

(44) 地震観測データに基づく変圧器の振動特性

(財)電力中央研究所 正会員 岩楯敏広
(財)電力中央研究所 矢島 浩
東京電力(株) 正会員 畠山 昭
電気事業連合会 川本成志

1. まえがき

1978年に発生した宮城沖地震を契機として、電気事業連合会では、変電設備耐震特別委員会を組織し、変電機器の耐震設計法を検討し、変電機器の耐震対策指針¹⁾(以下、指針と略す)を策定した。そして、超高压、超超高压の4変電所において地震観測を実施し、実地震データにより指針の妥当性の検討を進めてきた。本報告は1979~87年の8年間にF変電所で観測した地震データに基づいて指針の妥当性を確認するとともに、数値シミュレーションにより変圧器の耐震安全性の確認をしたものである。

2. 観測地震データ

F変電所の観測点は、基盤(B点:深さ-15m)、地表(G点)、変圧器基礎上(F点)、変圧器頂部(T点:高さ15m)の合計4点で各点に水平2成分、上下1成分の地震計が設置してある。

1979年~1978年の8年間に観測された地震(M4~7)は89個(267波形)で、その地震の主要なものは福島県沖の海側に集中している(図1)。これらの記録のうち、F変電所の地表および変圧器の水平加速度が最大なものは1987年4月7日に観測されたM=6.6の地震で基盤で138gal、地表で451gal、変圧器頂部で787galを記録した(図2, 3)。

3. 地盤・変圧器の振動特性の把握

- ①地盤の卓越振動数として5~6Hz(水平)12~15Hz(上下)を得た。また、地盤の地表面増幅率は約2.8倍(水平)2.4倍(上下)となった。これらの値は、地震の加速度の大きさによって、顕著な差は見られず、地盤の非線形性の影響は小さいと考えられる(図4)。
- ②変圧器本体の卓越振動数は、6.0Hz(短辺方向: X)、9.5Hz(長辺方向: Y)となり、また地盤、変圧器連成系の卓越振動数は5.6~5.9Hz(短辺方向)、7.0~8.0Hz(長辺方向)となった。変圧器の短辺方向の卓越振動数は地盤の卓越振動数と比較的良好一致を示しており、これが変圧器の地震応答が大きくなった要因の一つと考えられる(図5)。
- ③変圧器頂部と地表間の増幅率は平均で約2.4倍であり、指針の基準値(2.0)とほぼ対応する(図6)。

4. 観測地震データによる設計基準値の検証

4月7日の大加速度地震データを含む地表面および変圧器基礎で観測した178の地震波形(水平加速度成分)の応答倍率を算定し、指針で採用されている共振正弦2波入力および共振正弦3波入力の応答倍率で示されている設計基準値と比較した。その結果、

- ①共振正弦2波入力の基準値を越える波形は178波中20波(約11%)、また共振正弦3波入力の基準値を越える波形は178波中1波で、これらの設計基準値がかなり安全側である事を確認した(図7)。
- ②178の全地震波形(水平成分)について、変圧器基礎と地表面の応答を比較した結果、基礎の応答は、振幅、スペクトルの両面でおおむね地表面の応答を下回っており、基礎の制震効果がある事を確認した(図8)。

5. 数値シミュレーションによる変圧器ブッシングの耐震性の確認

観測した地震の中から、大加速度地震データ（4月7日M6.6の地震）を選んで、当所で開発した3次元地震応答解析プログラム（RESP）を用いて、実地震データ入力による地盤・基礎・変圧器連成系の地震応答解析を行った。変圧器、ブッシングの加速度応答、ブッシングの曲げモーメントを算定し、観測値と比較した。さらに、同解析モデルを用いて変圧器に対する設計地震入力（地表面で0.3G共振正弦2波）による変圧器ブッシングの加速度応答、ブッシングの曲げモーメントを算定した。その結果、

- ① 実地震データによる計算値は、観測値と良い一致を示しており、大加速度入力に対しても、解析モデル、解析値が妥当である事を確認した（図9）。
- ② 設計地震力による計算値は、実地震データによる解析値を大きく上回っており、大加速度に対しても十分安全側の値である事が判った（図10）。

以上の結果より、大加速度を含む地震データに対する指針の妥当性および、F変電所地盤および変圧器の動特性を把握し耐震安全性を確認した。

参考文献

- 1) (社)日本電気協会
変電所等における電気設備の耐震対策指針 J E A G 5003-1980
- 2)、3) 地震観測からみた変電地盤と変圧器の振動特性 その1、その2
電力中央研究所 依頼報告 381574, 388509

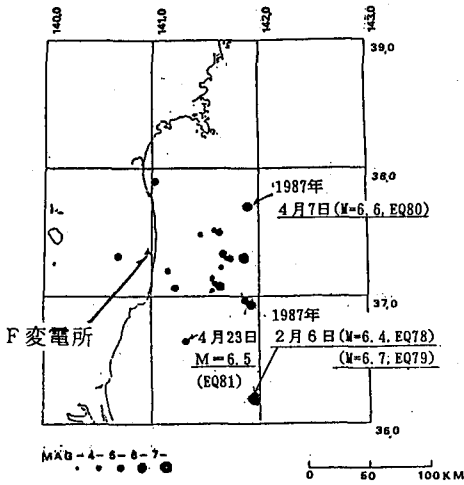


図1 地震の震央分布図

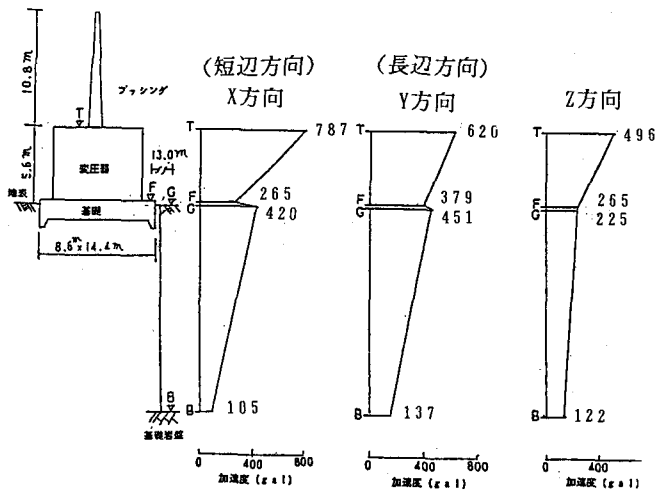


図2 実地震による最大加速度分布図

1987.4.7

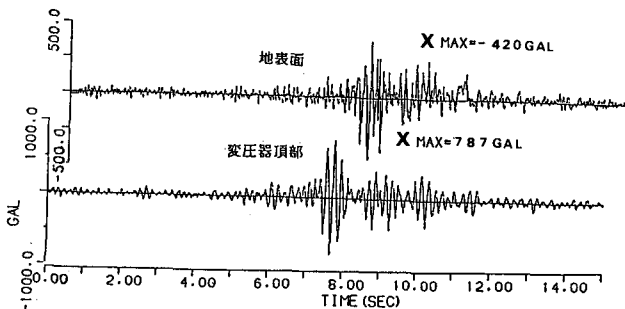


図3 加速度時刻歴の例 1987.4.7

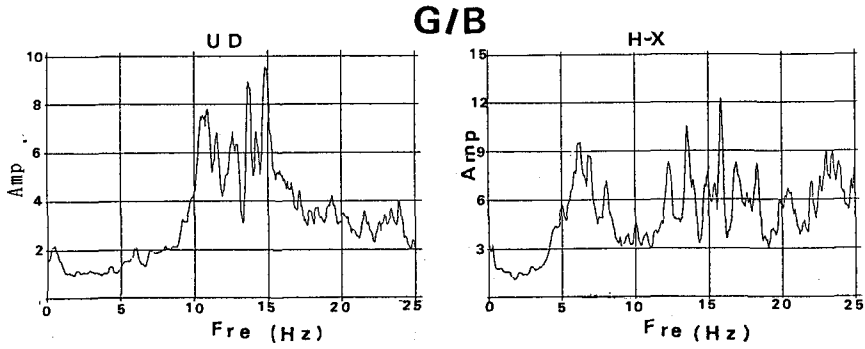


図4 地表と基盤とのフーリエスペクトル

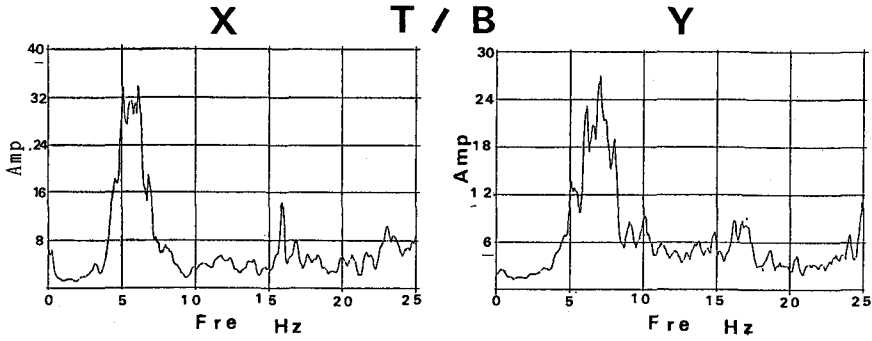


図5 変圧器と基盤とのフーリエスペクトル

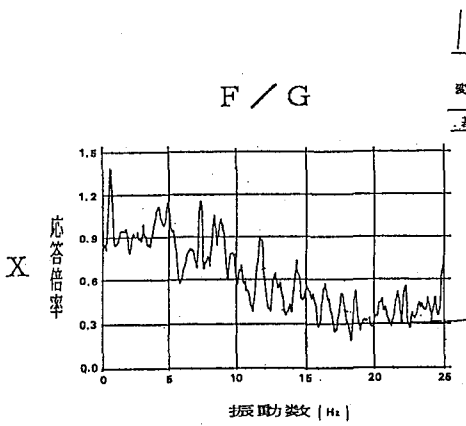


図8 変圧器基礎と地表とのフーリエスペクトル比

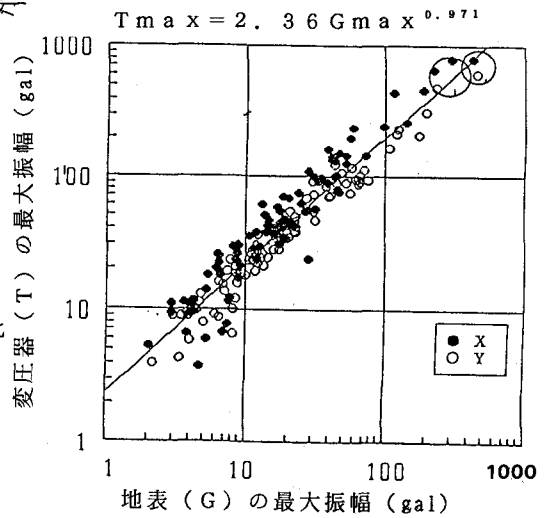
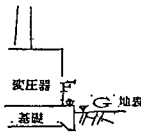


図6 変圧器と地表との最大振幅の比

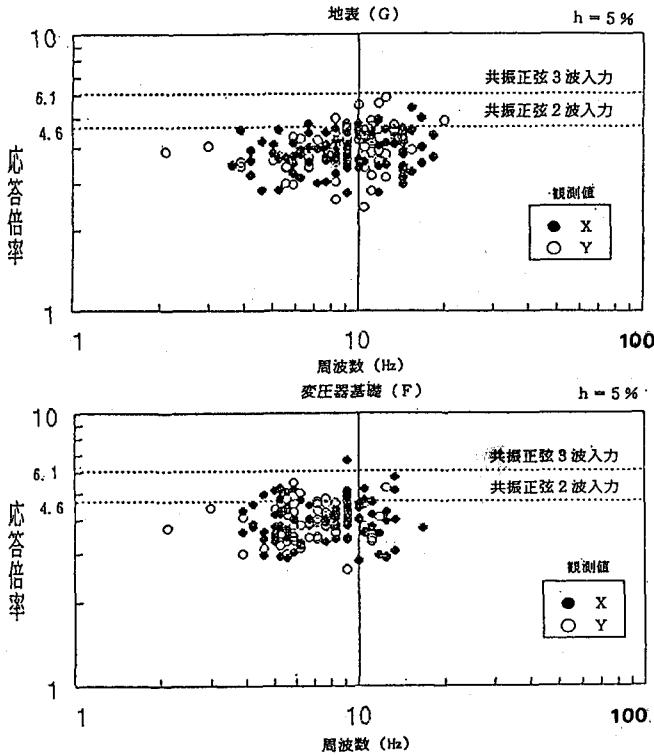


図7 標準化加速度応答倍率

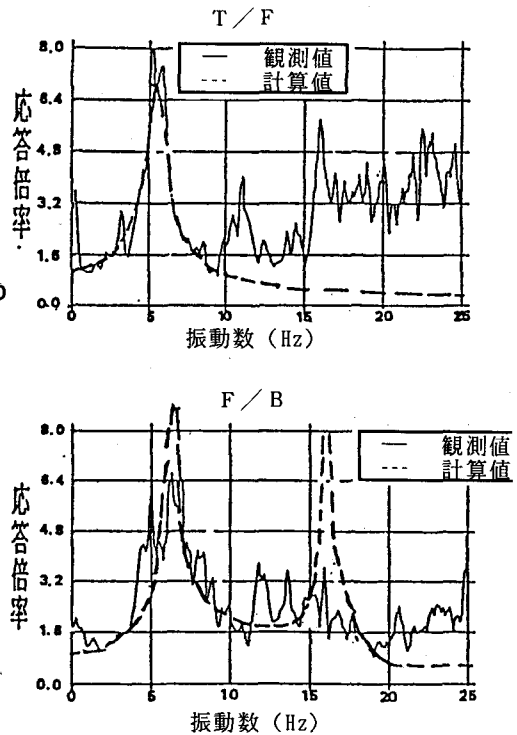


図9 変圧器の周波数伝達関数の観測値と計算値の比較

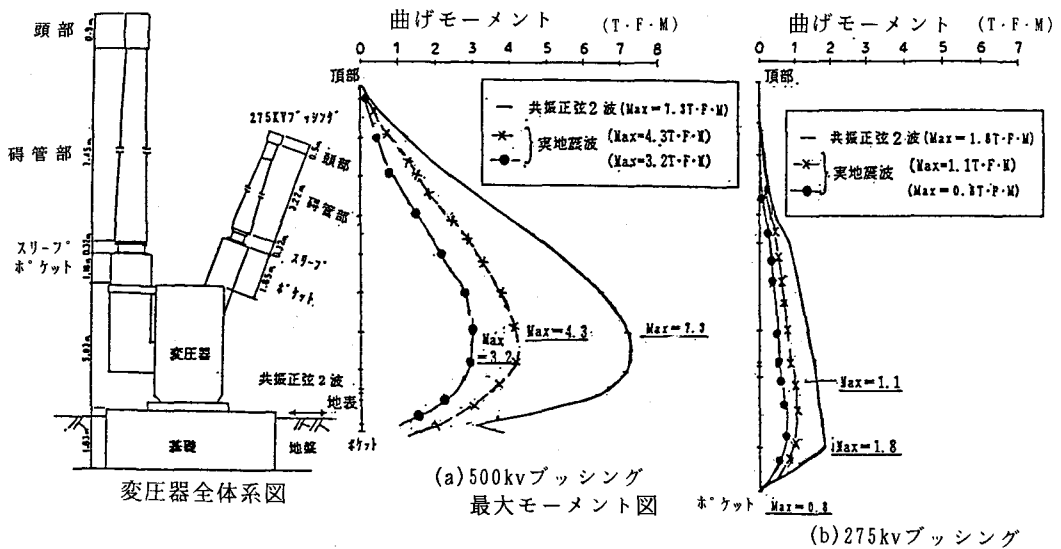


図10 実地震波入力と設計地震力による500kVブッシング、275kVブッシングの最大曲げモーメント比較図