

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560587

研究課題名(和文) コンクリート内部を貫通する鋼材に生じる劣化の非破壊評価

研究課題名(英文) Nondestructive evaluation of corrosion of steel members penetrating concrete floor system

研究代表者

白旗 弘実 (SHIRAHATA, Hiromi)

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号：40298013

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：社会資本の老朽化が問題となっている。その中の一つに2000年代中ごろに発生した鋼トラス材の破断がある。この橋梁はトラスの斜材がコンクリート床版(路面)を貫通しているタイプであり、降雨などにより斜材が腐食し破断したものと考えられている。本研究はトラスの腐食による減肉を非破壊検査で検出することが目的である。非破壊検査のうち、赤外線法にて、コンクリートおよび鋼材界面の剥離を検出、超音波探傷試験により腐食減肉の有無を検出するための実験を行った。検出のための条件を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Deterioration of civil infrastructure is getting one of the most serious problems, recently. A diagonal member of a steel truss bridge was cut off due to the corrosion in the 2000s. The truss member was embedded in the reinforced concrete floor systems. The structural detail was not appropriate in terms of water drain. This study aims at developing nondestructive technique that detects the corrosion. Among nondestructive methods, thermography and ultrasonic test were applied. Detachment and water puddle in the interface between concrete floor and steel diagonal member was detected by the thermography. Temperature rate of the interface decreased more slowly, when water exists in the interface. Ultrasonic test was also applied to detect the detachment and thickness reduction by the corrosion. Some ultrasonic techniques such as SV (vertical shear) wave, SH (horizontal shear) wave, and Rayleigh (surface) wave methods. SV wave showed good detection ability among those methods.

研究分野：維持管理工学

キーワード：橋梁 腐食 界面 鋼 コンクリート 非破壊検査

1. 研究開始当初の背景

土木構造物の劣化が近い将来に非常に深刻な問題となることが指摘されている。近年発生した損傷事例の一つとして、鋼とコンクリートの界面部で鋼材が腐食し、破断した事例がある。構造物としては、コンクリート床版を貫通するトラス橋の斜材があげられる。

降雨時には斜材を伝わった雨水がコンクリート上面に滞水しやすく、水はけも良好状態を保てない状態になりやすい。雨水による湿潤状態が続くと、コンクリートの中性化がおこるなどして、鋼材とコンクリートの剥離が生じ、コンクリートによる鋼材の防食性能は低下していく。

一度、腐食が起これば、かなり大がかりな対策を立てる必要が生じることになる。つまり、これらの部位は塗装が難しく、コンクリートを削る必要がある場合も多い。また、検査も難しい箇所である。トラス斜材はコンクリートに隠されているので、目視により内部の状況を把握することは非常に困難である。非破壊検査の適用が必要となる。

2. 研究の目的

本研究は、コンクリート内部に埋め込まれた鋼材を検査し、腐食を検出することを目的としている。検査手法としては、既述のように、目視が困難であるので、何らかの非破壊検査手法の適用が必要である。非破壊検査手法としては、超音波探傷および赤外線によるサーモグラフィを適用する。超音波探傷は、放射線透過試験と同様、鋼材の内部を検査することのできる検査手法である。放射線透過試験は放射線を扱うことや、フィルムと放射線源を、検査物をはさむ形で配置する必要があることから、現場での適用は非常に困難である。赤外線は非接触で広範囲を一度に検査できる点が利点である。

3. 研究の方法

(1) 赤外線サーモグラフィによる鋼・コンクリート界面部のき裂検出

界面部分が腐食する場合、鋼とコンクリートの接合部は剥離することが多い。剥離してき裂が存在するかどうかを赤外線カメラにより検出する。き裂部分は周囲と温度差があるため、き裂部を検出できるものと思われる。き裂の検出が難しい場合は、液体を注いだり、熱源を置いたりすることによって、温度差を生じさせ、き裂の検出を試みる。

(2) 超音波探傷による鋼材の腐食検出

超音波探傷試験により、コンクリート中の鋼材の腐食の有無を調べる。探傷方法としては、一般的によく用いられている横波斜角法があげられる。横波には、SV波とSH波がある。いずれも横波であるが、波動の振動方向がそれぞれ紙面内か紙面外であることが両者の差異である。これらは探触子(超音波センサ)を一つだけ用いて片側から探傷する手法である。その他に適用する波動としては、

表面波(Rayleigh波)、クリーピング波、板波が考えられる。表面波は振動成分が物体表面に集中して伝播する波動、クリーピング波は縦波であるが、ほぼ90度の入射角で検査体を伝播していく性質の波である。板波は入射波長と板の厚さの条件が一定のものに満たされるときに、板内部で共振するような形で長距離を伝播することのできる波動である。

4. 研究成果

腐食による斜材の破断のメカニズムは完全に解明されたわけではないが、以下のように考えられている。

はじめに、斜材のコンクリート床版貫通部が何らかの理由で水はけが悪く、滞水することが第一段階である。降雨による滞水などにより、コンクリートの中性化も起こることになる。中性化の影響もあり、コンクリートと鋼の界面には剥離が生じる。剥離が生じた後は、さらに鋼材に滞水しやすくなる。このような過程が繰り返されて、鋼材が腐食されていき、最後には破断にいたる。

以上より、鋼材の腐食を検知するためには、鋼・コンクリート界面の剥離を検出することから始まる。剥離の検出に、赤外線と超音波探傷試験を適用した。腐食による減肉は超音波探傷により評価することとした。

(1) 赤外線サーモグラフィによる鋼・コンクリート界面剥離の検出

実験で使用した試験体を図-1に示す。試験体は長さおよび幅が200mm、高さが100mmとなるようにコンクリートモルタルを作製したもとなっている。コンクリートモルタルを木枠に流し込んだが、流し込むと同時に鋼板を挿入している。鋼板は厚さ9mmで幅100mm、長さ400mmである。コンクリートモルタルを流し込む際に、グリースを塗ったアクリルシートが鋼・コンクリート界面位置にくるように、鋼板に貼り付けた状態で鋼板を挿入した。アクリルシートの幅は鋼板と同じ100mm、厚さは0.1、0.2、0.4および1.0mmのものを使用した。つまり、鋼・コンクリート界面には、0.1、0.2、0.4、1.0mmの間隙ができることになる。

使用した赤外線カメラはFLIR CPA-T420である。素子は320×240ピクセルであり、温度分解能は0.045度である。カメラは静止画および動画の撮影が可能となっているが、動画では、1秒間に10フレームの撮影が可能である。

実験方法を図-2に示す。熱源として熱湯を使うこととした。スプレーに入れた熱湯を鋼・コンクリート界面を中心に吹きかけた。吹きかけた量は100cc程度である。吹きかけた後、赤外線カメラで2分おきに界面の温度を撮影し、記録した。

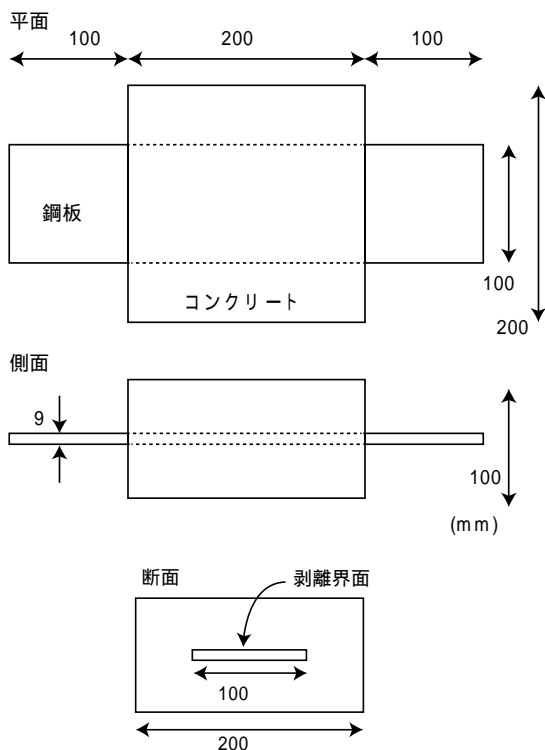


図-1 赤外線試験で使用する試験体

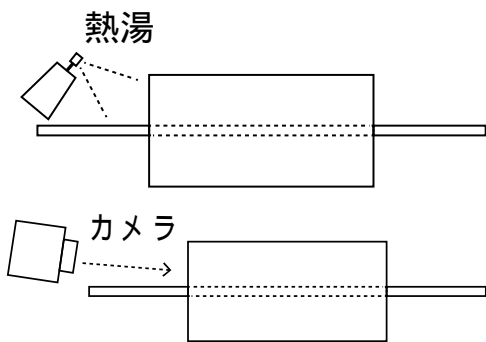


図-2 赤外線試験方法

図-3 に温度画像の例を示す。図-3(a)は界面の間隙が 1.0mm のもの、図-3(b)は間隙がないものである。図-3(a)に示すように、界面には温度が低い部分が見られることがわかる。それに対して、図-3(b)では、界面は周囲との温度差がほとんど見られない。これらの画像は熱湯を吹き付けた直後のものである。間隙が 0.1, 0.2, 0.4mm では肉眼では温度差を見つけることが困難であった。

図-4 に界面の時間温度変化を示す。実験時の室温は 20 度であったが、界面の間隙が大きいほど、時間の経過とともに温度が低下し、室温に近づいていることがわかる。10 分間の温度低下は間隙が 0mm の場合は 1 度、0.2 から 0.4mm の場合は 1.5 度であった。冷却速度で比較する限り、間隙の有無による差異を検出することができたといえる。

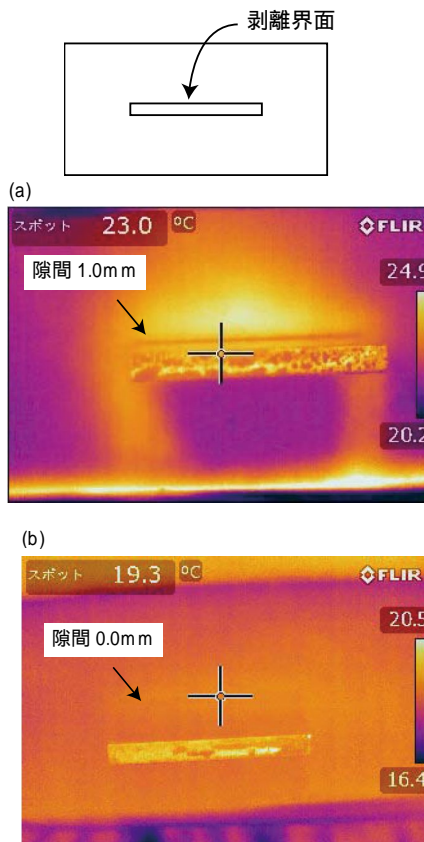


図-3 鋼・コンクリート界面の温度画像

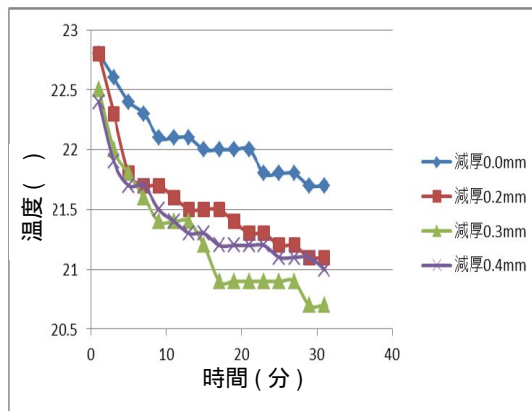


図-4 界面の温度変化

(2) 超音波探傷による鋼・コンクリート界面剥離の検出

超音波探傷試験により、界面剥離の検出をこころみた。探傷試験で用いた波は表面波、SV 波、SH 波およびクリーニング波である。探触子の周波数はいずれの波においても 5MHz のものを使用した。SV 波は入射角度 70 度の探触子を使用した。SH 波は入射角度が 90 度のものを使用した。これは、波が探傷物体内部に 90 度広がって伝播していくタイプのものである。

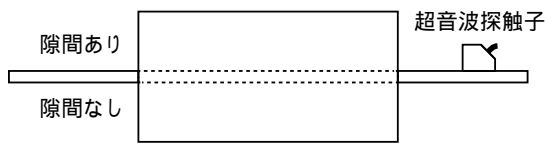


図-5 界面剥離検知のための超音波探傷試験概略

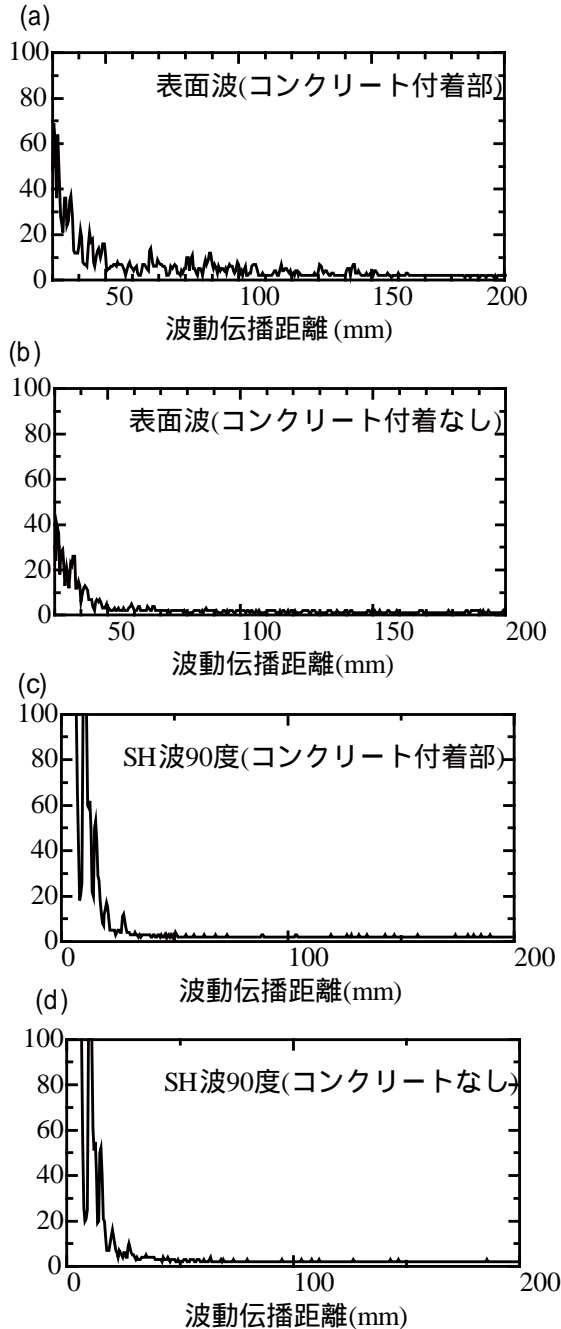


図-6 界面剥離の有無と受信波形

図-5 に超音波探傷試験の概略を示す。赤外線試験で使用した試験体で間隙がある側に探触子を置いて、得られる散乱波形を取得した。

図-6 に取得した波形の例を示す。横軸は波動の伝播距離を mm 単位で、縦軸は波形シグナル高さである。図-6(a)は表面波を利用し

たときで、鋼・コンクリート界面が付着されている箇所である。図-6(b)は表面波であるが、鋼・コンクリート界面が付着していない箇所の波形である。図-6(a)および(b)を比較すると、付着のある箇所では雑音が見られている。雑音は鋼・コンクリート界面からのものであると考えられる。界面が付着していない場合は、まったく雑音が見られない。

図-6(c)および(d)はSH波での実験結果である。この場合、鋼・コンクリート界面からと思われるエコーは付着の有無にかかわらず、見られない。SV波においても、界面からの雑音は見られなかった。表面波を利用して、付着界面の接合を確認することができる。

(3) 超音波探傷による腐食減肉の検出

腐食による鋼材の断面減少の検出を超音波探傷により検討した。

図-7 に実験の概略を示す。これまでの検討により、鋼・コンクリート界面からの雑音の影響を受けないと考えられるSH波、SV波の探触子を用いて実験を行った。コンクリートは打設せずに実験を行った。図-7に示すように、鋼板の一箇所をグラインダで切削し、くぼみを作った。鋼板は先ほどの検討で使用した鋼材と同様、長さ400mm、幅100mm、厚さ9mmである。くぼみは直径が50mmの円形となるように切削していった。腐食による断面減少では切り欠き状にならないように、つまり、超音波反射源となりやすいコーナー部を作らないようにしてくぼみを切削していった。切削の途中で定規とノギスを利用して、くぼみの深さを計測した。波形はくぼみが0mm、3.2mm、5.3mm、6.8mm およびほぼ貫通に近い8.5mmのときに収集した。実際にはコンクリートで覆われているので探触子のアクセスできる部分が限られるが、くぼみから100mm程度は距離を離すようにして、くぼみからのエコーを得るように前後走査した。



図-7 腐食による鋼材減肉検出の超音波探傷試験概略

波形結果を図-8に示す。いずれもSV波を使用したときの結果である。図-8(a)、(b)、(c)はそれぞれくぼみの深さが5.3mm、6.8mm、8.5mmのときである。図-8(a)に示すように、波動伝播距離が90mmの箇所でエコーが見られている。これは、くぼみからのエコーである。図-8(b)や(c)に示すように、くぼみが深くなるにつれて、このエコーは大きくなっていくことがわかる。

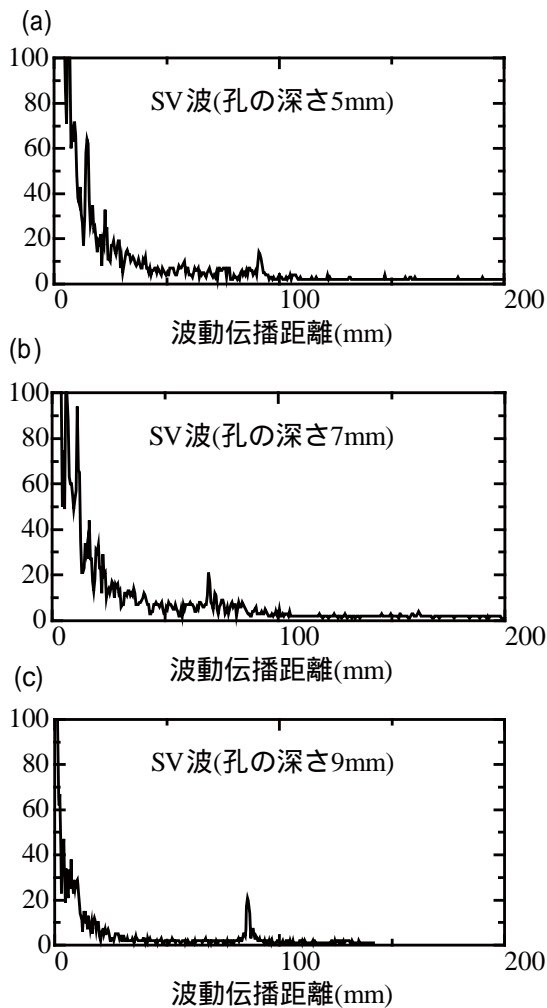


図-8 腐食減肉を模したくぼみからのエコー

5mm程度からであれば、腐食を検出できるものと考えられる。

実験はSV波以外にもSH波、クリーピング波探触子を用いて行ったが、SV波ほどにエコーを受信することはできなかった。これら探触子からの入射屈折角は非常に大きく、ほぼ板に沿うものであるため、反射波を得ることが難しかったからと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

内田 英作, 白旗 弘実, 岸利治: 非破壊検査によるコンクリート内部を貫通する鋼材の界面亀裂検出, 土木学会関東支部技術研究発表会, Vol.40, 1-61, 2013年3月15日(宇都宮)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白旗弘実 (SHIRAHATA, Hiromi)

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号: 40298013

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

岸 利治 (KISHI, Toshiharu)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号: 90251339