

集集大地震による超高圧送電鉄塔の被害原因に関する一考察

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(台湾中央気象台)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。本研究は超高圧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. 超高圧送電鉄塔の被害^{1)、2)、3)、4)}

台湾の超高圧送電鉄塔の幹線(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は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る。台湾は台風の通り道でもあり、我が国より風荷重は大きい。通常、電線は鉄塔よりも耐力が大きく、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。345kV鉄塔の形状・寸法は高さ62.95m、脚柱の間隔は12.8mである。山間部の斜面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も考えられる。

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、静的解析および動的応答解析を行った。

(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い、支柱基礎に高低差があるモデル(モデルA)と無いモデル(モデルB)の2種類を作成した。基礎に高低差があるモデルについては支間の傾斜角を30度とした。モデル図を図-3に示す。主要構造材である鉛直材と水平材、及び基礎の斜材を3次元のはり要素、他の斜材を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。図中の番号は支柱材の位置を示す。モデルの総重量はモデルAで約526kN、モデルBで約548kNである。

(2)入力地震波

解析に用いた地震波は、#203付近で観測されたTCU084EWである。架線直角方向に水平一方向入力とし、正負の向きを変えて2ケース解析した。図-3におけるx方向に入力するケースをcase1、-x方向に入力するケースをcase2とする。TCU084EWの加速度応答スペクトルを図-2に示す。

キーワード: 集集大地震、超高圧送電鉄塔、座屈

連絡先: 〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学大学院工学研究科 TEL:(092)642-3267

超高圧幹線系統圖

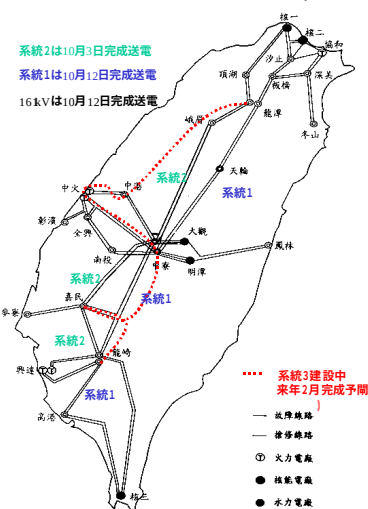


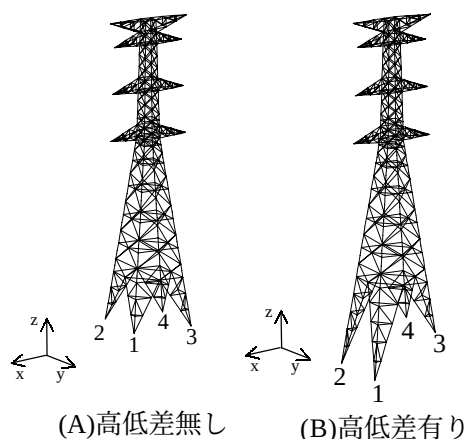
図-1 超高圧幹線系統

表-1 超高圧送電鉄塔の被害(10/8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超高圧送電鉄塔
(中寮～峨眉間の#203)



(A)高低差無し (B)高低差有り
図-3 モデル図

(3)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両モデルとも76%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。両モデルにおいて固有値解析結果はこれとほぼ対応している。

・静的解析：モデルBにおいてx方向に0.2Gの静的震度を与えた。その結果、基礎主柱材1、2に常時の約2倍の軸力が生じた。-x方向から0.2Gの静的震度を与えると、基礎主柱材1、2にはほとんど軸力が生じず、基礎主柱材3、4に常時の約2倍の軸力が生じた。

・動的応答解析：動的応答解析より得られたモデルBの頂部架設支持位置の応答加速度と基礎主柱材3の軸力時刻歴を図-5に示す。図より両者の位相はほぼ一致しており、最大加速度発生時に最大軸力が生じている。基礎の主柱材に発生した最大軸力をまとめて表-2に示す。表より両モデルにおいて全ての主柱材が座屈応力に達している。また基礎に高低差があると基礎の主柱材に、より大きな軸力が発生する事が分かる。

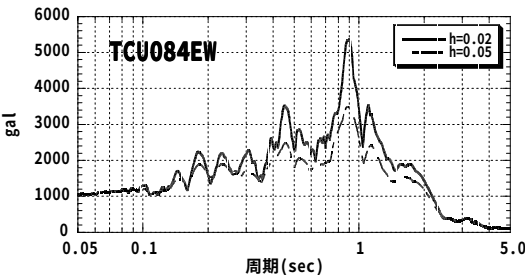


図-2 加速度応答スペクトル

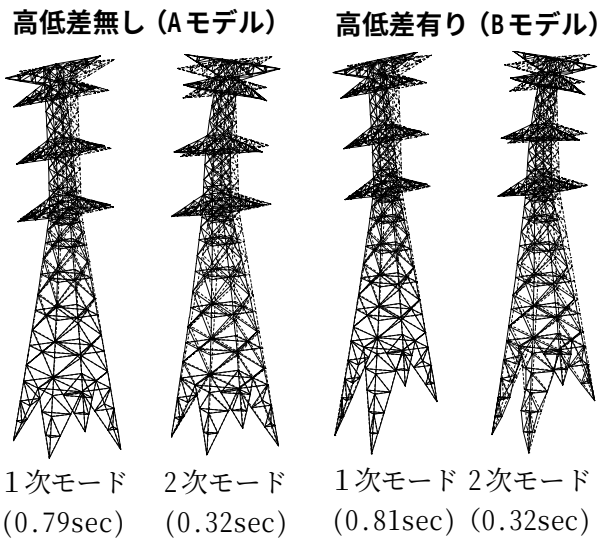


図-4 モード図 (括弧内の値は固有周期)

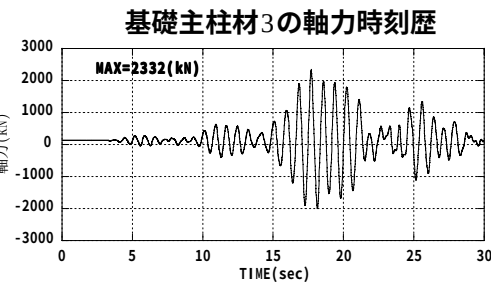
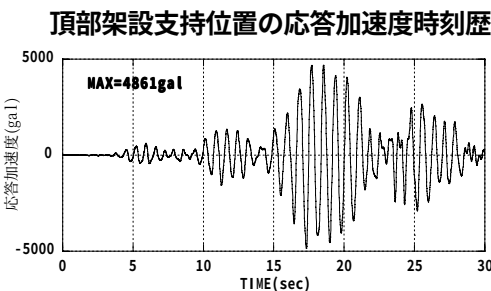


図-5 モデルBの応答加速度と軸力の時刻歴 (case1)

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。今回の検討では、地盤の剛性や減衰などの影響は考慮しておらず、基礎固定として解析した。また入力が架線直角方向のみである。引き続き情報収集に努め、地盤条件や架線方向を加えた2方向入力、斜材等の補助部材の応力評価についても今後詳細な検討を行う予定である。

謝辞

本研究において、日本鉄塔工業株式会社の矢野勝義様、岡延夫様に資料、データの提供をして頂いた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

1)内陸におけるプレート境界大地震のの脅威—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.

モデル	地震波入力方向	基礎主柱材1,2 に発生した最大軸 力(kN)	基礎主柱材3,4 に発生した最大軸 力(kN)
モデルA	case1	2020 (1540)	2187 (1540)
	case2	2187 (1540)	2020 (1540)
モデルB	case1	2157 (1451)	2332 (1540)
	case2	2236 (1451)	2256 (1540)

表-2 基礎の主柱材に発生した最大軸力 (括弧内の値は座屈応力(kN))