

液状化地盤中の管路の地震応答解析について

| | | |
|------------|-----|----------|
| 熊本大学工学部 | 正員 | 秋吉 卓 |
| 熊本大学工学部 | 学生員 | ○ 大部 蘭和久 |
| 八代工業高等専門学校 | 正員 | 湖田 邦彦 |

1. まえがき 新潟地震(1964)や、日本海中部地震(1983)等では、砂質地盤の液状化によって地中埋設管に多大な被害が出たが、液状化の可能性の高い地盤は、全国に分布していて、そこに今後管路が埋設されていくことが予想される。しかし、液状化による被害を軽減するための対策が施されている例はきわめて希である。すなわち地中埋設管に対する液状化対策は、必要性に迫られているにもかかわらず、敷設延長距離が膨大であり、コストがかかる等の理由で、未だに確立した工法がないのが現状である。このような観点から、著者らは地中埋設管(主管)に2本の補剛用パイプ(排水を兼ねる)を補剛板によって取り付けることで、まず地盤が液状化した時の埋設管の浮き上がりを軽減し、また排水用パイプで水抜きする液状化対策工法を提案する。今回は、液状化時の補剛による有効性についてのみ検討するため、地中埋設管を弾性床の上の梁としてモデル化し、地盤の液状化時には、地盤ばね定数が低下すると共に浮力が地中埋設管に作用すると考えて、静的な応答解析を行った。

2. 埋設管路のモデル化と基礎方程式 解析モデルは図1に示すように、地中埋設管を弾性床の上の梁とみなし、埋設管路が伸縮ばね、回転ばねによる継手で連結されている。また、埋設管の慣性力、減衰力の影響は小さいものと見なして無視し、外力は液状化時の浮力と地盤の強制変形として作用し、管体は変形後も弾性範囲内にあるものとする、埋設管の基礎方程式は次のように表せる。¹⁾

a) 管軸方向

$$-EA \frac{d^2u}{dx^2} + k_{sx} \cdot u = k_{sx} \cdot u_{sx}$$

b) 管軸直角方向

$$EI \frac{d^4v}{dx^4} + k_{sy} \cdot v = k_{sy} \cdot v_{sy} + P$$

ここに、E, I, A=管体の弾性定数, 断面二次モーメント, 断面積, k_{sx}, k_{sy} =地盤の管軸方向, 管直角方向の単位長さ当りのばね定数,

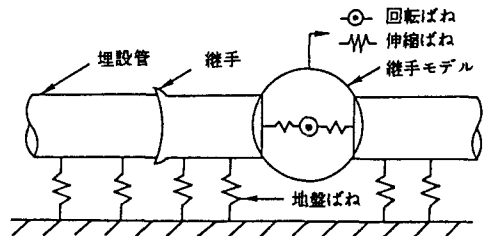


図1. 解析モデル¹⁾

u_{sx}, v_{sy} =管軸方向, 管軸直角方向の地盤変位, P=浮力などの管に作用する力。

3. 解析手法 一般の伝達マトリックス法を用いて解析を行うと、伝達過程において桁落ちが生じて精度が著しく低下するので、物理量を無次元化して、修正伝達マトリックス法²⁾を用いて倍精度で解析を行った。修正伝達マトリックス法の概要は次のようである。変位に関するベクトル y , 力に関するベクトル z とすると、二つの物理量 y, z の間には次のような関係が成立する。

$$\vec{\alpha}y + \vec{\beta}z = \vec{\gamma} \quad \text{及び} \quad \vec{\bar{\alpha}}y + \vec{\bar{\beta}}z = \vec{\bar{\gamma}}$$

ここで、 \rightarrow は左から右への伝達を意味し、 $\bar{\rightarrow}$ は逆方向への伝達を意味している。

この修正伝達マトリックス法は、格点の物理量を逐次伝達するのではなく、各格点物理量の関係式である $\vec{\alpha}, \vec{\beta}, \vec{\gamma}, \vec{\bar{\alpha}}, \vec{\bar{\beta}}, \vec{\bar{\gamma}}$ を伝達し、これを用いて逆行列計算して各格点の物理量を求める。また、伝達計算過程においては、適切な判定基準に従い、 α, β, γ のノルムを下げ伝達計算を行い、桁落ちを防ぐものである。各間伝達、各点伝達の方法、境界条件の与え方の詳細は文献2)に述べられているので、ここでの説明は省略する。

また、本解析では地盤が完全液状化し、継続時間が十分長いと仮定して、疑似静的なものとして解析した。

4. 解析結果 本解析の目的である液状化対策工法の有効性を検討するために、図2のモデル1、モデル

2を考えた。モデル1は、呼び径500mmで1本5mの上水道管などによく用いられるダクタイル鋳鉄管20本が19個の継手で連結されたモデルである。モデル2は、提案するモデルであり、中心の主管にモデル1と同じ管が同様に連結されている。補剛管は、呼び径100mmのダクタイル鋳鉄管を用いた。主管と補剛管の諸元は表1に示した。また、補剛板は、寸法5mm×500mm×500mmの鉄板を使用した。境界は両端とも構造物に固定されている。継手のばねの諸元は表2に示した。液状化している土の単位体積重量を $2.0(\text{gf}/\text{cm}^3)$ とし、管内が水で満たされている上水道管を考えた場合モデル1、2に作用する浮力は、それぞれ $123.8(\text{kgf}/\text{m})$ 、 $102.2(\text{kgf}/\text{m})$ となるモデル2の方が小さいのは補剛板と補剛管の重量を考慮したからである。この浮力をモデル1、モデル2に等分布荷重として入力して管路の応答を解析した。図3は、地盤ばね定数(液状化時) $1.0 \times 10^{-2}(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ とした時のモデル1、2の管の浮き上がりの状態を表している。モデル1の浮き上がり量の最大値は130.4(cm)、モデル2は35.8(cm)で、モデル1の方が3.6倍ほど浮き上がりが大きく液状化工法の有効性が分かる。図3からも分かるように二つのモデルとも固定点に近い継手の回転角がきわめて大きく管路が破壊する大きな原因であると考えられる。そこで、地盤ばね定数をパラメータとして継手の最大回転角をプロットしたのが図4である。モデル1は、地盤ばね定数が $1 \times 10^{-2}(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ の時はすでに許容値(5°)を越えているが、モデル2は、まだ許容値に達していない。著者らが提案する液状化対策工法では、補剛の調整を行うことにより、応答値をさらに下げることが可能であり、ここでは有効性の一端を示した。その他の結果については講演時に述べる予定である。

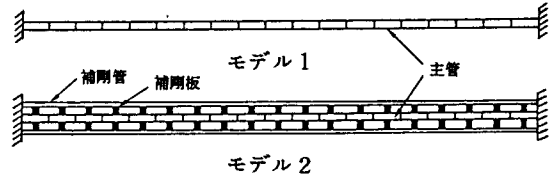


図2. 解析用モデル

表1 埋設管の諸元

| | 呼び径(mm) | 外径(mm) | 管厚(mm) | 弾性定数(kgf/cm ²) | 単位体積重量(gf/cm ³) |
|-----|---------|--------|--------|----------------------------|-----------------------------|
| 主管 | 500 | 528.0 | 8.5 | 1.8×10^6 | 7.15 |
| 補剛管 | 100 | 118.0 | 7.5 | 1.8×10^6 | 7.15 |

表2 継手のばね定数の諸元

| 回転ばね定数(kgf·cm/°) | 伸縮ばね定数(kgf/cm ²) |
|-------------------|------------------------------|
| 4.9×10^5 | 8500 |

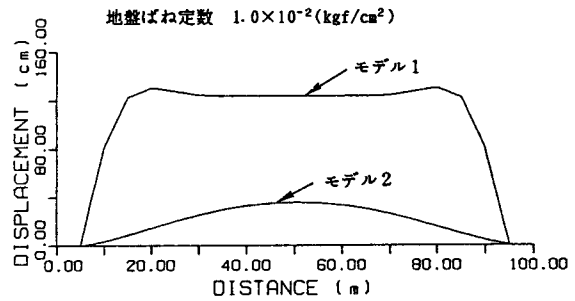


図3. モデル1とモデル2の管の浮き上がり

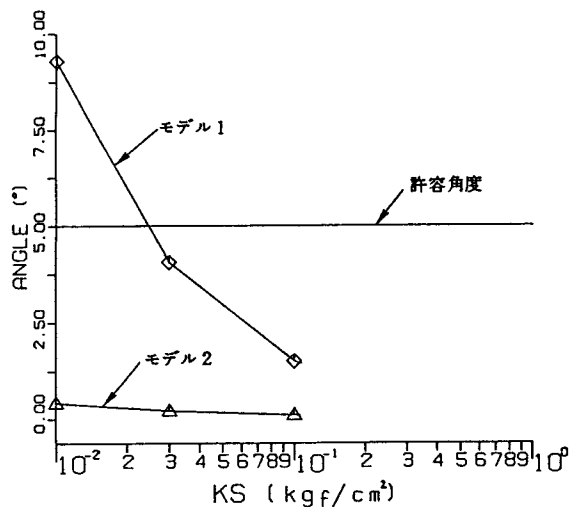


図4. 地盤ばね定数と最大回転角の関係

参考文献 1) 高田至朗, 高橋俊二, 山部泰男: 硬質塩化ビニル管のシミュレーション, 水道協会雑誌, 第547号, 1980. 2) 中村秀治: 数値誤差の改善を考慮した伝達マトリックス法の提案, 土木学会論文報告集, 第289号, 1979.