

疲労強度向上のための スカラップ改良ディテール

三木千壽¹・館石和雄²・梶本勝也³

¹フェロー 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

²正会員 工博 東京工業大学講師 工学部土木工学科(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

³正会員 工博 三菱重工業(株)広島研究所(〒733 広島県西区観音新町4-6-22)

溶接構造部材のスカラップディテールの疲労強度改善を目的として、スカラップ形状、溶接形状を変えた試験体による疲労試験を行った。その結果、通常のスカラップディテールと比較して、溶接をスカラップ手前で止め端部を仕上げたディテール、およびスカラップを溶接により埋め戻したディテールの疲労強度が高いことが明らかとなった。

KeyWords: fatigue, welded joint, cope hole, stress concentration

1. はじめに

溶接構造部材の中には、複数の方向からの溶接線が重なる箇所が多数存在する。このような溶接線交差部では、施工上の理由や欠陥の発生防止などを目的としてスカラップが設けられるのが通常である。スカラップ部では、それがあけられることによる局部的な剛性の低下により応力集中が生じることや、スカラップに挟まれた領域に面外変位が誘起されることなどから疲労上の弱点となりやすく、実構造物での疲労損傷も多い^{1), 2)}。特にスカラップのある位置にせん断力が作用するときには疲労強度が著しく低いことが明らかにされている³⁾。また、複数の溶接線による残留応力が重ね合わさることにより、その分布や方向などの点において非常に複雑な残留応力場となっていることが予想される。

これまでスカラップの形状や大きさは、回し溶接や裏当て溶接などを行うための施工条件から経験的に定められてきた。しかしそスカラップ部での疲労損傷が目立っていることや、近年の溶接技術の向上や自動化などを考えると、スカラップの形状やその必要性などについて疲労強度の観点から検討しておく必要がある。また、スカラップは実構造部材において多数設けられるのが通常であることから、スカラップの形状やその周辺での溶接処理はできる限り簡易に行えることが望ましい。そこで、容易に施工可能であると思われるスカラップ形状、溶接形状を有する試験体を製作し、それに対して疲労試験を行うことにより、簡易でかつ疲労強度上有利なスカラップディテールについて実験的に明らかにした。

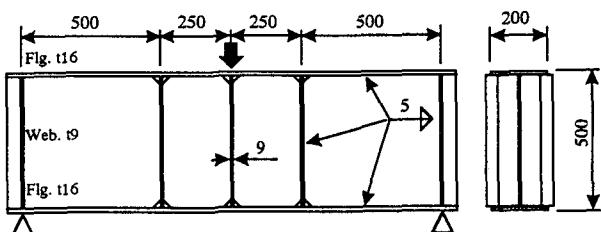


図-1 試験体Aの全体形状

2. 試験体および疲労試験方法

試験材は表-1に示す化学成分・機械的性質のSM490YA材である。製作した試験体は大きく分けて2タイプである。図-1に試験体Aの形状、寸法を示す。これは部材の交差部をモデル化したものであり、交差部材のウェブを模した板が試験体ウェブに直角に貫通しており、これにより部材交差部に生じている複雑な溶接残留応力場を再現することをねらったものである。交差部の上下においてはウェブに10mmのコーナーカットを設けている。切欠きの形状を、通常用いられる円形ではなく直線としたのは、製作や溶接の自動化などの点からできるだけ簡易な形状とすることを目指したことによる。切欠き部周辺での溶接線の処理法は図-2に示すような3タイプとした。A-1試験体ではスカラップ部の手前10mm位置で溶接を打ち切り、溶接端部から20mmの範囲をグラインダーにより仕上げた。A-2試験体ではスカラップの周に沿って連続的に溶接を施した。これは溶接の施工性と自動化を念頭において設計したものである。A-3試験体ではスカラップを

表-1 試験材の化学成分・機械的性質

鋼種	板厚 (mm)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	C $\times 10^2$	Si $\times 10^2$	Mn $\times 10^2$	P $\times 10^3$	S $\times 10^3$
SM490YA	9	404	551	22	17	35	129	18	4
SM490YA	16	441	559	25	16	40	124	14	3

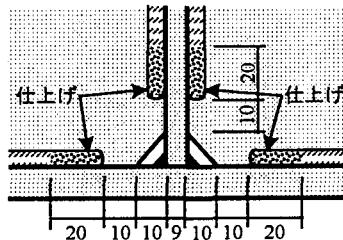


図-2-a A-1 試験体

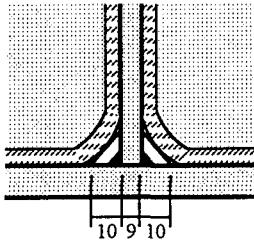


図-2-b A-2 試験体

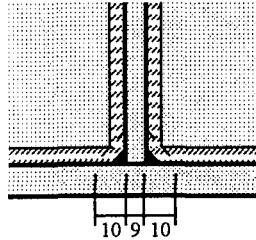


図-2-c A-3 試験体

図-2 試験体Aのスカラップ部の詳細

溶接で埋戻している。

B試験体はスカラップを溶接で埋め戻した場合の疲労強度について詳細に調べるために用意したものである。B試験体の全体形状を図-3に示す。また、スカラップ近傍の詳細を、埋め戻し溶接の施工前と後に分けて図-4に示す。図-3中のLは詳細図に示すようにスカラップの長さである。ウェブ上下に高さ5mm、長さ50~80mmの4種類のスカラップを設け、それを溶接で埋め戻している。B試験体ではウェブを貫通する板は設けておらず、ウェブと交差板との溶接部の疲労強度は検討の対象としていない。しかしウェブおよびフランジ上には部材交差部での溶接を想定してあらかじめ溶接ビードを置き、溶接残留応力状態が部材交差部でのそれと同じ条件になるよう配慮しており、これによってスカラップのフランジ側終端部からの疲労き裂発生の可能性について検討を行うことを目的としている。

疲労試験は最大能力±50tonfの電気油圧サーボ式疲労試験機を用いて行った。載荷は3点曲げとし、下限荷重1tonf、荷重範囲は40または45tonf、繰返し速度は1~2Hzである。

3. 疲労試験結果

(1) き裂発生状況

疲労き裂の発生状況を図-5に示す。なお、いずれの試験体でも載荷板直下の上フランジ付近には特異な疲労き裂が発生したが、このき裂については検討の対象外としている。試験体Aではいずれの疲労き裂もスカラップ周辺の溶接部から発生し、その進展方向によつ

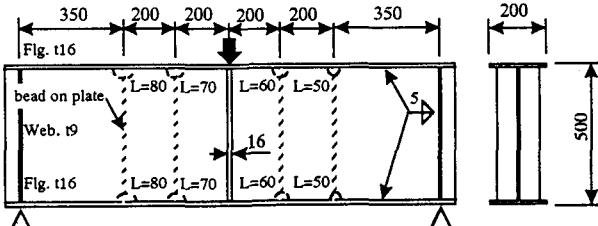
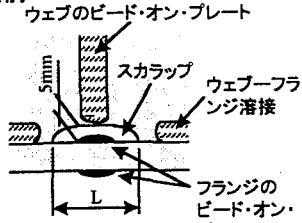


図-3 試験体Bの全体形状

埋戻し溶接前



埋戻し溶接後

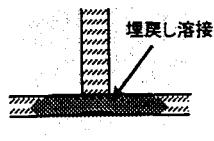


図-4 試験体Bのスカラップ部の詳細

て、交差板とウェブとの溶接線内を進展したものと下フランジ内を進展したものの2タイプに大別することができる。ここでは、交差板とウェブとの溶接線内に

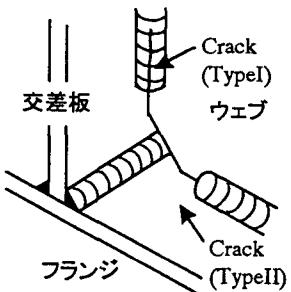


図-5-a A-1試験体

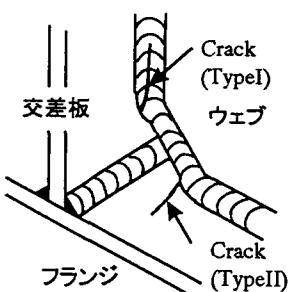


図-5-b A-2試験体

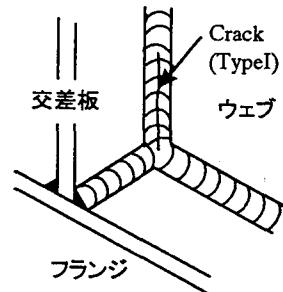


図-5-c A-3試験体

図-5 疲労き裂の発生性状

表-2 疲労試験結果

試験 体名	き裂 種別	公称 応力 (MPa)	繰返 回数 ($\times 10^4$)	き裂発生 位置 ^{注)}
A-1	I	76.1	135	支間中央
	II	76.1	135	支間中央
	II	76.1	111	支間中央
A-2	I	50.8	96	250mm 位置
	I	50.8	60	250mm 位置
	I	50.8	45	250mm 位置
	I	76.1	26	支間中央
	I	76.1	40	支間中央
	I	50.8	45	250mm 位置
	II	50.8	96	250mm 位置
	II	50.8	70	250mm 位置
	II	76.1	70	支間中央
	II	76.1	50	支間中央
	II	50.8	45	250mm 位置
A-3	I	76.1	160	支間中央
	I	76.1	180	支間中央
B	-	62.8	(420)	き裂なし

注)「支間中央」:支間中央のスカラップ

「250mm 位置」:支間中央から 250mm 位置のスカラップ

進展したき裂を TypeI, 下フランジ内を進展したき裂を TypeII として区別することとする。TypeI のき裂は非常に進展速度が早く、このき裂が概ね 100mm 程度進展した時点で疲労試験を終了した。

A-1 試験体では載荷点直下の引張側スカラップで TypeI と TypeII のき裂がともに発生し、交差板とウェブとの溶接部および下フランジ内に進展した。A-2 試験体では溶接線を折り曲げた箇所から TypeI および TypeII

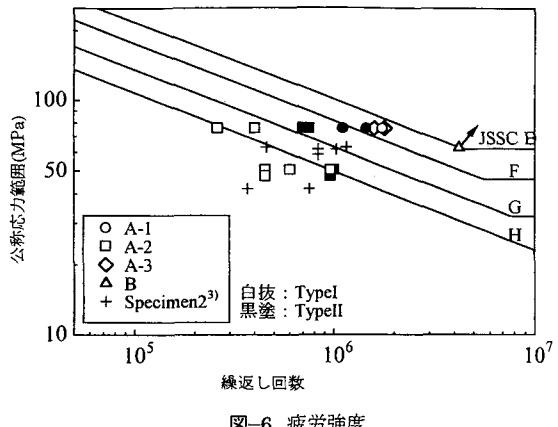


図-6 疲労強度

のき裂が発生した。A-3 試験体では交差板とウェブとの溶接線上に TypeI のき裂が観察され、これは溶接ルート部から発生、進展したものであると思われる。B 試験体ではき裂の発生は見られず、420 万回載荷後に試験を終了した。

(2) 疲労強度

表-2に疲労試験結果の一覧を、図-6にき裂長 10mm 時点での繰返し回数と公称応力範囲の関係を示す。ここで公称応力範囲は、フランジの内側（ウェブ溶接側）表面での値である。図中には既報³⁾の Specimen2 の疲労試験結果とともに示した。Specimen2 は通常のスカラップディテールをモデル化したものであり、本試験体と比較して全体形状はフランジ幅を除いて同一であるが、交差部のスカラップは半径は 25mm～50mm の円形である。

連続溶接を施した A-2 試験体において、交差板とウェブの溶接部に発生した TypeI のき裂についてみると、疲労強度は非常に低く、JSSC 疲労設計指針⁴⁾で規定されて

いる最低の強度等級であるH等級を下回っている。また、通常のスカラップディテールをモデル化したSpecimen2試験体の疲労強度とほぼ同程度である。A-2試験体の下フランジに発生したTypeIIのき裂については、それよりもやや疲労強度が高いものの、JSSCのH等級程度の位置にばらついている。これらのことから、A-2試験体の疲労強度は通常のスカラップディテールと同等であり、これによる改良効果はほとんどないといえる。

図-6中、公称応力が76.1MPaのデータは支間中央のスカラップに発生したき裂、50.8MPaのデータは支間中央から250mm位置のスカラップに発生したき裂についての結果であるが、TypeI,IIのそれぞれのき裂に着目すると、支間中央のスカラップよりも、支間中央から250mm離れた位置のスカラップでの疲労強度の方が低い傾向にある。これは既報³⁾に示したように、支間中央から離れたスカラップの方がせん断力と曲げモーメントの比が大きいことによるものと考えられる。

スカラップの手前で溶接を止めたA1試験体の疲労試験結果はほぼF等級の強度曲線上にあり、Specimen2, A-2試験体よりはかなり疲労強度が高い。

A-3試験体およびB試験体においてはスカラップのフランジ側溶接端部からの疲労き裂(TypeII)は発生しなかったことから、少なくともJSSCのE等級程度以上の疲労強度であると考えられる。また、A-3試験体において交差板とウェブとの溶接部にTypeIのき裂が発生したが、疲労強度は他の試験体よりも高く、JSSCのF等級程度となっている。すなわち、スカラップを埋め戻したディテールでは、スカラップのフランジ側溶接端部からのき裂発生の可能性は低くなるといえ、また、ウェブと交差板の溶接部からは疲労き裂発生の恐れがあるが、埋め戻していないディテールの疲労強度と比べると改良効果があることがわかる。

以上より、スカラップの手前で溶接を止めその終端部を仕上げるディテール、またはスカラップを溶接により埋戻すディテールとすることでスカラップディテールの疲労強度が改良でき、その改良効果はほぼ同程度であることが明らかとなった。ただし、スカラップの手前で溶接を止めるディテールではウェブとフランジの未溶接部分が残ることから、そこへの滯水防止など

について別途配慮する必要がある。

4. まとめ

溶接構造部材のスカラップディテールの疲労強度改善を目的として、スカラップ形状、溶接形状を変えた試験体による疲労試験を行った。検討したディテールは、溶接をスカラップ手前で止め端部を仕上げたもの、溶接をスカラップに沿って連続させたもの、およびスカラップを溶接により埋め戻したもの3タイプである。疲労試験の結果、次のことが明かとなった。

1. 連続溶接を施したディテールの疲労強度は非常に低く、JSSCのH等級を下回っている。これは通常のスカラップディテールの疲労強度とほぼ同程度であり、この方法による疲労強度改良効果はない。
2. スカラップの手前で溶接を止め、端部を仕上げたディテールの疲労強度は通常のスカラップディテールと比較してかなり高く、JSSCのF等級程度である。ただし、このディテールではウェブとフランジの未溶接部分が残ることから、そこへの滯水などについて別途配慮する必要がある。
3. スカラップを埋め戻したディテールの疲労強度は通常のスカラップディテールと比較して高く、明確な改良効果が得られた。このディテールではスカラップのフランジ側溶接端部からのき裂発生の可能性は低い。ウェブと交差板の溶接部からは疲労き裂発生の恐れがあるが、埋め戻していないディテールと比べると疲労強度は高い結果となった。

参考文献

- 1) 三木千壽, 坂野昌弘, 館石和雄, 福岡良典: 鋼橋の疲労損傷データベースの構築とその分析, 土木学会論文集第392号, 1988.4.
- 2) 岩崎雅紀, 名取暢, 深沢誠, 寺田博昌: 鋼橋の疲労損傷事例と補修・補強対策, 横河橋梁技報, No.18, 1989.
- 3) 三木千壽, 館石和雄, 石原謙二, 梶本勝也: 溶接構造部材のスカラップディテールの疲労強度, 土木学会論文集, No.483/I-26, 1994.
- 4) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説: 技報堂, 1993.

(1997.1.31 受付)

COPE HOLE DETAILS FOR IMPROVING FATIGUE STRENGTH

Chitoshi MIKI, Kazuo TATEISHI and Katsuya KAJIMOTO

Altered cope hole details for improving fatigue strength were proposed and their effects were examined by fatigue tests. It was shown that the detail in which the weld was quitted near the corner of cope hole and the end of welded bead was finished by grindings, and the detail in which cope hole was filled up with welded bead, had higher fatigue strength than conventional cope hole details.