

強力磁石ユニットを用いた漏洩磁束法による箱桁橋のPC鋼材破断調査

(株)日本ピーエス 正会員 ○ 金枝 俊輔
 (株)日本ピーエス 正会員 天谷 公彦
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 (株) 岩瀬 愛弓
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 (株) 小野山 利之

キーワード：漏洩磁束法 (MFL) ， 非破壊検査， PC箱桁橋， 破断検知

1. はじめに

PC橋にて、グラウトの充填不足や未充填に起因したPC鋼材の腐食・破断事例が報告されている。維持管理を行うにあたり、PC鋼材の状態を把握し健全度を評価することは重要であるが、内部のPC鋼材の腐食の程度や破断の有無をコンクリートの外観から判断することは困難である。このことから、PC鋼材の破断検知には、非破壊検査技術の1つである漏洩磁束法 (Magnetic Flux Leakage Method, 以下MFLとする) が用いられているが、鋼材配置が複雑な箱桁橋での調査実績は少ない。

本報告では、グラウト充填調査で充填不足と判定された箱桁橋の主ケーブルを対象として、強力タイプ磁石ユニットを用いたMFLによるPC鋼材の破断調査について報告する。

2. MFLの原理と概要

MFLとは、鋼材が強磁性体であることを利用しコンクリート表面から永久磁石を用いてPC鋼材を磁化させ (以下、着磁とする) 、着磁した鋼材から漏洩する磁束を計測することでPC鋼材破断の有無や破断位置を調査する手法である。MFLの原理の模式図を図-1に、PC鋼材を配置した無鉄筋供試体の磁束密度の計測結果の例を図-2に示す。一般的に、健全なPC鋼材の磁束密度の分布は着磁端を除いて右上がり形状となる。一方、PC鋼材が破断している場合は、破断箇所を境として磁束密度の急激な低下が発生しS字型の波形が生じる。

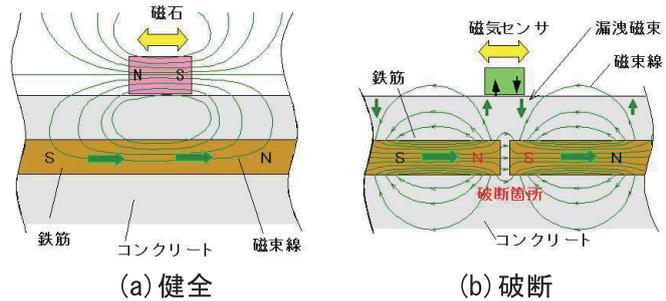


図-1 MFLの原理の模式図

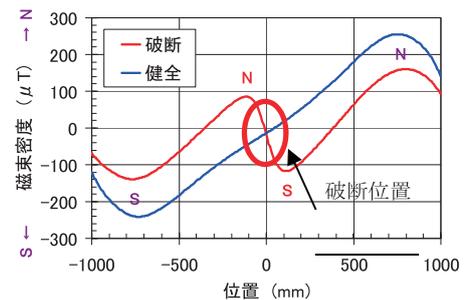


図-2 磁束密度の計測結果の例

3. 調査概要と方法

3.1 調査概要

調査対象とした橋梁の諸元を表-1に示す。本調査では、箱桁のウェブに配置された主ケーブルを対象とし、計測可能な範囲でケーブル全長に渡り調査を行った。使用した磁石ユニットおよび磁気計測ユニットを写真-1に示す。MFLで用いられる一般的な磁石は、かぶりの適用範囲

表-1 対象橋梁諸元

橋梁名	A橋	B橋
竣工年	1976年	1975年
構造形式	3径間連続PC箱桁橋	2径間連続PCラーメン箱桁橋
橋長(m)	186.860	111.300
桁長(m)	186.500	111.000
有効幅員(m)	8.500	8.500
桁高(m)	2.300~4.500	1.800~4.200
配置ケーブル	PC鋼棒 φ32 (シース径φ38mm)	PC鋼棒 φ32 (シース径φ38mm)
調査ケーブル本数	23本	2本

の上限が150mm程度のため、ケーブル配置が複雑でかぶりも変化している箱桁橋では調査範囲が限ら

れる。そこで本調査では、かぶりが 200 mm 程度まで適用可能な強力タイプ磁石ユニットを用いた。なお、磁気計測ユニットには幅方向に 50 mm 間隔で 3 つセンサが搭載されている。

3.2 調査方法

調査フローを図-3 に示す。「(1) 電磁波レーダによる探査, 罫書き」では、図面に示される PC 鋼材およびカップラーの位置を罫書いたあと、電磁波レーダにて鉄筋位置および PC 鋼材位置の探査・罫書きを行った。

「(2) 磁石ユニットによる PC 鋼材の着磁」の状況を写真-2 に示す。ケーブル配置が単純な場合は、PC 鋼材の下方(上方)、直上、上方(下方)を所定の間隔で PC 鋼材と平行に着磁するのが一般的となる。一方、鋼材配置が複雑な箱桁橋では、対象ケーブル周辺の磁束密度の分布を面的に捉える必要があると想定された。そこで、本調査では PC 鋼材の配置が複雑な調査箇所において、ウェブの下端から上方へ所定の間隔で水平に着磁を行った。水平に着磁した場合の着磁方法の概要を図-4 に示す。

「(3) 磁気計測ユニットによる磁束密度測定」において、PC 鋼材と平行に着磁した場合は、PC 鋼材直上および PC 鋼材に平行な上下のラインで磁束密度を計測した。一方、水平に着磁した場合は、PC 鋼材直上および着磁可能な下端のラインから上方へ 50mm 間隔で磁束密度の分布を計測した。水平なラインで着磁した場合の磁束密度の計測方法の概要を図-5 に示す。

「(4) 解析に必要な情報の記録」では、磁気計測ユニットの走査位置、PC 鋼材・カップラーおよび鉄筋の位置、各ブロックの PC 鋼材かぶり、セパレータ等の他の磁性体の位置、その他標準的な部位と異なることがあった場合の情報と位置を記録した。

3.3 分析方法

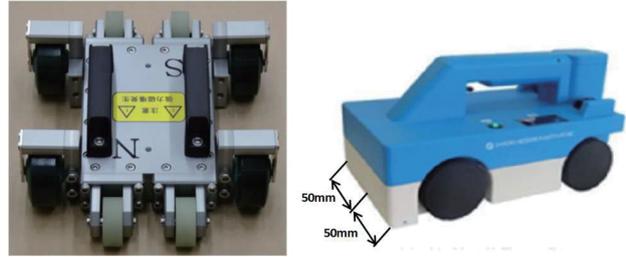
計測したデータの分析手順を以下の(1)~(4)に示す。

(1) 磁束密度の分布形状の確認

磁束密度の変化量を確認し、破断の疑いがある箇所を抽出した。PC 鋼材破断時の磁束密度変化量は、かぶり、配筋状況、隣接する PC 鋼材の位置関係によって変化するため、事前に供試体にて破断した PC 鋼棒のかぶりと磁束密度の変化量を測定し、破断の有無の推定の参考とした。また、鉄筋等の磁性体が存在する部分では上または下に凸の波形が生じる傾向にあることを考慮し、破断の疑いがある箇所を抽出した。

(2) コンター図を用いた磁束密度の分析

分析の参考として、部分的に破断した PC 鋼線の磁束密度分布をコンター図で示した例を図-6 に示



(a)磁石ユニット (b)磁気計測ユニット

写真-1 使用機材

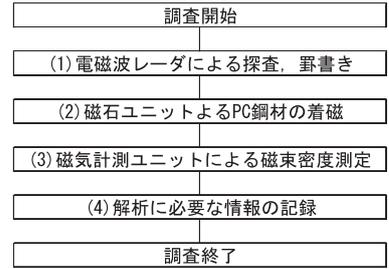


図-3 調査フロー



写真-2 着磁状況

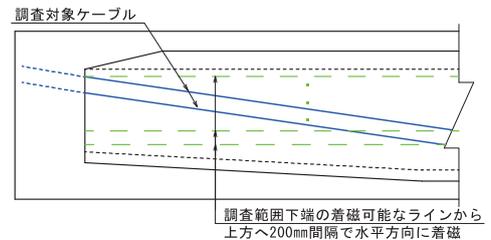


図-4 着磁方法の概要

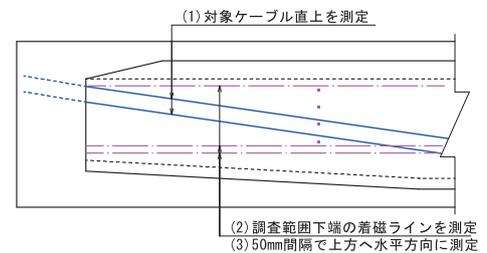


図-5 磁束密度の計測方法の概要

す。コンター図では、S 極側を青色（寒色系）、N 極側を赤色（暖色系）で表している。破断が生じている場合、PC 鋼材の直上に破断箇所を挟んで暖色系と寒色系の2つの丸型の分布が現れる。また、スターラップは鉛直方向に帯状の分布で、他の磁性体は丸状の分布で示される傾向となる。以上のことに留意し、破断の疑いがある箇所を抽出した。

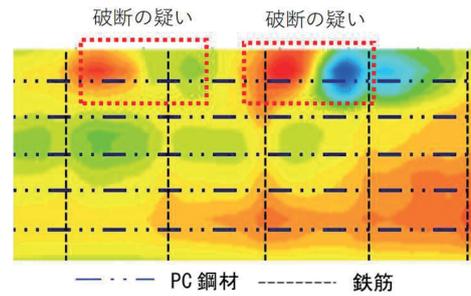


図-6 部分的に破断した PC 鋼線の磁束密度のコンター図

(3) 磁束密度変化点付近の磁性体の有無の確認

磁束密度の分析結果から破断が疑われる箇所が確認された場合は、その付近の磁性体の配置状況を確認する。これは、PC 鋼材と軸方向鉄筋が隣接している場合や施工継目などの鉄筋の継手部分や鉄筋が不連続となる部分は、PC 鋼材が破断している場合と類似した磁束密度の分布形状となる場合があるためである。

(4) PC 鋼材直上と周辺の磁束密度分布の比較

PC 鋼材が破断している場合は、一般的に PC 鋼材直上の磁束密度の変化量が最も大きくなり、PC 鋼材から離れるにしたがって小さくなる。この特性を利用し、PC 鋼材直上と PC 鋼材から上下 50 mm 離れた計測ラインのデータを比較し、PC 鋼材の破断の有無を判定する。

4. 調査結果

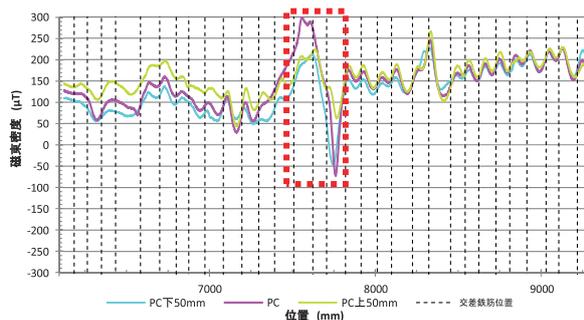
4.1 分析結果

調査結果の中で磁束密度に大きな変化が見られた測定箇所の磁束密度分布の例を図-7～9 に示す。なお、図中の「PC」は PC 鋼材直上の計測データを、「PC 上 50mm」、「PC 下 50mm」は、それぞれ PC 直上から上下 50 mm 離れたラインの計測データを示す。

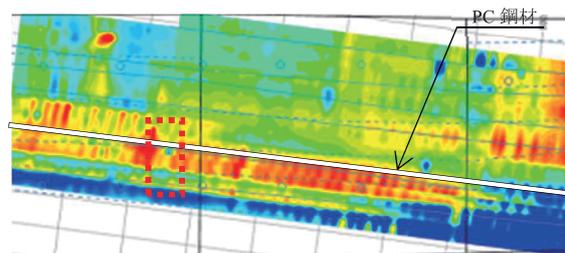
図-7 の調査結果(1)では、図中の赤枠部での磁束密度の変化量の大きさが PC > PC 下 50 mm > PC 上 50 mm であった。コンター図を確認すると鉛直方向に帯状の磁束密度の分布であることから、スターラップの影響と考えられる。また寒色系の丸状の分布もみられるが、PC 鋼材のラインを外れていることから、PC 鋼材破断を示すものではないと判定した。

図-8 の調査結果(2)は、図中の赤枠部にて大きな磁束密度の変化がみられたが、変化量の大きさが PC 上 50 mm > PC 直上 ≒ PC 下 50 mm であった。コンター図を確認すると高さ方向の中央付近から下端にかけて寒色系の分布となっており、PC 鋼材破断の特徴である暖色系および寒色系の丸い分布は確認できなかった。図面と照合すると、該当区間は張出ブロック施工の継目に位置しており、磁束密度の変化はこの影響を受けたものと考えられることから、PC 鋼材の破断ではないと判断した。

図-9 の調査結果(3)では、図中の赤枠部で大きな磁束密度の変化が見られたが、その変化

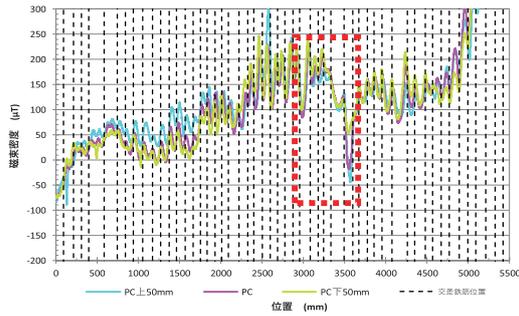


(a) 磁束密度分布

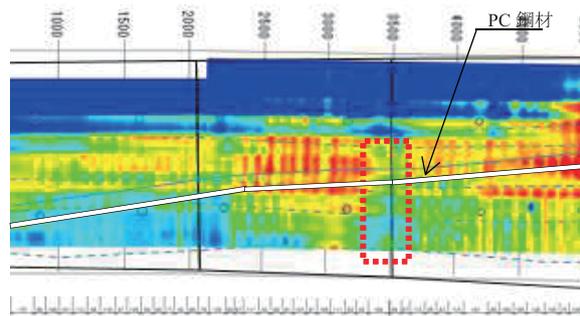


(b) 磁束密度のコンター図

図-7 調査結果 (1)



(a) 磁束密度



(b) 磁束密度のコンター図

量は PC 下 50 mm > PC 直上 > PC 上 50 mm となっていた。また、コンター図では高さ方向に筋状の暖色系の分布がみられ、破断を示す磁束密度分布ではないと考えられる。図面と照合したところ、PC 鋼棒継目部の近傍でありカップラーや補強筋などの影響

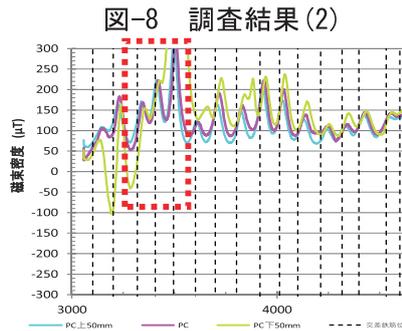
を受けていると考えられる。以上のことから、局所的な磁束密度の変化は PC 鋼材の破断ではないと判定した。すべての計測結果に対し同様に判定を行った結果、調査対象ケーブルにおいて破断は発生していないと判断した。

4.2 削孔調査結果と MFL 結果の比較

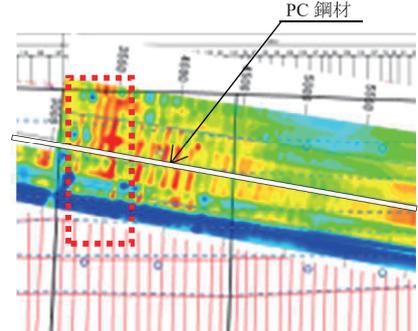
MFL の調査結果から、鋼材直上の磁束密度の変化が上下 50 mm よりも大きい箇所について削孔調査を実施した。削孔位置は、磁束密度の変化量が大きい箇所としたが、鉄筋等で削孔ができない場合はその付近とした。削孔調査と MFL の比較を表-2、表-2 の 12'~14' BL の A 橋-C19' ケーブルの磁束密度分布を図-10 に示す。削孔調査においても、PC 鋼材の破断は確認されなかった。

5. おわりに

PC グラウトの充填不足が確認された箱桁橋に対し、強力タイプ磁石ユニットを用いて MFL による PC 鋼材破断調査を行った。磁束密度分布のみの結果では、破断を疑うような波形もみられたが、コンター図を用いた分析や図面との照合により、他の磁性体の有無など磁束密度の変化の要因を考慮することで、鋼材の破断ではないと判定できた。また、削孔調査でも PC 鋼材の破断は確認されず、今回の調査では耐荷性能は確保されていると判断した。一方で事前のグラウト調査や削孔調査から複数箇所グラウトの充填不足が確認されているため、今後グラウトの再注入を行うなど耐久性の回復を図っていく予定である。



(a) 磁束密度



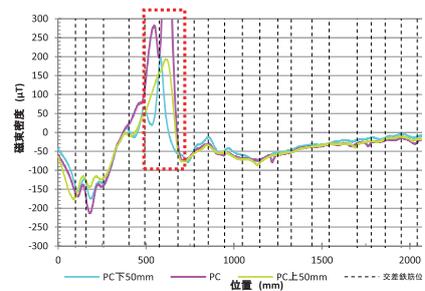
(b) 磁束密度のコンター図

図-9 調査結果(3)

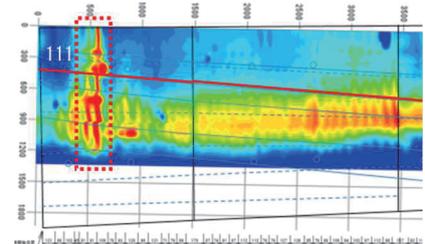
表-2 削孔調査と MFL 結果の比較

ケーブル	ブロック	MFLの結果	削孔調査
A橋-C18'	12'~14' BL	無	無
A橋-C19'		無	無
A橋-C20'		無	無
A橋-C19'	吊' BL	無	無
B橋-C16	30BL	無	無

※無…破断無し



(a) 磁束密度



(b) 磁束密度のコンター図

図-10 磁束密度分布