

地震に対する盛土の剛塑性動的変形解析

名古屋大学工学部 正会員 ○大塚 悟
 佐藤工業（株） 正会員 山腰 勝也
 名古屋大学工学部 正会員 松尾 稔

1. はじめに

地震時の盛土の安定性評価を行う上で、残留変形量は極めて重要な指標である。本論文では動的荷重による盛土の残留変形を直接評価するために剛塑性動的変形解析を用いる。剛塑性仮定では土の構成式のパラメータが土の強度のみになる。本論文ではミーゼスの降伏関数を用いて、剛塑性動的変形解析の定式化を行ない、典型的な盛土の数値解析を用いて解析手法の適用性について考察する。

2. 剛塑性動的変形解析の定式化

地盤の構成式にミーゼスの構成式を用いる。ここでは田村(1984)に従い、次の構成式を用いる。

$$\sigma = s + m^T p, \quad s = \frac{\sigma_0}{\epsilon} Q \dot{\epsilon} \quad (1)$$

ただし、次の制約条件が必要になる（表1の記号を参照）。

$$m \dot{\epsilon} = 0, \quad \dot{\epsilon} = \sqrt{\epsilon_{ij}^* \cdot \epsilon_{ij}^*} \quad (2)$$

慣性力を含む力のつり合い式の弱形式に

$$\int_v B^T \sigma dv = F - M(a + \ddot{u}) \quad (3)$$

表1:有限要素離散化記号

$\dot{\epsilon}$:	各要素での塑性ひずみ速度ベクトル
σ :	各要素での応力ベクトル
s :	各要素での偏差応力ベクトル
m :	ひずみから体積ひずみを求める作用素
p :	平均応力
Q :	工学ひずみを純ひずみに変換するマトリックス
B :	ひずみ速度～節点変位速度マトリックス
F :	全節点力ベクトル（表面力、物体力）
M :	質量マトリックス
a :	強制加速度ベクトル
$\ddot{u}$:	相対加速度ベクトル

ミーゼスの構成式を代入し、制約条件である体積ひずみ速度=0の式と連立すると、刻々の強制加速度に対して地盤の相対加速度、変位速度および変位が定められる。時系列の解析のために Wilson の θ 法を適用して、初期値・境界値問題を定式化すると、動的問題の場合には力のつり合い式を通して相対加速度と変位速度とが関係づけられるために、変位速度および変位が直接、唯一に求められる。

3. 解析結果

動的変形解析を用いて図1の盛土の残留変形の評価を試みる。比較のために、盛土地盤の強度定数及び基盤に作用させる地震入力波を種々変えて解析を行っている。その解析条件を表2のType A～Type Cで与える。はじめに Type A についてその挙動を考察する（図2参照）。地盤部には残留変形が殆ど生じていないが、盛土部では外形は留めているものの全体的に陥没沈下している。図では法面よりも盛土中心部で大きく変形している。Type B では盛土が完全に崩壊し、地盤部での変形のない、いわゆる

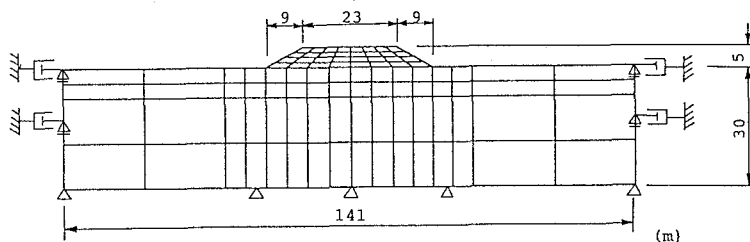


図1:解析メッシュ

「斜面先破壊」が生じた（図3 参照）。地盤の強度によって種々の破壊形態の生じることが考えられるが、地震時の場合に盛土部のみの崩壊が生じるのは興味深い。慣性力は変形した物体に作用することを考えると各ステップで座標更新することの意味は大きい。Type C は座標更新による解析で比較的短い地震継続時間で大変形のために計算不能となる直前の残留変形図である（図4 参照）。座標更新によって Type A,B とは異なる破壊形態が現れることが分かる。地震時の盛土の破壊形態は多くの場合、法面の崩壊によるものであることを考えると、これらの解析は破壊形態をある程度、表現していると思われる。

表 2: 解析条件および加振入力波

Type	地震入力波	座標更新の有無	地震強度 (kN/m ²)			
A	$a = 4 \sin(\pi t)$	有	盛土部	17.7	地盤Ⅲ	278.4
B	$a = 7 \sin(\pi t)$	無	地盤Ⅰ	57.5	地盤Ⅳ	517.1
C	$a = 4 \sin(0.1\pi t)$	有	地盤Ⅱ	119.3		

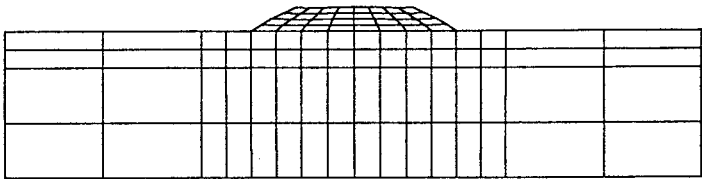


図 2: Type A の残留変形図

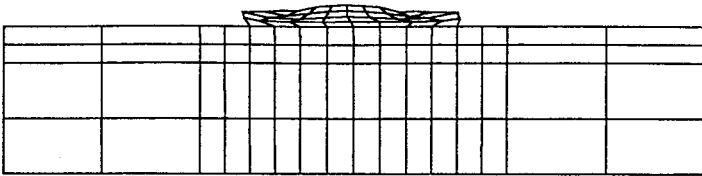


図 3: Type B の残留変形図

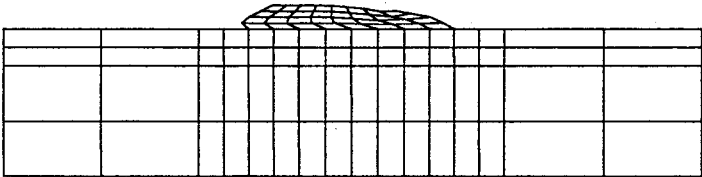


図 4: Type C の残留変形図

4. 結論

剛塑性動的変形解析によって盛土の地震による残留変形の解析を行った。その結果、いくつかの崩壊形態を表現することができた。これらは斜面内破壊になって、盛土中央部が沈下して法面が側方にはらみ出すように破壊する傾向となった。

参考文献: Tamura, T. (1990): "Rigid plastic Finite Element Method in Geotechnical Engineering, Computational Plasticity," Current Japanese Materials Research, Vol.7, The Society of Materials Science, Japan, pp.135 ~ pp.164.