

直応力を受ける面外ガセット溶接継手のき裂進展挙動と板厚効果に関する検討

法政大学大学院 学生会員 ○酒井夏来 法政大学 正会員 内田大介

芝浦工業大学 正会員 穴見健吾

1. はじめに

鋼構造物の疲労設計指針(以下、JSSC 指針)¹⁾では、面外ガセット溶接継手の板厚による疲労強度の補正は不要としている．一方で、道路橋示方書²⁾では疲労強度に補正係数 $C_t = \sqrt[4]{(25/t)}$ を乗じて母板厚 $t(\text{mm})$ の増加による疲労強度の低下を考慮している．著者らはこのような板厚効果の違いは、検討対象と方法が異なることによって生じていると推測し、面外曲げを受ける場合を対象として板厚効果の違いを示した³⁾．本研究では、直応力を受ける面外ガセット溶接継手の疲労試験と3次元のき裂進展解析により、試験体寸法が疲労寿命に及ぼす影響と増厚に伴う板厚効果を検証する．

2. 疲労試験

図1に示す2種類の母板厚の試験体6体を用いて、ビーチマーク試験を実施した．試験体の試験条件と試験結果、後述の解析結果の一覧を表1に、き裂発生位置の定義を図2に示す．表中のき裂発生寿命は、5,000回毎に計測した溶接止端から2mm位置の試験体長手方向のひずみ範囲の減少率が5%となった際の回数（線形補間値）、疲労寿命は試験体が破断した回数である．200万回疲労強度は疲労寿命より $m=3$ として算出している．なお、応力範囲を半減させた載荷の回数は、JSSC 指針の疲労き裂進展速度表示式に従い $n=2.75$ で換算している．これらの結果より、母板が厚くなるときき裂発生寿命は低下し、200万回疲労強度は向上する傾向が確認できる．

3. 疲労試験体を対象としたき裂進展解析

汎用のき裂進展解析ソフト FRANC3D Ver 7.5.6 を用いて、各試験体のビーチマークから得られたき裂進展速度の再現を試みた．解析モデルは対称性を考慮した1/2モデルとし、溶接脚長を反映している．き裂進展解析後は修正 Paris 則を用いて、JSSC 指針の定める平均設計曲線に従い進展寿命を算出した．リメッシュ時のエラーを軽減するため、初期き裂は溶接止端中央から長手方向へ0.2mm離れた位置に挿入した．初期き裂の形状は深さ $a=0.1\text{mm}$ 、幅 $2b=0.4\text{mm}$ の半楕円形とし、き裂進展量を0.05mmから徐々に増加させた．下側き裂が発生した試験体は、主たるき裂のみを貫通させる解析に加え、両側からき裂を進展させる解析も実施した．両側からのき裂の進展は、まず、主たるき裂を、疲労試験において溶接止端から2mm位置のひずみの変動から判断した下側溶接止端のき裂発生寿命と同程度の寿命の際の深さまで進展させた．次に、進展させた主たる

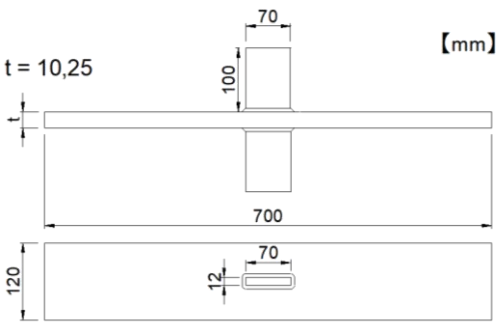


図1 試験体寸法
表1 試験結果の一覧

試験体	板厚 (mm)	応力範囲 (N/mm ²)	き裂 発生寿命 (×10 ³ 回)	疲労寿命(×10 ³ 回)			200万回 疲労強度 (N/mm ²)	き裂発生	
				試験	解析 (片側)	解析 (両側)		逆側	下側
P102	10	120	148	718	1,012	844	85.3	○	○
P105		100	149	1,224	1,855	1,597	84.9	無し	○
P106		80	742	2,734	3,938	—	88.8	無し	無し
P255	25	120	96	1,077	1,062	952	97.6	○	○
P258		100	機器不良	1,745	1,676	1,570	95.6	無し	○
P259		80	596	3,413	3,303	—	95.6	○	無し

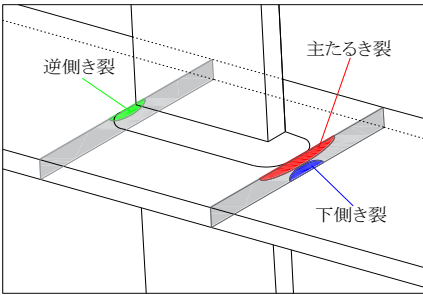


図2 き裂発生位置の定義

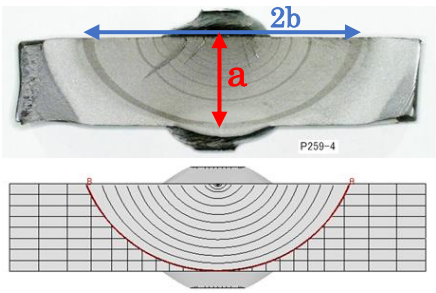


写真1 実験と解析の比較(片側き裂:P259)

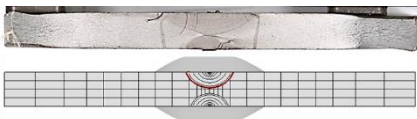


写真2 実験と解析の比較(両側き裂:P105)

キーワード 面外ガセット溶接継手、疲労寿命、板厚効果、き裂進展解析

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町3丁目7番地2号 法政大学鋼構造研究室 TEL 042-387-6279

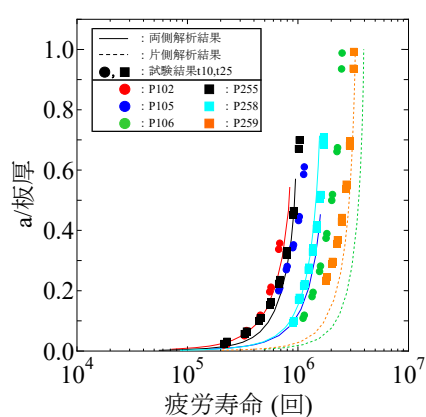


図3 板厚方向き裂進展速度

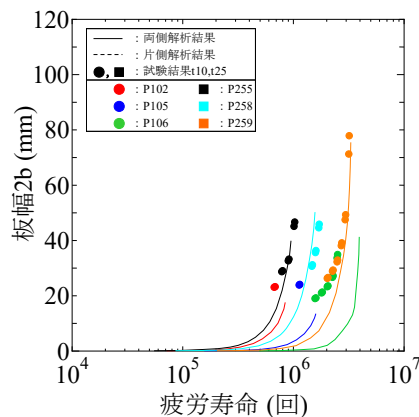


図4 板幅方向き裂進展速度

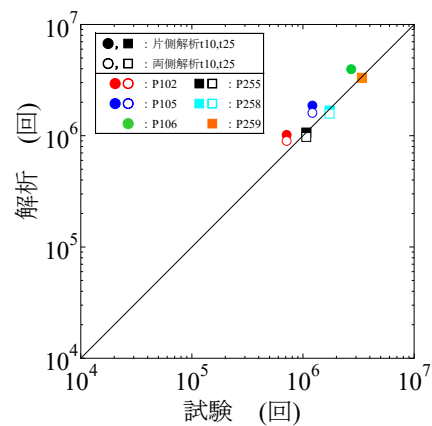


図5 疲労試験と解析の寿命の比較

き裂と同じ形状のき裂と、下側の初期き裂 ($a=0.1\text{mm}$, $2b=0.4\text{mm}$) を挿入したモデルを初期状態とし、再度き裂進展量を 0.05mm から徐々に増加させることで両側からのき裂進展を模擬した。なお、この場合の疲労寿命は両側のき裂が干渉し合う直前とした。疲労試験後の破断面と解析後の断面の例を写真1, 2に、き裂進展速度の比較を図3, 4に示す。両側からき裂が発生した試験体に対しては片側からのみき裂を進展させた解析結果も示している。板厚 10mm の場合にやや再現性が低い、き裂進展挙動を概ね再現できている。図5は疲労試験と解析結果の疲労寿命の比較である。進展解析結果は試験結果を概ね再現できており、両側からのき裂を考慮することにより再現精度が向上することがわかる。

4. き裂進展解析と板厚効果

母板厚・板幅・ガセット長さがき裂発生寿命と疲労寿命に及ぼす影響を確認するため、表2に示す12種類のモデルについて、公称応力 100N/mm^2 の直応力が作用する場合のき裂進展解析を行った。ここで、き裂発生寿命はき裂が板厚深さ 1mm に到達した時点、疲労寿命はき裂が板厚を貫通した時点である。なお、前章に示したように、疲労試験では下側き裂が発生した試験体もあったが、下側き裂が発生するタイミングは一定ではないため、ここでは主たるき裂のみの発生・進展を対象とした。

図6に試験体毎に整理した応力集中とき裂発生寿命の関係を示す。参考として示した図中の応力集中係数は、別途実施したき裂がない状態で溶接止端の曲率半径を 1mm としたモデルの、溶接止端部先端の最大主応力を公称応力で除した値である。母板の増厚に伴い応力集中は増加し、き裂発生寿命は減少する傾向が確認できる。図7は試験体毎の疲労寿命を整理した結果である。SN以外の試験体において母板の増厚により疲労寿命が増加しており、板幅が広い場合に顕著である。表3に各寿命より算出した200万回疲労強度と母板厚をプロットした結果を指数近似した場合の直線の勾配、すなわち板厚補正指数を示す。き裂発生寿命に対する板厚補正指数は、道路橋示方書に示される $1/4$ より小さく、国際溶接学会(IIW)の示す $1/10$ と同程度となるものもある。疲労寿命に対する板厚補正指数が負の値となることも含め、構造パラメータと板厚補正指数の関係についてはさらなる検討が必要である。

参考文献 1)日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，2012。 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II鋼橋・鋼部材編，2018。
3)酒井ら：面外ガセット溶接継手の疲労強度に対する板厚効果に関する検討，土木学会全国大会第77回年次学術講演会，I-62，2022。

表2 試験体モデル寸法(mm)

モデル	ガセット長さ			母板			溶接脚長
	長さ	厚さ	高さ	板厚t	板幅	長さ	
LW	200	10	10	10 25 50	200	1600	6(t10) 8(t25) 10(t50)
LN	200				120		
SW	70				200		
SN	70				120		

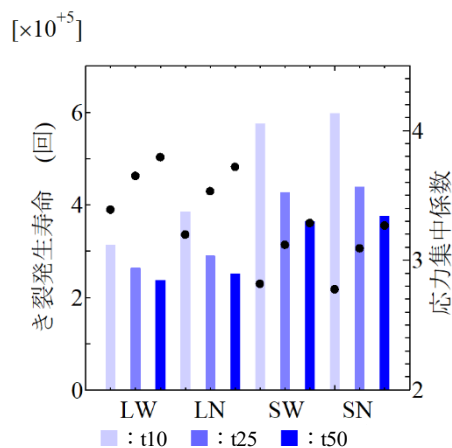


図6 応力集中とき裂発生寿命の関係

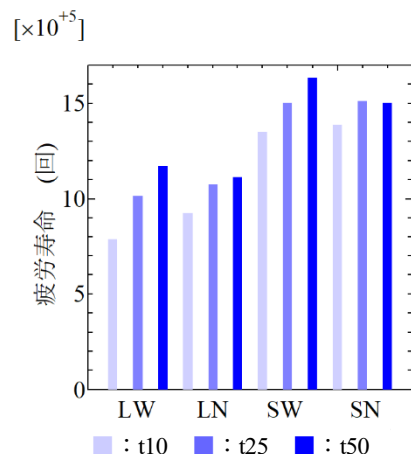


図7 板厚と疲労寿命の関係

表3 板厚補正指数

モデル	き裂発生寿命	疲労寿命
LW	0.06	-0.08
LN	0.09	-0.04
SW	0.10	-0.04
SN	0.10	-0.02