

Smart ZIC 工法による溶接継手の疲労強度向上効果

関西大学 学生会員 ○松原 由典 正会員 石川 敏之
横河ブリッジホールディングス 正会員 曾我 麻衣子 正会員 井口 進

1. 背景と目的

Smart ZIC 工法(以下, SZ)は, コールドスプレー技術を利用した防食工法であり, 金属表面に防食性の高い金属粉末を, その金属の融点以下で音速により衝突させ, 衝突したエネルギーにより金属皮膜を形成する技術である¹⁾. 一方で, 硬度の高いアルミナを金属表面に衝突させる場合, SZ を行うことで圧縮の残留応力を溶接止端部に導入することが可能であり, いわゆるピーニングと同様なメカニズムにより溶接継手の止端き裂に対する疲労強度が改善される可能性がある. これまでに疲労強度が低く, 疲労損傷が生じやすい面外ガセット継手を対象として, 溶接部の疲労強度改善技術としての SZ の検討が行われている²⁾. その結果として, SZ 施工後の継手部に圧縮応力が作用する場合, 疲労強度が2~3 等級程度向上することが明らかにされている.

本研究では, 荷重非伝達型リブすみ肉溶接継手に着目し, 溶接止端の応力比を $R=-\infty$ として圧縮応力の繰り返しを板曲げ疲労試験機³⁾を用いて与え, 板曲げによって発生するき裂への疲労寿命向上効果を検討する. また, SZ で標準的に用いる亜鉛とアルミナのパウダー配合比や SZ を施工する際に用いるスプレーノズルを改良することによる疲労寿命向上効果の変化についても検討する.

2. 試験体と試験条件

試験体の機械的性質を表-1 に示す. 本試験で用いた試験体(T 字溶接継手)を図-1 に示す. この図に示すように試験体の長手方向に溶接止端から 5mm, 20mm 離れた位置にひずみゲージを貼りつけ疲労試験中のひずみを計測した. 疲労試験中, 両溶接止端から 20mm 離れた位置のそれぞれのひずみを計測し, それらの値を線形内挿して鋼のヤング係数 E ($=200\text{kN/mm}^2$) を乗じて算出した溶接止端の応力範囲 $\Delta\sigma$ を用いてデータ整理をした.

本試験では, SZ の疲労強度向上効果を検討するために, 4 種類の試験体を準備した. それぞれの試験体の状態を表-2 に示す. SZ を施す際に亜鉛とアルミナの配合比(重量比)を 50 : 50 に配合した試験体 SZ50:50 では, 施工効率を向上させた改良ノズル(TF-R ノズル)を用いた. 硬度の高いアルミナの量を増やして, 亜鉛とアルミナの配合比を 30 : 70 とした試験体 SZ30:70 に対しては, 改良ノズル(TF-R ノズル)と従来のノズル(OR ノズル)を各 1 体準備した.

疲労試験は, 各ひずみゲージの位置で計測された応力範囲が初期値から 5% 変動した際の繰返し回数を $N_{5\%}$, 溶接止端から発生した疲労き裂が試験体側面に達した際の繰返し回数を N_f と定義して, N_f で疲労試験を終了した.

表-1 鋼材の機械的性質

鋼種	板厚 (mm)	降伏応力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
SM400A	12	326	464	26

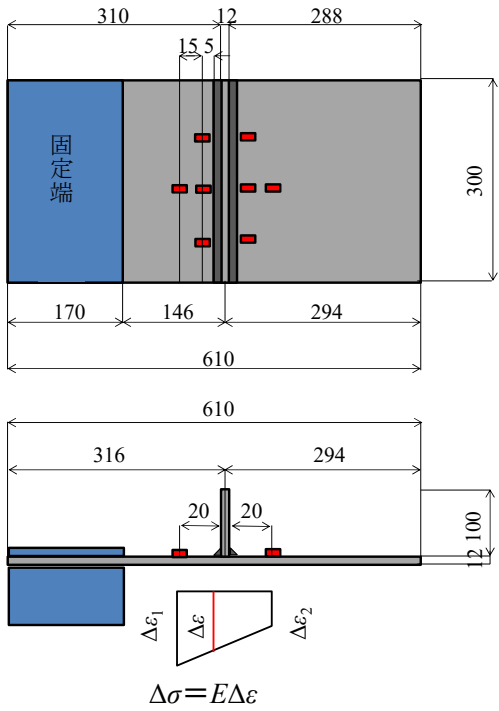


図-1 試験体寸法とひずみの計測位置

キーワード Smart ZIC, ピーニング, 板曲げ試験, 疲労き裂
連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL.06-6368-0926

表-2 疲労試験体と試験結果

試験体		パウダー配合比 (Zn : Al ₂ O ₃)	ノズル	応力範囲 Δσ (MPa)	疲労寿命 N _{5%} (×10 ⁴)	疲労寿命 N _f (×10 ⁴)
AW	1			117.3	88.9	246.9
	2			124.7	141.4	287.6
SZ50 : 50(TF-R)	1	50 : 50	TF-R	101.9	1,050*	1,050*
	2			127.1	388.2	610.2
SZ30 : 70(TF-R)		30 : 70	OR	127.0	222.4	392.0
SZ30 : 70(OR)				126.8	283.3	578.6

* : run-out

3. 試験結果

試験結果の一覧を表-2にS-N関係を図-2に示す。繰返し回数が1,000万回を超えても疲労き裂が発生しなかった試験体はrun-outデータとした。表-2には、疲労き裂が発生した側の溶接止端の応力範囲を示している。本試験では、リブの溶接後、試験体の裏面からリブ両側の溶接線の一方の溶接線に対して熱矯正を行ったため、矯正側の溶接止端から疲労き裂が発生した。したがって、run-outした試験体に対しても矯正側の溶接止端の応力範囲を表-2に示している。

表-2から明らかなように試験体AW2では、応力範囲 $\Delta\sigma=124.7\text{MPa}$ の場合、141万回($N_{5\%}$)で溶接止端近傍の応力範囲が5%変化する程度の初期き裂(長さ20~30mm程度、図-3参照)に達し、288万回でき裂が側面に達した(N_f)。試験体SZ30 : 70(OR)は、ほぼ同様な応力範囲 $\Delta\sigma=126.8\text{MPa}$ で、 $N_{5\%}=283$ 万回、 $N_f=579$ 万回であったため、SZを施した試験体では初期き裂の発生およびその後の進展が遅延して、疲労強度が向上すると言える。硬度

の高いアルミナの重量比が高い試験体SZ30:70のほうがよりピーニングによる疲労寿命改善効果を期待されたが、試験体SZ50 : 50と優位な差は見られなかった。また、試験体SZ30 : 70(TF-R)と試験体SZ30 : 70(OR)の試験結果から、施工効率を向上させた改良ノズル(TF-R)を用いても疲労強度が低下することはなかった。

4. まとめ

本研究では、Smart ZIC工法を荷重非伝達型リブすみ肉溶接継手に施し、 $R=-\infty$ の板曲げ疲労試験を実施した。その結果、本試験の範囲内では、亜鉛とアルミナのパウダー配合比(50:50, 30:70)およびスプレーノズルの形状(通常、施工重視)の違いによる影響は小さく、Smart ZIC工法によって溶接まよりも疲労強度が1等級程度向上した。

5. 参考論文

- 1) 清川昇悟, 井口 進, 木村雅昭, 下里哲弘 : コールドスプレー技術で生成する金属皮膜を適用した高力ボルトの防食性能と機械的性質, 鋼構造論文集, Vol.22, No.85, pp.133-141, 2015.
- 2) 曾我麻衣子, 井口 進, 清川昇悟 : 「Smart ZIC」工法による溶接継手の疲労強度向上に関する検討, 横河ブリッジグループ技報, No.44, pp.32-39, 2016.1
- 3) 山田健太郎, 小藺江朋堯, 小塩達也 : 垂直補剛材と鋼床版デッキプレートのすみ肉溶接の曲げ疲労試験, 鋼構造論文集, 第14巻, 第55号, pp.1-8, 2007.

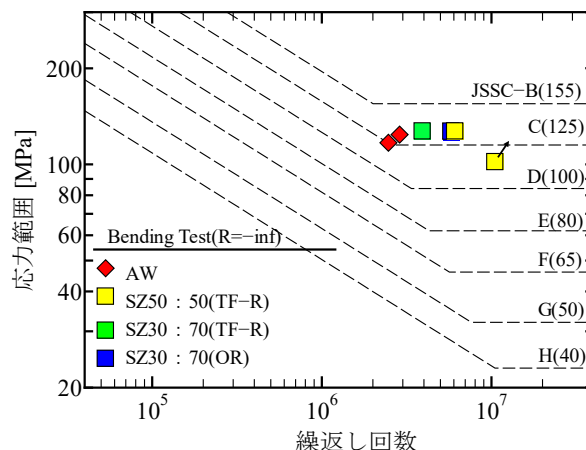


図-2 疲労試験結果

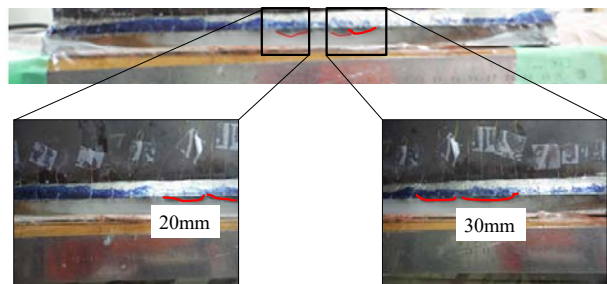


図-3 AWのき裂破面