——はしがき——

自然界で形あるものはすべて力の作用を受ける。生物の骨格や外殻は永い期間にわたって力の作用を経験し，力学上あるいは機能上，最適な形がつくられてきた。一方，人間が造った物には感覚も自己生成能力もないから，歴史上どれだけ物が造られ，また破壊されたことであろう。17世紀になって天文学から力学の分野における科学の著しい発展があり，人間は初めて数学の力によって理論的に構造物を造れるようになった。

今日，構造力学（または材料力学）と呼ばれる学問は土木・建築構造物のみならず，機械，車両，航空機，船舶，海洋構造物など工学の幅広い分野に共通した内容を含み，構造体内部の力の様子を知り，構造物を安全に設計するための基礎として重要な位置を占めている。最近では主要な構造計算の多くがコンピュータを用いて行われるようになったが，構造技術者にとって大切なことは，構造計算が正しくできることはいうまでもなく，“物体内の力の流れを直観的に感じとる能力を身につけておくこと”であろう。感覚のない構造物の，破壊の痛みを技術者が感じとることができれば，人間の造る物にも生物と同じ成長する力が与えられることになろう。さまざまな，また時として変わりゆく状況の中で，多少の厳密さを欠くことがあっても構造物の全体的状況を素早くとらえ，総合的な判断を下すことができるのはコンピュータではなく，人間なのである。

本書は構造力学を初めて学ぶ人が，物体内の力の様子をできるだけ直観的にとらえられるよう，実際の構造物に則してできるだけやさしく書いたつもりである。是非，力学的現象の本質をゆっくりと考えながら想像力を十分に働かせて学んでいただきたい。想像することが理解を深め，また創造力のもとになると信ずる。本書で 研究 を与えたのは一つは想像を刺激するためであり，一つは本書からしばし飛び出す“遊びの場”のつもりである。本文中には多くの **例題** を与え，プログラム学習原理を応用して，途中にいくつもの比較的やさ

しい[問]をおいた。これは是非解いていただきたい。構造力学の力をつけるにはさらに多くの練習問題を解く必要があるので他の演習書も利用されたい。本書では第7章でエネルギー原理を特に詳しく説明した。これを十分に理解しておけば構造物の変位が比較的やさしく求められるからであり，また，この原理がコンピュータ構造解析の基本原理ともなっているからである。2，3のマトリックス表示を用いたのもこれに関係している。不静定構造物の解式は連立1次方程式の形になるから，その解はパーソナルコンピュータで容易に求められよう。本書では最近の新しい設計法に対する理解を容易にするために，非線形の話も積極的に取り入れるようにした。第12章の板構造は構造力学をより深く学びたい読者が独習できるよう，はりとの対応を加えてまとめた。以上が本書のねらいであり，特徴である。

本書をまとめるに当たり，東京大学伊藤學教授には内容構成について貴重な御助言をいただき，摂南大学成岡昌夫教授には教科書を書くに際しての心構えを伺った。名古屋大学福本唀士教授にはいつも励ましの言葉をいただき，同大学宇佐美勉助教授，山口大学浜田純夫教授，名城大学久保全弘助教授，中部大学塩見弘幸助教授からは原稿の誤りと本書を講義で使ううえでの貴重な御意見をいただいた。愛知工業大学の同僚四俵正俊助教授との日頃の討論も役立っている。また，同大学の猪股俊司教授，名古屋大学島田静雄教授からは設計の考え方について多くの影響を受けた。本書の第7章を中心に第6～11章までの内容を著者の大学で講義テキストに用い，各章ごとに考察レポートを書いてもらったところ，思いがけない箇所でいくつかの考察意見があり，原稿を仕上げるうえで非常に参考になった。本書を発刊するに当たっては名古屋大学大学院生ほか多くの方々に御協力をいただいた。これらの方々に改めて深く感謝する次第である。本書の内容の不十分な点は一に著者の不勉強によるものであり，読者のご指摘やご批判を得て，よりわかりやすい書に育てていきたい。

1986年3月

青　木　徹　彦

—— 国際単位系（SI）と重力単位系 ——

土木工学を初めとするわが国の工学分野では，従来から一般に重力単位系が用いられてきたが，近年，各分野で国際単位系（SI: Système International d'Unités）が採用されつつある。本書では現段階における諸般の状況をふまえ，重力単位系で記述してあるが，将来の動向を考え以下に本書関連分野でよく用いられるSI単位について若干の説明をしておく。

SI単位（**表1**参照）には一部に独自の名称をもつ単位はあるものの，ほとんどのものは従来の単位系と同じである。両者の大きな違いは，重力単位系では重量〔kgf〕を基本単位に含めているのに対し，SIでは質量〔kg〕を基本単位として用い，重量は質量などを組み立てた単位として表す（重量＝質量×重力の加速度）。

物体の重量とは，その物体に働く重力の大きさであり，感覚的に質量よりとらえやすい重量を基本単位に選んだのが重力単位系の考え方である。しかし，実用上ほとんど無視しうる差とはいえ，地球上では場所によって重力の大きさは異なり，また，無重力状態では物体が及ぼす力を表すには質量を考えざるを得ない。

表1 SI基本単位[1)]

量	単位記号（名称）
長さ	m（メートル）
質量[2)]	kg（キログラム）
時間	s（秒）
角度	rad（ラジアン）

1) その他，電流，温度など4種がある。角度は補助単位

2) 質量には $1\,t = 10^3\,kg = 1\,Mg$ を併用してよい

表2 おもなSI接頭語

記号（名称）	倍数
G（ギガ）	10^9
M（メガ）	10^6
K（キロ）	10^3
c（センチ）	10^{-2}
m（ミリ）	10^{-3}
μ（マイクロ）	10^{-6}

SI固有の名称をもつ単位のうち力学に関係したものには，力を表すニュートン〔N〕，応力・圧力を表すパスカル〔Pa〕がある。例えば，20〔kgf〕の荷重（作用力）はSIでは，$20〔kg〕\times 9.8〔m/s^2〕 \fallingdotseq 20\times 10〔kg\cdot m/s^2〕 = 200$

〔N〕となる。また，鋼の弾性係数 $E=2.1\times10^{6}$〔kgf/cm²〕を〔Pa〕で表すと，1〔kgf〕→9.8〔N〕，1〔cm〕→10^{-2}〔m〕とおいて

$$E=2.1\times10^{6}\times9.8/10^{-4}〔\mathrm{N/m^2}〕=205.8\times10^{9}〔\mathrm{N/m^2}〕=205.8〔\mathrm{GPa}〕$$

となる（**表2，3**参照）。ここで3％の誤差を許せば $E=200$〔GPa〕でよく，一般に，設計などで2％の誤差が問題とされなければ 1〔tf〕＝9.8〔kN〕≒10〔kN〕でよい。

表3　固有の名称をもつ SI 単位（N, Pa）と他の SI 単位

量	単位記号（名称）	他の SI 単位による表記
力	N（ニュートン）	1 N＝1 kg·m/s²
応力，弾性係数	Pa（パスカル）または N/m²（ニュートン毎平方メートル）	1 Pa＝1 N/m²
圧　力	Pa	(GPa, MPa, kPa, mPa などと表す)
力のモーメント	N·m（ニュートンメートル）	
単位換算	1 kgf＝9.806 N（≒10 N） 1 N＝0.102 0 kgf（≒0.1 kgf）	1 kgf/cm²＝9.806×10⁴ Pa 1 Pa＝1.020×10⁻⁵ kgf/cm²

目　　次

第1章　序　　論

1.1　構造力学の内容…… 1
1.2　構造物の理想化…… 2
1.3　構　造　形　式…… 4
1.4　作用力と荷重…… 6
1.5　構造物の製作過程と構造力学の役割…… 7
1.6　構造物に要求される条件 …… 8
1.7　構造物の破壊形式……10
Coffee Break-構造力学の基礎をつくった人々 ……12

第2章　構造力学の基礎

2.1　力　の　性　質……13
2.1.1　力の合成・分解……13
2.1.2　モーメント……14
2.2　力のつりあい……17
2.3　支　点　反　力……19
2.4　断　　面　　力……22
2.5　構造物の支持形式……24
2.6　応力とひずみ……26
2.6.1　応　　力……26
2.6.2　応力のつりあい式……29
2.6.3　変位とひずみ……30
2.6.4　弾性体の応力-ひずみ関係（フックの法則）……34
2.6.5　構造材料の応力-ひずみ関係 ……37
2.6.6　一軸方向力を受ける部材の破壊と応力状態……40
2.6.7　二軸応力状態……42
2.6.8　平面応力状態……44

第3章　静定トラス

3.1　トラス構造の特性と形式 ……49
3.1.1　トラス構造の特性……49
3.1.2　トラス部材の名称……50
3.1.3　トラスの形式……51
3.2　トラスの解法……52
3.2.1　断面法……53
3.2.2　節点法（格点法）……56
3.2.3　Kトラスの部材力……58

第4章　静定ばり

4.1　静定ばりの形式……60
4.2　支点反力……61
4.3　断面力（曲げモーメントとせん断力）……62
4.3.1　曲げモーメント，せん断力の定義……62
4.3.2　単純ばり……65
4.3.3　片持ばり……71
4.3.4　張出ばり……72
4.3.5　モーメント荷重が作用するはり……73
4.3.6　ゲルバーばり……75
4.4　断面力と荷重の相互関係 ……77
4.5　はりの内部応力……81
4.5.1　はりの曲げ応力……81
4.5.2　弾塑性曲げ挙動……86
4.5.3　はりのせん断応力分布……87
4.6　断面図形の性質……90
4.7　はりの変形……95
4.7.1　微分方程式……95
4.7.2　モールの定理（共役ばり法）……98
4.7.3　温度差によるはりのたわみ…… 103

第5章　影　響　線

5.1　移動荷重と影響線…… 105
5.2　静定ばりの影響線…… 105
5.2.1　単純ばりの影響線…… 105
5.2.2　片持ばりの影響線…… 109
5.2.3　張出ばりの影響線…… 109
5.2.4　ゲルバーばりの影響線…… 111
5.3　移動荷重と最大曲げモーメント …… 113
5.4　間　接　載　荷…… 116
5.5　単純トラス部材力の影響線 …… 118
Coffee Break-工学的近似の話 …… 121

第6章　構造物の安定および静定・不静定

6.1　単一構造の安定性と静定性 …… 122
6.2　複数部材からなる構造およびトラスの安定性と静定性…… 124
6.2.1　全体的安定性…… 124
6.2.2　外的安定性と内的安定性…… 125
6.2.3　トラスの内的静定性…… 126
6.3　アーチの静定性…… 127
6.4　ラーメンの不静定次数 …… 128
6.5　不静定構造物の特性 …… 130

第7章　構造解析の基本原理

7.1　概　　説…… 133
7.2　線形構造と非線形構造 …… 133
7.2.1　線形構造と重ね合わせの原理…… 133
7.2.2　非線形構造…… 135
7.3　エネルギー保存の原理 …… 137
7.4　外力仕事とひずみエネルギー …… 139

7.4.1 外力仕事…… 139
7.4.2 ひずみエネルギー…… 140
7.5 仮想仕事の原理…… 146
7.5.1 基本概念…… 146
7.5.2 仮想変位の原理…… 147
7.5.3 仮想力の原理…… 153
7.6 単位荷重法…… 156
7.6.1 単位荷重公式…… 156
7.6.2 温度変化による弾性変位…… 160
7.6.3 積分公式…… 162
7.7 カスチリアノの定理 …… 166
7.8 相反定理…… 171
7.9 エネルギー最小の原理 …… 175
7.10 エネルギー原理による近似解法 …… 180
7.11 エネルギー原理のまとめ…… 192

第8章　不静定ばりおよび不静定トラス

8.1 不静定構造の解法…… 195
8.1.1 応力法…… 195
8.1.2 変形法…… 196
8.2 応力法の基本原理…… 197
8.2.1 1次不静定ばり…… 197
8.2.2 2次不静定ばり…… 203
8.2.3 高次不静定構造の変形条件式…… 207
8.3 応力法の応用…… 208
8.3.1 複数部材からなる構造…… 208
8.3.2 ばね支持されたはり…… 211
8.3.3 変断面連続ばり…… 212
8.4 不静定トラス…… 213
8.4.1 連続トラス（外的不静定トラス）…… 213
8.4.2 内的不静定トラス…… 215

8.5 影　響　線…… 216
8.5.1 ミューラー・ブレスローの原理…… 216
8.5.2 重ね合わせの原理による不静定ばりの影響線の決定…… 219
8.5.3 変断面連続ばりの影響線…… 222
8.5.4 トラスの影響線…… 222

第9章 アーチ

9.1 アーチの特性と種類 …… 225
9.2 アーチの形状と基本力学 …… 227
9.3 アーチの変位…… 231
9.4 3ヒンジアーチ…… 232
9.5 2ヒンジアーチ…… 233
9.6 固定アーチ…… 237
9.7 タイドアーチおよび補剛アーチ …… 238

第10章 ラーメン構造

10.1 概　　説…… 242
10.2 たわみ角法…… 243
10.3 たわみ角法によるラーメンの解法…… 250
10.3.1 節点方程式（モーメントのつりあい条件式）…… 250
10.3.2 層方程式（せん断力のつりあい条件式）…… 252
10.3.3 各種のラーメン…… 257
10.3.4 全体変形条件式（角方程式）…… 261
10.3.5 全体のつりあい式（傾斜部材のあるラーメン）…… 264
10.4 3連モーメントの定理 …… 265

第11章 柱の座屈

11.1 座屈現象…… 268
11.2 中心軸圧縮柱…… 270
11.3 初期不整のある弾性柱 …… 277

11.4　エネルギー法の応用 …… 281
11.5　非　弾　性　柱 …… 283

第12章　板　構　造

12.1　概　　説 …… 285
12.2　等方性平板 …… 287
12.2.1　基礎方程式 …… 287
12.2.2　境界条件 …… 292
12.2.3　平板の解法 …… 294
12.3　直交異方性平板 …… 299
12.3.1　基礎方程式 …… 300
12.3.2　格子構造としての解法 …… 301

付　　録

参　考　文　献

問　の　略　解

索　　引

第 1 章

序　　論

1.1　構造力学の内容

構造力学（structural mechanics）は各種構造物の力学的特性を知り，それらを安全に設計し，建設するための基礎となる学問である。

現代の構造物には各種の橋，建物のほか，鉄道や道路の高架構造，トンネルその他の交通施設，空港や港湾構造物などの運輸施設，さらにはダム，発電所，送電鉄塔，石油貯蔵タンクなどのエネルギー関係施設などがある。このほかにも送受信アンテナなどの通信システム用施設，上下水道等に必要な生活関連施設も含まれている。いうまでもなく，これらはすべて今日の社会経済活動を支えるうえできわめて重要な役割を果たしているため，破損などによる構造物の機能停止は社会に重大な影響を及ぼす。したがって，現代の構造物にはその機

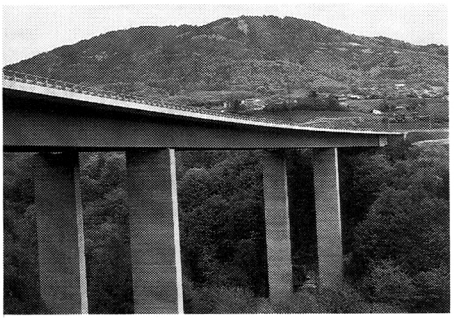

図 1.1　スイスの連続曲線鋼箱桁橋↑

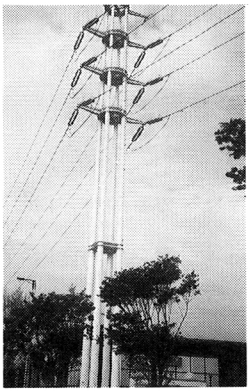

図 1.2　送電鉄塔→

能を確実に果たすための十分な安全性と信頼性が以前にも増して要求されている。

構造物の基本的な役割は外力を支えることである。すなわち，作用外力と構造物自身の重さをいかに合理的に基礎地盤に伝えるかが主要な課題となる。構造力学では初めに外力に対して構造物の各部にどれほどの力が生じているかを力のつりあいから学ぶ。部材内部の力がわかれば，その構造が破壊するか，または安全度の余裕はどれほどかを判断することができる。

構造物の剛性や変形量を知ることも構造力学の重要な問題の一つである。過大な変形は使用に障害を生ずる場合があり，橋梁などでは設計示方書に制限値が設けられている。さらに，少し複雑な構造物では力のつりあい式だけからでは物体内部の力が求められず，ある点の変形量を計算したうえで，変形の条件式から未知の力を求める。今日，コンピュータにより一般的な構造解析を行う場合も計算過程の主要部分は変形量を求めることに費やされる。

構造物には，それぞれの目的に応じてさまざまな形状，大きさがある。構造力学を学ぶことによって，代表的な構造形式に対していくつかの解法を修得する。また，部材力や変形量を求める過程を通して，各構造形式ごとの力学的特性を理解することができる。

構造力学の教科書をめくると，力学に関するさまざまな考え方や定理，原理が現れる。その多くは力学の最も基礎的かつ一般的な内容について述べられているので，これらの意味や考え方を十分に理解することは，単に構造力学に強くなるばかりではなく，土質力学，水理学など，土木工学のほかの分野の原理や法則を理解するうえにも大いに役立つと思われる。

以上，構造力学の内容をかいつまんで述べたが，建設技術者は構造物を建設するうえで力学的センスを身につける必要があり，構造力学とはその基礎を養う学問であるということを認識されたい。

1.2　構造物の理想化

構造力学に限らず，工学とは一般に“理論を形あるものに実現するための近

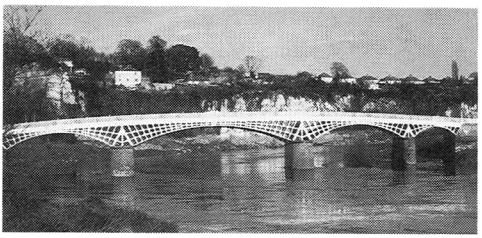

図 1.3　ウェールズ（イギリス）に現存する古い鋳鉄の橋

似である”ということができる。いいかえれば，現実の複雑な現象をその本質を失わないでいかに単純化し，実用のために取扱いやすくするかが工学における重要な課題である。

構造力学を用いて外力を受ける構造物内に生じる力や変形を調べるとき，従来から行われている単純化には主として次のような項目がある。このような仮定は実際の構造物を設計するときにも一般的に用いられており，設計細目ではさらに多くの単純化がなされるのが普通である。

1)　部材は断面の重心線で表す（これを部材軸または部材軸線と呼ぶ）。

2)　立体構造も平面に分けて考え，力はその平面内に作用するものとする[1]。

3)　変形は構造寸法に比べて微小である。

4)　材料は等方[2]，等質で弾性体を仮定する。すなわち，フックの法則に従う。

5)　荷重は静的に作用する。

以上の単純化や仮定を用いて計算した結果は，現実の大部分の構造物の挙動に対し工学的意味で十分な精度を有していることが，従来からの多くの実例で確かめられている。本書で扱う構造力学でも以上の仮定に従うものとする。

単純化できないような複雑な形状の構造物や弾性域をこえる挙動を調べる必要があるとき，または新しい構造形式を採用するときには，実物大もしくは縮小モデルによる実験を行ったり，今日ではコンピュータを用いた構造解析を合わせて行う。

---

1)　最近では，コンピュータにより立体構造物の解析が容易に行われるようになったが，一般的構造物では平面解析結果との差は非常に小さく，構造解析において仮定した外力や支持力のあいまいさに比較して考えると平面解析による誤差は設計上一般に問題とならないことが多い。

2)　方向によって材料の性質がかわらないこと。

1.3 構造形式

構造物は一般に複数の部材から組み立てられている。各部材はその力学的役割に応じて，はり，柱，板などの一般的呼び名がある。

細長くまっすぐな部材で横方向からの荷重を支え，曲げに抵抗するものを**はり**（beam；曲げ部材）〔**図 1.4**（a）〕といい，橋梁では**桁**（girder）と呼んで主構造に用いられるほか，構造体内部の力をほかの主要部材に伝達させるときにも利用されている。また，主として部材軸の方向に圧縮を受ける部材を**柱**（column；圧縮部材）という。軸方向に引張力を受ける部材は単に引張部材と呼ぶことが多い。ケーブル（cable）はきわめて効率のよい引張部材である〔図（b）〕。面に垂直に荷重を受ける平面部材を**板**（plate）といい，橋梁や建築物の床板がこれに当たる〔図（c）〕。

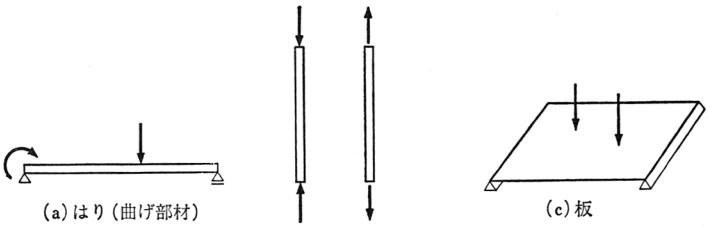

図 1.4 単一部材

われわれの目にするほとんどの構造物は，以上の簡単な部材から組み立てられている。例えば，**図 1.5**（a）に示す構造は圧縮材と引張材だけを三角形に組み合わせてつくられているので**トラス**（truss）と呼ばれ，きわめて簡単で合理的な構造形式である。図（b）のような一般建築物，鉄道高架等に多く用いられる構造を**ラーメン**〔Rahmen（独），rigid frame（英）〕と呼び，曲げ部材を組み合わせてつくられている[1]。図（c）の**アーチ**（arch）は直線または曲線部材をつなぎ合わせてあり，これらの部材内部は圧縮力が主体となるが，

1) ラーメン構造の鉛直部材をわれわれは“柱”と呼ぶが，力学的には曲げ抵抗力が圧縮力に比べてはるかに大きいのが普通であり，ラーメン構造の鉛直部材は曲げ部材に属する。また，軸方向力と曲げを受ける部材を構造工学では“はり-柱（beam-column）”と呼ぶことがある。

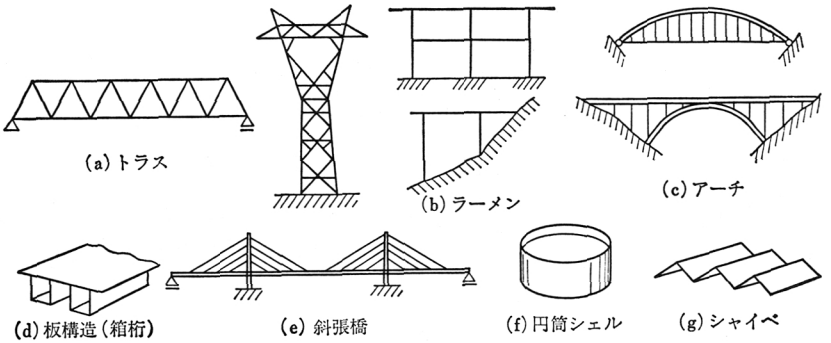

図 1.5　各種の構造形式

曲げも同時に作用する。以上に述べたはりや柱などの単材を組み合わせてつくられる構造を**骨組構造**と総称する。また，主として板の面内力を受ける板要素から構成される構造を**板構造**（plate structure）といい，代表的なものとしては図（d）の橋梁の箱桁がある。

200 m から 500 m ほどの長い距離をまたぐ橋梁形式として，近年建設の多い**斜張橋**（cable stayed bridge）と呼ばれる橋〔図（e）〕は，タワー（圧縮部材）とケーブル（引張材）と補剛桁（曲げ材）から構成されている。タワーは箱形断面構造である場合が多い。約 1 500 m までの長大径間に用いられるつり橋（suspension bridge）もこれと同様の複合構造であり，そのケーブル形状は力学上アーチを上下逆にしたものと基本的に同じである。道路橋では以上のどの形式でも路面に板構造が用いられている。

その他の構造形式として貝殻状の曲面板を用いたシェル（shell）構造[1]，液体，粉体貯蔵タンクなどに用いられる円筒シェル〔図（f）〕，あるいは平板を折れ角をもたせて組み合わせ，板面内にも荷重を受けもたせた折板（シャイベ）構造[2]〔図（g）〕などがある。

問 1.1　鋼構造とコンクリート構造の例をあげ，両者の材料特性の比較表をつくれ。

1) 卵形シェルが近年下水処理タンクに用いられるようになった。建築構造物としてはオペラハウス，体育館などの屋根構造に使われることがある。

2) 講堂の屋根，壁などに用いられるが，その数は多くない。図（d）の板構造をシャイベということもある。

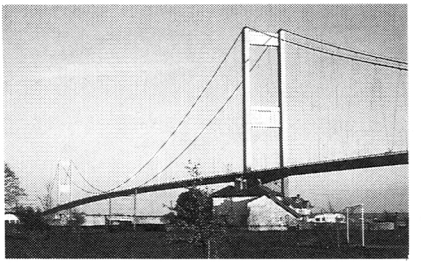

図 1.6　セバン橋(イギリス)↑

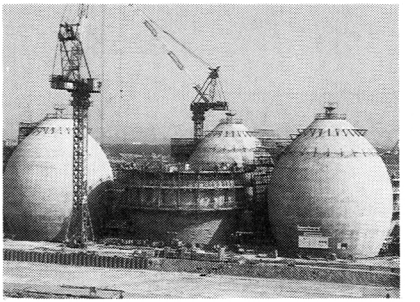

図 1.7　下水処理用卵形シェル構造(横浜市)↗

1.4　作用力と荷重

構造物に作用する力には，直接的な外力の作用とその他のさまざまな原因による力とがある。実際の設計では，示方書や設計規準に定められたいくつかの荷重とそれらの組合せに対して安全性を検討する。

橋梁構造物では構造物の自重（**死荷重**）と車両や群衆の重量（**活荷重**）が主要な荷重となる。すなわち，構造力学では自重も外力として取り扱う。活荷重は橋の上を移動するので，構造物に最大の応力[1]を生じさせる位置に載荷させて設計しなければならない。

車両走行時には路面の凹凸などが原因となって無視できない大きさの**衝撃荷重**が構造物に作用し，また曲線部を走行するときには**遠心荷重**が，さらに鉄道車両の始動，停止時には進行方向に**縦荷重**が作用する。これらの人為的外力のほかに，自然的外力として横方向からの**風荷重**が，また積雪時の**雪荷重**がある。構造物によっては水圧が作用する場合もある。地震が発生すると，地盤の衝撃的な横振動が構造物の支持点に作用するため，支点付近の破損が生じやすく，また構造物自体が地震力と共振すると大きな慣性力が作用することを考慮しなければならない場合がある[2]。わが国は世界でも有数の地震国であるため，構造物の耐震安定性の研究が活発に行われているが，構造物の動的挙動に

1)　応力とは，ある断面上に生じる力の単位面積当たりの量。

2)　振れやすい塔状構造物や重要な構造物では動的地震応答解析を行って危険な共振はないか確かめる。また振動時の最大応力の生じる位置や大きさを調べる。一般的な設計では，地震力は静的な力におきかえて構造物に作用させる。

索　引

〔あ〕

アーチ　4, 225
——クラウン　227
——軸線　227
——リブ　226
圧力線　228
安全性　8
安定　122
——なつりあい　269

〔い〕

板　4, 285
——構造　5
一般化フックの法則　37

〔う〕

埋込み支点　24

〔え〕

M 図　68
n_0 次の不静定構造　123, 207
影響線　105, 216
——縦距　106
せん断力の——　219
不静定力 X の——　219
曲げモーメントの——　218
エネルギー　137
——保存の原理　138
エネルギー原理　178
——による近似解法　180, 281
エラスティカ　279
遠心荷重　6
延性破壊　10

〔お〕

オイラー　271, 276
——曲線　276
——の座屈荷重　271
応力　22, 27
——の主軸　47
——のつりあい式　29
降伏——　38
最外縁——　85
最大——　38
座屈——　276
残留——　7, 283
主——　47
垂直——　27
せん断——　27, 40, 64
曲げ——　28, 83
応力度　27
応力法　196
温度変化　103, 160, 208, 214, 234, 239, 259

〔か〕

外的静定　125
——性　125
外的不安定　125
外的不静定　125
回転支点　24
格間　116
——長　116
格点　50, 116
——法　53
角変化に関する剛性率　300
角方程式　262
下弦材　50
下降伏点　38
重ね合わせの原理　134
荷重項　206, 247
カスチリアノ　167, 168
——の第1定理　167
——の第2定理　168
風荷重　6
仮想外力仕事　146
仮想仕事　146
——の原理　147, 150
仮想ひずみ　146
——エネルギー　147
仮想変位の原理　147, 150
仮想力の原理　147
片持ばり　60
活荷重　6
滑節結合　50
可動支点　24
ガラーキン法　184
環境調和性　9
慣性モーメント　93

〔き〕

Q 図　68
幾何学的非線形　137
起拱線　227
危険断面　115
機能性　9
級数解法　294
境界条件　25, 95, 292
共役ばり　100
——法　100
曲弦トラス　52
曲率　83
ギヨン・マソネーの方法　302

〔く〕

偶力　17
クライペロンの定理　266

〔け〕

経済性　9
形状関数　190
係数行列式　274
桁　4
係数マトリックス　243, 254
ゲルバーばり　61, 76
限界荷重　268
限界細長比　277
弦材　50

〔こ〕
格子構造 302
高次不静定構造 207
鋼床板 299
構成方程式 37
拘束度 24, 122
交番応力 120
剛度 248
剛性率 36
剛比 249
降伏応力 38
降伏条件式 43
降伏モーメント 86
固定支点 24
固定端モーメント 247
固有値問題 270
コンプリメンタリー
エネルギー 142

〔さ〕
最外縁応力 85
最小仕事の定理 178
最大応力 38
最大曲げモーメント 114
材端モーメント 244
材料非線形 135
材料劣化 11
座屈 268
——応力 276
——荷重 268
——破壊 11
座標変換公式 46
三角級数 182, 294
残留応力 7, 283
残留ひずみ 38
3連モーメント定理 266

〔し〕
死荷重 6
支間 61
——長 61
仕事 137, 139
システム 8
支点反力 19, 61
斜材 50
斜張橋 5
重心 91
自由端 25
自由度 122
自由物体 20, 66
主応力 47
——面 47
衝撃荷重 6
上弦材 50
使用性 9
初期たわみ 280
初期変形 280
人為的ミス 10
振動破壊 11

〔す〕
垂直応力 27
垂直材 50
垂直ひずみ 32
水平反力 225
図心 91
スパン 61, 116
スパンドレルリブアーチ 226
すべり線 40
すべり帯 40

〔せ〕
ぜい性破壊 10
静定基本系 198
静定基本構造 198
静定構造 25, 123
等価—— 198
静定樹木構造 129
セカント式 279
絶対最大曲げモーメント 115
節点 50, 243
——回転角 244
——角 244
——変位 187, 189
——法 53
——方程式 250
——力 187
接線係数 284
——理論 284
迫高 227
線形構造 134
全塑性モーメント 86
全体変形条件式 262
せん断応力 27, 40, 64
——によるひずみ
エネルギー 142
せん断弾性係数 300
せん断ひずみ 33
せん断変形 33
せん断力 64
——の影響線 106, 219
——図 68
線膨張係数 103
全ポテンシャルエネルギー
177, 281

〔そ〕
相対荷重系 216
相対構造 216
相反（作用の）定理 173
層方程式 252
塑性ヒンジ 87

〔た〕
対称アーチ 227
タイドアーチ 226, 238
縦荷重 6
たわみ 81
——曲線 81
初期—— 280
たわみ角 81, 244
——式 245
たわみ角法 243
——の一般式 249
——の基本式 246
単位荷重法 156
単純支持 60
単純ばり 60
弾性荷重 100
——法 100
弾性曲線 81
弾性係数 34
弾性支点 25
弾性体 34

弾性ひずみエネルギー 138
弾性方程式 200
——法 200
断面1次モーメント 90
断面係数 85
断面2次半径 276
断面2次モーメント 84, 93
断面法 53
断面力 22
——図 68

〔ち〕

力の三角形 13
力の多角形 14
中空スラブ 299
中立軸 82
中立つりあい 269
中立面 82
超越方程式 275
直ひずみ 32
直交異方性平板 286
直交性 183, 295

〔つ〕

つりあい条件式 18
つりあい状態 18
つり橋 5

〔て〕

鉄筋コンクリート床板 299

〔と〕

等価静定構造 198
等方性板の曲げ剛性 289
等方性平板 286
独立物体 20
トラス 4
——アーチ 226

〔な〕

内的安定 126
内的静定 126
——性 125
内的不静定 126
——構造 126
——トラス 215
内力 22

〔に〕

ニールセン橋 241
2次応力 50
2次不静定ばり 203

〔ね〕

ねじり剛性 289

〔は〕

ハウトラス 52
柱 4, 268
ばね支承 25
はり 4
張出ばり 61
反力 19, 61
——モーメント 24
——の影響線 106, 216

〔ひ〕

美観 9
ひずみ 31
——の適合条件式 34
残留—— 38
垂直—— 32
せん断—— 33
直—— 32
ひずみエネルギー 138
——最小の原理 178
——密度 141
仮想—— 147
せん断応力による—— 142
弾性—— 138
補—— 142
非線形構造 135
非対称アーチ 227
疲労破壊 10
ヒンジ支点 24
ヒンジ数 h 127

〔ふ〕

不安定 123
——現象 268
——構造 123
——なつりあい 269
フーリエ級数 183
腹材 50
部材回転角 245
部材角 245
部材力 53
不静定構造 25, 123, 130
n_0 次の—— 123, 207
内的—— 126
不静定次数 123
不静定切断法 129
不静定ばり 197
不静定力 198
——Xの影響線 219
フックの法則 34
不等脚ラーメン 257
不変量 48
プラットトラス 52
ブレーストリブアーチ 226

〔へ〕

平面保持の仮定 81
ベッティの相反定理 173
ベルヌーイ・オイラーの仮定 81, 286
変形能力 12
変形法 196
偏心 277
圧縮柱 277
変断面不静定ばり 212
変分 177
——原理 178

〔ほ〕

ポアソン比 35
補間関数 190
補剛アーチ 227, 239
細長比 276
限界—— 277
ポテンシャルエネルギー 139
——最小の原理 176
骨組構造 5
補ひずみエネルギー 142

〔ま〕
曲げ応力　28, 83
曲げ応力度　83
曲げ剛性　84
　等方性板の——　289
曲げモーメント　22, 63
　——図　68
　——の影響線　107, 218
　最大——　114
　絶対最大——　115
マックスウェルの相反定理　173
マトリックス法　186

〔み〕
ミューラー・ブレスローの
　原理　217

〔め〕
面内力　285

〔も〕
モーメント　14
　——荷重　73
　——法　54
　慣性——　93
　降伏——　86
　固定端——　247
　材端——　244
　全塑性——　86
　断面1次——　90
　断面2次——　84, 93
　反力——　24
　曲げ——　22, 63
モール　41, 100
　——の応力円　41
　——の定理　100

〔や〕
ヤング係数　34

〔ゆ〕
有限要素法　186
有効座屈長　273
有効長係数　275
有効ねじり剛性　301
雪荷重　6

〔ら〕
ラーメン　4, 244
ライズ　227
　——比　227
ランガー桁　239

〔り〕
理想弾塑性体　39
リッツの方法　180, 281, 298
リンク　24

〔れ〕
連力図　228
0.2%耐力　38

〔ろ〕
ローゼ桁　241
ローラー支点　24

〔わ〕
ワレントラス　51

——著者略歴——

青木徹彦（あおきてつひこ）

1966年　防衛大学校土木工学科卒業
1972年　名古屋大学大学院博士課程修了
1974年　工学博士（名古屋大学）
1974年　愛知工業大学講師（土木工学科）
1974年　カナダ・アルバータ州立大学研究員
1976年　愛知工業大学助教授
1989年　愛知工業大学教授　現在に至る
専門分野：構造工学（構造解析および鋼構造部材の座屈強度に関して）

構造力学

Structural Mechanics

© Tetsuhiko Aoki 1986

1986年 4月25日　初版第1刷発行
2010年 1月10日　初版第23刷発行

検印省略

著者　青木徹彦
発行者　株式会社　コロナ社
代表者　牛来真也
印刷所　富士美術印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10
発行所　株式会社　コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan
振替 00140-8-14844・電話（03）3941-3131（代）
ホームページ http://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-05044-8　（新日本印刷，愛千製本所）
Printed in Japan

無断複写・転載を禁ずる
落丁・乱丁本はお取替えいたします