# 赤外線サーモグラフィ法に基づくスタッドの疲労き裂進展評価に関する実験的検討

神戸大学正会員○塩澤大輝学生員山下雄大正会員阪上隆英滋賀県立大学正会員和泉遊以川田工業正会員水野浩大阪大学名誉教授フェロー松井繁之

## 1. はじめに

鋼・コンクリート合成床版の疲労損傷として、コンクリートのずれ止めの役割を果たす頭付きスタッドジベル(以下スタッドと略す)の疲労き裂が懸念される.スタッドの溶接仕端部から底鋼板に発生したき裂によって、底鋼板において計測される熱弾性応力分布が変化することが報告されている<sup>1)</sup>.本研究では、スタッドからせん断負荷により進展する疲労き裂を実験室において再現し、その際の熱弾性応力計測結果による疲労き裂の検出性およびき裂長さの定量評価への適用性について検討した.

# 2. 熱弾性応力測定

断熱状態の材料に弾性変形が生じる時,主応力和Δσと温度変化ΔTの関係は次式のように表される.

$$\Delta T = -\frac{\alpha}{\rho C_{\rm p}} T \Delta \sigma = -kT \Delta \sigma$$

(1)

ここでαは線膨張係数,ρは密度,Cpは定圧比熱,Tは絶対温度,kは熱弾性係数である.赤外線サーモグラフィを 用いて得られる温度変動データから,式(1)に基づき主応力和の変化量を求めることができる.輪荷重が作用するな かでコンクリートと底鋼板の付着が切れると,スタッドはコンクリートからせん断力を受ける.このとき底鋼板に おける応力の変化を熱弾性応力計測により得ることができる.

## 3. 試験方法

**3.1 試験体** 底鋼板にスタッドが溶接された試験体を用いた(図 1).供試材は底鋼板およびスタッドともに SS400 である. 底鋼板の厚さ *t* とスタッドの直径 *d* の組合せは,これまでロビンソン型合成床版に多く用いられて きた組み合せ(*t*,*d*) =(9,16),および今後適用し増加する組合せ(*t*,*d*) =(6,13)の二種類の試験体を用意した.

3.2 き裂進展試験 試験体のスタッドにせん断負荷を直接与える疲労試験を実施した場合,疲労き裂は溶接の 止端部ではなくスタッドの根本である離間部から発生し,主にスタッド内を進展する可能性が考えられた.本研究 では,スタッド止端部から発生して底鋼板内を進展するき裂を評価するために,止端部に初期き裂を導入した後, せん断耐荷により疲労き裂を進展させた.現有の引張圧縮疲労試験機では底鋼板に引張圧縮負荷を与えて止端部に 疲労き裂を発生させることは困難であったため,板曲げ疲労試験機を用いて初期き裂の導入を試みた.板曲げ疲労 試験機の外観を図2に示す.板曲げ疲労試験機では,試験体先端に取り付けた偏心モーターによる振動により試験 体に曲げ負荷を与える.初期き裂を導入後,せん断耐荷治具に設置できる大きさになるように試験体長手方向を切 断し,き裂進展試験を行った(図3).き裂進展試験の試験条件としては,スタッドせん断面での最大せん断応力τ<sub>max</sub>



キーワード 赤外線サーモグラフィ 熱弾性応力計測 非破壊評価 疲労き裂進展 合成鋼床版 連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1, Tel 078-803-6303



図4 き裂准展試験におけるき裂形状の計測結果

を 50MPa, 応力比 R を 0.1 とし, 電気油圧式サーボパルサを用いて繰返しせん断負荷を与えた. このときスタッド 溶接側の反対面である底鋼板側において熱弾性応力計測を行った.

### 4. 試験結果

スタッド止端部におけるき裂の外観写真および、き裂進展試験中の磁粉探傷によるき裂長さの測定およびき裂深 度計によるき裂深さ測定結果を用いたき裂形状の推定結果を図4に示す.本実験結果は、鋼板の板厚 t=6mm、スタ ッド径 d=13mm の結果である.図4より、板曲げ疲労試験により導入された疲労き裂が、せん断耐荷によるき裂進 展試験により底鋼板をき裂が進展していることが分かる.熱弾性応力測定結果を図5に示す.図は明瞭なオレンジ 色が圧縮側、暗い青色が引張側の応力をそれぞれ示す.同図では、参照応力評価位置での応力振幅を基準とした相 対値の分布を示している.負荷繰返し数 N=3.0×10<sup>6</sup> cycles において、き裂は応力計測側に貫通していなかった.図 5(a)より試験開始直後では、圧縮応力の分布は初期のき裂形状に応じて負荷方向に非対称な分布を示していること が分かる.繰返し数とともにこの応力分布は対称な形状に変化し、2.0×10<sup>6</sup> cycles(c)から3.0 cycles(d)にかけては、 圧縮応力が大きな領域が幅方向に拡がっている.表面観察において、初期き裂とは異なるき裂が分岐して進展して いたことから、曲げ負荷からせん断耐荷に変えたことによるき裂進展方向の変化とそのき裂進展量を熱弾性応力分 布は反映していたものと考えられる.スタッド中心を通る図中の実線上の主応力分布を示した図 5(d)より、 1.0×10<sup>6</sup>cycles 以降において圧縮の最大応力が繰返し数とともに大きくなっていることが分かる.有限要素解析にお いてもき裂深さが大きくなるほど圧縮の最大応力が大きくなる傾向が見られたことから、この応力分布の変化はき 裂が深さ方向に成長していることを示唆しているものと考えられる.

# 5. まとめ

今回,実験室でスタッドのせん断疲労試験を実施し、スタッドから発生・進展する疲労き裂進展挙動を、底鋼板 貫通前においても熱弾性応力計測により検出できることが分かった.今回は(*t,d*)=(6,13)1 体の試験結果であり、今後、 もう2体(合計3体)実施予定である.また(*t,d*)=(9,16)の試験体も疲労試験を実施することで信頼性の高いデータ を取得し、熱弾性応力計測結果のき裂進展の定量評価への適用性について検討する予定である.

### 参考文献

1) 中野好祐ら,自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法に基づく鋼・コンクリート合成床版におけるスタッドの疲労損傷評価,土木学会第68回年次学術講演会講演概要集 pp. 805-806, 2013-9.

