

液状化時におけるライフライン系の応答

金沢大学 大学院 生員 〇 柿谷 敏久
 金沢大学 工学部 正員 北浦 勝
 金沢大学 工学部 正員 宮島 昌克
 金沢大学 学生 松村 裕二

1. まえがき

1964年新潟地震では、砂地盤の液状化が確認され、マンホールの浮き上がりや市内の鉄筋コンクリート建物の22%にあたる340棟が、傾斜・沈下したと報告されている。また、水道管の被害は、総延長距離470kmのうち68%に達し、特に構造物と直結されている水道管の被害が多かった。同じ年に起きたアラスカ地震・1968年十勝沖地震・1971年サンフェルナンド地震などでも液状化による被害を受け、液状化に関する問題が活発に研究されるようになりその成果も徐々に認められつつある。しかし、地盤・構造物系を一体とした液状化解析については、いまだその歴史は浅く、問題となる点も数多く残されているのが現状である。そこで、本研究はライフライン系の耐震安定性を高めるために、液状化時における地中埋設管のモデル化を考へ、その挙動を明らかにするものである。

2. モデル化

まず、埋設管路をモデル化するために、文献¹⁾と同様に次の基本仮定を用いる。

- 1) 管路の慣性力・減衰力の影響は小さいものとみなし擬似静的問題として解析を行なう。
- 2) 2次元平面内での応答を解析し、地盤の運動は強制変形として作用すると考える。

以上の仮定に基づき、図1に示す解析モデルとした。つまり、埋設管路を弾性床上的はり²⁾とみなし、地盤はねを介して地盤変位が管路に働くものとする。また、伸縮はね・回転はねにモデル化した継手で管体が連結しているものとする。次に、著者らが行った液状化実験²⁾の結果を基に液状化現象を以下のように取扱うことにした。すなわち、過剰間隙水圧の上昇(図2)と同時に地盤の剛性が低下し、それに伴い埋設管への地震入力も低下する(図3)。一方、浮力・浸透力の上昇が液状化時の埋設管に外力として作用するものとみなす。

3. 基礎方程式

上記のモデルに従い、埋設管路の基礎方程式を次に示す。

$$\text{管軸方向} \quad -EA \frac{d^2 U}{dx^2} + k_{sx} U = k_{sx} U_{sx} \quad (1)$$

$$\text{管軸直角方向} \quad EI \frac{d^4 V}{dx^4} + k_{sy} V = k_{sy} U_{sy} + P \quad (2)$$

ここに、 U 及び U_{sx} は各々管軸方向の管の変位(cm)及び地盤変位を示し、 k_{sx} は地盤の管軸方向単位長さあたりのはね定数(kg/cm)を示す。 P は浮力・浸透力による外力項を示している。

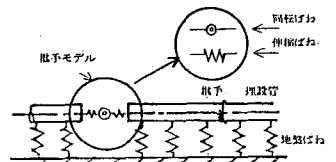


図1. 解析モデル

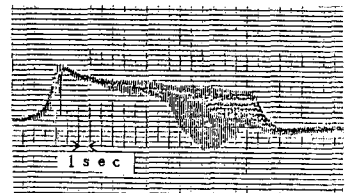


図2. 液状化実験の過剰間隙水圧値

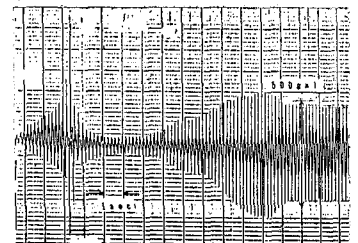


図3. 液状化実験の地盤応答加速度値

4. 解析例

構造物近傍の上水道管に注目し、一端固定の塩化ビニル管(5×20寸)を伝達マトリックス法で解析した。入力波は調和波を用い、せん断波速度を100 cm/s、変位振幅を10 cm(震度VIに相当)とし、地盤ばね定数は50 kg/cm²(N値約10に相当)としている。以上の条件から、まず液状化を考慮しない場合、すなわち文献2)による解析を行った。その結果が図4~6で、変位・たわみ角・曲げモーメントを示している。これらの結果から固定端部で最大値を示し、最大曲げモーメントは $0.28 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ である。曲げ応力に換算すると82.3 kg/cm²で、管体が破壊する可能性は少ない。また、回転ばねのある継手位置では極端に曲げモーメントが小さくなり、その値も $0.12 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ 程度で曲げ破壊の恐れはきわめて小さい。次に、浮力・浸透力の影響を考慮せずに、液状化時の過剰間隙水圧の変化に伴う地盤の剛性低下(その低下に従い管路への地震入力の低下)のみを考慮した結果が図7である。この結果から、液状化を考慮しない場合の埋設管に生じる各々の結果よりも小さい値を示すことがわかる。固定端部で示す最大曲げモーメントも $0.82 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ 程度で管体が破壊する可能性は小さい。しかし、実際には液状化時に浮力・浸透力の影響が卓越するため、管体が破壊する恐れが大きいと考えられる。そこで、水が満ちている管のみが比重(1.09)から浮力を計算し、ダルシーの法則から浸透力を導き解析すると、固定端部で破壊する危険性が大きいと思われる結果が得られた。詳しい考察は講演時に譲る。

5. あとがき

本研究は、管路を弾性床上的はりとしてモデル化し、液状化解析を行なったものである。伝達マトリックス法の析落ち、オーバーフローといった問題を改善³⁾、この手法が液状化解析に十分適用できることを確認した。

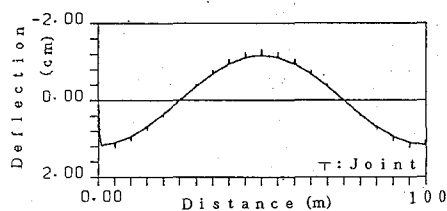


図4. 管体のたわみ (非液状化時)

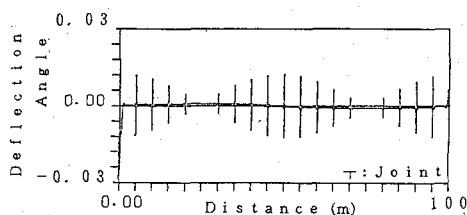


図5. 管体のたわみ角 (非液状化時)

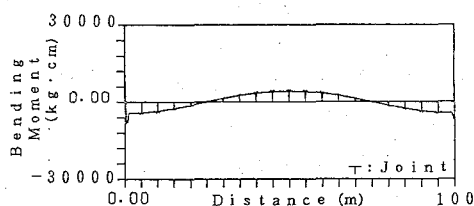


図6. 管体の曲げモーメント (非液状化時)

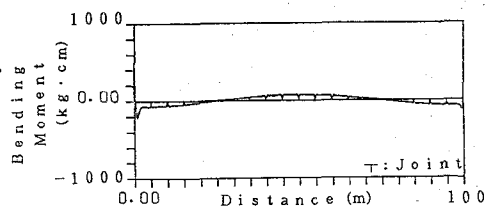


図7. 管体の曲げモーメント

(浮力・浸透力を考慮しない液状化時)

参考文献 1)高田正郎 ほか：硬質塩化ビニル管の地震時挙動シミュレーション，水道協会雑誌，1990.4.

2)北浦勝・宮島昌宏：液状化過程における埋中埋設管の応答特性に関する実験的研究，工学会論文報告集，1982.7.

3)中村治：数値誤差の改善を考慮した伝達マトリックス法の提案，工学会論文報告集，1979.9.