熱弾性応力測定法に基づくロビンソン型合成床版におけるスタッド疲労損傷評価の高精度化

滋賀県立大学　学生員　○市橋　良　　滋賀県立大学　正会員　和泉遊以
川田工業株式会社　正会員　水野　浩　　神戸大学　正会員　阪上隆英
大阪大学名誉教授　フェロー　松井繁之

１．目的

ロビンソン型合成床版は，鋼板とコンクリートを頭付きスタッドジベルにより一体化した疲労耐久性に優れた床版形式であり，数多くの新設橋梁，また近年では取替床版として用いられている．既往研究により，輪荷重載荷による回転せん断力が長期間に渡って作用することにより，合成床版のスタッド周辺で疲労損傷が発生することが分かっているが[1]，この疲労損傷を検出・評価する手法は確立されていない．著者らはこれまでに，合成床版におけるスタッドの疲労損傷を，熱弾性応力測定結果に基づき検出・評価する新たな手法について検討してきた．本報では，熱弾性応力測定により得られたスタッド周辺の実働応力分布から，スタッドの亀裂発生・進展を評価する方法について検討した結果を報告する．

２．測定原理

(1) 熱弾性応力測定法　材料が弾性範囲内で荷重を受ける場合，主応力和の変化 $\Delta\sigma$ と温度変化 ΔT との間には，

$$\Delta T = -K_m \cdot T \cdot \Delta\sigma \qquad (1)$$

の関係が成立し，（ΔT は温度変化量，K_m は熱弾性係数，T は絶対温度，$\Delta\sigma$ は主応力和の変化量）赤外線サーモグラフィを用いて温度変化量 ΔT を測定することにより，主応力和の変化量 $\Delta\sigma$ の分布を得ることができる．

(2) 応力範囲評価法[2]　図 1 に示すように，各画素における輪荷重通過時の応力範囲すなわち応力変動の最小値と最大値の差を算出し，画像化する．これにより，動画や時系列の連続画像では評価しにくい回転する応力分布(回転せん断)を認識・評価することができる．

(3) スタッド近傍の最大応力差　図 2 に示すように，スタッド近傍の圧縮応力と引張応力の差を応力差として求める．本研究では輪荷重通過時の応力差の最大値を最大応力差と定義し，これによりスタッドに作用するせん断力を評価する．

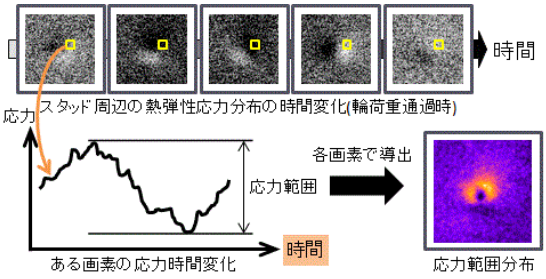

図 1　応力範囲評価

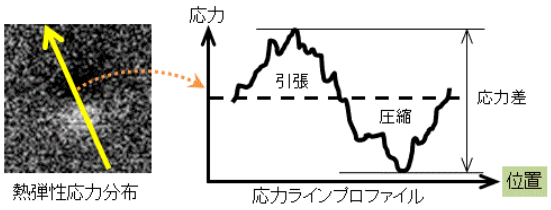

図 2 スタッド近傍の最大応力差

３．実験方法

合成床版試験体に対して輪荷重走行試験機による疲労試験を実施した．試験体の底鋼板の厚さは 8mm，スタッドφ16×110mm，合成床版厚は 160mm（底鋼板 8mm 含む）である．疲労試験中，定期的に熱弾性応力計測を実施し，スタッドの疲労損傷発生・進展に伴う底鋼板下面の応力分布の変化を観察した．熱弾性応力測定には，温度分解能 0.025°C の FLIR 社製赤外線カメラ SC7500 を使用した．繰返し載荷による測定面の応力変動に伴う温度変動を，撮影速度 157Hz で連続的に計測した．

４．応力範囲評価によるスタッドのき裂発生評価

亀裂発生前段階である載荷回数 100 万回における応力範囲分布を図 2 に示す．図より，F 行のスタッドにおいて応力範囲の大きい領域（黄色）が半円状に分布[2]している回転せん断力が生じていることが分かる．載荷試験終了後に行った磁粉探傷試験および破断試験の結果，F 行の全てのスタッドで亀裂が確認され，その他の E，G および H 行のスタッドでは亀裂はみられなかった．載荷回数 204 万回における応力範囲分布を図 3 に示す．図 3 より，載荷

キーワード　熱弾性応力測定法，赤外線サーモグラフィ，合成床版，スタッド，疲労損傷
連絡先　〒522-8533　滋賀県彦根市八坂町 2500　滋賀県立大学　TEL 0749-28-8217

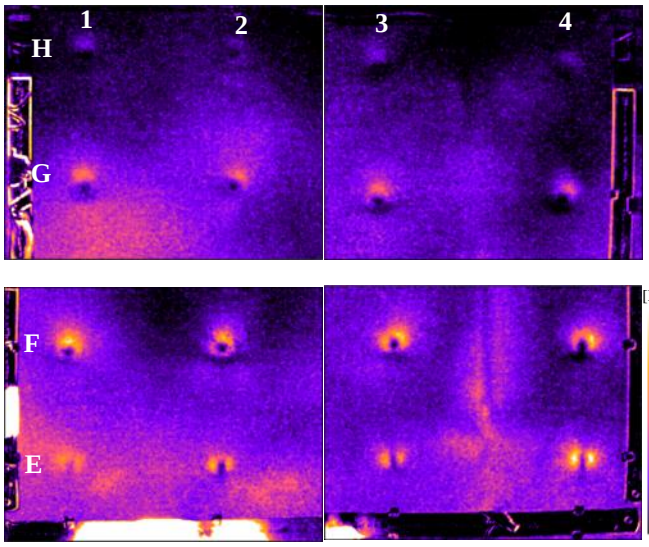

図 3 載荷回数 100 万回における応力範囲分布

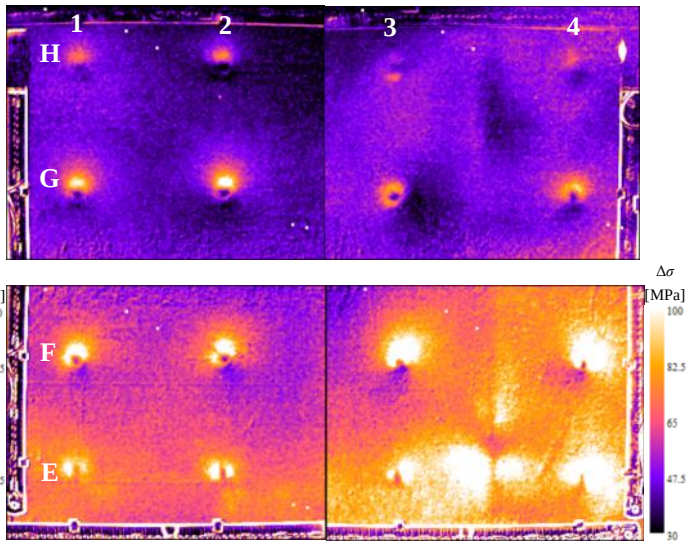

図 4 載荷回数 204 万回における応力範囲分布

回数 204 万回では，G 行のスタッドにおいても回転せん断が生じていることが分かる．これは，載荷回数の増加に伴って鋼とコンクリートの付着切れが進行することにより，スタッドに作用する力が変化したことによるものと考えられる．スタッド近傍の応力範囲の最大値を比較したところ，G 行は F 行に比べて小さかった．そのため G 行のスタッドには亀裂が発生しなかったと考えられる．

５．最大応力差を用いたスタッドのき裂進展評価

熱弾性応力測定により得られるスタッド近傍の最大応力差を用いて，スタッドの亀裂進展評価を行う方法について検討する．亀裂が確認された F 行の各スタッドにおける，亀裂発生前（載荷回数 100 万回）の熱弾性応力測定により得られた最大応力差と，疲労試験終了後（載荷回数 317 万回）の亀裂面面積 S の関係を図 5 に示す．亀裂面面積 S は，超音波探傷試験で求めた内部の最大亀裂長さを上底，磁粉探傷試験で求めた鋼板下面の亀裂長さを下底，鋼板厚 8mm を高さとする台形面積として導出した．また，F5 スタッドは鋼板下面で亀裂が観察されなかったため，記載していない．図 5 より，亀裂面面積 S の増加に伴って最大応力差が大きくなる傾向が確認された．これにより，熱弾性応力測定により，亀裂発生前の 100 万回の最大応力差を用いて，本試験体でその後に生じるスタッド亀裂の進展性をある程度評価できた．

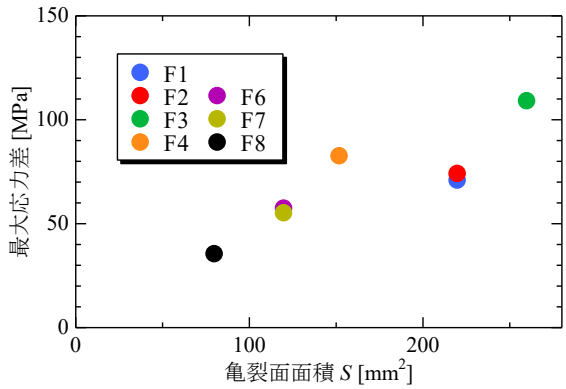

図 5 最大応力差と亀裂面面積の関係

６．まとめ

ロビンソン型合成床版を用いた輪荷重走行試験中に熱弾性応力測定を実施した．その結果，応力範囲分布から評価される回転せん断の有無と応力範囲の大きさから，亀裂発生の評価ができる可能性があることが示された．また，本実験では，付着切れが発生し亀裂が生じる前のスタッド近傍の最大応力差から，その後のスタッドの亀裂進展を評価できることがわかった．今後，本手法を用いた実橋での評価方法の検討を継続的に行う予定である．

参考文献

(1) 松井繁之，文兌景，福本唀士，鋼板・コンクリート合成床版中のスタッドの疲労破壊性状について，構造工学論文集，Vol.39A，土木学会，pp.1303-1311，1993 年 3 月

(2) 街道浩，阪上隆英，松井繁之，和泉遊以，水野浩，熱弾性応力測定に基づく鋼・コンクリート合成床版の疲労損傷評価法の高精度化，第 70 回土木学会年次学術講演会講演論文集，土木学会，pp.21-22，2015 年 9 月