

鋼構造物に発生した疲労き裂の進展遅延化技術の効果定量化に関する検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○佐藤 京, 三田村 浩
神戸製鋼所 正会員 河本 恭平, 山田 岳史
大阪工業大学 フェロー 松井 繁之

1. まえがき

発生した疲労き裂の進展速度を低下させることによる鋼構造物を延命化させる技術について検討した。

疲労き裂の進展が遅くなる現象として、き裂内に堆積したフレッチング酸化物がき裂開口を妨げること（くさび効果）¹⁾が知られている。この現象を強制的に発現させてき裂進展速度を低下させる例として、接着剤²⁾やオイルとアルミナ粒子の混合物（以後、微細粒ペーストと称する）³⁾をき裂内に注入する手法が報告されている。著者らも、微細粒ペーストを用いたき裂遅延化技術について、ペーストの製作条件の検討ならびに種々条件下での効果検証を行ってきた^{4),5)}。

しかしながら、予防保全に反映させて有効に活用するためには、本技術のき裂遅延効果を定量化することによって、き裂進展速度を予測できるようにすることが必要と考えられる。さらに、鋼構造物のき裂に塗布された微細粒ペーストが、長期に亘りき裂遅延効果を発現し続ける耐用性に関する検証も必要である。本報では、これらの点について検討したので報告する。

2. 疲労き裂遅延効果の定量化（応力場依存性の調査）

試験片は、母材（SS400, 降伏応力 332N/mm²）と突合せ溶接継手（SM490A, 降伏応力 387N/mm²）の2種類とした。図1に、それぞれの試験片形状を示す。板状試験片の中央に、疲労き裂の発生の起点となる切欠きを有する。図2には、突合せ溶接継手のX線による残留応力測定の結果を示す。溶接止端部から0.5mm離れた極近傍では、降伏応力の3分の2程度の引張応力が残留していることが確認できる。

まず、所定の疲労負荷を与えて切欠きから全長8~10mmの予き裂を発生させた状態とし、き裂進展量を評価するために、微細粒ペーストを塗布した試験片、無塗布の試験片で疲労き裂進展試験を行った。試験の前後では、き裂長さの測定を行って進展量を評価した。

疲労限界線図の表記を参考に、図3に結果を示す。横軸に平均公称応力 σ_{mean} 、縦軸に公称応力振幅 σ_a を、ともに供試材の降伏応力 σ_y で除した値で整理した。図中には、微細粒ペーストを適用したことによるき裂進展量の低下割合として、ペースト無塗布のき裂進展量をペースト塗布のき裂進展量で除した値を示すとともに、き裂遅延効果の大小をマーカーの大小で示した。母材と溶接継手ともに、結果をまとめると以下ようになる。

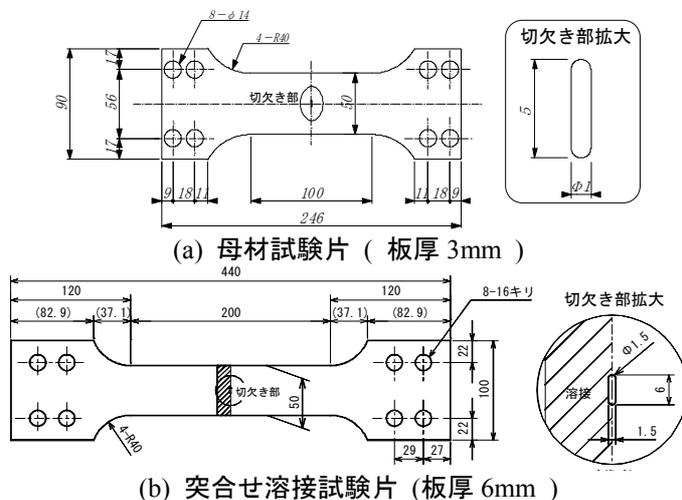


図1 切欠きを有する試験片の形状 (単位:mm)

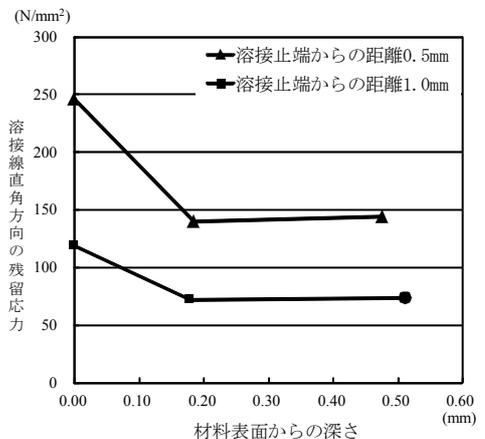
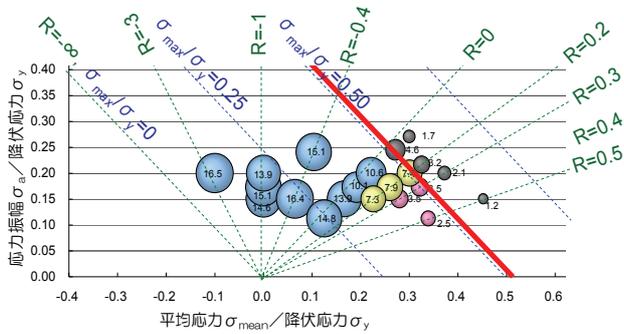


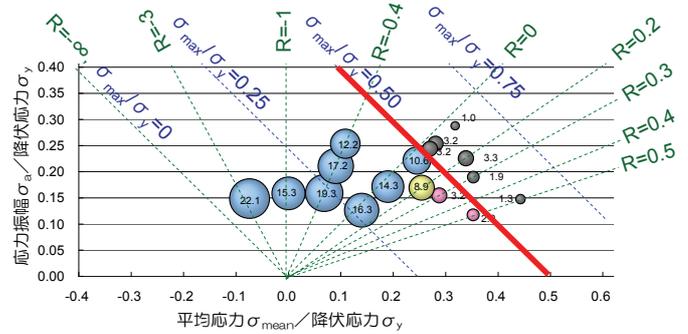
図2 溶接試験片に対するX線残留応力測定の結果

キーワード 鋼構造物, 延命化, 疲労き裂, 微細粒ペースト, くさび効果

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 寒地土木研究所 TEL:011-841-1698



(a) 母材試験片



(b) 突合せ溶接試験片

図3 疲労き裂進展試験の結果 (き裂遅延効果の応力場依存性)

- (1) 発生最大公称応力 $\sigma_{max}/\sigma_y > 約 0.5$: き裂の遅延効果は小さく, き裂進展量は2倍程度以下しか変化しなかった. き裂先端が大きく開口するため, 本技術ではき裂進展を抑制しにくいものと考えられる.
- (2) $\sigma_{max}/\sigma_y \leq 約 0.5$: き裂の遅延効果は応力比に依存する. 応力比 $R=0.5$ で2倍程度であるが, $R=0.3$ で3倍, $R=0.2$ で7倍, $R \leq 0.05$ では10倍以上である. この範囲であればき裂遅延効果は最大応力に依存しない. また, 溶接継手では引張残留応力が導入された本試験においても, 母材と溶接継手での試験結果に有意な差異はないと考えられる.

3. 微細粒ペーストの長期耐用性の検証

ペーストの長期耐用性を検証するために, 曝露試験による効果検証を開始した. 用いた試験片は, 図1の母材試験片と同一のものであり, 切欠きから疲労き裂を発生させた後に, 微細粒ペーストを塗布して曝露に供した. 曝露後には疲労試験を行い, き裂の進展量を比較した. 曝露環境は, 屋内, 屋外(雨なし), 屋外(雨あり)の3環境とした.

これまでに曝露1ヶ月と2.5ヶ月までの試験を行った. 図4に結果を示す. 屋外(雨あり)の条件ではき裂の遅延効果が低下した. 塗布直後: 13.9倍, 曝露1ヶ月: 6.4倍, 曝露2.5ヶ月: 4.3倍である. 雨がかかる環境では効果が持続しにくいいため, シールするなどの対応が必要と考えられる. 一方, 屋内と屋外(雨なし)では高い長期耐用性を有する. 塗布直後では10倍以上の遅延効果があったのに対し, 若干低減したものの7.7~9.1倍を維持した. 今後, 最長1年間をメドとして, 定期的に試験片を回収して, 環境-曝露期間-遅延効果の関係を明らかにしていく.

4. まとめ

鋼構造物に発生した疲労き裂の遅延化技術として有効と考えられる微細粒ペーストについて, その効果の定量性について調査した. 今後は, き裂を有する鋼構造物を対象として, フィールド試験を通じて実環境での効果検証を行う必要があると考えられる.

参考文献

- 1)たとえば 城野政弘, 宋智浩: 疲労き裂 pp17-18, 大阪大学出版会, 2005.
- 2)H. Kitagawa, et.al.: A new method of arresting fatigue crack growth by artificial wedge, Proceedings of International Conference on Fracture Mechanics in Engineering Applications, pp.281-293, 1979.
- 3)高橋一比古ら: 微細粒のくさび効果による疲労き裂進展抑制, 日本造船学会論文集, Vol.184, pp361-367, 1998.
- 4)河本恭平ら: 微細粒ペーストを用いた疲労き裂進展の抑制技術の開発, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, pp889-890, 2010.
- 5)河本恭平ら: 金属材料の疲労き裂進展速度低下用粒子含有ペースト, および, そのペーストを塗布した金属材料疲労亀裂の進展抑制方法及び検出方法, 並びに, それらに用いるペースト, 特許第4852163号, 2011.

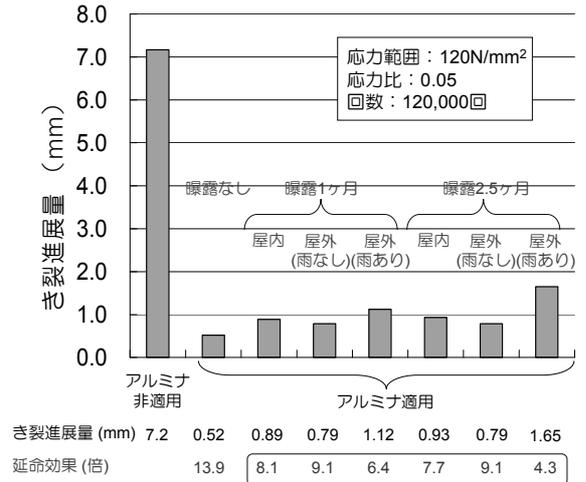


図4 疲労き裂進展試験の結果 (き裂遅延効果の長期耐用性)