

液状化地盤の相対地震動応答解析

神戸大学工学部 正会員 高田至郎
(株)クボタ 正会員○谷川伸一

1. はじめに 地震時に、ガス管・水道管などの埋設管が座屈・破断、さらには互いに食い込んでしまうという現象が確認されている。本報告では、この現象の解明を目標とし、液状化地盤の相対的な地震動応答をF.E.M.で非線形時刻歴応答解析によって解析を行った。

2. 解析方法

2.1 非線形振動方程式 基盤に入力される地震波が同一位相であれば、振動方程式は次式になる。 $[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\ddot{U}_0$ (1) ここで、 $[M]$ ；質量マトリックス、 $[C]$ ；減衰マトリックス、 $[K]$ ；剛性マトリックス、 $\{U\}$ ；絶対変位ベクトル、 $\{u\}$ ；相対変位ベクトル、 $\ddot{U}_0$ ；基盤加速度である。また、入力地震波に位相差がある場合、入力をする点、しない点にそれぞれ添字A,Bをつけると、振動方程式は次式ようになる。

$$[M_{AA}]\{\ddot{U}_A\} + [C_{AA}]\{\dot{U}_A\} + [K_{AA}]\{U_A\} = -[M_{AA}][D_A]\{\ddot{U}_B\} - ([C_{AA}][D_A] + [C_{AB}])\{\dot{U}_B\} \quad (2)$$

ここで、 $[D_A]$ は擬似静的影響マトリックスである。なお、数値積分にはWilsonの θ 法($\theta=1.4$)を用いた。

2.2 応力比-ひずみ関係 繰返し載荷時の土の非線形応力-ひずみ履歴関係として、せん断応力比(せん断応力/有効応力)-せん断ひずみ関係を用いて、履歴型 Hardin-Drnevich型でモデル化を行った。履歴則としては、佐藤¹⁾が提案した修正Masing則を用いた。

2.3 過剰間隙水圧の上昇 排水繰返しせん断1サイクル中に生じる体積ひずみ $d v_d$ と、非排水繰返しせん断1サイクル中に生じる過剰間隙水圧 $d u$ は近似的に次式で表せる。

$$d u = d v_d / m_s \quad (3) \quad \text{ここで、} m_s \text{；体積圧縮係数}$$

また、 v_d の算定式としては、次式を用いた²⁾。

$$v_d = m^* \sigma' \eta^N N / (N + A) \quad (4) \quad \text{ここで、} \sigma' \text{；有効応力、} \eta \text{；せん断応力比}$$

N ；せん断応力繰返し回数、 m^* , n , A ；材料定数

2.4 過剰間隙水圧消散・沈下 間隙水圧消散とそれに伴う地盤沈下を、Biotの圧密理論を用い、多孔質体中の水の流れと、体積変化による流量発生とを連立させて求める。

3. 解析結果

3.1 位相差入力による解析

地震波が基盤節点に伝播して入力されるように位相差をもたせて解析を行った。CASE-1として地盤全てが非液状化領域、CASE-2として非液状化領域の中に液状化可能性領域のある場合の解析を行った。CASE-1, CASE-2については、発表当日に報告を行う。

3.2 同一位相入力による解析

基盤節点に入力される地震波が同一位相である場合の解析を行った。CASE-3として地盤全てが非液状化領域、CASE-4として非液状化領域の中に液状化可

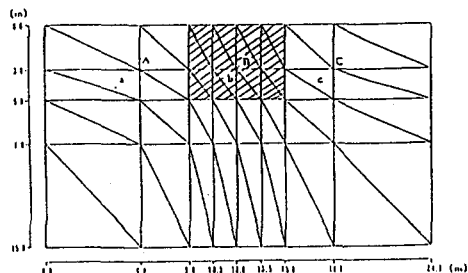


図1 解析モデル

表1 地盤の諸定数

層	N値	相対密度		内部摩擦角(°)	
		非液状化層	液状化層	非液状化層	液状化層
1	10	0.50	0.40	26.0	27.5
2	15	0.60	0.40	30.0	27.5
3	25	0.70	—	33.0	—
4	30	0.80	—	36.0	—

Shiro TAKADA, Shinichi TANIGAWA

能性領域のある場合の解析を行った。図1に解析モデルを示す。入力地震波は周波数2Hz、最大加速度振幅100Galで、10秒間に増幅と減衰を伴う正弦波を用いて、x方向にのみ入力を行った。境界条件として両端の鉛直方向は固定している。また、地下水位は地表面とした。地盤の諸定数を表1に示す。図2には、CASE-3、CASE-4における要素bの応力-ひずみ関係を、図3にはCASE-4における要素bの過剰間隙水圧比変化を示している。図2を見ると、CASE-4の場合、液状化領域のせん断剛性の低下がよく表されているのが分かる。図3からはCASE-4では過剰間隙水圧比が時間とともに上昇し、7秒後には、0.6に達し、10秒後には最大値が1.0を超え完全液状化状態になっているのが分かる。図4、図5にはCASE-3、CASE-4におけるA、C点のx方向変位を示している。図6には、CASE-3、CASE-4それぞれのA、C点間のx方向相対変位（A点の変位-C点の変位）を示している。図6から、液状化領域のあるCASE-4の場合、A、C点間の相対変位は、CASE-3に比べ7秒後あたりから約3倍の大きさになっている。ひずみは300 μ 程度である。このことから、局部的に液状化領域がある地盤にパイプが埋設されていれば、液状化部分をさむ二点間の相対変位が大きくなり、さらに液状化部分では地盤の拘束力は失われているので、パイプにはかなりの力がかかると思われる。

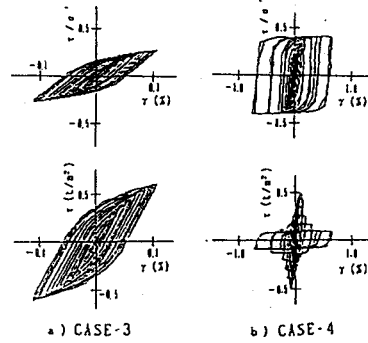


図2 CASE-3、CASE-4における要素bの
応力-ひずみ関係

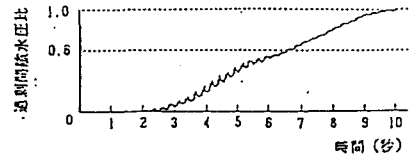
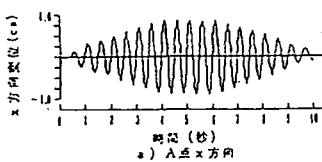
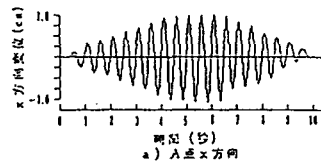


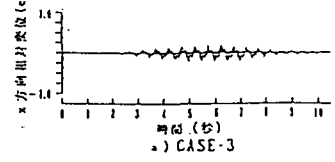
図3 CASE-4における要素bの過剰間隙水圧比変化



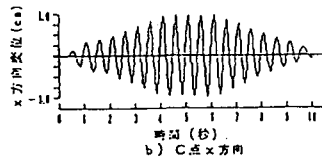
a) A点x方向



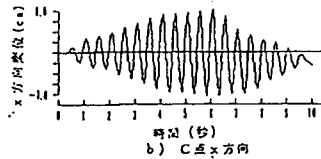
b) C点x方向



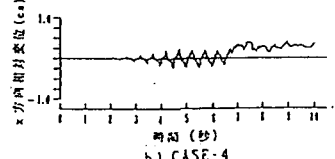
a) CASE-3



b) C点x方向



b) CASE-4



b) CASE-4

図4 CASE-3のx方向変位

図5 CASE-4のx方向変位

図6 CASE-3、CASE-4のA、C点間の
x方向相対変位

4. おわりに

本研究から、同一位相入力で解析した場合、地盤にパイプが埋設されていれば、液状化しない地盤に比べ、液状化領域がある地盤の方がパイプにはより大きいひずみが生じるのではないかと考えられる。また今後、解析モデルあるいは、その境界条件などの問題、さらに実現象との比較などの検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 佐藤靖彦・Pradan, Tei, B. S.・龍岡文夫：非排水繰返し三軸試験における砂の応力～ひずみ履歴関係，第22回土質工学研究発表会，1987.6.
- 2) 西好一・金谷守・松井家孝・当麻純一：地震時における基礎地盤の安定性評価（その1）動的解析に基づく砂・砂れき地盤の安定性評価手法の開発，電力中央研究所報告書，1986.9.