

パーソナルユース構造強度設計プログラム “HIPET”の開発

Development of Stress and Strength Evaluation Program “HIPET” Using Personal Computer

最近のパーソナルコンピュータの急速な進歩により、ビジネス用から小規模構造解析や強度評価など技術計算への利用が進んでいる。

そこで、簡単な構造強度設計法の普及を目的に、設計者及び研究者のパーソナルユースに適したパーソナルコンピュータによる応力解析、強度評価プログラムを開発した。

本システムは以下に示す機能、特徴をもっている。

- (1) 梁及び軸対称殻の応力解析に伝達マトリックス法を採用して、種々の形状、荷重及び境界条件下の解析を可能とした。
- (2) 隅角部など種々の形状不連続部に対する応力集中係数の検索機能をもち、設計便覧としての利用が迅速に行なえる。
- (3) き裂部材の強度評価を迅速に行なえる。すなわち、応力拡大係数の算定及び疲労き裂進展寿命評価を可能とした。

小嶋 弘行* *Hiroyuki Kojima*
 笠井 憲一* *Ken'ichi Kasai*
 清水 翼* *Tasuku Shimizu*
 鶴岡美由紀* *Miyuki Tsuruoka*

1 緒言

従来から構造部材の応力解析などについてはマトリックス法が広く使用され、その解析手法は大形コンピュータの進歩とともに今日まで発展してきた。また、強度評価手法の一つとして破壊力学の発達が目覚ましく、最近では欠陥を含む材料の強度評価、疲労き裂進展寿命予測による点検期間の決定など、原子力・航空機の分野をはじめとして電子部品の分野にまで使用されるようになってきている。この破壊力学を使った強度評価では、応力拡大係数の計算や疲労寿命の計算など計算機を使うことも要求されるが、詳細な応力拡大係数を求める必要がなければ大形の計算機を必要としない。一方、最近のパーソナルコンピュータの著しい発達に伴い、ゲームや事務計算への利用から構造設計計算向き小形システムとしての利用が指向されてきている。今後、構造強度設計での解析、評価技術の進歩と普及を支えるものは、組織化されたプログラムの開発とそのパーソナルコンピュータ化にあると予測される。

本論文は、このような背景を考慮して開発した強度設計ツールについて述べたものである。開発したパーソナルコンピュータによる構造強度設計支援システムは、HIPET (Hitachi Personal Computer Aided Engineering and Technology) と称する。以下、このシステムの機能及び使用例について述べる。

2 システムの構成

16ビットパーソナルコンピュータ (B16, MB16000) を用いた本システム構成の概略を図1に示す。開発したシステムアプリケーションプログラムは大きく二つに分けられ、応力計算に関するプログラムと、き裂部材の強度評価に関するプログラムから成る。それぞれのプログラム機能を同図中にも示しているが、応力計算に関しては、構造物の設計に際して多く見られる梁及び軸対称殻構造を対象とした伝達マトリックス法

による応力計算プログラムと、種々形状の隅角部に対する応力集中係数の計算プログラムの二つを備えている。また、き

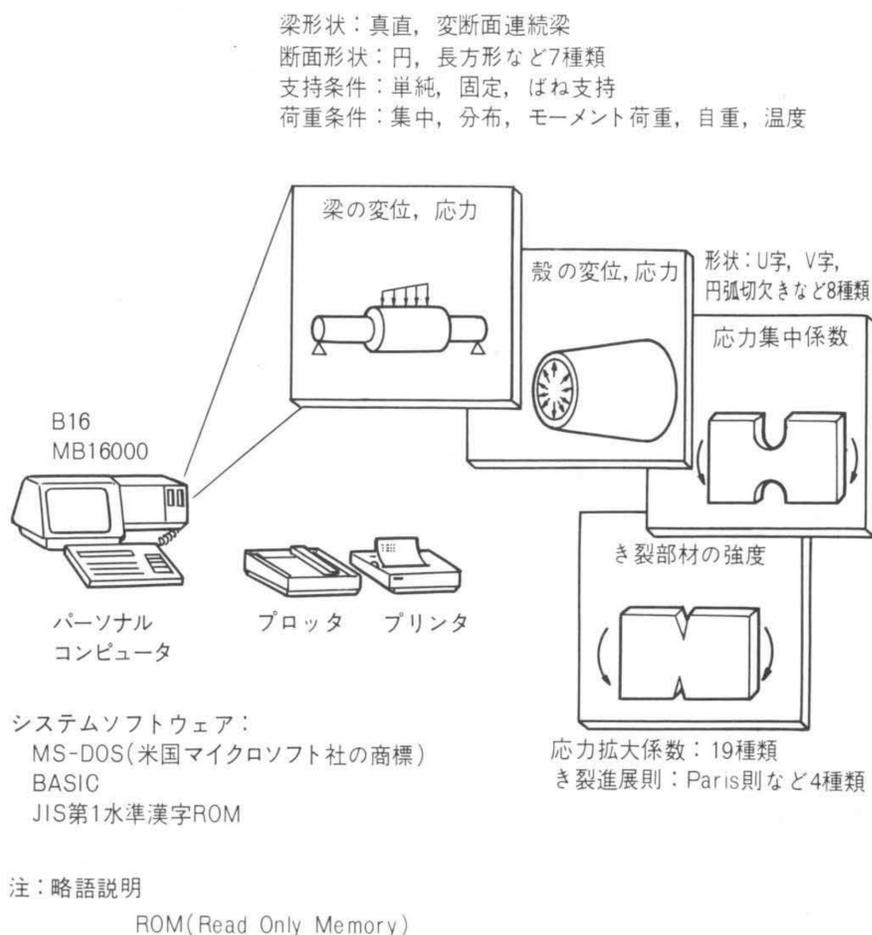


図1 HIPETシステム構成及び強度解析ライブラリ システムハードウェア構成と本システムの開発したアプリケーションプログラムである強度解析ライブラリを示す。

* 日立製作所機械研究所

裂部材の強度評価については、応力拡大係数の検索と計算及び疲労き裂進展寿命評価プログラムがある。

本プログラムはBASIC言語で書かれており、使用する機器構成は、JIS第1水準の漢字をサポートしたMS-DOS(米国マイクロソフト社の登録商標)のもとで動くコンピュータ本体とキーボード、計算結果の出力のためのプリンタ及びX-Yプロッタである。計算に必要とする構造形状、寸法、材料定数及び荷重、境界条件はすべて対話形式で入力し、入力されたデータはファイルに登録、保存することもできる。

3 梁及び軸対称殻の応力解析

構造解析法としては、有限要素法が主流であり、複雑な構造物を精密に解析するのに有力な武器である。一方、基本設計時には構造部材を簡単な梁や円筒としてモデル化を行ない、材料力学で与えられる簡易公式を用いることも多い。この場合、材料力学公式や解析解の利用は、有限要素法の数値解法に比べ問題の定性的把握の点で優れておりかつ手軽で便利であるが、適用できる問題に限られるという欠点をもっている。そこで上記利点をもち、かつ種々の断面形状、荷重及び境界条件を考慮でき、しかも小容量のコンピュータで簡便に計算可能とするため、曲げを受ける梁の微分方程式の一般解を基本にして、伝達マトリックス法¹⁾を適用した梁及び軸対称殻の応力解析プログラムを開発した。以下にその解析法の概要を述べる。

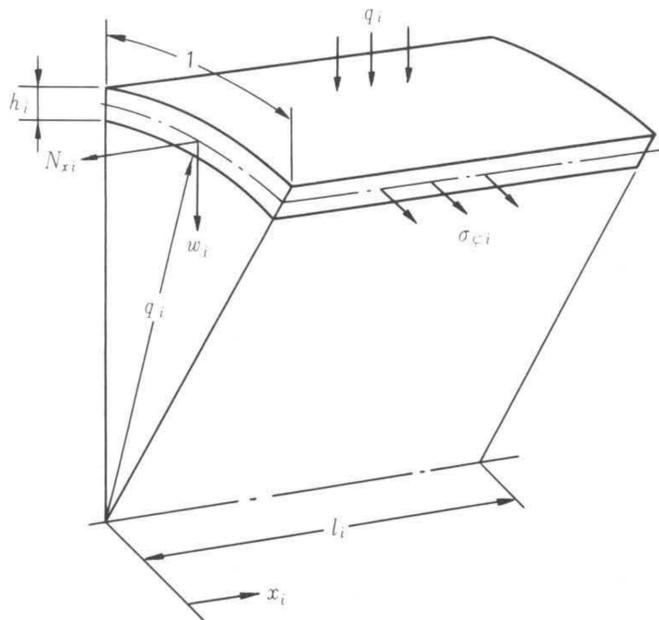


図2 円筒殻要素 本文で説明する数式化で、対象とする要素の寸法、作用荷重の記号を表わしている。

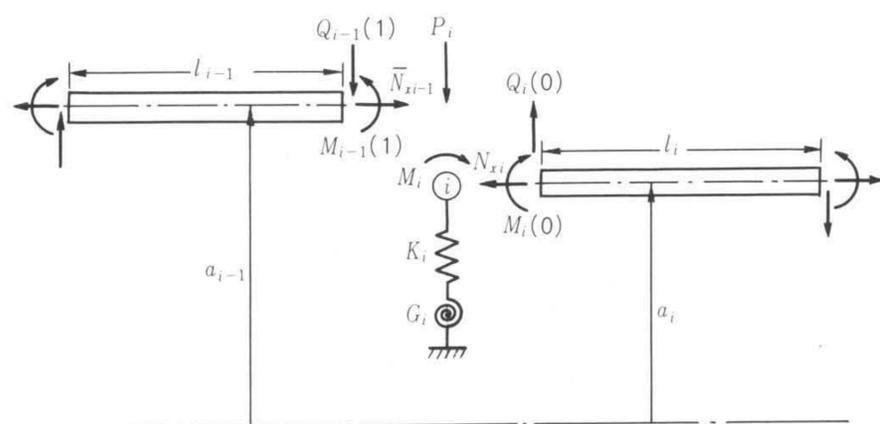


図3 要素の格点及び格間における各状態量 数式化する上でのモデル図と、作用荷重及び境界条件の記号を表わしている。

3.1 基礎方程式

図2の記号を用い分布荷重 q_i と軸力 N_{xi} を受ける円筒殻要素 i について考えると、たわみ w は次式に示す微分方程式を満足する²⁾。

$$\frac{d^4 w}{dx_i^4} + 4\beta_i^4 w_i = \frac{1}{D_i} (q_i + \frac{\nu_i}{a_i} N_{xi}) \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{ここに } \beta_i^4 = \frac{E_i h_i}{4a_i^2 D_i}, D_i = \frac{E_i h_i^3}{12(1-\nu_i^2)}$$

(E_i : 縦弾性係数, ν_i : ポアソン比)

要素 i の長さ l_i を小さくとり、その区間で周方向応力 $\sigma_{\phi i}$ がほぼ一定、すなわちたわみが一様($w_i = w_i(0)$)と近似すれば(1)式の左辺第二項は、 $4\beta_i^4 w_i = 4\beta_i^4 w_i(0)$ と表わすことができる。これを要素 i に作用する分布荷重とみなせば、(1)式は以下のように表示される。

$$\frac{d^4 w_i}{dx_i^4} = \frac{1}{D_i} (q_i + \frac{\nu_i}{a_i} N_{xi}) - 4\beta_i^4 w_i(0) \dots \dots \dots (2)$$

(2)式は梁の微分方程式と同型であり、梁の曲げ問題に帰着できる。 $x=0$ での境界値を用いて、区間 i での解を求めると次式となる。

$$w_i(x) = (1 - \frac{x_i^4 \beta_i^4}{6}) w_i(0) + w_i'(0) x_i + \frac{w_i''(0)}{2} x_i^2 + \frac{w_i'''(0)}{6} x_i^3 + \frac{q_i^a x_i^4}{24 D_i} \dots \dots \dots (3)$$

ここに'は x に関する微分を表わし、 $q_i^a = q_i + \frac{\nu_i}{a_i} N_{xi}$ で与えられる。以下円筒殻について議論を進める。梁の場合は各式で β_i 及び N_{xi} の項を0とし、 D_i の代わりに梁の曲げ剛性 $E_i I_i$ (I_i : 断面二次モーメント)を用いることにより同様に成立する。

図2のような要素が x 軸方向に複数個あるとすれば、これらの各要素はその境界(格点)で、たわみ w_i 、たわみ角 w_i' 、モーメント $D_i w_i''$ 及びせん断力 $D_i w_i'''$ が連続でなければならない。すなわち図3に示すように中立軸のずれをもち、格点 i で直線ばね定数 K_i 及び回転ばね定数 G_i なる弾性支点をもつ一般の場合について考えると、各状態量の連続の条件は次式のようになる。

$$W_i(0) = B_i W_{i-1}(l) \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{ここに } W_i(0) = [1 \ w_i(0) \ w_i'(0) \ w_i''(0) \ w_i'''(0)]^T$$

$$W_{i-1}(l) = [1 \ w_{i-1}(l) \ w_{i-1}'(l) \ w_{i-1}''(l) \ w_{i-1}'''(l)]^T$$

$$B_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{M_i}{D_i} + \frac{2N_{xi}}{D_i} \frac{a_{i-1}-a_i}{a_{i-1}+a_i} & 0 & \frac{G_i}{D_i} & \frac{a_{i-1} D_{i-1}}{a_i D_i} & 0 \\ \frac{P_i}{D_i} & -\frac{K_i}{D_i} & 0 & 0 & \frac{a_{i-1} D_{i-1}}{a_i D_i} \end{bmatrix} \dots \dots (5)$$

B_i は格点マトリックスと呼ばれ、要素 $i-1$ の右端の状態量 $W_{i-1}(l)$ を格点 i を越えて要素 i の左端に伝達するものである。 \bar{N}_{xi} は図3で N_{xi} の補正値を意味し、次式により求められる。

$$\bar{N}_{xi} = -\frac{q_i(a_{i-1}^2 - a_{i+1}^2)}{2a_i} + N_{xi} \dots \dots \dots (6)$$

この値は殻が軸方向に傾斜をもつことによって生ずる分布荷重 q_i の軸方向成分の補正である。また N_{xi} は次の関係を満足していなければならない。

$$N_{xi} = \frac{a_{i-1}}{a_i} \bar{N}_{xi-1} \dots \dots \dots (7)$$

次に(3)式を逐次微分して $x=l_i$ とおくと、以下に示す格間伝達式を得る。

$$\text{ここに } W_i(l) = T_i W_i(0) \dots \dots \dots (8)$$

$$T_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{q_i^a l_i^4}{24 D_i} - \frac{\alpha_i \Delta t_i l_i^2}{2 h_i} & 1 - \frac{\beta_i^4 l_i^4}{6} & l_i & \frac{l_i^2}{2} & \frac{l_i^3}{6} \\ \frac{q_i^a l_i^3}{6 D_i} - \frac{\alpha_i \Delta t_i l_i}{h_i} & -\frac{2}{3} \beta_i^4 l_i^3 & 1 & l_i & \frac{l_i^2}{2} \\ \frac{q_i^a l_i^2}{2 D_i} & -2 \beta_i^4 l_i^2 & 0 & 1 & l_i \\ \frac{q_i^a l_i}{D_i} & -4 \beta_i^4 l_i & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots(9)$$

(α_i : 線膨脹係数, Δt_i : 内外面温度差(外面基準))

T_i は格間マトリックスと呼ばれ, 要素*i*の左端の状態量 $W_i(0)$ を右端に伝達する役目を果たす。

(4), (8) 式から下記の漸化式が得られる。

$$W_i(l) = T_i B_i W_{i-1}(l) \dots\dots(10)$$

与えられた問題に*n*個の要素があるとすると,

$$W_n(l) = T_n B_n T_{n-1} B_{n-1} \dots\dots T_2 B_2 T_1 W_1(0) \dots\dots(11)$$

と表わされ, *n*個の連続した要素の両端の状態量だけに關する線形方程式となる。両端の境界条件式は,

$$W_1(0) = R V_1(0), R' W_n(l) = A_n(l) \dots\dots(12)$$

によって表わされる。ここに $V_1(0)$ は左端の自由度からなるベクトルで初期ベクトルと呼ばれ, R は左端の境界マトリックスである。 R' は右端の境界マトリックスで, 右端の既知量 $A_n(l)$ (変位支持及び自由端の場合0となる。)を取り出すマトリックスである。よって(11)式は,

$$R' T_n B_n T_{n-1} B_{n-1} \dots\dots T_2 B_2 T_1 R V_1(0) = A_n(l) \dots\dots(13)$$

となり, 左端の自由度 $V_1(0)$ を未知量とする連立方程式を解くことにより, 逐次(4), (8)式を用いてすべての径間の要素の状態量が求められる。中間に支点をもつ多径間の場合, 伝達してゆく左端の自由度を中間支点で新たに生ずる不連続量で置き換え, 右端に伝えることにより同様に解くことができる。

3.2 応力解析手順及び機能

前節の解析手法に基づき開発したプログラムのデータ入力はすべて対話形式で行なうことができる。以下にその解析手順及び機能について, CRT(Cathode Ray Tube)表示図を用いて述べる。

図4は梁の場合の構造定義を示している。梁は直線梁及び変断面梁を解析可能としており, 梁の断面形状については同

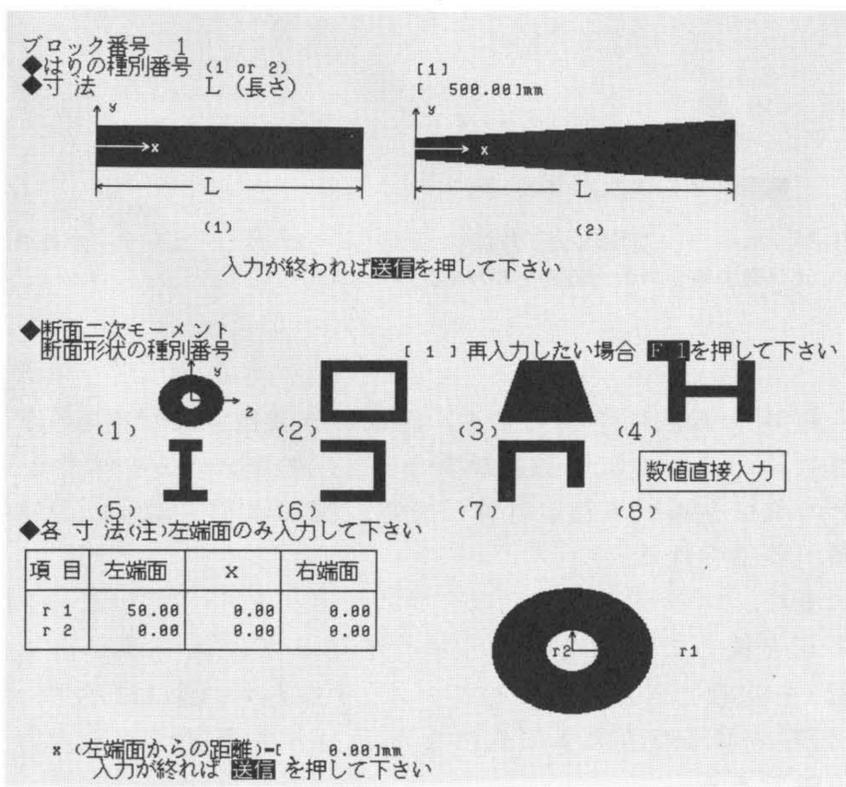


図4 梁の構造定義 梁の構造定義のための入力画面を表わす。

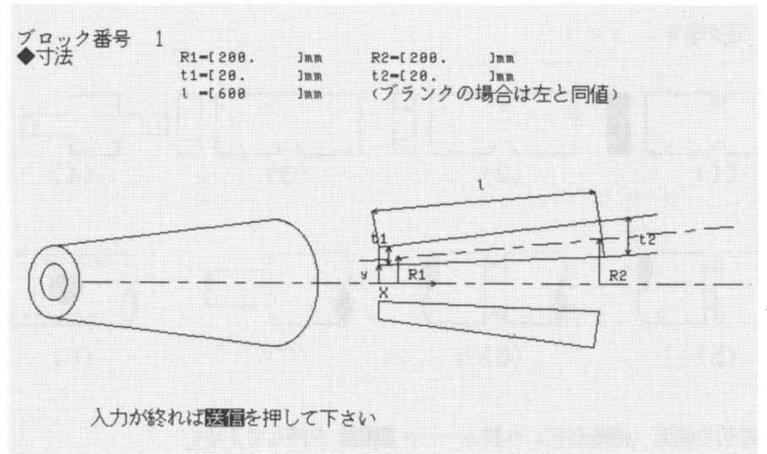


図5 軸対称殻の構造定義 軸対称殻の構造定義のための入力画面を表わす。

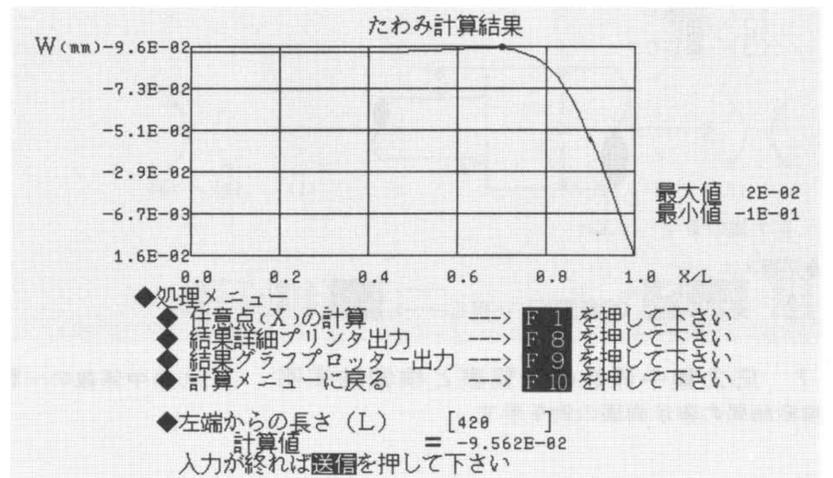


図6 解析結果の出力例 解析結果の出力画面を例示している。

図に示す形状を用意している。いずれも所要の形状の種別番号を選択し, 指定された寸法を入力することにより梁の構造形状を定義することができる。境界条件としては, 単純, 固定支持, 直線ばね・回転ばね支持などが考慮でき, 荷重は集中, 分布荷重, 集中モーメント, 自重, 温度などを与えることができる。また, これら条件の任意の組合せが可能であり, このことにより梁に関する通常の方法力学公式をほぼすべて扱える。

軸対称殻の場合は, 図5に示すように殻断面の各寸法を入力することになり, 円錐殻も扱うことが可能である。荷重及び支持条件は上述の梁と同様にして入力を行なう。梁及び殻のいずれも径間ごとに上記入力を繰り返し実行することにより, 連続梁, 多径間の殻の応力解析が可能である。図6は, 一端固定, 他端自由の円筒殻に内圧が作用した場合の解析結果の出力例を示したものである。なお, 計算に要する時間は形状の複雑さによって異なるが, およそ2~3分間である。

4 応力集中係数の検索

前章で述べたように得られた応力に対して, 局部応力を評価することが必要なことも多い。この場合, 通常, 設計などでは応力集中係数を利用する。本プログラムは, あらかじめ応力集中係数の解が既知となっているもの³⁾について, 形状の選択と簡単な入力を行なうことにより, 応力集中係数が算定できるいわゆるハンドブック的機能を備えている。

図7は応力集中係数検索のための形状の一覧表及び検索結果の一例を示している。検索ではプログラムにあらかじめ準備した図形の中から所要の形状を選択し, 指示された寸法, 負荷形態の入力を行なうことにより, 直ちに応力集中係数が算定され画面に表示される。

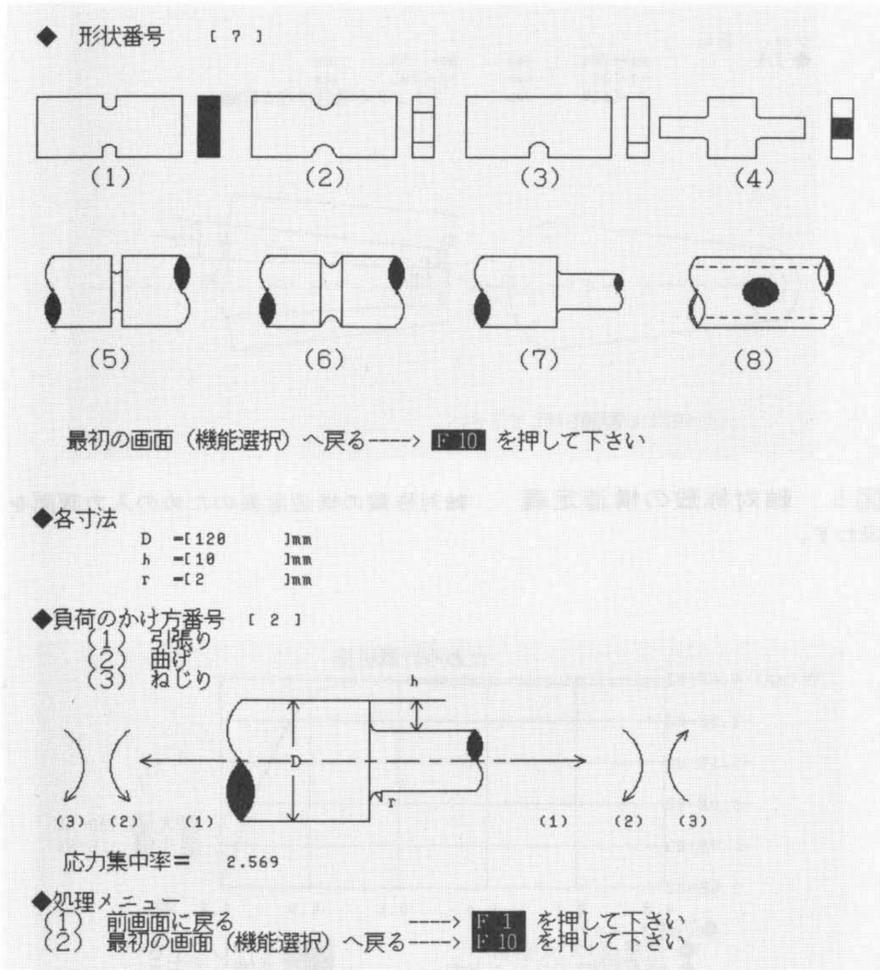


図7 応力集中係数の一覧表と検索結果例 応力集中係数の一覧表と検索結果の表示画面の例を示す。

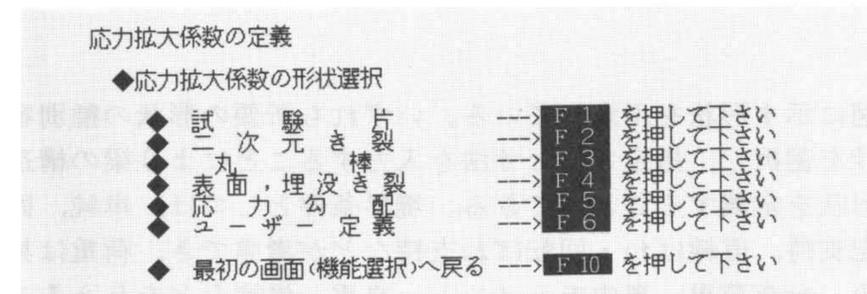


図8 応力拡大係数の分類 応力拡大係数の形状選択画面を示す。

5 SIF (応力拡大係数)

複雑な形状の構造物にあるき裂のSIF (Stress Intensity Factor: 応力拡大係数) を求めるには、有限要素法などを使った詳細な応力解析が必要であるが、比較的単純な構造物でのき裂に対しては厳密解や精度の高い近似解が与えられている。ここでは、通常的设计でしばしば用いられ、かつ精度の高い近似式が与えられているもの19種類については主にTadaの文献⁴⁾を参考にして図8に示すようにまとめた。ただし、本プログラムで取り扱うき裂はI型の破壊モードで進展するき裂だけである。ユーザーはまず解析しようとするき裂形状をモデル化し、同図中に示したSIFの中から対応するものを選択すれば、図9に示すようにその詳細なき裂形状の図形が出力される。

さて、SIF, K は一般に次式で表わされる。

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} F(a/W) \dots \dots \dots (14)$$

ここに σ : 作用応力, a : き裂長さ, W : 板幅, F : き裂周辺の形状や寸法により決まる補正係数である。図9ではこの $F(a/W) = K/\sigma \sqrt{\pi a}$ の計算に必要な寸法諸元の入力を行なう。その結果、図10に示すような $K/\sigma \sqrt{\pi a}$ と無次元き裂長

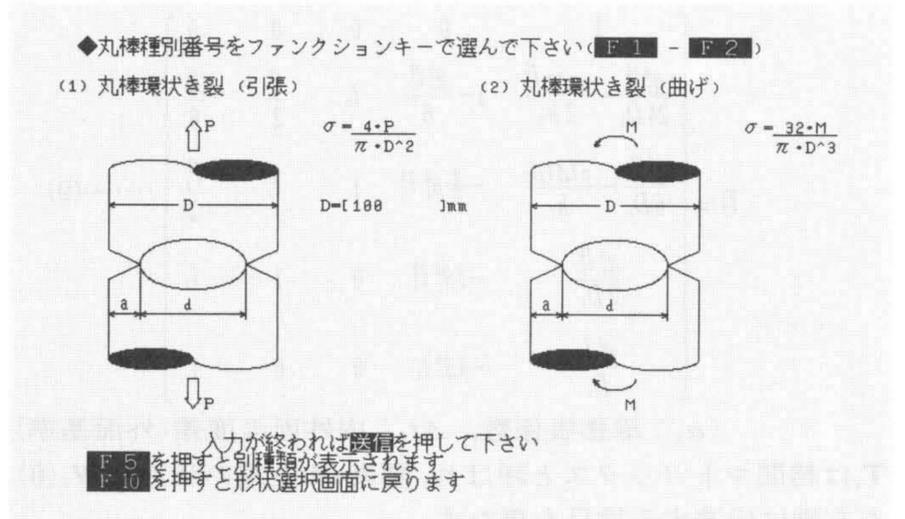


図9 応力拡大係数選択結果と寸法データの入力 応力拡大係数の選択とデータ入力画面を示す。

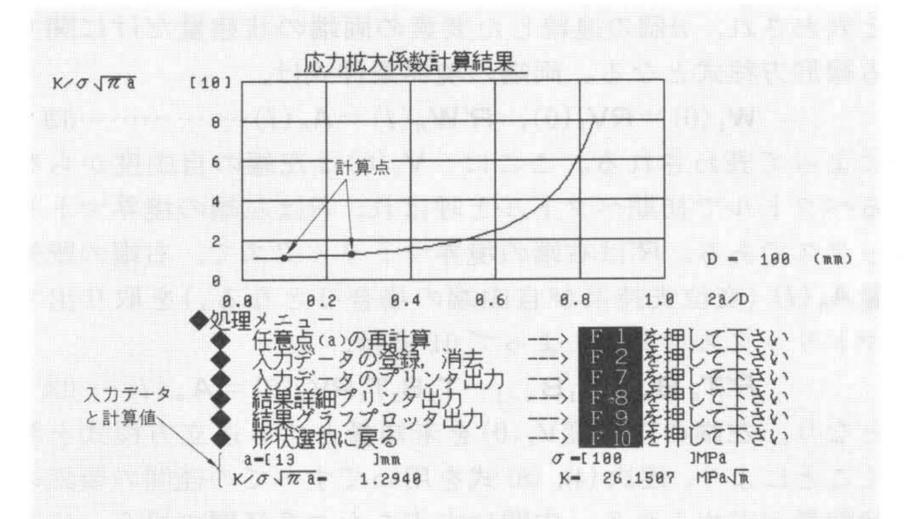


図10 応力拡大係数計算結果 応力拡大係数の計算結果の出力画面を表わす。

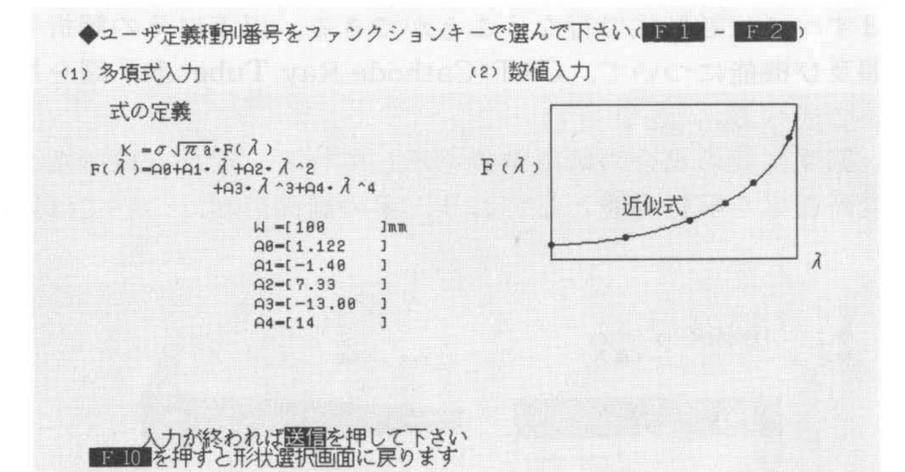


図11 ユーザー定義の応力拡大係数 ($\lambda = a/w$) ユーザー定義の応力拡大係数の場合の入力画面を表わす。

さ a/W との関係を表示する。任意のき裂長さに対するSIFの値と $K/\sigma \sqrt{\pi a}$ の値が必要な場合には、処理メニューの中からその項目を選択すれば計算ができ、図10に示すように数値結果が表示される。

また、ユーザーが本プログラムでサポートしていないSIFの式を使って評価を行なう場合を考えて、ユーザー自身でSIFを定義できるようにしている。すなわち、図11に示すように $F(a/W)$ の四次多項式による入力とグラフによる入力が可能である。

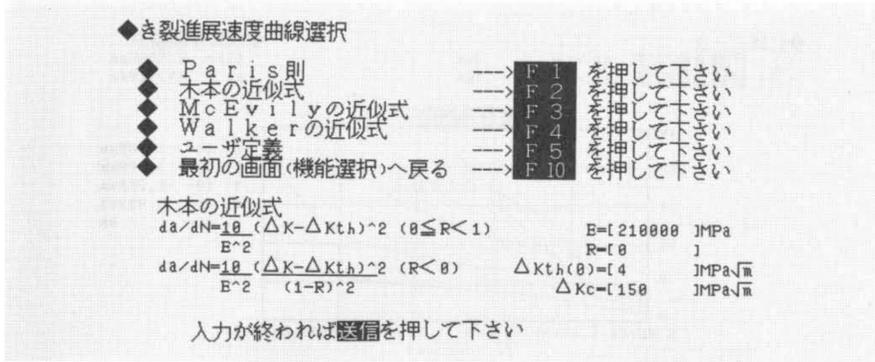


図12 き裂進展速度曲線の選択とデータの入力例 き裂進展速度曲線の選択とそのデータ入力を示す画面を表わす。

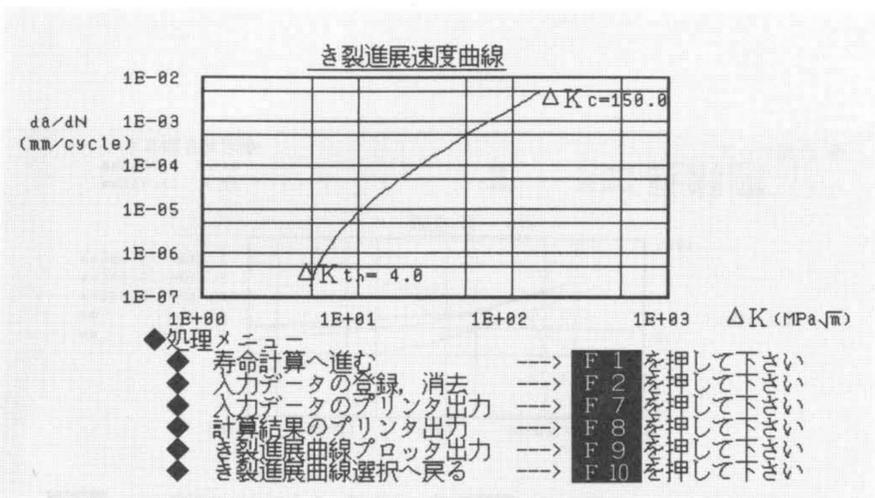


図13 き裂進展速度曲線の例 き裂進展速度曲線の出力画面を表わす。

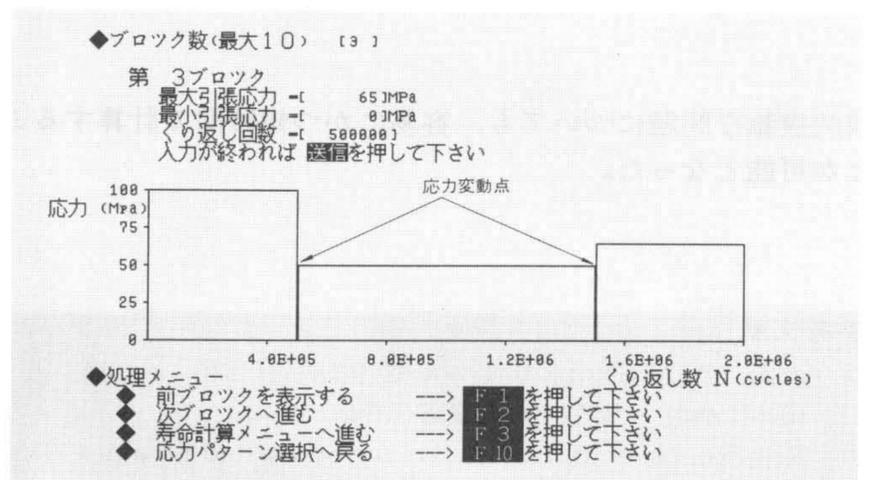


図14 変動応力入力例 変動応力パターンを入力画面を表わしている。

6 疲労き裂進展寿命評価

6.1 疲労き裂進展速度 da/dN-ΔK 曲線

疲労き裂の進展挙動は、き裂進展速度 da/dN と SIF の範囲 ΔK (= Kmax - Kmin ; Kmax, Kmin : 最大, 最小応力に対する SIF) で表現でき、両対数グラフ上で直線あるいは上, 下限界条件 (ΔKc, ΔKth) を考慮すれば S 字形の曲線になることが知られており、この関係は一般的に次式で表わされる。

$$da/dN = f(\Delta K) \dots\dots\dots(15)$$

f(ΔK) に対してはき裂が進展する環境や作用応力条件を考慮して、幾つかの式が提案されているが、ここではそれらの中から使用頻度が高いと思われる以下の四つの式を使用できるようにした。すなわち、その基本式は次のように表わされる。

Paris則⁵⁾ $da/dN = C \Delta K^m \dots\dots\dots(16)$

木本の式⁶⁾ $da/dN = \frac{0.01}{E^2} \frac{(\Delta K - \Delta K_{th})^2}{(1-R)^2} \dots\dots\dots(17)$

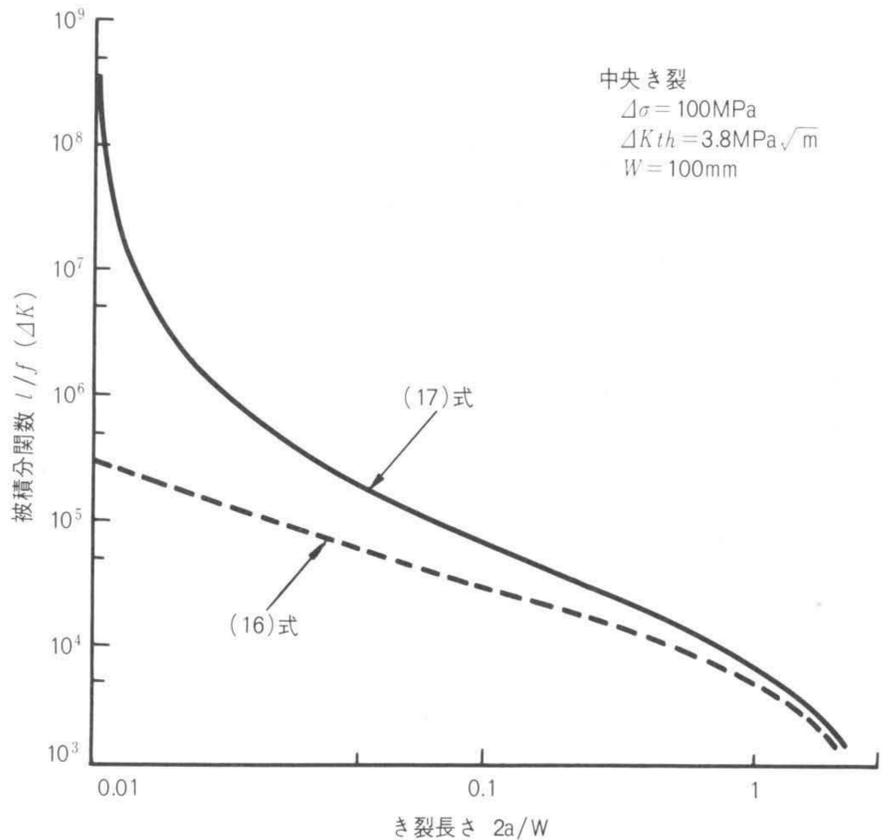


図15 き裂進展寿命計算における被積分関数 き裂進展寿命計算に用いる被積分関数の形を表わしている。

McEvilyの式⁷⁾ $da/dN = \frac{A}{E^2} (\Delta K - \Delta K_{th}) \frac{(1-R)\Delta Kc + R\Delta K}{(1-R)\Delta Kc - \Delta K} \dots\dots(18)$

Walkerの式⁸⁾ $da/dN = C \{K \max(1-R)^n\}^m \dots\dots\dots(19)$

ここに、C, A, m, n : 材料定数, E : 縦弾性係数, R : 応力比である。(16)式は両対数グラフ上で直線関係になり、式の形が簡易であることから多用されるが、特に下限界条件付近ではき裂進展速度を過大評価し、寿命評価では安全側の値を与える。(17)式は下限界条件を考慮したもので、縦弾性係数と ΔKth だけで進展速度曲線の定義が可能であり、鉄鋼に対して有効であることが確認されている。図12, 13に(17)式に対するデータ入力とその計算例を示す。

ところで、き裂進展速度曲線は一般に実験的に求めるが、ユーザーが所有している実験データを使って寿命評価する場合もあることを考えて、ユーザー自身でき裂進展速度曲線を定義できるようにした。この場合は次式により定義するものとした。

$$da/dN = C \frac{(\Delta K - \Delta K_{th})^m}{(\Delta Kc - \Delta K)^n} \dots\dots\dots(20)$$

ここに、C, m, n, ΔKc, ΔKth は材料定数である。

この式は、き裂進展速度曲線が S 字形になることを考慮したもので、n=0, ΔKth=0 では(16)式に、また n=0 では(17)式に一致する。ユーザーは材料定数の値を入力するか、あるいは20点以下の(ΔK, da/dN)の実験データを基に(20)式に対して最小二乗法を適用することで、き裂進展速度式を定義することが可能である。

6.2 繰返し応力条件

き裂に作用する応力条件としては、一定振幅、変動応力の二つの場合についての計算を可能とした。図14に3種類の変動応力が作用する場合の入力結果を示す。

6.3 疲労き裂進展寿命

き裂進展速度は da/dN は応力繰返しの1回当たりのき裂進展量を表わすから、(15)式を繰返し数 N について積分すればき裂が a_i から a_f まで進展するのに必要な繰返し数(き裂進展寿命 N_f)が求まる。すなわち、

$$N_f = \int_{a_i}^{a_f} \frac{da}{f(\Delta K)} \dots \dots \dots (21)$$

により計算できる。(21) 式中の $f(\Delta K)$ はき裂形状と応力の関数であり、その形は一般に複雑である。このため、(21) 式の計算には数値積分を用いる必要がある。

ところで、 $f(\Delta K)$ は (16)~(20) 式に与えられているが、(21) 式中の被積分関数は図15に示すようなグラフとなる。特に、下限条件を考慮した (17) 式では、き裂長さが短い部分で疲労寿命の大半が費やされることから、この部分の数値積分の精度が寿命全体の計算精度を左右する。精度を上げるには、数値積分の分割数を大きくとればよいが、分割数の増加は計算時間の増大につながるため、本プログラムでは、積分区間 $[a_i, a_f]$ を更に細かく分割し、任意の積分区間 $[a_n, a_{n+1}]$ で十分な計算精度となるようにその区間ごとの分割数を決定するとともに、積分区間もき裂長さの短いところでは狭く、また長いところでは広くとっている。この結果、こうした処理をしない場合に比べ同じ精度の結果を得るのに数分の一から十数分の一まで計算時間を短縮できた。

6.4 寿命計算結果の出力例

前節までに述べた方法を用いて計算した結果を図16、17に示す。図16はき裂進展曲線であり、図14に示した変動応力に対する計算結果の例である。図16で変動応力が小さい第2ブロックの開始点である $N = 5 \times 10^5$ からき裂の進展が遅くなることが分かる。なお、この計算では過大荷重によるき裂進展の遅延現象は無視している。

図17は初期欠陥を仮定した場合の許容力線図である。欠陥寸法が大きくなるにつれて、き裂部材に作用する応力を下げなければいけないことが定量的に容易に理解される。なお、データ入力から解析結果の出力までに要する時間は10分前後である。

7 結 言

設計者及び研究者のパーソナルユースに適したパーソナルコンピュータによる構造強度設計システムを開発した。本システムは、16ビットパーソナルコンピュータを用いて対話形式により応力解析、強度評価を行なうもので、以下に示す機能、特徴をもっている。

- (1) 梁及び軸対称殻構造の応力解析を伝達マトリックス法の適用により汎用化した。すなわち、梁形状、断面形状、境界条件及び荷重条件を任意に考慮できる。
- (2) 隅角部などの種々形状に対する応力集中係数の検索機能を持ち、設計便覧としての利用が迅速に行なえる。
- (3) き裂をもつ部材の強度評価を迅速に行なうことができる。すなわち、線形破壊力学での応力拡大係数を解析解や近似式により容易に計算できる。また、疲労き裂進展シミュレーションを種々のき裂進展則を用いて行ない、き裂部材の寿命評価を可能とした。
- (4) この結果、従来、設計者が机上では取り扱えなかった比

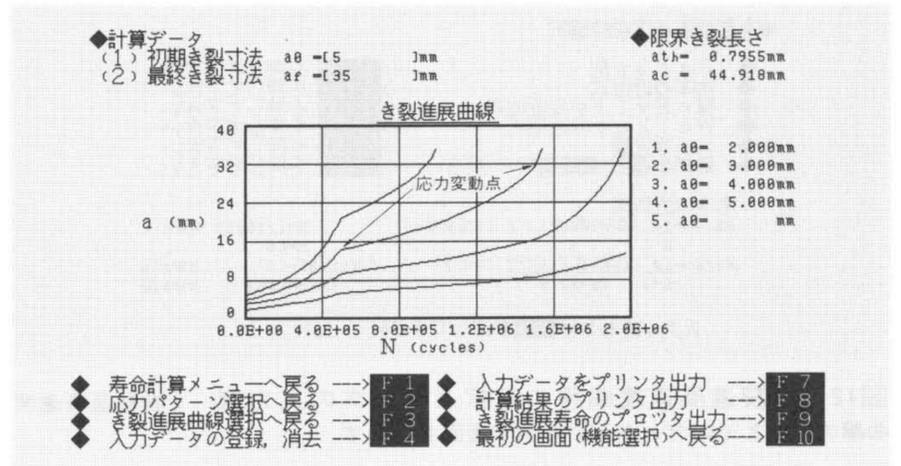


図16 き裂進展曲線の計算例(変動応力の場合) 変動応力が作用した場合の、き裂進展曲線計算結果の出力画面を表わしている。

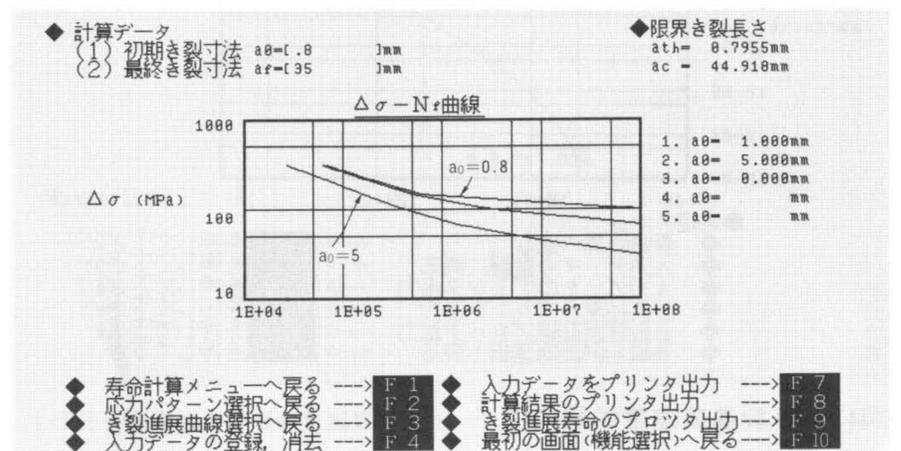


図17 許容応力線図の出力例 許容応力線図の出力画面を表わす。

較的複雑な問題についても、容易にかつ短時間で計算することが可能となった。

参考文献

- 1) 成岡, 外: 伝達マトリックス法, 培風館(昭45)
- 2) 山本: 弾性・塑性, 朝倉書店(昭36)
- 3) R. J. Roark, et al.: Formulas for Stress and Strain, (1975), McGraw-Hill Kogakusha
- 4) H. Tada, et al.: The Stress Analysis of Cracks Handbook, DEL Res. Corp., (1973)
- 5) P. C. Paris, et al.: A Critical Analysis of Crack Propagation Laws, Trans. ASME Ser. D, Vol. 85, No. 3, p.528 (1963)
- 6) 木本, 外: 鉄鋼材料の疲労き裂伝播強度, 機構論, No. 800-8, p. 105(昭55)
- 7) J. A. Ruppen, et al.: Fatigue of Engineering Materials and Structures, Vol. 2, No. 1, p.63(1979)
- 8) K. Walker: The Effect of Stress Ratio During Crack Propagation and Fatigue for 2024-T 3 and 7075-T 6 Aluminum, ASTM STP 462, p. 1 (1970)