

I-B 389

基礎・地盤の相互作用効果を反映させる振動台の新制御手法

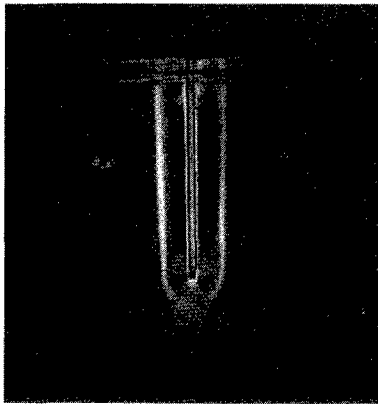
東京大学生産技術研究所 正会員 小長井一男

1. はじめに

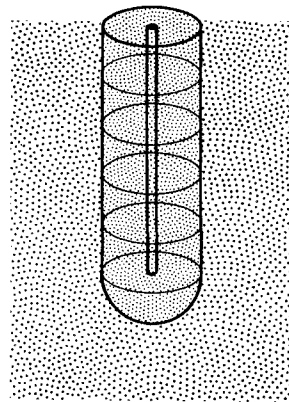
地震による構造物の破壊を議論する上で、上部工、下部工、基礎、地盤のそれぞれのモデルをバランスよく組み上げていくことが求められるが、これは意外に困難な課題である。各々の材料の構成則間の精度のバランスが悪く、最も不確実な要因を含む地盤の広がり、構造に比べて著しく大きいことなどがその理由である。ここでは地盤と基礎の相互作用をでき得る限り簡便化し、その効果を取り込んだ上部構造破壊実験のための振動台制御について、アナログ回路を用いた新手法を提案する。

2. 基礎のインピーダンスの簡便化された表現

図1(a)のような根入れのある基礎を支える地盤は、基礎から放射される波動の伝播パターンに従って、図1(b)に示すようなスライスに分割して考える。この仮定は地盤を Winkler 型の離散ばねで表現することに通じる。各々のスライスの基礎が接する端面での表1に示すような振動モードに対するインピーダンスの厳密解($Z_z^p \sim Z_\theta^p$)は周波数領域で様々な研究者によって与えられている。Konagai, Nogami¹⁾は Z_z^p 、 Z_x^p についてこれらが周波数非依存の有限個のばねとダッシュポットを組み合わせることで精度よく近似できることを示し、また $Z_z^s \sim Z_\theta^s$ については Veletsos, Verbic²⁾によって同様の試みがなされている。表1中で残された Z_θ^p についても、これを詳細に検討すると同様の表現が可能であり、これらを概観すると以上のインピーダンス $Z_z^p \sim Z_\theta^p$ は表1下段に示す Z1～Z3 のすべてあるいはいくつかを直列に組み合わせることで表現できる。これら Z1～Z3 の3つを仮に基礎モデルと呼ぶと、これらの等価力学モデルは図2に示すようなものになる。また各々の基礎モデルのコンプライアンス（インピーダンスの逆数）を逆フーリエ変換し、これらの基礎モデルのインパルス応答 $h_i(t)$ を求め、これを表2に示す。これらのインパルス応答はオペアンプを主体とするアナログ回路で容易に構成可能であり、その等価回路は図3に示すとおりである。



(a) Observed wave front radiating from a model pile



(b) Illustration of wave front

Fig. 1 Wave front radiating from a single pile model

Table 1. Basic vibration modes

Vibration mode	Z_z^p	Z_x^p	Z_θ^p	Z_z^s	Z_x^s	Z_θ^s
Stiffness	$Z1-Z1-Z1$	$Z1-Z1-Z1$	$Z2$	$Z2-Z3$	$Z1$	$Z1-Z1-Z1$

Table 2 Impulse responses of the three basic impedance elements

Z_{nj}	Time domain ($h_n(t)$)	Frequency domain ($H_n(s)$) ($s = i\omega$)
$n = 1$	$A_{1,j}e^{-\alpha_j t}$	$A_{1,j} \frac{1}{s + \alpha_j}$
$n = 2$	$A_{2,j}e^{-\alpha_j t} \cos \beta_j t$	$A_{2,j} \frac{s + \alpha_j}{(s + \alpha_j)^2 + \beta_j^2}$
$n = 3$	$A_{3,j}e^{-\alpha_j t} \sin \beta_j t$	$A_{3,j} \frac{\beta_j}{(s + \alpha_j)^2 + \beta_j^2}$

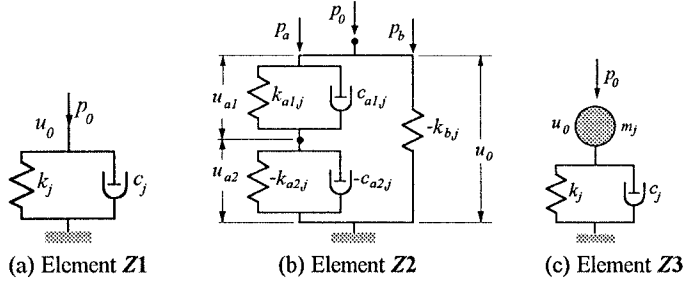


Fig. 2 Basic elements

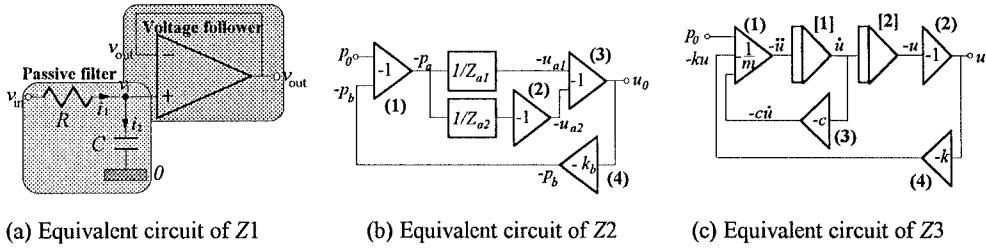


Fig. 3 Equivalent circuits using operational amplifiers and passive elements

3. 振動台の新制御手法

非線型上部構造物がスウェイ、ロッキング 2 自由度の直接基礎上で振動する状況を、並進、回転の可能な振動台を用いて再現する手法を以下に概説する。振動台上に水平方向力、モーメントを検知すべくロードセルを配置し、この上に剛体直接基礎と上部構造の模型を載せる。振動台に自由地盤表面で想定される水平方向の地震動を入力する。これに応じてロードセルによって水平方向地盤反力 p_x 、基礎重心周りの回転モーメント p_θ が検出される。この p_x と p_θ をそれぞれ $1/Z_x^s$ 、 $1/Z_\theta^s$ と等価なインパルス応答を出力するアナログ回路に入力し、 x 方向の応答は入力地震波形に加算し、また θ 方向の応答はそのまま振動台の制御装置に入力することでスウェイ、ロッキングの 2 方向の相互作用効果を取り入れた実験を行うことができる。試作回路を用いた実験については講演会で発表の予定である。

参考文献：1) Konagai, K. and T. Nogami: Subgrade Model for Transient Response analysis of Multiple Embedded Bodies, *Int. Jour., Earthquake Eng. and Structural Dynamics*, **23**, 1097-1114, 1994. 2) Veletsos, A. S. and B. Verbic: Basic Response Functions for Elastic Foundations, *Jour., Engineering Mechanics Div., ASCE*, **100**, EM2, 189-201, 1974.