

ポステン橋およびプレテン橋における漏洩磁束法によるPC鋼材非破壊調査

(株)四国総合研究所	正会員	○廣瀬 誠
(株)四国総合研究所		木村 美紀
(株)高速道路総合技術研究所	正会員	萩原 直樹
(株)高速道路総合技術研究所		豊田 雄介

キーワード：PC，非破壊検査，漏洩磁束，腐食

1. はじめに

既設PC橋において、PC鋼材の破断や素線切れを非破壊で診断する手法として、筆者らは、「漏洩磁束法（MFL：Magnetic Flux Leakage Method）」およびその検査装置を実用化し^{1,2)}、実橋での適用事例を含め報告している^{2,3)}。

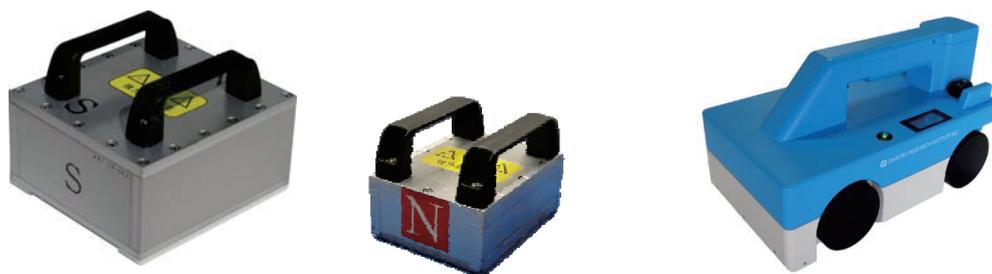
ポストテンション橋においては、グラウト充填不足などの要因により、PC鋼材に著しい腐食があっても外観変状を伴わない可能性がある。一方、PC鋼材の著しい腐食が外観変状に直結するプレテンション橋のような場合においては、PC鋼材の破断を疑うような外観変状があっても、外観のみから内部のPC鋼材の破断を判断することは困難である。このため、既設PC橋の維持管理において、ポストテンション、プレテンションを問わず、PC鋼材破断の非破壊検査手法の普及が望まれている。

そこで本報告では、ポストテンションT桁橋およびプレテンションI桁橋に漏洩磁束法による非破壊検査を適用した調査結果を報告する。

2. 漏洩磁束法の原理と非破壊検査装置

漏洩磁束法によるPC鋼材破断調査は、鋼材が強磁性体であることを利用して、コンクリート表面からPC鋼材を磁化させ、漏洩した磁束を検知することによって、非破壊でPC鋼材破断の有無を調査する手法である。

コンクリート表面から、永久磁石を内蔵した専用の磁石ユニット（写真-1(1)）によってPC鋼材を磁化させ、磁気計測ユニット（写真-1(2)）でコンクリート表面の磁束密度を測定することにより、破断箇所付近からの漏洩磁束を検知し、磁束密度分布波形を診てPC鋼材破断の有無を判定するものである。PC鋼材が健全な場合は、着磁範囲でほぼ一定の勾配を持つ磁束密度波形が得られる。一方、PC鋼材が破断している場合は、破断位置を挟んでN極、S極の連続したピークを持つ「S字形」の波形が得られる。



(1)磁石ユニット (左：通常, 右：小型)

(2)磁気計測ユニット

写真-1 鋼材破断非破壊検査装置外観

3. 調査対象橋

調査対象は、ポストテンションT桁橋のA橋およびプレテンションI桁橋のB橋の2橋である。橋梁諸元を表-1に示す。A橋、B橋ともに、コンクリートのひび割れ、浮き・剥離、鋼材の腐食が見られる。

表-1 調査対象橋諸元

	A橋	B橋
上部工形式	PC単純ポストテンションT桁橋 (セグメント桁)	PC単純プレテンションI桁橋 (JIS桁)
桁長 (m)	30.0	13.5
竣工年度	1973年	1975年
環境	海岸沿い	冬季に凍結防止剤散布
調査対象PC鋼材	12-φ7	2-φ2.9
調査箇所	桁下フランジ部下面	桁下面側

4. 調査方法

鉄筋破断非破壊検査装置による着磁 (A橋)、磁束密度測定 (B橋) 状況を写真-2に示す。

A橋では、上記箇所のPCT桁下フランジ部最下面側に配置されたPC鋼材 (5ケーブル) を、下面側から漏洩磁束法による調査を実施した。

B橋 (I桁幅320mmの最下段PC鋼より線×10組) では、桁下面側から、高所作業車 (デッキ長4.4m) を用い、2箇所 (4m×17桁/箇所) に分けて漏洩磁束法による調査を実施した。調査は、対象である桁下面側にコンクリート剥落防止ネットが設置されたままの状態を実施した。ネットはコンクリート表面から20~50mm程度浮いた状態であったため、本漏洩磁束法における着磁、磁束密度測定共にコンクリート表面から20~50mm程度離れた位置で行った。着磁は小型磁石ユニット (2.4kg) を使用した。本調査では専用治具を使用し、PC鋼より線2組ごとに着磁した (1往復×6ライン/桁)。磁束密度の測定は、磁気計測ユニットの前面に配置された3センサーを活かし、PC鋼より線1組ごとではなく、3組ごと/ラインに行った (4ライン/桁)。測定の位置決めのために、ガイドレールを使用した (写真-2(2))。

なお、A、B橋共、磁石ユニットのS極を後述グラフの右側に向けて着磁した。



(1) 足場上での A 橋の着磁



(2) 高所作業車デッキ上での B 橋の磁束密度測定

写真-2 鋼材破断非破壊検査装置による実橋調査状況

5. 調査結果

5.1 A橋の調査結果

A橋の調査結果の一例を図-1に示す。グラフ縦軸は磁束密度、横軸は測定距離である(図-1, 図-2共通)。この結果から次のことが分かった。

- ・ グラフは全体に右上がりとなっており、正しく着磁ができていることが分かる(両端は着磁端, 図-1, 図-2共通)。
- ・ 図-1のG3①, ③, ⑤では、スターラップの影響と思われる小さな変化が見られる以外には大きな変化のない分布となり、PC鋼材が健全であることが分かる。
- ・ 図-1のG1⑤では、1100mm, 1900mm付近に大きな振幅のS字波形(±の連続したピークを持つ波形)が得られた。このG1は、補修中で、コンクリートが無い状態での調査であったため、上記位置でのPC鋼線の素線切れが目視で確認できた。

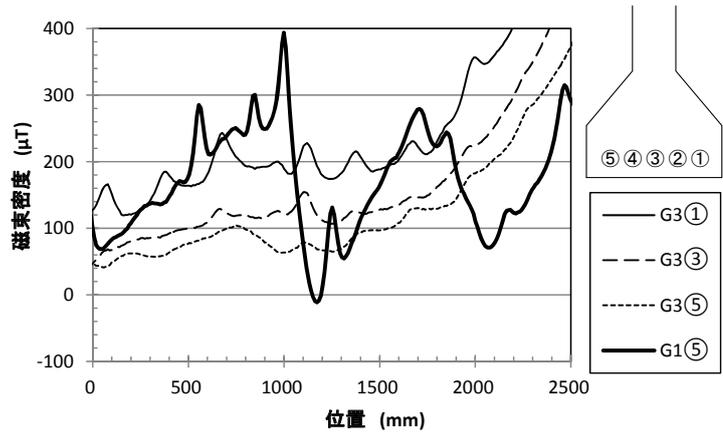


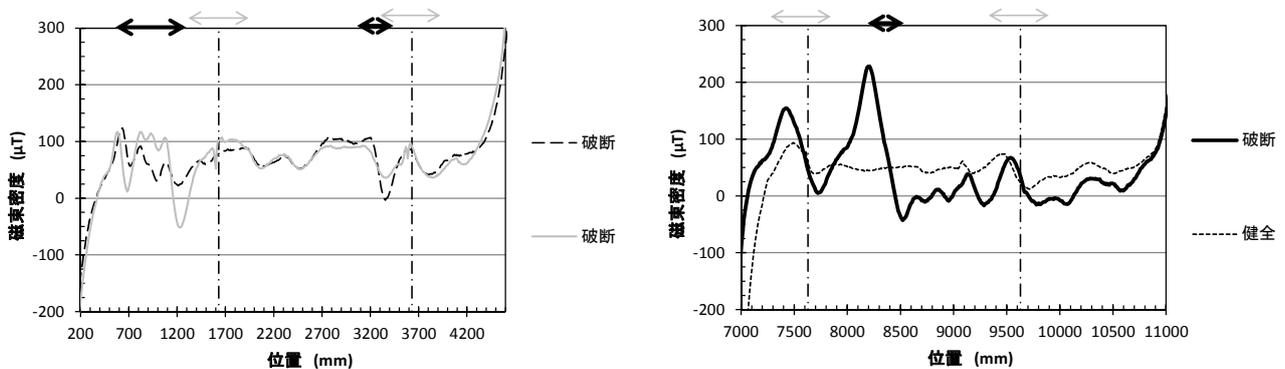
図-1 A橋の調査結果の磁束密度分布

5.2 B橋の調査結果

B橋の調査結果の磁束密度波形の一例を図-2に示す。この結果から次のことが言える。

- ・ ネット接続部の周辺(図-2の一点鎖線位置)では、磁束密度分布に変化が現れており、ネット接続部に沿って設置されている鋼製ワイヤーの影響であると考えられる(図-2の灰色矢印の範囲)。
- ・ 図-2(2)「健全」では、ネット接続部と両端以外では極端な変化のない分布となり(両端は着磁端)、PC鋼材が健全であることが分かる。
- ・ 図-2(2)「破断」では、8300mm付近に大きな振幅のS字波形が表れており、この波形はPC鋼材の破断を示唆している。なお、当該箇所は桁の断面欠損、PC鋼より線の破断(欠損部の一部で鋼材無し)が目視確認できた箇所と一致している(図-2(2)「破断」の黒色矢印の範囲)。
- ・ 外観の目視確認では健全とされていた箇所においても、PC鋼より線の破断を示すS字波形が得られた(図-2(1)「破断」の黒色矢印の範囲)。

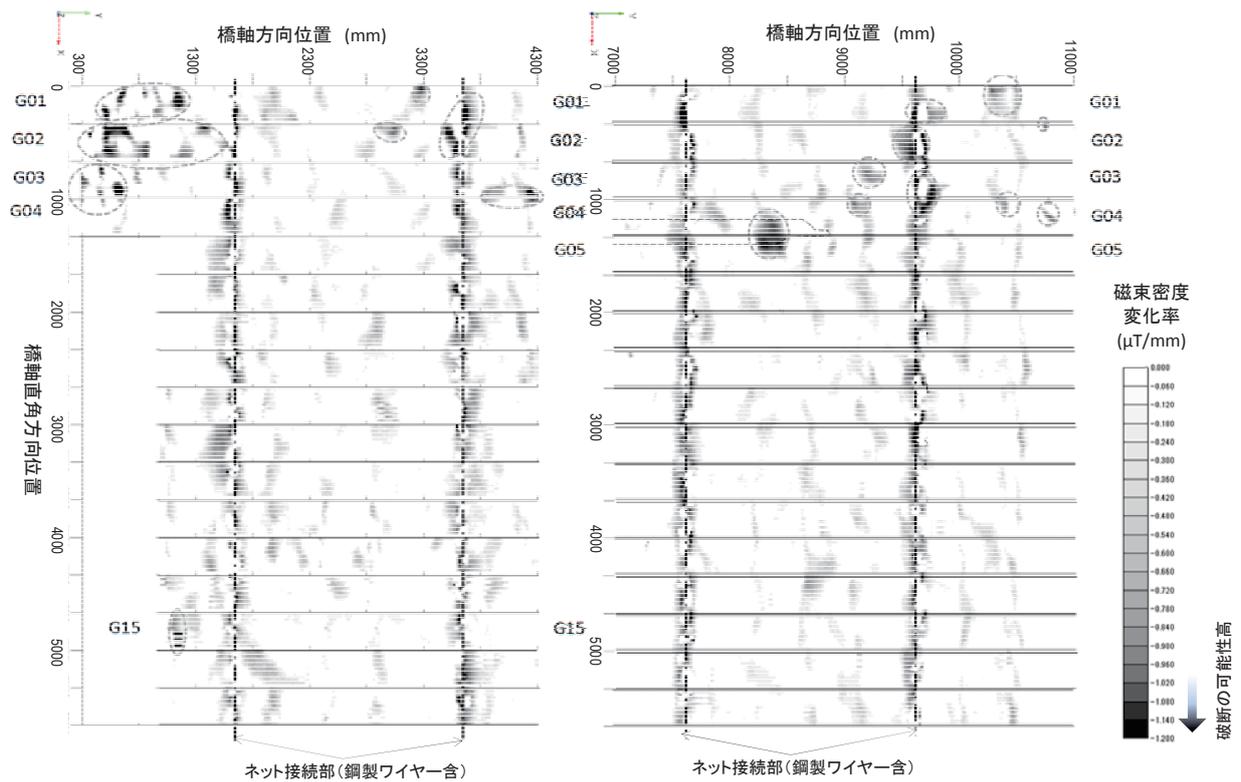
図-3に、B橋における磁束密度変化率(PC鋼材軸方向の磁束密度の変化率)のコンターを示す。磁束密度の負の値が大きいほど破断の疑いが高い。このように磁束密度変化率のコンターも併せて診た方が分かりやすい場合がある。



(1) 破断の結果例

(2) 健全, 破断の結果例

図-2 B橋の調査結果の磁束密度分布



(1) 1箇所目 (2) 2箇所目
 図-3 B橋の調査結果の磁束密度変化率カウンター

6. まとめ

本研究のまとめを以下に示す。

- ・ポストテンションT桁橋およびプレテンションI桁橋において、漏洩磁束法による非破壊検査を実施した。その結果、外観目視では分からなかった箇所を含め、PC鋼材の健全、破断の状態を的確かつ明瞭に評価でき、実橋調査に適用できることを確認した。
- ・ポストテンションT桁橋では、PC鋼線の素線切れを検出できることを確認した。
- ・プレテンションI桁橋において、調査範囲を橋軸方向に4mごとに分割し、高所作業車（デッキ長4.4m）で桁下面側から調査することで、足場架設が困難な箇所においても調査を行うことができた。
- ・調査結果は、磁束密度変化率やそのカウンターも併せて診た方が診断しやすい場合があることが分かった。

謝辞

本技術の実橋調査にあたり、多大なるご協力を頂いた株式会社日本ピーエス濱岡弘二氏、天谷公彦氏、施工技術総合研究所榎園正義氏をはじめ関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 横山貴士, 青木圭一, 宮永憲一, 廣瀬誠: 漏洩磁束法によるPC鋼材破断測定実験, 第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2014.10
- 2) 萩原直樹, 宮永憲一, 青木圭一: 実験による漏洩磁束法の適用性検証, 第24回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2015.10
- 3) 廣瀬誠, 青木圭一, 宮川豊章: 漏洩磁束法によるポストテンション実橋におけるPC鋼材破断調査, 第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2014.10