

集集大地震により倒壊した超高圧送電鉄塔の耐震性に関する一考察

九州大学大学院 学生員 ○池田征司 正会員 松田泰治 フェロー 大塚久哲

1. はじめに

1999年9月21日、台湾南投縣集集付近を震源とするMw7.7(2001理科年表)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、社会基盤施設、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：京都大学家村浩和教授)の一員として一昨年10月

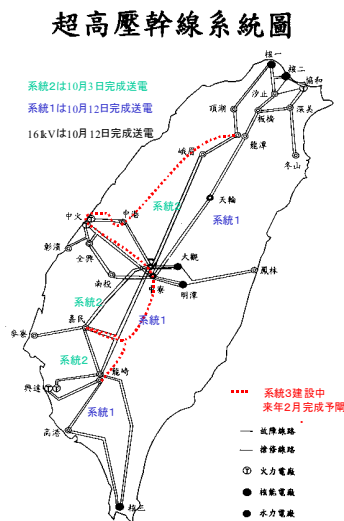


図-1 超高圧幹線系統図

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

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。

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



写真-1 倒壊した345kV超高圧送電鉄塔(中寮～峨眉間の#203)

被害の可能性が考えられる。

3. 解析的検討

3.1 モデル化手法

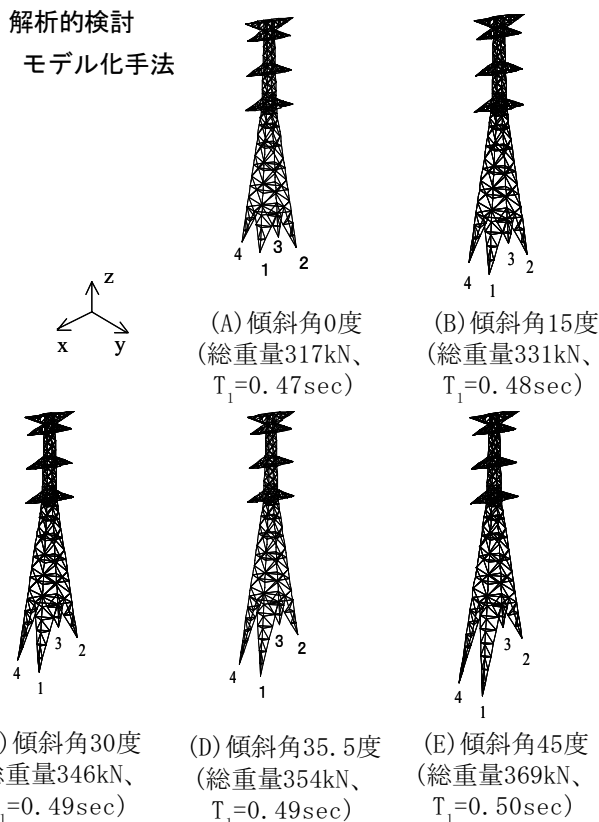
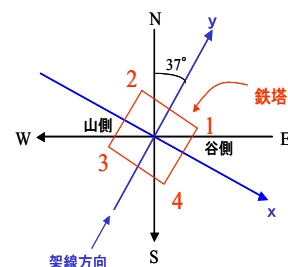


図-2 モデル図

台湾電力公司より入手した構造図に基づき、主柱基部に高低差が無いモデル(モデルA)と、高低差が有るモデルを作成した。片継脚モデルは、支間の傾斜角を15度(モデルB)、30度(モデルC)、35.5度(モデルD)、45度(モデルE)とした。実際の#203の支間の傾斜角は、モデルDの35.5度にあたる。モデル図を図-2に示す。図中の番号は、基部主柱材の番号である。主要構造材である鉛直材と水平材、及び脚部の斜材をはり要素、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2%とした。また、架渉線は考慮していない。

3.2 入力地震波

解析に用いた地震波は、#203付近の記録の中で最大の加速度が観測されたTCU084で図-3 鉄塔の主軸方向と地震波の方向



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院 TEL：(092)642-3267

速度成分を鉄塔の架線直角方向・架線方向に合成し、架線直角方向合成波のみを水平1方向入力とした。架線直角方向合成波の加速度応答スペクトルを図-4に示す。

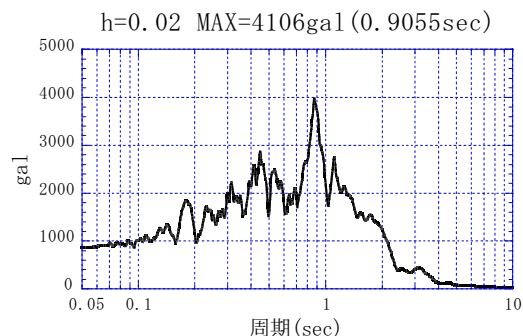


図-4 架線直角方向合成波の加速度応答スペクトル

3.3 解析結果

・静的解析：自重のみ、±x方向に0.2Gの静的震度ののみ、自重と±x方向に0.2Gの静的震度を与えた場合の5ケースを検討した。静的解析結果を表-1に示す。表より支柱材において、自重と±x方向に0.2Gの静的震度を与えた場合、転倒モーメントによる軸力が圧縮となる部材に自重のみの場合の約1.8倍の軸力が生じる。また、基礎傾斜が大きくなると、自重による軸力は長脚側で増し、支柱材は1.3倍、斜材は最大で2.1倍となる。一方、架線直角方向の外力に対しては、長脚側で支柱材は0.8倍と減少し、斜材は最大で4.3倍と増大することから、傾斜が大きくなるほど支柱材から斜材へと応力の分担割合が変化していると考えられる。基礎の傾斜と静的震度の影響により、最大でモデルAの自重による軸力の1.9倍の軸力が生じる。

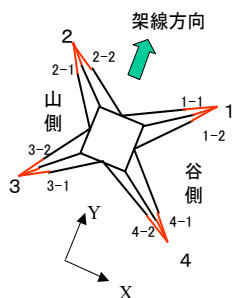


表-1 基部支柱材及び斜材に発生した軸力(kN) (欄内左の数値はモデルA、右はモデルE。+;引張、-;圧縮。)

要素番号	検討ケース					
	自重のみ	x0.2Gのみ	-x0.2Gのみ	(自重)+(x0.2G)	(自重)+(-x0.2G)	
支柱材	1	-75.4 / -95.1	-62.5 / -50.6	62.5 / 50.6	-137.9 / -145.8	-12.9 / -44.5
	2	-75.4 / -75.1	62.5 / 62.6	-62.5 / -62.6	-12.9 / -12.5	-137.9 / -137.7
	3	-75.4 / -75.2	62.5 / 62.6	-62.5 / -62.6	-12.9 / -12.5	-137.9 / -137.7
	4	-75.4 / -95.1	-62.5 / -50.6	62.5 / 50.6	-137.9 / -145.8	-12.9 / -44.5
斜材	1-1	-2.8 / -4.3	-14.2 / -26.5	14.2 / 26.5	-16.9 / -30.8	11.4 / 22.2
	1-2	-2.8 / -5.7	-1.4 / -5.9	1.4 / 5.9	-4.2 / -11.6	-1.4 / 0.3
	2-1	-2.8 / -2.8	1.4 / 1.5	-1.4 / -1.5	-1.4 / -1.3	-4.2 / -4.2
	2-2	-2.8 / -4.8	14.2 / 21.0	-14.2 / -21.0	11.4 / 16.1	-16.9 / -25.8
	3-1	-2.8 / -4.8	14.2 / 21.0	-14.2 / -21.0	11.4 / 16.1	-16.9 / -25.8
	3-2	-2.8 / -2.8	1.4 / 1.5	-1.4 / -1.5	-1.4 / -1.3	-4.2 / -4.2
	4-1	-2.8 / -5.6	-1.4 / -5.9	1.4 / 5.9	-4.2 / -11.6	-1.4 / 0.3
	4-2	-2.8 / -4.3	-14.2 / -26.5	14.2 / 26.5	-16.9 / -30.8	11.4 / 22.2

・動的解析：動的解析より得られた、基部支柱材及び斜材に発生した最大応答軸力を表-2に示す。表より、全てのケースにおいて支柱材は座屈軸力に達していないが、斜材2-2及び3-1は、全ての傾斜角において座屈軸力を超えている。また、支柱材において0度と45度では約0.8倍と、基礎傾斜が大きくなると応答値が小さくなるのに対

し、斜材において0度と45度では最大で3.4倍と、基礎傾斜が大きくなると長脚側の応答値が大きくなる。

表-2 基部支柱材及び斜材に発生した最大応答軸力(kN) (括弧内は座屈軸力、塗りつぶした箇所は座屈軸力を超えた部材)

要素番号	基礎傾斜					
	0度	15度	30度	35.5度	45度	
支柱材	1	578 (2030)	613 (1996)	480 (1769)	439 (2030)	441 (1849)
	2	726 (2030)	734 (2030)	572 (2030)	506 (2030)	557 (2030)
	3	726 (2030)	734 (2030)	572 (2030)	506 (2030)	557 (2030)
	4	578 (2030)	613 (1996)	480 (1769)	439 (2030)	441 (1849)
斜材	1-1	55 (77)	81 (85)	82 (82)	79 (95)	169 (90)
	1-2	12 (77)	18 (85)	24 (82)	30 (95)	45 (90)
	2-1	15 (77)	16 (77)	13 (77)	12 (77)	12 (77)
	2-2	87 (77)	96 (77)	92 (77)	88 (77)	149 (77)
	3-1	88 (77)	96 (77)	92 (77)	88 (77)	149 (77)
	3-2	15 (77)	16 (77)	13 (77)	12 (77)	12 (77)
	4-1	12 (77)	18 (85)	24 (82)	30 (95)	45 (90)
	4-2	55 (77)	81 (85)	82 (82)	79 (95)	170 (90)

4. まとめ

台湾において我国では例のない地震被害が発生した。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、我が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く、片継脚鉄塔の耐震性評価は重要な問題と考えられる。得られた知見を以下に示す。

・基礎の傾斜が大きくなると、自重による軸力は長脚側で増大し、架線直角方向の外力に対しては、支柱材から斜材へと応力の分担割合が変化する。従って、TCU084のように(MAX=817gal)大振幅を伴う地震動に対しては、基礎の傾斜が大きくなると、支柱材の応答は減少し、斜材の応答は増大すると考えられる。

・架線直角方向の水平1方向入力のみでの解析であったが、基部の斜材に座屈軸力を超える大きな軸力が発生しており、腹材の座屈が先行し、支柱材の全体座屈に至った可能性もある。

本研究では、鉄塔の架線直角方向の地震時挙動に与える架渉線の影響はほとんどない¹⁾ことから、架渉線は考慮していない。しかし、架渉線による死荷重応力を加算しておらず、また、架線方向に関しては架渉線の影響が大きく¹⁾、架渉線を集中質量として考慮したモデルに対し、架線方向にTCU084の合成波を入力したところ、基礎の傾斜が大きくなるほど支柱材の応答が大きくなり、座屈軸力を超えた²⁾ことから、今後は、水平2方向入力としてより詳細な検討を行う必要があり、架渉線の影響を適切に表現できる3基2径間モデルを作成する予定である。

参考文献

- 1) 鈴木敏朗, 玉松健一郎, 深沢隆: 送電用鉄塔の架渉線-鉄塔連成系地震応答に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第420号, 1991
- 2) 松田泰治, 大塚久哲, 内田広明, 池田征司: 集集大地震により倒壊した超高压送電鉄塔の耐震性に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 47A, 2001 (投稿中)