

I-233

4辺拘束された平板の熱応力による面外変形に関する実験的研究

運輸省

正員 ○坂 克人

大阪大学溶接工学研究所

正員 堀川 浩甫

大阪大学溶接工学研究所

正員 鈴木 博之

1. はじめに 補修・補強工事に溶接を使用する場合に注意しなければならない問題が幾つかある。とくに、溶接熱によって生じる変形とその変形を拘束することによって生ずる熱応力は重要な問題である。熱による変形を考える場合に部材に生じる温度分布は1つの重要なファクターとなる。本研究では、平板の熱による変形の基礎的資料を得るため、最も単純な平板全面均一な温度分布を想定し、輻射加熱装置によって平板全面を加熱した時の変形挙動を実験的に検討した。

2. 実験方法 本実験に使用した加熱装置は、JEMIX INFRARED PANNE HEATER PM-25（これよりインフラ・ヒーターと呼ぶ）である。試験板はI-1(600×600)、I-2(600×400)、I-3(600×200)の3種類であり、板厚は3.2mmのものを使用した。試験板の鋼材は深絞り用熱間圧延鋼材(SPHE-P)である。試験板は4辺固定の境界条件を満足させるために、溝形鋼製固定用枠に取付けた。試験板の温度変化の測定は試験板の中央及び周辺部の2点の上下両面で行った。たわみの計測は試験板の中央線上の5点で行った。実験順序は、まず初期変形を測定し、その後試験板中央のたわみが急激に増加するまで加熱し温度とたわみを測定した（実験Ⅰ）。自然冷却後、試験板中央の温度が400℃になるまで再加熱した（実験Ⅱ）。

3. 実験結果および考察

①実験Ⅰ 試験板中央のたわみが急増するまで加熱した時の試験板中央の温度とたわみの関係を図1に示す。図1でたわみが急増しているのは、試験板が熱応力

によって座屈したからと考えられる。外力による座屈であると急激なたわみの変化が生じ不安定となるが、熱応力だけが作用する場合は、急激なたわみの変化が生じてても不安定となることはなかった。これはたわみの変化が熱膨張による伸びに依存するためであると考えられる。たわみ急増後の線形部を延長し横軸と交わる点を座屈温度とみなし、以下の座屈温度の理論値と比較、考察した。平板全面を一樣に加熱する場合の座屈温度 T_{cr} は次式によって与えられる。

$$(1-\nu)$$

$$T_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{\alpha E}$$

有限要素法による弾性座屈解析（要素分割数 12×12 ）より2軸応力が作用する場合の座屈応力 σ_{cr} を計算し、座屈温度の理論値を求めた。その理論値と図1より求めた実験値を表1に示す。

図1より求められた実験値は試験板中央の温度変化である。実際には試験板には実験上避けられない温度

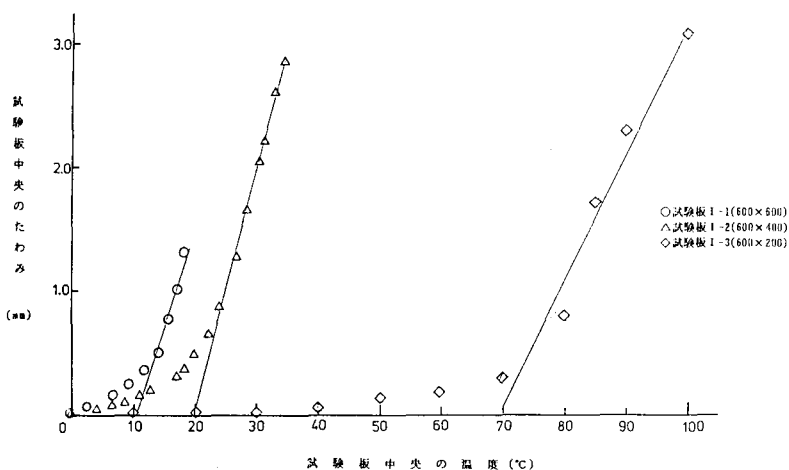


図1 試験板中央の温度変化にともなう中央のたわみの変化

分布が生じていることを考慮すると実験値と計算値はよい対応を示している。試験板 I-1, I-2 の座屈モードは変形モード 1 であった。このことは、F.E.M. 解析の結果とも一致した。試験板 I-3 の中央線上の 5 点のたわみと温度変化の関係を図 2 に示す。図 2 に示すように 70℃ 付近で中央よりの 3 点のたわみが急増し、両端の 2 点は減少し始めた。その後 110℃ 付近で再び両端の 2 点のたわみが増加しはじめた。これは変形モード 3 で座屈した後、モードの移行が起こったものと考えられる。F.E.M. 解析によれば、変形モード 2 が最小の座屈応力 ($\sigma_{cr} = 1790 \text{ kg/cm}^2$) をもち、次がモード 3 ($\sigma_{cr} = 1825 \text{ kg/cm}^2$) であった。しかし、2 つの座屈応力の値の差は小さ

いので、この実験ではモード 3 生じたものと思われる。

②実験Ⅱ 試験板を 400℃ まで加熱し、自然冷却したときの試験板中央の温度変化とたわみの関係を図 3 に示す。試験板を 400℃ まで加熱した時、固定用枠の温度上昇を無視することができなくなった。しかし、熱応力は固定用枠と試験板との温度差により生じるので、図 3 の横軸には試験板と固定用枠の温度差を採用した。図 3 より加熱過程における各試験板の中央のたわみは、座屈後非線形に増加し、放物線に似た挙動を示していることがわかった。これはたわみが大きくなることにより付加的な伸びひずみが生じ、それが引張りの膜応力として作用し見掛けの剛性を高めたからと思われる。

冷却過程で温度差が負になっているのは、熱容量の違いのため試験板が早く冷え、試験板の温度が固定用枠より低くなったからで、このとき試験板には負の熱応力が生じていたものと思われる。

表 1 座屈温度の理論値と実験値

試験板	I-1	I-2	I-3
板 幅	600mm	400mm	200mm
理論値	8.7℃	15.2℃	55.3℃
実験値	10℃	20℃	70℃

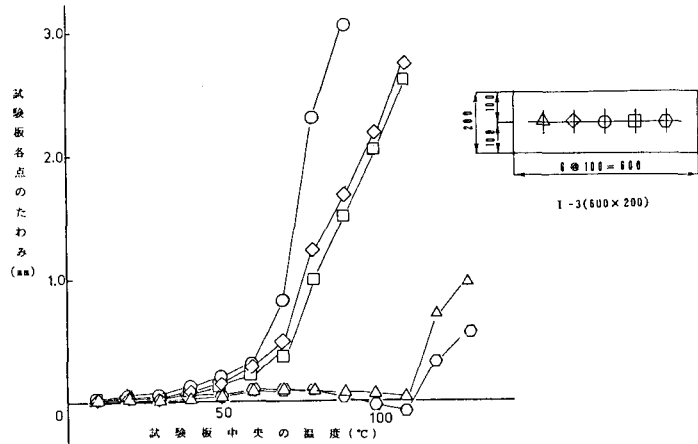


図 2 試験板 I-3 (600×200) の 5 点のたわみ

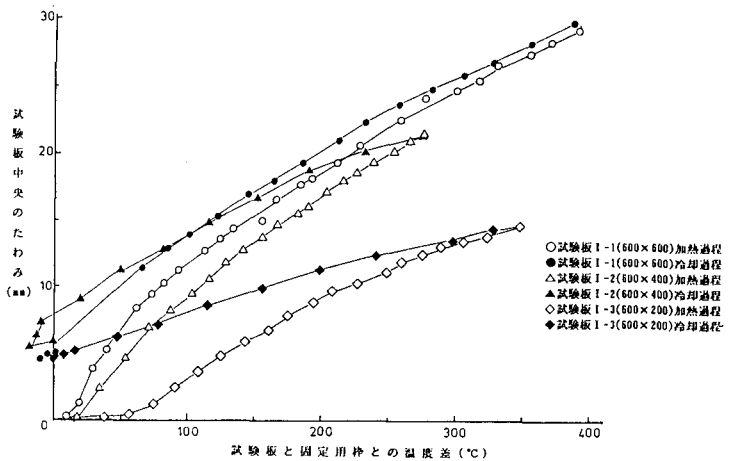


図 3 試験板を 400℃ まで加熱したときの試験板と固定用枠の温度差と中央のたわみの変化