

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

コンクリート電柱の劣化状態を判定する

コンクリート電柱は、電車線を支持するだけではなく地震時や風圧荷重、そのほか使用条件に応じた強度性能が必要です。これまでコンクリート電柱の劣化状態に応じた建て替え要否判定が明確ではなかったため、建て替えの根拠や判定基準が求められていました。そこで、これまでの外観変状確認に加えて、強度評価および材料評価により劣化状態を判定する新しいコンクリート電柱保全判定フローを紹介します。

はじめに

コンクリート電柱が鉄道電化柱として本格的に使用されてから50年以上経過し、コンクリートのひび割れなどの劣化変状がみられる電柱が増えています。一般に、鉄道電化柱の建て替えは営業時間外の夜間作業となり、多大な労力・コストを要します。そのため、検査時においては電柱の劣化状態に対して所要の強度を有しているか否かなどを適切に判定し、計画的に建て替えを進めていく必要があります。

ここでは、コンクリート電柱の性能・劣化過程について概説するとともに、現状のコンクリート電柱の検査では外観変状確認のみでの建て替え要否判定であったのに対して、強度評価および材料評価により劣化状態を判定する新しいコンクリート電柱保全判定フローについて紹介します。

コンクリート電柱の性能

電柱は、**図1**のように電車線を支持するだけではなく地震時や風圧荷重、その他使用条件に応じた強度性能が求められます。**図2**に示す断面図のように、コンクリート電柱はコンクリートと鋼材で構成されています。コンクリート電柱において、コンクリートは引張荷重に弱く、圧縮荷重に強いこと


	<p>常本 瑞樹 Mizuki Tsunemoto 電力技術研究部 電車線構造研究室 副主任研究員 【専門分野】電車線・パンタグラフの相互作用</p>
	<p>近藤 優一 Yuichi Kondo 電力技術研究部 電車線構造研究室 研究員 【専門分野】電車線・パンタグラフの相互作用</p>
	<p>清水 政利 Masatoshi Shimizu 電力技術研究部 電車線構造研究室 上席研究員 【専門分野】電車線・パンタグラフの相互作用</p>
	<p>工藤 輝大 Teruhiro Kudo 前 材料技術研究部 コンクリート材料研究室 主任研究員 (現 総務部 人事 主査) 【専門分野】コンクリート工学</p>
	<p>上田 洋 Hiroshi Ueda 前 材料技術研究部 コンクリート材料研究室 室長 (現 研究開発推進部 JR 課長) 【専門分野】コンクリート工学</p>
	<p>飯島 亨 Toru Iijima 材料技術研究部 コンクリート材料研究室 主任研究員 【専門分野】コンクリート材料、鋼材腐食、鑑識分析</p>



図1 コンクリート電柱建植状況例

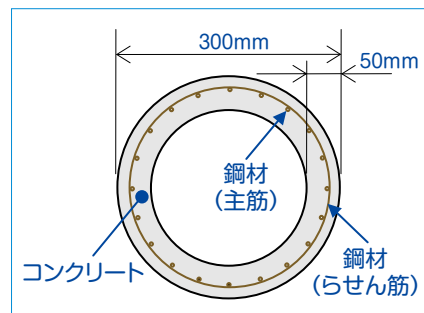


図2 コンクリート電柱断面図例

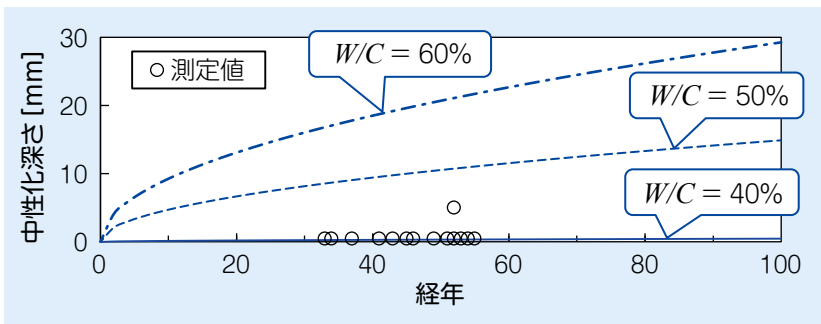


図3 経年と中性化深さの関係

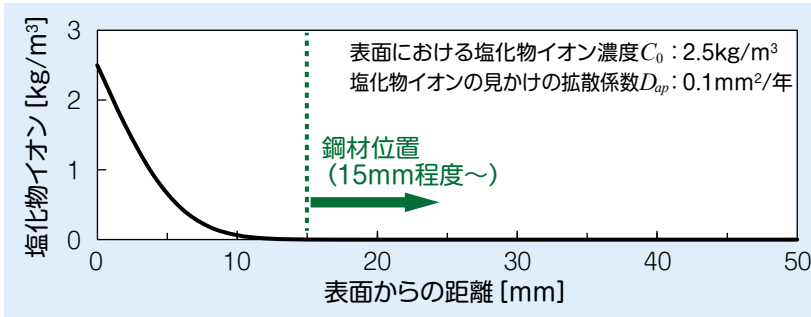


図4 塩化物イオン浸透予測 (経年100年)

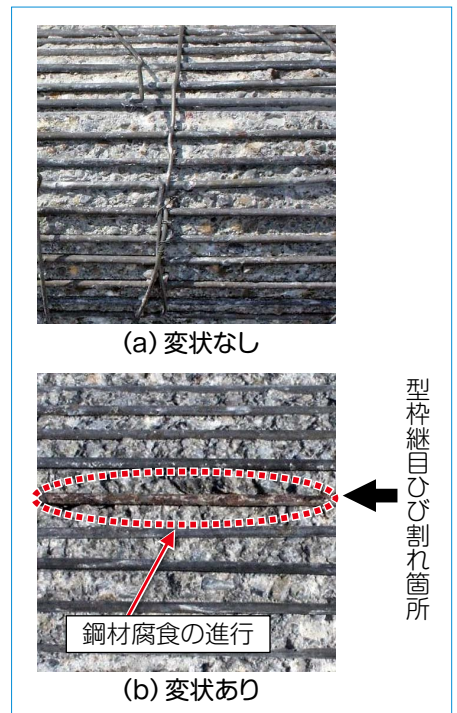


図5 鋼材腐食状況調査結果

から、主に圧縮方向強度を分担しています。また、内部の鋼材を腐食などから保護する役割もあります。一方、鋼材はコンクリートが弱い引張荷重を主に分担しています。

電柱の強度基準として、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」第四十一条3の解釈基準²⁴⁾においては、予想される荷重に対してコンクリート電柱の破壊荷重は2倍以上とされています。また、JIS A 5373²⁾では、コンクリート電柱はひび割れ試験曲げモーメントの2倍載荷時に破壊してはならないとされています。そのため、設計時に予想される荷重以上のひび割れ試験曲げモーメントの電柱を採用します。なお、ひび割れ試験曲げモーメントは、電車

線路設備の設計において“設計曲げモーメント”と呼ばれることから、ここでもこの呼称で記載します。

コンクリート電柱の主な劣化過程

コンクリート電柱の主な劣化過程は、まずひび割れが生じ、その箇所から鋼材腐食などの材料劣化が進行する「ひび割れ先行型」であることが明らかとなっています³⁾。これは、コンクリート電柱は工場において遠心成形製造されるため、現場打ちの土木構造物と比較してコンクリート品質が異なるためです。とくに水セメント比 W/C が一般土木構造物のコンクリート (W/C : 50~60%程度) に比べて電柱では小さく、配合で35%程度、実質で22~23%程度⁴⁾とな

ります。そのため、一般土木構造物と比較して電柱では、代表的なコンクリートの材料劣化とされる中性化(☞参照)や塩化物イオン浸透(☞参照)がきわめて遅くなると考えられます。

中性化深さ進行予測

図3に、経年と中性化深さ試験結果の関係を示します。試験した60本の電柱のうち経年52年の1本のみ中性化深さが5mmでしたが、それ以外は中性化深さが1mm未満でした。図3には、中性化進行の予測結果も示しています⁴⁾。予測結果より、中性化進行はコンクリートの水セメント比 W/C が大きく影響し、 W/C が40%以下では中性化がほとんど進行しないことがわかります。よって、健全な電柱の中性化進行は経年50年程度でも1mm未満となります。

塩化物イオン浸透予測

図4に、撤去電柱の塩化物イオン浸透測定結果から同定した値を用いて、フィックの拡散方程式⁵⁾により経年100年時の塩化物イオン浸透の予測結果³⁾を示します。図4より、鋼材位置において鋼材が腐食しやすい環境であ

☞ 中性化

コンクリートの中性化とは、製造時には強アルカリ性であるコンクリートが、大気中の二酸化炭素などの影響によりアルカリ性が失われる現象です。これによる強度低下はありませんが、鋼材位置まで中性化が進むと鋼材腐食の原因になるといわれています。

☞ 塩化物イオン浸透

塩化物イオンは、海からの飛来塩分などにより建植後にコンクリートに浸透して、内部鋼材位置の塩化物イオン濃度が一定量を超えると鋼材が腐食しやすい状況となります。これによる鋼材腐食および腐食生成物の体積膨張によるひび割れ、かぶりコンクリートの剥離などを「塩害」といいます。

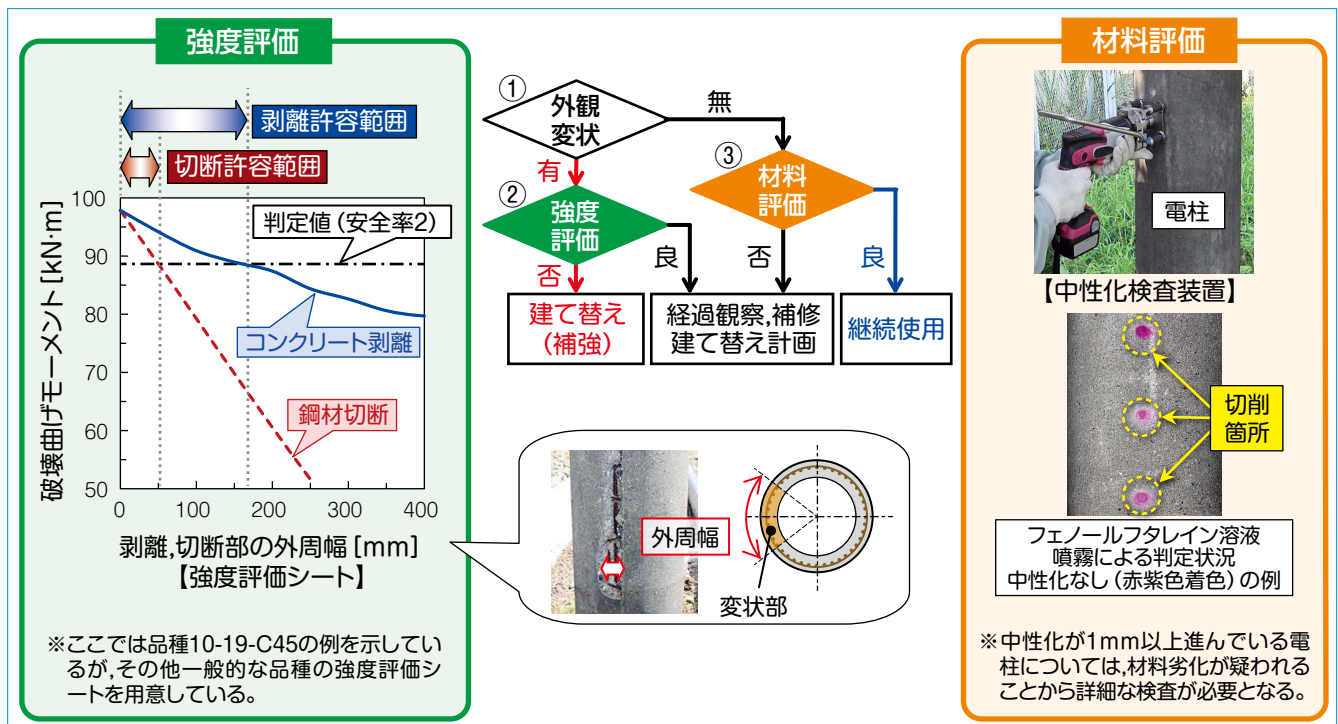


図6 新しいコンクリート電柱保全判定フローの概要

る塩化物イオン量 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 以上⁵⁾に達しないことから、健全部での塩化物イオン浸透は問題とはならないことがわかります。

内部鋼材調査

図5のように、かぶりコンクリートをはつり、鋼材を調査した結果、変状が認められない電柱では鋼材腐食は進行しておらず、健全な状態であることを確認しました。一方、型枠継目のひび割れや鋼材露出などの変状が認められる電柱では、変状箇所直下でのみ局所的に鋼材腐食が進行していることを確認しました。このように、ひび割れなどの変状が認められる箇所以外では鋼材は健全な状態であることがわかりました。

新しいコンクリート電柱保全判定フロー

コンクリート電柱の主な劣化過程を考慮して、図6に示す新しいコンクリート電柱保全判定フローを提案しました³⁾。これまでの外観変状確認に加えて、強度評価と材料評価を実施します。

①外観変状確認

主な劣化過程はひび割れ先行型であ

ることから、まず外観上の変状を確認します。

②強度評価

変状がある場合には、コンクリート剥離や鋼材切断部の電柱外周幅と破壊曲げモーメントの関係を示した「強度評価シート」により、検査員の技量によらず同様な強度評価判定が可能です。変状部の外周幅における破壊曲げモーメントが判定値以上となる許容範囲内であれば【良】判定となります。なお、鋼材切断条件の外周幅は「(鋼材切断本数) × (鋼材間隔)」とします。

③材料評価

変状がない場合には、材料の品質評価判定を実施します。「中性化検査装置」による切削後、フェノールフタレイン溶液噴霧の着色判定により、検査員の技量によらず同様な材料評価判定が可能です。

強度評価について

コンクリート電柱の検査時において、強度評価が最も重要となりますが、これまでは実施されていませんでした。そこで、電柱の劣化状態に応じた曲げ強度評価手法を検討しました。

まず、図7に示すような曲げ耐力試験⁶⁾を実施して撤去電柱の曲げ強度を把握しました。図8に示す曲げ試験結果⁷⁾では、破壊曲げモーメント M_m と設計曲げモーメント M_d の比(M_m/M_d)は「変状なし」の平均値2.96に対して、「変状あり」(平均2.66)や「補修」(補修された柱、平均2.85)は低い値でしたが、すべての電柱で基準値である2以上であることがわかります。また、経年による強度低下傾向はみられませんでした。

電柱の強度予測については、図9のようにかぶりコンクリートはつりおよび鋼材切断の加工を施した電柱の曲げ耐力試験結果を、変状を考慮した断面耐力計算による残存強度予測結果と比較しました⁸⁾。図10に示すように、計算値と測定値について変状がない状態の強度を基準(残存強度:1)として比較した結果、おおむね良い一致がみられました。そこで本手法により「強度評価シート」を作成し、検査員の技量によらず同様な強度評価判定を可能にしました。

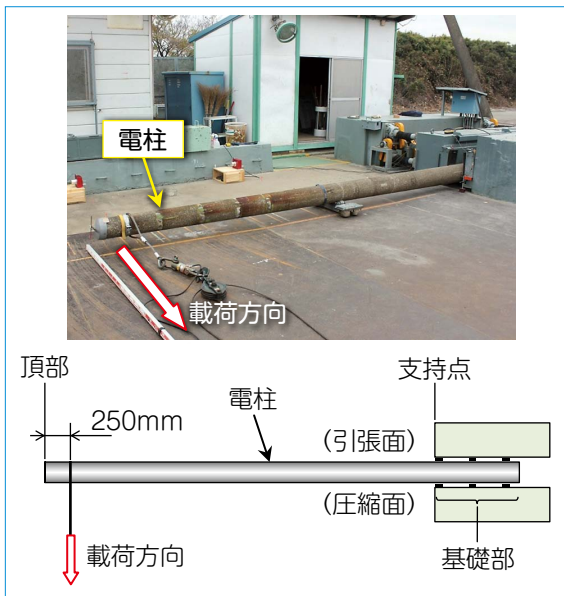


図7 曲げ耐力試験実施状況

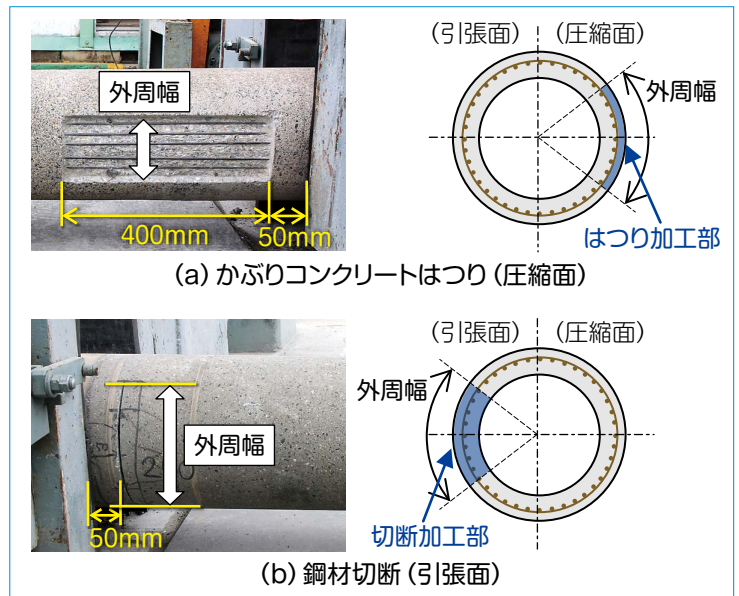


図9 曲げ耐力試験電柱加工状況

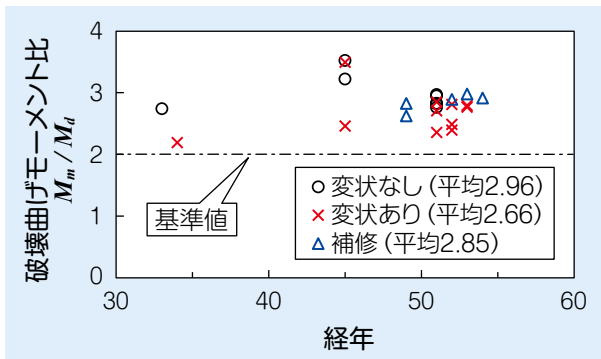


図8 経年と曲げ強度の関係

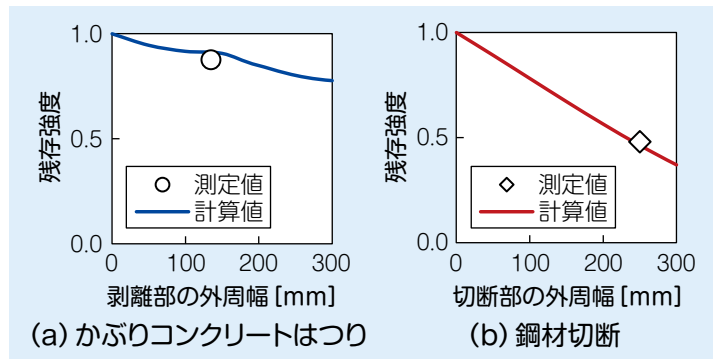


図10 残存強度比較結果例

材料評価について

材料評価方法としては、水セメント比 W/C を測定できれば中性化進行や塩化物イオン浸透に対して高い耐性があることの判定ができますが、営業線における測定は難しいと考えられます。そこで、中性化深さを測定することによる水セメント比 W/C の適否判断方法としました。

測定結果より中性化深さは1mm程度であり、コンクリート電柱のかぶりは15mm程度であることを考慮すると、柱表面1mm程度を精度良く調べる必要があります。図6に示す開発した「中性化検査装置」は、先端が平らなドリルや切削量調整ストッパーにより、誰でも容易に柱表面1mm程度を精度良く切削することが可能です。切削箇所フェノールフタレイン溶液を

噴霧し、赤紫色着色がある場合は中性化なし、着色がない場合は中性化ありと判定できます。

おわりに

これまでの外観変状確認に加えて、強度評価および材料評価により劣化状

態を判定する新しいコンクリート電柱保全判定フローを紹介しました。コンクリート電柱の劣化状態に応じた合理的な建て替えおよびその計画作成のため、鉄道事業者のみならずご活用いただければ幸いです。[RRR]

文献

- 1) 電気関係技術基準調査研究会：解説 鉄道に関する技術基準（電気編）第三版，日本鉄道電気技術協会，2014
- 2) JIS A 5373：プレキャストプレストレスコンクリート製品，2016
- 3) 常本瑞樹，清水政利，近藤優一，工藤輝大，上田洋，飯島亨：コンクリート電柱の取替判定方法，鉄道総研報告，Vol.31，No.2，pp.47-52，2017
- 4) 上田洋，工藤輝大，佐々木孝彦：コンクリート電柱の劣化診断と維持管理，鉄道総研報告，Vol.18，No.10，pp.3-8，2004
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，丸善出版，2013
- 6) JIS A 5363：プレキャストコンクリート製品－性能試験方法通則，2016
- 7) 常本瑞樹，清水政利，近藤優一，横内景子：コンクリート電柱の劣化時における曲げ強度評価，J-RAIL2016，S2-1-5，2016
- 8) 三浦一郎：軸方向荷重をうけるPCくいの破壊曲げモーメント，セメント・コンクリート，No.293，pp.25-32，1971