

## 有限要素法による異方性板の熱弾塑性解析 —溶接応力の解析—

岩 城 嵩 外

栖原 二郎 君 非常に困難な研究を行なわれましたことに敬意を表します。つきましては次の三点についてお伺いいたします。

(i) 圧延などの加工によつて生じた材料の異方性を考えられたことと思いますが熱塑性変形による異方性の変化についてどう考えられますか。

(ii) この有限要素では一つの要素内に弾塑性境界が生ずる結果となりますがこれをどう処理されましたか。

(iii) 有限要素法では局所的応力のバランスは必ずしもよくないのでこの程度の分割数での計算結果については板全体の平衡条件は数値的に満たされていないおそれがありますがいかがですか。

岩 城 嵩 君 (i) 今後、実験および数値実験によつて、熱塑性変形に基づく異方性の変化を初期および後続の異方性について検討していきたい。

(ii) 応力が要素内で線型になつていることについて。

ご指摘のとおり要素内で応力、歪が線型になつていることから、弾塑性境界が要素内にあるが、本文では、簡単化のために要素中心の状態をその要素の代表状態として解析した。要素を小さくすることによつてこの簡単化による誤差は小さくなると考えられる。

(iii) Mesh の大きさと内力の釣合について。本文にある例題の Mesh の大きさでは、定量的な議論をするだけの精度を持つていないと思われる。今後、実験との比較などによつて、本解析法の精度を Mesh の大きさ、内力のバランスなどの検討も含めて、研究していきたい。

## 溶 接 中 の 熱 応 力 に つ い て

在 田 正 義 外

渡辺 正紀 君 貴論文を拝見し、同種の問題は小生が塑性力学の溶接継手残留応力の発生機構を求めたものと大差ないと思われませんが、いかがでしょうか。すなわちこの場合を理論的に弾塑性の問題として移動熱源の状態を同時加熱を行なつた場合としての理論的計算ならびに実験を私も行なつております。(溶接学会誌 19 巻 3 号 造船協会誌昭和 24 年 11 月)

移動熱源とすれば、理論解析はともかくとして、数値計算は非常に繁雑になり、(この問題についてもふれております。)当時としては計算不可能でした。この点を有限要素法により電算を駆使することによつてやることは、計算の便宜上非常に有意義であると考えられます。私は塑性理論の溶接への応用として次元の問題、二次元、三次元の問題として熱応力の弾塑性の研究を行なつております。(造船協会誌参照)

貴論文の特徴は、第一、移動熱源においたことと、第二、移動熱源の問題としてとりあつたことが、大きい特徴と思われます。しかし結論として移動熱源として行つた成果が期待していたほど結論づけられていないことは残念に思います。heat input,  $h$  量を議論されるときは、得られている結果は当然予想しうることでありますので、現在としては熱源密度の影響もあわせて議論せられる必要があるかと思われます。私が過去に行つた時代には、ガス溶接とアーク溶接のみでしたので、その両者の影響については比較検討を行なつております。これはことばを変えると、入熱の密度の比較を行つたこととなります。将来この点について命題を明らかにしていただきたい。次に 2, 3 記述の中で気のついた点を申し上げます。

1) P. 205 一般論の項で、冶金的な変化について簡単にのべると書いてあるが、本論文では一言も言及されておられません。

2) P. 206 2.1 式カップーは温度の関数とともに場所の関数であるということを実際に忘れてはならない。しかし現時点においては記述のことはやむをえないでしょう。私も同様な計算方法を従来から採用しております。

3) 増分理論と変形理論とで解いた場合は貴兄の論文結果に、いかなる差異が生じるでしょうか。少なくとも図

3のような再降伏のような状態をとる場合においては温度が上昇して、次に下降するという one cycle を受けるのみですので同様な結果が得られるのではないかと思います。もしその相違点について吟味しておられるなら明示して下さい。

4) 移動熱源として取り扱うからには、準定常状態の状態のみならず溶接開始点および終止点についての応力解析を行うべきではないでしょうか。

5) 入熱が低い場合にはアーク直後に大きな tension が働くことが、特に指摘されているが、heat input が非常に大きい場合にもおこるかという事実をも確かめてもらいたい。

在田 正義 君 非常に詳細なご討論ありがとうございます。以下ご指摘の点につき順次考えを述べたいと思います。

1) 治金的变化について、一般論の第3項で簡単に書きましたが不十分でした。計算プログラムでは、ヤング係数、初期降伏応力、歪硬化係数、比重、線膨脹係数、熱伝導率、比熱の温度変化を、入力として与えるようになっておりますので、前記定数の温度変化で表わせる治金的变化は、考慮されることになります。

3) 増分理論を採用した場合と、変形理論の場合について吟味しておりませんが、塑性歪があまり大きくないこと、ご指摘の荷重過程などから考えて、差異は少ないと考えます。

4) 溶接の開始点、終止点では、端末条件の影響が関係して、溶接線方向の応力のみが支配的と考えられませんが本解析法では計算できません。改良について検討してみたいと思います。しかし本計算は、溶接条件、材料定数などの変化が溶接中の熱応力や残留応力の変化にどう関係するかを調べる、いわゆるパラメータ研究に有効な手段を与えるものと考えます。有限要素法で、たくさんのパラメータの変化について計算することは費用時間の点で無理があるからです。

5) 本論文での計算は、アルミ合金の場合ですが、他の金属についても調べてみたいと思います。

## コンテナ船の振り強度と二重殻構造の効果について (第1報)

清水 作 造 外

森 正 浩 君 二重船殻を有する大型コンテナ船の振り強度について、非常に有益な研究をなされたことに対し、敬意を表します。下記2点についてお尋ねいたします。

(1) 変断面連続 Beam Shell として船体振り強度を考える場合に、式 (29) を基礎微分方程式とする以上、船を長さ方向に適当に分割して、その分割区間内では振りに関する諸常数を区間常数として取り扱うこととなります。このとき、 $j$ -区間から  $(j+1)$ -区間へ移る接続条件の中で、断面回転角  $\varphi$  の一階微係数  $\varphi'$  (比振れ角) に対する接続条件の与え方が困難となります。貴論文式 (48) 中の、 $\varphi'$  に対する接続条件の物理的意味をご指示下さい。

(2) 幅が狭いクロス・デッキに対しては、貴論文でご指摘のように、クロス・デッキ端部に働く剪断力の効果をクロス・デッキの中心線を含む船体横断面に働く逆の Bi-Moment として取り扱うことは妥当なことと思われます。しかし、機関開口の前後部構造や船首、尾部甲板の効果をクロス・デッキと同様な効果として把握する場合には、その幅がかなり広いので、その端部剪断力  $Q_A$  を集中力としてではなく、分布力として把握した方がよいと思いますがいかがでしょうか。特に二重船殻構造の場合には一重船殻構造 (同一主寸法のもとで) の場合に比べて、端部拘束の影響が相対的に小さくなるので、幅の広い (剛性の大きい) クロス・デッキが主役を演ずることになると思われれます。なお、拙論文 (J. S. N. A. Vol. 124) においては、このクロス・デッキ端部剪断力  $Q_A$  の効果を、まず逆の Bi-Moment ( $-2R(s) \cdot Q_A$ ) として把握し、次にクロス・デッキの幅  $4a$  に沿って  $Q_A$  が一様に分布するものと仮定して計算に入れてあります。

(1) 第1のご質問に関しましては、船体主構造の横断面形状が変化する連続 Beam Shell の境界での振り率  $\varphi'$  の接続条件は、船の Hull Girder としての振り角が近似的に滑らかに、次の隣接部へつながっていくことを示しているもので、本文中の (48) 式はクロスデッキの前後両縁位置およびクロスデッキの中心線を含む、計3ヶ所での船体主構造の横断面における上記の  $\varphi'$  の連続条件をこの1つの式で表示しているものです。

(2) 第2のご討論に対しましては、全くご指摘のとおりだと考えております。本論文では船の二重殻構造に