

実験による漏洩磁束法の適用性検証

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 工修 ○萩原 直樹
 (株)高速道路総合技術研究所 工修 宮永 憲一
 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 工修 青木 圭一

1. はじめに

既設PC橋では、建設当時のグラウト材料の特性やグラウト充填技術の未熟さに起因するグラウト充填不足が問題となっている。NEXCOにおける約300橋の既設PC橋を対象としたグラウト充填調査では、約3割近くでグラウト不良が確認され、これに起因してPC鋼材が破断した事例もある。

既設PC橋を維持管理していく上でPC鋼材の破断状況を把握することは、健全性評価を実施するにあたり非常に重要なことであり、これを調査する技術の早期確立が求められている。

筆者らは、これまでに実験・実橋調査により、漏洩磁束法 (Magnetic Flux Leakage Method) (以下、MFLという。) を用いた非破壊検査によってPC鋼材の破断が評価できることを明らかにしてきた^{1) 2)}。本報告は、MFLによるPC鋼材の破断調査の適用範囲について検討するため、PC鋼材のかぶりや破断したPC鋼材の鋼材間距離 (以下、Gapという。) 等が磁束密度に及ぼす影響を実験的に検証したものである。また、既設ポストテンションPCT桁橋におけるMFL実橋調査結果を報告するものである。

2. MFLの原理

MFLは、PC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PC鋼材を磁石により磁化 (着磁) し、磁化されたPC鋼材から発生する漏洩磁束を測定することにより、鋼材破断の有無や破断位置を判定する非破壊検査技術である^{1) 2)} (図-1)。

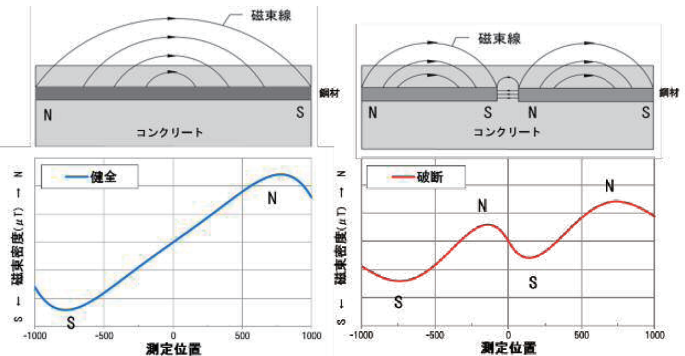


図-1 測定原理イメージ

3. PC鋼棒実験

3.1 実験概要

PC鋼棒実験は、PC鋼棒のかぶりおよびGapが磁束密度に与える影響を検証するために実施した。実験概要を図-2に、試験条件を表-1に示す。PC鋼材は、PC鋼棒φ32mm (SBPR 930/1, 080)、長さ1,250mmのPC鋼棒2本を直線的に配置し、中央部に破断を模擬した。PC鋼棒のかぶりは、無筋モルタル板 (30×600×2000mm) を層状に重ねることで実構造物のかぶりを模擬し、かぶりは40, 70, 100, 130, 160mmとした。着磁および計測範囲は、2,000mmとし、その中央にPC鋼棒の破断位置を設けた。PC鋼棒のGapは、0, 5, 10, 30mmとした。

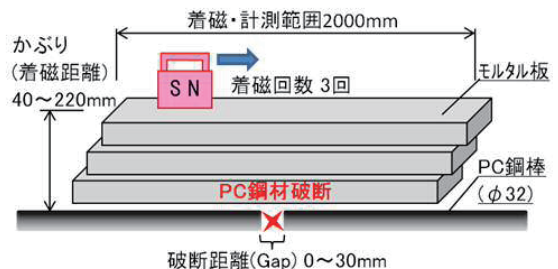


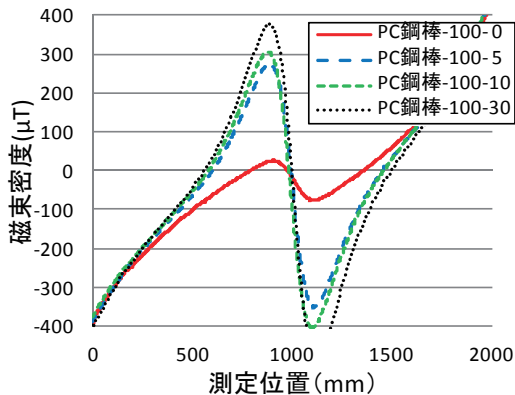
図-2 PC鋼棒実験概要図

表-1 試験条件 (PC鋼棒)

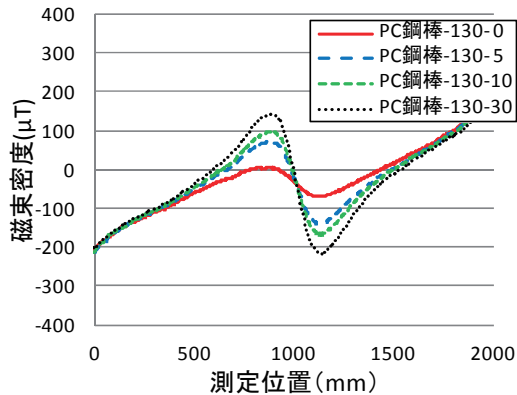
試験 No	かぶり (mm)	PC 鋼材 Gap (mm)
PC 鋼棒-40-Gap	40	0, 5, 10, 30
PC 鋼棒-70-Gap	70	0, 5, 10, 30
PC 鋼棒-100-Gap	100	0, 5, 10, 30
PC 鋼棒-130-Gap	130	0, 5, 10, 30
PC 鋼棒-160-Gap	160	0, 5, 10, 30

3.2 実験結果

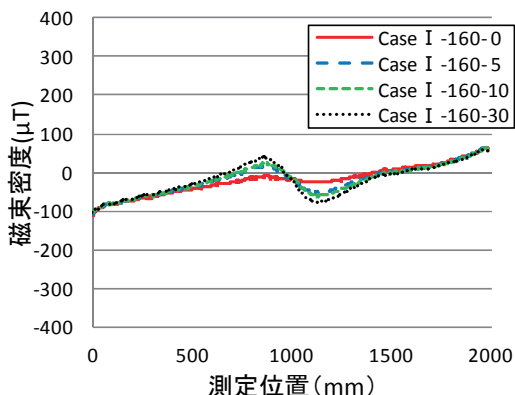
磁束密度分布(かぶり 100, 130, 160 mm)を図-3 に, 各試験条件における Gap 位置での磁束密度のピーク差を図-4 に示す。磁束密度のピーク差は, 全体的な傾向として, PC 鋼棒のかぶりが大きくなるにつれて, Gap が小さくなるにつれて小さな値となる。すなわち, PC 鋼棒のかぶり小さいほど, Gap が大きいほど PC 鋼材の破断を示す明瞭な S 字波形となった。



(a) かぶり 100mm



(b) かぶり 130mm



(c) かぶり 160mm

図-3 磁束密度分布 (PC 鋼棒)

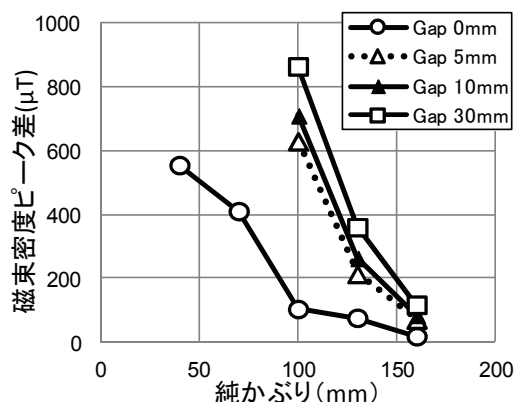


図-4 磁束密度ピーク差 (PC 鋼棒)

4. PC鋼より線実験

4.1 実験概要

PC 鋼より線実験は, PC 鋼より線のかぶり, Gap, および 1 緊張材中の PC 鋼より線の部分破断が磁束密度に与える影響を検証するために実施した。PC 鋼より線の部分破断は, 図-5 に示すように, 長さ 2,500mm の PC 鋼より線(健全部), 長さ 1,250mm の PC 鋼より線(破断部)とを束ね合せることで模擬した。なお, PC 鋼より線の部分破断は, 着磁による磁化がされにくい位置にある 1 緊張材中の下側

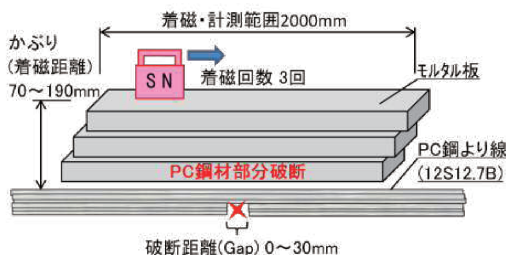


図-5 PC 鋼より線実験概要図

表-2 試験条件 (PC 鋼より線)

試験No	かぶり (mm)	より線破断本数	PC 鋼材 Gap (mm)
より線-70-破断本数-Gap	70	1/12~7/12	0, 5, 10, 30
より線-100-破断本数-Gap	100	4/12~9/12	0, 5, 10, 30
より線-130-破断本数-Gap	130	6/12~9/12	0, 5, 10, 30
より線-160-破断本数-Gap	160	7/12~12/12	0, 5, 10, 30
より線-190-破断本数-Gap	190	10/12~12/12	0, 5, 10, 30

に設けた。PC 鋼より線実験の試験条件を表-2 に示す。PC 鋼材は、PC 鋼より線 12S12.7B (SWPR7BL) を使用し、かぶりは 70, 100, 130, 160, 190mm とした。着磁および計測範囲は、2,000mm とし、その中央に PC 鋼より線の破断位置を設けた。また、PC 鋼より線の Gap は、0, 5, 10, 30mm とした。

4.2 実験結果

Gap 位置における磁束密度のピーク差 (かぶり 100, 130, 160mm) を図-6 に示す。

磁束密度のピーク差は、Gap が大きいほど、1 緊張材中の PC 鋼より線の破断本数が多いほど、また、かぶりが小さくなるほど大きな値を示し、PC 鋼材破断を示す S 字波形も明瞭なものとなった。よって、PC 鋼より線破断調査では、PC 鋼材の Gap が大きく、かぶりが小さいケースにおいて、より正確に PC 鋼材の破断状況の評価できる。

また、かぶり 100mm の場合のピーク差が小さかった Gap0mm, 破断本数 5/12 及び Gap5mm, 破断本数 6/12 のケースにおいて、着磁回数を 5 回に増加させたときの磁束密度分布の比較を図-7 に示す。着磁回数を増加させることでより明瞭な S 字波形を示すことが確認できた。

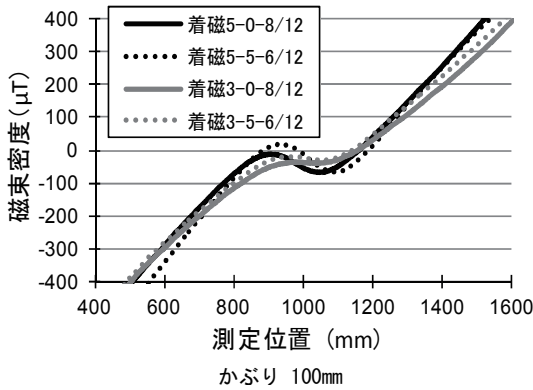
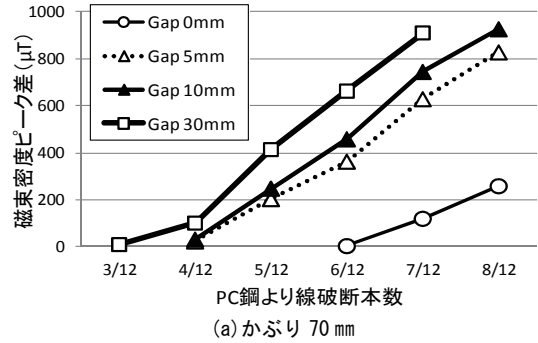
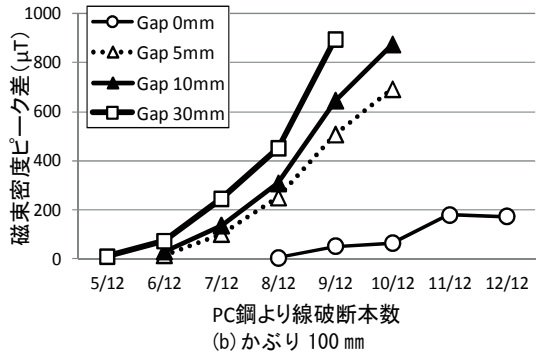


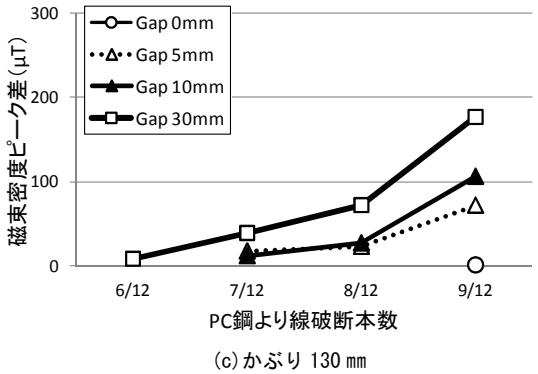
図-7 着磁回数増による磁束密度分布の変化



(a) かぶり 70 mm



(b) かぶり 100 mm



(c) かぶり 130 mm

図-6 磁束密度ピーク差

MFL による PC 鋼より線破断調査の適用範囲の明確化を図るために、Gap, かぶり, および PC 鋼より線の破断本数を条件とする評価の閾値を表-3 に示した。最も破断の評価が困難となる Gap 0mm (表-3(a))では、かぶり 70mm では 7 本以上、かぶり 100mm では 8 本以上、かぶり 130mm では 10 本以上、かぶり 160mm, 190mm では 12 本以上破断していれば部分破断を評価できる。

表-3 MFL の適用範囲(PC 鋼より線)

(a) Gap 0mm (■: 破断評価可能)

かぶり (mm)	1 緊張材 12 本中の PC 鋼より線破断本数											
70	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
130	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
160	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
190	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

(b) Gap 5mm (■: 破断評価可能)

かぶり (mm)	1 緊張材 12 本中の PC 鋼より線破断本数											
70	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
130	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
160	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
190	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

(c) Gap 10mm (■: 破断評価可能)

かぶり (mm)	1 緊張材 12 本中の PC 鋼より線破断本数											
70	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
130	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
160	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
190	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

(d) Gap 30mm (■: 破断評価可能)

かぶり (mm)	1 緊張材 12 本中の PC 鋼より線破断本数											
70	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
130	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
160	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
190	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

5. 既設ポストテンション PCT 桁の実橋調査

5.1 調査概要

既設 A 橋は、海岸線近くに位置するポストテンション PCT 桁橋である。PC 鋼材に PC 鋼線 12φ7mm、シースには鋼製シースが使用され、塩害によってコンクリートの浮きやはく離、さらには主方向の PC 鋼線の素線破断が数本確認された(写真-1)。なお、MFL 調査時点では、断面修復などが完了した状態であり、調査位置の芯かぶりは約 90mm であった。



写真-1 PC 鋼線の破断状況

5.2 調査結果

調査結果を図-8 に示す。PC 鋼線が破断しているケーブルでは、破断を示す S 字形の磁束密度波形を示し、MFL による PC 鋼材破断調査が実橋においても適用できることを確認した。

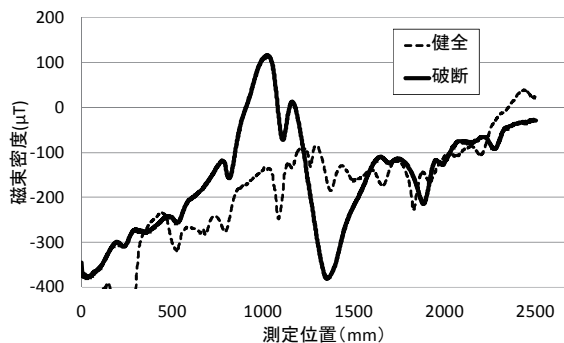


図-8 MFL による実橋調査結果

6. まとめ

本実験、調査の範囲内において、以下のことが明らかとなった。

(1) MFL による PC 鋼棒破断調査の適用範囲は、

かぶり 130mm 未満 (Gap 0mm) である。た

だし、Gap が大きい場合は、かぶり 160mm 以上まで適用できる。

(2) MFL による PC 鋼より線破断調査は、1 緊張材中の部分破断の評価が可能であり、その閾値を示した。

(3) MFL による PC 鋼材破断の非破壊検査手法は、実橋においても PC 鋼材破断状況の評価が可能である。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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