

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

(株) 神戸製鋼所 正会員 河本恭平 ○山田岳史 内藤純也

1. まえがき

既設の鋼構造物において疲労き裂の発生が認められた場合には、溶接補修やストップホールによる対応が一般的であるが、再び疲労き裂が発生するために、同じ対策を繰返し講じる状態のようである。疲労き裂の発生は応力集中部や残留応力との因果関係が大きい、鋼構造物においてこの応力集中部や残留応力をなくすことは現実的でなく、疲労き裂の発生を許容せざるをえないのが実情だと考えている。

そこで、発生した疲労き裂の進展速度を低下させて、設計供用期間内において鋼構造物全体の安全性に影響を及ぼさない範囲の疲労き裂の長さで留めることを考えた。具体的には、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ティング酸化物がき裂開口を妨げて有効応力拡大係数範囲が低下する現象（ブリッジング効果）が知られており⁽¹⁾この現象を利用する。ブリッジング効果を強制的に発現させた例として、接着剤⁽²⁾や油にアルミナ微細粒を含ませたペースト材（以降、アルミナペースト、あるいは単にペーストと呼ぶ）^{(3)~(6)}をき裂内に注入することによって、疲労き裂進展速度が低下することが報告されている。

本報では、アルミナペーストを用いた疲労き裂進展の抑制技術について、従来の研究では十分に明らかにされていない大きな効果を得られるペーストの製造条件を明らかにするとともに、実構造物に作用する種々の負荷形式の下で行った効果検証試験の結果を報告する。

2. き裂進展抑制効果に関する予備試験

アルミナペーストによる疲労き裂進展の抑制効果に及ぼす因子として、①アルミナ粒径、②ペーストの粘性、および③負荷状態を考えた。

予備試験では①と②について検討した。試験装置は電気油圧サーボ式疲労試験機、試験片は SS400 製の CT 試験片および板状試験片を用いた。また、すべての試験は室温大気中、荷重制御（正弦波）、応力比 $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = 0.05$ で行った。

アルミナ粒径 0.01~100 μm (平均値) の範囲で 5 レベル、粘度 1~100 Pa $\cdot$ sec の範囲でアルミナペーストを製作し、それらを塗布した試験片と塗布していない試験片を試験に供した。図 1 にアルミナ粒径をパラメータとした試験結果を示す。き裂進展速度は、粒径 0.01~100 μm ではいずれの場合でも低下した。特に粒径 0.1~10 μm の場合に効果が大きく、き裂進展速度が 1/10 未満にまで減速することが判明した。

また、アルミナペーストの粘性について検討した。図 2 に試験後の疲労破面写真の例を示す。図中(a)の粘度 32 Pa $\cdot$ sec の場合では、き裂発生部に塗布したペーストが疲労破面内に進入したことが分かる（疲労寿命の向上も確認している）。これに対して、(b)の 70 Pa $\cdot$ sec ではペーストが固着してき裂内部に侵入できないこと、(c)の 3 Pa $\cdot$ sec では低粘度でペーストが流出して残っていないことが確認できる。これらは施工技術の併用によって補えるが、5~50 Pa $\cdot$ sec がより望ましい粘度範囲であった。

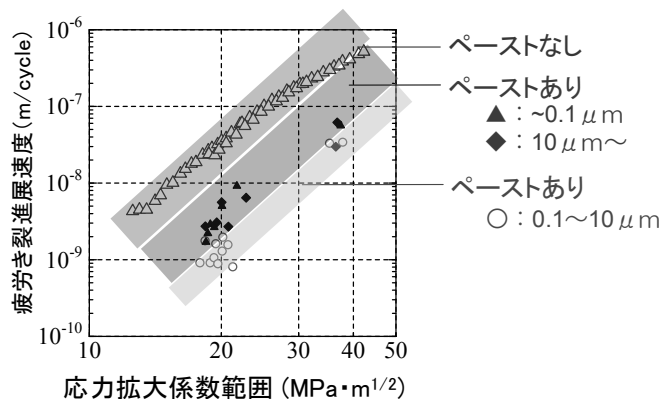


Fig. 1 Fatigue crack growth rate.

キーワード 疲労, 延命化技術, き裂進展抑制, 微細粒ペースト, ブリッジング効果

連絡先 〒651-2277 神戸市西区美賀多台 1-5-5 (株)神戸製鋼所 技術開発本部 機械研究所 TEL 078-992-5641

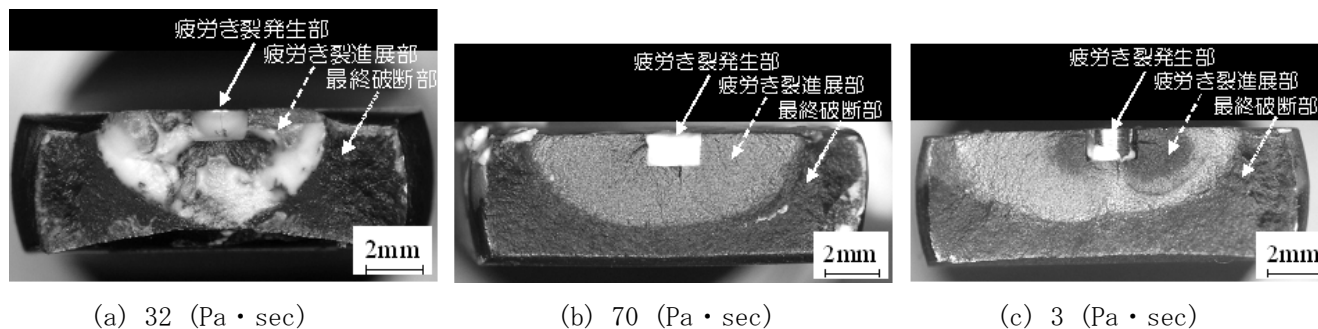


Fig.2 Fatigue fracture surface.

3. 実構造物における効果検証試験

実構造物に試験片を設置し、き裂進展抑制効果を検証した。対象構造物は、工場内の資材搬送設備のレール側面と架台斜材、さらに、切断機の動力伝達軸の3箇所である。であり、それぞれ曲げモーメント、軸力、ねじりが作用する部材である。いずれも実構造物であるためランダム応力が作用する。試験片はペア（アルミナペーストの有無）で同一負荷が作用するように設置した。搬送設備ではCT試験片を設置して4ヶ月、切断機には疲労センサ⁽⁷⁾を貼付して1ヶ月の試験を行った。表3に、各ペアのき裂進展量の比（ペーストあり／ペーストなし）を示す。いずれの条件下でもペースト塗布によるき裂進展抑制効果を確認できる結果が得られた。

試験対象	搬送設備のレール側面（4ヶ月）		搬送設備の架台斜材（4ヶ月）		切断機の動力伝達軸R部（1ヶ月）			
負荷形式	曲げモーメント		軸力		ねじりモーメント			
き裂進展量 (mm)	ペーストなし	ペーストあり	ペーストなし	ペーストあり	ペーストなし	ペーストあり	ペーストなし	ペーストあり
	1.20	0.20	0.96	0.032	0.447	0.033	0.445	0.028
き裂進展量の比	0.167		0.034		0.074		0.063	

Fig.3 Results of fatigue crack growth tests on real structures.

4. まとめ

疲労き裂の生じた既設構造物の延命化に有効と考えられる、アルミナを含むペースト材を用いたき裂進展抑制技術について検討し、効果の大きいペースト製作条件の調査および実機のランダム荷重下での効果検証を行った。長期間の使用に耐える施工技術の確立などが今後の課題と考えている。

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, India, 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) I. Takahashi, *et. al.*: Restraint of fatigue growth by wedge effects of fine particles, Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., Vol 23, pp867-877, 2000.
- (5) 高橋一比古ら: アルミナペースト塗布による疲労き裂進展の自動抑制および目視検出, 溶接学会論文集, Vol. 22-4, pp531-541, 2004.
- (6) 高橋一比古ら: 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 3808846 号, 2006.
- (7) 川重テクノロジー株式会社ホームページ: <http://www.kawaju.co.jp/fs/index.html>