

送電鉄塔用鉛ダンパーの履歴減衰効果について

東電設計(株) フェロー会員 ○中村 秀治

東電設計(株) 正会員 山崎 智之 東電設計(株) 正会員 本郷榮次郎

東京電力(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向上を検討する一環として、送電鉄塔用鉛ダンパーの外力-変位関係を検討し、前報¹⁾で報告した。本報告においては、鉛ダンパーの履歴特性試験結果に基づいて骨格曲線および履歴ルールを定めて、鋼管鉄塔単体の解析モデルに適用し、非線形応答解析で応答低減効果を確認する。更に、実務として鉄塔-架渉線連成系を地震応答解析する際に用いる等価減衰定数について考察する。

2. 鉄塔用鉛ダンパーの骨格曲線

鉛ダンパーを用いた鉄塔部材の骨格曲線は図-1のように設定する。最初は部材の弾性勾配で変化し、滑り応力 σ_s に達した後は鉛の材料物性で勾配が変化し(第2勾配)、ボルトが噛合った後は部材の弾性勾配(第3勾配)で変化する。応力が鋼の降伏応力 σ_y に達した後は、塑性(第4勾配)を考慮すると共に、繰返し荷重に対して移動硬化も考慮するものとする。骨格曲線を定義する歪と応力の値は原点に対して正負対称モデルである。骨格曲線は具体的下記①~④の区間からなる。

- ・骨格線①(O-A): 原点Oから滑り始めA点までの区間。接線剛性は初期剛性E。
- ・骨格線②(A-B): 滑り始めA点(σ_s)からボルト噛合い始めB点までの区間。接線剛性は k_1E 。
- ・骨格線③(B-C): ボルト噛合い始めB点から降伏点C点(σ_y)までの区間。接線剛性はE。
- ・骨格線④(C-D): 降伏点(σ_y)C点を越えた区間。接線剛性は k_2E 。

履歴モデルを用いる際に入力するパラメータは、以下の通りとする。また、除荷時は第1勾配で戻るものとする。

- ・ ϵ_{s1} : 滑り始め応力(σ_s)に対応する歪値
- ・ ϵ_{s2} : ボルト噛合い始め($\epsilon_{s1} + \Delta\epsilon$)に相当する歪値
- ・ ϵ_y : 降伏応力(σ_y)に対応する歪値
- ・ k_1 : 滑り時の剛性低下率 ・ k_2 : 降伏後の剛性低下率

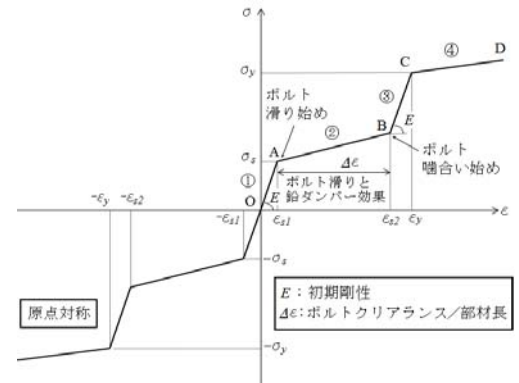


図-1 鉛ダンパー使用鉄塔部材の骨格曲線

3. 鉄塔用鉛ダンパーの履歴ルールと履歴の具体例

実験結果に基づき、また、文献2)等を参照して、本報告で用いる履歴の基本ルールを以下に示す。履歴の具体例を図-2に示す。

- ・rule 1: 応力 σ が滑り始め応力 σ_s 以下の弾性域では、載荷、除荷時共に傾きEの直線上移動。
- ・rule 2: 応力 σ が滑り始め応力 σ_s 以上、かつボルト噛合い状態でない領域は鉛ダンパー効果域であり、載荷時は傾き k_1E の直線上、除荷時は傾きEの直線上を移動。
- ・rule 3: ボルト噛合い状態かつ応力 σ が降伏応力 σ_y 以下では、載荷、除荷時共に傾きEの直線上移動。
- ・rule 4: 応力 σ が降伏応力 σ_y 以上の塑性域では、載荷時の傾き k_2E 、除荷時の傾きEの直線上移動。

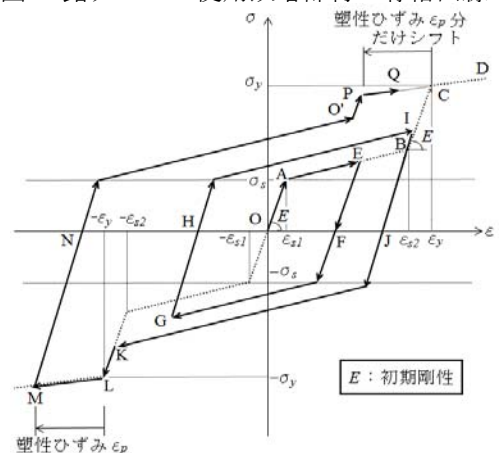


図-2 鉛ダンパー使用鉄塔部材の履歴則

キーワード 送電用鉄塔, レベル2地震動, 耐震性能, 鉛ダンパー, 等価減衰定数, 非線形FEM解析
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: 03-6372-5720 E-mail: h.nakamura@tepsc.co.jp

4. 送電用鉄塔への適用例

表-1, 図-3 に示す実鋼管鉄塔モデルに対して腕金下の赤線部材端に鉛ダンパーを配置した。解析に用いた ε_{s1} , ε_{s2} , ε_y , k_1 , ($k_2=0.01$)は試験結果に基づいて, 接合箇所 bolts 本数を考慮して, 各パネル毎に定めた。入力波は図-4 に示す十勝沖地震直別記録波(2003)³⁾を選定し, 鉛ダンパーの履歴減衰効果を確認するための非線形応答解析は, 前記履歴則をサブルーチンで TDAP-III に実装して実行した。

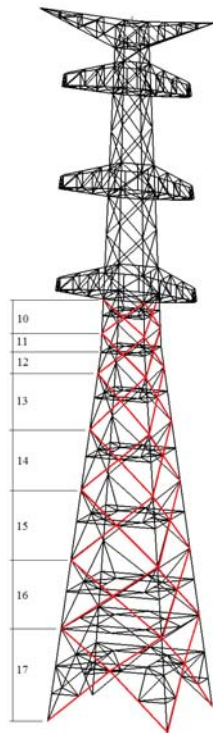


図-3 解析モデル

表-1 鉄塔概要

電圧 (kV)	回線数 (cct)	型名	塔高 (m)	継脚 (m)	1次固有周期(sec)
500	2	PB	92.5	55.5	1.025

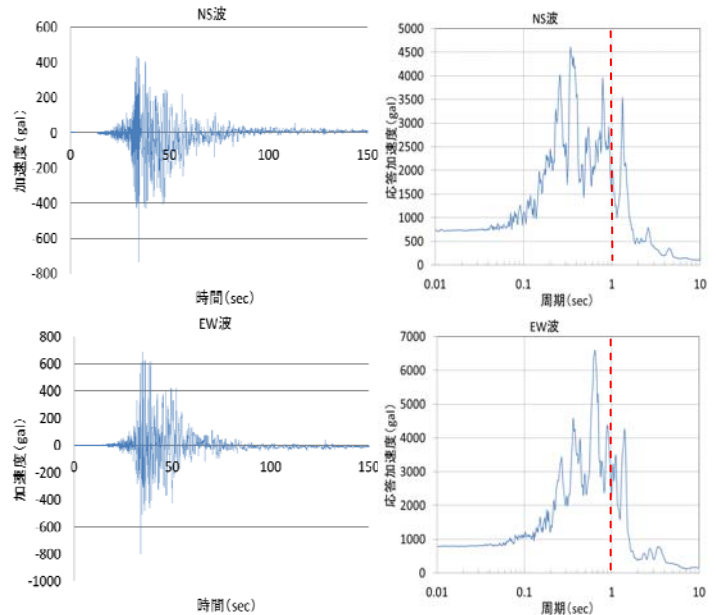


図-4 十勝沖地震直別記録波(2003)の加速度波形と加速度応答スペクトル(h=0.01) (赤点線は鉄塔1次固有周期)

ここでは減衰定数をパラメータとした線形解析の応答値とダンパーの履歴減衰を考慮した非線形解析の応答値から, 応答減少率を算出し, ダンパーによる履歴減衰効果を見出すものとした。減衰は1次固有周期に対する剛性比例型とした。

線形解析の結果および鉛ダンパーを考慮した履歴減衰効果による応答減少率を図-5に示す。図-5の横軸は鉛ダンパーを考慮しない線形解析に用いた減衰定数である⁴⁾。また, 縦軸は減衰定数1%における線形解析を基準とした応答減少率である。線形解析で減衰定数を増加させた場合の応答減少率を青色の実線で示し, 更に鉛ダンパーを考慮した非線形解析での応答減少率を実線にプロットすることにより, 鉛ダンパーによる履歴がもたらす等価減衰定数を算出した。ボルト滑り始め応力(σ_s)は, 計測経験に基づいて $\sigma_y/8$, $\sigma_y/16$ とし, 鉛厚2, 3, 4mmで解析した結果, 等価減衰定数は3.4%(鉛厚2mm, $\sigma_s=\sigma_y/8$), 4.2%(鉛厚4mm, $\sigma_s=\sigma_y/8$), 5.6%(鉛厚4mm, $\sigma_s=\sigma_y/16$)となった。

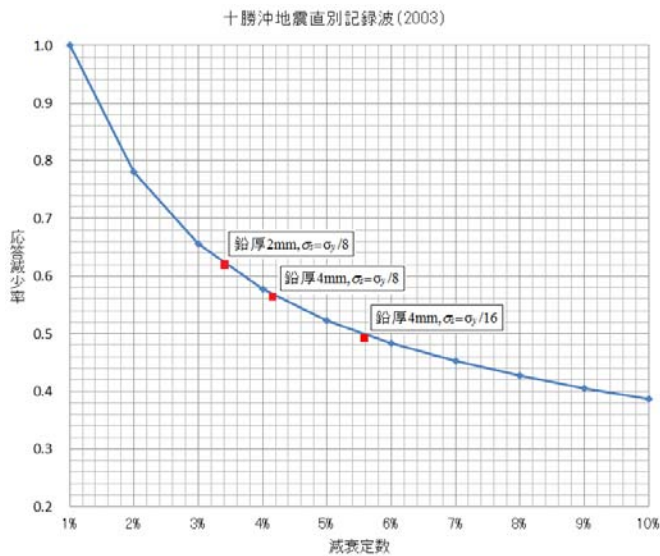


図-5 応答減少率と等価減衰定数

となった。ダンパーの特性値や配置を検討することで更に大きな等価減衰定数の期待できる見通しも得られた。

5. むすび

以上の通り, 送電鉄塔用鉛ダンパーの適用により高レベル地震時に大きな減衰定数を期待できることが明らかになった。今後, 送電鉄塔用鉛ダンパーの実用化に向けて, ①鉛ダンパーの最適特性値と最適配置の検討, ②鉛ダンパーの現地施工方法の検討, ③強震時, 鉛の変形に伴う鉄塔固有周期の伸びの影響検討, ④常時部材応力の作用による鉛の常温クリープの影響検討, 等が残されている。これらは更に検討すべき課題である。

参考文献 1) 山崎智之, 中村秀治, 本郷榮次郎, 久保田邦裕: 送電鉄塔用鉛ダンパーの履歴特性試験について, 土木学会第70回年次学術講演会概要集, 2015. 2) 原田浩之, 鈴木利哉, 浅野幸一郎: 周囲拘束型鉛ダンパーの減衰性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.588, 2005.2. 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, V耐震設計編(平成24年版) 4) 大野木亮太, 河原章夫, 久保田邦裕, 山崎智之, 中村秀治, 本郷榮次郎: レベル2地震動に対する送電用鋼管鉄塔の耐震性評価に用いる減衰定数について, 構造工学論文集, Vol.60A, 2014.3.