

超高压送電鉄塔の地震時挙動に与える懸垂罫子の影響評価

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。超高压送電鉄塔は、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、基幹線で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入力した場合、脚部に全体座屈が発生し倒壊に至る可能性があるとの知見が得られた。

ここで、既往研究では耐張型鉄塔として検討を行ってきたが、現地より懸垂罫子の詳細に関する情報を入手したため、本研究では懸垂罫子の有無による鉄塔の動的挙動の差異を比較検討した。

2. 超高压送電鉄塔の被害

写真-1は倒壊した#203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おり、架線は寸断されていない。そのため、#203と隣接している#204は、腕金主材の一部が折れ曲がったと報告されている。#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。隣接鉄塔は中央鉄塔と1次固有周期の等しい等価ビームモデル(耐張型)とした。中央鉄塔は、モデルAが耐張型、モデルBが懸垂型とした。鉄塔単体の総重量は370kNであり、一径間あたりの架渉線の総重量は215kNである。部材は全て線形材料でモデル化し、主要構造材である支柱材及び水平材、脚部の斜材をはり要素、他の補助材をトラス要素とした。架渉線及び懸垂罫子はトラス要素とし、幾何学的非線形性を線形化有限変位理論により考慮した。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、固有値解析において有効質量の卓越したモードより、レーリー減衰を定義した。解析には台湾集集地震で観測された実地震波を3波(×2方向)用いた。ここでは、架線直角方向にTCU084x及びTCU068x、架線方向にTCU084yを入力した場合の解析結果を示す。図-2は、加速度応答スペクトル($\eta=2\%$)である。

固有値解析結果を表-1に示す。表よりモデルA及びBは、

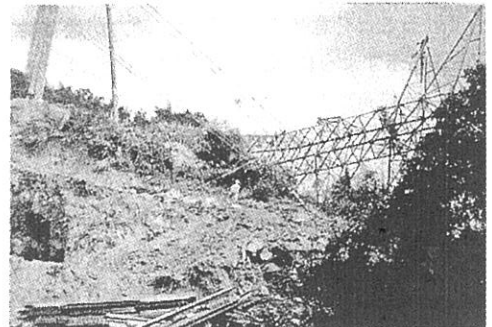


写真-1 倒壊した345kV超高压送電鉄塔
(中寮～峨眉間の#203)

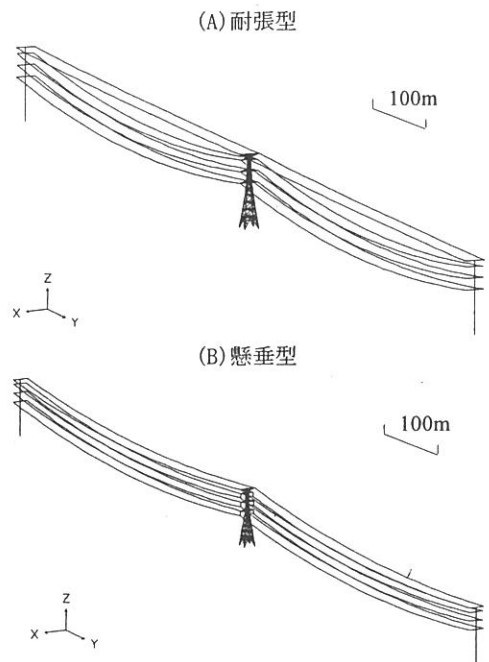


図-1 モデル図

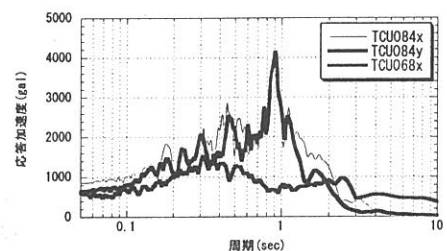


図-2 加速度応答スペクトル($\eta=2\%$)

架線直角方向及び鉛直方向はほぼ同様の振動モードとなっている。モデルBの架線方向は、連成系のモードが基本となってそれに中央鉄塔が同位相で振動するモード(0.820sec)と中央鉄塔のみが振動するモード(0.428sec)が存在しており、モデルAにおいて中央鉄塔と連成系が一体となって振動するのとは異なる。

自重による初期応力状態を再現した後に動的解析を行った。支柱材に発生した最大圧縮軸力を図-3に、モデルBの架線方向にTCU084yを入力した場合の基部支柱材の軸力のフーリエスペクトルを図-4に示す。

図-3(a)(b)からも分かるように、架線直角方向の軸力はモデルA、Bともにほぼ同様の挙動を示す。一方、架線方向は図-3(c)において大きく異なっている。これは、耐張型に比して懸垂型に与える架渉線の影響が小さいためと考えられる。また、頂部においては懸垂型のほうが大きな軸力が生じている。これは懸垂型鉄塔において、電線には懸垂罫子が付加されているが地線には付加されていないためと考えられる。更に、図-4より連成系の1次モード(0.820sec)の他に、中央鉄塔の1次モード(0.428sec)も卓越している。本解析条件においては、中央鉄塔の1次モードが応答値に与える影響は相対的に小さいが、連成系と懸垂型鉄塔の周期差によってはその影響を無視できないことも考えられる。

4. まとめ

本研究では、懸垂罫子の有無による鉄塔の動的挙動の差異を比較検討した。得られた知見は以下のとおりである。

- ・架線直角方向においては、両者はほぼ同様な動的挙動を示す。
- ・架線方向においては、両者は異なる挙動を示す。具体的には、耐張型鉄塔に比して懸垂型鉄塔に与える架渉線の影響が小さいこと、異なるモードが卓越する可能性があること、頂部において懸垂型の方が大きな軸力が生じることの3点が挙げられる。

<参考文献>

- 1) 松田泰治, 大塚久哲, 池田征司: 耐張型鉄塔の動的挙動に与える架渉線の影響評価～台湾集集地震により倒壊した超高压送電鉄塔を対象として～, 構造工学論文集, Vol.49A, 2003(掲載可)

表-1 固有周期(sec)

モード			モデル		
			A	B	備考
架線 直角 方向	電線	1次	7.688	7.944	架渉線の次数の違い
	中央 鉄塔	1次	0.473	0.480	
			0.469	0.466	
			0.456	0.462	
架線 方向		2次	0.185	0.185	
	連成系	1次	0.747	0.820	中央鉄塔と電線が同位相
	中央 鉄塔		0.428	中央鉄塔と電線が逆位相	
	中央 鉄塔		2次	0.264	0.182
鉛直 方向	中央 鉄塔	1次	0.069	0.071	

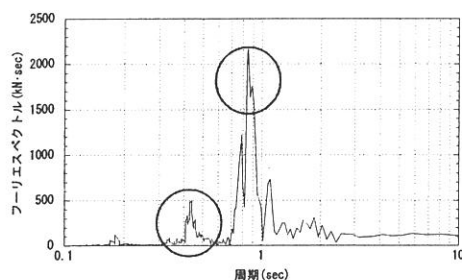


図-4 基部支柱材の軸力のフーリエスペクトル (モデルBの架線方向にTCU084y入力時)

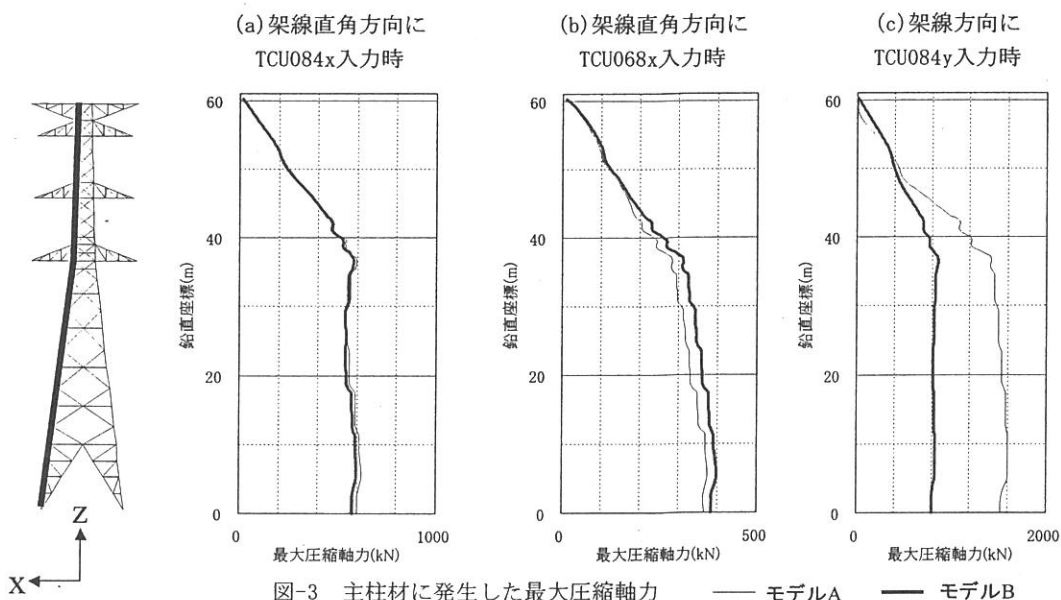


図-3 支柱材に発生した最大圧縮軸力 ——— モデルA ——— モデルB