

JAERI-M
7716

クラック先端部における応力拡大係数の計算
(PCI実験解析のためのFEMおよび
LFMによる予備計算)

1978年6月

菊地 章・藤田 操

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

クラック先端部における応力拡大係数の計算
(PCI実験解析のためのFEMおよびLFMによる予備計算)

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

菊地 章・藤田 操

(1978年5月18日受理)

インターランプ試験計画(STIRプロジェクト)における照射実験の解析を行うときジルカロイ被覆管内でのクラック伝播挙動を知る必要がある。このための基本的な重要因子はクラック先端部における応力拡大係数の算定である。

被覆管断面の解析対象領域にクラックを仮想設定し、平面応力場におけるクラック先端部応力拡大係数を求めた。有限要素法(FEM)により領域での応力分布を計算し、さらに線形破壊力学(LFM)的手法によってエネルギー解放率および応力拡大係数を計算した。

本報告書には被覆管内圧一定および内圧分布(ベレット/被覆管相互作用-PCI-)を近似)の2ケースについて求めた解析対象領域における円周、径および等価応力分布、クラック軸上での変位、クラック長に対するエネルギー解放率および応力拡大係数、ならびに内圧の変化にともなう応力拡大係数の様相などが述べられている。

Calculation of Stress Intensity Factor at Crack Tip
(Preliminary Calculation by FEM and LFM for Analysis
of PCI Experiment)

Akira KIKUCHI and Misao FUJITA

Division of Reactor Safety Research, Tokai
Research Establishment, JAERI

(Received May 18, 1978)

Knowledge of the crack propagation behavior in the Zircaloy cladding is important in analysis of LWR fuel-PCI (pellet-cladding interaction). The most essential is then calculation of the stress intensity factor at crack tip.

The region of analysis was set on the transversal cross section of Zircaloy cladding including a crack. The stress distribution under plane stress condition and the stress intensity factor were continuously calculated by finite element method (FEM) and by linear fracture mechanics (LFM) respectively.

Described are the calculated results of equivalent stress distribution in the analytical region, nodal displacement at the crack tip, correlation between crack length and energy release rate, correlation between crack length and stress intensity factor, and influence of inner pressure on the stress intensity factor, in the two cases of constant inner pressure and distributed inner pressure. For the next phase of study, useful information could be obtained.

Keywords : Stress Intensity Factor, Energy Release Rate, Finite Element Method, Linear Fracture Mechanics, Crack Tip, Pellet-Cladding Interaction, Stress Distribution

目 次

1. 序 論	1
2. 計 算 法	1
2.1 解析対象領域	1
2.2 FEMによる応力計算	2
2.2.1 有限要素分割	2
2.2.2 計算コード CRAP1	2
2.3 LFMによる応力拡大係数計算	2
3. 計算結果と検討	3
3.1 計算結果	3
3.1.1 内圧1定の場合	3
3.1.2 内圧分布の場合	4
3.2 検 討	5
3.2.1 クラック先端の小規模降状	5
3.2.2 応力拡大係数の方式化	6
4. 結 論	8
参 考 文 献	8
付 録 計算コード CRAP1	32

Contents

1. Introduction	1
2. Method of calculation	1
2.1 Objective region of analysis	1
2.2 Stress calculation by FEM	2
2.2.1 Division into finite elements	2
2.2.2 Computer code CRAP1	2
2.3 Calculation of stress intensity factor by LFM	2
3. Results of calculation and discussion	3
3.1 Results of calculation	3
3.1.1 Case of constant inner pressure	3
3.1.2 Case of distributed inner pressure	4
3.2 Discussion	5
3.2.1 Small yielding at crack tip	5
3.2.2 Formulation of stress intensity factor	6
4. Conclusion	8
References	8
Appendix Computer code CRAP1	32

目 次

Fig. 1	標準形状体および被覆管におけるクラックと応力拡大係数	10
Fig. 2	燃料棒断面モデルと解析対象領域	10
Fig. 3	解析対象領域における外部負荷モデル	10
Fig. 4	有限要素分割—要素および節点	11
Fig. 5	クラック先端部における追加要素	12
Fig. 6	計算コードCRAP1の流れ図	12
Fig. 7	クラックのない場合の径方向等価応力分布—内圧一定	13
Fig. 8	クラック(要素1~25)体における径方向等価応力分布—内圧一定	13
Fig. 9	クラック(要素1~25)体における径方向径応力分布—内圧一定	13
Fig. 10	クラック長に対するクラック先端部要素の等価応力分布—内圧一定	14
Fig. 11	クラック軸上径方向における円周方向変位分布—内圧一定	14
Fig. 12	クラックのない場合の等価応力分布—内圧一定	15
Fig. 13	クラック(要素1まで)体における等価応力分布—内圧一定	16
Fig. 14	クラック(要素1~25)体における等価応力分布—内圧一定	17
Fig. 15	クラック(要素1~5ヶ)体における等価応力分布—内圧一定	18
Fig. 16	クラック(要素1~89)体における等価応力分布—内圧一定	19
Fig. 17	径方向における要素ひずみエネルギー分布—内圧一定	20
Fig. 18	クラック長に対する全ひずみエネルギー—内圧一定	20
Fig. 19	クラック長に対するエネルギー解放率—内圧一定	20
Fig. 20	クラック長に対する応力拡大係数—内圧一定	20
Fig. 21	内圧変化に対するエネルギー解放率—内圧一定	21
Fig. 22	内圧変化に対する応力拡大係数—内圧一定	21
Fig. 23	クラック先端からの長さに対する $K_I(r)$ の変化—応力法, —内圧一定	21
Fig. 24	応力法によるクラック長と拡大係数の関係—内圧一定	21
Fig. 25	円周方向位置における円周および径応力—内圧分布	22
Fig. 26	径方向位置における等価応力分布—内圧分布	22
Fig. 27	円周方向節点における円周方向および径方向変位—内圧分布	22
Fig. 28	クラック(要素1)体における径方向等価応力分布—内圧分布	23
Fig. 29	クラック(要素1~25)体における径方向等価応力分布—内圧分布	23
Fig. 30	クラック(要素1~25)体における径方向円周応力分布—内圧分布	23
Fig. 31	クラック(要素1~57)体における径方向等価応力分布—内圧分布	24
Fig. 32	クラック(要素1~89)体における径方向円周応力分布—内圧分布	24
Fig. 33	クラック長に対するクラック先端部要素の等価応力分布—内圧分布	24
Fig. 34	クラックのない場合の等価応力分布—内圧分布	25

Fig. 35	クラック(要素1)体における等価応力分布—内圧分布	26
Fig. 36	クラック(要素1~25)体における等価応力分布—内圧分布	27
Fig. 37	クラック(要素1~57)体における等価応力分布—内圧分布	28
Fig. 38	クラック(要素1~89)体における等価応力分布—内圧一定	29
Fig. 39	クラック長に対する全ひずみエネルギー—内圧分布	30
Fig. 40	クラック長に対するエネルギー解放率—内圧分布	30
Fig. 41	クラック長に対する応力拡大係数—内圧分布	30
Fig. 42	内圧変化に対するエネルギー解放率—内圧分布	31
Fig. 43	内圧変化に対する応力拡大係数—内圧分布	31

1. 序 論

インターランプ試験計画 (STIRプロジェクト)⁽¹⁾ の目的は、軽水炉用燃料棒の PCI / SCC (ペレット・被覆管相互作用 / 応力腐食割れ) による破損現象を系統的に把握し、被覆管破損機構を確立すること、である。予定する 20 本の燃料棒のうち、すでに 12 本の試験を終了し、残る 8 本も今年中に終了する計画である。

照射試験における主なデータはランプ出力増分に対する破損時間である。^{(2),(3)} 被覆管の破損とは、換言すれば被覆管内面に発生するクラックの外面への貫通、である。従って破損時間と出力増分の関係は、被覆管内応力状態におけるクラックの伝播挙動を解析することに等しい。クラックのある体系での解析は破壊力学で扱われ、応力拡大係数およびエネルギー解放率によって展開される。ジルカロイ材による SCC に関する炉外実験によれば、クラック伝播速度が応力拡大係数のべき乗に比例する結果も報告されている。^{(4),(5),(6)} これらの例にみられるように最も重要な因子が応力拡大係数であり、特定の体系の場合にはそれ自体の応力拡大係数を求める必要がある。一般の簡単な体系、すなわち板状かつ無限長の物体でしかも一様な引張りあるいは曲げ荷重の作用している体系、の場合、応力拡大係数の解が求められているが、⁽⁷⁾ 一方、本報の究極的目標とする体系、すなわち燃料棒断面について、しかも PCI / SCC による複雑な外部負荷のある体系、の場合、独自の応力拡大係数を計算しなければならない。しかしながら円筒断面 (主として原子炉圧力容器を想定しているが) についての解を報じている例はいくつかあり、⁽⁸⁾⁻⁽¹¹⁾ 参考となるであろう。

本報はクラック入り被覆管のクラック先端部における応力拡大係数の試算結果を述べている。PCI を想定し、ペレット / 被覆管境界負荷としてそれが一定の場合と分布している場合について解析した。PCI / SCC 現象を加味して弾性領域での平面応力場を想定し、有限要素法 (応力計算) および線形破壊力学における全エネルギー法 (応力拡大係数計算) の手法を用いている。

2. 計 算 法

2.1 解析対象領域

Fig. 1 は第 1 章にも述べたようにクラックのある体系における応力拡大係数求出の際の標準体と被覆管との相異を図示したものである。標準体 (簡単な体系) ではクラックに垂直な方向に一定負荷 σ があるが、被覆管の場合、PCI によりかなり複雑な負荷の作用することが予想される。

ところで軽水炉燃料棒断面における PCI として現在モデル化されている様相を Fig. 2 に示す。ペレットの径方向クラックに位置する被覆管径方向 CD (x^* 軸) を被覆管クラック伝播

1. 序 論

インターランプ試験計画 (STIRプロジェクト)⁽¹⁾ の目的は、軽水炉用燃料棒の PCI / SCC (ペレット・被覆管相互作用 / 応力腐食割れ) による破損現象を系統的に把握し、被覆管破損機構を確立すること、である。予定する 20 本の燃料棒のうち、すでに 12 本の試験を終了し、残る 8 本も今年中に終了する計画である。

照射試験における主なデータはランプ出力増分に対する破損時間である。^{(2),(3)} 被覆管の破損とは、換言すれば被覆管内面に発生するクラックの外面への貫通、である。従って破損時間と出力増分の関係は、被覆管内応力状態におけるクラックの伝播挙動を解析することに等しい。クラックのある体系での解析は破壊力学で扱われ、応力拡大係数およびエネルギー解放率によって展開される。ジルカロイ材による SCC に関する炉外実験によれば、クラック伝播速度が応力拡大係数のべき乗に比例する結果も報告されている。^{(4),(5),(6)} これらの例にみられるように最も重要な因子が応力拡大係数であり、特定の体系の場合にはそれ自体の応力拡大係数を求める必要がある。一般の簡単な体系、すなわち板状かつ無限長の物体でしかも一様な引張りあるいは曲げ荷重の作用している体系、の場合、応力拡大係数の解が求められているが、⁽⁷⁾ 一方、本報の究極的目標とする体系、すなわち燃料棒断面について、しかも PCI / SCC による複雑な外部負荷のある体系、の場合、独自の応力拡大係数を計算しなければならない。しかしながら円筒断面 (主として原子炉圧力容器を想定しているが) についての解を報じている例はいくつかあり、⁽⁸⁾⁻⁽¹¹⁾ 参考となるであろう。

本報はクラック入り被覆管のクラック先端部における応力拡大係数の試計算結果を述べている。PCI を想定し、ペレット / 被覆管境界負荷としてそれが一定の場合と分布している場合について解析した。PCI / SCC 現象を加味して弾性領域での平面応力場を想定し、有限要素法 (応力計算) および線形破壊力学における全エネルギー法 (応力拡大係数計算) の手法を用いている。

2. 計 算 法

2.1 解析対象領域

Fig. 1 は第 1 章にも述べたようにクラックのある体系における応力拡大係数求出の際の標準体と被覆管との相異を图示したものである。標準体 (簡単な体系) ではクラックに垂直な方向に一定負荷 σ があるが、被覆管の場合、PCI によりかなり複雑な負荷の作用することが予想される。

ところで軽水炉燃料棒断面における PCI として現在モデル化されている様相を Fig. 2 に示す。ペレットの径方向クラックに位置する被覆管径方向 CD (x^* 軸) を被覆管クラック伝播

軸とし、中央の \overline{AB} (x軸)とで囲まれた斜線範囲を本報でとり扱い解析対象領域とする。xおよびx*軸は燃料棒全体における対称軸で斜線領域は全体を代表しうる最小のものである。

また本報での具体的取扱いモデルをFig. 3に示す。計算はA)およびB)に示す2つのケースについて行った。A)は内圧一定の場合、B)は内圧分布の場合である。図示する領域はFig. 2に示した解析対象領域で、クラック伝播軸上および他の一本の対象軸上における節点の変位拘束を図のように設定する。クラック上節点は自由とする。

2.2 FEMによる応力計算

2.2.1 有限要素分割

解析対象領域に対し、Fig. 4に示すような有限要素分割を行った。4角形1次要素を主体として3角形要素はそれらの接続のために用いている。本報における要素分割上の特色は追加移動性要素(要素番号177)および同節点(節点番号190)を設けたことである。これは本章第3節に述べるように応力拡大係数を求めるためのものである。

クラック伝播軸近辺における追加移動性要素および節点をとり上げ、これらをFig. 5に示す。ここでaはクラック長、Uは領域全体のひずみエネルギーである。仮想クラックの先端に常に追加要素および節点を設定する。白抜き節点は自由に変位可能であるが黒丸節点はクラック軸方向のみ自由であるとする。クラック長の微量増大をこのように節点変位の固定解放で定義づけた。

2.2.2 計算コード CRAP1

現在、我々は、STIRプロジェクトで得られるデータ解析を目的として、燃料破損挙動解析のための計算コード(仮称CRAPRO)を開発中であるが、本報で使用している計算コードCRAP1はその予備的プログラムである。CRAP1はFEMによる弾性解析コードで第2.2.1節に述べたように4角形1次要素を主体としている。

究極目標であるCRAPROの流れ図をFig. 6に示す。CRAP1は本流れ図のうち塑性解析、外部負荷変化およびクラック伝播挙動解析を除いたもので、応力計算とこの結果を用いての応力拡大係数計算を行うためのコードである。なお計算コードCRAP1の詳細を付録に挙げる。

2.3 LFMによる応力拡大係数の計算

応力拡大係数を求める方法として、1)直接法、2)エネルギー法および3)その他の方法がある。本報では平面応力場における2)の中の全エネルギー法⁽²⁾を主として用いており、参考までに1)の中の応力法も適用した。

全エネルギー法は他の方法に比較して精度の良いものとされている。Fig. 5に示したように、クラック長aの場合の解析対象領域全体のひずみエネルギーUを計算し、次いでクラック長を微小増大させたときの全エネルギー $U + \Delta U$ を計算する。クラック長増分 Δa と全エネルギー

ギ一増分 ΔU の比が LFM でのエネルギー解放率 G となり、さらにこの G およびヤング率 E よりモード I の応力拡大係数 K_I が求められる。

$$G = \Delta U / \Delta a \quad (1)$$

$$K_I = (G \cdot E)^{1/2} \quad (2)$$

3. 計算結果と検討

3.1 計算結果

3.1.1 内圧一定の場合

a) インプット

解析対象領域の幾何的形狀、寸法は STIR プロジェクトで試験されている燃料棒のものに類似させた。2 対称軸 (Fig. 2 参照) 間仰角は 22.5° (クラック間仰角として 45° を設定) である。被覆管内温度分布は線形と想定し、内面 350°C 、外面 280°C とした。また外面には冷却水より 70 kg/cm^2 静水圧が、内面には PCI により 150 kg/cm^2 の一定内圧が負荷されている。

b) 応力、変位分布

Fig. 7 ~ Fig. 17 に内圧一定の場合の解析対象領域における応力あるいは変位の分布を示す。

クラックを設定しない場合の領域径方向における等価応力分布を Fig. 7 に示す。本図はクラック軸要素についてであるが、全ての径方向の場合も全く同等の結果である。Fig. 8 は要素 25 までクラックを設定したときの結果であるが、Fig. 7 との比較から判るようにクラックチップでの応力集中が顕著に現われている。なお Fig. 9 はこの場合の径応力結果で、クラックのない場合の圧縮応力と対照的にクラックチップから要素 73 までが引張り応力状態にある。

Fig. 10 はクラック長を増大させたときのクラックチップ要素 (9, 33, 65 および 97) における等価応力の変化を示している。クラック長の増大にともない応力集中の程度が増加している。

Fig. 11 はクラック軸上節点における円周方向変位を 3 つのクラック長の場合について図示しており、クラック長の増大とともに変位が増している様子がわかる。なお点線はおそらくクラックチップの開口変位 (LFM における小規模降伏領域^(B)) に関係するものであろう。

解析対象領域における等価応力分布のクラック長に対する変化の様相を Fig. 12 ~ Fig. 16 に示す。Fig. 12 はクラックのない場合であるが、以降の図にみられるように常にクラックチップ要素の応力が最大となり、右上方向に広がる応力集中が存在する。Fig. 16 の応力分布はこのように被覆管外面で大きな値を生じている。

c) 応力拡大係数

LFM の全エネルギー法によって求めた結果を述べる。この方法は各要素における各ひずみエネルギーの計算に始まるが、これを Fig. 17 に示す。Fig. 18 は系全体のひずみエネルギー

ギ一増分 ΔU の比が LFM でのエネルギー解放率 G となり、さらにこの G およびヤング率 E よりモード I の応力拡大係数 K_I が求められる。

$$G = \Delta U / \Delta a \quad (1)$$

$$K_I = (G \cdot E)^{1/2} \quad (2)$$

3. 計算結果と検討

3.1 計算結果

3.1.1 内圧一定の場合

a) インプット

解析対象領域の幾何的形狀、寸法は STIR プロジェクトで試験されている燃料棒のものに類似させた。2 対称軸 (Fig. 2 参照) 間仰角は 22.5° (クラック間仰角として 45° を設定) である。被覆管内温度分布は線形と想定し、内面 350°C 、外面 280°C とした。また外面には冷却水より 70 kg/cm^2 静水圧が、内面には PCI により 150 kg/cm^2 の一定内圧が負荷されている。

b) 応力、変位分布

Fig. 7 ~ Fig. 17 に内圧一定の場合の解析対象領域における応力あるいは変位の分布を示す。

クラックを設定しない場合の領域径方向における等価応力分布を Fig. 7 に示す。本図はクラック軸要素についてであるが、全ての径方向の場合も全く同等の結果である。Fig. 8 は要素 25 までクラックを設定したときの結果であるが、Fig. 7 との比較から判るようにクラックチップでの応力集中が顕著に現われている。なお Fig. 9 はこの場合の径応力結果で、クラックのない場合の圧縮応力と対照的にクラックチップから要素 73 までが引張り応力状態にある。

Fig. 10 はクラック長を増大させたときのクラックチップ要素 (9, 33, 65 および 97) における等価応力の変化を示している。クラック長の増大にともない応力集中の程度が増加している。

Fig. 11 はクラック軸上節点における円周方向変位を 3 つのクラック長の場合について図示しており、クラック長の増大とともに変位が増している様子がわかる。なお点線はおそらくクラックチップの開口変位 (LFM における小規模降伏領域^(B)) に関係するものであろう。

解析対象領域における等価応力分布のクラック長に対する変化の様相を Fig. 12 ~ Fig. 16 に示す。Fig. 12 はクラックのない場合であるが、以降の図にみられるように常にクラックチップ要素の応力が最大となり、右上方向に広がる応力集中が存在する。Fig. 16 の応力分布はどのように被覆管外面で大きな値を生じている。

c) 応力拡大係数

LFM の全エネルギー法によって求めた結果を述べる。この方法は各要素における各ひずみエネルギーの計算に始まるが、これを Fig. 17 に示す。Fig. 18 は系全体のひずみエネルギー

とクラック長との関係である。

Fig. 19 はエネルギー解放率 G とクラック長との関係、そして Fig. 20 は平面応力場においてこの G より計算した応力拡大係数 K_I のプロットである。

Fig. 21 は内圧を 150 kg/cm^2 から 195 kg/cm^2 まで増大させたときのエネルギー解放率の増加で、クラック長が 0.0174 cm の場合である。さらに Fig. 22 はこの G より求めた応力拡大係数 K_I で、 K_I は内圧に比例して大きくなっている。

ところでこれまでの全エネルギー法と比較してみるために応力法で求めた応力拡大係数を次に述べる。Fig. 23 は種々のクラック長（数値はクラックチップ要素を表わしている）の場合、クラックチップからの距離 Υ に対して

$$K_I(\Upsilon) = \sigma y \sqrt{2\pi\Upsilon} \quad (3)$$

で求めた値のプロットである。距離 Υ が零のときの値、すなわち

$$K_I(\Upsilon=0) = \sigma y \sqrt{2\pi\Upsilon} (\Upsilon \rightarrow 0) \quad (4)$$

がクラックチップの応力拡大係数である。同図の各プロットの外挿で得た結果を Fig. 24 に示す。これらの応力拡大係数の値を全エネルギー法で求めた結果 (Fig. 20) と比較してみると約 2 倍程であることが判る。（これについては後に検討する。）

3.1.2 内圧分布の場合

a) インプット

ここで用いたインプットデータは内圧分布および外圧を除いて 3.1.1 で述べたものと全く同等である。本節では Fig. 3 の B) のような内圧分布の場合を記述する。クラック軸上被覆管内に 150 kg/cm^2 、また他の 1 本の対称軸の同内面に 72 kg/cm^2 の負荷があり、この間の円周方向仰角に対し直線的に内圧が変化する場合である。外圧は零とする。

b) 応力、変位分布

被覆管内面のクラック軸から他の対称軸方向に線形の内圧分布を設定したので、まず、クラックのない場合の被覆管円周方向位置での円周 (σ_t) および径応力 (σ_r) の様相を Fig. 25 に示す。内圧分布のない場合、このような変化はみられない (Fig. 12 参照)。しかしながら径方向位置についての等価応力変化は、Fig. 26 にみられるように要素 131~152 の方向で下降の関係にある。クラック軸方向では内圧一定の場合の Fig. 7 の結果 (傾向) と全く逆である。

Fig. 27 はクラックがないときの被覆管内面円周方向各節点における径方向および円周方向変位分布を示す。内圧一定の場合この様な変化は存在せず、一定である。

Fig. 28 は微小クラック (要素 9) の入ったときの等価応力でクラックのない Fig. 26 の結果と対照させている。チップで小さな応力集中がみられる。クラックが長くなり要素 33 まで伸びると Fig. 29 にみられる様に応力集中傾向がクラックチップで強く現われてくる。チップ要素の等価応力もこの辺から全要素中最大となる。Fig. 30 はこの場合の円周応力のプロットである。同様、クラック長の増加につれて Fig. 31 および Fig. 32 に示すようにクラックチップでの応力集中が大きくなる。クラック長に対するクラックチップ要素での等価応力の変化を Fig. 33 にまとめる。内圧一定の場合の同結果 (Fig. 10 参照) と比較すると値はわずかさ

いがよく似た傾向を示している。

解析対象領域における等価応力分布を異種クラック長の場合に対して Fig. 34 ~ Fig. 38 に示す。被覆管肉厚の中程までのクラック長体系では少し変わった様相を示しているが (Fig. 34 ~ Fig. 36)，クラック長が長くなると内圧一定の場合の傾向 (Fig. 15, 16 参照) と類似している。

(c) 応力拡大係数

内圧分布の場合の全ひずみエネルギー，エネルギー解放率および応力係数の計算結果を Fig. 39 ~ Fig. 41 に示す。

また，内圧分布条件下でクラック軸上被覆管内面圧力を 150 kg/cm^2 から 195 kg/cm^2 に増大させたときのエネルギー解放率および応力拡大係数を Fig. 42 および Fig. 43 に示す。これらの様相は内圧一定の場合の傾向 (Fig. 21, 22 参照) と類似している。

3.2 検 討

内圧一定の場合の比較的簡単なモデルについてクラックチップ要素の降伏および応力拡大係数方式化の検討を行う。

3.2.1 クラックチップの小規模降伏

本報でのとり扱いは弾性解析であるが，Fig. 15 に示す応力分布に見られるようにクラックチップ近辺の要素は降伏状態にある (本モデルにおける降伏強さは約 $13.0 \times 10^5 \text{ g/cm}^2$)。従って厳密には応力計算の場合，弾塑性解析を行わねばならず，しかも応力拡大係数計算についても修正されなければならない。前者については現在コードの改正中で特に問題はない。ところで後者の場合であるが，もし降伏領域がクラック長に比較して小さい場合，修正をほどこした上で線形破壊力学を適用することができる⁽¹⁴⁾。序論に述べたように我々の問題とする体系は脆性的であり，少なくとも大変形を扱う非線形破壊力学に踏みこむ必要はなさそうである。

さて，小規模降伏領域を含めた線形破壊力学では，平面応力場におけるモード I の応力拡大係数 K_I ，降伏強度 σ_{ys} ，およびクラック先端からの塑性半径 Υ_p の間の関係として，

$$\Upsilon_p = \frac{1}{2\pi} (K_I / \sigma_{ys})^2 \quad (5)$$

また，塑性域の補正を行った上での弾性応力分布から推算した修正応力拡大係数 K_I^* と塑性半径 ω の関係として，

$$\omega = 2\Upsilon_p = \frac{1}{\pi} (K_I^* / \sigma_{ys})^2 \quad (6)$$

を導いており，みかけ上のクラック長 a^* は実際のクラック長 a に Υ_p を加えたもの，すなわち，

$$a^* = a + \Upsilon_p \quad (7)$$

を得ている。

ところで本報計算結果において、たとえばクラック軸上節点の円周方向変位を示す Fig. 11 を参照すると、点線で示すようにプロットの外挿点は約 1 要素先端に結んでいる。節点 1~89 (要素で 65) までクラックのある場合、Fig. 15 にみられるように要素 73 の塑性化があり、これら両者に一致性がみられるほか、たとえば式(5)の K_I , σ_{ys} に値を代入して得られる塑性半径、すなわち、

$$\gamma_p = \frac{1}{2\pi} (K_I / \sigma_{ys})^2 \doteq 3.3 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

(γ_p は約 1 要素巾に相当している)

$$K_I \doteq 1.9 \times 10^5$$

$$\sigma_{ys} \doteq 1.3 \times 10^5$$

との一致性がみられる。

3.2.2 応力拡大係数の方式化

Fig. 19 のエネルギー解放率 G とクラック長 a の関係を最小自乗法によるべき乗級数展開で方式化すると、

$$G = 0.9832 \times 10^6 a^3 \quad (8)$$

$$(a : \text{cm} ; G : \text{g/cm}^{3/2})$$

で表示できる。従って応力拡大係数 K_I は式(2)により

$$K_I = a \cdot (0.9832 \times 10^6 a)^{1/2} \\ \propto a \sqrt{a} \quad (9)$$

と表わされる。これは内圧一定の場合であるが内圧分布の場合 (Fig. 40 および Fig. 41 参照) も曲線の形状からして多分この様な方式化が可能であろう。

ところで C. B. Buchalet⁽⁸⁾ は原子炉压力容器の内面から始まるクラックのある体系を想定し、重ね合せ法 (Superposition method) に基づいて FEM による応力拡大係数を求めている。その結果、拡大因子 (Magnification factor) を定義し、これが外部負荷の形態、大きさに依存せず、体系の幾何学的形状にのみ関係すると報じている。彼の用いた応力拡大係数求出法の過程は、

- 1) 任意負荷状態かつクラックのない体系で応力分布を求め、それを

$$\sigma = A_0 + A_1 \gamma + A_2 \gamma^2 + A_3 \gamma^3 \quad (10)$$

に方式化し、係数 $A_0 \sim A_3$ を求める；

- 2) クラックのある体系のクラック軸上に式(10)の初期応力分布を設定する；
- 3) この体系について応力拡大係数を求める。

応力拡大係数 K_I は次のように計算される。

$$K_I = K_I^{(0)} + K_I^{(1)} + K_I^{(2)} + K_I^{(3)}$$

$$K_I^{(0)} = F_1 A_0 \sqrt{\pi a}$$

$$K_I^{(1)} = F_2 \cdot \frac{2a}{\pi} A_1 \sqrt{\pi a} \quad (11)$$

$$K_I^{(2)} = F_3 \cdot \frac{a^2}{2} A_2 \sqrt{\pi a}$$

$$K_I^{(3)} = F_4 \cdot \frac{4a^3}{3\pi} A_3 \sqrt{\pi a}$$

ここに $F_1 \sim F_4$ が前述の拡大因子である。

さて、ふたたび本報の計算結果に戻るが、式(9)にみられる関係と Buchalet の関係 (式(11)) をとりあげて検討を行う。式(10)の応力は本報の場合、Fig. 7 の方式化に相当するので、これを前述と同様の方法で求めると、

$$\begin{aligned} \sigma &= A_0 + A_1 \Upsilon + A_2 \Upsilon^2 + A_3 \Upsilon^3 \\ A_0 &= 0.5870 \times 10^6 \\ A_1 &= -0.1561 \times 10^7 \\ A_2 &= 0.8889 \times 10^7 \\ A_3 &= -0.4321 \times 10^8 \end{aligned} \quad (12)$$

が得られる。ひとつのチェックとしてクラックが被覆管肉厚の約半分まで存在する場合 (Fig. 15 参照), Buchalet による拡大係数の値 $F_1 \sim F_4$ は

$$\begin{aligned} F_1 &\doteq 2.62 \\ F_2 &\doteq 2.00 \\ F_3 &\doteq 1.71 \\ F_4 &\doteq 1.54 \end{aligned} \quad (13)$$

となる。従って式(12)および(13)を式(11)に代入すると

$$\begin{aligned} K_I &= K_I^{(0)} + K_I^{(1)} + K_I^{(2)} + K_I^{(3)} \\ K_I^{(0)} &= 1.538 \times 10^6 \sqrt{\pi a_0} \\ K_I^{(1)} &= 1.988 \times 10^6 a_0 \sqrt{\pi a_0} \\ K_I^{(2)} &= 7.600 \times 10^6 a_0^2 \sqrt{\pi a_0} \\ K_I^{(3)} &= 2.825 \times 10^7 a_0^3 \sqrt{\pi a_0} \end{aligned} \quad (14)$$

が得られる。 $K_I^{(1)}$ に比較して $K_I^{(2)}$ および $K_I^{(3)}$ は無視しうるので K_I は次のように表示しうる。

$$\begin{aligned} K_I &\doteq K_I^{(0)} + K_I^{(1)} \\ &\propto a_0 \sqrt{a_0} \end{aligned} \quad (15)$$

また、 a に対する $F_1 \sim F_4$ の変化は桁を変える程大きくないので式(15)は

$$K_I \propto a \sqrt{a} \quad (16)$$

となり、本報の結果である式(9)に一応一致している。

4. 結 論

有限要素法 (FEM) および線形破壊力学 (LFM) に基づく全エネルギー法によってクラック入り燃料被覆管における応力拡大係数を計算した。得られた知見は次のとおりである。

- 1) 有限要素として本報で試みた追加移動性要素はその機能、すなわち微小クラック長増分を充分果たし、良い結果を得た。
- 2) クラック先端部における応力集中の程度を具体的に表示することができた。
- 3) クラック軸上における節点の円周方向変位の結果より、小規模降伏領域を外挿することができ、さらに小規模降伏領域を修正した線形破壊力学からの塑性半径計算値とほぼ一致した。
- 4) エネルギー解放率はクラック長の3乗に比例する関係にある。
- 5) 従って応力拡大係数はクラック長の $3/2$ 乗に比例する。
- 6) 5)の関係を Buchalet の解析と対照したところ、比較的良い一致をみた。
- 7) 内圧増大による応力拡大係数増加はほとんど直線的関係にあることが判った。
- 8) 内圧分布の計算例から、クラックの短かい場合は内圧一定の場合と応力分布を異にするが、全般的に内圧一定のときと類似した傾向を示している。

我々は、インターランプ試験計画 (STIR プロジェクト) のデータ解析 (破損機構の解明) を目的として、現在、クラック伝播挙動解析計算コード (CRAPRO) を開発中であるが、本報によってそのための基本的知見を得ることができた。いまだ多くの未解決事項が残されているが、実験データおよびコードの併用によってそれらを解明してゆくつもりである。

謝 辞

本研究の実施に際し、種々の助言をいただいた燃料安全第一研究室長市川達生氏をはじめ研究室諸氏に対して深く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 菊地 章, 藤田 操, 森島淳好, “インターランプ試験計画の概要および燃料破損挙動の解析1” 未公開資料
- (2) 菊地 章, “破損被覆管におけるクラックの挙動および破損挙動解析法の検討” 未公開資料
- (3) A. Kikuchi and M. Ichikawa, “Estimation of Effective Power Increase to Failure and Proposal for Further Ramp Test Project,” April 25-26, 1978 (Apr. 1978)
- (4) J. C. Wood, “Factors affecting stress corrosion cracking of Zry in ioclone vapour”, J. Nucl. Mater., (1972/73) 105-122

4. 結 論

有限要素法 (FEM) および線形破壊力学 (LFM) に基づく全エネルギー法によってクラック入り燃料被覆管における応力拡大係数を計算した。得られた知見は次のとおりである。

- 1) 有限要素として本報で試みた追加移動性要素はその機能、すなわち微小クラック長増分を充分果たし、良い結果を得た。
- 2) クラック先端部における応力集中の程度を具体的に表示することができた。
- 3) クラック軸上における節点の円周方向変位の結果より、小規模降伏領域を外挿することができ、さらに小規模降伏領域を修正した線形破壊力学からの塑性半径計算値とほぼ一致した。
- 4) エネルギー解放率はクラック長の3乗に比例する関係にある。
- 5) 従って応力拡大係数はクラック長の $3/2$ 乗に比例する。
- 6) 5)の関係を Buchalet の解析と対照したところ、比較的良い一致をみた。
- 7) 内圧増大による応力拡大係数増加はほとんど直線的関係にあることが判った。
- 8) 内圧分布の計算例から、クラックの短かい場合は内圧一定の場合と応力分布を異にするが、全般的に内圧一定のときと類似した傾向を示している。

我々は、インターランプ試験計画 (STIR プロジェクト) のデータ解析 (破損機構の解明) を目的として、現在、クラック伝播挙動解析計算コード (CRAPRO) を開発中であるが、本報によってそのための基本的知見を得ることができた。いまだ多くの未解決事項が残されているが、実験データおよびコードの併用によってそれらを解明してゆくつもりである。

謝 辞

本研究の実施に際し、種々の助言をいただいた燃料安全第一研究室長市川達生氏をはじめ研究室諸氏に対して深く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 菊地 章, 藤田 操, 森島淳好, “インターランプ試験計画の概要および燃料破損挙動の解析1” 未公開資料
- (2) 菊地 章, “破損被覆管におけるクラックの挙動および破損挙動解析法の検討” 未公開資料
- (3) A. Kikuchi and M. Ichikawa, “Estimation of Effective Power Increase to Failure and Proposal for Further Ramp Test Project,” April 25-26, 1978 (Apr. 1978)
- (4) J. C. Wood, “Factors affecting stress corrosion cracking of Zry in ioclone vapour”, J. Nucl. Mater., (1972/73) 105-122

- (5) P. H. Kreyms, et al, "An analysis of iodine stress corrosion cracking of Zry-4 tubing", J. Nucl. Mater., 61(1976)203~212
- (6) K. Vielem and L. Lunde, "Stress corrosion crack initiation and growth in Zircaloy", Engarged Halden Programme Grop Meeting on Water Rerformance, Sanderstolen, Norway, 7th-11th March, 1977
- (7) H. Tade, "The stress analysis of cracks handbook", Del Research Corporation, Hellertown, Pa., USA, 1973
- (8) C.B. Bachalet, "Stress intensity factor solutions for continuous surface flows in Reactor pressure vessels", Mechanics of Crack Growth, ASTM STP590, 1976, pp. 385-402
- (9) A. S. Kobayachi et al., "Stress intensity factor of a surface crack in a pressurized cylinder", Computational Frectur Mechanics, The
- (10) F. Erdogan et al., "Fracture initiation and propagation in a cylindrical shell containing an inining surface flow", Nuclear Engi. and Desig. 27(1974)14-29
- (11) A.S. Kobayashi, "Surface flaw in a pressurised and thermally shocked hollow cylinder", J. Pres. Ves. & Piping(5)(1977)
- (12) 宮本 博, "有限要素法と破壊力学", コンピューターによる構造工学講座II-3-B p. 53~, 培風館
- (13) 岡村弘之, "線形破壊力学入門", 破壊力学と材料強度講座-1, p.53~, 培風館
- (14) 同上, p. 73~p.80

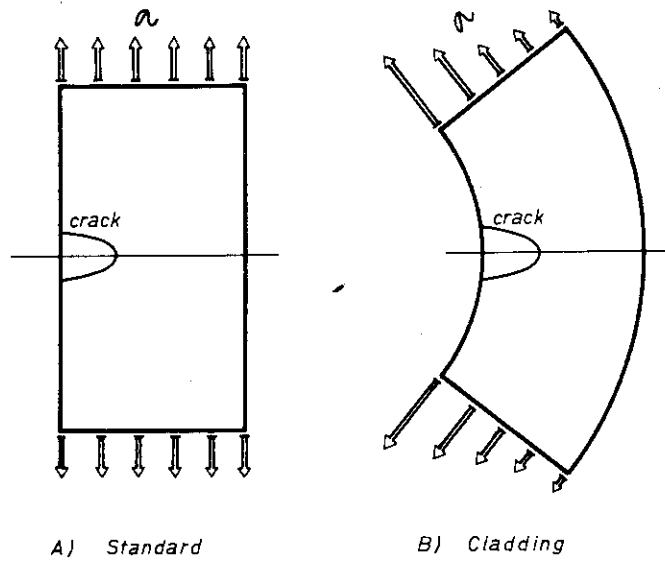


Fig. 1 標準形状体および被覆管におけるクラック体系の比較

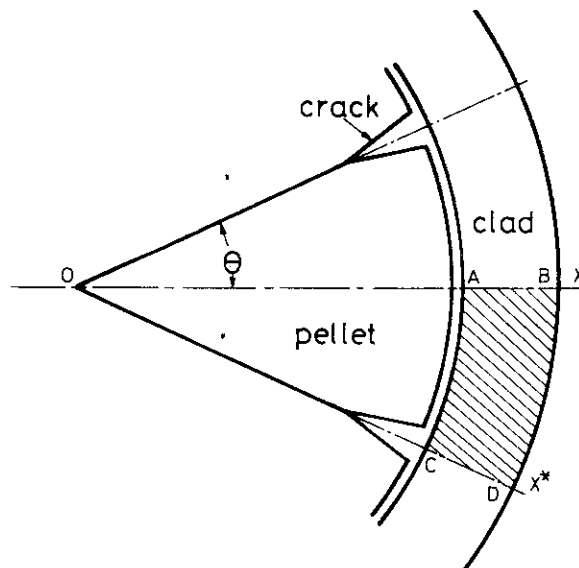


Fig. 2 燃料棒断面モデルと解析対象領域

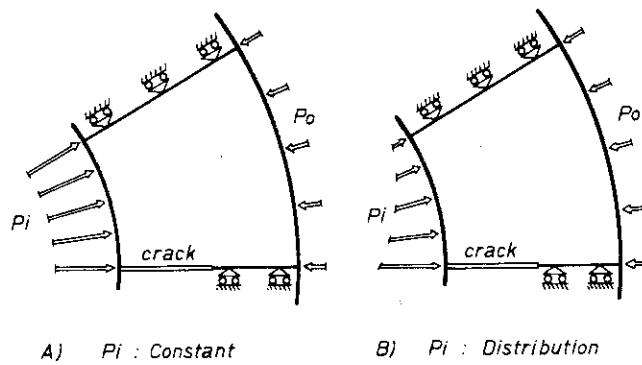


Fig. 3 解析対象領域における外部負荷モデル

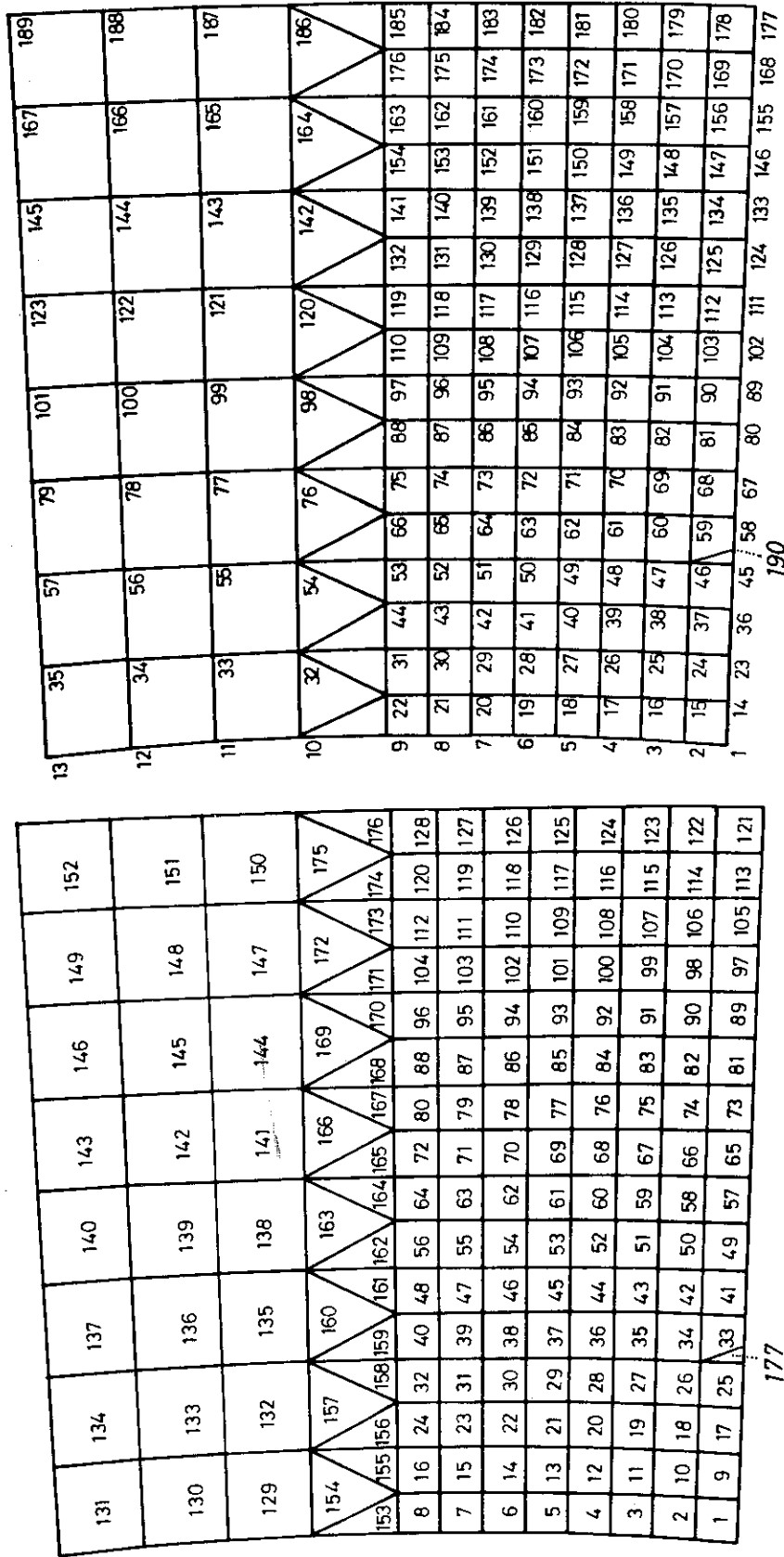


Fig. 4 有限要素分割一要素および節点

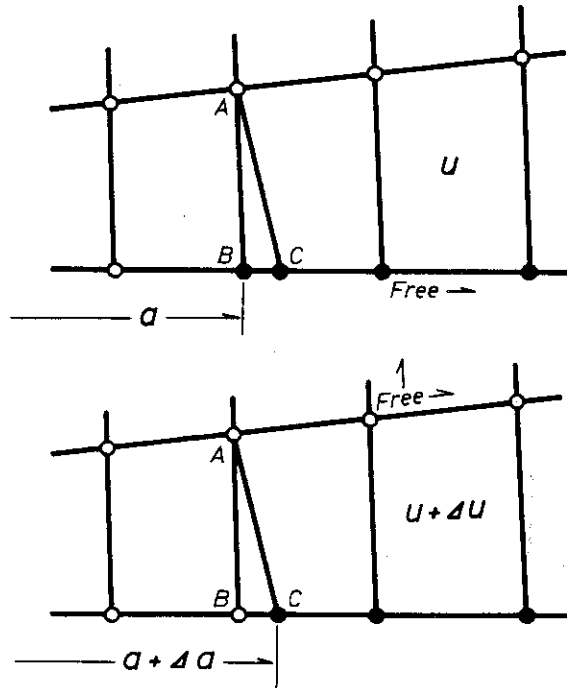


Fig. 5 クラック先端部における追加要素

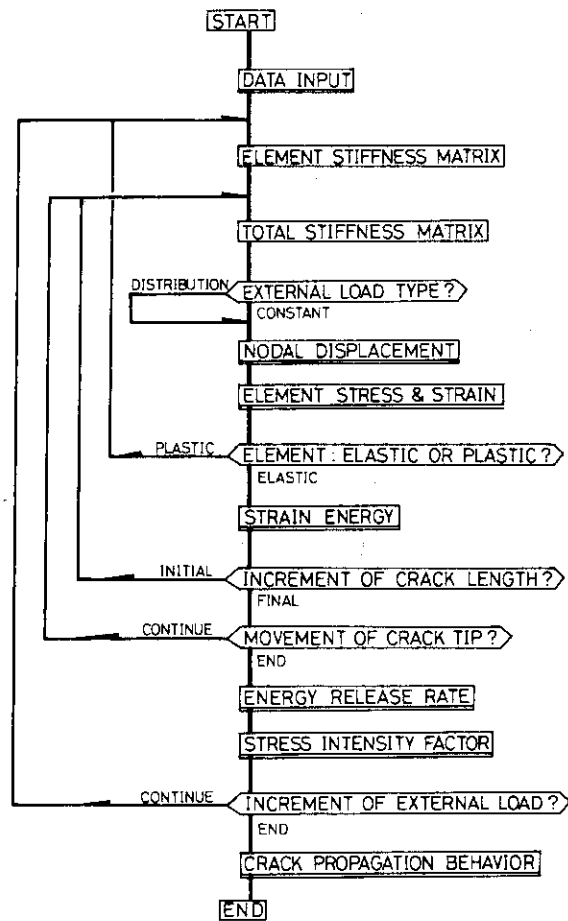


Fig. 6 計算コードCRAP1の流れ図

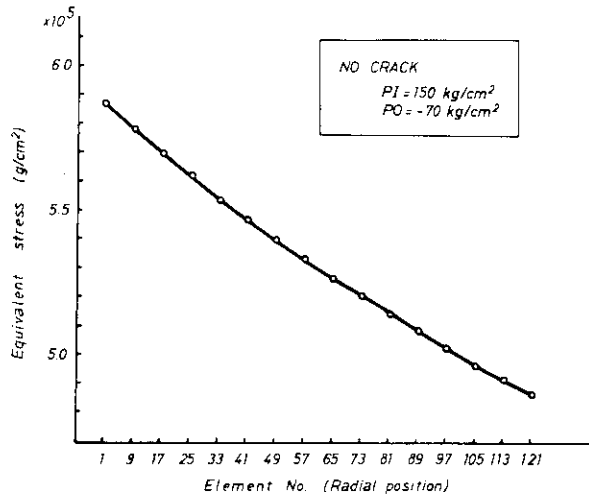


Fig. 7 クラックのない場合の径方向等価応力分布 — 内圧 1 定

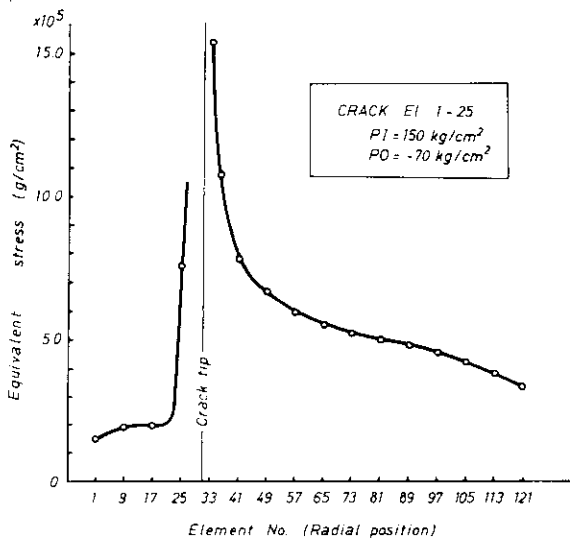


Fig. 8 クラック (要素 1 ~ 25) 体における径方向等価応力分布 — 内圧 1 定

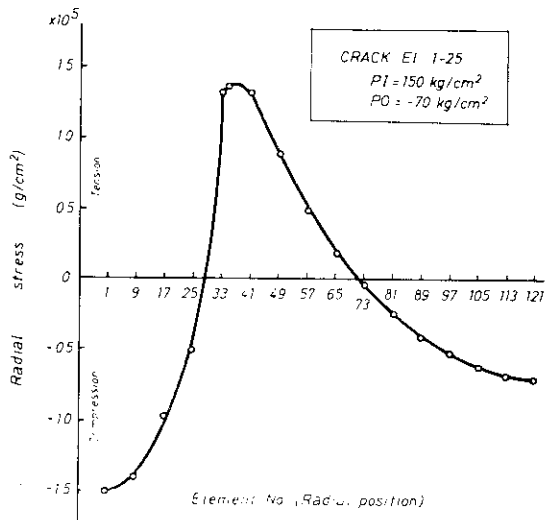


Fig. 9 クラック (要素 1 ~ 25) 体における径方向径応力分布 — 内圧 1 定

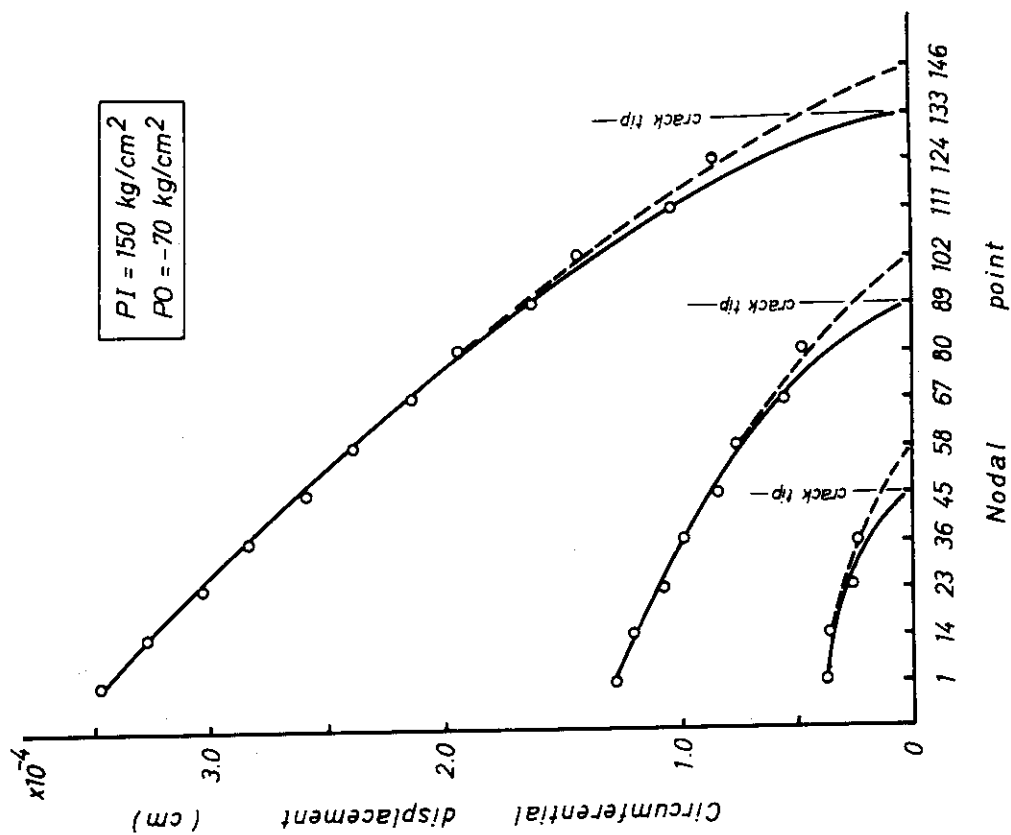


Fig. 11 クラック軸上径方向における円周方向変位分布
— 内圧 1 定

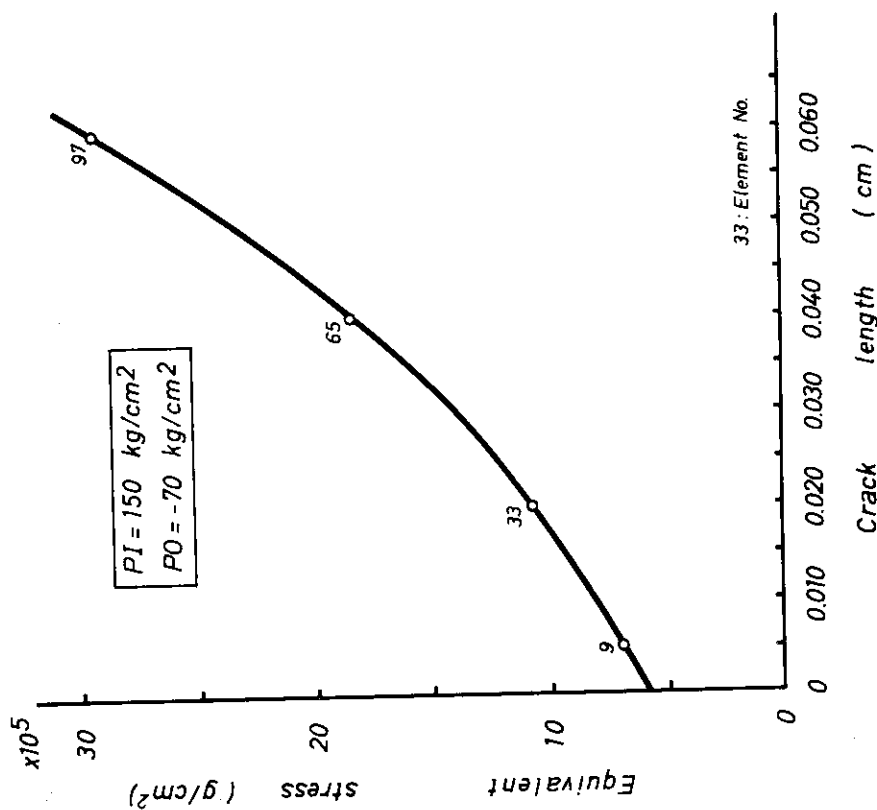
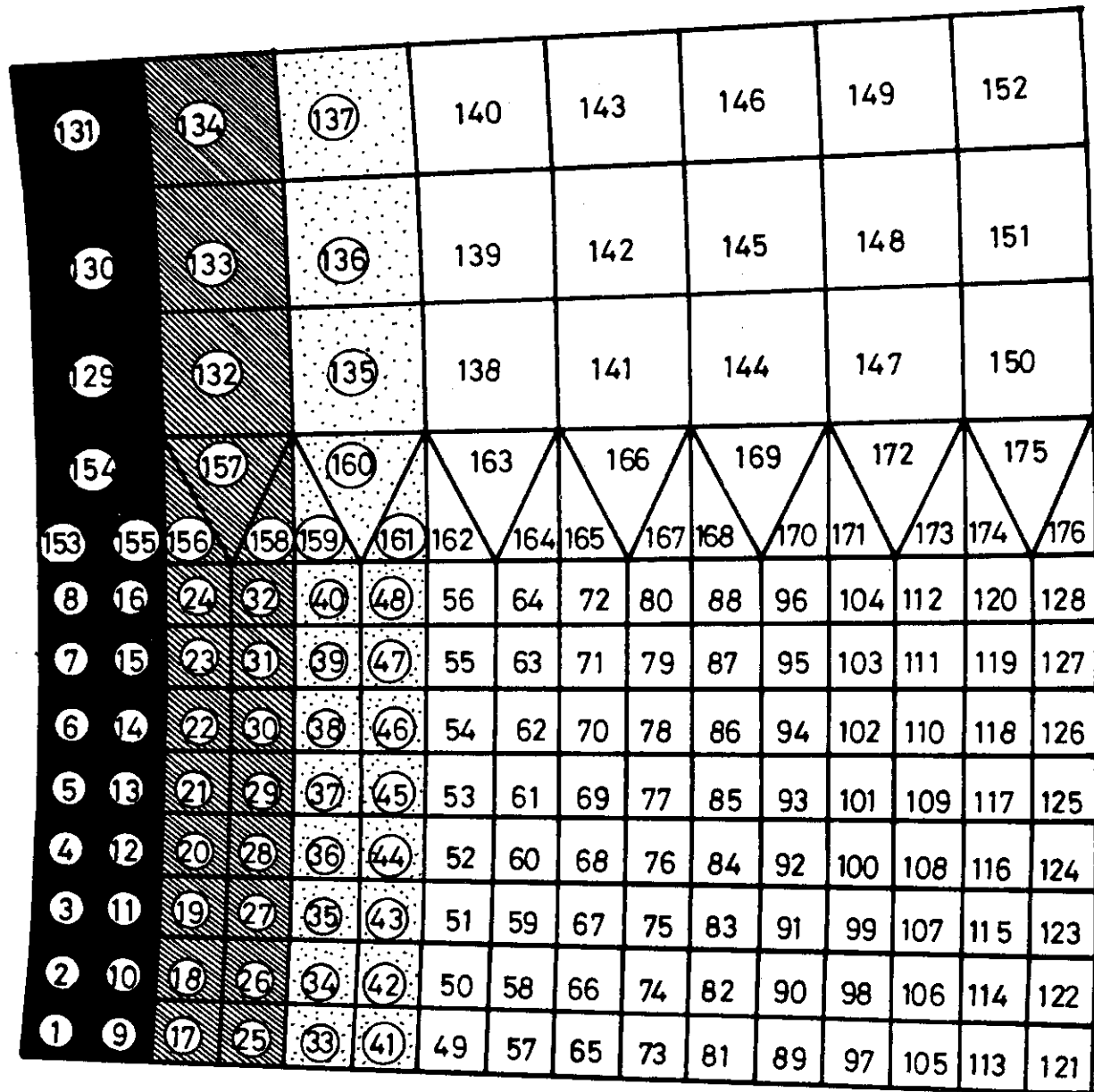
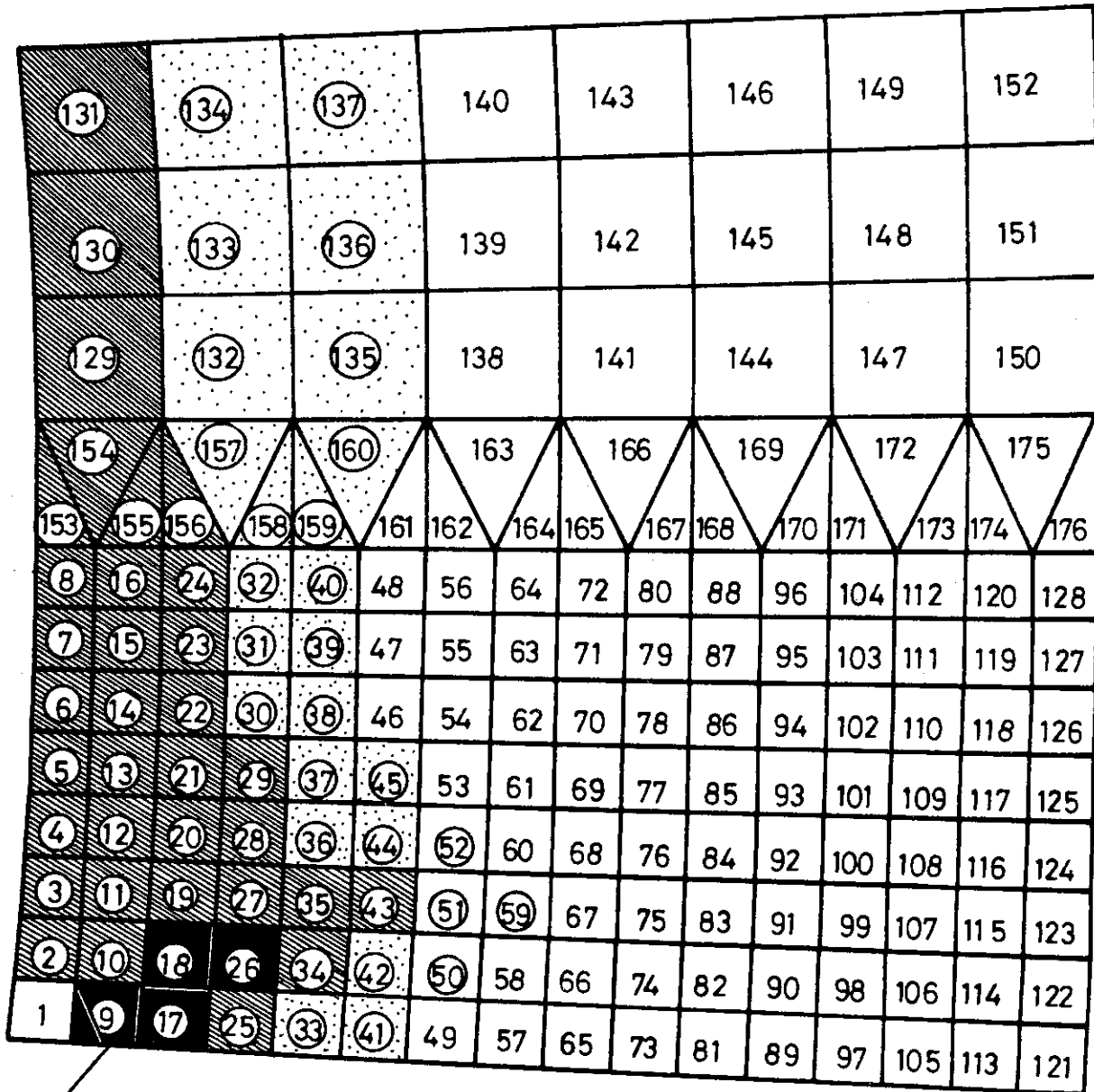


Fig. 10 クラック長に対するクラック先端部要素の等価応力
分布 — 内圧 1 定



1 > 5.7
 17 5.7-5.6
 33 5.6-5.5
 49 < 5.5 $\times 10^5$

Fig. 12 クラックのない場合の等価応力分布—内圧1定

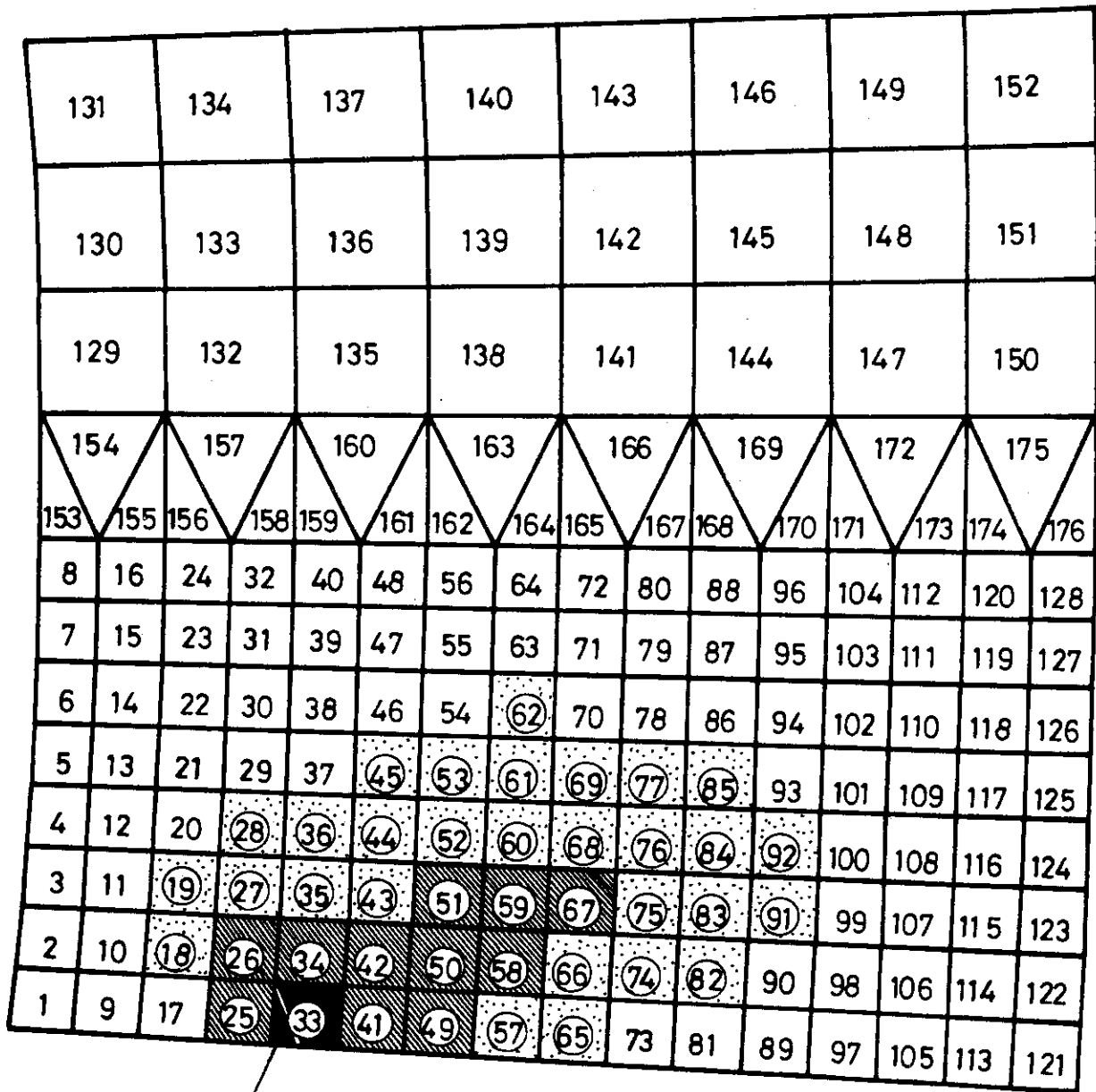


Crack tip

Element



Fig. 13 クラック（要素1まで）体における等価応力分布—内圧1定



Crack tip

Element



Fig. 14 クラック (要素 1 ~ 25) 体における等価応力分布 — 内圧 1 定

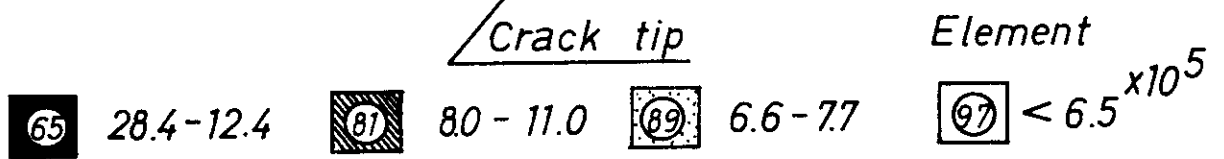
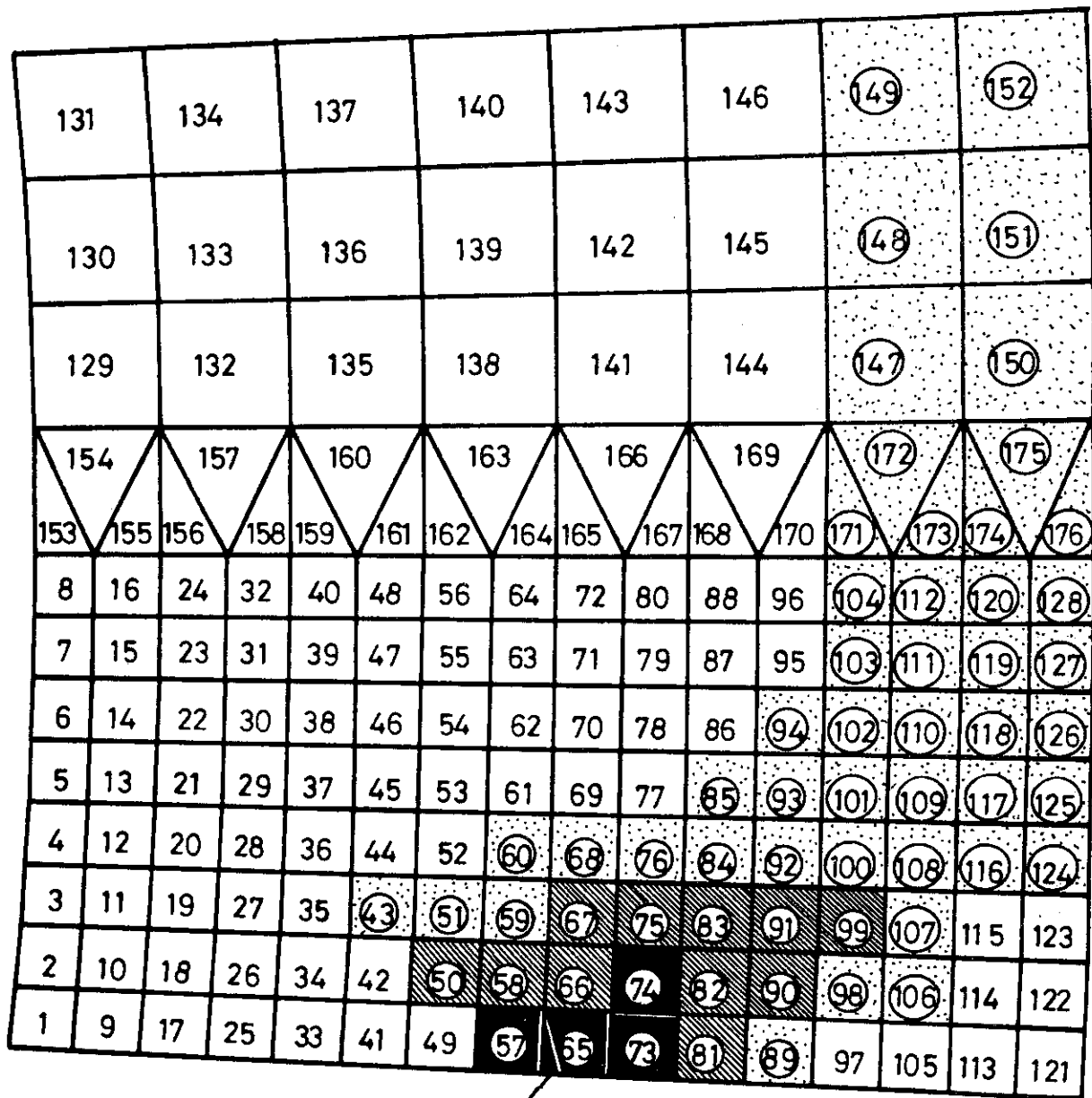


Fig. 15 クラック (要素 1 ~ 57) 体における等価応力分布 — 内圧 1 定

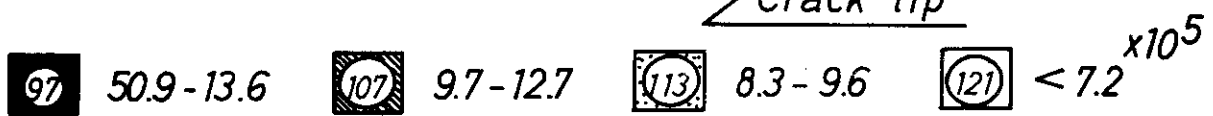
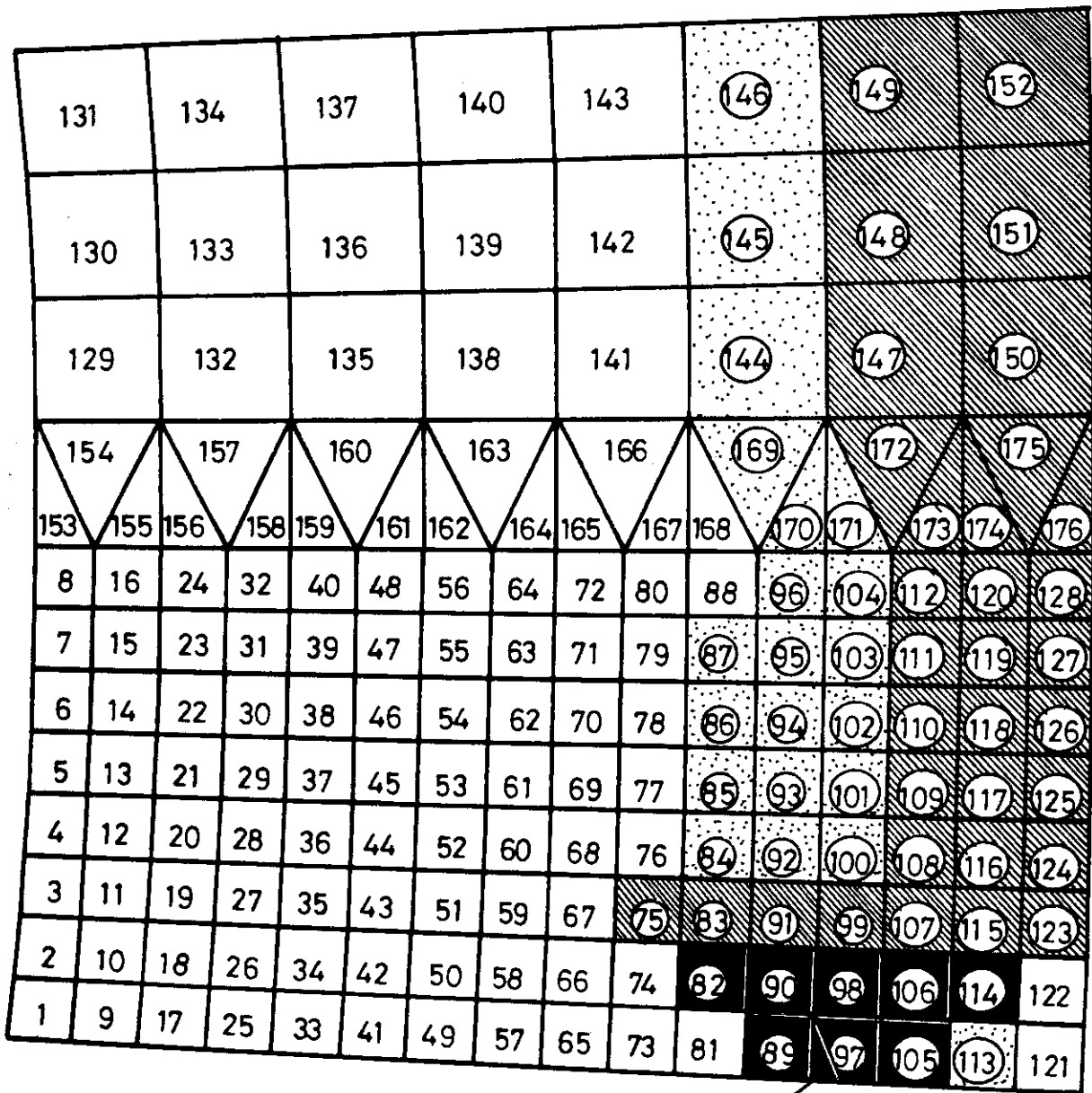


Fig. 16 クラック (要素 1 ~ 89) 体における等価応力分布 — 内圧 1 定

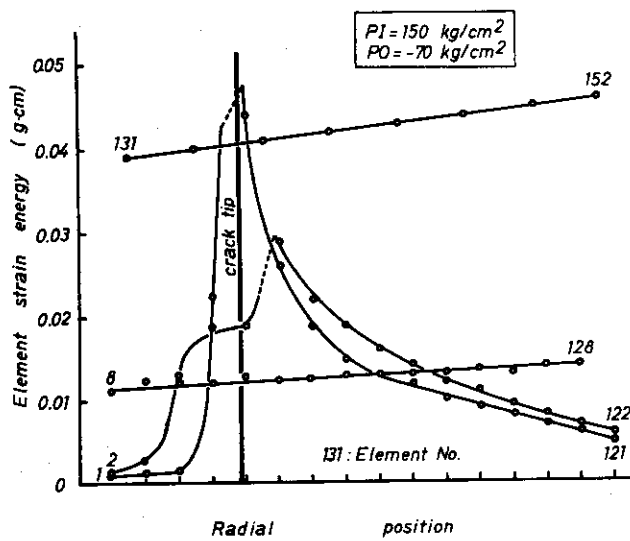


Fig. 17 径方向における要素ひずみエネルギー分布—内圧1定

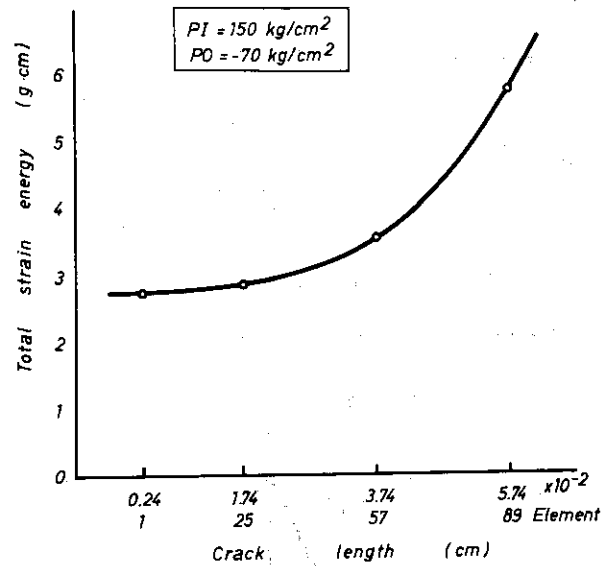


Fig. 18 クラック長に対する全ひずみエネルギー—内圧1定

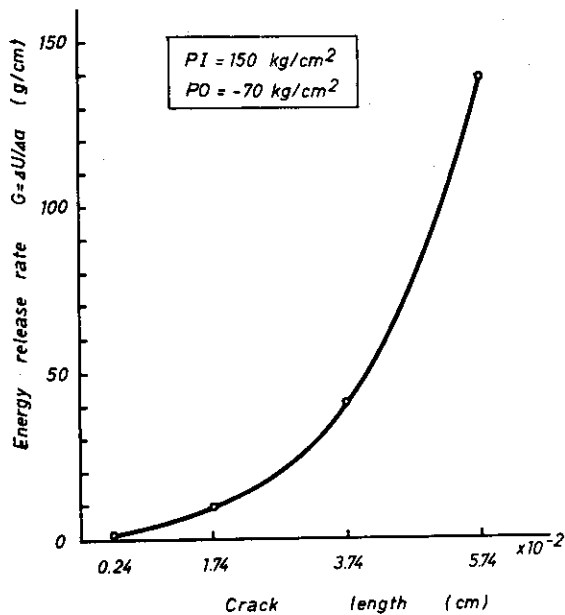


Fig. 19 クラック長に対するエネルギー解放率—内圧1定

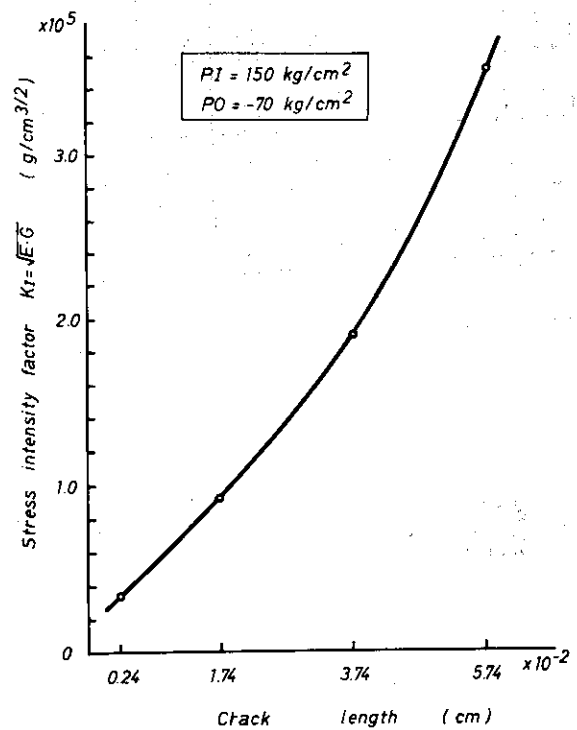


Fig. 20 クラック長に対する応力拡大係数—内圧1定

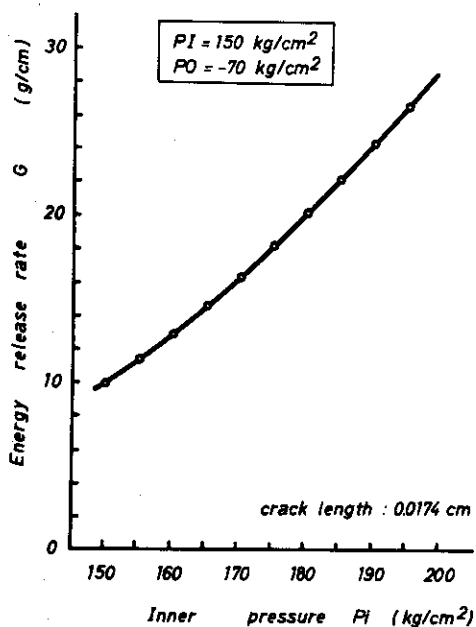


Fig. 21 内圧変化に対するエネルギー解放率—内圧1定

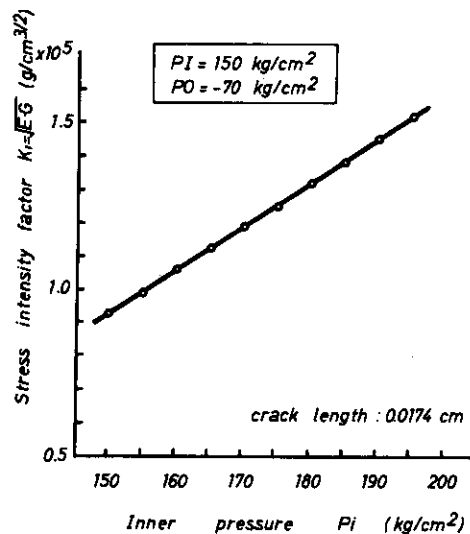


Fig. 22 内圧変化に対する応力拡大係数—内圧1定

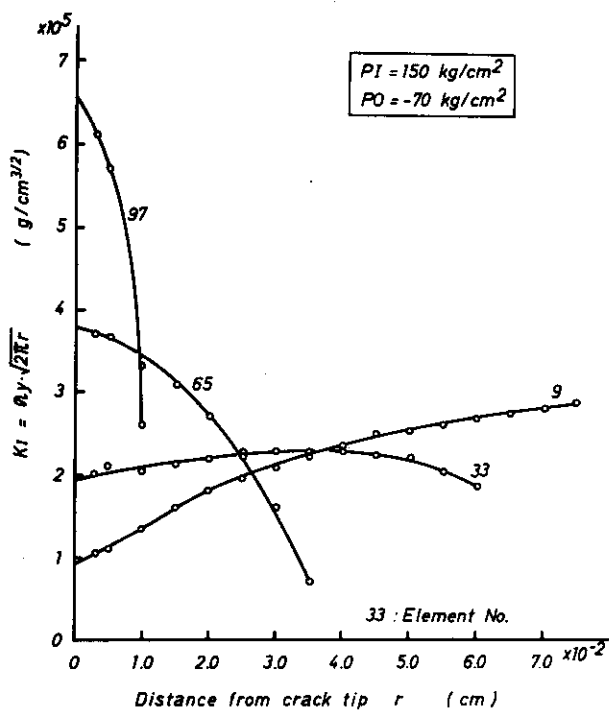


Fig. 23 クラック先端からの長さに対する $K_I(r)$ の変化—応力法, —内圧1定

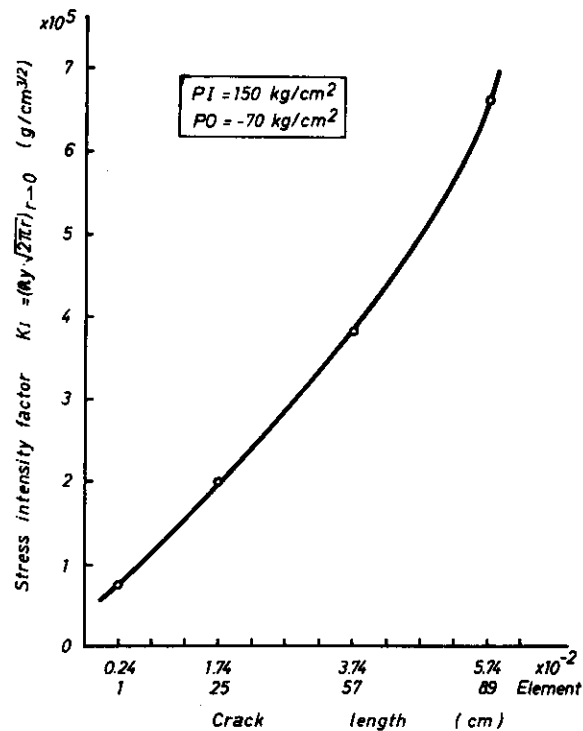


Fig. 24 応力法によるクラック長と応力拡大係数の関係—内圧1定

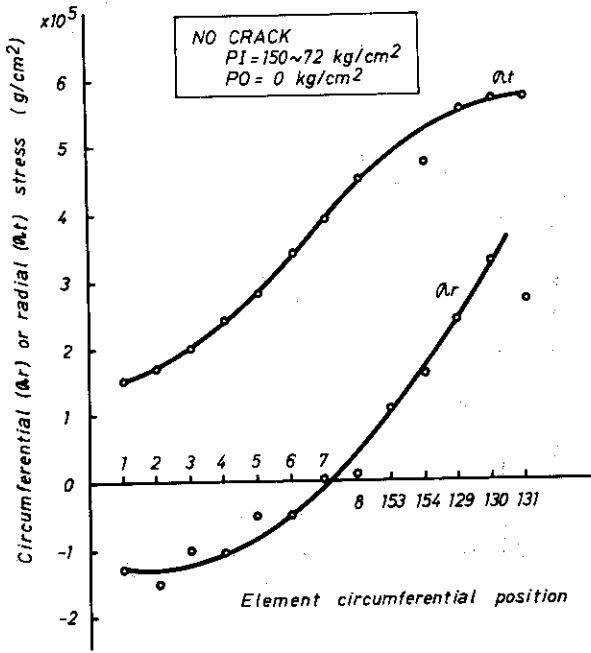


Fig. 25 円周方向位置における円周および径応力—内圧分布

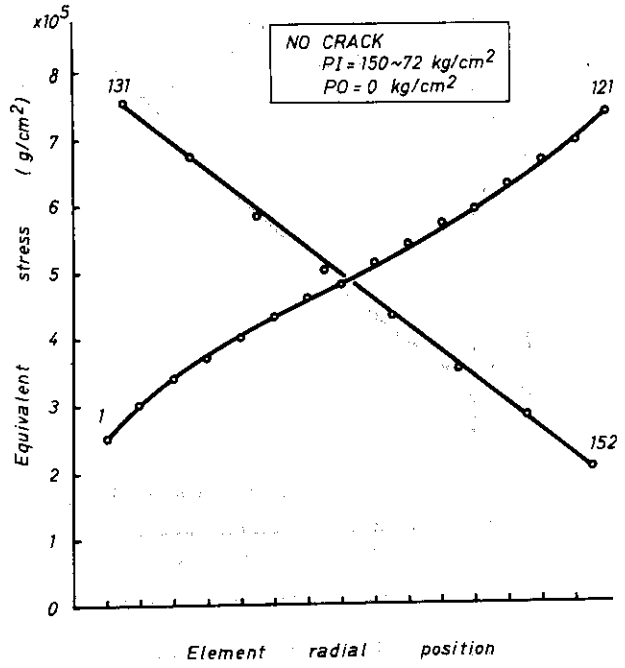


Fig. 26 径方向位置における等価応力分布—内圧分布

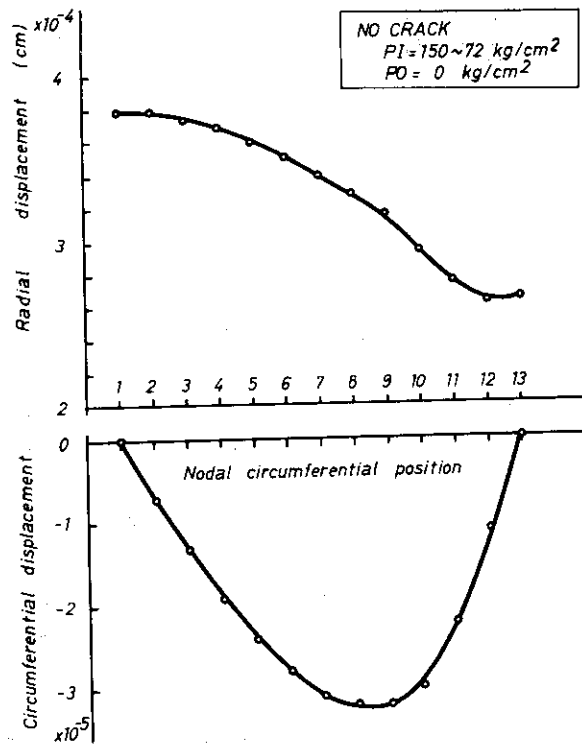


Fig. 27 円周方向節点における円周方向および径方向変位—内圧分布

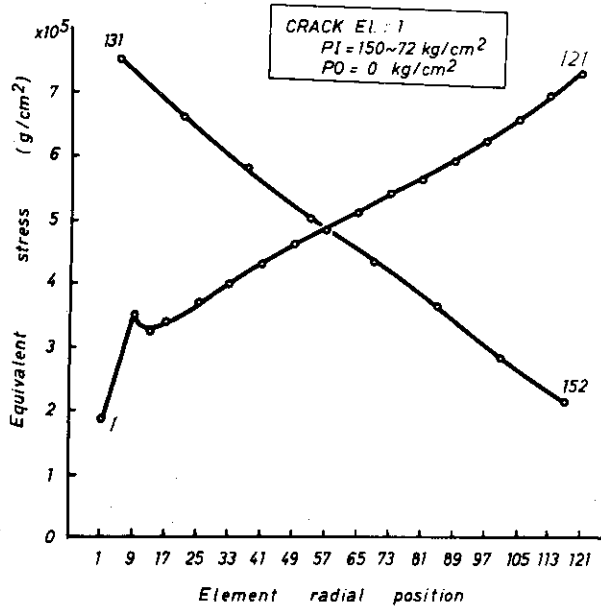


Fig. 28 クラック(要素1)体における径方向等価応力分布—内圧分布

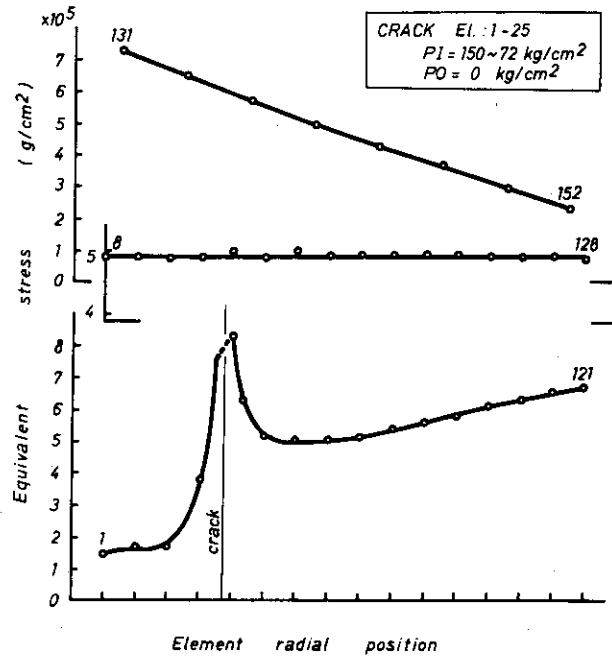


Fig. 29 クラック(要素1~25)体における径方向等価応力分布—内圧分布

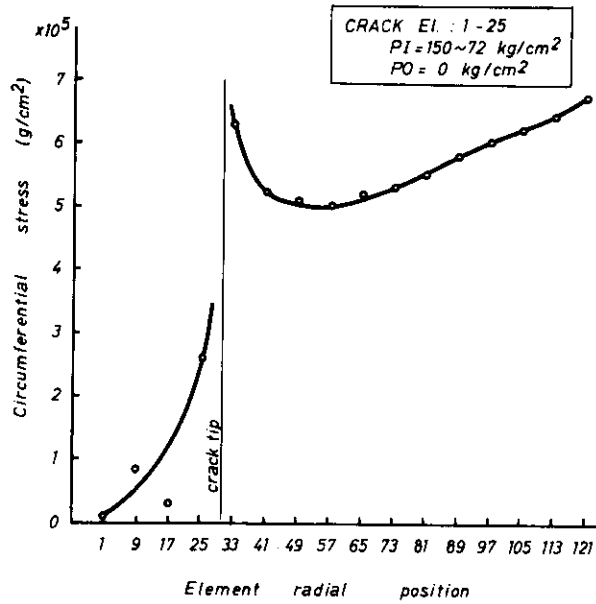


Fig. 30 クラック(要素1~25)体における径方向円周応力分布—内圧分布

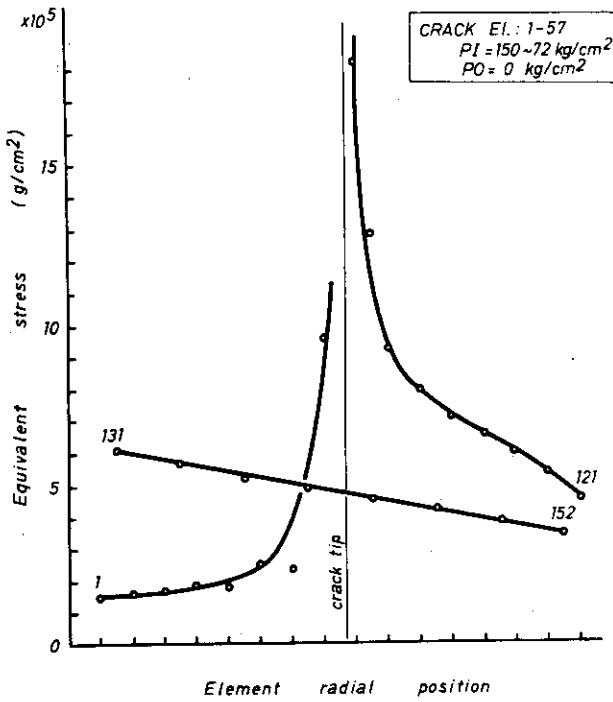


Fig. 31 クラック(要素1~57)体における径方向等価応力分布—内圧分布

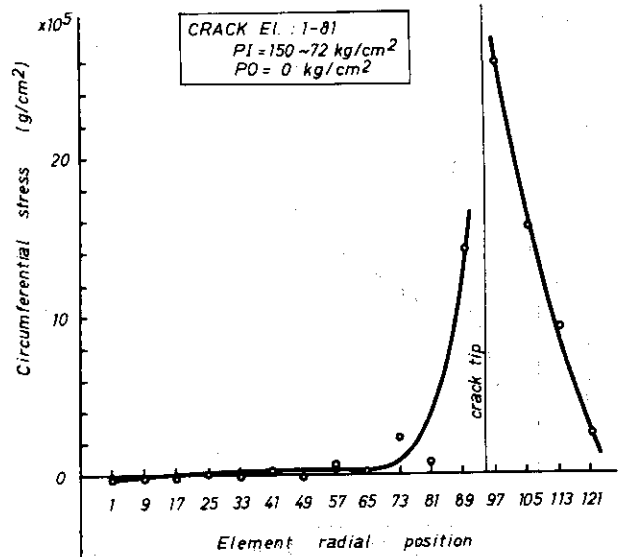


Fig. 32 クラック(要素1~89)体における径方向円周応力分布—内圧分布

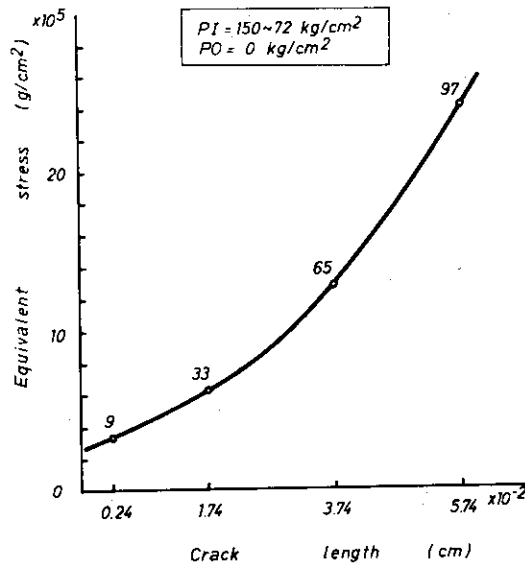
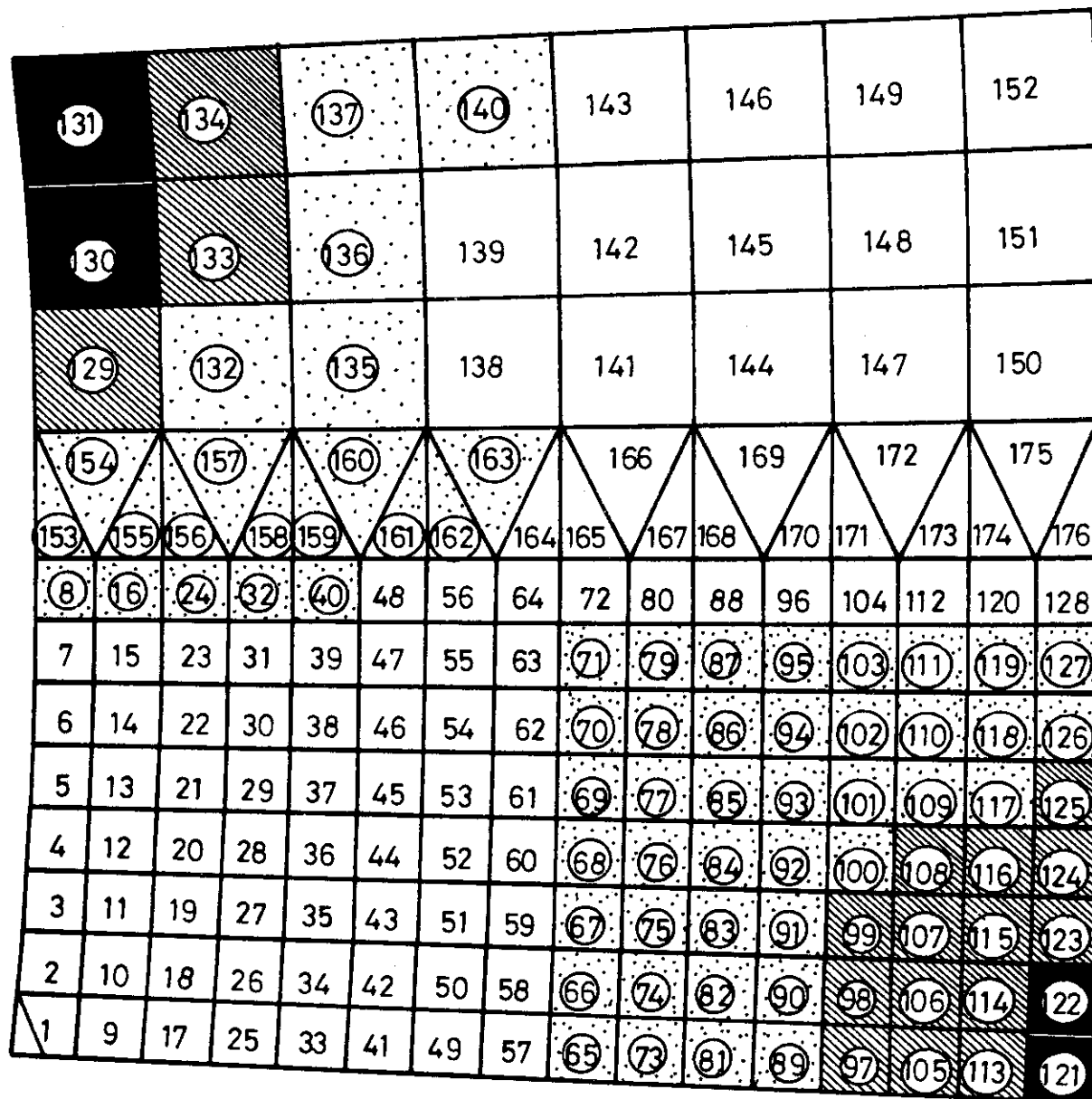
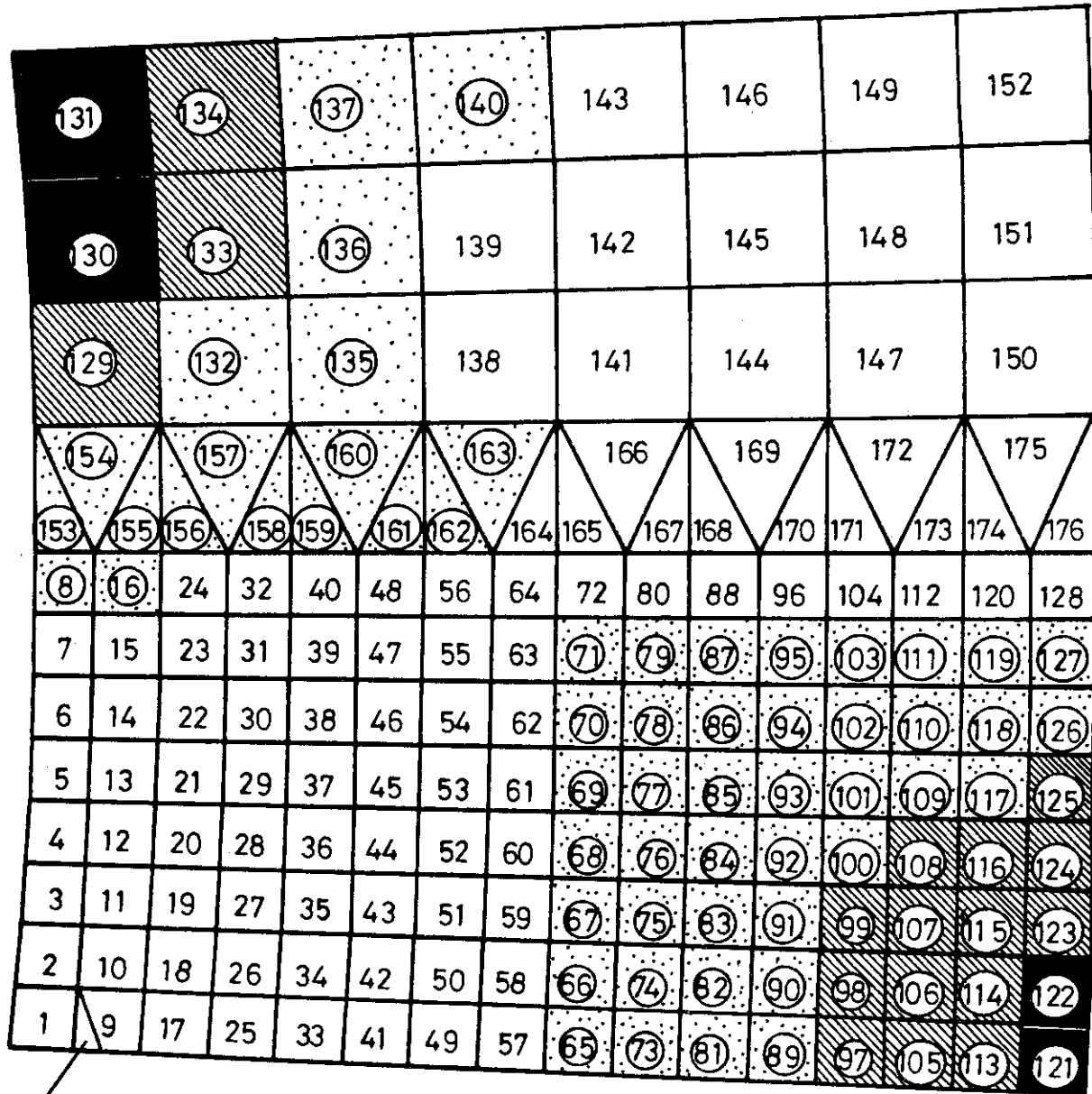


Fig. 33 クラック長に対するクラック先端部要素の等価応力分布—内圧分布



121 7.5 - 7.0
 113 6.9 - 6.0
 89 5.9 - 5.0
 57 < 4.9 $\times 10^5$

Fig. 34 クラックのない場合の等価応力分布—内圧分布



crack tip



Fig. 35 クラック（要素1）体における等価応力分布 — 内圧分布

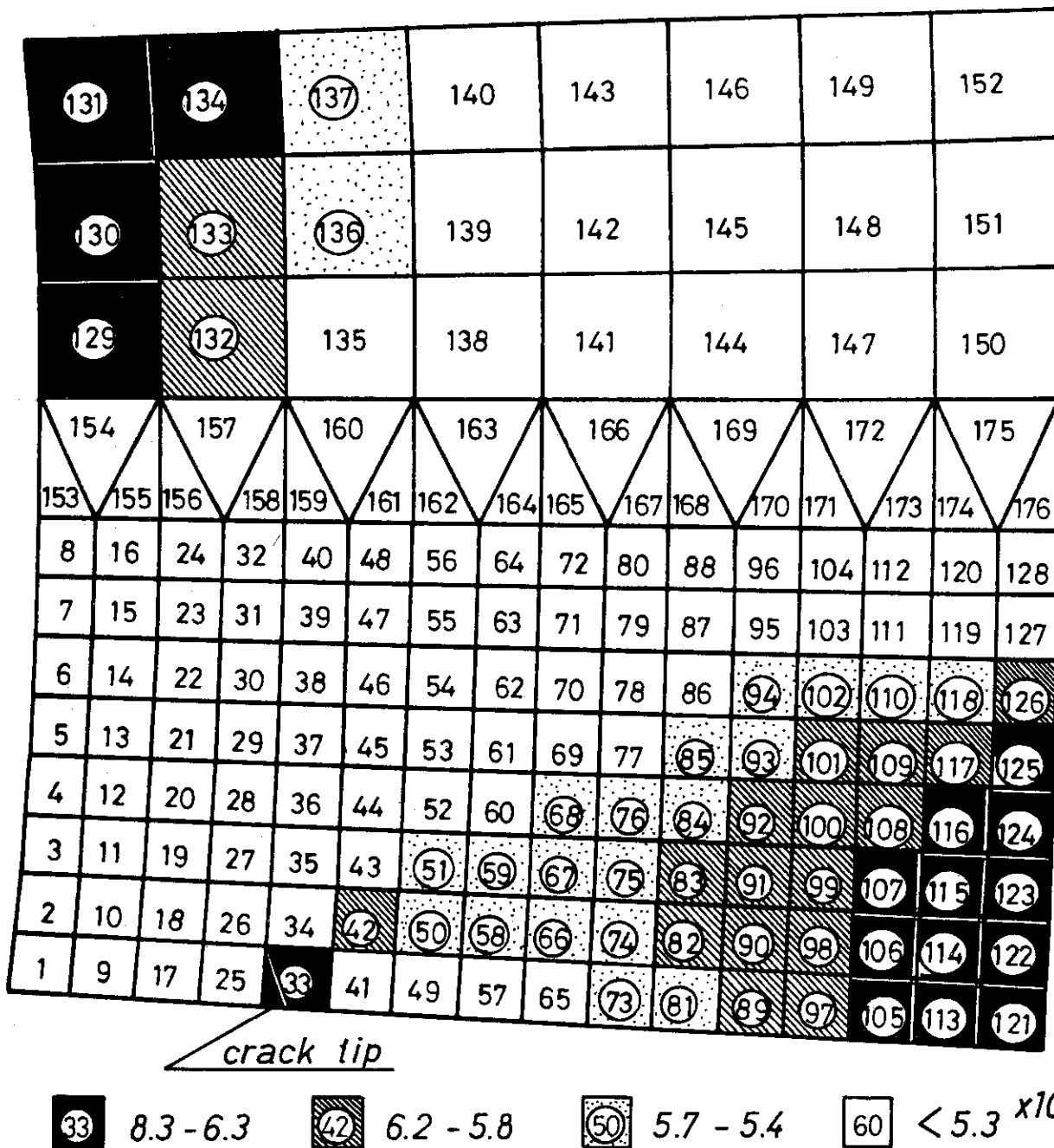
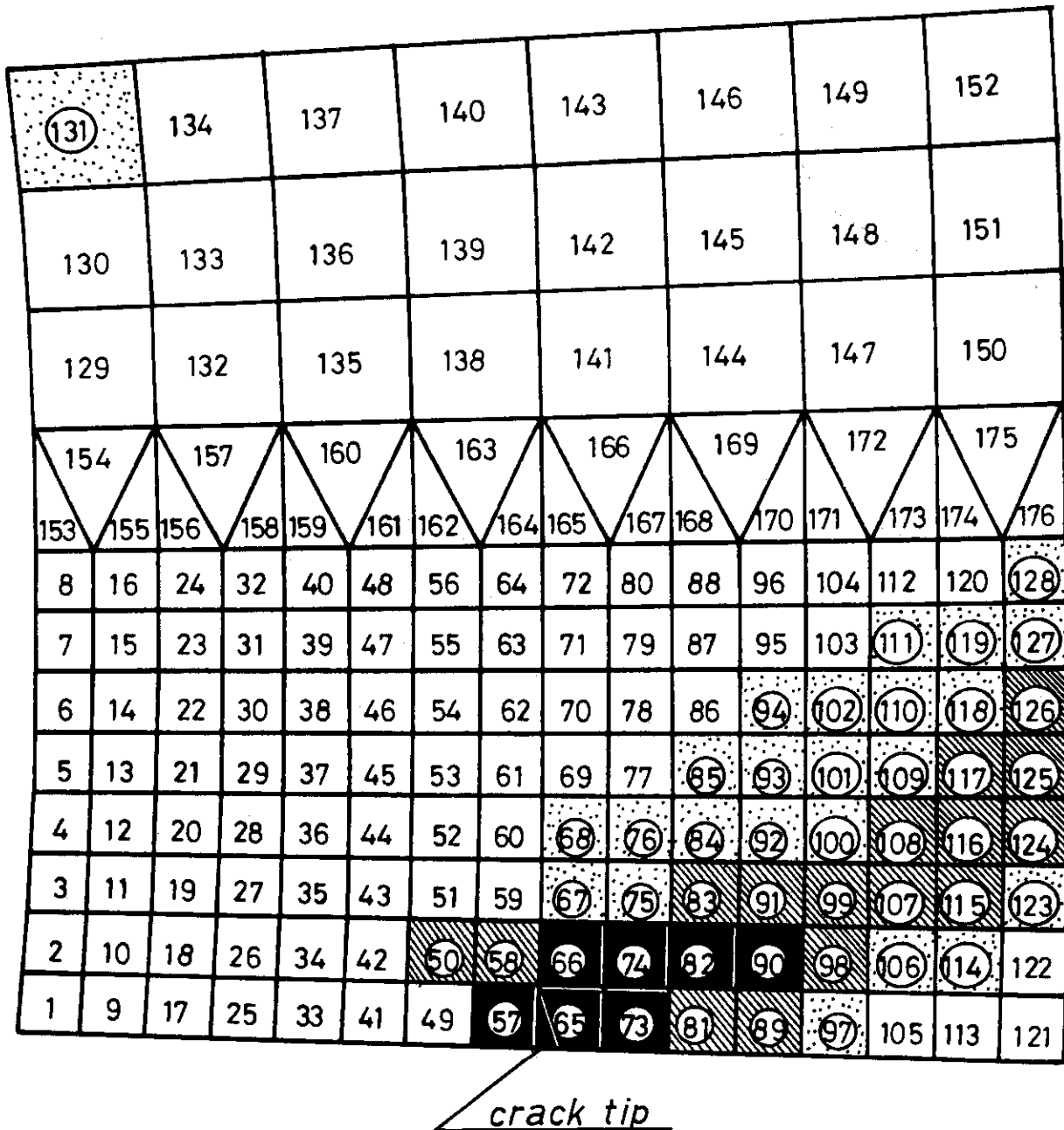
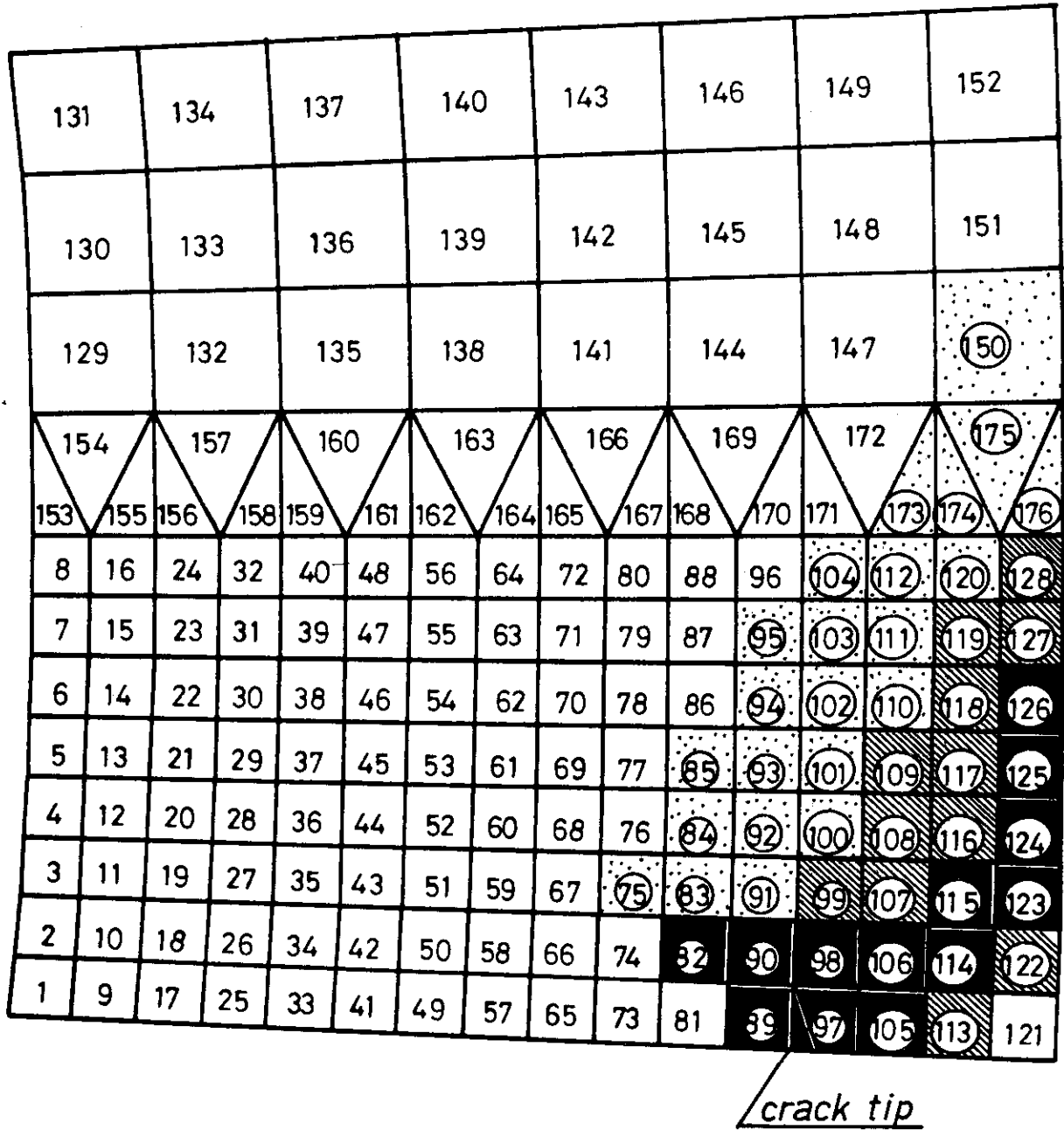


Fig. 36 クラック (要素 1 ~ 25) 体における等価応力分布 — 内圧分布



65 18.2 - 8.0
 81 7.9 - 7.0
 97 6.9 - 6.0
 105 $< 5.9 \times 10^5$

Fig. 37 クラック (要素 1 ~ 57) 体における等価応力分布—内圧分布



97 38.5 - 10.0
 113 9.9 - 9.0
 91 8.9 - 7.0
 87 < 6.9 $\times 10^5$

Fig. 38 クラック (要素 1 ~ 89) 体における等価応力分布 — 内圧分布

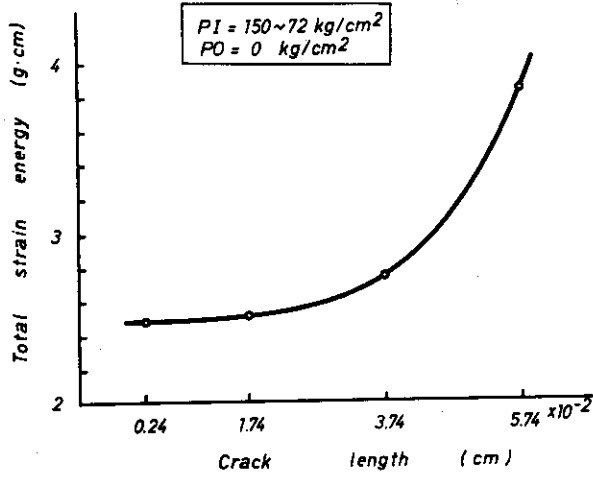


Fig. 39 クラック長に対する全ひずみエネルギー—内圧分布

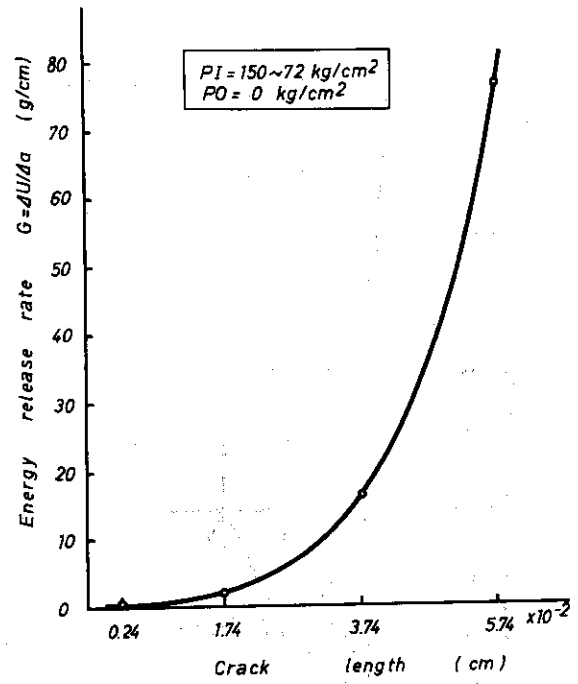


Fig. 40 クラック長に対するエネルギー解放率—内圧分布

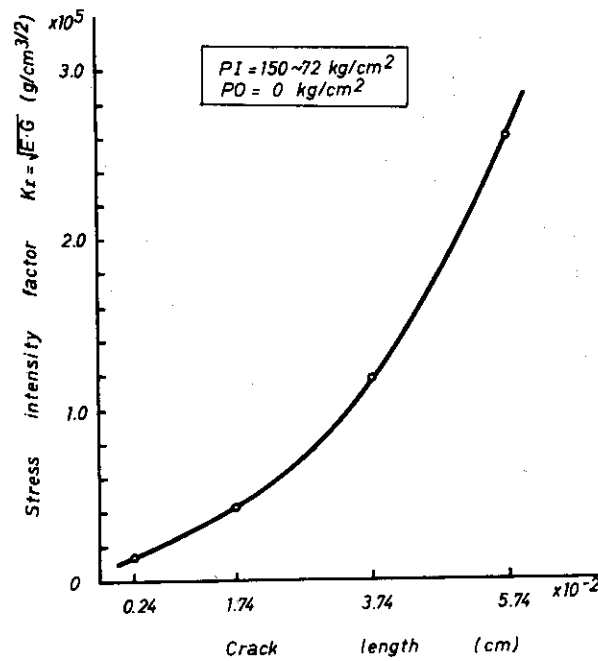


Fig. 41 クラック長に対する応力拡大係数—内圧分布

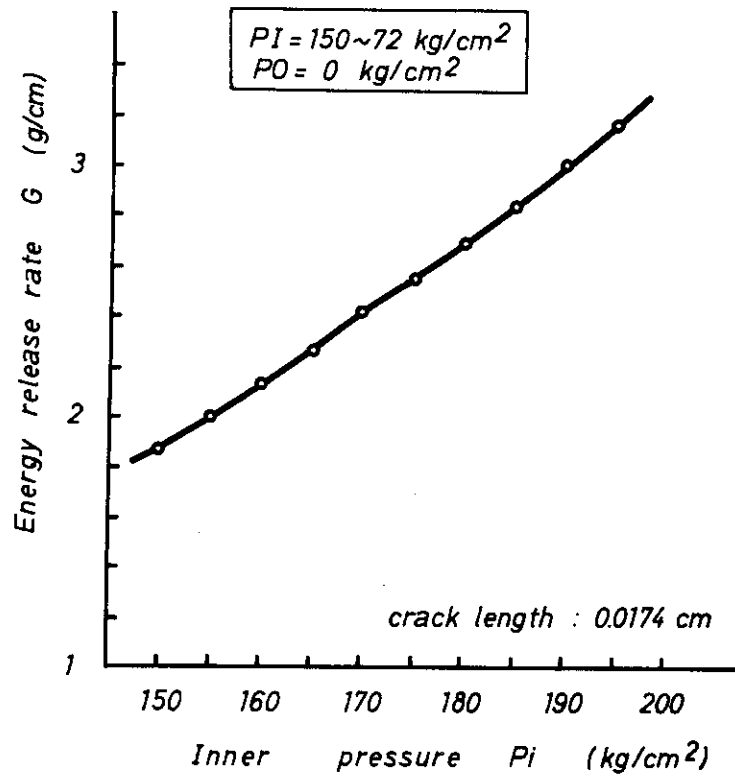


Fig. 42 内圧変化に対するエネルギー解放率—内圧分布

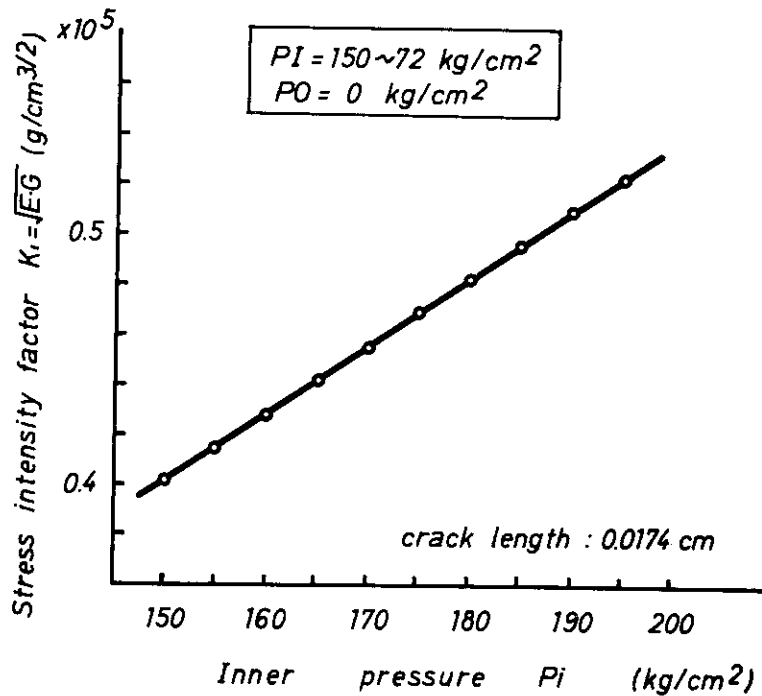


Fig. 43 内圧変化に対する応力拡大係数—内圧分布

付録 計算コード CRAP 1

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 1

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
		COMMENT CALCULATION OF SIF BY FEM	00000010
		COMMENT MAIN ROUTINE SIFCAL	00000020
		COMMENT	00000030
1		COMMON/INPA/NN,NE,RZ1,RZ0,NE35,NE4E,TI,TO,ANGLE	00000040
2		COMMON/INPB/NON(200,4),X(200),Y(200),AN(20)	00000050
3		COMMON/INPC/XG(200),YG(200),AREA(200),VE(200)	00000060
4		COMMON/INPD/FN(200),TE(200),DE(3,3,200),EZ(200)	00000070
5		COMMON/ELCA/CE(8,8),CI(8,8),A(400,400),N,PI(8,8)	00000080
6		COMMON/ELCB/BE(8,8,200),BT(8,8),UB(8,8,200),SKE(8,8,200)	00000090
7		COMMON/IE/IE,II,JI,KK,LL	00000100
8		COMMON/SIF/STRN(200),TSTEN,SIGB(200)	00000110
9		COMMON/MAIN/KFS(30),KFX(30),NKFS,NKFX	00000120
10		COMMON/DISP/FA(400),U(400),UX(200),UY(200)	00000130
11		COMMON/MAIN2/ICRACK,IPIDIS,IELPLA	00000140
12		COMMON/MAIN3/ASTART,CHALE,CRALES,CHALEE,TSTENS,TSTENE	00000150
13		COMMON/MAIN4/KNE	00000160
14		COMMON/DISP2/PI,PO	00000170
15		DIMENSION P1(50),TSTEN1(50),TSTEN2(50)	00000180
16		DIMENSION FRACT(50)	00000190
17		COMMON/VX/VX(200)	00000200
18		COMMON/SIGMA/UR(200),UT(200),UE(8,200),EPS(8,200),SIG(8,200)	00000210
		COMMENT ICRACK=1...CRACKING ; ICRACK=0...NO-CRACKING	00000220
		COMMENT IPIDIS=1...PI-DISTRIBUTION ; IPIDIS=0...PI-CONST.	00000230
		COMMENT IELPLA=1...ELASTIC-PLASTIC ; IELPLA=0...ELASTIC	00000240
		COMMENT KSTART=1...FINAL CRACK STATE	00000250
		COMMENT KNE...STARTING ELEMENT ADDED ANOTHER ELEMENT ON X-AXIS	00000260
		COMMENT	00000270
		COMMENT	00000280
19		HEAD(3,1000) ICRACK,KNE,NKFX	00000290
20		1000 FORMAT(3I3)	00000300
		COMMENT	00000310
21		IPIDIS=1	00000320
22		IELPLA=0	00000330
23		WRITE(6,3000) ICRACK,IPIDIS,IELPLA	00000340
24		3000 FORMAT(5X,'ICRACK=',I2,5X,'IPIDIS=',I2,5X,'IELPLA=',I2)	00000350
		COMMENT	00000360
25		KK=KNE	00000370
26		KSTART=0	00000380
		COMMENT	00000390
		COMMENT	00000400
27		NN=189	00000410
28		NE=176	00000420
29		RZ1=0.540	00000430
30		RZ0=0.620	00000440
31		NE35=153	00000450
32		NE4E=152	00000460
33		TI=350.0	00000470
34		TO=280.0	00000480
35		ANGLE=22.5	00000490
		COMMENT	00000500
36		PI=150.0*1000.0	00000510
37		PO=70.0*1000.0	00000520
		COMMENT	00000522
38		PO=0.0	00000524
		COMMENT	00000526
		COMMENT	00000530
		COMMENT	00000540

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 2

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
39		CALL INPUT	00000550
		COMMENT	00000560
40		NKFS=9	00000570
41		KFS(1)=25	00000580
42		I=2	00000590
43		DO 5 I=131,152,3	00000600
44		KFS(I)=NON(IE,3)*2.-1	00000610
45		J=I-1	00000620
46		5 CONTINUE	00000630
		COMMENT	00000640
47		WRITE(6,87) NKFS	00000650
48		87 FORMAT('***NKFS***',I3)	00000660
49		WRITE(6,88)	00000670
50		88 FORMAT('***KFS(I)***')	00000680
51		WRITE(6,89) (I,KFS(I),I=1,NKFS)	00000690
52		89 FORMAT(53X,'KFS(',I3,')=',I3)	00000700
		COMMENT	00000710
		COMMENT	00000720
53		NE=NE+1	00000730
54		NN=NN+1	00000740
		COMMENT	00000750
55		CALL PRINT(1)	00000760
56		CALL PRINT(2)	00000770
57		CALL GEOMET	00000780
58		CALL PRINT(3)	00000790
59		CALL PRINT(4)	00000800
60		CALL DMAT	00000810
61		CALL ELCAL	00000820
		COMMENT *****	00000830
62		500 CONTINUE	00000840
63		CALL ASST	00000850
64		CALL LOCX	00000860
65		KFX(1)=NON(NE,1)*2.-1	00000870
66		KFX(2)=NON(NE,2)*2.-1	00000880
67		I=3	00000890
68		IF(KSTART.EQ.1) KFX(1)=NON(NE,2)*2.-1	00000900
69		IF(KSTART.EQ.1) I=2	00000910
70		DO 10 I=KNE,121,8	00000920
71		KFX(I)=NON(IE,2)*2.-1	00000930
72		J=I-1	00000940
73		10 CONTINUE	00000950
		COMMENT *****	00000960
74		WRITE(6,97) NKFX	00000970
75		97 FORMAT('***NKFX***',I3)	00000980
76		WRITE(6,98)	00000990
77		98 FORMAT('***KFX(I)***')	00001000
78		WRITE(6,99) (I,KFX(I),I=1,NKFX)	00001010
79		99 FORMAT(53X,'KFX(',I3,')=',I3)	00001020
		COMMENT *****	00001030
80		CALL REASST	00001040
		COMMENT	00001050
81		JJ=1	00001060
82		700 CONTINUE	00001070
83		CALL DISP	00001080
84		CALL SIGMA	00001090
85		CALL SIF	00001100
86		IF(PI,GE,200.*1000.) GO TO 600	00001110

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (INPUT)	SEQUENCE
		COMMENT TRIANGULAR ELEMENTS	INP00580
51		CONTINUE	INP00590
52		IN=9	INP00600
53		IE=153	INP00610
54	50	CONTINUE	INP00620
55		NON(IE-1)=IN	INP00630
56		NON(IE-2)=IN+13	INP00640
57		NON(IE-3)=IN+1	INP00650
58		NON(IE-4)=0	INP00660
59		NON(IE+1,1)=IN+1	INP00670
60		NON(IE+1,2)=IN+13	INP00680
61		NON(IE+1,3)=IN+23	INP00690
62		NON(IE+1,4)=0	INP00700
63		NON(IE+2,1)=IN+13	INP00710
64		NON(IE+2,2)=IN+22	INP00720
65		NON(IE+2,3)=IN+23	INP00730
66		NON(IE+2,4)=0	INP00740
67		IF(IE.EQ.174) GO TO 60	INP00750
68		IE=IE+3	INP00760
69		IN=IN+22	INP00770
70		GO TO 50	INP00780
71	60	CONTINUE	INP00790
		COMMENT *****	INP00800
72		NON(KNE+1,1)=NON(KNE+1)	INP00810
73		NON(KNE+1,2)=NN+1	INP00825
74		NON(KNE+1,3)=NN+1	INP00830
75		NON(KNE+1,3)=NON(KNE+4)	INP00840
76		NON(KNE+1,4)=0	INP00850
		COMMENT	INP00860
77		RETURN	INP00870
78		END	

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE PRINT(KEY)	PR100010
		COMMENT	PR100020
		COMMENT KEY=1,....,NN,NE,RZ1,RZ0,NE35,NE4E,TI,TO,ANGLE	PR100030
		COMMENT KEY=2,....,NON(IE-1)	PR100040
		COMMENT KEY=3,....,X(IN),Y(IN),TN(IN)	PR100050
		COMMENT KEY=4,....,XG(IE),YG(IE),AREA(IE),VE(IE),TE(IE)	PR100060
		COMMENT KEY=5,....,SKE(I,J,IE); IE=1,IEE	PR100070
		COMMENT KEY=6,....,AST(I,J)	PR100080
		COMMENT KEY=7,....,SKT(I,J)	PR100090
		COMMENT KEY=8,....,SKT(I,J)	PR100100
		COMMENT KEY=9,....,UX(I),UY(I),UR(I),UT(I)	PR100110
		COMMENT KEY=10,....,IE,SIG(IE),EPS(I,IE)	PR100120
		COMMENT KEY=11,....,STEN(IE),TSTEN	PR100130
		COMMENT KEY=12,....,F(I)	PR100140
		COMMENT KEY=13,....,SIGB(IE)	PR100150
		COMMENT	PR100160
		COMMENT	PR100170
		COMMENT	PR100180
2		COMMON/INPA/NN,NE,RZ1,RZ0,NE35,NE4E,TI,TO,ANGLE	PR100190
3		COMMON/INPB/NON(200),X(200),Y(200),TN(200)	PR100200
4		COMMON/INPC/XG(200),YG(200),AREA(200),VE(200)	PR100210
5		COMMON/INPD/TN(200),TE(200),UE(3,3,200),EZ(200)	PR100220
6		COMMON/VELCA/C(8,8),CI(8,3),A(400,400),N,P(8,8)	PR100230
7		COMMON/VELCB/B(8,8,200),BT(8,8),DB(8,8,200),SKE(8,8,200)	PR100240
8		COMMON/ELSP/F(400),U(400),UX(200),UY(200)	PR100250
9		COMMON/SIGMA/UR(200),UT(200),UE(8,200),EPS(8,200),SIG(8,200)	PR100260
10		COMMON/SIF/STEN(200),TSTEN,SIGB(200)	PR100270
11		COMMON/MAIN/START,CHALE,CRALES,CHALEE,TSTENS,TSTENE	PR100280
12		COMMON/YS/YS(200)	PR100285
		COMMENT	PR100290
13		GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13), KEY	PR100300
14	1	CONTINUE	PR100310
15		WRITE(6,100) NN,NE,RZ1,RZ0,NE35,NE4E,TI,TO,ANGLE	PR100320
16	100	FORMAT(5X,'NN,NE,RZ1,RZ0,NE35,NE4E,TI,TO,ANGLE',/, 15X,13,2X,13,2(2X,G12.4),13,2X,13,3(2X,G12.4))	PR100330
17		RETURN	PR100340
18	2	CONTINUE	PR100350
19		WRITE(6,105)	PR100360
20	105	FORMAT(10I5,5X,'NON(IE-1)')	PR100370
21		DO 110 IE=1,NE	PR100380
22		WRITE(6,115) (IE-1, NON(IE-1), I=1,4)	PR100390
23	115	FORMAT(4(2X,'NON(',13,13,')',13))	PR100400
24	110	CONTINUE	PR100410
25		RETURN	PR100420
		COMMENT	PR100430
26	3	CONTINUE	PR100440
27		WRITE(6,30)	PR100450
28	30	FORMAT('***',X(IN),Y(IN),TN(IN)***')	PR100460
29		DO 31 IN=1,NN	PR100470
30		WRITE(6,32) IN,X(IN),Y(IN),TN(IN)	PR100480
31	32	FORMAT(5X,13,3(5X,G12.4))	PR100490
32	31	CONTINUE	PR100500
33		RETURN	PR100510
		COMMENT	PR100520
34	4	CONTINUE	PR100530
35		WRITE(6,40)	PR100540
36	40	FORMAT('***[E,XG,YG,AREA,VE,TE***')	PR100550

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02-L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 7

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (PRINT)	SEQUENCE
37		DO 41 IE=1,NE	PR100570
38		WRITE(6,42) IE,XG(IE),YG(IE),ANEAC(IE),VE(IE),TE(IE)	PR100580
39	42	FORMAT(5X,13,5(3X,G12.4))	PR100590
40	41	CONTINUE	PR100600
41		RETURN	PR100610
42		COMMENT	PR100620
43	5	CONTINUE	PR100630
44		WRITE(6,50)	PR100640
45	50	FORMAT('***IE,I,SKT(I,J,IE)***')	PR100650
46	NE=2		PR100660
47	DO 51 IE=1,NE		PR100670
48	DO 51 J=1,8		PR100680
49	WRITE(6,52) IE,I,(SKT(I,J,IE)+J*1.8)		PR100690
50	52	FORMAT(5X,13,2X,13,8(2X,G12.4))	PR100700
51		CONTINUE	PR100710
51		RETURN	PR100720
52		COMMENT	PR100730
53	6	CONTINUE	PR100740
54		WRITE(6,60)	PR100750
55	60	FORMAT('***I,J,AST(I,J)***')	PR100760
56	NNE=7		PR100770
57	DO 62 I=1,2*NNE		PR100780
58	WRITE(6,64) I,(A(I,J),J=1,NNE)		PR100790
59	64	FORMAT(5X,13,7(5X,G12.4))	PR100800
59		CONTINUE	PR100810
60		RETURN	PR100820
61		COMMENT	PR100830
62	7	CONTINUE	PR100840
63		WRITE(6,70)	PR100850
64	70	FORMAT('***I,J,SKT(I,J)***')	PR100860
65	NNE=7		PR100870
66	DO 72 I=1,2*NNE		PR100880
67	WRITE(6,74) N,I,(A(I,J),J=1,NNE)		PR100890
68	74	FORMAT(5X,213,7(3X,G12.4))	PR100900
68		CONTINUE	PR100910
69		RETURN	PR100920
70		COMMENT	PR100930
71	8	CONTINUE	PR100940
72		WRITE(6,80)	PR100950
73	80	FORMAT('***I,J,SKT(I,J)***')	PR100960
74	NNE=5		PR100970
75	DO 82 I=1,2*NNE		PR100980
76	WRITE(6,84) I,(A(I,J),J=1,NNE)		PR100990
77	84	FORMAT(5X,13,5(5X,G12.4))	PR101000
78		CONTINUE	PR101010
78		RETURN	PR101020
79		COMMENT	PR101030
80	9	CONTINUE	PR101040
81		WRITE(6,90)	PR101050
82	90	FORMAT('***I,U(I)***')	PR101060
83	WRITE(6,92) (U(I),I=1,N)		PR101070
84	92	FORMAT(5(2X,'U(',I3,')=',G12.4))	PR101080
85		CONTINUE	PR101090
86	93	FORMAT('***IN,UX,UY,UR,UT***')	PR101100
87	DO 94 IN=1,NN		PR101110
88	WRITE(6,95) IN,UX(IN),UY(IN),UR(IN),UT(IN)		PR101120
88	95	FORMAT(5X,13,5X,4(5X,G12.4))	PR101130

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02-L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 8

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (PRINT)	SEQUENCE
89	94	CONTINUE	PR101140
90		RETURN	PR101150
91		COMMENT	PR101160
92	10	CONTINUE	PR101170
93		WRITE(6,210)	PR101180
94	210	FORMAT('***IE,SIG(I,IE),EPS(I,IE)***')	PR101190
95	DO 212 IE=1,NE		PR101200
96	WRITE(6,214) IE,(SIG(I,IE),EPS(I,IE)+I*1.3)		PR101210
97	214	FORMAT(5X,13,6(2X,G12.4))	PR101220
98		CONTINUE	PR101230
99		RETURN	PR101240
99		COMMENT	PR101250
100	11	CONTINUE	PR101260
101		WRITE(6,311)	PR101270
102	311	FORMAT('***IE,STEN(IE)***')	PR101280
103	WRITE(6,315) (IE,STEN(IE),IE=1,NE)		PR101290
104	315	FORMAT(5(2X,'STEN(',I3,')=',G12.4))	PR101300
105		CONTINUE	PR101310
106	317	FORMAT('***STEN***',G12.4)	PR101320
106		RETURN	PR101330
107		COMMENT	PR101340
108	12	CONTINUE	PR101350
109		WRITE(6,320)	PR101360
110	320	FORMAT('***I,F(I)***')	PR101370
111	WRITE(6,325) (I,F(I),I=1,N)		PR101380
112	325	FORMAT(5(2X,'F(',I3,')=',G12.4))	PR101390
112		CONTINUE	PR101400
113		RETURN	PR101410
113		COMMENT	PR101420
114	13	CONTINUE	PR101430
115		WRITE(6,330)	PR101440
116	330	FORMAT('***SIG(I,IE)***')	PR101450
117	WRITE(6,332) (IE,SIG(IE),IE=1,NE)		PR101460
118	332	FORMAT(5(2X,'SIG(',I3,')=',G12.4))	PR101470
118		CONTINUE	PR101480
119		RETURN	PR101490
119		COMMENT	PR101480
119		END	PR101490

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE DMAT	DMA00010
2		COMMON/INPA/NN,NE,NZ1,MZ0,NE35,NEAE,TI,TO,ANGLE	DMA00020
3		COMMON/INPB/NON(200,4),X(200),Y(200),AN(20)	DMA00030
4		COMMON/INPC/XG(200),YG(200),AREA(200),VE(200)	DMA00040
5		COMMON/INPD/TN(200),TE(200),DE(3,3,200),EZ(200)	DMA00050
6		COMMON/ELCA/C(8,8),C1(8,8),A(400,400),N,P(8,8)	DMA00060
7		COMMON/ELCB/B(8,8,200),BT(8,8),DB(8,8,200),SKE(8,8,200)	DMA00070
8		COMMON/YS/YS(200)	DMA00075
		COMMENT	DMA00080
		COMMENT ELASTIC STRESS-STRAIN MATRIX	DMA00090
		COMMENT PLANE STRESS	DMA00100
		COMMENT	DMA00110
9		POIZ=0.30	DMA00120
10		DO 100 I=1,NE	DMA00130
11		YS(I)=((1.0E+02)*TE(I)**2)-0.1253*(1.0E+02)	DMA00135
		1*TE(I)**(4.4E+03))*1000.0	
12		EZ(I)=((10.8E+05)-(6.5817E+02)*TE(I))*1000.0	DMA00140
13		EPOZ=EZ(I)/(1.+POIZ**2)	DMA00150
14		DO 10 I=1,3	DMA00160
15		DO 10 J=1,3	DMA00170
16		DE(I,J)=0.0	DMA00180
17		10 CONTINUE	DMA00190
18		DE(1,1)=E+DE(2,2)=E*1.0	DMA00200
19		DE(1,2)=E+DE(2,1)=E*POIZ	DMA00210
20		DE(3,3)=E*(1.+POIZ)/2.	DMA00220
21		DO 20 J=1,3	DMA00230
22		DO 20 I=1,3	DMA00240
23		DE(I,J)=EPOZ*DE(I,J)+E	DMA00250
24		20 CONTINUE	DMA00260
		COMMENT	DMA00270
25		100 CONTINUE	DMA00280
26		RETURN	DMA00290
27		END	DMA00300

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE CICAL	CIC00010
2		COMMON/NE,NZ1,RZO,NE35,NEAE,TI,TO,ANGLE	CIC00020
3		COMMON/INPB/NON(200,4),X(200),Y(200),AN(20)	CIC00030
4		COMMON/INPC/XG(200),YG(200),AREA(200),VE(200)	CIC00040
5		COMMON/INPD/TN(200),TE(200),DE(3,3,200),EZ(200)	CIC00050
6		COMMON/ELCA/C(8,8),C1(8,8),A(400,400),N,P(8,8)	CIC00060
7		COMMON/ELCB/B(8,8,200),BT(8,8),DB(8,8,200),SKE(8,8,200)	CIC00070
8		COMMON/TE/IE,I1,JJ,KK,LL	CIC00075
		COMMENT	CIC00080
		COMMENT CALCULATION OF CI-MATRIX	CIC00090
		COMMENT	CIC00100
9		DO 10 I=1,8	CIC00110
10		DO 10 J=1,8	CIC00120
11		CI(I,J)=0.0	CIC00130
12		10 CONTINUE	CIC00140
13		IF(IE.LT.NEAE) GO TO 100	CIC00150
14		IF(IE.GE.NE35) GO TO 200	CIC00160
15		100 CONTINUE	CIC00170
16		CI(1,1)=C(2,5)+C(3,1)+C(4,5)+C(5,1)+C(6,5)+C(7,1)+C(8,5)=1.0	CIC00180
17		CI(1,2)=C(2,6)+X(I1)	CIC00190
18		CI(1,3)=C(2,7)+Y(I1)	CIC00200
19		CI(1,4)=C(2,8)+X(I1)*Y(I1)	CIC00210
20		CI(2,2)=C(4,6)+X(JJ)	CIC00220
21		CI(2,3)=C(4,7)+Y(JJ)	CIC00230
22		CI(2,4)=C(4,8)+X(JJ)*Y(JJ)	CIC00240
23		CI(3,2)=C(6,6)+X(KK)	CIC00250
24		CI(3,3)=C(6,7)+Y(KK)	CIC00260
25		CI(3,4)=C(6,8)+X(KK)*Y(KK)	CIC00270
26		CI(7,2)=C(8,6)+X(LL)	CIC00280
27		CI(7,3)=C(8,7)+Y(LL)	CIC00290
28		CI(7,4)=C(8,8)+X(LL)*Y(LL)	CIC00300
29		134*8	CIC00310
30		GO TO 30	CIC00320
31		200 CONTINUE	CIC00330
32		CI(1,1)=C(2,4)+C(3,1)+C(4,4)+C(5,1)+C(6,4)=1.0	CIC00340
33		CI(1,2)=C(2,5)+X(I1)	CIC00350
34		CI(1,3)=C(2,6)+Y(I1)	CIC00360
35		CI(1,4)=C(2,7)+X(I1)	CIC00370
36		CI(2,2)=C(4,5)+X(JJ)	CIC00380
37		CI(2,3)=C(4,6)+Y(JJ)	CIC00390
38		CI(2,4)=C(4,7)+X(KK)	CIC00400
39		CI(3,3)=C(6,6)+Y(KK)	CIC00410
40		30 CONTINUE	CIC00420
		COMMENT	CIC00430
41		DO 40 I=1,134	CIC00440
42		DO 40 J=1,134	CIC00450
43		CI(I,J)=CI(I,J)	CIC00460
44		40 CONTINUE	CIC00470
45		N=134	CIC00480
46		CALL SIM	CIC00490
47		DO 45 I=1,134	CIC00500
48		DO 45 J=1,134	CIC00510
49		CI(I,J)=A(I,J)	CIC00520
50		45 CONTINUE	CIC00530
51		RETURN	CIC00540
52		END	CIC00550

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 11

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE ELCAL	ELC00010
2		COMMON/INPA/NN,NE,RZ1,RZ0,NE35,NE4E,TT,TO,ANGLE	ELC00020
3		COMMON/INPB/NGN(200),X(200),Y(200),AN(20)	ELC00030
4		COMMON/INPC/XG(200),YGE(200),AREA(200),VE(200)	ELC00040
5		COMMON/INPD/TN(200),TE(200),DE(3,3,200),EZ(200)	ELC00050
6		COMMON/ELCA/C(8,8),CI(8,8),A(400,400),N1P(8,8)	ELC00060
7		COMMON/ELCB/B(8,8,200),BT(8,8),DB(8,8,200),SKE(8,8,200)	ELC00070
8		COMMON/IE/IE(1),JJ,KK,LL	ELC00075
		COMMENT CALCULATION OF ELEMENT STIFFNESS MATRIX	ELC00080
		COMMENT	ELC00090
9		DO 100 I=1,NE	ELC00110
10		IF(IE,LE,NE4E) GO TO 200	ELC00120
11		IF(IE,GE,NE35) GO TO 300	ELC00130
		COMMENT SQUARE ELEMENTS	ELC00140
		COMMENT	ELC00150
12		200 CONTINUE	ELC00170
		COMMENT P(I,J)	ELC00180
13		DO 10 J=1,3	ELC00190
14		DO 10 J=1,8	ELC00200
15		P(I,J)=0.0	ELC00210
16		10 CONTINUE	ELC00220
17		P(1,2)=P(2,7)=P(3,3)=P(3,6)=1.0	ELC00230
18		P(1,4)=P(3,8)=YG(IE)	ELC00240
19		P(2,8)=P(3,4)=XG(IE)	ELC00250
		COMMENT	ELC00260
20		II=NON(IE,1)	ELC00270
21		JJ=NON(IE,2)	ELC00280
22		KK=NON(IE,3)	ELC00290
23		LL=NON(IE,4)	ELC00300
24		CALL CICAL	ELC00310
25		I1=I4=I6=I9=3	ELC00320
26		I2=I3=I5=I7=I8=8	ELC00330
27		GO TO 400	ELC00340
28		300 CONTINUE	ELC00350
		COMMENT P(I,J)	ELC00360
29		DO 20 I=1,3	ELC00370
30		DO 20 J=1,8	ELC00380
31		P(I,J)=0.0	ELC00390
32		20 CONTINUE	ELC00400
33		P(1,2)=P(2,6)=P(3,3)=P(3,5)=1.0	ELC00410
		COMMENT	ELC00420
34		II=NON(IE,1)	ELC00430
35		JJ=NON(IE,2)	ELC00440
36		KK=NON(IE,3)	ELC00450
37		CALL CICAL	ELC00460
38		I1=I4=I6=I9=3	ELC00470
39		I7=I8=6	ELC00471
40		I2=I3=I5=6	ELC00480
41		400 CONTINUE	ELC00490
42		DO 30 I=1,11	ELC00500
43		DO 30 J=1,12	ELC00510
44		B(I,J,IE)=0.0	ELC00520
45		DO 35 K=1,13	ELC00530
46		B(I,J,IE)=B(I,J,IE)+P(I,K)*C(K,J)	ELC00540
47		35 CONTINUE	ELC00550

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 12

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (ELCAL)	SEQUENCE
48		BT(I,J)=B(I,J,IE)	ELC00560
49		30 CONTINUE	ELC00570
50		DO 40 I=1,14	ELC00580
51		DO 40 J=1,15	ELC00590
52		DB(I,J,IE)=0.0	ELC00600
53		DO 40 K=1,16	ELC00610
54		DB(I,J,IE)=DB(I,J,IE)+DL(I,K,IE)*B(K,J,IE)	ELC00620
55		40 CONTINUE	ELC00630
56		DO 45 I=1,17	ELC00640
57		DO 45 J=1,18	ELC00650
58		SKE(I,J,IE)=0.0	ELC00660
59		DO 50 K=1,19	ELC00670
60		SKE(I,J,IE)=SKE(I,J,IE)+BT(I,K)*DB(K,J,IE)	ELC00680
61		50 CONTINUE	ELC00690
62		SKE(I,J,IE)=VE(IE)*SKE(I,J,IE)	ELC00700
63		45 CONTINUE	ELC00710
		COMMENT	ELC00720
64		100 CONTINUE	ELC00730
65		RETURN	ELC00740
66		END	ELC00750

LSN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE GEOMET	GE000010
2		COMMON/INPA/NN,NE,HZ),RZO,NE35,NE4E,TI,TO,ANGLE	GE000020
3		COMMON/INPB/NON(200,4),X(200),Y(200),ANE(20)	GE000030
4		COMMON/INPC/XG(200),YG(200),ANEA(200),VE(200)	GE000040
5		COMMON/INPD/TN(200),TE(200),DE(3,3,200),EZ(200)	GE000050
6		COMMON/ELCA/C(8,8),C1(8,8),A(400,400),N,P(8,8)	GE000060
7		COMMON/ELCB/B(8,8,200),BT(8,8),DB(8,8,200),SKE(8,8,200)	GE000070
8		COMMON/MAINS/ASTART,CRALE,CRALES,CMALEE,TSTENS,TSTENE	GE000080
9		COMMON/MAINS/KNE	GE000085
		COMMENT GEOMETRY IN THE MODEL	GE000090
		COMMENT	GE000100
		COMMENT X= AND Y=COORDINATES	GE000110
		COMMENT	GE000120
10		ANN=ANGLE*(3.14/180.0)	GE000130
11		MAN=16	GE000140
12		DAN=ANN/MAN	GE000150
13		AN(1)=0.0	GE000160
14		DO 10 I=2,13	GE000170
15		IF(I.LE.9) AN(I)=AN(I-1)+DAN	GE000180
16		IF(I.GE.10) AN(I)=AN(I-1)+2.*DAN	GE000190
17		10 CONTINUE	GE000200
		COMMENT	GE000220
18		X(1)=RZ1	GE000230
19		X(177)=RZ0	GE000240
20		MX=16	GE000250
21		DX=(RZO-HZ1)/MX	GE000260
22		X(14)=X(1)+DX	GE000270
23		DO 12 IN=36,168,22	GE000280
24	12	X(IN)=X(IN-22)+2.*DX	GE000290
25	DO 13 IN=23,177,22		GE000300
26	13	X(IN)=X(IN-22)+2.*DX	GE000310
		COMMENT	GE000320
27		INN=1	GE000330
28		I=1	GE000340
29	13	CONTINUE	GE000350
30		IN=INN	GE000360
31	20	CONTINUE	GE000370
32		X(IN)=X(INN)*COS(AN(I))	GE000380
33		Y(IN)=X(INN)*SIN(AN(I))	GE000390
34		IF(IN.EQ.INN+12) GO TO 30	GE000400
35		IN=IN+1	GE000410
36		I=I+1	GE000420
37		GO TO 20	GE000430
38	30	CONTINUE	GE000440
39		IF(INN.EQ.177) GO TO 40	GE000450
40		INN=INN+22	GE000460
41		I=1	GE000470
42		GO TO 13	GE000480
43	40	CONTINUE	GE000490
44		INN=14	GE000500
45		I=1	GE000510
46	45	CONTINUE	GE000520
47		IN=INN	GE000530
48	50	CONTINUE	GE000540
49		X(IN)=X(INN)*COS(AN(I))	GE000550
50		Y(IN)=X(INN)*SIN(AN(I))	GE000560
51		IF(IN.EQ.INN+8) GO TO 55	

LSN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (GEOMET)	SEQUENCE
52		IN=IN+1	GE000570
53		I=I+1	GE000580
54		GO TO 50	GE000590
55	55	CONTINUE	GE000600
56		IF(INN.EQ.168) GO TO 60	GE000610
57		INN=INN+22	GE000620
58		I=1	GE000630
59		GO TO 45	GE000640
60	40	CONTINUE	GE000650
		COMMENT	GE000660
61		X(NON(NE,2))=X(NON(NE,1))+DX/5.0	GE000662
62		Y(NON(NE,2))=0.0	GE000664
		COMMENT	GE000690
		COMMENT TN(IN)	GE000700
		COMMENT	GE000710
63		TN(1)=T1	GE000720
64		TN(177)=T0	GE000730
65		DT=(T1-T0)/16.0	GE000740
66		TN(14)=T1+DT	GE000750
67		DO 65 I=1,13	GE000760
68	65	TN(I)=TN(I)	GE000770
69	DO 66 I=14,22		GE000780
70	66	TN(I)=TN(14)	GE000790
71	DO 67 I=177,189		GE000800
72	67	TN(I)=TN(177)	GE000810
73	DO 75 IN=23,177,22		GE000820
74	TN(IN)=TN(IN-22)+2.*DT		GE000830
75	DO 71 I=IN,IN+12		GE000840
76	71	TN(I)=TN(IN)	GE000850
77	75	CONTINUE	GE000860
78	DO 76 IN=36,168,22		GE000870
79	TN(IN)=TN(IN-22)+2.*DT		GE000880
80	DO 72 I=IN,IN+8		GE000890
81	72	TN(I)=TN(IN)	GE000900
82	76	CONTINUE	GE000910
		COMMENT	GE000914
83		TN(NON(KNE,1))=TN(NON(KNE,2))	GE000920
		COMMENT	GE000930
		COMMENT XG ,YG,AREA,VE AND TE	GE000940
		COMMENT	GE000950
84		DO 87 IE=1,NE	GE000960
85		IF(IE.LE.NE4E) GO TO 70	GE000970
86		IF(IE.GE.NE35) GO TO 80	GE000980
87	70	CONTINUE	GE000990
88		I=NON(IE,1)	GE001000
89		JJ=NON(IE,2)	GE001010
90		KK=NON(IE,3)	GE001020
91		LL=NON(IE,4)	GE001030
92		SG(IE)=(1./4.)*(X(I)+X(JJ)+X(KK)+X(LL))	GE001040
93		YG(IE)=(1./4.)*(Y(I)+Y(JJ)+Y(KK)+Y(LL))	GE001050
94		AREA1=0.5*(X(JJ)*Y(KK)-X(I)*Y(JJ)+X(KK)*Y(I))	GE001060
95		1-X(JJ)*Y(I)+X(I)*Y(KK)-X(KK)*Y(JJ)	GE001070
96		AREA2=0.5*(X(KK)*Y(LL)-X(I)*Y(KK)+X(LL)*Y(I))	GE001080
97		1-X(KK)*Y(I)+X(I)*Y(LL)-X(LL)*Y(KK)	GE001090
98		AREA(IE)=AREA1+AREA2	GE001100
		VE(IE)=ANEA(IE)+1.0	GE001110
		TE(IE)=(1./4.)*(TN(I)+TN(JJ)+TN(KK)+TN(LL))	GE001120

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02+L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 15

ISN	ST=NO	SOURCE PROGRAM (GEOMET)	SEQUENCE
99		GO TO 87	GE001120
100	80	CONTINUE	GE001130
101		II=NON(IE+1)	GE001140
102		JJ=NON(IE+2)	GE001150
103		KK=NON(IE+3)	GE001160
104		XG(IE)=(1./3.)*(X(II)+X(JJ)+X(KK))	GE001170
105		YG(IE)=(1./3.)*(Y(II)+Y(JJ)+Y(KK))	GE001180
106		AREA(IE)=0.5*(X(JJ)*Y(KK)-X(II)*Y(JJ)+X(KK)*Y(II))	GE001190
107		1-X(JJ)*Y(II)-X(II)*Y(KK)-X(KK)*Y(JJ)	GE001200
107		VE(IE)=AREA(IE)+1.0	GE001210
108		TE(IE)=(1./3.)*(TN(II)+TN(JJ)+TN(KK))	GE001220
109		87 CONTINUE	GE001230
110		RETURN	GE001240
111		END	GE001250

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02+L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 16

ISN	ST=NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE SIM	SIM00010
2		COMMON/INP/NN,NE,NZ1,HZ0,NE35,NE4E,TI,TO,ANGLE	SIM00020
3		COMMON/INPB/NDN(200,4),X(200),Y(200),AN(20)	SIM00030
4		COMMON/INPC/XG(200),YG(200),AREA(200),VE(200)	SIM00040
5		COMMON/INPD/TN(200),TE(200),DE(3,3,200),E2(200)	SIM00050
6		COMMON/ELCA/CI(8,8),C(8,8),A(400,400),N,PE(8,8)	SIM00060
7		COMMON/ELCB/BE(8,8,200),BT(8,8),DB(8,8,200),SKE(8,8,200)	SIM00070
8		DIMENSION INDEX(400)	SIM00080
9		DO 102 K=1,N	SIM00090
10	102	INDEX(K)=K	SIM00100
11		DO 103 K=1,N	SIM00110
12		W=0	SIM00120
13		DO 104 I=K,N	SIM00130
14		IF(ABS(A(I,I)),LE,M) GO TO 104	SIM00140
15		W=ABS(A(I,I))	SIM00150
16		IR=I	SIM00160
17	104	CONTINUE	SIM00170
18		IF(IR.EB,1) GO TO 106	SIM00180
19		DO 107 J=1,N	SIM00190
20		W=A(K,J)	SIM00200
21		A(K,J)=A(IR,J)	SIM00210
22	107	A(IR,J)=W	SIM00220
23		W=INDEX(K)	SIM00230
24		INDEX(K)=INDEX(IR)	SIM00240
25		INDEX(IR)=W	SIM00250
26	106	W=A(K,I)	SIM00260
27		DO 108 J=1,N	SIM00270
28	108	A(K,J)=A(K,J+1)/W	SIM00280
29		A(K,N)=1.0/W	SIM00290
30		DO 109 I=1,N	SIM00300
31		IF(I.EB,K) GO TO 109	SIM00310
32		W=A(I,I)	SIM00320
33		DO 110 J=1,N	SIM00330
34	110	A(I,J)=A(I,J+1)/W	SIM00340
35		A(I,N)=W	SIM00350
36	109	CONTINUE	SIM00360
37	103	CONTINUE	SIM00370
38		DO 111 K=1,N	SIM00380
39		IF(K.EB,INDEX(K)) GO TO 111	SIM00390
40		DO 112 I=K+1,N	SIM00400
41		IF(K.NE,INDEX(I)) GO TO 112	SIM00410
42		IR=I	SIM00420
43		GO TO 114	SIM00430
44	112	CONTINUE	SIM00440
45	114	DO 115 J=1,N	SIM00450
46		W=A(I,J)	SIM00460
47		A(J,K)=A(J,IR)	SIM00470
48	115	A(J,IR)=W	SIM00480
49		INDEX(IR)=INDEX(K)	SIM00490
50		INDEX(K)=K	SIM00500
51	111	CONTINUE	SIM00510
52		RETURN	SIM00520
53		END	SIM00530

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 17

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE ASST	AST00010
2		COMMON/INPA/NN,NE,RZ1,RZ0,NE35,NE4E,T1,TO,ANGLE	AST00020
3		COMMON/INPB/NON(200,4),X(200),Y(200),AN(20)	AST00030
4		COMMON/ELCA/C(8,8),C1(8,8),A(400,400),N,P(8,8)	AST00040
5		COMMON/ELCB/B(8,8,200),BT(8,8),DB(8,8,200),SKE(8,8,200)	AST00050
		COMMENT	AST00060
6		DO 5 I=1,2*NN	AST00070
7		DO 5 J=1,2*NN	AST00080
8		A(I,J)=0.0	AST00090
9		DO 100 I=1,NE	AST00100
10		IF(I.E.LE.NE4E) N34=4	AST00110
11		IF(I.E.GE.NE35) N34=3	AST00120
12		DO 10 I=1,N34	AST00130
13		DO 10 J=1,N34	AST00140
14		KI=NON(IE-IJ-1)*2	AST00150
15		KJ=NON(IE-IJ-1)*2	AST00160
16		IS=(I-1)*2	AST00170
17		JS=(J-1)*2	AST00180
18		DO 20 K=1,2	AST00190
19		DO 20 L=1,2	AST00200
20		K(K)=K	AST00210
21		K(JL)=K	AST00220
22		ISK=IS+K	AST00230
23		JSL=JS+L	AST00240
24		A(K,I,K,JL)=A(K,I,K,JL)+SKE(ISK,JSL,IE)	AST00250
25		20 CONTINUE	AST00260
26		10 CONTINUE	AST00270
		COMMENT	AST00280
27		100 CONTINUE	AST00290
28		RETURN	AST00300
29		END	AST00310

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 18

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE LOGAX	LOC00010
2		DIMENSION CS(2,2),C51(2,2),AT(2,2),ASC(2,2)	LOC00020
3		COMMON/INPA/NN,NE,RZ1,RZ0,NE35,NE4E,T1,TO,ANGLE	LOC00030
4		COMMON/INPB/NON(200,4),X(200),Y(200),AN(20)	LOC00040
5		COMMON/ELCA/C(8,8),C1(8,8),A(400,400),N,P(8,8)	LOC00050
6		COMMON/MA/N,KFS(30),KFX(30),NKFS,NKFX	LOC00060
7		PH=AN(13)	LOC00070
8		CS(1,1)=CS(2,2)+C51(2,2)+AT(2,2)+ASC(2,2)	LOC00080
9		CS(1,2)=CS(2,1)+SIN(PH)	LOC00090
10		CS(2,1)=CS(1,2)+SIN(PH)	LOC00100
11		II=1	LOC00110
12		1000 CONTINUE	LOC00120
13		NNK=KFS(111)	LOC00130
14		DO 100 I=1,2*NN-1,2	LOC00140
15		DO 100 J=1,2*NN-1,2	LOC00150
16		AT(1,1)=A(I,J)	LOC00160
17		AT(1,2)=A(I,1+J)	LOC00170
18		AT(2,1)=A(1+I,J)	LOC00180
19		AT(2,2)=A(1+I,1+J)	LOC00190
20		IF(I.EB,NNK) GO TO 300	LOC00200
21		IF(J.NE,NNK) GO TO 100	LOC00210
22		DO 20 M=1,2	LOC00220
23		DO 20 N=1,2	LOC00230
24		AS(M,N)=0.0	LOC00240
25		DO 20 K=1,2	LOC00250
26		AS(M,N)=AS(M,N)+AT(M,K)*CS(K,N)	LOC00260
27		20 CONTINUE	LOC00270
28		GO TO 500	LOC00280
29		300 CONTINUE	LOC00290
30		DO 30 M=1,2	LOC00300
31		DO 30 N=1,2	LOC00310
32		AS(M,N)=0.0	LOC00320
33		DO 30 K=1,2	LOC00330
34		AS(M,N)=AS(M,N)+CS1(M,K)*AT(K,N)	LOC00340
35		30 CONTINUE	LOC00350
36		IF(I.NE,J) GO TO 500	LOC00360
37		DO 42 M=1,2	LOC00370
38		DO 42 N=1,2	LOC00380
39		AT(M,N)=AS(M,N)	LOC00390
40		42 CONTINUE	LOC00400
41		DO 40 M=1,2	LOC00410
42		DO 40 N=1,2	LOC00420
43		AS(M,N)=0.0	LOC00430
44		DO 40 K=1,2	LOC00440
45		AS(M,N)=AS(M,N)+AT(M,K)*CS(K,N)	LOC00450
46		40 CONTINUE	LOC00460
47		40 CONTINUE	LOC00470
48		500 CONTINUE	LOC00480
49		DO 50 M=1,2	LOC00490
50		DO 50 N=1,2	LOC00500
51		AT(M,N)=AS(M,N)	LOC00510
52		50 CONTINUE	LOC00520
53		A(I,J)=AT(1,1)	LOC00530
54		A(I,J+1)=AT(1,2)	LOC00540
55		A(1+I,J)=AT(2,1)	LOC00550
56		A(1+I,1+J)=AT(2,2)	LOC00560
57		100 CONTINUE	LOC00570

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 19

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (LOCAX)	SEQUENCE
38		IF(I11,EQ,NKFS) GO TO 2000	LOC00580
39		I11=I11+1	LOC00590
40		GO TO 1000	LOC00600
41	2000	CONTINUE	LOC00610
42		RETURN	LOC00620
43		END	LOC00630

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 20

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE REASST	HEA00010
2		DIMENSION INDEX(*00)	HEA00020
3		COMMON/INPA/NN,NE,NZ1,RZD,NE3S,NE4E,TI,TO,ANGLE	HEA00030
4		COMMON/ELCA/C(8,8),C(8,8),A(400+400),N,P(8,8)	HEA00040
5		COMMON/MAIN/KFS(30),KFX(30),NKFS,NKFX	HEA00050
		COMMENT	HEA00060
6	10	DO 10 IN=1,2*NN	HEA00070
7		INDEX(IN)=1	HEA00080
8		I1=1	HEA00090
9	13	CONTINUE	HEA00100
10	15	DO 15 IN=1,2*NN	HEA00110
11		IF(IN,EB,KFS(I1)+1) INDEX(IN)=0	HEA00120
12	15	CONTINUE	HEA00130
13		IF(I11,EQ,NKFS) GO TO 20	HEA00140
14		I11=I11+1	HEA00150
15		GO TO 13	HEA00160
16	20	CONTINUE	HEA00170
17		I11=1	HEA00180
18	23	CONTINUE	HEA00190
19	25	DO 25 IN=1,2*NN	HEA00200
20		IF(IN,EG,KFX(I1)+1) INDEX(IN)=0	HEA00210
21	25	CONTINUE	HEA00220
22		IF(I11,EG,NKFX) GO TO 30	HEA00230
23		I11=I11+1	HEA00240
24		GO TO 23	HEA00250
25	30	CONTINUE	HEA00260
		COMMENT	HEA00270
26		M=1	HEA00280
27	100	DO 100 I=1,2*NN	HEA00290
28		IF(INDEX(I),EQ,0) GO TO 160	HEA00300
29		N=1	HEA00310
30	200	DO 200 J=1,2*NN	HEA00320
31		IF(INDEX(J),EQ,0) GO TO 200	HEA00330
		COMMENT	HEA00340
32		A(M,N)=A(I,J)	HEA00350
33		N=N+1	HEA00360
34	200	CONTINUE	HEA00370
35		M=M+1	HEA00380
36	100	CONTINUE	HEA00390
37		M=M-1	HEA00400
38		N=N-1	HEA00410
39		WRITE(6,150) M,N,I11	HEA00415
40	150	FORMAT('***M,N,I11***',7,5X,3(13,2X))	HEA00416
41		CALL SIM	HEA00430
		COMMENT A=SKT1	HEA00440
42		RETURN	HEA00460
43		END	HEA00470

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE DISP	D1500010
2		COMMON/INB/NN(200),X(200),Y(200),AN(20)	D1500020
3		COMMON/INP/NN,NE,NZ1,RZO,NE35,NEAE,T1,TD,ANGLE	D1500030
4		COMMON/ELCA/C(8,8),C1(8,8),A(400,400),N,P(8,8)	D1500040
5		COMMON/DISP/F(400),U(400),UX(200),UY(200)	D1500050
6		COMMON/SIGMA/UR(200),UT(200),UE(8,200),EPS(8,200),SIG(8,200)	D1500060
7		COMMON/MAIN2/ICRACK,IPIDIS,ELPLA	D1500070
8		DIMENSION F(50)	D1500080
9		COMMON/DISP2/PI,PO	D1500085
10		COMMENT DAN=AN(13)/16.	D1500090
11		COMMENT	D1500120
12		PIHD=PI*RZ1/DAN	D1500130
13		PORD=PO*RZO/DAN	D1500140
14		COMMENT	D1500150
15		DO 3 I=1,N	D1500160
16		F(I)=0.0	D1500170
17		3 CONTINUE	D1500180
18		COMMENT IF(PIHDIS.EQ.1) GO TO 12	D1500190
19		COMMENT	D1500200
20		F(1)=PIHD*0.5	D1500210
21		F(24)=PIHD	D1500220
22		I=2	D1500230
23		DO 10 K=2,22,2	D1500240
24		IF(K.LE.14) F(K)=PIHD*COS(AN(I))	D1500250
25		IF(K.LE.14) F(K+1)=PIHD*SIN(AN(I))	D1500260
26		IF(K.EQ.16) F(K)=PIHD*COS(AN(I))*1.5	D1500270
27		IF(K.EQ.16) F(K+1)=PIHD*SIN(AN(I))*1.5	D1500280
28		IF(K.GE.18) F(K)=PIHD*COS(AN(I))*2.0	D1500290
29		IF(K.GE.18) F(K+1)=PIHD*SIN(AN(I))*2.0	D1500300
30		I=I+1	D1500310
31		10 CONTINUE	D1500320
32		GO TO 13	D1500330
33		COMMENT	D1500340
34		12 CONTINUE	D1500350
35		COMMENT IN THE CASE OF EXISTENCE OF PI DISTRIBUTION	D1500360
36		DPI=PIHD*0.07	D1500370
37		F(1)=PIHD*0.5	D1500380
38		F(2)=(PIHD-0.5*DP1)*COS(AN(2))	D1500390
39		F(3)=(PIHD-0.5*DP1)*SIN(AN(2))	D1500400
40		F(4)=(PIHD-1.5*DP1)*COS(AN(3))	D1500410
41		F(5)=(PIHD-1.5*DP1)*SIN(AN(3))	D1500420
42		F(6)=(PIHD-2.5*DP1)*COS(AN(4))	D1500430
43		F(7)=(PIHD-2.5*DP1)*SIN(AN(4))	D1500440
44		F(8)=(PIHD-3.5*DP1)*COS(AN(5))	D1500450
45		F(9)=(PIHD-3.5*DP1)*SIN(AN(5))	D1500460
46		F(10)=(PIHD-4.5*DP1)*COS(AN(6))	D1500470
47		F(11)=(PIHD-4.5*DP1)*SIN(AN(6))	D1500480
48		F(12)=(PIHD-5.5*DP1)*COS(AN(7))	D1500490
49		F(13)=(PIHD-5.5*DP1)*SIN(AN(7))	D1500500
50		F(14)=(PIHD-6.5*DP1)*COS(AN(8))	D1500510
51		F(15)=(PIHD-6.5*DP1)*SIN(AN(8))	D1500520
52		F(16)=(PIHD-7.5*DP1)*COS(AN(9))	D1500530
53		F(17)=(PIHD-7.5*DP1)*SIN(AN(9))	D1500540
54		F(18)=(PIHD-10.0*DP1)*COS(AN(16))	D1500550

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (DISP)	SEQUENCE
51		F(19)=(PIHD-10.0*DP1)*SIN(AN(10))	D1500550
52		F(20)=(PIHD-12.0*DP1)*COS(AN(11))	D1500560
53		F(21)=(PIHD-12.0*DP1)*SIN(AN(11))	D1500570
54		F(22)=(PIHD-14.0*DP1)*COS(AN(12))	D1500580
55		F(23)=(PIHD-14.0*DP1)*SIN(AN(12))	D1500590
56		F(24)=PIHD-7.5*DP1	D1500600
57		13 CONTINUE	D1500610
58		COMMENT	D1500620
59		IF(ICRACK.EQ.0) GO TO 55	D1500630
60		COMMENT	D1500640
61		FF(1)=F(1)	D1500650
62		FF(2)=0.0	D1500660
63		FF(25)=F(24)	D1500670
64		DO 42 K=2,23	D1500680
65		42 FF(K-1)=F(K)	D1500690
66		DO 44 K=1,25	D1500700
67		44 F(K)=FF(K)	D1500710
68		COMMENT	D1500720
69		55 CONTINUE	D1500730
70		COMMENT	D1500731
71		COMMENT	D1500732
72		F(N=24)=PORD*0.5	D1500733
73		F(N=1)=PORD	D1500740
74		I=2	D1500750
75		DO 15 K=N-23,N-3,2	D1500760
76		IF(K.LE.N-11) F(K)=PORD*COS(AN(I))	D1500770
77		IF(K.LE.N-11) F(K+1)=PORD*SIN(AN(I))	D1500780
78		IF(K.EQ.N-9) F(K)=PORD*COS(AN(I))*1.5	D1500790
79		IF(K.EQ.N-9) F(K+1)=PORD*SIN(AN(I))*1.5	D1500800
80		IF(K.GE.N-7) F(K)=PORD*COS(AN(I))*2.0	D1500810
81		IF(K.GE.N-7) F(K+1)=PORD*SIN(AN(I))*2.0	D1500820
82		I=I+1	D1500830
83		15 CONTINUE	D1500840
84		COMMENT	D1500850
85		COMMENT	D1500860
86		DO 20 I=1,N	D1500870
87		U(I)=0.0	D1500880
88		DO 20 J=1,N	D1500890
89		U(I)=U(I)+A(I,J)*F(J)	D1500900
90		20 CONTINUE	D1500910
91		COMMENT	D1500920
92		CALL DISK	D1500930
93		COMMENT	D1500940
94		DO 50 IN=1,NN	D1500950
95		TANAN=ATAN(Y(IN)/X(IN))	D1500960
96		UX(IN)=UX(IN)*COS(TANAN)+UY(IN)*SIN(TANAN)	D1500970
97		UY(IN)=UY(IN)*COS(TANAN)-UX(IN)*SIN(TANAN)	D1500980
98		50 CONTINUE	D1500990
99		RETURN	D1501000
100		END	D1501050

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 23

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE DISRE	DSR00010
2		COMMON/INPA/NN,NE,MZ1,MZ0,NE35,NE4E,T1,TO,ANGLE	DSR00020
3		COMMON/DISP/F(400),U(400),UX(20),UY(20)	DSR00030
4		COMMON/INPB/NON(200,4),X(200),Y(200),AN(20)	DSR00040
5		COMMON/MAIN/KFS(30),KFX(30),NKFS,NKFX	DSR00045
6		DO 10 I=1,2*NN	DSR00050
7		UX(I)=0.0	DSR00060
8		UY(I)=0.0	DSR00070
9	10	CONTINUE	DSR00080
10		I=I+1	DSR00090
11		DO 20 K=1,2*NN	DSR00100
12		J=1	DSR00110
13	22	CONTINUE	DSR00111
14		IF(K,EW,KFS(J)) GO TO 40	DSR00112
15		IF(K,EW,KFS(J)+1) GO TO 20	DSR00113
16		IF(J,EW,NKFS) GO TO 23	DSR00114
17		J=J+1	DSR00115
18		GO TO 22	DSR00116
19	23	CONTINUE	DSR00117
20		IF(MOD(K-2),EW,1) IN=(K+1)/2	DSR00130
21		IF(MOD(K-2),EW,1) UX(IN)=U(I)	DSR00140
22		IF(MOD(K-2),EW,0) IN=K/2	DSR00150
23		IF(MOD(K-2),EW,0) UY(IN)=U(I)	DSR00160
24		J=1	DSR00170
25	25	CONTINUE	DSR00171
26		IF(K,EW,KFX(J)+1) GO TO 30	DSR00172
27		IF(J,EW,NKFX) GO TO 26	DSR00173
28		J=J+1	DSR00174
29		GO TO 25	DSR00175
30	26	CONTINUE	DSR00176
31	19	CONTINUE	DSR00190
32		I=I+1	DSR00200
33		GO TO 20	DSR00210
34	30	CONTINUE	DSR00220
35		UY(IN)=0.0	DSR00230
36		GO TO 20	DSR00240
37	40	CONTINUE	DSR00250
38		IN=(K+1)/2	DSR00260
39		UX(IN)=U(I)*COS(AN(13))	DSR00270
40		UY(IN)=U(I)*SIN(AN(13))	DSR00280
41		I=I+1	DSR00290
42	20	CONTINUE	DSR00300
43		RETURN	DSR00310
44		END	DSR00320

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02,L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 24

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
		COMMENT	S1G00010
1		SUBROUTINE SIGMA	S1G00020
2		COMMON/SIGMA/ UR(200),UT(200),UE(8,200),EPS(8,200),SIG(8,200)	S1G00030
3		COMMON/INPA/NN,NE,MZ1,MZ0,NE35,NE4E,T1,TO,ANGLE	S1G00040
4		COMMON/INPB/NON(200,4),X(200),Y(200),AN(20)	S1G00050
5		COMMON/ELCB/B(8,8,200),BT(8,8),DB(8,8,200),SKE(8,8,200)	S1G00060
6		COMMON/DISP/F(400),U(400),UX(200),UY(200)	S1G00070
7		COMMON/SIF/STEN(200),TSTEN,SIGB(200)	S1G00080
8		COMMON/YS/Y5(200)	S1G00085
		COMMENT	S1G00090
9		DO 10 IE=1,NE	S1G00100
10		I1=NON(IE,1)	S1G00110
11		J1=NON(IE,2)	S1G00120
12		KK=NON(IE,3)	S1G00130
13		IF(IE,LE,NE4E) LL=NON(IE,4)	S1G00140
		COMMENT	S1G00150
14		UE(1,IE)=UX(I1)	S1G00160
15		UE(2,IE)=UY(I1)	S1G00170
16		UE(3,IE)=UX(J1)	S1G00180
17		UE(4,IE)=UY(J1)	S1G00190
18		UE(5,IE)=UX(KK)	S1G00200
19		UE(6,IE)=UY(KK)	S1G00210
20		IF(IE,LE,NE4E) UE(7,IE)=UX(LL)	S1G00220
21		IF(IE,LE,NE4E) UE(8,IE)=UY(LL)	S1G00230
22	10	CONTINUE	S1G00240
		COMMENT	S1G00250
		COMMENT	S1G00260
23		DO 25 I1=1,NE	S1G00270
24		IF(IE,LE,NE4E) N68=8	S1G00280
25		IF(IE,GE,NE35) N68=6	S1G00290
26		DO 20 I=1,3	S1G00300
27		EPS(I,IE)=0.0	S1G00310
28		SIG(I,IE)=0.0	S1G00320
29		DO 20 K=1,N68	S1G00330
30		EPS(I,IE)+EPS(I,IE)+B(I,K,IE)*UE(K,IE)	S1G00340
31		SIG(I,IE)+SIG(I,IE)+DB(I,K,IE)*UE(K,IE)	S1G00350
32	20	CONTINUE	S1G00355
33		SGX=SIG(1,IE)	S1G00360
34		SGY=SIG(2,IE)	S1G00370
35		SGX=SIG(3,IE)	S1G00380
36		SIGB(IE)=ABS(0.5*(ABS(SGY)**2.)+(ABS(SGX-SGY) 1**2.)*(ABS(SGX)**2.)*6.*ABS(SGX)**2.))**0.5	S1G00390
37	25	CONTINUE	S1G00400
38		RETURN	S1G00420
39		END	S1G00430

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2) SOURCE PROGRAM LIST -770315-(V02-L09) DATE 78.03.06/15:54 PAGE 25

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE SIF	SIF00010
2		COMMON/SIF/STEN(200),TSTEN,SIGB(200)	SIF00020
3		COMMON/INPA/NN,NE,RZ1,RZ0,NE3S,NE4E,TI,TO,ANGLE	SIF00030
4		COMMON/SIGMA/UR(200),UT(200),UE(8,200),EPS(8,200),SIG(8,200)	SIF00040
5		COMMON/INPC/XG(200),YG(200),AREA(200),VE(200)	SIF00050
	COMMENT		SIF00060
6		TSTEN=0.0	SIF00070
7		DO 10 I=1,NE	SIF00080
8		STEN(I)=0.0	SIF00085
9		DO 15 I=1,3	SIF00090
10		STEN(I)=STEN(I)+0.5*SIG(I,IE)*EPS(I,IE)	SIF00100
11	15	CONTINUE	SIF00120
12		STEN(IE)=VE(IE)+STEN(IE)	SIF00125
13		TSTEN=TSTEN+STEN(IE)	SIF00130
14	10	CONTINUE	SIF00170
15		RETURN	SIF00180
16		END	SIF00190