

溶接金属とステンレス鋼の摩擦圧接接合部に関する基礎的研究
その1：実験概要と寄り代比について

正会員 ○加登美喜子*1 鈴木直幹*2 中平和人*2
同 緑川 功*3 大石浩史*4

摩擦圧接 溶接金属 ステンレス鋼
高強度鋼 高強度溶接ワイヤ 寄り代比

1. はじめに

摩擦圧接接合は2つの部材を突き合せて片側を回転させ、摩擦熱による加熱後、加圧、塑性変形させて接合する技術である¹⁾。溶接材料を使用せずに異種金属を容易に接合できるため、主に機械部品の製作に用いられている²⁾。建築分野においては、JIS G 3199³⁾に示されるように、試験片を加工する際に、摩擦圧接にて異種材料をつかみ部として取り付ける等の適用例がある。特に溶接金属のように形状や寸法に大きな制約がある機械試験片の製作に対する摩擦圧接の適用が期待される。摩擦圧接の分野において、アルミニウムと炭素鋼またはステンレス鋼に対する多くの研究⁴⁾が行われているが、炭素鋼の溶接金属とステンレス鋼の接合を対象とした研究はみられない。本研究では、炭素鋼の溶接金属とステンレス鋼を摩擦圧接した試験体に対する機械試験を行い、圧接部の機械的性質および寄り代比について明らかにする。

2. 摩擦圧接の概要

摩擦圧接による接合手順¹⁾²⁾を図1に示す。最初にB材に一定の加圧力P1を与えながらA材を回転させ、部材接触面に摩擦熱を発生させ(a図)、A,B材の接触部において両部材を塑性変形による軟化状態にし(b図)、最後に回転運動を休止しさらに加圧力P2を加え圧接が終了する(c図)。

摩擦圧接は接合過程において接合面の金属組織が微細化すること、また、材料に含まれる介在物が接合後に周囲に生じるバリへ排出され、圧接部に清浄な金属組織が形成されるために高い継手性能を有することが知られている²⁾。接合時に2つの部材が縮んだ長さの合計は寄り代と呼ばれ、良好な摩擦圧接接合を得るためには、4~5mm

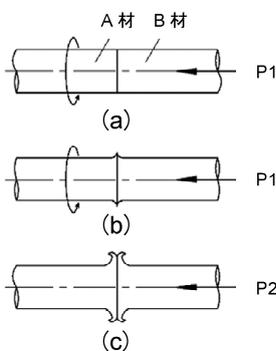


図1 接合手順

の寄り代が必要なことが知られている⁵⁾。

3. 実験計画

摩擦圧接時の溶接金属の強度および形状の影響を確認するために、6種類の試験体を準備した。試験体の詳細を表1に示す。溶接金属と接合する金属は、溶接金属に対し摩擦圧接による熱影響の少ないステンレス鋼とした。本試験では、接合部の基本特性を確認するため、寄り代の計測、引張試験、摩擦圧接部近傍のビッカース硬さ試験を行うこととした。

試験体1は同径試験体、2は異径試験体とし、φ12の溶接金属に対しφ12およびφ20のステンレス鋼(SUS316)を接合した。溶接金属は、角形鋼管(BCP325)と鋼板(SN490B)をYGW18の規格を有する溶接ワイヤにてCO₂マグ溶接したものである。試験体形状を図2に示す。

試験体3~6は20mm角の溶接金属の両側にφ18のステンレス鋼(SUS316)を接合した試験体である。溶接金属は、強度の異なる鋼板(490N級, 550N級, 590N級)をYGW18または旧YGW21の規格を有する溶接ワイヤでCO₂マグ溶接したものである。試験体形状を図3に示す。

使用したステンレス鋼のミルシートに記載されている機械的性質を表2に、JIS等に基づく溶接ワイヤ、鋼材の規格を表3示す。また、摩擦圧接により生じたバリ除去後の写真を写真1に示す。

4. 寄り代の評価

寄り代は、試験体の接合面に対して対称に標点を打ち、圧接部から標点までの縮み量(δ)を実測し評価した。また、寄り代比は次式により定義した。ここで、δ_A、δ_Bを圧接前の標点間距離、δ_{A'}、δ_{B'}を圧接後の標点間距離

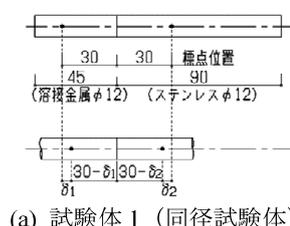


図2 試験体形状 (試験体 1, 2)

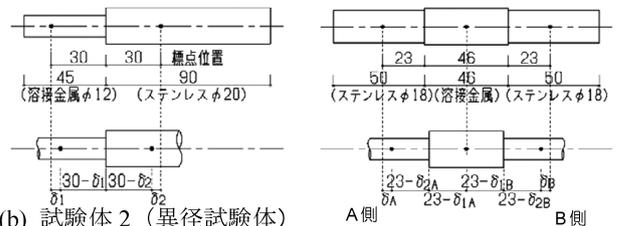


図3 試験体形状 (試験体 3~6)

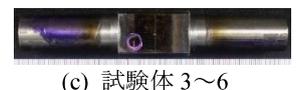
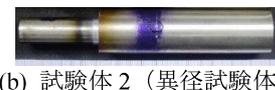


写真1 摩擦圧接接合後の試験体

離とする。図 2,3 に各試験体の標点位置を示す。

$$\text{寄り代 } \delta = (\delta_A - \delta_A') + (\delta_B - \delta_B') \quad \dots(1)$$

$$\text{A,B 部材の寄り代: } (\delta_A - \delta_A'), (\delta_B - \delta_B') \quad \dots(2)$$

$$\text{A,B 部材の寄り代比: } (\delta_A - \delta_A') / \delta, (\delta_B - \delta_B') / \delta \quad \dots(3)$$

摩擦圧接後の各試験体における寄り代および寄り代比を図 4,5 に示す。ここで、横軸は試験体番号、A,B は試験体 3~6 の A,B 側を示す。また、図中の × 印は溶接金属、+ 印はステンレス鋼の各試験体における平均値を示す。

寄り代は摩擦圧接前に設定値を 5mm としたが、接合後に計測した平均値は最大 5.80mm (試験体 3A), 最小 4.58mm (試験体 2) となった。

試験体 1 においては、溶接金属とステンレス鋼の寄り代比は概ね 0.6 : 0.4 である。表 2 に示すステンレス鋼の引張強さ 790N/mm² に対し、溶接金属は引張試験の結果 600 N/mm² 程度 (その 2 参照) で、強度が寄り代に影響していると考えられる。

試験体 2 においては、小径側の溶接金属のみに寄り代が生じており、太径側のステンレス鋼には見かけ上寄り代は生じていない。溶接金属とステンレス鋼の断面積比は概ね 1 : 2.8 である。

試験体 3~6 のステンレス鋼と溶接金属の断面積比は概ね 1 : 1.6 である。溶接金属の材料となる鋼材および溶接ワイヤの強度が高くなると溶接金属の寄り代が小さくなる傾向にあり、寄り代平均値は、YGW18 (試験体 3, 4) の場合は 0.94~1.52mm, 旧 YGW21 (試験体 5, 6) の場合 0.51~0.75mm である。ステンレス鋼は同じ材料を使用しているが、試験体 3,4 は 4.28~4.68mm, 試験体 5,6 は 4.68~4.83mm となっており、溶接金属の強度がステンレス鋼の寄り代に影響を及ぼしていることが確認できる。

5. まとめ

本研究では、摩擦圧接接合の概要および実験計画、寄り代比について概説した。寄り代に影響を及ぼす可能性がある因子として、各金属の形状や寸法、強度があげられ、寸法が小さいほど、また、強度が小さいほど寄り代が大きくなる傾向が見られた。その 2 では引張試験およびビッカース硬さ試験の結果について報告する。

参考文献

- 1) 溶接学会編：新版 溶接・接合技術特論，産報出版，2005。
- 2) 有年雅敏，沖田耕三：異種金属の摩擦圧接，溶接学会誌，pp.432-436, 71 巻 6 号, 2002
- 3) JISG3199：鋼板，平鋼及び形鋼の厚さ方向特性
- 4) 篠田剛他：アルミニウムと炭素鋼の摩擦圧接，溶接学会論文集，pp.365-372, 第 18 巻第 3 号, 2000
- 5) 澤井猛他：S15CK 炭素鋼同種摩擦圧接継手強度の入熱による評価，溶接学会論文集，pp.581-590, 第 19 巻第 14 号, 2001

表 1 試験体形状および強度

番号	形状	数	溶接金属 母材/溶接材料		ステンレス鋼
			形状	強度	
1	同径	5	形状	φ12	φ12
			強度	490N 級 YGW18	
2	異径	5	形状	φ12	φ20
			強度	490N 級 YGW18	
3	異径	6	形状	20×20	φ18
			強度	490N 級 YGW18	
4	異径	12	形状	20×20	φ18
			強度	550N 級 YGW18	
5	異径	12	形状	20×20	φ18
			強度	550N 級 旧 YGW21	
6	異径	12	形状	20×20	φ18
			強度	590N 級 旧 YGW21	

表 2 ステンレス鋼の機械的性質 (ミルシート)

番号	径 mm	加工	耐力 YP N/mm ²	引張強さ TS N/mm ²	伸び %	硬さ Hv
1	φ12	冷間	615	790	34	255
2	φ20	熱間	286	607	58	159
3~6	φ18	熱間	279	598	58	157

表 3 使用材料の機械的性質

番号	規格	耐力 YPN/mm ²	引張強さ TSN/mm ²	伸び%
溶接ワイヤの機械的性質 (JIS Z 3312)				
1~4	YGW18	460 以上	550~740	17 以上
5~6	旧 YGW21	490 以上	570~770	19 以上
炭素鋼の機械的性質 (JIS G 3136 他)				
1~3	490N 級	325~445	490~610	21 以上
4~5	550N 級	385~505	550~670	20 以上
6	590N 級	440~540	590~740	20 以上
1,2	BCP325	325~445	490~610	21 以上

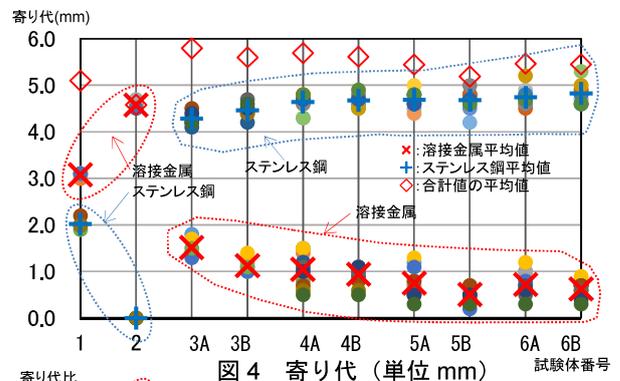
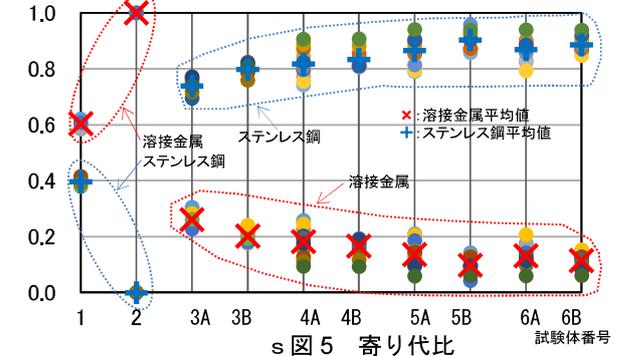


図 4 寄り代 (単位 mm)



s 図 5 寄り代比

*1 日建設計
*2 竹中工務店
*3 日本建築総合試験所
*4 NTT ファシリティーズ

*1 NIKKEN SEKKEI LTD.
*2 TAKENAKA Corporation
*3 General Building Research Corporation of Japan
*4 NTT FACILITIES, INC.

溶接金属とステンレス鋼の摩擦圧接接合部に関する基礎的研究
その2：摩擦圧接接合部の機械的性質

正会員 ○鈴木直幹*1 加登美喜子*2 中平和人*1
同 大石浩史*3 緑川 功*4

摩擦圧接 溶接金属 ステンレス鋼
高強度鋼 高強度溶接ワイヤ 機械的性質

1. はじめに

その2では、マクロ試験、ビッカース硬さ試験および引張試験を行った結果について報告する。

2. マクロ試験

本報では軸方向断面をL断面、軸直交断面をC断面と称する。L断面及びC断面のマクロ試験を行った結果、摩擦圧接接合部には不純物の介在は見られず良好な接合が行われたことが確認できた。

3. 硬さ試験

3.1 硬さ試験測定位置

その1で示した試験体1,2に対してビッカース硬さ試験を行った。L断面では、摩擦圧接接合部の両側に対して外周より1.0mm, 3.5mm, 6.0mm(円中心)の位置で、またC断面では摩擦圧接面の中央部に1.0mmピッチの位置で測定することとした。

試験体1(同径)および試験体2(異径)のL, C断面におけるビッカース硬さ測定位置を図1に示す。また、硬さ試験後の試験体を写真1に示す。

3.2 硬さ試験結果

図2に試験体1の結果を示す。同径試験体のL断面の硬さは、摩擦圧接接合部近傍では190程度、溶接金属側は180から200程度、ステンレス鋼側は180から300程度の値を示している。外周からの距離の違いによる顕著な硬さの違いはない。炭素鋼を対象とした既往の研究¹⁾では、摩擦圧接面の硬さが最も高く、そこから母材側に向かって低下し、熱影響部を超えると母材の硬さと一致する傾向がある。一方、本試験体では、この傾向が見られず若干軟化している。これは、通常の炭素鋼ではなく、溶接金属であることが原因と考えられる。一方、ステンレス鋼側は熱影響部で軟化し、熱影響部を超えた部分でその1に示した母材の硬さ(255)に近づいている。これは試験体1のステンレス鋼が冷間引抜材であることに起因しており、既往の研究¹⁾の傾向とも一致している。同径試験体のC断面におけるビッカース硬さは、中心部が200程度であり、端部では300前後と大きな値を示している。摩擦圧接面に着目すると熱影響による硬化が発生しており、端部の値が大きくなるのは摩擦入熱が外周に向かうほど大きくなるのが原因と考えられる。

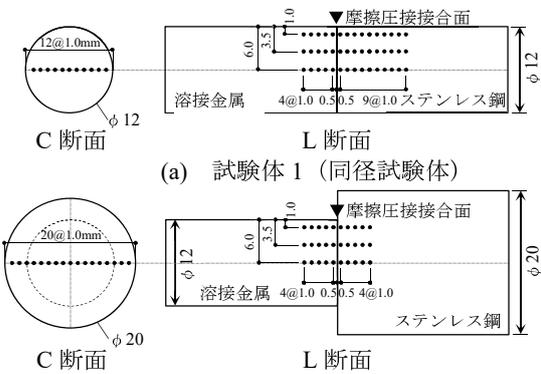


図1 ビッカース硬さ測定位置

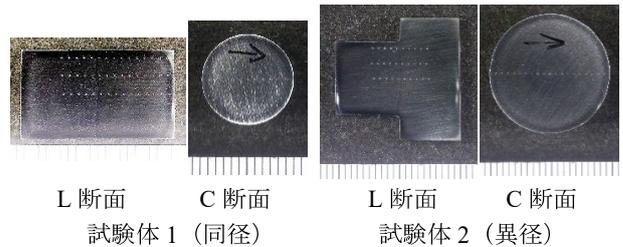
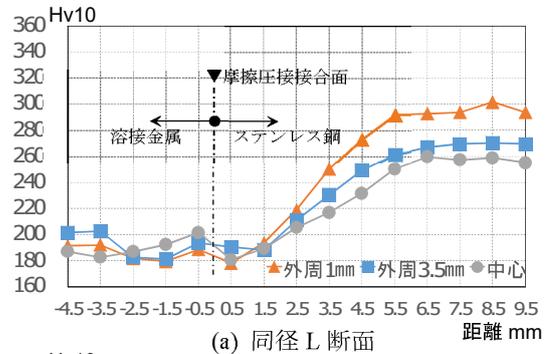
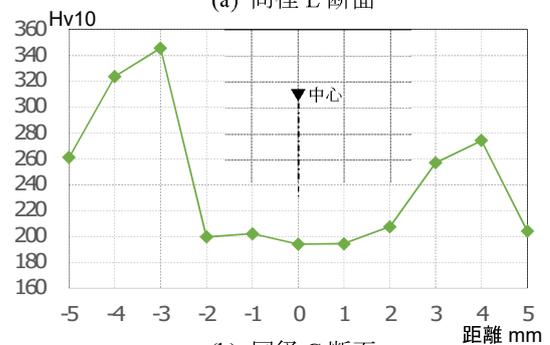


写真1 硬さ試験後の試験体



(a) 同径 L断面



(b) 同径 C断面

図2 硬さ試験結果(試験体1)

図3に試験体2の結果を示す。異径試験体のL断面の硬さは、摩擦圧接接合部近傍では190程度であり、同径試験体と概ね同等である。溶接金属側は175から195程度、ステンレス鋼側は170から190程度の値を示している。溶接金属側では試験体1と同様に若干軟化した後に元の硬さに戻る。ステンレス鋼側は同径試験体とは逆に圧接面から離れるに従い硬さが低下する傾向が見られる。これは試験体2のステンレス鋼が熱間圧延材であることが原因と考えられる。異径試験体のC断面におけるビッカース硬さは、中心部が200程度、端部では300前後であり試験体1と同様の傾向が見られた。

4. 引張試験

4.1 引張試験概要

引張試験は、摩擦圧接接合部の引張強さおよび、溶接金属の降伏応力度と引張強さを調べるために実施した。試験体1および2の各3体の試験体に対して引張試験を行った。試験体1に対しては接合面で破断するように面積比で56%程度となる深さ1.5mmのノッチを設けた。

4.2 引張試験結果

各試験体の引張試験による荷重変形関係を図4に示す。

試験体1においては、ノッチ部で破断した。摩擦圧接接合面の断面積に基づく引張強さは867~925N/mm²であった。試験体2においては、細径側の溶接金属で破断した。溶接金属の引張強さは590~615N/mm²であった。引張試験後の破壊面を写真2に示す。同径試験体は脆性破断、異径試験体は延性破断しており、ノッチの有無がその差異の原因と考えられる。

5. まとめ

本報では摩擦圧接接合部に対して各種の試験を行い、以下の知見を得た。

- ①摩擦圧接接合面の引張強さは溶接金属やステンレス鋼の引張強さよりも高い値を示す。
- ②4-5mmの寄り代を確保すれば十分な強度を有する接合が可能である。
- ③摩擦圧接接合部近傍には熱影響部が存在し、特に摩擦圧接面では硬化が生じる。

謝辞

本研究は、2018年度AW検定協議会—西日本—研究評価委員会の活動として実施したものである。

参考文献

- 1) 長谷川正義：ばり付鋼材摩擦圧接継手の疲れ強さに及ぼす圧接条件の影響，溶接学会論文集，pp.463-469，第13巻第3号，1995

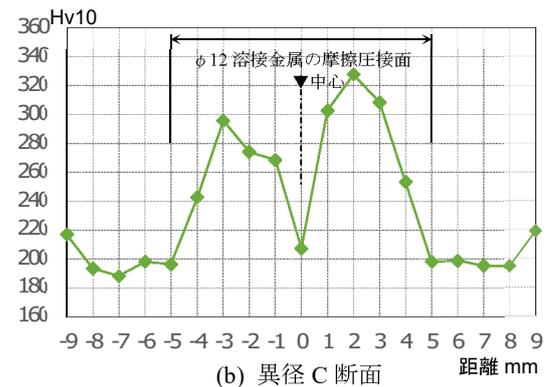
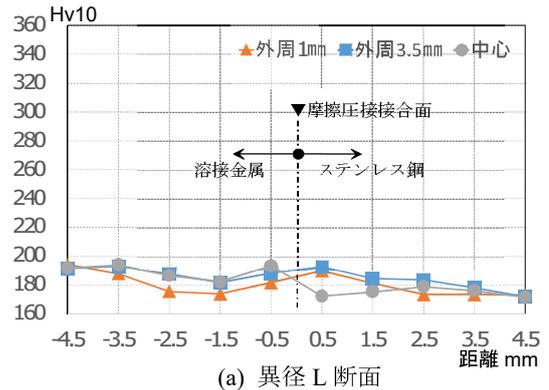


図3 硬さ試験結果(試験体2)

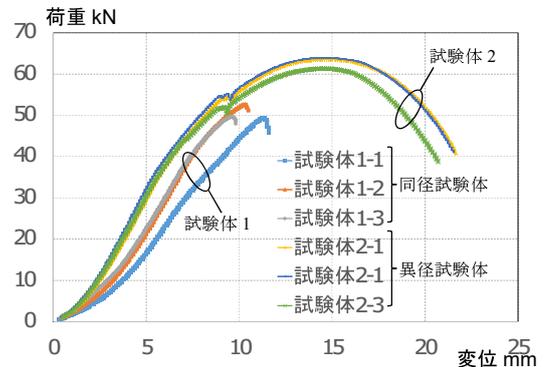


図4 引張試験結果



(a) 試験体1 (同径試験体)



(b) 試験体2 (異径試験体)

写真2 引張試験後の破壊面

*1 竹中工務店

*2 日建設計

*3 NTT ファシリティーズ

*4 日本建築総合試験所

*1 TAKENAKA Corporation

*2 NIKKEN SEKKEI LTD.

*3 NTT FACILITIES, INC.

*4 General Building Research Corporation of Japan