

1. はじめに

地震時における斜面の崩壊から土砂の堆積に至る過程をシミュレーション解析する方法として、個別要素法 (DEM) が有効であると考えられる<sup>1)</sup>。しかし、地震時における斜面の安定性や崩壊の解析では水平方向および深さ方向に対して広い範囲を対象とする必要があることから、DEM解析の粒状体要素 (粒子) 数が多くなるため解析時間が非常に長くなる。そこで、この報告では解析時の粒子数をできるだけ少なくするため、FEM解析とDEM解析を組合せた斜面の地震応答解析を試みたので、その解析手法と実斜面に対する解析事例について述べる。

2. 解析方法

図-2.1は解析フローを示しており、解析ではまずFEM解析による地震応答解析を実施し (Step1)、表土層と基盤層の境界面における節点の応答変位を求める (Step2)。次に、節点の応答変位からDEM解析の基盤面における粒子の変位波形を求め、地震波として入力する (Step3)。図-2.1には今回解析した斜面のFEMメッシュとDEMモデル斜面を示しており、解析領域は水平方向約130m、深さ方向最大60m程度である。解析対象斜面は兵庫県南部地震で被災した宅地地盤であり<sup>2)</sup>、地盤は花崗岩からなる基盤層上に堆積した表土層の上に造成された盛土である。そこで、解析では表土層と盛土部をDEMでモデル化することとした。DEM解析のモデル斜面は、斜面形状の枠内に直径30cm、38cm、47cm、72cmの土粒子を面積比4:5:6:5の割合で乱数発生させた後、粒子に重力を作用させてパッキングして作成した。DEM解析モデルの基盤面はFEM解析における基盤層と表土層との境界面と一致するように作成している。

FEM解析は等価線形解析によって行っており、神戸大学で観測された水平方向成分 (E-W) の観測波を、解析検討モデルの基盤面から露頭基盤波 (2E) (Eは上昇波を示す) として入射した。表-2.1は解析定数を示しており、現位置での地質調査結果を基にFEM解析とDEM解析に用いる定数が整合するよう設定した。以下、FEMとDEMを組合せた解析法をDEM解析と呼ぶ。

3. 解析結果

図-3.1はDEM解析とFEM解析で求めたB~D点における応答加速度波形を示している。これらの図から、B点についてはDEM解析で求めた応答加速度波形

表-2.1 解析定数 (FEM等価線形解析)

| パラメータ (単位) |                             | 表土・盛土  | 基盤     |
|------------|-----------------------------|--------|--------|
| せん断波速度     | $V_s$ (m/sec)               | 144.0  | 1000.0 |
| 密度         | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 1700.0 | 2300.0 |
| 粘着力        | $c$ (kPa)                   | 10.0   | 400.0  |
| 内部摩擦角      | $\phi$ (deg.)               | 21.0   | 30.0   |
| ポアソン比      | $\nu$                       | 0.41   | 0.2    |
| 初期せん断弾性係数  | $G_0$ (MPa)                 | 36.0   | 2347.0 |
| 最小減衰定数     | $h_{min}$                   | 0.02   | 0.02   |
| 最大減衰定数     | $h_{max}$                   | 0.20   | 0.02   |

表-2.2 解析定数 (DEM解析)

| パラメータ (単位) |                             | 表土・盛土              |
|------------|-----------------------------|--------------------|
| 法線方向バネ定数   | $k_N$ (N/m)                 | $4.64 \times 10^8$ |
| 接線方向バネ定数   | $k_S$ (N/m)                 | $1.78 \times 10^8$ |
| 法線方向粘性定数   | $\eta_N$ (N sec/m)          | $6.13 \times 10^5$ |
| 接線方向粘性定数   | $\eta_S$ (N sec/m)          | $3.87 \times 10^5$ |
| 粒子の密度      | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 2050               |
| 粒子間摩擦角     | $\phi$ (deg.)               | 16.0               |
| 粒子間吸着力     | $P$ (N/m)                   | 7000.0             |
| 転がり摩擦係数    | $B/r$                       | 0.025              |

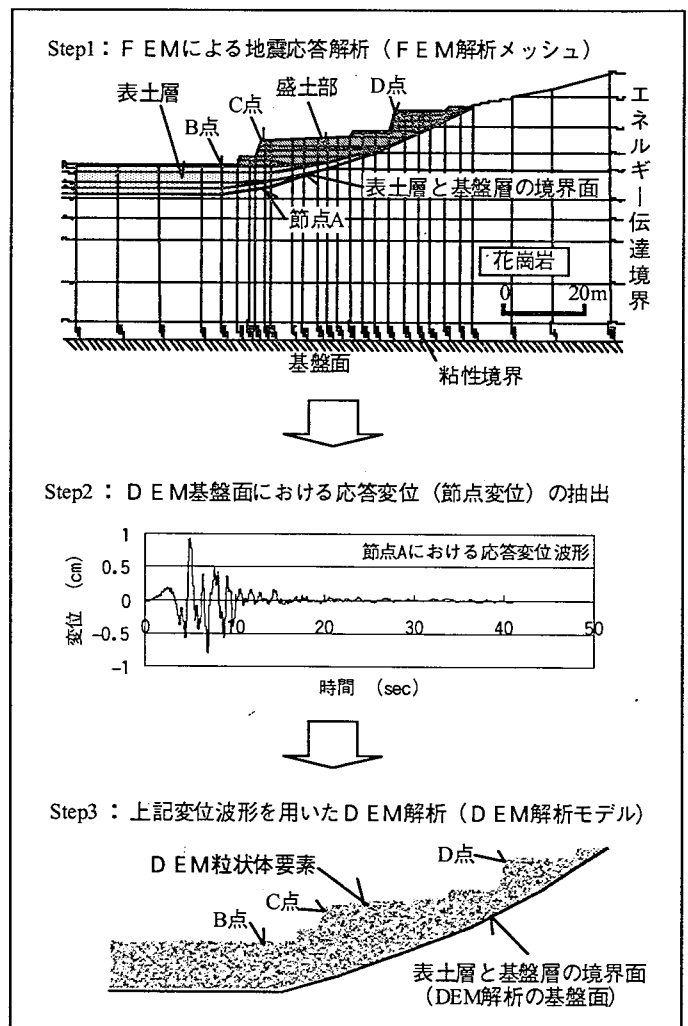


図-2.1 解析方法の概念図と解析メッシュ

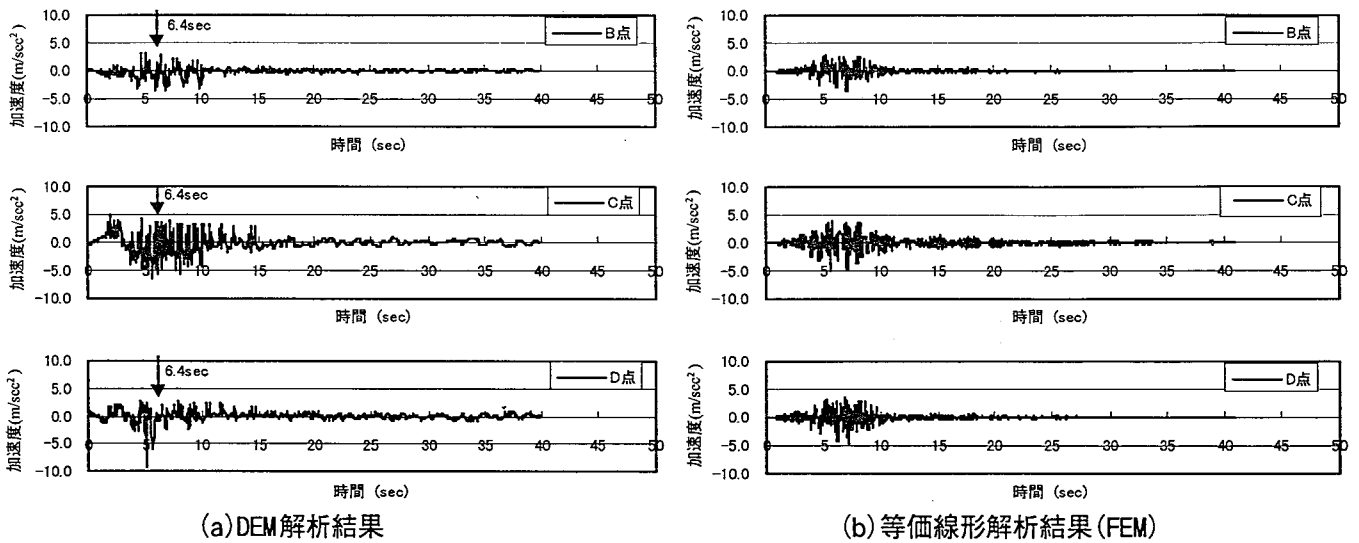


図-3.1 DEM解析とFEM解析で求めた応答加速度波形

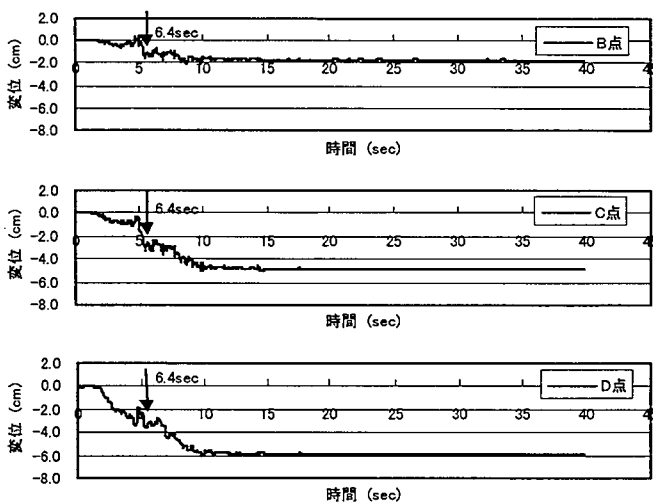


図-3.2 DEM解析で求めた変位の時系列

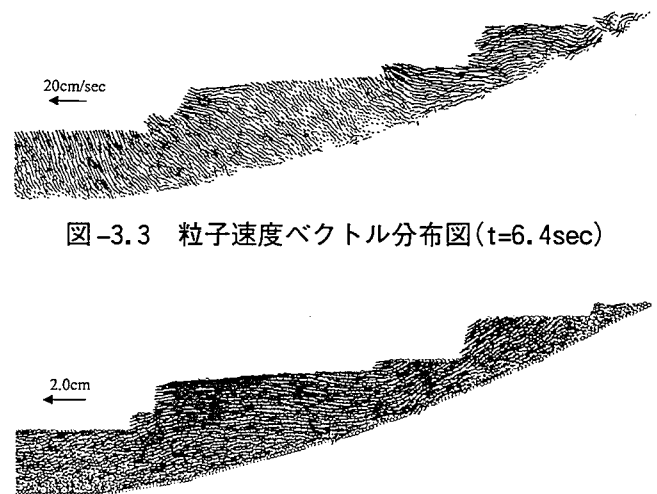


図-3.3 粒子速度ベクトル分布図(t=6.4sec)

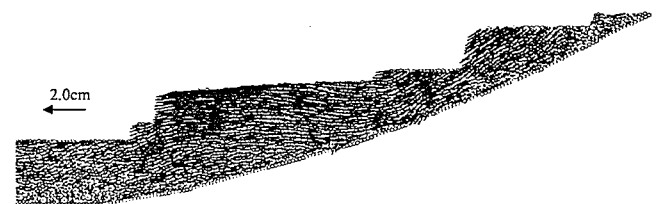


図-3.4 変位ベクトル分布図(t=40.0sec)

とFEM解析のそれとがほぼ同様な波形を示しており、変位レベルの小さい領域ではDEM解析とFEM解析に用いた解析定数はほぼ整合していると考えられる。しかし、DEM解析で求めたのり肩部分(C、D点)の応答加速度波形はFEM解析結果と大きく異なる波形を示している。これは、地震荷重によつてのり肩付近の粒子間ばねが破断し、一部の粒子が動きやすくなったためと考えられる。図-3.2はDEM解析で求めたB～D点の応答変位波形を示しており、粒子間ばねの破断によって大きな塑性変位を生じていることが分かる。C、D点での残留変位は5.0～6.0cm程度となっている。

次に、図-3.3は図-3.1、3.2に示しているt=6.4secにおける粒子速度ベクトルの分布図を示しており、粒子が左方向に大きく変形する様子が分かる。また、図-3.4はt=40.0secにおける変位ベクトル分布を示しており、速度ベクトル、変位ベクトルともより肩付近(C点、D点)を中心に大きくなる事が分かる。これらの解析結果から、DEM解析は地震に伴う斜面の大きな変形に対するシミュレーション解析に適用できると考えられる。

#### 4. まとめ

この報告ではDEM解析における粒子数をできるだけ少なくするため、FEM解析とDEM解析を組合せた斜面の地震応答解析を試みた。得られた結果をまとめると以下の通りである。塑性変形の小さい変位レベルではDEM解析とFEM解析を組合せた解析で得られた応答加速度はFEM解析(等価線形解析)のみで求めたそれとほぼ対応する結果が得られた。また、DEM解析では地震時における斜面の塑性変形をよく表現することができた。今後は斜面の崩壊から土砂の堆積に至る過程を含めた解析を実施する必要がある。

参考文献 1)山本、鳥井原、平間：個別要素法による地震時斜面の挙動解析、地震時の斜面の不安定化メカニズムと設計法に関するシンポジウム発表論文集、pp.35-38、1999.4 2)沖村、山本、村上、鳥井原：傾斜基盤層上の斜面の地震応答解析、土木学会論文報告集、No.638/Ⅲ-49、143-154、1999.12