

送電鉄塔用鉛ダンパーの履歴特性と減衰効果について

東電設計(株) 正会員 ○山崎 智之

東電設計(株) フェロー会員 中村 秀治 東電設計(株) 正会員 本郷榮次郎

東京電力パワーグリッド(株) 土田 陽一

1. はじめに

送電鉄塔のレベル 2 地震動に対する耐震性能評価が行われているが、先に筆者らは、腹材のせん断ボルト接合部のボルト穴のクリアランス部に管状の鉛を充填する送電鉄塔用鉛ダンパーを試作し、特定の接合構造に対する鉛ダンパーの履歴減衰特性を把握して、これを組み込んだ鋼管鉄塔の等価減衰定数は4～5%程度との結果を得ている¹⁾。既設の鉄塔への適用を考慮すると、ボルト径、プレート板厚、鉛厚によるダンパーの履歴特性の定量化が必要となることから、本論では、鉛ダンパーを適用する鉄塔接合部の実構造を踏まえた、鉛ダンパーの履歴減衰特性試験を実施するとともに、得られた履歴特性を踏まえた鉄塔の地震時動的応答解析を実施し、等価減衰定数を求めた。

2. 送電鉄塔用鉛ダンパーの履歴特性試験

鉛ダンパーの履歴特性試験ケースは、表-1 に示すとおりであり、継手構造は、溝形継手を模擬した一面せん断、十字継手を模擬した二面せん断の2種類、ボルトは、M20-2本、M24-2本、板厚はボルトサイズに応じた規定値とし、鉛厚は3mmと4mmとした。試験で使用した鉛は、0.2%耐力：5.3(MPa)、引張強さ：15.4(MPa)の純鉛とした。また、繰り返し荷重方法は、静的と動的とした。静的荷重試験の荷重条件は、小・中・大の荷重レベル各3ループとし、荷重速度は1ループあたり120秒とした。動的荷重試験の荷重条件は、一面せん断M20の場合、120kN、20ループ、二面せん断M24の場合、390kN、40ループとし、適用を想定している鉄塔の固有周期を基本に荷重周期は1.0秒に設定した。荷重方法は、1000kN試験機を用いて荷重制御により行い、変位は継手に設置した変位計(標点距離90mm)を用いて計測した。荷重試験実施状況を図-3に示す。

静的荷重試験の結果の一例を図-4に示す。履歴ループは、荷重振幅によって顕著に変化し、荷重依存性を有することがわかる。また、図-5に二面せん断における動的荷重試験の結果を示すが、静的荷重の場合と同等の履歴特性を示している。ただし、荷重回数の増加に伴って、変位量が増加する傾向が見られ、鉛の温度上昇、隙間からの鉛の漏出の影響によるものと考えられる。

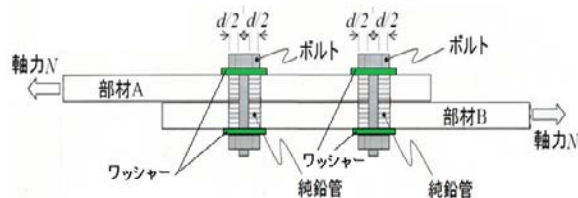


図-1 鉄塔用鉛ダンパー概念図



図-2 ボルト孔に充填したリング状の鉛

表-1 履歴特性試験ケース

試験 ケース	継手	ボルト		板厚A (mm)	板厚B (mm)	鉛厚 (mm)	荷重方法	
		呼径	強度				静的	動的
1	一面 せん断	M20	6.8	12	9	3	○	—
2						4	○	—
3						3	○	○
4				12	12	4	○	○
5						3	○	—
6						4	○	—
7	二面 せん断	M24	9.8	16	16	3	○	—
8						4	○	—
9		M20	6.8	16	9	3	○	—
10					(2枚)	4	○	—
11					12	3	○	○
12					(2枚)	4	○	○
13		M24	9.8	19	12	3	○	—
14					(2枚)	4	○	—

表-2 静的試験荷重荷重(kN)

ボルト	一面せん断			二面せん断		
	小	中	大	小	中	大
M20	40	80	120	80	160	240
M24	80	160	240	120	240	360



図-3 荷重試験実施状況

キーワード 送電鉄塔、レベル2地震動、耐震性能、鉛ダンパー、履歴特性、減衰定数

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 東電設計株式会社電気本部

TEL: 03-6372-5836 E-mail: m.yamazaki@tepsco.co.jp

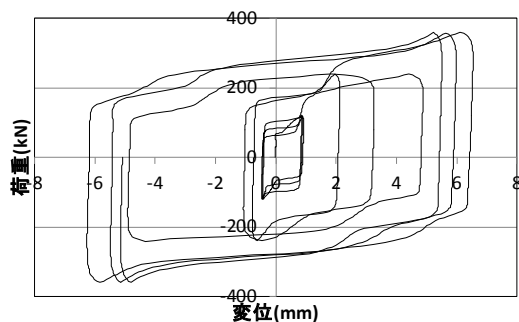


図-4 静的載荷試験結果 (ケース 14)

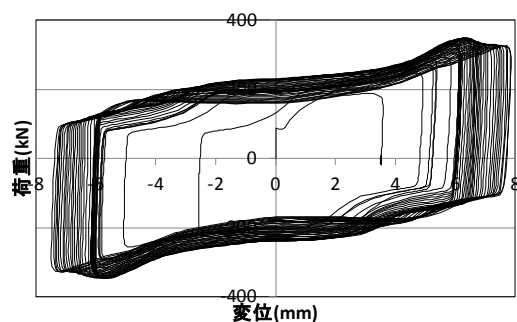


図-5 動的載荷試験結果 (ケース 14)

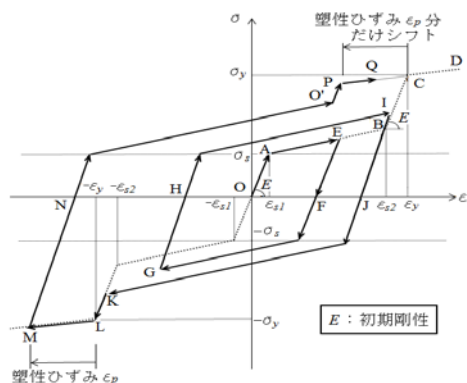


図-6 鉛ダンパーを含めた部材の履歴則

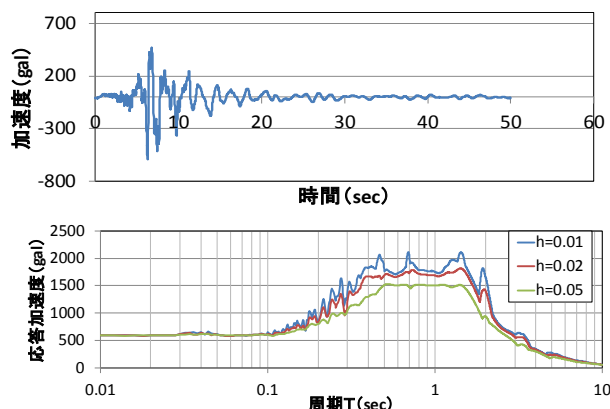


図-7 入力地震動の加速度波形と応答スペクトル

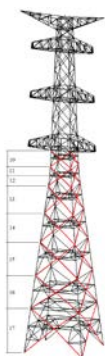


図-8 解析モデル

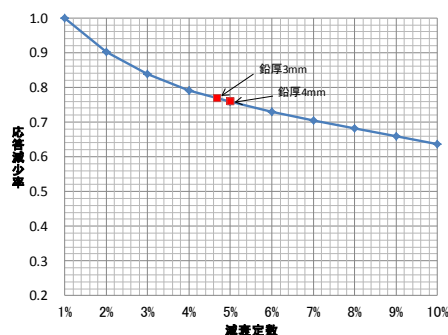


図-9 応答減少率と等価減衰定数

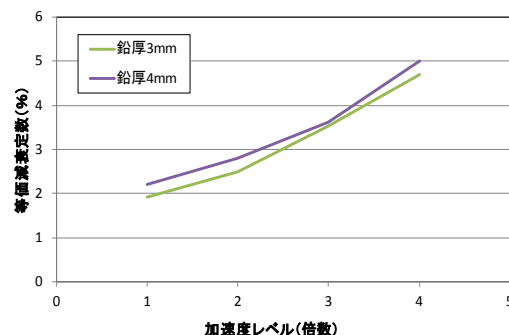


図-10 等価減衰定数の加速度影響

3. 地震時動的応答解析

試験で得た履歴ループのモデル化は、図-6 に示すように多直線で近似するものとし、ボルトすべり開始時荷重 P_s 、滑り開始時変位 δ_s 、履歴ループの囲む面積を求めて、履歴ループの第2勾配を定めた。解析モデルは、図-8 に示す塔高 92.5m の 500kV 鋼管鉄塔とし、現地適用を想定する赤で示した腕金下の腹材継手に鉛ダンパーを設置した。入力地震波はダンパー設置に伴う鉄塔剛性の変化による入力地震動の周波数影響を極力排除するため、鉄塔の固有周期 (1.0 秒) 近傍の加速度応答スペクトル形状がフラットな地震波 (東神戸大橋周辺地盤上 N12W 成分) を適用し、鉛ダンパーの振幅依存性を考慮して加速度レベルを 1~4 倍に設定した。減衰定数を変化させた線形解析の結果 (図-9) との対比から、等価減衰定数は 2%~5% 程度の値が得られた。部材応力レベルと履歴ループの最適化によって減衰定数のさらなる向上が期待できるものと考えられる。

4. まとめ

今後、減衰定数を高めるための鉛ダンパーの構造・適用仕様 (締め付けトルク、鉛厚、隙間有無、適用本数) に対するパラメータスタディー、鉛ダンパーの最適配置の検討、現地施工方法の検討を予定する。

参考文献 1) 中村秀治, 山崎智之, 本郷榮次郎, 大野木亮太, 土田陽一: 送電鉄塔用鉛ダンパーの履歴特性と期待される等価減衰定数について, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.72, 2016.