

面外ガセット溶接継手の疲労強度に対する溶接部仕上げの効果

小川, 彰弘 / OGAWA, Akihiro

(発行年 / Year)

2008-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2008-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

面外ガセット溶接継手の疲労強度に対する 溶接部仕上げの効果

法政大学大学院 工学研究科
建設工学専攻（都市系）修士課程

06R5105 小川 彰弘

2008年2月

概要

面外ガセット溶接継手は鋼橋に用いられる継手の中でも疲労強度が低く、疲労損傷が生じやすいとされている。このような疲労損傷を防止するためには、溶接部の形状を改善して応力集中を軽減することが有効とされている。溶接部形状改善法としては、溶接止端部のグラインダ処理や、止端を含む溶接部全体の R 仕上げ、ガセット部にフィレットを設けてさらに溶接部をそのフィレットに合わせてグラインダ処理するフィレット仕上げなどがある。近年、フィレット仕上げは疲労強度改善効果が高いとされ少数主桁橋に用いられている。グラインダ仕上げには、バーグラインダを用いるのがよいが、実際の施工では作業性からディスクグラインダが用いられることも少なくない。

本研究では、仕上げにディスクグラインダとバーグラインダを用い溶接部をさまざまな形状に仕上げた試験体を用いて疲労試験と応力解析を行うことにより仕上げ方法に応じた疲労強度等級を提示する。また溶接止端半径やフィレット半径、主板厚、削り込み深さ、仕上げ範囲が応力集中に与える影響を明らかにする。

EFFECTS OF GRINDING METHOD ON FATIGUE STRENGTH
OF WEB-GUSSET WELDED JOINTS.

Major in Civil Engineering and Architecture,
Graduate School of Engineering, Hosei University

By
Akihiro OGAWA

February 2008

ABSTRACT

As for the Web-Gusset welded joints, fatigue strength is low compared with other type of joints in steel bridges, and the fatigue damage is prone to occur. In order to prevent the damage, it is considered to be effective to improve the configurations of the welded portions, thereby stress concentration at the welded decreases. As improving methods, a method to grind toe or toe and weld bead roundly and a method to grind weld of gusset plate with fillet roundly (fillet finishing) are sometimes used. Fillet finishing is usually used in two girder bridges in recent years, because of high improvement effect on fatigue strength. Tool for grinding can be divided into two types; they are burr type grinder and disc type grinder. The burr type grinder is considered to be adequate to finish the fillet weld toe. The disc type grinder is prone to make notches on the weld, and difficult to finish the welt toe. However in practice, disc type grinder is also often used because of easy handling.

In this study, fatigue tests and stress analyses are conducted on specimens modeling the web-gusset welded joints, for which burr-grinders as well as disc-grinders were applied. Based on the experimental results, fatigue strength category is proposed corresponding to types of grinding and finishing method applied. Furthermore influence of weld toe radius, fillet radius and depth of grinding on stress concentration is made clear through finite element stress analyses.

目次

第1章 序論

1.1 研究の背景	1
1.2 既往の研究	2
1.3 研究の目的	3

第2章 試験体

2.2 試験体の製作	5
2.1.1 シリーズ I	5
2.1.2 シリーズ II	6
2.2 溶接部の形状	6
2.3 仕上げ表面の状況	
2.3.1 仕上げ表面の状況	7
2.3.2 表面粗さの測定	7
2.4 未溶着部の形状	7
2.5 残留応力の測定	
2.5.1 測定方法	8
2.5.2 測定結果	8

第3章 疲労試験

3.1 試験方法	
3.1.1 疲労試験	59
3.1.2 ビーチマーク試験	59
3.2 試験結果	
3.2.1 疲労強度	
(a) シリーズ I	59
(b) シリーズ II	60
3.2.2 疲労亀裂の発生・進展性状	61

3.2 疲労強度の比較	
3.3.1 比較対象及び方法	61
3.3.2 比較対象及び方法	
(a) 溶接のまま(AW)	62
(b) 止端仕上げ(TG)	62
(c) 溶接部 R 仕上げ(WR)	62
(d) フィレット仕上げ(FR)	62
(e) 比較結果まとめ	63

第4章 試験体の応力解析

4.1 解析対象	178
4.2 解析方法	178
4.3 解析結果	178

第5章 応力集中に対する諸因子の影響

5.1 主板厚の影響	
5.1.1 解析対象及び方法	194
5.1.2 解析結果	194
5.2 溶接止端半径の影響	
5.2.1 解析対象及び方法	195
5.2.2 解析結果	195
5.3 溶接止端部削り込み深さと主板厚の影響	
5.3.1 解析対象及び方法	195
5.3.2 解析結果	196
5.4 仕上げ範囲の影響	
5.4.1 解析対象及び方法	196
5.4.2 解析結果	196

<u>第6章 結論</u>	220
---------------	-----

参考文献

謝辞

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

鋼構造物の代表的な劣化現象に疲労と腐食がある。疲労とは鋼材の降伏応力より小さな応力であっても、それが繰り返し作用することによって、溶接止端などの形状変化部から亀裂が発生・進展し、最終的に破断に至る物理現象である。鋼橋に求められる耐用期間は長く、半永久的に使用されることもある。鋼橋に作用する外力は死荷重を除いた場合、自動車や列車などの時間的に変化する活荷重が主であり、これが疲労損傷の原因となる。

従来、道路橋については車両荷重が直接載荷される鋼床版を除いて疲労照査の必要はないとされてきた。旧道路橋示方書¹⁾によれば、この理由を「道路橋においては、鉄道橋と比べた場合、設計応力に占める活荷重応力の割合が小さく、また設計活荷重に相当する活荷重が載荷される頻度が小さいため、・・・」としている。このような疲労に関する条項が記載されたのは、1980 年からであり、それ以前の活荷重の状況や橋梁形式、使用鋼材などを総合的に判断して設定されたものと考えられる。しかし、トラックの大型化に伴う重量化や大型車交通量の増加など、当時の検討では想定しなかった過酷な交通状態が生じ、そのような路線に位置する鋼道路橋を中心に 1980 年代から疲労が原因と考えられる損傷事例が数多く報告されている²⁾³⁾。また、疲労に関する条項の検討が行われた当時は橋梁用鋼材として SS400 あるいは SM400 鋼が最も広く用いられていた。しかし、現在では SM490Y 鋼が主流であり、SM570 鋼やそれ以上の高強度鋼が用いられることも少なくない。平板であれば静的強度が増せば疲労強度も向上するが、溶接継手の疲労強度は鋼材の静的強度に依存しないことが知られている⁴⁾。そのため使用鋼材の高強度化が進む中で溶接継手の疲労強度が問題となることが多い。

鋼橋には十字継手、T 字継手、突合せ継手、ガセット継手などが不可欠である。このような継手の中でも特に面外ガセット溶接継手は疲労強度が低く、疲労損傷が生じやすいとされている。また、横桁フランジ主桁ウェブ交差部などの面外ガセット溶接継手は疲労亀裂が生じた場合、最終的に主桁を貫通し落橋する恐れがあるため未然に防ぐ必要がある。

面外ガセット溶接継手の疲労強度を向上させる方法を大別すると溶接止端部の応力集中を低減させる方法と、残留応力をコントロールする方法に分けられる⁵⁾。応力集中を低減させるには、高い応力集中が生じる鋭い溶接の止端部に何らかの加工をして

形状を滑らかにすることが有効であり，グラインダ仕上げやTIG処理，溶射などさまざまな研究がなされている^{6)~10)}．また，残留応力をコントロールする方法にはピーニングや低変態温度溶接材料を使用するなどの方法がある^{10)~13)}．このような方法の中でもグラインダ仕上げは疲労強度を向上させる最も一般的で効率の良い方法である．

グラインダ処理に用いられる砥石をその形状により大別すると，ディスク型とロータリーバー（ペンシル）型の2つとなる（写真 1.1 参照）．これらの内，どちらを用いるかは適用部位の作業空間や作業姿勢に依存する．ディスクグラインダは短時間で多くの部分を研削することが可能であるが，使用器具の大きさの関係から，十分な空間が確保できない場合は適切な仕上げが困難である．そのため，止端部のみを仕上げるには不向きであり，仕上げ部に傷がつきやすいという問題がある．しかし，実際の施工では作業の容易さから用いられることが少なくないようである．バークグラインダは比較的狭い空間での作業に適している．そのため，面外ガセットなどの廻し溶接部の処理に適しているとされている．

1.2 既往の研究

グラインダ仕上げにより面外ガセット溶接継手の疲労強度を改善する研究がこれまでにいくつか報告されている^{6)~13)}．面外ガセット溶接継手の疲労破壊の起点は通常，溶接止端部である．いくつかの実験報告によれば，止端部にグラインダ処理を施すことで疲労強度は向上するものの，すみ肉溶接の場合，溶接ルート部を起点とする破壊が生じることが確認されている^{14) 15)}．面外ガセットすみ肉溶接は未溶着部（主板とガセットの隙間）であるルートから生じた疲労き裂は，外部から検出することが難しいため，維持管理上避けるべきであると考えられる．面外ガセットすみ肉溶接のルート破壊を防ぐ方法として，平山ら⁶⁾はガセット端から 20mm の領域のみを開先溶接にすることにより，止端仕上げした場合も廻し溶接止端部からき裂が発生，進展し，破断に至ることを明らかにし，それにより，完全溶け込み溶接におけるグラインダ処理による疲労強度の向上を明らかにした．猪股¹⁶⁾は実際の施工に少なからず見られる，溶接止端ではなく，溶接の余盛をのみを仕上げた場合は疲労強度の改善効果がほとんどないことを明らかにした．

面外ガセット溶接継手の疲労強度を向上させる方法として，溶接止端部の処理の他に，フィレットを有するガセットを溶接した後，溶接部をフィレットに沿ってグラインダ処理するフィレット仕上げがある．フィレット仕上げは溶接止端部を仕上げる方法より，応力集中を軽減でき，疲労強度改善効果が高いとされているため，新形式橋

梁である少数桁橋に多く採用されている。しかし、これまでに、このようなフィレット仕上げした面外ガセット溶接継手の疲労試験はほとんど行われていない。フィレット仕上げした面内ガセット溶接継手については、フィレット半径が疲労強度に与える影響は竹名¹⁷⁾、根岸ら¹⁸⁾により検討されているが、面外ガセット溶接継手については明らかになっていない。

日本鋼構造協会（JSSC）の疲労設計指針（以下JSSC指針）¹⁹⁾では溶接継手の種類や仕上げの有無に応じて疲労強度等級が規定されている。JSSC指針では溶接のままの面外ガセット溶接継手の疲労強度等級をG、止端仕上げした継手の強度等級をF、また半径40mm以上のフィレット仕上げした継手の等級をEとしている。JSSC指針ではグラインダ仕上げは応力の方向と水平に仕上げるとしている。

国際溶接学会（IIW）の疲労設計指針（以下IIW指針）²⁰⁾においても面外ガセットの溶接継手の疲労強度が規定されている。IIW指針ではグラインダ仕上げにはバークグラインダを用いるとしている²¹⁾。

1.3 研究目的

本研究では、面外ガセット溶接継手のモデル試験体を対象として溶接部を数種類の方法で仕上げ、疲労試験を行い、仕上げ方法に応じた疲労強度等級を提示することを目標とする。そのため、仕上げ形状として溶接止端部を仕上げた試験体、溶接部全体をR仕上げした試験体、ガセットにフィレットを有し溶接止端部を仕上げた試験体、およびフィレットを有したガセットを主板に擦付けたフィレット仕上げ試験体を用いた。仕上げに用いるグラインダは、ディスクグラインダおよびバークグラインダの2種類とした。さらに、疲労強度に影響を及ぼす応力集中の支配因子を明らかにするため、主板の板厚、溶接止端の曲率半径、フィレットの半径、止端仕上げ時の削り込み深さ、廻し溶接部の仕上げ範囲をパラメータとした有限要素応力解析を行い、それらが応力集中に及ぼす影響について検討した。



写真 1.1 ディスクグラインダとバーグラインダ

第2章 試験体

2.1 試験体の製作

面外ガセット溶接継手をモデル化した試験体を溶接の棒継ぎ位置，溶接部の仕上げに用いるグラインダの違いによりシリーズⅠとシリーズⅡに分けて製作した．供試鋼材は，板厚 12mm の溶接構造用鋼材 JIS SM490YA を用いた．使用した鋼材の機械的性質と化学成分を表 2.1 と表 2.2 に示す．溶接材料は，シリーズⅠには CO₂ 溶接用ソリッドワイヤ JIS Z3312 YGW11 を，シリーズⅡには主にフラックス入りワイヤ JIS Z3313 YFW-C50DM を用いた．溶接材料の機械的性質と化学成分を表 2.3～表 2.6 に示す．

2.1.1 シリーズⅠ

溶接棒継ぎをガセット端で行い，仕上げにディスクグラインダを用いて 5 種類の試験体を製作した．まず，フィレットを有さないガセットを持つ試験体を 3 種類製作した．主板側の溶接部止端をディスクグラインダで仕上げた試験体，止端を含む溶接ビート全体を R 仕上げした試験体，さらに各種溶接仕上げによる疲労強度改善効果を確認する目的として溶接部未処理の試験体を製作した．次にフィレットを有するガセットを溶接した後，ガセット側，主板側，両方の溶接止端をディスクグラインダで仕上げた試験体，フィレットを有したガセットを溶接した後，主板にディスクグラインダでフィレットの R に沿ってすりつけ，最終的にバフ研磨した試験体を製作した．各試験体とも完全溶け込み溶接相当にするためガセット板の開先はルートフェイス 1mm の K 型開先とし，ガセットこぼ面はレ型開先とした．これらの試験体の全体寸法，仕上げの詳細，試験体の詳細寸法と開先詳細，溶接パスの手順を図 2.1～図 2.4 に示す．試験体全体の外観を写真 2.1 に示す．溶接条件を表 2.7 に示す．各試験体の名称は以下の通りである．

- ・ 溶接部未処理，溶接のままの試験体（以下 I-AW 試験体と称す）
- ・ 溶接部止端を仕上げた試験体（以下 I-TG 試験体と称す）
- ・ 溶接部を R 仕上げした試験体（以下 I-WR 試験体と称す）
- ・ フィレット付ガセットの溶接部止端を仕上げた試験体（以下 I-FG 試験体と称す）
- ・ フィレット付のガセットを主板にすりつけた試験体（以下 I-FR 試験体と称す）

2.1.2 シリーズ II

溶接棒継をガセットコーナーから離れた位置で行い、仕上げにバーグラインダを用い、シリーズ I のフィレット付ガセットの溶接部を仕上げた試験体 (FG) を除く 4 種類の試験体を製作した。シリーズ I との違いは廻し溶接の棒継はガセット端から離れた位置で行っている点、最終的な仕上げにすべてバーグラインダを用いた点である。溶接パスの手順を図 2.5 に示す。試験体寸法、開先状況などはシリーズ I と同じとした。ただし、フィレット仕上げの試験体についてはバフ研磨は行っていない。仕上げの詳細を図 2.6 に、試験体の外観を写真 2.2 に示す。使用したバーグラインダの外観と粒度を写真 2.3 に示す。止端仕上げ、溶接部 R 仕上げの試験体には球型 SB8C06 (刃径 11mm)、フィレット仕上げには卵型 SB6C03 (刃径 12.7mm) を使用した。溶接条件を表 2.8 と表 2.9 に示す。各試験体の名称は以下の通りである。

- ・溶接部未処理の試験体 (以下 II-AW 試験体と称す)
- ・溶接部止端を仕上げた試験体 (以下 II-TG 試験体と称す)
- ・溶接部を R 仕上げした試験体 (以下 II-WR 試験体と称す)
- ・フィレット付ガセットを主板にすりつけた試験体 (以下 II-FR 試験体と称す)

2.2 溶接部の形状

各試験体の溶接部の形状、外観をシリーズ I と II に分けて写真 2.4 と写真 2.5 に示す。各試験体の溶接部の主板側とガセット側の溶接脚長、止端部形を代表する曲率半径 (ρ) フランク角 (θ) を測定した。測定は歯科用ゴム弾性印象材 (ジーシーエクザファイン) で採取した溶接部の型をスライスし、10 倍拡大投影機で観察することにより行った。型は各試験体 4 箇所 of 廻し溶接部から採取し、中央付近を約 2mm 幅で 5 ~ 6 枚にスライスし、中央付近を測定に用いた。曲率半径 (ρ) とフランク角 (θ) は図 2.7 に示すように定義する。なお、シリーズ I とシリーズ II とともに WR 試験体、FR 試験体は曲率半径が大きいためフランク角は測定できなかった。また FR 試験体の曲率半径はフィレットに沿って主板にすりつけた部分で測定した。脚長、フランク角、曲率半径の測定結果の平均値を表 2.10 と表 2.11 に示す。シリーズ I ・ II とともに溶接のままの止端曲率半径は約 1mm である。シリーズ I と比較しバーグラインダを用いたシリーズ II は止端仕上げ、溶接部 R 仕上げともに大幅な曲率半径の改善がみられる。フィレット仕上げはシリーズ I ・ II とともに 40mm 程度である。

2.3 仕上げ表面の状況

2.3.1 仕上げ表面の状況

デジタルマイクロスコープ（測定器：KEYENCE/VH-8000, レンズ：KEYENCE/VH-Z450）を用いてレンズ倍率 50 倍及び 100 倍にて仕上げした溶接止端部を撮影した。測定箇所と拡大した表面状況を写真 2.6 に示す。シリーズ I の試験体は試験体長手方向直角にディスクグラインダによる無数の溝が見られる。I-F R 試験体は I-TG, I-WR と比較してディスクグラインダによるキズが浅いように見える。シリーズ II の試験体では刃径の小さいバーグラインダで仕上げた II-TG, II-WR と比べて大きい刃径を用いた II-FR 試験体の表面が粗く凹凸が大きい。

2.3.2 表面粗さ測定

表面粗さはレーザ変位計（3次元形状測定システム：EMS98AD-3D, レーザ KEYWNCCE/LT-8110）により測定した。算術平均粗さの定義を図 2.8 に示す。測定基準長は 4mm とし、グラインダ仕上げした各試験体の溶接止端部を測定した。測定箇所を写真 2.7 に示す。なおディスクグラインダで仕上げた I-TG, I-WR, I-FG 試験体は溶接止端の曲率が小さく測定できなかった。測定結果を図 2.9, 表 2.12 に示す。バフ研磨を行っている I-F R 試験体が最も滑らかな表面をしており、刃径の大きいバーグラインダを用いた II-F R 試験体の表面は粗い。

2.4 未溶着部の形状

完全溶け込み溶接を確認するため I-WR 試験体と I-FR 試験体の断面マクロ試験を行った。切断断面位置と断面の状況を写真 2.8, 写真 2.9 に示す。また、II-TG 試験体と II-WR 試験体においてフライス盤によりガセット端部から主板長手方向の断面の溶け込みを 1mm ごとに 30mm まで確認した。各断面の未溶着部を着色したものを写真 2.10, 写真 2.11 に示す。

I-WR, I-FR 試験体には殆ど完全溶け込み溶接となっており未溶着部は見られなかったが、II-TG, II-WR 試験体はほぼ全断面に渡って溶け込み不足により、開先部先端に 0~3mm 程度の未溶着部が見られた。

2.5 残留応力の測定

2.5.1 測定方法

溶接の形状，溶接止上げの違いにより溶接残留応力がどのように異なるかを調査する目的で，残留応力の測定を行った．すなわち，溶接止端線に沿って貼付したひずみゲージの周りを切断することによって解放されるひずみを測定した．残留応力の値は，ひずみに鋼材のヤング率 ($2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$) を乗じることにより求めた．溶接脚長は試験体両面で異なるため，両面の主板側溶接脚長を比較し，主板側溶接脚長の長い面を基準とし，表面とした．ひずみゲージは試験体の表面の溶接止端から 5mm 離れた主板ライン上に 9 枚，そのゲージの真裏に 9 枚，左右のこぼ面に 1 枚ずつ，一体につき 20 枚貼付した．ひずみゲージのゲージ長は 2mm である．ひずみゲージの貼付位置と試験体の切断位置を図 2.10 と図 2.11 に示す．図中の数字はゲージ番号を示し，図中の数字はゲージ番号を示し，() を付けた番号は裏面に貼付したゲージの番号を示している．切断前後の試験体の例を写真 2.12 に示す．

2.5.2 測定結果

残留応力の測定結果を図 2.12 と図 2.13 に示す．図 2.13 は表裏両面の残留応力の平均値を示している．シリーズ I，シリーズ II いずれの試験体においても板中央で引張りの残留応力が大きくなっている．残留応力の大きさと分布に試験体の種類による顕著な差は認められない．

表 2.1 SM490YA の機械的性質

鋼材	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)
A	482	584	22
B	427	553	25
C	460	568	25

表 2.2 SM490YA 化学的性質

鋼材	C	Si	Mn	P	S
A	0.16	0.38	1.39	0.2	0.04
B	0.16	0.39	1.40	0.17	0.04
C	0.16	0.38	1.43	0.15	0.05

表 2.3 JIS Z3312 YGW11 機械的性質

降伏点	引張強さ	伸び
519(N/mm ²)	577(N/mm ²)	31%

表 2.4 JIS Z3312 YGW11 化学的性質

C	Si	Mn	P	S	Cu	AL	Ti+ZR
0.04	0.72	1.62	0.01	0.012	0.24	<0.01	0.24

表 2.5 JIS Z3313 YGW-C50DM 機械的性質

降伏点	引張強さ	伸び
455(N/mm ²)	543(N/mm ²)	30%

表 2.6 JIS Z3312 YGW-C50DM 化学的性質

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.05	0.50	1.57	0.007	0.007	0.2

表 2.7 シリーズ I 試験体溶接条件

ワイヤ	径 mm φ	電流 A	電圧 V	速度 cm/min	シールドガス CO2
MG50 (ソリッドワイヤ)	1.2	300	35	35~40	100%, 25 l/min

表 2.8 シリーズ II 試験体溶接条件 (II-FR 以外)

ワイヤ	径 mm φ	電流 A	電圧 V	速度 cm/min	シールドガス CO2
MX-Z200 (フラックス入りワイヤ)	1.2	280	34	30~35	100%, 25 l/min

表 2.9 シリーズ II 試験体溶接条件 (II-FR)

	ワイヤ	径 mm φ	電流 A	電圧 V	速度 cm/min	シールドガス CO2
1 層目	MG50 (ソリッドワイヤ)	1.2	300	35	35~40	100%, 25 l/min
2 層目	MX-Z200 (フラックス入りワイヤ)	1.2	280	34	30~35	100%, 25 l/min

表 2.10 シリーズ I 溶接形状各測定値の平均値と標準偏差

試験体	供試体数	ガセット側脚長(mm)		主板側脚長(mm)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
I-AW	240	10.1	0.7	10.7	0.8
I-TG	192	9.8	0.8	10.7	1.0
I-WR	192	11.5	1.1	10.5	0.8
I-FG	192	7.8	0.5	10.6	0.9
I-FR	36	-	-	-	-

試験体	主板側フランク角(°)		主板側曲率半径(mm)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
I-AW	123.4	5.6	1.1	0.6
I-TG	111.0	3.3	2.1	0.6
I-WR	-	-	3.3	0.9
I-FG	116.4	7.1	2.3	0.6
I-FR	-	-	43.7	0.5

試験体	ガセット側フランク角(°)		ガセット側曲率半径(mm)		削り込み深さ(mm)
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値
I-AW	126.8	5.9	2.2	0.8	0
I-TG	104.0	0.3	2.3	0.6	0~0.1
I-WR	-	-	3.1	1.0	0~0.1
I-FG	-	-	1.6	0.5	0~0.1
I-FR	-	-	-	-	0

表 2.11 シリーズⅡ溶接形状各測定値の平均値と標準偏差

試験体	供試体数	ガセット側脚長(mm)		主板側脚長(mm)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
Ⅱ-AW	160	10.1	1.0	8.0	0.6
Ⅱ-TG	160	12.8	1.2	9.3	0.7
Ⅱ-WR	160	12.3	1.3	10.5	0.8
Ⅱ-FR	128	-	-	-	-

試験体	主板側曲率半径(mm)		主板側フランク角(°)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
Ⅱ-AW	0.8	0.8	116.8	14.7
Ⅱ-TG	5.6	0.5	122.3	6.9
Ⅱ-WR	10.3	1.5	-	-
Ⅱ-FR	46.1	7.5	-	-

試験体	ガセット側曲率半径(mm)		ガセット側フランク角(°)		削り込み深さ(mm)
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値
Ⅱ-AW	1.9	0.9	127.2	13.3	0
Ⅱ-TG	1.3	0.7	134.1	16.0	0.9
Ⅱ-WR	2.8	1.0	-	-	0.2
Ⅱ-FR	-	-	-	-	0

表 2.12 各試験体表面粗さ Ra 値

試験体種類		算術平均粗さ Ra (μm)	Ra 箇所平均値	Ra 平均値	
I -FR	1	1	7.86	8.75	9.62
		2	9.34		
		3	9.06		
	2	1	10.66	10.48	
		2	9.85		
		3	10.93		
II -FR	1	1	14.92	14.49	15.33
		2	12.79		
		3	15.76		
	2	1	13.60	16.16	
		2	11.84		
		3	23.05		
II -WR	1	1	13.08	11.60	11.02
		2	10.12		
		3	11.62		
	2	1	10.96	10.44	
		2	9.65		
		3	10.72		
II -TG	1	1	10.23	10.37	10.26
		2	12.08		
		3	8.80		
	2	1	11.12	10.15	
		2	9.22		
		3	10.11		

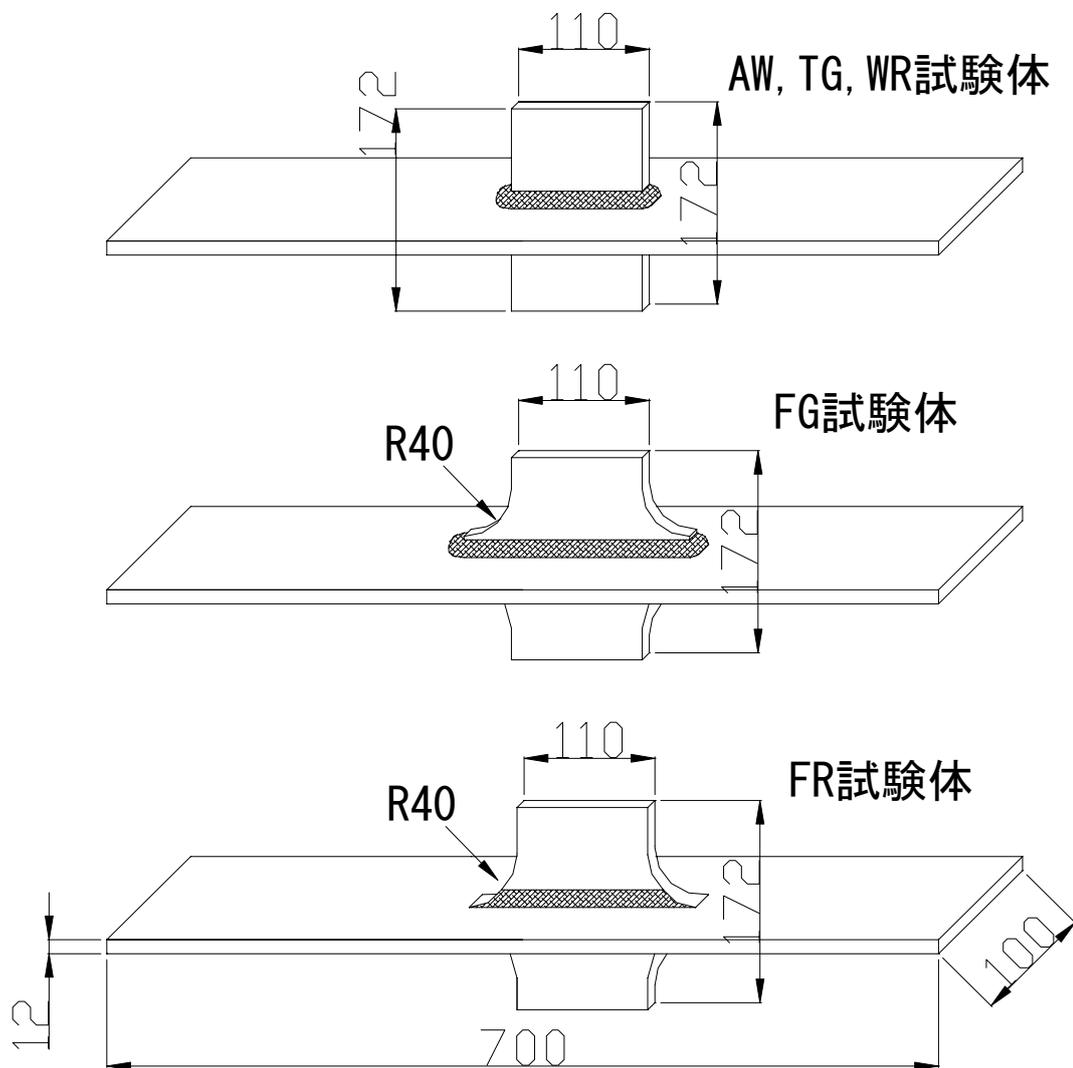
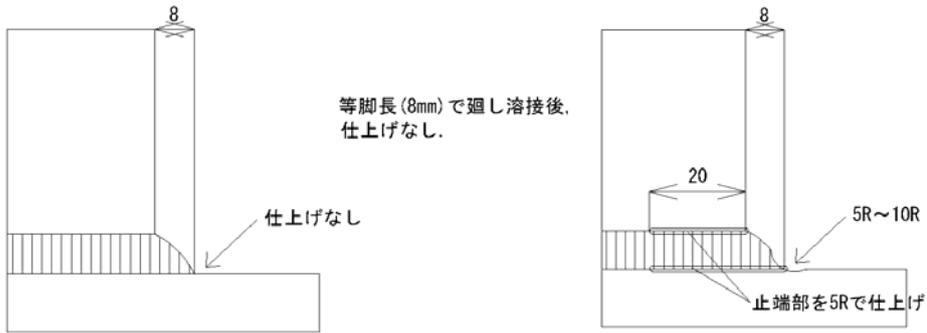
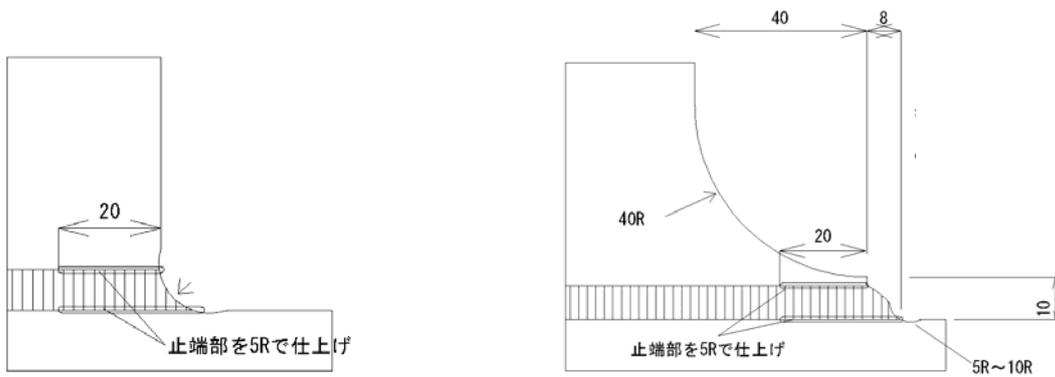


図 2.1 試験体寸法図



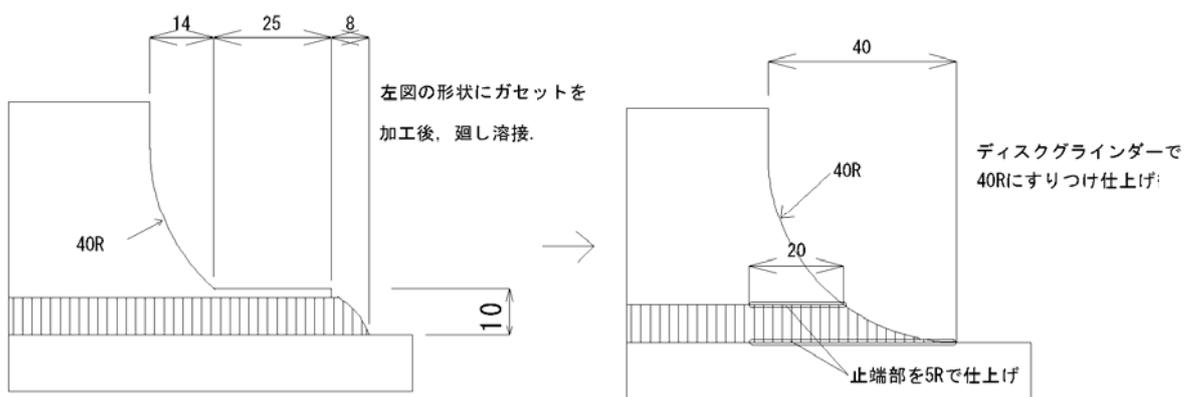
①溶接のまま (I-AW)

②止端部のみ R 仕上げ (I-TG)



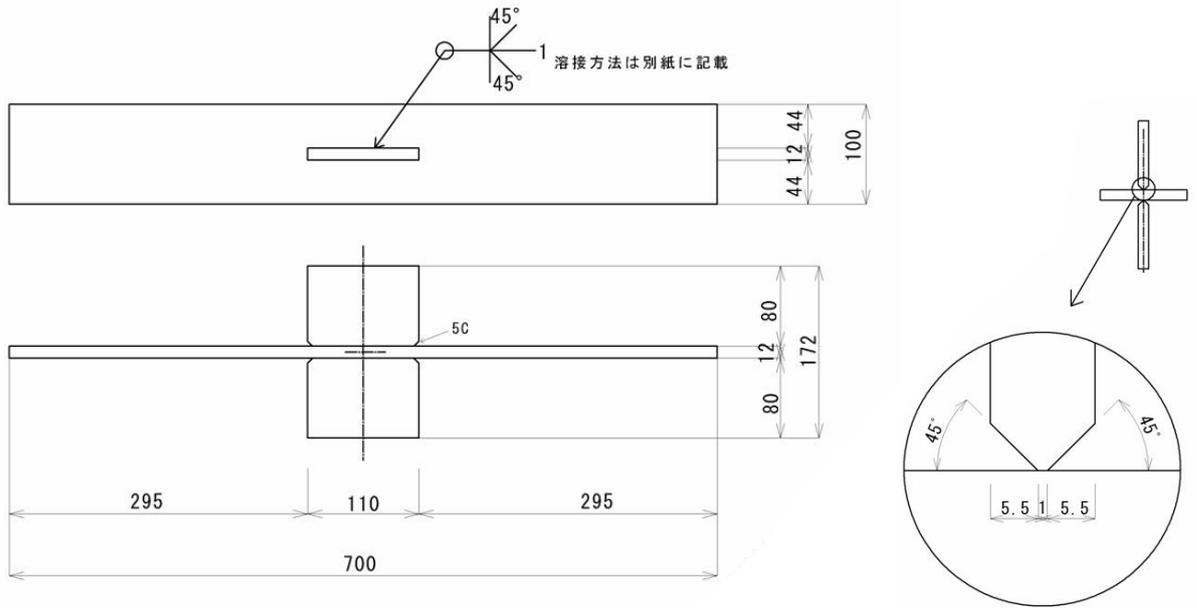
③溶接部全体を R 仕上げ (I-WR)

④フィレット付止端部を仕上げ (I-FG)



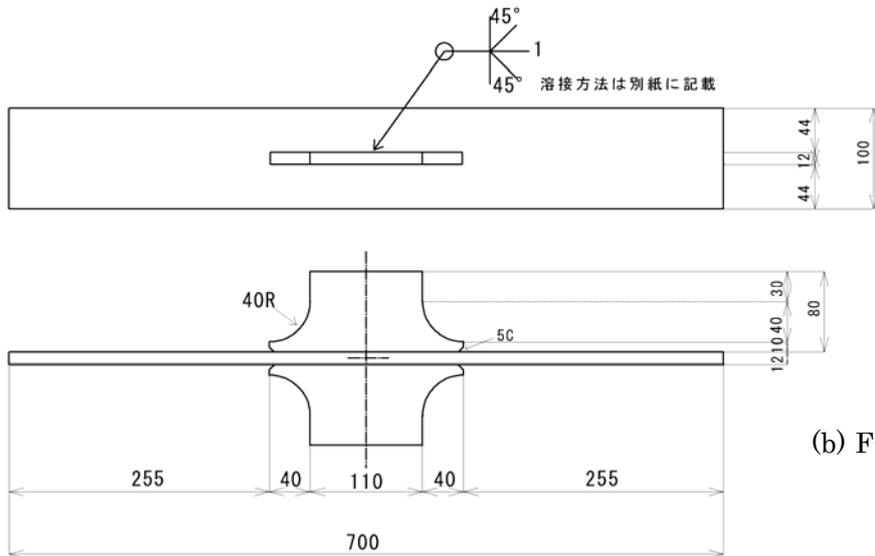
⑤フィレット仕上げ (I-FR)

図 2.2 シリーズ I 仕上げ詳細図

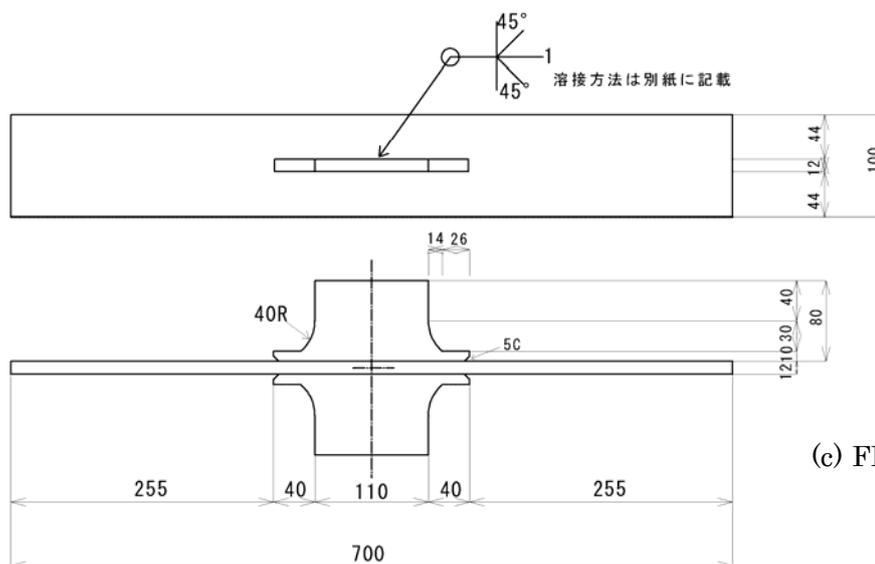


(a) AW, TG, WR 試験体

(d) 開先詳細



(b) FG 試験体



(c) FR 試験体

図 2.3 試験体詳細寸法シリーズ共通

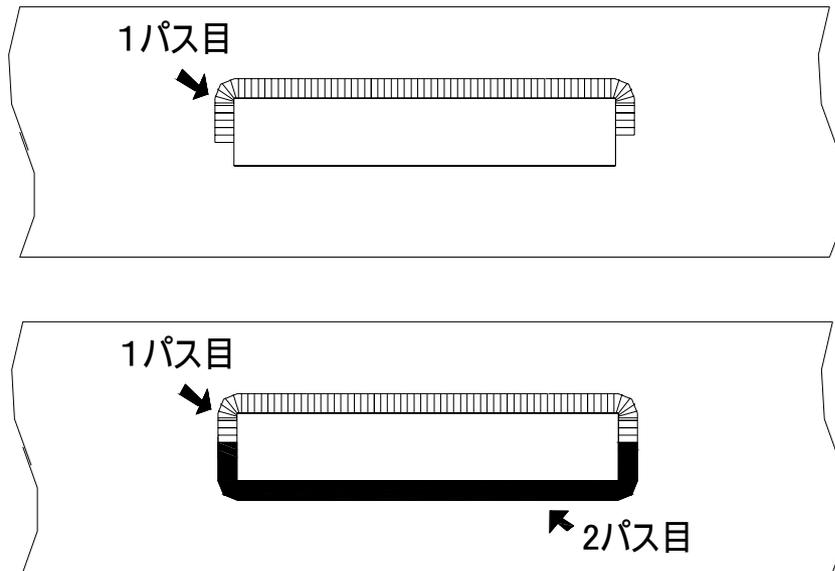


図 2.4 シリーズ I 溶接パス手順

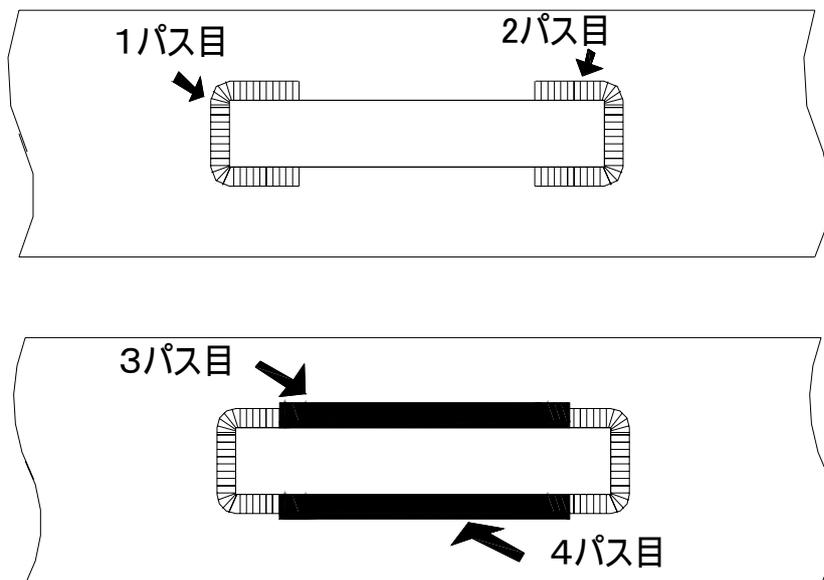
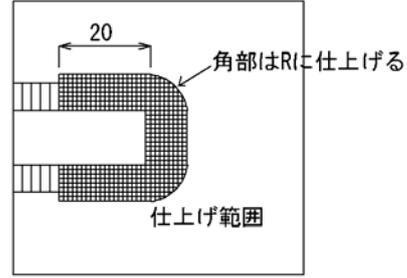
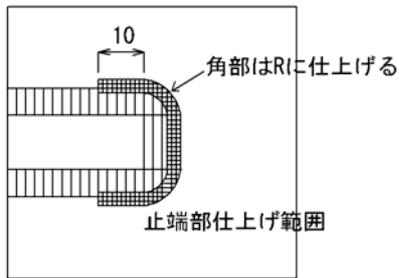
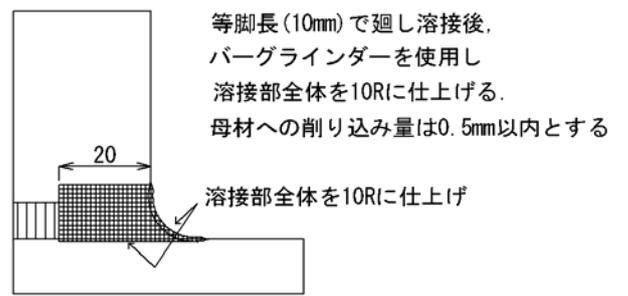
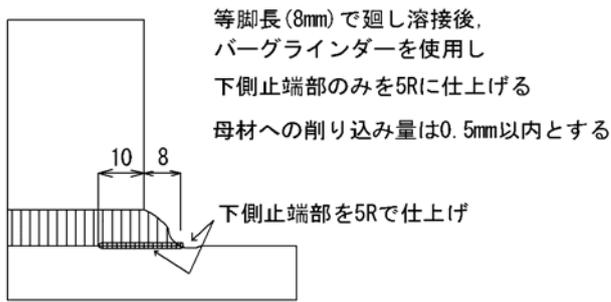
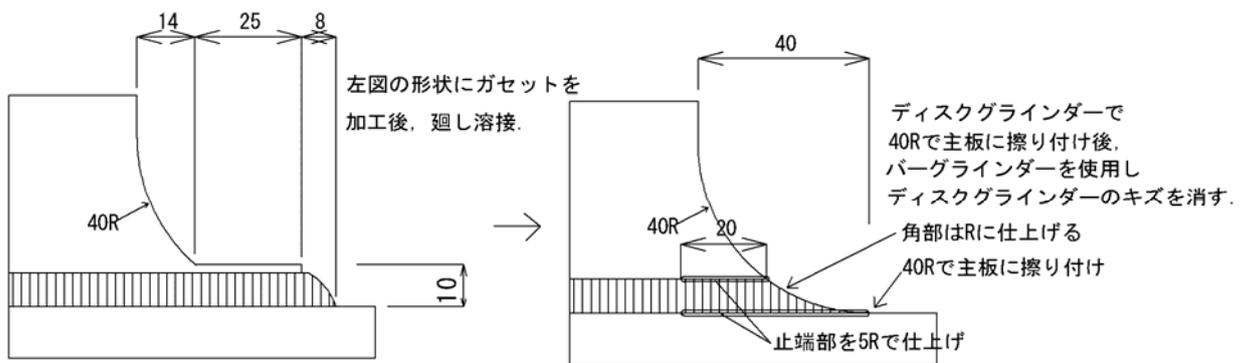


図 2.5 シリーズ II 溶接パス手順



②止端部のみ仕上げ (II-TG)

③溶接部全体を R 仕上げ (II-WR)



④フィレット仕上げ (II-FR)

図 2.6 シリーズ II 仕上げ詳細図

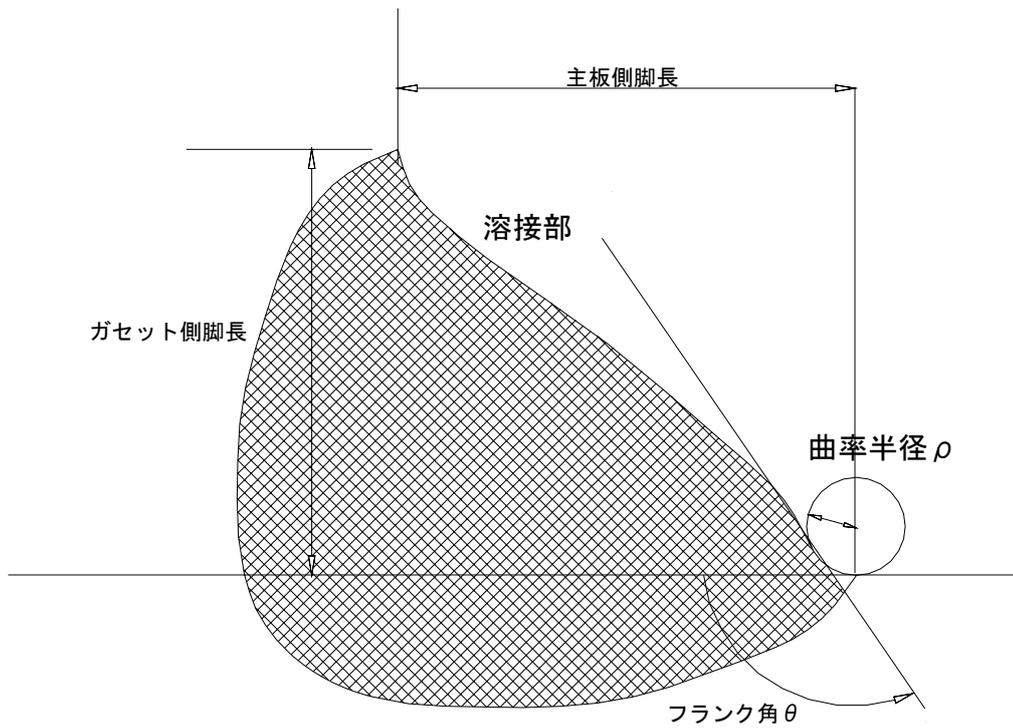


図 2.7 曲率半径 ρ 、フランク角 θ と溶接脚長

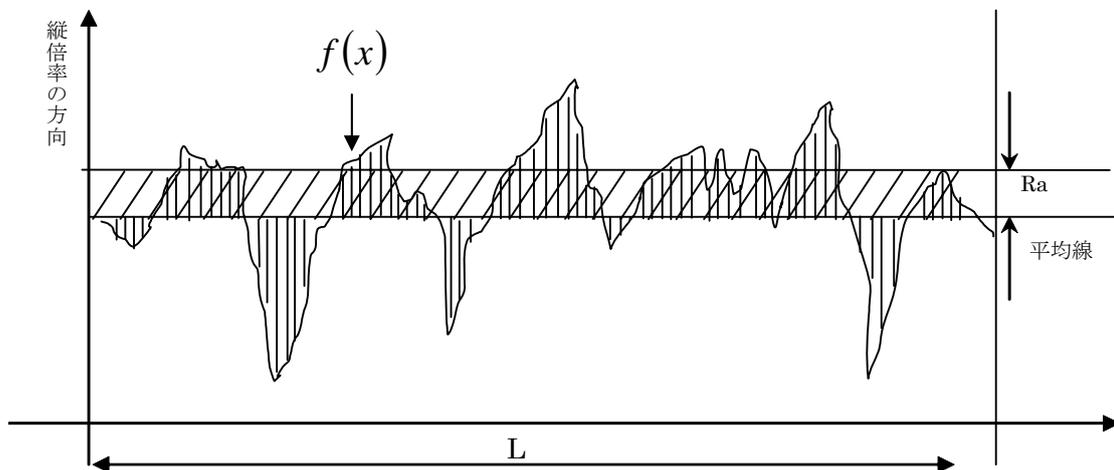
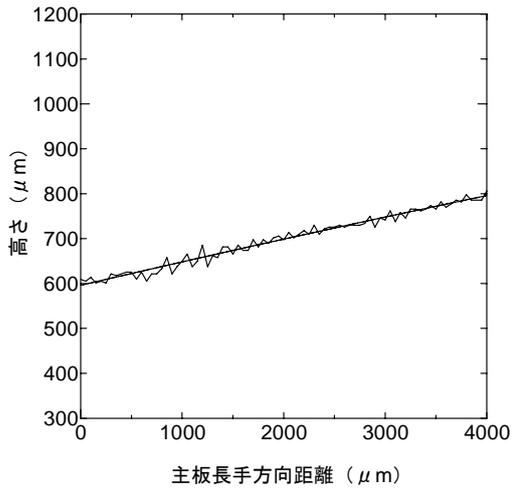
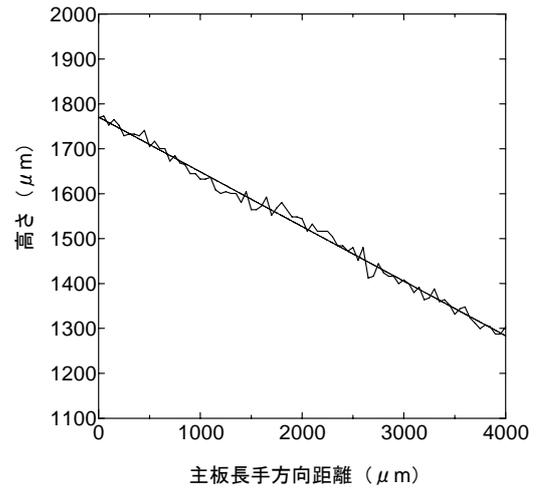


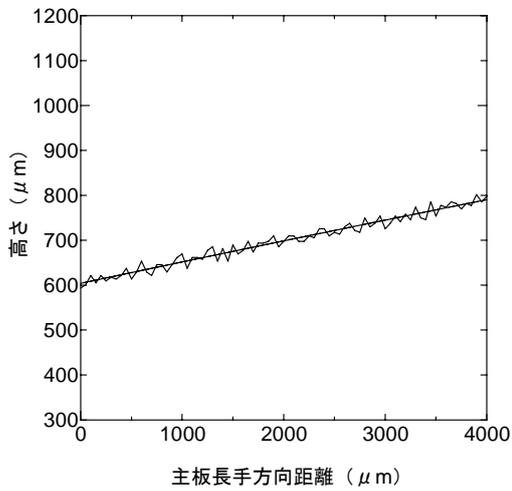
図 2.8 算術平均粗さ R_a の考え方



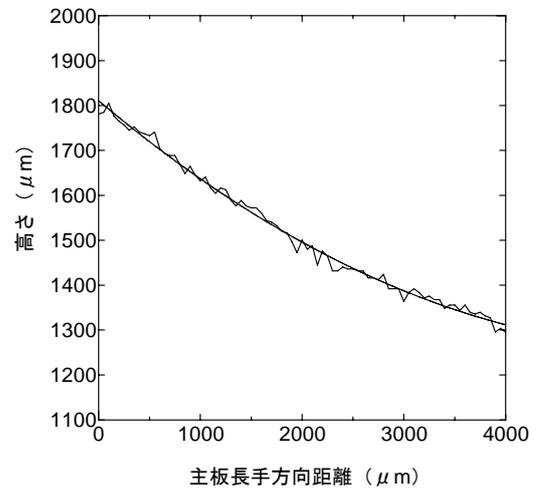
I-FR 1-1



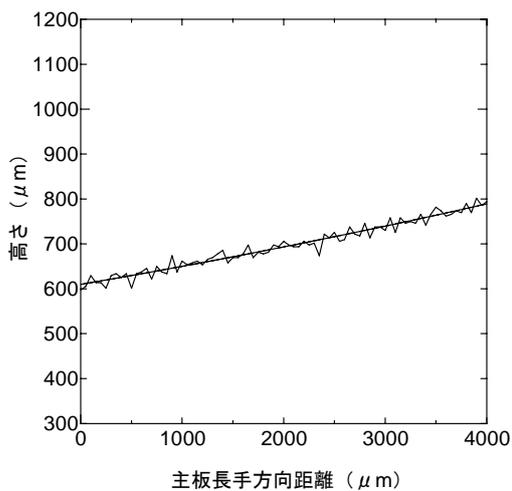
I-FR 2-1-



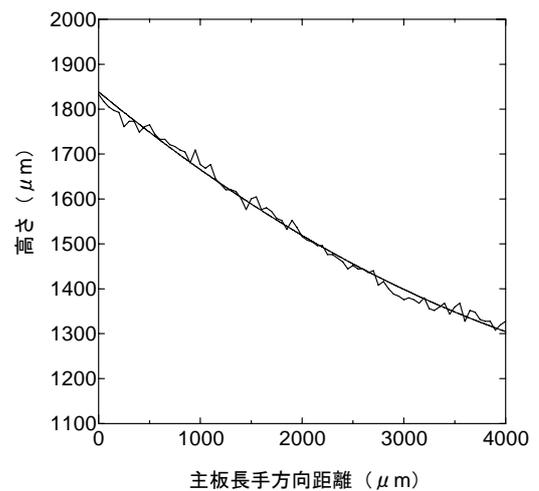
I-FR 1-2



I-FR 2-2

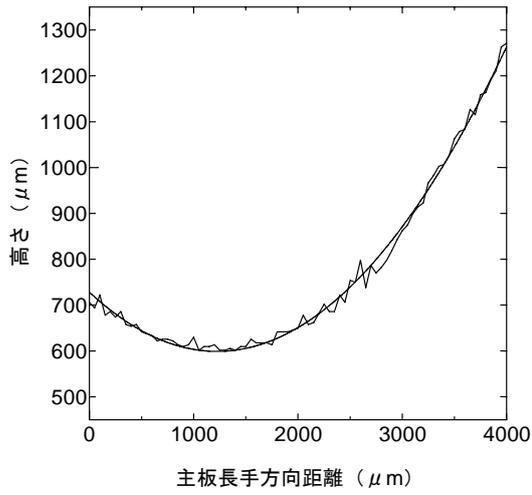


I-FR 1-3

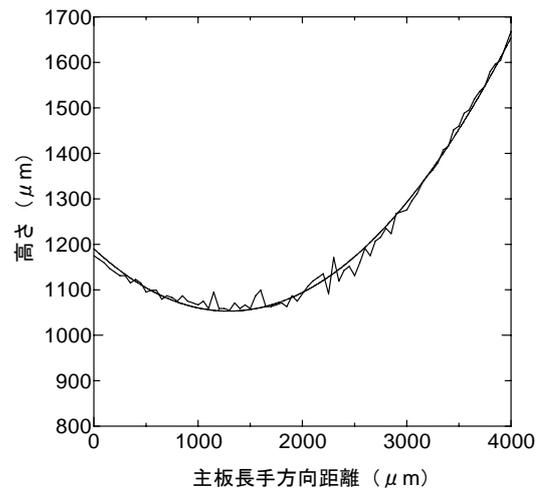


I-FR 2-3

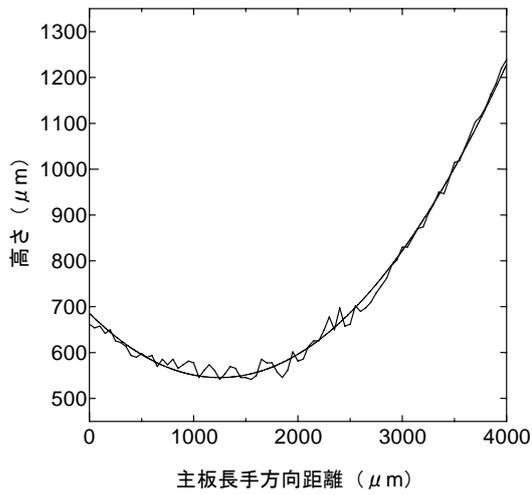
図 2.9-1 表面形状 (I-FR)



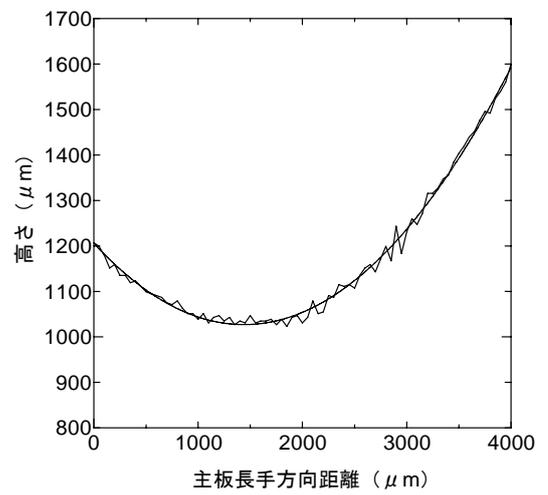
II-TG 1-1



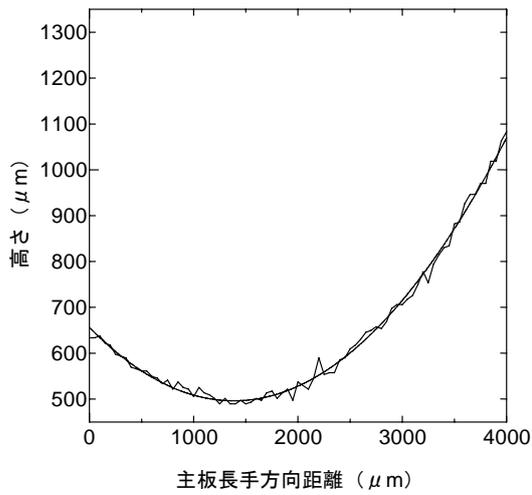
II-TG 2-1



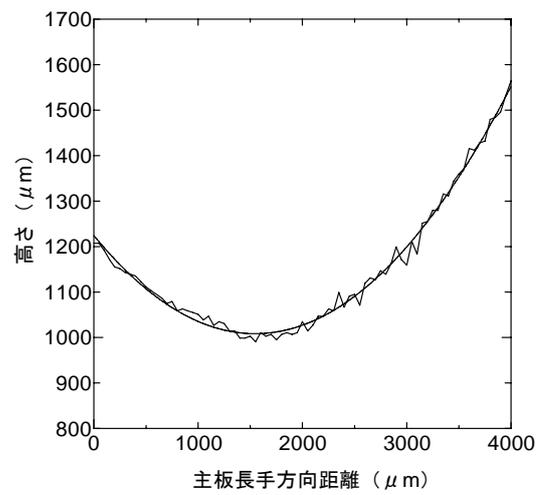
II-TG 1-2



II-TG 2-2

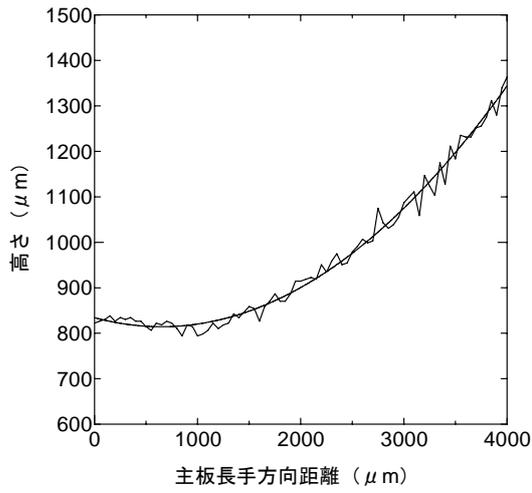


II-TG 1-3

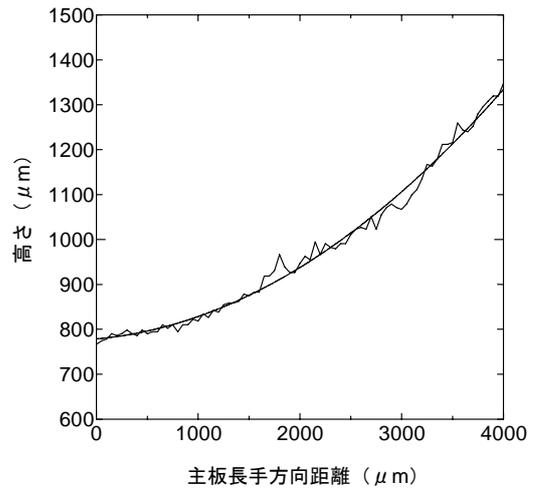


II-TG 2-3

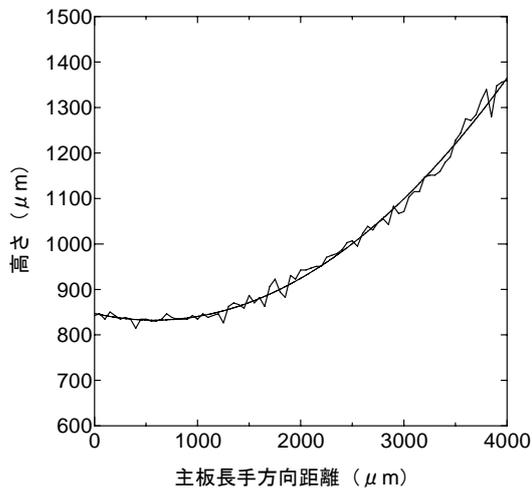
図 2.9-2 表面形状 (II-TG)



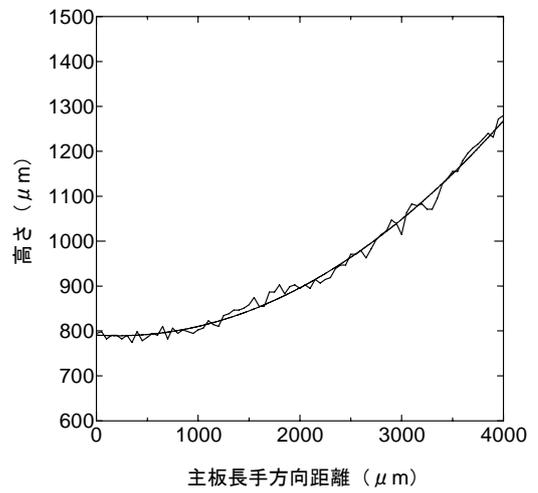
II-WR 1-1



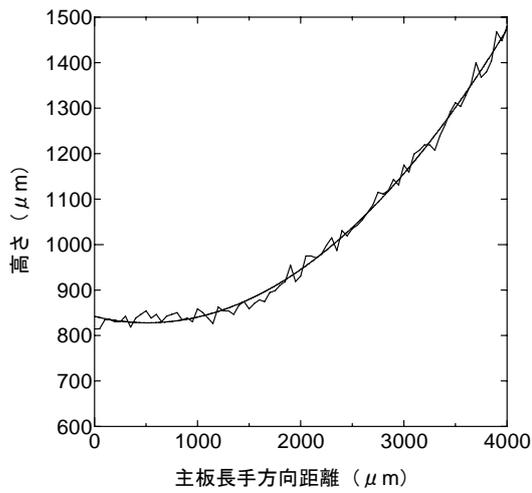
II-WR 2-1



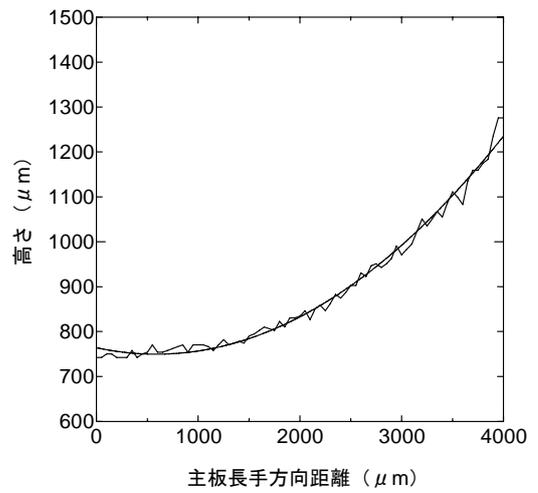
II-WR 1-2



II-WR 2-2

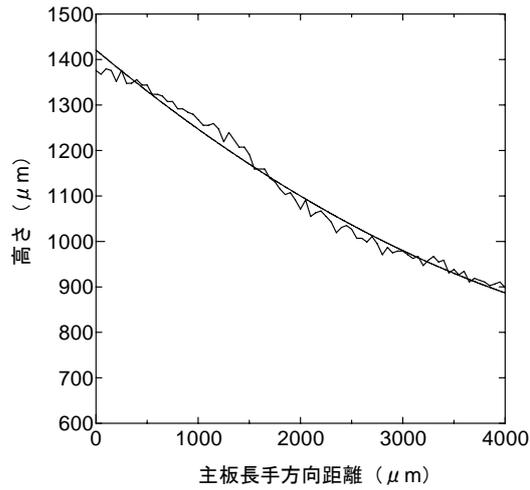


II-WR 1-3

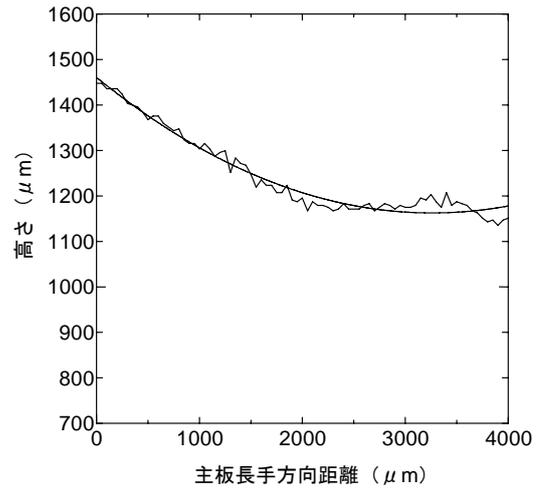


II-WR 2-3

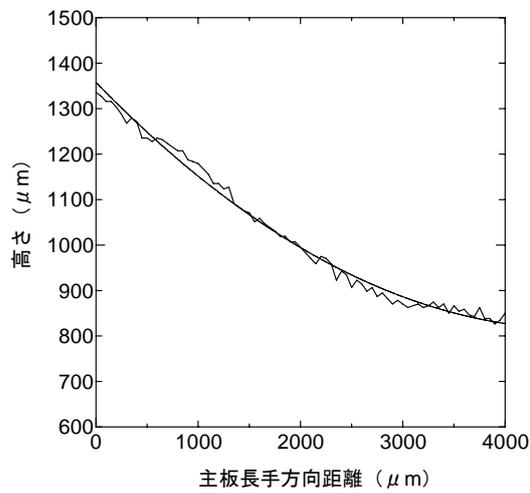
図 2.9-3 表面形状 (II-WR)



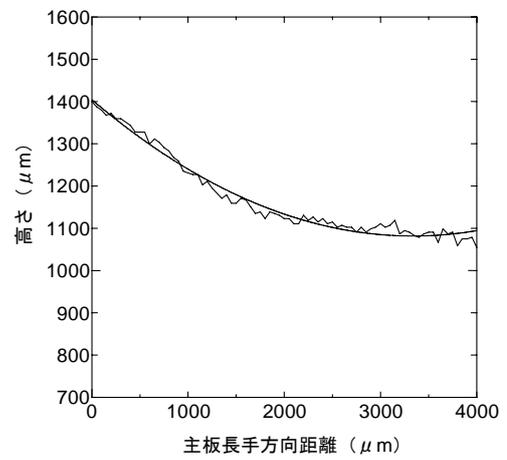
II-FR 1-1



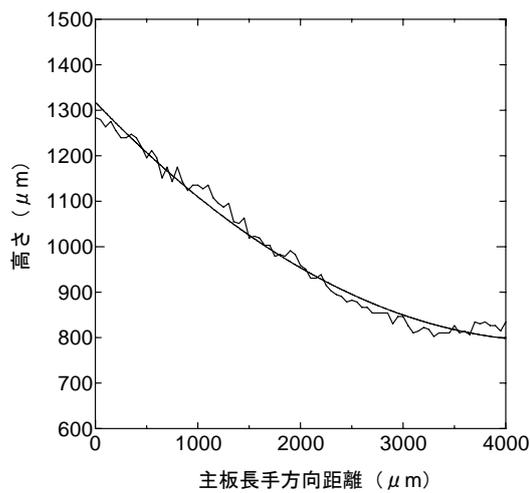
II-FR 2-1



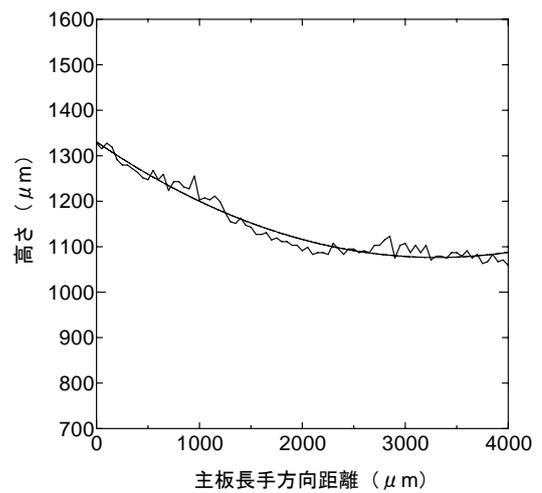
II-FR 1-2



II-FR 2-2



II-FR 1-3



II-FR 2-3

図 2.9-4 表面形状 (II-FR)

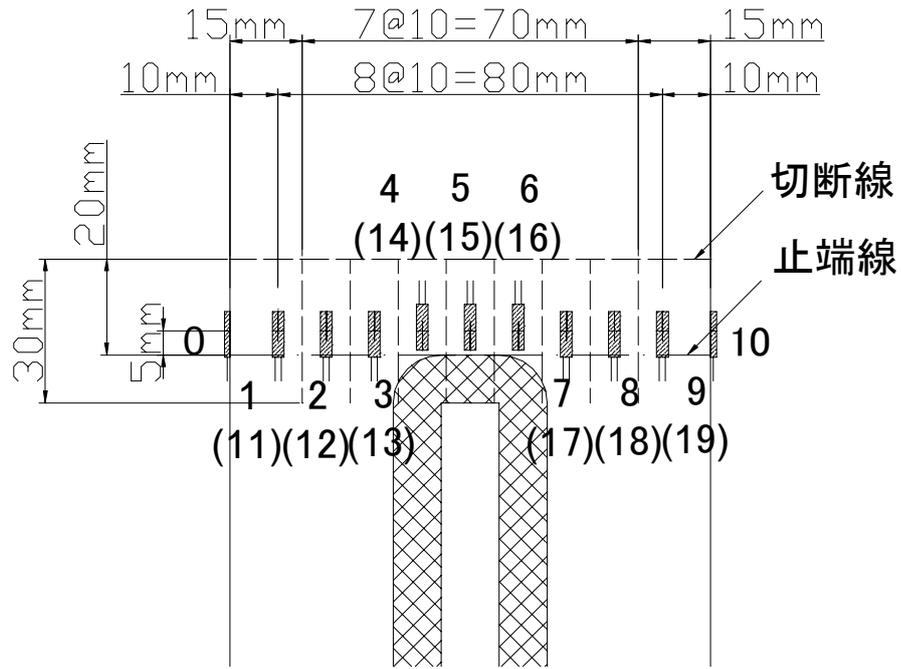


図 2.10 ゲージ貼付位置と切断位置 (AW,TG,WR)

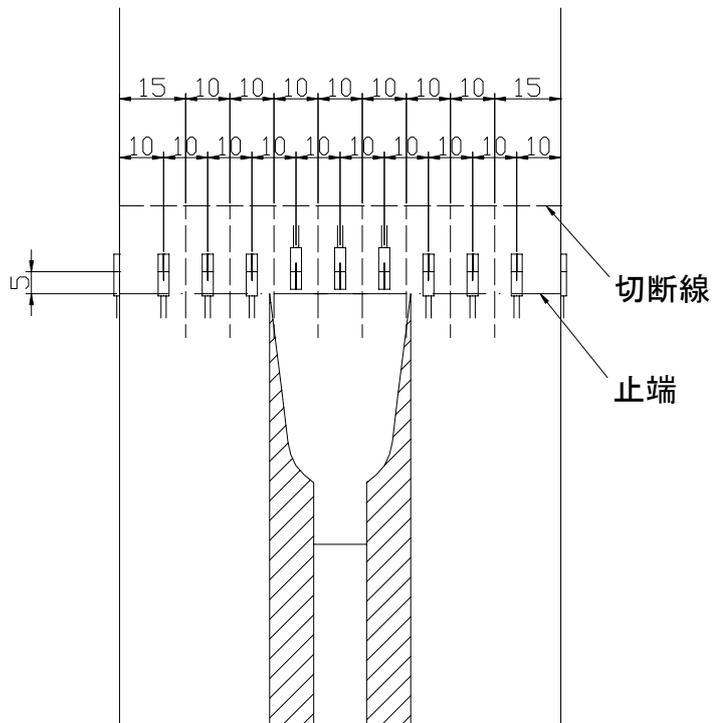
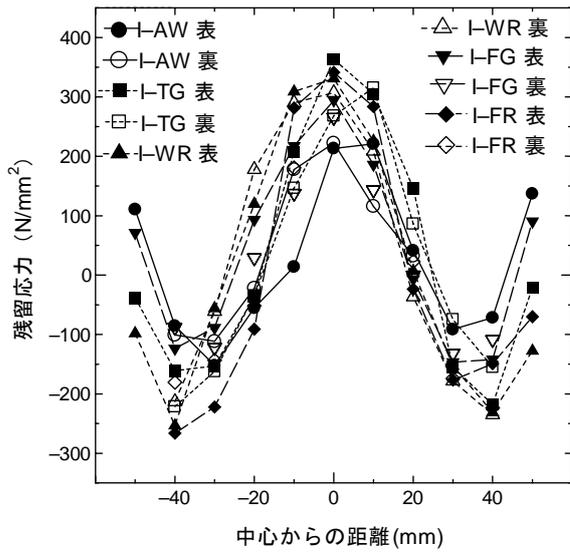
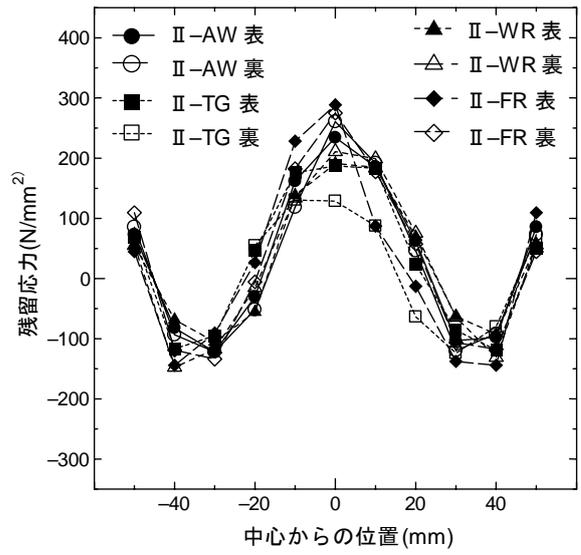


図 2.11 ゲージ貼付位置と切断位置 (FR)

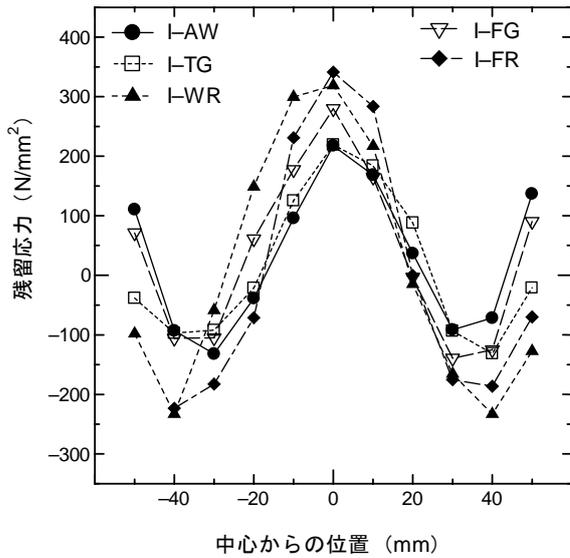


(a) シリーズ I

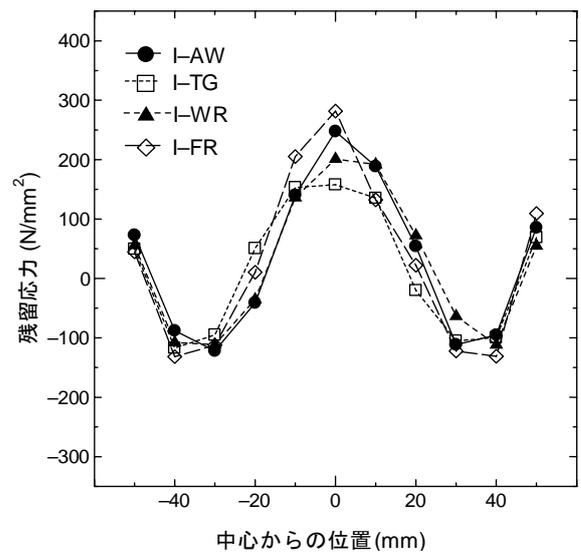


(b) シリーズ II

図 2.12 残留応力測定結果 (表裏)



(a) シリーズ I



(b) シリーズ II

図 2.13 残留応力測定結果 (両面平均)



(a) -AW 試験体



(b) -TG 試験体



(c) -WR 試験体

写真 2.1-1 シリーズ 試験体外観 (-AW, -TG, -WR)

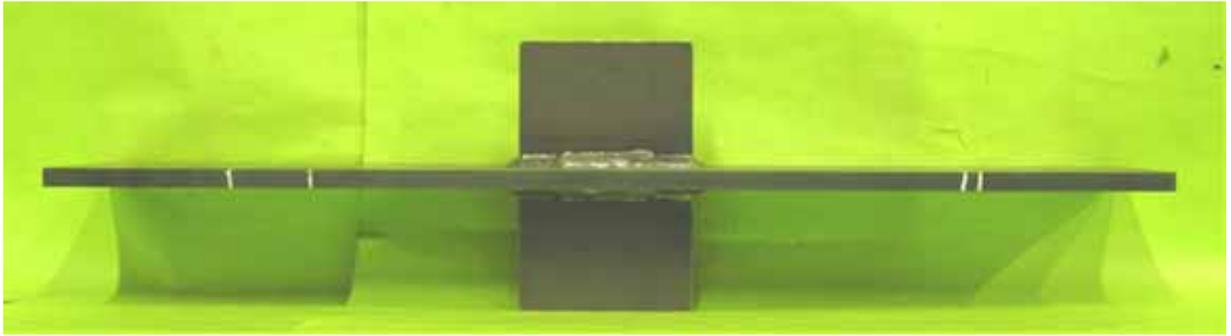


(d) -FG 試験体

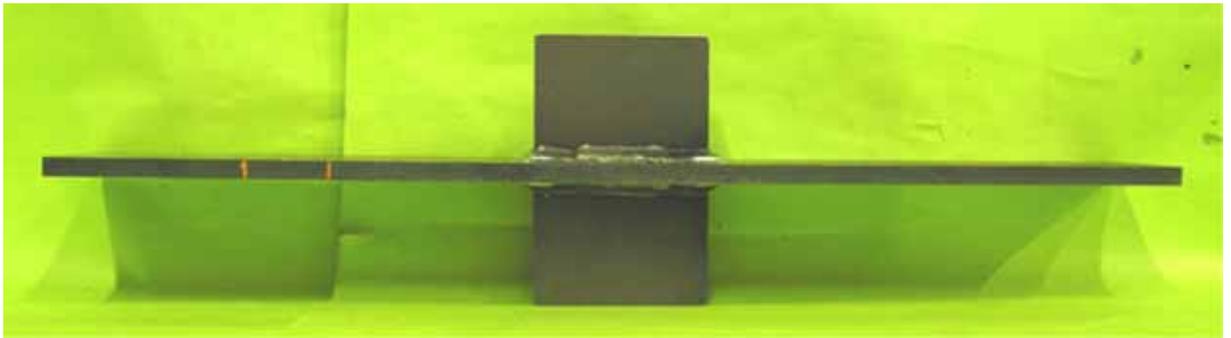


(e) -FR 試験体

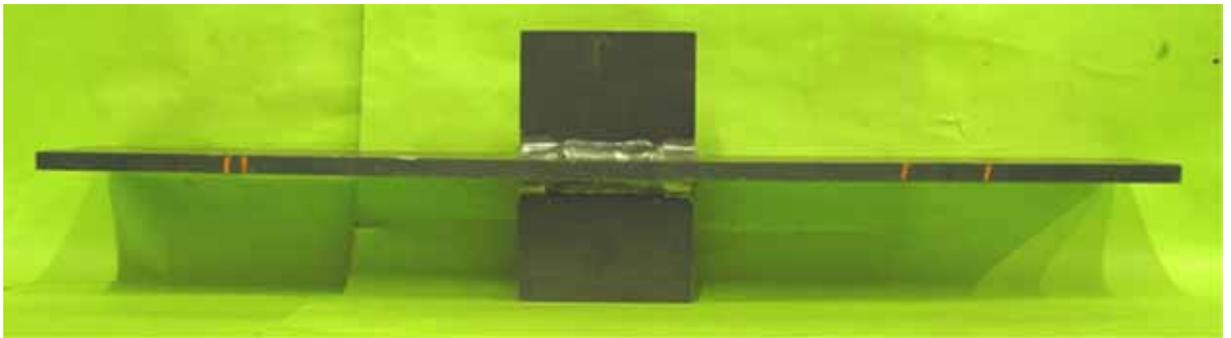
写真 2.1-2 シリーズ 試験体外観 (-FG, -FR)



(a) -AW 試験体



(b) -TG 試験体



(c) -WR 試験体



(d) -FR 試験体

写真 2.2 シリーズ 試験体外観



SB6 卵型

(株スーパーツール) (B3063 652)

発注コード	品番	価格 (1本)	メーカー希望 小売価格 (1本)	刃径×刃長×軸径×軸長 (mm)
281-8833	SB6C01	¥ 2,664 (本体価格 ¥ 2,538)	¥ 2,940	6.0× 9.5×6×50
281-8841	SB6C02	¥ 2,979 (本体価格 ¥ 2,836)	¥ 3,290	6.0×16.0×6×60
281-8850	SB6C03	¥ 4,357 (本体価格 ¥ 4,150)	¥ 4,810	12.7×22.0×6×66



SB8 球型

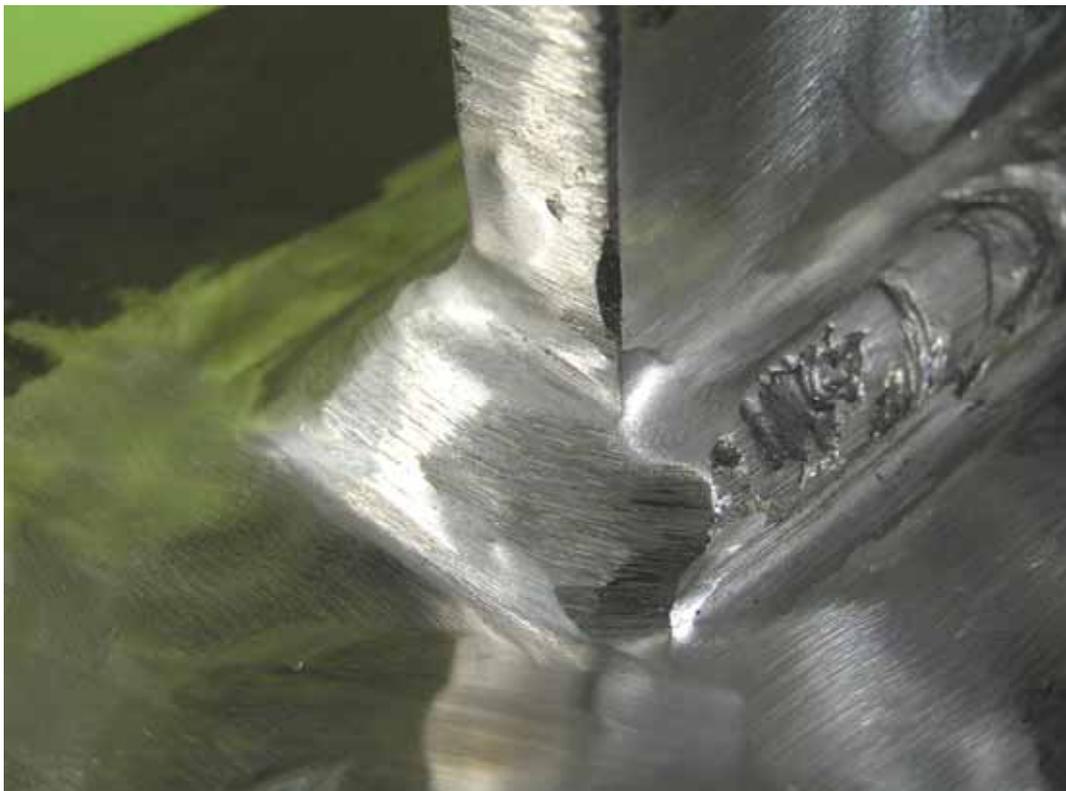
(株スーパーツール) (B3063 652)

発注コード	品番	価格 (1本)	メーカー希望 小売価格 (1本)	刃径×刃長×軸径×軸長 (mm)
287-7791	SB8C01※	¥ 2,034 (本体価格 ¥ 1,938)	¥ 2,250	3.0× 2.5×6×50
281-8931	SB8C02	¥ 2,034 (本体価格 ¥ 1,938)	¥ 2,250	5.0× 4.0×6×50
281-8949	SB8C03※	¥ 2,034 (本体価格 ¥ 1,938)	¥ 2,250	6.0× 5.0×6×50
281-8957	SB8C04	¥ 2,192 (本体価格 ¥ 2,088)	¥ 2,420	8.0× 6.4×6×50
281-8965	SB8C05	¥ 2,441 (本体価格 ¥ 2,326)	¥ 2,700	9.5× 8.0×6×52
287-7805	SB8C06	¥ 2,848 (本体価格 ¥ 2,713)	¥ 3,150	11.0× 9.5×6×54
281-8973	SB8C07	¥ 3,294 (本体価格 ¥ 3,138)	¥ 3,640	12.7×11.0×6×55
281-8981	SB8C08	¥ 4,567 (本体価格 ¥ 4,350)	¥ 5,050	16.0×14.0×6×58

写真 2.3 バークラインダ外観と型番

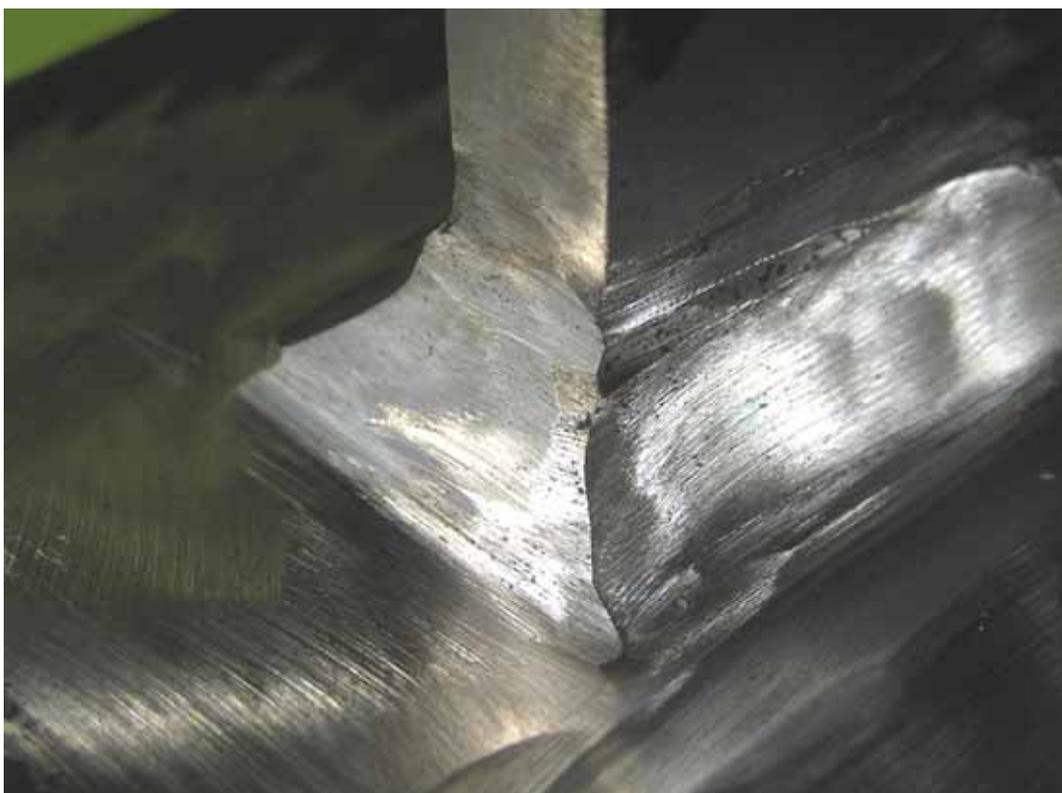


(a) -AW 試験体(棒継コーナー)



(b) -TG 試験体

写真 2.4-1 シリーズ 溶接部詳細 (-AW, -TG)



(c) -WR 試験体

写真 2.4-2 シリーズ 溶接部詳細 (-WR)



(d) -FG 試験体フィレット部

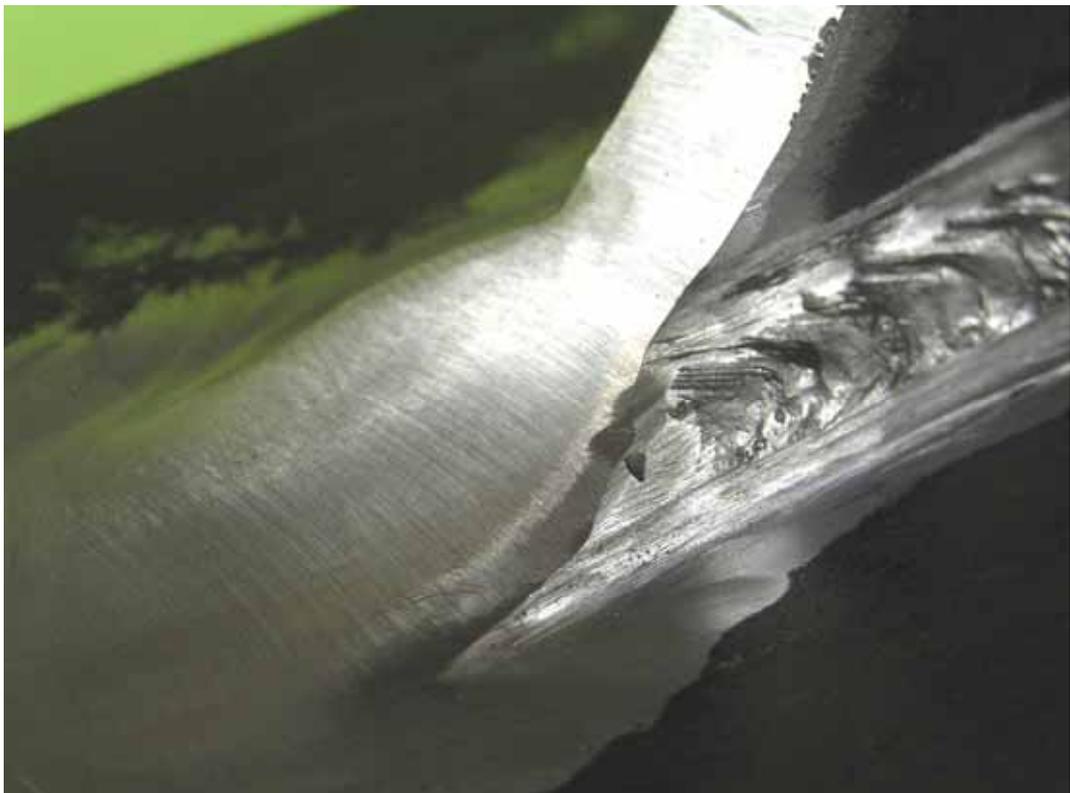


(d) -FG 試験体溶接部

写真 2.4-3 シリーズ 溶接部詳細 (-FG)



(e) -FR 試験体フィレット部



(e) -FR 試験体溶接部

写真 2.4-4 シリーズ 溶接部詳細 (-FR)

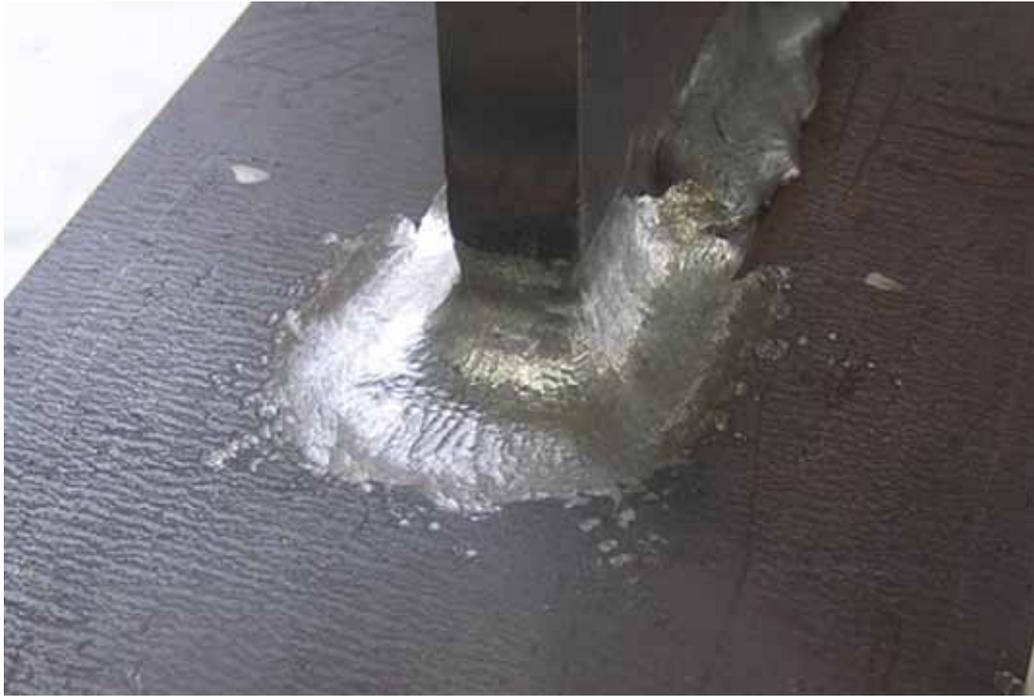


(a) -AW 試験体 (棒継一般部)



(b) -TG 試験体

写真 2.5-1 シリーズ 溶接部詳細(-AW, -TG)



(c) -WR 試験体



(d) -FR 試験体

写真 2.5-2 シリーズ 溶接部詳細(-WR, -FR)



撮影箇所

I -TG



II -TG



I -WR



II -WR



I -FR

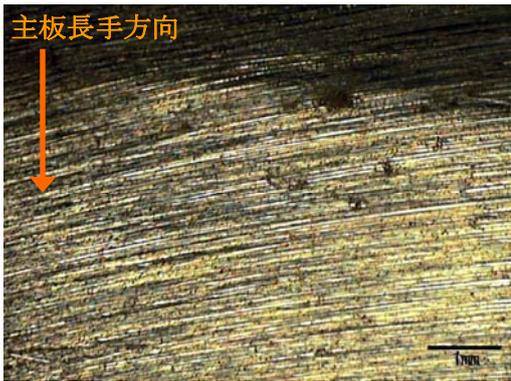


II -FR

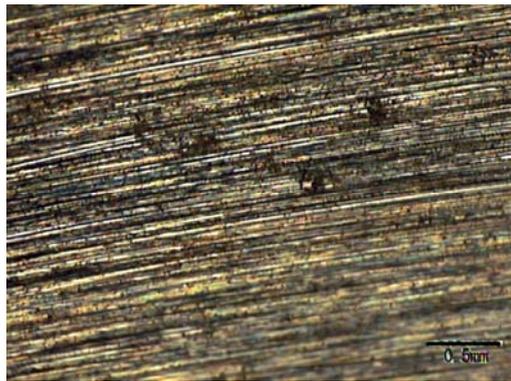


I -FG

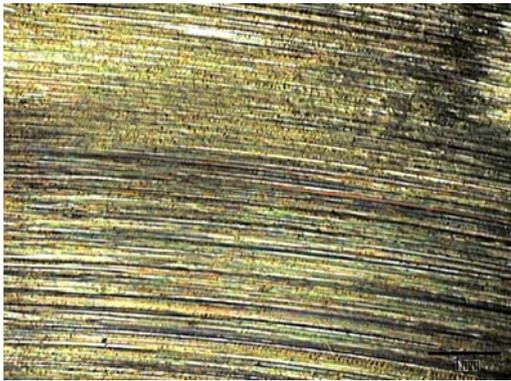
写真 2.6-1 仕上げ表面撮影箇所



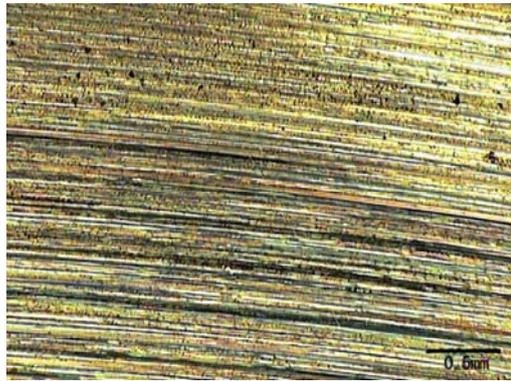
I -TG 50倍



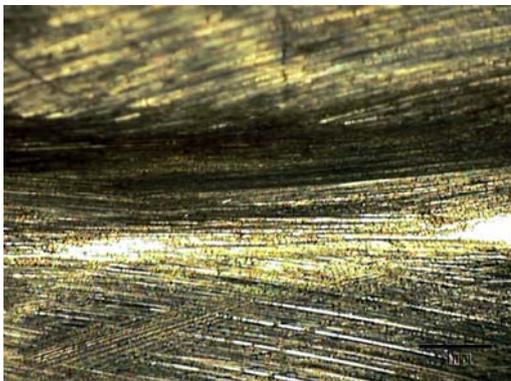
I -TG 100倍



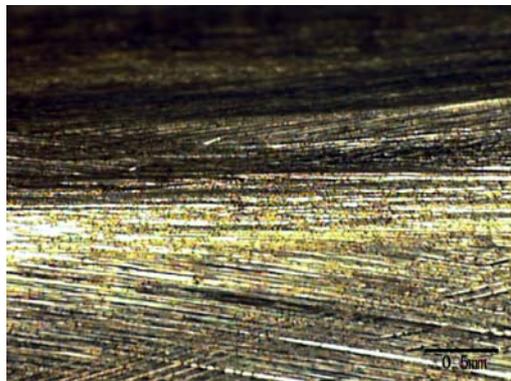
I -WR 50倍



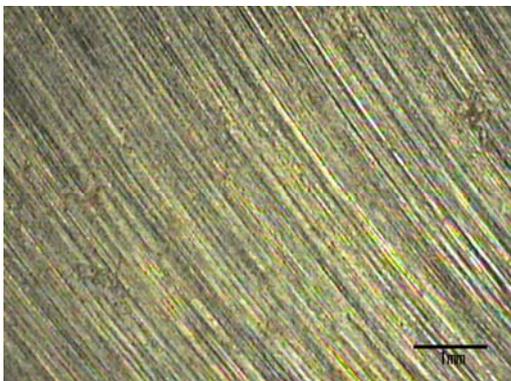
I -WR 100倍



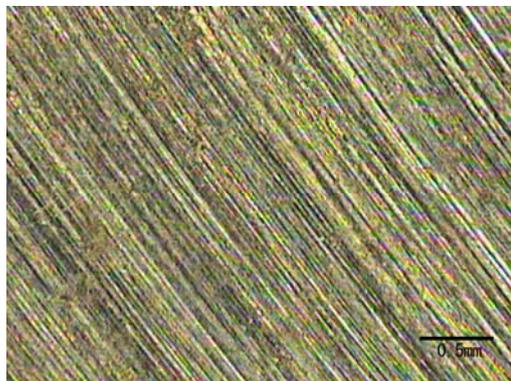
I -FG 50倍



I -FG 100倍



I -FR 50倍

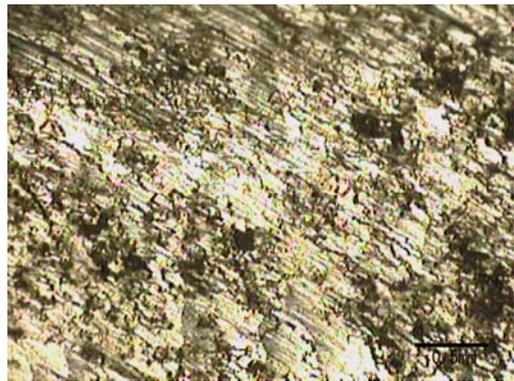


I -FR 100倍

写真 2.6-2 仕上げ表面 (I -TG, I -WR, -FG, I -FR)



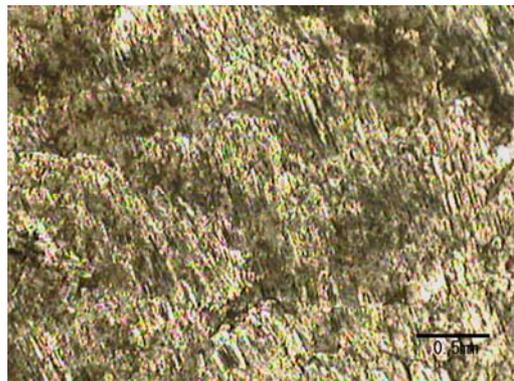
II-TG 50倍



II-TG 100倍



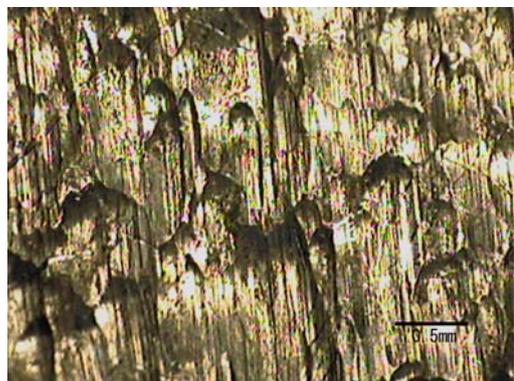
II-WR50倍



II-WR 100倍

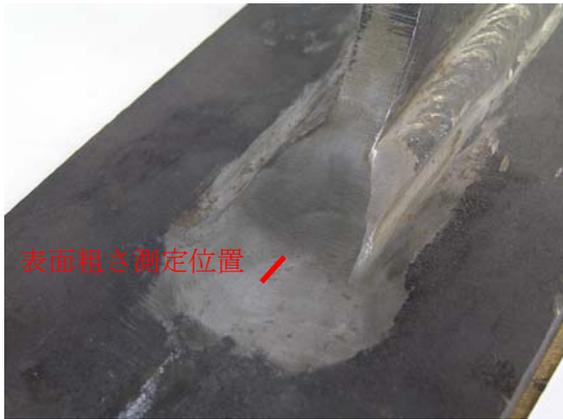


II-FR 50倍



II-FR 100倍

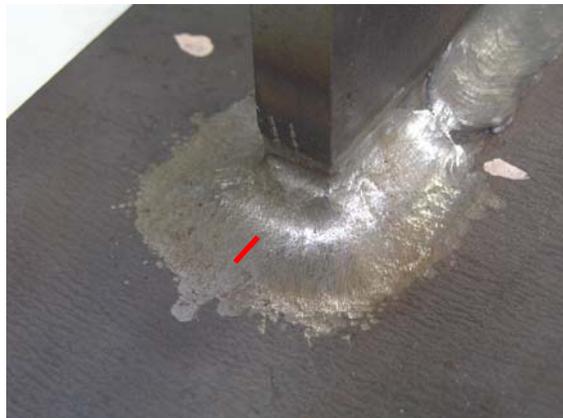
写真 2.6-3 仕上げ表面 (II-TG, II-WR, II-FR)



I -FR



II -TG

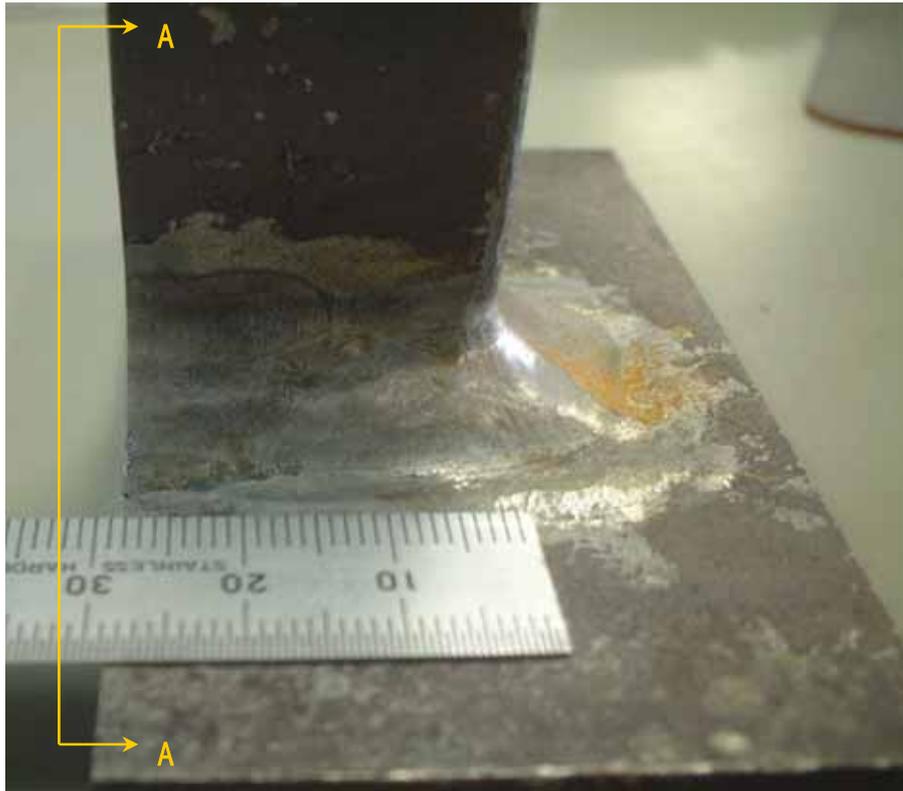


II -WR



II -FR

写真 2.7 各試験体表面粗さ測定箇所



-WR 試験体マクロ位置切断状況

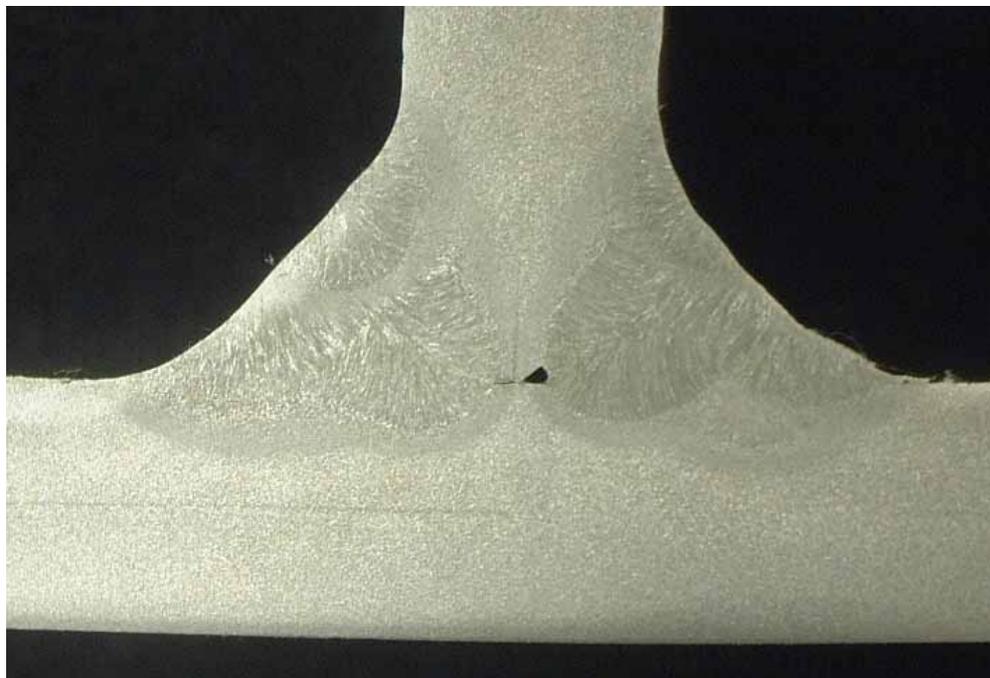
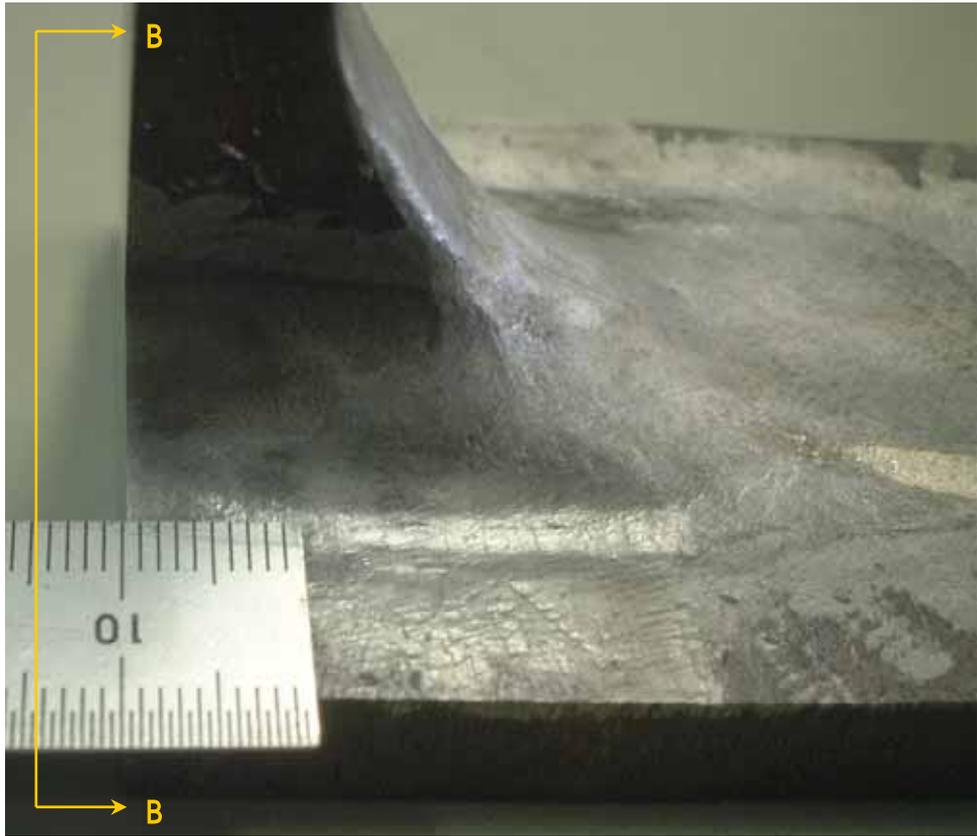


写真-2.8 -WR 断面マクロ (A-A)



-FR 試験体マクロ切断位置

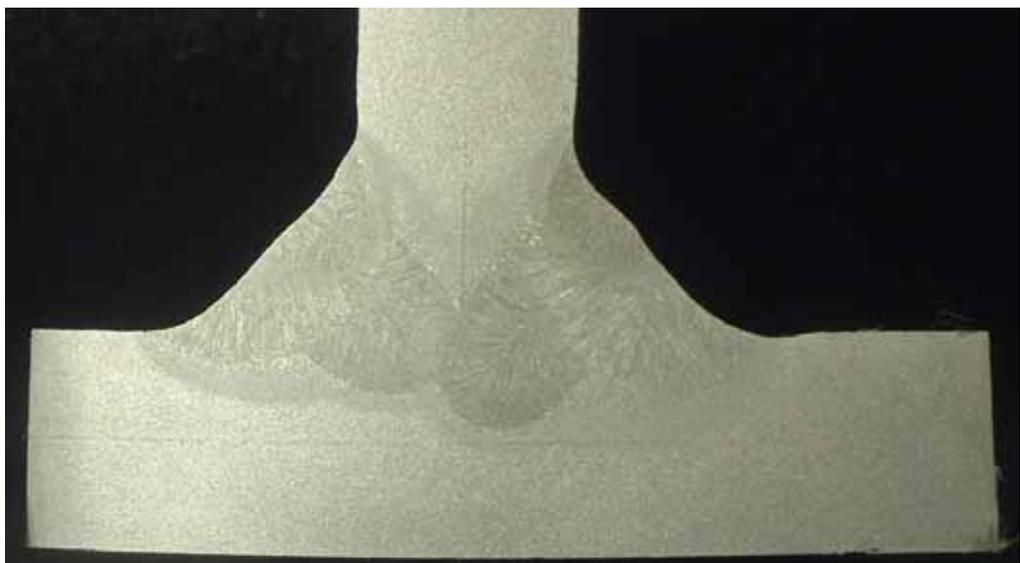


写真-2.9 -FR 試験体断面マクロ (B-B)



0mm(ガゼット端)



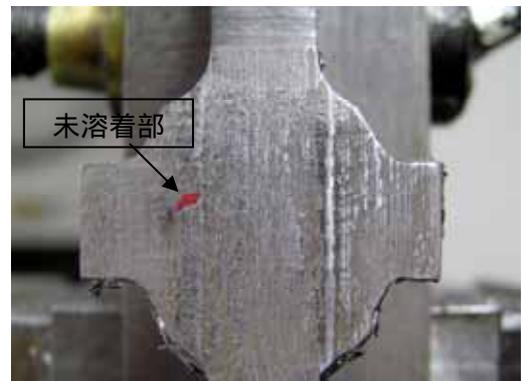
1mm



1mm 着色後



2mm



2mm 着色後



3mm



3mm 着色後

写真 2.10-1 フライス盤溶接断面 -TG (0 から 3mm)



4mm



4mm 着色後



5mm



5mm 着色後



6mm



6mm 着色後



7mm



7mm 着色後

写真 2.10-2 フライス盤溶接断面 -TG (4mm から 7mm)



8mm



8mm 着色後



9mm



9mm 着色後



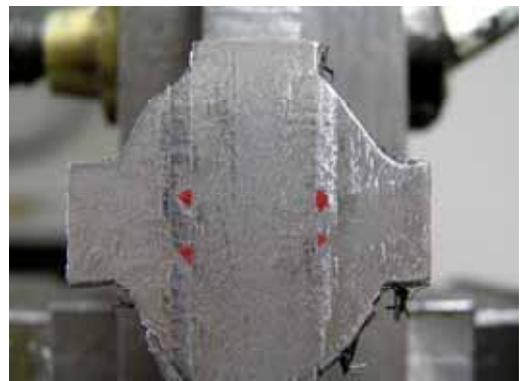
10mm



10mm 着色後

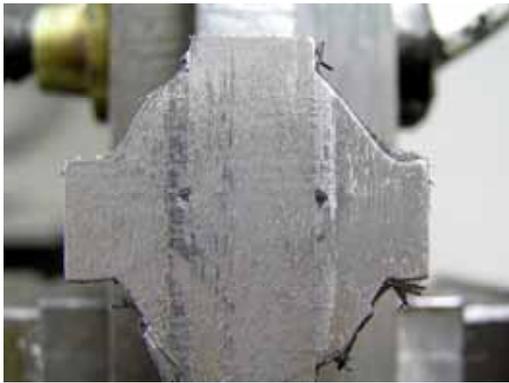


11mm



11mm 着色後

写真 2.10-3 フライス盤溶接断面 -TG (8mm から 11mm)



12mm



12mm 着色後



13mm



13mm 着色後



14mm



14mm 着色後



15mm

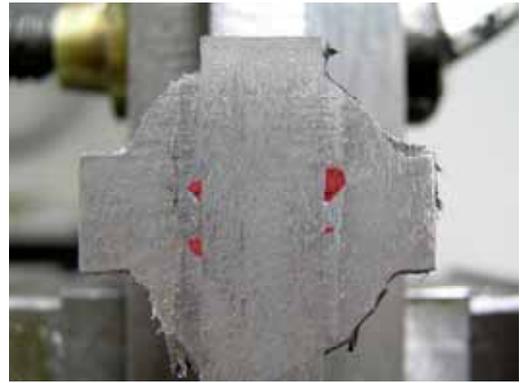


15mm 着色後

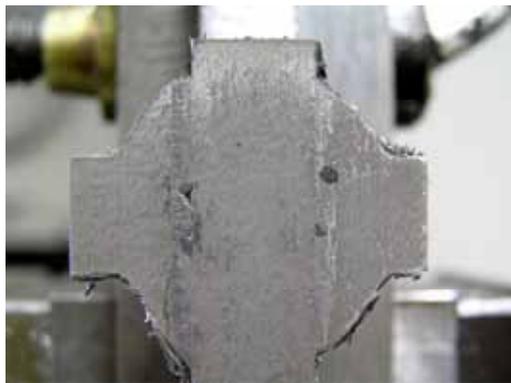
写真 2.10-4 フライス盤溶接断面 -TG (12mm から 15mm)



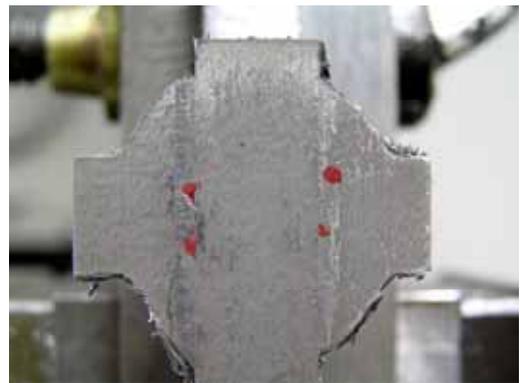
16mm



16mm 着色後



17mm



17mm 着色後



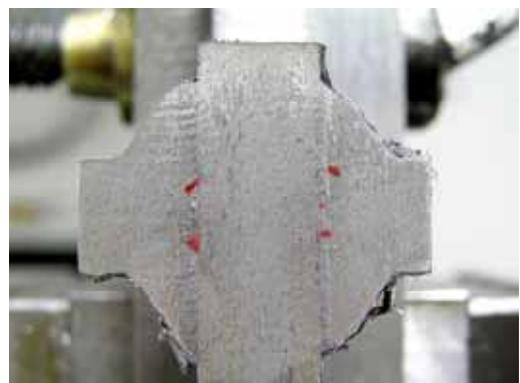
18mm



18mm 着色後



19mm

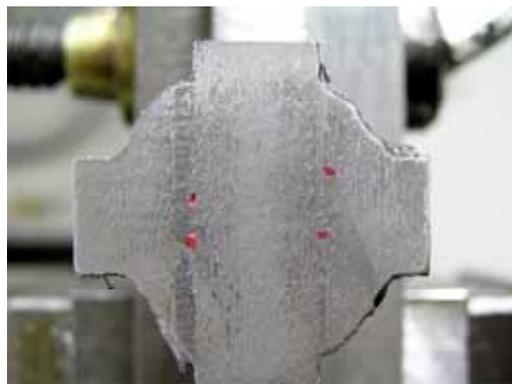


19mm 着色後

写真 2.10-5 フライス盤溶接断面 -TG (16mm から 19mm)



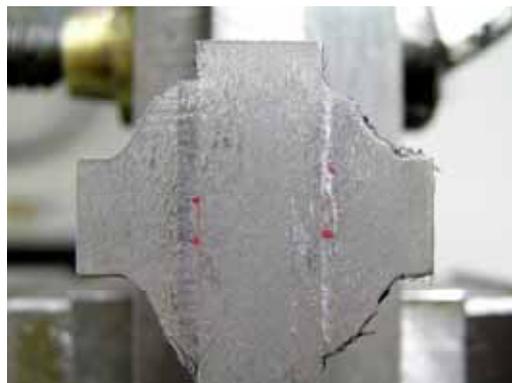
20mm



20mm 着色後



21mm



21mm 着色後



22mm



22mm 着色後

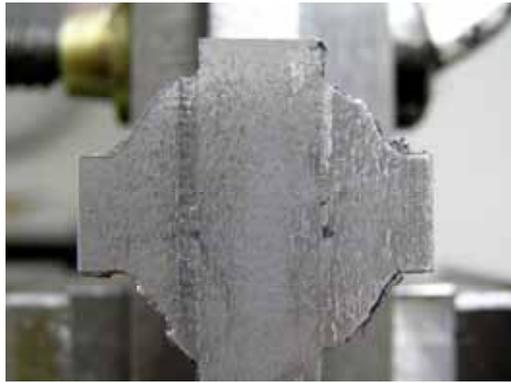


23mm

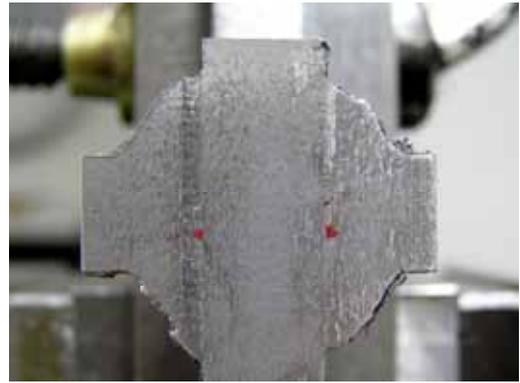


23mm 着色後

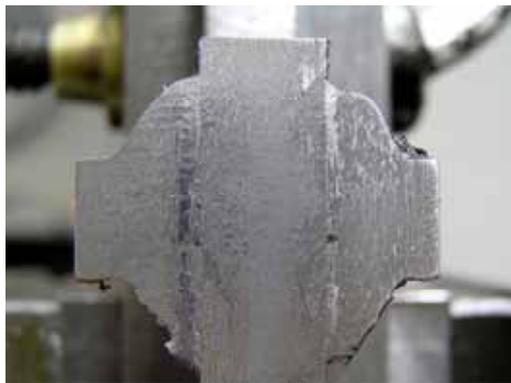
写真 2.10-6 フライス盤溶接断面 -TG (20mm から 23mm)



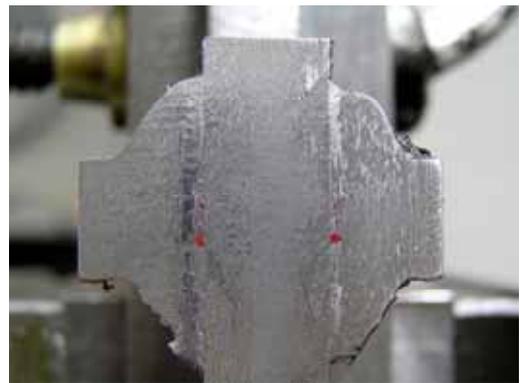
24mm



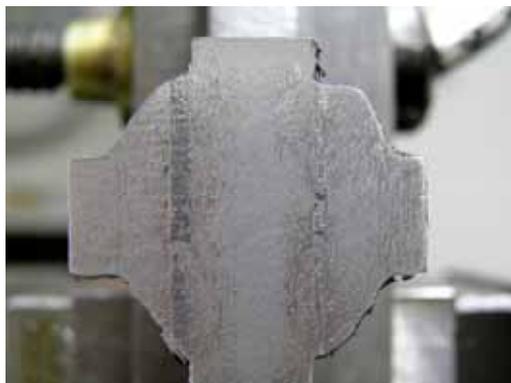
24mm 着色後



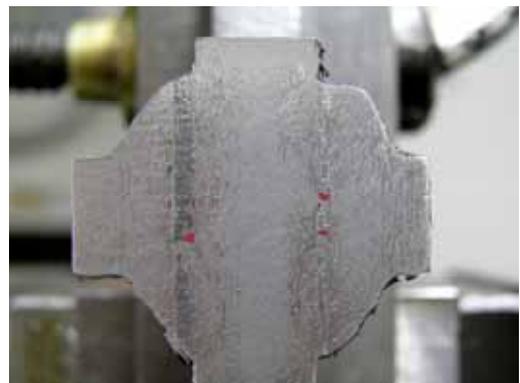
25mm



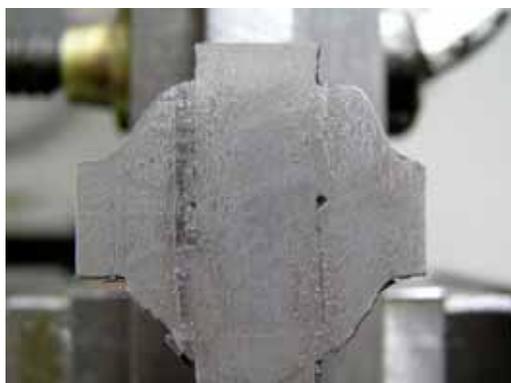
25mm 着色後



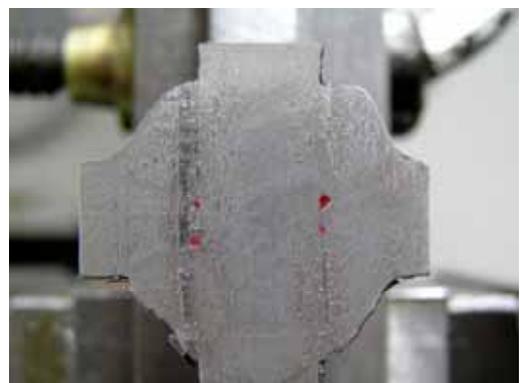
26mm



26mm 着色後

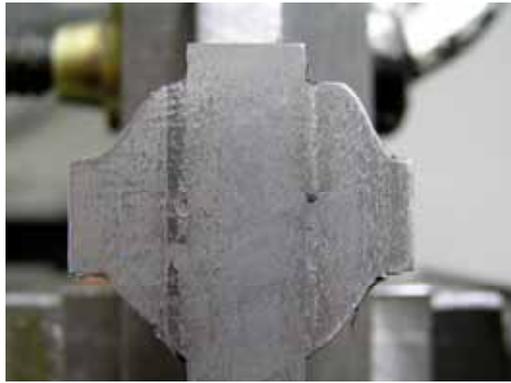


27mm

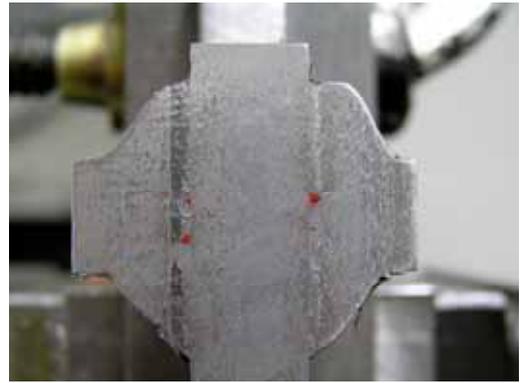


27mm 着色後

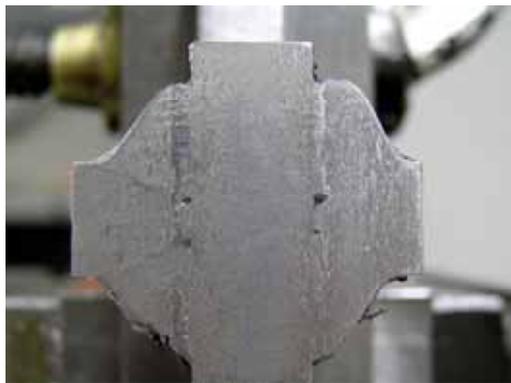
写真 2.10-7 フライス盤溶接断面 -TG (24mm から 27mm)



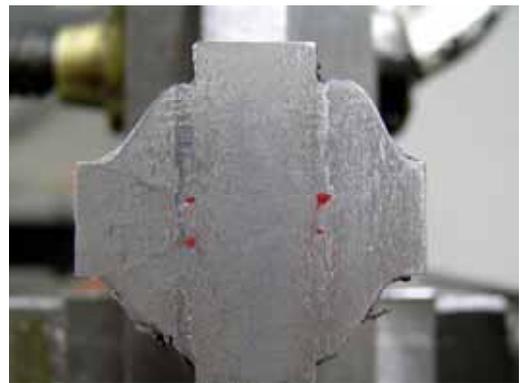
28mm



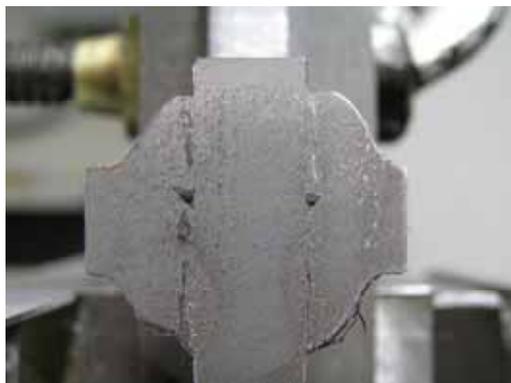
28mm 着色後



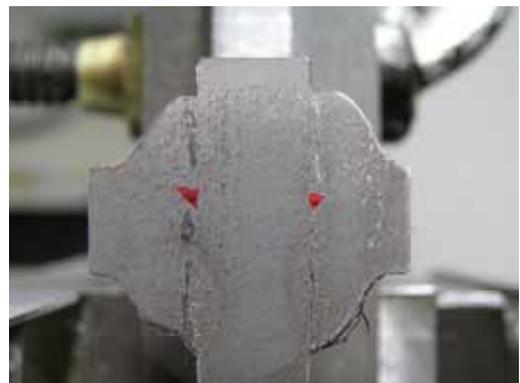
29mm



29mm 着色後

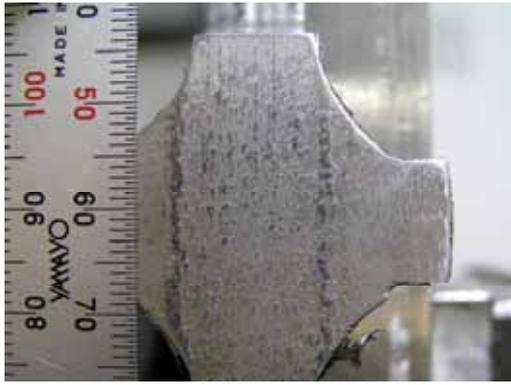


30mm

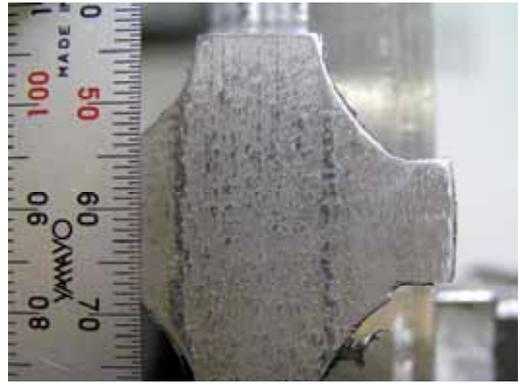


30mm 着色後

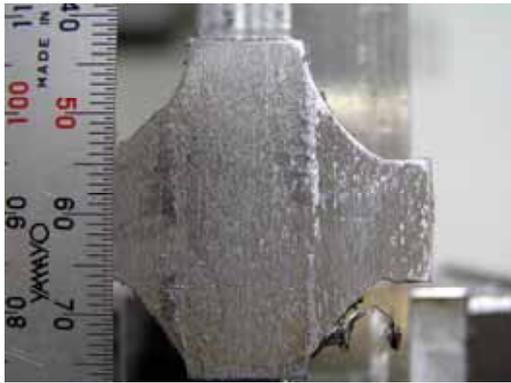
写真 2.10-8 フライス盤溶接断面 -TG (28mm から 30mm)



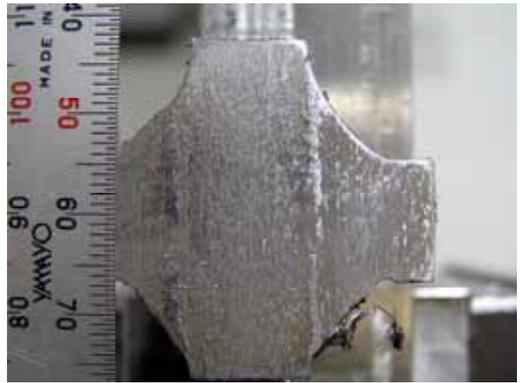
3mm



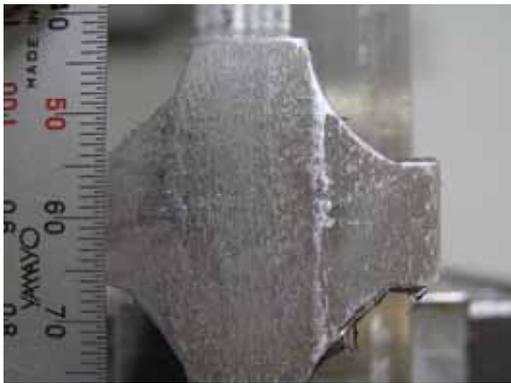
3mm 着色後



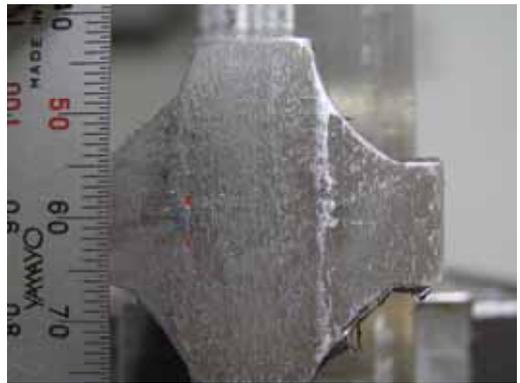
4mm



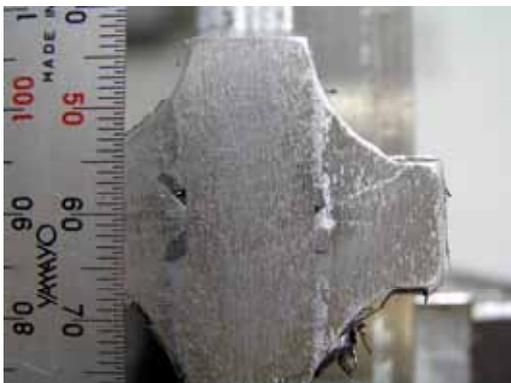
4mm 着色後



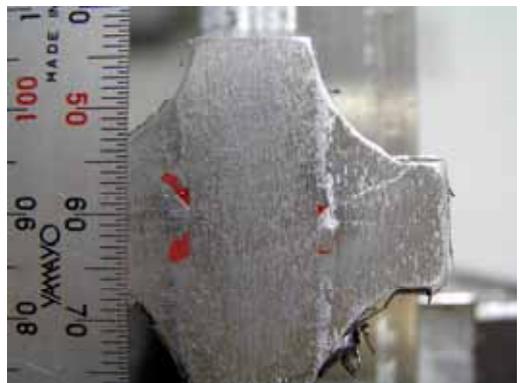
5mm



5mm 着色後

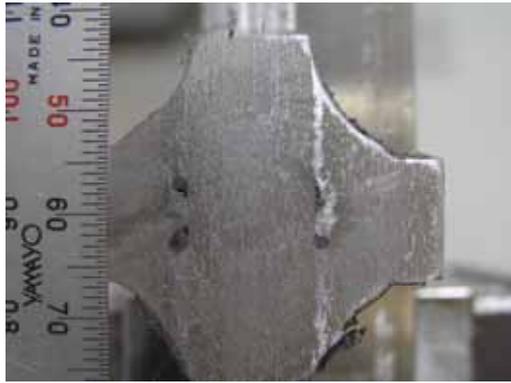


6mm

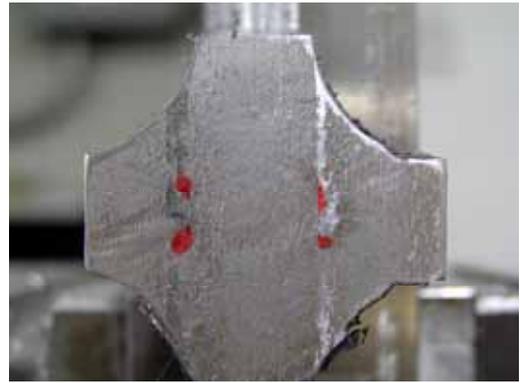


6mm 着色後

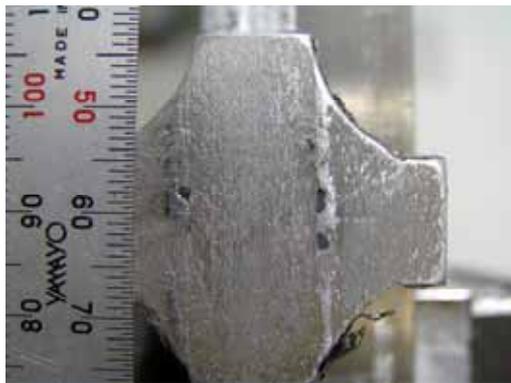
写真 2.11-1 フライス盤溶接断面 -WR (3mm から 6mm)



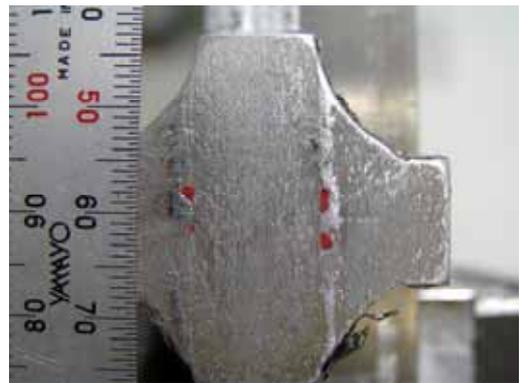
7mm



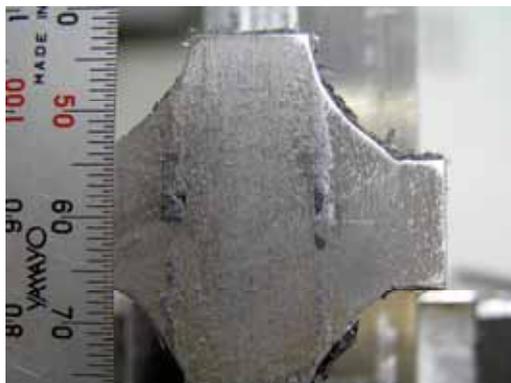
7mm 着色後



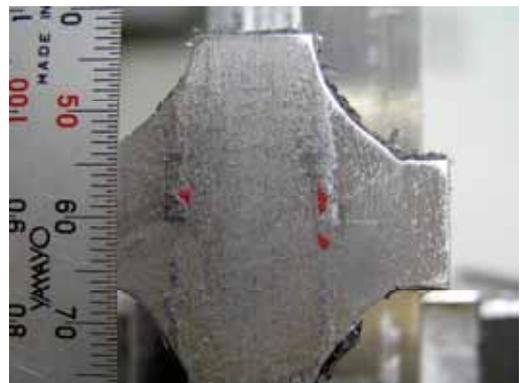
8mm



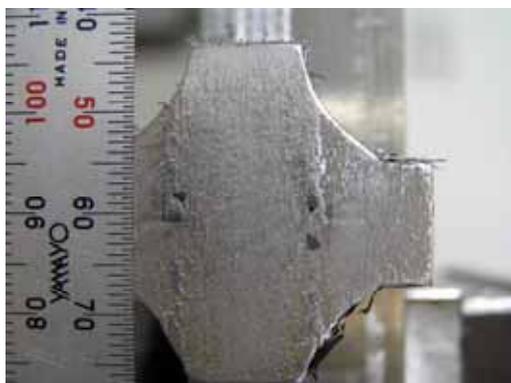
8mm 着色後



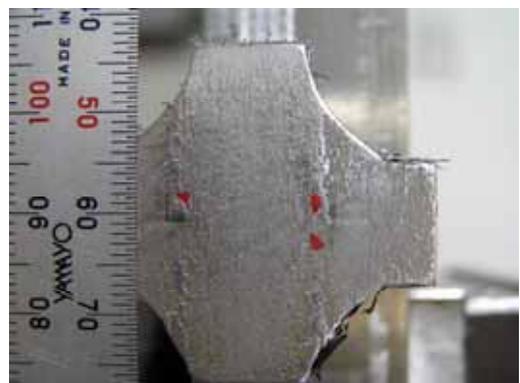
9mm



9mm 着色後

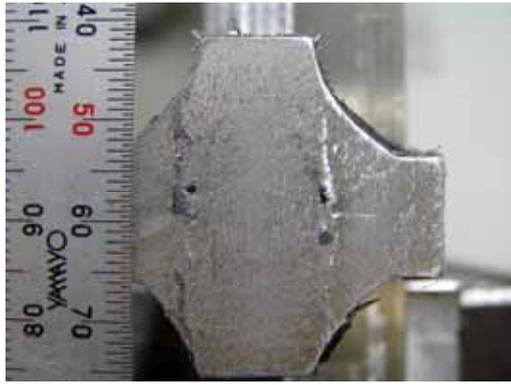


10mm

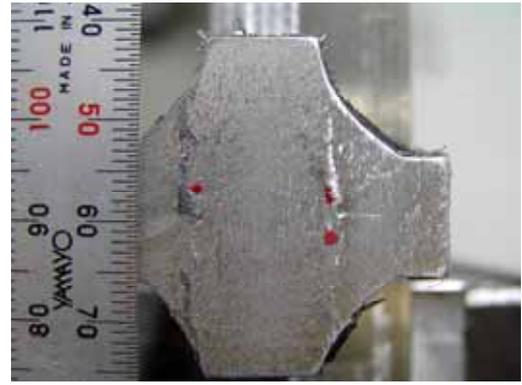


10mm 着色後

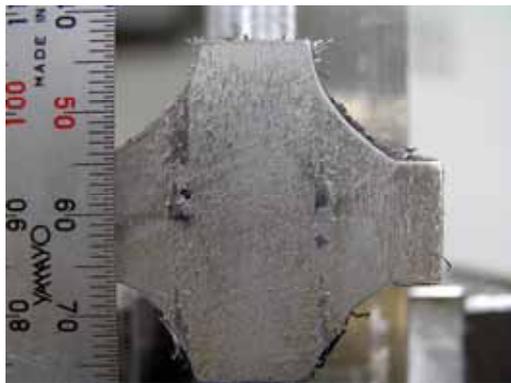
写真 2.11-2 フライス盤溶接断面 -WR (7mm から 10mm)



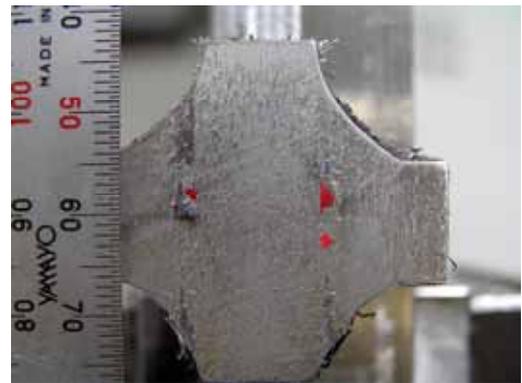
11mm



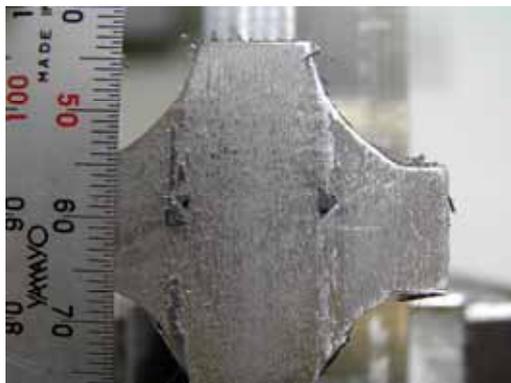
11mm 着色後



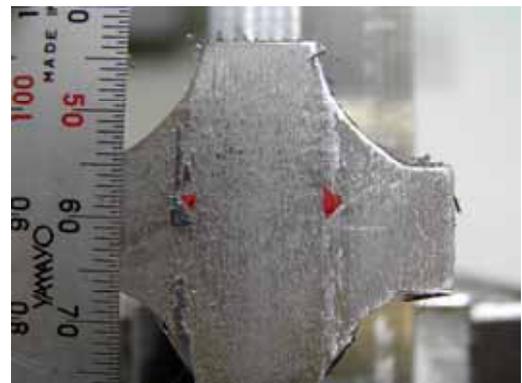
12mm



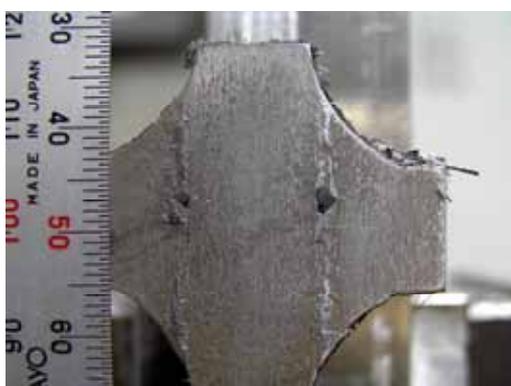
12mm 着色後



13mm



13mm 着色後

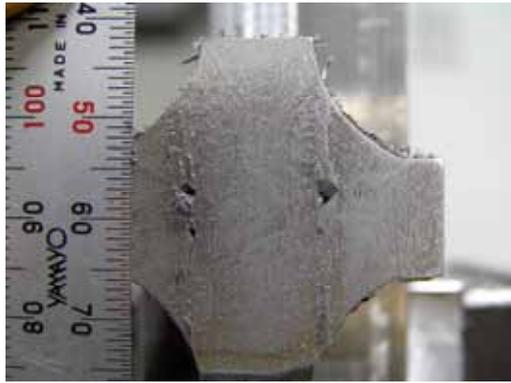


14mm

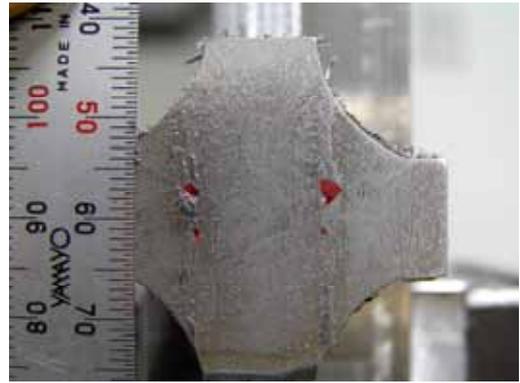


14mm 着色後

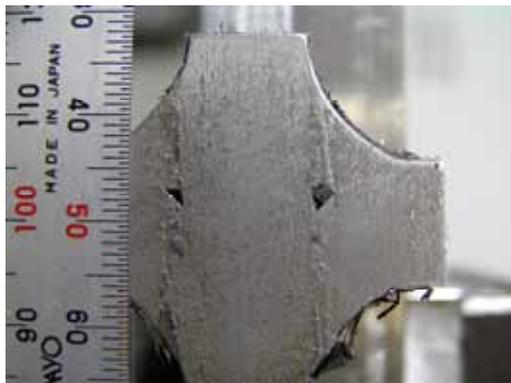
写真 2.11-3 フライス盤溶接断面 -WR (11mm から 14mm)



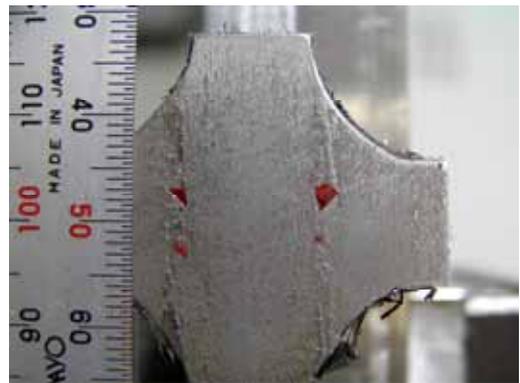
15mm



15mm 着色後



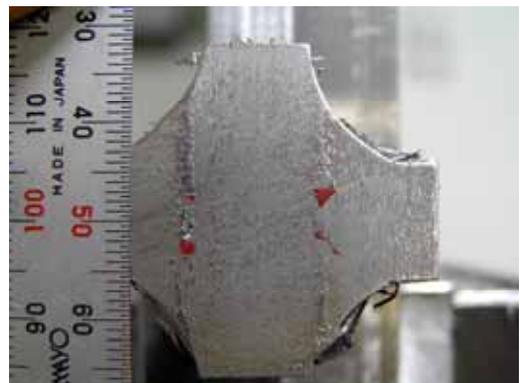
16mm



16mm 着色後



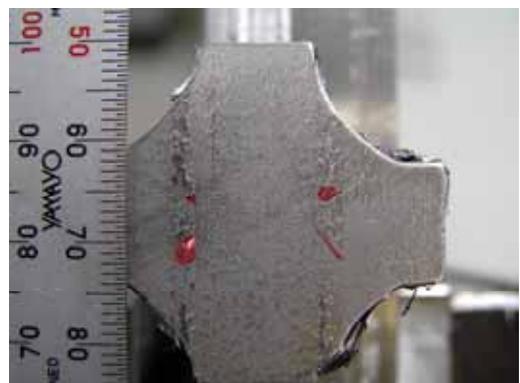
17mm



17mm 着色後

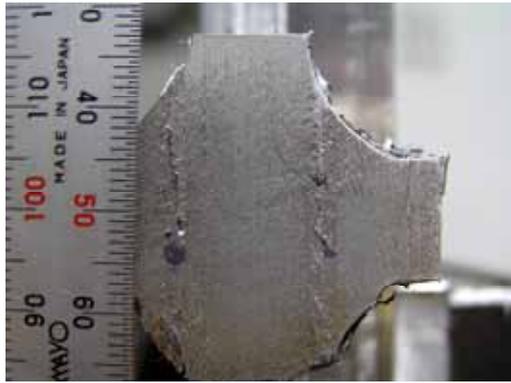


18mm

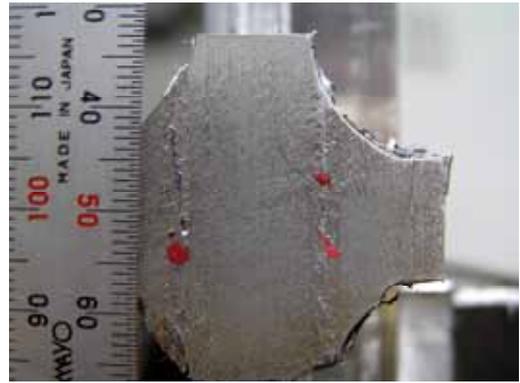


18mm 着色後

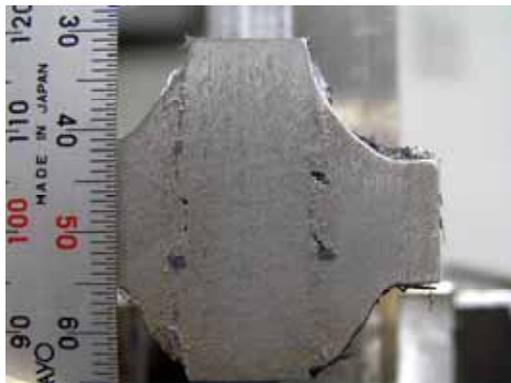
写真 2.11-4 フライス盤溶接断面 -WR (15mm から 18mm)



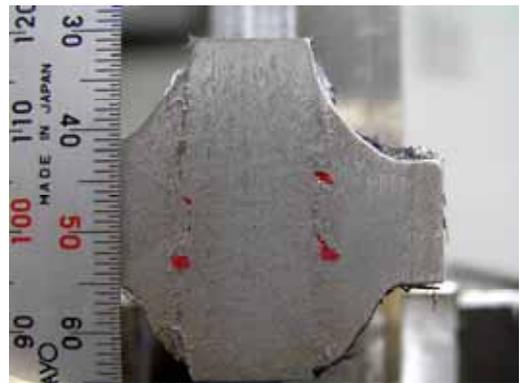
19mm



19mm 着色後



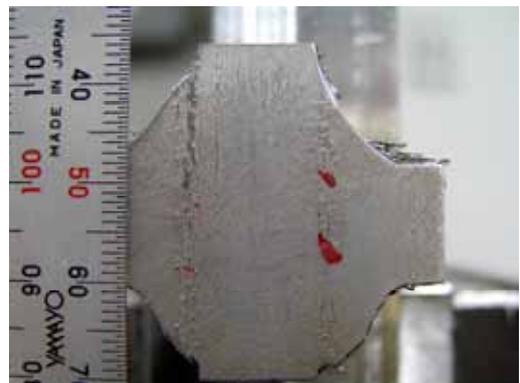
20mm



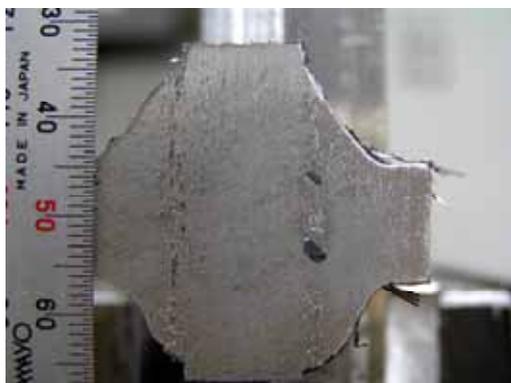
20mm 着色後



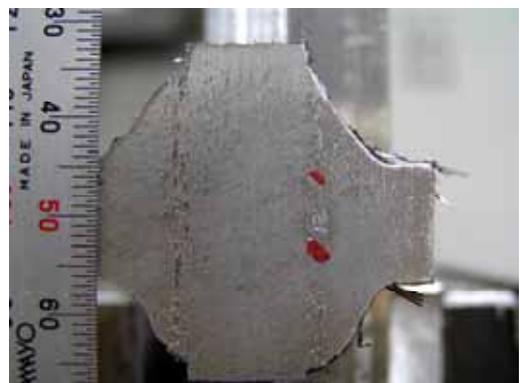
21mm



21mm 着色後

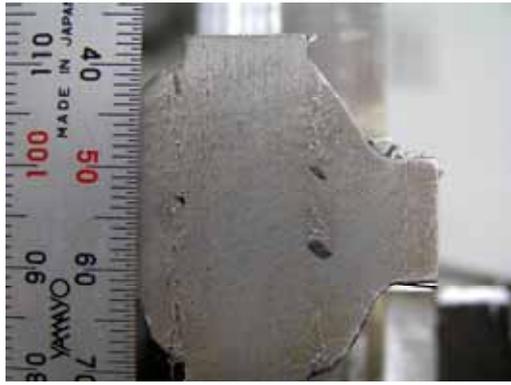


22mm

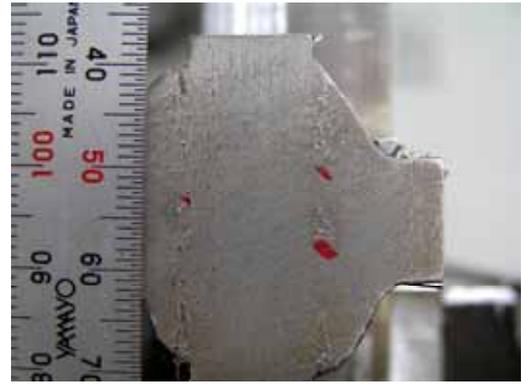


22mm 着色後

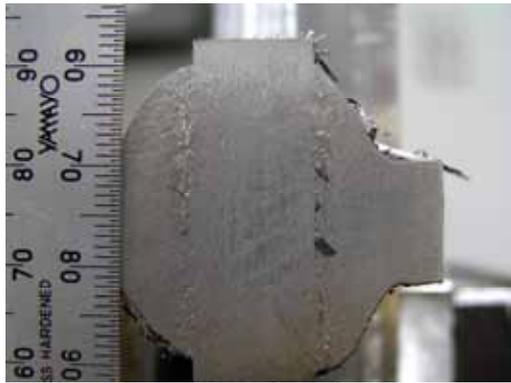
写真 2.11-5 フライス盤溶接断面 -WR (19mm から 22mm)



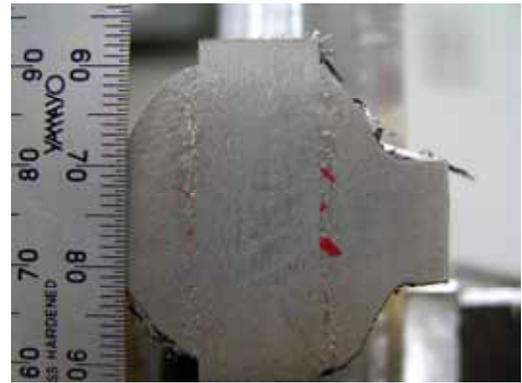
23mm



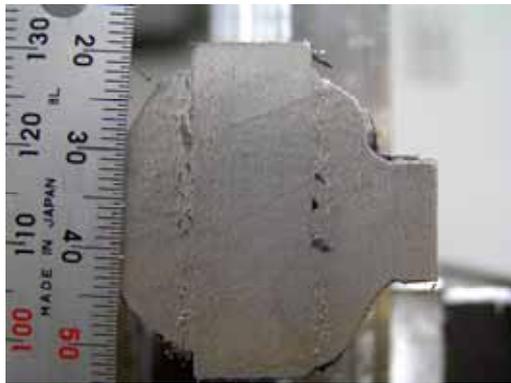
23mm 着色後



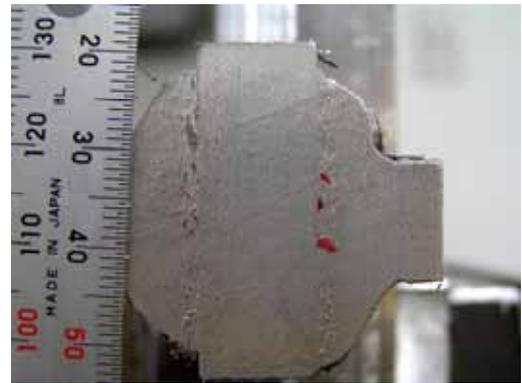
24mm



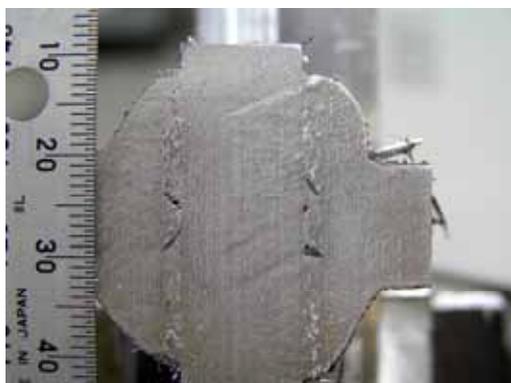
24mm 着色後



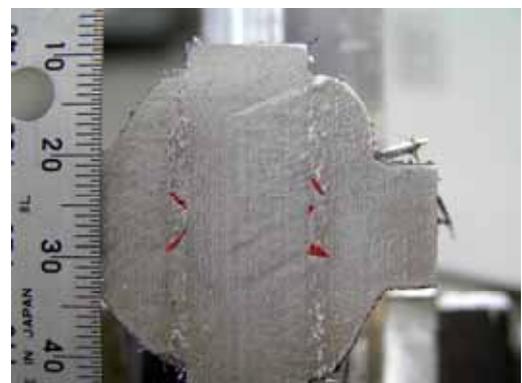
25mm



25mm 着色後

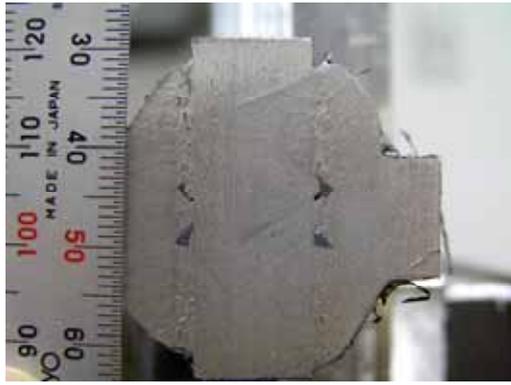


26mm

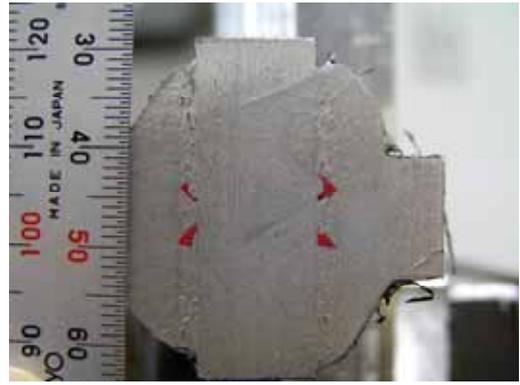


26mm 着色後

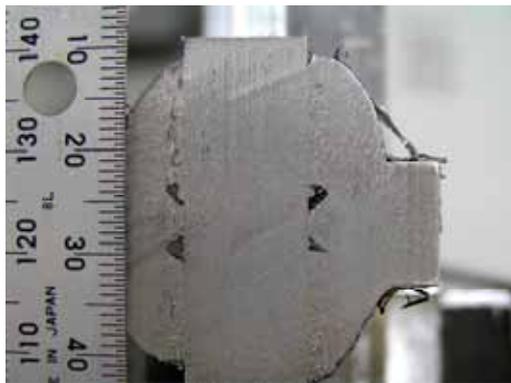
写真 2.11-6 フライス盤溶接断面 -WR (23mm から 26mm)



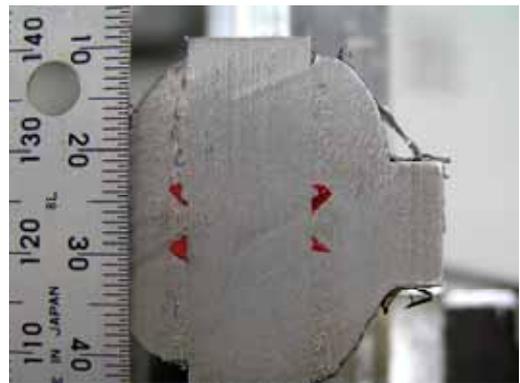
27mm



27mm 着色後



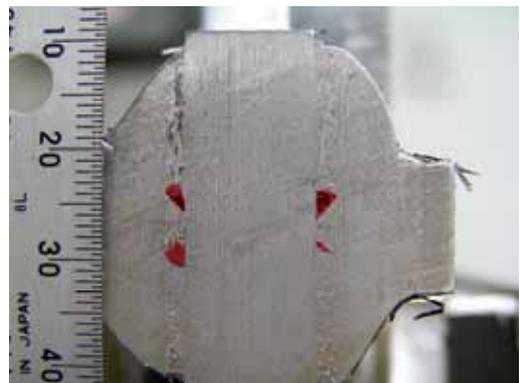
28mm



28mm 着色後



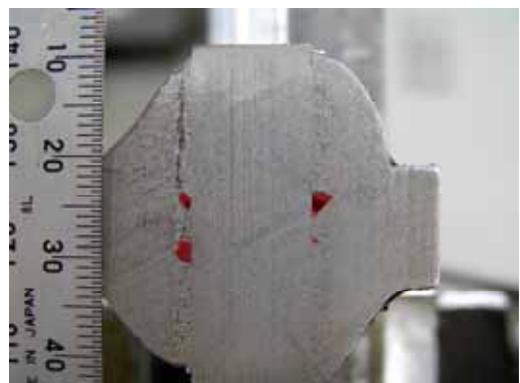
29mm



29mm 着色後

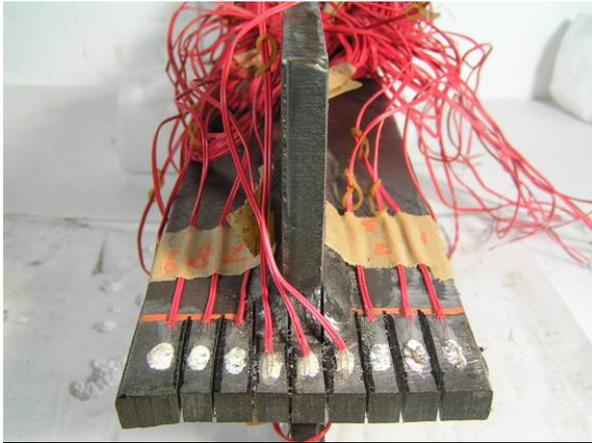


30mm

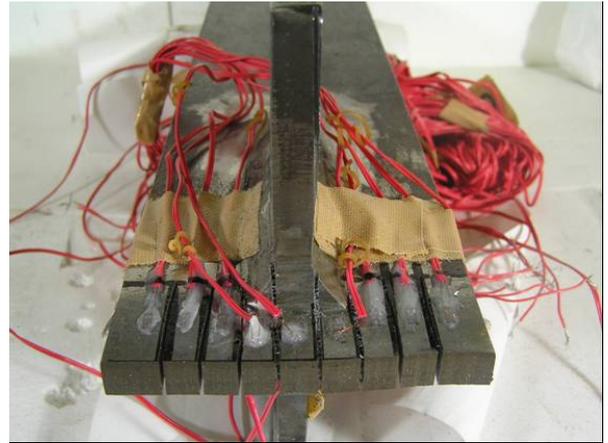


30mm 着色後

写真 2.11-7 フライス盤溶接断面 -WR (27mm から 30mm)



(a)I-AW 試験体(切断後)



(b)I-WR 試験体(切断後)



(c)I-FG 試験体(切断後)



(d)I-FR 試験体(切断後)



(e) II -AW 試験体(切断前)



(e) II -AW 試験体(切断後)

写真 2.12-1 試験体切断外観 (シリーズ I, II-AW)



(f) II-TG 試験体(切断前)



(f') II-TG 試験体(切断後)



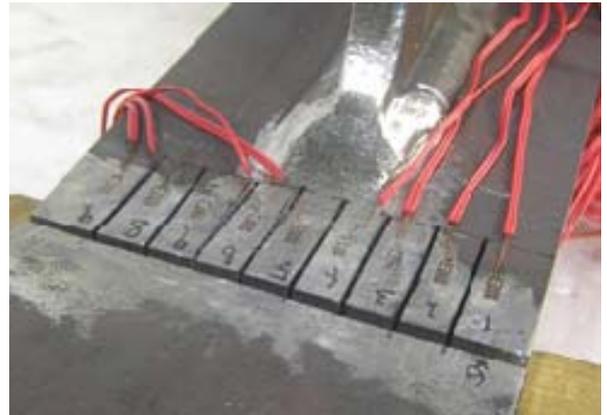
(g) II-WR 試験体(切断前)



(g') II-WR 試験体(切断後)



(h) II-FR 試験体(切断前)



(h') II-FR 試験体(切断後)

写真 2.12-2 試験体切断外観 (II-TG, II-WR, II-FR)

第3章 疲労試験

3.1 試験方法

3.1.1 疲労試験

疲労試験は、動的能力±500kNの電気油圧サーボ式多目的大型材料試験装置を用いて、軸引張荷重下で行った。繰り返し荷重の下限は、試験体シリーズ（I・II）、溶接部の仕上げ種類（AW, TG, WR, FG, FR）によらず10kN（下限応力8.33N/mm²）とした。上限荷重は応力範囲が80N/mm²～220 N/mm²となるように設定した。応力波形は正弦波、繰り返し速度は8～12Hzである。これらの試験条件を表3.1と表3.2に、試験体を試験装置に設置した状態を写真3.1に示す。

疲労試験を開始する前に所定の応力が生じるように荷重が載荷できているか、試験体左右にバランスよく荷重が載荷されているかを調べるためにひずみ測定を行った。4枚のひずみゲージ(ゲージ長5mm)を図3.1に示す位置に貼付し、下限荷重時(10kN)でひずみを0とし、平均荷重時と上限荷重時のひずみを測定した。試験体の左右で測定されたひずみに10%以上の違いが生じた場合は試験体の試験機への取り付けをやり直した。試験体の溶接部の断箇所を示すため図3.2に示すようにFU, FD, BU, BDと名称をつけ試験機に設置した。

3.1.2 ビーチマーク試験

疲労き裂の発生と進展の性状を調べる目的でシリーズIの試験体に対してビーチマーク試験を行った。試験条件を表3.3に示す。ビーチマーク試験は上限荷重を一定としたままで、所定の繰り返し回数ごとに荷重範囲を半減させて行った。なお、荷重を変更する繰り返し回数はI-AW, I-TG, I-WR, I-FG, I-FR試験体いずれも10万回とした。

3.2 試験結果

3.2.1 疲労試験結果

(a) シリーズ I

シリーズI各試験体の疲労試験結果を表3.4に、ビーチマーク試験結果を表3.5に示す。ビーチマーク試験を行った試験体の破断回数は、上段で応力範囲を半減させた時の回数を含めない回数、下段で全回数を示している。

図3.3に疲労試験により求めた応力範囲と疲労寿命の関係を示す。図中には日本鋼

構造協会（JSSC）の疲労設計指針（JSSC 指針）に示されている強度等級 A～G の設計 $\Delta\sigma$ -N 関係も示している。なお、JSSC 指針では溶接のままの面外ガセット溶接継手に対して G，止端仕上げした継手に対して F，半径 40mm 以上のフィレット仕上げした継手に対して E の疲労強度等級を規定している。溶接部 R 仕上げした継手と、フィレット付きガセット板の溶接止端を仕上げた継手に対する規定はないが、F 等級を適用することになるものと思われる。図 3.3 中に大きい矢印で示した、極端に疲労寿命の短い試験体，TG150-2，WR120-1，WR150-2，WR180-1 についてそれらの溶接部を詳しく調査した結果，TG150-1，WR120-1 にはグラインダ処理によっても溶接止端部が仕上げられていなかった。残存例を写真 3.2 に示す。このようにディスクグラインダを用いた場合は，止端まで仕上げることは難しい。WR120-1 については，溶接キズが見られた。WR120-1 の破断前と破断後の溶接部を写真 3.3 に示す。また，FG120-2 試験体は，主板側溶接止端部からではなく，ガセット側の溶接止端部から破断した。これはガセット側の溶接止端部の形状が滑らかでなかったと考えられる。各試験体の破断面を写真 3.4～3.8 に，破断前後の比較を写真 3.9～写真 3.13 示す。

止端仕上げした I-TG 試験体と I-FG 試験体を比較した場合，I-FG 試験体はガセット部にフィレットを設けることによる疲労強度の改善はあまり見られない。また，I-WR 試験体は疲労強度にばらつきが見られる。これは，グラインダ仕上げの不十分な試験体が多いと考えられる。I-FR 試験体は I-AW 試験体に比べ疲労強度の大幅な改善が見られ，試験体による疲労寿命のばらつきも小さい。矢印の結果を除いた疲労試験結果を図 3.4 に示す。

正常にグラインダ処理がなされれば，I-AW 試験体と比較して，I-TG，I-FG 試験体の疲労強度は 1 ランク，I-WR 試験体は 2 ランク，I-FR 試験体は 3 ランク上の等級まで向上している。鋼構造協会（JSSC）の疲労設計指針に基づいた現在の各試験体の疲労強度等級と試験結果により分類した疲労強度等級を表 3.6 に示す。JSSC 指針では疲労試験結果の下限を満たす設計 $\Delta\sigma$ -N 関係として用いたとしている。これに従い，ここでの疲労試験結果から判断すると，I-AW 試験体で F，I-TG 試験体と I-FG 試験体で E，I-WR 試験体で D，I-FR 試験体で C となる。

(b) シリーズ II

シリーズ II の試験体の破断面を写真 3.14～写真 3.17 に示し，破断前後の様子を写真 3.18～写真 3.21 に示す。

いずれの試験体も溶接のままの試験体と比較して疲労強度の向上が見られる。II-

TG試験体の疲労試験結果にはばらつきが見られるが、これは止端の削り込み深さの影響とも考えられる。溶接部全体をR仕上げした試験体は溶接ルート部からの疲労亀裂により破壊したものが多く、疲労強度が高い。これは、グラインダ仕上げが十分に なされており、溶接止端部での応力集中が緩和されたことによるものと考えられる。未溶着部が完全溶け込みとなっていれば、更に疲労強度は高くなっていたと予測される。II-FR試験体はII-WR試験体に比べ疲労強度がほとんど変わらない。II-WR試験体は溶接止端部がきれいにグラインダ処理してあったのに対し、II-FR試験体はバーグラインダで仕上げた後が溶接止端部に残り、止端部がきれいな曲線になっておらず、溶接止端部の応力集中改善が十分ではなかったものと考えられる。粗さ測定結果を紹介する。

次に疲労試験結果を図 3.5 に示す。正常にグラインダ処理がなされれば、II-AW試験体と比較して、II-TG試験体の疲労強度は2ランク、IIWR試験体は3ランク、II-FR試験体も3ランク上の等級まで向上している。JSSC指針に基づいた現在の各試験体の疲労強度等級と試験結果により分類した疲労強度等級を表 3.7 に示す。JSSC指針では疲労試験結果の下限を満たす設計 $\Delta\sigma$ -N関係として用いたとしている。これに従い、ここでの疲労試験結果から判断すると、II-AW試験体でF、II-TG試験体D、II-WR試験体でC、II-FR試験体でCとなる。

3.2.2 疲労き裂の発生、進展性状

シリーズIのAW, TG, WR, FG, FR試験体の疲労試験結果を表 3.8 に疲労破面を写真 3.22 に示す。これらの写真では荷重範囲を半減させた際に生じたビーチマークを赤く色づけし、そのラインまでの疲労寿命N (cycle)を示している。すべての試験体で、溶接止端部からき裂が発生し破断している。き裂発生位置は溶接止端部の中央付近である試験体が多い。き裂の進展速度はき裂が進むにつれ早くなっていることがわかる。

3.3 疲労強度の比較

3.3.1 比較対象及び方法

シリーズI・II(各AW, TG, WR, FR試験体)の溶接形状の違いと疲労強度を比較する。溶接形状を比較するため、各溶接形状を写真 3.23 に示し、疲労強度を比較するため、同じ種類ごと(AW, TG, WR, FR)の疲労試験結果とそれぞれの試験体で得られた疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線を図 3.6～図 3.9 に示す。また、試験体

ごとの回帰直線から得られた 100 万回疲労強度と 200 万回疲労強度を表 3.9 と，図 3.10 (a),(b)に示す．この図の横に引いた，黒い点線はJSSC指針の各強度等級の 100 万回疲労強度と 200 万回疲労強度 $\Delta\sigma_f$ (N/mm²)を示している．

3.3.2 比較結果

(a) 溶接のまま(AW)

AW試験体の溶接止端部の曲率半径とフランク角にはほとんど差はない．しかし，シリーズ I の場合，棒継ぎの位置がガセットのコーナー部で行っているのに対し，シリーズ II ではAWの場合では棒継ぎをコーナーから離れた位置で行っている．また，止端部の曲率半径はどちらも約 1 mmでほとんど差はない．

図 3.5 より 2 つの試験体はほぼ同じ疲労強度を示しており，棒継位置が疲労強度に与える影響は小さいと言える．

(b) 止端仕上げ(TG)

ディスクグラインダを用いた I -TG 試験体の曲率半径は 2.1mm であり削り込みがほとんどなかったのに対し，バークラインダを用いた II -TG の曲率半径は 5.6mm あり，削り込み深さが 0.5mm～1.5mm であった．このようにディスクグラインダを用いた場合には，大きな曲率半径は得られない．

図 3.7 より疲労強度は，曲率半径の大きいバークラインダで仕上げた継手の方が高くなっている．

(c) 溶接部 R 仕上げ(WR)

ディスクグラインダを用いた R 仕上げの止端部の曲率半径は 3.1mm であったのに対し，バークラインダを用いた R 仕上げの曲率半径は 10.3mm であった．

図 3.8 より，バークラインダで仕上げた各試験体の疲労強度が明らかに高くなっている．

(d) フィレット仕上げ(FR)

I -FR 試験体の曲率半径は 43mm で，バークラインダを用いた II -FR 試験体の曲率半径は 46mm で，ほぼ同じであった．ディスクグラインダで仕上げたものについては，最終的にはバフ研磨されている．

図 3.9 よりディスクグラインダで仕上げた部分がバフ研磨されているため，その継

手の疲労強度の方が高くなっている。

(e) 比較結果まとめ

図 3.10 (b)より、溶接のままの疲労強度は両者でほとんど変わらず、止端仕上げはバーグラインダで仕上げたシリーズⅡの継手の疲労強度が 20%程高くなっている。溶接部 R 仕上げにおいてもシリーズⅡの継手が 50%程度疲労強度程高くなっている。また、フィレット仕上げでは多少ではあるが、ディスクグラインダを用いたシリーズⅠの継手の疲労強度が高くなっている。これから判断して、シリーズⅡにおいてバーグラインダを用いた場合の疲労強度等級は、溶接のままの継手と比べて、止端仕上げは 2 等級、R 仕上げとフィレット仕上げは 3 等級向上している。

表 3.1-1 疲労試験の試験条件シリーズ I (I -AW, I -TG, I -WR,)

試験体	板幅 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (mm ²)	応力範囲 (N/mm ²)	荷重(kN)	
					下限	上限
I-AW80-1	99.40	11.92	1184.52	80	10	104.76
I-AW100-1	100.52	11.90	1196.15	100		129.61
I-AW100-2	99.53	11.88	1182.79			128.28
I-AW100-3	100.48	11.95	1200.78			130.08
I-AW120-1	100.63	11.95	1202.57			120
I-AW120-2	100.47	11.90	1195.55	153.47		
I-AW120-3	100.12	11.97	1198.06	153.77		
I-AW150-1	99.57	12.10	1204.76	150		190.71
I-AW150-2	100.67	11.97	1204.98			190.75
I-AW150-3	100.40	11.90	1194.76			189.21
I-TG120-1	100.02	11.85	1185.20	120	10	152.22
I-TG120-2	100.23	11.90	1192.78			153.13
I-TG120-3	100.08	11.87	1187.66			152.52
I-TG150-1	100.38	11.82	1186.20	150		187.93
I-TG150-2	100.33	11.87	1190.62			188.59
I-TG150-3	100.22	11.87	1189.24			188.39
I-TG180-1	100.23	11.83	1186.09	180		223.50
I-TG180-2	100.22	11.87	1189.24			224.06
I-TG180-3	99.98	11.83	1183.14			222.96
I-WR100-1	100.02	11.88	1188.53	100		10
I-WR120-1	100.27	11.85	1188.16	120	152.58	
I-WR120-2	100.13	11.93	1194.92		153.39	
I-WR120-3	100.52	12.02	1207.88		154.95	
I-WR150-1	100.45	11.88	1193.68	150	189.05	
I-WR150-2	100.11	11.87	1187.92		188.19	
I-WR150-3	100.23	11.93	1196.12		189.42	
I-WR180-1	100.05	11.82	1182.26	180	222.81	
I-WR180-2	100.30	11.90	1193.57		224.84	
I-WR180-3	100.08	11.87	1187.66		223.78	

表 3.1-2 疲労試験の試験条件シリーズ I (I-FG, I-FR,)

試験体	板幅 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (mm ²)	応力範囲 (N/mm ²)	荷重(kN)	
					下限	上限
I-FG100-1	100.00	11.95	1195.00	100	10	129.50
I-FG120-1	100.07	11.85	1185.79	120		152.29
I-FG120-2	100.17	11.90	1191.98			153.04
I-FG120-3	100.22	11.98	1200.93			154.11
I-FG150-1	100.60	11.95	1202.17	150		190.33
I-FG150-2	100.13	12.02	1203.27			190.49
I-FG150-3	100.27	11.95	1198.19			189.73
I-FG180-1	100.35	11.87	1190.82	180		224.35
I-FG180-2	100.28	11.92	1195.04			225.11
I-FG180-3	100.07	11.95	1195.80			225.24
I-FR180-1	100.22	11.93	1195.92	180	10	225.27
I-FR180-2	100.27	12.02	1204.87			226.88
I-FR180-3	100.13	11.97	1198.26			225.69
I-FR180-4	99.83	11.93	1191.34			224.44
I-FR180-5	99.78	11.83	1180.77			222.54
I-FR180-6	100.08	11.95	1196.00			225.28
I-FR220-1	99.78	11.93	1190.75	220		271.96
I-FR220-2	100.22	11.88	1190.91			272.00
I-FR220-3	100.30	11.92	1195.24			272.95
I-FR220-4	100.10	12.00	1201.20			274.26

表 3.2 疲労試験の試験条件シリーズII

試験体	板幅 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (mm ²)	応力範囲 (N/mm ²)	荷重(kN)	
					下限	上限
II-AW80-1	100.18	12.12	1213.89	80	10	107.11
II-AW80-2	100.08	12.03	1204.34			106.35
II-AW100-1	100.12	12.03	1204.74	100		130.47
II-AW100-2	100.23	11.88	1191.11			129.11
II-AW120-1	100.28	12.18	1221.79	120		156.61
II-AW120-2	100.18	11.93	1195.52			153.46
II-AW150-1	100.04	12.20	1220.49	150		193.07
II-AW150-2	100.50	12.05	1211.03			191.65
II-TG120-1	100.07	11.95	1195.80	120	10	153.50
II-TG120-2	100.25	11.98	1201.33			154.16
II-TG120-3	100.27	11.98	1201.53			154.18
II-TG120-4	100.35	11.83	1187.48			152.50
II-TG150-1	100.37	12.07	1211.09	150		191.66
II-TG150-2	100.47	12.05	1210.62			191.59
II-TG150-3	100.17	11.97	1198.66			189.80
II-TG180-1	100.38	12.10	1214.64	180		228.63
II-TG180-2	100.30	12.10	1213.63		228.45	
II-WR150-1	97.70	11.60	1133.32	150	10	180.00
II-WR150-2	100.35	11.70	1174.10			186.11
II-WR150-3	100.43	11.82	1186.79			690.18
II-WR180-1	100.42	11.70	1174.88	180		221.48
II-WR180-2	100.22	11.73	1175.88			221.66
II-WR180-3	100.37	11.88	1192.69			224.68
II-WR220-1	100.32	11.77	1180.39	220		269.69
II-WR220-2	100.20	11.85	1187.37			271.22
II-WR220-3	100.50	11.73	1179.20		269.42	
II-FR150-1	100.48	11.80	1185.70	150	10	187.86
II-FR150-2	99.97	11.63	1162.95			184.44
II-FR180-1	100.25	11.72	1174.60	180		221.43
II-FR180-2	100.27	12.10	1213.23			228.38
II-FR180-3	100.23	11.87	1189.44			224.10
II-FR220-1	100.05	11.90	1190.60	220		271.93
II-FR220-2	100.03	11.82	1182.06			270.05

表 3.3 ビーチマーク試験の試験条件

試験体	板幅 (mm)	板厚 (mm)	断面積(mm ²)	応力範囲 (N/mm ²)	荷重(kN)	
					下限	上限
I-AW120-2	100.47	11.90	1195.55	120	10	153.47
				60	81.74	
I-TG150-3	100.22	11.87	1189.24	150	10	188.39
				75	99.20	
I-WR180-3	100.08	11.87	1187.66	180	10	223.78
				90	116.89	
I-FG180-2	100.28	11.92	1195.04	180	10	225.11
				90	117.56	
I-FR220-4	100.10	12.00	1201.20	220	10	274.26
				110	137.13	

表 3.4-1 疲労試験結果シリーズ I (I-AW, I-TG, I-WR,)

試験体	応力範囲 (N/mm ²)	破断回数 (万回)	破断位置	備考
I-AW100-1	100	101.43	FD	
I-AW100-2		126.15	BU	
I-AW100-3		108.67	FD	
I-AW120-1	120	73.88	BD	
I-AW120-2		55.34	FU	
I-AW120-3		70.45	BD	
I-AW150-1	150	29.35	FD	
I-AW150-2		35.77	BU	
I-AW150-3		27.50	FD	
I-TG120-1	120	178.75	FU	
I-TG120-2		119.22	BU	
I-TG120-3		79.24	FU	
I-TG150-1	150	72.6	FD	
I-TG150-2		30.53	FD	止端残存
I-TG150-3		52.11	FU	
I-TG180-1	180	35.15	BU	
I-TG180-2		24.65	FD	
I-TG180-3		19.72	BD	
I-WR100-1	100	501.12	FU	
I-WR120-1	120	96.54	FD	溶接キズあり.
I-WR120-2		211.12	FD	
I-WR120-3		138.04	FD	
I-WR150-1	150	37.82	BD	止端残存
I-WR150-2		236.9	FU	
I-WR150-3		122.91	BU	
I-WR180-1	180	92.1	BD	
I-WR180-2		84.9	FD	
I-WR180-3		36.84	FD	止端残存

表 3.4-2 疲労試験結果シリーズ I (I-FG, I-FR)

試験体	応力範囲 (N/mm ²)	破断回数 (万回)	破断位置	備考
I-FG120-1	120	566.29	FU	
I-FG120-2		289.54	BD	
I-FG120-3		174.91	FD	
I-FG150-1	150	259.84	BD	
I-FG150-2		69.92	FD	
I-FG150-3		82.25	BD	
I-FG180-1	180	49.9	BD	
I-FG180-2		33.85	FD	
I-FG180-3		22.11	BD	止端残存
I-FR180-1	180	159.11	D	チャック切れ.
I-FR180-2		244.86	D	チャック切れ.
I-FR180-3		397.85	BU	
I-FR180-4		130.12	BU	
I-FR180-5		55 以上		チャック滑.
I-FR180-6		215.79	FU	
I-FR220-1	220	60.81	FU	
I-FR220-2		142.94	BU	
I-FR220-3		90.21	FD	
I-FR220-4		82.49	FU	

表 3.5 疲労試験結果シリーズ II

試験体	応力範囲 (N/mm ²)	破断回数 (万回)	破断位置	備考
II-AW80-1	80	168.35	BU	
II-AW80-2		182.98	BD	
II-AW100-1	100	88.13	FU	
II-AW100-2		95.99	FD	
II-AW120-1	120	53.18	BU	
II-AW120-2		58.48	FU	
II-AW150-1	150	28.69	BU	
II-AW150-2		30.11	BD	
II-TG120-1	120	1000.00	-	未破断
II-TG120-2		83.4	BU	
II-TG120-3		72.23	FU	
II-TG120-4		143.59	FU	
II-TG150-1	150	299.43	BU	未溶着切れ
II-TG150-2		77.98	BU	
II-TG150-3		401.27	FU	未溶着切れ
II-TG180-1	180	36.63	FU	
II-TG180-2		39.93	BU	
II-WR150-1	150	468.17	BU	未溶着切れ
II-WR150-2		1000.00	-	未破断
II-WR150-3		973.54	FD	未溶着切れ
II-WR180-1	180	231.66	FD	未溶着切れ
II-WR180-2		29.23	FU	
II-WR180-3		548.39	BU	未溶着切れ
II-WR220-1	220	80.79	BU	
II-WR220-2		154.38	BU	未溶着切れ
II-WR220-3		36.50	BU	
II-FR150-1	150	197.63	BD	
II-FR150-2		317.30	FU	
II-FR180-1	180	70.87	FD	
II-FR180-2		156.23	FU	
II-FR180-3		101.81	FU	
II-FR220-1	220	30.54	FU	
II-FR220-2		30.96	BD	

表 3.6 疲労強度等級 (シリーズ I)

試験体	JSSC 指針による 疲労強度等級	疲労試験結果から判断した 疲労強度等級
I-AW	G	F
I-TG	F	E
I-WR	F	D
I-FG	F	E
I-FR	E	C

表 3.7 疲労強度等級 (シリーズ II)

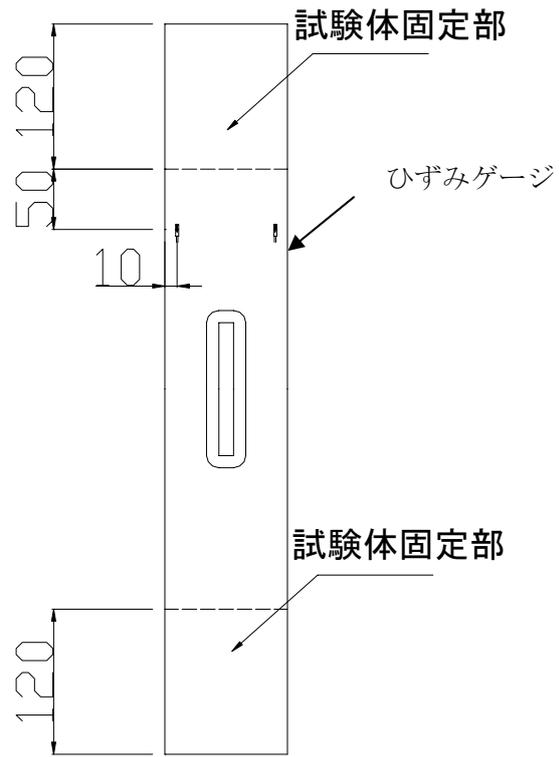
試験体	JSSC 指針による疲労 強度等級	疲労試験結果から判断した 疲労強度等級
II-AW	G	F
II-TG	F	D
II-WR	F	C
II-FR	E	C

表 3.8 ビーチマーク試験結果

試験体	応力範囲 (N/mm ²)	繰返し回数(万回)	破断位置	備考
I-AW120-2	120	55.34	FU	
		105.34		
I-TG150-3	150	52.13	FU	
		100.13		
I-WR180-3	180	36.84	FD	仕上げ不十分
		66.84		
I-FG180-2	180	33.85	FD	
		63.85		

表 3.9 疲労強度と疲労強度比

試験体	100 万回疲労強度 $\Delta\sigma_{100}(\text{N}/\text{mm}^2)$	200 万回疲労強度 $\Delta\sigma_{200}(\text{N}/\text{mm}^2)$	100 万回疲労強度比 ($\Delta\sigma_{100}/\Delta\sigma_{100\text{AW}}$)	200 万回疲労強度比 ($\Delta\sigma_{200}/\Delta\sigma_{200\text{AW}}$)
I-AW	103	82	1.00	1.00
I-TG	130	111	1.26	1.35
I-WR	163	132	1.58	1.61
I-FG	148	130	1.44	1.58
I-FR	207	188	2.02	2.29
II-AW	97	76	1.00	1.00
II-TG	145	139	1.48	1.82
II-WR	194	183	1.99	2.40
II-FR	179	160	1.84	2.09



単位 mm

図 3.1 試験体固定部とひずみゲージ添付位置

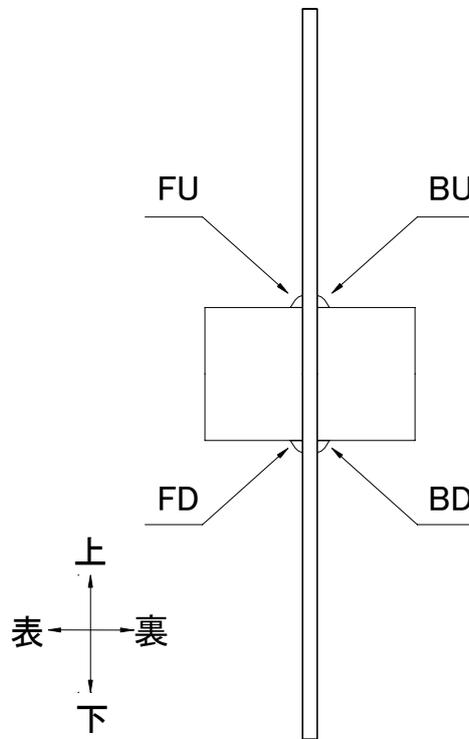


図 3.2 溶接位置名称図

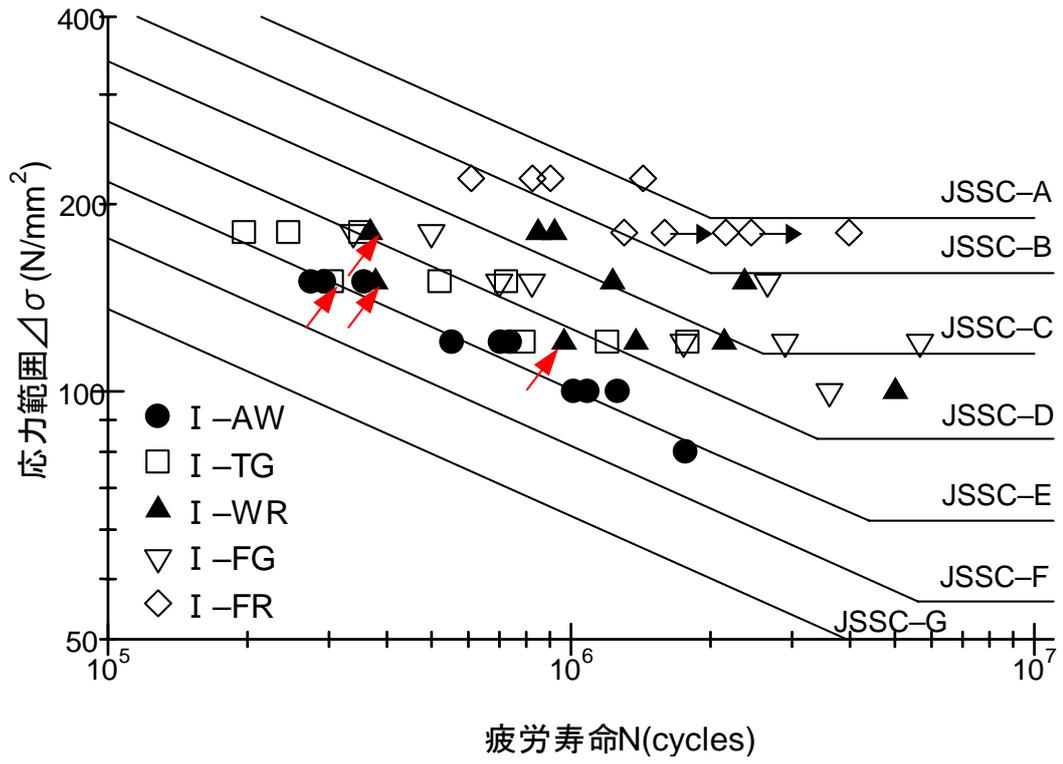


図 3.3 疲労試験結果 (シリーズ I)

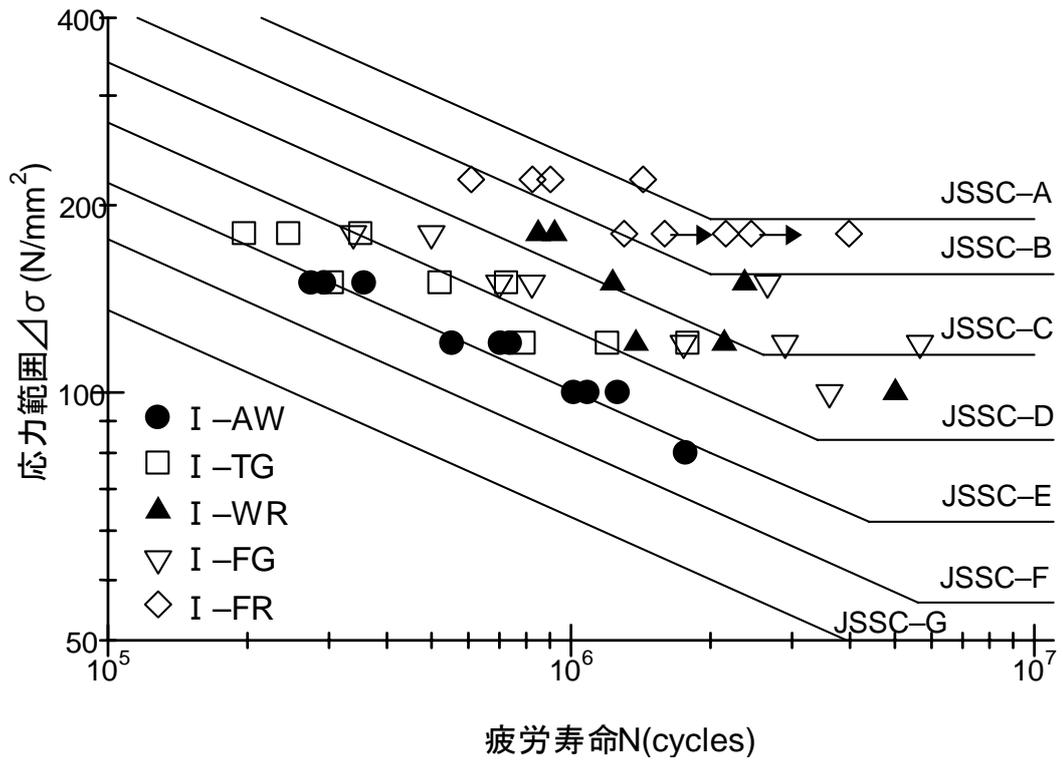


図 3.4 疲労試験結果 (シリーズ I) キズなし

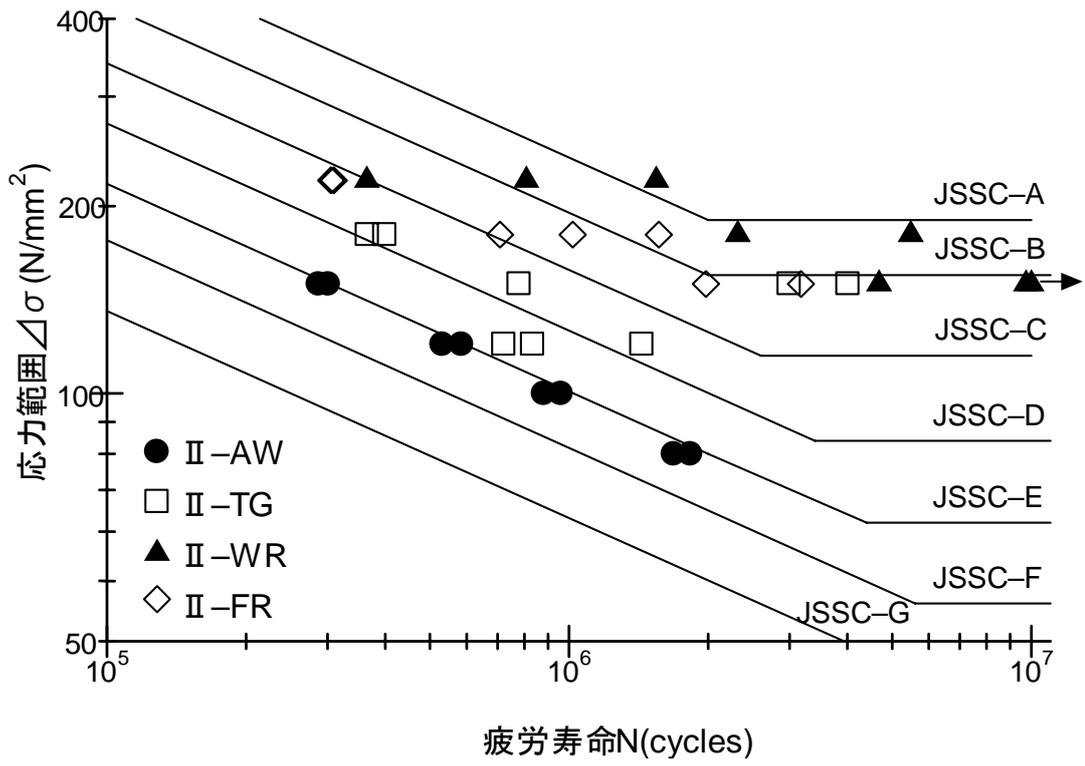


図 3.5 疲労試験結果 (シリーズII)

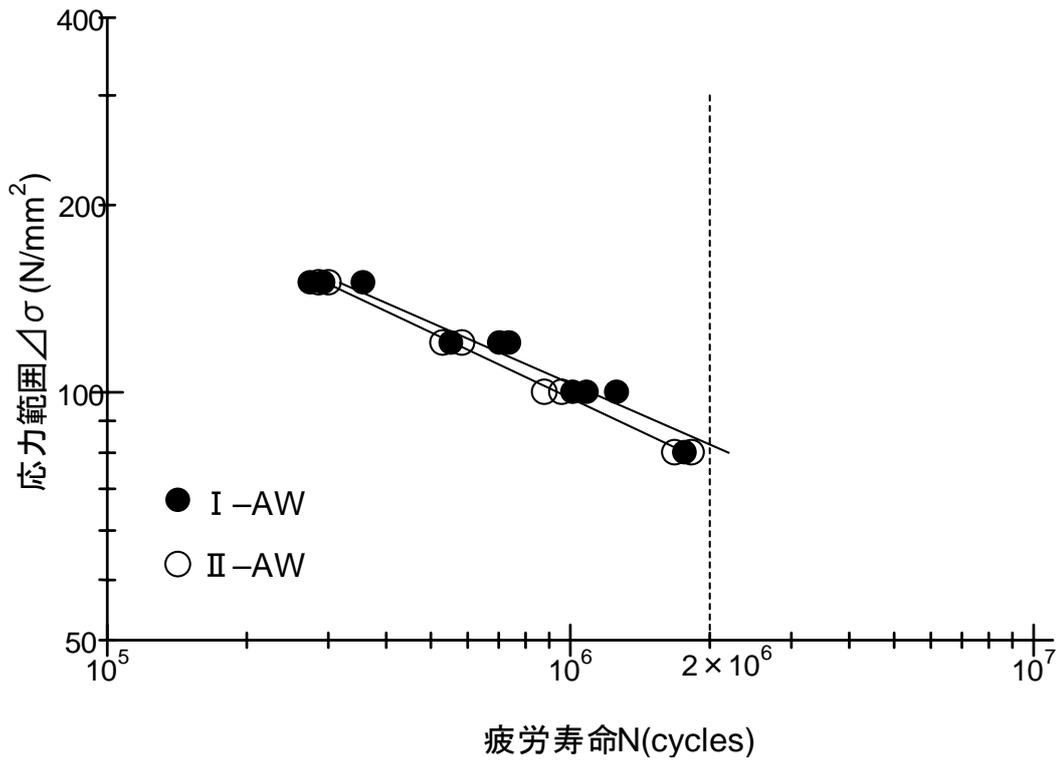


図 3.6 疲労試験結果 AW 比較

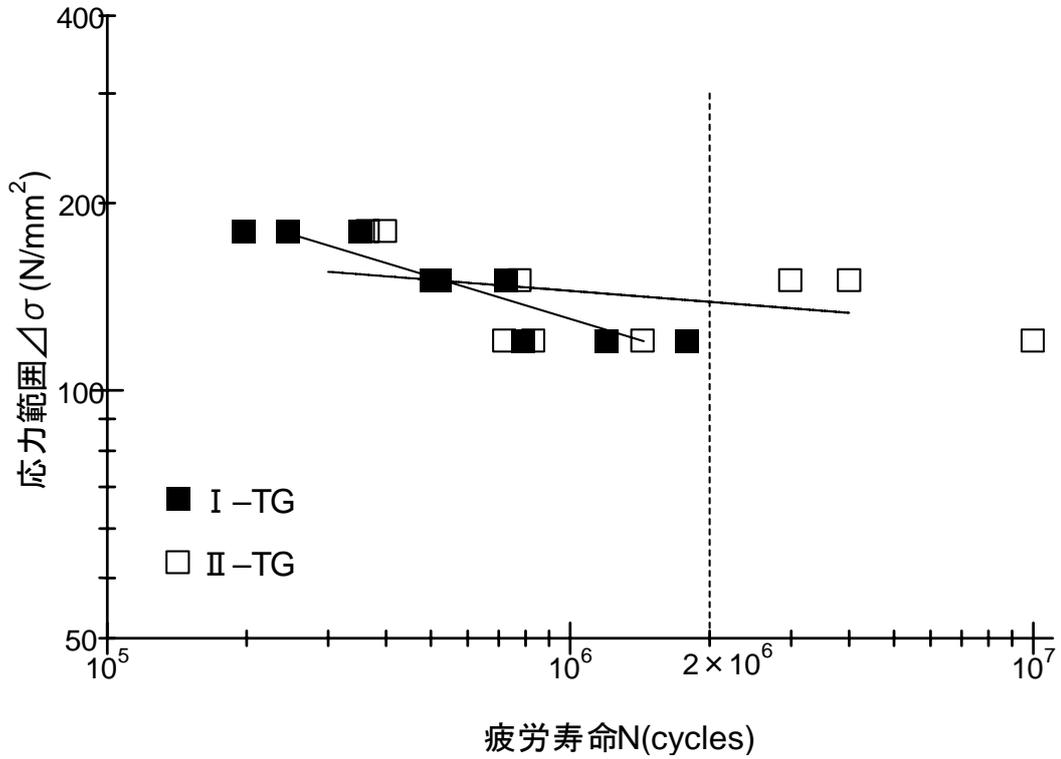


図 3.7 疲労試験結果 TG 比較

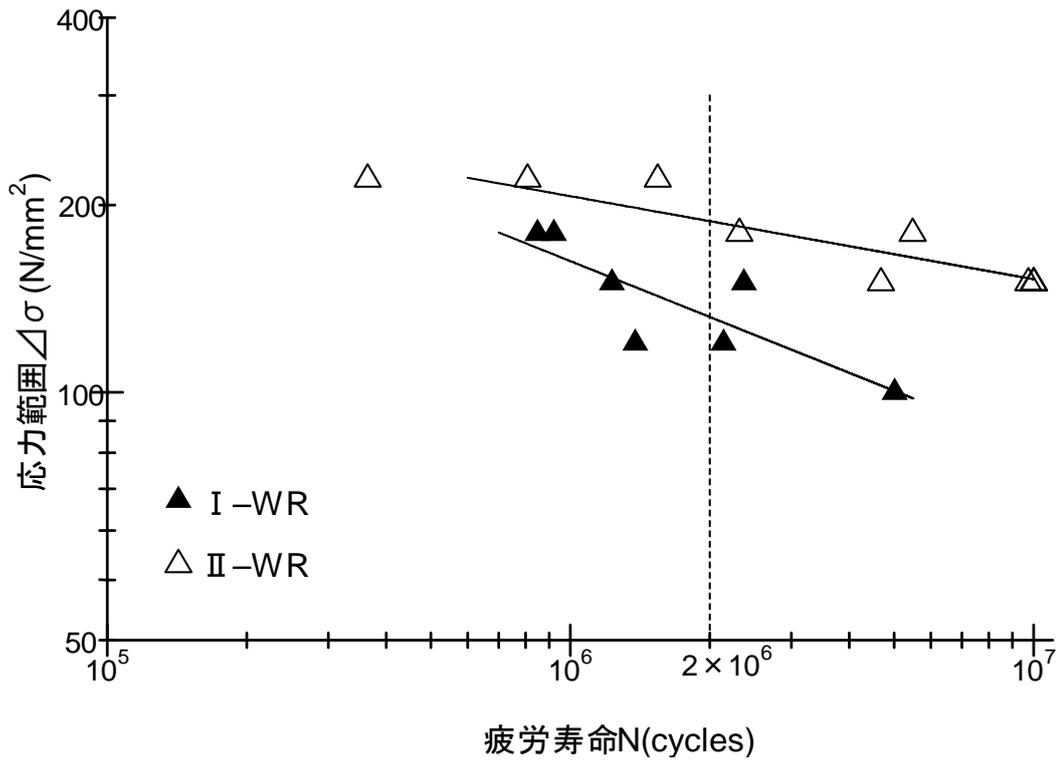


図 3.8 疲労試験結果 WR 比較

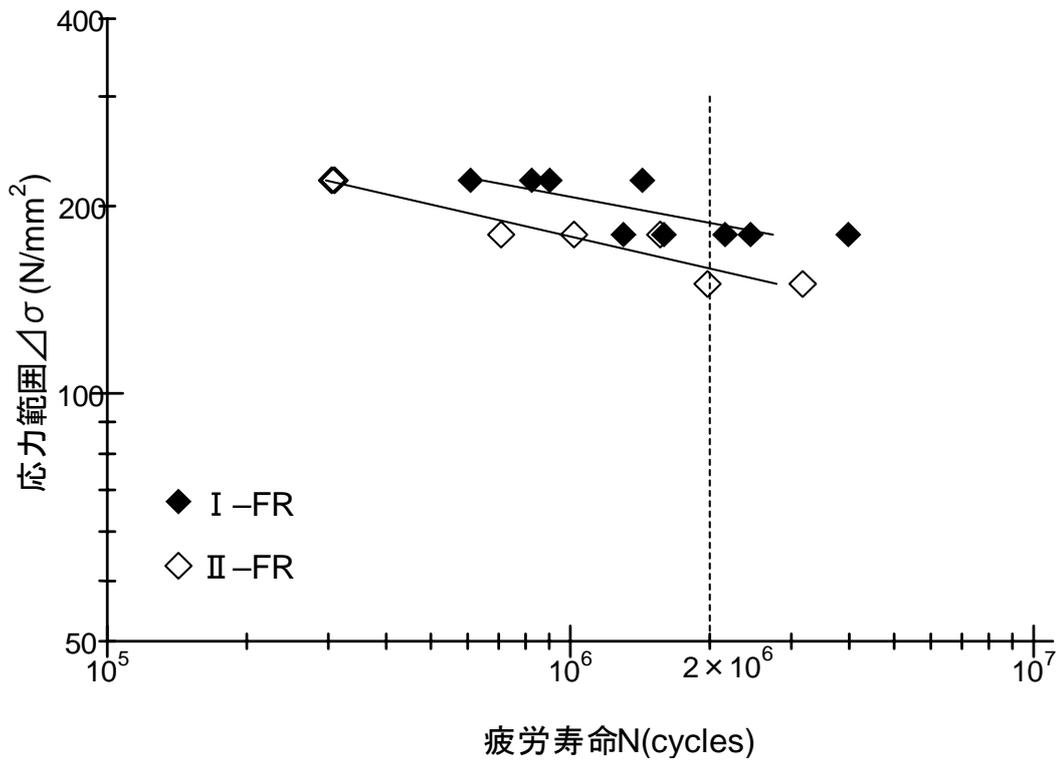
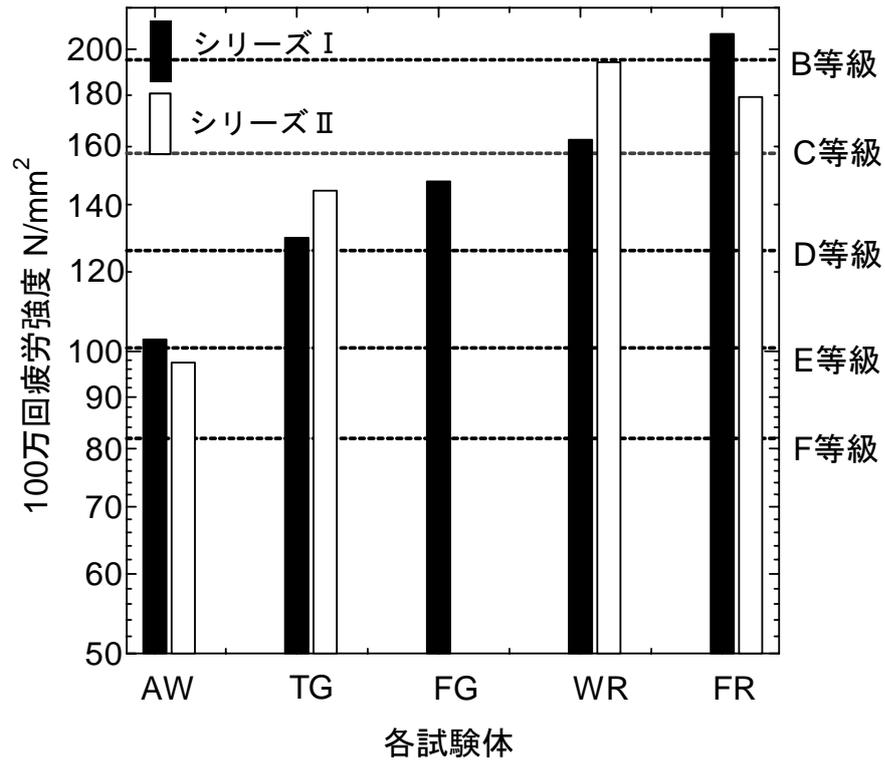
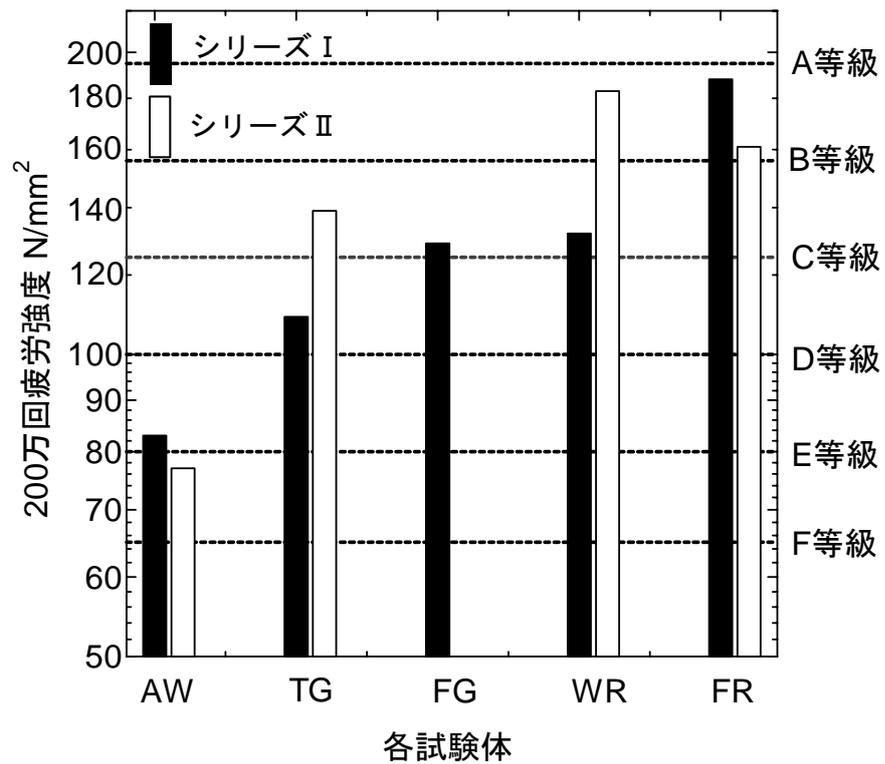


図 3.9 疲労試験結果 FR 比較



(a) 100 万回疲労強度比較

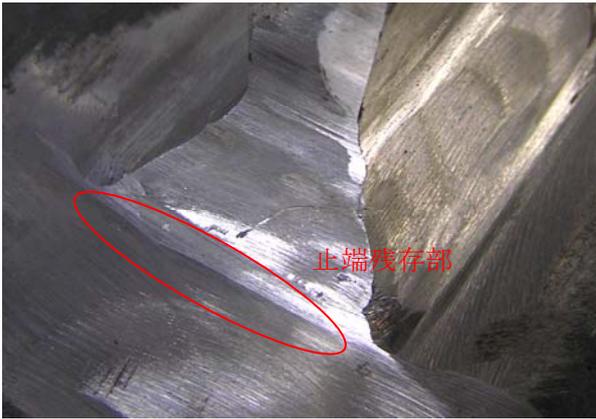


(b) 200 万回疲労強度比較

図 3.10 シリーズ I・II 試験体の疲労強度比較



写真 3.1 試験装置

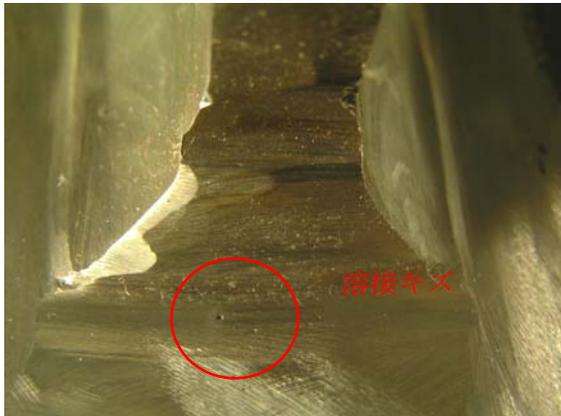


(a) I-WR 試験体



(b) I-FG 試験体

写真 3.2 溶接止端残存例



(a) 破断前

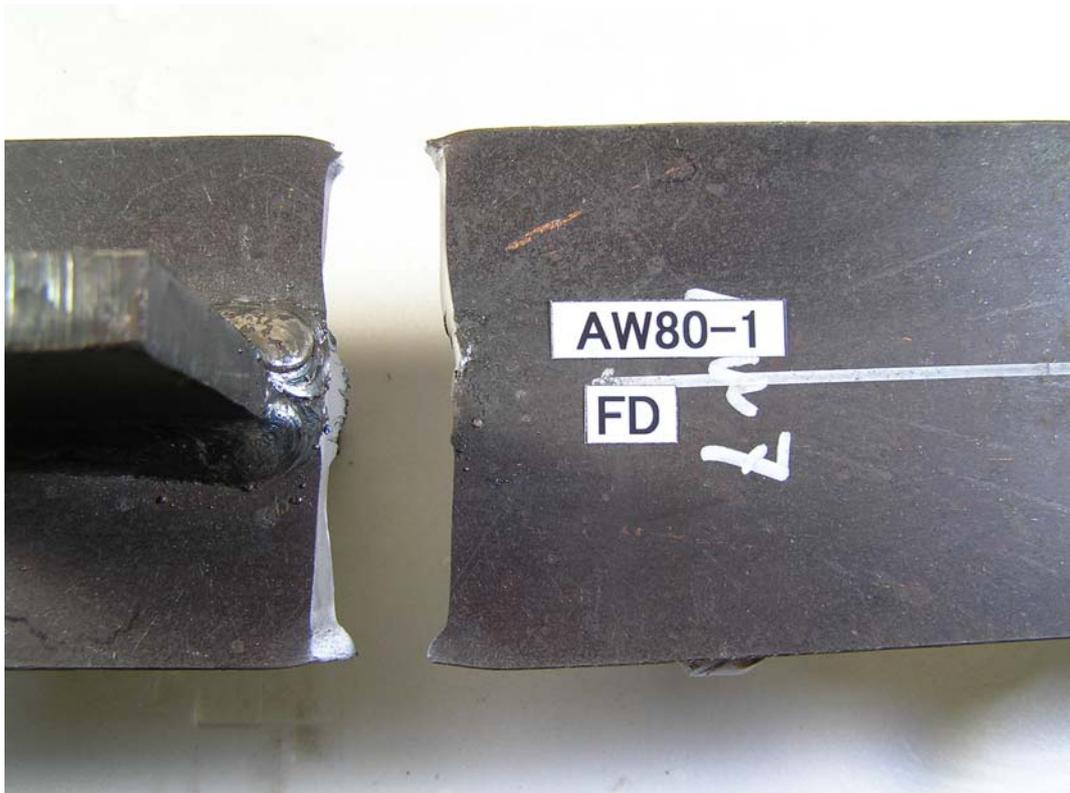


(b) 破断後

写真 3.3 溶接キズ (I-WR120-1)



(a) I-AW80-1 正面



(b) I-AW80-1 上-

写真 3.4-1 I-AW 破断面 (I-AW80-1)



(a) I-AW100-1 正面



(b) I-AW100-1 上

写真 3.4-2 I-AW 破断面 (I-AW100-1)



(a) I-AW100-2 正面



(b) I-AW100-2 上

写真 3.4-3 I-AW 破断面 (I-AW100-2)



(a) I-AW100-3 正面



(b) I-AW100-3 上

写真 3.4-4 I-AW 破断面 (I-AW100-3)



(a) I-AW120-1 正面



(b) I-AW120-1 上

写真 3.4-5 I-AW 破断面 (I-AW120-1)



(a) I-AW120-2 正面



(b) I-AW120-2 上

写真 3.4-6 I-AW 破断面 (I-AW120-2)



(a) I-AW120-3 正面

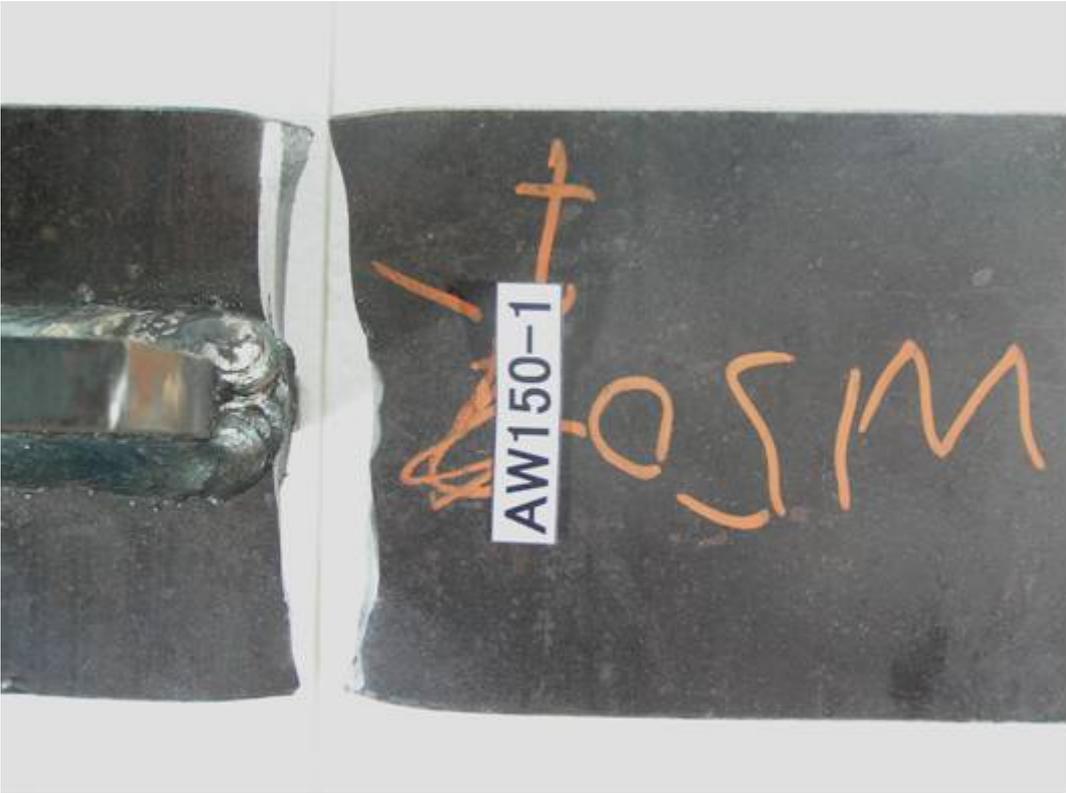


(b) I-AW120-3 上

写真 3.4-7 I-AW 破断面 (I-AW120-3)



(a) I-AW150-1 正面



(b) I-AW150-1 上

写真 3.4-8 I-AW 破断面 (I-AW150-1)



(a) I-AW150-2 正面

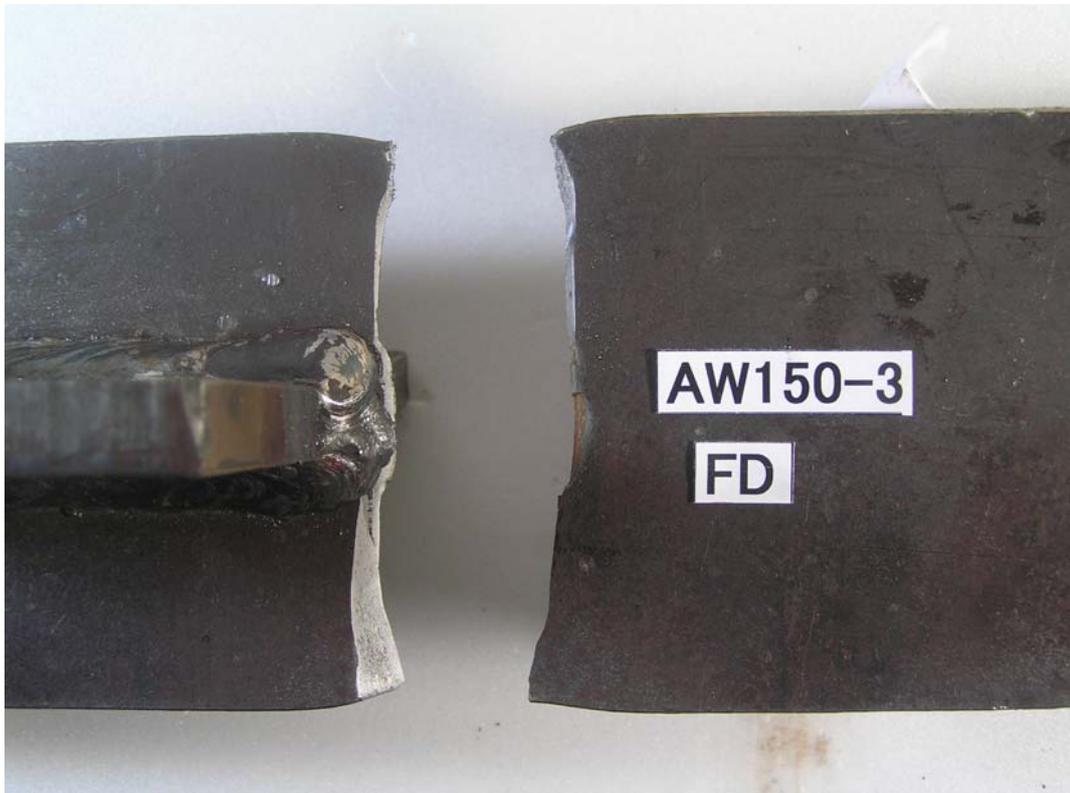


(b) I-AW150-2 上

写真 3.4-9 I-AW 破断面 (I-AW150-2)



(a) I-AW150-3 正面



(b) I-AW150-3 上

写真 3.4-10 I-AW 破断面 (I-AW150-3)



(a) I-TG120-1 正面



(b) I-TG120-1 上

写真 3.5-1 I-TG 試験体破断面 (I-TG120-1)



(a) I-TG120-2 正面



(b) I-TG120-2 上

写真 3.5-2 I-TG 試験体破断面 (I-TG120-2)



(a) I-TG150-1 正面



(b) I-TG150-1 上

写真 3.5-3 I-TG 試験体破断面 (I-TG150-1)



(a) I-TG150-2 正面



(b) I-TG150-2 上

写真 3.5-4 I-TG 試験体破断面 (I-TG150-2)



(a) I-TG150-3 正面



(b) I-TG150-3 上

写真 3.5-5 I-TG 試験体破断面 (I-TG150-3)



(a) I-TG180-1 正面



(b) I-TG180-1 上

写真 3.5-6 I-TG 試験体破断面 (I-TG180-1)



(a) I-TG180-2 正面

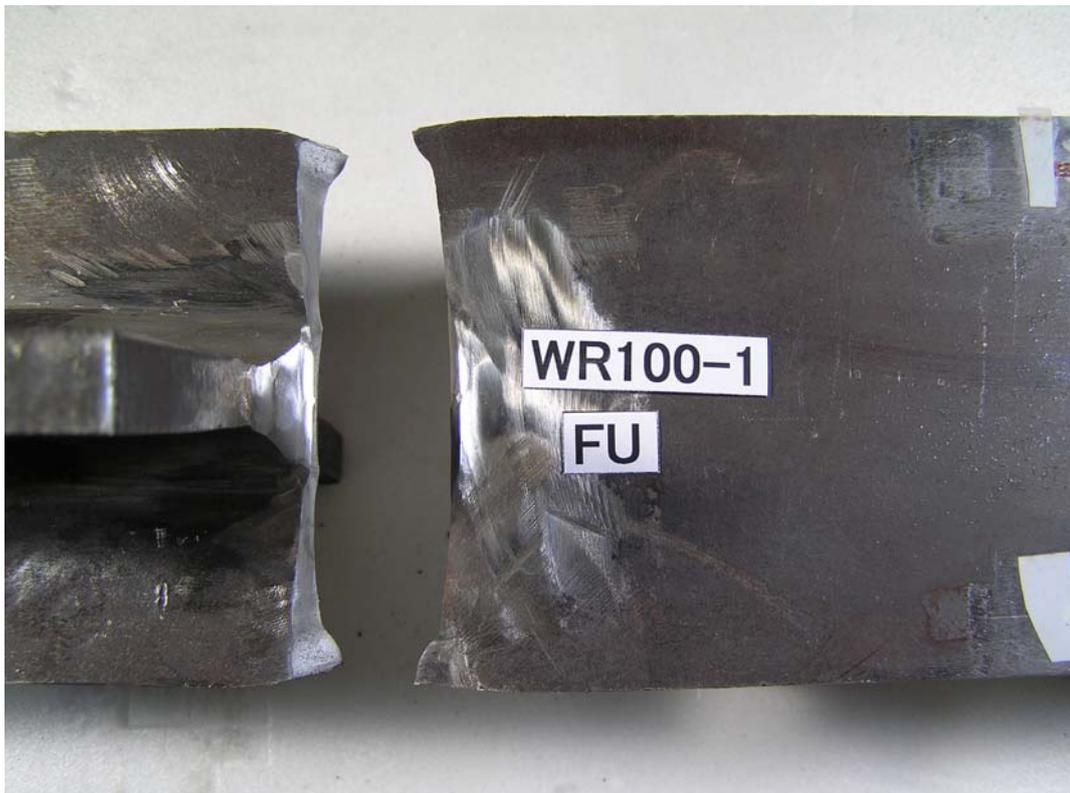


(b) I-TG180-2 上

写真 3.5-7 I-TG 試験体破断面 (I-TG180-2)



(a) I-WR100-1 正面



(b) I-WR100-1 上

写真 3.6-1 I-WR 試験体破断面 (I-WR100-1)



(a) I-WR120-1 正面



(b) I-WR120-1 上

写真 3.6-2 I-WR 試験体破断面 (I-WR120-1)



(a) I-WR120-2 正面



(b) I-WR120-2 上

写真 3.6-3 I-WR 試験体破断面 (I-WR120-2)



(a) I-WR120-3 正面



(b) I-WR120-3 上

写真 3.6-4 I-WR 試験体破断面 (I-WR120-3)



(a) I-WR150-1 正面



(b) I-WR150-1 上

写真 3.6-5 I-WR 試験体破断面 (I-WR150-1)



(a) I-WR150-2 正面



(b) I-WR150-2 上

写真 3.6-6 I-WR 試験体破断面 (I-WR150-2)



(a) I-WR150-3 正面



(b) I-WR150-3 正面

写真 3.6-7 I-WR 試験体破断面 (I-WR150-3)



(a) I-WR180-1 正面



(b) I-WR180-1 正面

写真 3.6-8 I-WR 試験体破断面 (I-WR180-1)



(a) I-WR180-2 正面



(b) I-WR180-2 上

写真 3.6-9 I-WR 試験体破断面 (I-WR180-2)



(a) I-WR180-3 正面



(b) I-WR180-3 上

写真 3.6-10 I-WR 試験体破断面 (I-WR180-3)



(a) -FG100-1 正面



(b) -FG100-1 上

写真 3.7-1 -FG 試験体破断面 (-FG100-1)



(a) -FG120-1 正面



(b) -FG120-1 上

写真 3.7-2 -FG 試験体破断面 (-FG120-1)



(a) -FG120-2 正面

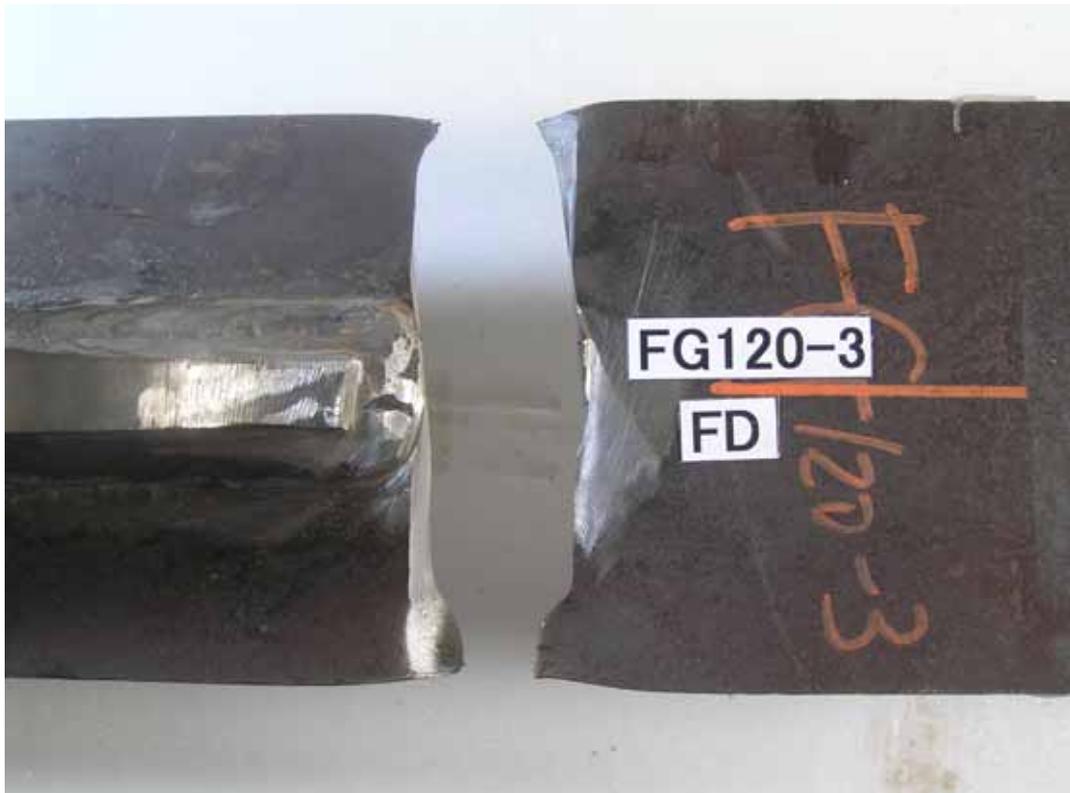


(b) -FG120-2 上

写真 3.7-3 -FG 試験体破断面 (-FG120-2)



(a) -FG120-3 正面



(b) -FG120-3 上

写真 3.7-4 -FG 試験体破断面 (-FG120-3)



(a) -FG150-1 正面



(b) -FG150-1 横

写真 3.7-5 -FG 試験体破断面 (-FG150-1)



(a) -FG150-2 正面



(b) -FG150-2 上

写真 3.7-6 -FG 試験体破断面 (-FG150-2)



(a) -FG150-3 正面



(b) -FG150-3 上

写真 3.7-7 -FG 試験体破断面 (-FG150-3)



(a) -FG180-1 正面



(b) -FG180-1 上

写真 3.7-8 -FG 試験体破断面 (-FG180-1)



(a) -FG180-2 正面



(b) -FG180-2 上

写真 3.7-9 -FG 試験体破断面 (-FG180-2)



(a) -FG180-3 正面



(b) -FG180-3 上

写真 3.7-10 -FG 試験体破断面 (-FG180-3)



(a) -FR180 - 1 正面



(b) -FR180 - 1 上

写真 3.8-1 -FR 試験体破断面 (-FR180-1)

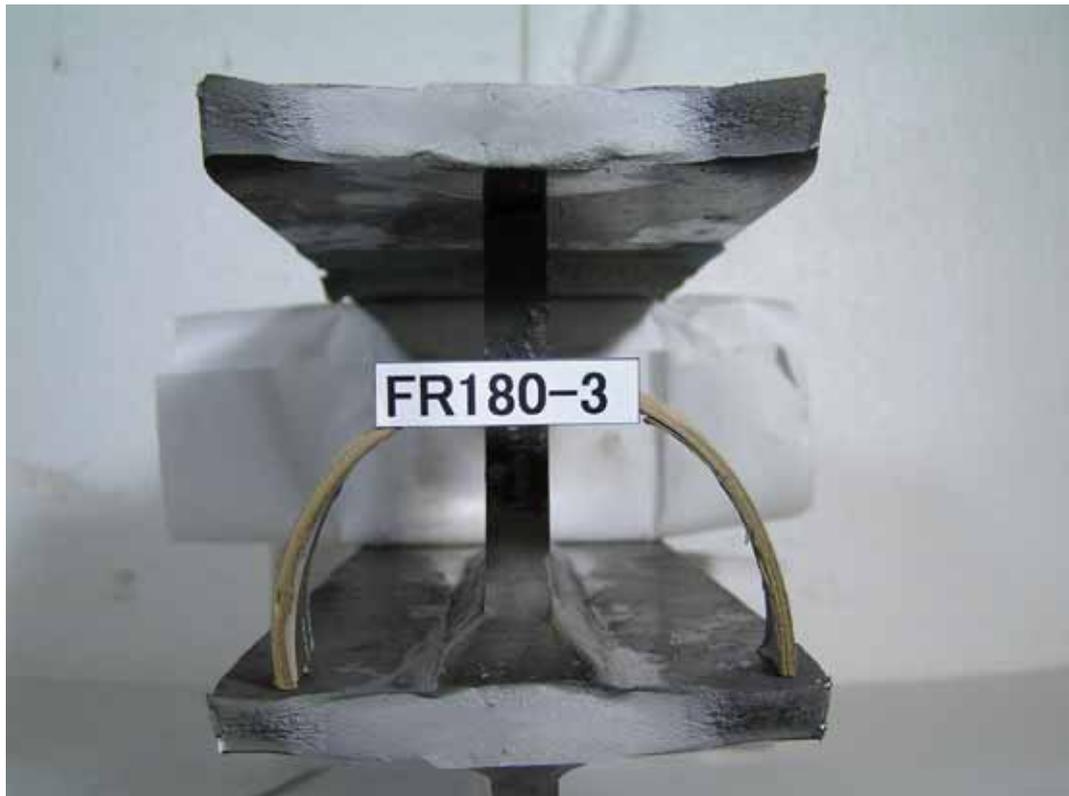


(a) -FR180 - 2 正面



(b) -FR180 - 2 上

写真 3.8-2 -FR 試験体破断面 (-FR180-2)



(a) -FR180 - 3 正面



(b) -FR180 - 3 上

写真 3.8-3 -FR 試験体破断面 (-FR180-3)



(a) -FR180 - 4 正面



(b) -FR180 - 4 上

写真 3.8-4 -FR 試験体破断面 (-FR180-4)



(a) -FR180 - 6 正面



(b) -FR180 - 6 上

写真 3.8-5 -FR 試験体破断面 (-FR180-5)



(a) -FR220 - 1 正面



(b) -FR220 - 1 上

写真 3.8-6 -FR 試験体破断面 (-FR220-1)



(a) -FR220 - 2 正面



(b) -FR220 - 2 上

写真 3.8-7 -FR 試験体破断面 (-FR220-2)



(a) -FR220 - 3 正面



(b) -FR220 - 3 上

写真 3.8-8 -FR 試験体破断面 (-FR220-3)



(a) -FR220 - 3 正面



(b) -FR220 - 3 上

写真 3.8-9 -FR 試験体破断面 (-FR220-4)



AW100-3



AW120-3



AW150-3

写真 3.9 破断前後比較 (-AW)



TG120-3

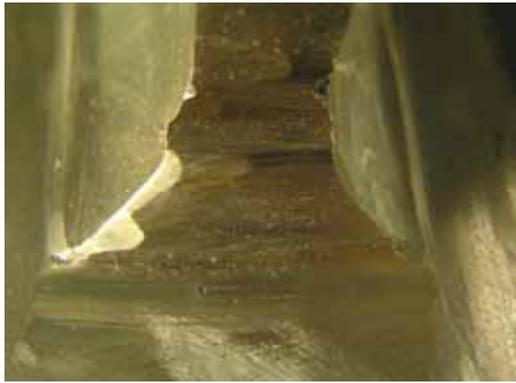


TG150-3



TG180-1

写真 3.10 破断前後比較 (-TG)



-WR120 - 1



WR120-2

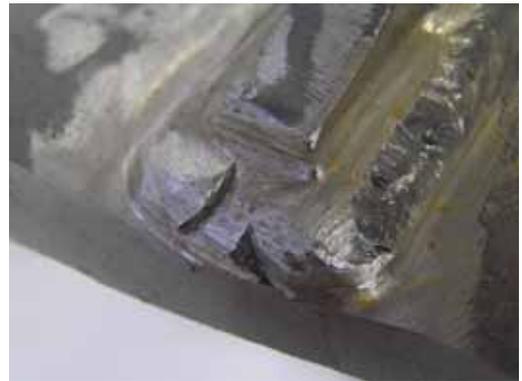


WR150-3

写真 3.11 破断前後比較 (-WR)



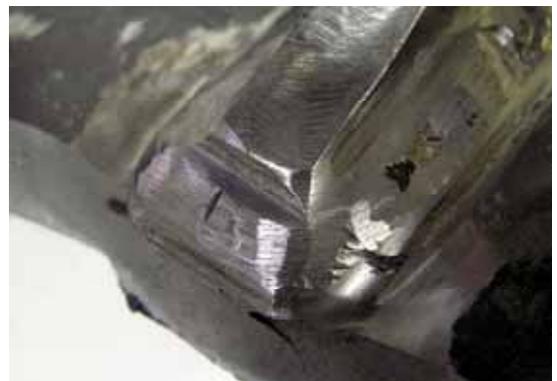
-FG120-1



-FG120-3



-FG150-3



-FG180-3

写真 3.12 破断前後比較 (-FG)



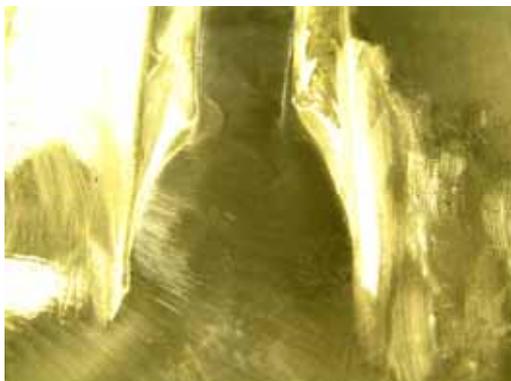
-FR180-3



-FR180-4



FR180-6



FR220-1

写真 3.13-1 破断前後比較 (-FR)



-FR220-2

写真 3.13-2 破断前後比較 (-FR)



(a) -AW80-1 正面



(b) -AW80-1 上

写真 3.14-1 -AW 試験体破断面 (-AW80-1)



(a) -AW80-2 正面



(b) -AW80-2 上

写真 3.14-2 -AW 試験体破断面 (-AW80-2)



(a) -AW100-1 正面



(b) -AW100-1 上

写真 3.14-3 -AW 試験体破断面 (-AW100-1)



(a) -AW100-2 正面



(b) -AW100-2 上

写真 3.14-4 -AW 試験体破断面 (-AW100-2)



(a) -AW120-1 正面



(b) -AW120-1 上

写真 3.14-5 -AW 試験体破断面 (-AW120-1)



(a) -AW120-2 正面



(b) -AW120-2 上

写真 3.14-6 -AW 試験体破断面 (-AW120-2)



(a) -AW150-1 正面

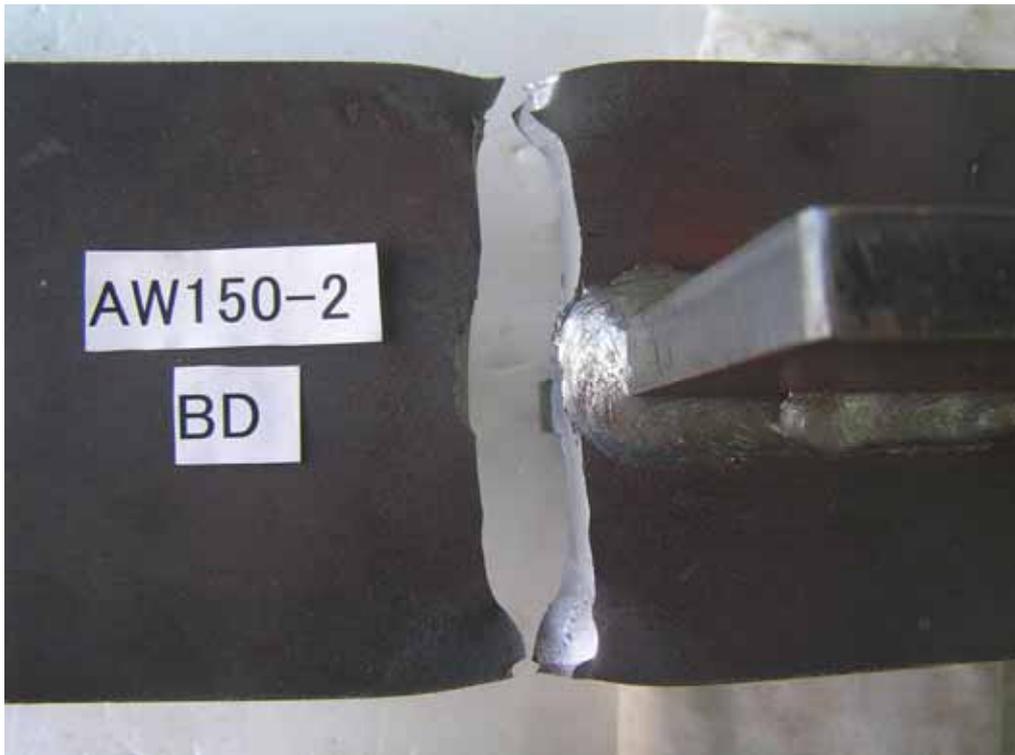


(b) -AW150-1 上

写真 3.14-7 -AW 試験体破断面 (-AW150-1)



(a) -AW150-2 正面



(b) -AW150-2 上

写真 3.14-8 -AW 試験体破断面 (-AW150-2)



(a) -TG120-2 正面



(b) -TG120-2 上

写真 3.15-1 -TG 試験体破断面 (-TG120-1)



(a) -TG120-3 正面



(b) -TG120-3 上

写真 3.15-2 -TG 試験体破断面 (-TG120-3)



(a) -TG120-4 正面



(b) -TG120-4 上

写真 3.15-3 -TG 試験体破断面 (-TG120-4)



(a) -TG150-1 正面

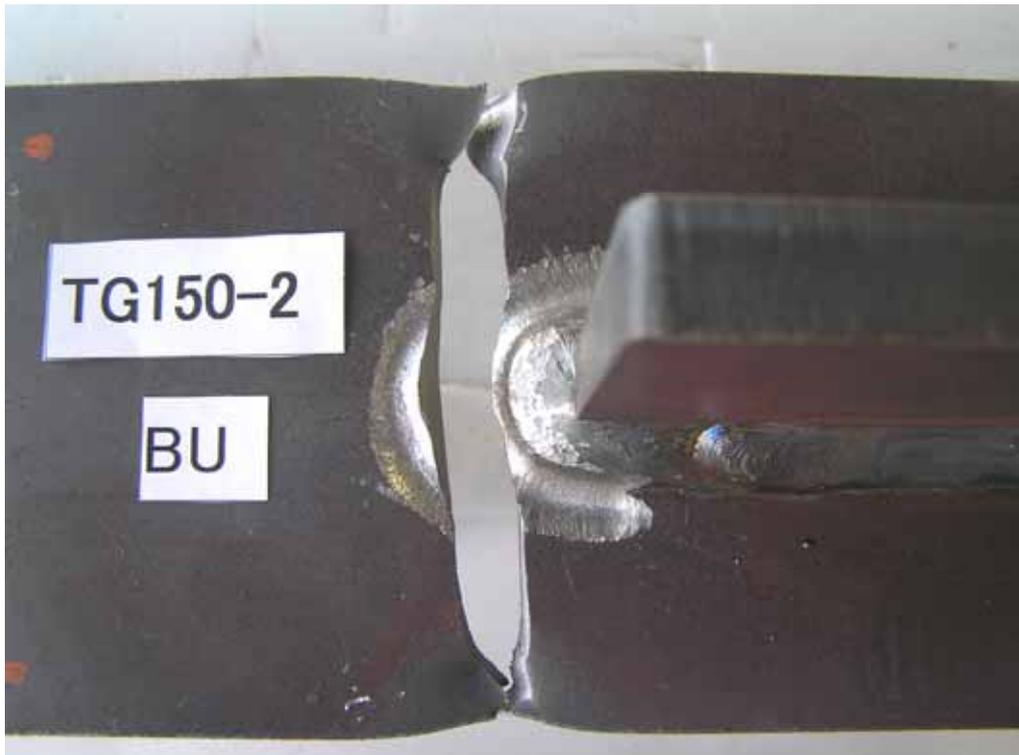


(b) -TG150-1 上

写真 3.15-4 -TG 試験体破断面 (-TG150-1)



(a) -TG150-2 正面



(b) -TG150-2 上

写真 3.15-5 -TG 試験体破断面 (-TG150-2)



(a) -TG150-3 正面



(b) -TG150-3 上

写真 3.15-6 -TG 試験体破断面 (-TG150-3)



(a) -TG180-1 正面



(b) -TG180-1 上

写真 3.15-7 -TG 試験体破断面 (-TG180-1)



(a) -TG180-2 正面



(b) -TG180-2 上

写真 3.15-8 -TG 試験体破断面 (-TG180-2)



(a) -WR150-1 正面



(b) -WR150-1 上

写真 3.16-1 -WR 試験体破断面 (-WR150-1)



(a) -WR150-3 正面



(b) -WR150-3 上

写真 3.16-2 -WR 試験体破断面 (-WR150-3)



(a) -WR180-1 正面



(b) -WR180-1 上

写真 3.16-3 -WR 試験体破断面 (-WR180-1)



(a) -WR180-2 正面



(b) -WR180-2 上

写真 3.16-4 -WR 試験体破断面 (-WR180-2)



(a) -WR180-3 正面



(b) -WR180-3 上

写真 3.16-5 -WR 試験体破断面 (-WR180-3)



(a) -WR220-1 正面



(b) -WR220-1 上

写真 3.16-6 -WR 試験体破断面 (-WR220-1)



(a) -WR220-2 上



(b) -WR220-2 上

写真 3.16-7 -WR 試験体破断面 (-WR220-2)



(a) -WR220-2 正面

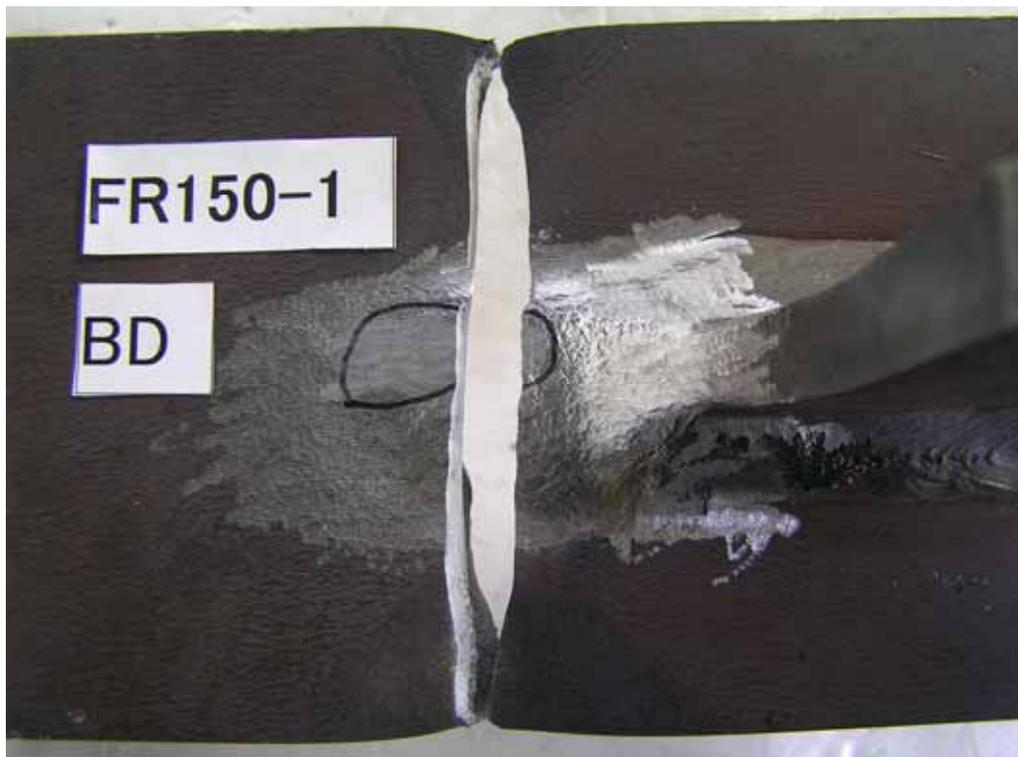


(b) -WR220-2 上

写真 3.16-8 -WR 試験体破断面 (-WR220-3)



(a) -FR150-1 正面



(b) -FR150-1 上

写真 3.17-1 -FR 試験体破断面 (-FR150-1)



(a) -FR150-2 正面



(b) -FR150-2 上

写真 3.17-2 -FR 試験体破断面 (-FR150-2)



(a) -FR180-1 正面

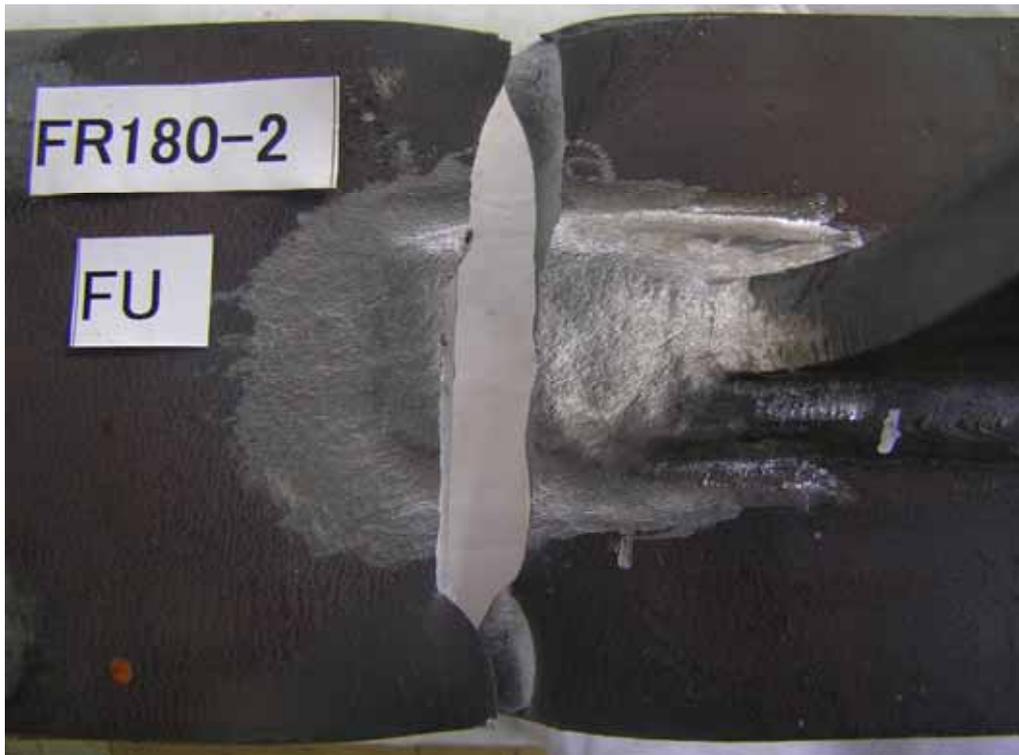


(b) -FR180-1 上

写真 3.17-3 -FR 試験体破断面 (-FR180-1)



(a) -FR180-2 正面



(b) -FR180-2 上

写真 3.17-4 -FR 試験体破断面 (-FR180-2)



(a) -FR180-3 正面



(b) -FR180-3 上

写真 3.17-5 -FR 試験体破断面 (-FR180-3)



(a) -FR220-1 正面



(b) -FR220-1 上

写真 3.17-6 -FR 試験体破断面 (-FR220-1)



(a) -FR220-2 正面



(b) -FR220-2 上

写真 3.17-7 -FR 試験体破断面 (-FR220-2)



-AW80 - 1



-AW80 - 2



-AW100-1



-AW100-2

写真 3.18-1 破断前後比較 (-AW)



-AW120-1



-AW120-2



-AW150-2

写真 3.18-2 破断前後比較 (-AW)



-TG120-2



-TG120-3



-TG120-4



-TG150-1

写真 3.19-1 破断前後比較 (-TG)



-TG150-2



-TG150-3



-TG180-1

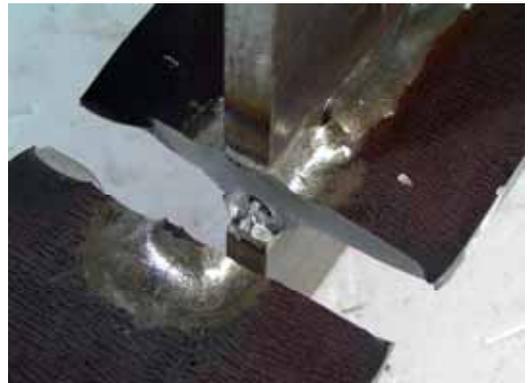


-TG180-2

写真 3.19-2 破断前後比較 (-TG)



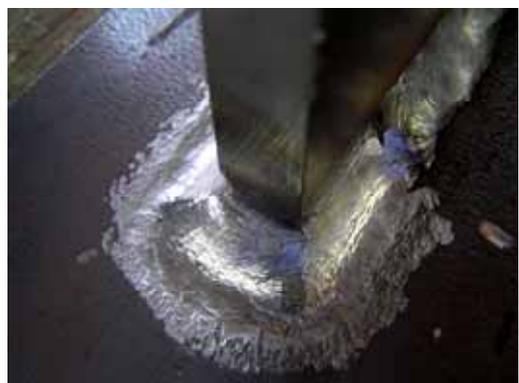
- WR150-1



-WR150-3



- WR180-1



- WR180-2

写真 3.20-1 破断前後比較 (-WR)



- WR180-3



- WR220-1



- WR220-2



- WR220-3

写真 3.20-2 破断前後比較 (-WR)



- FR150-1



- FR150-2



- FR180-1



- FR180-2

写真 3.21-1 破断前後比較 (-FR)



-FR180-3

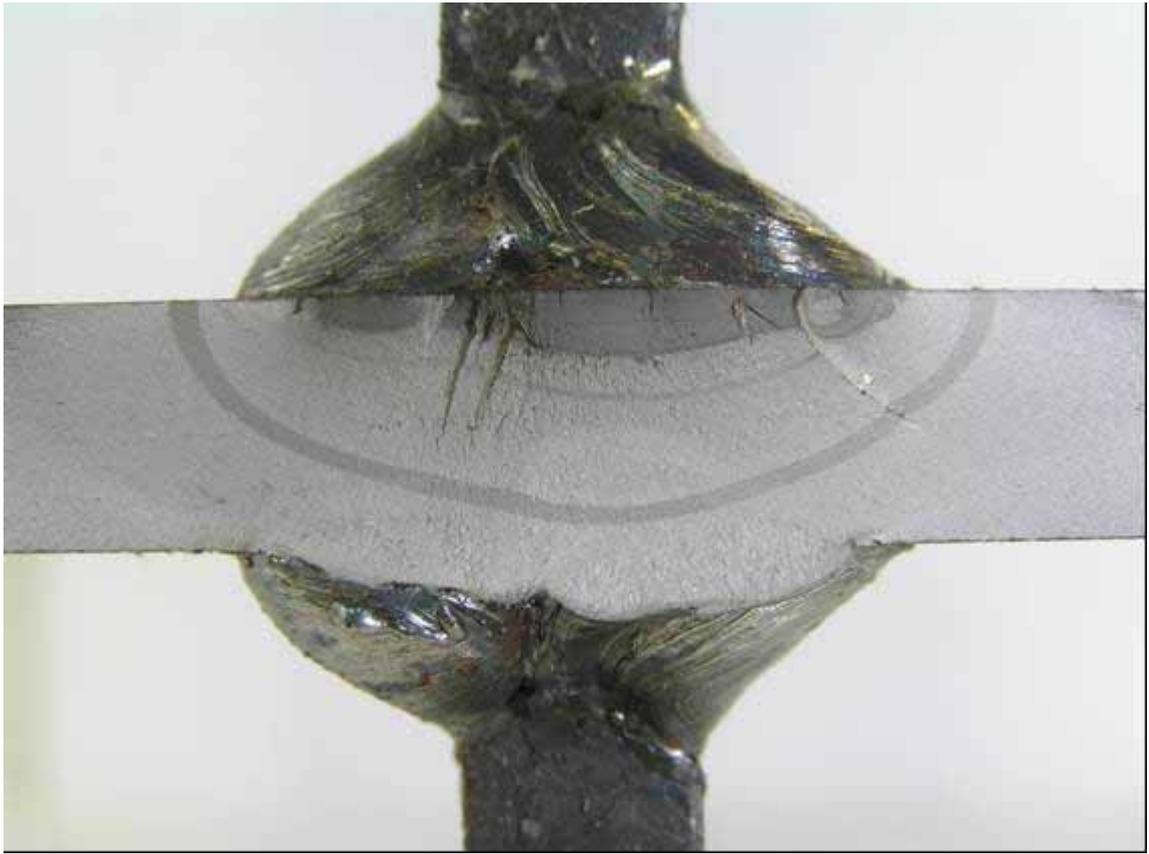


-WR220-1

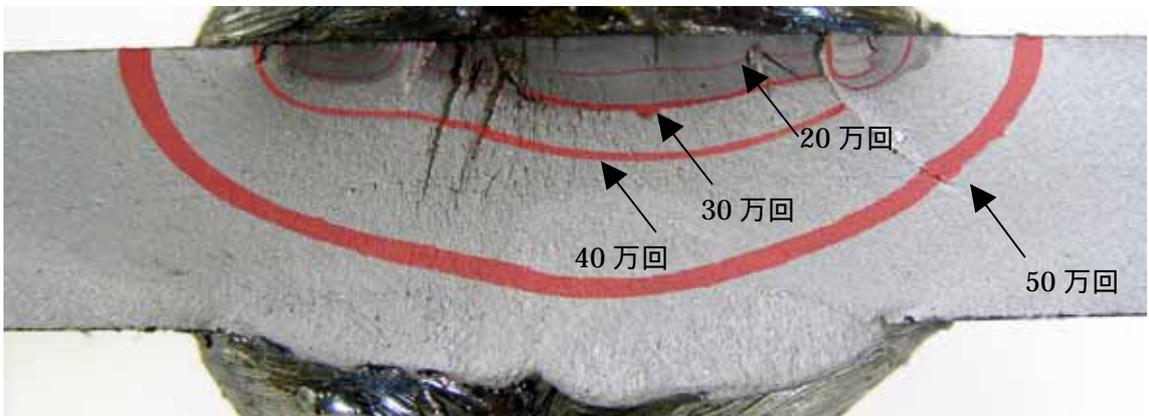


-FR220-2

写真 3.21-2 破断前後比較 (-FR)



(a) -AW120 - 2 (着色前)

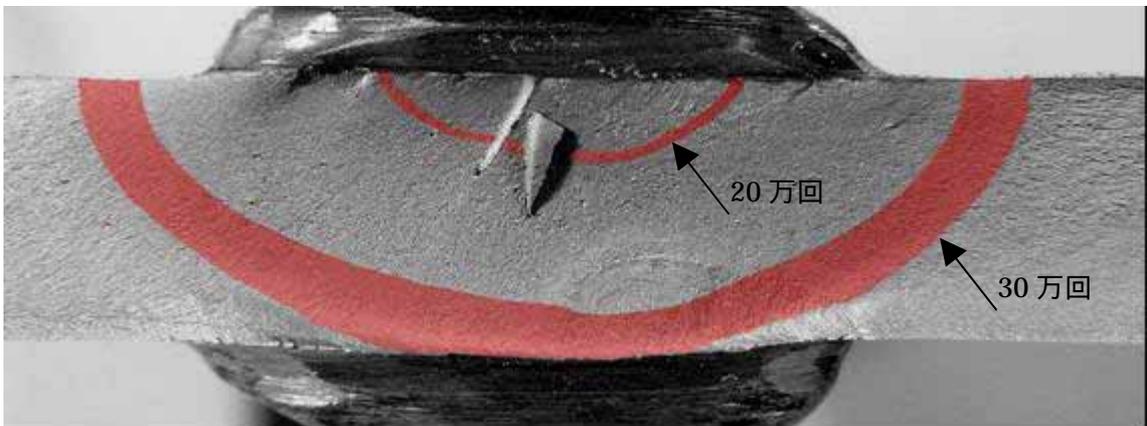


(b) -AW120 - 2 (着色後)

写真 3.22-1 ビーチマーク (-AW)



(a) -TG150 - 3 (着色前)

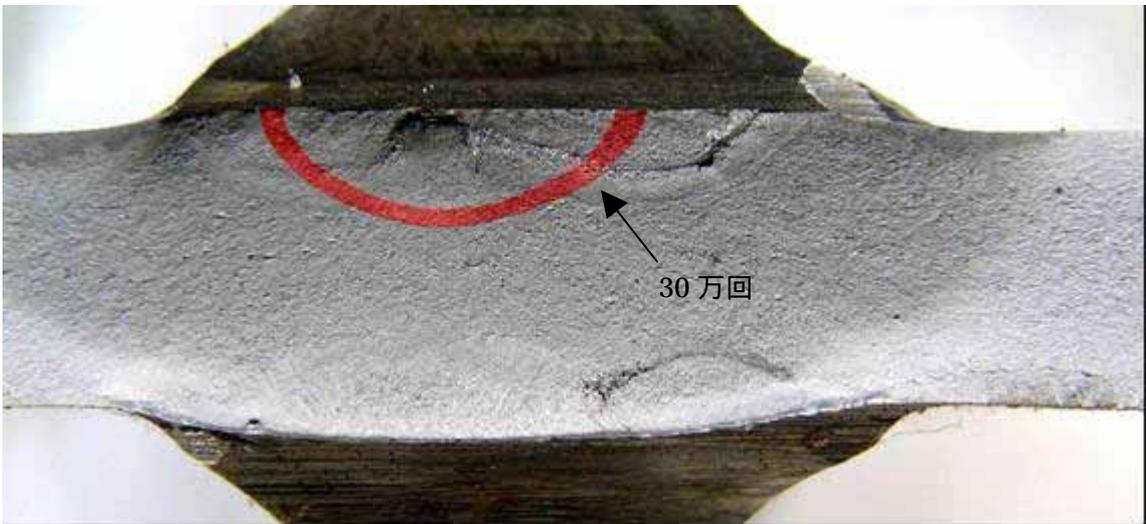


(b) -TG150 - 3 (着色後)

写真 3.22-2 ビーチマーク (-TG)



(a) -WR180 - 3 (着色前)

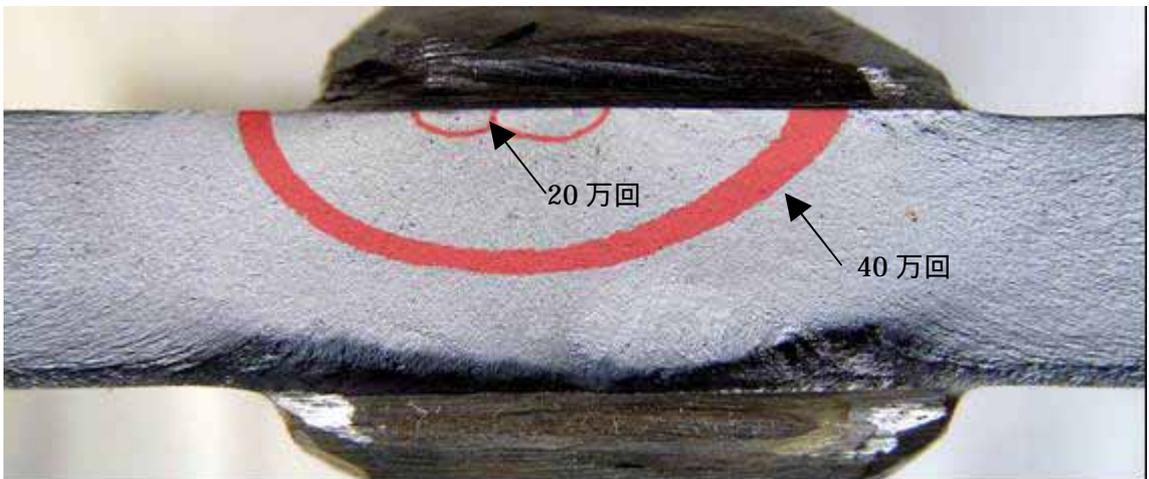


(b) -WR180 - 3 (着色後)

写真 3.22-3 ビーチマーク (-WR)

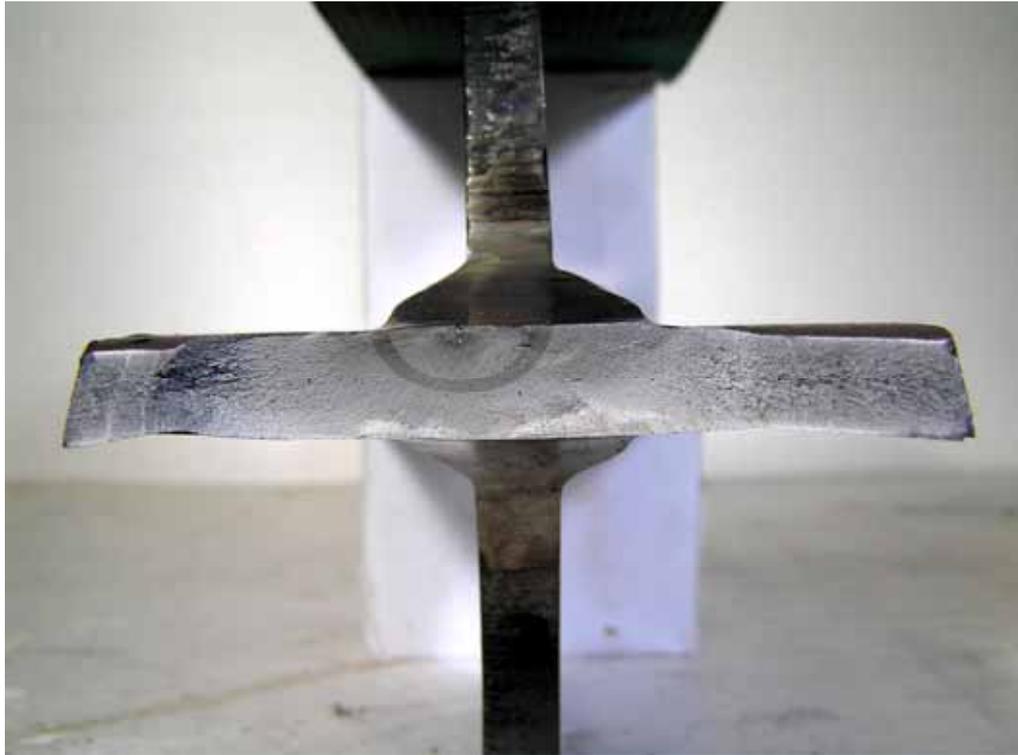


(a) -FG180 - 2 (着色前)

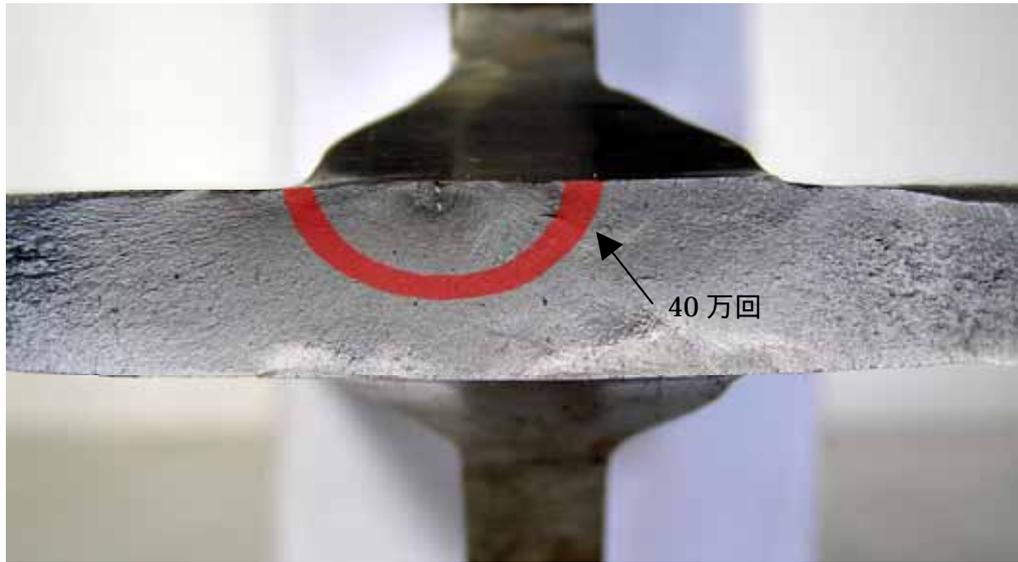


(b) -FG180 - 2 (着色後)

写真 3.22-4 ビーチマーク (-FG)



(a) -FR220 - 4 (着色前)



(b) -FR220 - 4 (着色後)

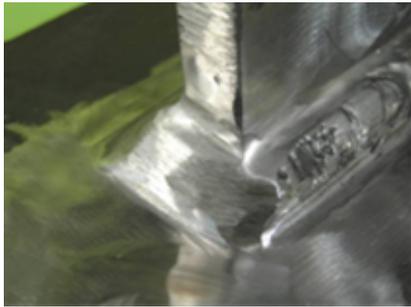
写真 3.22-5 ビーチマーク (-FR)



-AW



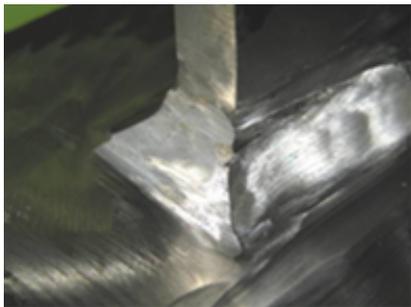
-AW



-TG



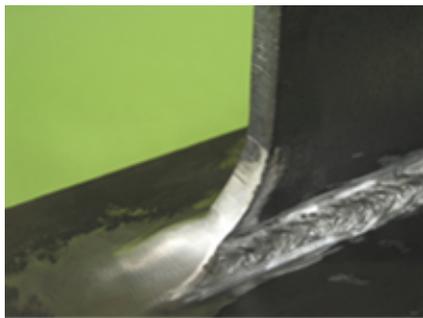
-TG



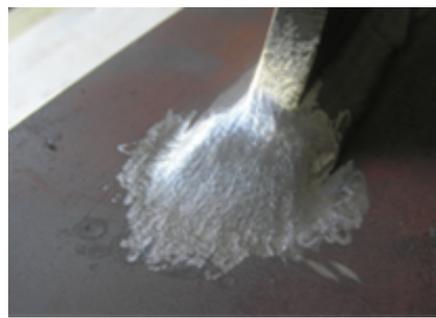
-WR



-WR



-FR



-FR

写真 3.23 各試験体比較

第4章 試験体の応力解析

4.1 解析モデル

解析対象は第2章で示した面外ガセット溶接継手である。この試験体の対称性から、図4.1に示すように板厚12mm、板幅50mm、ガセット高80mm、ガセット長110mmの1/8モデルを、有限要素法解析プリポストFEMAPを用いて作成した。AW試験体、TG試験体、WR試験体、FR試験体の溶接形状は図4.2と図4.3に示すようにモデル化した。要素は8節点固体要素、応力集中を算定する位置での要素寸法は0.1mm程度とした。溶接止端部の形状は第2章で示した脚長、曲率半径()、フランク角()を参考に設定した。各モデルの作成に使用した脚長、曲率半径、フランク角を表4.1と表4.2に示す。

4.2 解析方法

疲労き裂の発生位置の応力集中を調べるために汎用解析プログラムCAFEMを用いた3次元弾性有限要素弾性応力解析を行った。要素分割や結果の整理にはFEMAPを用いた。鋼材のヤング率は 2.06×10^5 N/mm²、ポアソン比は0.3とした。図4.1に示したモデルの端部に等分布荷重の1 N/mm²の引張応力を作用させ、軸引張荷重下となるように拘束条件を付し、解析を行った。各モデルの要素分割図を図4.4～図4.7に示す。

4.3 解析結果

応力解析より得られた各モデルの主応力コンターを図4.8と図4.9に示す。いずれのモデルも溶接止端付近において高い応力が生じている。特にTGモデルはグラインダ処理して形成した曲率部の最深部で最も高い応力が生じている。板中心長手方向に沿った主板側溶接止端部からの距離で整理した応力分布を図4.10と図4.11に示す。ここで示す止端位置は、各モデルの溶接部の曲率の始まりの部分である。図の縦軸は応力集中係数(主応力を平板の公称応力で除した値)である。シリーズ・とともにAW、TG、WRモデルは止端付近で応力集中係数が急増している。-FR、-FR試験体は止端位置で最大の応力集中が生じているが長手方向の応力集中の変化は小さい。解析より求めた各モデルの応力集中係数の最大値を表4.3と表4.4に示す。同表は3章で示した疲労試験結果から判断した各試験体のJSSC指針の強度等級(C～F)と疲労試験結果の回帰直線の200万回疲労強度 $f(N/mm^2)$ も示している。同表の疲労強度比

は各試験体の 200 万回強度を AW 試験体の等級(F)の 200 万回疲労強度で除した値(f / f_{AW})で、応力集中係数比は、AWモデルの応力集中係数を各モデルの応力集中係数で除した値($f_{AW} /$)である。応力集中はAW, TG, WR, FRの順で低くなっている。疲労強度が応力集中係数に反比例するとすれば疲労強度比と応力集中係数比の関係はほぼ対応しているといえる。

-FR 試験体は疲労試験との対応がずれているがこれはバーグラインダの凹凸を解析モデルで再現できていないことによるものと考えられる。

表 4.1 各モデルに用いた値 (シリーズ)

試験体	脚長(mm)		曲率半径(mm)		フランク角(°)		主板削り込み (mm)
	主板側	ガセット側	主板側	ガセット側	主板側	ガセット側	
-AW	10.7	10.1	1.1	2.2	123	127	0
-TG	10.7	9.8	2.1	2.3	111	104	0
-WR	10.5	11.5	3.3	3.1	-	-	0
-FG	10.6	7.8	2.3	1.6	116	106	0
-FR	-	-	43.2		-	-	0
	9.7	9.6	1.6	1.4	110	100	0

表 4.2 各モデルに用いた値 (シリーズ)

試験体	脚長(mm)		曲率半径(mm)		フランク角(°)		主板削り込み (mm)
	主板側	ガセット側	主板側	ガセット側	主板側	ガセット側	
-AW	10.1	8	0.8	1.9	117	127	0
-TG	12.8	9.3	5.6	1.3	122	134	0.9
-WR	12.3	9.2	10.3	2.8	-	-	0.2
-FR	-	-	46.3		-	-	0
	9.7	9.6	1.6	1.4	110	100	0

表 4.3 疲労強度と応力集中係数の関係（シリーズ）

試験体	応力集中 係数 ()	疲労強度 等級	200 万回疲労強度 $f(\text{N/mm}^2)$	疲労強度比 f / f_{AW}	応力集中係数比 $_{AW} /$
-AW	3.55	F	65	1	1
-TG	2.91	E	80	1.23	1.22
-FG	2.74	E	80	1.23	1.30
-WR	2.48	D	100	1.54	1.43
-FR	1.38	C	125	1.92	2.57

表 4.4 疲労強度と応力集中係数の関係（シリーズ）

試験体	応力集中 係数 ()	疲労強度 等級	200 万回疲労強度 $f(\text{N/mm}^2)$	疲労強度比 f / f_{AW}	応力集中係数比 $_{AW} /$
-AW	3.88	F	65	1	1
-TG	2.37	E	80	1.23	1.63
-WR	1.74	D	100	1.54	2.23
-FR	1.35	C	125	1.92	2.88

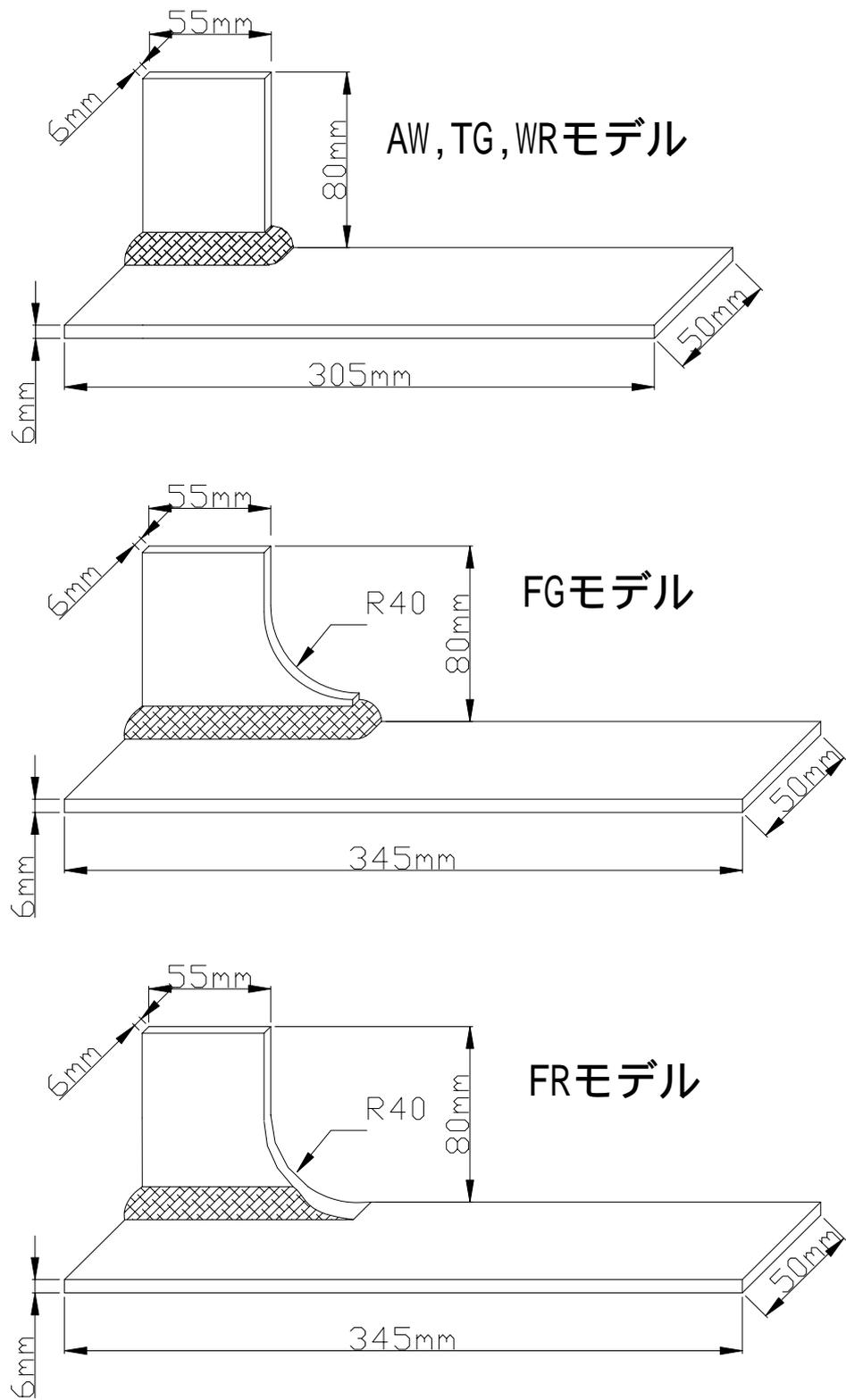


図 4.1 解析対象 (シリーズ ・ 共通)

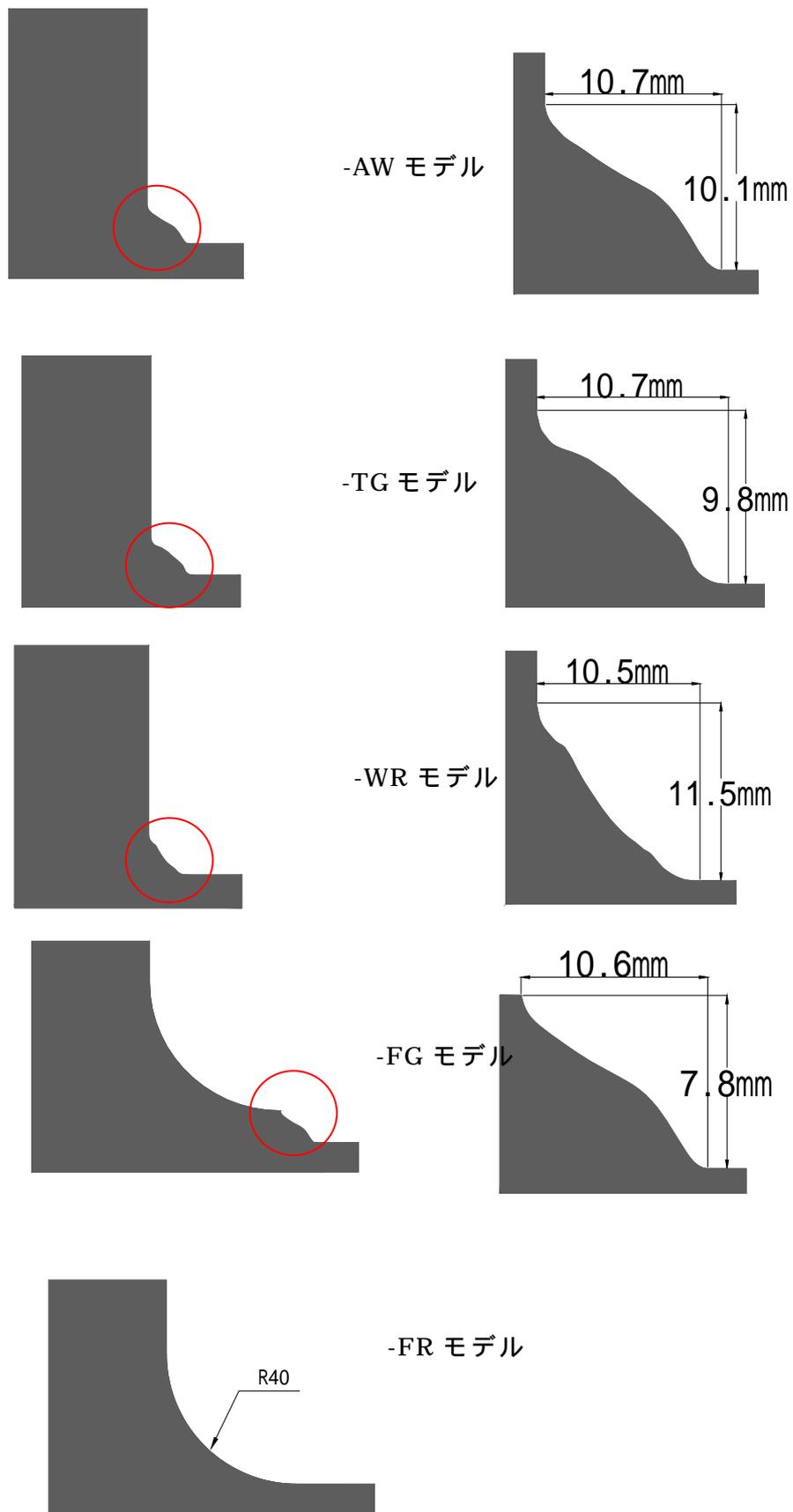


図 4.2 溶接部の形状と寸法（シリーズ ）

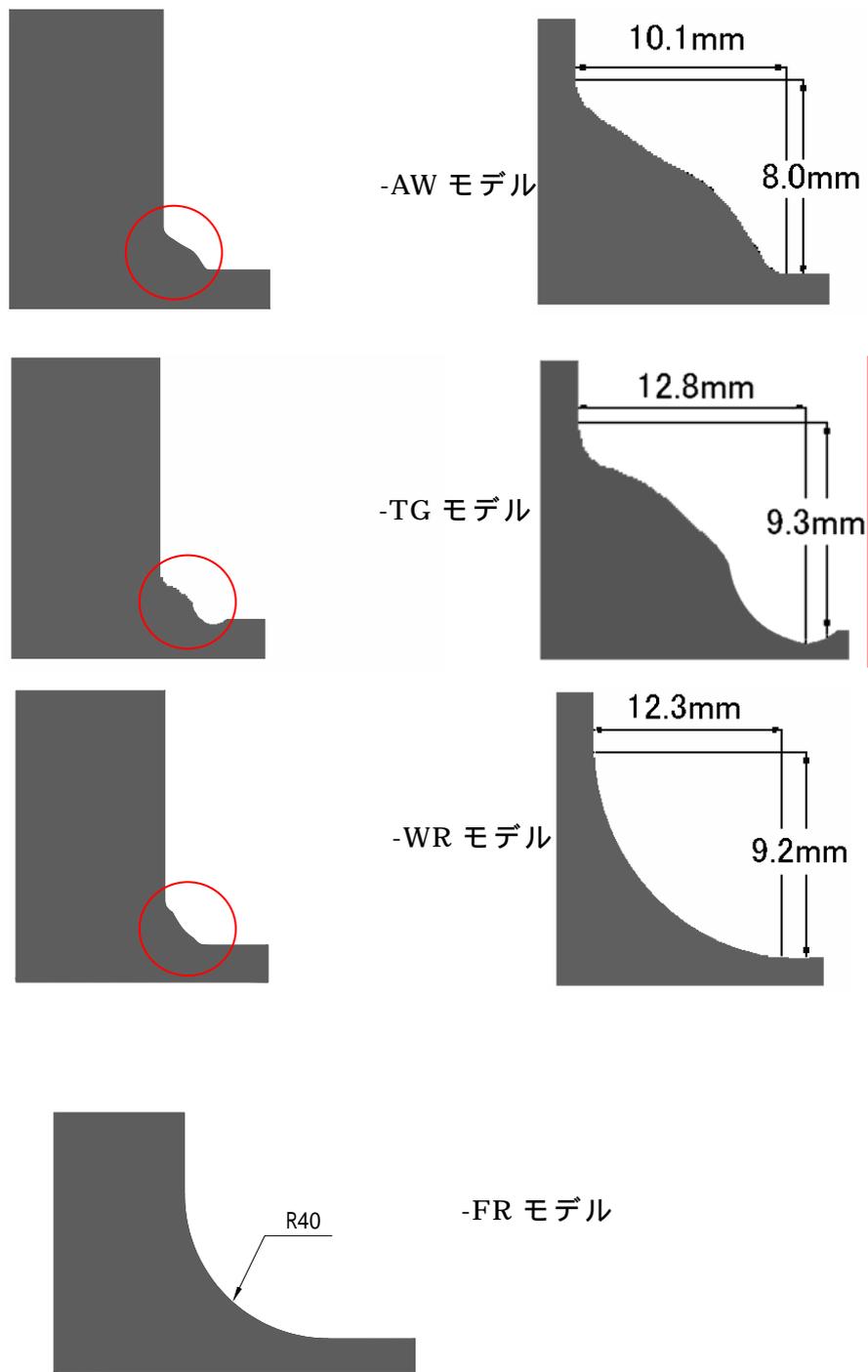
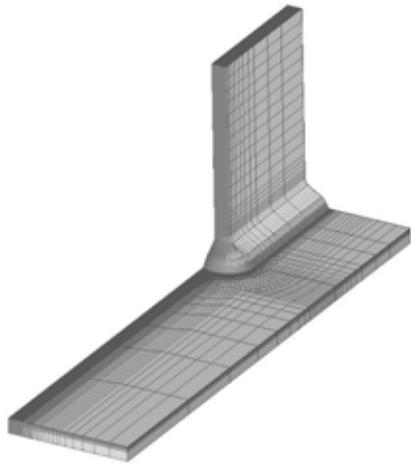
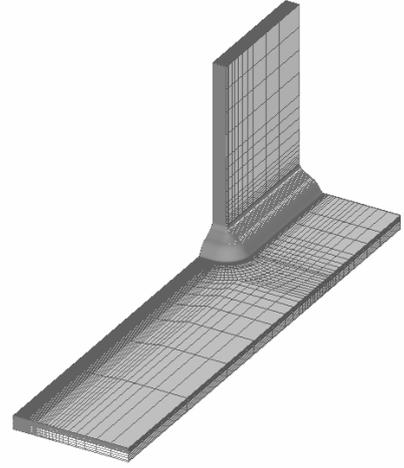


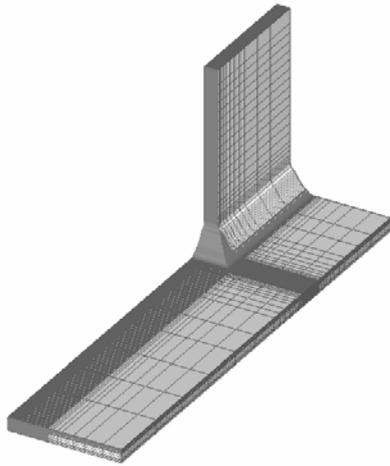
図 4.3 溶接部の形状と寸法 (シリーズ)



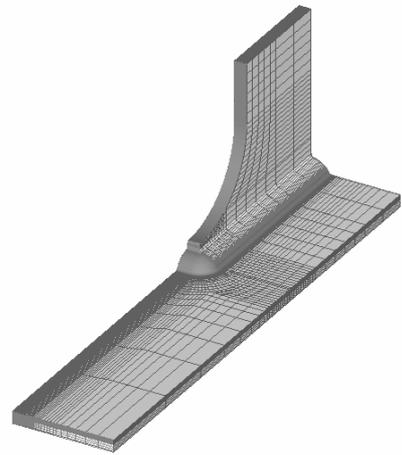
(a) -AW モデル



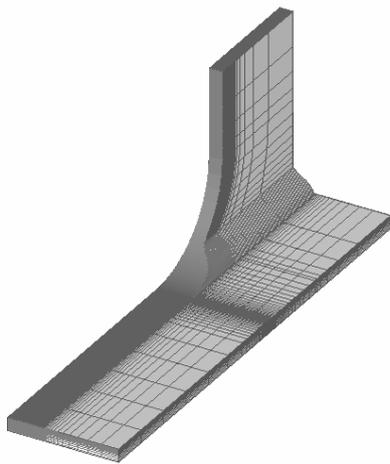
(b) -TG モデル



(c) -WR モデル

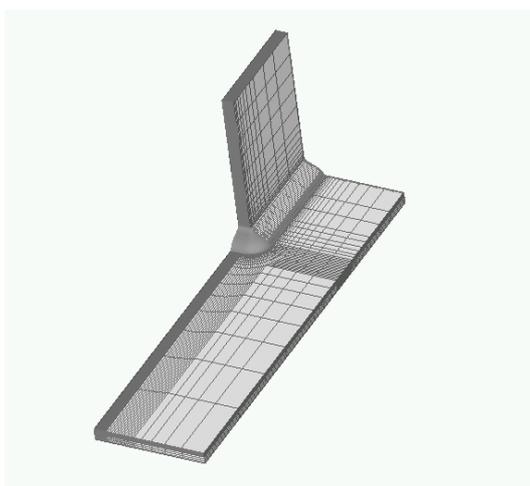


(d) -FG モデル

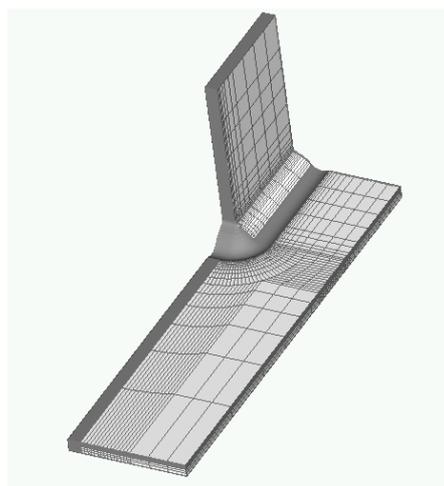


(e) -FR モデル

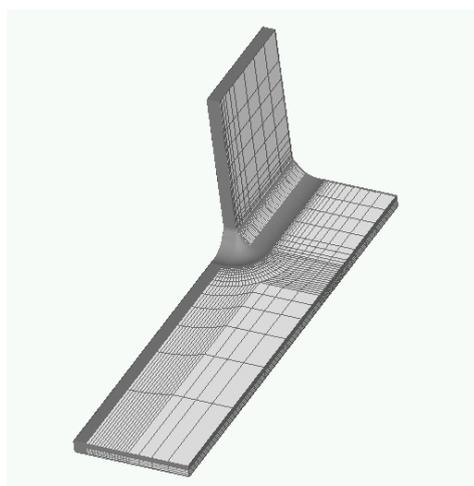
図 4.4 要素分割図 (シリーズ)



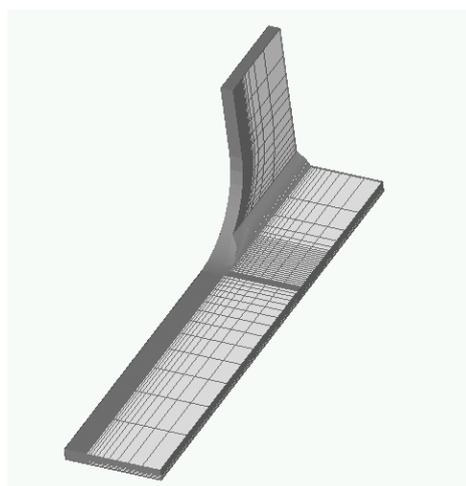
(a) -AW



(b) -TG モデル

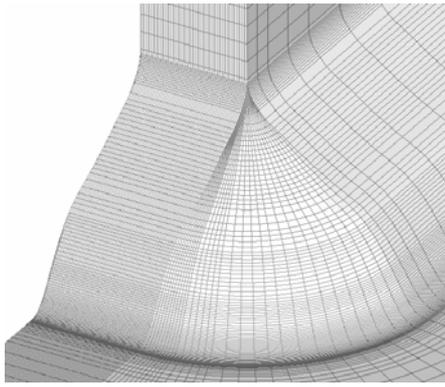


(c) -WR モデル

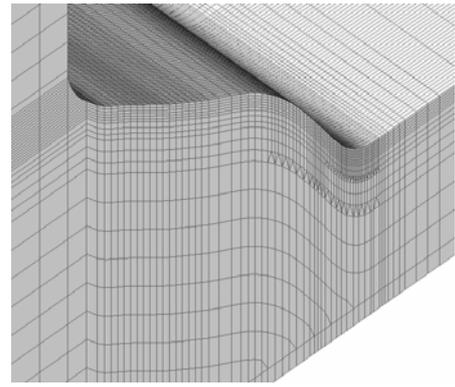


(d) -FR モデル

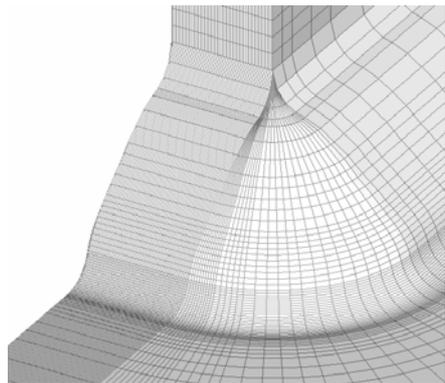
図 4.5 要素分割図 (シリーズ)



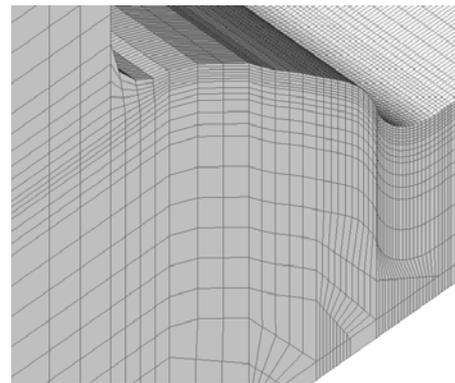
(a)



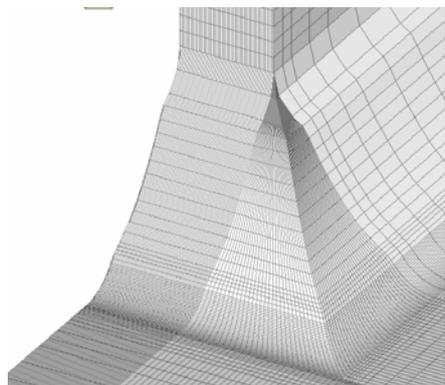
-AW モデル



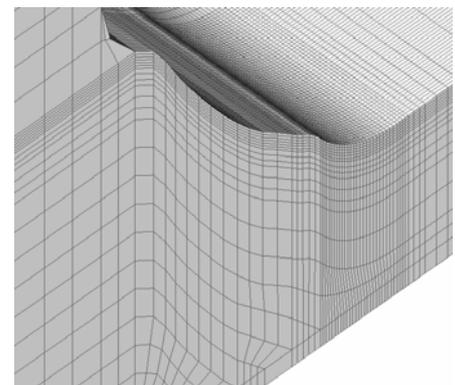
(b)



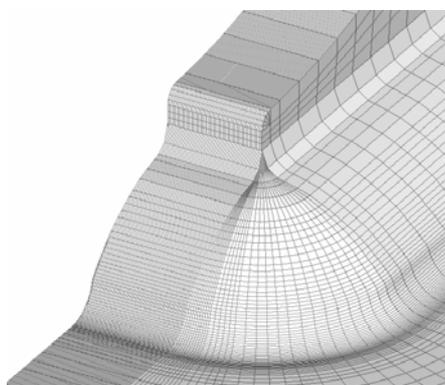
-TG モデル



(c)



-WR モデル



(d) -FG モデル

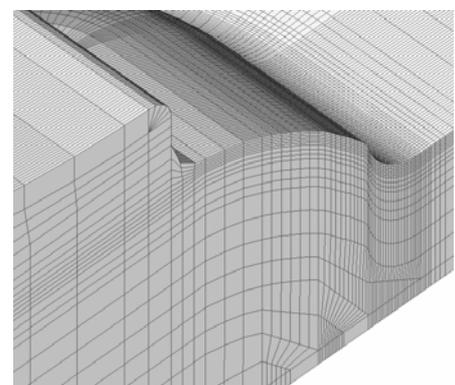
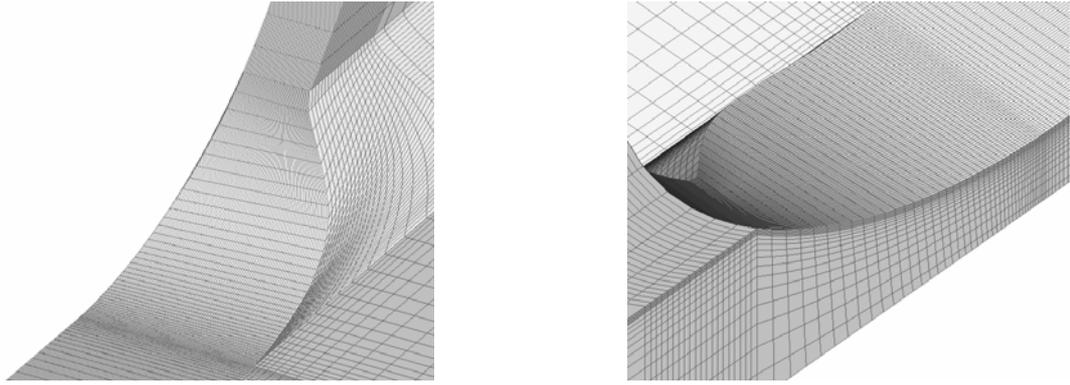
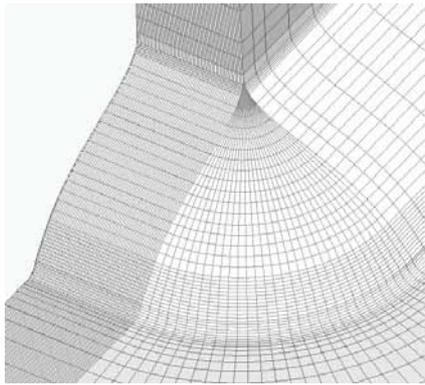


図 4.6-1 溶接部要素分割図拡大 (-AW, -TG, -WR, -FG)

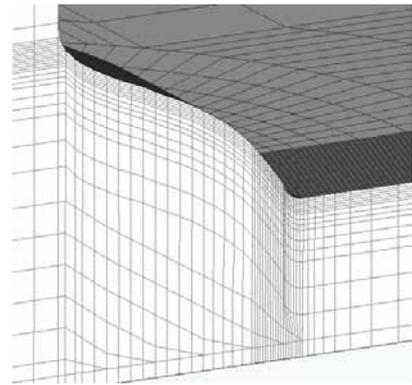


(b) -FR モデル

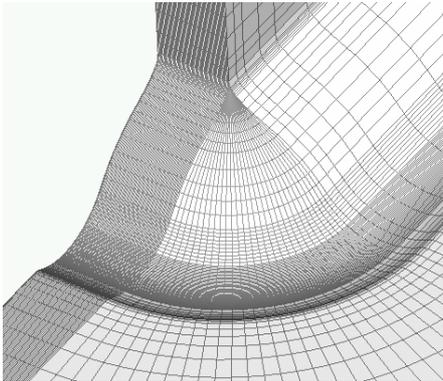
図 4.6-2 溶接部要素分割図拡大 (-FR)



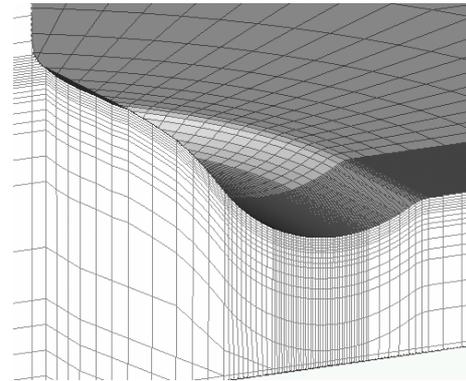
(a)



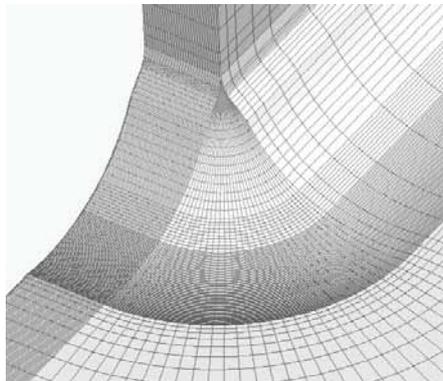
-AW モデル



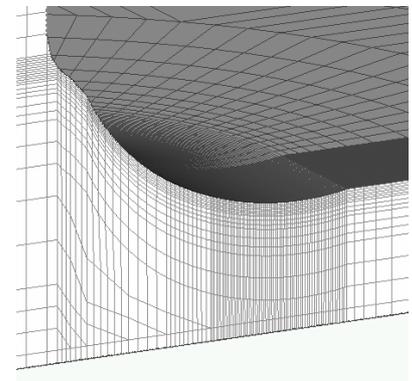
(b)



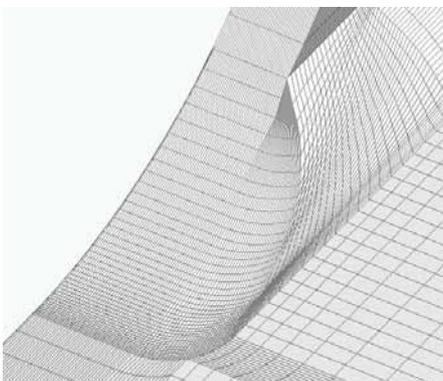
-TG モデル



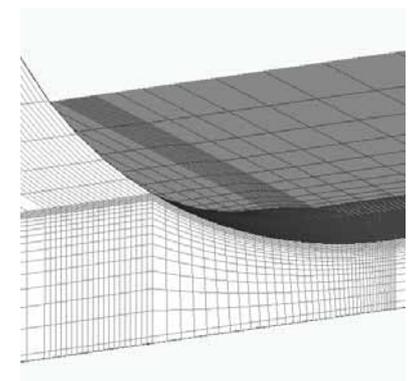
(c)



-WR モデル

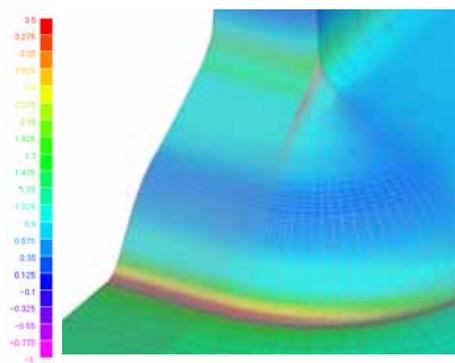


(d)

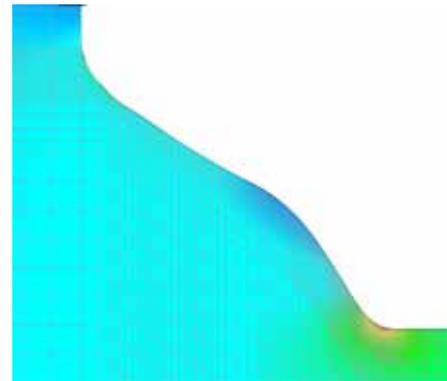


-FR モデル

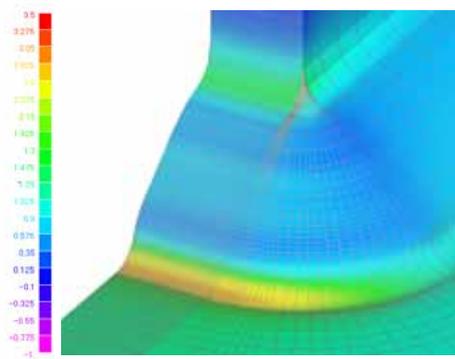
図 4.7 溶接部要素分割図拡大 (シリーズ)



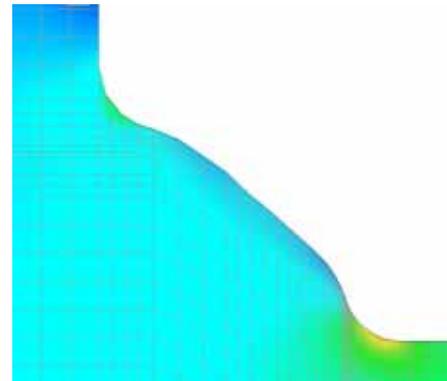
(a)



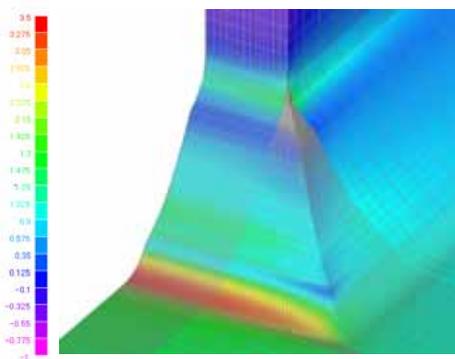
-AW モデル



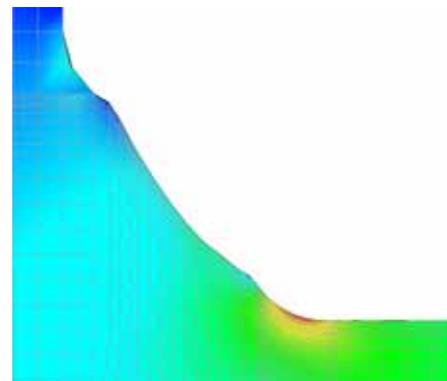
(b)



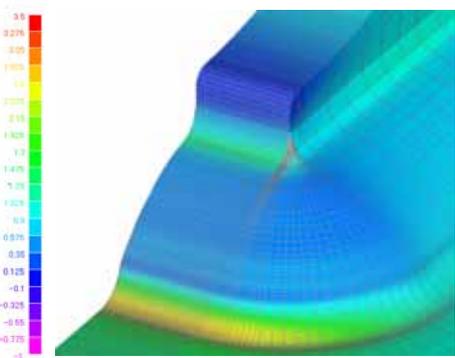
-TG モデル



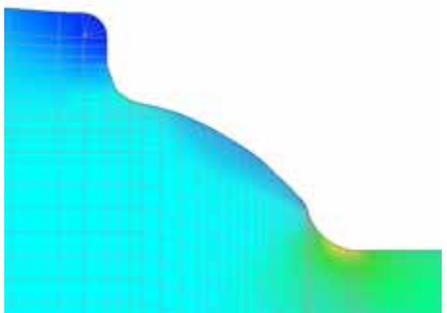
(c)



-WR

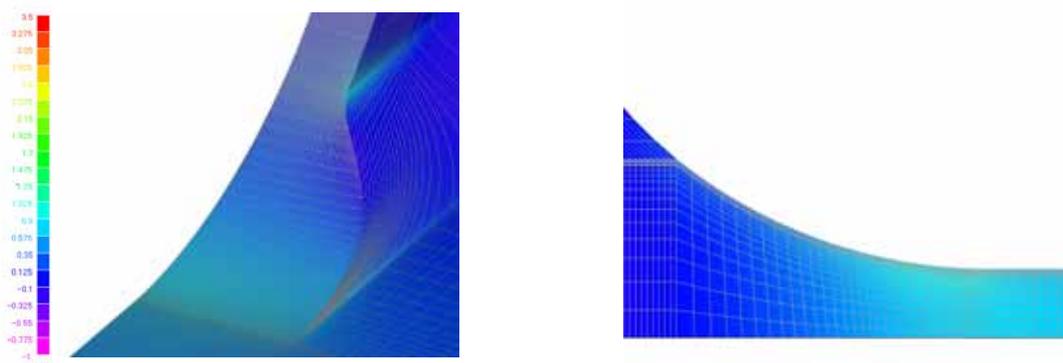


(d)



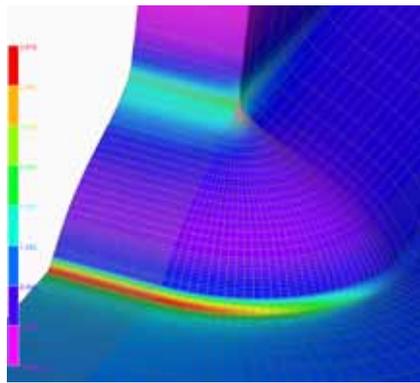
-FG モデル

図 4.8-1 主応力コンター (-AW, -TG, -WR, -FG)

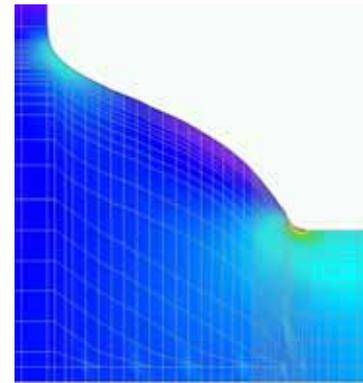


(b) -FR モデル

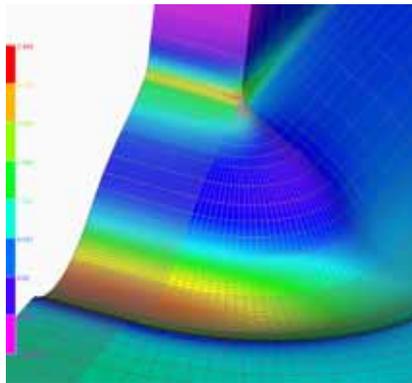
図 4.8-2 主応力コンター (-FR)



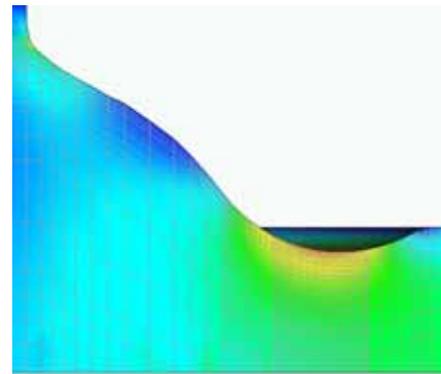
(a)



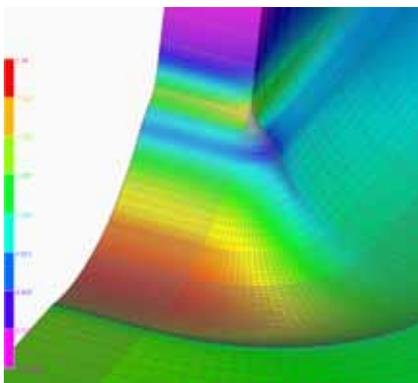
-AW モデル



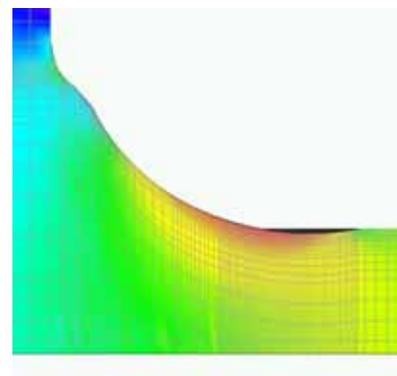
(b)



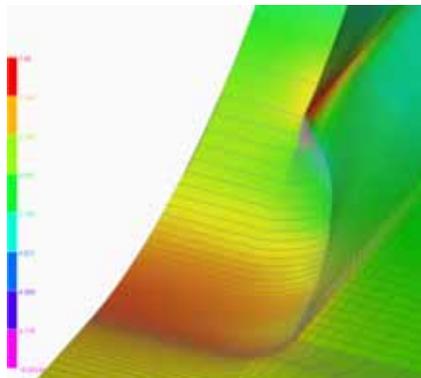
-TG モデル



(c)



-WR モデル



(d) -FR モデル

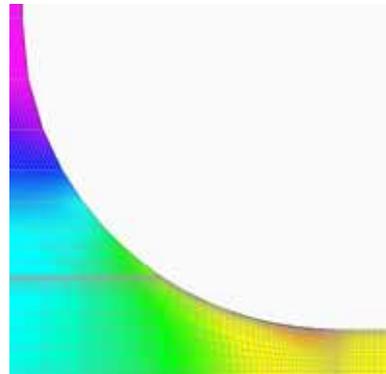


図 4.9 主応力コンター (シリーズ ,)

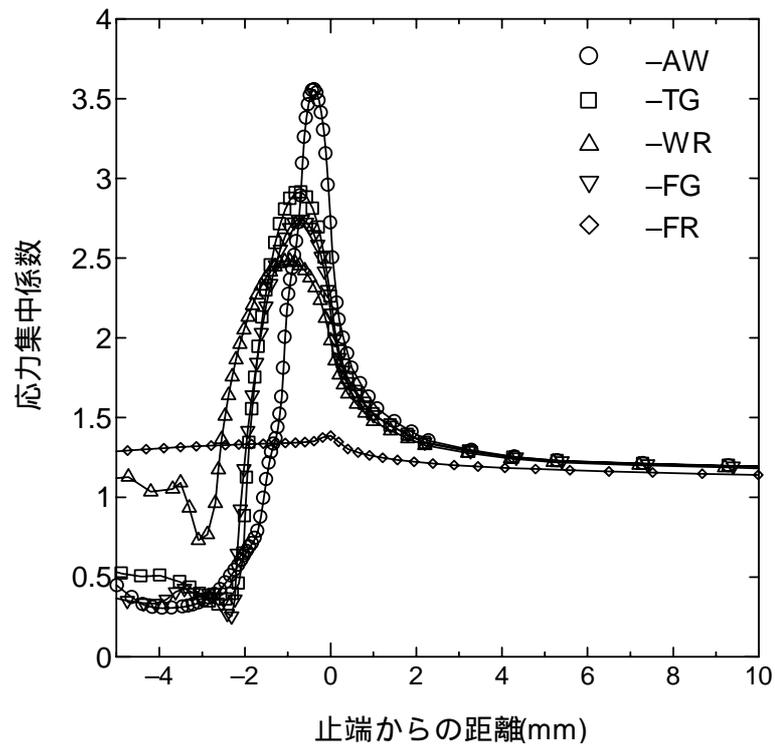


図 4.10 応力集中係数と止端からの距離の関係 (シリーズ)

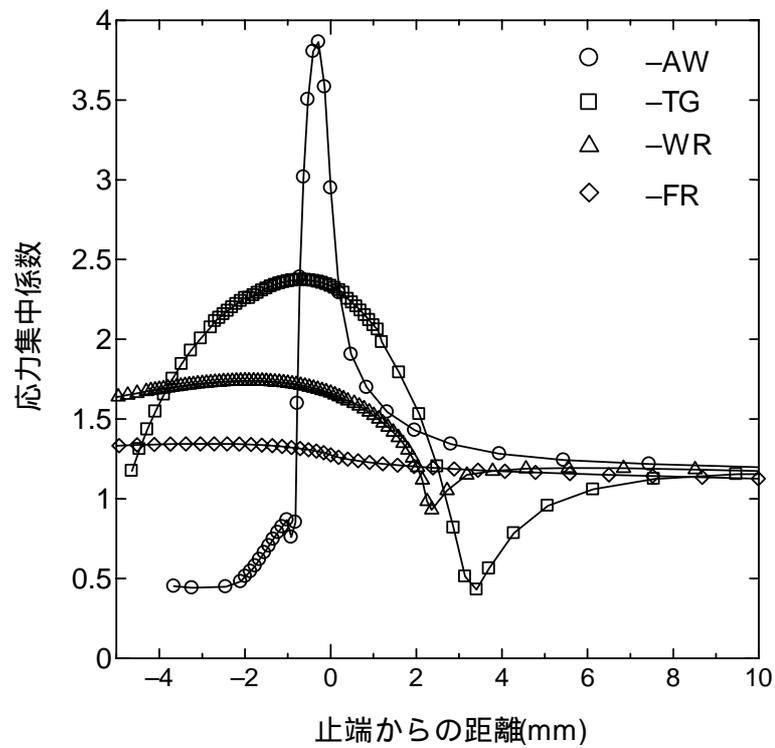


図 4.11 応力集中係数と止端からの距離の関係 (シリーズ)

第 5 章 応力集中に対する諸因子の影響

5.1 主板厚の影響

5.1.1 解析対象及び方法

3次元有限要素応力解析によりフィレット仕上げした面外ガセット溶接継手の溶接止端部付近の応力集中にフィレット半径と主板厚がどのような影響を及ぼすか調べた。

解析モデルはフィレット仕上げしたモデルと -AWモデル, -TGモデルである。図 5.1 に示すような, 主板幅 150mm, ガセット高 80mm, ガセット長 110mm の 1/8 モデルを作成し, 主板幅が応力集中に及ぼす影響を回避するために主板の端に厚さ 12mm 幅 150mm のフランジを取り付けて, 解析を行った。解析方法は 4 章と同じである。フィレット半径は 7mm, 10mm, 20mm, 40mm, 60mm, 80mm の 5 種類に変化させ, 主板厚は 9mm, 12mm, 18mm, 24mm, 36mm, 50mm (1/8 モデルで 4.5mm, 6mm, 9mm, 12mm, 18mm, 25mm) の 6 種類に変化させた。合計 48 種類のモデルを作成し, 応力解析を行った。各フィレット半径の要素分割の全体を図 5.2 に, 止端部付近の要素分割を図 5.3 に示す。

5.1.2 解析結果

解析結果より得られた各モデルの主応力コンター図を図 5.4 に示す。いずれのモデルにおいても, 主板側止端からややガセットよりの曲率部で高い応力集中が生じている。フィレット半径が大きくなるにつれて, 止端付近の応力集中は低くなり, なだらかな応力分布となっている。

解析から求めた応力集中係数と主板厚の関係を, フィレット半径によって分けて, 図 5.5 に示す。曲率半径 0.8mm からフィレット半径 10mm の時は, 板厚が厚くなるにつれ応力集中は高くなっている。そしてフィレット半径が 20mm ~ 40mm では板厚が厚くなっても応力集中の変化はほとんど見られない。さらにフィレット半径が 60mm 以上では, 板厚が厚くなるにしたがって, 応力集中係数は低くなっている。

フィレット半径を主板厚で除した R/t で, 応力集中係数を整理した結果を図 5.6 に示す。フィレット半径または曲率半径が小さい時には R/t の変化が小さく, 応力集中の変化が多い。そしてフィレット半径または曲率半径が大きい時は R/t の変化が大きく, 応力集中の変化は小さい。しかし, 一定の法則があるとまでは言えない。

JSSC 指針ではフィレット仕上げしたときのフィレット半径を 40mm 以上と定めているが図 5.5 に見られるように半径 40mm 以上になると止端部の応力集中係数の低減

の割合が小さくなっていることからその規定は妥当であるといえる。

5.2 溶接止端半径の影響

5.2.1 解析対象及び方法

応力集中に対する溶接止端部の曲率半径の影響を調べる目的で止端曲率半径を1mmから6mmまで変化させて有限要素応力解析を行った。板厚10mm、板幅120mm、ガセット高50mm、ガセット長160mmの1/8モデルを作成した。図5.7に要素分割図を示す。着目部での要素寸法は0.2mmとし、解析方法は4章と同様である。

5.2.2 解析結果

解析より求められた各曲率半径モデルの主応力コンター図を図5.8に示す。また曲率半径ごとに分けてガセット端から溶接部表面に沿って試験体長手方向の距離で整理した応力分布を図5.9に示す。また最大応力集中係数と曲率半径の関係を図5.10に示す。これらの結果より、曲率半径Rが増加するにしたがい、溶接止端部の応力集中は低下していることがわかる。ここで、応力集中の低下率の変化についてみると、1mmから2mmで25.4%、2mmから3mmで13.9%、3mmから4mmで9.4%、4mmから5mmで6.0%、5mmから6mmで4.2%である。1mmから4mmまでの応力集中の低下率は大きい、4mmから6mmまでの低下率は小さい。このことから、曲率半径による、溶接止端部の応力集中低下の効果は収束に向かっていていると確認できる。

5.3 溶接止端部削り込み深さと主板厚の影響

5.3.1 解析対象及び方法

3次元有限要素応力解析により止端仕上げした面外ガセット溶接継手の溶接止端部付近の応力集中に削り込み深さと主板厚がどのような影響を及ぼすか調べた。

解析モデルは止端仕上げしたモデルである。4章の-TGモデルを基本とし、主板幅150mm、ガセット高80mm、ガセット長110mmの1/8モデルの主板の端に12mmのフランジを取り付けて、解析を行った。解析方法は4章と同じである。削り込み深さは0.2mm、0.5mm、1.0mm、1.5mmの3種類に変化させ、主板厚を9mm、12mm、24mm、36mm(1/8モデルで4.5mm、6mm、12mm、18mm)の3種類に変化させた。合計9種類のモデルを作成、解析し比較した。各フィレット半径の要素分割の全体を図5.11に、止端部付近の要素分割を図5.12に示す。

5.3.2 解析結果

解析結果より得られた各モデルの主応力コンターを図 5.13 に示す . 応力集中係数と溶接止端部削り込み深さの関係を主板厚によってマークを変えて図 5.14 に , 削り込み深さによってマークを変えて応力集中と主板厚の関係を図 5.15 に示す . いずれのモデルにおいても , 主板側止端からややガセットよりの曲率部で高い応力集中が生じている . 削り込み深さが大きくなるにつれて , また板厚が厚くなるにつれ , 止端付近の応力集中は高くなっている .

5.4 溶接仕上げ範囲の影響

5.4.1 解析対象と方法

仕上げ範囲が溶接止端部の応力集中係数に与える影響を調べる目的で , 溶接仕上げ範囲を下記の 4 種類に設定し , モデルを製作した . 各仕上げ範囲を図 5.16 に示す .

- (a) 廻し溶接部のみ仕上げ
- (b) 廻し溶接部 + ガセット板の長手方向に 10mm 仕上げたモデル
- (c) 廻し溶接部 + ガセット板の長手方向に 30mm 仕上げたモデル
- (d) ガセット全周の溶接部を仕上げたモデル

また , 各モデルの全体と溶接部の要素分割を図 5.17 に示す . 解析方法は 4 章と同様の方法である .

5.4.2 解析結果

解析より求めた主応力のコンターを図 5.18 に示す . 仕上げと溶接のままの遷移部に高い応力集中が見られるがいずれも廻し溶接の止端部の応力集中を超えるものではなかった . 廻し溶接止端部とガセット側面の仕上げ遷移部に分けて各仕上げ範囲と応力集中係数の関係を図 5.19 に示す . 仕上げ範囲 10mm において溶接止端部に近い応力集中が見られているがこれは仕上げと溶接のままの遷移部が解析モデルの都合上滑らかでないためと考える .

解析結果から実際の施工における仕上げ範囲は溶接廻し部のみを仕上げれば最も効率よく効果的であると考えられる .

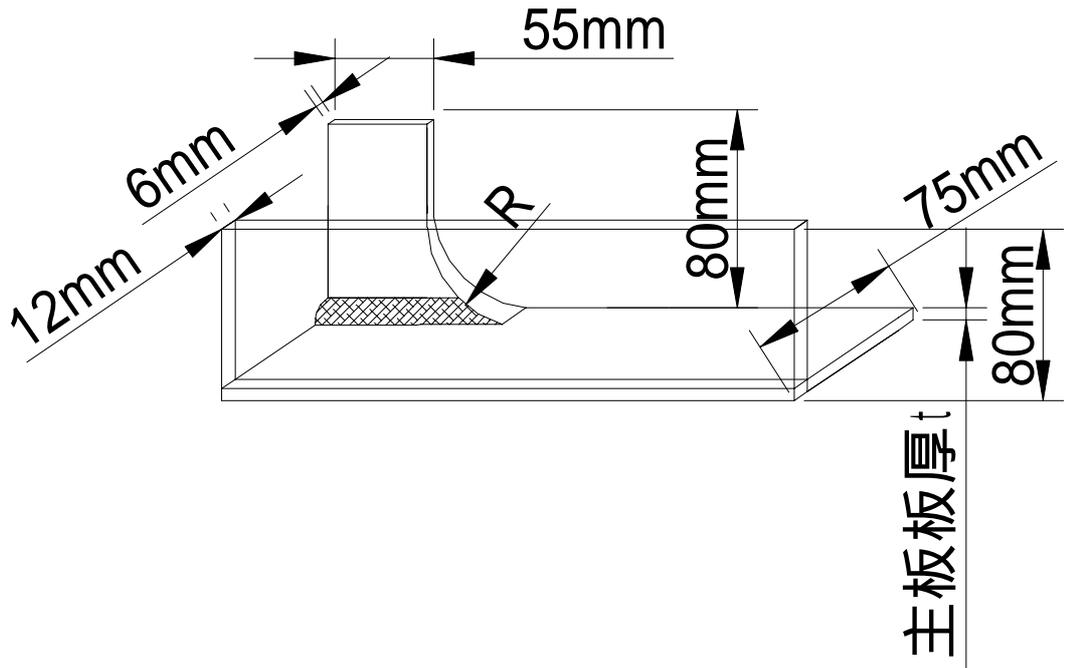
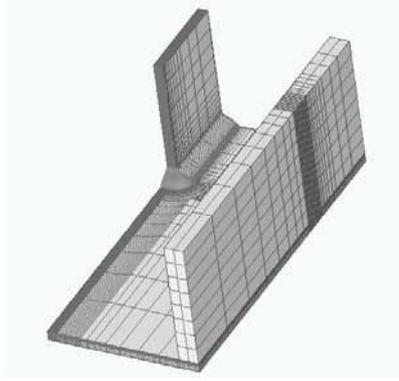
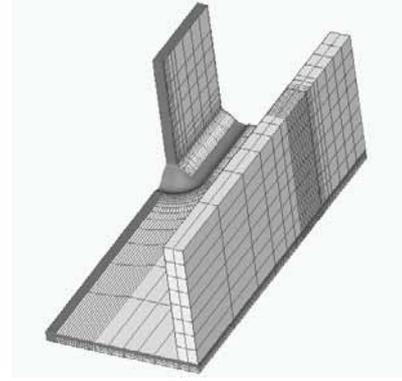


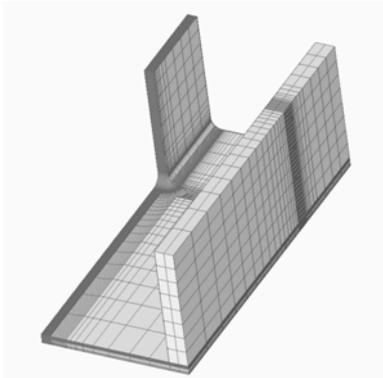
图 5.1 解析对象



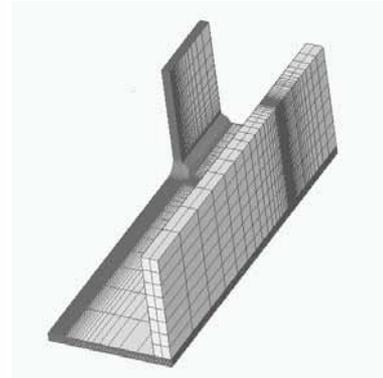
R=0.8mm(t=12mm)(-AW)



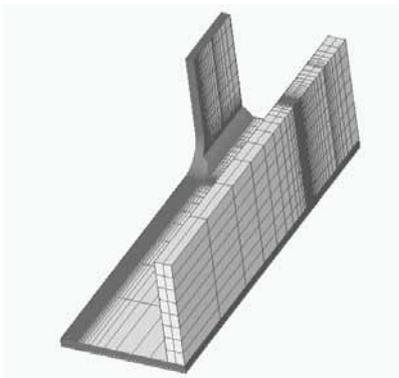
1. R=6mm(t=12mm)(-TG)



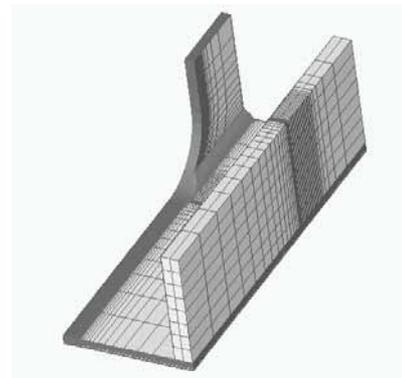
R=7mm(t=12mm)



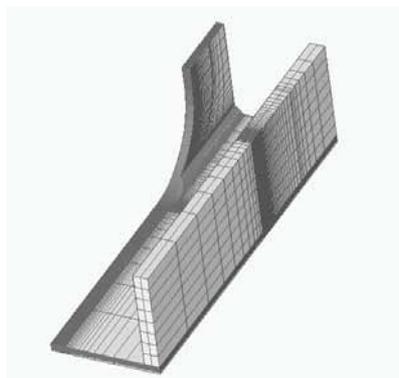
R=10mm(t=12mm)



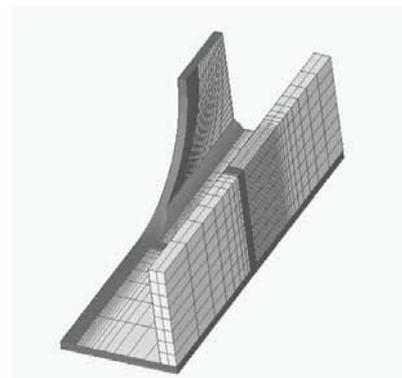
R=20mm(t=12mm)



R=40mm(t=12mm)

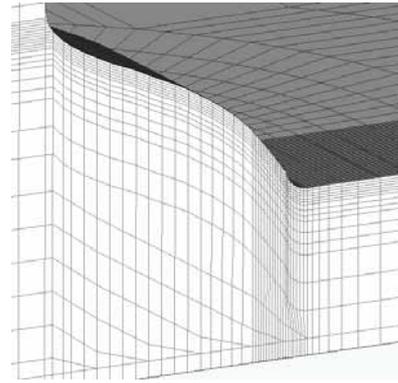
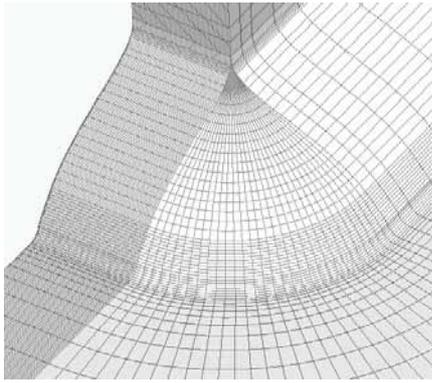


R=60mm(t=12mm)

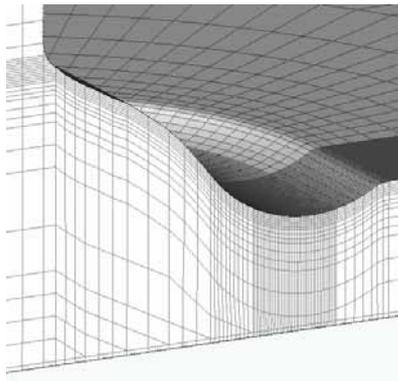
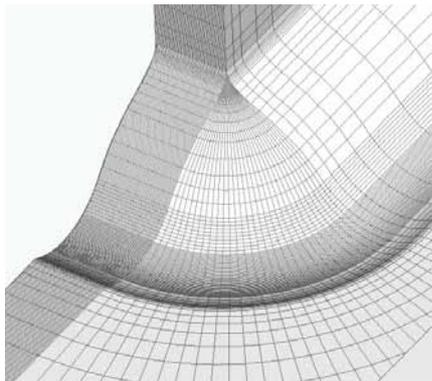


R=80mm(t=12mm)

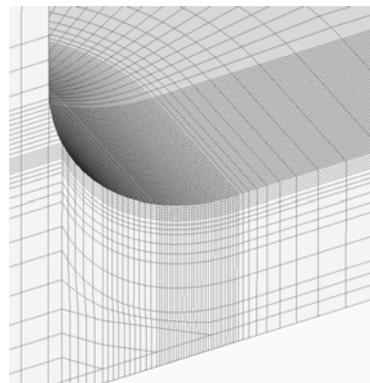
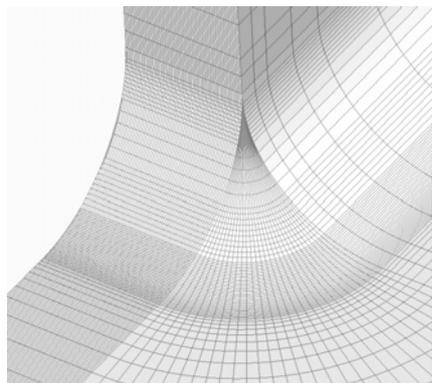
图 5.2 要素分割图



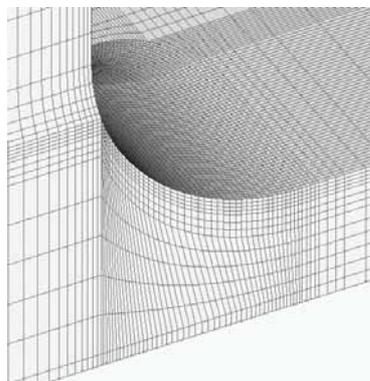
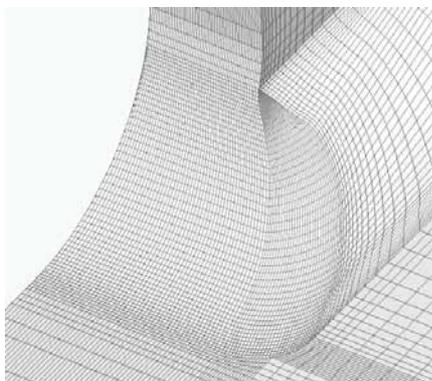
R=0.8mm (t=12mm)(-AW)



R=6mm (t=12mm)(-TG)

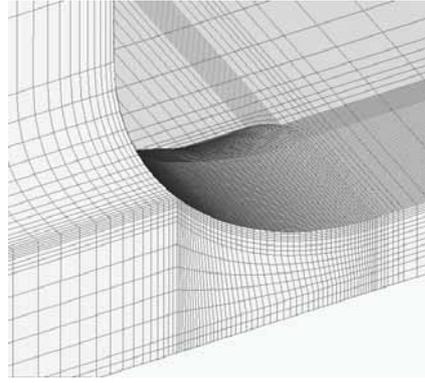
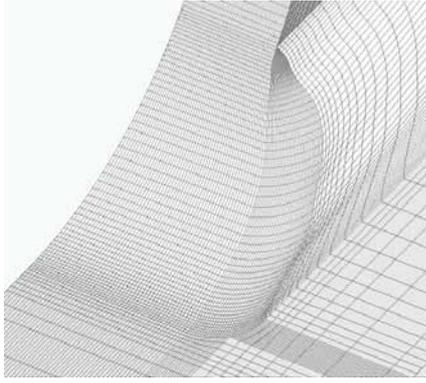


R=7mm (t=12mm)

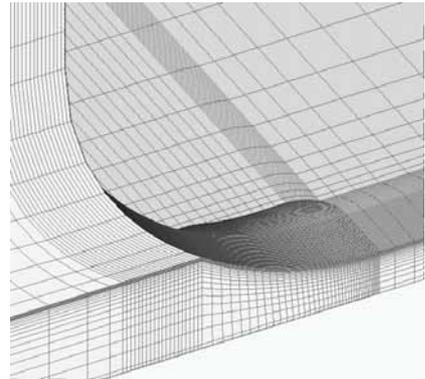
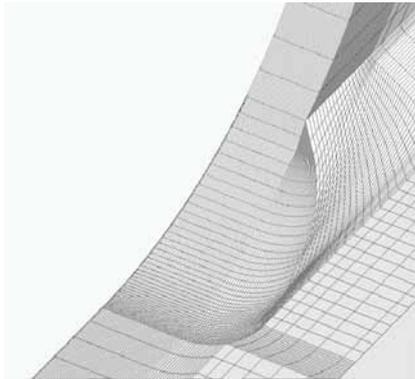


R=10mm (t=12mm)

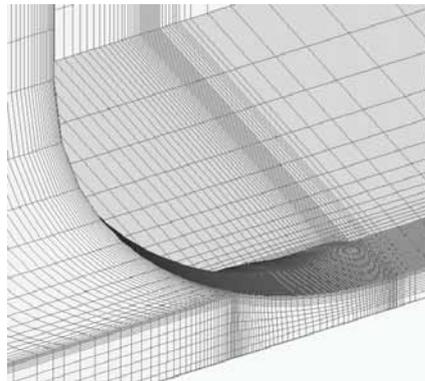
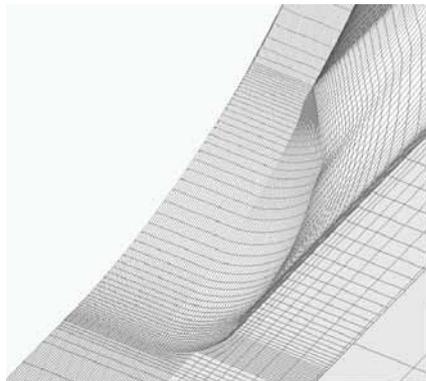
図 5.3-1 要素分割図拡大 (R=0.8mm から R=10mm)



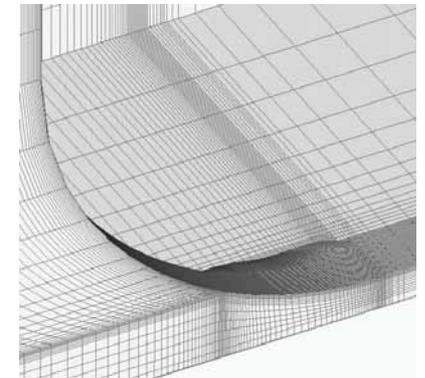
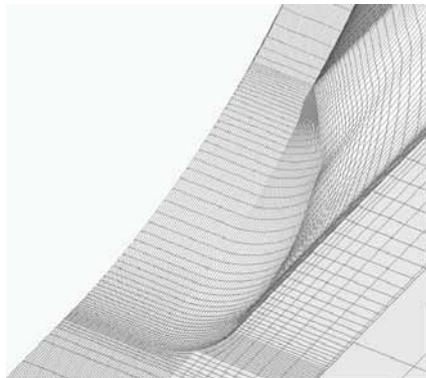
R=20mm (t=12mm)



R=40mm (t=12mm)

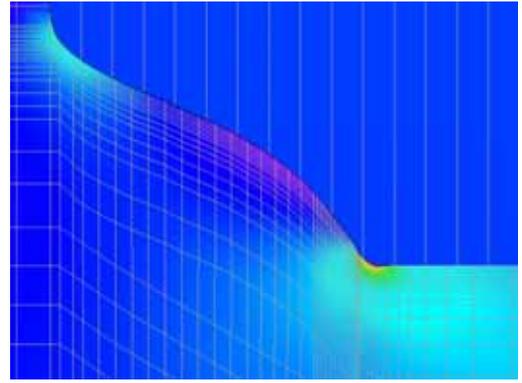
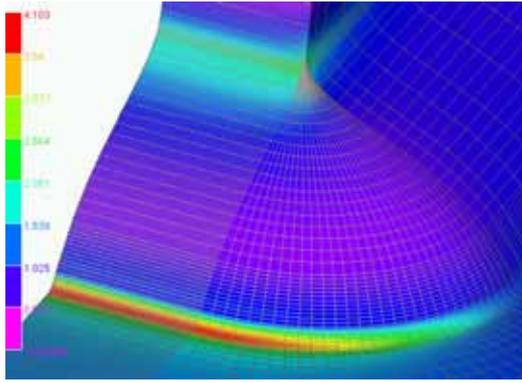


R=60mm (t=12mm)

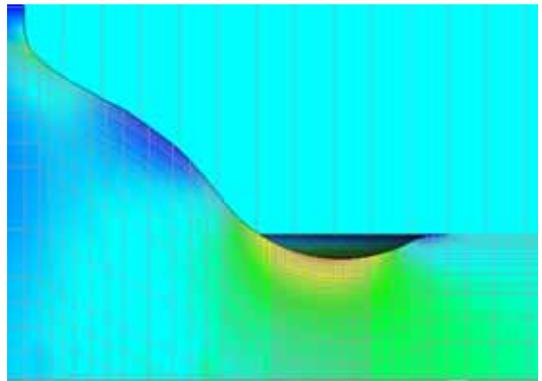
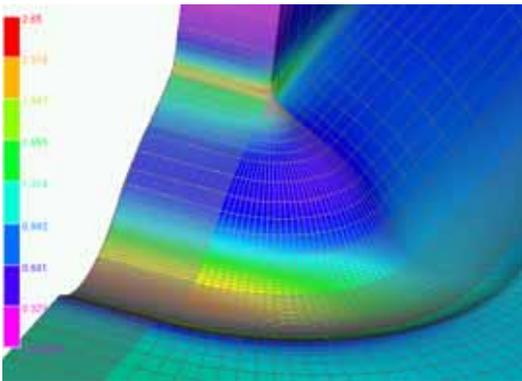


R=80mm (t=12mm)

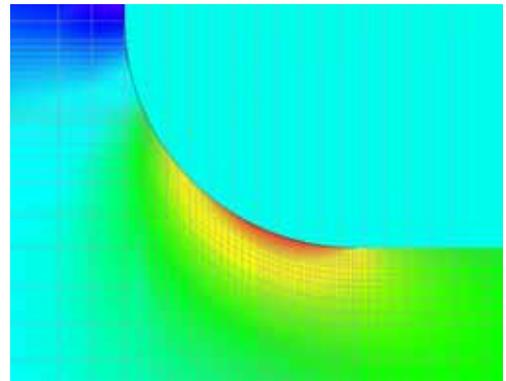
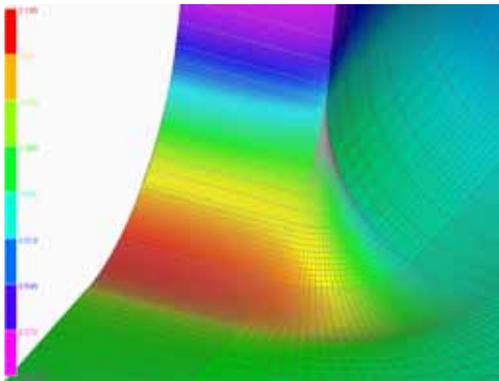
図 5.3-2 要素分割図拡大 (R=20mm から R=80mm)



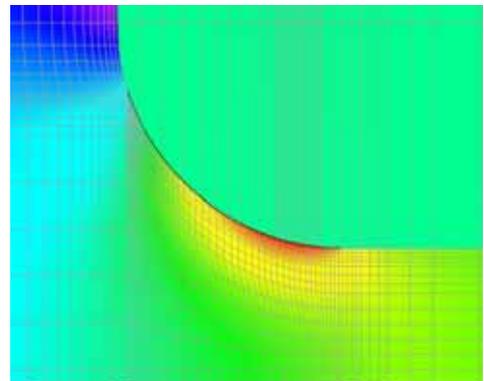
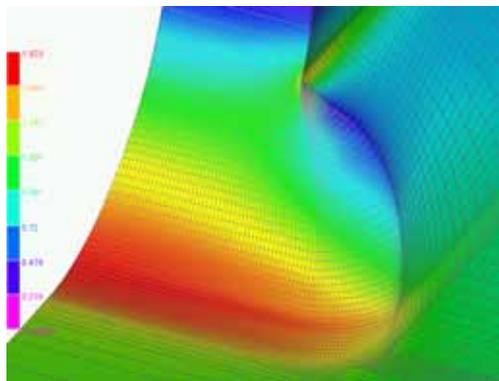
R=0.8mm (t=12mm) (-AW)



R=6mm (t=12mm)(-TG)

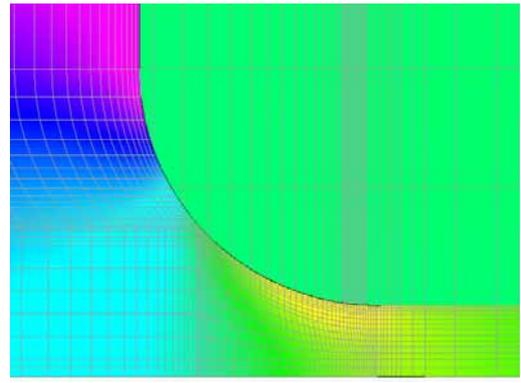
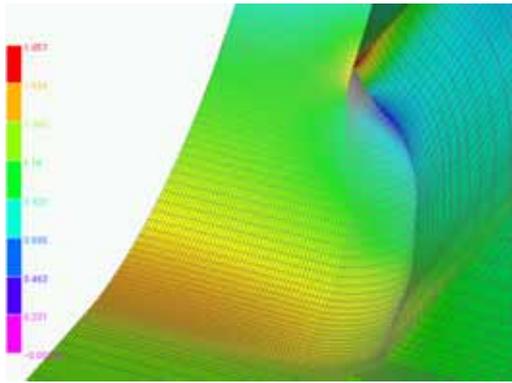


R= 7 mm (t=12mm)

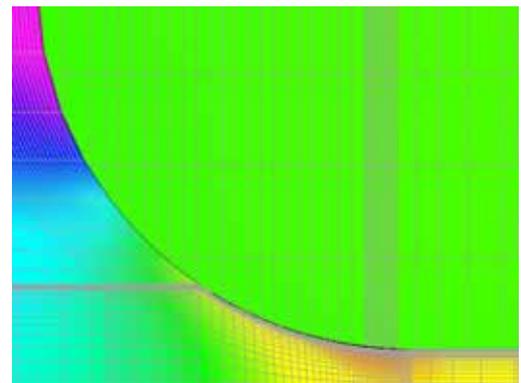
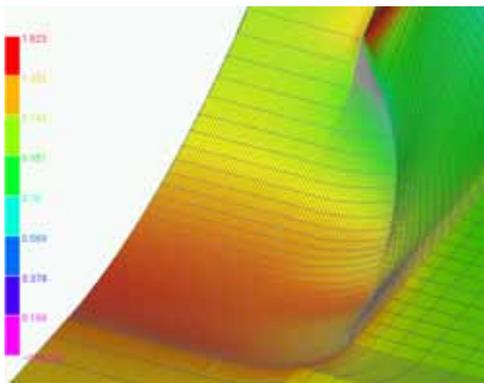


R=10mm (t=12mm)

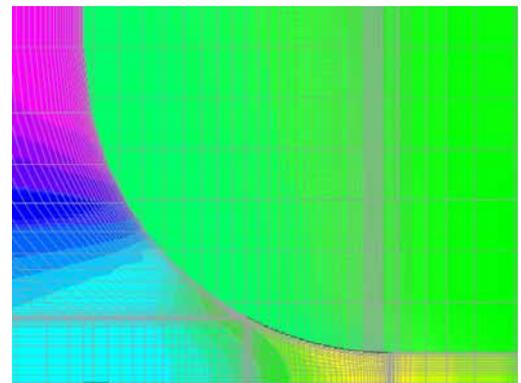
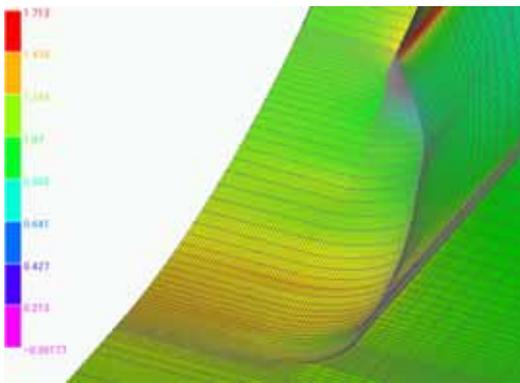
図 5.4-1 主応力コンター図 (R=0.8mm から R=10mm)



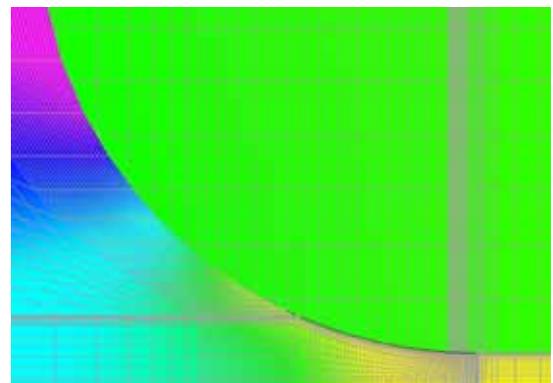
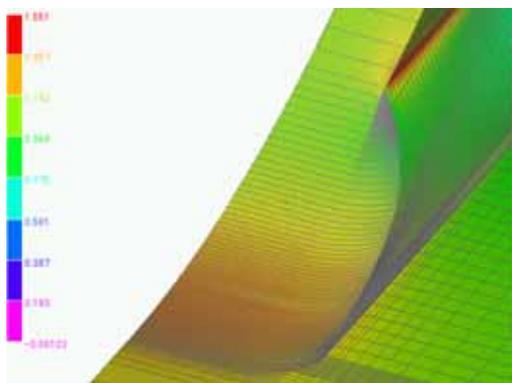
R=20mm (t=12mm)



R=40mm (t=12mm)



R=60mm (t=12mm)



R=80mm (t=12mm)

図 5.4-2 主カコンター図 (R=20mm から R=80mm)

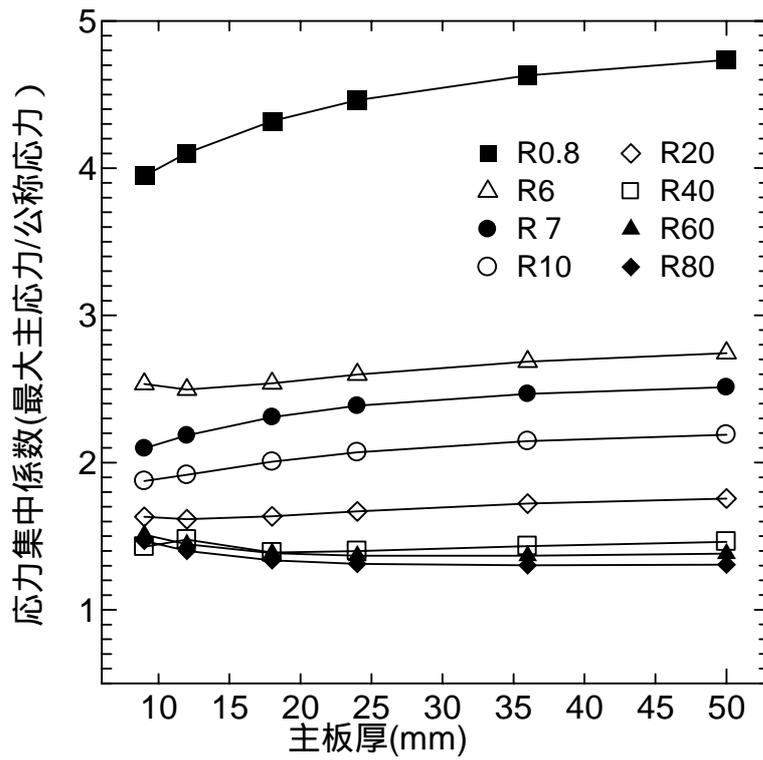


図 5.5 応力集中係数と主板厚の関係

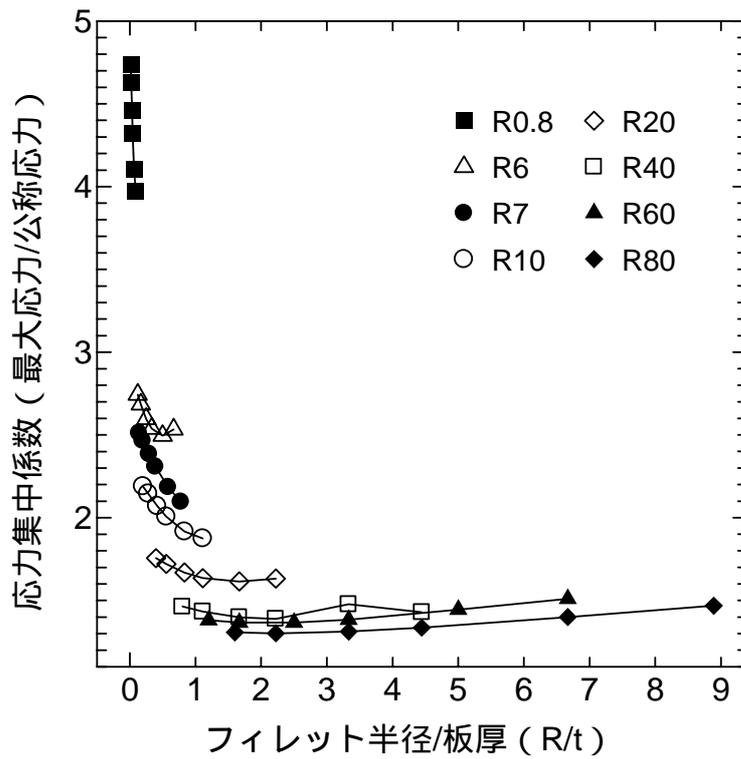
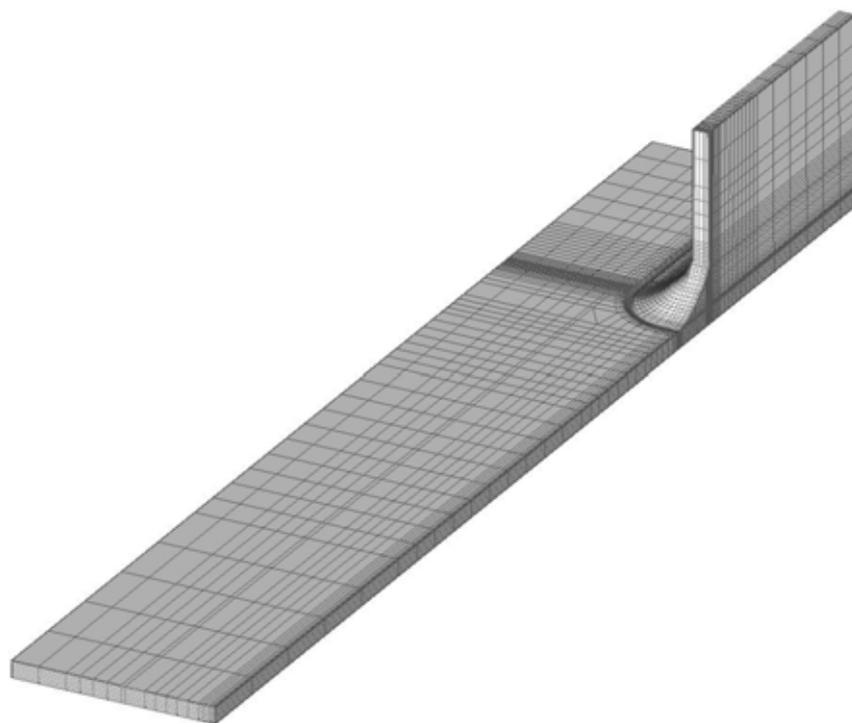
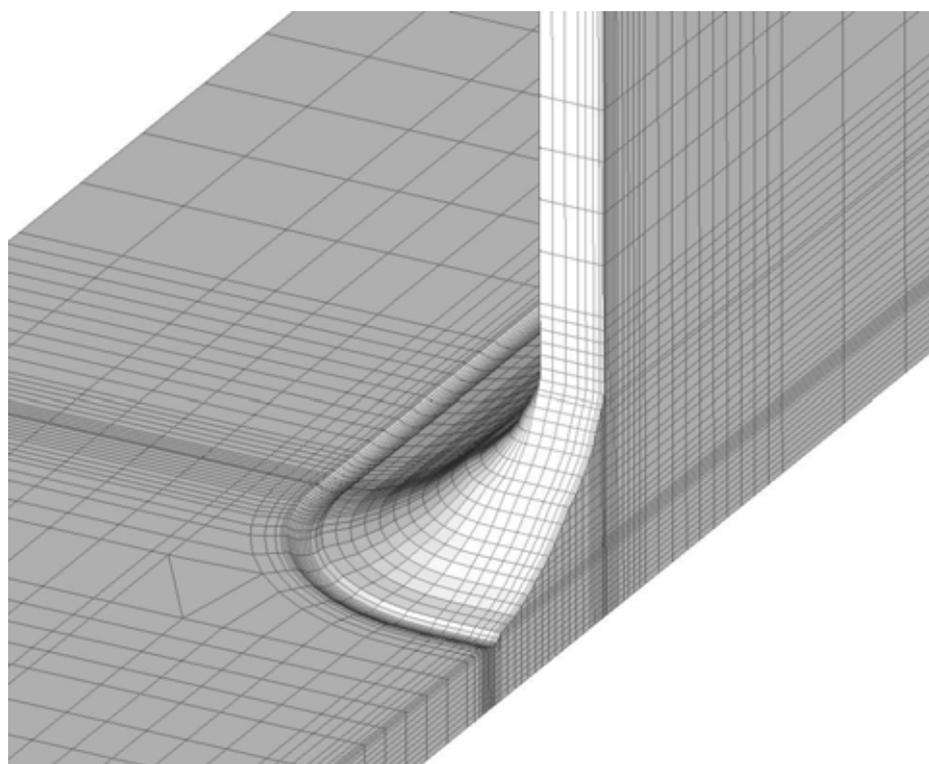


図 5.6 応力集中係数と R/t の関係

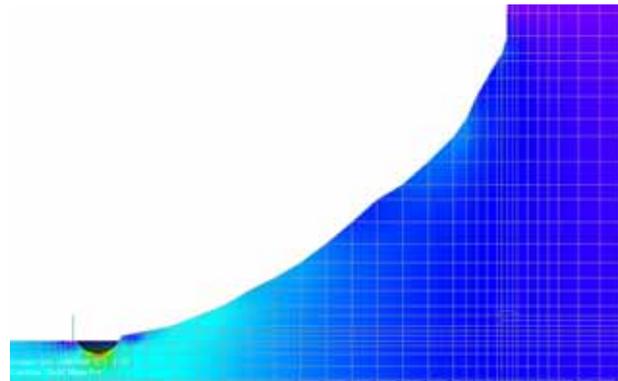
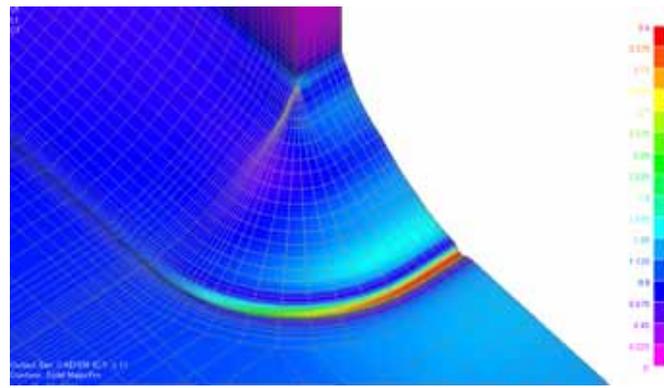


(a) モデル全体

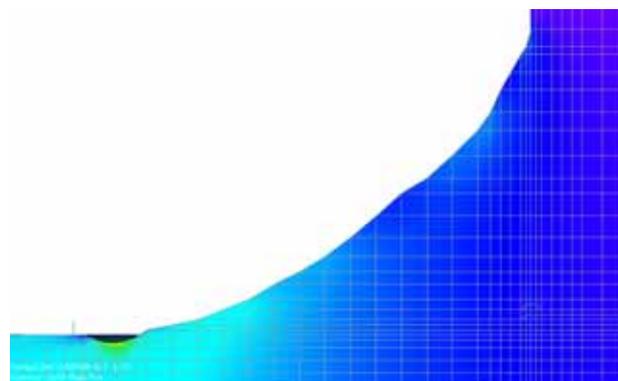
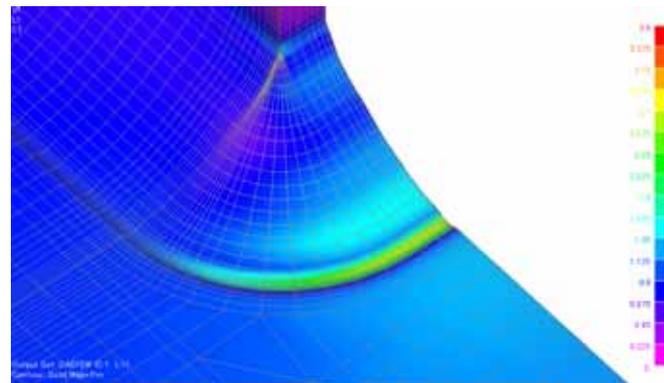


(b) 溶接部拡大 (R=2mm)

図 5.7 要素分割図

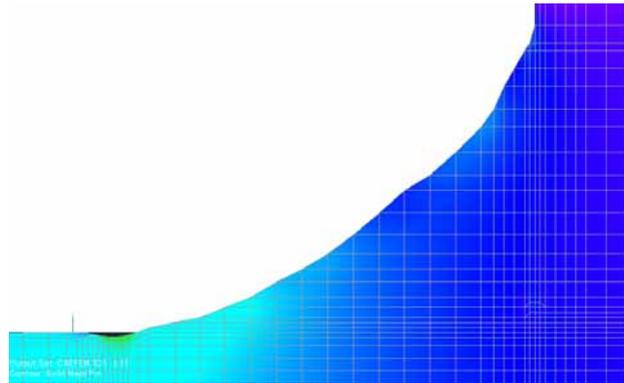
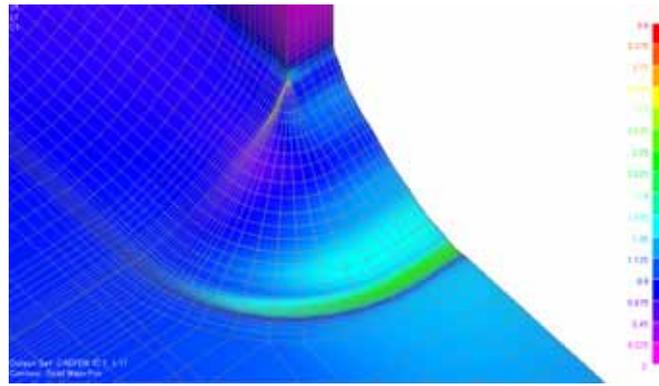


(a) R=1mm

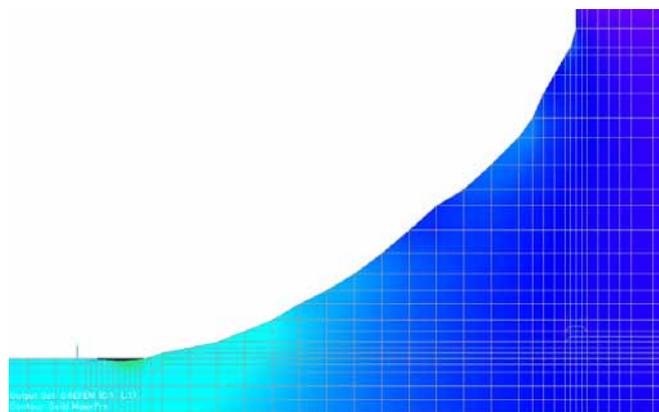
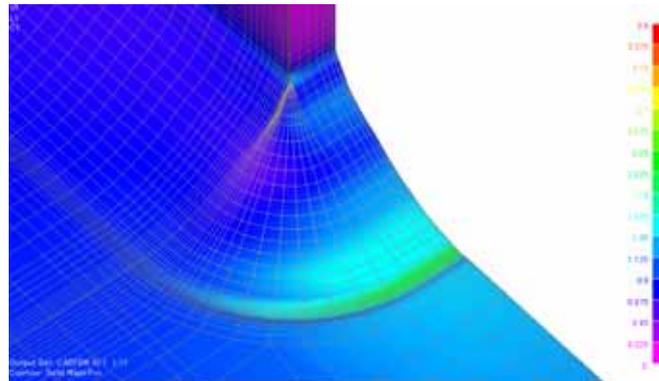


(b) R=2mm

図 5.8-1 主応力コンター図 (R=1mm と R=2mm)

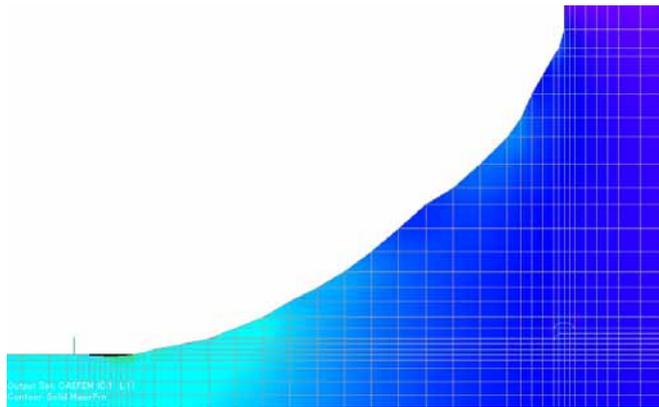
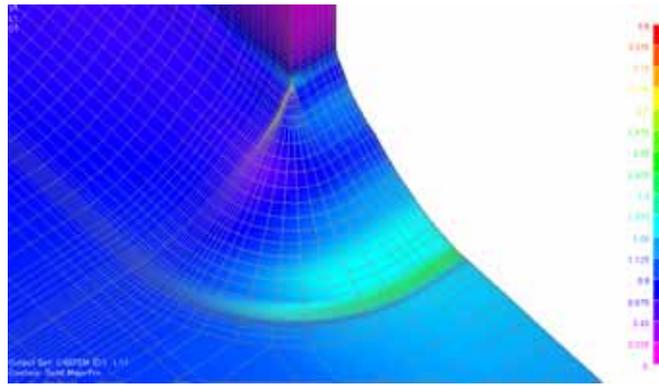


(c) R=3mm

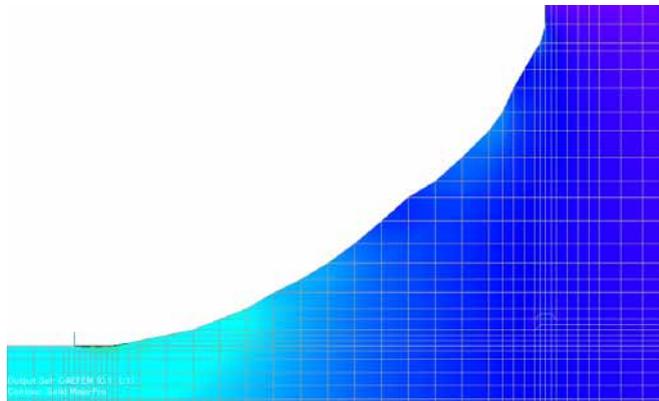
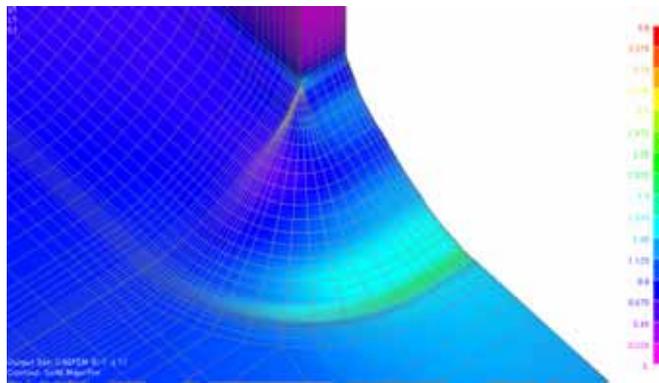


(d) R=4mm

図 5.8-2 主応力コンター図(R=3mm と R=4mm)



(e) R=5mm



(f) R=6mm

図 5.8-3 主応力コンター図 (R=5mm と R=6mm)

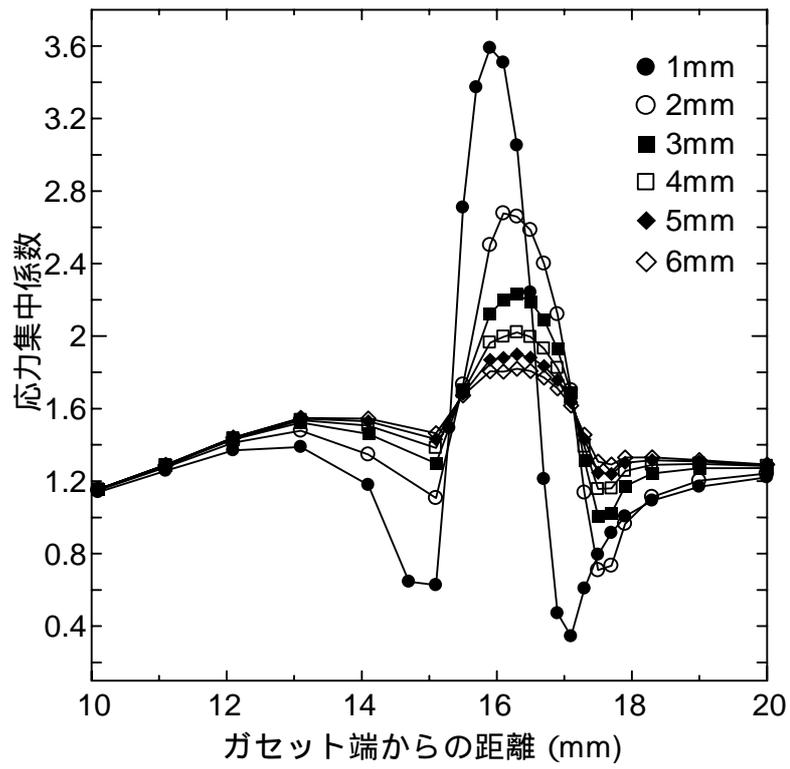


図 5.9 応力集中係数とガセット端からの距離の関係

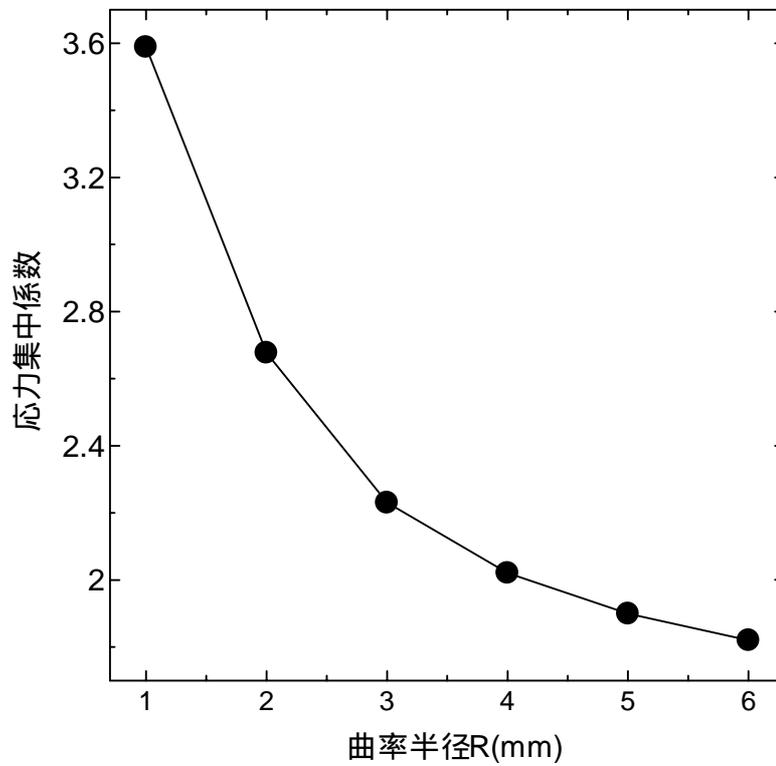
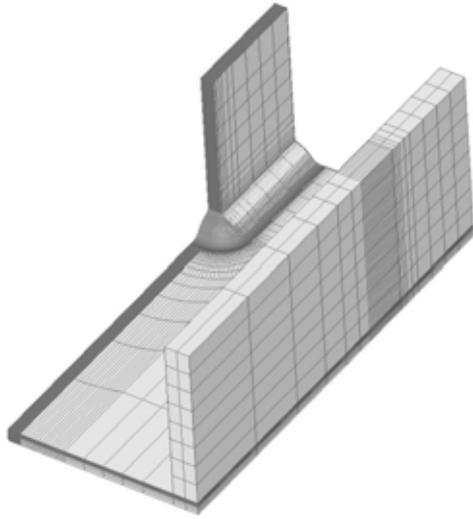
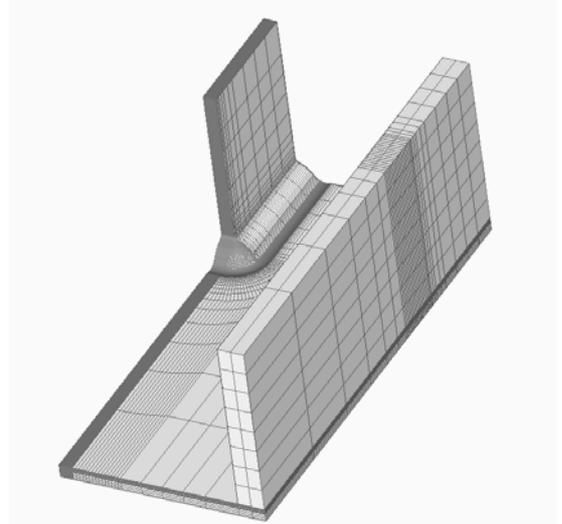


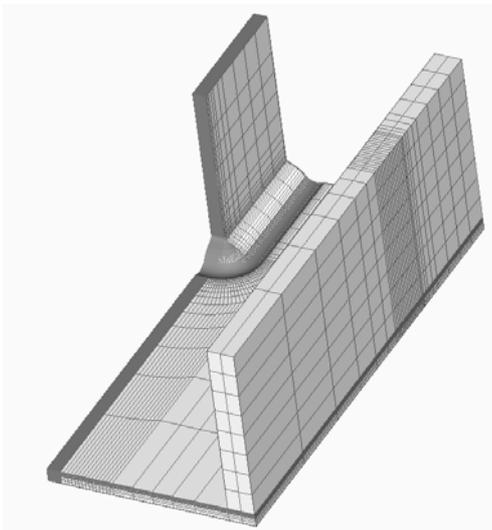
図 5.10 曲率半径 R と応力集中係数の関係



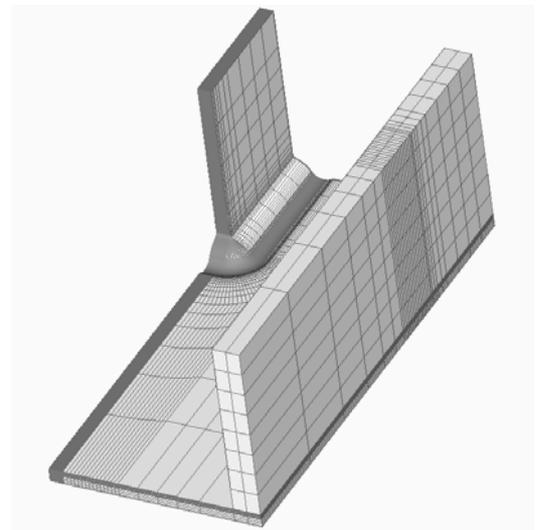
(a) 削り込み深さ 0.2 mm ($t=12\text{mm}$)



(b) 削り込み深さ 0.5 mm ($t=12\text{mm}$)

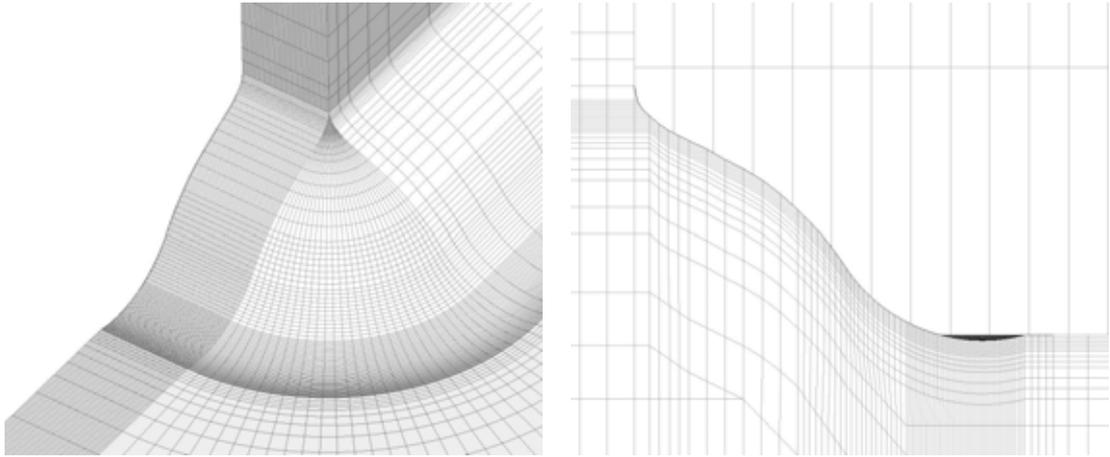


(c) 削り込み深さ 1.0 mm ($t=12\text{mm}$)

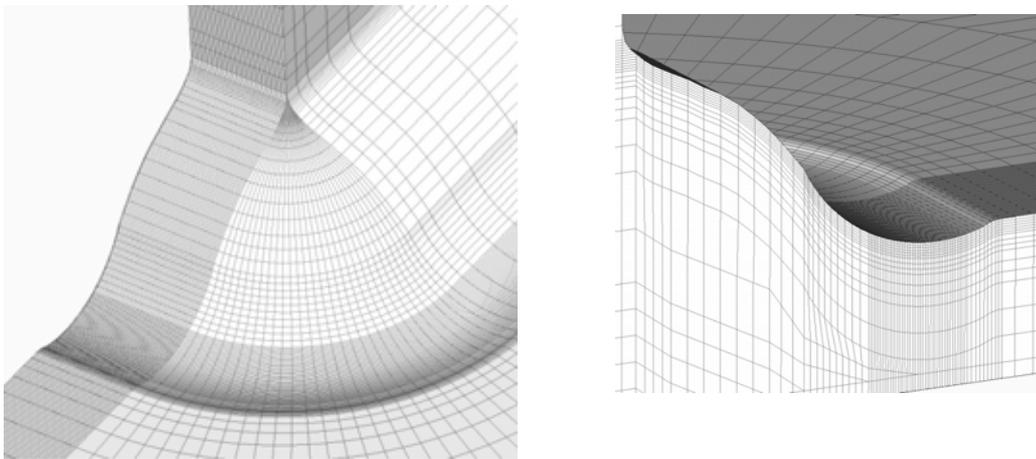


(d) 削り込み深さ 1.5 mm ($t=12\text{mm}$)

図 5.11 要素分割図

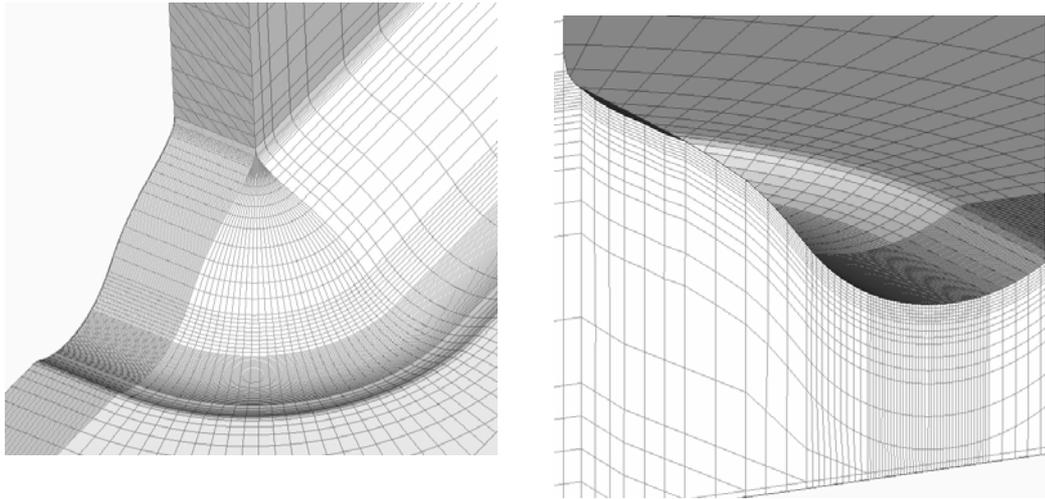


(a) 削り込み深さ 0.2 mm ($t=12$ mm)

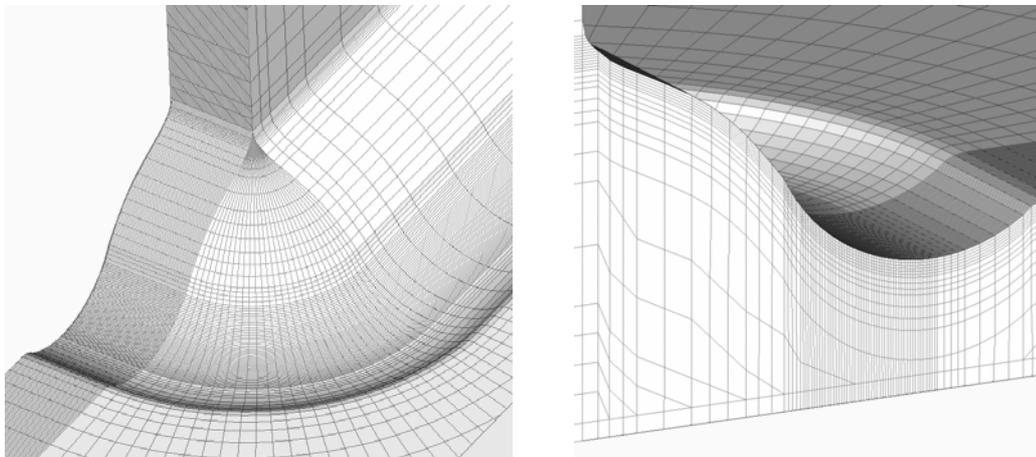


(a) 削り込み深さ 0.5 mm ($t=12$ mm)

図 5.12-1 要素分割拡大 (削り込み深さ 0.2mm と 0.5mm)

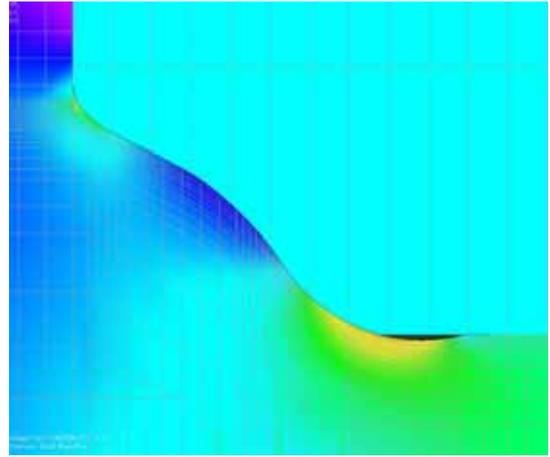
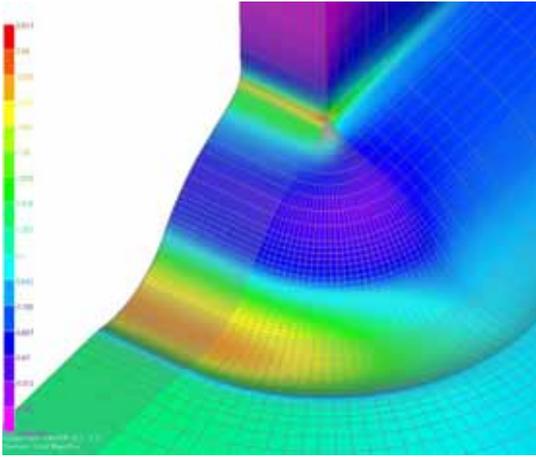


(c)削り込み深さ 1.0mm (t=12mm)

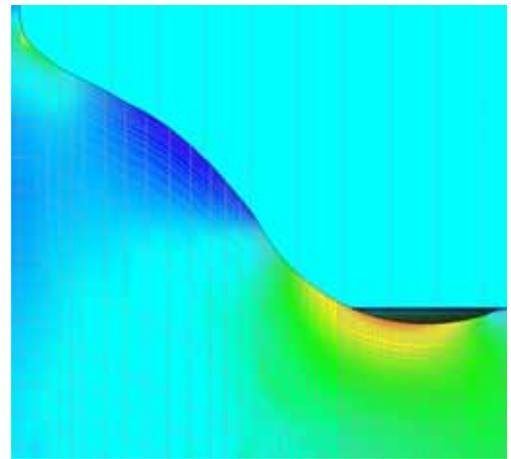
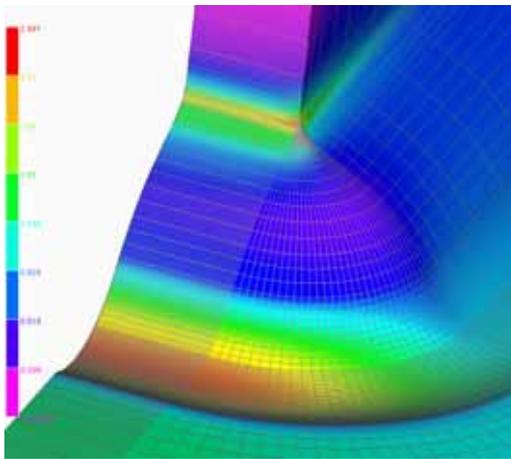


(c)削り込み深さ 1.5mm (t=12mm)

図 5.12-2 要素分割拡大 (削り込み深さ 1.0mm と 1.5mm)

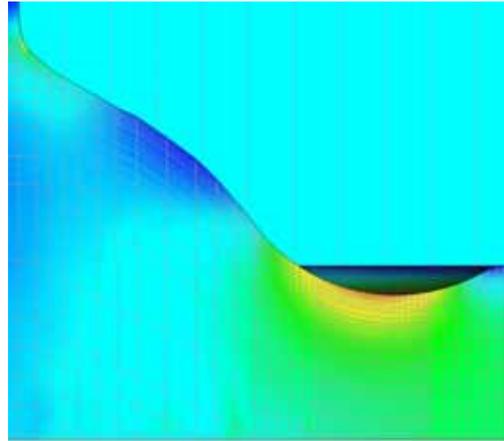
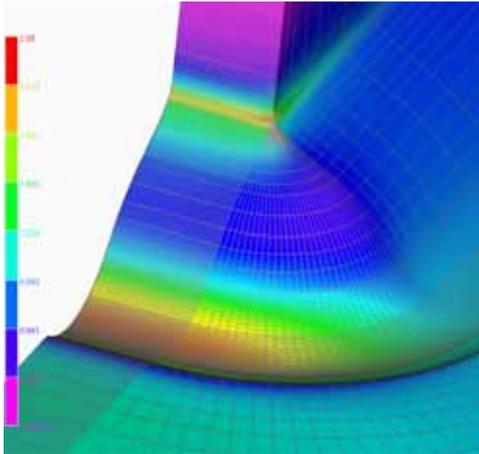


削り込み深さ 0.5 m m (t=12mm)

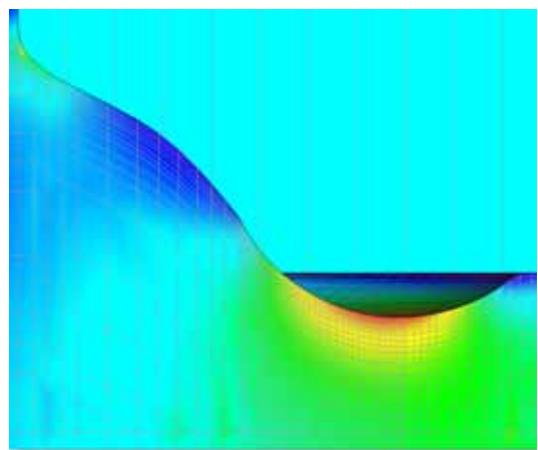
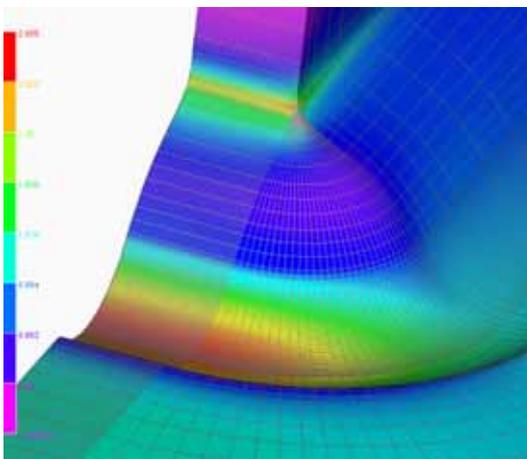


削り込み深さ 0.2 m m (t=12mm)

図 5.13-1 主応力コンター (削り込み深さ 0.2mm と 0.5mm)



削り込み深さ 1.0 m m (t=12mm)



削り込み深さ 1.5 m m (t=12mm)

図 5.13-2 主応力コンター (削り込み深さ 1.0mm と 1.5mm)

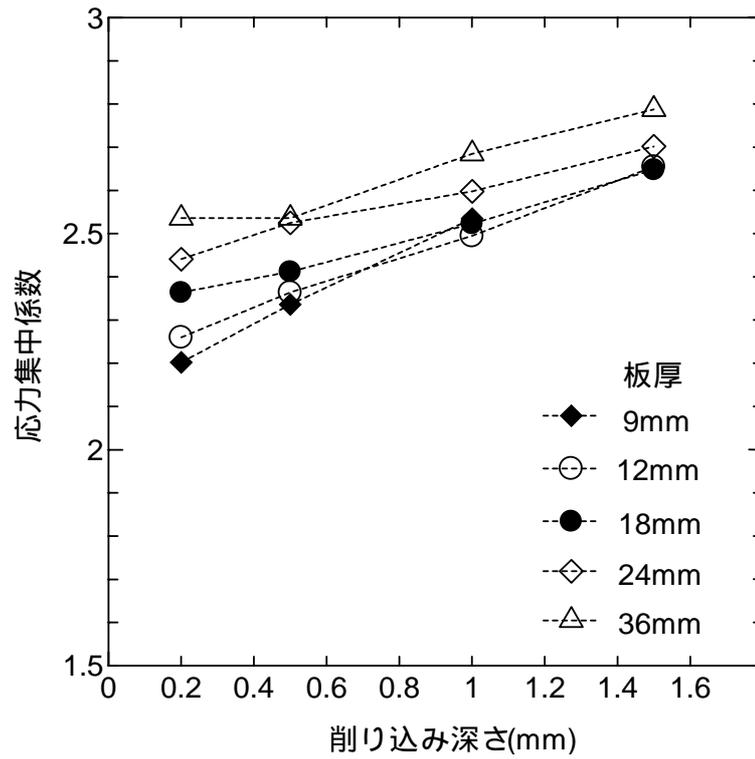


図 5.14 応力集中に対する削り込み深さと主板厚の関係

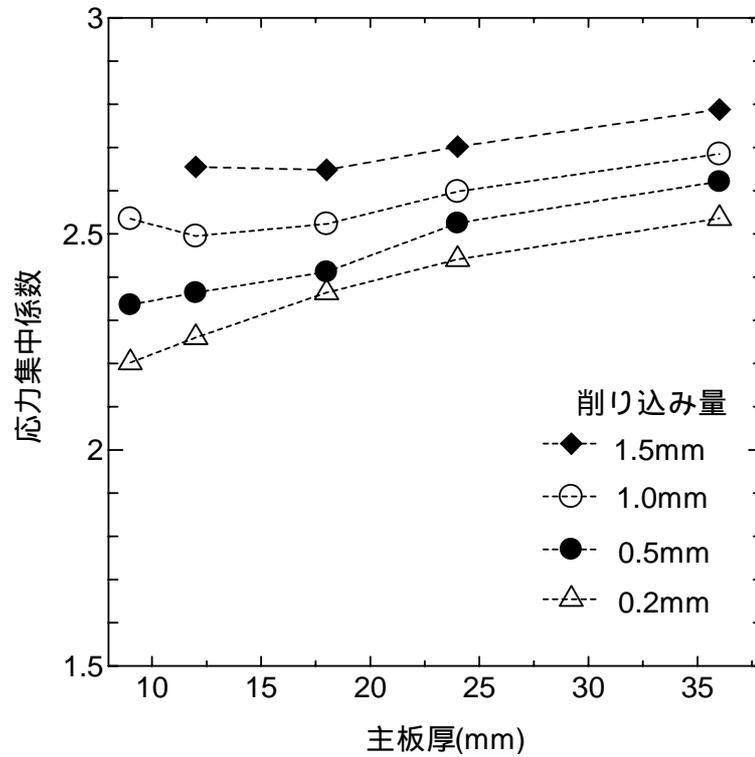
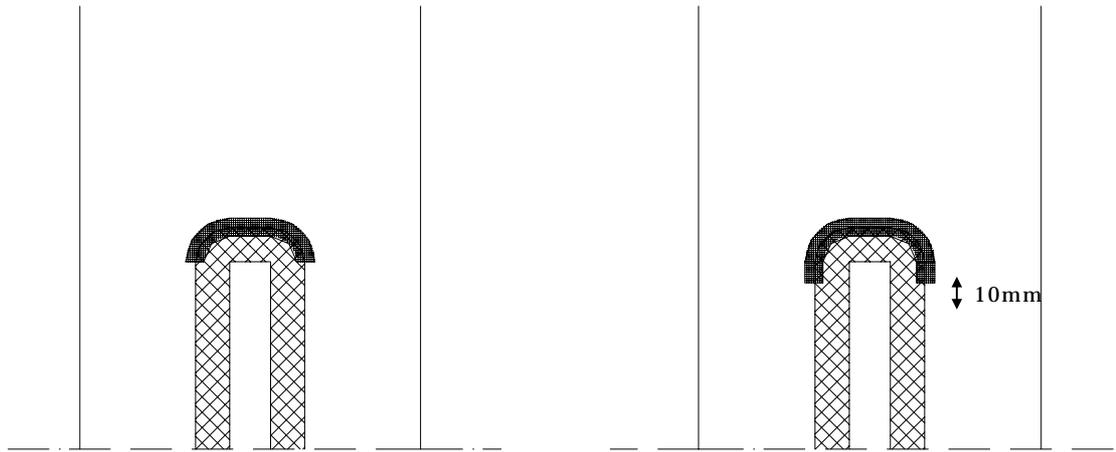
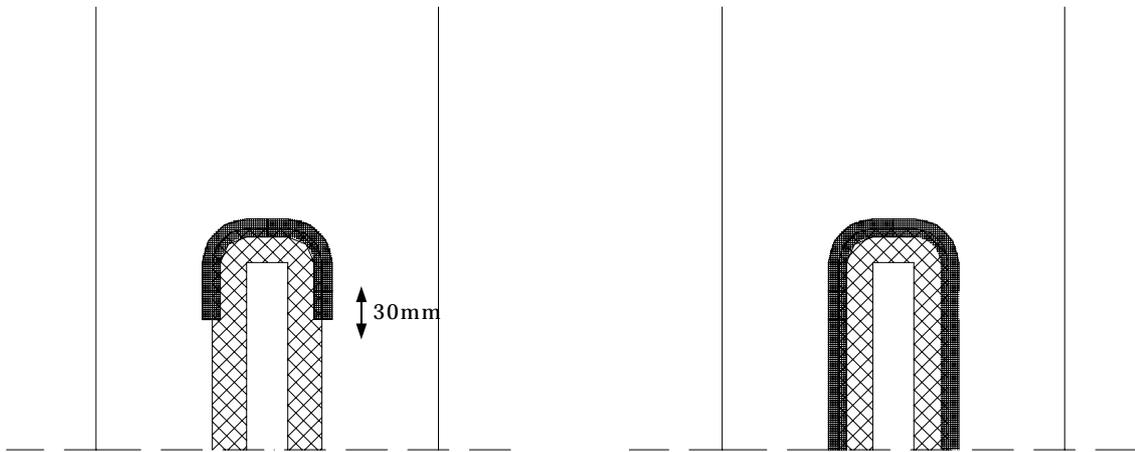


図 5.15 主板厚に対する応力集中係数の関係



(a) 廻し溶接部のみ

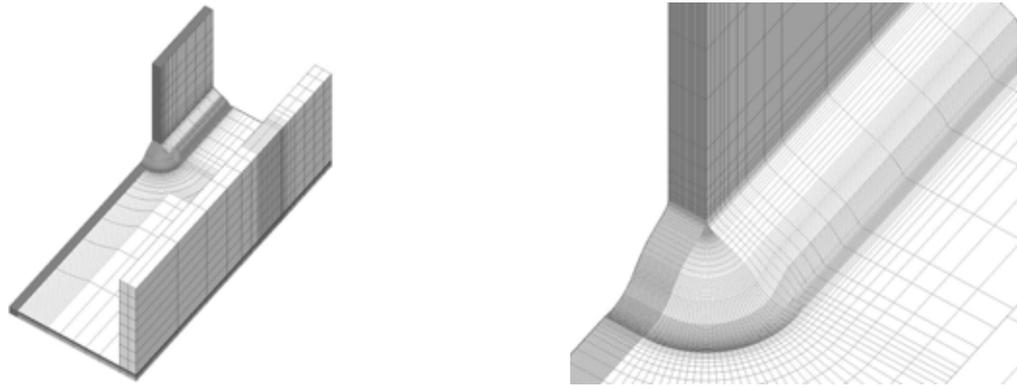
(b) 廻し溶接部とガセット端から 10mm



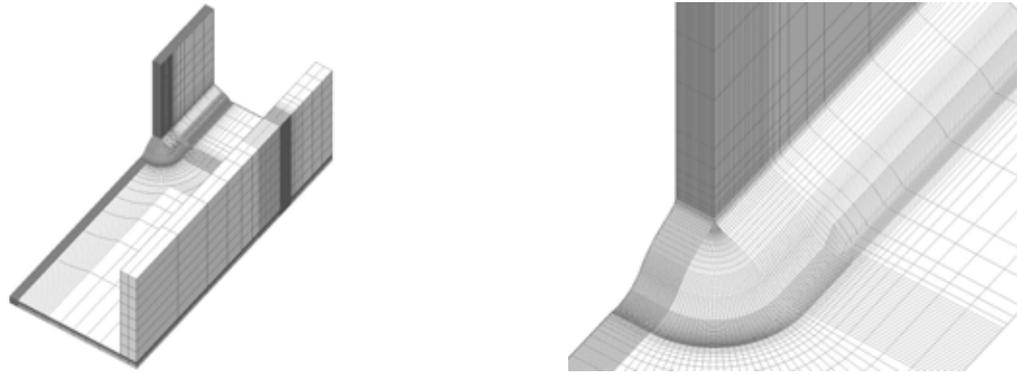
(c) 廻し溶接部とガセット端から 30mm

(d) ガセット溶接部全周

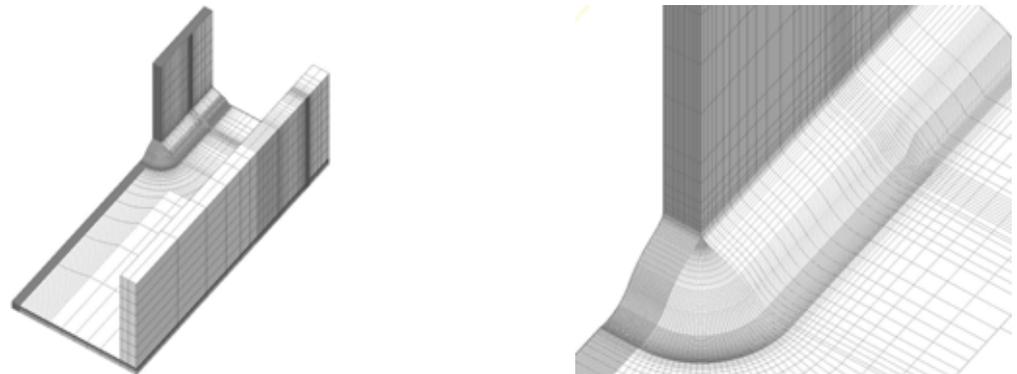
図 5.16 仕上げ範囲



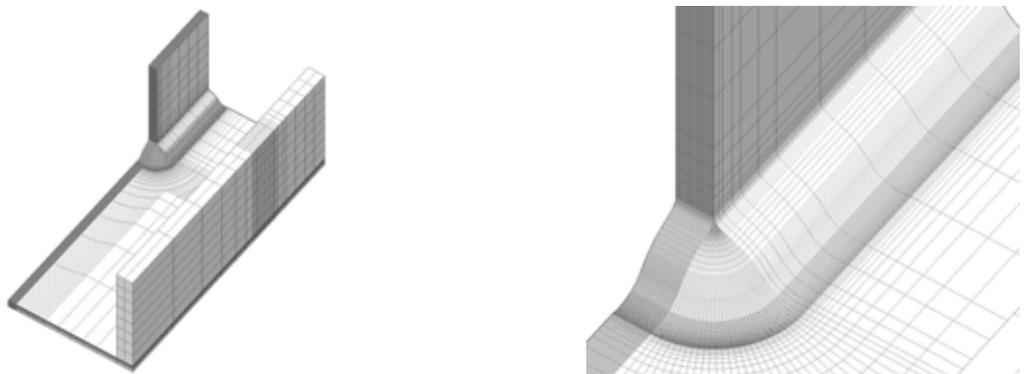
(a) 廻し溶接部のみ



(b) 廻し溶接部とガセット端から 10mm

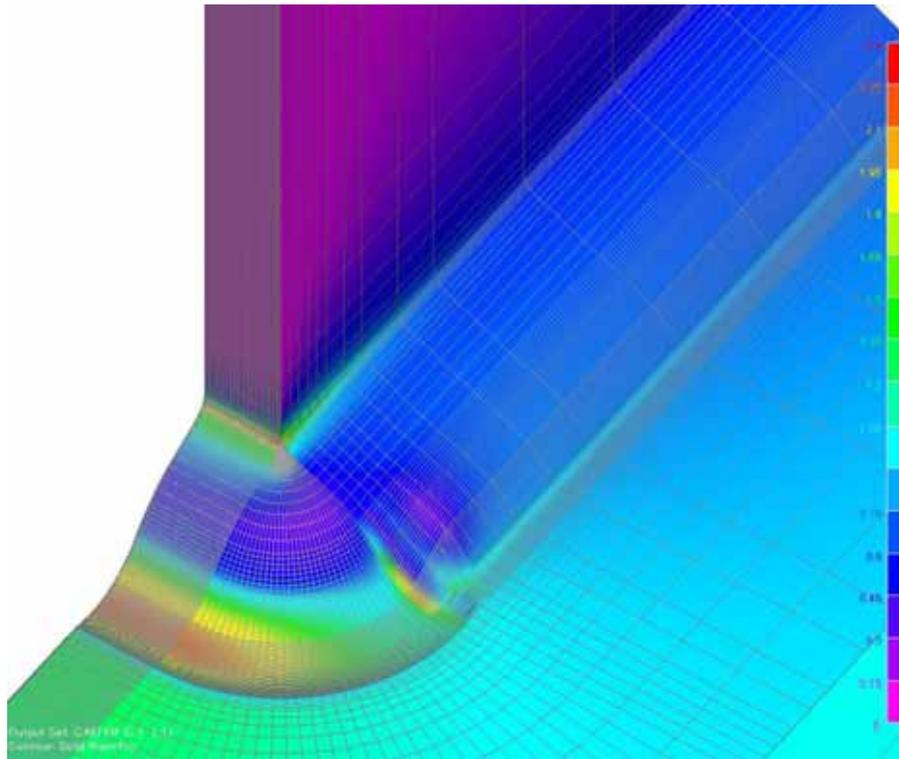


(c) 廻し溶接部とガセット端から 30mm

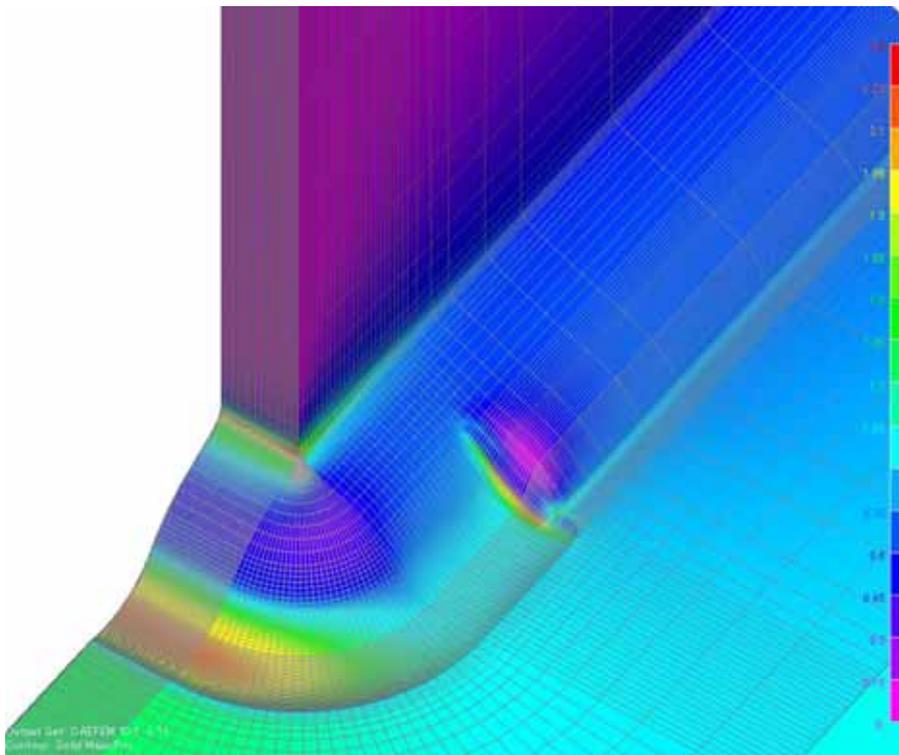


(d) ガセット溶接部全周

図 5.17 要素分割図

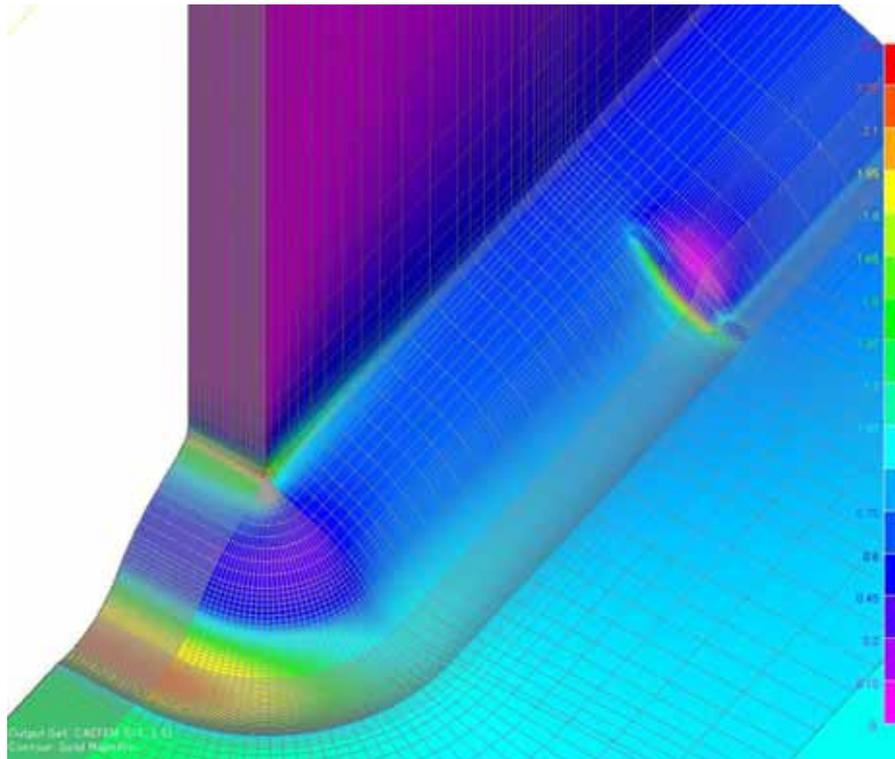


(a) 廻し溶接部のみ

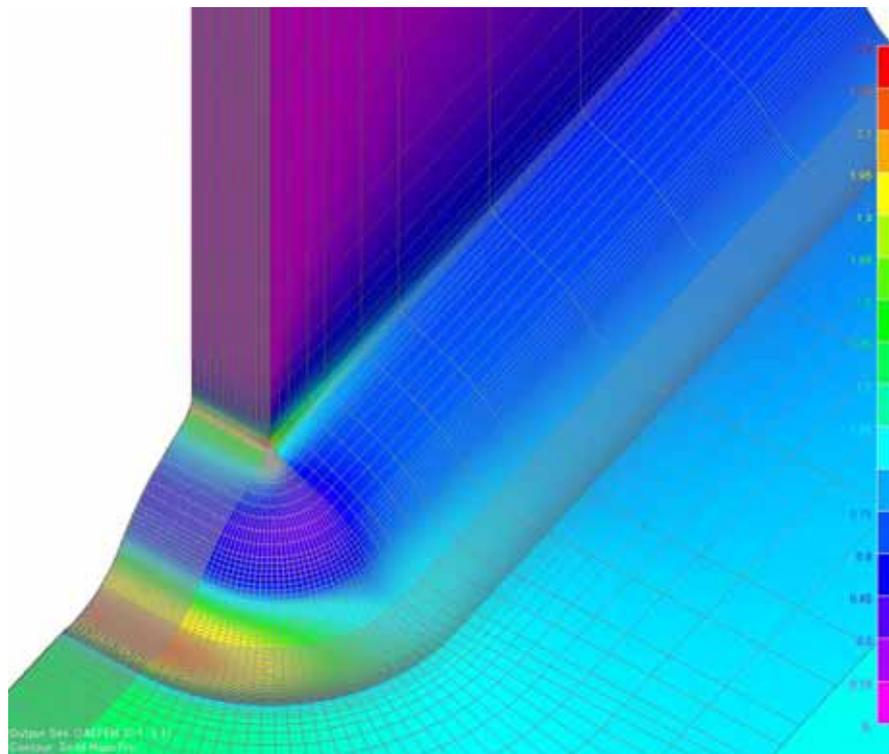


(b) 廻し溶接部とガセット端から 10mm

図 5.18-1 主応力コンター



(c) 廻し溶接部とガセット端から 30mm



(d) ガセット溶接部全周

図 5.18-2 主応力コンター

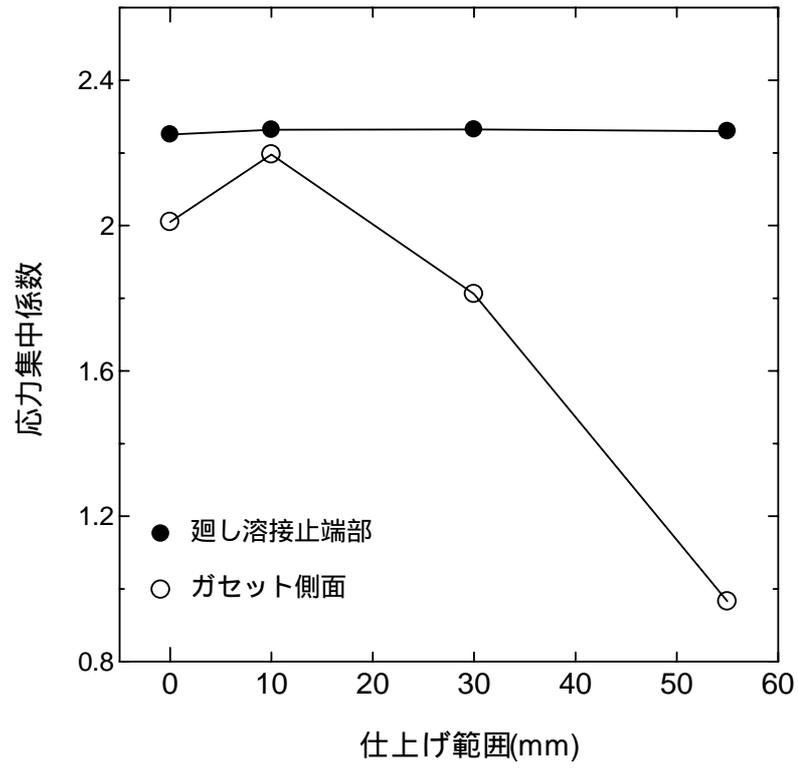


図 5.19 仕上げ範囲と応力集中係数の関係

第 6 章 結論

本研究により以下に示す結果を得た。

ディスクグラインダを用いた場合には溶接止端部の曲率半径を大きくすることが難しく、応力直角方向にグラインダキズが残りやすいため、その使用を避けるべきである。

フィレット仕上げの場合、フィレット半径を大きくすることにより応力集中を低減することができるが、フィレット半径が 40mm を超えると応力集中の低減割合は小さい。

止端仕上げを行う際の主板への削り込みは深くなるにしたがって応力集中が増加する。そのため過度な削り込みは避けるべきである。

止端仕上げ、溶接部仕上げを行う際の仕上げ範囲は廻し溶接部のみでよい。

面外ガセット溶接継手の仕上げにバーグラインダを用いた場合の疲労強度等級を溶接部の仕上げ方法に応じて以下の疲労強度等級を提案する。

面外ガセット溶接継手 (バーグラインダ)	提案する等級	J S S C 指針
溶接のまま	G	G
止端仕上げ (止端半径 5mm 以上)	E	F
溶接部仕上げ (止端半径 10mm 以上)	D	E
フィレット仕上げ (フィレット半径 40mm 以上)	D	E

参考文献一覧

- 1)日本道路橋協会：道路橋示方書・同解説，丸善，1990.
- 2)三木，坂野，館石，福岡：鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析，土木学会論文集，392，1-9，pp.403～410，1988.
- 3)日本道路協会：鋼橋の疲労，丸善，1997.
- 4)征矢勇夫：溶接構造用鋼の母材と基本的溶接継手の疲労強度特性とその影響因子，鋼構造物の疲労設計指針・同解説・資料編 pp175-205,技報堂出版，1993.4.
- 5)日本鋼構造協会：鋼橋の疲労耐久性向上・長寿命化技術,JSSC テクニカルレポート No.71,pp248-324,2006.10
- 6)平山繁幸,森猛,猪股俊哉:面外ガセット溶接継手の疲労強度に対するグラインダ仕上げ方法の影響,鋼構造論文集,第12巻,第45号,pp.111-121,2005.
- 7)中嶋浩之,中村英紀,鈴木博之:面外ガセット溶接継手の疲労強度向上に関する研究,鋼構造年次論文報告集 Vol.14 Page.583-586 (2006.11.01)
- 8)森 猛,平山繁幸,松尾文彦,田中雅人:付加溶接による面外ガセット継手の疲労強度改善に関する検討,鋼構造年次論文報告集,第9巻,pp.263-270,2001.11.
- 9)村中昭典,皆田理,重村貞人:溶接継手の疲労強度に及ぼす表面改質の効果,土木学会年次学術講演会講演概要集 第1部,Vol.56th No.B Page.348-349 (2001.09.01)
- 10)ANAMI K, MIKI C, TANI H, YAMAMOTO H:ハンマーピーニング及び TIG 処理による溶接継手部の疲労強度向上法,土木学会論文集, No.647 Page.67-78 (2000.04.21)
- 11)崎野良比呂, KIM You-Chul, 佐野雄二:レーザピーニングされた隅肉溶接部の疲労強度,溶接学会全国大会講演概要, No.79 Page.406-407 (2006.09.01)
- 12)三木千寿,穴見健吾,樋口嘉剛:低温相変態溶接棒を用いた付加溶接による疲労強度向上の試み,土木学会論文集, No.710 Page.311-319 (2002.07.21)
- 13)竹内健二,湯田誠,吉家賢吾,町田文孝:付加溶接で性能向上 面外ガセットまわし溶接部における低変態温度溶接材料の利用,川田技報, Vol.22 Page.100-101 (2003.01.01)
- 14)田部井俊介:グラインダ処理が面外ガセット溶接継手の疲労強度に及ぼす影響,法政大学工学部土木工学科,2002年度卒業論文, pp.1-81.
- 15)中村浩土:面外ガセットすみ肉溶接部の応力性状,法政大学工学部土木工学科,2003年度卒業論文,pp.1-54.
- 16)猪股俊哉:すみ肉溶接部の3次元形状と疲労強度,法政大学大学院工学研究所建設工学専攻(土木系)2003年度修士論文, pp.1-123.

- 17)Koei TAKEDA ,Fumio ITO ,Fumio NISHINO ,Chitoshi MIKI : INFLUENCE OF FILLET RADIUS ON THE FATIGUE STRENGTH OF FLANGE-GUSSET JOINTS , 土木学会論文集 , No.386/I-8 , pp.423-426 , 1987 .
- 18)三木千寿・杉本一郎・根岸裕・鍛治秀樹：フランジガセット継手部の疲労強度向上法，土木学会第50回年次学術講演会，pp.776 777，1995.
- 19)日本鋼構造協会編：鋼構造物の疲労設計指針・同解説・資料編 vol.1，技報堂出版，1993.4.
- 20)Haagensen,P.J. : Improvement Techniques for Higher Weld Quality in New Design and Life Extension of Aging Structures, Proceeding of The IIW Fatigue Seminar, IIW-Commission XIII, pp.43-58, 2004.4.
- 21)International Institute of Welding (社団法人溶接学会,溶接疲労強度研究委員会 訳): Fatigue design of welded joints and components(溶接構造の疲労設計),1999

謝辞

本研究を遂行するにあたり、法政大学工学部都市環境デザイン工学科の森猛教授には端的かつ、わかりやすい指導を承りまして、厚く心より御礼申し上げます。本研究が疲労設計指針の参考の一部とされることは研究への高いモチベーションとなりました。就職先は土木業界ではありませんが、日本鋼構造協会 疲労設計指針が改訂され発行されることを楽しみにしております。

法政大学工学部都市環境デザイン工学科の溝淵利明教授には本論文をまとめるにあたり指導承り、質の向上をする果たすことができました。この場を借りて御礼申し上げます。

鋼構造研究室技術嘱託である小林佑規氏には実験の手伝いや試験機器の管理等を行っていただき、また、異なる研究分野での考え方の違いを教えていただき大変参考になりました。ここに記して深謝致します。

株式会社東京鉄骨橋梁の山田浩二氏には試験体の製作手配を行っていただき、円滑に試験が実行できたことに感謝します。

本研究室 OB である株式会社宮地鐵工所の林暢彦氏、三井造船株式会社の内田大介氏には研究以外にも鋼構造に関する幅広い知識を教えていただきました。深く御礼申し上げます。

同期である法政大学大学院修士 2 年の大住圭太氏には一学年上の修士が不在であったこともあり、3 年間、研究及び研究室関連の雑務等に苦勞しながらも、協力し合えたと思います。また個人的にも就職の相談ができたことを大変有難く思います。修士 1 年である香川拓也氏、田村修一氏、原田英明氏、明見正雄氏には研究に関して頼り無い先輩であったかもしれませんが慕ってくれたことに感謝します。学部生である宇佐美龍一氏、西川祥央氏をはじめとする学部生諸氏には話の話題を提供してくれる等、一年間、研究室を楽しく和やかな雰囲気にしてくれてありがとう。また、向井天氏には大学院生の在り方を考えさせられるほどの研究姿勢を目の当たりにさせてくれたことに感謝します。

最後に、私の行っている研究内容を大して深く知ろうともせず、私の言うがままに大学院まで進学させ、多大な投資を行い、支えてくれた両親・兄弟・祖父母に深甚なる感謝の意を表します。