

振動利用技術と振動応答計算法について

On Vibration-assisted Manufacturing and Vibration Analysis Method

○青木 繁(都立産技高専)

Shigeru AOKI, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology, 1-10-40 Higashi-Ohi, Shinagawa-ku, Tokyo 140-0011

1. 緒言

振動を利用した加工法は多くの分野で使われている¹⁻²⁾. 著者も振動を利用した穴開け加工などの研究を進め, その有効性の評価をしてきた³⁾. 著者はまた一方で, 地震応答計算についての研究も進めてきた⁴⁻⁵⁾. 本報告では, 溶接の際に超音波振動を利用することによって残留応力を低減することができることを示し, このことの有効性を示すために地震応答解析で用いた塑性変形を考慮した振動応答計算法を応用した例を示す.

2. 弾塑性履歴復元力特性をもつ系の不規則振動応答

構造物が過大な入力を受けると応答が塑性域に入る. 構造物の振動特性を表す力学モデルとして図 1 に示す最も簡単な 1 自由度系を考える. 構造物が繰り返し入力を受ける場合に, 復元力は図 2 に示すような履歴特性をもつ. 履歴特性として図 2 に示す bilinear 履歴特性を考える. この履歴特性では, 降伏力 Z_e および降伏後剛性と降伏前剛性の比 β ($0 \leq \beta \leq 1$) がパラメータとなる. この履歴特性では, 履歴特性がない弾性系と比較すると, 復元力 (加速度応答) が抑制され, 塑性変形に伴う変位応答が大きくなる. 一方で, 履歴特性によって囲まれる面積が吸収エネルギーとなるため, 変位応答も低減されることが期待される.

入力として不規則振動を考え, 地盤特性を考慮した非定常地震動入力とする. 図 1 の質点と入力端の相対変位 $z = x - y$ に注目し, 自乗平均応答の最大値を求めた⁷⁾. 結果を図

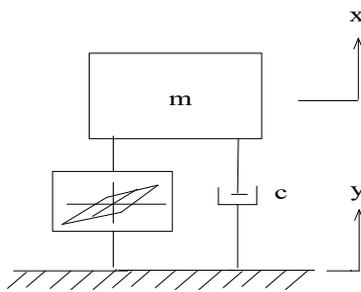


Fig.1. Single-degree-of-freedom system

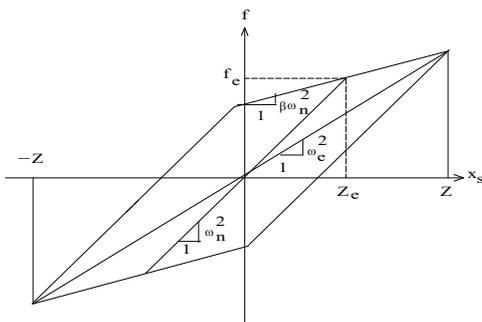


Fig. 2. Bilinear hysteresis loop characteristic

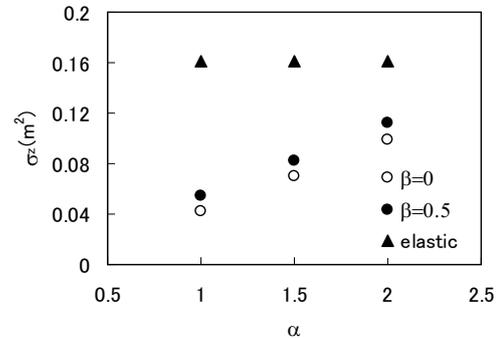


Fig. 3 The maximum value of the mean square value of the response ($\zeta=0.01, T_n=0.5s, \zeta_g=0.4, T_g=0.5s$)

3 に示す. ζ および T_n はそれぞれ 1 自由度系の減衰比および弾性域での固有周期, ζ_g および T_g はそれぞれ地盤の減衰比および固有周期を表す. 弾性系の応答に対して弾塑性履歴特性をもつ系の応答が小さくなっている. 降伏変位が小さい (α が小さい) ほど応答が小さくなっている. β が大きいほど弾性系に近づくために応答が大きくなる.

3. 振動を利用した溶接残留応力低減法

溶接は多くの構造物に用いられている接合法である. 溶接は局部的に熱を加える加工法であるために, 溶接部付近に引張残留応力が生じる. 部材表面の引張残留応力は疲労強度などに悪影響を及ぼすために, 低減方法が考えられている. 著者は振動を利用して残留応力を低減することを考えた.

図 4 に示す試験片の中央部に深さ 2 mm の溝を付け, この溝に沿って肉盛溶接をした. ビードの中心から 110 mm のところに 17.8 kHz の超音波振動を加えながら溶接した. 比較のために超音波振動を加えずに溶接した試験片も製作した. 図 5 に示す試験片の中心線上の 5 点でビード方向の残留応力を測定した. その結果を図 6 に示す. 超音波振動を加えることによってビード中央部付近で引張残留応力が低減されることが明らかになった.

4. 残留応力低減に対する応答計算法

残留応力の低減を定性的に検討する. 溶接直後の金属の

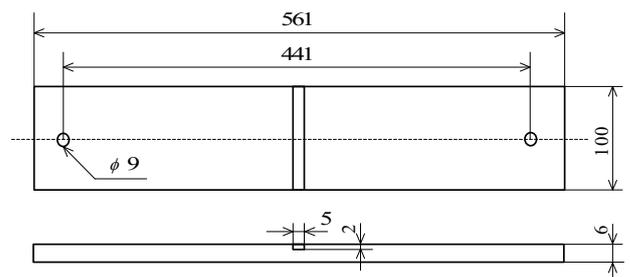


Fig. 4 Shape and size of specimen with groove (mm)

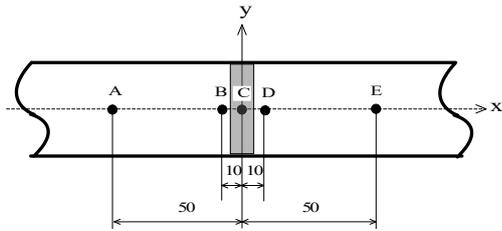


Fig. 5 Measuring locations of residual stress (mm)

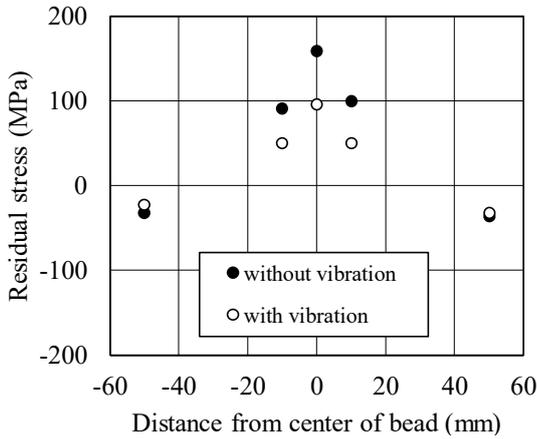


Fig. 6 Residual stress on thin plate with groove

降伏力は極めて低く、小さい力で容易に塑性変形すると考えられる。このことを考慮して、2章で示した弾塑性変形を考慮したモデルを用いたシミュレーションによって残留応力の低減を検討した。

図7に示す2次元モデルを考える。縦方向 (y 軸方向) がビード方向である。振動はビード直角方向に加えられるものとする。それぞれのばねは図8に示す弾塑性特性をもつものとした。縦方向に Z_e だけ引張ったときの復元力 $k_y Z_e$ が振動を加えない場合の残留応力とする。振動入力を受けた場合に塑性変形を生じるとに残留応力が低減されるものとした。

表1に振動を加えながら溶接した場合の残留応力と振動を加えずに溶接した場合の残留応力の比を示す。 F_e/mU は降伏力と入力振幅の比、 σ_{yi}/F_e は振動を加える前の残留応力と降伏力の比を表す。すべての条件で振動を加えると残留応力が低減されている。また、入力が大きいほど、振動を加える前の残留応力が大きいほど低減率が大きいことが示された。

5. 結言

構造物は過大な入力を受けると応答が塑性域に入る。塑性変形による履歴復元力特性をもつ系について応答の特徴を示した。振動を利用して溶接による残留応力を低減する方法を示した。残留応力の低減を弾塑性特性をもつ系を用いたシミュレーションによって定性的に確認した。

6. 文献

- 1) 鬼鞍宏猷, 神雅彦, やさしい超音波振動応用加工技術, 養賢堂, 2015.
- 2) 磯部浩己, 原圭祐, 超音波振動加工技術, 科学情報出版, 2017.
- 3) 青木繁, 振動が機械加工に及ぼす効果の評価, 第41回

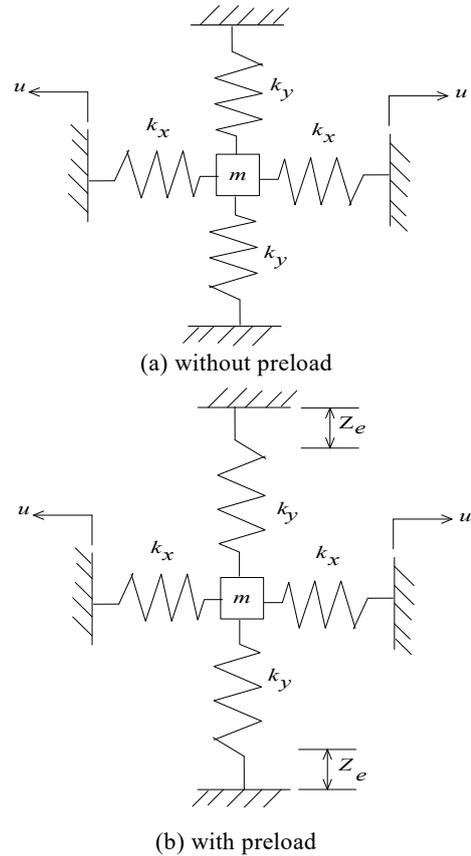


Fig. 7 Analytical model for reduction of residual stress

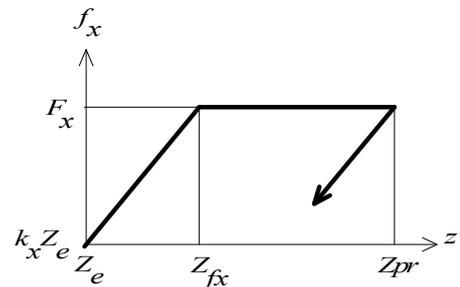


Fig. 8 Force-displacement relation of springs

Table 1 Ratio of residual stress with and without vibration

σ_{yi}/F_e	F_e/mU				
	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
0.9	0.13	0.46	0.62	0.71	0.78
0.7	0.15	0.53	0.71	0.82	0.89

数理科学講演会, B205, 2022.

- 4) 青木繁, 不規則振動入力を受ける構造物の初通過破壊確率の計算法, 数理科学論文集, Vo.6, No.1, 2004, pp.3-8.
- 5) 青木繁, 不規則振動入力を受ける非線形構造物に対する等価線形化法について, Vol.7, No.1, 2005, pp.9-13.
- 6) Aoki, S., Seismic Control of Structure Using Energy Absorption by Elasto-plastic Hysteresis Loop Characteristics, 2006 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, PVP2006-ICPVT11-93090, 2006.