

地盤の不整形性を考慮した軟弱地盤内の水道管の地震時応答

九州大学 学生会員 ○河合俊和 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 を用いた。福岡市の実地盤データを元に図-1 に示す水道管長手方向のモデルを作成した。地盤の物性値は表-1 に示すとおりである。モデルの鉛直方向長さは 40m、水平方向長さは 300m であり、工学的基盤面の傾斜角は 8% となっている。つまり、本モデルの左端では工学的基盤面までの深さは地表面から 40m であり、右端では工学的基盤面までの深さは地表面から 16m となっている。ここに長さ 288m の水道管を地表面から深さ 3m の位置に埋設した。このモデルでは、水道管の鉛直方向の応答変位と鉛直方向変位に伴う曲げひずみについては検討できるが、水道管断面を中空円筒として再現することはできず、周辺地盤からの土圧による水道管断面の変形により生じる水道管断面のせん断応力の照査はできない¹⁾。そこで図-2 に示すとおり、長手方向モデルの左端から 6m 地点(水道管左端)、100m 地点、200m 地点、294m 地点(水道管右端)での水道管断面モデルを新たに作成し、水道管を図-3 に示すとおり中空円筒でモデル化し、水道管断面に作用するせん断応力について検討を行うこととした。要素定義として、土層にマルチスプリング要素、水道管と工学的基盤面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をかけたものを基盤に入力している。

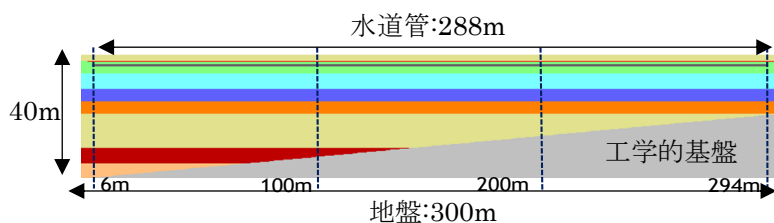


図-1 解析モデル(長手方向)

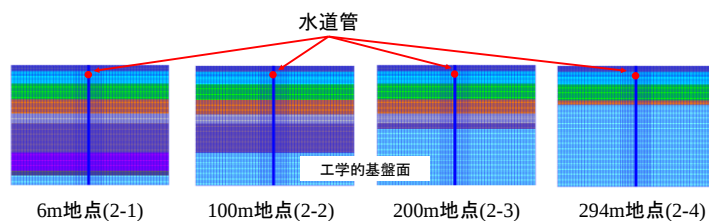


図-2 解析モデル(水道管断面)

表-1 地盤定数

土層区分	ρ (t/m^3)	N値	ϕ_f ($^\circ$)
layer1	1.8	5	39
layer2	2	2	42
layer3	1.8	2	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

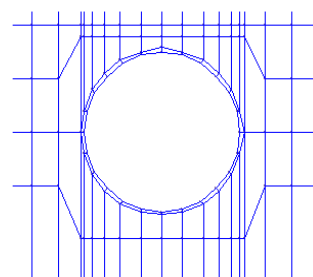


図-3 水道管断面モデル

2.2 解析結果

図-4 に水道管の鉛直方向変位を示す。正の値は上方に、負の値は下方に変位したことを示す。長手方向モデルでは、両端部で水道管上方にあった土が下方側へと潜り込んだため、少し応答が大きくなっているが概ね横ばいである。一方、水道管断面モデルでは、各地点(4 地点)での鉛直方向変位を直線で結んだものであるが、ほぼ一直線で工学的基盤面までの深さが浅くなると水道管が上昇していることが分かる。こ

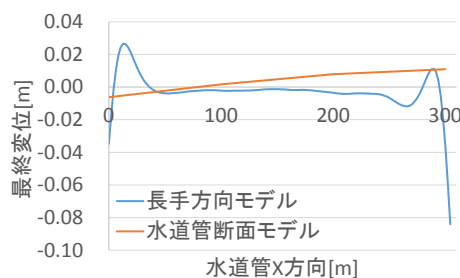


図-4 水道管鉛直最終変位

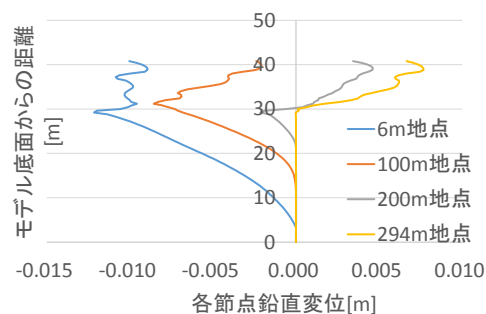


図-5 地盤各節点鉛直変位時刻歴

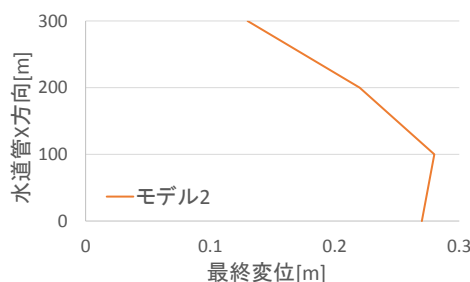


図-6 水道管水平最終変位

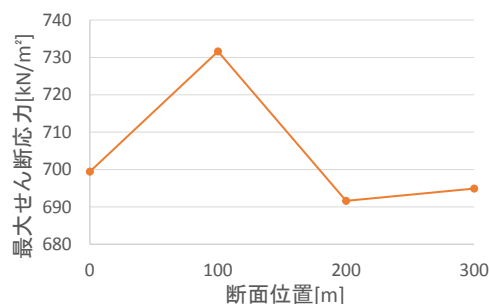


図-7 せん断応力最大値

の原因について考察するため、水道管断面モデルでの水道管下の地盤の各地点での鉛直方向変位を見ると図-5の通りとなった。工学的基盤では応答はほとんどしないので、工学的基盤と液状化層で挟まれた地点では、土は鉛直方向下方へ移動し沈降していることが分かる。そのため、工学的基盤と液状化層との間にある程度の層厚が存在する 6m 地点、100m 地点では水道管自身が鉛直下方へ、工学的基盤のすぐ上に液状化層が存在する 200m 地点、294m 地点では水道管は上方へと変位したと考えられる。過去の地震災害では管径の 1/5 以上の沈下やたるみが生じた場合、布設替えを余儀なくされている。今回検討している水道管モデルの管径は 60cm であるため、布設替えが必要なほどの被害は発生していないと考えられる。

続いて、水道管断面モデルで得られた各地点での水平方向変位より、長手方向における水平方向移動量をまとめると図-6の通りになる。ここで、100m 地点で折れ曲がっていることが分かるが、この点については、3次元モデルにおいて詳細に検討が必要であると考えられる。最後に水道管断面モデルにおいて、各地点でのせん断応力を算出したものを図-7に示す。硬質塩化ビニル管の一般的なせん断耐力は 53000kN/m²であり、本解析で生じるせん断応力はかなり小さいことが分かった。ただし今回は水道管のみをモデル化しており、マンホールや継手部による剛性変化などを考慮していないため、この点については今後の課題といえる。

3. 結論

工学的基盤の深度が浅くなるほど、水道管の鉛直方向に浮き上がる可能性が大きくなることが分かった。また工学的基盤の位置を変えても水道管に発生するせん断応力は大きく変化しないことが分かった。

参考文献

1) 梶田幸秀, 佐藤麻衣子: 軟弱地盤を有する不整形地盤内の水道管の地震応答に関する基礎的検討, 第36回地震工学研究発表会, 論文番号891(USB), 2016