

B06 仮付けを考慮した溶接変形解析

今 智史 (指導教員 柴原正和・伊藤真介)

Investigation of Influence of Tack Welds on Welding Distortion by Thermal Elastic Plastic FE Analyses

by Satohsi Kon

Abstract

Recently, heavy thick steel plate is used for ship structure and multi-pass welding is usually adopted for the joining of the thick plate. Predicting welding deformation of first pass is important because the rate of welding deformation in first pass is large. Accordingly, it is important to examine to predict welding deformation in first pass of the multi-pass welding. In this study, in order to predict the deformation of first pass in butt welding of thick plate the effect of such as the interval between tack welds and plate thickness on welding deformation. Form the result, it is found that the amount of transverse shrinkage and angular distortion can be reduced with increasing in the number of tack and plate thickness in first pass. And, it is shown that root gap can be opened in high speed weld and root gap can be closed in low speed weld.

1. 緒 言

近年、製造業において構造を単純化した合理化の採用が進んでいる。構造を単純化すると厚板化が進み、例えば、鋼鉄橋梁では板厚 80 mm を超える鋼板が用いられることがある¹⁾。また、船舶においても輸送効率を向上させるために、船体の大型化²⁾が進んでいるケースも存在する。そのため、コンテナ船のハッチコーミングなど厚板が使用される機会が増えている。厚板を溶接する際は、一般に、多層溶接³⁻⁵⁾が行われるが、その厚さのため剛性が高く変形が生じると矯正が非常に困難である。そのため、溶接変形を事前に予測し、適正な溶接施工条件について事前に検討することが重要である。多層溶接は、自拘束の影響から初パスにおける溶接変形が後続の溶接による変形と比べ大きく、初パスから数パスの施工における溶接変形が最終変形の大部分を占めるといった特徴がある。このことから、初パスにおける厚肉鋼板の突合せ溶接の変形挙動を把握する為には初パスにおける溶接変形の発生メカニズムについて検討することが重要である。

厚肉鋼板の溶接変形に関する既往の研究としては、寺崎らによる多層溶接において溶接順序が角変形に大きく影響することを実験的に明らかにした研究⁶⁾が報告されている。また、突合せ多層溶接の溶接変形を支配する因子の影響についてもまた寺崎ら⁷⁾により示されている。しかし、一連の研究において、初パスの溶接変形はビードオンプレートモデルによる考察を用いた評価となっており、仮付けが溶接変形に与える影響が大きいため仮付けの影響を考慮する必要があると考えられる。また、仮付け以外に初パスの溶接変形に及ぼす因子として、板厚、タブ板、治具拘束などが挙げられる。これらの因子が多層溶接の初パスにおける溶接変形におよぼす影響について定量的に検討を行った研究は少ない。このことから、これらの因子について検討を行うことが有用であると考える。

そこで、本研究では数値解析を用いて多層溶接初パスにおける仮付けをはじめとする諸因子が及ぼす多層溶接初パスの溶接変形に及ぼす影響について検討を行う。

2. 仮付けおよびルートギャップを考慮した FEM 熱弾塑性解析

溶接変形解析においては、溶接部の要素はあらかじめ生成され、その要素を加熱することにより応力や変形を解析するのが一般的である。しかしこの手法では、トーチ前方に存在する要素が剛性を有するため、実際より剛性を高く評価してしまう可能性がある。そこで本研究では、仮付けをおよびルートギャップを考慮した FEM 熱弾塑性解析を採用することで、実施工に近いビードの進行を再現する。

3. 多層溶接の初層における解析

多層溶接においては、パス数の少ない溶接初期の段階において、変形増分が大きくパス数が増え、溶接が進むほど変形増分は小さくなることが知られている。そこで、本研究では、多層溶接における初パスに注目し、仮付け溶接間隔および板厚が溶接変形に及ぼす影響について詳細に検討を行った。

3. 1 解析モデルおよび解析条件

解析においては、溶接速度の大きく異なる 2 ケースを採用し、その影響について調べた。ひとつは高速溶接で溶接速度 15 mm/s、電流 220 A、電圧 26 V、入熱効率 0.7 である。もうひとつは、低速溶接として溶接速度 1.6 mm/s、電流 160 A、電圧 15 V、入熱効率 0.7 である。また、対象試験体寸法については、Fig. 1 に示すように、板の長さ 800 mm、幅 150 mm の板継溶接モデルであり、板厚に関しては、Fig.2 に示すように、6 mm、12 mm、16 mm、25 mm、40 mm、60 mm の 6 種類の異なる板厚を解析対象とした。ルートギャップは 2 mm、開先角度は 60 度とし、

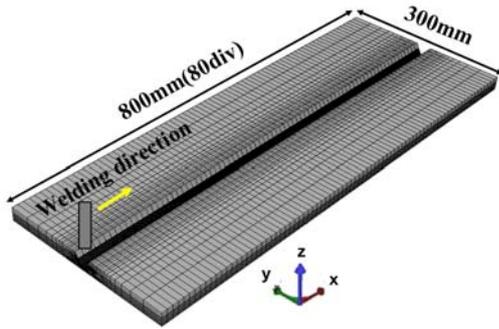


Fig. 1 Analysis model.

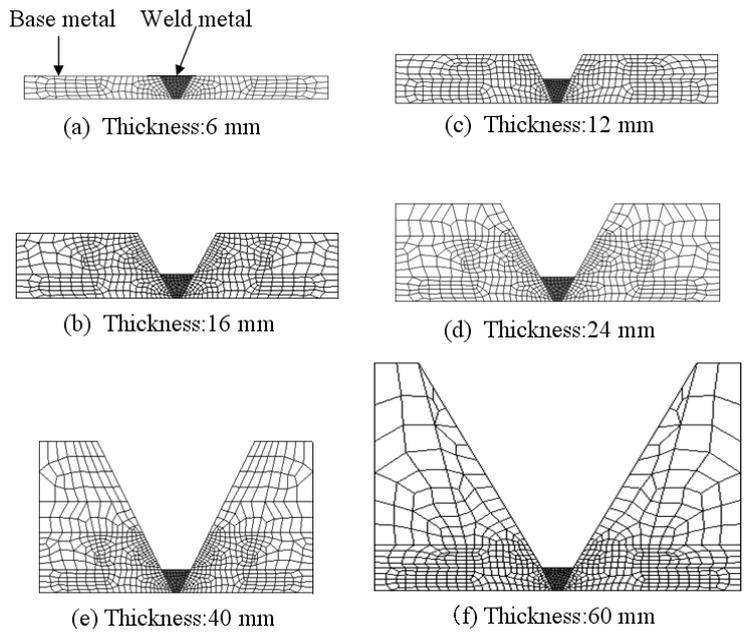


Fig 2 FE mesh division.

Table 1 Tack welds condition.

	The number of tack welds, Ntw	The distance tack welds, Dtw (mm)
Case 1	2	800
Case 2	3	400
Case 3	5	200
Case 4	9	100
Case 5	1	0

要素分割は、溶接線方向(x方向)に80分割、板幅方向(y方向)、板厚方向(z方向)に溶接線近傍部を細かくした不等分割を採用した。また、本研究において、仮付けの個数を Ntw (個)、平均仮付け間隔を Dtw (mm)と定義する。解析ケースは Table 1 に示す 5 ケースを仮定して行い、仮付けの大きさは全て長さ 20 mm で高さ 6 mm である。Fig. 1 に示すように $x=0$ mm の位置から溶接を開始した場合を想定し解析を行った。

3. 2 解析結果

3. 2. 1 仮付けの影響

Fig. 3 (a)~(e)に Case 1~5 の仮付けを施行した場合における変形図を示す。同図は、板厚 t が 6 mm の場合である。

図中の色は、z 方向変位分布を示し、変形倍率 40 倍である。同図より、仮付け間隔が増加するに従い、角変形量が小さくなることを確認できる。Fig. 4 (a)(b)には $t=6$ mm の場合における高速溶接時・低速溶接時それぞれの角変形の溶接線方向の分布を示す。縦軸には角変形量を示し、横軸には溶接線方向座標 (x 座標) を示す。図中の○、△、□および▽印はそれぞれ仮付けが 2 点、3 点、5 点および 9 点の場合を示し、◆印は溶接前に溶接線上の要素が同時に出現する従来手法による解析結果を示している。同図より、仮付けが個数が増えるに従い、角変形が小さくなっていることがわかる。また、低速溶接に比べ、高速溶接の方が、角変形が大きくなっていることが確認できる。同様に、Fig.5 (a)(b)に横収縮分布を示す。縦軸には

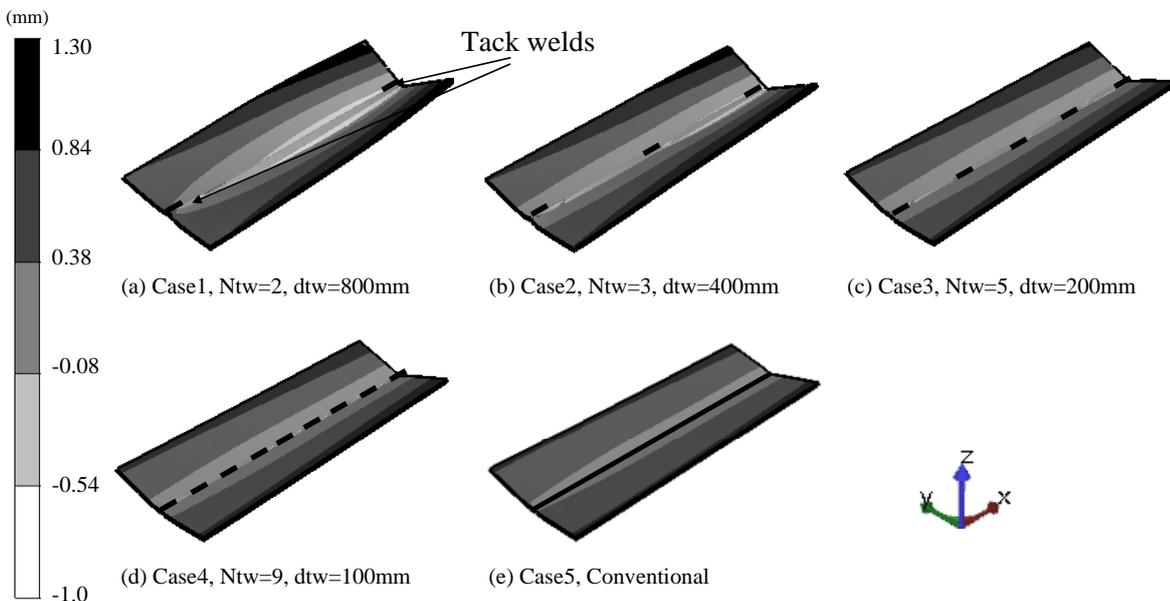
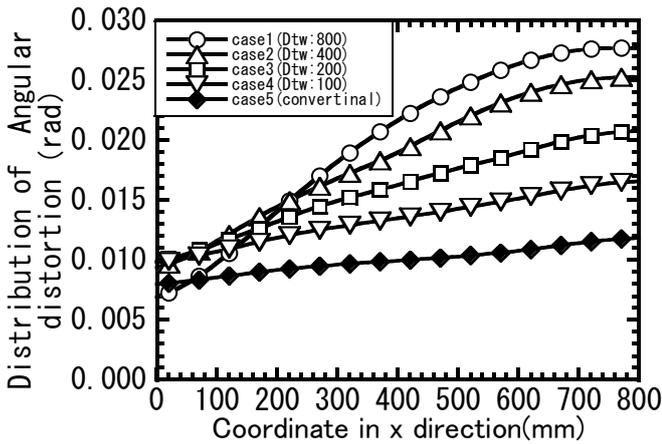
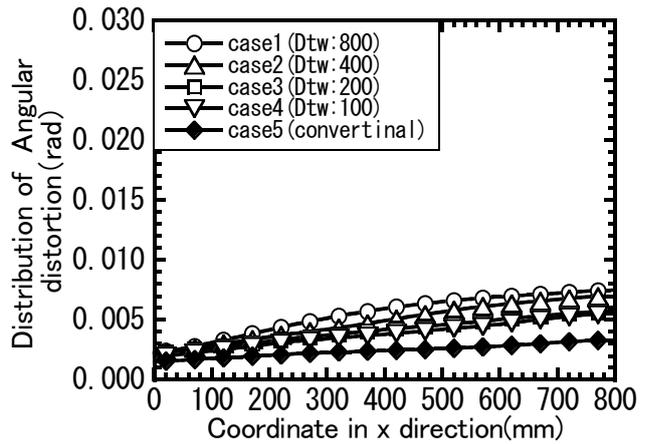


Fig. 3 Distribution of displacement in z-direction with deformation.

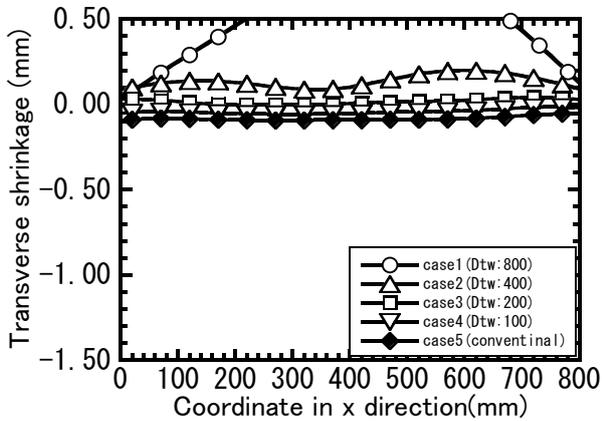


(a) High speed weld (v=15 mm/s)

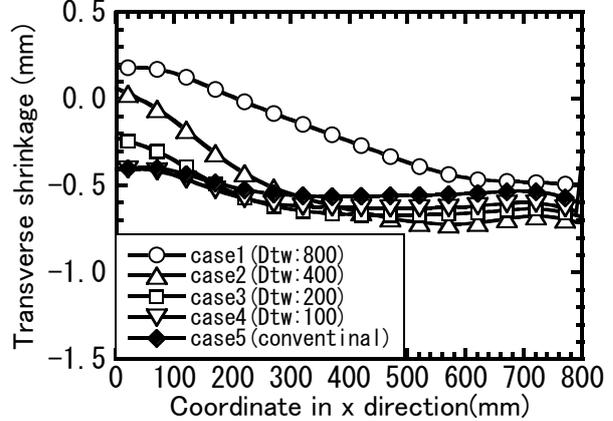


(b) Low speed weld (v=1.6 mm/s)

Fig. 4 Influence of distance of tack welds (Dtw) on angular distortion (t=6 mm).



(a) High speed weld (v=15 mm/s)



(b) Low speed weld (v=1.6 mm/s)

Fig. 5 Influence of distance of tack welds (Dtw) on transverse shrinkage (t=6 mm).

に横収縮量を示し、横軸には溶接線方向の座標 (x 座標) を示す。同図(a)より、仮付けが高速溶接の場合においては、仮付け間隔が大きくなるに従い、横収縮量が小さくなるが、同図(b)に示す低速溶接の場合においては、仮付け間隔が 800 mm の Case 1 の場合を除き、仮付け間隔が大きいかほど横収縮量が大きくなる傾向が得られた。

3.2.1 板厚の影響

次に、板厚の影響について検討を行う。Fig. 6 (a) (b) に、板厚が角変形量に及ぼす影響を示す。角変形量は溶接線中央部での値を示す。図中の横軸には板厚を示し、縦軸に角変形量を示す。図中の○、△、□および▽印はそれぞれ仮付けが 2 点、3 点、5 点および 9 点の場合を示し、◆印は溶接前に溶接線上の要素が同時に出現する従来手法による解析結果を示している。同図(a) (b)より板厚が厚くなるに従い、また、仮付け間隔が小さくなるに従い、角変形量が小さくなること分かる。Fig. 7 (a) (b)は、板厚が横収縮量に及ぼす影響について示す。横収縮量は溶接線中央部での値である。横軸には板厚を示し、縦軸に横収縮量を示す。同図(a) (b)より板厚が厚くなるに従い横収縮量が小さくなること確認できる。一方、低速溶接の場合においては、高速溶接の場合とは逆に、仮付け間隔が大きいかほど、横収縮量が大きくなる傾向にあることが

確認できる。この理由として、高速溶接では面内回転変形によりルートギャップが開き、一方、低速溶接ではルートギャップが閉じるような変形傾向にあることが理由として挙げられる。Fig. 8 に t=6 mm 仮付け間隔 800 mm における y 方向変位分布(変形倍率 50 倍)を示す。同図からも、高速溶接時では面内回転によりルートギャップが開くような変形が発生し、また、低速溶接時では、閉じる変形が発生することが確認できる。

4. 結言

本研究では、理想化陽解法 FEM による熱弾塑性解析を用いて多層溶接初パスにおける仮付けや板厚等の諸因子の検討を行った結果以下の知見を得た。

- 1.板が厚くなるに従い、角変形量・横収縮量が小さくなることを確認した。
- 2.板厚が大きくなるに従い、仮付け間隔がおおよそ角変形量・横収縮量に及ぼす影響が小さくなることを確認した。
- 3.高速溶接においては、ルートギャップが開く面内回転により横収縮が小さくなり、また、低速溶接においては、ルートギャップが閉じるような面内回転変形により横収縮が大きくなること分かった。

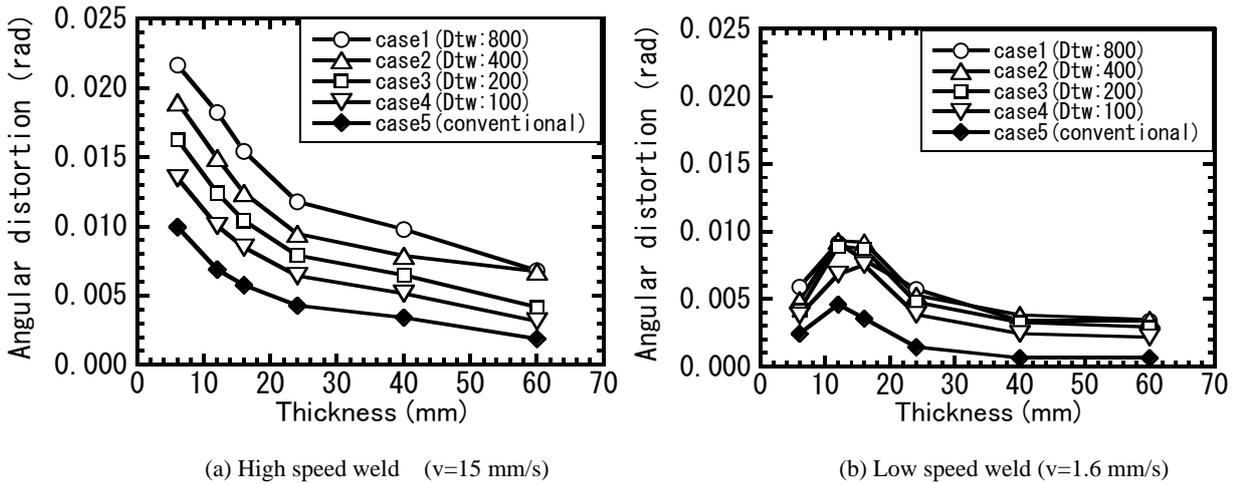


Fig. 6 Influence of thickness of plate and distance of tack welds (Dtw) on angular distortion (x=400 mm)

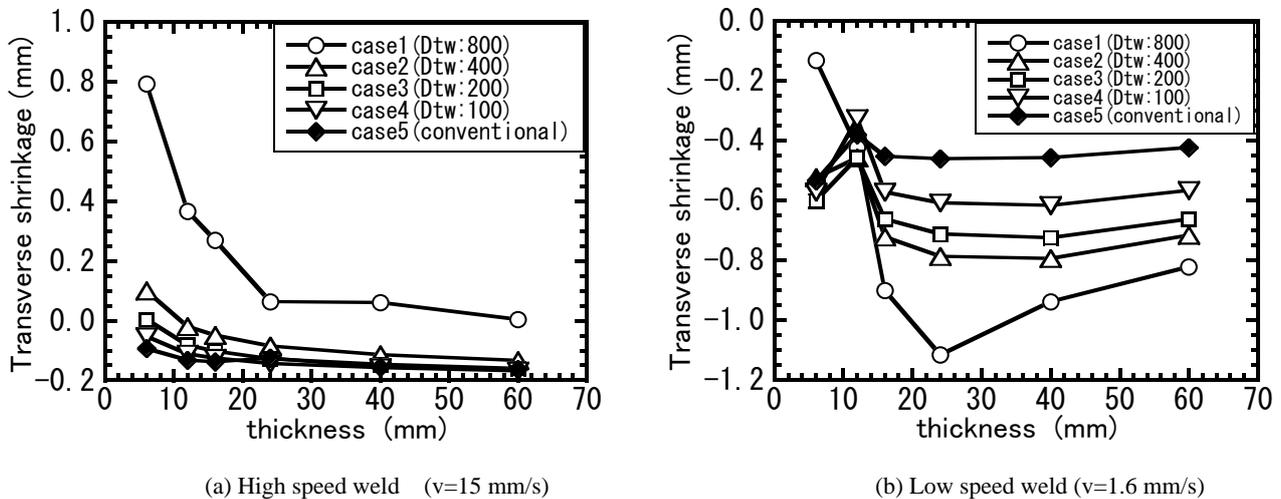


Fig. 7 Influence of thickness of plate and distance of tack welds (Dtw) on transverse shrinkage (x=400 mm)

参考文献

- 1) 日立造船 (株) 中谷光良, 山崎洋輔, 北川彰一, 日立造船鉄構 (株) 横谷一人, 谷数和彦, 多層溶接溶接継手の溶接変形推定手法の開発, 溶接学会全国大会講演概要 第 83 集 pp. 278-279
- 2) 長谷薫, 幸村正春, 造船の建造方法を変えた片面サブマーリアーク溶接法の開発と発展, 神戸製鋼技報/Vol. 50 No. 3 (Dec, 2000)
- 3) 柴原正和, 村川英一, 界面要素を用いた FEM による高温割れに関する理論的研究, 関西造船協会論文集 第 237 号 pp. 237-245
- 4) 戸村雄大, 内海造船, 佐野仁則, 村川英一, 各種継手における収縮に及ぼすルートギャップおよび仮付けの影響に関する理論的検討, 溶接学会全国大会公演概要 第 91 集 pp. 262-263
- 5) 寺崎俊夫, 石村知樹, 松石研一, 秋山哲也, ビードオンプレート溶接継手に生じる縦収縮に関する研究, 溶接学会論文集 第 20 巻 第 1 号 pp. 136-142
- 6) 今村博行, 寺崎俊夫, 上谷佳祐, 突合せ多層溶接により生じる各パスごとの溶接変形とその特徴, 溶接学会全国大会公演概要 第 83 集 pp. 276-277
- 7) 佐藤邦彦, 寺崎俊夫, 多層溶接の溶接変形におよぼ

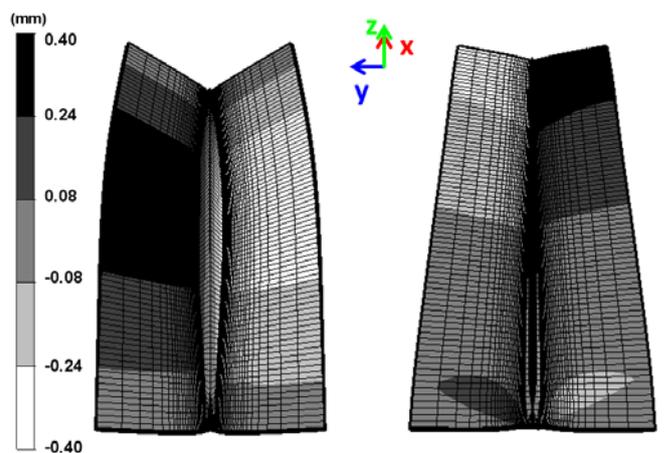


Fig 8 Distribution of x displacement

す溶接諸条件の検討, 溶接学会誌 第 45 巻 (1976) 第 6 号 pp. 464-470

- 8)
- 9) 寺崎俊夫, 北村貴典, SUS304 の溶接変形・固有ひずみに及ぼすパス数の影響, 溶接学会全国大会講演概要 第 83 集 pp. 278-279
- 10) 柴原正和, 村川英一, 板継溶接における横収縮におよぼす諸因子の影響に関する検討, 関西造船協会誌 第 203 号 pp. 263-272
- 11) 上田幸雄, 村川英一, 奥本泰久, 顧斯美, 中村光政, 高精度組立のための溶接変形シミュレーション: (第二報) 板継溶接時の面内変形に及ぼす初期不整の影響, 日本造船学会論文集 第 172 号 pp. 559-566
- 13) 寺崎俊夫, 山川大祐, 突合せ残留応力・溶接変形の数値解析方法に関する研究, 日本造船学会論文集 第 194 号 p. 211-217
- 12) 寺崎俊夫, 藤川貴陽, 北村貴典, 秋山哲也, 2 パスで生じる溶接変形の特徴, 溶接学会論文集 第 26 巻 第 1 号 pp. 187-194