

繰返し荷重下での溶接補修における割れ発生評価法に関する研究

名古屋大学 正会員 ○ 判治 剛 名古屋大学 学生会員 長谷川 吉男
名古屋大学 フェロー会員 館石 和雄 名古屋大学 正会員 清水 優

1. 目的

繰返し荷重が作用している状態で疲労き裂を溶接により補修する場合、高温割れの発生が危惧される。その評価指標の一つとして、補修部のルートギャップの変動範囲¹⁾(単に、開口変位と呼ぶ)がある。過去の実験²⁾から、溶接前の開口変位 ($\Delta\delta_0$ と呼ぶ) よりも、溶接を行っているときの開口変位 ($\Delta\delta_d$ と呼ぶ) を用いたほうが、割れ発生の有無をより明確に評価できることが示されている。そこで本研究では、溶接中の開口変位を溶接前の諸条件から推定する手法を提案し、それを用いた溶接割れ発生評価式の妥当性を検証した。

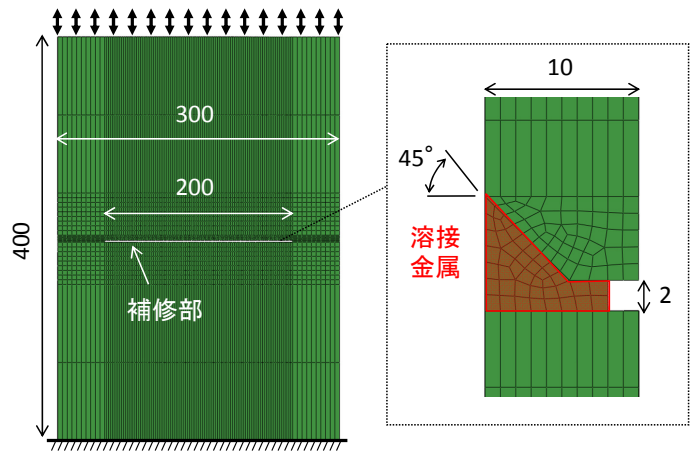


図1 解析モデル (単位: mm)

2. 解析によるルートギャップ開口挙動の再現

本研究では、3次元熱弾塑性解析により繰返し荷重下での溶接をシミュレーションし、その結果を基に溶接中の開口変位を推定する手法を構築した。過去の実験²⁾を対象とし、解析モデルには図1に示すものを用いた。実験と同様に、境界条件として、モデル下端を拘束し、上端に一律の繰返し鉛直荷重を与えた。母材はSM490YA (降伏応力 413N/mm^2)、溶接金属はL-55 (降伏応力の規格値 480N/mm^2) とした。材料の物理定数および機械的性質の温度依存性は既往の文献^{3),4)}を参考にした。

溶接金属部に相当する要素を出現させてそれに入熱する操作を溶接進行方向に繰り返すことで熱源の移動を再現した。溶接速度は実験時の平均である 2mm/s とし、溶接の入熱量を物体熱流束として溶接部の要素に与えた。実験での温度履歴を比較的良好に再現できる条件として(図2参照)、熱効率率は 0.63 とした。モデル外周の自然冷却は物体表面からの熱伝達として表現した。初期温度および雰囲気温度は 10°C とした。

溶接が進み、それが着目部に達した直後に1サイクルのみ荷重を与え、そのときのルートギャップの変動範囲を溶接中の開口変位と考えた。今回は、実際に開口変位を計測した溶接線中央位置に着目した。载荷に要する時間を変化させることで载荷速度の違いを表現した。この解析により求めた溶接中の開口変位と実験値の比較を図3に示す。多少のずれはみられるが、両者は比較的良好に一致しており、今回のように簡易に再現した解析方法であっても、溶接中に繰返し荷重を受けるルートギャップの開口挙動を推定できることが示された。

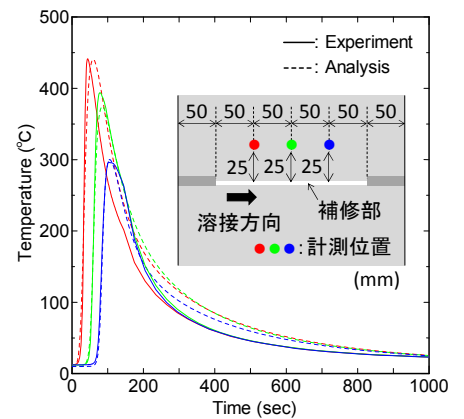


図2 温度履歴の比較

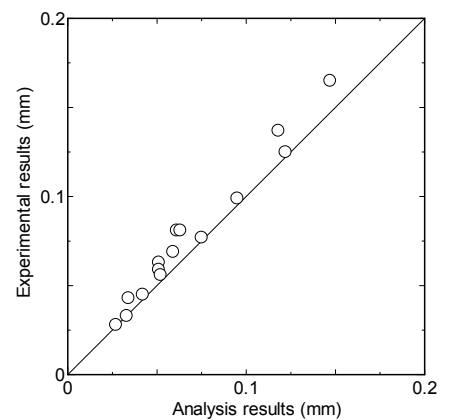


図3 溶接中の開口変位の比較

キーワード 溶接補修, 繰返し荷重, 溶接割れ, ルートギャップ開口変位, 拘束度

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 052-789-4618

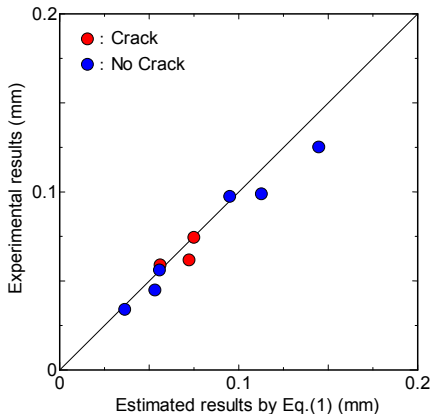


図4 $\Delta\delta_d$ の推定式の検証

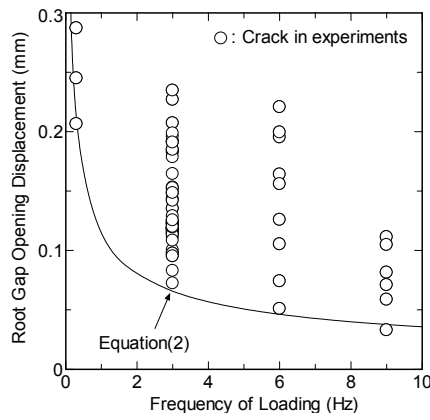


図5 実験時の割れ発生状況

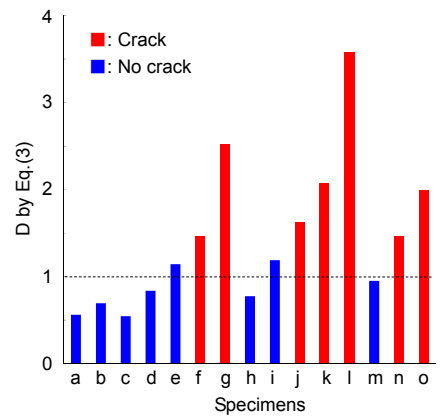


図6 提案した評価式の検証

3. 溶接中の開口変位の推定手法

溶接前の開口変位 $\Delta\delta_0$ (0.075~0.18mm), 繰返し周波数 f (0.3~15Hz), 溶接速度 v (1~4mm/s), 補修長 L (50~500mm) と板幅 W (300~1200mm) の比 L/W (補修長比), 母材および溶接金属の降伏応力 σ_y (母材: 283, 413, 570N/mm², 溶接金属 480, 540N/mm²) を変化させて解析を実施し, 溶接中の開口変位に影響を与える因子を検討した. 板厚は 10mm とした. 詳細は省略するが, その結果として溶接速度 v や継手の拘束度 $R(x)$ の影響が大きいことが明らかとなり, 得られた関係から回帰分析によって次式に示す推定式を求めた.

$$\frac{\Delta\delta_d}{\Delta\delta_0} = C_v \cdot \frac{R(x) - 11400}{-8600 + (-0.278 \cdot \Delta\delta_0 + 0.911) \cdot R(x)} \quad \text{where } C_v = -0.22v + 1.44 \quad (1)$$

ここで, C_v は溶接速度に関する係数である. 式(1)により推定した開口変位と実験値の比較を図4に示す. 実験時の割れ発生の有無を色分けで示している. 図より, 割れの有無にかかわらず, 推定値は実験値と比較的によく一致しており, 今回の検討範囲において, 式(1)により溶接中の開口変位を推定できるといえる.

4. 割れ発生評価式の提案

図5は過去の実験²⁾における割れ発生状況であり, 縦軸は溶接中の開口変位 $\Delta\delta_d$, 横軸は繰返し周波数 f である. この結果の下限を通るように回帰曲線を引くと, 式(2)の割れ発生条件式が得られる. これを満足しない場合には割れが発生するといえる. さらに式(1), (2)より, 式(3)に示す割れ発生評価式を導出できる.

$$\Delta\delta_d \leq 0.114 \cdot f^{-0.506} \quad (2)$$

$$C_v \cdot \Delta\delta_0 \frac{R(x) - 11400}{-8600 + (-0.278 \cdot \Delta\delta_0 + 0.911) \cdot R(x)} \cdot \frac{1}{0.114 \cdot f^{-0.506}} \leq 1 \quad (3)$$

式(3)の左辺 (D とおく) は, 補修位置における溶接前の開口変位 $\Delta\delta_0$, 繰返し周波数 f , 拘束度 $R(x)$ で構成されており, 溶接前に得られる値から割れの発生を評価できる. $D > 1$ の場合に割れ発生と判定される. 過去の実験に対して式(3)により判定した結果を図6に示す. 実際の割れの有無は色分けで示している. 本評価式の判定結果は実際の割れ発生状況とよく一致している. 一部の結果で一致していないものがあるが, 評価式により割れ発生と判定されたが, 実際には発生しなかった場合であり, 少なくとも危険側の評価とはなっていない.

5. まとめ

本研究では, 解析により繰返し荷重下での溶接を再現し, 得られた結果から溶接割れ発生評価式を求めた. さらに提案した評価式により, 実験における割れ発生の有無を十分に判定できることを示した.

謝辞 本研究は国土交通省「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(代表: 舘石和雄) によるものであります. ここに記して感謝いたします.

参考文献 1) JSSC テクニカルレポート No.22, 1993. 2) 長谷川ら: 第69回土木学会年次講演概要集, 部門I, pp.899-900, 2014. 3) 金ら: 溶接学会論文集, Vol.23, No.3, pp.431-435, 2005. 4) JIS B 8270 圧力容器(基盤規格), pp.236, 1993. 5) 溶接学会: 第2版 溶接接合便覧, 2003.