2410 レーザー照射を受ける薄板の熱弾塑性解析

(四点目照射時の再降伏条件について)

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

(Re-yielding Condition for the Fourth Irradiation)

正 加藤 保之 (日大), ○学 吉田 未来 (日大), 学 本間 正葵(日大院), 正 上田 政人 (日大)

Yasuyuki KATO, Miku YOSHIDA, Masaki HONMA, Masahito UEDA

Nihon University 1-8, Kanda Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo

Key Words : Laser Beam, Limit Analysis, Residual Stress, Re-yielding, Elasto-plastic Decomposition, Fourth Irradiation

1. 緒言

これまでの研究では, 薄い金属平板に単一の照射を与え完全に冷却した後に, その照射点に隣接する位置に次の照射を行う断続的な場合を考えて熱弾塑性解析を進めてきた。前報では, 三点目の再降伏までの数値解析を行い, 膜力や曲げモーメントが疑似降伏曲面に到達する位置や照射間距離と再降伏時の表裏の温度差の関係を説明してきた⁽¹⁾。

本報では, 更に多点照射や連続照射の解析を試みて行く前段階として, 四点目照射の再降伏時の内力(膜力及び曲げモーメント)の分布の特徴を照射間の距離を種々に変えて調べる。四点目照射の再降伏時の解析では, 一点目に生成された残留内力に加え二点目, 三点目の照射の過程で新たに生成された残留内力が重なり, より複雑な残留内力の分布が形成される。熱弾塑性解析を行う上で, 照射間隔が広い場合にはそれらの残留内力の影響は小さく, 一方で間隔が小さい場合には大きく影響する。そのため, 四点目照射の再降伏時の内力分布にも, それらの残留内力が影響すると考えられる。特に本報では, これまで行ってきた三点目までの解析結果と比較して再降伏時の内力分布の特徴を明らかにする。

2. 理論

2. 1 三点目照射時までの塑性解析

二点目ならびに三点目の解析では, Fig.1 中の対角線上で降伏する一点目の解析の場合とは異なり, 領域 B で再降伏する。そのため再降伏後の塑性解析は, 複雑になる。

本研究では, 塑性流動側として放射則を採用しているので, 全変形ベクトルを疑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が, 二点目, 三点目の解析では, 変形増分の弾性成分と塑性成分がすべての切り口 $(\bar{s}_r - \bar{s}_\theta, \bar{m}_r - \bar{m}_\theta, \bar{s}_r - \bar{m}_r, \bar{s}_\theta - \bar{m}_\theta)$ で関連しあいながら合理的に数値解析を行わなければならないためである(詳しい説明は, 紙面の都合上ここでは省略する)。

2. 2 三点目の冷却行程の数値解析

一方で, 冷却行程の解析は, 周辺での境界条件を満足するように求めた三点目の冷却行程の内力の分布を三点目の加熱行程終了時の内力の分布に重ね合わせて得られる。

2. 3 四点目の再降伏までの数値解析

四点目の再降伏までの解析は, 三点目の冷却行程の解析と同様に周辺での境界条件を満足するように求めた四点目の再降伏までの内力の分布を三点目冷却終了時の残留内力の分布に重ね合わせて得られる。

2. 4 照射間隔

Fig.2 は, 照射間隔を模式的に示したものである。本数値解析では, 一点目と二点目, 二点目と三点目, ならびに三点目と四点目の照射間隔を同一に設定して計算を行う。

Fig.2 Irradiation distance

3. 解析結果と考察

3. 1 三点目の再降伏時の内力分布

Fig.3 (a)~(c)は, 三点目の再降伏時のモーメントの分布の中で, 照射の進行方向(0[deg]~180[deg])の結果を示したものである。ただし, (a)は, 二点間の照射距離が $r_i = 0.2[\text{mm}]$, (b)は, $r_i = 0.5[\text{mm}]$ であり, これらは一点目で生成される塑性領域($dL = 0.78[\text{mm}]$)よりも照射半径が小さい場合である。一方で, (c)は, $r_i = 1.0[\text{mm}]$ であり, 一点目の塑性領域 dL よりも大きい場合である。これらの図を比較すると, 照射間隔の小さい(a)では, 一点目の残留モーメントが小さく現れるのに対し, 照射点間隔が大きい(c)の場合には, 大きく現れることがわかる。

3. 2 三点目の照射終了時の内力分布

Fig.4 (a)~(c)は, Fig.3 と同一の照射点間隔に対して, 三点目の照射終了時のモーメントの分布を示したものである。(a),(b)では塑性領域が広がることで, 二点目に生成された残留内力が消滅し, 小さくなるのがわかる。これに対して, (c)では, 塑性領域は大きく広がるが, 照射間隔が大きいため, 二点目に生成された残留内力は消滅せず大きく残る。

3. 3 三点目の冷却行程終了後の内力分布

Fig.5(a)~(c)は, 三点目の冷却行程終了時の残留内力の分布である。同様に(a),(b)では一点目ならびに二点目に生成された残留内力は小さく, (c)では, それらが大きく残っている。なお, この場合, 三点目に比べ, 二点目, 一点目の順に残留内力が徐々に小さくなっている様子がこの図からわかる。

3. 4 四点目の再降伏時の内力分布

Fig.6(a)~(c)は, 三点目の照射の冷却行程終了後に四点目の照射を行って得られる四点目の再降伏時のモーメントの分布である。この場合も(c)のように照射点間隔が大きい場合には, 一点目, 二点目, ならびに三点目の残留モーメントが大きく残るが, (a),(b)のように照射点間隔が短い場合は, 直前の三点目の照射時に生成された残留モーメントのみ大きく影響していることがわかる。

3. 5 照射間隔と再降伏時の照射点の表裏の温度差の関係

照射点の間隔と四点目の再降伏時の表裏の温度差の関係をFig.7に示す。この図より照射点の間隔 r_i が小さいほど再降伏時の温度差は高く, 間隔が広がるにつれて温度差

Fig.1 Yield conditions

Fig.3 Distributions of generalized moment at re-yielding of the third irradiation (0-180[deg.])

Fig.4 Distributions of generalized moment after heating process on the third irradiation (0-180[deg.])

Fig.5 Distributions of generalized moment after cooling process on the third irradiation (0-180[deg.])

Fig.6 Distributions of generalized moment at re-yielding of the fourth irradiation (0-180[deg.])

Fig.7 Temperature difference and irradiation distance

Fig.8 Temperature change for each irradiation distance

は低くなるが、さらに間隔が広がると温度差は僅かに増加する傾向を示す。この図には、残留内力の影響をまったく受けない一点目の塑性領域 dL を破線で示しているが、温度差の最小値はこの近くに存在することがわかる。Fig.8 は、二点目の照射以降で得られる再降伏時の表裏の温度差の変化を、異なる照射間隔ごとに示した図である。照射間隔が小さい場合には照射毎に温度差が増加し、逆に照射間隔が大きい場合には温度差が減少する傾向を示す。

4. 結言

照射点の間隔を変えて四点目の再降伏時までの内力の分布を調べた。また、照射点の間隔と四点目に再降伏する時の照射点の温度差の関係を明らかにした。

文献

- (1) 加藤, 本間, 他, "レーザー照射を受ける薄板の熱弾性解析 (三点目照射時の再降伏条件と塑性解析について)", 第21回計算力学講演会講演論文集, No.08-33(2008-11), pp.478-479