

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

(株)四国総合研究所	工博	廣瀬 誠
(株)高速道路総合技術研究所	正会員	工修 青木 圭一
京都大学大学院工学研究科	正会員	工博 宮川 豊章

1. はじめに

既設のPC橋においては、グラウトの充填不足、未充填やPC鋼材の腐食、破断が報告され¹⁾、問題となっている。このPC鋼材の破断を早期に発見し、策を講じることにより、既存のインフラを安全に延命することができるが、内部のPC鋼材の腐食、破断の有無や程度を、コンクリート外観の変状によって把握することは困難であり、部分的なつりにより一部のPC鋼材の状態を確認する方法がとられている。しかし、構造物に与える影響も考え、高精度な非破壊検査によるPC鋼材の破断検出技術の現場への適用が強く望まれている。

そこで、筆者らは、RC構造物等の鋼材破断調査で実績のある「漏洩磁束法」およびその原理に基づき開発した検査装置²⁾を用いて、ポストテンション桁橋における鋼製シース内PC鋼材の非破壊調査を実施した。

本報告では、鋼材モデル試験による基本特性を交え、PCポストテンション桁の実橋に、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

2.1 漏洩磁束法の原理

鋼材が強磁性体であることを利用し、図-1のように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で内部の鋼材を着磁する。着磁後に測定した磁束密度分布波形（磁束密度 - 鋼材長手方向位置）から、鉄筋破断箇所付近に発生する漏洩磁束の有無を判定することで、鋼材の健全性を診断する。シースが鋼製で健全であっても、内部の鋼材の診断が可能である。

2.2 検査装置

検査装置は、検査する鉄筋を鉄筋長手方向に磁化するための永久磁石を内蔵した磁石ユニットと、コンクリート表面におけるコンクリート面に垂直な方向成分の磁束密度を測定する磁気計測ユニットの2つで構成される。これらの装置の外観を写真-1に示す。磁石ユニットは永久磁石が内蔵されており、底面から150mm離れた位置における磁石磁化方向成分の磁束密度は約7mTである。磁気計測ユニットは、移動距離とコンクリート表面(鉄筋)に垂直な磁束密度成分とを測定、記録でき、磁束密度分布をリアルタイムで表示できる。磁束密度測定範囲は、 $-300\mu\text{T} \sim +300\mu\text{T}$ である。

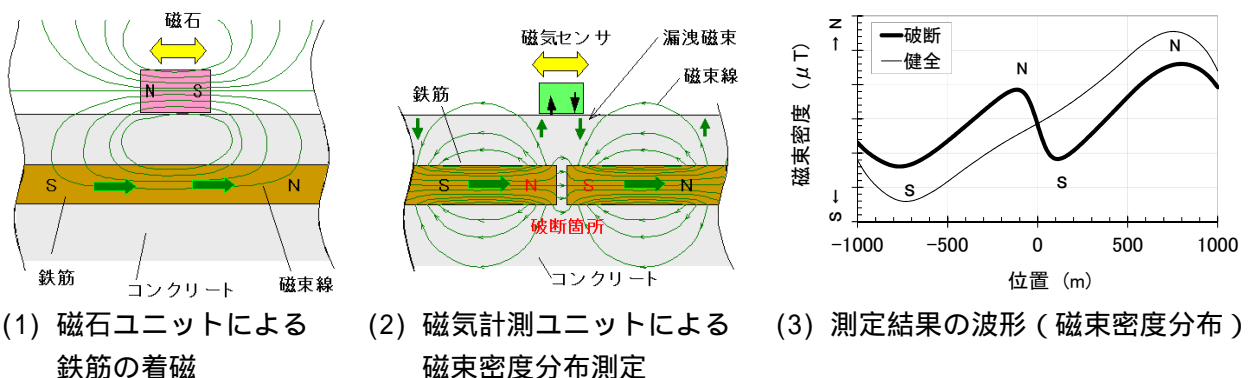


図-1 「漏洩磁束法」の原理説明図

3. 鋼材モデル実験

本手法による鋼製シース内のPC鋼線の非破壊破断診断の基本的特性として、鋼材モデル（コンクリート無し）における実験結果を示す。

3.1 鋼材モデル

鋼材モデルは、内径45mm亜鉛メッキ鋼板製シース内にPC鋼線 8mm×12本を束ねて挿入した長さ6m(±3.0m)ものとした。

3.2 実験方法

着磁は、磁石ユニットのS極を、グラフ中の+側位置方向に向け、長手方向に約5m(±2.5m)の範囲について行った。磁束密度測定は、磁気計測ユニットを用いて、長手方向の約-1m~+1mの範囲について行った。

3.3 実験結果

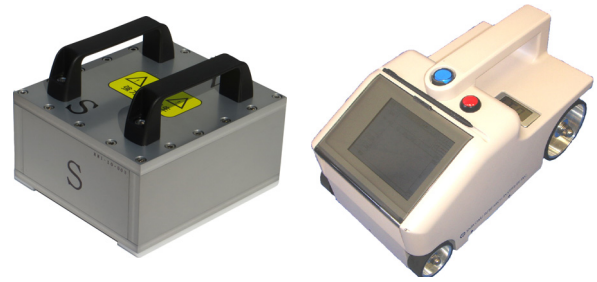
図-2および図-3に、鋼材モデルが健全な場合と破断の場合について、シースの芯かぶりが125,150,175,200mmでの各実験結果を示す。ここで、破断の場合のPC鋼線の破断位置は全て0mmで、Gap=1mm、シースは健全とした。

磁石ユニットのS極をグラフ中の+側位置方向に向けて着磁したため、鋼材はグラフ右側がN極に、グラフ左側がS極に磁化されており、適切に着磁が行えている。

図-2の健全な波形は、全体に右上がりの概ね直線的な分布となっており、健全を示す波形の特徴を表している。

一方、破断の波形(図-3)は、約-200~-150mm位置で上に凸(N極)、約150~200mmの位置で下に凸(S極)の極が反転したS字形の波形となっており、ピーク中央のおよそ0mmの位置で破断を示す破断波形の特徴を表している。なお、このS字形の磁束密度の差は、かぶりが小さいほど大きい。

図-4は、シースが健全で素線破断数が、12本/12本(100%)、6本/12本(50%)、3本/12本(25%)の場合の実験結果である。破断位置は0mm、Gap=1mm。シースの芯かぶりは100mmである。破断本数が少ないほどS字形の磁束密度の差は小さくなるものの、素線切れにおいても上記破断波形の特徴を明瞭に有している。



(1)磁石ユニット (2)磁気計測ユニット
写真-1 鉄筋破断非破壊検査装置外観

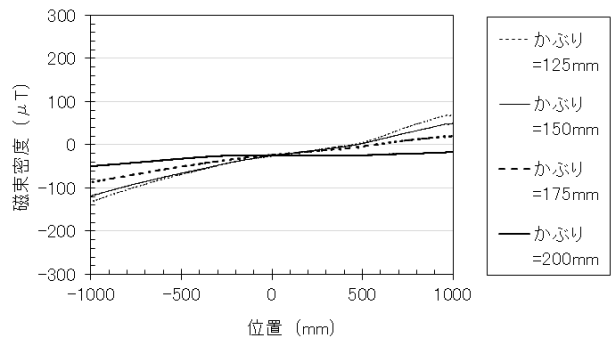


図-2 PC鋼線(健全)実験結果

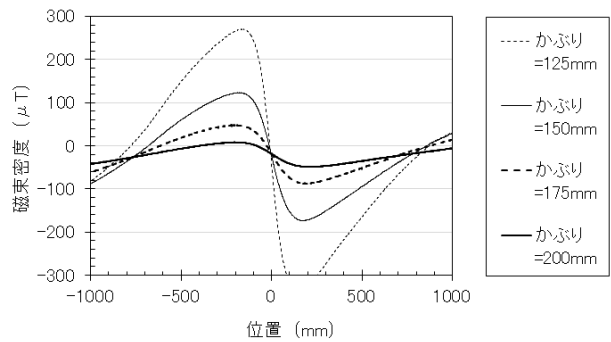


図-3 PC鋼線(破断; Gap=1mm)実験結果

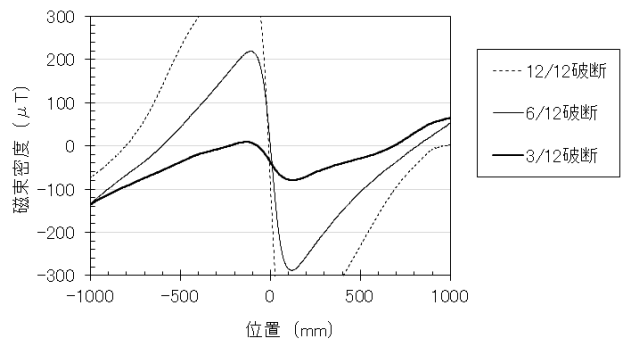


図-4 PC鋼線(素線切れ; Gap=1mm)実験結果

4. 調査実橋

調査は、A橋（東日本）とB橋（西日本，図 - 5，写真 - 2）の2橋について実施した。2橋共に昭和40年代に建設された供用40年以上の海岸線に位置するPCポストテンションT桁橋である。主方向には、PC鋼線（鋼製シース）が使用されている。本件では、広範囲においてコンクリートの浮きやはく離があり、PC鋼材破断を伴うような激しい腐食が見られた箇所（A橋；2本）と、一部にPC鋼材破断を伴うような激しい腐食が見られたもののその周辺の桁では外観に異常の無かった箇所（B橋；5本）を対象とした。なお、本非破壊調査は、断面修復後に実施したものである。上記箇所のPC T桁下フランジ部最下面側に配置されたPC鋼材を、下面側から非破壊で検査した。各フランジ部最下面側において海側寄りのPC鋼材を1本目とした。

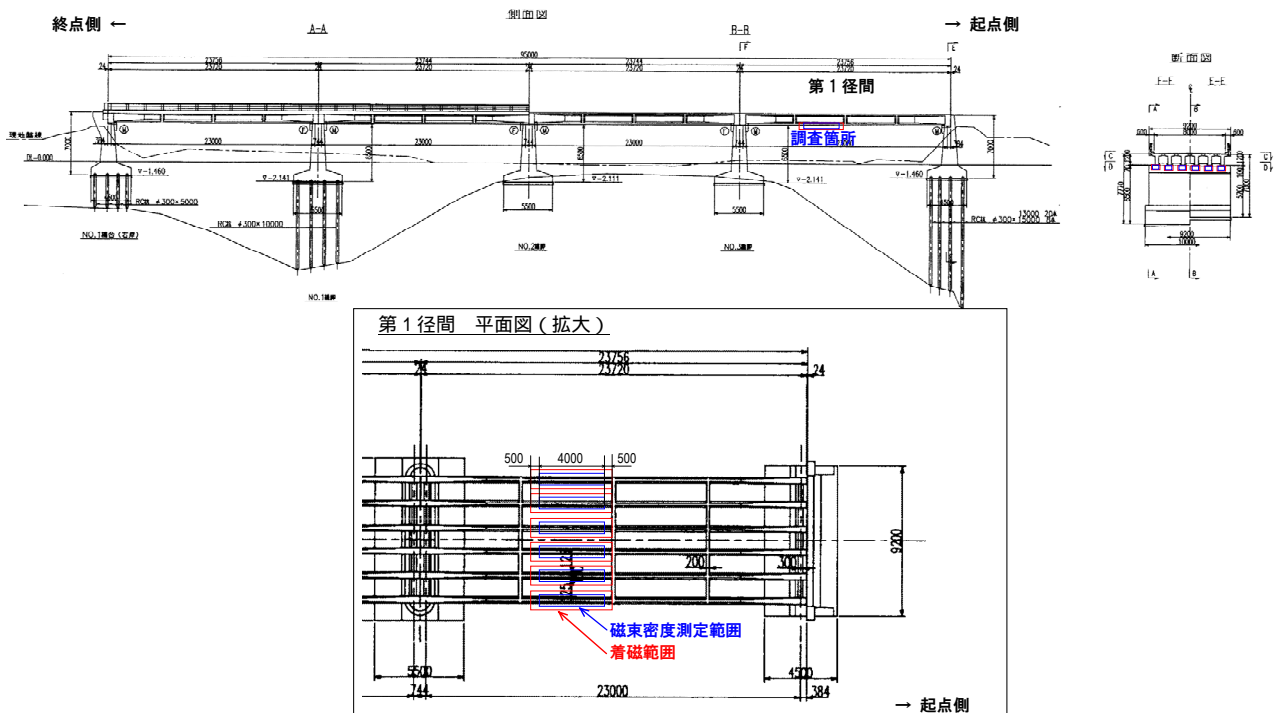


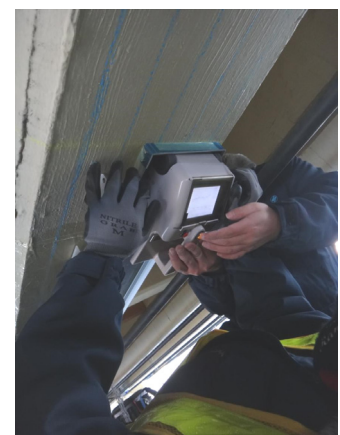
図 - 5 B橋調査範囲



写真 - 2 B橋外観写真



(1) 磁石ユニット
による着磁



(2) 磁気計測ユニット
による磁束密度測定

写真 - 3 鉄筋破断非破壊検査装置による実橋調査状況

5. 実橋調査方法

鉄筋破断非破壊検査装置による着磁，磁束密度測定状況を写真 - 3 に示す。着磁は，磁石ユニットのS極を，グラフ中の+側位置方向に向け，長手方向に約5m (±2.5m) の範囲について行った。磁束密度測定は，磁気計測ユニットを用いて，長手方向の約 - 2m ~ +2m の範囲について行った。装置の想定かぶりよりも構造物のかぶりが小さいため，本着磁は，磁石ユニットにスペーサを使用し，50mm 離隔位置で行い，下記測定結果についてもコンクリート表面から50mm 離隔位置での測定結果を採用した。

6. 実橋調査結果

A橋，B橋における漏洩磁束法による非破壊検査結果の波形を図- 6 (1)，(2) に示す。磁束密度分布波形は，次の特徴を示した。

- ・磁石ユニットのS極をグラフ中の+側位置方向に向けて着磁したため，鋼材はグラフ右側がN極に，グラフ左側がS極に磁化されており，適切に着磁が行えている。
- ・桁のスターラップの典型的な影響として，スターラップ位置で単峰形(凸)の波形を示した。
- ・A橋を除き，波形は，全体に右上がりの概ね直線的な分布となっており，前述した健全の特徴を有する典型的な健全波形である。
- ・A橋では，約 - 200mm位置で上に凸(N極)，約0mmの位置で下に凸(S極)の極が反転したS字形の波形となっている。このS字形の磁束密度の差は約244 μTと大きく，およそ-100mm位置で破断を示す典型的な破断波形である。

以上の結果とA橋のはつり調査の結果とは一致しており，PC鋼材の健全，破断の状態を漏洩磁束法による非破壊検査で，的確かつ明瞭に評価できた。

7. まとめ

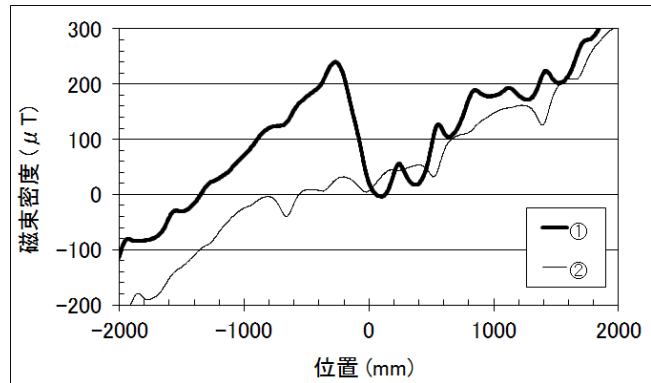
「漏洩磁束法」およびその検査装置を用いて，PCポストテンションT桁橋(鋼製シーす，PC鋼線)の実橋2箇所において，非破壊検査を実施した。その結果，実橋においてPC鋼材の健全，破断の状態を，鋼材モデルでの実験結果と同様に，的確かつ明瞭に評価でき，実橋調査に適用できることを確認した。

謝辞

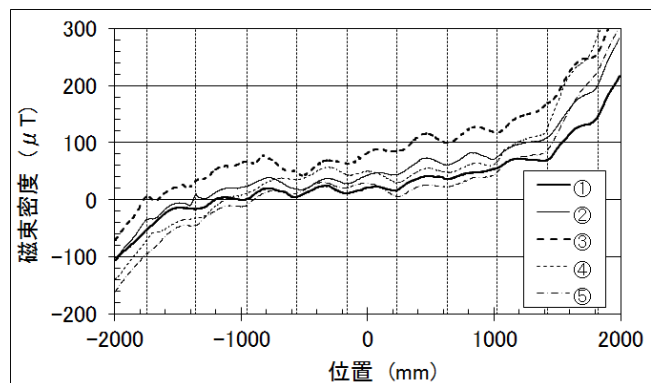
本技術の実橋調査にあたり，国土交通省近畿地方整備局先本勉道路保全企画官をはじめ関係各位には多大なるご支援・ご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC構造物の維持保全 PC橋の予防保全に向けて，p.4~77，2010年3月
- 2) 廣瀬誠，前田龍己，松田耕作，横田優，服部篤史，宮川豊章：磁気法による鉄筋破断非破壊検査における判定基準の構築，構造工学論文集Vol.58A，p.867~878，2012年3月



(1) A橋 (2本)



(2) B橋 (5本)

図 - 6 漏洩磁束法による実橋非破壊調査結果