

集集大地震による超高压送電鉄塔の被害

九州大学大学院 正会員 松田泰治
九州大学大学院 フェロー 大塚久哲
九州大学大学院 学生員 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。内政部消防署によれば10月20日現在、死者2405名、負傷者10718名、行方不明80名を数えた。著者の一人は文部省台湾地震調査班(研究代表者：京都大学家村浩和教授)の一員として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災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. 台湾の電力事情

台湾の電力は国営の台湾電力公司により独占供給されている。1998年の発電量は142964millionKWHで発電設備容量は26680MWである。電源構成は石炭火力30.4%、原子力19.3%、石油火力19%、水力16.6%、LNGが14.7%となっている。台湾は北部に世界の10%のメモリー生産を担う新竹科学工業区をはじめとする電力大消費地を抱えており電力需要は年々増加の傾向にある。この不足する北部地域の電力を南部の原子力発電所や火力発電所および中部の火力発電所や水力発電所からの送電で補っている。北部地域の電力不足は深刻であり最大400万kWの電力が中部地域および南部地域より供給されている。このような送電体制を台湾では「南電北送」と称している。「南電北送」を行うための超高压送電鉄塔の幹線は図-1に示すように、ほぼ南北に縦断している。

3. 超高压送電鉄塔の被害^{1), 2), 3), 4)}

南北に走る超高压送電鉄塔の幹線は2系統から成り東側の第1系統が400万kWの約3分の1を、西側の第2系統が約3分の2をそれぞれ分担送電している。北部の電力消費量の増加に伴い第3の系統により更に400万kWを送電する計画が進められていた。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ている。昨年10月8日付けの供電處被害状況報告に基づく被害の概要を表-1に示す。送電

超高压幹線系統圖

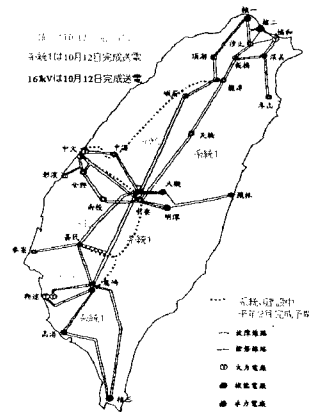


図-1 超高压幹線系統

表-1 超高压送電鉄塔の被害(10/8現在)

被害の種類	例数	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)

鉄塔は通常地震荷重に比べ風荷重が大きく、構造断面は風荷重により支配されている。台湾は台風の通り道でもあり、我が国の平均的な基準風速 V_0 が40m/s(地域を考慮する場合は28.1m/s～46.8m/s)であるのに対して東部地区の重要線路で54.4m/s、西部地区の重要線路で44.9m/sで設計されている。通常、電線は鉄塔よりも耐力が大きいため地滑り等で基礎が移動するとほぼ線路方向に両側の鉄塔に対して引っ張り荷重が作用すると考えられる。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。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。#203では山形鋼を組み上げた仮設鉄塔により応急復旧を行った。図-2に示すように345kV鉄塔の形状・寸法は高さ62.95m、脚柱の間隔は12.8mである。傾斜地に設置される場合が多く、#203では山側と谷側の基礎の高低差は10mと報告⁴⁾されている。台湾中央気象台の地震観測記録によれば断層の東側では強い地震動が確認されており、振動による被害の可能性が考えられる。

4. 解析的検討

鉄塔の被災原因を検討する目的で#203鉄塔の固有値解析および動的応答解析を行った。解析に用いた地震波は、#203付近で観測されたTCU084EWである。入力架線直角方向に水平一方向入力とした。TCU084EWの加速度応答スペクトルを図-3に示す。

(1) モデル化手法

台湾電力公司より入手した図面に基づき鉄塔のモデル化を行った。主要構造材である鉛直材と水平材を3次元のはり要素、斜材を3次元トラス要素でモデル化した。部材の減衰はすべて2%とした。

(2) 解析結果

・固有値解析：固有値解析により得られた架線直角方向の1次と2次のモード図を図-4に示す。2次モードまでの有効質量比は56%である。我が国の実物鉄塔の振動試験結果に基づく鉄塔の塔高と固有周期の関係によれば、鉄塔の1次固有周期は、約0.4秒～0.8秒となる。固有値解析結果はこれとほぼ対応している。

・動的応答解析：動的応答解析より得られた頂部架設支持位置の変位と加速度を図-5に示す。最大変位は24.4cm、最大加速度は3450galである。今回は入力架線直角方向のみであるが、架線方向を加えた2方向入力についても検討する必要がある。部材の応力評価に関しては今後詳細な検討を行う予定である。

5. おわりに

我国では例が無い鉄塔の地震被害が発生した。鉄塔倒壊・部材変形の被害要因については、今後も引き続き情報収集に努め、動的応答解析等を踏まえた検討を行っていく。

参考文献

- 1)内陸におけるプレート境界大地震の脅威—台湾921集集地震調査速報集—文部省突発自然災害調査班(団長：京都大学家村浩和教授)，平成11年10月。
- 2)1999年台湾集集地震調査速報，電力中央研究所調査報告，U99023，平成11年12月
- 3)土木学会 1999年台湾・集集地震被害調査報告会・概要集，平成11年12月
- 4)THE 1999 JI-JI EARTHQUAKE, TAIWAN -Investigation into Damage to Civil Engineering Structures-, Japan Society of Civil Engineers, December 1999.

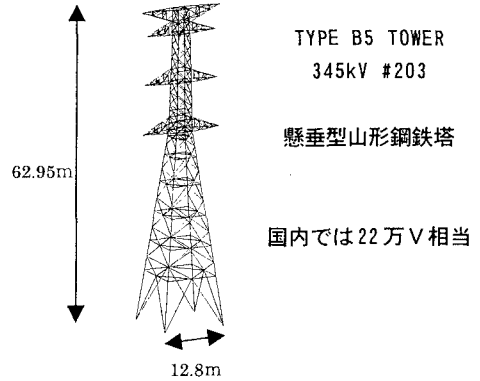


図-2 345kV鉄塔の構造概要

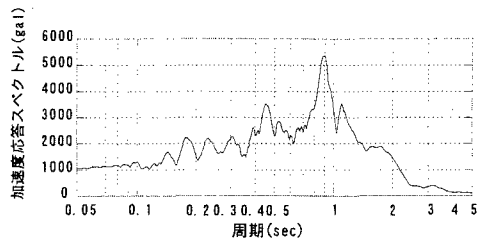


図-3 加速度応答スペクトル(h=0.02)

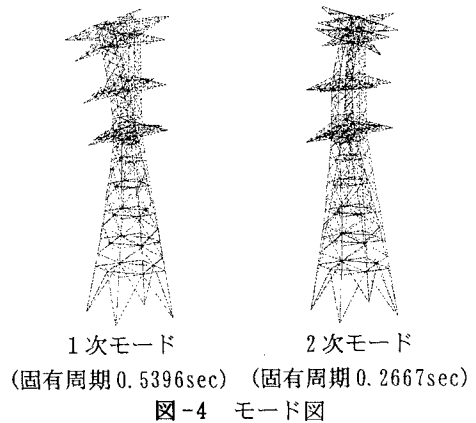


図-4 モード図

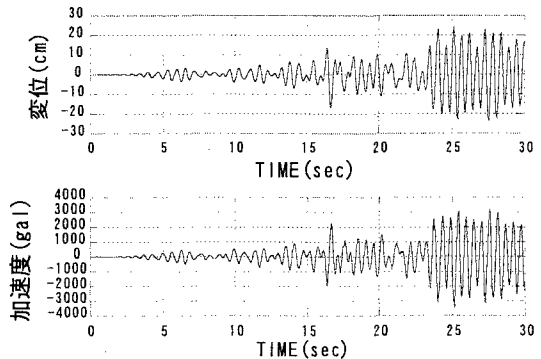


図-5 変位と加速度の時刻歴