

JAERI - M
82-139

ヘリカルコイル形熱交換器の支持プレートと
伝熱管の熱膨張差に起因する伝熱管応力の解析

1982年10月

谷田部広志・鈴木 一彦

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1982

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 いばらき印刷(株)

ヘリカルコイル形熱交換器の支持プレートと伝熱管
の熱膨張差に起因する伝熱管応力の解析

日本原子力研究所 動力炉開発・安全性研究管理部
谷田部広志・鈴木 一彦

(1982年9月14日受理)

ヘリカルコイル形熱交換器の伝熱管熱応力計算プログラム 'BEARHUG' は、伝熱管をリング形状として、また支持プレートをリング半径方向のビーム要素として模擬し、伝熱管と支持プレートの熱膨張差によって伝熱管に生じる曲げ応力を各伝熱管段ごとに計算するものである。このコードはGA社が1967年より開発を進めている 'CSTRES' コードを改良したものである。

本コードを用いて、多目的高温ガス実験炉の熱交換器伝熱管の応力解析並びに、パラメーターサーベイを行なった。

その結果、A、B両ループ中間熱交換器については許容値を満足し、Bループ運転段階3用蒸気発生器については許容値を満足しないことが判明した。また、応力低減の意味から最適なサポート構造を見い出した。

The Stress Analysis Caused by the Thermal Interaction between
Helical Tubes and Their Support Plates of Helical Coil Type
Heat Exchanger

Hiroshi YATABE and Kazuhiko SUZUKI

Division of Power Reactor Projects, JAERI

(Received September 14, 1982)

The 'BEARHUG' code is a computer program for calculating the thermal stresses in tubes caused by the thermal expansion differences between tubes and their support plates.

This code is an improved version by authors, based on 'CSTRES' which has been developed in GA company since 1967.

In this program, the helical tubes are modeled as a series of complete rings and the support plates as beams. The direct stiffness method is used to solve the global stiffness matrix. The stress-strain relationship is assumed to be linearly elastic.

This code is used for the stress analyses of heat transfer tubes in heat exchangers of the experimental very high-temperature gas-cooled reactor (VHTR). The parameter survey was carried out and an optimum support system was found.

Keyword: Thermal Stress, Helical Tube, Tube-tube Support Interaction, Thermal Expansion Differences, Heat Exchanger, Stress Analysis, Very High-temperature Gas-cooled Reactor(VHTR), Linear Elasticity, Stiffness Matrix, BERHUG Code

目 次

1. 緒 言	1
2. 解析方法	3
2.1 伝熱管群—支持プレート系の変形状態	3
2.2 解析基本方針	3
2.3 伝熱管の剛性	4
2.4 支持プレートの剛性	5
2.5 伝熱管の熱応力	7
2.6 クリアランスの考慮	8
3. 計算プログラム	13
3.1 プログラムの仕様	13
3.2 インプットデータ	13
4. 解析および検討	20
4.1 各熱交換器の伝熱管支持構造	20
4.2 解析モデルおよび境界条件	20
4.3 各熱交換器に対する解析結果	21
4.4 パラメーターサーベイ	22
5. 結 論	43
謝 辞	43
参考文献	44
Appendix- 1 Input Data Format of BEARHUG	45
Appendix- 2 Fortran List of BEARHUG	52
Appendix- 3 Sample Input Data and Output	86

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Analytical method	3
2.1 Deformation of tube bundle-plate system	3
2.2 Basic philosophy of analysis	3
2.3 Tube stiffness	4
2.4 Plate stiffness	5
2.5 Thermal stress of tubes	7
2.6 Tube-plate clearance	8
3. Program operation	13
3.1 Specification of program	13
3.2 Input data	13
4. Analysis and results	20
4.1 Tube-support arrangement for each heat exchanger	20
4.2 Analytical model and boundary condition	20
4.3 Analytical results for each heat exchanger	21
4.4 Parameter survey	22
5. Conclusion	43
Acknowledgement	43
References	44
Appendix-1 Input Data Format of BEARHUG	45
Appendix-2 Fortran List of BEARHUG	52
Appendix-3 Sample Input Data and Output	86

1. 緒 言

高温で使用される大型のヘリカルコイル形熱交換器の設計が、高温ガス炉等で行なわれているが、機器の大型化、運転温度の高温化に伴なって構造上の様々な問題が生じることが予想される。その問題の1つとして、伝熱管群とその支持プレートの熱膨張差に起因して発生する伝熱管曲げ応力があげられる。

Fig. 1.1 に多目的高温ガス実験炉の中間熱交換器の上部構造図を示す。伝熱管群は、同一径の層 (column) 毎に8ヶ所で、1つの垂直な支持片によって支持されている。支持片はコイルの半径方向に連続的に接続されており、1つの大きな支持プレートを構成している。また、支持片はコイル半径方向の動きを自由にするため上端をカーテンレール方式で吊り下げている。このような伝熱管支持方式、吊り下げ構造は、LMFBR 'もんじゅ' の蒸気発生器を初めとして、数多く採用されている。

VHTR 中間熱交換器において、支持プレートは伝熱管の外側を流れる高温の1次ヘリウムに接している一方、伝熱管内には、より低温の2次ヘリウムが流れている。そのため支持プレートの温度は伝熱管温度より高くなっており、支持プレートと伝熱管群にコイル半径方向の熱膨張差を生じ、伝熱管に曲げ応力が発生する。

BEARHUG コードは、このような熱膨張差によって伝熱管に生じる曲げ応力を計算するコードである。このコードにおいては伝熱管1ピッチを完全なリングに、また、支持プレートをはり要素として模擬しそれぞれの温度分布を与えることにより伝熱管の熱曲げ応力を求めている。ここで計算上、次に示すようなことを仮定している。

- (1) 伝熱管の変形は小さく弾性変形である。
- (2) ヘリカルコイルの上昇角は小さく伝熱管の1ピッチ分を完全な1つの円として模擬する。
- (3) 伝熱管外径はコイル径より小さく、線状円環として扱える。(thin ring theory)
- (4) 伝熱管群を軸対称2次元体系とする。
- (5) 支持プレートのコイル半径方向の伸びは、伝熱管以外によっては拘束されない。即ち、支持プレートの内端、外端いずれも自由である。

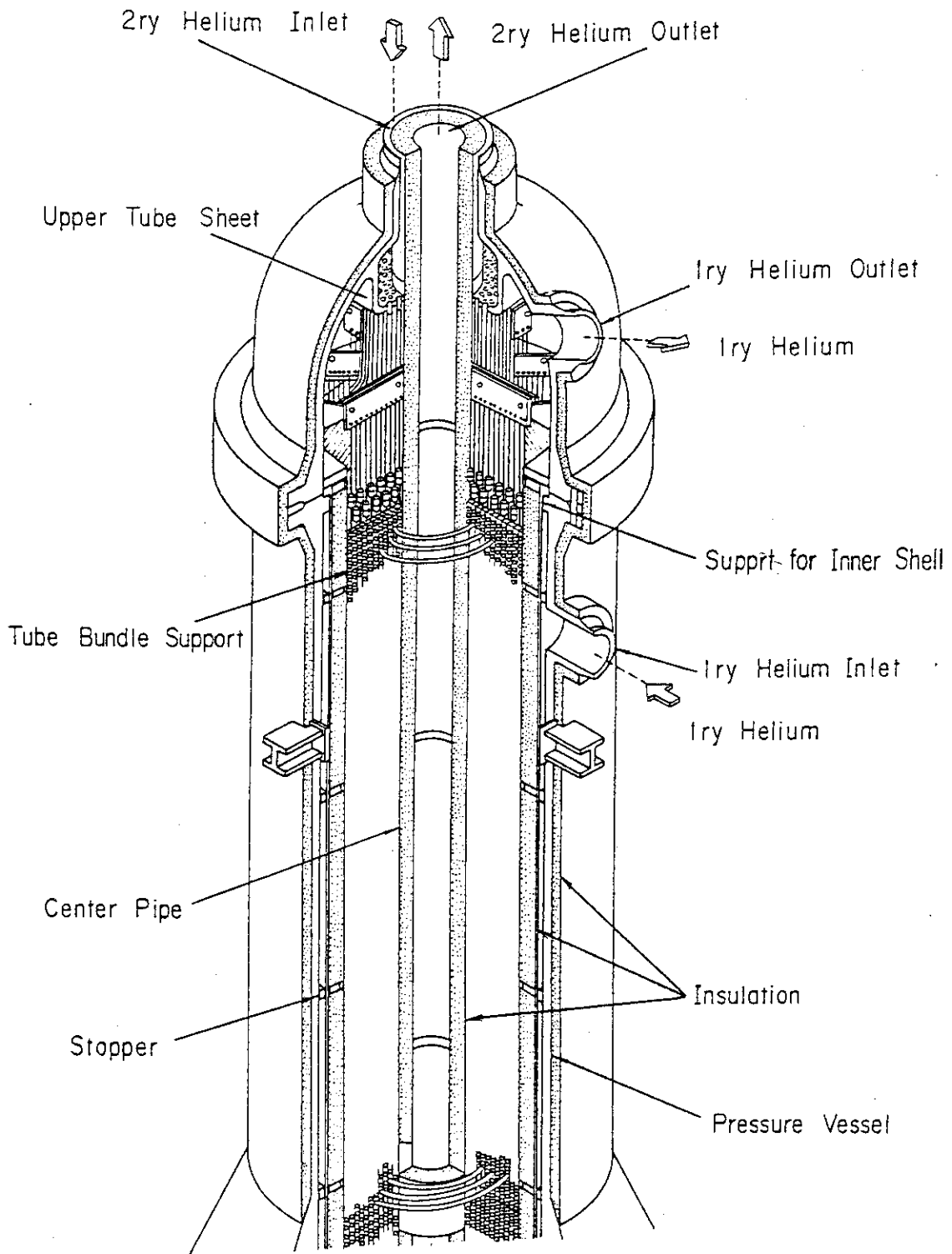


Fig.1.1 Upper structure of Intermediate Heat Exchanger of HTGR (7)

2. 解析方法

2.1 伝熱管群と支持プレート系の変形状態

伝熱管群と支持プレートの中に温度差がある場合、伝熱管がどのような変形及び荷重を受けるかについて以下に述べる。

冷却材の温度上昇により、伝熱管群、支持プレートともに熱膨張するが、もし伝熱管と支持プレートの中に温度差がなければ伝熱管は外側に向かって熱膨張し、伝熱管以外に拘束されていない支持プレートは、伝熱管の熱膨張に追従するだけで応力は生じない。(なお、支持プレートがまったく別の温度状態にある構造物、例えば外部断熱方式のセンターパイプ等に接合されている場合には、伝熱管と支持プレートの中に熱膨張差を生じるので変形状態は接合されていない場合とは異なる。)

しかしながら、伝熱管群と支持プレートとの間に温度差があり、例えば支持プレート温度が伝熱管温度より高い場合には、最外層伝熱管と最内層伝熱管での伸びに着目すると、伝熱管群の伸びよりも支持プレートの伸びの方が大きいため、支持プレートが両端で固定されていないならば、伝熱管群を Fig. 2. 1 に示すような状態で押し広げようとする。

このような押し広げ方、即ち外側の伝熱管群では支持プレートが伝熱管を外側に押ししており、内側の伝熱管群では伝熱管を内側に押ししているのは、支持プレートが両端で固定されておらず伝熱管によってのみ拘束されているため、伝熱管群—支持プレート系はそれ自身だけで拘束しているだけの状態となり支持プレートが伝熱管に作用する熱膨張荷重の総和がゼロにならないからである。一方、もし支持プレートが内側で固定されている場合には、伝熱管のコイル半径方向外側への伸び量よりも支持プレートの伸び量が大きくなるため伝熱管は全て外側に押される状態となる。

以上のようにして伝熱管は支持プレートにより集中荷重を受けるため、伝熱管に曲げモーメントが生じ、曲げ応力が発生することになる。

2.2 解析基本方針⁽¹⁾

ヘリカルコイル形熱交換器において、伝熱管を段 (row) 毎の円環で、また、支持プレートを段毎のはり要素で模擬する。

尚、モデル体系の安定化を図るために、円環の中心と支持プレートの中心をごく弱いバネで結合する。モデル化した伝熱管群—支持プレート系を Fig. 2. 2 に示す。

このモデル化に基づいて伝熱管と支持プレートとの結合点、即ち接点での集中荷重 W と変位 U との関係式を求めるわけだが、この関係式には他の接点からの影響があるため、以下に示すような伝熱管群—支持プレート系全体についての集中荷重—変位の連立方程式を解くことになる。

接点の変位ベクトルを $\{ U \}$ 、接点力ベクトルを $\{ F \}$ とすると、

$$\{F\} = [K] \{U\} \quad (2.1)$$

$$\text{即ち, } \{U\} = [C] \{F\} \quad (2.2)$$

ここで, $[K]$ は系の全剛性マトリックスで, 伝熱管の剛性と支持プレートの剛性をあわせたものになる。また, $[C]$ はコンプライアンスマトリックスであり, $[C] = [K]^{-1}$ である。

上式により, 各伝熱管に作用する集中荷重 W を決定してこの W に基づいて伝熱管に生じる応力を計算する。

(3)(1)

2.3 伝熱管の剛性

まず, 等間隔 2θ 毎に同一の力 W を受けるリングを考える。荷重作用点におけるコイル半径方向の変位 U は以下の式によって求められる。(Fig. 2.3 参照)

$$U = \frac{WR^3}{EI} \left[\frac{\theta + \cos \theta \cdot \sin \theta}{4 \sin^2 \theta} (1 + \beta) - \frac{1}{\theta} \right] \quad (2.3)$$

ここで

β	: $I / (AR^2)$	(—)
E	: 伝熱管のヤング率	(kg/mm ²)
I	: 伝熱管の断面 2 次モーメント	(mm ⁴)
A_t	: 伝熱管の断面積	(mm ²)
R	: 伝熱管コイル半径	(mm)
W	: 荷重	(kg/mm ²)

(2.1) 式および (2.3) 式より

$$C = \frac{1}{K} = \frac{R^3}{2EI} \left[\frac{\theta + \cos \theta \cdot \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} (1 + \beta) - \frac{1}{\theta} \right] \quad (2.4)$$

次に, Fig. 2.4 に示すように 2 つの異なる荷重 W_1, W_2 が交互に等間隔で作用する場合を考える。隣接する W_1 と W_2 との間隔を θ , W_1 が作用する点での変位を U_1 , W_2 が作用する点での変位を U_2 とすると,

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{Bmatrix} \quad (2.5)$$

ここで

$$C_{11} = C_{22} = \frac{R^3}{2EI} \left[\frac{\theta + \cos \theta \cdot \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} (1 + \beta) - \frac{1}{\theta} \right] \quad (2.6)$$

$$C_{12} = C_{21} = \frac{R^3}{2EI} \left[\frac{\theta \cdot \cos \theta + \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} (1 + \beta) - \frac{1}{\theta} \right] \quad (2.7)$$

従って、剛性マトリックスは

$$[K_t] = \begin{bmatrix} C_{11} & -C_{12} \\ -C_{12} & C_{11} \end{bmatrix} / (C_{11}^2 - C_{12}^2) \quad (2.8)$$

さらに、Fig. 2.5 に示すような3つの異なる荷重 W_1, W_2, W_3 が交互に等間隔で加わる場合を考える。荷重作用点における変位 U_1, U_2, U_3 は以下のように表わされる。

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} C_{11} = C_{22} &= \frac{R^2}{2EI} \left[\frac{\theta + \cos \theta \cdot \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} (1 + \beta) - \frac{1}{\theta} \right] \\ C_{33} &= \frac{R^2}{2EI} \left[\frac{\theta + \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} (1 + \beta) - \frac{2}{\theta} \right] \\ C_{12} = C_{21} &= \frac{R^3}{2EI} \left[\frac{\theta \cdot \cos \theta + \sin \theta}{2 \sin^2 \theta} (1 + \beta) - \frac{1}{\theta} \right] \\ C_{13} = C_{23} &= \frac{R^2}{2EI} \left[\frac{\theta \cdot \cos \left(\frac{\theta}{2}\right) + 2 \sin \left(\frac{\theta}{2}\right)}{4 \sin^2 \left(\frac{\theta}{2}\right)} (1 + \beta) - \frac{2}{\theta} \right] \\ C_{31} = C_{32} &= \frac{R^3}{2EI} \left[\frac{\theta \cdot \cos \left(\frac{\theta}{2}\right) + 2 \sin \left(\frac{\theta}{2}\right)}{4 \sin^2 \left(\frac{\theta}{2}\right)} (1 + \beta) - \frac{1}{\theta} \right] \end{aligned} \right\} (2.10)$$

2.4 支持プレートの剛性^{(2),(1)}

支持プレートを段毎に1つのはり要素と見なし、部材の局所座標ははりの軸方向（即ち、全体座標系の半径方向）をx方向に、それと直交する方向をy方向に選ぶ。

Fig. 2.6 に示すように節点 i での xy 面内における曲げモーメントを M_i 、せん断力を V_i 、 y 方向の変位を δ_i およびたわみ角を θ_i とすると、はりの両端 1, 2 における M_1, M_2, V_1, V_2 は、 $\delta_1, \delta_2, \theta_1$ および θ_2 により下式のように表わされる。

$$\begin{Bmatrix} V_1 \\ M_1 \\ V_2 \\ M_2 \end{Bmatrix} = [K_p] \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \theta_1 \\ \delta_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

ここで、x 方向に対しては、変位が自由であるから、支持プレートの剛性マトリックス $[K_p]$ は、下式で与えられる。

$$[K_p] = \frac{E I_z}{1 + 2g} \begin{bmatrix} \frac{12}{L^3} & \frac{6}{L^2} & -\frac{12}{L^3} & \frac{6}{L^2} \\ \frac{6}{L^2} & \frac{4}{L} \left(1 + \frac{g}{2}\right) & -\frac{6}{L^2} & \frac{2}{L} (1-g) \\ \frac{12}{L^3} & -\frac{6}{L^2} & \frac{12}{L^3} & -\frac{6}{L^2} \\ \frac{6}{L^2} & \frac{2}{L} (1-g) & -\frac{6}{L^2} & \frac{4}{L} \left(1 + \frac{g}{2}\right) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

ここで G : 横弾性係数 (剛性率)

A : 支持プレートの断面積 (mm²)

L : 半径方向支持プレート長さ (mm)

E : 支持プレートのヤング率 (kg/mm²)

I_z : 支持プレートの断面 2 次モーメント (mm⁴)

g = (6 f E I_z) / (GAL)²

f = 1.2 : 形状係数

GAL = 9800 mm²/sec : 重力加速度

支持プレートには伝熱管貫通孔が伝熱管の数だけあいていることから断面積 A は下式によって求められる。

$$A = (L_p - ND) \cdot t \quad (2.13)$$

ここで L_p : 半径方向支持プレート長さ (mm)

N : 伝熱管層数 (—)

D : 伝熱管貫通孔径 (mm)

t : 支持プレート厚さ (mm)

また、断面 2 次モーメント I_z は、N が奇数の場合には

$$I_z = \frac{t L_p^3}{12} - \frac{N}{12} [t D^3 + t DP^2 (N^2 - 1)] \quad (2.14)$$

N が偶数の場合には

$$I_z = \frac{t L_p^3}{12} - \frac{N}{12} [t D^3 + 6 t DP^2 (N^2 - 1)] \quad (2.15)$$

となる。ここで P は水平方向ピッチ (mm) である。

2.5 伝熱管の熱応力⁽¹⁾

伝熱管の熱応力は以下に述べるような手順によって求めることができる。

初めに、タイプnの支持プレートの伸びの基準線の位置 R_n (Fig. 2.2 参照)を仮定すると、伝熱管とタイプnの支持プレートの各接点における熱膨張差 δ_n は以下に示す式で書き表わされる。

$$\delta_n = R_t \alpha_t (T_t - T_r) - (R_t - R_n) \alpha_p T_p \quad (2.16)$$

上式で R_t : 伝熱管コイル半径 (mm)

α_t : 伝熱管の平均線膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$)

T_t : 伝熱管温度 ($^\circ\text{C}$)

$T_r = 20^\circ\text{C}$: 常温

R_n : タイプnの支持プレートの伸びの基準線と伝熱管コイル中心との距離 (mm)

α_p : 支持プレートの平均線膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$)

T_p : 支持プレート温度 ($^\circ\text{C}$)

ここで、タイプ1の支持プレートとは伝熱管を最内層から最外層まですべて支持するプレートであり、タイプ2は途中から最外層まで、タイプ3は最内層から途中までそれぞれ伝熱管を支持するプレートである。

次に、伝熱管群—支持プレート系全体の剛性は、次式に示すように、伝熱管群の剛性 $[K_t]$ と支持プレートの剛性 $[K_p]$ を合わせたものになるが

$$[K_{\text{total}}] = [K_t] + [K_p] \quad (2.17)$$

この全剛性および各接点における熱膨張差から支持プレートの伸びの基準線の変位 U を求める。さらに、変位後の基準線の位置より改めて熱膨張差を求めて変位 U が一定値となるまで繰り返し計算を行なう。

そして、求めた U に基づいて各接点における伝熱管の変位を計算し、伝熱管剛性と変位の関係式(2.1)式を用いてタイプnの支持プレートによって伝熱管に作用する集中荷重 W_n を求める。

上に述べたような方法で W_n が求められたとき、曲げモーメント M_n と軸荷重 T_n は以下に示すような式によって書き表わすことができる。

$$M_n = \frac{W_n R}{2} \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{\cos \phi_n}{\sin \theta_n} \right) \quad (2.18)$$

$$T_n = \frac{W_n}{2} \frac{\cos \phi_n}{\sin \theta_n} \quad (2.19)$$

すべてのタイプの支持プレートによって1つの荷重作用点に生じる最大組み合わせ応力は次のようになる。

$$\sigma = \frac{(\sum_n M_n) \cdot r_0}{I_t} + \frac{\sum_n T_n}{A_t} \quad (2.20)$$

ここで r_0 : 伝熱管外径 (mm)
 A_t : 伝熱管断面積 (mm²)
 I_t : 伝熱管断面2次モーメント (mm⁴)

2.6 クリアランスの考慮⁽¹⁾

実際の構造では、伝熱管と支持プレートの間には適当なクリアランスが設定され伝熱管がコイル円周方向に自由に動けるようになっている。このクリアランスによって伝熱管と支持プレートの熱膨張差による曲げ応力が低減されることが予想されるので、これを考慮するために以下のような方法を用いる。

計算を簡単にするために、伝熱管の両側のクリアランスを等しいとし熱膨張による伝熱管の変位がクリアランスより大きいか小さいかによって応力の発生を評価する。

伝熱管と支持プレートのコイル半径方向の相対変位を D_i 、クリアランスを C とすると (Fig. 2.7 参照)

$$\begin{cases} D'_i = 0.5 (D_i - C) [1 + \text{sign} (D_i - C)] & (D_i > 0) \\ D'_i = 0.5 (D_i + C) [1 + \text{sign} (D_i + C)] & (D_i < 0) \end{cases}$$

上式において、 $|D'_i| > C$ の場合においてのみ伝熱管と支持プレートが接触して応力が発生する。

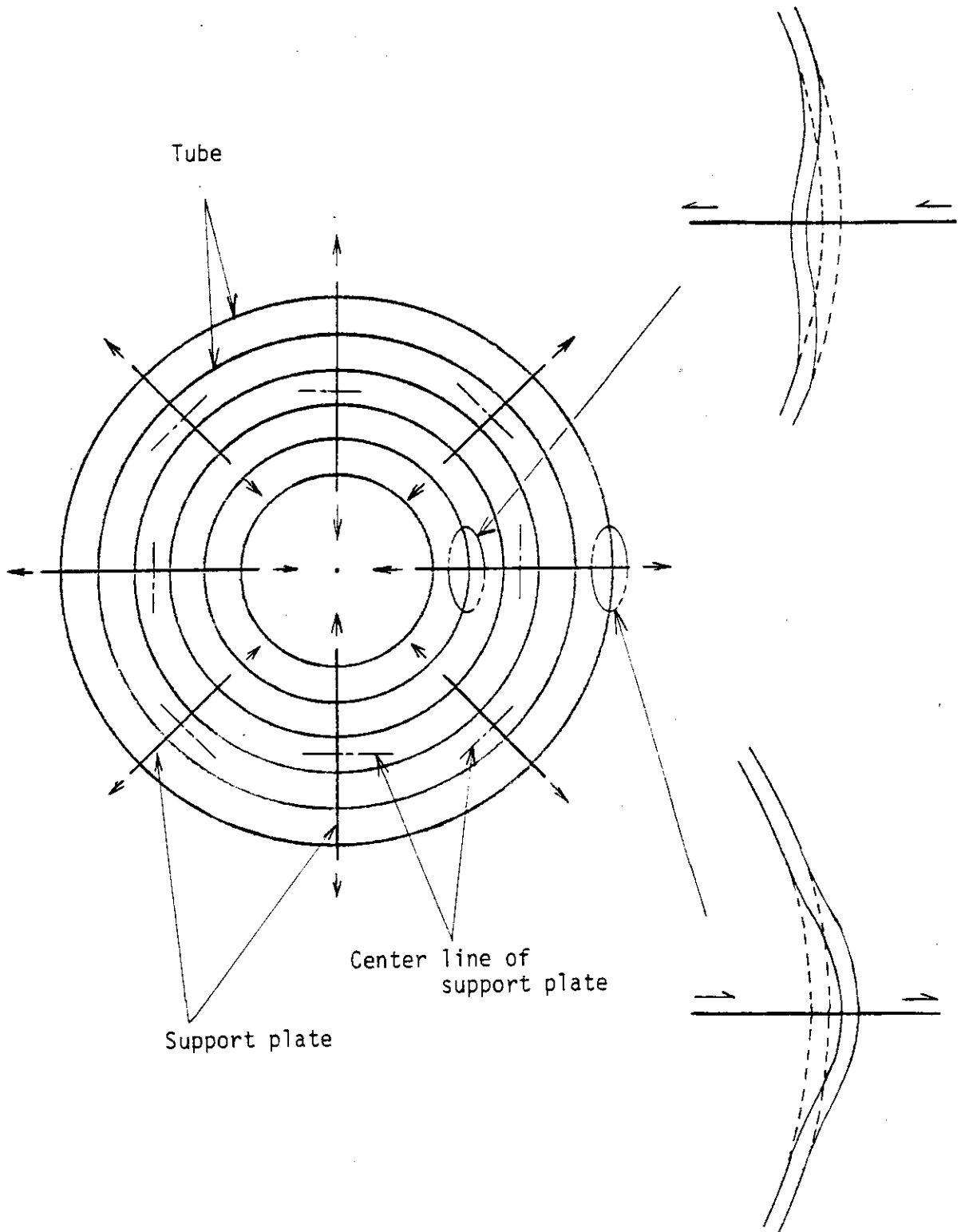


Fig. 2.1 The tube deformation caused by thermally differential expansion between tube and support plate

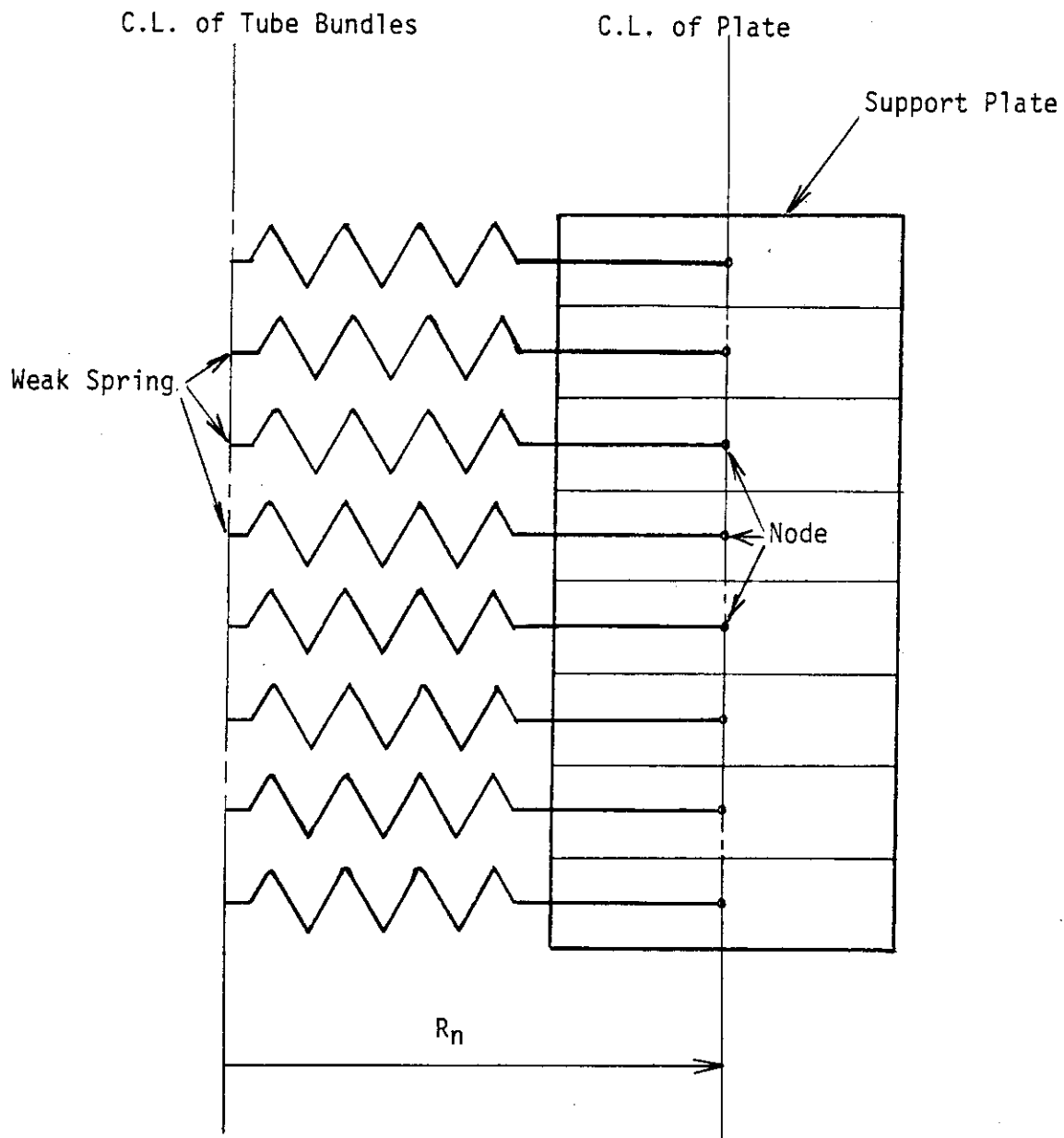


Fig.2.2 Structural model for tube bundle and plate;
 The nodes are located at the centerline of the
 plate. The springs which attach to those nodes
 represent the ring radial stiffness at a given
 level. The total node stiffness at each node
 is the sum of the ring and the plate stiffness.

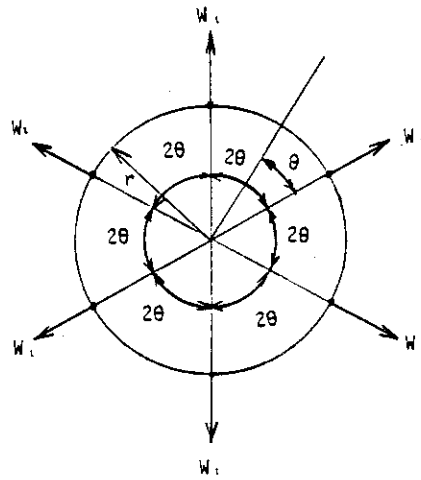


Fig.2.3 One set of loads acting on ring

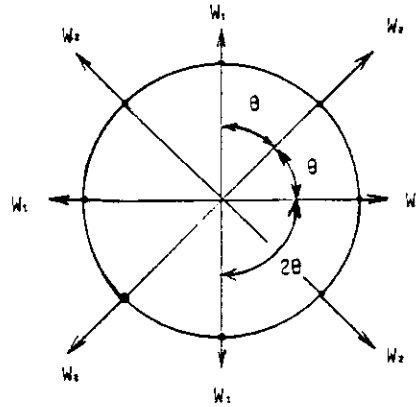


Fig.2.4 Two sets of loads acting on ring

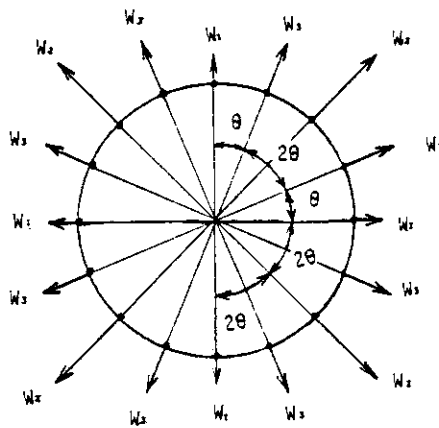


Fig.2.5 Three sets of load acting on ring

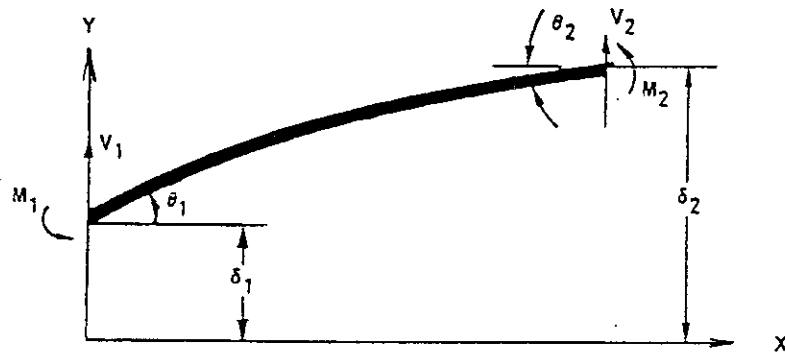


Fig.2.6 Beam element subjected to end forces;

- M_j : bending moments
- V_j : shear forces
- δ_j : displacements
- θ_j : rotation

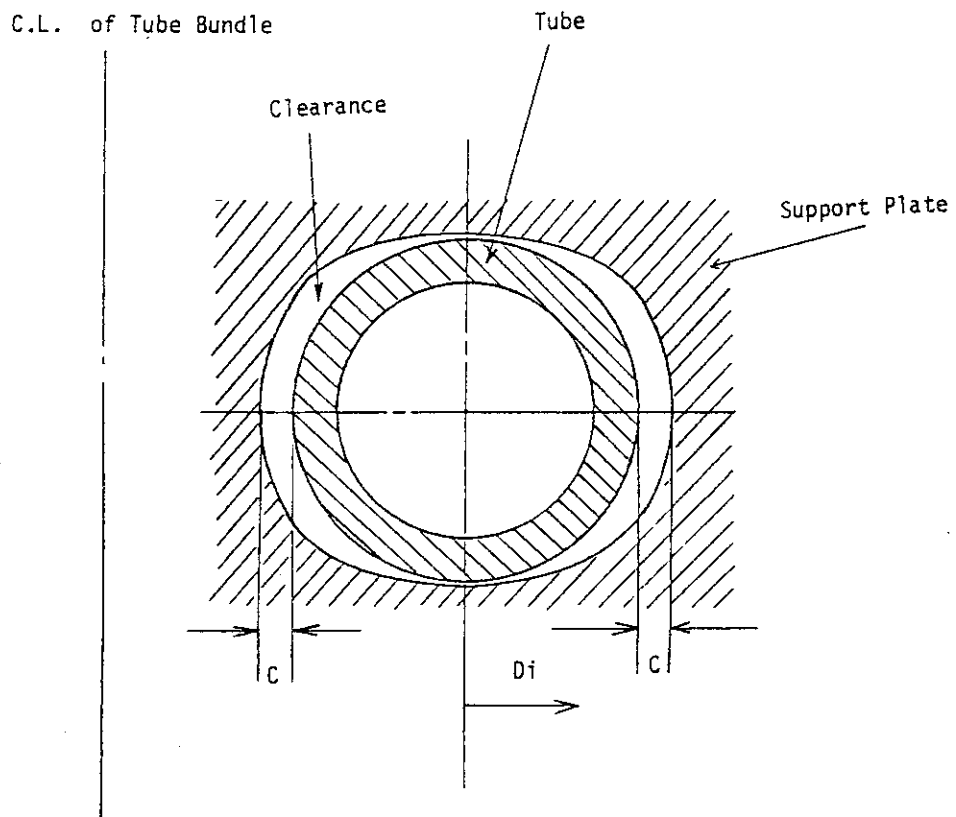


Fig.2.7 Tube-plate clearance at intersection of tube and plate

3. 計算プログラム

3.1 プログラムの仕様

オリジナルのコード^{(1),(6)}に対し、以下の点に関する改良を行なった。

- (1) 理論式のコーディングの際の誤ち等の修正。
- (2) 入出力ともに単位をmm, kg, sec, -℃系に変更統一した。
- (3) 半径方向温度分布をインプットデータから多項式近似し、関数表示ルーチン'FCT'を作成した。
- (4) 物性値をインプットデータにより与え、各節点温度毎にプログラム内で内挿するようにした。
- (5) 出力項目が多いため最低限必要な結果のみ出力し、他はオプションにより出力するようにした。

BEARHUG コードの仕様を Table 3.1 に、各サブルーチンの機能を Table 3.2 に、また、計算フローチャートを Fig. 3.1 にそれぞれ示す。

計算時間は伝熱管ヘリカル段数 255 段、13 層の場合計算機 FACOM M-200 において約 4 cpu (秒) である。

3.2 インプットデータ

BEARHUG に必要なデータとしては以下に示すものがある。

- ① コントロールデータ
- ② 伝熱管特性データ
- ③ 管群温度分布データ
- ④ 支持プレート特性データ
- ⑤ 支持プレート温度分布データ
- ⑥ クリアランスデータ
- ⑦ 材料物性データ

①～⑦のデータでクリアランスデータ以外はすべて必要なデータである。

Fig. 3.2 に解析可能な支持プレートタイプの組み合わせが示してある。3つの組み合わせはそれぞれ、Fig. 2.4 で示した3つの力の組み合わせに相当している。

使用される外部記憶装置番号は 1, 2, 3, 4, 5, 6 および 8 である。

尚、Appendix -1 に BEARHUG 解析用インプットデータフォーマットを示した。また、Table 3.3 に BEARHUG 解析用 JCL サンプルを示した。

また、BEARHUG コードソースリストを Appendix -2 に、サンプルデータおよびその解析結果のアウトプットを Appendix -3 に示した。

Table 3.1 Specification of BEARHUG code

NAME	BEARHUG
Function	Evaluates the thermally induced interaction between helical tube bundles and their support plates including clearance.
Analytical theory and method	Linear elastic theory and direct stiffness method are used.
A subject of analysis	Helical coil type heat exchanger
Capacity of handling problem	340 tube rows, 32 tube columns and 25 tube and plate sections.
Main input data	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tube and plate temperature profiles. 2. Tube and plate properties. 3. Clearance data 4. Material data
Output	<ol style="list-style-type: none"> 1. Input data card images 2. Problem description 3. Tube and plate properties 4. Tube and plate temperature profiles 5. Displacements of centerline of plate 6. Resulting tube radial forces 7. Resulting tube axial and bending stresses 8. Combined tube stresses

Table 3.2 The functions of each subroutine

Name	Functions
1.CSINPT	Reads input data from disk.
2.ECGRS	Creates tube temperature and plate strain grids by expanding and interpolating between given values.
3.FCT	Using the least squares method, approximates the radial distribution of the thermal expansion with a polynomial.
4.IMAGE	Reads input data from cards and writes them to disk. Prints input data card images.
5.INTEG	Computes integral of strain between centerline of plate and tube columns in plate and equivalent radial thermal gradient.
6.INVERT	Calculates general matrix inversion.
7.MAIN	Main routine of the program. Calculates tube stresses for each row and column and prints the final results.
8.PAGE1	Prints current data and page number at top of each page.
9.PROP	Calculates properties of tubes and plates of each row and column by using given values.
10.QATR	Carries out Romberg's integral.
11.STIFF	Calculates stiffness and thermally induced force for an equivalent uniform beam.
12.STIFFT	Calculates stiffness and radial force for tube.
13.SYMSOL	Gives solution for symmetric banded system of equations for several right-hand matrix.

Table 3.3 Job control language of 'BEARHUG' code

```
//JCLG JOB
// EXEC JCLG
//SYSIN DD DATA,DLM='++'
// JUSER 12345678,JAERI,0123.456
  T.1 I.1 W.3 C.4 OPN NLP
  OPTP PASSWORD=12345678
// EXEC LMGO,LM=J1234.BEARHUG
// EXPAND DISKTO,DDN=SYSIN,DSN=J3721.BEARHUG,Q='.DATA(SG01)'
// EXPAND DISK,DDN=FT01FO01
// EXPAND DISK,DDN=FT02FO01
// EXPAND DISK,DDN=FT03FO01
// EXPAND DISK,DDN=FT04FO01
// EXPAND DISK,DDN=FT08FO01
++
//
```

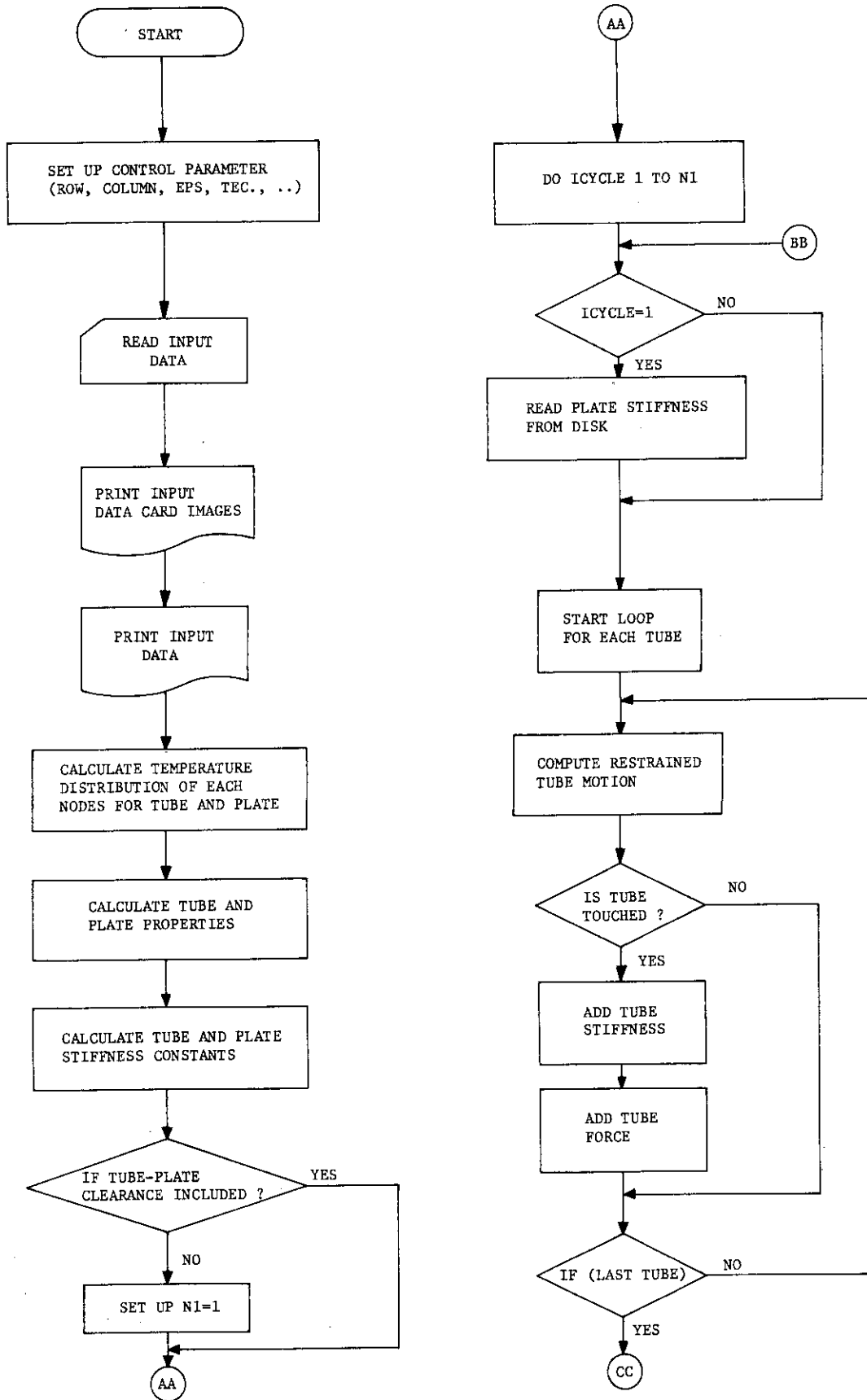


Fig. 3.1 BEARHUG flowchart

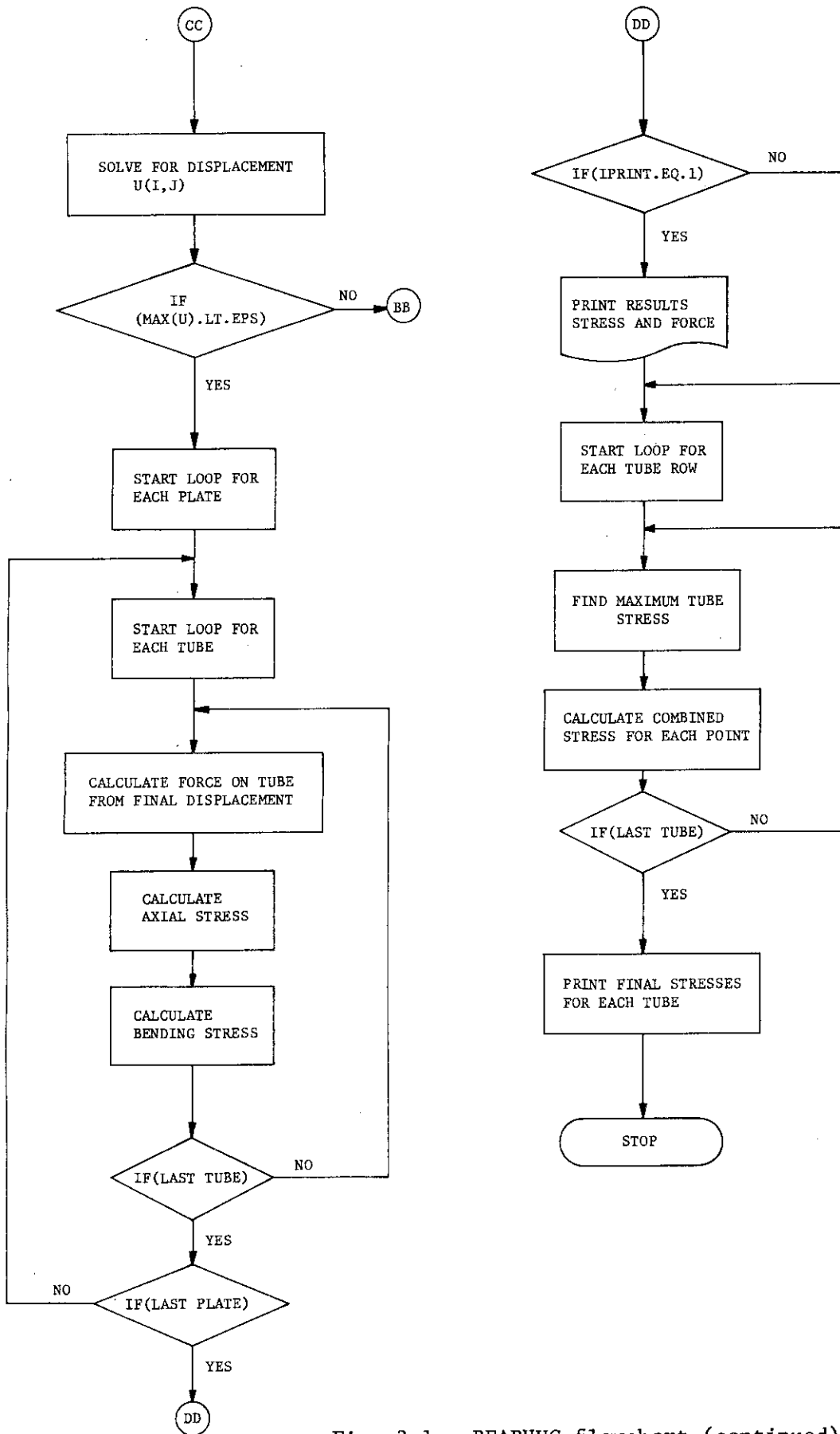


Fig. 3.1 BEARHUG flowchart (continued)

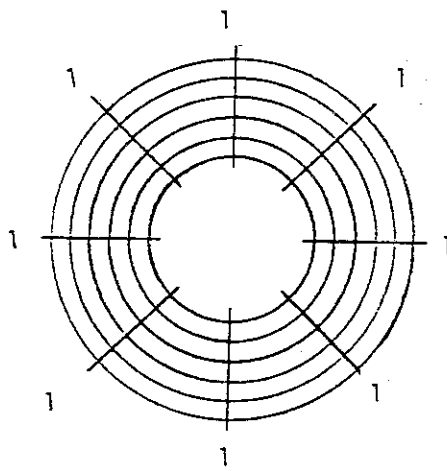


Plate type-1 only

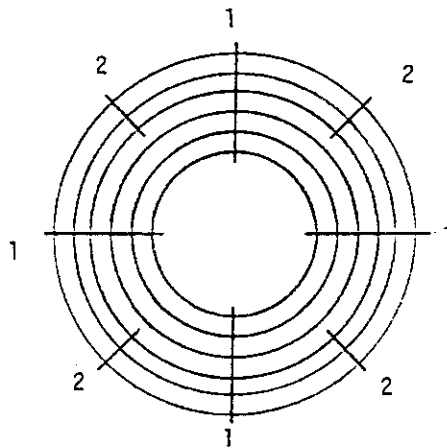


Plate type-1 and type-2

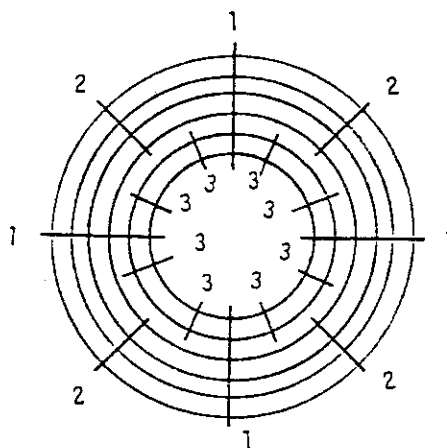


Plate type-1, type-2 and type-3

Fig.3.2 Possible tube plate arrangement

4. 解析および検討

解析は、多目的高温ガス実験炉詳細設計(I)⁽⁷⁾におけるAループ中間熱交換器、Bループ中間熱交換器およびBループ運転段階3用蒸気発生器について実施した。

まず、基本形状に関する解析を行ない、次に伝熱管外径、肉厚、クリアランスおよび支持プレート枚数等をパラメータとして解析を行なった。

4.1 各熱交換器の伝熱管支持構造

(1) Aループ中間熱交換器

Fig. 4.1 に全体構造図、および Fig. 4.2 に伝熱管支持構造図を示す。

伝熱管支持装置は、伝熱管のヘリカルコイル部を上下方向に連結する管束支持板、保持リング、ロッドおよびガーターから構成される。管束支持板は、同一のコイル径の伝熱管群のコイル部を上下方向に円周8ヶ所をつなぎ合わせるように連絡している。

(2) Bループ中間熱交換器

Fig. 4.3 に全体構造図、および Fig. 4.4 に伝熱管支持構造図を示す。

基本的には、Aループ中間熱交換器とほぼ同様であるが、支持プレートは円周方向に12ヶ所で、最内層伝熱管から最外層伝熱管まで支持しているタイプ1の支持プレート、8番目の層から最外層伝熱管まで支持しているタイプ2の支持プレートが交互に設置されている。

(3) Bループ運転段階3用蒸気発生器

Fig. 4.5 に全体構造図を示す。支持構造は、Aループ中間熱交換器とほぼ同様であるが、支持プレートの材料が高温部ではインコロイ-800を、低温部では2¼Cr-1Mo鋼と2種類使用している。

4.2 解析モデルおよび境界条件

伝熱管を完全な円環として模擬し、支持プレートを段毎のビーム要素として模擬する。Fig. 4.6 に伝熱管支持モデルを示す。

Aループ中間熱交換器、Bループ中間熱交換器およびBループ運転段階3用蒸気発生器について解析に使用した温度分布、基本形状に関する境界条件についてそれぞれFig. 4.7、Fig. 4.8 およびFig. 4.9 に示す。

応力評価点は、伝熱管が支持プレートと接する内外面の各4点としている。

4.3 各熱交換器に対する解析結果

(1) A ループ中間熱交換器

基本形状に関し運転段階1^{注1)}に対する解析結果をFig. 4.10に示す。上図は第1段の伝熱管における層方向の応力分布を示し、下図は最内層の伝熱管における段方向の応力分布を示す。これらの図に示すように最大応力は第1段目の最内層伝熱管の評価点4において圧縮応力約13.8 kg/mm²が発生する。しかしながら、この部位における伝熱管温度は330℃と低温側であるため許容応力が高く問題とならない。一方、第255段目の最内層伝熱管の評価点4においては、9.62 kg/mm²の応力が発生する。この部位における伝熱管温度は約950℃と高温であり、許容応力 $S_{y,av}$ ^{注2)} = 14.3 kg/mm²と低いため強度上この部位が最も問題となると考えられるので評価対象とした。Table 4.1にASME B&PV SEC. III code case N-47-18⁽⁵⁾に従って実施した伝熱管の寿命評価結果を示す。評価は、伝熱管と支持プレートの温度差が大きく金属温度が高温となり評価の面から最も厳しい状態である定格運転状態について1次応力評価およびひずみ制限評価を行った。

内外圧および管内外面の温度差による応力は厚肉円筒の理論解を用い、自重による曲げ応力は、伝熱管を両端固定の円弧はりとして面外一様分布荷重による応力として求めた値を使用した。

Table 4.1に示されるように伝熱管は、一次応力制限およびひずみ制限ともに許容値を満足することがわかった。

(2) B ループ中間熱交換器

基本形状に関する解析結果をFig. 4.11に示す。上図は第1段の伝熱管群における層方向の応力分布を示す。実線がタイプ1の支持プレートによる応力、破線がタイプ2の支持プレートによる応力の分布である。下図は内側から8層目の伝熱管群における段方向の応力分布である。ここに示されるように、最大応力は第1段目の8層目の伝熱管の評価点4において発生する。A ループ中間熱交換器の場合と同様の理由で強度評価の対象は高温側の部位に着目する。この部位での発生応力は、5.74 kg/mm²であり、A ループ中間熱交換器に比較して約4 kg/mm²低く許容値を満足している。伝熱管外径、層数、ピッチ等が異なるために単純な比較はできないが、A ループ中間熱交換器は、タイプ1の支持プレート8枚であり、一方、B ループ中間熱交換器は、タイプ1の支持プレートが6枚、タイプ2の支持プレートが6枚組み合わせられた構造となっており、最内層から最外層まですべての伝熱管を支持するタイプ1の支持プレートが少ないことが原因と考えられる。

(3) B ループ運転段階3用^{注3)} 蒸気発生器

基本形状に関する解析結果をFig. 4.12に示す。伝熱管段方向の応力分布に関して、支持プレートの材質が高温用のインコイ 800 から低温用の2¼Cr-1Mo鋼に変わった部分で不連続な

注1) 実験炉の性能試験は4段階に分類されており、その中で運転段階1とは、1000℃試験で、出力50MW_t、原子炉出口温度1000℃により性能試験を行なう。

注2) 平均壁温度の最大値と最小値に対する最小降伏強さの平均値。

注3) 運転段階3とは、耐高温燃料、材料の照射開発試験を行なうために、炉出力を50MW_tから75MW_tに上昇させて運転する段階である。

点が生じている。これは本プログラムでは、計算を1段毎にそれぞれ行なっており、材料定数が変化するためである。

この蒸気発生器においては、胴側流体の入口温度が約780℃、一方、管側流体入口温度が約200℃と、580℃の大きな温度差があるため発生応力も大きくなっており、第1段目の最内層伝熱管において200 kg/mm²近くの応力が発生する。この値では、たとえ構造上の改良が行なわれたとしても許容値を越えることが予想され、熱設計を含めた再検討が必要である。

4.4 パラメーターサーベイ

Aループ中間熱交換器に対して、伝熱管外径、伝熱管厚さ、クリアランスおよび支持プレート枚数をパラメーターとして伝熱管の熱応力解析を実施した。

伝熱管外径をパラメーターとした解析結果をFig. 4.13に、また、伝熱管厚さをパラメーターとした解析結果Fig. 4.14にそれぞれ示す。

基準設計においては、伝熱管外径31.8mm、厚さ4.0mmであるが、Fig. 4.13およびFig. 4.14に示されるように厚さおよび外径を現実的な範囲で変化させても大きな差を生じていないが、これは、伝熱管厚さの数%の変化では全剛性がほとんど変わらないためである。

Fig. 4.15に伝熱管と支持プレート間のクリアランスをパラメーターとして解析した結果を示す。クリアランスの大きさによって応力はほぼ比例して小さくなっており、例えばクリアランスが0.6mmの場合には、クリアランスが0とした場合に比較して発生応力は約70%になっている。ところで、据付公差や製作公差に起因してクリアランスは各貫通孔によって異なるため、支持プレートと伝熱管は常に接触した状態として解析を行なった方が保守的な評価が行なえる。

Fig. 4.16に支持プレートの枚数をパラメーターとして解析した結果を示す。尚、この解析においては支持プレートはすべてタイプ1、すなわち最内層から最外層伝熱管まですべて支持するプレートである。

Fig. 4.16に示されるように、支持プレート枚数が少ないほど評価点4における応力は小さくなっている。^{注4)} 耐震上および流体振動防止の面からは、支持プレートは多く設けた方が良いが、一

注4)

支持プレートによって伝熱管に生じる曲げモーメントMと軸荷重Tは(2.18)式および(2.19)式により次のように表わされる。

$$M = \frac{WR}{2} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{\cos \phi}{\sin \theta} \right), \quad T = \frac{W}{2} \frac{\cos \phi}{\sin \theta}$$

また、最大組み合わせ応力 σ は(2.19)式により

$$\sigma = \frac{M r_0}{I_t} \pm \frac{T}{A_t}$$

となる。荷重作用点においては、 $\phi = \theta$ である。(θはプレート枚数をnとすると $\theta = \frac{2\pi}{n}$ (n=4, 6, 8……16)である。)ところで、Wは伝熱管と支持プレートの熱膨張差によって生じる伝熱管コイル半径方向の力であるが、Wもまたθの関数となっている。従って、σはθの関数となり、Fig. 4.16に示すような曲線となって現われる。

方、製作および据付けの面からは支持プレートは少ない方が良く、これらの点を考慮すると応力値はやや高くなるが、8～12枚の範囲にあることが適当であると考えられる。

次に運転段階3の温度条件に対する解析結果をFig. 4.17に示す。運転段階3においては、支持プレート側すなわち胴側流体の入口/出口温度は、893℃/331℃、伝熱管側の入口/出口温度は、300℃/833℃となる。運転段階1に比較すると高温側での温度差が約20℃大きくなるために高温側での評価点4における伝熱管の熱応力は約17 kg/mm²と大きな値となる。しかしながら、運転温度が950℃から833℃と低くなるために許容応力が高くなるので許容値を満足している。

タイプ1およびタイプ2の支持プレートを組み合わせた形に対し、支持プレート枚数を変えた場合の最大発生応力の比較をTable 4.2に示す。また、Aループ中間熱交換器及びBループ運転段階3用蒸気発生器に対して現状の設計で支持プレートの半数（4枚）をタイプ2に変えた場合の伝熱管層方向応力分布をFig. 4.20およびFig. 4.21に示す。Fig. 4.20およびFig. 4.21に示されるように半数の支持プレートをタイプ2に変えることで、発生応力を約50%低減することができる。さらに、Table 4.2に示されるように、全プレート枚数を16枚とした場合においてはタイプ1の支持プレートのみ8枚とした場合と比較してわずか0.3 kg/mm²大きくなるだけである。従ってタイプ1およびタイプ2の支持プレートの組み合わせが応力低減の点で優れていると言えよう。

Table 4.1 Stress evaluation for the heat transfer tubes of A-loop IHX (normal condition)

Items Stress category	Calculated values by elastic stress analysis			Allowable limits of stress intensities		Evaluation
	Components	Symbol	Stress Intensity(kg/mm ²)	Symbol	Stress Intensity(kg/mm ²)	
Primary	General membrane stress (caused by pressure)	P_m	0.10	S_t (8×10^4 hr)	0.15	○
	Bending stress(caused by pressure and weight)	$P_m + P_b$	0.12	$K_t S_t$ (8×10^4 hr)	0.16	○
	General membrane	$[P_m]_R$	0.10			
Primary + Secondary	Bending stress by weight	$[P_b]_R$	0.00			
	Bending stress by pressure	$[Q]_R$	0.02			
	Membrane plus bending stress caused by differential thermal expansion between tube and support	$[Q]_R$	9.62	S_y (*)	14.3	○
	Membrane plus bending stress caused by the thermal gradient across the tube wall	$[Q]_R$	0.52			
	Combination of stresses	$[(P_m + \frac{P_b}{K_t}) + Q]_R$	10.26			

(*) : S_y is the average of the S_y values at the maximum and minimum wall-averaged temperature. In this case the maximum wall-averaged temperature is 950°C and the minimum one is 100°C.

Table 4.2 Reduction of tube stresses by means of combination of plate type-1 and type-2 (A-loop IHX)

Items	Number of plate type-1	Number of plate type-2	Maximum combined tube stresses caused by plate type-1			Maximum combined tube stresses caused by plate type-2		
			Tube row	Tube column	Stress intensity (kg/mm ²)	Tube row	Tube column	Stress intensity (kg/mm ²)
Case 0 (original arrangement)	8	0	1	1	13.52	—	—	—
Case 1	4	4	1	13	4.61	1	7	5.36
Case 2	6	6	1	1	9.77	1	7	8.14
Case 3	8	8	1	1	13.82	1	7	8.61
Case 4	10	10	1	1	15.31	1	7	7.78

Note; Plate type-1 supports all the tube columns, while plate type-2 supports from the seventh column to the outermost.

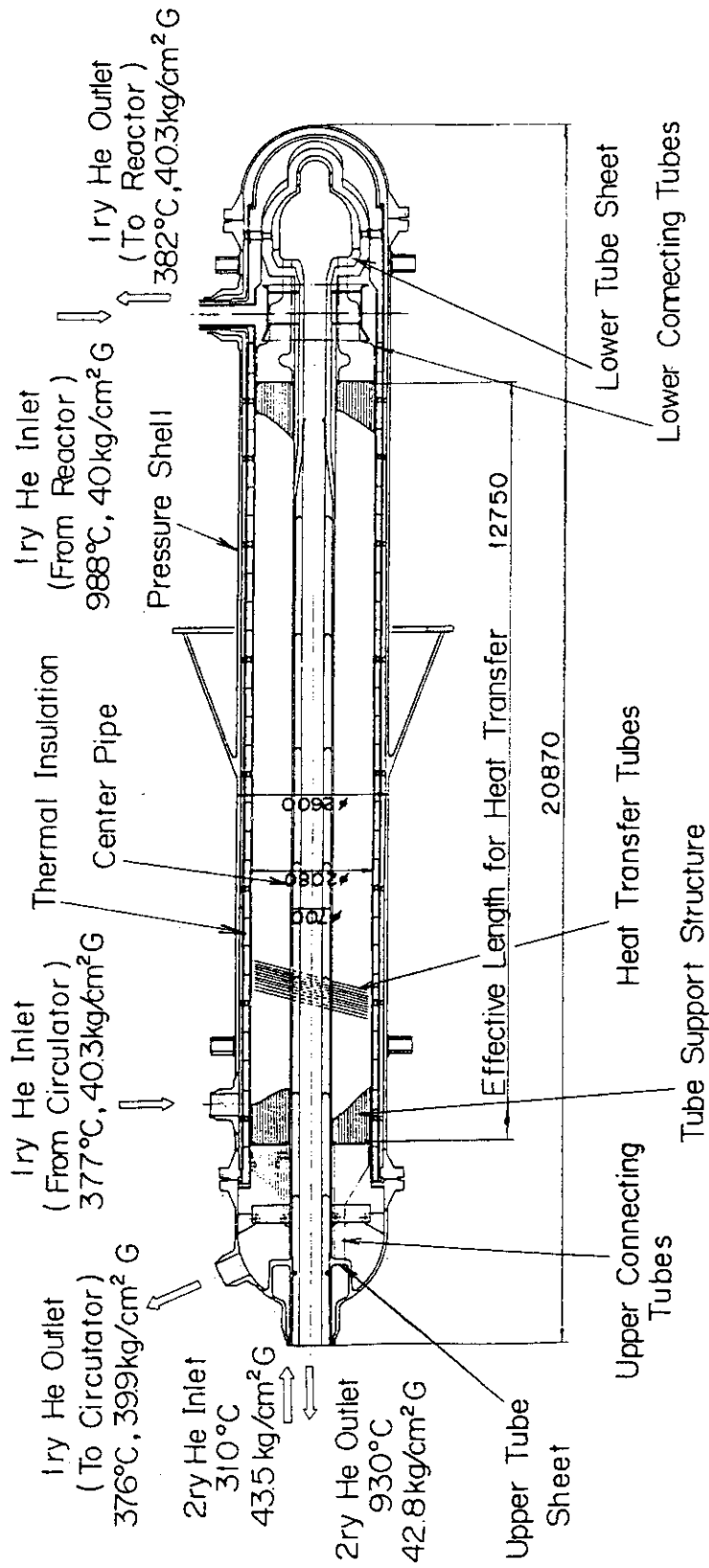


Fig.4.1 Intermediate Heat Exchanger (A-Loop)⁽⁷⁾

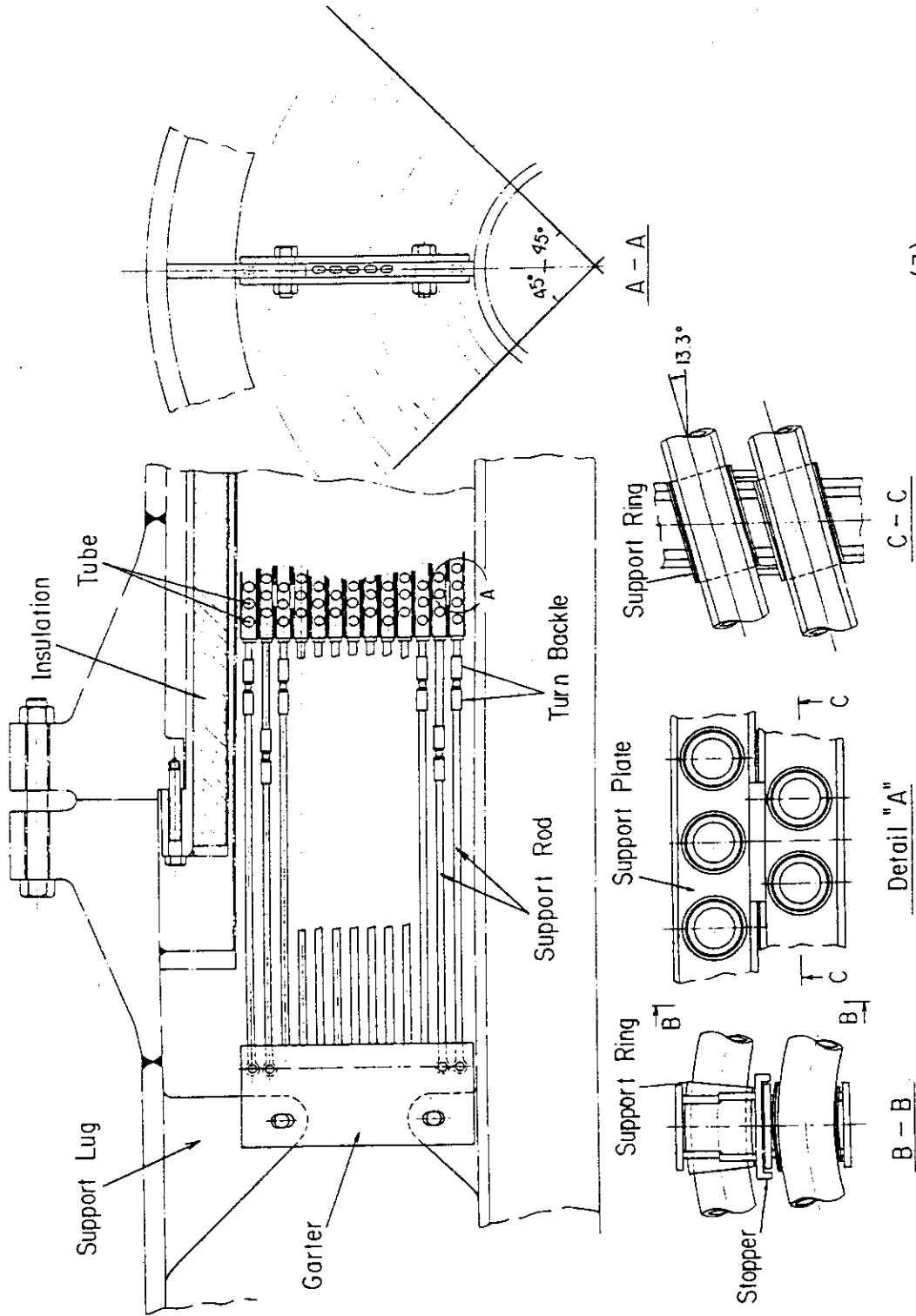


Fig.4.2 Tube Support Structure of I.H.X. (A-Loop) (7)

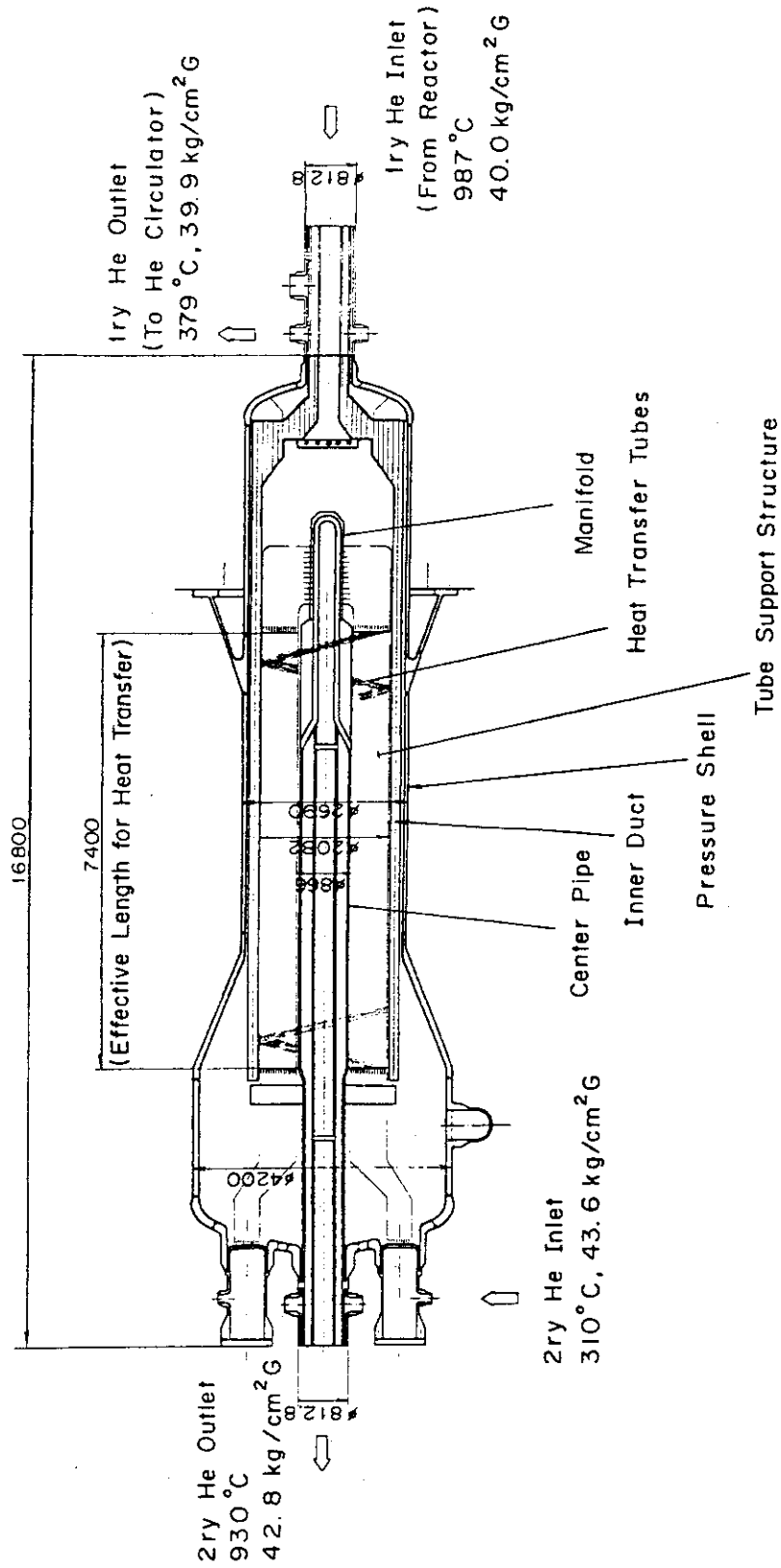


Fig.4.3 Intermediate Heat Exchanger (B-Loop) (7)

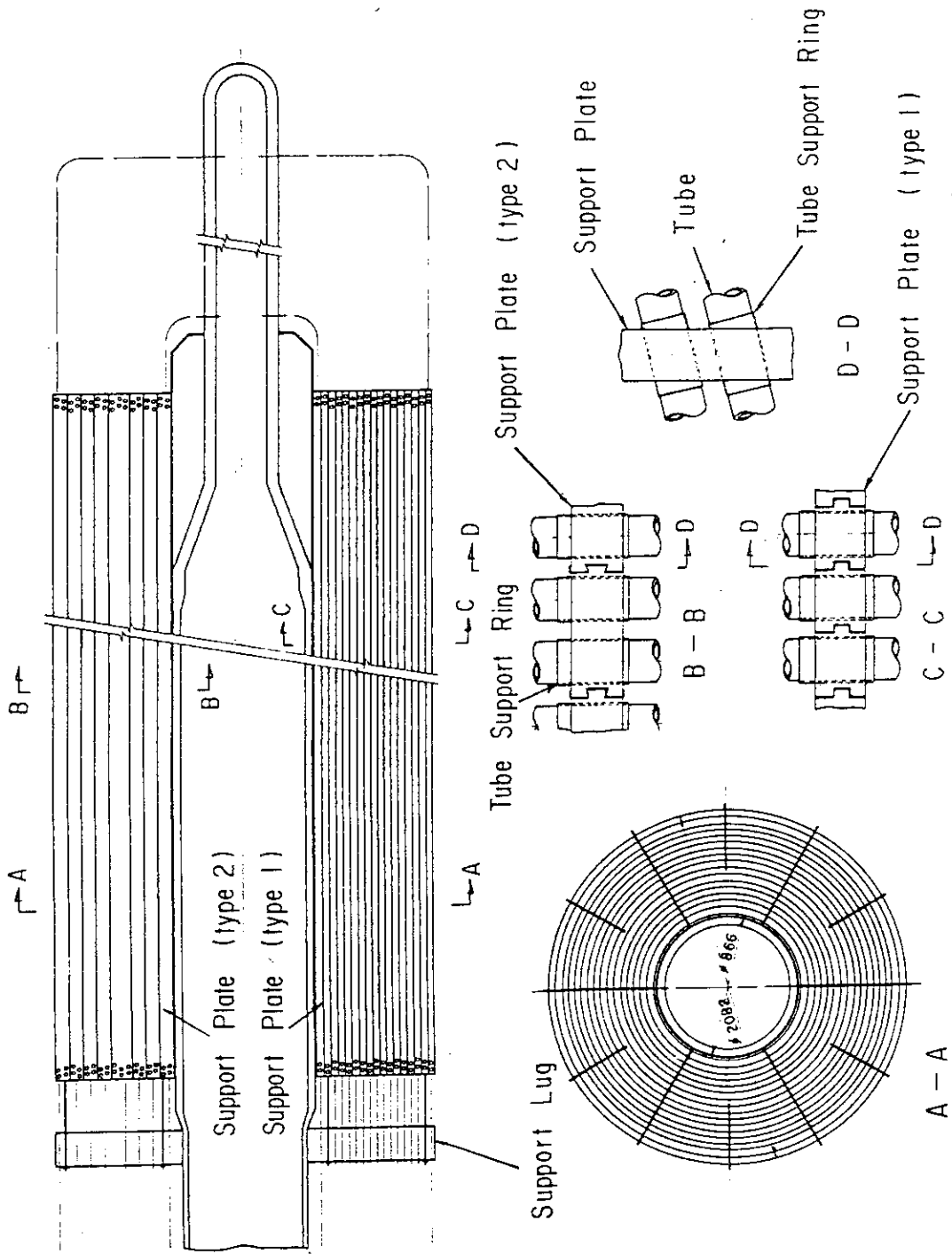


Fig.4.4 Tube Support Structure of IHX (B-loop)⁽⁷⁾

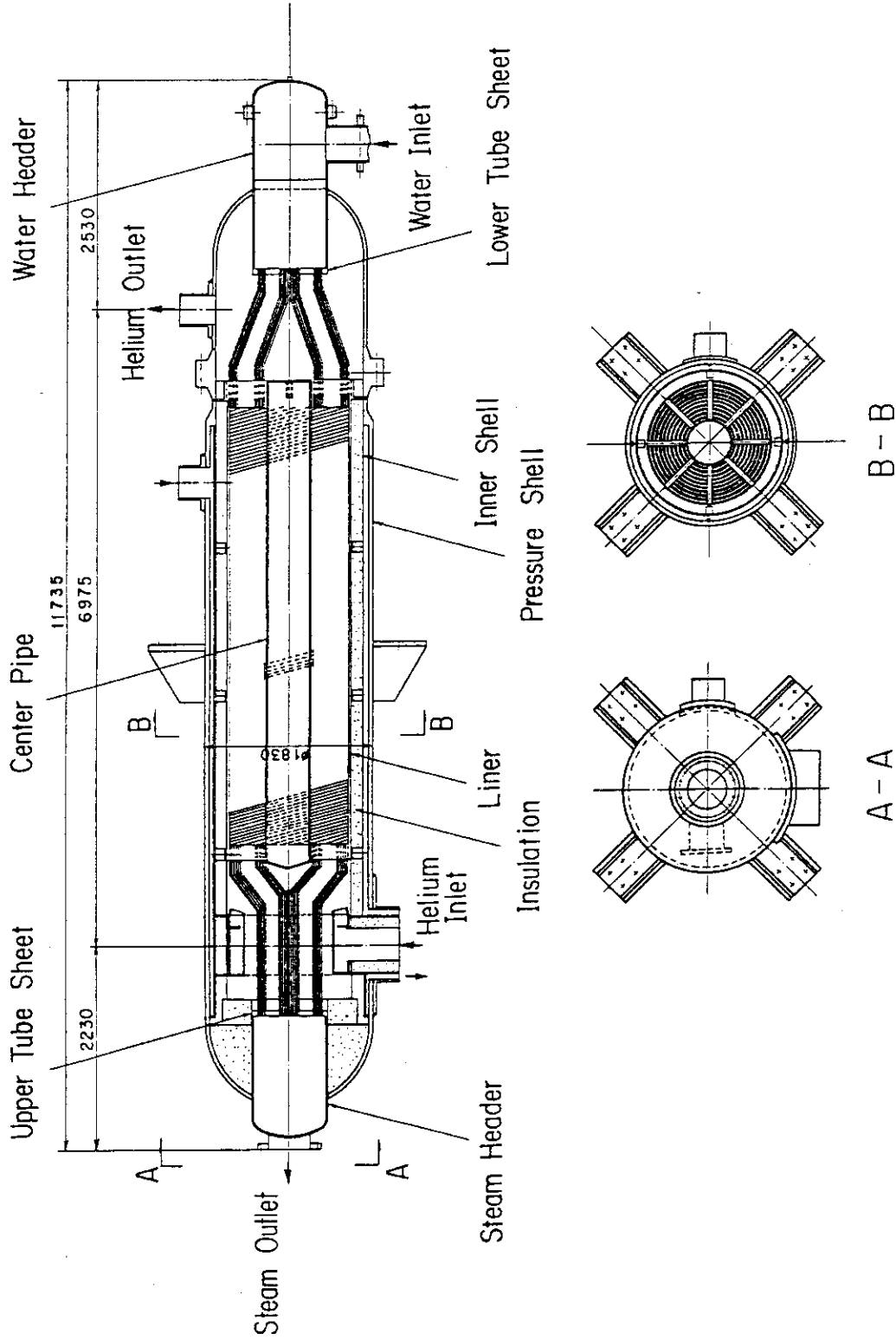
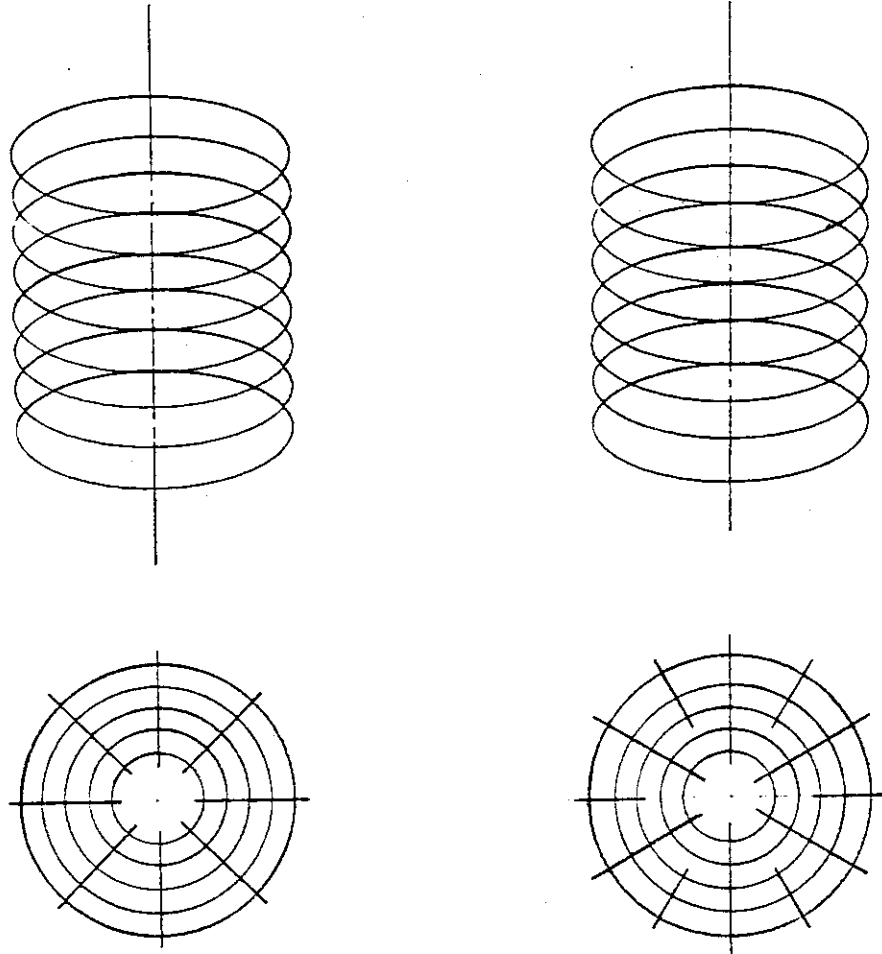


Fig. 4.5 B-loop Step-3 Steam Generator⁽⁷⁾



1. A-LOOP I.H.X. AND
B-LOOP STEP-3 S.G.

2. B-LOOP I.H.X.

Fig.4.6 Tube Support Model

1. NUMBER OF PLATE TYPE	TYPE1	8
	TYPE2	0
	TYPE3	0
2. TOTAL NUMBER OF TUBE ROW		255
3. TOTAL NUMBER OF TUBE COLUMN		13
4. TUBE DIAMETER (mm)	OUTSIDE	31.8
	INSIDE	23.8
5. RADIUS OF TUBE COLUMN (mm)	FIRST	400.0
	LAST	1000.0
6. PLATE THICKNESS (mm)		40.0
7. HORIZONTAL PITCH (mm)		50.0
8. VERTICAL PITCH (mm)		50.0
9. PRESSURE ON TUBE (kg/mm ²)	OUTER SURFACE	0.400
	INNER SURFACE	0.435
10. TUBE TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN INSIDE AND OUTSIDE (CELCIUS)		4.7
11. TUBE TEMPERATURE (CELCIUS)	FIRST ROW	330.0
	LAST ROW	950.0
12. PLATE TEMPERATURE (CELCIUS)	FIRST ROW	376.0
	LAST ROW	988.0
13. MATERIAL	TUBE	HASTELOY-X
	PLATE	HASTELOY-X

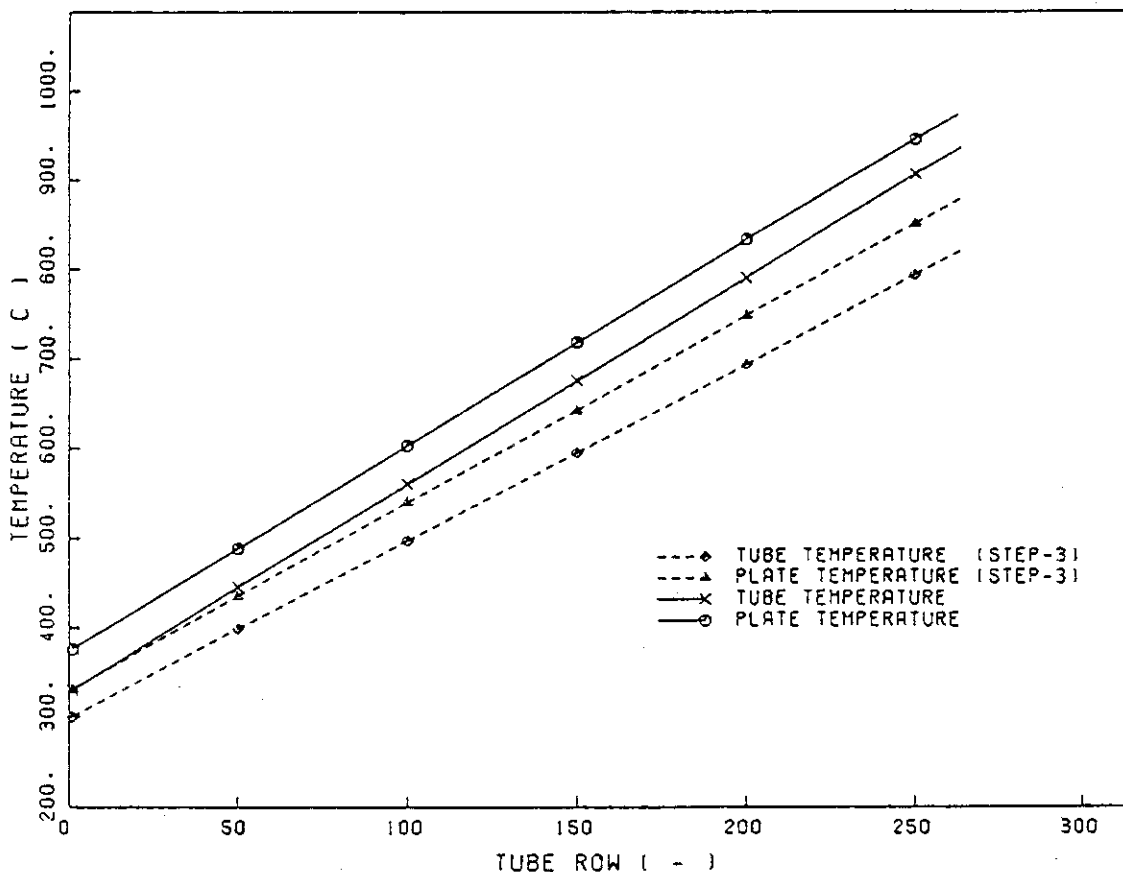


Fig. 4.7 Temperature distribution (A-Loop IHX)

1. NUMBER OF PLATE TYPE	TYPE1	6
	TYPE2	6
	TYPE3	0
2. TOTAL NUMBER OF TUBE ROW		185
3. TOTAL NUMBER OF TUBE COLUMN		17
4. TUBE DIAMETER (mm)	OUTSIDE	25.4
	INSIDE	17.4
5. RADIUS OF TUBE COLUMN (mm)	FIRST	433.0
	LAST	1041.0
6. PLATE THICKNESS (mm)		30.0
7. HORIZONTAL PITCH (mm)		38.0
8. VERTICAL PITCH (mm)		40.0
9. PRESSURE ON TUBE (kg/mm ²)	OUTER SURFACE	0.400
	INNER SURFACE	0.436
10. TUBE TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN INSIDE AND OUTSIDE (CELCIUS)		5.0
11. TUBE TEMPERATURE (CELCIUS)	FIRST ROW	330.0
	LAST ROW	950.0
12. PLATE TEMPERATURE (CELCIUS)	FIRST ROW	379.0
	LAST ROW	987.0
13. MATERIAL	TUBE	HASTELOY-X
	PLATE	HASTELOY-X

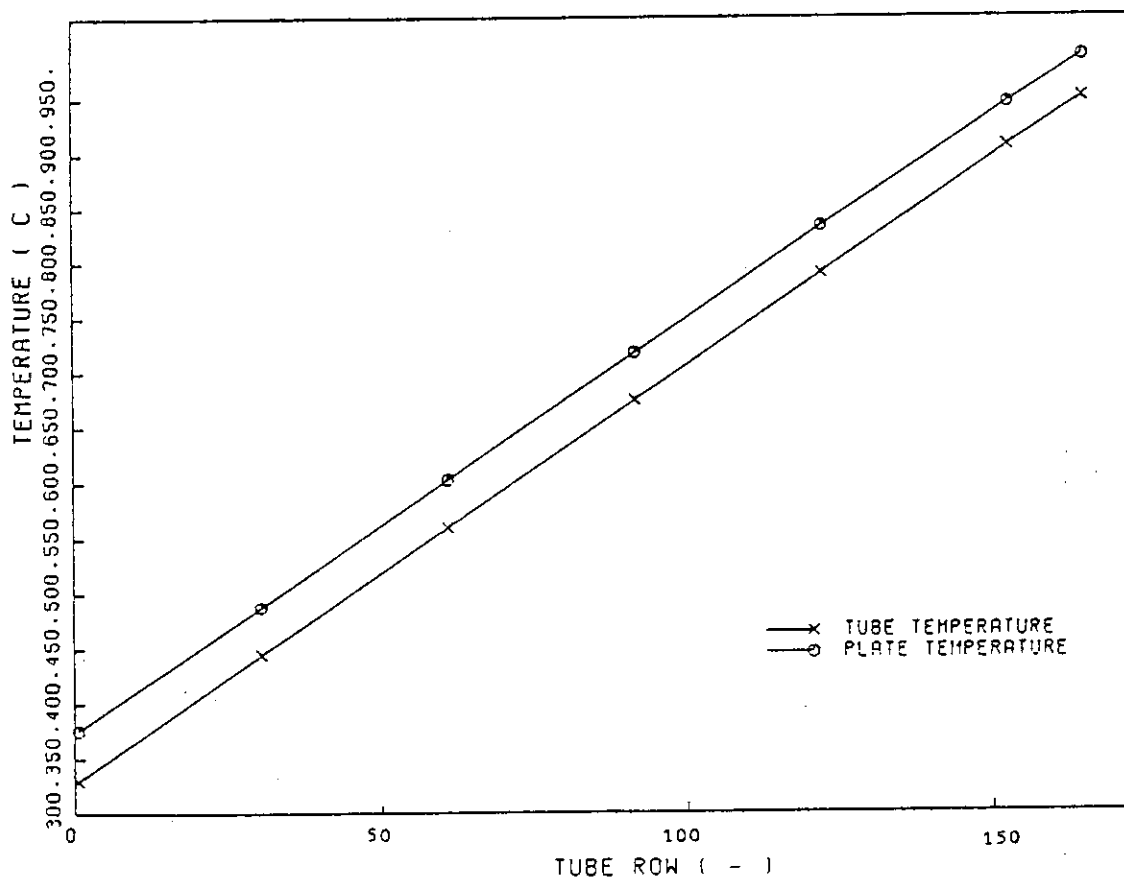


Fig. 4.8 Temperature distribution (B-Loop IHX)

1. NUMBER OF PLATE TYPE	TYPE1	8
	TYPE2	0
	TYPE3	0
2. TOTAL NUMBER OF TUBE ROW		126
3. TOTAL NUMBER OF TUBE COLUMN		11
4. TUBE DIAMETER (mm)	OUTSIDE	25.4
	INSIDE	20.8
5. RADIUS OF TUBE COLUMN (mm)	FIRST	269.0
	LAST	650.0
6. PLATE THICKNESS (mm)		25.4
7. HORIZONTAL PITCH (mm)		38.1
8. VERTICAL PITCH (mm)		38.1
9. PRESSURE ON TUBE (kg/mm ²)	OUTER SURFACE	0.403
	INNER SURFACE	0.290
10. TUBE TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN INSIDE AND OUTSIDE (CELCIUS)	:MAX	60.0
	:AVE	32.0
	:MIN	3.0
11. TUBE TEMPERATURE (CELCIUS)	FIRST ROW	283.0
	LAST ROW	222.5
12. PLATE TEMPERATURE (CELCIUS)	FIRST ROW	790.0
	LAST ROW	241.0
13. MATERIAL	TUBE	2-1/4Cr-1Mo
	PLATE	INCOLOY-800
		2-1/4Cr-1Mo

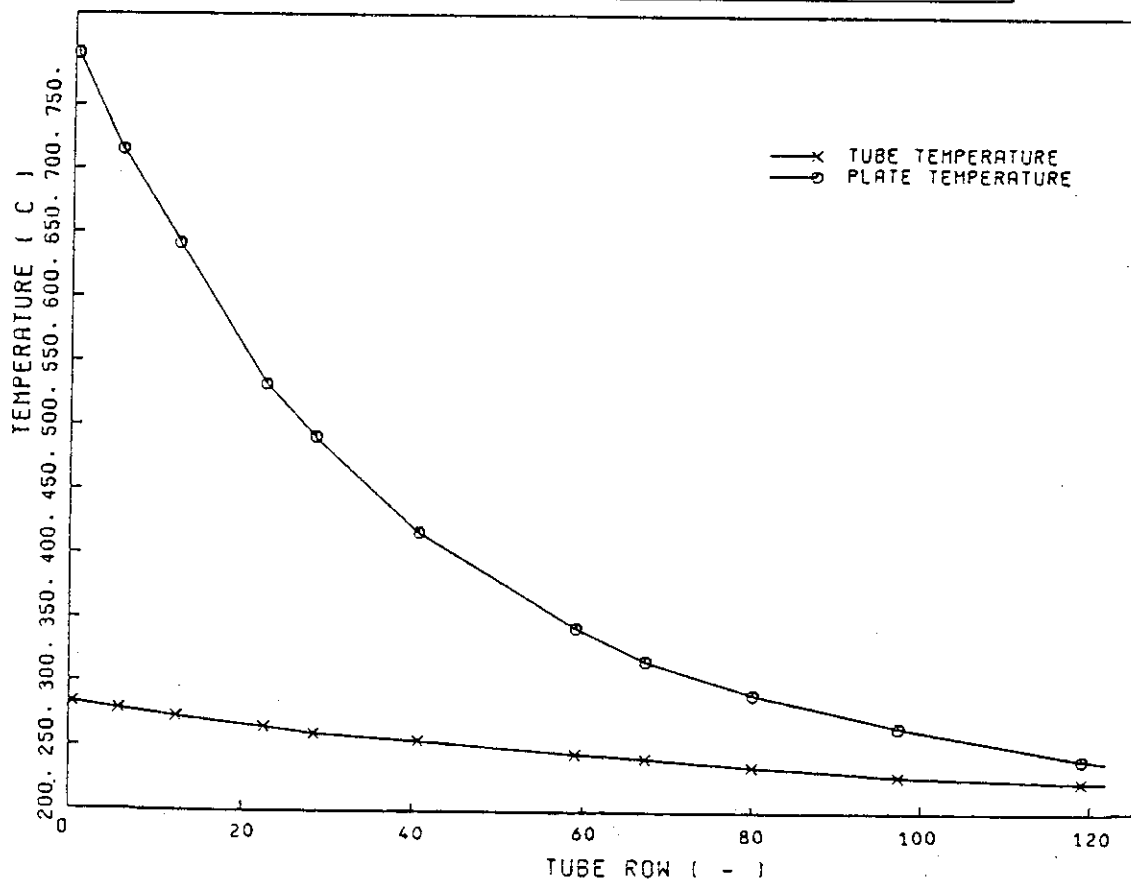


Fig. 4.9 Temperature distribution (B-Loop st-3 SG)

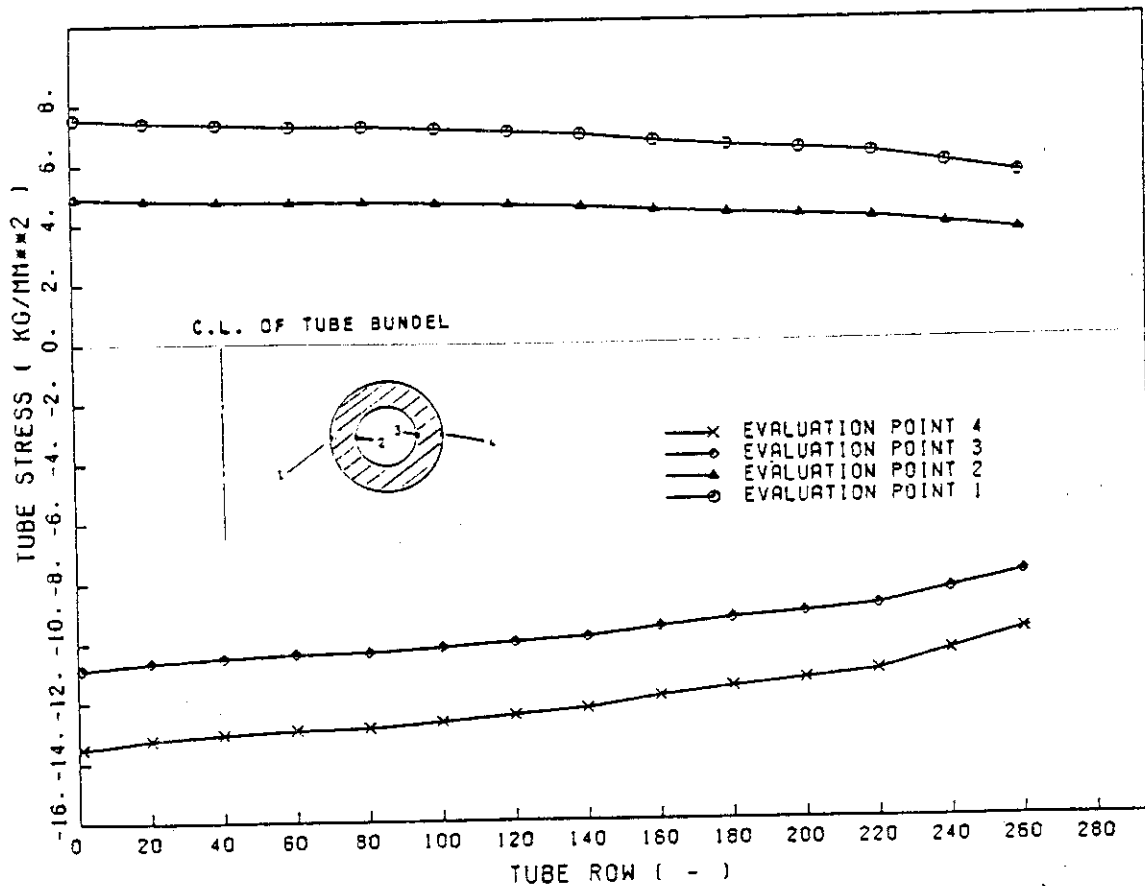
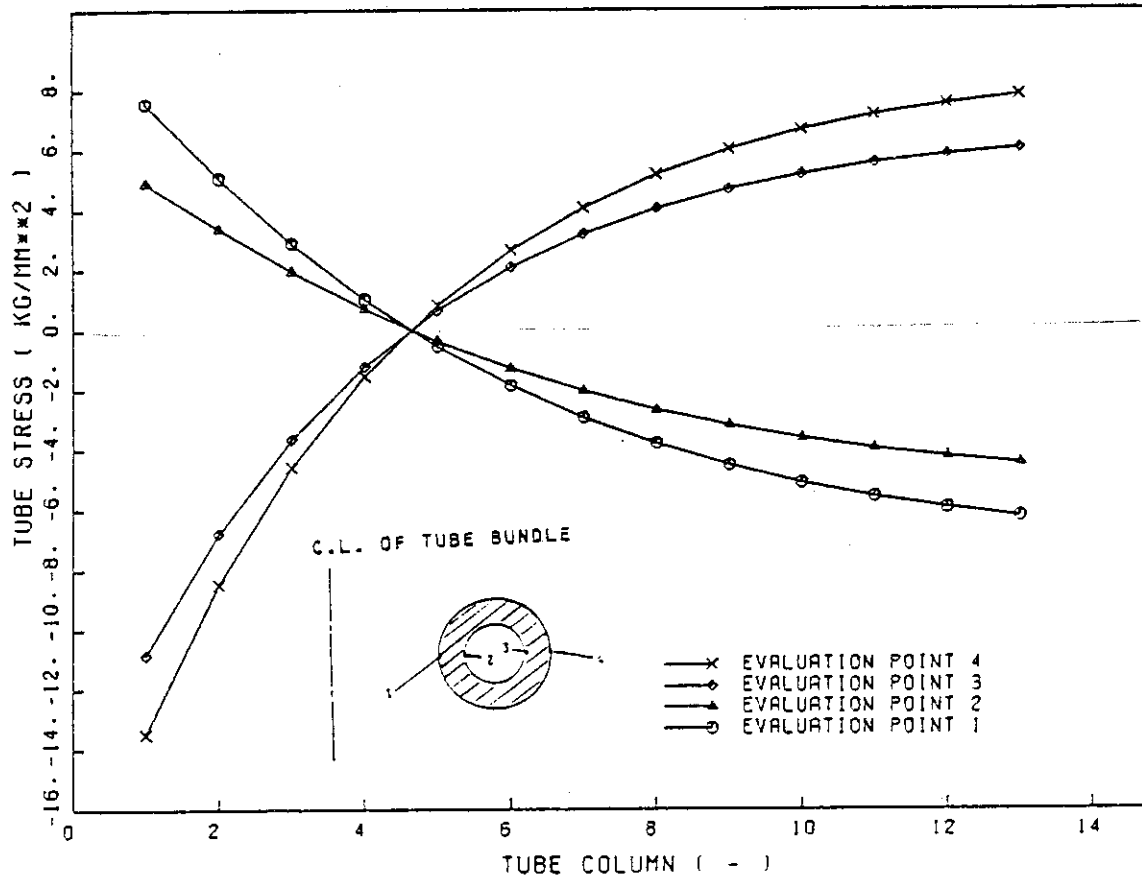


Fig.4.10 Stress distribution : A-loop IHX (standard design)

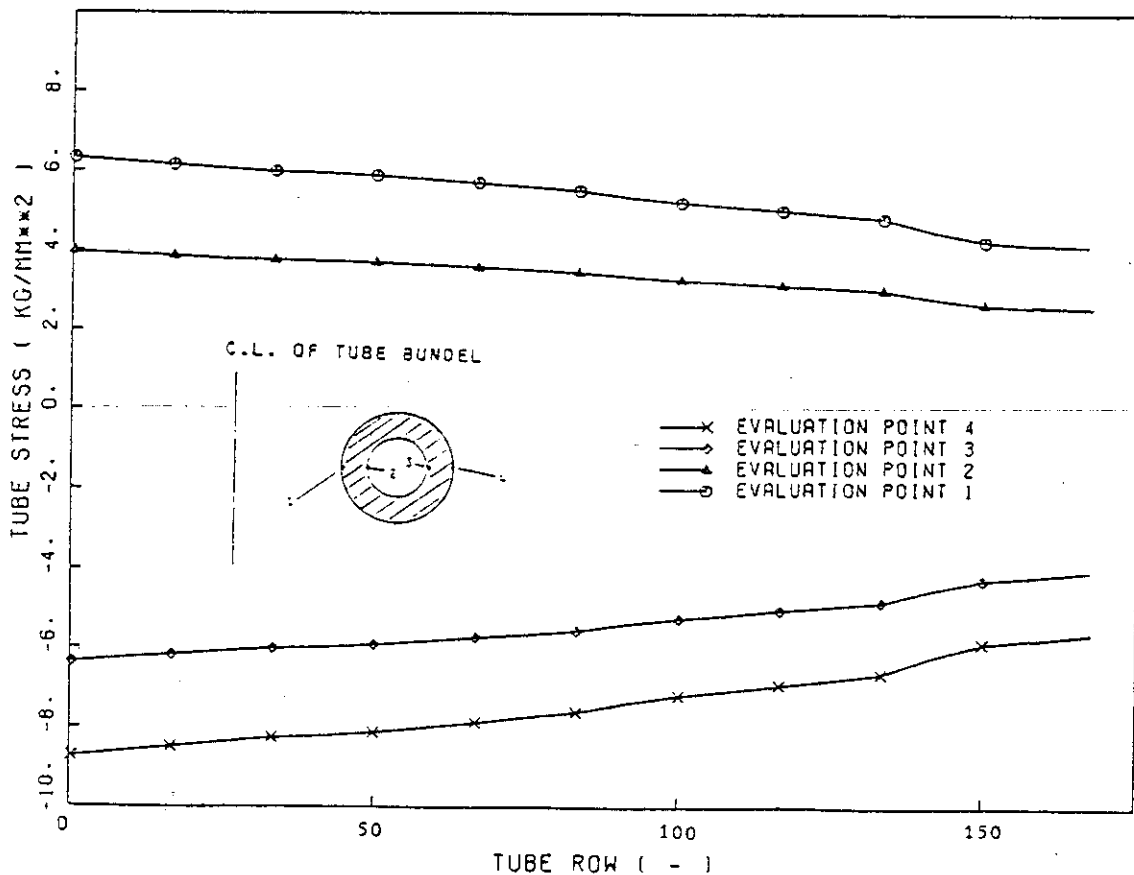
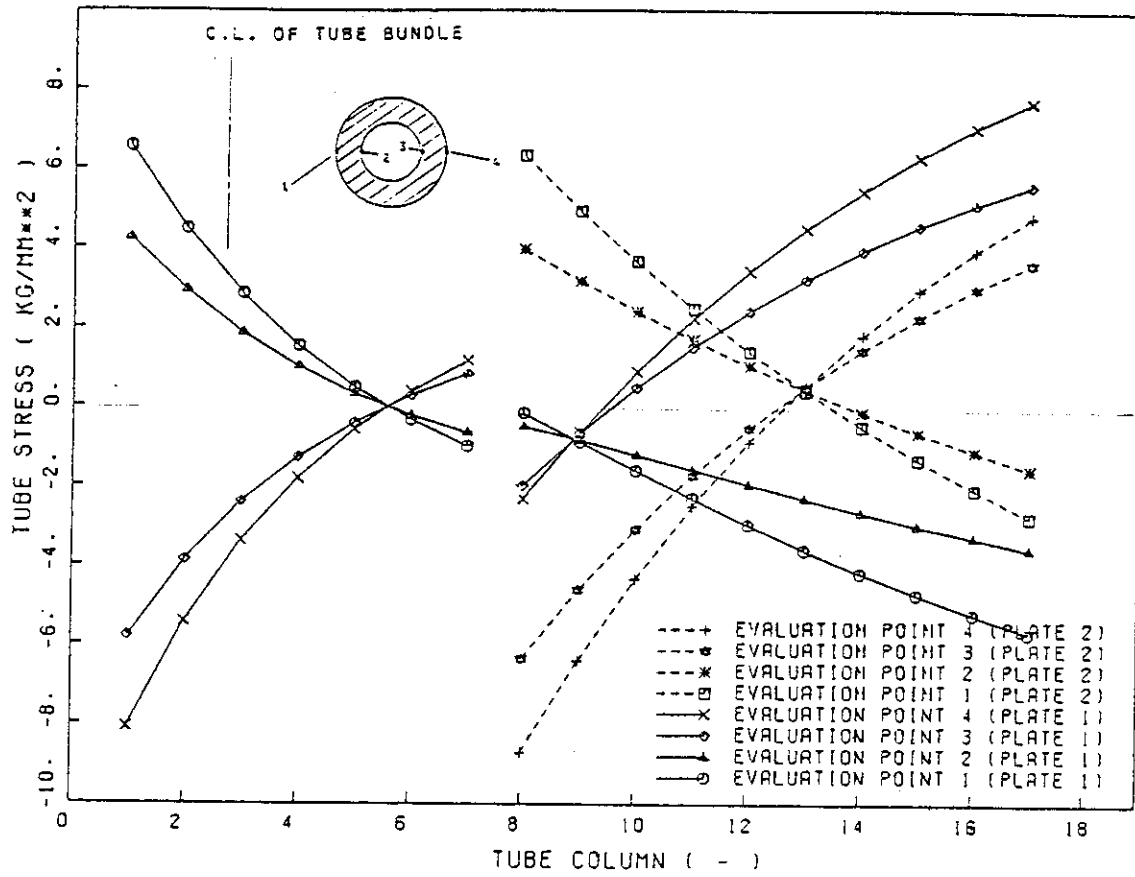


Fig.4.11 Stress Distribution : B-loop IHX (standard design)

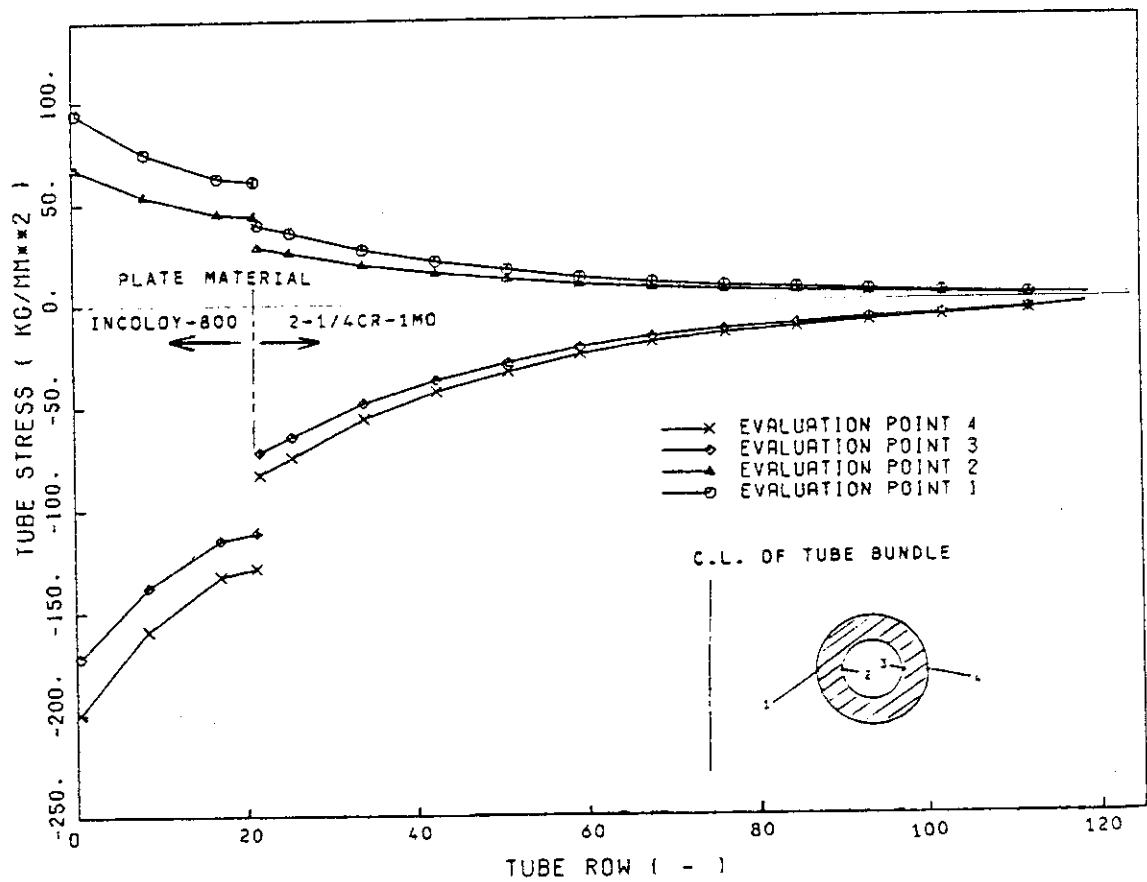
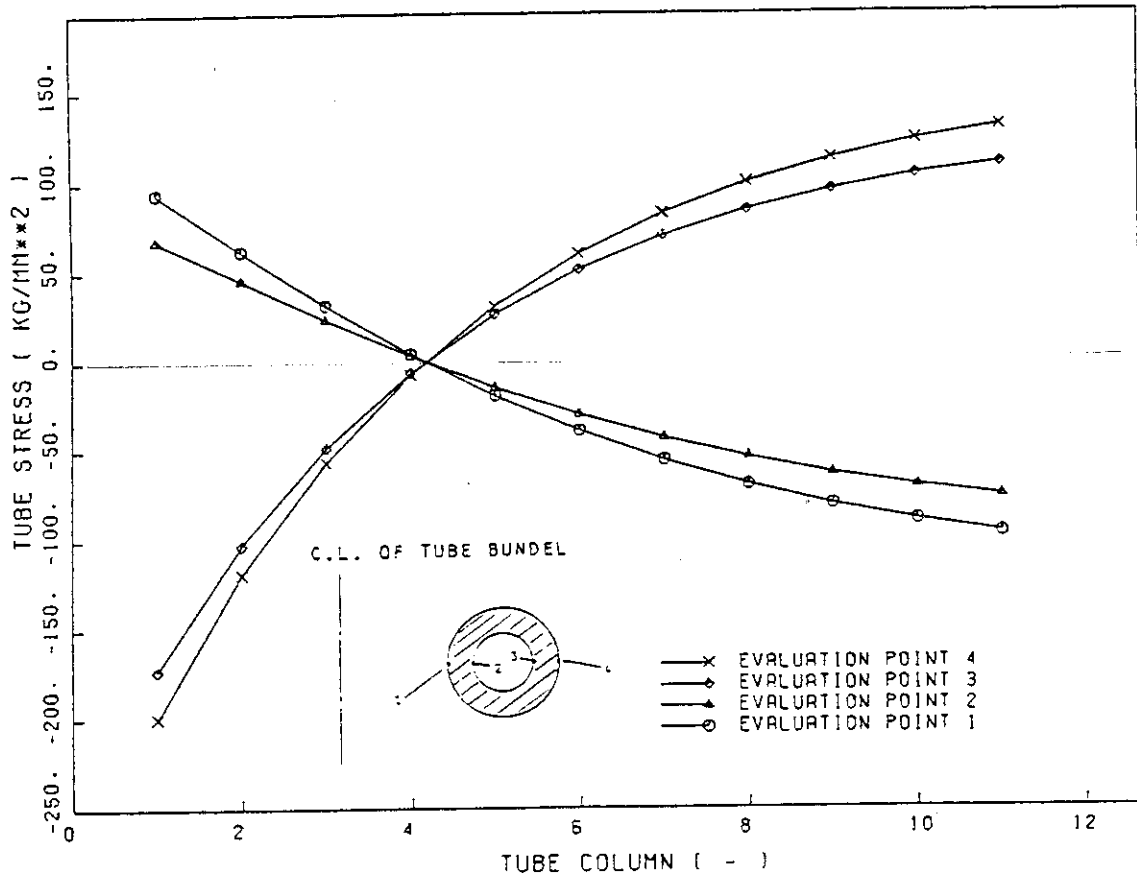


Fig.4.12 Stress distribution : B-loop step-3 SG (standard design)

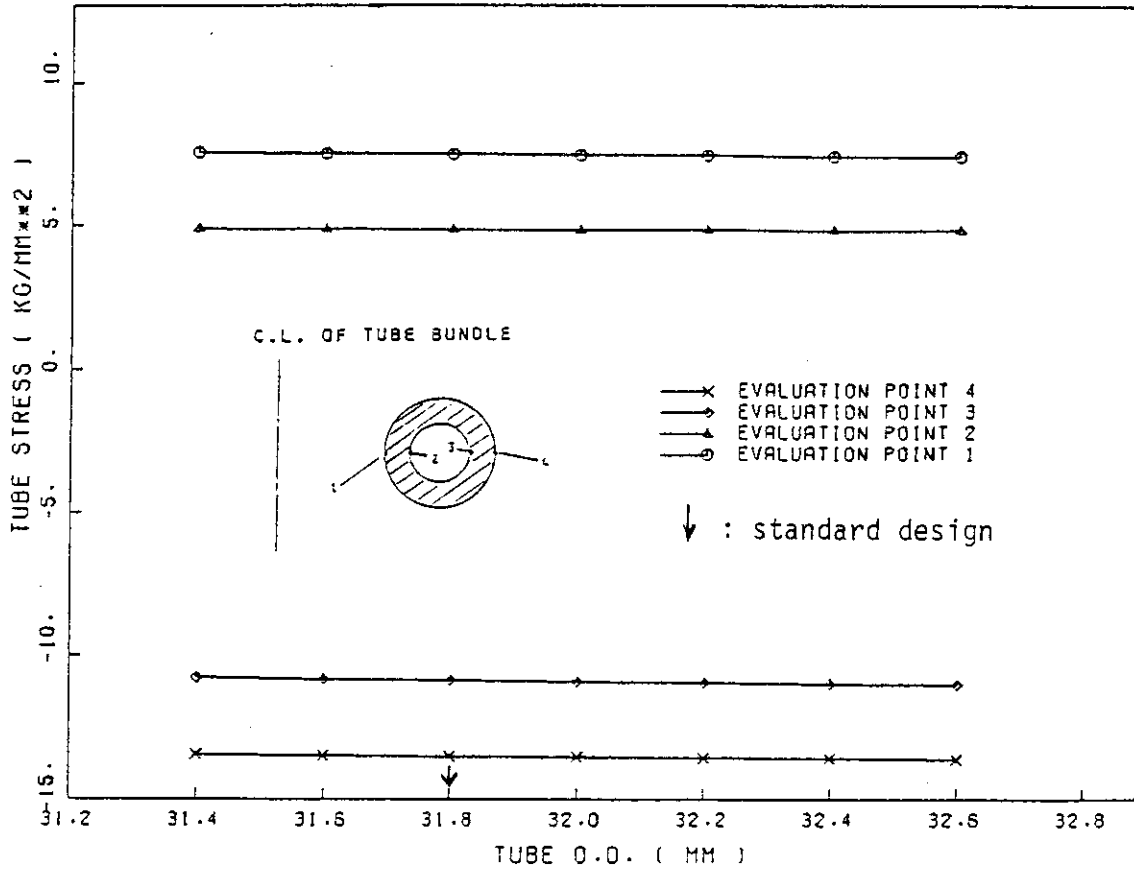


Fig.4.13 Tube O.D. influence (A-loop IHX)

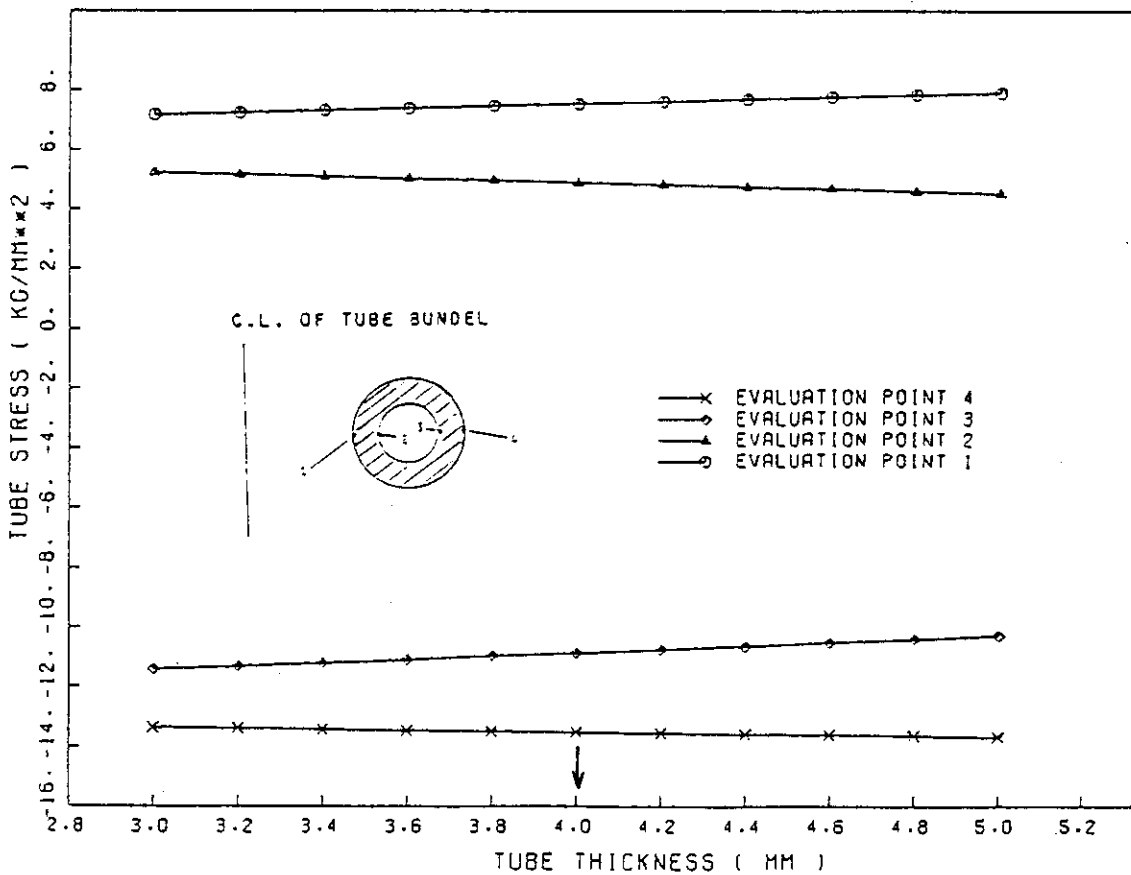


Fig.4.14 Tube thickness influence (A-loop IHX)

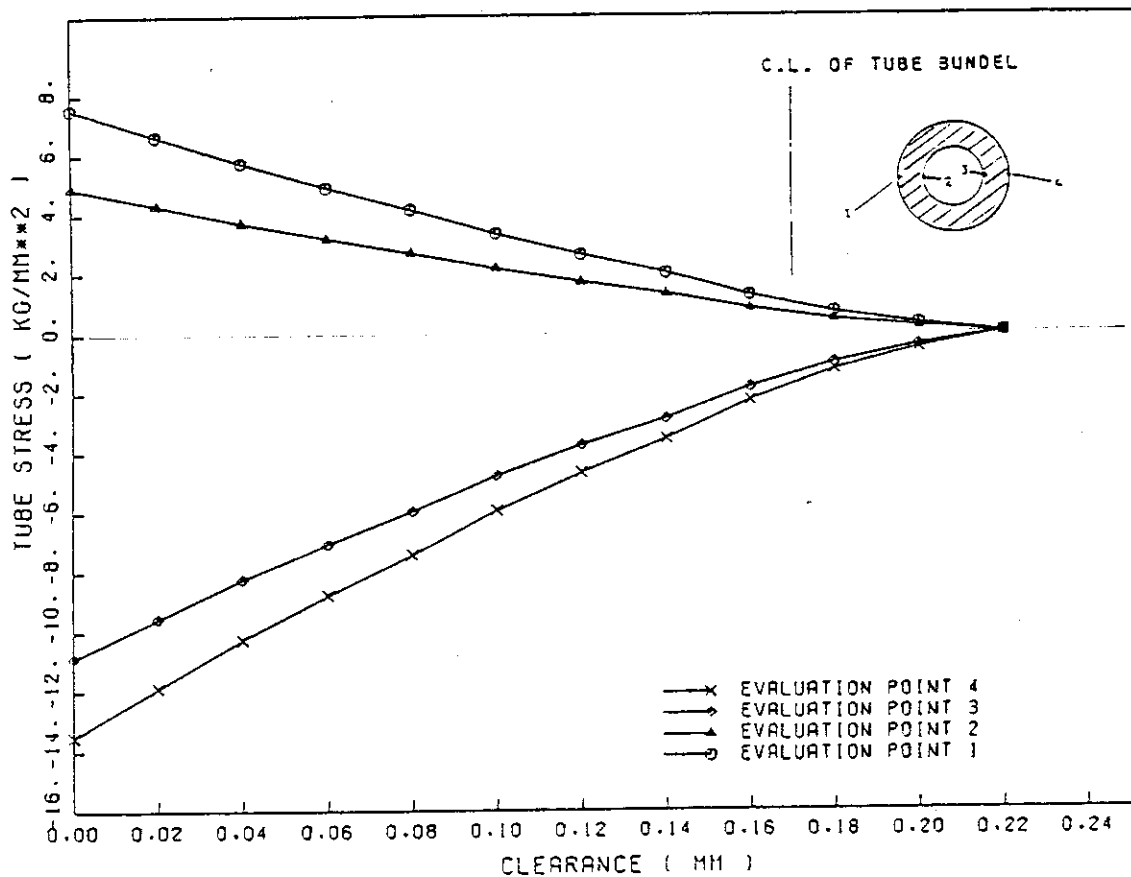


Fig.4.15 Tube clearance influence (A-loop IHX)

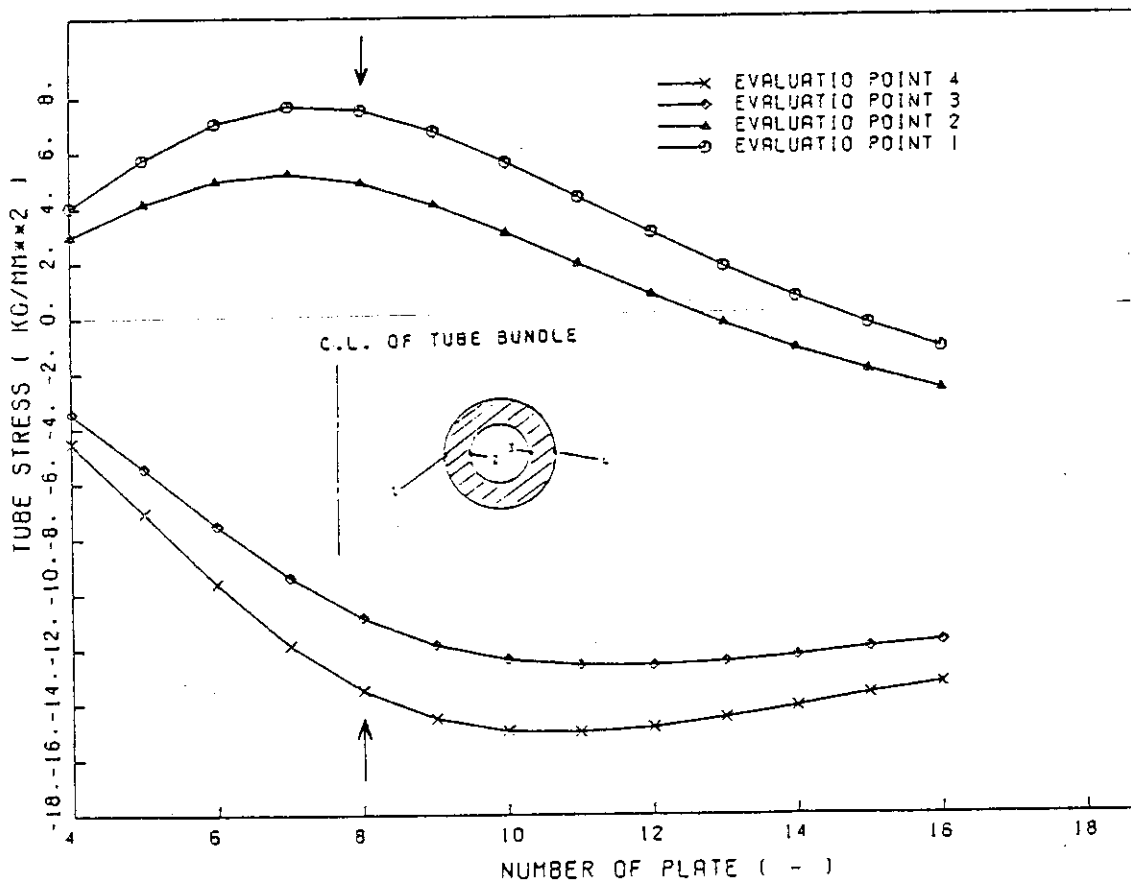


Fig.4.16 Plate No. influence (A-loop IHX)

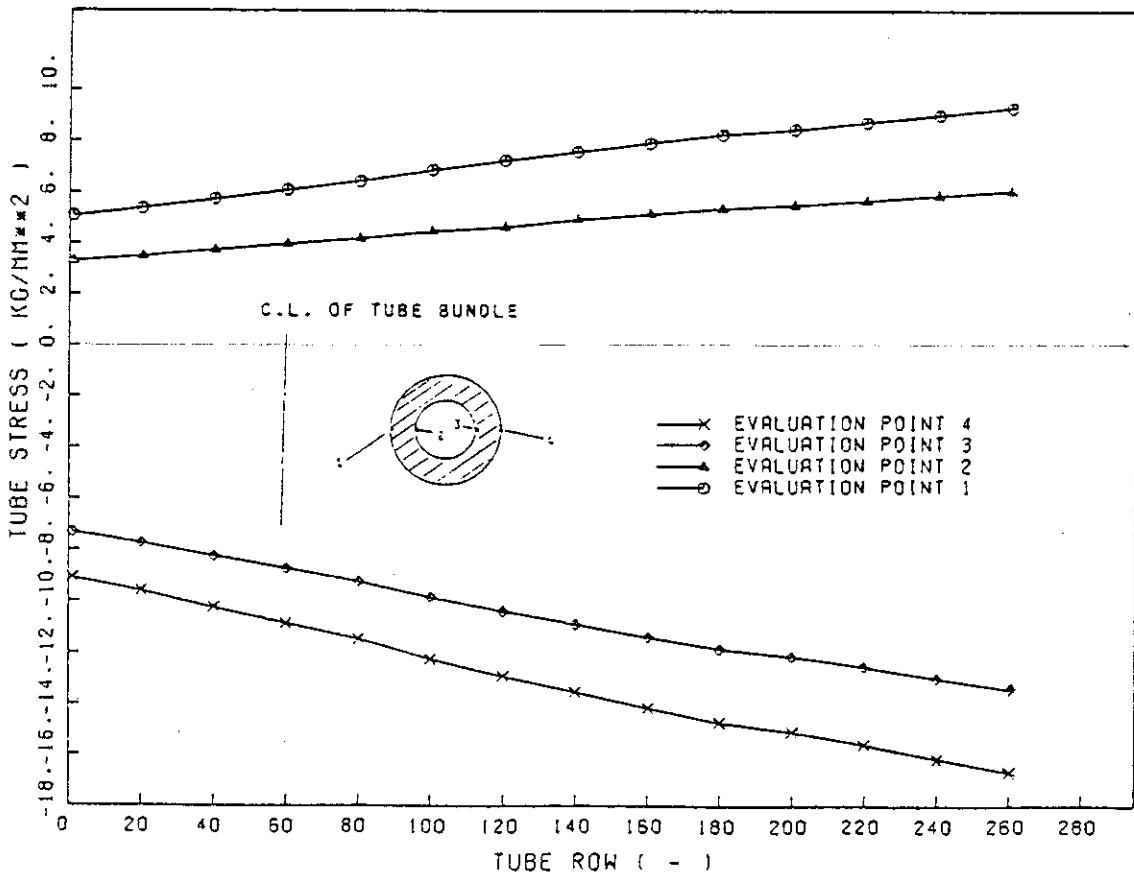
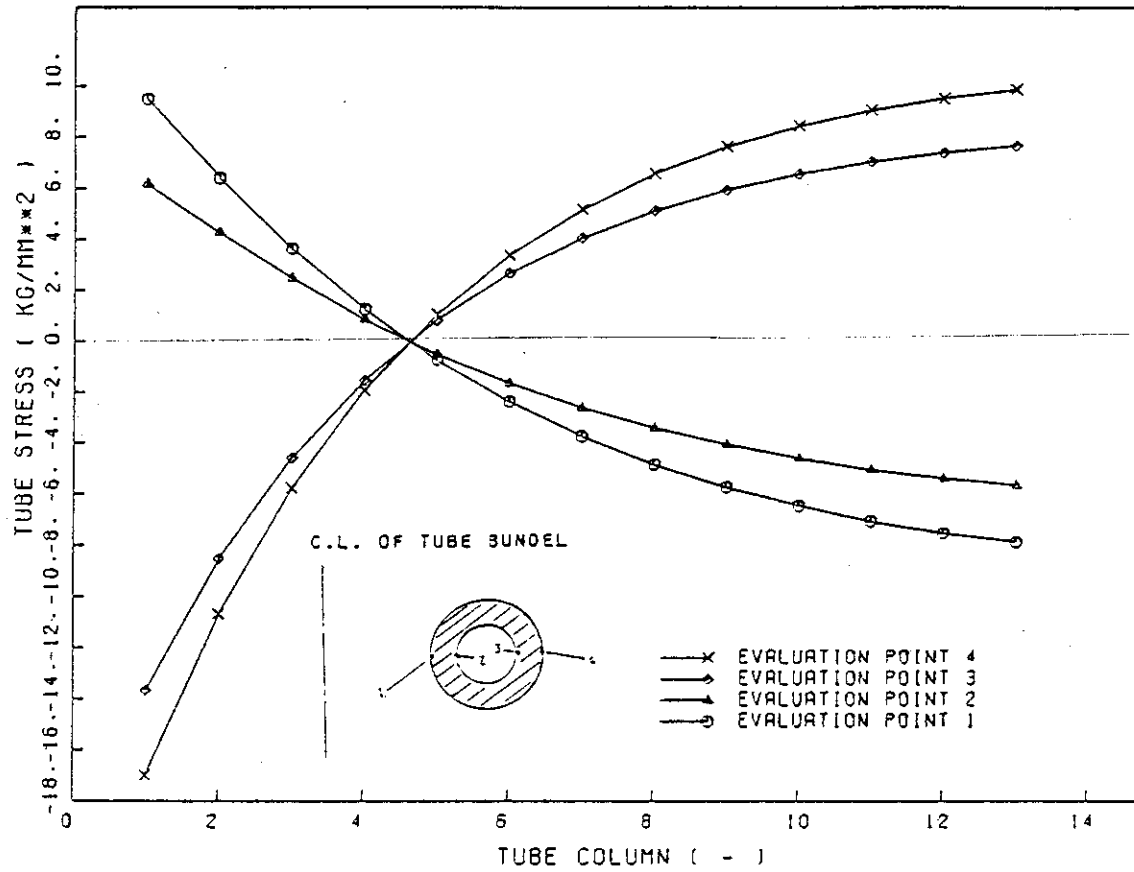


Fig.4.17 Stress distribution : (A-loop IHX step-3)

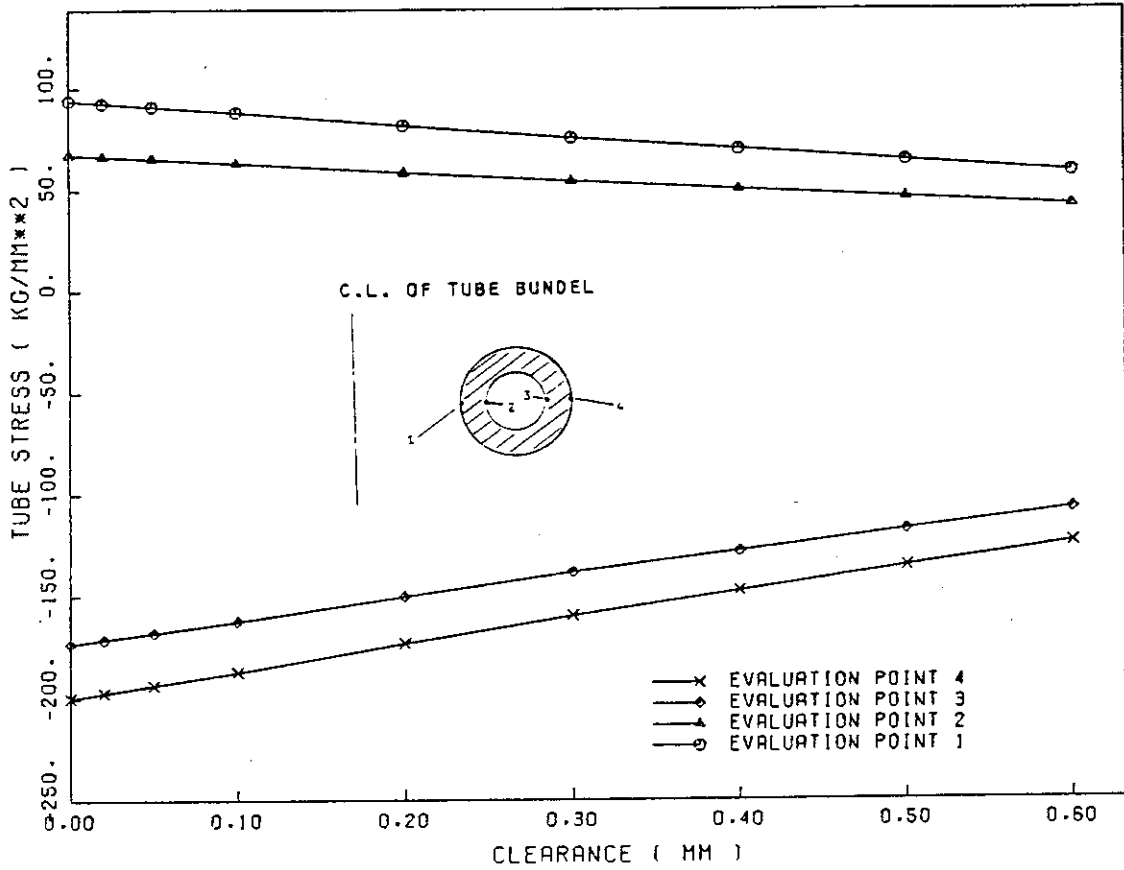


Fig.4.18 Clearance influence (B-loop step-3 SG)

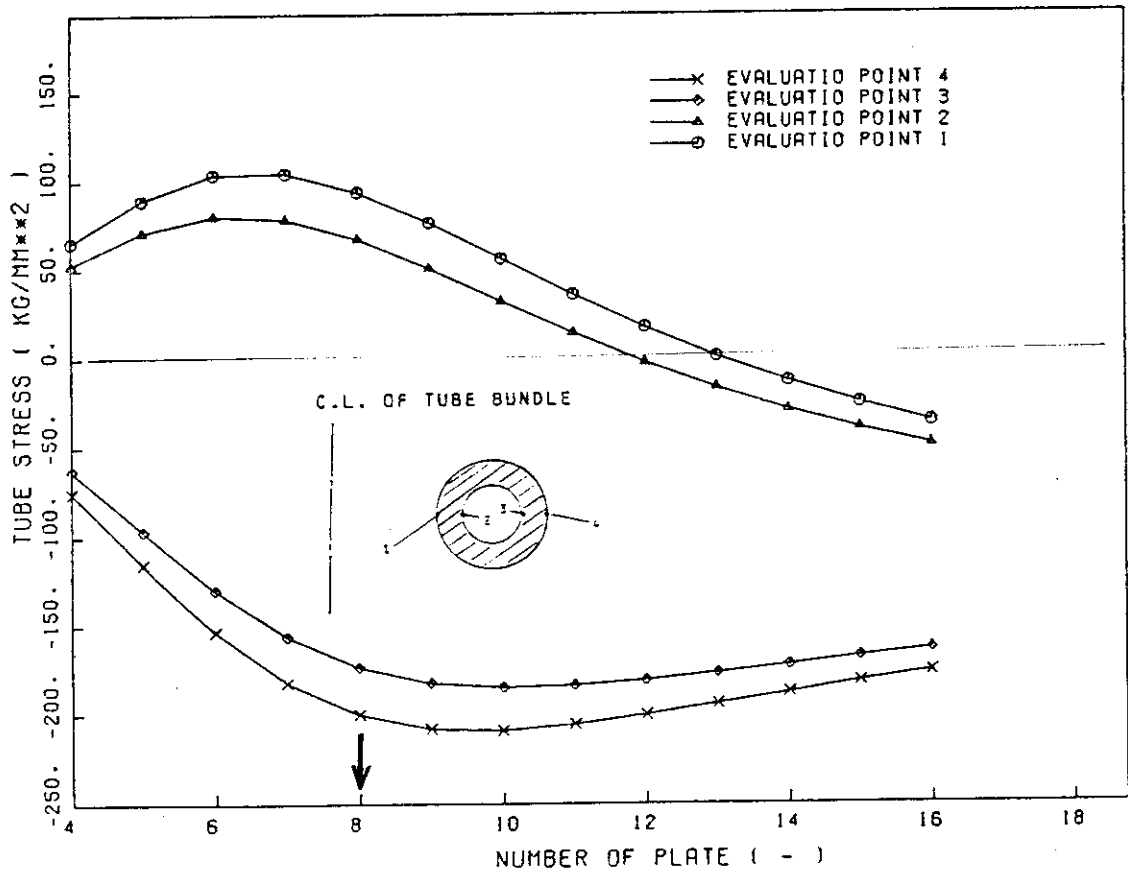


Fig.4.19 Plate NO. influence (B-loop step-3 SG)

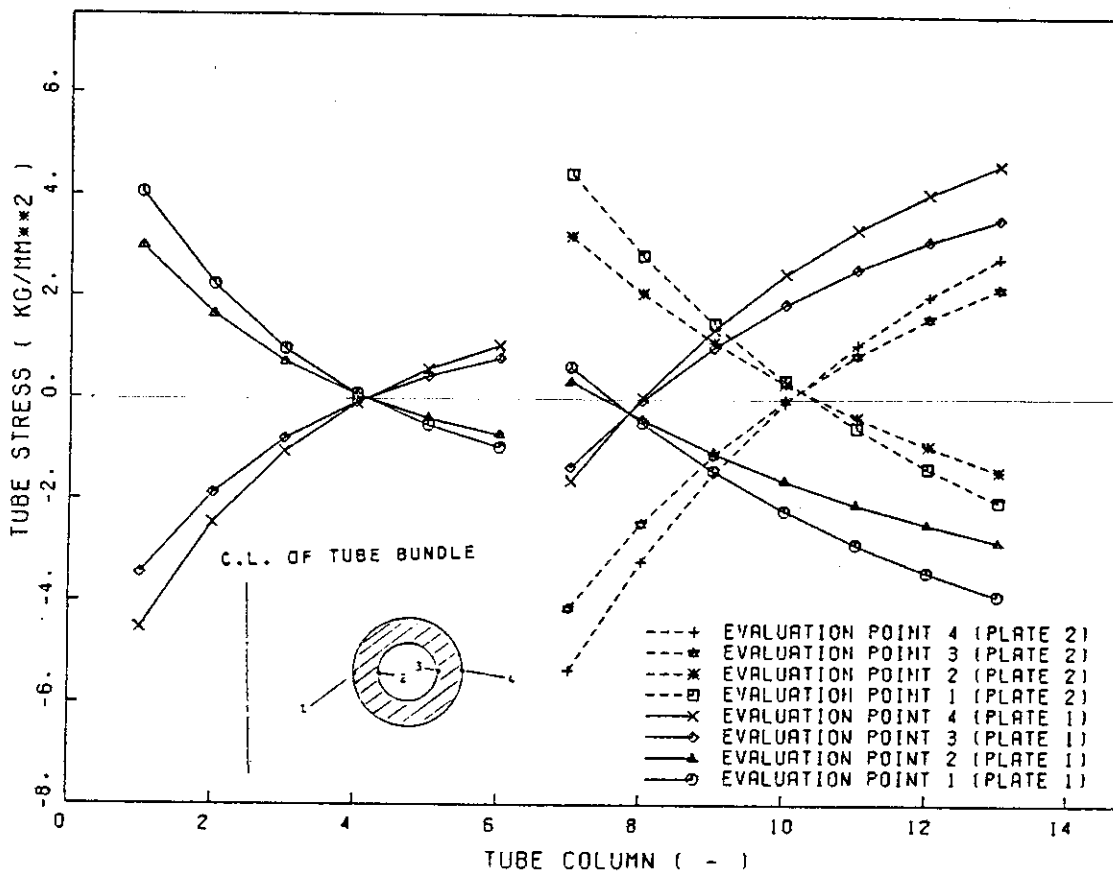


Fig.4.20 Stress distribution : A-loop IHX with plate type 1 and 2

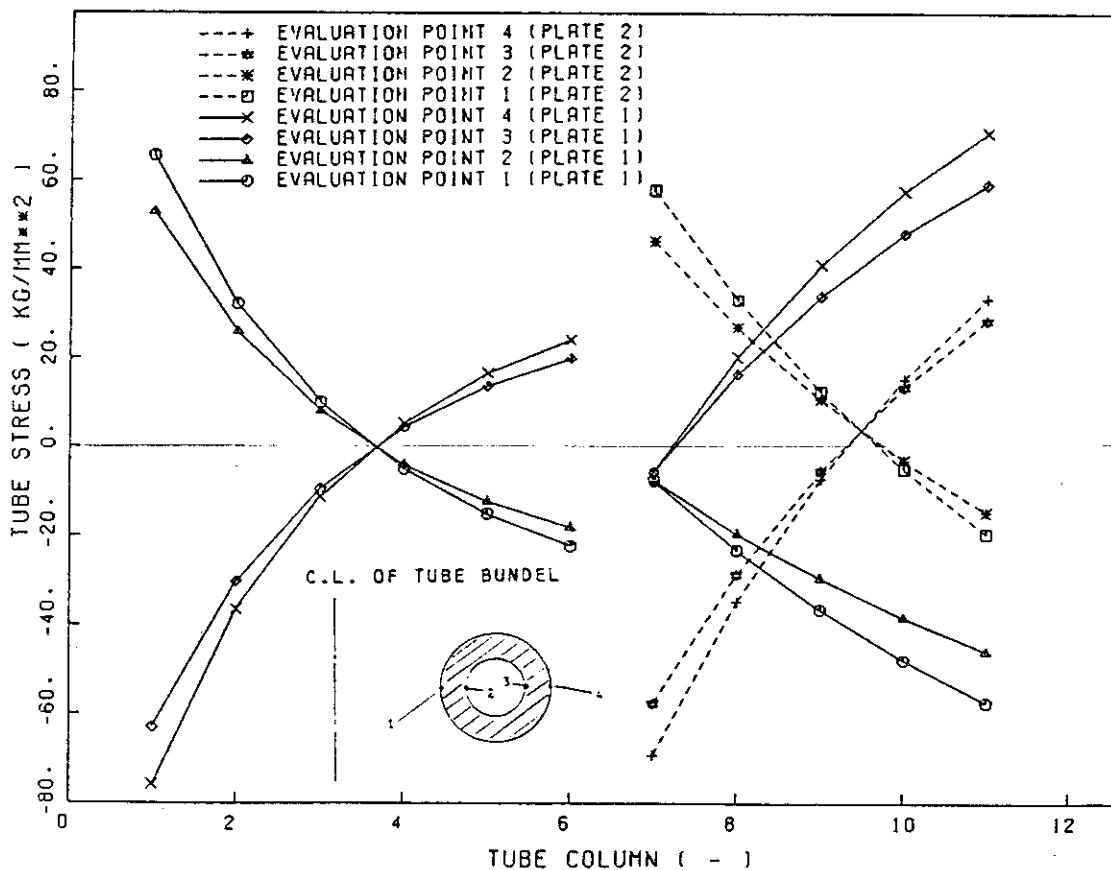


Fig.4.21 Stress distribution : B-loop SG with plate type 1 and 2

5. 結 論

ヘリカルコイル形熱交換器の伝熱管応力計算プログラム「BEARHUG」の改良整備を行なった。即ち、コーディングに際しての数個所の誤りの修正、入出力の方法の効率化、物性値計算ルーチンの追加などの改良を行なった。

このコードを使用して多目的高温ガス実験炉の熱交換器伝熱管の熱応力解析を実施した結果、次のような結論を得た。

(1) Aループ中間熱交換器伝熱管に関しては、定格運転時高温側において支持プレートとの熱膨張差により 9.6 kg/mm^2 の応力が発生する。この結果を用いて、伝熱管の寿命評価を行ない、1次応力制限、ひずみ制限を満足することが明らかにされた。

(2) Bループ中間熱交換器伝熱管に関しては、高温側において約 4.6 kg/mm^2 の応力が発生し、Aループと比較しても十分小さく許容値を満足している。一方、Bループ運転段階3用蒸気発生器伝熱管に関しては、高温部において伝熱管と支持プレートとの温度差が $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上となり、発生応力は 200 kg/mm^2 近くになるため許容値をはるかに上回り、熱設計を含めた構造設計再検討が必要である。

次に基本形状に関する解析、およびパラメータサーベイを実施した結果、支持プレートと伝熱管の熱膨張差により発生する伝熱管熱応力の低減に関しては以下のようなことが明らかにされた。

(1) タイプ1の支持プレート枚数が少ないほど発生応力は低くなる。

(2) 支持プレートの種類についてはタイプ1とタイプ2を組み合わせた構造がタイプ1のみを用いた場合よりも発生応力は低くなる。

実際の支持構造を設計する場合においては、耐震上からは支持プレートは多い方がよく、一方、据付、製作上からは少ない方がよいため、最適な形状としては、タイプ1とタイプ2をそれぞれ4～6枚組み合わせた形状が優れていると考えられる。

謝 辞

本報を作成するうえで御指導いただいた多目的高温ガス実験炉設計室の副主任研究員武藤康氏に深く感謝の意を表します。また、解析結果の検討に関して様々な助言を与えていただいた同設計室のプラントグループのみなさまに深く感謝の意を表します。

5. 結 論

ヘリカルコイル形熱交換器の伝熱管応力計算プログラム「BEARHUG」の改良整備を行なった。即ち、コーディングに際しての数箇所での誤りの修正、入出力の方法の効率化、物性値計算ルーチンの追加などの改良を行なった。

このコードを使用して多目的高温ガス実験炉の熱交換器伝熱管の熱応力解析を実施した結果、次のような結論を得た。

(1) Aループ中間熱交換器伝熱管に関しては、定格運転時高温側において支持プレートとの熱膨張差により 9.6 kg/mm^2 の応力が発生する。この結果を用いて、伝熱管の寿命評価を行ない、1次応力制限、ひずみ制限を満足することが明らかにされた。

(2) Bループ中間熱交換器伝熱管に関しては、高温側において約 4.6 kg/mm^2 の応力が発生し、Aループと比較しても十分小さく許容値を満足している。一方、Bループ運転段階3用蒸気発生器伝熱管に関しては、高温部において伝熱管と支持プレートとの温度差が $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上となり、発生応力は 200 kg/mm^2 近くになるため許容値をはるかに上回り、熱設計を含めた構造設計再検討が必要である。

次に基本形状に関する解析、およびパラメータサーベイを実施した結果、支持プレートと伝熱管の熱膨張差により発生する伝熱管熱応力の低減に関しては以下のようなことが明らかにされた。

(1) タイプ1の支持プレート枚数が少ないほど発生応力は低くなる。

(2) 支持プレートの種類についてはタイプ1とタイプ2を組み合わせた構造がタイプ1のみを用いた場合よりも発生応力は低くなる。

実際の支持構造を設計する場合においては、耐震上からは支持プレートは多い方がよく、一方、据付、製作上からは少ない方がよいため、最適な形状としては、タイプ1とタイプ2をそれぞれ4～6枚組み合わせた形状が優れていると考えられる。

謝 辞

本報を作成するうえで御指導いただいた多目的高温ガス実験炉設計室の副主任研究員武藤康氏に深く感謝の意を表します。また、解析結果の検討に関して様々な助言を与えていただいた同設計室のプラントグループのみなさまに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) H.H. Woo: "CSTRES user's manual",; GA-A15162, VC-77 (1978)
- 2) 山田嘉昭: "マトリックス法材料力学", 培風館, 東京 (1980)
- 3) Roark, R.J., and Young, W.C., "Formulas for Stress and Strain"; 5th ed., McGraw-Hill, New York, (1975) p.226.
- 4) Timoshenko, S.P., and Goodier, J.C., "Theory of Elasticity"; 3rd ed., McGraw-Hill, New York, (1970) p.449.
- 5) ASME, Criteria for Design of Elevated Temperature Class 1 Components in Section III, Division 1, of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, ASME (1976).
- 6) Richard, C.E. "Simplified Inelastic Analysis in Helical Coil Heat Exchanger Design"; Transaction of the ASME, Vol. 102, No. 3 (1980)
- 7) 日本原子力研究所, 富士電機製造(株), 三菱重工業(株), (株)日立製作所, 日本原子力事業(株): "多目的高温ガス実験炉詳細設計(I)報告書"; (1981年3月, 未公開資料)

Appendix-1 Input Data Format of 'BEARHUG' code

WORD	2				
COLUMN	11-70	71-72	73-74	75-76	77-78
FORMAT	I5A4	I2	I2	I2	I2
CARD 1	Output option for debug				
SYMBOL	TITLE	IDEBUG(1)	IDEBUG(2)	IDEBUG(3)	IDEBUG(4)
					IDEBUG(5)

WORD	1	2	3	4	5	6
COLUMN	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40
FORMAT	I5	I5	I5	I5	I5	I5
CARD 2	Number of fu- 11 support plates	Number of plate types	Number of tube rows	Number of tube columns	Number of tube groups	Number of plate groups
SYMBOL	NEPLT	NPLT	NROW	NCOL	NTPR	NPPR

WORD	7	8	9	10	11	
COLUMN	41-45	46-50	51-55	56-60	61-65	
FORMAT	I5	I5	I5	I5	I5	
CARD 2 (continued)	Number of tube rows for tube tem- perature in- put.	Number of tube rows for plate temperature input.	Number of tube plate clearance data cards.	Number of materials	Option for output of tube tempera- ture profile	Option for output of plate tem- perature profile.
SYMBOL	NIRTi	NPRTi	NTPC	NMAT	IPRINT(1)	IPRINT(2)

WORD	
COLUMN	70-75
FORMAT	I5
CARD 2 (continued)	Option for output of clearance data.
SYMBOL	IPRINT(3)

WORD	1	2	3	4	5
COLUMN	11-15	16-20	21-25	26-30	31-40
FORMAT	I5	I5	I5	I5	F10.0
CARD 3	First row number for plate type i.	Last row number for plate type i.	First column number for plate type i.	Last column number for plate type i.	Thickness for plate type i.
SYMBOL	IPL(i,1)	IPL(i,2)	ICOL(i,1)	ICOL(i,2)	PTK(i)

WORD	1	2	3	4	5
COLUMN	11-15	16-20	21-30	31-40	41-50
FORMAT	I5	I5	F10.0	F10.0	F10.0
CARD 4	Beginning row number for tube group i.	Ending row number for tube group i.	Tube O.D.	Tube I.D.	Pressure on tube outer surface.
SYMBOL	ROWT(i)	NPT(i)	TOD(i)	TID(i)	TOP(i)

WORD	6	7	8
COLUMN	51-60	61-70	71-75
FORMAT	F10.0	F10.0	I5
CARD 4 (continued)	Pressure on tube inner surface.	Temperature difference between inner and outer sur- face of tube.	Material num- ber of tube group i.
SYMBOL	TIP(i)	DTIO(i)	NTMAT(i)

WORD	1	2	3	4	.....
COLUMN	11-15	16-20	21-25	26-30	.....
FORMAT	I5	I5	I5	F5.0	I5 F5.0
CARD 5	Row number for tube tem- perature input	Number of columns for temperature input in this row	Column number	Tube temperature	.....
SYMBOL	i	NCT	NNC(1)	TT(1)	NNC(i) TT(i)

WORD	1 to NCOL	.....
COLUMN	11-20, 21-30, etc.	.....
FORMAT	F10.0	F10.0
CARD 6	Radius for each tube column	.....
SYMBOL	RT(i), i=1, NCOL	.....

WORD	1	2	3	4	5	6
COLUMN	11-15	16-20	21-32	41-50	51-60	61-65
FORMAT	I5	I5	3A4	F10.0	F10.0	I5
CARD 7	Beginning row number for plate region i.	Ending row number for plate region i.	Name for this plate region	Vertical pitch	Horizontal pitch	Material number of this plate group.
SYMBOL	ROWP(i)	NRP(i)	NAME(i,3)	PITCH(i)	PITHH(i)	NPMAT(i)

WORD	1	2	3	4	...	...
COLUMN	11-15	16-20	21-25	26-30	...	...
FORMAT	I5	I5	I5	F5.0	I5	F5.0
CARD 8	Row number for plate temperature input.	Number of columns for temperature input in this column.	Column number	Plate temperature	...	...
SYMBOL	i	NCP	NNC(i)	TP(i)	NNC(i)	TP(i)

WORD	1	2	3	4	5	6	7
COLUMN	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-50
FORMAT	I5	I5	I5	I5	I5	I5	F10.0
CARD 9	Beginning row number for tube-plate clearance.	Ending row number for tube-plate clearance.	Beginning column number for tube-plate clearance.	Ending column number for tube-plate clearance.	Beginning plate type for tube-plate clearance.	Ending plate type for tube-plate clearance.	Tube-plate clearance in those described locations.
SYMBOL	I1	I2	J1	J2	K1	K2	DP

WORD	1	2	3	4
COLUMN	11-30	31-35	36-40	41-45
FORMAT	5A4	I5	I5	I5
CARD 10	Material name of material number i.	Number of temperature input points for thermal expansion coefficient.	Number of temperature input points for Young's Modulus.	Number of temperature input points for Poisson's ratio.
SYMBOL	MAINA(i,j)	NTEP(i,1)	NTEP(i,2)	NTEP(i,3)

WORD	1	2	3	4	5	6
COLUMN	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70
FORMAT	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0
CARD 11	Temperature	Thermal expansion coefficient	Temperature	Thermal expansion coefficient	...	...
SYMBOL	AALFA(i,1,1)	AALFA(i,1,2)	AALFA(i,2,1)	AALFA(i,2,2)	...	...

WORD	1	2	3	4	5	6
COLUMN	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70
FORMAT	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0
CARD 12	Temperature	Young's Modulus	Temperature	Young's Modulus	...	...
SYMBOL	EE(i,1,1)	EE(i,1,2)	EE(i,2,1)	EE(i,2,2)	...	...

WORD	1	2	3	4	5	6
COLUMN	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70
FORMAT	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0	F10.0
CARD 13	Temperature	Poisson's ratio	Temperature	Poisson's ratio	...	...
SYMBOL	PPOIS(i,1,1)	PPOIS(i,1,2)	PPOIS(i,2,1)	PPOIS(i,2,2)	...	...

NOTE

CARD 1 ; TITLE: Enter the heading information to be printed with the output.

DEBUG(1)=1: Prints tube stiffness matrix $S(i,j)$ and total stiffness matrix $K(i,j)$.

DEBUG(5)=1: Prints axial and bending stresses for all rows and columns.

DEBUG(2)

DEBUG(3) : not used

DEBUG(4)

CARD 2 ; The capacity to handle problems with 340 tube rows, 32 tube columns and 25 tube and plate groups.

CARD 3 ; Repeat this card for plate type 2 and 3 if necessary.

CARD 4 ; Repeat this card for $i=1, NTPR$.

The tube inner and outer temperature are used to calculate the thermal gradient stress across the tube wall.

CARD 5 ; Use as many cards as required $i=1, NTRTI$.

If the temperature is uniform in a tube row, only one temperature input in tube column 1 is needed. The maximum number of tube column temperatures on one card is six. However, more than one card can be used for temperature input in a row if more than six locations are required to describe the temperature.

- CARD 6 ; Use as many cards as necessary to give the radii for all tube columns.
Seven tube column radii per card are allowed.
- CARD 7 ; Repeat this card for $i=1, NPPR$.
- CARD 8 ; Use as many cards as required $i=1, NPRTI$.
Use the same way as CARD 5.
- CARD 9 ; This card should be omitted if $NTPC=0$.
- CARD 10 ; Use as many sets of cards as required $i=1, NMAT$.
- CARD 11 ; Maximum 10 materials can be used and maximum 5 temperature input points are allowed for each material properties.
- CARD 12 ; The maximum number of temperature-property sets on one card is three. If more than 3 sets are required, one more card should be used.
- CARD 13

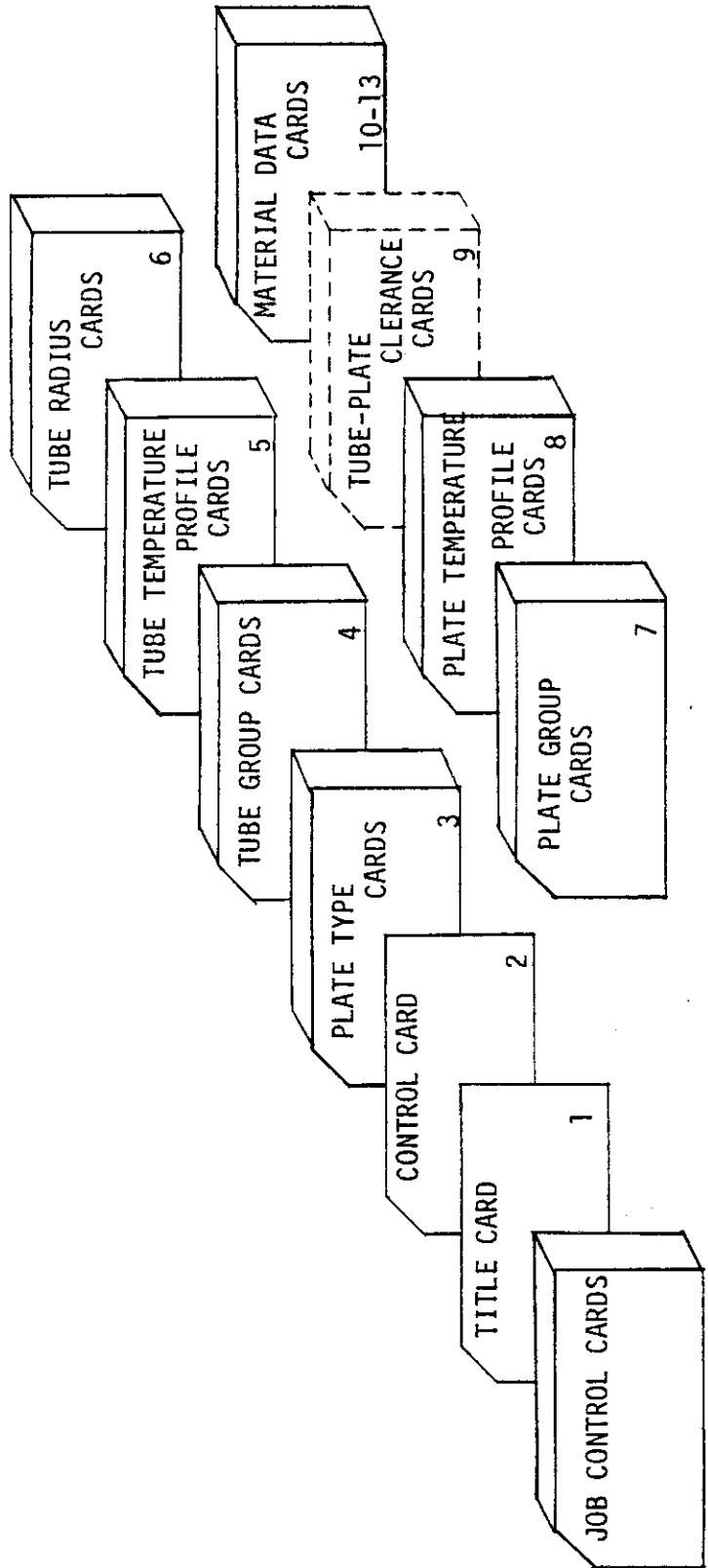


Fig. A The order of input data cards

Appendix-2 Fortran List of 'BEARHUG' Code

```

SUBROUTINE CSINPT
C
C THIS SUBROUTINE READS INPUT DATA FOR THE C-STRESS PROGRAM AND
C STORES THE DATA IN THE APPROPRIATE LOCATIONS.
C
C   DIMENSION T1( 32),NNC( 32),IA(80)
C
C   DIMENSION NTMAT(10),NPMAT(10)
C   INTEGER TITLE(15),ROWT(25),ROWP(25)
C
C   REAL IXP(25,3)
C
C   COMMON /BLK1/ TITLE,NFPLT,NROW,NCOL,IDBUG(5),IPRINT(4)
C   COMMON /BLK2/ NPLT,ICOL(3,2),IPL(3,2)
C   COMMON /BLK3/ TOD(25),TID(25),TOP(25),TIP(25),DTIO(25)
C   COMMON /BLK30/ NTPR,ROWT,NRT(25)
C   COMMON /BLK5/ RT( 32)
C   COMMON /BLK6/ NAME(25,3),PITCH(25),IXP,AY(25,3),PTK(3),PITHH(25)
C   COMMON /BLK60/ NPPR,ROWP,NRP(25)
C   COMMON /BLK7/ TP( 340, 32), TT( 340, 32)
C   COMMON /BLK8/ CC( 32,3)
C   COMMON /BLK80/ CC( 340, 32, 3)
C   COMMON /BLK9/ NTPC
C   COMMON /MBLK1/ MATNA(10,5), NTEP(10,3), NMAT
C   COMMON /MBLK2/ AALFA(10,9,2), EE(10,9,2), PPOIS(10,9,2)
C   COMMON /MBLK3/ NTRM( 340), NPPM( 340)
C
C   INTEGER ROWS, COLS
C   ROWS = 340
C   COLS = 32
C   REWIND 1
C
C   PRINT : * DATA INPUT CARD IMAGES *
C
C   1. READ TITLE CARD
C
C   READ(1,10) (TITLE(I),I=1,15),(IDBUG(I),I=1,5)
C 10 FORMAT(10X,15A4,5I2)
C
C   2. READ CONTROL CARD
C
C   READ(1,20) NFPLT,NPLT,NROW,NCOL,NTPR,NPPR,NRTI,NPRTI,NTPC,NMAT,
C * (IPRINT(I),I=1,4)
C 20 FORMAT(10X,14I5)
C
C   3. READ PLATE TYPE CARDS
C
C   DO 200 I=1,NPLT
C   READ(1,21) (IPL(I,1),IPL(I,2),ICOL(I,1),ICOL(I,2),PTK(I))
C 21 FORMAT(10X,4I5,F10.0)
C 200 CONTINUE
C
C   4. READ TUBE GROUP CARDS
C
C   DO 300 I=1,NTPR
C   READ(1,30) ROWT(I),NRT(I),TOD(I),TID(I),TOP(I),TIP(I),
C * DTIO(I),NTMAT(I)
C 30 FORMAT(10X,2I5,5F10.0,15)
C   II=ROWT(I)
C   JJ=NRT(I)
C   DO 310 J=II,JJ
C   NTRM(J)=NTMAT(I)
C 310 CONTINUE
C 300 CONTINUE

```

```

CSIN0010
CSIN0020
CSIN0030
CSIN0040
CSIN0050
CSIN0060
CSIN0070
CSIN0080
CSIN0090
CSIN0100
CSIN0110
CSIN0120
CSIN0130
CSIN0140
CSIN0150
CSIN0160
CSIN0170
CSIN0180
CSIN0190
CSIN0200
CSIN0210
CSIN0220
CSIN0230
CSIN0240
CSIN0250
CSIN0260
CSIN0270
CSIN0280
CSIN0290
CSIN0300
CSIN0310
CSIN0320
CSIN0330
CSIN0340
CSIN0350
CSIN0360
CSIN0370
CSIN0380
CSIN0390
CSIN0400
CSIN0410
CSIN0420
CSIN0430
CSIN0440
CSIN0450
CSIN0460
CSIN0470
CSIN0480
CSIN0490
CSIN0500
CSIN0510
CSIN0520
CSIN0530
CSIN0540
CSIN0550
CSIN0560
CSIN0570
CSIN0580
CSIN0590
CSIN0600
CSIN0610
CSIN0620
CSIN0630
CSIN0640
CSIN0650
CSIN0660
CSIN0670

```

C		CSIN0680
C	5. READ TUBE TEMPERATURE PROFILES	CSIN0690
C	DO 400 II=1,NTRTI	CSIN0700
	READ(1,40) I,NCT,(NNC(J),T1(J)),J=1,NCT)	CSIN0710
40	FORMAT(10X,2I5,6(I5,F5.0))	CSIN0720
	DO 401 J=1,NCT	CSIN0730
	K=NNC(J)	CSIN0740
401	TT(I,K)=T1(J)	CSIN0750
400	CONTINUE	CSIN0760
C		CSIN0770
C	6. READ TUBE BUNDLE RADIUS CARDS	CSIN0780
C	NRC=(NCOL-1)/7+1	CSIN0790
C	DO 500 II=1,NRC	CSIN0800
	KB=7*II-6	CSIN0810
	KE=7*II	CSIN0820
	READ(1,50) (RT(I),I=KB,KE)	CSIN0830
50	FORMAT(10X,7F10.0)	CSIN0840
500	CONTINUE	CSIN0850
C		CSIN0860
C	7. READ PLATE GROUP CARDS	CSIN0870
C	DO 600 I=1,NPPR	CSIN0880
	READ(1,60) ROWP(I),NRP(I),(NAME(I,K),K=1,3),PITCH(I),PITHH(I),	CSIN0890
	* NPMAT(I)	CSIN0900
60	FORMAT(10X,2I5,3A4,8X,2F10.0,I5)	CSIN0910
	II=ROWP(I)	CSIN0920
	JJ=NRP(I)	CSIN0930
	DO 610 J=II,JJ	CSIN0940
	NPPM(J)=NPMAT(I)	CSIN0950
610	CONTINUE	CSIN0960
600	CONTINUE	CSIN0970
C		CSIN0980
C	8. READ PLATE TEMPERATURE PROFILES	CSIN0990
C	DO 700 II=1,NPRTI	CSIN1000
	READ(1,40) I,NCP,((NNC(J),T1(J)),J=1,NCP)	CSIN1010
	DO 701 J=1,NCP	CSIN1020
	K=NNC(J)	CSIN1030
701	TP(I,K)=T1(J)	CSIN1040
700	CONTINUE	CSIN1050
C		CSIN1060
C	9. READ TUBE-PLATE CLEARANCE	CSIN1070
C	IF(NTPC.EQ.0) GO TO 811	CSIN1080
	DO 800 IC=1,NTPC	CSIN1090
	READ(1,80) I1,I2,J1,J2,K1,K2,DP	CSIN1100
80	FORMAT(10X,6I5,F10.0)	CSIN1110
	DO 115 I=I1,I2	CSIN1120
	DO 114 J=J1,J2	CSIN1130
	DO 114 K=K1,K2	CSIN1140
	CC(I,J,K)=DP	CSIN1150
114	CONTINUE	CSIN1160
115	CONTINUE	CSIN1170
800	CONTINUE	CSIN1180
811	CONTINUE	CSIN1190
C		CSIN1200
C	10. READ MATERIAL DATA CARDS	CSIN1210
C	DO 150 I=1,NMAT	CSIN1220
	READ(1,220) (MATNA(I,J),J=1,5),(NTEP(I,J),J=1,3)	CSIN1230
	DO 150 II=1,3	CSIN1240
	KK=(NTEP(I,II)-1)/3+1	CSIN1250
	DO 100 L=1,KK	CSIN1260
	JB=3*L-2	CSIN1270
	JE=3*L	CSIN1280
	IF(II.EQ.1) READ(1,430) ((AALFA(I,J,K),K=1,2),J=JB,JE)	CSIN1290
	IF(II.EQ.2) READ(1,430) ((EE(I,J,K),K=1,2),J=JB,JE)	CSIN1300
	IF(II.EQ.3) READ(1,430) ((PPOIS(I,J,K),K=1,2),J=JB,JE)	CSIN1310
100	CONTINUE	CSIN1320
150	CONTINUE	CSIN1330
220	FORMAT(10X,5A4,3I5)	CSIN1340
430	FORMAT(10X,6F10.0)	CSIN1350
C		CSIN1360
	ENDFILE 1	CSIN1370
	RETURN	CSIN1380
	END	CSIN1390
		CSIN1400
		CSIN1410
		CSIN1420
		CSIN1430
		CSIN1440
		CSIN1450
		CSIN1460

```

SUBROUTINE ECGRS( T, R, M, N, ERRNUM,*)
C
C THIS SUBROUTINE CREATES TUBE TEMPERATURE AND PLATE STRAIN GRIDS
C BY EXPANDING AND INTERPOLATING BETWEEN GIVEN VALUES.
C
C DIMENSION T( 340, 32), R( 32), X( 32)
C DIMENSION Y( 32), KNT( 32), IA( 50, 2)
C
C INTEGER ERRNUM, ROWS, COLS
C ROWS = 340
C COLS = 32
C
C DO 1 I=1,50
C DO 1 J=1,2
C IA(I,J) = 0
C 1 CONTINUE
C -----
C DETERMINE ROWS TO BE EXPANDED -- NP.
C
C NP = 1
C IA(1,1) = 1
C DO 2 I=2,M
C DO 3 J=1,N
C IF(T(I,J).NE.0.0) GO TO 4
C 3 CONTINUE
C GO TO 2
C 4 IA(NP,2) = I
C NP = NP+1
C IF(NP.LE.50) GO TO 5
C ERRNUM = 1
C RETURN 1
C 5 IA(NP,1) = I
C 2 CONTINUE
C -----
C EXPAND VALUES IN NON-ZERO ROWS.
C
C DO 10 I=1,NP
C KKK = 0
C
C DETERMINE NUMBER OF VALUES GIVEN IN ROW I -- NVG.
C
C K = IA(I,1)
C NVG = 0
C DO 11 J=1,COLS
C IF(T(K,J).EQ.0.0) GO TO 99
C NVG = NVG+1
C Y(NVG) = T(K,J)
C X(NVG) = R(J)
C KNT(NVG) = KKK
C KKK = 0
C GO TO 11
C 99 KKK = KKK+1
C 11 CONTINUE
C IF(NVG.GT.0) GO TO 12
C ERRNUM = 2
C RETURN 1
C 12 IF(NVG-2) 20,30,40
C
C ONE VALUE GIVEN.
C
C 20 DO 21 J=2,N
C 21 T(K,J) = T(K,1)
C GO TO 10
C
C TWO VALUES GIVEN.
C
C 30 IF(N.LE.2) GO TO 10
C SL = (Y(2)-Y(1))/(R(N)-R(1))
C N1 = N-1
C DO 31 J=2,N1
C T(K,J) = Y(1)+SL*(R(J)-R(1))
C 31 CONTINUE
C T(K,N) = Y(2)
C GO TO 10

```

ECGR0010
 ECGR0020
 ECGR0030
 ECGR0040
 ECGR0050
 ECGR0060
 ECGR0070
 ECGR0080
 ECGR0090
 ECGR0100
 ECGR0110
 ECGR0120
 ECGR0130
 ECGR0140
 ECGR0150
 ECGR0160
 ECGR0170
 ECGR0180
 ECGR0190
 ECGR0200
 ECGR0210
 ECGR0220
 ECGR0230
 ECGR0240
 ECGR0250
 ECGR0260
 ECGR0270
 ECGR0280
 ECGR0290
 ECGR0300
 ECGR0310
 ECGR0320
 ECGR0330
 ECGR0340
 ECGR0350
 ECGR0360
 ECGR0370
 ECGR0380
 ECGR0390
 ECGR0400
 ECGR0410
 ECGR0420
 ECGR0430
 ECGR0440
 ECGR0450
 ECGR0460
 ECGR0470
 ECGR0480
 ECGR0490
 ECGR0500
 ECGR0510
 ECGR0520
 ECGR0530
 ECGR0540
 ECGR0550
 ECGR0560
 ECGR0570
 ECGR0580
 ECGR0590
 ECGR0600
 ECGR0610
 ECGR0620
 ECGR0630
 ECGR0640
 ECGR0650
 ECGR0660
 ECGR0670
 ECGR0680
 ECGR0690
 ECGR0700
 ECGR0710
 ECGR0720
 ECGR0730
 ECGR0740

<pre> C C THREE OR MORE VALUES GIVEN. C 40 IF(N.LE.NVG) GO TO 10 J = 1 NVG = 1 100 IF(T(K,J).NE.0.0) GO TO 200 KT = KNT(NVG) JJJ = J-1 DO 150 JJ=1,KT J = JJJ+JJ SL = (Y(NVG)-Y(NVG-1))/(X(NVG)-X(NVG-1)) T(K,J) = Y(NVG-1)+SL*(R(J)-X(NVG-1)) 150 CONTINUE GO TO 250 200 NVG = NVG+1 250 J = J+1 IF(J.LE.N) GO TO 100 10 CONTINUE </pre>	<pre> ECGR0750 ECGR0760 ECGR0770 ECGR0780 ECGR0790 ECGR0800 ECGR0810 ECGR0820 ECGR0830 ECGR0840 ECGR0850 ECGR0860 ECGR0870 ECGR0880 ECGR0890 ECGR0900 ECGR0910 ECGR0920 ECGR0930 ECGR0940 ECGR0950 ECGR0960 ECGR0970 ECGR0980 ECGR0990 ECGR1000 ECGR1010 ECGR1020 ECGR1030 ECGR1050 ECGR1060 ECGR1070 ECGR1080 ECGR1090 ECGR1000 ECGR1100 ECGR1110 ECGR1120 ECGR1130 </pre>

<pre> C C STRAIGHT LINE INTERPOLATION BETWEEN EXPANDED ROWS. C NP = NP-1 DO 50 I=1,NP I1 = IA(I,1) I2 = IA(I,2) IF(I2-I1.LE.1) GO TO 50 I11 = I1+1 I22 = I2-1 DO 51 J=1,N SL = (T(I2,J)-T(I1,J))/(I2-I1) DO 51 K=I11,I22 T(K,J) = T(I1,J)+SL*(K-I1) 51 CONTINUE 50 CONTINUE RETURN END </pre>	<pre> ECGR0950 ECGR0960 ECGR0970 ECGR0980 ECGR0990 ECGR1000 ECGR1010 ECGR1020 ECGR1030 ECGR1050 ECGR1060 ECGR1070 ECGR1080 ECGR1090 ECGR1000 ECGR1100 ECGR1110 ECGR1120 ECGR1130 </pre>
<pre> FUNCTION FCT(X,N) C C THE EXTERNAL FUNCTION FOR SUBROUTINE GATR C DOUBLE PRECISION COF(20) C COMMON/AFACT/COF C Y=0.0 KA=N-2 IF(KA.LT.2) KA=2 IF(KA.GT.5) KA= 5 DO 10 I=1,KA 10 Y=Y+COF(I)*X**(I-1) FCT=Y RETURN END </pre>	<pre> FCTI0010 FCTI0020 FCTI0030 FCTI0040 FCTI0050 FCTI0060 FCTI0070 FCTI0080 FCTI0090 FCTI0100 FCTI0110 FCTI0120 FCTI0130 FCTI0140 FCTI0150 FCTI0160 FCTI0170 </pre>

```

C      SUBROUTINE IMAGE(LINE)
C      THIS SUBROUTINE READ AND WRITE INPUT CARDS IMAGES
C      DIMENSION A(20)
C      REWIND 1
      N=1
      1 CONTINUE
      READ(5,10,END=999) A
      WRITE(1,10) A
      K=MOD(N,56)
      IF(N.EQ.1) CALL PAGE1
      IF(K.EQ.0) CALL PAGE(LINE,1)
      IF(N.EQ.1) WRITE(6,20)
      IF(K.EQ.0) WRITE(6,30)
      WRITE(6,40) (A(I),I=1,20),N
      N=N+1
      GO TO 1
999 CONTINUE
      RETURN
      10 FORMAT(20A4)
      20 FORMAT(1H ,30X,'INPUT DATA CARD IMAGES'//1H ,20X,
*      '-----1-----2-----3-----4-----5',
*      '-----6-----7-----8 CARD NO.')
```

IMAGE010
IMAGE020
IMAGE030
IMAGE040
IMAGE050
IMAGE060
IMAGE070
IMAGE080
IMAGE090
IMAGE100
IMAGE110
IMAGE120
IMAGE130
IMAGE140
IMAGE150
IMAGE160
IMAGE170
IMAGE180
IMAGE190
IMAGE200
IMAGE210
IMAGE220
IMAGE230
IMAGE240
IMAGE250
IMAGE260
IMAGE270
IMAGE280
IMAGE290
IMAGE300

```

C      SUBROUTINE INTEG(TP, RT, M, N, RC, NPLATE, V)
C      THIS SUBROUTINE COMPUTES THE INTEGRAL OF STRAIN BETWEEN
C      THE CENTERLINE OF A PLATE AND THE TUBE COLUMN IN THE PLATE
C      AND THE EQUIVALENT RADIAL TEMPERATURE GRADIENT
C      DOUBLE PRECISION XA( 32), YA( 32), COF( 20)
C      EXTERNAL      FCT
C      INTEGER      HIGH, ROWS, COLS
C      INTEGER      TITLE(15)
C      COMMON/BLK1/  TITLE,NFPLT,NROW,NCOL,IDBUG(5),IPRINT(4)
C      COMMON/BLK11/ DELT2
C      COMMON/BLK2/  NPLT,          ICOL(3,2)
C      COMMON/BLK9/  NTPC
C      COMMON/DTS/   DT( 340, 3),   H(3)
C      COMMON/AFACT/ COF
C      DIMENSION    TP( 340, 32), RT( 32),      RC(3)
C      DIMENSION    V( 32, 3),   AUX(50),      TPP( 32)
C      ROWS = 340
C      COLS = 32
C      NDIM = 20
C      REWIND 3
C      DO 2 I=1,M
C      DO 1 K=1,COLS
      V(K,1) = 0.0
      V(K,2) = 0.0
      V(K,3) = 0.0
      1 CONTINUE
C      DO 3 K=1,NPLATE
C      DO 4 J=1,N
```

INTEG010
INTEG020
INTEG030
INTEG040
INTEG050
INTEG060
INTEG070
INTEG080
INTEG090
INTEG100
INTEG110
INTEG120
INTEG130
INTEG140
INTEG150
INTEG160
INTEG170
INTEG180
INTEG190
INTEG200
INTEG210
INTEG220
INTEG230
INTEG240
INTEG250
INTEG260
INTEG270
INTEG280
INTEG290
INTEG300
INTEG310
INTEG320
INTEG330
INTEG340
INTEG350
INTEG360
INTEG370
INTEG380
INTEG390
INTEG400
INTEG410
INTEG420
INTEG430
INTEG440
INTEG450
INTEG460
INTEG470

C	IF(RT(J).GE.RC(K)) GO TO 5	INTEG480
	IS = -1	INTEG490
	XL = RT(J)	INTEG500
	XU = RC(K)	INTEG510
	GO TO 6	INTEG520
C	5 IS = 1	INTEG530
	XL = RC(K)	INTEG540
	XU = RT(J)	INTEG550
C	6 EPS = 1.00E-3	INTEG560
	DO 7 L=1,N	INTEG570
	TPP(L) = TP(I,L)	INTEG580
	7 CONTINUE	INTEG590
	DO 10 L=1,N	INTEG600
	XA(L)=RT(L)	INTEG610
	10 YA(L)=TPP(L)	INTEG620
	KA=N-2	INTEG630
	IF(KA.LT.2) KA=2	INTEG640
	IF(KA.GT. 5) KA= 5	INTEG650
	CALL LSTSQD(XA,YA,N,KA,COF,ILL)	INTEG660
	IF(ILL.EQ.0) GO TO 14	INTEG670
	WRITE(6,12)	INTEG680
	12 FORMAT(1H /11X,'ERRORS IN LSTSQD'//)	INTEG690
	CALL EXIT	INTEG700
	14 CONTINUE	INTEG710
	CALL QATR(XL, XU, EPS, NDIM, FCT, V(J,K), IER, AUX, RT, TPP, N)	INTEG720
	V(J,K) = IS*V(J,K)	INTEG730
	IF(IER.NE.0) WRITE(6,8) I,J,K,IER,DELT2	INTEG740
	8 FORMAT(1H , '* 1 *',3I10, 5X, 'IERR =', 14,5X,'RESDU=',1PE10.3)	INTEG750
C	4 CONTINUE	INTEG760
C	LOW = ICOL(K,1)	INTEG770
	HIGH = ICOL(K,2)	INTEG780
	XL = RT(LOW)	INTEG790
	XU = RT(HIGH)	INTEG800
	EPS = 2.50E-03	INTEG810
C	DO 9 L=1,N	INTEG820
	TPP(L) = TP(I,L)*(RT(L)-RC(K))	INTEG830
	9 CONTINUE	INTEG840
C	DO 40 L=1,N	INTEG850
	XA(L)=RT(L)	INTEG860
	40 YA(L)=TPP(L)	INTEG870
	KA=N-2	INTEG880
	IF(KA.LT.2) KA=2	INTEG890
	IF(KA.GT. 5) KA= 5	INTEG900
	CALL LSTSQD(XA,YA,N,KA,COF,ILL)	INTEG910
	IF(ILL.EQ.0) GO TO 42	INTEG920
	WRITE(6,12)	INTEG930
	CALL EXIT	INTEG940
	42 CONTINUE	INTEG950
	CALL QATR(XL, XU, EPS, NDIM, FCT, DELTAT, IER, AUX, RT, TPP, N)	INTEG960
	IF(H(K).EQ.0.0) H(K) = 1.0	INTEG970
	DT(I,K) = 12.0*DELTAT/(H(K)**2)	INTEG980
	IF(IER.NE.0) WRITE(6,20) I,K,IER,DELT2	INTEG990
	20 FORMAT(1H , '* 2 *',2I10,15X, 'IERR =', 14,5X,'RESDU=',1PE10.3)	INTEG000
	3 CONTINUE	INTEG010
C	WRITE(3) V	INTEG120
C	2 CONTINUE	INTEG130
C	REWIND 3	INTEG140
C	RETURN	INTEG150
	END	INTEG160
		INTEG170
		INTEG180
		INTEG190

C	SUBROUTINE INVERT(A,NN,N,M,C)	INVER010
C	GENERAL MATRIX INVERSION SUBROUTINE	INVER020
C	DIMENSION A(1), M(1), C(1)	INVER030
C	DO 90 I=1,NN	INVER040
	M(I) = -I	INVER050
90	CONTINUE	INVER060
C	DO 140 I=1,NN	INVER070
C	LOCATE LARGEST ELEMENT	INVER080
C	D = 0.0	INVER090
	DO 112 L=1,NN	INVER100
	IF(M(L)) 100, 100, 112	INVER110
100	J = L	INVER120
	DO 110 K=1,NN	INVER130
	IF(M(K)) 103, 103, 108	INVER140
103	IF(ABS(D)-ABS(A(J))) 105, 105, 108	INVER150
105	LD = L	INVER160
	KD = K	INVER170
	D = A(J)	INVER180
108	J = J+N	INVER190
110	CONTINUE	INVER200
112	CONTINUE	INVER210
C	INTERCHANGE ROWS	INVER220
C	TEMP = -M(LD)	INVER230
	M(LD) = M(KD)	INVER240
	M(KD) = TEMP	INVER250
	L = LD	INVER260
	K = KD	INVER270
	DO 114 J=1,NN	INVER280
	C(J) = A(L)	INVER290
	A(L) = A(K)	INVER300
	A(K) = C(J)	INVER310
	L = L+N	INVER320
	K = K+N	INVER330
114	CONTINUE	INVER340
C	DIVIDE COLUMN BY LARGEST ELEMENT	INVER350
C	NR = (KD-1)*N+1	INVER360
	NH = NR+N-1	INVER370
	DO 115 K=NR,NH	INVER380
	A(K) = A(K)/D	INVER390
115	CONTINUE	INVER400
C	REDUCE REMAINING ROWS AND COLUMNS	INVER410
C	L = 1	INVER420
	DO 135 J=1,NN	INVER430
	IF(J-KD) 130, 125, 130	INVER440
		INVER450
		INVER460
		INVER470
		INVER480
		INVER490
		INVER500
		INVER510
		INVER520
		INVER530
		INVER540
		INVER550
		INVER560

125	L = L+N	INVER570
	GO TO 135	INVER580
130	DO 134 K=NR,NH	INVER590
	A(L) = A(L)-C(J)*A(K)	INVER600
	L = L+1	INVER610
134	CONTINUE	INVER620
135	CONTINUE	INVER630
C		INVER640
C	REDUCE ROW	INVER650
C		INVER660
	C(KD) = -1.0	INVER670
	J = KD	INVER680
	DO 140 K=1,NN	INVER690
	A(J) = -C(K)/D	INVER700
	J = J+N	INVER710
140	CONTINUE	INVER720
C		INVER730
C	INTERCHANGE COLUMNS	INVER740
C		INVER750
	DO 200 I=1,NN	INVER760
	L = 0	INVER770
150	L = L+1	INVER780
	IF(M(L)-I) 150, 160, 150	INVER790
160	K = (L-1)*N+1	INVER800
	J = (I-1)*N+1	INVER810
	M(L) = M(I)	INVER820
	M(I) = I	INVER830
	DO 200 L=1,NN	INVER840
	TEMP = A(K)	INVER850
	A(K) = A(J)	INVER860
	A(J) = TEMP	INVER870
	J = J+1	INVER880
	K = K+1	INVER890
200	CONTINUE	INVER900
C		INVER910
	RETURN	INVER920
C		INVER930
	END	INVER940

```

C
C ***** MAIN PROGRAM OF BEARHUG *****
C
INTEGER   ROWT( 25),   ROWP( 25),   ROW2
INTEGER   TITLE( 15),  FF( 340)
INTEGER   ERR,  ROWS,  COLS,  NDOF
C
REAL      IXX( 25),   IXP( 25, 3),  KT( 3, 3)
C
DOUBLE PRECISION   K,           F( 2040)
DOUBLE PRECISION   U( 2040),   S( 4, 4),   FO( 4)
DOUBLE PRECISION   TEMP( 8),   D1,           DELTA( 4)
C
DIMENSION   TP( 340, 32),  TT( 340, 32)
DIMENSION   SBEND( 32),   SAXIAL( 32),   TFT( 340, 32, 3)
DIMENSION   P( 340, 4),   Y( 340),       Z( 32)
DIMENSION   SCOMAA( 340), SCOMBB( 340),  SCOMCC( 340)
DIMENSION   SCOMDD( 340), AREA( 25),     V( 32, 3)
DIMENSION   DTUBE( 32),   EMOD( 32)
DIMENSION   TGSD( 340,32), TGS1( 340,32)
C
DIMENSION   MPLT( 25)
C
COMMON/STIF/   C4,           KT,           FT( 3)
COMMON/STIF/   DHOLE(3),    C1P,           C2P
COMMON/STIF/   CZ1,         CZ2,           C1
COMMON/STIF/   C2,          C3,           UF( 2040)
C
COMMON/DTS/    DT( 340, 3),  H( 3)
COMMON/BLK1/  TITLE,NFPLT,NROW,NCOL,IDBUG(5),IPRINT(4)
COMMON/BLK2/  NPLT,ICOL(3,2),IPL(3,2)
COMMON/BLK3/  TOD( 25),  TID( 25),TOP( 25),TIP( 25),DTIO(25)
COMMON/BLK30/ NTPROP,ROWT,NRT(25)
COMMON/BLK35/ TALFA(340,32),TPOIS(340,32),TE(340,32),TG(340,32)
COMMON/BLK5/  RT( 32),      RC( 3)
COMMON/BLK6/  NAME( 25, 3), PITCH( 25), IXP, AY( 25, 3),
*             PTK( 3), PITHH( 25)
COMMON/BLK65/ PALFA(340,32),POISP(340,32),PE(340,32),PG(340,32)
COMMON/BLK60/ NPP,  ROWP,  NRP(25)
COMMON/BLK7/  K( 2040, 8)
COMMON/BLK8/  C( 32, 3)
COMMON/BLK80/ CC( 340, 32, 3)
COMMON/BLK9/  ICLEAR
COMMON/MBLK1/ MATNA(10,5), NTEP(10,3), NMAT
COMMON/MBLK2/ AALFA(10,9,2),EE(10,9,2),PPOIS(10,9,2)
COMMON/MBLK3/ NTRM(340), NPRM(340)
C
EQUIVALENCE   (K, TP, TFT),      (F, U),      (P(1,1), SCOMAA)
EQUIVALENCE   (P(1,2), SCOMBB),  (P(1,3), SCOMCC),
*             (P(1,4), SCOMDD)
EQUIVALENCE   (DELTA, TEMP),     (TT, TFT(1,1,2))
C
C   SET UP LABELS FOR PRINT-OUT
C
DATA  A1/4H YES/,                A2/4H NO /

```

```

MAIN0010
MAIN0020
MAIN0030
MAIN0040
MAIN0050
MAIN0060
MAIN0070
MAIN0080
MAIN0090
MAIN0100
MAIN0110
MAIN0120
MAIN0130
MAIN0140
MAIN0150
MAIN0160
MAIN0170
MAIN0180
MAIN0190
MAIN0200
MAIN0210
MAIN0220
MAIN0230
MAIN0240
MAIN0250
MAIN0260
MAIN0270
MAIN0280
MAIN0290
MAIN0300
MAIN0310
MAIN0320
MAIN0330
MAIN0340
MAIN0350
MAIN0360
MAIN0370
MAIN0380
MAIN0390
MAIN0400
MAIN0410
MAIN0420
MAIN0430
MAIN0440
MAIN0450
MAIN0460
MAIN0470
MAIN0480
MAIN0490
MAIN0500
MAIN0510
MAIN0520
MAIN0530
MAIN0540
MAIN0550
MAIN0560

```

C	ROWS = 340	MAIN0570
	COLS = 32	MAIN0580
	NDOF = 6*ROWS	MAIN0590
C	10 CONTINUE	MAIN0600
C		MAIN0610
C	SET UP PROGRAM CONSTANTS	MAIN0620
C		MAIN0630
C	PI = 3.1415927	MAIN0640
	EPS = 1.00E-5	MAIN0650
	SPRING = 0.8929	MAIN0660
	TAR = 20.0	MAIN0670
C		MAIN0680
C	INITIALIZE AND ZERO ARRAYS	MAIN0690
C		MAIN0700
C	ICLEAR = 0	MAIN0710
	DO 151 J=1, COLS	MAIN0720
	DO 151 KK=1,3	MAIN0730
	C(J, KK) = 0.0	MAIN0740
C	151 CONTINUE	MAIN0750
C		MAIN0760
C	DO 803 I=1, ROWS	MAIN0770
	DO 803 J=1, COLS	MAIN0780
	TT(I, J) = 0.0	MAIN0790
	TP(I, J) = 0.0	MAIN0800
	DO 803 KK=1,3	MAIN0810
	CC(I, J, KK)=0.0	MAIN0820
C	803 CONTINUE	MAIN0830
C		MAIN0840
C	CALL IMAGE TO READ AND WRITE INPUT DATA CARDS IMAGES	MAIN0850
C		MAIN0860
C	CALL IMAGE(LINE)	MAIN0870
C		MAIN0880
C	CALL CSINPT TO READ INPUT DATA.	MAIN0890
C		MAIN0900
C	CALL CSINPT	MAIN0910
C		MAIN0920
C	EXPAND TUBE TEMPERATURE AND PLATE STRAIN ARRAYS.	MAIN0930
C		MAIN0940
C	CALL ECGRS (TP, RT, NROW, NCOL, ERR, &40)	MAIN0950
	CALL ECGRS (TT, RT, NROW, NCOL, ERR, &40)	MAIN0960
	GO TO 42	MAIN0970
	40 WRITE(6,41) ERR	MAIN0980
	41 FORMAT(1H, 4X, '* 1ERROR FROM ECGRS. ERROR NO.', I4)	MAIN0990
	STOP	MAIN1000
C		MAIN1010
C	SET VARIABLES FOR TYPE OF ANALYSIS	MAIN1020
C		MAIN1030
C	42 CONTINUE	MAIN1040
C		MAIN1050
C	CALL PROP(TT, NROW, NCOL, TALFA, TE, TPOIS, TG, NTRM, NERR1)	MAIN1060
	IF(NERR1.GE.1) WRITE(6,44)	MAIN1070
	44 FORMAT(1H0, 10X, '**** WARNING **** TUBE TEMPERATURE IS BEYOND',	MAIN1080
		MAIN1090
		MAIN1100
		MAIN1110
		MAIN1120
		MAIN1130
		MAIN1140

```

*      ' INPUT MATERIAL TEMPERATURE.',2X//)
C
CALL PROP(TP,NROW,NCOL,PALFA,PE,POISP,PG,NPRM,NERR2)
IF(NERR2.GE.1) WRITE(6,46)
46 FORMAT(1H0,10X,'**** WARNING **** PLATE TEMPERATURE IS BEYOND',
*      ' INPUT MATERIAL TEMPERATURE.',2X//)
A5 = A1
MO = 1
IF(ICLEAR.EQ.0) A5 = A2
NBAND = 2*(NPLT+1)
C
C      PRINTOUT INPUT DATA - PRINT PAGE 1.
C
CALL PAGE(LINE,1)
WRITE(6,600) TITLE
600 FORMAT(1H ,
1      22X,'HTGR HEAT-EXCHANGER '//1H ,
*      11X,'TUBE STRESSES RESULTING FROM SUPPORT SYSTEM '//1H ,
*      30X,'USING THE FOLLOWING UNIT SYSTEM '//1H ,
*      38X,'STRESS      = KG/(MM**2) '//1H ,
*      38X,'LENGTH     = MILLI-METER '//1H ,
*      38X,'TEMPERATURE = CELSIUS ' '//1H ,
*      8X,15A4//)
C
WRITE(6,530) NPLT,NFPLT,NROW,NCOL,NPP,NTPROP,A5,NMAT
530 FORMAT(1H ,
1      10X,'NUMBER OF PLATE TYPES',6X,I10//1H ,
2      10X,'NUMBER OF FULL SUPPORT PLATES',18//1H ,
2      10X,12X,'( TYPE-1 PLATES ) '//1H ,
3      10X,'TOTAL NUMBER OF TUBE ROWS',112//1H ,
4      10X,'TOTAL NUMBER OF TUBE COLUMNS',19//1H ,
5      10X,'NUMBER OF PLATE GROUPS      ',15//1H ,
6      10X,'NUMBER OF TUBE GROUPS      ',16//1H ,
7      10X,'IS TUBE CLEARANCE INCLUDED ?',6X,A4//1H ,
8      10X,'NUMBER OF MATERIALS      ',17//1H ,
9      15X,'PLATE TYPE DATA'//)
WRITE(6,585) (I,ICOL(I,1),ICOL(I,2),I=1,NPLT)
585 FORMAT(1H ,10X,'PLATE TYPE',I3,' CONNECTS COLUMNS',I3,
1      ' THRU',I3/ )
C
C      PRINT PAGE 2.
C
CALL PAGE(LINE,1)
C
ROWT(NTPROP+1) = NROW+1
KK=1
DO 90 II=1,NROW
IF(I.EQ.ROWT(KK+1)) KK=KK+1
ROI = TOD(KK)/TID(KK)
ROJ = TID(KK)/TOD(KK)
PSF = 1.0/(1.0-ROJ*ROJ)
C      PSF MEANS PRESSURE STRESS FACTOR.
DO 90 JJ=1,NCOL
ALFAT= TALFA(II,JJ)
ET = TE(II,JJ)
POIST= TPOIS(II,JJ)
TGSF = ALFAT*ET*DTIO(KK)/(2.0*(1.0-POIST)*ALOG(ROI))
C      TGSF MEANS TERMAL GRADIENT STRESS FACTOR.

```

MAIN1150
 MAIN1160
 MAIN1170
 MAIN1180
 MAIN1190
 MAIN1200
 MAIN1210
 MAIN1220
 MAIN1230
 MAIN1240
 MAIN1250
 MAIN1260
 MAIN1270
 MAIN1280
 MAIN1290
 MAIN1300
 MAIN1310
 MAIN1320
 MAIN1330
 MAIN1340
 MAIN1350
 MAIN1360
 MAIN1370
 MAIN1380
 MAIN1390
 MAIN1400
 MAIN1410
 MAIN1420
 MAIN1430
 MAIN1440
 MAIN1450
 MAIN1460
 MAIN1470
 MAIN1480
 MAIN1490
 MAIN1500
 MAIN1510
 MAIN1520
 MAIN1530
 MAIN1540
 MAIN1550
 MAIN1560
 MAIN1570
 MAIN1580
 MAIN1590
 MAIN1600
 MAIN1610
 MAIN1620
 MAIN1630
 MAIN1640
 MAIN1650
 MAIN1660
 MAIN1670
 MAIN1680
 MAIN1690
 MAIN1700
 MAIN1710
 MAIN1720

```

TGS1(I,J) = TGSF*(1.0-2.0*ROI*ROI*ALOG(ROI)/(ROI*ROI-1.0))
TGS0(I,J) = TGSF*(1.0-2.0*ALOG(ROI)/(ROI*ROI-1.0))
90 CONTINUE
C
C
C
WRITE(6,540)
540 FORMAT(1H , 50X,
* 'TUBE SIZES AND MATERIALS FOR EACH GROUP'///1H ,
1 'GROUP NO. ROW TUBE TUBE',12X,
2 'OTHER LOADINGS',19X, 'MATERIAL NO. AND NAME '/1H ,
3 9X, ' BEGIN END O.D.',6X,'I.D.', 7X,
4 'PD',7X, 'PI', 7X, 'DTIO',7X/1H ,19X,2( 6X,'(MM)'),
5 3X, 2(' (KG/MM*2) ',2X), 1X,'(C)')
DO 92 I=1,NTPROP
ROW2 = ROWT(I+1)-1
NA=NTRM(ROW2-1)
WRITE(6,550) I,ROWT(I),ROW2,TOD(I),TID(I),TOP(I),TIP(I),DTIO(I),
* NA,(MATNA(CNA,JA),JA=1,5)
550 FORMAT(1H , 17, 2X,15,16,2F10.3,1X,F8.3,1X,F8.3, 2X, F8.3,14X,
1 15, 3X, 5A4//)
92 CONTINUE
C
C
C PRINT PAGE 3.
C
CALL PAGE(LINE,1)
WRITE(6,560)
560 FORMAT(1H , 50X,'PLATE SIZES AND MATERIALS FOR EACH GROUP'///1H ,
1 'GROUP NO.', ' ROW NAME OF PLATE',3X,
2 'VERTICAL',4X, 'HORIZONTAL',3X, 'PLATE THICKNESS',
3 9X, 'MATERIAL NO. AND NAME '/1H ,
4 9X, ' BEGIN END SECTION', 7X, 2('PITCH', 8X)/1H ,
5 41X, 2(' (MM) ', 9X), 4X,'(MM)')
C
ROWP(NPP+1) = NROW+1
DO 100 I=1,NPP
ROW2 = ROWP(I+1)-1
NA=NPRM(ROW2-1)
WRITE(6,570) I,ROWP(I),ROW2,(NAME(I,J),J=1,3),PITCH(I),PITHH(I),
* PTK(1), NA, (MATNA(NA,JA),JA=1,5)
570 FORMAT(1H , 17,2X,15, 16, 3X, 3A4, 1X, F10.2, 3X, F10.2, 5X,
* F11.2, 10X, 17, 5X, 5A4//)
100 CONTINUE
C
WRITE(6,252)
252 FORMAT(1H , ///1H , 5X,
1 '** PLATE PROPERTIES: AREA OF CROSS SECTION (A)',
2 /1H , 24X,
3 ' MOMENT OF INERTIA (I)')
WRITE(6,253)
253 FORMAT(1H , 2X, 'PLATE TYPE', 2X, ' ROW ',
* ' COLUMN ', 11X, 'A',11X, 'I',/1H ,
* 14X, 'BEGIN', 2X, 'END', 2X, 'BEGIN', 2X, 'END'/1H )
C
C
C CALCULATE EFFECTIVE MOMENT OF INERTIA AND AREA FOR THE PLATES
C
DO 25 I=1,NPLT

```

MAIN1730
 MAIN1740
 MAIN1750
 MAIN1760
 MAIN1770
 MAIN1780
 MAIN1790
 MAIN1800
 MAIN1810
 MAIN1820
 MAIN1830
 MAIN1840
 MAIN1850
 MAIN1860
 MAIN1870
 MAIN1880
 MAIN1890
 MAIN1900
 MAIN1910
 MAIN1920
 MAIN1930
 MAIN1940
 MAIN1950
 MAIN1960
 MAIN1970
 MAIN1980
 MAIN1990
 MAIN2000
 MAIN2010
 MAIN2020
 MAIN2030
 MAIN2040
 MAIN2050
 MAIN2060
 MAIN2070
 MAIN2080
 MAIN2090
 MAIN2100
 MAIN2110
 MAIN2120
 MAIN2130
 MAIN2140
 MAIN2150
 MAIN2160
 MAIN2170
 MAIN2180
 MAIN2190
 MAIN2200
 MAIN2210
 MAIN2220
 MAIN2230
 MAIN2240
 MAIN2250
 MAIN2260
 MAIN2270
 MAIN2280
 MAIN2290
 MAIN2300

```

DO 25 J=1,NPP
NPI = ICOL(I,2)-ICOL(I,1)+1
DL = PITHH(J)*NPI
TMI = PTK(I)*(TOD(J)**3)/12.0
TD = TOD(J)*PTK(I)
IXP(J,I) = DL**3*PTK(I)/12.0
AY(J,I) = (DL - NPI*TOD(J))*PTK(I)
NPI2 = (NPI+1)/2
NPI = NPI/2
IF(NPI.EQ.NPI2) GO TO 26
NPI2 = NPI2-1
DO 28 KZ=1,NPI2
D2 = (PITHH(J)*KZ)**2
IXP(J,I) = IXP(J,I)-(TMI+TD*D2)*2.0
28 CONTINUE
IXP(J,I) = IXP(J,I)-TMI
GO TO 29
26 DO 27 KZ=1,NPI2
D2 = (PITHH(J)*(2*KZ-1)/2)**2
IXP(J,I) = IXP(J,I)-(TMI+TD*D2)*2.0
27 CONTINUE
29 CONTINUE
WRITE(6,251) 1,IPL(I,1),IPL(I,2),ICOL(I,1),ICOL(I,2),AY(J,I),
* IXP(J,I)
251 FORMAT(1H , I6,8X,I4,1X,I5,2X,I5,2X,I3, 3X,1PE12.4,1X,E12.4)
25 CONTINUE
C
C
C PRINT TUBE RADII.
C
CALL PAGE(LINE,1)
WRITE(6,580) (I,RT(I),I=1,NCOL)
580 FORMAT(1H , 15X, 'TUBE RADII'///1H , 10X,
* 'COLUMN', 8X, 'RADIUS'//1H , 10X,
* 'NUMBER', 9X, '(MM)' //1H , 7X, 16,F17.2//
* (10X,I4,F17.2/ ))
C
KK = 1
Y(1) = 0.0
C
DO 110 I=2,NROW
IF(I.GT.ROWP(KK+1)) KK=KK+1
Y(I) = Y(I-1)+PITCH(KK)
110 CONTINUE
C
ROWP(NPP+1) = NROW+1
C
C PRINT TUBE TEMPERATURE PROFILES.
C
IF(IPRINT(1).EQ.0) GO TO 732
N1 = (NCOL+12)/13
N2 = N1+7
N3 = N1+2
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,650)
650 FORMAT(1H , 45X, 'TUBE TEMPERATURE PROFILES')
WRITE(6,720) (RT(J),J=1,NCOL)
720 FORMAT(1H,' RADIUS = ',2X, 13F9.2//1H , (15X, 13F9.2//1H ) )

```

```

MAIN2310
MAIN2320
MAIN2330
MAIN2340
MAIN2350
MAIN2360
MAIN2370
MAIN2380
MAIN2390
MAIN2400
MAIN2410
MAIN2420
MAIN2430
MAIN2440
MAIN2450
MAIN2460
MAIN2470
MAIN2480
MAIN2490
MAIN2500
MAIN2510
MAIN2520
MAIN2530
MAIN2540
MAIN2550
MAIN2560
MAIN2570
MAIN2580
MAIN2590
MAIN2600
MAIN2610
MAIN2620
MAIN2630
MAIN2640
MAIN2650
MAIN2660
MAIN2670
MAIN2680
MAIN2690
MAIN2700
MAIN2710
MAIN2720
MAIN2730
MAIN2740
MAIN2750
MAIN2760
MAIN2770
MAIN2780
MAIN2790
MAIN2800
MAIN2810
MAIN2820
MAIN2830
MAIN2840
MAIN2850
MAIN2860
MAIN2870
MAIN2880

```

```

WRITE(6,730)
730 FORMAT(1H0, 1X, 'ROW PITCH',/)
732 CONTINUE
C
REWIND 2
DO 140 I=1,NROW
LINE = LINE+N1
IF(LINE.GT.57) CALL PAGE(LINE,N3)
DO 130 J=1,NCOL
EMOD(J) = TE(I,J)
DTUBE(J) = TALFA(I,J)*RT(J)*(TT(I,J)-TAR)
130 CONTINUE
WRITE(2) DTUBE,EMOD
IF(IPRINT(1).EQ.0) GO TO 140
WRITE(6,660) I,Y(I),(TT(I,J),J=1,NCOL)
660 FORMAT(1H ,I4,2X, F8.2, 13F9.2,/1H , (15X,13F9.2/1H ) )
140 CONTINUE
C
C PRINT PLATE TEMPERATURE PROFILES.
C
IF(IPRINT(2).EQ.0) GO TO 122
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,800)
800 FORMAT(1H , 45X,'PLATE TEMPERATURE PROFILES')
WRITE(6,720) (RT(J),J=1,NCOL)
WRITE(6,730)
C
DO 120 I=1,NROW
LINE = LINE+N1
IF(LINE.GT.57) CALL PAGE(LINE,N3)
WRITE(6,660) I,Y(I),(TP(I,J),J=1,NCOL)
120 CONTINUE
122 CONTINUE
C
C PRINT TUBE-PLATE CLEARANCE DATA IF ICLEAR> 0
C
IF(ICLEAR.EQ.0.OR.IPRINT(3).EQ.0) GO TO 105
DO 802 KK=1,NPLT
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,801)
801 FORMAT(1H , 45X, 'TUBE-PLATE CLEARANCE DATA')
WRITE(6,804) KK
804 FORMAT(/1H0, 5X, 'PLATE TYPE ', I3/1H )
WRITE(6,720) (RT(J),J=1,NCOL)
WRITE(6,730)
C
DO 802 I=1,NROW
LINE = LINE+N1
IF(LINE.GT.57) CALL PAGE(LINE,N3)
WRITE(6,661) I,Y(I),(CC(I,J,KK),J=1,NCOL)
661 FORMAT(1H ,I4,2X, F8.2, 13F9.3,/1H , (15X, 13F9.3/1H ) )
802 CONTINUE
105 CONTINUE
C
C PRINT MATERIAL DATA
C
CALL PAGE(LINE,1)
WRITE(6,572)

```

MAIN2890
 MAIN2900
 MAIN2910
 MAIN2920
 MAIN2930
 MAIN2940
 MAIN2950
 MAIN2960
 MAIN2970
 MAIN2980
 MAIN2990
 MAIN3000
 MAIN3010
 MAIN3020
 MAIN3030
 MAIN3040
 MAIN3050
 MAIN3060
 MAIN3070
 MAIN3080
 MAIN3090
 MAIN3100
 MAIN3110
 MAIN3120
 MAIN3130
 MAIN3140
 MAIN3150
 MAIN3160
 MAIN3170
 MAIN3180
 MAIN3190
 MAIN3200
 MAIN3210
 MAIN3220
 MAIN3230
 MAIN3240
 MAIN3250
 MAIN3260
 MAIN3270
 MAIN3280
 MAIN3290
 MAIN3300
 MAIN3310
 MAIN3320
 MAIN3330
 MAIN3340
 MAIN3350
 MAIN3360
 MAIN3370
 MAIN3380
 MAIN3390
 MAIN3400
 MAIN3410
 MAIN3420
 MAIN3430
 MAIN3440
 MAIN3450
 MAIN3460


```

572 FORMAT(1H0, 53X, 'MATERIAL DATA' //)
DO 586 M1=1,NMAT
NT1=NTEP(M1,1)
NT2=NTEP(M1,2)
NT3=NTEP(M1,3)
WRITE(6,573) M1,(MATNA(M1,J1),J1=1,5)
573 FORMAT(1H, 'MATERIAL NO. MATERIAL NAME', /8X, I3, 3X, 5A4//
* 8X, 'PROPERTIES'//)
WRITE(6,574) (AALFA(M1,J1,1),J1=1,NT1)
574 FORMAT(1H, 8X, 'ALFA', /9(1PE10.3,1X))
WRITE(6,575) (AALFA(M1,J1,2),J1=1,NT1)
575 FORMAT(1H, 8X, '1/C', /9(1PE10.3,1X)//)
WRITE(6,576) ( EE(M1,J1,1),J1=1,NT2)
576 FORMAT(1H, 8X, 'YOUNG MODULE',9(1PE10.3,1X))
WRITE(6,577) ( EE(M1,J1,2),J1=1,NT2)
577 FORMAT(1H, 8X, 'KG/MM*2', /9(1PE10.3,1X)//)
WRITE(6,578) (PPOIS(M1,J1,1),J1=1,NT3)
578 FORMAT(1H, 8X, 'POISON RATIO',9(1PE10.3,1X))
WRITE(6,579) (PPOIS(M1,J1,2),J1=1,NT3)
579 FORMAT(1H, 8X, '(-)', /9(1PE10.3,1X)//)
586 CONTINUE
C
C CONVERT FROM PLATE TEMPERATURES TO PLATE STRAINS.
C
DO 48 I=1,NROW
DO 48 J=1,NCOL
TP(I,J) = PALFA(I,J)*(TP(I,J)-TAR)
48 CONTINUE
C
C COMPUTE RADIUS TO CENTER OF EACH PLATE TYPE - RC
C
DO 145 L=1,NPLT
I = ICOL(L,1)
J = ICOL(L,2)
MPLT(L)=(I+J)/2+1
H(L) = RT(J)-RT(I)
RC(L) = (RT(I)+RT(J))/2.0
145 CONTINUE
C
C
C INTEGRATE PLATE STRAINS TO FIND EQUIVALENT DELTA T'S
C AND EXPANSIONS
C
CALL INTEG(TP,RT,NROW,NCOL,RC,NPLT,V)
C
REWIND 3
REWIND 2
REWIND 8
DO 500 I=1,NROW
DO 502 J=1,NCOL
DO 502 KK=1,NPLT
C(J,KK)=CC(I,J,KK)
502 CONTINUE
READ(3) V
READ(2) DTUBE,EMOD
WRITE(8) V,DTUBE,C,EMOD
500 CONTINUE
C

```

```

MAIN3470
MAIN3480
MAIN3490
MAIN3500
MAIN3510
MAIN3520
MAIN3530
MAIN3540
MAIN3550
MAIN3560
MAIN3570
MAIN3580
MAIN3590
MAIN3600
MAIN3610
MAIN3620
MAIN3630
MAIN3640
MAIN3650
MAIN3660
MAIN3670
MAIN3680
MAIN3690
MAIN3700
MAIN3710
MAIN3720
MAIN3730
MAIN3740
MAIN3750
MAIN3760
MAIN3770
MAIN3780
MAIN3790
MAIN3800
MAIN3810
MAIN3820
MAIN3830
MAIN3840
MAIN3850
MAIN3860
MAIN3870
MAIN3880
MAIN3890
MAIN3900
MAIN3910
MAIN3920
MAIN3930
MAIN3940
MAIN3950
MAIN3960
MAIN3970
MAIN3980
MAIN3990
MAIN4000
MAIN4010
MAIN4020
MAIN4030
MAIN4040

```

```

C      SET UP STIFFNESS CONSTANT FOR TUBES REF ' ROARK          MAIN4050
C                                                                MAIN4060
C      THETA = PI/NFPLT                                         MAIN4070
C      NFPLT = NUMBER OF TYPE-1 PLATES                          MAIN4080
C      THETG = THETA/2.0                                         MAIN4090
C      C1 = 0.5*(1.0/(SIN(THETA)**2))                            MAIN4100
1      *(0.5*THETA+0.5*SIN(THETA)*COS(THETA))-1.0/THETA)       MAIN4110
C      C2 = -0.25*(2.0/THETA-1.0/SIN(THETA))                   MAIN4120
1      -THETA*COS(THETA)/SIN(THETA)**2)                        MAIN4130
C      THETG = THETA/3.0                                         MAIN4140
C      C3 = (-2.0/THETA+(THETA*COS(THETA)+SIN(THETA))/         MAIN4150
1      SIN(THETA)**2*COS(THETG)+THETG*SIN(THETG)/SIN(THETA))/4.0 MAIN4160
C      THETG = 2.0*THETG                                         MAIN4170
C      C4 = (-2.0/THETA+(THETA*COS(THETA)+SIN(THETA))/         MAIN4180
1      SIN(THETA)**2*COS(THETG)+THETG*SIN(THETG)/SIN(THETA))/4.0 MAIN4190
C      THETG = THETA/3.0                                         MAIN4200
C      C1P = (-2.0/THETA+0.5*(THETG+SIN(THETG)*COS(THETG)))/   MAIN4210
1      SIN(THETG)**2-0.5*COS(THETG)*(THETA*COS(THETA)+       MAIN4220
2      SIN(THETA))/SIN(THETA)**2-0.5*THETG*SIN(THETG)/       MAIN4230
3      SIN(THETA)/4.0                                           MAIN4240
C      THETAP = THETA/2.0                                        MAIN4250
C      C2P = THETA                                               MAIN4260
C                                                                MAIN4270
C      COMPUTE CONSTANTS FOR TUBE STRESSES REF ' ROARK         MAIN4280
C                                                                MAIN4290
C                                                                MAIN4300
C      CONT1 = COS(THETA)/SIN(THETA)                             MAIN4310
C      CONT2 = 1.0/SIN(THETA)                                    MAIN4320
C      CONT3 = 1.0/THETA - CONT1                                MAIN4330
C      CONT4 = 1.0/THETA - CONT2                                MAIN4340
C      THETG = THETA/3.0                                         MAIN4350
C      THETAP = 2.0*THETG                                        MAIN4360
C      CONT5 = COS(THETG)/SIN(THETG)                             MAIN4370
C      CONT6 = 1.0/SIN(THETG)                                    MAIN4380
C      CONT7 = 1.0/THETG - CONT6                                MAIN4390
C      CONT8 = 1.0/THETG - CONT5                                MAIN4400
C      CONT9 = COS(THETG)/SIN(THETA)                             MAIN4410
C      CONT10 = 1.0/THETA - CONT9                               MAIN4420
C      CONT11 = COS(THETAP)/SIN(THETA)                           MAIN4430
C      CONT12 = 1.0/THETA - CONT11                               MAIN4440
C                                                                MAIN4450
C      SET UP GEOMETRIC CONSTANTS FOR TUBES                      MAIN4460
C                                                                MAIN4470
C      DO 80 I=1,NTPROP                                          MAIN4480
C      IXX(I) = PI*(TOD(I)**4-TID(I)**4)/64.0                   MAIN4490
C      AREA(I) = PI*(TOD(I)**2 - TID(I)**2)/4.0                MAIN4500
C      Z(I) = IXX(I)*2.0/TOD(I)                                  MAIN4510
80 CONTINUE                                                    MAIN4520
C                                                                MAIN4530
C      NE = NPLT*NROW*2                                          MAIN4540
C      M1 = NROW-1                                               MAIN4550
C      NCYCLE = 20                                               MAIN4560
C      INDEX = 0                                                 MAIN4570
C      IF(ICLEAR.EQ.0) NCYCLE=1                                  MAIN4580
C                                                                MAIN4590
C      INITIALIZE ARRAYS AND VARIABLES                           MAIN4600
C                                                                MAIN4610
C      DO 20 I=1,NDOF                                           MAIN4620
C      F(I) = 0.000

```

```

UF(I) = 0.000
DO 20 J=1,8
K(I,J) = 0.000
20 CONTINUE
C
C      GENERATE PLATE STIFFNESS MATRIX
C
KK = 1
IQ = 2*NPLT
C
DO 200 I=1,M1
ID = 0
KJ = KK
IF(I.EQ.1) KJ=0
IF(I.EQ.RQWP(KK+1)) KK=KK+1
C
DO 200 IJ=1,NPLT
KL=MPLT(IJ)
C
C      ELEMENT STIFFNESS MATRIX
C
CALL STIFF(PE(I,KL),PG(I,KL),IXP(KK,IJ),AY(KK,IJ),PITCH(KK),
1      H(IJ),DT(I,IJ),DT(I+1,IJ),S,FO)
C
IF(IDBUG(1),EQ.0.OR.KJ.EQ.KK) GO TO 190
C
DO 180 II=1,4
WRITE(6,630) I,IJ,(S(II,JJ),JJ=1,4)
630 FORMAT( /1H , '***** S(II,JJ)***', 2I5, 4D20.10)
180 CONTINUE
C
C      ADD ELEMENT STIFFNESS TO TOTAL STIFFNESS MATRIX
C
190 LA = ((I-1)*NPLT+IJ)*2-1
C
195 ID = ID+1
K(LA,1) = K(LA,1)+S(1,1)
K(LA,2) = K(LA,2)+S(1,2)
K(LA,IQ+1) = K(LA,IQ+1)+S(1,3)
K(LA,IQ+2) = K(LA,IQ+2)+S(1,4)
K(LA+1,1) = K(LA+1,1) +S(2,2)
K(LA+1,IQ) = K(LA+1,IQ)+S(2,3)
K(LA+1,IQ+1) = K(LA+1,IQ+1)+S(2,4)
K(LA+IQ,1) = K(LA+IQ,1)+S(3,3)
K(LA+IQ,2) = K(LA+IQ,2)+S(3,4)
K(LA+IQ+1,1) = K(LA+IQ+1,1)+S(4,4)
C
C      ADD FORCE AND MOMENT FROM DELTA T'S
C
F(LA) = F(LA)-FO(1)
F(LA+1) = F(LA+1)-FO(2)
F(LA+IQ) = F(LA+IQ)-FO(3)
F(LA+IQ+1) = F(LA+IQ+1)-FO(4)
IF(ID.EQ.3) GO TO 195
200 CONTINUE
C
C      CONNECT EACH PLATE WITH WEAK SPRINGS TO INSURE STABILITY
C

```

MAIN4630
 MAIN4640
 MAIN4650
 MAIN4660
 MAIN4670
 MAIN4680
 MAIN4690
 MAIN4700
 MAIN4710
 MAIN4720
 MAIN4730
 MAIN4740
 MAIN4750
 MAIN4760
 MAIN4770
 MAIN4780
 MAIN4790
 MAIN4800
 MAIN4810
 MAIN4820
 MAIN4830
 MAIN4840
 MAIN4850
 MAIN4860
 MAIN4870
 MAIN4880
 MAIN4890
 MAIN4900
 MAIN4910
 MAIN4920
 MAIN4930
 MAIN4940
 MAIN4950
 MAIN4960
 MAIN4970
 MAIN4980
 MAIN4990
 MAIN5000
 MAIN5010
 MAIN5020
 MAIN5030
 MAIN5040
 MAIN5050
 MAIN5060
 MAIN5070
 MAIN5080
 MAIN5090
 MAIN5100
 MAIN5110
 MAIN5120
 MAIN5130
 MAIN5140
 MAIN5150
 MAIN5160
 MAIN5170
 MAIN5180
 MAIN5190
 MAIN5200

```

DO 201 I=1,NPLT
II = 2*I-1
JJ = II+2*M1*NPLT
K(II,1) = K(II,1)+SPRING
K(JJ,1) = K(JJ,1)+SPRING
IF(I.EQ.NPLT) GO TO 201
C
C      COUPLING SPRINGS
C
K(II,1) = K(II,1)+SPRING
K(II+2,1) = K(II+2,1)+SPRING
K(II,3) = K(II,3)-SPRING
K(JJ,1) = K(JJ,1)+SPRING
K(JJ+2,1) = K(JJ+2,1)+SPRING
K(JJ,3) = K(JJ,3)-SPRING
201 CONTINUE
C
IF(ICLEAR.EQ.0) GO TO 202
WRITE(4) K,F
REWIND 4
C
202 IF(IDBUG(1).EQ.0) GO TO 220
C
DO 210 II=1,NE
WRITE(6,630) II,NE,(K(II,JJ),JJ=1,NBAND)
210 CONTINUE
220 CONTINUE
C
NG=0
DO 490 ICYCLE=1,NCYCLE
IF(ICYCLE.GT.1) READ(4) K,F
REWIND 4
C
C      CALCULATE TUBE STIFFNESS AND INITIAL FORCES
C
C
KK = 1
REWIND 8
C
DO 250 I=1,NROW
READ(8) V,DTUBE,C,EMOD
IF(I.EQ.ROWT(KK+1)) KK=KK+1
DO 250 J=1,NCOL
L = 2*NPLT*(I-1)+1
CZ1 = (EMOD(J)*IXX(KK))/RT(J)**3
CZ2 = (EMOD(J)*AREA(KK))/RT(J)
DHOLE(1) = V(J,1)-DTUBE(J)+UF(L)
DHOLE(2) = V(J,2)-DTUBE(J)+UF(L+2)
DHOLE(3) = V(J,3)-DTUBE(J)+UF(L+4)
CALL STIFFT(I,J,L,NUM,NPLT,INDEX)
IF(L.EQ.0) GO TO 250
K(L,1) = K(L,1)+KT(1,1)
K(L,3) = K(L,3)+KT(1,2)
K(L,5) = K(L,5)+KT(1,3)
K(L+2,1) = K(L+2,1)+KT(2,2)
K(L+2,3) = K(L+2,3)+KT(2,3)
K(L+4,1) = K(L+4,1)+KT(3,3)
F(L) = F(L)-FT(1)
F(L+2) = F(L+2)-FT(2)

```

```

MAINS210
MAINS220
MAINS230
MAINS240
MAINS250
MAINS260
MAINS270
MAINS280
MAINS290
MAINS300
MAINS310
MAINS320
MAINS330
MAINS340
MAINS350
MAINS360
MAINS370
MAINS380
MAINS390
MAINS400
MAINS410
MAINS420
MAINS430
MAINS440
MAINS450
MAINS460
MAINS470
MAINS480
MAINS490
MAINS500
MAINS510
MAINS520
MAINS530
MAINS540
MAINS550
MAINS560
MAINS570
MAINS580
MAINS590
MAINS600
MAINS610
MAINS620
MAINS630
MAINS640
MAINS650
MAINS660
MAINS670
MAINS680
MAINS690
MAINS700
MAINS710
MAINS720
MAINS730
MAINS740
MAINS750
MAINS760
MAINS770
MAINS780

```

```

- F(L+4) = F(L+4)-FT(3)
250 CONTINUE
C
C TOTAL TUBE STIFFNESS AND INITIAL FORCE MATRIX ASSEMBLED
C SOLVE SYSTEM OF EQUATIONS FOR DISPLACEMENTS
C
CALL SYMSQL(K,F,TEMP,NE,1,NDOF,NBAND)
C
A6 = 0.0
DO 260 I=1,NE
A3 = DABS(UF(I)-U(I))
UF(I) = U(I)
A6 = AMAX1(A6,A3)
260 CONTINUE
C
IF(IDBUG(1).NE.0) WRITE(6,840) ICYCLE,A6
840 FORMAT(1H , ' CYCLE = ', I4, 2X, 'MAXIMUM DISPLACEMENT = ',
* E13.6 )
C
C CHECK TO SEE IF DISPLACEMENTS HAVE STABILIZED
C
IF(NG.EQ.1) GO TO 497
IF(ICLEAR.NE.0 .AND. ICYCLE.EQ. 20) GO TO 493
IF(ICLEAR.NE.0 .AND. A6.GT.EPS) GO TO 490
C
WRITE FINAL DISPLACEMENTS
C
493 CONTINUE
NG=1
N1 = 1
N2 = 8
N3 = 6
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,790) ICYCLE
790 FORMAT(1H , 38X, '*** DISPLACEMENTS OF CENTER LINE OF PLATE ***'
1 /1H , 51X, '*** CYCLE NO.', I2, ' ***' /)
WRITE(6,271) ((J),J=1,3)
271 FORMAT(1H , 3(' PLATE "', I1, 5X, 'RADIAL', 10X, 'ROTATION',6X)
1 /1H , 3(' NODE DISPLACEMENT', 21X) /)
DO 272 I=1,NROW
I1 = 2*NPLT
I2 = I1*(I-1)+1
LINE = LINE+N1
IF(LINE.LE.57) GO TO 273
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,271) ((J),J=1,3)
273 IF(NPLT.GT.1) GO TO 274
WRITE(6,280) I,UF(I2),UF(I2+1)
280 FORMAT(1H , 3(I6,2F17.5,4X))
GO TO 272
274 IF(NPLT.GT.2) GO TO 275
WRITE(6,280) I,UF(I2),UF(I2+1),I,UF(I2+2),UF(I2+3)
GO TO 272
275 WRITE(6,280) I,UF(I2),UF(I2+1),I,UF(I2+2),UF(I2+3),
* I,UF(I2+4),UF(I2+5)
272 CONTINUE
C
C COMPUTE SHEAR AND MOMENT AT PLATE NODES

```

```

MAIN5790
MAIN5800
MAIN5810
MAIN5820
MAIN5830
MAIN5840
MAIN5850
MAIN5860
MAIN5870
MAIN5880
MAIN5890
MAIN5900
MAIN5910
MAIN5920
MAIN5930
MAIN5940
MAIN5950
MAIN5960
MAIN5970
MAIN5980
MAIN5990
MAIN6000
MAIN6010
MAIN6020
MAIN6030
MAIN6040
MAIN6050
MAIN6060
MAIN6070
MAIN6080
MAIN6090
MAIN6100
MAIN6110
MAIN6120
MAIN6130
MAIN6140
MAIN6150
MAIN6160
MAIN6170
MAIN6180
MAIN6190
MAIN6200
MAIN6210
MAIN6220
MAIN6230
MAIN6240
MAIN6250
MAIN6260
MAIN6270
MAIN6280
MAIN6290
MAIN6300
MAIN6310
MAIN6320
MAIN6330
MAIN6340
MAIN6350
MAIN6360

```

```

C
DO 335 IJ=1,NPLT
KK = 1
KL = MPLT(IJ)
C
DO 320 I=1,M1
IF(I.EQ.ROWP(KK+1)) KK=KK+1
CALL STIFF(PE(I,KL), PG(I,KL), IXP(KK,IJ), AY(KK,IJ), PITCH(KK),
1 H(IJ), DT(I,IJ), DT(I+1,IJ),S,FO)
C
SET UP DISPLACEMENT VECTOR DELTA
C
LA = 2*NPLT*(I-1)+2*IJ-1
DELTA(1) = UF(LA)
DELTA(2) = UF(LA+1)
LA = LA+2*NPLT
DELTA(3) = UF(LA)
DELTA(4) = UF(LA+1)
C
CALCULATE MATRIX PRODUCT P=S*DELTA
C
DO 319 II=1,4
D1 = 0.000
DO 310 JJ=1,4
D1 = D1+S(II,JJ)*DELTA(JJ)
310 CONTINUE
P(I,II) = D1+FO(II)
319 CONTINUE
320 CONTINUE
C
WRITE OUT PLATE ELEMENT FORCES
C
N1 = 1
N2 = 10
N3 = 7
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,680)
680 FORMAT(1H , 13X, '*** INTERNAL FORCES IN SUPPORT PLATE ***' //)
WRITE(6,321)
321 FORMAT(1H , ' BEAM', 7X, 'SHEAR AT MOMENT AT SHEAR AT'
1 ,6X, 'MOMENT AT' // ELEMENT TOP END', 7X,
2 'TOP END', 5X, 'BOTTOM END BOTTOM END' //)
DO 322 I=1,M1
LINE = LINE+N1
IF(LINE.LE.57) GO TO 323
CALL PAGE(LINE,N3)
WRITE(6,321)
323 WRITE(6,324) I,(P(I,J),J=1,4)
324 FORMAT(1H , 16, 3X, 4F14.2)
322 CONTINUE
C
335 CONTINUE
C
CALCULATE FINAL TUBE DEFORMATION AND STRESS
C
KK = 1
INDEX = 1
C

```

MAIN6370
 MAIN6380
 MAIN6390
 MAIN6400
 MAIN6410
 MAIN6420
 MAIN6430
 MAIN6440
 MAIN6450
 MAIN6460
 MAIN6470
 MAIN6480
 MAIN6490
 MAIN6500
 MAIN6510
 MAIN6520
 MAIN6530
 MAIN6540
 MAIN6550
 MAIN6560
 MAIN6570
 MAIN6580
 MAIN6590
 MAIN6600
 MAIN6610
 MAIN6620
 MAIN6630
 MAIN6640
 MAIN6650
 MAIN6660
 MAIN6670
 MAIN6680
 MAIN6690
 MAIN6700
 MAIN6710
 MAIN6720
 MAIN6730
 MAIN6740
 MAIN6750
 MAIN6760
 MAIN6770
 MAIN6780
 MAIN6790
 MAIN6800
 MAIN6810
 MAIN6820
 MAIN6830
 MAIN6840
 MAIN6850
 MAIN6860
 MAIN6870
 MAIN6880
 MAIN6890
 MAIN6900
 MAIN6910
 MAIN6920
 MAIN6930
 MAIN6940

```

REWIND 8
DO 370 I=1,NROW
READ(8) V,DTUBE,C,EMOD
IF(I.EQ.ROWT(KK+1)) KK=KK+1
C
DO 370 J=1,NCOL
L = 2*NPLT*(I-1)+1
CZ1 = (EMOD(J)*IXX(KK))/RT(J)**3
CZ2 = (EMOD(J)*AREA(KK))/RT(J)
DHOLE(1) = V(J,1)-DTUBE(J)+UF(L)
DHOLE(2) = V(J,2)-DTUBE(J)+UF(L+2)
DHOLE(3) = V(J,3)-DTUBE(J)+UF(L+4)
C
C      FIND FORCES FROM FORCE-DISPLACEMENT RELATIONSHIP
C
CALL STIFFT(I,J,L,NUM,NPLT,INDEX)
C
TFT(I,J,1) = FT(1)
TFT(I,J,2) = FT(2)
TFT(I,J,3) = 0.5*FT(3)
370 CONTINUE
C
C      PRINT OUT TUBE FORCES AT EACH PLATE
C
NP = NPLT
IF(IPRINT(4).EQ.0) GO TO 393
IF(NPLT.EQ.1) NP=1
N1 = (NCOL+14)/15
N2 = N1+7
N3 = N1+2
DO 390 L=1,NP
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,690) L
690 FORMAT(1H , 31X, 44H RESULTING TUBE FORCES - RADIAL -AT PLATE
* , I2)
WRITE(6,720) (RT(J),J=1,NCOL)
WRITE(6,730)
DO 390 I=1,NROW
LINE = LINE+N1
IF(LINE.GT.57) CALL PAGE(LINE,N3)
WRITE(6,660) I,Y(I),(TFT(I,J,L),J=1,NCOL)
390 CONTINUE
393 CONTINUE
C
C      PRINT AXIAL STRESS AT EACH PLATE LOCATION
C
DO 410 L=1,NP
IF(IPRINT(4).EQ.0) GO TO 705
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,700) L
700 FORMAT(1H , 31X,43H RESULTING TUBE STRESS - AXIAL - AT PLATE
* , I2)
WRITE(6,720) (RT(J),J=1,NCOL)
WRITE(6,730)
705 CONTINUE
KK = 1
DO 410 I=1,NROW
IF(IPRINT(4).EQ.0) GO TO 413
MAIN6950
MAIN6960
MAIN6970
MAIN6980
MAIN6990
MAIN7000
MAIN7010
MAIN7020
MAIN7030
MAIN7040
MAIN7050
MAIN7060
MAIN7070
MAIN7080
MAIN7090
MAIN7100
MAIN7110
MAIN7120
MAIN7130
MAIN7140
MAIN7150
MAIN7160
MAIN7170
MAIN7180
MAIN7190
MAIN7200
MAIN7210
MAIN7220
MAIN7230
MAIN7240
MAIN7250
MAIN7260
MAIN7270
MAIN7280
MAIN7290
MAIN7300
MAIN7310
MAIN7320
MAIN7330
MAIN7340
MAIN7350
MAIN7360
MAIN7370
MAIN7380
MAIN7390
MAIN7400
MAIN7410
MAIN7420
MAIN7430
MAIN7440
MAIN7450
MAIN7460
MAIN7470
MAIN7480
MAIN7490
MAIN7500
MAIN7510
MAIN7520

```

```

IF(I.EQ.ROWT(KK+1)) KK=KK+1
LINE = LINE+N1
IF(LINE.GT.57) CALL PAGE(LINE,N3)
413 CONTINUE
DO 415 J=1,NCOL
F1 = TFT(I,J,1)
F2 = TFT(I,J,2)
F3 = TFT(I,J,3)
IF(L.EQ.1) SAXIAL(J)=0.5*((F1-F3)*CONT1+F2*CONT2 +F3*CONT5)/
* AREA(KK)
IF(L.EQ.2) SAXIAL(J)=0.5*((F1-F3)*CONT2+F2*CONT1 +F3*CONT6)/
* AREA(KK)
IF(L.EQ.3) SAXIAL(J)=0.5*((F1-F3)*CONT9+F2*CONT11+F3*CONT5)/
* AREA(KK)
415 CONTINUE
IF(IPRINT(4).EQ.0) GO TO 410
WRITE(6,660) I,Y(I),(SAXIAL(J),J=1,NCOL)
410 CONTINUE
C
C PRINT BENDING STRESSES AT EACH PLATE LOCATION
C
DO 430 L=1,NP
IF(IPRINT(4).EQ.0) GO TO 712
CALL PAGE(LINE,N2)
WRITE(6,710) L
710 FORMAT(1H , / 31X,
* 45H RESULTING TUBE STRESS - BENDING - AT PLATE ,12)
WRITE(6,720) (RT(J),J=1,NCOL)
WRITE(6,730)
712 CONTINUE
KK = 1
DO 430 I=1,NROW
IF(IPRINT(4).EQ.0) GO TO 713
IF(I.EQ.ROWT(KK+1)) KK=KK+1
LINE = LINE+N1
IF(LINE.GT.57) CALL PAGE(LINE,N3)
713 CONTINUE
DO 425 J=1,NCOL
F1 = TFT(I,J,1)
F2 = TFT(I,J,2)
F3 = TFT(I,J,3)
IF(L.EQ.1) SBEND(J)=-0.5*RT(J)*((F1-F3)*CONT3 +F2*CONT4 +
* F3*CONT8)/Z(KK)
IF(L.EQ.2) SBEND(J)=-0.5*RT(J)*((F1-F3)*CONT4 +F2*CONT3 +
* F3*CONT8)/Z(KK)
IF(L.EQ.3) SBEND(J)=-0.5*RT(J)*((F1-F3)*CONT10+F2*CONT12+
* F3*CONT8)/Z(KK)
425 CONTINUE
IF(IPRINT(4).EQ.0) GO TO 430
WRITE(6,660) I,Y(I),(SBEND(J),J=1,NCOL)
430 CONTINUE
C
C FIND MAXIMUM STRESSED TUBE IN EACH TUBE ROW
C
DO 350 I=1,NROW
SCOMAA(I) = 0.0
SCOMBB(I) = 0.0
SCOMCC(I) = 0.0

```

MAIN7530
 MAIN7540
 MAIN7550
 MAIN7560
 MAIN7570
 MAIN7580
 MAIN7590
 MAIN7600
 MAIN7610
 MAIN7620
 MAIN7630
 MAIN7640
 MAIN7650
 MAIN7660
 MAIN7670
 MAIN7680
 MAIN7690
 MAIN7700
 MAIN7710
 MAIN7720
 MAIN7730
 MAIN7740
 MAIN7750
 MAIN7760
 MAIN7770
 MAIN7780
 MAIN7790
 MAIN7800
 MAIN7810
 MAIN7820
 MAIN7830
 MAIN7840
 MAIN7850
 MAIN7860
 MAIN7870
 MAIN7880
 MAIN7890
 MAIN7900
 MAIN7910
 MAIN7920
 MAIN7930
 MAIN7940
 MAIN7950
 MAIN7960
 MAIN7970
 MAIN7980
 MAIN7990
 MAIN8000
 MAIN8010
 MAIN8020
 MAIN8030
 MAIN8040
 MAIN8050
 MAIN8060
 MAIN8070
 MAIN8080
 MAIN8090
 MAIN8100

	SCOMDD(I) = 0.0	MAIN8110
350	CONTINUE	MAIN8120
	DO 499 IJ=1,2	MAIN8130
C		MAIN8140
	DO 480 L=1,NP	MAIN8150
	KK = 1	MAIN8160
C		MAIN8170
	DO 460 I=1,NROW	MAIN8180
	SMAX = 0.0	MAIN8190
	IF(I.EQ.ROWT(KK+1)) KK=KK+1	MAIN8200
C		MAIN8210
	DO 460 J=1,NCOL	MAIN8220
	IF(IJ.EQ.1) GO TO 498	MAIN8230
	TGSI(I,J) = 0.0	MAIN8240
	TGSO(I,J) = 0.0	MAIN8250
498	CONTINUE	MAIN8260
C		MAIN8270
C		MAIN8280
	F1 = TFT(I,J,1)	MAIN8290
	F2 = TFT(I,J,2)	MAIN8300
	F3 = TFT(I,J,3)	MAIN8310
C		MAIN8320
	IF(L.EQ.1) SAXIAL(J)=0.5*((F1-F3)*CONT1+F2*CONT2 +F3*CONT5)/	MAIN8330
	AREA(KK)	MAIN8340
	* IF(L.EQ.2) SAXIAL(J)=0.5*((F1-F3)*CONT2+F2*CONT1 +F3*CONT6)/	MAIN8350
	AREA(KK)	MAIN8360
	* IF(L.EQ.3) SAXIAL(J)=0.5*((F1-F3)*CONT9+F2*CONT11+F3*CONT5)/	MAIN8370
	AREA(KK)	MAIN8380
	* IF(L.EQ.1) SBEND(J)=-0.5*RT(J)*((F1-F3)*CONT3 +F2*CONT4 +	MAIN8390
	F3*CONT8)/Z(KK)	MAIN8400
	* IF(L.EQ.2) SBEND(J)=-0.5*RT(J)*((F1-F3)*CONT4 +F2*CONT3 +	MAIN8410
	F3*CONT8)/Z(KK)	MAIN8420
	* IF(L.EQ.3) SBEND(J)=-0.5*RT(J)*((F1-F3)*CONT10+F2*CONT12+	MAIN8430
	F3*CONT8)/Z(KK)	MAIN8440
C		MAIN8450
	IF(IDBUG(5).EQ.0) GO TO 458	MAIN8460
	WRITE(6,748) L,J,SAXIAL(J),SBEND(J)	MAIN8470
748	FORMAT(1H , '***DEBUG' / 11X, 'L=', I3, 3X, 'J=', I3, 3X, 'SAXIAL=',	MAIN8480
	1PE11.4, 3X, 'SBEND=', E11.4//)	MAIN8490
458	CONTINUE	MAIN8500
C		MAIN8510
	SCOMA = SAXIAL(J)+SBEND(J)+TGSO(I,J)	MAIN8520
	SCOMB = SAXIAL(J)+TID(KK)/TOD(KK)*SBEND(J)+TGSI(I,J)	MAIN8530
	SCOMC = SAXIAL(J)-TID(KK)/TOD(KK)*SBEND(J)+TGSI(I,J)	MAIN8540
	SCOMD = SAXIAL(J)-SBEND(J)+TGSO(I,J)	MAIN8550
	SMAXP = AMAX1(SCOMA,SCOMB,SCOMC,SCOMD)	MAIN8560
	SMAXN = AMIN1(SCOMA,SCOMB,SCOMC,SCOMD)	MAIN8570
	SSMAX = SMAXP	MAIN8580
	IF(ABS(SMAXP).LT.ABS(SMAXN)) SSMAX=SMAXN	MAIN8590
	IF(ABS(SSMAX).LT.ABS(SMAX)) GO TO 460	MAIN8600
C		MAIN8610
	FF(I) = J	MAIN8620
	SCOMAA(I) = SCOMA	MAIN8630
	SCOMBB(I) = SCOMB	MAIN8640
	SCOMCC(I) = SCOMC	MAIN8650
	SCOMDD(I) = SCOMD	MAIN8660
	SMAX = SSMAX	MAIN8670
460	CONTINUE	MAIN8680

```

C          CALL PAGE(LINE,8) MAIN8690
          IF(IJ.EQ.1) WRITE(6,751) MAIN8700
751       FORMAT(1H , ' **NOTE** THERMAL GRADIENT AND PRESSURE LOADINGS ARMAIN8720
          *E INCLUDED IN THIS SECTION' ) MAIN8730
          WRITE(6,750) L MAIN8740
750       FORMAT(1H , ' 11X,44H RESULTING COMBINED TUBE STRESSES AT NUMBER , MAIN8750
          1 I1, 6H PLATE,' (MAXIMUM STRESSES FOR EACH ROW)' MAIN8760
          2 //1H , 7H ROW , 7H COLUMN, MAIN8770
          3 8X,11H INNER, 2X,11H WALL , MAIN8780
          4 8X,11H OUTER, 2X,11H WALL , MAIN8790
          5 //1H , 19X, 11H TUBE O.D. , 5X,11H TUBE I.D. , MAIN8800
          6 5X, 11H TUBE I.D. , 5X,11H TUBE O.D. /) MAIN8810
C
          DO 470 I=1,NROW MAIN8820
          LINE = LINE+1 MAIN8830
          IF(LINE.GT.57) CALL PAGE(LINE,3) MAIN8840
          WRITE(6,760) I,FF(I),SCOMAA(I),SCOMBB(I),SCOMCC(I),SCOMDD(I) MAIN8850
760       FORMAT(1H , ' 14,5X,I2,4F16.2) MAIN8860
          470 CONTINUE MAIN8870
C
          480 CONTINUE MAIN8880
          499 CONTINUE MAIN8890
          490 CONTINUE MAIN8910
          497 CONTINUE MAIN8920
          CALL EXIT MAIN8930
          STOP MAIN8940
          END MAIN8950
          MAIN8960

```

```

          SUBROUTINE PAGE1 PAGE0010
C          THIS SUBROUTINE PRINTS THE CURRENT DATE AND A PAGE NO. AT THE PAGE0020
C          TOP OF EACH PAGE. PAGE0030
C          PAGE0040
C          PAGE0050
C          DOUBLE PRECISION IDATE PAGE0060
C          PAGE0070
C          IPAGE = 1 PAGE0080
C          PAGE0090
C          GO TO 10 PAGE0100
          ENTRY PAGE(LINE,NSTART) PAGE0110
C          PAGE0120
          LINE = NSTART PAGE0130
          IPAGE = IPAGE+1 PAGE0140
10       CONTINUE PAGE0150
          CALL DATE(IDATE) PAGE0160
          WRITE(6,1) IDATE, IPAGE PAGE0170
          1 FORMAT( '1', 8BX, 'DATE', 1X, '19', A8, 5X, 'PAGE',14/) PAGE0180
          RETURN PAGE0190
          END PAGE0200

```

```

SUBROUTINE PROP( T, MR, NC, ALFA, E, POIS, G, MN, NERROR)
C*****
C      CALCULATION OF TUBE AND PLATE PROPERTIES *
C*****
C      DIMENSION T( 340,32), ALFA( 340,32), E( 340,32),
*          POIS( 340,32), G( 340,32)
C
C      DIMENSION MN( 340)
C
C      COMMON /MBLK1/ MATNA(10,5), NTEP(10,3), NMAI
C
C      COMMON /MBLK2/ AALFA(10,9,2), EE(10,9,2), PPOIS(10,9,2)
C
C      PRO(TA,R1,R2,T1,T2)=R1+(R2-R1)*(TA-T1)/(T2-T1)
C
C      NERROR=0
C      DO 1000 I=1,MR
C      DO 1000 JA=1,NC
C      TA=T(I,JA)
C      KK=MN(I)
C      DO 100 J=1,3
C      IF(NTEP(KK,J).GT.1) GO TO 90
C      IF(J.EQ.1) ALFA(I,JA)=AALFA(KK,1,2)
C      IF(J.EQ.2) E(I,JA)= EE(KK,1,2)
C      IF(J.EQ.3) POIS(I,JA)=PPOIS(KK,1,2)
C 90 CONTINUE
C 100 CONTINUE
C      DO 500 J=1,3
C      IF(NTEP(KK,J).LE.1) GO TO 450
C      IF(J.EQ.1) GO TO 220
C      GO TO 260
C 220 CONTINUE
C      MTEP=NTEP(KK,J)-1
C      DO 230 L=1,MTEP
C      IF(TA.GE.AALFA(KK,L,1).AND.TA.LE.AALFA(KK,L+1,1)) GO TO 240
C 230 CONTINUE
C      NERROR=NERROR+1
C 240 CONTINUE
C      ALFA1=AALFA(KK,L,2)
C      ALFA2=AALFA(KK,L+1,2)
C      T1=AALFA(KK,L,1)
C      T2=AALFA(KK,L+1,1)
C      ALFA(I,JA)=PRO(TA,ALFA1,ALFA2,T1,T2)
C      GO TO 450
C 260 CONTINUE
C      IF(J.EQ.2) GO TO 270
C      GO TO 300
C 270 CONTINUE
C      MTEP=NTEP(KK,J)-1
C      DO 280 L=1,MTEP
C      IF(TA.GE.EE(KK,L,1).AND.TA.LE.EE(KK,L+1,1)) GO TO 290
C 280 CONTINUE
C      NERROR=NERROR+1
C 290 CONTINUE
C      E1=EE(KK,L,2)
C      E2=EE(KK,L+1,2)
C      T1=EE(KK,L,1)
C      T2=EE(KK,L+1,1)
C      E(I,JA)=PRO(TA,E1,E2,T1,T2)
C      GO TO 450
C 300 CONTINUE
C      MTEP=NTEP(KK,J)-1
C      DO 310 L=1,MTEP
C      IF(TA.GE.PPOIS(KK,L,1).AND.TA.LE.PPOIS(KK,L+1,1)) GO TO 320
C 310 CONTINUE
C      NERROR=NERROR+1
C 320 CONTINUE
C      P1=PPOIS(KK,L,2)
C      P2=PPOIS(KK,L+1,2)
C      T1=PPOIS(KK,L,1)
C      T2=PPOIS(KK,L+1,1)
C      POIS(I,JA)=PRO(TA,P1,P2,T1,T2)
C 450 CONTINUE
C 500 CONTINUE
C      G(I,JA)=E(I,JA)/2./(1+POIS(I,JA))
C 1000 CONTINUE
C      RETURN
C      END
PROP0010
PROP0020
PROP0030
PROP0040
PROP0050
PROP0060
PROP0070
PROP0080
PROP0090
PROP0100
PROP0110
PROP0120
PROP0130
PROP0140
PROP0150
PROP0160
PROP0170
PROP0180
PROP0190
PROP0200
PROP0210
PROP0220
PROP0230
PROP0240
PROP0250
PROP0260
PROP0270
PROP0280
PROP0290
PROP0300
PROP0310
PROP0320
PROP0330
PROP0340
PROP0350
PROP0360
PROP0370
PROP0380
PROP0390
PROP0400
PROP0410
PROP0420
PROP0430
PROP0440
PROP0450
PROP0460
PROP0470
PROP0480
PROP0490
PROP0500
PROP0510
PROP0520
PROP0530
PROP0540
PROP0550
PROP0560
PROP0570
PROP0580
PROP0590
PROP0600
PROP0610
PROP0620
PROP0630
PROP0640
PROP0650
PROP0660
PROP0670
PROP0680
PROP0690
PROP0700
PROP0710
PROP0720
PROP0730
PROP0740
PROP0750
PROP0760
PROP0770
PROP0780
PROP0790

```

```

SUBROUTINE QATR(XL, XU, EPS, NDIM, FCT, Y, IER, AUX, RT, TPP, N)
.....
** PURPOSE **
   TO COMPUTE AN APPROXIMATION
   FOR INTEGRAL(FCT(X), SUMMED OVER X FROM XL TO XU).
** USAGE **
   CALL QATR(XL,XU,EPS,NDIM,FCT,Y,IER,AUX)
   PARAMETER FCT REQUIRES AN EXTERNAL STATEMENT.
** DESCRIPTION OF PARAMETERS **
   XL ---- THE LOWER BOUND OF THE INTERVAL.
   XU ---- THE UPPER BOUND OF THE INTERVAL.
   EPS --- THE UPPER BOUND OF THE ABSOLUTE ERROR.
   NDIM -- THE DIMENSION OF THE AUXILIARY STORAGE ARRAY AUX.
           NDIM-1 IS THE MAXIMAL NUMBER OF BISECTIONS OF
           THE INTERVAL (XL,XU).
   FCT --- THE NAME OF THE EXTERNAL FUNCTION SUBPROGRAM USED.
   Y ---- THE RESULTING APPROXIMATION FOR THE INTEGRAL VALUE.
   IER --- A RESULTING ERROR PARAMETER.
   AUX --- AN AUXILIARY STORAGE ARRAY WITH DIMENSION NDIM.
** REMARKS **
   ERROR PARAMETER IER IS CODED IN THE FOLLOWING FORM
   IER=0 - IT WAS POSSIBLE TO REACH THE REQUIRED ACCURACY.
           NO ERROR.
   IER=1 - IT IS IMPOSSIBLE TO REACH THE REQUIRED ACCURACY
           BECAUSE OF ROUNDING ERRORS.
   IER=2 - IT WAS IMPOSSIBLE TO CHECK ACCURACY
           BECAUSE NDIM IS LESS THAN 5, OR THE REQUIRED
           ACCURACY COULD NOT BE REACHED WITHIN NDIM-1 STEPS.
           NDIM SHOULD BE INCREASED.
** SUBROUTINES AND FUNCTION SUBPROGRAMS REQUIRED **
   THE EXTERNAL FUNCTION SUBPROGRAM FCT(X) MUST BE CODED BY
   THE USER. ITS ARGUMENT X SHOULD NOT BE DESTROYED.
** METHOD **
   EVALUATION OF Y IS DONE BY MEANS OF TRAPEZOIDAL RULE
   IN CONNECTION WITH ROMBERGS PRINCIPLE. ON RETURN Y CONTAINS
   THE BEST POSSIBLE APPROXIMATION OF THE INTEGRAL VALUE AND
   VECTOR AUX THE UPWARD DIAGONAL OF ROMBERG SCHEME.
   COMPONENTS AUX(I) (I=1,2,...,IEND, WITH IEND LESS THAN OR
   EQUAL TO NDIM) BECOME APPROXIMATIONS TO INTEGRAL VALUE WITH
   DECREASING ACCURACY BY MULTIPLICATION WITH (XU-XL).
   FOR REFERENCE, SEE
   (1) FILIPPI, DAS VERFAHREN VON ROMBERG-STIEFEL-BAUER ALS
       SPEZIALFALL DES ALLGEMEINEN PRINZIPS VON RICHARDSON,
       MATHEMATIK-TECHNIK-WIRTSCHAFT, VOL.11, ISS.2 (1964),
       PP.49-54.
   (2) BAUER, ALGORITHM GO, CACM, VOL.4, ISS.6 (1961), PP.255.

```

QATRO010
QATRO020
QATRO030
QATRO040
QATRO050
QATRO060
QATRO070
QATRO080
QATRO090
QATRO100
QATRO110
QATRO120
QATRO130
QATRO140
QATRO150
QATRO160
QATRO170
QATRO180
QATRO190
QATRO200
QATRO210
QATRO220
QATRO230
QATRO240
QATRO250
QATRO260
QATRO270
QATRO280
QATRO290
QATRO300
QATRO310
QATRO320
QATRO330
QATRO340
QATRO350
QATRO360
QATRO370
QATRO380
QATRO390
QATRO400
QATRO410
QATRO420
QATRO430
QATRO440
QATRO450
QATRO460
QATRO470
QATRO480
QATRO490
QATRO500
QATRO510
QATRO520
QATRO530
QATRO540
QATRO550
QATRO560

```

C ..... QATRO570
C COMMON/BLK11/DELT2 QATRO580
C DIMENSION AUX(1), RT(1), TPP(1) QATRO590
C QATRO600
C PREPARATIONS OF ROMBERG-LOOP QATRO610
C QATRO620
C QATRO630
C AUX(1) = 0.5*( FCT(XL,N)+FCT(XU,N) ) QATRO640
C H = XU-XL QATRO650
C IF(NDIM-1) 8,8,1 QATRO660
C 1 IF(H) 2,10,2 QATRO670
C QATRO680
C NDIM IS GREATER THAN 1 AND H IS NOT EQUAL TO 0.0 QATRO690
C QATRO700
C 2 HH = H QATRO710
C E = EPS/ABS(H) QATRO720
C DELT2 = 0.0 QATRO730
C P = 1.0 QATRO740
C JJ = 1 QATRO750
C DO 7 I=2,NDIM QATRO760
C Y = AUX(1) QATRO770
C DELT1 = DELT2 QATRO780
C HD = HH QATRO790
C HH = 0.5*HH QATRO800
C P = 0.5*P QATRO810
C X = XL+HH QATRO820
C SM = 0.0 QATRO830
C DO 3 J=1,JJ QATRO840
C SM = SM+FCT(X,N) QATRO850
C X = X+HD QATRO860
C 3 CONTINUE QATRO870
C AUX(I) = 0.5*AUX(I-1)+P*SM QATRO880
C QATRO890
C A NEW APPROXIMATION OF INTEGRAL VALUE IS COMPUTED QATRO900
C BY MEANS OF TRAPEZOIDAL RULE. QATRO910
C QATRO920
C START OF ROMBERGS EXTRAPOLATION METHOD. QATRO930
C QATRO940
C Q = 1.0 QATRO950
C JI = I-1 QATRO960
C DO 4 J=1,JI QATRO970
C II = I-J QATRO980
C Q = Q+Q QATRO990
C Q = Q+Q QATR1000
C AUX(II) = AUX(II+1)+(AUX(II+1)-AUX(II))/(Q-1.0) QATR1010
C 4 CONTINUE QATR1020
C QATR1030
C END OF ROMBERG-STEP QATR1040
C QATR1050
C DELT2 = ABS(Y-AUX(1)) QATR1060
C IF(I-5) 7,5,5 QATR1070
C 5 IF(DELT2-E) 10,10,6 QATR1080
C 6 IF(DELT2-DELT1) 7,11,11 QATR1090
C 7 JJ = JJ+JJ QATR1100
C 8 IER = 2 QATR1110
C 9 Y = H*AUX(1) QATR1120
C RETURN QATR1130
C 10 IER = 0 QATR1140
C GO TO 9 QATR1150
C 11 IER = 1 QATR1160
C Y = H*Y QATR1170
C RETURN QATR1180
C END QATR1190

```

```

SUBROUTINE STIFF(E,G,IXX,AY,L1,H,DTI,DTJ,S,FO)
C
C   CALCULATES STIFFNESS AND THERMAL FORCES FOR UNIFORM BEAM
C
C   E       = MODULUS OF ELASTICITY
C   G       = SHEAR MODULUS
C   IXX     = MOMENT OF INERTIA
C   AY      = SHEAR AREA
C   L1      = BEAM LENGTH
C   H       = BEAM DEPTH
C   DTI     = TEMPERATURE DIFF. AT NODE I
C   DTJ     = TEMPERATURE DIFF. AT NODE J
C   S       = STIFFNESS MATRIX
C   FO      = FORCE VECTOR DUE TO THERMAL GRADIENTS
C   FSHEAR  = FORM FACTOR FOR SHEAR INRECTANGULAR SECTION
C   VIJ     = SHEAR DUE TO DTI AND DTJ
C
C   REAL          L1,          L2,          L3
C   REAL          IXX,         MI,          MJ
COMMON /BLK1/ TITLE,NFPLT,NROW,NCOL,IDBUG(5)
C
C   DOUBLE PRECISION S(4,4),          FO(4)
C
C   DATA          FSHEAR/1.2/
C
C   CALCULATE CONSTANTS
C
C   L2 = L1**2
C   L3 = L2*L1
C   GS = 6.0*FSHEAR*E*IXX/(G*AY*L2)
C   A7 = E*IXX/(1.0+2.0*GS)
C
C   CALCULATE STIFFNESS MATRIX
C
C   S(1,1) = A7*12.0/L3
C   S(1,2) = A7*6.0/L2
C   S(1,3) = -S(1,1)
C   S(1,4) = S(1,2)
C   S(2,2) = A7*4.0/L1*(1.0+GS/2.0)
C   S(2,3) = -S(1,4)
C   S(2,4) = A7*2.0/L1*(1.0-GS)
C   S(3,3) = S(1,1)
C   S(3,4) = S(2,3)
C   S(4,4) = S(2,2)
C
C   ADD SYMMETRY
C
C   DO 170 II=1,4
C   DO 170 JJ=II,4
C   S(JJ,II) = S(II,JJ)
170 CONTINUE
C
C   CALCULATE INITIAL FORCE VECTOR
C
C   THETA = -L1*(DTI+DTJ)/(2.0*H)
C   DELTA = L2*(2.0*DTI+DTJ)/(6.0*H)
C
C   VI = A7*(-12.0/L3*DELTA-6.0/L2*THETA)
C   MI = A7*( 6.0/L2*DELTA+2.0/L1*(1.0-GS)*THETA)
C   VJ = -VI
C   MJ = A7*( 6.0/L2*DELTA+4.0/L1*(1.0+GS/2.0)*THETA)
C
C   FO(1) = VI
C   FO(2) = MI
C   FO(3) = VJ
C   FO(4) = MJ
C
C   RETURN
C   END

```

STIFF010
STIFF020
STIFF030
STIFF040
STIFF050
STIFF060
STIFF070
STIFF080
STIFF090
STIFF100
STIFF110
STIFF120
STIFF130
STIFF140
STIFF150
STIFF160
STIFF170
STIFF180
STIFF190
STIFF200
STIFF205
STIFF210
STIFF220
STIFF230
STIFF240
STIFF250
STIFF260
STIFF270
STIFF280
STIFF290
STIFF300
STIFF310
STIFF320
STIFF330
STIFF340
STIFF350
STIFF360
STIFF370
STIFF380
STIFF390
STIFF400
STIFF410
STIFF420
STIFF430
STIFF440
STIFF450
STIFF460
STIFF470
STIFF480
STIFF490
STIFF500
STIFF510
STIFF520
STIFF530
STIFF540
STIFF550
STIFF560
STIFF570
STIFF580
STIFF590
STIFF600
STIFF610
STIFF620
STIFF630
STIFF640
STIFF650
STIFF660
STIFF670
STIFF680
STIFF690

```

SUBROUTINE STIFFT(I,J,L,NUM,NPLATE,INDEX)
C
C   THIS ROUTINE COMPUTES THE STIFFNESS OF THE TUBES
C   ACCOUNTING FOR CLEARANCE
C
C
C   REAL KT(3,3)
C
C   DIMENSION ITEMP(9), FLEX(3,3), DUMMY(9)
C
C   COMMON/STIF/      C4,          KT,          FT(3)
C   COMMON/STIF/      DHOLE(3),   C1P,         C2P
C   COMMON/STIF/      CZ1,        CZ2,        C1
C   COMMON/STIF/      C2,          C3,          UF(1)
C
C   COMMON/BLK2/  NPLT, ICOL(3,2), IPL(3,2)
C
C   COMMON/BLK8/  C(32,3)
C   COMMON/BLK9/  ICLEAR
C
C   NUM
C   1 = PLATE 1 ONLY
C   2 = PLATE 1 + 2
C   3 = PLATE 2 + 3
C   4 = PLATE 3 ONLY
C   5 = PLATE 2 ONLY
C   6 = PLATE 1 + 2 + 3
C   7 = PLATE 1 + 3
C
C   I = ROW NO.
C   J = COLUMN NO.
C   L = EQUATION NO.
C
C   ZERO ARRAYS
C
C   DO 10 II=1,3
C   FT(II) = 0.0
C   DO 10 JJ=1,3
C   KT(II,JJ) = 0.0
10 CONTINUE
C
C   IF(ICLEAR.EQ.0) GO TO 11
C
C   REDUCE RESTRAINED TUBE MOTION TO ACCOUNT FOR CLEARANCE
C
C   DO 15 KK=1,NPLATE
C   DHOLE(KK) = (DHOLE(KK)-C(J,KK))*(0.5+SIGN(0.5,(-C(J,KK)+
1   DHOLE(KK))))
C   2   +(DHOLE(KK)+C(J,KK))*(0.5+SIGN(0.5,(-C(J,KK)-
3   DHOLE(KK))))
15 CONTINUE
C
C   FIND WHICH PLATES THIS TUBE SHOULD CONNECT
C
C

```

STFT0010
STFT0020
STFT0030
STFT0040
STFT0050
STFT0060
STFT0070
STFT0080
STFT0090
STFT0100
STFT0110
STFT0120
STFT0130
STFT0140
STFT0150
STFT0160
STFT0170
STFT0180
STFT0190
STFT0200
STFT0210
STFT0220
STFT0230
STFT0240
STFT0250
STFT0260
STFT0270
STFT0280
STFT0290
STFT0300
STFT0310
STFT0320
STFT0330
STFT0340
STFT0350
STFT0360
STFT0370
STFT0380
STFT0390
STFT0400
STFT0410
STFT0420
STFT0430
STFT0440
STFT0450
STFT0460
STFT0470
STFT0480
STFT0490
STFT0500
STFT0510
STFT0520
STFT0530
STFT0540
STFT0550
STFT0560

C	TUBES IN PLATE ONE, TWO AND THREE	STFT0570
C		STFT0580
C	TUBES IN PLATE ONE AND THREE	STFT0590
C		STFT0600
11	IF(J.LT.ICOL(1,1).OR.J.GT.ICOL(1,2).OR.I.LT.IPL(1,1).OR. * I.GT.IPL(1,2)) GO TO 13	STFT0610
*	IF(J.LT.ICOL(2,1).OR.J.GT.ICOL(2,2).OR.I.LT.IPL(2,1).OR. * I.GT.IPL(2,2)) GO TO 12	STFT0620
*	NUM = 6	STFT0630
*	IF(J.LT.ICOL(3,1).OR.J.GT.ICOL(3,2).OR.I.LT.IPL(3,1).OR. * I.GT.IPL(3,2)) NUM = 2	STFT0640
*	GO TO 20	STFT0650
12	NUM = 7	STFT0660
*	IF(J.LT.ICOL(3,1).OR.J.GT.ICOL(3,2).OR.I.LT.IPL(3,1).OR. * I.GT.IPL(3,2)) NUM = 1	STFT0670
*	GO TO 20	STFT0680
13	IF(J.LT.ICOL(2,1).OR.J.GT.ICOL(2,2).OR.I.LT.IPL(2,1).OR. * I.GT.IPL(2,2)) GO TO 14	STFT0690
*	NUM = 3	STFT0700
*	IF(J.LT.ICOL(3,1).OR.J.GT.ICOL(3,2).OR.I.LT.IPL(3,1).OR. * I.GT.IPL(3,2)) NUM = 5	STFT0710
*	GO TO 20	STFT0720
14	IF(J.LT.ICOL(3,1).OR.J.GT.ICOL(3,2).OR.I.LT.IPL(3,1).OR. * I.GT.IPL(3,2)) GO TO 30	STFT0730
*	NUM = 4	STFT0740
20	GO TO(1,2,3,4,5,6,7),NUM	STFT0750
C		STFT0760
C	GO TO PROPER STIFFNESS CALCULATION	STFT0770
C		STFT0780
C	TUBE ONLY IN PLATE NO. 1	STFT0790
C		STFT0800
1	IF(DHOLE(1).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 60	STFT0810
*	FLEX(1,1) = C1/CZ1 + (C1+1.0/(2.0*C2P))/CZ2	STFT0820
*	KT(1,1) = 1.0/FLEX(1,1)	STFT0830
*	GO TO 70	STFT0840
C		STFT0850
C	TUBE IN PLATE ONE : TWO	STFT0860
C		STFT0870
2	IF(DHOLE(1).EQ.0.0 .AND. DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) * GO TO 60	STFT0880
*	IF(DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 1	STFT0890
*	IF(DHOLE(1).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 5	STFT0900
*	FLEX(1,1) = C1/CZ1 + (C1+1.0/(2.0*C2P))/CZ2	STFT0910
*	FLEX(1,2) = C2/CZ1 + (C2+1.0/(2.0*C2P))/CZ2	STFT0920
*	KT(1,1) = FLEX(1,1)/(FLEX(1,1)**2-FLEX(1,2)**2)	STFT0930
*	KT(2,2) = KT(1,1)	STFT0940
*	KT(1,2) = -FLEX(1,2)/(FLEX(1,1)**2-FLEX(1,2)**2)	STFT0950
*	KT(2,1) = KT(1,2)	STFT0960
*	GO TO 70	STFT0970
C		STFT0980
C	TUBES IN PLATE TWO AND THREE	STFT0990
C		STFT1000
3	IF(DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. DHOLE(3).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) * GO TO 60	STFT1010
*	IF(DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 4	STFT1020
*	IF(DHOLE(3).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 5	STFT1030
*	FLEX(2,2) = C1/CZ1 + (C1+1.0/(2.0*C2P))/CZ2	STFT1040
*	FLEX(2,3) = C4/CZ1 + (C4+0.5/C2P)/CZ2	STFT1050
*		STFT1060
*		STFT1070
*		STFT1080
*		STFT1090
*		STFT1100
*		STFT1110
*		STFT1120
*		STFT1130
*		STFT1140


```

FLEX(3,3) = C1P/CZ1 + (C1P+0.5/C2P)/CZ2
KT(2,2) = FLEX(3,3)/(FLEX(2,2)*FLEX(3,3)-FLEX(2,3)**2)
KT(2,3) = -FLEX(2,3)/(FLEX(2,2)*FLEX(3,3)-FLEX(2,3)**2)
KT(3,3) = FLEX(2,2)/(FLEX(2,2)*FLEX(3,3)-FLEX(2,3)**2)
KT(3,2) = KT(2,3)
GO TO 70
C
C     TUBE ONLY IN PLATE NO. THREE
C
4 IF(DHOLE(3).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 60
FLEX(3,3) = C1P/CZ1 + (C1P+0.5/C2P)/CZ2
KT(3,3) = 1.0/FLEX(3,3)
GO TO 70
C
C     TUBES IN PLATE TWO ONLY
C
5 IF(DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 60
FLEX(2,2) = C1/CZ1 + (C1+0.5/C2P)/CZ2
KT(2,2) = 1.0/FLEX(2,2)
GO TO 70
C
C     INCLUDE 1,3 PLATE COMBINATION
C
C     INCLUDE 1,2,3 PLATE COMBINATION
C
C     TUBES IN PLATES ONE,TWO AND THREE
C
6 IF(DHOLE(1).EQ.0.0 .AND. DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. DHOLE(3).EQ.0.0
* .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 60
IF(DHOLE(1).EQ.0.0 .AND. DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 4
IF(DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. DHOLE(3).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 1
IF(DHOLE(1).EQ.0.0 .AND. DHOLE(3).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 5
IF(DHOLE(1).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 3
IF(DHOLE(2).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 7
IF(DHOLE(3).EQ.0.0 .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 2
FLEX(1,1) = C1/CZ1 + (C1+0.5/C2P)/CZ2
FLEX(2,2) = FLEX(1,1)
FLEX(1,2) = C2/CZ1 + (C2+0.5/C2P)/CZ2
FLEX(2,1) = FLEX(1,2)
FLEX(1,3) = C3/CZ1 + (C3+0.5/C2P)/CZ2
FLEX(3,1) = FLEX(1,3)
FLEX(2,3) = C4/CZ1 + (C4+0.5/C2P)/CZ2
FLEX(3,2) = FLEX(2,3)
FLEX(3,3) = C1P/CZ1 + (C1P+0.5/C2P)/CZ2
C
C     COMPUTE STIFFNESS FROM FLEXIBILITY
C
C     CALL INVERT(FLEX,3,3,ITEMP,DUMMY)
C
DO 8 I8=1,3
DO 8 J8=1,3
KT(I8,J8) = FLEX(I8,J8)
8 CONTINUE
GO TO 70
C
C     TUBE IN PLATE ONE AND THREE
C
7 IF(DHOLE(1).EQ.0.0 .AND. DHOLE(3).EQ.0.0

```

STFT1150
STFT1160
STFT1170
STFT1180
STFT1190
STFT1200
STFT1210
STFT1220
STFT1230
STFT1240
STFT1250
STFT1260
STFT1270
STFT1280
STFT1290
STFT1300
STFT1310
STFT1320
STFT1330
STFT1340
STFT1350
STFT1360
STFT1370
STFT1380
STFT1390
STFT1400
STFT1410
STFT1420
STFT1430
STFT1440
STFT1450
STFT1460
STFT1470
STFT1480
STFT1490
STFT1500
STFT1510
STFT1520
STFT1530
STFT1540
STFT1550
STFT1560
STFT1570
STFT1580
STFT1590
STFT1600
STFT1610
STFT1620
STFT1630
STFT1640
STFT1650
STFT1660
STFT1670
STFT1680
STFT1690
STFT1700
STFT1710
STFT1720

```

*           .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 60
IF(DHOLE(1).EQ.0. .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 4
IF(DHOLE(3).EQ.0. .AND. ICLEAR.NE.0) GO TO 1
FLEX(1,1)= C1/CZ1+(C1+.5/C2P)/CZ2
FLEX(1,3)= C3/CZ1+(C3+.5/C2P)/CZ2
FLEX(3,3)= C1P/CZ1+(C1P+.5/C2P)/CZ2
KT(1,1)  = FLEX(3,3)/(FLEX(1,1)*FLEX(3,3)-FLEX(1,3)**2)
KT(1,3)  = FLEX(1,3)/(FLEX(1,3)**2-FLEX(1,1)*FLEX(3,3))
KT(3,1)  = KT(1,3)
KT(3,3)  = FLEX(1,1)/(FLEX(1,1)*FLEX(3,3)-FLEX(1,3)**2)
GO TO 70
C
C   THIS INDICATES INPUT ERROR ON COL. CONNECTIONS
C   THIS INDICATES PLATE 1+3 ARE CONNECTED (INDICATE ERROR)
C
30 WRITE(6,100) J
100 FORMAT(1H , 'TUBE NO.',I3,' IN ERROR')
CALL EXIT
C
C   TUBE DOES NOT TOUCH ANY PLATE SET L=0 AND RETURN
C
60 L = 0
RETURN
C
C   CALCULATE TUBE FORCES
C
70 IF(INDEX.EQ.1) GO TO 75
DHOLE(1) = DHOLE(1)-UF(L)
DHOLE(2) = DHOLE(2)-UF(L+2)
DHOLE(3) = DHOLE(3)-UF(L+4)
C
75 CONTINUE
DO 71 II=1,3
D = 0.0
DO 72 JJ=1,3
D = D + KT(II,JJ)*DHOLE(JJ)
72 CONTINUE
FT(II) = D
71 CONTINUE
C
RETURN
END
STFT1730
STFT1740
STFT1750
STFT1760
STFT1770
STFT1780
STFT1790
STFT1800
STFT1810
STFT1820
STFT1830
STFT1840
STFT1850
STFT1860
STFT1870
STFT1880
STFT1890
STFT1900
STFT1910
STFT1920
STFT1930
STFT1940
STFT1950
STFT1960
STFT1970
STFT1980
STFT1990
STFT1000
STFT1010
STFT1020
STFT1030
STFT1040
STFT1050
STFT1060
STFT1070
STFT1080
STFT1090
STFT1100
STFT1110
STFT1120
STFT1130
STFT1140

```

```

C      SUBROUTINE SYMSOL(A,B,C,NN,NRHS,NDOF,MM)
C      SUBROUTINE FOR THE SOLUTION OF A SYMMETRIC BANDED SYSTEM OF
C      EQUATIONS FOR SEVERAL RIGHT HAND SIDE MATRICES
C
C      NN = NUMBER OF EQUATIONS
C      MM = BAND WIDTH
C      NDOF = MAXIMUM DIMENSION OF THE A MATRIX
C      NRHS = NUMBER OF RIGHT HAND SIDES
C      A = SYMMETRIC BANDED MATRIX TO BE INVERTED
C      B = RIGHT HAND-SIDE MATRIX
C      C = TEMP ARRAY
C
C      B WILL CONTAIN THE SOLUTIONS TO THE SYSTEM OF EQUATIONS
C
C      DOUBLE PRECISION  A,          B,          C
C
C      DIMENSION          A(NDOF,MM),      B(NDOF,NRHS),  C(MM)
C      DIMENSION          A(2040,8),      B(2040,1),    C( 8)
C      NDOF = 6*ROWS = 6*340 = 2040 ,  MM = 8 ,  NRHS = 1
C
C      N = 0
C      10 N = N + 1
C
C      REDUCE N-TH EQUATION
C
C      1. DIVIDE RIGHT SIDE BY DIAGONAL ELEMENT
C
C      DO 20 JJ=1,NRHS
C      B(N,JJ) = B(N,JJ)/A(N,1)
C      20 CONTINUE
C
C      2. CHECK FOR LAST EQUATION
C
C      IF(N-NN) 30,90,30
C
C      3. DIVIDE N-TH EQUATION BY DIAGONAL ELEMENT
C
C      30 CONTINUE
C      DO 40 K=2,MM
C      C(K) = A(N,K)
C      A(N,K) = A(N,K) / A(N,1)
C      40 CONTINUE
C
C      4. REDUCE REMAINING EQUATIONS
C
C      DO 80 L=2,MM
C      I = N+L-1
C      IF(NN-I) 80,50,50
C      50 J = 0
C      DO 60 K=L,MM
C      J = J+1
C      A(I,J) = A(I,J) - C(L) * A(N,K)
C      60 CONTINUE
C      DO 70 JJ=1,NRHS
C
SSOL0010
SSOL0020
SSOL0030
SSOL0040
SSOL0050
SSOL0060
SSOL0070
SSOL0080
SSOL0090
SSOL0100
SSOL0110
SSOL0120
SSOL0130
SSOL0140
SSOL0150
SSOL0160
SSOL0170
SSOL0180
SSOL0190
SSOL0200
SSOL0210
SSOL0220
SSOL0230
SSOL0240
SSOL0250
SSOL0260
SSOL0270
SSOL0280
SSOL0290
SSOL0300
SSOL0310
SSOL0320
SSOL0330
SSOL0340
SSOL0350
SSOL0360
SSOL0370
SSOL0380
SSOL0390
SSOL0400
SSOL0410
SSOL0420
SSOL0430
SSOL0440
SSOL0450
SSOL0460
SSOL0470
SSOL0480
SSOL0490
SSOL0500
SSOL0510
SSOL0520
SSOL0530
SSOL0540
SSOL0550
SSOL0560

```

B(I, JJ) = B(I, JJ) - C(L)*B(N, JJ)	SSOL0570
70 CONTINUE	SSOL0580
80 CONTINUE	SSOL0590
GD TO 10	SSOL0600
C	SSOL0610
C	SSOL0620
C	SSOL0630
90 N = N-1	SSOL0640
C	SSOL0650
C	SSOL0660
C	SSOL0670
C	SSOL0680
IF(N) 100,140,100	SSOL0690
C	SSOL0700
C	SSOL0710
C	SSOL0720
100 CONTINUE	SSOL0730
DO 130 K=2,MM	SSOL0740
L = N+K-1	SSOL0750
IF(NN-L) 130,110,110	SSOL0760
110 DO 120 JJ=1, NRHS	SSOL0770
B(N, JJ) = B(N, JJ) - A(N, K)*B(L, JJ)	SSOL0780
120 CONTINUE	SSOL0790
130 CONTINUE	SSOL0800
GO TO 90	SSOL0810
C	SSOL0820
C	SSOL0830
C	SSOL0840
140 RETURN	
C	
END	

Appendix-3 Sample Input Data and Output

DATE 1982-08-17 PAGE 1

INPUT DATA CARD IMAGES

	1	2	3	4	5	6	7	8	CARD NO.	
TITLE	A-LOOP INTERMEDIATE HEAT EXCHANGER (ORIGINAL CASE)								1	
CONTRL	8	1	255	13	1	1	2	2	0	2
PLATE TYPE	1	255	1	13	40.0					3
TUBE GRP 1	1	255	31.8		23.8	0.40	0.44	4.7	1	4
TUBE TEMP1	1	1	1	330.						5
TUBE TEMP2	255	1	1	950.						6
TUBE RAD11	400.		450.		500.	550.	600.	650.	700.	7
TUBE RAD12	750.		800.		850.	900.	950.	1000.		8
PLAT GRP 1	1	255	PLATE-1			50.	50.	1		9
PLAT TEMP1	1	1	1	376.						10
PLAT TEMP2	255	1	1	988.						11
MATERIAL	HASTELOY-X				5	5	1			12
ALFA	1	300.		14.2E-6	500.		14.9E-6	700.	15.7E-6	13
ALFA	2	900.		16.4E-6	1000.		16.6E-6			14
YOUNG	1	300.		18500.	500.		16900.	700.	15300.	15
YOUNG	2	900.		13800.	1000.		13000.			16
POISSON	1	300.		0.3						17

DATE 1982-08-17 PAGE 2

HTGR HEAT-EXCHANGER

TUBE STRESSES RESULTING FROM SUPPORT SYSTEM

USING THE FOLLOWING UNIT SYSTEM
 STRESS = KG/(MM**2)
 LENGTH = MILLI-METER
 TEMPERATURE = CELSIUS

A-LOOP INTERMEDIATE HEAT EXCHANGER (ORIGINAL CASE)

NUMBER OF PLATE TYPES 1
 NUMBER OF FULL SUPPORT PLATES 8
 (TYPE-1 PLATES)
 TOTAL NUMBER OF TUBE ROWS 255
 TOTAL NUMBER OF TUBE COLUMNS 13
 NUMBER OF PLATE GROUPS 1
 NUMBER OF TUBE GROUPS 1
 IS TUBE CLEARANCE INCLUDED ? NO
 NUMBER OF MATERIALS 1
 PLATE TYPE DATA
 PLATE TYPE 1 CONNECTS COLUMNS 1 THRU 13

DATE 1982-08-17 PAGE 3

TUBE SIZES AND MATERIALS FOR EACH GROUP

GROUP NO.	ROW BEGIN	ROW END	TUBE O.D. (MM)	TUBE I.D. (MM)	PD (KG/MM=2)	OTHER LOADINGS P1 (KG/MM=2)	DT10 (C)	MATERIAL NO. AND NAME
1	1	255	31.800	23.800	0.400	0.440	4.700	1 HASTELOY-X

DATE 1982-08-17 PAGE 4

PLATE SIZES AND MATERIALS FOR EACH GROUP

GROUP NO.	ROW BEGIN	ROW END	NAME OF PLATE SECTION	VERTICAL PITCH (MM)	HORIZONTAL PITCH (MM)	PLATE THICKNESS (MM)	MATERIAL NO. AND NAME
1	1	255	PLATE-1	50.00	50.00	40.00	1 HASTELOY-X

** PLATE PROPERTIES: AREA OF CROSS SECTION (A)
 MOMENT OF INERTIA (I)

PLATE TYPE	ROW BEGIN	ROW END	COLUMN BEGIN	COLUMN END	A	I
1	1	255	1	13	9.4640E+03	3.3526E+08

TUBE RADII

COLUMN NUMBER	RADIUS (MM)
1	400.00
2	450.00
3	500.00
4	550.00
5	600.00
6	650.00
7	700.00
8	750.00
9	800.00
10	850.00
11	900.00
12	950.00
13	1000.00

MATERIAL DATA

MATERIAL NO. MATERIAL NAME
1 HASTELLOY-X

PROPERTIES

ALFA	3.000E+02	5.000E+02	7.000E+02	9.000E+02	1.000E+03
(1/C)	1.420E-05	1.490E-05	1.570E-05	1.640E-05	1.660E-05
YOUNG MODULE (KG/MM ²)	3.000E+02	5.000E+02	7.000E+02	9.000E+02	1.000E+03
POISSON RATIO (-)	1.850E+04	1.690E+04	1.530E+04	1.380E+04	1.300E+04
	3.000E-01				

*** DISPLACEMENTS OF CENTER LINE OF PLATE ***
*** CYCLE NO. 1 ***

PLATE "1" NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "2" NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "3" NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION
1	3.18897	0.00053						
2	3.21558	0.00053						
3	3.24217	0.00053						
4	3.26874	0.00053						
5	3.29531	0.00053						
6	3.32188	0.00053						
7	3.34845	0.00053						
8	3.37503	0.00053						
9	3.40162	0.00053						
10	3.42823	0.00053						
11	3.45486	0.00053						
12	3.48151	0.00053						
13	3.50811	0.00053						
14	3.53487	0.00054						
15	3.56159	0.00054						
16	3.58833	0.00054						
17	3.61511	0.00054						
18	3.64191	0.00054						
19	3.66873	0.00054						
20	3.69559	0.00054						
21	3.72248	0.00054						
22	3.74939	0.00054						
23	3.77634	0.00054						
24	3.80331	0.00054						
25	3.83032	0.00054						
26	3.85735	0.00054						
27	3.88441	0.00054						
28	3.91151	0.00054						
29	3.93863	0.00054						
30	3.96578	0.00054						
31	3.99296	0.00054						
32	4.02018	0.00054						
33	4.04742	0.00055						
34	4.07469	0.00055						
35	4.10199	0.00055						
36	4.12932	0.00055						
37	4.15667	0.00055						
38	4.18406	0.00055						
39	4.21148	0.00055						
40	4.23892	0.00055						
41	4.26640	0.00055						
42	4.29391	0.00055						
43	4.32144	0.00055						
44	4.34901	0.00055						
45	4.37660	0.00055						
46	4.40423	0.00055						
47	4.43188	0.00055						
48	4.45957	0.00055						
49	4.48729	0.00056						

PLATE "1 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "2 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "3 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION
50	4.51505	0.00056						
51	4.54284	0.00056						
52	4.57066	0.00056						
53	4.59851	0.00056						
54	4.62641	0.00056						
55	4.65434	0.00056						
56	4.68230	0.00056						
57	4.71030	0.00056						
58	4.73833	0.00056						
59	4.76640	0.00056						
60	4.79451	0.00056						
61	4.82265	0.00056						
62	4.85082	0.00056						
63	4.87904	0.00057						
64	4.90729	0.00057						
65	4.93558	0.00057						
66	4.96392	0.00057						
67	4.99231	0.00057						
68	5.02074	0.00057						
69	5.04923	0.00057						
70	5.07777	0.00057						
71	5.10637	0.00057						
72	5.13504	0.00057						
73	5.16377	0.00057						
74	5.19255	0.00058						
75	5.22139	0.00058						
76	5.25027	0.00058						
77	5.27920	0.00058						
78	5.30817	0.00058						
79	5.33718	0.00058						
80	5.36624	0.00058						
81	5.39533	0.00058						
82	5.42446	0.00058						
83	5.45363	0.00058						
84	5.48284	0.00058						
85	5.51208	0.00058						
86	5.54135	0.00059						
87	5.57066	0.00059						
88	5.60000	0.00059						
89	5.62938	0.00059						
90	5.65878	0.00059						
91	5.68823	0.00059						
92	5.71770	0.00059						
93	5.74721	0.00059						
94	5.77675	0.00059						
95	5.80633	0.00059						
96	5.83593	0.00059						
97	5.86558	0.00059						
98	5.89525	0.00059						
99	5.92495	0.00059						

PLATE "1 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "2 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "3 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION
100	5.95469	0.00060						
101	5.98447	0.00060						
102	6.01427	0.00060						
103	6.04411	0.00060						
104	6.07398	0.00060						
105	6.10388	0.00060						
106	6.13382	0.00060						
107	6.16379	0.00060						
108	6.19379	0.00060						
109	6.22383	0.00060						
110	6.25390	0.00060						
111	6.28401	0.00060						
112	6.31414	0.00060						
113	6.34431	0.00060						
114	6.37452	0.00060						
115	6.40475	0.00060						
116	6.43503	0.00061						
117	6.46533	0.00061						
118	6.49567	0.00061						
119	6.52604	0.00061						
120	6.55644	0.00061						
121	6.58688	0.00061						
122	6.61735	0.00061						
123	6.64786	0.00061						
124	6.67839	0.00061						
125	6.70896	0.00061						
126	6.73957	0.00061						
127	6.77020	0.00061						
128	6.80087	0.00061						
129	6.83158	0.00061						
130	6.86229	0.00061						
131	6.89303	0.00061						
132	6.92383	0.00062						
133	6.95465	0.00062						
134	6.98549	0.00062						
135	7.01636	0.00062						
136	7.04725	0.00062						
137	7.07816	0.00062						
138	7.10909	0.00062						
139	7.14006	0.00062						
140	7.17104	0.00062						
141	7.20205	0.00062						
142	7.23309	0.00062						
143	7.26414	0.00062						
144	7.29522	0.00062						
145	7.32632	0.00062						
146	7.35744	0.00062						
147	7.38858	0.00062						
148	7.41972	0.00062						
149	7.45088	0.00062						

PLATE "1 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "2 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "3 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION
150	7.48204	0.00062						
151	7.51320	0.00062						
152	7.54436	0.00062						
153	7.57550	0.00062						
154	7.60663	0.00062						
155	7.63775	0.00062						
156	7.66887	0.00062						
157	7.69999	0.00062						
158	7.73112	0.00062						
159	7.76226	0.00062						
160	7.79341	0.00062						
161	7.82458	0.00062						
162	7.85577	0.00063						
163	7.88698	0.00063						
164	7.91822	0.00063						
165	7.94948	0.00063						
166	7.98076	0.00063						
167	8.01207	0.00063						
168	8.04340	0.00063						
169	8.07477	0.00063						
170	8.10616	0.00063						
171	8.13758	0.00063						
172	8.16903	0.00063						
173	8.20051	0.00063						
174	8.23202	0.00063						
175	8.26355	0.00063						
176	8.29512	0.00063						
177	8.32672	0.00063						
178	8.35834	0.00063						
179	8.39000	0.00063						
180	8.42169	0.00063						
181	8.45340	0.00063						
182	8.48515	0.00064						
183	8.51692	0.00064						
184	8.54873	0.00064						
185	8.58056	0.00064						
186	8.61242	0.00064						
187	8.64432	0.00064						
188	8.67624	0.00064						
189	8.70820	0.00064						
190	8.74018	0.00064						
191	8.77219	0.00064						
192	8.80424	0.00064						
193	8.83631	0.00064						
194	8.86842	0.00064						
195	8.90055	0.00064						
196	8.93271	0.00064						
197	8.96491	0.00064						
198	8.99713	0.00064						
199	9.02939	0.00064						

PLATE "1 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "2 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "3 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION
200	9.06168	0.00065						
201	9.09399	0.00065						
202	9.12634	0.00065						
203	9.15871	0.00065						
204	9.19112	0.00065						
205	9.22355	0.00065						
206	9.25601	0.00065						
207	9.28850	0.00065						
208	9.32102	0.00065						
209	9.35357	0.00065						
210	9.38614	0.00065						
211	9.41873	0.00065						
212	9.45134	0.00065						
213	9.48398	0.00065						
214	9.51662	0.00065						
215	9.54928	0.00065						
216	9.58195	0.00065						
217	9.61462	0.00065						
218	9.64729	0.00065						
219	9.67995	0.00065						
220	9.71259	0.00065						
221	9.74523	0.00065						
222	9.77786	0.00065						
223	9.81048	0.00065						
224	9.84309	0.00065						
225	9.87569	0.00065						
226	9.90827	0.00065						
227	9.94083	0.00065						
228	9.97336	0.00065						
229	10.00586	0.00065						
230	10.03830	0.00064						
231	10.07068	0.00064						
232	10.10297	0.00064						
233	10.13517	0.00064						
234	10.16724	0.00064						
235	10.19917	0.00064						
236	10.23094	0.00064						
237	10.26259	0.00064						
238	10.29413	0.00063						
239	10.32559	0.00063						
240	10.35699	0.00063						
241	10.38833	0.00063						
242	10.41963	0.00063						
243	10.45089	0.00063						
244	10.48214	0.00063						
245	10.51338	0.00063						
246	10.54460	0.00063						
247	10.57583	0.00063						
248	10.60705	0.00063						
249	10.63829	0.00063						

PLATE "1 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "2 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION	PLATE "3 NODE	RADIAL DISPLACEMENT	ROTATION
250	10.66953	0.00063						
251	10.70079	0.00063						
252	10.73205	0.00063						
253	10.76333	0.00063						
254	10.79463	0.00063						
255	10.82594	0.00063						

*** INTERNAL FORCES IN SUPPORT PLATE ***

BEAM ELEMENT	SHEAR AT TOP END	MOMENT AT TOP END	SHEAR AT BOTTOM END	MOMENT AT BOTTOM END
1	29.74	34.66	-29.74	1452.83
2	53.27	-1454.73	-53.27	4154.40
3	68.65	-4159.01	-68.65	7590.06
4	79.34	-7588.55	-79.34	11591.37
5	85.62	-11613.00	-85.62	15894.61
6	87.67	-15892.31	-87.67	20311.95
7	88.65	-20308.54	-88.65	24776.07
8	85.43	-24737.07	-85.43	29008.54
9	81.08	-29038.89	-81.08	33128.25
10	77.55	-33148.41	-77.55	37026.73
11	71.73	-37020.70	-71.73	40643.00
12	66.54	-40661.95	-66.54	43990.13
13	60.88	-43957.29	-60.88	47000.59
14	54.54	-47003.05	-54.54	49766.44
15	49.50	-49762.40	-49.50	52237.09
16	43.58	-52210.53	-43.58	54425.49
17	38.73	-54456.57	-38.73	56428.06
18	33.79	-56438.18	-33.79	58127.16
19	29.64	-58129.80	-29.64	59448.55
20	26.17	-59634.11	-26.17	60943.13
21	22.33	-60957.04	-22.33	62108.89
22	19.05	-62085.50	-19.05	63074.56
23	16.28	-63109.28	-16.28	63923.82
24	14.00	-63925.05	-14.00	64660.31
25	12.04	-64673.48	-12.04	65276.00
26	10.41	-65243.52	-10.41	65800.00
27	9.03	-65805.00	-9.03	66257.81
28	6.89	-66255.75	-6.89	66601.12
29	6.92	-66600.94	-6.92	66947.75
30	6.12	-66942.75	-6.12	67248.62
31	4.46	-67236.06	-4.46	67459.00
32	4.97	-67512.50	-4.97	67760.62
33	5.66	-67724.00	-5.66	68007.19
34	4.50	-68012.00	-4.50	68275.25
35	5.50	-68264.12	-5.50	68539.06
36	5.65	-68525.87	-5.65	68846.81
37	5.98	-68860.12	-5.98	69160.00
38	6.48	-69170.00	-6.48	69530.62
39	8.15	-69528.06	-8.15	69974.00
40	8.09	-69954.37	-8.09	70359.00
41	10.23	-70382.75	-10.23	70932.37
42	10.69	-70903.75	-10.69	71438.44
43	12.39	-71450.50	-12.39	72109.50
44	13.44	-72117.31	-13.44	72827.44
45	14.84	-72821.69	-14.84	73563.56
46	15.61	-73551.44	-15.61	74332.94
47	16.79	-74381.56	-16.79	75220.94

BEAM ELEMENT	SHEAR AT TOP END	MOMENT AT TOP END	SHEAR AT BOTTOM END	MOMENT AT BOTTOM END
48	18.38	-75186.12	-18.38	76105.00
49	18.45	-76128.37	-18.45	77090.19
50	19.03	-77071.31	-19.03	78022.37
51	19.06	-78022.69	-19.06	79015.06
52	17.65	-79036.06	-17.65	79918.56
53	16.65	-79901.87	-16.65	80772.75
54	18.07	-80794.44	-18.07	81698.25
55	18.00	-81675.56	-18.00	82575.50
56	20.31	-82574.25	-20.31	83628.12
57	23.14	-83652.50	-23.14	84809.56
58	25.58	-84781.50	-25.58	86099.19
59	28.64	-86126.00	-28.64	87558.50
60	32.38	-87538.31	-32.38	89196.00
61	34.94	-89204.37	-34.94	90991.00
62	37.41	-90978.62	-37.41	92848.69
63	39.81	-92880.37	-39.81	94909.44
64	41.23	-94866.31	-41.23	96928.19
65	40.68	-96939.25	-40.68	98975.06
66	39.19	-98971.00	-39.19	100930.37
67	34.77	-100951.06	-34.77	102728.87
68	28.36	-102726.31	-28.36	104185.75
69	18.82	-104187.06	-18.82	105129.62
70	4.05	-105111.44	-4.05	105313.31
71	-12.48	-105331.50	12.48	104746.62
72	-24.37	-104744.81	24.37	103527.12
73	-31.96	-103544.62	31.96	101987.31
74	-38.25	-101986.75	38.25	100073.75
75	-40.59	-100071.12	40.59	98080.94
76	-42.80	-98046.94	42.80	95908.00
77	-43.05	-95949.31	43.05	93796.94
78	-42.34	-93771.12	42.34	91693.62
79	-40.63	-91725.06	40.63	89733.25
80	-38.82	-89734.06	38.82	87794.00
81	-35.95	-87763.62	35.95	85965.94
82	-33.86	-85974.81	33.86	84321.44
83	-31.52	-84292.00	31.52	82715.50
84	-28.90	-82775.06	28.90	81329.56
85	-25.95	-81314.25	25.95	80055.69
86	-23.54	-80034.69	23.54	78856.87
87	-20.68	-78881.87	20.68	77888.56
88	-19.18	-77850.06	19.18	76931.44
89	-17.13	-76959.94	17.13	76104.19
90	-14.46	-76110.50	14.46	75427.75
91	-13.94	-75387.94	13.94	74690.31
92	-11.83	-74730.00	11.83	74178.62
93	-10.88	-74161.75	10.88	73657.62
94	-9.21	-73656.69	9.21	73197.37
95	-7.67	-73196.37	7.67	72852.62
96	-8.16	-72853.69	8.16	72446.44
97	-5.96	-72477.75	5.96	72219.69
98	-5.74	-72166.81	5.74	71881.37

BEAM ELEMENT	SHEAR AT TOP END	MOMENT AT TOP END	SHEAR AT BOTTOM END	MOMENT AT BOTTOM END
99	-5.61	-71898.94	5.61	71658.81
100	-4.64	-71670.87	4.64	71479.12
101	-4.61	-71490.62	4.61	71300.81
102	-3.69	-71267.31	3.69	71123.37
103	-3.73	-71144.94	3.73	70998.75
104	-3.84	-70991.44	3.84	70800.31
105	-3.05	-70795.87	3.05	70683.50
106	-3.22	-70685.69	3.22	70526.19
107	-3.39	-70523.12	3.39	70394.44
108	-3.61	-70381.56	3.61	70201.50
109	-3.84	-70210.00	3.84	70058.62
110	-4.09	-70049.12	4.09	69885.12
111	-5.34	-69900.69	5.34	69634.44
112	-4.81	-69663.25	4.81	69463.75
113	-5.26	-69462.56	5.26	69201.25
114	-5.75	-69175.69	5.75	68928.75
115	-6.32	-68926.25	6.32	68651.19
116	-7.86	-68683.06	7.86	68330.81
117	-7.73	-68310.69	7.73	67965.19
118	-9.57	-67942.50	9.57	67464.19
119	-9.74	-67481.81	9.74	66994.56
120	-11.91	-66984.19	11.91	66431.44
121	-12.45	-66459.75	12.45	65836.94
122	-14.18	-65815.75	14.18	65150.10
123	-16.15	-65168.64	16.15	64361.11
124	-16.67	-64359.86	16.67	63567.23
125	-19.33	-63548.38	19.33	62582.13
126	-20.58	-62583.98	20.58	61555.61
127	-23.13	-61568.98	23.13	60412.21
128	-24.39	-60400.37	24.39	59181.87
129	-27.04	-59204.16	27.04	57893.30
130	-27.56	-57888.57	27.56	56510.42
131	-29.55	-56492.66	29.55	55015.34
132	-30.38	-55029.72	30.38	53553.74
133	-30.97	-53567.14	30.97	52019.42
134	-30.46	-52021.25	30.46	50540.93
135	-29.70	-50497.39	29.70	49054.57
136	-29.57	-49108.64	29.57	47672.31
137	-29.18	-47639.52	29.18	46180.17
138	-31.20	-46194.91	31.20	44676.18
139	-33.88	-44672.52	33.88	42979.04
140	-36.42	-42955.64	36.42	41177.21
141	-40.61	-41193.06	40.61	39204.24
142	-43.94	-39191.29	43.94	36995.56
143	-47.32	-37005.66	47.32	34639.89
144	-50.87	-34640.16	50.87	32097.68
145	-52.90	-32105.87	52.90	29503.11
146	-54.34	-29499.09	54.34	26824.87
147	-53.46	-26814.20	53.46	24141.94
148	-51.18	-24143.48	51.18	21585.78
149	-45.70	-21574.12	45.70	19290.44

BEAM ELEMENT	SHEAR AT TOP END	MOMENT AT TOP END	SHEAR AT BOTTOM END	MOMENT AT BOTTOM END
150	-36.89	-19314.50	36.89	17513.29
151	-23.63	-17501.63	23.63	16361.58
152	-4.85	-16371.96	4.85	16171.12
153	16.38	-16174.18	-16.38	16994.64
154	30.19	-16992.31	-30.19	18500.66
155	40.27	-18512.71	-40.27	20570.43
156	46.99	-20569.69	-46.99	22961.03
157	51.30	-22966.90	-51.30	25530.99
158	53.30	-25506.04	-53.30	28170.68
159	53.06	-28174.85	-53.06	30828.44
160	51.45	-30813.57	-51.45	33386.81
161	49.31	-33411.96	-49.31	35919.86
162	46.61	-35898.78	-46.61	38228.71
163	43.30	-38250.24	-43.30	40415.93
164	40.16	-40386.09	-40.16	42394.73
165	36.21	-42429.37	-36.21	44240.53
166	33.13	-44231.25	-33.13	45930.08
167	29.99	-45916.55	-29.99	47416.63
168	25.86	-47438.85	-25.86	48732.26
169	24.04	-48721.65	-24.04	49924.32
170	20.25	-49911.57	-20.25	50925.40
171	17.86	-50939.78	-17.86	51876.07
172	15.05	-51880.06	-15.05	52676.68
173	13.48	-52678.74	-13.48	53353.80
174	10.53	-53356.54	-10.53	53884.46
175	9.57	-53890.97	-9.57	54413.17
176	8.05	-54395.25	-8.05	54842.06
177	5.95	-54860.62	-5.95	55200.58
178	5.67	-55182.38	-5.67	55464.95
179	3.86	-55460.45	-3.86	55652.82
180	2.98	-55645.84	-2.98	55795.80
181	2.24	-55818.97	-2.24	55931.32
182	0.76	-55929.02	-0.76	56009.75
183	1.01	-56015.34	-1.01	56066.55
184	-0.34	-56030.53	0.34	56013.42
185	-1.68	-56053.28	1.68	56012.03
186	-1.31	-56017.45	1.31	55995.67
187	-2.58	-55979.32	2.58	55893.77
188	-3.06	-55875.30	3.06	55722.67
189	-4.39	-55736.62	4.39	55517.84
190	-4.93	-55535.22	4.93	55333.01
191	-5.55	-55327.86	5.55	55094.39
192	-7.08	-55098.80	7.08	54788.88
193	-7.87	-54763.05	7.87	54369.76
194	-10.47	-54390.18	10.47	53868.30
195	-10.77	-53872.58	10.77	53378.09
196	-13.77	-53371.69	13.77	52728.28
197	-15.34	-52727.29	15.34	52004.34
198	-18.04	-51994.42	18.04	51136.45
199	-21.10	-51149.82	21.10	50094.43
200	-23.80	-50076.76	23.80	48888.14

BEAM ELEMENT	SHEAR AT TOP END	MOMENT AT TOP END	SHEAR AT BOTTOM END	MOMENT AT BOTTOM END
201	-27.81	-48909.27	27.81	47518.61
202	-31.59	-47497.88	31.59	45961.34
203	-36.02	-45986.82	36.02	44185.54
204	-41.21	-44179.25	41.21	42118.18
205	-45.66	-42123.18	45.66	39840.05
206	-52.76	-39818.21	52.76	37224.98
207	-58.56	-37251.48	58.56	34367.84
208	-64.85	-34365.83	64.85	31123.62
209	-71.75	-31114.17	71.75	27571.96
210	-79.39	-27582.55	79.39	23656.32
211	-86.37	-23643.12	86.37	19368.75
212	-93.61	-19370.48	93.61	14734.41
213	-98.90	-14741.62	98.90	9796.42
214	-105.63	-9785.18	105.63	4504.12
215	-109.88	-4317.89	109.88	-975.45
216	-111.77	977.15	111.77	-6563.88
217	-112.96	6574.07	112.96	-12176.31
218	-109.47	12174.23	109.47	-17604.52
219	-107.68	17578.50	107.68	-22962.62
220	-109.93	22974.72	109.93	-28471.17
221	-115.50	28482.13	115.50	-34212.72
222	-124.48	34204.28	124.48	-40428.53
223	-134.70	40420.79	134.70	-47111.24
224	-146.36	47120.43	146.36	-54438.56
225	-156.57	54442.36	156.57	-62226.27
226	-167.16	62240.09	167.16	-70553.19
227	-173.59	70526.56	173.59	-79206.31
228	-177.67	79253.12	177.67	-88092.12
229	-175.52	88052.44	175.52	-96829.25
230	-166.40	96834.50	166.40	-105110.12
231	-146.11	105114.56	146.11	-112420.56
232	-114.33	112397.81	114.33	-118071.31
233	-66.45	118082.62	66.45	-121361.25
234	0.92	121345.56	-0.92	-121300.25
235	69.57	121333.62	-69.57	-117811.44
236	118.46	117809.44	-118.46	-111844.00
237	151.87	111840.56	-151.87	-104246.00
238	173.79	104232.37	-173.79	-95499.75
239	185.51	95513.81	-185.51	-86238.62
240	189.67	86220.12	-189.67	-76692.62
241	188.00	76706.19	-188.00	-67306.56
242	181.21	67284.94	-181.21	-58181.30
243	172.34	58195.76	-172.34	-49536.01
244	160.43	49531.32	-160.43	-41509.18
245	146.78	41523.43	-146.78	-34141.21
246	132.61	34116.47	-132.61	-27684.54
247	118.42	27492.05	-118.42	-21528.37
248	103.11	21549.83	-103.11	-16351.84
249	87.87	16334.72	-87.87	-11898.41
250	73.94	11912.87	-73.94	-8173.43
251	59.42	8145.42	-59.42	-5131.34

BEAM ELEMENT	SHEAR AT TOP END	MOMENT AT TOP END	SHEAR AT BOTTOM END	MOMENT AT BOTTOM END
252	46.33	5141.71	-46.33	-2782.70
253	33.56	2766.51	-33.56	-1087.17
254	21.58	1126.12	-21.58	-3.78

NOTE THERMAL GRADIENT AND PRESSURE LOADINGS ARE INCLUDED IN THIS SECTION
 RESULTING COMBINED TUBE STRESSES AT NUMBER 1 PLATE (MAXIMUM STRESSES FOR EACH ROW)

ROW	COLUMN	INNER WALL		OUTER WALL	
		TUBE O.D.	TUBE I.D.	TUBE I.D.	TUBE O.D.
1	1	8.05	3.68	-12.09	-13.02
2	1	8.03	3.67	-12.06	-12.99
3	1	8.01	3.66	-12.03	-12.96
4	1	8.00	3.65	-12.01	-12.93
5	1	7.98	3.64	-11.99	-12.91
6	1	7.97	3.64	-11.97	-12.89
7	1	7.96	3.63	-11.96	-12.87
8	1	7.95	3.63	-11.95	-12.86
9	1	7.94	3.62	-11.94	-12.84
10	1	7.94	3.62	-11.93	-12.83
11	1	7.93	3.61	-11.92	-12.82
12	1	7.92	3.61	-11.91	-12.81
13	1	7.92	3.61	-11.90	-12.80
14	1	7.91	3.61	-11.89	-12.79
15	1	7.91	3.60	-11.88	-12.78
16	1	7.90	3.60	-11.88	-12.78
17	1	7.90	3.60	-11.87	-12.77
18	1	7.89	3.59	-11.86	-12.76
19	1	7.89	3.59	-11.85	-12.75
20	1	7.88	3.59	-11.85	-12.74
21	1	7.88	3.59	-11.84	-12.74
22	1	7.87	3.58	-11.83	-12.73
23	1	7.87	3.58	-11.83	-12.72
24	1	7.86	3.58	-11.82	-12.71
25	1	7.86	3.58	-11.81	-12.70
26	1	7.85	3.57	-11.80	-12.70
27	1	7.85	3.57	-11.80	-12.69
28	1	7.84	3.57	-11.79	-12.68
29	1	7.84	3.57	-11.78	-12.67
30	1	7.83	3.56	-11.77	-12.66
31	1	7.82	3.56	-11.77	-12.65
32	1	7.82	3.56	-11.76	-12.64
33	1	7.81	3.55	-11.75	-12.64
34	1	7.81	3.55	-11.74	-12.63
35	1	7.80	3.55	-11.73	-12.62
36	1	7.80	3.55	-11.73	-12.61
37	1	7.79	3.54	-11.72	-12.60
38	1	7.78	3.54	-11.71	-12.59
39	1	7.78	3.54	-11.70	-12.58
40	1	7.77	3.53	-11.69	-12.57
41	1	7.77	3.53	-11.68	-12.56
42	1	7.76	3.53	-11.68	-12.55
43	1	7.76	3.52	-11.67	-12.54
44	1	7.75	3.52	-11.66	-12.53
45	1	7.74	3.52	-11.65	-12.52
46	1	7.74	3.52	-11.64	-12.51
47	1	7.73	3.51	-11.63	-12.50
48	1	7.72	3.51	-11.62	-12.49
49	1	7.72	3.50	-11.61	-12.48

50	1	7.71	3.50	-11.60	-12.47
51	1	7.70	3.50	-11.59	-12.46
52	1	7.70	3.49	-11.58	-12.45
53	1	7.69	3.49	-11.58	-12.44
54	1	7.69	3.49	-11.58	-12.45
55	1	7.70	3.50	-11.58	-12.45
56	1	7.70	3.50	-11.58	-12.45
57	1	7.70	3.50	-11.58	-12.46
58	1	7.70	3.50	-11.59	-12.46
59	1	7.70	3.50	-11.59	-12.46
60	1	7.70	3.50	-11.59	-12.46
61	1	7.70	3.50	-11.58	-12.46
62	1	7.70	3.50	-11.58	-12.46
63	1	7.69	3.50	-11.58	-12.46
64	1	7.69	3.50	-11.58	-12.46
65	1	7.69	3.50	-11.58	-12.45
66	1	7.69	3.50	-11.57	-12.45
67	1	7.68	3.50	-11.57	-12.44
68	1	7.68	3.49	-11.56	-12.44
69	1	7.67	3.49	-11.55	-12.43
70	1	7.66	3.49	-11.54	-12.41
71	1	7.66	3.49	-11.53	-12.41
72	1	7.66	3.49	-11.53	-12.41
73	1	7.66	3.49	-11.54	-12.41
74	1	7.66	3.49	-11.53	-12.41
75	1	7.66	3.49	-11.53	-12.41
76	1	7.66	3.49	-11.53	-12.41
77	1	7.65	3.48	-11.52	-12.40
78	1	7.63	3.48	-11.52	-12.39
79	1	7.64	3.48	-11.51	-12.39
80	1	7.64	3.48	-11.50	-12.38
81	1	7.63	3.48	-11.50	-12.37
82	1	7.63	3.47	-11.49	-12.36
83	1	7.62	3.47	-11.48	-12.35
84	1	7.62	3.47	-11.47	-12.34
85	1	7.61	3.46	-11.46	-12.33
86	1	7.60	3.46	-11.45	-12.32
87	1	7.60	3.46	-11.45	-12.31
88	1	7.59	3.45	-11.44	-12.30
89	1	7.59	3.45	-11.43	-12.29
90	1	7.58	3.45	-11.42	-12.28
91	1	7.57	3.44	-11.41	-12.27
92	1	7.57	3.44	-11.40	-12.26
93	1	7.56	3.44	-11.39	-12.25
94	1	7.55	3.43	-11.38	-12.24
95	1	7.55	3.43	-11.37	-12.23
96	1	7.54	3.43	-11.36	-12.22
97	1	7.53	3.42	-11.35	-12.21
98	1	7.53	3.42	-11.35	-12.20
99	1	7.52	3.42	-11.34	-12.19
100	1	7.52	3.41	-11.33	-12.18
101	1	7.51	3.41	-11.32	-12.17
102	1	7.50	3.41	-11.31	-12.16
103	1	7.50	3.40	-11.30	-12.15
104	1	7.49	3.40	-11.29	-12.14

105	1	7.48	3.40	-11.28	-12.13
106	1	7.48	3.39	-11.27	-12.12
107	1	7.47	3.39	-11.26	-12.11
108	1	7.46	3.39	-11.25	-12.10
109	1	7.46	3.38	-11.24	-12.09
110	1	7.45	3.38	-11.24	-12.08
111	1	7.44	3.38	-11.23	-12.07
112	1	7.44	3.37	-11.22	-12.05
113	1	7.43	3.37	-11.21	-12.04
114	1	7.42	3.36	-11.20	-12.03
115	1	7.42	3.36	-11.19	-12.02
116	1	7.41	3.36	-11.18	-12.01
117	1	7.40	3.35	-11.17	-12.00
118	1	7.40	3.35	-11.16	-11.99
119	1	7.39	3.35	-11.15	-11.98
120	1	7.38	3.34	-11.14	-11.97
121	1	7.38	3.34	-11.13	-11.96
122	1	7.37	3.34	-11.12	-11.95
123	1	7.36	3.33	-11.11	-11.93
124	1	7.36	3.33	-11.10	-11.92
125	1	7.35	3.33	-11.09	-11.91
126	1	7.34	3.32	-11.08	-11.90
127	1	7.34	3.32	-11.07	-11.89
128	1	7.33	3.31	-11.06	-11.88
129	1	7.32	3.31	-11.05	-11.87
130	1	7.32	3.31	-11.04	-11.86
131	1	7.31	3.30	-11.03	-11.85
132	1	7.30	3.30	-11.03	-11.84
133	1	7.30	3.30	-11.02	-11.83
134	1	7.29	3.30	-11.01	-11.82
135	1	7.29	3.29	-11.00	-11.81
136	1	7.27	3.29	-10.99	-11.79
137	1	7.26	3.28	-10.96	-11.77
138	1	7.24	3.27	-10.94	-11.74
139	1	7.23	3.26	-10.92	-11.71
140	1	7.21	3.25	-10.89	-11.68
141	1	7.20	3.24	-10.87	-11.66
142	1	7.18	3.23	-10.85	-11.63
143	1	7.17	3.22	-10.83	-11.61
144	1	7.15	3.21	-10.81	-11.59
145	1	7.14	3.21	-10.79	-11.56
146	1	7.13	3.20	-10.77	-11.54
147	1	7.11	3.19	-10.76	-11.52
148	1	7.10	3.19	-10.74	-11.50
149	1	7.09	3.18	-10.73	-11.49
150	1	7.08	3.17	-10.71	-11.47
151	1	7.08	3.17	-10.70	-11.46
152	1	7.07	3.17	-10.70	-11.45
153	1	7.06	3.16	-10.68	-11.44
154	1	7.05	3.15	-10.66	-11.41
155	1	7.03	3.14	-10.64	-11.38
156	1	7.02	3.14	-10.62	-11.36
157	1	7.00	3.13	-10.60	-11.34
158	1	6.97	3.12	-10.58	-11.32
159	1	6.98	3.12	-10.57	-11.30

160	1	6.97	3.11	-10.55	-11.29
161	1	6.96	3.11	-10.54	-11.27
162	1	6.96	3.10	-10.53	-11.26
163	1	6.95	3.10	-10.52	-11.25
164	1	6.94	3.09	-10.51	-11.23
165	1	6.93	3.09	-10.50	-11.22
166	1	6.93	3.09	-10.49	-11.21
167	1	6.92	3.08	-10.48	-11.20
168	1	6.91	3.08	-10.46	-11.18
169	1	6.90	3.07	-10.46	-11.17
170	1	6.90	3.07	-10.45	-11.16
171	1	6.89	3.07	-10.43	-11.15
172	1	6.88	3.06	-10.42	-11.14
173	1	6.88	3.06	-10.41	-11.13
174	1	6.87	3.06	-10.40	-11.12
175	1	6.86	3.05	-10.39	-11.11
176	1	6.85	3.05	-10.38	-11.09
177	1	6.85	3.04	-10.37	-11.08
178	1	6.84	3.04	-10.36	-11.07
179	1	6.83	3.04	-10.35	-11.06
180	1	6.82	3.03	-10.34	-11.05
181	1	6.82	3.03	-10.33	-11.03
182	1	6.81	3.03	-10.32	-11.02
183	1	6.80	3.02	-10.31	-11.01
184	1	6.79	3.02	-10.30	-11.00
185	1	6.79	3.01	-10.29	-10.99
186	1	6.78	3.01	-10.28	-10.97
187	1	6.77	3.01	-10.27	-10.96
188	1	6.76	3.00	-10.26	-10.95
189	1	6.76	3.00	-10.24	-10.94
190	1	6.75	2.99	-10.23	-10.92
191	1	6.74	2.99	-10.22	-10.91
192	1	6.73	2.98	-10.21	-10.90
193	1	6.72	2.98	-10.20	-10.89
194	1	6.72	2.98	-10.19	-10.87
195	1	6.71	2.97	-10.18	-10.86
196	1	6.70	2.97	-10.16	-10.85
197	1	6.69	2.96	-10.15	-10.83
198	1	6.68	2.96	-10.14	-10.82
199	1	6.67	2.95	-10.13	-10.81
200	1	6.67	2.95	-10.12	-10.79
201	1	6.66	2.94	-10.10	-10.78
202	1	6.65	2.94	-10.09	-10.76
203	1	6.64	2.94	-10.08	-10.75
204	1	6.63	2.93	-10.07	-10.74
205	1	6.62	2.93	-10.05	-10.72
206	1	6.61	2.92	-10.04	-10.71
207	1	6.61	2.92	-10.03	-10.69
208	1	6.60	2.91	-10.02	-10.68
209	1	6.59	2.91	-10.01	-10.67
210	1	6.58	2.90	-9.99	-10.65
211	1	6.57	2.90	-9.98	-10.64
212	1	6.56	2.90	-9.97	-10.63
213	1	6.56	2.89	-9.96	-10.62
214	1	6.55	2.89	-9.95	-10.61

215	1	6.54	2.89	-9.94	-10.60
216	1	6.54	2.88	-9.94	-10.59
217	1	6.54	2.88	-9.93	-10.58
218	1	6.53	2.88	-9.93	-10.58
219	1	6.51	2.87	-9.90	-10.54
220	1	6.47	2.84	-9.84	-10.47
221	1	6.43	2.82	-9.78	-10.40
222	1	6.39	2.79	-9.72	-10.33
223	1	6.35	2.77	-9.67	-10.27
224	1	6.32	2.75	-9.62	-10.20
225	1	6.28	2.73	-9.57	-10.14
226	1	6.25	2.71	-9.52	-10.09
227	1	6.22	2.69	-9.48	-10.04
228	1	6.19	2.67	-9.44	-9.99
229	1	6.17	2.66	-9.40	-9.94
230	1	6.15	2.64	-9.37	-9.91
231	1	6.13	2.63	-9.35	-9.88
232	1	6.12	2.62	-9.33	-9.86
233	1	6.11	2.62	-9.32	-9.84
234	1	6.11	2.62	-9.32	-9.84
235	1	6.11	2.61	-9.29	-9.81
236	1	6.09	2.58	-9.22	-9.73
237	1	6.04	2.56	-9.17	-9.67
238	1	6.01	2.54	-9.13	-9.61
239	1	5.97	2.52	-9.09	-9.57
240	1	5.95	2.52	-9.05	-9.53
241	1	5.92	2.51	-9.02	-9.49
242	1	5.90	2.50	-9.00	-9.46
243	1	5.88	2.49	-8.98	-9.44
244	1	5.87	2.48	-8.95	-9.41
245	1	5.85	2.47	-8.94	-9.39
246	1	5.84	2.46	-8.92	-9.37
247	1	5.83	2.46	-8.90	-9.35
248	1	5.82	2.45	-8.90	-9.34
249	1	5.81	2.45	-8.89	-9.33
250	1	5.80	2.44	-8.87	-9.31
251	1	5.79	2.44	-8.86	-9.29
252	1	5.78	2.43	-8.85	-9.28
253	1	5.77	2.43	-8.83	-9.26
254	1	5.76	2.42	-8.82	-9.25
255	1	5.75	2.42	-8.81	-9.23

RESULTING COMBINED TUBE STRESSES AT NUMBER 1 PLATE (MAXIMUM STRESSES FOR EACH ROW)

ROW	COLUMN	INNER WALL		OUTER WALL	
		TUBE O.D.	TUBE I.D.	TUBE I.D.	TUBE O.D.
1	1	7.56	4.90	-10.87	-13.52
2	1	7.55	4.89	-10.84	-13.48
3	1	7.52	4.88	-10.81	-13.45
4	1	7.50	4.87	-10.79	-13.42
5	1	7.49	4.86	-10.77	-13.40
6	1	7.48	4.85	-10.76	-13.38
7	1	7.47	4.85	-10.74	-13.36
8	1	7.46	4.84	-10.73	-13.35
9	1	7.45	4.84	-10.72	-13.33
10	1	7.45	4.83	-10.71	-13.32
11	1	7.44	4.83	-10.70	-13.31
12	1	7.43	4.83	-10.69	-13.30
13	1	7.43	4.82	-10.69	-13.29
14	1	7.42	4.82	-10.68	-13.28
15	1	7.42	4.82	-10.67	-13.27
16	1	7.41	4.81	-10.66	-13.26
17	1	7.41	4.81	-10.66	-13.26
18	1	7.40	4.81	-10.65	-13.25
19	1	7.40	4.80	-10.64	-13.24
20	1	7.39	4.80	-10.64	-13.23
21	1	7.39	4.80	-10.63	-13.22
22	1	7.39	4.79	-10.62	-13.22
23	1	7.38	4.79	-10.62	-13.21
24	1	7.38	4.79	-10.61	-13.20
25	1	7.37	4.78	-10.60	-13.19
26	1	7.37	4.78	-10.60	-13.18
27	1	7.36	4.78	-10.59	-13.17
28	1	7.36	4.78	-10.58	-13.16
29	1	7.35	4.77	-10.58	-13.15
30	1	7.35	4.77	-10.57	-13.15
31	1	7.34	4.77	-10.56	-13.14
32	1	7.34	4.76	-10.55	-13.13
33	1	7.33	4.76	-10.55	-13.12
34	1	7.33	4.76	-10.54	-13.11
35	1	7.32	4.75	-10.53	-13.10
36	1	7.32	4.75	-10.52	-13.09
37	1	7.31	4.75	-10.52	-13.08
38	1	7.30	4.74	-10.51	-13.07
39	1	7.30	4.74	-10.50	-13.06
40	1	7.29	4.73	-10.49	-13.05
41	1	7.29	4.73	-10.48	-13.04
42	1	7.28	4.73	-10.48	-13.03
43	1	7.28	4.72	-10.47	-13.02
44	1	7.27	4.72	-10.46	-13.01
45	1	7.27	4.72	-10.45	-13.00
46	1	7.26	4.71	-10.44	-12.99
47	1	7.25	4.71	-10.44	-12.98
48	1	7.25	4.71	-10.43	-12.97
49	1	7.24	4.70	-10.42	-12.96

50	1	7.24	4.70	-10.41	-12.95
51	1	7.23	4.69	-10.40	-12.94
52	1	7.22	4.69	-10.39	-12.92
53	1	7.22	4.69	-10.39	-12.92
54	1	7.22	4.69	-10.39	-12.92
55	1	7.22	4.69	-10.39	-12.92
56	1	7.22	4.69	-10.39	-12.93
57	1	7.22	4.69	-10.39	-12.93
58	1	7.23	4.69	-10.39	-12.93
59	1	7.23	4.69	-10.39	-12.93
60	1	7.23	4.69	-10.39	-12.93
61	1	7.23	4.69	-10.39	-12.93
62	1	7.23	4.69	-10.39	-12.93
63	1	7.22	4.69	-10.39	-12.93
64	1	7.22	4.69	-10.39	-12.93
65	1	7.22	4.69	-10.39	-12.92
66	1	7.22	4.69	-10.38	-12.92
67	1	7.22	4.68	-10.38	-12.91
68	1	7.21	4.68	-10.37	-12.90
69	1	7.20	4.68	-10.36	-12.89
70	1	7.20	4.67	-10.35	-12.88
71	1	7.19	4.67	-10.35	-12.87
72	1	7.20	4.67	-10.35	-12.88
73	1	7.20	4.67	-10.35	-12.88
74	1	7.20	4.67	-10.35	-12.88
75	1	7.19	4.67	-10.35	-12.87
76	1	7.19	4.67	-10.35	-12.87
77	1	7.19	4.67	-10.34	-12.86
78	1	7.19	4.66	-10.34	-12.86
79	1	7.18	4.66	-10.33	-12.85
80	1	7.18	4.66	-10.32	-12.84
81	1	7.17	4.66	-10.32	-12.83
82	1	7.17	4.65	-10.31	-12.82
83	1	7.16	4.65	-10.30	-12.81
84	1	7.16	4.64	-10.29	-12.80
85	1	7.15	4.64	-10.29	-12.79
86	1	7.14	4.64	-10.28	-12.78
87	1	7.14	4.63	-10.27	-12.77
88	1	7.13	4.63	-10.26	-12.76
89	1	7.13	4.63	-10.25	-12.75
90	1	7.12	4.62	-10.24	-12.74
91	1	7.11	4.62	-10.23	-12.73
92	1	7.11	4.61	-10.23	-12.72
93	1	7.10	4.61	-10.22	-12.71
94	1	7.10	4.61	-10.21	-12.70
95	1	7.09	4.60	-10.20	-12.69
96	1	7.08	4.60	-10.19	-12.68
97	1	7.08	4.59	-10.18	-12.67
98	1	7.07	4.59	-10.17	-12.66
99	1	7.07	4.59	-10.17	-12.64
100	1	7.06	4.58	-10.16	-12.63
101	1	7.05	4.58	-10.15	-12.62
102	1	7.05	4.58	-10.14	-12.61
103	1	7.04	4.57	-10.13	-12.60
104	1	7.04	4.57	-10.12	-12.59

105	1	7.03	4.56	-10.11	-12.58
106	1	7.02	4.56	-10.10	-12.57
107	1	7.02	4.56	-10.10	-12.56
108	1	7.01	4.55	-10.09	-12.55
109	1	7.01	4.55	-10.08	-12.54
110	1	7.00	4.54	-10.07	-12.53
111	1	6.99	4.54	-10.06	-12.51
112	1	6.99	4.54	-10.05	-12.50
113	1	6.98	4.53	-10.04	-12.49
114	1	6.98	4.53	-10.03	-12.48
115	1	6.97	4.52	-10.03	-12.47
116	1	6.96	4.52	-10.02	-12.46
117	1	6.96	4.52	-10.01	-12.45
118	1	6.95	4.51	-10.00	-12.44
119	1	6.94	4.51	-9.99	-12.43
120	1	6.94	4.50	-9.98	-12.41
121	1	6.93	4.50	-9.97	-12.40
122	1	6.92	4.50	-9.96	-12.39
123	1	6.92	4.49	-9.95	-12.38
124	1	6.91	4.49	-9.94	-12.37
125	1	6.91	4.48	-9.93	-12.36
126	1	6.90	4.48	-9.92	-12.35
127	1	6.89	4.47	-9.92	-12.33
128	1	6.89	4.47	-9.91	-12.32
129	1	6.88	4.47	-9.90	-12.31
130	1	6.87	4.46	-9.89	-12.30
131	1	6.87	4.46	-9.88	-12.29
132	1	6.86	4.45	-9.87	-12.28
133	1	6.86	4.45	-9.86	-12.27
134	1	6.85	4.45	-9.86	-12.26
135	1	6.85	4.44	-9.85	-12.25
136	1	6.84	4.44	-9.83	-12.23
137	1	6.82	4.43	-9.81	-12.20
138	1	6.80	4.42	-9.79	-12.18
139	1	6.79	4.41	-9.77	-12.15
140	1	6.77	4.40	-9.74	-12.12
141	1	6.76	4.39	-9.72	-12.09
142	1	6.75	4.38	-9.70	-12.07
143	1	6.73	4.37	-9.68	-12.04
144	1	6.72	4.36	-9.66	-12.02
145	1	6.70	4.35	-9.64	-12.00
146	1	6.69	4.34	-9.63	-11.97
147	1	6.68	4.34	-9.61	-11.95
148	1	6.67	4.33	-9.59	-11.94
149	1	6.66	4.32	-9.58	-11.92
150	1	6.65	4.32	-9.57	-11.90
151	1	6.65	4.31	-9.56	-11.89
152	1	6.64	4.31	-9.55	-11.88
153	1	6.63	4.30	-9.54	-11.87
154	1	6.61	4.29	-9.52	-11.84
155	1	6.60	4.28	-9.49	-11.81
156	1	6.59	4.28	-9.48	-11.79
157	1	6.58	4.27	-9.46	-11.77
158	1	6.57	4.26	-9.44	-11.75
159	1	6.56	4.26	-9.43	-11.73

160	1	6.55	4.25	-9.42	-11.71
161	1	6.54	4.24	-9.40	-11.70
162	1	6.53	4.24	-9.39	-11.68
163	1	6.52	4.23	-9.38	-11.67
164	1	6.51	4.23	-9.37	-11.66
165	1	6.51	4.22	-9.36	-11.64
166	1	6.50	4.22	-9.35	-11.63
167	1	6.49	4.22	-9.34	-11.62
168	1	6.49	4.21	-9.33	-11.61
169	1	6.48	4.21	-9.32	-11.60
170	1	6.47	4.20	-9.31	-11.58
171	1	6.47	4.20	-9.30	-11.57
172	1	6.46	4.19	-9.29	-11.56
173	1	6.45	4.19	-9.28	-11.55
174	1	6.45	4.19	-9.27	-11.54
175	1	6.44	4.18	-9.27	-11.52
176	1	6.43	4.18	-9.26	-11.51
177	1	6.43	4.17	-9.25	-11.50
178	1	6.42	4.17	-9.24	-11.49
179	1	6.41	4.16	-9.23	-11.48
180	1	6.41	4.16	-9.22	-11.46
181	1	6.40	4.15	-9.21	-11.45
182	1	6.39	4.15	-9.20	-11.44
183	1	6.39	4.15	-9.19	-11.43
184	1	6.38	4.14	-9.18	-11.41
185	1	6.37	4.14	-9.17	-11.40
186	1	6.36	4.13	-9.15	-11.39
187	1	6.36	4.13	-9.14	-11.38
188	1	6.35	4.12	-9.13	-11.36
189	1	6.34	4.12	-9.12	-11.35
190	1	6.34	4.11	-9.11	-11.34
191	1	6.33	4.11	-9.10	-11.32
192	1	6.32	4.10	-9.09	-11.31
193	1	6.31	4.10	-9.08	-11.30
194	1	6.31	4.09	-9.07	-11.28
195	1	6.30	4.09	-9.06	-11.27
196	1	6.29	4.08	-9.05	-11.26
197	1	6.28	4.08	-9.04	-11.24
198	1	6.27	4.07	-9.03	-11.23
199	1	6.27	4.07	-9.01	-11.21
200	1	6.26	4.06	-9.00	-11.20
201	1	6.25	4.06	-8.99	-11.18
202	1	6.24	4.05	-8.98	-11.17
203	1	6.23	4.05	-8.97	-11.16
204	1	6.23	4.04	-8.96	-11.14
205	1	6.22	4.04	-8.94	-11.13
206	1	6.21	4.03	-8.93	-11.11
207	1	6.20	4.03	-8.92	-11.10
208	1	6.19	4.02	-8.91	-11.08
209	1	6.19	4.02	-8.90	-11.07
210	1	6.18	4.01	-8.89	-11.05
211	1	6.17	4.01	-8.88	-11.04
212	1	6.16	4.00	-8.87	-11.03
213	1	6.16	4.00	-8.86	-11.02
214	1	6.15	3.99	-8.85	-11.01

215	1	4.15	3.99	-8.84	-11.00
216	1	4.14	3.99	-8.83	-10.99
217	1	4.14	3.98	-8.83	-10.98
218	1	4.14	3.98	-8.83	-10.98
219	1	4.11	3.97	-8.79	-10.94
220	1	4.07	3.94	-8.73	-10.87
221	1	4.03	3.92	-8.68	-10.79
222	1	5.99	3.89	-8.62	-10.73
223	1	5.96	3.87	-8.57	-10.66
224	1	5.92	3.84	-8.52	-10.60
225	1	5.89	3.82	-8.47	-10.54
226	1	5.86	3.80	-8.43	-10.48
227	1	5.83	3.78	-8.38	-10.43
228	1	5.80	3.77	-8.34	-10.38
229	1	5.78	3.75	-8.31	-10.34
230	1	5.76	3.74	-8.28	-10.30
231	1	5.74	3.72	-8.25	-10.27
232	1	5.73	3.72	-8.24	-10.25
233	1	5.72	3.71	-8.23	-10.23
234	1	5.72	3.71	-8.23	-10.23
235	1	5.70	3.70	-8.20	-10.20
236	1	5.66	3.67	-8.13	-10.12
237	1	5.62	3.65	-8.08	-10.05
238	1	5.59	3.63	-8.04	-10.00
239	1	5.56	3.61	-8.00	-9.95
240	1	5.54	3.60	-7.97	-9.91
241	1	5.52	3.58	-7.94	-9.88
242	1	5.50	3.57	-7.91	-9.84
243	1	5.49	3.56	-7.89	-9.82
244	1	5.47	3.55	-7.87	-9.79
245	1	5.46	3.54	-7.86	-9.77
246	1	5.45	3.54	-7.84	-9.75
247	1	5.44	3.53	-7.82	-9.73
248	1	5.43	3.52	-7.81	-9.72
249	1	5.42	3.52	-7.80	-9.70
250	1	5.41	3.51	-7.78	-9.68
251	1	5.40	3.51	-7.77	-9.67
252	1	5.39	3.50	-7.76	-9.65
253	1	5.39	3.50	-7.75	-9.64
254	1	5.38	3.49	-7.74	-9.62
255	1	5.37	3.49	-7.72	-9.61

RESULTING TUBE STRESSES (RADIAL DISTRIBUTION ; WITHOUT OTER LOADINGS) PLATE TYPE 1

ROW	COLUMN	INNER WALL		OUTER WALL	
		TUBE O.D.	TUBE I.D.	TUBE I.D.	TUBE O.D.
1	1	7.56	4.90	-10.87	-13.52
1	2	5.08	3.37	-6.79	-8.50
1	3	2.90	1.95	-3.65	-4.59
1	4	1.02	0.70	-1.23	-1.55
1	5	-0.55	-0.38	0.64	0.81
1	6	-1.86	-1.29	2.07	2.64
1	7	-2.93	-2.05	3.18	4.06
1	8	-3.81	-2.68	4.04	5.17
1	9	-4.53	-3.20	4.69	6.02
1	10	-5.10	-3.62	5.19	6.67
1	11	-5.57	-3.96	5.57	7.17
1	12	-5.93	-4.24	5.84	7.54
1	13	-6.22	-4.46	6.05	7.81
50	1	7.24	4.70	-10.41	-12.95
50	2	4.85	3.22	-6.48	-8.11
50	3	2.75	1.85	-3.46	-4.36
50	4	0.95	0.65	-1.14	-1.44
50	5	-0.57	-0.39	0.66	0.83
50	6	-1.83	-1.27	2.04	2.60
50	7	-2.86	-2.00	3.11	3.97
50	8	-3.71	-2.61	3.93	5.02
50	9	-4.39	-3.11	4.55	5.84
50	10	-4.95	-3.51	5.03	6.47
50	11	-5.39	-3.84	5.39	6.94
50	12	-5.75	-4.10	5.66	7.30
50	13	-6.02	-4.32	5.85	7.56
100	1	7.06	4.58	-10.16	-12.63
100	2	4.74	3.14	-6.33	-7.92
100	3	2.68	1.81	-3.38	-4.25
100	4	0.92	0.63	-1.11	-1.40
100	5	-0.56	-0.38	0.64	0.81
100	6	-1.78	-1.24	1.99	2.53
100	7	-2.79	-1.95	3.03	3.87
100	8	-3.62	-2.55	3.83	4.90
100	9	-4.29	-3.03	4.44	5.70
100	10	-4.83	-3.43	4.91	6.31
100	11	-5.26	-3.75	5.26	6.78
100	12	-5.61	-4.01	5.52	7.12
100	13	-5.88	-4.21	5.71	7.38
150	1	6.65	4.32	-9.57	-11.90
150	2	4.46	2.96	-5.97	-7.47
150	3	2.53	1.71	-3.19	-4.02
150	4	0.88	0.60	-1.06	-1.34
150	5	-0.51	-0.35	0.59	0.75
150	6	-1.67	-1.16	1.86	2.37
150	7	-2.62	-1.83	2.84	3.62
150	8	-3.39	-2.39	3.59	4.60
150	9	-4.02	-2.84	4.17	5.35
150	10	-4.53	-3.22	4.61	5.92
150	11	-4.94	-3.52	4.94	6.36

RESULTING TUBE STRESSES (RADIAL DISTRIBUTION ; WITHOUT OTER LOADINGS) PLATE TYPE 1

ROW	COLUMN	INNER WALL		OUTER WALL	
		TUBE O.D.	TUBE I.D.	TUBE I.D.	TUBE O.D.
150	12	-5.26	-3.76	5.19	6.69
150	13	-5.52	-3.95	5.36	6.93
200	1	6.26	4.06	-9.00	-11.20
200	2	4.20	2.79	-5.61	-7.02
200	3	2.37	1.60	-2.99	-3.76
200	4	0.81	0.56	-0.98	-1.24
200	5	-0.50	-0.34	0.57	0.73
200	6	-1.59	-1.10	1.77	2.25
200	7	-2.48	-1.74	2.69	3.44
200	8	-3.21	-2.26	3.40	4.35
200	9	-3.81	-2.69	3.95	5.06
200	10	-4.29	-3.04	4.36	5.60
200	11	-4.67	-3.33	4.67	6.02
200	12	-4.98	-3.56	4.90	6.32
200	13	-5.22	-3.74	5.07	6.55
250	1	5.41	3.51	-7.78	-9.68
250	2	3.62	2.40	-4.84	-6.06
250	3	2.04	1.38	-2.57	-3.24
250	4	0.69	0.47	-0.83	-1.05
250	5	-0.45	-0.31	0.52	0.65
250	6	-1.39	-0.97	1.55	1.98
250	7	-2.17	-1.52	2.35	3.00
250	8	-2.80	-1.97	2.97	3.79
250	9	-3.31	-2.34	3.44	4.41
250	10	-3.73	-2.65	3.79	4.88
250	11	-4.06	-2.89	4.06	5.23
250	12	-4.33	-3.09	4.26	5.50
250	13	-4.54	-3.25	4.41	5.69
255	1	5.37	3.49	-7.72	-9.61
255	2	3.60	2.39	-4.80	-6.01
255	3	2.03	1.37	-2.56	-3.22
255	4	0.69	0.47	-0.83	-1.05
255	5	-0.44	-0.30	0.51	0.64
255	6	-1.37	-0.96	1.53	1.95
255	7	-2.14	-1.50	2.33	2.97
255	8	-2.77	-1.95	2.94	3.76
255	9	-3.28	-2.32	3.40	4.36
255	10	-3.69	-2.62	3.76	4.83
255	11	-4.02	-2.87	4.02	5.18
255	12	-4.29	-3.06	4.22	5.45
255	13	-4.49	-3.22	4.37	5.64