

東京電力(株)技術開発研究所	正員	○鈴木 清
、	、	正員 坂本幸男
、	、	正員 鈴木英世

1. はじめに : 電力施設のうち変電所に設置される変圧器は、マツシブがコンクリート基礎の上に固定された剛な電気工作物であるが、近年の500kV級変圧器の導線引出し用絶縁体である端子製ブッシングは、変圧器上面に取り付けられた全長約8mの脆弱な棒状の部材である。このため水平動入力のほか、剛体の変圧器が地盤バネ上で起こすロッキング応答も、ブッシングへの入力として考慮する必要がある。本文では、地震の上下動成分が基礎へ変圧器系のロッキング応答に及ぼす影響を数値計算により検討した結果の一部を報告する。

2. 解析概要 : ① 解析モデルは図-1に示すように、当社種々高圧変電所設置の500kV変圧器を模擬したものであり、変圧器と基礎は剛体とみなして弾性解析を行った。

② 入力波は共振正弦3波とエルセントロ波を用いた。共振振動数は、基礎・変圧器へ地盤バネ系の水平方向の固有振動数とし、最大振幅(加速度)は水平方向で100gal、上下方向で50galとした。また正弦波の場合については、上下動と水平動の位相を変えて解析した。

③ 基礎と地盤とのバネ定数は、弾性論(Barkan)による計算結果($V_s = 400 \text{ m/sec}$ とした場合)と振動試験結果^(*)を参考として次のように定めた。鉛直バネ定数: $K_V = 2.0 \times 10^7 \text{ kg/cm}^2$ 、水平バネ定数: $K_H = 1.0 \times 10^7 \text{ kg/cm}^2$ 、回転バネ定数: $K_R = 1.3 \times 10^{12} \text{ kg}\cdot\text{cm/rad}$ 、減衰定数: $\eta = 10\%$ 。

3. 解析結果 : 解析結果として共振正弦3波を入力させた場合のブッシング基部の応答最大値を表-1、エルセントロ波の場合を表-2に示す。また、エルセントロ波の場合の応答波形を図-2, 3, 応答ベクトルを図-4~7に示す。

図表より結果をまとめると下記のとおりである。

① 共振正弦3波入力による水平応答加速度の最大値は、水平動入力の場合で527gal、水平・上下動入力の場合、位相に応じ500~555galとなった。またロッキング応答加速度の最大値は、水平動入力の場合で0.552 rad/sec²、水平上下動の場合は0.517~0.587 rad/sec²となった。

② エルセントロ波入力による水平応答加速度の最大値は、水平動の場合で180gal、水平・上下動入力の場合で184galとなった。またロッキング応答加速度の最大値は水平動入力の場合で0.155 rad/sec²、水平・上下動入力の場合で0.151 rad/sec²となった。

③ エルセントロ波の水平・上下動入力による応答波形及び応答ベクトルは、水平動の場合とはほぼ同様な形状を示した。

④ 共振正弦3波入力の場合、水平動と上下動の位相の違いによる応答加速度への影響は、水平・ロッキング成分とも10%程度であった。 $A_{HV} = A_H \times (1 \pm 0.1)$ (A_H : 水平のみ入力の応答、 A_{HV} : 水平・上下入力の応答)

4. あとがき : 解析結果より、共振正弦3波、エルセントロ波のうち上下動入力によるロッキング応答の増加は、共振正弦3波の位相差が 180° の場合で最大を示すが、その値は約6%にすぎない。これはロッキング応答が水平動によって大きく支配されるためと考えられる。今後本解析結果の検証を行うためには、振動実験及び実機での地震観測を実施する必要がある。

(*) 久田俊彦, 中川恭次, 木村栄一; 地盤の動力学的性質, 日本建築学会研究報告集, 22号, 1953。

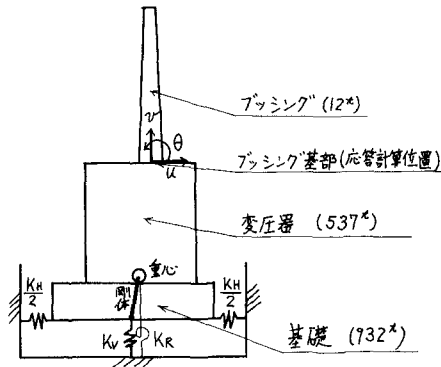


図-1. 解析モデル

表-1. 共振正弦3入力による応答最大値

(単位: cm, sec, radian 系)

入力	位相	成分	絶対加速度 加速度時刻	相対速度 速度時刻	相対変位 変位時刻		
水平 動のみ		u	527. 0.31	8.24 0.29	0.141 0.31		
		v	15.6 0.27	0.261 0.29	0.000437 0.27		
		θ	0.552 0.31	0.0093 0.29	0.000156 0.31		
水平・ 上下 動同時 入力	$\alpha=0^\circ$	u	500 0.31	7.78 0.29	0.133 0.31		
		v	905 0.08	0.574 0.06	0.00778 0.08		
		θ	0.517 0.31	0.00876 0.29	0.000146 0.31		
	$\alpha=90^\circ$	u	538 0.31	8.23 0.29	0.144 0.31		
		v	91.9 0.06	0.504 0.04	0.00653 0.06		
		θ	0.557 0.31	0.00919 0.29	0.000157 0.31		
	$\alpha=180^\circ$	u	555 0.31	8.70 0.29	0.149 0.31		
		v	68.1 0.03	0.410 0.28	0.00700 0.30		
		θ	0.587 0.31	0.00984 0.29	0.000166 0.31		
	$\alpha=270^\circ$	u	517 0.31	8.253 0.29	0.139 0.31		
		v	101 0.06	0.674 0.08	0.00994 0.21		
		θ	0.547 0.31	0.00941 0.29	0.000155 0.31		
備考	位相	水平動					
		上下動			<p>u: 水平成分 v: 上下成分 θ: ロッキング成分</p>		

表-2. エルセントロ入力による応答最大値

入力	成分	絶対加速度 加速度時刻	相対速度 速度時刻	相対変位 変位時刻		
水平 動のみ	u	180 2.34	2.24 2.37	0.0591 2.35		
	v	11.2 9.49	0.134 9.51	0.00149 4.70		
	θ	0.155 9.48	0.00238 2.37	0.000057 2.35		
水平 同時 上下 動	u	184 2.34	2.16 2.34	0.0550 2.35		
	v	724 0.82	0.478 9.05	0.00588 0.83		
	θ	0.151 2.35	0.00245 2.34	0.000038 2.35		

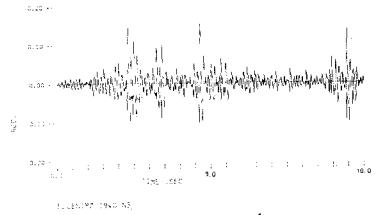


図-2 ロッキング成分の応答加速度波形(エルセントロ水平動入力)

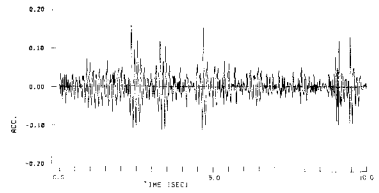


図-3 ロッキング成分の応答加速度波形(エルセントロ水平上下動入力)

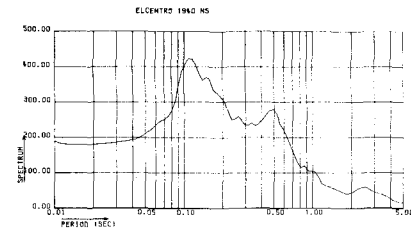


図-4 水平成分波形の加速度応答スペクトル(エルセントロ水平動入力)

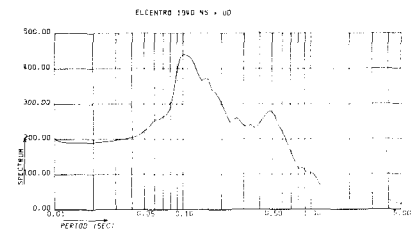


図-5 水平成分波形の加速度応答スペクトル(エルセントロ水平上下動入力)

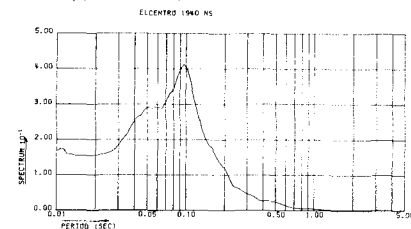


図-6 ロッキング成分波形の加速度応答スペクトル(エルセントロ水平動入力)

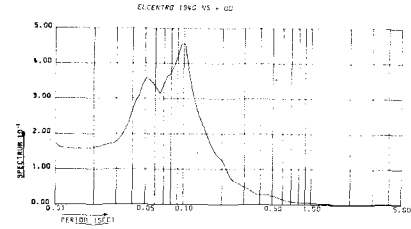


図-7 ロッキング成分波形の加速度応答スペクトル(エルセントロ水平上下動入力)