1.はじめに

現在,全国で供用されている橋長 15m以上 の道路橋は約14万橋梁を数える。そのうち, 50年供用された橋梁では既に約40%が補修さ れており,補修が行われた橋梁数の割合はほ ぼ直線的に増大しているのが現状である。そ の補修の判定に必要な損傷度の評価では,交 通車輌の繰り返し荷重や過積載車によって発 生したひび割れの幅・角度・長さ・進展パタ ーンの確認が重要となる。しかし,診断手法 の一つであるサーモグラフィー法では,床版 下面が日陰となるため検出に必要な熱源の確 保と異常箇所か否かの評価及び判定が課題と なっている。

そこで,本研究ではアスファルト改修工事 時の舗装熱を熱源としてRC梁試験体に対して 静荷重載荷実験を行い,発生したひび割れ進 展状況と舗装熱の熱伝達から現れた表面温度 分布変化との関係から内部評価を試みた。舗 装熱を利用した本手法の有効性については, 外気温の変動を利用したパッシブ法との比較 及び三次元非定常熱伝導解析¹⁾から検証した。

2.実験概要

2.1 試験体及び静荷重載荷実験

試験体は,長さ2,800mm,幅300mm,高さ210 mmで主鉄筋にはSD295AのD16を3本使用し,せ ん断補強鉄筋はRC床版を想定して配置してい ない(図-1参照)。静荷重載荷実験は,走行荷 中央工学校 金光寿一 日大生産工 柳内睦人 日大生産工 木田哲量

重載荷実験装置を使用して,支間2,000mmの中 央に車輪(直径400mm,幅250mm)を停止した状態 で行い終局耐力まで載荷した。



図-1 試験体及び配筋状態

2.2 アスファルト舗装

試験体への舗装は,近年RC床版に採用され ている砕石マスチック舗装(SMA)及び排水性舗 装の2層仕上げを想定し,繰返して実験を行う ためにISO標準砂を代用し,砂上を断熱材で覆 うことで温度管理を行った。そのISO標準砂の 厚みは,1層が80mm,2層が60mmである。なお, RC梁上面には実橋梁施工で行われているエポ キシ樹脂プライマー処理後にシート系の防水 加工を施している。

2.3 赤外線カメラによる測定方法及び条件 赤外線カメラ〔2次元非冷却マイクロボロメ ータ型,応答波長領域8.0~14.0µm,感度 0.
15 〕による温度測定は,高さ2.3mのL型鋼で 試験体を支え,測定距離1.65mの真下の位置か らパッシブ法では9:30から,また舗装熱では 12:00から10時間連続して時系列の熱画像を得 ることにした(写真-1参照)。なお,赤外線カ メラによる測定面は試験体の支点間の2,000 mmとなっている。また,試験体には測定面

A STUDY OF EVALUATION OF DAMAGE INSIDE RC FLOOR SLABS BY THERMOGRAPHY METHOD USING PAVEMENT HEAT Juichi KANAMITSU, Mutsuhito YANAI and Tetsukazu KIDA 以外からの熱の流出入を遮断するため,側面 に厚さ50mmの発泡スチロールを貼付けている。



写真-1 測定状況

3.実験結果

3.1 ひび割れ発生状況

写真-2(a)~(c)及び図-2には,破壊後のひ び割れ進展状況を示す。



(c)底面(支点間2,000mm)写真-2 ひび割れ発生状況(終局破壊除荷後)

その結果,最大荷重となった約82kN時の破 壊形態は,写真-2に示すひび割れ進展状況か ら集中載荷位置である試験体の中央部を挟ん で,曲げ及びせん断力の影響からひび割れ幅 の大きいアーチ状のひび割れが確認され,コ ンクリートの圧縮破壊で終局を迎えているこ とが分かる。

3.2 パッシブ法で得られた熱画像

図-2に最大表面温度が得られた12:10の熱画 像とその温度分布をひび割れ写真展開図とと もに示す。この展開図は写真-2に示す試験体 の中央底面を基準に側面1及び側面2を合成し たものである。熱画像の範囲は,支点間2,000 mm(画素数300)の底面中心位置を切断して得ら れた画素位置の100~200画素目の670mmであ り,写真範囲は600mmである。なお,図中の ~ が底面に発生しているひび割れ位置とそ の間隔であり,除荷後のひび割れ幅は, ~ が0.2mm, が0.15mmであった。

画像範囲100~200画素(670mm)



図-2 パッシブ熱画像と表面温度変化(12:10)

その結果,外気温は最大表面温度が得られ た12:10までに5.6 上昇し,図-2に示す熱画 像ではひび割れ位置に帯状の高温部を確認す ることができる。しかし,図-2に発生してい るひび割れ幅は目視あるいは双眼鏡でも確認 できるものと思われ,このような帯状の温度 変化のみではコンクリート内部の損傷度を診 断したことにはならない。

3.3 舗装熱で得られた熱画像

図-3は,舗装熱で得られたコンクリート上 面温度(プライマーと防水シート間)及び外気 温を熱電対で測定した時系列変化である。図-4には最大温度差となった1層舗設後360分の熱 画像と舗設開始時との温度差を示す。



図-3 舗装熱で得られた上面温度

その結果,舗装熱で得られた熱画像は,図-2のパッシブ法とは明らかに異なり内部のひび 割れ部で熱移動が遮断され,ひび割れ進展状 況に対応した低温域となって内部の進展範囲 を確認することができる。図-4に示す底面の ひび割れ ~ 及び進展した側面のひび割れ と温度差変化とを比較してみると, - 間,

- 間及び - 間の各ひび割れ間の特徴を 示した温度差分布変化となっている。

先ず, - 間の温度差分布変化は,コンク リート梁上面の圧壊と側面1及び側面2のひび 割れがコンクリート内部でアーチ状に形成(閉 合)されていることなどに影響されているもの と推測できる。次に, - 間は側面1及び側 面2から確認できるように底面近傍でアーチ状 の閉合したひび割れとなっており,図-4に示 すとおりさらに低温域となって現れている。 また, - 間のひび割れは側面1には連続し て現れているものの,側面2には現れていない。 この - 間は,図-4の温度差変化には現れて いないことからも,側面1の表面近傍に発生している層状剥離と思われる。また,100画素目からひび割れまでの温度差が緩やかに変化しているのは,上面の層状剥離により熱伝達が拡散したためと考える。



図-4 舗装熱の熱画像と表面温度変化

4.数値シミュレーション

三次元非定常熱伝導シミュレーションには, 汎用FEMプログラムCOSMOS/M Ver2.7を使用し, ひび割れと温度分布の関係を明らかにした。

4.1 解析モデルと解析設定条件

想定したひび割れは,角度は50°の一定で 進展高さは70mmと140mmとし,幅を0.2mm,0.5 mm,1.0mmと変化させた。解析モデルの鳥瞰図 を図-5に示す。なお,解析は1/2要素分割モデ ルとして10節点4面体要素でメッシュ分割した。舗装熱を想定した熱負荷条件は,コンク リート上面温度をコンクリート上面に直接供給した(図-3参照)。また,熱伝達係数は,シ ミュレーションを繰返して実験値の表面温度 に最も近似した16.0(W/m²・K)の一定値とし た。ただし,試験体側面は完全断熱境界とし, 解析時間間隔は1分,結果の出力は2分間隔で 行った。



4.2 数値シミュレーション結果

図-6は実験及びシミュレーションで得られ た健全部の表面温度を比較したものである。 図-7には,360分経過後に得られた0.5mm幅の 表面温度分布画像と各ひび割れ幅のX断面にお ける表面温度変化を示す(図-5参照)。



図-6 実験値と解析値の比較

その結果,図-6の表面温度の比較では解析 初期温度を実験値の表面温度に一致させてい るために熱伝達開始時間まで若干の相違が見 受けられるものの,それ以降の推移は実験値 を再現したものとなっている。図-7に示すひ



図-7 表面温度分布画像と温度変化(360分後)

び割れ領域の温度変化は,幅が大きくなるほ どひび割れ境界部で高温部が現れ,ひび割れ 領域内では大きな低温部となって現れている。 領域評価では,ひび割れ下側への熱の廻り込 みから変化点が現れており,水平投影寸法で ある60mm及び120mmを評価することができる。

5.まとめ

本研究で得られた所見を以下に示す。 (1)パッシブ法では,底面に発生した0.2mm 幅のひび割れ部には帯状の高温域は確認さ れるが,内部の損傷度の評価は困難である。 (2)舗装熱の熱画像では,ひび割れ部で熱移 動が遮断され,温度分布変化の特徴から進 展状況を評価及び判定することができる。 (3)シミュレーションでは,ひび割れ下側へ の熱の廻り込みから温度変化に変化点が現れ, 水平投影寸法を評価できることが明らかになった。

参考文献

1) 金光寿一・柳内睦人・三星智典:舗装熱を利用したサ ーモグラフィー法によるRC床版内部の欠陥検出に関する 研究, 土木学会論文集, N0.732, V-59、pp.95-108, 2003.5