

集集大地震により倒壊した超高圧送電鉄塔に与える鉛直地震動の影響評価

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のもとより、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。超高圧送電鉄塔は、13基が完全倒壊する等、甚大な被害を受けた。その内、中寮～峨眉間の#203鉄塔は、基幹線に唯一完全倒壊した鉄塔であり、台湾の電力供給システムに致命的なダメージを与えた。

著者らはこれまでに、#203鉄塔が片継脚鉄塔であることに着目し、地震時の振動による被害の可能性を解析的に検討してきた¹⁾。その結果、付近で観測された地震波を水平二方向入力とした場合、複数の部材が許容座屈軸力を超え、倒壊に至る可能性があるとの知見が得られた。特に等脚鉄塔に比べて片継脚鉄塔は、脚部が構造全体としての弱点となる可能性が高くなると考えられる。

本研究では、これまでの水平二方向入力に加えて鉛直方向に地震波を入力し、送電鉄塔に与える鉛直地震動の影響を検討した。

2. 超高圧送電鉄塔の被害

写真-1は倒壊した#203鉄塔である。根本付近から谷側へ向かって、架線直角方向に倒壊している。#203の基礎そのものは健全であったと報告されている。また、#203の両側の#202と#204の鉄塔はほとんど無被害であった。#203は、345kVのB5型鉄塔、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となる。

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送電鉄塔のモデル化を行った。解析モデルを図-1に示す。345kVのB5型鉄塔が直線状に連続して配置された状態を想定し、鉄塔間の径間長は現地の情報から全て550mと仮定した。中央鉄塔を検討対象とした。モデルAは三基とも等脚鉄塔、モデルBは中央鉄塔のみ支間の傾斜角が30度の片継脚鉄塔とした。実際の#203の支間の傾斜角は35.5度と推測される。鉄塔単体の総重量は、モデルAが370kN、モデルBが401kNであり、一径間あたりの電線と地線の総重量は215kNである。図-2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、架渉線を弦要素とし、全て線形材料でモデル化した。懸垂碍子に関する詳細な情報を入手できなかったため、懸垂碍子のモデル化は行っていない。基礎は固定とした。山形鋼の減衰定数は2%、架渉線は0.4%で考慮し、動的解析においては、固有値解析によりひずみエネルギー比例型のモード減衰定数を算定し、有効質量の卓越したモードにより、レーリー減衰を定義した。

解析には集集大地震で観測された実地震波を三波用いた。ここでは、鉛直方向に最大の加速度(716gal)が観測されたCHY080を入力した場合の解析結果を示す。図-3は、CHY080の加速度応答スペクトルである。波形

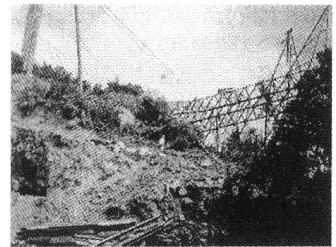


写真-1 倒壊した345kV超高圧送電鉄塔（中寮～峨眉間の#203）

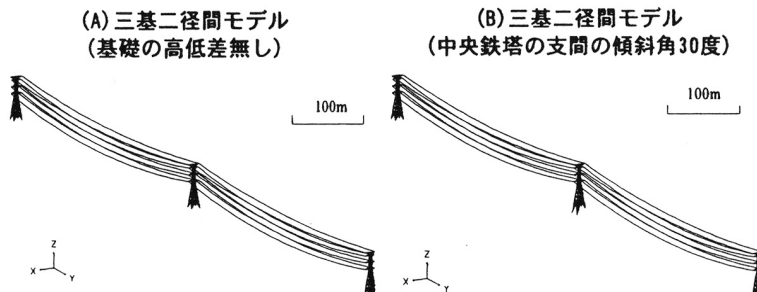


図-1 モデル図

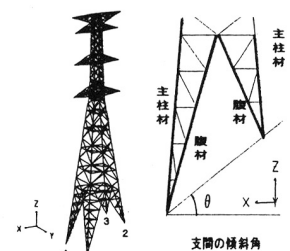


図-2 基部支柱材の番号及び支間の傾斜角

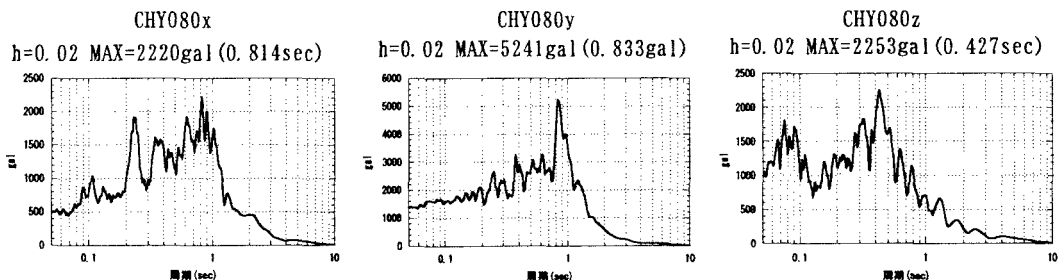


図-3 加速度応答スペクトル

名の後に地震波の入力方向xyzを付記した。

固有値解析結果を表-1に示す。表より、支間の傾斜による固有値の変化はほとんどない事が分かる。

自重解析及び動的解析結果を図-4, 5に示す。動的解析は、自重による初期応力を与えた状態で行った。図-4は、基部支柱材4本の内、最大の軸力が発生した基部支柱材3に着目し、最大圧縮軸力を許容座屈軸力で無次元化したものを横軸に、基部支柱材3の配置されている支柱の高さ方向を縦軸に取ったものである。図-5は、モデルAの基部支柱材1の応答軸力時刻歴である。図-4より、鉛直動入力時に生じる軸力は、水平二方向入力時に生じる軸力の1/10～1/18(頂部を除く)であり、また、自重によって生じる軸力の1.5～1.8倍程度であった。また、水平二方向と三方向入力時で最大圧縮軸力にほとんど差がないのは、図-5に示すように、最大軸力を生じる時刻が水平二方向入力時と鉛直動入力時で異なったためであると考えられる。

表-1 固有周期(sec)

モード			モデル		
			モデルA	モデルB	備考
架渉線	架線直角方向	1次	8.152	8.152	
	鉛直方向	1次	3.163	3.163	
中央鉄塔	架線直角方向		0.481	0.484	(地線は15次, 電線は20次)
		1次	0.466	0.468	(地線は16次, 電線は21次)
			0.454	0.455	(地線は17次, 電線は23次)
	架線方向	2次	0.185	0.203	
		1次	0.743	0.749	(地線は10次, 電線は12次)
	鉛直方向	2次	0.269	0.273	
		1次	0.069	0.071	

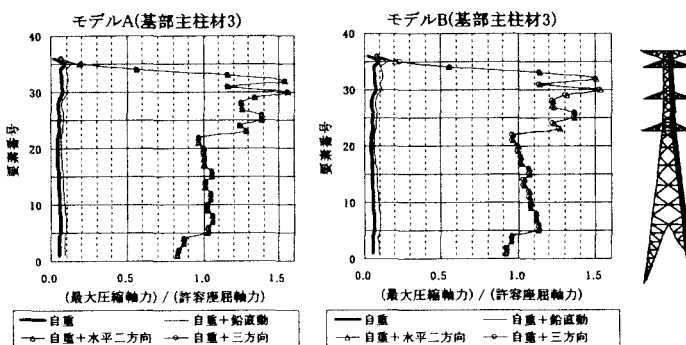


図-4 地震波の入力方向による最大圧縮軸力の比較

4. まとめ

本研究では、送電鉄塔に与える鉛直地震動の影響を検討した。本解析においては、鉛直動入力時に生じる軸力は、水平二方向入力時に生じる軸力に比べて小さく、また、自重によって生じる軸力の2倍を超えなかった。対象鉄塔の動的な応答に与える鉛直動の影響は小さく、水平動が支配的であるといえる。

今回の解析では、架渉線は弦要素としてモデル化したが、架渉線は弛度が大きく幾何学的非線形性の影響が大きいと考えられる。今後はその幾何学的非線形性を検討する予定である。

〈参考文献〉 1) 松田泰治, 大塚久哲, 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解析的検討, 構造工学論文集, Vol.48A, 2002(掲載予定)

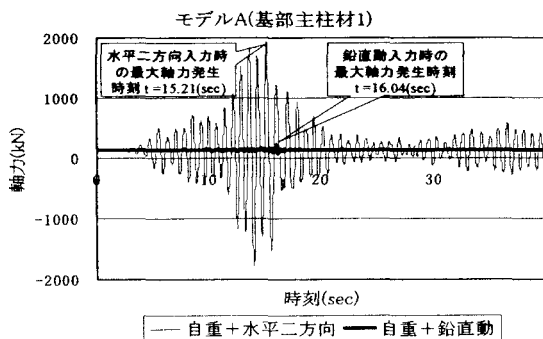


図-5 地震波の入力方向による応答軸力時刻歴の比較