

電磁誘導加熱による PC 構造物におけるグラウト充填性状評価に関する研究

中央大学 学生会員 ○新井里沙子
 中央大学 正会員 大下 英吉
 西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社 林 詳悟
 第一高周波株式会社 福岡 裕養

1. はじめに

我が国では、1960 年代の高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物はメンテナンスフリーと言われてきたが、近年深刻な劣化があらゆる構造物で生じている。特に、橋梁等に用いられる PC 構造物は、シース管内部のモルタル充填不良が原因で PC 鋼材の腐食を引き起こし、構造性能および耐久性能の低下が深刻な問題となっている。シース管中にグラウトの未充填領域が存在した場合、有害物質の侵入により鋼材が腐食、さらには破断することで、構造物の崩壊を引き起こす可能性もある。すなわち、非破壊・非接触でグラウト充填性状を把握することは、PC 構造物の安全性を確保し、適切な維持管理による長期延命化を図ることに繋がり非常に重要である。

このような背景から、シース管内のグラウト充填性状に関する各種非破壊検査手法に関する研究は数多く行われており、現在は主として衝撃弾性波法¹⁾とインパクトエコー法²⁾がある。これらは、構造物に直接衝撃力を与えることで発生する衝撃波や応力波を利用してグラウト充填性状を評価するものである。しかし、これらの手法は衝撃力を与えた際に、PC 部材のシース管とコンクリート表面との間の鉄筋からも弾性波が伝搬されることになり、いずれの手法においても測定誤差が生じる。すなわち、グラウト充填率の差異を検知することが難しくなり、これらの手法では充填率や未充填領域の位置に関して十分な精度を有していない。

そこで中央大学既往の研究³⁾では、電磁誘導によりシース管を強制加熱し、シース管からコンクリート表面に伝搬する熱を赤外線サーモグラフィで検知するシステム(電磁誘導加熱グラウト充填性状評価システム)の構築に着手しており、実現場で使用されているようなシース管とコンクリート表面の間に鉄

筋格子が配筋されている試験体に対し適用しグラウト充填性状を非破壊・非接触により評価可能であるかどうかの検討を行っている。

本研究では、シース管とコンクリート表面の間に鉄筋が格子状に配筋された状態に対して、電磁誘導加熱グラウト充填性状評価システムを適用し、その有用性の検討を行うこととした。

2 既往のグラウト充填性状評価システム

2.1 実験概要

グラウト充填性状評価システムは、既往の研究⁴⁾である RC 構造物における空洞評価システムを PC 構造物に拡張したものである。

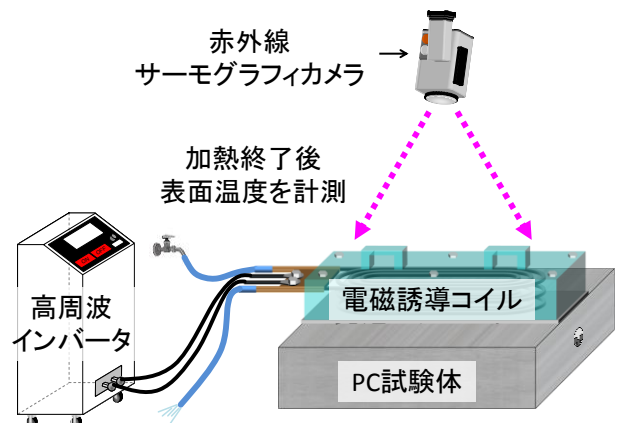


図-1 システム構成

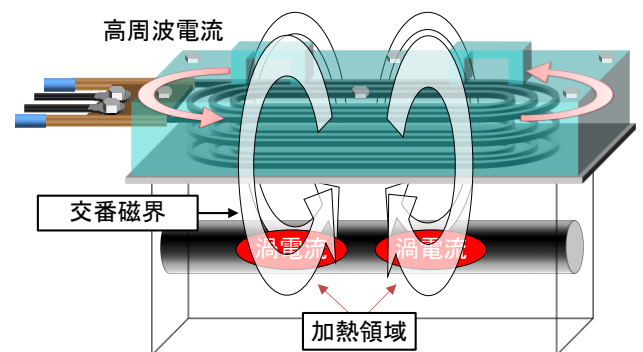
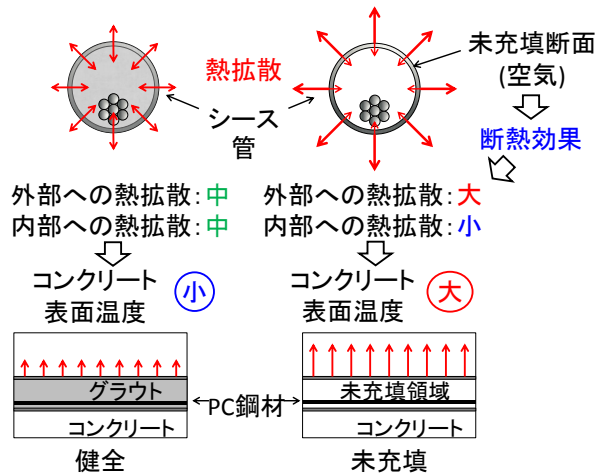


図-2 加熱原理

キーワード 非破壊検査, PC 構造物, グラウト充填率, 電磁誘導, 赤外線サーモグラフィ

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL : 03-3817-1711 E-mail : a14.hs3w@g.chuo-u.ac.jp



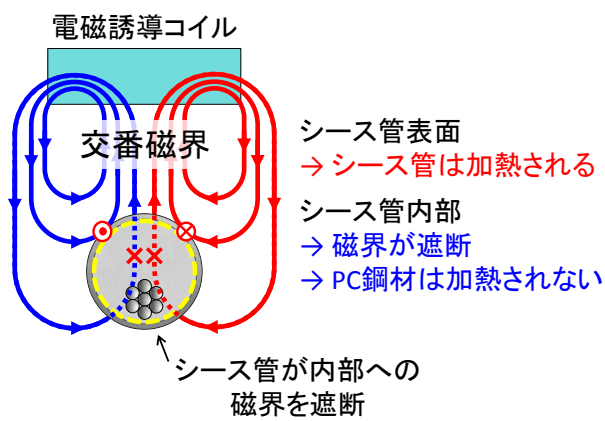
図－3 未充填領域の熱的物性

表－1 各物質の熱的物性

	密度 [kg/m ²]	比熱 [kJ/kg・℃]	熱伝導率 [W/m・℃]
コンクリート	2300	1.2	1.6
シース管	7860	0.48	50
空気	1.2	1.01	0.03

本システムの構成は、図－1 に示すように、電磁誘導により PC 構造物内部のシース管を非破壊・非接触で強制加熱しシース管からコンクリート表面温度に伝搬した熱を赤外線サーモグラフィで検知し、シース管内部のグラウト充填率を評価するものである。

具体的手法は、電磁誘導コイルを高周波インバータに接続し、図－2 に示すように高周波電流をコイルに負荷することで交番磁界を発生させる。発生させた交番磁界が PC 構造物内部のシース管に接すると、シース管に渦電流が発生し、シース管自体の抵抗により発熱する。また、シース管とコンクリート表面の温度勾配が卓越した状態においては、シース管からコンクリート表面への熱拡散が支配的となるため、シース管直上のコンクリート表面温度はシース管に供給した熱エネルギーと相応の温度上昇を生じることになる。電磁誘導によりシース管に蓄積された熱量は、図－3 に示すようにシース管内部のグラウトとコンクリートに拡散される。シース管内部にグラウトの未充填領域である空気層が存在すると、表－1 に示す空気の断熱材の効果によりシース管内部への熱拡散が抑制され、コンクリート表面へ拡散する熱量が大きくなり、コンクリート表面温度上昇量は大きくなる。本手法では、コンクリート表面の温度上



図－4 シース管の電磁的特性

昇量の空洞の有無による差異を利用してグラウトの充填性状を評価する。

本システムの特徴は、プレストレスが作用するPC鋼材を加熱せずにシース管のみを加熱することが可能な点である。PC鋼材が高温に加熱される場合、応力緩和が発生する恐れがある。図－4に示すように、本システム適用時、電磁誘導の際にもコイルから発生する交番磁界はシース管のみに磁場を生じさせる。また、内部に向かう磁界は、シース管により遮断されるため、PC鋼材は電磁誘導による磁場の直接的な影響を受けず、発熱も生じることはない。このように一般的には、電磁誘導では磁性体を貫通して内部の独立した磁性体に磁場を生じさせることはない。したがって、PC鋼材の種類によらず本システムを適用することが可能である。

2.2 既往の研究成果

既往の研究における縦鉄筋が上、横鉄筋が下である試験体概要を図－5 に示す。また、図－5 の試験体に本システムを適用した際のコンクリート表面温度履歴を図－6 に示す。図中の G0,G100 はそれぞれグラウト充填率 0%, 100%を示している。加熱パラメータは、3.2kw-180 秒、加熱位置は図－7 に示すように電磁誘導コイルの長手方向をシース管と平行になるよう配置した。ここで、空洞の存在の有無によるコンクリート表面温度の限界閾値は、使用した赤外線サーモグラフィの性能より 0.2℃とした。

図－6 ではコンクリート表面温度上昇量はグラウト 0%が 100%に比べ高くなっていることが分かる。これは前述したように、シース管内の空気が断熱材

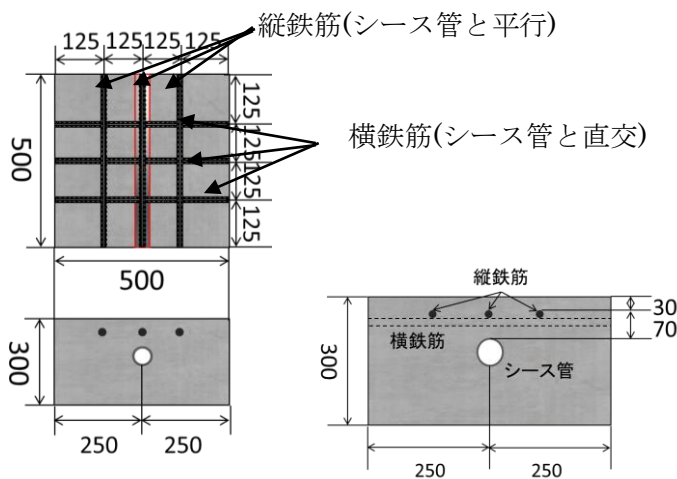


図-5 既往の試験体概要

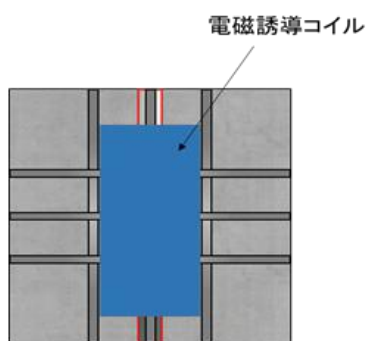


図-7 平行鉄筋に平行な加熱位置

的特性を有することで、シース管内部への熱拡散を抑制し、コンクリートへの熱拡散が活発に生じることを示している。グラウト充填率 100%と 0%での値の差は 0.2°C 以上であるため、先ほどの限界閾値を満たす。したがって、実際にシース管とコンクリート表面の間に鉄筋が配置されている場合においても、本システムは空洞領域の大きさと断熱材的効果の相関性からコンクリート表面の温度上昇量に着目することで、未充填領域の位置やその程度を定性的に評価可能であることが示された。

3. 既往の実験との比較

(1) 実験概要

本研究の横鉄筋が上、縦鉄筋が下である試験体概要図を図-8 に示す。既往の実験と同様に直径 45mm のシース管と D13 の鉄筋を使用した。また、シース管のかぶり、鉄筋のかぶりについては図に示す通りである。加熱パラメータは、 $3.2\text{kW}-180$ 秒加熱、加熱位置は図-7 に示すように既往の研究と同様

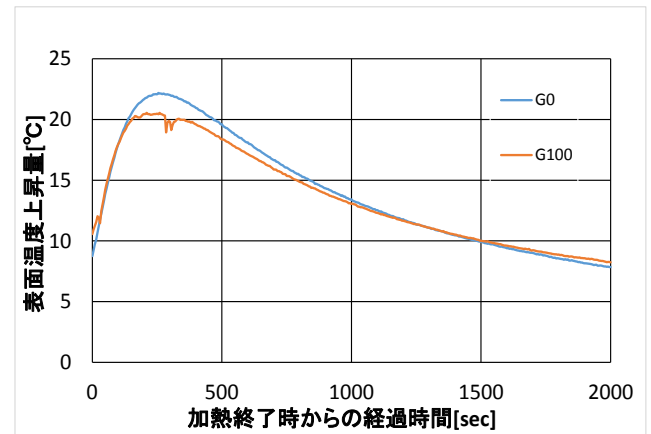


図-6 既往のコンクリート表面温度履歴

に行った。

(2) 実験結果

図-9 は図-8 の試験体に本システムを適用した際のコンクリート表面温度履歴である。

図-9 から本実験では、グラウト充填率 100% のコンクリート表面の最高温度上昇量が 0% の最高温度上昇量よりも高くなっていることが分かる。

既往の実験結果とは異なり、グラウト充填率 100% のコンクリート表面温度上昇量がより高くなり、コンクリートに熱をより拡散した結果となった。しかし、既往の実験結果である図-6 の場合は、グラウト充填率 100% と 0% で加熱終了直後の温度上昇量はほぼ同一であるが、本研究では 6°C 以上差がある。そのためグラウト充填率 100% が 0% に比べ温度上昇量は高くなっている。なお、その理由は今後の課題とした。

4. コイルの配置による影響

(1) 実験概要

図-8 の試験体に対して図-10 のように、電磁誘導コイルの長手方向を横方向鉄筋の軸方向と一致する方向、すなわち、シース管に直交するように電磁誘導コイルを配置し加熱した。加熱パラメータは $3.2\text{kW}-300$ 秒加熱とした。

(2) 実験結果

シース管に直交するように電磁誘導コイルを配置し加熱した際のコンクリート表面温度履歴は図-11 である。コンクリート表面の最高温度上昇量は、グラウト充填率 0% が 100% よりも約 0.5°C 高くなっている。したがって、限界閾値の 0.2°C を満たしており、

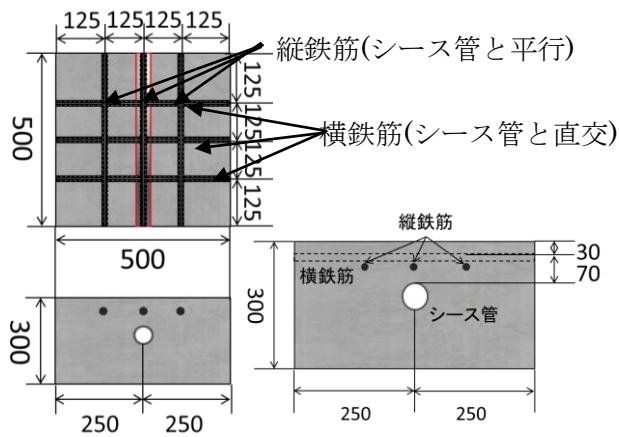


図-8 本試験体概要

電磁誘導コイル

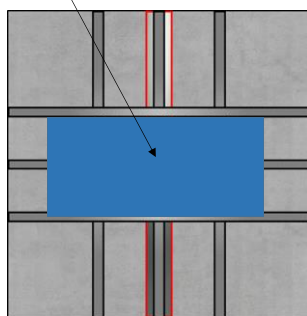


図-10 直交鉄筋に平行な加熱位置

コンクリート表面に近い鉄筋の横方向に電磁誘導コイルの軸方向を一致させて加熱することで、未充填領域の位置やその程度を定性的に評価可能であることが示された。

5. まとめ

本研究では、電磁誘導加熱によるコンクリート表面とシース管の間に鉄筋格子が配置された PC 構造物のグラウト充填性状評価の適用性について評価を行った。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- (1) コイルをコンクリート表面から遠い、下の鉄筋と平行に配置した状態で本システムを適用した場合、グラウト充填率 100% のコンクリート表面温度が高くなり、本手法の適用は困難であった。
- (2) 上の鉄筋の軸方向に電磁誘導コイルの軸方向を合わせることで評価が可能となったことから、コイルの配置の影響が大きいと考えられる。

参考文献

- 1) 野中将士，尼崎省二：衝撃弾性波法による PC グ

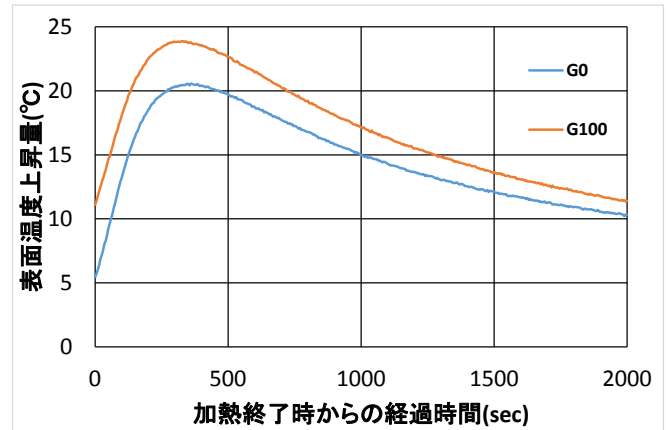
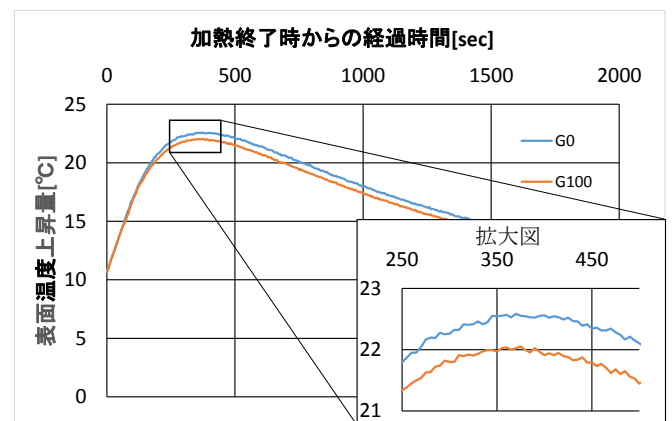


図-9 本研究のコンクリート表面温度上昇履歴



ラウトの充填評価，コンクリート工学年次論文報告

図-11 直交鉄筋に平行な加熱位置での
コンクリート表面温度履歴

集，Vol.20，No.1，1998

2) 川嶋雅道，鎌田敏郎，古本吉倫，六郷恵哲：FEM 解析を援用したインパクトエコー法による PC グラウト充填状況の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，2006

3) 宮脇俊輔，大下英吉，林詳悟，福岡養祐：電磁誘導加熱による PC 構造物におけるグラウト充填性状評価システムに関する研究，コンクリート工学年次論文集，vol.38，No.1，pp.2049-2054，2016

4) 大下英吉，堀江宏明，長坂慎吾，谷口修，吉川信二郎：電磁誘導加熱によるコンクリート表面温度性状に基づいた RC 構造物の鉄筋腐食性状に関する非破壊検査手法，土木学会論文集 E，Vol.65，No.1，pp.76-92，2009