

## ●——第4版刊行によせて

例題で学ぶ「構造工学の基礎と応用」は最初1991年に出版された。

そのときのいきさつは以下のようになる。

はじめ私はドイツ留学時に、ドイツの大学の応用力学（機械工学）の問題集を買ってきた。これを翻訳して出版したいと技報堂出版に相談したところ、翻訳書よりも自分で問題や解答をつくった本のほうがよいとアドバイスを受けた。

そして、そのときに必ず東北地域の主な大学の教員をメンバーに加えて共著にすることが大事であると言われた。

そういうわけで、東北地域のすべての大学の力学系教員に各校一名は加わっていただくことにし、さらに岩手大学出身の高専の教員にも声をかけて共著者になっていただくことにした。

こうして若い著者たちは率直に自分の意見を述べ、議論をしながら理想的な教科書をつくっていった。

この本の出版の後に、さらに「構造工学」「橋梁工学」と二冊の教科書を作ることができたうえ、土木学会編「土木用語大辞典」の編集にも加わることができたのである。

幸い著者たちは全員それぞれの大学や高専の教授となることができた。これもひとえに技報堂出版のおかげである。技報堂出版に感謝する次第である。

2016年2月

著者を代表して 宮 本 裕

## ●—はじめに

昔の技術者は計算尺や手回し計算機のみを使って飛行機や橋などを設計した。現在では構造物の応力・変位を明らかにしその合理的な設計を可能にする構造解析もコンピュータの利用が普通に行われており、大学・高専の教育もコンピュータ利用のマトリックス構造解析が重要な位置を占めるようになってきている。

しかし講義と演習において、マトリックス構造解析だけを行えば十分であろうか。

「一般に構造解析が手計算で行われていた時には、計算の過程で考えたり、判断することができたが、計算機を用いた過程には人間の思考判断の介入する余地がないため定量的感覚や充足感がもてないようだ。この判断力を育てるには、例えば解析計算の過程を数多くの例でとらえたり、場合によっては手計算によったり、あるいは過去の資料によって判断を行うよう心がけるべきであろう（芳村仁，北海道大学大型計算機センター広報巻頭言，Vol. 7, No. 1）」。

生物の進化の中で、個体発生は系統発生を繰り返すというヘッケルの法則がある。その例として人間の赤ん坊が母親の胎内で大きくなる時、エラができたり、尾が生えたりする。これは人類の祖先が大昔、魚から両生類、哺乳類と進化してきたことを、どの赤ん坊も小さいときに繰り返すということである。

構造力学もそのようにアルキメデス（紀元前3世紀）やガリレオ（16世紀）以来、人類が2千年以上もかけて築き上げてきた理論の体系である。その中でも高等な剛性マトリックス法の理論を、簡単に一般的表現でまとめられたものを読むだけで理解することは容易でない。それには先人の偉大な学者たちの研究の歩みを手短にでも繰り返さなくてはならないのである。簡単な問題を自分の体を使って解いてみる必要がある。まずやさしい力の釣合いから始まって、梁の曲げモーメント図を描いたりトラスの部材力の計算をしたりして構造力学に慣れ、やがて剛性マトリックスの主な計算過程をたどることが必要であろう。

要するにこれからの技術者は筆算でできる古典的構造力学をマスターし、そのうえでマトリックス構造解析の基礎を踏まえることが期待されているのであ

る。

理論としての構造力学にプラスアルファとして具体的な構造物への応用を配慮したものを、ここでは構造工学と呼ぶことにする。しかし設計については具体的な示方書の規定などに従わねばならず、煩雑を避けるためふれなかった。

基礎的な構造物に関する種々の計算例を通して、読者が構造工学の本質を少しでも身につけられることを願うものである。

本書の特色を列記すると次のようになる。

- ① 説明はくどいくらいにわかりやすくするように心がけた。
- ② 多くの著者の共同作業による利点として、種々の考え方による解法を示した。
- ③ 最近の構造解析手法である剛性マトリックス法の理解をめざした。
- ④ 鋼構造物とコンクリート構造物を対象とした。
- ⑤ 入門程度であるが座屈や振動や最適設計まで多方面の分野を取り込んだ。したがって、若い技術者にとりこの本は大学・高専卒業後も役立つはずである。

著者らは長く初心者学生の教育指導にあたってきたため、何が理解されにくいか、どう教えると効果的かということについてのエキスパートである。したがって、この本は長年の著者らの教育研究活動を集大成したものである。

本書の内容についてのご意見やご批判にはいつでも耳を傾ける用意がある。

本書の出版にあたり、編集、校正など多大の労力を提供された技報堂出版株式会社の関係各位に厚くお礼を申し上げます。

1991年2月

著者を代表して 宮本 裕

## ●——改訂版によせて

この本ができてから5年たって、改訂版を出すことになった。

今までの本は、構造工学について例題を中心に解説した本であったが、その後、公式の誘導や背景となる理論をくわしく説明した『構造工学』をほぼ同じメンバーで別に出版することができた。したがって、2冊の本『構造工学の基礎と応用』と『構造工学』については、それぞれ問題を解くこと、理論をすすめながら公式を誘導すること、という目的分担をはかることにした。そのため『構造工学の基礎と応用』は1冊で理論を説明し問題を解くという最初の目的から、主に問題を解くことに力点を移した。

また、この5年間教室などで使って、学生諸君の反応もみた。それらの体験をもとにして、説明が不足で理解が得られにくかった箇所などには説明を増やし、理解を深めるための新しい問題を追加した。

例えば第1章において、組合せ断面の全体の図心を通る $x$ 軸に関する断面2次モーメントを計算する問題である。公式によって図心の位置を求めてから、各断面要素の(最小となる自分自身の図心軸に関する)断面2次モーメントを全体の図心軸まで平行移動して和を求める方法で解いている。次に一般に設計計算で行われている方法であるが、計算しやすい軸(通常は上フランジ端部など)に関する断面2次モーメントを計算して、この断面2次モーメントから平行移動の公式を使って、全体の図心での断面2次モーメントになるよう、全断面積・移動距離の2乗を、引き算して求めている。この2つの計算方法は実は同じものであるが、どちらで計算しても同じ結果を与えると説明している本は少ないようである。本書では2つの方法を計算例を使って説明した。

また片持ち梁で、右端が自由の場合と左端が自由の場合を並べて比較しながら、曲げモーメント図やせん断力図の符号を確認させ、理解を深めるようにした。このように似た問題を比較しながら説明するのは、理解を確かなものとする良い方法であると考えられる。

第5章のトラスでは、まず反力を計算してから部材力を計算する一連の計算手順を身につけるため、非対称荷重の問題も加えた。

第9章において、連続梁の影響線の計算例を加えた。不静定力の影響線を計

算することで、これをもとに重ね合せの原理を利用して曲げモーメントなどの影響線の計算ができることを示した。

構造力学，構造工学の本は基礎的な内容であるから，これまでも数限りなく出版され，例題も非常に多く作られている．したがって，なるべくオリジナルな問題を作ろうとすれば，いきおい新作問題は複雑になってしまう．基本的な問題が理論の本質をつく問題であればあるほど，古典の問題にふれないわけにはいかない．したがって，古典的基礎的例題をそのまま載せることも教育的見地から必要といえる．この本で全部の問題を新作問題にすることは可能であるが，基礎的知識を説明するためには古くからある問題を避けるわけにはいかないのである．

さらに，今回は構造力学が土質力学の基礎理論となっていることを示すため，土質力学の入門ともいえる土圧などの計算問題の章を新たに付け加えた．この章では弾性床上梁のたわみ曲線などの計算式も説明した．

これらの問題にふれることによって，構造力学は鋼構造のみならず，コンクリート構造，合成構造，土質力学など広く，土木建設工学の基礎科目となることがわかるだろう．そういう意味で，われわれは構造力学を中心にこれらの応用を含めた力学系全体の学問を構造工学と呼ぶのである．最初に名づけた『構造工学の基礎と応用』は，したがってさらに内容を構造工学にふさわしいものに書き加えたと思うが，われわれの理解力，表現力の問題もあり，さらには紙面の都合などで十分に書けたかどうか不安もある．この本が数多くの読者によって読まれ，印刷を改めるたびに，こまめな修正をして，より良い本にしたいと考えている．

本書の出版にあたり，編集，校正など骨折りいただき，改訂版発行を支援していただいた技報堂出版株式会社の皆様に厚くお礼を申し上げたい．

1996年1月

著者を代表して 宮本 裕

### ●——第3版刊行によせて

この本の初版ができてから5年たって改訂版を出した。そしてそれから7年たって第3版を出すところである。

最初の本は、1990年夏に盛岡で著者たちが集まって、自分たちの手作りの本を作ろうと夜遅くまで討論をしたものだった。あれから、ほぼ同じメンバーを中心として、構造工学、橋梁工学そして土木用語大辞典（鋼構造や橋梁工学の専門用語担当）などの教科書や辞典の執筆の仕事をする事ができた。

ふりかえると、あれから数えて、まもなく13年がたとうとしている。その間にこの本の執筆に係わった皆においても、新たに生まれた家族や、永遠の別れをした家族などの思い出が増えたことだろう。誠に、時間のたつことが感じられるのである。

われわれの作った本は教室で使われ、あるいは学生が自分の部屋で読んで多くの感想や意見が出された。また式や数値の不適切なことも指摘され、できるだけ直してきた。そして世はSI単位の時代に入り、この本も全面的にSI単位に改訂することをせまられた。技術は学問の進歩と時代のニーズに応じていかなければならないから、われわれの著作の手直しはこれからもなお続くのであろう。初心を忘れずに、教育というものを大切にしていきたいと思う。

本書の出版にあたり、引き続きお世話になった技報堂出版株式会社の皆様に心からお礼を申し上げます。

2003年3月

著者を代表して 宮 本 裕

## ●—目次

1.	力の釣合い	1
2.	断面の性質	7
3.	静定梁	15
4.	梁の曲げ応力とたわみ	35
	§ 1 梁の曲げ応力とせん断応力	
	§ 2 組合せ応力	
	§ 3 梁のたわみ曲線	
	§ 4 モールの定理	
5.	静定トラス	63
6.	影響線	81
7.	柱の座屈	91
8.	不静定構造物の基礎	97
	§ 1 不静定次数	
	§ 2 静定基本系による解法	
	§ 3 微分方程式による解法	
9.	エネルギー法	107
	§ 1 ひずみエネルギー	
	§ 2 仮想仕事の原理	
	§ 3 最小仕事の原理	
	§ 4 弾性方程式	

10.	三連モーメントの定理	143
11.	たわみ角法	155
12.	剛性マトリックス法	167
	§ 1 トラスの剛性マトリックス	
	§ 2 梁の剛性マトリックス	
	§ 3 ラーメンの剛性マトリックス	
13.	梁の振動	187
	§ 1 1 質点の振動	
	§ 2 梁の曲げ振動	



# 1. 力の釣合い

**公式**

(1) 1点に集まる力の合力

1) 2力の合力

$$\left. \begin{aligned} \sum H &= P_1 + P_2 \cos \theta \\ \sum V &= P_2 \sin \theta \\ R &= \sqrt{(\sum H)^2 + (\sum V)^2} \\ R &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos \theta} \\ \tan \alpha &= \frac{\sum V}{\sum H} = \frac{P_2 \sin \theta}{P_1 + P_2 \cos \theta} \end{aligned} \right\} (1-1)$$

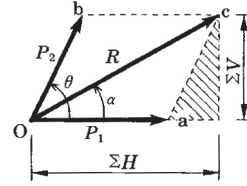


図 1.1

2) 多数の力の合力

$$\left. \begin{aligned} \sum H &= \sum P \cos \theta \\ \sum V &= \sum P \sin \theta \\ R &= \sqrt{(\sum H)^2 + (\sum V)^2} \\ \tan \alpha &= \frac{\sum V}{\sum H} \end{aligned} \right\} (1-2)$$

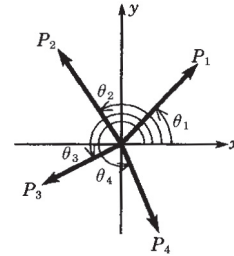


図 1.2

3) 力の釣合い

1点に集まる力が釣合うとき、力の多角形は閉合する。

$$\sum H = 0, \quad \sum V = 0 \quad (1-3)$$

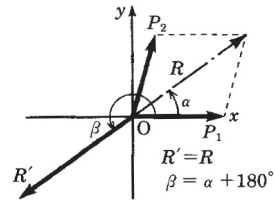


図 1.3

(2) 1点に集まらない力の合力

1) 合力

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \frac{\sum (V \cdot x)}{\sum V} \\ y_0 &= \frac{\sum (H \cdot y)}{\sum H} \\ R &= \sqrt{(\sum H)^2 + (\sum V)^2} \end{aligned} \right\} (1-4)$$

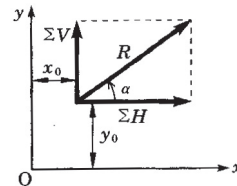


図 1.4

$$\tan \alpha = \frac{\sum V}{\sum H}$$

## 2) 力の釣合い

釣合い状態にあるためには、その力の多角形と連力図の両方とも閉合しなければならない。

$$\left. \begin{array}{l} \sum H = 0 \\ \sum V = 0 \\ \sum M = 0 \end{array} \right\} \quad (1-5)$$

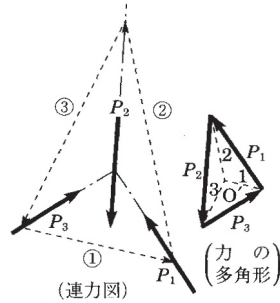


図 1.5

**基本問題 1** 図 1.6 に示すように、作用線が互いに  $60^\circ$  の角度で点  $O$  に作用する 2 つの力  $P_1$  と  $P_2$  がある。2 つの力の合力  $R$  を求めよ。

**[解答]** 合力  $R$  の大きさは

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos \theta} \\ &= \sqrt{50^2 + 30^2 + 2 \times 50 \times 30 \times 1/2} \\ &= \sqrt{2500 + 900 + 1500} = \sqrt{4900} = 70 \text{ N} \end{aligned}$$

合力  $R$  の方向は

$$\tan \alpha = \frac{P_2 \sin \theta}{P_1 + P_2 \cos \theta} = \frac{30 \times \sqrt{3}/2}{50 + 30 \times 1/2} = \frac{25.98}{65} = 0.3997$$

よって  $\alpha = 21.8^\circ$

**[別解]** 図 1.7 に示した斜線の直角三角形に着目すると、

$$\begin{aligned} \overline{AD} &= P_2 \cos 60^\circ = 30 \times 1/2 \\ &= 15 \text{ N} \\ \overline{DC} &= P_2 \sin 60^\circ = 30 \times \sqrt{3}/2 \\ &= 25.98 \text{ N} \\ \sum H &= \overline{OA} + \overline{AD} = 50 + 15 \\ &= 65 \text{ N} \end{aligned}$$

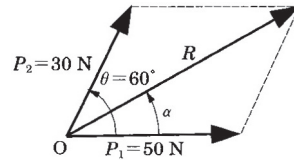


図 1.6

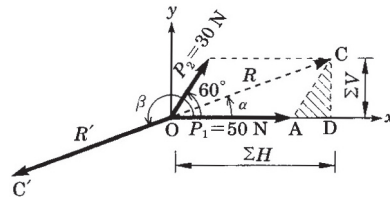


図 1.7