

低学年の構造力学演習における パソコン利用の試み

木更津工業高等専門学校土木工学科 ○佐藤 恒明
木更津工業高等専門学校土木工学科 高橋 克夫
岩手大学工学部建設環境工学科 宮本 裕

1. はじめに

高専の構造力学の講義は第2学年からはじまり、その内容は単純ばり・片持ばり・張出しばり・ゲルバーばり等の静定ばりの解析および影響線である。数学では微分・積分学の講義が始まるが、構造力学の講義の方が先行する場合もあり、微分を使った説明のみでは、学生は構造力学の内容を理解できないことが多い。そのため、はりに作用する分布荷重と断面力（せん断力および曲げモーメント）との関係を微分を使って説明する講義は第3学年で行っている。

そこで、『はりの曲げモーメントが最大となるのは、せん断力の符号が正から負に変化する位置である。』という重要な認識を学生が身に付けられるよう、できる限り多くの演習問題を解き、与えられた荷重について、せん断力図と曲げモーメント図を描く演習授業が行われてきた。

しかしながら、与えられた演習課題に対して多くの学生の思考活動は、解き方と計算作業に集中し、解答結果に対する力学的考察が不十分になる傾向が見られる。そこでパソコンを利用してディスプレイ画面上にせん断力図と曲げモーメント図を描かせる演習授業を試みた。

パソコン利用の目的は以下のとおりである。

- ① 手計算で解いた基本問題の結果をディスプレイ画面上で確認しながら、『はりの曲げモーメントが最大となるのは、せん断力の符号が正から負に変化する位置である。』ということを学生に認識させる。
- ② 学生の思考活動の多くを荷重条件による結果の差異の考察に向けさせ、せん断力と曲げモーメントの値が荷重の位置や大きさでどのように変化するかを理解させる。
- ③ 連行荷重をディスプレイ画面上で移動させながら、絶対最大曲げモーメントを生じる荷重位置を視覚的に理解させる。
- ④ ゲルバーばりが単純ばりと張出しばりの組合わせで出来ていることをせん断力図と曲げモーメント図をディスプレイ画面上に描きながら視覚的に理解させる。

このような目的から第2学年で学習する範囲のプログラム化を行い、学生が自主的に荷重の位置やその大きさを変えてパソコンに関連問題を解かせ、荷重条件による結果の差異を確認しながら考察するシステムを開発した。

以下、システムの概要と活用例並びにその学習効果を報告する。

2. システムの概要

このシステムはコンピュータやプログラミングの知識は必要ない。しかしながら学生は、はりの解法の手順について前もって手計算で理解していなければならない。

第2学年で学ぶはりの解析では単純ばりと張出しばりが基本であり、座学ではその解法に時間をかける。ゲルバーばりの解法は、計算量の多さから、多くの学生は抵抗を示す。しかし、ゲルバーばりは単純ばりと張出しばりが組合わさって出来ているはりであることを強調し、手計算としての課題を多くは課さないことにする。ゲルバーばりの演習では、計算は機械に、考察は人間が行うことを強調し、本システムを多用した。

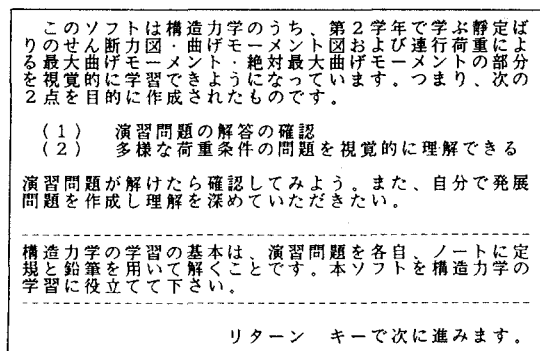


図-1 本システムの導入画面

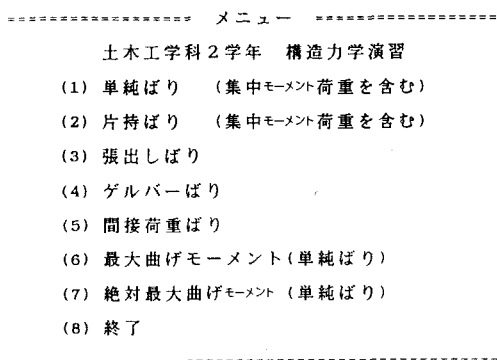


図-2 本システムのメニュー画面

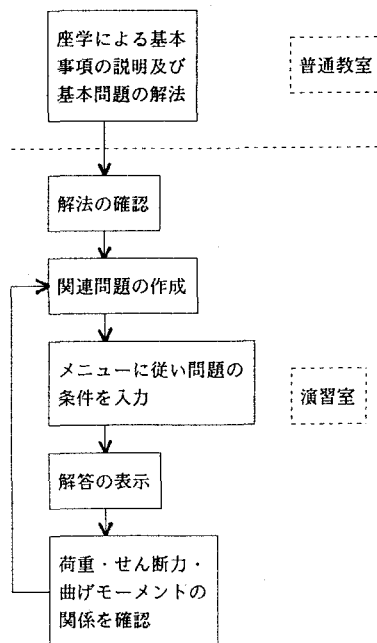


図-3 本システムの活用フロー

図-1および図-2に本システムの導入画面および本システムのメニュー画面を示す。はりの種類は第2学年で学ぶ5種類であり、それぞれ、せん断力図・曲げモーメント図およびその値を求めることができる。移動荷重に関する最大曲げモーメントと絶対最大曲げモーメントの解析は単純ばりのみ可能である。

本システムは Turbo Pascal(Ver.5.5) によって作成した。電子計算機プログラム言語 Pascalは、スイス連邦工科大学の Wirth 教授が開発した言語で、構造のすっきりしたプログラムを作るのに適しており、教育用言語として高い評価を得ている。本校でも土木工学科の第2学年のプログラミング演習で使用している言語である。

また、Turbo Pascal(Ver.5.5) の主画面は初心者でも扱いやすいように工夫されており、学生が誤った操作をしても、ほとんど自力で元の状態に戻れるため、教官の負担が少ない。

さらに、Turbo Pascal(Ver.5.5) にはグラフィックス用のユニット(ライブラリ)が標準で付いている。プログラムの中では、これを使用してディスプレイ画面上に荷重やせん断力図・曲げモーメント図等を描いている。

本システムの活用の流れを図-3に示す。基本問題の解法までを普通教室で学習し、その後パソコン48台を備えた演習室で本システムを稼働し答えの確認を行う。さらに関連問題を実行し基本問題との差異を考察する。図-3の繰り返し部分では、適切な問題を準備し、荷重・せん断力・曲げモーメントの関係を帰納法的に理解させる。

自主的に関連問題を計算機に解かせ、荷重条件による結果の差異を確認しながらノートにメモをとってレポートを書く。このように本システムをあたかも構造実験のように活用していく。

3. システムの活用例

ここで用いた問題は、すべて文献1)を利用した。

〔問題1〕 図-4に示すような単純ばりに集中荷重が作用しているときは、点Cに集中荷重と集中モーメント荷重が作用している場合と同等である。せん断力図および曲げモーメント図を描け。

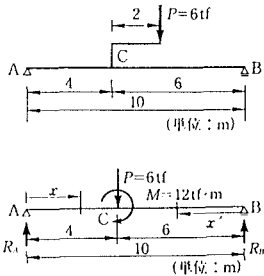


図-4 単純ばり（モーメント荷重を含む）

はりの荷重条件の設定メニュー			
集中荷重の数	分布荷重の数	集中モーメントの数	
1	0	1	
集中荷重の条件			
荷重No	スパン	荷重位置	荷重の大きさ
1	10	4	6
集中モーメントの条件			
荷重No	スパン	位置	荷重
1	10	4	12

図-5 はりの荷重条件の設定メニュー画面

図-2に示す本システムのメニュー画面で(1)を選択すると図-5に示すはりの荷重条件の設定メニュー画面が表示される。

この問題では集中荷重が1つ、分布荷重は無し、集中モーメント荷重が1つとなり、単位は集中荷重をtf、長さをメートルとしている。

条件の設定が正しければ図-6に示すようにせん断力図および曲げモーメント図が表示される。

キーボード上の右向き・左向きの矢印キーを押すと、図中縦に貫いている線が矢印キーの方向に移動して、その位置におけるせん断力および曲げモーメントの値を表示する。

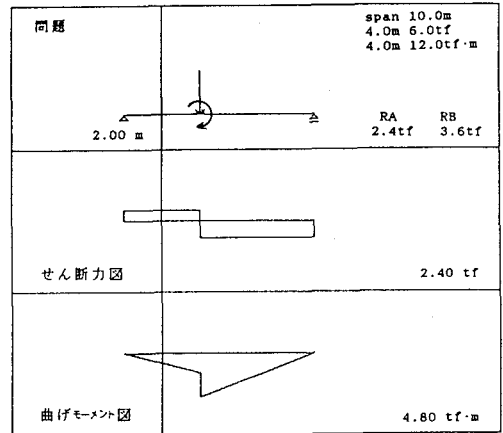


図-6 せん断力図および曲げモーメント図

〔問題2〕 図-7に示すような片持ばりに集中荷重が作用しているとき、せん断力図および曲げモーメント図を描け。ただし、はりの自重を考慮し単位重量は 2.50 tf/m^3 とする。

図-2に示す本システムのメニュー画面で(2)を選択すると図-8に示す片持ばりの荷重条件の設定メニュー画面が表示される。

この問題では自重を等分布荷重として入力する必要がある、はりの自重を等分布荷重に換算するためには、はりの体積(m^3)に単位重量(tf/m^3)を乗じて全重量(tf)を求め、スパン(m)で除する手計算を行うこととなる。学生には、この作業をとおして入力データの単位が有する力学的意味を理解することを期待している。

ここでは等分布荷重 $q = 0.25 \text{ tf/m}$ と計算され、分布荷重の条件の設定が正しければ図-9に示すようにせん断力図および曲げモーメント図が表示される。

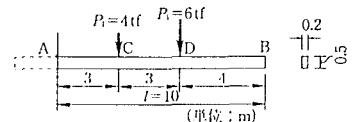
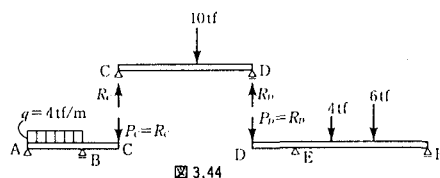
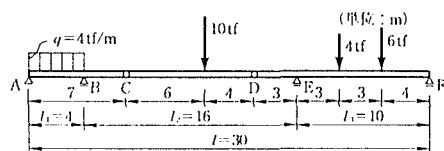
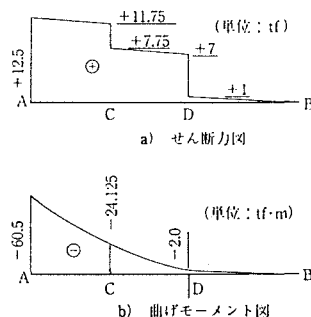
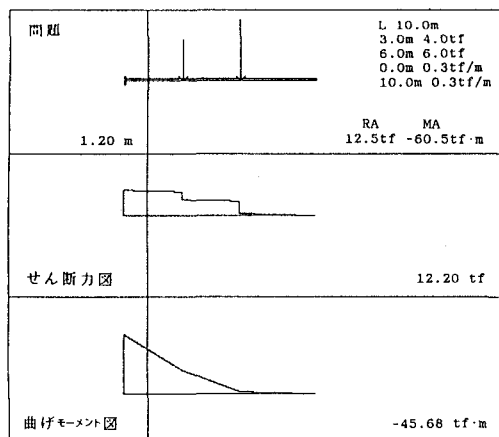


図-7 片持ばり（自重を考慮）

片持ばりの荷重条件の設定メニュー			Yes	No
集中荷重の数 2	分布荷重の数 1	集中モーメントの数 0		
固定支点の位置 (左の支点からの距離) 0				
集中荷重の条件				
荷重No	スパン	荷重位置	荷重の大きさ	
1	10	3	4	
2	10	6	6	
分布荷重の条件				
荷重No	スパン	荷重長	位置1	位置2
1	10	10	0	10
				荷重1 0.25
				荷重2 0.25



表示画面の観察をとおして、ヒンジ部には曲げモーメントを生じないこと・せん断力は伝わること・せん断力の符号が正から負に変化する位置で曲げモーメントの値が最大となること等を再度確認させる。さらに、関連問題を計算機に解かせ、レポートを提出させる。

学生は、手計算に比べて計算機の速さに感動するとともに、計算機の便利さを実際に体験することとなった。

ゲルバーばりの荷重条件の設定メニュー			
区間の数	3		
区間の設定			
No	始点	終点	
1	0	7	
2	7	17	
3	17	30	
ヒンジの数	2		
ヒンジの設定			
No	位置		
1	1	7	
2	3	17	
単純ばりの反力の荷重条件			
単純ばりの数	1	単純ばり番号	2
張出し片持りの数	2	張出し片持り番号	1
張出し片持りNo.	Ra	Rb	単純ばりNo.
1	Ra	2	1
3	Rb	2	3

図-13 ゲルバーばりの荷重条件の設定メニュー

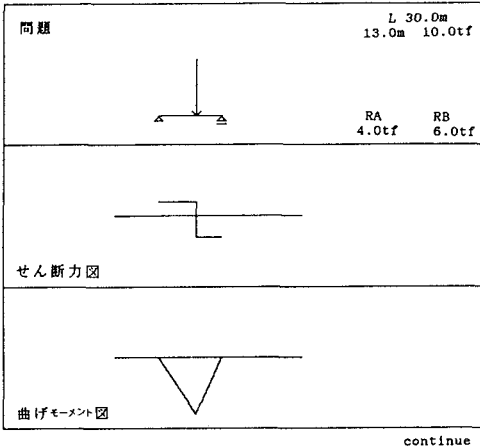


図-14 はり中央部（単純ばり）

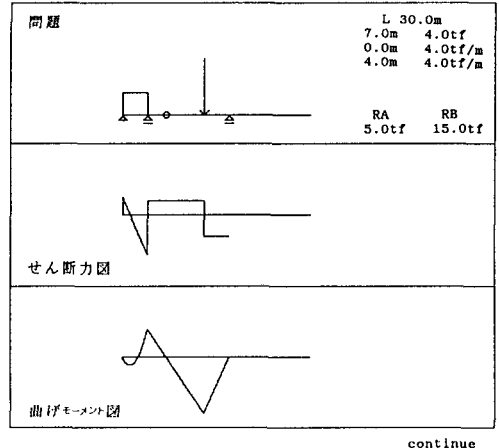


図-15 はりの左側部（張出しばり）

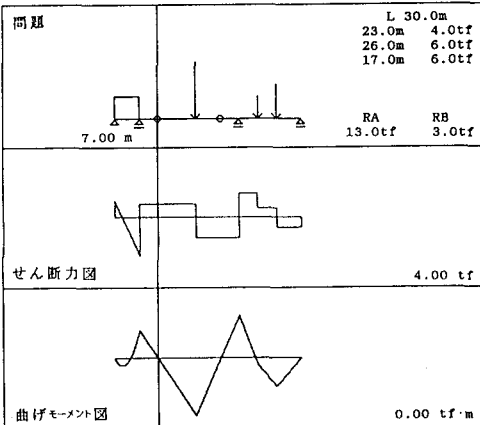


図-16 ゲルバーばりのせん断力図
および曲げモーメント図

【問題4】 図-17に示すような連行荷重が単純ばりを通過するときの絶対最大曲げモーメントと、その荷重位置を求めよ。

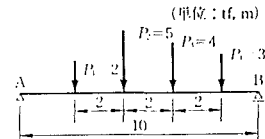


図-17 連行荷重の絶対最大曲げモーメント

この問題の解法手順は、まず合力の位置を求める。つぎに、これに隣接する荷重に着目し、この着目した荷重と合力の中心がはりのスパン中央に位置したとき、着目した荷重点mで絶対最大曲げモーメントを生じることとなる。

具体的には、図-18のa)とb)に示すように合力の両隣の P_3 および P_2 荷重に着目し、それぞれの場合について着目した荷重と合力の中心がスパン中央に位置したとき、着目荷重点mに生じる曲げモーメントを求める。つぎに、両者を比較して絶対最大曲げモーメントの値とその位置を決定することになる。

このように結果を得るまで数回の計算を繰り返さなければならず、また計算手順が複雑な問題の場合には、理論の説明だけでは十分な理解は期待できない。理論どおりになるか実験で確認できてはじめて理解が深まることになろう。黒板では説明しにくい問題でもあった。本システムの活用で、教える側にとっても説明がしやすくなった。

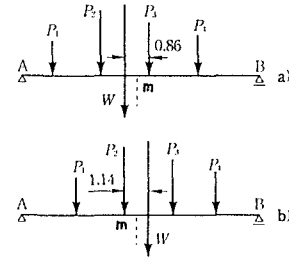


図-18 合力の位置と着目する荷重

連行荷重条件の設定メニュー			
スパン長		連行荷重の数	
10		4	
連行荷重の条件			
	荷重値	荷重間距離	
1	2	2	
2	5	2	
3	4	2	
4	3		

連行荷重条件の設定メニュー画面を図-19に示す。

この問題では連行荷重は4つであり、単位は荷重をtf、荷重間距離をメートルとしている。

条件の設定が行われると、図-20に示すようにに着目する荷重番号を指定するようになっている。

図-21に P_3 に着目した場合の結果を示す。破線は合力、▽印は着目荷重点mと合力の中心である。この▽印をはりのスパン中央に一致するまで、左向きの矢印キーで移動させていくと、m点での曲げモーメントの値が表示される。

図-19 連行荷重条件の設定メニュー画面

m に載せる荷重番号を指定して下さい。-> 3



図-20 着目する荷重番号の指定

学生は、m点の位置やm点の曲げモーメントの値・支点反力の値等をノートに記録する。

つぎに着目する荷重番号を変えて同じ操作を繰り返し、別の荷重着目点での曲げモーメントの値やその位置等をノートに記録する。

図-22は着目する荷重番号を2とした場合であり、 P_2 に着目することを示している。

図-23に P_2 に着目した場合の結果を示す。また、表-1に文献1)の解答を示す。

図-21と図-23に示す2つの結果を比較すると、 P_2 に着目した場合にその荷重作用位置に絶対最大曲げモーメントを生じることがわかる。

このように、荷重が移動するこの種の問題

では、コンピュータを使用した視覚的な教育方法は特に有効であり、学生は実際に実験をしているような体験ができる。

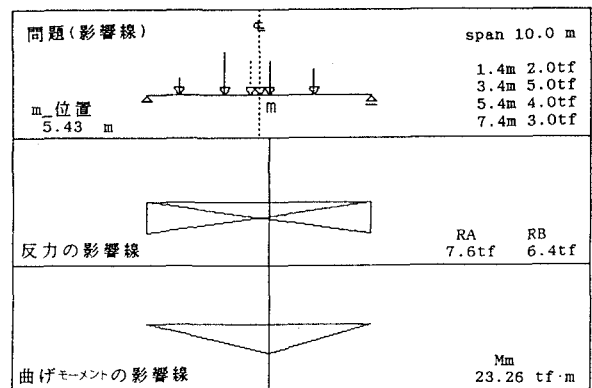


図-21 P_3 に着目した場合の曲げモーメント

m に載せる荷重番号を指定して下さい。→ 2

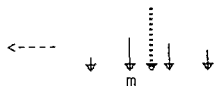


図-22 着目する荷重番号の指定

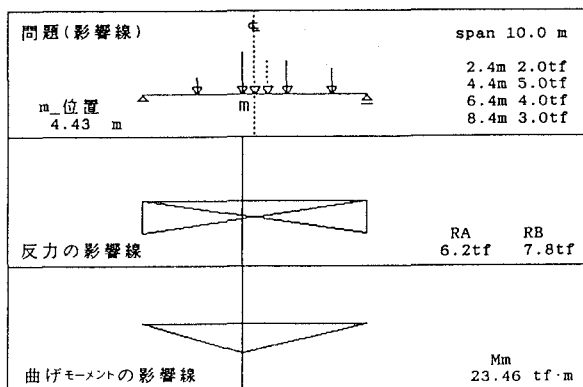


図-23 P₂に着目した場合の曲げモーメント

表-1 文献1)の解答---荷重状態a), b)は図-18参照

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	W-B間	B支点对する	(2)/10	A-間	(3)×(4)	P ₁ ×(2+2)	P ₂ ×2	(5)-(6)-(7)
荷重状態	距離(m)	モーメント(tf・m)	R _A (tf)	距離(m)	R _A ×AM(tf・m)	P ₁ によるモーメント(tf・m)	P ₂ によるモーメント(tf・m)	m点の曲げモーメント(tf・m)
a)	5.43	76.0	7.60	5.43	41.3	8.0	10.0	23.3
b)	4.43	62.0	6.20	4.43	27.5	4.0	—	23.5
c)	3.43	48.0	4.80	3.43	16.5	—	—	16.5
d)	3.86	54.0	5.40	5.00	27.0	4.0	—	23.0
e)	5.86	82.0	8.20	5.00	41.0	8.0	10.0	23.0

4. 学習効果と課題

構造力学の導入教育において、まず基本的な問題を手計算で解くことは重要である。しかしながら、ノートと鉛筆による手計算だけでは、問題を解くことのみに目を奪われてしまいがちであり、手計算に追われて計算結果の力学的意味を考察する時間がとれないのでは問題である。

特に連行荷重が作用する場合では、初心者は曲げモーメントの最大値の決定まで、試行錯誤的な計算をすることになり、すべてを手計算に頼っているのは、構造力学は楽しい教科にならないのではないか。このような問題意識から、計算機を高度な道具として使いながら、コンピュータと人間の総合システムで構造力学を理解しやすくすることを目標に本システムを開発した。

第2学年の構造力学演習の授業の中で本システムの利用を試み、学生達の取り組み様子から見られた学習効果を箇条書にすると以下ようになる。

- ① 学生が自主的に荷重の位置やその大きさを変えてディスプレイ画面上に荷重やせん断力図および曲げモーメント図を描いており、学生達に積極性が見られる。このようなパソコン操作をとおして、荷重の位置や大きさがせん断力図や曲げモーメント図にどのような影響を及ぼすのかを理解することができる。
- ② 連行荷重の絶対最大曲げモーメントを求める問題では、ディスプレイ画面上で連行荷重を移動させながら最大曲げモーメントの値を追っており、影響線の力学的意味を理解しやすい。
- ③ ゲルバーばりの計算ではディスプレイ画面上で描かれるせん断力図と曲げモーメント図の描画順序

からゲルバーばりが単純ばりと張出しばりの組合わせで出来ていることを理解しやすい。

- ④ 荷重条件による結果の差異を考察してレポートを書く際に手計算を行うこととなり、目からのディスプレイ情報と頭と手を使う力学計算という総合的な学習活動によって構造力学の理解を深められる。

一方、課題は以下のとおりである。

- ① 1 教官のみでは座学とプログラム開発の両方を行うことは困難であり、複数教官の協力関係が必要である。
- ② この種の教育支援システムをさらに拡充するためには、現在の単体としての48台のパソコンをネットワークで結ぶ演習室内LANとして整備し、教官と学生との間で適宜、データやプログラムを転送できるようにする必要がある。
- ③ 条件の設定が多くなると、メニュー画面の良否が重要になる。使いやすいメニュー画面でなければ学生は使わなくなる。いわゆるマンマシンインターフェースの知見を導入したメニュー画面の開発が必要となる。

5. おわりに

低学年の構造力学演習に関して Pascal を使用したプログラム開発を行い、パソコン48台が備えられた演習室での授業を試みた。教える側にとっても、連行荷重の場合などは黒板よりも説明しやすいテーマであった。今後は、より使いやすいメニュー画面の開発を進めていく予定である。

また、このプログラムは公開するので興味のある方はお問い合わせください。

最後に、プログラムの開発に関して多くの助言をいただいた木更津高専基礎学系の高遠節夫氏、電子制御工学科の栗本育三郎氏および山梨大学工学部機械システム工学科の北村敏也氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 宮本裕、秋田宏、樋渡滋ほか：例題で学ぶ構造工学の基礎と応用、技報堂出版、1991。
- 2) 奥村敏恵、三宅政光、浅賀栄三、岩崎恒男、森野安信：土木設計1 改訂版、実教出版、1991。
- 3) 森口繁一、小林光夫、武市正人：Pascalプログラミング対話、共立出版、1991。
- 4) 秋田宏、松山正将、小島三男：マイコンとテレビを利用した教育用シミュレーターの一例、土木学会誌、Vol.65, No.7, pp.45-50, 1980。
- 5) Borland International：Turbo Pascal(Ver.5.5)ユーザーズガイド、㈱マイクロソフトウェア アソシエイツ、1989。
- 6) Borland International：Turbo Pascal(Ver.5.5)オブジェクト指向プログラミングガイド、㈱ボーランドジャパン、1989。