

1. はじめに

従来、地震時の地盤と構造物の振動解析は等価線形化手法を用いて行われてきた。この方法は、本来弾塑性変形であるはずの大地震時の地盤や構造物の振動を等価なバネと減衰定数に置き換えて表現するものであり、大きな成果を収めてきた。しかし、現実の振動は塑性変形を伴うものであり、これを直接考慮できる解析法を用いるほうがより合理的なのは当然である。

本報告では、地盤や構造物を弾完全塑性体と考慮して振動解析を行った結果を報告する。地盤の弾完全塑性仮定のもとでは、繰り返し振動のもとでの土のダイレイタンス特性などを正確には表現できないが、新たな解析法の第1歩とはなろう。減衰はRayleigh減衰を考えた。土にRayleigh減衰を考慮することは一般的でないが、これも新たな試みと考慮して戴きたい。なお、この種の解析はこれまでもいくつか試みられているが、数は非常に少ない。

表-1

2. 解析の方法

本解析の主な仮定を表-1にまとめた。地盤・構造物系の運動方程式は次のようになる。

$$[M] \ddot{\mathbf{v}} + [C] \dot{\mathbf{v}} + [K] \mathbf{v} = -[M] \ddot{\mathbf{u}} \quad (1)$$

$[M]$, $[C]$, $[K]$ は質量, 減衰, 剛性マトリクス。 $\ddot{\mathbf{u}}$ は基盤加速度ベクトル。 $\mathbf{v}$ は相対変位ベクトル。地盤・構造物系が塑性化しているときは、 $[K] \mathbf{v}$ の代わりに節点ベクトル $\mathbf{p}$ を用いる。 $[C]$ については、Rayleigh 減衰

$$[C] = \alpha [K] + \beta [M] \quad (2)$$

を仮定する。地盤の α , β をどのように決めるかは今後の課題である。Newmarkの差分アルゴリズムについては文献 (Owen, Hinton: Finite Elements in Plasticity, Pineridge Press, pp. 432-433) を参照されたい。

3. 計算例

図-1のような鉛直な粘性土斜面 ($\phi = 0$) が図-2のような加速度波形を基盤に受ける例を解析する。斜面の高さは5m, $c=3\text{tf/m}^2$, $E=1000\text{tf/m}^2$, $\nu=0.3$, $\gamma=2\text{tf/m}^2$ である。なお、減衰定数はゼロを仮定した。計算の手順は次のようである。まず、強度定数 c を非常に大きく仮定し、自重(重力)を作用させる。この段階では斜面内はほぼ弾性状態である。次に強度定数を徐々に増加させ、 $c=3\text{tf/m}^2$ とする。この段階では斜面内は弾塑性状態である。その後、基盤に加速度波形を入射させ振動を開始する。

振動開始後の数種類の時刻での斜面内の最大せん断歪の分布と斜面の変形状を図-3に示す。図-3から、地震動により斜面内にすべりが生じる様子が観測される。

4. あとがき

本報告では動的弾塑性 FEM プログラムを用いて、斜面内のすべり破壊を解析した結果を述べた。本プログラムを用いて実験が完了しているいくつかのケースのシミュレーションを現在実施中であり興味深い結果を得ている。また今後、3次元の動的弾塑性 FEM プログラムへと発展させる予定である。

電子計算の実行と結果の整理は群馬大井田寿朗技官による。研究のきっかけは、道路公団松田哲夫、前田

構成式
弾完全塑性モデル
関連・非関連流れ則
Mohr・Coulomb
2次元
Rayleigh減衰
計算手法
FEM
修正Newton・Raphson法
Newmarkの差分法

良文の両氏と建設技研五瀬伸吾氏に与えて戴いた。記して謝意を表する。

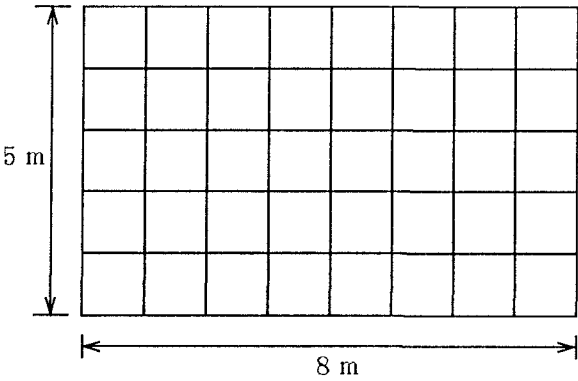


図-1 計算例とメッシュ分割

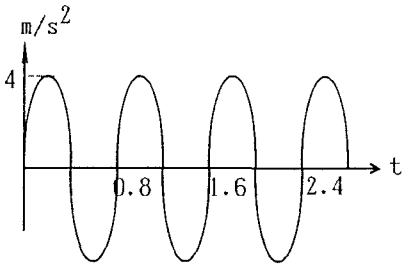
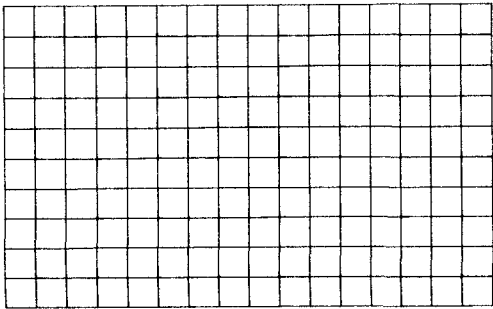
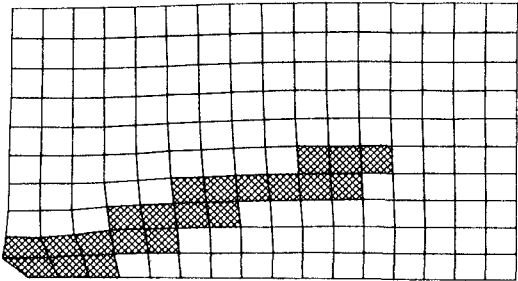


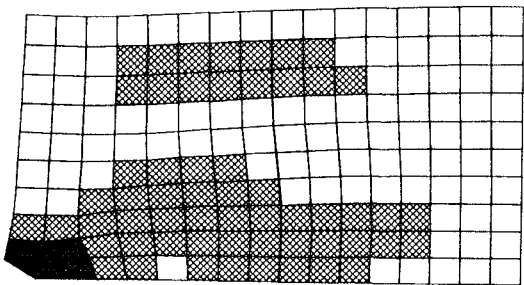
図-2 入力加速度の時刻歴



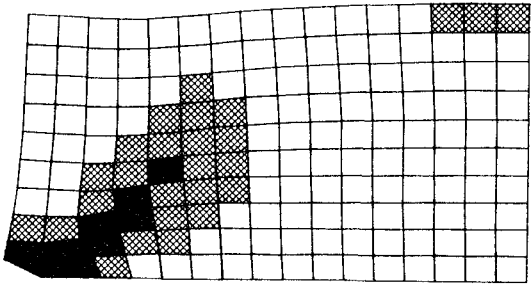
時刻 $t = 0$ 秒



時刻 $t = 0.8$ 秒



時刻 $t = 1.8$ 秒



時刻 $t = 2.9$ 秒

図-3 最大せん断歪の分布と斜面内の変形状