

(64) 液状化時の埋設管の挙動に関する実験的研究
(表層非液状化層厚の影響)

東京ガス(株) 正員 佐瀬 毅
東京ガス(株) 正員 安藤 広和

1. 緒言

地盤の液状化を伴う地震では埋設管の被害率(管路の単位延長当たり破損箇所数)が著しく大きくなることが知られている。一般に管が埋設されている表層は液状化することではなく、実際に液状化するのはその下に存在する層と考えられる。著者らは埋設管を含む表層の下に部分的に液状化する砂層を設けた模型を用いて、液状化時の地盤と管の挙動を調べた。そして、表層地盤と管の挙動を表現する簡単な力学的モデルを提案した。¹⁾このモデルにより液状化時に管に生じる動的ひずみを定量的に評価できることがわかった。モデルをより実用的なものにするために、表層非液状化層厚を変化させた実験を行い表層非液状化層厚が地盤変位、管体ひずみに及ぼす影響について検討したので、以下報告する。

2. 実験模型

管は液状化しない表層の中に埋設し、その下部の一定範囲の地盤だけ液状化するような地盤模型を作り、振動台に取り付け、実験を行った。模型の形状、寸法及び各種計器の設置状況をFig. 1に示す。液状化範囲を80cm、液状化層厚を30cmに固定し、表層非液状化層厚を5cm(CASE 1)、10cm(CASE 2)、25cm(CASE 3)と変化させた3ケースの実験を行った。模型地盤、管の物性値をTable 1, 2に示す。

加振条件は、振動数 5Hz、加振方向は水平(管軸)方向、入力加速度は最初は200galとし、その後模型の状態を観察しながら、300gal、最後に400galと次第に上昇させた。

Table 1 Properties of model ground.

	Material	Shear wave velocity V_s (m/s)	Unit weight γ_t (gf/cm ³)
Liquefiable layer	Quartzite	—	1.92
Unliquefiable layer (Alluvium)	Loam	10	1.24
Unliquefiable layer (Diluvium)	Loam	70	1.40

Table 2 Properties of model pipe.

Length	140 (cm)
Inner diameter	11 (mm)
Outer diameter	13 (mm)
Young's modulus	24,000 (kgf/cm ²)
Material	Poly-carbonate

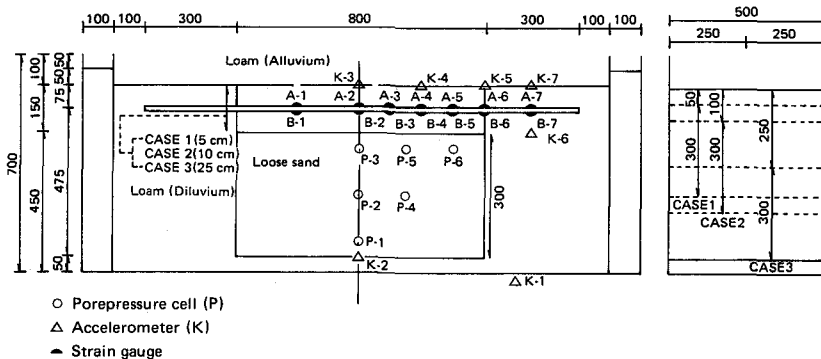


Fig. 1 Shapes and dimensions of model and location of measuring instruments.

3. 実験結果

表層厚 5cmのCASE 1を例にとり、間隙水圧、加速度、軸ひずみの実験結果を分析する。

(1) 過剰間隙水圧比

過剰間隙水圧比の記録をFig. 2に示す。過剰間隙水圧比は加振直後よりゆるやかに上昇し、入力を300galに上昇させた直後、急激に上昇し、1.0を大きく超えた。この時点で液状化が発生したと考えられる。

(2) 地盤の応答加速度

地盤の応答加速度の記録をFig. 3に示す。入力加速度200galのときには、K-2 ~ K-7の応答加速度は入力とほぼ同じ値であるが、入力を300galに上昇し、液状化が発生した後は、液状化層上の K-3、K-4の応答加速度が大きく増大している。なお非液状化地盤の K-6、K-7の応答加速度は液状化発生後も入力とほぼ同じ値である。

(3) 軸ひずみ

軸ひずみの記録をFig. 4に示す。軸ひずみは液状化発生前は小さな値であるが、液状化の発生に伴い、液状化層上の応答加速度 K-3、K-4の増大と同時に、増大している。このことより、管に軸ひずみが生じる主な原因は液状化層上の表層地盤の増幅された振動によると考えられる。なお、軸ひずみは液状化部と非液状化部の境界のNo. 6が最大である。

なお、表層厚10cmのCASE 2、25cmのCASE 3の各測定値についても定性的に同様な結果が得られている。

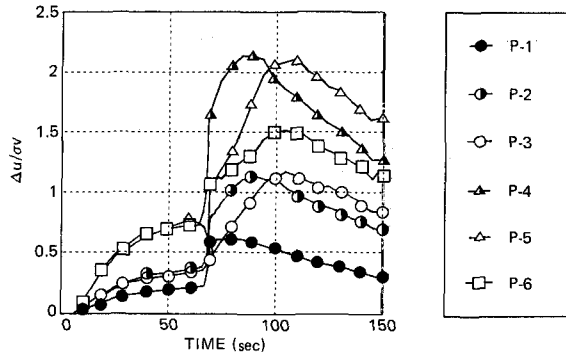


Fig. 2 Excess pore water pressure ratio to effective stress ($\Delta u/\sigma_v$) with time.

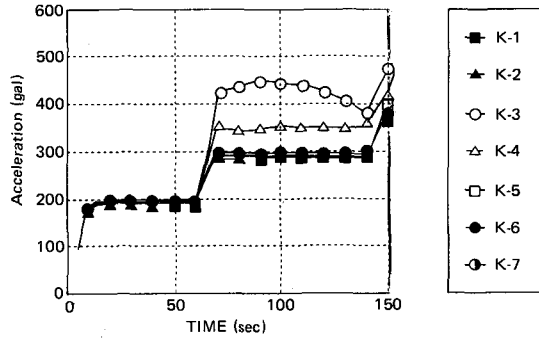


Fig. 3 Records of acceleration (horizontal direction).

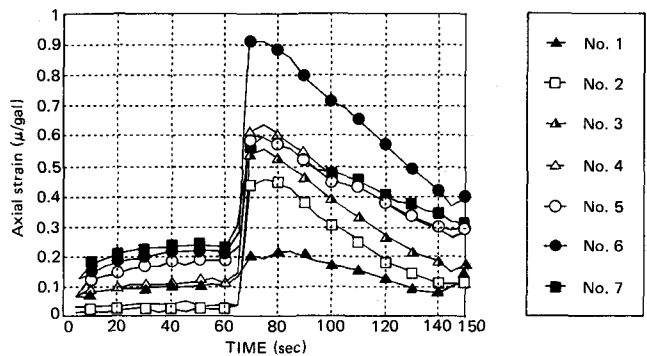


Fig. 4 Records of axial pipe strain.

4. 解析モデル

液状化発生時の地盤の応答変位、管体ひずみを解析するために、著者らが先に提案したモデルをFig. 5に示す。前述したように、管に軸ひずみを生じさせる主な原因は、液状化層上の表層地盤の増幅された振動によると考えられる。そこで、液状化層上にある表層地盤を両端から同位相の軸方向加振を受ける弾性板状体とし、この板状体の応答変位が地盤バネを介して管に伝わるというモデルである。定式化すると次のようになる。弾性板状体（表層非液状化地盤）の挙動は、次の波動方程式で表される。

$$\frac{\partial^2 u_s}{\partial t^2} = C^2 \frac{\partial^2 u_s}{\partial x^2}$$

$u_s (= u_s(x, t))$: 板状地盤の変位

C : 波動伝播速度

そして、板状体の応答変位が地盤バネを介して管に伝わり、

$$EA \frac{d^2 u}{dx^2} - k(u - u_s(x)) = 0$$

u : 管の変位, E : 管のヤング率

A : 管の断面積, k : 地盤のパネ定数

を解くことにより、管のひずみを算出するというものである。

S 波速度 V_s を測定し、

$$G = \rho V_s^2$$

ρ : 密度, G : せん断弾性係数

の関係より地盤のせん断弾性係数 G を求め、

$$k/2\pi G = 0.25$$

として、地盤のパネ定数 k を求めている。

波動伝播速度 C は3次元波動方程式より求めるが、表層厚が薄い場合、（加振直角方向）平面ひずみ状態（上下方向）平面応力状態と考えられるから、

$$C_0 = \sqrt{2/(1-\nu)} \cdot V_s$$

が求まる。一方、表層厚が厚い場合、（上下方向）平面ひずみ状態と考えられるから、

$$C_1 = \sqrt{2(1-\nu)/(1-2\nu)} \cdot V_s$$

が得られる。すなわち、波動伝播速度 C 。（表層厚が薄い場合）、 C_1 （表層厚が厚い場合）はポアソン比 ν と S 波速度 V_s の関数で表され Fig. 6 のようになる。

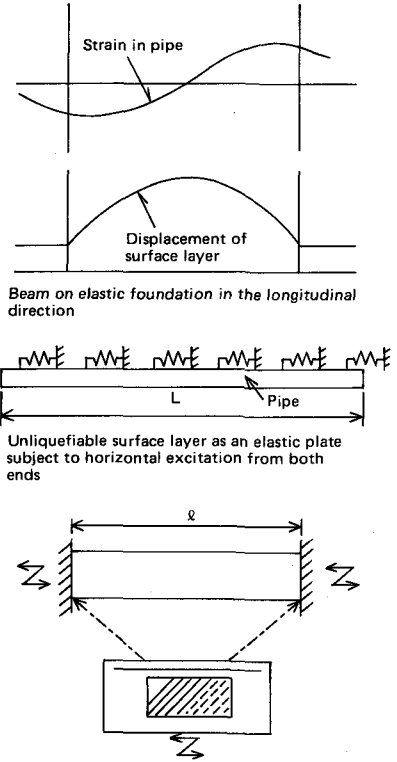


Fig. 5 Simplified mathematical models on behavior of unliquefiable surface layer and pipe (Longitudinal direction).

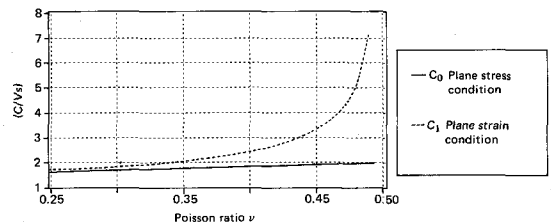


Fig. 6 Relation between longitudinal wave velocity ratio to shear wave velocity (C/V_s) and poisson ratio.

5. 実験値と解析値の比較

解析モデルによる地盤変位の応答倍率、管のひずみの計算値と実験値の比較をFig. 7、8に示す。表層厚 5cmのCASE 1が平面応力状態（表層厚が薄い場合）25cmのCASE 3が平面ひずみ状態（表層厚が厚い場合）、10cmのCASE 2がその中間的狀態に相当する。

表層厚が薄い場合には、地盤変位の応答倍率、管のひずみとも大きい、表層厚が厚くなるにしたがって両者とも小さくなり、表層厚の影響を大きく受けていることがわかる。

また、多少の不一致はあるものの、実験値と解析モデルによる計算値は全体的によく適合している。

これらの結果より、地盤液化時の地盤の応答変位、管のひずみに及ぼす表層非液化化層厚の影響が明らかになり、さらにこの影響を評価する手法が得られた。

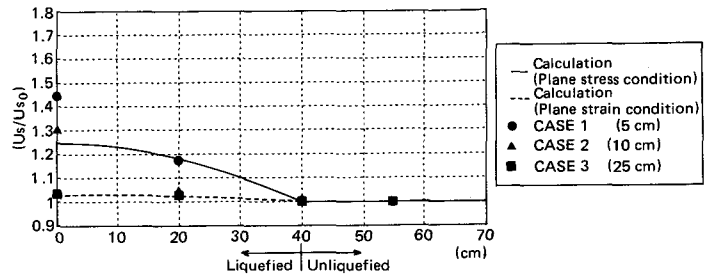


Fig. 7 Comparison of response of ground displacement between experimental data and calculation.

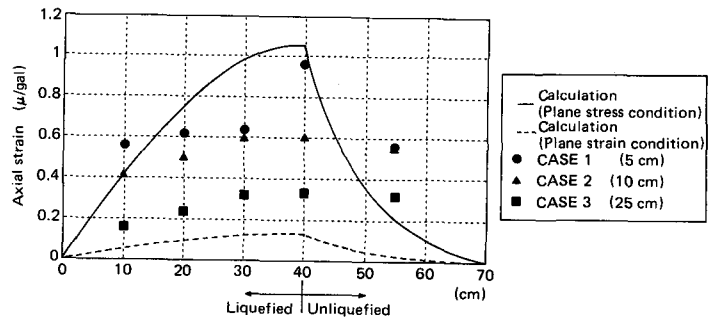


Fig. 8 Comparison of axial strain between experimental data and calculation.

6. 結論

地盤液化化時の表層非液化化層厚の影響についてまとめると次の通りになる。

- ①表層非液化化層厚を3通りに変化させた実験を行った。表層厚が厚くなるにしたがって、地盤変位の応答倍率、管のひずみとも小さくなり、表層厚の影響を大きく受けることがわかった。
- ②地盤-管系モデルを表層非液化化層厚の影響も考慮できるように改善した。その結果、実験値と解析値はよい一致を示し、表層厚の影響を評価する手法が確立された。

7. 参考文献

- 1) 西尾宣明、塚本克良、羽村 淳：部分的に液化化した地盤中の埋設管の挙動に関する実験的研究 土木学会論文集第380号/I-7、PP.449-458
- 2) N.Nishio : Strains in Buried Pipelines due to Soil Liquefaction, Proc. of ASME PVP Conference, PVP-Vol.162, pp.83-88,1989
- 3) 佐瀬 毅、西尾宣明：地盤液化化時の埋設管の挙動に関する実験的研究、第8回日本地震工学シンポジウム論文集、第1分冊、pp.891-896,1990