

溶接姿勢とルートギャップが荷重伝達型 十字溶接継手の疲労強度に及ぼす影響

貝沼重信¹・川本恭朗²・高松大輔²・山田健太郎³

¹正会員 博士(工学) 名古屋大学 助手 理工科学総合研究センター (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²学生会員 名古屋大学大学院 工学研究科 博士課程前期課程 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

³正会員 Ph.D. 名古屋大学大学院 教授 工学研究科土木工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

鋼橋の製作では、部材の加工や組立ての精度に起因して、十字すみ肉溶接継手の未溶着部にルートギャップが生じることがある。ルートギャップが生じると、すみ肉溶接ののど厚は外観ののど厚よりも小さくなる。そのため、のど厚断面に発生する応力範囲が大きくなり、疲労寿命が低下することがある。そこで、溶接姿勢とすみ肉溶接の溶込み深さ、未溶着部先端の形状や溶接欠陥の発生の有無について検討するため、ルートギャップを有する十字すみ肉溶接継手の溶接施工試験を行った。疲労試験を行うことで、ルートギャップ、および溶接姿勢が疲労挙動に及ぼす影響について検討した。これらの検討から、ルートギャップを3 mm以下とし、立向き下進溶接を用いない方が良い、などの結果が得られた。

Key Words : fatigue test, load-carrying fillet welded cruciform joints, welding position, root gap

1. はじめに

鋼橋には十字すみ肉溶接継手が多用されている。この溶接継手部の未溶着部には、部材の加工精度、組立て手順、溶接変形などにより図-1に示すようなルートギャップが生じる場合がある。このルートギャップを完全に無くすことや部材の仮付け後などに取除くことは、製作工程や製作技術の問題から困難とされる。

これまで、鋼橋の桁端の切欠きR部やゲルバーヒンジ部などでは、そのすみ肉溶接の止端部やルート部に典型的な疲労損傷が報告されている¹⁾。これらの損傷は、溶接部に高い応力集中が生じ、溶接部が荷重伝達型継手となるために発生するとされている¹⁾。溶接ルート部については、図-1に示すルートギャップにより実際ののど厚が外観上ののど厚に比べ小さくなることで、疲労損傷が生じる場合がある。

現行の道路橋示方書²⁾(以下、道示と呼ぶ)ではルートギャップが1 mmを超え、3 mm以下の場合には、その分だけ溶接脚長を増すことを要求している。また、3 mm以上のルートギャップが生じた場合には、開先を取り完全溶込み溶接を行うこととしている。しかし、実構造部材のルートギャップを精度良く測定し、道示の規定のように全てのすみ肉溶接部の脚長を増すことは、鋼構造物の製作上困難とされる。

これまで、ルートギャップに対する道示の対処が疲労強度に及ぼす影響を確認するため、ルートギャップを0~3 mmとした荷重伝達型十字溶接継手の疲労試験が行われている³⁾。その結果、ルートギャップが3 mm以下の場合には、道示のように脚長を増しても疲労強度に差がないことが確認されている。また、ルートギャップを0~5 mmまで変化させた十字溶接継手の疲労試験も行われ⁴⁾、ルートギャップが3 mm以下であれば、ルートギャップにより溶込み深さが大きくなるため、疲労強度が低下しないとの報告もある。

鋼橋は、水平溶接や立向き溶接など様々な溶接姿勢で製作される。溶接姿勢によって、ルートギャップ量が同じであっても、ルートギャップへのすみ肉溶接の溶込み量や未溶着部先端の形状が異なる。また、スラグ巻きみや溶接割れなどの溶接欠陥が生じる可能性もある。これらの場合には、実際ののど厚が外観ののど厚よりも小さくなる。そのため、ルートギャップの大きさのみを考慮して、疲労寿命を評価することはできない。しかし、これまでの研究では、溶接姿勢がルートギャップを有する十字すみ肉溶接継手の疲労挙動に及ぼす影響については検討されていない。

本研究では、水平、立向上進あるいは立向き下進溶接で、ルートギャップを0~5 mmとした荷重伝達

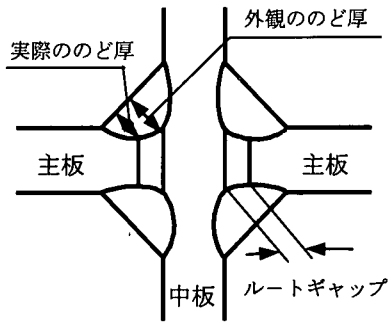


図-1 ルートギャップとのど厚

表-1 供試鋼材の化学成分および機械的性質

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)
0.15	0.39	1.40	0.13	0.07	395	553	28

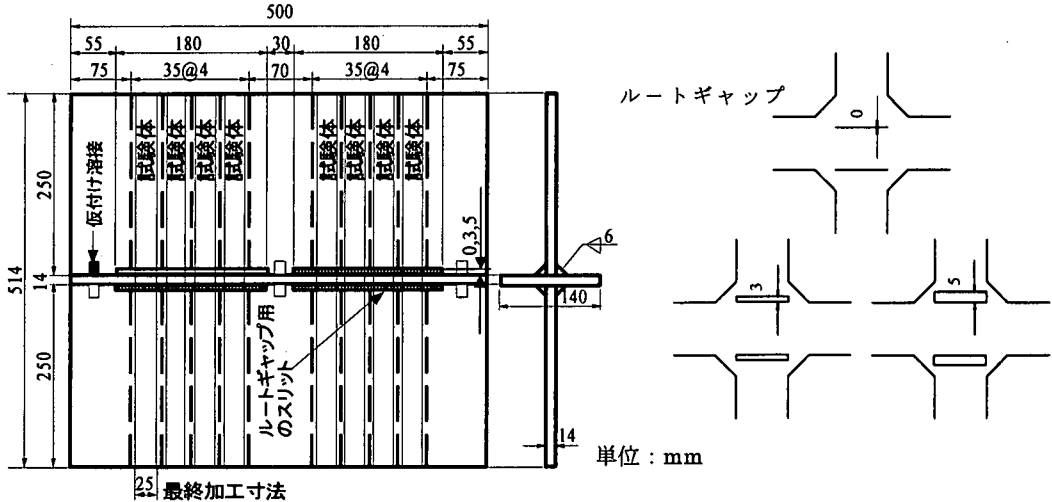


図-2 試験体の形状および寸法

型十字溶接継手を製作して、溶接施工試験を行う。この試験では、溶接姿勢やルートギャップによる未溶着部の先端の形状、溶込み深さや溶接欠陥の発生の有無を観察した。また、溶接姿勢とルートギャップが荷重伝達型十字溶接継手の疲労強度に及ぼす影響を明らかにするために、溶接施工試験で用いた試験体の疲労試験を行った。

2. 溶接施工試験

(1) 試験体の製作

供試鋼材は板厚 14 mm の溶接構造用鋼材 JIS SM49 0A である。その化学成分と機械的性質を表-1 に示す。試験体を切り出すための 1 ブロックの製作には、500 × 140 × 14 mm の鋼板 1 枚とルートギャップを 0, 3, あるいは 5 mm とするために材端に部分的な切欠き加工を施した 500 × 250 × 14 mm の鋼板 2 枚を用いた。これらの鋼板を図-2 に示すように十字に組み合わせ、その交差部を水平、立向き上進、あるいは立向き下進で CO₂ 半自動溶接によりすみ肉溶接することで、

計 9 種類の試験体用のブロックを製作した。

各試験体の溶接条件を表-2 に示す。G0-D および G5-H のブロックは 2 パスの溶接で製作した。また、G3-D および G5-D のブロックについては、3 パスで溶接し、これ以外のブロックは 1 パスで溶接した。なお、溶接サイズの目標値は、ルートギャップの有無に関わらず、いずれも 6 mm とした。試験体は各ブロックから図-2 に示すように 8 体ずつ切り出し、試験体の板幅が 25 mm となるように機械加工した。

(2) 観察結果

試験体のマクロ写真、および未溶着部先端近傍の顕微鏡写真の代表例を写真-1 に示す。

a) ルートギャップが 0 mm の場合

ルートギャップが 0 mm で水平溶接した G0-H 試験体の溶接ビードの表面は、比較的フラットであり、溶接の溶込み深さは 1 mm 程度である。なお、G0-H 試験体の表裏面の未溶着部先端には、それぞれ 1 mm 程度の大きさのスラグ巻込みが 4 ヶ所の内、2 ヶ所に生じていた。立向き上進溶接した G0-U 試験体の溶

表-2 溶接条件

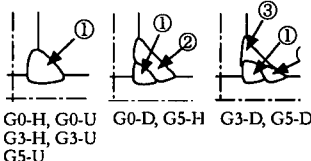
試験体	パス数	溶接材料※ (1.2φ)	1パス目			2パス目			3パス目		
			電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)
G0-H	1	水平用	250	38	38	-	-	-	-	-	-
G0-U	1	全姿勢用	180	30	14	-	-	-	-	-	-
G0-D	2	全姿勢用	250	32	55	250	32	64	-	-	-
G3-H	1	水平用	250	38	30	-	-	-	-	-	-
G3-U	1	全姿勢用	190	27	12	-	-	-	-	-	-
G3-D	3	全姿勢用	250	32	62	250	32	62	250	32	76
G5-H	2	水平用	250	38	24	250	38	38	-	-	-
G5-U	1	全姿勢用	190	27	12	-	-	-	-	-	-
G5-D	3	全姿勢用	250	32	70	250	32	76	250	32	72

G3-H

ルート
ギャップ

溶接姿勢

H: 水平
U: 立向き上進
D: 立向き下進



※水平用:

JIS Z3313 YFW-C50DM (MX-Z200)

全姿勢用:

JIS Z3313 YFW-C50DR (DW-Z100)

接形状は凸形、溶込み深さは約 2mm である。いずれの G0-U 試験体もスラグ巻き込みなどの溶接欠陥は、生じていない。G0-H 試験体のスラグ巻き込みが生じた未溶着部の先端以外は、G0-H および G0-U 試験体ともに、き裂状に鋭くなっている。立向き下進溶接した G0-D 試験体の溶接形状は、凹形となっている。また、溶込み不足のため、中板のコーナー部まで溶接が達しておらず、その未溶着部の先端には約 1 mm の大きさのスラグ巻き込みと融合不良が生じている。

b) ルートギャップが 3 mm の場合

ルートギャップが 3 mm で水平溶接した G3-H 試験体は、ルートギャップにすみ肉溶接が約 4 mm 溶込んでいる。また、中板側の未溶着先端部の形状は、中板に対して 60° 程度の角度をなしており、ルートギャップ 0 mm の試験体に比べ鈍化している。しかし、未溶着部先端には 2 mm 程度の融合不良があるため、この部分はルートギャップが無い場合の試験体のようにき裂状になっている。一方、G3-U 試験体では溶込み深さが 6 mm 程度となっている。また、未溶着部は円形状となっており、融合不良は見られない。

立向き下進溶接した G3-D 試験体の未溶着部は、G3-H とほぼ同様な形状になっているが、G3-H に比べ溶込みは約 1 mm と小さく、融合不良は約 2 mm と大きい。各試験体の溶接ビードは、ルートギャップにすみ肉溶接が溶込んだため、いずれもほぼ比較フラットになっている。

c) ルートギャップが 5 mm の場合

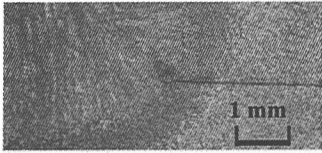
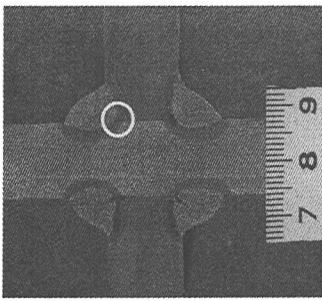
G5-H 試験体はルートギャップが大きいために、すみ肉溶接が約 6 mm ルートギャップに垂れ込んでいる。

また、試験体の表裏面の未溶着部先端には、それぞれ 4ヶ所の内、1ヶ所に 2 mm 程度の融合不良が生じている。G5-U 試験体は G5-H 試験体と同様にルートギャップにすみ肉溶接が 6 mm 程度垂れ込んでいる。また、未溶着部は半円形状となっている。立向き下進溶接した G5-D 試験体は、すみ肉溶接がルートギャップに約 4 mm 垂れ込んでいるが、1パス目のすみ肉溶接に高温割れが生じたことや 2 mm 程度の融合不良が生じたことからのど厚は、G0-H や G0-U に比べ小さくなっている。

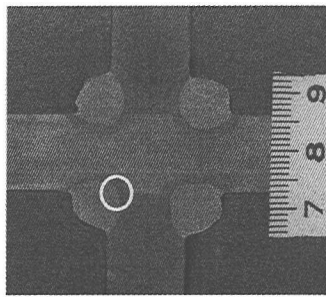
(3) 溶接姿勢とルートギャップが溶込み深さとの断面に及ぼす影響

溶接姿勢やルートギャップの大きさにより、溶込み深さは変化する。例えば、ルートギャップが比較的大きい場合でも、それ以上に溶込み深さが大きい場合には、実のど厚は減少しない。ルートギャップが生じることで溶込み深さが大きくなり、のど厚が増加する場合には、ルート破壊する場合の疲労寿命が向上し、止端破壊しやすくなる。そこで、まず、溶接姿勢とルートギャップが溶込み深さに及ぼす影響について検討した。

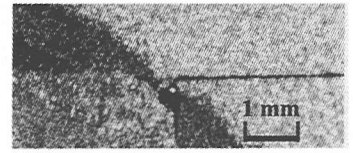
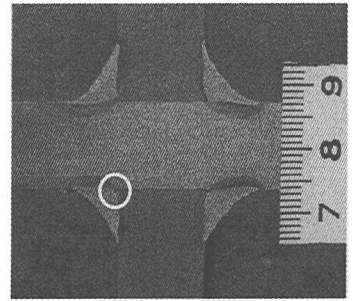
各試験体のルートギャップ g とすみ肉溶接の溶込み深さ p_w との関係を求めた。その結果を図-3(a) に示す。ルートギャップの有無によらず、立向き下進溶接の p_w は他の溶接姿勢に比べ、最も小さくなっており、立向き上進溶接については、 p_w が最も大きくなっている。 g が 3 mm の場合は 0 mm や 5 mm の場合の同じ溶接姿勢に比べ、 p_w が大きい。また、ルート



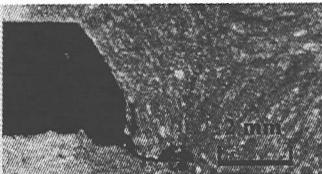
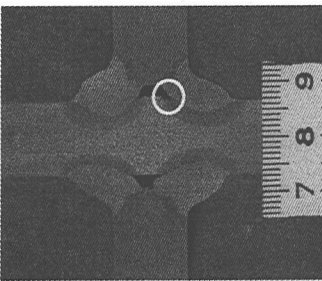
(a) G0-H 試験体



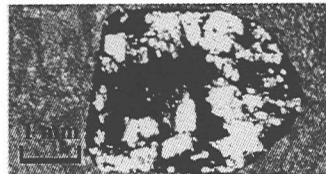
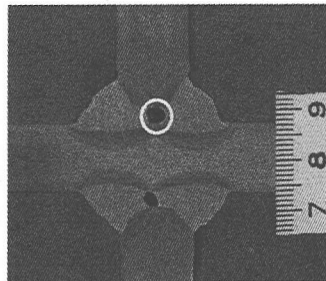
(b) G0-U 試験体



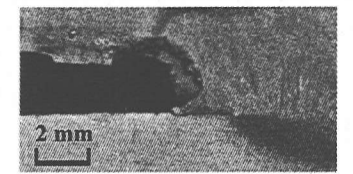
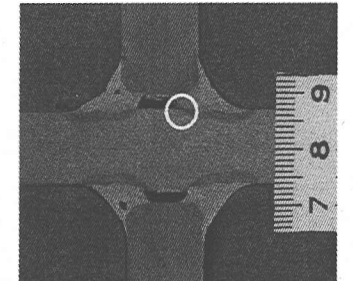
(c) G0-D 試験体



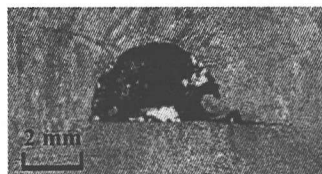
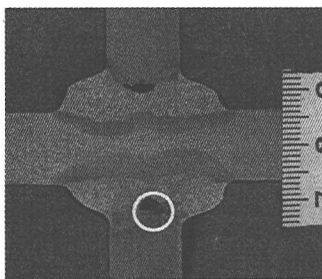
(d) G3-H 試験体



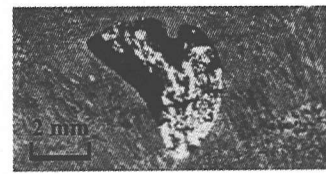
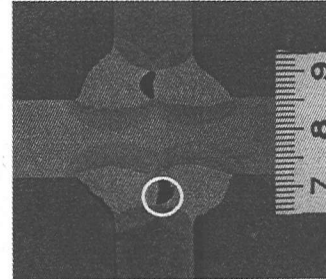
(e) G3-U 試験体



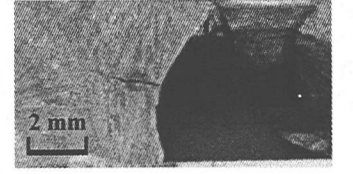
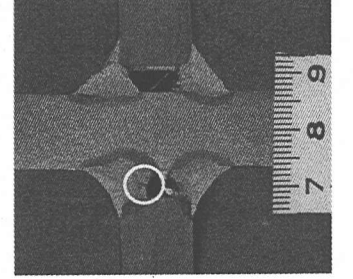
(f) G3-D 試験体



(g) G5-H 試験体

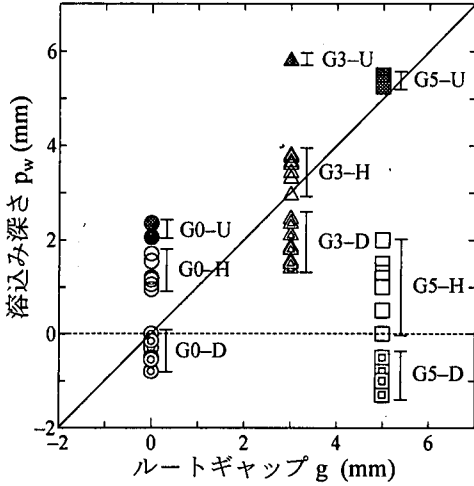


(h) G5-U 試験体

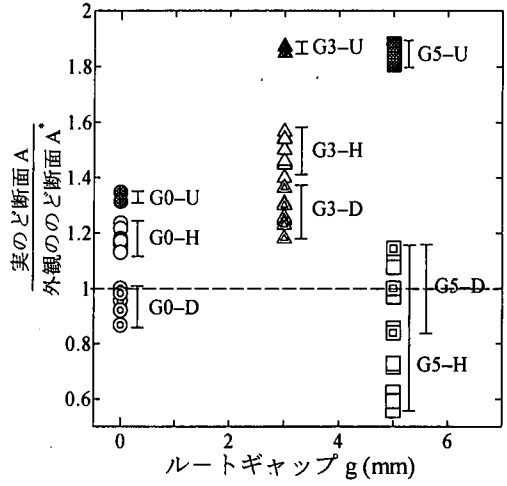


(i) G5-D 試験体

写真-1 試験体のマクロ写真, および未溶着部の先端近傍の顕微鏡写真

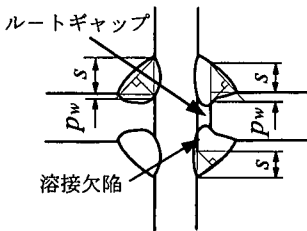


(a) ルートギャップと溶込み深さの関係

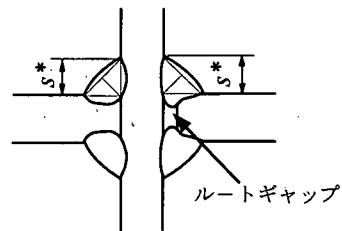


(b) ルートギャップと外観のど断面に対する実のど断面の比の関係

図-3 溶接姿勢とルートギャップが溶込み深さとど断面に及ぼす影響



(a) 実のど厚



(b) 外観のど厚

図-4 実のど厚と外観のど厚

ギャップを 0 mm として立向き下進溶接した場合、前述した未溶着部先端のスラグ巻き込みにより溶込み深さが負となっている。g が 5 mm で下進溶接した場合についても、写真-1(i) で示した溶接割れにより溶接内部の一部で溶込み深さが負となっている場合があった。g が 3 mm 以下で水平溶接あるいは立向き上進溶接した場合と g が 5 mm で立向き上進溶接した場合は、1 プロット以外は図中の実線の上側に位置している。これは、ルートギャップ量と同程度以上の溶込み深さとなっていることを示している。一方、これらの場合以外では、実線の下側にプロットが位置していることから、ルートギャップより溶込み深さが小さくなっている。

次に、溶接姿勢とルートギャップ g が実のど断面 A に及ぼす影響を検討した。g と外観のど断面 A* に対する A の比の関係を図-3(b) に示す。実のど断面と外観のど断面は、図-4 に示す溶接サイズと溶込み深さに基づき、次式を用いて算出した。なお、実のど断

面は、主板側と中板側のど断面のうち、小さい側の断面とした。

実のど断面：

$$A = (s + p_w) / \sqrt{2} \times W \times 2 \quad (1)$$

s : 溶接サイズ, p_w : 溶込み深さ,
W : 板幅(すみ肉溶接のビード長)

外観のど断面：

$$A^* = s^* / \sqrt{2} \times W \times 2 \quad (2)$$

s* : 外観上の溶接サイズ
W : 板幅(すみ肉溶接のビード長)

ルートギャップが 0 mm で立向き下進溶接した場合とルートギャップが 5 mm で水平溶接と立向き下進溶接した場合は、いずれも A/A* は 1.0 以下となっ

ている。したがって、ルートギャップが0 mmで立向き下進溶接とルートギャップが5 mmで水平および立向き下進溶接する場合には、実のど厚が外観のど厚よりも小さくなる場合もあると考えられる。

3. 疲労試験の方法

疲労試験には、動的能力 ± 245 kNの電気油圧サーボ式材料試験機を用いた。試験は溶接ルート部の圧縮残留応力⁵⁾の影響を受けないように、すなわち未溶着部が開口するように^{6),7)}下限荷重を29 kN(主版応力: 84 MPa)とした片振り引張荷重下で行った。荷重波形は正弦波、繰返し速度は10 Hzとした。

溶接ルート部には圧縮残留応力が生じていることが考えられる⁵⁾。そこで、各試験体の未溶着部の先端近傍における開閉口荷重を測定した。なお、試験体内部の残留応力を測定することは困難であること、疲労き裂は未溶着部先端から貫通き裂のように一様に進展することから⁵⁾、開閉口荷重を試験体の表裏面の未溶着部先端近傍について測定した。なお、開閉口荷重は、ゲージ長1.0 mmのひずみゲージを図-7に示すように未溶着部に貼付し、このひずみゲージから得られるひずみと載荷荷重の関係から求めた。

4. 疲労試験結果

(1) 疲労き裂の発生および進展状況

疲労試験した32体の内、30体はルート部からき裂が発生して破断し、残りの2体(G3-U試験体)は溶接止端部から破断した。試験終了後の試験体の破面の代表例を写真-2に示す。溶接ルート部から発生したき裂は、G0試験体は未溶着部の先端、G3試験体は中板側の未溶着部先端の融合不良から、ルートギャップの有無によらず未溶着部に対して10~20°の方向に進展した。また、G5-H試験体の疲労き裂は融合不良の先端から発生し、G5-D試験体については融合不良の先端に加えて溶接割れの先端からも発生した。G5-U試験体は半円形状の未溶着部から発生した。

G3-U試験体は、写真-1(e)で示すようにルートギャップに溶接が約6 mm溶込み、未溶着部が2 mm程度に小さくなった。また、未溶着部先端が円形状となっていた。これらにより、のど断面応力が小さくなり、応力集中が低減したことから、疲労き裂は溶接ルート部ではなく、止端部からき裂が発生した。

(2) 破断寿命 N_f

疲労試験結果を表-3に示す。なお、のど断面応力

は、式(1)および式(2)により算出した。

a) 主版断面応力で整理した場合

ここでは、ルート破壊と止端破壊した場合の疲労寿命を比較するため、主版断面(板厚 \times 板幅)の応力範囲で疲労試験データを整理した。その結果を図-5に示す。図中の破線は、G0-H試験体の試験結果の疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線を示している。

また、実線は日本鋼構造協会(以下、JSSCと呼ぶ)の疲労設計指針⁸⁾で示される十字溶接継手(非仕上げ、止端破壊)の強度等級Fと完全溶込みの十字溶接継手の強度等級Eである。この等級は、止端破壊する場合に適用できる。

ルートギャップが0 mmの場合の試験結果をみると、立向き上進溶接したG0-U試験体は、水平溶接のG0-Hよりも疲労強度が若干高い。これは、写真-1(a)と(b)で示したように、G0-U試験体の溶込み深さがG0-H試験体に比べ1 mm程度大きいためである。また、G0-H試験体の溶接ビードは比較的フラット(写真-1(a)参照)であるが、G0-U試験体では凸形となっているためである。すなわち、この溶接の余盛り部に応力が流入する分だけ未溶着部先端の応力集中が低減したためと考えられる。

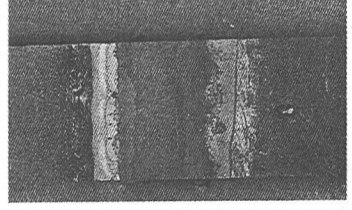
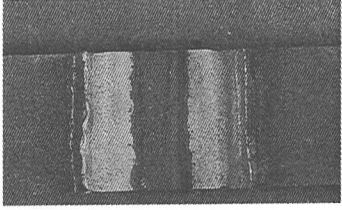
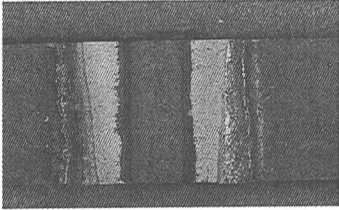
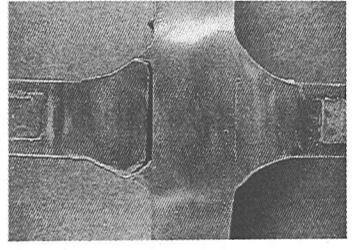
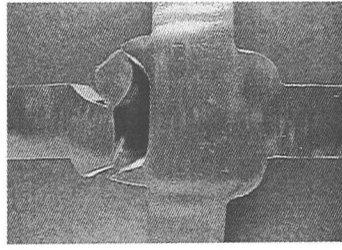
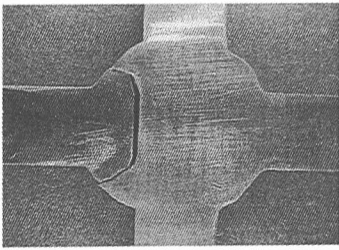
立向き下進溶接したG0-D試験体の疲労強度は、G0-H試験体に比べて低くなっている。この原因として、未溶着部先端のスラグ巻き込みにより実際の未溶着長さが長くなったこと、溶接形状が凹形となり、実のど厚が小さくなったことが考えられる。

ルートギャップが3 mmの試験体では、G3-U試験体は止端破壊した疲労寿命も止端破壊を規定したE等級以上となっている。これは前述したように、立向き上進溶接では、ルートギャップに溶接が約6 mm溶込み、のど断面が主版断面よりも大きくなったこと、その形状が円形状になったこと、によるものと考えられる。水平溶接した場合と立向き下進溶接した場合の疲労強度は同程度となっている。また、ルートギャップを3 mmとした試験体の疲労強度は、いずれもG0-H試験体の疲労強度よりも高い。

ルートギャップが5 mmの場合も立向き上進溶接した3 mmの場合と同様にG5-U試験体の疲労強度は、高く、E等級程度の疲労強度となった。G5-H試験体については、G0-H試験体と同程度であった。また、下進溶接したG5-D試験体では、1パス目のすみ肉溶接に溶接割れや融合不良が生じ、のど厚が他の試験体に比べ小さくなっていた。このため、疲労強度は最も低くなっている。

b) のど断面応力で整理した場合

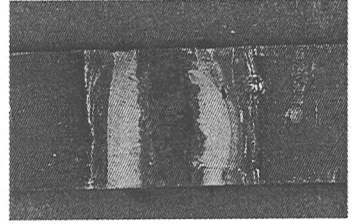
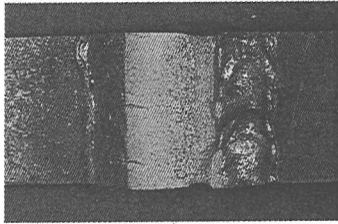
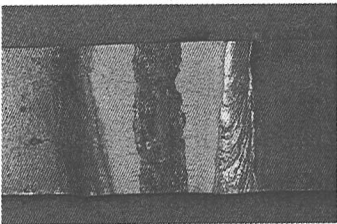
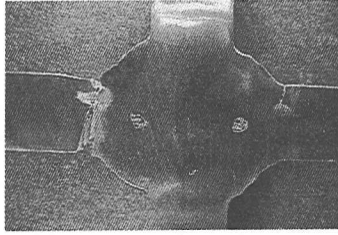
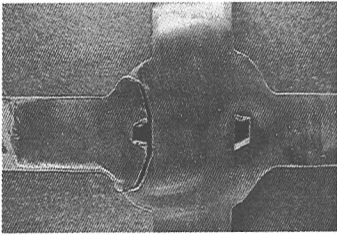
ここでは、ルート破壊の試験結果をのど断面応力



(a) G0-H 試験体

(b) G0-U 試験体

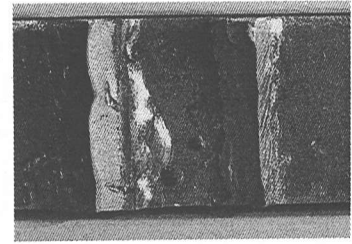
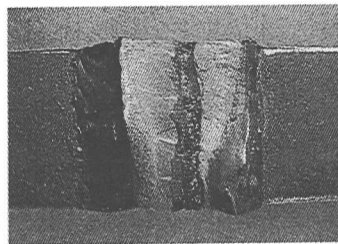
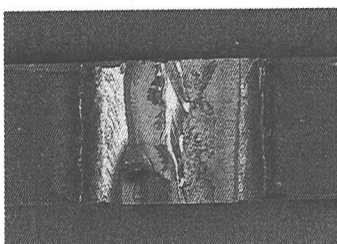
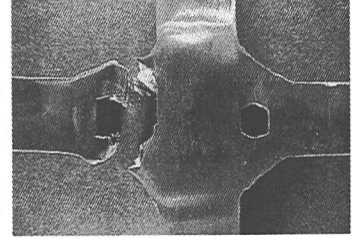
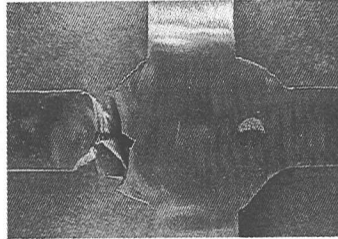
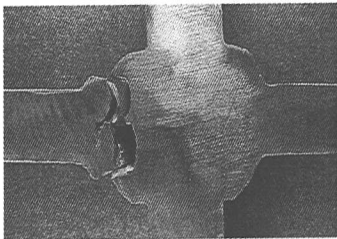
(c) G0-D 試験体



(d) G3-H 試験体

(e) G3-U 試験体

(f) G3-D 試験体



(g) G5-H 試験体

(h) G5-U 試験体

(i) G5-D 試験体

写真-2 試験終了後の試験体の破面

表-3 疲労試験結果

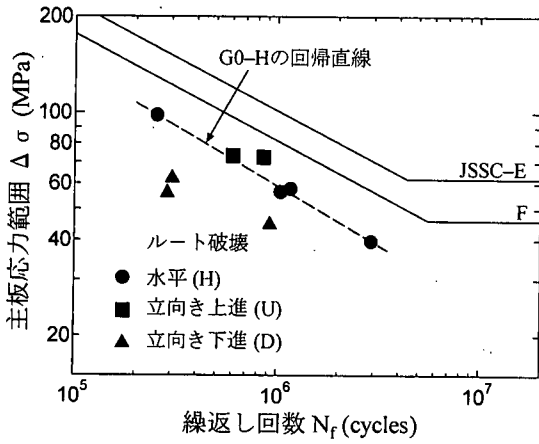
試験体	主板 応力範囲 $\Delta\sigma$ (MPa)	のど断面応力範囲 $\Delta\sigma$ (MPa)		破断寿命 $N_f (\times 10^3)$ (cycles)	破壊 起点
		実のど断面	外観のど断面		
G0-H-3	98	110	137	255	ルート
G0-H-4	56.5	70.5	81	1,038	ルート
G0-H-6	58	72	85	1,169	ルート
G0-H-9	39.5	47	56	2,927	ルート
G0-U-4	73	84.5	106	602	ルート
G0-U-6	72	81	99	851	ルート
G0-D-3	56	97	86	287	ルート
G0-D-4	62	100	96	303	ルート
G0-D-5	45	68	53	919	ルート
G0-D-6	34	45	44	4,199	ルート
G3-H-3	73	64	91	1,313	ルート
G3-H-4	72	67	99	1,181	ルート
G3-H-8	106	101	148	320	ルート
G3-H-10	107	100	156	488	ルート
G3-U-5	136	—	—	1,036	止端
G3-U-6	134	—	—	1,123	止端
G3-D-2	106	123	153	373	ルート
G3-D-3	78	86	112	1,252	ルート
G3-D-5	79.5	86	123	1,368	ルート
G3-D-5	78	95	117	1,368	ルート
G3-D-6	106	114	138	211	ルート
G5-H-1	62	80	78	651	ルート
G5-H-3	77	95	99	313	ルート
G5-H-4	45	51	60	2,530	ルート
G5-H-5	78	99	98	308	ルート
G5-U-2	134	113	208	651	ルート
G5-U-6	135	114	210	894	ルート
G5-D-1	56	96	80	709	ルート
G5-D-3	44	85	62	983	ルート
G5-D-5	45	80.5	52	1,299	ルート
G5-D-6	56	107	57	451	ルート
G5-D-11	45	85	60	924	ルート

により整理した結果を図-6 に示す。図中の実線は JSSC 疲労設計指針⁸⁾の荷重伝達型十字すみ肉溶接継手がルート破壊する場合の強度等級 H を示している。なお、各試験体ののど断面応力は、式(1)を用いて算出した。G5-D 試験体については、溶込み深さが他の試験体のように板幅方向で様ではないため、破断した断面からのど断面積を算出した。

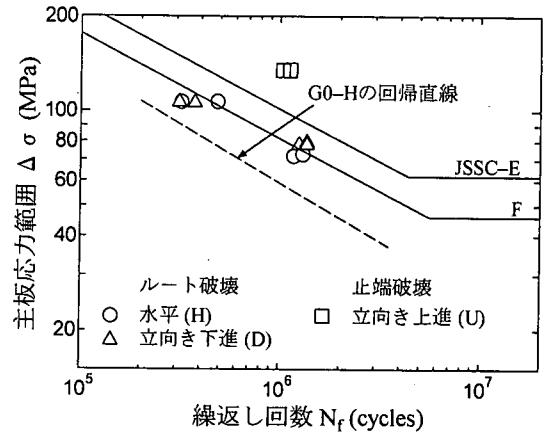
未溶着部の先端近傍における開閉口荷重の測定結果の一例を図-7 に示す。G0-H 試験体の未溶着部先端の開閉口荷重は、疲労試験に用いた下限荷重よりも小さい。一方、G3-D 試験体では、開閉口荷重が 36 kN であることから、下限荷重を 6 kN 上回っている。したがって、6 kN に相当する応力範囲分だけ溶接ルート部の圧縮残留応力によって応力範囲が減少したため、疲労強度が高くなったと考えられる⁹⁾。なお、G5-D 以外の試験体については、未溶着部の開閉口荷

重はいずれも下限荷重を下回っていた。前述の未溶着部の開閉口荷重を考慮して、G3-D 試験体の試験結果を有効応力範囲 $\Delta\sigma_{eff}$ により再整理した。その結果、いずれの試験体の疲労強度も溶接姿勢やルートギャップの大きさによらず、JSSC-H 等級より長寿命側にある。また、これらの疲労強度は、疲労き裂の発生起点となった溶接欠陥の有無や種類によらず G0-H 試験体と同程度になっている。

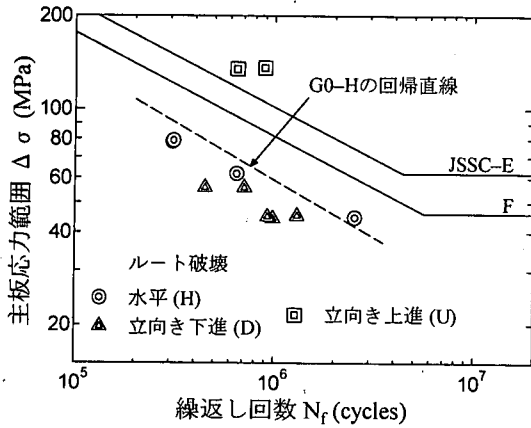
実構造物では、すみ肉溶接のルート部への溶込み深さや溶接欠陥の有無を非破壊検査などにより精度良く測定することは困難である。そこで、図-4(b)で示した外観ののど厚によるのど断面応力を用いて試験データを整理した。その結果を図-6(b)示す。G0-U 試験体とすべての G3 試験体の疲労強度は、G0-H 試験体の回帰直線と同程度以上になっている。しかし、G0-D、G5-D および G5-H 試験体の疲労強度は、



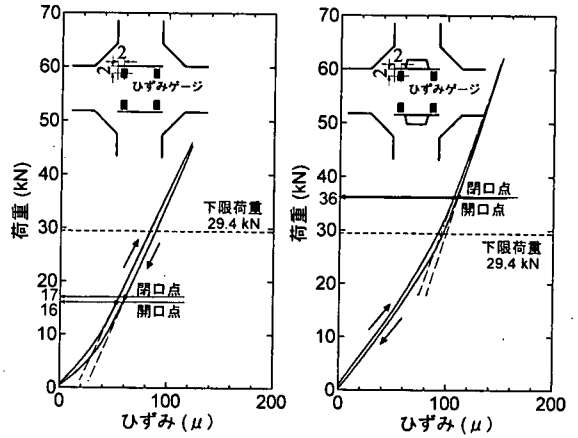
(a) ルートギャップ 0 mm



(b) ルートギャップ 3 mm



(c) ルートギャップ 5 mm

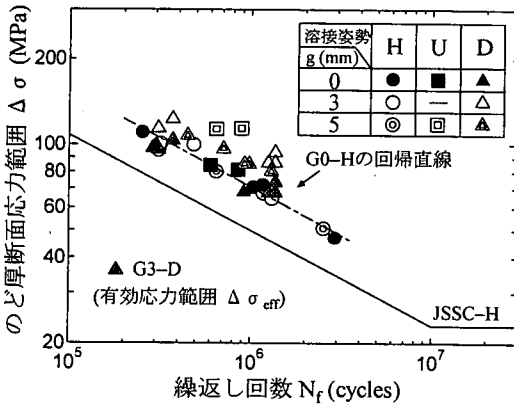


(a) G0-H 試験体

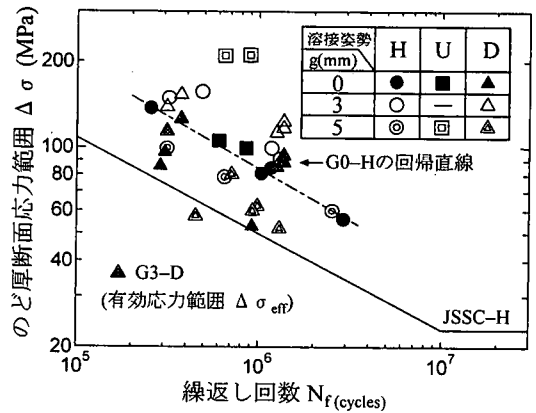
(b) G3-D 試験体

図-5 主板断面応力で整理した疲労試験結果

図-7 未溶着部の先端近傍の開開口荷重



(a) 溶込みを考慮したのど厚断面で整理した場合



(b) 外観ののど厚断面で整理した場合

図-6 のど厚断面応力で整理した疲労試験結果

写真-1 で示したルートギャップやスラグ巻込みにより外観のど厚が減少したため、G0-H 試験体よりも低くなっている。特に、5 体の G5-D 試験体の内、1 体の疲労強度は JSSC の H 等級よりも低くなっている。これは、写真-1 (i) で示した溶接割れが他の試験体よりも大きいため、実のど厚が最も小さくなったことが原因として考えられる。

実構造部材の十字溶接継手部では、溶込み深さと溶接欠陥などを正確に把握できないため、ルートギャップを 3 mm 以下として、立向き下進溶接を用いないことが望ましい。また、本試験結果からルートギャップが 3 mm 以下であれば、疲労強度上、ルートギャップに対する道路橋示方書の脚長を増す必要はないものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、溶接姿勢による未溶着部の形状、および溶接欠陥などを観察するために、ルートギャップを 0, 3 あるいは 5 mm とし、水平、立向き上進および立向き下進溶接により荷重伝達型十字すみ肉溶接継手を製作し、溶接施工試験を行った。また、溶接姿勢およびルートギャップが疲労挙動に及ぼす影響を明らかにするために、溶接施工試験で用いた試験体の疲労試験を行った。

本研究で得られた主な結果を以下に示す。

- (1) ルートギャップを 3 mm 以下とし、水平溶接あるいは立向き上進溶接ですみ肉溶接を行えば、ルートギャップより大きな溶込み量が確保できるものと考えられる。しかし、ルートギャップが 5 mm の場合や立向き下進溶接する場合には、溶込み深さがルートギャップの大きさに比べ小さくなることから、溶接脚長を増すことや完全溶込み溶接をするなどの対処が必要となる。
- (2) ルートギャップが無い場合に立向き下進溶接すると、溶接欠陥により水平溶接や立向き上進溶接した場合に比べて実のど厚が小さくなるため、疲労寿命は短くなる。また、ルートギャップが 3 mm の場合については、立向き下進溶接と水平溶接した場合の疲労寿命は同程度となる。ルートギャップが 5 mm に下進溶接すると、融合不良や溶接割れが生じるため、水平溶接や立向き上進溶接した場合に比べて疲労寿命は短くなる。

- (3) 溶接の溶込みを考慮したのど断面応力範囲で疲労強度を評価すれば、ルートギャップの有無や溶接姿勢によらず疲労強度は同程度になる。
- (4) 外観上のすみ肉溶接ののど断面で疲労強度を評価すれば、ルートギャップが 3 mm 以下で水平、あるいは立向き上進溶接した場合には、ルートギャップの有無によらず JSSC の H 等級で評価できる。しかし、ルートギャップが 5 mm の場合や下進溶接した場合には、疲労強度は H 等級以下になる。
- (5) ルートギャップが 3 mm 以下の場合に、水平溶接あるいは立向き上進溶接すれば、溶接サイズを増す必要はないものと考えられる。
- (6) 実構造部材の十字溶接継手では、そのルートギャップを 3 mm 以下とし、溶接欠陥や溶込み不足によりのど厚を減少させる立向き下進溶接は用いない方がよいものと考えられる。

謝辞：本研究は平成 11 年度文部省科学研究費 奨励研究 (A) の補助金を用いて実施した。試験体の作製に際し、(株)東京鐵骨橋梁の田中雅人氏に多大な御協力を頂いた。また、疲労試験を行うにあたり、研究当時名城大学学部生であった後藤秀直氏 (現 瀧上工業)、水谷達也氏 (現 オリエンタル建設) に御協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：鋼橋の疲労，丸善，1997。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1990。
- 3) 三木千壽，范恒達，田中雅人：隅肉溶接部の疲労強度とルート部の欠陥について，構造工学論文集，Vol. 36A，pp. 959-966，1990。
- 4) 日本造船研究協会：第 127 研究部会 船殻部材歪量の船体強度に及ぼす影響に関する研究 報告書，研究資料 No. 189，1974。
- 5) 貝沼重信，森猛，一宮充：十字すみ肉溶接継手のルート部から発生する疲労亀裂の進展性状，鋼構造論文集，Vol. 4，No. 14，pp. 1-8，1997。
- 6) 森猛，貝沼重信，三木千壽：荷重伝達型十字すみ肉溶接継手ルート破壊の疲労強度解析，構造工学論文集，Vol. 39A，pp. 937-946，1993。
- 7) 森猛，貝沼重信：荷重伝達型十字すみ肉溶接継手・ルート破壊の疲労強度評価方法の提案，土木学会論文集，No. 501/I-29，pp. 95-102，1994。
- 8) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993。

(1999. 7. 8 受付)

INFLUENCE OF WELDING POSITION AND ROOT GAP ON FATIGUE STRENGTH OF LOAD-CARRYING FILLET WELDED CRUCIFORM JOINTS

Shigenobu KAINUMA, Yasuaki KAWAMOTO, Daisuke TAKAMATSU
and Kentaro YAMADA

In fillet welded cruciform joints, root gaps are unavoidable due to fabrication tolerance, weld deformation, etc. Eliminating such root gaps is not feasible in economical viewpoint. The root gaps reduce the weld throat, and hence reduce fatigue strength of such detail. Fatigue tests were carried out on load-carrying fillet welded cruciform joints with root gaps of 0, 3 or 5 mm. They were welded in flat, upward or downward vertical welding positions. The influence of welding position and root gap on the fatigue strength of the welded joints were investigated.