

拡張現実 (AR) を用いた弛度観測装置の開発

Development of a Sag Observation Device using Augmented Reality

ICT技術を用いた現場作業の効率化と施工品質向上を目指して

送電線工事において弛度観測は重要である。ポケットコンパスを用いた現行手法は、鉄塔上に複数人の配置が必要な他、観測位置が弛度高さと同等程度に制限され、作業員間の連絡は音声のみで弛度調整が難しいなどの課題がある。本研究では現行手法と同等の精度で拡張現実を用いてスマートフォンで簡便かつ短時間で観測できる弛度観測装置を開発した。

執筆者
電力技術研究所
電力設備グループ
八尾 健一郎



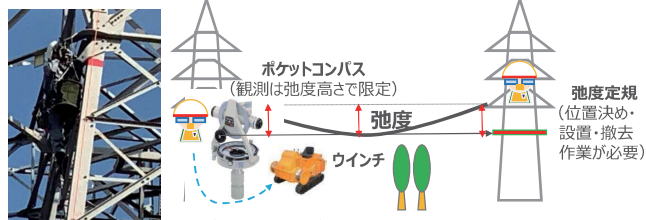
1 背景・目的

送電線は事前検討した張力値で電線を張る必要があるが、張りすぎると送電鉄塔に対して過張力となり、緩すぎると地上の樹木などの離隔がとれなくなるため、弛度（電線のたるみ）観測が重要である。現行手法は第1図に示すように相手鉄塔に弛度定規（電線の最垂下点＝弛度底の目印）を設置し、ポケットコンパスを用いて弛度を肉眼で観測しており、次に示す課題が挙げられる。

- ・相手鉄塔へ弛度定規設置のための人員配置が必要
- ・観測位置は目標弛度の高さと同程度位置に設置する必要があり、鉄塔構造によっては人員の配置が困難
- ・相手鉄塔との間が樹木で遮られると観測困難
- ・電線張り上げ操作をする地上作業員とは音声連絡のため微妙な調整が難しい

また、トランシットによる地上測定法もあるが、電線弛度を見渡せる位置の選定が難しく、伐採が必要になることも多い。

現在、当社グループでは工事業務へのDX導入による、効率化・品質や安全性の向上を目指しており、現状の弛度観測の課題を解決すべく、スマートフォンによる拡張現実 (Augmented Reality: 以下AR) を用いた弛度観測装置を開発した。



第1図 ポケットコンパスによる弛度観測（現行手法）

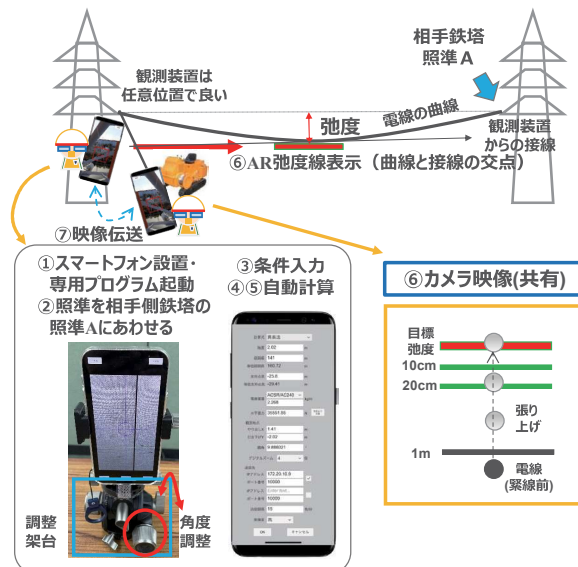
2 ARを用いた弛度観測装置の開発

第2図にAR弛度観測装置（以下、AR観測）の概要を示す。ARの技術を用いて、スマートフォンのカメラ映像上に計算により算出した目標弛度線を現場映像に重ね

合わせて表示する。

観測手順は以下の通り。

- ① スマートフォンを調整架台で観測鉄塔の任意位置に設置。
- ② カメラ映像内に表示した十字線の中心が相手鉄塔の支持点位置（照準A）にくるように角度を手動で調整。
- ③ 目標弛度、径間長、高低差、電線諸元などを入力し電線の弛度曲線をプログラム内で算出。
- ④ カメラ映像上のAR表示位置は、電線の曲線に対して観測位置から接線を引いた交点になるため、観測位置と照準A、電線の曲線の位置関係より接線式を算出。
- ⑤ カメラの画角、解像度情報と照準Aに対する位置関係から、1ピクセルの画素に対する弛度座標のカメラ縦画面方向の実距離換算式を算出。
- ⑥ カメラ映像上の照準Aから目標弛度分下がった位置へAR弛度線を表示。（AR弛度線の下側10cm、20cm、1m、2mの位置に残りの張り上げ目安線も参考表示）
- ⑦ 当該映像をローカルのTCP/IP通信にて地上作業員の端末へ伝送。（塔上スマートフォンと地上端末（タブレットなど）を同じルーターに接続するかテザリングすることで伝送可能）
- ⑧ 地上作業員が伝送された映像を見ながら弛度調整を実施



第2図 AR観測の手順

3 AR観測の現場検証

(1) 現場検証の実施内容

AR観測の精度を確認するため、管内9箇所にて下記の現場検証を行った。スマートフォン仕様はiPhone 12 Proである。



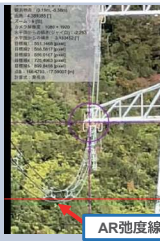
- ・既設電線（7箇所）…ポケットコンパスによる肉眼観測とAR観測を実施し比較
- ・新設工事（2箇所）…トランシットによる地上測定法による緊線作業にあわせてAR観測を実施

(2) 既設電線における現場検証結果

電線種類はACSR/AW、TACSR/AW、TACSR/AC、電線サイズは $240\text{mm}^2 \sim 610\text{mm}^2$ 、電線張力は $36,200\text{N} \sim 49,000\text{N}$ 、支持点高低差は $-30.2\text{m} \sim 12.8\text{m}$ と異なる条件の現場で検証を行った。

第1表に既設電線におけるAR弛度線の映像表示例を示す。赤色のAR弛度線が電線の弛度底と合っていることがわかる。248m～371mの径間でポケットコンパスによる肉眼観測と比較するとその差の絶対値は $0.4\text{cm} \sim 15.6\text{cm}$ （弛度に対して $0.1\% \sim 1.5\%$ 程度）であり、現行手法と同等の精度であることが確認でき、様々な電線・張力・高低差（見上げ・見下ろし両方）の条件に本手法が適用できることがわかった。

第1表 既設電線におけるAR観測結果

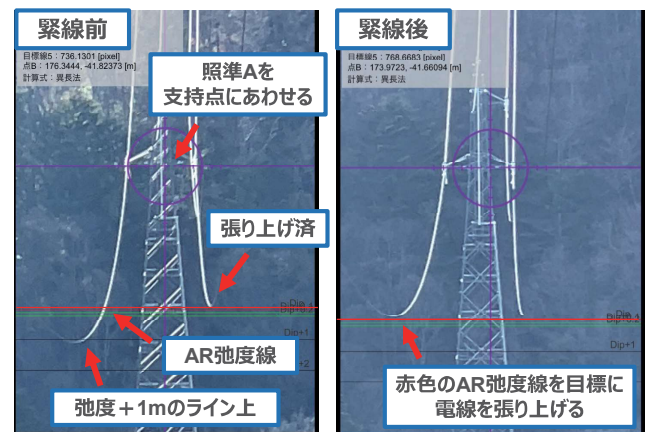
| | ① | ② | ③ |
|------|---|---|---|
| 映像表示 |  |  |  |
| 電圧 | 77kV | 77kV | 275kV |
| 径間長 | 275m | 340m | 294m |
| 電線種類 | TACSR/AW610mm ² | TACSR/AW610mm ² | TACSR/AW410mm ² |
| 電線張力 | 47,600N | 47,600N | 49,000N |
| 高低差 | -30.2m | 6.8m | -22.5m |
| 誤差 | 8.8cm (1.3%) | 14.0cm (1.2%) | 9.6cm (1.5%) |

(3) 新設工事における現場検証結果

実際の新設工事現場でトランシットによる緊線作業を行うのと並行して本手法の検証を行った。第3図に新設工事緊線時のAR弛度線の映像表示例を示す。対象は画面左の電線（ACSR/AC160mm²、24,500N）で(a)の緊線前は赤色のAR弛度線から1m下がった黒色線の位置に弛度底が確認できる。緊線作業時はカメラ映像上で目標とするAR弛度線に近づく様子を簡便に確認しながら、最終的には(b)のとおり赤色のAR弛度線上に電線の弛度底が確認できた。トランシットによる緊線作業後の弛度底とAR弛度線の誤差の絶対値は、349mの径間で $4 \sim 12\text{cm}$ （弛度 10.4m で $0.4 \sim 1.2\%$ ）であった。

(2)の検証も含めて400mまでの径間では現場適用可能な精度であることが確認できた。一方、543mの径間の誤差は 42cm （弛度 26.4m で 1.6% ）であった。iPhone 12 Proのカメラでは長径間の照準合わせが難しく、計算精度に影響したと考えられる。この点は今後光学ズームの性能が高いスマートフォンが開発されていけば改善できると考えられる。

また、最初に鉄塔の任意位置にスマートフォンを設置すれば照準点を变化させることで電線3相全て確認することができ、鉄塔上の移動が不要な他、地上への映像伝送も良好で現場適用性が高いことを確認した。今回の検証では、架空地線（AC70mm²、19,200N）についても入力条件を変更して同じ位置から確認することができた。



第3図 新設工事におけるAR観測結果

4 AR観測による改善効果

AR観測では昇塔が観測鉄塔のみでよいいため、塔上作業の一人作業化を実現できる。また、現行手法では電線3相それぞれの弛度観測でポケットコンパスを設置し直すことが必要だが、AR観測では1箇所から電線3相と架空地線を確認できるため設置手間を4箇所から1箇所に削減できる。また、樹木に遮られる課題は設置位置の選定、角度調整により回避できることがわかった。

さらに電線張り上げ操作をする地上作業員が緊線状況をリアルタイム映像で観測することで、塔上作業員との連絡・調整手間の軽減や安全性・品質の向上も図れる。また、映像データを検査記録書の代替とすることで検査・管理業務の省力化にも寄与できる。

5 研究成果と今後の展開

AR観測手法は、現行手法と同等の精度である他、配置人員の削減、障害となる樹木を避けた任意位置の1箇所電線・架空地線をまとめて観測、映像伝送により施工性・安全性・品質の向上など実現し現場適用性が高いことが確認できた。今後は、当社グループを始めとして、全国の同種現場での活用展開を図る。