

神戸大学大学院 学生員○田澤博司良
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 本研究では、振動台上の新しく作成したせん断変形砂槽内に飽和砂層地盤を形成し、液状化時の砂地盤に埋設された管体に生ずる変位、ひずみ、土中の間隙水圧と、マンホールに作用する土圧、水圧および変位等の計測を行なった¹⁾。それらの基礎的データより、液状化時の外力および地盤ばね定数を定めるとともに、液状化地盤中の管路の安全性を検討した。

2. 液状化実験 実験は、呼び径φ40の塩化ビニル管(PVP)を使用した。表-1に管体諸元を示す。また、マンホールの比重は0.5である。本文では、図-1に示す一端を土槽壁に固定された管路(Case1)、および図-2に示す、管路-マンホール系の実験(Case2)について述べる。

3. 液状化地盤ばね定数の推定 弾性床土のはり理論に基づき、液状化を受ける管路の解析を試みた。なお、外力の設定に当たってはマンホールと管路でそれぞれ次式の様に定めた。

$$F_m = \gamma_s \cdot V_m - \gamma_m \cdot V_m \quad (1)$$

$$F_p = \gamma_s \cdot D^2 - W_p$$

ここに、 F_m :マンホールに作用する外力、 F_p :管路に作用する外力、 γ_s :飽和砂の単位体積重量、 γ_m :マンホールの単位体積重量、 V_m :マンホールの体積、 W_p :管路の単位長さ当りの自重、 D :管路の外径、である。液状化地盤ばね定数は、完全液状化までの地盤を等価弾性と仮定して、式(1)で与えられる外力と実験で求められる管体ひずみ、または変位量から逆算して求める。

3.1 端部固定管路の地盤ばね定数 端部固定管路任意点の曲げひずみ(ϵ)算定式を示す。

$$\epsilon = -\beta^2 \frac{F_p \{ e^{\beta x} (A \cos \beta x - B \sin \beta x) - e^{-\beta x} (C \cos \beta x - G \sin \beta x) \}}{\pi k_p (\cosh^2 \beta L + \cos^2 \beta L)} \quad (2)$$

ここに、 $A = e^{-\beta L} \cosh \beta L - \cos \beta L (\sin \beta L + \cos \beta L)$ 、 $B = -e^{-\beta L} \cosh \beta L + \cos \beta L (\sin \beta L - \cos \beta L)$ 、 $C = -e^{\beta L} \cosh \beta L - \cos \beta L (\sin \beta L - \cos \beta L)$ 、 $G = e^{\beta L} \cosh \beta L - \cos \beta L (\sin \beta L + \cos \beta L)$ 、 $\beta^4 = \pi k_p D / 4EI$ 、である。また、 EI :管体剛性、 k_p :管路の地盤ばね定数、 L :管長、 x :端部からの距離、である。

ここで、式(2)に本実験で得られた管体曲げひずみと浮力を代入することで逆に地盤ばね定数を求めた。求めたばね定数を表-2に示す。また、

表-2 端部固定管路実験より算定される液状化地盤ばね定数

	液状化地盤ばね定数 (kgf/cm ²)			
	Case1 (式(2)より)	Case1 (自由端変位)	Case2(式(3)より)	Case2(式(4)より)
k_m	$1.7 \times 10^{-4} \sim 7.1 \times 10^{-4}$	0.0181~0.0145	$0.021 \sim 1.1 \times 10^{-4}$	0.0330~0.0006
k_m/k_g	1/3529~1/845	1/624~1/500	1/5660~1/28.6	1/1000~1/18.2

※ k_g はガス導管耐震設計指針に基づき0.6kgf/cm²とする。

表-1 PVP管体諸元

項目	呼び径 (mm)	単位体積重量 (kgf/cm ³)	弾性係数 (kgf/cm ²)
実験管路	40	1.38×10^{-3}	30000.0
解析管路	150	1.305×10^{-3}	

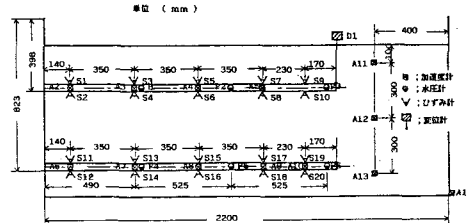


図-1 実験概要図(Case1)

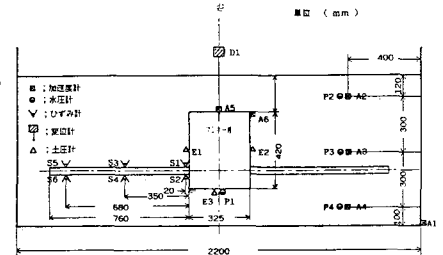


図-2 実験概要図(Case2)

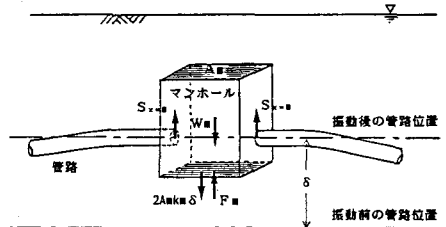


図-3 管路-マンホール系の力の釣合モデル

管路自由端部の変位からも地盤ばね定数を求めている。

3.2 管路-マンホール系の地盤ばね定数 管路任意点の曲げひずみ(εp)およびマンホール浮上量(y_0)算定式を誘導すると、次式で表される。また、力の釣合モデルを図-3に示す。

$$\varepsilon p = D \beta^2 e^{-\beta x} \{y_0 - Fp / (\pi k p D)\} (\cos \beta x - \sin \beta x) \quad (3)$$

$$y_0 = \frac{Fm + 8EI \beta^3 Fp / (\pi k p D)}{2(4EI \beta^3 + Am km)} \quad (4)$$

ここに、 km :マンホール地盤ばね定数、 Am :マンホール底面積、である。

ここで、式(3)に実験より得られた管体ひずみ、マンホール浮上量を代入することで、逆に管路の地盤ばね定数を求めた。求まった地盤ばね定数を表-2に示す。さらに、式(4)で同様の手順によりマンホールの地盤ばね定数を算定した。

4. 地中管路の液状化時安全性の検討 上述の結果より、液状化地盤ばね定数は従来用いられている地盤ばね定数(K_0)の1/1000~1/3000にあると考えられる。この液状化地盤ばね定数を用いφ150のPVP無継手管路の液状化時の安全性を検討した。数値解析には、当研究室で開発された ERAULプログラムを改良して用いている。

まず、比重0.5、重量5.8tf、底面積5.09m²のマンホールが液状化範囲の中央に位置し、液状化範囲は円形であると仮定して、管路-マンホール系の液状化時挙動解析を行い、マンホール浮上量および管体最大曲げ応力と液状化範囲の関係を求めた(図-4)。図より、どの液状化範囲でも管体応力は許容値(330kgf/cm²)を越えている。次に、直線管路部での解析を行った結果、図-5の様に管体応力は許容値以下となった。また、液状化対策として非浮上マンホールを考えた場合、図-6に示す様に管体応力は許容値以下となった。以上の結果より、直線管路部や管路-非浮上マンホール系の場合は管体には安全性に問題が少ないと考えられるが、マンホールが浮上する場合は十分に検討の余地がある。

さらに、直線管路部で継手を有する場合を検討する。図-7に継手回転特性と最大継手回転角の関係を示している。図-7では、継手特性を線形で扱っており、継手の非線形性を考慮すると、回転角が非線形になる所では図に示す回転角より小さくなる。しかし、管体応力はいずれにせよ図-5に示した管体応力以下となる。以上の結果より継手を有する直線管路部では、液状化時に継手特性が管路被害に大きく影響すると考えられる。なお、管路-マンホール系で継手を有する場合は、継手位置等の要素が複雑であるため、今後さらに検討を進める予定である。

参考文献 1)永井・高田・山條:液状化時非浮上マンホール工法の開発、土木学会第41回年次学術講演会、1986.11.

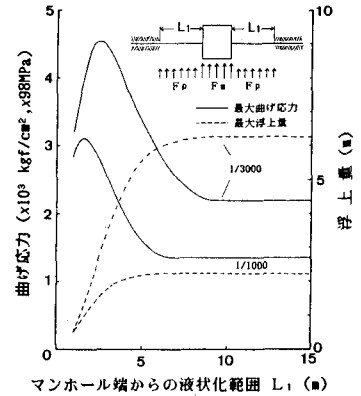


図-4 管路-マンホール系の液状化時挙動解析結果

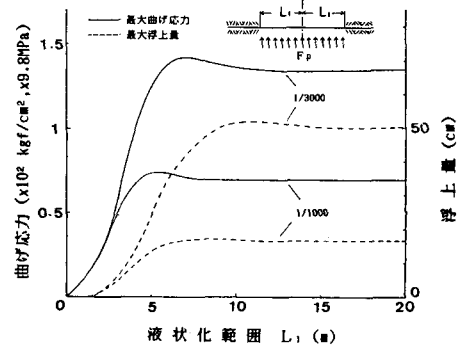


図-5 直線管路部の液状化時挙動解析結果

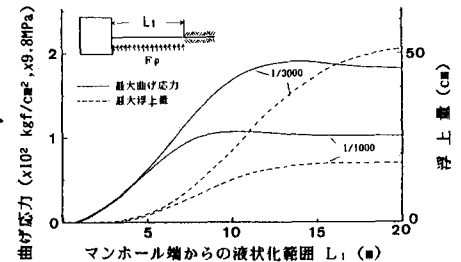


図-6 管路-非浮上マンホール系の液状化時挙動解析結果

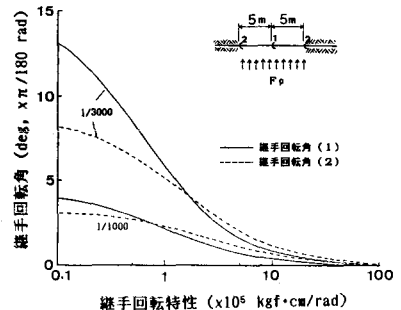


図-7 液状化時の継手回転角と継手特性の関係