

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

# コンクリート信号機柱の状態から更新時期を評価する

信号機柱は、設備上の制約から取り替えに労力を要するため、高経年の設備が存在している一方、強度や更新時期の評価法は確立されていませんでした。そこで、コンクリート信号機柱を対象として、現地調査に基づいて劣化メカニズムを解明し、劣化の状況や設備条件に応じて強度を評価する手法を開発しました。ここでは、その研究成果であるコンクリート信号機柱の強度に基づいて更新の時期を評価する手法を紹介し、また、本手法の開発にあたって実施した、コンクリート信号機柱の変状に関する実態調査の結果や、製造年がわからない柱の経年推定法についても紹介します。

|                                                                                     |                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p><b>潮見 俊輔</b><br/>Shunsuke Shiomi<br/>信号・情報技術研究部<br/>信号システム研究室<br/>副主任研究員<br/>【専門分野】 転つ装置、<br/>信号保安装置</p>   |
|  | <p><b>常本 瑞樹</b><br/>Mizuki Tsunemoto<br/>電力技術研究部<br/>電車線構造研究室<br/>主任研究員<br/>【専門分野】 電車線・パン<br/>タグラフの相互作用</p>   |
|  | <p><b>飯島 亨</b><br/>Toru Iijima<br/>前 材料技術研究部<br/>コンクリート材料研究室<br/>主任研究員<br/>【専門分野】 コンクリート<br/>材料、鋼材腐食、鑑識分析</p> |
|  | <p><b>押味 良和</b><br/>Yoshikazu Oshimi<br/>信号・情報技術研究部<br/>信号システム研究室<br/>副主任研究員<br/>【専門分野】 転つ装置</p>              |
|  | <p><b>以倉 慶子</b><br/>Kyoko Ikura<br/>電力技術研究部<br/>電車線構造研究室<br/>研究員<br/>【専門分野】 電車線・パン<br/>タグラフの相互作用</p>          |
|  | <p><b>大森 達也</b><br/>Tatsuya Omori<br/>前 信号・情報技術研究部<br/>信号システム研究室<br/>研究員<br/>【専門分野】 信号保安装置</p>                |
|  | <p><b>沼田 紘司</b><br/>Koji Numata<br/>前 信号・情報技術研究部<br/>信号システム研究室<br/>副主任研究員<br/>【専門分野】 信号保安装置</p>               |

## はじめに

信号機を支持するために用いられるコンクリート信号機柱は、国内では1930年代に開発されて以降、現在まで広く用いられています。1950年代から80年代にかけて行われた信号設備の改良にともなって多数の信号機柱が建植されました。信号機柱の取り替えには労力を必要とするため、多くが現在も使用されて40年以上の経年のものも多数存在しています。設備更新時期を決める方法として経年に基づく方法がありますが、同一経年の設備がまとまって存在する信号機柱に対して適用することは困難と考えます。

ここでは、上記の課題を解決するために開発した更新時期の評価法について紹介します。開発した評価法は、柱のひび割れなどの変状の種類や大きさから推定した残存強度と柱に加わる風荷重の大きさから更新要否を判断します。また、この手法の開発にあたって実施した、コンクリート信号機柱の変状に関する実態調査結果や、製造年がわからない柱の経年推定法についても紹介します。

## 信号機柱の概要と製造年代推定

コンクリート信号機柱は、円柱状に組まれた鉄筋と、周囲を包むコンクリートにより構成された中空の柱状の構造となっています。あらかじめ鉄筋に引っ張り方向の張力を加えた状態として型枠にコンクリートを流し込みます。型枠ごと回転させることで遠心力によりコンクリートがまんべんなく広がり、中空の円柱になるよう作られています(図1)。

コンクリート信号機柱は日本国内では1939年ごろに試作が行われ<sup>1)</sup>、1950年代後半以降に本格的に普及しました。柱には先端と末端で太さが異なる、勾配(テーパー)がついた柱を用いています。信号機柱の製造年は、コンクリート表面に塗装を行っている場合と、銘板をつけている場合があります。とくに前者の場合は風雨により表記が消えるため、製造年代や特徴を後から把握することは困難です。しかし、テーパーや内部の鉄筋本数は、製造年代ごとに異なっています。この年代ごとの特徴に着目して製造年代を推定する方法を図2に示します。

1965年以前に製造された信号機柱

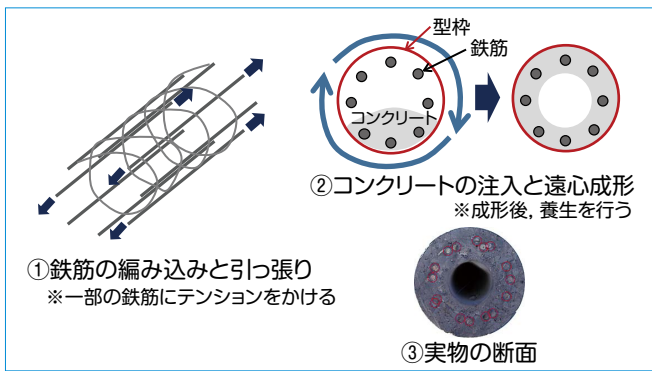


図1 コンクリート信号機柱の構造

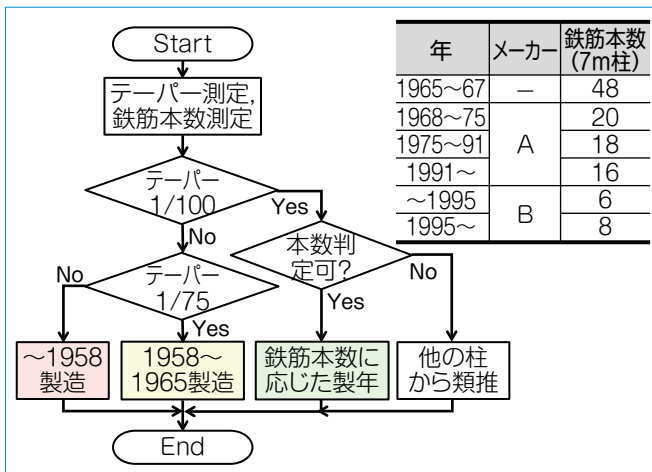


図2 製造年代推定のフローチャートと年代ごとの特徴

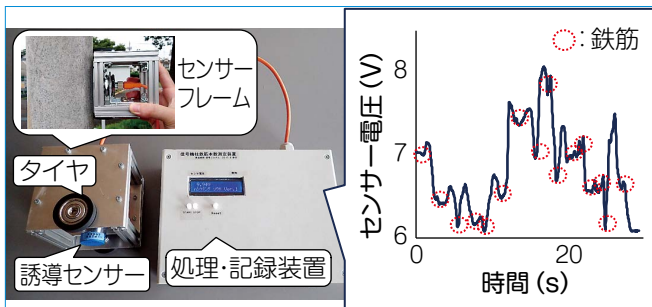


図3 電磁誘導法による鉄筋探査

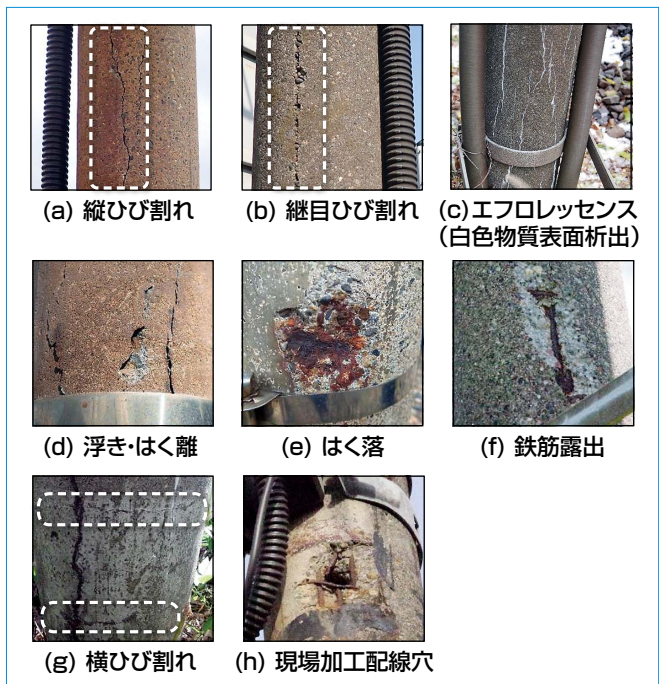


図4 コンクリート信号機柱の変状の事例

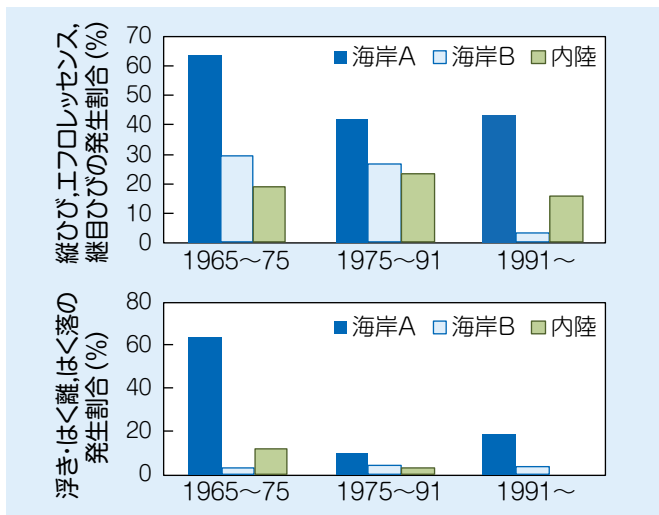


図5 信号機柱の変状発生割合と経年・環境

はテーパーが現在のものと異なります。テーパーは巻き尺で信号機柱の外周を2箇所測ることで得られます。また、1965年以降に製造された柱についても、電磁誘導法などの非破壊の方法(図3)で鉄筋本数を得ることにより年代の判別が可能です。

### 信号機柱の変状の実態調査

コンクリート信号機柱は、内部の鉄筋とコンクリートがそれぞれ引っ張り力と圧縮力に対して強度をもつことで柱全体の強度を確保しています。鉄筋はア

ルカリ性のコンクリートの内部にあるため、長い間錆びずに健全性を保つとされています。しかし、塩化物イオンの浸透や物理的な損傷などをきっかけとして、鉄筋が錆びはじめて膨張することにより、柱表面に縦ひび割れなどの変状が認められることがあります。

図4にコンクリート信号機柱の変状の事例を示します。縦ひび割れやエフロレッセンス(コンクリートからの白い析出物)が柱表面に出た状態などの初期の変状は、鉄筋がさらに膨張することで生じるコンクリートの浮き・は

く離、はく落、鉄筋露出に進行します。信号機柱に柱の強度より大きな荷重が作用した場合には、横ひび割れが発生します。また、配線を通すために鉄筋切断をとる現場加工が行われている事例もまれに見られます。

図5に全国303本の信号機柱を対象とした実態調査を実施し、変状の発生割合と経年、環境の関係をまとめた結果を示します。地区の分類は、海から飛来する塩化物イオン濃度の大小<sup>2)</sup>により行っており、海岸A(北日本日本海側)、海岸B(その他海岸部)、内陸

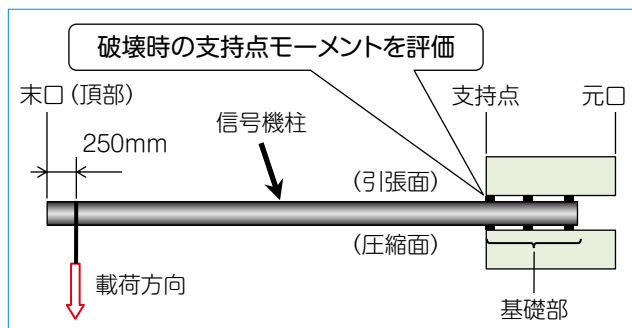


図6 コンクリート信号機柱の強度試験方法

表1 コンクリート信号機柱の強度試験結果

| 信号機柱の種類           | 曲げモーメント         |           | N(本) |
|-------------------|-----------------|-----------|------|
|                   | 破壊荷重 / 設計荷重 (%) |           |      |
|                   | 平均              | 最小 - 最大   |      |
| 新品, 変状無し          | 273             | 271 - 293 | 3    |
| 撤去品, 変状無し         | 291             | 241 - 321 | 6    |
| 新品, 鉄筋 1 本切断      | 228             | 219 - 236 | 2    |
| 新品, 鉄筋 3 本切断      | 176             | 173 - 178 | 2    |
| 新品, 鉄筋 5 本切断      | 118             | 109 - 127 | 2    |
| 新品, 鉄筋 5 本 30% 切削 | 246             | -         | 1    |
| 撤去品, 配線穴あり        | 189             | -         | 1    |

部と分類しています。調査でわかったことを以下に示します。

①製造年代が古いほど変状の発生率が高い。

②塩化物イオンが多く飛来する海岸Aの変状の発生率が高い。

別途実施した材料分析から、飛来塩分量の多い海岸Aのコンクリート内部の塩化物イオン濃度が、内陸部と比べて高く、鉄筋を腐食させる濃度に達していることがわかりました。ただし、もっとも顕著な例でも信号機柱の鉄筋腐食に至る年数は20年と予測されることから、現在の定期的な外観検査周期で鉄筋腐食に至るひび割れは十分知得しうることがわかりました。また、調査を実施した信号機柱については、最古のもので経年63年を経過していますが、そのほとんどが健全性をおおむね保っていることが確認されました。

### 信号機柱の残存強度と変状

信号機柱で認められる変状と強度の関係を把握するため、信号機柱を曲げた際の破壊に至る強度を調べました。図6にJIS A 5363 : 2016<sup>3)</sup>に基づく試験方法の概要を示します。試験は、新品の柱、経年品で変状がない柱、新品の柱の鉄筋16本中5本の断面積を30%削った柱、鉄筋を切断した柱に対して行いました。鉄筋の断面積を削った状態は鉄筋腐食が進行した場合を、鉄筋を切断した状態は鉄筋破断に

至った場合を模擬しています。

表1に試験結果を示します。変状がない柱については、経年品が新品に対して強度が低下する傾向は認められませんでした。また、供試体の強度の実力値は設計値に比べて高いことがわかります。一方、鉄筋腐食相当の変状や、鉄筋切断に対しては強度が低下しました。たとえば、全16本中5本の鉄筋(31.3%)を切断した場合には、強度が初期強度の43%まで低下することがわかりました。

図7に強度試験と同様の条件で強度計算を行った結果を示します。グラフの縦軸は変状がない柱の破壊曲げモーメントに対する比率(破壊曲げモーメント比)を、横軸は鉄筋の全数に対する損傷した鉄筋の比率(損傷外周率)を示します。強度計算は試験結果によく一致しています。以上より、鉄筋の断面積減少や切断の有無と、鉄筋の全数に対する割合により残存強度が得られることがわかりました。

### 風による柱の曲げモーメント

信号機柱には色灯式信号機などの信号機構のほか、番線標や接続箱なども固定されています。これらは風的作用を受け、信号機柱に対して曲げモーメントを作用させます。現地調査で得た信号機柱に設置されている信号機構などの位置から算出した、40m/sの風が信号機構の正面に作用した場合の曲

げモーメントと信号機構の数量の関係を図8に示します。柱に1個の信号機構が設備されている柱と2個以上の信号機構が設備されている柱のモーメントの平均値は、後者が約1.6倍大きい傾向にありました。しかし、信号機構の数が同じであっても、番線標などの付属物の有無や取り付け高さによってモーメントの最大値と最小値の差が大きいです。信号機柱が受ける風による曲げモーメントはおおむね信号機構の数が多きほど大きい傾向にはありますが、強度評価の際は、評価対象の柱の装柱物の位置や数量から曲げモーメントを得ることが重要といえます。

### 外観検査結果に基づく更新評価

以上の調査や強度試験を踏まえて提案する、コンクリート信号機柱の定期的な外観検査と更新判断のフローを図9に示します。

外観検査で認められる変状のうち、横ひび割れは、柱の強度低下または大きな荷重的作用により生じます。そのため、この種類の変状がある場合は、取り替えが必要と判断することが必要です。

浮き・はく離やはく落、鉄筋腐食などの変状や、鉄筋の切断をとまなう加工が行われた配線穴は、鉄筋の断面積減少や切断につながっている可能性があります。提案するフローでは、浮き・

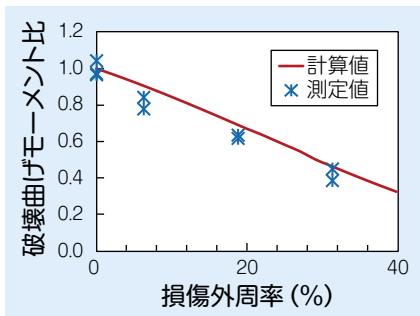


図7 強度計算結果と強度試験結果の比較

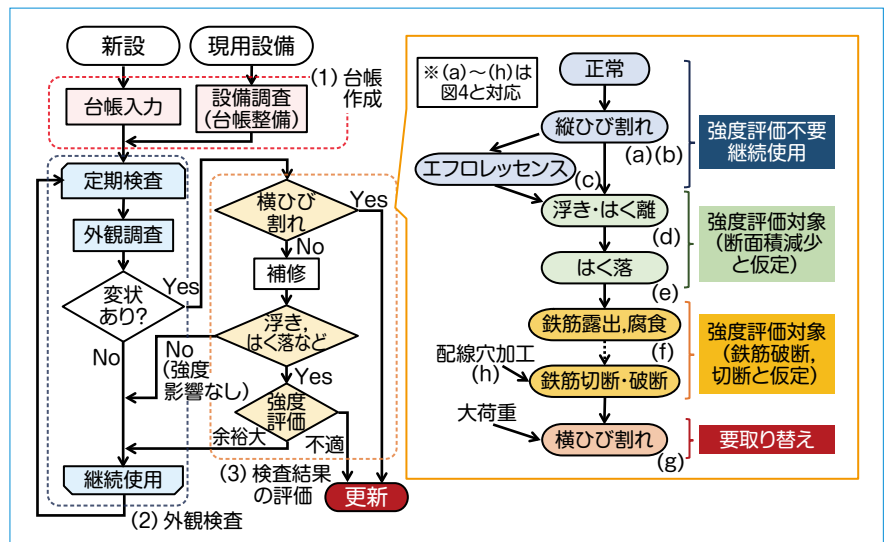


図9 コンクリート信号機柱の更新評価フロー

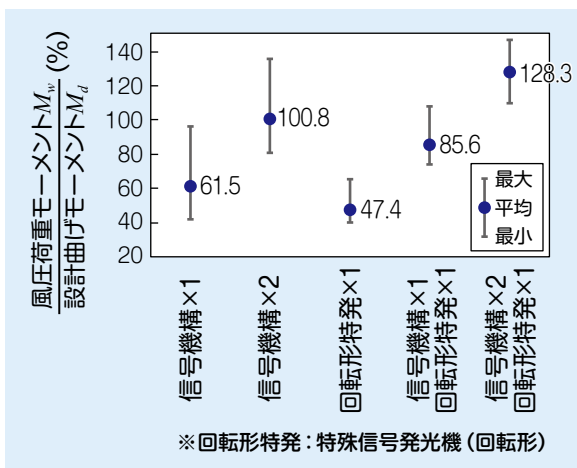


図8 風による曲げモーメントと装柱物(正面方向)

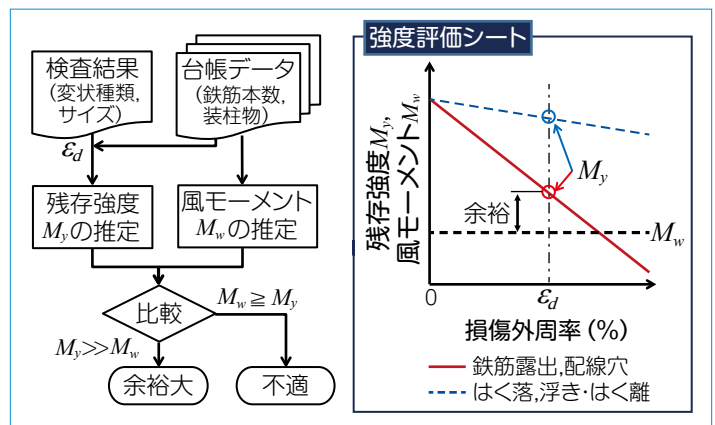


図10 コンクリート信号機柱の強度推定

はく離とはく落がある場合は鉄筋の断面積減少と仮定して残存強度の推定と評価を行います。また、鉄筋露出や配線穴加工などが認められた場合は鉄筋切断と仮定して残存強度の推定と評価を行います。

図10に残存強度の推定手順を示します。まず、変状の大きさから腐食などが疑われる鉄筋の全数に対する割合(損傷外周率)を算出します。次に、強度計算で得られる、変状の種類に応じた残存強度と損傷外周率の関係(強度評価シート)を用い、残存強度を推定します。最後に、信号機柱の装柱物の状況で決まる、風による曲げモーメントと比較を行い、強度が十分余裕を持つ場合は継続使用、強度上余裕がない場合は不適と判断します。この判断

結果を更新順序の順位付けに用いる場合には、現状での残存強度と曲げモーメントの余裕の大小を指標として用いることができます。また、鉄筋本数が少ない信号機柱の場合は、変状箇所の幅が広がった場合の残存強度を推定することも重要です。

なお、縦ひび割れやエフロレッセンスなどの初期の変状が発生しているものは継続使用と判断します。これらは、ひび割れの一因となっている鉄筋の防錆処置とコンクリートの補修を行うことで、強度低下につながるような変状への進行をおさえることが期待できます。

### おわりに

ここでは、コンクリート信号機柱を

対象とした強度に基づく更新評価の方法と、信号機柱の現状調査結果、年代推定法について紹介しました。信号設備の新設や改良にともなって同時に多数設置されたコンクリート信号機柱に対して本手法を用いることで、更新を必要とする箇所の絞り込みを行うことが可能になると考えます。[RRR]

### 文献

- 1) 櫻井豊三：鉄筋コンクリート信号柱に就て(上), 保安, Vol.4, No.5, 1939
- 2) 西川和廣, 田中良樹：土木研究所資料 飛来塩分量全国調査(IV)―飛来塩量の分布特性と風の関係―, 土木研究所資料第3175号, 1993
- 3) JIS A 5363:プレキャストコンクリート製品―製品試験方法通則, 2016