

神戸大学大学院 学生員 田邊 輝司 良

神戸大学工学部 正 員 高田 至郎

久保 田 鉄 工 正 員 片 桐 信

1.はじめに 液状化を受けるマンホールを含めた地中管路の設計法は未だ確立されていないのが現状かと思われる。本研究では、現在までに行った管路およびマンホール-管路系の液状化挙動実験から得られた、弾性床上的のはり理論で解析するための液状化等価地盤ばね定数を示すとともに、その理論を用いた液状化時の管路およびマンホール-管路系の設計法について検討している。

2.液状化等価地盤ばね定数 端部固定管路(Model1)、マンホール-両端自由管路系(Model2)、マンホール-一端固定有継手管路系(Model3)の液状化実験より測定された管体・マンホール変位、管体ひずみを、弾性床上的のはり理論より誘導された算定式に代入し、さらに液状化時に管路およびマンホールに作用する外力を次式のように仮定することで、逆に液状化地盤ばね定数 Table 1 Equivalent Ground Spring Constants を推定している¹⁾。その値をTable-1 に示す。

$$F_m = \gamma_s \cdot V_m - \gamma_m \cdot V_m, \quad f_p = \gamma_s \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \cdot W_p \quad (1)$$

ここに、 F_m :マンホールに作用する外力(kgf)、 f_p :管路単位長さには作用する外力(kgf/cm)、 γ_s :飽和砂の単位体積重量(kgf/cm³)、 γ_m :マンホールの単位体積重量(kgf/cm³)、 V_m :マンホールの体積(cm³)、 W_p :管路の単位長さ当たりの自重(kgf/cm)、 D :管路の外径(cm)、である。

表より、液状化等価地盤ばね定数は非液状化地盤の約1/5500~1/300の範囲に入っている。また、他の研究者による同様の実験についても、同様の手続きで液状化地盤ばね定数を求めたが、一端固定管路の実験²⁾では1/2264~1/461に、両端固定管路の実験³⁾では1/1473~1/1428と、本研究とほぼ同じ範囲にあった。また、実験モデルの曲げひずみ、浮上量に対する地盤ばね定数の感度特性を調べたが、等価液状化地盤ばね定数が1/3000~1/1000の範囲にあれば実験値はほぼ満足されることがわかった。

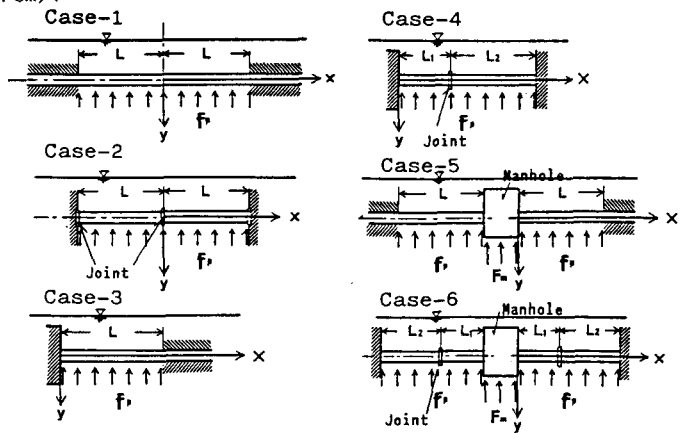
3.設計式および管路の液状化応答特性

以上の解析結果および実験をもとに、液状化時の地中管路設計式を提案する。

Fig.1 に管路モデルを示す。Case1 ~ Case4に示したモデルは管路部のみが

Object		Equivalent Ground Spring Constant	
		kp or km	kp or km/kg
Model-1	Eq.(3)	$1.6 \times 10^{-4} \sim 5.7 \times 10^{-4}$	1/3750~1/1052
	Eq.(4)	7.4×10^{-4}	1/815
Model-2	Eq.(5)	$1.9 \times 10^{-2} \sim 1.1 \times 10^{-4}$	1/5455~1/316
	Eq.(6)	5.5×10^{-4}	1/1091
Model-3		$1.1 \times 10^{-3} \sim 6.3 \times 10^{-4}$	1/950~1/550

※ kg:Non-Liquefied Ground Spring Constant = 0.6kgf/cm³



- Case-1 : Straight pipeline with no joint
- Case-2 : Straight pipeline with joints
- Case-3 : Manhole fitting pipeline with no joint (Manhole is immovable)
- Case-4 : Manhole fitting pipeline with a joint (Manhole is immovable)
- Case-5 : Manhole fitting pipeline with no joint (Manhole is movable)
- Case-6 : Manhole fitting pipeline with a joint (Manhole is movable)

Fig.1 Design Models for Pipeline and Manhole-Pipeline System Subject to Liquefaction

液状化による浮力を受ける場合で、マンホール等の構造物の浮上は考慮していない。なお、Case 2の有継手管路では、液状化と非液状化境界部に継手を有しており、端部固定条件および自由条件でもその応答値に大差がなく、設計式では式が簡単な前者を用いている。また、Case4、6ではマンホール端の管体曲げひずみに及ぼす継手の影響を見ることが目的であり、式の煩雑さを防ぐため継手1つのモデルを用いている。なお、設計式は紙面の都合上割愛し、発表当日に示す。

設計式により管路のみが液状化を受ける場合の一般的応答特性を求める。この時の液状化等価地盤ばね定数は、非液状化地盤の1/1000を用いている。Fig.2(a)は、Case1の場合の液状化境界部での曲げモーメント(M)を外力(F)で除した値と液状化範囲の関係を β ($\beta^4 = \pi kpD/4EI$ 、 EI は管体曲げ剛性)をパラメータとして表している。ここで、 β の変化範囲は鋼管の $\phi 10 \sim 300$ 程度の値を取っている。図より、ある1つの β に対し M_L/F は液状化範囲が大きくなると一旦最大値を示した後に一定の値に収束する。しかし、その最大値を示す液状化範囲は β の値、すなわち管種・管径により異なっている。このことは、安全側の設計には最大曲げひずみを与える液状化範囲を管種・管径により求める必要があると考えられる。また、 $\phi 10$ 、 $\phi 200$ の鋼管に対し最大曲げひずみを求めると、それぞれ $103.8 \mu(10m)$ 、 $1889 \mu(63.5m)$ となった。一般的に同じ外力に対しては管径が大きい方が小さい曲げひずみを示すが、鋼管では管径が大きくなるほど浮力が増大するのでこのような値となっている。ちなみに、この時の浮力はそれぞれ 0.0828 kgf/cm 、 56.157 kgf/cm で、内容物の重量は考慮していない。

Fig.2(b)は、Case2の場合で $\phi 50$ の鋼管に対し中央部の継手回転角(θ)を外力で除した値と液状化範囲の関係を、継手回転特性(K_R)をパラメータとして表している。 K_R の変化範囲は $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6 \text{ kgf}\cdot\text{cm/rad}$ である。図より、同じ管種でも継手特性が変われば継手回転角の最大値を示す液状化範囲が異なることがわかる。

Fig.2(c)はCase3の場合の不動構造物際の応答値を示している。Case1と同様な傾向を示している。また、 $\phi 10$ 、 $\phi 200$ の最大曲げひずみは、それぞれ $153.6 \mu(21m)$ 、 $2793 \mu(126m)$ となっている。

Fig.2(d)は、Case4の継手の応答値を示しているが、ここに示した継手特性の変化範囲では、応答値にあまり変化が見られない。

参考文献 1) S.Takada et al.:Liquefaction Analysis for Buried Pipelines,3rd Int. Conference on Soil Dynamics and Earthquake Eng.,1987.6. 2) 北浦他:一端を固定された地中埋設管模型の液状化時の挙動、土木学会論文報告集、第336号、1983.8. 3) E.Kuribayashi et al.:An experimental Behavior of Buried Pipes During Liquefaction of Saturated Sandy Soil, P.V.P. Con.,1985.6.

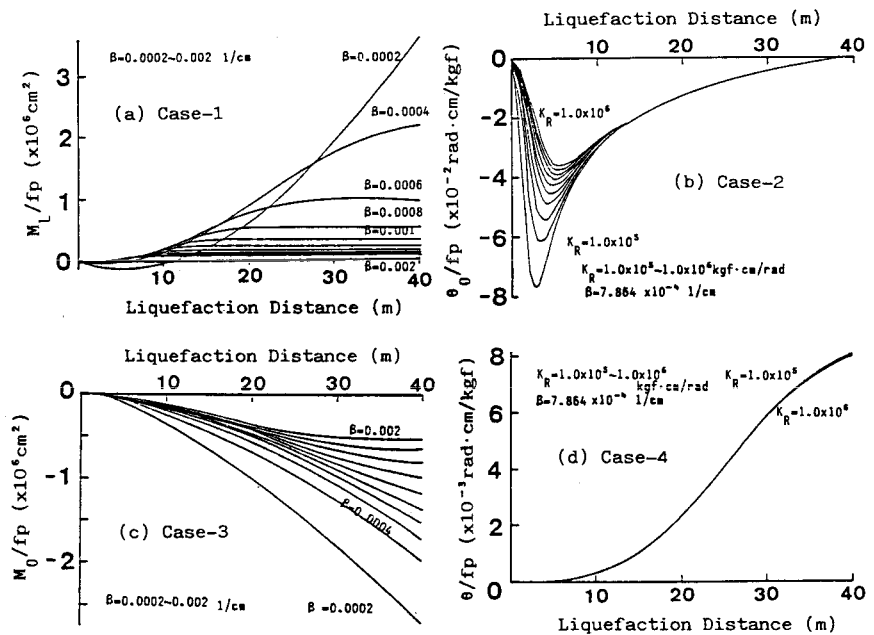


Fig.2 Relationships between Liquefaction Distance, and Calculated Responses of Pipeline