

3. 鋼橋の耐久性向上に関わる取組について

(1) 溶接部の止端仕上げ形状と仕上げ方法

製作小委員会 溶接技術部会

村上 貴紀 山田浩二 大前 暢
鈴木 俊光 綿谷 剛

1. はじめに

近年、鋼道路橋においては自動車交通量の増加と過積載等の影響により、溶接接合部において多数の疲労亀裂が確認されている。このことより、道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 (2002年)¹⁾において鋼橋の耐久性の向上を図るために疲労の影響を考慮することが規定され、さらに、2012年には道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編²⁾および鋼構造物の疲労設計指針・同解説³⁾の改訂により、鋼橋における疲労設計が充実化された。

疲労強度の向上が必要となる場合、もしくは予防保全的に疲労強度の向上を図る場合において、一般的にグラインダーによる溶接部の止端仕上げが適用されるが、施工方法、仕上げ程度の基準化、明確化がまだ十分な状況にはなく、施工者の経験的な判断により施工されることが多かった。

そこで、当部会では溶接部の止端仕上げに着目し、止端仕上げの施工方法や仕上げ程度の明確化、注意点を施工的な観点からまとめ、より実際の施工に即した「溶接止端仕上げの手引き」を作成するとともに、本文において本手引きの概説を行うものである。

なお、止端仕上げ形状等についてはこれまで明確ではなかったが、「道路橋示方書・同解説II 鋼橋編」では止端仕上げの曲率半径は3mm以上と規定され、また、図-1は(社)日本橋梁建設協会としてこれまでに実施した面外ガセット溶接継手における止端曲率半径が3mm以上の場合の疲労試験データであり、疲労強度等級が非仕上げよりも1等級向上していることが確認されている。

2. 止端仕上げの適用箇所

「道路橋示方書・同解説」では、1) 横突合せ溶接継手、2) 十字溶接継手、3) ガセット溶接継手等が溶接部の止端仕上げを行うことで疲労強度の向上が図られるとされている。手引きで対象とした継手形状は、面外ガセットおよび十字継手(荷重伝達型、荷重非伝達型)とした。面外ガセット継手としては、水平補剛材、

横桁の仕口(多主桁の外主桁に取り付けられるもの)など、十字継手としては横桁の仕口(多主桁の中間主桁に取り付けられるもの)、橋脚隅角部の梁・柱接合部などがあり、写真-1に適用継手の事例を示す。

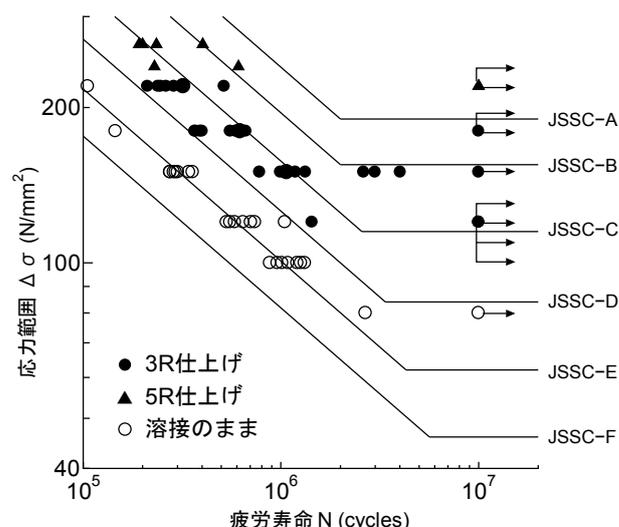


図-1 グラインダーによる止端曲率半径3mm以上の止端仕上げを行った疲労試験データ



写真-1 適用継手事例

3. 仕上げ工具の種類

3.1 バーグラインダー

バーグラインダーは、回転軸の先端に軸付きの先端工具を取付け、これを高速回転させ溶接部表面の切削

または研削を行う。バークライナーは形状が細いため、狭い部位の切削または研削に適しており、また、先端工具として使用する超硬バーや軸付き砥石の種類が多く、局部的な切削または研削に適し、溶接部の形状や仕上げ形状に応じた曲面状の滑らかな仕上げ面とすることができる。

3. 2 ディスクグラインダー

ディスクグラインダーは、円盤状の砥石を高速回転させ溶接部表面の切削または研削を行う。ディスクグラインダーは、突合せ溶接の余盛りビード仕上げのように構造上開放した部位を切削または研削するのに適しており、バークライナーと比べて切削量が多い。砥石の先端を使用することにより局部的な切削または研削も可能ではあるが、曲面状の滑らかな仕上げ面とするには適さない。

4. 止端仕上げ方法

止端仕上げは、仕上げ形状を目標の曲率半径で滑らかな曲面とする必要があるため、原則としてバークライナーで行う。ディスクグラインダーは、目標の曲率半径の仕上げ形状とするには高い技量が必要であり、また、仕上げ跡には応力方向に直角な直線状の切削痕が残り、切削痕の深さによっては疲労強度に影響するため、止端仕上げには不適切である。ただし、仕上げ前の止端形状によってはバークライナーのみの仕上げが難しい場合があり、この場合はディスクグラインダーで止端仕上げがしやすい形状に仕上げた後、バークライナーで仕上げるのがよい。この際、ディスクグラインダーによる切削痕を残さないようにする。写真-2 にバークライナーおよびディスクグラインダーにより止端仕上げを施した外観写真を示す。

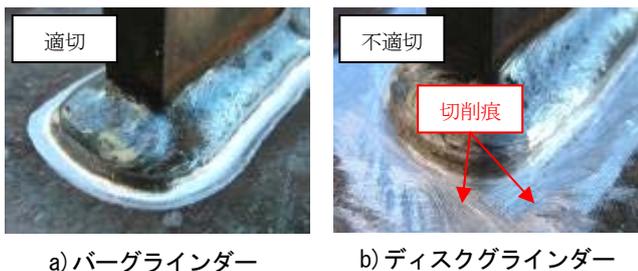


写真-2 仕上げ工具の違いによる仕上げ外観

4. 1 推奨工具

バークライナーの先端工具として超硬バーがあり、多くの形状および呼び刃径がある。中でも、目標の曲率半径と同じ直径の球形あるいは砲弾形の超硬バーは、比較的容易に目標の曲率半径の止端形状が得られるため、止端仕上げに適している。またツクシ形やトンガリ形は、先端部を用いて止端ラインを除去することに適しているが、刃の中間部を用いれば止端部以外のビード面の切削にも併用することができる。ただし、曲率半径が刻々と変化しているため一定の曲率半径を得るには技量を要する。超硬バーには他にも種類があるが、止端仕上げに適しているのは上記の4種類であり、その特徴を表-1に示す。これらの特徴を参考に、最も適した超硬バーを用いる。

表-1 超硬バーの特徴

種類	形状	特徴
ツクシ		先端部と平坦部を併用して使用することが可能であり、仕上げ作業における適用範囲が広い。ただし、超硬バーを押し当てる角度によって曲率半径が変わるため、注意が必要である。
トンガリ		尖った先端部を利用し、容易に止端ラインを除去することが可能である。ただし、目標の曲率半径を確保するためには、先端部のみで切削することができないため、曲率半径の大きな部分で切削する。
球		超硬バーを押し当てる角度によらず、一定の曲率半径が得られる。ビード止端部のみの仕上げには適するが、仕上げ部の接触面積が小さいため広範囲の仕上げには不向きである。
砲弾		超硬バーの先端部を使用する場合、球形と同様に当てる角度によらず、一定の曲率半径が得られるためビード止端部の仕上げに適する。切削量が多い部位の仕上げは平坦部を使用する。

4. 2 推奨施工条件

(1) 回転数

バークライナーの無負荷回転数は、グラインダーの種類により異なる。超硬バーによる止端仕上げに使用しているエア式バークライナーの回転数を、鋼橋製作会社13社にアンケート調査した結果、12,000～26,800rpmであり、機種も様々である。また、回転数が遅い場合、超硬バーを押し当てた時に跳ねやすくなり、周囲に当て傷がつく場合があり、回転が速い場合は、切削量が増すため作業性が良くなる。これらのことより、バークライナーは無負荷回転数が12,000rpm以上のものを使用するのがよい。なお、回転数の上限については、使用する超硬バーの最高使用回転数以下にし

なければならない。

また、バークライナーの回転軸が偏心していると、回転数の低下および仕上げ時に跳ねる原因となるので、工具の使用前にテストピース等で点検・確認するのがよい。

(2) 押し当て位置と動作

止端仕上げ時における超硬バーの狙い位置と角度を、球形の超硬バーを用いた場合を例として図-2に示す。当て位置は超硬バーを止端中央部に合わせ、溶接線に沿って押し引きを繰り返す。この際、下板の削り込みを小さくするために、超硬バーを溶接部側に押し当てながら運棒するのがよい。また、当て位置が安定するまでは超硬バーが跳ねやすいため、注意が必要である。スカラップ部のまわし溶接を仕上げる場合、図-3に示すように超硬バーの当て角度が限定されるため、球形の超硬バーを用いることが望ましい。

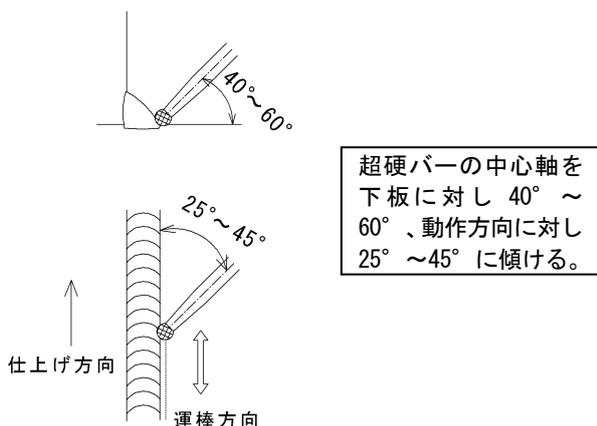


図-2 止端仕上げ時の超硬バー位置（直線部）

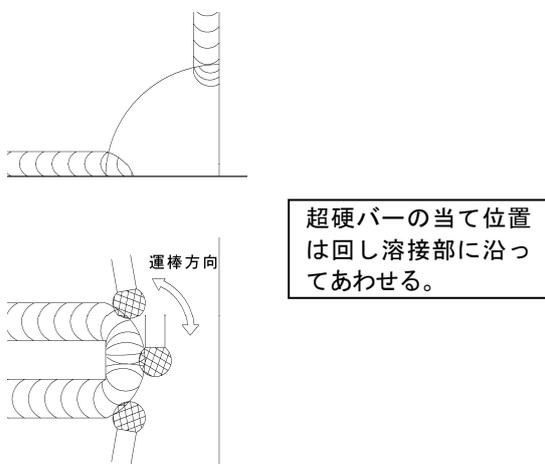


図-3 止端仕上げ時の超硬バー位置（まわし溶接部）

(3) まわし溶接部の仕上げ範囲

止端仕上げの範囲は、基本的に設計図面の指示によるものとするが、面外ガセット継手やスカラップ継手のまわし溶接の疲労強度向上のための止端仕上げは、図-4に示す範囲を仕上げるのがよい⁴⁾。また、止端仕上げと非仕上げとの境界部を滑らかにするために、止端仕上げの漸変区間を設けるのがよい（写真-3）。

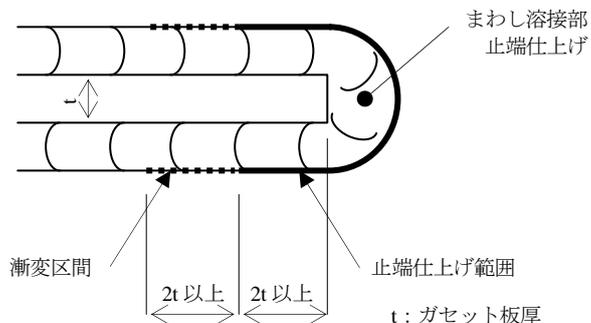


図-4 まわし溶接部の止端仕上げ範囲



写真-3 止端仕上げの漸変区間施工例

(4) 仕上げ深さ

止端仕上げは、止端ラインを完全に除去するまで仕上げるため、写真-4に示すように母材を削り込むこととなるが、必要以上に削り込まないように注意する必要がある。「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編」では、母材の削り込みは 0.3mm 程度までを目安にしている。

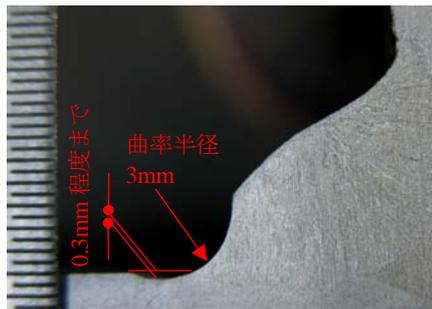


写真-4 止端仕上げ箇所の断面写真

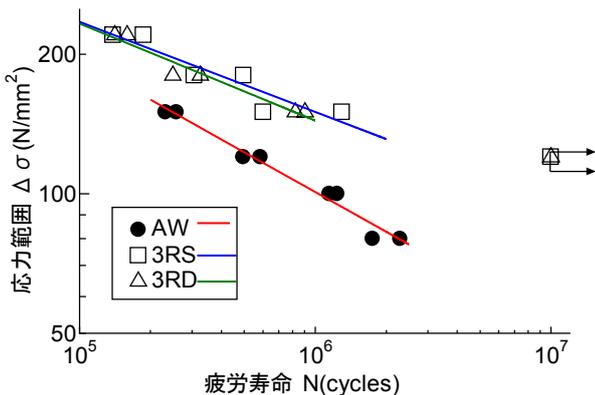
しかしながら、表-2 の疲労試験体の止端形状測定結果からわかるように、曲率半径が 3mm の止端仕上げの場合、慎重に施工しても約 0.5mm の削り込み深さとなる場合がある。また、面外ガセット溶接継手の疲労強度に対する母材の削り込み深さの影響を確認した文献⁵⁾によると、0.5mm 程度までの削り込み深さでは疲労強度への影響は少ないとされている(図-5)。さらに、JSSC テクニカルレポート No.84⁶⁾では、国内外の溶接止端部処理基準類の比較がなされ、IIW VIII-2200r3-07⁷⁾では母材の板厚に応じて削り込み深さの許容値が規定されており、最大で 1mm 以下とするがよいとされている。

これらのことから、本手引きでは止端仕上げの目標削り込み深さを 0.3mm (目安) としたが、削り込み深さを 0.3mm 以下とすると止端ラインが残ることがあるため、この場合は削り込み深さを 0.5mm 程度までとして、止端ラインが完全に除去されることを優先するものとした。

表-2 疲労試験体の止端形状測定結果

試験体	削り込み深さ (mm)	
	測定結果	平均値
3R	0.19~0.44	0.28
5R	0.25~1.40	0.77

3R: 超硬バー (6 mm球) による止端仕上げ
5R: 超硬バー (10 mm球) による止端仕上げ



試験体 No.	止端曲率半径 (平均)	削り込み深さ (平均)
3RS	3.4mm	0.14mm
3RD	3.9mm	0.48mm

図-5 削り込み深さと疲労寿命との関係

5. 品質確認

5. 1 検査項目

止端仕上げ完了後、表-3 に示す検査項目および判定基準に基づき検査を行うものとし、要求された形状および外観を満足しているか確認する必要がある。なお、所定の疲労強度等級を満足させるためには、止端ラインを完全に除去することが重要である。

表-3 止端仕上げ後の検査項目および判定基準

検査項目	判定基準
止端部の形状	止端部の曲率半径が 3R 以上
止端ライン	止端ラインが完全に除去されていること
削り込み深さ	0.3mm 程度まで (目安)

4. 2 検査方法

止端仕上げ後の検査方法は、目視ならびに限界ゲージ等の測定器具を用いて行うものとする。測定器具を用いた検査方法の例を図-6 に示す。

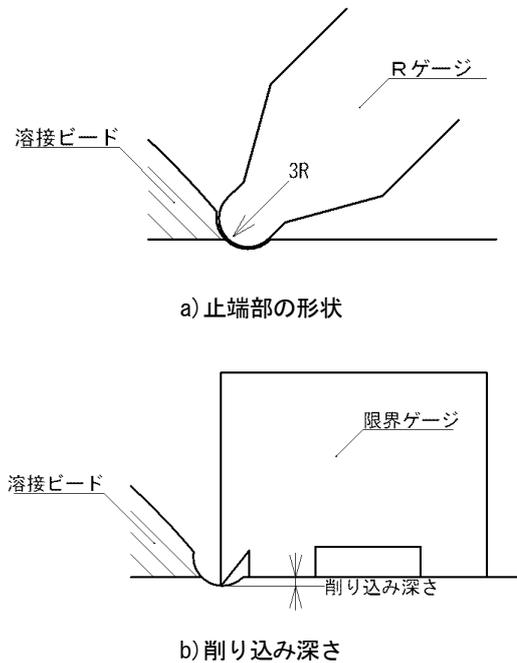


図-6 測定器具を用いた検査方法の例

4. 3 仕上げの良否

止端仕上げは、溶接止端部の仕上げ形状が各検査項目を満足しているかを確認することが重要である。写真-5 a) ~c) に各検査項目における仕上げの良否を比較した写真を示す。写真-5 a) の止端部の形状は、曲率半径 3mm の R ゲージ先端の中間部に隙間がないこと

で、止端部の曲率半径が 3mm 以上であることが確認できる。写真-5 c) の削り込み深さは、限界ゲージの先端が止端部に接触し、限界ゲージのベース部に隙間が生じることで、削り込み深さが限界値以下であることができる。



a) 止端部の形状



b) 止端ライン



c) 削り込み深さ

写真-5 仕上げの良否

5. 作業者の技量

止端仕上げの品質は、仕上げ作業者の技量によるところが大きく、またグラインダー仕上げの技量に関する公的資格等はないため、本仕上げの手引きを参考に技量訓練を行い、十分な技量を有する者に限定するのが望ましい。

6. おわりに

今回止端仕上げの具体的な施工方法や仕上げ程度についてまとめた「溶接止端仕上げの手引き」を発刊しました。本手引きが、疲労設計上必要な箇所に施され、止端仕上げの品質向上ならびに疲労耐久性の向上の一助となれば幸いです。

謝辞

溶接止端仕上げ手引き発刊に際し、終始ご指導頂いた法政大学 デザイン工学部 都市環境デザイン工学科 森猛教授に深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2002.
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, 2012.
- 3) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説一付・設計例一, 2012.
- 4) (社)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説（改定案）, 2010.
- 5) 佐々木雄一, 森猛, 内田大介：溶接止端を仕上げた面外ガセット継手の疲労強度に対する削りこみ深さの影響, 土木学会第 66 回年次学術講演概要集, I -140, p277-288, 2011.9.
- 6) (社)日本鋼構造協会：疲労損傷を受けた鋼橋の耐久性評価および耐久性向上技術, JSSC テクニカルレポート No.84 , 2009.9.
- 7) Haagensen P.J. and Maddox S.J., IIW Recommendations on Post Weld Improvement of Steel and Aluminium Structures, VIII-2200r3-07, 2009.