

Title	鋼管スペースフレームにおける溶接の全周実現度に対する性能評価と応用
Author(s)	三橋, 結衣
Citation	平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2017
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/60324">https://hdl.handle.net/11094/60324</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 平成28年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏名	みつはし ゆい 三橋 結衣	学部 学科	工学部 応用理工学 科	学年	3年
ふりがな 共同 研究者名	こいで あやこ 小出 亜矢子 まつい たいち 松井 太一	学部 学科	基礎工学部 システム科 学科	学年	2年 1年
	まつおか ゆうすけ 松岡 裕介 こばやし よしのり 小林 義典		工学部 地球総合工学 科・応用理工学科		1年 1年
アドバイザー教員 氏名	林 潤	所属	工学研究科		
研究課題名	鋼管スペースフレームにおける溶接の全周実現度に対する性能評価と応用				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。				

## 1. 研究背景・目的

我々、大阪大学フォーミュラレーシングクラブ(以下、OFRAC)は、全日本学生フォーミュラ大会に参加し、小型レーシング車両の企画や設計、そして製作に携わることでエンジニアとして成長することを目的とした活動を行っている。その小型レーシング車両におけるームは強度性能によって事故や横転の際にドライバーを保護するだけでなく、剛性性能によってサスペンション取り付け部のアライメント保持能力や車両運動の安定性といった走行性能にかかわるパーツとして重要な地位を占めている。また、フレームは車両重量のうち10数%を占める重量物であり、重量比剛性をいかにして向上させるかが重要な設計指針である。OFRACにおいてはそれら性能に加え車両の整備性を重視して鋼管スペースフレームを採用している。一般に競技車両では少量生産を前提とした競技である為、開発の際は生産性より性能を重視して開発を行っておりフレームもそのうちのひとつであるが、そのため設計上での性能を向上させるために複雑な構造とした部分や溶接機のアクセス性が悪い部分については作業スペースが限られ鋼管の全周溶接が困難な箇所が存在する。その結果、開発時に解析会やCAEなどにより算出される期待性能と、実際に製作した車両の実際の性能を比較するとその値に乖離があることが分かっている。本研究は、鋼管溶接の全周実現度(以下、 $\alpha$ [%])に対する構造の剛性の影響度を明らかにしCAEと製品実測の乖離における $\alpha$ の影響を評価する。また、フレームにおける溶接難易度とフレームの性能に関する関係性を評価した上でフレームの性能に対して $\alpha$ がどの程度の影響を持つのかを明らかにする。本研究において得られた知見を少量生産車両における鋼管スペース設計時に存在する、生産性と性能のトレードオフを定量的に評価できる指標の導入を目指す。

## 2. 実験

## 2.1.1 実験概要

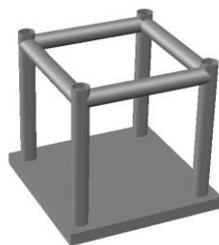


Fig.1-1 サンプル構造

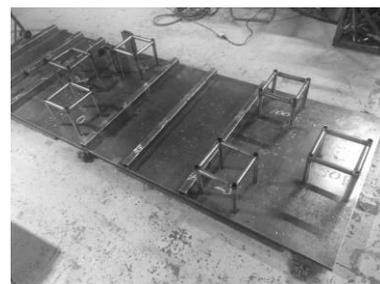


Fig.1-2 サンプル構造全体図

以上 Fig.1 に示す鋼管サンプル構造を用いて実験を行う。サンプルはパイプにより 3 次元構造体のうち単純な立方体構造とし、サンプルの構造から予想される剛性より十分に大きい剛性を持つ 20mm 厚の鉄常盤に鋼管を溶接することでサンプルを固定する。鋼管は学生フォーミュラ車両においてもっとも一般的であり、溶接性に優れ接合に品質を安定させやすい一般構造材である STKM11A Φ25.4mm t1.6mm 鋼管を使用した。

溶接方法は TIG 溶接法で溶接を行う。溶接条件は溶接電流 75A である。評価する  $\alpha$  は全周溶接を  $\alpha = 100[\%]$ 、90 度ごとの 4 点スポット溶接を  $\alpha = 0[\%]$  とし、0, 25, 50, 75, 100[%] のサンプルを製作する。 $\alpha = 25[\%]$  についてはサンプル中心から最も遠い 90 度溶接を実施し、 $\alpha = 50[\%]$  については(a),(b)2 パターンを用意する。パターン(a)は  $\alpha = 25[\%]$  時に加えサンプル中心から最も近い 90 度溶接を実施し、パターン(b)はサンプル中心から最も遠い 180 度溶接を実施する。それぞれのパターンについて概念図を Table.1 に示す。

Table1 鋼管溶接の全周実現度の概念図

溶接概念図								
全周溶接度 $\alpha$ [%]	0	25	50-A	50-B	75	100	溶接, スポット	鋼管

製作には CAD/CAE ソフト、Solid Works を使用しパイプを図面に起こし、パイプ端面をディスクグラインダーで加工しパイプをつきあわせ溶接する。上記各  $\alpha$  のサンプル構造体に対して負荷を与えた際の変形を計測して剛性を求めることで、全周溶接の実現度に対する剛性性能への影響を検証する。競技車両における応用を視野に入れ、鋼管スペースフレーム車両の主たる剛性指標である曲げ剛性、及びねじり剛性を評価する。

### 2.1.2 曲げ剛性試験

Fig.1 のような構造体に対して曲げ剛性試験を行う際の実験方法を以下 Fig.2 に示す。常盤にスポット溶接した角パイプにバネを取り付けラッシングベルトで締め上げることで荷重をかけた。ここで、角パイプとラッシングベルトの間にバネが挿入されており、バネの変位を計測することでラッシングベルトの張力を計測する。バネは 3kgf/mm のものを 2 本並列にする。荷重をかけた際のサンプル構造の変位をダイヤルゲージにて読み取り、得られた結果から荷重-変位曲線を作成する。



Fig.2 曲げ剛性試験概念図

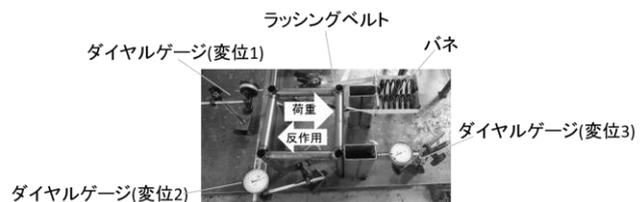


Fig.3 ねじり剛性試験概念図

### 2.1.3 ねじり剛性試験

Fig.1 に対してねじり剛性試験を行う際の実験概要図を以上 Fig.3 に示す。常盤にスポット溶接した角パイプにバネを取り付け、ラッシングベルトを締め上げることで荷重をかける。常盤とサンプルにスポット溶接した角パイプによってサンプル構造体の一边を固定し、Fig.3 のように 3 方向の変位を測定することでねじれ角を計算する。Fig.3 によって定義した変位 1( $=\delta$ ), 2( $=\epsilon$ ), 3( $=\zeta$ )によってねじれ角  $\Phi [^\circ]$  は下式のように計算できる。

$$\Phi = \tan^{-1}(\delta - \epsilon - \zeta)$$

実験から得られた結果より、荷重-ねじれ角曲線を作成する。

解析方法は、CAD-CAE ソフトウェアの SolidWorks を使用してサンプル構造を作成し、荷重をかけ静解析を行う。なお、解析モデルはソリッドモデルである。作成した荷重-変位曲線と荷重-ねじれ角曲線に解析値を併記する。

## 2.2 実験機器

本研究に使用した実験装置は以下のとおり。

1. 溶接機 DAIHEN 社製 DA300P
2. アルゴンシールドガス

3. シールドガス用レギュレータ YUTAKA 社製 FR-Ⅱ
4. ダイヤルゲージ MITSUTOYO 社製
5. ラッシングベルト
6. バネ[3Kg/mm] ニッパツ社製

### 3. 実験結果

曲げ剛性実験によって得られた曲げ剛性試験の結果について、荷重-変位曲線を以下 Fig.4 に示す。ねじれ剛性実験によって得られたねじれ剛性試験の結果について、荷重-ねじれ角曲線を以下 Fig.5 に示す。なお、実験によって得られた離散点 3 個と原点について線形補完を行った近似直線を載せている。

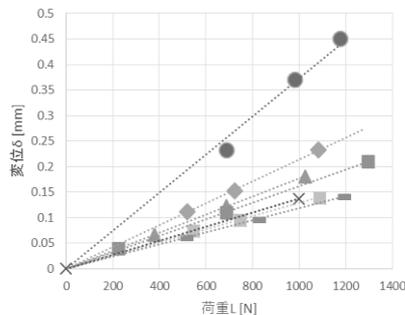


Fig.4 荷重-変位曲線

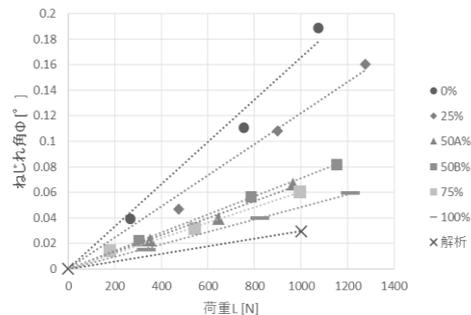


Fig.5 荷重-ねじれ角曲線

### 4. 考察

以下 Table.2 に各サンプル構造と解析モデルの剛性値、加えて解析値との乖離を示した表を示す。

Table2 各剛性値と解析からの乖離

溶接の全周実現度 $\alpha$ [%]	0	25	50-A	50-B	75	100	解析
曲げ剛性[mm/N]	3.7338E-04	2.1421E-04	1.7665E-04	1.6219E-04	1.2851E-04	1.1935E-04	1.3710E-04
解析からの乖離[%]	-172	-56	-29	-18	6	13	-
ねじれ剛性[deg/N]	1.6605E-04	1.2186E-04	6.6441E-05	7.1204E-05	6.0466E-05	4.8393E-05	2.9446E-05
解析からの乖離[%]	-464	-314	-126	-142	-105	-64	-

【誤差について】 Table.2 を観察すると、曲げ剛性試験については単純な剛性解析である為実際のサンプル構造の  $\alpha = 100$  のときと剛性値はかなり似通っていることが分かるが、ねじれ剛性試験については現実と解析結果についてかなり大きな乖離があることが見て取れる。 $\alpha = 100$  の時に溶接のビードに欠損があると仮定したとき、幾何的に拘束が存在する曲げ試験に比べ、ねじれ試験の方が欠損に対して敏感に反応すると考えられる。サンプル構造体の溶接を施す際に溶接者が溶接を施せなかった小さな溶接欠陥が多数存在していて、その部分に応力集中したことによる誤差ではないかと考えサンプル構造を観察した。その結果、酸化による欠損や溶接者の溶接中の手の揺らぎなどによりビードの形状が均質でない箇所が存在した。生産性をより定量的に考慮するためには今後溶接の再現性やビードの断面の形状と剛性の関係なども研究の対象になりうると考えられる。

【溶接の全周実現度について】 Table.2 を観察すると、概ね溶接の全周実現度  $\alpha$  と剛性性能に相関関係があることがわかる。曲げ剛性については、 $\alpha = 50$  から解析値との乖離が大きくなり、 $\alpha = 0$  の時には解析値に対して剛性値は 3 倍近く弱くなることがわかる。これらのことからフレームにおいて曲げ入力为主に加わる箇所については  $\alpha = 75$  以上を確保することで期待する性能に対して 10%以下の誤差で性能を得ることができる。ねじれ剛性については前述の誤差要因により、 $\alpha = 100$  の時ですでに期待する性能から 65%も落ちるという結果が得られたため、全周時実現度と性能の相対評価を行う。特に性能が急激に落ちるところは  $\alpha = 25$  以下であることがわかる。ねじれの入力が付加されるとき、鋼管の固定部には曲げに比べせん断力が大きく働いていると考えられる。そのとき  $\alpha = 25$  の時では、応力集中が大きくかかり溶接部の端部には強大なせん断力が働いていると考えられる。また、 $\alpha = 50, 75$  の場合についても  $\alpha = 100$  の時と比べて剛性性能は半分近く落ちていることがわかる。ねじれの場合は、前述の通り、曲げの場合と異なり鋼管自体の幾何的拘束により入力を受け持つ割合が小さく全周溶接なされていない箇所に応力集中し性能が極端に低下すると考えられる。これらの結果から、フレームにおいてねじり入力为主に加わる箇所については最低でも全周実現度  $\alpha = 100$  を保証する必要があると考えられる。

### 5. 学生フォーミュラフレームへの応用

本実験で得られた結果をもとに 2016 年度の OFRAC におけるフレームの性能向上をはかった。Fig.6 の示す OFRAC の 2016 年度フレームの矢印で示す部分に着目した。ここはコクピットスペースと呼ばれる部分で、図からもわかるように鋼管の突合せ角度が 30 度を下回る部分が左右あわせて 16 か所存在する。この部分において  $\alpha = 75$  であると仮定し、Table2 から  $\alpha = 75$  の時は  $\alpha = 100$  のときよりねじり剛性

値が 80.03%となることから、赤く示す箇所のパイプの断面 2 次モーメントを 80.03%にまで低減した鋼管に置換したフレームを 2016ver.βとする。この部分の全周溶接を可能にするため 16 か所に fig.7 に示すようなガセットを配置したフレームを 2016ver.γとする。また、設計時のフレームは 2016ver.αとする。

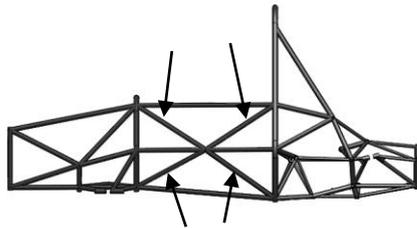


Fig.6 2016年度フレーム

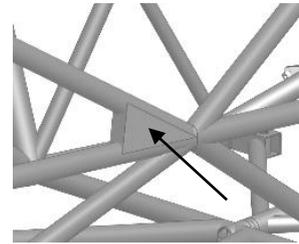


Fig.7 ガセット概要図

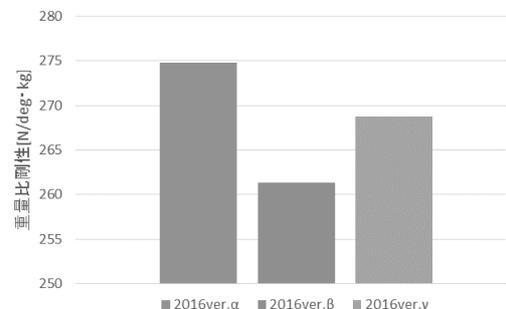
これら 3 パターンのフレームのうち、ver.α と ver.β においてねじれ剛性解析を行った。解析方法は、フロント、リア合わせて 4 つ存在するベルクランクマウント点のうちリア 2 点を固定して、フロントにそれぞれ 5000N ずつ偶力を加えその時のフロントベルクランク周りの変位度を測定することで解析解を得る方法である。

この条件で行った解析結果は以下のとおり。

Table3 2016年度フレーム解析結果

	重量[kg]	剛性 [N/deg]
2016ver.α	37.839	1.040E+04
2016ver.β	37.839	9.889E+03
2016ver.γ	38.687	1.040E+04

Table4 2016年度フレーム重量比剛性比較



ガセットは 1 つあたり約 50g であり、16 か所設けることで約 800g の重量増になったが、それよりも ver.β での剛性の下がり幅が大きく、ver.γ によって重量比剛性は 2.7%解析値により近い値を得ることができた。これら結果によってフレームは設計時から生産性を定量的に考慮することで、実測値で重量比剛性性能を向上させることができると期待される。

## 6. 結論

鋼管溶接の全周実現度  $\alpha$  に対するサンプル構造の剛性の影響度を明らかにし CAE との誤差を評価することができた。また、フレームの性能に対して  $\alpha$  がどの程度であれば許容できるかを明らかにすることができた。具体的に、溶接のトーチが入りやすいような治具設計であったり、フレームの溶接の順番を考慮することで  $\alpha$  を曲げ入力部分については 75 以上、ねじれ入力部については 100 を保証するという新しいパラメータも設計項目に含める。今後のフレーム開発においてそれら溶接難易度を考慮することで剛性の実測値と解析値との乖離は縮まり、実際に製作したフレームの性能の向上をはかることができると期待される。

## 7. 参考文献

1. 理科年表 国立天文台
2. JSME テキストシリーズ 材料力学 日本機械学会

## 8. 謝辞

本研究は、アドバイザー教員である林潤先生よりアドバイスや、予算執行に加え日頃より学生フォーミュラ活動にご助力いただいたおかげでなされたものです。ここに深く感謝の意を表します。また、我々が学生フォーミュラ活動を通してエンジニアとしての成長やモノづくりに携わることの喜びを見出すことができるのも本自主研究奨励事業を支えてくださっている皆様をはじめ、当活動にご理解いただいている方々のおかげであると感じております。OFRAC チームより、厚く御礼申し上げます。