

有効応力解析を用いた液状化層を有する不整形地盤内の水道管の応答解析

九州大学 学生会員 ○佐藤 麻衣子 九州大学大学院 正会員 梶田 幸秀

1. はじめに

上下水道施設は生活に欠かすことのできないインフラであり、大きな地震が起こった際にも水道サービスの提供が続けられることが必要である。水道管の被害を最小限に抑えるため、液状化等の地盤変状にも対応することのできる耐震継手等の導入や、従来の水道管より靱性に富むダクタイル鋳鉄管への切り替えが進んでいる。しかし、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. 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FLIP¹²⁾を用いた。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、液状化層の有無による水道管の変位の違いを調べるため、液状化層が存在する地盤と存在しない地盤のどちらについても解析を行った。case1を、整形地

盤で液状化層がある場合、case2を整形地盤で液状化層がない場合、case3を不整形地盤で液状化層がある場合、case4を不整形地盤で液状化層がない場合とする。不整形地盤であるcase3とcase4の場合の解析モデルの概略図を図-1に示す。不整形地盤として、工学的基盤面を5%傾斜させたものを用いた。整形地盤の解析では、土層の種類や厚さは変更せず、工学的基盤面を5mで一定としたモデルを作成した。水道管の長さを100mとし、左右に100mの不規則領域を設けた。実際的水道管では、継手やマンホールが水道管の挙動に影響を及ぼすと考えられるが今回は省略している。水道管は被害事例として多く報告されている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に水道管の密度、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。また、線形平面要素の物性値を表-2に示す。case2、case4についてはlayer3をlayer4に変更している。なお、液状化層では変相角およびFLIPの液状化パラメータを設定している。側面を粘性境界、底面を固定境界とした。また、入力波として図-3に示す最大加速度1000gal、周期1.25Hzの正弦波の前後にテーパをかけたものを基盤に入力している。

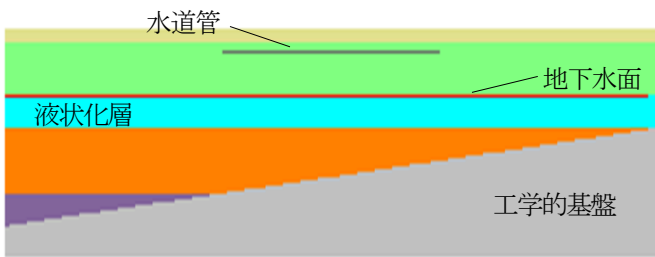


図-1 解析モデルの概略図

表-1 地盤物性値

土層区分	D 層厚	σ_v 層上端 上載圧	ρ_t 湿潤 密度	N値	ϕ_f せん断 抵抗角
	(m)	(kPa)	(t/m ³)		
layer1	2	0	1.8	5	39
layer2	8	35	1.8	10	39
layer3	5	177	2	2	37
layer4	10	226	2	10	38
layer5	5	324	2	20	39
layer6	5	373	2	50	41

表-2 線形平面要素物性値

ヤング率(kN/m ²)	2.85×10 ⁶
ポアソン比	0.38
幅(m)	0.558
密度(t/m ³)	0.168

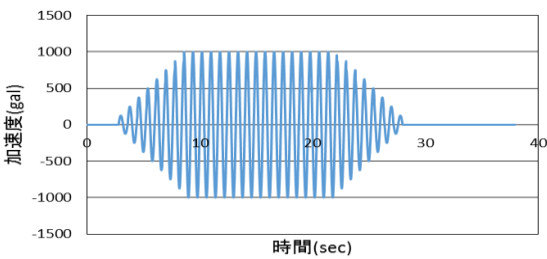


図-3 入力波時刻歴

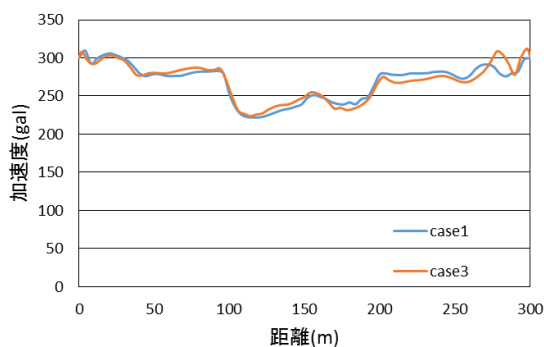


図-4 地表面最大加速度

3. 解析結果

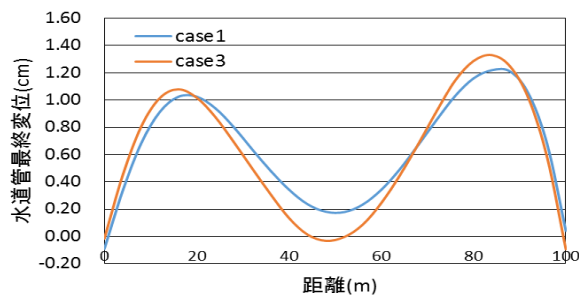
図-4 に地表面最大加速度を示す。液状化層による加速度の低減が発生しているものの、傾向に大きな差はないことから、工学的基盤面の傾きが地震波の伝わり方に大きな影響を与えていないということが推察される。

図-5 には水道管の最終変位、図-6 に水道管直下の地盤変位を示す。図-5 から液状化層が地盤中に存在する場合、水道管の端部付近に変位のピークが2箇所現れ、水道管の浮き上がりが一様ではないことが分かる。図-6 より、水道管の端部付近の土の沈下が激しいことが確認できることから、液状化した水道管周辺の土の水道管下への回りこみが発生し、浮き上がりが不均一になったと考えられる。また、整形地盤と不整形地盤での水道管変位の差は見られなかった。地表面加速度に違いがほとんどなかったことから、液状化層や水道管に与える影響の違いもほとんどなく変位に差が現れなかったと考えられる。

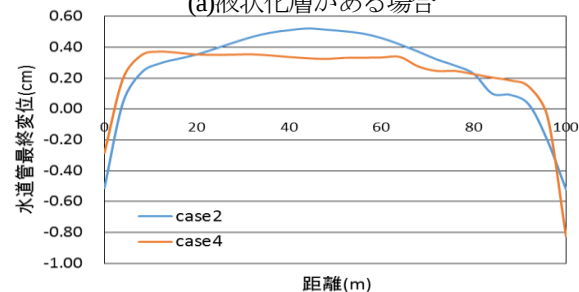
続いて、水道管のせん断応力を図-7 に示す。変位の急変が起こる水道管端部付近では比較的大きなせん断応力が発生しているが、硬質塩化ビニル管のせん断耐力より小さいので水道管に破損は起こらないと考えられる。また、その他の部分ではせん断応力はほとんど発生しておらず水道管への影響もほとんどないと考えられる。

4. まとめ

工学的基盤面が5%傾いている不整形地盤と、整形地盤の場合の水道管の変位にほとんど差はなく、せん断応力に関してもせん断強さを超えないことが分かった。今後基盤面の傾き方向が途中で変わるV字形状などについての検討など実地盤データに則した地盤で検証を続ける予定である。



(a)液状化層がある場合



(b)液状化層がない場合

図-5 水道管の最終変位

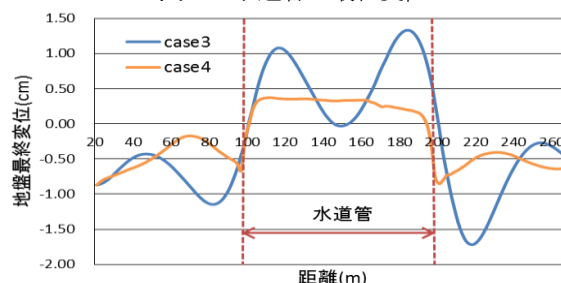


図-6 水道管直下の地盤の最終変位

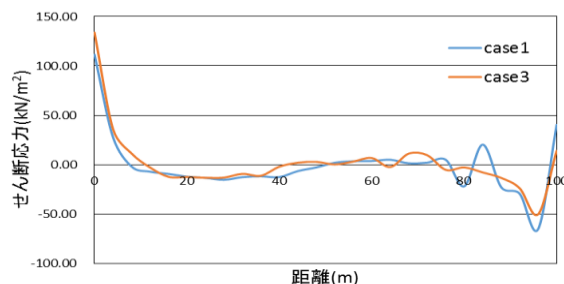


図-7 水道管に発生するせん断応力

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.