

# 熱応力の光弾性的解析

三木 教\*・藤本 武夫\*\*・石田 武\*

## Photoelastic Studies on the Non-Steady Thermal Stress Analysis

Satoshi MIKI, Takeo FUJIMOTO and Takeshi ISHIDA

### Abstract

The non-steady thermal stress distributions in plate specimens of several forms, having the thermal gradient under the state of very low temperature at one side of it in the vacuum chamber, were investigated by the photoelastic method continuously with the time.

### 1. 緒 言

本文は数種の形状を有する平板試片の片縁面を真空中で急冷し、その際に生じる非定常熱応力の時間的変化を光弾性法を用いて連続的に測定、解析したものである。

### 2. 実験装置および実験方法

実験装置はFig. 1に示したように、試片急冷真空装置を用いた。すなわち、試片を冷却板より離して電磁

石で保持しておき、槽内を $10^{-3}\text{mmHg}$ 程度の真空中にした後に、電磁石のスイッチを切り、試片を冷却板上に自然落下させ、急冷させる。その際に片縁急冷により試片に生じる光弾性縞の時間的変化状態をモータードライブ付きカメラで連続的に写真撮影を行なった。

試片各部温度は銅-コンスタンタンの熱電対により測定し、連続的に自記々録した。

冷却板としては、温度変化のないよう十分熱容量の大きなものを用い、 $-20^{\circ}\text{C}$ に保持した。

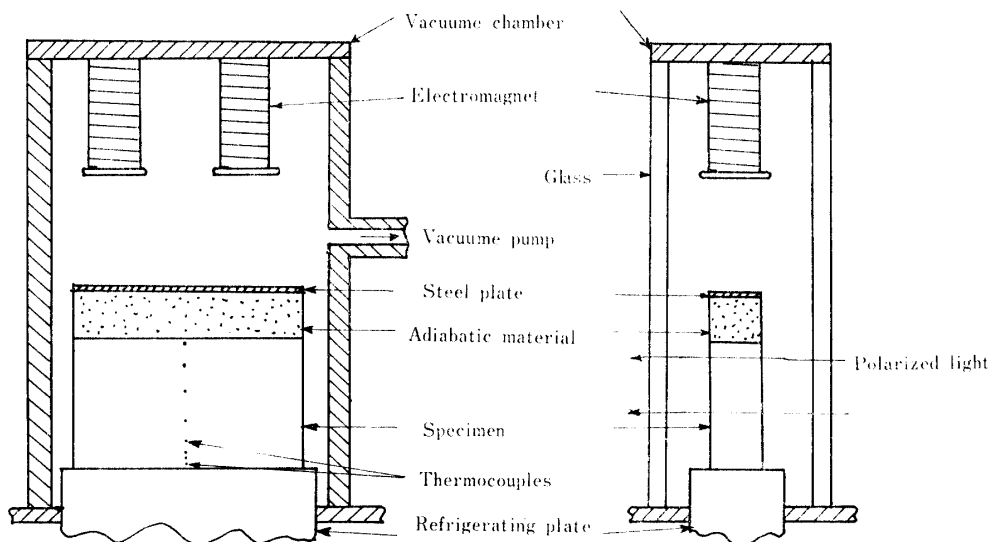


Fig. 1 Experimental apparatus

### 3. 試験片の材料および形状・寸法

試片材料としてはエポキシ樹脂を用いたが、その

低温状態における光弾性感度およびヤング率の温度変化をFig. 2に示した。これより、光弾性感度は低温になるに従って、直線的にやや減少し、逆にヤング率は

\* 生産機械工学科

\*\* 大島商船高専機関科

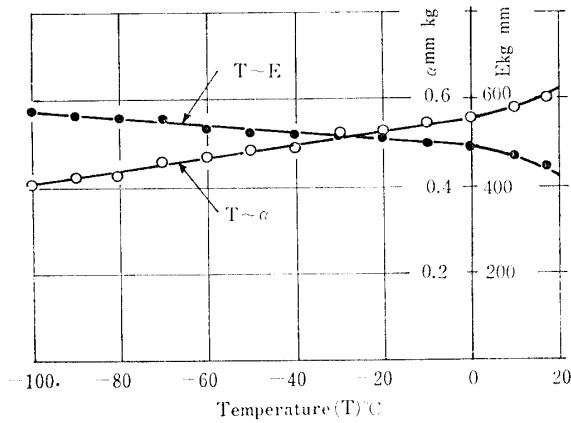


Fig. 2 Photoelastic sensitivity ( $\alpha$ ) and Young's modulus (E) in low temperature

やや増加しているのがわかる。

平行試片と切欠き試片について実験を行ったが、平行試片としては、長さ80mmで巾(H)が、それぞれ、3, 5, 7, 10, 15, 20, 30および50mmの8種類のものを用いた。また切欠き試片の形状・寸法はFig. 3に示したように、4種の形状で各形状とも3種類の大きさの異なった寸法とし、合計12種類のものを用いた。なお、試片はいずれも厚さ10mmとし、当研究室において注型したエポキシ樹脂板より作製した。

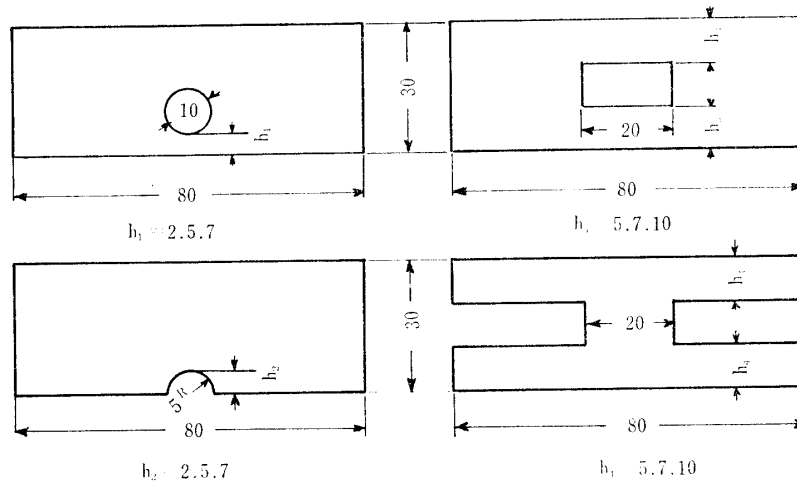


Fig. 3 Forms and dimensions of specimens

4. 実験結果とその考察

本実験で得た熱応力光弾性写真の一例をFig. 4に示した。これらの写真は、それぞれ、片縁急冷開始後2秒、10秒、1分、10分を経過したものである。

Fig. 4 (a)に示した写真は試片の巾20mmの平行試片の片縁面を急冷した場合の光弾性写真である。この中央断面における熱応力および温度分布を冷却開始後それぞれ2秒、10秒、1分および10分の各瞬間において求めたものをFig. 5に示した。これらによって明らかのように、各瞬間とも冷却面において、最大の熱応力を生じ、それはいずれも引張応力であり、冷却開始後10秒でその値は最大となり、その後、減少しているのがわかる。また、冷却面から離れるに従って、各瞬間とも熱応力は急激に減少して0となり、さらに離れると逆に圧縮応力に変化して、それが増大して極大値を取り、それより減少して再び0になり、また引張応力

に変化して上縁面まで増加している。このように一般には、中立軸を2ヶ所に生じているのがわかる。

このように、最大熱応力が冷却面において引張応力として生じていることは上述の通りであるが、この最大熱応力の時間的変化を各種の巾の異なる試片について示したのがFig. 6である。

これらによると、いずれの場合も、冷却開始直後、熱応力は急激に増大し、10秒前後で極大値に達し、それ以後は比較的ゆるやかに減少する。また、この熱応力の極大値は試片巾が大きいほど大きくなっているのがわかる。

このように、試片巾の大きなものほど生じる最大熱応力は大きくなるのがわかる。この冷却面に生じる最大引張熱応力の大きさと試片巾との関係をFig. 7に示した。すなわち、巾の小さい試片においては、最大引張熱応力は巾による影響が大きい、大きな試片で

Refrigerating time

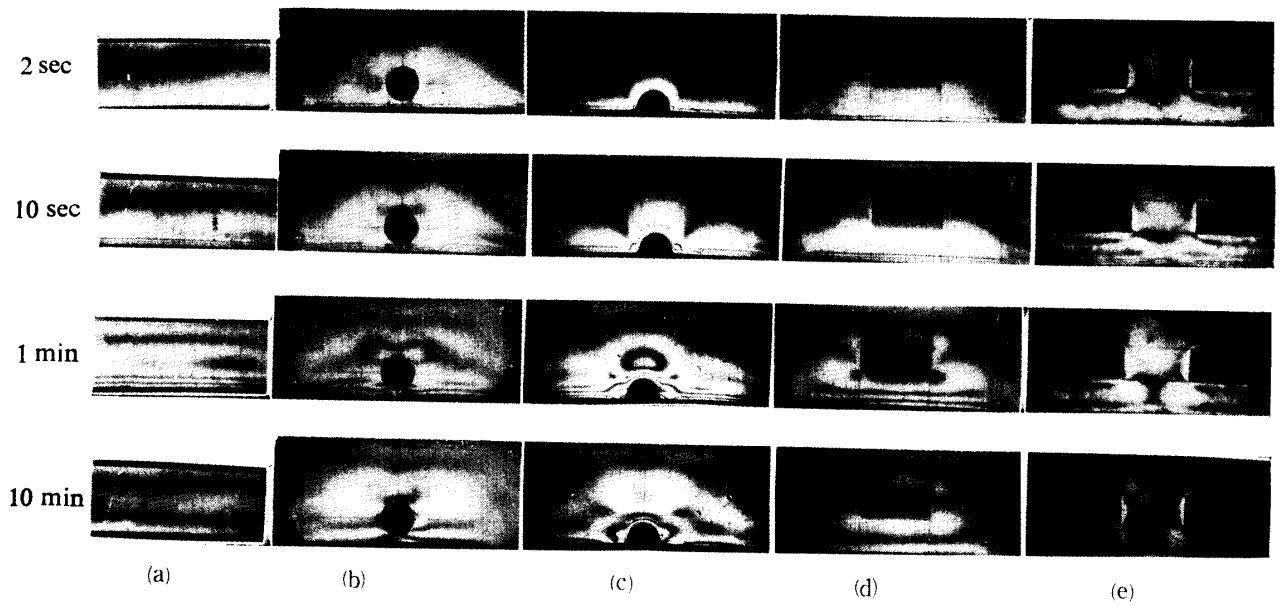


Fig. 4 Isochromatic fringe patterns under thermal stresses in specimens

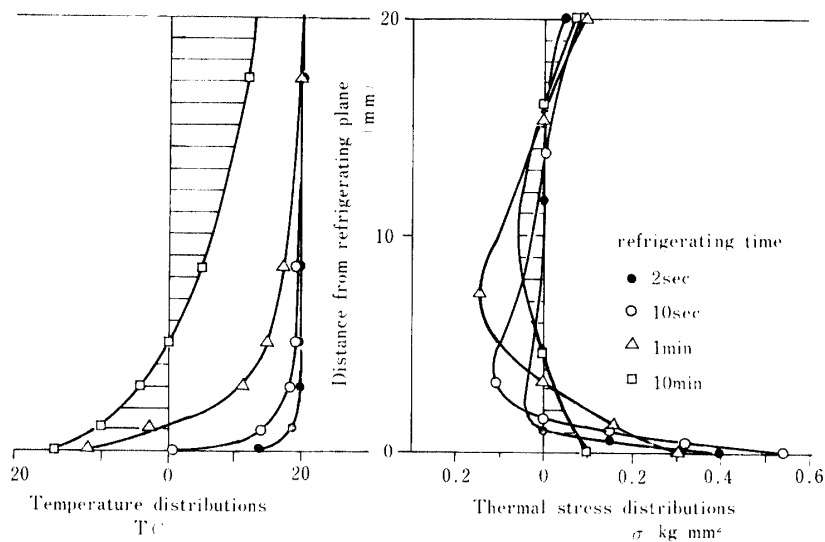


Fig. 5 Distributions of thermal stresses and temperatures in the flat specimen ( $H=20$  mm)

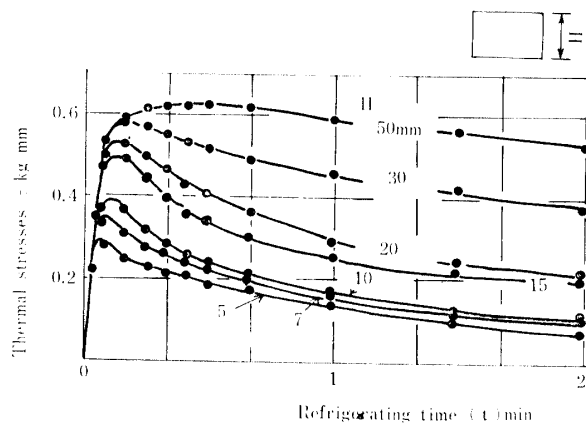


Fig. 6 Thermal stresses at the refrigerating plane in epoxy flat specimens of different width with the refrigerating time

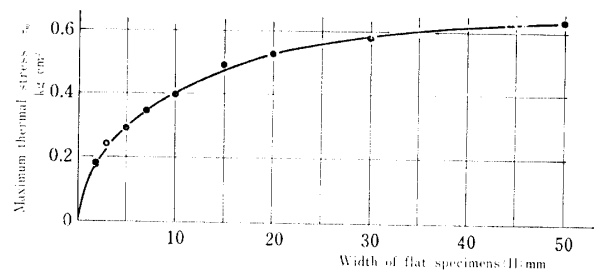


Fig. 7 Relation between the width and maximum thermal stresses of flat specimens

は巾の変化による影響は小さくなり、 $H=30$ mmの大きさ以上のものでは生じる最大引張熱応力にはあまり差がないことがわかる。

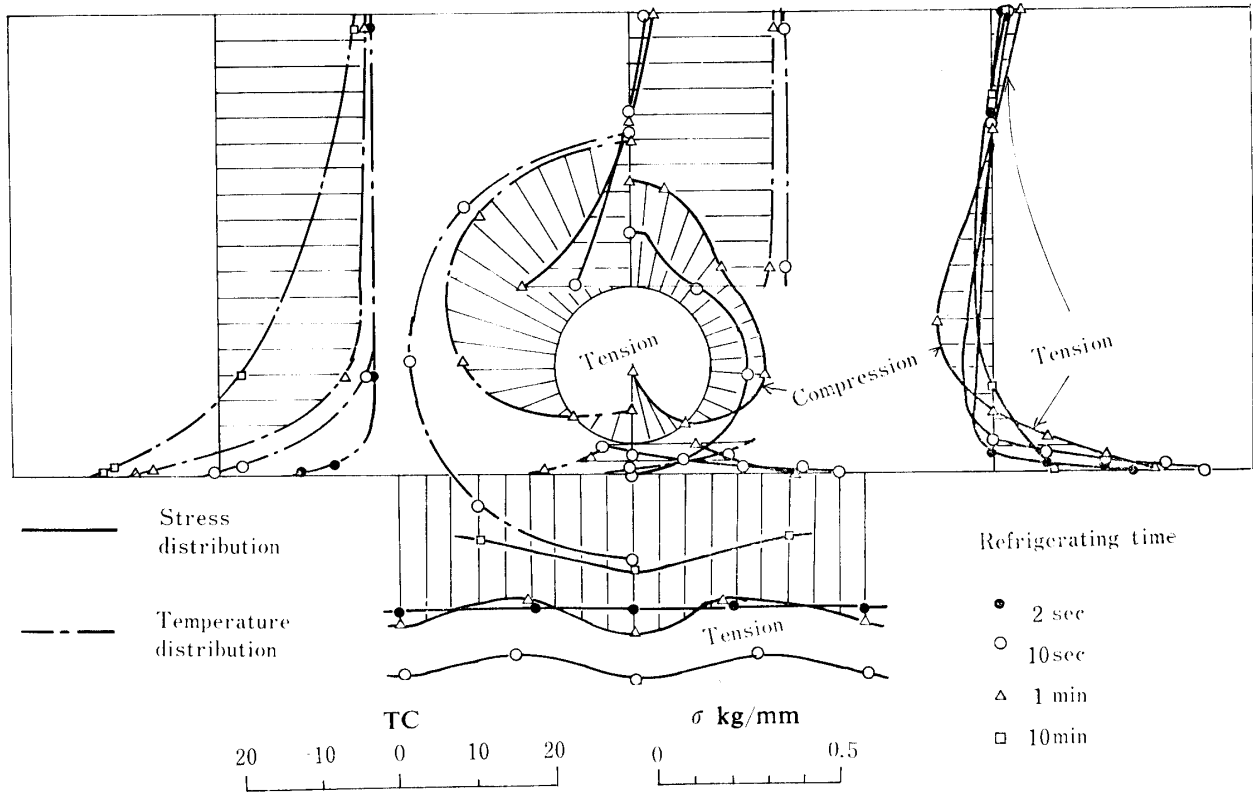


Fig. 8 Distributions of thermal stresses and temperatures in the plate specimen having a hole

Fig. 4 (b)に示した光弾性写真のように円孔を持つ試片に生じる熱応力および温度分布をFig. 8に示した。これによると円孔から十分離れて、その影響を受けない部分では、先に示した平行試片の場合と同様な傾向を有しているのがわかる。次に、この場合の先ず冷却面についてみると、冷却開始後2秒では、ほぼ直線的な応力分布で円孔による影響はほとんどみられないが、冷却時間の経過につれて円孔下端の応力値が他の部分に比べて大きくなっていくのがわかる。次に、周囲に円孔周辺の熱応力分布を冷却時間が10秒と1分とについて示したが、これによると10秒後では各部すべて圧縮応力となっているが、1分後では円孔上部の圧縮応力は増加するが、円孔下部では引張応力に変化する。

上記の円孔を持つ試片の各点 (A, B, C, D) に生じる熱応力と距離  $h_1$  (冷却面と円孔下部との距離) との関係時間をパラメータとして示したものがFigs 9~12である。これらのうち先ずA点とD点の熱応力は冷却後、急激に引張応力が生じ、孔の位置に関係なく10秒で最大となって、その後減少しているのがわかる。また、D点では  $h_1 = 5 \text{ mm}$  と  $7 \text{ mm}$  のものでは、各時間ともほぼ同じ応力値を示し、 $h_1 = 2 \text{ mm}$  のものでは最初1分までは、それらよりやや大

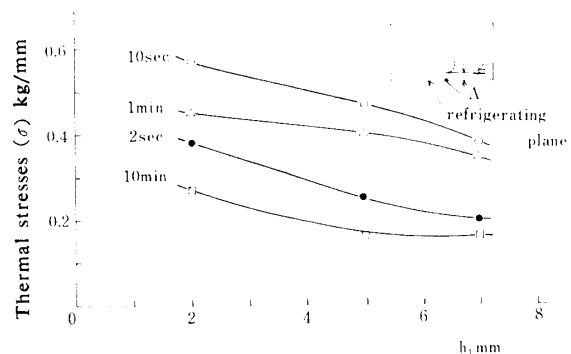


Fig. 9 Relation between thermal stresses ( $\sigma$ ) at point A and  $h_1$  in specimens having a hole (parameter-refrigerating time : 2 sec, 10 sec, 1 min, 10 min)

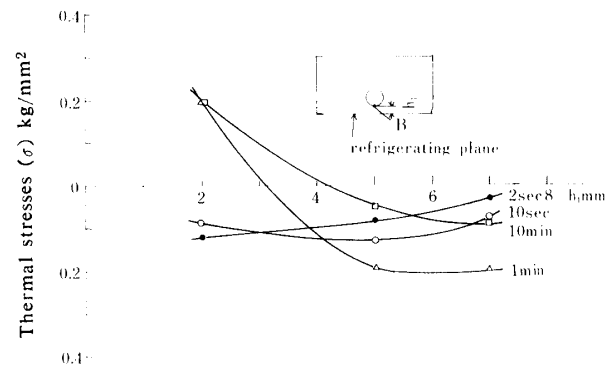


Fig. 10 Relation between thermal stresses ( $\sigma$ ) at point B and  $h_1$  in specimens having a hole (parameter-refrigerating time : 2 sec, 10 sec, 1 min, 10 min)

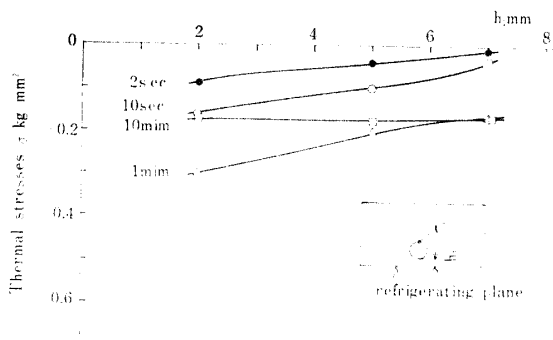


Fig. 11 Relation between thermal stresses ( $\sigma$ ) at point C and  $h_1$  in specimens having a hole (parameter-refrigerating time : 2 sec, 10 sec, 1 min, 10 min)

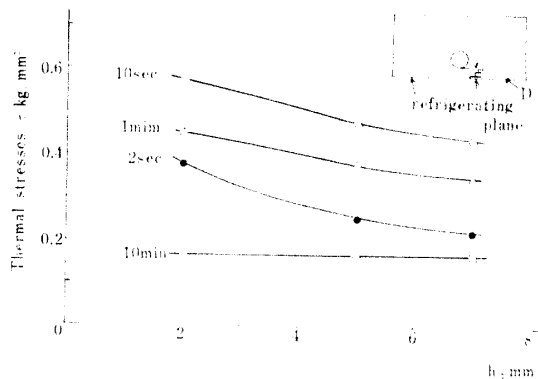


Fig. 12 Relation between thermal stresses ( $\sigma$ ) at point D and  $h_1$  in specimens having a hole (parameter-refrigerating time : 2 sec, 10 sec, 1 min, 10 min)

きな値を示しているが、10分後になるとほぼ同じ値となっている。また一方、A点では各時間とも  $h_1$  が大なるほど応力はやや小さくなっているが、10分後になって  $h_1 = 5 \text{ mm}$  と  $7 \text{ mm}$  のものの値が等しくなった。

円孔下部のB点の熱応力は、最初の2秒では孔の位置にかかわらず、すべて圧縮応力で  $h_1$  が大きくなる

ほど、ゆるやかに減少している。10秒後になると、 $h_1 = 2 \text{ mm}$  の場合は応力が減少し、逆に  $5 \text{ mm}$ 、 $7 \text{ mm}$  の場合は圧縮応力が増大して1分後で最大となった。 $h_1 = 2 \text{ mm}$  のものでは1分後には引張応力になり、10分後もほぼそれと同じ値を示しているが、 $5 \text{ mm}$ 、 $7 \text{ mm}$  の試片では圧縮応力のままで減少しているのがわかる。また、円孔上部のC点では、冷却開始より10分後まで圧縮応力のままであり、2秒、10秒、1分後までは  $h_1$  の増加に従い、応力は減少しているが、 $h_1$  の大きさにかかわらず1分で最大となり、10分後にはどの試片もほぼ同じ応力となっているのがわかる。

## 5. 結 論

各種形状のエポキシ平板試片のそれぞれについて、その片縁を真空中で急冷し、その際に生ずる非定常熱応力とその時間的変化を光弾性法を用いて解析し、次のような結果を得た。

(1) 平行な試片では急冷後、生ずる熱応力は常に冷却面で最大であり、しかも、冷却面における値は冷却時間が約10秒で最大値に達する。その最大値は試片の巾が大きくなるほど増加するが、巾が30mm以上のものになるとほとんど増加しない。

(2) 一般に片縁冷却によると中立軸は2ヶ所に生じ、冷却面には引張応力が生ずる。

(3) 数種の形状を持つ試片に生ずる熱応力分布とその時間的変化を解析した。

(4) 形状は異なるが巾の一定の平板では、平板に生ずる熱応力が最小である。

(5) 有円孔平板の片縁冷却による熱応力は孔のB点(冷却面に近い側)では、 $h_1$  の大きさと冷却時間によっては引張または圧縮応力を生ずる。また、孔のC点(冷却面から遠い側)では一般には圧縮応力を生じ、なお、冷却面では常に引張応力を生ずる。

(昭和49年4月16日受理)