

# 溶接応力を利用した反りの修正

石川健司

筑波大学人文・数理等教育研究支援室・工作センター  
〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

## 概要

ステンレス製の真空装置用フランジに、補強のため、等辺山形鋼をイナートガスアーク溶接 (TIG) すると反りを生じた。フランジに応力を発生させる事により、反りは改善できた。

## 1. はじめに

溶接は金属を熔融状態にして融着させる、材料が局部的に加熱・熔融・冷却されるので、高温では塑性変形、冷却に際しての収縮が起こり、残留応力や溶接変形を起こす。

本報告は、技術報告 No.22 の「真空チェンバーの製作」<sup>[1]</sup> で使ったフランジが、反りを生じていたので、反りの反対面に溶接応力を発生させ、反りを改善した事を報告する。

## 2. 作業内容

金属を加熱すると膨張し、そのまま冷却すると収縮するが、応力は発生しない。溶接は局部的に材料を熔融させ構造的に一体化する。溶接部は局部的に急激に高温に達し、体積の大きい低温部への熱伝導によって急速に冷却される。この間、材料の機械的性質は温度によって大きく変化する。このような現象がいずれも局所的であるために、材料の温度上昇時の膨張あるいは冷却時の収縮が他の部分によって拘束されるので、溶接応力が生じることになる<sup>[2]</sup>。

### 2.1 フランジの反り

真空装置用フランジ (SUS304) は VF550 に相当する。板厚は軽量化のため、JIS (日本工業規格) の基準値より 9 mm 薄い 15 mm にしてあり、補強のために中心から 100 mm 離れた位置に長さ 600 mm のステンレス製等辺山形鋼 (40×40×t5) を断続溶接してある。図 1 にフランジを示す。

このフランジを使って、チェンバーを真空にする際は、大気圧の状態の時にチェンバー側からボルトでフランジを締めつけておかないと、真空度がターボ分子ポンプを作動できる領域に、到達できなかった。適当な真空度になった状態では、このボルトを緩めても大リークが起こるなどの問題はなかった。

フランジの真空側に直定規を当て、どれくらい反りがあるか検査してみる。0° -180° 方向では、反りはないと言える。90° -270° 方向では、両端と中心ですき間があり、アングルを断続溶接した場所で反りを生じている事が確認できた。

フランジがどの程度反っているのか大気圧中で、チェンバーにフランジを載せ、チェンバーとフランジの間に O リングを入れ、フランジを固定しない状

態で、各位置のすき間をすき間ゲージで測定する。この時、チェンバー側の O リング溝の深さは 7 mm、O リングの太さは 10 mm なので、すき間が 3 mm 以下でなければならない。表 1 は、測定値である。

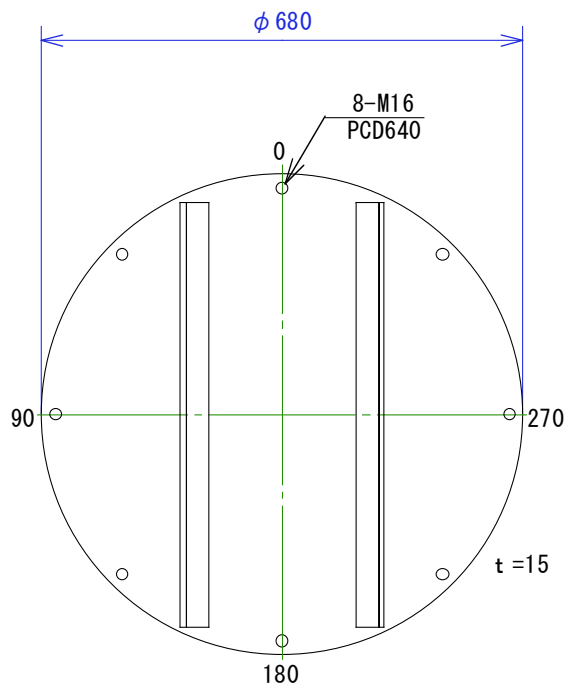


図 1: フランジ

表 1. すき間の測定値

角度 (deg)	すき間 (mm)
0	1.90
45	2.60
90	3.17
135	2.50
180	1.85
225	2.55
270	3.60
315	2.95

この時の位置は、図 1 の頂点を 0 とし左周りに 45° 間隔で測った。

この表をグラフにしたのが、図 2 である。

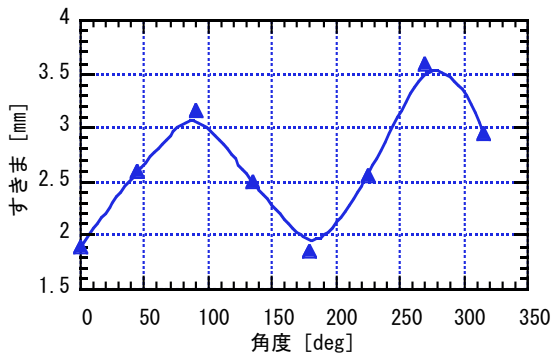


図 2：位置とすき間

### 2.3 反りの修正

今回溶接したフランジは、径に対し板厚が薄いので溶接応力が、残留応力とはならず、溶接変形したと考えられる。

溶接変形の要因の一つとして、溶接熱がある。溶接電流、溶接速度、アーク角度などが溶接部分に不均一な温度分布を生じ、アーク加熱部分の体積変化と溶着金属の収縮によって、反りなどの溶接変形を起こすか、残留応力となる。

厚板では、母材の変形が許されないで残留応力となるが、薄板は変形しやすく残留応力は少なく、溶接変形となる<sup>[3]</sup>。

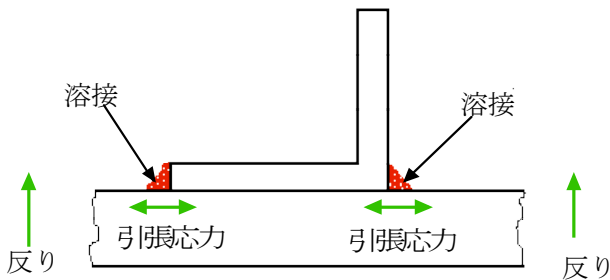


図 3：溶接断面

図 3 において、アーク溶接を行なった。アーク加熱時は電流を大きくし加熱時間を短くしたが、冷却時の収縮で溶接部分に引張応力が発生し、結果として溶接部分の両側が持ち上がるような形で、反りを生じた。

修正の方法としては、引張応力が発生しているところを、均一に加熱し応力を除去するか、または、切削加工によって平面を出すと考えられるが、フランジが大きすぎて均一に加熱する設備が無い。

以上の事から、等辺山形鋼を溶接して発生した引張応力と、つり合うような応力を、反対面に発生させれば、反りは消滅するはずである。溶接機を使い、局部的に加熱し冷却すると、溶接の経験から、応力が発生することを知っていたので、この方法を使ってみた。

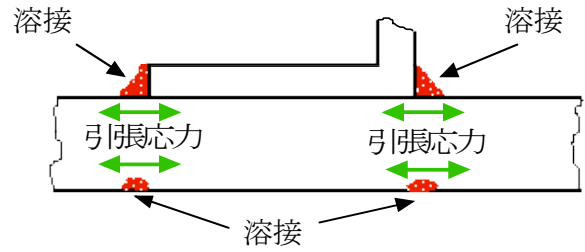


図 4：応力の説明

図 4 は、フランジに等辺山形鋼を溶接した断面で溶接した時の引張応力を示している。また修正するためのアーク柱を照射した位置を示し、両方がつり合っているとして、反りが無くなる可能性を図示した。修正作業は、直定規を当てながら反りを確認し、アーク柱を飛ばしては冷却するのを待ち、また直定規を当て、反りの戻り具合を確認しながらの、作業を進めた。

### 3. 結果

大気圧の状態で、チェンバーにフランジを乗せ前述した方法により、すき間を測定した。表 2 に修正前と修正後の測定値を表示する。

表2. 修正前・後のすき間

角度 (deg)	修正前 (mm)	修正後 (mm)
0	1.90	2.25
45	2.60	2.40
90	3.17	2.50
135	2.50	2.45
180	1.85	2.35
225	2.55	2.12
270	3.60	2.52
315	2.95	2.70

修正後の、すき間のバラツキはかなり少なくなり最高値と最低値の差も 0.58 mm に改善されている。図 5 は、表 2 の値をグラフにしたものである。

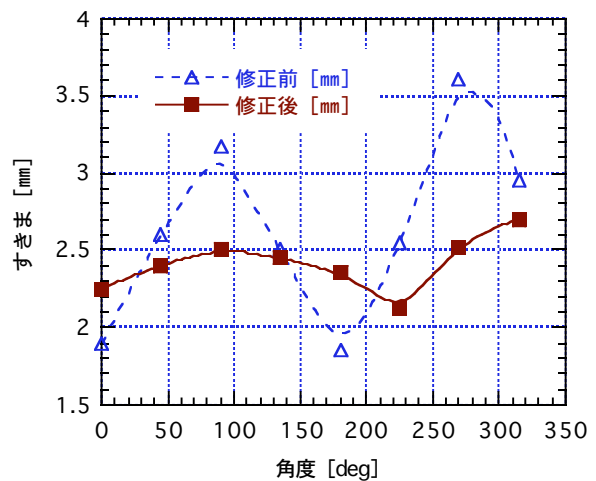


図 5：修正前・修正後のすき間

なお、チェンバーを真空にする時、フランジをボルトで締めておかなくとも、ターボ分子ポンプを起動させる領域まで真空度が上がり、到達真空度も改善の兆候が見えている。

#### 4. おわりに

本作業で反りの修正を行なったフランジは、何の問題もなくチェンバーに搭載され稼働している。この作業にかかった時間は、約1時間。

またすき間のデータは、作業が終わってから受け取り、直定規だけで作業を進め良い結果が出た。

この依頼品は、フランジの板厚を薄くし、強度に不安があるので等辺山形鋼を補強したため、切削加工は最後の手段になる。

切削加工するとしても、フランジには製品として外周にタップ穴があけてあり、旋盤で切削すれば必ずチッピングを起こし、Oリングの当たり面を仕上げるのは、かなり時間がかかりそうだと判断した。また図2の様に平行な面が無いので、どこに基準を持っていくか難しく、しかも削り代が多いと、強度の面で使い物にならない。反りの矯正は知識として知っていても、行った事の無い作業なので、不安もあったが、思った以上に反りが戻り、短時間で作業が済みすぐ使える状態になった。この方法は、板の材料の片面だけを削って、反りが出たときの修正等にも使えると思う。

材料は、応力をかけて平面を出し、寸法が出ているのだから、その応力が開放されれば、必ず反りが出る。そういうときに、この方法である程度の修正が可能である。ただしTIG溶接の出来るものに限られる。

技術とは漸漸習得するものであり、経験を積まないと身に付かないと思うし、時間のかかるものだと思う。しかし本の知識で知っていても、実践する機会が無いと、決して自分のものにはならない。

#### 謝辞

本作業を行なうきっかけを下さった、物理学系青木保夫助教授に、感謝いたします。行った事が無い作業で失敗するかも分からない、しかし寛大にやってみてくれと言われ、また新しい技術を身に付けることが出来ました。

また、物理学系奥村紀浩研究官には、すき間のデータを提供していただき、本当に感謝しています。このデータがなければ、本報告は作成できませんでした。

#### 参考文献

- [1] 石川健司, 真空チェンバーの製作, 筑波大学技術報告 No.22. (2002) 49.
- [2] 社団法人溶接学会編: 「改訂3版 溶接便覧」(丸善1977) 129.
- [3] 鈴木春義, 「改訂版 最新溶接ハンドブック」, (山海堂1977) 341.