

K5-63

レーザー照射を受ける薄板の熱弾塑性解析

(重ね照射の試み: 一点目の照射点で生成される残留変形の特徴について)

Thermo-elasto-plastic Analysis for a Thin Plate Subjected the Laser Irradiation

Trial of Overlapping Irradiation: Characteristic of Residual Deformation Generated at the First Irradiated Position

○頓所 賢司¹, 村山 佳正², 箱田 将和², 加藤 保之³Kenji TONSHO¹, Yoshimasa MURAYAMA², Masakazu HAKODA², Yasuyuki KATO³

Abstract: The distributions of the residual internal force and the residual deformation under the multipoint irradiation have been revealed in our previous report. However, in spite of changing the conditions concerning the irradiation distance and the number of irradiation, the residual deformation doesn't remarkably increase during the multipoint irradiation. Therefore, the magnitude of the generated residual deformation has the limit. So, it is necessary to examine the overlap irradiation, which is performed by irradiating several times at the same position. As the first step of this research, the residual deformation under the overlap irradiation, which is generated at the first irradiated position, is revealed in this report.

1. 緒言

これまでレーザーの単一照射を行いその後常温まで完全に冷却して、その点と隣接する位置に次の照射を行う断続的な場合を考えて、多点照射下で冷却終了時に得られる残留内力と残留モーメントの分布の特徴や残留変形の特徴を調べてきた。その結果、照射間隔の条件を狭くする場合には、過去に生成された残留内力と残留モーメントが減少して小さくなり、これに対して照射間隔が広い場合には、減少せず大きく残ることが明らかとなった。また、残留変形に関しては、照射間隔を狭くする場合には、現在 (n 点目) の照射の 1 つ前 ($n-1$ 点目) までに形成された残留内力と残留モーメントが大きく残り、その結果、次の照射で新たに生成される塑性変形が小さいため、一点目以降の照射で生成される残留変形が小さくなる。一方で照射間隔を広くする場合には、残留内力と残留モーメントの影響を大きく受けることなく、一点目以降の各照射点で生成される残留変形は、照射ごとに減衰することなく一点目とほぼ同一の大きさの残留変形が発生することが明らかとなった。

このようにこれまで行ってきた研究からは、多点照射を一度行うだけでは、薄板内部には残留変形を大きく発達させることが難しいことが明らかとなった。そのため、同一の点に重複して照射を行う「重ね照射」について検討していく必要があると考えられる。

本報では、この重ね照射を検討していく最初の段階として、二度目の照射時に生成される残留変形について検討する。特にここでは、最初の照射位置 (一点目の照射点) で生成される残留変形に着目して、一度目の照射間隔や照射回数が二度目の重ね照射時に生成される残留変形の発達状況にどのように関連しているかを明らかにする。

2. 理論

2. 1 一度目の多点照射の特徴

図 1 (a) は一点目の照射位置で生成される半径方向と周方向の残留モーメントの分布を表したものである。図

1 (b) は一点目と二点目の照射間隔 r_i が、塑性領域の広がり dL よりも広い場合に対して、二点目の照射位置で、最初の照射の加熱と冷却の一連の過程で生成される半径方向の膜力とモーメントの軌跡を模式的に示したものである。この図の緑色の楕円の中の内力点の値 (残留モーメントと膜力の値) が小さいことから、次の二点目の照射で擬似降伏曲面に到達するまでに大きい変形量を必要とせず、そのため塑性変形を大きく発達させることができる。一方で、図 1 (c) は一点目と二点目の照射間隔 r_i が、塑性領域の広がり dL よりも小さい場合であるが、図中のオレンジ色の楕円の中の内力点の値が大きく残っていることから擬似降伏曲面に到達するまでに大きい変形量を必要とするので、次の二点目の照射では塑性変形を大きく発達させることができない。

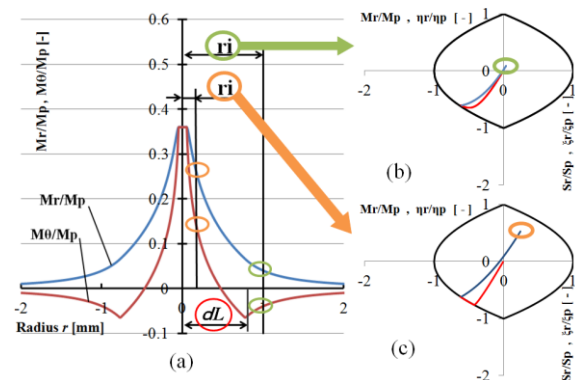


Fig.1 Relation between the residual internal force and residual moment and the irradiation distance r_i

したがって、多点照射においては、照射間隔 r_i が広い場合には、二回目以降も塑性領域が広がることになる。一方で、照射間隔が狭い場合には二回目以降の塑性変形があまり発達せず、塑性領域はあまり大きく広がらない。

次に多点照射の照射回数と残留モーメントの関係について説明する。図 2 は、多点照射における加熱と冷却の一連の過程で得られる半径方向と周方向の残留モーメントの分布を異なる照射間隔に対して示したものである。ただし、この図は一例として十回目までの照射を一点目

の照射位置を基準に、照射の進行方向である (0[deg]-180[deg])方向に対して表したものである。図2 (a) は、照射間隔が狭い場合 ($r_i=0.3$ [mm])であり、(b) は照射間隔が広い場合 ($r_i=1.0$ [mm]) である。図2 (a) 中の赤色の楕円内の内力の値から明らかなように一点目の位置の残留モーメントは小さくなる。したがって、残留モーメントが小さなこの場所では、重ね照射を行うことで塑性変形を大きく発達させることができ、残留変形を増大させることが可能となる。一方で、図2 (b) 中の赤色の楕円から明らかなように、残留モーメントは減少傾向が小さく、この点での残留モーメントが大きく残っていることが分かる。

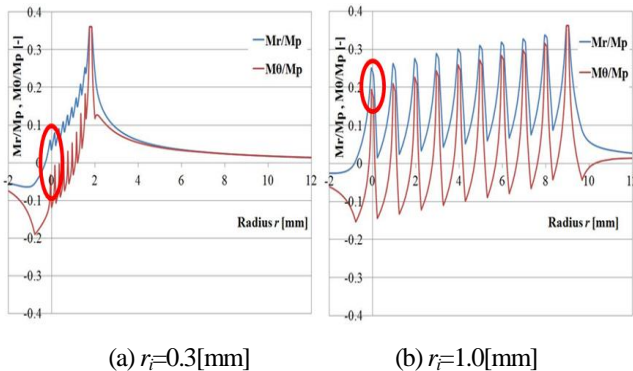


Fig.2 Distributions of residual moment for different irradiation distances

2. 2 二度目の照射時に生成される残留変形について

2. 1 節で説明した一度目の多点照射後に、再び最初の照射点の位置で重ね照射を行う際に、生成される残留変形について説明する。

図3は、一度目の多点照射で得られる最初の照射点に発生する内力と変形の挙動と、その後の二度目の加熱と冷却の一連の過程で得られる内力と変形の挙動を重ねて模式的に示したものである(実際の数値計算では一度目の照射を N 回照射した後に、重ね照射を行っているが、図が複雑になるため、この図では一度目の照射を三点目まで行った後に重ね照射を実行した計算例が示されている)。

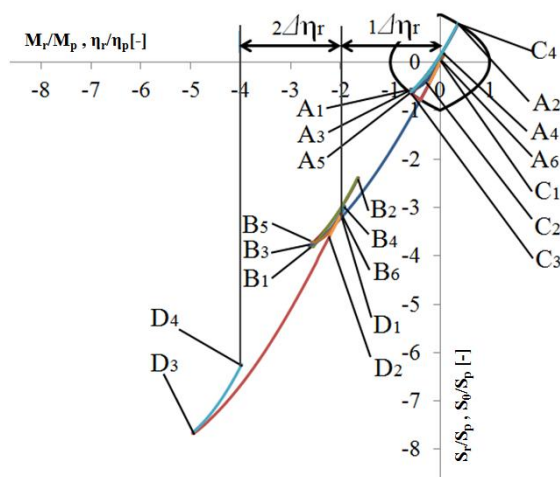


Fig.3 Generalized deformation (The second time irradiation)

3. 解析結果

材料としては板厚 $h=0.3$ [mm]、降伏応力 $\sigma_f=245$ [MPa]の薄い軟鋼を用い、軟鋼がトレスカの降伏条件に従うことから、本解析ではトレスカの降伏条件を採用する。また、解析の特徴としては、材料は弾完全塑性体であると仮定し、降伏曲面の内側は全て弾性であるとする極限解析を採用する。また、降伏後の塑性変形挙動を規定する塑性流動則は法線則ではなく、現在の内力の方向に塑性変形が生じる放射則を採用する。これらの解析条件で、過去の研究で行った実験条件に基づき、レーザーを 134[sec]間照射し、定常状態で表面温度 $T_1=625$ [°C]、裏面温度 $T_2=100$ [°C]となる条件下で数値解析を実行した結果を以下に説明する。

図4は一度目の照射の後に一点目の照射位置で二度目の照射を行った際に生成される残留変形を一度目の照射回数ごとに表わしたものである。なお、(a)は $r_i=0.2$ [mm]、(b)は $r_i=0.7$ [mm]、(c)は $r_i=1.0$ [mm]の結果である。

一方で図中の $\Delta\eta_r$ と $2\Delta\eta_r$ は上述の図3の中の一度目と二度目の照射時に生成される残留変形の値に対応している。残留モーメントが大きく残る照射間隔が広い (c) の場合では、新たな残留変形があまり大きく発生しないが、照射間隔が小さくなるにつれて大きく発生するようになり、照射間隔が最初の照射での塑性領域の広がり dL の近傍である (b) の場合に最も残留変形は大きくなる。しかし、それよりも照射間隔が小さい (a) の場合では逆に残留変形は減少する傾向を示す。

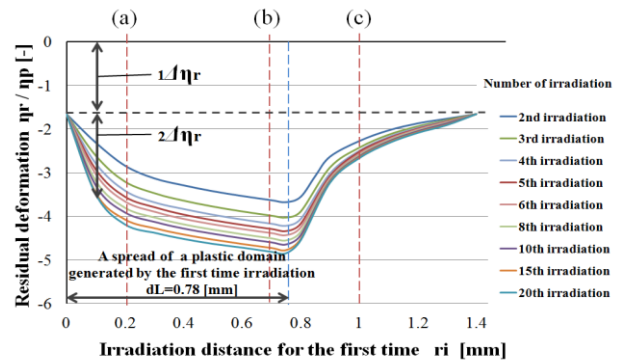


Fig.4 Residual deformation generated at the first irradiated position (second time irradiation)

4. 結言

重ね照射の試みとして、一度目の多点照射の照射条件と二度目の照射時に最初の照射点で生成される残留変形との関係を明らかにした。その結果、二度目の照射で得られる残留変形は、一度目の多点照射後に生成される最初の照射点での残留モーメントと密接に関係し、残留モーメントが小さいほど残留変形が大きく発生することが明らかとなった。その結果、照射間隔が広い場合には、新たな残留変形があまり大きく発生しないが、照射間隔が狭くなるにつれて大きく発生するようになり、照射間隔が最初の照射の塑性領域の広がり dL の近傍で最も残留変形が大きくなるが、それよりも照射間隔が狭くなると逆に残留変形が減少していくことが明らかとなった。