

CO₂ ガスシールド半自動アーク溶接の溶接施工管理条件の合理化に関する研究

建築学専攻
建築鋼構造研究

MJ23034 小野 純一郎
指導教員 浅田 勇人

1. はじめに

鋼構造建築物の溶接接合部では、溶接金属強度が母材強度を上回ることが要求される。溶接金属強度の支配因子の一つである冷却時間は、CO₂ ガスシールド半自動アーク溶接の場合、入熱 HI とパス間温度 IT を管理することで間接的に制御される。そのため表 1 に示す国土交通大臣認定工場の性能評価基準では、490N/mm² 級鋼材の溶接施工において、現状、溶接ワイヤに YGW18 を用いた場合、 HI は 40kJ/cm 以下、 IT は 350℃以下の管理値のみが規定されている。一方で、梁端接合部の完全溶込み溶接では、塑性変形能力を確保する上でフランジ開先を十分に溶け込ませることが重要であるため、 $HI \leq 30\text{kJ/cm}$ とした施工が望ましい¹⁾。また、パス間温度については要求性能を満足できる前提で管理値を緩和できれば、溶接施工効率の向上も期待できると考えられる。

そこで本研究では、490N/mm² 級鋼材を対象として、溶接ワイヤに YGW18 を用い、 $HI \leq 30\text{kJ/cm}$ 、 $IT \leq 450^\circ\text{C}$ とする溶接施工管理条件（以下、提案条件）の妥当性の検証ならびに当該条件における合理的なパス間温度管理方法を提示することを目的とする。

2. 従来条件との溶接施工効率の比較・検討

2.1 試験計画

まず、提案条件による溶接施工効率を検討するため、溶接施工試験を実施した。試験体形状を図 1 に示す。試験体はフランジとダイアフラムの完全溶込み溶接を模した板継手形式試験体である。フランジ幅 B_f はフランジ厚 t_f に対応する JIS 圧延 H 形鋼の最小幅とし、 IT が上昇しやすい条件とした。ダイアフラムの板厚 t_d は、 t_f の 2 サイズアップとした。開先形状は、図 2 に示す通りレ形開先とし、溶接姿勢は下向きである。溶接ワイヤには YGW18 ($\phi 1.2$) を用いた。溶接方向は全パスでアークスタート位置が同一となる一方向溶接とした。

溶接積層を図 3 に示す。提案条件では、図 3(a) に示す文献 2) で提示される入熱量 30kJ/cm 以下の溶接積層とし、 IT の管理値は 450℃以下とした。

従来条件は、図 3(b) に示す入熱量 40kJ/cm 以下の溶接積層とし、 IT の管理値は 350℃以下とした。なお、 IT による待ち以外は極力溶接パス間のインターバルが生じないように、なるべくスラグ除去も行わずに実施した。

2.2 計測方法

溶接時には、 IT を管理するため図 1 および図 2 に示す開先肩から 10mm の梁フランジ表面にて、K 熱電対を取り付けて温度を実測した。 IT とは計測した温度の各溶接パス間での最低温度である。

2.3 施工試験結果

温度履歴を図 4 に示す。提案条件と従来条件を比較すると、各パスの温度上昇は従来条件の方が大きくなり、管理値を超えるタイミングは従来条件の方が早くなる。

提案条件と従来条件の溶接作業時間の比較を図 5 に示す。溶接作業時間は溶接時間とパス間温度管理等によ

表 1 溶接施工条件

適用鋼材の引張強さ	ワイヤの種類	溶接条件	
		入熱 (kJ/cm)	パス間温度 (°C)
400MPa級	YGW11, 15, 18, 19	40以下	350以下
		30以下	450以下
490MPa級	YGW11, 15	30以下	250以下
	YGW18, 19	40以下	350以下

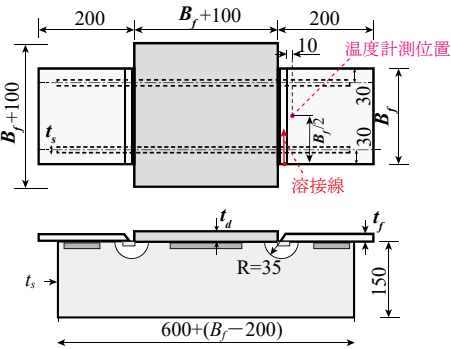


図 1 試験体形状

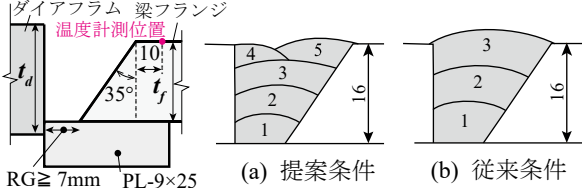


図 2 開先形状

図 3 溶接積層 ($t_r=16\text{mm}$)

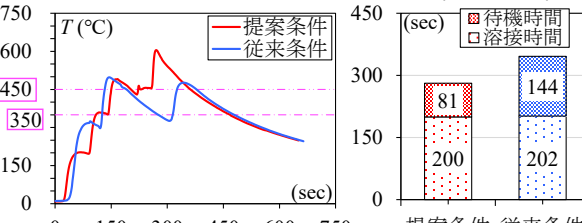
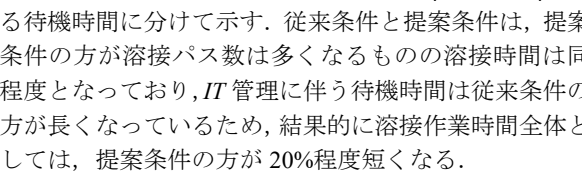


図 4 温度履歴 ($t_r=16\text{mm}$)

図 5 溶接作業時間 ($t_r=16\text{mm}$)



3. 提案条件での溶接金属強度

3.1 試験計画

提案条件の溶接金属強度を調べるために、溶接金属 (DEPO) 引張試験と熱伝導解析を行った。試験体形状は図 1 同様の板継手試験体である。対象とするフランジ厚 t_f は通常の建築鉄骨で用いられる 12~40mm とした。

3.2 熱伝導解析

溶接金属強度の影響因子の一つである冷却時間を定量的に求めるため、汎用解析プログラム Abaqus ver.2022 を用いた非定常熱伝導解析を行った。解析モデルを図 6 に、溶接部形状の例を図 7 に示す。

解析と実験の温度履歴の比較を図 8 に示す。解析は温度測定点の温度履歴を精度良く追跡できている。

3.3 溶接金属強度の推定方法

解析により得られた冷却時間 $T_{8/5}$ を用いて溶接金属強度（引張強さ σ_u ）を推定する。ここでは、文献3)で提案されている $T_{8/5}$ と溶接金属の炭素当量 $\bar{C}_{eq}$ を変数とした式(3)を用いる。

$$\sigma_u = -\bar{C}_{eq}(242 \log_{10}(T_{8/5}) - 1260) + 276 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

3.4 引張試験結果に対する推定精度

DEPO の引張試験結果と解析で求められた $T_{8/5}$ によって推定した σ_u の比較を図9に示す。実験値の σ_u は、溶接金属の要求強度である母材の規格下限値 490N/mm^2 をいずれも上回っている。実験値と推定値の差は3%程度であり、 σ_u を式(1)と解析結果の $T_{8/5}$ を用いることで精度良く評価できていることがわかる。

3.5 実現可能な強度範囲の推定

使用する溶接ワイヤの化学成分のばらつきを考慮して提案条件の実現可能強度を明らかにするため、過去の YGW18 による DEPO の化学成分分析結果を踏まえて、提案条件による実現可能強度を検討する。溶接部全体および破壊起点となる溶接止端部形成パス（図7参照）の冷却時間 $T_{8/5}$ と、(1)式により推定した引張強さ σ_u の関係を図10に示す。ここでは、DEPO の炭素当量 $\bar{C}_{eq}$ を(1)式の適用範囲である最大・最小値を適用した場合の結果を示す。また図中には本実験結果の $\bar{C}_{eq}$ を用いた場合の推定値も併せてプロットしている。図10より、 $\bar{C}_{eq}$ が最小値(=0.284%)で、かつ提案条件による $T_{8/5}$ の上限値となる場合でも、要求強度=490N/mm² を上回っていることがわかる。つまり、化学成分のばらつきを考慮しても、提案条件における溶接部は要求性能を満足できるものと言える。

4. 合理的なパス間温度管理方法の提案

4.1 管理方法

現状の溶接施工では IT を、各パスのアークスタート時に写真1に示すように接触式温度計などで温度を計測して管理しており、パス間温度が管理値を超えると逐次温度を確認しながら管理値内に収まるまで待機しなければならない。このような温度計測による管理を不要とするため、本研究では適正なタイミングでスラグ除去等のインターバルを確保する方法で IT が管理値以下となる条件を明らかにする。

4.2 検討方法

解析モデルを図11に示す。本解析では、実際の溶接

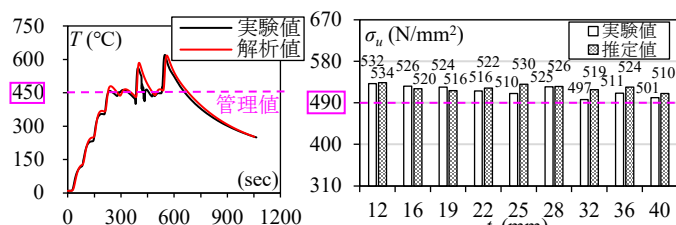


図8 温度履歴 ($t_f=25\text{mm}$)

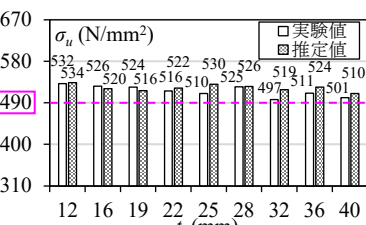


図9 実験値と推定値の σ_u 比較

施工を鑑みて柱梁仕口を部分的にモデル化した解析モデルを用いる。インターバルを設けるタイミングは図12に示す赤色の層であり、 $t_f=19\text{mm}$ 以下では最終層前、 $t_f=22\text{mm}$ では3パスと最終層前、 $t_f=25\text{mm}$ 以上では4パス毎と最終層前とした。インターバル時間は120秒、90秒、60秒の3通りとし、その他のパス間ではインターバルを0秒とした。インターバル時間ごとの最大 IT の比較を図13に示す。120秒および90秒のインターバルでは、いずれの試験体でも最大 IT は管理値 450°C 以内に収まっている。一方で、60秒の場合では、 $t_f=32\text{mm}$ 以上は管理値程度に収まっているが、 $t_f=19\sim 28\text{mm}$ では管理値を 20°C 程度上回っている。つまり、所定の層で90秒以上のインターバルを設ければ、温度計測を不要とし IT を管理値以下にとどめることが可能となる。

4.2 提案条件におけるパス間温度管理方法の提示

提案条件における IT の管理方法を以下に提示する。

- ① 溶接積層は文献2)の積層を適用する
- ② $t_f=19\text{mm}$ 以下では最終層前、 $t_f=22\text{mm}$ では3パスと最終層前、 $t_f=25\text{mm}$ 以上では4パス毎と最終層前でそれぞれ90秒以上のインターバルを設ける

5. まとめ

- (1) 提案条件の溶接作業時間は、従来条件に比べて20%程度短縮される。
- (2) 提案条件による溶接金属強度は、YGW18の化学成分のばらつきを考慮しても、要求強度(=490N/mm²)を満足できる。
- (3) 提案条件における合理的なパス間温度管理方法を提示した。

参考文献

- 1) 開口他：断面形状が異なる柱に鋼製エンドタブを用いて溶接接合された梁の塑性変形能力、鋼構造論文集、第12巻、第48号、pp.39-45、2005.12
- 2) 兵庫県鉄工建設業協同組合・神戸大学鋼構造研究室：「平成14年度中小企業活路開拓調査・実現化事業」共同研究成果報告書 パス間温度及び入熱が溶接施工効率に与える影響、平成15年5月
- 3) 西田他：冷却時間と化学成分を考慮した YGW18 を用いる場合の溶接金属の強度評価式、鋼構造論文集、第14巻、第53号、pp.33-48、2007.3

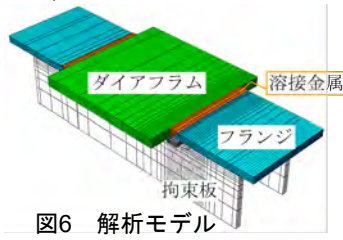


図6 解析モデル



図7 溶接部形状 ($t_f=25\text{mm}$)

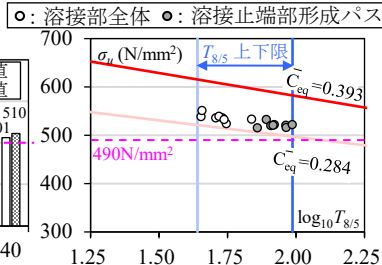


図10 実現可能な強度範囲



図11 解析モデル

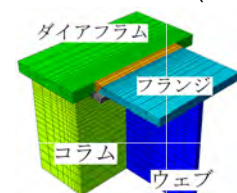


図12 インターバルを設ける層

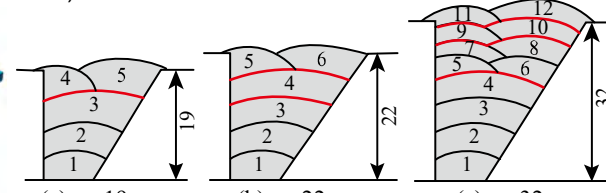


図13 最大 IT の推移

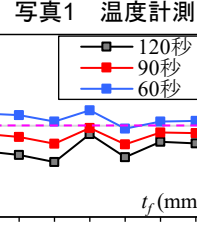


図13 最大 IT の推移

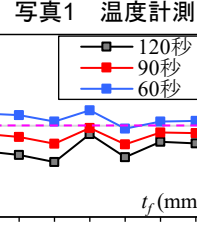


図13 最大 IT の推移

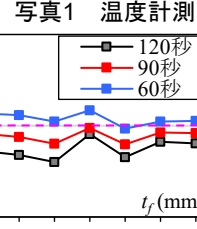


図13 最大 IT の推移

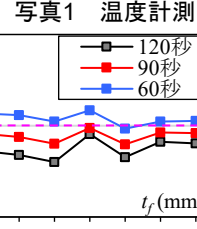


図13 最大 IT の推移

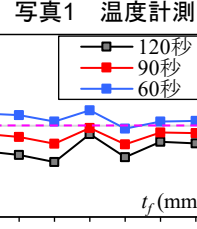


図13 最大 IT の推移

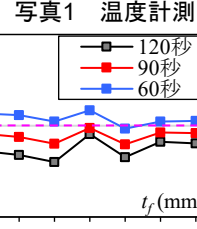


図13 最大 IT の推移

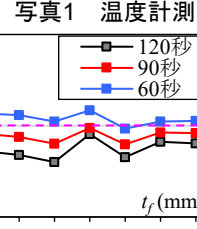


図13 最大 IT の推移

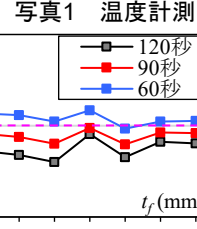


図13 最大 IT の推移

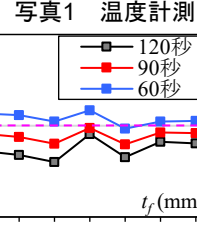


図13 最大 IT の推移

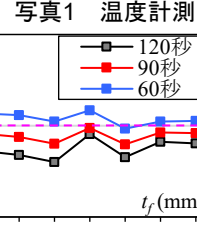


図13 最大 IT の推移

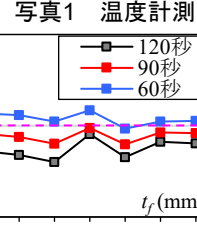


図13 最大 IT の推移

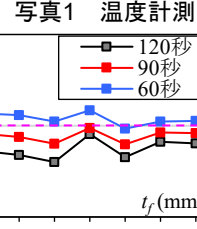


図13 最大 IT の推移

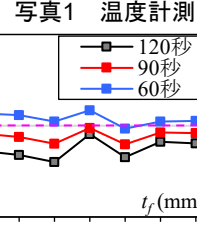


図13 最大 IT の推移

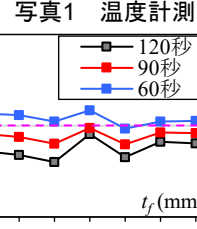


図13 最大 IT の推移

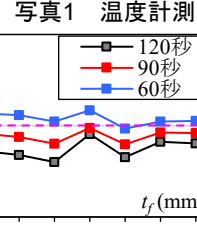


図13 最大 IT の推移

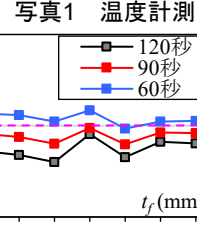


図13 最大 IT の推移

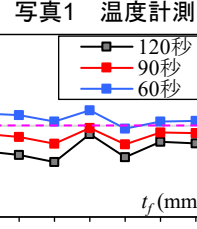


図13 最大 IT の推移

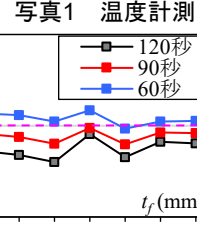


図13 最大 IT の推移

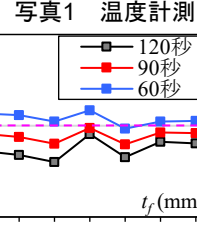


図13 最大 IT の推移

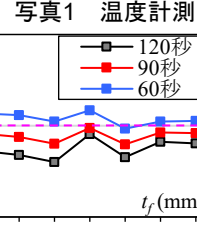


図13 最大 IT の推移

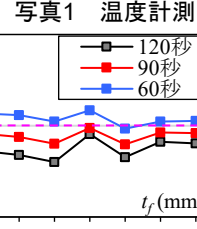


図13 最大 IT の推移

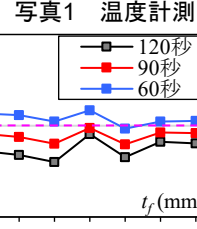


図13 最大 IT の推移

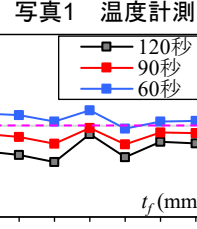


図13 最大 IT の推移

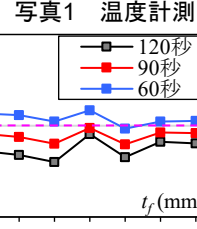


図13 最大 IT の推移

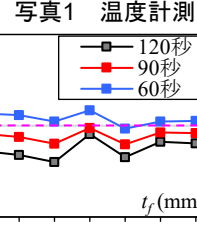


図13 最大 IT の推移

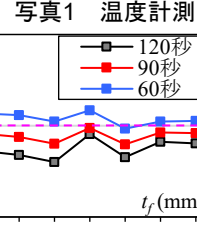


図13 最大 IT の推移

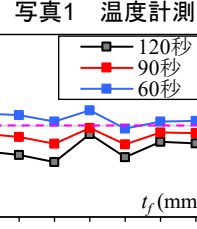


図13 最大 IT の推移

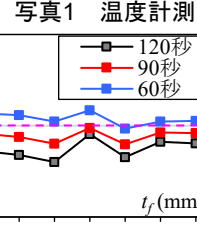


図13 最大 IT の推移

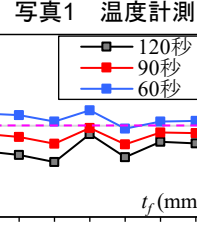


図13 最大 IT の推移

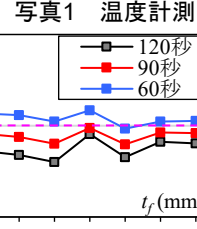


図13 最大 IT の推移

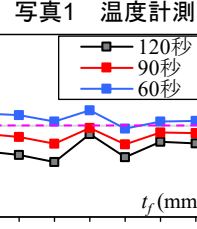


図13 最大 IT の推移

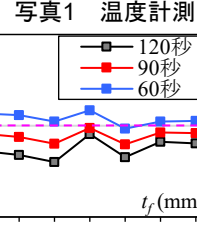


図13 最大 IT の推移

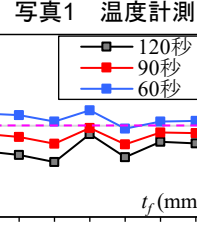


図13 最大 IT の推移

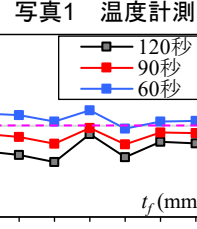


図13 最大 IT の推移

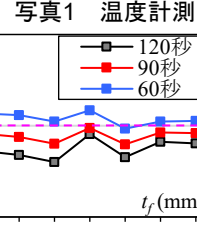


図13 最大 IT の推移

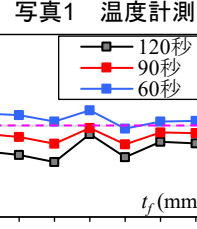


図13 最大 IT の推移

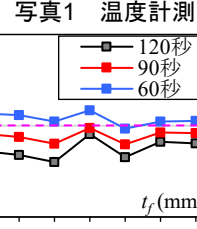


図13 最大 IT の推移

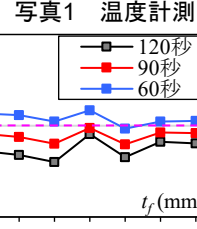


図13 最大 IT の推移

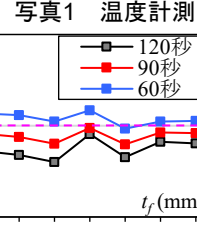


図13 最大 IT の推移

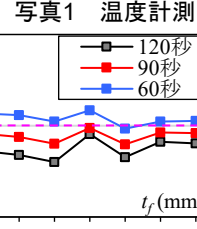


図13 最大 IT の推移

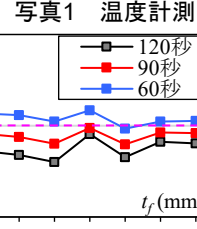


図13 最大 IT の推移

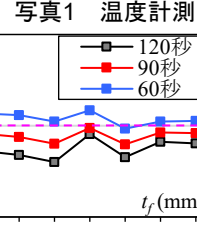


図13 最大 IT の推移

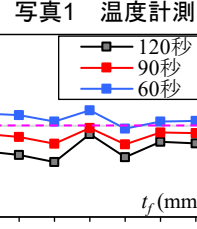


図13 最大 IT の推移

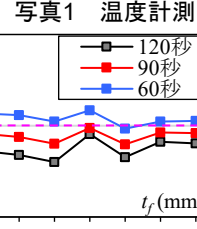


図13 最大 IT の推移

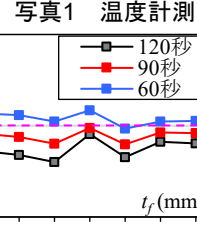


図13 最大 IT の推移

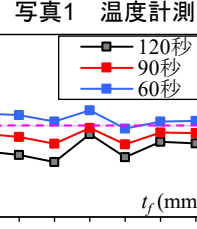


図13 最大 IT の推移

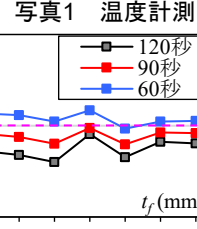


図13 最大 IT の推移

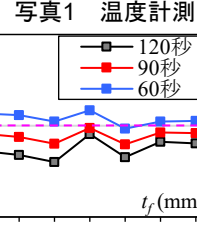


図13 最大 IT の推移

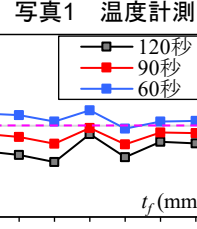


図13 最大 IT の推移

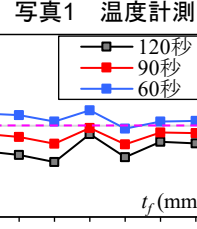


図13 最大 IT の推移

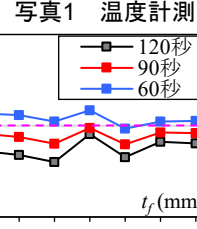


図13 最大 IT の推移

