

報告 ASR による鉄筋破断に関する非破壊調査

野村 倫一^{*1}・葛目 和宏^{*2}・藤原 規雄^{*3}

要旨：ASR による鉄筋破断は、コンクリート内部で発生する事象であるため、はつり調査以外有効な方法がなかったが、曲げ加工部の鉄筋破断を非破壊的に検出する手法の開発を目的として、実橋脚を対象に超音波法および電磁誘導法を応用した変状検出装置を試験的に適用し、現地調査に基づいて、その有効性ならびに今後の可能性についての検討を行ったので報告する。

キーワード：ASR, 鉄筋破断, 非破壊調査, 電磁誘導法, 超音波法

1. はじめに

ASR によるコンクリート構造物で橋脚梁部端部の鉄筋曲げ加工部で、主鉄筋が破断している事象が確認された。現在のところ、鉄筋破断により著しく安全性が損なわれないことは確認されている¹⁾ものの、発生箇所等によっては構造物の耐荷性能に影響を与える可能性もあり、その発生を早い段階で検出する必要がある。しかし、現在、鉄筋破断を検出するには、鉄筋をはつり出す以外に有効な方法がなく、非破壊的な点検手法の確立が望まれている²⁾。

本稿では、鉄筋の曲げ加工部の破断を非破壊的に検出する手法の開発を目的として、実橋脚を対象に超音波法および電磁誘導法を応用した鉄筋破断検出装置を試験的に適用し、その有効性ならびに今後の可能性についての検討を行ったので報告する。

2. 鉄筋破断の概要

平成 12 年 7 月、山陽新幹線の T 型 RC 橋脚において鉄筋破断が数例確認された。鉄筋破断箇所は全て T 型橋脚張出部先端の主鉄筋曲げ加工部であった。**図-1**に破断位置の模式図を示す。

破断した鉄筋は、径 D32、材質 SD35 の電炉鉄筋で、鉄筋の節の形状は竹節であった。(一部の構造物では斜節のものも見られた。)

写真-1に、かぶりコンクリートはつり後の破断箇所を示す。黒っぽく見える面がひび割れ面であり、白色部は強制的にはつり取った部分である。その境界部に破断(写真中○印)が見られる。

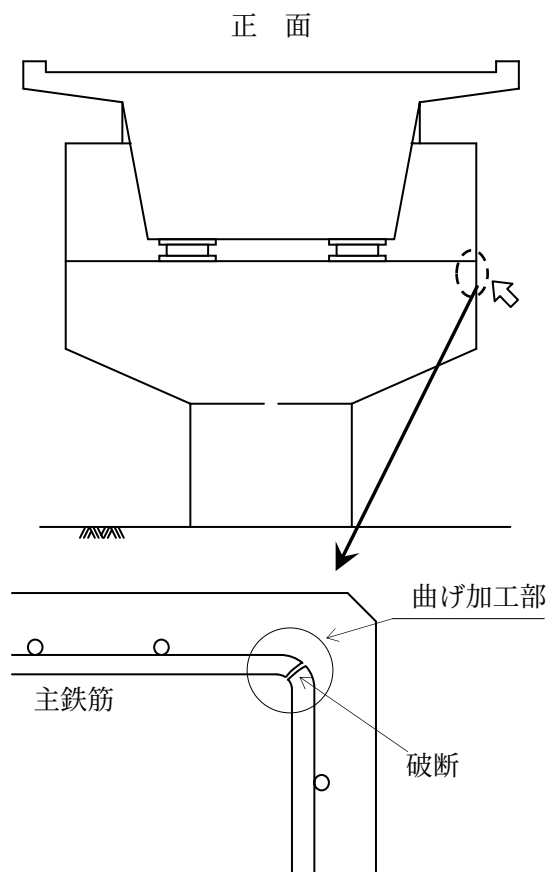


図-1 鉄筋破断位置模式図

^{*1} 西日本旅客鉄道(株) 鉄道本部 施設部 工修 (正会員)

^{*2} (株)国際建設技術研究所 工博 (正会員)

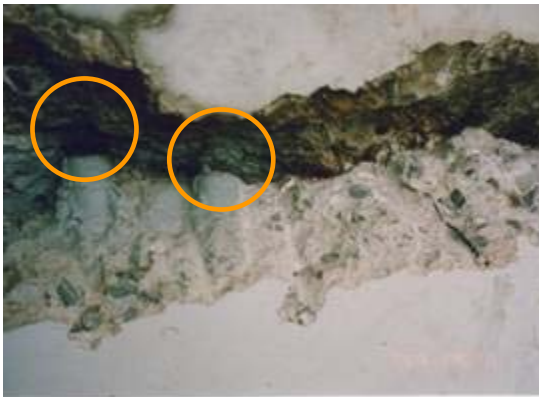


写真-1 鉄筋破断箇所（はつり後）



写真-2 鉄筋破断面

写真-2に鉄筋破断面の拡大写真を示す。

観察の結果、破断部の鉄筋には殆ど錆は見られず、破断面は平坦で脆性破面を呈していたことがわかった。

また、破断した鉄筋については、その他に化学成分分析や顕微鏡組織観察、引張試験、曲げ試験、衝撃試験、硬度試験を実施したが、いずれもJIS基準を満足していた。観察や分析の結果、次のように鉄筋が破断したものと推測した。

鉄筋の曲げ加工時に鉄筋節付け根部分に応力集中が起こり、その結果、切欠きが発生、切欠きを起点としてASRによる膨張圧を受けてひび割れが徐々に進展、概ね鉄筋断面の半分程度にまでひび割れが進展した時点で、いっきに破断に至ったと考えられる。

以上のような鉄筋破断の調査は、破断の有無を含め、コンクリートをはつり取った

後に行わなければならない。しかし、はつり調査は確実に鉄筋破断を確認出来るが、時間的にも費用的にも非効率であり、構造物に与える影響も小さくない。

そこで、構造物に影響を与えずに鉄筋破断を検出することが出来る非破壊調査手法の確立が急務であり、それらを開発することを目的として試験的に実構造物で調査を実施し、その有効性ならびに今後の可能性について検討を行った。

3. 調査概要

3.1 調査箇所

調査箇所は試験的に調査を行うことを目的としたため、鉄筋破断が確認された橋脚の近隣箇所を対象に目視による劣化程度が軽微なもの、中程度なもの、著しいもの合計10橋脚を選定した。

3.2 調査方法

調査は、鉄筋破断の検出方法として電磁誘導法と斜方向超音波法により実施した。なお、ここでの電磁誘導法は鉄筋破断検出を目的として新たに開発された装置を用いて行った。

3.3 電磁誘導法

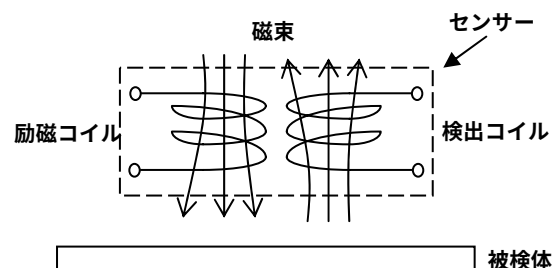


図-2 検出システムの概要

電磁誘導法の原理を応用した鉄筋破断の検出手法は、センサー内の励磁コイルによって発生させた交流磁束が被検体（ここではコンクリー

ト中の鉄筋)に流れ、被検体に傷があると交流磁束が変化し、その変化を検出コイルの電圧変化として捉え、この電圧波形を振幅と位相の二つのパラメーターとしたリサージュ波形を表示し、その波形の形状によって鉄筋破断の有無を推定する調査方法である。

センサー内の励磁コイルの励磁電圧波形を v 、検出コイルの位置 A での検出電圧波形を v_A 、位置 B での検出波形を v_B とし、各電圧波形を式で表すと

$$v = V \sin \theta \quad (1)$$

$$v_A = V_A \sin(\theta - \Psi_A) \quad (2)$$

$$v_B = V_B \sin(\theta - \Psi_B) \quad (3)$$

となり、電圧波形は振幅 V と位相 $\sin(\theta - \Psi)$ の2つのパラメーターで構成され、ベクトルで表すことができる。電圧波形を XY 平面に表示すると図-3のようになり、センサーが主鉄筋上の任意の位置 A から位置 B に移動したときの軌跡は破線のように表すことができる。この波形をリサージュ波形と呼ぶ。

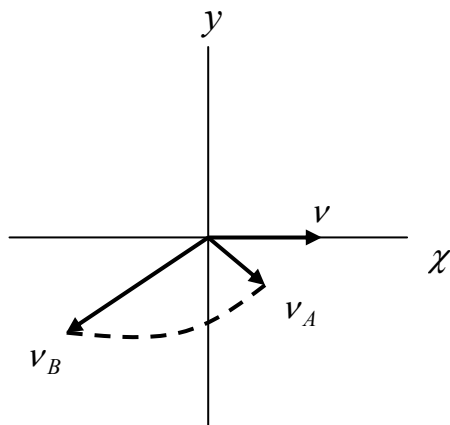


図-3 電圧波形の平面表示(リサージュ波形)

室内実験では、この検出装置で図-4に示したように連続した直線鉄筋の上を走査すると、検出コイルのリサージュ波形は図-5に表されるように点状となるが、図-6のように鉄筋が連続していない場合は、不連続部の端面が密着している条件にあったとしても、得られるリサ

ージュ波形は図-7に表されるように8の字状の形状となる。この場合、連続していない箇所の隙間(ギャップ)が大きくなると、図-8に示すように、より大きな8の字形状が描かれるリサージュ波形となる。

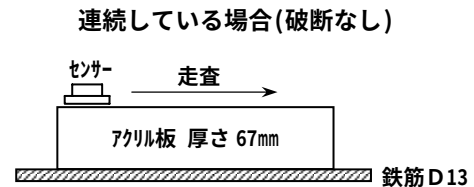


図-4 直線鉄筋での試行(破断なし)

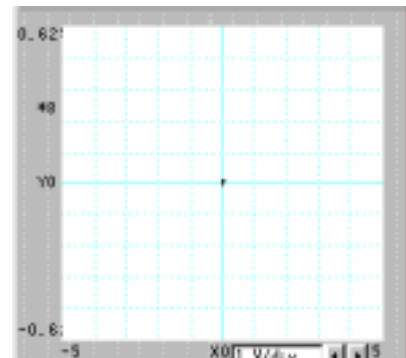


図-5 検出波形(破断なし)

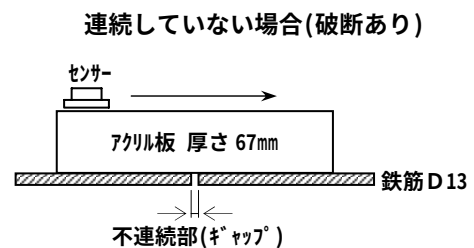


図-6 直線鉄筋での試行(破断あり)

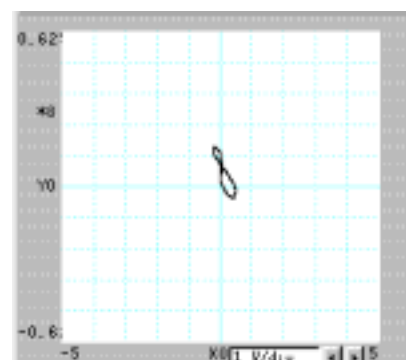
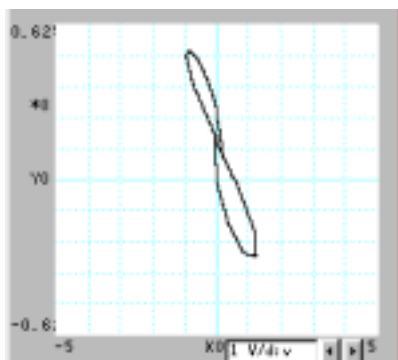
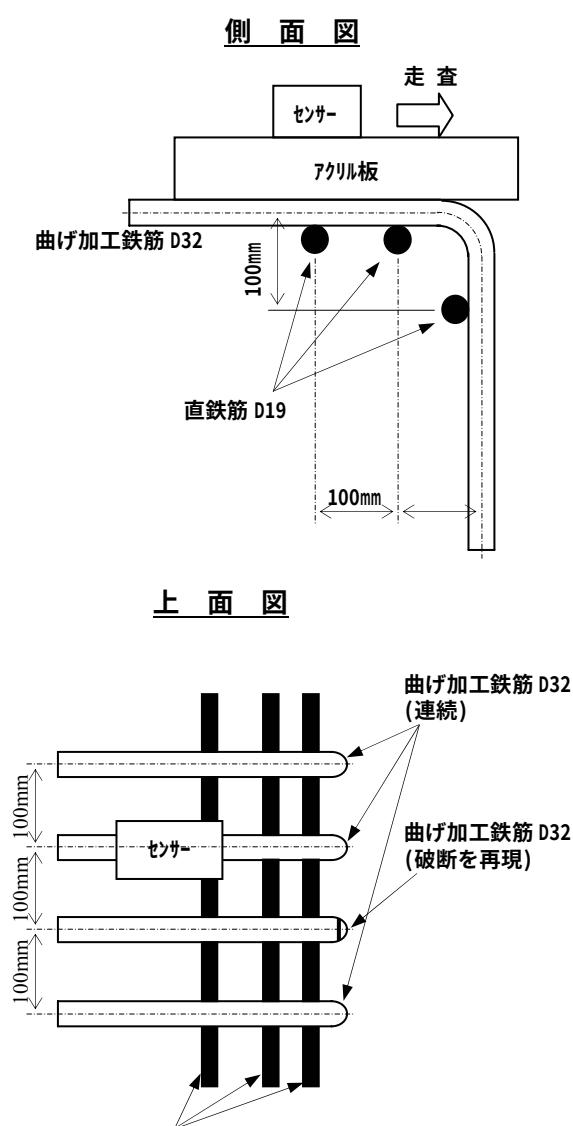


図-7 検出波形(破断あり, 密着)



図－８ 検出波形（破断あり，ギャップ 5mm）

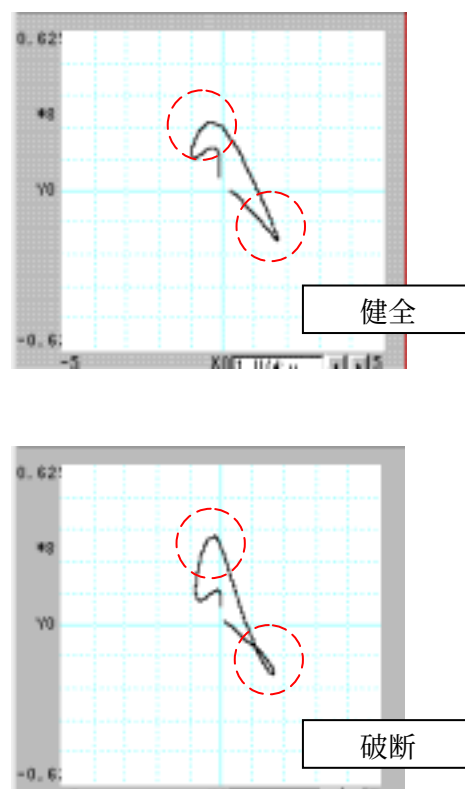


図－９ 曲げ加工部での試行

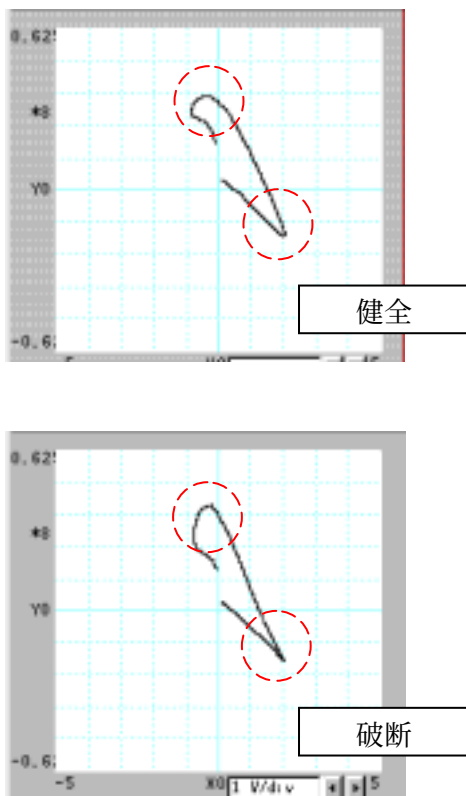
以上のように，直線鉄筋については，連続している場合とそうでない場合で非常に明確な差

が現われるが，曲げ加工部を対象とした場合，センサーから鉄筋まで距離が曲げ加工部で急激に変わるため検出波形が複雑に変化し，不連続部の検出は非常に難しくなる。実構造物では，隣接する鉄筋や直交する鉄筋の影響も加わるのでさらに厳しい条件となる。

このように，電磁誘導法によって曲げ加工部の破断を検出することは原理的に難しいものであるが，当装置では，図－９に示す条件で行った室内試験において，かぶり 80mm までは破断部を判別できるデータが得られている。かぶり 60mm の場合には，図－１０に示すようにリサーチ波形に不連続部特有の形状が現れており，また，かぶり 80mm の場合でも，図－１１に示すように健全な鉄筋と比較すれば破断の有無の判別が可能であり，実橋脚を対象とした場合のさらに大きなかぶり（100mm 程度）を有するものでも，破断の生じていない鉄筋のデータと比較することによって破断を検出することが可能である。



図－１０ 検出波形（かぶり 60mm）



図－１１ 検出波形（かぶり 80mm）

3.4 斜め方向超音波法

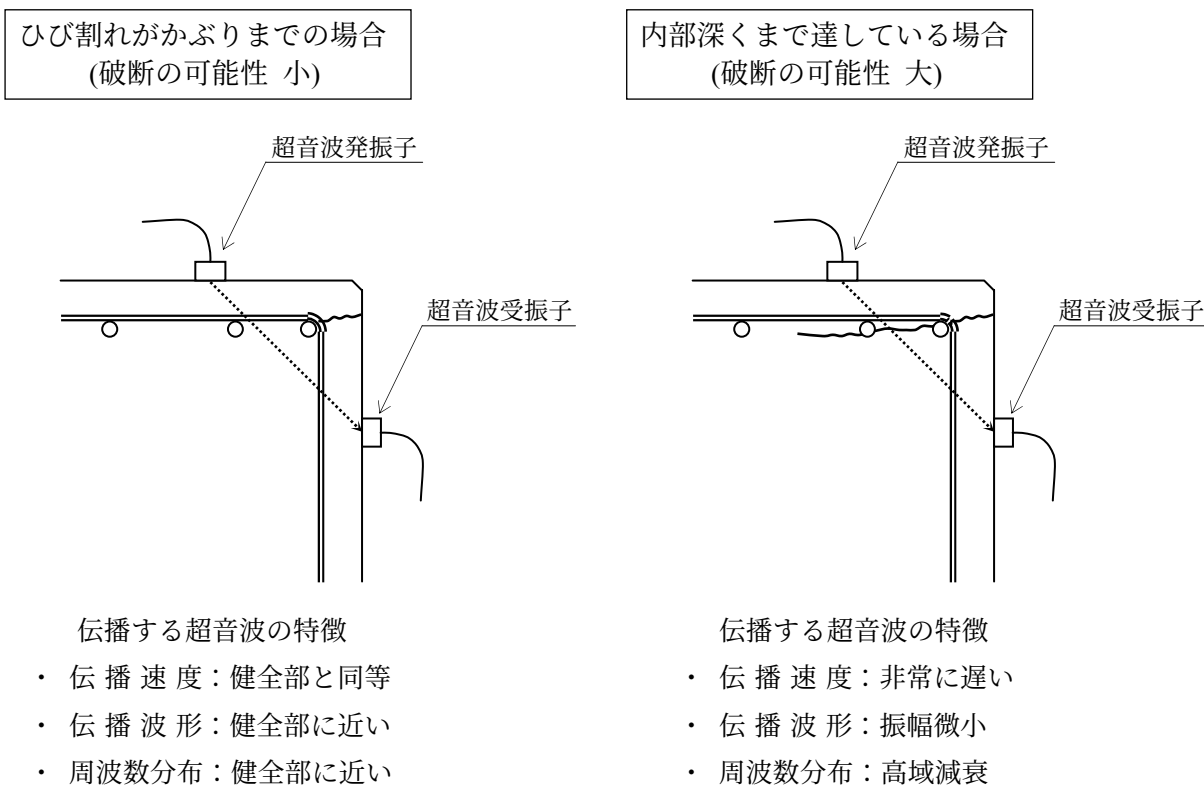
A S Rの膨張によって鉄筋の曲げ加工部が破断に至ると、その付近（主に隅角部）で顕著なひび割れが生じているのが確認されている。

今回試行した「超音波斜方向透過法」は、橋脚はり先端の隅角部付近に発生したひび割れが、断面内の深い位置まで達しているかどうかを斜め方向に超音波を透過させることによって検証し、間接的に鉄筋破断の可能性を評価しようとする手法である。斜方向透過法の測定要領と、伝播波形の特徴の傾向を図－１２に示す。

4. 調査結果

4.1 電磁誘導法

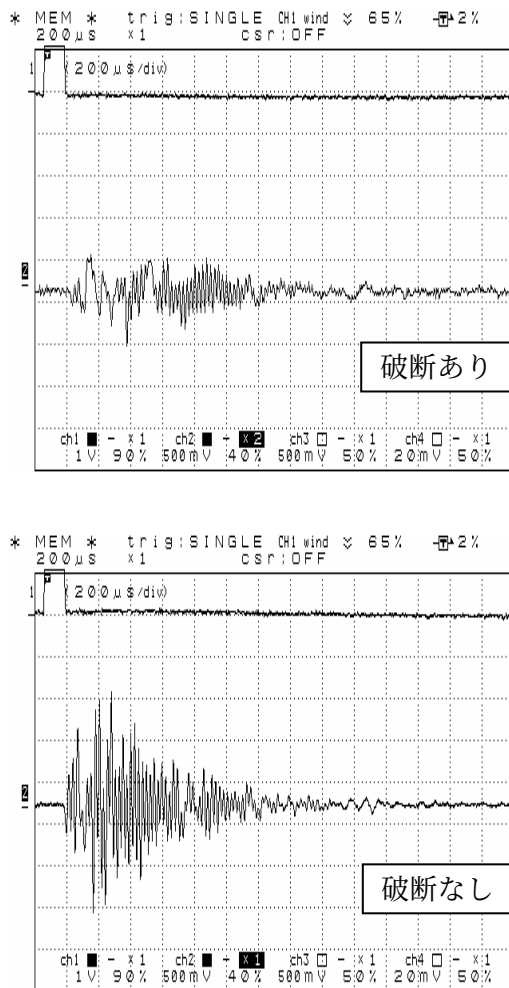
今回の調査対象橋脚の主鉄筋かぶりは事前に鉄筋探査を行ったところ、100mm以上と推定されるものが多くあり、明瞭なデータの得られない橋脚が存在した。また、一部の橋脚では、補修のため、はり先端のかぶりをはつり取ったと



図－１２ 測定要領と伝播波形の傾向

ころ、曲げ加工部のすぐ近傍に帯鉄筋が配置されていることが確認され、電磁誘導法の適用が困難な条件があったことも判明した。以上のことから結果として評価が可能であった橋脚は10基中の8基であった。評価可能であった10基の中で、「鉄筋破断の可能性あり」と判定された橋脚は、3基であった。

4.2 斜め方向超音波法



図－13 斜方向超音波波形の比較

斜め方向超音波法の原理から当手法を適用するためには、調査対象箇所のより隅角部付近に顕著なひび割れが発生していることが必須である。ただし、当手法も電磁誘導法と同様に現在はまだ試行段階にあるので、今回の調査では隅角部に顕著なひび割れのない橋脚でも試行している。また、ひび割れに樹脂が注入されていたり、析出物などでひび割れ内が詰まっていたりする場合、超音波がひび割れの最深部を迂回

せずに透過してくるため適用が難しくなる。

対象橋脚10基のうちの5基において斜方向透過法を試行したところ、1基の測定データは他と大きく異なる傾向を示した。この橋脚は電磁誘導法で「破断可能性あり」とされた3基の中の1基である。隅角部から40cmと比較的伝播距離の短い箇所に端子を配置したにもかかわらず、当該橋脚では図－13上段のように、受信できた伝播波形は振幅が小さく、また初期の伝播波形の波長は破断なしのものと比べ長い傾向にあった。ばらつきはあるが伝播速度も比較的遅い傾向が見られた。したがって、この橋脚1基だけを「破断の可能性が高い」、他は「破断なし」と判定した。

4.3 はつり調査

対象橋脚のうち、電磁誘導法によって「破断の可能性有り」とした橋脚3基について、後日、補修工事に併せて実際に鉄筋をはつり出して破断の有無を調べたところ、電磁誘導法、斜方向超音波法ともに「破断可能性あり」と判定された橋脚1基のみ、破断が確認された。当橋脚の破断状況は、全38本中32本の鉄筋が曲げ加工部で破断していた。

5. まとめ

今回試験的に電磁誘導法と斜方向超音波法を用いたが、現段階ではそれぞれの検出精度に限界があることがわかった。電磁誘導法と斜方向超音波法を併用して用いることで、検出精度が向上するものと考えられる。

また、今回の調査では主鉄筋かぶりが100mmより大きく、明瞭なデータの得られない橋脚が存在した。これらについては励磁力を大きくするなどして改善するようにしていきたい。

参考文献

- 1) 宮川豊章：委員会報告 アルカリ骨材反応による鉄筋破断が生じた構造物の安全性評価、土木学会誌 Vol.88, No.9, pp.83-84 2003.9
- 2) 笹谷輝彦・藤原規雄・杉谷真司・鳥居和之：弾性波法によるASR損傷コンクリート橋脚の内部探査、コンクリート工学年次論文集、Vol.25, No.1, pp.629-634, 2003