

集集大地震により倒壊した片継脚鉄塔の耐震性に関する研究

九州大学
九州大学大学院

学生会員 池田征司
フェロー 大塚久哲

九州大学大学院 正会員 松田泰治
九州大学大学院 学生会員 内田広明

1. はじめに

1999年9月21日午前1時47分(現地時間)、台湾の南投縣集集付近(北緯23.85度、東経120.81度、震源深さ6.99km)を震源とするマグニチュード7.3(台湾中央气象台)の地震が発生した。震源地近傍では一般の建物はもとより、道路、橋梁等の社会基盤施設、電力、水道、通信等のライフライン施設に甚大な被害が発生した。著者の一人は文部省台湾地震調査班(研究代表者:京大大学家村浩和教授)の一員として昨年10月上旬に現地入りし、主に電力施設の被害状況に関して調査を行った。本研究は超高压送電鉄塔に関する被害調査結果と被害原因解明のために行った解析的検討をまとめたものである。

2. 超高压送電鉄塔の被害

台湾の超高压送電鉄塔の幹線(図-1)は2系統から成る。第1系統・第2系統ともに震源断層とほぼ並行に走っているため、第1系統の中寮~天輪間と第2系統の中寮~峨眉間で特に被害が大きく、地滑り等が原因と考えられる鉄塔倒壊や鉄塔の傾斜・変形、鉄塔の基礎の破壊や移動が多数報告された。1999年10月8日付けの台湾電力公司供電處被害状況報告に基づく被害の概要を表-1に示す。

写真-1は、台湾で最大の345kV鉄塔で唯一完全倒壊した中寮~峨眉間の#203である。#203の基礎そのものは健全であったと報告されている。写真で判断する限り、根本付近から谷側へ向かって倒壊しているように見える。ただし、#203の両側の#202と#204の鉄塔はほとんど無被害と報告されている。#203は、高さ62.95m、脚柱の間隔が12.8mの懸垂型山形鋼鉄塔であり、山間部の斜面に設置されているため山側と谷側の基礎の高低差は10mと報告されている。

通常、送電鉄塔は地震荷重に比べて風荷重が大きく、風荷重のみを考慮して設計されている。しかし、#203の倒壊原因は、地震時の振動による被害の可能性が考えられる。

通常、送電鉄塔は地震荷重に比べて風荷重が大きく、風荷重のみを考慮して設計されている。しかし、#203の倒壊原因は、地震時の振動による被害の可能性が考えられる。

通常、送電鉄塔は地震荷重に比べて風荷重が大きく、風荷重のみを考慮して設計されている。しかし、#203の倒壊原因は、地震時の振動による被害の可能性が考えられる。

3. 解析的検討

台湾電力公司より入手した構造図に基づき、支柱基部に高低差が無いモデル(モデルA)と、有るモデル(モデルB)の2種類を作成した。片継脚モデルは、#203の寸法より、支間の傾斜角を35.5度とした。モデル図を図-2に示す。図中の番号は、基部支柱材の番号である。主要構造材である鉛直材と水平材、及び基礎の斜材をはり要素、他の斜材をトラス要素でモデル化した。

減衰定数については5%とした。架渉線の質量については、節点の

モデルA (総重量527kN) モデルB (総重量564kN)

図-2 モデル図

超高压幹線系統図

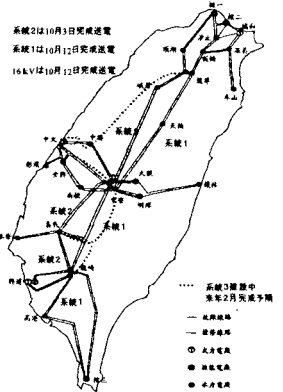


図-1 超高压幹線系統図

表-1 超高压送電鉄塔の被害(1999年10月8日現在)

被害の種類	倒壊	傾斜	部材変形	基礎損傷	基礎移動	被害鉄塔合計	被害線路合計	復旧率
345kV鉄塔	1	9	55	271	19	355	28	17/28
161kV鉄塔	9	4	9	157	4	183	30	19/30
69kV鉄塔	3	16	3	60	2	84	21	18/21



写真-1 倒壊した345kV超高压送電鉄塔(中寮~峨眉間の#203)

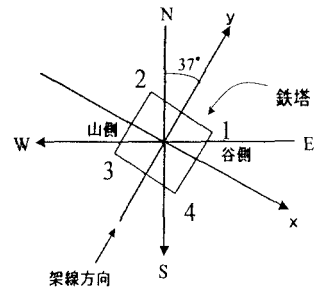


図-3 鉄塔の主軸方向と地震波の方向

集中質量として腕金の架渉線支持位置に考慮した。

解析に用いた地震波は、#203付近で観測された記録の中で最大の加速度が観測されたTCU084NS・TCU084EWである。図-3に示すように、鉄塔の架線方向と南北方向のなす角は約37度であり、地震波の加速度成分を鉄塔の架線直角方向・架線方向に合成し、水平二方向入力とした。加速度時刻歴波形を図-4に示す。

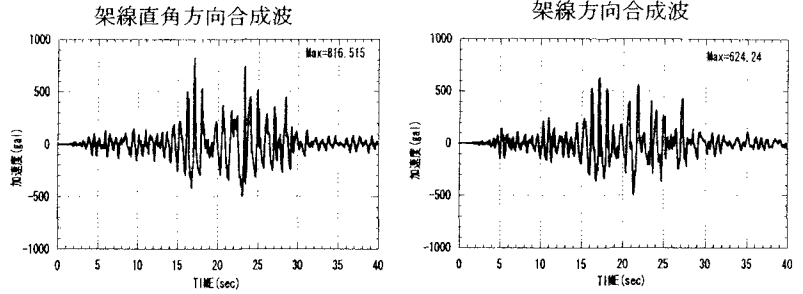


図-4 加速度時刻歴波形

固有値解析の結果を表-2に示す。モデルAとBの固有値の差は、方継脚の有無により質量と剛性が変化したことによる。

表-2 固有周期(sec)

モード次数	モデルA	モデルB
架線直角方向1次	0.79	0.82
架線直角方向2次	0.32	0.33
架線方向1次	0.75	0.78
架線方向2次	0.26	0.27

動的応答解析より得られた、モデルBの基部主柱材1及び4の軸力時刻歴を図-5に示す。また、基部主柱材に発生した最大軸力を表-3に示す。座屈軸力は、両モデル・すべての部材において1552kNである。

基部主柱材1の軸力時刻歴

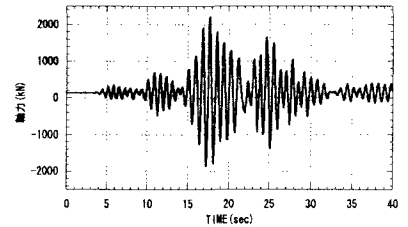
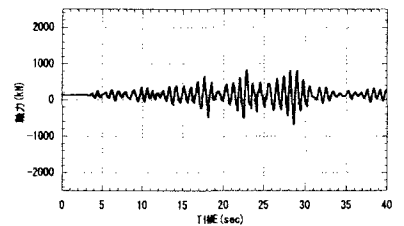


表-3より、モデルA・Bともに、主柱材2及び4に比べ主柱材1及び3に、より大きい軸力が発生しており、座屈軸力に達していることがわかる。これは、入力地震波であるTCU084の加速度が、東西方向に卓越している(図-3参照)ためと考えられる。

基部主柱材4の軸力時刻歴



モデルAとモデルBで比較すると、主柱材1及び4ではほぼ同じ値であるのに対し、主柱材2及び3ではモデルBで約350kN大きい軸力が発生している。今回の解析では、等脚鉄塔より、片継脚鉄塔のほうがより大きい軸力が発生し、その影響は短脚側に顕著に表れる。

以上の解析より、TCU084相当の地震動が鉄塔付近で生じている場合には、基部の主柱材の座屈等が生じる可能性があり、これらの影響で#203送電鉄塔が倒壊に至った可能性がある。

図-5 モデルBの軸力時刻歴

4. まとめ

台湾において我国では例のない送電鉄塔の地震被害が発生した。集集大地震で観測された地震動は、場所によっては兵庫県南部地震と同等以上のエネルギーを有している。今回被害を受けた台湾の送電鉄塔の設計仕様は我国のものと同レベルであり、我国においても同様な被害が起こる可能性は否定できない。特に、送電鉄塔は傾斜地に設置されることが多いことから、片継脚鉄塔の耐震性評価は重要な問題と考えられる。

表-3 基部主柱材に発生した最大軸力(kN)

	主柱材1	主柱材2	主柱材3	主柱材4
モデルA	2289	868	2296	788
モデルB	2212	1217	2675	818

今回の解析では、片継脚による応答の増加が長脚側より短脚側に顕著に表れた。今後、検討用の入力地震波を追加して評価結果の一般性を確認する必要がある。

一般に基部の部材に大きい軸力が発生することから、今回の検討では、基部の主柱材のみを検討対象としたが、今後は他の部材の検討も行き、総合的に応力評価する必要がある。

また、架渉線の影響については節点集中質量として腕金架渉線支持位置に入力し、簡易に考慮した。TCU084クラスの大振幅を伴う地震動に対しては、架渉線や隣接鉄塔が及ぼす動的な影響が大きいためと考えられる。今後は3基2径間モデルを作成し、送電鉄塔と架渉線の連成振動等、詳細な検討を行う予定である。