內之內功（應變能 Strain energy）
- W_m 計算桁架變形時，採用桿鍊法（bar-chain method），節點 m 上之彈性載重（重量）
- X 超靜定結構分析之贅餘力（redundant force, couple）
- X, Y, Z 一力沿座標 x, y, z 之分力
- X, Y, Z 彈性理論中物體力之座標分量
- $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 彈性理論中表面力之座標分量
- Z 純彎矩作用時，桿件塑化時之斷面塑性係數
- a 長度尺寸，薄殼的曲率半徑
- b 長度尺寸，斷面寬度；剛架或空間架構桿件數目
- c 長度尺寸，斷面內重心至最外緣之距離
- d 長度尺寸，斷面深度，彈性曲線上某一點由另一點正切線計起之撓度
- d_m 應用疊疊公式時表示結構物之撓度 m 之撓度係數
- e 桿件縱向單元之線形應變
- e_0, e_1 桿件重心軸上縱向單元之線形應變
etc.
- e_a, e_b, e_c
- g 重力加速度
- h 繩索曲線中點之懸垂；建物之樓層高度；版或殼之厚度
- k 線性彈簧之剛度（使彈簧產生單位長度變形所須之力）
- k_m 結構分析採用變位時之剛度係數
- l 長度尺寸
- n 剛架或空間架構之節點數
- p 作用於樑上之分佈荷重之單位長度強度
- q 作用於版或殼上之分佈荷重之單位面積強度

r	剛架或空間構架之獨立反力數；薄殼之主要曲率半徑；斷面之迴轉半徑 $(I/A)^{\frac{1}{2}}$
s	構架軸向長度尺寸
t	溫度均等變化；時間
w	均佈荷重之強度
u, v, w	依次相對於 x, y, z 軸之位移向量
x, y, z	直交座標
α	角度；轉動位移；薄殼上中間平面線性單元之轉角
α_t	溫度伸縮係數
γ	剪應變
Δ	撓度；增量
δ	撓度；應用疊合公式分析超靜定問題時之單位撓度
ϵ	線形應變
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	線型應變之座標分量
θ	角度，正切彈性曲線相對於桿件中心軸原來位置之轉角；繩索之懸垂比
ν	柏松比
σ	正應力
σ_{yp}	屈伏張應力
τ	剪應力
ϕ	角度；受彎桿件之曲率
x	薄殼中間表面之曲率改變或扭轉
ψ	角度，彈性曲線之弦 (chord) 相對於桿件中心軸原來位置之轉角
ω	振動之自然頻率

結構分析 (下冊)

(Elementary Structural Analysis)

序

符號表

第十一章 超靜定結構物之近似分析法

(Approximate Analysis of Statically Indeterminate Structures)

11.1	簡 介	1
11.2	近似法在分析超靜定結構物時之重要性	2
11.3	假設條件數	3
11.4	每一格間包含兩斜桿的平行弦桁架	4
11.5	多系統桁架	5
11.6	門柱結構	8
11.7	工廠構柱	12
11.8	以直柱構成之高塔	12
11.9	建築構架由於垂直載重所產生之應力	13
11.10	建築構架由於側向載重所產生之應力	16
11.11	Portal 法	18
11.12	懸臂法	21
11.13	係數法	24
11.14	問 題	31

第十二章 結構物之撓度 (Deflections of Structures)

12.1	簡 介	34
12.2	撓度問題之特性	35

2 目 錄

12.3	虛位移原理.....	37
12.4	虛功法原理.....	39
12.5	虛外功和虛內功的表示法.....	41
12.6	用虛功法求桁架的撓度.....	45
12.7	用虛功法求樑和構架的撓度.....	54
12.8	力矩面積定理.....	63
12.9	彈性載重法.....	68
12.10	力矩面積定理和彈性載重法對於求樑和構架撓度之 應用.....	74
12.11	共軛樑法.....	78
12.12	Williot-Mohr 法	82
12.13	Williot-Mohr 法之應用	87
12.14	桿鏈法.....	92
12.15	卡氏第二定理.....	102
12.16	卡氏第一定理.....	106
12.17	用卡氏第二定理計算撓度.....	107
12.18	空間構架之撓度.....	110
12.19	其他撓度問題.....	112
12.20	反撓結構物.....	112
12.21	交換撓度之Maxwell's 定理, Betti's 定理	113
12.22	撓度之感應線.....	117
12.23	問 題.....	117

第十三章 超靜定結構物之應力分析 (Stress Analysis of Statically Indeterminate Structures)

13.1	簡 介.....	127
13.2	以重疊法分析超靜定結構物.....	129

13.3	利用重疊法分析超靜定結構物的一般討論·····	132
13.4	例題一 利用重疊方程式作應力分析·····	135
13.5	包含溫度變化、基礎沈陷等影響的問題·····	146
13.6	有關選擇多餘力的一般注意事項·····	150
13.7	利用卡氏第二定理，最小功法分析超靜定結構物··	151
13.8	例題一 利用卡氏第二定理作應力分析·····	154
13.9	三力矩公式之推導·····	159
13.10	三力矩公式之應用·····	161
13.11	斜撓度公式之推演·····	164
13.12	斜撓度法應用於樑和構架·····	169
13.13	彎矩分配法之基本理論·····	182
13.14	彎矩分配法應用於樑和構架·····	186
13.15	彎矩分配法應用於非均勻斷面之桿件·····	199
13.16	超靜定空間構架之應用分析·····	204
13.17	超靜定結構物之撓度·····	204
13.18	桁架之次要應力·····	206
13.19	附加注意事項一 對稱和反對稱載重，彈性中心及 柱比法·····	209
13.20	問 題·····	212
第十四章 超靜定結構物之感應線 (Influence Lines for Statically Indeterminate Structures)		
14.1	簡 介·····	226
14.2	以單位載重的連續位置法求感應線·····	227
14.3	求感應線之 Müller-Breslau's 原理·····	230
14.4	利用固定端彎矩影響的重疊求感應線·····	234
14.5	問 題·····	237

第十五章 結構矩陣分析法之簡介 (Introduction to Matrix Methods of Structural Analysis)

15.1	簡 介	239
15.2	結構矩陣分析法的分類	239
15.3	平面桁架中力法和位移法之比較	240
15.4	位移法之一般說明	245
15.5	多種載重情況的結構分析	248
15.6	結構矩陣分析法	249

第十六章 結構物之塑性性質 (Plastic Behavior of Structures)

16.1	簡 介	255
16.2	鋼之力學性質	256
16.3	簡單桁架結構物之塑性性質	259
16.4	受撓構件之彎曲— 曲率關係	264
16.5	典型樑的塑性作用	269
16.6	交替載重作用下之連續樑的塑性性質	275
16.7	超靜定樑之應力控制	279
16.8	超靜定結構物的正常作用與混合作用	281
16.9	正常作用和混合作用的原理對於結構設計之應用	284
16.10	鋼結構物之塑性設計	285
16.11	問 題	286

第十七章 高等結構力學簡介 (Introduction to Advanced Structural Mechanics)

17.1	簡 介	290
17.2	彈性理論之基本定義及關係式	291
17.3	彈性問題之求解	300

17.4	平板之微小撓度理論·····	302
17.5	平板之大撓度理論·····	312
17.6	薄殼分析·····	313
17.7	壓屈現象之分析·····	325
17.8	動力反應之估計·····	331

第十八章 結構物之模型分析 (Model Analysis of Structures)

18.1	模型分析的應用·····	339
18.2	模型應力分析之標準方法·····	340
18.3	模型的設計·····	340
18.4	模型材料的性質·····	341
18.5	利用平衡彈簧來克服潛變現象·····	343
18.6	模型分析的計劃·····	346
18.7	模型結果的解釋·····	347

第十九章 模型法之應力分析 (Model Methods of Stress Analysis)

19.1	簡 介·····	350
19.2	間接法之理論·····	350
19.3	量度撓度之儀器·····	351
19.4	某些間接方法·····	354
19.5	Beggs 法 ·····	356
19.6	彎矩變形計·····	357
19.7	彎矩指示器·····	363
19.8	相似原理·····	367
19.9	利用結構力學定律導出相似原理·····	367

第二十章 結構模型之其他用途 (Other Uses of Structural Models)

20.1	概 述	372
20.2	光彈性法的一般討論	372
20.3	某些光學原理的複習	373
20.4	光彈性法之基本理論	376
20.5	以光彈性法決定應力分佈	383
20.6	應變量度	386
20.7	以量度表面應變法求應力分析	386
20.8	壓屈載重之決定	389
	問題解答	391

第十一章 超靜定結構物之近似分析法

(Approximate Analysis of Statically Indeterminate Structures)

§ 11.1 簡介 (Introduction)

由廣義的觀點而言，任何結構物的分析皆是一種近似解，因為均須在某些假設之下才能完成分析。例如，樞接桁架應力之計算，必須假設樞接處完全無摩擦力，因而桁架的桿件只承受軸向應力。但實際上並不可能造出完全無摩擦力之樞，故樞接桁架的應力分析法是一近似法。所以可說結構物的分析沒有一種是“正確的”分析。

然而，如果能對結構物應力分析所基於的假設作適當的判斷，將能使誤差變得很小。通常應用一般結構理論假設下，所作的應力分析稱為“正確值”，雖然嚴格說來，這個名詞用得並不完全正確，但為了要區別下述二法所得分析之不同，還得引用此名詞，一為基於一般結構假設，所得較正確的結果；一為基於簡便分析，引入更大誤差的假設，所得較差之結果。

當討論一已知結構物的近似分析問題時，並不一定須要引用任何特殊的假設；特殊假設下之近似解法引用的特別時機，常依分析問題時所可利用的時間及所需精度而定。

對於一些結構分析中較常見到的結構型態，常可利用別人分析結果之優點，並研究其精度使之能適用於我們所需的範圍內；然而，工程手冊所列之近似法並不能蓋括所有的情況。一個良好的應力分析者必須完全了解超靜定結構之作用情形，而當遭遇到手冊上所沒有的情況時，能建立起自己的假設來求解。

本章將提到一些較常用的超靜定結構物之近似解法，對於這些方

2 結構分析

法的認識固然重要，但更重要的是要能以所列的這些方法之步驟，作為決定良好假設的基礎，而使其他型式之超靜定結構物之分析得以簡化。

§ 11.2 近似法在分析超靜定結構物時之重要性 (*Importance of Approximate Methods in Analyzing Statically Indeterminate Structures*)

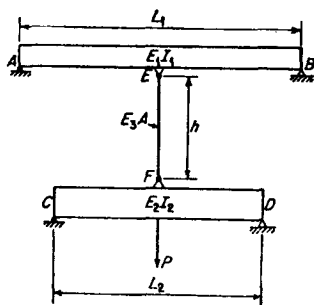


圖 11-1 彈性性質在應力分析中之影響

靜定結構物的分析並不取決於桿件之彈性性質，因此這些結構物之「正確」應力分析可以很簡單地求得。

然而，超靜定結構物的應力分析和桿件的彈性性質有關，這些彈性性質包括彈性模數、斷面積、斷面慣性力矩，和桿件的長度。此一結論或許可由圖 11-1 看出，假設

將樑 AB 的勁度作得和樑 CD 的勁度比較起來顯得很小，即 $E_1 I_1 / L_1^3$ 和 $E_2 I_2 / L_2^3$ 比較之下很小，則樑 CD 將承受載重 P 之大部分，而樑 AB 僅承受小部分，如再進一步假設連接此二樑之張力連桿 EF 之勁度也很小，即 $E_s A / h$ 很小， EF 桿可以採用 E 值很小的橡膠做成，在這種情況下，樑 CD 將承受載重 P 之大部分。

假如決定超靜定結構物桿件勁度的量已知，則所謂「正確的」分析將可由此求得，且其精度和分析靜定結構的精度相同。但實際上由於下列三因素，將使「正確的」分析無法求得：

- 1 應力分析者缺乏解超靜定結構分析所必須具備的知識。
- 2 完成超靜定結構分析所需的時間太長，因此必須放棄正確解

。在某些情況下，預定的時間是一控制的因素，而其他情況下，經濟方面的考慮也常使分析者採用近似解法，雖然利用近似解法可能使工程採用更多的材料，但設計上所花費的卻比用正確應力分析法來得經濟，而且由於所用的材料多，可以得到更高的安全係數，此傾向常於較不重要結構物或重要結構物之次要部分使用之。

3 當開始設計一超靜定結構物時，其桿件的面積和慣性力矩等皆未知，因此必須以近似方法來解結構物的應力分析，以求得有關這些桿件所需大小的資料，一旦這些試驗性的尺寸設計完後，彈性分析就可能完成。通常，初次的彈性分析可能顯示結構物內的真正應力不合要求，因此必須再以一連串的嘗試設計，以得到滿意的結果。因此近似法在超靜定結構物之初步設計階段是非常重要的。

§ 11.3 假設條件數 (*Number of Assumptions Required*)

前已提及，為使結構物的分析可以只基於靜力方程式完成之，必須使獨立的靜力方程式數目和結構物中獨立的力分量數目相同。假如獨立力分量的數目比獨立之靜力方程式多 n 個，則謂此結構物為超 n 次靜定，在此情況下必須做 n 個獨立假設，使每一假設供給一獨立的方程式或關係式，才能只基於靜力條件求得近似解。

如果所做的假設數目少於 n 個，則欲只用靜力法解之將為不可能之事，如果所做的假設數目多於 n 個，而這些假設條件相互之間皆不相依，則引用靜力方程式後，將導致矛盾的結果，此現象取決於所用方程式及其次序而變。在解超靜定結構物的近似分析中，首要步驟即決定此結構物之超靜定數，並以此決定必須做多少個假設條件。