

レーザー照射を受ける薄板の熱弾塑性解析像解析 照射回数の増加と残留変形の発達の関係について

**Thermo-elasto-plastic Analysis for a Thin Plate Subjected the Laser Irradiation
Relation between Number of Irradiation and Progress of Residual Deformation**

村山 佳正¹, 箱田 将和¹, 加藤 保之²

Yoshimasa MURAYAMA¹, Masakazu HAKODA¹, Yasuyuki KATO²

Abstract: The elasto-plastic behavior when a laser beam is irradiated to the surface of a thin metal plate with cooling its backside is described in this paper. The residual internal force and the residual deformation are generated in a thin plate after the cooling process. In this report, the numerical analysis for the multi-point irradiation is carried out based on the radial flow rule and the limit analysis. Especially, the relation between the irradiation distance and residual deformation, which is obtained after the multi point irradiation, are revealed in this paper.

1. 緒言

これまで、任意の点でレーザー照射を行った後に常温まで完全に冷却し、その点と隣接する位置に次の照射を行う、断続的な照射条件を考えて数値解析を進めてきた。

特に前報の研究では、多点照射の数値解析の試みとして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を調べてきた。その結果、照射間隔が狭くなるほど、過去に生成された残留モーメントが小さくなり、一方で照射間隔が広い場合には、残留モーメントが大きく残ることが明らかとなった。

本報では更に冷却後に得られる残留変形に着目し、照射回数の増加と残留変形の発達の間隔を照射間隔を種々に変えて調べることで、多点照射の数値解析の特徴や規則性を解明する。

2. 多点照射下の塑性解析

多点照射の解析では、一点目の数値解析のように図 1 中の対角線上で降伏するのではなく、領域 E 内で再降伏する。そのため再降伏後の塑性解析は、非常に複雑になる。本研究の薄板が軟鋼であることから、塑性流動則として放射則を採用しているので、全変形ベクトルを擬似降伏曲面に沿う弾性変形増分と現在の内力の方向に発生する塑性変形増分とに斜交分解して計算を進めることになる。そのため、変形や内力の増分が擬似降伏曲面の全ての切り口に関連し合いながら合理的に表現される必要があり、二点目以降の塑性解析は複雑となる（詳しい説明は、紙面の都合上ここでは省略する）。

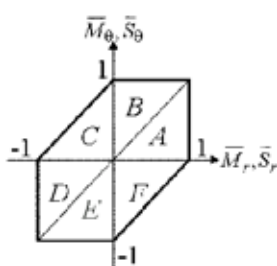


Fig.1 Yield conditions

3. N 点目照射での内力と変形の挙動

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内力と変形の挙動を模式的に示したものである。ただし、この図は一例として三点目の半径方向の曲げモーメントと膜力、並びに曲げ変形と膜変形の間隔を表したものである。この図の中で、A₁からA₇までが内力の挙動を、B₁からB₇までが変形の挙動を表している。ここで、更に変形挙動について説明すると、B₁は一点目照射終了時の変形を、B₂は一点目の冷却後に得られる残留変形を、B₃は二点目照射終了時の変形を、B₄は二点目の冷却終了時の残留変形を、B₅は三点目照射時の降伏時の変形を、B₆は三点目照射時の加熱終了時まで得られる変形を、そしてB₇は三点目の冷却終了時に得られる残留変形をそれぞれ表している。この図の、B₂ B₄ B₇から明らかなように残留変形は照射回数が増えるごとに増加する。

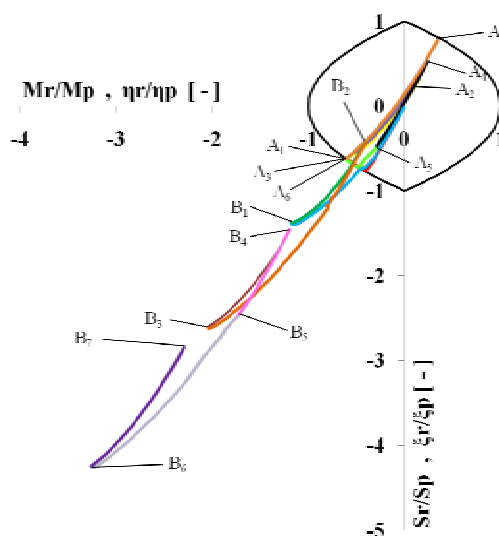


Fig.2 Generalized internal force and deformation

1: 日大理工・学部・機械, 2: 日大理工・教員・機械

4. 解析結果と考察

板厚 0.3[mm]，降伏応力 $\sigma_Y=245$ [MPa]の薄い軟鋼の平板に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，定常状態で表面の温度 $T_1=625$ []，裏面の温度 $T_2=100$ []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．

4.1 照射間隔と残留変形の関係

図 3 は，照射間隔を変えて，五点目照射に対して前述した加熱と冷却の一連の過程で得られる半径方向の一般化内力と変形(曲げ変形と膜変形)の挙動を表わしたものである．ここで (a) は，照射間隔がこれらの中で最も小さな $r_i = 0.1$ [mm] の場合であり，一点目の照射点から 0.4[mm]離れた位置での解析結果である．この図か

ら明らかなように，照射回数が増えるごとに冷却後に得られる残留変形の値も増加の傾向を示す．次に (b) は $r_i = 0.2$ [mm]の場合であり，一点目の照射点から 0.8[mm]離れた位置での解析結果である．一点目の照射では降伏曲面の内部に内力と変形が存在していることから，まだ弾性変形であるのに対し，二点目以降から塑性変形が発達する．一方で (c) は $r_i = 0.5$ [mm]の場合であり，一点目の照射点から 2.0[mm]離れた位置での解析結果である．この場合には，三点目までは曲面の内部に内力と変形が存在し，四点目以降から塑性変形が発達する．(a), (b), (c)を比較すると明らかなように，照射間隔が小さいほど照射の度に塑性変形が発生し，最終的に得られる残留変形の値が大きくなる．

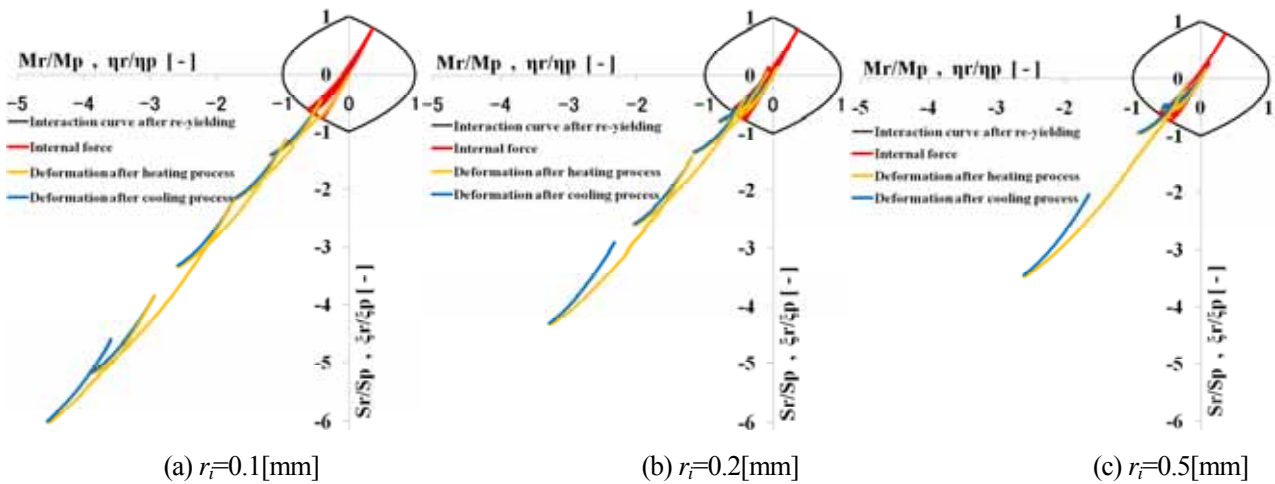


Fig. 3 Generalized internal force and deformation for various irradiation distances (in case of the fifth irradiation)

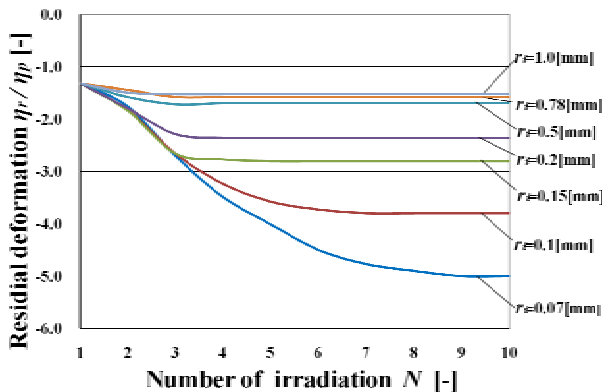


Fig.4 Relation between Number of irradiation and Residual deformation

4.2 照射回数と残留変形の関係

図 4 は照射回数 N と曲げに関する残留変形 η_r / η_p の関係を照射間隔ごとに示したものである． $r_i = 1.0$ [mm]のように照射間隔が広い場合には，前述したように最後の照射で塑性変形が発生するため，照射回数の少ない場合と多い場合で残留

変形の大きさにあまり差異が認められない．これに対して，照射間隔 r_i が狭い場合には，照射の度に塑性変形が発生するため，照射回数が増える度に冷却後に得られる残留変形は大きくなるが，照射回数の増加と共に，その値は一定値に停留する．

5. 結言

照射間隔を種々に変えて照射回数と残留変形の間を調べた結果，照射間隔が広い場合には，最後の照射で塑性変形が発生するため，照射回数に関わらず残留変形の大きさに差異は認められず，照射間隔が狭い場合には，照射毎に新たな塑性変形が発生するため，残留変形が大きくなるが，その値は照射回数の増加とともに一定値に停留することが明らかとなった．

本解析では照射間隔は照射ごとに同一の値に設定して数値解析を実行しているが，照射ごとに照射間隔を変えた場合についても今後さらに検討していく予定である．