

I - A272 溶接残留応力が繰り返し面内力を受ける平板の 履歴吸収エネルギーに及ぼす影響

武蔵工業大学 学生員 鈴木一孝

武蔵工業大学 フェロー 増田陳紀 武蔵工業大学 正会員 白旗弘実

1. 研究の背景および目的

鋼材の応力～ひずみ関係の違いが耐震性能に及ぼす影響についての検討が行われてきているが、その影響を定量的に表わすためには十分なデータの蓄積が必要である。河上ら¹⁾はその基礎的な検討として、繰り返し面内力を受ける平板を解析対象とし、応力～ひずみ関係をバイリニアモデルにモデル化して、一定のヤング率、降伏応力の下で降伏後のひずみ硬化係数の違いが耐震性能の指標の一つである履歴吸収エネルギーに及ぼす影響を考察している。しかし、この検討では初期不整合として残留応力を考慮していない。本研究では残留応力を導入し、残留応力が履歴吸収エネルギーに及ぼす影響を検討する。

2. 解析対象である周辺単純支持正方形板の概要

本研究の解析対象は図-1 に示す正方形鋼板であり、対称性を考慮して 1/4 部分を用いる。幾何学的境界条件は周辺単純支持とする（ $x=0$ において $y=z=\theta_x=\theta_z=0$ 、 $x=33.75$ において $x=\theta_y=\theta_z=0$ 、 $y=0$ において $z=0$ 、 $y=33.75$ において $y=\theta_x=\theta_z=0$ ）。鋼材の応力～ひずみ関係を図-2 に示すバイリニアモデルでモデル化する。

平板のヤング率 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力 $\sigma_y=235\text{MPa}$ 、一辺の長さ $a=b=67.5\text{cm}$ 、座屈係数 $k=4$ とする。本研究のパラメータであるバイリニアモデルのひずみ硬化係数 Et は鋼材のヤング率 E の 0%, 1%, 2%, 4%, 10% の範囲とし、またもう一つのパラメータである幅厚比パラメータ R は式-(1)で与えられ、解析対象の板厚 t を変化させることにより、幅厚比パラメータ R を変化させ、 $R=0.2\sim0.9$ で 0.1 刻みの範囲でパラメトリック解析を行なう。板の初期不整合は、初期たわみ、および溶接による残留応力を導入し、初期たわみ W_0 は式-(2)で与え、載荷辺長の 1/500 が最大となるようにし、残留応力の大きさは引張残留応力を降伏応力、圧縮残留応力を降伏応力の 1/3 として導入する。荷重条件は x 軸方向に図-3 に示す漸増の繰り返し載荷パターンを変位制御で行なう。残留応力の大きさ、分布形状は図-1 に示した通りである²⁾。解析に使用する要素は 1 節点 6 自由度、4 節点 1 要素の曲面シェル要素とし、板厚方向に積分点を 11、平板の 1/4 部分を 20×20 分割する。なお鋼材の応力～ひずみ関係の硬化則、流動則にはそれぞれ移動硬化則、von Mises の降伏関数を用いた関連流動則を用いる。解析には汎用コード ABAQUS を用いた。

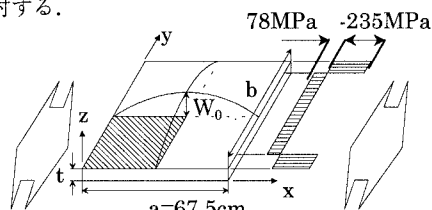


図-1 解析対象である周辺単純支持正方形板(正が圧縮)

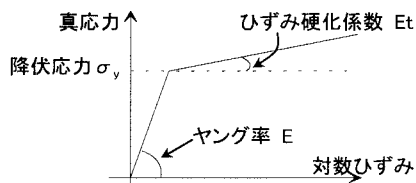


図-2 鋼材の応力～ひずみ関係のモデル化

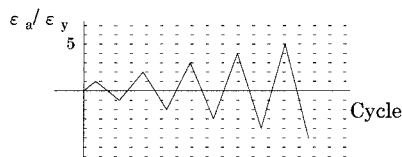


図-3 載荷パターン

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad \dots(1)$$

$$W_0 = \frac{1}{500} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) \dots(2)$$

$$\sigma_a = \frac{P}{bt} \dots(3) \quad \epsilon_a = \frac{\Delta l}{b} \dots(4) \quad E\epsilon = \frac{\sigma_y \epsilon_y}{2} \dots(5)$$

Key Words: 周辺単純支持正方形板, バイリニアモデル, 移動硬化則, von Mises の降伏関数

3. 繰り返し荷重を受ける平板の溶接残留応力が履歴吸収エネルギーに及ぼす影響

残留応力考慮、非考慮時の繰り返し荷重を受ける平均応力～平均ひずみ関係を図-3に示す。図-4は図-3の平均応力～平均ひずみ関係の2サイクル目までの拡大図である。ただし、平均応力 σ_a と平均ひずみ ε_a を式(3)、式(4)から求め、圧縮を正とする。ここで、 P は荷重辺の反力、 Δl は平板の x 軸方向面内変位量である。この平均応力～平均ひずみ関係において各ループの囲む面積が履歴吸収エネルギーとなる。また、図-5(a), (b)はそれぞれ1サイクル目まで、2サイクル目までの履歴吸収エネルギー～幅厚比パラメータ関係を表わしたものである。グラフの縦軸は式(5)で無次元化している。図-3, 4を見ると、残留応力により圧縮側で一部、若干の耐力力増大が認められるが、全体としては同様な挙動を示すことが分かる。

1 サイクルでの平均応力～平均ひずみ関係の違い

図-4より残留応力の有無により1サイクル目の平均応力～平均ひずみ関係の違いが認められる。残留応力考慮の場合の方が非考慮時に比べて大きなループを描いている。この結果、1サイクル目において、残留応力を考慮した方が、非考慮時よりも履歴吸収エネルギーが増加する。このことは図-5(a), (b)を見ると明らかで、幅厚比パラメータ $R=0.4$ でひずみ硬化係数 $Et=1\%$ の場合、約130%の上昇が見られ、その他の幅厚比パラメータ、ひずみ硬化係数の場合を含め、平均して約120%の増加が見られた。しかしながら、2サイクル以降の履歴吸収エネルギーの違いは1サイクルほどの違いはなく、残留応力の有無による履歴吸収エネルギーの影響はほとんどなくなる。

4. 終わりに

今回計算した10サイクルまでの残留応力の有無による履歴吸収エネルギーの総和への影響は、今回のひずみ硬化係数、幅厚比パラメータの範囲では、最大でも約6%の増加となっており、残留応力の有無による履歴吸収エネルギーへの影響はほとんど無く、むしろ残留応力を考慮した方が吸収エネルギーが増加している。よって、吸収エネルギーの観点から言えば、残留応力は耐震性能を低減するものではないといえる。

【参考文献】

- 1) 河上守, 増田陳紀, 白旗弘実: 鋼材の応力～ひずみ関係が繰り返し荷重を受ける平板の履歴吸収エネルギーに及ぼす影響について, 土木学会第53回年次学術講演会概要集, I-A153, 1998
- 2) 佐藤邦彦: 溶接構造要覧 (pp95～113, pp159～169) 1988.3.1

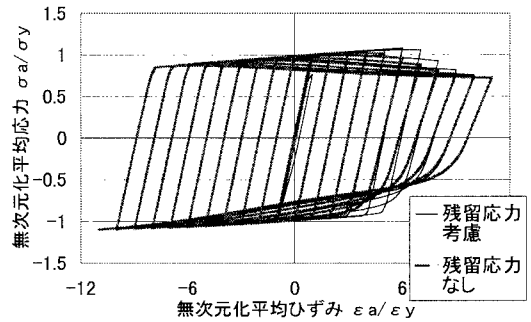


図-3 平均応力～平均ひずみ関係($Et=1\%$, $R=0.4$)

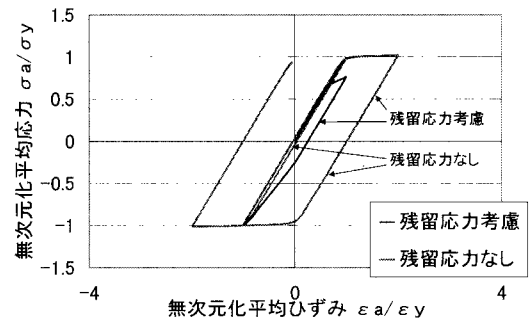


図-4 図-3における2サイクル目までの拡大図

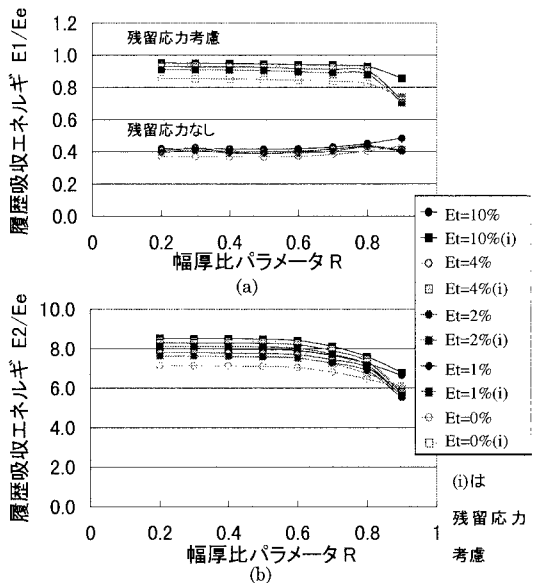


図-5 履歴吸収エネルギー～幅厚比パラメータ関係
(a)1サイクル目まで, (b)2サイクル目まで