

第Ⅲ部門

引張破壊を考慮した土弾塑性モデルに基づく盛土の地震時破壊性状に関する研究

京都大学工学部 学生員 ○中田 光彦
 京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男
 京都大学防災研究所 正会員 後藤 浩之

1. はじめに

現在、土木構造物の盛土の現行の耐震設計は斜面の安定解析として最も基本的な Newmark 法¹⁾により得られる応答予測値に基づいてなされているものが多い。Newmark 法は破壊メカニズムが円弧すべりであると仮定したもので、円弧すべりブロックを剛体とみなし、その剛体の単純な一自由度の動的応答解析の結果に基づいてすべり変位を求める。Newmark 法以外には静的外力を水平方向に与える震度法が用いられているが、どちらもせん断破壊以外の破壊メカニズムが考慮されていない。

地震後の被害調査によれば、実際の破壊メカニズムは必ずしも円弧すべりではなく、盛土の法面などにおいて引張クラックが生じているものなどが観察されている。そのため、盛土の耐震性の検証においても破壊メカニズムとして引張破壊を考慮する必要がある。Sakai *et al*²⁾は引張破壊を考慮した構成則を用いて、盛土の崩壊シミュレーションを行っているが、他に引張破壊を考慮した土弾塑性モデルによる盛土の動的挙動に関する研究は少ない。そこで本研究では、既往のせん断挙動を表現する砂の弾塑性モデルに、引張降伏条件を導入したモデルを用いて数値解析を行い、盛土の地震時応答解析から、破壊メカニズムの検討を行った。

2. 解析手法

砂のせん断挙動を表現するモデルとして、有効拘束圧、間隙水圧の変化を考慮することができる Li and Dafalias³⁾モデルを採用し、簡便な引張降伏条件を付与する。降伏関数は最小主応力が 0 に等しい条件とし、塑性ポテンシャルは塑性ひずみ増分が応力と同じ方向を向くように引張側に球形キャップ状とした。

数値解析は有限要素法に上記の土弾塑性モデルを導入し行う。盛土は乾燥砂で作られているとし、間隙水圧の影響は考慮していない。まず自重解析を行った後、入力地震動を図 2 のように与え、動的解析を行う。



図 1 引張降伏関数(左)と塑性ポテンシャル(右)

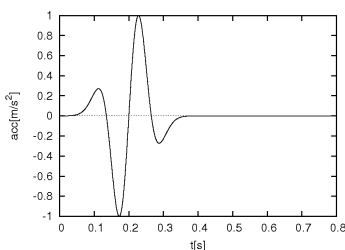


図 2 入力加速度の時刻歴

盛土			地盤 1		
弾性定数	限界状態定数	塑性定数	弾性定数	限界状態定数	塑性定数
$G_0 = 140$	$M = 2.0$	$d_0 = 0.88$	$G_0 = 160$	$M = 2.0$	$d_0 = 0.88$
$\nu = 0.05$	$e_\Gamma = 0.934$	$m = 3.5$	$\nu = 0.05$	$e_\Gamma = 0.934$	$m = 3.5$
$p_a = 101.2\text{kPa}$	$\lambda_c = 0.019$	$h_1 = 3.15$	$p_a = 101.2\text{kPa}$	$\lambda_c = 0.019$	$h_1 = 3.15$
	$\xi = 0.7$	$h_2 = 3.05$		$\xi = 0.7$	$h_2 = 3.05$
		$n = 1$			$n = 1$
単位体積重量	17.0kN/m ³		単位体積重量	17.0kN/m ³	
初期間隙比	0.7		初期間隙比	0.7	

表 1 モデルパラメータ

また本解析では、盛土の崩壊メカニズムについて議論するが、せん断破壊の発生を具体的に定義していないため、引張破壊の発生のみ着目する。なお、引張破壊は盛土の自重解析と動的応答解析の両者による体積ひずみの和が負となるとき、すなわち自然状態から体積が膨張した状態と定義する。

3. 解析結果

解析の結果、図2のb点の波に対応するフェーズが到達したときに、盛土左側の法肩に位置する要素において引張破壊が発生した。引張破壊発生時の体積ひずみ分布、せん断ひずみ分布を図3に示す。

体積ひずみ分布をみると、引張破壊が発生した法肩要素を中心とした付近の法肩から法面にかけては体積ひずみの値が非常に小さく、引張降伏状態にあるといえる。逆にせん断ひずみ分布は盛土左下部でせん断ひずみが大きくでており、法尻から天端にかけてせん断面の形成過程が観察される。また、盛土の中央付近では引張、せん断ともに大きなひずみは発生していない。

盛土全体において引張破壊発生箇所、せん断が卓越している場所として図4に示すように、要素A、Bを定め、それぞれの要素の中心における応力経路、有効拘束圧 - 体積ひずみ関係を図5、6に示す。ただし要素Aにおいては引張破壊発生時までを示した。また図中の T_a 、 T_b は入力波のa点、b点に対応する波のフェーズが到達したときの時刻に対応している。応力経路から引張降伏後の挙動を見ることができ、有効拘束圧 - 体積ひずみ関係からは、B点において体積ひずみが大きく増加しているのに対して、要素Aでは引張降伏により、体積ひずみの減少が大きくなっていることがわかる。

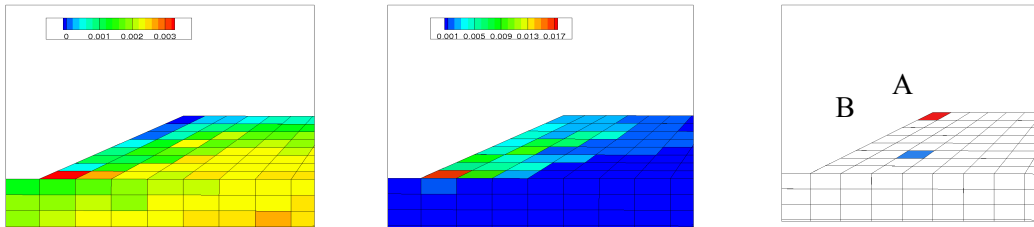


図3 体積ひずみ分布(左)とせん断ひずみ分布(右) 図4 要素A、Bの位置

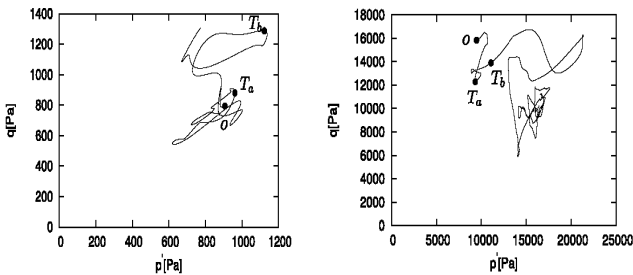


図5 要素A(左)、B(右)における応力経路

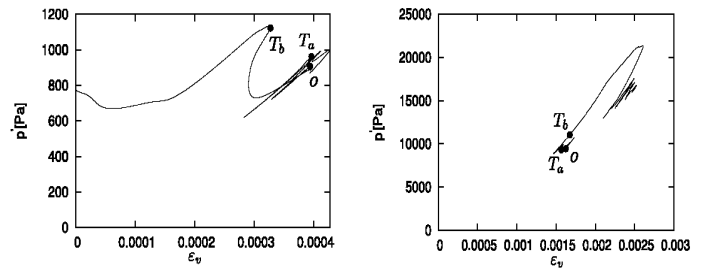


図6 要素A(左)、B(右)における有効応力 - 体積ひずみ関係

またパラメータの違いによる破壊性状の違いに関する検討として密度、法面勾配、入力周波数を変化させたときの破壊性状の違いについて調べたところ、密度が低く、法面勾配が緩く、入力周波数が低いほどせん断破壊が卓越し、逆に密度が高く、法面勾配が急で入力周波数が高いほど引張破壊が卓越する傾向にあることが示された。

参考文献

- 1) Newmark, N. M. Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, *Geotechnique*, Vol.15, pp.139-159, 1965.
- 2) Sakai, H. Sawada, S. and Toki, K. Simulation of non-linear seismic response of embankment considering tensile failure of soil, *ISEE KOBE*, January 13-16, 2005
- 3) Li, X. L. and Dafalias, Y. F. Dilatancy for cohesionless soil, *Geotechnique*, Vol.50, pp.449-460, 2000