地盤の不整形性を考慮した軟弱地盤内の水道管の地震応答解析

九州大学大学院　　学生会員　○佐藤　麻衣子
九州大学大学院　　正会員　　梶田　幸秀

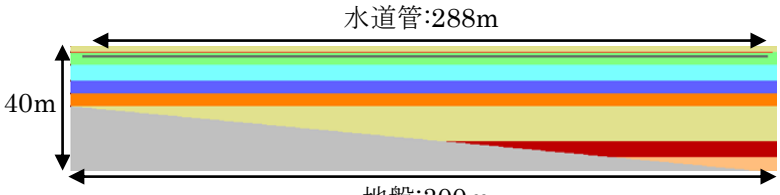
1．目的

平成 23 年東北地方太平洋沖地震をはじめ, 現在までに一般的な水道管だけでなく, 耐震化された水道管の被害が確認されている. 水道管の応答変位について, 現在の水道管耐震基準では, 工学的基盤面の傾斜などの不整形地盤が液状化の際に与える影響は考慮されていない. そのため, 実際の地盤変位と耐震設計上の変位で差が生じていることが考えられる. 本研究では, 工学的基盤面が傾斜している不整形地盤内の水道管の挙動について,2 次元有効応力 FEM 解析を実施し, 整形地盤内の水道管の挙動との比較検討を行った.

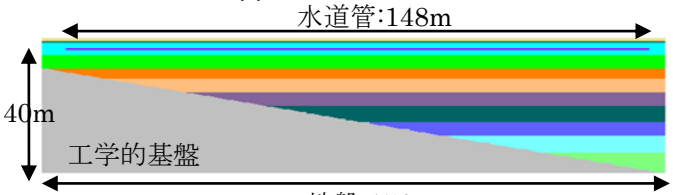
2. 内容

2. 1　解析モデル

本解析では, 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP[1)2)]を用いた. 福岡市中央区の実地盤データを元に**図-1** に示す工学的基盤面の傾斜が約 8%のモデル 1, 約 20%のモデル 2 を作成し解析を行った. 加えて, 土層の種類や厚さは変更せず, 工学的基盤面を水平としたモデルを作成し, 整形地盤での水道管の挙動について解析を行った. 水道管は水道用硬質塩化ビニル管を対象とした. 水道管のモデル化については 2 次元解析では円筒を再現することは困難であるため, 正四角柱としてモデルを作成している. その際, 浮力による水道管の浮き上りを考慮できるよう水道管の密度, 体積が実際のものと同程度となるようにした. 要素定義として, 土層にマルチスプリング要素 [3)], 水道管に線形平面要素を用いた. 地盤定数を**表-1** に示す. なお, 液状化層では変相角および FLIP の液状化パラメタを設定している. 側面を粘性境界, 底面を固定境界とした. また, 入力波として最大加速度 600gal, 周期 1.25Hz の正弦波の前後にテーパーをかけたものを基盤に入力している.



(a)　モデル 1



(b)　モデル 2

図-1　解析モデル

表-1　地盤定数

(a)モデル 1

土層区分	ρ (t/m^3)	N値	φ_f (°)
layer1	1.8	5	39
layer2	2	15	42
layer3	1.8	23	41
layer4	1.4	8	37
layer5	1.4	14	38
layer6	2	23	39
layer7	2	26	38
layer8	2	27	38
layer9	2	50	39

(b)　モデル 2

土層区分	ρ (t/m^3)	N値	φ_f (°)
layer1	1.8	4	39
layer2	2	12	42
layer3	2	21	42
layer4	2	18	40
layer5	1.8	8	37
layer6	1.8	15	38
layer7	2	23	40
layer8	2	22	38
layer9	2	26	38
layer10	2	27	38
layer11	2	50	40

2. 2　解析ケース

今回は整形地盤と不整形地盤の水道管の応答の違いに加えて, 液状化層の有無や, 液状化層の深度の違いによる水道管の変位の違いを調べるため, モデル 1 については 3 ケース, モデル 2 については 2 ケースについて解析を行った. **表-2** に検討ケースを示す.

表-2　検討ケース

(a)　モデル 1

	液状化層位置
case1	深さ2m~11m
case2	深さ11m~19m
case3	なし

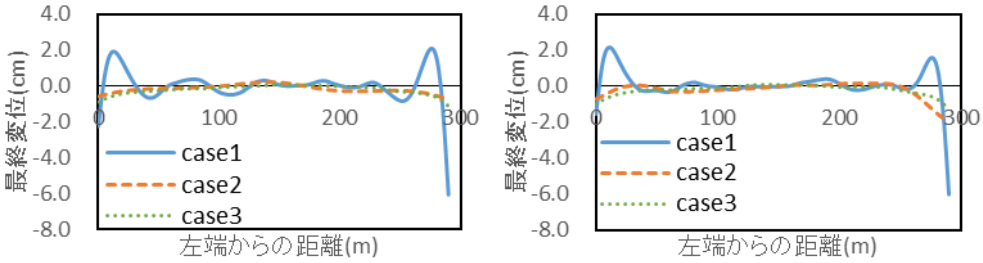
(b)　モデル 2

	液状化層位置
case1	深さ1m~9m
case2	なし

キーワード　不整形地盤, 水道管, 液状化
連絡先　〒819-0395 福岡市西区元岡 744　ＴＥＬ092-802-3374

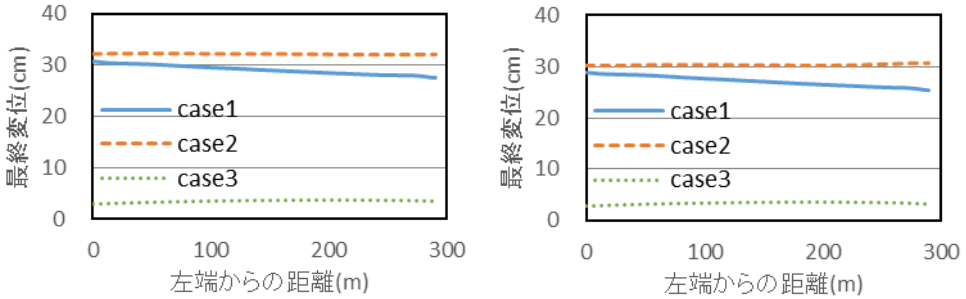
2. 3 解析結果

図-2 にモデル 1 の水道管の鉛直最終変位を示す. 整形地盤, 不整形地盤ともに水道管の変位は水道管が液状化層内に存在する case1 が最大となった. 液状化層が水道管から離れている case2, 液状化層の存在しない case3 ではほとんど変位しないという結果となった. 水道管の両端で, 変位が大きくなっているのは自由地盤部への液状化層の流動が起きており液状化層が大きく変位したことが原因であると考えられる.



(a) 不整形地盤 (b) 整形地盤

図-2 モデル 1 水道管鉛直方向変位



(a) 不整形地盤 (b) 整形地盤

図-3 モデル 1 水道管水平方向変位

図-3 にモデル 1 の水道管の水平方向変位を示す. 整形地盤, 不整形地盤ともに液状化層がある場合は大きく変位していることが分かる. これらの変位についても、液状化層の流動が影響しているものと考えられる. 次にモデル 2 の不整形地盤における鉛直変位、水平変位を図-4, 5 に示す. 鉛直変位に関しては、いずれのケースにおいてもモデル 1 の場合と同程度の変位であり, 工学的基盤面の傾斜が大きくなったことによると考えられる影響は現れなかった. 原因としては, 現在のモデルでは水道管側面からの土の回り込みを考慮できておらず, 水道管の変位が小さくなったと考えられる. 一方, 水平変位に関しては, 80cm 程度の変位が見られモデル 1 よりも大きくなっている. このことより, 工学的基盤面の傾斜が大きくなると水道管の水平変位が, 大きくなると考えられる.

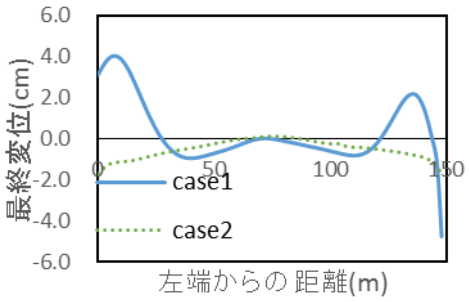


図-4 モデル 2 水道管鉛直方向変位

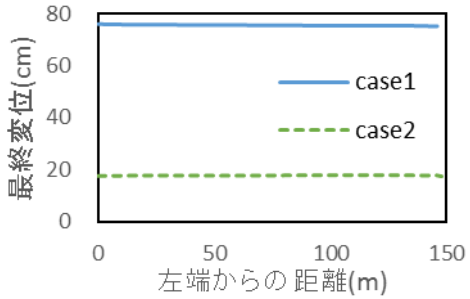


図-5 モデル 2 水道管水平方向変位

3. 結論

液状化層の深度の違いにより, 水道管の変位の傾向に差が生じるため確認が必要であると考えられる. また, 今回解析の対象とした地盤で水平変位において工学的基盤面の傾斜による影響が確認されたが, 継手等のモデル化を行っていないため影響を考慮できていない. 今後は継手等のモデルの作成を行い, 水道管に作用する軸応力等を確認する必要がある.

参考文献

1)森田年一, 井合進, Hanlong LIU, 一井康二, 佐藤幸博：液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法, 港湾技研資料, No.869, 1997.

2)Susumu IAI, Yasuo MATSUNAGA and Tomohiro KAMEOKA：ANALYSIS OF UNDRAINED CYCLIC BEHAVIOR OF SAND UNDER ANISOTROPIC CONSOLIDATION, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.2, pp.16-20, 1992.

3) Towhata, I. and Ishihara, K.: Modelling Soil Behavior under Principal Stress Axes Rotation, Proc. of 5th International Conf. on Num. Methods in Geomechanics, Nagoya, Vol.1, pp. 523-530, 1985.