

既存の敷地内で鉄塔基礎を改修する工法の開発

島田 英俊^{*1} 川合 浩二^{*2} 石田 尚^{*3}

1. はじめに

経年劣化した鉄塔基礎（以下、「旧基礎」）を、既存の敷地内で新しく作り替える工法を開発した。改修計画の遅延リスクが小さく、工事期間が短い低コストな工法で、経年劣化による設備の機能回復を迅速確実に進めることができる。電力システムの品質を維持して、安定供給に貢献する技術である。

また他の用途にも応用が可能で、今後の適用拡大が見込まれる。

（キーワード）

コンクリート、基礎、経年、劣化、亀裂、改修、元位置、アルカリ骨材反応、不同沈下、不等沈下、包み込み工法、用地交渉、設備停止、保安、建て替え、市街地、狭隘地

2. 基礎コンクリートの劣化

(1) 基礎の経年劣化と対応

基礎のコンクリートには、温度変化によるストレスや鉄塔からの荷重が絶えず加わっている。また、雨水や紫外線・凍結に晒されて表面の風化が進むため、長年の使用中に亀裂が生じることは避けられない。

表面の亀裂に対しては、通常、劣化の進行を食い止める補修が行われる。隙間へのモルタル充填や、基礎全体を樹脂で覆う等の方法がある。

さまざまな要因が重なると、亀裂が基礎の内部にまで及ぶ。亀裂から浸入した雨水が鉄筋を腐食させ、凍結して更に亀裂を広げる等の弊害を引き起こす。基礎の機械的強度（以下、「強度」）が低下するため、基礎全体の作り直しが必要になる。



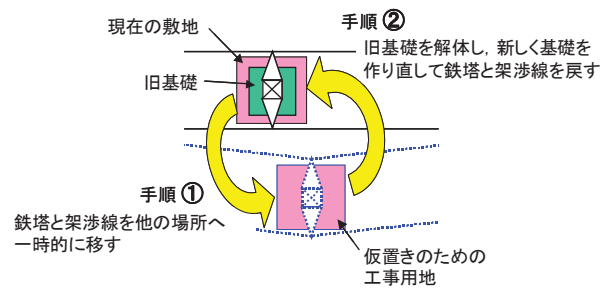
第1図 基礎に生じた亀裂の例

(2) 基礎の改修を巡る問題

基礎を作り直す場合、上部にある鉄塔が邪魔になるため、一旦基礎から切り離して別の場所へ仮置きする（第2図の手順①）。また、新しい基礎は旧基礎を避けて作るため、はみ出した基礎を保全するために敷地を買い増す必要がある。このような従来工法では、大規模な工事用地の借用や、土地の追加買収が不可欠になる。

一般に、基礎の劣化は建設から数十年後に発生するので、設備周辺が宅地化して工事用地や敷地の買い増しが難しくなる。また権利意識の高まりによって用地交渉は難航しがちで、改修工事の工程が不確実さを増している。

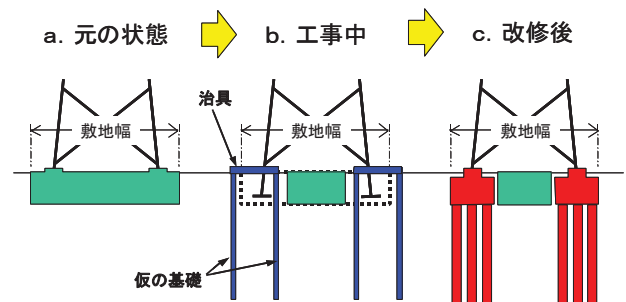
このような状況は今後ますます増えると予想され、甚大な人的・経済的コストを招いて改修計画の停滞に繋がる。設備の機能回復が遅れることは、電力の安定供給が脅かされる事態となる。



第2図 基礎改修の方法（従来）

3. 工法開発の考え方

これらの問題を回避するため、鉄塔を仮移設せず、かつ既存の敷地をはみ出さずに基礎を作り直せる工法の開発に取り組んだ。概略の手順を第3図に示す。



第3図 工法の概要

*1 電力流通部 送電チーム

*2 富山支店 技術部 電力保安チーム

*3 電力流通部 品質管理チーム

本工法では、架線を留めて荷重のかかっている鉄塔を、「治具」と呼ぶ鋼材で仮の基礎（羽根付き鋼管杭）に繋いで支える。工事中は仮の基礎が敷地外へわずかにはみ出すものの、最終的には完全撤去できるため、敷地の買い増しは不要である。工事に必要な土地の借用範囲も小さく、地元関係者の同意を得やすいので、改修工程が遅延することはほとんど無くなる。

(1) 既存工法との比較

同種の工法は、これまでも開発されてきた。既設鉄塔に部材を継ぎ足して嵩上げする工事に使われる工法で、「ジャッキアップ工法」や「FTB（Floating Tower Buildup）工法」などが知られている。本工法がこれらと異なる点は、鉄塔が治具と仮の基礎で支えられて基礎から切り離される期間が数ヶ月程度と長いことである。既存の工法では、この期間が半日～数日と短い。

鉄塔の長期支持が前提であるため、本工法では設備停止を必要としない。設備停止の制約に影響されない計画的な改修工事が可能になり、電力会社・施工者ともにメリットがある。

もうひとつの違いは、工事に伴う旧基礎への安全配慮である。旧基礎は劣化によって強度が低下しているため、改修工事に必要な旧基礎の加工が大きく制約される。

第1表に本工法の特徴を、従来の改修工法・FTB工法と比較して示す。

第1表 工法の比較

	従来の方法	鉄塔を元位置で仮支える方法	
		今回(新工法)	FTB方式
概要図			
適用期間	数ヶ月～通年	台風期を除く	1日以上は困難
改修期間	150日+用地交渉期間	100日	150日+用地交渉期間
作業敷地	20m×40m×2箇所(仮設用地舎)	20m×15m	20m×40m
コスト比	100	40	90~100
その他	・仮設用地が不可欠 ・設備停止できない時期には工事できない	・設備停止は不要 ・基礎型を選ばない	・設備停止は必要 ・旧基礎がマット基礎の場合、適用できない

(2) 技術的な課題

工法を開発するにあたって、検討を要した課題は次のとおりである。

a. 治具高さの縮小

鉄塔を安全に支えるには、最も堅固な部分で

ある基礎と鉄塔の境界部分に治具を取り付ける必要がある。この部分は、「柱体」と呼ばれる基礎の一部で、治具を取り付けるにはコンクリートを削り取る必要がある。

内部まで亀裂の入った基礎では、通常、基礎全体におよぶ強度の低下を疑う必要があるため、旧基礎のダメージを必要最小限に留めなければならない。コンクリートを削り取る範囲は治具高さで決まるため、これを低く抑える必要がある。

b. 鉄塔脚の高さ（レベル）不揃い防止

本工法では、4本ある鉄塔の脚を独立に支える。鉄塔はその構造上、各脚のレベルが不揃いになると局部に設計荷重を超える力がかかって部材が壊れ、連鎖的に構造が崩れてしまう。

一方で、施工誤差や鋼材のたわみによって脚レベルが不揃いになることは避けようがなく、この影響を抑える工夫が必要になる。

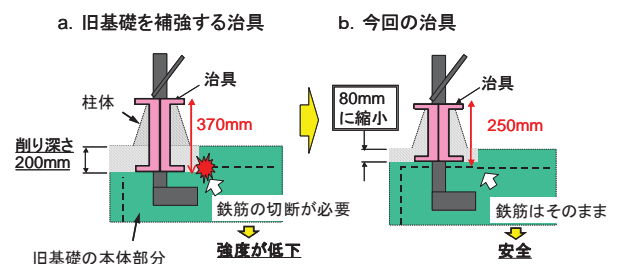
c. 安全管理基準の整備

新たな工法であるため、改修工事中の異常事態に対して、安定性を評価するための判定基準や、応急対策の事前検討が必要になる。

4. 課題の解決

(1) 治具高さの縮小

治具の強度は高いほうが望ましいので、1m近い高さの治具が使われることも多いが、基礎の形式によっては取り付けできない場合がある。「マット基礎」と呼ばれる基礎は柱体が数十センチと低いため、治具の取り付けには基礎本体まで削る必要がある。第4図 a. の例で示すように、内部の鉄筋を切り離すことになるため、経年劣化した基礎の強度を更に低下させて不安全になる。



第4図 本体削り深さの比較

本工法では、工法の適用期間を制限して、治具と仮の基礎を恒久設備として残さない「仮設材」

として扱い、設計荷重を低減して治具の高さを抑えた(第4図 b.)。これによって、ひとつの基礎改修に基礎を2度作る手間となるが、保安を保ちながら安全な工事が可能である。

また、旧基礎が切り離されて設計がシンプルになり、形式の異なる基礎を組み合わせる場合の設計の困難さを回避できる。

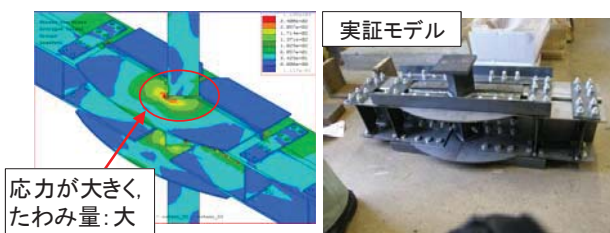
(2) 鉄塔脚の高さ(レベル)不揃いの防止

鉄塔の脚レベルが不揃いになる原因は2つあり、それぞれ対応方法を検討した。

第1の原因は「鋼材たわみ」で、主に治具で生じる。本工法の治具は高さが小さく、たわみ易い形をしている。また第5図(左)に示すように、部材の切り込み部分に力が集中して変形しやすいため、レベル差が出やすい。対策の検討に当たっては、有限要素法(FEM)解析を用いて複数の補強構造を検討し、最終的に縮小モデルを作って荷重試験を行い、性能を検証している(第5図(右))。

検討した補強方法は、①内部へのモルタル充填、②断面の箱形化、③曲げ補強材の追加の3通りで、③の補強効果が最も高かった。たわみ量は、当初の7mmから2mmに改善している。

なお、この補強部材は旧基礎と干渉するため、工事中の荷重を考慮しながら後付け加工する必要がある。



第5図 FEM・実証試験

第2の原因は、地盤の弾性や摩擦などの特性が脚ごとに異なることによる、仮の基礎の不揃い沈下である。この問題に対しては、対応コストが安価な鉄塔の部材補強で対応した。

鉄塔脚のレベルが変化(不等沈下)して生じる追加の荷重を、立体解析で解析した。本工法では取替える部材を、比較的容易に取り外せる部分に限定しながら沈下限界の拡大を図っている。

同様の解析は、平成3年の「275kV N線新設工事」で実績があったため、それぞれの結果を比較して解析の確からしさを検証した。

単位沈下量あたり鉄塔脚に生じる追加の荷重は、その大きさや傾向がN線の結果と一致した。また、補強が必要な部分や補強の程度も鉄塔規模に応じて相似形となった。この結果より、今回の検討結果を妥当と判断した。(第6図)

今回、この検証で鉄塔脚の不等沈下で生じる追加荷重が、鉄塔の規模によらないことが判った。今後、鉄塔の保安強度を再考する際の根拠資料として記録に留める。



第6図 部材補強部位

(3) 安全管理基準の整備

改修工事中は、脚レベルの変化を監視しながら設備の安全を確認する。必要な管理基準を、上記の検討結果と整合させながら定めた。(第2表)

基準制定に当たっては、①観測誤差を考慮した実用的な値とし2段階で設定する、②復旧対応に必要な時間を確保できる余裕を備えていること、が重要である。

第2表 安全管理基準

沈下限界	10mm以下	
確認方法	基礎撤去中 杭施工中	レベル(機器名)で常時監視
	その他期間	1回/日 レベルで測定
沈下時の対応	沈下量 2~5mm	・常時監視に切換え ・レベル調整の準備
	沈下量 5mm超	作業停止 レベル調整の実施

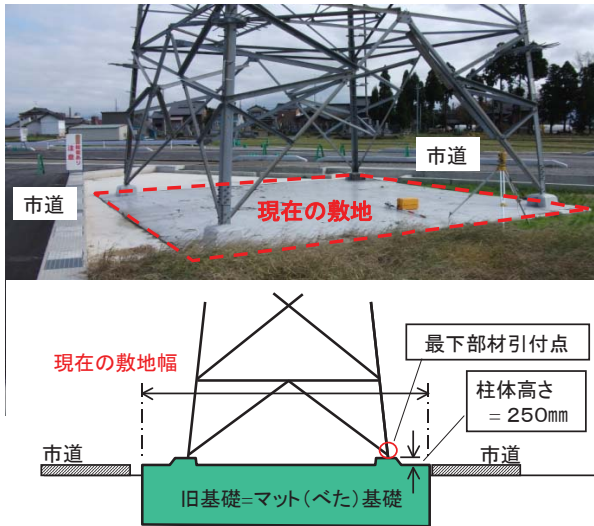
5. 実地検証

(1) 適用条件

本工法を、154kV F線No.3 2号の基礎改修に適

用して有効性を検証した。(第7図)

本鉄塔は、両側を2本の市道に挟まれた交差点の狭隘地に建っており、旧基礎は「マット基礎」である。柱体高さは、一般的な逆T字基礎の10分の1程度と低く、治具の取り付けが難しいケースである。

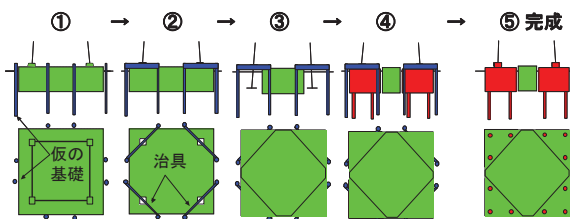


第7図 F線No.3 2号の敷地概要

(2) 改修手順

基礎の改修手順を第8図に示す。

- ①旧基礎の外側に、鋼管杭で仮の基礎を作る
- ②鉄塔に治具を取り付け、仮の基礎と繋ぐ
- ③旧基礎を解体し、脚材を全露出させる
- ④杭を打ち、脚材と繋いで新たな基礎を作る
- ⑤コンクリートが固まったら治具を外して完成



第8図 基礎改修の手順

(3) 施工状況

F線No.3 2号鉄塔は、鉄塔脚の荷重バランスが良い「懸垂鉄塔」であった。今回の改修では、工事期間中に強い吹雪に見舞われ、風圧荷重による脚レベルの変位が心配されたものの、最大で±1mm以内の変化に留まり、設計どおりの性能が発揮された。

また、当初、経年劣化によって鉄塔脚材が基礎

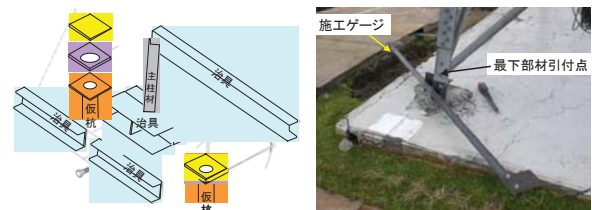
内部でコンクリートから分離して残留応力が生じ、姿勢が不安定になる可能性を疑っていた。予想に反して、付随して起きるはずの急激な脚レベル変化は認められず、安定した状態で作業できた。

(4) 施工性向上に向けた改善

本工法が使われる環境は、市街地かつ運用中の鉄塔が作業場内にある、狭隘な条件である。より安全・確実な施工を目指すため、以下のような工夫を凝らした。

第1の工夫は、治具の分割である。狭隘な作業場では、十分な能力の荷吊り機械を使用できないため、運搬・組み立てを人力で行う必要がある。治具の剛性を落とさずに分割できるよう、構造を検討した(第9図(左))。また、仮の基礎と治具を繋ぐ部分を予め工場で作り込み、現場加工を必要最小限に留めて作業の手戻りを防いだ。

第2の工夫は、施工ゲージによる施工精度の向上である。本工法の治具は、鋼管杭に上乗せして結合されるため、仮基礎の据付精度(位置や傾き)が悪いと、治具の取り付けが困難になるばかりでなく、再度治具の強度を設計し直すことになって工事が遅延する。そこで、第9図(右)に示すような施工ゲージを使用して仮基礎の位置を示し、施工管理しやすくした。



第9図 治具の細部構造と施工ゲージ

(5) 今後の検討課題

今後、本工法を用いた基礎の改修工事を進めていくが、設備の劣化問題では、異常確認から対策を行うまで十分な時間が取れない場合を想定しておく必要がある。

より迅速な対応を目指すため、治具と仮基礎を鉄塔脚材毎に予め設計しておき、設計時間を縮める等の対応が必要である。

6. 今後の適用拡大に向けて

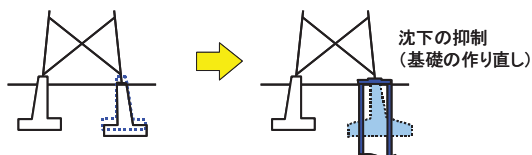
本工法は、①脚毎に施工(補強)できる、②比較的簡便な装置で短期間に施工できる、といった

特徴を生かして、さまざまなニーズへ応用できる。

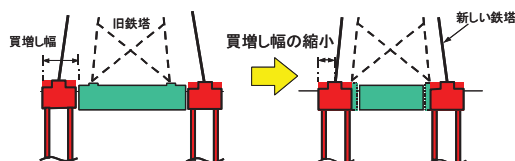
ひとつの例が、地盤の沈下や土砂の流出に対する保安対策である。異常の生じた脚のみを必要最小限の工事で短時間に補強できるため、迅速に保安を回復できる。(第10図 a.)

また他の工法と組み合わせて、その工法の適用範囲(メリット)を広げることができる。既設鉄塔を包み込んで建て替える「包み込み工法」との併用では、旧基礎を解体できるようになるため(第10図 b.), これまでは元位置付近に十分な土地を確保できずこの工法を採用できなかった場所でも、わずかな土地の買い増しさえできればこの工法で鉄塔の嵩上げ建て替えができるようになる。既設のルートを変えることなく、建て替えコストを抑えられる。

a. 脚毎の保安対策



b. 包み込み工法への応用



第10図 工法の応用

7. おわりに

本工法は、当社と当社のグループ会社である北電技術コンサルタント(株)殿、地元鉄塔メーカーの(株)大谷工業殿の3社がプロジェクトチームを組んで開発した。施工は、地元の池田電気工事(株)殿が行うことで綿密な意見交換ができ、設計では考慮し切れなかった課題の解決にご尽力頂いた。

経験の無い工事であったが、2年10ヶ月に亘る関係者のご尽力によって安全に改修を完了できた。関係諸氏に感謝申し上げますと共に、皆様の卓越した技術力に敬意を表したい。

なお本工法については、開発に携わった3社で共同特許(第5002735号)を取得している。

(本論文は、電気現場技術 2012年9月号「既存の鉄塔を使い続けながら、コンクリート基礎を作り直す工法の開発」より、許諾の上転載しております。)