

動的載荷時の接着剤注入による鋼材の疲労き裂進展遅延に関する研究

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 紫桃 孝一郎

1. 背景・目的

鋼部材に発生した疲労き裂に対する応急的な処置法として、ストップホールがよく用いられる。ストップホールは、その簡便性と遅延効果から有効な方法ではあるが、疲労き裂の中にはストップホールを空けるのが困難な箇所が発生するものもある。そこで本研究では、ストップホールに代わる応急処置方法として、き裂に樹脂あるいは接着剤を注入する手法を提案する。

2. 進展遅延原理と過去の研究

破壊力学によればき裂開口変位と応力拡大係数範囲は線形関係にあり、何らかの方法でき裂開口変位を小さくする事が出来ればき裂進展を遅らせる事が可能である。そこで、開口したき裂に接着剤を注入、硬化させる事でき裂の閉口を抑制することを試みている。過去の研究により、疲労き裂の生じた試験体に一定振幅繰り返し荷重を作用させ、その途中で、荷重を最大値に保持し、き裂が最も開口したままの状態でき裂内部全面に樹脂を注入し、硬化させたところ、その後の繰り返し荷重において疲労き裂はほとんど進展しないことが明らかとなった。また、十分なき裂の進展抑制効果を得るためには、樹脂に 2500MPa 程度の弾性係数が必要であり、またき裂先端まで樹脂が浸透しているかにより遅延効果が大きく影響される事を明らかにした²⁾。

3. 動的載荷中の注入試験

実際の構造物への適用を考えると、最大荷重を保持したまま樹脂を注入することは不可能である。そこで動的載荷中に注入した場合の遅延効果を確認する実験を行った。

試験体を図-1に、用いた接着剤の物性値を表-1に示す。本試験では瞬間接着剤を用いた。これは硬化促進剤と併用する事で瞬間的な硬化が可能であるが、弾性係数が小さいという欠点がある。試験体に一定の応力振幅で繰り返し載荷を行い、人切欠きから初期き裂を導入し、あるき裂長に達した時点で動的載荷のまま接着剤の注入を行った。試験条件を表-2に示す。試験中、載荷速度は 4.5Hz で一定である。

接着剤の注入には特別の装置を用いず、図-2に示す容器で、試験体の片面からき裂先端付近へ噴射する事で注入した。また適当な繰り返し数ごとに、マイクロスコープを用いてき裂長を、コバ面に設置した変位計で開口変位の測定を行った。図-3～5はマイクロスコープで撮影した接着剤注入前後のき裂開閉画像である。き裂内部で硬化した接着剤が楔となり、き裂の閉口を妨げている。

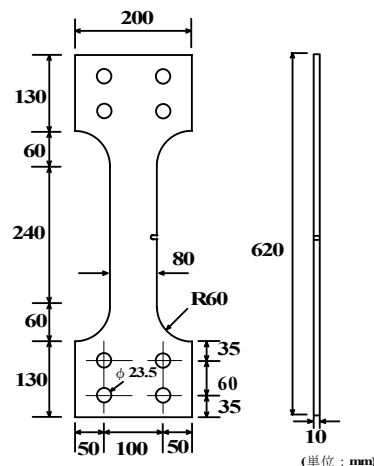


図-1 試験体

表-1 接着剤の性質

3000スーパー（セメダイン社）

弾性係数	700～1000MPa程度
粘度	3 mPa・s
硬化時間	5～10秒

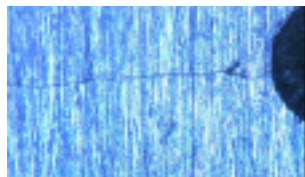
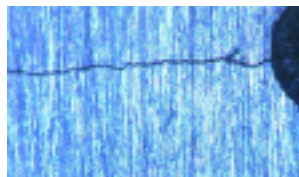
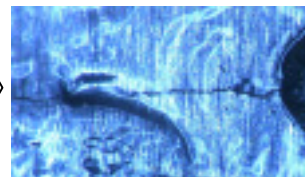
* 効果促進剤との併用で瞬間的に硬化

表-2 試験条件

応力範囲 $\Delta \sigma$ (MPa)	接着剤注入時のき裂長 a (mm)	注入前の理論値	
		応力拡大係数範囲 ΔK (MPa $\sqrt{m}$)	き裂端部の開口変位 δ (mm)
20～70	14.4	14.10	0.0227



図-2 注入に用いた容器

図-3 20MPa 発生時
(接着剤無し)図-4 70MPa 発生時
(最大応力)図-5 20MPa 発生時
(接着剤硬化後)

キーワード：き裂進展抑制，応急補修，疲労，応力拡大係数，き裂進展解析

連絡先：〒464-8603 名古屋大学大学院環境学研究科 TEL：052-789-4620

図-6 に破断面を示す．図中の矢印が接着剤を注入したときのき裂先端を示し，右端の色の濃い部分が接着剤の浸透範囲を示している．一部にムラはあるものの，全体的によく浸透していた．

図-7 にき裂端部（人工切欠き底）での開口変位の理論値と，計測値を示す．接着剤注入前(▲, △)にはき裂開口変位の実測値と理論値は一致している．接着剤を注入すると，最大荷重時のき裂開口変位は理論値と一致したまま，最小荷重時の開口変位は理論値よりも大きくなっており，その結果開口変位の幅($\delta_{\max} - \delta_{\min}$)が減少している．またき裂が進展するにつれ最小荷重時のき裂開口変位の実測値は理論値とほぼ同じ値となり，最終的には接着剤による開口抑制効果はなくなった．

図-8 にき裂進展長を示す．接着剤注入を行ったことによりき裂進展が遅延している．最終的には注入の時点から約2.2倍の寿命の延びがあった．また図中には破壊力学による接着剤注入後の進展予測結果を併せて示している．注入後の進展予測は次の方法で行った．

接着剤注入後の応力拡大係数範囲を $\Delta K_a = \alpha \Delta K$ と仮定する．ここで α は樹脂注入による応力拡大係数範囲の低減率である．先に述べたように応力拡大係数範囲とき裂開口変位は比例関係であるから， α は次のように定義される．

$$\alpha = \frac{\text{注入後の応力拡大係数範囲}}{\text{注入無しの場合の応力拡大係数範囲}} = \frac{\Delta K_a}{\Delta K} = \frac{\Delta \delta_a}{\Delta \delta} = \frac{\delta_{a,\max} - \delta_{a,\min}}{\delta_{\max} - \delta_{\min}}$$

ここで $\delta_{a,\max}$ $\delta_{a,\min}$ はそれぞれ接着剤注入直後のき裂の最大・最小荷重時の開口変位であり， $\delta_{\max}$, $\delta_{\min}$ は接着剤を注入しない場合の最大・最小荷重時の開口変位である．最大荷重時のき裂開口量に対して接着剤は影響しないため， $\delta_{a,\max} = \delta_{\max}$ であり， $\delta_{\min}$ と共に理論式から求める事が出来る． $\delta_{a,\min}$ はコバ面に取り付けた変位計の値を用いた．図-7 で示したように接着剤による変位抑制効果はき裂の進展と共に減少するため α は a の関数であり，今回の試験では図-9 のようになる．ある一定の長さだけき裂が進展すると低減率は1となる．これはき裂の進展により，最小荷重時のき裂開口幅が，注入した接着剤の厚さよりも大きくなり，楔効果が得られなくなるためである．各き裂長における ΔK_a を求め，き裂進展速度式に代入する事で進展予測を行った．解析結果は実験値と概ね一致しており，接着剤注入直後の最小荷重時のき裂開口幅の変化を計測する事で，ある程度の進展予測が可能である．

まとめ

動的載荷状態で接着剤を注入する事で，き裂進展の遅延を試みた．実験により遅延効果を明らかにし，注入後の進展予測方法を提案した．

参考文献

- 1) 北河一喜，館石和雄，吉嶺建史，鈴木永之，鈴木博之：樹脂注入による鋼材の疲労き裂進展抑制に関する実験的研究，第57回年次学術講演会講演概要集第1部(2002)，pp.563-564
- 2) 吉嶺建史，北河一喜，館石和雄，鈴木永之，鈴木博之：樹脂注入による疲労き裂進展抑制に関する解析的検討，第57回土木学会年次学術講演会講演概要集第1部(2002)，pp.561-562

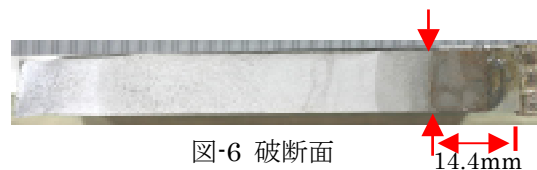


図-6 破断面

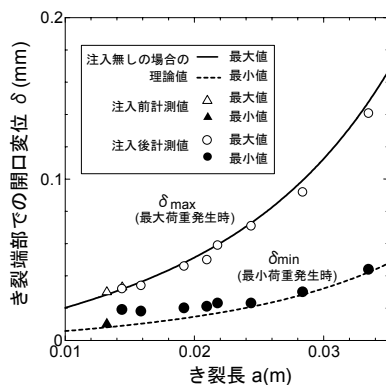


図-7 き裂開口変位の変化

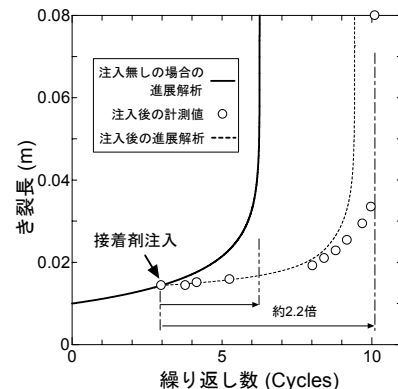


図-8 試験結果

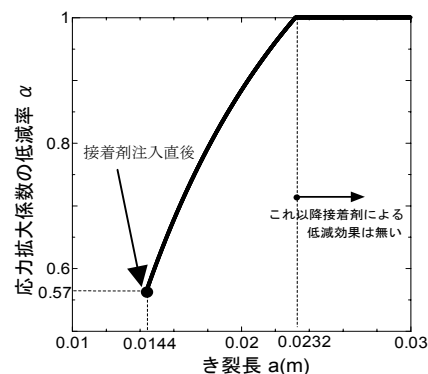


図-9 低減率 α