

(87) 地盤液状化に伴う盛土の地震応答特性

鹿島技術研究所 正会員 ○ 鄭 京哲 正会員 大保直人

1. まえがき

地震による基礎地盤の液状化が盛土に大きな被害をもたらした例は数多く報告されており、飽和砂地盤上の盛土の震動特性を検討することが非常に重要である。近年、地震時の盛土の震動特性を検討するために一連の研究が行われており、地盤条件、入力地震動の特性及び盛土条件が盛土の加速度応答や変形などに及ぼす影響がかなり解明されている。しかし、地盤の液状化が複雑な現象であるため、盛土崩壊のメカニズムや地震動入力方向の影響など今後さらに検討しなければならない課題はまだ多く残されている。

本研究では、地震が異なる場合、あるいは同じ地震で盛土に対して地震の入力方向が異なる場合でも液状化地盤上の盛土は堤体に軸方向のひび割れが発生し、沈下して壊れるという同じ崩壊形態を示した例が多いことに注目し、飽和砂地盤上にある盛土を想定した3次元有効応力解析を実施し、地震動及び入力方向が盛土の応答特性に与える影響を調べ、盛土の崩壊機構の検討を試みた。

2. 解析手法と解析モデル

解析コードは3次元有効応力FEM解析プログラムDYNAFLOWを用い、構成則はマルチサーフェイス理論に基づくもの¹⁾を用いた。

図-1に盛土地盤モデルを示す。盛土断面寸法は実際に被災した盛土を参照して定めた。盛土は高さが1.5m、天端幅が6m、勾配が1:2である。地盤の深さは5mと想定した。盛土材料は前に実施した研究²⁾に用いられたもの($c=1\text{kPa}$, $\phi=27^\circ$)を用い、地盤材料は相対密度が90%の飽和豊浦砂とした。解析に用いた盛土と地盤の物性パラメータは室内排水三軸圧縮試験と液状化強度試験の結果によって定めた。境界条件は、底面を固定とし、側面は左右両面また前後両面が常に同じ挙動をするように拘束条件を与えた。入力波は正弦波とEl Centro NS成分の二種類、入力方向は盛土断面水平方向(x方向)と盛土軸水平方向(y方向)の二種類を想定した。正弦波の周波数は自由地盤の1次固有振動数(8.2Hz)に近い8Hzとした。表-1に解析のケースを示す。入力波の最大加速度振幅を200Galとし、加振時間は10秒とした。図-2に入力波形を示す。

数値解析は、まず自重解析を実施して地盤及び盛土の初期応力を求め、次に入力加速度波を基盤から入力している。

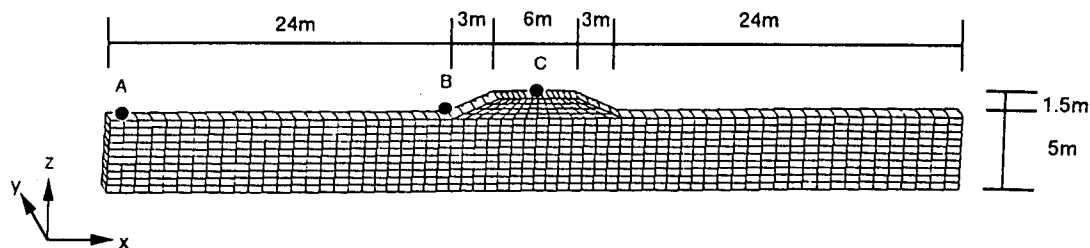


図-1 盛土地盤モデル

3. 数値解析結果及び考察

図-3にケース1の水平地盤部A点と盛土法尻付近B点の加振方向の加速度と過剰間隙水圧及び盛土天端中央部C点の加速度と沈下の時刻歴を示す。水平地盤部は過剰間隙水圧が加振開始と同時に上昇し初め、約1.4秒前後にピークに至っている。加速度振幅は過剰間隙水圧の上昇に伴って減少し、過剰間隙水圧がピークになってから非常に小さくなっており、地盤は液状化していることが分かる。盛土の法尻付近では、過剰間隙水圧が盛土の影響で振動しながら上昇し、加速度は過剰間隙水圧の増加に伴って減少しているも

の、水平地盤部より振幅の減少の程度が小さい。盛土天端中央部においては、加速度振幅が周辺地盤の液状化によって低減しており、沈下が時間と共に大きくなる。加振して10秒の時の沈下量は13.5cmとなっている。図-4に盛土周辺地盤が液状化している時(1.5秒)の過剰間隙水圧比と盛土断面水平方向(x方向)の有効応力の分布を示す。過剰間隙水圧比の結果によると、水平地盤部は液状化しており、盛土下部地盤は過剰間隙水圧が上昇したものの、地盤が液状化していない。水平方向の有効応力については、盛土堤体に引張応力が発生していることが分かる。これは周辺地盤が液状化し、盛土下部地盤は盛土の重量によって両側に移動し、これによって盛土堤体が水平方向に引張られ、下部地盤の側方移動による引張応力部分が盛土自重

表-1 解析ケース

解析ケース	入力波	入力方向	最大加速度	加振時間
ケース1	8Hzの正弦波	x方向	200Gal	10秒
ケース2	8Hzの正弦波	y方向	200Gal	10秒
ケース3	El Centro NS波	x方向	200Gal	10秒
ケース4	El Centro NS波	y方向	200Gal	10秒

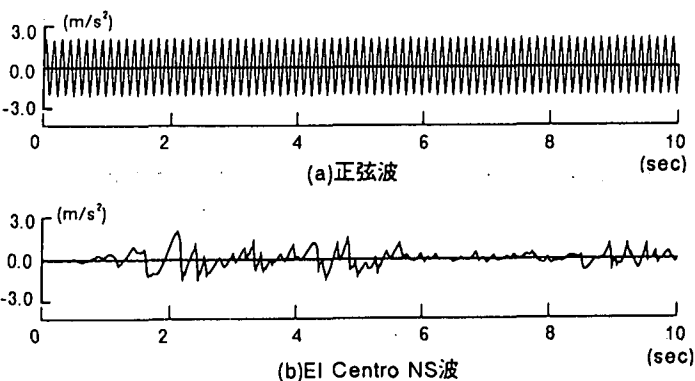


図-2 入力波形

による圧縮応力部分より大きくなった領域では有効応力が引張になったと考えられる²⁾。引張応力が盛土材料の引張強度を超えれば、盛土堤体に軸方向のひびわれが発生すると推測できる。

入力方向による盛土応答の変化を見るため、盛土軸方向加振のケース2の盛土法尻B点と天端中央部C点での盛土軸方向の加速度応答と天端中央部の沈下の時刻歴を図-5に示す。盛土断面方向加振のケース1に比べ、天端中央部の加速度応答が似ているものの、法尻での応答が大きくて天端中央部の沈下(最大値12.5cm)が小さいことが分かる。図-6に盛土周辺地盤が液状化している時(1.5秒)の過剰間隙水圧比と盛土断面水平方向の有効応力の分布を示す。ケース1と比較すると、盛土下部地盤の過剰間隙水圧が低いものの、周辺地盤が液状化して盛土下部地盤が液状化していない傾向は変わらないことが認められる。盛土断面方向の水平有効応力については、盛土軸方向加振の場合でも断面方向の引張応力が発生していることが分かる。従って、盛土断面方向加振の場合と同様に、盛土軸方向加振の場合でも盛土は断面方向に引張られ、軸方向にひびわれが発生して沈下して壊れると考えられる。

図-7にケース3の水平地盤部A点と盛土法尻付近B点の加振方向の加速度と過剰間隙水圧及び盛土天端中央部C点の加速度と沈下の時刻歴を示す。水平地盤部の過剰間隙水圧は加速度振幅が大きくなってから上昇し初め、約3秒前後に過剰間隙水圧比が0.9を超えている。加速度振幅は過剰間隙水圧の上昇に伴って減少し、卓越周期が長くなっていることが認められる。盛土の法尻付近では、過剰間隙水圧の振幅の変動が水平地盤部より大きくなっている。加速度は水平地盤部より振幅の減少が小さく、卓越周期が比較的短い。盛土天端中央部は過剰間隙水圧が上昇してから沈下し初め、加振して10秒の時の沈下量は1.4cmとなっている。図-8に盛土周辺地盤が液状化している時(4秒)の過剰間隙水圧比と盛土断面水平方向の有効応力の分布を示す。水平地盤部の上部は液状化しており、盛土下部地盤は液状化していない。水平方向の有効応力では、盛土堤体に引張応力が発生していることが分かる。引張応力発生メカニズムはケース1とケース2の場合と同じである。

盛土軸方向加振のケース4の盛土法尻B点と天端中央部C点での盛土軸方向の加速度応答と天端中央部

の沈下の時刻歴を図-9に示し、盛土周辺地盤が液状化している時(4秒)の過剰間隙水圧比と盛土断面水平方向の有効応力の分布を図-10に示す。入力方向による応答の変化の傾向は正弦波加振の場合と似ていることが分かる。

固有振動数に近い8Hzの正弦波加振の場合に比べ、Elcentro NS波加振の場合では、地盤液状化の程度も小さく、盛土の沈下量も小さいが、盛土崩壊パターンが同じである。

4. まとめ

入力地震動の特性及び入力方向が飽和砂地盤上の盛土の応答に与える影響を検討するため、3次元有効応力解析を実施した。その結果、入力特性または入力方向によって地盤液状化の程度や盛土の沈下量などが異なるが、ここで示した盛土形状の場合、盛土は堤体に軸方向のひび割れが発生し、沈下して壊れるという同じ崩壊パターンになることが確認できた。

今後、盛土の寸法が盛土の崩壊パターンに及ぼす影響を検討していく予定である。

参考文献：

- 1) Prevost, J.H.: A simple plasticity theory for frictional cohesionless soils, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol.4, pp9-17, 1985.
- 2) 長尾和之, 別井智行, 鄭京哲, 吉迫和生, 大保直人: 盛土地盤の動的遠心模型実験のシミュレーション, 第30回土質工学研究発表会, 1995年(投稿中)。

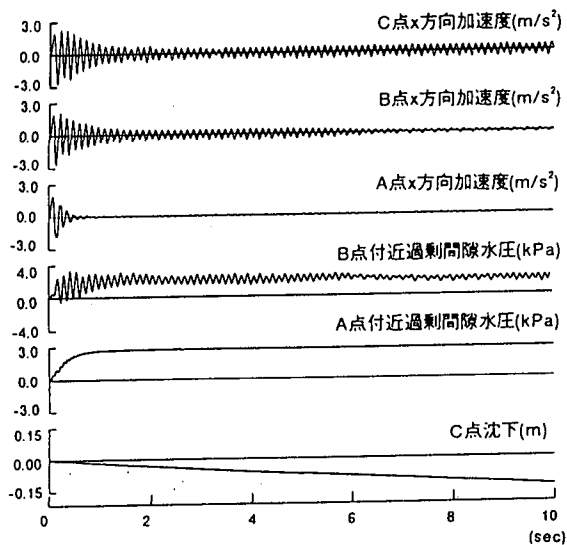


図-3 ケース1の計算結果

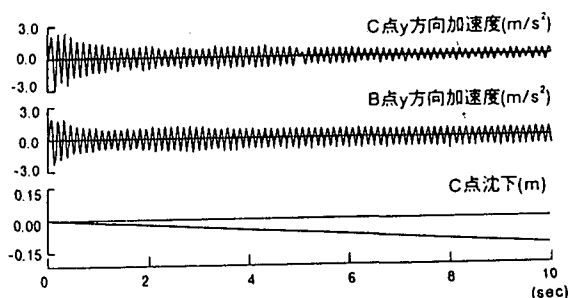


図-5 ケース2の計算結果

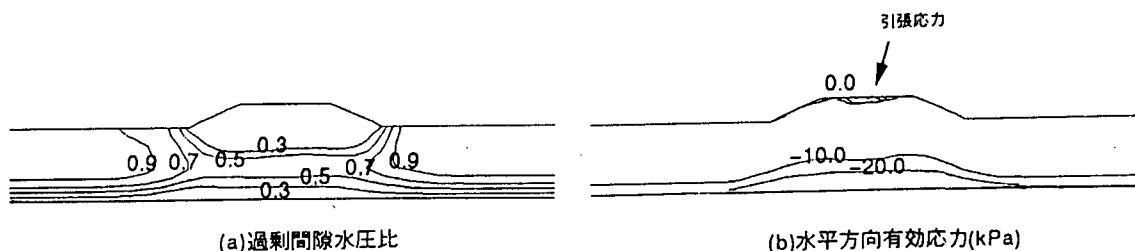
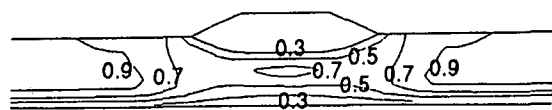
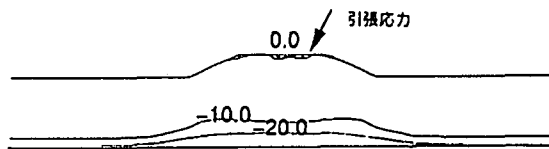


図-4 過剰間隙水圧比と水平方向有効応力の分布(ケース1, $t=1.5$ 秒)



(a)過剰間隙水圧比



(b)水平方向有効応力(kPa)

図-6 過剰間隙水圧比と水平方向有効応力の分布 (ケース2, $t=1.5$ 秒)

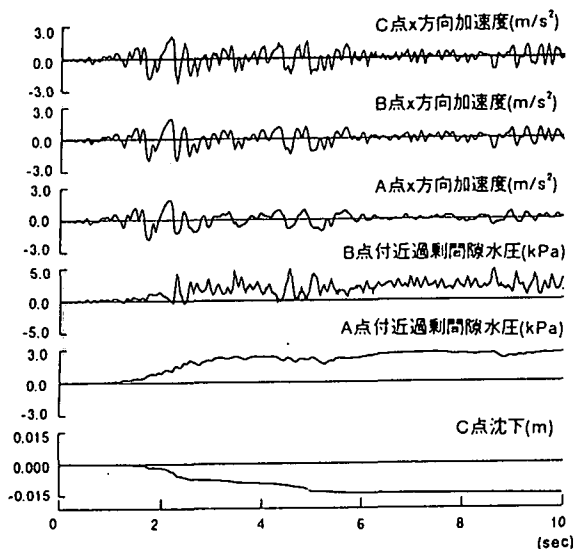


図-7 ケース3の計算結果

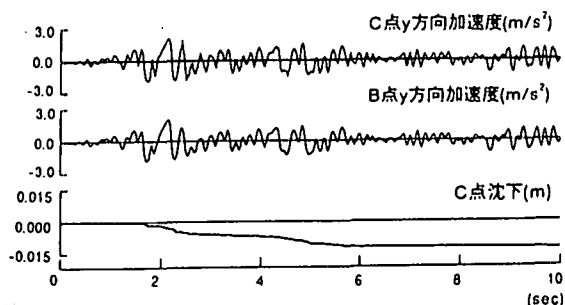
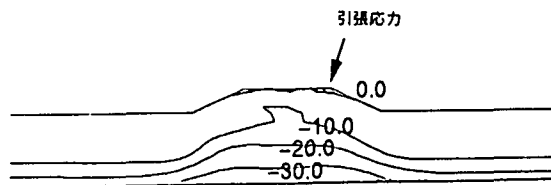


図-9 ケース4の計算結果



(a)過剰間隙水圧比

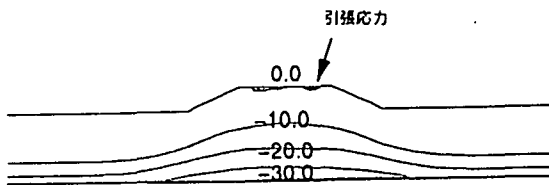


(b)水平方向有効応力(kPa)

図-8 過剰間隙水圧比と水平方向有効応力の分布 (ケース3, $t=4$ 秒)



(a)過剰間隙水圧比



(b)水平方向有効応力(kPa)

図-10 過剰間隙水圧比と水平方向有効応力の分布 (ケース4, $t=4$ 秒)