

例題で学ぶ **構造力学 I**  
—— 静定編 ——

工学博士 青木 徹彦 著



コロナ社

## まえがき

「構造力学」(土木系大学講義シリーズ)は、1986年の初版刊行以来、非常に多くの大学、高専等で教科書として使用していただき、若い世代に文化の伝承ができたと感謝している。この間、多くの大学で土木工学科から都市環境学科などへの名称変更があったが、構造力学そのものは、建設系学科の中心的基礎科目としてその重要性は変わっていない。とはいえ授業時間の短縮や、構造設計方書における使用単位が重力単位系から国際単位系(SI)へ変更されたこと、また構造物の設計が限界状態や性能照査型設計法へ移行しつつあることなど、新しい時代への流れもある。

本書は、当初から力学の基礎的事項を述べるにとどまらず、構造物の実際の挙動や破壊状態、限界状態を意識して書かれたため、いま読みなおしても古いという感じは持たないが、同書の中で学習効果が少ないと思われる、1) 第4章の静定ばりのモールの定理(共役ばり法)、2) 第8章の内的不静定トラス、3) 第9章アーチのランガー桁の解法を削除した。代わりに、1) はりの内部応力状態の説明、2) はりの曲げモーメント、せん断力をロープ法により簡単に求める方法、3) トラスの部材力をはりの $M$ 、 $Q$ 図から一括して求める方法、4) 単位荷重法の物理的意味、5) 単位荷重法の簡単積分公式による解法、6) 傾斜部材を有するラーメンの解法などを新しく追加ないし書き直しを行い、「静定編」と「不静定編」の2分冊とした。1)～5)は著者の知る限り、類書に見られない新しい内容であると思われる。例題や問題で与えた荷重等の単位の国際単位系(SI)への変更も行った。今まで多くの方からいただいた貴重な御意見は、その都度参考にして部分的書き直しを行ってきたが、今後も読者と著者が身近に意見交換できることを期待している。

構造力学は土木技術者にとって最も重要な基礎的教科である。本書は学生諸君が実社会に入っても利用できるように書かれている。社会経済活動や人々の生活を支える構造物が、地震や津波、その他の外力によって破壊されないように、また機能的、経済的かつ美しい構造物を実現するために、ゆっくりとよく考えて、力学的センスを磨いていただきたい。本書がその契機になれば幸いである。

2015年 9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（荷重や力では kgf や tf）が用いられてきた。日常生活では、食料品、体重、乗用車などで、g, kg, ton が普通に用いられている（正確には“f” または“重” を付ける）。4℃の水の 1 cm<sup>3</sup> が 1 g, 1 l で 1 kg, 1 m<sup>3</sup> では 1 ton というのは明確でわかりやすい。しかし現在では、さまざまな基準の世界的な共通化の動きに対応して科学、工学の各分野で国際単位系（SI : Le Système International d'Unités）が採用されてきている。

わが国の構造物の標準的な設計基準として用いられる道路橋設計示方書（平成 24 年版）でも、力や応力の単位がすでに SI 単位になっており、SI 単位を理解しておかないと構造物の設計もできない状況になった。そこで従来の重力単位系との違いを理解しておく必要がある。

SI 単位の基本単位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、長さを m（メートル）、時間を s（秒）とする（表 1, 表 2）。両者のおもな違いは、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 単位では**質量** [kg] を基本単位として用いることである。重量は質量などを組み合わせた単位として表す（重量 = 質量 × 重力の加速度）。

表 1 おもな SI 基本単位

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

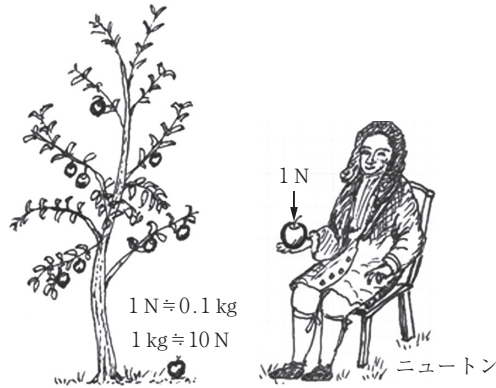
表 2 おもな SI 接頭語

記号 (名称)	倍数
G (ギガ)	10 <sup>9</sup>
M (メガ)	10 <sup>6</sup>
K (キロ)	10 <sup>3</sup>
c (センチ)	10 <sup>-2</sup>
m (ミリ)	10 <sup>-3</sup>
μ (マイクロ)	10 <sup>-6</sup>

物体の重量とは、その物体に働く重力の大きさであり、感覚的に質量よりも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。よって、宇宙ステーション構造物の設計では重力単位系は役に立たない。また地震工学などでは、構造物の質量  $M$  を基本量とし、これに加速度  $a$  を乗じた量  $Ma$  を力として用いるし、車が物体に衝突するときも車の質量と減速度（-加速度）の積が作用力となる。

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] や、応力

[N/mm<sup>2</sup>]・圧力を表すパスカル [Pa] がある。1 N とは “質量 1 kg の物体に 1 m/s<sup>2</sup> の加速度運動を生じさせる力” のことで、1 N=1 kg・m/s<sup>2</sup> となる。地球上では重力の加速度は 9.8 m/s<sup>2</sup> であるから、1 N は 0.102 kg の質量の物体に地球の引力が作用するときの力である。ニュートン (英) はリンゴが落ちるのを見て、万有引力を発見したといわれるが、約 0.1 kg のリンゴを手の上において感じられる力が 1 N である。



逆に重力単位系で 1 kgf の荷重 (作用力) は、SI 単位では  $1 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 9.8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 9.8 \text{ N} \cong 10 \text{ N}$  となる。同様に積載量 20 tf の荷重とは、 $20 \times 10^3 \text{ kgf} \cong 200 \times 10^3 \text{ N} = 200 \text{ kN}$  である。圧力の単位には、圧力に関するパスカル (仏) の原理で有名な科学者の名を用いているが ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ )、力学分野では、**応力** に対しては Pa を用いるよりも、cm<sup>2</sup>、mm<sup>2</sup> などの単位面積当たりの力 (N, kN) を用いたほうが理解しやすく、部材断面積に応じた力の計算にも便利であるので、一般には N/mm<sup>2</sup> や kN/cm<sup>2</sup> が用いられる (表 3)。

鋼の弾性係数は  $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$  が長い間用いられてきたが、これを N/mm<sup>2</sup> で表すと  $1 \text{ kgf} \rightarrow 9.8 \text{ N}$ 、 $1 \text{ cm}^2 \rightarrow 10^2 \text{ mm}^2$  とおいて、 $E = 2.1 \times 10^6 \times 9.8 / 10^2 \text{ N/mm}^2 = 2.058 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$  となる。ここで 3% の誤差を許せば  $E = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$  でよい。一般に、設計などで 2% の誤差が問題とされなければ  $1 \text{ tf} = 9.8 \text{ kN} \cong 10 \text{ kN}$  で計算してよい。

表 3 固有の名称をもつ SI 単位 (N, Pa) と重力単位

量	単位記号 (名称)	重力単位
力	1 N (= 1 kg・m/s <sup>2</sup> )	0.102 kgf (≅ 0.1 kgf)
応力	1 N/mm <sup>2</sup>	10.2 kgf/cm <sup>2</sup>
圧力	1 Pa (1 N/m <sup>2</sup> = 1 μN/mm <sup>2</sup> )	0.102 kgf/m <sup>2</sup>
鋼の弾性係数	$2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ (≅ $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ )	$2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
単位換算 (重力単位 → SI 単位)	<b>1 kgf = 9.806 N (≅ 10 N)</b> <b>1 tf = 9.8 kN (≅ 10 kN)</b> $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.806 \times 10^{-2} \text{ N/mm}^2$ (≅ 0.1 N/mm <sup>2</sup> )	

# 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	3
1.4 作用力と荷重	5
1.5 構造物の製作過程と構造力学の役割	6
1.6 構造物に要求される条件	7
1.7 構造物の破壊形式	8
1.8 生物に学ぶ構造力学	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	21
2.5 構造物の支持形式	23
2.6 応力とひずみ	25
2.6.1 応力	25
2.6.2 応力のつりあい式	27
2.6.3 変位とひずみ	28
2.6.4 弾性体の応力-ひずみ関係 (フックの法則)	31
2.6.5 構造材料の応力-ひずみ関係	33
2.6.6 一軸方向力を受ける部材の破壊と 応力状態	35
2.6.7 二軸方向応力状態	37
2.6.8 平面応力状態	39

## 第3章 静定トラス

3.1 トラス構造の特性と形式	45
3.1.1 トラス構造の特性	45
3.1.2 トラス部材の名称	46
3.1.3 トラスの形式	47
3.2 トラスの解法	48
3.2.1 断面法	48
3.2.2 節点法 (格点法)	51

3.2.3 Kトラスの部材力	52
----------------	----

## 第4章 静定ばり

4.1 静定ばりの形式	54
4.2 支点反力	55
4.3 断面力（曲げモーメントとせん断力）	56
4.3.1 曲げモーメント，せん断力の定義	56
4.3.2 単純ばり	58
4.3.3 片持ばり	63
4.3.4 張出しばり	64
4.3.5 モーメント荷重が作用するはり	65
4.3.6 ゲルバーばり	67
4.4 断面力と荷重の相互関係	68
4.5 ロープ法による曲げモーメント図の描き方（早い，簡単，きれい）	71
4.5.1 集中荷重を受ける単純支持ばりの <i>M</i> 図はサルでも描く	72
4.5.2 分布荷重の作用する単純支持ばりの <i>M</i> 図は洗濯ばあさんでも描く	74
4.5.3 片持ばりの <i>M</i> , <i>Q</i> 図	79
4.6 はりの内部応力	80
4.6.1 はりの曲げ応力	80
4.6.2 弾塑性曲げ挙動	84
4.6.3 はりのせん断応力分布	85
4.7 断面図形の性質	87
4.8 はりの変形	94
4.8.1 微分方程式	94
4.8.2 温度差によるはりのたわみ	97

## 第5章 影響線

5.1 移動荷重と影響線	99
5.2 静定ばりの影響線	99
5.2.1 単純ばりの影響線	99
5.2.2 片持ばりの影響線	102
5.2.3 張出しばりの影響線	102
5.2.4 ゲルバーばりの影響線	104
5.3 移動荷重と最大曲げモーメント	105
5.4 間接載荷	107
5.5 単純トラス部材力の影響線	109
5.6 トラスの全部材力をはりの <i>M</i> , <i>Q</i> 図から一括して求める	111
Coffee Break — 工学的近似の話	113

## 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	114
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	116
6.2.1 全体的安定性	116
6.2.2 外的安定性と内的安定性	116

6.2.3	トラスの内的静定性	117
6.3	アーチの静定性	118
6.4	ラーメンの不静定次数	119
6.5	不静定構造物の特性	120
付	録	123
参	考 文 献	126
問	の 略 解	127
索	引	132

## 「例題で学ぶ 構造力学Ⅱ — 不静定編 —」

### 主要目次

第7章	構造解析の基本原理	9.4	3 ヒンジアーチ
7.1	線形構造と非線形構造	9.5	2 ヒンジアーチ
7.2	エネルギー保存の原理	9.6	固 定 ア ー チ
7.3	外力仕事とひずみエネルギー	9.7	タイド・アーチおよび補剛アーチ
7.4	仮想仕事の原理		
7.5	単 位 荷 重 法	第10章	ラ ー メ ン 構 造
7.6	カスチリアノの定理	10.1	概 説
7.7	相 反 定 理	10.2	た わ み 角 法
7.8	最小エネルギーの原理	10.3	たわみ角法によるラーメンの解法
7.9	エネルギー原理による近似解法	10.4	3 連モーメントの定理
7.10	エネルギー原理のまとめ		
第8章	不静定ばりおよび不静定トラス	第11章	柱 の 座 屈
8.1	不静定構造の解法	11.1	座 屈 現 象
8.2	不静定力法の基本原理	11.2	中心軸圧縮柱
8.3	不静定力法の実用	11.3	初期不整のある弾性柱
8.4	不 静 定 ト ラ ス	11.4	エネルギー法の実用
8.5	影 響 線	11.5	非 弾 性 柱
第9章	ア ー チ	第12章	板 構 造
9.1	アーチの特性と種類	12.1	概 説
9.2	アーチの形状と基本力学	12.2	等 方 性 平 板
9.3	アーチの変位	12.3	直交異方性平板

(本文中の♠マークはⅡ巻 — 不静定編 — を参照している箇所を表す。)

# 第1章

# 序

# 論

## 1.1 構造力学の内容

構造力学 (structural mechanics) は各種の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、上下水道等に必要生活関連施設も含まれている (図 1.1, 図 1.2)。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。



図 1.1 トゥインブリッジ (イタリア)



図 1.2 通信用鉄塔 (長久手市)



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の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、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。

以上、構造力学の内容をいかにつまんで述べたが、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“理論を形あるものを実現するための近似である”といえる。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し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<sup>1)</sup>。
- 3) 変形量は構造寸法に比べて微小である。
- 4) 材料は等方<sup>2)</sup>、等質で弾性体<sup>3)</sup>を仮定する。すなわち、フックの法則<sup>3)</sup>に従う。

---

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。

3) 2.6.4項で学ぶ。

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、現実にある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載荷実験を行ったり、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。



(a) ザルギナトーベル橋, コンクリートアーチ (スイス, マイヤール設計)



(b) リアルト橋 (イタリア・ベニス)



(c) カレル橋 (ハンガリー・ブダペスト)



(d) 塔の上に展望台がある斜張橋, ジョセフラッコ・アプラド橋 (ブラチスラバ, スロバキア)

有名な橋の例

### 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 1.3 (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。はりとは構造部材としては最も使用例が多く、構造力学の基本となるから、本書でも重点的に学ぶ。主とし

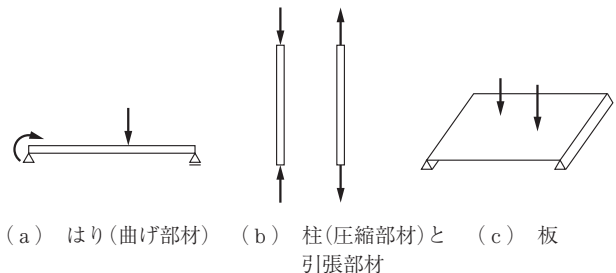


図 1.3 単一部材

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 (tension member) 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<sup>しょうばん</sup>がこれに当たる (図 (c))。

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 1.4 (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おり、**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) のように斜め部材がなく、住宅、ビル等の一般建築物、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<sup>1)</sup>。図 (c) の**アーチ (arch)** は、1本の曲線部材または複数の曲線部材をつなぎ合わせて主構造をつくる。これらの部材内部は圧縮力が主体となるが、若干の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 (frames)** と総称する。また、主として板の面内方向にのみ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。

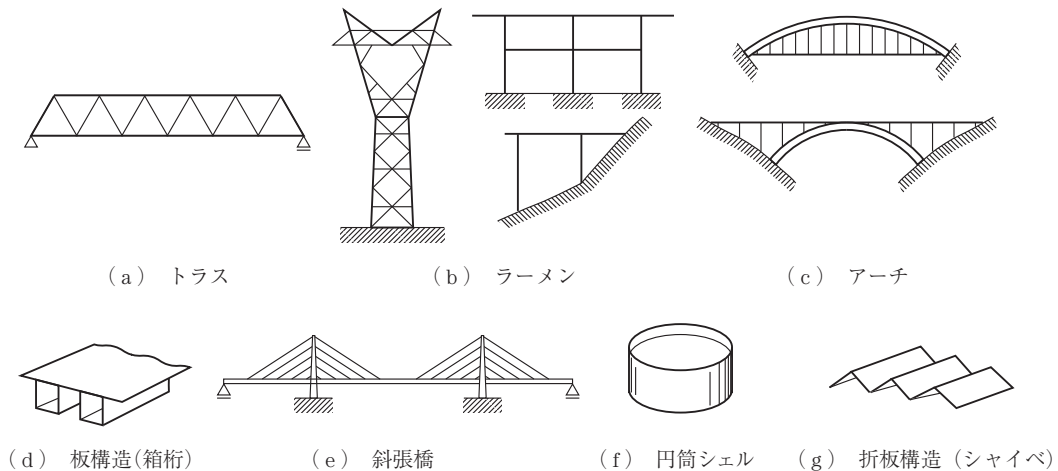


図 1.4 各種の構造形式

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。タワーは鉄筋コンクリートや鋼箱形断面構造であることが多い。約 1500 m までの長大径間に用いられる**つり橋 (suspension bridge, 図 1.5)** 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。

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るから、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。

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<sup>1)</sup> (図 1.6), 液体, 粉体貯蔵タンクなどに用いられる円筒シェル (cylindrical shell) (図 1.4 (f)), あるいは平板に折れ角をもたせて組み合わせ, 板面内にも荷重を受け持たせた折板構造<sup>2)</sup> (folded plate structure, 図 1.4 (g)) などがある。

**問** 1.1 鋼構造とコンクリート構造の材料および構造特性の比較表をつくれ。

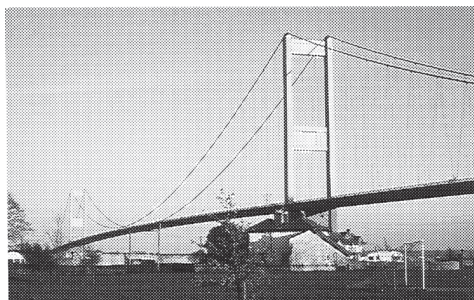


図 1.5 セバン橋 (イギリス)

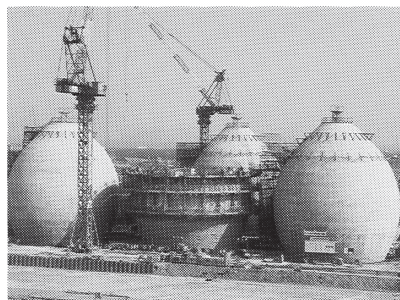


図 1.6 下水処理用卵形シェル構造 (横浜市)

## 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, 各種の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 (dead load)) と車両や群衆の重量 (活荷重 (live load)) 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<sup>3)</sup>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 (impact load) 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 (centrifugal load) が, さらに鉄道車両の始動, 停止時には進行方向に制動荷重 (braking load) 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 (wind load) が, また積雪時の雪荷重 (snow load) がある。構造物によっては水圧や, 津波等による波圧 (移動水圧) が作用する場合もある。屋外にある橋梁構造物等では温度変化の影響がある。さらに, 地震が発生すると構造物自体が地震力と共振する場合があり, そのときには大きな慣性力が作用するため地震の影響を考慮しなければならない<sup>4)</sup>。構造物の支持点に地盤の横振動が作用するため, 支点付近の破損が生じやすく, 都市

- 1) 鉄筋コンクリート製の卵形シェルが下水処理タンクなどに用いられている。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 (g) の折板構造をシャイベということもある。
- 3) 応力とは, ある断面上に生じる力の単位面積当たりの量。詳細は 2.6 節で学ぶ。
- 4) 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。重心が上にある高速道路, 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大きさやその生じる位置を調べる。



# 索 引

<p><b>【あ】</b></p> <p>アーチ arch 4 圧縮部材 4 安全性 7</p> <p><b>【い】</b></p> <p>板 plate 4 板構造 plate structure 4 一般化フックの法則 generalized Hooke's law 33 移動水圧 5</p> <p><b>【う】</b></p> <p>腕の長さ moment arm 15 埋込み支点 built in support 23</p> <p><b>【え】</b></p> <p>影響線縦距 100 遠心荷重 centrifugal load 5 延性破壊 ductile failure 8 円筒シェル cylindrical shell 5</p> <p><b>【お】</b></p> <p>応力 stress 25 ——の主軸 principal axes of stress 42 ——のつりあい式 27 応力度 25 温度変化の影響 5</p> <p><b>【か】</b></p> <p>外的静定性 116 回転運動 17 回転支点 rotate support 23 格点 panel point 46 格点法 48, 51 下弦材 lower chord member 46 下降伏点 33</p>	<p>風荷重 wind load 5 片持ばり cantilever beam 54 ——の <math>M</math>, <math>Q</math> 図 79 活荷重 live load 5 環境調和性 8 慣性モーメント moment of inertia 91 間接載荷 107 完全弾塑性材料 perfectly elasto-plastic material 35</p> <p><b>【き】</b></p> <p>危険断面 critical section 106 機能性 8 強軸 93 曲弦トラス curved chord truss 47 曲率 curvature 81 曲率半径 radius of curvature 81 キングポストトラス king post truss 47</p> <p><b>【く】</b></p> <p>偶力 couple of forces 15, 16 グリーン (Green) 関数 102</p> <p><b>【け】</b></p> <p>経済性 8 形状係数 shape factor 84 桁 girder 3 ケーブル cable 4 ゲルバーばり Gerver beam 54, 67 限界状態設計法 limit state design 122 弦材 chord member 46</p> <p><b>【こ】</b></p> <p>合応力 stress resultant 22</p>	<p>構成方程式 constitutive equation 33 剛性率 modulus of rigidity 33 拘束次数 114 拘束度 degree of restraint 23, 114 交番応力 alternate stress 110 降伏応力 yield stress 33 降伏条件式 yield criterion formula 38 降伏モーメント yield moment 84 固定支点 fixed support 23</p> <p><b>【さ】</b></p> <p>最外縁応力 extreme fiber stress 57, 83 最大応力 maximum stress 34 最大せん断応力 42 最大曲げモーメント 105 材料劣化 material degradation 9 座屈破壊 buckling failure 9 サン・ブナンのねじり定数 123 残留応力 residual stress 6 残留ひずみ residual strain 34</p> <p><b>【し】</b></p> <p>シェル shell 5 死荷重 dead load 5 支間 span 54 支間長 span length 54 地震の影響 5 システム system 7 支点反力 support reaction 19 シャイベ 4, 5 弱軸 93</p>
---	--	---

斜材	
diagonal member	46
斜張橋	
cable stayed bridge	4
重心	
center of gravity	89
自由端	
free end	23
自由度	
degree of freedom	114
自由物体	
free body	20, 59
主応力	
principal stress	42
主応力方向	42
主応力面	
principal plane of stress	42
純曲げ区間	69
衝撃荷重	
impact load	5
上弦材	
upper chord member	46
使用性	8
じん性	
toughness	10
振動破壊	
vibrational destruction	9
信頼性	7
<b>【す】</b>	
水圧	5
垂直応力	
normal stress	21, 25
垂直材	
vertical member	46
垂直ひずみ	29
数学的近似	113
図心	
centroid	89
すべり線	
slip line	35
すべり帯	
slip band	35
<b>【せ】</b>	
ぜい性破壊	
brittle failure	9
静定構造	
statically determinate structure	24, 114
静定樹木構造	
statically determinate tree structure	120

制動荷重	
braking load	5
絶対最大曲げモーメント	
absolute maximum bending moment	106
節点	
node	46
節点法	
nodal point method	48, 51
折板構造	
folded plate structure	4, 5
全塑性モーメント	
full plastic moment	84
せん断応力	
shear stress	21, 25, 57
せん断弾性係数	
shear modulus	33
せん断ひずみ	
shear strain	30
せん断変形	
shear deformation	30
せん断力	57, 59
せん断力図	
shear force diagram	57, 60
<b>【そ】</b>	
相反定理	102
塑性断面係数	
plastic modulus of section	84
塑性ヒンジ	
plastic hinge	85
<b>【た】</b>	
(縦) 弾性係数	
modulus of elasticity	31
たわみ	
deflection	80
たわみ角	
angle of deflection, slope of deflection	80
たわみ曲線	
deflection curve	80
単純支持	
simple support	54
単純はり	
simple beam	54, 58
弾性曲線	
elastic curve	80
弾性支点	
elastic support	24
弾性体	
elastic body	31
断面1次モーメント	
geometrical moment of area	84, 88

断面2次極モーメント	
polar moment of inertia of area	123
断面2次モーメント	
geometrical moment of inertia	83, 91
断面係数	
section modulus	83
断面法	
method of cross section	48
断面力	
stress resultant	21, 22, 57
断面力図	60
<b>【ち】</b>	
力の三角形	
triangle of forces	13, 52
力の多角形	
polygon of forces	13
力のモーメント	14
中立軸	
neutral axis	81
中立面	
neutral plane	81
直ひずみ	
normal strain	30
直列構造	
series structure	121
<b>【つ】</b>	
つりあい条件	
equilibrium condition	17
つりあい状態	
equilibrium	17
つり橋	
suspension bridge	4
<b>【て】</b>	
テイラー展開	
Taylor expansion	113
鉄筋コンクリート	
reinforced concrete, RC	35
<b>【と】</b>	
独立物体	
independent body	20
トラス	
truss	4
トルク	
torque	123
<b>【な, に】</b>	
内的静定性	116
二項定理	113

二軸応力状態		腹材		曲げモーメント	
biaxial stress state	38	web member	46	bending moment	57, 58
<b>【ね】</b>		部材力		——の最大値	78
ねじり剛性		member force	48	曲げモーメント図	
torsional rigidity	123	不静定構造		bending moment diagram	57, 60
ねじり定数	123	statically indeterminate structure	24, 115	<b>【も】</b>	
ねじりモーメント		不静定次数		モーメント	
torsional moment	123	degree of statically		moment	14
ねじり率		indeterminateness	115	モーメント荷重	
torsional ratio, angle of twist per		不静定切断法		moment load	17, 73
unit length	123	statically indeterminate cutting		モーメント法	
<b>【は】</b>		method	119	moment method	49
波圧	5	フックの法則		モールの応力円	
ハウトラス		Hooke's law	31	Mohr's stress circle	37, 39
Howe truss	47	不変量		<b>【や, ゆ, よ】</b>	
柱		invariant	42	ヤング係数	
column	4	プラットトラス		Young's modulus	31, 34
ばね支持		Pratt truss	47	雪荷重	
spring support	24	<b>【へ】</b>		snow load	5
はり		平行運動	17	余剰耐力	
beam	3, 54	平面保持の仮定	81	redundant strength	122
張出しばり		並列構造		<b>【ら】</b>	
overhanging beam	54	parallel structure	121	ラーメン	
<b>【ひ】</b>		ベルヌーイ・オイラー		Rahmen	4
美観	8	(Bernoulli-Euler) の仮定	81	<b>【り】</b>	
ひずみ		変形能		理想弾塑性体	
strain	29	deformation capacity	122	ideally elasto-plastic body	35
——の適合条件式		変形能力		リューダース線	
compatibility condition of strain	30	deformation capacity	10	Lüder's line	35
ひずみ硬化		<b>【ほ】</b>		リューダース帯	
strain hardening	34	ポアソン数		Lüder's band	35
疲労破壊		Poisson's number	32	リンク	
fatigue fracture	9	ポアソン比		link	23
ピン支持		Poisson's ratio	32	<b>【ろ】</b>	
pinned support	23	骨組構造		ロープ法	71
ヒンジ支点		frames	4	ローラー支点	
hinged support	23	<b>【ま】</b>		roller support	23
ヒンジ数	118	マクローリン展開		<b>【わ】</b>	
<b>【ふ】</b>		Maclaurin expansion	113	ワレントラス	
不安定構造		曲げ応力		Warren truss	47
unstable structure	115	bending stress	26, 57, 82		
複合破壊		曲げ応力度	82		
multiple fracture	9	曲げ剛性			
		flexural rigidity	83		
0.2%耐力		M-φ関係	83	$\sin\theta = \theta, \cos\theta = 1$ の誤差	113
0.2% offset strength	34	M図	72		
2次応力		——の頂点の高さ	75		
secondary stress	46	Q図	72		

— 著者略歴 —

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）  
愛知工業大学講師（土木工学科）  
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  
（1998年 耐震実験センター設立，センター長）  
2013年 愛知工業大学名誉教授  
2013年 青木工学研究所所長  
現在に至る

例題で学ぶ 構造力学 I

— 静定編 —

Structural Mechanics — Learning from Exercise —

— Statically Determinate Structure —

© Tetsuhiko Aoki 2015

2015年12月17日 初版第1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 新日本印刷株式会社

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 978-4-339-05247-3 (森岡)

(製本：SBC)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。  
落丁・乱丁本はお取替えいたします