TSUNEISHI HEAVY INDUSTRIES（CEBU）,Inc.（フィリピン）　研修報告書
（研修テーマ）ブロック組み立て部門における溶接効率調査と提案

先進理工系科学研究科　輸送・環境システムプログラム　田中 知宏

1. はじめに

近年、日本の製造業では人材不足や人件費の高騰が深刻な課題となっており、その対応策として海外に生産拠点を設ける企業が増加している。しかし、海外での工場建設は単に技術を移転すれば済むものではなく、その国の国民性や文化とも密接に関係しており、国内と同じ品質や納期を維持することは容易ではない。

今回派遣された TSUNEISHI HEAVY INDUSTRIES (Cebu) Inc.（以下、THI）は、広島県福山市に本社を置く常石造船のフィリピン拠点であり、新造船を手がけている。造船業は技術者の経験や勘といった暗黙知に支えられる部分が多く、海外への技術移転が難しい産業とされている。また、造船は一品ごとの個別受注生産であり、マニュアル化や自動化が進めにくい点も海外展開を困難にしている要因である。

そのような中で、THI は海外での造船事業を成功させている数少ない企業である。本プログラムを通じて、こうした技術移転の現場を直接学び、国や文化の異なる環境で成果を上げるために必要なスキルや姿勢を身につけたいと考え、参加を志望した。

2. 研修先の概要

会社名：TSUNEISHI HEAVY INDUSTRIES (CEBU), Inc.
所在地：フィリピン共和国 セブ島 バランバン
敷地面積：1,470,000 m2
設立：1994 年 9 月
事業内容：新造船
従業員数：955 人（協力会社従業員約 7,311 人）
主な設備：建造ドック 1 基，船台 2 台，海上クレーンなど



図 1　THI 写真

3. 研修スケジュール

７月１０日	：国内工場見学（常石造船株式会社　広島県福山市）
９月８日～９日	：出国（関西空港→マクタン・セブ空港)、移動
９月１０日	：安全講習、溶接・切断実習
９月１１日～１７日	：各部署での見学
９月１８日～１９日	：中間発表準備・発表
９月２２日～２４日	：研修テーマに関する調査
９月２５日～２６日	：最終発表準備・発表
９月２７日～２８日	：移動、帰国（マクタン・セブ空港→関西空港）

4. 研修課題の決定

研修の１週目と２週目前半では各部署を見学し、業務内容の理解を深めながら研修課題の特定を行った。造船では船体を複数のブロックに分けて建造し、最終的に結合して完成させる「ブロック工法」が一般的である。私は造船工程におけるブロック組み立て部門（以下 、HF 部門）を研修先として選んだ。HF 部門の工程を以下の図２に示す。図内の「鉄工」とは部品の仮止めを行う工程である

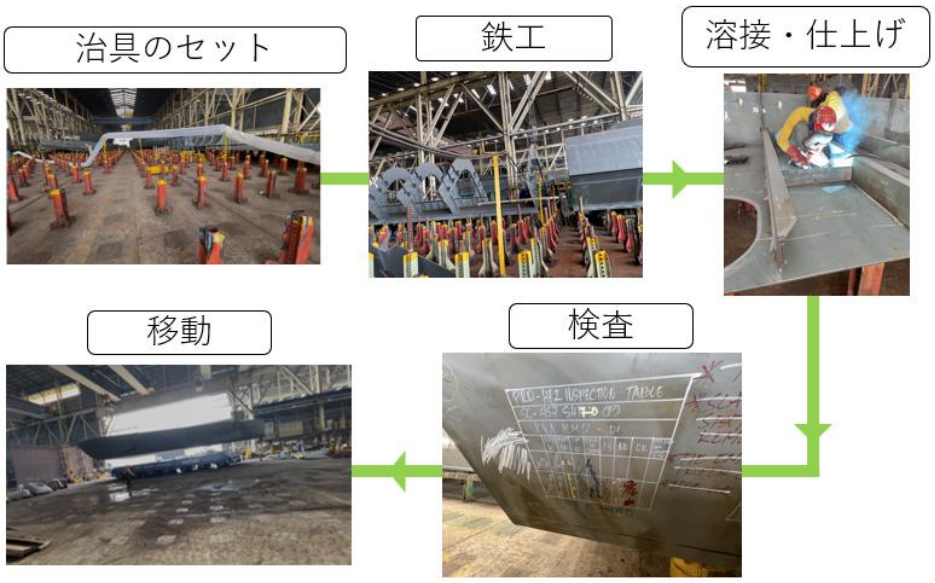


図 2　ブロック組み立て部門（HF）の作業工程

HF 部門では、船一隻当たりの溶接速度（総溶接長÷総作業時間）を能率の指標としている。現在は工程の遅延こそ発生していないものの、この能率指標の値が低迷しており、生産効率の改善が課題となっていた。そこで、本研修では HF 部門における能率改善をテーマとして取り組むことにした。

能率改善を試みるにあたり、溶接工程に着目した。現在 HF 部門では、主に手動溶接・溶接台車の 2 つの手法が用いられている。手動溶接は狭い箇所や複雑形状への対応に優れる一方で、長尺溶接では効率が低く、品質も溶接者の熟練度に依存する。溶接台車は水平な直線部を高速かつ安定した品質で施工できるが、設置時間が必要で短尺部では非効率となるなど、それぞれに特徴がある。溶接部に応じて適切な溶接手法を選択することが、効率改善のカギとなる。

見学の中で、これらの手法の使い分けが明確でないことが分かった。実際、同じ溶接箇所でも作業者やサブコントラクター（協力会社）によって手法が異なり、統一的な基準は存在していなかった。そこで、各溶接手法の溶接速度を測定し、数値的に比較することで、部位ごとに最も効率的な溶接方法を選定するための指標づくりに取り組んだ。

他にも、HF 部門ではロボット溶接機を導入している。ロボット溶接は品質が安定しているという利点がある一方で、適用範囲が限られ、段取りに時間を要する。そのため、段取り時間を含めた場合に、手動溶接と比べてどの程度効率に差があるのかは明確になっていなかった。そこで、手動溶接とロボット溶接の効率を調査・比較し、定量的に評価することとした。



図 3　各溶接手法（左から手動、溶接台車、溶接ロボット）

5. 研修の内容

上で上げた内容について、調査・検討を行った。具体的な内容を以下に示す。

5.1　溶接台車・手動溶接の適用基準の策定

5.1.1　溶接台車・手動溶接の効率調査方法

本節では、溶接台車および手動溶接における溶接速度の効率調査方法について示す。図 4 に示すように、水平溶接部を対象として各手法で溶接速度を計測し、数値化した。



図 4　測定対象箇所

今回の測定では、同一長さの溶接部で両手法を比較することができなかったため、手動溶接については溶接長 700 mm および 1000 mm の区間で時間計測を行い、溶接速度（mm/s）を算出した。一方、溶接台車については溶接長 2400 mm の区間を対象とし、セットアップから溶接終了までの時間を測定して実質的な溶接速度を求めた。ここでいうセットアップとは、図 5 に示すように、溶接台車が作業者の手元にある状態から溶接部への設置を開始した時点を指す。手動溶接の時、このセットアップ時間はほとんど発生しないとした。

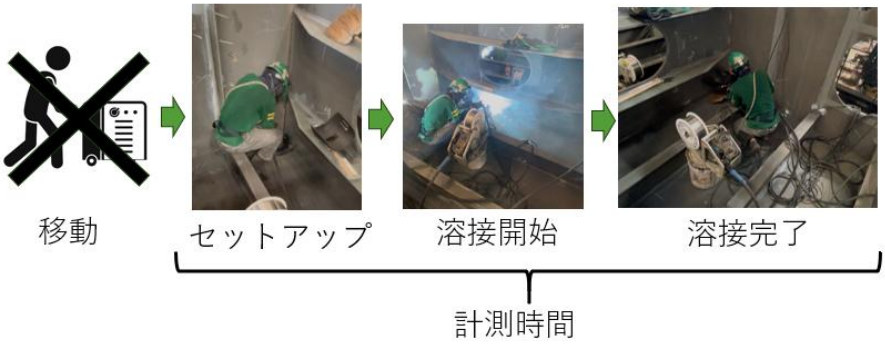


図 5　溶接台車の時間測定範囲

5.1.2　溶接台車・手動溶接の効率調査結果

本節では、手動溶接および溶接台車の効率調査結果を示す。

手動溶接の測定結果を表すと、溶接長 700 mm のとき 4.46 mm/s、1000 mm のとき 2.12 mm/s であった。この結果から、溶接長が長くなるにつれて溶接速度が低下する傾向が確認された。これは、溶接者が姿勢を直したり、休憩を挟んだりしたためである。手動溶接における 700 mm から 1000 mm の間の溶接速度が線形的に変化すると仮定すると、1000 mm までの各長さにおける溶接速度は以下の式（1）で表せる。L は溶接長である。

$$v_{manual} = 4.46 \quad (L < 700)$$

$$v_{manual} = 4.46 + \frac{2.12 - 4.46}{1000 - 700}(L - 700) = 9.92 - 0.0078L \quad (700 \le L \le 1000) \tag{1}$$

次に、溶接台車の測定結果は、溶接長 2400 mm のとき 3.61 mm/s であった。溶接全体に要した時間は 665 秒であり、そのうち約 30 秒がセットアップに要する時間であった。溶接長が短くなると、このセットアップ時間の割合が大きくなるため、実質溶接速度は低下すると考えられる。これを考慮して溶接長 700 mm および 1000 mm の場合の実質溶接速度を以下の式（2）を用いて算出したところ、それぞれ 3.26 mm/s および 3.40 mm/s となった。セットアップ時間を含めない溶接のみの速度は 3.79 mm/s であった。

$$v_{auto} = \frac{L}{t_{welding} + t_{setting}} \tag{2}$$

$$t_{setting} = 30, \quad v_{welding} = 3.79, \quad t_{welding} = \frac{L}{3.79}$$

（1）、（2）式より、溶接長が約 844 mm のときに両者の溶接速度が一致することが分かった。したがって、溶接長が 844 mm 以下では手動溶接、844 mm を超える場合には溶接台車を用いることが効率的であるという適用指標を得ることができた。図 6 には手動溶接と溶接台車の溶接長と溶接時間の関係を示している。844 mm の点で溶接台車の方が早く溶接が終了するようになると考えられる。

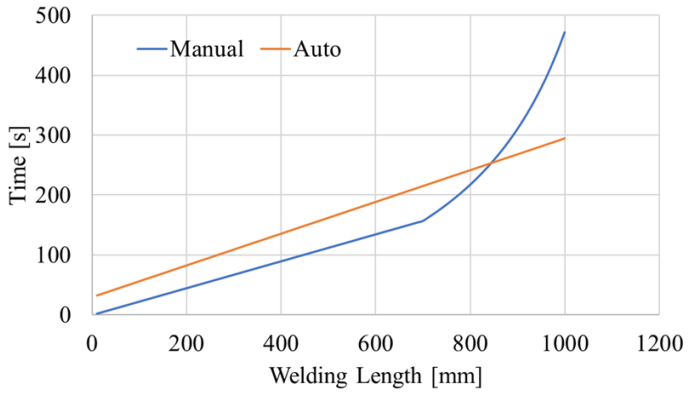


図 6　各手法の溶接長と溶接時間の関係

5.2　溶接台車運用の効率化提案

5.2.1　現状

5.1 の調査を通じて、溶接台車を一人につき一台しか使用していないことが分かった。本来であれば一人で複数の溶接台車を使用することができ、それによって作業効率を大幅に上げることができる。

現場観察を通じて、その原因が同一の作業場に溶接者が複数いることによる作業スペースの不足なのではないかと考えられた。実際に観察中にも、溶接台車を使用している溶接者と手動溶接者の作業干渉が発生しており、手動溶接者が溶接途中であっても台車作業を優先して一時中断し、別の溶接箇所へ移動する様子が確認された。

5.2.2　提案

上で述べた現状を改善するために、HF 部門における溶接工程の細分化を提案した。

現在、HF 部門では鉄工作業の後、台車溶接と手動溶接が同時に行われ、仕上げ、検査へと進んでいく。しかし、上で述べたようにこれでは一人が複数の溶接台車を使用することが難しい。

そこで、台車溶接と手動溶接の施工スケジュールを時間的に分離し、まず長尺部を溶接台車で溶接した後、短尺部や細部を手動溶接で仕上げることを提案した。この方法により、作業干渉を防止するとともに、1 人が複数台の溶接台車を効率的に運用できる体制を構築できると考えられる。以下の図 7 に提案内容のイメージを示す。

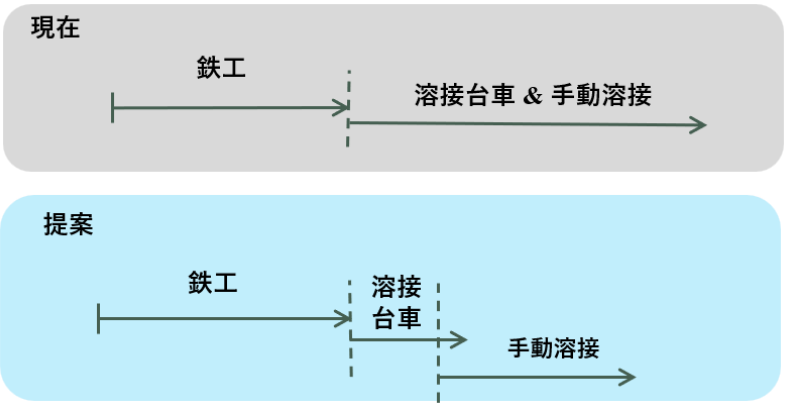


図 7　HF 作業スケジュール

5.3　ロボット溶接・手動溶接の効率調査

5.3.1　効率調査方法

本節では、ロボット溶接および手動溶接における効率調査の方法を示す。

ブロック内の特定箇所を対象として、各手法で溶接を行い、溶接開始から完了までに要した時間を計測した。得られた結果から、1 部分あたりの溶接に要する時間（s／part）を算出し、両手法の作業効率を比較した。

図 8 に比較に用いた溶接部の写真を示す。

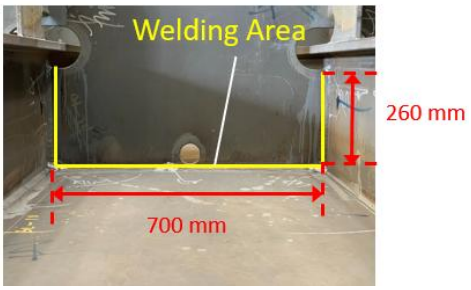


図 8　比較対象部位

5.3.2　効率調査結果

本節では、ロボット溶接および手動溶接の効率調査結果を示す。

手動溶接では、溶接を開始してから一部分を完成させるまでに 529 秒を要した。ただし、この値は参考値である。手動溶接では、ブロック内の鉛直方向の溶接をすべて終えた後に水平方向の溶接を行っていた。そのため、ここでの計測時間はそれぞれの溶接時間を単純に合計したものである。実際の作業では、鉛直溶接から水平溶接に移行する際に電流値などの設定変更を行う必要があり、その分効率はこの値より低下すると考えられる。

一方、ロボット溶接では、一部分の溶接を完了させるまでに 959 秒を要した。そのうち約 320 秒がセットアップに要した時間であり、内訳は人による位置調整が約 120 秒、ロボットによるセンシングが約 200 秒であった。

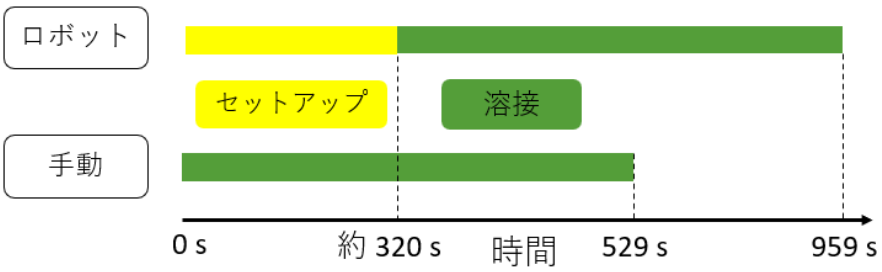


図 9　ロボット溶接と手動溶接の時間構成比較

以上の結果より、手動溶接の作業効率は 529 s/part、ロボット溶接は 959 s/part となり、単体で比較した場合は手動溶接の方が効率的であることが分かった。しかし、ロボット溶接は一人で複数台を同時に運用できるため、2 台運用した場合には単純計算で効率が 2 倍となり、手動溶

接を上回る。さらに品質面でも安定性が高いことから、複数台運用を前提とした場合にはロボット溶接の有効性が確認できた。

6. まとめ

本研修では、各部門での見学を通じて課題を発見し、調査・分析を行い、その成果を最終的にプレゼンテーションとしてまとめるという貴重な経験を得ることができた。3 週間という限られた期間の中で、テーマの決定から調査、資料作成までを行うのは容易ではなかったが、THI の方々から多くの助言とサポートをいただき、何とか形にすることができた。

現地の各部門での見学は、現地のフィリピン人スタッフと 1 対 1、もしくは 1 対 2 で行われることが多かった。造船に関する専門用語も多く、当初は英語でのやり取りや説明の理解に苦労した。しかし、1 週間ほど経過するうちに、造船工程や専門用語への理解が深まり、次第に英語での会話や聞き取りにも慣れていった。現地スタッフの方々は皆様親しみやすく、私の拙い英語にも丁寧に耳を傾けてくださり、その温かい人柄に何度も助けられた。

休日には、各地の観光地へ案内していただき、フィリピンの美しい自然や文化に直接触れることができた。また、研修最終盤には、恵まれない子どもたちへのスニーカー寄付活動にも参加し、日本でもなかなか得られない貴重な社会貢献の経験をすることができた。THI がこのような地域貢献活動を積極的に支えていることは、単なる企業活動にとどまらず、海外での信頼関係構築や技術移転を成功に導く重要な要素の一つであると感じた。また、異なる文化や考え方を尊重する姿勢が、海外で働く上で重要であると学んだ。

7. 謝辞

今回の研修にあたり、貴重な機会を提供してくださった多くの方々に心より感謝申し上げます。

研修の手配や工場見学を実施してくださった岡田様に深く御礼申し上げます。また、研修中だけでなく休日にもご配慮くださった海崎様、研修テーマの調査や相談に乗ってくださった担当部署の辺見様、そしてアレン様には、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。加えて、懇親の場においてお忙しい中ご参加くださった THI 社員の皆様にも感謝申し上げます。貴重なお話を伺うことができ、大変有意義な時間となりました。

さらに、山本先生、陸田先生をはじめとする ECBO 実行委員の先生方、そして親身にご指導くださった新宅先生、工学研究科国際支援室の皆様にも深く感謝申し上げます。

本研修を通じて、多くの方々のご支援とご厚意に支えられたことを改めて実感しております。心より御礼申し上げます。