

東京電力㈱ 正会員 橋 本 哲
 東京電力㈱ 正会員 堀 口 潤 一
 東京電力㈱ 正会員 山 本 康 博
 日本工営㈱ 正会員 真 柴 純 治

1. まえがき

免震構法に関する研究例は数少ないが、近年、免震技術への関心が高まりつつある。本報告は変圧器の耐震安全性を向上させる目的で、すべり支承に復元パネを取り付けた免震装置を考え、その免震性能を検討した結果を報告するものである。

2. 免震装置の構造

免震装置は、免震対象物の構造特性に依存して設計されるが、ここでは免震対象物が重量機器で構造変更が許されないような場合に有効な装置を設計した。基本構造は上沓、下沓およびベアリングプレート（グラフィット埋込）から成るすべり支承と、復元パネで構成される。（図-1、2）荷重はすべり支承で支持し、復元パネとは分離している。地震時に摩擦力を越える水平力が作用すると、ベアリングプレートと上沓の間ですべりを生じ摩擦力が働らくとともに、ブッシュ型ラバー（NR）が剪断変形し復元力が生じる構造である。

3. 振動モデルと免震性能

上記の免震装置で支持される剛体の振動モデルを図-3に示す。このモデルの運動方程式は次式となる。

$$M(\ddot{x} + \ddot{\phi}) + C\dot{x} + Kx > \mu Mg \text{ のとき } M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx + \text{SIGN}(\dot{x})\mu Mg = -M\ddot{\phi} \quad \cdots(1)$$

$$M(\ddot{x} + \ddot{\phi}) + C\dot{x} + Kx \leq \mu Mg \text{ かつ } \dot{x} = 0 \text{ のとき } M\ddot{x} = 0 \quad \cdots(2)$$

ここに、 M は剛体の質量、 C は減衰係数、 K は復元パネ定数、 μ は摩擦係数、 g は重力加速度、 $\ddot{\phi}$ は入力加速度である。

図-4、5は、振動モデルの固有振動数（ T ）を2秒程度とした場合の摩擦係数と加速度応答倍率の関係、摩擦係数と相対変位の関係を実地振波について計算した結果を示す。加速度応答倍率は $\mu = 0.03 \sim 0.08$ で小さい値となり相対変位は $\mu \geq 0.08$ で小さい値となることが判る。図-6にベアリングプレートと上沓の摩擦特性試験結果を示す。面圧を調整することにより $\mu = 0.08$ 程度の値が十分得られることが明らかである。

4. 模型振動実験と数値計算

免震対象物として275KV変圧器を想定し、 $\mu = 0.08$ 、 $T = 2 \text{ sec}$ の免震装置について寸法縮尺比1/2の模型振動実験を行なった。表-1に代表的諸元の縮尺比を示す。計測項目は加速度および変位である。また数値計算は実験での加振台波形を入力値として(1)、(2)式をニューマークの β 法（ $\beta = 1/6$ ）で直接積分したものである。

実験波形および計算波形の一例を図-7に、実験値と計算値の比較を表-2に示す。実験結果より加振台の加速度は変圧器において約1/3～1/4に低減されており、加速度ピークをカットしている様子が波形から明らかである。また、相対変位はElcentro波、開北橋波で3cm程度、八戸港波で6cm程度の値を示している。さらに計算波形は実験結果を良好に再現しており、変圧器の加速度値、相対変位についても実験値と計算値は良好に一致している。

5. あとがき

本研究では、変圧器を対象とした免震装置を設計試作し、摩擦特性試験、模型振動実験および数値計算によってその基本特性を把握した。今後、免震性能について周波数特性を考慮した検討を進めるとともに実変圧器を対象とした実証観測を行なう予定である。

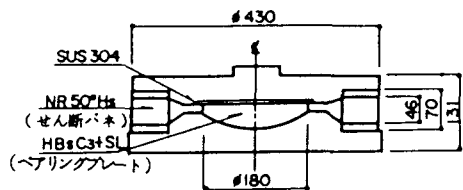


図 - 1 免震装置の構造



図 - 2 免震支持図

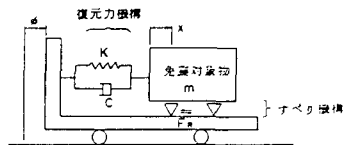


図 - 3 振動モデル

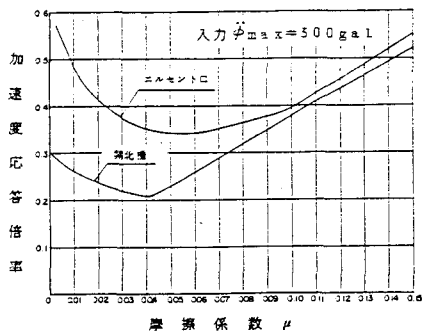


図 - 4 摩擦係数 - 加速度応答倍率曲線

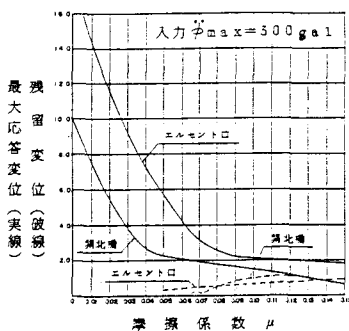


図 - 5 摩擦係数 - 相対変位曲線

表 - 1 縮尺比

寸法	$l_m = \frac{1}{2} l_p$
時間	$t_m = \frac{1}{2} t_p$
周波数	$f_m = 2.0 f_p$
質量	$m_m = (\frac{1}{2})^3 m_p$
加速度	$a_m = 2.0 a_p$

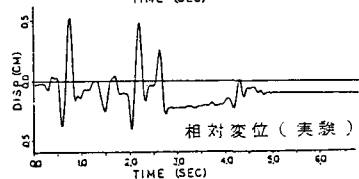
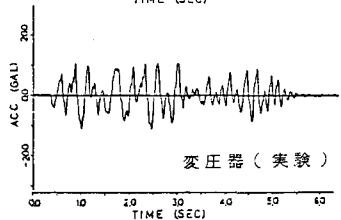
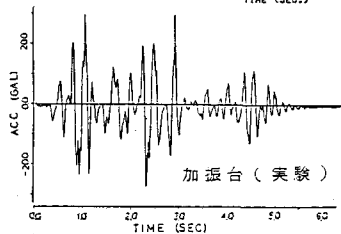
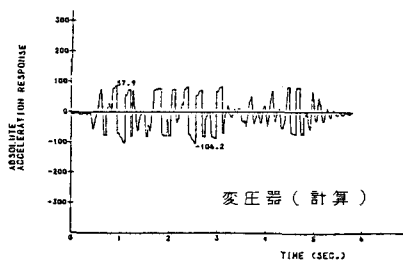


図 - 7 エルセントロ N S 波入力による応答波形

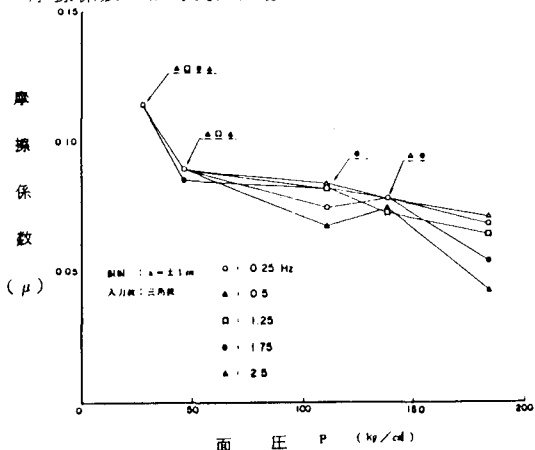


図 - 6 摩擦係数の面圧特性

表 - 2 実験値と計算値の比較

入力条件 加振台 側定値		応答値		
		変圧器加速度 (gal)	比率η= 実験/計算	免震装置の 相対変位(cm) プッシュ頂部の 加速度(gal)
エルセントロ 298 gal	実験値	110	0.94	212
	計算値	106		420
調北機 319 gal	実験値	80	0.92	415
	計算値	87		420
八戸港 386 gal	実験値	120	0.94	580
	計算値	128		404