

2 軸荷重を受ける十字溶接継手ルート破壊の疲労強度評価式の提案

法政大学大学院
法政大学

学生会員 ○明見正雄
正会員 森 猛

1. はじめに：十字溶接継手がルート破壊する場合の疲労き裂の発生・進展性状や疲労強度については、既に数多くの検討がなされている。これらの検討の多くは、1 軸荷重を受ける場合を対象としているが、実際の構造物では、その全体構造や板組により多軸応力場となる部分も少なくない。本研究では、2 軸荷重を受ける十字溶接継手がルート破壊する場合の疲労強度評価式を提案することを目的とし、溶込み深さが異なる 2 種類の試験体を対象として 2 軸応力比 σ_a/σ_m (図 1 参照) を変化させた疲労試験を行うとともに、2 軸応力比、溶込み深さ、板厚、溶接サイズをパラメータとした疲労き裂進展解析を行う。

2. 疲労試験：供試鋼材は板厚 36mm の SM490YB(降伏応力：395 N/mm²、引張強度：555N/mm²、伸び：34%)である。この鋼板を用いて、2 種類の荷重伝達型十字継手試験体を作成した。一つはすみ肉溶接試験体(F 試験体)であり、もう一つは深さ 8mm の開先を施して作成した部分溶け込み溶接試験体(G 試験体)である。これらの試験体は、幅 900mm で製作した十字継手を幅 21mm に荒切断し、フライス加工したものである。フライス加工後の幅は 9mm である。なお、溶接残留応力を軽減する目的で、幅 21mm の状態で焼鈍(620℃で 2 時間半保持)を行っている。図 2 に試験体の形状と寸法、写真 1 に断面マクロ写真を示す。溶接の溶け込み深さは、F 試験体で 1.1~1.8mm、G 試験体で 9.0~9.9mm であった。また、いずれの試験体も溶接はほぼ等脚であり、その脚長は 18.8~23.0 mm であった。

疲労試験は、主板の応力範囲 $\Delta\sigma_m$ を 90.0 あるいは 61.7N/mm²、2 軸応力比 σ_a/σ_m を -1.0、0、1.0 とした計 6 条件で行った。図 3 に、疲労試験より求めた疲労寿命と 2 軸応力比の関係を示す。いずれの試験体、応力範囲においても、1 軸状態 ($\sigma_a/\sigma_m=0$) と比べて、2 軸応力比が 1 では疲労寿命が長く、-1 では短くなっている。また、2 軸応力比による疲労寿命の変化は G 試験体で顕著である。

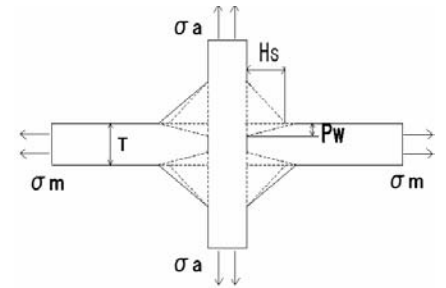


図 1 解析パラメータ

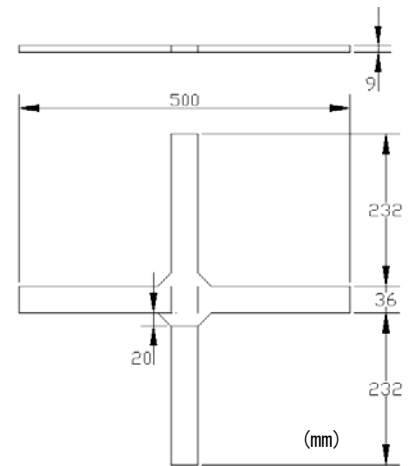


図 2 試験体の形状と寸法

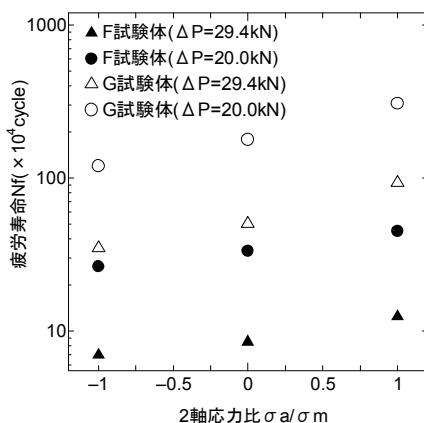


図 3 試験結果



F 試験体



G 試験体

写真 1 試験体

キーワード 十字溶接継手, ルート破壊, 2 軸荷重, 疲労強度

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学部 TEL 042-387-6287

3. 疲労き裂進展解析：疲労試験に用いた試験体を対象として、破壊力学の手法を用いた疲労き裂進展解析を行い、疲労寿命を算出した。き裂の進展方向は最大主応力説、疲労き裂進展速度表示式は国際溶接学会の疲労設計指針に従った。なお、解析ソフトには汎用き裂進展解析コード FRANC2D を用いた。解析より求めた疲労寿命と試験結果を比較した結果を図4に示す。解析結果は試験結果とよく一致している。

4. 疲労強度評価式の提案：2軸応力比 σ_a/σ_m 、板厚 T 、溶接サイズ H_s 、溶け込み深さ P_w をパラメータとして（図1参照）、上述の条件で疲労き裂進展解析を行った。モデルの数は計78である。図5は、解析より求めた無次元化疲労強度（ $\sigma_a/\sigma_m = -1 \sim 1$ の各200万回疲労強度を $\sigma_a/\sigma_m = 0$ の200万回疲労強度で除した値）と2軸応力比の関係を、溶け込み深さ P_w/T によりマークを変えて示したものである。溶け込みが深くなるにしたがって疲労強度に対する2軸応力比の影響が顕著となっており、図3に示した疲労試験結果の傾向と一致している。これらの関係を基に傾き増加係数 β （各回帰直線の傾きを $P_w = 0$ の傾きで除したものと P_w/T の関係を求めると次式が得られる。

$$\beta = 2.822 \times (P_w/T) + 1 \quad 0 \leq P_w/T \leq 0.4 \quad (\beta : \text{傾き増加係数})$$

同様に各パラメータの影響を定式化し、以下の疲労強度評価式を導いた。

$$\Delta\sigma_{t200} = \varepsilon \times \Delta\sigma_{tmf200}$$

($\Delta\sigma_{t200}$: 主板の応力範囲で整理した200万回疲労強度)

$$\varepsilon = \alpha \times \beta \times (\sigma_a/\sigma_m) + 1 \quad \left[\begin{array}{ll} \alpha = 0.113 \times (H_s/T)^{0.827} & 0.25 \leq H_s/T \leq 0.75 \\ \beta = 2.822 \times (P_w/T) + 1 & 0 \leq P_w/T \leq 0.4 \end{array} \right]$$

$$\Delta\sigma_{tmf200} = \frac{2 \times \text{換算のど厚}}{T} \times \Delta\sigma_{a200}$$

$$\left(\begin{array}{l} \Delta\sigma_{a200} : \text{基準モデルのど断面応力範囲で整理した} \\ \text{200万回疲労強度} = 37.6 (\text{N/mm}^2) \\ (\text{基準モデル} : P_w = 0, T = 40 \text{mm}, H_s = 20 \text{mm}) \\ \text{換算のど厚} = \left(\frac{H_s}{\sqrt{2}} + P_w \right) \times \left\{ \frac{40}{2.08(T - P_w)^{0.827}} \right\}^{1/6} \end{array} \right)$$

上記の評価式から求めた疲労強度と解析から求めた疲労強度を比較

した結果を図6に示す。図中には、疲労強度評価式構築のために用いたモデルに加え、任意にパラメータを組み合わせて作成した50のモデルの結果も示している。いずれのモデルについても、推定結果は解析結果とよく一致している。したがって、上記の式に従えば、2軸荷重を受ける十字溶接継手がルート部から破壊する場合の疲労強度を適切に評価できるといえる。

5. まとめ：モデル試験体を用いた疲労試験および破壊力学の手法を用いた疲労き裂進展解析を行い、2軸荷重を受ける十字溶接継手がルート破壊する場合の疲労強度評価式を提案した。

参考文献：1) 森猛, 貝沼重信: 荷重伝達型十字すみ肉溶接継手・ルート破壊の疲労強度評価法, 土木学会論文集 No.501/I-29, pp95-102, 1994.10. 2) 森猛: 繰返し荷重を受ける溶接構造物の寿命予測 疲労き裂進展解析と変動振幅応力下の寿命予測, 溶接学会誌 Vol.67 No.2, pp. 111-115, 1998.03.

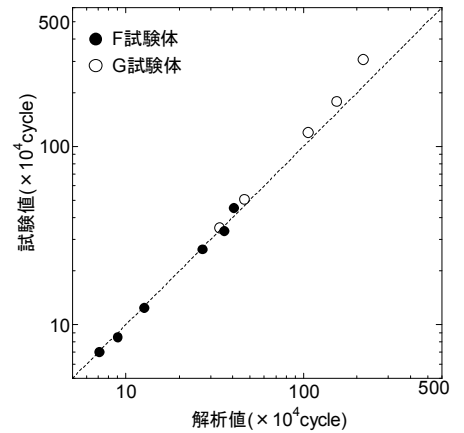


図4 解析値と試験値の疲労寿命の比較

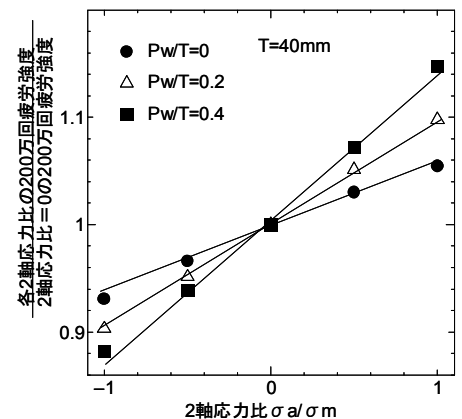


図5 無次元化疲労強度と2軸応力比の関係

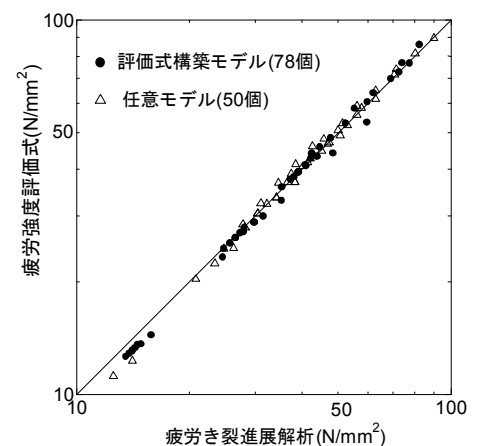


図6 200万回疲労強