

地中管路に作用する液状化流動外力

神戸大学工学部 正 高田 至郎
 防 衛 庁 正 ○ 田邊 揮司良
 神戸大学大学院 学 山下 淳志
 久保田鉄工(株) 正 片桐 信

1. はじめに 地震時の液状化による地盤の移動で地中管路が大きな被害を受けることはよく知られており、液状化中の地盤ばね定数を明らかにすることは管路の耐震設計法を確立する上で重要な課題の一つである。そこで本研究では、液状化地盤、飽和砂および排水砂中の管路が移動する際の抵抗力を実験によって測定し、地盤ばね定数を推定した。また、液状化地盤を粘性流体とみなした場合との比較も行った。

2. 実験方法 実験にはφ48mmおよびφ102mmの鋼製管路を用い、液状化実験は大型振動台を用いて行った。液状化実験は図1に示されるような装置でクレーンを、また飽和砂・排水砂実験は油圧ジャッキを用いて種々埋設深さを変えた管路を上方に引き上げ、地盤と管路に相対変位を与えることで管路が受ける抵抗力を測定した。なお、液状化中実験は振動中に引き上げる場合と振動停止直後に引き上げる場合の2種類を行った。

3. 実験結果 液状化中・直後の抵抗力は最大抵抗力点以後は急激に低下しているが、飽和砂・排水砂の抵抗力はその低下率は小さかった。また、図2・図3に無次元化最大抵抗力 ($F_m / \gamma \cdot h \cdot D \cdot L$ 、 γ :砂地盤の単位体積重量、 h :実験地盤の層厚、 D :管路の直径、 L :管路の長さ)と H'/h (H' :地表面から管路中央部までの土被り厚)の関係を示している。なお、砂地盤の単位体積重量は飽和砂・液状化地盤で 2.0 tf/m^3 、排水砂では 1.8 tf/m^3 としている。図2より、一般的に地盤が硬いほど無次元化最大抵抗力は大きく、 H'/h が大きくなるほど無次元化最大抵抗力大きくなる傾向がみられ、飽和砂のように柔らかい地盤では最大抵抗力の上昇率が小さくなる傾向がある。しかし、図3に示すように液状化中・直後の結果はそのような顕著な傾向はみられなかった。また、液状化中の無次元化最大抵抗力は飽和砂地盤の値よりも大きくなっている。この原因としては以下の2つが考えられる。まず、液状化地盤では管路の埋設深さにかかわらず一定の最大抵抗力を示す場合である。いま、液状化層の下部では沈下によって単位体積重量は大きくなり、上部では浸透流によって単位体積重量は小さくなっていると考えられるため、図3より最大抵抗力は一定と考えられる。永井らの文献

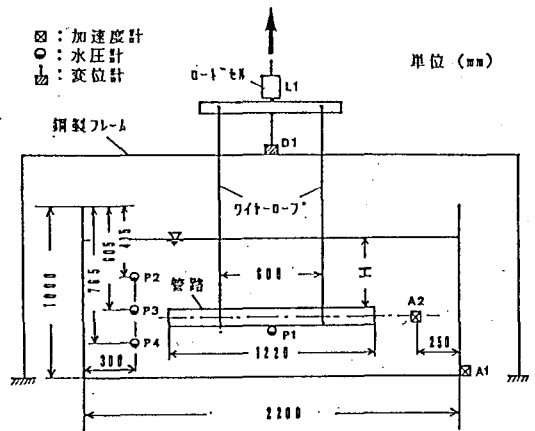


図. 1 実験装置概要図

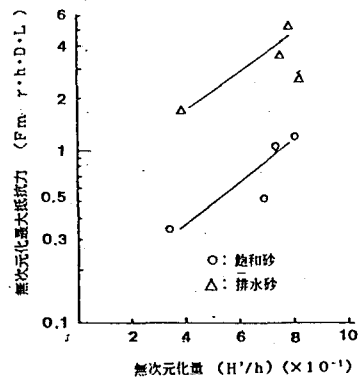


図. 2 無次元化最大抵抗力と埋設深さの関係

Shiro TAKADA, Kishiro TANABE, Atsushi YAMASHITA, Shin KATAGIRI

によれば液状化地盤を $2\sim 6\text{g}\cdot\text{sec}/\text{cm}^3$ の粘性流体と考えて差し支えないとした。そこで、管状の構造物を横切る粘性流体による抵抗力をLagerstromらの文献に提案されている理論解によって求めると、 $\phi 48\text{mm}$ では 206kg 、 $\phi 102\text{mm}$ の場合は 364kg となり、図3に示すように埋設深さの大きい付近ではよく対応している。しかし、埋設深さが小さくなると実験結果は計算値よりも小さくなる傾向がある。これは、液状化地盤では地表面の影響が大きいと考えられる。これは、飽和砂の三軸圧縮試験の結果でも報告されているように実験時の変位速度が異なっているためと考えられる。つまり、管路を引き上げることにより正のダイレタンシーが生じ、負圧が発生して地盤の抵抗力が大きくなっていると考えられる。前述の粘性流体中の抵抗力の計算式においても載荷速度が変われば、図3のように抵抗力は変化する。したがって、管路に作用する抵抗力は地盤の最大沈下速度に左右されることになり、今後検討を要する。

図4は液状化地盤の最大抵抗力を示すときの限界変位と埋設深さの関係を示している。図より、液状化中の限界変位は埋設深さに関係なくほぼ一定値を示しており、平均値は $\phi 48\text{mm}$ で 7.28cm 、 $\phi 102\text{mm}$ の場合では 4.37cm であった。また、液状化直後の限界変位は $\phi 48\text{mm}$ では埋設深さの22%、 $\phi 102\text{mm}$ では11%であった。したがって、液状化中の限界変位は管径に反比例し、埋設深さに関係なく一定値をとる傾向にある。なお、排水砂の限界変位は埋設深さの約3%、飽和砂では、ばらつきがあるが約4%となった。

4. 地盤ばね定数の推定 それぞれの実験の抵抗力-変位関係をそれぞれ最大抵抗力と限界変位で除した関係を双曲線関数で近似し、その初期勾配、70%勾配、100%勾配から埋設深さを 1.2m として地盤ばね定数を求めると表1のようになる。なお、飽和砂・排水砂の最大抵抗力 F_m はMatyasらの文献で提案されている管路上部の砂の重量と鉛直上方に伸びるすべり線でのせん断抵抗力との合力として求め、液状化地盤では実験結果の平均値とした。また、限界変位はそれぞれの実験結果から算出している。表1における100%勾配での地盤ばね定数とガス指針に示される普通地盤のばね定数 $k=0.6(\text{kgf}/\text{cm}^3)$ とを比較すれば液状化中では $1/32\sim 1/50$ に、飽和砂では $1/40$ に、また排水砂では $1/6$ に低下する結果になった。

5. おわりに 液状化中の地盤では最大抵抗力は粘性流体とみなした場合とほぼ等しく、一定値をとり、限界変位も一定となる傾向がある。なお、土槽中を同一深さで管路が移動する場合の抵抗力についても検討し、地盤ばね定数の推定を行っている。

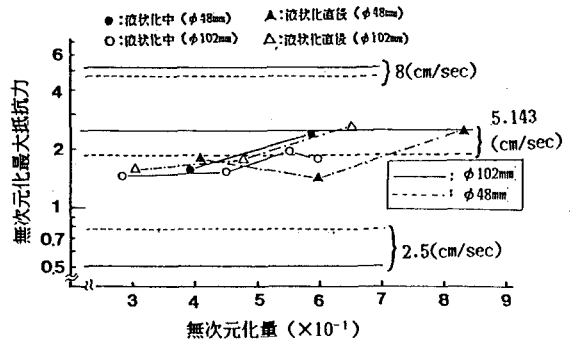


図.3 無次元化最大抵抗力と埋設深さの関係 (管路の移動速度の影響)

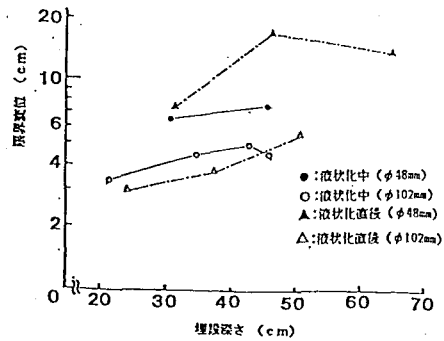


図.4 限界変位と埋設深さの関係

表.1 地盤ばね定数値 ($H'=1.2\text{m}$)

実験名	地盤ばね定数(kgf/cm^3)			すべり限界変位 (cm)		
	初期	70 %	100 %	初期	70 %	100 %
液状化中 ($\phi 48\text{mm}$)	0.037	0.020	0.013	2.6	4.8	7.3
液状化中 ($\phi 102\text{mm}$)	0.045	0.027	0.019	1.9	3.1	4.4
液状化直後 ($\phi 48\text{mm}$)	0.043	0.0109	0.0036	7.7	15.2	26.4
液状化直後 ($\phi 102\text{mm}$)	0.040	0.0145	0.0074	5.7	9.4	13.2
排水砂	0.36	0.18	0.10	1.0	2.1	3.6
飽和砂	0.11	0.043	0.015	0.5	1.4	4.8