

第 I 部門 溶接継手の形状分布状況の定量化と疲労性能評価

大阪大学大学院 学生員 ○小川 太希
大阪大学大学院 正会員 羅 鵬軍
大阪大学大学院 正会員 堤 成一郎

1. 緒言

溶接部における応力集中は疲労性能に大きな影響を与えることが知られている¹⁾。応力集中を把握すべく、3次元の実測形状データ等を活用した FEM 解析も行われているが、計算コストが高く、また、溶接形状がパラメータ化・定量化されないことから、要因分析も容易ではない。

そこで、著者ら²⁾は 3D スキャナ等で得た 2 次元断面形状データから、式の入力データとなる形状パラメータを自動かつ一意に評価し、応力集中係数(以下、 K_t)まで含めて高効率に決定可能な手法を提案している。また、2 次元断面形状データから形状パラメータを評価する類似の手法も提案されており³⁾、多断面形状分析を行うとともに、得られた K_t 等に基づく疲労性能評価も行われているが、各形状パラメータを個別に決定しており、実形状との乖離などの問題が懸念されている。

そこで、本研究では、著者らが提案した手法を改善するとともに、提案手法を用いた溶接継手の大量の断面から形状分布状況の定量化を行い、さらに疲労試験結果と照査することにより、評価対象とした突合せ溶接継手の疲労性能の評価を行うことを目的とする。具体的な評価対象として、先行研究³⁾と同様の突合せ溶接継手の中から、品質の高い形状データが得られた 8 体を選定する。また、各種修正応力を採用した評価手法による亀裂発生位置の予測精度および止端半径・フランク角・角変形・目違い等の形状の影響に関して、疲労試験結果との照査により検討を行った。

2. 評価対象と計測結果

8 つの突合せ溶接継手を対象として 3D スキャナを用い、0.1mm 間隔で 1 継手当たり 311 個の 2 次元断面形状データを取得し、著者らが先に提案した評価手法を用いて形状パラメータの計測を行った。評価対象の継手の詳細や疲労試験の条件等を Table1 に示す。また、Table2 に 8 つの継手の全断面の形状パラメータおよび施工目標値の相関係数を示す。表からは目違いの施工目標値(e_α)と角変形量には強い正の相関があることなどが読み取れる。次に、疲労亀裂の発生箇所の予測を行った。予測には 3 種類の SMF 式、4 種類の K_t 式、分析結果の平均値、中央値、最大値のすべての組み合わせを用いた。それらの予測精度を Table3 に纏めて示している。なお、ここではすべての予測結果のうち正しい結果を示した割合を予測精度としている。この表に示されるように、 K_t は中央値を、SMF 式は Luo らの式を、 K_t 式は Lawrence ら、もしくは Remes らの式を用いた場合、最も精度の高い予測が可能であることを確認した。

Table1 Design parameter, Load condition, Misalignment, Fatigue results of the subject joints

TP	Design parameter		Load condition			Misalignment		Fatigue results		
	$RG(\text{mm})$	$e_\alpha(\text{mm})$	$P_{max}(\text{kN})$	$P_{min}(\text{kN})$	$\Delta\sigma(\text{MPa})$	$\alpha(^{\circ})$	$e(\text{mm})$	$N_f(\text{cycles})$	$\Delta\sigma_{eq}(\text{MPa})$	Crack
A-1	1	1	120	5	225	2.19	1.05	324679	123	Front-left
A-2	1	1	120	5	225	2.02	0.74	194394	103	Front-left
B-1	1	3	100	5	186	2.98	2.09	162525	80	Front-left
B-2	1	3	120	5	225	2.90	1.84	80678	77	Front-left
C-1	2	1	100	5	186	2.85	1.01	437008	112	Front-left
C-2	2	1	120	5	225	2.76	0.69	270665	115	Front-left
D-1	2	3	100	5	186	1.96	1.95	352454	104	Front-left
D-2	2	3	120	5	225	1.83	1.83	170660	99	Front-left

Table2 correlation of each shape parameter and design parameter

		Front side								Back side							
		α	W	δ	ρ_{left}	ρ_{right}	θ_{left}	θ_{right}	e	α	W	δ	ρ_{left}	ρ_{right}	θ_{left}	θ_{right}	e
Front side	α																
	W	0.09															
	δ	0.27	0.17														
	ρ_{left}	0.01	0.03	-0.18													
	ρ_{right}	-0.08	-0.01	0.02	0.11												
	θ_{left}	0.03	0.07	0.40	-0.54	-0.05											
	θ_{right}	0.16	0.21	0.15	-0.04	-0.39	0.15										
	e	-0.10	0.20	0.77	-0.16	0.05	0.36	0.05									
Back side	α	0.97	0.05	0.26	-0.01	-0.09	0.03	0.14	-0.11								
	W	-0.40	-0.23	-0.54	0.05	0.00	-0.24	-0.22	-0.35	-0.36	0.40						
	δ	-0.40	-0.23	-0.54	0.05	0.00	-0.24	-0.22	-0.35	-0.36	0.40						
	ρ_{left}	-0.39	0.05	0.14	-0.04	0.07	0.09	-0.09	0.42	-0.42	0.51	0.14					
	ρ_{right}	-0.23	0.03	0.32	-0.05	0.18	0.19	-0.04	0.33	-0.26	0.48	-0.17	0.21				
	θ_{left}	0.39	-0.02	-0.40	0.05	-0.06	-0.21	0.00	-0.62	0.37	-0.48	0.12	-0.56	-0.37			
	θ_{right}	0.27	-0.05	-0.56	0.10	-0.08	-0.28	-0.02	-0.62	0.24	-0.33	0.38	-0.30	-0.58	0.61		
	e	0.02	0.10	0.82	-0.16	0.07	0.36	0.04	0.95	0.00	0.27	-0.47	0.33	0.38	-0.57	-0.66	
Design Parameter	RG	0.25	-0.05	-0.64	0.22	-0.07	-0.36	-0.09	-0.57	0.15	0.08	0.44	-0.17	-0.45	0.61	0.82	-0.60
Parameter	e_{α}	0.64	0.17	0.91	-0.22	0.04	0.40	0.11	0.97	0.64	0.13	-0.59	0.24	0.26	-0.42	-0.49	0.99

Table3 Prediction results of crack initiation locations

	SMF Formula	IIW (58/96)				Xing (59/96)				Luo (84/96)			
	Kt Formula	Lawrence	Pachoud	Remes	Luo	Lawrence	Pachoud	Remes	Luo	Lawrence	Pachoud	Remes	Luo
Prediction accuracy	Average (70/96)	8/8	5/8	8/8	0/8	8/8	4/8	8/8	0/8	8/8	7/8	8/8	6/8
	Median (73/96)	8/8	6/8	8/8	0/8	8/8	5/8	8/8	0/8	8/8	7/8	8/8	7/8
	Maximum (60/96)	5/8	4/8	7/8	1/8	6/8	4/8	7/8	1/8	6/8	7/8	7/8	5/8

3. 疲労性能の評価

疲労寿命の予測に対する角変形および目違いの影響を検討するために、公称応力範囲($\Delta\sigma_n$)および修正応力範囲($\Delta\sigma_m$)を用いて対象継手の評価を行った。その結果、 $\Delta\sigma_m$ を用いた場合、疲労試験結果と S-N 曲線の距離の標準偏差が大幅に低下した。このことから、本研究で対象とした継手に関しては、角変形および目違いが重要な疲労性能の支配因子であることを確認した。

次に、疲労寿命の評価に対する止端部の形状パラメータの影響を検討するために、局所応力範囲($\Delta\sigma_{mt}$)を用いて評価を行った。しかしながら、本研究で対象とした継手に関しては、止端部の形状が重要な疲労性能の支配因子であると示すデータは得られなかった。これは、本研究で対象とした継手が止端部の形状ではなく、目違いに注目して製作された継手であり、継手間の止端部の形状パラメータに有意な差がないためであると考えられる。

4. 結論

本研究では、溶接継手の形状分布状況の定量化と疲労性能評価を目的として、突合せ継手の多断面形状分析に基づく疲労性能の評価を行った。亀裂発生位置の予測からは、多断面から得られた Kt の中央値を、SMF 式は Luo らの式を、Kt 式は Lawrence ら、もしくは Remes らの式を用いた場合、最も精度の高い予測が可能であることを確認した。疲労性能の評価からは本研究で対象とした継手において、角変形および目違いが重要な疲労性能の支配因子であることを確認した。

参考文献

- 1) 疲労設計便覧：日本材料学会編，社養賢堂，1995
- 2) 堤成一郎，小川太希：溶接継手の形状品質と疲労性能の自動評価システムの開発，土木学会論文集，80，15 (2024)，23-15033.
- 3) Pengjun Luo, Yuta Mashino, Yuki Matsuo, Yuki Kasaoka, Seiichiro Tsutsumi: Fatigue experiment and assessment of butt-welded joints in steel structures considering misalignment and weld geometry effects, International Journal of Fatigue, 182 (2024), 108200.