

基礎地盤の非線形シミュレーションの限界

宮崎大学 工学部 ○正 員 宮本 和則
 宮崎大学 工学部 学生員 永井 裕幸
 宮崎大学 工学部 正 員 堤 一

1・まえがき

地震時の基礎地盤の動的破壊に関する研究をする者にとって、これを実際に体験する機会は、極めて稀であろう。したがってこれを補うために、模型による物理的シミュレーション法の検討を進め、いろいろな実験によって、構造物の傾斜、不等沈下等、基礎地盤の動的破壊に至るプロセスの把握に努めてきた。これと同時に、これらの現象を数値シミュレーションにより、どこまで追跡できるかの検討も進めてきた。更に、最終的には、実構造物の挙動をどこまで追跡できるかを課題としている。

2・実験結果

これまでの研究では、ゴムボールを用いて非線形特性をもつ模型地盤を作り、剛体の円柱を構造物モデルとして、地盤上に設置し、その動特性から地盤の特性に考察を加えてきた。模型の概要は図-1のようである。最初に、模型地盤の力学的特性を調べた結果、鉛直載荷試験においては、実際の岩盤にみられるように硬化型のバネの特性がみられたが、回転、水平バネは軟化型になることが認められた。また、地震波の大きさを変えて加速度の応答倍率をみてみると入力が大きくなると倍率は極めて小さくなることが認められた。図-2にその実験結果の一例が示されているが、軟化型の非線形特性が示されている。

3・数値シミュレーション

このシミュレーションには、一般に用いられる図-3の数値模型と、水平、回転の運動方程式を採用した。

ただし、この復元力には、式(1)に示されるバイリニアの履歴型を用い、この諸定数を以下のプロセスによって定めた。

$$f(x) = (1-n)kx \pm n \cdot k(x_y \mp x_o) \quad \text{----- (1)}$$

X_y : 降伏変位 X_o : 弾塑性変位
 K : 初期剛性 n : 弾塑性傾斜率

(1) 線形範囲で、固有周期が合うように剛性を定め、共振振幅が合うように、減衰定数を調整する。

(2) 線形範囲での、最大の共振振幅を目安に、降伏変位を仮定し、地盤の弾塑性傾斜率をパラメータとした試算を行い、スケルトンカーブがもっともよく合う弾塑性傾斜率を求めた。図-2中のスケルトンカーブはその一例である。

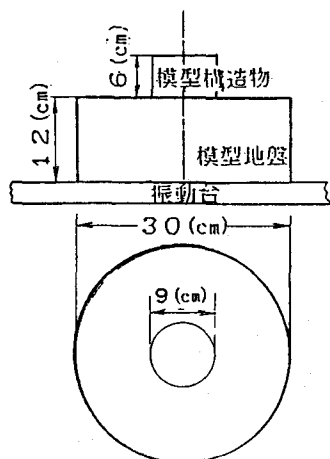


図-1 模型地盤、構造物概要図

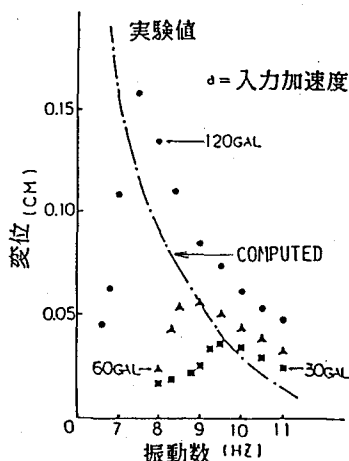


図-2 数値シミュレーション結果

4・ 実構造物モデルによる検討

以上によって、実際の現象がわかっているものに対しては、簡単なバイリニアの数値モデルでもかなりよいシミュレーションができることがわかったため、図-4に示す実物に近い地盤、構造物の検討を試みた。また、地盤の弾性から地盤係数を求め、軟岩盤の載荷試験の例により、降伏変位を1cmとし、第一近似として、ゴム模型の場合と同じ弾塑性傾斜率0.6～0.8を採用した。

減衰定数も、この種の構造物の実験例から、水平振動については $h=0.06$ 、回転については $h=0.03$ を採用した。

5・ 考察 ・ 結論

実物の動的破壊を論ずる段階には至っていないが、この検討の過程で以下のような考察、方針を得た。

(a) 解析の得失： 地盤の破壊は、やはり応力で規定する方がよい。静的であっても、有限要素法あるいは境界要素法などで、地盤の破壊が生ずるロッキング振幅の大きさを求めておくことが望ましい。その応答に達する動的条件を質点系モデルで求めていけば、破壊検討も簡便法になる。しかしながら、特にロッキング振動では、周縁の地盤から逐次降伏をしていくため、多リニアによる近似が必要となるが、バイリニアでもスケルトンカーブはかなり追跡できる。

(b) 降伏変位： ロッキングについては、上記理由により、周辺地盤の降伏強度の特性から、水平については、地盤の剪断強度の特性から、降伏点を求める。表-1中の値を、第一近似とした。

(c) 弾塑性傾斜率： 今回の検討からは、軟岩の場合でも、模型ほどの非線形性は生じないものと考えられる。したがって、実際の資料を多く集めて、この検討をする必要がある。

(d) 外力加速度の相似： 模型と実物の相似性の主眼は、破壊過程を調べることにあるため、降伏変位と弾塑性傾斜率が実地盤について把握されたら、模型では弾塑性傾斜率を合せれば、外力加速度は、両者とも降伏変位に達するときの各加速度を等価と考えることができる。

(e) 振動数の相似： 異質材料を用いた実験であり、実験の便宜を考えて、構造モデルを重くしたり地盤を破壊しやすくしたりしてあるため、振動数の相似性は無視したが、各々の共振周期は異っても、その付近に着目し、1次のロッキングモードに近いものを対象とする。

(f) シミュレーションの限界： 以上により降伏点を過ぎて、どの程度の変位まで、模型実験のシミュレーションができるかを調べ、そのときの変位あるいは加速度に対応する実物の値を求め、その範囲内の計算結果を採用する。

6・ あとがき

本研究にあたっては、本学 原田 隆典助教授の御指導を頂いた。ここに、感謝の意を表したい。

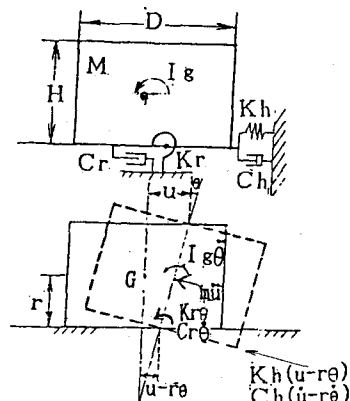


図-3 地盤のモデル化

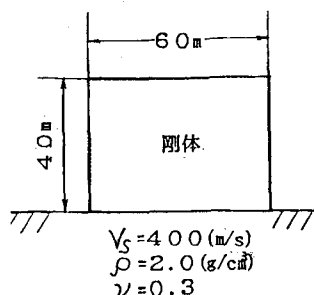


図-4 実構造物概要図

	実	模
基礎寸法	60m	9cm
質量	144.7ts/m	3.31gs/cm
重心	20m	3cm
水平ばね	$4.6 \cdot 10^4$ t/cm	11500g/cm
回転ばね	$4.1 \cdot 10^6$ tcm	233.2kgcm
水平減衰	0.06	0.06
回転減衰	0.03	0.03
降伏変位	1.0cm	0.1cm
n	0.6~0.8	0.6~0.8

表-1