

京都大学大学院 学生員 ○時澤 舞 京都大学大学院 正会員 松本 理佐  
 京都大学大学院 正会員 佐藤 颯彦 京都大学大学院 正会員 北根 安雄  
 大阪大学大学院 正会員 堤 成一郎

1. はじめに

鋼橋に繰返し力が作用すると、応力集中箇所から疲労き裂が発生・進展し最終的には破断に至る。疲労き裂の補修には現在ストップホール法が主に用いられているが、これは動力源や大きな工具を要するためすべてのき裂を簡易に補修できる方法が求められている。

そこで、本研究では樹脂注入法に着目した。これはき裂内部に樹脂や腐食を作成することで、き裂開口変位を小さくし、き裂進展を遅延させる方法である<sup>[1][2]</sup>。本研究では圧縮条件下にて溶接部材の疲労試験を行い、補修内容の種類や応力条件を変え、樹脂注入による疲労き裂進展遅延効果を明らかにすることを目的とする。

2. 注入樹脂の材料試験

樹脂注入法に用いる樹脂の材料特性を明らかにするため、JISK7161 1 を参考に引張試験を行った。樹脂 R はシアノアクリレート系樹脂、グラファイト混合樹脂 RG は樹脂 R に粒径 5~11 $\mu\text{m}$  のグラファイト G を質量混合比を変えて混合したものである。各樹脂につき 3 体の引張試験を行った。試験結果を表 1 に示す。表 1 に示すように樹脂中のグラファイト混合比が大きくなるほど、剛性が向上することが明らかになった。

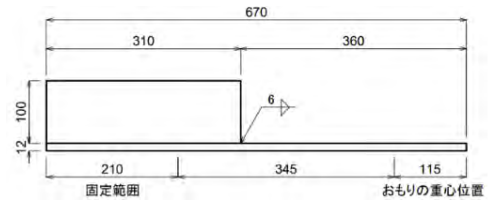
表1 材料試験結果

	弾性係数 $E$ (MPa)	引張強度 (MPa)
樹脂R	16329	250
樹脂RG(R: G=4:1)	20247	133
樹脂RG(R: G=2:1)	26809	78

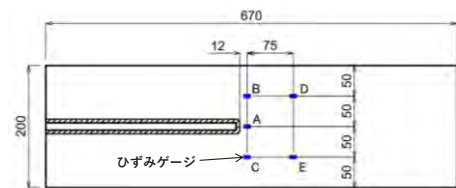
3. 疲労試験による補修効果の評価

3.1 試験体及び試験方法

本試験で用いた面外ガセット溶接継手(SM490Y 材)の寸法・ひずみゲージ貼付位置を図 1 に、板曲げ疲労試験機を図 2 に示す。疲労試験開始時のゲージ B, C のひずみ範囲と D, E のひずみ範囲の比に、き裂発生後の D, E のひずみ範囲と弾性係数を乗ずることで、き裂発生後の溶接止端の作用応力範囲を算出した。



(a) 側面図



(b) 平面図・ひずみゲージ貼付位置

図 1 面外ガセット溶接継手 (単位: mm)

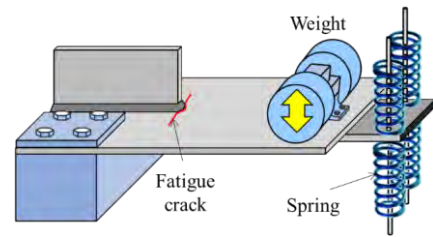


図2 板曲げ疲労試験機

表 2 に試験体名を示す。腐食 C は 35%硝酸を 2 時間ごとに 5 回き裂に注入し、腐食生成による補修を試みた。また、樹脂 R, RG は各樹脂をピペットで注入し補修とした。なお、無荷重状態ですべて下向きに注入し、24 時間以上養生させた後、疲労試験を再開した。

表2 試験体一覧

試験体名	補修内容	作用応力範囲 (MPa)	応力比
C80	C	80	∞
R80	R		
RG80-1	R+G		
RG80-2	R+G(R: G=16:1)	120	
R120	R		
RG120-1	R+G(R: G=4:1)		
RG120-2	R+G(R: G=16:1)	120	
RG120-3	R+G(R: G=16:1)		

3.2 疲労試験結果

作用応力範囲 80MPa, 120MPa のときの補修後の疲労試験結果を図 3 に示す。縦軸は表面き裂長 (mm), 横軸はき裂長が溶接止端から 10mm 進んだ  $N_{10}$  での繰返し回数を 0 として整理した, 繰返し回数  $N-N_{10}$  を示す。また, 無補修の結果を AW として示し, 試験体裏面からき裂を確認した時点を白抜きで示している。

図 3(a)からわかるように作用応力範囲 80MPa では, 硝酸注入による腐食生成 C80 で大きな補修効果は見られなかった。一方, 樹脂を用いて補修を行った試験体 R80, RG80-1, RG80-2 は, AW80 と比較してき裂の進展に多くの繰返し回数を要した。このことから, 樹脂を用いた補修によりき裂進展遅延効果が得られたといえる。特に RG80-1 ではき裂進展の停留が見られ, 最終的に約 14 倍のき裂進展の遅延効果が確認できた。そのほかの試験体では約 2.5 倍の遅延効果が得られた。

次に図 3(b)に示す作用応力範囲 120MPa では, 樹脂を用いた補修により R120, R120-1, R120-2, R120-3 では 2~3 倍のき裂進展遅延効果が確認でき, 裏面からのき裂発生の遅延も確認できたが, RG80-1 のような顕著な遅延効果は得られなかった。

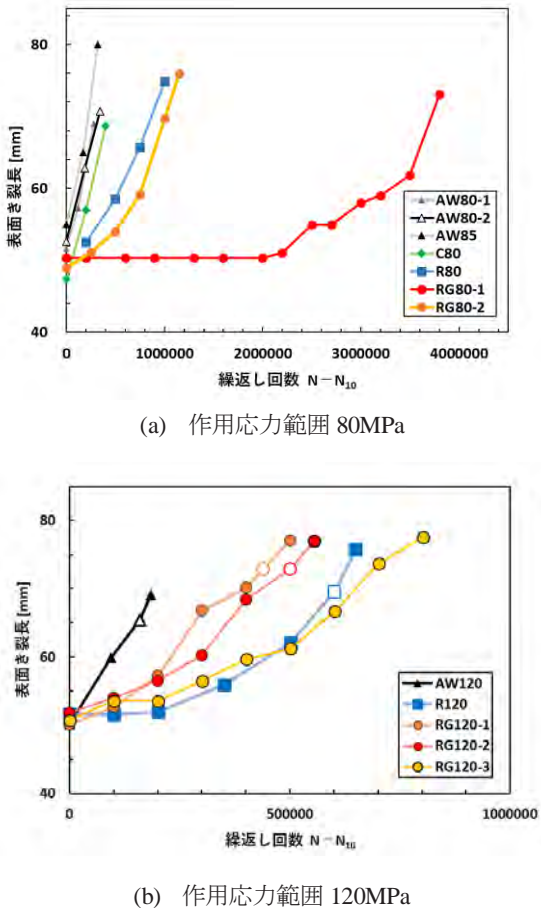


図 3 補修後のき裂長と繰返し回数の関係

R80 と RG80-1 において疲労試験後の試験体破面から観察した, 樹脂の浸透範囲を図 4 に示す。予き裂 (赤色実線) 内に樹脂 (オレンジ破線) が浸透していることがわかる。き裂進展の大きな遅延効果が見られた RG80-1 では樹脂の浸透範囲が予き裂に占める割合が非常に大きいことがわかる。この結果と図 3 の結果を踏まえると, 本研究で用いた樹脂による補修効果は樹脂のき裂内への浸透範囲に大きく依存すると考えられる。

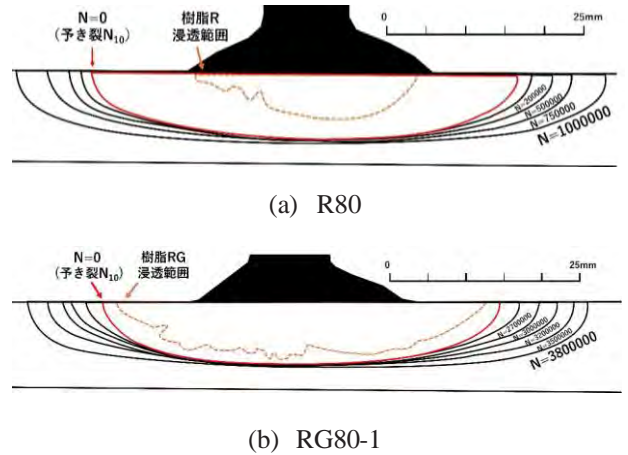


図 4 試験体破面の浸透範囲

4. まとめ

本研究では, 圧縮条件下において溶接部材に発生した疲労き裂に対し樹脂または腐食生成材を用いて補修を行い, そのき裂進展遅延効果を検討した。

作用応力範囲 80MPa, 120MPa において疲労試験を行い, 樹脂を用いた補修により無補修時と比べて最大 14 倍のき裂進展遅延効果が確認できた。この試験体では予き裂内への樹脂の浸透範囲が他試験体と比較して大きいことも確認された。ただし, 硝酸注入により生じる腐食生成物を用いた補修では明確なき裂進展遅延効果は確認できなかった。

5. 参考文献

[1] Cut Atika PUTRI, 館石和雄, 清水優, 判治剛: 腐食促進剤注入による疲労き裂進展の遅延, 鋼構造論文集, 日本鋼構造協会, Vol.28, No.112, p.111-116, 2021.

[2] 館石和雄, 判治剛, 石川敏之, 清水優, 崔誠珉: 疲労き裂の補修技術に関する技術開発, 道路政策の質の向上に資する技術研究開発成果報告レポート, 新道路技術会議, No.24-8, 2015.