

(I -14) 変電機器基礎の振動特性の同定

東京電機大学 理 工 学 部 学 生 員 〇 大 滝 晋
東 電 設 計 ㈱ 耐 震 技 術 部 正 員 松 島 学
東京電機大学 理 工 学 部 正 員 松 井 邦 人

1. はじめに

構造物の耐震安全性を評価することは重要な問題の一つである。本研究では図1に示す既設の直接基礎を持つ変電機器基礎を対象にして、地盤をばねとダンパーでモデル化し、構造物をフーチングがせん断ばね、回転ばね及びそれらに対応するダンパーと、その上に固定されている一質点系でモデル化している。このような構造系に作用する実地震動の入力と応答の実測値よりばね剛性、減衰定数を測定しようとするものである。応答の測定値として加速度応答を使用し、その応答値に対する同定を行い、同定の精度について検討する。また、入力波としてEl.Centro N.S地震波を作用させ、その応答値に対する同定を行いシステムの検証を行った。本研究では同定解析及び感度解析にはNewmark β 法を、同定手法としてGauss-Newton法を用いる。

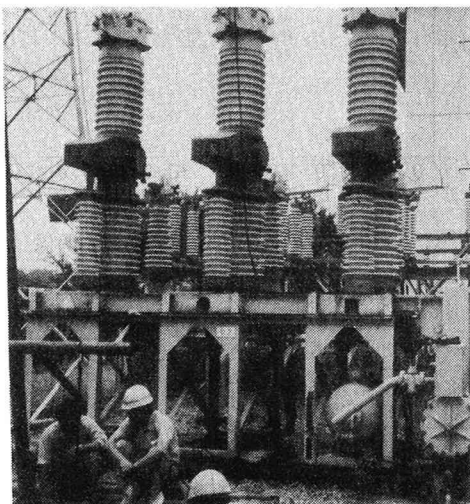


図1 対象構造物

2. 動的解析と同定手法

一般に、多自由度系の運動方程式は次式のように書くことができる。

$$M \ddot{\mathbf{z}} + C \dot{\mathbf{z}} + K \mathbf{z} = \mathbf{Q} \quad (1)$$

$$\mathbf{z}(t_0) = \mathbf{a}, \quad \dot{\mathbf{z}}(t_0) = \mathbf{b} \quad (2)$$

M :質量マトリックス, C :減衰マトリックス, K :剛性マトリックス

$\ddot{\mathbf{z}}$:応答加速度ベクトル, $\dot{\mathbf{z}}$:応答速度ベクトル, $\mathbf{z}$:応答変位ベクトル

$\mathbf{Q}$:外力ベクトル, $\mathbf{a}$:初期変位ベクトル, $\mathbf{b}$:初期速度ベクトル

測定値 i における測定値を $v_i(t)$ 、解析値を $u_i(t)$ 、測定誤差を $\varepsilon_i(t)$ とすると

$$v_i = u_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

の関係が成立する。構造物の未知パラメーター（同定パラメーター）を $\mathbf{x}_0$ ($\ell=1 \sim M$) とすると、 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ でありGauss-Newton法の考え方に基ずき、評価関数 J を次のように定義する。

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i \in \mathcal{A}} w_i (v_i - u_i)^2 dt \quad (4)$$

$w_i(t)$ は重み関数である。同定パラメーター $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ は、式(4)を最小にするように決定すればよい。必要条件 $\partial J / \partial \delta x_0 = 0$ より

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \int_{t_0}^{t_1} \left(\sum_{i \in \mathcal{A}} w_i \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_0} \right) dt \right\} \delta x_0 = - \int_{t_0}^{t_1} \sum_{i \in \mathcal{A}} w_i (v_i - u_i) \frac{\partial u_i}{\partial x_k} dt \quad (k=1 \sim M) \quad (5)$$

式(5)は δx_0 ($\ell=1 \sim M$) に関する連立方程式であり、容易に解くことができる。ここで、 u_i の同定パラメーターに関する偏微分係数は動的感度であり、式(1)を x_k で偏微分し、数値積分により求められる。

3. 対象構造物の同定

対象とした変電機器は図2のようにモデル化し、その諸元及び、「変電所等における電気設備の耐震対策指針」（日本電気協会）に基づき算定した未知パラメータの推測値を表1に示す。本研究では、 M 、 M_1 、 C_1 、 K_1 は既知であり C_R 、 C_H 、 K_R 、 K_H が未知であり、フーチングで測定される $\ddot{\theta}$ 、 $\ddot{z}$ のデータよりそれ等の未知パラメータを決定しようとするものである。ここで $\ddot{\theta}$ はフーチングの角加速度、 $\ddot{z}$ は相対水平加速度である。現段階では実測データはまだ観測中なので、システムの検証を行うために算定した未知パラメータ推定値を真値と仮定し、El.Centro N.S地震波を最大300galに調整したものを入力波として作用させ、応答解析の結果を測定値とした。実際の観測にはノイズが混入すると予想されるので、 $SN比 = \max | \varepsilon(t) | / \max | \ddot{z}(t) | \times 100$ とし、 SN 比が10%となるようなホワイトノイズを作成した応答波に加え、未知パラメータの初期値を $C_R=150.0$ tf·sec/rad、 $C_H=270.0$ tf·sec/m、 $K_R=55000$ tf/rad、 $K_H=50000$ tf/mとして同定を行った。収束状況を図3に示す。この他に初期値を変え同定を行ってみたが比較的スムーズな収束性を示している。

表1 対象構造物の性能

フーチングの寸法 (m)	幅	2.35
	奥行き	4.4
	高さ	0.9
フーチングの質量	M (tf·sec ² /m)	1.735
上部構造物の質量	M_1 (tf·sec ² /m)	0.789
上部構造物のバネ定数	K_1 (tf/m)	575.77
上部構造物の減衰係数	C_1 (tf·sec/m)	2.131
地盤のバネ定数	K_H (tf/m)	32584.4
	K_R (tf/rad)	37665.0
地盤の減衰係数	C_H (tf·sec/m)	177.9
	C_R (tf·sec/rad)	94.9

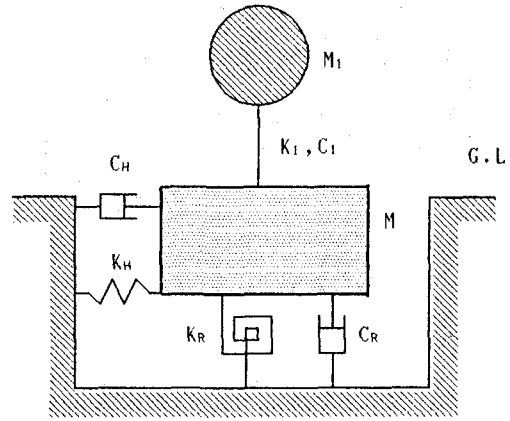


図2 解析モデル

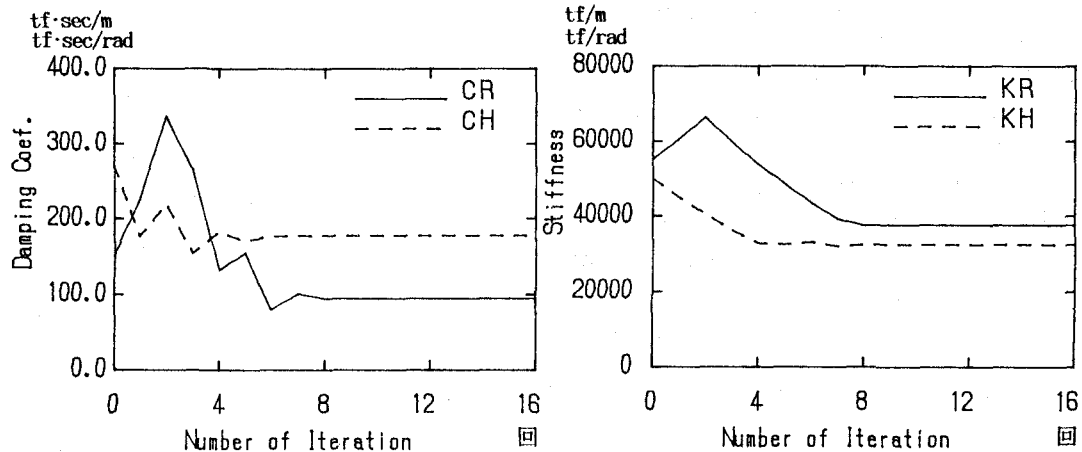


図3 収束状況

4. あとがき

実測値を使用しての同定については、現在計測中であるため観測データが取れ次第解析の予定である。また、他の同定手法（カルマンフィルター、ダイナミックプログラム等）との比較も行っていきたい。