

漏洩磁束法によるPC鋼材破断測定実験

(株) 高速道路総合技術研究所 正会員 工修 ○横山 貴士
 (株) 高速道路総合技術研究所 正会員 工修 青木 圭一
 (株) 高速道路総合技術研究所 工修 宮永 憲一
 (株) 四国総合研究所 工博 廣瀬 誠

1. はじめに

PC橋においては、施工当時のグラウト材料の特性やグラウト充填技術に起因するグラウト不良、いわゆる「グラウト問題」があり、NEXCOにおける約300橋の既設のPC橋を対象としたグラウト充填状況調査では、全体で約2割強のグラウト不良が存在することが確認されており、このグラウト不良に起因し、PC鋼材の腐食・破断が発生した事例も存在する。

しかし、PC鋼材の変状をコンクリート表面の外観目視により確認することは困難であり、PC鋼材の破断を検知する非破壊検査技術の早期確立が望まれるが、現状でPC橋における既存の非破壊検査技術は、グラウト不良箇所を調査する技術が多く、鋼材の破断検知を行える技術は少ない。

こうした背景のもと、国内においては電柱等の鉄筋破断を検知する非破壊検査技術として既に実用化されている漏洩磁束法に着目し、PC鋼材破断検知の非破壊検査技術を確立・実用化することを目的として、本技術により供試体で測定実験を実施した。本報告は、この測定実験結果に基づく本技術の適用性の検討結果について報告するものである。

2. PC橋の非破壊検査技術

2.1 漏洩磁束法への着目

桁の主方向のPC鋼材の破断を調査可能な実用化された非破壊検査技術としては、現状ではX線法があるが、放射線を取り扱う技術であるため有資格者を必要とする上、機器が大掛かりかつ調査費が増大する傾向にあるため、調査を連続的に実施する場合には不向きな技術となっている。そこで、

①PC鋼材の破断を直接検知することが可能であること

②携行性が高く調査実施および調査結果解析が一般的な作業でも実施可能と想定される技術の2点を重視した結果、鉄筋の破断検知に実績のある漏洩磁束法に着目することとした。

2.2 漏洩磁束法の原理

鋼材が強磁性体であることを利用し、コンクリート構造物の表面から磁石により内部の鋼材を着磁し、着磁後に測定した磁束密度波形（磁束密度-鋼材軸方向位置）から、鋼材の破断の有無と位置を判定する。図-1に示すように、鋼材が健全な場合は、鋼材の着磁範囲のほぼ両端が、それぞれS極・N極となるため、測定範囲でほぼ一定の勾配を持つ磁束密度波形が得られる。これに対し、鋼材が破断している場合は、破断個所の前後でS極・N極のピークを持つ磁束密度波形（S字波形）が得られ、鋼材の破断を検知可能な非破壊検査技術である。

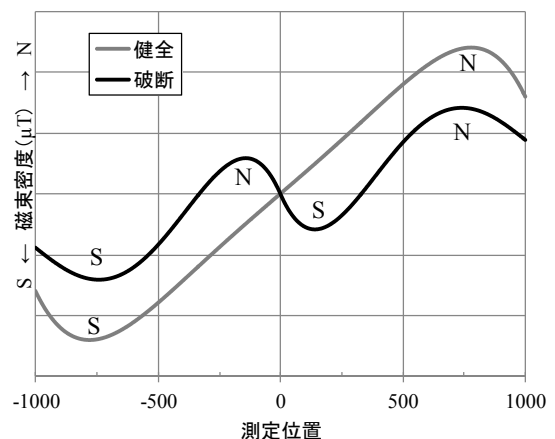


図-1 測定される磁束密度波形

3. 供試体実験1

3.1 供試体概要

漏洩磁束法による非破壊検査技術の適用性を確認するため、鋼製シースおよびPC鋼材を3段配置した4000mm×350mm×1226mmのコンクリート供試体を3体製作した(表-1)。図-2に供試体No.2の概要を示す。なお、各供試体におけるシース芯までのかぶりは同一である。

表-1 供試体の条件

No.	PC鋼材種類	シース (mm)	PC鋼材およびシース・グラウト状態
1	PC鋼より線 12S12.7mm	70	1段目 健全・充填 2段目 健全・左半分充填
2	PC鋼線12Φ7mm	45	3段目 50mm破断・ 破断部を除き充填
3	PC鋼棒Φ32	40	

3.2 実験概要

測定は、図-2に示す供試体の破断位置を中心とした約1500mmの範囲について、シース芯に対してかぶり100mm側からシースと平行にPC鋼材毎に着磁を実施し、その後かぶり100mm側、250mm側それぞれから磁束密度を測定した。なお着磁

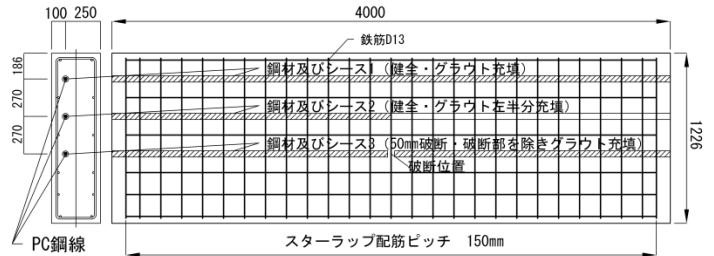


図-2 供試体実験1 供試体概要

については、厚さ50mmのスペーサーを使用して着磁距離をシース芯から150mmの位置から実施した。

これは、かぶり100mmで直接着磁を実施すると着磁量が過大となり、調査対象の着磁量を一樣とすることが困難となる、およびスターラップの影響が大きくなってしまふことを予備試験から確認していたためである。

3.3 実験測定結果

供試体No.1~3において、かぶり100mm側およびかぶり250mm側からそれぞれ磁束密度を測定した結果を図-3~図-5に示す。なお、図中の縦線はスターラップの位置を示す。

かぶり100mm側

かぶり250mm側

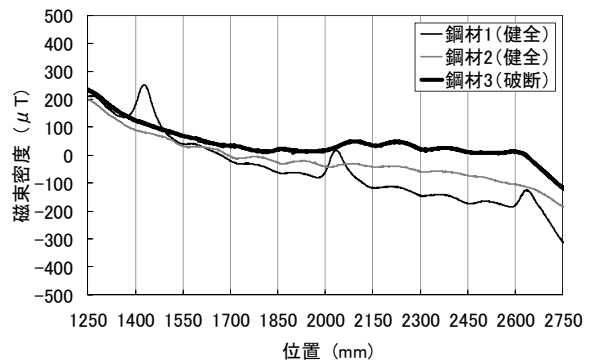
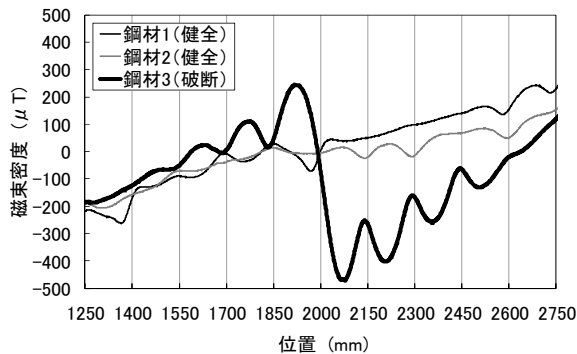


図-3 供試体No.1における磁束密度分布

かぶり100mm側

かぶり250mm側

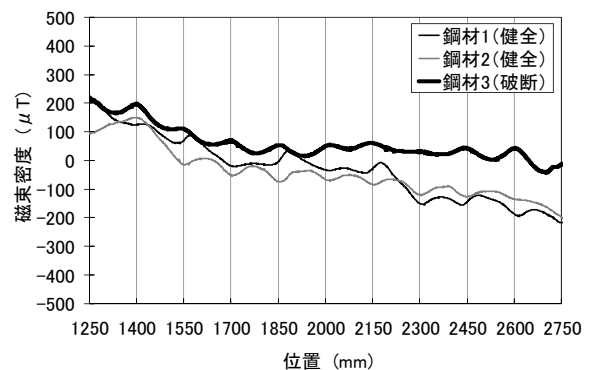
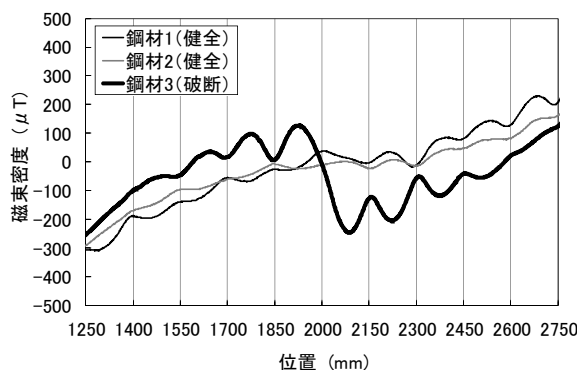


図-4 供試体No.2における磁束密度分布

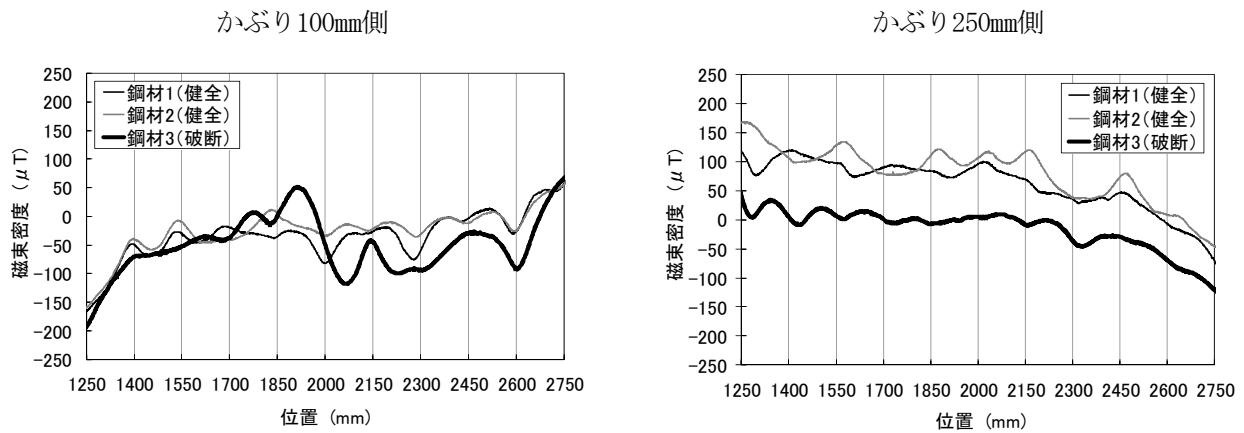


図-5 供試体No. 3における磁束密度分布

かぶり100mm側からの測定においては、PC鋼材種別によらず鋼材3における鋼材破断位置（位置2000mm）を中心に明確なS字波形を示しており、破断と診断できる波形が測定された。

また、破断位置における磁束密度のピークの差は、PC鋼より線で約 $700\mu\text{T}$ 、PC鋼線で約 $400\mu\text{T}$ 、PC鋼棒で約 $150\mu\text{T}$ となっており、PC鋼より線>PC鋼線>PC鋼棒の順になっている。

破断位置の磁束密度のピーク差は、着磁する磁石を同一とすると、鋼材の破断距離が大きい場合やかぶり厚さが薄い場合に大きくなるが、今回の供試体はこれらを同一条件としている。

そのため、この差異が生じる原因として、各PC鋼材の断面積比率の差異を想定したが、この比率とは一致していないため、各PC鋼材の材料組成の差異、着磁方向に対する各PC鋼材の表面積比率の差異などが影響していると思慮され、今後詳細な検証が必要な事項である。

一方、かぶり250mm側からの測定においては、いずれのPC鋼材種別においても明確に破断と診断できる波形とはならなかった。

そこで、かぶりが厚いものに対して、PC鋼材への着磁量を上げることで測定可能となるか確認することとしたが、同じ供試体において再度着磁を実施した場合には着磁量の調整が困難になるため、かぶり厚さが200mmある別の供試体を用いて実験を実施することとした。

4. 供試体実験2

4.1 供試体概要

供試体実験2の概要を図-6に示す。PC鋼材・シースは、それぞれPC鋼より線12S12.7mm・鋼製シースを用い、シース芯をコンクリート表面からのかぶり225mmの位置に配置している。破断については、実橋においては腐食破断が大部分であるため、上から3段目を電氣的に腐食破断させた（写真-1）。

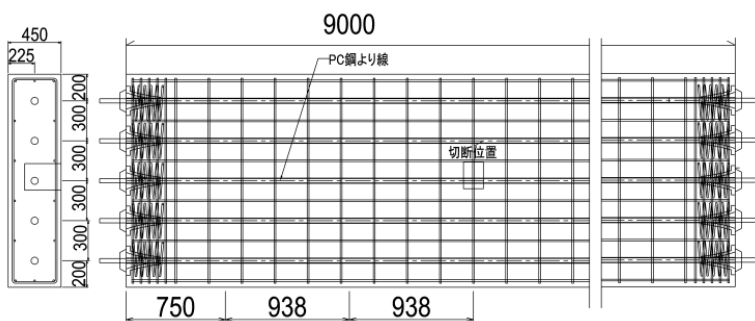


図-6 供試体概要



写真-1 PC鋼材腐食破断状況

4.2 実験概要

測定は、図-6に示す供試体の破断位置を含めた約4300mmの範囲の上から2段目（健全）および上から3段目（破断）について、シースと平行に着磁を実施し、その後コンクリート表面（シース芯から225mm）およびコンクリート表面からスペーサーを用いて50mmの離隔を確保した位置（シース芯から275mm）から磁束密度を測定した。なお着磁については、供試体実験1で使用した磁石を2個並列に配置し着磁力を約2倍にして実施した。

4.3 実験測定結果

供試体実験2において、シース芯からの離隔225mmおよびシース芯からの離隔275mmで測定した結果を図-7に示す。

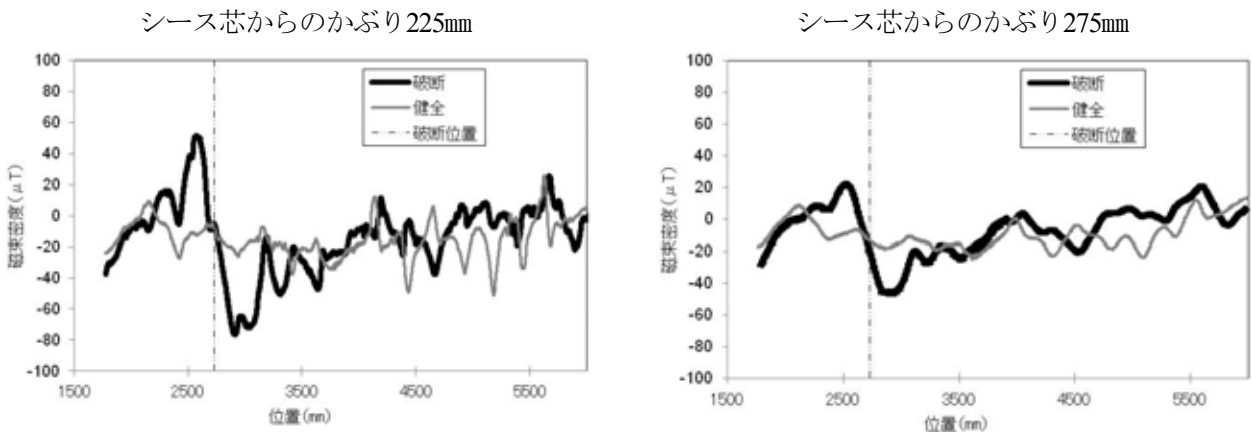


図-7 供試体実験2の磁束密度分布

かぶり225mmおよびかぶり275mmのいずれの測定においても、3段目の鋼材破断位置（2700mm位置）を中心に明確なS字波形を示しており、破断を検知可能であることが確認された。

また、破断位置における磁束密度のピークの差は、かぶり225mmで約140 μ T、かぶり275mmで約70 μ Tとなっているが、かぶり275mm側の測定結果ではあわせてスターラップの影響による波形も緩和できており、視覚的には破断位置の確認が容易である。

ただし、健全な2段目の鋼材の磁束密度波形測定結果について、スターラップの影響を除いて考察すると、1700mm位置から3500mm位置まで下り勾配を示し、そこから終点位置まで上り勾配を示しており一方の一定勾配となっていないため、着磁が一樣に行なわれなかった可能性がある。

また、供試体実験2において、材料手配の容易さや腐食破断の容易さを考慮しPC鋼より線を使用したのが、供試体実験1の結果から、PC鋼より線は破断の検知が最も容易な鋼材であったため、かぶりが厚い場合のPC鋼線やPC鋼棒においても同様に破断の検知が可能か、今後の検証が必要な事項である。

5. おわりに

本実験では、2種類の供試体測定実験を実施し漏洩磁束法による非破壊検査技術の適用性の確認を行った。その結果、漏洩磁束法によるPC鋼材の破断検知は、鋼材芯でのかぶり150mm程度までは、PC鋼材種類によらず破断を検知できており、同等程度のかぶりの実橋において適用の可能性が高いことを確認した。また着磁量を上げることにより、かぶり200mm程度まで適用範囲を拡大できる可能性があることを確認した。

今後は、実橋での適用性の確認とあわせて、対象とするPC橋の構造形式、PC鋼材種別およびかぶり厚さなどに応じた適切な着磁方法・着磁量の検討を実施し、非破壊検査手法としての確立を行っていく予定である。