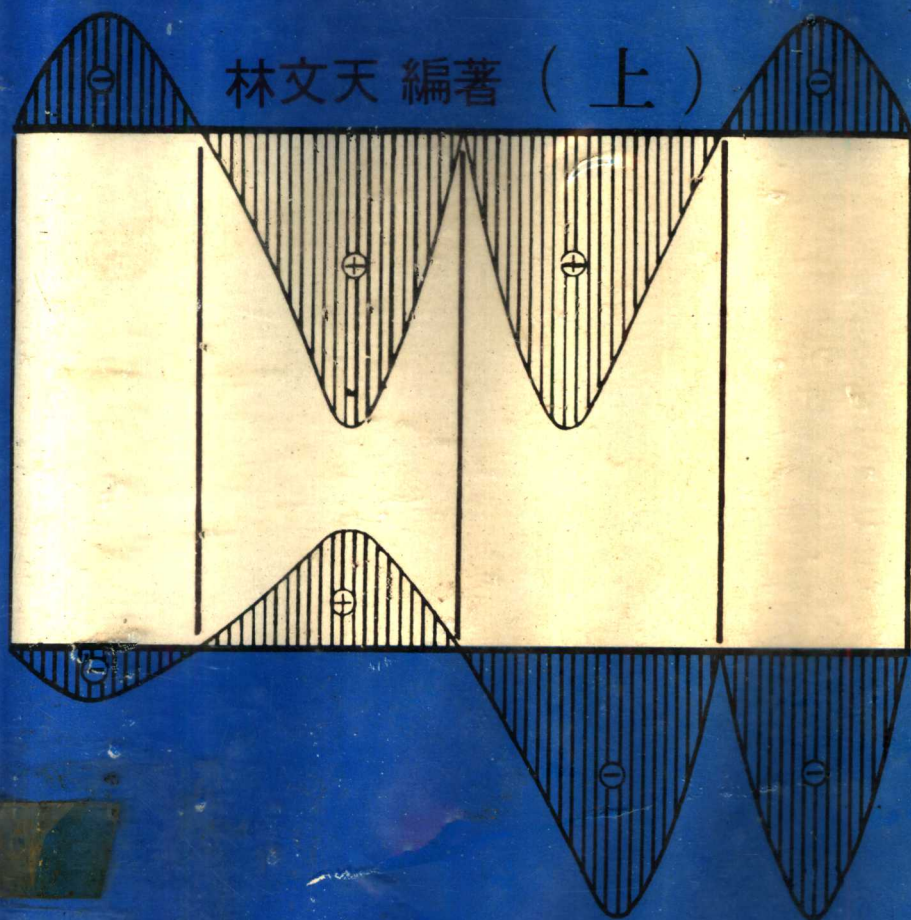


科技用書

結構學

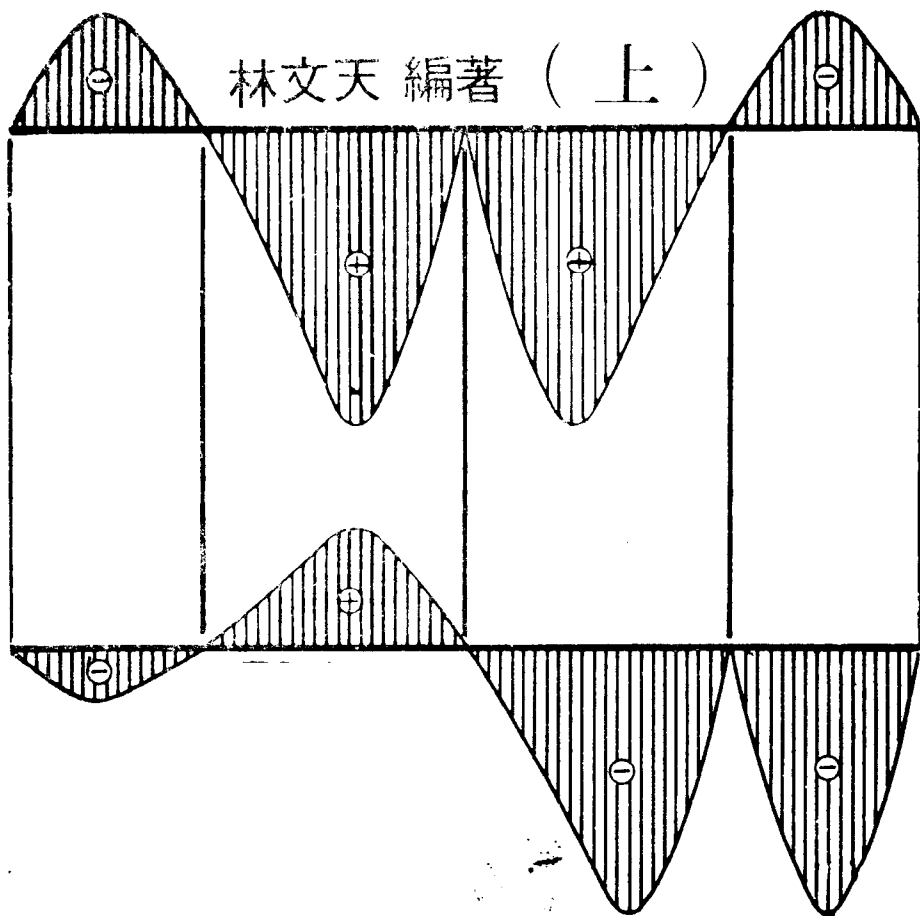
林文天 編著 (上)



大行出版社印行

· 結 構 學

林文天 編著 (上)



大行出版社印行



中華民國六十 年 月 日 版

書名：結構學（上）

著作者：林 文 天 編 著

發行人：裴 振 九

出版者：大 行 出 版 社

社址：台南市健康路133巷16弄9號

電話：2 5 3 6 8 5 號

本社免費郵政劃撥帳號南字第32936號

本社登記證字號：行政院新聞局

局版台業字第0395號

總經銷：成大書局有限公司

台南市中正路43號

電話：2 2 0 1 號

特 價：平 2 元 精 3 元

編 號：B 10-00430

同業好友・敬請愛護

Handwritten signature/initials: Hw/bs/5

自序

結構學爲土木水利及建築工程科系必修之主要科目之一，初學者僅須具有高等代數之基礎，即可研讀，但欲對其通盤理論做一徹底之瞭解，則須費一番相當的工夫，也就是說，結構之理論並非容易。作者擔任是科教學數年，深深感覺到一本結構學教本之好壞，直接影響到學生學習的效果，遂有編寫本書的動機。

目前坊間結構學教本甚多，英文版本固然有其可取之處，諸如取材新穎，內容豐富等，但它却有一些不適合中國學生的地方，至少，由於語文方面的隔閡，對初學者來說，很難收到預期的效果。至於中譯本，既使文字再流暢通順，也難免仍有艱澀的感覺。作者有鑒於此，乃就過去研讀是科之心得，及教學之經驗，編著此書。

本書分上下二冊，上册爲靜定結構，第一章緒論，由結構之定義始，是爲結構之預備工作。第二章結構之反力與穩定問題，討論結構反力之各種解法，並對結構之穩定問題做一有系統之歸納介紹。第三章靜定梁，述及剪力圖與彎矩圖，特講就繪此二圖之技巧，期能學者有一明確之觀念。第四章靜定桁架，除數解法外，特提出一些常用之圖解法，亦着重分析之技巧。第五章靜定剛架與合成結構，旨在充當靜不定剛架分析之序幕。第六章屋架，爲一實用問題之闡述。第七章感應線，特提出虛功法，有利於複雜問題之處理。第八章橋樑及移動載重，爲感應線之應用及橋樑之實際問題。第九章靜不定結構之討論，讓學者對靜不定結構再做一番認識。第十章靜不定結構之近似分析，有助於實際之應用。

本書編著之目標，期能使學者收事半功倍之效，故取材新穎，內容適當、層次分明，以精簡爲原則，但因難之處，雖是細微末節，亦不厭其煩，力求詳盡。所用名詞，悉以「土木工程標準名詞」爲準，並附原文。希望有助於學者，而收預期之效。

本書承陸軍官校軍工系主任顧以能學長精心校正，並承副教授
韋建學長之鼓勵，得以成書，是以編者態度審慎。但因利用公餘，
且作者學驗有限，仍恐有疏漏不妥之處，尚希先進不吝賜教，是爲
至幸。並感謝內子在本書編撰期間的協助。

林文天 謹識

時民國六十六年八月于台北

結構學 (上) 目 錄

第一章 緒 論	1
§ 1-1 結構之定義	1
§ 1-2 結構設計之步驟	1
§ 1-3 結構之分類	2
§ 1-4 結構之載重	5
§ 1-5 實際與理想結構	7
第二章 結構之反力與穩定問題	8
§ 2-1 概 論	8
§ 2-2 平面力系之平衡方程式	8
§ 2-3 結構之支承與反力	13
§ 2-4 條件方程式	17
§ 2-5 結構之靜定與穩定問題	19
§ 2-6 反力之數解法	33
§ 2-7 反力之圖解法	39
§ 2-8 比例法求反力	51
§ 2-9 虛功法	53
習 題	61
第三章 靜定梁	69
§ 3-1 概 論	69

2 目 錄

§ 3-2	靜定梁之分析	70
§ 3-3	載重，剪力與彎矩間之關係	73
§ 3-4	剪力圖與彎矩圖	76
§ 3-5	剪力圖與彎矩圖之圖解作法	95
§ 3-6	有橫梁時主梁之剪力圖與彎矩圖	99
習 題		102
第四章	靜定桁架	108
§ 4-1	概 論	108
§ 4-2	理想與實際桁架	109
§ 4-3	桁架之種類	110
§ 4-4	簡單桁架之分析	124
§ 4-5	複合桁架之分析	145
§ 4-6	複雜桁架之分析	164
習 題		169
第五章	靜定剛架與合成結構	178
§ 5-1	概 論	178
§ 5-2	靜定剛架之分析	178
§ 5-3	靜定合成結構之分析	188
習 題		191
第六章	屋 架	195
§ 6-1	概 論	195
§ 6-2	屋架之型式	195
§ 6-3	屋面構造	200
§ 6-4	屋頂之載重	202

§ 6-5	屋架應力分析	205
-------	--------------	-----

習 題	214
-----------	-----

第七章 感應線.....217

§ 7-1	概 論	217
-------	-----------	-----

§ 7-2	感應線之定義	218
-------	--------------	-----

§ 7-3	靜定梁之感應線	220
-------	---------------	-----

§ 7-4	虛功法求梁之感應線	231
-------	-----------------	-----

§ 7-5	有橫梁時主梁之感應線	238
-------	------------------	-----

§ 7-6	普通靜定桁架之感應線	244
-------	------------------	-----

§ 7-7	K型桁架及長跨度桁架之感應線.....	256
-------	---------------------	-----

§ 7-8	具有反向斜桿桁架之感應線	262
-------	--------------------	-----

§ 7-9	三鉸拱之感應線	270
-------	---------------	-----

§ 7-10	感應線之應用	273
--------	--------------	-----

習 題	277
-----------	-----

第八章 橋樑及移動載重.....281

§ 8-1	概 論	281
-------	-----------	-----

§ 8-2	橋樑之型式及構造	281
-------	----------------	-----

§ 8-3	橋樑之靜載重	285
-------	--------------	-----

§ 8-4	鐵路橋樑之活載重	287
-------	----------------	-----

§ 8-5	公路橋樑之活載重	289
-------	----------------	-----

§ 8-6	衝擊載重	291
-------	------------	-----

§ 8-7	移動集中載重下梁，大梁及桁架之最大反力	292
-------	---------------------------	-----

§ 8-8	移動集中載重下梁斷面之最大剪力	295
-------	-----------------------	-----

§ 8-9	移動集中載重下大梁節間之最大剪力及桁架腹桿 之最大應力	298
-------	--------------------------------------	-----

4 目 錄

§ 8-10	移動集中載重下梁，大梁之最大彎矩及桁架弦桿 之最大應力	301
§ 8-11	絕對最大彎矩	304
習 題		307
第九章	靜不定結構之討論	309
§ 9-1	概 論	309
§ 9-2	靜不定結構之優點	309
§ 9-3	靜不定結構之缺點	312
第十章	靜不定結構之近似分析	313
§ 10-1	概 論	313
§ 10-2	交叉斜桿之桁架	313
§ 10-3	多重腹系桁架	315
§ 10-4	門 架	318
§ 10-5	橋樑之側桁架	323
§ 10-6	廠房排架	324
§ 10-7	房屋構架	331
習 題		345

第一章 緒 論

§ 1-1 結構之定義

結構 (Structure) 之定義甚廣，此處乃指工程結構而言。凡物體能承受本身之重量，及其他物體所施之力，並能將其傳達於另一物體者謂之結構。通常所指的物體，係由一個或多個固體元素所排列組成者，小者如一梁一柱，大者如房屋，橋樑，水壩，水塔等，均屬工程結構 (Engineering Structures) 之範圍。

結構之大小及型式，取決於所受之外力，其功用亦異，但分析之理論卻無二致。結構學乃是根據已知之外力如何去分析結構中各部份之作用情形；根據外力以求內力的一門學問。結構工程師應能認識結構，了解結構，並充份的運用結構，以期結構之安全，經濟與合理，而達結構之目的。

§ 1-2 結構設計之步驟

結構之設計，通常分四個步驟進行：

一、規劃 (planning)

規劃或稱功用設計，工程師根據已蒐集之各項資料及目的，對欲設計之結構物，由許多被擬定之方案中，決定一最佳可行之形式，此須包括所用材料之選擇，大概尺寸之設定，及將來發展與預期效果之顧慮。此步驟甚為重要，工程師須有豐富之學術與經驗，方足以完成其任務。試以設計一橋樑為例；橋樑之型式有吊橋、拱橋、桁架橋，鉸梁橋等。以材料而分，則有鋼造、鋼筋混凝土造及木

2 結構學(上)

造等。就美觀而言，吊橋、拱橋居首，深具觀光價值。若以軍事觀點而言，當推鈹梁橋為理想，因其遭破壞後搶修較易，有利軍運。工程師應以觀光價值抑以軍事觀點來選擇此橋之設計型式，是一關係國防、經濟上之重要問題，且其方式之選擇復與當地水文，地質等因素有密切關係，工程師何去何從，非具備豐富之判別力不為功。是以此階段中，工程師應以審慎之態度，多為選擇與比較，方能達其任務。

二、結構分析 (Structural analysis)

結構之型式，尺寸及載重情形經決定後，乃根據其外力作用情形，以求結構內部應力大小，是為本書討論之範圍。

三、結構設計 (Structural design)

根據已分析出之結構應力大小，配合各種有關規範 (Specifications)，以決定各部斷面型式，大小及接合方法等問題，如鋼筋混凝土結構設計，鋼結構設計等，另有專書討論。

四、工程製圖 (Engineering drawing)

經結構設計後，繪出全部結構詳圖，及各細部大樣圖，以作為估價及施工之依據，於是結構設計乃告完成。

上述四個步驟，因工作性質不同，各步劃分至為明確，但其先後次序有時並非單純，而是相互牽連。例如：一個結構在初步規劃中，可得幾種型式，非至結構分析時無法定其優劣，決定去捨，結構分析中，其結構本身之自重常須假設，須至結構設計時反覆核算，才能得正確之結果。是以結構設計之工作，應有充份之理論基礎，及豐富之工作經驗，始能事半功倍，勝任愉快的完成任務。

§ 1-3 結構之分類

由不同之觀點，結構常有如下之分類：

一、依使用材料而分：

(一)木結構，(二)金屬結構：如鋼鐵、鋁等結構，(三)圬工結構：如磚石混凝土等結構，(四)各種材料合成之結構，如鋼筋混凝土結構。

二、依結構形式而分：

(一)實體結構：如堤壩、橋墩、橋台等。

(二)架成結構：以直桿、梁柱依一定方法結合而成者，謂之架成結構。因接合方式之不同，架成結構又分桁架 (Truss) 剛架 (Rigid frame) 兩種。桁架中各桿件 (member) 之接合係用一無摩擦，且可旋轉之梢釘 (pin) 連接，吾人習稱為鉸節 (hinge joint)。故桁架中各桿件係屬二力桿件 (two force member)，即受外力作用時，各桿件中之應力或為張應力 (tension stress)，或為壓應力 (Compression Stress)，通稱直接應力 (direct stress) 或軸向應力 (axial stress)。承受張力之二力桿件謂之拉桿 (tension tie or tie)，承受壓力之二力桿件謂之壓桿 (compression strut or strut)。剛架中各桿件之接合則採用固定接頭 (如鉚接、焊接) 或連續 (如鋼筋混凝土) 之方式，吾人習稱剛節 (Rigid joint)。剛節受外力作用後，其桿件與桿件之交角永保不變。構成剛架之各桿件均屬多力桿件 (multiple force member) 桿件中除直接應力外，尚有剪應力 (Shearing Stress) 及彎曲應力 (bending stress) 存在，梁柱即屬多力桿件，剛架均由此兩種多力桿件構成。

茲將桁架與剛架之主要區別歸納如下：

1 桁架之節點為鉸接，剛架為剛接。

2 桁架之載重均假定作用於節點上，剛架則無限制。

3 桁架之主要應力為直接應力，非張應力即壓應力，次要應力為彎曲應力。剛架主要應力為彎曲應力，次要為直接應力及剪應力

三、依受力位置而分：

(一)平面結構 (Planar structure)：結構所受外力在同一平面

4 結構學(上)

內，其產生之內力亦在此平面內，梁，拱，桁架，剛架等結構均屬之。

(二)空間結構 (Space structure)：結構所受外力不在同一平面內，其產生之內力亦不可能在同一平面內，平版(相當於平面結構之梁)，圓屋頂(相當於平面結構之拱)，塔架(相當於平面結構之桁架)，均屬之。

四、依分析方法而分：

(一)靜定結構 (determinate structure)：結構求內力，僅利用靜力平衡方程式即可解決者，亦即利用內力與外力之平衡關係，內力之未知數與結構之平衡方程式相等，以平衡方程式之聯立方程式解其內力，一般桁架及簡單梁柱問題屬之。

(二)靜不定結構 (indeterminate structure)：結構求內力，其內力數目超過結構之平衡方程式數目，亦即內力無法完全依靠平衡方程式之聯立方程式解得，須輔以結構之應變關係，增列方程式，方可求解，一般鋼筋混凝土結構，剛架，平版，圓屋頂等屬之。

五、依載重性質而分：

(一)靜力結構：結構在靜力載重作用下，載重在結構上不產生任何動力效果，在橋梁上移動之載重亦假設為靜力載重系統，其衝擊之效果被處理成移動載重之分數。

(二)動力結構：結構上載重，考慮其動力效果者。結構動力學 (Structural dynamics) 即討論加速移動載重，地震載重，以及暴震在結構上之動力效果的一門學問。

六、依結構生成位移之形態而分：

(一)線性結構 (linear structure)：結構之作用力與生成位移間有一線性關係存在，即 1 符合虎克定律 (Hook's law) 2 結構之位移甚小，計算應力時可忽略 (若應用重疊原理，則載重與位移間之線性關係須存在)。

(二)非線性結構 (nonlinear structure)：結構作用力與生成位移間有一非線性關係存在，即 1 結構之材料為非彈性的 2 結構之材料在彈性範圍內，載重作用期間結構之變形甚大。結構之塑性分析及結構之撓曲屬之。

本書專門介紹靜力，平面，線性方面之結構，上冊討論靜定結構，下冊屬靜不定結構之分析。

§ 1-4 結構之載重

如何去決定加於結構上之載重，為結構工程師最感困難與最重要之工作。結構之載重可分：

一、靜重 (Dead load)：其數量固定不變，且永留於固定之位置上。包括結構之自重，及附屬於結構上之各項載重，如構架本身及牆壁、樓板、屋頂、水管、裝飾物等重量。結構分析之前，應先估計其靜重，至結構設計將各斷面之尺寸選定後，再將實際靜重與估計之靜重作一比較，若兩者相差過大，須重新分析設計，至合理為止。

結構靜重之估算，經驗甚為重要，吾人通常可參照同型式之結構，或由各種工程手冊中可利用之公式及附表查得。

二、活重 (Live load)：其數量隨時可變化，且非永久固定一位置者，凡不是靜重之一切重量均屬之，又分：

(一)移動載重 (moving loads)：活重在其本身動力下移動者，如車輛及行人 (有關車輛之載重詳於第八章)。

(二)可移載重 (movable loads)：可搬移之活重，如傢俱，物品及雪等。雪載重於寒帶地區甚是重要，通常大於 200kg/m^2 ，溫帶地區視屋頂之坡度及屋面材料而異，若屋頂坡度為 45° ，雪重約 50kg/m^2 ，平屋頂應採用 200kg/m^2 。雪重對於橋樑之作用甚微，可忽略之。

6 結構學（上）

三、衝擊載重（Impact loads）：由移動及可移載重之振動所引起。衝擊載重等於該項載重實際引起之數量，與該項載重假定為靜重時之差值，常用之計算公式將於第八章內提出。

四、橫向載重（Lateral loads）：主要為風力及地震力，風力或有列於活重者，因其作用係呈水平方向，故與震力合列為橫向載重。

風力之作用於結構物，對房屋而言，若其高度小於長寬最小尺寸之二倍，可忽略不計，但在設計細長高樓及吊橋時，是一重要之問題。美國建築法規定：房屋高度小於 100 公尺，在投射面積上之風壓為 98 公斤/公尺^2 ，其高度每增加 30 公尺風壓增加 12 公斤/公尺^2 ，但此項規定在現代之工程設計中，並非絕對正確，且橋樑之設計應採用更大之數值。本省嘉義（含）以北為 100 kg/m^2 ，台南（含）以南為 150 kg/m^2 。幾種估算風壓之常用公式，將於第六章敘述。

地震發生時，結構物應有若干抵抗力才不致遭破壞，地震時於地面所生之加速度可分解為水平及垂直二力，以水平力作用頗為劇烈，垂直力則略而不計。地震力之效應，與距地面之高度成正比，是以高樓在地震時居於較危險之地位。地震力之大小等於震力係數乘以結構物上之總載重。震力係數為一百分數值，代表震力之大小程度，因地域而異，本省地震頻繁之地區，如嘉義、花蓮、台中、新竹為 0.15，台北、高雄為 0.10。

五、縱向載重（Longitudinal loads）：有些結構物之設計，須考慮另一型式之縱向載重。如鐵路橋樑上一列火車之突然停止，將引起與橋樑平行方向之作用力。又如吊車架上吊車突然移動之作用力，均謂之縱向載重。

各種載重如上述，然因其作用久暫不一，對結構之影響也有差異，常有主要載重，附加載重及特殊載重之分。通常：靜重、車輛

、設備等活重及衝擊載重列爲主要載重。風力、雪重列爲附加載重。地震力及水壓力則爲特殊載重。設計時，材料之容許強度應按此等分類載重之組合情況分別採用一定的數值。對於活重之估計更應注意其發生之可能性，作用久暫及組合情形。估計過低則不安全，過高則形成浪費。一般之房屋橋樑可參考各有關之規範，特殊之結構則有賴於週密之研究與精確之判斷。

§ 1-5 實際與理想結構

無論結構係如何的簡單，其實際受力情形是極其複雜的，分析時必須加以各種安全而合理之假設。例如在設計一鋼筋混凝土梁時，通常假設 E 與 I 爲常數，但實際因梁內之鋼筋量各處有所不同， E 與 I 並非常數。又如圖 1-1 (b) 所示之理想情形。結構各桿均用桿之中線代表，支座或桿件相接處本有相當面積，都可認爲是一點，作用於此處的力即成爲集中力，且桁架各節點可認爲是鉸接。

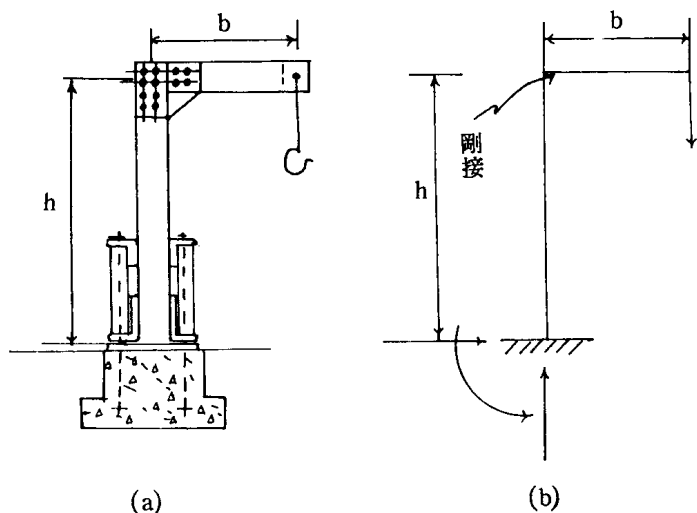


圖 1-1

第二章 結構之反力 與穩定問題

§ 2-1 概 論

結構承受載重，須藉支承得以維持平衡，支承面所生之合力謂之反力。反力之大小視載重而定，常作為內部應力計算之依據，其精確與否亦直接影響到內部應力。分析結構時常須先求反力，是以反力之佈置甚為重要。本章就結構一般支承情況詳加討論，包括反力之靜定靜不定問題，反力之穩定不穩定問題，進而介紹反力之各種解法。

§ 2-2 平面力系之平衡方程式

結構在外力之作用下維持靜止（相對地球而言），謂之平衡。若將結構每一部份取為自由體（free body），則所有內外力之作用亦為靜止（相對地球而言），此謂之力系的平衡。結構若成平衡，則其合成力系（合力或力偶）必為零。

一般力系（force system）可分兩大類，每類三種力系，共六種力系。第一類為平面力系，第二類為空間力系，前者所有力之作用均在同一平面內，後者所有力之作用係由四面八方分佈，非在同一平面內。本書限於平面結構，故所有力系均為平面力系，茲述之如下：

一、平面交會力系

又稱平面共點力系，即所有力均交會於一點，且在同一平面內。如圖 2-1 所示，各力作用於一質點（Particle）。若不平衡，則