

東京電力(株)技術開発研究所 正員

。鈴木 清

増田 瑛

鈴木 英世

1. まえがき : 昨今の送電用鉄塔の大型化に伴い、鉄塔基礎の地震時の動的な挙動を把握することは、強風時の検討とともに鉄塔基礎設計上の重要な課題の一つとなってきた。本文は、地盤～基礎～鉄塔における弾性範囲内での動的相互作用、並びに基礎形状の相違による振動特性に及ぼす影響を説明する目的で寸法縮尺70分の1の地盤・基礎・鉄塔模型を用いた加振実験結果の一部を報告するものである。

2. 実験概要 : 実験には図-1、表-1に示すような100万V級鉄塔を模擬し、相似則(表-2参照)に基づく縮尺70分の1の地盤・基礎・鉄塔模型を用いた。基礎形状は直接基礎(逆丁字型基礎)及び杭基礎とした。模型の材質は、地盤にフタル酸塩化ビニール樹脂、基礎にネオアレンゴム、鉄塔に硬質塩化ビニール樹脂を用いた。なお、鉄塔模型製作上、基礎と鉄塔はつなぎ梁を介して接合した。

実験方法は、静加力実験(地盤～基礎間の静的バネ定数の把握)、自由振動実験、正弦波加振実験(0.5～30 Hz)及びランダム波加振実験(El Centro, ハブ、宮城県沖地震の東京付近基盤波)とした。なお鉄塔構造部を直接振動台に固定した単体モデルと、地盤～基礎～鉄塔系の全体モデル実験を併せ実施した。

3. 実験結果 : 実験結果として地盤～基礎相互作用バネ定数を表-3に示す。地盤～鉄塔単体モデル、及び直接基礎、杭基礎全体モデルの1～3次共振振動数を表-4、共振曲線を図-2に示す。直接基礎、杭基礎全体モデルの加速度応答倍率による1～3次モードを図-3に示す。直接基礎、杭基礎全体モデルのランダム波加振実験による入力波と鉄塔天端での応答波形を図-4に示す。

図表より結果をまとめると下記のことが要約される。

① 正弦波加振実験による鉄塔単体モデル、及び直接基礎、杭基礎全体モデルの共振振動数は、鉄塔単体の振動性状が支配的のため地盤～基礎があってもほとんど差はみられず、また鉄塔の支配的1,2次振動モードに地盤モードが出現することより動的相互作用は、ほとんどないと言える。(図-2・3、表-4参照)

② 静加力実験、加振実験結果より、直接基礎の方が杭基礎に比べ地盤～基礎系の水平バネが約40%と小さいため、直接基礎では鉄塔からの振動の影響を受け杭基礎に比べ、スウェイ・ロッキング振動がやや大きい結果となっており、同一地盤条件であれば、直接基礎の方が杭基礎に比べ動的相互作用を受けやすいものと思われる。(図-3、表-3参照)

③ ランダム波加振実験による直接基礎、杭基礎全体モデルの各観測点の応答波形は、いずれの入力地震波に対しても良く似ており基本的性状の差は認められない。全体モデルの応答はいずれの入力波でも1Hz付近の鉄塔1次共振点の動きが支配的である。(図-4参照)

④ 正弦波加振実験によると直接基礎全体モデルの3次共振点において、基礎部にスウェイ・ロッキング振動が生じた。しかし、鉄塔天端の加速度応答倍率は、直接基礎で76倍、杭基礎で73倍とほとんど同じ値であったことは、基礎部スウェイ・ロッキング応答が全体モデルの挙動に与える影響が小さいためと推定される。(図-3参照)

4. あとがき : 今回の実験では、標準地盤として動弾性係数 1000 kg/cm^2 程度の比較的硬いローム層を想定したため地盤～基礎～鉄塔間の動的相互作用、及び基礎形状の違いによる影響はみられなかった。今後は、動的相互作用の生じやすいと考えられる軟弱地盤の杭基礎について模型振動実験も実施し地盤～基礎～鉄塔間の動的相互作用の検討を進めていきたいと考えている。

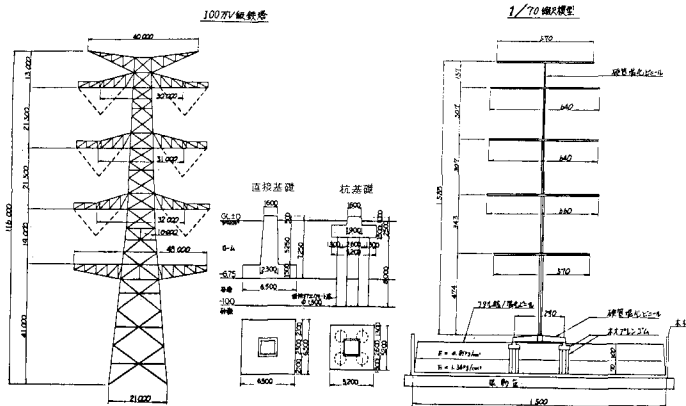


図-1 100kV鉄塔実機および1/70縮尺模型

表-1 実験・模型の物理定数

構造物	項目	実機	模型
上層	厚	6.75 m	10 cm
	弾性係数	972 kg/cm ²	0.81 kg/cm ²
下層	厚	4.90 m	7 cm
	弾性係数	2420 kg/cm ²	1.55 kg/cm ²
基礎	寸法	直接基礎: 6.5×6.5×1.5 m 杭基礎: 5.2×5.2×1.5 m (杭直径 1.3 m)	直接基礎: 9.3×9.3×2.1 cm 杭基礎: 7.4×7.4×2.1 cm (杭直径 1.9 cm)
	重量	直接基礎: 194 t 杭基礎: 198 t	直接基礎: 328 g 杭基礎: 335 g
	密度	2.3 t/m ³	1.21 t/m ³
	弾性係数	3×10 ⁹ kg/cm ²	1.07 kg/cm ²
鉄塔	高さ	114 m	163 cm
	根 間	20 m	29 cm
	重量*	449 t	759 g
	弾性係数	2.1×10 ⁸ kg/cm ²	1302 kg/cm ²

* 鉄塔重量にはケーブル重量も含んでいる。

表-2 相似率一覧表

項 目	次 元	相 似 率
* 長 さ L		1/70
質 量 M		1.69×10 ⁻⁴
時 間 T		0.44
* 質 量 密 度 M・L ⁻³		0.58
* 弾 性 係 数 M・L ⁻¹ ・T ⁻²		6.2×10 ⁻⁴
加 速 度 L・T ⁻²		0.074
振 動 数 T ⁻¹		2.27
力 M・L・T ⁻²		1.25×10 ⁻⁷
曲 げ 剛 性 M・L ³ ・T ⁻²		2.55×10 ⁻¹¹

* : 基本物理量

表-4 共振振動数

単位: Hz

	1 次	2 次	3 次
鉄塔単体モデル	1.1	4.0	8.6
直接基礎全体モデル	1.1	3.9	8.4
杭基礎全体モデル	1.1	4.0	8.6
七層単体モデル	—	—	9.4 (1 次)

表-3 相互作用係数

	水平相互作用係数 (kg/cm)	回転相互作用係数 (kg・cm/cm)
直接基礎	6.99	25314
杭基礎	16.70	36626

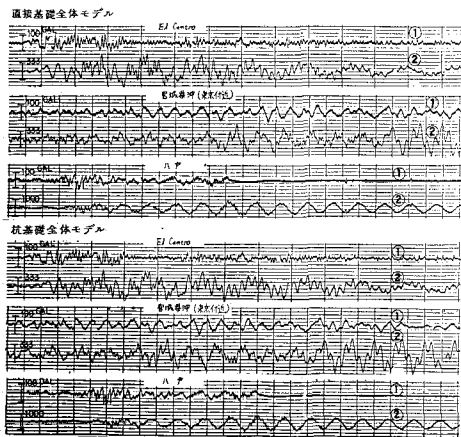


図-4 ランダム振動実験 (全体モデル) 入力および鉄塔塔頂応答波形

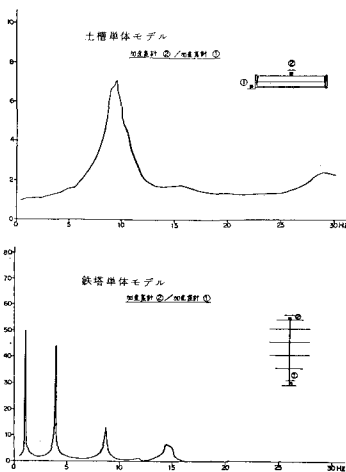
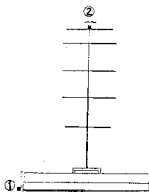


図-2 加速度応答率曲線

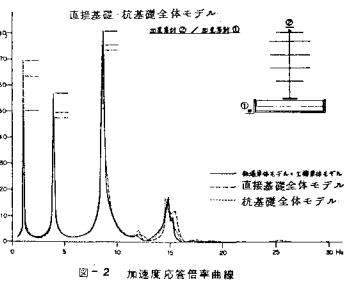


図-3 応答率による加速度モード図