

# コンクリート構造物の内部を探る

曾我部 正道

鉄道力学研究部  
(構造力学 主任研究員)

谷村 幸裕

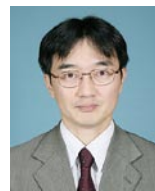
構造物技術研究部  
(コンクリート構造 研究室長)

伊藤 幸広

佐賀大学理工学部  
(准教授)



そがべ まさみち



たむら ゆきひろ



いとう ゆきひろ

## はじめに

コンクリート構造物は、適切な材料選定、配合設計、施工が行われれば、経年劣化に対して高い耐久性を有しています。しかしながら高度経済成長期に大量に建設されたコンクリート構造物については、品質に相当のばらつきがみられ、鉄道構造物においても、様々な変状が報告されています。

このような早期劣化するコンクリート構造物を効率的に維持管理していくためには、非破壊検査等で変状の状態を適切に把握し、劣化メカニズムを推定するとともに、措置を実施していくことが重要となります。

本稿では、コンクリート構造物の内部を探るための3つの調査技術について紹介したいと思います。

## 磁歪センサーを用いた鉄筋の応力測定

鉄筋コンクリート（以下RCという）鉄道ラーメン高架橋の実際の鉄筋応力は、通常設計で想定する応力の1/2～1/5程度に留まり、その値は、軌道構造や高欄などの非構造部材の影響により、大きくばらつくことが知られています。着目構造物に関して鉄筋の応力をモニタリングすることにより、死荷重時も含めた応力状態の程度を知ることができれば、安全性の評価精度を高めることができると考えられます。

通常、鋼材の応力測定には、ひずみゲージが用いられますが、一般にコンクリート中に埋め込まれたひずみゲージは数ヶ月から長くても数年程度の耐久性となるため、長期測定における信頼性に限界があります。また、既設構造物における死荷重時の応力測定は、鉄筋をはつりだしてゲージを貼り付け、その鉄筋を切断することにより行われますが、鉄筋の切断は、本来、あまり好ましいことではありません。

本稿で紹介する磁歪センサー（以下EMセンサーという）は<sup>1)</sup>、Elastic-Magnetic現象を利用して鋼材の応力を測定

する手法で、プレストレスコンクリート構造物の緊張材として用いられるPC鋼材の応力測定などの分野で近年適用事例が見られる手法です。

図1にEMセンサーの概念図を示します。1次コイルに200～300Vのパルス電圧を印加して、2次コイルの電圧を測定し微分透磁率を求めます。微分透磁率は、磁界の強さと磁束密度の関係から計算されますが、あらかじめ実験的に微分透磁率及び温度と鋼材応力との関係式を求めておけば、死荷重応力も含む、つまり鉄筋の応力が0の状態からの応力を測定することができます。図中のEMセンサーは鉄道ラーメン高架橋の狭隘な配筋状況にも対応できるように、鉄筋径と想定される配筋種別を考慮して長さ、半径を設定し、かつ所用の測定精度が得られるようにコイルの巻数を確保しています。

ところで、微分透磁率は、原理的に鋼材の材質、形状、あるいは周囲の磁界の状況に影響を受けます。鉄筋を使用する応力範囲はPC鋼材のそれに比べて小さいため、こうした影響を相対的に受けやすく、測定誤差が大きくなってしまいます。

現在、市場全体の97～98%を占めているのは電炉鉄筋と呼ばれているもので、昭和40年代より広く使用されて

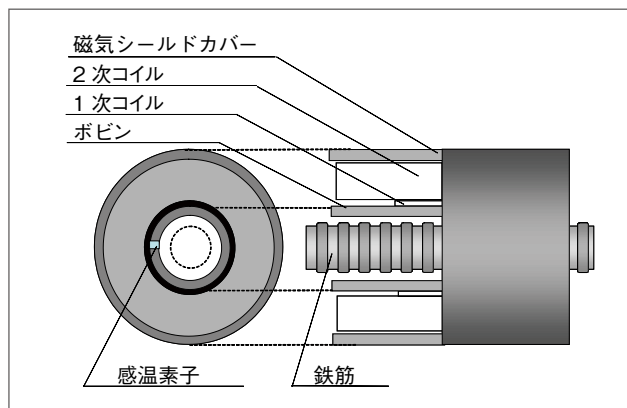


図1 EMセンサーの概念図

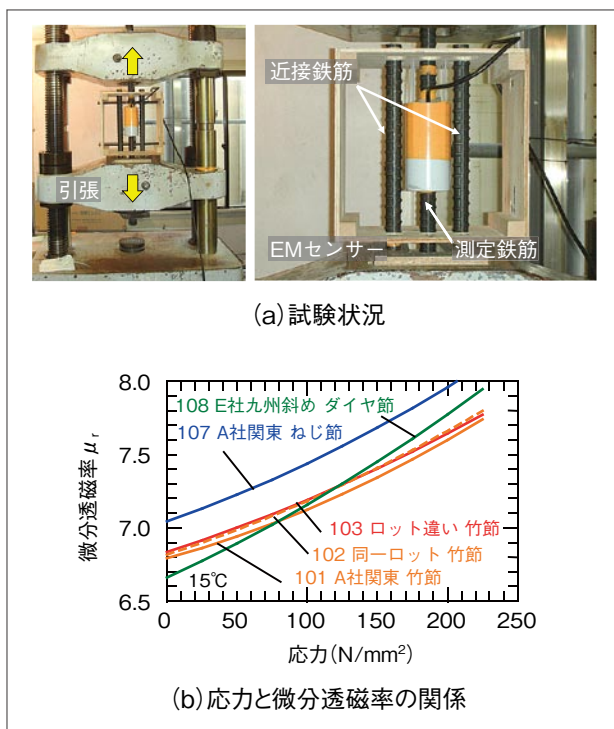


図2 キャリブレーション試験

います。電炉鉄筋の原料は、自動車、ビルの解体屑、家電製品など様々ですが、地域により入手される原料が異なり、材質も様々であると推定されます。

そこで鉄道総研では、鉄筋の利用状況の調査を行い、全国の30社以上のメーカーから12工場を選定して各種試験を実施しました。

図2に応力と微分透磁率の関係を示します。図中の101は竹節の基準の試験体です。102は101と同一製造ロットのうち誤差が大きかった試験体を表しています。また103は同じ工場のロット違いです。このような違いもありますが、様々な試験の結果、107にありますように鉄筋単体では節形状が最も大きく影響を及ぼすことが分かりました。電炉鉄筋の節形状は、当初疲労に対して有利との理由から斜め節が採用されていましたが、現在では竹節が主流となっています。ただし、竹節でもその形状は製造会社により様々です。このため実験式は節形状による適用区分とキャリブレーションが必要であることが分かりました。また周囲の近接鉄筋の磁界も測定精度に大きく影響を及ぼすため、図2(a)に示すようにできるだけ実際の磁界の状態に近づけて実験式を求めると重要であることが分かりました。

このような基礎実験を実施して誤差の発生要因を分離し、個々にキャリブレーション試験の方法を定めることにより、精度の高い応力測定が可能となりました。

図3に実構造物へのEMセンサーの埋込み状況と測定状況を示します。RC鉄道高架橋の6箇所の軸方向鉄筋に設

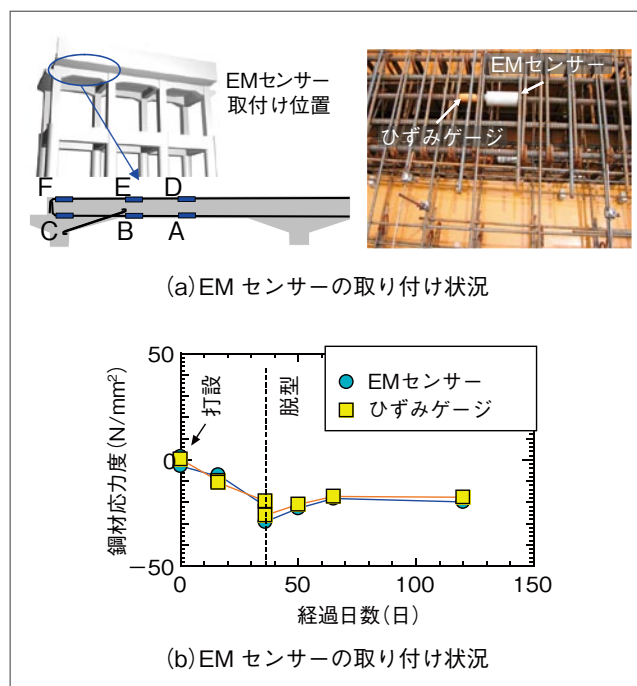


図3 実構造物における性能確認試験

置しましたが、いずれも同時に設置したひずみゲージと概ね等しい挙動を示しており、良好な試験結果が得られました。またAとCは50日でひずみゲージが測定不能となっています。

今後は、このEMセンサーを既設構造物の安全性モニタリングや、コンクリートの収縮などの長期挙動の解明に活用していきたいと考えています。

### 電磁現象を用いた鉄筋の破断検知

近年、アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張が原因と考えられる構造物の鉄筋破断が報告されています。これらは主に、T型単柱式RC橋脚の軸方向鉄筋の曲げ加工部、せん断補強筋の曲げ加工部あるいは軸方向鉄筋の圧接

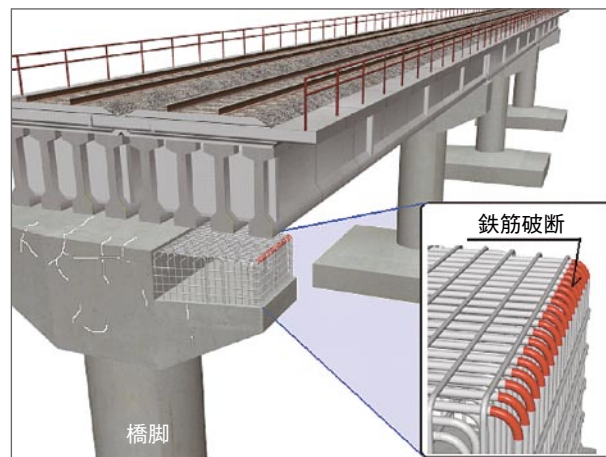


図4 鉄道橋脚の鉄筋破断発生箇所の例

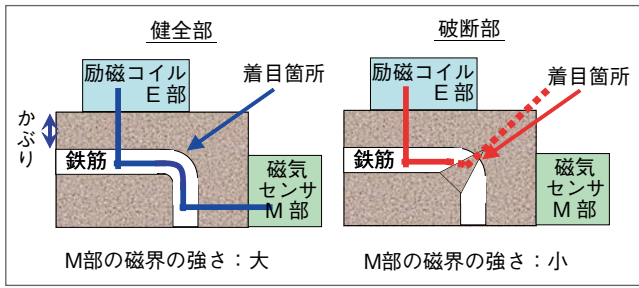


図5 鉄筋破断検査装置の概要

部近傍において生じています。図4に鉄道橋脚におけるアルカリ骨材反応による鉄筋破断の発生箇所の例を示します。

アルカリ骨材反応による鉄筋破断の調査法としては、構造物のひび割れなどの外観の目視調査を行い、疑いのある箇所のコンクリートをブレーカーなどではつり、内部の鉄筋の状態を確認するのが一般的です。しかし、この方法では、コンクリートをはつる範囲が広くなり構造物への悪影響が懸念されます。

そこで、上記のような手法を補助する目的で、電磁現象を用いた鉄筋の破断検知の適用性について検討を行いました<sup>2)</sup>。図5に鉄筋破断検査装置の概要を示します。励磁コイルE部に電流を流すと磁界が発生し鉄筋が磁化されます。そして磁気センサーM部で、これにより発生する磁界の強さを測定します。励磁コイルE部と磁気センサーM部との間で鉄筋が破断していると、破断部から先の鉄筋内の磁束が減少し、M部における磁界の強さが小さくなるので破断の有無を判別することができます。実際には、励磁コイルE部の磁界の強さと磁気センサーM部の磁界の強さの比を用いて破断を検知します。

このような電磁現象を用いる場合、前述のEMセンサーの場合と同様に周囲の鉄筋が測定結果に影響を及ぼすと考えられます。そこで鉄筋単体の場合、鉄筋が平行して複数配置されている場合、直行する鉄筋がある場合、鉄筋が多

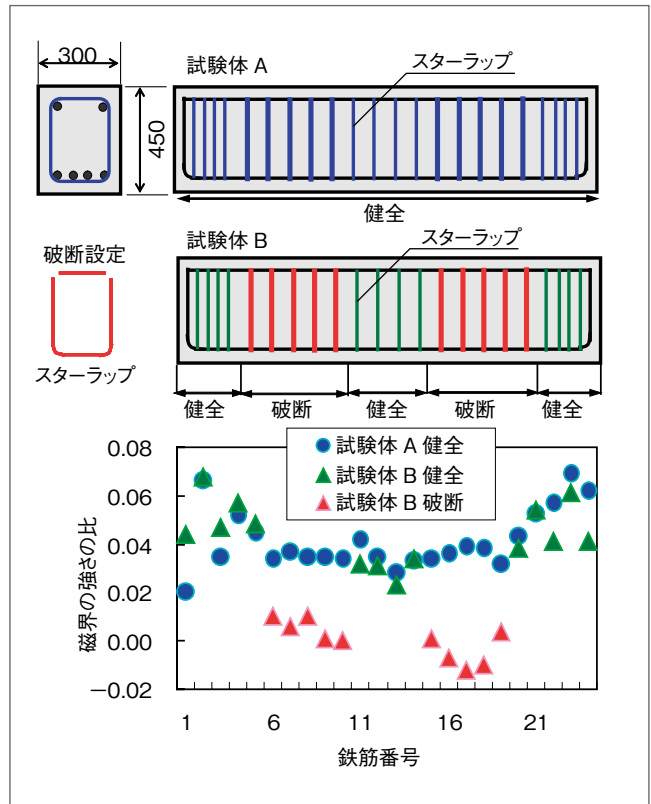


図6 梁試験体を用いた破断検査試験

段に配置されている場合、鉄筋の破断の程度などの各種影響度を評価しました。

図6に梁試験体を用いた検討結果の例を示します。試験体Aはすべての鉄筋が健全であり、試験体Bは図中に「破断」と示している位置に、あらかじめ下側曲げ加工部が破断しているスターラップが配置されています。

試験体Aについては、磁界の強さの比が0.02～0.07程度ですが、破断部がある試験体Bでは破断部の磁界の強さの比が-0.01～0.01程度と小さい値を示し、鉄筋が破断していることが読み取れます。端部付近の鉄筋の磁界の強

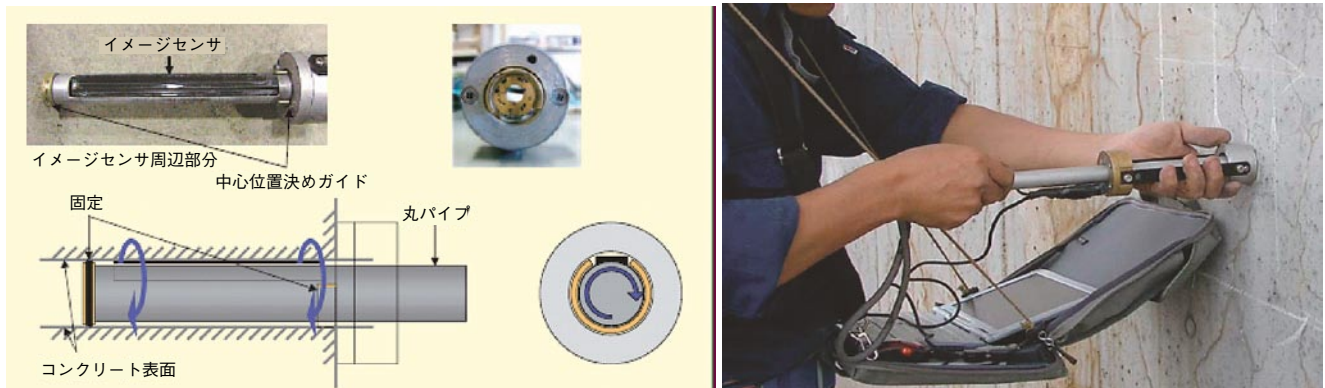


図7 棒形スキャナーを用いた内部観察

さの比が大きめの値となっているのは鉄筋間隔が小さいためと考えられます。

このような手法を従来の目視調査と組み合わせることにより調査の効率化が図れると考えます。

### 棒形スキャナーを用いたコンクリートの内部観察

近年、鉄道構造物の調査では、ドリル削孔粉を用いた中性化や含有塩分量の簡易な調査が行われるようになってきました。図7に示す棒形スキャナーでは、このドリル孔を利用してコンクリートの内部を観察しようというものです<sup>3)</sup>。棒形スキャナーには、先端の棒形の筒の中に長さ120mmの接触画像センサー（CIS：Contact Image Sensor、以下CISという）が組み込まれています。このCISを孔の中で回転させながらスキャンすることにより内部の画像を得ます。CISはコピー機のガラス面の下で動いているライン状センサーと同種のもので、棒形スキャナーに用いたCISの解像度は600DPIで、焦点距離は1mmとなっています。スキャンした画像をコンピューターに取り込み内部の状況を簡単に知ることができます。

図8に実際の鉄筋コンクリート橋脚において撮影された画像を示します。当該橋脚はアルカリ骨材反応が認められている橋脚で、削孔後にフェノールフタレイン1%溶液を噴霧して中性化状況も観察しています。表面部の画像①からは、表面付近で観察されたアルカリ骨材反応のひび割れのコンクリート内部での進展状況やひび割れ幅の分布を確認することができます。骨材径やコンクリート打設時に生じた空隙などの情報も得ることができます。また画像からは、中性化深さを計測することができます。フェノールフタレインにより紅色に発色している部分がアルカリ性を保ち内部の鉄筋を保護する能力を有している健全部分、無着色の部分が表面からの二酸化炭素の浸透により中性化が進み鉄筋の保護能力を失った部分です。深部の画像②からも同様に、コンクリート内部でも骨材がひび割れている状況やその幅を観察することができます。

### まとめ

本稿では、鉄筋コンクリート構造物に着目して、鉄筋の応力測定法、鉄筋の破断検知法、コンクリートの内部の観察法について紹介しました。これらの手法が構造物の検査業務の一助となれば幸いです。

本稿を執筆するにあたり、(株)計測リサーチコンサルタント、富士物産(株)、(株)メトロンにご協力を頂きました。[RRR]

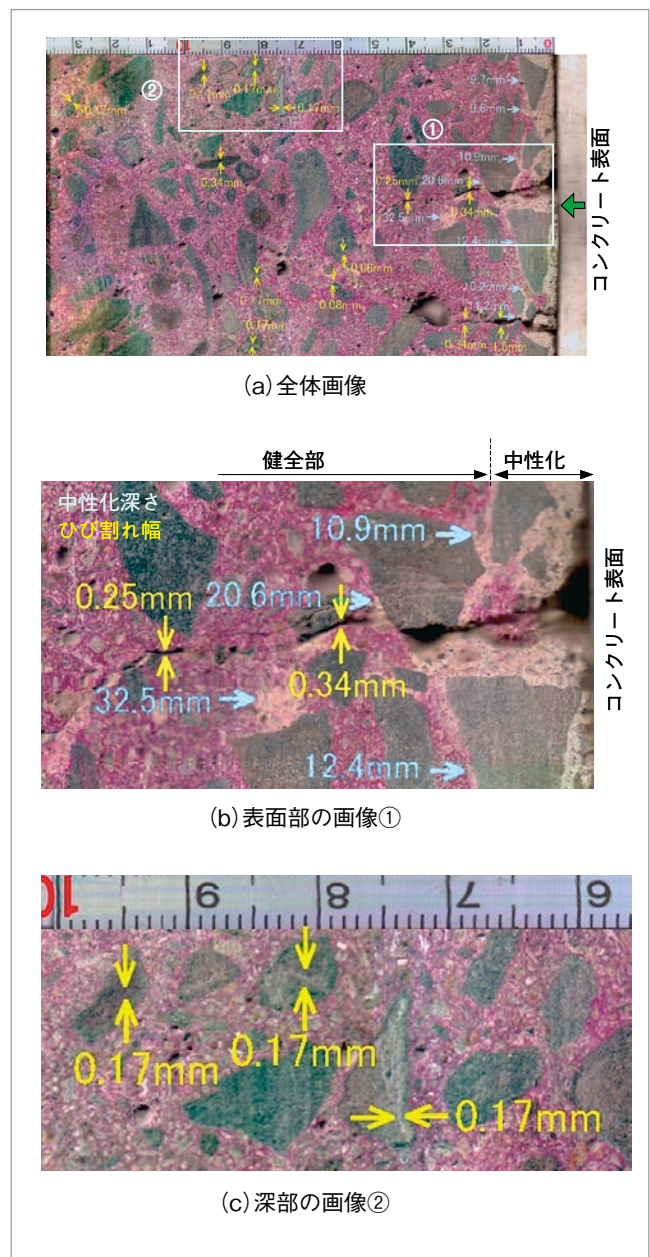


図8 棒形スキャナーによる内部観察画像

### 文献

- 1) 蘆谷讓, 曾我部正道, 谷村幸裕, 濱田弘志: EMセンサーを用いたRC鉄道高架橋の鉄筋応力測定, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.733~738, 2007
- 2) 黒川浩嗣, 岡本大, 曾我部正道, 峰村富夫: 電磁現象を用いた鉄筋曲げ加工部の非破壊検査, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1777~1782, 2005
- 3) Achfas ZACOEB, Koji ISHIBASHI, Yukihiro ITO, Noriyuki MIYAMOTO, and Masamichi SOGABE: DEVELOPMENT of ADVANCED INSPECTION DEVICE for INSIDE CONCRETE STRUCTURES, the 1st International Conference of European Asian Civil Engineering Forum, 2007