

硬化材注入による鋼材の疲労き裂進展遅延効果

名古屋大学 学生会員 北河 一喜
 名古屋大学 正会員 館石 和雄
 日本道路公団 正会員 稲葉 尚文
 日本道路公団 正会員 富田 芳男

1. はじめに

鋼材に生じた疲労き裂に対する応急対策として、き裂先端近傍を局部的に加熱することにより一時的にき裂を開口させ、その間にき裂内部に硬化材を充填する手法を提案し、その効果について実験的に明らかにした。

2. き裂先端の局部加熱試験

き裂先端の局部加熱によるき裂の開閉口現象を明らかにするため、き裂を導入した鋼板に対して局部加熱試験を行った。試験体を図-1に示す。鋼種はSM490材である。この試験体に繰り返し荷重を行い、人工切欠きから全長18mmの疲労き裂を導入した後、き裂先端近傍を加熱した。加熱には最高温度1300℃、25～125W相当の性能を有する携帯用ガスバーナーを用いた。

加熱作業は火口と試験体の距離が20mm程度となるように固定し、リガメント部のき裂先端から少し離れた位置に炎が当たるようにした。試験体片面から15分程度加熱した後、常温で放置した。加熱中の温度変化を試験体の数ヶ所に設置した熱電対により、また、試験体側面でのき裂開口幅をマイクロSCOPEにより計測した。

熱電対による温度計測結果によれば、今回の加熱による温度上昇は最大でも100℃程度となっており、鋼材の材料特性への影響はほとんどないと思われる。図-2に試験体側面のき裂開口幅の変化を示す。加熱によりき裂は開口を始め、約330秒後に最大となった。加熱終了後常温で放置したところ、開口幅はほぼ加熱前の状態まで戻った。よって今回得られたき裂の開口は加熱による一時的な現象であり、この間にき裂内部へ硬化材を注入することで、き裂開閉口幅の減少が期待できる。

3. 局部加熱を併用した硬化材注入を行った疲労試験

試験体は図-1に示したものと同様である。まず、一定振幅の荷重の繰り返し荷重を行い、所定の長さまでき裂を進展させた。き裂が所定の長さになった後、繰り返し荷重における最小値を静的に保持した状態で、鋼材片面からバーナーを用いてき裂先端を加熱した。加熱時間は5分とした。加熱終了後直ちに加熱面側から硬化材をき裂に注入し、硬化促進剤をスポイトで垂らした。硬化材はシアノアクリレート系瞬間接着剤とした。その後、最小荷重を保持したまま室温で放置した。試験体冷却後、予き裂導入時と同じ荷重範囲で繰り返し荷重を再開し、き裂進展挙動を観察した。試験条件を表-1に示す。一体の試験体につき、き裂長10mmと18mmの2つの時点で硬化材注入を行っている。

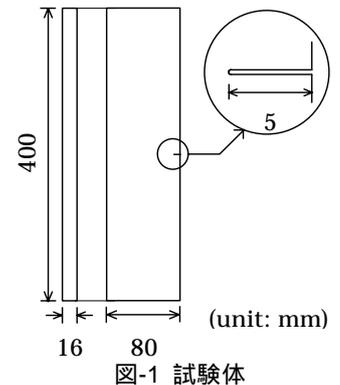


図-1 試験体

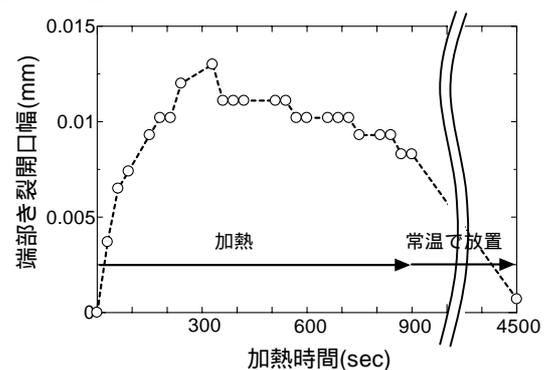


図-2 加熱によるき裂開口幅の変化

表-1 試験条件

試験体名	条件	最大応力 (MPa)	最小応力 (MPa)	応力範囲 (MPa)	硬化材注入時のき裂長 (mm)
H-70-10	加熱のみ	120	50	70	10
H-70-18					18
HI-70-10	局部加熱	120	80	40	10
HI-70-18					18
HI-40-10	+硬化材注入	120	80	40	10
HI-40-18					18
HI-30-10		120	90	30	10

キーワード 疲労き裂, 硬化材注入, 局部加熱, き裂進展, 応急補修

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学 エコトピア科学研究所

さらに、加熱のみによる遅延効果の有無を明らかにするため、応力範囲70MPaのものについては、局部加熱のみの試験も行った。

図-3に応力範囲70MPaでの繰返し数とき裂長の関係を示す。図中の実線は、硬化材注入を行わない場合のき裂進展を、き裂進展解析により予測した結果である。硬化材注入前の実験結果と進展解析結果はよく一致しており、硬化材注入を行わない場合のき裂進展は

解析により精度良く予測できるといえる。加熱のみを行った試験ではき裂は解析結果と同様の進展を示しており、遅延効果は認められなかった。局部加熱を併用して硬化材注入を行った試験では、どちらのき裂長で硬化材を注入した場合においてもき裂進展遅延効果が見られた。図-4に応力範囲30MPaでの試験結果を示す。この場合、硬化材注入後、荷重の繰返し回数が450万回を超えてもき裂の進展は見られず、き裂を停留させることができた。応力範囲が40MPaでの結果は省略するが、応力範囲が70MPaでの注入に比べて遅延効果が顕著となる結果となった。以上の結果から、硬化材注入によるき裂進展遅延効果は、応力範囲の影響を強く受けることが予測される。

4. き裂進展解析による遅延効果の予測

図-5に示すように、き裂が長くなるに従い、ある位置での最大および最小荷重時のき裂開口幅はともに増加していく。き裂長 a の時点で加熱を行い、硬化材を注入した場合を考える。硬化材によっても最大荷重時の開口量は変化しないが、硬化材により最小荷重時の開口量が押し上げられることでき裂開口幅は減少する。この効果は硬化材注入直後が最大であり、その後き裂が進展すると小さくなる。やがてき裂長が a' となった時点で、硬化材による開口幅の抑制効果は得られなくなる。き裂の開口幅は当然のことながら着目位置によって異なるが、ここでは硬化材の注入時において最もき裂が開いている位置（硬化した硬化材の厚さが最も厚い位置）、すなわち試験体の側面に着目する。今回対象とした縁き裂に対して、硬化材がないときの試験体側面でのき裂開口量は数値解が求められているので、それにより計算することができる。よって、硬化材注入後の試験体側面での残留開口幅を求めることができれば、上記の現象を考慮したき裂進展解析が可能となる。

図-3中に、硬化材注入の効果を検討した疲労き裂進展解析結果を点線を示す。ここで、硬化材によるき裂の残留開口幅は実測値を用いた。解析結果の方が実験結果より若干き裂の進展は早くなるが、注入後のき裂進展挙動をよく予測できている。

図-3中に、硬化材注入の効果を検討した疲労き裂進展解析結果を点線を示す。ここで、硬化材によるき裂の残留開口幅は実測値を用いた。解析結果の方が実験結果より若干き裂の進展は早くなるが、注入後のき裂進展挙動をよく予測できている。

5. まとめ

局部加熱を併用した硬化材注入を行った疲労試験を行い、硬化材注入による疲労き裂進展抑制効果を明らかにした。また、硬化材の影響を考慮したき裂進展解析により硬化材注入後のき裂進展挙動を精度よく予測できた。

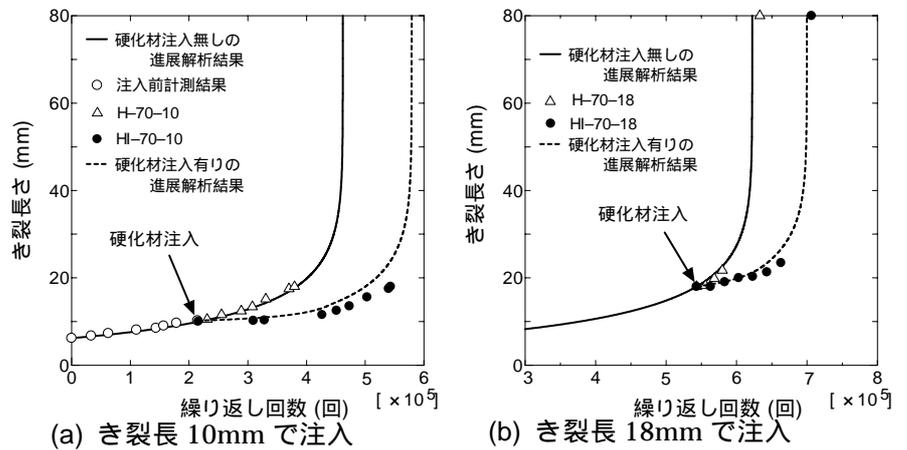


図-3 応力範囲 70MPa での試験結果

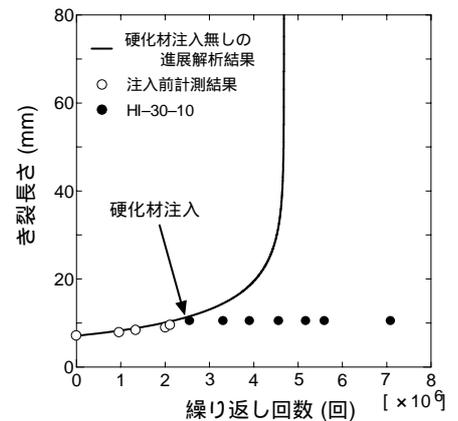


図-4 応力範囲30MPaでの試験結果

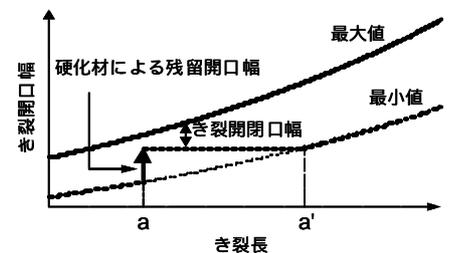


図-5き裂進展によるき裂開口幅の変化